

建筑表皮性能化设计策略与工具研究

薛丹¹ 张滢²

1. 北京中外建建筑设计有限公司江苏分公司; 2. 南京奥体建设开发有限责任公司

摘要: 随着全球对绿色低碳发展的重视, 建筑表皮的性能化设计成了重要议题。本文深入探讨建筑表皮性能化设计的各种策略, 包括自然采光的最大化、自然通风系统的整合、利用材料和构造设计来优化热性能等。本文还深入分析了计算工具在建筑表皮性能化设计中的运用, 如采光分析、CFD模拟、能耗分析和生命周期评估。最后, 文章展望了建筑表皮设计的未来趋势, 为建筑表皮性能化设计领域提供了新的视角和思考。

关键词: 绿色低碳建筑; 建筑表皮; 性能化设计; 设计策略; 计算工具

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.05.102

一、引言

随着全球对绿色低碳发展的日益重视, 建筑行业作为能源消耗和碳排放的主要来源之一, 正面临着转型升级的压力。建筑表皮, 作为建筑内外环境能量交互的媒介, 对于居住者的生活体验、建筑物的能源效率和室内环境质量都产生了深远的影响^[1]。在绿色低碳建筑的时代背景下, 建筑表皮的性能化设计备受关注。通过采用先进的材料、创新的技术和智能化的管理系统, 性能化的建筑表皮可以有效控制建筑内部的热量和光线, 减少对传统能源的依赖, 从而大幅降低能耗和碳排放^[2]。同时, 经过精心设计的建筑表皮能够维持室内温度的稳定, 全年提供舒适的居住环境, 并通过天然采光和自然通风的引入, 提升了居住者的幸福感和生产力。因此, 建筑表皮的性能化设计不仅是响应绿色低碳发展趋势的必然选择, 也是推动建筑行业可持续发展的重要途径。

二、建筑表皮性能化设计策略

建筑表皮的性能化设计策略是综合考虑建筑的能源效率、舒适度、美观性以及环境影响的多维度设计方法, 需要建筑师、工程师的创造性合作。这包括最大化自然采光, 同时通过遮阳控制眩光和热量增益; 集成自然通风系统以调节热环境并提高空气质量; 通过高效节能材料和窗户设计来优化围护结构热性能; 设置隔音吸声材料以提高室内的安静度; 使用耐用且易于维护的可持续材料以减少环境影响。

(一) 采光与遮阳

利用自然光照明的优势不仅可以减少对人工照明的依赖、节约能源, 还被广泛认为对人的心理和生理

健康有积极影响, 如改善情绪、提高室内舒适性、增强注意力和提高工作效率。因此, 在建筑设计中优化自然光的引入、合理的设置采光口, 是提升建筑室内环境质量的关键因素。在建筑表皮层面, 玻璃选择及其性能特征至关重要^[3]。这些特征包括可见光透射率、太阳热增益系数和热传导系数(U值)。可见光透射率决定了多少自然光能穿过玻璃, 可见光透射率不宜过低, 过低时室内光线较暗, 影响室内采光效果。太阳热增益系数则衡量了玻璃阻挡太阳辐射热的能力, 而U值则涉及热损失。适当选择这些参数可以确保充分利用日光同时减少能源消耗。

此外, 建筑师在表皮设计时需综合考虑建筑物的具体位置、太阳的路径以及周围的建筑物和景观等因素。这种综合考虑有助于决定遮阳装置的最佳尺寸和位置, 如出挑、百叶窗和卷帘等。合理的遮阳设计不仅可以减少太阳直射带来的热增益, 还能在不阻挡视线的情况下提供适宜的光线, 从而进一步提升建筑的能源效率和使用者的舒适度。在表皮设计中, 还应考虑到自然光利用的动态性。随着一天中太阳高度角和一年四季太阳方位角的变化, 建筑物内的光照条件也会相应变化。因此, 设计时应采取灵活的应对策略, 如设置可调节的遮阳设施或智能玻璃, 以适应这种光照的动态变化, 实现更高效和舒适的自然光利用^[4]。

