文章编号：1003-1421(2026)04-0063-09
引用格式：贾冠冠，赵泽乾，王清勤，等. 西部地区铁路客站节能减碳方法研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(4)：63-71.
JIA Guanguan，ZHAO Zeqian，WANG Qingqin，et al. Research on Energy-Saving and Carbon Reduction Methods for Railway Passenger Stations in Western Region[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(4)：63-71.

西部地区铁路客站节能减碳方法研究

贾冠冠[1]，赵泽乾[2]，王清勤[1]，张景昱[2]，王铭铭[2]，王　妍[3]，马江燕[4]

(1.中国建筑科学研究院有限公司 科技发展研究院，北京　100013；2.中国铁道科学研究院集团有限公司 铁道科学技术研究发展中心，北京　100081；3.中国铁路经济规划研究院有限公司 经济与管理研究所，北京　100038；4.中铁第一勘察设计院集团有限公司 建筑与规划设计研究院，陕西 西安　710043)

摘　要：针对西部地区铁路客站的高能耗与高碳排放问题，提出适应区域特征的节能减碳策略。通过实地调研与文献梳理分析铁路客站的运行特性，并选取典型站房作为研究对象开展多工况能耗模拟，系统考察不同围护结构热工参数及光伏布置方式对铁路客站能耗的影响，同时，引入净现值方法，对围护结构优化及太阳能光伏利用的节能潜力与经济效益进行定量研究。结果表明，在满足节能标准的前提下，提升墙体、屋面与门窗的热工性能可显著降低铁路客站的能耗，保温层配置选择墙体90 mm岩棉板、屋顶80 mm挤塑聚苯板、聚氨酯窗时，可在现有基础上额外降低能耗约25.82%；屋顶光伏组件在南向30°倾角布设时产能最大，达到153 025.47 kW·h，可使铁路客站总能耗与碳排放降至最低。经济性分析显示，综合改造方案的利润为25.40万元，具有良好的投资可行性。

关键词：铁路客站；节能减碳；优化策略；围护结构；光伏发电
中图分类号：U291.6+1　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250606001

Research on Energy-Saving and Carbon Reduction Methods for Railway Passenger Stations in Western Region

JIA Guanguan[1]，ZHAO Zeqian[2]，WANG Qingqin[1]，ZHANG Jingyu[2]，WANG Mingming[2]，WANG Yan[3]，MA Jiangyan[4]

(1. Institute of Science and Technology Development, China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. Railway Science & Technology Research & Development Center, China Academy of Railway Sciences Corporate Limited, Beijing 100081, China; 3. Institute of Economics and Management, China Railway Economic and Planning Research Institute Co., Ltd., Beijing 100038, China; 4. Institute of Architecture and Planning Design, China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, Shaanxi, China)

Abstract: To address the problems of high energy consumption and high carbon emissions of railway passenger stations in the western region, this paper proposed region-specific energy-saving and carbon reduction strategies. Field investigations and a literature review were conducted to analyze the operation characteristics of railway passenger stations, and a typical station was selected as the research object to carry out multi-condition energy consumption simulations. The effects of thermal parameters of different building envelopes and layout methods of photovoltaics on the energy consumption of railway passenger stations were systematically investigated. Meanwhile, a net

收稿日期：2025-06-06　　**修订日期**：2026-03-06
基金项目：北京市科技计划项目(Z231100006123014)；中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2024YJ168)

present value method was introduced to quantitatively study the energy-saving potential and economic benefits of building envelope optimization and solar photovoltaic utilization. The results show that under the premise of meeting energy-saving standards, improving the thermal performance of walls, roofs, and doors and windows significantly reduces the energy consumption of railway passenger stations. When 90 mm rock wool boards for walls, 80 mm extruded polystyrene boards for roofs, and polyurethane windows are selected as the insulation layer configuration, the energy consumption is additionally reduced by about 25.82% on the existing basis; when rooftop photovoltaic modules are laid out at a south-facing 30° tilt angle, the energy production reaches the maximum, amounting to 153 025.47 kW·h, which minimizes the total energy consumption and carbon emissions of railway passenger stations. Economic analysis shows that the profit of the comprehensive retrofit scheme is 254 000 CNY, indicating good investment feasibility.

Keywords: Railway Passenger Station; Energy Saving and Carbon Reduction; Optimization Strategy; Building Envelope; Photovoltaic Power Generation

0　引言

近年来，西部地区作为铁路建设的重点地区，铁路网规模和质量得到持续提升，截至2024年4月底，西部地区铁路营业里程已达6.5万km[1]。随着“双碳”战略的深入推进，铁路客站作为综合交通枢纽，其绿色低碳转型受到广泛关注。2024年2月，国家铁路局等部门联合发布《推动铁路行业低碳发展实施方案》，强调新建客站需按绿色标准建设，改造提升既有客站。不同地区在自然环境、气候条件与地形特征等方面存在较大差异，这些差异对铁路客站的规划建设要求也不同。例如，在温度变化幅度大、辐射强、气候条件复杂的环境中，客站建筑需具备更高的耐候性和能源利用效率，以保障其日常运行的安全性与舒适性。

