

“双碳”背景下能源系统跨专业协同实践教学体系构建

张乐^{*}, 沈哲, 陈思, 宋文瀚, 何文博, 蔡其聪, 段跟定

西安航空学院, 陕西 西安 710077

DOI:10.61369/EIR.2026050024

摘 要 : 在“双碳”与新工科背景下, 传统能源类实践教学存在知识单一、工程链条断裂、跨专业协作不足等问题。本文以能源与动力工程、建筑环境与能源应用工程专业为例, 构建了目标引领—链条贯通—项目驱动的跨专业协同实践教学体系, 设计能源生产→输配→应用→碳管理全链条能力矩阵, 开发模块化项目化实践课程, 整合实验室资源搭建虚实结合的综合能源平台, 并建立跨专业团队教学与多元评价机制。实践表明, 该体系有效提升了学生的系统思维、工程创新能力 and “双碳”责任感, 为同类院校提供了可复制的改革范式。

关 键 词 : 碳达峰; 跨专业协同; 项目式学习; 能源系统

Construction of Cross-disciplinary Collaborative Practical Teaching System for Energy Systems under the Background of "Dual Carbon"

Zhang Le^{*}, Shen Zhe, Chen Si, Song Wenhan, He Wenbo, Cai Qicong, Duan Gending

Xi'an Aeronautics University, Xi'an, Shaanxi 710077

Abstract : Against the backdrop of the "dual carbon" goals and emerging engineering disciplines, traditional energy-related practical teaching faces challenges such as knowledge fragmentation, disconnected engineering workflows, and inadequate interdisciplinary collaboration. Taking Energy and Power Engineering and Building Environment and Energy Application Engineering programs as case studies, this study establishes a cross-disciplinary collaborative practice teaching system guided by objectives, integrated workflows, and project-driven approaches. The framework develops a comprehensive competency matrix covering energy production, transmission/distribution, application, and carbon management, implements modular project-based courses, integrates laboratory resources to build a hybrid virtual-physical energy platform, and establishes interdisciplinary teaching teams with diversified evaluation mechanisms. Practical implementation demonstrates that this system significantly enhances students' systems thinking, engineering innovation capabilities, and "dual carbon" responsibility awareness, providing replicable reform models for peer institutions.

Keywords : carbon peak; cross-disciplinary collaboration; project-based learning; energy system

引言

2020年, 我国提出2030年前碳达峰、2060年前碳中和目标, 其根本在于能源系统深度变革, 这要求未来能源工程师具备全链条系统思维与跨专业协作能力^[1]。然而, 当前高校能源类专业实践教学存在三大痛点: 一是专业壁垒明显, 能源与动力工程(侧重供给侧)与建筑环境与能源应用工程(侧重需求侧)在课程、平台、实践上相互割裂, 学生难以形成完整系统认知; 二是实践内容以验证性实验为主, 缺乏真实工程问题驱动的综合性项目, 创新能力训练不足; 三是评价方式单一, 忽视团队协作与“双碳”责任等非技术能力考核^[2]。

针对上述问题, 项目组以“碳达峰”目标为导向, 开展了能源系统跨专业协同实践教学体系的构建与应用研究。本文将从顶层设计、课程群开发、平台建设、教学模式与评价机制四个方面系统阐述改革实践, 以期同类院校的新工科实践教学改革提供参考。

一、面向“碳达峰”的跨专业协同实践教学体系顶层设计

构建科学合理的实践教学体系, 首先需要进行系统性的顶层

设计。设计过程中遵循目标引领、链条贯通、项目驱动的总体思路, 以实际工程问题为牵引, 将“双碳”目标融入实践教学全过程。如图1所示。

基金项目: 西安航空学院高等教育教学改革研究项目, 面向“碳达峰”目标的能源系统跨专业协同实践教学体系构建与应用(25JXGG2031)。

作者简介: 张乐(1990.03-), 男, 甘肃天水人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事高等教育教学工作, 邮箱: 202106011@xaau.edu.cn。

