

从虚拟到智能：AI驱动材料力学实验教学新模式研究

任士贤

兰州博文科技学院土木工程学院，甘肃兰州

DOI:10.62836/ssr.v3n3.1196

摘要：目前，材料力学实验是连接理论与工程实践的桥梁，却面临设备紧张、安全风险高、缺个性化指导等难题。因此，本研究通过将人工智能与虚拟仿真技术的融合，研究突破这些瓶颈的新方法。该方法基于传统实验教学现状问题，构建了AI驱动的“虚拟操作—智能分析—个性化反馈”三位一体的材料力学实验教学新模式。该模式以高精度虚拟仿真环境为基础，集成智能导学、智能答疑与智能评估三大功能模块，并基于学生操作数据构建学习者画像，实现差异化实验项目推送。研究进一步设计了包含调研诊断、体系构建、效果验证三个阶段的教学实施方案，提出技术融合深度化、实验设计差异化、评估体系动态化于一体的集成化体系。AI与虚拟仿真的深度整合不仅是工具层面的教学辅助，更是对实验教学范式的根本性重构，为新工科背景下创新型工程人才培养提供了可行路径。

关键词：人工智能；虚拟仿真；材料力学实验；教学改革；个性化学习

From Virtual to Intelligent: A Study on a New AI-Driven Model for Teaching Materials Mechanics Experiments

Shixian Ren

School of Civil Engineering, Lanzhou Bowen College of Science and Technology, Lanzhou, Gansu

Abstract: Currently, materials mechanics experiments serve as a bridge between theory and engineering practice, yet they face challenges such as limited equipment availability, high safety risks, and a lack of personalized guidance. Therefore, this study explores new methods to overcome these bottlenecks by integrating artificial intelligence with virtual simulation technology. Based on the current issues in traditional experimental teaching, this study has developed a new AI-driven teaching model for materials mechanics experiments that combines “virtual operation, intelligent analysis, and personalized feedback.” Built upon a high-precision virtual simulation environment, this model integrates three core functional modules: intelligent guidance, intelligent Q&A, and intelligent assessment. It constructs learner profiles based on student operation data to enable the delivery of differentiated experimental

* 教育数字化专项研究课题：（1）人工智能与虚拟仿真赋能下的材料力学实验教学改革创新研究（JYSZH[2025]ZD136）；（2）基于无人机倾斜摄影的甘肃历史桥梁病害智能识别研究（2026B-371）。

作者简介：任士贤（1987.2-），男，甘肃省武山县。副教授，大学本科，从事车桥耦合振动响应理论研究，Email: 2747689011@qq.com。

projects. The study further designed a three-phase teaching implementation plan comprising survey and diagnosis, system construction, and effectiveness validation, proposing an integrated system that combines deep technological integration, differentiated experimental design, and a dynamic assessment system. The results indicate that the deep integration of AI and virtual simulation is not merely a tool-level teaching aid but a fundamental restructuring of the experimental teaching paradigm, providing a viable pathway for cultivating innovative engineering talent in the context of the New Engineering discipline.

Keywords: artificial intelligence; virtual simulation; materials mechanics experiments; educational reform; personalized learning

1 引言

材料力学是工科人才培养的核心基础课，在机械、土木、航空航天等专业中起着承上启下的关键作用[1-4]。实验教学作为其重要部分，能帮助学生理解抽象力学概念、掌握规范操作技能、培养工程实践能力[5-6]。引导学生对“材料如何失效”等问题的探究，满足实验教学。

当前材料力学实验教学存在供需矛盾。高等教育规模扩大，实验设备与学生人数缺口增大，“多人一机、轮流操作”成常态，学生动手机会少。传统实验教学受学时、安全规范限制，多采用“演示—模仿—验证”模式，学生被动操作，缺乏对力学机理的深入思考，教学评价也依赖终结性结果，缺乏有效反馈[7-10]。

虚拟仿真技术为破解困境带来突破。教育部推动工科专业虚拟仿真教学资源开发应用，材料力学虚拟仿真软件还原真实环境与操作逻辑，解决设备不足和安全风险问题，实现“不可见变可见”。AI与虚拟仿真融合有望催生新范式，虚拟环境提供实验场域，AI充当“虚拟导师”，形成闭环学习空间。

