

基于《传热学》课程教学与科研有机结合模式的探索与实践

楚化强, 许 年, 徐 前, 刘子龙, 杨臣豪

安徽工业大学能源与环境学院, 安徽 马鞍山

收稿日期: 2025年10月14日; 录用日期: 2025年12月2日; 发布日期: 2025年12月12日

摘 要

在当代科技快速发展的背景下,《传热学》作为能源与动力工程、材料科学及环境工程等多领域的核心基础学科,其教学内容与方法亟需与前沿科技发展保持同步。笔者基于《传热学》课程的教学实践,系统探讨了科研与教学深度融合的路径与方法,着力将科研成果有效转化为优质教学资源,以实现“以研促教、教研相长”的良性循环。总之,依托科研反哺教学、教学启发科研的双向互动机制,能够突破传统教学中理论与实际脱节、内容滞后于技术发展等问题,为工程学科教学改革提供可借鉴的范式。笔者所提出的融合模式与实施路径,对推动传热学乃至更多工程学科的教育创新与人才培养质量提升具有重要的理论意义与实践价值。

关键词

传热学, 教学, 科研

Exploration and Practice of an Integrated Teaching and Research Model for the Course “Heat Transfer”

Huaqiang Chu, Nian Xu, Qian Xu, Zilong Liu, Chenhao Yang

School of Energy and Environment, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui

Received: October 14, 2025; accepted: December 2, 2025; published: December 12, 2025

Abstract

Against the backdrop of rapid technological advancement, “Heat Transfer” is a core discipline in

文章引用: 楚化强, 许年, 徐前, 刘子龙, 杨臣豪. 基于《传热学》课程教学与科研有机结合模式的探索与实践[J]. 创新教育研究, 2025, 13(12): 351-362. DOI: 10.12677/ces.2025.1312969

fields such as energy and power engineering, materials science, and environmental engineering. There is an urgent need to synchronize its teaching content and methods with cutting-edge scientific developments. Based on teaching practice in the “Heat Transfer” course, this study systematically explores pathways for the deep integration of research and teaching, aiming to effectively transform research outcomes into high-quality educational resources and establish a virtuous cycle where research enhances teaching and teaching, in turn, inspires research. In summary, the proposed bidirectional interaction mechanism, which leverages research to enhance teaching and allows teaching to inspire research, can overcome the limitations of traditional instruction, such as the disconnection between theory and practice and content that lags behind technological development. It provides a transferable paradigm for teaching reform in engineering disciplines. The integration model and implementation paths presented in this study hold significant theoretical and practical value for promoting educational innovation and enhancing the quality of talent cultivation in heat transfer and related engineering fields.

Keywords

Heat Transfer, Teaching, Research

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

能源与动力工程领域正经历深刻的技术变革，这一进程高度依赖于知识体系的持续迭代与创新。传热学作为该领域的核心基础课程，不仅为学生提供热传导、对流换热及辐射传热等方面的基本原理，更直接关系到学生解决实际工程问题的能力。因此，课程的教学内容与教学方法亟须与科技前沿同步演进，以应对行业快速发展对人才素质提出的新要求。

高校教师肩负教学与科研双重使命，二者的深度融合是推动学科发展与教育创新的核心动力。教学与科研虽在实践层面呈现不同的特点，但从本质来看，二者构成高等教育生态的有机整体，通过动态平衡与协同互促实现共同发展[1]。这种“研教融合”的互惠机制，已成为提升学术创新水平与人才培养质量的重要路径[2]。近年来，研究性教学与科教融合已成为高等教育改革的核心议题。Cheng 等人认为教学实践提供问题与数据，科研则提供理论与方法，两者共同推动教师专业成长与教学质量提升[3]。教学与科研并非割裂，而是互为支撑、相辅相成的两个维度。Federspiel 等人[4]在教授心脏结构的课堂研究中发现，教学提供实践平台与结构认知，科研提供理论深化与技术创新。Niu 和 Jiang [5]发现了教学与科研的协同关系：科研为教学提供技术支撑，教学为科研提供应用场景与反馈机制。Burgess 等人[6]认为，教学与科研在高等教育中不应是割裂的两个系统，而是互为支撑的双轮。教学应以科研为基础，科研也应关注教学实践中的真实问题。特别是在体育与运动科学这样一个跨学科、应用性强的领域，教学与科研的融合不仅能提升教学质量，也能推动学科发展。Watkins 和 Saha [7]认为教学与科研并非割裂的两条路径，而是可以通过课程设计实现深度融合。两者在平台设计、模型构建、效果评估等方面互为促进，形成了“以研促教、以教促研”的良性循环。在此基础上，本研究借鉴建构主义学习理论，其核心在于学习者通过主动建构知识体系实现深度内化；同时融入情境学习理论，强调真实情境中的实践参与对能力培养的促进作用。

在传热学课程中实现科研与教学的有机结合，具有显著的必要性与可行性。传热学知识体系在航空

航天、新能源开发、微电子散热等战略领域均发挥着关键支撑作用[8]。一方面,教学为科研提供源头活水。课堂中学生的提问、讨论中产生的思辨,以及实验教学中观察到的现象,常常成为科研探索的起点;另一方面,科研则有效反哺教学。教师通过参与前沿课题,能够及时将新知识、新方法和新技术引入课堂,推动教学内容从“经典理论”向“经典与前沿融合”转变,增强教学的时代性与吸引力。

为实现这一目标,笔者团队依托多年教学与科研实践,致力于将科研成果系统融入传热学课程建设中。例如,通过编写《MATLAB在传热学例题中的应用》《传热学(第6版)知识精讲与习题解答》等辅助教材,将工程仿真软件与典型例题相结合,帮助学生掌握先进工具的使用,增强其数值建模与创新设计能力[9]-[11]。此外,团队还围绕相变传热、强化换热表面设计、相变储能材料开发等方向,开展了从微观机理探索到工程应用验证的全链条研究,为课程教学提供了丰富的前沿案例与实践素材。

