

老旧小区节能改造窗墙节点渗漏原因及整治技术

刘康

北京市第五建筑工程集团有限公司, 北京 100020

DOI:10.61369/ME.2026010026

摘 要 : 针对老旧小区节能改造中外墙外保温与外窗更换后出现的窗墙节点渗漏问题, 通过对某老旧小区复合 A 级硬泡聚氨酯板外保温系统的实地调研与技术分析, 识别渗漏产生的主要原因。研究发现保温层与窗框连接处的密封胶老化失效与窗台坡度设计不当及排水构造缺陷是导致渗漏的关键因素, 基于渗透机理分析, 提出包括密封材料优化选择与节点构造改进及施工工艺规范等在内的综合整治技术方案, 工程实践表明采用改进后的技术措施, 窗墙节点的防水性能显著提升, 渗漏现象得到有效控制, 为同类工程提供技术参考。

关 键 词 : 老旧小区改造; 外墙外保温; 窗墙节点; 渗漏治理; 聚氨酯板

Reasons for Window-Wall Joint Leakage in Energy-saving Renovation of Old Residential Areas and Remediation Techniques

Liu Kang

Beijing Fifth Construction Engineering Group Co., Ltd., Beijing 100020

Abstract : In response to the leakage problems at window-wall joints that occurred after the external wall insulation and replacement of exterior windows in old residential areas, through on-site investigation and technical analysis of a composite A-level rigid polyurethane board external insulation system in an old residential area, the main causes of leakage were identified. The study found that the aging and failure of sealant at the connection between the insulation layer and the window frame, improper design of the window sill slope, and defects in the drainage structure were the key factors causing leakage. Based on the analysis of the penetration mechanism, a comprehensive improvement technical solution including the optimization of sealing materials, the improvement of node construction, and the formulation of construction process specifications was proposed. Engineering practice has shown that by adopting the improved technical measures, the waterproof performance of window-wall joints has significantly improved, and the leakage phenomenon has been effectively controlled. This provides technical reference for similar projects.

Keywords : old residential area renovation; external wall insulation; window-wall joint; leakage treatment; rigid polyurethane board

引言

随着我国城市化进程的加快及建筑节能标准的不断提高, 老旧小区的节能改造已成为城市更新的重要组成部分。在改造过程中, 外墙外保温系统的应用与外窗的更换是提升建筑能效的核心措施, 然而窗墙节点作为外围护结构的薄弱环节, 在改造后常出现渗漏问题, 不仅影响居住舒适度还可能导致保温材料性能下降与结构损伤, 复合 A 级硬泡聚氨酯板因其优异的保温性能及防火等级被广泛应用于老旧建筑改造, 但其与窗框连接部位的防水处理技术要求较高, 深入研究窗墙节点渗漏的成因机理, 开发针对性的整治技术, 对于保障改造工程质量及延长建筑使用寿命具有重要意义。

一、复合 A 级硬泡聚氨酯板外保温系统窗墙节点渗漏机理

(一) 聚氨酯板与窗框界面特性分析

复合 A 级硬泡聚氨酯板与窗框连接界面存在显著的材料特性差异, 导致界面结合部位成为渗漏高发区域。聚氨酯板材料具有

较低的线膨胀系数, 约为 $2.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, 而铝合金窗框的线膨胀系数为 $2.3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, 钢窗框则达到 $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。这种差异使得在温度变化过程中两种材料产生不同幅度的热胀冷缩, 因而在界面处形成微小缝隙, 同时聚氨酯板表面密度较高而内部多孔结构明显, 与窗框材料的粘结性能受到表面处理工艺与环境条件的显著影响, 故而界面结合强度往往难以满足长期密封要求 (见表 1)。

表1 窗墙节点主要材料物理特性对比

材料类型	线膨胀系数 ($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)	导热系数 (W/ $\text{m} \cdot \text{K}$)	表面密度 (kg/m^3)
聚氨酯板	2.5	0.024	35-40
铝合金窗框	2.3	237	2700
钢窗框	1.2	50	7850

