

# 工程案例驱动与虚拟仿真融合的《材料力学》课程教学改革与实践

马鸣 朱瑾\* 杨莉 吴毓 徐雨丝

皖江工学院

DOI:10.32629/mef.v9i5.20637

**[摘要]**《材料力学》是土木工程类专业承接基础理论课程与专业核心课程的重要桥梁,具有理论性强、概念抽象、公式推导较多和工程应用面广等特点。传统教学中,学生容易停留在公式记忆和题型训练层面,对内力、应力、变形、强度、刚度、稳定性等核心概念的工程含义理解不够深入,知识迁移和综合应用能力培养不足。针对应用型本科高校土木类专业人才培养需求,本文结合皖江工学院《材料力学》课程教学实践,提出工程案例驱动与虚拟仿真融合的教学改革思路。通过建设典型工程案例库、引入有限元与虚拟仿真教学资源、优化“案例导入—理论建构—仿真验证—工程讨论—课后拓展”的课堂组织方式,并完善过程性评价机制,将抽象力学知识转化为可视化、情境化、应用化的教学内容。实践表明,该改革路径有助于提升学生对材料力学基本概念和工程应用场景的理解,增强学生分析和解决工程问题的能力,促进课程教学由“公式讲授型”向“工程应用型”和“能力培养型”转变,可为应用型本科高校力学类课程教学改革提供参考。

**[关键词]** 材料力学; 工程案例; 虚拟仿真; 教学改革; 应用型本科

**中图分类号:** G642.0 **文献标识码:** A

## Teaching Reform and Practice of Material Mechanics Based on Engineering Case-Driven Teaching and Virtual Simulation Integration

Ming Ma Jin Zhu\* Li Yang Yu Wu Yusi Xu

Wanjiang University of Technology

**[Abstract]** Material Mechanics is an important bridge between basic theoretical courses and professional core courses for civil engineering-related majors. It is characterized by strong theoretical logic, abstract concepts, numerous formula derivations and wide engineering applications. In traditional teaching, students tend to focus on formula memorization and problem-solving training, while their understanding of the engineering meanings of internal force, stress, deformation, strength, stiffness and stability is not sufficiently deep, and their ability of knowledge transfer and comprehensive application remains inadequate. To meet the talent training requirements of application-oriented undergraduate universities, this paper proposes a teaching reform approach integrating engineering case-driven teaching and virtual simulation based on the teaching practice of Material Mechanics at Wanjiang University of Technology. By constructing typical engineering case resources, introducing finite element and virtual simulation teaching materials, optimizing the classroom organization process of “case introduction-theoretical construction-simulation verification-engineering discussion-after-class extension”, and improving the process-based evaluation mechanism, abstract mechanics knowledge is transformed into visualized, contextualized and application-oriented teaching content. The practice shows that this reform approach helps students better understand the basic concepts and engineering application scenarios of Material Mechanics, enhances their ability to analyze and solve engineering problems, and promotes the transformation of course teaching from formula-based instruction to engineering application-oriented and ability-oriented training. It can provide a reference for the teaching reform of mechanics courses in application-oriented undergraduate universities.

[Key words] Material Mechanics; engineering cases; virtual simulation; teaching reform; application-oriented undergraduate education

## 引言

《材料力学》是土木工程、工程管理、道路桥梁与渡河工程等相关专业的重要专业基础课程,其教学内容直接服务于结构设计原理、混凝土结构、钢结构、基础工程、工程抗震等后续课程学习,也影响学生毕业设计、工程软件应用和职业岗位适应能力。对土木类专业学生而言,材料力学不仅是一门计算课程,更是一门帮助学生建立工程受力分析思维、理解构件安全储备和认识结构失效机理的基础课程。学生能否真正理解“力—变形—破坏”之间的关系,直接关系到其后续专业学习的深度和工程实践能力的形成。