铁路客站属于大空间公共建筑，运营时间长、客流量大、能耗高、碳排放量大，其能耗受气候条件、客站规模、节能设计和运行管理等因素影响，主要耗能设备为电梯、中央空调、照明装置、LED大屏幕等[2-3]。既有研究主要聚焦于铁路客站的建筑节能设计、全生命周期碳排放分析、运行阶段的能源优化以及可再生能源的集成应用等方向。姚剑等[4]对铁路客站的站台区域进行合理划分，在满足照明标准的基础上实现铁路客站站台节能控制；Wang等[5]以我国寒冷地区的铁路客站为研究对象，通过生命周期评估，并结合建筑信息模型，提出应在铁路客站的早期设计阶段关注空间设计；钱生泽[6]基于生命周期评价理论，以某轨道交通车站为案例进行碳排放分析，并从机械使用、施工方式、能源来源及运营方式等方面提出了减碳措施；王智[7]分析了西安东站减碳技术的应用，包括建筑设计与材料、能源系统优化以及交通集成，提出铁路客站在运营阶段的长效减碳策略；王彦[8]系统分析了绿色铁路客站建筑中主动式与被动式设计策略的差异性与适用性；郭旭辉[9]以广州火车站为对象，开展了节能优化设计和室内环境方面的研究，并据此提出降低冷负荷与改善室内环境的节能设计方案；于鑫[10]对铁路光伏发电的优势及意义进行了总结，并提出了铁路光伏发电的路径；杨洋等[11]从生命周期评价的角度，建立并验证了高铁、普铁、水运、航运和高速公路5种交通方式的节能减排效果评价模型，发现高铁的节能减排效果最为突出。

铁路客站的节能减碳策略包括被动式建筑设计、围护结构优化、能源系统管理、可再生能源利用等，在节能与低碳方面的研究已基本成熟。然而，目前的研究尚存在以下不足：①研究对象集中度较高，对不同运营条件、不同功能需求下客站建筑的适应性分析不足；②围护结构选型与优化往往缺乏对复杂工况与多元使用场景的系统性考虑，未能充分考虑低温、大温差、强日照、风压大等典型气候特征；③太阳能资源开发利用方面的研究多以城市住宅或办公建筑为主，在铁路客站这一大体量、全天候运行的交通建筑中，光伏系统布置、建筑一体化设计方面的技术路径尚不成熟。

鉴于此，本研究聚焦我国西部地区的铁路客站，通过走访调查与文献梳理，总结当前工程建设中的现存问题，基于典型车站实例，从围护结构选型与太阳能利用方面进行研究，分析节能改造的成本效

益，针对性地提出西部地区铁路客站的节能减碳策略，为西部地区铁路客站的绿色设计提供参考。

1　西部地区铁路客站的特点

铁路客站内部空间开敞度大、人员流动集中，加之幕墙普遍采用大面积玻璃，使建筑在夏季受到强烈太阳辐射影响而增大制冷负荷，在冬季又因围护结构传热强烈而导致供暖能耗显著上升[12]。相关研究表明[13]，供暖与空调系统是客站运行能耗的主要组成部分，其中大空间热稳定性差、温度分层明显等问题尤为突出。此外，照明系统在许多客站的能耗中占比也较高，部分站房平均照度偏高、照明效果欠佳，不仅浪费电能，也加剧整体能耗水平[14]。在气候条件复杂、温差较大、太阳辐射较强的地区，站房冬季供暖需求增加、夏季冷负荷提升，围护结构热工性能成为影响能耗的关键因素。光伏发电技术及储能系统在铁路客站低碳技术中具有明显的优势[15-16]，西部地区的强日照可为太阳能光伏提供良好的应用条件，可再生能源利用在降低碳排放方面具有显著潜力[17]。研究发现大体量建筑的单位面积能耗随建筑总规模的增加呈下降趋势，但总能耗与温室气体排放仍保持较高水平，需通过优化围护结构、提升系统协同效率以及集成可再生能源等路径加以改善[5]。

为了深入探究西部地区铁路客站的特点，通过实地走访以及文献调研的方式对西部地区铁路客站进行分析。西部地区的铁路客站大多为中小型客站，其建设风格融入了当地民族文化元素并考虑了当地的气候条件，在建筑材料的选择和建筑结构的设计上注重防风、隔热等性能。西部地区处于严寒与寒冷气候带，铁路客站在冬季需耗费大量能源用于供暖，其能耗强度明显高于其他气候区的同类建筑。另外，西部地区空气稀薄，年平均气压与含氧量仅有平原地区的2/3，致使该地区常规能源运输成本高，燃气与燃油的燃烧效率低，因此，西部地区铁路客站一般采用热泵系统采暖。调研发现，西部地区铁路客站的热源一般采用空气源热泵，这种方式相比锅炉成本高，但更加节能，末端采用地暖方式，在宿舍区则采用多联机，夏季制冷需求不大，因此采用风扇降温。

