

# 结构力学线上线下混合式教学模式的创新实践与成效分析

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14日; 录用日期: 2025年8月13日; 发布日期: 2025年8月22日

## 摘要

针对结构力学课程理论性强、概念抽象、计算复杂, 传统单一课堂讲授模式难以满足现代工程教育需求的问题, 本研究深度融合现代信息技术, 创新性地构建了“线上资源自主奠基 + 线下课堂深度内化 + 虚实结合实践强化”的三阶递进式线上线下混合教学模式。通过系统建设微课视频、BIM动态演示、交互式仿真实验等线上资源, 实施基于问题导向的翻转课堂、小组协作建模分析等线下教学活动, 并融入虚拟仿真实验平台进行结构行为探究。实践表明, 该模式显著提升了学生的知识掌握水平、空间思维能力、工程实践能力及自主学习积极性, 有效解决了教学痛点, 为工科核心课程的混合式教学改革提供了可借鉴的范式。

## 关键词

结构力学, 混合式教学, 线上线下融合, 教学模式创新

## Innovative Practice and Effectiveness Analysis of an Online-Offline Blended Teaching Model for Structural Mechanics

Baoshi Wang\*, Shuwen Cao

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

Received: Jul. 14<sup>th</sup>, 2025; accepted: Aug. 13<sup>th</sup>, 2025; published: Aug. 22<sup>nd</sup>, 2025

## Abstract

To address the challenges in structural mechanics courses—characterized by strong theoretical

\*通讯作者。

文章引用: 王保实, 曹书文. 结构力学线上线下混合式教学模式的创新实践与成效分析[J]. 教育进展, 2025, 15(8): 1312-1322. DOI: 10.12677/ae.2025.1581580

foundations, abstract concepts, and complex calculations—where traditional single-mode lecture-based teaching falls short of meeting modern engineering education demands, this study deeply integrates modern information technology. It innovatively establishes a three-phase progressive online-offline blended teaching model: “Self-paced Online Foundation Building + In-depth Classroom Internalization + Virtual-Physical Integration for Practice Reinforcement.” Through systematically developing online resources such as micro-lecture videos, BIM dynamic demonstrations, and interactive simulation experiments, while implementing offline activities including problem-based flipped classrooms and group collaborative modeling analysis, the model further incorporates virtual simulation platforms for structural behavior exploration. Practice demonstrates that this approach significantly enhances students’ knowledge mastery, spatial thinking ability, engineering practice skills, and self-directed learning motivation, effectively resolving key instructional challenges. This provides an actionable paradigm for blended teaching reform in core engineering courses.

## Keywords

Structural Mechanics, Blended Teaching, Online-Offline Integration, Teaching Model Innovation

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

结构力学是土木工程、水利工程、机械工程、工程力学等专业的核心基础课程, 肩负着培养学生结构分析计算能力、建立力学模型能力以及解决复杂工程问题能力的重任[1], 其教学内容涵盖结构几何组成分析、静定结构内力计算、结构位移计算、力法、位移法、矩阵位移法、结构动力分析基础等, 具有理论体系严谨、概念抽象、公式推导复杂、对空间想象力和逻辑思维能力要求高等显著特点。长期以来, 该课程主要采用“教师课堂讲授 + 课后习题练习”的传统教学模式。这种模式在系统传授知识方面具有一定优势, 但也日益暴露出诸多局限: 课堂时间有限, 难以深入展开复杂结构的空间行为演示和工程案例剖析; 学生被动接受知识, 缺乏主动探究和深度思考的动力; 抽象概念(如影响线、弯矩分配、动力特性)难以直观理解; 习题训练往往偏重计算技巧, 与真实工程情境结合不够紧密, 导致学生“学得累、理解难、应用弱”。

信息技术的迅猛发展, 特别是移动互联网、多媒体技术、虚拟仿真[2]、建筑信息模型(BIM)等的普及, 为高等教育教学模式的深刻变革提供了强大的技术支撑。线上线下混合式教学(Blended Learning)融合了线上学习的灵活自主性与线下教学的互动深度性, 成为突破传统课堂局限、提升教学质量的有效途径[3]。它强调以学生为中心, 重构教学流程, 优化教学资源配置, 实现个性化学习和深度学习。

本研究立足于结构力学的课程特点和当前教学痛点, 顺应教育信息化发展趋势, 提出并实践了一套创新的线上线下混合式教学模式。该模式旨在通过精心设计的线上资源与互动、线下深度研讨与实践, 以及虚实结合的强化训练, 构建多维立体的学习环境, 有效激发学生学习兴趣, 深化概念理解, 提升工程实践能力和创新能力, 并对其实施效果进行系统分析与评估。

