

# 既有建筑低碳节能改造技术经济性研究

张玉龙<sup>1</sup>, 乔军<sup>2</sup>, 郝翠彩<sup>1</sup>, 刘少亮<sup>1</sup>, 张现<sup>3</sup>, 黄振哲<sup>1</sup>, 杨培远<sup>3</sup>

(1. 河北省建筑科学研究院有限公司, 石家庄 050227; 2. 河北电力工程监理有限公司, 石家庄 050081;  
3. 国网河北省电力有限公司建设公司, 石家庄 050081)

**摘要:** 为评估寒冷地区既有酒店低碳节能改造方案的技术适用性与经济性, 为寒冷地区酒店行业低碳转型提供数据支撑。以寒冷地区某四星级酒店为例, 设计 7 种低碳节能改造方案 (含外墙改造、热源优化、光伏系统及三者不同组合)。基于 Design Builder 软件建立建筑能耗模型及其验证模型, 对比 7 种低碳节能改造方案的节能率。结合全国碳市场碳排放配额交易价, 开展碳价值核算, 并采用静态投资回收期法分析方案经济性。结果表明: 采用高性能保温砂浆提高建筑外墙保温性能的外墙改造方案经济效益突出, 静态回收期为 2.82 年, 每年减碳量为 1 080.494 tCO<sub>2</sub>, 节约运行费用 85.05 万元; “外墙 + 热源 + 光伏” 组合方案虽然投入最大, 回收期也较长, 但其节能效果最好, 节能率达到 27.11%; 碳价值高, 年减碳为 1 648.053 tCO<sub>2</sub>, 折算经济效益 8.78 万元。

**关键词:** 酒店建筑; 碳价值; 节能改造; 低碳策略

中图分类号: TU201.5 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249 (2026) 01-0135-06

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2026.01.024

## Research on the Technical Economics of Low-carbon Energy-saving Retrofit of Existing Buildings

ZHANG Yulong<sup>1</sup>, QIAO Jun<sup>2</sup>, HAO Cuicai<sup>1</sup>, LIU Shaoliang<sup>1</sup>, ZHANG Xian<sup>3</sup>,  
HUANG Zhenzhe<sup>1</sup>, YANG Peiyuan<sup>3</sup>

(1. Hebei Academy of Building Research Co., Ltd., Shijiazhuang 050227, China;  
2. Hebei Electric Power Engineering Supervision Co., Ltd., Shijiazhuang 050081, China;  
3. State Grid Hebei Construction Company, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** It aims to evaluate the technical applicability and economic viability of low-carbon and energy-saving renovation solutions for existing hotels in cold regions, thereby providing data support for the low-carbon transition of the hotel industry in these areas. As an example of a four-star hotel in a cold region, seven low-carbon and energy-saving retrofit solutions were designed (including external wall retrofits, heat source optimization, photovoltaic systems, and various combinations thereof). Based on the Design Builder software, a building energy consumption model was established and validated. The energy-saving

项目来源: 河北电力工程监理有限公司科技项目资助 (SGHEJL00LJJS2200014); 河北省重点研发计划 (22374501D); 河北省建设科技研究项目-河北省建筑碳排放核算与核查方法研究 (2022-2089)。

作者简介: 张玉龙 (1994—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 低/零碳建筑关键技术。

通信作者: 乔军 (1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 变电站建筑关键技术。

收稿日期: 2023-09-12

## 研究与应用

rates of the seven low-carbon and energy-saving renovation solutions were compared. The carbon value calculation was conducted based on the trading price of carbon emission allowances in the national carbon market, and the static payback period method was used to analyze the economic viability of the plan. The research results show that the external wall renovation solution, which uses high-performance thermal insulation mortar to enhance the thermal insulation performance of building external walls, delivers outstanding economic benefits, with a static payback period of 2.82 years, an annual carbon reduction of 1 080.494 tCO<sub>2</sub>, and annual operating cost savings of 850 500 yuan. Although the "external wall + heat source + photovoltaic" combined scheme requires the highest investment and has a longer payback period, it achieves the best energy-saving effect with an energy-saving rate of 27.11% and high carbon value, showing an annual carbon reduction of 1 648.053 tCO<sub>2</sub> and an economic benefit converted to 87800 yuan.