随着土木建筑行业数字化、智能化和精细化设计水平不断提高,传统以板书推导、例题讲解和课后作业为主的材料力学教学方式,已经难以完全满足应用型本科人才培养要求。一方面,课程中轴向拉压、剪切、扭转、弯曲、组合变形、压杆稳定等知识点具有较强的逻辑性和连续性,如果学生前期概念掌握不牢,后续学习容易出现“会套公式但不会建模、会计算截面应力但不会判断工程意义”的问题。另一方面,土木工程专业学生未来面对的是梁、板、柱、基础、支护结构、桥梁构件等真实工程对象,如果课堂教学缺少工程背景,学生对知识价值的感知不足,学习兴趣和主动性也会受到影响。

近年来,虚拟仿真、有限元可视化、工程案例教学和混合式教学等方法逐渐进入力学课程改革实践。相关研究表明,将虚拟仿真实验、工程案例和形成性评价融入力学教学,有助于提升学生对抽象概念的理解水平和工程创新能力。对于应用型本科高校而言,课程改革不能停留在单纯增加教学工具或展示软件界面,而应围绕人才培养目标,形成“知识讲授、案例分析、仿真验证、能力评价”相互支撑的教学体系。基于此,本文结合皖江工学院土木类专业《材料力学》课程教学实际,探索工程案例驱动与虚拟仿真融合的课程改革路径,以期提高课程教学质量,增强学生工程分析能力和实践创新意识。

## 1 《材料力学》课程教学中存在的主要问题

### 1.1 理论内容抽象,学生概念理解难度较大

《材料力学》涉及内力、应力、应变、截面几何性质、强度理论、变形协调、稳定性等基础概念,这些内容既有严密的数学推导,又有明确的工程指向。传统课堂中,教师往往按照教材章节顺序进行公式推导和例题讲解,学生能够通过模仿完成常规计算题,但对公式背后的力学含义、适用条件和工程边界认识不足。例如,在弯曲正应力公式教学中,部分学生只关注计算结果,容易忽视平截面假定、弹性范围、截面惯性矩与梁截面抗弯能力之间的联系;在压杆稳定教学中,部分学生能够代入欧拉公式,却难以理解长细比、约束条件和失稳破坏模式之间的内在关系。概念理解不深导致学生在面对综合性工程问题时,容易出现分析思路不清、受力模型建立不准确等问题。

### 1.2 工程案例融入不足,知识应用场景不够清晰

材料力学课程具有鲜明的工程属性,但在实际教学中,工程案例往往被作为课堂补充材料零散呈现,没有形成系统化案例库。部分章节仍以抽象杆件、理想支座和标准荷载为主要对象,学生虽然能够完成教材例题,却难以将所学知识 with 房屋梁柱、脚手架构件、桥梁杆件、楼梯平台梁、吊装构件、边坡支护结构等真实工程对象联系起来。特别是在应用型本科教学中,学生更需要通过真实或近真实案例理解力学知识的用途。若课程缺少工程情境,学生容易将材料力学理解为“数学化计算课程”,而不是服务工程安全和结构设计的基础课程。

### 1.3 教学手段相对单一,可视化和互动性不足

材料力学中的应力分布、变形协调、失稳过程和破坏形态具有较强的空间性和过程性,仅依靠板书和静态图片难以充分呈现。例如,梁在不同支承和荷载条件下的变形差异、圆轴扭转时横截面切应力分布、构件组合变形时危险点的确定、压杆从稳定平衡到失稳破坏的过程,都需要借助图形化和动态化手段加深理解。如果课堂缺乏仿真演示和学生参与,学生往往只能被动接受知识,难以形成主动探究意识。当前部分学生对数字化工具接受度较高,如果课程教学仍以单向讲授为主,就难以充分调动学生学习积极性。

### 1.4 考核方式偏重结果,对过程能力评价不足

传统材料力学考核通常以期末闭卷考试为主,平时成绩多由作业、考勤和课堂表现构成。这种方式有利于检验学生对基本公式和常规计算方法的掌握情况,但对工程问题分析、案例表达、仿真验证、团队协作和反思改进等能力评价不足。部分学生在考试前集中复习、机械记忆公式,短期内能够完成计算题,却难以在后续课程和毕业设计中灵活运用。应用型本科高校强调学生工程实践能力和解决复杂问题能力培养,材料力学课程评价体系也应从单一结果评价转向过程评价与能力评价并重。