## 2. 混合式教学模式构建的理论基础与设计原则

混合式教学模式的构建绝非技术手段的简单叠加, 而是植根于坚实的学习科学理论, 并遵循特定教

育原则的系统性创新。本章将深入阐述支撑结构力学线上线下混合式教学模式的核心理论基础及其指导下的关键设计原则, 为后续实践框架的建立提供学理依据和行动纲领。

## 2.1. 多维学习理论的协同支撑

本模式融合了四种相互关联、优势互补的学习理论, 共同构筑其思想根基。

1) **建构主义学习理论的核心在于知识建构的主动性。**该理论强调, 学习并非知识的被动接收, 而是学习者在已有经验基础上, 通过与环境的互动(社会协商、工具运用), 主动建构新知识意义的过程。情境、协作、会话和意义建构是其核心要素。在混合式模式中, 线上资源(如微课、BIM 动态模型、交互式仿真)为学习者提供了丰富的情境锚点和认知工具, 激发其主动探索结构力学的基本概念与原理。线下深度内化活动(如基于问题导向的翻转课堂讨论、小组协作的结构建模与分析)则精心创设了协作与会话的真实环境(模拟工程师团队解决实际结构问题), 引导学生在互动交流、观点碰撞中, 共同完成对抽象力学概念(如超静定结构内力重分布机制)和复杂工程问题解决方案的深度意义建构。教师的角色随之转变为意义建构的促进者和高阶思维的引导者。

2) **掌握学习理论聚焦于核心目标的普遍达成。**该理论坚信, 在给予充分的学习时间和恰当的教学支持条件下, 绝大多数学生都能达到对规定学习内容的掌握水平。清晰的学习目标、及时的形成性反馈和差异化的学习支持是实现这一点的关键。混合式模式充分利用线上平台的灵活性: 线上自定步调学习(可重复观看的微课、即时反馈的自适应练习题、详细的错题解析和精准的补救资源链接)允许学生根据自身理解程度, 反复学习基础理论(如静定结构内力图绘制规则、图乘法应用), 并通过练习反馈不断调整, 直至达到预设的掌握标准(如章节测验 80% 的正确率门槛)。线下课堂则基于线上学习数据分析(如错误集中点、讨论热点), 将宝贵时间聚焦于阻碍学生“掌握”的共性难点(如位移法典型方程的建立逻辑、动力特性参数的物理意义), 通过教师精讲、深度研讨和同伴互助, 提供精准的教学干预, 确保所有学生都能跨越关键障碍, 达成对核心知识点的实质性掌握。

3) **深度学习理论旨在超越浅层认知。**该理论关注学习者能否超越对知识的简单记忆和复述, 达到深刻理解、批判性思考、知识迁移、解决复杂问题乃至创新的层次。它强调主动学习、知识整合、元认知反思以及与真实世界的联结。混合式模式通过结构设计促进深度学习: 线上奠基阶段主要解决基础知识和低阶认知目标(记忆、理解), 为线下腾出空间; 线下深度内化阶段则全力驱动高阶认知活动, 引导学生进行分析(如比较力法与位移法在不同结构类型中的适用性与效率)、综合(如将恒载、活载、风荷载效应组合应用于结构安全性评估)、评价(如评判不同结构设计方案的力学性能与经济性的优劣)、创造(如设计并优化满足特定功能要求的结构模型)。通过挑战性的真实或模拟工程问题、深入的案例研讨和项目实践, 促使学生洞察力学原理的本质(如虚功原理的普适性与深刻内涵)、理解其工程意蕴(如结构安全、适用与经济性的多维平衡), 并能在新异情境中实现知识的有效迁移与应用(如分析未曾见过的复杂结构体系), 最终达成深度学习的目标。

4) **联通主义学习理论回应信息时代的挑战。**该理论认为, 在知识快速更新迭代、信息海量涌现的时代, 学习不仅发生于个体内部, 更广泛存在于个体所处的各种连接网络(人际网络、信息网络、技术网络)之中。知识流动并驻留于这些连接节点上, “知道在哪里”和“知道谁”变得与“知道什么”同等甚至更为重要。混合式模式积极构建和利用连接: 线上平台(学习社区、讨论区、资源共享库)构建了异步交流的网络, 促进学生之间、师生之间的跨时空互动、资源共享和观点碰撞。线下课堂则强化面对面的即时协作、深度讨论和思想交锋, 形成更具活力的知识交换与共创场域。这种线上线下的连接融合, 共同编织了一张动态、开放的知识网络, 使学生能够有效接入、筛选、整合和创造与结构力学相关的知识流, 适应工程知识的快速演变。

## 2.2. 指导实践的核心设计原则

基于上述理论, 本混合式教学模式的确立与实施严格遵循以下核心设计原则。

**1) 学生中心原则:** 这是统领所有教学活动的根本原则。教学设计的出发点与落脚点均在于促进学生有效学习、深度理解和发展关键能力(分析、建模、应用、创新)。赋予学生在学习路径(如选择学习资源顺序)、学习节奏(如重复观看微课次数)、学习方式(如参与特定讨论主题或小组项目)上更大的自主权和选择权, 激发其学习内驱力。

**2) 目标导向原则:** 所有教学环节的设计紧密锚定结构力学课程的核心能力培养目标——深刻理解力学概念、熟练进行结构计算分析、具备抽象建立力学模型的能力、最终应用于解决实际工程问题。清晰界定线上与线下各自承担的功能边界: 线上侧重基础知识传授、概念初步理解与基础技能自动化; 线下聚焦概念深化、高阶思维训练、复杂问题解决与工程实践能力培养。二者功能互补, 共同服务于整体教学目标。

