

新工科背景下工程热学“理论-仿真-应用”三位一体教学改革实践

管迎春 徐明杰 郭骥豪 张彦华
北京航空航天大学机械工程及自动化学院
DOI:10.32629/jief.v8i2.21229

[摘要] 面向新工科背景下航空航天及高端装备领域对复合型工程人才的能力需求,针对工程热学课程中存在的理论体系割裂、工程场景脱节以及学生复杂工程问题求解能力不足等问题,基于OBE成果导向教育理念,构建“理论教学-仿真验证-工程应用”三位一体教学改革模式。该模式以能量传递与转换为主线重构课程体系,通过案例驱动教学、数智化学习支持与递进式工程实践融合,形成贯通基础理论与复杂工程应用的能力培养路径,并建立科研成果向教学资源转化机制与全过程多元评价体系。教学实践表明,该模式能够有效提升学生工程建模能力、复杂问题求解能力与综合创新能力,为新工科基础课程教学改革提供了可借鉴经验。

[关键词] 新工科; 工程热学; OBE; 科教融合; 工程能力培养
中图分类号: F407.9 **文献标识码:** A

Teaching Reform and Practice of Engineering Thermodynamics: A "Theory-Simulation-Application" Three-in-One Model Under Emerging Engineering Education

Yingchun Guan Mingjie Xu Qihao Guo Yanhua Zhang

School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University

[Abstract] Against the background of emerging engineering education, the aerospace and high-end equipment sectors put forward higher requirements for interdisciplinary engineering talents. The current Engineering Thermodynamics course is constrained by three shortcomings: fragmented theory, misalignment with engineering practice, and the limited ability of students to solve complex engineering problems. Guided by the Outcome-Based Education (OBE) concept, this study builds a three-in-one teaching reform model covering theoretical teaching, simulation verification and engineering application. This model restructures the curriculum system with energy transfer and conversion as the core thread. It combines case-driven teaching, digital-intelligent learning support and progressive engineering practice, and forms a competence cultivation path that connects basic theories with complex engineering applications. Meanwhile, the study establishes a mechanism for transforming scientific research achievements into teaching resources, and a whole-process multi-dimensional evaluation system. Teaching practice shows that this model effectively improves students' engineering modeling ability, complex problem-solving skills and comprehensive innovation capacity, and provides valuable reference for basic course reform in emerging engineering education.

[Key words] Emerging Engineering Education; Engineering Thermodynamics; OBE; Integration of Scientific; Engineering Competence Cultivation

1 引言

在新一轮科技革命与产业变革加速演进的背景下,航空航天热控系统、高端装备热管理及新能源高效利用等复杂工程系统对工程人才提出了更高层次要求,其核心已从单一知识掌握

转向跨学科知识整合能力、复杂物理过程建模能力以及工程系统优化能力的综合发展^[1]。工程热学作为机械类及相关专业的重要专业基础课程,在连接基础理论与工程应用、支撑复杂热系统分析与设计能力培养方面具有基础性 & 关键性作用^[2]。

在工程教育专业认证与新工科建设持续推进的背景下, OBE理念逐渐成为课程改革的重要指导思想, 其核心在于以学习产出为导向反向设计课程体系。然而在实际教学过程中, 工程热学课程仍普遍存在较强的知识中心取向, 课程内容更多围绕理论推导与公式计算展开, 缺乏与真实工程系统之间的有效映射关系, 导致学生在学习过程中容易形成“知识理解”与“工程应用”之间的断裂^[3]。同时, 随着航空航天、先进制造及能源技术的快速发展, 工程热学相关知识体系不断演进, 而课程内容更新仍主要依赖教师个体经验补充, 缺乏系统化科研成果转化机制, 使课程前沿性与工程适配性受到制约^[4]。

此外, 现有实践教学仍以验证性实验为主, 学生按照既定步骤完成实验流程, 缺乏面向复杂工程约束条件的自主建模与系统分析训练, 难以形成完整工程问题解决能力。在评价体系方面, 课程考核仍以期末考试为核心, 对过程性学习与能力成长关注不足, 无法对学生工程能力发展过程进行连续刻画^[5,6]。因此, 有必要构建面向工程能力系统培养的课程教学改革模式。

2 课程教学存在的主要问题

结合机械类专业人才培养目标与课程长期教学实践, 当前工程热学教学与新工科复合型、创新型工程人才培养要求仍存在明显差距, 集中表现为以下几方面。

2.1 理论体系与应用场景关联不足

传统工程热学教学多将热力学基本概念、热力过程、传热学核心内容分模块割裂讲授, 尚未构建起贯穿能量产生、转换、利用全链条与工程应用场景的清晰逻辑主线, 知识体系碎片化特征突出。普遍存在“熟知理论却不会解决实际问题”的困境。面对复杂工程问题时, 学生建模分析与跨尺度求解能力不足, 难以衔接高阶工程训练与学术研究。同时, 课程偏重经典理论静态讲授, 动态热调控、系统热管理等前沿内容融入不足, 学生对知识的工程价值感知薄弱。

