

文章编号: 1671-6612 (2026) 02-295-08

夏热冬冷地区 铁路客运站房分朝向外遮阳调控阈值优化

周长磊

(中铁二十五局集团第一工程有限公司 广州 510000)

【摘要】 对于具有较大的窗墙比和天窗比的铁路客运站而言,透明围护结构的太阳得热系数(SHGC)是影响冷负荷和建筑能耗的关键因素之一。设置外遮阳虽可作为缓解该问题的有效措施,但其应用需重点考量对自然采光需求,通过合理设计实现二者的平衡。因此,以夏热冬冷地区某铁路客运站房为对象,建立了其光热环境数值分析模型,选取低透高反类外遮阳为代表,分析了建筑能耗在外窗SHGC值为0.3, 0.5, 0.7的情况下,随不同朝向上的外遮阳调控阈值(以太阳辐射投射强度为依据)的变化情况,并总结了不同工况下的最佳调控阈值。研究成果完善了交通基础设施的被动式节能技术体系,可为外遮阳技术在铁路站房的设计和调控提供理论依据。

【关键词】 铁路站房; 建筑遮阳; 调控阈值; 太阳得热; 自然采光
中图分类号 TU248.1 文献标志码 A

Optimization of the External Shading Control Threshold for Railway Passenger Station Buildings in Hot Summer and Cold Winter Areas by Orientation

Zhou Changlei

(China Railway 25th Bureau Group First Engineering Co., Ltd, Guangzhou, 510000)

【Abstract】 For railway passenger stations with large window-to-wall ratios and skylight ratios, the solar heat gain coefficient (SHGC) of the Windows is one of the key factors affecting the cooling load and building energy consumption. Although setting up external shading can be an effective measure to alleviate this problem, its application should focus on the demand for natural lighting and achieve a balance between the two through reasonable design. Therefore, this paper takes a small railway passenger station building in a hot summer and cold winter area as the object, establishes a numerical analysis model of its light and heat environment, selects the low transmittance and high reflectivity type of external shading as a representative, and analyzes the variation of the building's energy consumption with the external shading regulation threshold (based on the intensity of solar radiation projection) in different orientations when the SHGC value of the exterior window is 0.3, 0.5, and 0.7. And the optimal control thresholds under different working conditions were summarized. The research results have improved the passive energy-saving technology system of transportation infrastructure and can provide a theoretical basis for the design and regulation of external shading technology in small railway station buildings.

【Keywords】 Railway station; Shading device; Control threshold; Solar heat gain; Natural lighting

0 引言

集客流集散与商业服务为一体的铁路客运站

房建筑是轨道交通运输系统的重要组成部分。然而,其内部大长跨度、强联通的空间形态以及高客

流强度、高人流密度等特征使其运营产生的能源消耗与碳排放强度居高不下^[1,2]。据统计，铁路车站年平均能耗在 103kWh/m² 到 423kWh/m² 之间^[3]，远高于现行低碳与低能耗公共建筑的限值要求。而在铁路客站的运营中，以供暖空调为代表的站内环境控制又占到其总能耗和碳排放的一半以上^[4,5]。因此，铁路客运站空调和供暖系统的节能减碳已经成为交通与建筑领域“双碳”目标实现的重点方向。

因美观与功能需求，铁路客运站房通常设有大窗墙比、大天窗比的透明围护结构，这使夏季经其透明围护结构的太阳得热强度大、室内热堆积强度高。而设置遮阳设备（尤其是外遮阳^[6-8]）是减少室内太阳得热的有效手段。但遮阳设施的使用在减少日射得热的同时，也将减少室内自然采光效果进而增加照明能耗^[9,10]，故合理地选择外遮阳构件的材料^[11-13]设置对应的运行调控策略，才能最大程度的挖掘其节能降碳潜力^[14]。对铁路客站而言，其不仅设有高面积比的采光天窗，各朝向的窗墙比条件也差异较大，遮阳在不同朝向外窗/玻璃幕墙上的遮蔽效果也有所差异，故有必要分析这类大窗墙比、大天窗比建筑外遮阳设施的分朝向调控策略，以进一步挖掘该类被动技术的节能潜力，实现兼顾光/热舒适与环控能效的站房室内环境营造。

综上，本文将以某铁路客运站为对象，建立铁路站房建筑能耗分析模型并予以验证。并以其为基础，开展中国夏热冬冷气候区铁路站房不同朝向遮阳技术节能效果的分析，并为不同朝向遮阳调控给出最优阈值，期以挖掘该项技术在铁路场站上应用的潜力。

1 研究方法

本文以国内某一铁路站房为研究载体，第一步将搭建专门用于分析其建筑能耗的数值分析模型，借由该模型研究不同外窗 SHGC 值的外遮阳的节能空间，并对其调控方案进行优化设计。数值分析运用 EnergyPlus 软件，相关文献^[15]已表明，该软件在计算带有遮阳装置的建筑能耗时，能够保证其模拟结果的准确性。

