

“低碳多能互补能源系统创新实验” 课程实践与成效评估

全贞花, 于宗群, 王宏燕

北京工业大学 建工学院, 北京 100124

DOI: 10.61369/SDME.2025220032

摘要 : 在“双碳”战略背景下, 高校工程教育需在课程内容与教学模式上推进绿色化、系统化与创新化改革。本文依托建筑环境与能源应用工程专业, 构建“低碳多能互补能源系统创新实验”课程, 融入光伏发电、光热利用与储能等多能互补技术, 探索跨学科融合、理论—实践一体化、过程性评价等多维度课程实践路径。通过45份学生问卷调查及数据分析, 从知识、技能与素质三方面评估课程培养成效。结果显示, 学生在低碳能源系统认知、实验技能、数据分析能力及团队协作能力等方面进步显著, 课程满意度达97.77%, 目标全面达成。本文总结课程在内容设计、实验实施及考核方式上的创新做法, 提出优化路径, 为“双碳”背景下建环专业及相关工科专业实验教学改革提供参考。

关键词 : 双碳目标; 建筑环境与能源应用工程; 多能互补系统; 实验教学; 教学成效评估

Curriculum Practice and Effectiveness Evaluation of "Innovative Experiment on Low-Carbon and Multi-Energy Complementary Energy System"

Quan Zhenhua, Yu Zongqun, Wang Hongyan

School of Civil Engineering and Architecture, Beijing University of Technology, Beijing 100124

Abstract : Against the backdrop of the "dual carbon" strategy, engineering education in colleges and universities needs to advance green, systematic, and innovative reforms in curriculum content and teaching models. Based on the major of Building Environment and Energy Application Engineering, this paper constructs the "Innovative Experiment of Low-Carbon Multi-Energy Complementary Energy System" course, integrates multi-energy complementary technologies such as photovoltaic power generation, solar thermal utilization, and energy storage, and explores multi-dimensional curriculum practice paths including interdisciplinary integration, theory-practice integration, and process-oriented evaluation. Through 45 student questionnaires and data analysis, the course's training effectiveness is evaluated from three aspects: knowledge, skills, and quality. The results show that students have made significant progress in the cognition of low-carbon energy systems, experimental skills, data analysis capabilities, and teamwork abilities; the course satisfaction rate reaches 97.77%, and all objectives are fully achieved. This paper summarizes the innovative practices of the course in content design, experimental implementation, and assessment methods, proposes optimization paths, and provides references for the reform of experimental teaching in the major of Building Environment and Energy Application Engineering and related engineering majors under the "dual carbon" background.

Keywords : dual carbon goals; building environment and energy application engineering; multi-energy complementary systems; experimental teaching; teaching effectiveness evaluation

引言

“双碳”目标对能源结构转型与人才培养模式提出新要求。多能互补能源系统（如光伏、光热与储能协同应用）是实现碳达峰与碳中和的重要途径，在建筑节能与低碳运行中作用关键。但现有高校相关实验课程存在单项技术独立、实践内容分散、与工程实际脱节等问题，难以满足复合型工程技术人才培养需求。为此，本研究依托建筑环境与能源应用工程专业，设计并实施“低碳多能互补能源系统创新实验”课程，通过系统化实验平台与综合性教学方法，实现多能互补技术理论—实践融合，培养学生系统思维、工程创新能力与低碳意识。

研究项目：北京工业大学教育教学研究项目：“双碳”目标下的建筑环境与能源应用工程专业在人才培养方面的改革与创新实践研究（项目编号：ER2024ZYB05）。
作者简介：全贞花，女（1972.11—），热能工程专业博士，教授。研究方向：可再生能源利用技术、建筑节能与强化传热。

一、课程内容与教学实践

(一) 课程目标与课程内容

1. 课程目标

本课程通过对低碳多能互补能源系统运行与控制过程的实验教学^[1]，助力学生深化对可再生能源供能理念、系统集成原理、控制单元构成及关键部件功能的理解，提升工程实际应用能力。作为相关理论课程的实践延伸，课程借助综合实验平台^[2]，强化学生系统集成与工程实践能力，使学生掌握热电联供原理、光伏与光热系统运行控制逻辑，熟练运用性能测试方法开展集热/储热/供热与发电/储电/供电等环节实验操作^[3]，增强动手与系统分析能力，同时通过团队分工协作训练，提升学生沟通能力与综合素养。核心目标具体如下：

