

“双碳”背景下建筑设备自动化课程教学改革思考

范松丽, 王晓亮, 江保平, 常 琪

苏州科技大学电子与信息工程学院, 江苏 苏州

收稿日期: 2025年4月27日; 录用日期: 2025年6月13日; 发布日期: 2025年6月23日

摘 要

“双碳”战略推动下, 建筑行业正加速向绿色智能转型, 建筑设备自动化技术在建筑节能降碳中起到核心作用。建筑设备自动化课程是建筑环境与能源应用工程专业的核心课程, 涉及暖通空调、照明、电梯等系统的智能化控制。“双碳”背景下, 课程需从传统设备操作转向低碳化、智慧化方向。文章针对当前建筑设备自动化课程教学现状, 提出目前教学环节在双碳转型中的一些不足之处, 从课程体系重构、教学模式创新、产教融合深化、评价机制优化等方面探讨“双碳”背景下的课程教学改革, 为培养适应“双碳”战略的智能建筑人才提供方案支撑。

关键词

建筑设备自动化, “双碳”, 智能建筑, 教学改革

Reflections on the Teaching Reform of Building Automation Course under the “Dual Carbon” Goals

Songli Fan, Xiaoliang Wang, Baoping Jiang, Qi Chang

School of Electronic and Information Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu

Received: Apr. 27th, 2025; accepted: Jun. 13th, 2025; published: Jun. 23rd, 2025

Abstract

Under the “Dual Carbon” context, the building industry is accelerating its transition towards green

and intelligent development, where building automation technology plays a pivotal role in energy conservation and carbon reduction. The course on Building Automation is a core component of the major in Building Environment and Energy Application Engineering, encompassing intelligent control of HVAC systems, lighting, elevators, and other systems. In the context of the “Dual Carbon” initiative, the curriculum needs to shift from traditional equipment operation to a focus on low-carbon and smart technologies. This paper addresses the current state of teaching in Building Automation courses, analyzes deficiencies in the educational process under the “Dual Carbon” transition, and explores curricular reforms from aspects such as restructuring the course system, innovating teaching models, deepening industry-education integration, and optimizing evaluation mechanisms. These discussions aim to provide a framework for nurturing intelligent building talents aligned with the “Dual Carbon” strategy.

Keywords

Building Automation, “Dual Carbon”, Intelligent Building, Educational Reform

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

全球气候变化加剧背景下，中国提出“2030 碳达峰、2060 碳中和”战略目标，正在深刻重构建筑行业的技术体系与发展模式。根据《2024 中国城乡建设领域碳排放研究报告》，2022 年全国建筑与建筑业建造碳排放总量 51.3 亿 t CO₂，占全国能源相关碳排放 48.3%，其中运行阶段能耗产生的碳排放占比达 21.7% [1]。建筑设备系统作为能耗主体，其能效水平直接影响双碳目标的实现进程。根据住房和城乡建设部、国家发展改革委所印发的《城乡建设领域碳达峰实施方案》，2025 年城镇新建建筑全面执行绿色标准，2030 年前新建公共建筑本体达到 78% 节能要求。同时，方案明确提出要“加强空调、照明、电梯等重点用能设备运行调试，提升设备能效” [2]。

建筑设备自动化技术作为建筑能源系统的核心调控手段，正面临从传统设备控制向低碳智能管理的范式转变。传统建筑设备自动化聚焦于暖通空调、照明电梯等系统的独立控制；而双碳目标驱动下，其技术内涵已扩展为“能源 - 信息 - 碳排”三流耦合的智能调控体系。这种变革既体现在技术工具层面上数字孪生、机器学习等技术深度渗透设备控制系统，更反映在系统边界层面上建筑设备系统正与城市能源网络形成双向互动关系。

《建筑设备自动化》作为建筑环境与能源应用工程专业的核心课程，正面临教学范式转型的历史性挑战[3]。本文聚焦《建筑设备自动化》课程，分析“双碳”战略与建筑设备自动化的耦合关系，剖析双碳背景下建筑设备自动化课程优化改革的必然性，并基于当前课程教学痛点诊断，提出包含课程重构、教法创新、产教融合、评价改革的实施路径，以期双碳背景下建筑设备自动化课程改革发展提供参考。