1.1 几何模型

本文所模拟的对象为一较典型的铁路客运站，其主要由高架候车室和东、西线侧商铺组成，主立面为南北朝向。高架候车室长 48m，宽 28m，高 5m，东、西线侧商铺长均为 28m，宽 18m，商业

层高 5m。其站房几何形态如图 1 所示，站房各朝向的窗墙比情况则如表 1 所示。

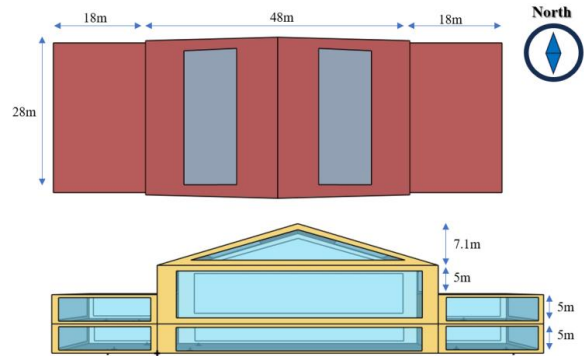


图 1 铁路客运站房几何形态概况

Fig.1 Geometric profile of railway passenger station

表 1 各朝向窗墙比

Table 1 Window-to-wall ratio in each orientation

站房各朝向窗墙比	数值
南北朝向	0.7
东西朝向	0.7
天窗比	0.2

1.2 模型设置

鉴于本次构建的站房模型存在非凸区域（non-convex zone），建筑外表面太阳能分布采用 Full Exterior 方法。建筑内、外表面对流换热选用 EnergyPlus 软件中默认的 TARP 算法和 DOE-2 算法。在设计参数方面，候车室室内空气设计温度为 26℃，相对湿度为 60%，依据规范^[19]屋面、外墙、侧窗、天窗的传热系数分别为 0.4、0.6、2.2、2.0W/(m²·K)。由于该铁路场站顶层（站厅层）层高超过 10m，为典型的高大空间，故该区内部环控将采用 Infrared Radiation Transfer Material 模块、Zone Mixing 模块和 Room Air 模块等来分隔环控区和非环控区，其环控区和非环控区的气体交换参考 Zhang 等人^[16]研究气体交换方式选择 SimpleMixing，换气次数设置为 1。室内空气的温度梯度则参考 Wang^[17]和石利军等人^[18]的文献数据。建筑所采用冷机的性能系数设为 5.3，空气源热泵机组的性能系数为 3^[19]，机组运行时间为 5:00-22:00，其余设备功率按规范要求^[19]设置为 20W/m²。在自然采光和遮阳装置的相关设置中，选择 SplitFlux 日光照明计算方法，该方法具备模拟活动遮阳方面的能力^[20]，灯光控制方法选择 ContinuousOff，当室内照明强度随室外环境变化增

加时，照明功率从最大值到最小值为变化，人工照明的控制阈值设为 500Lux，当满足所设定的室内照度要求时，站房内的照明设备完全关闭，站房灯光功率设置为 10W/m²^[19]，灯光调控全年开启。在实际工程中，常见的外遮阳材料有三种，即高透低反（太阳辐射/可见光透过率 0.6、反射率 0.3）、中透中反（太阳辐射/可见光透过率 0.4、反射率 0.5）以及低透高反（太阳辐射/可见光透过率 0.2、反射率 0.7）。本文选取低透高反类遮阳材料作为卷帘式外遮阳，其热工参数如表 2 所示，调控方法选择 On If High Solar On Window，即当到达建筑外表面的太阳辐射强度达到设定值时，在供暖季（5 月 1 号-10 月 7 号）进行外遮阳的调节。由于在供暖季（12 月 1 号-3 月 10 号）进行外遮阳的调节不仅会增加照明能耗，还会阻碍太阳辐射进入室内，进而增加供暖能耗，故供暖季外遮阳设备处于关闭状态。

表 2 遮阳卷帘光学性能基准参数

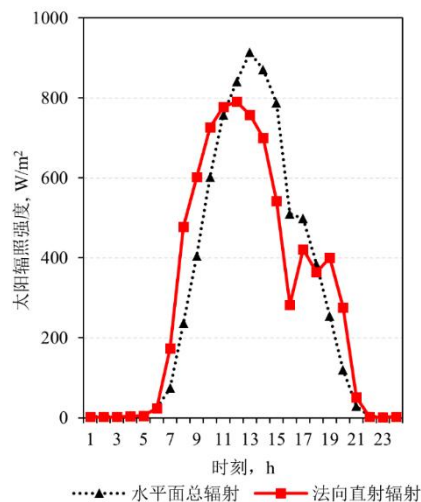
Table 2 Optical performance parameters of sunshade roller blinds	
物性	参数
太阳辐射透过率，可见光透过率	0.2
太阳辐射反射率，可见光反射率	0.7
红外半球发射率	0.9
红外透过率	0
厚度(m)	0.005
导热系数(W/m·K)	0.1
距窗户表面距离(m)	0.05

