

“双碳”目标下既有建筑改造技术路径研究

李 浩, 寇 明

(北京泰豪智能工程有限公司, 北京 100176)

摘要:“双碳”政策对于我国建筑业发展具有重要影响。通过分析既有建筑改造的新要求,提出一种既有建筑低碳化改造的技术路径,遵循节能和用能结构调整两大建筑低碳运行路径,通过建设能碳管理平台、建筑节能技术应用、可再生能源利用这 3 种方式,将既有建筑改造为智慧建筑,通过数字化技术应用促进建筑减碳。研究表明:通过上述路径进行既有建筑改造,中央空调冷热源部分综合节能率达到 25%,通过对空调机组和空调末端改造,每年减少建筑碳排放量 49.34 万 t;电梯系统通过安装变频再生能量回馈装置,每年可节约电能 1.1 万度,减少 9 727.3 t 碳排放,该技术路径的具有可行性及显著的减排效果,为既有建筑低碳化节能改造提供了技术参考。

关键词:既有建筑; 低碳改造; 节能技术; 用能结构调整

中图分类号: TU85

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)10-0062-05

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.10.134

Research on the technical path of existing building retrofit under the goal of “carbon peak and carbon neutrality”

LI Hao, KOU Ming

(Beijing Tellhow Intelligent Engineering Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: The carbon peak and carbon neutrality policy has a significant impact on the development of China's construction industry. By analyzing the new requirements for the renovation of existing buildings, a technological path for low-carbon renovation of existing buildings is proposed, following the two major low-carbon operation paths of energy conservation and energy structure adjustment. Through the construction of an energy carbon management platform, the application of building energy-saving technology, and the utilization of renewable energy, existing buildings are transformed into smart buildings, and digital technology is applied to promote building carbon reduction. Research shows that by renovating existing buildings through the above path, the comprehensive energy-saving rate of the central air conditioning cold and heat sources can reach 25%. By renovating the air conditioning units and air conditioning terminals, the annual carbon emissions of buildings can be reduced by 493 400 t; The elevator system can save 11 000 kW·h of electricity and reduce 9 727.3 t carbon emissions annually by installing a variable frequency regenerative energy feedback device. The feasibility and significant emission reduction effect of this technology path provide technical reference for the low-carbon and energy-saving transformation of existing buildings. The “carbon peak and carbon neutrality” policy has an important impact on the development of China's construction industry. This article proposes a technical path for low-carbon retrofitting of existing buildings by analyzing the new requirements for retrofitting existing buildings. It follows two major low-carbon operation paths for energy conservation and energy structure adjustment, and transforms existing buildings into smart buildings through three methods: the construction of energy and carbon management platforms, the application of building energy-saving technologies, and the utilization of renewable energy. Digital technology is used to promote carbon reduction in buildings.

收稿日期: 2024-02-28

作者简介: 李 浩(1995—), 男, 工程师, 从事建筑节能双碳方面的研究。

Key words: existing buildings; low-carbon retrofit; energy-saving technology; adjustment of energy consumption structure

近年来,全球碳排放量不断上升,造成气候变暖,极端天气频发,引起了世界各国的高度重视。我国在 2005 年超越美国成为世界上碳排放量最大的国家。为积极应对气候变化,承担大国责任,在 2020 年 9 月我国提出了努力在 2030 年实现碳达峰,力争于 2060 年实现碳中和的郑重承诺^[1]。在 2018 年,全国碳排放总量达到了 96.1 亿吨,主要来源于工业、交通及建筑行业,其中建筑行业碳排放总量高达 49.3 亿吨,占全国碳排放的比重为 51.3%^[2],可见建筑行业节能减排是实现“双碳”目标的关键。

建筑行业节能减排可以从既有建筑的低碳化改造着手。据统计,截至 2020 年底,我国现有建筑面积已经高达 630 亿平方米,并在不断增长,其中大部分建筑是建成运行多年,执行原有节能标准,保温性能差的高能耗建筑^[3]。建筑运行阶段碳排放为 21.1 亿吨,占全国碳排放的比重为 21.9%^[2],主要为既有建筑运行产生的碳排放,所以既有建筑低碳化改造可以助力建筑行业可持续发展,对于实现我国“双碳”目标具有重要意义。

1 双碳背景下既有建筑改造新要求

建筑全生命周期碳排放被划分为 4 个阶段,分别为建材生产、建筑施工、建筑运行及建筑拆除,既有建筑主要涉及建筑全生命周期的建筑运行及拆除阶段,碳排放来源包含建筑运行的能源消耗,建筑拆除阶段施工活动能源消耗以及拆除后建筑材料所包含的建材生产碳排放。为实现建筑行业“双碳”目标,对既有建筑低碳化改造,有以下 3 个方面新要求:

(1) 通过改造进行功能提升,避免“大拆大建”。随着我国城镇化的快速发展,根据国家统计年鉴统计,1996 年—2006 年,总的城镇竣工面积为 151.68 亿 m^2 ,拆除面积为 34.46 亿 m^2 ,拆除面积占竣工面积的 23%，“大拆大建”现象突出。除了建设过程会产生大量碳排放外,拆除过程产生的碳排放量也不容忽视。截至 2005 年,我国城市建筑垃圾年排放量为 4 亿吨,是世界建筑垃圾

排放最多的国家。在 1996 年—2006 年,年均拆除面积为 3.13 亿 m^2 ,按照单位面积拆除的碳排放约为 1.90 kg/m^2 计算,建筑拆除所产生的年均碳排放量就为 59.47 万吨,按照单体建筑运行年碳排放量为 1 800 吨计算,相当于 300 多栋建筑运行一年所产生的碳排放量^[4]。所以为减少建筑拆除所产生的碳排放量,应通过在原有建筑基础上进行改造的方式来满足建筑功能升级需求。

(2) 数字化技术赋能建筑运行,实现低碳改造。近几年,人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术得到了快速发展,顺应了各行业数字化转型趋势,利用数字化技术赋能建筑运行,搭建智慧运维平台,可实现建筑的低碳、低成本改造,并通过数字化技术提升建筑能效,进而降低建筑运行碳排放^[5]。

(3) 调整建筑用能结构,改造为碳中和建筑。建筑能源结构以电力为主,石油、天然气等化石能源为辅,清洁能源只占很小的比例,而电力又主要来源于火电,碳排放因子高,为高碳排放能源。在既有建筑改造中,应加大光伏、风电、低品位热源等零碳或低碳能源所占的比例,调整建筑用能结构,使建筑用能低碳化,实现建筑碳中和。

2 既有建筑低碳化改造技术路径

2.1 技术架构

目前,既有建筑的低碳改造路径主要包括建筑节能技术应用、建筑用能结构调整两条路径。节能是减少和控制能源消耗量,根据业主建筑能耗的构成对建筑能耗现状进行分析,基于当前建筑用能的特点以及发展趋势,自上而下地确定建筑的节能目标和技术路径。用能结构调整是提高低碳或零碳能源在建筑用能结构中的比重,主要包括利用太阳能光伏发电,太阳能制备热水,水源/地源热泵供暖或制冷,工业余热采暖等技术。

2.2 能碳管理平台

能碳管理平台是通过精细化管理助力建筑碳中和的重要手段。平台基于云计算技术的能效管理系统,将物联网、大数据与能源管理工作相结

合，以数据驱动治理，实现建筑数字化管理。在能源需求侧与供应侧建立有效的、按需使用的能源管理和利用体系，变被动为主动，大幅度提高能源的利用效率，避免能源的无效浪费，有效发掘建筑运行过程中的节能潜力，为建筑内人员提供安全、舒适的环境。

平台主要包含能耗分项计量、能耗数据分析、用能设备管理、碳排放数据监测、碳排放数据分析、碳资产管理几大模块，具体功能如表 1 所示。

2.3 建筑节能技术

在典型的公共建筑中，主要的耗能子系统包括空调系统、照明系统、动力系统以及特殊用电系统(如饮水机、打印机等)。其中以空调系统能耗量最高，照明系统与动力系统次之，特殊用电系统偏低。空调系统、照明系统及动力系统是节能技术应用重点。

2.3.1 空调系统节能

在冷热源系统中，存在冷热源设备的能效低于国家标准，为使用时间在 10 a 以上的老旧设备，设备老化、能耗高的问题；在进行设备选型时，按照最大负荷进行设计，但实际运行中都是在部分负荷状态下运行，造成设备选型过大，设备长期处于低效运行；设备在运行过程中，依靠人员经验控制，设备运行参数设置不合理，造成能源浪费。

为实现空调系统节能运行，可对建筑内冷热源进行调整，更换磁悬浮变频冷水机组等高能效设备；低品位能源利用，例如利用屋顶及室外空地，采用空气源热泵、地源热泵等新技术进行供冷、供热；采用热冷电三联供系统，即安装燃气发电机组发电，发电余热用于供冷及供热。也可

基于人工智能和大数据分析，对未来时段负荷需求进行精准预测，为提前部署控制策略提供依据，采用冷机群控技术结合负荷预测技术自动控制冷机启停与运行台数，使机组保持在最佳性能。

