文章编号：1671-6612（2025）02-162-08

基于全局能耗的酒店外窗设计参数优化

刘缦纾[1]　王晓亮[1,2]　魏庆芃[3]

李姝靓[1,2]　张　辉[4]　程炳华[5]　廖洋洲[6]　麦贤敏[1]

（1.西南民族大学建筑学院　成都　610225；

2.西南民族大学中国-葡萄牙文化遗产保护科学“一带一路”联合实验室　成都　610225；

3.清华大学建筑学院　北京　100084；

4.北京清华同衡规划设计研究院有限公司　北京　100084；

5.三亚嘉悦开发建设有限公司　三亚　572000；

6.武汉大悦城房地产开发有限公司　武汉　420000）

【摘　要】　外窗作为建筑围护结构的薄弱环节，其造成的热损失约占建筑总热损失的一半以上，合理的外窗设计对建筑节能具有极其重要的意义。外窗一方面带来太阳的光和热，同时较小的热阻也增加了室内外的温差传热，外窗的光热作用对建筑照明、采暖和空调能耗产生耦合交叉的影响。然而，目前关于外窗的研究却很少从全局能耗的角度分析外窗设计参数对建筑的综合节能作用。基于此，以成都某酒店建筑为案例，采用建筑能耗模拟和实验验证相结合的方法开展外窗全局节能优化研究。结果表明，窗墙比对全局能耗的影响最大，节能潜力在 20%以上，其次是外窗朝向，当朝向为南时，全局能耗最低，最大可节能 7.1kWh/m^2。而日射得热系数和传热系数的优化潜力相对较低，传热系数每降低 0.1W/(m^2·K)，全局能耗降低 0.19kWh/m^2；日射得热系数每增加 0.1，全局能耗增加 0.94kWh/m^2。研究可为酒店外窗的节能优化设计和改造提供技术支撑和方法指导。

【关键词】　建筑外窗；全局能耗；节能优化；设计参数；能耗模拟

中图分类号　TU83　　文献标志码　A

Optimization of Design Parameters of External Windows for Hotel Based on Global Energy Consumption

Liu Manshu[1]　Wang Xiaoliang[1,2]　Wei Qingpeng[3]

Li Shuliang[1,2]　Zhang Hui[4]　Cheng Binghua[5]　Liao Yangzhou[6]　Mai Xianmin[1]

(1.School of Architecture, Southwest Minzu University, Chengdu, 610225;

2.China-Portugal Joint Laboratory of Cultural Heritage Conservation Science supported by the Belt and Road Initiative, Southwest Minzu University, Chengdu, 610225;

基金项目：国家自然科学基金项目“基于全局能耗的建筑外窗光热耦合作用效应及协同优化研究”（52008358）；
四川省创新团队项目“高原建筑生态适应性四川省青年科技创新研究团队”（2022JDTD0008）；
西南民族大学中央高校基本科研业务费专项资金资助（2020NYB38）

作者简介：刘缦纾（1997-），女，硕士研究生，E-mail：673869825@qq.com

通讯作者：麦贤敏（1980-），女，博士，教授，E-mail：maixianmin@foxmail.com

收稿日期：2024-02-28

3.School of Architecture, Tsinghua University, Beijing, 100084;
4.Beijing Tsinghua Tongheng Planning and Design Research Institute Co., Ltd, Beijing, 100084;
5.Sanya Jiayue Development and Construction Co., Ltd, Sanya, 572000;
6.Wuhan Joy City Real Estate Development Co., Ltd, Wuhan, 420000)

【**Abstract**】 Since exterior windows account for more than half of the total heat loss in buildings, a well-designed exterior window plays a crucial role in energy-saving for buildings. On one hand, exterior windows allow sunlight and heat to enter the building, while their lower thermal resistance also increases the heat loss between the interior and exterior. The thermal and lighting effects of exterior windows have a coupled impact on the energy consumption of building lighting, heating, and air conditioning. However, there is a lack of research that comprehensively analyzes the impact of exterior window design parameters on building energy consumption from the perspective of global energy consumption. In this study, a hotel building in Chengdu is taken as an example to conduct research on the Global energy-saving optimization of exterior windows, using a combination of building energy consumption simulation and experimental verification. Results show that the window-wall ratio has the greatest impact on the global energy consumption, and the energy saving potential is more than 20%, followed by the external window orientation. When the orientation is south, the global energy consumption is the lowest, and the maximum energy saving is 7.1kWh/m^2. However, the optimization potential of solar heat gain coefficient and heat transfer coefficient is relatively low. When heat transfer coefficient decreases by 0.1W/(m^2·K), the global energy consumption decreases by 0.19kWh/m^2. The global energy consumption increases by 0.94kWh/m^2 when the solar heat gain coefficient increases by 0.1.