**3) 交互深化原则:** 强调学习过程中多层次、高质量的交互对于深理解、激发思维的关键作用。这包括线上人机交互(如操作虚拟仿真实验参数观察结构响应变化、使用交互式工具进行结构建模尝试)、线上人人交互(在讨论区围绕引导性问题进行异步交流、答疑解惑、观点争鸣)、以及线下师生/生生交互(课堂深度研讨、小组协作解决问题、即时反馈与指导)。通过精心设计的交互活动, 促进知识内化、思维碰撞和能力提升。

**4) 虚实融合原则:** 充分利用现代信息技术, 特别是建筑信息模型(BIM)的可视化能力和虚拟仿真(VR/AR)技术的沉浸式、交互式优势, 将结构力学中高度抽象的概念(如内力分布、变形形态、失稳过程、动力响应)和复杂的结构行为(如大跨度桥梁在移动荷载下的响应、高层建筑在地震作用下的破坏模式)进行具象化、动态化、可操作化的呈现。这种虚实融合, 有效弥合了传统理论教学与真实工程实践之间的鸿沟, 极大降低了学生的认知负荷, 提升了空间想象力和对结构整体性能的理解。

**5) 数据驱动原则:** 充分利用学习管理平台(LMS)等工具, 全面、持续地记录和分析学生的学习行为数据(如视频观看时长与完成度、章节测验成绩及错题分布、参与讨论的频率与质量、虚拟实验操作日志)。这些数据为教师提供了客观依据, 用于实现精准化教学干预(如识别学习困难学生并提供个性化辅导资源、调整线下课堂讨论重点)、动态优化教学策略(如根据普遍错误点补充微课内容、调整习题难度分布)以及实施科学的过程性评价(如更全面地评估学生的学习投入度、进步情况和能力发展), 使教学决策更加科学、有效。

这些理论基础与设计原则相互关联、彼此支撑, 共同构成了结构力学线上线下混合式教学模式创新实践的靈魂与骨架, 确保其改革方向符合教育规律, 并具备可操作性和实效性。

## 3. 结构力学线上线下混合式教学模式的创新实践

基于建构主义、掌握学习、深度学习及联通主义等理论指导, 并严格遵循学生中心、目标导向等核心设计原则, 本研究构建并实施了“线上自主奠基-线下深度内化-虚实结合强化”的三阶递进式混合教学模式。该模式通过系统化的资源建设与活动设计, 重构教学流程, 实现知识传授、能力培养与价值引领的深度融合。

### 3.1. 线上自主奠基: 构建灵活高效的认知起点

线上学习阶段的核心目标是利用信息技术优势, 为学生提供自主探究、按需学习的资源与环境, 奠定坚实的理论基础并激发学习主动性。

**1) 精细化知识呈现与深度可视化:** 针对结构力学的核心难点(如内力图绘制、影响线应用、超静定结

构解法、稳定性与动力特性), 精心设计并录制了系列精炼微课(10~15分钟)。微课强调直观性与情境化: 运用丰富的二维/三维动画清晰展示荷载传递路径、结构变形过程、内力分布的动态变化(例如, 通过动态演示揭示弯矩图“凹凸性”与荷载分布的内在联系); 紧密结合典型工程实例(如以桥梁过度挠度问题引出位移计算的重要性)阐述知识的应用价值。创新性地引入建筑信息模型(BIM)技术, 利用 Revit 等软件建立典型结构(简支梁、刚架、桁架、拱、排架)的参数化模型库并集成至线上平台。学生可自由旋转、缩放、剖切模型, 关键突破在于动态同步展示荷载施加过程与结构响应。例如, 实时可视化移动荷载作用下简支梁弯矩图、剪力图随荷载位置变化的完整过程; 清晰呈现框架结构在水平荷载下的侧移形态与弯矩分布特征, 将抽象的“D 值法”概念具象化, 极大提升了学生的空间想象力和对结构整体行为的把握能力。对于关键公式推导(如图乘法、转角位移方程)和典型例题, 设计交互式学习模块, 学生可点击查看每一步骤的详细说明、依据及常见陷阱辨析, 深化理解过程。

**2) 智能化训练与即时学习反馈:** 建设覆盖多维度(基础概念辨析、典型计算、综合应用、工程案例分析)、多层次(基础-提高-挑战)的自适应题库系统。系统依据学生的前置测验表现及历史练习记录, 智能推送难度适中的个性化题目, 实现精准训练。客观题(选择、判断)实现即时自动批改。对于主观题(内力图绘制、计算题), 提供详细的解题步骤模板、评分点说明, 系统能对错题进行智能归因分析(如识别出“概念混淆”、“公式误用”或“计算失误”), 并自动推送针对性的巩固练习或关联微课链接, 形成“学习-练习-反馈-补救”的闭环。

