

# 商洛学院课程思政案例库

课程名称： 机械设计基础

负 责 人： 刘晓芬

编著时间： 2025 年 04 月

教务处印制

# 前言

为全面推进高校课程思政建设，2020 年教育部印发的《高等学校课程思政建设指导纲要》指出，专业课程是课程思政建设的基本载体，所有课堂均具有育人功能，不能将育人、育才的关键任务仅局限于思想政治课堂上，各学科的基础课、专业课也要担起这一大旗。高校立身之本在于立德树人，思政课作为落实立德树人根本任务的关键课程，强调将思想政治教育元素有机融入各类课程教学中，实现全员育人、全程育人、全方位育人。

思政课程一般只在新生入学的第一年开设，专业课的开设则贯穿整个大学期间。《机械设计基础》课程是专业基础课程，在人才培养方案中具有呈上启下的作用，一般开设于大学新生入学后的第三个学期，该门专业基础课课程思政的实施可以接过思政课的“接力棒”，在专业课阶段继续进行思政教育，做到专业课与思政课协同育人，防止思政教育的缺失。《机械设计基础》课程是多数工科专业的必修专业基础课，受众多，该专业课课程思政的实施有利于培养学生的思想政治素质，使他们不仅具备专业知识技能，还具备良好的道德品质责任感。《机械设计基础》课程涉及广泛的工程实践领域，与国家战略需求、经济和社会发展密切相关。在课程中融入思政元素，有助于学生将专业知识与国家战略、社会责任感相结合，提高学生的综合素质。

人才培养的应有之义，必备内容：寓价值观引导与知识传播和能力培养之中，帮助学生塑造正确的世界观、人生观、价值观。结合金属材料工程专业人才培养目标和课程特点，《机械设计基础》课程的课程思政建设目标为：第一，以培育理想信念为主线，坚持用习近平新时代中国特色社会主义思想铸魂育人，强化身份认同感和民族自豪感，进一步增强“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”。第二，以培育工程素养为主线，坚持把马克思主义世界观、方法论与科学精神培养结合起来，提高学生正确认识问题、分析问题和解决问题的能力，培养追求真理、实事求是的科学求实精神和不断探索、百折不挠的改革创新精神。第三，以培育职业素养为主线，树立工程伦理道德与职业道德，弘扬“执着专注、作风严谨、精益求精、追求卓越”的大国工匠精神，培养高尚的道德情操和良好的人文素养。

基于《机械设计基础》课程思政建设目标，围绕“知识探究+价值引领”相

结合的课程总目标，充分发掘专业课教学过程中蕴藏的思政育人资源，建立了 53 个典型案例的《机械设计基础课程思政案例库》。本案例具有以下特色：

1. 专业性与思政性的深度融合：（1）以专业知识为载体融入思政元素，围绕机械设计基础的核心内容（如机构机构分析、机构设计、强度计算、材料选择等），挖掘其中蕴含的思政内涵。例如：在“齿轮传动设计”中，通过齿轮啮合的精密配合，引申至“团队协作”“系统思维”的重要性；在“机械零件强度分析”中，结合材料疲劳寿命与可靠性设计，渗透“精益求精的工匠精神”“质量意识”。（2）工程伦理与社会责任的渗透，结合机械设计中的实际工程问题（如机械安全事故、环保设计缺陷等），引导学生思考设计背后的伦理责任，培养“以人为本”的设计理念和社会担当。

2. 案例内容的真实性与实用性：（1）基于真实工程案例或历史发展脉络，选取国内外机械工程领域的典型案例（如古代机械发明、现代重大工程装备、行业创新成果等），例如：以“中国高铁齿轮箱设计”为例，展现自主创新突破国外技术封锁的历程，融入“科技报国”“民族自信”；以“机械设计史上的经典失误案例”（如桥梁坍塌、机械故障事故），强调严谨治学、安全意识的重要性。案例贴近工程实际，帮助学生理解专业知识的应用场景与社会价值。（2）结合学科前沿与产业需求，融入智能制造、绿色设计、新能源机械等前沿领域的案例，体现“创新驱动发展”“可持续发展”等理念，例如：在“新能源汽车传动系统设计”中，强调节能减排目标下的技术创新与环保责任；在“机器人机构设计”中，结合人工智能发展，引导学生思考科技进步对社会就业与伦理的影响。

3. 案例形式的多样性与层次性：多维度案例类型覆盖，包括：历史类案例：如古代机械（水车、记里鼓车）的设计智慧，展现中华文化中的工程创造力；技术类案例：如某型航空发动机叶片设计中的材料与工艺突破，体现“攻坚克难”的科研精神；人物类案例：如机械工程领域科学家（如钱学森、王立鼎）和大国工匠（如管延安、何满棠）的事迹，传递爱国情怀、科学精神和工匠精神；问题类案例：如机械设计中常见的伦理困境（如成本与安全的权衡），培养辩证思维。

4. 价值引导的方向性与时代性：聚焦主流价值观与国家战略，紧密结合“中国制造 2025”“创新型国家建设”等国家战略，案例中强调“自主创新”“科技自立自强”的重要性，例如：通过“国产高端数控机床研发”案例，展现

突破“卡脖子”技术的艰辛与成就，培养民族自信心；在“机械设计标准化”内容中，联系国际标准制定中的中国贡献，传递文化自信。

5. 资源建设的系统性与开放性：（1）结构化案例体系，案例库按机械设计基础的知识模块（如机构运动学、强度设计、传动系统等）分类编排，每个案例包含“知识模块－课程思政案例－思政元素分析模块”的结构，方便教师检索与使用。（2）多元资源整合与动态更新，包含文字案例、图片、视频、三维模型、工程图纸等多媒体资源。

《机械设计基础课程思政案例库》通过“专业知识为体、思政元素为魂”的设计理念，将工程领域的技术原理、工程实践与价值观教育有机结合，既服务于专业教学目标，又实现“知识传授、能力培养、价值塑造”的三位一体育人效果，体现“润物无声”的思政育人特色。

## 目 录

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 001 从机械史长卷中汲取力量：培育爱国精神与科学自信.....     | 1   |
| 002 中国制造 2025 调研行：厚植爱国情怀，激发科学创新..... | 8   |
| 003 从机器组成出发：培养系统思维，点亮合作精神.....       | 14  |
| 004 聚焦中国制造业：点燃民族自豪，培育创新精神.....       | 18  |
| 005 探究机构确定运动条件：激发爱国力量，磨砺严谨科学精神.....  | 26  |
| 006 了解机构自由度计算历史：激发专业使命.....          | 29  |
| 007 从 GK 公式局限出发：磨砺辩证思维，传承科学家精神.....  | 33  |
| 008 探索虚约束：构建辩证思考逻辑，塑造科学创新思维.....     | 37  |
| 009 认识复合铰链：树立辩证思维，培养严谨治学精神.....      | 42  |
| 010 平面机构自由度计算注意事项：辩证思维方法.....        | 46  |
| 011 小连杆大用途：培育科学精神，打造创新思维.....        | 50  |
| 012 追寻“蝴蝶”记忆：筑牢文化认同，勇担历史传承.....      | 56  |
| 013 借 C919 之力：厚植爱国情怀，淬炼创新匠心.....     | 59  |
| 014 探秘平面连杆机构演变：搭建逻辑思维，培育创新思维.....    | 63  |
| 015 从中国雷达发展看：厚植爱国情怀，激发科学创新.....      | 66  |
| 016 剖析急回运动特性：构建科学思维体系，培养工程全局观念.....  | 70  |
| 017 死点位置：运用辩证思维权衡利弊，借助创新思维转危为机.....  | 74  |
| 018 凸轮机构利弊：筑牢辩证思维根基.....             | 78  |
| 019 剖析从动件运动规律：培育创新探索精神，筑牢工程伦理底线..... | 82  |
| 020 分析滚子半径影响：塑造辩证思维.....             | 86  |
| 021 追溯齿轮起源：传承科学精神，厚植民族自信.....        | 89  |
| 022 以齿轮应用为轴：传递科学精神，彰显民族自豪.....       | 94  |
| 023 从双入字齿轮车标演变：淬炼创新精神.....           | 103 |
| 024 探索渐开线齿轮啮合特性：培育创新思维.....          | 112 |
| 025 齿轮传动的创新应用：厚植爱国情怀，驱动科学创新.....     | 116 |
| 026 探寻王立鼎的齿轮征途：厚植家国情怀，弘扬科学家精神.....   | 123 |
| 027 解读渐开线齿轮公差等级：厚植爱国情怀.....          | 132 |
| 028 循着“徐强精度”足迹：厚植爱国情怀，铸造工匠精神.....    | 141 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 029 逐梦超精密齿轮技术前沿：燃创新之火，担民族复兴使命.....     | 147 |
| 030 王时龙“让零件说话”：厚植家国情怀，点燃创新火种 .....     | 154 |
| 031 风力发电机心脏“风机齿轮箱”：绘就工匠精神 .....        | 158 |
| 032 风电强国崛起：培育学生家国担当和民族自豪感.....         | 163 |
| 033 从记里鼓车到现代齿轮传动：解锁古人智慧，筑牢文化自信.....    | 172 |
| 034 攻克“卡脖子”难题，驱动齿轮行业迈向新能源新征程 .....     | 176 |
| 035 疲劳失效：关联墙崩剑折古训，涵养科学精神与职业责任.....     | 180 |
| 036 由发动机扇叶裂缝引发的反思：筑牢安全责任，秉持严谨态度.....   | 184 |
| 037 文墨精度：机械加工里雕琢出的工匠精神丰碑.....          | 192 |
| 038 装备“短板”逆袭！南宁首台国产气垫式热处理线开启创新征途 ..... | 195 |
| 039 从典型磨损曲线与超声切削刀具磨损曲线激发辩证思维.....      | 200 |
| 040 从表面粗糙度到疲劳寿命：培养辩证思维与科学方法.....       | 204 |
| 041 宝钢取向硅钢国产化的奋进之路，引领电力行业新航向.....      | 208 |
| 042 小螺栓，大担当：大国工程背后的科技创新与团队协作力量.....    | 213 |
| 043 拧好每颗螺纹：以管延安、何满棠为范，铸就专业匠心.....      | 217 |
| 044 攻克螺栓松动难题：“唐氏螺纹”彰显创新探索力量 .....      | 221 |
| 045 “永不松动的螺母”：厚植文化自信 .....             | 225 |
| 046 螺栓引发的事故之殇：筑牢工匠精神，严守工程伦理底线.....     | 229 |
| 047 工程师之戒：用魁北克大桥的悲剧，镌刻生命敬畏与职业操守.....   | 234 |
| 048 弹性滑动与带传动：借哲学智慧，培育工程伦理与责任素养.....    | 237 |
| 049 从带传动打滑看唯物辩证法：失效表象下的保护深意.....       | 240 |
| 050 轴上零件固定：以系统思维布局，用工匠精神雕琢.....        | 243 |
| 051 从轴的设计看工程精神：科学严谨，铸就匠心品质.....        | 246 |
| 052 轴承上的中国印记：产业崛起之路，厚植爱国情怀与传承担当.....   | 249 |
| 053 中国盾构“换芯”记：以科技突破，点燃爱国豪情与民族自信 .....  | 256 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-001                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 案例标题 | 从机械史长卷中汲取力量：培育爱国精神与科学自信                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 内容简介 | 在绪论的教学内容中学生要掌握的内容是了解机械设计基础课程的学习内容，为了帮助学生理解机械与机器同时厚植爱国主义情怀、坚定文化自信和树立使命担当。在课堂教学过程中，引导学生关注我国古代机械成就，如我国古代的记里、指南车、地动仪、被中香炉、记里鼓车等，坚定文化自信；介绍现代机器或装备的发展成就、装备自主创新的要求，增强学生创新自信和专业认同感，激励学生在建设科技强国的征途上，必须要有“功臣必定有我”的使命担当。                                                                                          |
| 关键词  | 机械；机械发展史                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 编写时间 | 2025-1-14                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 育人主题 | 爱国主义；文化自信；民族自豪感；使命担当；科学精神                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 素材长度 | 2629                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 案例正文 | <p>世界机械的发展史与人类文明的发展史紧密相连，根据人类文明发展，世界机械的发展史可以分为四个阶段：第一个阶段发生在大约 200 万年前至 50 万年前的这一阶段称之为原始阶段；第二个阶段发生在大约公元前 7000 年至 18 世纪初为古代机械发展阶段；从十八世纪中叶到二十世纪初为近代机械发展阶段，二十世纪初到现代为现代机械发展阶段。</p> <p>1. 原始机械发展阶段</p> <p>第一次革命发生在大约 200 万年前至 50 万年前，人类学会使用了最简单的机械——石斧、石刀之类的天然工具，劳动造就了人，人类发现并使用了火，食用熟食使人类更加聪明，而且延长人类的寿命。</p> |

## 2. 古代机械发展阶段

根据考古学家发现公元前 7000 年，巴勒斯坦地区犹太人建立杰里科城，城市文明首次出现在地球上，最早的车轮或许是此时诞生的。公元前 4700 年，埃及巴达里文化进入青铜器时代，那时出现了搬运重物的工具：有滚子、撬棒、滑轮和滑橇等，在建造金字塔时就使用这类工具，如图 1 所示。



图 1 建造金字塔时就使用滚子、撬棒等工具

介绍古代的机械发展史不得不介绍中国，中国是世界上机械发展最早的国家之一。公元 14 世纪以前，我国的发明创造在数量、质量上以及发明时间上都是领先的。中国古代在机械方面有许多发明创造，在动力的利用和机械结构的设计上都有自己的特色，如指南车、地动仪和记里鼓车等。

### (1) 指南车

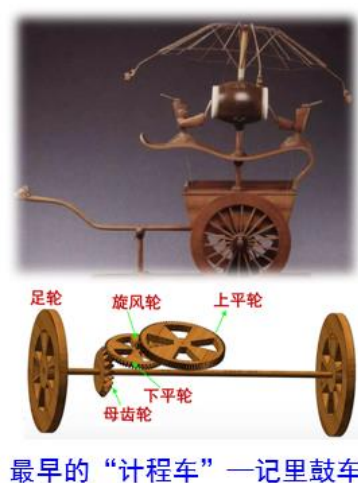
又称司南车，指南车的车身为一辕双轮车，车箱为重构结构，上立一本人，引臂南指。车箱内部设置有一套可自动离合的齿轮传动机构。当车子行进中偏离正南方向，向东（向左）转弯时，车辕前端向左移动，而后端向右（向西）移动，即将右侧传动齿轮放落，使车轮的转动能带动木人下方的大齿轮向右转动，恰好抵消车辆向左转弯的影响，使木人手臂仍指南方。当车子向西（向右）转弯时，则左侧的传动齿轮放落，使大齿轮向左转动，以抵消车子右转的影响。而车子向正前方行进时，车轮与齿轮系是分离的，因此木人手臂所指的方向不受车轮转动的影响。如此，不管车子的运动方向是东西南北，或不断变化，车上木人的手臂总是指向南方，起着指引方向的作用，如图 2 所示。



图 2 指南车

## （2）记里鼓车

即利用车轮的转动距离而自动报告车行里程的车子，其原理和作用类似于现代汽车上的计程表。关于记里鼓车的最早文字记载亦是在《西京杂记》中，其云“记道车，驾四，中道”。《宋史·舆服一》记有天圣五年内侍卢道隆和大观元年吴德仁所造的记里鼓车，对车子的型制、大小、齿轮传动结构等都有较详细的记载。其制为独辕双轮车，车箱分上下两层，下层有木人执槌司鼓，上层有木人执槌司镯（或钲）。车箱里设置有一套减速齿轮系，并分别与上下两木人相联。当车子每行走一里时，控制下层木人的齿轮转动一周，木人击鼓一次；当车子每行走十里时，控制上层木人的齿轮转动一周，木人击镯（或钲）一次，从而达到报告行程里数的效果，如图 3 所示。



汉代科学家张衡**利用齿轮啮合及轮系**，研制了**记里鼓车**

《古今注》记载：“记里车，车为二层，皆有木人，**行一里下层击鼓，行十里上层击镯**

《晋书》介绍说：“记里鼓车，驾四。形制如司南。其中有木人执槌向鼓，**行一里则打一槌**。

图 3 记里鼓车

## （3）地动仪

东汉张衡于公元 132 年发明，为世界上第一架观测地震的仪器，李约瑟称之为“地震仪的鼻祖”。地动仪“以精铜铸成，员（圆）径八尺，合盖隆起，形似酒尊”。其内部有精巧的结构，中间为“都柱”，相当于一种倒立型的震摆；周围分“八道”，即按八个方向装置的八组机械装置。外面相应八个方向各设一条口含铜珠的龙，龙头下各有一只蟾蜍张口向上，如图 4 所示。



图 4 地动仪

一旦发生较强的地震，“都柱”便会因震动失去平衡而触发地震方向的机构，该向的龙口即张开，使钢珠落入蟾蜍口中，“振声激扬”，观测者就能测知何时、何方向发生了地震。据记载，地动仪曾成功地记录到公元 138 年甘肃发生的一次强震，证明了地动仪的准确性和可靠性。

除此之外还有水转百戏、五轮沙漏、鼓风机械、活塞式风箱、走马灯和被中香炉等中国古代机械发明，学生可以通过线上了解（[http://www.360doc.com/content/20/1028/11/9930982\\_942783238.shtml](http://www.360doc.com/content/20/1028/11/9930982_942783238.shtml)）。可惜 15 世纪后，中国仍然处于封建社会，而以英国、法国为代表的西方国家开始发展自然科学，兴办大学，培养人才。到公元 15 世纪，西方的机械科学已超过中国。1698 年英国的萨弗里制成第一台实用的用于矿井抽水的蒸汽机——“矿工之友”。它开创了蒸汽作功的先河。

### 3. 近代机械发展史

18 世纪从英国发起的技术革命，是技术发展史上的一次巨大革命，它开创了以机器代替手工工具的时代。这不仅是一次技术改革，更是一场深刻的社会变革。这场革命是以工作机的诞生开始的，以蒸汽机作为动力机被广泛使用为标志的，推动了机械的飞速发展，如图 5 所示。在这一时期内史蒂芬逊解决了火车脱轨的问题；莫利兹制成第一台螺纹切削车床；英国的瓦洛和沃恩先后发明球轴承；英国的威尔金森发明较精密的炮筒镗床，这是第一台真正的机床——加工机器的机器。它成功地用于加工汽缸体，使瓦特蒸汽机得以投入运行；英国的卡特赖特发明动力织布机完成了手工业和工场手工业向机器大工业的过渡；英国的威尔金森建成第一艘铁船；英国的圣托马斯发明缝制靴鞋用的链式单线迹手摇缝纫机，这是世界上第一台缝纫机；德国的德赖斯发明木制、带有车把、依靠双脚蹬地行驶的两轮自行车；美国的奥蒂斯设计制造单斗挖掘机械等等。

动力的变革推动了机械的飞速发展和广泛应用。

1765年，瓦特（Watt）发明了蒸汽机。



蒸汽机



蒸汽机车-史蒂芬逊：  
解决了火车脱轨的问题



1797年制成第一台螺纹切削车  
床—莫利兹-现代机床之父

图 5 蒸汽机的出现推动了机械的飞速发展和广泛应用

1870 年以后，第二次工业革命。当时，科学技术的突出发展主要表现在三个方面，即电力的广泛应用、内燃机和新交通工具的创制、新通讯手段的发明。

在这一时期内，美国发明家爱迪生发明了电灯；德国机械工程师卡尔·本茨制成第一辆汽车；电话，飞机等等这些重要的使用工具被发明出来了，如图 6 所示。这两次工业革命都出现西方，而东方国家依然停滞不前，注定了落后的局面。

### 19世纪，第二次工业革命电动机和内燃机发明，人类进入“电气时代”

电力代替了蒸汽，集中驱动被抛弃了，每台机器都安装了独立的电动机，为汽车、飞机的出现提供了可能性。



1886年，本茨发明的汽油发动机为动力的三轮车被授予专利。



与此同时，戴姆勒也发明出了他的第一辆四轮汽车。



1903年莱特兄弟飞机试飞

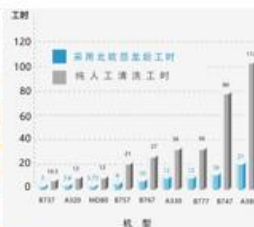
图 6 第二次工业革命电动机和内燃机发明，人类进入“电气时代”

## 4. 现代机械发展史

20 世纪 60 年代以来，随着计算机和伺服电机的出现，机器人作为现代机器的代表走上了历史舞台，如用于搬运、装配、焊接、喷漆、凿岩等工作的工业机器人，如图 7 所示。

### 工业机器人

#### 清洗飞机的机器人



汽车生产线上的机器人



隧道凿岩的机器人

图 7 工业机器人

在潜水、管道修理、外科手术、生物工程、军事、星际探索等领域应用，承担着许多由人的直接操作无法完成的工作的特种机器人，如图 8 所示。计算机应用的普及极大地推动了机械分析与设计方法的革新，随着科技的飞速发展，我国航空、航天、航海等高精尖领域取得了世界瞩目的成绩，如图 9 所示。



图 8 特种机器人



图 9 我国取得世界瞩目的成绩

### 思政点 1：爱国主义与民族自豪感

中国是世界上机械发展最早的国家之一，在公元 14 世纪以前，我国在机械发明创造方面领先于世界，如指南车、记里鼓车、地动仪等杰出发明，能激发学生的爱国主义情感和民族自豪感。

### 思政点 2：文化自信

中国古代机械发明的原理和成就，展现了中国古代灿烂的科技文化，有助于培养学生对中华优秀传统文化的自信，增强文化认同感。

### 思政点 3：科学精神

世界机械发展史中各个阶段的发明创造，如从原始阶段人类对天然工具的使用，到各阶段新机械的不断涌现，体现了人类勇于探索、敢于创新的科学精神，激励学生在学习和研究中追求真理、勇于创新。

### 思政点 4：历史观与发展观

呈现了机械发展史与人类文明发展史紧密相连的关系，让学生了解到不同历史时期机械发展的特点和背景，培养学生用历史的、发展的眼光看待事物，理解科技进步对人类社会发展的推动作用。

|          |                                                                                                                                           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 分析<br>评价 | 以世界机械发展史为脉络，通过对各阶段机械发展的阐述，特别是对中国古代辉煌机械成就的详细介绍，能够有力地激发了学生的爱国主义与民族自豪感，为文化自信的树立奠定坚实基础。将科学精神、历史观与发展观等元素自然融入机械发展历程的讲述中，引导学生领悟科技进步背后的探索精神与时代意义。 |
| 评价<br>者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-002                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 案例标题 | 中国制造 2025 调研行：厚植爱国情怀，激发科学创新                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例来源 | 百度、知网、央视网                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 内容简介 | <p>引入“中国制造 2025”战略，介绍我国在智能制造领域的重大成就和战略目标，如武汉光谷的光通信产业、株洲的硬质合金产业和动力装备制造、长沙的工业云平台等。分析当前国际制造业的竞争态势，强调自主创新对于提升国家竞争力的重要性。通过案例分析，如长飞公司、西迪公司、中车株洲所等企业的创新实践，展示自主创新在推动产业发展中的关键作用。</p> <p>通过讨论和案例分析，引导学生思考如何将传统文化智慧与现代科技相结合，推动机械设计的创新与发展。旨在培养具有深厚文化底蕴、创新精神和社会责任感的工程技术人才，为实现中华民族伟大复兴提供有力的人才支撑。</p> |
| 关键词  | 中国制造；制造强国；机械设计；创新发展                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 编写时间 | 2025-1-14                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 素材形式 | 视频、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 育人主题 | 爱国主义、民族自豪感、创新精神、工匠精神、职业素养、合作意识、团队精神                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 素材长度 | 2640                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 案例正文 | <p>制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。没有强大的制造业，就没有国家和民族的强盛。</p> <p>目前，美国工业互联网正以信息技术优势整合制造业，主导新产业生态体系话语权；德国提出工业 4.0，以应用信息技术保持装备供应优势……全球制造业格局正面临重大调整，各大制造强国纷纷抢占制造业竞争高地，重塑制造业竞争新优势。</p>                                                                                                          |

对此，我国提出“中国制造 2025”，以智能制造为主攻方向，推动制造业迈向中高端，大力建设制造强国，通过“三步走”战略来实现目标，大体上每一步用 10 年左右的时间。第一步，到 2025 年迈入制造强国行列；第二步，到 2035 年我国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平；第三步，到新中国成立 100 年时，我国制造业大国地位更加巩固，综合实力进入世界制造强国前列，如图 1 所示。



图 1 制造强国进程的三个阶段

近日，记者走进湖北湖南等地，进行了调研采访，开设《中国制造 2025 调研行》专栏，讲述武汉、宜昌、长沙、株洲等地落实“中国制造 2025”，推动制造业转型升级、创新发展的故事。

#### （1）武汉市的光通信产业——《从“汉阳造”到“光谷梦”》

<https://tv.cctv.com/2016/11/18/VIDE9BThxVoNjC9hkEOJDQDp161118.shtml>

拉丝塔是光纤生产的核心设备，自主研发这一设备的正是诞生于武汉光谷的长飞公司，现在长飞已经成为全球第一大光纤预制棒及光纤供应商和全球第二大光缆供应商。但与国内其他高新技术企业一样，长飞也曾经历过用市场换技术的阵痛期。从 2001 年开始长飞成立专门的研发中心，每年不低于销售收入 5% 的研发投入，使得长飞聚集了一批光纤光缆行业的优秀研发人才，占到公司总人数的四分之一。特别是 2013 年以来，长飞加大在光纤光缆产业智能制造标准模式的新探索，不仅掌握了全球只有三家企业拥有的最尖端的大有效面积超低损耗光纤生产技术，还向光谷甚至海内外的其他同类企业进行技术输出，开始引领带动整个产业的发展。光纤被称为信息社会的神经，是国际制造业的高端产业之一，如今中国人的信息神经紧紧掌握在中国人手中。

“光是产业形态，谷是体制机制”。如果说，产业联盟放大了企业个体的创新能力，那么在武汉光谷的未来科技城，针对七大战略性新兴产业组建的七所工研院，以市场为导向进行跨界合作，互联互通，使得高校院所的研发成果真正落地，成为企业创新的最强大脑。

今年 1 至 9 月，光谷完成产值增长 14.6%，对武汉全市规模以上工业生产增长的贡献率为 42.1%。现在的光谷不是仅有光电子产业，更是高新技术产业聚集

地，实现了由“一束光”到“光联万物”。从“汉阳造”到“光谷梦”，中国智造在这里显示出强大的创新能力和发展活力。



图2 武汉市的光通信产业——《从“汉阳造”到“光谷梦”》

## (2) 株洲：匠心创新 亮出中国制造新名片

<https://tv.cctv.com/2016/11/26/VIDEOdaDQlR5xGjMLkxxEx3c161126.shtml>



图3 株洲：匠心创新 亮出中国制造新名片

硬质合金被称为工业的“牙齿”，广泛应用于汽车、航空航天等重工业领域。在株洲，一批成长性良好的中小微企业凭着国际领先的硬质合金技术，亮出了中国制造的新名片。专门研发新型硬质合金的西迪公司刚刚入围参与两项航空领域国家重大科技专项的研发，这在民营小公司里还是很罕见的。西迪公司成立之初，也曾把自己初期的产品带给国外客户试用，但由于材料和技术不过关，装上设备一启动，就当场报废了。深受刺激的徐跃华当时就暗下决心，一定要在创新研发上下血本，攻克硬质合金这道难关。成立十年来，西迪的所有股东从未分过红，但每年都把销售收入的10%用于培养高级工匠和创新研发。仅从去年到现在，西迪公司这方面的投入就超过了3000万元。人才和创新的持续投入，令核心技术不断升级。正是依靠十年磨一剑的工匠精神，西迪不仅打破了国外技术壁垒，更是在不断地创新研发中，培养出了100多位以80后为主的高级工匠，他们已经成为西迪的中坚力量。

株洲已经成为我国最大的硬质合金产业基地，一大批相关企业开始在国际舞台崭露头角：株洲硬质合金集团年产硬质合金5000吨，产量居全球第一；金洲

公司成为世界第二大微型钻头生产企业。100 多家相关企业年产硬质合金近 1 万吨，占全国产量的 37%，约占全球产量的 14.5%。年销售收入近 100 亿元。

### （3）株洲：中国动力谷 领跑动力装备制造

<https://tv.cctv.com/2016/11/25/VIDELP2lfjJ7cCFxt9vvSQfD161125.shtml>



图 4 株洲：中国动力谷 领跑动力装备制造

湖南株洲，以轨道交通装备、小型航空发动机、新能源汽车三大支柱产业打造的“中国动力谷”，已成为领跑世界动力装备制造的新高地。IGBT 芯片的研发成功意味着，按照中国标准制造的高铁上，将装上具有我国完全自主知识产权的“中国芯”。中车株洲所也成为我国唯一全面掌握高铁动力系统的企业，彻底打破了国外对轨道动力系统核心技术的垄断。中车株洲所近三年科研投入总计超过 57 亿元，而创新投入对企业效益增长也是立竿见影：连续三年收入和利润增幅都超过 20%。智能生产线使新产品生产周期缩短 50%、效率翻倍、质量一致性提升 80%。就在上周，由中车株洲所研发的 8 英寸 IGBT 高铁控制系统成功中标印度汽车市场，这是我国高铁装备核心器件首次获得海外批量订单。

株洲市依靠强大的创新能力，已成为我国最大的轨道交通装备基地和研发中心。在株洲，轨道交通装备、小型航空发动机、新能源汽车三大支柱产业已经成为打造中国动力谷的三驾马车。2015 年株洲轨道交通产值突破 1000 亿，排名世界第一。株洲的中小型航空发动机产品更是占到国内市场的 90%；2015 年株洲新能源汽车产值 150 亿元，近 1 万台新能源客车在全国 20 多个省市运行。去年株洲三大动力产业共完成规模工业增加值 220 亿元，同比增长 12.2%。

### （4）长沙：打造工业云平台 让制造更智慧

<https://tv.cctv.com/2016/11/24/VIDELzTmr0HnvpSXAUKO7JMC161124.shtml>



图 5 长沙：打造工业云平台 让制造更智慧

制造业转型升级，智能化改造是必不可少的重要一环。如今在长沙，制造业正插上云的翅膀，变得越来越聪明。

这里是三一重工的物联网大数据平台，他们目前已售出的 23 多万台工程装备，如今在什么位置？是什么运行状态？都一目了然。维修等售后服务由原来的数天，大幅度缩短到 1 天之内。信息的互联互通为客户提供了更优质的服务，而企业自身也从中分享到了更多的价值。

来自各地生产一线的工程装备通过云平台实时反馈的海量大数据，最真实的反映了企业生产运行的变化。现在，闻名业界的三一重工“挖掘机指数”，已被国家相关宏观经济部门做为观察制造业运行状况的重要参考。不只是三一，就在两个月前，由长沙智能制造研究总院打造的长沙工业云平台正式上线。它把许多像三一这样的重点制造企业原本各自独立的工业物联网整合到一个平台上，对整个长沙制造业进行智能化改造。

在这个平台上，行业信息最大程度的互联互通，有效避免了重复建设、恶性竞争；平台更通过政府购买服务的形式，为企业提供信息共享、技术支持、开拓市场等服务。长沙今年还启动第二批 230 多家工业企业智能化改造，以此来推动长沙 2600 多家传统制造企业向智能制造华丽转身。

### 思政点 1：爱国主义与民族自豪感

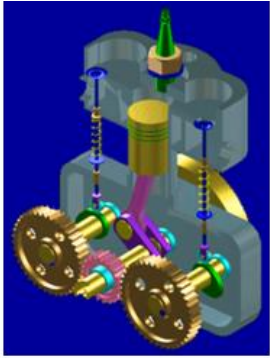
武汉长飞公司成为全球光纤领域领军企业、株洲众多企业在硬质合金和动力装备制造方面取得世界领先地位，以及长沙在智能制造领域的创新成果，展现了我国制造业的强大实力，能激发学生的爱国之情，让他们为国家制造业的成就感感到骄傲，增强民族自豪感。

### 思政点 2：创新精神与科技强国意识

长飞公司持续投入研发掌握尖端技术、西迪公司为突破技术壁垒加大创新投入、中车株洲所研发“中国芯”打破国外垄断，这些企业的发展历程突出创新的重要性，激励学生树立创新意识，投身科技研发，为实现科技强国目标努力。

### 思政点 3：工匠精神与职业素养

|      |                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>西迪公司股东多年不分红，坚持投入培养工匠和创新研发，培养出大量高级工匠，体现了精益求精、持之以恒的工匠精神。这引导学生在未来职业中，要专注专业、追求卓越，培养良好的职业素养。</p> <p><b>思政点 4：合作意识与团队精神</b></p> <p>武汉光谷的产业联盟和工研院跨界合作、长沙工业云平台整合企业资源，都表明合作能放大创新能力、推动产业发展。有助于培养学生的合作意识，使其明白团队协作在实现目标过程中的关键作用。</p> |
| 分析评价 | <p>引入“中国制造 2025”战略，介绍我国在智能制造领域的重大成就和战略目标，认识到自主创新在推动产业发展中的重要性，激发创新自信。明确作为工程技术人才的历史使命和责任担当，为国家的科技进步和民族复兴贡献力量。</p>                                                                                                             |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                             |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 案例标题 | 从机器组成出发：培养系统思维，点亮合作精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 内容简介 | 本部分通过以内燃机为工程案例，帮助学生深入理解机器、机构、构件及零件的关系，同时引导学生树立系统思维、协同合作精神，有助于学生更好地理解 and 应对自然界和社会中的复杂问题，提升自己的综合素质和能力。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 关键词  | 机器；机构；构件；两件；系统；协同                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 编写时间 | 2025-1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 素材形式 | 视频、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 育人主题 | 系统思维；团结协作                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 素材长度 | 1000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例正文 | <p>这一部分的学习目标为理解掌握机器及机器的组成，思政目标是引导学生树立系统思维、协同合作精神。</p> <p>首先，以引入工程案例——内燃机，分析内燃机的工作过程、基本组成，在分析过程中潜移默化的引导学生要树立系统思维和协同合作意识。</p> <p><b>工程实例分析：内燃机</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">图 1 内燃机</p> |

通过分析内燃机的工作过程，帮助学生深入理解机器的概念和机器的组成要素。

**机器：**执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料、信息。

机器有以下三个共同的特征：

它们都是由一系列的相对运动单元体所组成。

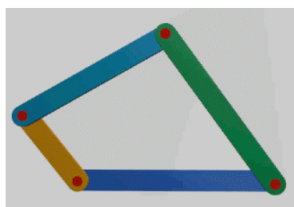
组成机器的各运动单元体之间都具有确定的相对运动。

它们均能转换机械能或完成有用的机械功以代替或减轻人们的劳动。

机器的组成要素

**机构：**若干构件组成的一个人为的构件组合体，功用在于传递运动或改变运动的形式。组成机构的各构件之间的相对运动是有规律的。

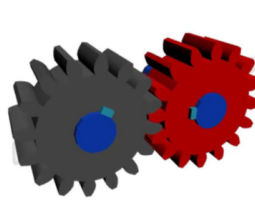
**机构：**若干构件组成的一个人为的构件组合体，功用在于传递运动或改变运动的形式。组成机构的各构件之间的相对运动是有规律的。



平面四杆机构



凸轮机构



齿轮机构



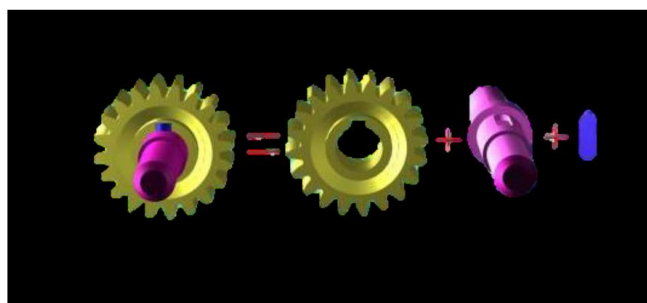
棘轮机构

若干机构组成机器。简单的机器可能只含有一个机构，但一般都含有多个机构

图 2 机构

**构件：**由若干零件组成的刚性系统，是运动的最小单元；可能是由一个零件构成，也可能是由若干个零件刚性联接而成。

**构件：**由若干零件组成的刚性系统，是运动的最小单元；可能是由一个零件构成，也可能是由若干个零件刚性联接而成。



- 1 连杆体
- 2 连杆头
- 3 轴套
- 4 轴瓦
- 5 螺栓
- 6 螺母

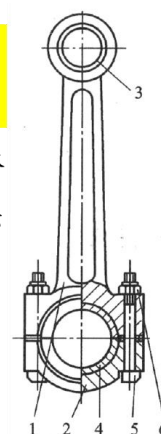


图 3 构件

**零件：**加工的最小单元

### 零件：加工的最小单元

零件

- 通用零件** 各种机器中常见的。例如：齿轮、链传动、带传动、轴、轴承、螺栓、键等。
- 专用零件** 只在某些特定的机器中用到。例如：叶片、曲轴等。

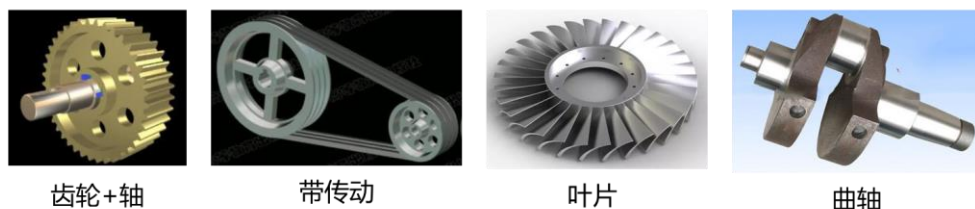


图4 零件

综上，机器是由机构组成，机构是由构件组成，构件是由零件组成，机器能够正常工作实现功能是由于这些具有确定运动规律的机构相互配合协调运动。

课程思政与理论融入关系：

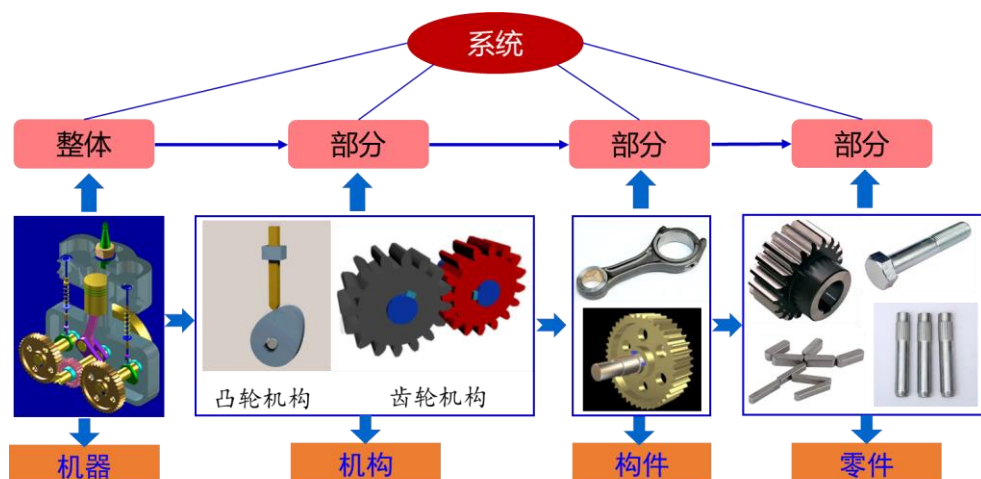


图2 课程思政点与理论内容关系

### 思政点 1：系统思维

通过理解机器、机构与零件之间的整体与部分、系统与要素的关系，学生将学会从系统的角度看待问题，理解整体功能并非部分功能的简单相加，而是各部分相互配合、协调运动的结果。这种系统思维有助于学生在解决复杂问题时，能够全面考虑各个因素及其相互关系，从而做出更为合理的决策。

### 思政点 2：协同合作精神

机器能够正常工作实现功能是由于具有确定运动规律的机构相互配合协调运动，这体现了协同合作的重要性。内燃机的各个机构、构件和零件只有协同工作，才能使内燃机正常运转，完成能量转换和机械功的输出。借此引导学生认识到在机械设计和实际工程中，团队成员之间也需要像机器的各个组成部分一样，密切配合、协同合作，才能实现项目的顺利进行和目标的达成，从而培养学生的协同合作精神，提高学生的团队协作能力。

|      |                                                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>综上所述，这部分内容主要可以培养学生的系统思维、协同合作精神，有助于学生更好地理解 and 应对自然界和社会中的复杂问题，提升自己的综合素质和能力。</p>                              |
| 分析评价 | <p>机器、机构、构件与零件之间的关系及其协同工作以实现特定功能的过程，蕴含了整体与部分、系统与要素、秩序与协同等深刻的哲理和道理。这些哲理和道理不仅适用于机器的设计和制造过程，也广泛适用于自然界和社会各个领域。</p> |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-004                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 案例标题 | 聚焦中国制造业：点燃民族自豪，培育创新精神                                                                                                                                                                                                                                             |
| 案例来源 | 听 TA 说·第 125 期 课程思政：制造业与我国制造业现状                                                                                                                                                                                                                                   |
| 内容简介 | 从生活中常见的机械应用切入，阐述制造业在国民经济中的关键地位。通过呈现我国制造业在产能、重大装备制造等方面的卓越成就，如机械工业产能长期世界第一、在“一带一路”倡议下相关产业的蓬勃发展，以及自主研发世界最大 5 万吨垂直挤压机、海洋石油 981、辽宁舰等大国重器的艰辛历程，深度挖掘爱国主义与民族自豪感思政元素。同时，借科研人员突破技术封锁的事迹，展现艰苦奋斗与创新精神。                                                                        |
| 关键词  | 机械制造；制造业                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编写时间 | 2025-1-15                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 素材形式 | 视频、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 育人主题 | 爱国主义、民族自豪感、艰苦奋斗、创新精神、职业使命感与责任感                                                                                                                                                                                                                                    |
| 素材长度 | 2569                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例正文 | <p>现在人们的生产和生活离不开机械，如大家点餐时用到的机器人；洗衣时用到的洗衣机；盖房时用到的挖掘机；出行时用到的自行车、轿车、飞机等；路灯检修时用到的剪叉式升降平台以及用于生产这些机械设备的各种机床。这些机械设备各式各样。它们是由谁制造的？如何被制造出来的？这就涉及到了工业以及工业中占有极其重要地位的制造业。生产制造这些机械设备的群体就称为制造业。国民经济分为三大产业：农业、工业、服务业。现阶段我国工业占比 52%，其中制造业占工业总产值的 45%，规模已达 30 万亿，可见制造业的地位相当重要。</p> |

中国国学大师、中国式管理大师，全球华人中国式管理第一人，被称为“中国式管理之父”的曾仕强教授关于“制造业”地位的一段论述。关心时事政治的同学可能曾经注意到，在特朗普当政美国总统时期，他关于振兴美国经济的其中一个主要措施就是不惜动用行政手段强制大批的美国制造业企业迁回美国国内，同时要求其他国家的制造业企业去美国投资建厂，其原因就在于此。但是建立一个全面且强大的制造业并不是一朝一夕能够完成的。



### 1、制造业 ——生产制造这些机械设备的企业群体



工业占国民经济的比例52%，其中制造业占工业的45%，规模达30万亿。

人们的生产和生活离不开机械；机械设备各式各样

### ■ “中国式管理之父”的曾仕强教授关于“制造业”地位的论述

曾仕强，中国式管理大师，全球华人中国式管理第一人，被称为“中国式管理之父”，曾任台湾交通大学教授，台湾兴国管理学院校长。



制造业如此重要，那我们现在所学与制造业又有什么关系呢？工业和信息化部于 2019 年发布：我国已成为全世界唯一拥有联合国产业分类中所列全部工业门类的国家。按照我国《国民经济行业分类》，我国制造业分为 30 个种类，除前面提及的行业外，还有诸如风力机械、轧制机械、工程机械、采油机械等其它制造业领域。各个行业都需要机械设备，而我们就是设计、制造和研究提升机械设备性能的开拓者和主力军。

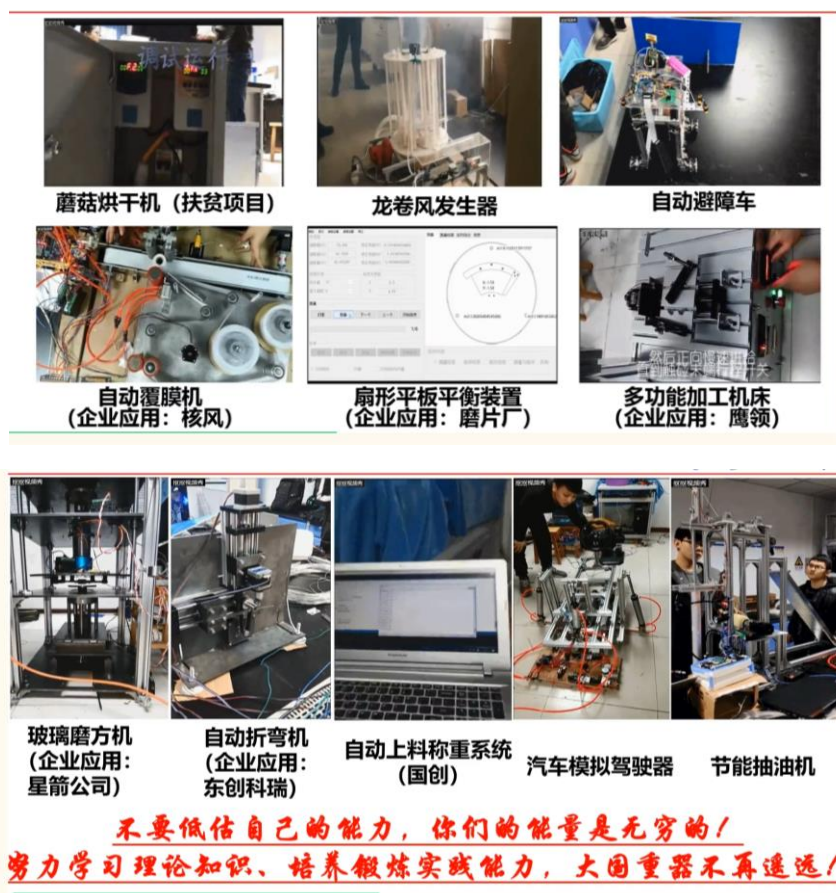


2013 年-2014 年，机械设计系教师团队申请获批了校级教改项目“仿生机械产品设计”，由此开启了实物实践教学之路。历经近 10 年，逐渐摸索出一套向“产业应用”和“前沿热点”靠近的行之有效的“理论+实践”的能力培养教学体系。



这些是历年的部分产品展示：包括早期的仿生机械、打印机、轮毂塞筛分机、全自动蘑菇烘干机、龙卷风发生器、自动避障车、自动覆膜机、扇形平板平衡装置、多功能加工机床、玻璃磨方机、自动折弯机、自动上料称重系统、汽车模拟驱动器、节能抽油机等等。通过这些产品的展示，让老师们充分认识到了大家其实都很优秀，所以对于你们来说，千万不要低估自己的能力，你们每个人的能量都是无穷的！现在努力做好：努力学习理论知识、培养锻炼实践能力，相信在不久的将

来，大国重器的研发必定离大家不再遥远！



接下来介绍我国制造业的现状。我国制造业已经构建了具有相当规模和水平的制造体系，当今中国已成为举世瞩目的制造大国，主要体现在：

（1）作为制造业核心的机械工业，在产能上长期居世界第1位。习近平主席分别于2013年9月和10月提出了建设“新丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”。在“一带一路”战略引领下，机电产品、发电设备等作为与沿线国家贸易主要产品而发展强劲；造船业也因“一带一路”战略兴起，逐渐超越韩国成为领头羊指日可待。

#### （1）机械工业在产能上居世界第1位。



2013年9月和10月由中国国家主席习近平分别提出建设“新丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”

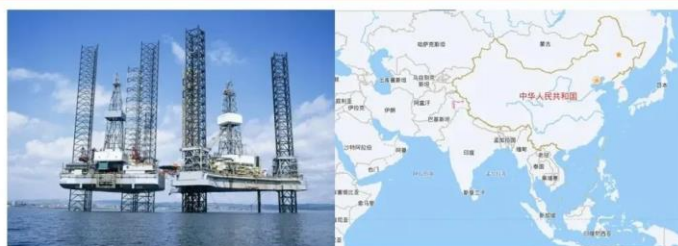
(2) 提供重大装备的能力不断提高。刚刚过去的 4 月 15 日是第 7 个“全民国家安全教育日”，“国家安全”涉及政治安全、经济安全、军事安全、科技安全、社会安全、文化安全、网络安全、生态安全、核安全、国土安全、资源安全、海外利益等 12 方面。重大装备在维护国家安全方面占有举足轻重的地位。

第一、核安全方面：主要用于大型电站、石油化工行业急需的高端钢管，尤其是大直径厚壁无缝钢管的制造，由于国外长期技术封锁，不得不大量高价进口。面对此种境况，不屈不挠的中国科研人员经过不断努力，最终耗时 3 年，花费近 5 亿元人民币打造出了举世无双的世界最大 5 万吨垂直挤压机，其生产的 13m 长大口径无缝钢管，有力地保障了我国在核电、舰船、航空航天等领域的自主地位，成为了我国从制造大国迈向制造强国的基石。



**核安全：5万吨垂直挤压机+13m长大直径无缝钢管**  
**保障了我国在核电、舰船、航空航天等领域的自主地位！**

第二、资源安全方面：我国南海蕴藏着丰富的油气资源，其探明储量甚至超过中东石油大国沙特阿拉伯的石油储量，但海上油气资源的开采是世界难题。



**资源安全：海洋石油981深海钻井平台（石油开采设备）**  
**从战略上彻底打碎西方国家妄图利用马六甲海峡**  
**遏制中国石油进口的企图和阴谋！**

现如今南海海面上矗立着一座庞然大物，它就是世界上最先进的第 6 代半潜式深海钻井平台——海洋石油 981，作为我国进军南海的战略利器，其有 45 层楼高，拥有可媲美中型航空母舰的 5 万吨排水量，其在 3000m 的深海区域漂浮的同

时能够实现站得稳、打得准、钻得快，981 的研制成功意味着中国的能源安全局面将获得巨大好转，从战略上彻底打碎美国等西方国家妄图利用马六甲海峡遏制中国石油进口的企图和阴谋。

第三、军事安全方面：自 90 年代以来，我国共买入 3 艘前苏联时期的航空母舰，其中的“基辅号航空母舰”现存于天津航母主题公园，它是集航母观光、武备展示、国防教育、娱乐休闲等为一体，航母内部结构复杂，沿着特定路线游览才不会迷路；其中的“瓦良格号航空母舰”，据报道购买时的图纸足有一吨多重。同学们都学习过机械制图，应该十分清楚以吨为单位的图纸得有多少，而看明白图纸也仅仅是改造过程万里长征的第一步；我国科研人员自 2002 年起，历经 10 年改造，终于于 2012 年 5 月使其成功入列成为我国第一艘航空母舰——辽宁舰（上图右侧）。回首辽宁舰 2 年多的回国之路，经历过通过土耳其海峡时的百般阻挠，经历过舰船的失控漂移和希腊的鼎力相助，漫漫回家的艰难路程更是凝聚了中国人民的智慧和力量。



天津航母主题公园：

[基辅号航空母舰](#)

（2000.8.29到天津）

深圳明斯克航母世界：

[明斯克号航空母舰](#)

（1999.8到广州，2000.5到深圳  
2016年停业）

辽宁舰：

[瓦良格号航空母舰](#)

（2002.3到大连）

**c) 军事安全：中国航母发展**

**航母这一大国重器是保障国家安全和人民安全的战略利器！**



**军事安全：中国航母发展**

**航母——保障国家安全和人民安全的战略利器！**

舰载机飞行员的培养、舰载机拦阻索的研发、蒸汽弹射器等重型设备的研发

等无一不考验着中国科研人员和中国人民军队的强大意志力和执行力。国家经济的飞速发展，国际地位的快速提高，国家海防安全的急迫需求，无一不昭示着航母这一大国重器是保障国家安全和人民安全的战略利器！



一重集团和燕山大学共同研发的1.5万吨自由锻造水压机



燕山大学和徐工集团共同研发的高机动多功能应急救援车辆



### **夯实理论知识、培养实践能力，为国家和人民做出贡献！**

包括以上大国重器在内的现代化大型装备都向着集机、电、液、光、传感器与微机控制的智能化方向发展。机械作为其中的基础和核心部分，其研发和性能提升等方面还有很多方面的问题需要解决，同时，国家还有很多如光刻机、大型高精度轴承、医学影像设备、高端数控机床等涉及卡脖子技术的机械装备或核心零部件需要进口。引导学生利用好大学四年的宝贵学习时间，努力夯实理论知识、培养工程实践能力，未来做一个对国家和人民有贡献的人！

### **思政点 1：爱国主义与民族自豪感**

详细阐述我国制造业在全球的显著成就，如机械工业产能长期居世界第一，在“一带一路”战略下机电产品、造船业的强劲发展；通过列举我国在核安全、资源安全、军事安全等领域突破国外技术封锁，自主研发出世界最大 5 万吨垂直挤压机、海洋石油 981、辽宁舰等大国重器的历程，激发学生的爱国热情和民族自豪感，让学生深刻认识到国家的强大与个人努力息息相关，增强对国家的认同感和

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>归属感。</p> <p><b>思政点 2：艰苦奋斗与创新精神</b></p> <p>国科研人员面对国外技术封锁，耗时多年、投入巨大，不屈不挠研发关键装备的过程，如打造世界最大 5 万吨垂直挤压机、研制海洋石油 981、改造辽宁舰等，展现了艰苦奋斗、勇于创新的精神品质。激励学生在学习和未来工作中，不怕困难，勇于探索创新，为解决我国制造业面临的技术难题而努力拼搏。</p> <p><b>思政点 3：职业使命感与责任感</b></p> <p>学生作为设计、制造和研究提升机械设备性能的未来主力军的角色，强调制造业对国家经济的重要性。通过介绍学校教师团队在相关领域的教学改革成果以及燕山大学参与国家重大项目研发的实例，激发学生的职业使命感和责任感，引导学生珍惜大学时光，努力学习理论知识，培养实践能力，为国家制造业发展贡献力量。</p> |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例库全面阐述了制造业范畴、我国制造业现状及发展成果，借助制造业领域的辉煌成就，激发学生的爱国主义与民族自豪感；以科研人员突破技术封锁的艰辛历程，诠释艰苦奋斗与创新精神；基于学生未来在制造业的角色定位及学校相关实践，培养学生的职业使命感与责任感。案例选取典型，如航母、大飞机等大国重器，极具震撼力与感染力。</p>                                                                                                                                                                                                            |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

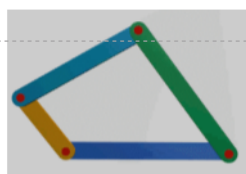
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-005                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例标题 | 探究机构确定运动条件：激发爱国力量，磨砺严谨科学精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 内容简介 | 通过中国空间站核心舱机械臂这一傲人成果，展现我国航天领域突破西方垄断、领先世界的辉煌成就，点燃学生爱国热情与民族自豪感。进而阐述机构的概念、在机器中的关键地位及确定运动的条件，通过汽车发动机曲柄滑块机构等实例，阐释各构件协同运作的重要性，培养学生严谨科学态度与工匠精神。同时，从机构的系统性出发，融入系统思维与团队合作思政要点，将专业知识传授与思政育人紧密结合。                                                                                                                                        |
| 关键词  | 机构；确定运动                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 编写时间 | 2025-1-16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 素材形式 | 视频、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 育人主题 | 爱国主义 科学精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 素材长度 | 1275                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例正文 | <p>机构是构件通过运动副连接，且有确定运动输出的构件组合，是用来传递运动或动力的系统。</p> <p>2021 年 6 月 17 日 18 时 48 分，中国人首次进入自己的空间站，和空间站共同亮相的是一个印有五星红旗及中国载人航天标志的机械臂，空间站核心舱机械臂是目前同类航天产品中复杂度最高、规模最大、控制精度最高的空间智能机械系统，主要承担舱段转位、航天员出舱活动、舱外货物搬运、舱外状态检查、舱外大型设备维护等重大任务。这个堪比“变形金刚”的“大力神臂”一亮相便惊艳了众多海外网友，7 自由度机械臂让中国空间站如虎添翼。它是我国目前智能程度最高、规模与技术难度最大、系统最复杂的空间智能制造系统，是经过 14 年研</p> |

发打破西方垄断，技术领先全世界的“中国神臂”。机械臂需完成舱表状态检查，舱外状态监视，辅助航天员舱外活动和舱表爬行转移四项主要功能，从动图不难看出，机械臂的这些功能要依靠——机械运动来实现，显而易见这些运动要确定要准确，在设计的时候如何来判断其是否具有确定的相对运动呢？

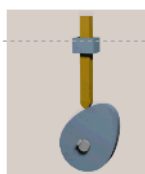


机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料、信息。从机器的定义中不难看出“动”是其实现功能的最主要的特征，而完成这一主要特征的组成部件就是机构。因此，机构是机器的重要组成部分，是人为的实体组合，具有确定的相对运动，可以用来传递和转换运动和力。以内燃机为例，我们可以看出其包含曲柄连杆机构、凸轮机构和齿轮机构。

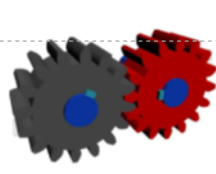
**机构：**若干构件组成的一个人为的构件组合体，功用在于传递运动或改变运动的形式。组成机构的各构件之间的相对运动是有规律的。



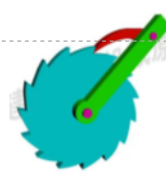
平面四杆机构



凸轮机构



齿轮机构



棘轮机构

若干机构组成机器。简单的机器可能只含有一个机构，但一般都含有多个机构

机构是由多个构件相互连接、协同工作组成的系统。确定运动条件涉及到考虑整个机构系统中各构件的运动关系、动力传递以及相互制约。例如在汽车发动机的曲柄滑块机构中，曲柄、连杆、滑块等构件相互配合，任何一个构件的设计或运动状态改变，都会影响整个发动机的运行，必须从整体上分析和优化，才能保证发动机正常运转。

机构具有确定运动的条件包含两个核心要素：自由度需大于零，且原动件数目必须与自由度数相等。这两个条件共同保证了机构既能运动，又能避免运动的

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>不确定性或内部冲突。</p> <div data-bbox="438 250 1300 622" data-label="Image"> <p>机构的自由度 <math>\neq</math> 原动件数目</p> <p>原动件数目 <math>&lt; F</math></p> <p>原动件数目 <math>&gt; F</math></p> <p>桁架结构</p> </div> <p><b>思政点 1：爱国主义与民族自豪感</b></p> <p>通过介绍中国空间站核心舱机械臂是打破西方垄断、技术领先全世界的“中国神臂”，激发学生的爱国主义情感和民族自豪感，让学生为我国在航天领域取得的成就感到骄傲，增强对国家和民族的认同感与归属感。</p> <p><b>思政点 2：科技强国与创新精神</b></p> <p>机械臂是经过 14 年研发的智能程度最高、规模与技术难度最大、系统最复杂的空间智能制造系统，体现了我国科技工作者勇于创新、敢于攻坚克难的精神，激励学生树立科技强国的理想，培养创新意识和创新能力。</p> <p><b>思政点 3：严谨的科学态度与工匠精神</b></p> <p>机构确定运动条件的讲解以及以汽车发动机曲柄滑块机构为例，强调了各构件相互配合的重要性，体现了严谨的科学态度和对精确性的追求，培养学生对待科学和工程问题一丝不苟、精益求精的工匠精神。</p> <p><b>思政点 4：系统思维与团队合作</b></p> <p>机构作为一个由多个构件组成的系统，需要考虑各构件的运动关系和相互制约，体现了系统思维的重要性。同时，中国空间站机械臂的研发是众多科技工作者共同努力的结果，反映了团队合作的力量，教导学生在学习和工作中要树立系统思维，注重团队协作，共同实现目标。</p> |
| 分析评价 | <p>以中国空间站核心舱机械臂为引，自然激发学生的爱国情怀与民族自豪感，彰显科技强国的奋进力量。借机构确定运动条件的讲解，结合汽车发动机实例，扎实培育学生严谨科学态度与工匠精神。从机构系统特性出发，渗透系统思维与团队合作理念，契合工程实践需求。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例   | 20053110-006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 案例   | 了解机构自由度计算历史：激发专业使命，践行科学发展理念                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例   | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 内容简介 | “机构自由度的计算”，是第一章的重点，具体包括“机构具有确定运动的条件、机构自由度的计算和计算平面机构自由度时应注意的事项”，机构自由度计算结果正确与否，直接影响机构运动的可能性和确定性判断，进而影响机构设计方案可行性的评价。本案例旨在通过学自由度计算公式探索历史，增长知识见识，体会科学精神，认识事物发展一般规律。                                                                                                                                                                                           |
| 关键   | 机构；自由度；科学精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 编写   | 2025-1-17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 编著   | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 素材   | 视频、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 育人   | 科学精神；事物发展规律                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 素材   | 1102                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例正文 | <p>机构是构件通过运动副连接，且有确定运动输出的构件组合，是用来传递运动或动力的系统。机构是现代社会飞速发展不可或缺的因素，是人类文明的集中体现和智慧结晶。机构的发明是人类与动物本质的区别，机构设计是生产力不断提升，在所有的核心技术体系中占有举足轻重的分量。随着人类社会的不断发展，机构设计也会一直发挥自己的重要作用，推动人类社会进步，促进生活质量的不断提高，满足社会的需求。</p> <p>第一次工业革命以来，以蒸汽机为标志的机械设备在工业生产中大量的使用，使得机械工业迅速得到发展。机器的使用使生产力有了飞跃，也促进了人们对各种生产设备的研究热情，各种机械设备如雨后春笋般的设计出来。近百年来，机构学研究的发展取得了长足的进步，机构总体上呈现出从简单到复杂、从平面到空间的发</p> |

展趋势。机构可以划分为为串联机构（如图 1）、并联机构（如图 2）和耦合机构（如图 3）三种结构形式。



图 1 串联机构机器人

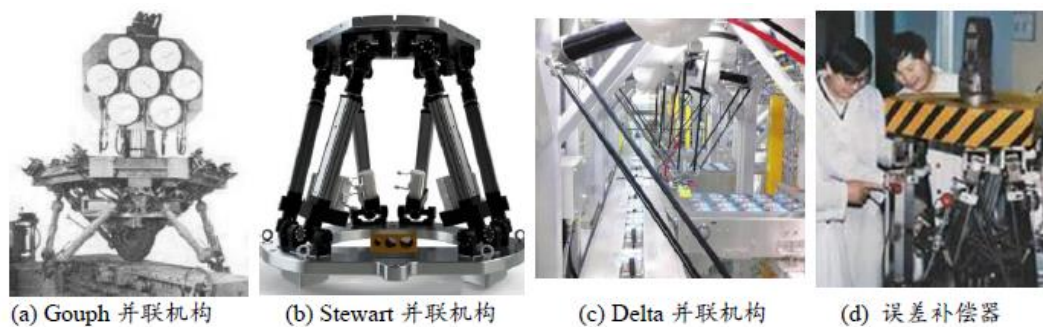


图 2 并联机构

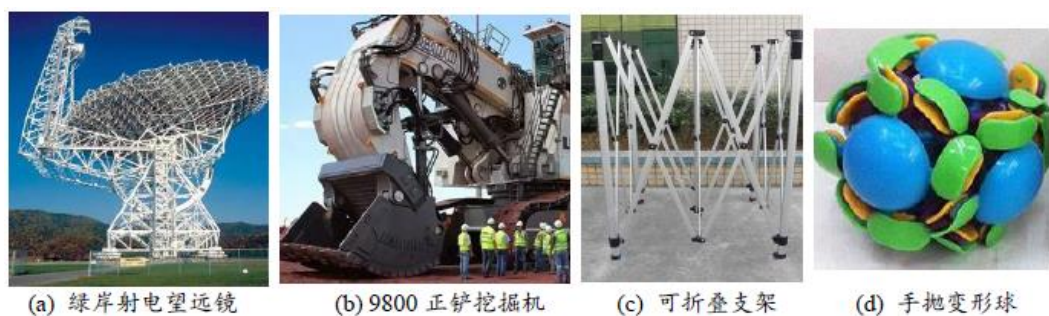


图 3 耦合机构

随着科技的飞速发展，日益扩展的机械装备应用需求推动了机构学的发展，以机器人作为现代机构的代表正式问世。机器人在工业生产中被越来越广泛地应用。比如图 4 所示的工业机器人在完成搬运、装配、焊接、喷漆、凿岩等工作，大大解放了人工劳动力，提高了效率。

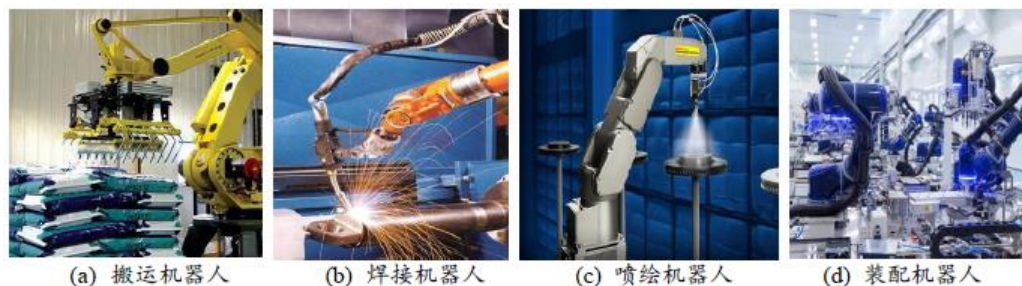


图 4 工业机器人

在潜水、管道修理、外科手术、生物工程、军事、星际探索等领域也开始应用特种机器人，并承担着许多人无法直接操作完成的工作，如图 5 所示。

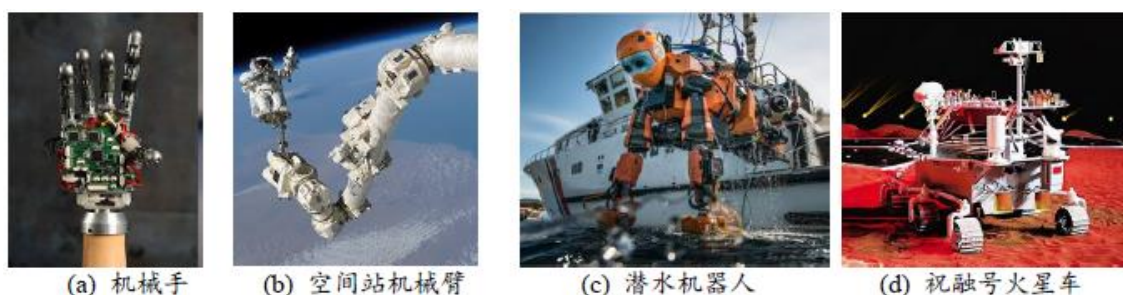


图 5 特种机器人

这些新型的机构虽然形状各异，功能性能各不相同，但是有一个关键因素在很大程度上决定了机构的灵活性和活动范围，那就是机构自由度(Degree of Freedom, DOF)，机构自由度是机构学中最基本的问题，是机构设计和机构创新的基础，对机构的创新设计至关重要，而准确快速的分析机构自由度作为重要技术参数更是不可或缺。同时也为进一步分析机构的驱动控制、运动学以及动力学等性能提供了基础。

在机构设计中，针对机构自由度的计算问题众多学者做了大量分析研究，努力设法找出能够计算机构自由度的通用公式和方法。近 200 年来，许多杰出的专家学者为机构自由度公式的研究作出了巨大贡献，如图 6 所示。

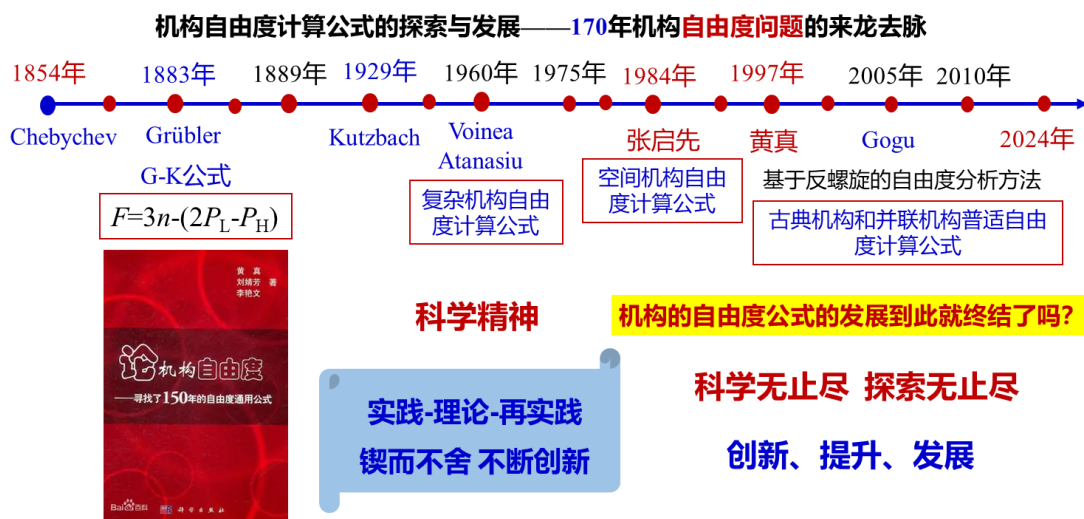


图 6 探索机构自由度计算的科学与历史之旅—感悟科学探索精神

机构的创新是机械创新的重要部分，对任何新机构最基本的认识就是要知道它的自由度，因此通过学习自由度计算公式的发展史带领学生感悟科学探索精神，培养学生的科学思维。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点 1：科学探索精神</b></p> <p>体会并学习中外学者理论-实践-理论-再实践不断创新的精神品质。</p> <p>“针对机构自由度的计算问题众多学者做了大量分析研究，努力设法找出能够计算机构自由度的通用公式和方法。近 200 年来，许多杰出的专家学者为机构自由度公式的研究作出了巨大贡献”，通过讲述学者们长期致力于机构自由度公式研究的历程，培养学生的科学精神与探索精神，让学生明白科学研究需要长期的坚持和努力。</p> <p><b>思政点 2：创新意识</b></p> <p>“机构的创新是机械创新的重要部分，对任何新机构最基本的认识就是要知道它的自由度”，将机构自由度与机构创新相联系，引导学生认识到掌握机构自由度知识对创新的重要性，从而激发学生的创新意识，培养学生在机械设计等领域的创新能力。</p> <p><b>思政点 3：专业使命感</b></p> <p>机构在现代社会发展中的重要作用，如“机构是现代社会飞速发展不可或缺的因素，是人类文明的集中体现和智慧结晶”，以及机构学的发展推动了机器人等先进技术在各个领域的应用，让学生了解专业知识的价值和意义，增强学生对机械专业的认同感和使命感，激励学生为推动专业领域发展而努力学习。</p> <p><b>思政点 4：发展的眼光看待问题</b></p> <p>学习自由度计算公式的发展史，体会事物循序渐进发展的规律，只有坚持不懈，方能守得云开见月明。</p> |
| 分析评价 | <p>通过学习自由度计算公式的发展史，可以培养学生认识事物发展基本规律，通过文献学习不仅可以增长见识，也可以体会并学习科研人员实践创新的精神品质，能够启发学生思考。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例标题 | 从 GK 公式局限出发：磨砺辩证思维，传承科学家精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例来源 | 文献：150 年机构自由度的通用公式问题，黄真，2011.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 内容简介 | “机构自由度的计算”，是第一章的重点，具体包括“机构具有确定运动的条件、机构自由度的计算和计算平面机构自由度时应注意的事项”，机构自由度计算结果正确与否，直接影响机构运动的可能性和确定性判断，进而影响机构设计方案可行性的评价。本案例通过列举实例说明 GK 公式的局限性，引导学生辩证地思考，选择合适的方法解决问题，旨在培养学生的辩证思维和严谨的科学态度，提高优化问题解决决策的能力。                                                                                                                                                       |
| 关键词  | 机构；自由度计算；辩证思维                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 编写时间 | 2025-1-23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材形式 | 视频、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 育人主题 | 辩证思维 科学精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 素材长度 | 2432                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例正文 | <p>机构是构件通过运动副连接且有确定运动输出的构件组合，是用来传递运动或动力的系统。平面机构是机械系统中常见且重要的组成部分。平面机构的自由度计算是评估其运动性能和工作能力的重要步骤，对于确保机构设计的准确性和可靠性至关重要。在传统的平面机构中,自由度的计算通常依赖于刚性连接的数量以及机构中独立的运动方式。回顾寻找统一公式的历史，从俄国数学家契贝舍夫（Chebychev1854）算起有 170 年了。许许多多学者做出了贡献，给出他们的自由度公式。机构自由度的计算较长时间以来一直用的是 Grübler-Kutzbach 公式，也就是我们熟悉的 G-K 公式（式（1）），它可以计算出结构简单的平面机构和部分空间机构的自由度，且公式仅仅基于最基本的算术运算。由于简单、易</p> |