总体而言，西部地区的能耗水平偏高，碳排放量大，可针对性地从围护结构优化、能源系统智能化控制与可再生能源利用等方面，研究铁路客站的节能减碳策略。

2　围护结构选型与太阳能资源利用

以西部地区某铁路客站为研究对象，在原设计工况的基础上对其采用围护结构选型设计与太阳能资源利用改造，引入净现值(Net Present Value，NPV)法，对改造措施的节能减碳效果和经济性进行评估。

2.1　方法描述

该铁路客站地处寒冷地区，站房面积约2 000 m^2，站房内冬季设计温度为18 ℃，夏季设计温度为24 ℃，内设有空调、风幕、地暖等设施，冷源采用多联机，热源采用锅炉。该客站所处地区夏季(6—8月)平均气温大致为12~25 ℃，冬季采用地暖，导致空调全年较少开启。每年供暖季来临时，站房内锅炉自动启闭，用于站房内供暖(地暖、风幕)，启闭时间基本和工作人员出勤时间一致。研究聚焦于该车站全生命周期中的运行阶段，在车站平面图的基础上建立模型进行能耗模拟，西部地区某铁路客站建模示意图如图1所示。



图1　西部地区某铁路客站建模示意图

Fig.1　Schematic diagram of modeling for a railway passenger station in western region

2.2　围护结构的选型

热工性能是指建筑围护结构在传热、保温与隔热方面的综合表现，其优劣直接影响建筑的能耗水平。常用的评价指标包括：①传热系数(K值)，衡量单位面积围护结构在单位温差下的传热能力，数值越低保温效果越好；②热阻(R值)，为传热系数的倒数；③热惰性指标(D值)，反映围护结构抵御温度波动的能力；④气密性，评价围护结构抵抗空气渗透的性能。由于K值能够直观反映围护结构的传热性能与建筑能耗的关系，且具有良好的可操作性和对比性，因此以传热系数K值为核心指标。

在能耗模拟分析中，需先通过工况设计来反映不同围护结构方案对建筑热工性能的影响，本

研究中的工况是指不同的围护结构热工参数(墙体、屋面、外窗等的传热系数)所构成的特定模拟条件。以《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 26—2018)中规定的围护结构K值为基准，逐步调整围护结构K值，比较其在能耗与经济性上的表现。在能耗模拟软件中，输入铁路客站的几何模型，而后对围护结构构造、气象参数等信息进行设置。围护结构的K值可以通过改变保温层的配置进行设置，围护结构K值模拟工况设计表如表1所示，围护结构材料与传热系数如表2所示。其中，工况1为站房的原始设计条件，满足寒冷地区的节能设计标准。

表1　围护结构K值模拟工况设计表　W/(m²·K)

Tab.1　Design of simulation conditions for building envelope's K-value

工况编号	墙体K值	屋顶K值	窗户K值
1	0.40	0.35	1.70
2	0.35	0.30	1.50
3			1.25
4		0.20	1.50
5			1.25
6	0.30	0.30	1.50
7			1.25
8		0.20	1.50
9			1.25

表2　围护结构材料与传热系数

Tab.2　Building envelope materials and heat transfer coefficient

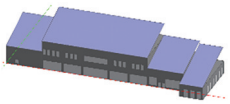
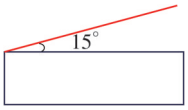
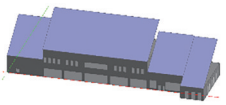
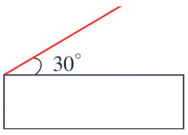
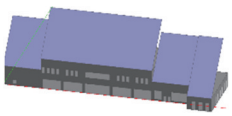
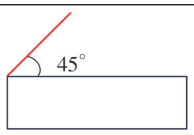
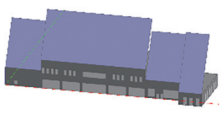
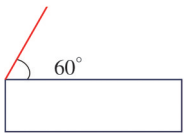
类别	K值/(W/(m²·K))	保温层配置
墙体	0.40	300 mm厚陶粒混凝土空心砌块+80 mm厚岩棉板
	0.35	300 mm陶粒混凝土空心砌块+90 mm厚岩棉板
	0.30	300 mm陶粒混凝土空心砌块+110 mm厚岩棉板
屋面	0.35	120 mm厚钢筋砼屋面板+60 mm厚挤塑聚苯板+20 mm厚水泥砂浆
	0.30	120 mm厚钢筋砼屋面板+80 mm厚挤塑聚苯板+20 mm厚水泥砂浆
	0.20	120 mm厚钢筋砼屋面板+130 mm厚挤塑聚苯板+20 mm厚水泥砂浆
窗户	1.70	铝合金窗(8+12A+8+V+8)
	1.50	聚氨酯窗(8+12A+8+V+8)
	1.25	铝木复合窗(8+12A+8+V+8)