【**Keywords**】 Building exterior window; Global energy consumption; Energy-saving optimization; Design parameters; Energy consumption simulation

0　引言

随着社会的发展，不可再生能源越来越稀缺，环境问题日益凸显，为此，我国住房和城乡建设部在《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》[1]中明确指出，到 2025 年，城镇新建建筑全面建成绿色建筑。在绿色建筑中，外窗作为建筑围护结构中保温隔热性能最薄弱的部分，不仅是建筑室内外热交换的重要环节，也是建筑室内采光和通风的重要手段，同时还是对建筑能耗影响非常重要的部分。另外，《民用建筑节能设计标准》[2]也特别指出，增强门窗的保温隔热性能，减少门窗的能耗，是改善建筑光、热环境质量，实现建筑节能目标的重要步骤，因此有必要开展建筑外窗的综合节能研究。根据中国节能协会能耗专委会统计数据显示[3]，自 2010 年以来我国公共建筑能耗增长迅猛。其中，酒店作为向用户提供安全、舒适和短期休息或睡眠的公共建筑，通常 24 小时运营，需要提供持续的供暖、制冷和照明服务，同时为保证空间明亮度和开阔感，外窗面积往往较大，这使得其能耗强度远高于其他类型建筑。特别是在旅游旺季，酒店入住率高，能耗更是显著增加。在此背景下针对酒店建筑开展外窗的节能优化和改造升级研究将具有重要的低碳节能意义。

目前国内外在外窗与建筑能耗关系的研究领域已经取得了许多成就，如江亿[4]等人采用 DeST 软件对建筑全年的供暖、空调能耗进行了动态模拟，研究分析在不同朝向下窗墙比对建筑全年供暖能耗、空调能耗以及总能耗的影响规律。结果表明东（西）、北向窗墙比的加大会引起建筑全年供暖能耗、空调能耗和总能耗的增加；而夏季采用外窗遮阳和有效夜间通风时，南向窗墙比的加大有利于建筑全年供暖、空调总能耗的降低；丁勇[5]等人通过建立太阳辐射模型，发现当采用相同玻璃时，东、西向外窗全天阻挡的太阳辐射量约为南北向外窗全天阻挡量的 2 倍，东、西向外窗相比南北向外窗具有更大的隔热节能潜力；同时，透过 Low-E 中空玻璃和普通中空玻璃的室内平均太阳辐射得热量分别是透过单层玻璃的 0.37 倍和 0.85 倍；Alghoul[6]等通过研究发现，增加窗墙比会增大制冷能耗，减少采暖能耗，而且制冷能量消耗大大高于采暖能量消耗。当在南墙开设窗户时，制冷能量消耗急剧增加，而由于被动式太阳能的获得，采暖能量消耗却迅速降低。此外，Altun[7]等人研究了最佳建筑围护结构设计参数，如隔热厚度、朝向、玻璃

类型和房间的窗墙比等。结果表明隔热层厚度和窗户类型能够使建筑立面在 20 年的使用寿命内实现净现值最小化。纵观国内外在外窗对建筑能耗影响的研究领域，更多地是从建筑热作用的角度来进行优化分析，较少考虑外窗自然采光引起的照明能耗变化和由照明能耗变化引发的对建筑采暖或空调能耗的反作用[8-11]，因此，有必要从照明、采暖和制冷等全局能耗的角度出发，研究外窗设计参数对建筑能耗的复杂影响关系。

基于上述分析，本文将以成都市某酒店建筑为研究对象，从外窗光热耦合的角度出发，以全年采暖能耗、空调能耗和照明能耗作为全局能耗，采用 TRNSYS 平台建立酒店全年全局能耗仿真模型，并通过实验测试对仿真模型的准确度进行了研究。在此基础上，采用仿真模拟研究外窗在不同朝向、窗墙比、传热系数和日射得热系数等关键设计参数影响下的建筑能耗变化规律，对比各个设计参数对全局能耗的节能潜力。本文的研究结果可为酒店外窗的全局节能优化和改造升级提供技术支撑和方法指导。

