

融入材料力学的《机械工程材料》教改构想 ——基于课程体系重构的跨学科整合方案

冯君艳 王公海 钟美鹏 吴金昊 陈 果
嘉兴南湖学院机电工程学院 浙江嘉兴 314001

摘要: 在新工科建设目标驱动下,针对普通应用型本科院校《机械工程材料》与《材料力学》课程存在的知识割裂、实践脱节等问题,本文提出“三维耦合”教改设想。通过构建“材料属性—力学响应—工程场景”融合的理论框架,以汽车工程应用为载体,重构教学内容为基础、综合、创新三大模块,配套案例驱动、项目化学习、虚实结合实验等教学方法,形成“理论重构—方法创新—实践赋能”的改革路径。旨在解决传统教学中“学材料不懂力学、懂力学不会应用”的痛点,培养适应应用型本科层次的跨学科机械工程人才,为同类院校课程改革提供可复制的实施蓝图。

关键词: 机械工程材料;材料力学;教改构想;跨学科融合;课程体系重构

引言

在“新工科”建设与“制造强国”战略背景下,普通应用型本科院校承担着培养“懂材料、会应用、能创新”高素质技术人才的重要使命。《机械工程材料》作为机械类专业核心基础课,其教学效果直接影响学生在材料选型、工艺制定等工程实践中的能力养成。^[1-4]然而,当前课程教学存在以教师讲授为主、学生被动接受、内容庞杂分散、概念和术语的记忆内容多、难以联系实际、学生易感枯燥乏味等普遍问题^[3-8],以及学科融合浅层化、实践教学碎片化、工程导向模糊化等显著问题。材料力学中的强度理论、疲劳累积损伤、断裂韧性等,是连接材料性能与工程应用的关键桥梁。本文结合普通应用型本科院校的办学定位,以“汽车整车用材”为主线,提出融入材料力学的《机械工程材料》课程教改构想,旨在构建“理论够用、实践突出、对接产业”的新型课程体系。

基金资助: 嘉兴南湖学院“百师百课”优质基础课程建设项目(第一批《材料力学B》24540006、第二批《机械工程材料》25540022);嘉兴南湖学院2024年教育教学改革研究项目(258518035);2025年度嘉兴南湖学院大学生研究训练计划(SRT)项目(金相制样关键问题攻克与金属材料微观组织研究)。

作者简介: 冯君艳(1984-),女,四川南充人,嘉兴南湖学院副教授,研究方向为机械工程材料、材料力学、工程图学、机械设计及其自动化相关领域研究。

一、教改理论框架:三维耦合体系构想

1.1 改革目标定位

针对应用型本科学生培养特点,确立“知识—能力—素养”三级目标:

(1) 知识整合目标

建立“成分—组织—性能—力学响应—工程应用”跨学科知识链,使学生掌握材料力学性能参数(如 σ_s 、 σ_{-1} 、 A_k)的工程意义,例如理解“晶界强化提高 σ_s ”与“安全系数 $[S]=\sigma_s/\sigma_{max}$ 在螺栓设计中的应用”。

(2) 能力培养目标

培养“基于力学工况的材料选型能力”与“结合失效模式的工艺优化能力”,例如根据汽车连杆的交变载荷($\sigma_{-1} \geq 300\text{MPa}$)选择40Cr钢并制定调质工艺,依据齿轮接触应力设计渗碳层深度。

(3) 素养提升目标

强化工程思维与创新意识,使学生具备“材料性能分析—力学指标校核—工艺路线制定”的系统思维,能够在轻量化设计、失效分析等任务中综合运用跨学科知识。

1.2 “三维耦合”教学体系架构

构建“材料科学—材料力学—工程应用”深度融合的理论框架,以汽车典型零件为载体,打通三大维度的关联逻辑。

(1) 材料科学维度

聚焦“金属晶体结构”“铁碳合金相图”“钢的热处

理”等核心内容，解析合金元素（如Cr提高 σ_{-1} ）、显微组织（如回火索氏体改善强韧性）与力学性能的内在联系，建立“成分设计—组织调控—性能优化”的科学认知。

（2）材料力学维度

整合“静力学分析”“扭转与弯曲”“疲劳理论”等模块，引入应力状态分析（如半轴复合应力计算）、失效判据（如Tresca准则判断齿轮屈服）、Miner准则（预测弹簧疲劳寿命），构建“外加载荷—内部应力—失效模式”的力学模型。

（3）工程应用维度

以汽车“动力系统（连杆）—传动系统（齿轮）—行驶系统（弹簧）”关键零件为导向，将材料选型、工艺

制定与力学分析贯穿教学，实现“学材料、懂力学、会应用”的有机统一。

二、教学内容重构：以汽车为载体的模块化设计

2.1 基础模块：力学性能的本质解析与工程关联

结合授课规划中“金属材料的力学性能”与“黑色金属材料”内容，设计“微观机制—力学理论—工程案例”关联教学单元（表1），强化知识点的跨学科衔接。

2.2 综合模块：基于工况的材料选型与工艺设计

以汽车关键系统为载体，按“动力—传动—行驶”划分教学子模块（表2），每个模块包含“工况分析—性能指标—材料匹配—工艺设计”四大环节，强化知识应用能力。

表1 基础模块教学内容设计

教学主题	材料科学核心内容	材料力学关联理论	工程案例（应用型导向）
强度与塑性	位错滑移、晶界阻碍、第二相强化	屈服强度 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、安全系数[S]	汽车螺栓选材：45钢调质后 $\sigma_s=355\text{MPa}$ ，计算最大工作应力 $\sigma \leq 355/1.5=237\text{MPa}$
韧性与疲劳	韧脆转变温度、疲劳裂纹萌生	冲击吸收功 A_k 、疲劳极限 σ_{-1} 、应力集中系数 K_t	冬季汽车半轴失效分析： -20°C 时需 $A_k \geq 25\text{J}$ ，避免低温脆性断裂
硬度与耐磨性	压痕原理、渗碳层深度控制	接触应力 σ_H 、磨损速率模型	齿轮表面硬度设计：20CrMnTi渗碳后硬度58-62HRC，满足 $\sigma_H \leq 600\text{MPa}$ 接触应力要求

表2 综合模块教学内容设计（汽车关键系统为例）

系统模块	典型零件	服役工况	关键力学参数	材料科学核心内容	教学目标
动力系统	发动机连杆	交变拉伸/压缩+弯曲载荷	$\sigma_{-1} \geq 300\text{MPa}$, $E \geq 200\text{GPa}$	40Cr钢调质处理、显微组织调控	建立“疲劳极限—热处理工艺—安全系数”关联
传动系统	变速箱齿轮	接触应力+弯曲疲劳	$\sigma_H \geq 800\text{MPa}$, $A_k \geq 40\text{J}$	20CrMnTi渗碳工艺、表面硬度梯度	掌握“接触应力—渗碳层深度—失效预防”方法
行驶系统	悬架弹簧	交变弯曲载荷+温度循环	$\sigma_s \geq 800\text{MPa}$, 松弛率 $\leq 5\% @ 80^\circ\text{C}$	60Si2Mn钢淬火回火、脱碳控制	理解“弹性模量—刚度稳定性—寿命预测”逻辑

2.3 创新模块：轻量化与极端环境用材设计

（1）轻量化材料对比

对比铝合金6061-T6（ $\sigma_s=276\text{MPa}$ ， $\rho=2.7\text{g/cm}^3$ ）与碳纤维复合材料（ $\sigma_s=500\text{MPa}$ ， $\rho=1.6\text{g/cm}^3$ ）的比强度（ σ_s/ρ ），结合自行车架弯曲刚度（EI）要求，推导“等刚度设计”公式： $(E_1/\rho_1)/(E_2/\rho_2) \geq 1.5$ ，引导学生理解轻量化设计中的材料选择逻辑。

（2）极端环境用材

针对新能源汽车低温工况（ -40°C ），分析丁腈橡胶密封圈的低温脆性与压缩永久变形，讲解弹性模量（E）随温度变化对密封性能的影响，培养学生应对极端工况的材料分析能力。