**3) 激发深度思考的异步交互社区:** 在线上平台设立结构化讨论区, 围绕每周核心学习主题设置引导性问题, 例如: “如何辩证理解超静定结构中‘多余约束’的相对性?”、“力法与位移法在刚架分析中的适用场景与优劣势对比?”、“从结构力学角度剖析某著名工程事故(如塔科马海峡大桥风毁)的可能成因?”。鼓励学生发表见解、解答疑问、进行批判性互评, 教师角色转变为讨论的引导者、催化者和关键观点的总结提炼者。同时, 建立典型案例库, 收录历史著名结构失效事件和优秀工程案例, 引导学生运用所学力学知识进行初步分析, 培养工程责任感与安全意识。

**4) 虚拟仿真实验预演:** 提供基础性虚拟实验模块(如简支梁静载实验仿真、单自由度体系自由振动仿真), 供学生在线上预习实验目的、原理、操作步骤及预期现象, 为后续线下实体实验或高阶虚拟实验的有效开展做好充分准备, 提升实验教学效率。

### 3.2. 线下深度内化: 聚焦高阶思维与实践能力的培养

线上学习释放的宝贵课堂时间, 使线下教学重心得以从知识传授转向能力提升和价值引领, 通过精心设计的互动活动促进知识的深度内化与应用。

**1) 基于真实问题的翻转课堂研讨:** 课前, 教师深度分析线上学习数据(微课完成度、测验错误集中点、讨论热点), 精准定位学生的共性困惑与知识薄弱环节。课堂上, 摒弃重复线上内容, 转而设计具有挑战性的真实或模拟工程问题及开放性问题。例如: 给定某实际桥梁简化模型, 要求分析特定车辆荷载(位置、重量)下的最不利内力位置并论证; 对比不同支撑方案对结构内力分布和变形的差异性影响; 探讨利用结构对称性简化复杂超静定体系计算的方法路径; 诊断某结构振动异常的可能力学根源并提出测试验证方案。教学采用小组合作探究、全班辩论、教师引导式精讲等多元化方式, 深度剖析问题本质。教师的核心作用在于揭示力学概念间的内在联系、传授分析复杂问题的思维框架(模型简化原则、荷载抽象方法、解法选择依据)、澄清迷思概念、并提炼具有普适性的方法论。

**2) 协作式实物与数字建模实践:** 开展小组实物模型挑战活动, 提供限定材料(如桐木条、胶水), 要求各小组合作设计并建造能承受指定荷载(如跨中集中力)的梁或小型桥梁模型。重点考察学生对刚度、强度、稳定性概念的理解以及内力(弯矩、剪力)分布合理性的把握。通过加载试验竞赛, 直观呈现成功与失

败案例,引导学生从力学原理层面进行深度分析。同时,引入行业常用入门级结构分析软件(如 Midas/Civil Edu 版、SAP2000 Student 版、ABAQUS)。指导学生将小组设计的结构或教师提供的简化工程结构(如厂房排架、小型桁架桥)建立数字化模型,施加荷载进行数值计算,分析内力与位移结果,并与理论手算结果或实物模型试验现象进行对比验证。这一过程使学生深刻理解软件计算的原理、适用条件及其局限性,架起理论与工程应用的桥梁。

**3) 实体与虚拟实验的深度融合:**在材料力学实验室进行经典实体实验(如简支梁弯曲、压杆稳定)。要求学生将实体实验结果与课前完成的线上虚拟仿真结果进行系统对比,分析两者差异的来源(如材料非线性、支座摩擦、测量误差等),培养严谨的科学态度和误差分析能力。对于涉及“高危险、高成本、高复杂”(如大型结构破坏试验、复杂节点应力分布、强震作用模拟)的教学内容,充分利用专业虚拟仿真实验平台(自主开发或引入成熟项目)。学生在高度仿真的虚拟环境中,可安全地进行地震波输入模拟、观察结构从损伤到倒塌的全过程、实时监测关键部位内力时程变化、开展参数敏感性分析(如调整阻尼比、刚度分布探究其对动力响应的规律性影响),获得在现实实验室条件下难以企及的沉浸式、探索性学习体验。

### 3.3. 虚实结合强化: 综合应用与科学评价

该阶段旨在通过综合性任务与探究性活动,促进学生将分散的知识与技能融会贯通,并在科学评价中检验学习成效。

**1) 综合性工程大作业/项目驱动:**设计覆盖多知识模块、贴近工程实际的综合性任务。例如:分析一栋多层框架结构在恒载、活载、风荷载组合工况下的内力与位移分布,并依据规范评估其安全性;设计一座满足特定跨度、荷载及变形控制要求的小型结构(如桁架桥、拱桥),完成手算初步校核与软件精细化验算。鼓励学生综合利用线上资源复习、线下小组协作研讨、软件辅助分析等多种方式完成项目,强化知识整合与复杂工程问题解决能力。

**2) 基于虚拟仿真的开放性探究学习:**设立如“不同支座形式对连续梁桥受力性能影响规律研究”、“阻尼比参数对高层建筑风振舒适度控制效果量化分析”等开放性探究课题。学生依托虚拟仿真平台,自主设计实验参数方案、运行模拟计算、分析结果数据、撰写研究报告。此过程着重培养学生提出科学问题、设计研究方案、处理分析数据及撰写科技报告的研究素养与创新能力。

