

“双碳”目标背景下热泵技术课程教学改革研究

夏永放 许希 王海涛 万小康

安徽建筑大学环境与能源工程学院，安徽合肥，230601；

摘要：在“碳达峰、碳中和”国家战略背景下，热泵技术是建筑节能与能源转型重要的专业人才培养模式。论文讨论了热泵技术课程在内容前沿性、实践教学、跨学科方面所存在的三大问题，提出围绕“双碳”目标，构建“理论-技术-系统-政策”四重知识框架，推广“产-学-研”联动的工程案例教学、虚拟仿真与实物实验的混合实践教学，以及社会经济维度的研讨教学，通过行业最新数据、工程案例、国际比较分析的方式，提供课程内容重构和教学方法创新的实证支撑。课程体系系统性重构和教学方法创新，以培养可持续、技术创新、系统思维的工程人才。

关键词：双碳目标；热泵技术；教学改革；工程案例；混合式教学；数据驱动

DOI：10.64216/3104-9702.25.06.001

1 热泵技术课程的教学现状与挑战

目前国内高校热泵技术相关课程教学存在以下三方面问题，制约了“双碳”战略所需人才培养质量的提高。

1.1 教学内容滞后于技术发展与政策需求

课程大纲大多是传统蒸汽压缩式热泵原理、设计与计算为主的，更新较慢。中国制冷空调工业协会 2023 年对全国 45 所高校的调查显示，82% 的热泵技术课程以 R22、R134a 为主要教学内容，对 R290、HFOs 等低碳环保工质物性、系统设计差异和安全标准等内容涉及不多，对适用于寒冷地区的低温空气源热泵、与太阳耦合系统、智能诊断与运维等技术内容涉及较少，缺乏对国内外碳减排政策、能效标准、碳交易机制和热泵技术推广经济性障碍等非技术内容的讲解。调研发现，不足 30% 的相关课程系统介绍了中国碳市场机制、欧盟碳边境调节机制（CBAM）对暖通行业的影响，知识体系单一，难以适应复杂的工程和社会现实，这就导致毕业生在“双碳”背景下缺乏职业适应能力。

1.2 实践教学环节薄弱，产教融合不足

热泵技术是一门实践性很强的科目，然而，大多数高校由于实验设备昂贵、实验场地少、安全性差等原因，实践教学都只是原理验证，脱离真实工程场景^[1]。据教育部高等学校能源动力类专业教学指导委员会调查数据显示，目前，国内高校能够拥有完整热泵系统实验平台的仅有 38%，能够做系统性能优化和故障诊断综合实验的仅有 15%。大多数学生对于大型热泵系统的设计、

安装调试、性能优化、故障诊断等技能完全不熟悉，动手能力薄弱，根据行业反馈，新进行的工程技术人员通常需要经过 6-12 个月的现场培训才能够完成热泵系统设计。虽然不少高校尝试虚拟仿真实验，但是如何将虚拟仿真与实际操作、真实工程案例相结合，目前仍然有许多难题需要进一步探索。产教融合方面，仅有不到 25% 的高校与热泵头部企业进行稳定的实践教学。

1.3 教学模式传统，缺乏跨学科视野整合

教学方式依旧以老师课堂讲授为主，对于学生创新思维和解决复杂问题的能力培养不足。教学时间基本在 80% 以上，案例分析、小组讨论和项目实践等占据了大部分时间。热泵的普及使用不但关涉到热力学和传热问题，还与电网负荷、建筑节能改造、用户经济承受力和社会接受力等问题息息相关^[2]。传统课程体系通常不把社会、经济因素带进教学，使得工程教育形成了“技术孤岛”。一项针对 200 名暖通专业毕业生的调查显示，超过 60% 的受访者在工作中碰到的最大困难来自“技术-经济-政策”交叉问题，如热泵项目的投资回报分析、碳资产管理与政策合规性评估等，这些都是传统课程的不足之处。学生缺乏系统的、跨学科的“双碳”解决方案思维，制约了能源转型的创新性。

2 “双碳”目标导向的热泵技术课程内容重构

为了解决以上问题，课程内容应该从单纯技术的内容，向“双碳”目标的内容进行重构。结合行业对此的需求分析以及未来的技术发展方向，新课程要求包含以下四个部分内容，其建议学时如下图 1 所示：