1.3 方法验证

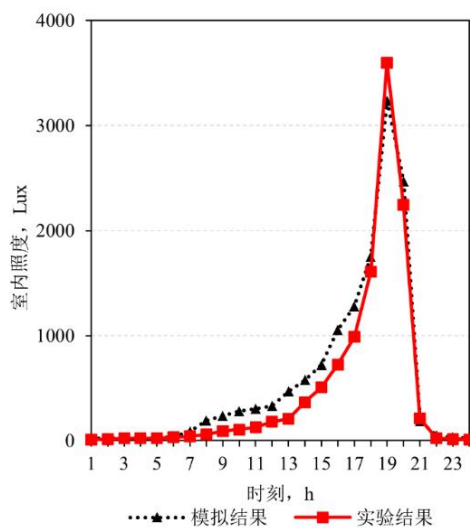
由于本文的研究会涉及建筑室内光环境与热环境的模拟，因此本节将分别节选对应的实验案例，对本文所采用光环境与热环境模拟方法的准确性进行验证，其结果如下。

光环境模拟的验证以 Peter 等人^[21]的自然采光实验研究为基准。以 West B room 在 2005 年 7 月 7 日的测试数据为基准，当日的直射、散射太阳辐射分布情况如图 2(a)所示。本节建立了与 West B room 相同的房间物理模型，且其外窗、墙体内壁等界面的光学性能以及自然采光和照明的设置方法也与该论文保持一致，并采用了与 1.2 节相同的计算方法进行模拟。在实验和模拟结果中，接近房间中部位置参考点的照度水平如图 2 (b) 所示。可看出，在同样的太阳辐射入射条件下，模拟所得室内照度水平

的逐时变化趋势与实测结果基本一致，且最大误差不超过 18%，故可认为本文所采用的照度模拟方法可较为准确地复现实际建筑中照明情况。



(a) 照度验证案例昼间逐时太阳辐射分布情况^[21]



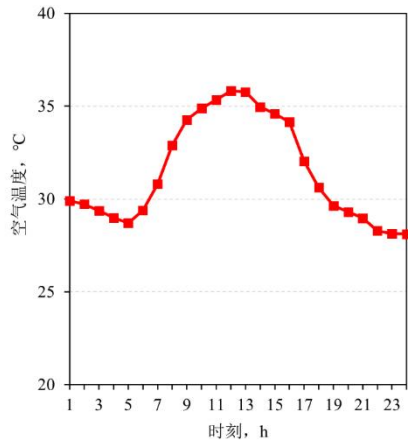
(b) 实验与模拟结果对比情况

图 2 数值模拟与现场实测^[21]所得照度情况对比

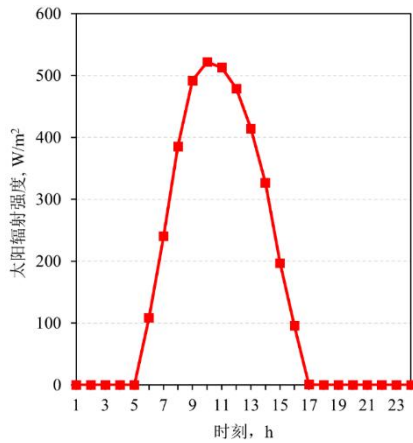
Fig.2 Comparison of illumination obtained by numerical simulation and field measurement^[21]

热环境及其负荷模拟的验证以 Albert 等人^[22]的实验研究为参考。本文建立了与其 Room 1 相同的房间模型，且围护结构光热性能以及室内设备功率等参数与实验保持一致，实验当天（9 月 20 日）的逐时太阳辐射和空气温度情况如图 3 所示。模拟结果所得室内负荷与实验结果的对比情况如图 4 所示，从中可得出实验和模拟所得负荷结果的逐时变化趋势基本一致，其平均相对误差不超过 10%，故可认为本文所采用模拟方法能够较为准确的反

应室内热环境情况和其环控负荷水平。



(a) 实测的逐时空气温度分布



(b) 实测的逐时太阳辐射强度分布

图3 负荷验证案例^[22]的气象输入参数

Fig.3 The meteorological parameters of the load verification case ^[22]