行、容易掌握，G-K 自由度计算公式被编入许多教科书，也被众多的机械工程师所熟悉和运用。

$$F=3n-2P_L-P_H \quad (1)$$

式中：

$F$  —平面机构自由度；

$n$  —为活动构件数；

$P_L$  —为低级运动副，简称低副；

$P_H$  —为高级运动副，简称高副。

但是 G-K 公式没有考虑机构中几何尺寸的关联所导致的虚约束等问题对自由度计算的影响，在一些特殊机构中，随着机构从平面到发展空间、从单自由度发展到多自由度、从单环发展到耦合运动链、从串联机器人发展到并联机器人等重大变化的情况下，涌现出大量新的复杂机构，使得 G-K 公式计算出现了许多反例，不能得到正确的结果，因而 G-K 公式也不能再认为是“通用”的公式基于约束法线的机构自由度计算方法，这就对机构的自由度计算和分析提出了新的挑战。

2011 年黄真教授在其发表的论文 150 年机构自由度的通用公式问题中列举了非常多的学者和专家对 GK 公式的质疑。1978 年美国教授 C.H. Suh 在著作《Kinematics and Mechanisms Design》中写道：“在某些例子中，G-K 公式得出的结果常常会误导人们”；1984 年美国教授 Sandor 和 Erdman 在其出版的著作《Advanced Mechanism: Analysis and Synthesis》中写道，“一些很有意义的机构不服从 GK 自由度公式，那些机构是依赖特殊的尺寸和比例实现其自由度；1987 年 Mabie 和 Reinholtz 在他们的著作《Mechanisms and Dynamics of Machinery》中写道：“在应用这个自由度方程式时必须仔细，因为有很多机构具有特殊的几何条件，使公式计算出的结果不正确。在判断自由度公式是否给出错误结果的问题上，虽然还不存在能够包括一切因素的规则，可是当机构中一些杆件处于平行的时候，错误却经常发生”；2000 年，法国教授 Merlet 说：“这种由杆件和运动副数目严格组合的公式在应用上不时地出现错误，是由于 G-K 公式没有考虑到铰链间的几何关系”。21 世纪初始前后 G-K 公式在并联机构分析和综合上也存在不适用的情况。1996 年，马里兰大学 Tsai 教授在他的文章中提出一种 3 自由度并联机构，同时指出如果应用 Grübler-Kutzbach 公式计算自由度得到的却是“9”，无法解释；2002 年 Kim 和 Tsai 又提出了一种“3 自由度”3-CRR 并联机构，他指出如应用 G-K 公式计算得到的自由度数却为“0”。在 21 世纪初始时，自由度问题变得非常地严重和突出，阻碍了机构的创新和它的现代发展。举个例子，机构的自由度计算，特别是并联机构的自由度计算，不仅对于学术界而且对于工程界更是十分困难的问题。例如在 2007 年，一家公司设计了一台 6 自由度运动模

拟器，已经制造出来并安装在车间，如图 1 所示，还实际运行了一段时间。当黄真的博士生看了后，立即就指出它的自由度设计不对，它不具有 6 个自由度。经仔细观察发现，在运动之后原来设计为静配合的某连接处，发生了不应有的相对角位移。原来，它的设计者是照着葫芦画瓢，把 6-SPU 的结构设计成 6-UPU 结构。他们不知道他们所看到的运动模拟器在一个 U 副处还隐藏一个与之相垂直的转动副。这里具体说明了“感觉到的东西不能立刻理解它，理解了的东西才更深刻地感觉它”。理论上没有掌握和真正理解，犯错误也就是必然的了。



图 1 一台 6 自由度运动模拟器

上面分析列举了这么多文献都谈到 G-K 公式的问题，现在再回过头来从 G-K 公式的建立思想来分析。当时那个分析是建立在仅当所有的约束都是独立的、都独立地真正起到约束的作用，这样按 G-K 公式计算可以得到正确的结果。实际上，在过去那些古典的反例中，特别是现在研究的并联机构中经常出现约束相互不独立的现象，或者说重复约束的情况。比如，最简单的例子就是门上安装的两个合页。为什么这两个合页总是被安装成共有同一个轴线呢？若两个合页轴线不共线，这个门就打不开了。只有当两个合页轴线共线，两个约束中只有一个起约束作用，另一个是过约束。这种多个约束发生线性相关，部分约束不起作用的情况就称为“过约束”。这些含有过约束的机构就称为“过约束机构”。这个具有两个合页的门就是最简单的单自由度过约束机构。自由度计算不能得到正确的结果，其原因在于机构中存在不独立的过约束，即“冗余约束”，或称“虚约束”。机构中有冗余约束，或虚约束存在，应用 G-K 公式自然就得不到正确的结果。过约束机构最一般的例子是平面机构族，包括了所有的平面机构。在所有的机械原理教科书中都告诉学生，对平面机构不能用一般的空间机构的自由度公式去计算，必须用特殊的“平面机构自由度公式”，每个杆件都假设只有 3 个自由度。为什么平面机构只有 3 个自由度？所有教科书都没有给出合理的解释。另外一种

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>一般性的例子就是球面机构，它们也不能应用空间机构的自由度公式，也必须以 3 代入，也存在一个为什么是 3 的问题。</p> <p>近年来，尽管相关学者提出了众多自由度计算方法，然而由于它们在通用性、复杂性等方面的原因至今未能在工程和教学中广泛应用。因此，如何利用一般化公式对复杂机构自由度进行有效而简明的计算，已成为机构学领域一个格外引人关注的研究课题方向。建立一种以理论依据充足、操作简明易懂、物理意义明确的方法，能够自由计算和判断平面及空间机构的自由度和性质，对机构创新设计具有重要作用。</p> <p><b>思政点 1：辩证思维</b></p> <p>说明 GK 公式的局限性，引导学生辩证地思考，选择合适的方法解决问题。对已有理论、假设和实验结果保持批判性审视，不轻易接受未经充分验证的信息。科学进步往往始于对现有知识的质疑，通过不断提出假设并设计实验来验证，从而推动理论的发展和完善。</p> <p><b>思政点 2：科学家精神</b></p> <p>科学是不断发展的，新的发现和技术不断涌现。保持好奇心和欲望，持续跟踪学科前沿，勇于探索未知领域，要树立科学家态度。</p> |
| 分析评价 | <p>通过列举工程案例说明自由度的计算对当今机构创新设计的重要性，同时通过不同学者和研究人员在理论应用和实践中的对 GK 公式提出的不同观点和公式的局限性，引导学生辩证地思考，选择合适的方法解决问题，对培养学生的辩证思维，提高优化问题解决决策的能力具有重要意义。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-008                                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例标题 | 探索虚约束：构建辩证思考逻辑，塑造科学创新思维                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 内容简介 | 在平面机构自由度计算中，虚约束存在多样性、复杂性、隐蔽性，大多数学生难以真正掌握虚约束的本质特性，经常出现机构自由度计算错误的现象，严重制约了学生对机构特性的理解。通过工程案例引导学生分析实际结构中采用虚约束的目的，让学生认识到机构中采用虚约束是有的放矢的积极举措。培养学生从工程角度正确认识需约束，针对复杂工程问题中的矛盾冲突问题，从全局出发，辩证的分析，具体问题具体分析，合理设计机构结构的意识，需要之处主动用，不一之处不采用。                             |
| 关键词  | 机构；局部自由度；虚约束；动静观察                                                                                                                                                                                                                                    |
| 编写时间 | 2025-1-24                                                                                                                                                                                                                                            |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                          |
| 素材形式 | 动画、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                             |
| 育人主题 | 工程观 全局观                                                                                                                                                                                                                                              |
| 素材长度 | 1274                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例正文 | 在机构自由度分析计算时应注意的三项问题中的复合铰链和局部自由度事项，一般情况较容易理解和掌握，而虚约束问题在理解上以及熟练应用方面则往往存在较多困难。虚约束（也称冗余约束或过约束）是指机构中某些运动副的构件或支链引入的约束对机构的运动只起重复限制作用的约束。由虚约束的定义可知，虚约束的本质特性体现在其对机构的运动不起限制作用（或重复约束），或其无论有无都不改变机构的运动轨迹。为方便同学对虚约束本质的理解，掌握机构自由度分析计算时的虚约束问题，表 1 给出机构中常见虚约束的形式以及处理 |

办法。

表 1 常见虚约束的形式

| 序号 | 虚约束出现的场合                                         | 实例展示 | 解决方法                                            |
|----|--------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------|
| 1  | 重复轨迹：两构件通过转动副连接，而连接点各自的轨迹在连接前后不变（或距离保持恒定），则存在虚约束 |      | 将含有虚约束的构件及其引入的运动副拆除（即拆除实例中的构件 5 以及 E 和 F 处的转动副） |
| 2  | 重复移动副：两构件间存在多个导路平行或共线的移动副时，则存在虚约束                |      | 如实例中，只算 D 处一个移动副，其余的移动副（如 D' 处）则视为虚约束去除         |
| 3  | 重复回转副：两构件间形成多个轴线重合的回转副时，则存在虚约束                   |      | 如实例中，只算 B 处一个回转副，其余的回转副（如 B' 处）则视为虚约束去除         |
| 4  | 重复高副：两构件间存在多个接触处公法线彼此重合的平面高副时，则存在虚约束             |      | 如实例中，只算 A 处一个平面高副，其余的平面高副（如 A' 处）则视为虚约束去除       |
| 5  | 重复结构：对机构传递运动不起独立作用的重复结构部分，则存在虚约束                 |      | 如实例中，只算构件 2 参与运动传递，其余的重复结构（如齿轮 2'）拆除不计          |

## 虚约束的工程应用中的作用分析

### 1) 保证机构运动的平稳性

如图 1 所示压床机构，若因受压物表面不平，压力头受到偏心力作用，则滑块（压力头）将受到倾侧力矩而产生不利的工作状态。

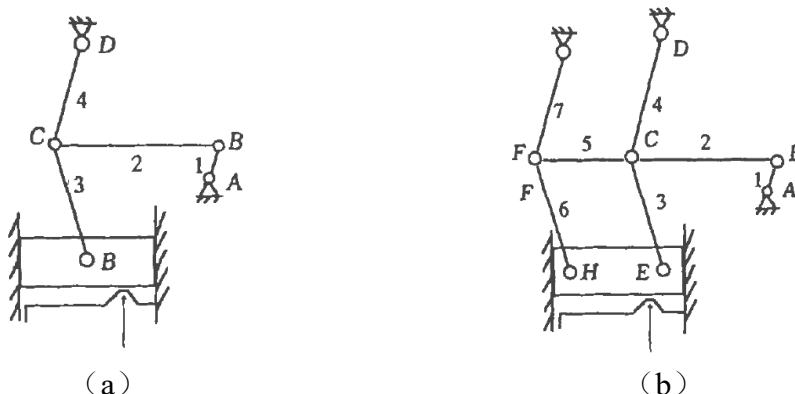


图 1 大筛机构

若改成如图 1 (b) 所示机构, 其中杆 FC、GD、HE 等长且相互平行 则 F 和 C 两点的轨迹同为等长半径而分别以 G、D 为圆心的两个圆, 则 F 和 C 点之间始终等长, 因而 FC 杆实际上为虚约束构件。由于 FC 杆的存在, 使 FH、CE 杆同时成为对滑块 HE 施加主动力的构件, 只要偏心反力在 HE 范围内, 滑块就不会产生倾侧力矩, 从而改善了压床的工作平稳性。还有这类机构如大筛机构, 如图 2 所示。

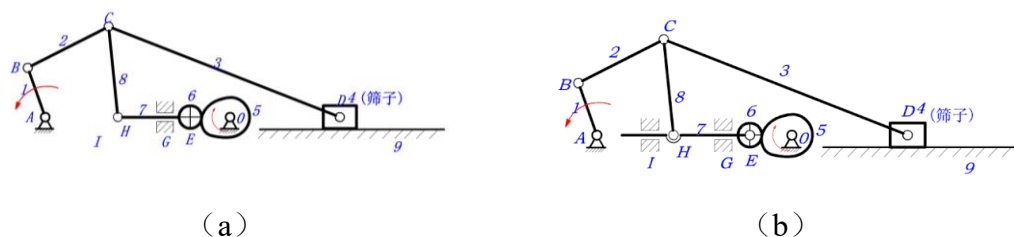


图 2 大筛机构

## 2) 确保运动的确定性

如图 3 所示机车联动机构, 构件 2、3、4 组成一平行双曲柄机构。当曲柄 2、4 与连杆 3 共线时, 在原动曲柄转向不变的条件下, 从动曲柄会出现转动方向不确定的现象。若加入与曲柄 2、4 平行且等长的构件 5, 同时也引入了两虚约束 E、F, 这样就可以保证曲柄 2、4 始终等速同向转动。这就是机车车轮联动机构利用虚约束确保运动转向的确定性。

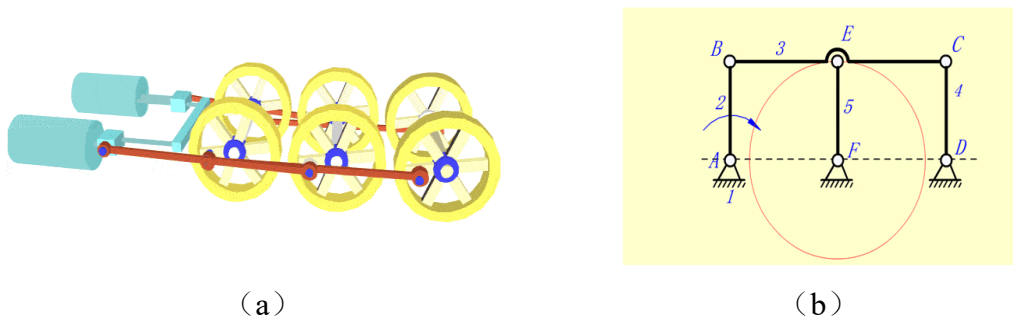


图 3 机车联动机构

## 3) 确保机构受力均衡

如图 4 所示行星轮系, 用作动力传动的周转轮系常采用具有多个行星轮的行星减速器, 各行星轮均匀分布于中心轮的四周。



图 4 行星轮系

行星轮中只有其中一个对运动确定性起作用,实现其定传动比,是有效约束,其它行星轮所带来的运动副均是虚约束。由于虚约束的存在,可以使几个行星轮共同来承担载荷,以减小齿轮尺寸;同时又可以使各啮合处的径向分力和行星轮公转所产生的离心惯性力得以平衡,以减小主轴承上的作用力,增加运转平稳性。

#### 4) 增加构件刚性

滑块 1、3 在十字槽中移动 与构件 4 组成移动副。构件 5 为原动件, C、D 两点做直线运动, CD 的中点 B 做圆周运动, 连杆 2 其它各点的轨迹为椭圆。机构运动过程中, 两构件上 C、D 两点间的距离始终不变, 带进了虚约束, 虚约束的引入增加了连杆 2 的刚性, 保证了椭圆仪准确的输出运动。

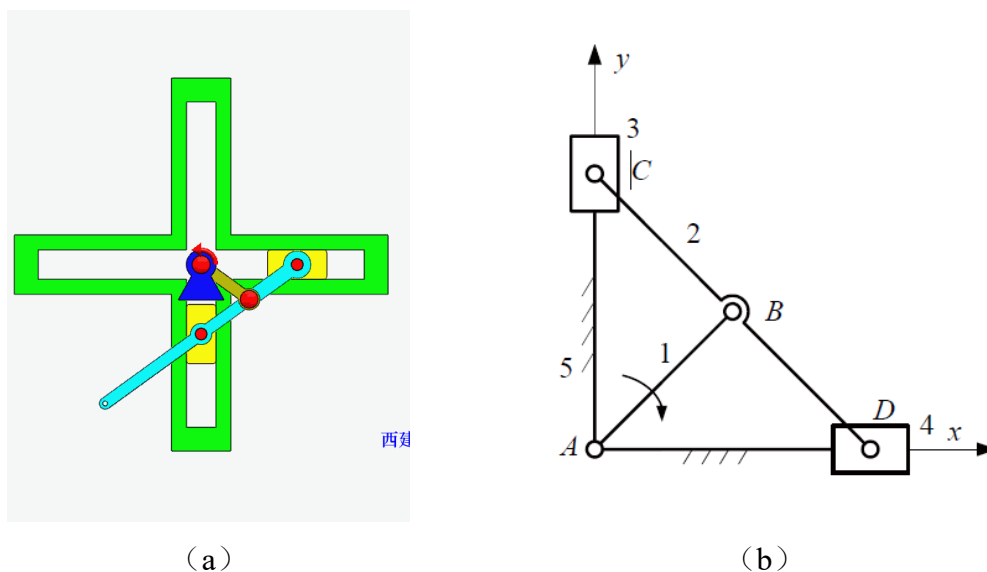


图 5 椭圆规机构

通过以上工程案例引导学生分析实际结构中采用虚约束的目的,让学生认识到机构中采用虚约束是有的放矢的积极举措。培养学生从工程角度正确认识虚约束,针对复杂工程问题中的矛盾冲突问题,从全局出发,辩证的分析,具体问题具体分析,合理设计机构结构的意识,需要之处主动用,不一之处不采用。

#### 思政点 1: 辩证思维

通过对虚约束的讲解,让学生认识到虚约束虽然对机构运动不起限制作用或为重复约束,但在保证机构运动平稳性、确定性、受力均衡以及增加构件刚性等方面有着重要作用,引导学生学会辩证地看待问题,认识到事物具有两面性,要全面、客观地分析和评价。

#### 思政点 2: 工程全局观

引导学生分析实际结构中采用虚约束的目的,培养学生从工程角度出发,针对复杂工程问题中的矛盾冲突,从全局出发进行思考的意识,让学生明白在解决工程问题时,需要综合考虑各种因素,权衡利弊,合理设计机构结构,而不是片面地看待问题。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点 3：创新思维</b></p> <p>在分析虚约束在不同工程案例中的应用时，鼓励学生具体问题具体分析，根据实际需求判断是否采用虚约束以及如何合理利用虚约束来解决工程中的实际问题，从而培养学生解决复杂工程问题的能力和创新思维。</p> <p><b>思政点 4：科学精神</b></p> <p>在讲解虚约束相关知识及工程应用案例的过程中，让学生了解到工程设计需要严谨的科学态度和对细节的关注，每一个设计决策都需要经过深思熟虑和反复验证，从而培养学生的科学精神和严谨的治学态度。</p> |
| 分析评价 | 本教学案例从虚约束在工程应用中的作用出发，引导学生从工程角度正确认识需约束，同时培养学生的工程观与全局观。                                                                                                                                                                                                     |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例   | 20053110-009                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例   | 认识复合铰链：树立辩证思维，培养严谨治学精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 案例   | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 内容简介 | <p>本案例通过列举复合铰链常见的形式，通过学生自己利用平面自由度计算公式来计算这些机构的自由度，发现结果与实际不符合，从而引导学生从错误的结果出发，结合动画演示，切换角度让学生观察，引导学生发现问题的根源来自于观察视角，从而分析出解决办法。在学习的过程中潜移默化的引导学生认识到日常生活中也常常“需要换个视角看问题”，以获得解决办法或不同感受。</p>                                                                                                                                                                                                                                     |
| 关键   | 机构；复合铰链；不同视角；                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 编写   | 2025-1-24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 编著   | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材   | 视频、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 育人   | 辩证思维 换个角度看问题                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 素材   | 1310                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例正文 | <p>在日常生活和生产中，经常会看到这样利用这样的一类机构的运动原理进行工作的机器或者结构，例如平面连杆开窗机构（如图 1 所示）、圆盘锯机构（如图 2 所示）、活动毛巾杆（如图 3 所示）。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">图 1 平面连杆开窗机构</p> |

这些机构都有一个共同的特点就是两个以上的构件同时在一处用转动副相联接，我们将其称为复合铰链。



图 1 平面连杆开窗机构

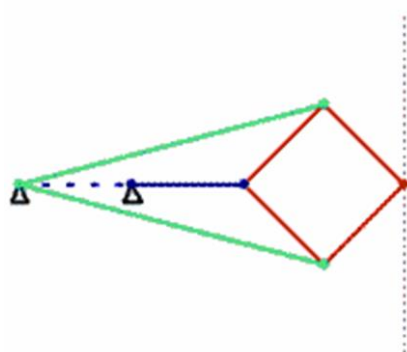


图 2 圆盘锯结构简图



图 3 活动毛巾杆

在计算自由度时，必须要注意正确判断复合铰链，否则会发生计算错误。其计算公式为平面机构自由度计算公式

$$F = 3n - (2P_L + P_H) = 3n - 2P_L - P_H$$

式中： $n$ ——活动件个数；

$P_L$ ：机构中低副个数；

$P_H$ ：机构中高副个数。

在这一部分采用布障导入法、启发式教学和参与式学习，由学生采用 G-K 自由度计算公式计算圆盘锯、凸轮机构和平行四边形机构的自由度，得出与实际不符的计算结果，如图 4 所示。从错误的计算结果入手，采用演示机构运动动画，切换角度让学生观察，引导学生发现问题由观察视角导致。

通过将同一转动副上的 3 个构件之间的独立运动从不同的视角引导学生一起发现，当三个构件汇交成的复合铰链，这三个构件共组成两个转动副。依次类推， $K$  个构件汇交而成的复合铰链应具有  $(K-1)$  个转动副。如图 4 所示，在 B、C、D、E 点，构件 1、2、8 组成两个转动副，构件 2、6、7 组成两个转动副，构件 1、4、5 组成两个转动副，构件 3、4、7 组成两个转动副，即复合铰链处的运动副数目等于此处构件数减 1。

因此，得出在复合铰链处  $K$  个构件汇交而成的复合铰链应具有  $(K-1)$  个转

动副，在计算自由度时一定要准确的判断出复合铰链的数目，从而得出正确的转动副的数目，计算出正确的自由度。

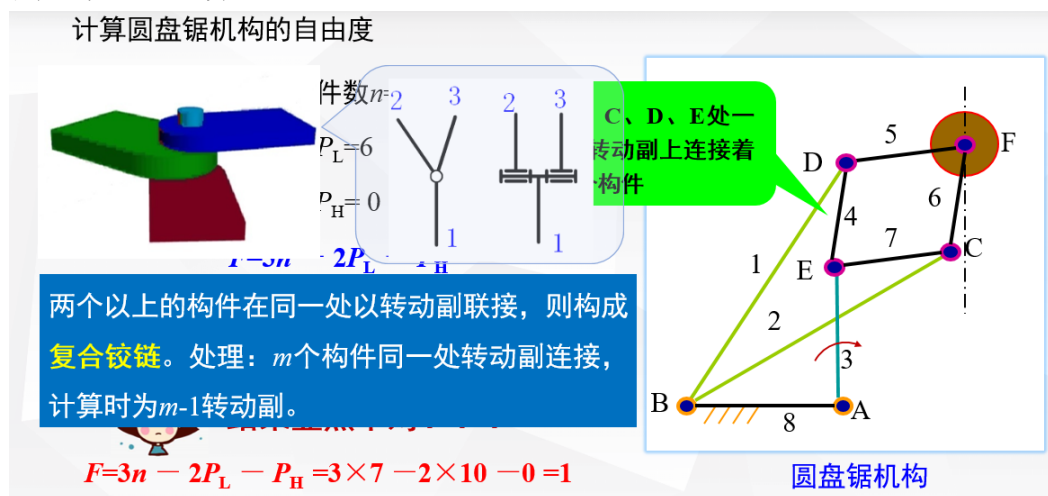


图4 圆盘锯结构自由度计算

所以圆盘锯机构有七个活动构件，E，B，C，D 四处都由三个构件组成复合铰链，它们各具有两个转动副，所以  $n=7$ ， $P_L=10$ ， $P_H=0$ ，应用自由度计算公式计算出该机构自由度为 1，通过动画演示也符合实际情况。

在理论教学的过程中发现机构中的复合铰链其实是观察视角的问题，启发学生与教师共同探究问题的本质，因势利导地培养学生分析问题、解决问题的辩证思维方法，引导学生在日常生活中也常常“需要换个视角看问题”，以获得解决办法或不同感受。

### 思政点 1：辩证思维

通过引导学生从错误的计算结果入手，发现问题的本质是观察视角导致的，培养学生分析问题、解决问题的辩证思维方法，让学生明白在面对复杂的工程问题或生活中的其他问题时，需要从不同角度去思考和分析，才能找到正确的解决方案。

换个角度看待问题对于大学生的成长具有重要意义。它能够促进批判性思维的发展。大学生正处于形成独立见解和批判性思考能力的关键阶段。通过鼓励他们从多个角度审视问题，可以培养他们的质疑精神，不盲目接受既有观点，而是学会深入分析、比较不同观点，从而形成自己的判断。这种思维方式有助于他们在日常生活中做出更加明智和理性的决策。同时，换个角度看问题有助于增强学生解决问题的能力。面对复杂多变的情况，单一视角往往难以找到有效的解决方案。而多角度思考能够激发大学生的创新思维，使他们能够跳出传统框架，探索新颖、高效的解决方案。这种能力在大学生未来的职业生涯中将发挥至关重要的作用，帮助他们应对各种挑战和变化。不仅如此，换个角度看待问题还有助于提升大学生的情绪管理和人际交往能力。在人际交往中，理解他人的立场和感受，

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>这有助于建立更加和谐的人际关系，提升学生的社交技能。</p> <p><b>思政点 2：严谨的治学态度</b></p> <p>在计算机构自由度时，强调要准确判断复合铰链的数目，才能得出正确的结果，这培养了学生严谨的治学态度和认真细致的工作作风，让学生明白在工程领域，任何一个小的疏忽都可能导致严重的后果，从而养成严谨认真的习惯。</p>                                                                                     |
| 分析评价 | <p>本教学案例聚焦于复合铰链，通过引导学生亲自运用平面自由度计算公式来评估这些机械结构的自由度。在实践过程中，学生们惊讶地发现计算结果与实际情况不符，这一认知冲突成为了教学的转折点。教师随即利用这一契机，结合生动的动画演示，引导学生从不同视角审视问题。通过视角的切换，学生们得以观察到之前未曾留意的细节，进而意识到问题的根源在于观察角度的局限性。这一过程不仅帮助学生找到了解决问题的方法，更重要的是，它潜移默化地教导学生在日常生活中也要学会“转换视角”，以此来探索问题的新解法或获得不同的情感体验。</p> |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-010                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 案例标题 | 平面机构自由度计算注意事项：辩证思维方法                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 内容简介 | 在平面机构自由度计算中，有很多情况是需要注意的，除了复合铰链，机构中可能还存在局部自由度和虚约束的情况。在本案例中通过列举滚子从动件凸轮机构和平面机构中虚约束常出现的场合，引导学生通过动静结合了解机构运动特性，同时培养学生的辩证思维方法。                                                                                                                                                                                                           |
| 关键词  | 机构；局部自由度；虚约束；动静观察                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 编写时间 | 2025-2-5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 素材形式 | 动画、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 育人主题 | 辩证思维 社会责任感                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 素材长度 | 1274                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例正文 | <p>1. 局部自由度</p> <p>布障导入法+启发式教学+参与式学习：从计算过程中产生的错误结果入手，引导学生认识局部自由度，给出解决方法。</p> <p>机构中常出现一种与输出构件运动无关的自由度，称为局部自由度或称多余自由度，在计算机构自由度时应予以排除。在这一部分的讲解中首先列举工程中常见的机构—滚子从动件凸轮机构，请学生计算凸轮机构的自由度，得出与实际不符的计算结果。接着通过动画演示，请学生动态观察滚子 2 可自转和与构件 3 焊成一体，两种情况下构件 3 的运动是否不同？引导学生发现产生错误的原因，引出局部自由度 <math>F'</math> 及计算机构自由度时的处理方法，将局部自由度除去不计，如图 1 所示。</p> |

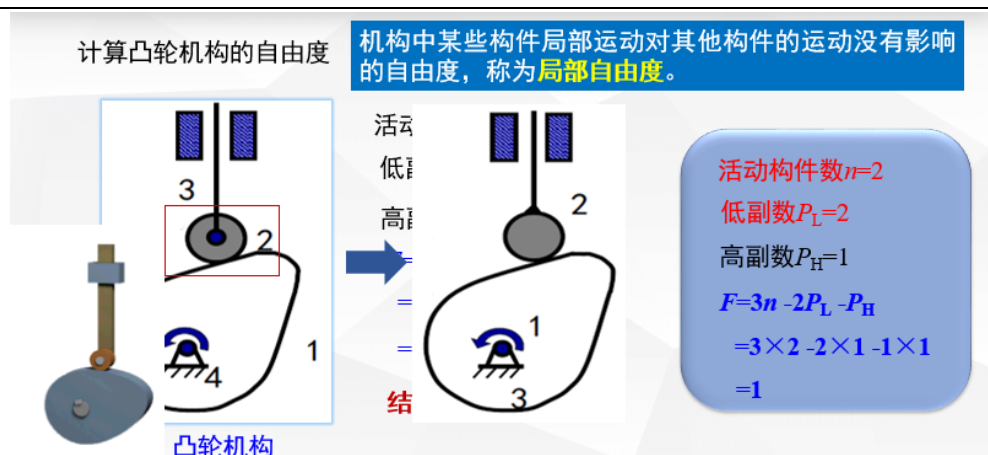


图 1 滚子从动件凸轮机构

观察过程与结果：当原动件凸轮 1 转动时，通过滚子 2 驱使从动件 3 以一定运动规律在机架 4 中往复运动。从动件 3 是输出构件，不难看出，在这个机构中，无论滚子 2 绕其轴线是否转动或转动快慢，都不影响输出构件 3 的运动。因此，滚子绕起中心的转动是一个局部自由度。为了在计算机构自由度时排除这个局部自由度，可设想将滚子与从动键焊成一体，滚子 2 与从动件 3 所组成的转动副也随即消失。

进一步，向学生发出提问：既然滚子 2 的局部运动不影响构件 3 的运动，为何如此设计？引出局部自由度的工程意义。如图 2 所示列举凸轮机构在工程实际中的应用，引导学生明白局部自由度虽然不影响整个机构的运动，但滚子可使高副接触处的滑动摩擦变成滚动摩擦，减少磨损，所以实际机械中常有局部自由度出现。

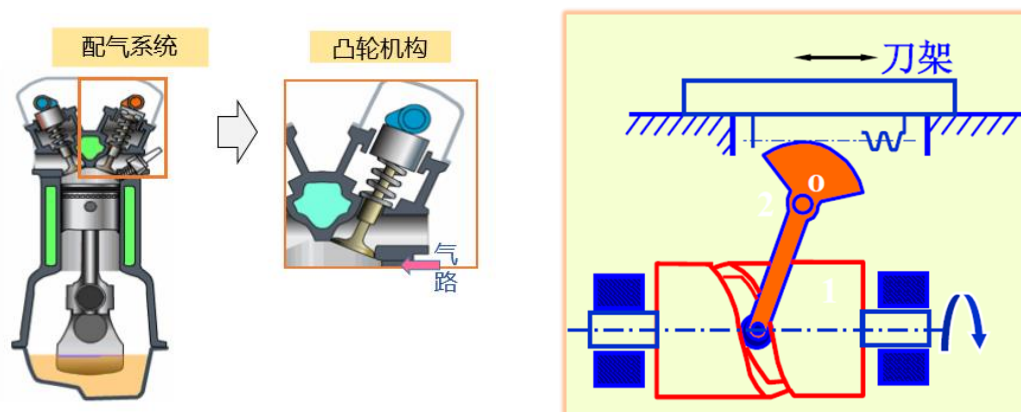


图 2 滚子从动件凸轮机构

## 2. 虚约束

在这一部分采用布障导入法、启发式教学和参与式学习，由学生采用 G-K 自由度计算平行四边形机构的自由度，得出与实际不符的计算结果，如图 3 所示。从错误的计算结果入手，采用演示机构运动动画，切换角度让学生观察，引导学生发现问题由观察视角导致。

$AB \parallel CD \parallel EF$ , 计算图示平行四边形机构的自由度。

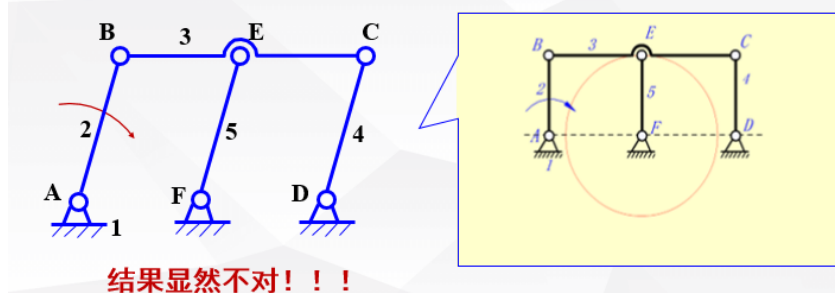
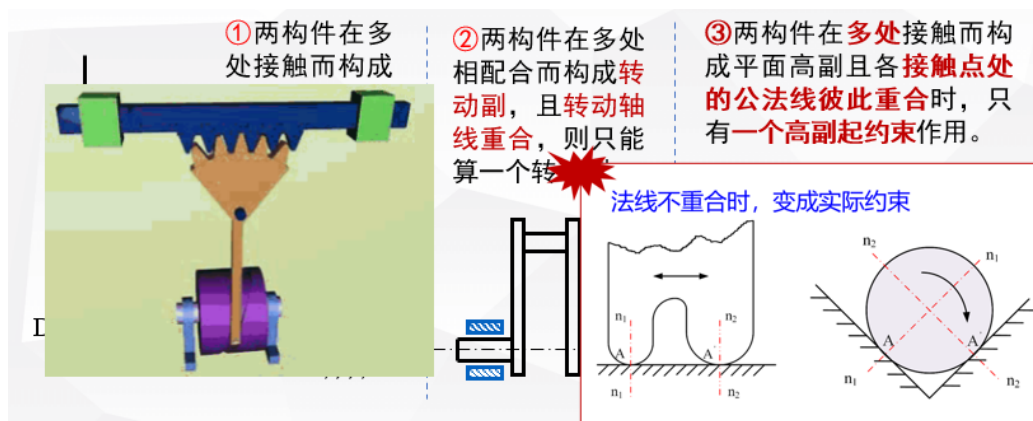


图 3 平行四边形机构的自由度

通过动画演示不难发现构件 5 给机构引入三个自由度，四个约束，多出的一个约束对机构的运动不起独立的限制作用。

在运动副引入的虚约束中，有些约束对机构自由度的影响是重复的，对机构运动不起任何限制作用。这种重复而对机构运动不起限制作用的约束称为虚约束或消极约束，在计算机构自由度时应当除去不计（引导学生完成）。

虚约束是由于构件间几何尺寸满足某些特殊条件而产生的。平面机构中的虚约束常出现在下列场合，如图 4 所示。



### 3) 对称部分—机构中存在对传递运动

不起独立作用的对称部分。

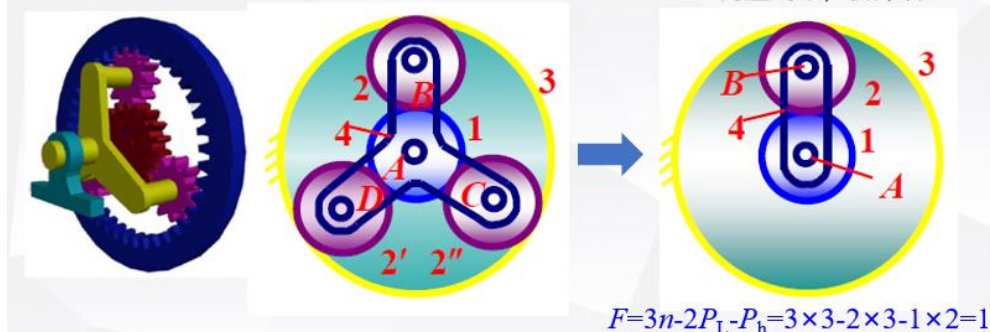


图 4 平面机构中的虚约束常出现在下列场合

通过列举虚约束常出现场合，强调其存在的特定几何条件或结构条件。并及

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>时提出问题请学生课后思考：虚约束对机构运动不起任何限制作用，为什么设计？如果不满足机构中的虚约束存在几何条件，会怎样？</p> <p>虚约束对运动虽不起作用，但可以增加构件的刚性或使构件受力均衡，所以实际机械中虚约束并不少见。虚约束要求较高的制造精度。如果加工误差太大，不能满足某些特殊几何条件，虚约束便会变成实际约束，阻碍构件运动。</p> <p><b>思政点 1：科学思维与探究精神</b></p> <p>通过布障导入法、启发式教学和参与式学习，引导学生从计算机构自由度的错误结果入手，深入探究局部自由度和虚约束等概念。让学生在面对问题时，不盲目接受既有结果，而是通过观察、思考、分析和实践去寻找问题的本质和解决方法，培养学生的科学思维能力和勇于探究的精神。</p> <p><b>思政点 2：理论联系实际的工程意识</b></p> <p>在讲解局部自由度和虚约束时，列举了滚子从动件凸轮机构、平行四边形机构等工程中常见的机构，让学生明白这些概念在实际工程中的应用和意义。使学生认识到理论知识与工程实践紧密相连，学会用理论知识解决实际工程问题，培养学生的工程意识和实践能力。</p> <p><b>思政点 3：辩证思维</b></p> <p>引导学生认识到机构中的局部自由度和虚约束虽然在计算自由度时需要排除，但它们在机械中却有重要的作用，如减少磨损、增加构件刚性或使构件受力均衡等。这让学生学会辩证地看待问题，认识到事物具有两面性，不能只看到其一方面的影响，要全面、客观地分析和评价事物。</p> <p><b>思政点 4：创新思维</b></p> <p>引导学生认识到机构中的局部自由度和虚约束虽然在计算自由度时需要排除，但它们在机械中却有重要的作用，如减少磨损、增加构件刚性或使构件受力均衡等。这让学生学会辩证地看待问题，认识到事物具有两面性，不能只看到其一方面的影响，要全面、客观地分析和评价事物。</p> |
| 分析评价 | <p>本教学案例聚焦于局部自由度和虚约束，通过布障导入法+启发式教学+参与式学习教学方法，从计算过程中产生的错误结果入手，通过动画演示，引导学生动态观察问题分析方法认识局部自由度和虚约束，给出解决方法。通过问题引导，在教与学的过程中潜移默化的培养学生辩证思维方法和社会责任感。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|      |                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-011                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例标题 | 小连杆大用途：培育科学精神，打造创新思维                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                           |
| 内容简介 | 列举了连杆机构既可以用于生活机械中如缝纫机脚踏机构，也可以用于工程中例如汽车雨刮器、转向机构，以及航空飞机起落架中，体现了对科学原理的深入理解和精确运用。引导学生体会科学研究严谨的态度，培养他们以科学的思维方式去认识世界、解决问题。启示学生要敢于突破传统思维，勇于创新，在面对不同的问题和需求时，能够运用所学知识创造出更高效、更先进的解决方案，推动技术的进步和社会的发展。                                                   |
| 关键词  | 连杆；机构；应用                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编写时间 | 2025-2-7                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                  |
| 素材形式 | 动画、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                     |
| 育人主题 | 科学精神与创新思维                                                                                                                                                                                                                                    |
| 素材长度 | 1929                                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例正文 | <p>连杆机构是一种常见的机械结构，它由若干个杆件和连接节点组成，通过连接节点将杆件连接在一起，形成一个刚性的结构。连杆机构具有结构简单、工作可靠、传动效率高等优点，因此在各种机械和设备中得到广泛应用。</p> <p>1) 缝纫机脚踏机构</p> <p>缝纫机脚踏机构其实是一个曲柄摇杆机构，将脚踏的往复运动转换为旋转运动，脚踏缝纫机的脚踏机构通常由踏板、连杆和曲轴等组成，如图 1 所示。当脚踩下踏板时，踏板绕其支点做往复摆动，通过连杆与曲轴的连接，将踏板的往复</p> |

运动转换为曲轴的旋转运动，从而为缝纫机的其他部件提供动力，驱动缝纫机完成缝纫工作。

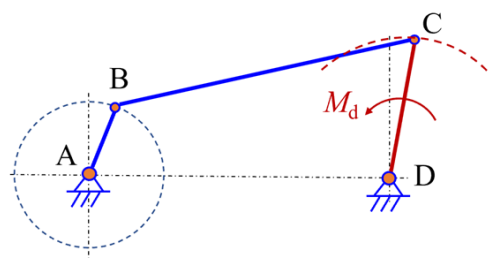
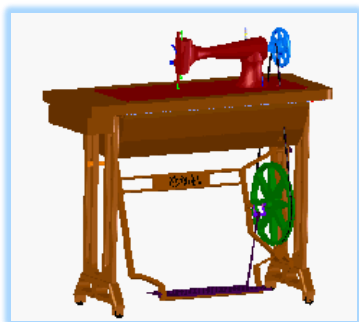


图 1 缝纫机脚踏机构

## 2) 抽水唧筒

**摇杆滑块机构：**这种机构由摇杆、滑块、连杆和机架组成。摇杆作为主动件，做摆动运动；滑块作为从动件，在机架上做往复直线运动；连杆连接摇杆和滑块，传递运动和力，如图 2 所示。在一些小型抽水唧筒中，摇杆滑块机构被广泛应用。通过人力或其他动力源驱动摇杆摆动，再由连杆带动滑块在唧筒内做往复运动，实现抽水的目的。

### 工作过程

**吸水过程：**当活塞在连杆的带动下向上运动时，唧筒内的体积增大，压力减小，形成负压。此时，外界大气压将水压入唧筒内，完成吸水过程。**排水过程：**当活塞在连杆的带动下向下运动时，唧筒内的体积减小，压力增大，水被压缩。此时，唧筒内的水通过排水阀排出，完成排水过程。

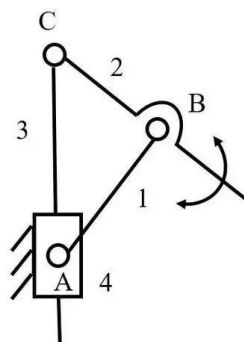
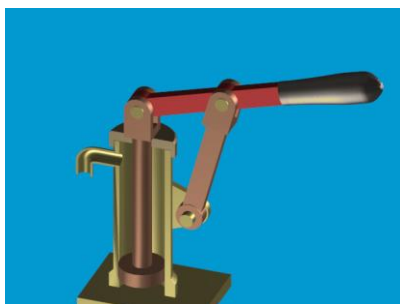


图 2 抽水唧筒

## 3) 汽车雨刮器

连杆机构在汽车雨刮器中起着关键作用，它能将电机的旋转运动转化为刮臂的往复运动，从而实现雨刮动作，如图 3 所示。

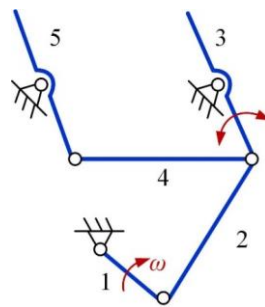
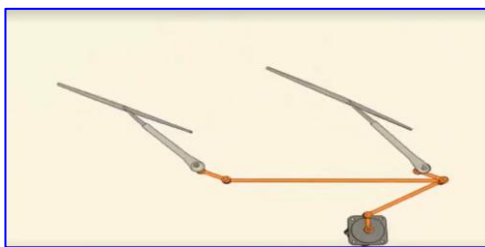


图 3 汽车雨刮器

#### 4) 公交车门启闭机构

曲柄滑块机构，如图 4 (a) 所示。

**结构组成：**由主动杆件（曲柄）、连杆、滑块和门上方的滑槽组成。其中，主动杆件 1 向左运动，带动 2 杆转动一定角度，进而拉动 3 杆（门的一部分）移动，滑块 4 只能在门上方的滑槽内滑动。

**工作原理：**当主动杆件（曲柄）做往复直线运动时，通过连杆带动滑块在滑槽内做往复滑动，从而实现车门的开启和关闭动作。在这个过程中，曲柄的旋转运动转化为滑块的直线运动，进而驱动车门的开闭。

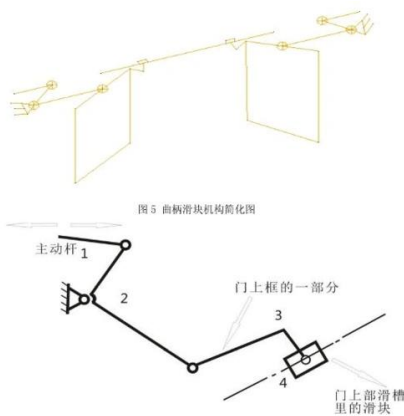
**应用优势：**结构简单紧凑，占用空间小，能够实现车门的平稳开闭动作，且具有较高的可靠性和稳定性。

双曲柄机构，如图 4 (b) 所示。

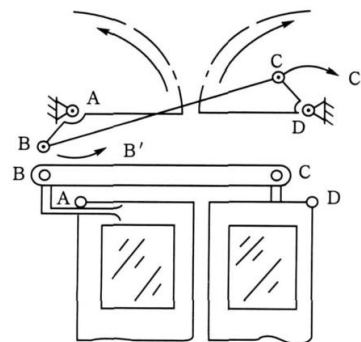
**结构组成：**该机构中杆 AB 与左边门固结，CD 与右边门固结，主动曲柄 AB 转动时，通过连杆 BC 带动从动曲柄 CD 朝着相反方向转动，门随即打开。

**工作原理：**利用反平行四边形双曲柄中两曲柄反向运动的特点，当主动曲柄转动时，通过连杆使从动曲柄朝相反方向转动，从而保证两扇门同时开启和关闭。

**应用优势：**可以保证两扇门同时开启和关闭，动作协调一致，提高了车门的开闭效率和安全性。



(a) 曲柄滑块机构



(b) 双曲柄机构

图 4 公交车门启闭机构

### 5) 汽车发动机气缸

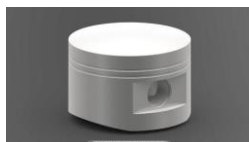
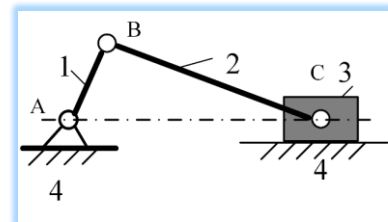
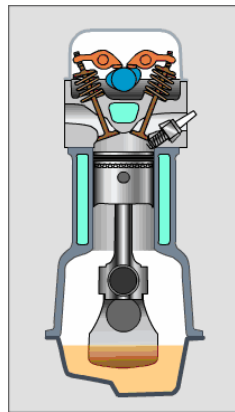
曲柄滑块机构在汽车内燃机气缸中具有关键作用，其应用主要体现在以下几个方面：

**活塞：**相当于滑块，在气缸内做往复直线运动。它承受着燃烧室内燃油与空气混合物爆炸产生的压力，并通过活塞销将力传递给连杆。

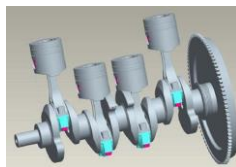
**连杆：**连接活塞与曲轴，将活塞的往复运动转换为曲轴的旋转运动。其长度和角度的设计对发动机的性能有重要影响。

**曲轴：**是发动机中的主要运动零件，它通过连杆与活塞相连。曲轴上的曲柄销设计成一定的偏心距离，使得连杆在传递活塞运动时，能够将直线运动转换为旋转运动。

**气缸：**作为机架，为活塞的运动提供导向和支撑，同时也是燃料燃烧的场所。



活塞



连杆



曲轴



气缸

图 5 汽车发动机

### 6) 惯性筛

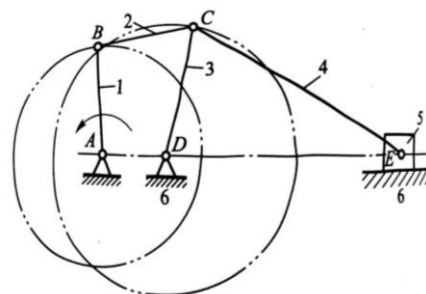
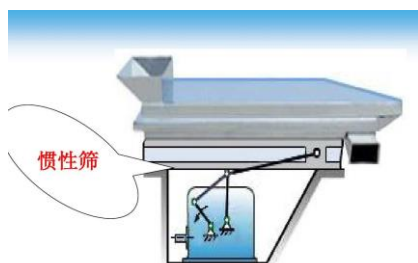


图 6 惯性筛

### 7) 颚式破碎机

### 8) 港口起重机



图 7 颚式破碎机

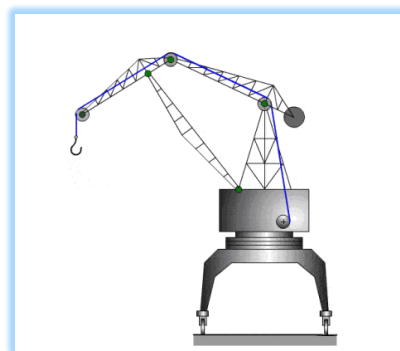
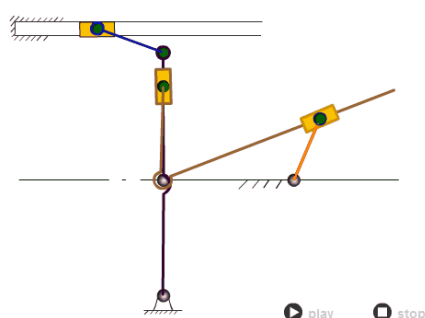
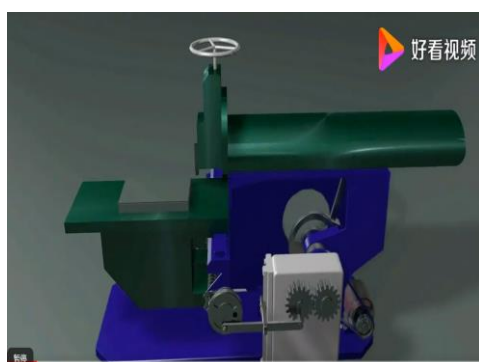


图 8 港口起重机

### 9) 牛头刨床导杆机构



牛头刨床导杆机构

图 9 牛头刨床

### 10) C919 国产大飞机—飞机起落架

连杆机构在 C919 国产大飞机起落架中有着关键应用，主要体现在起落架的收放系统中。在收放过程中，起落架的运动图形成四连杆机构或四连杆铰链机构，用来保证受力系统的几何不变性和收放运动。作动筒的活塞杆伸出或缩回，通过连杆带动起落架实现放下或收上的动作。例如，当需要放下起落架时，作动筒的活塞杆伸出，推动连杆运动，进而使起落架绕着特定的转轴旋转并放下；当需要收上起落架时，作动筒的活塞杆缩回，拉动连杆，使起落架反向旋转并收回到机身内部。

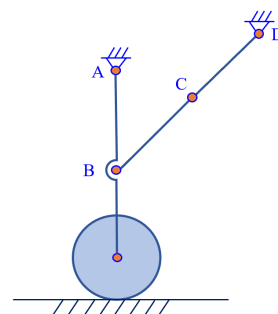


图 10 C919 国产大飞机—飞机起落架

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点 1：科学精神</b></p> <p>在缝纫机脚踏机构、汽车雨刮器、转向机构以及航空飞机起落架等设备中应用连杆机构，体现了对科学原理的深入理解和精确运用。学生可以从中体会到科学研究需要严谨的态度、对真理的执着追求以及对自然规律的尊重，培养他们以科学的思维方式去认识世界、解决问题。</p> <p><b>思政点 2：创新思维</b></p> <p>从简单的生活机械到复杂的航空工程，连杆机构的应用不断创新，如飞机起落架中连杆机构的设计需要综合考虑多种因素，以实现可靠的收放功能。这启示学生要敢于突破传统思维，勇于创新，在面对不同的问题和需求时，能够运用所学知识创造出更高效、更先进的解决方案，推动技术的进步和社会的发展。</p> |
| 分析评价 | 列举了连杆机构在缝纫机脚踏机构、汽车雨刮器、转向机构以及航空飞机起落架等生活工程中应用的实际案例，不仅能够生动具体的帮助学生理解平面连杆机构，更能在学习的同时体会科学原理的实际应用，感受创新的重要性，有助于培养学生的科学精神与创新思维。                                                                                                                                                                                                             |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例   | 20053110-012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 案例   | 追寻“蝴蝶”记忆：筑牢文化认同，勇担历史传承                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例   | 百度、知网                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 内容简介 | <p>缝纫机作为一种传统的生活机械，其脚踏机构中的连杆原理体现了人类在长期生产生活中的智慧积累。本案例讲述了蝴蝶牌缝纫机的故事，从古代简单机械到现代的高科技设备，连杆机构的发展历程是人类科技文化传承和发展的一个缩影，有助于培养学生对传统文化的认同感和对人类文明的尊重，激发他们传承和创新文化的责任感。</p>                                                                                                                                                                                        |
| 关键词  | 连杆；机构；应用                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编写   | 2025-2-7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编著   | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 素材   | 动画、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 育人   | 文化传承 历史责任感                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 素材   | 1360                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例正文 | <p>“蝴蝶牌”源自创建于 1919 年的“协昌铁车铺”，期间制造厂几经波折数次改名，最终在 1982 年取得“上海协昌缝纫机厂”的厂名，并一直沿用下去。比起厂名的更迭，“蝴蝶牌”的商标更有故事。上世纪 20 年代协昌创立之初，先后用过“红狮”、“金狮”等品牌。1946 年，“协昌”决定将其产品商标重新设计，受“无敌”牌牙粉启迪，协昌公司将“金狮”牌商标更名为“无敌”牌，意谓“天下无敌”。1966 年，厂部及文化革命小组联合决定将“公私合营上海协昌缝纫机厂”的厂名及企业性质更改为国营上海东方红缝纫机厂，缝纫机产品使用商标由“无敌牌”更名为“蝴蝶牌”，商标图案不变，如图 1 所示。有趣的是，“无敌”和“蝴蝶”在沪语中的发音完全相同，这使得此次品牌转换更加流畅平</p> |

稳，因为两个品牌在当地人的口耳相传之中并没有多大区别。



图 1 蝴蝶牌缝纫机

上世纪 90 年代初，蝴蝶牌缝纫机与当时的永久牌自行车、上海牌手表一并成为青年男女结婚的“三大件”，购买一台蝴蝶牌缝纫机是许多家庭的梦想。“当年蝴蝶牌缝纫机是比较高档的家庭装备，是身价的象征”，在协昌缝纫机厂当了十四年厂长的陈国有说，“那时候年轻人结婚成家的条件，就是要缝纫机。”对于能够拥有一台蝴蝶牌缝纫机的家庭而言，缝纫机具有三重含义：一是社会身份与经济地位的认同；二是现代化生活方式的表现；三是代表了新兴的消费习惯及观念的炫耀。“蝴蝶牌”缝纫机作为经典国货的代表之一，在一个时代的人们生活中，占有非常重要的情感地位和记忆价值。曾接触过它的人对它具有浓厚的感情色彩，未曾接触过它的年轻人则将它作为标志那一国民时代的重要道具。“蝴蝶牌”缝纫机作为国产经典，拥有曲折历史故事的同时也承载着大众对中国制造的自豪感，这种深厚的文化记忆是一般产品不具有的。

蝴蝶牌缝纫机诞生于 20 世纪初的中国，经历了多次历史变迁和社会变革。它的发展历程与中国的现代化进程密切相关，是中国工业发展和社会进步的一个缩影。从早期的手工制作到后来的机械化生产，再到如今的智能化发展，蝴蝶牌缝纫机不断适应时代的变化和需求，体现了中国制造业的发展和进步。

蝴蝶牌缝纫机的流行也反映了当时的社会文化和消费观念。在 20 世纪七八十年代，蝴蝶牌缝纫机与永久牌自行车、上海牌手表和红灯牌收音机一并成为青年男女结婚的“三大件”，购买一台蝴蝶牌缝纫机是许多家庭的梦想。这反映了当时人们对生活品质的追求和对物质文化的需求，同时也体现了社会的发展和进步对人们生活的影响。

缝纫机脚踏机构其实是一个曲柄摇杆机构，将脚踏的往复运动转换为旋转运动，脚踏缝纫机的脚踏机构通常由踏板、连杆和曲轴等组成，如图 2 所示。当脚踩下踏板时，踏板绕其支点做往复摆动，通过连杆与曲轴的连接，将踏板的往复运动转换为曲轴的旋转运动，从而为缝纫机的其他部件提供动力，驱动缝纫机完成缝纫工作。

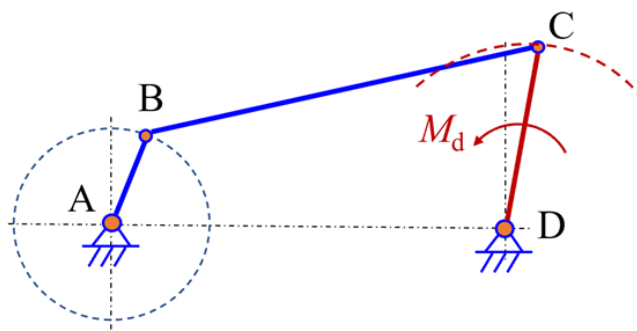
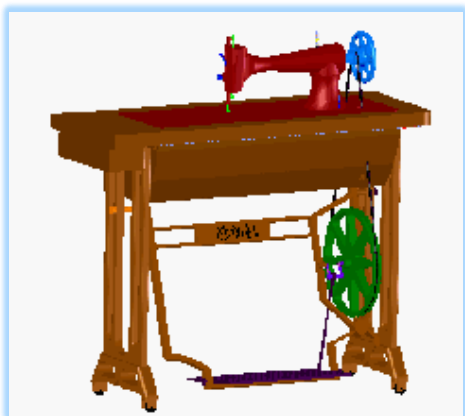


图 2 缝纫机脚踏机构

**思政点 1：增强文化认同**

“蝴蝶牌”缝纫机承载着丰富的文化记忆，是中国文化的一部分。学生了解它的历史和文化内涵，能增强对本土文化的认同感和归属感，明白文化传承的重要性，自觉成为文化传承的使者。

**思政点 2：培养历史责任感**

“蝴蝶牌”缝纫机的历史是中国近现代史的一个缩影，它见证了时代的变迁和社会的发展。学生通过学习这段历史，能培养对历史的敬畏之心和责任感，认识到自己是历史的传承者和创造者，有责任为社会的发展和文化的传承贡献自己的力量。

分  
析  
评  
价

“蝴蝶牌”缝纫机作为国产经典，拥有曲折历史故事的同时也承载着大众对中国制造的自豪感，这种深厚的文化记忆是一般产品不具有的，通过学习这段历史，能够培养学生对历史的敬畏之心和责任感，认识到自己是历史的传承者和创造者，有责任为社会的发展和文化的传承贡献自己的力量。

评  
价

、教授 商洛学院

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-013                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例标题 | 借 C919 之力：厚植爱国情怀，淬炼创新匠心                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例来源 | 百度、知网                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 内容简介 | <p>C919 国产大飞机起落架中连杆机构等先进技术的应用，展示了我国航空工业的巨大进步和自主创新能力，彰显了国家的科技实力和综合国力。这可以激发学生的爱国主义情感和民族自豪感，激励他们为国家的繁荣富强而努力学习，积极投身于国家的建设事业，为实现中华民族伟大复兴的中国梦贡献自己的力量。</p>                                                                                                                                                             |
| 关键词  | C919；国产大飞机                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 编写时间 | 2025-1-20                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 素材形式 | 动画、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 育人主题 | 爱国主义情感和民族自豪感                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 素材长度 | 1815                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例正文 | <p>有人说，C919 像是一颗冉冉升起的新星，既照亮了中国的天空，也带来了无限的可能性。C919 大飞机是中国航空工业的新动力，这在中国航空工业史上，真是写下了光辉的一笔。C919 的成功真的是一个多方面的故事：技术创新、生产能力、市场需求，还有越来越多的国际认可。</p> <p>中国商飞 C919（中文：中国商飞 C919，英文：COMAC C919），是中国首款按照国际通行适航标准自行研制、具有自主知识产权的喷气式中程干线客机，设计定位于 150 座级单通道窄体机市场。C919 大型客机是我国首次按照国际通行适航标准自行研制具有自主知识产权的喷气式干线客机于 2007 年立项，2017</p> |

年首飞 2022 年 9 月完成全部适航审定工作后获中国民用航空局颁发的型号合格证 2022 年 12 月 9 日,东航作为全球首发用户正式从中国商飞接收编号为 B-919A 的全球首架交付飞机,2023 年 5 月 28 日,C919 完成首次商业飞行,首发用户为中国东方航空。C919 大型客机研制成功标志着我国具备自主研制世界一流大型客机能力是我国大飞机事业发展的重要里程碑,如图 1 所示。



图 1 C919 大型客机

C919 的成功真的是一个多方面的故事:技术创新、生产能力、市场需求,还有越来越多的国际认可。它是中国商飞倾尽全力打造的首款单通道大飞机,与波音 737 和空客 A320 这样的国际巨头一较高下。设计上,C919 创新采用了更高效的气动布局以及核心的高效发动机,油耗和碳排放远低于传统机型,既环保又降本,正好契合当下全球航空行业日益重视的“绿色发展”。

C919 在成本、性能和环保三者之间找到了自己的立足点。特别是翼尖小翼设计,让飞行更为省油,侧面反映出中国在航空设计上的技术进步。而大比例复合材料的采用,等于是给飞机穿上了“轻巧”的外衣,降低了燃油消耗,也在一定程度上减少了对环境的影响。这才是中国高端制造的真实写照啊。

如今,C919 的到来,不仅让我们感叹科技的飞速发展,更让我意识到,航空不只是空中交通工具,还是连接世界的桥梁。

连杆机构在 C919 国产大飞机起落架中有着关键应用,主要体现在起落架的收放系统中。在收放过程中,起落架的运动图形成四连杆机构或四连杆铰链机构,用来保证受力系统的几何不变性和收放运动。作动筒的活塞杆伸出或缩回,通过连杆带动起落架实现放下或收上的动作。例如,当需要放下起落架时,作动筒的活塞杆伸出,推动连杆运动,进而使起落架绕着特定的转轴旋转并放下;当需要收上起落架时,作动筒的活塞杆缩回,拉动连杆,使起落架反向旋转并收回到机身内部。

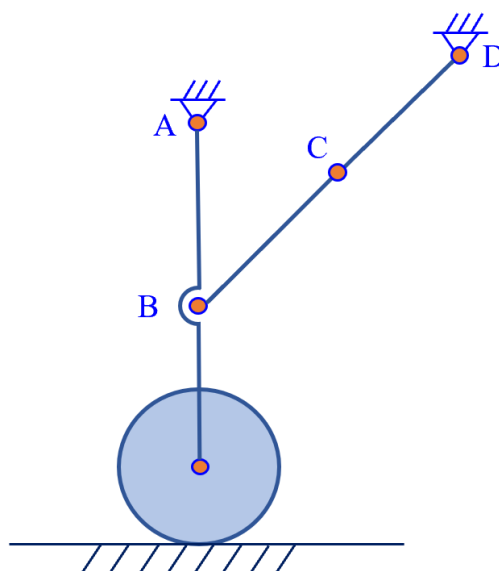


图 2 C919 国产大飞机—飞机起落架

### 思政点 1：爱国情怀

**为国奉献：**C919 项目凝聚着无数航空人的心血，他们为了实现中国航空梦，放弃了国外的优厚待遇和舒适环境，投身到艰苦的研发工作中，体现了对国家的热爱和为国家航空事业奉献的精神，是将个人理想与国家命运紧密相连的生动写照。

**国家使命感：**C919 的成功关乎国家的战略利益和民族尊严，项目团队肩负着打破国外航空垄断的重任，这种强烈的使命感激励着他们克服重重困难，为国家的航空事业拼搏奋斗，彰显了航空人深厚的爱国情怀和责任担当。

### 思政点 2：科学精神与创新意识

**追求真理：**在 C919 的研发过程中，科研人员秉持着实事求是的态度，对每一个技术细节都进行了深入研究和反复验证，以追求科学真理为目标，不盲目跟从国外技术，坚持自主创新，通过大量的实验和数据分析，攻克了一系列关键技术难题，确保了飞机的安全性和可靠性。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>勇于创新：C919 在设计、材料、制造等多个领域都实现了重大创新，科研人员敢于突破传统思维，大胆采用新技术、新方法，如先进的复合材料应用、数字化设计制造技术等，体现了勇于创新的科学精神，为我国航空工业的技术进步树立了典范。</p> <p>坚韧不拔：C919 的研发历时多年，面临着技术封锁、资金紧张、人才短缺等诸多困难，但项目团队始终保持着坚韧不拔的毅力和不屈不挠的精神，不断尝试，不断失败，又不断重来，最终取得了成功，这种精神是科学精神的重要体现，也是我们在学习和工作中应该汲取的力量。</p> <p><b>思政点 3：团队协作与工匠精神</b></p> <p>协同合作：C919 的研发涉及到众多科研单位、高校和企业，是一个庞大而复杂的系统工程，需要各方面的密切配合和协同作战。从设计、制造到试飞，每个环节都离不开团队成员之间的相互支持和协作，这种团队合作精神是项目成功的关键因素之一，也体现了社会主义制度集中力量办大事的优势。</p> <p>工匠精神：在 C919 的生产制造过程中，工人们以精益求精的工匠精神，对待每一个零部件、每一道工序，力求做到极致，他们用精湛的技艺和高度的责任心，确保了飞机的质量和安全，这种工匠精神是中国制造业不断发展的重要支撑，也是我们在各个领域都应该倡导和弘扬的职业精神。</p> |
| 分析评价 | <p>C919 国产大飞机是我国自主研发、具有自主知识产权的中短程商用干线喷气式飞机。它的成功研制，凝聚了无数科研人员的心血，是我国航空工业发展的重大里程碑。以 C919 国产大飞机为案例可以为课程思政提供丰富的素材，涵盖了爱国主义、创新精神、工匠精神、团队协作等多方面的思政元素。有助于激发学生的爱国主义情感和民族自豪感，培养学生的创新精神、工匠精神、团队协作精神等，使学生树立正确的世界观、人生观和价值观。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-014                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例标题 | 探秘平面连杆机构演变：搭建逻辑思维，培育创新思维                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 内容简介 | 平面连杆机构从基本的铰链四杆机构通过改变构件的形状、尺寸、运动副的类型等方式演化为多种不同形式的机构，如曲柄滑块机构、导杆机构等，这一过程充满了创新。通过讲授平面连杆机构的演化，使学生掌握平面连杆机构的类型，同时鼓励学生从不同角度思考问题，突破传统思维的束缚，培养他们的创新意识和创新能力。                                                                                                                                             |
| 关键词  | 平面连杆机构；铰链四杆机构；曲柄滑块机构                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编写时间 | 2025-1-21                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 素材形式 | 动画、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 育人主题 | 科学思维和创新意识                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 素材长度 | 998                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 案例正文 | 平面连杆机构是工程中最广泛应用的一种机构，而在平面连杆机构中又以平面四杆机构最为常用。平面连杆机构是机械设计基础课程中的主要内容之一。平面四杆机构基本类型及演化、铰链四杆机构基本形式的判别、平面四杆机构的特性等是教学的重点和难点。该部分知识点较多且繁杂，对于学生来说学习难度较大。学生对平面四杆机构基本类型及演化的掌握情况会影响到其对平面连杆机构的设计和应用，因此，这一部分通过讲授平面连杆机构的演化过程，一方面帮助学生掌握平面连杆机构的基本类型及其演化过程，通过在讲授的过程中理解从一种机构形式到另一种机构形式的演变条件和内在逻辑，鼓励学生从不同角度思考问题，突破传统 |

思维的束缚，培养他们的创新意识和创新能力。

所有运动副均为转动副的四杆机构称为铰链四杆机构，如图 1 所示，它是平面四杆机构的基本形式，其他四杆机构都可以看成是在它的基础上演化而来的。选定其中一个构件作为机架之后，直接与机架链接的构件称为连架杆，不直接与机架连接的构件称为连杆，能够做整周回转的构件被称作曲柄，只能在某一角度范围内往复摆动的构件称为摇杆。如果以转动副连接的两个构件可以做整周相对转动，则称之为整转副，反之称之为摆转副。铰链四杆机构中，按照连架杆是否可以做整周转动，可以将其分为三种基本形式，即曲柄摇杆机构，双曲柄机构和双摇杆机构。

**铰链四杆机构**——全部由**转动副**组成的平面四杆机构，它是平面四杆机构最基本的形态。

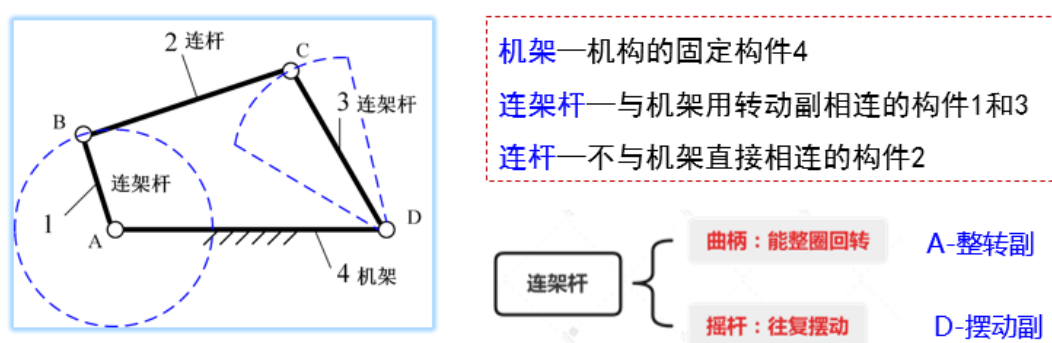


图 1 平面铰链四杆机构

在曲柄摇杆机构中，以曲柄 1 为主动件，当摇杆（构件 3）长度趋于无穷时，C 点的运动轨迹由圆弧变为直线，摇杆（构件 3）由连架杆变为滑块，曲柄摇杆机构就演化成曲柄滑块机构，如图 2 所示。

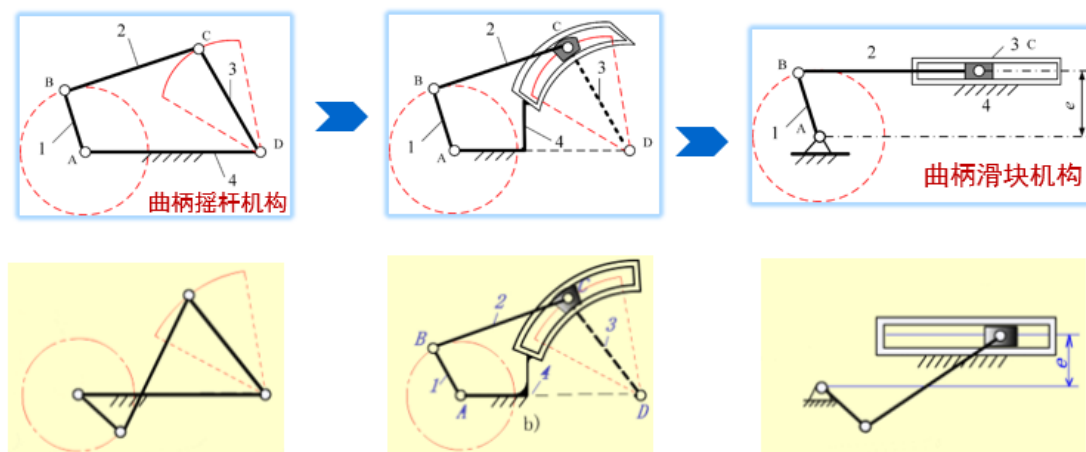


图 2 曲柄滑块机构

改变曲柄滑块机构机架位置，曲柄滑块机构可以演化成导杆机构（ $l_1 < l_2$  为转动导杆机构， $l_1 > l_2$  为摆动导杆机构）、摇块机构和定块机构等，如图 3 所示。