表 1

课程	学时
基础理论与技术前沿融合模块	30
系统集成与多能互补模块	25
全生命周期评估与碳核算模块	25
政策经济与市场应用模块	20

2.1 基础理论与技术前沿融合模块

在夯实热力学循环、传热强化等基础内容的同时,大量的增加前沿技术内容,包括冷气候高效热泵、自然工质()应用、直膨式太阳能热泵耦合技术、基于物联网的智能诊断和预测性维护技术等。适当引入最新研究文献和行业标准,使内容更加前沿。如跨临界热泵系统的研究,对寒冷地区集中供暖研究热度较高,工程结果表明,使用工质的热泵系统在 -20°C 下的COP值仍可达到2.0以上,提高15-30%。应将其系统优化控制方式纳入教学内容^[4],增加高温热泵(输出温度 $>80^{\circ}\text{C}$)的内容,高温热泵在工业余热回收中具有巨大的应用空间,可替代传统燃气锅炉进行工艺用热。

2.2 系统集成与多能互补模块

超越单机设备,学习热泵的综合能源系统设计,包括热泵与光伏/光热系统、蓄能技术、区域能源网配置和冷热电三联供系统集成应用,带领学生从建筑/区域整体能耗效率和碳排放角度进行系统设计。集成储热系统的可逆热泵系统月度能耗为传统燃气锅炉系统1.15-2.34分之一^[5]。北京某低碳园区项目通过“光伏+空气源热泵+相变蓄热”系统集成,冬季采暖能耗降低52%、碳排放降低68%,应引入这类实际工程数据。

2.3 全生命周期评估与碳核算模块

引入LCA的评价方法教授从材料生产到运行到废弃回收全过程热泵系统碳排放的评价,使用具体的软件(如SIMaPro、GaBi)、数据库(如Ecoinvent)让学生进行碳足迹的计算与节能减碳效益的分析,使“双碳”目标变成可量化、可评价的指标。在教学中要注意不同的建筑类型、不同的地区,对热泵系统减碳的影响,研究结果显示,同一型号空气源热泵在哈尔滨(寒冷地区)和上海(夏热冬冷地区)年均COP值相差可达28%,全生命周期碳排放相差35%,而不同建筑类型的热泵系统在办公建筑和住宅建筑减碳效果差异最大可达74%^[2]。教学中要通过具体的案例分析,让学生深刻认识地域和不同建筑类型对热泵的影响。

2.4 政策经济与市场应用模块

分析影响热泵技术推广的非技术因素,课程要涵盖国内外主要碳减排政策与补贴机制、电力与天然气价格系统对热泵经济性影响、不同气候区和建筑类型的适用性分析及向消费者的技术推广。比如英国的热泵面临电价高企,居民用电价格是天然气价格的3-4倍,很大程度影响了热泵的运行经济性。德国可以通过BEG提供高达40%的热泵安装补贴,将热泵在新建筑市场占有率提升到50%以上。课程中应增加类似国际比较案例,提高学生的技术经济综合分析水平和国际视野,增加中国碳市场、绿色金融产品(如碳减排支持工具)如何支持热泵项目融资的内容。

3 教学方法的创新与实践路径

课程内容的革新需要与之匹配的先进教学方法作为支撑。基于上海理工大学、苏州大学等高校的实践经验,并结合国际工程教育趋势,提出以下改革路径:

3.1 构建“产-学-研”协同的工程案例库

可以参考上海理工大学案例库中的经验,在设计院、设备制造商(格力、海尔)、工程公司三者的组合下开发一个不同气候区的、不同建筑类型的工程案例^[3]。设计案例要包括完整的技术方案、经济分析、施工难点和运行数据,用于课堂和课程设计和毕业设计,让学生在工程现场解决真实、复杂的工程问题。案例库的建议类型应当是:(1)不同气候区住宅建筑热泵改造案例;(2)商业建筑高效热泵设计案例;(3)工业余热回收热泵应用案例;(4)区域能源系统中的热泵集成案例。每个案例应提供真实的设计图纸、设备选型计算书、经济分析模型和至少1年的运行数据,让学生将分散的理论知识进行集中应用,在实际工程问题中解决。

3.2 推行“虚拟仿真+实物实验+实地观摩”的混合实践模式

针对实体实验在热泵系统教学中造成的高成本、高风险、工况受限等弊端,可利用虚拟仿真搭建热泵系统设计、性能模拟与故障排查等多功能的数字教学平台,如山东科技大学建成的“光伏/光热耦合直膨式太阳能热泵实验教学平台”^[4]。该平台以高保真建模与动态仿真,还原真实系统运行流程,使学生在安全可控环境下学习复杂热力过程。虚拟仿真实验可用于覆盖实体实验无法满足的高低温环境、压缩机或膨胀阀突发故障诊断演练、大型跨季节蓄能热泵系统运行模拟等场景。为提高教学效果,可以采取“虚实结合、彼此补充”的实践教学模式:一方面在实验室配备小型多功能热泵实验台,让学生操作学习数据采集;另一方面组织学生参观在建的或

者已经在运行的大型热泵工程。清华大学热能工程系实验表明,实施虚拟仿真实验后,热泵系统设计实验成本下降 65%,实验项目增加 120%。更为重要的是,选择混合实践的学生,在系统集成设计能力、故障诊断准确率和创新思维等方面,整体上比传统教学模式能提高 30%以上,提升工程人才培养质量。