笔者基于《传热学》课程的教学改革实践,重点探讨科研与教学深度融合的具体路径与方法,包括如何将沸腾传热、防冰除冰技术、复合相变材料等科研主题转化为教学资源,如何通过多尺度模拟与智能算法增强学生的创新与实践能力,以及如何构建以“教学相长、研教融合”为核心的教学理念框架,实现“教学相长、研教互促”的良性循环。期待通过这些探索,为工程学科教育改革提供有益参考,为培养具备创新能力和实践能力的高素质人才提供支撑。

2. 科研与教学有机融合

为实现科研与教学的深度协同,笔者团队构建了以“教学相长、研教融合”为核心的教学理念框架(如图1所示)。该框架以“科研-教学”互动为中心,形成包含四个关键环节的闭环系统,系统化推动知识传递、能力培养与创新研究的有机统一。

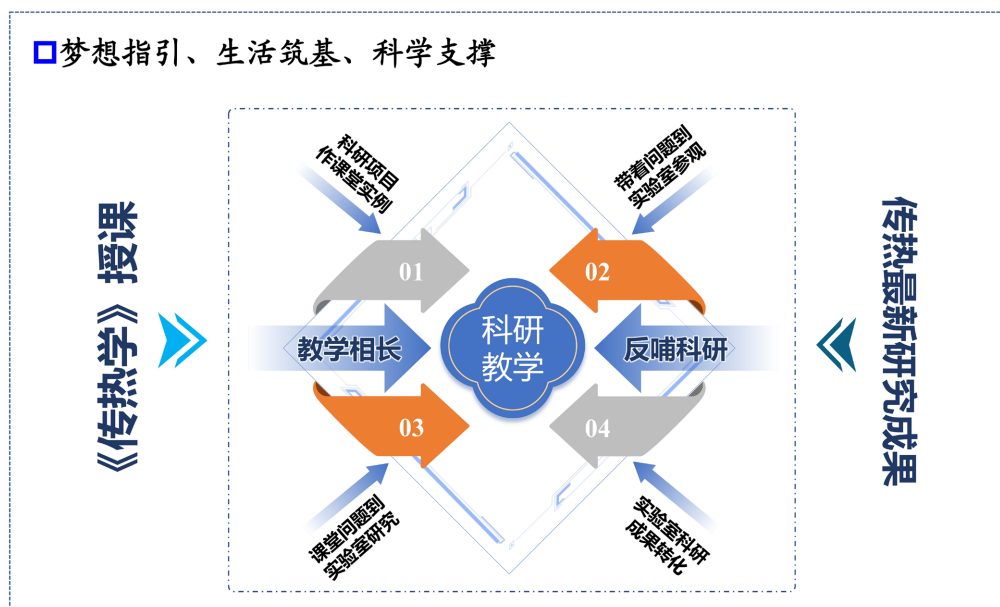


Figure 1. The pedagogical framework centred on the core principles of “Dreams as Guidance, Life as Foundation, Science as Support”

图 1. “梦想指引、生活筑基、科学支撑”为核心的教学理念框架

a) 科研反哺教学：从项目成果到课堂实例

框架中的“科研项目作课堂实例”环节,强调将团队在沸腾传热、超疏水防冰、相变材料等方向的科研成果,转化为模块化、案例化的教学资源。例如,将梯度润湿表面强化传热的实验数据引入“相变

换热”教学,使学生能够直观理解临界热流密度的微观机制与工程调控路径,增强课程前沿性与实效性。

b) 问题引导实践:从课堂到实验室的场景迁移

“带着问题到实验室参观”与“课堂问题到实验室研究”两个环节,重点推动学生从理论认知向实践探究延伸。在讲授辐射换热定律时,引导学生思考“如何通过光谱调控实现高效辐射制冷”,并组织
学生观察光热材料实验、参与表面发射率测量,使其在真实科研场景中掌握热辐射的物理本质与工程应用条件,强化“学思结合、知行统一”的能力培养。

c) 教学启发科研:以真实问题推动前沿创新

“实验室科研成果转化”与“反哺科研”环节凸显教学对科研的启发作用。学生在学习过程中提出的疑问(如“如何提升相变材料的导热性能?”)常成为团队开展新材料研发与热管理优化的起点。通过将工程实际问题引入科研课题,形成“教学出题、科研解题”的良性循环,持续推动传热学研究的应用导向与原始创新。

该框架以系统化、结构化的方式实现“科研赋能教学、教学激活科研”的双向互动,为工程类课程的教学改革提供了可复制、可推广的实践范式。

3. 科研驱动教学

《传热学》构建了现代热动力工程研究的核心理论体系,其涵盖的热传导、对流换热及辐射传热机理,是解决能源转换、电子器件散热、航空航天热控制等工程难题的理论基础。然而,随着行业技术迭代加速,传统教材中的案例与方法往往滞后于科技前沿发展。将最新科研成果系统融入课程教学,不仅能够可视化基础理论在当代工程中的演变轨迹,更有助于打破教学与实际应用之间的壁垒,显著提升课程的前瞻性与时效性。图 2 给出了《传热学》课程知识重构。



Figure 2. Knowledge reconstruction of the course “Heat Transfer”