2. “双碳”战略与建筑设备自动化的耦合关系

“双碳”战略目标驱动下，建筑设备自动化技术正经历从传统控制逻辑向低碳智能调控的转变[4] [5]。这种转型不仅体现为技术要素的迭代升级，更深层次地反映了“双碳”战略与专业课程教育的耦合关系。作为建筑环境与能源应用工程专业的核心课程，《建筑设备自动化》的教学改革优化必须深入理解“双碳”战略与该技术领域的耦合关系。

2.1. “双碳”战略下的技术升级

2021 年国务院发布的《2030 年前碳达峰行动方案》明确提出“加快推进城乡建设绿色低碳转型”，要求到 2025 年城镇新建建筑全面执行绿色建筑标准。2024 年国家发展改革委、住房城乡建设部印发的《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》指出“强化建筑运行节能降碳管理”“推动建筑用能低碳转型”。在此背景下，建筑设备自动化系统作为建筑能源系统的“神经中枢”，其功能已从传统设备控制升级为“能源优化 + 碳排管理”的双重使命。建筑设备自动化系统通过智能调控暖通空调(Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC)、照明、电梯等关键耗能设备，直接影响建筑运行阶段能耗强度。传统技术体系因静态控制、能源孤岛化与监测维度单一等局限，难以满足低碳转型的精准调控需求。为此，以智能算法为核心的控制范式迭代、以源 - 网 - 荷 - 储协同为特征的能源系统管理优化、以及以全链路感知为目标的监测体系扩展，共同构成了建筑设备自动化技术的低碳转型路径。

2.1.1. 智能控制算法升级

传统启停控制或以 PID 算法为核心的定参数控制，难以应对建筑负荷动态变化。空调系统在人员密度波动、气象条件骤变等场景下，PID 控制因缺乏前瞻性与自适应性，易导致过量供冷/供热，造成能源浪费。而在低碳转型背景下，智能控制算法通过模型驱动与数据驱动深度融合，可实现能效优化与碳排放管控的双重突破。例如，基于建筑热力学模型与高精度天气预报数据，构建 24 小时滚动优化机制，通过预判未来负荷动态调整 HVAC 系统运行策略。与此同时，数据驱动算法依托物联网与人工智能技术，突破传统物理模型的局限性。采用 LSTM 神经网络分析历史人流数据与实时传感器信息，精准预测人员密度变化趋势，动态调节新风量与送风温度，在保障空气品质的同时显著降低风机能耗。这种从“被动响应”到“主动预测”、从“经验参数”到“数据智能”的控制范式转型，不仅可提升建筑设备系统的动态调节能力，更通过能耗强度的结构性下降，为建筑运行阶段的碳减排提供可复制的技术解决方案。

2.1.2. 能源系统管理优化

传统能源架构中，暖通空调、照明、电梯等设备系统独立运行，能源流动呈现“单向供给 - 刚性消耗”特征。这种被动运行模式导致能源利用效率低下。而在低碳转型背景下，能源系统通过构建“源 - 网 - 荷 - 储”协同体系，可实现能源生产、传输、消费与存储的动态平衡。以近年来大力推进的光伏一体化建筑为例，可结合光伏发电情况调整建筑设备用电，将部分建筑用电负荷调整至光伏发电充足时段，提升建筑光伏利用率。也可将光伏发电系统与照明自动化控制进行耦合，通过光照强度预测算法动态调节光伏逆变器输出功率与照明回路开关策略，提升建筑光伏渗透率。此外，储能技术的智能化集成改变了传统能源系统的刚性负荷特征。上海浦东新区某金融中心通过冰蓄冷系统与相变材料储热装置的组合应用，结合分时电价策略优化冷机运行时序，在空调负荷高峰期削减用电功率。这种从“单向耗能”到“双向互动”、从“刚性负荷”到“柔性调节”的能源系统管理升级，不仅重构了建筑能源系统的物理形态，更通过数字孪生、物联网等技术的融合，形成了“感知 - 分析 - 决策 - 执行”的闭环调控机制，为建筑能源优化管理与碳减排提供系统解决方案。