1　建筑全局能耗仿真模型

1.1　酒店建筑特征

现阶段全社会对酒店建筑的舒适度要求也越来越高，而酒店建筑作为一种服务性建筑，需要为客人提供适宜的温度、湿度、光照和空气质量等环境状态，以保证客人入住期间的舒适感。由于大部分酒店均为 24 小时开放，且客人的出入具有随机性，为此，酒店的环控系统大多数为全天运行，由此产生了大量的建筑能耗[12]。因此，酒店建筑在使用特性方面需要考虑高度集中的使用情况，即酒店的使用率随时可能发生变化。且相比其他建筑，酒店的人员流动性更高，包括了住宿的客人、各种服务人员以及外来访客等。

1.2　酒店全局能耗仿真模型

为研究酒店外窗对建筑全局能耗的影响，本文基于 TRNSYS 仿真计算软件建立酒店全局能耗仿真模型，如图 1 所示。TRNSYS 软件是一种瞬时系统模拟程序，也是模块化的动态仿真软件，所有系统均由若干个小即模块组成，一个模块实现某一种特定的功能。本文所搭建的模型主要包括气象模块、建筑模块、设备系统模块、图形显示模块和数据记录模型等。该款软件非常适用于分析建筑的照明、采暖和空调能耗。在光热耦合过程模拟中，引入 Daylight Control 模块对自然采光下的照明状态进行开关控制。当自然采光下室内平均照度低于 300Lx 时，开启人工照明；当室内平均照度高于 300Lx 时，关闭人工照明；同时，根据人工照明的启闭状态也可以实时地将照明系统的散热量反馈到室内热环境，实现光热动态耦合计算的仿真过程。在能耗评价中，采用全局能耗作为评价指标。全局能耗即建筑全年运行过程中的空调能耗、采暖能耗和照明能耗之和。

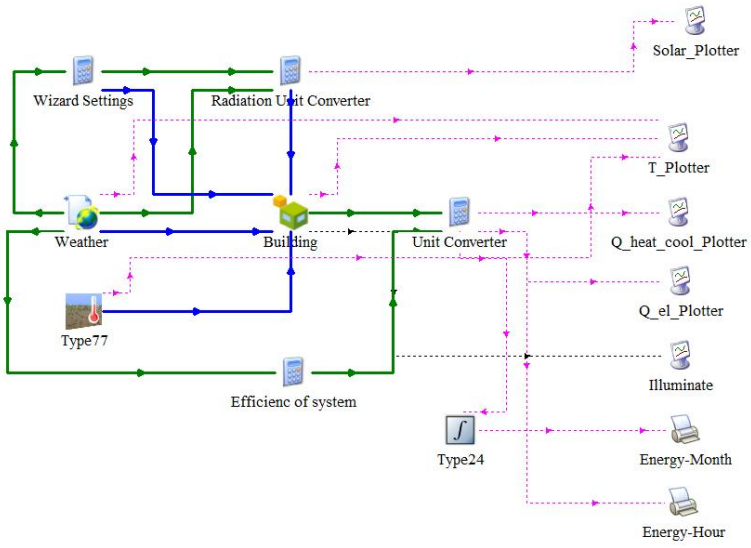


图 1　酒店全局能耗仿真计算模型

Fig.1　Global energy consumption simulation model

1.3　仿真模型基本参数

在建立建筑仿真模型时，首先提取成都某酒店标准客房作为计算原型进行建模，该标准客房尺寸为 5.0m（长）×3.6m（宽）×3.0m（高）。酒店所在地成都，地处夏热冬冷地区，根据该地围护结构的常规做法以及《公共建筑节能设计标准》[13]的相关规定，对酒店全局能耗仿真模型中建筑的各项外围护结构参数进行设置，如表 1 所示。根据实际使用要求，结合酒店的运行情况，将酒店客房的通风量设为 30m³/(人·h)，采暖和制冷均采用空调系统，室内采暖设定温度为 18℃，制冷设定温度为 26℃，空调夏季制冷送风温度为 11℃，制热送风温度为 35℃。室内使用人员为 2 人，不考虑其他设备散热。根据《建筑采光设计标准》[14]中的酒店采光标准值设置为 300Lux，照明设备采用开关控制。

