

绿色节能理念下高层建筑围护结构保温优化研究

向国胜

山东省聊城市冠县东古城镇农林水综合服务中心 山东 聊城 252525

摘要：双碳目标背景下，建筑绿色化、节能化转型成为城乡建设高质量发展的核心方向，高层建筑围护结构作为建筑热量传递的主要载体，其保温性能直接决定建筑整体能耗水平与室内热舒适环境。现阶段多数高层建筑围护结构存在保温材料适配性差、构造设计单一、窗墙比不合理、节点热桥突出等问题，导致建筑冷热能消耗偏高、节能效率不足，难以满足绿色建筑节能标准要求。为精准提升高层建筑节能保温性能，本文立足绿色节能核心理念，系统分析高层建筑围护结构传热机理与能耗特征，梳理当前外墙、门窗、屋面等围护结构保温设计与施工存在的突出问题，探究保温材料、构造形式、窗墙配比、节点构造对保温隔热性能的影响规律。结合不同气候分区工况，提出材料优选、结构构造优化、热桥治理、遮阳一体化的全方位保温优化方案，通过能耗模拟验证优化体系的节能效果。

关键词：绿色节能；高层建筑；围护结构；保温性能；能耗优化；热桥治理

Research on the Optimization of Thermal Insulation for High-Rise Building Envelope Structures Under the Green Energy Efficiency Concept

Guosheng Xiang

Comprehensive Agricultural, Forestry and Water Service Center, Donggu Town, Guan County, Liaocheng, Shandong, 252525

Abstract: Against the backdrop of the dual-carbon goals, the transition toward green and energy-efficient buildings has become a core direction for the high-quality development of urban and rural construction. As the primary medium for heat transfer in buildings, the thermal insulation performance of high-rise building envelopes directly determines the overall energy consumption level and the indoor thermal comfort environment of the building. Currently, most high-rise building envelopes face challenges such as poor compatibility of insulation materials, simplistic structural designs, an unreasonable window-to-wall ratio, and prominent thermal bridging at construction joints, which result in high heating and cooling energy consumption and insufficient energy efficiency, making it difficult to meet the energy efficiency requirements of green building standards. To precisely enhance the energy-saving and thermal insulation performance of high-rise buildings, this study, grounded in the core principles of green energy efficiency, systematically analyzes the heat transfer mechanisms and energy consumption characteristics of high-rise building envelopes; identifies prominent issues in the current design and construction of insulation systems for exterior walls, windows and doors, roofs, and other building envelopes; and explores the influencing patterns of insulation materials, structural configurations, window-to-wall ratios, and joint detailing on thermal insulation performance. Taking into account different climatic zone conditions, this paper proposes an integrated insulation optimization approach encompassing material selection, structural configuration optimization, thermal bridging mitigation, and integrated shading solutions; the energy-saving effectiveness of this optimization framework is validated through energy consumption simulation.

Keywords: Green energy efficiency; High-rise buildings; Building envelope; Thermal insulation performance; Energy consumption optimization; Thermal bridging mitigation

引言

随着我国“碳达峰、碳中和”战略持续推进，建筑行业节能降碳、绿色提质已成为高质量发展核心主线。高层建筑是现代城市建设的主要建筑形态，具有土地利用率高、空间集约性强的优势，但相较于多层建筑，其体量庞大、围护结构散热面积广，加之高空风压大、热量交换频繁，整体能耗水平更高。相关统计表明，建筑围护结构热量损耗占建筑总能耗的 40% ~ 60%，其保温隔

热性能是决定建筑节能达标率与室内居住舒适度的关键因素。

绿色节能理念摒弃了传统建筑重外观结构、轻节能运维的设计弊端，通过精细化设计与节能材料应用，实现建筑低碳可持续发展。当前国内高层建筑围护结构保温设计仍存在诸多缺陷，材料选型盲目、窗墙比不合理、热桥节点处理缺失、施工工艺不规范等问题突出，导致建筑冷热能消耗偏高，难以满足绿色建筑节能标准。