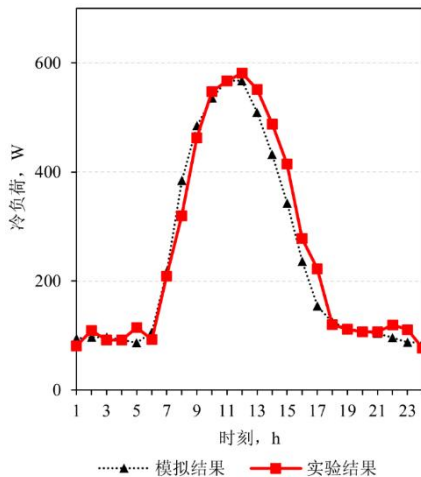


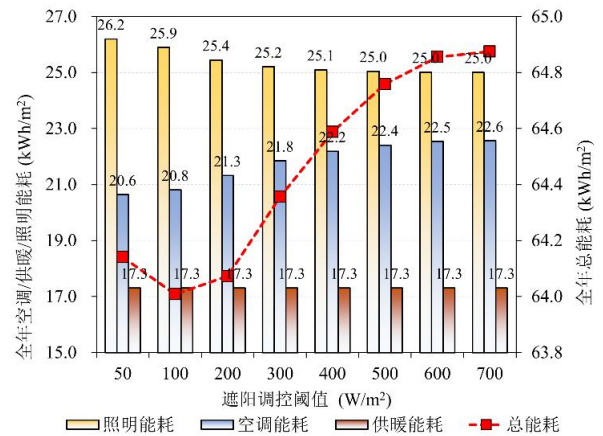
图4 数值模拟与现场实测^[21,22]所得室内冷负荷对比

Fig.4 Comparison of indoor cooling load obtained from numerical simulation and field measurement ^[21,22]

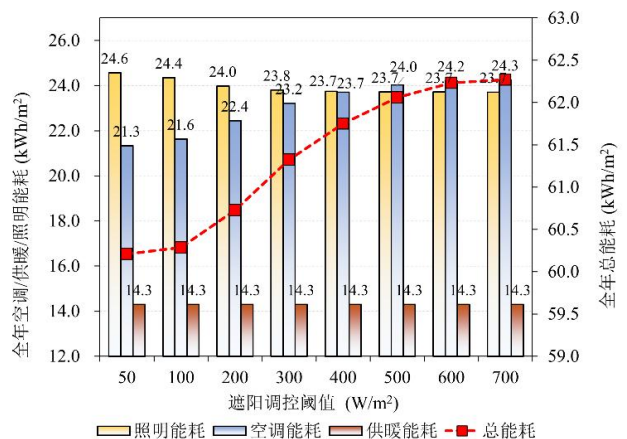
2 研究结果与讨论

2.1 铁路客运站房南向 SHGC 值下南向向外遮阳调控阈值优化

在实际工程中，常见的外遮阳材料有三种，即高透低反（太阳辐射/可见光透过率 0.6、反射率 0.3）、中透中反（太阳辐射/可见光透过率 0.4、反射率 0.5）以及低透高反（太阳辐射/可见光透过率 0.2、反射率 0.7）。根据相关文献[23]的结论：一般来说，高反射率低透射率的窗户附件更适合在以制冷为主的气候中应用，所以本文选取低透高反类遮阳材料作为卷帘式外遮阳，改变南向遮阳调控阈值时，控制其他朝向的遮阳设备处于使用状态，以建筑能耗为指标，分别对铁路客运站南向不同外窗 SHGC 值下的遮阳最优的调控阈值进行分析，结果如图 5 所示。



(a) SHGC=0.3



(b) SHGC=0.5

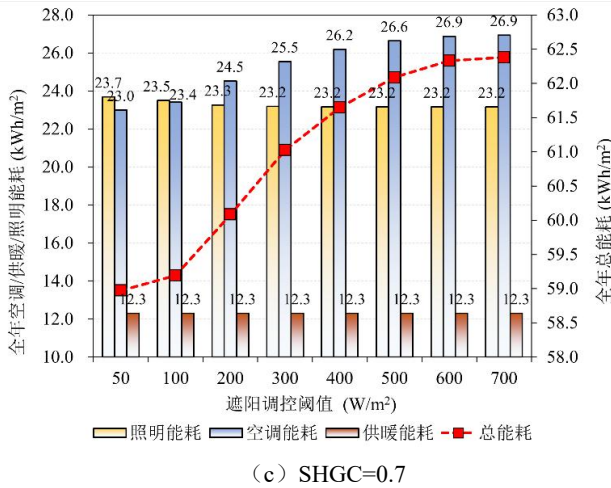


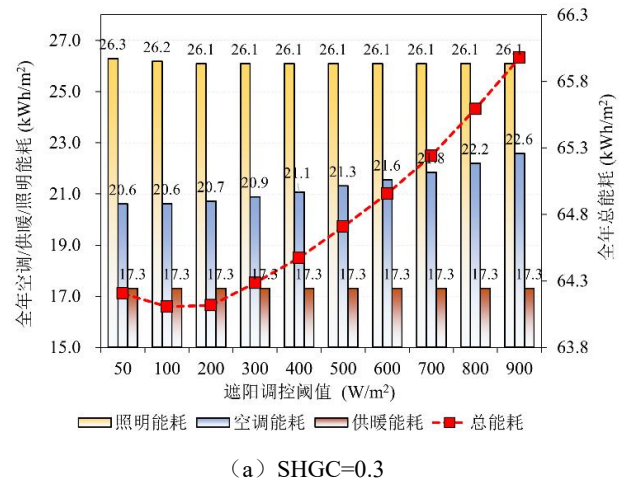
图 5 透明围护结构不同 SHGC 值下南向遮阳调控阈值对夏热冬冷地区铁路站房全年能耗的影响

