

文章编号: 1671-6612 (2026) 01-148-07

# 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

余晓平 廖春晖

(重庆科技大学 重庆 401331)

**【摘要】** 在国家“双碳”战略和城市更新行动背景下,既有建筑节能低碳改造市场迅速扩张,凸显精通能耗诊断、低碳设计与智能运维的复合型人才缺口。然而,当前高校建筑环境与能源应用工程(简称建环)专业课程体系存在滞后性,教学内容侧重新建建筑设计,实践教学缺乏真实运维场景,难以满足行业转型需求。基于建环专业发展与社会需求变迁,面向行业正从“工程建设”向“工程运维”转型,提出人才培养目标需转向“存量建筑低碳改造与智慧运维工程师”。以重庆科技大学为例,专业通过“校企协同-课程重构-实践强化”一体化设计,确立“三位一体”改革路径:通过强化分阶段双碳教育、更新“智能+绿色”课程、重构实践项目与组织、深化校企合作平台等实践教学体系,以及共建微专业、项目式课程、“3+1 订单班”等创新产教融合模式,培养“实基础、懂技术、能运营、会管理”的高素质应用型人才,支撑建筑业绿色低碳转型人才需求。

**【关键词】** 既有建筑; 低碳改造; 人才需求; 建环专业; 实践教学

中图分类号 G642 文献标志码 A

## Construction Practice of BEE for the Talent Demand for Energy Saving and Low Carbon Renovation of Existing Buildings

Yu Xiaoping Liao Chunhui

(Chongqing University of Science and Technology, Chongqing, 401331)

**【Abstract】** In the context of the national "dual-carbon" strategy and urban renewal initiatives, the market for energy-efficient and low-carbon retrofitting of existing buildings is experiencing rapid expansion, highlighting a shortage of composite talents skilled in energy consumption diagnosis, low-carbon design, and intelligent operation and maintenance. However, the current curriculum system of Building Environment and Energy Application Engineering (hereinafter referred to as "BEE") majors in universities lags behind, still emphasizing new building design and lacking authentic operation and maintenance scenarios in practical teaching, which fails to meet the needs of industry transformation. This paper analyzes the development of BEE majors and the evolution of social demands, pointing out that the industry is transitioning from "engineering construction" to "engineering operation and maintenance," necessitating a shift in talent cultivation objectives towards "engineers specializing in low-carbon retrofitting and smart operation and maintenance of existing buildings." Taking the practice of Chongqing University of Science and Technology as an example, a "three-in-one" reform pathway is proposed through "school-enterprise collaboration, curriculum redesign, and practice enhancement." This involves repositioning training objectives, strengthening phased dual-carbon education, updating the "intelligent + green" curriculum, reconstructing practical projects and organizations, and deepening school-enterprise

基金项目: 重庆市高等教育教学改革研究项目 (233442); 第三期教育部供需对接就业育人项目 (2023122917854)

作者(通讯作者)简介: 余晓平 (1973.07-), 女, 博士研究生, 教授, E-mail: yuxiaoping2001@cqust.edu.cn

收稿日期: 2025-06-26

cooperation platforms and other practical teaching systems. It is recommended to foster high-quality applied talents who are "grounded in practice, proficient in technology, capable of operation, and adept at management" by innovating industry-education integration models such as co-constructing micro-majors, project-based courses, and "3+1 customized classes," thereby supporting the green and low-carbon transformation of the construction industry.

**【Keywords】** Existing buildings; Low carbon renovation; Talent demand; BEE major; Practice teaching

## 0 引言

在国家“双碳”战略和城市更新行动推动下,既有建筑节能低碳改造已成为建筑行业绿色转型的重要路径。随着改造市场的快速扩张,行业对具备能耗诊断、低碳设计及智能运维能力的复合型人才需求日益迫切。然而,当前高校建筑环境与能源应用工程(以下简称建环)专业的人才培养仍以新建建筑设计及设备系统为核心,缺乏对既有建筑改造与运维领域的深入覆盖,实践教学与工程实际脱节,难以满足市场对高水平应用型人才的需求。