现有研究中,国外侧重围护结构热工性能多目标优化,国内多聚焦单一保温材料与施工工艺改良,针对高层建筑全围护结构的系统化保温优化研究仍存在短板。基于此,本文依托绿色节能设计准则,系统分析高层建筑围护结构传热能耗特征与工程现存问题,构建多维度保温优化体系,通过能耗模拟验证节能成效,为高层建筑新建保温设计与节能改造提供理论依据与技术参考。

1 绿色节能理念与围护结构保温核心理论

1.1 绿色节能建筑核心内涵

绿色节能建筑区别于传统高耗能建筑,核心是在建筑全生命周期内,通过科学设计、绿色材料、精细化施工与智能化管理,最大限度节约能源、减少碳排放、降低环境扰动,同时保障室内热舒适、采光、通风等居住品质。围护结构作为建筑与外界热量交换的媒介,是建筑节能的核心载体,其保温优化并非单纯加厚保温层,而是兼顾安全性、经济性、适用性与节能性的多目标优化,通过材料、构造、节点、配比的协同优化,实现建筑能耗最低、资源利用最优的绿色建设目标。

1.2 高层建筑围护结构传热与能耗特征

高层建筑围护结构主要包含外墙、外门窗、屋面、悬挑构件四大模块,热量传递以传导、对流、辐射三种方式同步进行,整体能耗呈现显著的空间与季节差异。外墙为主要散热结构,大面积墙体的热量传导是建筑冷热损耗的主要来源;外门窗隔热性能薄弱,是空气渗透与热量交换的主要通道,热损耗占围护结构总损耗的30%以上;屋面长期受太阳辐射,夏季蓄热严重,易导致顶层室内温度偏高;高层建筑高空风速大、风压高,加剧了围护结构表面对流换热速率,进一步放大热量损耗,相较于多层建筑节能管控难度更高。

同时,高层建筑梁柱、挑板、窗台等结构性热桥节点普遍存在保温断层问题,节点位置传热系数远高于标准墙体,易出现结露、发霉、热量集中流失等问题,是长期被忽视的能耗短板,也是绿色节能改造的重点管控区域。

2 高层建筑围护结构保温现存主要问题

2.1 保温材料选型适配性不足

当前多数高层建筑保温材料选型存在同质化、盲目化问题,未结合地域气候特征精准匹配材料参数。严寒、寒冷地区部分工程选用导热系数偏高的普通聚苯板,冬季保温隔热能力不足,采暖能耗大幅增加;夏热冬冷地区单一采用厚层保温材料,忽视夏季隔热与太阳辐射反射需求,夏季室内蓄热严重,节能效果有限。同时,部分工程为控制造价选用低密度、低性能保温材料,材料抗压性、耐候性差,长期使用易出现老化、脱落、失效问题,导致围护结构保温性能逐年衰减,无法满足长期节能要求。

2.2 围护结构构造设计不合理

窗墙比设计不科学是高层建筑能耗偏高的重要诱因,部分建

筑为提升采光与视觉效果,盲目增大窗墙比,大幅提升门窗热量损耗,抵消墙体保温节能效果。同时,外墙保温构造形式单一,多数采用单一外保温构造,未根据建筑朝向、风压、日照差异做差异化设计;屋面保温层厚度不足、隔热层缺失,夏季太阳辐射热量大量传入室内,造成空调能耗激增。此外,多数建筑未设置系统化遮阳构造,高空太阳辐射强度大,进一步加剧夏季室内热负荷^[1]。

2.3 热桥节点保温缺失,系统整体性差

高层建筑梁柱、楼板、窗台、挑檐等混凝土构件热桥节点密集,此类构件导热系数远高于保温材料,多数工程仅对墙体做保温处理,忽视节点热桥封堵,保温系统存在大量断层。热桥区域不仅会造成热量快速流失,还易在温差作用下产生表面结露、墙体发霉、墙体冻融等病害,破坏围护结构完整性,降低建筑耐久性与居住舒适度,严重影响整体节能效果^[2]。