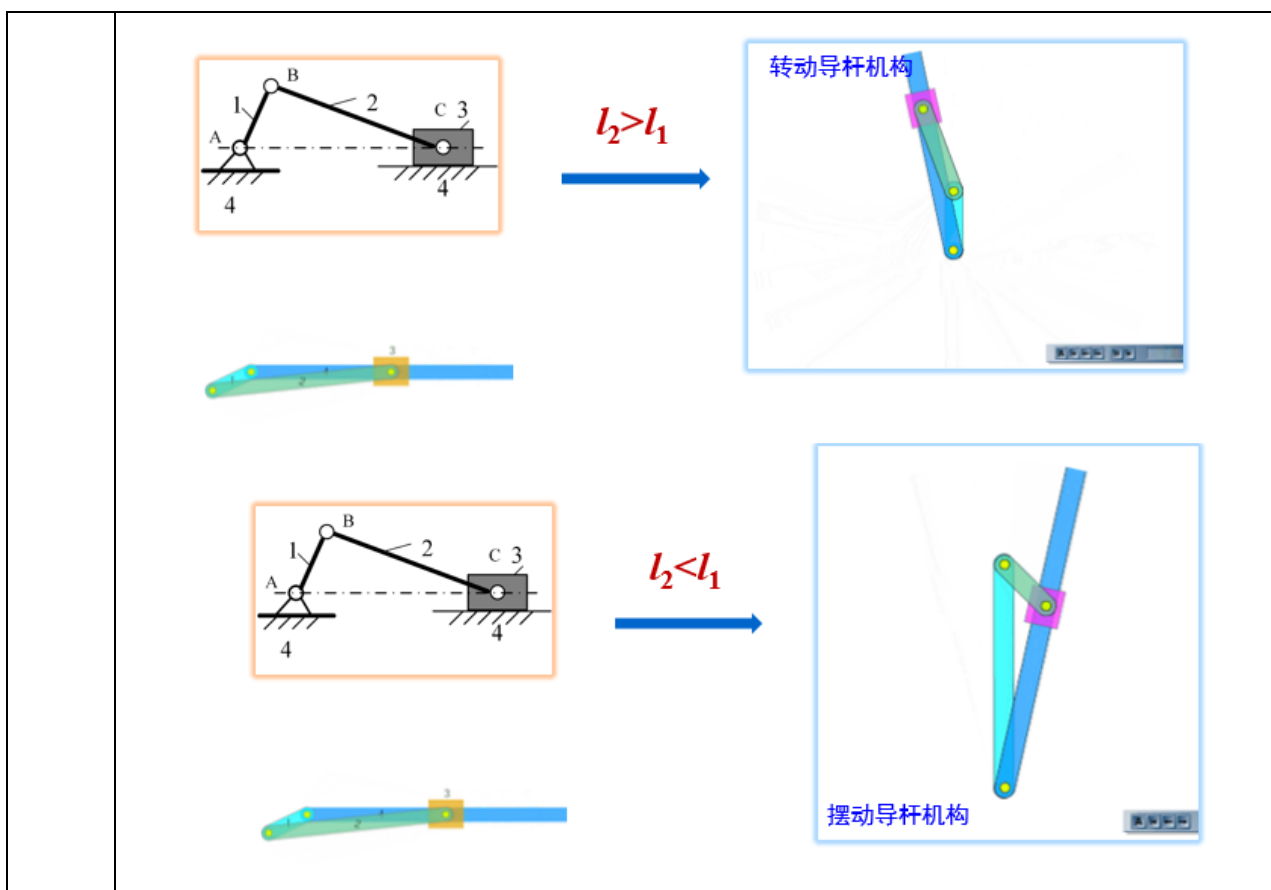


图 3 转动导杆机构和摆动导杆机构

### 思政点 1：创新思维

平面连杆机构从基本的铰链四杆机构通过改变构件的形状、尺寸、运动副的类型等方式演化为多种不同形式的机构，如曲柄滑块机构、导杆机构等，这一过程充满了创新。鼓励学生从不同角度思考问题，突破传统思维的束缚，培养他们的创新意识和创新能力。

### 思政点 2：逻辑思维

机构演化过程涉及到严谨的逻辑推理，学生需要理解从一种机构形式到另一种机构形式的演变条件和内在逻辑。如在讲解曲柄滑块机构是由铰链四杆机构演化而来时，要分析清楚其中的逻辑关系，帮助学生提升逻辑思维能力，使他们在解决工程问题时能够条理清晰、推理严密。

|      |                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 分析评价 | 从基本的铰链四杆机构通过改变构件形状、尺寸以及运动副类型等方式，演变成曲柄滑块机构、导杆机构等多种形式，这一过程既充满创新，也蕴含着严谨的逻辑。通过知识传授，在鼓励学生突破传统思维，从不同角度思考问题，挖掘机构演化的新可能，培养学生的创新意识与能力。 |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                      |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-015                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例标题 | 从中国雷达发展看：厚植爱国情怀，激发科学创新                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例来源 | 百度                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 内容简介 | <p>传统机械扫描雷达中采用了曲柄摇杆机构，曲柄摇杆机构用来调整雷达天线俯仰角的大小。但是，随着科学技术的发展，中国的雷达技术在追赶与突破中达到世界领先水平。通过介绍中国的有源相控布阵雷达，激发广大学生的爱国热情与民族自豪感引导学生在学习和研究中要敢于突破传统，积极探索新技术、新方法，不断提升解决复杂问题的能力，为国家科技发展贡献力量。</p>                                                                                                 |
| 关键词  | 雷达                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 编写时间 | 2025-1-22                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 育人主题 | 爱国情怀与民族自豪感                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 素材长度 | 1859                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例正文 | <p>我们国产雷达的技术和性能到底有多强？</p> <p>网上有一篇短文里面是这样说的，我们的国产雷达技术强大到足以覆盖全球每一个角落。雷达技术对现代战争的影响力不容忽视，它早已成为现代战场的“眼睛”和“耳朵”，从侦察、预警到目标锁定，雷达系统在战争中的地位堪比导弹与坦克。尤其是在信息化战争日益成为主流的今天，掌握先进的雷达技术意味着能够在未来的军事冲突中获得主动权。</p> <p>中国雷达技术的发展历程，是一部科技追赶与突破的历史。</p> <p>从 20 世纪 50 年代的起步，到今天成为全球雷达技术的领先者，中国的雷达</p> |

事业经历了无数挑战与机遇。特别是在有源相控阵雷达领域，中国不仅赶超了美、俄等传统军事强国，还通过氮化镓材料的突破，奠定了全球领先的地位。中国，作为全球雷达技术的领先者，不仅在军用雷达领域取得了显著成就，还通过技术创新推动了民用雷达的发展，展现了科技对军事和民生的双重影响力。

雷达能够通过发射电磁波反射信号，快速定位和跟踪敌方目标，无论是在空中、陆地还是海洋，雷达的覆盖范围远远超出了人类肉眼的极限。

以中国的有源相控阵雷达为例，这种雷达技术可以说是现代军事的“全能侦察手”，不仅能够对战机、导弹等高速移动的目标进行精准跟踪，还能锁定海上的舰艇和潜艇，甚至能够对远程导弹进行超远距离预警。得益于有源相控阵雷达的技术，中国在航母作战、导弹防御以及海上监控方面具备了极强的作战优势。

传统机械扫描雷达



相控阵雷达



图 1 雷达

传统机械扫描雷达与相控阵雷达存在多方面区别，具体如下：

扫描方式

传统机械扫描雷达：依靠机械装置驱动天线进行转动，从而实现波束在空间中的扫描，如常见的雷达天线做 360 度旋转来探测不同方向的目标。

相控阵雷达：利用电子计算机控制移相器，改变天线阵中各辐射单元的相位，使波束的指向发生变化，实现电扫描，无需机械转动。

天线结构

传统机械扫描雷达：通常有一个较大的抛物面天线或其他形状的集中式天线，通过反射器或透镜等将发射机产生的电磁波集中成波束发射出去。

相控阵雷达：由大量的小天线单元（阵元）组成天线阵面，这些阵元可以排列成正方形、三角形等规则形状，有源相控阵雷达的每个阵元都有独立的发射和接收装置。

性能特点

目标探测能力

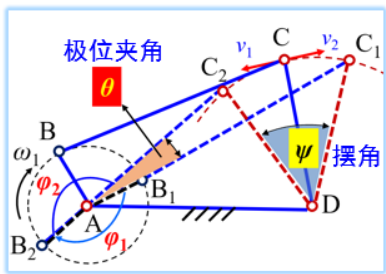
|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>传统机械扫描雷达：天线转动速度有限，对目标的刷新率较低，难以同时跟踪多个快速运动的目标。</p> <p>相控阵雷达：波束切换速度极快，可以在短时间内对多个目标进行快速扫描和跟踪，能同时跟踪多个甚至上百个目标。</p> <p>数据更新速率</p> <p>传统机械扫描雷达：转速一般恒定，如美国海军的 SPS - 48 频扫雷达，最大转速 15 转/分钟时，空中目标数据刷新率是 4 秒 2。</p> <p>相控阵雷达：更新周期可达毫秒甚至微秒级，能快速获取目标的最新信息。</p> <p>抗干扰能力</p> <p>传统机械扫描雷达：抗干扰手段相对有限，主要依赖于天线的方向性和信号处理技术。</p> <p>相控阵雷达：可通过灵活改变波束形状、方向和频率等，具有较强的自适应抗干扰能力，还能采用数字波束形成技术抑制干扰信号。</p> <p>功能多样性</p> <p>传统机械扫描雷达：通常只能完成一种或几种基本的雷达功能，如搜索或跟踪，难以同时实现多种功能。</p> <p>相控阵雷达：可以通过软件编程和波束控制，同时实现搜索、跟踪、识别、制导等多种功能，还可进行电子对抗和通信等任务。</p> <p>可靠性与维护性</p> <p>传统机械扫描雷达：有机械转动部件，如电机、轴承等，这些部件容易磨损、出现故障，维护成本高、难度大，平均无故障时间相对较短。</p> <p>相控阵雷达：没有复杂的机械转动部件，可靠性较高，即使部分阵元出现故障，也可以通过软件补偿等方式继续工作，不影响整体性能。</p> <p>成本与技术难度</p> <p>传统机械扫描雷达：技术相对成熟，结构简单，成本较低，易于制造和维护。</p> <p>相控阵雷达：涉及到大量的先进技术，如微波集成电路、数字信号处理、计算机控制等，技术难度大，研制和生产成本高，特别是有源相控阵雷达。</p> <p>中国通过不断的技术创新和科研投入，已经在全球雷达领域占据了领先地位。</p> <p>无论是军用还是民用，雷达的未来都将为我国的发展提供更多保障与动力。</p> <p><b>思政点 1：爱国情怀与民族自豪感</b></p> <p>讲述中国雷达从 20 世纪 50 年代起步，历经无数挑战与机遇，最终在有源相控阵雷达领域赶超美、俄等传统军事强国的历程。通过这些内容，让学生了解我国科研人员的奋斗成果，激发学生的爱国热情，增强民族自豪感，使学生认识</p> |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                                                                                                                                                                                                          |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>到科技强国的重要性，鼓励他们为国家科技发展贡献力量。</p> <p><b>思政点 2：科学精神与创新意识</b></p> <p>在介绍雷达技术发展历程时，强调中国在雷达技术领域不断突破创新，如有源相控阵雷达技术上取得的成就，以及氮化镓材料的突破。引导学生认识到科学研究需要不断探索、勇于创新的精神，培养学生在学习和研究中敢于突破传统思维，积极探索新技术、新方法，提高解决复杂问题的能力。</p> |
| 分析评价 | <p>本案例通过介绍中国雷达技术，激发广大学生的爱国热情与民族自豪感，还深刻体现了科技强国的重要性。同时，在雷达技术发展中，中国不断突破创新，如有源相控阵技术的领先和氮化镓材料的突破，这启示我们科学研究需秉持探索未知、勇于创新的精神。因此，引导学生在学习和研究中要敢于突破传统，积极探索新技术、新方法，不断提升解决复杂问题的能力，为国家科技发展贡献力量。</p>                    |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                          |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例标题 | 剖析急回运动特性：构建科学思维体系，培养工程全局观念                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 内容简介 | <p>急回特性是具有曲柄的平面四杆机构的重要特性急回特性能提高机构在非工作行程中的速度缩短非工作时间，提高工作效率，因此其在工程机械中得到广泛应用。具有急回特性的平面四杆机构有很多它们在急回特点、传力性能及运动变化上有明显的区别，在工程上选用这些机构时要充分综合考虑其特点选择最佳机构满足机械设备的性能要求、提高机械效益。</p>                                                                                                                                                                                                         |
| 关键词  | 平面连杆机构；急回运动特性                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 编写时间 | 2025-1-23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 素材形式 | 动画、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 育人主题 | 科学思维和全局观                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 素材长度 | 1189                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例正文 | <p>急回特性是平面四杆机构的基本特性之一，是指在曲柄摇杆机构或偏置曲柄滑块机构中，原动件曲柄作匀速转动时，从动件摇杆或滑块在来回走过两个相同行程时所用时间不同，亦即从动件在来回行程中的平均速率不同。实际工作中，空回程速率较工作行程的速率大，故称回“急回”，四杆机构的这一特性也就称之为“急回特性”。图 1 所示为一曲柄摇杆机构，设曲柄 <math>AB</math> 为原动件，在其转动一周的过程中有两次与连杆共线，这时摇杆 <math>CD</math> 分别处于两极限位置 <math>C_1D</math> 和 <math>C_2D</math>。机构所处的这两个位置称为极位。机构在两个极位时，原动件 <math>AB</math> 所在两个位置之间的夹角 <math>\theta</math> 称为极位夹角。</p> |

急回运动的特性，广泛应用于生产实际，它可以使工作行程平均速度小，因而工作行程平稳，非工作行程速度加快，以缩短非工作时间，达到提高工作效率的目的。

一、急回特性

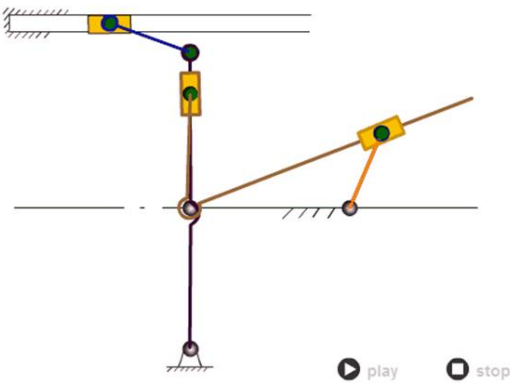


|         | $C_1D \rightarrow C_2D$            | $C_2D \rightarrow C_1D$            |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|
| 曲柄转角    | $\varphi_1 = 180^\circ - \theta$   | $\varphi_2 = 180^\circ + \theta$   |
| 曲柄运动时间  | $t_1 = \frac{\varphi_1}{\omega_1}$ | $t_2 = \frac{\varphi_2}{\omega_1}$ |
| 摇杆摆角    | $\psi$                             | $\psi$                             |
| 摇杆平均速度  | $v_1 = \frac{\psi}{t_1}$           | $v_2 = \frac{\psi}{t_2}$           |
| 摇杆的运动特点 | 快：空回行程                             | 慢：工作行程                             |

**曲柄摇杆机构的急回运动特性：**曲柄摇杆机构中，曲柄等速转动时，摇杆往复摆动的平均速度不同的运动特性。

图 1 平面连杆机构的急回特性

机构急回运动特性在工程上的应用有三种情况：第一种情况是工作行程要求慢速前进，以利于切削、冲压等工作的进行，而回程时为节省空回时间，则要求快速返回，如牛头刨床（如图 2 所示）、插床等就是如此，这是常见的情况。



牛头刨床导杆机构

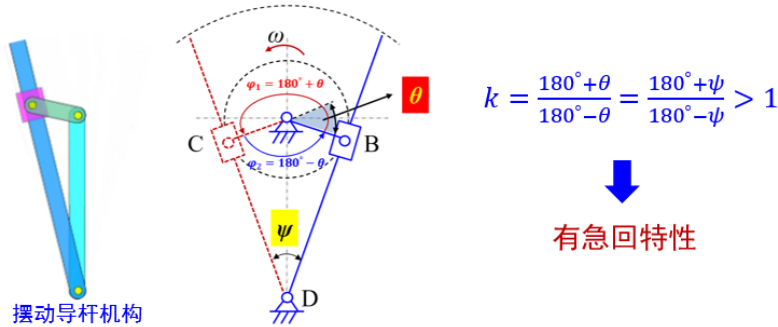
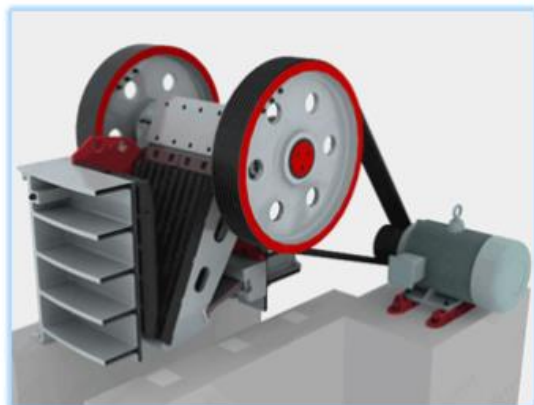


图 2 牛头刨床导杆机构的急回特性

第二种情况是对某些颚式破碎机（如图 3 所示），要求其动鄂快进慢退，使已被破坏的矿石能及时推出鄂板，避免矿石的过粉碎（因破碎后的矿石有一定的粒度要求）。



颚式破碎机

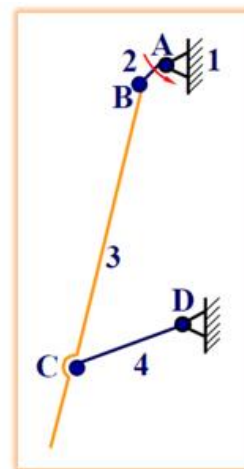


图 3 颚式破碎机的急回特性

第三种情况是一些设备在正、反行程中均在工作，故无急回要求，如图 4 所示的收割机中的割刀片的运动。某些机载搜索雷达的摇头机构也是如此。

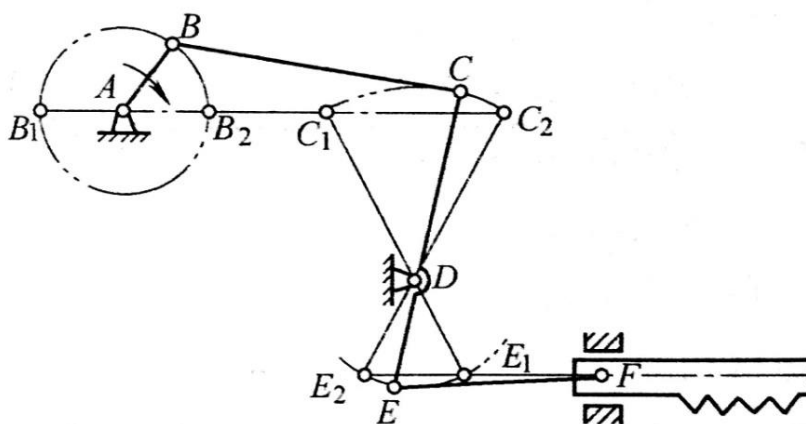


图 4 收割机的结构简图

在工程实践中选用机构时不仅要考虑机构的急回特性，还要综合考虑其他特性才能做出适当的选择，比如牛头刨床上为了实现刨削运动特性，同时缩短空回行程时间，提高生产效率，使用了摆动导杆机构与摇杆滑块机构的组合机构，既满足了工作中对急回的要求，并且传力性能好、机构所占空间小。在牛头刨床上没有使用偏置滑块机构主要是因为虽然该机构结构更加简单，但由于刨刀行程较大需要有较长的曲柄，这会使得机构所占空间增大，并且随着急回程度的增加传动角将会减小使机构的传力性能变差。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点 1：科学思维</b></p> <p>在牛头刨床机构的选择中，需要对摆动导杆机构与摇杆滑块机构的组合、偏置滑块机构、曲柄摇杆机构和摇杆滑块机构的组合等多种机构进行理性分析，考量急回特性、传力性能、空间占用等多方面因素，能够培养学生科学、理性地分析问题，运用专业知识进行综合判断的思维能力。</p> <p><b>思政点 2：全局观</b></p> <p>在牛头刨床机构选择过程中，不能仅仅只看机构的急回特性，还要综合考虑传力性能、空间大小等其他特性，这体现了要全面、辩证地看待问题，不能片面地只关注某一个方面。对比不同机构的优缺点，如偏置滑块机构虽结构简单但存在空间和传力性能问题，让学生明白任何技术和方案都有其利弊，要学会在利弊之间进行权衡和取舍，培养学生客观、辩证地看待事物的思维方式，在工程实践中要有全局观念，从整体上把握问题，综合权衡各种因素，做出最优选择。</p> |
| 分析评价 | <p>在牛头刨床机构的选择过程中，学生需对摆动导杆与摇杆滑块组合、偏置滑块、曲柄摇杆与摇杆滑块组合等多种机构进行理性分析，这不仅考量了对急回特性的理解，还要求全面评估传力性能、空间占用等多方面因素。这一过程体现了科学、理性的分析态度，以及运用专业知识进行综合判断的能力。更重要的是，它教会学生不能片面地只看某一机构的单一优势，如偏置滑块机构虽结构简单却面临空间和传力性能的局限，而是要全面、辩证地看待每种技术和方案的利弊，学会在权衡取舍中培养客观、辩证的思维方式。这种全局观的培养，对于学生在工程实践中从整体把握问题、综合权衡各种因素以做出最优选择至关重要。</p>                                                                                                                 |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例   | 20053110-017                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例   | 死点位置：运用辩证思维权衡利弊，借助创新思维转危为机                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例   | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 内容简介 | “死点”问题是平面四杆机构的基本特性之一，它与构件的运动和受力等情况密切相关。“死点”对机构有利有弊，对传递运动的机构来说，“死点”是有害的，应设法排除；而对于那些需要利用“死点”处于稳定位置的机构来说是有利的，应根据不同的设计要求灵活运用，做到有的放矢。通过理论讲授与思维引导，旨在培养学生的辩证思维与创新思维。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 关键词  | 平面连杆机构；死点                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 编写   | 2025-1-23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 编著   | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 素材   | 动画、文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 育人   | 辩证思维                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 素材   | 1357                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 案例正文 | <p>如图所示的曲柄摇杆机构 <math>ABCD</math>，如不考虑各构件的重量和摩擦力，则连杆 <math>BC</math> 为二力杆。当摇杆 <math>CD</math> 为主动件，在曲柄与连杆两次共线位置中，主动件摇杆 <math>CD</math> 通过连杆 <math>BC</math> 作用于从动件曲柄 <math>AB</math> 上的力正好通过转轴中心 <math>A</math>，此时源于连杆的驱动力对从动件曲柄 <math>AB</math> 的转动力矩为零，不论连杆 <math>BC</math> 对曲柄 <math>AB</math> 施加多大的作用力，都不能使 <math>AB</math> 杆转动，整个机构处于静止状态，且转动方向也不能确定。也就是说，曲柄 <math>AB</math> 在回转一周的过程中，有两次与连杆 <math>BC</math> 共线，此时传动角 <math>\gamma=0</math>，压力角 <math>\theta=90</math>。摇杆 <math>CD</math> 分别处在两个极限位置：<math>C_1D</math>、<math>C_2D</math>，此时位置称为机构的“死点”。</p> |

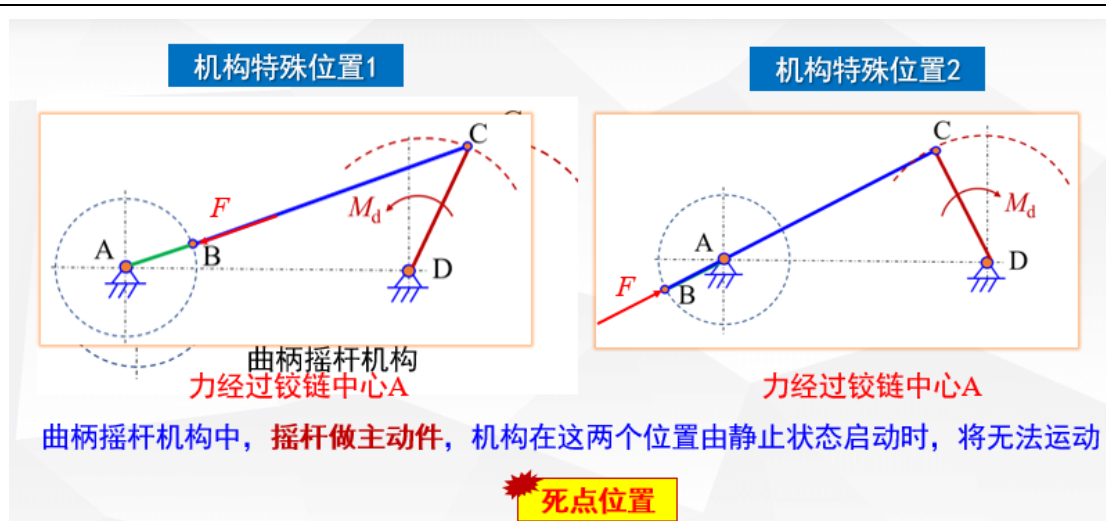


图 1 曲柄摇杆机构的死点位置

“死点”问题是平面四杆机构的基本特性之一，它与构件的运动和受力等情况密切相关。如果机构中出现“死点”位置问题，将出现整个机构“卡死”的现象，而且从动杆件转动方向也不能确定，对传动不利，应该加以排除。

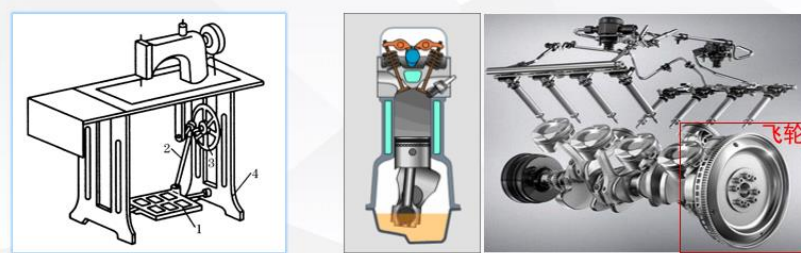
死点的发现，是在研究机构的传动过程中出现的，不利于传动。同学们很容易先入为主地主观认为死点是缺点。但是，对于定点固定支撑来讲，死点却是恰恰应该被加以珍惜和利用的。推而广之，在以后的科学研究和工程实际过程中，对于发现的科学现象，不应该报以主观的先入为主的态度，而是应该培养客观而辩证思维的能力。着重强调：死点，是特点，关键在于如何避免、克服和利用，需要客观而辩证的思维，不能简单的谈优缺点。在传动时，死点是需要被避免和克服的；而在定点支撑时，死点却是恰恰可以被利用的。在传动时，针对有死点的机构，分别提出解决问题的不同方法，培养学生利用所学知识进行理论分析的能力和解决实际工程实际问题的实事求是的辩证思维能力，以及创造性设计平面连杆机构的能力。

紧接着，就可以顺畅的过渡到死点的克服与利用。

存在死点，对于机构的传动是不利的，会出现运动不可控的情况。所以，对于存在死点的机构，有不同的解决方案。

通过增加一组机构，使得机构顺利的通过死点，避免机构运动的不可控性，直接面对问题，不留后患。

#### 1) 利用系统的惯性



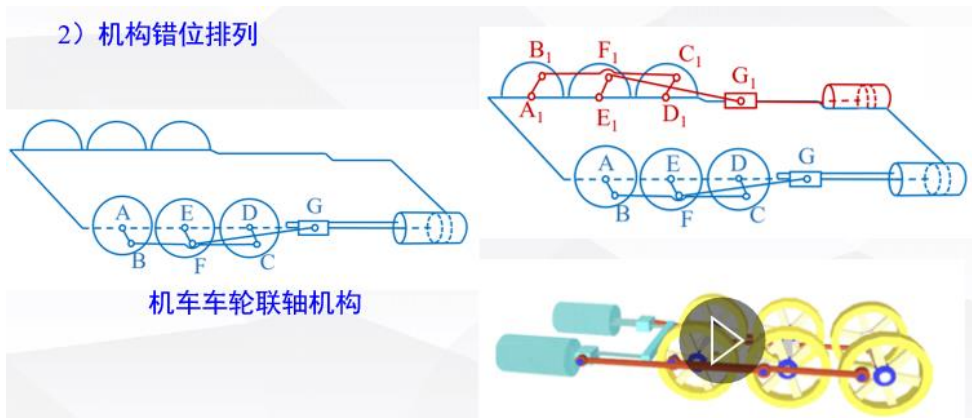


图 2 死点的克服

飞机起落架如图 3 所示，就是利用“死点”位置。使飞机降落安全可靠飞机起落架机构是双摇杆机构，通过主动摇杆  $CD$  可使轮子在飞机降落时放下，刚好是死点位置（ $BC$  杆与  $CD$  杆共线），巨大的着陆反力不会使主动摇杆  $CD$  转动，以便于飞机安全着陆；起飞后在摇杆  $CD$  的摆动下，使轮子收起，以减小空气阻力。

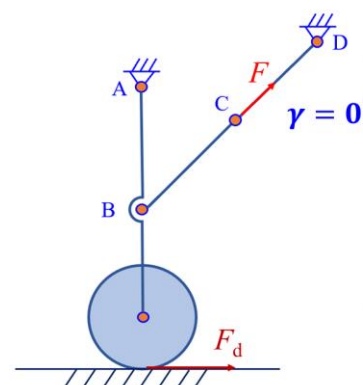


图 3 飞机起落架

除此之外，死点在生活和工程中的利用的场合非常多，比如骨架雨伞、折叠家具以及各类夹具等，可以鼓励同学们进行搜集。

“死点”对机构有利有弊，对传递运动的机构来说，“死点”是有害的，应设法排除；而对于那些需要利用“死点”处于稳定位置的机构来说是有利的，应根据不同的设计要求灵活运用，做到有的放矢。

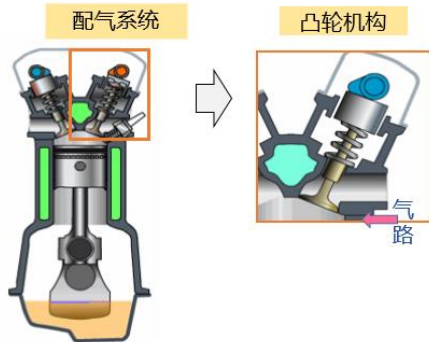
### 思政点 1：辩证思维

通过分析死点位置的利弊，让学生认识到事物具有两面性。死点位置通常被视为机构运动的障碍，但在某些特定情况下又可被利用，如飞机起落架机构利用死点实现稳定支撑。这教导学生要用辩证的眼光看待问题，既要看到困难和挑战，也要发现其中蕴含的机遇和价值，避免片面、孤立地看待事物。

### 思政点 2：创新思维

在克服死点位置的过程中，鼓励学生积极探索新方法、新途径。例如，可采用增

|      |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 加飞轮的方法利用其惯性使机构闯过死点，或者通过多组机构错列的方式让它们相互帮助度过死点。这能激发学生的创新思维，培养他们敢于突破传统、勇于尝试新想法的精神，提高解决复杂问题的能力。                                                                                                                                                          |
| 分析评价 | <p>本案例首先指出了“死点”作为平面四杆机构基本特性的重要性，并辩证地分析了其在传动中的不利影响与在定点支撑中的有益作用，强调了对“死点”应持客观辩证的态度，既需避免其传动时的弊端，也应珍惜和利用其在特定场合下的优势。通过实例展示了克服“死点”的有效方法，以及在飞机起落架等设计中的巧妙利用，体现了理论与实践的紧密结合。此外，培养学生的辩证思维，教导学生全面、动态地看待问题，把握事物的两面性；鼓励学生创新思维方式，勇于探索新方法，敢于挑战传统，以灵活多变的方式解决实际问题。</p> |
| 评价   | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                            |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-018                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例标题 | 凸轮机构利弊：筑牢辩证思维根基                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 内容简介 | 本案例通过学习凸轮机构在实际工程中的应用以及分类，总结出凸轮机构的优缺点及应用场合，引导学生认识到凸轮机构既有结构简单紧凑、设计方便，能使从动件得到所需运动规律的优点，又存在凸轮轮廓与从动件间易磨损、传力不大的缺点，让学生明白任何事物都具有两面性。                                                                                                                                                     |
| 关键词  | 凸轮机构；两面性；辩证思维                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 编写时间 | 2025-2-14                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 育人主题 | 辩证思维                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 素材长度 | 875                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例正文 | <p>凸轮机构是机械中的一种常用机构，在自动化和半自动化机械中应用非常广泛。如图 1 所示为内燃机配气机构，凸轮 1 以等角速度回转，它的轮廓驱使从动件 2（阀杆）按预期的运动规律启闭阀门。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">图 2 内燃机配气机构</p> |

如图 2 所示，为磁带录音机卷带装置中的凸轮机构，凸轮 1 随放音键上下移动，放音时凸轮 1 处于图示最低位置，在弹簧 6 的作用下，安装于带轮轴上的摩擦轮 4 紧靠卷带轮 5，从而将磁带卷紧。停止放音时，凸轮 1 随按键上移，其轮廓压迫从动键 2 顺时针摆动，使摩擦轮与卷带轮分离，从而停止卷带。

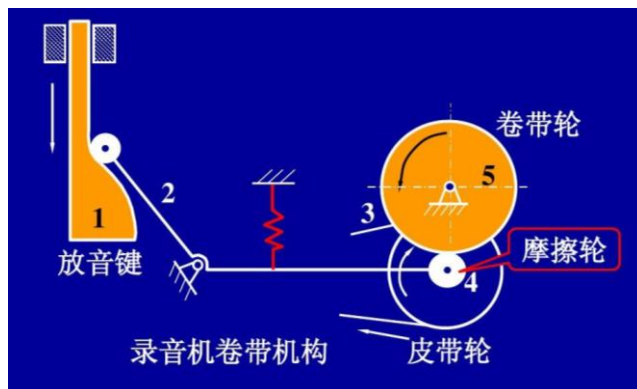


图 2 磁带录音机卷带装置中的凸轮机构

如图 3 所示，为自动送料机构，当带有凹槽的凸轮 1 转动时，通过槽中的滚子驱使从动件 2 作往复移动。凸轮每回转一周，从动件即从除料器中推出一个毛坯送到加工位置。

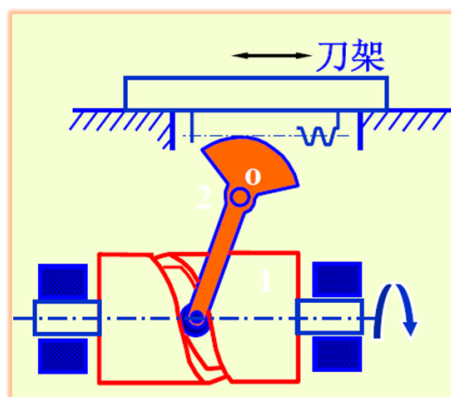
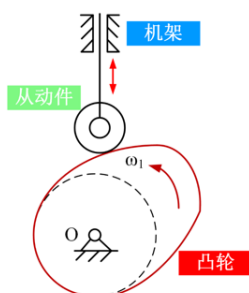


图 3 自动送料机构

从以上工程应用可以看出，凸轮是一个具有曲线轮廓的构件，由凸轮、从动件和机架三个基本构件组成的高副机构，如图 4 所示。

#### 一、凸轮机构



凸轮是一个具有曲线轮廓的构件

凸轮机构是由凸轮、从动件和机架三个基本构件组成的高副机构。

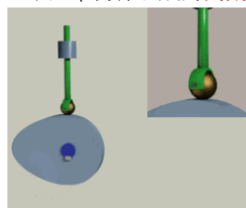
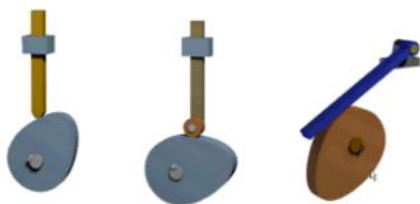


图 4 凸轮机构

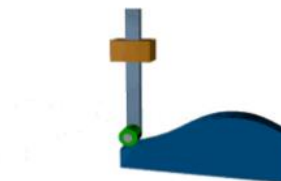
从凸轮的主要组成可以看出，其结构比较简单，因此其分类主要依据凸轮和从动件。根据凸轮的形状主要分为盘形凸轮、移动凸轮和圆柱凸轮，如图 5 所示。盘形凸轮和移动凸轮与从动件之间的相对运动为平面运动，而圆柱凸轮与从动件之间的相对运动为空间运动。所以前两者属于平面凸轮机构，后者属于空间凸轮机构。

#### 一) 按凸轮的形状分

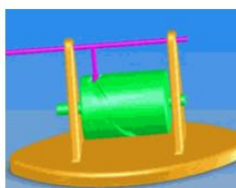
##### 1、盘形凸轮



##### 2、移动凸轮



##### 3、圆柱凸轮



##### 4、圆锥凸轮

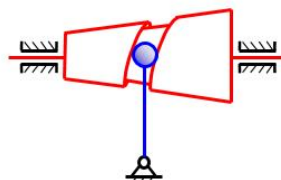


图 5 凸轮机构的分类

凸轮机构按照从动键的形式分尖顶从动键、滚子从动件、平底从动键，如图 6 所示，这三种从动件都可以相对机架作往复直线运动或往复摆动。

#### 二) 按从动件上高副元素的几何形状分

##### 1、尖顶从动件



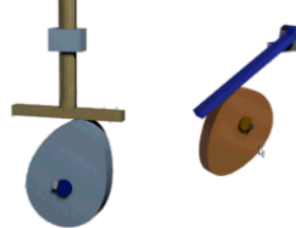
- 能与任意凸轮轮廓保持接触，可实现复杂的运动规律
- 易磨损，只宜用于轻载、低速

##### 2、滚子从动件



- ◆ 耐磨、承载大
- ◆ 较常用

##### 3、平底从动件



- 接触面易形成油膜，利于润滑，常用于高速运动
- 配合的凸轮轮廓必须全部外凸

图 6 凸轮机构的分类

引导学生与平面连杆机构进行对比，分析凸轮机构的应用场合与优缺点。

凸轮机构的优点是只需设计适当的凸轮轮廓，便可使从动键得到所需的运动规律，并且结构简单紧凑，设计方便。它的缺点是凸轮轮廓与从动件之间为点接触或线接触，易磨损，所以通常多用于传力不大的控制机构。

|      |                                                                                                                                                                           |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点：辩证思维</b></p> <p>引导学生认识到凸轮机构既有结构简单紧凑、设计方便，能使从动件得到所需运动规律的优点，又存在凸轮轮廓与从动件间易磨损、传力不大的缺点。让学生明白任何事物都具有两面性，在实际应用中需要权衡利弊，不能只看到优点而忽视缺点，也不能因存在缺点就否定其价值。</p>                 |
| 分析评价 | <p>在学习凸轮机构的应用以及分类时，通过引导学生总结凸轮机构的优缺点及应用场合，不仅能够帮助学生深入认识凸轮机构既有结构简单紧凑、设计方便，能使从动件得到所需运动规律的优点，又存在凸轮轮廓与从动件间易磨损、传力不大的缺点。在教学的过程中潜移默化的让学生自己感受明白任何事物都具有两面性，要学会用辩证的思维方式去看待问题分析问题。</p> |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                           |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 案例标题 | 剖析从动件运动规律：培育创新探索精神，筑牢工程伦理底线                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 内容简介 | 本案例通过学习凸轮机构从动件的运动规律，分析每一种运动规律的特点，引导鼓励学生在学习要勇于突破传统思维定式，积极探索解决问题的新方法和新技术，培养学生的创新意识和探索精神。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 关键词  | 凸轮机构；从动件运动规律；刚性冲击；柔性冲击；改进                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 编写时间 | 2025-2-14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 育人主题 | 创新思维与探索精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 素材长度 | 1547                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例正文 | <p>设计凸轮机构时，首先应根据工作要求确定从动件的运动规律，然后按照这一运动规律设计凸轮轮廓曲线。下面以尖顶直动从动件盘形凸轮机构为例，说明从动件的运动规律与凸轮轮廓曲线之间的相互关系。如图 1 所示，以凸轮轮廓的最小向径 <math>r_0</math> 为半径所绘制的圆称为基圆，当尖顶与凸轮轮廓上的 A 点（基圆与轮廓 AB 的连接点）相接触时。从动件处于上升的起始位置，当凸轮以 <math>\omega</math> 等角速沿逆时针方向回转 <math>\delta_1</math> 时，从动件尖顶被凸轮轮廓推动，以一定运动规律。由离回转中心最近位置 A 到达最远位置，这个过程称为推程。这时它所走过的距离 <math>h</math> 称为从动件的升程，而与推程对应的凸轮转角 <math>\delta_1</math> 称为推程运动角。当凸轮继续回转 <math>\delta_2</math> 时，以 O 点为中心的圆弧 BC 与尖顶相作用，从动件在最远位置停留不动，<math>\delta_2</math> 称为远休止角。凸轮继续回转 <math>\delta_3</math> 时，从动件在弹簧力或重力作用下以一定运动规律回到起始位置，这个过程称为回程，<math>\delta_3</math> 称为回程运动角。当凸轮继续回转 <math>\delta_4</math> 时，以 O 点为中心的圆弧 DA 与尖顶相作用，从动件在最近位置停留不动，<math>\delta_4</math> 称为近</p> |

休止角。当凸轮连续回转时，从动件重复上述运动。

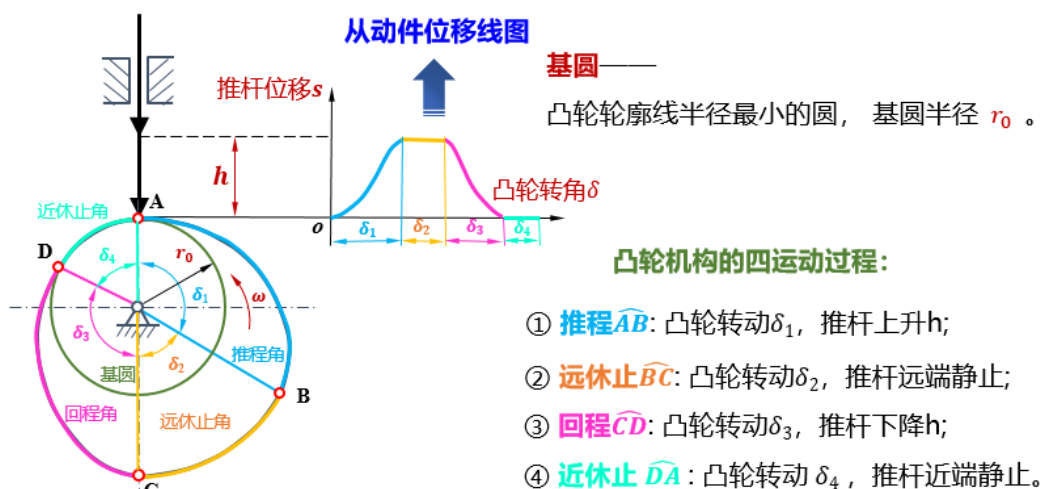


图 1 凸轮轮廓与从动件位移线图

由以上分析可知，从动件的位移线图取决于凸轮轮廓曲线的形状。也就是说，从动件的不同运动规律要求凸轮具有不同的轮廓曲线。几种常见的运动规律包括等速运动、等加等减速运动、简谐运动和正弦加速度运动。

如图 2 所示为等速运动规律，可以看出从动件推程作等速运动时，其位移线图为一斜直线，速度线图为一水平直线。运动开始时，从动件速度由 0 突变为  $v_0$ ，理论上该处加速度  $a$  趋近 $+\infty$ 。运动终止时，速度由  $v_0$  突变为 0， $a$  趋近 $-\infty$ (材料有弹性变形，实际上不可能达到无穷大)，由此产生的巨大惯性力导致强烈冲击。这种因加速度发生无穷大突变而引起的冲击称为刚性冲击，造成严重危害，因此等速运动规律不宜单独使用。

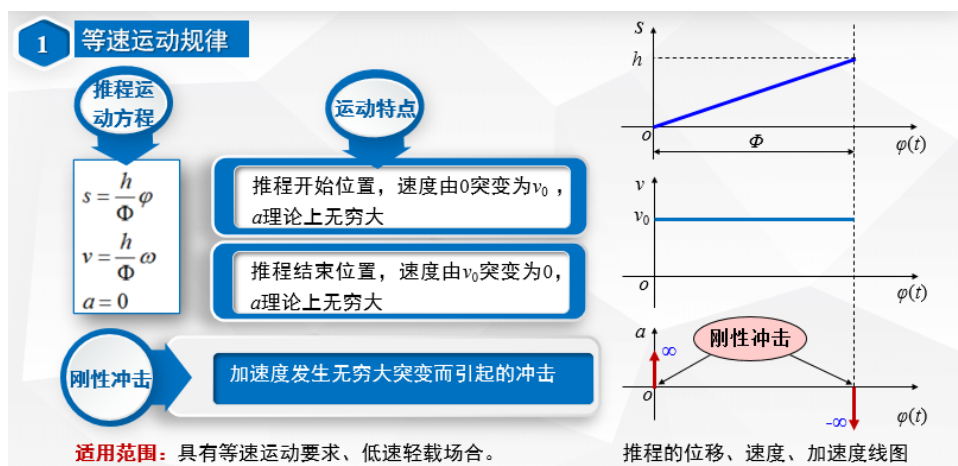


图 2 等速运动规律

如图 3 所示为等加等减速运动规律，可以看出速度曲线连续，加速度曲线在起、中、末位置不连续，有限突变，产生有限惯性力，加速度产生有限值突变，产生有限的惯性力在一瞬间作用在机构上引起的冲击，适用于中速轻载场合。

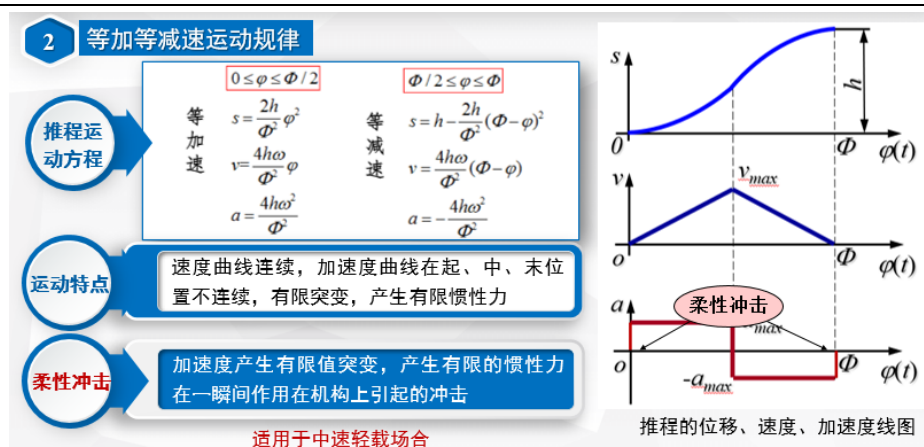


图 3 等加等减速运动

如图 4 所示为简谐运动规律（余弦加速度运动规律），可以看出从动件速度曲线连续，加速度曲线在起、末位置不连续，有限突变，产生有限惯性力，因此该从动件运动规律存在柔性冲击。

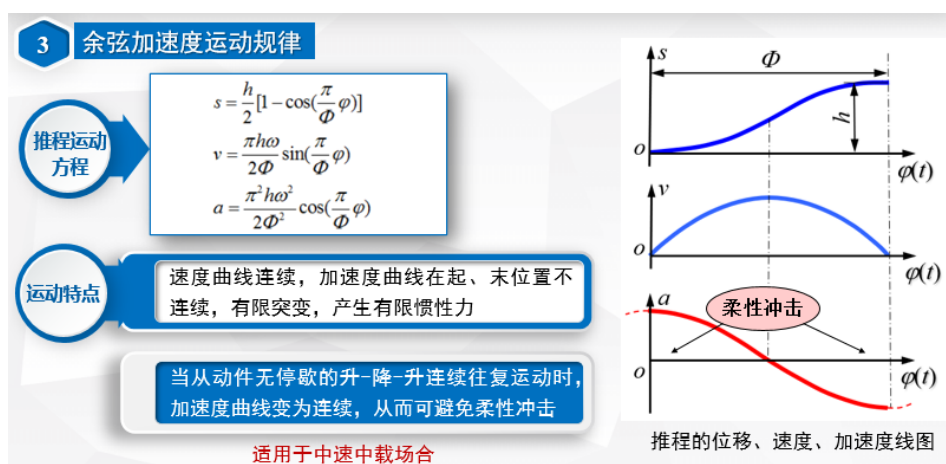


图 4 简谐运动规律

如图 5 所示为正弦加速度运动，可以看出从动件运动规律速度和加速度曲线均连续，既无刚性冲击也无柔性冲击，适用于高速轻载场合。

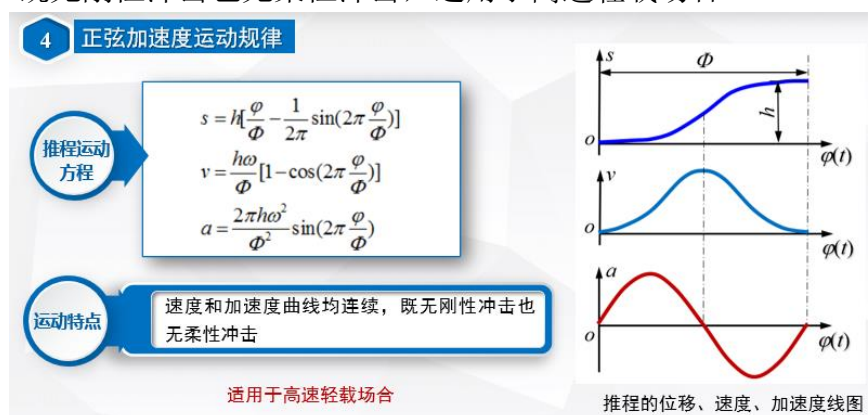


图 5 正弦加速度运动

分析至此，有一个问题需要同学们深入讨论，分析的这几种从动件的运动规

律除了正弦运动规律，从动件在运动的过程中产生刚性冲击或柔性冲击，对机构的运动产生不利影响，即便正弦加速度运动规律中既无刚性冲击也无柔性冲击，但是存在较大的加速度，对加工精度要求较高。

为克服运动中出现的冲击问题，近代高速凸轮采用多项式曲线或几种曲线的组合这一创新方式来降低加速度或满足某些特殊要求，例如图 6 所示的改进型正弦运动规律，避免从动件在起始和终止时产生冲击。



图 6 改进型正弦运动规律

**思政点 1：创新思维与探索精神**

为克服运动中出现的冲击问题，近代高速凸轮采用多项式曲线或几种曲线的组合这一创新方式，体现了不断探索、勇于创新的精神。鼓励学生在面对复杂的工程问题时，要敢于突破传统思维，积极探索新的方法、新的技术，培养学生的创新思维和创新能力，激发学生对科学研究和工程实践的热情，使学生明白创新是推动科技进步和社会发展的核心动力。

**思政点 2：工程伦理**

凸轮机构中冲击、振动等问题如果不解决，可能会导致机器设备出现故障，甚至引发安全事故，对人员生命和财产造成威胁，还可能对环境产生不良影响。这要求学生在未来的工程设计中，要充分考虑工程的安全性、可靠性和可持续性，将公众利益、安全和环境保护放在首位，遵循工程伦理规范，确保工程设计符合道德和法律要求。

分析  
评价

面对传统运动规律带来的冲击、加速度等问题，近代高速凸轮采用多项式曲线或几种曲线组合的创新方式，通过在学中引导鼓励学生在学习和未来工作中，勇于突破传统思维定式，积极探索解决问题的新方法和新技术，培养学生的创新意识和探索精神，激发学生对科学研究和工程创新的热情。

评价  
者

、教授 商洛学院

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例标题 | 分析滚子半径影响：塑造辩证思维                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 内容简介 | <p>本案例通过学习凸轮机构从动件滚子半径对凸轮轮廓曲线的影响,通过分析过大或者过小的滚子半径对凸轮轮廓曲线的不同影响,引导学生看待问题时要运用辩证思维,既要看到事物的有利方面,也要看到其不利方面,全面、客观地分析和解决问题。实际设计中,需要综合考虑多方面因素来选择合适的滚子半径,这体现了工程设计中的优化与权衡思想,要学会在各种相互矛盾的要求和约束条件之间进行权衡,寻求最优解决方案,以实现工程系统的整体性能最优,培养学生的工程优化能力和全局观念。</p>                                                                                                                                           |
| 关键词  | 凸轮机构；滚子；半径                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 编写时间 | 2025-2-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 育人主题 | 辩证思维与工程伦理                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 素材长度 | 1170                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例正文 | <p>凸轮机构是一种高副机构广泛地应用于各种自动机械中。按照凸轮机构从动件端部的形式可分为尖顶从动件、滚子从动件和平底从动件等。因为滚子与凸轮轮廓作相对滚动从而减小摩擦阻力、减轻从动件和凸轮轮廓的磨损所以滚子从动件是一种应用最广的从动件形式。在凸轮机构的工作过程中滚子半径的大小不仅影响凸轮轮廓曲率半径接触应力,还影响到从动件的运动规律以及凸轮机构的润滑、磨损等。</p> <p>滚子半径对滚子从动件盘形凸轮机构中的凸轮实际轮廓曲线的形状有直接影响,如果滚子半径选择不当会导致从动件不能准确实现预期的运动轨迹。如下图 1 所示, <math>\rho_{\min}</math> 是凸轮理论廓线最小曲率半径, <math>r_r</math> 是滚子半径, <math>\rho_{b\min}</math> 是凸轮实际廓线曲</p> |

率半径。从图中可以看出：1) 当  $\rho_{\min} > r_r$  时,  $\rho_{b\min} > 0$ , 凸轮实际廓线为光滑曲线, 说明凸轮廓线可作出。2) 当  $\rho_{\min} = r_r$  时,  $\rho_{b\min} = 0$ , 可以看出实际轮廓曲线上出现尖点, 这样就会造成凸轮极易磨损, 运动准确性受到影响。3) 当  $\rho_{\min} < r_r$  时,  $\rho_{b\min} < 0$ , 实际轮廓将出现交叉现象, 会引起运动失真, 即推杆不能按预期的运动规律运动。4) 当凸轮理论轮廓线内凹时, 滚子半径  $r_r$  无论多大, 实际轮廓线总可平滑地作出。

滚子半径对实际轮廓的影响分析

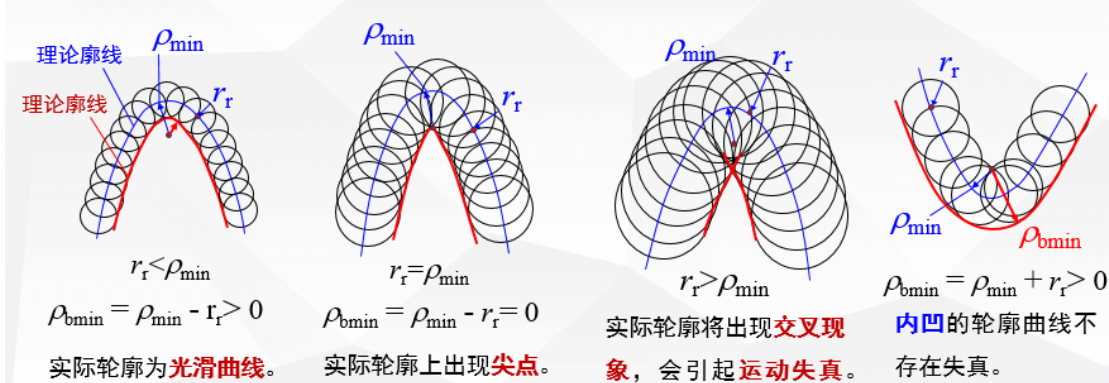


图 1 凸轮机构滚子半径对凸轮廓线的影响

由以上分析可知, 当凸轮的理论轮廓确定后, 实际轮廓的大小与滚子的大小直接有关。滚子半径越大, 实际轮廓就越小。因此, 从减小凸轮尺寸、减轻机构重量出发, 希望滚子半径大一些好。但当滚子半径太大时, 由滚子半径  $r_r$  与凸轮轮廓线的关系可知, 将会出现运动规律的“失真”或凸轮实际轮廓上的某点的曲率半径过小, 而使强度减弱, 使凸轮尺寸过小, 以致无法安装在轴上, 并使从动杆运动时的惯性力增大, 引起凸轮承受较大的动载荷。当滚子半径太大时, 凸轮与滚子之间接触应力较大, 易使凸轮或滚子产生疲劳破坏。由此可知, 滚子半径不能太大。

在实际设计中, 凸轮机构的尺寸受强度、结构等限制。因而滚子半径也不能取太小, 通常取滚子半径  $r_r = (0.1 \sim 0.5) r_b$  ( $r_b$  为基圆半径)。从凸轮满足运动设计要求来看, 选择滚子半径  $r_r$  应满足  $\rho_{b\min} = \rho_{\min} - r_r \geq 1 \sim 5 \text{ mm}$  的要求。设计滚子推杆凸轮轮廓线时, 应检查所设计的凸轮轮廓线是否满足这一要求, 可用作图法进行校核。

### 思政点 1: 辩证思维

在讨论滚子半径的选择时, 既提到从减小凸轮尺寸、减轻机构重量出发希望滚子半径大一些好, 又指出滚子半径太大存在运动失真、强度减弱、接触应力大等问题, 体现了事物的两面性。这可以教导学生在看待问题时要运用辩证思维, 既要看到事物的有利方面, 也要看到其不利方面, 全面、客观地分析和解决问题, 避免片面性和绝对化。

### 思政点 2: 工程伦理

实际设计中, 滚子半径受强度、结构等限制, 不能太大也不能太小, 需要综合考虑多方面因素来选择合适的滚子半径, 这体现了工程设计中的优化与权衡思想。

|      |                                                                                                                                                                                          |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 可以引导学生在工程实践中,要学会在各种相互矛盾的要求和约束条件之间进行权衡,寻求最优解决方案,以实现工程系统的整体性能最优,培养学生的工程优化能力和全局观念。                                                                                                          |
| 分析评价 | <p>凸轮机构从动件滚子半径过大或者过小对机构都会产生不利影响,本案例以实际理论为依托,通过分析过大或者过小的滚子半径对凸轮轮廓曲线的不同影响,引导学生看待问题时要运用辩证思维,在实际设计综合考虑多方面因素来选择合适的滚子半径,引导学生树立在各种相互矛盾的要求和约束条件之间进行权衡的观念,寻求最优解决方案,以实现工程系统的整体性能最优,能够培养学生的工程观。</p> |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-021                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例标题 | 追溯齿轮起源：传承科学精神，厚植民族自信                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例来源 | 百度                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 内容简介 | <p>齿轮是能连续啮合传递运动和动力的机械零件，其发展历程蕴含丰富思政点。从古代亚里士多德等人对齿轮的早期研究，到近现代学者们对齿形理论的突破，以及齿轮制造从手工到展成切齿法等的创新，体现了人类持续钻研的科学精神和创新对行业的推动，激励学生勇于探索未知、培养创新思维与实践能力。与此同时，中国古代在齿轮发展上贡献卓越，从东汉初年的人字齿轮到明代《武备志》记载的齿轮齿条传动装置，还有诸多考古发现，展示了古代劳动人民智慧，反映了中华民族对技术的传承发展精神，能增强学生民族自豪感与文化自信。</p>                |
| 关键词  | 齿轮                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 编写时间 | 2025-2-16                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 育人主题 | 科学精神与创新意识                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 素材长度 | 1916                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例正文 | <p>齿轮是轮缘上有齿，并能连续啮合传递运动和动力的机械零件。</p> <p>公元前 300 年古希腊哲学家亚里士多德在《机械问题》中，就阐述了用青铜或铸铁齿轮传递旋转运动的问题。希腊著名学者亚里士多德和阿基米德都研究过齿轮，希腊有名的发明家古蒂西比奥斯在圆板工作台边缘上均匀地插上销子，使它与销轮啮合，他把这种机构应用到刻漏上。这约是公元前 150 年的事。在公元前 100 年，亚历山人的发明家赫伦发明了里程计，在里程计中使用了齿轮。公元 1 世纪时，罗马的建筑家毕多毕斯制作的水车式制粉机上也使用了齿轮传动装置。</p> |

到 14 世纪，开始在钟表上使用齿轮。



图 1 出土的古希腊齿轮装置

东汉初年（公元 1 世纪）已有人字齿轮。三国时期出现的指南车和记里鼓车已采用齿轮传动系统。晋代杜预发明的水转连磨就是通过齿轮将水轮的动力传递给石磨的。史书中关于齿轮传动系统的最早记载，是对唐代一行、梁令瓚于 725 年制造的水运浑仪的描述。北宋时制造的水运仪象台（见中国古代计时器）运用了复杂的齿轮系统。明代茅元仪著《武备志》（成书于 1621 年）记载了一种齿轮齿条传动装置。1956 年发掘的河北安午汲古城遗址中，发现了铁制棘齿轮，轮直径约 80 毫米，虽已残缺，但铁质较好，经研究，确认为是战国末期（公元前 3 世纪）到西汉（公元前 206～公元 24 年）期间的制品。1954 年在山西省永济县蘼家崖出土了青铜棘齿轮。参考同坑出土器物，可断定为秦代（公元前 221～前 206）或西汉初年遗物，轮 40 齿，直径约 25 毫米。关于棘齿轮的用途，迄今未发现文字记载，推测可能用于制动，以防止轮轴倒转。1953 年陕西省长安县红庆村出土了一对青铜人字齿轮。根据墓结构和墓葬物品情况分析，可认定这对齿轮出于东汉初年。两轮都为 24 齿，直径约 15 毫米。衡阳等地也发现过同样的人字齿轮。

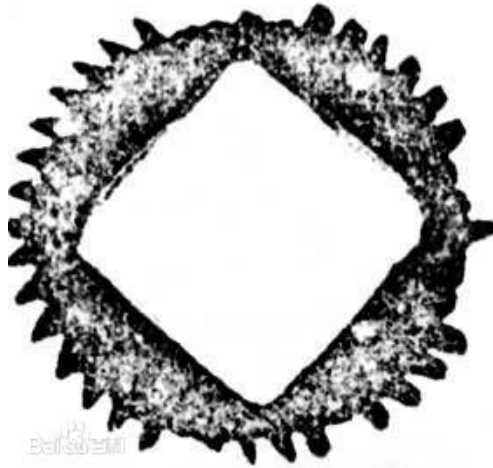


图 2 战国末期铁质青铜齿轮

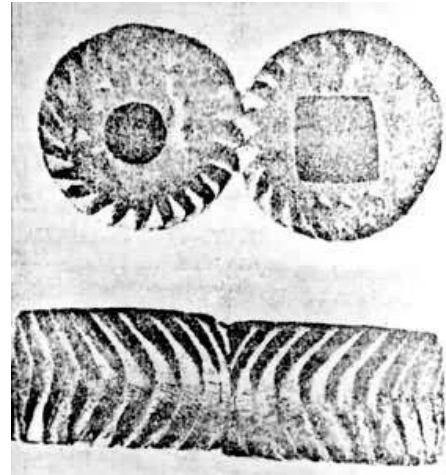
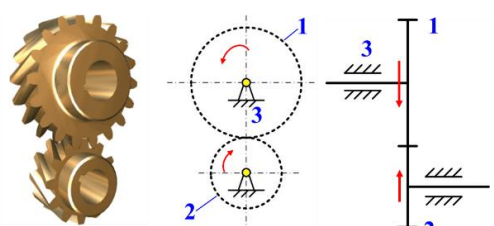


图 3 汉初青铜人字齿轮

早在 1694 年，法国学者 PHILIPPE DE LA HIRE 首先提出渐开线可作为齿形曲线。1733 年，法国人 M.CAMUS 提出轮齿接触点的公法线必须通过中心连线上的节点。一条辅助瞬心线分别沿大轮和小轮的瞬心线(节圆)纯滚动时，与辅助瞬心线固联的辅助齿形在大轮和小轮上所包络形成的两齿廓曲线是彼此共轭的，这就是 CAMUS 定理。它考虑了两齿面的啮合状态；明确建立了现代关于接触点轨迹的概念。1765 年，瑞士的 L. EULER 提出渐开线齿形解析研究的数学基础，阐明了相啮合的一对齿轮，其齿形曲线的曲率半径和曲率中心位置的关系。后来，SAVARY 进一步完成这一方法，成为 EU-LET-SAVARY 方程。对渐开线齿形应用作出贡献的是 ROTEFT WULLS，他提出中心距变化时，渐开线齿轮具有角速比不变的优点。1873 年，德国工程师 HOPPE 提出，对不同齿数的齿轮在压力角改变时的渐开线齿形，从而奠定了现代变位齿轮的思想基础。19 世纪末，展成切齿法的原理及利用此原理切齿的专用机床与刀具的相继出现，使齿轮加工具备较完备的手段后，渐开线齿形更显示出巨大的优越性。切齿时只要将切齿工具从正常的啮合位置稍加移动，就能用标准刀具在机床上切出相应的变位齿轮。1908 年，瑞士 MAAG 研究了变位方法并制造出展成加工插齿机，后来，英国 BSS、美国 AGMA、德国 DIN 相继对齿轮变位提出了多种计算方法。汉初青铜人字齿轮为了提高动力传动齿轮的使用寿命并减小其尺寸，除从材料，热处理及结构等方面改进外，圆弧齿形的齿轮获得了发展。1907 年，英国人 FRANK HUMPHRIS 最早发表了圆弧齿形。1926 年，瑞士人 ERUEST WILDHABER 取得法面圆弧齿形斜齿轮的专利权。1955 年，苏联的 M. L. NOVIKOV 完成了圆弧齿形齿轮的实用研究并获得列宁勋章。1970 年，英国 ROLH—ROYCE 公司工程师 R. M. STUDER 取得了双圆弧齿轮的美国专利。这种齿轮现已日益为人们所重视，在生产中发挥了显著效益。齿轮是能互相啮合的有齿的机械零件，它在机械传动及整个机械领域中的应用极其广泛。现代齿轮技术已达到：齿轮模数 0.004～

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>100 毫米；齿轮直径由 1 毫米~150 米；传递功率可达上十万千瓦；转速可达几十万转/分；最高的圆周速度达 300 米/秒。随着生产的发展，齿轮运转的平稳性受到重视。1674 年丹麦天文学家罗默首次提出用外摆线作齿廓曲线，以得到运转平稳的齿轮。18 世纪工业革命时期，齿轮技术得到高速发展，人们对齿轮进行了大量的研究。1733 年法国数学家卡米发表了齿廓啮合基本定律；1765 年瑞士数学家欧拉建议采用渐开线作齿廓曲线。齿轮 19 世纪出现的滚齿机和插齿机，解决了大量生产高精度齿轮的问题。1900 年，普福特为滚齿机装上差动装置，能在滚齿机上加工出斜齿轮，从此滚齿机滚切齿轮得到普及，展成法加工齿轮占了压倒优势，渐开线齿轮成为应用最广的齿轮。1899 年，拉舍最先实施了变位齿轮的方案。变位齿轮不仅能避免轮齿根切，还可以凑配中心距和提高齿轮的承载能力。1923 年美国怀尔德哈伯最先提出圆弧齿廓的齿轮，1955 年苏诺维科夫对圆弧齿轮进行了深入的研究，圆弧齿轮遂得以应用于生产。这种齿轮的承载能力和效率都较高，但尚不及渐开线齿轮那样易于制造，还有待进一步改进。</p> <p><b>思政点 1：科学精神与创新意识</b></p> <p>从古代亚里士多德、阿基米德等对齿轮的早期研究，到近现代众多学者对齿轮齿形理论的不断突破，展现了人类在科学探索道路上持续钻研、追求真理的科学精神。例如，1694 年法国学者 PHILIPPE DE LA HIRE 首次提出渐开线可作为齿形曲线，开启了齿形研究的新方向，后续众多学者在此基础上不断完善理论，这激励学生在学习和科研中要敢于创新、勇于探索未知。</p> <p>齿轮制造技术从早期简单的手工制作到 19 世纪末展成切齿法及专用机床刀具的出现，以及后续各种新型齿轮如圆弧齿形齿轮的研发，体现了技术创新对行业发展的巨大推动作用。</p> <p><b>思政点 2：民族自豪感与文化自信</b></p> <p>中国在齿轮发展史上有着卓越贡献。东汉初年已有人字齿轮，三国时期指南车和记里鼓车采用齿轮传动系统，晋代杜预的水转连磨利用齿轮传递动力，唐代水运浑仪有齿轮系统记载，北宋水运仪象台运用复杂齿轮系统，明代《武备志》记载齿轮齿条传动装置，且考古发现了战国末期到西汉、秦代或西汉初年、东汉初年的多种齿轮实物。这些成果展示了中国古代劳动人民的智慧和创造力，让学生了解中国古代科技的辉煌成就，增强民族自豪感和文化自信。</p> <p>中国古代齿轮技术的不断发展传承，反映了中华民族对技术的传承和发展精神。从古代先辈们发明创造各种齿轮应用，到如今现代齿轮技术的蓬勃发展，体现了文化传承在科技进步中的重要作用，激励学生传承和弘扬中华优秀传统文化，将传统文化中的创新精神融入到现代学习和研究中。</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|          |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 分析<br>评价 | <p>从古代亚里士多德等人对齿轮的早期研究，到近现代 PHILIPPE DE LA HIRE 等学者对齿形理论的突破，体现了人类持续钻研的科学精神和创新对行业的推动，能够激励学生勇于探索未知、培养创新思维与实践能力。同时，中国古代在齿轮发展上贡献卓越，从东汉初年的人字齿轮到明代《武备志》记载的齿轮齿条传动装置，还有诸多考古发现，展示了古代劳动人民智慧，反映了中华民族对技术的传承发展精神，能够增强学生民族自豪感与文化自信，激励学生传承弘扬优秀传统文化并融入现代学习研究。</p> |
| 评价<br>者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-022                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例标题 | 以齿轮应用为轴：传递科学精神，彰显民族自豪                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 内容简介 | <p>齿轮传动是应用极为广泛的机械传动方式，在生活和各类机械中应用广泛，如机械表、风扇、汽车等。在学习过程中了解齿轮从简单应用到复杂机械系统中的多样运用，能够激励学生培养创新思维与钻研精神；我国作为应用齿轮最早的国家之一，古代众多发明应用齿轮传动且领先世界，彰显了古代科技成就，同时技术传承至今，凸显文化传承与科技发展的紧密联系，有助于增强学生民族自豪感与文化自信，激励传承优秀传统文化并融入现代科研。</p>                                                                                                                         |
| 关键词  | 齿轮；应用                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 编写时间 | 2025-2-16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 育人主题 | 科学创新精神与民族文化自信                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 素材长度 | 2782                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例正文 | <p>齿轮传动是应用最广泛的一种机械传动，可实现改变转速和转矩、改变运动方向和改变运动形式等功能，具有传动效率高、传动比准确、功率范围大等优点。</p> <p><b>组成：</b>主动齿轮1、从动齿轮2、机架</p> <p><b>连接方式：</b>高副</p> <p><b>齿轮机构：</b>由齿轮副连接的一对齿轮通过交替啮合传递运动和动力的一种高副机构，又称<b>齿轮传动</b>。</p>  <p style="text-align: center;">图 1 齿轮传动</p> |

齿轮传动的用途很广，在我们的日常生活中，齿轮传动的例子很多，比如机械手表、闹钟走时机构、电风扇的摇头机构、空调的摆风机构、自行车的链传动和变速机构、洗衣机的变速机构、汽车的变速机构、机床的变速机构、减速器等。

当你打开机械表的后盖时，你就能看到齿轮是怎样进行啮合传动的。图 2 是机械表走针的传动系统，分针与时针、秒针与分针的传动比均为 60，都是通过二级齿轮传动实现的。从秒针到时针，传动比达到 3600，只用四级齿轮传动就实现了，结构很紧凑。钟表走时传动路线图为：秒轮 2 轴→过轮 1→分轮 3→分轮 3 轴→过轮 5→过轮 5 轴→时轮 4，通过这样四级齿轮传动，传动比高达 3600。这个例子说明机械表的多级齿轮传动可获得大的传动比。

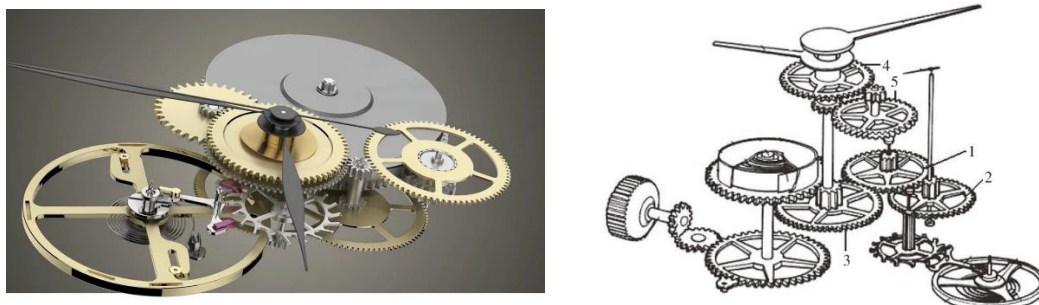


图 2 机械表走针的传动系统

图 3 为风扇摇头机构的原理模型。它把电动机的转动转变成扇叶的摆动。红色的曲柄与蜗轮固接，蓝色杆为机架，绿色的连架杆与蜗杆（电机轴）固接。电动机带动扇叶转动，蜗杆驱动蜗轮旋转，蜗轮带动曲柄作平面运动，从而完成风扇的摇头（摆动）运动。它使用蜗轮蜗杆传动，目的是降低扇叶的摆动速度、模拟自然风。