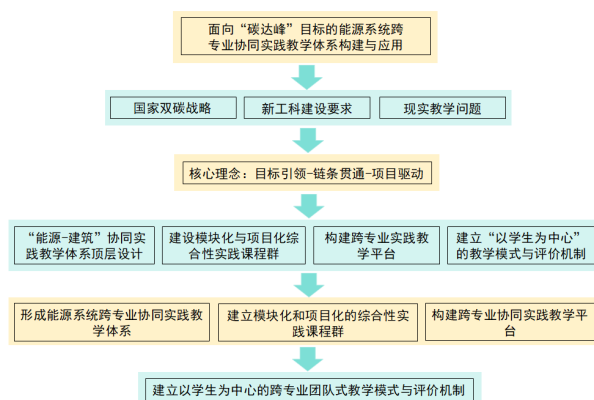


图1 面向“碳达峰”的跨专业协同实践教学体系顶层设计

（一）确立实践教学的总目标

确立的总体目标是培养适应“双碳”战略需求的复合型能源工程技术人才，具体体现为：学生能够整合能源供给侧与需求侧的核心知识，理解能源全链条的耦合关系；具备复杂能源系统方案设计、仿真优化、能效诊断与碳排放核算的能力；形成系统思

表1 实践教学能力素养矩阵（部分示例）

链条环节	知识单元	能动专业贡献点	建环专业贡献点	共同技能点	对应“双碳”能力
能源生产与转换	光伏/光热系统设计	系统容量配置、电气参数	安装倾角与建筑一体化	负荷预测、效率计算	清洁能源替代率分析
能源输配与储存	管网与储能匹配	泵与风机选型	管网水力计算	储能容量优化	输配损耗降低策略
建筑能源应用	暖通空调系统集成	热泵主机选型	冷热负荷计算、末端设计	系统能效比(EER)评估	建筑运行碳排放核算
碳核算与优化	全生命周期碳足迹	设备生产与运行碳排	建材与施工碳排	减排方案比选	碳减排贡献度计算

三、模块化与项目化的综合性实践课程群建设

（一）可再生能源驱动下的建筑供能系统设计（模块一）

该模块对应能源生产与转换及能源输配与储存两个链条环节，聚焦小型建筑的可再生能源供能方案设计^[9]。学生需综合运用太阳能光热/光电、热泵技术以及建筑冷热负荷计算知识，旨在培养学生从供给侧到需求侧的系统集成能力。

该模块在实施时首先发布任务，给定建筑面积、功能及气候区，要求学生设计一套光伏和空气源热泵复合供能系统以满足全年供暖、供冷及部分生活热水需求^[9]。其次进行团队分工，每组4-5人按能动与建环专业1:1比例组成，能动学生负责光伏阵列容量与热泵主机选型，建环学生负责建筑负荷计算及末端设备设计。最终交付成果包括《建筑可再生能源供能系统设计方案》及小组答辩，考核重点为技术合理性40%、系统经济性30%、跨专业数据对接准确性20%和答辩表现10%^[7]。

（二）基于BIM与能源仿真的建筑-能源系统协同分析（模块二）

该模块对应链条的建筑能源应用与能效管理环节，引入建筑信息模型（BIM）和能源仿真技术，旨在培养学生数字化协同设计与能效诊断能力。模块充分利用学院已有的BIM+VR实验室计算机和专业软件授权，同时链接校内真实建筑的能耗监测数据，以增强项目的真实感^[9]。

该模块在实施时首先让学生使用Revit等BIM软件建立给定建筑的几何与物理模型。其次将模型导入EnergyPlus或DesignBuilder等能源仿真平台，设置围护结构参数、室内人员

维、工程创新意识及强烈的“双碳”责任感，并能够在跨专业团队中有效沟通、协同攻关，解决综合性工程问题^[9]。

（二）构建全链条贯通的实践教学主线

为解决知识碎片化问题，梳理出了从“碳”产生到“碳”管理的完整工程逻辑，设计了一条贯穿两个专业的实践教学主线：能源生产与转换→能源输配与储存→建筑能源应用与能效管理→碳排放核算与优化。

该链条明确标识出能动与建环专业的交叉点和融合点。例如，能源生产与转换环节以能动专业为主，但需引入建环专业的负荷需求作为边界条件；建筑能源应用环节以建环专业为主，但需回溯供给侧能源的品质与成本。碳排放核算环节则需要两个专业共同完成系统层面的碳流分析^[10]。