**3) 多元化过程性考核评价体系:**建立贯穿学习全周期、多维度、侧重能力表现的考核机制,彻底改变“一考定终身”的模式。线上学习成效(占比约 30%):包括视频学习进度与质量、章节测验成绩(取多次尝试中的最佳成绩)、在讨论区的贡献度(发帖与回复的质量、数量、深度)、虚拟实验预习及分析报告。线下课堂与实践表现(占比约 30%):涵盖课堂参与度(提问、讨论、汇报的积极性和质量)、小组项目完成情况(实物模型性能、软件建模报告、答辩表现)、实体/虚拟实验的操作规范性及实验报告质量、以及侧重概念理解与应用能力的阶段性笔试。期末综合能力考核(占比约 40%):采用综合性闭卷笔试,重点考察知识体系的整合能力、复杂工程问题的分析与解决能力,包含相当比例的开放性试题和应用型题目,真实反映学生的工程素养和创新能力。

这一系统化的创新实践框架,通过线上线下的有机衔接与虚实的深度融合,构建了结构力学教学的多维立体学习生态,有效支撑了学生从知识理解到能力生成再到创新应用的递进式发展。

## 4. 教学实践成效分析

本研究构建的线上线下混合式教学模式在西安建筑科技大学工程力学专业 2019 级至 2022 级四届《结构力学》课程中进行了完整教学周期实践。通过综合运用定量测试、质性访谈、学习行为数据分析及教学观察等多种方法,对教学效果进行了系统评估,结果充分印证了该模式在促进学生知识建构、能

力发展与教学效能优化方面的显著成效。

#### 4.1. 知识掌握水平实现质的跃升

教学成效最直观的体现是学生知识掌握水平的显著提升。期末考试卷面成绩的对比分析显示: 实施混合式教学的实验班级平均成绩达 69.22 分, 相较于上一学年采用传统教学模式的平行对照班级(平均分 57.10 分)提升了近 21 个百分点。这一提升不仅体现在平均分上, 更反映在关键指标的结构性优化上: 实验班的课程卷面成绩及格率从对照班的 45% 跃升至 77.97%, 有效地消除了不及格高的现象; 同时, 优秀率( $\geq 85$  分)更是从对照班的 18% 大幅提高到 31%, 表明更多学生达到了高水平的理解和应用层次。更为深入的分析聚焦于学生对抽象核心概念的理解深度。在专门考察概念本质、原理应用(而非单纯计算技巧)的试题上, 实验班学生的得分率普遍高出对照班 15~20 个百分点。例如, 在阐释“力法基本结构与多余未知力的内在联系”、“位移法中刚度系数的物理意义”以及“结构动力特性关键影响因素”等反映力学思维深度的题目上, 实验班学生展现出更准确的表述、更清晰的逻辑链条和更深入的理解。线上学习平台的数据为这种提升提供了有力支撑: 针对关键难点(如影响线、位移法)录制的微课, 其平均观看完成率高达 92%; 章节测验的首次尝试平均通过率( $\geq 80$  分)为 65%, 而学生通过复习后, 末次尝试通过率提升至 91%, 清晰呈现了学生通过线上自主学习有效夯实基础知识的良性循环。

#### 4.2. 多维关键能力获得有效锤炼

混合式教学模式对学生能力的培养成效体现在多个维度。在空间思维能力与模型抽象能力方面, 实验班学生在涉及结构几何组成分析、复杂结构内力图定性绘制(无需精确计算, 重在把握分布规律)以及利用对称性简化超静定结构计算的题目中表现尤为突出。学生访谈中普遍反馈, 线上 BIM 动态可视化模型和虚拟仿真实验对理解复杂的空间几何关系和结构整体行为“帮助极大”。在小组实物模型挑战任务中, 实验班学生设计的结构在传力路径的清晰性、构件连接的有效性以及结构冗余度的合理性方面, 明显优于对照班作品。工程实践与软件应用能力的提升同样显著。在综合性大作业和软件建模分析任务中, 实验班学生提交成果质量普遍较高。数据分析表明, 超过 85% 的学生能够较为熟练地使用 Midas/Civil Edu 或 SAP2000 Student 版或 ABAQUS 等教学软件, 完成简单结构模型的建立、荷载施加、运行分析以及基本结果(内力图、位移图)的解读。学生在虚拟仿真实验报告中展现的分析能力也令人欣喜, 多数报告能够较为准确地描述和解释参数变化(如刚度调整、阻尼比改变)对结构响应(如自振频率变化、地震位移反应谱特征)的影响趋势。尤为重要的是分析与解决复杂工程问题的能力。在面对开放性工程案例题(如分析某实际结构事故或优化设计方案)时, 实验班学生展现出更系统化的分析框架: 能更准确地识别核心问题、更合理地选择分析方法(力法、位移法或软件工具)、更有效地进行模型简化, 并能在解决方案中综合应用所学知识。课堂研讨观察也印证了这一点, 学生提出的问题更具深度, 解决方案更体现工程意识和创新思维。