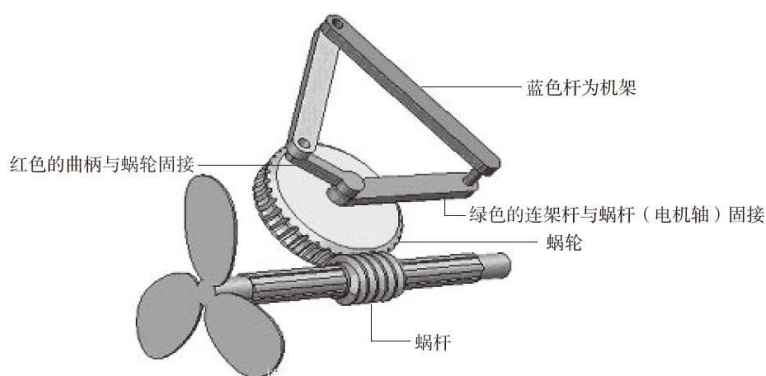


图 3 风扇摇头机构的原理模型

图 4 为行星搅拌机传动机构。行星搅拌机的传动机构由减速电动机、主动中心轮（内齿轮）、行星齿轮、固定中心轮、内外啮合行星轮系、连接器、刀片等零部件组成。

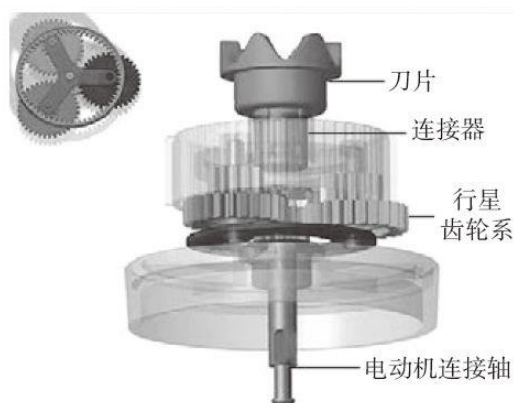


图 4 行星搅拌机传动机构

行星齿轮搅拌机工作原理：多功能搅拌机集打蛋、碎肉、蔬菜切片等功能为一体，其传动装置用来传递原动力机的动力，变换其运动方式，以实现搅拌机预定的工作要求，是搅拌机的主要组成部分。传动装置采用了行星齿轮传动，由电动机直接带动中心轮输出第一转速，用于搅拌。经过行星齿轮系传动，转臂通过连接器输出第二转速，用于碎肉，实现碎肉功能。这种传动机构，结构简单紧凑、传动可靠、工艺合理。

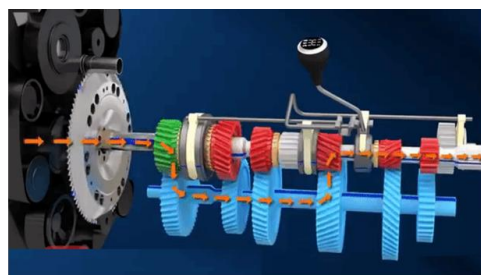
图 5 中自降螺旋千斤顶的螺纹无自锁作用，装有制动器棘轮组。放松制动器，重物即可自行快速下降，缩短返程时间，但这种千斤顶构造较为复杂。螺旋千斤顶能长期支持重物，最大起重量可达 100 吨，应用较广泛。这种机械千斤顶是手动起重工具之一，其结构紧凑，合理地利用摇杆的摆动，使小齿轮转动，经一对圆锥齿轮运转，带动螺杆旋转，推动升降套筒，从而使重物上升或下降（圆锥齿轮可以改变力矩的方向，即可以把横向运动转为竖直运动）。



图 5 螺旋千斤顶

当主动轴的转速不变时，利用轮系可以使从动轴获得多种工作转速，这种传动称为变速传动。汽车、机床、起重机等许多机械都需要变速机构。如图 6 所示为汽车中的齿轮变速器机构，齿轮变速器也叫定轴式变速器，它由一个外壳、轴

线固定的几根轴和若干个齿轮组成，可实现变速、变矩和改变旋转方向。



1挡， $i \approx 4$ ，转速小，扭矩大，起步、爬坡。

6挡， $i \approx 0.8/0.9$ ，转速大，扭矩小，高速行驶。

图 6 汽车中的齿轮变速器机构

图 7 为 CA6140 型普通车床主轴传动系统图，主运动传动链的功能是把动力源（电动机）的运动经 V 带传给主轴，使主轴带动工件实现回转，并使主轴获得变速和换向。主轴的运动是经过齿轮副传给轴的，改变齿轮的传动，从而改变主轴的转速。

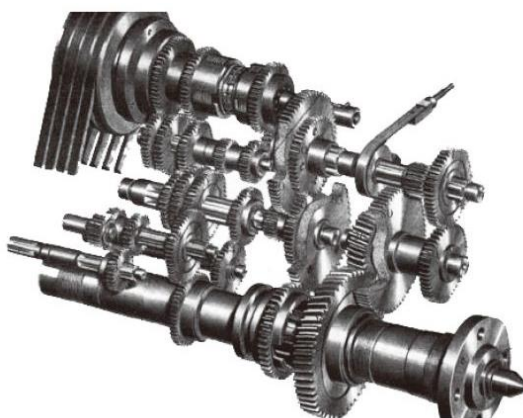


图 7 CA6140 型普通车床主轴传动系统图

车床走刀丝杠的三星轮换向机构，在主动轴转向不变的条件下，可改变从动轴的转向，图 8 为三星轮换向机构。



图 8 三星轮换向机构

某航空发动机附件传动系统，它可把发动机主动轴运动分解成六路传出，带动附件同时工作。利用轮系可以使一根主动轴带动若干根从动轴同时转动，获得

所需的各種轉速。圖 9 為齒輪分路傳動。

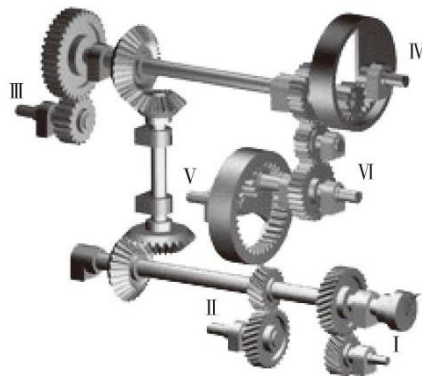


圖 9 齒輪分路傳動

合成運動是將兩個輸入運動合成為一個輸出運動；分解運動是將一個輸入運動分解為兩個輸出運動。合成運動和分解運動可用傳動輪系實現。汽車後橋上的差速器實現運動的分解運動，差速器能使左右車輪以不同或相同的轉速進行純滾動，進而實現轉向或直線行駛，把這種特性稱為差速特性，如圖 10 所示為汽車後橋上的差速器。主減速器傳來的轉矩平分給兩半軸，使兩側車輪驅動力盡量相等，其稱為轉矩特性。

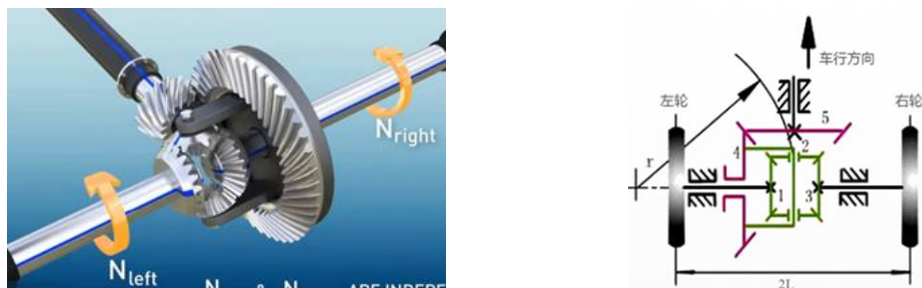


圖 10 汽車後橋上的差速器

減速器是一種動力傳遞機構，其原理是利用齒輪的速度轉換器，將電動機的回轉數減速到所需要的回轉數，並得到較大轉矩。減速器傳動軸上的齒數少的小齒輪嚙合輸出軸上的大齒輪以達到減速的目的。普通的減速器也會有幾對相同原理的齒輪嚙合來達到理想的減速效果，大小齒輪的齒數之比，就是傳動比。二級圓柱齒輪減速器如圖 11 所示。



圖 11 二級圓柱齒輪減速器

以上举的例子是我们非常熟悉的，齿轮传动应用如此之广，例子举不胜举，如图所示 12 无论是在天上翱翔的飞机，在广阔的大地上行驶的各种汽车，在浩瀚的大海中行驶的轮船，还是在我们的生活中使用的机器都离不开齿轮，那么齿轮是谁发明的呢？

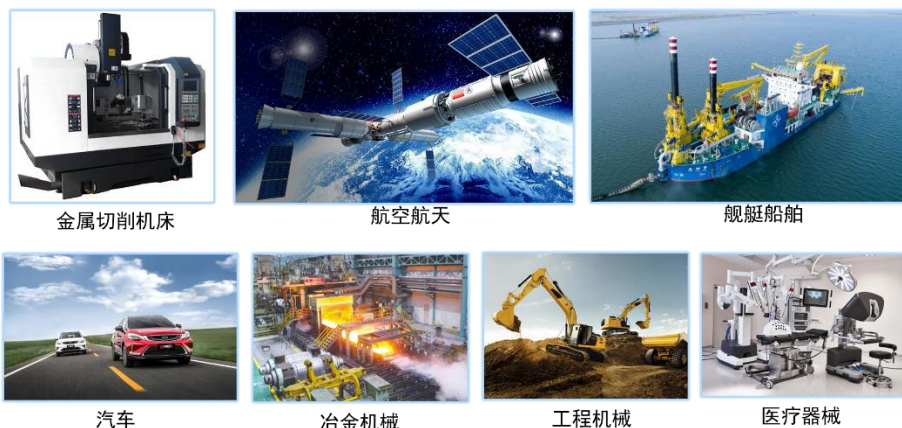


图 12 齿轮的应用

人类对齿轮的使用源远流长，据大量的出土文物和史书记载，我国是世界上应用齿轮最早的国家之一。1956 年，在河北武安午汲古城遗址中，发现了直径约 80mm 的铁齿轮，经研究确定为战国末期到西汉（公元前 3 世纪~公元 24 年）间的制品；1954 年，在山西永济县蘅家崖出土的器物中，有直径为 25mm、40 齿的青铜棘齿轮，经研究确定为秦代至西汉初年（公元前 221 年~公元 24 年）间的遗物；1957 年，陕西长安县红庆村出土了一对直径为 24mm、齿数都为 24 的青铜人字齿轮，据分析系东汉初年（公元 1 世纪）遗物。东汉南阳太守杜诗发明冶铸鼓风用的“水排”，如图 13 所示，其原理是在激流中置一木轮，然后通过轮轴、拉杆等机械传动装置把圆周运动变成直线往复运动，以此达到起闭风箱鼓风的目的，其中应用了齿轮和连杆机构。



图 13 汉南阳太守杜诗发明冶铸鼓风用的“水排”

东汉时，张衡（公元 78~139 年）制作的水运浑象仪用精铜铸成，主体是一个球体模型，代表天球，球体可以绕天轴转动，水运浑象仪原理如图 14 所示。

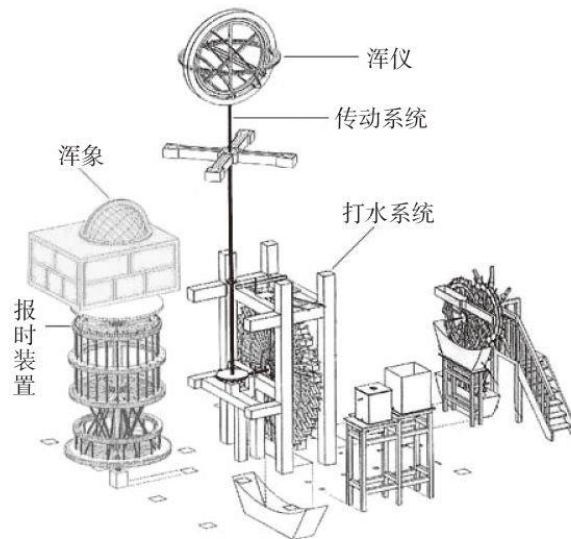


图 14 水运浑象仪原理

公元 220~230 年三国时出现的记里鼓车，如图 15 所示，已有一套减速齿轮系统。

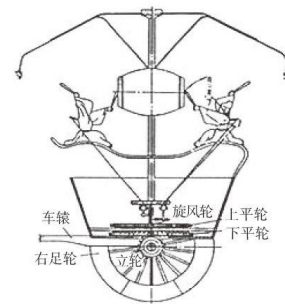


图 15 记里鼓车

马钧（公元 235 年）所制成的指南车，如图 16、图 17 所示，除有齿轮传动外，还有离合装置，说明齿轮系已发展到一定的程度。指南车的发明，标志着我国古代对齿轮系统的应用在当时世界上居于遥遥领先的地位，实际上，它是现代车辆上离合器的先驱。

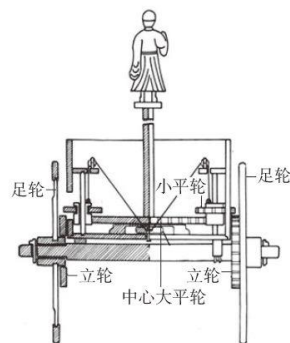


图 16 指南车

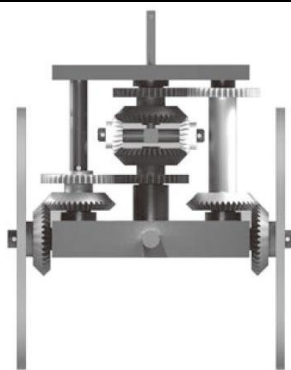


图 17 指南车齿轮传动系统

（公元 265~420 年）晋代的杜预发明水轮驱动的水转连磨，其中应用了齿轮系的原理，如图 18 所示。

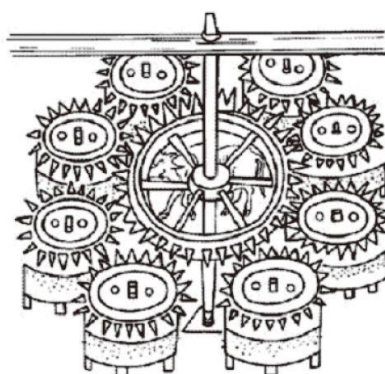


图 18 水转连磨

史书中关于齿轮传动的最早记载，是《新唐书·天文志》中僧一行、梁令瓚在唐开元 13 年（公元 725 年）制造的水运浑仪的描述。《新仪象法要》详细记载了苏颂、韩公廉等人于北宋元祐 3 年（公元 1088 年）制造的水运仪象台，该台规模巨大，已有了一套比较复杂的齿轮传动系统，如图 19 所示。

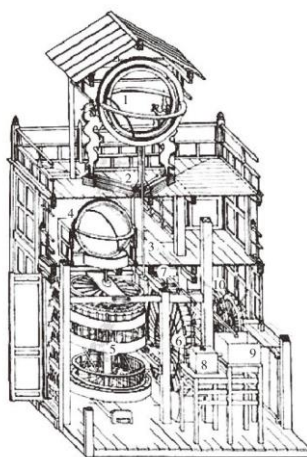


图 19 水运仪象台结构

北宋元祐元年（公元 1086 年），朝廷批准了苏颂制造水运仪象台的报告，他向朝廷推荐精通数学运算和天文学的韩公廉等人共同研制。北宋元祐三年（公

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>元 1088 年) 5 月, 苏颂制成了全部仪器的小木样。</p> <p><b>思政点 1: 科学精神与创新意识</b></p> <p>技术创新与应用拓展: 齿轮传动从简单的机械表走针传动, 到风扇摇头机构、行星搅拌机传动机构、汽车变速器、车床主轴传动系统等在不同领域的广泛且多样化应用, 展现了人类对齿轮传动技术不断创新拓展的过程。例如, 汽车变速器通过巧妙设计的齿轮组合实现变速、变矩和改变旋转方向, 满足了汽车复杂的行驶需求; 行星搅拌机利用行星齿轮传动实现多种功能, 结构紧凑合理。这启示学生在学习和研究中, 要善于从基础技术出发, 不断探索创新, 拓展其应用边界, 培养创新思维和解决实际问题的能力。</p> <p>科学探索的持续性: 从古代我国发明创造各种齿轮应用, 到现代齿轮传动在众多复杂机械系统中的精密运用, 体现了人类对齿轮传动技术科学探索的持续性。如从东汉杜诗的“水排”到北宋水运仪象台复杂齿轮传动系统的发展, 各个时期都有对齿轮传动技术的改进和创新。这激励学生在追求科学知识的道路上, 要有持之以恒的精神, 不断深入钻研, 推动技术的持续进步。</p> <p><b>思政点 2: 民族自豪感与文化自信</b></p> <p>古代科技成就彰显: 我国是世界上应用齿轮最早的国家之一, 拥有众多考古发现和历史记载为证。如战国末期到西汉的铁齿轮、秦代至西汉初年的青铜棘齿轮、东汉初年的青铜人字齿轮等。古代诸多发明如东汉杜诗的“水排”、张衡的水运浑象仪、三国时期的记里鼓车和指南车、晋代杜预的水转连磨、唐代水运浑仪、北宋水运仪象台等, 都广泛应用了齿轮传动技术, 且在当时处于世界领先水平。这些辉煌成就展示了中国古代劳动人民的智慧和创造力, 能够极大地增强学生的民族自豪感和文化自信。</p> <p>文化传承与科技发展: 中国古代齿轮传动技术从早期简单应用不断发展演变, 历经各个朝代传承至今, 体现了中华民族对科技文化的传承精神。这种传承不仅是技术的延续, 更是创新精神的传承。从古代先辈们的发明创造到现代科技工作者对齿轮传动技术的进一步发展, 让学生明白文化传承在科技进步中的重要性, 激励他们传承和弘扬中华优秀传统文化, 将传统文化中的创新基因融入现代学习和科研中, 为推动科技发展贡献力量。</p> |
| 分析评价 | <p>这一案例蕴含了丰富的课程思政元素, 通过详细的描述齿轮机构在生活与生产实际中的具体应用, 随着科学与技术的发展, 齿轮从古代齿轮到现在齿轮的发展与应用, 不仅体现了人类不断探索创新的科学精神, 同时也体现了中华民族对科技文化的传承精神。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-023                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例标题 | 从双人字齿轮车标演变看：淬炼创新精神，传承坚韧执着匠心                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例来源 | 百度 <a href="https://www.autohome.com.cn/culture/201407/825608.html">https://www.autohome.com.cn/culture/201407/825608.html</a>                                                                                                                                                                       |
| 内容简介 | <p>本案例是一个关于雪铁龙汽车发展演变的故事，学生可以在了解雪铁龙汽车发展和车标演变的过程中，对齿轮产生感性的认识。同时，这个故事中蕴含了丰富的课程思政元素，比如一战时，安德烈·雪铁龙建厂生产炮弹，彰显家国情怀与担当。他在技术上成功研制双人字齿轮、推出首款前置前驱轿车，营销上创意十足，体现创新精神。米其林接手后重质量，诠释工匠精神。安德烈·雪铁龙创业历经坎坷却始终坚持，展现坚韧与执着。1931 年开启的“东方之旅”，则凸显国际视野与合作交流，这些精神都能在不同方面引导学生成长。</p>                                               |
| 关键词  | 齿轮；人字齿；雪铁龙；安德烈·雪铁龙                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 编写时间 | 2025-2-15                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 育人主题 | 创新精神与工匠精神                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 素材长度 | 2823                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例正文 | <p>第一次工业革命之后，欧洲迎来了机械化生产突飞猛进的时代，安德烈·雪铁龙（A.Citroen）乘着这股浪潮创办了雪铁龙汽车厂并推出了 Type A 型车。此后，雪铁龙凭借 Traction Avant、2CV 和 DS 系列车型逐渐享誉全球。提到雪铁龙，你首先想到的是其双人字车标，今天就让我们简单了解下雪铁龙的发展历程和其车标的演变史。</p> <p>家境优越的安德烈·雪铁龙以优异的成绩毕业于巴黎综合理工大学，1905 年，27 岁的安德烈·雪铁龙在去波兰旅行的途中购买了人字形齿轮在欧洲的专利权，成功研制出双人字形齿轮后，安德烈·雪铁龙创办了一家以生产人字形齿轮为主</p> |

的雪铁龙齿轮厂，很快产品开始在欧洲热销。然而仅生产齿轮并不能令他满足，当时红极一时的 Mors 汽车公司因管理不善正面临倒闭，安德烈·雪铁龙接手公司并在短短一年内使其扭亏为盈。此后，安德烈·雪铁龙远赴美国福特汽车公司的底特律工厂进行参观，福特工厂的规模和生产效率让他惊讶不已。



安德烈·雪铁龙在1905年的一次旅行中购买了人字形齿轮欧洲的专利权，回国后便创立了雪铁龙齿轮厂。雪铁龙齿轮热销后，他便动身前往美国参观福特工厂，随即便浮现出生产汽车的念头。

第一次世界大战爆发后，安德烈·雪铁龙在塞纳河畔的 Javel 地区建厂开始生产炮弹，通过生产军火，企业规模迅速扩大，但他知道战争迟早是要结束的，战前参观福特工厂令他记忆犹新，在法国复制福特 T 型车的神话是他梦寐以求的事。1916 年，安德烈·雪铁龙召集了一支工程师团队开始着手研发并以福特工厂流水线的方式生产汽车，雪铁龙首辆轿车 Type A 于 1919 年正式面世。雪铁龙 Type A 搭载 1.3 升直列四缸发动机，最大功率 10 马力，配备 3 速手动变速箱，最高时速 65km/h。雪铁龙 Type A 的水箱盖上带有雪铁龙汽车极其简单的品牌标识，椭圆形内含有双人字形图案，取自安德烈·雪铁龙创业时所生产的双人字形齿轮，寓意简单而又耐人寻味。



1920 年，雪铁龙汽车首次参加法国勒芒汽车节油大赛，最终夺得了最佳经济

性能奖，如此成绩拉动了雪铁龙汽车的销量。此后，基于 Type A 所衍生出的多款车型相继问世。1921 年，Type B 取代了 Type A，其中由著名车身设计师亨利·拉布迪特操刀设计的 Type B2 Caddy Sport 因拥有赛艇式车尾造型而深受消费者喜爱。与此同时，新的雪铁龙品牌标识出现在了 Type B 车型上，新标识在原先品牌标识的基础上加入了多边形外框，使雪铁龙标识更为饱满立体。1925 年，全钢板车身的雪铁龙 B10 问世后，钢木结合车身正式退出了雪铁龙的历史舞台。



对于安德烈·雪铁龙来说，双人字形标识必须要做到深入人心，早在雪铁龙第一辆汽车正式下线前，雪铁龙广告部便已正式成立，起初安德烈·雪铁龙培训专业广告人员宣传自己工厂生产的炮弹，此后各大报刊杂志上都能见到双人字形标志。1920 年初，安德烈·雪铁龙发现国家和地区公路两旁的路牌大多都在一战中被损坏，极具商业头脑的他决定出资捐献一批带有雪铁龙标识的蓝黄底路牌。一时间，椭圆形和八角形的搪瓷路牌充斥着整个法国的大街小巷，路牌上不仅标注了雪铁龙公司捐赠，有些还带有雪铁龙经销商的信息。

1921年生产的雪铁龙Type B取代了原先的Type A，其中著名的Type B2 Caddy Sport因其赛艇式车尾设计广受消费者青睐，经过改进的八角形双人字标识也出现在Type B系列车型上。



此后，安德烈·雪铁龙甚至租下了朝向 Trocadero 广场的埃菲尔铁塔整个北塔面，用 20 万个霓虹灯在埃菲尔铁塔上组成了“CITROEN”字样，此后的 10 年里，雪铁龙的品牌名称与埃菲尔铁塔一同点亮了巴黎的夜空。安德烈·雪铁龙在营销方面的过人之处不仅限于此，为了证明雪铁龙汽车的性能和可靠性，雪铁龙开始了首次探险之旅。一队雪铁龙 B2 履带式汽车先后于 1922 年和 1924 年开始了穿越撒哈拉沙漠和非洲大陆的征程。



为了巩固雪铁龙在人们心中的形象，安德烈·雪铁龙索性租下了埃菲尔铁塔北边的塔面，利用 20 万个霓虹灯在埃菲尔铁塔上组成了“CITROEN”的字样，在此后的 10 年间点亮了巴黎的夜空。为了证明雪铁龙过硬的品质，雪铁龙 B2 履带式汽车在 1922 年和 1924 年先后完成了穿越撒哈拉沙漠和非洲大陆的壮举。

为了推广 C4 和 C6 系列车型，雪铁龙在 1931 年开启了著名的“东方之旅”征程，车队驾驶 C4F 履带车从黎巴嫩贝鲁特出发，途经伊拉克、阿富汗等地，跨越喜马拉雅山、穿越戈壁，历经长达 10 个月的征程，行驶 12000 公里之后终于在 1932 年 2 月抵达了北京，此行也成为世界汽车发展史上惊人的壮举，也为雪铁龙汽车在中国的发展奠定了基础。“东方之旅”结束后 C4 和 C6 系列车型相继停产，雪铁龙推出了 8CV、10CV 和 15CV，三款车型分别搭载 1.5 升、1.8 升和 2.7 升

发动机，该系列车型被人们统称为 Rosalie。



起初，8CV 车身上并没有雪铁龙标识，直到 1932 年底，该车进气格栅才出现了雪铁龙的双人字标识。为了在与众多对手的竞争中脱颖而出，雪铁龙索性将双人字图案直接融入到进气格栅上，如此一来，人们便能很轻易地在车流中找到雪铁龙汽车。虽然雪铁龙品牌逐渐成熟，但安德烈·雪铁龙无法依靠 Rosalie 系列车型挽救深陷财务危机的雪铁龙公司，1934 年，雪铁龙 Rosalie 相继推出市场，安德烈·雪铁龙将全部希望寄托在了一款革命性的车型上。



1934 年，雪铁龙推出了世界上首款前置前驱轿车 Traction Avant，由于特点鲜明，该车索性直接被命名为“前轮驱动”。Traction Avant 的推出再次让雪铁龙成为万众瞩目的焦点，该车也引领了全球汽车产业的新变革。雪铁龙 Traction Avant 采用承载式车身及独立前悬架，大大提升了操控稳定性和舒适性。Traction Avant 最初搭载一台 1.3 升直列四缸发动机，最大功率 32 马力，配备 3 速手动变速箱，最高时速 95km/h。此后，Traction Avant 陆续推出了搭载 1.5 升、1.6 升、1.9 升发动机的改良车型。



雪铁龙 Traction Avant 的出现再次美化了双人字形格栅，镀铬材质的应用使得进气格栅上的双人字形更为立体醒目。安德烈·雪铁龙一直梦想着推出一款高端豪华车，随着 Traction Avant 11CV 逐渐成熟后，安德烈·雪铁龙在 1934 年的巴黎车展上推出了搭载 3.8 升 V8 发动机的 Traction Avant 22CV，然而该车推出几周之后，雪铁龙公司陷入财务危机，这款本该大批量生产的车型在雪铁龙公司主要债权人爱德华·米其林宣布收购雪铁龙之后停产，最终该车仅生产了约 20 辆。



与此同时，安德烈·雪铁龙发现其产品商用车市场中的竞争力显得极为薄弱，经过详尽的市场调研后，公司决定生产一款拥有平头驾驶室、可站立在车内，靠近人行道一侧装有侧滑门以方便装卸货物的商用车，满足以上条件的雪铁龙首款商用车 TUB 于 1939 年正式上市。该车搭载 1.6 升直列四缸 35 马力发动机，配备 3 速手动变速箱，最高时速 90km/h。由于二战的爆发，该车销量还不足 2000

台，二战结束后，人们对商用车的需求极度高涨，得益于战前 TUB 的研发，雪铁龙迅速推出了基于雪铁龙 TUB 和 Traction Avant 基础上开发的 TUC-H 型商用车。TUC-H 一经推出便迅速红遍法国及欧洲市场，其以强大的实用性和奇特的造型深受消费者喜爱，车头方鼻子上的双人字形雪铁龙标识虽不及 Traction Avant 上的精致，但行驶在街头也为雪铁龙赚足了眼球。



公司创始人安德烈·雪铁龙被董事会扫地出门，身心交瘁且长期患病的他最终于 1935 年 7 月去世，法国汽车工业史上的一颗巨星陨落。值得庆幸的是，米其林接手后的雪铁龙公司从原来的重视产量转变为注重产品质量，Traction Avant 11CV 的热销给雪铁龙带来了巨大的利润与荣耀，这也是对雪铁龙汽车先驱者安德烈·雪铁龙先生极富创新精神的一种肯定。1938 年，雪铁龙发布了比 11CV 更为高端的 Traction Avant 15-Six，该车搭载 2.9 升直列六缸发动机，采用前盘后鼓制动系统，最高时速 130km/h。

二战使得民用汽车全部停产，直到 1946 年雪铁龙 Traction Avant 15-Six 才恢复生产，1947 年推出的改良型 15-Six D 的进气格栅全部经过镀铬处理，且双人字形造型向外突出，该车以良好的操控性和卓越的性能将竞争对手远远甩在身后，作为雪铁龙当时的旗舰车型，Traction Avant 15-Six 远销欧洲及海外市场，同时成为法国总统等政界人士的专属座驾，1954 年，雪铁龙推出了 Traction Avant 15-Six H 高端车型，其首次安装了液压气动式后悬架，此举也是为下一款雪铁龙经典车型的研发做准备。1955 年，雪铁龙在 15-Six 的底盘基础上打造了两辆戴高乐将军的御用座驾，其中一台的进气格栅上首次出现了简化的双人字形标识。



### 思政点 1：创新精神

安德烈·雪铁龙成功研制出双人字形齿轮，创办雪铁龙齿轮厂。后来又推出世界上首款前置前驱轿车 **Traction Avant**，采用承载式车身及独立前悬架等创新技术，大大提升了操控稳定性和舒适性。这启示学生要敢于创新，勇于突破传统，以创新推动行业和社会的发展。

安德烈·雪铁龙在营销方面极具创新意识，如出资捐献带有雪铁龙标识的蓝黄底路牌、用霓虹灯在埃菲尔铁塔上组成“CITROEN”字样、组织汽车探险之旅等。这告诉学生在学习和工作中，要善于创新思维，不拘一格，用独特的方式解决问题和实现目标。

### 思政点 2：工匠精神

米其林接手后的雪铁龙公司从原来的重视产量转变为注重产品质量，使得 **Traction Avant 11CV** 等车型凭借良好的品质获得了市场的认可和巨大的利润。这体现了对产品质量精益求精的工匠精神，教导学生无论做什么事情，都要注重品质，追求卓越，以严谨的态度对待工作和学习。

### 思政点 3：坚韧与执着

安德烈·雪铁龙在创业过程中面临诸多困难，如接手濒临倒闭的 **Mors** 汽车公司，在财务危机中坚持推出创新车型等，但他始终没有放弃，一直为实现自己的汽车梦想而努力。这种坚韧不拔、执着追求的精神可以激励学生在面对困难和挫折时，不轻易放弃，要有坚定的信念和顽强的毅力去克服困难，实现自己的目标。

### 思政点 4：国际视野与合作交流

1931 年雪铁龙开启“东方之旅”，车队驾驶 **C4F** 履带车从黎巴嫩贝鲁特出发，历经 10 个月，行驶 12000 公里抵达北京。这一壮举不仅展示了雪铁龙汽车的性能，还促进了不同国家和地区之间的文化交流和汽车技术的传播，体现了一种国际视野和开放合作的精神，引导学生要具有全球视野，积极参与国际交流与

|          |                                                                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | 合作，促进不同文化和技术的融合与发展。                                                                                            |
| 分析<br>评价 | 雪铁龙的发展历程蕴含着丰富的课程思政元素。通过了解雪铁龙的发展历程不仅可以让学生对齿轮有感性的认识，同时引导学生感受学习安德烈·雪铁龙的创新精神和工匠精神，领悟安德烈·雪铁龙创业历经坎坷却始终坚持不放弃的坚韧与执着品质。 |
| 评价<br>者  | 、教授 商洛学院                                                                                                       |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-024                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例标题 | 探索渐开线齿轮啮合特性：弘扬科学精神，培育创新思维                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 内容简介 | 本案例通过讲解渐开线齿轮啮合特性中融入渐开线的产生，渐开线作为齿轮齿廓曲线，最早是法国学者海尔提出来，后经过欧拉、萨瓦里等学者们经过长期研究，渐开线齿轮的优越性逐渐为人们所认识，最后，在生产中，渐开线齿轮逐步取代了摆线齿轮，应用日趋广泛，能够激励和培养学生的创新思维与实践能力。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 关键词  | 渐开线齿轮；渐开线                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编写时间 | 2025-2-16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 育人主题 | 科学精神和创新意识                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 素材长度 | 1242                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例正文 | <p>渐开线是一个数学概念，其定义为：将一个圆轴固定在一个平面上，轴上缠线，拉紧一个线头，让该线绕圆轴运动且始终与圆轴相切，那么线上的一个定点在该平面上的轨迹就是渐开线，如图 1 所示。渐开线圆柱齿轮是齿轮中的一种。齿轮的齿形由渐开线和过渡线组成时，便被称为渐开线齿轮，如图 2 所示。</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>AK曲线—渐开线</p> <p>BK曲线—发生线</p> <p><math>r_b</math>—基圆半径</p> <p><math>r_k</math>—向径</p> <p><math>\theta_k</math>—展角</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>图 1 渐开线</p> </div> <div style="margin-left: 20px;"> </div> </div> |

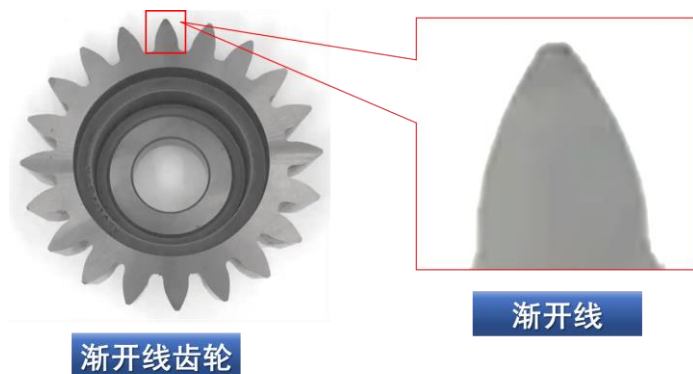
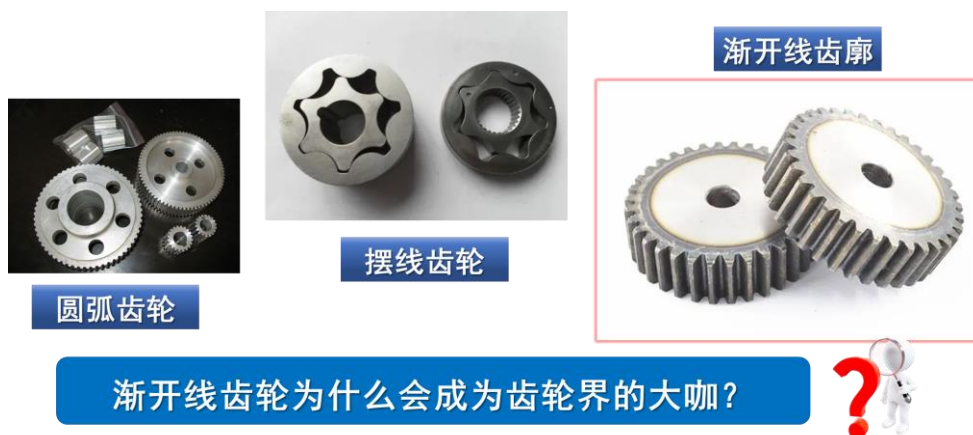


图 2 渐开线齿轮

用渐开线作为齿轮齿廓曲线，最早是法国学者海尔于 1694 年在一次以“摆线论”为题的演讲中提出来的。1767 年，瑞士数学家欧拉在不知道海尔和卡米的研究成果的情况下，独自对齿廓进行了解析研究，他认为把渐开线作为齿轮的齿廓曲线是合适的，故欧拉是渐开线齿廓的真正开拓者。后来萨瓦里进一步完善了这一理论解析方法，成为现在研究齿廓时广泛采用的 Euler-Savary 方程式。1837 年，英国威利斯指出，当中心距变化时，渐开线齿轮具有角速比不变的优点，威利斯创造了制造渐开线齿轮的简单方法。后来渐开线齿轮的优越性逐渐为人们所认识，最后，在生产中，渐开线齿轮逐步取代了摆线齿轮，应用日趋广泛。



1900 年，普福特首创了万能滚齿机，用范成法切制齿轮占据压倒性优势，渐开线齿轮在全世界逐渐占统治地位。在齿轮的工作过程中，两齿轮的啮合点随时间变化也在变化，在这个变化中转动距离发生了变化，如果采用圆的曲线（不是渐开线，圆弧的），就会出现瞬时转动速度的变化，产生速度的脉动性（瞬时速度不等）。渐开线齿轮在传递运动过程中能够实现定比传动、中心距可分以及啮合角不变等特点而被广泛应用，如图 2 所示。

### 渐开线齿轮啮合特性

1. 满足齿廓啮合基本定律，可实现定比传动

2. 中心距的可分性：传动比不变

3. 啮合角不变： $N_1-N_2$ 线，五线合一，啮合时传力方向不变

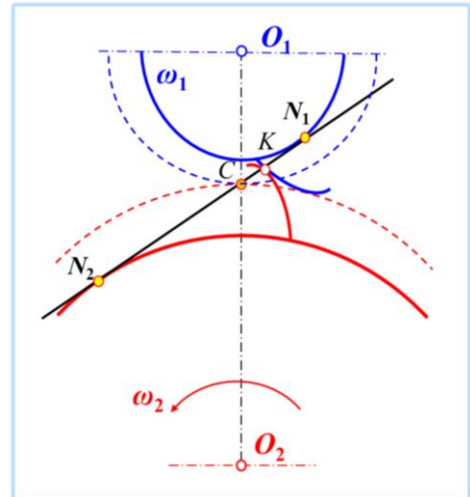


图 2 渐开线齿轮的特点

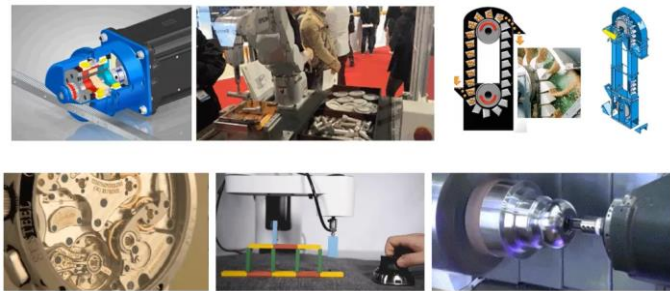
1) 满足齿廓啮合基本定律，能实现定比传动，提高工作精度，减少附加动载荷、振动和噪声；2) 实际装配中，中心距略有变化并不改变  $i_{12}$ ，这一特性称为中心距的可分性，有利于齿轮的加工与安装；3) 齿轮啮合时啮合角不变，齿轮啮合时传力方向不变，能够提高机器运行的平稳性。

整个 20 世纪，渐开线齿轮在机械传动装置中占据统治地位。1907 年，英国人弗兰克·哈姆·菲利斯最早发表了圆弧齿形。20 世纪 50 年代，出现了点啮合的圆弧齿轮，主要适用于高速重载场合。摆线齿轮除在钟表方面继续采用外，在摆线针轮行星减速器方面也取得了新的进展。为了满足工业发展的要求，目前又出现了阿基米德螺旋线齿轮、抛物线齿轮、准双曲面齿轮、椭圆齿轮、综合曲线齿轮、无名曲线齿轮等，而渐开线齿轮本身亦在不断地改进（如变位、修缘、修形等）。所有这些齿形，为了适应各种不同的要求，亦在不断地改进，而新的齿形亦在不断地产生。各种齿形并存，并相互渗透，有朝一日，有可能会出现一种能适应各种不同要求、吸取各种齿形优点的新型齿形。人类在几千年的生产劳作过程中积累了丰富的经验，发明了齿轮，大大提升了生产力。古代所使用的原始齿轮装置中所见的齿轮，都是木工手工制造的，齿形和齿距都未考虑。到了中世纪，随着水利、风力、畜力的利用，出现了传递力相当大的齿轮。18 世纪以前，虽没有理论上的正确齿形，但已能考虑齿距，凭经验制造出能正确传递旋转运动的齿轮。到了 18 世纪，随着以蒸汽机的发明为标志的工业革命的到来，科学引领使齿轮技术得到了高速发展。

#### 思政点：科学精神与创新意识

从 1694 年法国学者海尔提出用渐开线作为齿轮齿廓曲线，到 1767 年瑞士数学家欧拉的独立解析研究，再到萨瓦里完善理论解析方法，以及后续威利斯发现渐开线齿轮中心距变化时角速比不变的优点并创造制造方法，这一系列过程展

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>示了科学家们在理论研究上的不断探索与创新。他们不满足于现有认知，勇于突破，为渐开线齿轮的发展奠定了坚实基础。这种精神激励学生在学习和科研中，要敢于质疑、勇于创新，不断追求真理，探索未知领域。</p> <p>1900 年普福特首创万能滚齿机，使范成法切制齿轮占据主导地位，推动渐开线齿轮在全世界广泛应用。这一技术革新极大地提高了齿轮制造效率和精度，体现了技术创新对行业发展的巨大推动作用。同时，随着工业发展需求，各种新型齿形不断涌现，如圆弧齿轮、阿基米德螺旋线齿轮等，以及渐开线齿轮自身的改进（变位、修缘、修形等），都表明创新是推动科技进步的核心动力。教育学生在未来的学习和工作中，要注重培养创新思维和实践能力，通过技术创新解决实际问题，推动行业和社会的发展。</p> |
| 分析评价 | <p>从 1694 年海尔提出渐开线作齿轮齿廓曲线起，历经欧拉研究、萨瓦里完善理论及威利斯发现优点并创造制造方法，科学家们不断探索创新，为渐开线齿轮发展奠基。1900 年普福特首创万能滚齿机推动其广泛应用，且随着工业发展，新型齿形涌现、渐开线齿轮自身改进，这些都彰显创新是科技进步核心动力。这一案例能够激励学生培养创新思维与实践能力，以创新推动行业和社会发展。</p>                                                                                                                                                         |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-025                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 案例标题 | 解锁齿轮传动在减速器的创新应用：厚植爱国情怀，驱动科学创新                                                                                                                                                                                                                                               |
| 案例来源 | 燕山大学机械工程学院—听 TA 说 133 期                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 内容简介 | 本案例引用燕山大学机械工程学院·听 TA 说 133 期，主要通过讲述齿轮传动在减速器中的应用，了解减速器的发展和应用，鼓励学生积极响应号召，关注国家科技发展中的“卡脖子”问题，以实际行动践行科技报国的理想，为实现建设世界科技强国的目标努力奋斗。                                                                                                                                                 |
| 关键词  | 齿轮；减速器                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 编写时间 | 2025-2-17                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 育人主题 | 责任担当与科技创新                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 素材长度 | 2623                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例正文 | <p>减速器是在原动机和工作机之间起匹配转速、传递转矩、改变运动方向的作用，在现代机器中应用广泛。首先要认识机械装备最核心的三大部件——驱动器、控制器、减速器。课程设计中，你们将会遇到三种二级减速器设计方案，即二级圆柱齿轮减速器，二级圆锥-圆柱齿轮减速器，二级蜗杆-齿轮减速器。</p> <p><b>减速器的应用</b></p>  <p>图 1 减速器的应用</p> |

在减速器中，其核心传动零件为齿轮传动。齿轮传动在工业产品中应用非常广泛，关系着国家的工业命脉，大到航天飞机，小到手表玩具，可以说无处不在。齿轮传动是个庞大的家族，拥有的类型很多，不同类型齿轮传动又各具特点。齿轮传动类型和形式直接决定了减速器特性及应用范围。根据齿轮轴线布置方式可以分为平行轴齿轮传动，相交轴齿轮传动和交错轴齿轮传动。首先，我们介绍几种常见的齿轮传动类来说明其特点。

直齿圆柱齿轮是实际生产使用中最常见齿轮之一，其齿面上的接触线是与齿轮轴线平行的直线。由于轮齿沿着整个齿宽同时进入啮合或退出啮合，易引起冲击和噪声，传动平稳性相对差，但易于加工和实现高精度。两种啮合形式中外啮合两齿轮转动方向相反，内啮合（齿圈与齿轮）两齿轮转动方向相同。

斜齿轮是具有螺旋齿线的圆柱齿轮。齿轮的接触线是与轴线夹角为  $\beta$  的斜直线，轮齿从开始啮合到脱离啮合是逐渐从一端过渡到另一端，故传动平稳，噪声小。这种啮合方式也减小了齿轮制造误差对传动的影响，可以传递更高的负载，适用于高速场合。一对斜齿轮啮合时，其中一个齿轮为左旋，则另一个齿轮为右旋。平行轴两斜齿轮螺旋角  $\beta_1$  与  $\beta_2$  之和为 0，如果  $\beta_1$  与  $\beta_2$  之和不为 0，则形成了交错轴斜齿轮传动。

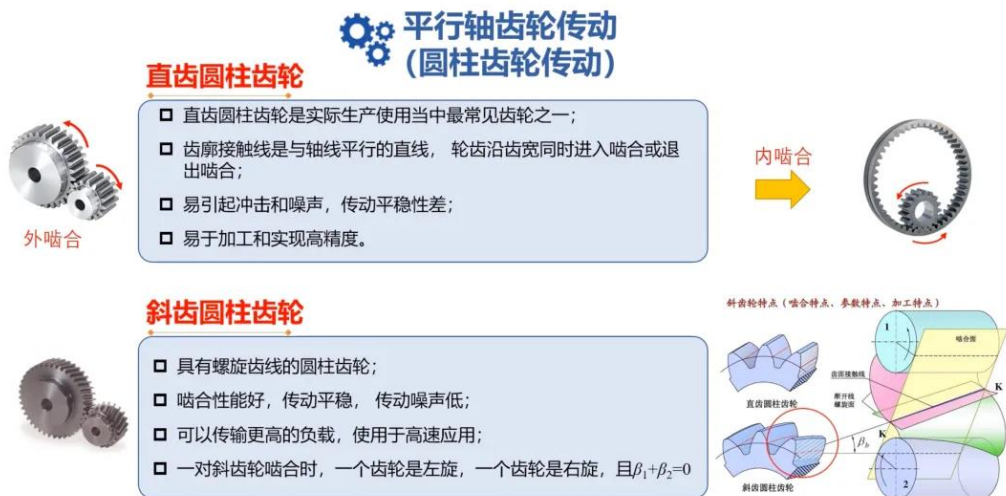


图 2 直齿圆柱齿轮和斜齿圆柱齿轮

斜齿轮传动会产生轴向力，为消除轴向力对轴系的影响，把一个齿轮做成对称方向相反的斜齿轮，来消除轴向力，齿形看上去像个人字。人字齿轮制造困难，加工成本高，但具有传动功率大、可靠性高、精度高和承载能力强等优点，在航空航天、船舶等重型机械领域发挥着重要作用。

齿轮齿条传动是由齿轮和齿条构成的。齿条的齿廓为直线，相当于分度圆半径为无穷大圆柱齿轮，其工作原理是将齿轮的回转运动转变为齿条的往复直线运动，或将齿条的往复直线运动转变为齿轮的回转运动。例如，汽车转向系统是由

齿轮齿条传动实现的。

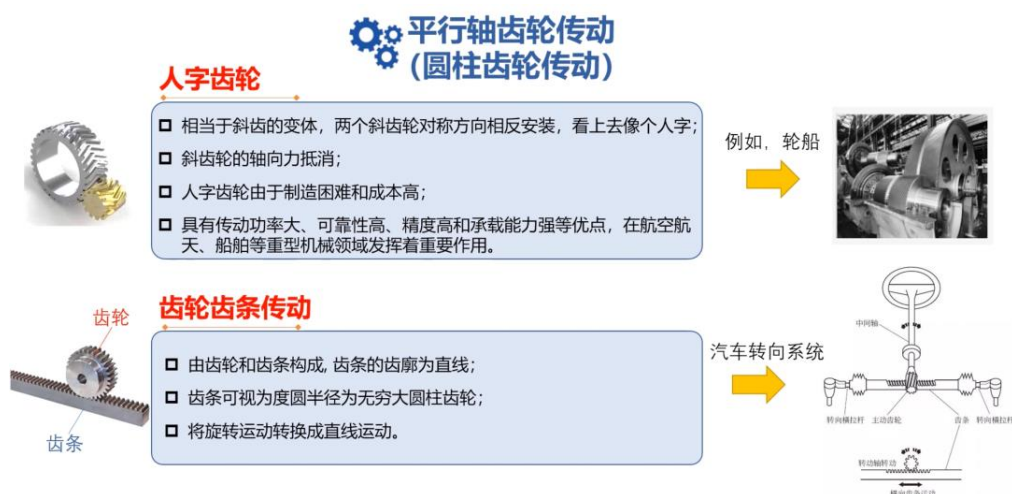


图 3 人字齿轮和齿轮齿条

锥齿轮用于两相交轴之间的齿轮传动，可以改变输出轴的方向，锥齿轮有一个圆锥体作为其节面，轮齿沿圆锥体切割，锥齿轮有直齿、斜齿和曲齿之分，直齿最为常用，斜齿已逐渐被曲齿取代。轴交角可为任意角度，最常用的轴交角为  $90^\circ$ ，直齿锥齿轮的制造精度较低，工作时振动和噪声较大，故圆周速度不宜过高。

蜗杆传动用于传递交错轴之间的回转运动，交错角通常为  $90^\circ$ 。与圆柱齿轮传动比，效率较低，适合低功率，传动比范围可以达 8-100，并可以实现自锁。由于蜗杆齿是连续不断的螺旋齿，同时啮合齿对较多，故冲击载荷小，传动平稳，噪声低。

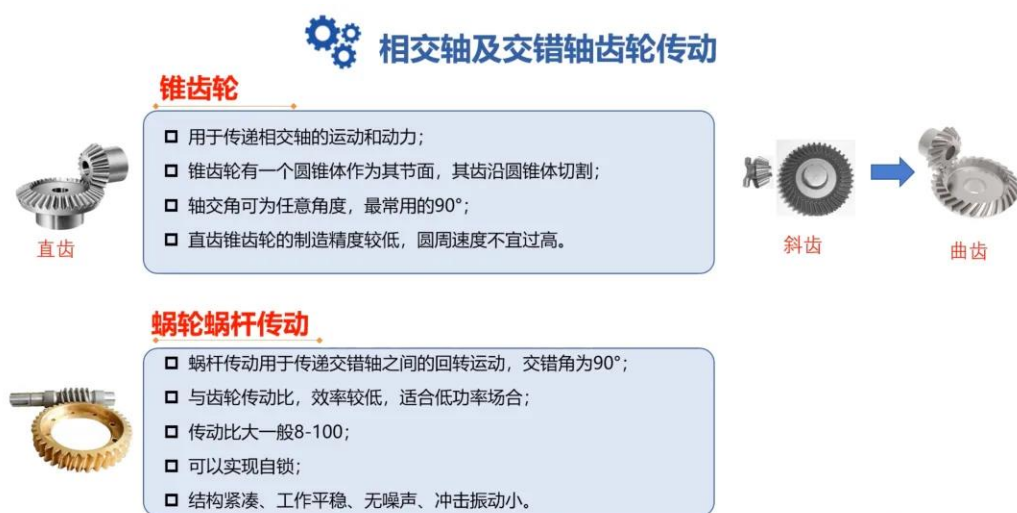


图 4 锥齿轮和蜗轮蜗杆

其实齿轮减速器已经有很长的应用历史，目前技术成熟并已标准化。随着工业技术产业的发展需求，如航空航天、新能源、机器人和医疗器械等，所以对减速器提出了新的要求，主要表现在结构简单紧凑，传动链短、传递功率大、噪声

低、传动平稳，并具有较高运行精度。如今已经是工业社会的年代，现代机器设备也日益完善，减速器的需求量有增无减，这也给减速器提供了很大的舞台，这也就对同学们对其理解和研究提出了更高的要求。那么，还有那些形式齿轮传动可以满足上述要求呢？

随着工业技术产业的发展需求，如航空航天、新能源、机器人和医疗器械等，人们对减速器提出了新的要求需要**结构简单紧凑、传动链短、传递功率大、噪声低、传动平稳的高性能精密减速器**。



### 还有哪些齿轮传动形式可以满足上述要求呢？

行星齿轮传动同学们在机械原理课程中已经学习过，行星齿轮减速器包括：行星轮、太阳轮和外齿圈。行星减速器体积小、重量轻，承载能力高，使用寿命长、运转平稳，噪声低。具有功率分流、多齿啮合的特性。适用于建筑机械、轻工纺织、医疗器械、仪器仪表、汽车、船舶和航空航天等领域。

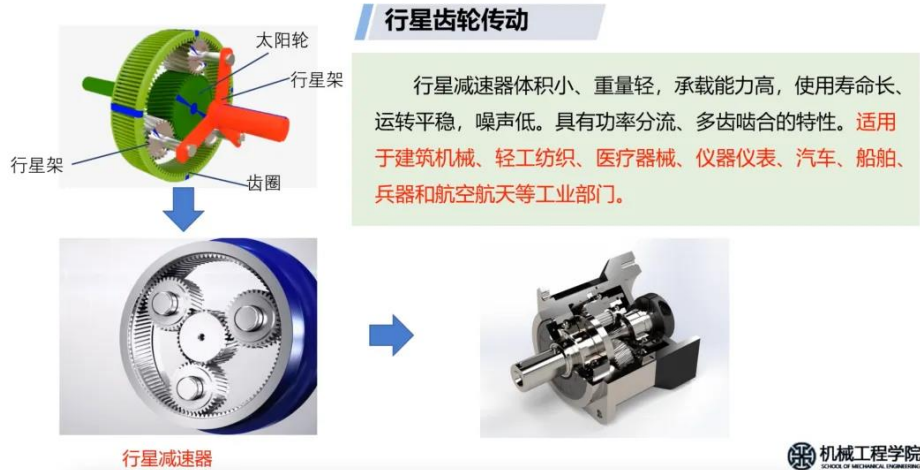
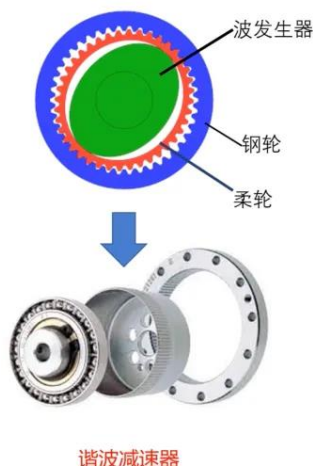


图 5 行星齿轮减速器

通过具有柔性的薄壁外齿齿轮产生弹性变形后与刚性的内齿轮进行内啮合来实现传动的。它由刚轮、柔轮，波发生器三大传动元件组成。谐波减速器传动比大，无回差，结构紧凑和重量轻，高精度等优点在机器人及自动化技术领域发挥举足轻重的作用，我国自 1980 年开始进行谐波减速器标准化和系列化；1985 年制定了中小功率通用谐波减速器系列标准，成为世界第四个拥有通用谐波减速标准的国家。

## 谐波齿轮传动



谐波齿轮是一种机械齿轮系统，它使用带外齿的柔轮，通过旋转波发生器变形以与刚轮的内齿轮啮合。与行星齿轮等传统齿轮系统相比，谐波减速器优势有

- 无回差，结构紧凑和重量轻，高传动比。
- 高扭矩能力，同轴输入和输出轴。
- 高齿轮减速比在小体积中是可能的（在行星齿轮通常仅产生 10:1 传动比的相同空间中，传动比从 30:1 到 320:1 是可能的）。
- 谐波减速器通常用于机器人和航空航天。

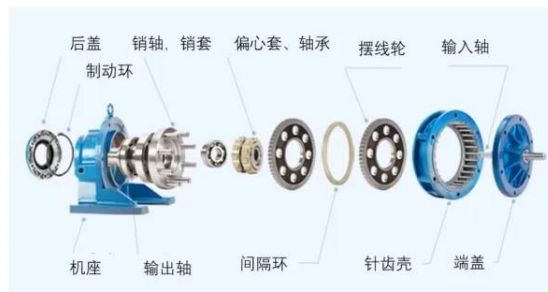
机械工程学院  
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

图 6 谐波齿轮减速器

摆线针轮减速器是一种行星式传动。在输入轴上装有一个错位  $180^\circ$  的双偏心套，在偏心套上装有两个滚柱轴承，形成 H 型机构，两个摆线轮的中心孔即为偏心套上转臂轴承的滚道，并由摆线轮与针齿壳上一组环行排列的针齿销相啮合，以组成少齿差内啮合减速机构。与渐开线齿轮箱不同，摆线针轮减速器具有零背隙和高扭矩能力，同时尺寸紧凑，适合在需要高扭矩，低速，高精度的情况下使用。



## 摆线针轮减速器



摆线针轮减速机是一种应用行星式传动原理，与渐开线齿轮箱不同，摆线驱动器具有零背隙和高扭矩能力，同时尺寸紧凑，适合在需要高扭矩，低速，高精度的情况下使用。

图 7 摆线针轮减速器

RV 减速器是在摆线针轮传动基础上发展起来的，由一个行星齿轮传动的初级和一个摆线针轮传动的后级组成的二级减速机。自 1986 年投入市场以来，因其传动比大、传动效率高、运动精度高、回差小、低振动、刚性大和高可靠性等优点被广泛应用于工业机器人，机床，医疗检测设备，卫星接收系统等领域。不像谐波传动那样随着使用时间增长运动精度就会显著降低，故世界上许多国家高精度机器人传动多采用 RV 减速器，在先进机器人传动中有逐渐取代谐波减速器

的发展趋势。

### RV减速器

RV减速器是在摆线针轮传动基础上发展起来的，具有二级减速和中心圆盘支承结构。自1986年投入市场以来，因其传动比大、传动效率高、运动精度高、回差小、低振动、刚性大和高可靠性等优点是机器人的“御用”减速器。

RV减速器=行星齿轮减速机构+摆线针轮减速机构



图 8 RV 减速器

近年来，我国工业机器人产量和销量出现双增，制造业市场从未像今天这般迫切需要工业机器人。我国已经连续 8 年成为全球最大的工业机器人消费国。从全球来看，日本减速器企业持续在减速器结构、材料、加工制造技术、润滑、降噪和检测方面做了大量提升，取得了行业领先优势，代表企业为纳博特斯克(Nabtesco)、哈默纳科(Harmonic Drive)等。虽然，我国近年来在高端减速器设计、材料、制造、测试、实验评价等技术方面取得了一定突破，但是当前国产机器人使用的 RV 减速器大量从日本进口，中国制造业要转型升级，必须要解决这个“卡脖子”的技术难题。制约我国工业机器人关键部件自主化的核心因素有以下四点。(1) 技术积累时间尚短，产业间融合不足；(2) 部分材料及核心元器件较难满足部件性能需求；(3) 加工设备及工艺落后；(4) 试验检测能力亟待提升等。



习总书记在科学家座谈会发表重要讲话，对科技创新作出坚持“四个面向”的战略部署，鼓励广大科学家和科技工作者不断向科学技术广度和深度进军，吹响了开启建设世界科技强国新征程的号角。同学们你们国家未来建设的主力军和科研工作者，希望你们“早立志，立大志”，关注“卡脖子”问题中的基础理论和关键技术，利用所学知识服务国家区域创新发展，提升行业产业发展核心竞争力。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点 1：爱国情怀与责任担当</b></p> <p>文中指出我国在高端减速器领域面临“卡脖子”难题，国产机器人使用的RV减速器大量依赖从日本进口。这一现状让学生深刻认识到我国制造业在关键技术上的短板，激发学生的爱国情怀和为国家科技发展贡献力量的责任感。激励学生将个人学习与国家需求紧密相连，立志攻克制约我国工业发展的关键技术难题，推动我国制造业转型升级，提升国家在全球制造业中的竞争力。</p> <p>习近平总书记对科技创新作出坚持“四个面向”的战略部署，强调科技创新的重要性。这为学生指明了方向，明确了作为未来国家建设主力军和科研工作者的使命。鼓励学生积极响应号召，关注国家科技发展中的“卡脖子”问题，以实际行动践行科技报国的理想，为实现建设世界科技强国的目标努力奋斗。</p> <p><b>思政点 2：科学精神与创新意识</b></p> <p>从齿轮减速器漫长的应用历史到如今随着工业技术发展不断提出新要求，展示了科技不断进步的过程。不同类型齿轮传动的发展，如渐开线齿轮的完善、各种新型齿形的出现，以及减速器在结构、性能等方面的持续改进，体现了科学家和工程师们不断探索、勇于创新的科学精神。激励学生在学习和研究中，敢于突破传统思维，积极探索新的齿轮传动形式和减速器设计方案，以满足工业发展对减速器日益严苛的要求。</p> <p>面对航空航天、新能源、机器人和医疗器械等行业对减速器在结构紧凑、传动功率大、噪声低等方面的新需求，引导学生思考如何通过创新来解决实际问题。培养学生关注产业需求，以问题为导向开展科研和学习的习惯，提升学生运用所学知识进行技术创新和产品优化的能力，推动行业技术进步。</p> |
| 分析评价 | <p>我国高端减速器领域面临“卡脖子”困境，国产机器人RV减速器依赖进口，这激发学生爱国情怀与责任担当，促使其将个人学习与国家需求相联，响应总书记“四个面向”战略部署，立志攻克关键技术难题，助力我国制造业升级。从齿轮减速器应用史到工业技术发展催生新要求，展现科技进步，不同齿轮传动发展彰显科学创新精神，激励学生突破传统，针对新兴行业对减速器的新需求，以问题为导向创新，提升技术创新与产品优化能力，推动行业进步。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-026                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例标题 | 探寻王立鼎的齿轮征途：厚植家国情怀，弘扬科学家精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例来源 | <a href="https://m.gmw.cn/baijia/2019-11/18/33325855.html">https://m.gmw.cn/baijia/2019-11/18/33325855.html</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 内容简介 | 王立鼎院士在精密机械和微纳机械领域的卓越贡献，推动了我国相关技术的飞速发展。通过他的故事能够激发学生的爱国情怀与责任担当，能够培养学生的科学精神与创新意识，有助于学生认识团队协作与精神传承的重要性。                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 关键词  | 王立鼎院士；齿轮；精密机械                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 编写时间 | 2025-2-17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 育人主题 | 爱国情怀与使命担当 科学家精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材长度 | 6186                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 案例正文 | <p>王立鼎长期从事精密机械和微纳机械方面的研究。在精密齿轮工艺和测试技术方面，近年研制成功 1 级精度基准标准齿轮，居国际领先地位，其科研成果推广到若干单位。1990 年，他组织百名科技人员设计研制出中国第一台光盘伺服槽及预制格式刻划机，达到国际先进水平。1992 年，他组建中国第一个微机械工程研究室，是中国微纳米技术的开拓者之一。他主持的科研项目先后获得科技奖励 20 次，包括国家科技进步二等奖 2 项、国家科技进步三等奖 1 项、全国科学大会奖 1 项。学术专著 2 部，发表学术论文 200 余篇。2019 年，在中国仪器仪表学会 40 周年年会庆典上，获“当代我国仪器仪表与测量控制领域杰出科学家”荣誉称号。</p> <p>“早上五点起床，跑步上班，打开机床预热机器，再跑步回家，洗漱、做饭，七点半正式上班，可以立刻开始工作，不浪费一分钟时间，中午和助手换班吃饭，</p> |

机器不停，办公桌设置在实验室里，随时操作随时记录，晚饭过后继续工作到午夜，再回家休息。”中国科学院院士、精密机械和微纳机械专家王立鼎这样描述他曾经的工作状态。50岁之前，他几乎每天都这样度过；75岁之前，也几乎周末无休。他高度的勤勉和自律，在外人看来甚至到了一种严苛的程度。



“天才出于勤奋，务实才能成功。”王立鼎将这句朴实的话作为自己的人生信条，多少个午夜，他独自一人走在静谧的回家路上，正如科研征途中，那些需要独自闯过的暗夜一般。

心中有理想，脚下才有力量。王立鼎几十年如一日的高强度工作，正因怀揣的科研报国理想始终在心中澎湃。

“我从小就对中国共产党有一种朴素的情感，感谢党让我有了宝贵的读书机会”

国民党统治下的东北地区社会动荡，民不聊生。王立鼎幼年家庭贫困，经常食不果腹，小学二年级因伤寒病休学，病愈复学到五年级后又因贫困辍学。“当时上学不交学费，要交高粱米，家里的高粱米都不够吃，更没有多余的拿去交学费。”王立鼎回忆。

停学在家一年多，王立鼎每天带着妹妹到集市上贩卖家里还算值钱的衣物，有时候能卖点钱换粮食，而更多时是空手而归。寒来暑往，他带着妹妹每天如此，幼小的内心体味着生活的不易。

“我从小就对中国共产党有一种朴素的情感，感谢党让我有了宝贵的读书机会。”王立鼎感慨地说。1948年，辽阳市解放，王立鼎终于等来了复学的机会，坎坷的求学之路让本就生性好强的他倍加用功，本应从五年级读起，他却主动要求直接读六年级，并通过努力在当年的期末考试中拿到了班里的第二名。

除了读书，王立鼎也承担了许多家务劳动，每天上学路上会经过一块菜地，善于观察的他见到农民劳作，总会驻足观看，学习农耕知识，回到家便自己动手将院里的一块空地改造成菜园。播种、收获，自力更生，自给自足，一个少年用自己的力量，帮助父母缓解家庭的经济压力。