Fig.5 Influence of south shading control threshold on annual energy consumption of railway stations in hot summer and cold winter areas under different SHGC values of transparent envelope

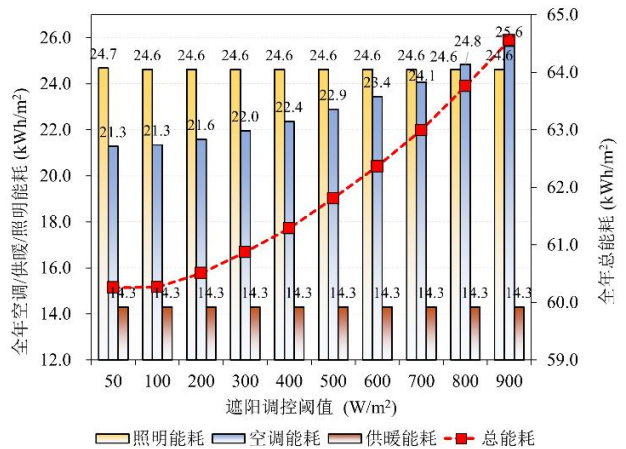
从图 5 可以看出，一方面，随着遮阳调控阈值的增加，照明能耗逐渐降低，制冷能耗逐渐增加，当满足室内照明要求或遮阳调控阈值大于投射至南向透明围护结构表面的太阳辐射时，照明能耗和制冷能耗都不再降低或增加。由于供暖季遮阳设备处于未使用状态，此时，铁路客运站的总能耗趋于稳定。三种不同 SHGC 值的透明围护结构应用低透高反类外遮阳时，最佳的南向遮阳调控阈值差别明显。对于 SHGC 值为 0.3 的透明围护结构，当投射至南向透明围护结构表面的太阳辐射达到 100W/m²左右的时候，开启遮阳设施能达到最优的节能效果；而对于 SHGC 值为 0.5 和 0.7 的透明围护结构，建筑总能耗随着遮阳调控阈值的增加而增加，最佳的遮阳调控阈值为 50W/m²，这主要是因为随着透明围护结构的 SHGC 值的增加，外遮阳设备对室内的光环境的干预能力越弱，对室内热环境的干预能力越强，这将使得遮阳的最优调控模式倾向于更多利用遮阳设备减少太阳得热的模式。故最优的调控阈值偏小。另一方面，随着透明围护结构的 SHGC 值的增加，全年总能耗最大降低了 7% 以上。这是因为 SHGC 值的增大虽然使制冷能耗增加，但却使照明能耗和冬季供暖能耗减低，导致全年总能耗的降低。

2.2 铁路客运站房天窗不同 SHGC 值下外遮阳调控阈值优化

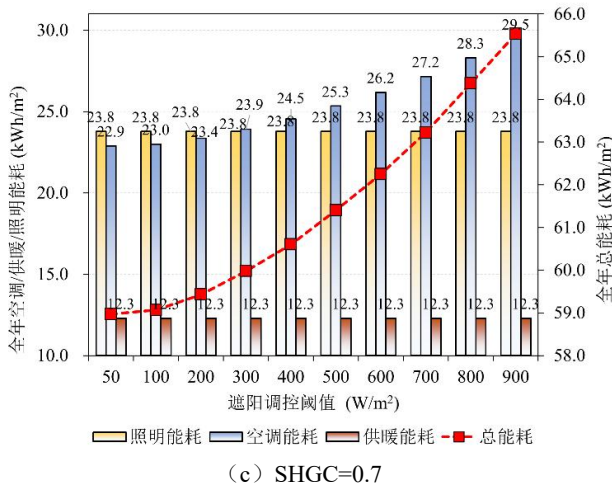
图 6 为小型铁路客运站房天窗不同 SHGC 值下，夏热冬冷地区小型铁路站房全年总能耗随遮阳调控阈值的变化情况。相较于南向透明维护结构而言，在天窗的 SHGC 值为 0.3 时，全年的总能耗虽会随着遮阳阈值的增加出现最佳遮阳调控阈值，但此时最佳遮阳调控阈值下的全年总能耗与遮阳调控阈值为 50W/m²下的全年总能耗差别不大，全年总能耗随着遮阳调控阈值的增加整体呈上升趋势。当天窗的 SHGC 值提高至 0.5 和 0.7 时，全年总能耗随着遮阳调控阈值的增加完全呈上升趋势。主要是因为天窗相较于其他朝向较为特殊，它会接收更多的太阳辐射，使得其最优调控模式也越偏向利用遮阳减少太阳得热的模式。