2.2 教学内容与产业前沿迭代脱节

教研衔接不紧密是课程质量提升的核心瓶颈。一方面, 缺乏稳定的科研成果转化机制, 航空航天热控、先进制造热调控等领域的最新成果与工程案例, 难以及时转化为教学资源, 内容更新滞后于产业技术迭代节奏; 另一方面, 教学团队学科背景相对单一, 对非稳态高能场热物理、微纳尺度传热等前沿领域认知与教学经验不足, 课程前沿性、高阶性受限, 难以匹配高端装备领域的创新人才需求。

2.3 工程问题驱动的教学闭环缺失

传统教学模式仍以课堂理论讲授搭配课后习题训练为主, 工程问题导向与任务驱动明显不足, 尚未形成“发现问题-建模分析-仿真验证-设计优化”的完整教学闭环。实验教学以验证性项目为主, 设计性、综合性实践占比不足, 学生多按既定流程完成操作, 难以在真实工程场景中锤炼热学理论的综合应用能力。此外, 数字化仿真与课程融合仍处于初级阶段, 未能充分发挥其在复杂热工过程可视化、模型求解训练、工程方案优化中

的核心支撑作用, 理论教学与工程实践脱节的问题尚未得到根本扭转。

2.4 工程素养考核维度缺失

传统考核以期末闭卷考试为核心方式, 对学生学习过程与能力成长的评价维度严重缺失。现有评价体系仅能考查学生对基本概念、核心公式与常规解题方法的掌握程度, 难以有效衡量学生在复杂工程问题求解中的逻辑推演、建模分析、团队协作与创新设计水平。这种终结性主导的评价模式, 既削弱了学生主动探究与工程实践的积极性, 也与新工科以能力培养为核心的育人目标存在明显错配, 难以形成“教学-评价-改进”的持续质量改进闭环。

3 教学改革设计与实施路径

3.1 面向工程能力的课程体系重构

课程体系以“能量产生-传递-转换-利用”为主线, 整合热力学与传热学内容, 形成面向工程问题求解的一体化知识结构。在基础理论层面, 强化热力学基本定律、工质热物性与传热规律之间的内在联系, 引导学生建立统一的能量守恒与传递分析框架; 在工程分析层面, 突出热力循环分析和换热系统设计方法, 培养系统级分析能力; 在能力拓展层面, 引入非稳态传热建模、数值仿真和有限元分析思想, 并结合航空发动机热管理、激光制造热过程等案例, 推动理论学习向工程建模能力转化。

3.2 科教融合驱动的教学资源重构机制

围绕课程前沿性提升, 构建科研成果向教学资源转化机制, 将国家级科研项目和工程研究中的典型热学问题拆解为课堂案例、实验任务和课程设计内容, 使科研成果稳定进入教学体系。同时, 通过教师参与企业工程实践、引入企业专家参与课程建设与评价, 形成校企协同育人机制。依托重点实验室和数值仿真平台, 建设覆盖理论教学、仿真实验和工程验证的一体化支撑体系, 增强课程持续更新能力。

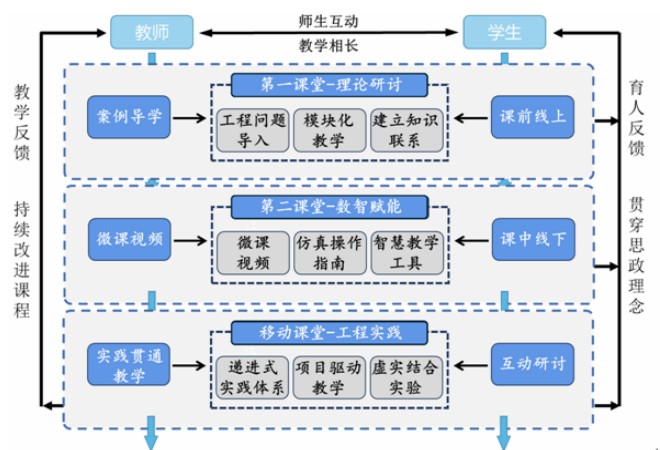


图1 以“问题驱动”为核心的“三课堂”协同育人模式图

3.3 “三课堂”协同融合教学体系

以工程问题驱动为核心, 构建第一课堂理论研讨、第二课堂数智赋能、移动课堂工程实践贯通的“三课堂”协同育人模式(图1), 实现课内课外、线上线下、理论实践融合。在课堂教学中,

以真实工程问题组织教学内容,通过案例驱动和研讨式教学强化理论理解;在数字化学习层面,依托在线平台整合微课、仿真指导和工程案例资源,支持课前预习、课中反馈和课后拓展;在工程实践环节,将基础实验、综合设计实验和工程创新课题递进融合,使学生在连续工程任务中完成从理论认知到工程应用的转化。

3.4 全过程能力导向评价体系

课程评价体系由传统结果导向转向全过程能力导向模式,将学习过程纳入能力形成的重要评价维度。过程性评价覆盖课堂参与、实验操作、仿真训练与项目完成情况,强调学习过程的动态反馈;终结性评价则以复杂工程问题为核心载体,重点考查学生的物理建模能力与系统分析能力。通过多维度评价数据融合,实现对学生知识掌握与能力发展的综合刻画,使评价体系从“结果评价”转向“能力生成评价”,并反向支撑教学持续优化。