2.4 施工工艺不规范,保温性能衰减快

高层建筑高空施工难度大,部分施工团队精细化管理不足,存在保温板粘贴不密实、拼接缝隙过大、锚固件外露、保护层开裂等施工质量问题。缝隙未做密封处理会形成空气对流通道,大幅提升局部传热系数;保护层开裂会导致雨水渗入、保温材料受潮失效,长期运行下围护结构保温性能持续衰减,出现“设计达标、实际失效”的问题,难以实现绿色节能建设目标^[3]。

3 绿色节能理念下围护结构保温系统化优化方案

3.1 基于气候分区的保温材料精准选型

遵循因地制宜、适配气候的绿色设计原则,结合不同气候分区特征精准优选保温材料,兼顾保温、隔热、耐候、防火多重性能。严寒及寒冷地区优先选用导热系数低、保温性能优异的聚氨酯硬泡(PU)、真空绝热板,导热系数可控制在 $0.022 \sim 0.028 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,有效阻断冬季低温渗透,提升冬季保温效果。夏热冬冷、夏热冬暖地区采用“保温材料+反射隔热涂层”复合体系,选用挤塑聚苯板(XPS)、石墨聚苯板(SEPS)作为基层保温材料,搭配高反射隔热涂层,降低太阳辐射吸收率,兼顾冬季保温与夏季隔热需求。高层建筑高空区域优先选用高密度、高粘结强度、抗风压性能优异的保温材料,避免高空脱落隐患,保障保温系统长期稳定运行。

3.2 围护结构构造参数精细化优化

科学管控窗墙比参数,依据绿色建筑节能标准分区优化,严寒地区北向窗墙比控制在0.3以内,南向适度放宽至0.45;夏热冬冷地区整体窗墙比不超过0.5,平衡采光需求与节能效果。优化门窗构造,淘汰普通双层玻璃,普及三玻两腔Low-E中空玻璃,将门窗传热系数由 $2.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 降至 $1.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 以下,大幅削弱门窗热量损耗。外墙采用差异化复合保温构造,向阳面增设隔热反射层,背阴面加厚保温层,适配不同朝向热量交换差异;

屋面采用“保温层+隔热层+防水保护层”复合构造,提升屋面蓄热管控能力,降低顶层能耗。同时配套一体化遮阳构造,高层建筑外立面设置可调式遮阳百叶,有效阻隔夏季太阳直射辐射,降低室内制冷负荷^[4]。

3.3 热桥节点全方位封堵优化

针对高层建筑梁柱、挑板、窗台、楼板等热桥密集区域,构建全方位节点保温封堵体系,消除保温断层。对混凝土梁柱外侧全包保温层,确保节点保温厚度与墙体保温层衔接一致;窗台、挑檐等悬挑构件采用保温一体板全覆盖处理,杜绝裸露热桥;楼板外立面封堵缝隙,阻断竖向热量传递。通过节点精细化优化,实现围护结构保温系统整体闭合,彻底解决热桥散热、结露发霉问题,提升围护结构整体保温均匀性与完整性^[5]。

3.4 施工工艺标准化与质量管控优化

制定高层建筑保温施工标准化流程,严控高空施工质量,保障设计保温性能落地见效。施工前对基层找平处理,确保保温板粘贴平整密实,严控板缝宽度,缝隙采用专用密封胶、保温砂浆填充封堵,杜绝空气流通通道;规范锚固件布设,确保保温板粘结牢固,适配高层建筑高空风压工况;保护层施工严控厚度与平整度,防止开裂渗水。同时建立全过程质量检测机制,采用红外热成像技术开展保温层无损检测,排查空鼓、缝隙、保温缺失等隐患,保障围护结构保温性能均匀稳定,实现长效节能。