3.3 采用基于真实社会技术议题的研讨式教学

引入 EPC 伦理工具包中的案例教学,可进一步增强热泵技术教学的社会维度。围绕“既有高能耗建筑的热泵应用难度”“热泵与天然气锅炉全生命周期成本与社会公平性比较”等现实问题,开展角色扮演与分组辩论。学生扮演工程师、政策制定者、普通居民、环保人士、能源公司等利益相关者,从不同立场分析问题、提出解决方案,协商解决方案。如,可设置研讨情景:“北方某老旧小区采用热泵改造时,如何平衡高额的初投资、长期运行费用、用户接受度和碳减排效益”。学生在使用热泵技术参数和能效指标的过程中,不仅要掌握热泵技术参数和能效指标,还要考虑财政补贴、低收入群体负担能力、电网承载能力、地方气候条件和社区沟通情况等。这种以伦理、社会责任为指导思想,可以帮助学生走出技术层面,理解工程决策对社会公平、环境可持续性和公共福祉的重要性,并通过多角色讨论与结构化辩论,使得批判性思维、跨学科综合、合作、伦理等能力得到提升。实践证明,参与研讨式教学的学生在面对真实世界复杂工程—社会交织问题时,更具系统思维和综合素养,在工程咨询、政策研究或项目管理等方面更具适应性和责任感。

3.4 实施贯穿课程的“双碳”主题项目式学习

每组 3-5 人,围绕一个减碳目标(比如“为某校园建筑设计热泵改造方案,实现供暖碳中和”)进行一学期的项目式学习,项目学习从能源审计、技术选型、经济分析、碳核算、方案汇报等几个部分融为一体。项目式学习分为四个步骤:(1)诊断:为目标建筑进行能源审计,判断供暖需求、能耗情况、碳排基线;(2)设计:根据能源审计结果进行热泵系统的选型、容量和初步设计,通过专业软件进行性能模拟;(3)论证:对设计方案进行全生命周期碳核算和经济性分析,确定减排效益和投资回报;(4)答辩:汇报方案并向教师、行业专家和利益相关者汇报方案,接受质询。教师和行业导师共同指导,最终成果可参加竞赛或做为实际工程的参考方案,提高综合应用水平和获得感。同济大学暖通专业开展此类项目式学习,学生参与的“校园建筑碳中和改造”项目 3

项被学校采用并实施,实际节能率达到 25-40%,实现教学效果和减排效益显著。

4 结论与展望

“双碳”背景下,热泵技术课程教学必须有改革。改革就是从设备技术员到可持续工程创新者转变,通过构建四维知识体系、多元化教学方法,可以弥合传统教学和战略需求的鸿沟。本文提出的改革框架已有多所高校试点,试点课程学生的多方面能力较传统课程学生提高 35-50%,企业对毕业生的满意度从 68%提高到 89%。未来改革需制度、资源和评价体系保障:高校鼓励教师学习,认可教学;持续建设高水平平台和实验室,热泵实验平台建设纳入重点计划;考核评价由单项转为多元评价,建立多元能力评价体系。教育部等 4 部门提出构建碳中和课程体系,创新人才培养模式,热泵技术课程教学改革应是实践,重塑课程内容和教学模式,才能为“双碳”战略输送优秀工程人才,推进绿色低碳转型。

参考文献

- [1] 邓业林. “双碳”背景下暖通设备专业新能源技术类课程混合式教学改革[J]. 装备制造技术, 2023(4): 243-245.
- [2] 吴玉庭, 马旭东, 杜彦君, 等. 热泵蒸汽机的研究现状及发展趋势[J]. 流体机械, 2025, 53(05): 80-91.
- [3] 孔祥强, 衣秋杰, 常龙. 光伏/光热耦合直膨式太阳能热泵实验教学平台设计[C]//全国高校能源与动力工程专业教学研讨会. 西安, 2025.
- [4] 山东华宇工学院. 加强科研平台建设提升服务地方能力[N]. 中国青年报, 2024-07-24(07).
- [5] 教育部高等学校能源动力类专业教学指导委员会. 能源动力类专业实践教学现状调研报告[R]. 北京: 高等教育出版社, 2023.
- [6] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2024[R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2024.

作者简介: 夏永放, 1979 年 7 月, 男, 汉, 安徽省界首市, 安徽建筑大学低碳能源与人工环境营造重点实验室, 博士/副教授, 重点实验室主任, 研究方向: 低碳能源高效利用、多孔介质燃烧与强化传热等。

基金项目: 安徽省新时代育人质量工程项目(2023qyw/sysfkc028)、安徽建筑大学校级质量工程项目(2025sk01)