由于经济拮据，初中三年，王立鼎成为班里唯一没买过教科书的学生，“我买

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>不起书，就好好做笔记，不买书也照样能学好。”正如他所言，这个没有教科书的学生每年成绩都名列前茅，并以年级第一名的成绩毕了业。</p> <p>如今，王立鼎还保留着 70 年前的笔记，他笑称自己的笔记在当年比教科书更管用。</p> <p>谈及学霸经历，王立鼎说：“人不能有傲气，但不能没有傲骨，要对自己有自信才能把事情做好。”正是这一身傲骨让他在往后几十年的时光里，一路披荆斩棘，屡屡拔得头筹。</p> <p>初中毕业的王立鼎本应继续求学，却再次由于贫困选择了可以更早就业的中专学校。因祖父家的小作坊曾从事榨油、造酒生意，当年还是幼童的王立鼎经常守在窗外观看祖父工厂的机器运转，一站就是几个小时，乐此不疲，显露出异于常人的专注力，也正是从那时起，他开始对机械原理产生浓厚兴趣。到中专报考时，他笃定地选择了位于长春的机械制造学校，从此与机械结缘。</p> <p>那时，新中国提倡科教兴国，免除了大中专学生所有学费、杂费，王立鼎终于不必再为学费发愁，开始安心读书。他功课不仅门门优秀，并且一直是文体骨干，还担任足球队队长，是当时学校里德智体美劳全面发展的典范。</p> <p>王立鼎中专毕业时，恰逢难得的历史机遇，国家出台政策允许优秀中专学生报考大学。经过选拔，包括他在内的 64 人获得报考资格。而最后仅有王立鼎一人成功考取。</p> <p>回首岁月，这一路走来虽然路遇不少曲折，所幸王立鼎一直孜孜以求，终于得以进入大学殿堂。数年后，他能够从事科学事业乃至后来成为中国科学院院士，便都由此发端。</p> <p>“服从国家需要，到祖国最需要的地方去”</p> <p>自新中国成立之初，伴随着“向科学进军”的响亮口号，毛主席的一句话“中国人民有志气有能力，一定要在不远的将来，赶超世界先进水平”，让王立鼎铭记在心，他一生都将这句话作为自己科研之路的前行动力。</p> <p>临近毕业，王立鼎的“毕业志愿书”上只写了这一句话：“服从国家需要，到祖国最需要的地方去！”</p> <p>由于大学时代学习成绩优异，王立鼎在毕业设计时被送到中国科学院长春光学精密机械研究所，以科研题目作毕业论文，这在当时还是一种全新的尝试。他在老师的指导下，作了题为《利用放射性同位素研究齿轮磨损》的论文，并获得优秀。</p> <p>这是王立鼎第一次接触齿轮研究。“齿轮、齿轮又齿轮，这之后我的人生就没有离开过齿轮。”毕业时，王立鼎也因为这篇论文被分配到长春光机所，开始了他的科研工作。</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>“只要国家需要，不管要求多高，我们都要做出来”</p> <p>刚工作不久，王立鼎就接到了一项艰巨的任务。</p> <p>这是一项军工项目，需要研究导弹的弹道轨迹并用光学仪器跟踪敌方飞行物。当时需要 6 级到 5 级精度的齿轮，王立鼎在数日的刻苦攻关后圆满完成了此项任务。同时，他又对自己提出更高要求，产生了研制标准齿轮的想法。</p> <p>标准齿轮是齿轮参数量值传递的实体基准，用于批量生产齿轮的检测、校准齿轮量仪的示值误差，标准齿轮的精度需要比被检测齿轮的精确度还要高两个等级。</p> <p>经过反复尝试，王立鼎通过创立“正弦消减法”提高齿轮磨床的分度精度，建立图表法分析磨齿工艺误差，使分度误差从 50 角秒减小到 13 角秒。</p> <p>毕业仅仅四年，还是助理研究员的王立鼎就研制出了 4 级精度标准齿轮，达到当时国内先进水平。也正因如此，1965 年，他获得了时任中国科学院院长郭沫若亲自签发的中科院优秀科研成果奖。</p> <p>由于王立鼎在精密齿轮领域崭露头角，同年，又有一项更加艰巨的任务找到了他。彼时，国家正在开发一项精密雷达项目，需要更高精度的超精密齿轮，所要求的精度在国内还未曾出现，在国际上也只有位于瑞士的 MAAG（马格）公司能够制作，王立鼎立下誓言：“只要国家需要，不管要求多高，我们都要做出来。”</p> <p>做齿轮需要机床，在只有国产机床的条件下，王立鼎因陋就简，用了一年时间进行改装。1966 年，他通过采用“易位法”磨齿工艺研制成功国内首个超精密齿轮，满足了国家最精密雷达的制作需求。</p> <p>刚刚三十岁出头的王立鼎成为国内公认的超精密齿轮专家，“齿轮王”的美名也不胫而走。</p> <p>1978 年，新中国第一次举办科学奖励大会，王立鼎在十年前研制出的高精度小模数标准齿轮因达到世界先进水平而获全国科学大会奖。</p> <p>虽然多次获奖，但王立鼎在追求卓越的征程上并没有止步，为继续提高机床分度精度，他毅然对分度机构做出了彻底性的改革，将国际上机械结构最高精度的测量装置——端齿分度机构用于自己改装的齿轮机床上，使机床分度精度提高到 1.7 角秒，这一精度是国内外齿轮机床从未达到过的精度，改装后的国产机床成为磨齿母机，分度精度可达 1 级。</p> <p>在此基础上，王立鼎组织研制出 2 级精度中模数标准齿轮，也作为中国计量科学研究院的国家级齿轮实体标准，用作我国齿轮量仪生产厂的量仪校对基准。</p> <p>1965 年到 1980 年，在改装国产齿轮磨床和提出创新独特的工艺基础上，王立鼎先后研制出 5 批世界一流的超精密齿轮——雷达编码齿轮，服务于我国雷达及相关军工需求。</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>“我们用的设备不是洋设备，用的方法不是洋方法，党和国家的培养，让我用原创方法做出世界第一”</p> <p>20 世纪 80 年代，一些西方国家开始研制激光光盘，其存储量大约是磁盘的 100 倍，在国际上引起广泛关注。而针对这项技术，西方国家却对中国采取了禁运政策，甚至国外个别公司公开叫嚣绝不会卖给中国。为此，科技部立即着手组织重大研究项目，希望能自主研发出可擦、重写光盘，并把其中一个重点攻关课题“光盘伺服槽及预制格式刻划机”交给了长春光机所。</p> <p>时任长光所所长的唐九华找到了王立鼎，希望由王立鼎来主持这一项目。因为涉及光学、机械学、电子学和计算机四门学科，这让此前一直潜心研究齿轮、还尚未从事过总机设计的王立鼎有些犹豫。</p> <p>唐九华笃定地说：“你能把国产设备加以改造，做出世界上精度最高的齿轮，我就看中你这种敢为人先的精神。”王立鼎临危受命，出任课题组第一负责人，在没有任何资料参考，甚至大多数人都没有见过光盘的情况下，当时还是副研究员的王立鼎，组织了一支包括很多研究员在内的百名科技人员攻关队伍。</p> <p>王立鼎率先垂范，带领团队不舍昼夜，面对众多亟待解决的问题，曾经的艰辛难为外人道，然而其后的成果，也同样令之振奋。</p> <p>四年后，王立鼎带领团队研制成功中国第一台刻录光盘母板的纳米分辨率精密设备。包括光学专家王大珩在内的多位两院院士，在参加鉴定会时表示，王立鼎主持设计的光盘伺服槽及预制格式刻划机总机达到国际先进水平，并在单元技术上有多处突破和创新。其中，十余项技术达到国际先进水平。</p> <p>这一设备的研制成功，打破了美国、日本、欧洲对中国发展光盘的控制，中国从此有能力制造自己的光盘母机，并为发展自己的 CD-ROM 和 VCD 等光盘服务，填补了国内空白。1992 年，此项科研成果获国家科技进步二等奖。</p> <p>王立鼎一边开发光盘母机，一边仍然在齿轮领域深入钻研。要想再提高齿轮制造精度，碰到的首要问题就是齿轮的齿形加工与测试技术。要想解决机床渐开线齿形的加工精度，就必须设法提高机床上渐开线凸轮的精度，为此，王立鼎在 20 世纪 80 年代组织“渐开线的误差形成规律和最佳成型方案的研究”，在这一基础理论的指导下，设计了渐开线凸轮加工装置和测量装置。</p> <p>由王立鼎自行研制的装置完全符合阿贝原理，测量装置精度居世界前列，由该装置加工的渐开线凸轮具有国际最高水平。“我们用的设备不是洋设备，用的方法不是洋方法，党和国家的培养，让我用原创方法做出世界第一。”王立鼎自豪地说。从那时起，由此装置磨制的高精度渐开线样板，作为我国齿轮渐开线量值传递与溯源的实体基准，沿用至今。</p> <p>“我做微纳系统的目的是什么？就是给青年人铺路，让他们朝这个前沿方向</p> |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>发展”</p> <p>20 世纪 90 年代初,国外微机械的发展动态传入国内,亦即现在被称为 MEMS 的微机电系统, MEMS 是一项革命性的新技术, 目前广泛应用于高新技术产业, 是一项关系到国家科技发展、经济繁荣、国防安全的关键技术。而在当时, 国内只有少数人能够接触到。一次偶然机会, 研究所的同事将从国外带回的少量材料拿给大家看, 王立鼎当即意识到, 这也许是未来机械领域的重要发展走向。</p> <p>1992 年, 在王立鼎的申请下, 长春光机所成立了中国第一个微型机械工程研究室, 并出版了中国第一本微系统译文集《微机械》。</p> <p>1998 年, 王立鼎来到大连理工大学开始二次创业, 组建了大连理工大学跨院系、跨学科的微系统研究中心, “我做微纳系统的目的是什么? 就是给青年人铺路, 让他们朝这个前沿方向发展。”王立鼎说。</p> <p>短短几年, 王立鼎又组建了微系统与微制造辽宁省重点实验室, 在微流控芯片、偏振光定位、微操作机器人等方面开展了卓有成效的研究。2002 年, 他在牵头制定国家科学与技术 2020 年中长期规划时, 将物联网这一研究方向写入了微米纳米技术规划之中, 并带领团队在无线传感网研究方面取得了多项创造性的应用成果。</p> <p>“中国需要超精密齿轮, 哪怕只需要一个, 我们也要能自己做出来”</p> <p>研究超精密齿轮是一项清苦工作。由于 7 级、6 级精度齿轮只能基本满足市场需求, 并且超精密齿轮制作难度极高, 无法实现量产, 也无法产生巨大经济效益。</p> <p>王立鼎团队是我国唯一一家超精密齿轮的研究队伍。“科研要为祖国解决突出的重大需求问题, 中国需要超精密齿轮, 哪怕只需要一个, 我们也要能自己做出来。”多年来, 为了在齿轮技术上不被国外“卡脖子”, 王立鼎屡次谢绝其他具有更高经济收益领域的邀约, 始终深耕于超精密齿轮研究, 并想方设法, 一再提高齿轮的加工精度。</p> <p>“知之愈明, 则行之愈笃; 行之愈笃, 则知之益明”。2002 年, 王立鼎在大连理工大学重建高精度齿轮研究室。年过七旬的他要讲授基础理论, 同时还要教授学生操作设备, 他经常强调“操作和理论并举才能实现最高效能”。经过几年的发展, 齿轮研究室培养了一批掌握超精密齿轮加工工艺、测试技术的学生。“又是科学工作者, 又是高技能人才。”这是王立鼎对于大国工匠的定义。</p> <p>“我最大的欣慰, 就是培养了齿轮传人”</p> <p>最近两年, 王立鼎屡次在公开场合中提及一个名字。这就是被他称为“齿轮传人”的凌四营。</p> <p>“研制超精密齿轮需要非一般的耐力、感知力和领悟力, 讲究天分也看后天</p> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>修养，要能文能武，缺一不可。绝不是谁都能从事超精密齿轮的研究。”王立鼎说。</p> <p>凌四营是王立鼎 2007 年带的博士，经过几年培养，他发现凌四营性情沉稳，在齿轮研制过程中能够发现砂轮摩擦时发出的细微声音变化，察觉出摩擦齿轮产生火花的大小、颜色差别，有时候在机床边一站就是八九个小时。“往往 1 级齿轮就产生于最后一圈与前一圈打磨之间，过犹不及，高精度齿轮的产生过程就是这么微妙。”凌四营说。</p> <p>王立鼎在凌四营身上看到了自己年轻时的执拗与专注，他欣喜地发现这个人正是他要找的“齿轮传人”。</p> <p>2012 年，凌四营获得了中国首个“上银优秀机械博士论文奖”金奖，仅近两年，他获得的授权专利就多达 15 项。凌四营的确没让恩师王立鼎失望。</p> <p>“我愿永远做科研战线上的一名战士”</p> <p>苦心人天不负。2017 年，王立鼎带领团队成功研制出 1 级精度基准标准齿轮，中国计量测试学会、中国机械工业联合会与中国机械工程学会分别组织国内权威专家对其研究成果进行鉴定。</p> <p>鉴定结果认为，王立鼎团队研究的 1 级精度基准齿轮齿廓偏差测量技术居国际领先水平，齿距偏差测量技术达到国际先进水平；研制的精化磨齿母机、超精密磨齿工艺，以及研制的 1 级精度基准级标准齿轮，其综合技术具有国际前列水平，精度指标国际领先。该项技术具有全部自主知识产权，填补了国内外 1 级精度齿轮制造工艺技术与测量方法的空白。</p> <p>从满头华发到双鬓染霜，王立鼎始终在超精密齿轮领域深耕不辍。“科学研究就像一场硬仗，我愿永远做科研战线上的一名战士。”王立鼎动情地说。</p> <p>回溯往事，王立鼎改写了《钢铁是怎样炼成的》主人公保尔·柯察金的一段话来描述自己的一生：“一个人的生命应该这样度过，当他回首往事的时候，不会因虚度年华而悔恨，也不会因碌碌无为而羞愧，我的一生全部献给了我国的科学事业。”</p> <p>如今，85 岁的王立鼎虽然不能再如当年那样进行高强度的工作，但他仍然忙碌在自己钟爱的齿轮领域，经常画图并与学生交流学术问题，尽其所能帮助后辈。他不知疲倦，乐在其中。</p> <p>“无奋斗，不青春。我的身体年龄已经八十五岁，但我的心依然年轻。”在王立鼎看来，一个人的青春能有多长，取决于他奋斗的脚步是否停歇。最近，在国家大力发展工业机器人的大背景下，他又把研究方向聚焦到机器人研发核心关键部件——谐波齿轮减速器的制造方向上。</p> <p>为打破工业机器人减速器被国外垄断的现状，应用具有自主知识产权的 1 级</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>精度齿轮技术，王立鼎亲手绘制原始设计图纸，开发出了新型的高精度分度台，用于机器人关节减速器的精密制造，这也是其团队申请的国家自然科学基金重点项目。</p> <p>近几年来，王立鼎带领团队奋力拓展超精密齿轮技术在齿轮传动领域的推广与应用，不断拓宽研究领域。他希望，自己钻研近一个甲子的齿轮事业，在新时代焕发新活力。</p> <p>王立鼎一直在奔跑。“齿轮王”的奋斗青春还在继续。</p> <p><b>思政点 1：家国情怀与使命担当</b></p> <p>在课程思政中，可引导学生从王立鼎院士的早年经历出发，深刻体会国家命运与个人命运的紧密联系，使学生明白只有国家繁荣昌盛，个人才能拥有良好的发展机遇，从而激发学生的爱国之情和对国家的责任感，树立为国家富强而努力学习的远大志向。</p> <p>临近大学毕业，王立鼎在“毕业志愿书”上坚定地写下“服从国家需要，到祖国最需要的地方去！”这句话。他用实际行动践行着这一誓言，投身到科研工作中。无论是早期从事齿轮研究，满足军工项目对高精度齿轮的需求，还是后来在光盘技术、微纳机械等领域的开拓，都是为了打破国外技术封锁，填补国内技术空白，满足国家在不同时期的战略需求。在教学过程中，可结合王立鼎院士的这些事迹，向学生传递个人职业选择应与国家需求紧密结合的理念，鼓励学生将个人的理想追求融入国家和民族的事业中，培养学生的家国情怀和使命担当，让学生明白自己肩负着推动国家科技进步、实现民族复兴的历史使命。</p> <p><b>思政点 2：科学家精神</b></p> <p>在科研征途中，王立鼎院士面临诸多难题，但他始终坚韧不拔。从早期接到军工项目研究导弹弹道轨迹跟踪所需的高精度齿轮，到后来研制标准齿轮，面对国内尚无先例、国际上也仅有少数公司能制作的超高精度要求，他立下誓言“只要国家需要，不管要求多高，我们都要做出来”。在研制过程中，他因陋就简，改装国产机床，不断尝试创新工艺，历经无数次失败仍不放弃。如在研制光盘伺服槽及预制格式刻划机时，在没有任何资料参考，多数人甚至没见过光盘的情况下，带领百名科技人员日夜攻关。这种坚韧不拔的精神，正是科研工作者应具备的品质。通过讲述这些故事，让学生明白科研道路充满荆棘，在面对困难和挫折时，不能轻易放弃，要学习王立鼎院士坚韧不拔的精神，勇于挑战，坚持不懈地追求真理，培养学生的挫折承受能力和顽强的意志品质。</p> <p><b>思政点 3：创新精神</b></p> <p>王立鼎院士在科研工作中展现出非凡的创新精神。在齿轮研究领域，他创立“正弦消减法”提高齿轮磨床的分度精度，建立图表法分析磨齿工艺误差，使分度</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>误差大幅减小；采用“易位法”磨齿工艺研制成功国内首个超精密齿轮。在研制光盘伺服槽及预制格式刻划机时，在多个单元技术上实现突破和创新，十余项技术达到国际先进水平。在教学中，教师可详细讲解王立鼎院士的这些创新方法和成果，激发学生的创新思维，鼓励学生敢于突破传统思维定式，勇于尝试新方法、新技术，培养学生的创新能力和创新意识，让学生明白创新是推动科技进步和社会发展的核心动力。</p> <p><b>思政点 4：团队协作与传承精神</b></p> <p>1990 年，王立鼎院士组织百名科技人员设计研制中国第一台光盘伺服槽及预制格式刻划机。面对涉及光学、机械学、电子学和计算机四门学科的复杂项目，他充分发挥团队协作精神，带领团队成员不舍昼夜地工作，共同攻克了诸多难题。通过这一案例，向学生强调团队协作的重要性。无论是科研项目还是未来的工作，很多任务都需要团队成员共同努力才能完成。培养学生的团队合作意识，让学生学会在团队中发挥自己的优势，相互协作、相互支持，提高学生的团队协作能力和沟通能力。</p> <p>王立鼎院士致力于培养科研人才，他组建研究室和研究中心，为青年人在微纳系统等前沿方向的发展铺路。他重视对学生的培养，亲自讲授基础理论和教授操作设备，强调“操作和理论并举才能实现最高效能”。他培养出了如凌四营这样优秀的“齿轮传人”。引导学生认识到学术传承的重要性，鼓励学生尊重师长，虚心学习前辈的知识和经验，同时也要有传承和发展学科知识的责任感，激励学生努力成为优秀的科研人才，将所学知识和科研精神传承下去，为学科的发展和国家的科技事业贡献自己的力量。</p> |
| 分析评价 | <p>王立鼎院士的科研人生充满传奇色彩，他在精密机械和微纳机械领域的卓越贡献，不仅推动了我国相关技术的飞速发展，更在其奋斗历程中蕴含着丰富且深刻的课程思政元素。这些元素如同璀璨星辰，照亮了科研之路，也为教育教学提供了宝贵的育人资源，助力培养德才兼备的高素质人才。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-027                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 案例标题 | 解读渐开线齿轮公差等级：厚植爱国情怀，激发创新匠心                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 案例来源 | 燕山大学机械工程学院—听 TA 说 140 期                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 内容简介 | <p>本案例引用燕山大学机械工程学院·听 TA 说 140 期。齿轮作为基础零部件，在汽车、高铁、航天等关键领域发挥着不可替代的作用。我国在这些领域成就斐然，高铁以“世界速度”惊艳全球，“锦绣号”盾构机尽显中国制造硬实力，这不仅凸显了齿轮的重要价值，更全方位彰显了我国制造业的雄厚实力，能极大地激发学生的民族自豪感，厚植他们的爱国情怀。</p> <p>王立鼎院士团队更是勇攀科技高峰，成功研制出国际标准 1 级超精密齿轮，一举打破国外技术封锁，实现了从跟跑到领跑的华丽转身。院士的事迹宛如一座灯塔，激励着学生们怀揣科研梦想，投身科研事业，立志为祖国的科技进步贡献力量，培育他们的担当意识。</p> <p>在齿轮加工领域，刀具误差、机床振动、齿坯安装误差等诸多因素影响传动精度。面对挑战，我国科研人员和产业工作者积极创新，在齿轮精度标准制定和加工工艺优化上持续突破，淋漓尽致地展现了创新对推动齿轮技术发展的核心驱动力，这为培养学生的创新思维提供了生动范例。</p> <p>从王立鼎院士团队几十年如一日地钻研超精密齿轮，到普通齿轮加工过程中对锻造、机加、热处理等多工艺环节精度的严苛把控，无不渗透着精益求精的工匠精神。这种精神有助于引导学生在学习和实践中养成严谨认真的态度，矢志不渝地追求卓越品质，为他们未来投身相关行业筑牢坚实的职业素养根基。</p> |
| 关键词  | 齿轮；精度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编写时间 | 2025-2-18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 育人主题 | 爱国主义与民族自豪感 创新精神与工匠精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

素材  
长度

2796

齿轮是机械工业中不可或缺的基础零部件，应用在国民经济的各个领域。汽车、高铁、轨道交通都有齿轮的身影，齿轮传动系统是高铁跑出“世界速度”的关键所在；最萌大国重器“锦绣号”盾构机，在极端工况下展示着中国制造的实力与魅力，这其中离不开齿轮的作用；在航天领域，齿轮也发挥着重大的贡献，助力“天问”一号、“神舟”载人、“嫦娥”探月、中国空间站等重大航天工程，为中国航天出征星辰大海保驾护航；此外，机械齿轮传动还助力海洋装备制造的创新与发展。小小的齿轮可谓是上天入地下海！

#### 齿轮的应用



图 1 齿轮的应用

我们知道，在圆柱齿轮设计中所涉及的渐开线齿廓、螺旋角、圆周上的齿距分布等都是理想状态。但在实际加工时，由于刀具误差、机床振动、齿坯安装误差等因素，将不可避免的产生齿距误差、齿形误差、齿向误差等。由此可见，齿轮的实际传动与理论分析间存在着差异，而这些误差将会影响齿轮的传动精度。我们学习的目标就是能够正确设计齿轮的精度、合理控制加工误差。

#### 齿轮的加工误差

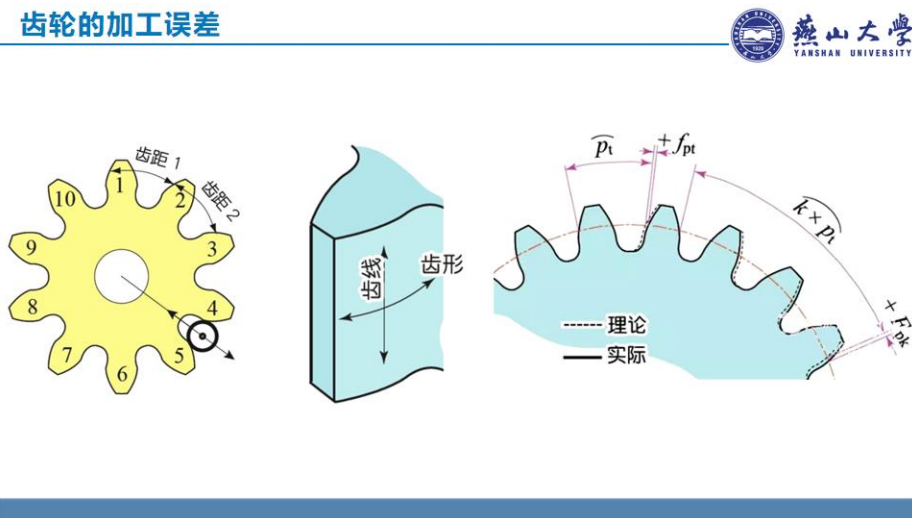


图 2 齿轮的加工误差

案例  
正文

首先来了解一下，上述加工误差到底会对齿轮传动带来哪些影响呢？

第一，由于转角误差的存在，会导致读数和分度齿轮在若干周期啮合后出现读数误差，即会影响齿轮传递运动的准确性。

第二，源于加工时的几何偏心和运动偏心，会形成圆周内相邻齿距的不均分布，会引起齿轮啮合瞬时传动比的变化，必然带来传动速度的波动，引起震动、冲击和噪音，影响高速动力齿轮传递运动的平稳性。

第三，加工时的刀具误差和机床振动，会形成渐开线齿形误差。此外，加工时的刀具、齿坯安装误差则会导致斜齿圆柱齿轮的螺旋线走向误差，两者都会改变载荷沿啮合线的均匀分布，造成局部载荷增大，会影响低速重载齿轮的承载能力，致使轮齿提前破坏。

以上就是误差对齿轮使用性能的影响。在圆柱齿轮的使用性能中，还要补充一项，即齿轮的啮合侧隙。一对齿轮在啮合运动时，都是需要有侧隙的。合理的侧隙能够保证齿面间形成润滑油膜，补偿齿轮传动受力后的弹性变形和由于工作温度升高而引起的热膨胀，保证齿轮间圆滑流畅的旋转传动。



图3 圆柱齿轮的使用性能

我们知道，这些对齿轮传动产生影响的误差是不可避免的，小误差产生小影响，大误差则产生大影响。那么，为了满足使用要求，将误差控制在合理的范围之内就变得非常重要。根据误差对齿轮影响的大小，在最新的国标中（GB/T 10095.1 2008），将齿轮划分为 13 个精度等级，分别用 0、1、2、...、11、12 表示，随着数字的增大，精度等级越来越低，其中 0 级精度最高，12 级精度最低。我国最新的齿轮国家标准等同于国际标准 ISO1328，实现了与国际标准的全接轨。

## 圆柱齿轮的精度等级



### ● 齿轮公差等级 GB/T 10095.1-2008

- 齿轮共规定有13个精度等级

分别用0、1、2、...11、12表示

- 其中0级精度最高，12级精度最低

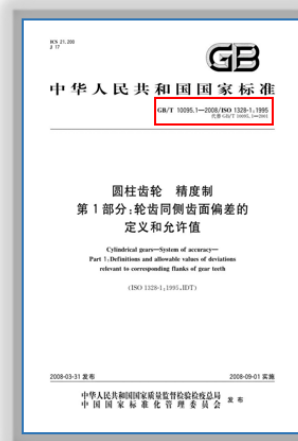


图4 圆柱齿轮的精度等级

齿轮的精度对整台设备的工作性能、承载能力、使用寿命和制造成本都有很大影响。通常采用类比法，根据使用场合和工况要求来设计齿轮的精度等级。如表所示，为各行业常用齿轮的公差等级。在齿轮的精度等级中，9~12级为低精度等级，可用于矿山、农用机械；6~8级为中等精度等级，应用于机床和汽车等工业设备；3~5级为高精度等级，应用于超精密机床、航空航天发动机等具有高速高平稳传动要求的场合；测量齿轮的精度等级最高，为2~5级。在齿轮精度学习的很长一段时间里，0~2级都被定义为展望级或未来发展级，是加工工艺水平和测量手段难以达到的级别。

## 圆柱齿轮的精度等级应用



### ● 各行业常用齿轮的公差等级

| 应用范围      | 精度等级 | 应用范围     | 精度等级 |
|-----------|------|----------|------|
| 测量齿轮      | 2~5  | 拖拉机      | 6~10 |
| 汽轮减速器     | 3~6  | 一般用途的减速器 | 6~9  |
| 金属切削机床    | 3~8  | 轧钢设备的小齿轮 | 6~10 |
| 内燃机车与电气机车 | 6~7  | 矿用绞车     | 8~10 |
| 轻型汽车      | 5~8  | 起重机机构    | 7~10 |
| 重型汽车      | 6~9  | 农业机械     | 8~12 |
| 航空发动机     | 4~7  |          |      |

——0-2级为展望级！

(~2017年5月)

——3-5级为高精度等级

——6-8级为中等精度等级

——9-12级为低精度等级

——常用等级为4-9级

图5 圆柱齿轮的精度等级应用

提到齿轮精度，就不得不提起大连理工大学的王立鼎院士。王立鼎院士潜心钻研，几十年如一日，带领团队成功研制国际标准1级超精密齿轮，作为国家级或国际齿轮量仪校对和精度传递实体基准，填补了中国和世界超精密齿轮的技术空白。

中国的齿轮技术从被国外“卡脖子”，到并跑、到领跑世界前沿，成为了世界上首个掌握 1 级精度基准标准齿轮核心技术的国家，这是令人无比振奋和骄傲的！从此，0-2 级齿轮为展望级的历史被改写，现在只有 0 级为展望级，1-2 级为超精密等级。



图 6 王立鼎院士

## 圆柱齿轮的精度等级



### ■ 其中0级精度最高，12级精度最低

- 0为展望级
- 1-2级为超精密等级
- 3-5级为高精度等级
- 6-8级为中等精度等级
- 9-12级为低精度等级



图 7 圆柱齿轮的精度等级

根据误差的特性及误差对齿轮传动性能的影响不同，可将齿轮的各项公差分为三组，即第Ⅰ公差组、第Ⅱ公差组和第Ⅲ公差组，分别来反映齿轮传递运动的准确性、传递运动的平稳性和载荷分布的均匀性。可以看出三组公差约束的内容不同、作用不同、必检参数也不同。在精度等级选择时，可根据具体使用要求，将三个公差组选用相同或不同的公差等级。以普通减速器的低速级大齿轮为例，若根据使用性能要求，将第Ⅰ、第Ⅱ和第Ⅲ公差组的精度等级分别确定为 8-7-7 级，此时齿轮公差等级即可标记为 8-7-7 GB/T 10095.1-2008。

## 圆柱齿轮的精度等级标记



### 齿轮公差等级 GB/T 10095.1-2008

| 齿轮的使用要求 | 应用实例 | 必检误差                                             | 评定参数                                      | 公差等级分组  | 公差等级 | 标记样式                      |
|---------|------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|------|---------------------------|
| 传递运动准确性 |      | 齿距累积偏差 $\Delta F_p$                              | 齿距累积总公差 $F_p$                             | 第I公差组   | 8    | 8-7-7<br>GB/T10095.1-2008 |
| 传递运动平稳性 |      | 相邻齿距偏差 $\Delta f_{pt}$<br>齿廓偏差 $\Delta F_\alpha$ | 相邻齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$<br>齿廓总公差 $F_\alpha$ | 第II公差组  | 7    |                           |
| 载荷分布均匀性 |      | 齿廓偏差 $\Delta F_\alpha$<br>螺旋线偏差 $\Delta F_\beta$ | 齿廓总公差 $F_\alpha$<br>螺旋线总公差 $F_\beta$      | 第III公差组 | 7    |                           |

图 8 圆柱齿轮的精度标记

这是在三组公差等级不同级时的图样标记方法。8-表示第 I 公差组的精度为 8 级,对应的必检参数为齿距累计总偏差  $F_p$ ; 第一个 7 表示第II公差组的精度为 7 级,对应的必检参数为单个齿距极限偏差  $\pm f_{pt}$  和齿廓总偏差  $F_\alpha$ ; 第二个 7 表示第 III 公差组的精度为 7 级,对应的必检参数为螺旋线总偏差  $F_\beta$ 。GB/T 10095.1-2008 表示国标代号。

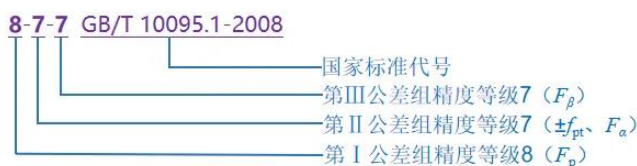
如果三组公差组等级同为 7 级时,则可标记为 7 GB/T 10095.1-2008。这时,表示四个必检参数  $F_p$ 、 $\pm f_{pt}$ 、 $F_\alpha$ 、 $F_\beta$  都应该满足 7 级精度等级规定的公差数值。

## 圆柱齿轮的精度等级标记



### ● 齿轮公差等级的标记

- 如果齿轮三组公差等级不同级,图样上标记为:



- 如果齿轮三组公差等级同级,图样上标记为:



图 9 圆柱齿轮的精度标记

经过几十年的不断发展,我国齿轮制造能力和制造水平持续提升,各领域齿轮的加工精度整体提高 1~3 个精度等级,同时也取得多项重大突破。



图 10 我国齿轮制造的大国工程

(1) 世界上规模最大的船舶电梯——三峡升船机，就是通过安全、平稳的齿轮齿条爬升方式，实现了船舶在三峡上、下游之间的升降。以下的数字足以让人感叹，升船机赖以爬升的四根齿条每根长 125 米，模数高达 62.7 毫米，最大提升高度 113 米，最大提升重量 15500 吨，相当于 9000 多辆普通小轿车在 37 分钟内完成 40 层楼房高度的垂直升降。

(2) 我国还攻克了兆瓦以上风电齿轮增速箱的核心制造技术，拥有兆瓦以上海上高速齿轮箱自主研发和生产能力，加大了绿色低碳发展的“蓝色动力”，助力我国实现碳达峰、碳中和。

(3) 国产 350 千米/时高速动车齿轮箱批量上线运行，结束了我国高铁动车配套齿轮传动系统全部被德国和日本垄断的局面。目前，我国已实现了高铁列车齿轮传动系统的全面自主研制，占领了世界高铁技术的制高点。

在取得成绩的同时，我们也该清楚地认识到，在我国齿轮这个普遍的基础零件在高端领域仍处于弱势。高端齿轮产品的一个重要评价指标，即精度的一致性和保持性。

精度是齿轮加工关注的焦点，精密齿轮的加工是难以攻克的技术难题，源于齿轮的加工是多工艺过程，包括锻造、机加、热处理等，而各工艺环节都会对齿轮的精度产生影响。要想提高齿轮加工精度，可从以下几个方面入手：

- 1、提高齿坯本身的加工精度。齿坯质量是齿轮加工精度的基础，对于制造高精度齿轮，齿坯的精度更是起着至关重要的作用。

- 2、提高夹具的制造和安装精度。夹具的制造、安装精度不高，会产生齿圈径向跳动和齿向误差。齿坯的安装精度也主要取决于夹具的制造精度和安装精度。

- 3、提高机床本身的精度。因为机床本身的精度问题，是造成齿轮加工精度下降和不合格的主要因素之一。

- 4、改良齿轮的加工工艺。需要在传统的齿轮加工工艺基础之上，对当前的齿轮加工技术进行科学合理的改进与创新，从而实现齿轮加工精度的进一步提升。

## 提高齿轮精度的途径

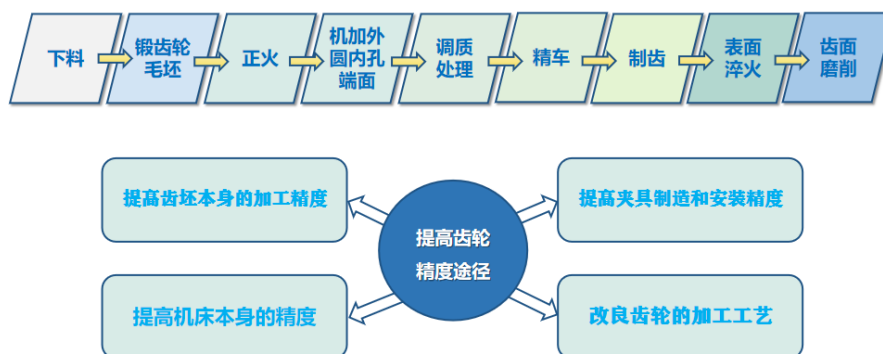


图 10 提高齿轮精度的途径

我们坚信，创新先行，智慧的中国人一定可以靠自己全面解决精密、超精密齿轮加工的技术瓶颈。

### 思政点 1：爱国主义与民族自豪感

文中列举了齿轮在汽车、高铁、轨道交通、盾构机、航天、海洋装备制造等众多领域的关键应用，尤其是我国在这些领域取得的举世瞩目的成就，如高铁跑出“世界速度”、“锦绣号”盾构机彰显中国制造实力、重大航天工程迈向星辰大海等。这些成就背后齿轮发挥的重要作用，能够让学生深刻认识到我国制造业的强大实力以及齿轮作为基础零部件的关键价值，从而激发学生的民族自豪感和对国家科技发展的自信心，培养学生的爱国主义情怀。在教学中可引导学生思考这些成就对国家综合实力提升的意义，鼓励学生为国家的繁荣富强而努力学习专业知识。

王立鼎院士带领团队成功研制国际标准 1 级超精密齿轮，改写了中国和世界超精密齿轮的技术历史，使我国从齿轮技术被“卡脖子”到实现世界领跑。这一案例生动地展现了我国科研人员勇于创新、攻坚克难的精神，以及为国家科技自立自强所做出的巨大贡献。王立鼎院士的事迹，能够激发学生的爱国热情和投身科研、报效祖国的决心，培养学生的民族自豪感和担当意识。教师可引导学生学习王立鼎院士几十年如一日的坚守和创新精神，鼓励学生在面对困难时勇往直前，为国家的科技进步贡献自己的力量。

### 思政点 2：创新精神与工匠精神

在齿轮加工领域，由于存在刀具误差、机床振动、齿坯安装误差等多种因素导致齿轮实际传动与理论存在差异，影响齿轮传动精度。为了满足使用要求，不断提高齿轮精度成为关键。我国在齿轮精度标准制定、加工工艺改进等方面不断创新，如王立鼎院士团队在超精密齿轮研制上的突破，以及行业内从提高齿坯、夹具、机床精度到改良加工工艺等多方面的创新举措。这体现了创新在推动齿轮技术发展中的

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>的核心作用，培养学生的创新思维和勇于探索的精神。引导学生思考在解决齿轮精度问题中创新方法的应用，鼓励学生在学习和未来工作中积极探索、敢于创新，寻找解决实际问题的新途径。</p> <p>齿轮的加工是一个多工艺过程，每个环节都对精度有影响，而精度是齿轮加工的关键。无论是王立鼎院士团队几十年如一日对超精密齿轮的钻研，还是普通齿轮加工过程中对各个工艺环节精度的严格把控，都体现了精益求精、追求卓越的工匠精神。通过讲解齿轮加工工艺的复杂性和对精度的高要求，引导学生认识到工匠精神在制造业中的重要性，培养学生在学习和实践中严谨认真、一丝不苟的态度，追求卓越的品质。</p>                                            |
| 分析评价 | <p>齿轮在汽车、高铁、航天等众多领域的关键应用，以及我国在此类领域取得的成就，如高铁的“世界速度”、“锦绣号”盾构机展现的实力，凸显了齿轮作为基础零部件的价值，彰显我国制造业强大实力，能够激发学生民族自豪感与爱国情怀。王立鼎院士带领团队成功研制国际标准 1 级超精密齿轮，打破技术瓶颈实现领跑，其事迹更能点燃学生投身科研、报效祖国的热情，培养担当意识。齿轮加工存在多种影响传动精度的误差，我国在齿轮精度标准制定与加工工艺上不断创新，体现创新在推动齿轮技术发展中的核心作用，可培养学生创新思维，且齿轮加工多工艺环节对精度的严格要求，从王立鼎院士团队钻研超精密齿轮到普通齿轮加工，都彰显了精益求精的工匠精神，有助于培养学生严谨认真、追求卓越的品质。</p> |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-028                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例标题 | 循着“徐强精度”足迹：厚植爱国情怀，铸造工匠精神                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 案例来源 | 新华网新闻 <a href="https://www.xinhuanet.com/politics/2016-09/30/c_129308749.htm">https://www.xinhuanet.com/politics/2016-09/30/c_129308749.htm</a>                                                                                                                                    |
| 内容简介 | 徐强小时候爱“搞破坏”拆东西，后来却成为了沈阳鼓风机集团有限公司齿轮压缩机公司副总经理、“齿轮王”。在面对德国公司傲慢时，徐强坚定捍卫中国人尊严，维护国家利益，可以激发学生们的爱国情怀；从事齿轮加工 23 年，从学徒起便热忱学习技术，全身心投入工作，凸显敬业精神，能够引导学生在工作中要有责任担当和敬业精神。他执着追求精雕细琢，挑战齿轮加工精度极限，创造全国四级精度之最，以严谨专注实现精度突破，同时，他秉持创新理念，创造“徐强精度”，为企业与行业发展贡献巨大，且不断学习提升专业素养，积极应对新设备与技术难题，这些正是我们要传承和发扬的工匠精神。 |
| 关键词  | 齿轮；精度；徐强                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 编写时间 | 2025-2-19                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 育人主题 | 爱国情怀 工匠精神                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 素材长度 | 3263                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 案例正文 | <p>“小时候喜欢‘搞破坏’，家里闹钟、手表和很多玩具很多都被我拆过，可是有些拆完后又装不回去，每次都免不了家长的一顿打。”</p> <p>谁也没想到，多年以后，当年的“破坏王”，会成为一名名副其实的“制造王”，并创造出令人震惊的“徐强精度”！</p> <p><b>他是一名工匠，从事齿轮加工 23 年；他是“齿轮王”，致力于追求精雕细琢、精益求精的工艺加工；他是沈阳鼓风机集团有限公司（以下简称“沈鼓集团”）齿</b></p>                                                             |

轮压缩机公司副总经理，为民族工业的发展壮大培育了一批又一批精兵巧匠。他的名字叫徐强。

“我就是从这个车间走出来的。这就是我工作的生产车间。”徐强指着标有“东北齿轮加工中心”的车间自豪地说。



徐强在操作机器设备。中国青年网记者张群 摄

与其他车间“轰轰隆隆”的嘈杂相比，这间齿轮加工车间像个“文静的姑娘”，只有综合水平较高的技术工人才能够操作这里的高精尖加工设备，这个地方见证了徐强一路走来的成长历程。

1990年，徐强成功考取沈阳鼓风机集团技校的数控大专班，成为沈鼓集团培养的首批数控大专人才。

1993年毕业后，徐强被分配到沈鼓集团，第一次近距离接触到这些精密、稀有的大型设备，他被深深地震撼，并断定这是一个可以施展才华的地方。他下定决心成为一名优秀的复合型技术工人，还傲气地对曾是沈鼓集团技术权威的父亲说：“爸，现在人们都叫我是徐义铮的儿子，用不了多久，人们就会说您是我徐强的爸爸。”

徐强真的做到了。学徒期内，徐强如饥似渴地跟随师傅学习瑞士马格 HSS-90S 磨齿机的操作，在师傅的倾心传授下，仅半年，他就达到了出徒水平，而当时规定的出徒期为一年。

徐强的优异表现很快得到了公司的肯定，公司决定让他独立操作瑞士马格 SD-32X 磨齿机。这在部门里引起一阵轰动，有羡慕声，敬佩声，同时也有质疑声：“不到半年就出徒了，操作这么复杂、精密的设备，他行吗？”

击碎质疑的最利武器是实力。徐强一个人独挑大梁，出色地完成了任务，给质疑者以强有力的无声反击。

然而，没过多久，他就跌了一个大跟头。在加工一件外协小齿轮时，因无意中将进给倍率旋钮多拧了一圈，导致速度成倍地增加。

“活干废了！当工人，干活出废品是既丢手艺，又丢人的事情。”徐强特别懊

恼，并暗暗发誓，同类事情绝不能发生第二次。从那以后，徐强更加严苛地要求自己，抓紧一切求教机会虚心学习，从早晨研究到天黑，有时甚至连忘记吃午饭都浑然不知。

在坚持设备操作技能学习的同时，徐强还不断学习相关机械理论知识和外语。“家里十几平米的卧室，专业技术、应用工具和管理方面的书触手可及。”

努力终会有所收获，如今的徐强已成为业内著名的技术能手，创下**大型齿轮加工四级精度**的全国之最，并先后荣获“全国杰出青年岗位能手”、“中国青年五四奖章”、“中华技能大奖”、“全国五一劳动奖章”、“全国劳动道德模范”、“全国优秀共产党员”等荣誉称号，还先后当选为第十一、十二届全国人大代表。

2001年3月，徐强到德国某公司验收本公司订购的一台价值1280多万元的高精度磨齿机，这是当时世界上最先进的磨齿机。



徐强（右）向徒弟传授经验。中国青年网记者张群 摄

作为公司验收团中唯一的工人，徐强深知自己将是这台设备的操作者，也深知如果不把设备原理和操作方法搞清楚，回去后没法开展工作。

徐强必须将心中的疑问全都搞清楚，然而在这个推崇“顾客就是上帝”的国度，他感受到的却是他们的傲慢，“也许在他们看来，中国的技术人员根本没有能力检验他们的产品”，这使徐强的自尊心受到很大的打击。

但是，他是一个迎难而上的人，为了能尽快掌握设备的原理和操作，徐强对着满是英文字母的说明书一字一句地翻译成中文，“翻译的过程太痛苦了，很多单词都是熟词僻义，特别让人抓狂。”徐强说，在操作机器之前吃透说明书是他的一个习惯。

“为什么不校验全行程，多测几个点？”在验收这台机床一个坐标轴的精度时，德方只在全部行程中检测了很短的一段就认为误差在允许范围之内，徐强对此提出质疑。

“没有那么长的测棒。”对方轻描淡写道。

这么精密、贵重的设备必须得确保万无一失，徐强立刻提出，可以通过调整机床的回转角度来增加检验长度。德方确定这个方案可行。然而，检测结果显示，误差超标！这位操作者意识到了事情的严重性，不到十分钟，德方技术专家便赶到现场，分析查找原因。

“如果设备不达到要求，我们将不会验收；如果因设备质量问题影响加工精度，损失必须由德方承担。”徐强立场鲜明地表明态度，狠狠打击了德方的傲慢态度。

同年8月份，德方来沈鼓集团安装、调试设备。在验收试件的程序编制过程中，他们直接将 $15^{\circ}48'$ 的齿轮螺旋角输入成15.48，徐强对此产生疑问，可对方却不耐烦地答道说：“我们从来都是这么输入”。

在加工中徐强发现，砂轮在齿宽方向仅磨削齿面一端，经验告诉他，这是不可能的。然而，德方却在打哈哈：“这是一个奇特的齿轮”。

**“科学面前人人平等，难道老外就不会犯错误？我要用我的技术捍卫中国人的尊严！”**对方的敷衍激怒了徐强，他严肃要求对方立即与总公司联系，确认这样输入是否正确。

经过长时间的电话联络，老外满脸歉意地对他说：“徐，刚才是我输错了数据，感谢你给我指出这错误，不然麻烦可就大了。”错误纠正了，齿轮保住了，仅此一项就为公司节约10余万元。

徐强精度用专注创造奇迹

**“创新无处不在，每一次效率的提升，每一次精度的提高，一点一滴的成本降低，都是创新。”**徐强说。



徐强介绍车间生产情况。中国青年网记者张群 摄

2004年，客户要求生产一个精度为5级的大型齿轮，齿轮加工有12个精度

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>等级，1 级最高。齿面宽模数小的大型齿轮要达到 5 级精度，难度相当大。“稍有疏忽，编错一个程序，摁错一个按钮，都会导致齿轮报废，不仅会损失几十万元，更会损害企业信誉，辜负用户的信任。”在加工过程中，徐强时刻提醒自己要细心、要专注。</p> <p>可喜的是，严谨专注的工作态度使徐强加工的齿轮精度达到了 4 级！这不仅满足了客户要求，更创下了全国大型齿轮加工精度之最，达到世界先进水平，这在当时是一个奇迹。就连德国专家也忍不住惊叹：“虽然我们的设备设计上可以达到这个精度，但真正能在操作中实现这个精度的人实在太少，徐的技术令我感到吃惊！”</p> <p>自此，同行将徐强创造出的高精度纪录称为“徐强精度”。这个精度，每年能为企业创造 4000 多万元的价值。</p> <p>“徐强精度”是一条别人没有走过的路，毫无疑问，它是一次精彩的创新，徐强通过不断创新挑战前人未达到的高度，让世界为当代中国工人喝彩。</p> <p>有一次，公司派徐强到大连某企业操作新购进的 ZP08 机床，熟悉不到一个小时，他便能熟练使用，并在极短的时间，出色地完成了加工任务。这一幕，被正在对该企业进行操作培训的德国操作技术人员看到，便私下邀请他做售后技术指导，待遇与他们相同，年薪几十万。</p> <p>“徐，我们看中了‘徐强精度’。”那人很诚恳。</p> <p>“‘徐强精度’不是我个人的，我没有权利出卖它。”徐强没有丝毫犹豫地告诉他，“徐强精度”属于沈鼓集团，属于中国企业。因为他明白，国家、企业培养出一名优秀的技术工人是多么不容易，而他的每一步成长，都离不开给予他帮助的工友、师长，培育他的车间和企业，是党和国家培养了他。</p> <p>“‘沈鼓’是我的家，我从未想过要离开她。”徐强常常鞭策自己“人生要常怀感激之情，常葆进取之志，常存敬畏之念”，在他看来，只有在沈鼓集团，他的人生价值才能真正得到升华。</p> <p>沈鼓集团把徐强培养成一名“大国工匠”，他也不负众望地创造出“徐强精度”为企业争光，并将“徐强精度”无私传授更多青年产业工人，为振兴沈阳老工业基地贡献力量，带领中国齿轮走出中国，冲向世界。</p> <p>“师傅对待工作特别严谨认真，对我们要求也非常严格，但是生活中却对我们十分关心。”余宝华是徐强的徒弟之一，从 2002 年进厂来就一直师从徐强，在他心目中，徐强一直是他的榜样。</p> <p>严师出高徒，徐强带出的 5 个徒弟都已经成为企业的生产骨干，分别荣获“优秀团员”和“生产服务明星”、“公司青年岗位能手”等光荣称号。“一花独放不是春，我期盼青出于蓝，而胜于蓝。只有涌现出更多具备高技能高素养的人才，企业才</p> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>更有竞争力。”徐强希望年轻工匠能超越自己，让装备制造业在激烈的市场竞争中保持持久旺盛的生命力。</p> <p><b>思政点 1：爱国敬业</b></p> <p><b>爱国情怀：</b>徐强在面对德国公司的傲慢时，没有退缩，而是以坚定的态度捍卫中国人的尊严，坚持让德方确保设备达到要求，维护了国家的利益和尊严，体现了强烈的爱国精神。</p> <p><b>敬业精神：</b>徐强从事齿轮加工 23 年，始终坚守岗位，对工作充满热情。从学徒时期就如饥似渴地学习技术，独立操作设备后更是严格要求自己，抓紧一切机会学习，常常忘记吃饭，这种全身心投入工作的态度是敬业精神的生动写照。</p> <p><b>思政点 2：工匠精神</b></p> <p><b>精益求精：</b>徐强致力于追求精雕细琢、精益求精的工艺加工，不断挑战齿轮加工精度的极限，最终创造出大型齿轮加工四级精度的全国之最，达到世界先进水平，展现了对卓越品质的不懈追求。在加工精度为 5 级的大型齿轮时，徐强深知稍有疏忽就会导致齿轮报废，所以时刻提醒自己要细心、要专注，正是这种严谨专注的工作态度，使他成功加工出精度达到 4 级的齿轮，体现了精益求精的工匠精神。</p> <p><b>创新进取：</b>徐强认为创新无处不在，他通过不断努力和实践，创造了“徐强精度”，这是在齿轮加工领域的一次重大创新，为企业创造了巨大的价值，也为行业发展做出了贡献。徐强在工作中不断学习相关机械理论知识和外语，以提升自己的专业素养。面对新的设备和技术难题，他总是积极应对，如在验收高精度磨齿机和操作 ZP08 机床时，都能迅速掌握并解决问题，展现了积极进取的精神。</p> |
| 分析评价 | <p>徐强展现出深厚的爱国敬业精神与卓越的工匠精神。在面对德国公司傲慢时，他坚定捍卫中国人尊严，维护国家利益，尽显爱国情怀；从事齿轮加工 23 年，从学徒起便热忱学习技术，全身心投入工作，凸显敬业精神。在工匠精神方面，他执着追求精雕细琢，挑战齿轮加工精度极限，创造全国四级精度之最，以严谨专注实现精度突破。同时，他秉持创新理念，创造“徐强精度”，为企业与行业发展贡献巨大，且不断学习提升专业素养，积极应对新设备与技术难题，尽显创新进取精神。通过这一案例，能够激发学生的爱国情怀，引导学生感受大国工匠的工匠精神。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-029                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例标题 | 逐梦超精密齿轮技术前沿：燃创新之火，担民族复兴使命                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 案例来源 | 知网                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 内容简介 | <p>制造领域的精度问题是“卡脖子”的重要一环。中国超精密齿轮 1 级精度的突破是解决这一精度难题的典型代表。超精密齿轮不仅可以用于齿轮精度传递基准，还作为精密仪器安装于尖端产品和现代化武器，从而实现传动、变速和变向等目的。西方发达国家对中国进行技术封锁，为自主掌握核心技术，中国科学院院士王立鼎历经 40 余年时间，于 1999 年带领团队成功研制出国际标准的 1 级超精密标准齿轮。基于《中国超精密齿轮技术的“进化”》了解超精密齿轮从 4 级到 2 级精度、2 级到 1 级精度的“进化”过程，丰富中国超精密齿轮技术发展的历史资料，展现老一辈科学家勇攀高峰、敢为人先的创新精神。</p> |
| 关键词  | 超精密齿轮技术；王立鼎；标准齿轮                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 编写时间 | 2025-2-22                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 育人主题 | 创新精神与科学探索                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 素材长度 | 3702                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例正文 | <p>制造领域的精度问题是“卡脖子”的重要一环。中国超精密齿轮 1 级精度的突破是解决这一精度难题的典型代表，也是我国自主掌握关键技术的典型案例。西方发达国家对中国进行技术封锁，为自主掌握核心技术，中国科学院院士王立鼎历经 40 余年时间，从 1999 年开始带领团队成功研制出齿轮国际标准中的 1 级精度超精密标准齿轮。</p> <p>本案例根据《中国超精密齿轮技术的“进化”》梳理了超精密齿轮从 4 级到 2 级、2 级到 1 级的“进化”过程，丰富中国超精密齿轮技术发展的历史资料，展现</p>                                              |

老一辈科学家勇攀高峰、敢为人先的创新精神。

在齿轮的精度等级中，6~8 级为中等精度等级，可应用于机床与汽车等工业设备；3~5 级为高精度等级，主要应用于超精机床、仪器、船舶、雷达以及航空航天发动机等具有高速高平稳传动要求的场合；1~2 级精度为超精密等级，主要作为国家级或国际齿轮量仪校对和精度传递实体基准。

20 世纪 60 年代，为迅速建立社会主义工业化的基础以及满足大型国防工程建设的需要，齿轮逐渐量产化的同时，对齿轮精度的要求愈来愈高。

为完成高精尖国防设备的制造任务以及应对超精密齿轮技术封锁的挑战，中国精密机械和微纳机械专家、中国科学院院士王立鼎带领团队历经 40 余年的时间，将齿轮精度从 7 级精度逐步提高至 1 级（其中齿轮精度从 4 级精密级到 2 级超精密级、2 级到 1 级超精密级的阶段是超精密齿轮技术从形成到完善的最关键时期），使中国从超精密齿轮技术落后的境地追赶至世界领先。

1.4 级到 2 级的“进化”

1960 年，国防部某部门要求长春光学精密器械所（现为中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，以下简称长光所）研制出一台光电经纬仪，以跟踪我方和敌方的飞机与导弹。这种大型仪器设备包含大量的齿轮传动，要求齿轮精度达到 6 级以上，但当时国内加工的齿轮精度多半为 7 级，身为长光所研究实习员的王立鼎参与了这一项目，他利用 Y7131 锥形砂轮磨齿机对齿轮进行磨削与优化，圆满完成了国防任务，而后又在 Y7431 磨齿机上研发出 4 级标准齿轮。

| 类别               | 符号         | 标准               | 精度等级 |   |     |    |     |     |    |    |    |       |
|------------------|------------|------------------|------|---|-----|----|-----|-----|----|----|----|-------|
| 单<br>项<br>指<br>标 | $F_p$      | ISO: GB/T: JIS B | 0    | 1 | 2   | 3  | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9     |
|                  |            | DIN              | —    | 1 | 2   | 3  | 4   | 5~6 | 7  | 8  | 9  | 10    |
|                  |            | AGMA             | —    | — | A2  | A3 | A4  | A5  | A6 | A7 | A8 | A9    |
|                  | $F_\alpha$ | ISO: GB/T        | 0    | 1 | 0~2 | 3  | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9     |
|                  |            | DIN              | —    | 1 | 1~2 | 3  | 4   | 5   | 5  | 6  | 7  | 8     |
|                  |            | AGMA             | —    | — | A2  | A3 | A4  | A5  | A6 | A7 | A8 | A9    |
|                  | $F_t$      | ISO: GB/T: JIS B | 0    | 1 | 2   | 3  | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9     |
|                  |            | DIN              | —    | 1 | 2~3 | 4  | 5   | 6~7 | 8  | 9  | 10 | 10    |
|                  |            | AGMA             | —    | — | —   | —  | —   | C4  | C5 | C6 | C7 | C8    |
| 综<br>合<br>指<br>标 | $F_i'$     | ISO: GB/T: JIS B | —    | — | —   | —  | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9     |
|                  |            | DIN              | —    | — | —   | —  | 5~6 | 7   | 8  | 9  | 10 | 10~11 |
|                  |            | AGMA             | —    | — | —   | —  | —   | C4  | C5 | C6 | C7 | C8    |
|                  | $F_i''$    | ISO: GB/T: JIS B | —    | — | —   | —  | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9     |
|                  |            | DIN              | —    | — | —   | —  | 5   | 6   | 7  | 8  | 9  | 9     |
|                  |            | AGMA             | —    | — | —   | —  | C4  | C5  | C6 | C7 | C8 | C9    |

图 1 现行齿轮标准与精度等级对应

1965 年，国家要研制新型精密测量雷达，其中雷达方位测角系统所用的轴角编码数据传动齿轮箱由长光所承担研制。

长光所成立专门的研制小组负责齿轮箱的设计、工艺与测量工作，攻关小组要独立完成齿轮箱的研制工作，王立鼎是该组的研究实习员。

超精密齿轮加工的整个流程可以概述为将原始的齿坯安装到磨齿机床上，根

据被磨齿轮的参数对机床进行选择与调整参数，结合磨齿工艺进行人为技术操作，最后经过测量仪测量，其精度需达到国际齿轮标准 3 级以上。

磨齿机床是超精密齿轮技术的核心要素。攻关组当时有 2 台磨齿机床——从英国进口的蜗杆砂轮磨齿机床和国产机床 Y7431，由于后者可加工更大直径的齿轮，王立鼎选择此台机床进行改装与精化。

1963 年，王立鼎先将 Y7431 的滑动摩擦加工主轴更换为具有高精度、摩擦力矩小的密珠滚动轴系，这为后来研制精密雷达中的编码齿轮奠定了重要技术基础，也是机床精化的一大创新举措。

第一届全国机械传动年会结束后，王立鼎跟随同事去上海机床厂调研电池设备中的分度技术，发现他们所研制的录磁机中的录磁盘回转轴系是由多颗高精度钢球构成，从而直接保证了录磁盘的精度。

这一技术启发王立鼎解决机床主轴结构设计问题，他在机床主轴加入 400 颗钢球，使主轴刚度大幅度提高，保证轴承不易弯曲，也促使误差发生均化效应，主轴精度由原来的  $2\text{ }\mu\text{m}$  误差减小到  $0.5\text{ }\mu\text{m}$ ，高于国内生产水平。

磨齿机床按照功能性可以划分为砂轮系统、展成系统与分度系统三大技术模块。

王立鼎认为机床的分度精度是提高齿轮精度的关键，而分度盘是分度系统的核心要件，其精度决定了齿轮的分度精度。

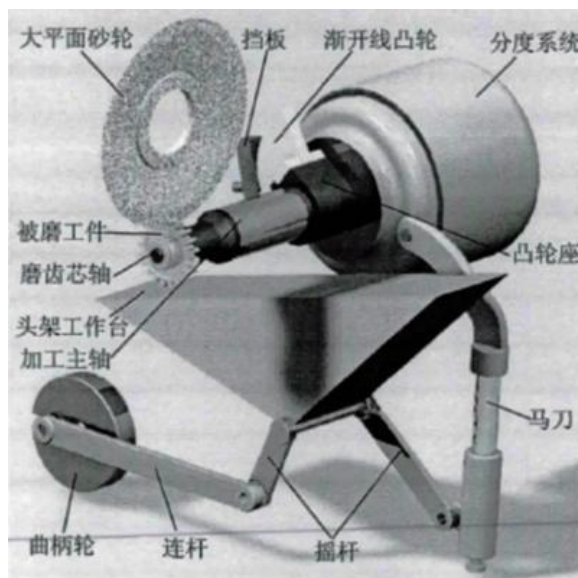


图 2 大平面砂轮磨齿机结构

王立鼎将高精度的多面棱体安装在磨齿机床齿轮的位置，分度盘装置在度盘后面，利用精密的轴系将多面棱体的精度传递给分度盘，借此将分度盘精度提高至一二十角秒，但还需进一步提高精度。

王立鼎画出分度盘误差的数学模型图，显示为一条正弦曲线，他假设此正弦

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>曲线为安装偏心导致的正弦误差，在相反方向画出一条反正弦曲线，从而与实际正弦相抵消来减少纵坐标的误差量，依照反、正弦曲线调整分度盘大大提高分度盘的精度。这便是王立鼎自创的“正弦消减法”。</p> <p>而后，王立鼎用小锉刀依次研磨分度盘的牙齿，经过 2 周昼夜不停地研磨，分度盘精度达到加工要求。</p> <p>然而，超精密齿轮加工是需要在恒温、防尘与防震的实验环境下进行，国内超精密齿轮实验室设备简陋，无法满足超精密齿轮加工的要求。</p> <p>王立鼎让助手白天进行半精加工工作，自己在夜晚相对安静的环境下进行超精加工，每天到凌晨 5 点左右，然后打开实验室的门，使齿轮能够快速降温，以便于测量实验室人员白天上班后进行测量。</p> <p>一年后，王立鼎等人如期完成编码齿轮的研制任务，之后王立鼎共参与研制了 5 批雷达编码齿轮，都相继装载到中国最精密的雷达上，至今尚未出现任何问题。</p> <p>但王立鼎未满足于已有的科研成绩，为转变中国超精密齿轮应用领域被动的境况，他毅然决定继续钻研攻克超精密齿轮技术难题，直至研制出 1 级超精密齿轮，使得中国的超精密齿轮技术不仅要跟上发达国家的步伐，还要领先于国际水平。</p> <p>为了使机床分度系统能充分达到研制 2 级精度齿轮的要求，王立鼎彻底改装分度机构，添加了端齿自动分度机构，将端齿自动分度机构装备于机床尤其是精密机床用来磨齿，这一点是国内首创。</p> <p>1977 年，王立鼎将端齿分度机构改装到 Y7413 机床，改装后的机床能够稳定研磨出西德齿轮标准 DIN3962-1977 中的 2 级精度的“小模数标准齿轮”。</p> <p>他所研制的德国 DIN 标准 3 级和 2 级精度的“小模数标准齿轮”在 1978 年先后获得了中国科学院的重大科技成果奖和全国科学大会奖。</p> <p>此外，王立鼎于 1976-1978 年研制“端齿轮自动分度机构”替代了传统齿轮磨床上的分度盘。</p> <p>他还进行了多种模数齿轮的研究，其中“中模数基准标准齿轮”获中国科学院科技进步一等奖，中国计量科学研究院将之用作国家级齿轮精度实体基准。</p> <p>2.2 级到 1 级的“进化”</p> <p>1985 年中国正式全面启动科技体制的改革，在第一阶段，以开拓技术市场为突破口，引导科技工作面向经济建设，促进科技与经济的紧密结合。</p> <p>1986 年成立国家自然科学基金，以推动自然科学基础研究的发展。</p> <p>在此背景下，王立鼎以“渐开线误差形成规律和最佳成型方案的研究”为课题申请了国家自然科学基金项目，目的是研制出 1 级精度标准齿轮，“从事科研，</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>我们要跟世界去比较，要为中国科学事业做出贡献”。</p> <p>常用齿轮的齿形有摆线、圆弧、渐开线等曲线，渐开线齿轮具有传动平稳、振动小、输出转速恒定无波动等优点，是现代机械装置应用范围最广的齿轮。</p> <p>超精密齿轮就是应用了渐开线的齿形设计，降低齿轮齿形误差的关键是提高机床渐开线凸轮的精度。</p> <p>1993 年，王立鼎不仅研发出双滚轮式渐开线磨削装置，还进一步设计并制造了渐开线测量装置，为中国计量科学研究院提供了校对仪器。</p> <p>王立鼎所研制的高精度渐开线样板，不仅可用于机床磨削出 1 级精度齿形，还能作为中国计量科学研究院渐开线精度传递的基准，该项成果于 1999 年荣获国家科技进步三等奖。</p> <p>通过密珠滚动轴系、“正弦消减法”、端齿分度机构和渐开线样板磨削与测量装置这些创新技术的应用，磨齿机床的精度已满足磨削 1 级精度超精密齿轮的要求，但是超精磨齿轮的磨削还需要在加工工艺方面进行革新。</p> <p>王立鼎效仿分度盘的误差规律，将齿轮旋转 180°后磨削一半的齿轮，停止磨削齿轮的剩余部分，将齿轮精度从原先的 60″提高至 45″，他将这种磨齿加工工艺命名为“易位法”。</p> <p>王立鼎认为“易位法”的发明关键在于要特别注意实验现象，他在机床旁边专门放置一个办公桌，便于在加工齿轮时能够一边分析一边记录，他还注意听磨齿的声音来判断齿轮加工程度。</p> <p>在工作实践中只有特别留意各种现象，抓住问题一一突破，才能进行技术创新，不断进步。</p> <p>此外，配合新工艺，王立鼎带领团队成功研制出 5 种国际标准化组织制定的标准（ISO 标准）1 级精度标准齿轮，并于 2016 年进行了科技成果鉴定，结论为“精度指标达到国际领先”。</p> <p>中国是首个掌握 1 级精度基准标准齿轮核心技术的国家，因此其成功研发具有重要的科研价值与应用前景。</p> <p><b>3. 科研价值方面</b></p> <p>王立鼎所研制的磨齿机床 Y7125 及其磨齿工艺填补了国内外 1 级精度齿轮制造工艺的空白，奠定了中国超精密齿轮领域在国际上的领先地位，突破了超精密齿轮的制造质量难关，提升了中国齿轮制造业的技术水平，为中国成为齿轮制造强国打下坚实的基础；</p> <p>1 级超精密齿轮作为齿轮精度传递基准，被中国计量科学研究院以及企业用来鉴定普通精度的齿轮或齿轮测量仪器，提高了齿轮检测效率，适用于规模生产；</p> <p>超精密齿轮技术在工业生产、航空航天及军用装备等多个重要领域起到关键</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>作用，具有重要的战略地位。</p> <p><b>4. 应用前景方面</b></p> <p>王立鼎于 20 世纪 90 年代所研制出的高精度渐开线样板，主要用于精化渐开线凸轮来磨削齿轮，而基准级齿轮渐开线样板和齿轮螺旋线样板特指 1 级及以上精度的齿轮渐开线和螺旋线样板，用于国家级齿轮渐开线和螺旋线的量值传递基准。</p> <p>另外，工业机器人作为高端智能制造的代表，对此生产需求大幅度增加，而中国的减速器起步晚且主要依赖进口，导致中国工业机器人发展受到极大限制。</p> <p>由于减速器中包含了大量齿轮传动，精密减速器对齿轮精度有极高要求，因此加快精密减速器国产化成为中国未来工业机器人发展战略的主要课题，也是超精密齿轮技术领域中的重大研究方向。</p> <p><b>思政点 1：创新精神与科学探索</b></p> <p>创新精神与科学探索：在超精密齿轮技术的研发过程中，王立鼎院士团队不断创新。例如，自创“正弦消减法”提高分度盘精度；在机床主轴加入 400 颗钢球提高主轴刚度；设计并制造渐开线测量装置等。他们不满足于现有成果，持续钻研攻克技术难题，这种勇攀高峰、敢为人先的创新精神，鼓励学生在学习和科研中勇于探索未知，培养创新思维和实践能力，不畏困难，追求卓越。</p> <p><b>思政点 2：爱国主义与民族担当</b></p> <p>面对西方发达国家的技术封锁，中国科学院院士王立鼎带领团队勇挑重担。从 20 世纪 60 年代开始，为满足国防工程建设以及打破技术封锁，历经 40 余年不懈努力，将齿轮精度从 7 级逐步提升至 1 级，使中国从超精密齿轮技术落后的境地追赶至世界领先。这种为国家发展、国防安全无私奉献的精神，充分体现了强烈的爱国主义情怀和民族担当，激励学生将个人命运与国家命运紧密相连，为国家的繁荣富强贡献力量。</p> <p><b>思政点 3：严谨治学与精益求精</b></p> <p>在超精密齿轮加工的每个环节，团队都秉持严谨治学的态度。如王立鼎画出分度盘误差的数学模型图，通过复杂的计算和调整提高分度盘精度；在研磨分度盘牙齿时，经过 2 周昼夜不停地工作才达到加工要求。在齿轮磨削过程中，通过听磨齿声音来判断加工进度。这种对工作的高度负责、对精度的极致追求，培养学生严谨的学习和工作作风，对待学业和事业要一丝不苟，追求精益求精。</p> <p><b>思政点 4：时代使命感与社会责任感</b></p> <p>不同时期国家对齿轮技术的需求，从 20 世纪 60 年代为建立社会主义工业化基础和满足国防工程需要，到后来随着科技体制改革和经济发展，在工业生产、航空航天、军用装备以及工业机器人等领域对超精密齿轮技术的需求。这让学生</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 认识到科学技术发展与时代需求紧密相关，培养学生的时代使命感和社会责任感，激励他们关注社会发展，将所学知识应用于解决实际问题，为推动社会进步贡献力量。                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 分析评价 | <p>在中国超精密齿轮技术研发历程中，蕴含着诸多宝贵的思政元素。王立鼎院士团队展现出创新精神与科学探索，自创“正弦消减法”等不断突破技术瓶颈，激励学生勇于探索未知、培养创新思维与实践能力；面对西方技术封锁，团队以爱国主义与民族担当为驱动，历经 40 余年不懈努力，将齿轮精度从 7 级提升至 1 级，促使学生将个人命运与国家命运相连，为国家富强贡献力量；加工过程中，团队秉持严谨治学与精益求精态度，通过复杂计算和长时间研磨等确保精度，有助于培养学生严谨的学习和工作作风；从不同时期国家对齿轮技术的需求可见，团队彰显出时代使命感与社会责任感，这能引导学生认识到科技发展与时</p> <p>代需求的紧密联系，激励他们关注社会发展，运用所学推动社会进步。</p> |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-030                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例标题 | 王时龙“让零件说话”：厚植家国情怀，点燃创新火种                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 案例来源 | <a href="https://news.cqu.edu.cn/archives/medias/content/2020/01/06/91eb375e8e71d9ce2f7cde8b0a757f66c94c998a.html">https://news.cqu.edu.cn/archives/medias/content/2020/01/06/91eb375e8e71d9ce2f7cde8b0a757f66c94c998a.html</a>                                                    |
| 内容简介 | 王时龙 1984 年因父亲鼓励选择重庆大学机械制造工艺设备及自动化专业，虽起初有误解，但他将 35 年青春献给齿轮领域。他针对重庆汽车产业对齿轮的需求，与重庆机床集团合作研制高精度数控磨齿机床等。还牵头联合企业，在国家支持下，带领团队花 3 年研发出全国首台全数控高效大型滚齿机，获 2018 年国家科技进步二等奖，满足众多国家重大需求，降低进口机床价格。同时，他怀揣让零件“说话”“交流”的梦想研究 20 年，现正牵头承担国家重点研发计划相关项目。他的故事可以引导学生感悟他将 35 年青春献给齿轮的创新精神、科学探索精神以及爱国主义和家国情怀。 |
| 关键词  | 齿轮；王时龙                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 编写时间 | 2025-2-23                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 育人主题 | 创新精神与科学探索                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 素材长度 | 1723                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 案例正文 | <p>“我的梦想就是让每个零件、每颗齿轮会‘交流’、会‘说话’！”日前，王时龙在接受重庆日报记者专访时说，随着中国“智”造时代的到来，传统工科也逐渐向新工科转型。他正在进行“人机物”融合的研究——即把计算机的存储能力、计算能力与人的决策能力、思考能力有机结合，通过附加在零件上的芯片让零件变得智能，这将大大提高车间运行效率。</p> <p>让零件学会“说话”！这个梦想，王时龙已经坚持 20 年了。他说，如今随着 5G 时代的到来，自己离梦想越来越近了。</p>                                            |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>误打误撞与齿轮结缘 成为行业专家</p> <p>对王时龙来说，做齿轮，并不是他意料之中的事。</p> <p>1984 年，父亲一句“好男儿志在四方”，让湖南男孩王时龙在填报高考志愿时，选择了重庆大学机械制造工艺设备及自动化专业。“我中学时物理成绩非常好，也喜欢画画。”王时龙回忆说，本以为“工艺”是与工艺品相关，“机械制造”又看似和物理相关，就这样满怀憧憬地填写了这个似乎符合自己喜好的专业。</p> <p>进入大学才知道，此工艺非彼工艺。“我有种上当受骗的感觉。”王时龙笑着说。</p> <p>虽然学习机械制造工艺设备及自动化专业是误打误撞，但王时龙却毫无保留地，把全部青春都献给了齿轮领域，一干就是 35 年。</p> <p>“对重庆而言，汽车是支柱产业，齿轮作为汽车变速箱的核心零部件，在汽车产业中的作用举足轻重。”王时龙说，长期以来，国产齿轮加工装备只能保证手动挡变速箱以及低端自动变速箱齿轮的加工，并不能满足重庆齿轮产业向高精度和高速干切方面的转型发展。</p> <p>为改变这样的状况，王时龙团队与重庆机床集团合作，研制了高精度数控磨齿机床等，达到国际先进水平。</p> <p>作为我国一级重点学科“机械工程”的学术带头人，这些年来，王时龙还先后担任国家 863 先进制造领域主题专家、“数控一代”总体专家组专家、网络化协同制造及智能工厂总体专家组专家，主持国家级科研项目 40 余项，获发明专利 30 多项。</p> <p>攻坚克难 研发全国首台全数控高效大型滚齿机</p> <p>“以前，我们国家大规格齿轮加工机床都依赖进口。”王时龙说，如果遇到航母等大型装备传动系统出现故障，没办法维修，很可能就变成一堆‘废铁’，更谈不上制造新的大型装备了。</p> <p>于是，在 2006 年通过联合重庆机床集团、重庆齿轮箱有限公司等齿轮行业领军企业，在国家科技重大专项等支持下，王时龙带领团队攻坚克难，研发了全国首台全数控高效大型滚齿机。</p> <p>王时龙回忆说，要让直径 3 米的大型风电齿轮顺利加工出来，首先必须制造出相应大小的专用全数控高效大型加工机床，而国内当时并没有这样的设备。此外，大齿轮受热变形更大，如何减少误差，也成为一大难题。</p> <p>为了解决这一系列难题，王时龙和他的团队做了大量实验。“有的时候运气好，几天就找到某个误差产生的原因了。运气差的时候，一个数据我们要实验几个月甚至一年以上。”</p> <p>最终，王时龙团队用 3 年时间，研发出全数控高效大型滚齿机。这项获得 2018 年国家科技进步二等奖的研究成果，满足了航母、汽车、大型风电等国家重大需求，广泛应用于我国 90%以上水面舰艇齿轮加工，也为汽车变速箱的批量国产化提供了保障。</p> |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>“那时，进口某型号大型齿轮加工机床 800 万元一台，后来我们研发出自己的机床，进口价格直接降到 600 万元！”王时龙骄傲地说。</p> <p>他有一个梦想 让零件会“说话”</p> <p>在采访中，王时龙提得最多的就是他的梦想——让零件会“说话”、会“交流”。而梦想的灵感，来自于 1999 年发生的一个生活场景。</p> <p>“有次，我委托学生帮忙买火车票。他问我，老师您要去哪儿、哪天乘车、选上铺还是下铺……到了售票点，学生又观察售票窗口前的排队情况，选择人少且移动速度较快的队列，最终高效快捷买到火车票。”王时龙说，这让他突发奇想——如果车间的每一个零件也能像学生那样会“交流”就好了。“除了零件与零件之间，零件与机床之间也希望能‘交流’，如会去思考到哪儿加工能保证精度、价格最划算，到哪儿加工最省时……”</p> <p>王时龙这个带有几分科幻色彩的设想，也正是无人车间的模型。为了实现这个梦想，他已经研究了 20 年。</p> <p>“我从来没有停止过对这个问题的思考和研究。当然，这也需要多个领域的共同合作才能实现。”王时龙告诉记者，当前，他正在牵头承担国家重点研发计划：科技创新 2030—新一代人工智能重大项目“人机物虚实融合的复杂制造协同控制与决策理论方法研究”。他相信，随着 5G 时代的到来和智能机器人的飞速进步，自己的梦想很快就会变为现实。</p> <p><b>思政点 1：创新精神与科学态度</b></p> <p><b>跨学科创新思维：</b>王时龙进行的“人机物”融合研究，将计算机能力与人的能力有机结合，体现了跨学科的创新思维。在相关课程中，可鼓励学生打破学科界限，培养综合性思维。例如在智能制造课程中，引导学生思考如何融合不同学科知识来解决复杂工程问题，像结合机械工程、计算机科学、控制科学等实现智能生产系统的优化，激发学生的创新意识。</p> <p><b>严谨的科学态度：</b>研发全数控高效大型滚齿机时，面对诸多难题，王时龙团队做了大量实验，有时一个数据要实验几个月甚至一年以上。在实践课程或科研项目指导中，可向学生传达这种严谨的科学态度，让学生明白科研不是一蹴而就的，需要耐心、细心和恒心。例如在课程实验中，要求学生认真对待每一个实验数据，反复验证，培养学生严谨的治学作风。</p> <p><b>思政点 2：家国情怀与责任担当</b></p> <p><b>行业发展与国家战略：</b>王时龙投身齿轮领域，源于重庆汽车产业对齿轮这一核心零部件的需求。通过讲述他的经历，让学生明白个人所学专业与国家产业发展紧密相连。例如在机械制造相关课程中，可引导学生思考自己所学知识如何为国家支柱产业贡献力量，像汽车产业的发展对国家经济、工业体系的重要性，激发学生为国家产业发展而努力学习的责任感。</p> <p><b>打破国外技术封锁：</b>过去我国大规格齿轮加工机床依赖进口，面临大型装备传动系</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>统故障无法维修等困境。王时龙团队攻坚克难研发出全国首台全数控高效大型滚齿机，满足了航母、汽车、大型风电等国家重大需求。这一事迹可在工程类课程中讲解，培养学生的民族自豪感和使命感，让学生认识到在关键技术领域自主创新，打破国外技术垄断，对于保障国家战略安全和产业竞争力的重要意义，激励学生立志解决我国关键技术“卡脖子”问题。</p>                                                                        |
| 分析评价 | <p>王时龙将 35 年的青春奉献给齿轮领域，体现个人专业与国家产业紧密相连，借此可引导学生思考为国家支柱产业贡献力量，激发责任感；其团队打破大规格齿轮加工机床国外技术封锁，能在工程类课程培养学生民族自豪感、使命感，激励解决“卡脖子”问题。</p> <p>他的“人机物”融合研究展现跨学科创新思维，可在相关课程鼓励学生打破学科界限解决复杂工程问题；研发大型滚齿机时团队大量实验、长期钻研数据，这种严谨科学态度可在实践课程或科研指导中培养学生耐心、细心、恒心的治学作风。</p> |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-031                                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例标题 | 风力发电机心脏“风机齿轮箱”：以科技创新为笔，绘就工匠精神                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                               |
| 内容简介 | <p>通过引入风电齿轮箱的多种结构一级行星两级平行齿轮箱、两级行星 一级平行齿轮箱、复合行星结构齿轮箱，不仅展示了科技工作者在风电技术领域不断创新的成果。也可以直观具体让学生认识周转轮系和复合轮系的应用场景，不同结构的齿轮箱为满足不同功率需求而设计，强调齿轮箱设计及制造要求的严苛性，如要求体积小、重量轻、性能优良、运行可靠、故障率低等，这背后反映出的工匠精神，引导学生在学习和未来工作中要追求卓越、精益求精，培养严谨认真的科学态度和对技术不断钻研创新的精神。</p>       |
| 关键词  | 风机齿轮箱；周转轮系；复合轮系                                                                                                                                                                                                                                  |
| 编写时间 | 2025-2-19                                                                                                                                                                                                                                        |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                      |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                            |
| 育人主题 | 科技创新与工匠精神                                                                                                                                                                                                                                        |
| 素材长度 | 1741                                                                                                                                                                                                                                             |
| 案例正文 | <p>我国是风力发电大国，陆上和海上风电发电量均为全球第一。目前风电齿轮箱有两种，分别是双馈风机和直驱风机。双馈、直驱两种技术路线的本质区别，在于双馈型带有"齿轮箱"，而直驱型不带"齿轮箱"。</p> <p>风电机组齿轮箱采用齿轮传动的方式将风轮的旋转动能传递给发电机。风轮旋转驱动主轴旋转；主轴通过第一级齿轮传动将低速大扭矩的运动转化为高速小扭矩的运动；高速轴通过第二级齿轮传动将高速小扭矩的运动转化为低速大扭矩的运动；最后，低速轴将此运动传递给发电机，发电机产生电能。</p> |