(二) 窗墙节点主要渗漏通道分析

窗墙节点的渗漏通道主要集中在窗框与保温层连接部位及窗台下沿排水构造以及窗框四周的密封胶缝隙^[1]，保温层与窗框之间的构造缝隙是最主要的渗漏路径^[2]，特别是窗台部位由于承受雨水冲刷与重力作用，渗透压力显著增大。窗框周边的密封胶在紫外线照射及温度循环作用下逐渐老化，失去弹性与粘结性能，形成了连续的渗漏通道，此外窗台坡度设计不当或排水孔堵塞导致积水现象，使得渗透压力持续作用于薄弱部位，加速渗漏的发生与扩展。

(三) 温度变形对密封性能的影响机制

温度变化引起的材料变形是影响窗墙节点密封性能的关键因素，在日温差与季节温差作用下，不同材料的差异变形在界面处产生剪切应力及拉伸应力，使得密封材料承受反复的应力循环，当应力超过密封材料的弹性极限时，就会产生永久变形或开裂现象因而形成渗漏通道。特别是在夏季高温条件下，聚氨酯板表面温度达到60-70℃，而窗框温度由于导热性能差异相对较低，这种温度梯度进一步加剧界面变形的复杂性，导致密封失效的风险显著增加。

材料的温度变形量计算是分析密封性能的基础，根据热膨胀理论，材料在温度变化时的线性变形量可用下式表示：

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T \tag{1}$$

式(1)中： ΔL 为材料的线性变形量(mm)， α 为材料的线膨胀系数($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)， L_0 为材料的初始长度(mm)， ΔT 为温度变化量($^{\circ}\text{C}$)。

通过该公式计算不同材料在相同温度条件下的变形差异，为密封材料的选择与节点构造设计提供理论依据，当聚氨酯板与窗框材料的变形差超过密封胶的弹性变形能力时，就会发生密封失效。

二、某老旧小区改造工程渗漏调研分析

(一) 工程概况与改造方案

本研究以北京市某老旧小区改造项目为典型案例进行深入研究，该小区建成于1997年，共有8栋住宅楼，总建筑面积5.45万平方米，涉及住户864户。改造工程采用复合A级硬泡聚氨酯板外保温系统，保温层厚度50mm，外窗全部更换为断桥铝合金中空玻璃窗，改造过程中发现窗墙节点渗漏问题较为突出，特别是南向与西向窗户渗漏率达到15.2%，严重影响改造效果以及居民满意度，因而对该项目的渗漏问题进行系统调研与技术分析，为同类工程提供参考依据。

(二) 窗墙节点渗漏状况调查

通过对8栋楼宇的全面排查，发现窗墙节点渗漏呈现明显的规律性分布特征，渗漏主要集中在2-6层，占总渗漏数量的68.5%，这些楼层受到风雨作用最为直接。从朝向分析，南向窗户渗漏率最高且达到22.1%，西向窗户次之为18.3%，北向窗户渗漏率相对较低仅为8.7%。渗漏形式主要表现为窗台下方墙面渗水痕迹与室内窗台积水及墙体潮湿发霉等现象，调查发现渗漏问题多数发生在改造完成后的第一个雨季，说明施工质量控制与材料选择存在明显缺陷（见表2）。

表2 不同楼层窗墙节点渗漏分布统计

楼层	窗户总数	渗漏数量	渗漏率 (%)
1层	65	4	6.2
2-3层	130	28	21.5
4-6层	195	35	17.9
7-8层	130	12	9.2

(三) 渗漏原因检测与机理验证

通过现场检测与实验室分析确定渗漏的主要原因及机理，密封胶粘结强度检测结果显示，65%的样品粘结强度低于0.15MPa的标准要求，部分样品甚至出现完全脱粘现象，红外热成像检测发现窗框周边存在明显的温度差异，表明局部存在热桥效应与空气渗透。淋水试验结果表明在100Pa风压与4L/($\text{m}^2 \cdot \text{min}$)淋水强度条件下，83.3%的渗漏节点在15分钟内出现渗水现象，这些检测结果证实理论分析的正确性，为后续整治技术的制定提供科学依据（见图1）。