(二) 通风与散热

针对通风散热层面的表皮设计策略旨在实现高效且可持续的空气流动, 以确保室内环境的舒适性和健康性。作为生物气候设计中的要点, 通过合理规划开窗设计, 可以显著提升建筑内的自然通风效果。例如, 设计师们通过在建筑的顶部或侧面安置可开启的天窗和通风口, 利用温度和风压差异来促进自然对流通风, 减少空调的使用。同时, 随着时代的发展, 智能化设计在提升建筑通风效率方面也发挥着越来越重要的作用。借助集成的先进传感器和控制系统, 建筑能够根据内外环境的实时变化自动调节窗户和通风口的开闭状态。这种智能控制系统不仅优化了能源效率, 而且确保了无论在夏季还是冬季, 通风都能达到最优状态。通过精心设计和创新技术的应用, 建筑表皮转化为一个动态的、能够响应环境变化的交互界面^[5]。

(三) 隔热与保温

建筑表皮性能化设计在隔热和保温方面需要综合考

虑材料选择和构造设计等多方面因素，以实现高效和舒适室内环境^[6]。在材料选择方面，使用具有高热阻的环保材料（如聚苯乙烯泡沫XPS、矿物棉、泡沫板、岩棉板和纤维素等），能够有效减少外墙保温层的厚度，节约建筑材料。此外，在玻璃上使用低辐射（Low-E）涂层是提高建筑透明围护结构热性能的另一重要策略。这种涂层能显著减少热量通过玻璃传递，低辐射玻璃与其他玻璃复合形成多道密封中空玻璃，进一步减少了玻璃的综合热阻值，有效控制太阳辐射的进入和室内热量的流失，进而在冬季保温和夏季隔热方面发挥重要作用。在构造设计方面，建筑表皮的层次结构可以进一步提高隔热效果。例如，双层表皮设计，断桥窗框型材或附加隔热材料，可有效阻隔热流，同时也为室内提供额外的保温层。这种设计不仅提高了隔热性能，还有助于降低噪声污染，提升居住舒适度。

（四）隔声与降噪

建筑表皮是建筑与室外的第一道接触面，是建筑隔声与降噪的首道防线，建筑表皮性能化设计需要综合考虑室内外噪声源、吸音构造、隔声材料等多方面要素，为使用者提供安静舒适的生活、工作、生产场所。具有安静要求的房间（如住宅卧室、办公室、学校教室等）尽量远离噪声源，首先从物理距离上进行噪声隔离。如若受场地条件限制无法远离噪声源，应采用设计策略应对噪声传播，如面向噪声源一侧最大限度设置实体墙面、减少开窗面积、墙体设置隔声材料等措施。若因使用功能要求必须面向噪声源方向开设窗户，应从开窗形式、材料的选配如设置多腔中空玻璃窗、设置双层表皮等方面进行隔声降噪处理。

（五）材料选择

表皮材料的选择会影响建筑物的环境足迹和长期耐久性^[7]。通过评估材料从生产、运输、使用到最终废弃的整个生命周期对环境的影响，可以选择那些具有较低环境足迹的材料。例如，循环利用的材料或可再生材料，如竹材和木材，可以减少建筑物的隐含碳排放。使用耐用且维护成本低的材料可以减少频繁维修和更换的支出。最后，考虑到全球气候变化的挑战，建筑表皮的材料选择应着眼于适应性和弹性。面对极端天气和环境变化，使用能够适应不同气候条件、具有较强耐久性和抗灾害能力的材料变得越来越重要。例如，防水和耐高温的材料可以在极端气候条件下保护建筑，减少损害风险。建筑表皮的设计及材料的选配尚应从建筑所处的场地环境出发，如建筑周边环境优越，应增大玻璃景观面的设置、采用超白玻落地窗、设置室外露台等方式，把