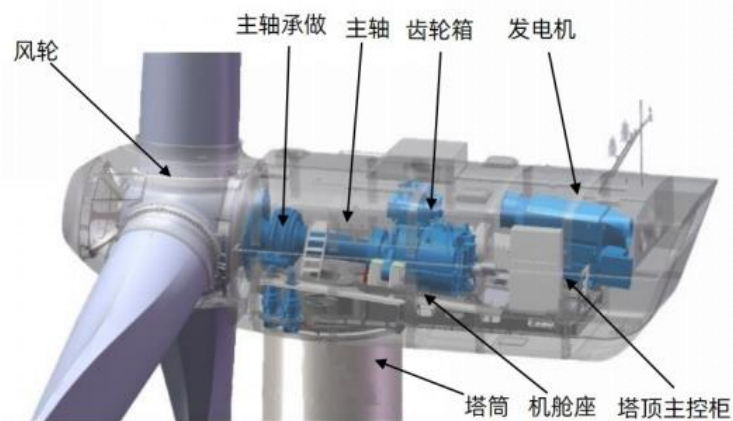


图 1 带齿轮箱的风电机组结构示意图

风电机组齿轮箱是风力发电设备中的关键部件之一，用于将风轮旋转的动能传递给发电机，从而产生电能。它通常由多个齿轮组成，通过精确的传动比例来提高风轮转速，并将其转化为适合发电机工作的转速。通常风轮的转速很低，远达不到发电机发电所要求的转速，必须通过齿轮箱齿轮副的增速作用来实现，故也将齿轮箱称之为增速箱。

因此，增速齿轮箱设计及制造相当关键。同时风力发电机组增速齿轮箱由于其使用条件的限制，要求体积小，重量轻，性能优良，运行可靠，故障率低。用量最大的双馈机型上的齿轮箱大多为行星轮系+平行轴传动。

风电机组齿轮箱是专门应用在风力发电领域的齿轮箱，主要作用是将风电叶轮的高扭矩、低转速转化为风电发电机侧的低扭矩和高转速，以适应发电机的工作需求，并且齿轮箱还会将叶轮侧的各种方向的复杂载荷抵消，使传递到发电机处的只剩下扭矩。

风电齿轮箱最有代表意义，应用范围也最广的三种结构如下：

#### （1）一级行星+两级平行

此结构由一级行星传动和两级平行传动组成，这种结构的齿轮箱广泛分布在 2MW 以下的齿轮箱中，它最大的特点是结构简单需要铸造加工的大型零件比较少，一般为三个：扭力臂，主壳体，行星架。此种类型的齿轮箱传动承载能力较低，行星级齿轮和轴承润滑条件一般，所用齿轮轴承数量比较少。

#### （2）两级行星+一级平行

这种结构的齿轮箱也是三级传动，它与上面结构不同的是它是两级行星和一级平行传动，这种机构相对来说承载能力更强，主要分布在 1.5MW-5MW 机型，承载能力高得益与其第二级传动也是行星结构，能够承受更多的载荷。这种齿轮箱总体结构较长，铸造所用的大型壳体比较多，一般是三个壳体，两个行星架；并且齿轮数量较多，含两个内齿圈，成本较第一种要高出不少；行星级齿轮和轴承的润滑条件比较一般。

### (3) 复合行星结构

这种结构的齿轮箱与一级行星加两级平行结构有些类似，但其行星级传动的主动轮为内齿圈，并且不存在惰轮。这种结构最大的优点是所有传动级的齿轮和轴承都能得到良好的润滑，承载能力进一步加大。这种结构的行星轮不存在两面受力的情况，行星轮失效的概率大大降低，同时复合行星的内齿圈的处理方式为渗碳淬火，比常规调制处理的内齿圈强度大幅度增加，承载效率也大幅度提高。同时复合行星的内齿圈、行星轮和太阳轮的模数压力角不必保持一致，对于凑配齿数中心距拥有更高的灵活性。当然，复合行星也有它的缺点，首先是装配要求高，装配时需要对齿，其次是壳体铸造加工也比常规的复杂。



图 1 一级行星两级平行齿轮箱



图 2 两级行星一级平行齿轮箱

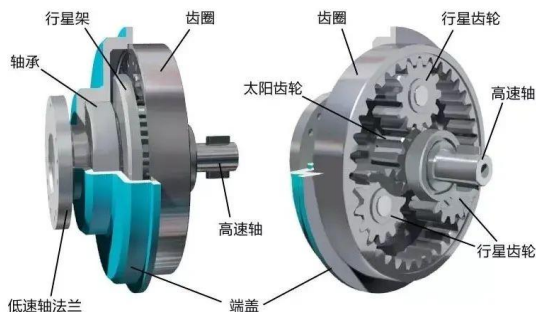


图 3 行星轮系

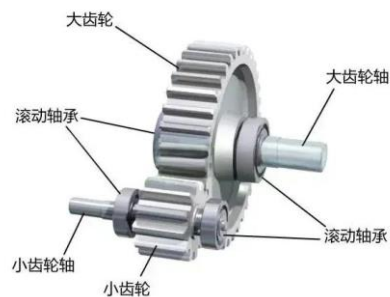
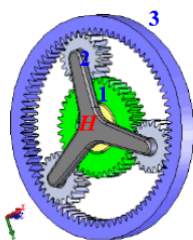


图 4 平行轴系

在轮系的具体应用中，除了广泛使用单一的定轴轮系或者单一的周转轮系外，还经常采用由定轴轮系与周转轮系或者由若干个周转轮系组合在一起的轮系，这样的轮系称为复合轮系，也称为混合轮系。风电机组齿轮箱里面的齿轮传动主要采用的就是复合轮系。

从风机齿轮箱结构可以看出都含有行星轮系，是周转轮系的一种。周转轮系是指轮系运转时，至少有一个齿轮的几何轴线的位置是不固定的，并且绕另一个齿轮的固定轴线转动。

**周转轮系：轮系运转时，至少有一个齿轮的几何轴线的位置是不固定的，并且绕另一个齿轮的固定轴线转动**

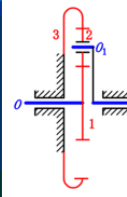
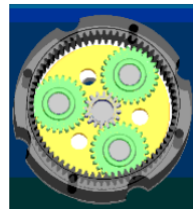
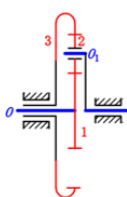


太阳轮/中心轮—1、3

行星轮—2

行星架/转臂—H

太阳轮、行星架——基本构件应绕同一轴线回转



$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 4-2\times 4-2=2$$

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 3-2=1$$

差动轮系：两个中心轮都能转动

行星轮系：只有一个中心轮都能转动

图3 周转轮系与行星轮系

中国政府高度重视可再生能源的发展，尤其是风电产业。在国家大力推行低碳经济及“双碳”目标实施的背景下，我国风电行业作为清洁能源之一，也得到快速发展，对大型高速风电齿轮箱的需求不断上升，2023 年国内风电齿轮箱销量约为 2.11 万台。近年来，中国政府相继出台了一系列支持风电行业发展的政策，如《可再生能源法》、《风电发展“十三五”规划》等，这些政策为风电齿轮箱行业的发展提供了有力的政策保障。

中国已成为全球风电市场的主导力量，受益于风电行业整体发展与风电机型技术路线变化，国内风电齿轮箱市场高速发展。2023 年中国齿轮箱行业市场规模为 275.70 亿元，具体如下：



图4 2019-2023 年中国风电齿轮箱行业市场规模

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点 1：科技创新与工匠精神</b></p> <p>详细介绍了风电齿轮箱的多种结构类型及其特点，如一级行星 + 两级平行、两级行星 + 一级平行、复合行星结构等，展示了科技工作者在风电技术领域不断创新成果。不同结构的齿轮箱为满足不同功率需求而设计，体现了科技创新的多样性和针对性。同时，强调了齿轮箱设计及制造要求的严苛性，如要求体积小、重量轻、性能优良、运行可靠、故障率低等，这背后反映出的工匠精神，引导学生在学习和未来工作中要追求卓越、精益求精，培养严谨认真的科学态度和对技术不断钻研创新的精神。</p> <p><b>思政点 2：绿色发展与社会责任</b></p> <p>在国家大力推行低碳经济及“双碳”目标的背景下，风电行业作为清洁能源得到快速发展。这一内容可引导学生树立绿色发展理念，认识到发展清洁能源对于应对气候变化、实现可持续发展的重要意义，增强学生的环保意识和社会责任感，激励他们为实现绿色发展目标贡献自己的力量。</p> |
| 分析评价 | <p>我国风电齿轮箱领域蕴含丰富思政元素。一方面，风电齿轮箱多样结构满足不同功率需求，展现科技工作者创新成果，其设计制造严苛要求体现工匠精神，引导学生追求卓越、钻研创新，秉持严谨科学态度；另一方面，在国家低碳经济与“双碳”目标下，风电行业作为清洁能源快速发展，可借此引导学生树立绿色发展理念，增强环保意识与社会责任，激励为实现绿色发展目标贡献力量。</p>                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|      |                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-032                                                                                                                                                                                                      |
| 案例标题 | 风电强国崛起：从福建海疆到西藏高原，培育学生家国担当，点燃爱国情怀                                                                                                                                                                                 |
| 案例来源 | 百度 <a href="https://baijiahao.baidu.com/s?id=1770287395789041718&amp;wfr=spider&amp;for=pc">https://baijiahao.baidu.com/s?id=1770287395789041718&amp;wfr=spider&amp;for=pc</a>                                    |
| 内容简介 | 我国风电成就斐然，2010 年底风力发电累计装机容量跃居世界第一并持续领先，接连突破多个关键装机量大关。全球首台 16 兆瓦海上风电机组在三峡集团福建海上风电场吊装成功，海上“海油观澜号”作为首座深远海浮式风电平台，成功并入电网，陆地的西藏措美哲古风电场成为世界最高海拔风电场等。引导学生思考我国取得如此成就背后的原因，让学生为我国的科技成就感到骄傲，激发学生对国家发展战略的认同感和投身于提升国家科技竞争力的事业中。 |
| 关键词  | 风电机组；齿轮箱；风机叶片                                                                                                                                                                                                     |
| 编写时间 | 2025-2-19                                                                                                                                                                                                         |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                       |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                             |
| 育人主题 | 爱国主义与民族自豪感                                                                                                                                                                                                        |
| 素材长度 | 2203                                                                                                                                                                                                              |
| 案例正文 | <p>世界第一，已经成为<b>我国风电</b>的亮眼标签。</p>  <p>图 1 福建省连城县石壁山风电场（在山间）</p>                                                               |



图 2 在海上的风电



图 3 在沙漠隔壁上的风电



图 4 中国广核集团内蒙古兴安盟风电基地 在草原上的风电



图 5 西藏措美哲古风电场 在高原上的风电

2010 年底，我国风力发电累计装机容量跃居世界第一。此后，风电装机稳居第一，于 2015 年突破 1 亿千瓦，2019 年突破 2 亿千瓦，2021 年突破 3 亿千瓦。

中国风电为何能一路领跑？一起去探寻风之魅力。

### 自主之风

轮毂中心高度 152 米，约相当于一座 52 层大楼的高度；机舱、发电机组合体重达 385 吨，相当于 190 台越野车的重量；单只叶片重 54 吨，长 123 米，能够同时容纳 300 个成年人并肩站立；叶轮扫风面积约 5 万平方米，约相当于 7 个标准足球场大。

**这就是全球首台 16 兆瓦海上风电机组**，6 月 28 日在三峡集团福建海上风电场吊装成功。

建成投产后，它将成为全球已投运的单机容量最大海上风电机组。而且，包括发电系统在内，**这台风机的大型主轴轴承、超长轻量叶片等核心部件均实现了国产化。**

从外部看，这个风机是个“铁疙瘩”，但实际上，内部大有乾坤。

16 兆瓦海上风电机组，在保证发电量的前提下，将发电机的重量降低到了 20 吨左右，实现了大容量电机小型化的技术突破。

遍布整机的数百个传感器和机舱上的激光雷达，可以感知温度、湿度、风速等信息，数字化跟踪机组的运行状态，在恶劣气象条件下，还能通过机组自身的智慧“大脑”，进行风机角度、功率的调节。



**123 米超长海上风电叶片为 100%我国自主知识产权。**并不只是大，它的内部主梁结构突破性采用碳纤维材料，叶片重量减轻了 20%左右。这款叶片 96%以上的原材料实现了国产化；**技术工艺上更拥有 100%的自主知识产权。**



可以说，16兆瓦海上风电机组是我国风电高端装备制造能力的一次集中展示。目前，我国已发展成为世界第一大风电整机装备生产国，产量占全球的一半以上，已形成了完整的具有领先水平和全球竞争力的风电产业链和供应链。

### 突破之风

近年来，我国风电快速发展，从海洋到陆地，不断突破环境条件限制，一架架“大风车”拔地而起。

在海上，风电平台向深远海挺进。

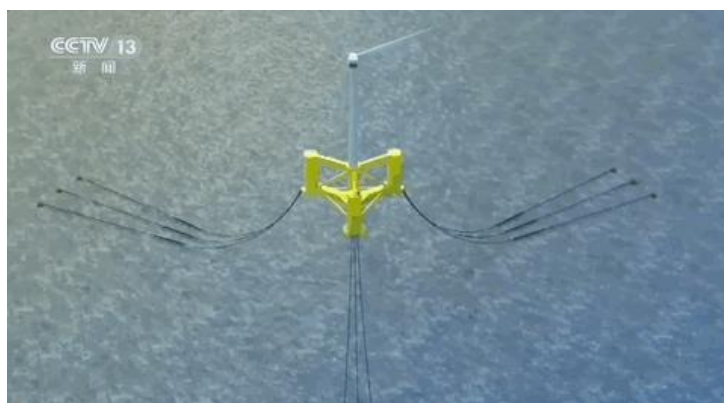
今年5月，我国首座深远海浮式风电平台“海油观澜号”成功并入文昌油田群电网，正式为海上油气田输送绿电，可节省天然气近千万立方米，预计年均减少二氧化碳排放2.2万吨。



在深远海怎么建造风机呢？秘诀是“浮”。

浮式风电平台是一种可在水中漂浮并捕捉风能发电的装备，通过在浮体内部注水压载，实现在水中漂浮并保持平衡状态，以克服海水对风机基础的晃动作用。

“海油观澜号”是我国第一个工作海域距离海岸线100公里以上，水深超过100米的浮式风电平台。它整体高度超200米，吃水总重达11000吨，通过9根锚链系泊固定在水深120米的海洋深处。



“海油观澜号”所在的地方是全球已有海上风电环境工况的最复杂海域。这样的“大家伙”漂在海上安全吗？放心，“海油观澜号”创新应用一体化设计和迭代技

术，能够保证在超 17 级的最强台风下安全稳定运行。

在陆地，风电场突破高海拔限制。

西藏措美哲古风电场是世界最高海拔风电场。它位于喜马拉雅山北麓的山南市措美县哲古镇，是首个并入西藏主电网的风电项目，风电建设在海拔 5000 米至 5200 米之间。

一期项目于 2021 年底全面投产发电。截至今年 3 月，累计发电量已突破 1 亿千瓦时。



在高海拔建设风电站，风机不仅必须要解决极低空气密度、高强度日照、超高海拔、低气压等环境工况难题，还要对电气电控、冷却、防雷等系统进行专门设计。

西藏措美哲古风电项目的成功，填补了超高海拔地区风力发电开发建设的行业空白，打破了“高原风能有气无力、不具有开发价值”的说法。



“向云端，山那边，海里面”，歌词中所唱，也是中国风电建设真实动人的写照。

### 建设之风

今年早些时候，三峡能源四川金阳风电场风机叶片在险峻山路上“神龙摆尾”的视频火了。

风机叶片长 75 米、重 19 吨，把它运到在建的风电场，一路要走悬崖、过险弯、越盘山，全程 200 多公里，走了半个月，辛苦可想而知。



△画面为 10 倍速效果

该项目负责人罗涛回忆，“刚开始，驾驶员说，给多少钱，都不愿意做。”怎么办？负责人上。运输公司老总上阵开车，罗涛和同事们就跟车，前前后后地照看、指挥。路不够宽，工人们就吊着安全绳开凿。功夫不负有心人，最终实现当年建设、当年完工。

而 16 兆瓦海上风电机组的 123 米超长海上风电叶片转运，同样不容易。运输车辆有着特殊的设计，全车轮胎数超过了 60 个。



各地风机叶片运输的场景看得人不禁屏住呼吸。看得见的是神奇，感受到的是毅力，所有的建设都是建设者迎难而上的成功。

风机叶片运输已经如此困难，安装的难度更是可想而知。

叶片吊装是 16 兆瓦风机安装过程中最难也是最关键的工序。福建平潭外海域，一年中约有 300 多天有 6 级以上的大风。在风力的作用下，高空吊装时巨大的叶片和轮毂极易产生晃动。而叶片在安装对接时，需将 176 颗直径 42 毫米的高强螺栓插入直径为 45 毫米的螺栓孔内，安装误差须控制在 1.5 毫米以内，堪称百米高空“穿针引线”。



为安全、优质、高效地完成，项目施工方从广东调来**全球首艘 2000 吨级第四代海上风电安装平台——“白鹤滩”号**。

“白鹤滩”号向上竖起的桩腿长达 120 米，水面之下的桩腿直插海底，穿过淤泥直达硬顶层，支撑平台立于海上。配置的动力定位系统，可以保障作业者在风高浪急、暗流涌动的复杂作业环境中做到“任凭风浪起，稳坐钓鱼台”。

2020 年以前，国内没有一艘能够满足水深超 40 米、风机轮毂中心高度超 130 米的风电安装船。为了推动海上风电由近海向远海开发，我国建造了国内首艘满足深远海风机安装的**安装船“白鹤滩”号**，国内最大的综合性勘探试验平台。截至 2022 年底，国内现役风电安装船 54 艘。

可以说，建设者的迎难而上，建设利器的不断完善，共同成就了中国风电的建设传奇。



自主研发、不断突破、扎实建设，中国风电乘风而起，扶摇直上、“风”采无限！

### **思政点 1：爱国主义与民族自豪感**

**全球领先的装机规模：**自 2010 年底我国风力发电累计装机容量跃居世界第一以来，持续保持领先地位，相继在 2015 年突破 1 亿千瓦，2019 年突破 2 亿千瓦，2021 年突破 3 亿千瓦。在课堂上展示这些数据，能让学生直观感受到我

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>国风电产业在全球的引领地位，深刻认识到国家在清洁能源领域的强大实力，从而激发学生内心深处的爱国热情，增强民族自豪感。例如，在讲解风电行业发展概况的课程中，引入这些数据对比，引导学生思考我国取得如此成就背后的原因，激发学生对国家发展战略的认同感和为国家建设贡献力量的决心。</p> <p>国产风机的技术突破：以全球首台 16 兆瓦海上风电机组为例，其包括发电系统在内的大型主轴轴承、超长轻量叶片等核心部件均实现了国产化。这一成果展示了我国在风电高端装备制造领域的自主创新能力，让学生明白我国不再依赖进口技术，而是能够在关键技术上实现自主可控。在风电设备制造相关课程中，深入剖析这台风机的国产化技术细节，如 123 米超长海上风电叶片内部主梁结构突破性采用碳纤维材料，不仅减轻了重量，还拥有 100% 的自主知识产权，96% 以上的原材料实现国产化。通过这样的案例讲解，让学生为我国的科技成就感到骄傲，激励他们投身于提升国家科技竞争力的事业中。</p> <p><b>思政点 2：创新精神与科学素养</b></p> <p>风机技术创新：16 兆瓦海上风电机组在保证发电量的前提下，实现了大容量电机小型化的技术突破，将发电机的重量降低到 20 吨左右。同时，遍布整机的数百个传感器和机舱上的激光雷达，能感知温度、湿度、风速等信息，通过机组自身的智慧“大脑”，在恶劣气象条件下进行风机角度、功率的调节。在讲解风电技术原理的课程中，引入这些创新技术，引导学生理解创新思维在解决实际工程问题中的应用，培养学生勇于探索、敢于突破传统的科学精神。鼓励学生思考如何在现有技术基础上进一步创新，提高风电设备的性能和效率。</p> <p>风电平台创新设计：我国首座深远海浮式风电平台“海油观澜号”成功并入电网，为海上油气田输送绿电。该平台通过在浮体内部注水压载实现漂浮并保持平衡状态，克服了海水对风机基础的晃动作用。而且，它创新应用一体化设计和迭代技术，能够在超 17 级的最强台风下安全稳定运行。在海上风电工程相关课程中，分析“海油观澜号”的设计原理和创新点，让学生了解到在复杂海洋环境下进行工程创新的挑战与机遇，培养学生的创新能力和应对复杂问题的科学素养。引导学生思考如何将创新设计理念应用到其他风电项目中，推动风电技术的不断发展。</p> <p><b>思政点 3：责任担当与团队协作</b></p> <p>风电产业链协同发展：我国已形成完整的具有领先水平和全球竞争力的风电产业链和供应链，从风机零部件生产到整机制造，从风电场建设到运营维护，各个环节紧密配合。在讲解风电产业经济与管理相关课程时，分析产业链各环节的协同关系，让学生明白在一个庞大的产业体系中，每个参与者都肩负着重要责任，只有大家各司其职、相互协作，才能推动整个产业的发展。通过分组讨论、案例</p> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>分析等教学方法，引导学生思考自己在未来的风电产业工作中应承担的责任，以及如何与团队成员有效协作，共同实现产业目标。</p> <p>风电项目建设团队协作：以 16 兆瓦海上风电机组安装为例，项目施工方从广东调来全球首艘 2000 吨级第四代海上风电安装平台——“白鹤滩”号。在安装过程中，涉及到平台操作团队、吊装技术团队、安全保障团队等多个团队的密切配合。在实践教学或项目式学习中，引入类似的风电项目案例，组织学生进行团队模拟项目实践，让学生在实际操作中体会团队协作的重要性，培养学生的团队合作精神和沟通协调能力。同时，引导学生树立责任意识，明白每个团队成员的工作质量都直接影响到整个项目的成败。</p> <p><b>思政点 4：绿色发展与可持续理念</b></p> <p>风电对环境的积极影响：西藏措美哲古风电场作为世界最高海拔风电场，在海拔 5000 米至 5200 米之间建设，一期项目投产发电后，截至今年 3 月累计发电量已突破 1 亿千瓦时。在高海拔地区建设风电站，不仅解决了当地能源供应问题，还减少了传统能源使用带来的碳排放。在能源与环境相关课程中，分析风电场建设对当地生态环境的积极影响，向学生传递绿色发展和可持续发展理念。引导学生思考如何在发展风电产业的同时，更好地保护生态环境，实现经济发展与环境保护的双赢。</p> <p>海上风电助力清洁能源转型：我国首座深远海浮式风电平台“海油观澜号”成功并入文昌油田群电网，为海上油气田输送绿电，预计年均减少二氧化碳排放 2.2 万吨。通过这一案例，在课堂上讲解海上风电在推动能源结构转型、实现碳中和目标中的重要作用，让学生认识到风电作为清洁能源在应对气候变化中的关键地位。组织学生开展关于清洁能源发展与可持续未来的主题讨论，激发学生对绿色能源事业的热情，培养学生为实现可持续发展目标而努力学习和工作的使命感。</p> |
| 分析评价 | <p>在思政教学中，可通过多种方式引导学生理解风电领域技术创新与国家发展战略的关系，说明风电在能源转型、保障能源安全及实现“双碳”目标中的关键意义，分析科技创新战略，强调风电技术创新对产业升级与国家竞争力提升的重要性。以 16 兆瓦海上风电机组、“海油观澜号”、西藏措美哲古风电场等为例，展示技术创新如何服务国家能源、海洋资源开发及区域发展战略，让学生为我国的科技成就感到骄傲，鼓励参与科研项目或竞赛，提升学生创新实践能力，增强其使命感与责任感。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-033                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例标题 | 从记里鼓车到现代齿轮传动：解锁古人智慧，筑牢文化自信根基                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 内容简介 | <p>齿轮传动在日常生活中应用广泛，在实际机械里，常需一系列相互啮合的齿轮来传递运动和动力，这样由一系列齿轮组成的传动系统被称为轮系。早在一千八百多年前，古人就凭借智慧发明了计算里程的记里鼓车。通过学习定轴轮系传动比的计算，了解记里鼓车里程计数原理，感受古人的智慧，能够增强学生们的文化自信与民族自豪感。</p>                                                                                                                                       |
| 关键词  | 定轴轮系；传动比；记里鼓车                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 编写时间 | 2025-2-19                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 育人主题 | 文化自信与民族自豪感                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 素材长度 | 1357                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 案例正文 | <p>齿轮传动的用途很广，在我们的日常生活中，齿轮传动的例子很多，比如机械手表、闹钟走时机构、电风扇的摇头机构、空调的摆风机构、自行车的链传动和变速机构、洗衣机的变速机构、汽车的变速机构、机床的变速机构、减速器等。在实际机械中，往往要采用一系列相互啮合的齿轮来传递运动和动力。这种由一系列的齿轮组成的传动系统称为轮系。根据齿轮啮合方式的不同，轮系可以分定轴轮系、周转轮系和混合轮系。</p> <p>定轴轮系：在这种轮系中，所有齿轮的轴线相对于机架的位置都是固定的。定轴轮系适用于需要大传动比、较大轴间距或需要变速、变向的场合。例如，汽车变速箱中的齿轮组就是典型的定轴轮系。</p> |

**定轴轮系：轮系运转时，各齿轮的几何轴线位置均相对固定不变**

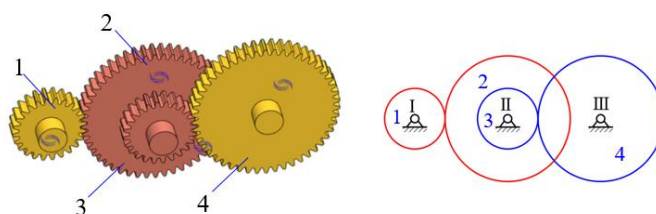
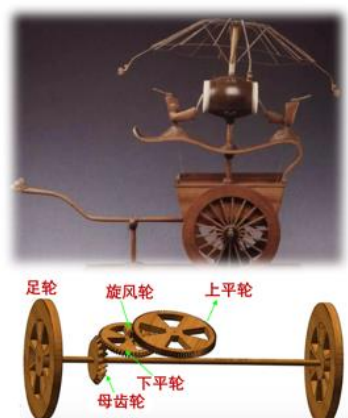


图1 定轴轮系

现在的汽车里面都有里程表来记录汽车行驶过的距离，但其实早在一千八百多年前，智慧的古人就发明了计算里程的测量工具——**记里鼓车**。

记里鼓车是由“记道车”发展而来的，有关记道车的文字记载最早见于汉代刘歆的《西京杂记》：“汉朝舆驾祠甘泉汾阳……记道车、驾四、中道。”可见至迟在西汉时期，即已有了这种可以计算道路里程的车。后来因为加了打鼓装置，每走一里路打一下鼓、故名“记里鼓车”。《古今注》记载：“记里车，车为二层，皆有木人，行一里下层击鼓，行十里上层击镯（古代一种小钟）。 ”



最早的“计程车”——记里鼓车

汉代科学家张衡**利用齿轮啮合及轮系**，研制了**记里鼓车**

《古今注》记载：“记里车，车为二层，皆有木人，**行一里下层击鼓，行十里上层击镯**

《晋书》介绍说：“记里鼓车，驾四。形制如司南。其中有木人执槌向鼓，**行一里则打一槌**。”

图2 记里鼓车

定轴轮系传动比的计算

定轴轮系

定轴轮系传动比

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} \Rightarrow \omega_2 = \frac{\omega_1}{z_2/z_1}$$

$$i_{2'3} = \frac{\omega_{2'}}{\omega_3} = \frac{z_3}{z_{2'}} \Rightarrow \omega_3 = \frac{\omega_2}{z_3/z_{2'}} = \frac{\omega_1}{(z_2/z_1) \cdot (z_3/z_{2'})}$$

$$i_{3'4} = \frac{\omega_{3'}}{\omega_4} = \frac{z_4}{z_{3'}} \Rightarrow \omega_4 = \frac{\omega_3}{z_4/z_{3'}} = \frac{\omega_1}{(z_2/z_1) \cdot (z_3/z_{2'}) \cdot (z_4/z_{3'})}$$

$$i_{45} = \frac{\omega_4}{\omega_5} = \frac{z_5}{z_4} \Rightarrow \omega_5 = \frac{\omega_4}{z_5/z_4} = \frac{\omega_1}{(z_2/z_1) \cdot (z_3/z_{2'}) \cdot (z_4/z_{3'}) \cdot (z_5/z_4)}$$

➡
 $\omega_5 = \frac{\omega_1}{i_{12} \cdot i_{2'3} \cdot i_{3'4} \cdot i_{45}} \Rightarrow i_{12} \cdot i_{2'3} \cdot i_{3'4} \cdot i_{45} = \frac{\omega_1}{\omega_5}$

图3 定轴轮系传动比的计算

根据所学知识，计算记里鼓车的传动比，了解记里鼓车里程计数原理。

➤ 传动比大小计算方法

- 传动路线

1 → 2 → 3 → 4

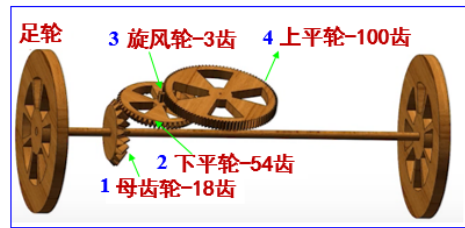
- 主从关系

12啮合，1主2从；

34啮合，3主4从。

- 传动比的大小

$$i_{14} = \frac{\omega_1}{\omega_4} = \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3} = \frac{54 \times 100}{18 \times 3} = 100$$



结果表明：足轮（母齿轮）转100圈，车行1里，对应上平轮转1圈，木人击鼓一次

图3 记里鼓车传动比计算

《晋书》中记载的记里鼓车结构图3所示。母齿轮1固接于左车轮,并与下平轮2相啮合。旋风轮与下平轮装在同一竖轴之上,并与上平轮相啮合。

母齿轮齿数为18,而下平轮齿数为54。旋风轮的齿数为3,而上平轮的齿数为100,整体是一个减速的齿轮组。其中母齿轮与下平轮传动比为3:1。而旋风轮与上平轮转速相同,且铜旋风轮与上平轮的传动比为100:3。综上,母齿轮与上平轮的传动比为100:1。

车轮的圆周长1丈8尺(18尺),车轮转一圈则车行1丈8尺,古时以6尺为一步,则车轮转一圈车行3步。车行一里(即为三百步)车轮和母齿轮都转100圈,此时传动轮和铜旋风轮转动100/3圈,上平轮才转1圈,木偶击鼓一次。

定轴轮系主要适用于下列情况:

(1) 大的传动比。一般一对齿轮的传动比不宜过大,例如要求实现传动比为100,若仅用一对齿轮,则大轮直径齿数为小轮齿数的100倍,若采用三级的轮系,则大轮直径可大为减小。

(2) 较大的轴间距。如两轴距离较大,采用一对齿轮传动,则两齿轮直径势必很大。若在中间加一个或几个齿轮,齿轮尺寸即可缩小。

(3) 变速或变向,用变速机构改变轮系的传动比(见变速器)以实现变速;或设置中间轮以改变从动轴的转向。这种只改变从动轮转向不改变原传动比大小的中间轮称为惰轮。

(4) 用一个主动轴带动若干要求不同转速、转向的从动轴,或用若干从动轴带动同一主动轴。定轴轮系的效率等于串联的各对齿轮传动效率的连乘积。

周转轮系:这种轮系至少有一个齿轮的轴线会绕另一个齿轮的固定轴线转动。周转轮系根据自由度的不同,可以分为差动轮系(有两个自由度)和行星轮系(有一个自由度)。周转轮系适用于需要变速传动、实现运动的合成和分解等场合。例如,行星齿轮减速器就是一种典型的周转轮系。

混合轮系:这种轮系由定轴轮系和周转轮系组成,或者由多个周转轮系组成。

|      |                                                                                                                                                                                                                            |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>混合轮系适用于更复杂的传动需求，能够结合定轴轮系和周转轮系的优点，满足特定的传动要求。</p> <p><b>思政点：文化自信与民族自豪感</b></p> <p>通过介绍早在一千八百多年前古人就发明了记里鼓车这一计算里程的测量工具，展现了我国古代人民的智慧，体现了中华优秀传统文化的深厚底蕴。学生能够从中感受到先辈们在机械制造领域的卓越成就，从而增强文化自信与民族自豪感，认识到中华民族在人类文明发展进程中曾做出的突出贡献。</p> |
| 分析评价 | <p>定轴轮系的计算具有很强的理论性，在这一理论知识的学习中引入一千八百多年前古人就发明了记里鼓车这一计算里程的测量工具，让理论内容具有历史文化气息，不仅展现了我国古代人民的智慧，体现了中华优秀传统文化的深厚底蕴，更能激发学生们的学习兴趣，学生能够从中感受到先辈们在机械制造领域的卓越成就，从而增强文化自信与民族自豪感，认识到中华民族在人类文明发展进程中曾做出的突出贡献。</p>                             |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                            |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-034                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 案例标题 | 攻克“卡脖子”难题，驱动齿轮行业迈向新能源新征程                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例来源 | 百度 <a href="https://baijiahao.baidu.com/s?id=1716221986317342098&amp;wfr=spider&amp;for=pc">https://baijiahao.baidu.com/s?id=1716221986317342098&amp;wfr=spider&amp;for=pc</a>                                                                                 |
| 内容简介 | <p>重庆大学机械与运载学院副院长曹华军见证了重庆科技的快速发展，投身齿轮制造研究超 20 年，目睹中国齿轮技术从被国外“卡脖子”到世界领先。他的团队自 1999 年起不断创新，从机床绿色制造与再制造，到攻克高速干切滚齿机床技术，打破国内高端干切机床进口依赖，再到如今针对新能源汽车齿轮新需求开展新一代制齿工艺装备研发，彰显出创新精神与科学探索，激励学生突破传统、追求卓越；面对时代发展，团队紧跟新能源汽车产业趋势，体现时代使命感与社会责任感，教导学生将专业学习与社会需求相融合，为社会进步贡献力量。</p> |
| 关键词  | 超精密齿轮技术；王立鼎；标准齿轮                                                                                                                                                                                                                                               |
| 编写时间 | 2025-2-22                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 育人主题 | 创新精神与科学探索                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 素材长度 | 2139                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 案例正文 | <p>“十九届六中全会对于中国共产党的百年发展进行了一个全面的总结，我感觉很振奋，也深感不易。”重庆大学机械与运载学院副院长曹华军说，近年来重庆的科技快速发展，各大科研机构、院所纷纷落地，重庆更是提出要打造全国有影响力科技中心。</p> <p>曹华军说，这些年重庆的科技发展有目共睹。</p> <p>以他从事的齿轮制造为例，研究 20 余年，看着中国的齿轮技术从被国外“卡脖子”到进入世界领先水平，深感自豪。</p>                                               |



重庆大学机械与运载学院副院长曹华军

我国齿轮制造向高端迈进

齿轮有多重要？

国徽上的齿轮就是指工业，齿轮是工业的命脉。

滚齿工艺是高精度齿轮齿部成型的主要工艺，不过由传统滚切用量大、效率低，其加工过程需大量使用切削油，会造成严重的车间环境污染并对工人身体健康造成危害。

从 1999 年起，曹华军开始研究机床绿色制造与再制造，应用新一代技术提升传统老旧机床装备的性能。

“当时是从油雾分离入手，同时开始研究数控机床。”曹华军说，团队和合作单位重庆机床集团的研究成果在 2007 年获得了数控制齿机床的国家奖。

此后，曹华军和团队开始研究高速干切滚齿机床。应用该技术在切削加工过程中可不使用切削液，没有污染且能提高加工效率。这项成果打破了国内高端干切机床依赖进口的局面，使我国齿轮制造向高端迈进。

“这套机床以前从国外进口需要 300 多万，如今用我们自己的国产产品只需要 100 多万，而且我们还能进行定制开发，服务更周到。”曹华军说，目前，该系列机床装备在国内的市场占有率超过 50%，可完全替代进口。

推动齿轮行业从燃油向新能源转型

一代人有一代人的使命，科技创新永远在路上。

“重庆的汽车产业经济体量大，目前新能源汽车是发展方向，我们的齿轮技术要跟进上。”曹华军说，普通燃油汽车的齿轮转速一般为三千到五千转，而新能源汽车能达到一万八千甚至两万转，这对齿轮的加工精度、抗疲劳以及噪音控制提出了新的要求。

“我们团队正在研发新一代制齿工艺装备，满足新能源汽车对于齿轮的需求，

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>让我国新能源汽车齿轮自立自强。”目前，这个项目已经得到国家重点研发计划的资助，正在开展国际合作。</p> <p>曹华军在大学时期入党。在他看来，一个人要有所作为，就必须依靠组织，成为一个有组织的人。他坚信中国共产党是有理论、有思想、有使命、实事求是、与时俱进的伟大正确的党。</p> <p>“经过百年奋斗，我们取得了许多成绩，但是在科技方依然还多很多挑战，比如关键核心技术受制于人，工业附加值低等。”他说，科技创新引领发展不是一个口号，作为一名科研工作者，他将和团队不断攻克我国在航空航天，武器装备、汽车产业等方面的“卡脖子”技术，通过高新技术创新提高产业附加值，丰富产业形态，助力人们对美好生活的向往。同时，作为一名高校老师，他也深感自豪和使命担当，要站在国家发展的新阶段，培养更多高素质、高层次人才，要让学生争做科技进步的引领者和奋斗者，在为人民健康福祉中充分发挥生力军、主力军作用，不负时代，不负韶华，不负党和人民的殷切期望。</p> <p><b>思政点 1：创新精神与科学探索</b></p> <p>从 1999 年研究机床绿色制造与再制造，到攻克高速干切滚齿机床技术，再到如今针对新能源汽车齿轮新要求开展新一代制齿工艺装备研发，曹华军团队不断探索创新，体现了勇攀科技高峰、持续进取的精神。这引导学生在学习和科研中勇于突破传统，敢于尝试新技术、新方法，培养不断探索未知领域的进取意识，追求卓越创新成果。</p> <p><b>思政点 2：爱国主义与民族自豪感</b></p> <p>曹华军见证中国齿轮技术从被国外“卡脖子”到世界领先水平，在齿轮制造领域，其团队通过研发高速干切滚齿机床等成果，打破国内高端干切机床依赖进口局面，降低成本且实现定制服务，市场占有率超 50%，这激发了强烈的爱国主义情怀与民族自豪感，激励学生关注国家科技发展，为国家科技进步贡献力量，将个人事业与国家荣誉紧密相连。</p> <p><b>思政点 3：时代使命感与社会责任感</b></p> <p>随着时代发展，新能源汽车成为汽车产业方向，曹华军团队敏锐捕捉到这一趋势，积极研发满足新能源汽车齿轮需求的技术，体现了顺应时代发展、服务社会需求的使命感与责任感。这教导学生关注时代变化，将个人专业学习与社会发展需求相结合，运用所学知识解决实际问题，为推动社会进步贡献力量。</p> |
| 分析评价 | <p>曹华军教授团队在齿轮制造领域成绩斐然，蕴含丰富思政价值。一方面，团队打破国内高端干切机床依赖进口的局面，使中国齿轮技术从被“卡脖子”迈向世界领先，激发了爱国主义情怀与民族自豪感，激励学生关注国家科技，将个人</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|     |                                                                                                                                                                  |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p>与国家荣誉相连；另一方面，从机床绿色制造再到针对新能源汽车齿轮需求研发新技术，团队不断探索创新，展现出科技创新精神与进取意识，引导学生在学习科研中勇于突破、追求卓越；此外，面对汽车产业向新能源转型的时代趋势，团队积极研发相关技术，体现了时代使命感与社会责任感，教导学生关注时代变化，用专业知识推动社会进步。</p> |
| 评价者 | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-035                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例标题 | 疲劳失效：关联墙崩剑折古训，涵养科学精神与职业责任                                                                                                                                                                                                        |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                               |
| 内容简介 | <p>通过学习疲劳失效相关理论，理解疲劳断裂的三个阶段。从传统文化与哲学思想角度，北齐刘昼《刘子·慎隙》里墙因隙崩、剑因彘折的论述，可类比到人生中，以怨为成长裂纹，教导学生重视自身隐患，培养自我反思与约束品质；从科学精神与职业道德层面，疲劳失效三个阶段所展现的深入观察、细致分析的特性，能培养学生严谨科学精神，而疲劳对工程机械的严重危害，可引导学生在未来工程设计与选材时，肩负起高度责任感，确保工程安全可靠，维护社会稳定与人民生命财产安全。</p> |
| 关键词  | 疲劳裂纹；刘子                                                                                                                                                                                                                          |
| 编写时间 | 2025-2-21                                                                                                                                                                                                                        |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                      |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                            |
| 育人主题 | 传统文化与哲学思想                                                                                                                                                                                                                        |
| 素材长度 | 1056                                                                                                                                                                                                                             |
| 案例正文 | <p>材料的疲劳性能已成为设计和评估结构可靠性的关键因素。疲劳失效，即材料在反复加载条件下，由于长期承受循环应力或应变而导致的失效现象，广泛存在于机械结构、工程材料和电子元器件中。</p> <p>变应力下，无论是塑性材料还是脆性材料，主要损坏形式都是疲劳断裂。疲劳破坏有三个阶段:裂纹萌生、裂纹扩展和由于不稳定裂纹扩展而导致的突然断裂。第一阶段可能持续时间很短，第二阶段涉及部件的大部分寿命，第三阶段是瞬时的。</p>                |

### 1. 失效形式

变应力下，无论是塑性材料还是脆性材料，主要损坏形式都是**疲劳断裂**。

### 2. 疲劳失效的机理

疲劳失效是疲劳损伤积累的结果，经历了三个阶段：

- 裂纹形成
- 裂纹扩展
- 瞬时断裂

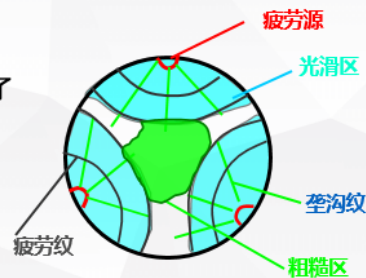


图 1 疲劳失效

#### 裂纹萌生

疲劳失效总是从裂纹开始。裂纹可能自制造以来就存在于材料中，也可能是由于应力集中周围的循环拉伸而随着时间的推移而形成的。疲劳裂纹通常从缺口或其他应力集中处开始。

疲劳失效通常始于材料表面或内部的应力集中区域。这些区域由于微小的缺陷、孔洞、夹杂物或材料的异质性导致局部应力集中。在反复加载的作用下，这些区域逐渐积累塑性变形，最终形成初始裂纹。

#### 裂纹扩展阶段

一旦裂纹形成，随后的每一个载荷循环都会导致裂纹的进一步扩展。裂纹扩展的速率取决于材料的韧性、循环应力幅值以及环境因素。疲劳裂纹扩展的特征是每个循环引发的裂纹扩展长度非常小，但累积效应会导致裂纹逐渐扩展至危险长度。

#### 最终失效阶段

当裂纹扩展到某一临界尺寸时，剩余的未损伤截面无法承受外部载荷，导致材料的突然断裂或失效。这种断裂通常发生在一个加载周期内，因此常被视为突发性的。

金属疲劳断裂属于脆性断裂，部件看起来正常，既没有变形，也没有弯曲，但是内部的裂纹却会越变越大。

我国北齐时期文学家刘昼对裂纹就有深入的观察，他在《刘子·慎隙》写道，故墙之崩隤，必因其隙；剑之毁折，皆由于璺（wen）。这里的隙和璺表示裂纹，说明墙的倒塌，剑的毁折都是由于其中的裂纹所引起的。虽然，刘子提到的裂纹时并不是我们所要研究的疲劳裂纹，但是，他的思想在我们成长中很有启示：将人的怨视为一个人成长过程中的裂纹，指出“过者，怨之梯也；怨者，祸之府也”。人生中的灾祸，多因积怨过多而成，防怨不密，而祸害臻焉！如果不严密防范自己心中的怨，祸害很快就会全部到来。

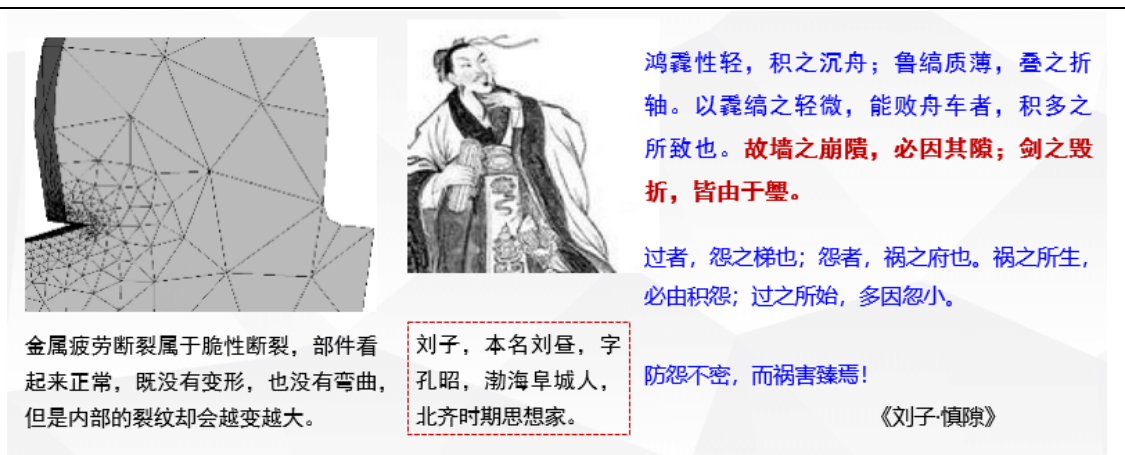


图 1 疲劳失效

疲劳是一切工程机械的一个致命杀手。这里所说的工程机械包括天上飞的飞机，地上跑的火车、汽车与坦克，海上驶的轮船、潜水艇，以及核电站、离心机、汽轮机叶片等等。根据资料统计，机械零件（如像车轴、曲轴、连杆、齿轮、弹簧、螺栓）破坏的 50%~90%均为疲劳破坏。另有报道，疲劳失效占飞机喷气发动机全部构件破坏的 49%。除此之外，压力容器、海洋石油平台和多种焊接结构（如桥梁、塔架等），就连家庭用具（包括自行车、衣柜的合页和厨房里水龙头手把等）都会发生疲劳破坏。数据来源：国家材料腐蚀与防护科学数据中心（<http://www.ecorr.org.cn/news/science/2018-09-05/170266.html>）

### 思政点 1：传统文化与哲学思想

我国北齐时期文学家刘昼在《刘子·慎隙》中提到“故墙之崩隤，必因其隙；剑之毁折，皆由于璺”，通过墙因隙而崩、剑因璺而折的现象，虽然不是直接指疲劳裂纹，但可以引申到人生和社会现象中。将人的怨视为成长中的裂纹，指出“过者，怨之梯也；怨者，祸之府也”，教导学生要重视自身存在的问题和隐患，如同重视材料中的裂纹一样，防微杜渐，避免因小失大，培养学生自我反思和自我约束的品质。

### 思政点 2：科学精神与职业道德

疲劳失效的三个阶段包括裂纹萌生、裂纹扩展和最终失效，每个阶段都有其特定的机理和特点。这体现了科学研究需要对事物进行深入、细致的观察和分析，培养学生在学习和研究中严谨认真、一丝不苟的科学精神，对待专业知识要追求精确和全面，不能忽视任何一个细节。

疲劳是一切工程机械的致命杀手，工程中如飞机、火车、汽车、轮船、核电站等很多可能因疲劳破坏引发严重后果。引导学生认识到在未来的工作中，对工程设计和材料选择等方面必须要有高度的责任感，要充分考虑疲劳性能等因素，确保工程结构的可靠性和安全性，培养学生的职业道德和担当精神，明白自己的工作关系到人们的生命财产安全和社会的稳定发展。

|      |                                                                                                                                                                                                  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 分析评价 | <p>在材料疲劳性能相关内容中，蕴含着丰富思政元素。北齐刘昼在《刘子·慎隙》中的论述，可引导学生将人生中的“怨”类比为材料裂纹，重视自身问题，培养自我反思与约束品质，体现传统文化与哲学思想；而对疲劳失效三个阶段的剖析，能培养学生严谨科学精神，同时因疲劳对工程机械的巨大危害，可促使学生树立工程设计与选材的高度责任感，明确工作关乎生命财产安全与社会稳定，强化职业道德与担当精神。</p> |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-036                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例标题 | 由发动机扇叶裂缝引发的反思：筑牢安全责任，秉持严谨态度                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例来源 | 知乎 <a href="https://zhuanlan.zhihu.com/p/615276660">https://zhuanlan.zhihu.com/p/615276660</a>                                                                                                                                                                                      |
| 内容简介 | <p>2018 年 4 月 17 日，美国西南航空 1380 号航班波音 737-7H4 型客机，因左侧 CFM56 发动机 13 号风扇叶片金属疲劳脱落，引发非包容性事故，致 1 名乘客遇难，飞机受损严重但成功降落。该事故暴露出发动机制造商 CFM 低估叶片燕尾榫载荷，早期易形成疲劳裂纹，且检测手段存在局限，如 2012 年大修及后续目视检查未发现裂纹。同时，发动机包容性设计有问题等。通过了解该事故认识疲劳断裂的特点，同时，引导学生任何专业领域，都需秉持严谨态度对待工作，一丝疏忽都可能酿成大祸，培养对工作高度负责、注重细节的职业素养。</p> |
| 关键词  | 飞机；事故；疲劳裂纹                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编写时间 | 2025-2-20                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 育人主题 | 安全责任与严谨态度                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材长度 | 2897                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 案例正文 | <p>2018 年 4 月 17 日，一架波音 737 在执飞西南航空 1380 号航班时，左侧 CFM56 发动机在巡航阶段失效，导致进气道和部分整流罩脱落。发动机内的碎片飞出后击碎飞机舷窗，导致一名乘客遇难。这也是自 2009 年以来美国客机首次发生致命事故。</p> <p>虽然飞机受损严重，飞行员还是想办法安全降落在费城，机上剩余的 148 人平安落地。最终事故报告指出，事故原因是发动机 13 号风扇叶片因金属疲劳，从发动机轴心分离，导致一片扇叶脱落。这也凸显出 737 发动机短舱设计缺陷问</p>                     |

题，以及它隐藏了二十多年的致命缺陷。



西南航空 1380 号 (WN1380) 航班是从美国纽约拉瓜迪亚机场飞往达拉斯爱田机场的定期航班。2018 年 4 月 17 日，1380 号航班机长是塔米·乔·舒尔茨 (Tammie Jo Shults)，56 岁，她此前曾是美国海军战斗机飞行员，累计飞行 11715 小时，其中 737 型为 10513 小时。副驾驶达伦·李·埃里索 (Darren Lee Ellisor)，44 岁，他此前曾是美国空军飞行员，累计飞行 9508 小时，其中 737 型为 6927 小时。航班上一共搭载 149 人，包括 144 名乘客和 5 名机组成员。

执飞航班的是一架注册号 N772SW 的波音 737-7H4 型客机，机龄 22.7 年，累计飞行 63521 小时/37021 起降循环。这是第三代 737 机型，在 2000 年 7 月交付予西南航空公司。N772SW 号机搭载着两台 CFM56-7B24 型发动机。左侧发动机在 1997 年制造，2012 年安装在 N772SW 号机上，累计飞行 67040 小时/40569 循环。没有人知晓，发动机深处有一个细微但危险的缺陷。

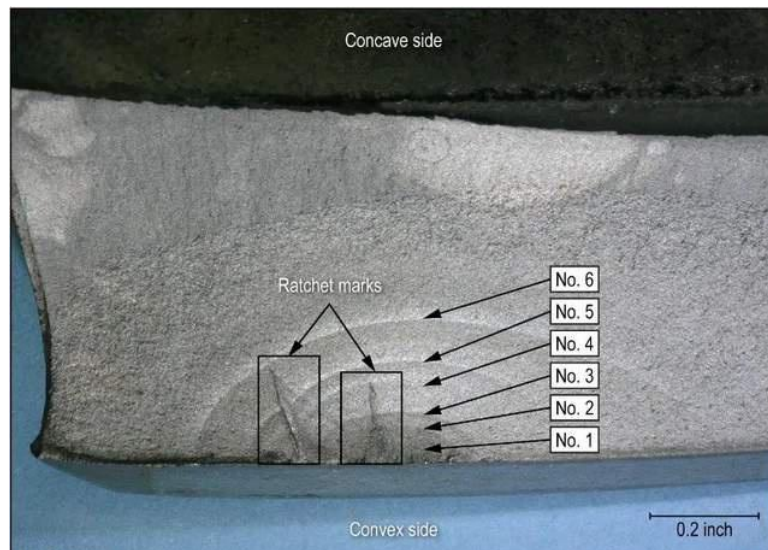


发动机爆炸瞬间示意图

美国国家运输安全委员会 (NTSB) 接手了后续的事故调查。很明显，飞机发动机发生了非包容性事故，风扇叶片在飞行中脱落。

CFM-56 涡扇发动机的主风扇盘由 24 个连接到中央轮毂的风扇叶片组成，正常运转时，发动机前端的风扇盘每分钟旋转约五千次，将大量空气吸入发动机驱动涡轮转动。其中一块叶片从轮毂上脱落了，调查员还从其他叶片上观察到了“沙滩纹”。

“沙滩纹”也被称为疲劳辉纹，是指金属构件在交变载荷下发生疲劳裂纹时在断口上留下的显微痕迹。每一周次应力循环总要使裂纹发生一个微小的扩展，在断口上留下较为平坦的断面。如果将该断面作电子显微镜观察时，则可以观察到一组近似平行的弯曲线条，形似沙滩线。

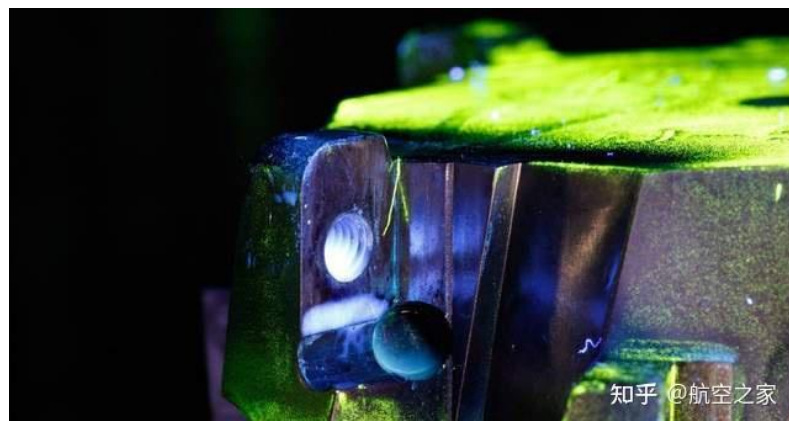


风扇叶片出现的“沙滩纹”

出现“沙滩纹”，意味着风扇叶片发生了金属疲劳断裂。

随着时间的推移，风扇叶片的裂纹会变得越来越大，直至叶片失效。航空公司机务会通过定期检查确保叶片安全。

维修记录显示，左侧发动机曾在 2012 年进行过一次大修。在检修期间，机务会将每块叶片的涂层去掉，再使用荧光液渗透探伤检查金属疲劳裂纹。



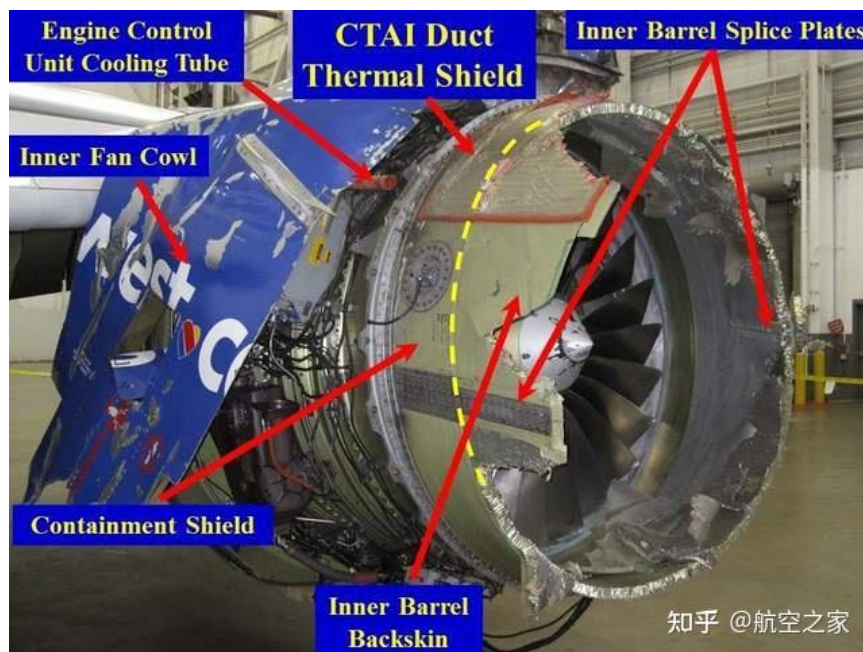
荧光液渗透探伤出的裂纹会呈现荧光细线

该探伤法使用含有荧光物质的渗透剂，经清洗后保留在缺陷中的渗透液被显像剂吸附出来。用紫外光源照射，使荧光物质产生波长较长的可见光，在暗室中对照射后的工件表面进行观察，通过显现的荧光图像来判断缺陷的大小、位置及形态。

左侧发动机失效的是第 13 号叶片，在 2012 年的大修中并未发现问题。在当时，发动机的所有叶片都处于正常状态。每 1500~3000 次飞行之后，机务都会对叶片进行润滑和目视检查。从大修到事故发生，左侧发动机累计飞行 18088 小时/10712 循环，其中进行了七次例行检查。

金属疲劳断裂属于脆性断裂，部件看起来正常，既没有变形，也没有弯曲，但是内部的裂纹却会越变越大。发动机启动后，离心力会将叶片向外拉伸，叶片根部会承受更多应力。为了固定叶片，叶片根部会设计成燕尾榫形状：一个更宽的凸缘部分，插入风扇轮毂的边缘，利用旋转力将叶片牢牢地固定到位。

但是发动机制造商 CFM 低估了燕尾榫承受载荷的大小。随着发动机数以千计的启停，一些 CFM56 风扇叶片的燕尾榫在生命周期的早期就会形成疲劳裂纹，这比预期的要早。



发动机受损图

2016 年 8 月 27 日，一架执飞西南航空 3472 号航班的波音 737 客机，从新奥尔良起飞不久，发动机叶片和燕尾榫分离。叶片碎片在发动机内旋转，向前移动撞击发动机进气道。高速飞出的碎屑刺破了左侧机身，导致客舱失压，并损坏了机翼和尾翼。

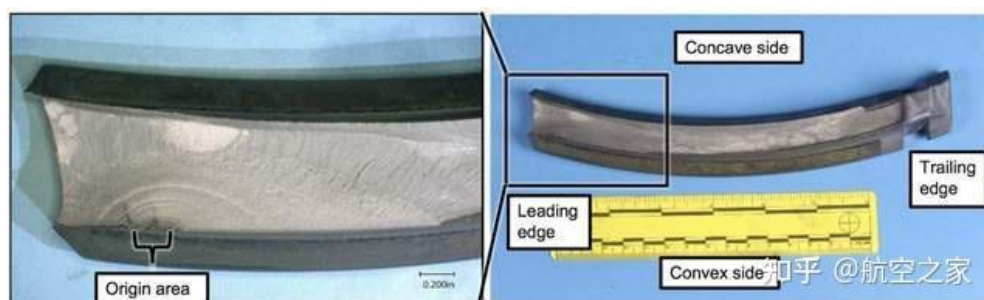
事后，CFM 发布一份服务公告，要求自上次大修以来，对累计超过 15000 个飞行循环的风扇叶片进行超声波检查，以检测裂纹。



左侧为 2016 年西南航空 3472 号航班，右侧为 2018 年西南航空 1380 号航班，破损发动机对比图

调查员使用高倍显微镜，从 1380 号航班失效叶片上发现了 32636 条辉纹，这些裂纹早在 6 年前就出现了。2012 年发动机大修时没能检查出来，可能因为裂纹还不够深。后续的目视检查中也没有发现裂纹，是因为它隐藏在铜镍铝涂层下面。

2018 年 4 月 17 日，发动机叶片的裂纹已经深达 1.23 厘米，非常逼近失效的临界点。



一块失效的风扇叶片显示出有疲劳痕迹的断裂表面

令人担忧的是，当时还有超过 4 千架 737 使用同款发动机叶片。这意味着 1380 号航班的灾难随时可能在空中上演。

NTSB 认为超声波检测能更有效地发现裂纹。这是一种无损检测技术，它使用频率为 0.1-15MHz 的超声波脉冲检测材料内部缺陷。

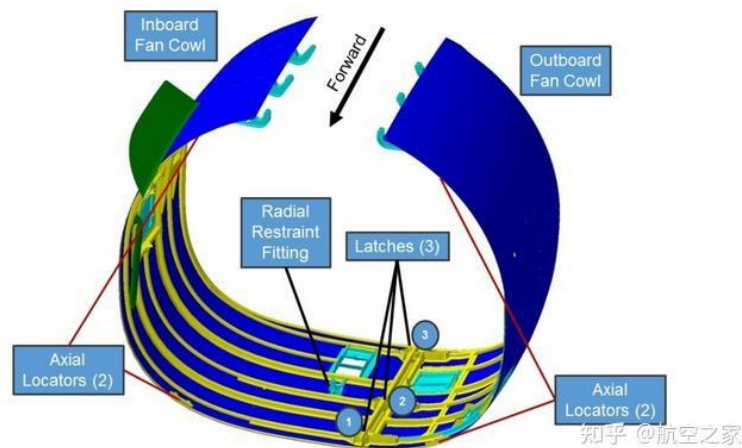
但是超声波检测在当时并未被认证，因此也没有大规模推广使用。



超声波检查发动机叶片示意图

1380 号航班同样暴露出 CFM56 包容性设计问题。风扇盘被一个具有保护性的风扇整流罩包围，它能吸收弹出风扇叶片的高能冲击。整流罩由两个半圆形部分组成，通过铰链连接到机翼吊架上。它在维修时能向两侧打开。

CFM 发动机整流罩通过底部三个径向锁固定在一起，叶片断裂甩出后，直接击中了底部的径向锁，这也是发动机最脆弱的地方之一。猛烈的气流吹开了整流罩，导致碎片高速向外扩散。而发动机在取证的时候，并未考虑到这种失效情况。

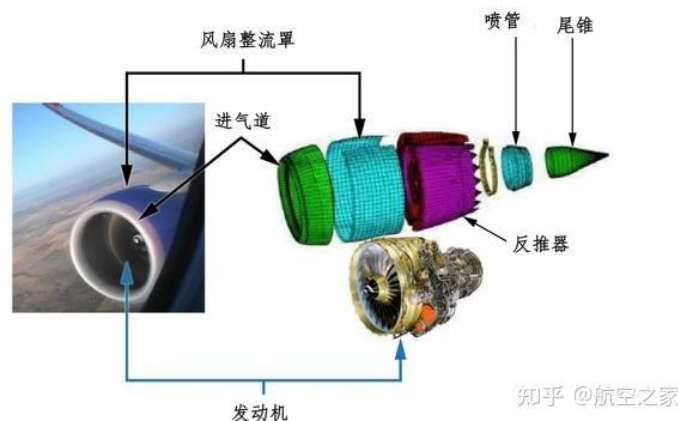


风扇整流罩结构图

1380 号航班左侧发动机 13 号叶片的裂纹，在日积月累地运转中越变越长，最终在 2018 年 4 月 17 日的飞行中失效。叶片击中整流罩径向锁，导致非包容性故障。一块碎片击碎 14 排座位窗户，爆炸性减压将一名乘客吸到舱外。

调查员找到风扇整流罩时，发现它并未失效。按照设计，断裂的风扇叶片从未突破整流罩的铝合金壁。相反，CFM56-7 发动机未能满足另一个要求：在风扇叶片脱落事件（FBO）中，发动机短舱结构保持完整。

1996 年，CFM56-7 发动机在取证进行测试时，证明弹出的风扇叶片被包裹在风扇整流罩内。测试数据发给波音公司，波音公司设计了风扇整流罩和进气道，这两部分共同构成了发动机短舱。



### CFM56-7 发动机和短舱示意图

1997 年，波音公司使用计算机模拟计算显示，在风扇盘上发生 FBO 事件，不会破坏短舱结构完整性。但是这些场景没有涉及风扇径向锁。

当 13 号风扇叶片断裂后，断块砸向整流罩包容环底部，其中 2 块残留在包容环内，发动机发生喘振，断块打断进气道和包容环连接部，导致进气道脱落。

断块还对径向锁发出能量非常大的冲击载荷，导致径向锁失效。整流罩破裂后，断块飞离击碎第 14 排窗户，飞机发生爆炸性减压。让发动机故障变成了一起致命事故。



发动机受损的整流罩

NTSB 还指出另一个安全隐患，根据《西南航空公司的机组人员手册》，所有乘务员在着陆期间都应该坐在他们的折叠座椅上，以协助紧急疏散。但其中两人却坐在地板上，如果着陆时发生意外，两人可能会受重伤。

此外，乘客还需要安置没有座位的乘客，他们也不应该坐在地板上。但此时就会形成一个悖论，航空公司没有考虑过座位数减少的情况。14 排的三个座位不能坐，飞机上的人比有效座位多。

NTSB 发布最终的事故报告，其建议波音公司重新设计发动机整流罩，避免叶片脱落导致的严重事故。美国和欧洲的制造商也开始评估其他发动机，以确保没有类似安全隐患。西南航空公司向乘务员强调紧急着陆时坐在折叠座椅的重要性。美国联邦航空管理局（FAA）制定关于在飞行中缺少座位的行动指南。

#### **思政点 1：安全责任与严谨态度**

波音 737 发动机因叶片金属疲劳等问题导致严重事故，凸显航空领域安全责任的重大。航空公司机务定期检查却未能及时发现隐患，启示学生在任何专业领域，都需秉持严谨态度对待工作，一丝疏忽都可能酿成大祸，培养对工作高度负责、注重细节的职业素养。

#### **思政点 2：科技创新与持续改进**

|      |                                                                                                                                                                                                          |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>事故调查中发现传统检测手段难以发现叶片深层裂纹，而超声波检测虽有效却未被认证推广。这促使学生认识到科技创新在保障安全、提升行业水平中的关键作用，鼓励学生勇于探索新技术，推动各领域不断改进优化，以应对复杂多变的风险。</p>                                                                                       |
| 分析评价 | <p>波音 737 发动机因叶片金属疲劳引发严重事故，凸显航空领域安全责任重大。航空公司机务定期检查却未发现隐患，警示学生在各专业领域都需秉持严谨态度，高度负责、注重细节，因为丝毫疏忽都可能导致严重后果。而事故调查中传统检测手段的局限，以及超声波检测未被推广的情况，又让学生认识到科技创新在保障安全、提升行业水平方面的关键作用，激励学生积极探索新技术，推动各领域持续改进，以有效应对复杂风险。</p> |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                          |

|      |                                                                                                                                                                                                                              |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-037                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例标题 | “文墨精度”：机械加工里雕琢出的工匠精神丰碑                                                                                                                                                                                                       |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                           |
| 内容简介 | <p>本课程思政案例库围绕机械加工领域的加工精度、加工误差及公差等级的专业知识，引入智能时代背景下战机零件手工打磨这一特殊场景，讲述中航工业沈飞钳工方文墨创造“文墨精度”的事迹。从精益求精的工匠精神，到敬业奉献的职业精神，再到科技创新与突破以及蕴含的爱国主义情怀，多维度深度挖掘思政元素，将专业知识传授与思政教育紧密结合，激励学生树立正确价值观，培养学生在学习和工作中追求卓越、勇于创新的品质。</p>                    |
| 关键词  | 加工精度；文墨精度；方文墨                                                                                                                                                                                                                |
| 编写时间 | 2025-2-23                                                                                                                                                                                                                    |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                  |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                        |
| 育人主题 | 精益求精工匠精神                                                                                                                                                                                                                     |
| 素材长度 | 1174                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例正文 | <p>加工精度主要用于生产产品程度，加工精度与加工误差都是评价加工表面几何参数的术语。加工精度用公差等级衡量，等级值越小，其精度越高；加工误差用数值表示，数值越大，其误差越大。加工精度高，就是加工误差小，反之亦然。公差等级从 IT01，IT0，IT1，IT2，IT3 至 IT18 一共有 20 个，其中 IT01 表示的话该零件加工精度最高的，IT18 表示的话该零件加工精度是最低的，一般上 IT7、IT8 是加工精度中等级别。</p> |

任何加工方法所得到的实际参数都不会绝对准确，从零件的功能看，只要加工误差在零件图要求的公差范围内，就认为保证了加工精度。

机器的质量取决于零件的加工质量和机器的装配质量，零件加工质量包含零件加工精度和表面质量两大部分。

机械加工精度是指零件加工后的实际几何参数（尺寸、形状和位置）与理想几何参数相符合的程度。它们之间的差异称为加工误差。加工误差的大小反映了加工精度的高低。误差越大加工精度越低，误差越小加工精度越高。

**公差等级：**国标规定了20个等级，用阿拉伯数字：0 01 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18表示

**标记方法：**公差带符号后跟阿拉伯数字表示。如：**H7**。

**常用公差等级的应用**

- 4、5级用于特别精密的零件；
- 6、7、8级用于重要的零件；
- 8、9级用于中速及中等精度要求的零件；
- 10、11级用于低速、低精度的零件。可直接采棒材、管材、精密锻件而不用切削加工。

**配合：**基本尺寸相同，相互结合的孔与轴公差带之间的关系；

**间隙或过盈：**孔的尺寸减去相配合轴的尺寸所得代数差；

**间隙：**代数差为“+”，孔 $>$ 轴；

**过盈：**代数差为“-”，孔 $<$ 轴；

在智能时代，大多数零件都可以机器生产了，但有些战机零件因为数量少、加工精度高、难度大，仍然需要进行手工打磨。这些零部件的精度，远比民品加工要高得多。钳工是机械领域加工中唯一还用手工加工的工种，锉、钻、锯、錾、钹、铆、钳、修、研、配，都需要手工。在钳工领域就有这样一位“小人物”干出了“大事迹”，他就是方文墨，他创造的“0.003 毫米加工公差”被称为“文墨精度”，相当于头发丝的二十五分之一。

### “文墨精度”诠释大国工匠精神

创造了“0.003毫米加工公差”的“文墨精度”，被誉为“全国最好的钳工”