图 2. 《传热学》课程知识重构

3.1. 相变传热

相变传热作为自然界与工程实际中广泛存在的复杂热现象,其教学内容长期以来局限于 Stefan 问题、

Nusselt 液膜凝结等经典理论框架, 难以满足学生对微观机制、多场耦合及工程应用的理解需求。例如, 学生在学习沸腾传热时, 虽可掌握临界热流密度(CHF)的计算公式, 却难以洞察其背后的物理本质与工程调控方法, 而这对电子设备散热、核反应堆安全等领域恰恰至关重要。

针对这一教学瓶颈, 笔者依托在相变传热领域的科研积累, 开发了池沸腾实验系统与梯度润湿性表面制备平台, 结合分子动力学模拟, 系统阐明多孔介质内蒸发-沸腾的协同强化机制与热流密度调控规律。

笔者持续通过科研创新追踪课程前沿, 将科研创新与课程结合起来, 将科研成果融入教学, 以期对教学效果起到良好的促进作用。如图 3 所示, 笔者团队综合评估了多孔介质对相变传热曲线各阶段的影响, 阐明了多孔结构中热传递的微观机理, 为提高热交换设备的效率提供了新思路[12]。将其引入《传热学》课程中沸腾传热的教学模块中, 能够将前沿科研动态与基础理论教学有机融合。此举不仅有助于学生深化对沸腾传热微观机理(如气泡在多孔结构中的成核、生长与脱离行为)的理解, 还能直观展示表面物理化学性质对沸腾传热性能的定量影响, 建立起从基础原理到前沿技术创新的认知桥梁, 从而显著提升教学内容的深度和人才培养的有效性。

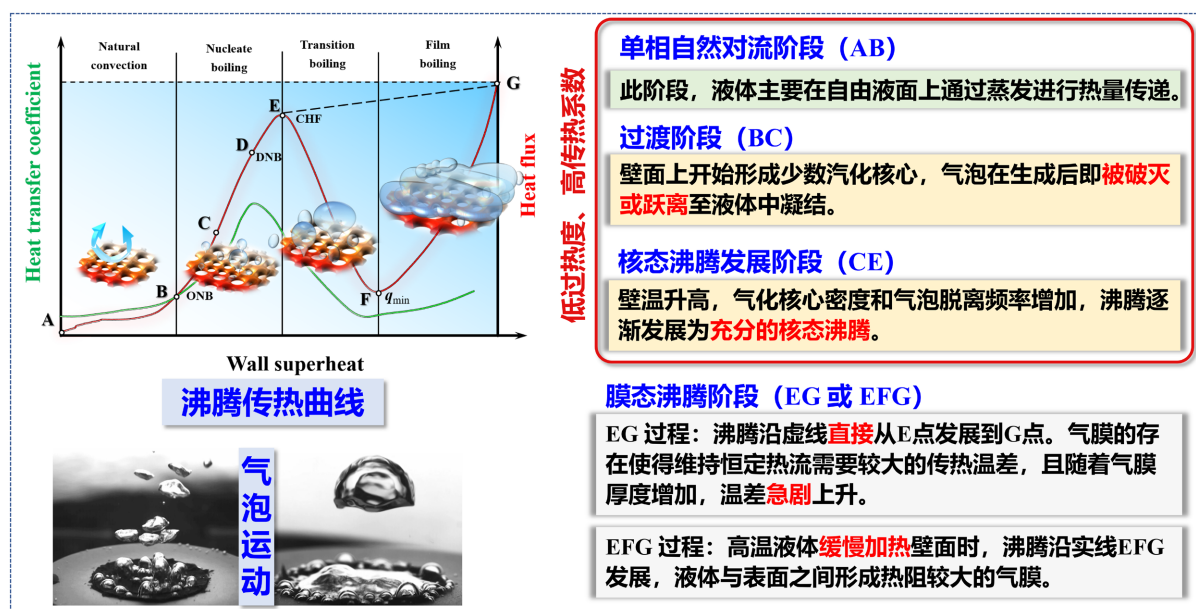


Figure 3. Patterns of boiling heat transfer curves and bubble behavior

图 3. 沸腾传热曲线的规律和气泡行为

3.2. 辐射传热

辐射传热是传热学的重要内容, 所讲内容主要包括热辐射定律、热辐射特性及计算等[13]。不同于导热与对流的接触式传热机制, 辐射传热通过电磁波在真空中完成能量传递, 这一特性在航天器热防护、高温炉窑设计及太阳能利用中具有不可替代性。李洪等[14]通过对材料表面光谱发射率的精准调控, 实现了阳光直射下的被动冷却效果。如图 4 所示, 这是由于物体表面辐射出的电磁波可以穿透大气窗口与太空进行辐射换热。这种光谱辐射特性的精准调控使得地表热量以辐射形式穿透大气, 从而形成自发的辐射冷却效应[15][16]。在辐射传热的教学模块中, 可以依托辐射制冷的相关科研成果, 促进教学效果的显著提升。例如, 通过解析地表辐射光谱峰值与大气透明窗口的耦合机制, 可具象化验证普朗克定律对黑体辐射波长分布的定量描述; 结合地表(大约 300 K)与外太空(大约 3 K)的极端温差场景, 则能够生动诠释斯忒藩-玻尔兹曼定律中温度四次方关系对净辐射热流的决定性作用。此外, 还可在教学中引入在实

际工程应用中辐射换热的相关应用，以此来加强学生对辐射换热的理解。例如，在讲解维恩位移定律时引入钢铁工人通过钢坯颜色判断钢坯大致温度的例子。通过此类科研成果以及工程应用反哺基础教学，不仅能深化学生对辐射换热定律的微观认知，更能强化其运用理论解决工程问题的能力，在提升学习主动性的同时构建起完整的知识迁移路径。