4 教学实践与效果分析

经过2023至2025学年累计10多个教学班约400名机械类专业本科学生的教学实践开展,所有教学班均统一实施“理论-仿真-工程”三位一体教学模式改革与多元化过程考核改革。为科学验证改革成效,研究采用自身前后对照法,以改革实施前(2022学年)同专业、同课程、同授课团队的历史教学数据为基准对照,在授课教师、教学大纲、课程学时、核心知识体系与考核难度保持基本一致的前提下,开展改革前后多维度对比分析。同时,基于OBE理念构建“课程目标达成度-学生能力成长-教学质量评价”三维度成效评价体系,围绕课程成绩、复杂工程问题求解能力、课程满意度、科创竞赛参与度等关键指标进行量化验证,全面反映教学模式与考核模式改革带来的实际提升效果。

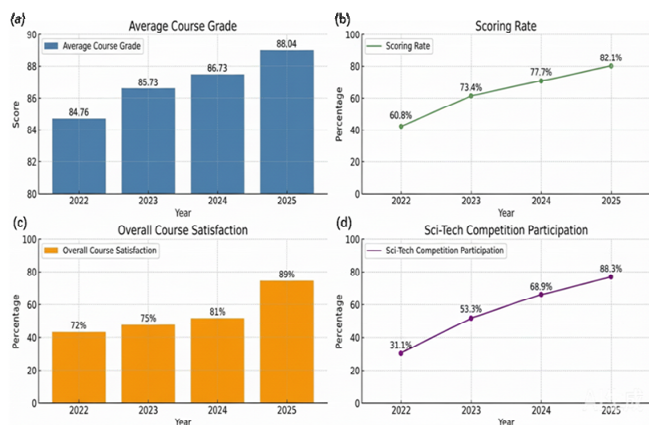


图2 教学改革前后多维度对比图: (a) 平均成绩; (b) 工程应用与分析综合类试题得分率; (c) 课程整体满意度; (d) 科创竞赛参与度

从改革前后的量化对比结果来看,“理论-仿真-工程”一体化教学模式与多元化过程考核改革有效提升了课程教学质量与

学生的核心能力,全面达成了整体知识掌握程度与学习效果;教学实践印证了案例驱动研讨、数值仿真训练、综合设计实践等改革环节,有效强化了学生从真实工程场景中提炼热学问题、建立物理模型、运用理论与仿真工具完成系统求解的能力,实现了从“公式解题”到“复杂工程问题求解”的核心能力跃迁。

与此同时,教学模式与考核体系的同步优化,显著改善了学生的学习体验与创新实践意愿,显著提升了课程整体满意度,学生对三课堂协同育人模式、过程性评价体系、工程化教学内容的认可度较高,学习主动性与课堂参与感明显增强;同时也促进了学生参与科创竞赛的积极性,更多学生能够将课程所学的热系统分析、数值模拟、工程优化方法应用于科创项目与创新课题,实现了课程学习向科研创新与工程实践的有效延伸,全面达成了OBE理念下“知识-能力-素养”三位一体的课程培养目标。

5 结论

面向新工科人才培养需求,本文构建了工程热学“三位一体”教学改革模式,通过课程内容重构、科教融合机制建设、三课堂协同教学体系优化以及全过程多元评价体系设计,形成了面向工程能力培养的系统化教学路径。实践结果表明,该模式能够有效促进学生从知识掌握向工程能力发展的转变,在提升复杂工程问题求解能力与综合工程素养方面具有积极作用。未来仍需进一步拓展跨专业与跨院校应用验证,并结合智能化教学技术优化个性化学习路径,同时深化产教融合机制,以增强课程持续改进能力与推广价值。

【参考文献】

- [1]教育部,工业和信息化部,中国工程院.关于加快建设发展新工科实施卓越工程师教育培养计划2.0的意见[J].中华人民共和国教育部公报,2018,(10):13-15.
- [2]石尔,赵斌,姜昌伟,等.能源动力类专业“工程热力学”一流课程建设探索与实践[J].高等工程教育研究,2023,(S1):114-117.
- [3]孙宏发,龙激波,许福.工程力学专业“工程热力学”课程的教学方法研究[J].教育教学论坛,2023,(10):125-128.
- [4]李峰,秦晓峰,李秀红,等.新工科机械类创新人才培养模式下实践教学体系构建[J].机械设计,2023,40(11):135-140.
- [5]邱琳,尹少武,冯妍卉.面向国际化教学的热工学教育改革探索[J].高等工程教育研究,2023,(S1):188-190.
- [6]李期斌,严飞.案例教学在高等工程热力学近代进展课程教学中的应用[J].高教学刊,2026,12(06):60-63.

作者简介:

管迎春(1983--),女,北京市海淀区人,博士研究生,职称:北京航空航天大学教授,研究方向:激光精密加工。