我就是当工人的料，但我要当最好的工人，做中国最好的钳工。



|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>方文墨是中航工业集团沈阳飞机制造厂（以下简称“沈飞”）的一名 80 后钳工，也是沈飞最年轻的高级技师。教科书上，人的手工锉削精度极限是千分之十毫米。而方文墨加工的精度达到了千分之三毫米，相当于头发丝的二十五分之一，这是数控机床都很难达到的精度。中航工业将这一精度命名为——“文墨精度”。</p> <p><b>思政点 1：精益求精的工匠精神</b></p> <p>通过介绍加工精度的概念以及方文墨创造的“文墨精度”，体现了对极致精度的追求，展现出工匠精神中精益求精、追求卓越的品质，激励学生在学习和未来的工作中要有不断追求完美、勇于挑战极限的态度。</p> <p><b>思政点 2：敬业奉献的职业精神</b></p> <p>方文墨作为一名钳工，在平凡的岗位上做出了不平凡的事迹，反映出他对工作的高度敬业和无私奉献精神，引导学生树立正确的职业观，培养敬业爱业的意识，无论从事何种工作都要全身心投入。</p> <p><b>思政点 3：科技创新与突破</b></p> <p>在智能时代，多数零件由机器生产，但有些高精度零件仍需手工打磨，而方文墨突破了手工锉削精度的极限，这体现了在传统技艺与现代科技结合的背景下，勇于创新、敢于突破的精神，鼓励学生在学习和实践中培养创新思维，不断探索未知领域。</p> <p><b>思政点 4：爱国主义情怀</b></p> <p>方文墨所在的沈飞是生产战机零件的重要企业，他的工作对于国防事业有着重要意义，其高精度的加工为我国战机制造提供了有力支持，蕴含着深厚的爱国主义情怀，能激发学生的爱国热情，让学生明白自己的努力与国家发展紧密相连，增强为国家建设贡献力量的责任感和使命感。</p> |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例库以加工精度这一专业概念为基，自然引入方文墨的事迹，将思政元素有机融入专业知识讲授。对精益求精的工匠精神阐释精准，借“文墨精度”直观呈现，对敬业奉献职业精神的挖掘贴合人物经历，能有效引导学生树立正确职业观。在科技创新与突破方面，结合智能时代背景，凸显手工技艺突破的不易，激发学生创新意识。而从爱国主义情怀层面，关联国防事业，升华了案例的教育价值。整体来看，该案例库对专业教学与思政育人融合具有良好示范作用。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-038                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例标题 | 装备“短板”逆袭！南宁首台国产气垫式热处理线开启创新征途                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例来源 | 百度（ <a href="https://baijiahao.baidu.com/s?id=1737230206379758795&amp;wfr=spider&amp;for=pc">https://baijiahao.baidu.com/s?id=1737230206379758795&amp;wfr=spider&amp;for=pc</a> ）<br>南宁日报 2022 年 07 月 02 日                                                                                                                                      |
| 内容简介 | 国内气垫炉相关技术被国外长期垄断，南南铝加工在工信部、自治区、南宁市指导下，联合东北大学、广西先进铝加工创新中心等组建项目团队，攻克如让铝合金薄板平稳漂浮且温度均匀进行热处理等关键技术难题，以卧式活套取代传统立式活套优化设备布局，开创了我国首条自主研发的高品质铝合金板带材连续热处理生产线，技术达国际先进水平，填补国内空白，打破国外垄断，投产后南南铝加工铝板带材产能翻倍，效率提升 30%，还可增加铝薄板产能 5 万吨 / 年，带动产业链增加产值 15 亿元 / 年，南南铝加工也将继续践行国有企业责任，推动铝产业高质量发展。可以通过这个案例带领学生们感受这种勇攀高峰、敢为人先的创新精神，激励学生在学习和科研中勇于探索未知，培养创新思维与实践能力和，不畏困难追求卓越。 |
| 关键词  | 超精密齿轮技术；王立鼎；标准齿轮                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 编写时间 | 2025-2-22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 育人主题 | 创新精神与科学探索                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 素材长度 | 2139                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例正文 | 7 月 1 日下午，在广投集团所属企业广西南南铝加工有限公司（以下简称南南铝加工）冷轧制造中心，国家重大短板装备项目 2400 毫米气垫式连续热处理生产线正式点火启动，该项目打破国外垄断，填补了我国气垫式连续热处理、表面处理等工艺核心关键装备的空白。此时，让人不禁想起 5 年前那个温暖的春天：2017 年 4 月 20 日，习近平总书记来到南南铝加工考察，对高端铝材装备国产化                                                                                                                                                   |

寄予了殷切期望。声声嘱托，让时任南南铝加工热轧制造中心经理余凤智心潮澎湃、谨记在心。如今，他已成为该公司的总工程师、国家重大短板装备项目 2400 毫米气垫式连续热处理生产线（即首台套气垫炉项目）的主要负责人，“今天首台套气垫炉点火，加上此前投产的中厚板辊底炉，相当于从薄到厚的铝合金热处理装备关键核心技术已牢牢掌握在我们手中，我们用实际行动回应了总书记的厚望。”余凤智倍感自豪。

从“卡脖子”到“国产化”。当年播下的“创新种子”，已开花结果、郁郁葱葱。



图 1 首台国产自主研发气垫式连续热处理生产线。 记者黄维业 摄  
联合开发

建立项目全周期跟踪机制

7 月 1 日 15 时 15 分，伴随着一声响亮的“点火”，一条贯穿西东、长达 323 米的气垫式连续热处理生产线在南宁正式启动。

看到此情此景，余凤智的兴奋之情溢于言表，“此前国内的该类气垫炉均是进口设备，世界上仅有少数几家公司能做，设备关键生产技术、工艺模型和控制系统长期被国外垄断，且进口价格昂贵、设备制造及安装调试周期长。首台套气垫炉国产化具有重要的现实意义。”

在工信部、自治区、南宁市的指导帮助下，南南铝加工与东北大学、广西先进铝加工创新中心有限责任公司（以下简称广西先进铝加工创新中心）等单位组建项目团队，联合开发国家重大短板装备，着力推进高端高精铝材重大短板装备项目建设。

在近 30 个月的建设过程中，项目团队相继攻克了气垫炉工业化多个关键技术难题，研制出首套国产化铝合金航空板、汽车板材料“卡脖子”装备和系统，实现了八大功能测试，为项目落地奠定了坚实可靠的技术基础。

“自 2022 年项目进入攻坚期以来，我们召开了超过 30 场项目研讨会，确认

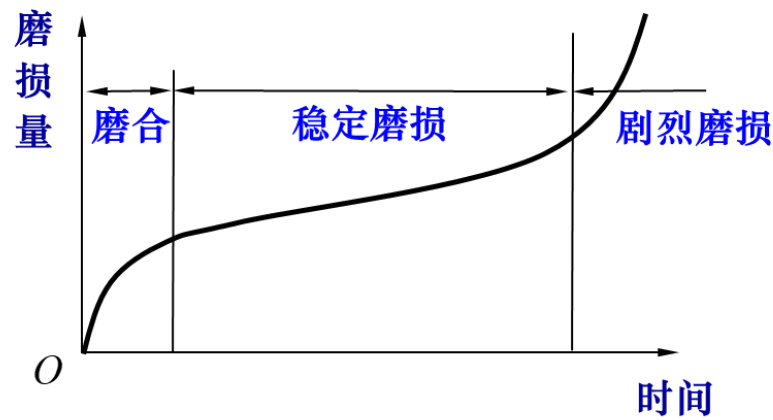
|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>了超过 80 个技术执行方案，将工程项目进度总目标分解为 100 余项，把各项工作内容细化到每班、压实到个人，建立项目全周期跟踪机制，全力推动项目快建设、早投产。”南南铝加工项目工程师许立钊介绍。</p> <p>攻坚克难</p> <p>“让薄板像在太空一样漂浮起来”</p> <p>“看，这太神奇了，铝合金薄板居然漂浮起来了。”不少与会人员在参观首台套气垫炉后发出连连惊叹。</p> <p>漂浮正是这台“大家伙”最为神奇之处。</p> <p>“为什么叫气垫炉？因为要用空气将薄板吹起来、且是平稳漂浮的状态，还要温度均匀地进行热处理，一旦出现上下抖动就会影响产品性能和质量均匀性。”南南铝加工冷轧制造中心经理赵启淞告诉记者，这是该项目工艺最高、最难控制的技术，光是研发就花了两年多的时间。</p> <p>首台套气垫炉是生产铝合金薄板的重要设备，可广泛运用于航空和新能源汽车等领域，对表面性能要求近乎苛刻，稍有瑕疵便难以满足该领域的薄板用材需要。</p> <p>为尽快突破我国在核心设备气垫式热处理装备制造方面的“卡脖子”难题，有力提升我国在航空航天、新能源汽车、3C 泛半导体等重点领域的关键铝合金材料供应保障能力，东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室博士生导师、广西先进铝加工创新中心总经理李勇作为项目研制团队执行负责人，带领项目研制团队凝心聚力，接连攻克了“宽幅金属带材气垫漂浮气体动力学特性及动态平衡漂浮机制”“强对流传热特性以及空气流动分配机制”“大风量双出口高温循环热风机”等多个关键技术难题，有力推动该项目取得阶段性进展。</p> <p>广西先进铝加工创新中心董事长王昭东观看了启动仪式，他对项目的效果非常满意，“在气垫炉里，薄板像在太空一样漂浮起来，而且漂浮得非常稳定，温度变化的控制精度达到正负 3℃，达到了我们预期的效果。”</p> <p>“该项目还以卧式活套取代传统立式活套，设备减少大量转向辊，每少一根辊子就意味着减少了一个质量风险点，让设备结构布局更合理，有效减少高表面质量要求铝合金材料生产过程中产生的辊印，有助于提升成品率。”赵启淞说。</p> <p>产能翻番</p> <p>把关键技术掌握在自己手里</p> <p>自主创新是必由之路，唯有掌握核心科技，才能在国际竞争中实现弯道超越。</p> <p>如今，首台套气垫炉项目作为我国第一条自主研发、设计、制造的高品质铝合金板带材连续热处理生产线具有里程碑意义，突破了我国在核心装备气垫式连续热处理炉研发和制造技术方面的瓶颈，从根本上解决了国内高品质铝板带材热</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>处理生产线成套装备短板问题。</p> <p>通过设备增量和技术优化，南南铝加工在大规格高性能铝合金板带材产品生产方面将实现产能翻倍，生产效率预计提升 30%。</p> <p>“过去，我国在气垫炉装备和技术上都是空白。此次点火启动的气垫炉技术上不仅达到了国际先进水平，还补齐了我国在这方面的短板，填补了技术空白，打破了国外垄断，终于把关键技术掌握在自己手里。”中国工程院院士、东北大学教授王国栋评价。</p> <p>“项目建成投产后，可增加铝薄板产能 5 万吨/年，带动铝精深加工产业链增加产值 15 亿元/年，加速产业链上规增效。”南南铝加工党委书记、董事长韦强表示，今后公司将继续践行国有企业“三个排头兵”指示精神，勇于求变、敢于求新、善于求质，不断推进上规增效，奋力打造创新引领铝新材料发展的一流企业，带动产业链优化升级，助力广西铝产业高质量发展。</p> <p><b>思政点 1：创新精神与科学探索</b></p> <p>南南铝加工与东北大学等单位组建项目团队，联合开发国家重大短板装备。在近 30 个月的建设中，相继攻克气垫炉工业化多个关键技术难题，如研发出让铝合金薄板平稳漂浮且温度均匀进行热处理的技术，以及攻克宽幅金属带材气垫漂浮气体动力学等难题，这种勇攀高峰、敢为人先的创新精神，激励学生在学习和科研中勇于探索未知，培养创新思维与实践能力，不畏困难追求卓越。</p> <p><b>思政点 2：爱国主义与民族担当</b></p> <p>面对国外在气垫炉关键生产技术、工艺模型和控制系统的长期垄断，南南铝加工团队勇挑重担，致力于实现高端高精铝材重大短板装备国产化，打破国外垄断，填补国内空白，这充分体现了爱国主义与民族担当，激励学生将个人命运与国家命运紧密相连，为国家繁荣富强贡献力量。</p> <p><b>思政点 3：严谨治学与精益求精</b></p> <p>在项目推进过程中，团队建立项目全周期跟踪机制，召开超 30 场项目研讨会，确认超 80 个技术执行方案，将工程项目进度总目标细化为 100 余项并压实到个人，对待项目严谨负责。在气垫炉技术研发上，对薄板漂浮状态和温度控制精度要求极高，力求完美，体现了严谨治学与精益求精的态度，有助于培养学生严谨的学习和工作作风，对待学业和事业一丝不苟。</p> <p><b>思政点 4：时代使命感与责任感</b></p> <p>随着时代发展，航空航天、新能源汽车等领域对铝合金薄板需求大增，南南铝加工顺应时代需求，通过自主研发首台套气垫炉，解决我国在该领域关键装备短板问题，这反映出团队强烈的时代使命感与社会责任感，让学生认识到科学技术发展与时代需求紧密相关，激励他们关注社会发展，运用所学解决实际问题，</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | 推动社会进步。                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 分析<br>评价 | <p>南南铝加工与东北大学等单位组建的项目团队秉持创新精神与科学探索，攻克气垫炉工业化多个关键技术难题，激励学生在学习科研中勇于探索未知、培养创新能力；面对国外长期垄断，团队以爱国主义与民族担当为动力，致力于实现装备国产化，填补国内空白，引导学生将个人与国家命运相连；在项目推进时，团队建立全周期跟踪机制，严谨对待超 80 个技术方案，细化超 100 余项进度目标，在气垫炉技术研发上对精度要求严苛，通过自主研发首台套气垫炉，解决我国在该领域关键装备短板问题，展现出严谨治学与精益求精的态度，利于培养学生严谨作风和社会责任感。</p> |
| 评价<br>者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-039                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例标题 | 从理论到实践的辩证之思：典型磨损过程曲线与超声振动辅助切削刀具磨损曲线                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 内容简介 | 本课程思政案例围绕机械零件耐磨性这一具体知识点展开，以典型磨损理论与超声振动辅助切削实践对比，一方面，通过理论与实践的差异分析，培养学生辩证思维，引导其践行“实践 — 认识 — 再实践”的科学方法；另一方面，以超声振动技术突破传统工艺局限的案例，激发学生创新意识，树立科技报国志向。                                                                                                                                                                                             |
| 关键词  | 耐磨性；刀具磨损                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 编写时间 | 2025-3-25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 育人主题 | 辩证思维与创新精神                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 素材长度 | 1021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 案例正文 | <p><b>1. 机械零件耐磨性</b></p> <p>耐磨性是机械零件在摩擦工况下抵抗表面材料损耗的能力，直接影响零件寿命与机械系统可靠性。据统计，约有 80% 的损坏零件是因磨损而报废的。</p> <p>按磨损的机理不同，机械零件的磨损大体分为四种基本类型：1) 磨粒磨损，也称磨料磨损是外界的硬颗粒或粗糙的硬表面在相对运动中，对摩擦表面的擦伤所引起的磨损；2) 粘着磨损，也称胶合摩擦表面的微观凸峰粘在一起后，在相对运动中，材料从一个表面迁移到另一个表面，便形成粘着磨损；3) 疲劳磨损，即疲劳点蚀 是高副（点、线接触）机械零件的常见磨损形式；4) 腐蚀磨损，摩擦表面在摩擦过程中，伴随有表面材料被腐蚀的现象，这种情况下产生的磨损即为腐蚀磨损。</p> |

典型宏观磨损过程包括磨合（跑合）阶段、稳定磨损阶段和剧烈磨损阶段，如图 1 所示。

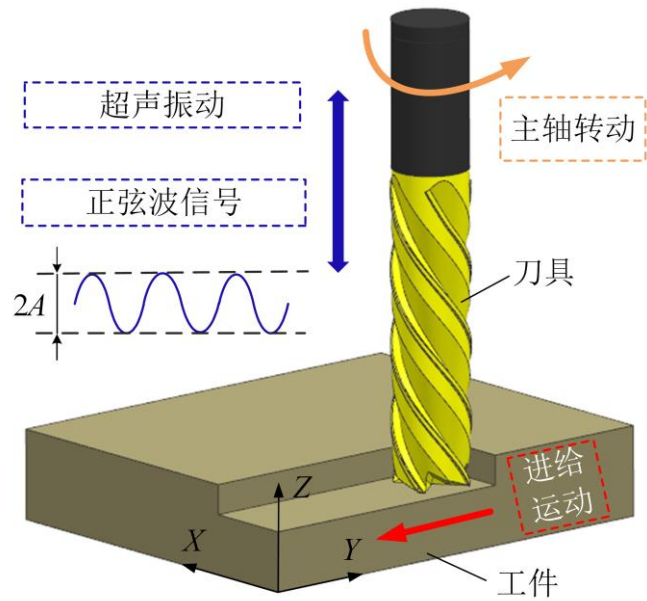


磨合（跑合）阶段是指新零件在运转初期的磨损；稳定磨损阶段属于零件的正常工作阶段，磨损率稳定且较低，这一阶段的长短直接影响机器的寿命；剧烈磨损阶段，零件经长时间工作磨损以后，表面精度下降，效率降低，温度升高，冲击振动加大，导致磨损加剧，最终导致零件报废。因此，在实际工作过程中应该力求缩短磨合期，延长稳定磨损期，推迟剧烈磨损的到来。

2. 课程思政案例

下面我们以超声振动辅助切削颗粒增强铝基复合材料刀具磨损研究结果来分析实际中的磨损过程。

轴向超声振动辅助铣削是指在常规铣削中通过超声发生器和超声刀柄加载沿主轴轴线方向的振动使得刀具在加工过程中产生高频低振幅的正弦振动，如图 2 所示。



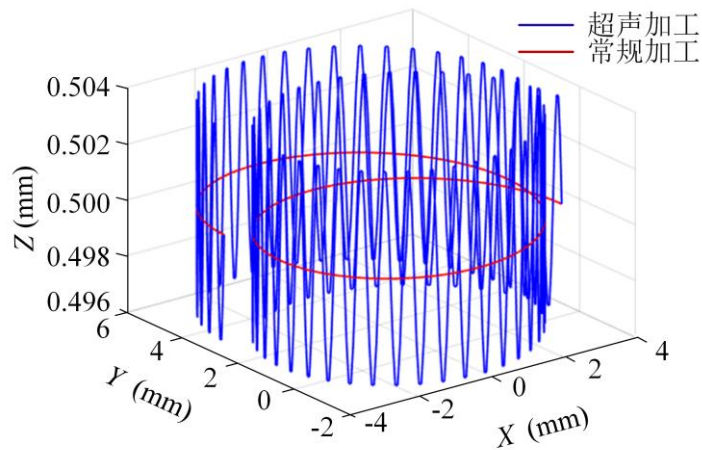


图 2 轴向超声振动辅助铣削刀具运动示意图

图 3 为  $\text{TiB}_2/\text{Al}$  复合材料超声振动辅助铣削和常规铣削刀具磨损过程。

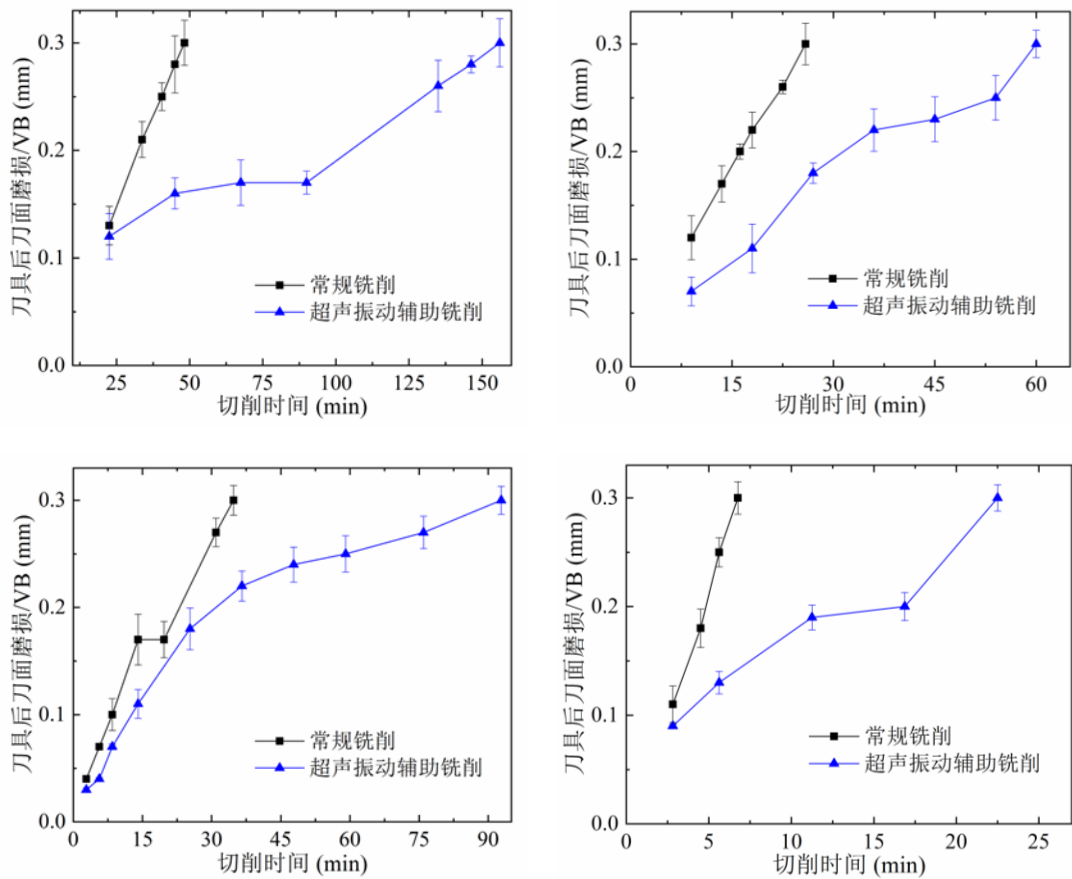
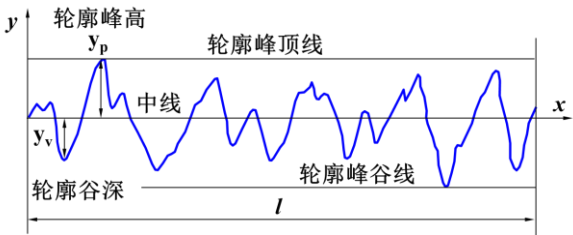


图 3 刀具磨损过程

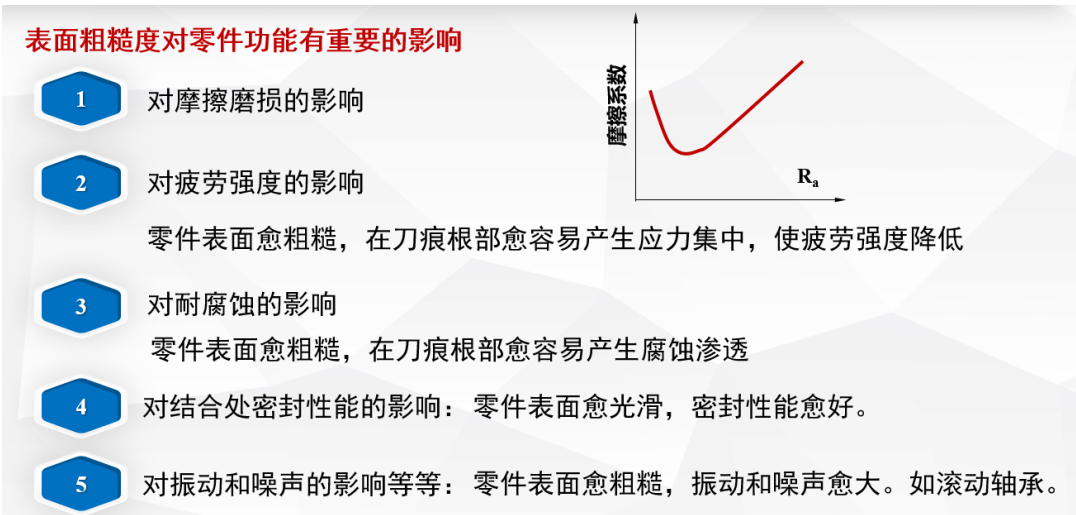
从图中可以看出，两种铣削方式刀具磨损过程存在明显差异，并且两种铣削方式下刀具磨损过程均与典型刀具磨损过程不同。典型刀具磨损过程一般包括初期磨损、正常磨损和急剧磨损三个阶段。然而，从图中能够明显的看出  $\text{TiB}_2/\text{Al}$  复合材料超声振动辅助铣削和常规铣削刀具磨损过程没有经历完整的三个磨损阶段。同时，可以发现超声振动的引入有利于减小刀具磨损延长刀具寿命。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>3. 课程思政分析</b></p> <p><b>思政点 1：辩证思维</b></p> <p>对比典型磨损阶段与超声振动下的刀具磨损过程，揭示理论与实践的差异。培养学生用辩证思维分析问题，敢于质疑、勇于探索，从现象中提炼本质，在工程实践中践行“实践 — 认识 — 再实践”的科学方法。</p> <p><b>思政点 2：创新精神</b></p> <p>通过超声振动辅助切削技术降低刀具磨损的案例，展现新技术对传统工艺的突破。引导学生关注前沿科技，激发创新思维，鼓励其以科技力量解决工程难题，树立科技报国的志向，为突破“卡脖子”技术贡献力量。</p>                                                                              |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例库将机械零件耐磨性专业知识与思政教育深度融合，呈现出三大特点：其一，辩证思维培养路径清晰，通过典型磨损理论与超声振动实践的对比，引导学生突破固有认知框架，建立“理论指导实践、实践反哺理论”的科学认知逻辑，有效落实了《高等学校课程思政建设指导纲要》中“培养学生科学思维方法”的要求；其二，创新教育融入自然贴切，以超声振动技术为切入点，将“卡脖子”技术突破与科技报国情怀有机结合，既展现学科前沿动态，又激发学生科研使命感，实现知识传授与价值引领同频共振；其三，案例选取精准典型，超声辅助切削技术兼具工程实用性与技术创新性，能直观体现技术革新对行业发展的推动作用，为课程思政提供了生动且具说服力的载体。整体设计紧扣课程特色，思政元素融入自然、逻辑严密，对同类课程思政建设具有示范推广价值。</p> |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-040                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例标题 | 从表面粗糙度到疲劳寿命：工程教育中辩证思维与科学方法的培养                                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 内容简介 | <p>本案例以机械加工中的“表面粗糙度”为研究对象，系统阐述其微观几何特征（如 <math>R_a</math>、<math>R_z</math> 参数）对零件疲劳强度、耐磨性等功能的影响机制。通过对比常规铣削与超声振动辅助铣削的表面微观形貌，结合 <math>TiB_2/7050Al</math> 复合材料在不同应力水平下的疲劳寿命实验数据，以“具体问题具体分析”为辩证思维切入点，引导学生对比经典疲劳理论与复合材料实测数据的差异，培养“基于数据质疑、通过实践验证”的科学精神，避免机械套用理论的形而上学思维。</p> |
| 关键词  | 表面粗糙度；疲劳寿命                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 编写时间 | 2025-3-25                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 育人主题 | 辩证思维与科学方法                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 素材长度 | 1569                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例正文 | <p><b>1. 表面粗糙度</b></p> <p>表面粗糙度是指加工表面具有的较小间距和微小峰谷的不平度,如图 1 所示,其微观几何形状误差用高度参数（如轮廓算术平均偏差 <math>R_a</math>、轮廓最大高度 <math>R_z</math>）量化，是影响零件功能实现的关键要素。</p>                            |

2. 表面粗糙度对零件功能有重要的影响

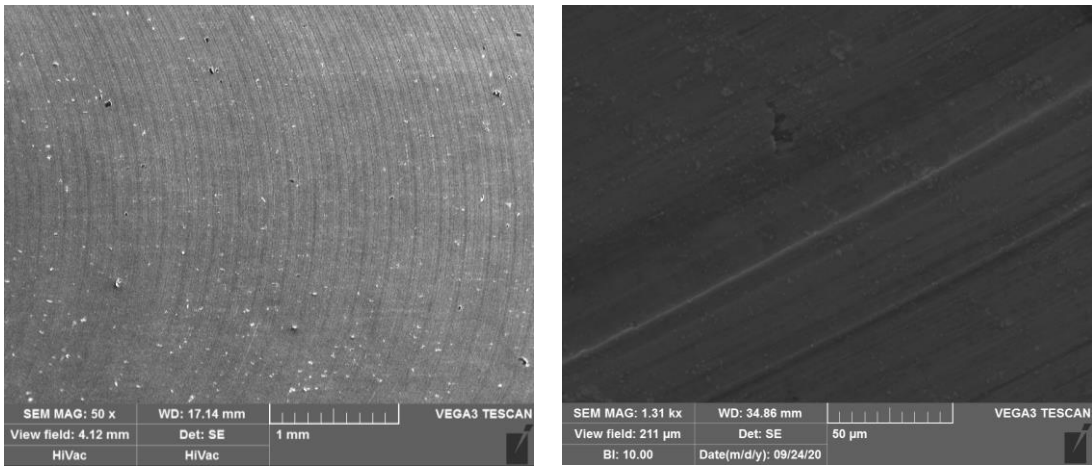
表面粗糙度不仅仅是让零件“摸起来光滑不光滑”这么简单。它在很多方面都扮演着关键角色，比如产品的疲劳强度、密封性、耐磨性、抗腐蚀性，甚至还能影响到两个零件能不能“完美贴合”，如图 2 所示。换句话说，表面粗糙度对零件的功能有着很大的影响——哪怕是看似微小的粗糙度差异，也可能导致零件更容易磨损，甚至产生噪音和振动。



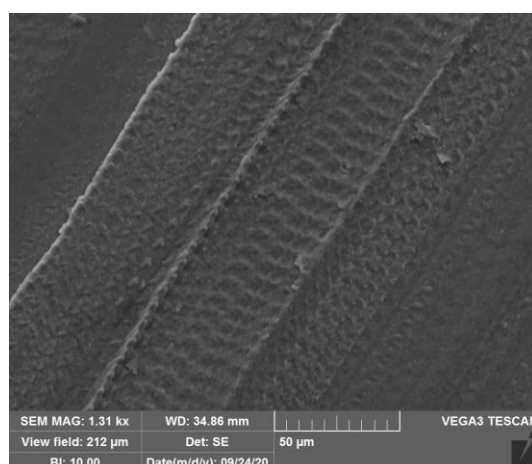
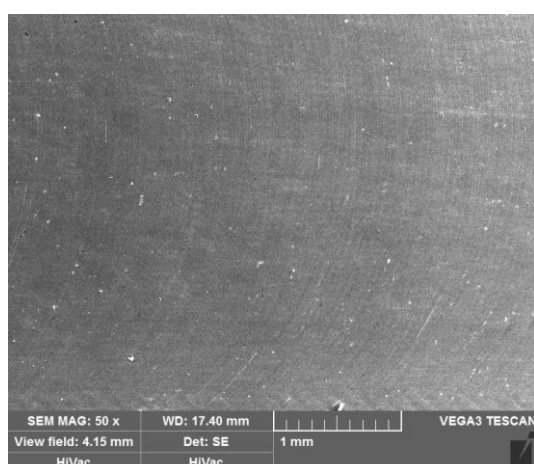
当一个零件的表面越粗糙，比如有刀痕、划痕，甚至微小的裂纹时，这些不规则的地方很容易成为应力集中点。应力集中点处，零件承受的力会“聚集”，压力变得比其他地方更大，久而久之，零件就会开始疲劳，甚至可能提前出现裂纹或断裂。对不同材料的影响差异，对于铸铁这种材料来说，表面粗糙度对疲劳强度的影响不太明显。因为铸铁本身比较脆，通常它的裂纹传播和断裂与粗糙度关系不大。但对于钢零件来说，钢材的强度越高，表面的粗糙度对它的疲劳强度的影响就越大。

3. 课程思政案例

图 2 为常规铣削与超声振动辅助铣削表面微观形貌对比。



(a) 常规铣削表面微观形貌



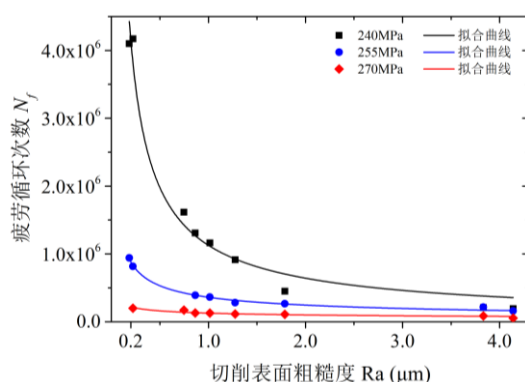
(b) 超声振动辅助铣削表面微观形貌

图 2 常规铣削与超声振动辅助铣削微观表面缺陷

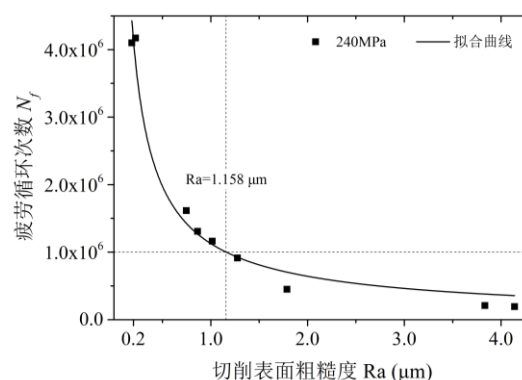
从图中可以看出，常规铣削表面存在刀痕和孔洞等加工缺陷，而超声振动辅助铣削表面有明显的刀痕和由塑性变形形成的微坑。

有研究表明，零件加工表面上的这些微观的峰、谷以及缺陷会影响零件的疲劳寿命。图 3 为不同应力水平、不同切削表面粗糙度下的  $\text{TiB}_2/\text{7050Al}$  复合材料疲劳寿命结果。分析图可以看出，随着表面粗糙度的增加，疲劳寿命急剧降低。当载荷应力为 240MPa，如图 3(b)所示，切削表面粗糙度  $R_a$  低于  $1.158\mu\text{m}$  时，其疲劳寿命能超过  $1.0 \times 10^6$ ；在 255MPa 应力载荷下， $\text{TiB}_2/\text{7050Al}$  复合材料疲劳寿命基本在  $2.0 \times 10^5$  以上；而当载荷应力提升至 270MPa 时，只有当表面粗糙度  $R_a$  低于  $2.055\mu\text{m}$  时，其疲劳寿命才达到  $1.0 \times 10^5$ 。

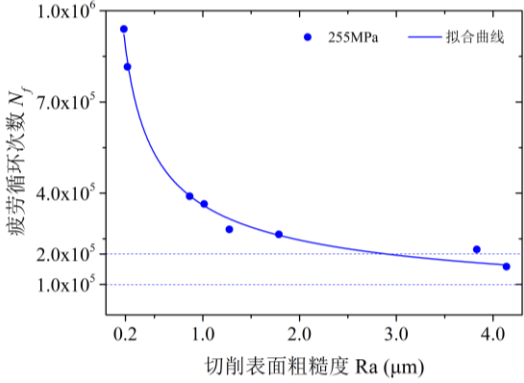
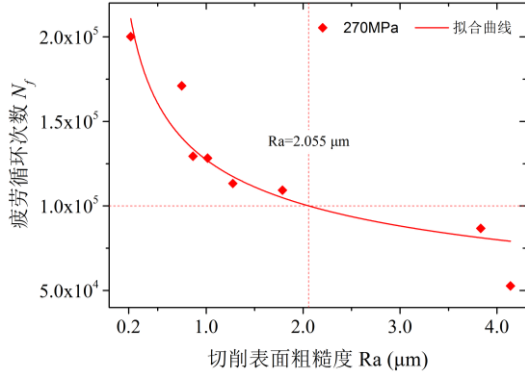
综合分析，切削表面粗糙度也会对样件的疲劳寿命产生十分重大的影响；降低样件切削表面粗糙度，特别是使其粗糙度值小于  $1.0\mu\text{m}$  甚至更低，对提升样件的疲劳寿命会产生极其重要的影响。



(a) 不同应力下疲劳寿命对比



(b) 疲劳循环载荷为 240MPa

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(c) 疲劳循环载荷为 255MPa</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(d) 疲劳循环载荷为 270MPa</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">图 3 不同应力、不同表面粗糙度下 TiB<sub>2</sub>/7050Al 复合材料疲劳寿命</p> <p><b>3. 课程思政分析</b></p> <p><b>思政点：辩证思维与科学方法</b></p> <p>案例中“表面粗糙度与疲劳寿命的非线性关系”（如不同应力水平下 Ra 临界值差异），蕴含“具体问题具体分析”的辩证思维。可引导学生对比理论模型与实验数据（如经典疲劳公式与 TiB<sub>2</sub>/Al 复合材料实测结果），理解工程问题的复杂性与不确定性，培养“基于数据质疑、通过实践验证”的科学精神，避免机械套用理论的形而上学思维。</p> |
| 分析评价 | <p>从表面粗糙度的定义和对零件功能的重要影响出发，逐步引入常规铣削与超声振动辅助铣削表面微观形貌对比，以及不同应力、不同切削表面粗糙度下 TiB<sub>2</sub>/7050Al 复合材料疲劳寿命结果，案例层层递进，逻辑严谨。在每个环节的分析中，都明确指向思政点，引导学生深入思考，教学引导性强，能够有效激发学生的学习兴趣 and 探究欲望，帮助学生更好地理解专业知识与思政元素之间的联系，提高教学效果。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 评价者  | <p style="text-align: center;">、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-041                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 案例标题 | 从追赶到超越：宝钢取向硅钢国产化的奋进之路，引领电力行业新航向                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例来源 | 百度 <a href="https://baijiahao.baidu.com/s?id=1773909389828710878&amp;wfr=spider&amp;for=pc">https://baijiahao.baidu.com/s?id=1773909389828710878&amp;wfr=spider&amp;for=pc</a><br>光明网 2023.0811                                                                                                                                                                          |
| 内容简介 | 宝钢李国保团队在面对国外技术垄断及供应限制，勇挑“卡脖子”技术攻关重担取向硅钢研究；多年来坚韧不拔、艰苦奋斗自主设计装备、开发技术并持续创新，将我国生产取向硅钢的能力带到了全球领先的位置。在这个过程中宝钢李国保团队所展现的爱国主义与民族担当、创新精神与科学探索、工匠精神等，全方位为学生树立榜样，指引成长方向。                                                                                                                                                                                                              |
| 关键词  | 宝钢；李国保；取向硅钢                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 编写时间 | 2025-2-22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 育人主题 | 创新精神与科学探索                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 素材长度 | 2362                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例正文 | <p>新华社客户端上海 8 月 11 日电（记者王辰阳）正值夏日用电高峰，国家能源局最新发布的数据显示，截至 6 月底，我国可再生能源装机达到 13.22 亿千瓦，历史性超过煤电。无论是三峡工程，还是白鹤滩水电站，这些保障清洁能源稳定输出的国家重大工程之中，都离不开装了“中国芯”的变压器。</p> <p>制造变压器里“中国芯”的关键材料叫作取向硅钢，曾经被海外供应商垄断。2008 年，来自宝钢的李国保带领团队，突破了这个“卡脖子”难题；他们几十年如一日的科研投入，更是将我国生产取向硅钢的能力带到了全球领先的位置。</p> <p>突破：取向硅钢不再“卡脖子”</p> <p>取向硅钢是电力传输中必需的尖端功能材料，也是制造超高压、特高压及高效变压器的关键材料，能够有效降低电力输配过程中的电能损耗。业内人士有</p> |

一个经典的比喻，生产硅钢就像是在做大饼，一把芝麻撒下去，如果芝麻随意分布，就是无取向硅钢；如果每一粒芝麻的尖头都朝着一个方向，就是取向硅钢。

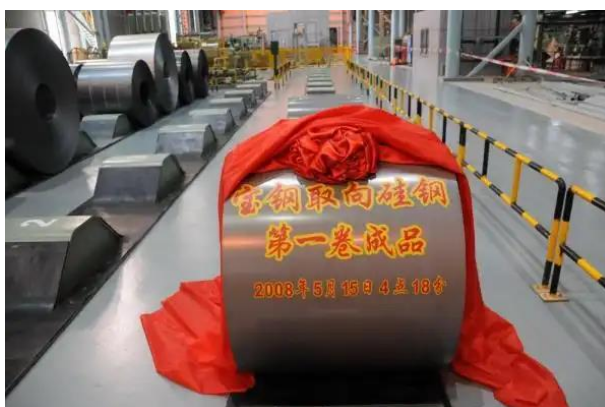
生产取向硅钢技术要求高、生产难度大，有上千个关键工艺节点，曾经是“卡脖子”难题。进口产品供给紧张、成本太高，导致变压器不能放量生产、电压等级上不来。本世纪之初，我国经济社会发展带动电力需求飞速增长，国家实施“西电东送”战略，高等级取向硅钢年需求超过 50 万吨，但是全球的年产能仅在 10 万吨左右，甚至有外商涨价、限供甚至断供的情况出现。

“我们当时遍访全球各大工厂，希望引进先进技术，但几乎都吃了‘闭门羹’。三峡工程投用在即，我们接到任务一定要突破取向硅钢技术。”中国宝武钢铁集团有限公司首席科学家李国保说。

关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的。2003 年底，李国保在宝钢带领团队开启取向硅钢的技术攻关，不分昼夜拼命实验。由于国外竞争对手的干涉，成熟的设备供应商在谈判的最后一刻决定中止合作，团队下定决心“买不到设备就自己造”！他们为此设计了 30 多套实验装备，自主开发了数十项关键工艺参数检测技术，曾在一年内做了 75 轮实验，相当于三年的实验量。

“我 2005 年刚进入宝钢工作，就跟着国保首席研制取向硅钢。那时实验的炉子在春节也不会停机，还记得有一年冬天特别冷，实验用的钢瓶在室外结冰不能输出气体，国保首席就一遍遍拿热水去把冰浇化，他比年轻人还拼，我们也不知道当时他默默浇了多少次热水。”宝钢股份宝山基地副总经理沈侃毅说。

李国保表示，搞技术攻关肯定有进度不理想的时候，但是大家从来没有缺乏信心的时候。在沈侃毅的印象里，公司对团队寄予厚望，也给予了巨大的支持，仅资金投入就有数十亿元。“国保首席身上的担子非常重，但即使遇到困难，他也从不把压力传导给其他人，一直神情坚毅地投入在工作中。”



2008 年，宝钢生产的取向硅钢第一卷成品。（受访者供图）

2008 年 5 月 15 日，宝钢取向硅钢第一卷合格卷成功下线，我国高等级取向硅钢自主研发实现了从无到有的跨越。

2009 年，采用宝钢取向硅钢制成的变压器在三峡工程的检验中一次性全部

合格，在高端取向硅钢领域我国不再受制于人。

**跨越：**硅钢产品从中国走向世界

完成从无到有，还只是李国保和团队在国产取向硅钢事业上完成的起步动作。在和一家用户的首次合作时，双方都很慎重，生怕影响高电压产品的质量。宝钢取向硅钢研究团队派出技术服务人员，和项目施工人员同吃同住同工作，及时解决问题、反馈意见、改进产品。用户在同规格的变压器生产中，同时使用进口产品和宝钢的产品，通过对比成品数据发现，宝钢产品的指标不落人后而且部分领先。

中国电气装备集团等用户曾表示，如果国内没有宝钢这样的硅钢供应企业，变压器的升级不知道还要受到多少制约，无论是成本上、供应的及时性还是性能指标上，肯定都会心里没有底。



李国保和研究团队在一起检查产品质量。（受访者供图）

如今，宝钢取向硅钢产品已经出口至 38 个国家和地区，海外用户达 200 余家。放眼中国宝武集团，其硅钢的产量近年来稳居世界第一，有力支撑了我国特高压输电技术和装备产业链企业“走出去”。

从巴西第二大水电站美丽山项目，到中巴经济走廊的默拉直流输电项目，再到北京冬奥会的绿电保障工程，宝钢的硅钢产品不断为全球的标志性工程提供材料保障。

在白鹤滩水电站建设项目中，宝钢提供的取向硅钢主要用于核心发电机组，保障水电站高效发电。根据测算，如果我国在网运行变压器均采用宝武集团新型取向硅钢产品制造，能效等级每提升一个牌号，每年可节约电耗约 870 亿千瓦时，超过白鹤滩水电站一年的发电量，相当于每年减少二氧化碳排放约 8670 万吨。

**领跑：**努力提升硅钢技术领先优势

今年 3 月，宝钢股份“高性能取向硅钢研发制造与应用”项目被授予“中国工业大奖”。李国保 20 多年来从事硅钢新技术与新产品开发、生产与质量管理，除

了“中国工业大奖”，他还和团队获得国家科技进步奖一等奖和二等奖各一次。掌声和鲜花没有让李国保想着功成身退，年届六旬的他还继续奋斗在岗位上。

在李国保看来，制造业的技术突破不能是“空中楼阁”，他带领团队将实验室的技术进步无缝对接到工厂生产。为了满足市场新的需求，他带领团队承担“十三五”期间国家重点研发项目，实现取向硅钢向薄规格、极低铁损、低噪声方向发展的成果。



李国保在实验室检查材料。新华社记者 王辰阳 摄

目前，宝钢的取向硅钢产品已经开发出 4 个系列 58 项高等级新产品，让国内节能型变压器产品用取向硅钢占比 60%以上，甚至制定了世界唯一的特高压变压器用钢标准。

李国保说：“我们的技术以前是追随，现在是领跑，但我觉得还不够，要把半个身位的优势努力扩大到一个身位。”如今，宝钢股份筹备建设突破性的硅钢新产线工程，新产线工程将是一条超高等级的全流程取向硅钢生产线，其中将有首次投入应用的新技术。

刚刚博士毕业一年的许占一是李国保团队里最新的成员。“前辈们为我们创造了这么好的基础，直到今天还关注着全球技术趋势，为我们把握前进的方向。他们经历过‘卡脖子’的困难，坚定突围，才让我们有机会每往前走一步都是突破和创新。”许占一说。

### **思政点 1：创新精神与科学探索**

取向硅钢生产技术要求极高，有上千个关键工艺节点。宝钢团队在技术攻关过程中，展现出非凡的创新精神与科学探索精神。面对国外竞争对手干涉，设备供应商中止合作，他们没有退缩，而是自主设计 30 多套实验装备，开发数十项关键工艺参数检测技术，一年内完成 75 轮实验。此后，为满足市场新需求，团队持续创新，推动取向硅钢向薄规格、极低铁损、低噪声方向发展，开发出多个

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>系列高等级新产品，制定世界唯一的特高压变压器用钢标准。这种精神鼓励学生在学习和科研中勇于挑战未知，敢于突破传统，培养创新思维和实践能力。</p> <p><b>思政点 2：爱国主义与民族担当</b></p> <p>面对取向硅钢技术被海外供应商垄断，严重制约我国电力产业发展的困境，以李国保为代表的宝钢团队勇挑重担。在三峡工程等重大项目亟需高等级取向硅钢，国外却限制供应的情况下，团队毅然肩负起突破技术“卡脖子”难题的使命。他们克服重重困难，遍访全球无果后，自主开展技术攻关，体现了强烈的爱国主义情怀与民族担当，激励学生将个人命运与国家发展紧密相连，为国家的科技进步和产业发展贡献力量。</p> <p><b>思政点 3：工匠精神与精益求精</b></p> <p>宝钢团队在取向硅钢产品研发和生产过程中，对每一个工艺环节都严格把控，追求卓越品质。为满足用户需求，不断改进产品，通过与进口产品对比提升自身指标，最终使产品出口至 38 个国家和地区。他们制定特高压变压器用钢标准，体现了对技术和产品的极致追求。这种工匠精神和精益求精的态度，培养学生对待学业和未来工作要严谨认真、追求完美，不断提升专业素养和技能水平。</p> |
| 分析评价 | <p>宝钢团队在取向硅钢领域成就卓著，蕴含着深刻的思政价值。在技术攻关时，面对国外干涉与设备供应中断，团队展现出创新精神与科学探索，自主设计实验装备、开发检测技术，还持续创新推动产品升级并制定世界领先标准，能够激励学生在学习科研中勇于突破、培养创新能力；当面临海外技术垄断制约我国电力产业，尤其是重大项目亟需高等级取向硅钢却遭国外限制供应的困境，团队以爱国主义与民族担当为驱动，勇挑突破“卡脖子”技术难题的重任，鼓舞学生将个人与国家发展紧密相连，为国家科技和产业进步贡献力量；在产品研发生产中，团队秉持工匠精神与精益求精的态度，严格把控工艺环节，对比进口产品改进自身，让产品出口多国并制定行业标准，培养学生对待学业和工作要严谨认真、追求卓越，不断提升专业素养。</p>                                                                                                                                                                                 |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-042                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例标题 | 小螺栓，大担当：大国工程背后的科技创新与团队协作力量                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 内容简介 | 从港珠澳大桥沉管隧道螺栓，到航天紧固件、风力发电机及高铁领域的相关螺栓的应用，借助大国工程激发学生的民族自信心、科技创新与民族自豪。同时，通过对紧固件性能要求的阐述以及工程系统复杂性，引导学生理解团队配合及整体思考的重要性。                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 关键词  | 连接件；应用；                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 编写时间 | 2025-2-26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 育人主题 | 科技创新 团结协作                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 素材长度 | 1484                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 案例正文 | <p>1. 港珠澳大桥沉管隧道螺栓连接系统——小螺栓守护“海底巨龙”安全</p> <p>港珠澳大桥，作为全球最长的跨海大桥，采用了桥、岛、隧联合方案，绵延 55 公里。其中，海底隧道长达 6.7 公里，由 33 节巨型沉管拼接而成。每节标准沉管长 180 米、宽 38 米，其水平面积相当于 10 个篮球场大小，重量更是高达 8 万吨，堪比一艘航母的排水量。要在海底 30 多米深处实现毫米级精准对接，这一难度，在业内人士眼中，丝毫不亚于“神九”与“天宫一号”的太空对接。</p> <p>在复杂恶劣的海洋环境下，沉管之间的连接需抵御海水压力、洋流冲击以及地震载荷等诸多严峻挑战。而实现这一“毫米级”精密对接的关键，便是那数千颗高强度耐腐蚀螺栓。整个港珠澳大桥海底沉管，共使用了 60 多万颗螺丝。</p> |

港珠澳大桥运用先进的箱型梁结构，此结构不仅具备超强的抗风、抗浪性能，还能高效分散桥体所承受的重力与应力，为大桥的稳定与安全提供坚实保障。每一段精心制造的钢箱梁，彼此之间通过数以百万计的高强度螺栓紧密相连。这些螺栓宛如人体关节，将庞大的桥体紧紧“锁”在一起，铸就了一道坚不可摧的钢铁长城。



港珠澳大桥

港珠澳大桥的建成，无疑是中国桥梁建设技术的一次重大突破，更是为全球桥梁工程领域作出的卓越贡献。那些看似毫不起眼的高强度螺栓，实则是这座跨海奇迹背后不可或缺的关键力量。它们凭借卓越的性能、精湛的制造工艺以及严格的质量检查，共同守护着这条钢铁巨龙的稳固与安全，见证着中国桥梁建设迈向世界巅峰的伟大征程。

## 2. 从毫米到苍穹：航天紧固件的“不松动”传奇

从日常生活到工业生产，被称作“工业之米”的紧固件无处不在。小如手中的智能手机，大至探索太空的航天器，工业社会的各个角落都有它的踪迹。航天紧固件就是在航天器与卫星制造中，承担紧固、连接与固定功能的零件。这些零件得经受高低温、辐射、真空等极端环境考验，以保障航天器稳定运行。它们可能是螺钉、螺栓、销钉、夹具等，看似平凡，在航天领域却至关重要。2023年8月21日，我国在酒泉卫星发射中心用长征四号丙运载火箭，成功将高分十二号04星送入预定轨道，发射任务圆满成功。长征四号丙火箭高近50米，质量达120吨。如此庞大的火箭，不仅要承受自身重量，还要承担推进阻力、运载卫星等任务，对硬件要求极高。而航空航天紧固件，正是助力火箭完成架构、组合及分离解体的关键部件。

回顾人类探索宇宙的历程，航天紧固件始终发挥着举足轻重的作用。从阿波罗登月计划、国际空间站建设，到我国空间站建设、“嫦娥”探月、“天问”探火等重大工程任务中，这些微小的紧固件在关键时刻从未“掉链子”，稳固着航天器

结构，确保太空探索任务顺利推进。



从深海到太空，看似普通的螺栓在极限工况下成为“系统生命线”。一颗螺栓的太空之旅，重新定义了“小零件”在人类探索未知中的战略价值。

### 3.其他

**风力发电机：**一台大型风力发电机需要用到近 2 万颗紧固件，其中风电叶片与风电主机相连的部位，光是预埋螺套就要 100 个左右。这些螺钉和螺套需要具备高强度、抗疲劳和耐腐蚀等性能，以承受风力发电机在长期运行过程中的巨大载荷和恶劣环境（<https://finance.sina.cn/tech/2023-06-16/detail-imyxkxqc6277758.d.html>）。

### 高铁领域

**高速列车车体：**高速列车的车体通常采用铝合金或不锈钢结构，这些结构件之间的连接需要使用大量的螺钉。



例如，车体的侧墙、车顶、地板等部件的连接，以及车内的座椅、行李架等设施的安装，都要依靠螺钉来实现紧密连接。这些螺钉需要具备高强度、高精度

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>和良好的耐振动性能，以保证列车在高速行驶过程中的安全性和舒适性。在高铁轨道的铺设中，螺钉用于固定钢轨与轨枕。例如，弹条扣件上的紧固件通过螺钉将钢轨紧紧固定在轨枕上，使钢轨能够保持正确的位置和间距，承受列车运行时产生的巨大冲击力和振动，确保轨道的稳定性和可靠性。</p> <p><b>思政点 1：科技创新与民族自豪</b></p> <p>在港珠澳大桥建设案例中，通过介绍数千颗高强度耐腐蚀螺栓实现沉管“毫米级”对接，克服复杂海洋环境挑战，展现中国桥梁建设技术突破，激发学生对我国科技创新实力的自豪，培养民族自信心和认同感，引导学生关注国家重大工程建设成就，树立为国家科技进步努力奋斗的志向。</p> <p>航天领域中，从长征四号丙火箭发射成功到人类探索宇宙历程中航天紧固件的关键作用，如我国空间站建设等重大工程，体现我国航天科技的巨大进步，让学生感受到航天成就背后无数科研人员的智慧与付出，增强民族自豪感，激励学生投身航天等高科技领域创新。</p> <p><b>思政点 2：团队协作与系统思维</b></p> <p>港珠澳大桥、航天工程、风力发电、高铁建设等都是庞大复杂的系统工程，一颗小小的紧固件看似微不足道，但在整个系统中却不可或缺。通过这些案例教育学生理解团队协作的重要性，每个零件、每个环节如同团队成员一样紧密配合，才能保证整个系统正常运转。培养学生的系统思维能力，让他们在面对复杂问题时，能从整体出发，考虑各部分之间的相互关系，提高解决问题的能力，认识到团队协作和系统思维在工程实践中的核心地位。</p> |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例全面且深入地挖掘了工程领域中紧固件相关案例的思政内涵。在科技创新与民族自豪方面，借助港珠澳大桥和航天领域实例，生动展现我国在重大工程及高科技探索中的突破，紧密联系学生对国家成就的认知，有效激发民族自豪感与投身科技的热情，能极大地鼓舞学生树立远大志向。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-043                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例标题 | 拧好每颗螺纹：以管延安、何满棠为范，铸就专业匠心                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 内容简介 | <p>以螺纹连接预紧这一专业知识为切入点，详细阐述预紧的原理、目的和方法后，顺势引入实际应用中遇到的拧紧工具难题，进而带出工匠们的解决方案和卓越成就。选取管延安在港珠澳大桥海底拧螺栓创造毫米级连接奇迹，以及何满棠练就精准判断螺丝材质与扭矩的绝活这两个典型案例，与本节课所学内容紧密相关，整个过程可以顺其自然地融入专业知识讲解和思政融入，鼓励学生在学习专业知识时，要保持钻研精神，不怕困难，勇于尝试，通过不断积累和实践提升自己的专业素养，引导学生学习这种对专业技能精益求精、一丝不苟的精神，无论未来从事何种工作，都要以高标准要求自己，不断提升技能水平，将工作做到极致。</p> |
| 关键词  | 螺纹连接；预紧；管延安；何满棠                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 编写时间 | 2025-2-23                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 育人主题 | 精益求精 工匠精神                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 素材长度 | 1480                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例正文 | <p>螺纹连接是机械连接中最常见的一种方式，它依靠螺纹间的摩擦力和压力来传递扭矩和力。在螺纹连接工作时，受到的力分布在螺纹侧面和底面，然而，仅仅拧紧螺纹并不足以确保其稳固性和可靠性，如果连接松动，将会导致螺纹的侧面和底面之间的压力减小，摩擦力也会减小，这将进一步加剧连接的松动，直至螺纹连接松散甚至断裂，这就需要进行预紧。</p> <p>预紧是指在螺纹连接中，通过施加一定的预紧力，使螺纹之间产生足够的摩擦</p>                                                                                 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>力，从而防止连接在振动或负载变化时发生松动。预紧不仅能提高连接的刚性，还能确保连接的紧密性和耐久性。在机械运转过程中，螺纹连接可能会受到振动和冲击，这可能导致螺纹之间的相对运动，进而造成松动。通过适当的预紧，可以增大螺纹之间的摩擦力，有效抵抗这些外部因素，保持连接的稳定性。</p> <p>预紧不仅有助于防止松动，还能增强整体结构的安全性。在预紧力的作用下，螺纹连接的各部件能够更紧密地结合在一起，形成一个更加稳固的整体。这在承受外部载荷时尤为重要，因为它能够减少应力集中和局部变形，从而提高结构的承载能力。</p> <p>在某些应用中，如液压系统或气动系统，螺纹连接需要具有良好的密封性能。通过预紧，可以确保螺纹之间的紧密贴合，防止液体或气体泄漏。这对于维持系统的正常运行和延长使用寿命至关重要。</p> <p><b>一、螺纹连接的预紧</b></p> <p><b>预紧的目的</b> 增强连接的可靠性、紧密性和防松能力。</p> <p><b>预紧力</b> 连接件在承受工作载荷之前承受的预加作用力。</p> <p>预紧力不足 ➡ 连接不可靠<br/>预紧力过大 ➡ 连接过载而被拉断</p> <p style="text-align: right;">➡ <b>控制预紧力</b></p> <p style="text-align: center;">图 1 螺纹连接预紧的目的</p> <p>预紧的方法一般有以下几种：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.手动预紧：用扳手或扳手套筒把螺栓拧紧到一定的扭矩值后停止。这种方法适用于小型机械设备或螺栓数量较少的情况。</li><li>2.液压预紧：使用液压油压缩螺母或液压扳手对螺栓进行预紧。这种方法适用于大型设备或需要高扭矩的螺栓连接。</li><li>3.扭矩控制预紧：使用扭矩扳手按照预定的扭矩值进行预紧。这种方法比手动预紧更加准确和可靠。</li></ol> <p><b>一、螺纹连接的预紧</b></p> <p>◆ 对于一般连接，可凭操作者经验来控制预紧力的大小。</p> <p>◆ 对于比较重要的连接，借助测力矩扳手控制预紧力。</p> <div></div> <p style="text-align: center;">图 2 预紧的方法</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

螺纹拧紧与防松中，定力矩扳手和测力矩扳手可以对螺纹进行拧紧，但是有些场合却并不适用。

为了充分发挥螺栓的工作能力，保证预紧可靠性，螺栓的预紧应力一般可达材料屈服极限的 50%~70%。通过预紧应力可以计算得到预紧力及拧紧力矩的大小。重要的螺纹连接应按计算值控制拧紧力矩，工具可采用测力矩扳手或定力矩扳手。其中测力矩扳手仪表中示数会随着不断拧紧而增加，定力矩扳手在拧紧力矩达到预先设定值时自动放松。对于一些更为重要或大型的螺栓连接，可用控制螺栓拧紧前后发生的伸长变形量来达到更精确的预紧力控制。但螺栓的伸长量很难精确测量，此时可以采用螺栓拉伸器。

对于重要的有强度要求的螺栓连接，如无控制拧紧力矩的措施，或由于空间限制等无法采用力矩扳手，一方面可以采用较大的螺栓，另一方面能不能靠经验人工拧紧达到恰好的拧紧效果？当然可以！有中国深海钳工第一人之称的大国工匠管延安，拧螺栓就非常有手感。港珠澳大桥是粤港澳首次合作共建的超大型跨海交通工程，其中岛隧工程是大桥的控制性工程，也是目前世界上在建的最长公路沉管隧道。港珠澳大桥建设过程中，管延安在海底仅靠一把扳手拧了 60 多万颗螺栓，实现了 33 根 180 米长的沉管间的毫米级连接，练就了管延安左右手拧螺丝均能实现误差不超过 1 毫米和听“音”辨隙的绝活儿，创造了零失误的深海奇迹。难度系数不亚于天宫九号对接，为世界首条“滴水不漏”的外海沉管隧道建设找到了中国方案。全国道德模范何满棠，工作中有一股钻劲，遇到难题不解决绝不罢休。依靠工作中不断地琢磨和尝试，何满棠练就了一手绝活，就是信手掂量即可判断出不同螺丝的材质与对应的扭矩，仅使用普通工具拧螺丝，随手就可以扭出“国标”螺丝扭矩。钳工虽不起眼，但不可替代！其实不管从事什么样的工作，只要我们热爱它，脚踏实地的做好每一件事情，在做到精益求精的同时不断挑战自我，一定能够实现自我价值，成就梦想。



管延安



何满棠

### 思政点 1：工匠精神

大国工匠管延安在港珠澳大桥岛隧工程建设中，于海底仅靠一把扳手拧了 60 多万颗螺栓，实现了 33 根 180 米长沉管间的毫米级连接，左右手拧螺丝误差不

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>超过 1 毫米且能听“音”辨隙，创造零失误深海奇迹。这体现了他对工作的极致专注、追求卓越的工匠精神。在教学中可以引导学生学习这种对专业技能精益求精、一丝不苟的精神，无论未来从事何种工作，都要以高标准要求自己，不断提升技能水平，将工作做到极致。</p> <p>全国道德模范何满棠，凭借工作中不断地琢磨和尝试，练就信手掂量即可判断不同螺丝材质与对应扭矩，仅用普通工具就能扭出“国标”螺丝扭矩的绝活。这展现了他在工作中勇于钻研、持之以恒的工匠精神。可借此鼓励学生在学习专业知识时，要保持钻研精神，不怕困难，勇于尝试，通过不断积累和实践提升自己的专业素养。</p> <p><b>思政点 2：爱国情怀与责任担当</b></p> <p>港珠澳大桥作为粤港澳首次合作共建的超大型跨海交通工程，其建设意义重大。管延安等建设者们在其中发挥关键作用，为大桥建设贡献力量，这背后蕴含着他们对国家重大工程建设的责任感和使命感，以及为国家发展贡献力量的爱国情怀。在课程中可以引导学生认识到个人的专业学习与国家建设的紧密联系，激励学生树立为国家繁荣富强而努力学习专业知识、承担社会责任意识，将来积极投身到国家建设的各项事业中。</p> <p><b>思政点 3：职业道德与敬业精神</b></p> <p>管延安和何满棠在各自岗位上，多年如一日专注于螺丝拧紧工作，对工作高度负责，确保每一个螺丝都符合高标准。这体现了他们良好的职业道德和敬业精神。可以教导学生在未来的职业生涯中，要遵守职业道德规范，热爱自己的工作岗位，全身心投入工作，对待工作认真负责，培养严谨的工作态度和敬业精神。</p> |
| 分析评价 | <p>从工匠精神、爱国情怀、职业道德等多个维度深度挖掘思政元素。通过管延安和何满棠的事迹，生动诠释了工匠精神的精益求精与持之以恒，将抽象的思政理念具象化，使学生更易理解与接受。同时，关联到港珠澳大桥建设这一国家重大工程，自然地引出爱国情怀与责任担当，拓宽了思政教育的广度，让学生深刻认识到专业学习与国家发展的紧密联系。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|      |                                                                                                                                                                                                                                             |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-044                                                                                                                                                                                                                                |
| 案例标题 | 攻克螺栓松动难题：“唐氏螺纹”彰显创新探索力量                                                                                                                                                                                                                     |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                          |
| 内容简介 | <p>在机械设备领域，螺栓松动问题长期未得到根本解决。唐宗才毕业成为电气工程师后，勇于突破传统思维，思考设计“不会松动的螺栓”结构，最终发明“唐氏螺纹”。这一创新体现了创新精神对推动技术进步的关键作用，激励学生要有创新意识，敢于挑战传统，主动承担解决行业难题的责任。从构思到成果广泛应用，唐宗才历经多年，面对诸多问题、困难与质疑仍坚持不懈，这种精神启示学生，在追求创新与目标的道路上，要有坚韧不拔的毅力，凭借持之以恒的奋斗才能取得成功，从而培养学生的抗挫折能力。</p> |
| 关键词  | 唐氏螺纹；唐宗才                                                                                                                                                                                                                                    |
| 编写时间 | 2025-2-23                                                                                                                                                                                                                                   |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                 |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                       |
| 育人主题 | 创新精神与科学探索                                                                                                                                                                                                                                   |
| 素材长度 | 1209                                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例正文 | <p>机械设备中，螺栓连接若出现松懈，不仅可能导致螺栓脱落，带来重大安全隐患，还会因螺栓松弛而使预紧力下降，进而显著缩短螺栓连接的疲劳寿命。因此，在设计中，我们必须考虑采用适当的防松措施，以确保螺栓在实际应用中能够稳固不脱。</p> <p>螺纹的发明有几千年的历史，随着螺纹紧固件更广泛地使用，螺纹松动问题越加突显，这个问题一直没有得到根本解决。1985年，唐宗才毕业于华中科技大</p>                                          |

学电气自动化专业，刚满 20 岁的他被分配到马钢中板厂成为一名电气工程师。能不能设计一种“不会松动的螺栓”结构？这一直萦绕在他脑海，很快他就想出来了，唐氏螺纹螺母由作为紧固螺母的右旋螺母和作为锁紧螺母的左旋螺母组成，两种螺纹复合在同一段螺纹上，因为方向不同，紧固螺母的松动力变成锁紧螺母的紧固力，因此螺母防松效果大大提高。

### 唐氏螺纹

一种双旋向、变截面、非连续的螺纹



唐宗才  
唐氏螺纹发明人



本节内容主要学习以下是一些常用的防松方法：

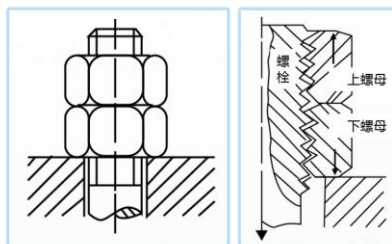
#### 对顶螺母防松

对顶螺母防松，也被称为双螺母防松。这种设计原理在于，当两个对顶螺母被拧紧后，它们之间会形成一个持续的相互作用力，即压力。在这种状态下，任何试图转动其中一个螺母的动作都必须克服旋合螺纹间的摩擦力。由于这种压力的存在不受外载荷变化的影响，因此双螺母防松能够有效地起到防松作用。结构简单，使用方便，但可靠性不高。用于平稳、低速和重载的场合。

#### 摩擦防松

##### ◆ 对顶螺母

结构简单，使用方便，但可靠性不高。用于平稳、低速和重载的场合。

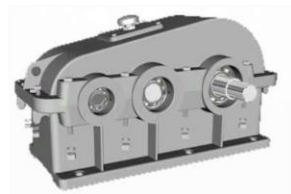
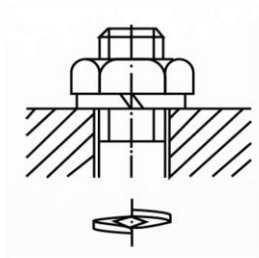


摩擦防松还有：弹簧垫圈、尼龙圈锁紧螺母等。

### 摩擦防松

#### ◆ 弹簧垫圈

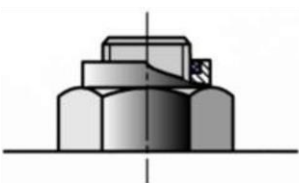
结构简单，使用方便，但垫圈弹力不均，防松不可靠，一般用于不太重要的场合。



### 摩擦防松

#### ◆ 尼龙圈锁紧螺母

结构简单、防松可靠，可多次装拆而不降低防松能力，用于重要场合。



除摩擦防松外还有机械防松和永久防松，机械防松主要有槽形螺母与开口销、止动垫片、圆螺母用带翅垫圈等，永久防松主要有冲点防松、焊点防松、粘合防松等。

从以上的分析可以发现，传统的最常用的防松原理是通过增加预紧力来增加螺纹间的摩擦力，最终达到摩擦防松目的。但是，唐宗才认为增加摩擦力实际上就是增加斜面上物体的重量，但是斜面上物体是否下滑取决于斜面的角度和斜面的摩擦系数，和斜面上物体的重量无关，换句话说，就是螺纹是否松动与摩擦力无关。他认为这种思路仍然局限在传统的紧固思维里，不能突破固有思路正是螺纹防松面临的大问题。能否换一种思路解决螺丝纹防松问题，从而减少安全隐患？研究了诸种传统螺栓防松方式，唐宗才发现，无论是增加摩擦力还是设置机械装置，又或是考虑将螺纹副直接铆死或焊死的方法，人们都是在用“堵”的方式来解决螺栓的防松。唐宗才认为，“堵”不如疏，几百年来成千上万种“堵”的防松方法的出现恰恰证明螺纹防松问题没有根本解决。

于是唐宗才提出一种新型“双旋向、非连续、变截面”的螺纹。创新需千分之一，求证却需千分之九十九，在研究过程中遇到了很多问题、困难和质疑。终于，在 2008 年，“唐氏螺纹”已全部被收录于《机械设计手册》（化学工业出版社）第五版第二卷。同时，产品推向市场后，广泛应用在轨道交通、重卡汽车、工程机械、风力发电等众多领域。公司与陕西汽车控股集团有限公司、上海龙工集团、上海铁路局、宝武集团等企业达成了长期合作。2014 年，

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>唐宗才获得了中国发明协会颁发的第八届中国发明创业奖，2016 年，又相继登上《人民日报》和中央电视台等中央媒体。</p> <p><b>思政点：创新精神与科学精神</b></p> <p>唐宗才在面对螺纹松动这一长期未解决的难题时，勇于突破传统思维，积极思考设计“不会松动的螺栓”结构，最终发明了“唐氏螺纹”。这体现了创新在推动技术进步中的关键作用，激励学生要有创新意识，敢于挑战传统，在未来的学习和工作中主动承担起解决行业难题的责任，为社会发展贡献自己的力量。</p> <p>从产生设计新型螺栓的想法到“唐氏螺纹”被收录于权威手册并广泛应用，唐宗才历经多年，期间遭遇诸多问题、困难和质疑，但他始终坚持不懈。这种精神启示学生，在追求创新和实现目标的道路上，必然会遇到各种挫折，只有具备坚韧不拔的毅力，持续努力奋斗，才能取得最终的成功，培养学生的抗挫折能力和持之以恒的品质。</p> |
| 分析评价 | <p>唐宗才以非凡的勇气突破传统思维定式，潜心钻研设计“不会松动的螺栓”结构，最终成功发明“唐氏螺纹”。这一重大创新成果，深刻彰显了创新精神在推动技术进步进程中的核心驱动力，为整个行业的发展注入了新的活力与可能，无疑为广大学生树立了勇于创新的典范，激励他们在未来的学习与工作中，积极培养创新意识，敢于向传统发起挑战，主动肩负起攻克行业难题的使命担当。同时，这一案例与理论知识点联系紧密，在理论教学中能够潜移默化的融入课程思政。</p>                                                                                                                                                                               |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|      |                                                                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-045                                                                                                                                                                                       |
| 案例标题 | “永不松动的螺母”：厚植文化自信                                                                                                                                                                                   |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                 |
| 内容简介 | 唐宗才以中国特有的思维“以柔克刚”攻克国际螺纹防松难题，研制出了属于中国的“永不松动的螺纹”，将中国传统文化中的阴阳理念与唐氏螺纹的设计紧密结合。本案例通过从专业知识讲解自然过渡到对中国传统哲学思维的阐述，让学生在学习知识的同时，深刻领悟到传统文化在现代科技中的应用价值，增强学生的文化自信和民族自豪感。                                           |
| 关键词  | 唐氏螺纹；唐宗才                                                                                                                                                                                           |
| 编写时间 | 2025-2-23                                                                                                                                                                                          |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                        |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                              |
| 育人主题 | 文化自信和民族自豪感                                                                                                                                                                                         |
| 素材长度 | 1295                                                                                                                                                                                               |
| 案例正文 | 螺母是一种生活中很常见的工业产品，在很多场景中比如高铁、飞机、汽车、数控机床等，在运行过程中会产生频繁且激烈的振动，这种振动会使得一般螺母松动，甚至是脱落，一旦螺母脱落，甚至可能造成严重的事故。如果使用普通螺母，那就只能经常性的检查螺母是否松动，这会产生巨大的成本。上世纪 60 年代日本出现一种“永不松动螺母”，被称为 HARDLOCK 防松螺母，这种螺母的运用场景，主要是高铁在使用。 |