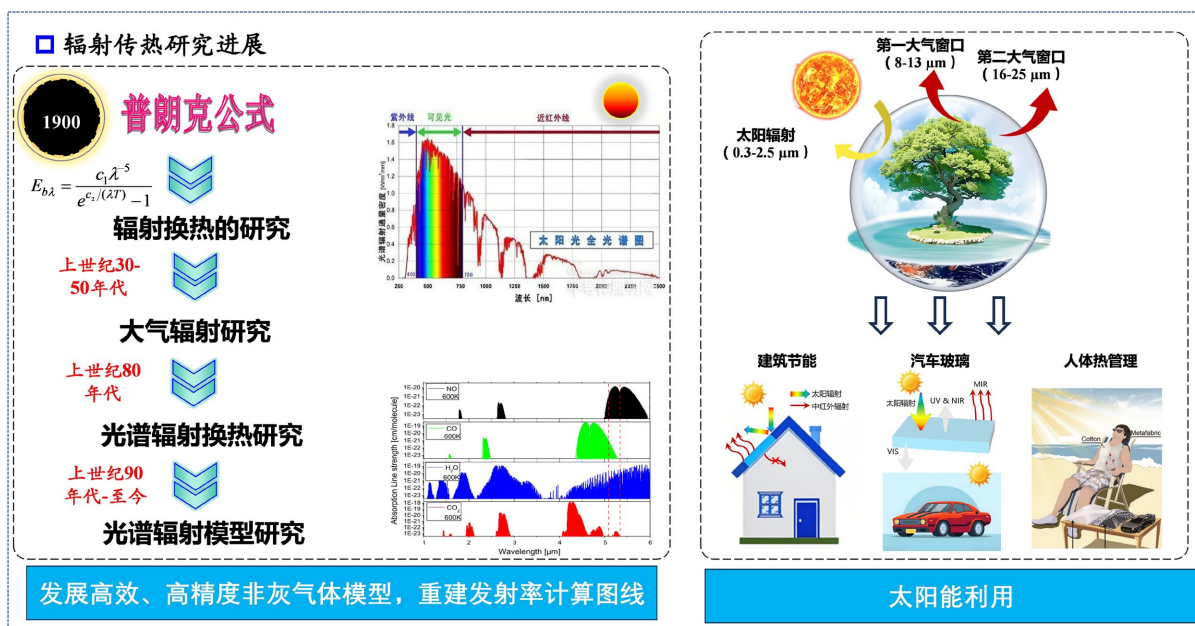


Figure 4. Advances in radiative heat transfer and related applications

图 4. 辐射传热进展及相关应用

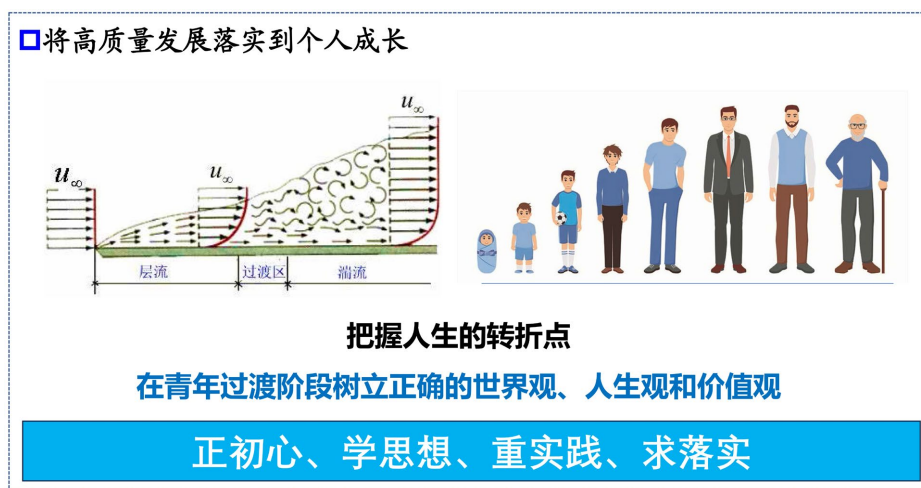


Figure 5. Analogy between flow states in heat transfer teaching and life stages

图 5. 传热学教学中流动状态与人生阶段的类比

除了笔者团队的主要科研方向之外，将传热学知识贯彻在学生思政教育之中也是笔者在教学工作中的重心。例如，“中国古代的‘冷暖’智慧”展现了传统建筑中蕴含的传热学原理，如四合院通过坐北朝南的布局最大化利用太阳辐射、木构架通过泥背层与架空结构实现夏季隔热、地下火道利用对流传热实现冬季取暖。这些案例不仅揭示了传热学在古今能源利用中的核心作用，更为教学提供了极具中国特色

的工程案例,能够帮助学生从传统文化中理解导热、对流与辐射的基本规律,实现科学知识与实践、人文价值的深度融合。

在图 5 中,通过将流体流动的“层流 - 过渡 - 湍流”状态与人的成长阶段相类比,形象说明了传热学教学中“流动与传热”概念的跨领域适用性与教育意义。该类比既帮助学生理解边界层发展、流动转变等抽象概念,又传递出育人的深层目标:如同流动在过渡阶段尤为关键,青年时期也是价值观形成与技术观塑造的重要阶段。传热学教学借此可实现从知识传授到价值引领的跨越,回应“将高质量发展落实到个人成长”的教育使命。

