

智能建造背景下理论力学课程改革探索与实践

闫高明, 梁小燕

北京交通大学土木建筑工程学院, 北京

收稿日期: 2026年3月31日; 录用日期: 2026年5月14日; 发布日期: 2026年5月25日

摘要

智能建造的飞速发展正在深刻改变土木工程领域的人才知识结构与能力谱系, 对基础课程教学提出了新要求, 促使其由传统“重推导、轻场景”的教学模式, 向“厚基础、强应用、重数智”的新型模式转型。理论力学作为数学基础与工程分析的桥梁, 在智能设计、施工模拟、装备控制、结构监测等环节发挥着关键支撑作用。然而, 当前理论力学教学仍存在与智能建造场景脱节、实践教学链条不完整、考核评价重结果轻过程等突出问题。本文立足智能建造人才培养需求, 构建了力学基础、数智工具与工程场景三位一体的课程改革体系, 从教学内容重构、教学方式创新、数字教学手段应用及课程考核改革等方面提出具体实施路径。研究表明, 该模式能够有效提升学生的工程建模能力、软件应用能力与知识迁移能力, 可为智能建造背景下基础力学课程改革提供参考与借鉴。

关键词

理论力学, 智能建造, 课程改革, 数值模拟, 工程教育

Exploration and Practice on Theoretical Mechanics Teaching Reform for Intelligent Construction

Gaoming Yan, Xiaoyan Liang

School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing

Received: March 31, 2026; accepted: May 14, 2026; published: May 25, 2026

Abstract

The rapid development of intelligent construction is profoundly reshaping the knowledge structure and competency frameworks within civil engineering, imposing new requirements on the teaching of foundational courses. This drives a transformation from the traditional teaching mode that

emphasizes deduction while neglecting scenarios to a new model featuring solid foundation, strong application, and emphasis on digital intelligence. As a crucial bridge connecting mathematical fundamentals and engineering analysis, theoretical mechanics plays a key supporting role in intelligent design, construction simulation, equipment control, structural health monitoring, and other processes. Nevertheless, prominent problems still exist in current theoretical mechanics teaching, such as disconnection from intelligent construction scenarios, incomplete practical teaching chains, and assessment systems that overemphasize outcomes while neglecting the learning process. Based on the demand for cultivating talents in intelligent construction, this paper establishes a trinity curriculum reform system integrating mechanics fundamentals, digital-intelligent tools, and engineering scenarios. Specific implementation approaches are proposed from the perspectives of restructuring teaching content, innovating teaching methods, applying digital teaching technologies, and reforming course assessment. The research demonstrates that this model can effectively improve students' engineering modeling ability, software application capability, and knowledge transfer competence, providing a reference for the reform of basic mechanics courses under the background of intelligent construction.

Keywords

Theoretical Mechanics, Intelligent Construction, Teaching Reform, Numerical Simulation, Engineering Education

Copyright © 2026 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

新工科建设的主要方向, 是以产业变革的趋势和未来技术的发展需求为出发点, 对现有的工程教育体系进行重组和改善, 要求课程教学在夯实学生系统理论知识的同时, 着力提升其解决复杂工程实际问题的能力[1][2]。在此背景下, 传统的土木工程教育模式正发生深刻变革, 逐渐摒弃经验传授与单一知识灌输模式, 向交叉融合、实践创新和数字赋能的新型工程教育转型。随着土木工程数字化转型持续深化, 课程体系已不再局限于知识传授, 所起的作用不只是让学生建立工程认知、学会问题分析方法、提高技术迁移应用的能力, 而是在一定程度上成为学生创新精神和团队协作意识的培养者。理论力学是工程类专业核心基础课之一, 在培养学生受力分析、运动分析、动力学建模和工程问题抽象提炼等能力方面, 具有不可替代的基础性支撑作用, 理论力学教学质量的好坏, 直接关系到学生后面学习结构力学、材料力学、工程振动、数值分析等后续课程的效果, 也影响着学生专业综合素养的提升。

