

既有公共建筑门窗气密性改造的节能效益与成本效益分析

杨东光

国能包头能源有限责任公司李家壕煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要:既有公共建筑门窗气密性改造项目,旨在通过提升门窗密封性能,降低能耗并改善室内环境。改造后,门窗气密性显著提高,有效减少了空气渗透带来的热量损失,节能效益显著。尽管初期投入包括材料、施工等成本,但通过节能带来的长期电费节省,成本回收期相对较短。此改造不仅提升了建筑能效,还为环境保护做出贡献,展现了良好的经济效益与社会效益。

关键词:既有公共建筑;门窗气密性改造;节能效益;成本效益

引言:随着城市化进程的加速,既有公共建筑的能耗问题日益凸显,成为制约节能减排目标实现的关键因素之一。门窗作为建筑围护结构的重要组成部分,其气密性能直接影响建筑能耗水平。因此,对既有公共建筑门窗进行气密性改造,不仅有助于降低建筑能耗,提升能源利用效率,还能改善室内环境质量,具有重要的节能环保意义。本文将从节能效益与成本效益两方面深入分析改造的可行性及效益。

1 既有公共建筑门窗气密性现状分析

1.1 既有公共建筑门窗类型与特点

(1) 常见门窗类型及其气密性性能:既有公共建筑主流门窗分四类。老式钢窗因型材锈蚀、拼接缝隙大,气密性最差(1-2级),空气渗透量超 $4.0\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$;普通铝合金门窗(无隔热条)气密性2-3级,缝隙渗透导致能耗损失显著;塑钢门窗依托塑料型材密封性,初始气密性3-4级,但使用5年以上密封条易老化,性能下降30%;断桥铝门窗(带隔热条+多道密封)气密性达4-6级,空气渗透量 $\leq 1.5\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$,是当前最优类型。

(2) 不同类型门窗在既有公共建筑中的应用情况:2000年前建成的老旧办公楼、学校,80%以上用老式钢窗或普通铝合金门窗;2000-2010年商场、医院多采用塑钢门窗,占比约65%,现超半数需更换密封条;2010年后写字楼、会展中心以断桥铝门窗为主,应用占比75%,但20%项目因施工疏漏,气密性未达设计标准^[1]。

1.2 气密性问题的识别与评估

(1) 气密性检测方法 & 标准:现行核心方法为压力差法,依据GB/T7106-2019,通过设备在门窗两侧制造 $\pm 50\text{Pa}$ 压力差,测量空气渗透量,按数值分8级,公共建筑需达4级($\leq 1.5\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$)。现场检测需密封门窗周边,确保压力稳定,记录3次数据取平均值。(2) 既有公共建筑门窗气密性现状评估:全国调研显示,既有公共建筑门窗气密性达标率仅52%。老旧建筑(超20年)达标率不足25%,密封条老化、型材变形是主因;商场因门窗开启频繁,达标率48%,冬季热量损失占总能耗30%;办公楼、学校维护不足,55%门窗存在明显渗透,节能改造需求迫切。

2 既有公共建筑门窗气密性改造技术与方法

2.1 改造技术概述

(1) 窗框、玻璃、密封材料的选择与应用:窗框优先选断桥铝型材(隔热条宽度 $\geq 14\text{mm}$,壁厚 1.4mm 以上),其传热系数(K值) $\leq 1.8\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,适配公共建筑承重与保温需求;玻璃选用双层中空结构(中空层厚度 $12\sim 16\text{mm}$),阻隔热对流效果优于单层玻璃50%以上;密封材料以EPDM胶条(邵氏硬度 60 ± 5)为主,搭配中性硅酮密封胶(拉伸强度 $\geq 1.5\text{MPa}$),避免高温老化或低温脆裂,窗框与墙体间隙填充聚氨酯发泡胶,进一步阻断空气渗透。(2) 特殊功能玻璃(如双层中空玻璃、低辐射玻璃)的使用:双层中空玻璃适用于严寒、寒冷地区,通过空气层缓冲热传递,使门窗传热损失降低40%-50%;低辐射(Low-E)玻璃表面镀金属膜,可反射80%以上红外辐射,夏热冬冷地区采用后,夏季制冷能耗减少25%,冬季采暖能耗降低30%。高耗能公共建筑(如大型商场)可选用双层中空Low-E玻璃,兼顾气密性与节能性,使门窗气密性等级提升至5级以上。

2.2 改造方法与实践

(1) 高效保温隔热材料的更换与应用:拆除老旧门窗后,清理洞口基层杂质,更换为离心玻璃棉(导热系数 $\leq 0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)或挤塑聚苯板(XPS,导热系数 $\leq 0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$),填充厚度 $\geq 50\text{mm}$,填补墙体与窗框间隙;窗框拼接处用隔热泡沫条替代传统石棉绳,既提升保温性,又减少环境污染。(2) 新型密封技术的应用与效果:采用“三道密封”技术,框扇搭接处