在空调末端控制中，主要依靠用户直接控制、管理人员手动控制的方式进行管理，自动化水平较低；室内温度设置不合理、室内无人时仍然保持空调运行等现象，造成能耗增加。可以在房间增设温度传感器，CO₂ 浓度传感器等环境监测设备，并结合智能化物联网控制器，控制器可与冷站系统进行联动，传递末端实际负荷需求数据用于冷站系统运行优化，实现末端节能舒适的环境。

2.3.2 照明系统节能

目前建筑内照明系统耗能主要存在以下问题：采用传统荧光灯，能耗高；用户使用习惯不良，人走灯亮，缺乏自动控制手段，造成能耗增高；缺乏远程控制手段，例如一人加班，整层楼的灯光开启，造成能源浪费。

照明系统节能，主要通过光源升级，例如将荧光灯更换为节能的 LED 灯具。在运行控制上，要按需照明，可单灯、自由分组、分区域、分时段，二亮一循环亮、上下班高峰期、节假日模式等照明方案自由设置切换，相比传统照明节电率可达 70% 以上。

2.3.3 动力系统节能

在建筑内，动力系统主要为电梯系统耗能，电梯系统在运行中存在以下问题：传统电梯在启动加速与制动减速的过程中将消耗巨大的电能，并以热的形式耗散，造成能源浪费；电梯在全速运行时的能量损耗均远低于启动加速以及制动减速时的耗能，但一些电梯控制系统采用等待时间

表 1 平台模块介绍

平台模块	模块介绍
能耗分项计量	为低碳改造提供数据基础;按照分能耗类型、分区、分设备类型计量数据进行细致实时监控管理
能耗数据分析	重点耗能设备用能规律,挖掘节能潜力;可提供日分析、周分析、月分析、年分析等任意时段内的数据分析,根据建筑的能耗情况与能耗评价标准之间的比较得出评估结论。
用能设备管理	空调、照明等设备根据用户需求自动控制,降低非必要能耗;设备定期维护管理,降低设备故障所造成的能耗损失
碳排放数据监测	碳足迹追踪,找出主要碳排放环节,为降碳决策提供依据;依据碳排放计算标准,对建筑的碳排放进行实时监测管理;对清洁能源所产生的减排量进行核算
碳排放数据分析	根据监测数据,确定碳减排基准线,科学设定碳减排目标;碳数据披露,显示企业社会责任。
碳资产管理	核算建筑的减排量,形成碳资产;为降低节能成本,未来可将碳资产用于碳交易

最短的控制策略,使电梯频繁启停,造成电梯能耗升高。

电梯系统节能,主要通过增设变频再生能量回馈装置,采用该技术的电梯能够将不采用该技术时电梯总耗能的约 48% 回收利用。还可以结合模糊控制、人工智能的群控算法,使电梯在满足不同使用者需求的情况下尽可能多地处于高速运行状态,减少电梯的停靠次数,从而实现节能目标。

2.4 可再生能源利用

我国传统建筑用能结构中,消耗的电能占 50%,煤炭占比为 19%,液化石油气占比为 6%,天然气占比为 17%,余热和可再生能源利用占比仅为 8%。煤炭、液化石油气、天然气等均属于一次能源,在消耗过程中将直接产生碳排放,属于高碳排放能源。应采用建筑全面电能化的方式消除这一部分能源消耗所产生的碳排放。电力属于二次能源,目前主要通过火力发电产生,消耗电能所产生的碳排放为燃烧煤炭所产生的碳排放,属于间接碳排放。应通过节能来降低电能消耗,从而降低此部分碳排放。余热和可再生能源属于零碳或低碳能源。在“双碳”背景下,建筑行业应改变传统用能结构,加大零碳或低碳能源占比。

根据建筑自身特点和条件,逐步构建以分布式新能源为主,电网补偿的新型能源系统。在可再生能源利用上,针对多种能源供给形式,以及用能、储能、并网等各个能源管理环节,依靠强大的通信网络和人工算法,智能分析预测,构筑多能互补、柔性互联的能源调度管理体系。

3 既有建筑低碳化改造案例

3.1 项目概况

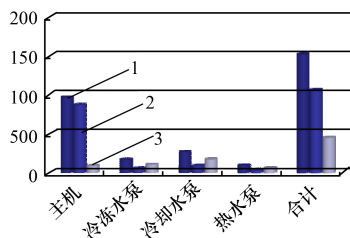
某大厦位于北京市经济技术开发区,地下 1 层,地上 11 层,为乙级写字楼建筑,总建筑面积 41 077 平方米。大厦地下一层为职工餐厅,采用全空气空调系统,地上 11 层采用风机盘管加新风系统,冷源位于地下一层机房,包含 3 台冷水机组,热源为市政集中供热。地上每层装有 1 台新风机组。目前空调系统运行主要依靠人员经验进行控制,冷机群控系统也未启用,运维管理效率低下,造成大量的能源浪费。