智能建造是以数字设计、智能装备、施工机器人、工程数据、BIM 和数字孪生技术为基础, 对工程项目的设计、施工、运维、全生命周期管理产生全方位影响的新型建造方式[3][4]。它并非单纯的工具更新, 而是工程组织模式、技术应用逻辑和人才能力结构的系统性变革。面向智能建造产业发展需求, 土木工程类专业的学生不仅要扎实掌握力学核心基础知识, 更需具备将基本原理与数字技术、工程现场及数据分析深度融合的能力, 能够在复杂工程任务中独立完成建模、参数分析、结果研判与方案优化。这就需要理论力学课程打破传统的“公式推导”和“习题演算”教学模式, 主动对接产业转型需求, 从课程目标设定、教学内容重组、教学实施规划、学习支持体系构建等各方面进行系统化的教学改革。

当前理论力学课程教学主要存在三方面不足: 一是案例体系仍然以传统机械构件与理想化力学模型为主, 与装配式建造、智能施工、数字监测等智能建造新场景的结合不够紧密, 学生在学习过程中难以

建立“力学原理-工程问题-专业应用”的内力关联, 知识应用能力薄弱; 二是课堂教学中过于依赖板书讲解和静态 PPT 演示, 对于空间运动的过程、结构的动态响应以及参数变化的影响, 难以实现直观、清晰呈现, 导致学生对一些抽象力学概念的认识只停留在符号记忆和公式套用层面, 未能真正理解其内涵; 三是课程考核仍以结果导向的纸笔测试为主, 侧重考查习题演算与结果正确性, 忽视了对学生力学建模全过程理解、专业工具应用、沟通表达及综合解决实际问题能力的考查等[5]-[9]。从学习理论的视角看, 上述问题的根源在于教学过程中工程情境缺失, 以及协作、互动环节弱化。建构主义学习理论指出, 知识的获得不是被动传授的结果, 而是在真实情境中通过协作与意义建构主动形成的[10]。

因此, 从智能建造背景出发展开理论力学课程的改革研究有重要的教学现实意义和人才培养导向的价值。需要在保持理论力学知识体系和逻辑结构的基础上, 把课程内容同智能建造紧密结合, 让学生在真实的工程项目场景里认识知识、使用知识、应用知识; 通过数值模拟、实验验证、数字资源平台以及 AI 辅助学习手段的融合应用, 构建互动、递进并具有迁移性的学习环境[11]-[14]。本文立足于智能建造人才培养需求, 结合理论力学课程的特点, 从改革的目标、总体思路、实施路径、考核方式和实施效果五个方面展开研究, 系统回答了智能建造背景下理论力学课程为何改、改什么、如何改以及改革成效如何等关键问题。

2. 改革目标与总体思路

面向智能建造人才培养需求, 理论力学课程改革以夯实基础、突出应用、深化数智化建设、对接专业发展为导向。在保持基本概念、基本原理、基本方法的基础上, 引导学生在真实工程任务中理解力学知识、应用力学方法。

本文提出“力学基础-数智工具-工程场景”三者相结合的总体思路, 即内容上保持静力学、运动学、动力学三条主线不变, 深度融入智能建造典型工程场景; 在方法上建立从理论解析、数值模拟到试验验证的递进式教学路径, 帮助学生形成完整知识链条, 在评价上突出过程性和工程化导向, 将力学建模思路、软件操作能力、任务协作水平等纳入综合考核体系。

3. 改革路径与实施策略

本次课程改革设计, 重点突出“内容-方法-手段”三者一体化推进, 同时优化教学实施、学习方式和评价体系三个主要方面。若改革只是停留在知识点简单置换、教学工具机械叠加等表面的形式上, 就会陷入一种误区, 那就是形式上的革新, 从而造成改革的失败。改革过程中要注重课程目标、教学活动、学习资源与评价方式的有机整合, 以真实工程任务实践为依托, 促使学生掌握受力分析、运动建模、动力响应分析和工程表达综合能力, 实现知识、能力、素养三者同步提升。