2.1.3. 监测体系扩展

传统监测体系以设备运行状态参数为核心，聚焦温度、湿度、压力等基础物理量(如空调系统监测回风温度与风机转速)，缺乏对能源流动与碳排放的动态追踪，导致“运行可见、能效模糊”的管理困境。而低碳转型背景下，监测参数体系向“设备 - 能源 - 碳排”多维度扩展，形成全链路数据感知网络。某生态办公园区通过部署智能电表与碳排因子数据库，将园区用能实时转换为等效二氧化碳排放量，结合室内人员密度动态生成节能调控建议，有效降低单位面积碳排强度。这种监测维度从“设备级运行指标”

向“系统级能碳耦合参数”的跃迁，不仅构建了建筑碳足迹的可视化，更为负荷预测算法、能源调度策略提供了高价值数据输入，推动建筑设备自动化从“经验驱动”向“数据智能”的范式革命。

2.2. “双碳”战略与课程内容的内在耦合逻辑

2.2.1. 知识体系的耦合性

建筑设备自动化课程的知识架构与“双碳”战略目标具有深层次的技术协同性。从 HVAC 系统控制到能源管理模块，课程核心内容直接对应建筑碳减排的关键技术路径，如表 1 所示。以空调系统为例，其能耗占建筑总能耗的 40%~60%，课程中涵盖的变风量系统节能控制算法，通过动态调节送风量与末端装置开度，可显著降低空调系统冗余能耗。在照明控制领域，课程涉及的“光照度自适应调节”技术，结合光伏发电系统的协同控制逻辑，能够有效利用自然光照资源。更值得关注的是能源管理系统模块，课程通过数字孪生技术实现建筑能效仿真与碳排预测，可使学生掌握从设备运行能耗数据到碳足迹核算的全流程分析方法。这种知识体系的耦合性，本质上反映了双碳目标下技术需求与专业教育的精准对接。

Table 1. Connection points between the course’s core content and dual-carbon goals

表 1. 课程核心内容的双碳关联点

课程模块	双碳关联点	技术示例
HVAC 系统控制	空调能耗占建筑总能耗 40%~60%	变风量(VAV)系统节能控制算法
照明系统控制	照明能耗占比 10%~15%	光照度自适应调节与光伏发电协同控制
能源管理系统	建筑碳排核算与优化决策	基于数字孪生的能效仿真与碳排预测

2.2.2. 能力培养的耦合性

“双碳”战略的推进重塑了建筑设备自动化领域的人才能力培养需求，促使课程培养目标从技能训练转向多维能力融合[6]。传统课程聚焦设备调试、PLC 编程等操作能力，而双碳目标要求学生新增三大核心能力：一是碳排量化能力，需运用 GB/T 51366 等标准完成设备系统的碳足迹建模与分析；二是系统优化能力，借助 EnergyPlus、TRNSYS 等仿真工具验证不同控制策略的减碳效能；三是跨系统协同能力，能够设计光伏、储能装置与传统设备的动态交互逻辑。在建筑能源系统设计中，学生需统筹考虑光伏发电功率波动、储能系统充放电特性与暖通负荷需求间的复杂耦合关系。这种能力结构的迭代升级，体现了双碳转型对建筑智能化领域人才“技术 + 可持续”复合能力的要求。

“双碳”战略与建筑设备自动化课程内容的耦合关系，本质上是能源革命、数字革命与教育革命的交叉融合。这种耦合既体现在政策标准对技术路线的刚性约束，也反映在行业对人才能力结构的重塑需求，更倒逼课程教学从知识体系到能力培养的系统性变革。理解这种深度耦合关系，是构建后续教学改革路径的逻辑起点与理论根基。