## 2 工程案例驱动与虚拟仿真融合的改革目标与总体思路

### 2.1 改革目标

本课程改革围绕土木类应用型人才培养要求,以提高学生力学概念理解能力、工程问题分析能力和实践创新意识为目标,推动课程从“知识传授为主”向“知识、能力、素养协同培养”转变。具体而言,一是帮助学生建立从工程构件到力学模型、从受力分析到强度刚度校核、从计算结果到工程判断的基本思维;二是通过工程案例和虚拟仿真提高抽象知识的可视化程度,降低学习难度;三是引导学生将材料力学知识与结构设计、工程软件、毕业设计和学科竞赛相衔接,增强课程学习的持续价值;四是完善过程性考核,促进学生从被动完成作业转向主动分析问题和表达成果。

## 2.2 总体思路

改革总体思路可概括为“工程案例驱动、虚拟仿真支撑、课堂教学融合、过程评价贯通”。工程案例驱动是指围绕课程关键知识点,选择与土木工程密切相关的典型构件和工程现象作为教学切入点,让学生带着问题学习理论。虚拟仿真支撑是指利用有限元分析、结构变形云图、应力分布图、失稳动画和工程破坏图片等资源,将抽象力学过程转化为可观察、可比较、可讨论的教学对象。课堂教学融合是指在教学组织中形成“案例导入—理论建构—仿真验证—工程讨论—课后拓展”的闭环,使案例、理论和仿真不是彼此割裂的环节,而是共同服务于知识理解和能力训练。过程评价贯通是指将课堂参与、案例分析、仿真作业、阶段测验和综合应用任务纳入课程评价,提升学生全过程学习投入。

## 2.3 改革原则

在实施过程中,应坚持三个原则。第一,坚持课程基础性与工程应用性统一。材料力学不能削弱基本理论和基本计算训练,但理论教学应服务工程理解,避免单纯公式化。第二,坚持虚拟仿真与课堂教学深度融合。虚拟仿真不是为了追求形式新颖,而应服务于重难点突破、工程情境创设和学生思维训练。第三,坚持教学改革与学校实际条件相适应。应用型本科高校在软件、设备和课时方面可能存在一定限制,因此改革应以可操作、可推广、可持续为导向,优先建设教师能够长期使用、学生能够有效参与的教学资源。

# 3 课程教学改革的具体实施路径

## 3.1 建设典型工程案例库,增强课程内容的工程指向性

案例库建设是工程案例驱动教学的基础。结合《材料力学》课程章节内容,可将案例分为基础构件案例、真实工程案例和拓展创新案例三个层次。基础构件案例主要服务于课程核心知识点,如轴向拉压中的拉杆与立柱、剪切挤压中的螺栓连接、扭转中的传动轴、弯曲中的简支梁和悬臂梁、组合变形中的偏心受压柱、压杆稳定中的细长受压杆。真实工程案例则结合土木工程实际,引入楼板次梁、雨棚悬挑构件、桥梁横梁、脚手架立杆、基坑支护钢支撑、门式刚架柱脚等对象,引导学生理解力学模型如何来源于工程结构。拓展创新案例可围绕结构轻量化、构件破坏事故、绿色建筑构件受力、装配式节点连接等内容开展讨论,帮助学生认识材料力学与行业发展的联系。

在案例选取时,应避免案例过大、过难、过杂。课堂案例不宜直接搬入完整工程设计,而应突出一个核心力学问题。例如,在讲解弯曲内力时,可选择教学楼走廊梁作为案例,引导学生识别支座、荷载和控制截面;在讲解截面惯性矩时,可比较矩形梁、工字形梁和箱形梁的抗弯效率,使学生理解截面形式优化的工程意义;在讲解压杆稳定时,可结合脚手架立杆和临时支撑失稳事故,说明稳定性破坏往往具有突发性和危险性。通过这种方式,学生能够在熟悉的工程场景中理解抽象理论,增强学习的目的性。