3.1. 教学内容重构: 经典力学知识与智能建造场景融合

教学内容重组的重点, 就是把理论力学里的抽象知识变成可操作、可实践的具体任务链。实际教学中以静力学、运动学、动力学三个主要模块为依托, 选取和智能建造紧密相关的典型工程场景开展教学, 使知识传授同智能建造实际应用保持一致, 防止理论与实践相脱离。

从课程整体结构来看, 可按照基础认知、方法训练、综合应用的三级逻辑, 对现有教学内容进行智能建造融合设计。基础认知阶段聚焦受力分析、平衡条件、刚体运动、动量定理等核心知识点, 确保学生准确理解基本概念、熟练掌握基础模型; 方法训练阶段主要是加强学生对受力简图的绘制、约束条件的识别、力学方程的建立、参数敏感性的分析等通用能力的培养, 为后面综合应用筑牢基础; 综合应用阶段是以智能建造实际案例为载体, 将分散的力学知识整合到构件吊装、移动装备运行、结构振动诊断

等复合工程任务中, 逐步提升学生面向实际工程问题的知识迁移和综合运用的能力。

课程融合设计具体如表 1 所示, 在静力学教学环节, 结合构件吊装实际工况, 选取吊装过程中受力分解、吊点的合理布置、平衡条件计算为教学案例, 引导学生主动思考约束反力、主动力和附加荷载之间的内在联系, 熟练掌握受力分析的思维和方法。结合智能建造行业发展的现状, 在运动学教学环节中把施工机器人末端执行器的轨迹规划、无人测量平台移动路径分析作为实践内容, 使速度合成、加速度分析等抽象的知识点从理想的几何模型脱离出来, 与工程实际紧密结合, 让学生深刻体会到知识的实用性。在动力学教学中, 以深基坑监测数据解析、起重设备振动特性分析、施工平台稳定控制这些工程现场常见的问题为载体, 让学生清楚动力学分析在工程预警、施工安全管理方面所起的作用。

Table 1. Integrated design of theoretical mechanics modules and intelligent construction scenarios

表 1. 理论力学模块与智能建造场景融合设计

模块	核心知识点	智能建造典型场景	预期能力
静力学	受力分析、力系简化、平衡方程	装配式构件吊装、模板支撑体系、塔吊受力校核	建立受力模型并完成工程判断
运动学	点与刚体运动、速度与加速度分析	施工机器人轨迹规划、测量机器人路径控制、吊装协同运动	理解空间运动并进行参数表达
动力学	动量定理、动能定理、振动基础	深基坑智能监测、施工设备振动分析、3D 打印成形稳定性	分析动态响应并识别关键影响因素

融合设计既能围绕课程理论的核心来保证经典力学知识体系的系统性、完整性, 又可以提高知识与工程场景的匹配度, 使理论知识能更好地解释和解决实际问题, 真正达到理论教学和实践应用的有机融合。

在课程融合的开展中, 还要注意好“经典性”与“前沿性”的相互关系。理论力学属于一门基础核心课程, 不能只重视智能建造新技术的堆砌, 而应该始终保持以经典力学原理为主体、以前沿工程场景为实践载体, 达到经典知识和前沿技术的有机衔接。例如讲授力系简化和平衡方程这个主要内容时, 教学重点还是应该放在受力关系分析和求解逻辑梳理上, 但是案例的选择可以从传统的桁架受力分析出发, 扩展到塔吊吊装、装配式构件翻转、施工平台稳定性分析等智能建造相关的场景中去; 讲授刚体平面运动的知识点时, 核心仍然是速度场、加速度场的分析方法, 但是可以将教学任务延伸到巡检机器人、智能运输装备、测量平台的运动控制等方面, 在前沿场景中发挥出经典力学知识的作用。

3.2. 教学方法创新: 构建“理论解析 - 数值模拟 - 实验验证”递进路径

理论力学的概念抽象、推导复杂、直观性差, 课程教学要由原来的单一讲授模式转变为多模态融合的教学模式。在理论解析部分, 针对达朗贝尔原理、虚位移原理、动量矩定理这些主要的知识点进行详细的讲解, 明晰各个公式推导的基础、适用的情形和建模的准则, 进而使学生养成规范的力学分析思维。