表 1　外围护结构参数

Table 1　Parameters of envelope structure

围护结构	构造（由内到外）	传热系数/W/(m²·K)	厚度/mm
外墙	20mm 水泥砂浆+30mm 岩棉+20mm 水泥砂浆+200mm 加气混凝土	0.524	270
底层楼板	30mm 水泥砂浆+50mm 岩棉+25mm 水泥砂浆+5mm 素水泥+12mm 大理石	0.673	122
屋顶	60mm 钢筋混凝土+20mm 水泥砂浆+10mm 沥青混凝土+40mm 聚苯乙烯塑料板+10mm 沥青油毡纸+10mm 素水泥	0.429	150
外窗	窗户类型	双玻窗（6mm 玻璃+16mm 空腔+6mm 玻璃）	
	朝向	南向	
	窗墙比	60%	
	传热系数 W/(m²·K)	1.12	
	日射得热系数	0.66	

1.4　气象条件设置

本文以成都市典型气象年数据作为室外条件，成都市地处亚热带季风气候区，平均海拔 500m，空气密度为 1.05kg/m³，大气压为 94.5kPa，具有春早、夏热、秋凉、冬暖的气候特点，年平均气温 16℃，年降雨量约 1000mm，常年多云雾，日照时间短。

2　仿真模型准确性验证

为验证酒店全局能耗仿真计算模型的准确性，通过搭建实验台测试的方式开展了实验测试及结果对比分析。

2.1　试验台简介

在成都市西南民族大学某建筑楼顶搭建尺寸为 3.0m×3.0m×2.8m 的实验房（见图 2），开展了建筑室内外热环境数据实测。该实验房仅在南向开窗，窗户采用单玻窗，尺寸为 925mm×1200mm。为减少周围环境干扰，实验房四周无明显遮挡物。本实验房外墙和屋顶采用 1mm 铁皮+70mm 岩棉+1mm 铁皮，传热系数为 0.52W/(m²·K)；地板为 20mm 木板+18mm 玻美纤维板+20mm 木板+2mm 铁皮，传热系数为 0.30W/(m²·K)；外窗为单玻窗，传热系数为 1.12W/(m²·K)，日射得热系数为 0.66。实验中，对室内外温湿度、建筑各个朝向的太阳辐射强度以及建筑内外表面的温度进行了测试。其中室内外温湿度测量采用 Testo-174H 温湿度自记仪；建筑内外表面温度采用 Testo176 温度自记仪；太阳辐射强度则采用 TESS 太阳辐射仪。实验过程中，不考虑室内人员、照明和设备的散热。

图 2　实验测试用房

Fig.2　Testing room

2.2　仿真模型结果验证

根据实验测试用房的模型参数和实测室外环境参数数据，采用第 1 章建立的建筑热过程计算模型及方法，基于 TRNSYS 仿真计算平台对室内热环境状态进行仿真预测，并与实测室内热环境参数进行对比。图 3 给出了室内温度模拟数据与实测数据的对比结果。

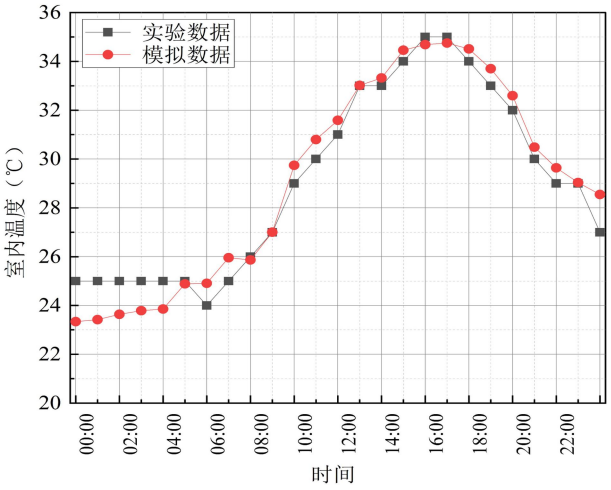


图 3　室内温度模拟数据与实测数据对比

Fig.3　Comparison between simulation results and measured data

可以看出，通过仿真模拟得到的室内温度预测结果与实验测试数据之间的变化规律极为接近，大部分误差在 1℃以内，最大误差不超过 2℃。可见，本文基于 TRNSYS 建立的用于模拟计算建筑热过程及能耗的仿真模型准确可靠。

3　外窗设计参数对全局能耗的影响

为研究外窗设计参数对酒店建筑能耗的影响，以全局能耗作为评价指标，从朝向、窗墙比、传热系数和日射得热系数等设计参数出发，基于建筑全局能耗仿真计算方法研究了不同参数对酒店建筑各部分能耗的影响规律，为酒店建筑外窗的全局节能优化指明方向和路径。