国内外多所高校已在绿色建筑、智能运维等领域开展教学探索,如欧美部分高校开设建筑性能模拟、碳管理等课程,强调跨学科和全生命周期教育,国内高校也在新工科内涵建设、实践教学平台创新等方面推进课程改革。比如,张东海<sup>[1]</sup>立足中国矿业大学建环专业新工科发展方向,对多学科交叉融合的建环专业人才培养模式进行探索与实践,构建多维交叉融合课程体系、组建多学科融合师资队伍、打造多元化协同育人实践平台、推进科研创新和科技竞赛融入教学等;王春林等<sup>[2]</sup>以产学研用一体化平台为基础,以强化实践教学对课程知识的反馈作用为核心机制,构建了一个三部六级、螺旋递进双向互动的本科课程体系;白梦梦等<sup>[3]</sup>探讨了建环专业新能源课程体系建设,即在人才培养方案中新增新能源利用技术、可再生能源利用实训、新能源系统综合设计课程模块,采用科研训练、竞赛驱动和问题导向式教学法,培养了学生绿色节能综合设计能力和科学研究应用能力,从而满足低碳技术大规模应用行业对高素质应用型技术人才的需求;全贞花等<sup>[4]</sup>自主设计和建立了一个实践教学平台—低碳多能互补能源系统创新实验平台,为学生提供一个应用于办公建筑的实际热电联供系统与实操平台,使学生能够更好地理解和掌握多能互补利用技术,锻炼动手实践能力和解决问题的能力。

然而,现有教学改革多侧重于技术扩展或单一

课程创新,尚未形成面向“工程运维”转型的系统化课程体系及产教融合机制,尤其在真实场景工程实践、能碳管理能力培养等方面存在明显不足。因此,面向既有建筑节能改造人才需求,进行建环专业系统性教学改革,具有重要的现实意义和创新价值。本文结合重庆科技大学建环专业的建设改革实践,探讨如何通过重新定位目标、重构课程体系、强化实践教学与产教深度融合,培养适应行业变革的高素质工程技术人才。

## 1 建环专业发展历史与社会需求

### 1.1 工业化需求奠定建环专业初创基础

建环专业(原“供热供煤气及通风”)始建于1952年,服务于新中国工业化建设,解决工业厂房环境控制(温湿度、通风除尘)及北方采暖需求。至1978年,全国共19所院校开设相关专业<sup>[5]</sup>。这个时期的人才需求特征表现在两个方面,一是有明确的技能目标,培养具备工业建筑环境控制能力的工程技术人才,解决车间高温、粉尘污染等问题;二是培养模式以前苏联专家指导为主,课程体系强调设备设计与安装,实践环节依托工业项目现场教学。

### 1.2 社会经济需求驱动专业内涵演变格局

伴随改革开放与科技进步,专业内涵持续扩展。在1980s-2000s期间,主要聚焦城镇化进程中的建筑能效与舒适度提升;自2010s后,专业逐步响应绿色健康建筑、雾霾治理、双碳目标,融入可再生能源、碳管理、智能化等内容。由此,专业名称历经“供热通风与空调工程”(1983)、“建筑环境与设备工程”(1998)至“建筑环境与能源应用工程”(2012),开设院校从1998年的68所增至2024年底的190余所。新工科建设与“十四五”建筑碳达峰的时代要求,进一步推动专业向智慧能源、BIM、健康环境等方向变革。不同时期社会经济需求与建环专业发展的对应关系如表1所示。

表 1 不同时期社会经济需求与建环专业发展的对应关系

Table 1 Corresponding relationship between socioeconomic needs and development of BEE in different periods

时期	国家社会经济发展需求	民生人居环境健康需求	建环专业课程主要面向领域
1950s-1970s	工业化基础建设	基础生活设施普及（北方供暖）	供热通风技术、工业环境控制
1980s-2000s	城镇化	居住环境舒适度要求提升	空调系统设计、建筑节能技术
2010s-2020s	绿色健康建筑推广	雾霾治理、室内空气质量	可再生能源、空气污染控制、智能化
2020s-未来	数智技术、双碳目标	健康通风需求、适老化环境改造	智慧运维、健康环境营造、灾害防控