(1) 知识目标：掌握低碳多能互补能源系统的组成、运行原理及性能测试方法；

(2) 能力目标：具备系统实验设计、性能分析、运行操作与控制的综合能力；

(3) 素养目标：培养团队协作、沟通协调能力及低碳技术创新意识。

2. 课程内容

课程实验内容包含太阳能光伏发电实验和太阳能光热利用实验两大模块，对应光电系统与光热系统。太阳能光电系统为完整离网光伏发电系统^[4]，由光伏组件、最大功率点跟踪（MPPT）控制器、蓄电池、逆变器及用电负载构成，可独立满足用户电力需求。太阳能光热系统是间接式集热、储热与供热系统，借助PVT组件利用光伏发电余热实现热电联供，无需额外占用空间，能同时获取电能与热能，综合能源利用效率高^[5]。辅助能源系统以市电为补充，当太阳能供应不足且储能设备放电完毕时，自动切换至市电模式，保障电力与热水供应连续。相应实验教学包括“太阳能光伏发电实验”和“太阳能光热利用实验”，通过低碳多能互补能源系统实运行与控制过程实验，帮助学生学习可再生能源供能理念^[6]、系统集成原理、控制单元组成、部件认知等知识，提升工程实际应用技能。

(二) 教学实施

1. 课程安排

课程安排在本科第六学期，共32学时，计1学分，设置太阳能光伏发电实验与太阳能光热利用实验两个综合性实验项目。采用小组合作模式（5-8人/组），教学环节涵盖教师讲授、实验平台运行操作、数据采集与分析、实验报告撰写等^[7]。学生需课前制定实验方案，独立完成运行测试与数据处理，在小组内明确分工（如实验操作、数据处理、理论分析、报告撰写），并在实验报告中标明成员职责^[8]，以强化团队协作意识。

2. 考核方式

课程采用“过程+成果”相结合的多元化考核体系，注重过程性评价与综合能力培养，避免“重报告、轻过程”的弊端：

平时成绩（40%）：包括出勤（10%）、操作规范性（10%）、数据完整性（10%）、问题解决贡献度（10%）；

实验报告（60%）：重点考察数据计算与分析能力（20%）、实验总结与独立见解（10%）等。

3. 教学方法创新

(1) 任务驱动式教学：以“光伏-光热系统效率优化”为总任务，分解为“系统认知—参数测试—数据验证”等子任务，引导学生自主探究^[9]。例如，光伏发电实验中，学生需对比不同光照强度下光伏组件输出特性并设计控制变量方案；光热实验中，对比不同循环模式下热性能并提出优化控制策略。

(2) 理论与实践闭环融合：先通过2学时理论讲解（系统组成、实验原理、操作规范）奠定基础，再结合教师示范与5-6学时的实操训练，形成“讲解-示范-实操-研讨”的闭环教学模式。

(3) 过程性互动指导：针对实验中出现的异常数据（如光伏板电压波动）及发电性能变化，设置“提问-讨论”环节，引导学生分析原因并提出改进方案^[10]，从而培养工程问题诊断能力。

4. 课程效果调查

为评估课程实施效果与目标达成度，课程结束后开展了问卷调查，共回收有效问卷45份，其中84.44%为建环专业学生，其余为能源动力或土木工程专业学生。调查内容涵盖选课动机、能力提升、课程满意度与改进建议等维度，数据采用频数统计与比例分析方法进行处理。

二、调查结果与成效分析

(一) 课程目标达成度

问卷调查结果表明，课程在系统原理理解、实验操作技能、数据分析能力、团队协作能力及综合研究能力等方面完全或基本达标比例均超过91%，其中系统原理理解与综合研究能力的达标率均为97.78%。在实验研究能力方面，完全达标率为48.89%，基本达标率为48.89%；在团队协作能力方面，完全达标率为51.11%，基本达标率为42.22%。

学生能力提升的主观评价显示：33.33%的学生认为系统原理理解“提升显著”，64.44%认为“有所提升”；在实验操作能力与数据分析能力方面，分别有35.56%与35.56%的学生感知到明显提升；95.56%的学生认为课程有效促进了团队协作。

(二) 学生满意度与兴趣提升

在课程满意度方面，97.77%的学生对课程内容表示“满意”或“非常满意”，如图1所示。全部受访学生（100%）认为课程增强了其对低碳能源领域的兴趣，57.78%的学生表示有计划进一步深入研究。93.33%的学生认为课程中理论与实践的比例设置合理。

在职业发展影响方面，97.78%的学生认为课程对其未来职业规划具有积极作用，其中40%的学生有意向从事低碳技术相关工作，57.78%的学生认为课程有助于储备相关技能。

