

绿色建筑背景下建筑幕墙设计的节能性能优化路径探析

陆明波

广东 广州 510000

DOI:10.61369/UAID.2026030037

摘 要： 在绿色建筑的大背景之下，建筑幕墙朝着生态表皮方向转变，需要将被动节能策略与主动技术进行整合。开展设计时结合地域气候对参数（像传热系数、遮阳系数）予以优化，运用高性能材料以及断热桥构造，整合智能控制系统和BIM技术。通过国内外实际案例对系统集成的节能成效进行验证，其在经济和环境方面均展现出明显效益，促使幕墙由被动节能朝着主动智能节能方向转变，为实现绿色建筑目标提供帮助。

关 键 词： 绿色建筑；建筑幕墙；节能设计

Energy Saving Performance Optimization Path of Building Curtain Wall Design under the Background of Green Building

Lu Mingbo

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Under the background of green building, the building curtain wall is changing towards the direction of ecological skin, which requires the integration of passive energy-saving strategy and active technology. During the design, the parameters (such as heat transfer coefficient and shading coefficient) are optimized in combination with the regional climate, high-performance materials and heat break bridge structure are used, and intelligent control system and BIM Technology are integrated. The energy-saving effect of system integration is verified by actual cases at home and abroad, which shows obvious benefits in terms of economy and environment, and promotes the transformation of curtain wall from passive energy-saving to active intelligent energy-saving, providing help for the realization of green building goals.

Keywords： green building; building curtain wall; energy saving design

引言

随着全球碳中和目标的推行，建筑幕墙身为建筑围护结构的核心构件，其节能性能的优化已然成为绿色建筑发展的主要话题。2022年发布的《十四五建筑节能与绿色建筑发展规划》清晰指出，要提高建筑围护结构的热工性能，促进光伏建筑一体化等技术的运用，为建筑行业碳减排提供帮助。传统幕墙设计主要关注美学和结构安全，较难符合新时代的节能要求。在绿色建筑的大背景下，幕墙要融合被动式节能策略和主动智能技术，实现热工性能、视觉舒适度以及可再生能源利用的多目标协同。文章通过梳理节能原理、技术情况以及国内外典型实例，研究设计参数优化、智能控制系统整合等途径，为幕墙节能设计提供理论支持与实践参考，促进建筑幕墙朝着低能耗、智能化方向转变，帮助绿色建筑目标实现。

一、建筑幕墙设计概述

（一）绿色建筑背景下的建筑幕墙设计概念

绿色建筑观念以全生命周期资源高效运用、环境负荷最低化及人居环境提高为核心，促使幕墙由传统围护部件向生态调节型建筑外皮转变。常规幕墙设计大多关注美学和结构安全，在绿色建筑的背景下，设计要融合被动式节能和主动式技术，建立生态表皮系统。幕墙作为建筑物和外部环境的分界，通过材料挑选、构造改良以及技术整合，实现自然采光和通风的充分运用，同时

减少建筑能耗与碳排放。举例而言高性能 Low-E 玻璃、光伏一体化组件以及动态遮阳系统的运用，要根据地域气候特性开展参数化设计，权衡采光需求和热损失管控。该概念推动幕墙设计由单一功能朝着多目标协同的方向转变，为提高建筑整体节能性能提供主要支撑^[1]。

（二）幕墙设计在节能建筑中的功能定位

幕墙身为建筑围护结构的主要部分，直接作用于建筑整体能耗以及室内热环境品质。经由恰当的材料挑选、构造规划与技术整合，幕墙能够确实降低建筑在采暖、制冷以及照明方面的能

耗,是实现建筑节能目的的主要步骤。当代节能幕墙要兼顾透光性和隔热功能,通过优化玻璃种类、框架材质以及密封体系,减少热量传导与空气渗漏,降低空调系统负载^[2]。幕墙设计要结合气候区域特征,通过遮阳体系、自然通风这类被动式设计方法提高能源利用效能。幕墙的节能性能要和建筑整体设计相符合,运用数字化模拟技术来优化设计参数,保证全生命周期的节能效益实现最大化。

二、节能性能理论与技术

(一) 节能原理与指标体系

建筑节能的根本原理是以热力学定律作为根据,通过减少能耗需求以及提高能源利用效率实现节能目的。幕墙节能的原理是围绕降低热量传递来进行的,包括对传热、辐射以及空气渗透的控制。在传热领域,通过优化热工特性来降低冬季热量散失以及夏季热量传入;在辐射领域,运用遮阳体系减少太阳辐射热的进入;在空气渗透方面,通过提高气密性来降低室内外的热交换。性能指标体系可为节能设计给出定量参考,常见指标包括传热系数、遮阳系数、可见光透射比、气密性等等级。热传递系数越低,保温特性越好;遮阳系数越小,遮阳特性越优;可见光透射比要在节能和采光之间实现平衡^[3]。