**Key words:** hotel; carbon value; energy efficiency retrofit; low carbon strategy

## 0 引言

随着全球气候变化和能源短缺问题日益严重,酒店节能改造正逐渐成为推动建筑行业可持续发展的重要举措之一<sup>[1]</sup>。这一转变不仅是应对环境挑战的必要措施,也是实现经济效益和社会责任的有效途径。酒店行业作为能源消耗和碳排放的主要领域,面临着巨大的减排压力<sup>[2]</sup>。据统计,全球酒店业的能源消耗占全球总能源消耗的5%~8%,碳排放占全球总碳排放的2%~4%。这一现状突显了酒店行业在应对气候变化方面的重要性。在中国,与其他类型建筑相比,酒店具备高能耗、高排放、高投入的特点<sup>[3]</sup>,导致酒店的能耗问题不仅影响了行业的可持续发展,还成为了制约行业进一步发展的重要因素。因此,如何通过节能改造降低能耗、减少碳排放,已成为酒店行业亟需解决的问题之一。

赵为民等<sup>[4]</sup>通过采用建筑本体节能改造技术和供能系统改造技术相结合的方式对某星级酒店进行了系统性节能改造,改造后酒店总能耗下降约20%;刘宏成等<sup>[5]</sup>根据项目所在地气候和周边环境,采用绿色生态设计方法对已有酒店的维护结构进行节能改造,改造后节能效果达到75.1%;张广凯等<sup>[6]</sup>通过N-LCC模型评价了酒店全生命周期内冷热源方案的经济性;袁瑗等<sup>[7]</sup>基于建筑实际能耗值,通过分析空调系统及生活热水系统能耗,确定了节能改造方案;谭海阳等<sup>[8]</sup>基于能效目标进行了制冷机房系统的优化设计,改造后制冷机房系统全年运行能效比达到5.8,节能率超50%;昂超<sup>[9]</sup>提出了4种适用于嘉兴某五星级酒店的冷水机组配置方案;于丹等<sup>[10]</sup>根据酒店现状,对分体空调进行了节能控制改造,通过控制压缩机的运行,减少夏季由于用户设

定温度过低造成的能源浪费;赵云峰等<sup>[11]</sup>对酒店建筑空调冷站进行了节能改造,替换为高效的磁悬浮制冷机组和冷冻泵、冷却泵,并实施变频变流量控制,显著降低了酒店建筑空调系统的能耗;张宁宁等<sup>[12]</sup>对酒店集中空调系统、生活热水系统、照明系统和能源监控系统等进行改造,改造后年节电率为5.47%,节约标准煤509 t,减少CO<sub>2</sub>排放1 491 t。

综上,针对酒店节能改造的相关研究主要分为三种类型:第一类是专注于建筑本体的节能改造技术研究,旨在通过改进建筑结构和材料提高能效<sup>[13-14]</sup>;第二类则聚焦于建筑供能系统的优化,以提升供热和制冷的效率<sup>[15-16]</sup>;第三类是综合分析建筑本体节能改造技术和供能系统的综合研究,以制定更为全面的节能解决方案<sup>[17-18]</sup>。尽管相关研究取得了积极进展,但在改造过程中,如何兼顾节能效果和经济性目标仍有待进一步探讨。因此,在前人工作的基础上,结合数值传热学理论,采用改进的节能方法,针对寒冷地区某四星级酒店提出7种低碳节能改造方案,并定量分析其适用性和经济性。

## 1 模型建立

### 1.1 项目概况

以寒冷地区某四星级酒店为例,建筑面积为57 246 m<sup>2</sup>,共4层,高度为23.55 m。

该建筑采用燃气锅炉供暖,螺杆冷水机组制冷。所属地区为寒冷地区,建筑主要围护结构参数见表1。

表1 建筑主要围护结构参数

围护结构	传热系数/[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
外墙	0.60
外窗	2.00
屋面	0.55

## 1.2 Design Builder 模型及参数设置

基于项目概况，根据 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》和建筑运行情况设置人员密度、系统运行时间等参数。照明开关时间、人员在室率和电器设备逐时使用率见表 2。

表 2 参数设置  
Table 2 Parameter settings

时刻表/h	照明时间/%	人员在室率/%	设备使用率/%
1	10	70	
2	10	70	
3	10	70	
4	10	70	
5	10	70	
6	10	70	
7	30	70	
8	30	70	
9	30	50	
10	30	50	
11	30	50	
12	30	50	
13	30	50	
14	30	50	
15	50	50	
16	50	50	
17	60	50	
18	90	50	80
19	90	70	80
20	90	70	80
21	90	70	80
22	80	70	80
23	10	70	
24	10	70	

## 1.3 模型验证分析

基于模型和设置的参数，建筑全年分项能耗数据见表 3。

表 3 全年分项能耗数据  
Table 3 Annual energy consumption data

类别	采暖	制冷	照明	设备插座	风机	泵
电耗/kWh	39.67	815 752.63	906 963.31	294 494.57	2 046 236.37	91 923.21
天然气/Nm <sup>3</sup>	655 127.93					

通过计算得出供暖能耗为 11.444 Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·a)，非供暖能耗为 72.588 kWh/(m<sup>2</sup>·a)，总能耗为 185.31 kWh/(m<sup>2</sup>·a)。根据 GB/T 51161—2016《民用建筑能耗标准》，非供暖能耗指标的约束值为 85 kWh/(m<sup>2</sup>·a)。以燃气为主要能源形式的建筑供暖能耗指标值的约束值为 9 Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·a)。总能耗为 173.65 kWh/(m<sup>2</sup>·a)。模拟结果和标准要求相比，绝对误差为 6.29%。因此，所建立的模型具有可靠性，能较为真实的反应建筑实际能耗情况。

## 2 改造及结果分析

### 2.1 低碳节能改造方案选择

根据项目实际情况和改造可行性特点，设计了 7 个低碳节能改造方案作为对比对象。

方案一：外墙低碳节能改造方案。当前建筑墙体和外饰面之间有大约 300 mm 的间隙，采用高性能保温砂浆材料填充，从而提高建筑外墙保温性能。该材料可实现建筑墙体整体传热系数约为 0.2 W/(m<sup>2</sup>·K)。

方案二：热源改造方案。考虑到燃气费用逐年上涨及锅炉效率较低等因素，采用空气源热泵机组代替燃气锅炉供热，不仅运行成本更低，还具有显著的节能效果<sup>[19]</sup>。螺杆冷水机组保持原先的制冷模式。

方案三：光伏系统。根据建筑实际情况，光伏系统安装在天井的屋顶，光伏面积约为 600 m<sup>2</sup>。

方案四：外墙改造 + 热源改造。

方案五：外墙改造 + 光伏。

方案六：热源改造 + 光伏。

方案七：外墙改造 + 热源改造 + 光伏。

### 2.2 计算结果分析

#### 2.2.1 外墙低碳节能改造方案

基于建筑外墙传热系数优化参数，通过模拟软件计算得出全年电耗 3 879 379.85 kWh，天然气消耗 490 805.37 Nm<sup>3</sup>。详细数据见表 4。

表 4 外墙改造后能耗数据  
Table 4 Energy consumption data after facade retrofit

类别	采暖	制冷	照明	设备插座	风机	泵
电耗/kWh	32.96	759 623.41	906 963.31	294 494.57	1 834 877.43	83 388.17
天然气/Nm <sup>3</sup>	490 805.37	—	—	—	—	—

改造后建筑供暖能耗降低了 25.08%，制冷能耗降低了 6.88%，风机能耗降低了 10.33%，水泵能耗降低了 9.29%，总能耗为 8 713 812.75 kWh，降低了 17.86%，具体如图 1 所示。

#### 2.2.2 热源改造方案

在不改变建筑外墙保温性能参数的前提下，将燃气锅炉优化为空气源热泵，通过模拟软件，建立能源系统优化模型，如图 2 所示。

## 研究与应用

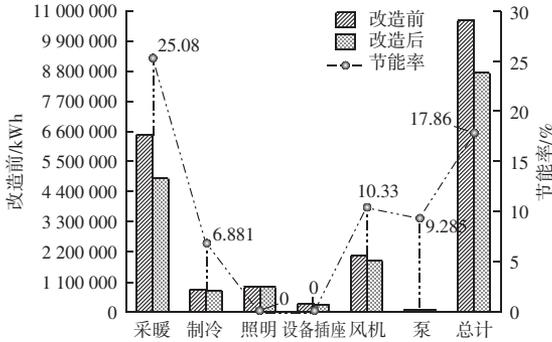


图1 改造前后节能对比

Fig. 1 Comparison of energy savings before and after retrofitting

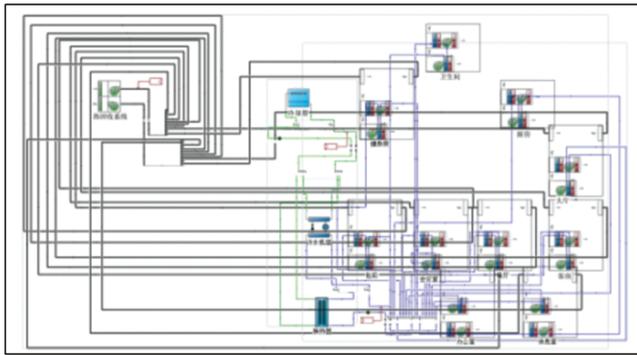


图2 能源系统优化模型

Fig. 2 Energy system optimization model

优化后建筑总能耗为 9 544 755.82 kWh。与改造前相比,总节能率为 10.03%。详细数据见表 5。

表5 系统优化后能耗数据

Table 5 Energy consumption data after system optimization

类别	改造前电耗/kWh	改造后电耗/kWh
采暖	6 453 049.76	5 364 335.29
制冷	815 752.63	814 979.68
照明	906 963.31	906 963.31
设备插座	294 494.57	294 494.57
风机	2 046 236.37	2 141 324.25
泵	91 923.21	22 658.73
总计	10 608 419.85	9 544 755.82

## 2.2.3 光伏系统

基于全年可接收的辐照量,最佳安装角度为 33°,倾斜面年总辐射量近似取 1 579.0 kWh/m<sup>2</sup>。光伏系统年发电量公式为:

$$L = Q \times S \times \varphi_1 \times \varphi_2$$

式中:  $L$  为光伏系统年发电量, kWh;  $Q$  为倾斜面年总辐射量, kWh/m<sup>2</sup>;  $S$  为组件面积, m<sup>2</sup>;  $\varphi_1$  为光伏组件转化效率,取 21%;  $\varphi_2$  为光伏系统实际发电效率, %。

在实际发电运行中,光伏组件输出功率需计入功率衰减、温度升高、表面积尘、组件匹配偏差及

板间连线损耗等影响因素对应的修正系数,见表 6。基于表 6 修正系数对光伏组件输出功率进行修正后,光伏系统实际发电效率约 74.7%。结合公式计算,该光伏系统实际年发电量为 149 329.18 kWh。

表6 光伏转化效率影响因素<sup>[20-24]</sup>

Table 6 Factors affecting photovoltaic conversion efficiency

影响因素	实际发电过程输出功率衰减	组件温度升高	组件表面灰尘	组件不匹配性和板间连线损失
修正系数	0.95	0.89	0.93	0.95

## 2.2.4 外墙改造 + 热源改造

采用“外墙改造 + 热源改造”组合式改造模式,改造后,建筑总电耗为 7 881 565.38 kWh。与改造前相比,总节能率为 25.7%。详细数据见表 7。采暖电耗降低了 37.97%,制冷电耗降低了 6.97%,风机能耗降低了 10.33%,水泵能耗降低了 9.29%。

表7 系统优化后能耗数据

Table 7 Energy consumption data after system optimization

类别	改造前电耗/kWh	改造后电耗/kWh
采暖	6 453 049.76	4 002 917.81
制冷	815 752.63	758 924.09
照明	906 963.31	906 963.31
设备插座	294 494.57	294 494.57
风机	2 046 236.37	1 834 877.43
泵	91 923.21	83 388.17
总计	10 608 419.85	7 881 565.38

## 2.2.5 外墙改造 + 光伏

采用“外墙改造 + 光伏”组合改造模式,改造前建筑综合电耗为 10 608 419.85 kWh。改造后,建筑总电耗为 8 713 812.79 kWh,光伏年发电量为 149 329.18 kWh。则建筑综合电耗为 8 565 483.61 kWh,节能率为 19.27%。

## 2.2.6 热源改造 + 光伏

采用“热源改造 + 光伏”组合改造模式,改造前建筑综合电耗为 10 608 419.85 kWh。改造后,建筑总电耗为 9 544 755.82 kWh,光伏年发电量为 149 329.18 kWh,则建筑综合电耗为 9 395 426.64 kWh,节能率为 8.62%。

## 2.2.7 外墙改造 + 热源改造 + 光伏

采用“外墙改造 + 热源改造 + 光伏”组合改造模式,改造前建筑综合电耗为 10 608 419.85 kWh。改造后,建筑总电耗为 7 881 565.38 kWh,光伏年发电量为 149 329.18 kWh,则建筑综合电耗为 7 732 236.2 kWh,节能率为 27.11%。