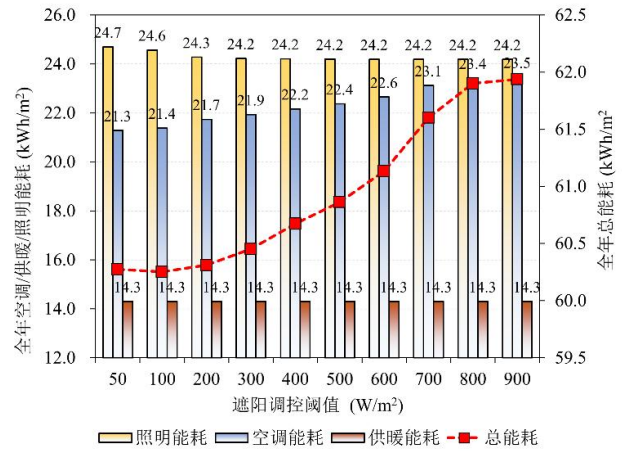
(a) SHGC=0.3



(b) SHGC=0.5



(c) SHGC=0.7



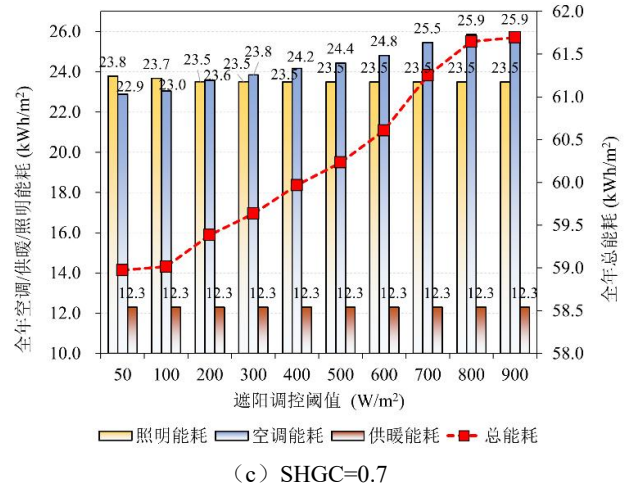
(b) SHGC=0.5

图 6 透明围护结构不同 SHGC 值下天窗遮阳调控阈值对夏热冬冷地区铁路站房全年能耗的影响

Fig.6 Influence of skylights shading control threshold on annual energy consumption of railway stations in hot summer and cold winter areas under different SHGC values of transparent envelope

2.3 铁路客运站房西向透明围护结构不同 SHGC 值下外遮阳调控阈值优化

图 7 为小型铁路客运站房西向透明围护结构不同 SHGC 值下,夏热冬冷地区小型铁路站房全年总能耗随遮阳调控阈值的变化情况。可以看出,与之前两个朝向相比,在透明围护结构 SHGC 值为 0.3 的情况下,最优的遮阳调控阈值有所提升 (200W/m²左右)。在 SHGC 值为 0.5 和 0.7 的情况下,全年总能耗的变化与之前两个朝向相似,都随着遮阳调控阈值的增加而增加。



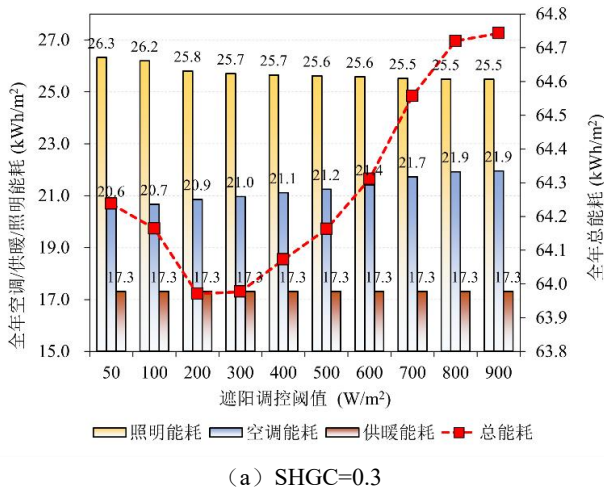
(c) SHGC=0.7

图 7 透明围护结构不同 SHGC 值下西向遮阳调控阈值对夏热冬冷地区铁路站房全年能耗的影响

Fig.7 Influence of west shading control threshold on annual energy consumption of railway stations in hot summer and cold winter areas under different SHGC values of transparent envelope

