

基于节能优化策略的建筑幕墙设计与性能提升研究

江桂龙

浙江省建筑设计研究院有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i6.4858

[摘要] 建筑幕墙作为建筑围护结构的核心组成,其节能性能直接影响建筑整体能耗水平。本文以幕墙节能优化与性能提升为目标,构建建筑幕墙节能理论框架,系统分析能耗构成与优化设计原则。从热工性能基础出发,阐述被动式与主动式节能关键技术,建立多目标优化设计体系,提出包含目标构建、模型建立及参数化工具应用的设计方法。通过技术经济性分析、标准化建议及发展方向展望,探讨节能策略的推广价值与应用前景。为建筑幕墙节能设计提供理论支撑与实践路径,助力绿色建筑发展。

[关键词] 建筑幕墙; 节能优化; 性能提升; 被动式节能; 主动式节能

中图分类号: TU227 文献标识码: A

Research on Building Curtain Wall Design and Performance Enhancement Based on Energy-Saving Optimization Strategies

Guilong Jiang

Zhejiang Provincial Architectural Design and Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] As a core component of the building envelope, the energy-saving performance of building curtain walls directly affects the overall energy consumption level of the building. Aiming at energy-saving optimization and performance enhancement of curtain walls, this paper establishes a theoretical framework for building curtain wall energy conservation and systematically analyzes energy consumption composition and optimal design principles. Starting from the foundation of thermal performance, it elaborates on key passive and active energy-saving technologies, establishes a multi-objective optimal design system, and proposes a design method encompassing goal setting, model establishment, and application of parametric tools. By conducting techno-economic analysis, providing standardization suggestions, and outlining development prospects, it explores the promotion value and application potential of energy-saving strategies. This provides theoretical support and practical pathways for the energy-saving design of building curtain walls, contributing to the development of green buildings.

[Key words] Building curtain wall; Energy-saving optimization; Performance enhancement; Passive energy saving; Active energy saving

引言

全球能源危机与“双碳”目标促使建筑行业加速低碳转型。建筑幕墙作为建筑能耗的主要部分,其节能优化是绿色建筑发展的关键。传统幕墙设计偏重美观与结构安全,节能性能被忽视,致使建筑采暖、制冷能耗高。当前研究多聚焦单一节能技术,缺乏系统性优化设计方法,难以兼顾能耗控制与性能提升。本文针对此,从理论到应用推广开展系统研究,旨在构建科学的幕墙节能优化体系,提升综合性能,为建筑行业节能降碳提供技术支持。

1 建筑幕墙节能理论框架

1.1 幕墙能耗构成分析

建筑幕墙能耗主要由传热能耗、通风能耗及采光辅助能耗三部分构成,其中传热能耗占比最高,达60%以上。传热能耗包括通过幕墙材料的导热能耗、幕墙缝隙的渗透能耗及太阳辐射带来的得热能耗。导热能耗与幕墙材料导热系数直接相关,玻璃、金属等传统材料导热系数高,易造成室内外热量交换;渗透能耗源于幕墙密封性能不足,室外冷空气或热空气通过缝隙进入室内,增加空调系统负荷;太阳辐射得热能耗在夏季表现为额外制冷负荷,冬季则可转化为采暖增益,需结合地域气候差异化控制。通风能耗与幕墙通风设计相关,不合理的自然通风组织会增加机械通风能耗;采光辅助能耗则因幕墙采光性能不佳,导致白天需人工补光,形成额外电能消耗。

1.2 节能优化设计原则

建筑幕墙节能优化设计需遵循“地域适配、系统协同、性能优先、经济合理”四大核心原则。地域适配原则要求结合建筑所在地气候特征调整设计策略,寒冷地区强化保温性能,降低导热能耗;夏热冬暖地区侧重遮阳与隔热,控制太阳辐射得热。系统协同原则强调幕墙设计与建筑整体节能系统联动,确保幕墙与采暖、制冷、通风系统匹配,避免单一优化导致的系统冲突^[1]。性能优先原则以提升幕墙热工性能为核心,在满足结构安全与美观需求的前提下,优先选用节能材料与技术,保障保温、隔热、密封等核心性能达标。经济合理原则要求平衡节能效果与成本投入,避免过度追求高端技术导致的经济性失衡,通过技术组合实现节能效益与经济效益的最优平衡。

2 建筑幕墙节能理论基础与关键技术

2.1 幕墙热工性能基础

幕墙热工性能作为衡量建筑节能效果的核心指标,在建筑节能领域占据着举足轻重的地位,主要通过传热系数、遮阳系数、气密性及水密性等关键参数来综合体现。传热系数直观反映幕墙阻止热量传递的能力,数值越低,意味着幕墙的保温隔热性能越出色,节能效果也就越好。其大小受多种因素影响,材料的导热系数、幕墙的构造形式以及保温层的厚度等,都会对其产生重要作用。例如,真空玻璃、复合保温面板等新型材料,凭借自身独特的结构和优异的性能,能够有效降低传热系数,提升幕墙的节能水平;遮阳系数则表示幕墙对太阳辐射的阻隔能力。在夏季,为了减少室内得热,降低空调能耗,应选用低遮阳系数的材料;而在冬季,适当提高遮阳系数,则可充分利用太阳能进行采暖。气密性用于衡量幕墙的密封性能,以单位时间内通过单位面积的空气量为指标;优良的气密性可有效减少空气渗透带来的能耗,这需要从密封胶的合理选型、接缝的精细设计以及施工工艺的严格把控等方面加以保障。水密性虽不直接影响能耗,但一旦出现漏水情况,会破坏保温层性能,间接增加能耗,因此需与气密性协同优化。

2.2 节能优化关键技术

2.2.1 被动式节能技术

被动式节能技术通过优化幕墙构造与材料选型实现能耗控制,无需额外能源输入,是节能优化的基础。材料节能技术以低导热、高保温材料为核心,玻璃幕墙采用Low-E中空玻璃,其镀膜层可反射红外辐射,降低传热系数;面板幕墙选用复合保温板,通过芯材保温层阻断热量传递。构造节能技术包括遮阳系统与通风构造设计,可调节外遮阳百叶根据太阳高度角自动调整角度,夏季完全展开遮挡阳光,冬季收起利用太阳能;幕墙通风构造采用可开启扇与热压通风设计,夏季利用室内外温差实现自然通风,减少机械通风能耗。此外,通过幕墙与建筑体型的协同设计,利用建筑自身形态引导风环境,提升自然通风效率。

2.2.2 主动式节能技术

主动式节能技术凭借引入先进的能源利用与智能控制设备,显著提升了幕墙节能的主动性与精准性,为建筑节能开辟了新

的有效途径。光伏幕墙技术巧妙地将太阳能电池板与幕墙结构相结合,为建筑内部的照明系统提供电力,还能对一些辅助动力设备供电,实现一定程度的能源自给自足。其发电效率受到多方面因素影响,光伏组件的转化率是关键因素之一,转化率越高,发电能力越强;安装角度也至关重要,合适的角度能最大程度接收太阳辐射;另外,光照条件的好坏直接决定了发电量的多少,充足且稳定的光照能让光伏幕墙发挥最佳效能;智能控制技术则通过传感器与控制系统紧密联动,如同给幕墙装上了“智慧大脑”。它能实时监测室内外的温度、光照强度以及风速等参数,依据这些数据自动调节遮阳百叶的开合程度、可开启扇的开启角度以及光伏组件的朝向,确保幕墙始终处于最优的节能状态;主动式通风技术采用带热回收功能的幕墙通风系统,在排出室内空气时,能回收其中的热量或冷量,用于预热或预冷进入室内的新鲜空气,有效降低空调系统的负荷,在严寒或酷热地区节能效果尤为显著^[2]。

3 基于多目标优化的幕墙设计方法

3.1 设计目标体系构建

基于多目标优化的建筑幕墙设计目标体系是一个综合性的框架,它全面涵盖了节能性能、使用性能、经济性能以及环境性能四大核心维度。这四大目标并非孤立存在,而是相互关联、彼此制衡,共同构成一个有机的整体。节能性能目标聚焦于降低幕墙的传热系数,提升遮阳系数与实际需求的适配性,并且会根据不同气候区的特点明确具体的指标阈值。例如,在寒冷地区,为减少室内热量散失,幕墙传热系数需严格控制在 $\leq 1.8\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。使用性能目标则着重保障采光均匀度、视野通透性以及隔声性能,确保在实现节能优化的同时,不会对建筑的使用体验造成负面影响,其中采光均匀度需达到0.7以上,隔声量要 $\geq 30\text{dB}$ 。经济性能目标主要控制设计、施工以及运维等全流程的成本,设定合理的成本上限与投资回收期阈值。环境性能目标则把重点放在材料的环保性与可回收性上,优先选用低污染、高回收利用率的材料,从而减少建筑在整个全生命周期内对环境产生的不良影响。

3.2 多目标优化模型

多目标优化模型是实现幕墙综合性能提升的关键手段,它以各维度目标作为约束条件,通过巧妙的权重分配与目标函数构建来达成综合优化的目的。在确定各目标权重时,采用层次分析法,充分结合专家评分与丰富的工程实践经验。经过综合考量,将节能性能权重设定为0.4,使用性能为0.3,经济性能为0.2,环境性能为0.1,以此突出节能在整个设计中的核心地位。在构建目标函数时,把各性能指标进行量化处理,节能性能用能耗降低率来表示,使用性能通过综合体验评分来体现,经济性能以成本控制率进行衡量,环境性能则用环保效益系数来表征。随后,运用非支配排序遗传算法对模型进行求解,从众多方案中筛选出Pareto最优解,这些解代表的是满足各目标平衡的最优设计方案,能够有效避免因单一目标优化而导致的性能失衡问题,为幕墙设计提供科学合理的决策依据。

3.3 参数化设计工具

参数化设计工具为多目标优化模型的实际应用提供了坚实的技术支撑,它能够实现设计参数与性能指标之间的实时联动与优化。采用Revit与Grasshopper协同平台,将幕墙的材料类型、构造尺寸、遮阳角度等关键设计参数转化为可灵活调控的参数,进而建立起参数化模型。通过插件与EnergyPlus能耗模拟软件进行链接,输入特定地域的气候数据,就能够实时模拟不同参数组合下幕墙的能耗、采光等各项性能指标^[3]。另外,参数化工具还具备强大的功能,支持设计方案的批量生成与对比分析,能够自动筛选出符合多目标要求的方案,大大提升了设计的效率与精准度,推动幕墙设计从传统的“经验设计”模式向“数据驱动设计”模式转变,为建筑幕墙的节能优化设计注入新的活力。

4 节能优化策略的推广与应用前景

4.1 技术经济性分析

对节能优化策略进行技术经济性分析,需从初期投资与长期收益这两个关键维度展开综合评估。在初期投资层面,节能幕墙相较于传统幕墙,成本会有15%-25%的增加。这主要是因为节能幕墙需要投入更多资金用于节能材料和智能设备。例如,Low-E中空玻璃的价格比普通玻璃要高出30%,而光伏幕墙的成本更是居高不下。不过,从长期收益来看,节能优化带来的效益十分显著。节能优化措施能够使建筑的年能耗降低30%-40%,按照商业建筑年均能耗标准来计算,每万平方米的建筑每年可节约电费约15万元。此外,节能幕墙还能提升建筑的舒适度和附加值,有助于建筑获得绿色建筑认证,进而提高租金或销售价格。通过综合测算,节能幕墙的投资回收期通常在5-8年。而且,随着节能技术的不断成熟和材料价格的逐渐下降,投资回收期还将进一步缩短,其技术经济性优势十分突出。

4.2 标准化与规范化建议

要推动节能优化策略的广泛推广,完善标准化与规范化体系是必不可少的。首先,应制定差异化的幕墙节能标准。结合不同气候区的特点以及建筑类型的差异,明确具体的节能指标和技术要求。比如,在夏热地区,强制要求设置外遮阳系统;在严寒地区,规定保温层的最小厚度。其次,建立一套完整的节能幕墙技术标准体系,对节能材料的选型、构造设计、施工工艺以及验收流程等方面进行规范,明确光伏幕墙、智能幕墙等新技术的应用规范。要加强标准的执行监管力度,将幕墙节能性能检测纳

入建筑节能验收的强制环节,对于未达到节能标准的项目,坚决不予通过验收^[4]。此外,还应编制节能幕墙设计图集与技术导则,为设计师提供切实可行的实操参考,推动节能技术的标准化应用,降低设计与施工的难度。

4.3 未来发展方向

建筑幕墙节能优化技术在未来将朝着“智能化、集成化、低碳化”的方向蓬勃发展。在智能化方面,将融合人工智能与物联网技术,开发出自适应智能幕墙。这种幕墙能够通过机器学习算法对建筑能耗规律进行深入分析,自主优化遮阳、通风以及光伏系统的运行模式,实现“预测性节能”,让建筑更加智能、高效地利用能源。在集成化方面,将推动幕墙与建筑能源系统、室内环境控制系统进行深度融合,构建“幕墙-能源-环境”一体化系统,使幕墙成为建筑能源网络的重要节点,实现能源的高效整合与利用。在低碳化方面,将加大研发力度,推出新型低碳节能材料,如生物基复合材料、自修复密封胶材料等,降低材料生产阶段的碳排放;同时,推广幕墙全生命周期设计理念,从材料选型、施工到回收利用的全流程严格控制碳排放,助力建筑实现碳中和目标。

5 结束语

本文围绕建筑幕墙节能优化与性能提升展开系统研究,构建了包含能耗分析、原则确立的理论框架,阐述了热工性能基础与被动式、主动式节能关键技术,提出基于多目标优化的设计方法,并探讨了技术推广路径与发展方向。研究表明,通过材料升级、构造优化与智能控制的协同应用,可显著提升幕墙节能性能,降低建筑能耗。未来,随着智能化与低碳化技术的融入,建筑幕墙将从被动围护结构转变为主动节能单元,为绿色建筑发展提供核心支撑,助力实现建筑行业碳达峰与碳中和目标。

[参考文献]

- [1]李凯.新基建背景下绿色建筑低碳节能设计研究[J].佛山陶瓷,2025,35(06):86-88.
- [2]徐明哲,江畔.寒冷地区建筑造型优化与节能设计协同策略研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(16):86-88.
- [3]吴伟,李洪波.高层建筑中大型幕墙工程设计与施工关键技术研究[J].建筑机械,2025,(05):38-42.
- [4]赵新雨,王琦.建筑幕墙绿色节能设计策略——以雄安中绿新时代广场为例[J].城市建筑空间,2025,32(3):31-35.