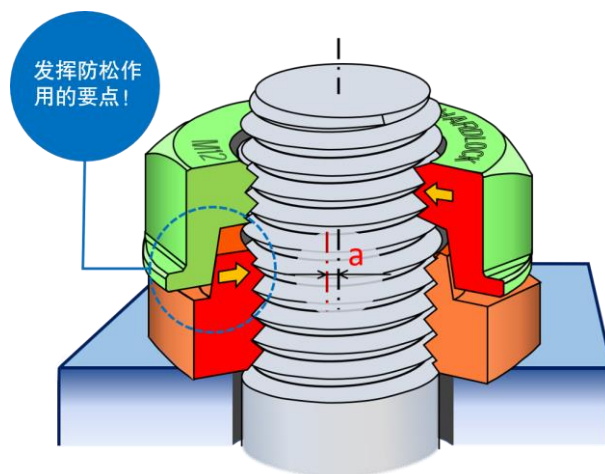


图 1 号称永不松动的螺母

那这种螺母为什么不会松动呢？

HARDLOCK 防松螺母由凹凸两种螺母组成，先拧紧经楔形偏心圆加工，作为紧固螺母的凸螺母，再拧紧起同心圆加工，作为锁紧螺母的凹螺母。安装后凸螺母的整个螺纹部被压向螺栓一侧，而凹螺母的整个螺纹部被压向相反侧的螺栓螺纹部上。

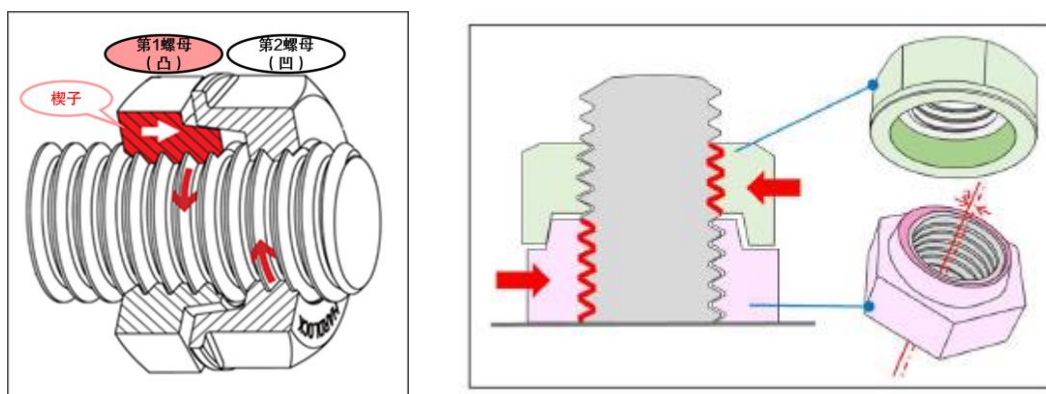


图 2 HARDLOCK 防松螺母防松原理

选第 1 螺母为具有偏心结构的凸螺母，使得第 1 螺母本身具有楔形结构。第 2 螺母为具有同心圆结构的凹螺母。通过将凹螺母沿凸螺母的锥形凸起部拧入，使螺栓轴线垂直方向产生了“楔形原理”带来的强力锁紧效果。HARDLOCK 防松螺母则拥有着能从左右方向消除两个螺母高度的所有螺纹部间隙，从而实现与螺栓的一体化结合的防松机制。**HARDLOCK 防松螺母**虽然有优异的防松效果，但由于两个螺母之间的互相挤压，所以螺母的需要很高的金属的疲劳强度，普通的材料无法胜任。

但是，中国可以采用常规的材料生产出属于自己的“用不松动的螺纹”——唐氏螺纹。那么，唐氏螺纹的防松原理又是什么？

唐氏螺纹是在螺栓上整合了两种不同旋向的螺纹，在安装时也会安装两种不同旋紧方向的螺母，当一个螺母想松退时，会推动另一个螺母旋转，而这个旋转

力恰恰会上紧另一个螺母。唐氏螺纹克服了对材料和加工高精度的难题。

唐氏螺纹形状相对规则。不管是左旋还是右旋螺纹，都是工业上常用的形状，唐氏螺纹只是将这两种螺纹做在了一根螺栓上，所以加工中面临的不确定性因素少，只是需要设计新的加工机械，才可以批量化生产。

螺母可以使用常规材质。经过在武汉、上海、北京多次实验检测，相同材质和尺寸的唐氏螺纹，其强度可达普通螺纹平均值的 95.38%。原来特殊的唐氏螺纹使各螺纹段的受力更均匀，而不像哈德洛克螺母那样集中了过多的力，所以唐氏螺纹对材质的要求就降低了。

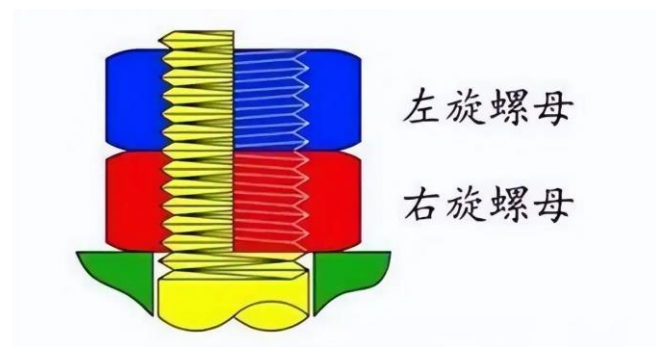


图 3 唐氏螺纹

在讲述唐氏螺纹”背后的设计思维时，唐宗才说，“其实我的设计是典型的中国思维，左旋螺纹和右旋螺纹属阴阳两极，阴阳是相互转化、相互制约的。我们擅长于化解和转化，我们可以‘以柔克刚’地解决问题，这是中国人特有的思维方式”。在振动、冲击的情况下，紧固螺母会发生松动的趋势，但是，由于紧固螺母的松退方向是锁紧螺母的拧紧方向，锁紧螺母的拧紧恰恰阻止了松退。

从螺纹防松角度来看，“哈德洛克”（HARDLOCK）螺母是依靠增大摩擦力防松偏心式螺母，依然属于传统防松方式。在冲击振动的条件下，螺母仍会松脱。而“唐氏螺纹”紧固件是纯结构防松，利用左旋和右旋螺纹自身的矛盾性和反向运动来防松，虽然减小了螺纹的受力面积，但却保持了螺纹的强度，创造了真正“不会松动的螺栓”的神话。在 2008 年，“唐氏螺纹”已全部被收录于《机械设计手册》（化学工业出版社）第五版第二卷。同时，产品推向市场后，广泛应用于轨道交通、重卡汽车、工程机械、风力发电等众多领域。

（<https://m.bjnews.com.cn/detail/170173865119002.html>）

### 思政点 1：文化自信与民族自豪感

唐宗才将中国传统哲学中的阴阳理念融入螺纹设计，体现了中国传统文化的智慧。他以独特的中国思维方式解决国际上长期存在的螺纹防松难题，创造出具有国际竞争力的产品。这增强了学生的文化自信，让学生认识到中国传统文化蕴含着巨大的价值，鼓励学生传承和发扬中华优秀传统文化，激发学生的民族自豪感和爱国情怀，使其在未来的工作和生活中，积极传播中国文化，展现中国智慧。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点 2：创新精神与科学精神</b></p> <p>唐宗才在面对传统螺纹防松难题时，突破固有思维，创新性地提出“双旋向、非连续、变截面”的唐氏螺纹设计。他不局限于增加摩擦力等传统防松思路，这种创新精神鼓励学生在学习和未来工作中，敢于质疑常规，突破思维定式，积极探索解决问题的新方法，培养学生的创新意识和创新能力，引导学生树立勇于创新的价值观，使其明白创新是推动科技进步和社会发展的重要动力。</p>                                                        |
| 分析评价 | <p>通过讲述唐宗才以中国特有的思维方式攻克国际螺纹防松难题，创造出具有国际竞争力的产品，且产品被收录权威手册并广泛应用等事迹，有力地激发了学生的民族自豪感和文化自信。这种从本土创新成果出发的思政教育，能切实让学生感受到中国智慧的力量，对培养学生的爱国情怀和民族精神具有显著成效。该案例将中国传统文化中的阴阳理念与唐氏螺纹的设计紧密结合，从专业知识讲解自然过渡到对中国传统哲学思维的阐述，让学生在学习知识的同时，深刻领悟到传统文化在现代科技中的应用价值，使思政教育与专业课程内容水乳交融，避免了思政教育的生硬植入。</p> |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                       |

|      |                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-046                                                                                                                                                                                                                |
| 案例标题 | 螺栓引发的事故之殇：筑牢工匠精神，严守工程伦理底线                                                                                                                                                                                                   |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                          |
| 内容简介 | 在机械工程领域，螺栓虽小却至关重要。福海街道冲床事故因螺栓数量不足及松动，英国航空 5390 号班机事故因螺栓尺寸不符，还有日常中螺栓松动引发的各类潜在危险，这些案例深刻反映出诸多思政要点。它提醒着从业者要有强烈的责任担当，严谨细致对待每一个螺栓相关的操作，严格遵循规范标准，重视团队协作与沟通，将安全意识和生命至上理念贯穿始终，避免因疏忽造成不可挽回的损失，引导学生树立正确价值观，为未来职业生涯筑牢思想根基。              |
| 关键词  | 螺纹；强度；事故                                                                                                                                                                                                                    |
| 编写时间 | 2025-2-24                                                                                                                                                                                                                   |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                 |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                       |
| 育人主题 | 工匠精神 工程伦理 职业素养                                                                                                                                                                                                              |
| 素材长度 | 1871                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例正文 | <p>螺栓是机器中使用最多、最标准化的零件，据不完全统计，有关紧固件的标准有 400 多个，完全超过其他通用件的标准。</p> <p>一颗微小、看似不起眼的螺栓，却在我们的生活中起着巨大的作用。螺栓能把一个个零散的零件或部件连接起来，成为一个能够供我们使用的机器。少一颗螺栓都不能组成一个完整的整体，甚至螺栓的尺寸（长度或直径）不符合要求或者松动，都将会引起安全隐患。小小螺栓看起来貌似微不足道，但引起的安全事故也会令人心惊胆战。</p> |

在机械设计中，螺栓作为连接件，其强度直接影响到整个机械设备的性能和安全性。螺栓强度对于机器和结构的稳固性和耐久性有着重要的影响。如果螺栓的强度不足，就会导致螺栓在受力情况下断裂，从而影响整个机器或结构的正常运行。因此，在机械制造和工程领域中，螺栓强度的计算和选择是非常重要的，它通过对螺栓的直径、长度、材料、数量等因素进行计算和分析，确保所选用的螺栓能够满足设备在各种工况下的承载要求。

在计算过程中，首先需根据连接类型、装配状况及载荷条件等因素，明确螺栓所受外力，随后依据相应的强度标准来计算螺栓危险截面的直径或验证其强度是否达标。同时，在螺栓连接的装配过程中，必须确保其危险截面的拉伸强度满足相关标准。一般学生，甚至工程师和工人，在设计和生产过程中很难重视螺栓及螺栓组的受力分析计算，即使有计算过程，也是非常简单的计算，没有完全考虑相关部件的强度及外载荷，更对螺栓问题导致的安全事故知之甚少。近年来，由螺栓断裂引发的事故频繁发生，这充分说明了螺栓虽小，但位置关键。

#### 1.螺栓数量不够导致冲床侧翻

2017 年 11 月 6 日 18 时 35 分许，福海街道濠成工业区深圳市威宏志五金制品有限公司一楼冲压车间内发生一起物体打击死亡事故，造成 1 人死亡。

([https://www.sohu.com/a/203132939\\_487461](https://www.sohu.com/a/203132939_487461))



图 1 触目惊心的事故现场

事故调查人员发现，出事的 36 号冲床机底座居然没有安装地脚螺栓来加强机械的稳固性！为了减少安装麻烦，该工厂贪图省事，仅在冲床原固定位置四角采取了钢筋限位，但这种措施只是防止机器晃动，而不能保障其稳固性。再者，冲床机座侧面理应安装 2 颗螺栓，可出事的冲床只安装了一个，且由于常年用于作业生

产，安装的螺栓慢慢松动，所以才会造成机器重心失稳，酿成事故！倾倒的冲床，就是因为没有通过地脚螺栓进行紧固连接以及基座侧面应该安装两颗螺栓但是只安装一颗螺栓。

## 2. 英国航空 5390 号班机事故，螺栓尺寸不对

英国航空 5390 号班机是英国航空一条由伯明翰前往西班牙马洛卡的定期航班。1990 年 6 月 10 日，飞机在飞行过程中驾驶室中的一块挡风玻璃突然飞脱，并将机长吸出机外。但凭着副机师的努力，航机安全降落于南安普敦，而且正机长亦奇迹般生还。



图 2 号称永不松动的螺母

调查员发现，该飞机于出事前 27 小时曾被更换挡风玻璃，而且被维修部通过。可是，在安装在挡风玻璃里的 90 颗螺丝钉中，84 颗的直径为 0.026 英寸（1 毫米），要比标准的小；其余的 6 颗的长度是 0.1 英寸（3 毫米），则比标准的短。调查员透露，早前被更换了的挡风玻璃已经被安装上了不合规格的螺丝钉，当时的维修部门以“尽量相似”为准则，而没有参考飞机的维修档案。当机舱内及机外的气压有异，挡风玻璃最终承受不了这股气压而导致爆炸性减压。这次事件也令人关注到飞机挡风玻璃的设计瑕疵，是否应该安装更大的螺丝钉以抵受强大的气压。调查员批评英航位于伯明翰国际机场的维修部门，因为他们没有按照英航的维修程序，并使用了不合规格的零件。同时，他们也发现英航的维修程序亦存在缺点：飞机维修完毕后，英航没有一个独立部门负责检验及确认。

## 3. 螺栓松动造成事故

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1774447436305281029&wfr=spider&for=pc>

### 案例一

2009年9月中午用餐高峰期，广州工业大学食堂一台吊扇突然从天花板掉落，飞速旋转的电扇砸伤和划伤了2名学生，事故原因是固定电扇的螺栓掉落。

### 案例二

2010年12月14日，深圳地铁1号线国贸站5号手扶电梯突然由上行倒转，致使25名乘客受伤。事故原因是扶梯主机固定螺栓松脱，其中1个被切断，令主机支座移位，驱动链条脱离链轮，在乘客重量的作用下，上行的扶梯下滑。

### 案例三

2010年6月29日16时45分深圳东部华侨城“太空迷航”娱乐设施的太空舱垮塌，造成6人死亡，10人受伤，事故原因是有一颗螺栓松动。

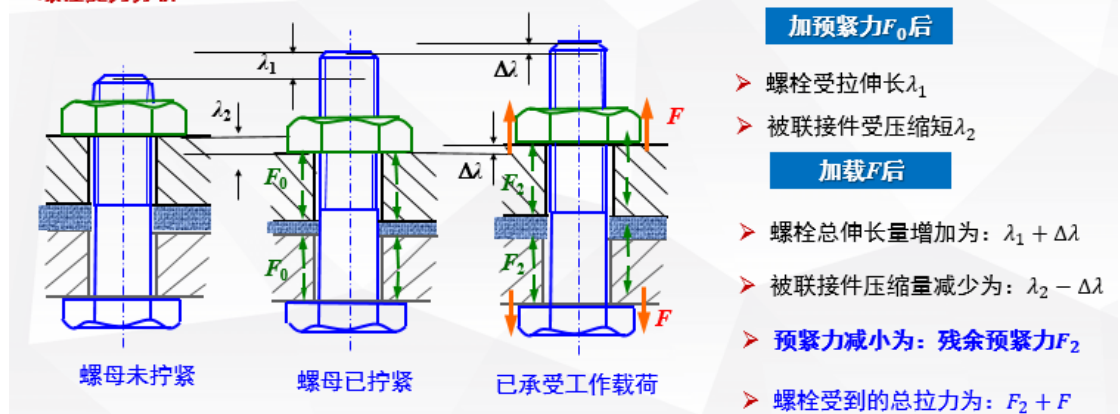
图3 螺栓松动造成事故

对于承受静载荷工况的连接，如果螺栓松动会引起螺栓受力不均匀，松的螺栓承受的载荷会减小，没有松动的螺栓受力会增加，根据具体的结构不同情况稍有不同，如果连接处螺栓数量比较多，有一个螺栓松动不会有致命的影响，但如果连接处仅有两个螺栓，一旦其中一个发生松动，另一个螺栓就会承担大部分的载荷，并且受力形式也发生比较大的变化，载荷大到一定程度后，紧的螺栓可能先断裂，然后松动的螺栓承受所有载荷，以致无法承重而断裂。当螺栓承受疲劳载荷时，如果有一个螺栓松动，预紧力大大降低，当承受交变载荷时，螺栓的预紧力变化范围比较大，螺栓自身的应力幅值会比其他螺栓更高，会造成早期疲劳断裂。

在螺栓连接的强度计算中，我们需考虑螺栓所受的总拉力  $F_2$ ，这包括由外部载荷产生的拉力以及预紧力  $F_0$ 。预紧力是确保螺栓连接紧密和安全的重要因素。通过合理的预紧力设置，可以有效地防止连接松动，提高连接的可靠性。在计算过程中，我们需要根据具体的连接要求和工况，合理确定并控制预紧力的大小。因此，要掌握螺栓连接强度的计算。

## 二、承受轴向载荷的紧螺栓连接计算

### 螺栓受力分析



|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p style="text-align: center;">图 4 螺栓受力分析</p> <p><b>思政点 1：工匠精神与专业敬畏</b></p> <p>细节决定成败：微小螺栓的失效引发重大事故（如冲床侧翻、空难），印证了"千里之堤溃于蚁穴"的哲理。教学中需强化学生"勿以事小而不为"的工程态度，培养对技术细节的极致追求。</p> <p>科学严谨性：英国航空事故中维修人员"尽量相似"的侥幸心理，暴露出对技术标准的轻视。需引导学生建立"差之毫厘，谬以千里"的科学精神，将标准化意识融入职业基因。</p> <p><b>思政点 2：工程伦理与社会责任</b></p> <p>安全底线思维：事故中暴露的"重效率轻安全"倾向（如减少螺栓数量、简化计算），警示工程决策必须将人的生命安全置于首位。教学中需植入"设计即责任"的伦理观，强调工程师的社会责任。</p> <p>全生命周期责任：从设计计算、制造装配到维护检修（如螺栓松动监测），案例揭示了工程责任的连续性。需培养学生系统思维，理解技术决策在设备全生命周期中的影响。</p> <p><b>思政点 3：职业素养与跨学科视野</b></p> <p>"螺丝钉精神"：通过螺栓的关键作用，引申出岗位价值认知—任何工程角色都关乎系统安全。可结合大国工匠案例，重塑"平凡岗位非凡价值"的职业信念。</p> <p>多学科交叉意识：螺栓强度设计涉及材料科学（如强度等级）、机械原理（如应力分析）、质量控制（如扭矩检测）等多领域，需强化学生跨学科知识整合能力。</p> |
| 分析评价 | <p>选取冲床侧翻、空难事故等真实案例，以极端后果凸显螺栓设计的微小失误可能引发的灾难性影响，符合“以小见大”的思政教育逻辑。事故现场的视觉化描述（如图文结合）能有效触发学生的情感共鸣，打破工科课堂的抽象性，通过技术细节的致命性后果，强化学生对专业责任的具象认知，避免思政教育流于空洞说教；将“螺丝钉精神”从道德隐喻转化为技术实体的关键性，实现了价值观与专业场景的深度绑定，避免单一维度灌输，通过多层次关联引导学生建立“技术-伦理-社会”的立体认知体系。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 评价者  | <p style="text-align: center;">、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|      |                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-047                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例标题 | 工程师之戒：用魁北克大桥的悲剧，镌刻生命敬畏与职业操守                                                                                                                                                                                                         |
| 案例来源 | 百度                                                                                                                                                                                                                                  |
| 内容简介 | 本课程思政案例详细回溯了工程师之戒的起源 —— 魁北克大桥的两次惨痛垮塌事故。从建桥背景到建设过程中，因总工程师经验不足、远程主持施工、对问题重视不够等人为因素，致使大桥第一次垮塌，众多工人丧生。重建新桥时，又因连接强度问题导致二次事故。最终竣工后，加拿大七大工程学院用垮塌残骸打造工程师之戒发给毕业生。借助这段历史，向工程专业学生传递敬畏生命、严谨负责的职业道德，强调在工程设计与建设中担当精神与尊重自然规律的重要性，实现专业知识与思政教育的紧密融合。 |
| 关键词  | 魁北克大桥；垮塌；工程师之戒                                                                                                                                                                                                                      |
| 编写时间 | 2025-2-26                                                                                                                                                                                                                           |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                         |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                               |
| 育人主题 | 职业道德 敬畏生命                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材长度 | 1252                                                                                                                                                                                                                                |
| 案例正文 | 在加拿大，工程师之戒被视为“世界上最昂贵的戒指”。它戴在工程师常用手的小指上，象征着工程师对公众的义务与道德责任。这一传统始于 1922 年，在加拿大七大工程学院相关大学的工程师之使命契约仪式上，戒指被授予毕业工程师。戒指上下各有 12 个平面，表面粗糙，资历深的工程师戒指会因日常写字、画图与纸摩擦而变平滑。美国虽也有类似传统，但戒指表面圆滑。                                                       |



工程师之戒的由来，与魁北克大桥的两次垮塌事故紧密相关。圣劳伦斯河是魁北克重要贸易航道，冬季因结冰及冰凌影响需建桥。1887 年，加拿大成立魁北克桥梁公司获批建铁路车辆两用桥，1903 年该桥被纳入美洲大陆铁路修筑计划。



大桥建设一波三折。业主为魁北克桥梁公司，总工程师爱德华·霍尔缺乏大跨度桥梁设计经验，于是聘请美国著名桥梁建筑师特奥多罗·库珀负责设计。库珀上任后，将主跨从 487.7 米加大到 548.6 米，旨在降低成本、缩短工期。但此后，他仅三次前往工地，后期以身体不佳为由，在纽约事务所远程主持施工。现场缺乏有足够经验与权威的工程师，重大事务均需请示库珀。

1906 年 2 月，工程出现严重问题迹象，钢料用量远超预期，应力增量增加，库珀却认为可接受并允许继续施工。1907 年 6 月 15 日，大桥结构问题愈发明显，对大桥的实际自重计算的不足终于在大桥本身上显示出来了，下弦杆出现弯曲、拼接板变形等情况。麦克琉尔注意到在铆接南锚跨的下弦杆的拼接板时，两个中间肋板的拼接面不吻合。尽管年轻工程师麦克琉尔多次汇报，却未引起足够重视。8 月 27 日施工叫停，28 日霍尔派麦克琉尔回纽约向库珀当面汇报，然而施工又恢复。29 日，库珀发出停止加重量的指令，但因总工程师不在场等原因，指令耽搁。下午 17:30，大桥倒塌，86 名施工工人仅 11 人幸存。

加拿大政府未放弃，在原桥墩上重建大桥。新桥上部结构重量大增，施工时仍出意外，5200 吨重的悬吊跨吊装时因连接强度不够落入水中，13 名工人死亡，

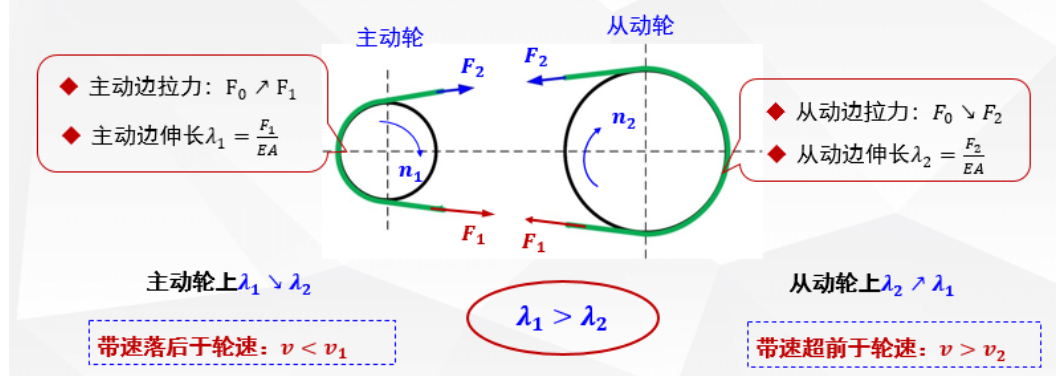
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>原因归结为连接强度不够。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>魁北克大桥第一次断桥</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>魁北克大桥第二次断桥</p> </div> </div> <p>1922 年，魁北克大桥最终竣工。加拿大七大工程学院买下垮塌残骸，将钢材打造成工程师之戒，发给工程系毕业生。这一惨痛事故告诫人们，在工程设计与建设中，必须敬畏生命、敬畏自然，避免悲剧重演。</p> <p><b>思政点 1：职业道德</b></p> <p>强调工程师对公众的义务与道德责任，通过工程师之戒象征这种责任，提醒工程专业学生和从业者要秉持高度的职业道德，对工程质量和公众安全负责。</p> <p><b>思政点 2：敬畏生命</b></p> <p>魁北克大桥两次垮塌事故造成众多施工工人伤亡，这深刻体现了在工程设计与建设中敬畏生命的重要性，警示人们任何疏忽都可能导致严重的生命损失。</p> <p><b>思政点 3：严谨态度</b></p> <p>案例中工程出现问题迹象时，如钢料用量超预期、应力增量增加、结构出现弯曲变形等，因未得到足够重视而导致事故发生，突出了工程实践中严谨对待每一个细节、数据和问题的重要性，培养学生严谨的科学态度和工作作风。</p> <p><b>思政点 4：担当精神</b></p> <p>总工程师爱德华·霍尔缺乏经验却承担重任，聘请的库珀远程主持施工，现场缺乏有经验和权威的工程师，导致重大事务决策延误，事故发生。这从反面说明了工程人员应具备担当精神，勇于承担责任，积极履行职责，不能敷衍塞责。</p> |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例库以工程师之戒为切入点，串联魁北克大桥的悲剧故事，从职业道德层面，直观具象化工程师对公众的道德责任，借垮塌事故，将敬畏生命、严谨态度、担当精神等思政元素深度融入，引发对工程实践中人为失误的深刻反思。案例库既紧密贴合工程专业，为工程类专业思政教学提供了较好的案例。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-048                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例标题 | 弹性滑动与带传动：借哲学智慧，培育工程伦理与责任素养                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 内容简介 | 本课程思政案例库以带的弹性滑动这一知识点，挖掘其中蕴藏的思政内涵。从量变与质变的哲学角度，分析了弹性滑动区段扩大引发带传动状态从量变到质变的过程，帮助学生辩证看待事物发展的思维方式。同时，紧密联系工程实际，基于弹性滑动对设备可靠性和安全性的影响，培养学生的工程伦理意识与责任担当，让学生明晰未来作为工程师，在带传动方案设计时，需全面考量各类因素，以保障工程质量与安全。                                                                                                                                                                                                                |
| 关键词  | 带传动；弹性滑动                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 编写时间 | 2025-3-22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 育人主题 | 量变与质变                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 素材长度 | 1435                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例正文 | <p>1. 弹性滑动</p> <p>带的弹性滑动传动带是弹性体，受拉后会产生弹性变形，由于紧边和松边拉力不同，因而弹性变形也不同。如图 所示，当紧边在 a 点绕上主动轮时，其所受的拉力为 <math>F_1</math>，此时带的线速度 <math>v</math> 和主动轮的圆周速度 <math>v_1</math> 相等。在主动轮，带由 a 点向 b 运动过程中，带的拉力由 <math>F_1</math> 减小为 <math>F_2</math>，其弹性伸长量也由 <math>\lambda_1</math> 减小为 <math>\lambda_2</math>，这说明带在绕过带轮的过程中，带相对于轮面向后收缩了 <math>(\lambda_1 - \lambda_2)</math>，带与带轮轮面间出现局部相对滑动，导致带的速度逐步小于主动轮的圆周速度。同</p> |

样，在从动轮，当带由 c 点向 d 点运动过程时，拉力逐渐增加，带逐渐被拉长，沿轮面产生向前的相对滑动，使带的速度  $v$  逐渐大于从动轮的圆周速度  $v_2$ 。这种由于带的弹性变形而产生的带与带轮间的滑动称为带的弹性滑动。

### 一、弹性滑动

由于拉力差和带的弹性变形而引起的带相对带轮的局部滑动。



### 2. 弹性滑动的结果

- 1 ) 带的传动比不稳定;
- 2 ) 降低了传动效率;
- 3 ) 引起带的磨损和带的温升, 降低带的寿命。

带的弹性滑动是由于带的拉力差和带的弹性变形引起的, 而弹性变形与带的弹性模量有关, 选用弹性模量大的带材料, 可以降低弹性滑动, 但因为摩擦型带传动中, 正是通过弹性带的拉力差传递载荷的, 因而弹性滑动是带传动正常工作时固有的特性, 不能完全消除是不可避免的。

带的打滑在正常情况下, 带的弹性滑动并不是发生在整个接触弧上。接触弧可分为有相对滑动的(滑动弧)和无相对滑动的(静弧)两部分, 两段弧所对应的中心角分别称为滑动角和静角。静弧总是位于带绕上主、从动轮的开始部分, 滑动弧位于带离开主、从动轮的那一部分接触弧上。当带不传递载荷时, 滑动角为零。弹性滑动只发生在带的滑动弧上, 随着载荷的增加, 滑动角逐渐增大, 而静角逐渐减小。当滑动角增大到带轮包角时, 达到极限状态, 带传动的有效拉力达到最大(临界)值。如果工作载荷继续增大, 则带与带轮间就将发生显著的相对滑动, 即产生打滑。由于带在大轮上的包角总是大于在小轮上包角, 所以打滑总是首先在小带轮上发生。

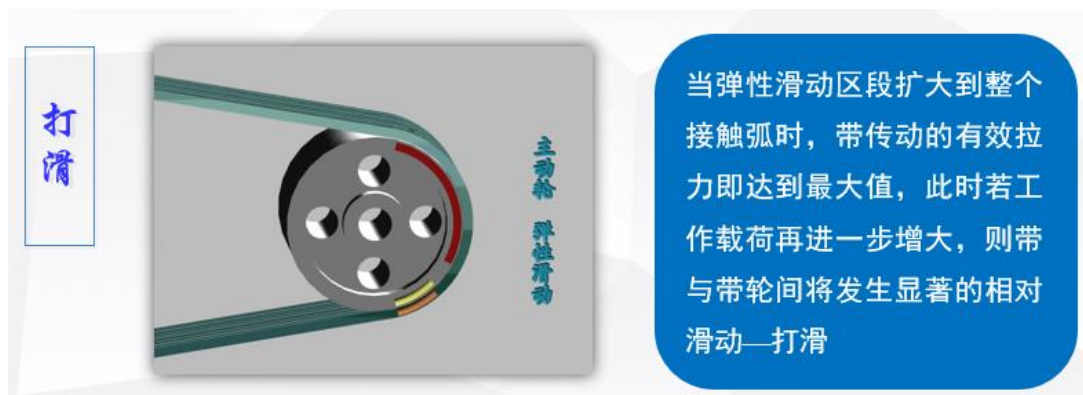
### 思政点 1: 量变与质变

量变: 弹性滑动区段从部分接触弧扩大到整个接触弧的过程是一个量变的积累过程。在这个过程中, 随着工作载荷的逐渐增加, 弹性滑动区段不断扩大, 但带传动仍能保持一定的工作能力, 有效拉力也在逐渐增大, 这是一种渐进的、不显著的变化。这种量变是在度的范围内的变化, 带传动系统仍处于相对稳定的状

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>态，能够正常工作。质变：当弹性滑动区段扩大到整个接触弧时，带传动的有效拉力达到最大值，此时若工作载荷再进一步增大，带与带轮间就会发生显著的相对滑动——打滑。这意味着带传动系统的工作状态发生了根本的改变，从能够正常传递动力的状态转变为无法有效传递动力的失效状态，这是一种质的变化。这种质变是由于量变达到了一定的程度，超出了带传动系统能够承受的“度”，从而导致了事物性质的改变。</p> <p>量变是质变的必要准备，没有弹性滑动区段逐渐扩大的量变积累，就不会有带传动从正常工作到打滑失效的质变；质变是量变的必然结果，当弹性滑动区段的量变达到极限时，必然会引发带传动工作状态的质变。同时，质变又为新的量变开辟道路，打滑发生后，若要使带传动恢复正常工作，就需要对系统进行调整或更换部件，从而开始新的量变过程。</p> <p><b>思政点 2：工程伦理与责任担当</b></p> <p>带的弹性滑动会引起带的磨损、温升，降低带的寿命，这涉及到设备的可靠性和安全性问题。在工程实践中，工程师需要考虑这些因素，选择合适的带传动方案，以确保设备的正常运行，保障人员和设备的安全。这培养了学生的工程伦理意识和责任担当，让他们明白在未来的工作中，要对工程质量和安全负责，充分考虑各种因素，避免因设计不合理而导致的安全隐患和经济损失。</p> |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例库从带的弹性滑动及相关现象出发，深入挖掘思政元素，在量变与质变思政点中，对弹性滑动量变到打滑质变的过程阐述清晰，紧密结合专业知识诠释哲学原理，有助于培养学生辩证思维。同时，引导学生树立工程伦理与责任担当意识，强调工程师在带传动设计中对设备可靠性与安全性的考量，提升学生责任意识。整体而言，案例库能有效实现专业知识与思政教育的有机融合，具有较高的推广与借鉴意义。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-049                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例标题 | 从带传动打滑看唯物辩证法：失效表象下的保护深意                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 内容简介 | 本课程思政案例库聚焦带传动中的打滑现象。在专业知识层面，详细阐述了打滑的定义、产生机制、危害、过载保护及预防措施，助力学生扎实掌握专业要点。思政融入上，深挖辩证思维与自我保护及可持续发展两大思政点，引导学生全面看待事物，联系生活与社会发展，实现专业知识与思政教育的有机融合，培养学生具专业素养又有正确价值观和思维能力。                                                                                                         |
| 关键词  | 带传动；打滑                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 编写时间 | 2025-3-22                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 育人主题 | 唯物辩证法—对立统一看问题                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材长度 | 1047                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 案例正文 | <p>1. 打滑</p> <p>当外载荷所需的圆周力大于带与主动轮轮缘间的极限摩擦力时，带与轮缘表面将产生显著的相对滑动，这一现象成为打滑。带的打滑在正常情况下，带的弹性滑动并不是发生在整个接触弧上。接触弧可分为有相对滑动的（滑动弧）和无相对滑动的（静弧）两部分，两段弧所对应的中心角分别称为滑动角和静角。静弧总是位于带绕上主、从动轮的开始部分，滑动弧位于带离开主、从动轮的那一部分接触弧上。当带不传递载荷时，滑动角为零。弹性滑动只发生在带的滑动弧上，随着载荷的增加，滑动角逐渐增大，而静角逐渐减小。当滑动角增大到带轮</p> |

包角时，达到极限状态，带传动的有效拉力达到最大（临界）值。如果工作载荷继续增大，则带与带轮间就将发生显著的相对滑动，即产生打滑。由于带在大轮上的包角 总是大于在小轮上包角 ，所以打滑总是首先在小带轮上发生。



## 2.打滑的危害

1) 传动效率降低：打滑会导致带传动的效率显著降低，因为带与带轮之间的摩擦力无法有效传递运动和动力，从而导致设备的运行效率下降。

2) 设备损坏：打滑会使带的磨损加剧，甚至可能导致设备损坏。由于带无法有效传递动力，可能会导致传动失效，影响设备的正常运行。

3) 传动比不准确：打滑会导致传动比发生变化，影响传动精度，从而影响设备的稳定性和可靠性。

## 3.过载保护

虽然打滑在一定程度上可以起到过载保护的作用，当高速端出现异常增速时，低速端会停止工作，保护相应的传动件及设备。

## 4. 预防措施

为了减少打滑的发生，可以采取以下措施：

1) 使用张紧装置：通过调整带的初拉力和摩擦力，可以有效减少打滑的发生。

2) 选择合适的带和带轮材料：确保带的材料和带轮的材料具有良好的摩擦性能，以减少打滑的可能性。

3) 定期维护和检查：定期检查带的磨损情况和带的张力，及时调整和维护，可以延长带的使用寿命并减少打滑的发生。

## 思政点 1：辩证思维

打滑现象具有两面性，它既是一种失效形式，会导致带传动无法正常工作，造成一定的损失；但同时又是一种过载保护机制，能防止其他零部件因过载而损坏。这体现了事物的辩证统一性，教导学生看待问题要全面、客观，学会从不同角度分析事物，既要看到问题的消极方面，也要发现其积极因素，培养学生的辩证思维能力。

|      |                                                                                                                                                                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p><b>思政点 2：自我保护与可持续发展</b></p> <p>从打滑的过载保护机制可以联想到个人和社会的发展。在生活 and 工作中，人们也需要像带传动的打滑一样，具备一定的自我保护意识和能力，避免过度劳累或承受超出自身能力的压力，以实现可持续发展。同时，对于社会系统而言，也需要建立各种保护机制，以应对各种突发情况和危机，保障社会的稳定和可持续发展。</p>                          |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例精准地从打滑现象的两面性出发，引导学生认识到事物的辩证统一性。将专业知识与哲学思维培养有机结合，有助于学生打破思维定式，学会全面、客观地分析问题，不仅提升了学生的专业素养，更在思维层面实现了育人目标。又能从打滑的过载保护机制进行类比联想，延伸到个人和社会发展层面，使学生在专业学习的同时，能够将其与生活、社会实际相联系，培养学生对自身发展和社会现象的思考能力，拓宽了思政教育的广度和深度。</p> |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-050                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 案例标题 | 轴上零件固定：以系统思维布局，用工匠精神雕琢                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 内容简介 | <p>本课程思政案例通过对轴肩固定、套筒固定等多种轴向固定方式的详细讲解，一方面，以多级齿轮传动系统等实例为依托，培养学生树立系统思维与全局观念，使其深刻认识到工程设计不能孤立看待某个环节，而要从整体出发，综合考量各方面因素，实现设计方案的最优化。另一方面，借助轴头长度设计中轴头与齿轮轮毂长度关系这一细节，强调精益求精的工匠精神，引导学生在每一个设计环节中都要注重细节，追求卓越品质，确保产品达到高标准。</p>                                                               |
| 关键词  | 轴；零件；轴向固定                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编写时间 | 2025-3-24                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 育人主题 | 系统思维与全局观念                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 素材长度 | 1158                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例正文 | <p>机械零件在轴上的固定方式有多种，其中轴向固定是其中一种常见的方式。轴上零件的轴向固定是为了保证零件在轴上的轴向位置，防止零件在运转过程中发生轴向移动。这对于机械设备如机床、发动机、泵等至关重要，因为一旦零件发生轴向移动，不仅会影响设备的正常运行，还可能损坏其他相关部件，甚至影响整个系统的稳定性。</p> <p>轴上零件的轴向固定方式主要有以下几种：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 轴肩固定，定位可靠，能承受较大的轴向载荷，用于各类零件的轴向定位和</li> </ol> |

固定。

2. 套筒固定，常用于两个距离相近的零件之间，起定位和固定的作用。

套筒与轴之间配合较松，不宜用于转速较高的轴上。

3. 轴端挡圈，常与轴肩或锥面联合使用，固定零件稳定可靠，能承受较大的轴向力。

4. 圆锥面，装拆方便，可兼作周向固定。宜用于高速、重载及零件对中性要求高的场合。只用于轴端，常与轴端挡圈联合使用，实现零件的双向固定

5. 使用紧固件（如螺栓、螺母等）进行紧固，通过施加一定的预紧力，使零件固定在轴上。

6. 使用推力轴承或止推轴承，通过轴承的摩擦力来阻止零件的轴向移动。

7. 使用键联接进行固定，通过键将零件与轴进行连接，从而固定零件在轴上的位置。

8. 使用花键联接或花键槽，使零件与轴实现精确的配合，从而固定零件在轴上的位置。

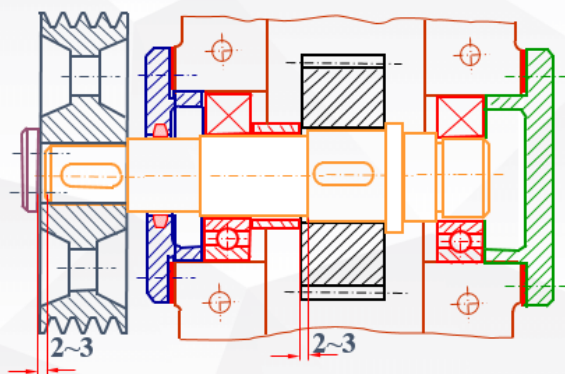
### 轴上零件的轴向固定

必须注意：

1) 轴上零件一般均应作双向固定，可将各种方法联合使用。

2) 保证固定可靠，防止过定位，

$L_{\text{轴段长度}} = B_{\text{轮毂宽}} - (2 \sim 3) \text{mm}$ 。



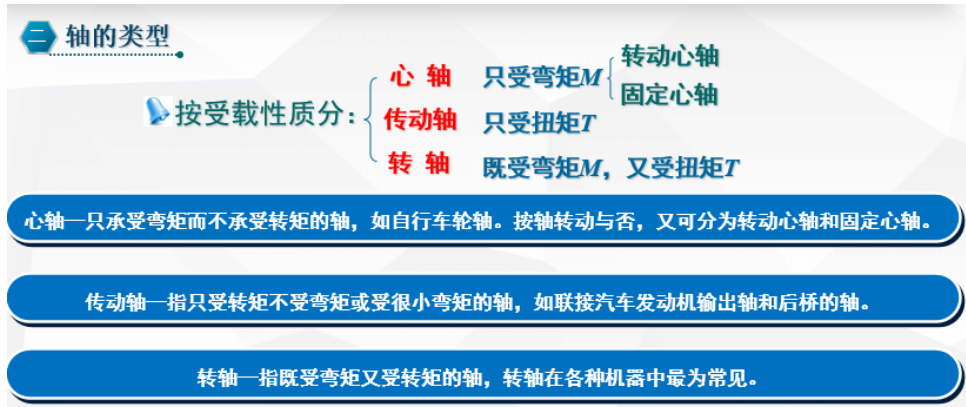
轴的轴向固定不是孤立的，它需要与轴上的其他零件（如齿轮、带轮等）以及整个机械系统的结构和工作要求相匹配。例如，在多级齿轮传动系统中，既要考虑轴的轴向固定方式对齿轮啮合精度的影响，又要考虑整个系统的空间布局、受力平衡等因素。如果只关注轴的轴向固定而忽视了与其他部件的协同工作，可能会导致整个系统性能下降。例如，它的左边可利用轴肩定位，右边用轴端挡圈进行固定。我们发现，通过轴的轴肩定位方便、简单又可靠，减少了轴上零件的数量，简化了结构。这种设计理念在齿轮与右边轴承的轴向定位设计上同样适用。齿轮的左边可以采用套筒进行固定，同时套筒也起到了对于左边轴承的轴向定位的作用。为了使得套筒能够跟与齿轮的端面良好接触起到固定作用。在轴头长度的设计中，应该让轴头长度比齿轮的轮毂长度要短一点，设计需要细心而严谨地考虑问题。

**思政点 1：系统思维与全局观念**

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>轴的轴向固定需与轴上其他零件及整个机械系统的结构和工作要求相匹配,如在多级齿轮传动系统中,要综合考虑轴向固定方式对齿轮啮合精度、系统空间布局和受力平衡等因素的影响。通过这些内容,培养学生的系统思维和全局观念,使其明白解决工程问题不能只关注局部,要从整体出发,全面考虑各方面因素,以实现设计方案的整体优化。</p> <p><b>思政点 2: 精益求精的工匠精神</b></p> <p>在轴头长度设计中,要求轴头长度比齿轮轮毂长度短一点,以保证套筒与齿轮端面良好接触起到固定作用。这体现了机械设计中对精度和细节的严格要求,引导学生要追求精益求精,不放过任何一个细节,以工匠精神对待每一个设计环节,确保产品达到高质量标准。</p> |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例库从机械零件轴上零件轴向固定这一知识点出发,挖掘思政元素。一方面,通过阐述轴向固定与整体系统的关联,让学生理解工程设计需统筹兼顾,将专业知识与思政教育有机融合,培养学生宏观把控问题的能力。另一方面,以轴头长度设计的细微要求为例,自然引出强调精益求精的工匠精神这一思政要点,引导学生重视设计细节,培育学生严谨的职业素养。案例选取恰当,思政点提炼准确且贴合专业内容。</p>                                                                                                                         |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

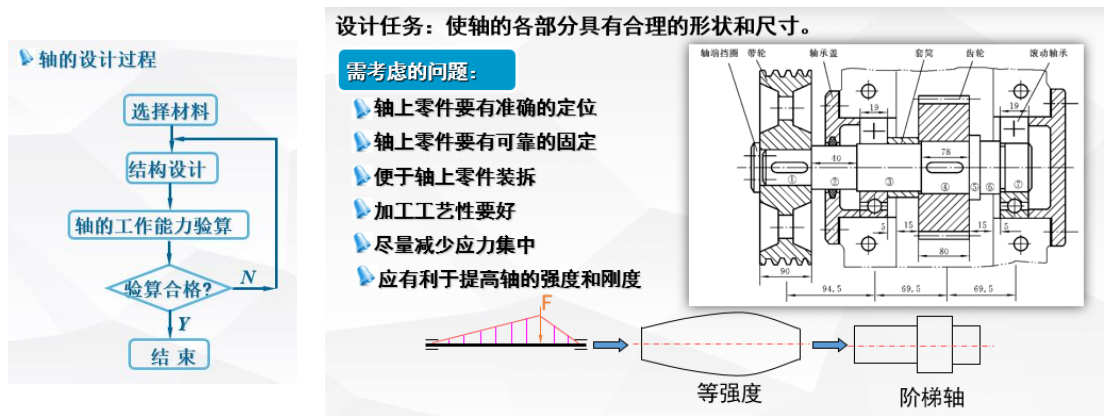
|      |                                                                                                                                                                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-051                                                                                                                                                                                                                |
| 案例标题 | 从轴的设计看工程精神：科学严谨，铸就匠心品质                                                                                                                                                                                                      |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                          |
| 内容简介 | 本课程思政案例库从轴的类型与功用切入，阐述其在机械系统中的关键作用。在轴的结构设计分析设计需综合考量强度、刚度、零件安装定位等多方面因素。通过实际案例，如汽车变速器主轴设计，挖掘出严谨科学态度与工匠精神，让学生明白设计需注重细节、追求卓越，强调工程伦理与安全意识，使学生深刻认识到安全在工程设计中的首要地位。                                                                  |
| 关键词  | 轴；设计                                                                                                                                                                                                                        |
| 编写时间 | 2025-3-24                                                                                                                                                                                                                   |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                 |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                       |
| 育人主题 | 严谨的科学态度与工匠精神                                                                                                                                                                                                                |
| 素材长度 | 1147                                                                                                                                                                                                                        |
| 案例正文 | <p>1. 轴的类型与功用</p> <p>轴用于支承回转零件(如齿轮、凸轮、带轮等)，使其有确定的工作位置，传递运动和动力，并通过轴承支承在机架或机座上。</p> <div data-bbox="454 1644 1248 2009" data-label="Image"> <p>轴图例</p> <p>轴用于支承回转零件(如齿轮、凸轮、带轮等)，使其有确定的工作位置，传递运动和动力，并通过轴承支承在机架或机座上。</p> </div> |

根据承受载荷的不同轴，可以分为转轴、传动轴和新轴三种。心轴——只承受弯矩而不承受转矩的轴，如自行车轮轴。按轴转动与否，又可分为转动心轴和固定心轴。传动轴——指只受转矩不受弯矩或受很小弯矩的轴，如联接汽车发动机输出轴和后桥的轴。转轴——指既受弯矩又受转矩的轴，转轴在各种机器中最为常见。



## 2.轴的结构设计

轴结构设计包括确定轴的结构形状和尺寸。轴的结构是由多方面的因素决定的，其中主要考虑轴的强度、刚度、轴上零件的安装、定位、轴的支承结构以及轴的工艺性等。



1) 轴的设计应要便于制造、便于轴上零件的装拆。该设计要求在设计中起到了关键的作用，它决定了轴的加工方案的选择，轴的具体结构，以及轴上连接的相关零件，及其连接方式。能够确定主要零件的装配方向、顺序和相互关系。轴上零件的装配方案不同，则轴的结构形状也不相同。设计时可拟定几种装配方案，进行分析与选择。

2) 轴上零件的确定工作位置，保证轴上各零件与轴能够可靠地相对固定。通过汽车减速器主轴上轴系及相关零部件连接的工程案例让学生更好的理解通常的轴系连接零件——齿轮、键、轴承、轴端挡圈、调整垫圈、轴承端盖等。轴的各部位的名称——轴颈、轴头、轴肩、轴身、轴环。轴的定位方式的选择，决定了轴上零件的选择，对轴的设计与装配方案的选择起到了决定的作用，它决定了轴的结构设计和尺寸设计。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>3) 汽车变速器的主轴，通常是在变应力作用下工作的，容易发生疲劳破坏，增加的汽车运行的危险。因此在变速器主轴的设计时，首先是保证轴的强度要求，采取合理的方法来保证轴的受力合理、尽量减小应力集中等，来提高轴的强度。</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p><b>拟定轴上零件的装配方案</b></p> <p><b>轴上零件的布置</b>——预定出轴上零件的装配方向、顺序和相互关系，它决定了轴的结构形状。</p> <p><b>装配方案</b>——以轴最大直径处的轴环为界限，轴上零件<b>分别从两端装入</b>。按安装顺序即可形成<b>各轴段粗细和结构形式</b>的初步布置方案。</p> <p>在拟定方案时，可以考虑几个方案，以供<b>比较选择</b>。</p> </div> <p><b>思政点 1：严谨的科学态度与工匠精神</b></p> <p>轴的结构设计需要考虑强度、刚度、零件安装定位、支承结构和工艺性等多方面因素，每个环节都要求精确和严谨。例如在设计时要拟定多种装配方案进行分析选择，以保证轴便于制造和零件装拆，这培养学生对待工程问题要严谨认真，注重细节，追求卓越，体现了工匠精神。</p> <p><b>思政点 2：工程伦理与安全意识</b></p> <p>提到汽车变速器主轴在变应力作用下工作易发生疲劳破坏，增加汽车运行危险，这体现了工程设计中对安全性的重视。通过该案例培养学生的工程伦理意识，使其明白在工程设计中要把安全放在首位，充分考虑产品使用过程中的各种风险，确保设计的产品不会对使用者和社会造成危害。</p> <p><b>思政点 3：系统思维与全局观念</b></p> <p>轴的结构设计是一个系统工程，涉及到轴本身的特性、轴上零件的安装与定位以及整个机器的工作要求等多个方面。如轴的定位方式选择会影响轴上零件选择以及轴的设计与装配方案，这要求学生在分析和解决工程问题时，要从系统的角度出发，全面考虑各方面因素，不能孤立地看待问题，以实现整体最优设计。</p> |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例库围绕轴的专业知识展开，从轴的结构设计环节入手，强调多因素考量所体现的严谨科学态度与工匠精神，引导学生注重细节、追求卓越，对培育学生良好职业素养意义重大。以汽车变速器主轴为例，突出工程伦理与安全意识教育，让学生深切认识到工程设计安全至上的原则，增强责任感。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-052                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 案例标题 | 轴承上的中国印记：产业崛起之路，厚植爱国情怀与传承担当                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 案例来源 | 选自听 TA 说·142 期   课程思政：中国轴承发展历史简介                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 内容简介 | 本课程思政案例库通过梳理八千多年来我国轴承的发展脉络，从跨湖桥文化遗址的早期应用，到近代民族工业的艰难起步，再到新中国成立后三个阶段的蓬勃发展，展现我国轴承产业从无到有、由弱变强的历程。其间，穿插科技创新成果，如盾构机主轴承、航空发动机主轴承的突破。通过轴承产业发展，激发学生爱国情怀，培养科技创新、艰苦奋斗精神及产业报国信念，实现专业知识与思政教育的有机结合。                                                                                                                  |
| 关键词  | 轴承；发展历史                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 编写时间 | 2025-3-25                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 育人主题 | 爱国情怀 历史文化遗产                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 素材长度 | 2429                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 案例正文 | <p>轴承是一种典型的机械关键基础零部件。通俗讲，它是一种“帮助物体转动的零件”。它是机械传动轴的支承，是实现主机性能、功能与效率的重要保证，被誉为机器的“关节”，也被称为“机械行业的粮食”。轴承的主要功能是：支承旋转轴或其它运动体，引导转动或移动运动，并承受由轴或轴上零件传递而来的载荷。简言之，就是传递力和运动，减少摩擦损失。轴承应用在生产生活中的方方面面，小到我们的手表，大到航空航天飞行器等。以大家所熟知的汽车为例，一辆汽车所使用的轴承就达到 100 多个，用于涡轮增压器、转向器、变速器、悬架等动力、转向、动力传递和行驶等装置中。可以说，轴承的质量，直接影响了机械装备的</p> |

运转情况。

## 轴承简介



- 轴承：机械传动轴的支承，是实现主机性能、功能与效率的重要保证，被誉为机器的“**关节**”，也被称为“**机械行业的粮食**”。
- 主要功能：**传递力和运动，减少摩擦损失。**



双列圆柱滚子轴承



汽车使用轴承的主要部位

我国现阶段正处于由轴承制造大国向轴承制造强国进发的奋斗历程中。下面，我带大家了解一下我国轴承的发展历程。

有人可能认为轴承这种高端的器件，一定是近现代的产物，那就错了。轴承在地球上已经存在有八千多年的历史了。2010年3月，在跨湖桥文化遗址发现了木质陶轮底座，这个陶轮底座像个梯形圆台，上台面中心位置有一个凸起小圆柱，它就是陶轮转盘用的轴。如果制造一件转盘放在陶轮底座上台面，那么一个完整的陶轮就被复原了。这一发现不仅证实了中国的陶轮技术在8000年前就已出现，比西亚两河流域早2000多年，也说明了中国比西亚更早开始利用轴承，或者说是利用轴承的原理。

我国轴承发展：源远流长，是最早发明轴承的国家。



跨湖桥文化遗址：木质陶轮底座  
8000年前的新石器时代  
最早的轴承原型

安阳出土商代战车  
商代晚期  
使用滑动轴承

诗经  
春秋时期  
轴承润滑技术

随着时代的发展，到四千多年前的夏商时期，开始有了车，中间这幅图就是河南安阳出土的商代战车。伴随车的出现，原始轴承也开始应用，此时主要是滑动轴

承。到了 2700 多年前的春秋时期，已经有车轴润滑剂的使用记录。在《诗经·邶风》中有泉水一诗，写到：载脂载辖，还[xuán]车言迈。邇[chuán]臻于卫，不瑕有害？其中的脂，就说的是润滑剂。用油脂，将车轴润滑，上好车轴销钉，驱车远行，送我回家。人类就这样在懵懵懂懂间使用着轴承原理。

我国轴承发展：源远流长，是最早发明轴承的国家。



车害及秦始皇陵出土的秦代战车

春秋时期  
最早的推力轴承



郭守敬发明的天文仪器—浑仪

元代  
最原始的滚动轴承

同时，车害[wèi]这种原始的推力轴承，也开始出现在春秋时期。在秦始皇陵出土的秦代战车上，车轴头就是原始的推力轴——车害。再到元代，我们所熟知的著名天文仪器-浑仪上使用了最原始的滚动轴承。郭守敬在浑仪两环之间安装了四个小圆柱体，构成滚子支承，这种结构与近代“滚柱轴承”减少摩擦阻力的原理相同，可以说是原始的滚动轴承。至此，可以看出，我国的轴承发展历史源远流长，是最早利用轴承原理的国家。

到了近代，清朝末期，洋务运动中诞生了一批中国民族工业，更有现代意义的轴承就在洋务运动的工厂中生产了出来。图中所示的轴承就是在这个期间制造出来的。这个轴承是在 2002 年 12 月，中国轴承技术考察团前往欧洲考察，在瑞典 SKF 轴承展览馆里发现的。这是一套圆柱滚子轴承，轴承外圈、保持架、滚子都与现代的轴承没有区别。

清末洋务运动中诞生的一批中国民族工业，促进了轴承的发展。



十八世纪-清末洋务运动中生产的圆柱滚子轴承  
收藏于SKF展览馆

1937 年，由秦福荣创办的秦福兴五金号，试制成功了第一套国产的“1308”双

列调心球轴承。从 1937 到 1945 年，秦福兴五金号、上海金昌铁工厂、荣泰新机器厂、秦福兴机器厂、金兴铁工厂等十余家作坊开始制造轴承，奠定了上海民族轴承生产的基础。

1938 年 3 月，日本在瓦房店建轴承厂，1940 年 1 月建成投产，命名为“满洲轴承制造株式会社”，由东洋轴承制造株式会社，也就是 NTN 公司经营。图中所示为当时的瓦房店轴承厂，以及发行的股票。在抗日战争和解放战争期间，在上海、瓦房店轴承制造业逐步发展的同时，全国还有沈阳、长治等地区的轴承制造业也在起步和发展，代表性的企业有：沈阳中华滚珠厂，山西长治的长治机械厂。

### 上海基地的形成

➤ 1937年：中国第一套现代国产轴承—双列调心球轴承1308，在上海秦福兴五金号诞生。



➤ 1937年~1945年：秦福兴五金号、上海金昌铁工厂、荣泰新机器厂、秦福兴机器厂、金兴铁工厂、元兴昌机器厂、金城机器厂等十余家作坊开始制造轴承。



秦福兴五金号创始人—秦福荣  
(1903~1980)  
(上海滚动轴承厂、上海联合滚动轴承有限公司前身)

新中国成立后，我国的轴承工业进入全新的发展历程，主要可以分为三个阶段。

第一个阶段是新中国轴承工业奠基时期：建国初期（1949—1957）。1949 年瓦房店轴承厂恢复生产，成为中国第一家独立生产轴承的企业。抗美援朝期间，瓦房店轴承厂部分北迁哈尔滨，于 1951 年 4 月建成哈尔滨轴承厂并投入生产。1953 年上海市轴承行业形成，包括：秦福兴轴领厂、上工轴承厂、荣泰新机器厂和金兴铁工厂 4 个中心厂及 10 多个卫星厂。1954 年 3 月底，全国 156 项重点工程之一的洛阳轴承厂开工建设，1957 年开始试制普通轴承。此外，还在公主岭、天津、烟台、营口等地建立了多家中小型轴承企业。至此，我国轴承工业形成了瓦房店、哈尔滨、洛阳、上海四大主要生产基地以及若干中小型生产企业，为轴承制造业的发展奠定了基础。

## 瓦房店基地的建立

- 1938年3月，日本在瓦房店建轴承厂，1940年1月建成投产，命名为“满洲轴承制造株式会社”，由东洋轴承制造株式会社【NTN，1918年创办】经营。1945年8月随着日本投降而倒闭。



瓦房店轴承厂



“满洲轴承制造株式会社”发行的股票

第二个阶段是轴承工业体系形成阶段（1958-1977），这个阶段处于国家“一五计划”至“五五计划”发展时期，给轴承工业带来了新的机遇。“一·五”中期，洛阳轴承厂于1958年7月通过国家验收，顺利建成投产。上海轴承工业开始形成一个有地方特色的轴承工业基地。瓦房店、哈尔滨轴承厂充实完善，获得较大发展。同时建成了部直属的洛阳轴承研究所和第十设计研究院等科研、工厂设计机构。此时期，轴承制造业为重点主机配套的新产品发展较快，已开始生产：汽车万向节滚针轴承、磁电机轴承、机床主轴轴承和精密轴承，并试制了铁路机车、轧钢机、重型机械、石油工业和航空发电机、坦克等主机所需的部分配套轴承。

### 第一阶段：奠基阶段（1949~1957年）

- 1949年：瓦房店轴承厂恢复生产，成为**中国第一家**独立生产轴承的企业。
- 1951年4月：建成哈尔滨轴承厂。
- 1953年：上海市轴承行业形成。
- 1954年3月底：洛阳轴承厂破土动工兴建，1957年试制普通轴承13.6万套。
- 初步形成瓦房店、哈尔滨、洛阳、上海四个主要生产基地。
- 1957年，全国轴承产量突破1000万。



第三个阶段是高质量快速发展阶段(1978~今)。1978年中国共产党第十一届三中全会召开之后，改革开放的大潮加速了中国轴承工业前进的步伐，国有轴承企业实行改制、改革，建立现代企业制度，民营、合资、外资轴承企业纷纷涌现，多种所有制经济共同发展。目前，我国已经形成瓦房店、洛阳、长三角（江苏、上海）、浙江、聊城等五大轴承产业基地。我国轴承工业已形成一整套独立完整的工业体系。2021年，我国轴承产量达到233亿套，轴承市场规模达到2278亿

元，同比增长 8%。无论是从市场规模还是销售收入来看，我国都已经是世界第三大轴承生产大国。

### 第三阶段：高质快速发展阶段（1978~今）



已形成瓦房店、洛阳、长三角（江苏、上海）、浙江、聊城等五大轴承产业基地



从产业规模、销售收入角度，我国都已是世界第三大轴承生产大国

2022 年 10 月 31 日，国内首套自主研发的 12 米级盾构机主轴承在洛轴公司顺利下线，填补国内空白，进一步解决了我国大型掘进机主驱动轴承 100%依赖进口的问题。11 月 3 日，央视新闻报道，由我国自主研制的航空发动机主轴承，在试验器上等效加速试验疲劳寿命 5 万小时未失效，创造了我国新的纪录，标志着我国高端装备制造技术取得全新突破。可以看出，在国家的大力支持下，我国各领域的科研人员，以及与轴承制造的相关行业都在努力前行，为建设制造强国努力奋斗着。我们坚信，这一天很快就会到来。

### 不断努力前行，为建设制造强国努力奋斗



2022年10月31日，国内首套自主研发的12米级盾构机主轴承在洛轴公司顺利下线。为推动“国之重器”盾构机实现“中国造”的道路上迈上新台阶。



由我国自主研制的航空发动机主轴承，在试验器上等效加速试验疲劳寿命5万小时未失效，创造了我国新的纪录，标志着我国高端装备制造技术取得全新突破。

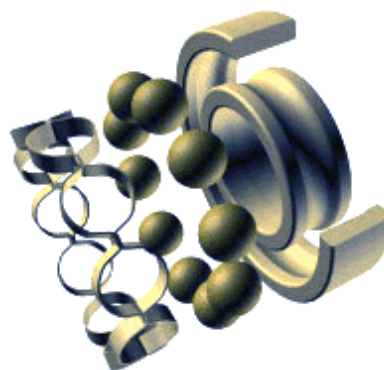
### 思政点 1：爱国主义情怀

通过讲述我国轴承发展历程，如从八千多年前的跨湖桥文化遗址发现木质陶轮底座，到近代洋务运动中民族工业生产轴承，再到新中国成立后轴承工业的蓬

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>勃发展，让学生了解到我国在轴承领域的悠久历史和卓越成就，激发学生的民族自豪感和爱国主义情怀，增强学生对国家和民族的认同感与归属感。</p> <p><b>思政点 2：历史文化遗产</b></p> <p>介绍了我国古代轴承的发展，如夏商时期车的出现带动原始轴承应用，春秋时期车轴润滑剂的使用记录，以及元代浑仪上的原始滚动轴承等，让学生认识到我国历史文化中蕴含的丰富科技智慧，体会到中华民族对世界文明发展的重要贡献，传承和弘扬优秀传统文化。</p> <p><b>思政点 3：科技创新精神</b></p> <p>我国在轴承技术方面不断取得突破，如 2022 年国内首套自主研发的 12 米级盾构机主轴承下线，填补国内空白，以及航空发动机主轴承在试验器上等效加速试验疲劳寿命创造新纪录等，培养学生的科技创新意识，鼓励学生勇于探索、敢于创新，为推动我国科技进步贡献力量。</p> |
| 分析评价 | <p>该课程思政案例库以轴承这一关键机械零部件为切入点，将专业知识与思政教育深度融合。通过详实丰富的历史资料，生动展现我国轴承产业从古代辉煌起源到近现代曲折发展，再到当下蓬勃崛起的历程，能够有效激发学生的爱国主义情怀与民族自豪感，有力传承历史文化。案例库突出科技创新成果以及产业发展背后的艰苦奋斗精神，精准对接时代需求，培养学生的创新意识与产业报国信念。</p>                                                                                                                                                                                                              |
| 评价者  | <p>、教授 商洛学院</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 案例编号 | 20053110-053                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 案例标题 | 中国盾构“换芯”记：以科技突破，点燃爱国豪情与民族自信                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 案例来源 | 原创                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 内容简介 | 本课程思政案例库以轴承为切入点阐述其在机械传动中的关键作用、结构组成及分类等专业知识。进而讲述盾构机主轴承曾面临的技术难题及国产化突破历程。通过我国从依赖进口到自主研发出 12 米级盾构机主轴承的艰辛历程，深度挖掘爱国主义与民族自豪感、科技创新与进取精神以及工匠精神与敬业奉献等思政元素，将专业知识传授与思政育人结合，助力学生在掌握专业技能的同时，塑造正确价值观，激发学生投身国家科技发展事业的热情。                                                                                             |
| 关键词  | 轴承；盾构机                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 编写时间 | 2025-3-25                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 编著者  | 刘晓芬、讲师、化材学院                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 素材形式 | 文字、图片                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 育人主题 | 爱国主义与民族自豪感                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 素材长度 | 1217                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 案例正文 | <p>轴承的主要作用是支撑机械旋转体，用以降低设备在传动过程中的机械载荷摩擦系数。轴承是在机械传动过程中起固定和减小载荷摩擦系数的部件。也可以说，当其它机件在轴上彼此产生相对运动时，用来降低动力传递过程中的摩擦系数和保持轴中心位固定的零部件，轴承被称为工业机器的“关节”。与滑动轴承相比，滚动轴承具有摩擦阻力小、启动灵敏、效率高、润滑简便和易于互换等优点，获得了广泛应用。</p> <p>滚动轴承一般是由外圈儿、滚动体、内圈儿和保持架组成。内圈装在轴上，外圈装在基座或零件的轴承孔内，内外圈上有滚道。当内外圈相对转动时，滚动体将沿着滚道滚动，保持架的作用是把滚动体均匀的隔开。</p> |

滚动轴承通常按其承受载荷的方向或接触角和滚动体的形状分类。滚动体与外圈接触处的法线，与垂直于轴承轴心线的平面之间的夹角称为公称接触角，简称接触角。接触角是滚动轴承的一个主要参数，轴承的受力、分析和承载能力等都与接触角有关。接触角越大，轴承承受轴向载荷的能力也越大。我国机械工业中常用的滚动轴承有，调心球轴承、调心滚子轴承、圆锥滚子轴承、推力球轴承、深沟球轴承、角接触球轴承，圆柱滚子轴承、滚针轴承。



上天有神舟，下海有蛟龙，入地有盾构。隧道掘进机可穿山越海，是集机械、电气、液压、传感、信息、力学、导向研究等技术于一体的高端装备，被公认为衡量一个国家装备制造业水平和能力高低的重大关键装备。盾构机的研究已有近 200 年历史，而在 2008 年以前，中国还没有一台拥有完全自主知识产权的盾构机。

（<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1780525570466175131&wfr=spider&for=pc>）  
最难突破的是主轴承，主轴承被誉为盾构机的“心脏”，直面超重载、大偏载、频变载等极端恶劣工况考验，需要满足高可靠、长寿命等关键性能要求，其材料、设计、制造与试验难度极大，处于大型高端精密轴承产业链的最顶端。

2022 年 10 月 31 日，国内首套自主研发的 12 米级盾构机主轴承在洛轴公司顺利下线，填补国内空白，进一步解决了我国大型掘进机主驱动轴承 100%依赖进口的问题。

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <div><h1>国内首套12米级盾构机主轴承在洛下线</h1><div><div><p><b>【党的二十大报告】</b></p><p>报告全文</p><p>加快实施创新驱动发展战略。坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康,加快实现高水平科技自立自强。以国家战略需求为导向,集聚力量进行原创性引领性科技攻关,坚决打赢关键核心技术攻坚战。</p></div><div><p>本报讯(洛报融媒记者 陈曦 通讯员 余柯)再次填补国内空白!记者从洛阳LYC轴承有限公司获悉,国内首套自主研发的12米级盾构机主轴承近日在该企业顺利下线。(如图)“洛阳创新”再次突破国产盾构机主轴承关键技术,在推动“国之重器”盾构机实现“中国造”的道路上迈上新台阶。</p><p>此次下线的12米级盾构机主轴承直径为6米,精度达到P5级,完全能够满足主轴承使用寿命不小于15000小时等性能要求。这也是洛轴继今年4月推动自主研发的国内首套11米级盾构机主轴承完成盾构机地下掘进任务、实现工程施工应用后,在盾构机国产化领域实现的又一重大突破。</p><p>主轴承被称为盾构机的“心脏”,因在工作过程中需承受大倾覆力矩、大扭矩及冲击载荷,易发生液道变形、局部剥落、异常磨损、滚子开裂等失效情况。而我国仅有10余年的盾构机主轴承研制历史,相关设计体系仍不完善,大尺寸套圈、滚子控制性制造技术有待突破,与之匹配的轴承性能测试与评价技术体系也尚未建立。</p><p>为实现核心技术自主可控,近年,洛轴凭借国内领先的技术研发实力,在中铁工程装备集团有限公司牵头下,联合中国科学院金属研究所、西藏铁路建设有限公司、大连理工大学、河南科技大学等成立研究团队,依托航空精密轴承国家重点实验室、盾构及掘进技术国家重点实验室等国家级创新平台优势,强化自主研发,相继在大型掘进机主轴承高可靠性设计方法等方面实现重大突破,解决了一系列制约行业发展的“卡脖子”问题。</p><p>党的二十大报告指出,以国家战略需求为导向,集聚力量进行原创性引领性科技攻关,坚决打赢关键核心技术攻坚战。我们此次顺利推动12米级盾构机主轴承下线,进一步解决了大型掘进机主轴承100%依赖进口的问题,消除了掘进机产业关键部件安全供应隐患,也有力推动洛轴成为国际大型掘进机主轴承的重要研发和生产基地。”洛轴相关负责人表示。</p><p>据统计,迄今洛轴研发的盾构机主轴承已经完成在3米级到11米级盾构机上的施工应用。依托省高端轴承产业研究院等创新载体,后续该企业将推进轴承领域前沿技术研发、关键技术攻关和产业技术转化,通过加快实施创新驱动发展战略路径为制造业高质量发展提供强力支撑。</p></div><div><p>(企业供图)</p></div></div></div> <div><p><b>思政点 1：爱国主义与民族自豪感</b></p><p>我国盾构机从无到有、从依赖进口到自主研发突破，尤其是主轴承这一关键技术的攻克，打破国外垄断。如 2022 年 10 月国内首套 12 米级盾构机主轴承下线，解决依赖进口问题。这让学生深刻认识到我国在高端装备制造领域的巨大进步，激发爱国热情，增强民族自豪感，明白个人努力与国家科技发展紧密相连，激励为国家建设贡献力量。</p><p><b>思政点 2：科技创新与进取精神</b></p><p>盾构机研发涉及多领域复杂技术，从最初技术空白，到攻克主轴承等难题，不断解锁新目标、实现大突破。像中铁装备团队在盾构机研发过程中，面对困难积极探索，创新多项技术。这培养学生创新思维和进取精神，鼓励在学习和未来工作中勇于探索未知，不怕困难，追求科技进步。</p><p><b>思政点 3：工匠精神与敬业奉献</b></p><p>盾构机研发制造，从整机到零部件，每个环节都需要高度专注和精湛技艺。主轴承制造难度极大，却能成功攻克，背后是科研人员和产业工人长期的钻研与付出。这引导学生树立敬业精神，对待学习和工作精益求精，培养耐心与专注，为实现目标努力奋斗。</p></div> |
| 分析评价 | 该课程思政案例库从轴承的基础专业知识入手，逐步到盾构机主轴承这一工程应用领域，通过盾构机主轴承研发的历程，将爱国主义与民族自豪感、科技创新与进取精神以及工匠精神与敬业奉献有机融合。不仅让学生切实感受到我国科技发展的成就，激发爱国情怀，还能在专业学习中培养学生积极进取、专注敬业的良好品质。整体案例库为专业课程与思政教育的融合提供了优质的范例。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 评价者  | 、教授 商洛学院                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |