

从理论到实践：材料力学工程化教育理念的构建与实施路径研究

王保实*, 曹书文

西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安

收稿日期: 2025年7月8日; 录用日期: 2025年8月8日; 发布日期: 2025年8月19日

摘要

材料力学是土木工程专业的核心基础课程,其教学效果直接影响学生后续专业课程学习与工程实践能力。然而,传统教学模式往往偏重理论推导与解题技巧,导致学生工程意识淡薄,解决实际问题的能力不足。本文以土木工程专业学生为对象,提出“工程化教育”理念,从教学目标重构、教学内容整合、教学方法创新及评价体系改革四个方面构建实施路径。通过引入真实工程案例、强化实验与实践环节、实施项目驱动式教学、融入行业规范标准,推动材料力学课程从“知识传授”向“能力培养”转型。

关键词

材料力学, 工程化教育, 教学改革, 实践能力

Bridging Theory and Practice: Framework and Implementation Pathway for Engineering-Oriented Education in Material Mechanics

Baoshi Wang*, Shuwen Cao

College of Science, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi

Received: Jul. 8th, 2025; accepted: Aug. 8th, 2025; published: Aug. 19th, 2025

Abstract

Material Mechanics is a core foundational course in civil engineering, whose teaching effectiveness

*通讯作者。

文章引用: 王保实, 曹书文. 从理论到实践: 材料力学工程化教育理念的构建与实施路径研究[J]. 职业教育发展, 2025, 14(8): 172-183. DOI: 10.12677/ve.2025.148367

directly impacts students' subsequent professional coursework and practical engineering capabilities. However, traditional teaching models often overemphasize theoretical derivations and problem-solving techniques, leading to weak engineering awareness and inadequate practical problem-solving skills among students. Targeting civil engineering students, this paper proposes the concept of "engineering-oriented education" and constructs an implementation pathway through four dimensions: restructuring teaching objectives, integrating teaching content, innovating teaching methods, and reforming evaluation systems. By introducing real-world engineering cases, strengthening experimental and practical components, implementing Project-Based Learning (PBL), and incorporating industry codes and standards, this approach drives the transformation of the Material Mechanics course from "knowledge delivery" to "competency cultivation".

Keywords

Material Mechanics, Engineering-Oriented Education, Teaching Reform, Practical Ability

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言：材料力学教学的困境与转型需求

材料力学作为土木工程专业人才培养体系中承上启下的核心基础课程，其教学成效直接影响学生对后续结构力学、混凝土结构设计、钢结构原理等专业课程的掌握深度，更关乎未来工程师解决复杂工程问题的能力塑造[1]。这门课程本质上承担着将抽象力学原理转化为具体工程应用的桥梁作用，其重要性不言而喻。《材料力学》作为土木工程专业的基础课程，一直是教学改革的热点[2]。满田因等[3]从《材料力学》课程教学目标出发，剖析教学中存在的问题，采取实际工程案例项目化教学、虚拟仿真教学模式以及考核过程性评价等具体措施。张腾元等[4]在《材料力学》课程教学过程中，培育学生的力学及工程思维，依托混合式教学模式，提升学生解决工程难题的综合素养。卢慧等[5]将案例教学法在《材料力学》教学中良好运用，提高了材料力学课程的教学效果，帮助学生更好地理解和应用知识。

深入审视当前国内高校土木工程专业的材料力学教学现状，一个不容忽视的结构性矛盾日益凸显：课程内容的高度理论化、数学化与土木工程实践对结构性能分析、材料行为理解及安全评估决策的迫切需求之间，存在着巨大的鸿沟。这种脱节不仅削弱了学生的学习动力，更从根本上制约了其工程实践能力的形成，亟待进行深刻的理念重构与路径创新[6]。

当前材料力学教学的核心困境首先表现为理论教学与实践应用的严重割裂。传统的教学模式往往过度聚焦于经典公式的数学推导过程、理想化模型的抽象计算以及特定边界条件下习题的求解技巧[7]。教师在课堂上投入大量时间演绎公式的来龙去脉，学生则在课后深陷于繁复的数学运算。这种模式固然有助于培养严密的逻辑思维和数学能力，但其代价是课程内容与土木工程真实场景的显著疏离。学生学习了梁的弯曲正应力公式，却难以将其迁移应用于分析一座实际桥梁主梁在车辆荷载下的应力分布，识别潜在的危险截面；掌握了压杆稳定的欧拉公式，却无法理解其在脚手架设计或钢结构厂房柱设计中的关键作用，以及规范中长细比限值背后的安全考量。诸如梁、柱、板、拱、桁架、基础等土木工程中最基本、最普遍的结构形式，以及混凝土、钢材、砌体、木材乃至新兴复合材料等工程材料的真实力学行为（如混凝土的非线性受压特征、钢材的显著屈服现象、砌体的脆性破坏模式），在常规的教学案例中常常是缺失的或仅作为抽象的符号存在。这种脱离具体工程对象和实际材料行为的教学，使得知识悬浮于理论

真空, 学生难以建立力学概念与工程实体之间的实质性联系, 无法体会公式背后所蕴含的工程意义[8]。

其次, 学生工程意识的普遍薄弱是上述割裂的必然结果与突出表现。由于缺乏真实的工程背景嵌入, 学生对于材料力学核心概念、强度理论、稳定性准则在工程设计、施工控制、安全评估全流程中的具体应用价值与决策依据, 普遍缺乏深刻认知。例如, 他们可能熟练计算一个理想简支梁的跨中最大弯矩和挠度, 却无法理解这些计算结果如何指导梁截面尺寸的选择、混凝土梁中钢筋的配置位置与数量, 或如何影响使用者的舒适度(刚度控制)和结构的安全储备(强度控制)。对于“强度理论”的学习, 往往止步于区分不同理论(如最大拉应力理论、最大伸长线应变理论、最大切应力理论、畸变能理论)的数学表达式和适用材料类型, 而忽略了其在复杂应力状态下(如厂房牛腿、桥梁墩柱、地基基础), 判断构件是否会失效、选择何种材料更为安全经济的关键作用。同样, 学习“压杆稳定”时, 若仅关注不同约束条件下临界力的计算, 而不结合脚手架倒塌、钢结构厂房立柱失稳等触目惊心的事故案例, 分析失稳的诱因(如初弯曲、荷载偏心、材料缺陷)及其灾难性后果, 学生就难以建立起对“稳定性”这一关乎生命财产安全的工程核心价值的敬畏感与责任感。这种工程意识的缺失, 使得学生难以理解学习材料力学的根本目的——为未来的工程决策提供科学依据, 导致学习目标模糊, 内在驱动力不足。

第三, 能力培养的单一化倾向进一步加剧了应用能力的短板。现行的教学评价体系与训练方式, 往往过度侧重解题能力的考核。大量的教学时间和习题训练集中在特定类型、边界条件清晰的问题求解上, 要求学生掌握各种计算技巧。这固然是基础, 但绝非材料力学能力培养的全部。学生被训练成熟练的“解题者”, 却未必能成长为合格的“问题解决者”。他们普遍缺乏将实际工程问题(如一个临时支撑架的安全性评估、一个小型设备基础的设计)合理简化为可分析的力学模型的能力(分析建模能力); 缺乏将计算结果结合工程实际和规范要求, 进行设计决策或安全评估的能力(计算应用能力); 缺乏通过实验手段获取材料基本性能参数并分析其意义的能力(实验实践能力); 更缺乏运用力学原理诊断简单工程失效原因、提出防范措施的思维(问题解决能力), 以及清晰表述分析过程和工程建议的能力(沟通表达能力)。这种局限于纸面计算的单一能力培养模式, 与土木工程师需具备的综合素养要求相去甚远, 导致学生在面对真实、模糊、复杂的工程情境时束手无策。

第四, 教学内容与现代土木工程发展及技术前沿的脱节, 使得课程的时代性不足。材料力学课程内容体系相对稳定, 这本是其基础性的体现, 但也容易导致更新滞后。当前的教学内容, 对现代土木工程中涌现的新材料(如纤维增强复合材料 FRP 筋、高性能混凝土 UHPC)、新结构体系(如装配式混凝土结构、大跨度空间结构)和新技术(如结构健康监测 SHM、基于 BIM 的结构分析)中所涉及的关键力学问题关注不足。例如, FRP 筋的线弹性应力-应变关系、脆性破坏特征及其对构件设计的影响, 与传统钢筋截然不同; 装配式结构节点连接的力学性能往往是整体结构安全的关键; 结构健康监测中应变传感数据的解读, 直接依赖于对构件应力状态的理解。若对这些新兴领域中的力学挑战避而不谈, 一方面限制了学生的视野, 使其知识结构滞后于行业发展; 另一方面, 也错失了利用前沿技术激发学生学习兴趣、展示材料力学持久生命力的良机。

上述困境交织叠加, 导致了一系列负面影响: 学生对材料力学的学习价值认知不清, 学习目标模糊, 内在动力不足, 课堂参与度下降; 学习过程容易陷入被动记忆公式和机械解题的窠臼, 对知识的理解停留在表层; 最为关键的是, 当他们进入后续专业课程学习(如混凝土结构设计)或工程实践环节(如认识实习、课程设计)时, 普遍表现出运用力学知识分析解决实际问题的能力严重匮乏, 难以将抽象的理论与具体的工程对象、材料行为和设计规范联系起来, 出现显著的“知识迁移障碍”。这不仅影响了后续课程的教学效果, 更对培养合格的应用型、创新型土木工程人才构成了严峻挑战。

因此, 推动材料力学教学从传统的“理论导向”、“知识传授”向“工程导向”、“能力培养”进行深刻的范式转型, 已不再是锦上添花的改良, 而是提升土木工程专业人才培养质量的迫切需求和必然

选择。这种转型的核心, 在于构建并有效实施一种全新的“工程化教育”理念。该理念要求彻底打破理论教学与实践应用之间的壁垒, 将真实的工程问题、具体的结构行为、关键的材料特性、核心的设计规范以及必要的现代技术工具, 深度融入教学的全过程、各环节, 让学生在学习力学的伊始, 就能置身于工程的情境之中, 理解知识的来源、应用的价值和工程师的责任。唯有如此, 才能真正实现材料力学课程的育人目标, 为培养具备扎实力学功底、敏锐工程意识和卓越实践能力的未来土木工程师奠定不可撼动的基石。本文后续将系统阐述这一“工程化教育”理念的核心内涵, 并重点探讨其在教学目标、内容、方法与评价等关键维度的具体实施路径。

2. 工程化教育理念的核心内涵

针对材料力学传统教学中暴露出的理论脱离实践、工程意识薄弱、能力培养单一以及前沿技术脱节等深层次困境, 亟需构建一种全新的教学范式以重塑课程价值。这种范式, 我们称之为“工程化教育”理念。其核心宗旨绝非对现有理论教学的简单修补或点缀式增加实践环节, 而是立足于土木工程专业人才培养的根本目标——即培养能够运用科学原理解决复杂现实工程问题的高素质工程师——进行的一场从理念到实践的系统性重构。其精髓在于, 将真实的工程实践需求、工程师的思维方式、解决工程问题的系统方法以及行业公认的技术标准规范, 全方位、全过程、深层次地融入材料力学的教与学之中, 彻底打破横亘在抽象力学理论与具体工程应用之间的无形壁垒, 实现从“学知识”到“做工程”的范式跃迁。这一理念的落地生根, 具体展现为以下五个相互关联、彼此支撑的核心内涵。

2.1. 目标工程化：从知识掌握到能力养成的根本转向

工程化教育理念首要且根本的变革在于教学目标的重心转移。传统教学目标往往聚焦于学生对材料力学基本概念、理论公式、计算方法的理解与记忆, 考核标准也多停留在解题的正确性与熟练度上。工程化教育则旗帜鲜明地将教学目标定位为: 培养学生运用材料力学原理, 独立或协作分析、设计、评估实际土木工程结构(构件)的能力, 并在此过程中深刻内化安全、经济、适用等核心工程价值观。这意味着, 衡量教学成功的标准不再是学生能否推导出欧拉公式或解出复杂超静定问题, 而是他们能否在面对一根真实的钢筋混凝土梁、一根钢柱或一个简单支架时, 系统地进行: 载荷识别与简化、内力(轴力、剪力、弯矩、扭矩)分析与计算、关键截面应力/应变状态分析、强度(抗拉、抗压、抗剪、抗弯)、刚度(变形控制)及稳定性(屈曲风险)的全面校核, 并最终基于分析结果和工程规范要求, 提出合理的设计方案或安全评估结论。例如, 目标不仅是让学生计算梁的最大弯曲应力, 更要引导其理解该应力结果如何影响梁截面尺寸的选择(经济性)、钢筋的配置(安全性)以及可能对结构变形和使用功能(适用性)产生的限制。这种目标转向, 要求学生不仅“知其然”(掌握理论), 更要“知其所以然”(理解理论背后的物理意义), 尤其要“知其用”(懂得如何在工程决策中运用理论), 将力学知识真正转化为解决工程问题的工具和工程师职业素养的基石。

2.2. 内容情境化：将抽象理论锚定于真实工程土壤

目标的工程化必然要求教学内容的深度重构, 其核心策略是“情境化”。工程化教育理念坚决摒弃脱离具体工程背景的空洞理论讲授, 主张将每一个核心力学概念、原理和公式, 都紧密地、有机地嵌入到土木工程典型的结构形式、材料行为与工况环境中去。具体而言:

结构情境化: 教学内容应该紧紧围绕梁(楼板梁、桥梁主梁)、柱(框架柱、桥墩)、板(楼板、基础底板)、拱(桥梁、屋顶)、桁架(屋架、桥梁)、基础(独立基础、桩基础)等土木工程中无处不在的基本构件和结构体系展开。讲解弯曲应力, 就以钢筋混凝土楼板梁或钢桁架桥的上弦杆为对象; 讨论压杆稳定, 就以脚手架立杆或钢结构厂房的柱子为例; 分析组合变形, 就聚焦于工业厂房承受吊车荷载的牛腿柱或桥梁的

墩台。这些真实的构件和结构,不再是习题中抽象的“杆 AB”或“梁 CD”,而是承载着具体功能、处于特定约束和荷载环境下的工程实体。

材料情境化: 材料的行为是力学的物质基础。工程化教学应当超越理想化的“均匀、连续、各向同性”假设,深入探讨土木工程主流材料——钢筋混凝土(钢筋的屈服强化、混凝土的非线性受压与开裂)、钢材(显著的屈服现象、各向异性)、砌体(抗压强度高、抗拉强度极低的脆性特征)、木材(各向异性、含水率影响)以及新兴复合材料(如 FRP 筋的线弹性脆性)——在受力时表现出的独特而真实的应力-应变关系、失效模式及其关键力学性能指标的工程意义。理解混凝土在受压时的非线性行为和微裂缝发展,是理解为何钢筋混凝土梁设计中需要考虑“平截面假定”和“受压区高度”限制的关键;认识钢材的屈服现象,是理解钢结构设计中利用塑性开展、确保结构延性破坏(而非脆性断裂)这一安全理念的基础。

工况情境化: 力学分析脱离荷载和环境就是无源之水。教学内容需紧密结合土木结构所承受的典型荷载(恒载、活载、风载、雪载、地震作用、温度作用、施工荷载)及其组合效应,以及服役环境(腐蚀、冻融、疲劳)对材料长期力学性能(耐久性)的影响。例如,讲解疲劳强度时,应结合桥梁在反复车辆荷载作用下的潜在疲劳裂纹扩展问题;讨论应力集中时,需联系钢结构节点在复杂应力状态下的疲劳破坏风险;阐述材料耐久性时,要分析混凝土碳化、钢筋锈蚀如何导致保护层剥落、截面削弱,从而降低构件的实际承载能力。

通过这种全方位的情境化植入,抽象的力学符号被赋予了具体的工程形象和物理意义,理论公式不再冰冷,而是工程师理解结构行为、预测性能、保障安全的“语言”和“工具”。

2.3. 过程实践化: 在“做”中锤炼工程直觉与动手能力

工程能力的获得绝非仅靠聆听和阅读,有必要通过亲身实践。工程化教育理念极度重视教学过程的实践属性,强调“做中学”是内化知识、培养工程直觉和动手能力的不二法门。这要求打破理论课与实践课(实验课)泾渭分明的界限,构建一个多元化、递进式的实践体验体系:

实验操作: 基础性实验是基石,有必要确保学生亲手操作万能试验机、应变仪等关键设备,真实感受材料屈服、颈缩、断裂的过程,观测应力分布规律,训练规范操作技能和严谨的数据采集、处理、分析能力。更重要的是扩展性实验:如组合变形(弯扭)构件的应力测试,让学生理解叠加原理的实际应用;不同端部约束(铰支、固支)下压杆的稳定性实验,直观展现长细比和约束条件对临界荷载的显著影响;简支梁在移动荷载下的应变动态测量,模拟桥梁等结构在车辆通过时的实时响应。具有土木特色的实验(如混凝土立方体抗压试验、钢筋拉伸试验)虽基础,但为理解构件层次行为提供了不可或缺的材料性能支撑。

案例分析: 精心挑选正反两方面的典型工程案例是活生生的教材。深入剖析魁北克大桥因设计失误导致的两次坍塌惨剧,能让学生深刻理解受压杆件失稳的灾难性后果和细节设计的重要性;研究某体育馆网架结构因节点失效或杆件失稳引发的事故,能生动展现复杂结构中强度、刚度、稳定性问题的交织及其对整体安全的关键影响;分析一座成功的大跨度桥梁或超高层建筑,则能展示力学原理在解决极端挑战中的精妙应用。案例教学引导学生像“工程侦探”一样,运用所学力学知识抽丝剥茧,还原事故机理或成功关键,理解理论应用于实践的复杂性和风险点。

项目设计: 项目驱动教学法(PBL)是工程化教学的核心载体。围绕一个真实的、适度复杂的微型工程任务(如:设计并校核一个简易人行天桥的主梁截面;评估某小型厂房设备支架在特定荷载下的安全性;优化一个临时施工支撑结构),学生分组协作,经历完整的工程分析流程:定义问题、收集信息、抽象简化建立力学模型、进行理论计算(应用相关规范)、方案设计/评估优化、结果展示与答辩。这个过程模拟了真实的工程实践场景,强制学生综合运用知识、动手计算、团队协作、做出决策并清晰表达,是培养系统解决问题能力的熔炉。

软件模拟与现场认知：利用现代 CAE 工具(如 ANSYS Workbench 教育版、Midas Civil Edu 版)进行虚拟仿真，可以突破实体实验的时空和成本限制，可视化复杂应力状态、屈曲失稳过程、动态响应等难以观察的现象，进行参数化研究。组织学生参观在建工地(观察梁、柱、板的施工过程及支撑体系)、结构实验室(大型构件破坏试验)或典型结构(桥梁、厂房)，提供直接的感官认知，将课堂知识与现场实体联系起来，深化理解。邀请经验丰富的工程师进课堂分享实战经验，更是弥合校园与职场鸿沟的宝贵桥梁。

2.4. 思维系统化：构建工程分析的逻辑链条

解决工程问题需要一套严谨而连贯的思维模式。工程化教育理念致力于培养学生系统化的工程分析思维，引导其建立起一条清晰、完整、符合工程逻辑的分析链条。这条链条可以概括为：“载荷识别与分析→结构内力计算→关键截面应力/应变状态分析→强度/刚度/稳定性校核→设计决策/优化建议/安全评估”。

第一步“载荷识别与分析”是起点，要求学生从复杂的工程环境中识别出作用于结构或构件上的各类荷载(恒、活、风、雪、地震等)，理解其性质(静力、动力、分布、集中)、方向、作用点，并进行合理的简化与组合(根据规范要求)，这是后续所有分析的基础。忽略了荷载或简化不当，后续计算再精确也毫无意义。

第二步“内力计算”是在明确了外部作用后，运用截面法、平衡方程等工具，计算结构构件内部抵抗这些外部作用而产生的内力(轴力、剪力、弯矩、扭矩)，并绘制内力图。这是理解构件受力状态的关键步骤。

第三步“应力/应变分析”则深入到材料层面。基于内力计算结果和构件的几何特性，运用材料力学公式，计算关键点的应力分量和应变状态。这是判断材料是否发生屈服、断裂或过大变形的依据。

第四步“强度/刚度/稳定性校核”是核心决策环节。将计算出的应力/应变值与材料的许用应力/应变(基于强度理论)或构件允许的变形量(刚度要求)进行对比，判断是否满足安全和使用功能要求。对于细长受压构件，有必要进行专门的稳定性校核(计算临界应力或长细比限值)。此步骤往往需要结合相关设计规范(如混凝土、钢结构规范)的具体条款。

第五步“设计决策/优化建议/安全评估”是分析的终点和工程价值的体现。基于校核结果，学生需要做出工程判断：设计是否安全可行？如果不足，如何优化截面尺寸、材料选择或支撑方式？如果是对现有结构评估，其安全等级如何？是否需要加固或限制使用？并清晰阐述理由和建议。

这种系统化思维的训练贯穿于工程化教学的每一个环节(案例讨论、项目设计、习题演练)，旨在让学生养成严谨、全面、逻辑清晰的分析习惯，避免“只见树木不见森林”的碎片化理解。

2.5. 规范标准化：在工程约束中理解力学真谛

土木工程是高度规范化的行业，设计、施工、验收无不遵循国家或行业颁布的技术标准与规范。这些规范条款是长期工程实践经验和科学研究成果的结晶，其中蕴含着深刻的力学原理和安全、经济考量。工程化教育理念强调，在材料力学基础教学中，需要有意识、适度地引入与核心知识点密切相关的设计规范，实现“规范标准化”：

理解规范背后的力学原理：教学并非简单要求学生记忆规范条文，而是引导他们探究条文背后的力学逻辑。例如，在讲解钢筋混凝土梁正截面受弯承载力时，引入《混凝土结构设计标准》(GB/T 50010-2010 (2024 年版))中的基本假定，让学生理解这些简化模型的理论基础(材料力学中的几何关系、本构关系和平衡条件)及其在建立设计公式中的作用。讲解压杆稳定设计时，结合《钢结构设计标准》(GB 50017-2017)中关于不同截面类型、不同屈曲方向长细比限值的规定，分析其与欧拉理论临界应力曲线的关系以及考

考虑残余应力、初始缺陷等实际因素的修正(柱子曲线)。

培养规范意识与安全价值观:通过规范的学习与应用,学生能深刻体会到工程设计的底线——安全。理解规范中安全系数、分项系数、构造要求(如最小配筋率、箍筋间距)等设定,都是为了在材料性能离散性、荷载不确定性、计算模型简化误差以及不可预见因素下,为结构提供足够的安全储备。这种浸润式的学习,比任何口号都更能培养学生的工程责任感和安全第一的职业操守。

衔接基础课程与专业设计:在材料力学阶段初步接触核心规范,能为后续的结构设计类课程(混凝土结构、钢结构等)打下良好基础,避免学生在后续学习中面对厚厚的规范手册感到突兀和畏惧。这种早期衔接,使得材料力学真正成为通向工程实践的桥梁,而非孤立的“解题训练场”。随着技术发展,新材料、新结构的设计规范(如《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》)也应适时引入,保持课程的时代性。

综上所述,材料力学工程化教育理念的核心内涵是一个有机统一的整体:它以培养解决复杂工程问题的能力为终极目标(目标工程化);通过将抽象理论深植于真实的结构、材料、工况土壤中实现知识的活化与意义建构(内容情境化);强调通过多元实践体验实现能力的生成与内化(过程实践化);着力塑造符合工程逻辑的系统分析思维模式(思维系统化);并引导学生理解、尊重和应用凝结了工程智慧与安全底线的技术规范(规范标准化)。这五个维度相互渗透、彼此支撑,共同指向一个核心——让材料力学教学回归其工程本质,为培养面向未来的、知行合一的卓越土木工程师奠定坚实的力学基础。

3. 工程化教育理念的实施路径构建

工程化教育理念的提出,为破解材料力学教学困境指明了方向,但其真正落地生根并结出硕果,绝非理念的简单宣导或教学环节的局部修补所能实现。它呼唤一场覆盖教学目标、教学内容、教学方法、教学评价等教学全过程关键要素的系统性重构,形成环环相扣、协同增效的实施路径。唯有如此,方能将“工程导向”的愿景转化为学生可感知、可体验、可提升的工程能力。以下将深入探讨这一系统化构建的具体内涵与实践策略。

3.1. 教学目标的重构:以工程能力需求为锚点

工程化教育理念的提出,为破解材料力学教学困境指明了方向,但其真正落地生根,首当其冲在于教学目标的根本性转向与精细化设计。传统目标往往笼统表述为“掌握材料力学基本理论与方法”,而工程化目标则应该精准对接土木工程师核心能力谱系,实现从“知”到“能”的升华。这一重构需在三个层面立体展开:

在知识层面,核心目标依然是要求学生牢固掌握材料力学的基石概念——应力与应变的本质内涵、强度、刚度、稳定性等核心判据的物理意义;深入理解四大基本变形(轴向拉压、剪切、弯曲、扭转)的理论模型、应力应变分布规律及计算方法;掌握基本变形组合问题的处理原则与叠加方法;理解能量法(如卡氏定理、莫尔积分)在求解位移和超静定问题中的应用原理;把握压杆稳定的临界荷载计算(欧拉公式)及其影响因素。这些知识是工程分析的“语言”和“工具”,是能力生成的必备基础。

然而,工程化目标的精髓在于能力层面的显著拓展与深化。首要能力是分析建模能力:学生需能面对一个真实的土木工程构件(如一根承受楼面荷载的混凝土梁、一个支撑设备的钢支架、一根桥梁墩柱)或简单结构系统,根据其几何特征、约束条件、荷载作用,抽象、简化并建立合理的力学计算模型(例如,将实际支座简化为铰支或固定端,将作用荷载等效为分布荷载或集中力,将空间结构简化为平面模型,最终将其视为简支梁、悬臂梁、受压柱等典型力学模型)。这种将复杂工程实际提炼为可分析模型的能力,是工程师的核心素养。其次是计算应用能力:学生需能熟练运用截面法绘制内力图(轴力图、剪力图、弯

矩图、扭矩图);根据内力结果和截面几何性质,精确计算关键点的应力、应变状态;运用强度理论(如最大拉应力理论、最大伸长线应变理论、最大切应力理论、畸变能理论)进行构件强度校核;计算关键位移(如梁的挠度、轴的扭转角)以满足刚度要求;对细长受压构件进行稳定性校核(计算临界应力或长细比)。尤为关键的是,这种计算不能止步于理论值,必须能结合《混凝土结构设计标准》(GB 50010-2010(2024年版))、《钢结构设计标准》(GB 50017-2017)等核心规范的相关条款,将计算结果转化为设计决策(如确定梁截面尺寸、配置钢筋)或安全评估结论。实验实践能力同样不可或缺:学生需要掌握利用万能试验机进行材料基本力学性能测试的标准方法;能规范操作应变仪等测量设备获取实验数据;具备对实验数据进行处理、分析、绘制曲线(如应力-应变曲线)的能力;并能将实验现象(如屈服平台、颈缩、失稳屈曲)与背后的力学原理紧密关联,理解实验对理论模型的验证或修正意义。问题解决能力要求学生能超越计算,运用力学原理剖析真实的工程失效案例(如局部破坏、整体失稳、疲劳断裂),识别失效模式,追溯力学根源(如应力集中、稳定不足、材料缺陷),并提出具有针对性的改进措施或防范建议。最后,沟通表达能力是工程师将分析成果转化为决策依据的桥梁,要求学生能够清晰、准确、规范地以口头报告或书面报告(如实验报告、项目分析报告、安全评估简报)的形式,阐述其力学分析过程、计算依据、关键结论以及具体的工程建议。

在素养层面,工程化目标致力于在潜移默化中塑造学生的职业品格:培养其基于实验数据和理论计算的严谨求实的科学态度;牢固树立“安全第一”的工程伦理意识,深刻理解任何力学计算失误可能带来的灾难性后果;在设计和评估中初步建立经济性意识,理解优化设计在资源节约中的价值;鼓励在理解基本原理和尊重规范的前提下,对传统方法或方案进行批判性思考,孕育初步的创新意识。这种三维目标体系(知识、能力、素养)共同构成了工程化教育的能力图谱,为后续教学内容、方法与评价的设计提供了清晰的导航。

3.2. 教学内容的整合与更新:深度聚焦工程应用情境

教学目标的工程化转型,必然驱动教学内容的深度整合与动态更新,其核心在于将抽象理论彻底融入土木工程实践的鲜活土壤,实现内容的“工程情境化”。这要求对传统教材内容进行解构与重构:

深度融入真实工程案例是内容情境化的灵魂。案例绝非点缀,而是理解理论的活教材。在讲授“弯曲应力”时,应摒弃理想化的矩形截面梁例题,转而剖析一个实际钢筋混凝土楼板梁或钢桁架桥主梁的设计案例。引导学生分析其在设计荷载(恒载、活载)作用下的弯矩分布,计算跨中及支座等关键截面的弯曲正应力,进而理解应力分布规律如何决定混凝土梁中受拉钢筋的布置位置与数量,或钢梁截面高度、翼缘宽度的选择依据。讲解“压杆稳定”时,与其反复推导不同约束下的欧拉公式,不如深入分析一个典型的脚手架倒塌事故或钢结构厂房立柱失稳案例。通过事故现场的图片、调查报告数据,引导学生计算失稳杆件的实际长细比、临界应力,并与材料屈服强度对比,深刻体会长细比限值、约束条件对结构安全的极端重要性,以及忽视稳定性的惨痛教训。在探讨“组合变形”这一难点时,选择工业厂房中常见的承受吊车横向刹车力与竖向荷载的牛腿柱,或桥梁工程中承受偏心荷载的墩柱作为对象。引导学生分析其受力状态(压弯组合、弯扭组合),计算关键截面的组合应力,运用强度理论进行校核,理解为何此类构件往往是结构安全的薄弱环节。这些源自真实工程的案例,赋予冰冷的公式以温度,使学生直观感受到力学知识在保障工程安全中的关键作用。

强化对土木工程材料真实行为的认知是内容更新的基础。教学内容必须超越理想弹塑性模型,深入揭示混凝土、钢材、木材、砌体等主要工程材料的本构关系及其工程意义。重点讲解低碳钢典型的拉伸应力-应变曲线(弹性阶段、屈服阶段、强化阶段、颈缩断裂),阐释屈服强度作为钢结构设计强度基准的缘由,以及强化阶段提供的安全储备。剖析混凝土显著的非线性受压应力-应变曲线特征及其与微裂缝

发展的关联,理解为何混凝土设计需考虑极限压应变限制。对比木材顺纹与横纹方向力学性能的巨大差异(各向异性)。同时,教学内容需延伸至材料在服役环境下的长期性能演变,即耐久性力学问题。分析混凝土碳化深度发展模型及其导致钢筋脱钝、锈蚀的机理,锈蚀产物膨胀引起的保护层开裂、剥落对有效截面削弱和粘结性能退化的影响,定量或定性评估其对构件承载力(强度)和变形性能(刚度)的长期折减效应。理解材料在冻融循环、化学侵蚀等恶劣环境下的性能劣化规律及其对结构寿命的影响。这种对材料“生命历程”力学行为的关注,是理解结构全寿命性能的基础。

适时引入现代技术与行业规范是保持内容时代性的关键。在讲解应力状态分析、强度理论、组合变形、压杆稳定等核心知识时,应结合知识点,适度介绍有限元软件(如 ANSYS、ABAQUS)在分析复杂几何、复杂边界、复杂荷载条件下结构应力分布、变形模态及失稳路径中的强大能力,展示其可视化结果如何辅助工程师理解结构行为、验证简化模型、优化设计方案。这既是对理论教学的拓展,也为学生未来应用先进工具打下认知基础。更重要的是,将核心设计规范的关键条款有机融入教学环节。在强度校核和初步设计部分,不再是脱离规范的纯理论计算。例如,在分析钢筋混凝土梁正截面受弯承载力时,直接引入《混凝土结构设计规范》(GB 50010)中的基本设计假定(平截面假定、忽略混凝土抗拉强度、钢筋应力-应变关系模型、混凝土极限压应变取值),引导学生理解这些基于大量试验和理论分析的简化模型,正是联系材料力学基本原理(平衡条件、几何协调、材料本构)与实用设计公式的桥梁。在压杆稳定设计中,结合《钢结构设计标准》(GB 50017)中的柱子曲线(考虑残余应力、初弯曲等因素对不同截面类型压杆承载力的影响)和长细比限值规定,让学生体会欧拉理论在实际工程设计中如何被修正和应用。此外,教学内容应关注前沿材料,简要介绍纤维增强聚合物(FRP)筋材(高强、轻质、耐腐、线弹性脆性)的力学特性及其在特殊环境(腐蚀性强)或特殊结构(追求轻量化)中的应用前景;探讨高性能混凝土(UHPC)的超高强度、高韧性和优异耐久性带来的力学性能提升及设计理念变化。这种面向未来的内容拓展,能有效激发学生兴趣,拓宽视野。

实验项目的精心设计与升级是实践能力培养的核心载体。实验教学是工程化教育的“练兵场”,其设计必须紧密围绕能力目标,形成梯度。基础性实验如材料的拉伸与压缩试验、纯弯曲梁横截面上正应力分布规律测定、弹性模量与泊松比测定等,是学生接触材料真实行为、掌握基本测试技能、理解基础理论的起点,必须保证学生亲手操作和精确测量。综合性/设计性实验是提升高阶能力的关键,例如:设计一个承受弯扭组合作用的构件(模拟传动轴或受侧向力的立柱),测试其表面关键点的应变,应用应力状态理论和强度理论分析其安全性;研究不同端部约束(铰支、固支、弹性约束)对细长压杆临界荷载的影响,直观验证欧拉公式及其修正;在简支梁上模拟移动荷载(如小车),动态测量梁不同截面处的应变变化,分析内力包络图,理解桥梁等结构在活载作用下的响应特性。这些实验要求学生综合运用多知识点,设计测试方案,分析复杂数据,培养解决实际问题的能力。特别需要强化具有土木工程特色的实验,尽管混凝土立方体抗压强度试验和钢筋拉伸试验常被视为建筑材料课程内容,但在材料力学阶段进行,对于学生深刻理解混凝土构件受压时的高度非线性行为和破坏模式,以及钢筋在钢筋混凝土结构中作为主要抗拉材料的屈服强化特性及其对结构延性的贡献,具有不可替代的基础性作用。将此类实验纳入材料力学实践环节,能有效弥合材料性能与构件力学行为之间的认知断层。

3.3. 教学方法的创新:以学生为主体,以实践为驱动

实现工程化教学目标,依赖教学方法的根本性变革,其核心在于摒弃“满堂灌”,确立学生的主体地位,以多样化的实践性教学活动驱动知识内化与能力生成。

项目驱动教学法(PBL)是工程化教学的旗舰方法。它围绕一个源自或模拟真实场景的、具有适度复杂性的微型土木工程任务组织教学。例如:“设计并校核一个校园内简易人行天桥的主钢梁截面,满足强

度、刚度和稳定性要求”；“评估某小型厂房内支撑通风设备的钢支架在设备运行振动荷载下的安全性，并提出加固建议(如需)”；“优化一个施工现场临时支撑模板的木支柱体系，在保证安全的前提下提高经济性”。学生以小组为单位，在教师引导下，完整经历工程问题解决的典型流程：问题界定与分析(明确任务目标、约束条件、相关荷载)；模型抽象与简化(将实际结构合理简化为力学计算模型，确定边界条件)；理论计算与规范应用(进行内力分析、应力/应变计算、强度/刚度/稳定性校核，查阅并应用相关设计规范条款)；方案设计与评估优化(基于计算结果和规范要求，提出设计方案或评估结论，进行多方案比较优化)；成果展示与答辩(以口头报告结合书面报告形式，清晰阐述分析过程、计算依据、关键结论和工程建议)。PBL 项目贯穿于课程关键章节的学习过程，将原本离散的知识点(如内力计算、应力分析、强度理论、稳定校核、规范应用)有机整合在一个真实的任务情境中，强制学生主动学习、协作探究、综合运用知识、做出工程决策并有效沟通，是对系统化工程思维和综合问题解决能力的全方位锤炼。

案例教学法是激发兴趣、深理解、警示风险的有力武器。精心挑选具有代表性和冲击力的工程成功典范与失败教训至关重要。深入剖析魁北克大桥两次因设计失误(低估杆件自重、错误计算受压弦杆承载力导致失稳)而坍塌的悲剧，能让学生深刻理解压杆稳定计算的极端重要性和细节设计的严谨性。研究某大型体育馆网架结构因节点焊接缺陷或个别受压杆件失稳引发的局部或整体垮塌事故，能生动揭示复杂空间结构中强度、刚度、稳定性问题的相互耦合及其对整体安全性的致命影响。同时，也应分析经典的成功案例，如著名大跨度桥梁(如金门大桥的悬索结构力学)或超高层建筑(如核心筒与巨型框架的协同受力)中材料力学原理的精妙应用。案例教学的关键在于引导学生扮演“工程侦探”或“事故调查员”的角色，运用所学力学知识，结合事故调查报告或设计文献，抽丝剥茧，还原事故发生的力学机理或成功设计的核心要素，深刻理解理论应用于实践的复杂性、潜在风险点和关键控制因素，培养批判性思维和工程责任感。

虚实结合的实验教学模式是突破传统实验局限、拓展实践广度和深度的必由之路。实体实验是根基，必须确保学生有充足机会亲手操作关键设备(如万能试验机进行材料破坏性试验、应变仪及数据采集系统进行应力测试、位移计测量变形)。重点在于培养规范的操作技能、严谨的数据记录习惯、科学的误差分析能力和基于实测数据理解材料行为及结构响应的能力。然而，实体实验受制于设备数量、场地、时间、成本及安全因素，难以覆盖所有重要现象(如三维复杂应力状态、屈曲失稳的全过程、动态响应、大型结构行为)。虚拟仿真技术(利用专业的材料力学虚拟实验平台、或 CAE 软件如 ANSYS Workbench 的教育版、Midas Civil Edu 版)提供了强大的补充。它可以高精度模拟难以在实体实验中观察或实现的物理现象(如塑性区扩展、复杂截面扭转应力分布、不同缺陷类型对屈曲模态的影响、地震波作用下的结构响应)；方便地进行参数化研究(如改变截面形状、材料属性、荷载大小方向，即时观察结果变化)；安全地模拟结构从弹性到屈服直至破坏的全过程；甚至进行大型复杂结构(如整个桥梁或建筑)的力学行为分析。虚拟仿真并非替代实体实验，而是与之形成互补：学生在实体实验中获得真实触感和对不确定性的认知，与虚拟仿真提供的可视化、可重复、可扩展的分析能力相结合，共同构建起对材料力学更全面、更深入的理解。

软件工具的合理辅助能有效提升教学效率和直观性。在理论教学中，引入 Matlab 或 Python 进行数值计算(如复杂积分、超越方程求解、优化问题)、数据处理(如实验数据拟合)和结果可视化(绘制复杂内力图、应力云图、变形动画)，能让学生从繁琐的手工计算中解放出来，聚焦于概念理解和结果分析。利用简易结构分析软件(如 Midas Civil Edu 版, SAP2000 Edu 版)进行杆系结构(桁架、刚架)的内力计算和变形演示，可以让学生快速验证手算结果，直观理解荷载传递路径、结构变形形态以及不同约束条件、不同截面特性对结构性能的影响，极大增强理论教学的直观性和趣味性。

现场教学与专家讲座是连接课堂与工程现场、弥合校园与职场鸿沟的重要桥梁。有目的地组织学生

参观在建的土木工程项目(观察梁、柱、板、基础等构件的实际施工过程、模板支撑体系、钢筋绑扎与混凝土浇筑),大型结构实验室(观看足尺或大比例构件如梁、柱、节点的破坏性加载试验),或已建成的代表性结构(如大型桥梁、体育馆、高层建筑),能提供最直接的感官认知,将课堂上的图纸、模型、公式与真实的工程实体联系起来,深化对结构体系、构件功能、施工工艺及潜在力学问题的理解。邀请经验丰富的设计院结构工程师、施工技术负责人、工程检测鉴定专家走进课堂,结合其亲身参与的典型项目(如一个复杂桥梁的设计挑战、一个事故工程的检测鉴定分析、一项新技术的应用难点),生动讲解材料力学知识在实际工程设计、施工控制、安全评估、事故分析中的具体应用场景、常见误区、经验教训和最新发展。这些来自工程一线的鲜活经验和深刻洞察,是校内理论教学无法替代的宝贵资源,能极大地激发学生的学习热情,明确学习目标,增强职业认同感。

3.4. 评价体系的改革: 导向能力与过程

传统的以期末笔试成绩定乾坤的评价模式,与工程化教育理念强调的能力培养和过程实践格格不入。评价体系需要进行革命性改革,其核心是建立多元化、过程化、能力导向的评价机制,使之成为推动教学改革指挥棒和衡量学生真实水平的标尺。

根本性变革在于考核结构的多元化。应当大幅降低期末一次性理论笔试成绩在总评中的权重(建议不超过 50%),同时显著提升过程性评价和能力性评价的比重(合计建议达到 50%)。这种结构性调整,向学生明确传递了重视平时学习投入、实践参与和能力养成的强烈信号,引导其学习行为从考前突击向全程参与、从死记硬背向能力提升转变。

过程性评价(约占总评 30%)关注学生在学习周期中的持续努力、实践参与度和阶段性成果质量。其核心载体包括:实验报告的质量评估(重点考察实验操作的规范性与安全性描述、原始数据记录的完整性与真实性、数据处理与误差分析的严谨性、结果曲线绘制的规范性、实验现象与力学原理关联分析的深度、结论的可靠性);项目报告/案例分析报告的质量评估(重点考察问题分析的深度与全面性、力学模型简化的合理性、理论计算与规范应用的准确性、方案设计/评估结论的可行性、报告结构的逻辑性、图表表达的清晰度、文字表述的规范性);以及学生在课堂研讨、小组项目协作中的参与度、贡献度、团队合作精神等表现。过程性评价要求教师投入更多精力进行持续地观察、记录和反馈。

能力性评价(约占总评 20%)旨在直接考察学生运用知识解决实际工程问题的核心能力,通常通过设置特定的、限时的实操任务进行。形式多样:实验操作技能现场考核(随机指定一个实验项目,要求学生独立或在小组内完成关键操作步骤,考察其仪器操作规范性、应变片粘贴技术、数据采集设置、安全操作意识等);小型设计任务或开放性案例分析现场答辩(给定一个简化但完整的工程问题,如设计一个简易雨棚支架、评估一个已有构件损伤照片的安全性,要求学生在限定时间内完成分析、计算、得出结论,并进行口头答辩,回答教师提问,考察其快速建模、计算、应用规范、工程判断和临场表达能力);软件应用能力上机操作考核(要求学生运用指定软件,如 Matlab/Python 或简易结构分析软件,完成特定的数值计算、数据处理、内力分析或结果可视化任务,考察其软件操作熟练度和解决实际问题的效率)。

期末考试本身也需进行内容改革,以服务于工程化目标。应显著减少偏重复杂数学推导和解题技巧的纯计算题比重。大幅增加综合性工程应用题的分量,这类题目应模拟真实的工程情境(如一个带悬臂的简支梁承受复杂荷载,一个同时受压弯的柱,一个考虑稳定性的支撑杆),要求学生完成从载荷分析、模型简化、内力计算、应力分析到强度/刚度/稳定性校核(可能涉及规范简单应用)的全过程分析。重点考察其知识综合应用能力、工程问题合理简化建模的能力、对计算结果工程意义的理解能力以及对核心规范条款背后力学原理的掌握程度。考试形式也可适当引入开卷(允许携带规范手册),更贴近工程实际工作场景。

综上所述, 工程化教育理念的实施路径构建是一个覆盖教学目标精准定位、教学内容深度整合、教学方法多元创新、教学评价科学改革的系统工程。这四个维度相互依存、相互促进: 目标重构是灵魂, 指引方向; 内容整合是载体, 提供养料; 方法创新是引擎, 驱动过程; 评价改革是保障, 检验成效。唯有进行这种全链条、多维度的协同变革, 才能真正将“工程化”理念从蓝图转化为现实, 使材料力学课程焕发新的生机, 切实肩负起培养新时代卓越土木工程师的基石重任。后续的保障措施与持续改进机制, 则是确保这一路径行稳致远的关键支撑。

4. 结论

材料力学作为土木工程专业的基石课程, 其教学改革对培养高素质应用型人才至关重要。本文提出的“工程化教育”理念及其实施路径, 旨在破解传统教学中理论与实践脱节的难题。通过重构教学目标、整合更新教学内容、创新教学方法(以项目驱动、案例教学、虚实实验为核心)、改革评价体系(注重过程与能力), 并强化师资、实践条件、资源和管理保障, 能够有效引导材料力学教学从“知识本位”转向“能力本位”。

该路径强调将真实的土木工程问题、材料行为、设计规范、现代技术融入教学全过程, 让学生在分析问题、动手实践、团队协作中深化对力学原理的理解, 培养核心的工程思维和实践能力。尽管面临学时、师资、资源等挑战, 但只要坚持以学生发展为中心, 持续投入与改进, 工程化教育必将显著提升土木工程专业材料力学课程的教学质量, 为学生后续专业学习和未来工程师职业生涯奠定坚实而富有活力的基础。未来的研究可进一步聚焦于不同层次高校的实施差异、更精细化的能力评价指标体系构建以及工程化教育与新工科、智能化趋势的融合等方面。

基金项目

本论文受西安建筑科技大学实践教学类项目“面向应用型人才培养的开放性实验教学的探索——以工程力学专业为例”(项目编号: YLZY1001S02); 西安建筑科技大学研究生教育改革研究项目“数理基础课支撑土木工程智能建造方向研究生培养模式创新与实践”(项目编号: ZHGG202408)共同资助。

参考文献

- [1] 刘闯. 强化互动学习的材料力学教学探讨[J]. 创新教育研究, 2021, 9(1): 200-203.
- [2] 王力东, 郝海霞, 彭旭龙, 等. “三高四新”背景下土木工程专业《材料力学》教学改革探索[J]. 创新创业理论与实践, 2022, 5(16): 8-10.
- [3] 满田囡, 张洪亮, 刘腾, 等. 工程教育专业认证背景下材料力学性能课程教学改革[J]. 中国现代教育装备, 2025(11): 75-77.
- [4] 张腾元, 王颖, 肖思友, 等. 地方应用型高校混合式教学模式探究——以材料力学课程为例[J]. 创新创业理论与实践, 2025, 8(10): 116-118.
- [5] 卢慧, 党小娟, 李艳利, 等. 案例教学法在应用型大学材料力学教学中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2025, 54(5): 223-225.
- [6] 李娜, 祝晓燕. 基于“教”“学”统一的材料力学课堂改革[J]. 社会科学前沿, 2017, 6(7): 855-859.
- [7] 李同杰, 张立勇, 缙瑞宾, 宛传平, 李忠芳. 运用工程案例讲解《材料力学》中的叠加原理[J]. 教育进展, 2022, 12(2): 410-414.
- [8] 全国文献工作标准化技术委员会第六分委员会. GB6447-S6 文摘编写规则[S]. 北京: 标准出版社, 1986.