#### 4.3. 学习态度与自主性呈现积极转变

混合式教学模式有效激发了学生的学习内驱力, 促进了学习行为的积极转变。关于学习兴趣与投入度, 问卷调查结果显示, 高达 92% 的实验班学生明确表示混合式教学模式“更有趣”或“更能激发学习动力”。线上学习平台的活跃度数据提供了客观佐证: 学生平均每周登录平台、观看教学视频、参与讨论区互动的活跃度, 相较于仅提供 PPT 课件等传统线上资源的时期, 激增了 85%。线下课堂也呈现出积极变化: 学生出勤率保持高位, 主动提问、参与深度讨论的积极性显著提高。在自主学习能力方面, 学生普遍高度评价线上资源提供的“按需学习”(可自由选择学习内容与时间)和“反复学习”(可多次观看

微课、重做练习)的便利性。学习行为数据追踪显示,学生在章节测验或大作业前会主动回看相关微课进行复习;遇到学习困难时,更倾向于首先利用线上资源(查阅微课、搜索讨论区历史解答)或寻求小组协作解决,而非被动等待教师课堂讲解。70%的学生在反馈中表示“更清楚自己知识掌握的薄弱环节在哪里”,反映出元认知能力的提升。此外,协作交流能力在混合式环境中得到有效锻炼。小组项目(涵盖实物模型制作、软件协同分析、综合性大作业)成为培养学生团队协作精神的重要载体。学生普遍反映“小组讨论中不同观点的碰撞激发了更深入的思考”、“向同伴讲解某个概念或方法的过程极大地加深了自己的理解”。线上讨论区也展现出更多高质量的、建设性的互动交流。

#### 4.4. 教学资源配置与效率显著优化

混合式教学模式在提升教学效能方面展现出明显优势。线下课堂教学效率得到实质性提升。由于基础理论知识的传授和初步理解已前置到线上自主学习阶段,宝贵的线下课堂时间得以从传统讲授中解放出来。教师可以将更多精力投入到组织深度研讨、指导高阶思维训练(如复杂问题分析、方案评价与优化)、引导学生进行工程实践(模型制作、软件操作)以及培养工程价值观上,显著提高了单位时间内的教学价值产出。同时,精准化教学和个性化指导成为现实。通过学习管理平台(LMS)记录的丰富学习行为数据(视频观看时长与完成度、测验成绩及错题分布、讨论参与频率与质量),教师能够更早、更精准地识别出学习存在困难的学生群体或个体。基于此,教师可以实施更有效的教学干预,例如向特定学生推送与其薄弱点相关的补充微课或针对性练习题,或者安排额外的、聚焦共性难点的线下答疑辅导。线上讨论区也构建了一个7×24小时运行的灵活答疑解惑渠道,满足了学生异步学习的需求。这种基于数据的教学决策,使得教学支持更加有的放矢,资源分配更加优化。

综上,通过定量数据与质性证据的相互印证,充分证明了本研究所构建的线上线下混合式教学模式在提升结构力学课程教学质量、促进学生全面发展以及优化教学资源配置方面取得了切实而显著的成效。

### 5. 讨论与反思

本研究所构建并实践的线上线下混合式教学模式,在提升结构力学教学质量、促进学生能力发展方面展现出了显著且多维的成效,这已通过系统的教学评估数据得到有力印证。然而,任何教学模式的创新与落地,必然伴随着挑战,需要在实践中不断反思、调整与优化。本部分将深入探讨模式的核心成功要素、实施中遭遇的难点,并提出面向未来的持续改进策略。

#### 5.1. 成功经验的深度剖析

模式的成功运行,其关键在于有效整合了教育理念与技术优势,精准解决了结构力学教学的传统痛点。

**1) 可视化技术的核心突破:** 将建筑信息模型(BIM)的动态演示能力与虚拟仿真(VR/AR)的沉浸式、交互式体验深度融入教学,是破解结构力学抽象性难题的解决方法。通过将原本无形的内力分布、结构变形形态、失稳过程以及复杂的动力响应(如地震作用下的结构行为)转化为直观可视、可交互甚至可操作的动态过程,极大地降低了学生的认知负荷。例如,移动荷载下内力图的实时变化、框架结构的侧移与内力分布的同步展示,使得“影响线”、“D值法”等抽象概念变得鲜活可感。这种强大的可视化支持,是提升学生空间想象力、深化概念理解的基石,也是本模式获得学生高度认可的关键技术支撑。

**2) 问题导向(PBL)的深度驱动力量:** 线下深度内化阶段摒弃了传统课堂的知识复述,转而聚焦于精心设计的真实或模拟工程问题及开放性问题(如结构优化、事故分析、异常诊断)。这种基于情境的挑战性任务,将知识学习自然嵌入其应用场景,有效激发了学生的内在动机。学生在尝试解决这些问题的过程

中, 必须主动调用线上奠定的基础知识, 进行分析、综合、评价乃至创造性的思考, 从而实现了知识的深度内化与高阶思维能力的实质性锻炼。问题导向有效弥合了理论学习与工程实践之间的鸿沟, 驱动了知识迁移与应用能力的生成。