2.3　太阳能资源利用

为避免大规模的太阳能(光伏)集中利用造成严重的弃光现象，考虑在铁路客站范围内布设太阳能板，本案例中的铁路客站屋面为平屋顶形式，因此有利于屋面光伏一体化，不仅可以节约场地，还可以为铁路客站提供电能。从太阳能板在屋顶的布设方式角度进行分析，探讨车站屋顶光伏对节能减碳的效果。在车站屋顶分别建立南向角度为0°，15°，30°，45°，60°的光伏板简化模型，在软件中选用的材料、参数、发电效率等设置保持一致，分别模拟不同状态下屋顶受光面全部安装光伏板时建筑的能耗变化及碳排放量，太阳能光伏板在屋顶的简化设计模型如表3所示。

表3　太阳能光伏板在屋顶的简化设计模型

Tab.3　Simplified design model for rooftop solar photovoltaic panels

角度	轴测示意图	剖面示意图
0°		
15°		
30°		
45°		
60°		

2.4　成本效益分析方法

NPV是一项投资所产生的未来现金流的折现值与项目投资成本之间的差值，是评估投资项目是否可行的重要指标，净现值=未来报酬总现值−初投资，计算公式为

$$NPV = \sum_{t=1}^{m} \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \tag{1}$$

式中：NPV为净现值，元；C_0为初始投资，元；C_t表示t年的现金流量，元；r为贴现率，%；m表示投资项目的生命周期，a。

参考NPV的概念，在原设计基础上进行节能减碳改造设计，成本主要包括改造初始投资成本、运行维护成本2部分[18]，节能低碳改造设计的效益主要包括政府补贴与车站节能，其现值分别为

$$PVC = I + \sum_{t=n}^{T} \frac{C_1}{(1+i)^t} \tag{2}$$

$$PVB = S + \sum_{t=n}^{T} \frac{\sum_f Q_f P_f}{(1+i)^t} \tag{3}$$

式中：PVC为节能减碳改造设计成本的现值，元；I为车站节能减碳设计的初始投资，元；C_1为改造后的运行维护成本，元；i表示贴现率，%；t为时间，a；n为改造完成时间，a；T为运营使用年限，a；PVB为节能改造设计效益的现值，元；S为政府补贴，元；Q为改造后年平均节约能源总量，kW·h；f为改造类型，即围护结构选型设计与太阳能资源利用；P为单位能源价格，元/(kW·h)。

围护结构选型与太阳能资源利用的净现值可表示为

$$NPV = PVB - PVC \tag{4}$$

3　计算与结果分析

3.1　围护结构选型的计算与结果分析

各工况下的单位面积能耗数据基于模拟软件计算得出，计算方式为：将站房的全年总能耗除以建筑面积，从而得到单位面积年能耗。不同工况下铁路客站的单位面积能耗情况如图2所示。其中，工况9的单位面积能耗最小，为94.35 kW·h/m^2，相比工况1可降低能耗约38.21%，同时发现工况2与工况6、工况3与工况7、工况4与工况8、工况5与工况9的单位面积能耗值非常接近，变化不明显。这说明在外墙与门窗热工性能保持一致的情况下，屋面保温层厚度在达到一定水平后，其继续增加所带来的能耗降幅明显收窄，体现出屋面保温措施的边际节能效益逐渐减弱的特征。

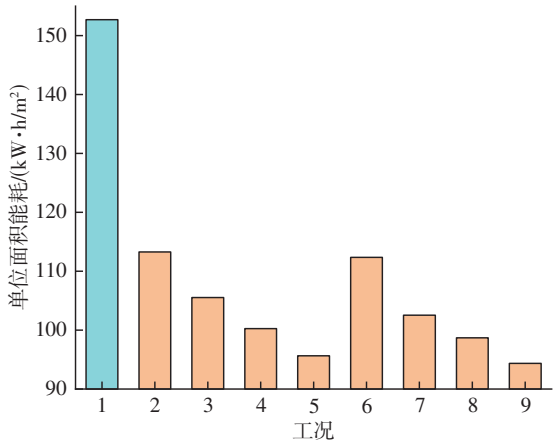


图2　不同工况下铁路客站的单位面积能耗情况

Fig.2　Energy consumption per unit area of railway passenger station under different operating conditions

在能耗对比的基础上，根据市场价格因素对不同工况的围护结构投资进行量化评估。围护结构的保温层市场价格如表4所示。根据表4，兼顾节能效果和初始投资后，工况2的综合性价比最优：即外墙采用90 mm岩棉板，屋面采用80 mm挤塑聚苯板，窗户采用聚氨酯窗。与其余工况相比，工况2以更低的成本投入实现了更高的经济性，使其在能耗表现与成本之间取得较优的综合平衡，最终成为本研究确定的最优工况方案。在多组厚度方案中选定外墙90 mm岩棉板，也从侧面印证了本研究模拟结果的合理性[19]。此外，岩棉板相较于常规保温材料不仅具备良好的保温性能，还具有较高的机械强度、较低的综合造价，并在可靠性、安全性和耐久性方面表现突出[20]。类似地，屋面80 mm挤塑聚苯板的厚度也是在钢筋混凝土平屋顶结构形式约束下，通过能耗模拟与造价比较反复迭代的结论，已有关于挤塑聚苯板的适宜厚度[17]，以及对不同屋面形式热工性能的分析研究[21]，为本研究提供了有益的参考，但本研究更侧重于在铁路客站这一特定建筑类型中完成参数的再验证与工程化落地[22]。

表4　围护结构的保温层市场价格

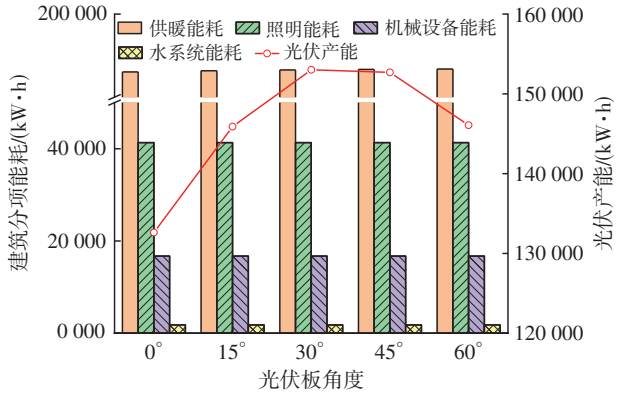
Tab.4　Market price of insulation layer of building envelope

	围护结构材料	价格/(元/m^2)
墙体	80 mm岩棉	24
	90 mm岩棉	39
	110 mm 岩棉	55
屋顶	60 mm挤塑聚苯板	46
	80 mm挤塑聚苯板	66
	130 mm挤塑聚苯板	122
门窗	铝合金窗(K=1.7 W/(m^2·K))	500
	聚氨酯窗(K=1.5 W/(m^2·K))	1 000
	铝木复合窗(K=1.25 W/(m^2·K))	1 500

总体而言，本研究以铁路客站的实际工况为出发点，通过多工况能耗模拟识别节能规律，再结合市场价格进行成本优化，最终形成以工况2为代表的西部地区铁路客站的围护结构参数组合，为同类型客站节能改造提供了可直接参考的参数与方法。

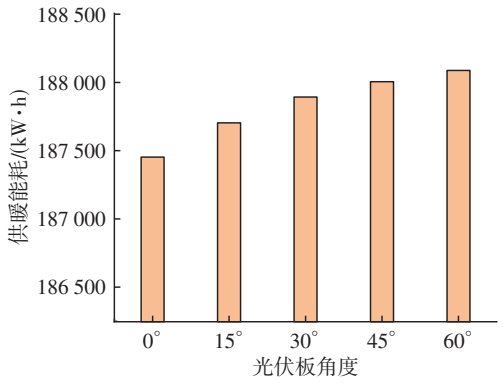
3.2　太阳能资源利用的计算与结果分析

不同光伏板角度下铁路客站能耗与光伏发电量对比如图3所示。在该车站建筑各分项能耗中，由



a　不同光伏板角度下建筑分项能耗及光伏产能

a　Building sub-item energy consumption and photovoltaic output under different photovoltaic panel tilt angles



b　不同光伏板角度下供暖能耗放大图

b　Enlarged view of heating energy consumption under different photovoltaic panel tilt angles

图3　不同光伏板角度下铁路客站能耗与光伏发电量对比

Fig.3　Comparison of energy consumption of railway passenger station and photovoltaic power generation under different photovoltaic panel angles

于全年几乎很少制冷，因此忽略不计制冷能耗，供暖能耗、照明能耗、机械设备能耗以及水系统能耗如图3a所示，供暖能耗最高，照明次之。由于只更改了光伏板角度与产能设置，并没有调整建筑内部使用模式、设备启用策略或运行时间等，因此照明、设备、水系统能耗不会因光伏角度不同而发生变化，只有供暖能耗会因电力供应、环境热负荷、系统回馈关系等产生变化。如图3b所示，随着光伏板倾角由0°增加至60°，铁路客站的供暖能耗呈逐步上升趋势，说明较大倾角会削弱冬季屋顶对太阳辐射热量的吸收，从而增加供暖负荷。因此，光伏板倾角设计需在提升发电效率与保障冬季被动得热之间取得平衡。光伏板按0°，15°，30°，45°，60°这5种角度铺设时，30°的光伏产能量最大，为153 025.47 kW·h，此时，建筑总能耗及碳排放量在5种模式下达到最小，这是由于我国处于北半球，建筑的朝向为南向时可以获得丰富的太阳辐射资源[23-25]，而太阳能板在南向30°时，相比其他角度接收的太阳能辐射更高。