数值模拟环节, 开展 Python、MATLAB 等几个基本工具的应用训练。教学核心重在培养学生的力学方程转化能力, 不过度追求软件复杂操作。用 Python 求解单摆、弹簧振子运动响应绘制相图和参数曲线, 在 MATLAB 中实现刚体平面运动动画演示, 在 BIM 和简易仿真的平台下模拟构件安装过程中受力的变化, 使学生由静态公式理解变为动态的过程分析, 形成对参数的影响以及敏感性的认识。

实验验证环节, 用低成本的传感器和数据采集装置来改进传统的实验。用转动惯量实验为例, 实时采集角速度、加速度的数据, 根据学生给出的角速度、加速度数据, 反推出力学模型, 分析误差的原因; 在振动相关内容教学中, 让学生采集简易结构或者支架的加速度信号, 对比理论模型、数值计算和实测

结果的差异。用计算、观察、实测相结合的方式来完成学生对理论力学知识体系整体的认识。

“理论解析 - 数值模拟 - 实验验证”的递进路径, 让学生在教育阶段就接触真实的工程实践, 这与 CDIO 工程教育模式所强调的“在企业和社会环境中完成构思、设计、实施和运行的过程”核心理念相契合[15]。递进式教学实施根据学生不同的基础水平使用分层支持的方法。对基础薄弱的学生给出标准的建模模板、推导提示和可视化资料来保证他们能够完成基本的分析任务, 而能力突出的学生可以得到更复杂的参数分析、模型改进以及编程求解的任务, 并且可以开展多种方法之间的比较和结果优化。根据学生的层次性来分层任务、分层目标和分层反馈, 达到教学整体适配性的提高。

3.3. 教学手段创新: 数字化赋能课堂

教学手段的改革应该以“可视化、交互化、个性化”为核心目标。利用三维动画、仿真短视频、AI 辅助制图等手段实现抽象概念可视化, 在课堂上用以开展教学。在课外通过微课、数字练习册及智能化学习资源等多种学习形式, 满足不同学生的个性化学习需求。

数字化赋能也应该表现在课程资源系统化创建上。除了常规课件之外, 还可以就重点章节创建起一个以微视频、典型案例库、程序示例库、常见错误库、拓展阅读包为内容的资源链。微视频可以为学生课前预习、课后回顾提供素材, 案例库将课程知识点与智能建造场景紧密结合, 程序示例库展现解析法与数值法相互佐证的过程, 常见错误库整理出高频易错问题, 拓展阅读包则为学有余力的学生提供延伸学习材料。通过上述多维立体的资源支撑, 助力学生将理论知识转化为工程实践能力, 培育其严谨规范的工程素养与数字化应用思维。

在智能建造的背景之下, 课程资源的创建要凸显跨学科特性。一方面可以把 BIM 模型、装配式施工视频、监测数据样本、典型工程故障案例等教学素材嵌入到课程当中去, 使课程同土木工程专业场景联系起来。另一方面, 可依托大语言模型与知识图谱工具, 为学生提供智能答疑、深度解析及个性化练习推荐等个性化学习支持。这种智能化支撑不仅能实现对概念辨析与公式理解的实时辅助, 更能通过学情数据分析, 帮助教师精准定位学生在模型构建、工程表述等方面的薄弱环节, 从而实现教学方案的动态优化与精准补短。