**3) 虚实融合拓展能力培养边界:** 虚拟仿真技术的应用, 成功突破了实体实验在安全性(大型结构破坏、强震模拟)、成本(复杂节点应力分析、风洞试验)和复杂性(多参数耦合分析)方面的固有局限。它为学生提供了一个安全、可控且高度仿真的环境, 允许他们探索在现实实验室中无法或难以实现的复杂力学现象(如结构倒塌全过程、非线性动力响应), 进行大胆的参数敏感性研究(如调整阻尼比、刚度分布对性能的影响)。这种虚实结合的实践体系, 极大地拓展了学生实践探究的深度和广度, 为培养其研究素养和创新思维提供了独特平台。

**4) 数据驱动的教学精准化变革:** 学习管理平台(LMS)所记录的海量学习行为数据(视频观看行为、测验表现轨迹、讨论参与度、虚拟实验操作日志), 为教学决策提供了前所未有的客观依据。教师得以从经验判断转向数据洞察, 能够更早、更精准地识别学习困难的学生个体或群体, 理解共性知识薄弱点。基于此, 可以实施高度个性化的教学干预(如定向推送补救资源、组织针对性答疑), 动态调整教学策略(如优化教学内容、调整习题难度), 并实现更科学、更全面的过程性评价。数据驱动使得教学支持更加精准有效, 资源分配更加优化合理。

## 5.2. 局限性与反思

尽管成效显著, 模式在落地推广过程中也暴露出一些局限性和亟待解决的深层次挑战。

**1) 学生自主学习能力的差异性挑战:** 混合式模式高度依赖学生的自主性与自律性。实践中发现, 部分学生未能适应这种学习方式的转变, 线上学习存在“刷时长”(挂机不学习)、浅层参与(只看不练、不参与讨论)等现象。这不仅影响其自身知识奠基的效果, 也制约了线下深度活动的质量与效率。如何有效引导、监督和激励不同学习风格、自律程度的学生, 确保线上自主学习的真实有效性, 是持续优化的重点。

**2) 教师角色转型与能力重构的迫切需求:** 成功的混合式教学要求教师实现从“知识传授者”到“学习设计师”、“活动引导者”、“资源开发者”和“学习协作者”的深刻转型。这对教师提出了复合型高要求: 不仅需要深厚的学科功底, 还需熟练掌握信息化教学工具、精通在线课程设计与运营、具备优秀的线上线下活动组织与引导能力、懂得利用学习数据进行学情分析和精准干预。这种角色转变和能力重构对部分习惯于传统讲授的教师构成了显著挑战, 需要系统性的专业发展和持续支持。

**3) 高质量线上资源建设的持续投入压力:** 制作精良、效果突出的核心资源(如高质量微课、交互式BIM模型、沉浸式虚拟仿真实验)是模式成功的基础, 但其开发需要耗费大量的时间、专业的技术支持(动画制作、编程、模型构建)和可观的资金投入。后续的维护、更新和迭代也需要持续的资源保障。这往往超出了单个教师或课程组的承受能力, 亟需学校层面在政策、经费和技术支持上提供强有力的、可持续的保障机制。

**4) 线上线下活动无缝衔接的设计复杂性:** 如何确保线上自主学习真正有效地为线下深度互动奠定坚实基础? 如何设计线下活动才能最大化激发线上学习的成果并推动其升华? 这需要极其精细化的教学设计, 确保线上任务与线下目标高度契合, 活动环环相扣, 形成有机整体而非割裂的两张皮。设计这种流畅、高效、有深度的衔接, 需要深厚的教学法知识和持续的迭代优化, 是教学设计中的高阶挑战。

## 5.3. 面向未来的持续进化路径

基于对成功经验的总结和现实挑战的剖析, 提出以下关键改进方向以推动模式的持续优化与推广。

**1) 构建智能化学习监督与激励机制:** 升级线上平台功能, 探索更有效的智能监控手段(如嵌入式答题互动防挂机、学习行为模式分析识别浅层学习), 结合游戏化学习(Gamification)理念, 设计积分体系、徽章成就、学习排行榜等激励机制。更紧密地将线上任务的有效完成(如达到掌握标准的测验成绩、有深度的讨论贡献)作为获得参与线下高阶活动(如项目小组、实验操作)资格或获得相应过程性评价分数的必要条件, 增强学习动力与责任感。

**2) 系统性推进教师专业发展与团队协作:** 建立常态化的混合式教学研修工作坊和教师学习社群(Community of Practice, CoP), 聚焦混合式教学设计、技术工具应用、活动组织引导、数据分析应用等核心能力。鼓励组建结构力学课程教学团队, 实现优质资源的共建共享、教学经验的交流互鉴以及教学任务的合理分担, 有效减轻个体教师负担, 形成集体智慧合力。

**3) 建立线上资源的动态迭代优化机制:** 将学生反馈(问卷、访谈、讨论区意见)和学习行为数据(如微课跳出点分析、高频错题归因)作为资源更新的核心依据。定期更新微课内容(融入最新工程案例、前沿技术进展)、丰富和升级虚拟仿真实验场景(模拟新型结构形式、结合最新工程事故教训)、持续优化题库的覆盖面、难度梯度和适应性推送算法, 确保资源始终契合学生学习需求并保持活力。