三、教学方法创新：多元策略提升应用能力

3.1 案例链式教学法：从基础到工程的递进引导

设计“入门案例—核心案例—创新案例”三级案例链，匹配应用型本科学生认知规律。

（1）入门案例（基础关联）

问题：为何燃油车车身多采用低碳钢，而电动车倾向铝合金？

分析：对比两者的比强度（ σ_s/ρ ）与刚度（EI），引入“等强度设计”原则，建立材料密度、强度与轻量化的关联，适合低年级学生建立基础概念。

（2）核心案例（跨科整合）

任务：某电动车减速器齿轮失效，表面出现点蚀，

芯部断裂。

步骤：①失效形式判断（接触疲劳+弯曲断裂）；②力学参数反推（ $\sigma_H=750\text{MPa}$ ， σ_{-1} 表面=600MPa）；③改进方案设计（增加渗碳层深度至2.0mm，芯部回火温度调整至200℃提升 A_k ）。强化“失效分析—力学计算—工艺改进”逻辑链，适合综合能力训练。

（3）创新案例（实践导向）

项目：设计一款低成本自行车轮毂材料，要求重量轻、抗冲击、耐磨损。

引导：对比铝合金、碳纤维、工程塑料的性能，结合轮辐弯曲应力计算（ $\sigma=M/I$ ），提出“铝合金轮毂+纤维增强塑料轮辋”复合方案，培养创新思维与工程经济性考量。

3.2 项目化学习（PBL）：多材料装置深度分析

（1）项目任务

材料清单：标注活塞（A356铝合金）、气门弹簧（60Si2Mn钢）、气缸垫（铜基复合材料）等5种以上零件材料。

力学性能矩阵：建立“零件—载荷—关键参数—材料指标”对照表（如气门弹簧：交变弯曲载荷， $\sigma_{-1} \geq 400\text{MPa}$ ，匹配60Si2Mn钢调质后 $\sigma_{-1}=450\text{MPa}$ ）。

协同优化：分析铝合金活塞与钢质缸套的热膨胀差异（ $\Delta\alpha=15 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ）导致的热应力（ $\sigma=\alpha E \Delta T$ ），提出喷涂 Al_2O_3 陶瓷层降低热导率的方案。

（2）实施流程

调研阶段：通过汽车手册、材料数据库收集材料性能数据，培养资料检索能力。

分析阶段：使用AutoCADMechanical绘制受力图，运用弯曲应力公式（ $\sigma=M/I$ ）计算危险截面应力，验证强度裕度（ $[S] \geq 1.2$ ），强化软件应用与公式实操。

答辩阶段：重点展示“材料性能如何通过力学分析满足设计要求”，提升工程表达与团队协作能力。

3.3 虚实结合教学：强化直观认知与仿真实践

（1）课堂教学

通过动画演示齿轮啮合时接触应力动态变化、裂纹扩展临界值判定，将 $\sigma=M/I$ 等公式与晶界滑移、第二相开裂等微观机制直观关联，降低抽象知识理解难度。

（2）现场教学

组织参观汽车零部件厂，观察大梁钢板折弯（延伸率 $\delta \geq 20\%$ 要求）、车轴超声波探伤（裂纹临界尺寸检测），邀请工程师讲解材料力学性能报告在质量控制中的应用，建立理论与生产实景的连接。

（3）虚拟仿真

利用院校现有软件（如ANSYSWorkbench、MATLAB）搭建“汽车材料数据库”，开发两个模块。一是“应力分布模拟”：输入发动机连杆材料参数，对比合金钢与铝合金的应力云图，分析轻量化设计中的强度与刚度矛盾。二是“疲劳寿命预测”：输入悬架弹簧的S-N曲线与载荷谱，编写MATLAB程序计算服役寿命，验证“应力幅降低20%使寿命提高5倍”的工程规律，提升仿真工具应用能力。

四、实践体系规划：三级实验平台构建

结合应用型本科院校实验条件，设计“基础验证（强化基础能力）—综合模拟（提升工程能力）—虚拟仿真（拓展创新能力）”三级实验体系，逐步提升学生实践能力（表3）。

五、预期成效与实施保障

5.1 预期改革成效

（1）提升知识整合能力

学生能建立“材料性能参数（如 σ_{-1} ）—力学公式（如 $\sigma_a=\sigma_{-1}/[S]$ ）—工程场景（如曲轴选材）”的对应关系，跨学科知识测试中“结合力学公式解释选材原因”类题目正确率提升。