3. 当前课程教学痛点诊断

建筑设备自动化作为实现建筑能效优化与碳减排的核心技术支撑，其课程体系成为培养新型工程人才战略载体。然而，当前教学实践与行业需求之间存在一定错位：一方面，政策迭代加速与技术创新涌现(如数字孪生、智慧微电网)对人才能力提出了跨学科、动态化的复合要求；另一方面，现有课程体系仍囿于传统知识框架，教学内容更新滞后、实践载体迟滞等问题存在。尽管部分高校已尝试通过虚拟仿真平台开发、校企合作等方式推进改革，但教学内容与双碳目标的适配性、教学方法的代际适应性等关键矛盾仍未得到系统性解决。基于此，亟需对当前教学痛点展开多维度诊断，以厘清课程改革核心。下面将从课程内容、实践教学体系、产教协同机制、课程评价体系等维度展开具体剖析。

3.1. 课程内容与“双碳”战略适配性不足

传统建筑设备自动化课程教学目标聚焦于“设备启停逻辑设计”“PID 控制算法应用”等基础能力。核心教学内容以传统暖通空调系统、给排水设备控制、电梯监控等模块为主，缺乏对可再生能源系统(如光伏建筑一体化、地源热泵)、智慧微电网、建筑碳排放计量等新兴技术的系统性覆盖。例如，多数教材仍以 PID 控制算法为教学重点，而实际工程中已广泛应用的模型预测控制(Model Predictive Control, MPC)、深度学习能耗预测等智能算法鲜有涉及。这易导致学生难以理解双碳背景下建筑设备系统集成优化的核心逻辑，无法应对复杂场景下的能碳协同优化需求。此外，当前课程架构停留在“自动化技术+建筑设备”的简单叠加层面，未能有效融入能源经济学、碳交易机制、建筑信息模型等跨学科知识。以建筑能源管理系统为例，学生仅能掌握设备控制层面的编程调试，但对系统能源优化管理、碳排放强度计算等关联知识缺乏认知框架，难以形成“技术-经济-环境”多维度的决策能力。

3.2. 实践教学体系与双碳衔接性不足

目前高校实验设备以传统楼宇自控实验箱为主，多配置传统直接数字控制器、PLC 实验台等硬件设备，但缺乏能源计量、碳排监测等功能模块，难以支撑“设备能耗-碳排放”关联分析。以某高校建筑设备自动化实验室为例，其空调系统实验装置仍采用模拟传感器，无法实时采集真实环境参数，学生难以体验数据驱动型设备调优场景。其次，虚拟仿真资源开发不足。尽管虚拟仿真技术已广泛应用于工程教育，但现有虚拟仿真项目多聚焦设备拆装演示，缺乏动态能耗模拟、碳流可视化等高级功能，无法开展多系统协同优化(如光伏-空调联调)及碳排放动态评估。此外，项目式教学案例陈旧，多数实践项目仍基于十年前的技术标准，未对接 LEED V4.1、GB/T 51366 等现行低碳建筑评价体系，学生方案设计与行业实际需求存在差距。

3.3. 产教协同机制尚未形成闭环

“双碳”战略下，企业设计需求迭代升级，然而当前校企合作多停留在认知实习层面，企业真实项目导入率不足，且多集中于设备调试等低阶任务。同时，教师队伍“双师型”比例占比较低，缺乏参与低碳技术工程项目的经验，设计案例与企业实际情况脱节。此外，毕业设计选题中，仅少数选题源自企业技术攻关需求，同时缺乏企业导师全程指导，导致方案可行性低。

3.4. 课程评价体系导向性偏差

现有考核以理论考试和实验报告为主，缺乏对“低碳技术应用能力”的过程性评价。实践能力评价指标模糊，未建立与双碳目标匹配的量化标准，对系统优化能力、低碳创新思维等关键素养缺乏有效评估工具。此外，多数高校尽管建立了基于 OBE 理念的课程质量评价体系，然而持续改进机制缺失，教学内容更新周期长达 3~5 年，无法适应快速迭代的双碳技术发展。

上述痛点表明传统课程体系在目标定位、内容设计、实践载体及评价机制等方面难以满足“双碳”战略需求，亟需通过课程重构、方法创新、产教融合等改革举措，破解人才培养与行业需求的错位矛盾，为建筑领域双碳目标实现提供智力支撑。