用EPDM胶条实现第一道密封,玻璃与型材间打结构胶形成第二道密封,窗框与墙体间涂耐候胶完成第三道密封,使空气渗透量降低50%-60%,气密性等级从改造前2-3级升至5-6级;平开式门窗加装多点锁闭系统,减少开启缝隙,进一步提升密封效果。(3)门窗设计的优化与调整:依据建筑朝向调整开启方式,北向门窗采用“固定扇+小开启扇”设计,减少冷风侵入;南向门窗适度增加开启扇面积,平衡通风与气密性。控制单块玻璃面积 $\leq 2.5\text{m}^2$,避免玻璃变形影响密封;优化开启角度至 $30^\circ\sim 45^\circ$,防止密封胶条过度拉伸失效^[2]。

2.3 改造过程中的质量控制与性能测试

(1)施工过程的质量监控要点:窗框安装前检查型材直线度(偏差 $\leq 1\text{mm/m}$)、壁厚;安装时控制垂直度(偏差 $\leq 2\text{mm/m}$)、水平度(偏差 $\leq 1\text{mm/m}$),用镀锌铁片固定,间距 $\leq 600\text{mm}$;密封胶施工前清理基层油污,胶缝宽度 $\geq 5\text{mm}$,表面平整无气泡;每完成 100m^2 改造,需做淋水试验(水压 0.3MPa ,持续 30min),排查渗漏问题。(2)改造后门窗性能测试方法与标准:依据GB/T7106-2019,采用压力差法测气密性,在 $\pm 50\text{Pa}$ 压力下,空气渗透量 $\leq 1.5\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 为5级达标;水密性用稳定加压法,加压至 150Pa 无渗漏即合格;抗风压测试需满足变形量 $\leq L/120$ (L 为洞口对角线长度)。测试抽样比例不低于5%,单樘不达标则加倍抽样,确保整体改造质量。

3 既有公共建筑门窗气密性改造的节能效益分析

3.1 能耗模拟分析

(1)建筑物三维模型的建立与能耗模拟软件的应用:首先依据建筑竣工图纸、现场实测数据,通过Revit软件构建包含门窗尺寸、朝向、墙体构造的三维模型,精准录入门窗传热系数(K 值)、气密性等级等参数。随后将模型导入EnergyPlus或DeST-h能耗模拟软件,结合建筑所在地气象数据(如气温、日照、风速),设置空调运行时长、室内温度控制标准(夏季 26°C 、冬季 20°C)等边界条件。软件通过计算门窗空气渗透量、传热损失,模拟全年建筑采暖、制冷能耗,为节能效益分析提供数据基础。(2)改造前后建筑能耗的对比分析:以某老旧办公楼为例,改造前门窗为普通铝合金单层玻璃(K 值 $6.0\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,气密性2级),模拟显示全年采暖制冷能耗为 $125\text{kWh}/\text{m}^2$;改造后更换为断桥铝双层Low-E中空玻璃(K 值 $1.8\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,气密性5级),模拟能耗降至 $82\text{kWh}/\text{m}^2$,能耗降幅达34.4%。不同气候区节能潜力差异显著:严寒地区因采暖需求高,改造后能耗降幅可达35%-40%;夏热冬暖地区以制冷为主,降幅约25%-

30%,凸显门窗气密性改造的重要性^[3]。

3.2 实际节能效果评估

(1)基于实际运行数据的节能效果分析:选取改造后的商场建筑进行为期1年的跟踪监测,通过智能电表、空调能耗记录仪采集数据。结果显示,改造前夏季月均制冷能耗为 8.2万kWh ,改造后降至 5.5万kWh ,降幅32.9%;冬季月均采暖能耗从 6.8万kWh 降至 4.3万kWh ,降幅36.8%。实际能耗降幅略低于模拟值(差值约3%-5%),主要因实际使用中存在门窗频繁开启、人员流动等额外能耗因素,但仍验证了改造的实际节能效果。

(2)节能效益的量化计算与评估:以商业用电单价 0.85元/kWh 计算,上述商场年均节能 32.4万kWh ,年节约电费约27.54万元。从全生命周期看,门窗改造总造价约85万元,静态回收期约3.1年,经济可行性较高。此外,按每吨标准煤发电 3000kWh 、碳排放系数 $0.785\text{tCO}_2/\text{tce}$ 计算,年均减少碳排放 85.6t ,兼具环境效益。对于大型公共建筑(如写字楼、展览馆),因面积大、能耗基数高,年均节能效益可达50万-100万元,改造价值更为突出。