自然美景引入建筑室内，实现建筑与自然的融合。若建筑周边面临主干道噪音过大等不利环境条件，则应以隔绝不利条件为主，如设置大面实墙、采用多腔密封玻璃窗等措施，减少周围环境的不利影响。

三、建筑表皮性能化设计工具

计算软件和流程的引入在建筑表皮性能化设计中起到了革命性的作用，极大地促进了对高性能建筑表皮的探索。如日照分析软件、通风分析软件、节能分析软件、碳排放分析软件、建筑全生命周期评价软件等。通过这些软件的模拟分析，可以快速的了解分析结果，更直观、方便的对分析过程进行调整，这些工具不仅提高了设计效率，还拓宽了设计的可能性范围。

（一）采光照度分析

采光照度分析在建筑表皮性能化设计中的应用是一个多维度、高度综合的课题，它涉及建筑物如何最有效地利用自然光源，以及如何通过设计来控制和优化自然光的引入。在这个过程中，计算工具的应用显得尤为关键，它们不仅能够识别日光如何进入建筑物，还能分析日光与立面元素的相互作用，从而对进入建筑的日光量进行有效控制。具体来说，这种采光照度分析工具能够模拟不同时间、季节和天气条件下，阳光穿过建筑表皮的情况。通过这些模拟，设计师可以准确预测不同区域在一天中的光照情况，从而针对性地设计窗户的大小、位置和遮阳设施，以及其他立面遮阳元素，如反光材料或可调节的遮光板。这种预测不仅有助于提高室内的自然照明水平，减少对人工照明的依赖，也能有效控制热量的引入，进而减少空调系统的能耗。同时，优化的立面设计还可以提高建筑居住者的视觉舒适度，避免由于过度的阳光直射或不均匀的光线分布导致的不适。此外，值得注意的是，采光照度分析并非一次性的过程，而是一个持续的、动态的调整和优化过程。随着建筑运营的进行，持续的监测和分析将有助于进一步优化建筑表皮的采光性能，确保其长期的能效和舒适性。

（二）气流组织模拟

在探讨气流组织模拟在建筑表皮性能化设计中的应用时，计算流体动力学（CFD）分析显得尤为关键。CFD作为一种强大的分析工具，能够模拟和分析建筑物周围以及室内的风环境，为建筑设计提供了深入的洞察。通过对建筑周围的风速和风向进行模拟，设计师可以了解特定设计如何影响空气流动，从而做出更加合理的决策。例如，通过CFD模拟，可以精确地确定开启扇、通风口和其他开口部分的最佳位置和尺寸，以优化自然通风，减少对机械通风的依赖。其次，通过模拟分析，设

设计师可以评估不同表皮设计方案对室内空气流动和温度分布的影响。例如，CFD可以帮助识别和解决建筑内部的死角区域，确保空气在整个空间中均匀流动，避免局部过热或过冷的问题。这对于创造一个健康、舒适的室内环境至关重要。

（三）建筑能耗分析

通过运用先进的能耗模拟软件，建筑师和工程师能够准确分析建筑物的能源消耗需求和立面的热行为，从而指导更高效的设计决策。建筑能耗分析使设计师能够在设计初期阶段就进行全面的能耗评估。通过模拟不同的设计方案，可以指导设计师选择合适的玻璃类型、遮阳系统和其他有助于提高建筑物整体能源效率的立面元素。此外，能耗分析还能指导建筑表皮的动态设计。现代建筑越来越倾向于采用可调节的立面系统，如智能遮阳和通风系统，这些系统能够根据外部环境变化自动调整，以最大限度地提高能源效率^[8]。能耗模拟软件能够预测这些系统在不同条件下的性能，帮助设计师优化其控制策略，实现更高效的能源使用。进一步地，建筑能耗分析还涉及建筑物与其环境之间的相互作用。通过考虑建筑位置、周围建筑和自然环境的影响，能耗模拟可以帮助设计师理解建筑在特定环境中的表现。这种全面的分析确保了设计方案不仅在理论上有效，而且在实际应用中同样高效。综上所述，建筑能耗分析在建筑表皮性能化设计中的应用是一个多维度、高度综合的过程。它不仅关注单一建筑的能效，还涉及建筑与其环境的相互作用，以及建筑使用者的舒适性和健康。