3.3　成本效益计算与结果分析

《建筑结构可靠性设计统一标准》(GB 50068—2018)对可替换构件的设计寿命一般在25~30 a，本研究中节能减碳改造主要涉及围护结构保温层，因此取节能改造项目的设计使用年限为30 a。根据《夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造补助资金暂行管理办法》(财建〔2012〕148号)，政府对西部地区围护结构节能改造的经济补贴为25元/m^2。铁路客站建筑的光伏利用模式为“自发自用、余量上网”时，根据《国家发展改革委关于2018年光伏发电项目价格政策的通知》(发改价格规〔2017〕2196号)，这种模式下光伏发电的补贴为0.37元/(kW·h)，时限为20 a。根据《建设项目经济评价方法与参数》(第三版)，铁路既有线改造项目建议基准收益率为6%。本研究将该基准收益率作为贴现率设定的重要参考，并结合项目实际风险及投资回报周期，最终将贴现率设定为10%，用于净现值分析，以更准确评估改造投资的可行性。节能改造工期为2 a。节能低碳改造成本如表5所示。围护结构改造及光伏发电指标如表6所示。

将表5—表6的数据代入公式(2)—(4)，可得

表5　节能低碳改造成本

Tab.5　Energy-saving and low-carbon retrofit cost

改造措施	围护结构			太阳能资源利用	投资成本
具体方案	外墙：90 mm岩棉板	外窗：聚氨酯窗	屋面：80 mm挤塑聚苯板	屋顶光伏发电	—
改造面积/m^2	1 568.87	680.90	2 161.75	1 500	—
单位成本/(元/m^2)	39	1 000	66	300	—
改造成本/万元	6.12	68.09	14.27	45	I=133.48
维护成本/万元	1.33	7.37	3.51	—	C_1=12.21

注：表中数据经调研整理与计算后得出。

表6　围护结构改造及光伏发电指标

Tab.6　Indicators of building envelope retrofit and photovoltaic power generation

项目	指标	数值
围护结构改造	改造前年单位面积能耗/(kW·h/m²)	152.70
	改造后年单位面积能耗/(kW·h/m²)	113.28
	改造前年总能耗/(kW·h)	298 757.55
	改造后年总能耗/(kW·h)	221 632.32
	年节能量/(kW·h)	77 125.23
	围护结构改造补贴标准/(元/m²)	25
光伏发电	年发电量/(kW·h)	153 025.47
	光伏发电补贴标准/(元/(kW·h))	0.37

PVC=227.39万元，*PVB*=252.79万元，*NPV*为25.40万元，*PVB*与*PVC*之比(即收益与成本之比)为1.11，表明本次围护结构与太阳能光伏利用改造方法能够实现正向现金流，具有一定的投资冗余和经济可靠性，节能潜力与投资价值较大。根据表5，从投资构成看，围护结构改造占总改造成本的66%，其中高性能外窗的费用为68.09万元，占围护结构改造费用的77%、占总改造成本的51%。说明外窗改造是提高围护结构热工性能的关键环节。外墙和屋面保温的单位成本较低，但覆盖面积大，因此在总改造成本中同样占较大比例。屋顶光伏系统改造成本为45万元，占总改造成本的34%，通过获取电费节省和上网补贴共同贡献现金流。各项改造措施的年维护费用占总成本的比例不足6%，表明改造后铁路客站的日常运维负担较轻，经济性可控。

表6显示围护结构改造后，铁路客站单位面积年能耗由152.70 kW·h/m²降低至113.28 kW·h/m²，能耗降幅约25.82%，年节能量约77 125.23 kW·h，充分说明通过提高围护结构保温隔热性能可以有效削减铁路客站的大空间供暖负荷。另外，屋顶光伏系统的年发电量约153 025.47 kW·h，可部分抵消铁路客站的运行用电需求，再叠加围护结构改造的节能效果，降低铁路客站的日常维护费用。对于采暖期较长、太阳能资源丰富的西部地区而言，围护结构改造与太阳能有效利用将有助于提升铁路客站的能源使用效率，保障铁路客站长期可靠稳定地运行。

需要说明的是，净现值分析结果在一定程度上依赖于能源价格、贴现率、政府补贴及气候条件等外部因素，而这些条件可能随着时间推移发生变化，从而对计算结果造成影响。因此，NPV数值本身存在一定的不确定性。但本研究采用的基础参数均参考了现行标准与官方文件，并结合铁路既有改造项目经验设定，能够较好反映当前政策框架与市场条件下的改造成本与效益水平。此外，NPV方法的核心价值在于为不同工况或改造方案提供一个相对一致的比较基准，而非强调某一数值本身的绝对精确，因此得出的结论在不同条件下仍具参考意义，有助于支撑铁路客站节能改造方案的决策。

4　结论

本研究聚焦西部地区铁路客站的节能减碳问题，以某站房作为实际案例，探讨了围护结构优化与太阳能光伏利用的协同路径，并运用能耗模拟与净现值分析方法，得出了以下主要结论。

（1）在满足严寒与寒冷地区节能设计标准的基础上，对墙体、屋面和窗户保温材料的热工性能进行调整，构建传热系数更优的围护系统，可最大程度降低能耗约38.21%。综合考虑经济性与节能性后，选用墙体90 mm岩棉板、屋顶80 mm挤塑聚苯板及聚氨酯窗的组合最为优越，可在原有设计基础上降低能耗约25.82%，并具有良好的成本控制能力。