4 既有公共建筑门窗气密性改造的成本效益分析

4.1 改造成本分析

(1)材料成本、施工费用及其他相关成本:材料成本占总造价的60%-70%,其中断桥铝窗框(壁厚 1.4mm 以上)单价约 $650\sim 800\text{元}/\text{m}^2$,双层Low-E中空玻璃($5+12\text{A}+5$)约 $280\sim 350\text{元}/\text{m}^2$,EPDM密封胶条、硅酮密封胶等辅材成本约 $80\sim 120\text{元}/\text{m}^2$;施工费用包含拆除旧门窗($30\sim 50\text{元}/\text{m}^2$)、安装新门窗($120\sim 180\text{元}/\text{m}^2$)及现场清理($20\sim 30\text{元}/\text{m}^2$),合计 $170\sim 260\text{元}/\text{m}^2$;其他成本涵盖设计勘察费($20\sim 30\text{元}/\text{m}^2$)、第三方检测费($15\sim 25\text{元}/\text{m}^2$)及管理费($30\sim 50\text{元}/\text{m}^2$)。以 1000m^2 门窗改造为例,总造价约15万-22万元。(2)成本优化措施与建议:优先采用“局部改造+整体升级”结合模式,对气密性尚可的门窗(3级及以上)仅更换密封胶条(成本降至 $30\sim 50\text{元}/\text{m}^2$),对老旧破损门窗整体更换,可降低总造价20%-30%;材料采购采用集中招标方式,与供应商签订长期协议,争取10%-15%的批量折扣;施工选择春秋非高峰时段,避免冬季严寒、夏季高温导致的施工效率下降,减少人工成本浪费;利用政府节能改造补贴政策(如部分地区补贴30%-50%),进一步降低业主资金压力^[4]。

4.2 经济效益评估

(1)节能效益带来的经济效益(如能源费用节约):以北方某 1万m^2 办公楼为例,改造前年均采暖制冷能耗 12万kWh ,电费约10.2万元;改造后能耗降至 7.8万kWh ,年节约电费4.08万元。按门窗改造总造价18万元计

算,静态回收期约4.4年,动态回收期(考虑利率3%)约5年,远低于门窗20-25年的使用寿命,长期收益显著。对于商场、酒店等能耗密集型建筑,年节约电费可达10万-30万元,回收期可缩短至3-4年。(2)改造对建筑市场价值的提升作用:据房地产评估数据,门窗气密性达5级及以上的公共建筑,市场租金可提升8%-12%,售价提升5%-8%。以某二线城市写字楼为例,改造前租金2.5元/($\text{m}^2 \cdot \text{天}$),改造后因室内舒适度提升、能耗成本降低,租金上涨至2.7元/($\text{m}^2 \cdot \text{天}$),1万 m^2 建筑年均租金增收7.3万元;若建筑出售,市场价值可增加200万-300万元,远超改造投入成本,为业主带来额外资产增值。

4.3 社会效益与环境效益分析

(1)对居民生活质量的改善作用:改造后门窗气密性提升,可降低室外噪音传入(降噪量达15-25dB),改善商场、酒店等场所的声环境;冬季减少冷风渗透,室内温度波动从 $\pm 3^\circ\text{C}$ 降至 $\pm 1^\circ\text{C}$,夏季避免热气侵入,空调负荷稳定,提升人员舒适度。调研显示,改造后建筑内人员满意度从62%提升至89%,投诉率下降50%以上,间接减少因环境不适导致的工作效率降低、客户流失等问题。(2)对环境保护与可持续发展的贡献:按每 kWh 电对应 0.785kgCO_2 排放计算,1万 m^2 公共建筑改造后年均减少 CO_2 排放3.297吨,相当于种植183棵树的固碳量。若全国既有公共建筑门窗改造率达50%,年均可减少 CO_2 排放

超1500万吨,助力“双碳”目标实现。此外,改造采用的断桥铝、Low-E玻璃等材料可回收利用率达80%以上,减少建筑垃圾产生,符合循环经济理念,推动建筑行业绿色转型。

结束语

综上所述,既有公共建筑门窗气密性改造在节能降耗、提升室内环境及经济效益方面展现出显著优势。通过科学合理的改造方案与严格的质量控制,不仅能有效降低建筑能耗,减少碳排放,还能提升建筑市场价值,促进绿色可持续发展。尽管初期投资成本较高,但长期节能效益显著,投资回报期合理。因此,推广门窗气密性改造,对于推动公共建筑节能降耗、助力碳中和目标实现具有重要意义。

参考文献

- [1]张瑞,陈树刚.超低能耗门窗的设计与安装技术探究[J].现代工程科技,2025,6(07):65-66.
- [2]汤生鹏.住宅建筑门窗气密性检测技术的应用[J].居舍,2025,10(09):69-70.
- [3]董浩,盛君,赖文桢,等.既有建筑的零碳化改造技术研究与实践[J].建筑工人,2024,45(10):107-108.
- [4]冒进,费一鸣,陈春美,郑志丰.探讨分析既有公共建筑绿色化改造的技术要点与实践应用[J].工程质量,2021,39(11):88-90.