上述教学实践表明,将传热学基础理论与前沿科研领域深度融合,不仅能深化学生对热传导、对流、辐射等核心原理的认知,同时可有效培养其运用理论知识解决工程实际问题的能力。持续通过将换热器优化设计、高效散热材料开发、太阳能光热转换系统等新兴研究成果引入课堂,使学生同步掌握基础理论与学科前沿动态,显著强化学习过程的内在驱动力。然而需要正视的是,针对不同教学模块精准匹配适切的前沿内容,对授课教师提出更高专业要求。这要求教师投入大量精力进行教学重构:既需紧扣教学大纲基础框架,又需系统追踪学科发展动态,通过精选反映最新进展的典型案例,确保教学内容兼具理论深度与工程关联度。这种教学模式的核心价值在于:一方面持续更新课程的知识体系,破除教材滞后性;另一方面通过展示理论知识在节能技术、新能源装备等领域的实际转化,使学生切实感知学科知识的现实意义。这不仅能激活学生批判性思维与课堂参与度,更有助于实现从“被动接收”到“主动建构”的教学范式转变,真正落实学生在学习过程中的主体性地位。

4. 教学反哺科研

传热学教学过程中,经典理论、公式推导和实例讲解是重点,但单纯的理论教学易使学生感到抽象和脱离实际。科研与教学的融合已成为高校教育改革的趋势,其中学生参与科研是课堂教学的有效延伸。将学生引入科研过程中,不仅丰富了他们的学习经历,还为他们未来的学术和职业道路奠定了良好的基础。

4.1. 多尺度沸腾传热

在讲授“相变换热”章节时,学生普遍对沸腾过程中“气泡如何产生与运动”和“临界热流密度 CHF 为何出现”等机理性和工程性问题表现出浓厚兴趣。这些源于课堂的疑问,直接推动了本团队在沸腾传热领域从微观机理到工程应用的全链条研究。



Figure 6. Mechanism of boiling heat transfer investigated based on course feedback content

图 6. 根据课程反馈内容研究的沸腾传热的机制

为系统解析沸腾过程的内在机制,团队构建了基于气泡动力学与液体补充行为的机理模型(见图 6)。该模型清晰展示了气泡周期包括成核、生长、脱离和再润湿四个核心阶段,并明确指出液体补充能力的不足是导致 CHF 现象发生的直接物理原因[12]。在课堂教学中,笔者借助该模型引导学生理解 CHF 不仅是一个热流极限值,更是一个涉及微观流体行为、界面效应与宏观热工性能耦合的多尺度问题。

基于上述机理认识,团队进一步搭建高温高压沸腾实验系统,通过设计具有梯度润湿性的微结构表面,显著增强了液体的回流与补充效率,从而延缓 CHF 的发生、提升沸腾传热极限。与此同时,引入分子动力学模拟从原子尺度揭示气泡成核与界面相互作用的机制,使学生对“成核位点”“接触角”等概念有了更深入的理解[17]。

这些研究成果不仅有效回应了学生的课堂疑问,更被提炼为教学案例反馈至“沸腾换热”与“多相流基础”等相关章节,实现了从真实科研到优质教学资源的转化。此外,所开发的高效沸腾表面技术已应用于电子器件散热和能源系统换热器中,体现出教学、科研与工程实践紧密结合的实际价值。

4.2. 超疏水光热防冰除冰

在传热学课程中讲解“相变传热”与“界面热质传递”相关内容时,学生常对结冰与除冰这一常见自然现象背后的热物理机制产生兴趣,并提出“能否开发出节能、高效且持久的防除冰材料”这一具有明确工程背景的科学问题。

基于教学互动中产生的灵感,团队成功制备出具有微纳复合结构的超疏水光热涂层。该涂层一方面通过构筑粗糙表面吸附空气形成气膜,实现超疏水性(接触角大于 150° , 滑动角低于 5°),显著延缓结冰;另一方面引入光热组分,在光照下可实现快速、低能耗的主动除冰[18]。

为系统验证该材料的综合性能,团队开展了多维度实验研究(如图 7 所示)。在防冰性能方面,涂层表面液滴的冻结时间相比普通表面显著延长。涂层表面的冰滴在激光照射(251 秒)后能完全融化,显示出高效的光热转换与除冰效果。此外,耐磨性能通过砂纸磨损与水流冲击测试进行考核,结果显示在经过磨损后涂层仍能保持超疏水特性,说明材料具备较好的机械稳定性,满足实际工程应用对耐久性的要求[19]。