### 1.3 工程建设转向工程运维对建环专业人才培养的要求

截至 2024 年底，我国常住人口城镇化率已达 67%<sup>[6]</sup>，城市发展进入存量提质改造与增量结构调整并重阶段。人均居住面积大幅提升，从 1978 年 6.7m<sup>2</sup> 提升到 2020 年 41.8m<sup>2</sup><sup>[7]</sup>，推动建筑环境质量对舒适度、空气品质、能效的需求升级。住建部要求 2025 年完成既有建筑节能改造 3.5 亿 m<sup>2</sup> 以上，全国已改造城镇老旧小区近 28 万个。

行业转型要求建环人才从“新建筑设计建设者”转向“存量建筑维护管理者”，需具备智能运维技术、低碳改造能力及跨学科融合素养。因此，高校专业人才培养需更注重创新、实践、低碳意识与可持续发展理念，满足多学科交叉融合需求。

## 2 双碳目标下的建筑低碳转型驱动建环专业教学改革

### 2.1 建筑节能改造领域的人才缺口增大

在住建部“十四五”规划等政策驱动下，超万亿规模的改造市场催生巨大人才需求，但精通能耗诊断、低碳设计与运营管理的复合型人才缺口高达 60 万<sup>[8]</sup>。建筑能源管理正从“能耗双控”转向“能碳双控”，运维模式向“智能、智慧”升级。依据《公共机构能源费用托管实施规程》等<sup>[9,10]</sup>，技术团队需配置暖通、电气、自控等多专业人员。

建筑节能改造领域对人才能力提出三维要求：

(1) 节能诊断能力：能耗大数据分析、模拟、红外检测、负荷预测。

(2) 改造设计能力：围护结构优化、可再生能源集成、智能调控系统设计，强调机电一体化与数智化综合应用能力。

(3) 运营管理能力：技术经济性评估、生命周期成本测算、碳足迹核算、绿色金融工具应用。

行业要求专业教育强化 BIM、物联网、大数据、

AI 在能耗监测分析中的应用，拓展碳管理技能。

### 2.2 高校建环专业人才培养现状

由于暖通空调系统的热力系统涉及“热、机、电、控”等专业多位一体的综合复杂问题，尤其在《空调通风系统运行管理标准（GB 50365-2019）》修订颁布后，要求其运营管理人员既要具备设备维护的动手能力，又要拥有运营效果的分析能力、优化控制的工程系统创新思维。目前，建环专业普遍存在课程体系改革滞后和实践教学内容落后于社会发展需求<sup>[11-14]</sup>，主要表现在：

(1) 课程滞后：体系仍以新建建筑设计为核心，缺乏暖通空调系统调适、运行优化分析内容。

(2) 实践脱节：缺乏真实运维场景，教学内容“重设计轻运行、重技术轻管理”，难以支撑多元化就业需求。

(3) 能力缺口：对标《空调通风系统运行管理标准》，学生需兼具设备维护动手能力与运营分析、优化创新的系统思维。

双碳目标、智慧城市、健康中国战略为建环专业带来机遇与挑战，地方高校还需立足区域特色主动调整。本文结合重庆科技大学建环专业建设实践，分析面向既有建筑节能低碳改造的人才培养改革路径。

## 3 面向既有建筑节能低碳改造的人才培养改革实践

### 3.1 面向工程运维的人才培养模式与目标定位

面向建设行业节能改造与低碳运维人才需求，专业继续强化面向工程运维领域的创新人才特色，通过产教深度融合形成“双主体、四共建”的人才协同培养模式，即：学校与企业，共建教学团队、共建实验教学平台、共建教学实习基地、共建学生就业渠道，打造“实基础、懂技术、能运营、会管理”的高素质应用型工程技术人才，形成“244”