4. 双碳背景下教学改革优化实施路径

“双碳”战略驱动下，建筑设备自动化课程教学改革需要构建“目标导向-内容重构-方法创新-机制保障”四位一体的实施路径。本文从课程体系重构、教学方法创新、产教协同育人、考核机制完善四个维度展开，提出基于 OBE 理念的模块化课程架构，构建虚实结合的实践教学体系，形成校企协同的

生态化育人模式，为培养具有低碳技术应用能力的复合型人才提供解决方案。

4.1. 重构课程体系，构建双碳导向的模块化知识架构

(1) 课程目标重定位。传统《建筑设备自动化》课程以建筑设备(如暖通空调、照明、给排水等)的自动化控制技术为核心，教学目标多聚焦于系统设计、控制算法、设备调试等基础能力。在双碳背景下，需将“低碳调控能力”作为核心目标，重新定义课程能力矩阵。将国家碳达峰碳中和行动方案、建筑领域节能减碳技术路线图等政策文件转化为教学目标，着重培养学生在建筑设备系统优化控制、智能控制算法、碳排放监测评估等方面的核心能力。

(2) 课程知识体系重构。传统课程以自动化控制技术为核心，包含自动化控制基础、HVAC 系统控制、照明与给排水系统控制、楼宇自控系统集成等模块，教学内容多聚焦设备运行逻辑与基础控制算法，缺乏与低碳目标的深度融合。重构后的课程体系需以建筑设备优化控制与碳排放管理为主线，通过知识解构与跨学科融合，形成双碳导向的立体化课程生态。以暖通空调系统为例，在讲解 PID 控制原理时，同步植入模型预测控制(MPC)算法，通过 MATLAB/Simulink 平台开展冷水机组启停策略仿真实验，对比分析传统控制与智能控制在能耗与碳排放的差异。通过课程体系重构，实现从“设备控制”到“碳能协同调控”的范式转换。

4.2. 创新教学方法，打造虚实结合的实践教学体系

(1) 构建虚拟仿真教学平台。开发基于数字孪生的建筑设备系统仿真平台，包含设备运行仿真、控制策略验证、能效评估分析等模块。设备运行仿真包括空调系统动态特性模拟、照明系统光环境仿真等，控制策略验证包括 PID 参数整定实验、模型预测控制算法验证等，能效评估分析包括能耗模拟、碳排放计算、节能率评估等。同济大学建筑智能控制与实景验证数字孪生平台提供了很好的范例。

(2) 实施项目式教学模式。采用“真实项目驱动 + 阶段成果导向”的教学组织方式。项目选题紧密对接双碳转型需求，如校企合作的某商业综合体空调节能改造项目，要求基于监测系统历史数据，完成负荷预测模型训练、冷水机组优化调度及碳排成本核算全流程设计。实施过程中，学生全过程参与需求分析、方案设计、仿真验证、控制器参数整定及效果评估等不同阶段，深入体会项目全流程[7][8]。

(3) 构建“MOOC+SPOC+ 翻转课堂”的混合教学模式。建设“建筑设备自动化”慕课资源，创建专题研讨型 SPOC (Small Private Online Course, 小规模限制性在线课程)课程，结合课程进度重点探讨复杂控制算法等难点。将适当阶段的线下课堂转型为“问题工坊”，开展“双碳目标下建筑设备自动化系统重构方案”等主题研讨，学生需运用数字孪生仿真平台进行方案论证，实现课堂深度互动。

4.3. 深化产教融合，构建协同育人生态系统

(1) 校企协同育人平台建设。与智能建筑龙头企业共建智慧低碳建筑产业学院，形成“人才共育 - 技术共研 - 成果共享”合作范式。设立双碳技术研发中心，联合攻关建筑能源管理系统优化、碳排放实时监测等关键技术。在实践基地建设方面，联合建筑科学研究院、绿色建筑认证机构等机构建立产教融合基地，构建“能源审计 - 节能改造 - 碳核查”等实践场景，校企联合开发教学案例库。