2.4 路客运站房东向透明围护结构不同 SHGC 值下外遮阳调控阈值优化

图 8 为小型铁路客运站房东向透明围护结构不同 SHGC 值下,夏热冬冷地区小型铁路站房全年总能耗随遮阳调控阈值的变化情况。在 SHGC 值为 0.3 的情况下,东向透明围护结构的最佳遮阳调控阈值与西向相似,都处于 200W/m²左右,随着 SHGC 值的增加至 0.5 和 0.7,最佳的遮阳调控阈值也分别降低至 100W/m²和 50W/m²左右。



(a) SHGC=0.3

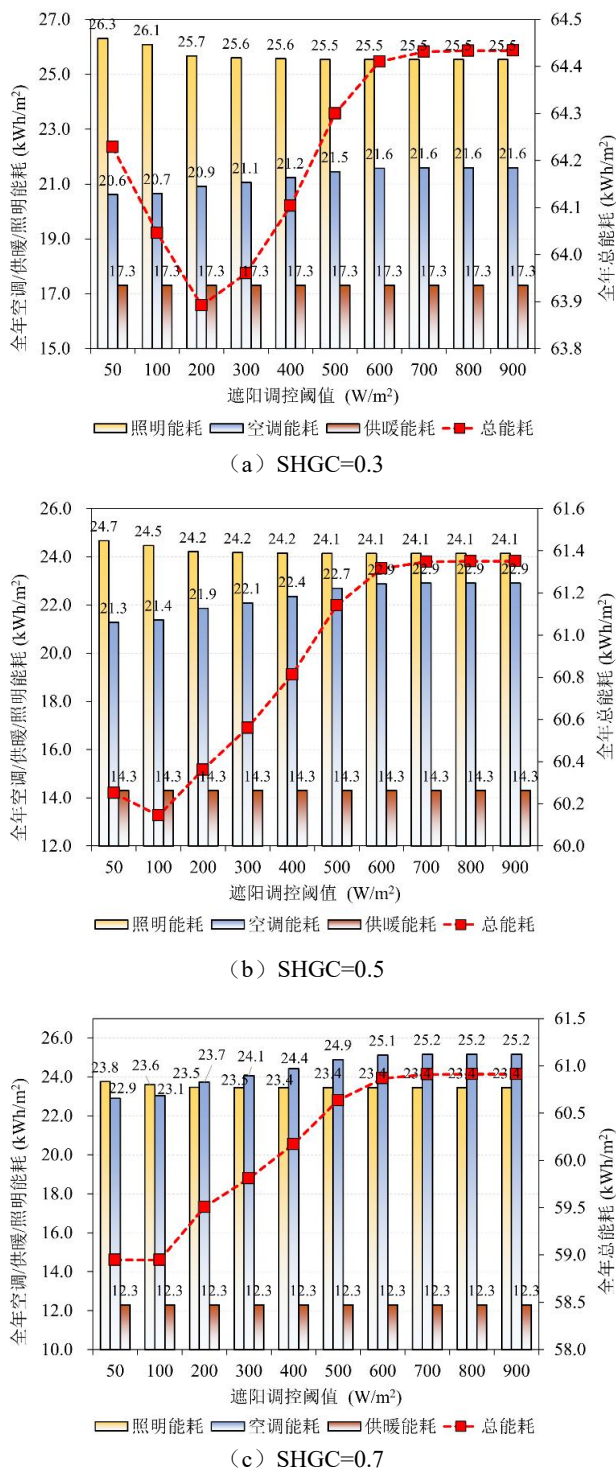


图 8 透明围护结构不同 SHGC 值下东向遮阳调控阈值对夏热冬冷地区铁路站房全年能耗的影响

Fig.8 Influence of east shading control threshold on annual energy consumption of railway stations in hot summer and cold winter areas under different SHGC values of transparent envelope

2.5 小结

综上，低透高反类遮阳设备在夏热冬冷地区的小型铁路站房应用时，其不同朝向的最优的调控阈值将随透明围护结构太阳得热系数提升而逐步降低，由于东向透明围护结构受太阳辐射影响较弱，其不同 SHGC 值下的最优的调控阈值变化相对于其他朝向也更明显。各朝向不同太阳得热系数的透明围护结构最优调控阈值如表 3 所示。

表 3 夏热冬冷地区不同 SHGC 值下各个朝向外遮阳卷帘最优调控阈值

Table 3 The optimal control thresholds of various outward shading blinds under different SHGC values in hot summer and cold winter regions

朝向	透明围护结构 SHGC 值		
	0.3	0.5	0.7
南	100W/m ²	50W/m ²	50W/m ²
天窗	50W/m ²	50W/m ²	50W/m ²
西	200W/m ²	50W/m ²	50W/m ²
东	200W/m ²	100W/m ²	50W/m ²

3 研究结论

本文以高窗墙比的小型铁路站房为研究对象，基于验证后的室内空调照明水平与能耗计算数值模型，分析了低透高反类外遮阳的使用对夏热冬冷地区不同透明围护结构太阳得热系数下的节能效果，所得到的主要结论如下：