人才培养模式, 如图 1 所示。

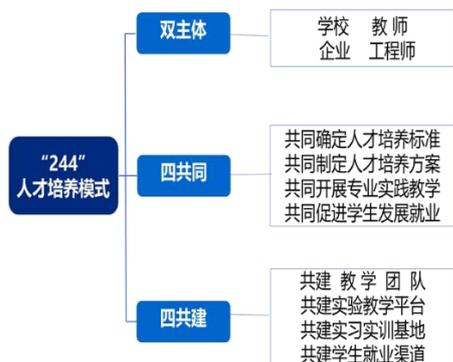


图 1 校企协同双主体人才培养模式

Fig.1 Dual subject talent training model of school enterprise collaboration

聚焦双碳战略与城市更新, 核心目标定位培养存量建筑低碳改造与智慧运维工程师, 具备跨学科整合、全周期可持续理念和解决复杂工程问题能力。核心要素包括:

(1) 树立可持续发展理念: 掌握碳足迹核算、环境成本评估工具, 融入低碳伦理与生态红线意识, 平衡能效与品质。

(2) 培养工程综合应用能力: 强化解决复杂工程问题能力, 培养学生能应对系统动态性、用户需求不确定性、设备滞后性的综合方案分析能力,

表 2 分阶段专业“双碳”实践教学体系

Table 2 Phased professional "Dual Carbon" practical teaching system

阶段	活动形式	实践内容	实施途径
大一	科普宣传	绿色校园、低碳建筑科普	协会/社团活动、科普讲座(后勤物业支持)
大二	社会实践	绿色住区、低碳城市调查实践	科普基地、学会/协会志愿者活动、学科竞赛
大三	专业实践	能耗、碳排调查与低碳测评	专业实习、创新项目、课程大作业、开放实验实训
大四	专题研究	绿色低碳环控设计与运行调控	综合课程设计、专业实验、创新实践、毕业设计

(2) 更新优化专业实践教学课程

为适应社会发展对建环人才培养的要求, 本校建环专业 2025 级培养方案通过优化或新增课程, 在保持暖通空调系统、建筑能源系统综合课程设计设置基础上, 强化了面向运维工程岗位的能力培养。将新的技术、新产品和新标准引入教学中, 改造或新增新能源技术、智能化控制、BIM 技术应用相关课程, 使学生能够掌握最新的专业知识和技能; 构建模块化课程体系, 根据行业需求和学生的职业发展方向, 设置不同的课程模块, 如设计咨询模块、数字化建造模块、智慧运维与管理模块等, 学生在必修实践环节基础上, 还可以根据自己的兴

采用项目式教学, 训练能与业主、设计、施工、运维、厂商等多主体协同沟通的能力。

(3) 提升智慧运维核心技能: 掌握建筑碳审计、可再生能源集成、余热回收等双碳技术; 利用物联网、数智化工具进行能耗监测、故障预测, 胜任智慧能源管家等新兴岗位。

### 3.2 强化优化专业实践教学体系

(1) 分阶段实施双碳教育培养计划

通过将国家“公共机构绿色低碳引领行动”有机融入专业建设与课程思政教育, 形成“双碳系列专题报告学习、低碳校园创新实践活动、低碳行动志愿服务”等专项社会实践教育与专业实践教学一体化, 实现课堂内外联动的双碳实践教学教学设计。在校企合作、产教融合出版教材《暖通空调运行管理》《建筑节能与新技术应用》和中国制冷学会科普基地“低碳校园”竞赛活动基础上, 进一步融入“双碳”育人理念, 开发建设面向既有建筑节能低碳改造的特色课程《建筑能源管理与数智运维》, 构建理实一体的双碳实践教学体系, 形成可推广、可复制的建环专业双碳示范特色课程体系。将国家政策融入思政与实践, 构建课堂内外联动的双碳教育体系, 如表 2 所示。

趣和职业规划选择相应的选修课程模块进行学习, 形成“智能+绿色”复合型实践课程体系, 如图 2 所示。

课程调整不仅涉及名称更新, 更注重内容与大纲的深度重构, 明确课程更新内容比例不低于三分之一, 教学方式要求融入数智化手段, 重点强化“双碳类”课程理实一体的教学实施与考核评价。例如, 《工程 CAD 与信息模型》在原有 CAD 基础上强化 BIM 建模与信息集成应用; 《建筑环境与能源应用工程管理》合并施工与概预算内容, 新增运维成本控制与绿色金融工具应用; 《建筑性能模拟与人工智能应用》引入大数据和 AI 算法用于能耗预