### 3 技术经济性分析

#### 3.1 碳价值分析

节能改造方案不仅提高了建筑节能能力，达到了建筑降碳的目的，还保证了酒店建筑室内舒适性。7个方案的降碳量见表8。根据全国碳市场碳排放配额(CEA) 2023年4月份碳交易平均成交价53.25元/吨计算，方案7产生的碳价值最大，为1 648.053 tCO<sub>2</sub>，折算经济效益为87 758.83元。

表8 不同方案的减碳量

Table 8 Carbon reductions in different scenarios

方案	减碳量/tCO <sub>2</sub>	折算经济效益/元
方案一	1 080.494	57 536.31
方案二	1 555.125	82 810.41
方案三	85.162	4 534.88
方案四	1 562.488	83 202.47
方案五	1 170.602	62 334.58
方案六	695.045	37 011.15
方案七	1 648.053	87 758.83

#### 3.2 静态投资回收分析

初投资和节约产生的收益见表9。

方案一的初投资少，节约费用小，但是静态回收期最短，为2.82年。影响收益的主要因素为天然气价格，电价每年基本保持不变，2022年该建筑使用的天然气单价为3.9元/m<sup>3</sup>，2023年该建筑使用的天然气

价格为4.1元/m<sup>3</sup>，按照每年0.2元/m<sup>3</sup>的增幅计算，第7年燃气费和改造前燃气费相当。此外，该节能改造方案运行维护费用基本不存在，且可以时间与建筑同寿命。

方案二初投资较大，节约费用有限，静态回收期最长，为11.39年。而且空气源热泵设备寿命是影响收益的主要因素，一般热泵使用寿命为20年，净收益年限为8.61年，累计可以收益453.7万元。此外安装空气源机组的安装布置方式初步估算需要提供面积不少于550m<sup>2</sup>的安装面积。

方案三的收益为10.45万元/年，静态回收期为3.83年，光伏系统寿命一般为20年，净收益年限为16.17年，累计可以收益169万元。

方案四~方案七为组合改造方案。方案四是将方案一和方案二的技术同时应用在该建筑中，每年可产生103.5万元的经济收益，静态回收期为8.12年。方案五是方案一和方案三的组合，每年可产生95.5万元的经济收益，静态回收期为2.93年。方案六是方案二和方案三的组合，每年可产生63.2万元的经济收益，静态回收期为10.13年。方案七是方案一、方案二和方案三的组合，每年可产生113.95万元的经济收益，静态回收期为7.72年。

表9 项目初投资和收益

Table 9 Initial investment and returns of the project

方案	投资类别	总价/万元	年节约收益/万元	投资/万元	回收期/年
方案一	保温材料+保温施工	240	85.05	240	2.82
方案二	空气源热泵机组+机组安装施工	600	52.70	600	11.39
方案三	光伏组件+光伏安装施工	40	10.45	40	3.83
方案四	保温材料+保温施工+空气源热泵机组+机组安装施工	840	103.50	840	8.12
方案五	保温材料+保温施工+光伏组件+光伏安装施工	280	95.50	280	2.93
方案六	空气源热泵机组+机组安装施工+光伏组件+光伏安装施工	640	63.20	640	10.13
方案七	保温材料+保温施工+空气源热泵机组+机组安装施工+光伏组件+光伏安装施工	880	113.95	880	7.72

综合考虑上述四个组合改造方案，方案七相对于其他方案年收益最大。从能源合同管理角度而言，假设按照10年合同，在不考虑其他因素的情况下，七个方案年收益比分别为25.4%、-1.2%、16.1%、2.3%、24.1%、-0.1%、2.9%。因此，只针对建筑外墙进行低碳节能改造，投资小，静态回收期少，收益比最大。

### 4 结论

通过对寒冷地区某酒店建筑7种低碳节能改造方案的节能率进行对比，并从碳价值和静态投资回收期两方面展开定量分析，可以得出以下结论：

(1) 只针对建筑外墙进行低碳化节能改造，节约运行费用85.05万元，每年减碳量为1 080.494 tCO<sub>2</sub>，

## 研究与应用

可以折算成 57.54 万元的经济效益。初投资 240 万元,静态回收期为 2.82 年。相对于其他单一改造方案,投资小,静态回收期短。

(2) 在四个组合改造方案中,“外墙改造+热源改造+光伏”组合改造模式具备“节能效果好、节约费用多,减碳量大,投资大,回收期长”的特点,每年减碳量为 1 648.053 tCO<sub>2</sub>,节能率为 27.11%,每年节约运行费用 113.95 万元,投资 880 万元,静态回收期为 7.72 年。