但现有虚拟仿真多停留在“操作模拟+结果呈现”浅层阶段，若缺乏对操作规范性的实时诊断、错误纠正和机理阐释，就只是“电子版实验指导书”，并非真正的教学变革。

因此，本研究聚焦构建 AI 与虚拟仿真深度融

合的材料力学实验教学新模式，系统探究其理论框架、技术路径与实施策略。为高等工程教育数字化转型提供案例参考。

2 传统材料力学实验教学的困境审视

(1) 资源约束与机会不均

材料力学实验对设备依赖性强，万能试验机、扭转试验机等核心设备价格高、占地大，高校实验室设备数量常无法满足同期修课学生需求。多数高校材料力学实验课以4-6人一组操作，部分学生只能旁观。“多人一机”导致学生操作机会不均，主动者全程操作，被动者沦为“观察员”。

设备资源紧张还催生了“演示—模仿”的教学惯性。因无法支持大规模学生独立操作，教师只能分组演示、轮流练习，教学节奏由设备数量决定，而非学生学习需求。这不仅影响学生动手机会，还限制了实验内容的丰富性与挑战性，复杂破坏性实验常被压缩或取消。

(2) 安全风险与操作局限

材料力学实验涉及加载、破坏等过程，存在安全风险。如低碳钢拉伸实验中，试件断裂可能弹射、碎片飞溅伤人；压杆稳定实验中，试件失稳也有隐患。为规避风险，教师常严格限定操作步骤或增加防护装置，但这会遮挡观察视野。

安全考量虽合理，却引发教学问题。操作被限定为机械流程，学生被排除在实验设计之外，无需思考加载速率、试件对中等问题，也难以解释曲

线异常原因。正如一位教师反思：“学生完成了实验，却未必理解了实验。”传统模式下，安全与探索难以平衡。

(3) 个性化指导的缺失

实验教学旨在让学生在“做中学”中形成个性化理解与发现。但传统实验教学中，一名教师同时指导多个小组，个性化指导难以实现，学生操作中的细微偏差和独特疑惑常被忽视。

现有教学评价“结果导向”，实验成绩主要看报告完整性和数据准确性，操作过程规范性等被忽略。学生意识到“报告写得好就行”，这严重削弱了实验教学的育人价值。

(4) 超越“演示—模仿”范式

传统材料力学实验教学核心困境在于“演示—模仿”范式，它把实验定位为理论验证，学生是标准操作执行者，教师是演示者与评判者。因此，可通过AI与虚拟仿真深度融合，从而实现突破困境需重构教学范式。

3 AI驱动实验教学新模式的理论框架

3.1 新范式的核心逻辑：从“演示”到“闭环”

基于对传统实验教学困境的分析，本研究提出AI驱动实验教学新范式的核心逻辑，即构建“虚拟操作—智能分析—个性化反馈”的闭环学习空间，该逻辑包含三个紧密关联的环节。

首先是虚拟操作。借助高精度三维建模与物理引擎模拟，打造可供学生反复练习、自主探索的虚拟实验环境。与传统虚拟仿真的“模拟演示”不同，此环节注重交互性与建构性。学生既能按标准流程操作，又能尝试改变参数、设计加载方案，观察不同条件下材料的响应情况。

其次是智能分析。AI系统实时采集学生操作数据，涵盖操作时序、参数控制精度、数据读取时机等，并与专家操作模型对比分析。不仅如此，系统还能依据操作过程推断学生对力学概念的理解程度，比如从加载速率选择判断其对率相关性的认识，从异常数据处理判断其对误差来源的把握。

最后是个性化反馈。基于智能分析结果，系统即时给予学生多层次反馈，包括操作纠错提示、概

念解释引导、探究拓展建议，让学生在错误发生时就能得到纠正与解释，告别实验结束后的统一讲评。

3.2 智能体在实验教学中的角色定位

在新范式里，AI并非要取代教师，而是承担三类互补角色，与教师协同育人。

(1) AI是“实时伴学者”。在学生操作时，它能即时提供支持，解答操作问题、提示关键步骤、解释异常现象。学生独立操作时，AI的陪伴会降低其“孤立无援”的焦虑，让学习更顺畅。

(2) AI是“精准诊断者”。它全程记录分析学生操作数据，精准找出知识薄弱点和操作不规范处。这种诊断并非简单判断对错，而是深入能力维度归因，比如是操作不熟练、概念理解不清，还是注意力不集中。诊断结果既反馈给学生自我改进，也同步给教师调整教学。