3.1　朝向对全局能耗的影响

在只有单面墙开窗且窗墙比相同（固定为 60%）的情况下，通过改变建筑朝向，仿真得到八个典型朝向条件下成都某酒店建筑单位面积采暖能耗、空调能耗、照明能耗和全局能耗的变化情况，如图 4 所示。

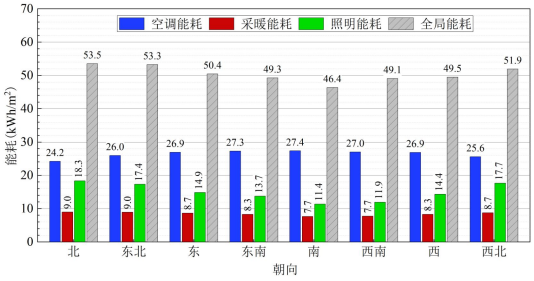


图 4　外窗朝向对建筑各部分能耗的影响

Fig.4　Influence of exterior window orientation on building energy consumption

由图 4 可知，当外窗朝南时，空调能耗最高；随着外窗朝向逐渐向北偏转，空调能耗逐渐降低，当窗户朝北时空调能耗最低，外窗朝向对空调能耗的调节潜力为 3.2kWh/m²；从采暖能耗看，其变化规律刚好与空调能耗相反，即当外窗朝北或东北方向时，采暖能耗最高，当外窗朝南或西南时，采暖能耗最低，二者之间相差 1.3kWh/m²；造成外窗朝向对建筑空调能耗和采暖能耗出现相反变化规律的原因主要是受进入室内的太阳日射得热影响。当外窗朝南时太阳光通过直射使得进入室内的太阳日射得热量显著增加，增加了室内冷负荷，降低了热负荷，进而增大了空调制冷能耗，降低了采暖能耗。反之，当外窗朝北时，太阳日设得热量的减少又会造成空调能耗的降低和采暖能耗的增加。从照明能耗看，其变化规律与采暖能耗变化规律相似，即外窗朝南时照明能耗最低，当朝向向北偏转时，照明能耗逐渐增加，造成这一现象的原因是外窗越偏向于朝南方向，越容易获得更多的自然采光，从而降低照明能耗；而偏北的方向不利于自然光的进入，尤其是直射光线入射。从照明能耗最大值与最小值的数值看，二者之间的差距约为 6.9kWh/m²。从外窗朝向对建筑能耗的调节潜力看，在成都地区，外窗对照明能耗的影响最大，节能潜力显著；其次是空调能耗；外窗对采暖能耗的影响最小。为全面评价外窗朝向对建筑总体能耗的影响，本文引入全局能耗作为评价指标。可以看出，全局能耗变化规律与照明能耗变化趋势一致；当外窗朝向为南向时，全局能耗最低，约为 46.4kWh/m²；全局能耗最大值出现在外窗朝北时，约为 53.5kWh/m²；全局能耗的节能潜力约为 7.1kWh/m²。

在以往的大量针对外窗的优化设计研究中，更多地从建筑冷热的角度出发，即仅考虑全年空调能

耗和空调能耗，忽略照明能耗的干扰。为进一步说明全局能耗对建筑外窗优化设计的重要性，本文将全局能耗与仅考虑空调能耗和采暖能耗的结果进行对比，如图 5 所示。可以看出，如果从全局能耗的角度出发，那么将外窗设置为朝南更有利于节能；而只考虑建筑冷热、不考虑建筑采光时，将引导外窗向朝北的方向发展，显然与实际情况不符，由此可见将全局能耗作为外窗优化设计的评价指标意义重大。