（三）制定能力素养矩阵

在链条基础上，通过多次跨专业教学研讨，将每一环节拆解为具体的知识单元和技能点，并对应不同学习层次，形成了可量化、可评价的能力素养矩阵，见表1。

作息及暖通空调系统类型。随后进行全年逐时能耗模拟，识别高能耗时段与环节，并提出不少于三项能效改进措施，如改变窗墙比、增加保温层、优化控制策略^[9]。最终提交《建筑能耗仿真与能效诊断报告》，对比改进前后的能耗降幅与碳减排量。

（三）区域能源系统规划与碳足迹分析虚拟仿真项目（模块三）

该模块对应链条的碳排放核算与优化环节，并整合前三个模块，将实践尺度从单体建筑提升至区域能源系统。采用虚拟仿真技术，旨在降低真实规划实验的高成本与高风险，同时创新教学流程，推行虚拟仿真先行、硬件实验验证的双重模式，使学生先在虚拟平台上完成系统设计与性能预测，再到物理实验台进行关键环节验证测试，通过对比虚实结果的差异深化对物理机理的理解^[10]。

该模块在实施时主要依托学院虚拟仿真平台，给定一个包含住宅、商业、办公功能的虚拟开发区地图。学生扮演能源规划师角色，完成能源站选址、供能管网布局、设备容量配置及不同情景下的年度碳排放核算^[11]。最终制定一份包含技术、经济、环境三方面比选的《区域低碳能源规划报告》，给出推荐方案及碳减排路线图。系统内置自动评分功能，对方案的碳排放强度、投资回收期、能源综合利用效率进行实时反馈。

四、跨专业协同实践教学平台建设

（一）物理平台整合

对原有能动与建环实验室进行了空间重组与功能拓展，将分

散在不同实验室的600MW火力发电厂DCS控制系统仿真台、中央空调综合实验台、太阳能光热/光电实验装置、热泵性能测试台等设备集中迁移至能源与建筑仿真实验室，成立综合能源系统实验室。

（二）虚拟仿真平台升级

在原有虚拟仿真中心基础上，增购区域能源规划仿真模块和碳排放计算插件。该平台支持多人协同操作，能动学生调整供给侧参数时，建环学生可实时看到需求侧负荷的变化及碳排放影响，实现了真正意义上的跨专业实时协同^[12]。

（三）虚实结合教学流程设计

新的教学流程强调先虚后实、虚实互校。虚拟层中，学生在仿真平台上完成方案构思、参数优化、性能预测。硬件层中，针对虚拟设计中不确定或关键环节，到物理实验台上进行验证测试。最后通过对比虚拟预测值与实测值，分析误差来源，如模型简化、设备老化、环境差异，撰写反思报告^[13]。

五、以学生为中心的跨专业团队式教学模式与多元评价机制

（一）跨专业团队组建与运行机制

每门跨专业实践课程开课前，任课教师按照能动和建环约1:1的比例随机分组，避免学生抱团选择同专业伙伴，同时考虑成绩分布以保证组间水平均衡。每个项目周期内，团队自行选举组长并明确分工，主要包括系统设计、仿真计算、实验测试等任务，并在三个模块中要求同一团队成员轮换主要角色，确保每位学生都能体验不同职责^[14]。

（二）教师角色转型与过程管理

教师角色从知识传授者转变为项目导师，教学流程包括四个环节：一是召开启动会，发布项目任务书、提供参考资源清单并明确评分标准；二是设置开题报告、中期检查、结题答辩三次关键节点汇报；三是提供必要的软件教程、设备操作培训及参考文献等资源支持；四是每个模块结束后，每组提交一份《团队合作反思日志》，内容包括遇到的困难、解决方案、个人贡献及改进建议。

（三）多元考核评价体系

项目建立了过程性考核和终结性考核、专业能力和协作素养

相结合的多元评价体系。以模块一为例，总成绩由三部分构成：技术能力50%，由教师根据方案的技术合理性和创新性独立评分；团队协作30%，包含组内匿名互评10%、导师过程观察记录10%、团队合作日志质量10%；沟通与表达20%，包括最终报告质量10%和答辩表现10%。特别设立碳减排贡献度附加分10%，在方案评价中单独设立此项。若学生设计的方案相比基准情景实现显著碳减排，可获得额外加分。