4 优化方案节能效果模拟验证

4.1 模拟模型建立

选取夏热冬冷地区典型高层住宅建筑为研究对象,采用建筑能耗模拟软件建立仿真模型,建筑总层数26层,总建筑面积28600 m²,原始设计采用普通聚苯板单一保温构造、常规窗墙比设计,未做热桥节点优化与遮阳设计。以建筑全年冷热总能耗、围护结构平均传热系数为评价指标,对比优化前后节能效果。

4.2 模拟结果与分析

能耗模拟结果表明,优化后建筑外墙平均传热系数由原来的0.92 W/(m²·K)降至0.45 W/(m²·K),门窗传热系数大幅降低,围护结构整体保温隔热性能显著提升。建筑全年空调、采暖总能耗较优化前降低23.6%,其中夏季制冷能耗削减25.2%,冬季采暖能耗削减21.8%,节能降耗效果显著。同时,热桥节点优化彻底解决了局部热量集中流失问题,室内温度分布更加均匀,结露、发霉隐患完全消除,室内热舒适品质大幅提升。

从经济性与耐久性来看,优化后的复合保温构造适配高层建筑复杂工况,保温系统使用寿命显著延长,虽然前期建设成本略有提升,但长期节能收益可观,3~5年即可收回增量成本,兼具生态效益、经济效益与使用价值,完全契合绿色节能建筑建设要求。

5 现存优化短板与完善对策

5.1 现存短板

当前高层建筑围护结构保温优化仍存在两点突出短板。一是部分优化方案重节能、轻安全,盲目加厚保温层、选用轻质保温材料,忽略高层建筑高空抗风压、防火、抗震安全要求,存在安全隐患;二是智能化适配性不足,多数保温优化为静态构造优化,未结合建筑运行工况、季节气候变化动态调控,节能精细化程度有待提升。此外,部分老旧高层建筑改造受限于原有结构,保温优化空间有限,系统化改造难度较大。

5.2 完善对策

构建“节能+安全+耐久”三位一体的优化准则,保温材料与构造优化严格匹配高层建筑防火、抗风压规范要求,优先选用A级防火保温材料,兼顾节能性能与结构安全。推进绿色保温与智能化技术融合,结合光伏一体化、智能遮阳、智能通风技术,实现围护结构节能动态调控,进一步提升建筑节能效率。针对老旧高层改造工程,采用超薄高性能保温材料、微创施工工艺,在不破坏原有结构的前提下完成保温升级,实现老旧建筑绿色提质改造。

结论:

本文立足绿色节能建筑发展理念,针对高层建筑围护结构能耗偏高、保温性能不足的工程痛点,系统分析了围护结构传热能耗特征与现存设计、材料、构造、施工短板,构建了基于气候分区的材料优选、构造参数优化、热桥节点治理、施工质量管控的全方位保温优化体系,并通过能耗模拟验证了方案的可行性与优越性。研究得出,高层建筑围护结构保温性能受材料适配性、窗墙配比、节点构造、施工质量多重因素影响,单一保温材料升级节能效果有限,采用系统化复合优化方案可显著降低围护结构传热系数,有效削减建筑全年冷热能耗,提升室内热舒适品质,实现建筑绿色节能、安全耐久、经济高效的协同发展。

参考文献:

- [1] 焦玉婷. 基于新型保温材料技术的民用建筑围护结构节能性能优化研究[J]. 城市建设理论研究, 2025(12):89-91.
- [2] 葛鑫. 超高层绿色公共建筑围护结构节能优化方法研究[J]. 工程技术研究, 2024(8):102-105.
- [3] 袁坤. 建筑工程围护结构保温系统的节能优化与经济性分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2025(3):76-81.
- [4] 朱智, 姚基凤. 建筑围护结构热工性能的改进措施及其节能效果分析[J]. 节能技术, 2024(6):45-49.
- [5] 卢煜. 装配式建筑外围护结构节能技术研究综述[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2024(4):56-62.