(1) 除天窗外，其余朝向的透明围护结构在 SHGC 值为 0.3 时都具有最优的遮阳调控阈值，其中东、西向最优遮阳调控阈值偏大 (200W/m² 左右)，南向最优遮阳调控阈值偏小 (100W/m² 左右)。

(2) 由于天窗朝向的特殊性，其接收的太阳辐射强度相比于其他朝向较大，所以其在三种不同 SHGC 值下，全年总能耗都呈现上升趋势。

(3) 透明围护结构的太阳得热系数越低，其最优调控模式越倾向于利用自然采光；相反若其太阳得热系数越高，则其最优调控模式越倾向于阻挡太阳辐射得热。

基于上述研究结果，本文总结了夏热冬冷地区小型铁路客运站房不同朝向外遮阳的最优调控阈值，给实际工程中不同朝外遮阳的调控提供了参考依据。然而，本研究也存在一定的局限性，文章只立足于夏热冬冷地区，对于其他地区的适用性有待

进一步研究,建筑朝向以及遮阳材料的类型也未在本文的研究范围之内,使得本研究结论的普适性有所限制,后续研究将进一步探讨部分关键设计参数对遮阳调控阈值的影响。

参考文献:

- [1] Shen T, Yu T, Lei B. Study on hybrid ventilation effect of small and medium-sized railway station buildings in different climate regions of China[J]. *Journal of Building Engineering*, 2025:113437.
- [2] Qian B, Yu T, Bi H, et al. Measurements of Energy Consumption and Environment Quality of High-Speed Railway Stations in China[J]. *Energies*, 2020,13(1):168.
- [3] Su X, Liu W, de Dear R, et al. Field experiment on transient thermal comfort in a Chinese railway station-High temperature exposures[J]. *Building and Environment*, 2024,266:112039.
- [4] 国家铁路大型客站能源消耗专项调查组.2011 年国家铁路大型客站能源消耗专项调查情况分析[J].*铁道经济研究*,2012,(5):8-13.
- [5] Song L, Wang Y, Li X. Energy performance and environmental quality of typical railway passenger stations in northern China[J]. *Indoor and Built Environment*, 2016,27(3):296-307.
- [6] Loutzenhiser PG, Manz H, Carl S, et al. Empirical validations of solar gain models for a glazing unit with exterior and interior blind assemblies[J]. *Energy & Buildings*, 2008,40(3):330-340.
- [7] Eric S, Jia H, Maulin P. Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies[J]. *Building and Environment*, 2014,78:155-170.
- [8] El-Deeb K. Energy performance assessment of venetian blinds in south-oriented residential spaces in hot arid desert climates[J]. *Construction Innovation-England*, 2023, Early Access.
- [9] Chang C, Taeyeon K, Seung-Bok L. Thermal and Daylighting Performance of Energy-Efficient Windows in Highly Glazed Residential Buildings: Case Study in Korea[J]. *Sustainability*, 2014,6(10):7311-7333.
- [10] Huang Y, Niu JL, Chung TM. Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates[J]. *Applied Energy*, 2014,134: 215-228.
- [11] Ye Y, Xu P, Mao J, et al. Experimental study on the effectiveness of internal shading devices[J]. *Energy & Buildings*, 2016,111:154-163.
- [12] Tzempelikos A, Athienitis AK. The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand[J]. *Solar Energy*, 2007, 81(3):369-382.
- [13] Ghosh A, Neogi S. Effect of fenestration geometrical factors on building energy consumption and performance evaluation of a new external solar shading device in warm and humid climatic condition[J]. *Solar Energy*, 2018,169:94-104.
- [14] 夏卫,张海军,田利伟,等.大型铁路客站站房外遮阳节能潜力分析及调控阈值优化[J].*铁路技术创新*,2024,(4):115-122.
- [15] Ayca K, Basak KK, Ioannis C, et al. Review of simulation modeling for shading devices in buildings[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016,53: 23-49.
- [16] Zhang Y, Lu J, Jiang X, et al. A study on heat transfer load in large space buildings with stratified air-conditioning systems based on building energy modeling: Model validation and load analysis[J]. *Science Progress*, 2021,104(3):33-45.
- [17] Wang X, Yang YC, Xu Yukun, et al. Prediction of vertical thermal stratification of large buildings based on Block-Gebhart model: Case studies of three typical hybrid ventilaon[J]. *Journal of Building Engineering*, 2021,41:102452.
- [18] 石利军.航站楼分层空调上下区负荷分配研究[D].重庆:重庆大学,2011.
- [19] GB 55015-2021,建筑节能与可再生能源利用通用规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [20] Lawrence Berkeley NL. Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to Energy Plus Input and Output[J]. V8, 2015,3:2015.
- [21] Peter GL, Gregory MM, Heinrich M. An empirical validation of the daylighting algorithms and associated interactions in building energy simulation programs using various shading devices and windows. *Energy*, 2007,32:1855-1870.