（2）光伏组件以南向30°铺设角度可实现最优发电效率，产能可达153 025.47 kW·h，有效的光伏集成设计不仅能减轻站房运行期间的电力负担，也在碳减排方面表现出显著优势。

（3）通过净现值法分析，得出围护结构与光伏系统改造方案的整体*NPV*为25.40万元，表明该策略在节能的同时具备良好的投资回报，具有工程推广价值。

研究提出的节能减碳方法证明了在西部地区铁路客站应用被动式节能设计和可再生能源技术的可行性，为未来该区域铁路客站的低碳化建设提供了实践经验和数据参考。因此，建议西部地区铁路客站的绿色改造应以“围护结构优化+光伏利用”为重点，并结合区域气候特征与经济评价方法进行综合评估。需要注意的是，研究基于单一案例站房，尚未覆盖不同规模与功能类型的铁路客站，后续研究可进一步结合智能控制与多能互补技术，拓展更具普适性的绿色设计策略。

参考文献：

[1] 中国国家铁路集团有限公司．充分发挥铁路行业禀赋优势保障西部大开发形成新格局[EB/OL]．(2024-06-02)[2025-04-02]．http：//www.china-railway.com.cn/xwzx/ywsl/202406/t20240602_136455.html.

[2] 宋　歌，刘　燕，朱丹丹，等．铁路客站用能现状及其影响因素分析[J]．暖通空调，2013，43(4)：85-90.
SONG Ge，LIU Yan，ZHU Dandan，et al. Energy-Using Status and Influence Factors of Railway Stations[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning，2013，43(4)：85-90.

[3] 张亚伟，杨国元，陈瑞凤，等．深圳城际铁路客站绿色节能系统设计[J]．铁道运输与经济，2023，45(7)：157-163.
ZHANG Yawei，YANG Guoyuan，CHEN Ruifeng，et al. Design of Green Energy Saving System for Shenzhen Intercity Railway Passenger Station[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(7)：157-163.

[4] 姚　剑，史天运，端嘉盈．铁路客站站台照明节能控制策略研究[J]．铁道运输与经济，2022，44(8)：58-64，90.
YAO Jian，SHI Tianyun，DUAN Jiaying. Research on Energy-Saving Control Strategy of Platform Lighting in Railway Passenger Station[J]. Railway Transport and Economy，2022，44(8)：58-64，90.

[5] WANG N，SATOLA D，HOULIHAN WIBERG A，et al. Reduction Strategies for Greenhouse Gas Emissions from High Speed Railway Station Buildings in a Cold Climate Zone of China[J]. Sustainability，2020，12(5)：1704.

[6] 钱生泽．基于LCA的轨道交通车站碳排放分析[J]．都市快轨交通，2022，35(5)：16-21，42.
QIAN Shengze. Carbon Emission of Rail Transit Station Based on Life Cycle Assessment[J]. Urban Rapid Rail Transit，2022，35(5)：16-21，42.

[7] 王　智．高速铁路客运站房碳排放计算方法及减碳策略研究[J]．铁道建筑技术，2024(9)：26-28，59.
WANG Zhi. Carbon Emission Calculation Methods and Reduction Strategies for High Speed Railway Passenger Station[J]. Railway Construction Technology，2024(9)：26-28，59.

[8] 王　彦．绿色铁路客站建筑方案设计的被动式设计策略应用探讨[J]．铁道经济研究，2014(3)：41-43.
WANG Yan. The Application of Passive Design Strategies on Green Railway Passenger Station Building Program[J]. Railway Economics Research，2014(3)：41-43.

[9] 郭旭晖．新广州火车站节能设计与建筑室内环境研究[J]．铁道标准设计，2010，54(S2)：1-8.

[10] 于　鑫．太阳能光伏发电在铁路中的发展路径研究[J]．铁道运输与经济，2024，46(10)：1-7.
YU Xin. Development Path of Solar Photovoltaic Power Generation in Railway[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(10)：1-7.

[11] 杨　洋，袁振洲，陈进杰，等．基于LCA的高速铁路节能减排效果评价研究[J]．交通工程，2021，21(4)：89-96.
YANG Yang，YUAN Zhenzhou，CHEN Jinjie，et al. The Energy Consumption Conservation and Carbon Emission Reduction Evaluation for High Speed Railway Based on LCA[J]. Journal of Transportation Engineering，2021，21(4)：89-96.

[12] 王劲柳，刘丛红．高铁站房空间与形式的节能潜力调研分析[J]．建筑节能，2019，47(2)：41-49.
WANG Jinliu，LIU Conghong. Investigation and Analysis of Energy-Efficient Potential to the Space and Form of High Speed Railway Station Building[J]. Building Energy Efficiency，2019，47(2)：41-49.

[13] 汤　鑫，冯　炼．南方铁路客站气候区划及通风降温策略研究[J]．制冷与空调(四川)，2020，34(1)：21-24，85.
TANG Xin，FENG Lian. Study on Climate Division and Ventilation and Cooling Strategy of Southern Railway Station[J]. Refrigeration & Air Conditioning，2020，34(1)：21-24，85.