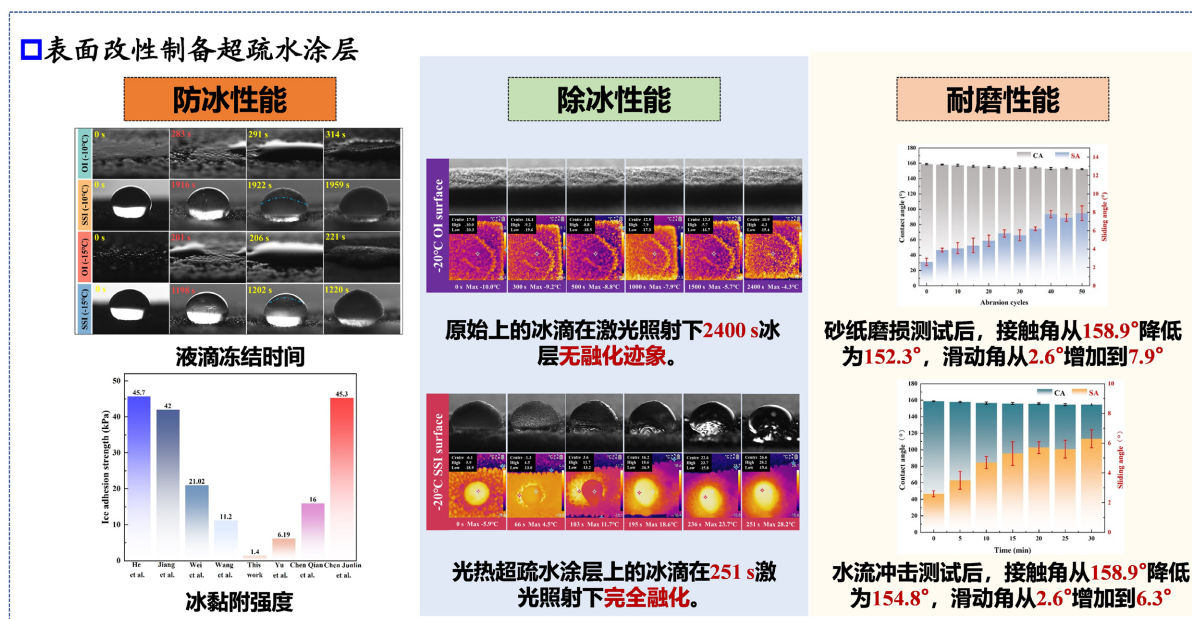


Figure 7. Testing performance of “phase change heat transfer” and superhydrophobic coating properties

图 7. “相变传热”与超疏水涂层性能的测试性能

为具体展示“科研-教学-科研”闭环,以多层石墨烯基光热超疏水涂层的防冰除冰机制的研究为例[18]。首先,在科研驱动教学环节,团队将论文核心内容改编为传热学课程中“相变传热”模块的一节专题课。教学内容包括:① 课堂讲解涂层的光热转换原理与界面热质传递机制,结合工程背景(如航空器防冰需求);② 设计课堂讨论题,如“如何优化涂层结构以实现低能耗除冰”,引导学生分组探讨;③ 实验项目,要求学生使用简易材料模拟涂层性能测试,观察冰滴融化过程。

在教学实施中,学生表现出浓厚兴趣。例如,在讨论环节,一名学生提出“涂层耐磨性是否影响长期防冰效果”,这直接补充了团队后续研究的思路;在实验项目中,学生通过对比普通表面与超疏水表面的结冰时间,验证了涂层的延迟结冰特性。学生反馈显示,75%的参与者认为该案例增强了理论联系实际的能力(如课后的对学生的访谈摘录:“通过亲手测试,我深刻理解了斯忒藩-玻尔兹曼定律在光热转换中的应用”)。

教学反哺科研方面,学生的疑问(如“涂层在极端环境下的稳定性”)成为团队进一步优化涂层的起点。团队据此开展了涂层耐磨性研究,并将新成果反馈至教学,更新了实验指南。这一闭环过程充分体现了“教学出题、科研解题”的良性互动,强化了图7所示的涂层性能测试与理论教学的关联。

上述研究成果不仅有效回应了课堂教学中学生的提问,也为传热学教学提供了结合材料学、界面科学与光热转换的交叉型教学案例。相关内容已反馈至“相变传热”“辐射传热”与“工程热力学”等课程模块,帮助学生从多学科视角理解热管理技术的设计原理与发展前沿,充分体现了“教学启发科研,科研反哺教学”的良性循环。

4.3. 相变材料(石蜡)的开发与应用

在讲授中瞬态导热与储能相关章节时,学生常对相变材料(如石蜡)的储放热机制产生浓厚兴趣,特别是对其在固液转换过程中如何实现能量的高效储存与释放提出深入疑问。

石蜡作为一种典型的相变材料,在加热过程中,石蜡从固态转变为液态,吸收大量潜热(100~150 kJ/kg);在冷却过程中,石蜡从液态回归固态,释放储存的潜热。这一特性使其成为理想的热能储存介质[20]。然而,纯石蜡的低导热系数严重限制了其实际应用效果,这也成为课堂教学中学生重点关注的技术瓶颈。

针对这一瓶颈问题,团队开发了多孔结构复合相变材料。通过在多孔骨架(如金属泡沫、膨胀石墨等)中浸渍石蜡,既保持了石蜡的高潜热储存能力,又显著提升了材料的整体导热性能。实验表明,改性后的复合相变材料导热系数可提升3~5倍,同时保持了100~150 kJ/kg的相变潜热值,实现了储热密度与传热速率的协同优化。

4.4. 多尺度模拟与智能算法

在原子与分子尺度,笔者团队指导学生采用LAMMPS、GROMACS等分子动力学模拟软件,研究沸腾传热中的关键基础问题。如图8所示,通过模拟纳米结构表面气泡的成核过程,定量分析固液界面能垒与汽化核心的形成条件,使学生直观理解“气泡成核”“干涸点”等抽象概念的物理本质。这一方法有效衔接了“相变传热”章节中经典理论与微观机制之间的认知鸿沟,显著提升了教学深度与说服力。

在教学实践中,笔者团队系统强化数值模拟技术在科研反哺中的纽带作用,通过多尺度仿真与智能算法,架起教学场景与科研探索的桥梁。

笔者团队指导学生采用分子动力学模拟软件(LAMMPS),在原子尺度探究沸腾传热规律。通过可视化纳米结构对液体传热的微观作用机制(如固液界面能垒、气泡核化能垒)[21][22],学生得以解析“湍流扰动强化换热”的物理本质(如沸腾冷却热源过程中蒸发与沸腾的协同效应)。在微通道沸腾传热研究中,

引导学生应用 Fluent 软件建立三维气液两相流模型, 通过 VOF 方法动态捕捉气泡生长-脱离过程[23][24]。基于实验积累的沸腾传热数据集(含压力/过热度/粗糙度等多维参数), 笔者团队指导学生构建临界热流密度的机器学习预测模型[25][26]。这一过程训练了学生处理工程数据的能力, 更揭示“课堂→科研”的反哺逻辑。