3.2 改造内容

采用上述提出的既有建筑低碳化改造技术路径对该建筑进行改造升级,改造后建筑室内环境质量和舒适度得到明显提升,同时实现了很好的节能减排效果。部分改造措施如表 2 所示。

3.3 改造效果

使用负荷预测技术及冷站群控系统对冷源系统改造后,如图 1 所示,该项目冷热源部分年节电量能达到 45.7 万度。按照北京市分时电价每日平均电价为 1.1 元/度计算。大厦中央空调冷热源部分每年节省电费 50.2 万元。综合节能率达到 25%。



1—改造前; 2—改造后; 3—节电量。

图 1 冷源系统改造效果

通过对空调机组和空调末端改造,整个空调系统综合节能量 55.8 万 $\text{kW}\cdot\text{h/a}$,按照华北地区电网碳排放因子为 0.884 3 计算,每年减少建筑碳排放量 49.34 万吨碳排放,节能减碳效果明显。按照北京市分时电价每日平均电价为 1.1 元/度计算,每年可节约 61.38 万元。

如表 2 所示,电梯系统通过安装变频再生能量回馈装置,与常规控制系统相比,每年可节约电能 1.1 万度,减少 9 727.3 t 碳排放。

除了经济效益,项目作为经开区建筑节能改造示范项目,还具有社会效益,该项目向公众普及既有建筑绿色改造知识,推动既有建筑节能改造工作,为经开区既有公共建筑绿色改造提供技术经验,先驱示范作用,助力建筑行业“双碳”目标推进。

4 结 论

本文研究了双碳背景下既有建筑改造的新要求,主要应该避免既有建筑的“大拆大建”,减少建筑拆除阶段所产生的碳排放,应利用数字化技术和能源结构调整来进行低碳、低成本改造。根

表 2 建筑改造部分系统实施方案

减排方式	建筑现状	改造方式
用能结构调整	供冷采用能效低的冷水机组 供热为集中供热	改用地源热泵系统
节能	照明节能措施较少,浪费现象与局部照明不足现象同时存在,无智能控制	对不同区域的照明系统进行分区、分组控制,布置远程智能控制系统。
节能	空调机组非变频智能系统,技术相对落后,耗能量大	结合负荷预测结果,获取空调末端负荷需求,根据实际需求自动调节机组,实现按需供应
节能	新能源利用及管理节能系统,存在很多耗能盲点	部署能碳管理平台,分层、分区域、分系统进行能耗计量,挖掘建筑节能减碳潜力。
节能	电梯系统能耗高	增设能量回馈装置

表 3 建筑改造部分系统实施方案

序号	耗能设备	常规控制系统用电量/万度	控制系统耗电量/万度	总节电量/万度
1	电梯(裙楼)	3.34	3.02	0.32
2	电梯(某大厦主楼)	9.06	8.28	0.78
3	合计	12.40	11.30	1.10

据新要求,本文提出了建筑节能和建筑用能结构调整两大路径,结合数字化技术,搭建了能碳管理平台,并研究了建筑各系统节能技术应用及可再生能源利用。最后通过某大厦案例检验了该技术路径的可行性及减排效果,为既有建筑低碳化节能改造提供了技术参考。

参考文献:

[1] 张君宇,宋猛,刘伯恩.中国二氧化碳排放现状与减排建议[J].中国国土资源经济,2022,35(4):

38-44;50.

[2] 中国建筑能耗研究报告 2020[J].建筑节能(中英文),2021,49(2):1-6.
[3] 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[M].北京:中国建筑工业出版社,2021.
[4] 彭琛,江亿,秦佑国,等.低碳建筑和低碳城市[M].北京:中国环境出版集团,2018..
[5] 张亚东.既有住宅小区的室外弱电线路改造技术与应用[J].工程建设,2023,55(3):25-29.

(上接第 55 页)

[9] 胡玲霞,李志祯,赵潇武,等.保温装饰一体板性能及施工工艺对比分析[J].新型建筑材料,2016,43(12):104-106.
[10] 翟翼翀.砂加气混凝土外挂板专用配套砂浆的性能研究[D].北京:北京建筑大学,2017.

[11] 魏鼎峰,周建刚,杨建扬,等.保温装饰一体板抗风性能研究[J].建筑与预算,2024(1):31-33.
[12] 徐敬翔,赵俊,蔡永笑.轻质无机保温装饰烧结一体板在某医院的应用[J].工程建设,2022,54(1):50-54.