测与优化调控。增设《建筑能源系统自动化实训》课程，充分利用校园建筑场景构建虚实一体实训平台，将传统空调实验项目重构成综合性实训项目，增加了实训项目的真实性和复杂性，能提高学生专业实训的获得感。此外，增设的《建筑智能传感技术》《可再生能源在建筑中的应用》《数据中心低碳运维》等课程，突出物联网、碳追踪、智慧调控等前沿内容，校企协同构建“智能+绿色”复合型课程体系，形成基于企业真实场景的校企合作课程，通过双导师组织教学实践。



图2 专业实践必修环节独立专周课程体系

Fig.2 Independent weekly course system for compulsory professional practice courses

(3) 更新优化实践项目及组织方式

专业课程通过全面修订课程教学大纲，围绕建筑暖通空调系统运行管理的核心知识单元和主要知识点建立案例库和项目库，教学实施可利用校内外建筑项目开展现场教学与实验实训，要求学生至少完成一个实际建筑项目的暖通空调系统运行调适方案论证。

校内，利用校园建筑场景和专业实验室现有设施设备系统，构建满足实习实训环节培养目标的教学场景，如依托图书馆的集中空调系统、学生宿舍的集中热水系统、封闭空间环控实验系统等构建虚实结合的实习实训平台，建设一批面向工程运维的专业实验实训项目库，开展课内外实验实训，支撑理实一体课程教学和独立实践环节教学运行<sup>[15]</sup>。

校外，校企协同，基于真实项目开展专题训练：需求调研→实测分析→问题诊断→方案提出（含智能运维）→方案选择与验证→总结报告与说明书编制，强化 BIM 建模、负荷/能耗分析、碳核算工具训练。

(4) 校企合作平台建设与实践

依托校内典型建筑场景、建环专业实验室实训基地和校外实习基地，与重庆海润节能、博锐尚格、和欣运达、重庆润泽大数据等单位合作，将互联网+既有项目智能运维应用到实习实训基地建设中，突破生产实习只能看不能动手调试和运行调节的传统模式，通过项目应用场景与运行控制的融合，突出信息化、智能化、场景多元化与实践性育人特征，并贯通认识实习、生产实习和毕业实习环节的课程教学目标，构建基于互联网+的实习实训运行模式并进行教学实践，形成专业实习实训教学课程的项目体系。校企协同构建空调智能运行管理的分级分类训练项目库，完成实习教学环节教学质量的评价体系，构建学生从事智能运维的职业发展能力框架，致力于培养学生毕业后成为智能运维领域的复合型、创新型、应用型的高端工程技术人才。校企协同强化学生工程实践能力的培养，形成全过程、全方位的教学体系设计，如图3所示。



图3 校企协同专业实践教学体系设计

Fig.3 Design of the collaborative professional practice teaching system between schools and enterprises

通过校企全方位深度合作，共建虚实一体平台，共同构建实习实训教学目标，研究确定支撑培养目标的项目训练体系，确认项目实习对专业学生工程知识、能力素养的要求，并联合组织实施教学和考评。围绕“暖通运行工程师能力与素质提升”目标定位，在校企共同构建实习实训基地基础上，还需完善依托应用场景的运行管理机制，尤其要强化双主体指导教师队伍建设，提升专任教师的实习实训工程指导能力，并总结形成专业实习教学法的实践指导文件，确保专业实践教学的规范性和实用性。

(5) 创新产教融合模式

为进一步提升学生职业发展能力和适应个性

化就业需求,通过开设“建筑碳中和”“绿色工厂运维”微专业,联合企业共建产教融合课程,如:

《既有建筑能耗诊断技术》《低碳建筑改造系统工程》《既有建筑改造经济与碳管理》等,可涵盖改造项目成本效益分析、碳足迹核算、绿色金融工具应用等。教学内容注重与绿色建材、数据科学、合同能源管理等跨学科融合,通过项目式课程指导“检测-设计-评估-实施-运行”全流程。结合重庆区域差异化发展定位,聚焦中小型项目运营服务能力,强化学生“基层技术员+低碳咨询师”复合能力,借鉴“3+1订单班”培养模式,鼓励学生考取相关职业技能证书<sup>[16]</sup>。学生大四可以在企业利用真实项目资源完成最后一年教学环节的培养与考核,有效提升学生适应对口岗位工作的能力。

### 3.3 教学改革实施初现成效

专业针对行业绿色发展重点从工程建设转向工程运维,立足行业发展的人才需求,探索构建了双碳人才培养目标与实践路径,形成了校企双主体毕业设计双碳教育实践体系,构建了具有显著双碳特色的本科教学实践体系,使专业2023年顺利通过住建部专业教育评估(认证)复评,并支撑形成了2025版人才培养方案的修订。重点针对专业核心理论与实践课程,从培养绿色低碳智慧运维人才出发,研究校企合作与校-校联合等课程开放建设模式,通过课程建设与教学实践创新,形成了课程内容更新与优化的长效机制,建成了双碳特色课程,开展了学赛结合等多元场域的教学改革实践,主编出版教材《暖通空调运行管理》获得重庆市高校普通本科重点建设教材认定,支撑《冷热源工程》获得重庆市一流本科课程。

专业与重庆海润联合发起成立的西南高校建环工程教育创新实践平台,并推动平台校企联合开展建环专题教育教学改革,参与组织策划“海润教育奖”。为适应双碳背景下建环专业人才培养改革需要,海润教育奖针对毕业设计教学进行评奖,特设立“建筑环境与能源应用工程专业本科工程设计教学奖”,2022-2023年度海润教育奖的选题为“校园太阳能冷热源规划方案设计”,2023-2024年度选题为“双碳时代校园既有冷热供应系统智能运行方案设计”。专业教师以“智慧运维”选题参加海润教育奖评选,刘丽莹、贾洪愿老师指导学生的成果获得2023年、2024年指导的本科毕业设计获得

“海润教育奖”卓越奖,为面向双碳领域人才培养的毕业设计教学改革探索出了多元化路径。

自2022年启动教学改革以来,专业通过课程重构与实践强化,学生工程实践与创新能力显著提升。近年来,学生获全国大学生节能减排大赛、中国制冷学会创新竞赛、“人环奖”等国家级奖项10余项,参与省部级创新创业训练项目5项,发表论文8篇,申请专利3项。校企协同育人模式深化了产教融合,学生实习对口率提升至85%,就业率稳定在90%以上,毕业生在海润节能、博锐尚格等合作企业受到用人单位好评。此外,双碳教育融入课程与实践活动,学生低碳意识明显增强。今后,专业将继续跟踪毕业生发展,进一步优化课程与实践体系,提升人才与社会需求的匹配度。

## 4 结语

建环专业作为新工科专业之一,其内涵发展与“健康中国”“3060双碳目标”两大国家战略的时代背景紧密相连,建环工程师肩负着满足人们对日益增长的室内环境品质需求和实现建筑能源系统运行节能降碳的双重责任。在国家“双碳”战略驱动下,既有建筑节能改造成为建筑领域减排核心路径,建环专业如何面向工程实践与职业能力培养要求开展人才培养创新实践,对提高新工科人才培养质量具有重要意义。面向既有建筑节能低碳改造市场对工程技术人才的需求,建环专业需要主定位“实基础、懂技术、能运营、会管理”的高素质应用型工程技术人才,需要持续加强实践环节教学,尤其是提高基于真实应用场景的实习实训基地建设质量和规范运行,为暖通行业培养运行工程师提供有力支撑。本文提出的“校企协同-课程重构-实践强化”三位一体改革方案,可为高校建环专业建设提供参考。

### 参考文献:

- [1] 张东海,高蓬辉,黄建恩,等.新工科背景下多学科交叉融合的建环专业人才培养模式探索与实践[J].高等建筑教育,2021,(1):1-9.
- [2] 王春林,李鑫阳,石宏岩.建环专业“三部六级、螺旋递进”课程体系的构建与实践[J].高等建筑教育,2025,34(4):94-103.
- [3] 白梦梦,康彦青,张瑜,等.“双碳”背景下建环专业新能