(2) 真实项目导入机制。建立“企业命题 - 师生解题 - 行业验题”的项目导入机制。项目来源聚焦行业痛点，如基于企业提出的电梯群控能耗过高难题，设计某超高层建筑智慧运维系统开发项目；学生团队通过开发基于深度学习的乘梯需求预测模型，降低候梯能耗降。项目实施采用“三阶递进”模式，课程设计阶段完成基础方案论证，毕业设计阶段开展系统级优化设计，科技竞赛阶段进行创新性突破，形成“教学 - 科研 - 应用”良性循环。

(3) 产业导师参与机制。创新联合导师培养模式,企业导师深度参与人才培养全过程。在课程建设环节,邀请企业技术专家与行业专家开设前沿讲座,涵盖数字孪生运维、碳资产管理等新兴领域。在毕业设计环节,实行校企双导师制,进行校企联合指导,选题源自企业。

4.4. 完善考核机制,构建持续改进的质量闭环

(1) 构建多元化考核体系。建立多维度考核体系,过程考核以课堂表现、实验报告为基准,并设计合理的权重;终结性考核侧重复杂工程问题解决能力,包括理论考试、项目成果等。制定多维度实践能力评价量表,包括系统设计能力、工程实施能力、数据分析能力、团队协作能力等维度,涵盖方案创新性、技术可行性等指标。

(2) 持续改进机制建设。实施课程评估“三期诊断”,即开课需求调研、学期中效果评估、结课后持续改进,持续优化教学内容和教学方法。此外,建立能力发展档案,跟踪学生专业能力成长轨迹。

5. 结语

本研究基于“双碳”战略对建筑行业的革新需求,系统分析了“双碳”战略与建筑设备自动化课程内容的耦合关系,揭示了传统课程在知识体系、实践教学、评价机制等方面存在的结构性不足。通过系统化的教学改革实施路径,构建双碳目标导向、产教深度融合、评价反馈及时的新型教学模式,以解决传统课程滞后行业发展需求、实践教学薄弱等问题,为培养适应绿色智能建筑发展需求的高素质技术人才提供可参考的改革方案。

可以预见,随着光储柔直技术、建筑虚拟电厂等新业态的普及,建筑设备自动化课程将持续迭代升级。未来的课程体系将不再是单一的技术传授平台,而应发展成为衔接能源革命、数字革命与教育变革的创新枢纽。这种转变不仅需要教育者的主动求变,更需要建立“政-产-学-研-用”协同创新的长效机制,最终构建支撑“双碳”战略落地的教育新生态。

基金项目

本研究工作受到教育部产学研合作协同育人项目的支持(项目编号:231001094305505)。

参考文献

- [1] 中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会. 中国城乡建设领域碳排放研究报告(2024年版)[R/OL]. 重庆, 2024.
<https://cmsfiles.zhongkefu.com.cn/cmsossjianzhujieneng/upload/file/20250120/1737310863233732.pdf>, 2025-02-20.
- [2] 住房和城乡建设部, 国家发展改革委. 城乡建设领域碳达峰实施方案[EB/OL].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/13/content_5700752.htm, 2025-04-09.
- [3] 李炎锋, 苏枳赫, 王宏燕. “双碳”目标背景下土木类专业可持续发展的探索——以建筑环境与能源应用工程专业为例[J]. 教育教学论坛, 2024(45): 105-108.
- [4] 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, 7(30): 62-65, 69.
- [5] 荣鼎, 方潜生, 胡浩威, 等. 碳达峰碳中和背景下能源与动力工程专业人才培养模式创新与实践——以安徽建筑大学为例[J]. 皖西学院学报, 2024, 40(2): 33-37.
- [6] 厚彩琴, 曲德虎, 王刚. 双碳战略下建筑环境与能源应用专业课程教学改革探讨[J]. 黑龙江教育(理论与实践), 2023(30): 45-48.
- [7] 张天虎, 梁林, 胡建军. 建筑能源领域碳达峰碳中和项目式教学实践[J]. 黑龙江教育(理论与实践), 2025(9): 49-52.
- [8] 王金锋, 谢晶, 杨胜平. 项目教学法在《建筑设备系统自动化》课程中的应用探讨[J]. 教育教学论坛, 2017(17): 178-179.