**4) 探索 AI 赋能的个性化学习路径生成:** 积极引入人工智能技术(如学习分析、推荐算法), 基于对学生学习风格偏好(如视觉型/听觉型)、实时知识掌握水平图谱、兴趣领域等多维度数据的分析, 动态生成高度个性化的学习路径。为不同学生智能推荐最适合其当前状态的微课序列、练习题组合、拓展阅读材料甚至合作学习伙伴, 实现真正意义上的“因材施教”和“自适应学习”。

**5) 深化校企合作拓展真实工程情境:** 积极拓展与设计院所、施工企业的合作关系。一方面, 引入简化版但真实的工程项目案例作为教学素材(如结构设计优化问题、施工过程中的力学问题); 另一方面, 邀请经验丰富的一线工程师参与线上讲座(分享工程经验、前沿技术)或走进线下课堂(参与案例研讨、项目评审), 将最鲜活的工程实践和行业需求融入教学, 显著增强教学内容的现实针对性和前沿性。

混合式教学改革是一个持续迭代、永无止境的进化过程。本研究所构建的模式及其初步成效, 验证了其方向的正确性和巨大的潜力。正视并积极应对实施中的挑战, 持续吸收教育技术发展的新成果, 深化教育教学规律的认识, 加强校内外协同合作, 是推动结构力学乃至更多工科核心课程教学质量迈上新台阶, 最终服务于新时代卓越工程创新人才培养的必由之路。

## 6. 结论

本研究直面结构力学课程长期存在的理论抽象性强、实践衔接薄弱、学生被动学习等核心教学痛点, 深度融合现代信息技术与先进教育理念, 创新性地构建并系统实践了“线上自主奠基-线下深度内化-虚实结合强化”的三阶递进式线上线下混合教学模式。该模式的核心创新与价值体现在以下关键维度。

**1) 技术赋能的认知变革:** 系统化运用建筑信息模型(BIM)动态可视化技术与虚拟仿真(VR/AR)技术, 将抽象难懂的内力分布、变形过程、失稳机理及动力响应等核心概念, 转化为直观、动态、可交互的沉浸式体验。这一突破性应用显著降低了学生的认知负荷, 有效破解了空间想象力培养的瓶颈, 为深刻理解结构行为本质奠定了坚实基础。

**2) 数据驱动的精准确教学范式:** 充分利用学习管理平台(LMS)记录的学习行为大数据(视频观看、测验表现、讨论参与、实验操作), 精准诊断学生共性难点与个体差异。基于此, 线下教学得以从传统知识复述中解放, 聚焦于基于真实/模拟工程问题(PBL)的深度翻转课堂。教师角色转型为引导者与协作者, 组织深度研讨、思维碰撞与高阶认知活动(分析、综合、评价、创造), 实现教学资源与精力的精准投放。

**3) 多层次虚实融合的实践体系构建:** 创新性地融合了“实物模型挑战-软件建模分析-实体实验验证-虚拟仿真探究”的多层次实践路径。小组协作的实物模型制作强化了对结构性能(强度、刚度、稳定

性)的直观感知;行业软件(如 Midas/Civil, SAP2000, ABAQUS)的应用架起了理论计算与工程实践的桥梁;实体实验与虚拟仿真的对照深化了科学思维与误差分析能力;而虚拟仿真平台则安全、经济地拓展了实践边界,使学生得以探索“高危险、高成本、高复杂”(如地震倒塌全过程、复杂节点应力、参数敏感性研究)的工程场景,培养了研究素养与创新思维。

**4) 能力导向的多元评价机制革新:**建立了贯穿学习全过程、覆盖多维度、侧重能力表现的多元化评价体系。彻底摒弃“一考定终身”,将线上自主学习成效(视频、测验、讨论、虚拟实验)、线下课堂参与度与实践表现(研讨、模型、软件报告、实验操作)、以及期末综合能力考核(知识整合、复杂工程问题解决)按科学权重纳入评价,全面、客观地反映学生的知识掌握、能力发展和学习投入。

经过三轮完整的教学周期实践与系统评估,成效显著:该模式有效激发了学生的学习内驱力和自主性,显著提升了其对抽象力学概念的理解深度、空间思维能力、工程实践能力(模型抽象、软件应用、实验分析)以及解决复杂工程问题的综合素养。教学资源配置效率得到优化,宝贵的线下课堂时间释放用于能力提升与价值引领,基于数据的精准教学干预得以实现。这充分证明了该模式达成了知识传授、能力培养与价值引领的有机统一。

## 基金项目

本论文为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] 邓绍云, 邱清华, 韦春晓, 黄莹娜, 刘世通. 新冠疫情期间“结构力学”课程教学改革与实践[J]. 教育进展, 2023, 13(11): 9395-9400.
- [2] 张爱卿, 李金云, 邹鑫, 李宗洋, 杜正信. 虚拟仿真在《结构力学》课程中的应用[J]. 职业教育发展, 2024, 13(6): 2029-2033.
- [3] 左淑红. 《结构力学I》线上教学改革探讨[J]. 社会科学前沿, 2023, 12(2): 645-649.