## 3.2 引入有限元与虚拟仿真资源,提升抽象知识可视化水平

虚拟仿真教学资源可围绕课程重点和难点分层建设。第一层为教师演示型资源,主要用于课堂讲解。例如,在讲授弯曲变形时,教师可展示不同荷载和支座条件下梁的变形云图,引导学生观察最大挠度位置与受力边界的关系;在讲授应力状态和强度理论时,可展示危险点单元体和主应力变化过程,帮助学生建立空间应力概念;在讲授压杆稳定时,可通过仿真动画展示构件从轴心受压到侧向弯曲失稳的过程。第二层为学生操作型资源,主要用于课后作业和实践训练。教师可提供简化模型和操作步骤,让学生调整截面尺寸、材料参数、约束条件或荷载大小,比较仿真结果与理论计算结果的差异。第三层为拓展研究型资源,主要面向学习能力较强的学生和毕业设计、学科竞赛团队,引导其尝试复杂构件建模、参数化分析和结果解释。

在实施中,可充分利用ANSYS、Midas、PKPM、盈建科、Revit 结构分析插件或其他有限元教学工具,但不宜把软件操作本身作为课程核心。材料力学课程引入仿真,重点应放在“用仿真看懂力学规律”,而不是让学生完成复杂软件建模。教师可将仿真结果转化为课堂图像资源和短视频资源,围绕“理论公式预测了什么、仿真结果呈现了什么、两者为何一致或存在差异”组织讨论。通过理论计算与仿真结果对照,学生不仅能看到构件变形和应力分布,还能理解公式适用条件、简化假设和工程安全系数的重要性。

## 3.3 优化课堂教学组织,形成“案例—理论—仿真—应用”闭环

课堂组织是课程改革能否落地的关键。以“梁的弯曲正应力”为例,传统教学通常从纯弯曲假设、平截面假定和公式推导入手,学生容易感到抽象。改革后可先以教学楼走廊梁或桥梁简支梁作为案例,提出“同一根梁为什么上下边缘更容易开裂”“改变截面高度为什么比单纯增加宽度更有效”等问题,引出弯曲正应力分布。随后通过理论推导建立应力计算公式,再展示有限元应力云图,让学生观察中性轴附近应力较小、上下边缘应力较大的规律。最后组织学生讨论工程中为何常采用工字形梁、箱形梁或T形梁,以及混凝土梁中受拉钢筋为何布置在受拉区。这样,理论知识、工程案例和仿真结果能够形成相互印证的教学闭环。

再如,在“压杆稳定”教学中,可先展示脚手架、模板支撑或钢结构细长柱失稳的图片,引导学生认识稳定性问题与强度问题的区别。随后讲解欧拉公式、长度因数和临界力的基本含义,再通过虚拟仿真比较两端铰支、一端固定一端自由、两端固定等约束条件下压杆失稳形态和临界荷载差异。课堂讨论可进一步延伸到施工现场支撑体系搭设、构件长细比控制和工程安全管理。通过这种组织方式,学生不仅掌握公式,还能理解公式背后的工程风险。

## 3.4 推进课内外衔接,拓展学生实践与创新训练空间

材料力学课程改革不能局限于课堂45分钟,还应与课后学习、毕业设计、学科竞赛和创新训练项目衔接。课后可设置小型案例分析任务,如“某悬挑雨棚根部弯矩与最大拉应力分析”

“不同截面形式梁抗弯能力比较”“脚手架立杆稳定性影响因素分析”等,让学生以小组形式完成简化计算、仿真验证和结果说明。对于基础较好的学生,可引导其将课程知识应用到结构设计竞赛、BIM建模竞赛、大学生创新创业项目和毕业设计中,使材料力学从单门课程学习延伸为专业能力培养的基础支撑。