[14] 刘家涛．火车站智能照明控制系统开发及工程应用[J]．照明工程学报，2020，31(1)：119-124，135.
LIU Jiatao. Design and Application of Railway Station Intelligent Lighting-Control System[J]. China Illuminating Engineering Journal，2020，31(1)：119-124，135.

[15] 鲁垠涛，邱圣明，郭淑慧，等．基于组合赋权-TOPSIS法的铁路客站低碳技术适应性研究[J]．铁道运输与经济，2025，47(8)：59-68，78.
LU Yintao，QIU Shengming，GUO Shuhui，et al. Adaptability Study of Low-Carbon Technologies for Railway Passenger Stations Based on Combined Weighting-TOPSIS Method[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(8)：59-68，78.

[16] 石锦扬，张金英，周岩梅，等．铁路车站光伏储能系统设计及生命周期环境经济分析[J]．铁道运输与经济，2024，46(10)：43-50.
SHI Jinyang，ZHANG Jinying，ZHOU Yanmei，et al. Design of Photovoltaic Energy Storage System and Life Cycle Environmental Economic Analysis for Railway Stations[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(10)：43-50.

[17] YUAN L, SHAO L L, XU X S. Thermal Performance Evaluation of Large-Span Roofs with Ventilating Cavity in Hot Climates: Case Study of Shenzhen Railway Station Hall[J]. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2015, 14(2): 491-498.

[18] 孙妍妍. 低碳建筑项目的碳排放核算及节能减排策略研究[D]. 马鞍山：安徽工业大学，2018.

[19] 张兴艳，贾怡红. 适应高寒气候特点的铁路站房建筑节能策略[J]. 高速铁路技术，2022，13(3)：1-6.
ZHANG Xingyan, JIA Yihong. Energy-Saving Strategies for Railway Station Buildings Suitable for High-Cold Climate Conditions[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3): 1-6.

[20] 李敏红，张世伦，田　喜. 岩棉复合防火保温板外墙外保温施工技术[J]. 建筑技术，2016，47(6)：550-553.
LI Minhong, ZHANG Shilun, TIAN Xi. Construction Technique of Compound Rock Wool Fireproof and Heat Insulation Panel for External Wall Heat Insulation[J]. Architecture Technology, 2016, 47(6): 550-553.

[21] 谢　栋. 西部高原低能耗建筑气候营造方法研究[D]. 西安：西安建筑科技大学，2014.

[22] 周彦华. 大跨度预应力钢筋混凝土桁架在铁路客站中的应用[J]. 山西建筑，2019，45(21)：97-98.
ZHOU Yanhua. Application of Long Span Prestressed Reinforced Concrete Truss in Railway Passenger Station[J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(21): 97-98.

[23] 王　雪. 高寒山区铁路站房太阳能利用节能设计研究[D]. 成都：西南交通大学，2018.

[24] 曹俊峰. 铁路客运站站房建筑节能设计[J]. 中国建材科技，2011，20(4)：83-86.
CAO Junfeng. The Research on Design Methods of Energy Efficiency in Railway Station Buildings[J]. China Building Materials Science & Technology, 2011, 20(4): 83-86.

[25] 阳志韬，卜　梵，巩　毅，等. 高寒山区铁路站房利用太阳能的建筑设计研究[J]. 城市建筑，2016(15)：20-21.

(责任编辑　金　晶)

(上接第50页)

[12] 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.

[13] 胡运权，胡祥培. 运筹学基础及应用：第七版[M]. 北京：高等教育出版社，2021.

[14] 蒋姗姗. 酒店业对本地旅游业的驱动效应研究[J]. 旅游与摄影，2024(13)：43-45.

[15] 吴祥生，付祥钊，谭　平. 重庆市既有公共建筑能耗调查分析[J]. 暖通空调，2010，40(1)：8-13.
WU Xiangsheng, FU Xiangzhao, TAN Ping. Energy Consumption Survey and Analysis of Existing Public Buildings in Chongqing[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2010, 40(1): 8-13.

[16] 张　聪，孔令斌，蔡润林，等. 城市交通系统碳排放系数测算及简易计算方法[J]. 城市交通，2025，23(5)：10-16.
ZHANG Cong, KONG Lingbin, CAI Runlin, et al. Research on Carbon Emission Coefficient Evaluation and Simple Calculation Method of Urban Transportation System[J]. Urban Transport of China, 2025, 23(5): 10-16.

[17] 冯　涛，彭其渊，陶思宇，等. 站城融合模式下既有铁路车站城市功能开发体量预测研究[J]. 交通运输系统工程与信息，2020，20(5)：21-28.
FENG Tao, PENG Qiyuan, TAO Siyu, et al. Forecasting Volume of Urban Function Development of Existing Railway Station with Integrating Station-City Development[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20(5): 21-28.

(责任编辑　金　晶)