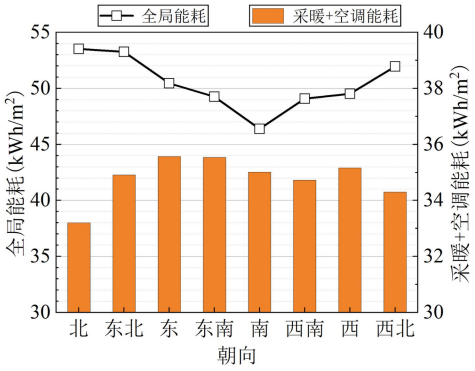


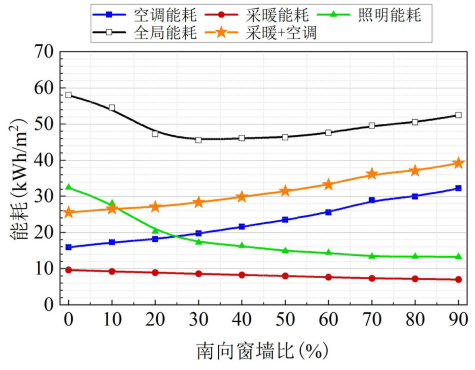
图 5　不同指标对建筑外窗优化的对比

Fig.5　Influence of different indexes on optimization results

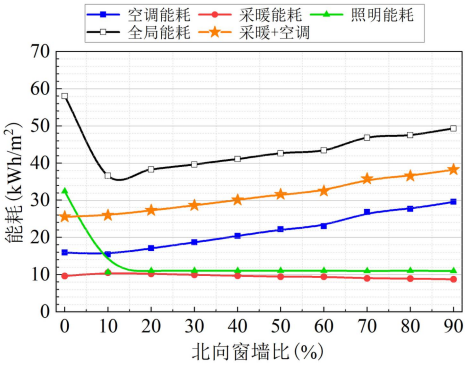
3.2　窗墙比对全局能耗的影响

在只有单面开窗时，研究得到不同朝向和窗墙比组合情况下酒店建筑采暖能耗、空调能耗、照明能耗和全局能耗的变化情况，如图 6（a）~图 6（d）。

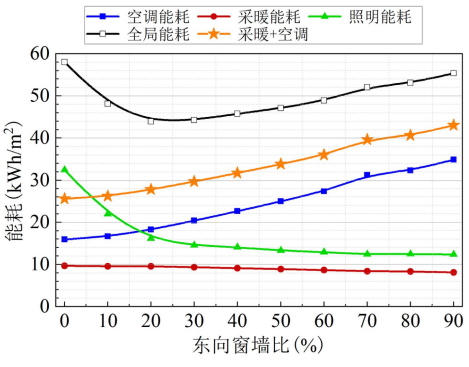
从空调能耗看，在南、北、东、西四个朝向上，空调能耗均随窗墙比的增大而增加。当窗墙比从 0 增加 90%时，南向、北向、东向、西向的酒店空调能耗分别增加 16.3kWh/m² 、13.6kWh/m² 、19.0kWh/m² 和 18.3kWh/m²。可以看出，东向和西向设置窗户对空调能耗的影响较大，其次是南向窗户，北向窗户对空调能耗的影响最小。



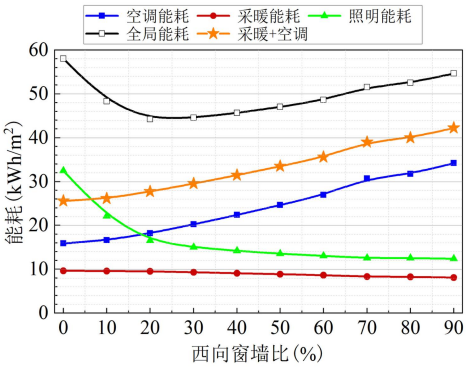
（a）南向外窗



（b）北向外窗



（c）东向外窗



（d）西向外窗

图 6　各朝向窗墙比对建筑各部分能耗的影响

Fig.6　Influence of window wall ratio on building energy consumption

采暖能耗在四个朝向上均随窗墙比的增加而逐渐降低，当窗墙比从 0 增加 90%时，南向、北向、东向、西向的酒店采暖能耗分别降低 2.6kWh/m²、1.8kWh/m²、1.5kWh/m² 和 1.6kWh/m²。可见采暖能耗在南向的降低幅度最大，其他方向的变化情况较为接近。

在南、北、东、西四个朝向上，照明能耗均随窗墙比的增加而降低，当窗墙比从 0 增加 90%时，南向、北向、东向、西向的酒店照明能耗分别降低 19.2kWh/m² 、21.5kWh/m² 、20.1kWh/m² 和