在实践教学中,还可以组织学生围绕身边工程构件开展观察和分析。例如,学生可拍摄校园建筑中的梁、柱、楼梯、栏杆、雨棚、挡墙等构件,尝试判断其主要受力形式,并用材料力学知识解释可能的控制因素。这种“身边工程问题”具有较强的亲近感,有助于提升学生发现问题和主动学习的意识。同时,教师可在学习通或课程平台建立案例资源库,持续积累学生优秀作业、仿真图片和工程问题分析报告,逐步形成可迭代的课程资源。

### 3.5完善过程性考核机制,强化能力导向评价

考核改革应服务于教学目标转变。建议将课程成绩划分为平时学习、案例作业、仿真实践、阶段测验和期末考试等部分。其中,平时学习主要考查课堂参与、线上资源学习和基本作业完成情况;案例作业重点考查学生从工程问题中提取力学模型、进行受力和表达工程判断的能力;仿真实践重点考查学生理解仿真结果、比较理论计算与数值分析差异的能力;阶段测验用于督促学生及时掌握基础知识;期末考试仍应保留必要的基本概念和计算能力考查。通过多元评价,可避免学生只在期末突击复习,促进其在整个学期持续投入。

过程性考核还应注重评价标准的明确性。以案例分析报告为例,可从问题描述、模型简化、计算过程、仿真验证、结果讨论和文字表达六个方面设置评分点。以仿真作业为例,不应只看软件截图是否完整,更要看学生能否说明边界条件、荷载设置、结果含义和误差来源。通过评价导向调整,学生会更加关注分析过程和工程解释,而不是简单追求计算答案。

## 4 教学改革成效分析

### 4.1学生课程理解能力有所提升

工程案例和虚拟仿真融入课堂后,学生对材料力学核心概念的理解更具直观性。通过变形云图、应力分布图和失稳动画,学生能够把教材中的公式与构件真实受力状态联系起来,对“为什么这样计算”“计算结果说明什么”“工程上如何利用这一结论”等问题形成更清晰认识。课堂提问和作业反馈显示,学生在解释弯曲应力分布、截面惯性矩作用、压杆稳定影响因素等内容时,能够更多使用工程语言进行说明,表明其学习方式正在从机械记忆向理解应用转变。

### 4.2工程问题分析能力得到增强

通过案例库建设和案例作业训练,学生逐步形成从工程构件到力学模型的思考习惯。过去学生面对实际构件时常常不知道如何下手,改革后能够尝试识别构件约束、荷载类型、危险截面和主要控制指标。例如,在分析悬挑构件时,学生能够主动关注固定端弯矩和根部应力;在分析受压杆件时,能够意识到稳定性可能比强度更先控制;在比较不同截面梁时,能够从截面惯性

矩和材料利用效率角度进行解释。这些变化说明课程改革对学生工程思维培养具有积极作用。

### 4.3学生学习主动性和课堂参与度提高

传统教学中,材料力学容易被学生认为“难、枯燥、离工程较远”。工程案例和仿真资源的加入,使课堂问题更接近学生专业背景,增强了课堂讨论的开放性。学生在观看工程破坏案例、比较不同仿真结果和完成小组案例任务时,参与度明显提高。部分学生还会主动提出与毕业设计、工程软件或施工现场有关的问题,说明课程内容与专业学习之间的联系被进一步激活。对于应用型本科学生而言,这种学习兴趣和参与意识的提升,是后续能力培养的重要基础。

### 4.4教师课程建设与教学改革能力同步提升

课程改革也促进了教师教学能力提升。教师在准备工程案例、制作仿真资源和设计过程性考核任务的过程中,需要不断梳理课程知识结构,更新工程案例素材,提升软件应用和教学设计能力。同时,案例库和仿真资源具有可积累、可共享、可迭代的特点,有利于课程团队建设。随着资源逐步完善,《材料力学》课程可进一步与结构设计原理、建筑结构计算软件应用、毕业设计等课程形成衔接,推动土木类专业实践教学体系整体优化。