（2）增强工程实践能力

在多材料装置分析中，学生可独立完成5-8种材料的选型分析，平均涉及力学公式3-5个，方案中包含完整的工况分析与安全系数校核。

表3 实验教学体系设计

实验层次	实验项目	实验内容	力学理论关联	教学目标
基础验证	45钢热处理性能对比	测试不同回火温度下的硬度、冲击功，观察显微组织	Hall-Petch公式、强韧性匹配	理解“组织—性能”对应关系，掌握基础实验方法
综合模拟	齿轮接触疲劳实验	施加不同接触应力（600MPa、800MPa），记录失效循环次数	Hertz接触应力、Miner准则	验证疲劳寿命与应力幅的关系，培养多因素分析能力
虚拟仿真	连杆轻量化设计仿真	在ANSYS中对比钢与铝合金的应力分布，优化截面尺寸	应力集中系数、刚度计算	掌握仿真工具应用，理解材料选择与结构优化协同

(3) 激发创新思维

约30%的学生团队能提出“梯度材料应用”、“复合结构设计”等创新方案。

5.2 实施保障措施

(1) 跨学科师资团队建设

组建“材料科学+材料力学+机械设计”教师团队，定期开展课程内容对接会，重点研讨“黑色金属材料”与“静力学分析”等交叉章节的衔接，确保力学理论嵌入的系统性与适用性。邀请汽车企业工程师兼职授课，引入真实工程案例（如商用车车桥选材、新能源汽车电池托盘轻量化），增强教学内容的工程实践性。

(2) 数字化资源开发

建设“汽车材料—力学数据库”，整合常用材料的 σ_s 、 σ_{-1} 、E等参数，配套典型零件的力学计算公式与失效案例（含断口照片、分析报告），方便学生自主查询与学习。开发虚拟仿真实验平台，基于院校现有软件资源（如ANSYS Student版、MATLAB Home版），设计“齿轮接触疲劳”“连杆应力分析”等模块化仿真项目，提供操作指南与案例库，降低使用门槛。

(3) 多元化评价体系

知识维度：通过跨学科综合测试（占比30%），考核材料性能与力学理论的关联度，如给出汽车零件工况，要求写出适用材料、关键力学参数及计算公式。

能力维度：依据项目化学习报告（占比40%），评价工况分析、力学计算、方案设计的完整性，重点考察是否考虑应力集中、安全系数等工程要素。

创新维度：根据创新案例设计与答辩表现（占比30%），评估新材料应用、结构优化等方面的创新性，鼓励“低成本、易实施”的工程解决方案。

结语

本教改构想紧密结合普通应用型本科院校的人才培

养定位，以汽车工程场景为锚点，通过“三维耦合”体系构建、模块化内容设计、多元教学方法与立体化实践体系规划，致力于解决传统教学中知识割裂与实践脱节的问题。未来需进一步细化实施路径，例如开发配套的校本教材、建设校企合作实践基地，推动构想落地实践。这种跨学科融合的教学改革不仅是课程优化的探索，更是培养“下得去、用得上、能创新”的高素质技术人才的必要实践，以期为新工科背景下应用型本科院校的课程改革提供可借鉴的范式。

参考文献

- [1] 高为国, 董丽君, 吴安如, 等. “机械工程材料”课程中创新能力的培养[J]. 中国大学教学, 2011(11): 43-45.
- [2] 刘馨. 工科专业基础课程中思政教育探索——以《机械工程材料》课程为例[J]. 广东化工, 2020, 47(13): 232-233.
- [3] 马世方, 余健, 李养良, 等. 基于机械工程材料的教学改革探索——以九江学院为例[J]. 创新创业理论与实践, 2023, 6(24): 43-45.
- [4] 田宁. 应用型本科“机械工程材料”课程教学改革[J]. 科技风, 2024(15): 61-63.
- [5] 刘天模. “工程材料”课程教学体系改革的探讨[J]. 高等工程教育研究, 2001(1): 89-91.
- [6] 杨娜, 高榆岚, 雷聪, 等. “学习通”教学平台在《机械工程材料》课程教学改革实践中的应用探究[J]. 汽车教育, 2024(1): 77-79.
- [7] 乔冰. 基于工程教育认证的机械工程材料课程的教学改革[J]. 教学研究, 2023, 36(3): 121-123.
- [8] 李英. 任务驱动混合式教学模式的研究与实践——以《机械工程材料》课程为例[J]. 北京城市学院学报, 2021(1): 35-41.