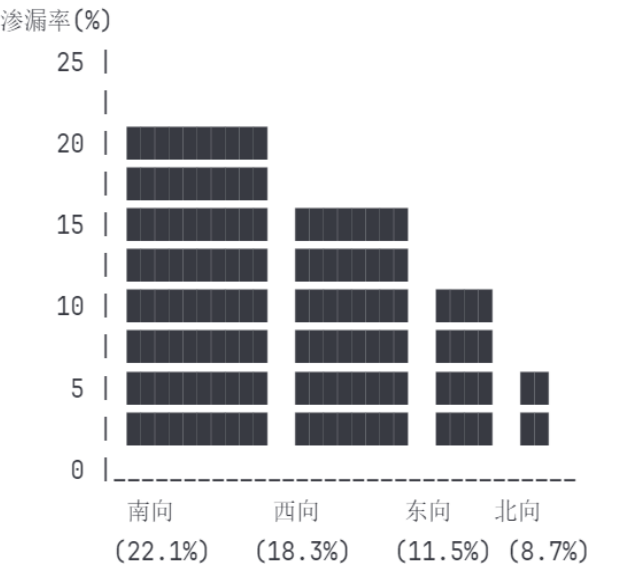


图1 不同朝向窗户渗漏率对比图

(四) 典型渗漏缺陷类型总结

根据调研结果将窗墙节点渗漏缺陷归纳为四种典型类型，第一类为密封胶失效型，占总缺陷数量的45.2%，主要表现为密封胶开裂与脱粘及老化，第二类为构造设计缺陷型，占比28.7%，包括窗台坡度不足与排水构造不当等问题，第三类为施工质量问题型，占比19.6%，涉及保温板切割不平整及密封胶施打不规范等，第四类为材料选择不当型，占比6.5%，主要是密封材料与基材不

匹配导致的相容性问题。这种分类为针对性整治技术方案的制定奠定基础（见表3）。

表3 窗墙节点渗漏缺陷类型统计

缺陷类型	占比 (%)	主要表现	影响程度
密封胶失效型	45.2	开裂 脱粘 老化	严重
构造设计缺陷型	28.7	坡度不足 排水不当	中等
施工质量问题型	19.6	切割不平 施打不规范	中等
材料选择不当型	6.5	相容性差 性能不匹配	轻微

三、窗墙节点渗漏综合整治技术

（一）密封材料优化选择技术

针对传统密封材料在聚氨酯保温系统中的适用性问题，建立密封材料优选技术体系^[3]，选择具有优异耐候性的改性硅酮密封胶作为主密封材料，其断裂伸长率不小于400%，拉伸强度大于0.6MPa，在-40℃至+150℃温度范围内保持稳定的弹性性能。同时配合使用丁基胶带作为预密封材料，在窗框安装时形成初步防水屏障，双重密封体系有效提升防水可靠性，材料选择过程中重点考虑与聚氨酯材料的相容性，通过粘结性能试验与耐久性试验验证材料组合的长期稳定性，确保整治效果的持久性。

（二）节点构造改进设计

基于渗漏机理分析与工程实践经验，提出“三道防线”的节点构造改进方案^[4]。第一道防线为窗框外侧的挡水构造，通过设置滴水槽与挡水板阻断雨水直接冲击，第二道防线为窗框与保温层连接部位的主密封系统，采用双组分聚硫密封胶确保密封性能，第三道防线为室内侧的辅助密封，利用发泡胶填充空腔同时设置透气层防止水汽积聚，窗台构造设计中将坡度由原来的2%增加到5%，排水孔间距控制在600mm以内，有效改善排水条件。这种多重防护的构造设计显著提升节点的防水性能（见图2）。

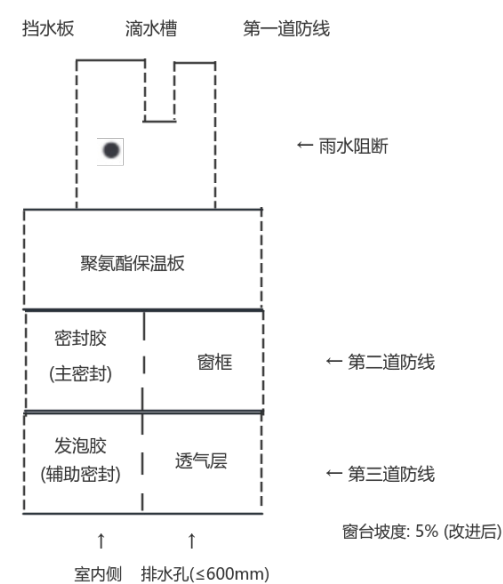


图2 窗墙节点“三道防线”构造设计图

密封材料的性能评价需要综合考虑力学性能与耐候性能及相容性能三个方面，力学性能测试包括拉伸强度与断裂伸长率及压缩永久变形等指标，这些参数直接影响密封材料在温度变形作用下的适应能力，耐候性能通过人工加速老化试验进行评估，模拟紫外线辐射与温度循环以及湿热环境的综合作用，评价材料的长期稳定性。相容性测试则通过与基材的粘结强度变化来判断材料间的化学稳定性，避免因材料不相容导致的界面失效，经过系统的材料筛选与性能验证，改性硅酮密封胶在各项指标上均优于传统材料，故而成为窗墙节点密封的理想选择。