## 5 存在不足与改进方向

### 5.1虚拟仿真教学资源仍需进一步丰富

目前虚拟仿真资源主要围绕课程重点章节和典型构件展开,资源数量和系统性仍有提升空间。后续应根据课程大纲和学生学习难点,进一步完善轴向拉压、扭转、弯曲、组合变形、应力状态、压杆稳定等模块的仿真资源,逐步形成覆盖主要章节的教学资源库。同时,应注意资源难度分层,既要有便于课堂快速展示的基础资源,也要有适合学生课后自主探究的拓展资源。

### 5.2工程案例与真实项目结合深度仍需加强

当前案例多以典型构件和简化工程情境为主,虽然有利于课堂教学,但与真实工程项目全过程联系还不够紧密。后续可结合学校服务地方、校企合作项目和教师科研实践,选取若干具有代表性的本地工程或校园工程案例,提炼其中的力学问题,用于课堂教学和课程作业。这样既能提升案例真实性,也能体现应用型本科高校服务地方和产教融合的办学特色。

### 5.3课程评价体系仍需进一步量化完善

过程性考核能够引导学生重视学习过程,但在评价标准细化、不同任务权重设置和学生能力提升量化方面仍需改进。后续可结合课程目标达成度评价,建立更具体的指标体系,如概念理解、模型简化、计算能力、仿真解释、工程表达和团队协作等维度,并通过前后测、问卷调查、作业质量分析等方式持续跟踪改革效果,为课程改进提供数据支撑。

## 6 结束语

工程案例驱动与虚拟仿真融合,是应用型本科高校《材料力学》课程教学改革的有效路径。该模式以工程问题为牵引,以力

学理论为主线,以虚拟仿真为支撑,以能力培养为目标,能够在不削弱课程基础性的前提下,增强课程内容的工程性、可视化和实践性。通过建设典型工程案例库、引入有限元与虚拟仿真资源、优化课堂教学组织、推进课内外衔接和完善过程性评价,材料力学课程可以更好地服务土木类专业学生工程思维、实践能力和创新意识培养。

从皖江工学院土木类专业教学实践看,该改革有助于改善学生对抽象力学概念理解不足、工程应用意识不强和学习主动性不高等问题,推动课程教学由单纯知识讲授向工程应用和能力的培养转变。后续应进一步加强课程资源建设、真实工程案例融入和教学效果评价,形成更具持续性和推广价值的课程改革成果,为应用型本科高校土木类专业力学课程建设提供有益参考。

(1)安徽省教育厅科研项目《绿色屋顶覆土层热工性能研究》,项目编号:2025AHGXZK20096。

(2)马鞍山市科技计划项目《风电和生态工程用多源固废胶结材料研发》,项目编号:STHB202503。

(3)皖江工学院2026年校级质量工程项目《材料力学》AI+教育(智慧)课程建设。

### [参考文献]

[1]韩铁林,马凯,胡义锋,等.新工科背景下材料力学课程教学改革与实践[J].力学与实践,2024,46(5):1096-1107.

[2]黄涛,胡佳恒,付佩.虚拟仿真实验在材料力学课程教学改革中的应用研究[J].实验科学与技术,2022,20(1):34-38,44.

[3]郝鹏,王博,姜田田,等.新工科背景下的材料力学虚拟实验仿真范例库建设[J].力学与实践,2023,45(2):443-453.

[4]刘德军,左建平,周宏伟,等.OBE理念下的材料力学教学方法改革与实践[J].力学与实践,2021,43(1):112-119.

[5]范钦珊,殷雅俊,唐静静,等.改革教学,创新教学——“材料力学”课程教学改革实践与体会[J].力学与实践,2018,40(5):543-549.

### 作者简介:

马鸣(1979—),男,安徽淮北人,高级工程师,博士研究生,研究方向为绿色建筑、绿色屋顶热工性能与土木工程教育教学改革。

### \*通讯作者:

朱瑾(1988—),女,内蒙古赤峰人,副教授,研究方向为环境岩土工程、结构抗震。