(3) 从能源合同管理角度而言,只针对建筑外墙进行低碳节能改造,相对于其他方案,投资小,静态回收期少,收益比最大,可操作性高。

## 参 考 文 献

- [1] 吴玉龙,蔡鹏飞,徐丛. 酒店三类用能系统的节能改造经济性对比分析 [J]. 建筑安全, 2023, 38 (11): 81-87.
- [2] 负阳林. 创建碳中和酒店的路径探索与实践建议 [J]. 节能与环保, 2024 (7): 66-71.
- [3] 郭振伟,戈亮,王新雨,等. 夏热地区绿色公共建筑运行效果调研与分析 [J]. 建筑节能 (中英文), 2023, 51 (3): 37-41.
- [4] 赵为民,古小英,张蕊,等. 某星级酒店节能措施及效果分析 [J]. 施工技术, 2019, 48 (11): 136-140.
- [5] 刘宏成,向俊米,苏业炜. 夏热冬冷地区酒店建筑的节能改造设计研究以株洲市某酒店为例 [J]. 室内设计与装修, 2021 (11): 110-111.
- [6] 张广凯,姬颖,谢静超. 基于 N-LCC 模型的酒店建筑冷热源方案评价方法研究 [J]. 建筑节能 (中英文), 2023, 51 (3): 66-72.
- [7] 袁瑗,朱伟峰,杜佳军,等. 基于实测能耗的上海某酒店综合节能改造分析 [J]. 暖通空调, 2016, 46 (8): 14-19.
- [8] 谭海阳,屈国伦,黄冬娜,等. 基于能效目标的某酒店空调系统节能改造 [J]. 暖通空调, 2022 (12): 13-18, 105.
- [9] 昂超. 嘉兴某五星级酒店冷水机组配置方案比选 [J]. 建筑节能 (中英文), 2021, 49 (7): 95-100, 132.
- [10] 于丹,吴璇,刘益民,等. 基于物联网的分体空调节能控制改造及效果验证 [J]. 暖通空调, 2021, 51 (5): 119-122, 19.
- [11] 赵云峰,胡松涛,付乐林,等. 青岛市某酒店空调系统节能改造分析 [J]. 青岛理工大学学报, 2018, 39 (4): 84-87.
- [12] 张宁宇,由世俊. 天津天诚丽筠酒店合同能源管理节能改造 [J]. 暖通空调, 2019, 49 (1): 73-76.
- [13] 崔捷. 双鸭山恒大国际酒店节能改造设计研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [14] 华天冉. 江苏寒冷地区既有酒店类建筑围护结构节能改造技术研究 [D]. 北京: 中国矿业大学, 2016.
- [15] 王岱琼,李玉辉,阳红军. 某酒店空调系统高效节能改造 [J]. 节能, 2024, 43 (6): 64-66.
- [16] 朱贤豪. 上海某大型酒店节能改造案例分析 [J]. 上海节能, 2023 (2): 212-216.
- [17] 陈定艺. 厦门市某酒店建筑节能改造实践研究 [J]. 能源与环境, 2019 (5): 50-52.
- [18] 张蕊. 上海某酒店节能改造及能效管理措施研究 [J]. 住宅科技, 2014 (2): 33-36.
- [19] 张展,杜永恒,张超,等. 基于补气增焓技术的复合空气源热泵系统实验性能研究 [J]. 建筑节能 (中英文), 2023, 51 (4): 117-123.
- [20] 孟陈. 太阳能光伏并网发电系统的应用实践 [J]. 安徽建筑, 2016, 23 (5): 255-256.
- [21] 张鸣,蔡亮,虞维平. BIPV 系统经济性分析 [J]. 应用能源技术, 2007 (11): 1-4.
- [22] 赵伟萍,吕玉坤,阎维平. 污秽颗粒在太阳能光伏组件表面的沉积机理及组件积灰特性数值模拟 [J]. 动力工程学报, 2022, 42 (4): 316-325, 340.
- [23] 梁文菁,陈进. 浅析光伏屋顶效益及发展所面临的问题与对策 [J]. 绿色科技, 2012 (7): 237-239.
- [24] 叶明. 海岛居民供电问题及解决应用 [J]. 浙江农业科学, 2021, 62 (4): 840-842.