六、实施效果与初步成效

本项目自2026年1月启动，已完成顶层设计、两个实践模块的开发试运行及初步评价。通过对2022级能动与建环专业共120名学生的跟踪调查与实践效果分析，取得以下初步成效：

（1）学生能力显著提升。系统思维方面，91%的学生能阐述能源供需耦合关系；跨专业协作方面，85%的学生认为沟通能力提升，78%愿持续采用协作模式；“双碳”责任感方面，技术路径认知得分从2.1分升至4.3分，主动提出减排方案比例大幅提高。

（2）教学资源与平台得到优化。综合能源系统实验室已初步建成，累计服务学生实验人时数达1200小时。

七、结论与展望

面向“碳达峰”战略目标，西安航空学院航空材料与新能源学院通过构建目标引领链条贯通项目驱动的跨专业协同实践教学体系，有效破解了传统能源类专业实践教学中的学科壁垒和工程链条断裂问题。主要创新点包括：以“能源生产→输配→应用→碳管理”全链条重构实践主线；开发三个虚实结合、逐层递进的模块化项目；整合物理与虚拟平台，创新“仿真先行硬件验证”教学流程；建立包含团队协作与“碳减排贡献度”的多元评价机制。实践表明，该体系显著提升了学生的系统思维、跨专业协作能力和“双碳”责任感，为同类院校能源类专业的新工科实践教学改革提供了可复制、可推广的经验。未来，项目组将进一步扩大改革受益面，将体系推广至全校更多工科专业，并深化与行业企业的合作，引入真实的“碳足迹”认证项目，持续提升人才培养质量与产业需求的契合度。

参考文献

- [1]林日亿,张秀霞,姜烨,等.“一主线、两强化、多协同”能源与动力专业建设改革与实践[J].大学,2025,(20):55-58.
- [2]余晓平,廖春晖.面向既有建筑节能低碳改造人才需求的建环专业建设实践[J].制冷与空调(四川),2026,40(01):148-154.
- [3]许佩全,王田虎,梁国斌,等.基于创新创业能力的新型清洁能源科学与工程实践课程体系构建——以江苏理工学院为例[J].江苏科技信息,2026,43(03):88-93.
- [4]胡艳鑫,王长宏,黄金,等.面向新能源产业的跨界融合实践教学改革创新人才培养[J].山西青年,2026,(03):91-93.
- [5]张影微,李岩,郭文峰.“双碳”背景下能源动力类创新人才培养能力培养模式探索与应用——以东北农业大学为例[J].黑龙江教育(理论与实践),2026,(02):38-40.
- [6]岳强,杜涛,杨澈,等.“双碳”背景下能源与动力工程专业人才培养的思考[J].高教学刊,2026,12(03):37-41.
- [7]尚妍,刘宏升,王璐,等.CDIO-OBE理念下能源动力协同育人机制探索与实践[J].实验室科学,2025,28(06):214-219.
- [8]赵冰超,侯力滋,赵世飞,等.“双碳”战略背景下能源与动力工程专业多元实践教学体系构建[J].中国电力教育,2025,(11):80-81.
- [9]邓飞,纪兴英,梁兴,等.“新工科+双碳”背景下地方应用型高校能源与动力工程专业建设探索与思考[J].南昌工程学院学报,2025,44(05):105-110.
- [10]荆红莉,李岩,王旭东,等.OBE理念融入新能源科学与工程专业实践教学的改革研究[J].汽车维修与保养,2025,(10):127-128.
- [11]夏永放,许希,水滔滔,等.建筑环境与能源利用虚拟仿真实验教学平台建设研究[J].宿州学院学报,2025,40(09):72-76.
- [12]陈敏,余晓平,檀娅静,等.新形势下建环专业本科人才培养改革路径探析——基于综合能源服务业的转型视角[J].暖通空调,2025,55(11):8-17.
- [13]林日亿,张秀霞,姜烨,等.“一主线、两强化、多协同”能源与动力专业建设改革与实践[J].大学,2025,(20):55-58.
- [14]宋晓程,成祖丞,顾祥红,等.建筑环境与能源应用工程专业生产实习教学信息化改革[J].创新创业理论与实践,2025,8(13):28-30.