（四）生命周期评价

在建筑表皮性能化设计中，生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）的应用使得设计人员能够明确不同表皮设计方案的成本影响，进而在性能、美观和经济效益之间找到最佳平衡点。通过生命周期评价，设计师可以对不同表皮材料和系统的生命周期成本和环境足迹进行深入分析、对比，设计出最有表皮方案。这里的生命周期成本分析不仅包括初期的采购和安装成本，还包括长期的维护、操作以及最终的拆除和回收费用，是真正意义上的全生命周期。例如，某些高效能材料虽然初期成本较高，但由于其优越的节能性能和较低的维护要求，从长远来看可能更为经济有利。此外，各种表皮材料和系统在其整个生命周期中（包括原材料提取、制造、运输、使用以及最终的处置）的环境足迹也被一一评估。这种评估不仅关注碳足迹和能源消耗，还包括水资源利用、废物产生和生态影响等多个方面。设计师通过对这些方面的综合考量，可以做出更加明智的决

策，实现成本效益最大化。

四、结论与展望

随着技术的进步，建筑师和工程师正不断探索新的设计趋势和创新方法，旨在创造既具有美学价值又兼具功能性的高性能建筑表皮。未来的建筑设计将更多地集成智能技术，从而开发出能够动态适应环境条件的建筑表皮。例如，智能幕墙系统能够根据日照条件调节其表面特性，优化光线穿透同时减少热能吸收。这类系统不仅提高了居住者的舒适度，同时也降低了建筑的能源消耗。在材料技术方面，采用先进的建筑材料如纳米技术涂层，将显著提高建筑的隔热性能和自洁能力。自清洁和自修复材料的应用，将延长建筑外墙的使用寿命并减少维护成本。此外，可再生能源的集成，尤其是光伏建筑一体化（Building-Integrated Photovoltaics, BIPV）的发展，预示着未来建筑将成为能源生成的主体。预计到2050年，BIPV有望满足全球约30%的电力需求。同时，仿生学原理的应用正在启发新型建筑立面的设计，这些设计模仿自然界的高效结构，例如创造类似树叶的自遮蔽效果或模仿白蚁巢穴的通风系统。随着这些创新趋势的持续发展，我们可以期待在未来的建筑表皮设计中看到对创新、协作和可持续性的更加深入的探讨和实践。

参考文献

- [1] 陈镌, 莫天伟. 从建筑表皮到表皮建筑[J]. 新建筑, 2008(5): 7.
 - [2] 吴浩然, 张彤, 孙柏, 等. 建筑围护性能机理与交互式表皮设计关键技术[J]. 建筑师, 2019(6): 10.
 - [3] 张森. 高技术建筑玻璃表皮的生态节能性技术策略研究——以成都地区为例[D]. 西南交通大学, 2018.
 - [4] 李保峰. 适应夏热冬冷地区气候的建筑表皮之可变化设计策略研究[J]. 清华大学, 2004.
 - [5] 许世和. 珠江新城高层建筑表皮的自然通风与隔热效应研究[D]. 华南理工大学.
 - [6] 徐卫国. 建筑数字时代的性能化追随: 有厚度的结构表皮[J]. 建筑学报, 2014(8): 5.
 - [7] 宋晔皓, 王嘉亮, 朱宁, 等. 节能与舒适表皮材料的建筑性能表现及其设计应用[J]. 时代建筑, 2014(3): 5.
 - [8] 殷青, 邵滨荟, 韩昀松. 建筑自适应表皮的环境响应方法研究与应用[J]. 世界建筑, 2022(2): 8.
- 基金项目: 本文获南京奥体建设科技合作研发项目: 基于碳效协同优化的城市社区高性能复合表层设计研究(H202320474)资助