20.1kWh/m²。整体来看，随着窗墙比的变化，照明能耗的变化量明显大于空调能耗和采暖能耗，尤其在窗墙比较低时，照明能耗的变化率较大。

同样，如图 6 所示，假如按照空调能耗和采暖能耗之和作为评价指标来优化成都地区酒店外窗设计，那么将使得外窗向开小窗甚至不开窗的方向发展，而将全局能耗作为能耗评价指标，则可以看出全局能耗随着窗墙比的增加呈现先降低、后增加的变化趋势，在不同朝向存在能耗最优的窗墙比选择。这主要是由于当窗墙比较低时，照明能耗的降低率远高于空调能耗的增加率，全局能耗主要受照明能耗影响呈现下降趋势；当窗墙比超过一定比例时，照明能耗随窗墙比变化率不再明显，此时空调能耗的增加率超过照明能耗和采暖能耗的降低率之和，最终全局能耗受空调能耗的增加而增大。进一步发现，南、北、东、西四个朝向对应的能耗最优窗墙比分别为 30%、10%、20%和 20%。

3.3 传热系数对全局能耗的影响

传热系数作为影响外窗温差传热的重要指标之一[15]，主要对酒店建筑的空调能耗和采暖能耗产生影响，而对照明能耗几乎无影响。图 7 给出当外窗朝南、窗墙比为 60%时外窗传热系数对酒店全局能耗的影响情况。可以看出，随着外窗传热系数增大，酒店采暖能耗增加，这主要是由于采暖期间室内温度始终高于室外温度，窗户传热系数的增大将导致通过外窗从室内到室外的温差热损失增加，从而造成采暖能耗的增加。具体来说，传热系数每增加 0.1W/(m²·K)，采暖能耗增加 0.17kWh/m²。空调能耗随外窗传热系数的增加变化幅度较小，且规律性不明显。分析其原因可知，在空调制冷期间，白天室外温度高于室内温度，外窗传热系数增大将导致通过外窗的温差得热增加，从而增大白天空调能耗；在夜晚，由于室外温度降低，当室外温度低于室内温度时，外窗传热系数的增加又会造成空调能耗的降低，这也是很多夏热冬冷地区实施夜间通风降温的原因，最终外窗传热系数对空调能耗的影响并不显著。从全局能耗看，随着外窗传热系数的降低，酒店全局能耗首先逐渐降低，当外窗传热系数降低至 0.8W/(m²·K)左右时，全局能耗随外窗传热系数的变化不再显著。外窗传热系数在 0.8–2.8 W/(m²·K)变化时，传热系数每降低 0.1W/(m²·K)，全局能耗降低 0.19kWh/m²。

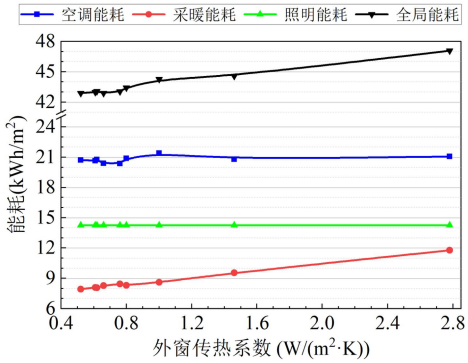


图 7 外窗传热系数对建筑能耗的影响

Fig.7 Influence of heat transfer coefficient of exterior window on building energy consumption

3.4 日射得热系数对全局能耗的影响

日射得热系数作为外窗热工设计的重要参数之一[16]，其主要通过调节室内太阳得热量来影响空调能耗和采暖能耗，同样对照明能耗几乎无影响。图 8 给出当外窗朝南、窗墙比为 60%、传热系数为 1.07W/(m²·K)时外窗日射得热系数对酒店全局能耗的影响情况。

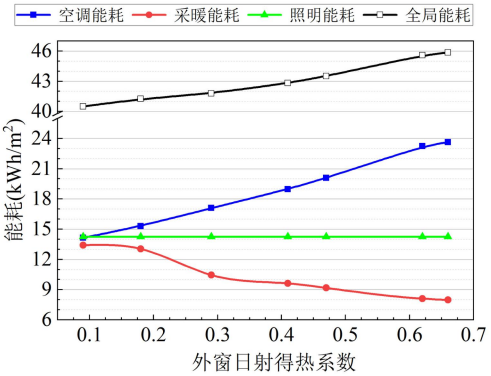


图 8 外窗日射得热系数对建筑能耗的影响

Fig.8 Influence of solar heat gain coefficient of exterior window on building energy consumption