- 源课程体系的建设和实践[J].制冷与空调,2025,39(1):140-146.
- [4] 全贞花,王清宇,张宇琛,等.“低碳多能互补能源系统”创新实验平台建设与实践[J].中国建设教育,2024,(2):33-37.
- [5] TML-JZHJ-081002-2023,高等学校建筑环境与能源应用工程本科专业指南[S].北京:中国建筑工业出版社,2023.
- [6] 国家统计局.中华人民共和国 2024 年国民经济和社会发展统计公报[R].2025.
- [7] 国家统计局.中国人口普查年鉴-2020[M].北京:中国统计出版社出版,2022.
- [8] 中国建筑节能协会.中国建筑能耗研究报告 2023[R].北京:中国建筑工业出版社,2023.
- [9] JS/T 301-2024,公共机构能源费用托管实施规程[S].北京:中国标准出版社,2024.
- [10] TCECS 764-2020,公共建筑机电系统调适技术导则[S].北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [11] 李楠,文一鸣,谢李杰,等.新工科背景下建环专业人才培养与实践[J].高等建筑教育,2023,32(4):49-55.
- [12] 郭汉丁,马辉,郭伟,等.绿色建造与运营管理学科的建设与发展[J].高等建筑教育,2014,23(1):10-14.
- [13] 王志勇,刘畅荣,寇广孝.基于工程教育专业认证的建环专业实践教学体系改革[J].高等建筑教育,2015,24(6):44-47.
- [14] 吴小舟,王树刚,王继红,等.工程教育认证背景下建环专业创新创业人才培养探讨[J].高等建筑教育,2020,29(6):61-66.
- [15] 孙钦荣,居发礼,廖春晖,等.产学研协同育人背景下的多模式混合教学探索与实践-以《冷热源工程》为例[J].制冷与空调,2024,38(3):437-442.
- [16] 邓元德,邓于莘,许秀平,等.“1+X 证书”制度下建筑工程技术人才培养模式的研究与实践[J].建材与装饰,2022,18(21):96-98.

### (上接第 94 页)

#### 参考文献:

- [1] 苏江川.上盖综合利用车辆基地消防车道自然排烟有效性研究[J].消防科学与技术,2023,42(12):1675-1682.
- [2] 张新,罗俊礼,徐志胜,等.带上盖开发地铁车辆段咽喉区排烟系统研究[J].铁道科学与工程学报,2018,15(5):1278-1285.
- [3] 项郁南.上盖车辆基地防排烟设计探讨[C].2021 中国消防协会科学技术年会论文集,2021:178-181.
- [4] GB 51298-2018,地铁设计防火标准[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [5] DB11/ 1762-2020,城市轨道交通车辆基地上盖综合利用工程设计防火标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [6] 汪令宏.北京四惠车辆段大平台通风系统设计[J].现代城市轨道交通,2008,(3):45-47,89.
- [7] 王进.上盖开发的地铁车辆段防火性能化分析与研究[D].北京:首都经济贸易大学,2011.
- [8] XF/T 999-2012,防排烟系统性能现场验证方法热烟试验法[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [9] GAO Ran, LI Angui, HAO Xinpeng, et al. Fire-induced smoke control via hybrid ventilation in a huge transit terminal subway station[J]. Energy and Buildings, 2012(45):280-289.
- [10] Fire Dynamics Simulator: User's Manual (NISTIR 6469)[R]. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2000. <https://doi.org/10.6028/nist.ir.6469>.

### (上接第 143 页)

- [8] GB 50016-2014,建筑设计防火规范[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [9] GB 51283-2020,精细化工企业工程设计防火标准[S].北京:中国计划出版社,2020.
- [10] GB 50019-2015,工业建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [11] 陆耀庆.实用供热通风设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [12] 薛殿华.空气调节[M].北京:清华大学出版社,1998.
- [13] 付祥钊.液体输配管网(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.