然而, 在引入人工智能工具的过程中, 必须严格秉持“辅助而不替代”的准则, 界定技术应用的认知边界。教育者应切实防范学生产生技术依赖, 避免将工具的逻辑输出误认为是学生个体的理解。为此, 教学过程应强化对思维轨迹的追溯, 要求学生完整留存建模思路、计算过程及结果校验的记录。教师的职能重心亦需随之转型, 从知识的单向传授转向高阶的问题设计、结果甄别与方法引导。通过课堂互动研讨与深度批改反馈, 确保人工智能在教学中真正起到促进深度理解、激发独立思考的作用, 而非削弱学生的自主认知能力。本节所提出的改革路径不是一些孤立措施的拼接, 而是围绕智能建造人才培养目标所形成的系统性方案。内容重构解决的是“学什么更贴近专业需求”, 方法创新解决的是“怎样把抽象的理论转化为分析的能力”, 数字化手段创新解决的是“怎样提高学习的可达性、互动性和持续的支持”。三者共同作用, 理论力学课程才真正实现了由知识传授型课程向能力培养型课程的转变。

4. 考核方式改革

在保留必要理论考察的基础上, 通过增加项目化任务与过程性评价, 突出学生利用力学知识解决复杂工程问题的核心能力。为此, 本课程构建了多元综合考核体系, 旨在全面考察学生的基础概念掌握、团队协作、知识迁移与综合工程问题解决能力。该体系由线上学习测验、仿真实验报告、小组项目汇报与期末考试四大模块构成, 具体的考核方案设计如表 2 所示。

Table 2. Design of the diversified assessment scheme for theoretical mechanics**表 2.** 理论力学课程多元考核方案设计

考核项目	占比	实施形式	考查重点
线上学习与测验	15%	平台学习 + 小测	概念掌握与基础计算
仿真/实验报告	25%	Python/MATLAB	建模、参数与结果解释
小组项目汇报	20%	案例分析 + 展示	协作、表达与迁移应用
期末考试	40%	机考/笔试 + 案例题	综合分析与工具应用

其中, 仿真/实验报告占比 25%, 是考核改革的特色实践环节, 重点考查学生将课上所学的基础力学原理转化为计算模型的能力、对关键参数的敏感性分析能力, 以及对数值结果的解释能力。为此, 从建模准确性、参数分析与敏感性、结果解释、代码/数据质量来制定评分标准, 具体如表 3 所示。

Table 3. Simulation assessment form**表 3.** 仿真模拟考核表

考核	权重	优秀(90%~100%)	合格(60%~75%)	待改进(<60%)
建模准确性	30%	约束条件、受力简图、坐标系正确, 无遗漏	主要约束正确, 个别次要约束忽略或坐标系选择不够优化	关键约束错误或受力简图严重缺失
参数分析与敏感性	30%	主动进行了至少 2 个关键参数的敏感性分析, 并给出合理解释	按任务要求改变参数, 但未主动探索或解释不足	未进行参数分析
结果解释	25%	将数值结果与工程实际(如吊装安全系数、振动预警值)明确关联, 并提出改进建议	给出结果数值, 但对工程含义说明笼统	仅罗列计算结果, 无工程解读
代码/数据质量	15%	代码注释清晰、模块化、可复现; 数据图表完整规范	代码可运行但可读性一般; 图表基本完整	代码无法运行或严重依赖他人; 无图表

5. 改革成效分析

本文以理论力学教学实践为背景, 从课程实施、课堂观察等多个维度, 对理论力学教学改革成效进行全面分析, 得出如下结论。其一, 学生对课程应用导向的认知更为具体清晰, 将装配式构件吊装、施工机器人作业、智能结构监测等一线工程场景融入教学全过程, 学生能够主动将受力分析、运动学求解、动力学响应分析等核心知识点与实际工程任务紧密结合, 课堂参与积极性及自主学习动力得到显著提升。其二, 学生解决问题的思维模式发生根本性转变, 从传统“套公式、算结果”的被动解题思维, 逐步转向“工程建模 - 数值计算 - 结果解读”的完整工程思维; 同时, 数字化课程不断完善, 借助力学仿真可视化、编程计算、实验数据采集等工具, 大幅降低了抽象力学概念的理解难度, 使力学过程具备了可感知、可验证的特点。