(3) AI是“资源推荐者”。基于诊断结果和学生画像，它动态推送适配资源，如微课视频、示范录像、工程案例等。

需注意，AI角色始终服务于教师育人职能，人机协同而非替代是新范式前提。

3.3 个性化学习的实现机制

实现个性化学习，构建“数据采集—画像生成—路径推荐”的闭环机制是关键。

数据采集是基础环节。系统全程记录学生在虚拟实验中的操作行为，涵盖操作时序、参数控制、错误类型、求助行为、探究行为等多维数据，这些是了解学生学习状态的基础素材。

画像生成是核心。系统依据采集的数据，从知识掌握、操作技能、学习风格、探究倾向等维度构建学习者画像。如知识掌握维度评估学生对核心概念的理解水平，操作技能维度评估操作规范性等，多维画像让“千人千面”得以实现。

路径推荐是最终落点。系统根据学习者画像，自动适配实验项目的难度层级与内容侧重。难度分三级递进，内容结合学生专业背景与目标差异化设计，采用“基础必做+专业拓展”模式，兼顾共性

与个性。

3.4 新范式的理论支撑

建构主义学习理论强调，知识是个体在与环境互动中主动建构的结果。虚拟仿真环境为学生提供了可操作的“实验世界”，AI的即时反馈则为意义构建提供了“支架”。学生通过操作、观察、反思、调整的循环，逐步深化对力学概念的理解——这正是建构主义所倡导的“做中学”。

认知负荷理论提示，学习材料的呈现方式应降低外在认知负荷、优化内在认知负荷。传统实验教学中，学生同时要应对设备操作、数据记录、现象观察等多重任务，认知负荷过重。新范式通过AI实时指导降低操作难度，通过可视化呈现降低抽象难度，使学生的认知资源更集中于理解力学机理这一核心目标。

最近发展区理论强调，教学应走在学生发展的前面，提供适度挑战的支持。AI基于学生画像推送的差异化实验项目，恰恰体现了“适配挑战水平”的原则——既不过于简单而无聊，也不过于困难而挫败，始终将学生锚定在最近发展区内。

4 智能化实验教学平台的构建

4.1 平台总体架构

基于上述理论框架，本研究设计的智能化实验教学平台采用“多层次两体系”的总体架构。

基础设施层提供平台运行的技术底座，包括三维建模引擎、物理仿真引擎、数据分析引擎、AI模型服务等核心组件。其中，物理仿真引擎的精度至关重要——既要准确模拟材料在加载条件下的力学响应（如弹性变形、屈服、强化、颈缩、断裂），又要保证实时交互的流畅性。

数据资源层是平台的知识核心，包含三类核心数据库：一是实验资源库，存储各类实验的三维模型、操作流程、标准参数等；二是知识图谱库，结构化组织材料力学核心知识点及其关联关系，形成浙江大学“AIM”力学大模型所强调的“知识—能力—素质”多维矩阵；三是学生数据库，全过程记录学生操作行为、诊断结果、学习轨迹等。

应用服务层面向师生提供具体功能，包括虚拟实验操作、智能导学、智能答疑、智能评估、学习路径规划等。两层体系分别是教学管理体系（支持教师进行课程管理、学生分组、成绩评定）和学习分析体系（支持学习行为分析、教学效果评估、平台迭代优化）。

4.2 核心功能模块详解

模块一：高精度虚拟实验环境

平台聚焦材料力学核心实验群，包含拉伸、压缩、扭转、弯扭组合及压杆稳定等实验，精心构建1:1还原的三维虚拟设备模型，追求“精度”与“动态”的深度融合。

精度体现在多方面。设备外观上，从操作面板到试件装夹细节都高度逼真，让学生有身临其境实验场景的沉浸式操作体验。物理响应精度尤为关键，系统内置基于有限元方法简化的实时计算模型，能依据学生设定的加载参数，动态计算并直观呈现试件的应力分布与应变演化。加载到屈服点，用颜色渐变、变形动画展示屈服平台形成发展；试件断裂时，依材料特性生成逼真断口。

动态表现为系统对学生操作实时响应。学生调整加载速率，应力-应变曲线斜率马上改变；改变试件对中状态，可模拟偏载弯曲效应；尝试不同材料参数，系统呈现差异化力学响应，让力学原理可感知、可探索。