(二) 建筑节能技术现状及趋势

当下建筑节能技术已建立多方面应用格局,围护结构保温隔热工艺通过真空玻璃、相变材料等运用,把传热系数降低至 $0.8\sim 1.2\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ^[4]。可再利用能源集成技术像光伏幕墙的普及程度逐年提高,部分绿色建筑可再利用能源的使用率达到20%以上。智能控制技术通过BIM和传感器协同运作,让空调系统能耗下降15%~25%。未来发展关注技术协同与智能走向,把主动节能和被动设计充分结合,通过AI算法对能源调度进行优化。零碳建筑技术系统会成为主要方向,通过整合光伏与建筑一体化、地源热泵等技术,促使建筑行业朝着碳中和目标前行。

三、建筑幕墙设计的节能优化策略

(一) 设计参数优化

1. 材料选择与结构设计优化

设计参数的优化要根据气候区热工要求对传热系数、遮阳系数等指标加以调整,通过模拟软件对窗墙比进行优化。在材料挑选方面,具备高性能的Low-E玻璃、真空玻璃能够有效降低传热损耗,保温特性出色的金属复合板可加强热工性能。结构设计重点进行断热桥构造,降低冷桥现象,配备可调控的遮阳体系,动态适配太阳角度的改变。双层幕墙体系通过空气间层的热缓冲效应来降低建筑物能耗,其通风方式要与自然通风策略相结合。材料和结构协同开展优化工作,要通过全生命周期评估,同时兼顾节能需求与经济可持续性^[5]。

2. 能耗模拟与性能预测

能耗模拟方法通过建立建筑能耗模型,针对幕墙热工特性、

采光效能开展定量分析,预估不同方案情形下的能耗状况以及节能潜力^[6]。通过调节传热系数、遮阳系数、玻璃种类等参数,运用模拟工具分析不同搭配对全年能耗的作用,挑选出最优设计方案。效能预估根据模拟成果评定实际节能成效,给设计抉择提供数据支撑,保证设计规划符合绿色建筑规范,促使幕墙朝着低能耗、高舒适的方向迈进。

(二) 系统集成与智能控制

1. 智能控制系统在能耗管理中的应用

智能控制体系通过整合环境传感器、幕墙执行部件以及中央控制单元,建立起闭环控制系统。当光照强度超出阈值时,自动对遮阳百叶的角度进行调节,以减少辐射热。在夜间根据温差来控制通风口的开启,通过自然通风。有办公建筑实例表明,运用智能控制系统之后,幕墙能耗下降约25%,热舒适度提高18%^[7]。系统通过数据挖掘来分析能耗规律,对季节性能耗需求进行预测并提前优化策略,实现幕墙能耗的精细化管控,还与建筑能源管理系统开展集成,促使幕墙由被动节能向主动智能节能转型。

2. 建筑信息模型在设计优化中的应用

BIM技术通过搭建包括几何、材料、性能等多方面数据的参数化模型,为幕墙节能优化提供集成化的平台。设计环节能够实现多专业协同作业,通过参数化手段对材料热传导系数、遮阳构件角度等加以调整,同时模拟不同方案的能耗指标。通过BIM能耗模拟插件能够精确算出年空调负荷,经过迭代调节双层幕墙空腔厚度或者通风策略,使建筑能耗降低15%以上^[8]。BIM可实现全生命周期数据的动态更新,从设计前期评估到施工预制精准度把控,再到运营阶段能耗监测,建立起闭环优化系统,提高幕墙长期节能成效。

四、案例分析及应用实践

(一) 国内外案例对比分析

1. 国内绿色建筑幕墙设计案例解析

国内绿色建筑幕墙设计案例分析专注典型项目的节能实践情况,以深圳平安金融中心作为例子,其双层呼吸式幕墙体系通过内层玻璃和外层穿孔金属板构成空气间层,夏季运用自然通风把热量带走,冬季封闭间层降低热损失,搭配光伏玻璃幕墙年发电量可达1.2万度,相较于传统幕墙节能率提高35%^[9]。上海中心大厦运用单元式玻璃幕墙,通过Low-E玻璃(传热系数 $0.8\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)和遮阳百叶的联合控制,实现夏季遮阳率超60%,冬季透光率提高25%,年空调能耗减少22%。北京中国尊大楼的光伏幕墙和通风系统的集成设计,把光伏板当作幕墙的外层材料,在发电的同时通过背板通风通道来调节室内温度,每年的节能效益达到400万元,证实幕墙材料与系统集成对节能性能的提高功效。这些事例显示,国内绿色幕墙设计已从单纯材料挑选转变为系统集成优化,通过被动式设计和主动技术的融合,实现节能目的与建筑功能的协同。