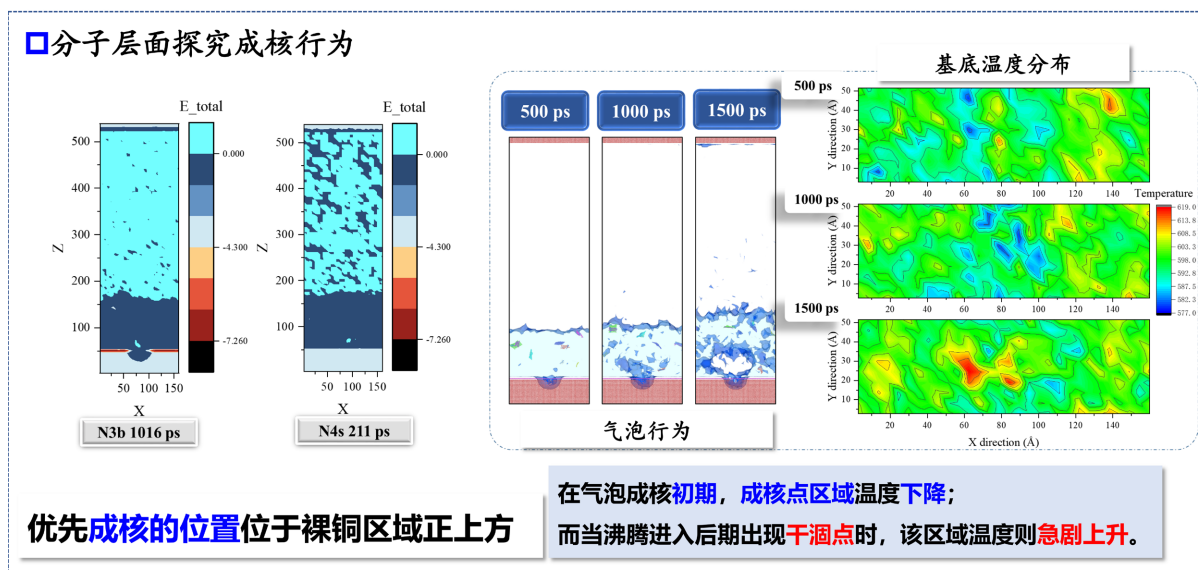


Figure 8. Molecular dynamics study of bubble nucleation mechanisms

图 8. 分子动力学研究气泡成核规律

4.5. 教学效果实证案例示例

为验证本模式的实效性, 笔者开展了小范围教学实验。在 2023~2024 学年的传热学课程中, 选取两个平行班(实验组 $n = 40$, 采用研教融合模式; 对照组 $n = 38$, 采用传统教学), 针对“沸腾传热”模块进行对比。实验组融入了多孔介质沸腾案例(如图 3 所示), 而对照组仅讲授经典理论。通过期末考试成绩分析, 实验组平均分显著高于对照组(85.3 ± 4.2 和 76.1 ± 5.8 , $p < 0.05$); 问卷调查显示, 90% 的实验组学生认为案例教学增强了理解深度(例如, 实验组班级中一名学生反馈: “梯度润湿表面实验使我直观掌握了 CHF 机制”)。该结果初步证实了科研反哺教学对提升学习成效的促进作用。

5. 模式局限性与适用条件讨论

尽管本研究提出的“研教融合”模式在传热学教学中展现出显著优势, 但在实际推广过程中仍面临若干挑战需客观看待。首先, 该模式对教师专业素养提出更高要求, 教师需同时具备活跃的科研前沿洞察力和丰富的教学经验, 这需要投入大量时间进行案例更新与课堂设计。其次, 实验设备与经费支持是重要制约因素, 如高温高压沸腾实验系统、分子动力学模拟平台等专业设备的配置与维护需要相当的经费投入。再者, 学生基础知识储备存在差异, 低年级学生或基础薄弱者可能难以快速适应以科研问题为导向的教学方式。

基于上述分析, 本模式最适用于具备以下条件的场景: 在研究型大学中, 针对已掌握传热学基础的高年级本科生或研究生课程效果最佳; 在专业层面, 更适合能源动力类、材料科学与实践结合紧密的工程学科。对于教学型院校或基础课程, 可考虑采用“部分融合”策略, 精选代表性案例进行模块化植入。此外, 建立校企合作平台、争取科研项目经费支持、开展教师培训等举措, 可有效缓解资源压力。

6. 总结

在科研驱动教学方面,笔者将相变材料、沸腾传热、超疏水光热防冰除冰等前沿科研成果有效转化为优质教学资源。这不仅丰富了传热学的教学内容,更使学生直观理解基础理论在当代工程中的应用价值,显著提升了教学内容的时效性与前瞻性。

在教学反哺科研方面,笔者验证了教学实践对科研创新的促进作用。学生在学习过程中提出的实际问题,如气泡动力学行为、临界热流密度机制、相变材料导热性能优化等,直接推动了团队在相应方向的深入研究。

展望未来,笔者提出的融合模式可在以下方面进一步深化:一是拓展与新兴交叉学科的融合深度,如将人工智能、材料基因组等新方法引入传热学教学;二是加强校企合作,将产业界的实际工程问题转化为教学案例;三是建立长效的反馈机制,持续优化教学内容与方法。通过这些举措,将进一步推动传热学课程的建设与发展,为培养高素质工程创新人才提供有力支撑。