在教学改革推进过程中, 也面临一些现实层面的制约与挑战。首先, 教师需同时具备深厚的力学理论功底、较强的工程案例开发能力以及熟练的数字工具应用水平, 这对教学团队的跨学科建设及综合能力提升提出了更高要求。其次, 不同专业、不同基础的学生, 对编程、仿真等数字化内容的接受度存在较大差异, 教学设计需采用分层教学、循序渐进的方式, 以适配多样化的学情特点。最后, AI 工具虽有效提升了教学资源生成效率与便捷性, 但也易使学生形成依赖心理, 因此需明确 AI 工具使用规范, 强化学习成果检验与过程性提问, 保证学术诚信。

综上, 理论力学课程改革并非简单的技术叠加, 而是围绕智能建造人才培养目标, 从课程内容、教学方法、评价体系三个方向开展的系统性重构, 旨在实现理论教学与工程实践、数字技术的深度融合, 提升人才培养质量。

6. 结语

理论力学作为智能建造领域的核心基础课程, 面向土木工程数字化、智能化转型需求, 其教学改革已不能局限于传统知识传授, 而应聚焦工程场景下的综合能力培养。本文从内容重构、方法创新、手段更新与评价改进四个方面提出改革思路, 以智能建造核心任务为导向, 推动经典力学理论与数值计算方法、工程实践场景深度融合。未来, 随着行业需求不断升级, 理论力学课程将持续拓展实践资源、深化产教融合, 为培育新时代智能建造领域卓越工程人才提供坚实支撑。

基金项目

北京交通大学校级教研项目(LX20240188)。

参考文献

- [1] 林健. 引领高等教育改革的新工科建设[J]. 中国高等教育, 2017(Z2): 40-43.
- [2] 夏建国, 赵军. 新工科建设背景下地方高校工程教育发展刍议[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 15-19, 65.
- [3] 杨建, 尧国皇. 智能建造背景下高职建筑类专业人才培养改革探究——以深圳某高职院校建设工程管理专业为例[J]. 深圳信息职业技术学院学报, 2022, 20(4): 40-45.
- [4] 庞崇安, 张炜, 刘霏霏. 智能建造专业群建设背景下人才培养优化路径研究[J]. 职业技术, 2025, 24(7): 63-70.
- [5] 胡海岩. 对理论力学课程改革的期盼[J]. 力学与实践, 2022, 44(4): 914-917.
- [6] 陈恩惠, 税国双. 新工科背景下“理论力学”课程改革的探索与实践[J]. 教育教学论坛, 2024(28): 108-112.
- [7] 叶红玲, 杨庆生, 刘赵淼, 李晓阳. 理论力学课程教学高阶性建设的探索与实践[J]. 力学与实践, 2020, 42(4): 489-494.
- [8] 沙丽荣, 高振国, 王秀丽. 混合教学模式下理论力学一流课程建设与实践[J]. 高教学刊, 2023, 9(1): 38-41.
- [9] 郭玉臣, 卫志华, 塔力鹏·努尔巴合提. 面向学科交叉的数据采集与集成课程教学设计[J]. 计算机教育, 2021(8): 142-146.
- [10] 张学元, 张道明, 吕春. 基于建构主义的结构力学教学设计与实践[J]. 大学教育, 2019(10): 79-81.
- [11] 龚炜博. 以 AI 技术在教育领域的应用浅析人工智能对未来教育的影响[J]. 中国战略新兴产业, 2018(8): 51, 53.
- [12] 赵沛, 杨卫. AI 时代的力学教学[J]. 力学与实践, 2024, 47(1): 9-14.
- [13] 李俊峰. 力学“101 计划”中理论力学课程设计[J]. 力学与实践, 2025, 47(2): 265-272.
- [14] 张颖, 冯桑, 刘延伟, 胡红斐. 面向车辆工程的基于 OBE-CDIO 融合理念的理论力学教学改革探索[J]. 时代汽车, 2025(7): 74-76.
- [15] 雷环, 汤威颀, Edward F. Crawley. 培养创新型、多层次、专业化的工程科技人才——CDIO 工程教育改革的核心理念和培养模式[J]. 高等工程教育研究, 2009(5): 29-35.