由图 8 可以看出，随着外窗日射得热系数增大，酒店采暖能耗逐渐降低，这主要是日射得热系数的增加有助于提高室内太阳得热量，从而降低建筑采暖能耗；而空调制冷能耗则随着日射得热系数的增加而不断提高。综合来看，由于日射得热系数对空调能耗的影响大于对采暖能耗的影响，因而全局能耗则主要受空调能耗的增加而增大，具体而言，外窗日射得热系数每增加 0.1，全局能耗增加 0.94kWh/m²。

3.5 影响因素对比分析

为对比不同因素对酒店能耗的优化潜力，将各

个因素对全局能耗的节能潜力统计于表 2。从全局节能潜力看，窗墙比对酒店全局能耗的影响最大，其次是外窗朝向，最后是日射得热系数和传热系数。因此在条件允许的情况下，应优先选择调节外窗窗墙比来降低建筑全局能耗，尤其北向外窗窗墙比的调节潜力更大。就外窗朝向而言，尽管其对全局能耗的影响也较大，但对于大多数改造项目，外窗朝向往往是不可更改的。因此，除了窗墙比外，更多地应从窗户日射得热系数和传热系数方面进行优化，其中窗户日射得热系数对全局能耗的影响大于传热系数带来的变化。

表 2　各因素对全局能耗的优化潜力

Table 2　Optimization potential of each factor to global energy consumption

影响因素		全局能耗优化潜力/kWh/m^2
朝向		7.1
窗墙比	南向	12.5
	北向	21.4
	东向	14.1
	西向	13.7
外窗传热系数		4.2
外窗日射得热系数		5.7

4　结语

本文以成都某酒店建筑为研究对象，基于 TRNSYS 平台搭建全局能耗仿真计算模型，研究外窗朝向、窗墙比、传热系数和日射得热系数对建筑各项能耗的影响规律。主要得到以下结论：

（1）外窗朝向对酒店全局能耗具有重要影响，从全局节能的角度出发，应使外窗尽可能朝南或偏南向；

（2）外窗窗墙比对全局能耗的影响呈现先降低后增加的趋势，在成都地区，当窗墙比较小时，照明能耗对全局能耗的影响占据主导作用；当窗墙比较大时，空调能耗对全局能耗的影响发挥主要作用，在不同朝向设计外窗时，应根据全局能耗合理优化窗墙比；

（3）外窗传热系数对全局能耗的影响呈正相关关系，传热系数每降低 0.1W/(m^2·K)，全局能耗降低 0.19kWh/m^2。当外窗传热系数降低至 0.8W/(m^2·K)时，全局能耗随外窗传热系数的变化不再显著。因此在经济技术全面分析的情况下，合理减少外窗传热系数有助于有效降低全局能耗；

（4）外窗日射得热系数与全局能耗呈现正相关关系，日射得热系数每增加 0.1，全局能耗增加 0.94kWh/m^2，因此在成都地区应尽可能降低外窗日射得热系数；

（5）从各因素对全局能耗的影响来优化外窗设计，应优先考虑窗墙比，其次是朝向，最后是日射得热系数和传热系数。

参考文献：

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划:建标[2022] 24 号[EB/OL]. 2022-03-01[2023-10-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-03/12/content_5678698.html.

[2] JGJ 26-2019,民用建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.

[3] 中国建筑节能协会能耗专委会.中国建筑能耗研究报告（2020）[EB/OL]. 2020-11-17[2023-10-10]. https://www.cabee.org/site/content/23962.html.

[4] 江亿.我国建筑耗能状况及有效的节能途径[J].暖通空调,2005,(5):30-40.

[5] 丁勇,刘旭,丁正辽,等.不同玻璃对夏季炎热地区室内太阳辐射得热的影响分析[J].太阳能学报,2014,35(1): 177- 182.

[6] Alghoul S K, Rijabo H G, Mashena M E. Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli, Libya[J]. Journal of Building Engineering, 2017,11: 82-86.

[7] Ayşe Fidan Altun. Determination of optimum building envelope parameters of a room concerning windowto-wall ratio, orientation, insulation thickness and window type[J]. Buildings, 2022,12(3).

[8] Xue P, Li Q, Xie J C, et al. Optimization of window-to-wall ratio with sunshades in China low latitude region considering daylighting and energy saving requirements[J]. Applied Energy, 2019,233-234:62-70.

[9] Tsikaloudaki K, Laskos K, Theodosiou T, et al. Assessing cooling energy performance of windows for office buildings in the Mediterranean zone[J]. Energy and Buildings, 2012,49:192-199.

（下转第 204 页）