三、课程优势、现存问题与改进路径

(一) 课程优势与创新点

结合教学大纲与调查反馈结果，本课程在教学内容、实施模式与评价方式等方面具有以下优势与创新：

(1) 实验设计创新：紧扣“双碳”战略导向，将光伏、光热、储能等多能互补技术有机融入系统设计，体现双碳目标的绿色能源应用；

(2) 实验过程创新：学生在明确实验目标后自主开展实验具体内容，通过数据处理获得创新型结论；

(3) 课程考核与评价方法创新：兼顾过程引导与结果性考核的多元化考核方法，利用数据分析评价教学效果；

(4) 团队协作能力培养显著：通过分工明确的小组合作模式，有效提升学生的协作与沟通能力。

(二) 现存问题

尽管问卷开放题中100%的学生表示“无需要改进”，但基于数据分析仍可发现以下问题：

(1) 实验设备待升级：37.78%的学生认为部分设备老旧需维护，6.67%反映设备数量不足，影响实验效率；

(2) 反馈机制不够完善：60%的学生希望增加“实时匿名反馈问卷”，31.11%的学生建议引入“小组互评”；

(3) 课程宣传不足：26.67%的学生认为宣传力度不够，8.89%的学生属于被动选课，不利于课程影响力扩大。

(三) 改进路径

针对上述问题，未来课程可从以下方面优化：

(1) 平台与技术升级：及时更新实验设备，引入更多前沿低碳技术模块，提升实验条件的先进性与多样性；

(2) 反馈与评价机制完善：增加案例讨论与互动环节，建立实时反馈与小组互评机制；在考核中增设“小组成果答辩”环节，强化学生的沟通表达与批判性思维能力；

(3) 课程生态拓展：加大课程宣传力度，与新能源企业合作开展“企业开放日”，对接实际工程项目；扩充在线资源库，增加典型工程案例视频等，形成课内外一体化学习生态。

四、课程实践成效及推广价值

该课程依托多能互补能源系统综合性实验平台，在内容设

计、教学方法和考核机制等方面开展系统化创新，成效显著。知识层面，学生对光伏发电、光热利用及储能等多能互补系统的基本原理与运行机制掌握程度大幅提升；技能层面，实验操作、数据采集与分析、综合系统调试等能力得到系统训练；素质层面，团队协作、跨学科沟通及工程问题分析与解决能力明显增强。课程实施有效支撑了毕业要求中关于工程基础知识、实验研究能力及沟通协作能力的核心指标。

其经验对其他高校“双碳”战略背景下开展多能互补能源系统实验教学具有较强借鉴意义：跨学科融合方面，为多能互补技术与建筑环境与能源应用工程专业深度结合提供可复制范式；产教协同方面，通过与新能源企业合作及引入实际工程案例，实现教学内容与行业需求紧密对接；能力导向方面，结合过程性评价与多元化实践环节，形成可推广的实验课程能力培养模式。

五、结论与展望

“低碳多能互补能源系统创新实验”课程整合光伏发电与光热利用两个系统，实现从单一技术实验向系统性综合实验的转型，显著提升学生系统思维、综合设计能力与职业竞争力。实践证明，该课程不仅有助于培养学生低碳意识与工程创新能力，还能促进产学研协同发展。

未来，将持续推进实验平台更新与拓展，引入更多前沿低碳技术模块，优化案例讨论与互动环节，强化实时反馈与小组答辩等过程性评价机制。同时，深化与企业和科研机构的合作，拓宽课程资源与应用场景，进一步服务“双碳”战略下复合型工程技术人才培养目标。

参考文献

- [1] 吕石磊,王冉.“30·60”双碳目标下建环专业的教学改革与思考[J].高教学刊,2021,(30): 62-65+69.
- [2] 蒋婧,孙铁柱,王丽娟,狄育慧.新工科背景下建环专业实践教学改革研究[J].教育进展,2023, 13(12): 9791-9799.
- [3] 杜芳莉,杨亚萍,申慧渊.“双碳”背景下建环专业综合改革探析[J].制冷与空调,2022, 36(5):777-781.
- [4] 朱彩霞,王聪民.中原工学院建筑环境与能源应用工程专业实践教学体系改革探索[J].中国教育技术装备,2025,(10): 146-149+160.
- [5] 邓业林.“双碳”目标下建环专业可再生能源课程混合式教学方法探讨[J].中国现代教育装备,2024,(15): 80-82+86.
- [6] 宿杰,迟宗涛,苗洪丽.可再生能源实验室的教学探索[J].教育教学论坛,2021,(2): 97-100.
- [7] 刘楠,康俊杰,赵春阳.多能互补能源基地开发模式及综合效益提升方法[J].中国电机工程学报,2024, 44(4):1339-1351.
- [8] 孙丽丽,李进锋,郭中华.构建多能互补的清洁低碳能源耦合体[J].中国石油大学学报:自然科学版,2023, 47(5):130-137.DOI:10.3969/j.issn.1673-5005.2023.05.013.
- [9] 陈杰,王玮,焦玉博,等.耦合碳转移及能量共享的多油气站场IES运行优化[J].重庆理工大学学报(自然科学),2024, 38(5):259-268.
- [10] 李云鸯,刘吉臻,胡阳.计及低碳响应的综合能源系统多时间尺度源-荷互动优化调度[J].太阳能学报,2024(11).