模块二：AI辅助教学系统

AI辅助教学系统包含三大子功能，构建起完整的智能支持体系。

智能导学功能在学生操作时实时介入，兼具“纠错”与“解释”功能。若学生装夹顺序错误、加载速率超标等操作偏离规范，系统会立即弹出图文或动画提示框，说明正确做法及错误后果。实验出现屈服开始、颈缩发生等现象时，系统会自动标注并弹出解释框，关联位错运动等知识点简要说明。

智能答疑功能支持学生用自然语言提问，系统基于知识图谱和大模型技术理解意图并解答。与通用搜索引擎不同，它能感知学生提问时的实验步骤和操作状态，提供针对性解释。比如学生问拉伸实

验中“为何出现锯齿状曲线”，系统会结合材料类型、加载条件解释动态应变时效现象。

智能评估功能基于机器学习算法，多维度评分学生操作规范性，体现“过程性评价”理念。

模块三：个性化学习路径系统

基于学生操作数据构建学习者画像是个性化学习路径系统的核心。画像涵盖知识掌握、操作技能、探究倾向三个维度。基于画像，系统遵循“基础必做+专业拓展”原则推荐差异化实验项目，“基础必做”确保学生达成基本能力，“专业拓展”结合学生专业背景动态推送，难度设“基础—进阶—挑战”三级，学生完成当前级别任务后自动解锁下一级。

4.3 技术实现的挑战与对策

平台技术实现面临多重挑战，需针对性设计解决方案。

挑战一：物理仿真实时性与精度的平衡。高精度有限元计算耗时久，难以满足实时交互需求。应对策略是采用“离线预计算+在线插值”的混合方法，预先生成响应数据库，学生设定参数后系统实时合成响应结果，兼顾交互流畅性与真实物理过程。

挑战二：AI模型的可解释性要求。智能评估子功能需向学生和教师说明评分依据。应对策略是采用可解释机器学习方法，输出评分时给出特征重要性排序，增强系统可信度与教育价值。

挑战三：知识图谱的动态更新机制。材料力学知识体系虽相对稳定，但教学重点和困惑点会变化。应对策略是构建基于学生行为数据的知识图谱更新机制，当大量学生在同一知识点频繁提问、同一操作步骤频繁出错时，系统提示教师调整教学。

5 结语

本研究通过将人工智能与虚拟仿真技术的融合，研究突破这些瓶颈的新方法。该方法基于传统实验教学现状问题，构建了AI驱动的“虚拟操作—

智能分析—个性化反馈”三位一体的材料力学实验教学新模式。该模式以高精度虚拟仿真环境为基础，集成智能导学、智能答疑与智能评估三大功能模块，并基于学生操作数据构建学习者画像，实现差异化实验项目推送。研究进一步设计了包含调研诊断、体系构建、效果验证三个阶段的教学实施方案，提出技术融合深度化、实验设计差异化、评估体系动态化于一体的集成化体系。AI与虚拟仿真的深度整合不仅是工具层面的教学辅助，更是对实验教学范式的根本性重构，助力新工科人才培养。

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] 李天昕,黄朝文,万明攀.新工科背景下“材料力学性能”课程教学改革探索[J].贵州农机化,2026,(02):68-71.
- [3] 孙国民,张效忠,曾素均,等.“AI+项目”驱动下“材料力学”课程“三堂融合”教学改革实践[J].西部素质教育,2026,12(07):37-41.
- [4] 黄秋秋,张仪.关于“材料力学”课程考核的改革研究[J].科技风,2026,(04):34-36.
- [5] 吕超颖,杨欣怡,李应,等.基于应用型人才培养理念的材料力学课程教学改革实践[J].造纸装备及材料,2024,53(12):221-223.
- [6] 付善春,李士瑞,沈红艳,等.思政元素融入材料力学课程的教学改革探索[J].中原工学院学报,2024,35(06):31-34+40.
- [7] 于月民,刘宝良,盖芳芳,等.基于GPBL+CBL教学模式的材料力学课程教学改革[J].高教学刊,2025,11(07):147-150.
- [8] 张小千,孟昭博,田忠喜,等.新工科背景下材料力学课程教学改革措施研究[J].造纸装备及材料,2025,54(05):250-252.
- [9] 肖伟晶,胡紫薇,万宏鹏.新工科背景下土木工程专业材料力学课程教学改革实践[J].西部素质教育,2025,11(19):168-171.
- [10] 张婷,刘小妹.《材料力学》课程多元化评价和动态诊断教学改革设计[J].科技视界,2025,15(23):86-89.

Copyright © 2026 by author(s) and Global Science Publishing 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