2. 国外节能幕墙设计成功经验

国外节能幕墙设计的成功案例重点展现为技术整合和地域适

配性的紧密融合。德国柏林索尼中心运用双层呼吸式幕墙，通过内层玻璃和外层玻璃之间的空气腔建立自然通风体系。在夏季利用热压效应将热空气排出；到冬季关闭通风口以形成保温层。其传热系数K值低至 $1.5\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，相较于传统幕墙节能约35%^[10]。日本东京晴空塔的单元式幕墙运用高性能Low-E玻璃和真空层构造，搭配光伏玻璃组件，在实现透光要求的同时实现太阳能发电，年发电量为幕墙面积的8%，进一步减少建筑能耗。美国芝加哥水塔广场大厦通过动态遮阳系统和智能控制系统协同运作，根据实时的太阳辐射强度自动调整遮阳百叶的角度，确实降低夏季空调的负荷，经检测其节能效果达到LEED白金级认证标准。这些实例的共同之处是把被动式节能技术（像双层幕墙、遮阳体系）和主动式技术（例如光伏集成、智能管控）相融合，并且全面考量气候特性开展有针对性的设计，为绿色建筑幕墙的节能优化给出可参考的技术途径与实践模式。

（二）技术应用与实施效果评估

1. 节能技术在幕墙工程中的应用效果

以位于上海的某超高层办公楼幕墙项目为例，此项目运用双层呼吸式幕墙搭配Low-E中空玻璃技术。由实测数据表明，在夏季其制冷能耗相较于传统单层玻璃幕墙减少32%；冬季采暖能耗降低28%，全年综合能耗大约下降30%。对节能效果产生影响的主要因素包括幕墙结构设计的气密性能（此项目气密性能达到GB/T 15227-2019标准的8级）、Low-E玻璃的遮阳系数（把控制在0.35）以及可见光透射比例（保持在0.6以上），并且幕墙通风系统的智能控制方案（根据室内CO₂浓度与室外温湿度自动调整换气频次）进一步提高节能成效。另一个案例是深圳的某绿色商业建筑，该建筑运用光伏玻璃幕墙和动态遮阳系统相结合的方式，光伏组件每年的发电量能达到 $1200\text{kWh}/\text{m}^2$ ，动态遮阳帘会根据太阳高度角自动调节角度，在夏季能够减少45%的太阳辐射热进入室内，进一步让空调系统的负荷降低25%。此案例里光伏组件的转化效率（18.5%）、遮阳体系的响应速率（≤5秒）以及幕墙和建筑能源管理系统的联动状况，是影响节能成效的主要因素。从上述案例能够看出，节能技术的应用成效要通过多技术协作以及精准的参数把控来实现，并且要结合建筑所在地区的气候特点（例如上海显示出夏热冬冷的气候，深圳则是夏热冬暖的气候）开展有针对性的设计，如此才可以让节能效益达到最大化。

2. 实施过程中的能耗监测与评估

在案例分析及应用实操里，技术运用与实施成效评估要重点关注实施进程中的能耗监测与评定。以某超高层绿色建筑幕墙工程为例，该项目运用光伏玻璃幕墙和动态遮阳系统相结合的设计规划。在实施环节，在幕墙不同朝向的玻璃面板以及遮阳部件处设置温度传感器、光照强度传感器和电能计量设备，搭建实时监测网络。监测范围包含夏季制冷时段和冬季采暖时段的幕墙传热系数、遮阳系统开启与关闭状态下的室内热环境指标（例如室温、PMV值）以及光伏组件发电量，数据通过建筑能源管理系

统（BEMS）进行实时采集和分析。评估体系以《绿色建筑评价标准》作为根据，结合项目实际的能耗数据，对比设计阶段的模拟数值与实际运行数值的偏差情况，分析幕墙材料的导热系数、遮阳系统的响应延迟等要素对能耗产生的影响。结果表明此幕墙体系实际年度能耗比传统幕墙减少18.2%，光伏组件年度发电量可满足建筑12%的公共区域用电需求，证实节能设计途径的有效性。通过建立能耗监测与评估的闭环体系，为后续幕墙设计的优化工作提供数据方面的支撑，实现从理论设计至实际应用的性能落实。

（三）经济与环境效益分析

1. 成本控制与投资回报分析

以某高层办公建筑的光伏玻璃幕墙改造工程为例，初始投入比传统幕墙增加约18%，主要是由于光伏组件和智能遮阳系统的采购费用。不过项目通过优化幕墙透光率和隔热层的厚度，搭配动态遮阳调节，让建筑每年的空调能耗下降32%，照明能耗下降25%，每年运营成本减少大约12万元。此外光伏幕墙每年的发电量可达8.5万度，通过并网收益以及碳交易补贴，年收益进一步提高到9.2万元。经计算该项目静态投资回收期限为6.8年，动态回收期由于考虑资金时间价值延长到7.5年，均短于幕墙系统25年的设计使用时长。此案例显示，绿色建筑幕墙的节能设计在短期内会提高建造成本，不过通过长期运营的能耗节省以及可再生能源的收益，能够实现经济上的可行性，为项目的经济性评估提供量化的根据，证实节能优化途径在成本管控与投资回报方面的合理性。

2. 环境影响与可持续发展评估

以某超高层办公大楼为例，该建筑的幕墙设计运用双层呼吸式玻璃幕墙搭配光伏玻璃组件，通过生命周期评估（LCA）可知，幕墙在全生命周期的碳排放量相较于传统玻璃幕墙下降35%。其中光伏组件平均每年的发电量约为12万kWh，通过替代火电可减少96吨/年的CO₂排放，同时能使建筑的制冷负荷降低22%，进一步减少空调系统的能耗以及相应的污染物排放。从生态影响方面来看，幕墙材料选用可回收的铝型材（回收率能达到85%）以及低辐射的玻璃因子玻璃，降低原生资源开采给生态系统造成的破坏；通风设计改善室内空气质量，使病态建筑综合征发生率下降15%，提高使用者的健康水准。此设计通过节能技术和生态材料的融合，实现建筑运营时期碳排放与资源消耗的双项降低，符合《绿色建筑评价标准》里的可持续发展目标，为城市建筑由高耗能向低环境影响转变提供实践参考，证实幕墙节能设计在推动建筑行业碳中和进程中的重要作用。

五、总结

该文归纳绿色建筑环境下建筑幕墙设计的节能性能提高途径，通过理论研讨和案例分析，确定设计参数改良与智能控制系

统整合这两大核心策略的实践意义。设计参数的优化要结合建筑所在区域的气候特点，恰当选取幕墙材料的热工性能指标，像玻璃的传热系数、遮阳系数之类的，同时通过构造设计提高气密性与保温性，以减少建筑的能耗。智能控制系统集成依靠物联网和传感技术，实现幕墙系统的动态调控，例如按照实时光照强度自动改变遮阳装置角度，根据室内外温差优化通风方式，进一步提

高能源利用效能。相关研究成果不但为绿色建筑幕墙的设计提供理论上的指引，还为实际的工程应用提供可参考的实践经验，有利于推动建筑幕墙由被动节能向主动智能节能转变，帮助实现绿色建筑的目标。

参考文献

- [1] 成浩源. 大连绿色公共建筑运行性能分析及节能设计策略研究 [D]. 大连理工大学, 2022.
- [2] 丁永韬. 建筑幕墙施工安全风险评价研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [3] 陈菲. 严寒地区近零能耗建筑低碳节能优化设计研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2023.
- [4] 赵一帆. 基于自然光热性能的郑州地区办公建筑节能设计研究 [D]. 郑州大学, 2023.
- [5] 盛云亮. 未来气候变化情景下绿色建筑节能的适应性策略研究 [D]. 江苏大学, 2023.
- [6] 周志宏. 绿色建筑理念下的建筑节能设计探析——以万博中央商务区数码产业总部商业楼为例 [J]. 低碳世界, 2024, 14(12): 52–54.
- [7] 肖健. 绿色建筑理念下建筑节能设计研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (14): 49–51.
- [8] 李少博, 陈佳襄. 低碳理念下绿色建筑的节能设计理念与实践策略研究 [J]. 中华民居, 2024, 17(01): 80–83.
- [9] 李晨. 绿色建筑理念下建筑节能设计措施研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2022, (08): 131–133.
- [10] 赵龙, 蔡兆磊. 《绿色建筑理念下的建筑节能研究》: 高校教学楼电源节能设计 [J]. 建筑学报, 2022, (08): 125.