参考文献

- [1] 郝英杰. 教育数字化转型背景下高校教师角色的创新与重塑路径[J]. 绥化学院学报, 2025, 45(5): 116-118.
- [2] 李志峰, 柯忻瑜, 沈振锋, 陆思铭. 高校教学和科研组织的数字时空互嵌模式再造[J]. 江苏高教, 2025(2): 71-77.
- [3] Cheng, Y., Lin, H., Chen, K., Cheng, Y. and Lin, C. (2025) Bridging Knowledge and Intention: The Impact of Teachers' TPACK on Online Teaching Self-Efficacy, Attitudes, and Behavioral Intentions—An Empirical Research of High School Teachers. *Acta Psychologica*, **260**, Article ID: 105408. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105408>
- [4] Federspiel, J.M., Schmidt, P.H., Corvest, E., Hohneck, J.E. and Meier, C. (2025) Cardiac Dissection Techniques for Pathoanatomical Research on Myocardial Hypertrophy and Anatomical Teaching. *Annals of Anatomy—Anatomischer Anzeiger*, **262**, Article ID: 152711. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2025.152711>
- [5] Niu, J. and Jiang, L. (2025) Research on a Collaborative Platform for Teaching English in Universities Based on an Intelligent Voice System. *Systems and Soft Computing*, **7**, Article ID: 200342. <https://doi.org/10.1016/j.sasc.2025.200342>
- [6] Burgess, K.E., Bradley, E., Dray, K., Powell, S. and Runswick, O. (2025) The State of Research in Teaching and Learning in Sport and Exercise Science: A Scoping Review. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, **37**, Article ID: 100573. <https://doi.org/10.1016/j.jhlste.2025.100573>
- [7] Watkins, H. and Saha, S.K. (2025) Teaching Advanced Manufacturing through Course-Based Undergraduate Research in a Vertically Integrated Projects (VIP) Class. *Manufacturing Letters*, **44**, 1628-1636. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2025.06.182>
- [8] 林贵平, 柏立战, 庞丽萍. “三强”模式应用于“传热学”教学的探索与实践[J]. 教育教学论坛, 2025(22): 89-92.
- [9] 楚化强, 许年, 姚锦芳, 汪雪梅, 汪冬冬, 闫宪尧. 教育数字化转型中《传热学》教材建设及辅助教材编写研究[J]. 教育进展, 2024, 14(12): 1336-1342.
- [10] 楚化强, 马维刚, 李朝祥. Matlab 在传热学例题中的应用[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2022.
- [11] 楚化强, 马维刚, 许年, 刘子龙. 传热学(第6版)知识精讲与习题全解[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2025.
- [12] Xu, N., Liu, Z., Yu, X., Gao, J. and Chu, H. (2024) Processes, Models and the Influencing Factors for Enhanced Boiling Heat Transfer in Porous Structures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **192**, Article ID: 114244. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114244>
- [13] 陶文铨. 传热学[M]. 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2024.
- [14] Fei, J., Zhang, X., Han, D., Lei, Y., Xie, F., Zhou, K., et al. (2025) Passive Cooling Paint Enabled by Rational Design of Thermal-Optical and Mass Transfer Properties. *Science*, **388**, 1044-1049. <https://doi.org/10.1126/science.adt3372>
- [15] 许建明, 谭振华. 辐射制冷材料的原理及其应用研究[J]. 涂料工业, 2025, 55(7): 83-88.
- [16] 孙碧遥, 安邦, 孙文野, 等. 纤维素纳米晶结构色辐射制冷复合薄膜的制备及性能[J]. 复合材料学报, 2025, 42(4): 2174-2184.
- [17] Chu, H., Xu, N., Yu, X., Jiang, H., Ma, W. and Qiao, F. (2022) Review of Surface Modification in Pool Boiling Application: Coating Manufacturing Process and Heat Transfer Enhancement Mechanism. *Applied Thermal Engineering*, **215**, Article ID: 119041. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119041>

-
- [18] Liu, Z., Xu, Q., Xu, N., Zhu, Y. and Chu, H. (2025) Construction of Multilayer Graphene-Based Photothermal Superhydrophobic Coatings: Synergistic De-Icing Mechanism and Investigation of Multiscale Heat Transfer Properties. *Carbon*, **242**, Article ID: 120401. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2025.120401>
- [19] Liu, Z., Xu, Q., Xu, N., Deng, W. and Chu, H. (2025) Preparation of Photothermal Superhydrophobic Iron Foam Coating and Its Application in Passive Anti-Icing/Active De-Icing and Anti-Corrosion. *International Journal of Thermal Sciences*, **211**, Article ID: 109745. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2025.109745>
- [20] Yang, C., Huang, Z., Yu, H., Zhang, Z. and Chu, H. (2026) A Hierarchical Full-Component Utilization Strategy for Steel Slag: Synergistic Preparation of Thermochemical and Phase Change Energy Storage Materials. *Renewable Energy*, **256**, Article ID: 124206. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.124206>
- [21] 韩晋玉, 刘瑶, 赵陈儒, 薄涵亮矩形窄缝通道内流动沸腾的数值模拟研究[J]. 工程热物理学报, 2024, 45(10): 3151-3159.
- [22] 陈玉, 李志松, 林涛, 全晓军. 波动加热下微通道流动沸腾的格子 Boltzmann 模拟[J]. 热科学与技术, 2023, 22(6): 599-605.
- [23] 卢伟, 杨震, 段远源. 微通道内流动沸腾气泡生长特性数值研究[J]. 工程热物理学报, 2023, 44(6): 1612-1616.
- [24] 聂晓晶. 核态沸腾气泡行为及热管蒸发器数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2022.
- [25] 颜建国, 郑书闽, 郭鹏程, 赵莉, 王帅, 刘坤, 朱旭涛. 基于机器学习的螺旋流动过冷沸腾 CHF 预测研究[J]. 核动力工程, 2023, 44(3): 65-73.
- [26] 朱隆祥, 张卢腾, 孙皖, 孙皖, 马在勇, 潘良明. 基于非监督机器学习方法的竖直环形流道流动沸腾流型研究[J]. 核动力工程, 2023, 44(3): 112-120.