（三）标准化施工工艺流程

建立窗墙节点防水施工的标准化工艺流程^[5]，涵盖基面处理与材料配制及施工操作以及质量检验四个关键环节。基面处理要求清除旧密封胶与松散材料，保证基面干燥清洁，材料配制严格按照产品说明书要求，控制配比精度与搅拌时间，施工操作采用专用工具确保密封胶连续饱满，避免气泡及断缝现象，质量检验包括外观检查与性能测试，确保每道工序符合要求。施工环境温度控制在5-35℃范围内同时相对湿度不超过85%，雨天与大风天气禁止施工，标准化流程的执行有效保障施工质量的一致性及可控性。

（四）质量验收与维护管理

制定窗墙节点防水工程的质量验收标准与维护管理制度，验收标准包括外观质量检验与防水性能检测及耐久性评估三个层次，其中防水性能检测采用现场淋水试验方法，检测压力100Pa，淋水强度 $4L/(m^2 \cdot min)$ ，持续时间30分钟，验收合格率达到98%以上。维护管理制度规定定期检查周期与维护要求，建议每年雨季前后进行全面检查以确保发现问题及时处理，建立缺陷档案及维修记录，为后续管理提供数据支撑，通过规范的验收程序与科学的维护管理，确保整治效果的长期稳定性以及可靠性（见图3）。

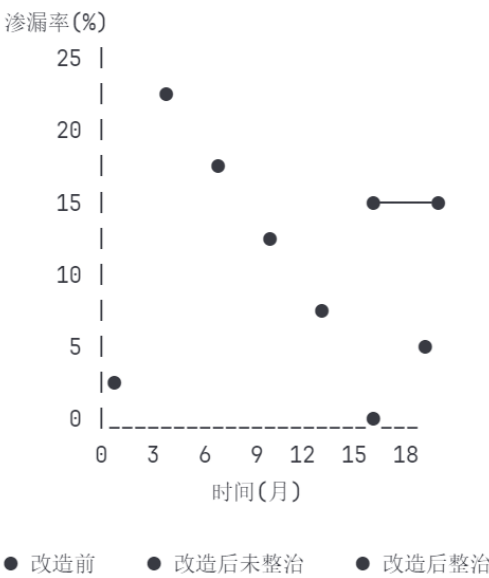


图3 窗墙节点渗漏率随时间变化趋势图

四、结语

通过对老旧小区节能改造中窗墙节点渗漏问题的深入研究，明确渗漏产生的机理与主要原因，复合 A 级硬泡聚氨酯板外保温系统与外窗更换后的渗漏主要源于材料界面失效与构造设计缺陷及施工质量控制不当，基于某老旧小区改造工程的实践验证，建

立包含材料选择与构造优化及施工工艺以及质量控制的完整技术体系，研究表明采用改性密封胶与三道防线构造设计及标准化施工流程，可将窗墙节点的渗漏率控制在 2% 以下，显著提升改造工程质量。该技术体系不仅解决当前工程中的实际问题也为类似项目提供可推广的技术方案，对推进我国老旧小区改造事业具有重要的实用价值与指导意义。

参考文献

[1]李笃健,宣宗延,冯慧.基于绿色建筑理念的老旧小区节能改造分析[J].住宅与房地产,2025,(10):99-101.
[2]严国浩,冯永存.老旧小区节能改造外墙外保温细部构造技术处理措施研究[J].中国建筑装饰装修,2025,(01):106-108.
[3]梅瑞聪,李豫华,吴开玥,等.基于 POE 的老旧小区节能改造后评估[J].城市建筑,2025,22(05):108-111.
[4]谢济遥.碳中和背景下老旧小区节能改造研究[J].住宅与房地产,2025,(02):25-27.
[5]杨韵仪.BIM 协同性能分析在老旧住宅节能改造设计中的应用研究[D].重庆市:重庆大学,2023.