

建筑幕墙安全检测技术的应用研究

余建方*, 杨 阳

浙江建设职业技术学院 浙江杭州

【摘要】在现代建筑的外立面设计中,玻璃幕墙应用越来越普遍,主要因其节能、环保,尤其在提升建筑美学方面有巨大的价值,国内外早已成为主流外墙立面的选择之一。然而随着时间推移,玻璃幕墙不可避免地由于材料老化、施工缺陷以及长期暴露在复杂气候条件下,这些建筑外围护结构逐渐暴露出各类现实的安全问题——玻璃幕墙结构的安全隐患包含结构胶老化开裂失效、密封性能退化引发的渗漏,以及更加危险的钢化玻璃开裂自爆、面板松动脱落等突发险情,此类安全隐患随着建筑使用年限的到来,已经不容忽视。正因如此,各地对既有建筑幕墙开展系统性安全检测的需求显得尤为紧迫。以浙江省为例,当地管理部门出具的相关办法明确要求:当幕墙出现面板变形、连接构件松动或爆裂,或者部分建筑幕墙虽超设计年限仍需继续使用时,相关建筑的业主必须定期委托具备资质的检测鉴定机构进行安全性鉴定。科学且合理的检测技术不仅是排查风险的手段,更能为后续维护决策提供依据,延长幕墙实际使用寿命。

【关键词】建筑幕墙应用;玻璃幕墙;安全检测技术

【基金项目】浙江建设职业技术学院校级课题(项目编号:20221700206):“双碳”战略下城市更新项目中的数字智能监测技术研究与应用

【收稿日期】2025 年 12 月 14 日

【出刊日期】2026 年 1 月 5 日

【DOI】10.12208/j.jer.20260013

Research on the application of safety inspection technology for building curtain walls

Jianfang Yu*, Yang Yang

Zhejiang College of Construction, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】In the design of modern building facades, glass curtain walls are becoming increasingly prevalent, primarily due to their energy efficiency and environmental friendliness, as well as their immense value in enhancing architectural aesthetics; they have long been a mainstream choice for exterior facades both domestically and internationally. However, over time, these building envelope structures exhibit various practical safety issues due to material aging, construction defects, and prolonged exposure to complex climatic conditions. The safety hazards associated with glass curtain wall structures include the aging, cracking, and failure of structural adhesives, degradation of sealing performance leading to leakage, and more perilous sudden incidents such as tempered glass cracking and spontaneous explosion, as well as loosening panels. As buildings age, these safety hazards can no longer be ignored. Consequently, the need for systematic safety inspections of existing building curtain walls has become particularly urgent in various regions. Taking Zhejiang Province as an example, relevant regulations issued by local management authorities explicitly require that when curtain walls exhibit panel deformation, loose or cracked connection components, or when the curtain wall exceeds their design service life but must continue to be used, the owners of the relevant buildings must regularly commission qualified inspection and appraisal agencies to conduct safety appraisals. Sound reasonable inspection technologies serve not only as a means to identify risks but also provide a basis for subsequent maintenance decisions, thereby extending the actual service life of curtain walls.

【Keywords】Application of building curtain walls, Glass curtain walls, Safety inspection technology

*通讯作者:余建方(1987-)男,硕士研究生,讲师(高级工程师)。

前言

值得关注的是, 由于各种因素的作用下, 国内针对超设计使用年限幕墙的安全检测经验相对匮乏, 其相关性能退化规律以及评估标准尚不成熟。本文以某实际超龄服役的隐框玻璃幕墙为研究对象, 梳理玻璃幕墙现场检测的关键技术要点, 分析发现的主要安全问题, 并提出针对性的处理建议。期望能为幕墙的长期服役性能评价及既有幕墙安全评估方法提供参考。

1 幕墙玻璃的安全评价路径

国内针对建筑玻璃幕墙安全评价方式, 已探索出多条技术路径, 目前形成三类代表性方法。其中层次分析法(AHP)是应用较早的系统化评价手段^[1]。国内部分学者结合国内建筑幕墙工程特点, 提出以研究对象的区间数构建判断矩阵的处理思路——将性能指标划分为“核心单元”与“辅助单元”作为目标层, 依据监测指标间的关联性及其与结构损伤的程度, 系统结合位移、挠度、频率等可量化参数, 逐层建立起建筑幕墙结构安全评价体系。

另一部分研究人员则尝试不确定分析法与融合面积法: 前者用于计算结构承重并量化受力评价结果, 后者引入区间数来处理各类实际情况的风险评估工作, 通过构造判断矩阵来确定指标权重, 使评价结果趋于严谨客观。

最后, 研究人员利用模糊综合评价法为处理难以精确量化的安全问题提供了另一条思路。部分研究人员将该方法引入既有幕墙的安全等级研究, 对影响安全性能的模糊因素进行细致划分, 确定各因素权重的比例后, 建立起三级评价框架体系。此类方法的优势在于将定性判断转化为可以量化的输出, 增强了评价体系运作的逻辑性与系统完整性。

总体来看, 国内外研究者对建筑幕墙安全问题已积累一定前期研究基础, 但针对安全全生命周期危险因子及其系统解决方案的探索仍无法满足现实工程需求, 现有的研究成果尚难以支撑高效且可靠的玻璃幕墙安全管控工作以及建筑幕墙后期维保策略制定。与此同时, 建筑业转型升级与智慧城市建设对区域建筑群幕墙安全管理提出新要求。

2 建筑幕墙安全性检测分类

2.1 幕墙玻璃检测

建筑幕墙玻璃长期暴露在日照、风压、地震及日常遮挡使用等复杂环境中, 材料强度会随服役年限增长而逐步退化。玻璃的材料强度下降直接增加了幕墙玻璃爆裂的风险, 建筑物的安全隐患随之提高。据工程经

验统计, 其强度大约每10年左右衰减度大概5%左右。到目前为止, 建筑幕墙玻璃的安全性检测理论计算过程主要依赖弹性薄板大挠度理论进行强度计算, 同时结合有限元分析方法提升计算精度, 此路径较适用于单片玻璃、中空玻璃及夹层玻璃等构造形式的玻璃幕墙。

2.2 幕墙结构受力框架检测

受力框架的稳定性和承载力直接关系到幕墙结构安全。针对玻璃幕墙的隐蔽部位, 我们可借助内窥技术直观检查锈蚀、开裂及变形等情况; 对主要受力框架, 宜采用结构计算进行复核, 选取模型体系当中受力最不利的典型分析单元进行验算, 判断幕墙的实际荷载是否处于允许的承载范围, 若超限则需进行结构加固处理。框架与建筑主体结构连接多依赖预埋件来实现, 所以膨胀螺丝、化学锚栓等关键得预埋件, 他们的稳定性评估应作为检查重点。

2.3 结构密封胶检测

玻璃幕墙的结构密封胶在现实工程当中应用极为广泛, 它既承担定位构件与金属框架的连接功能, 也要负责玻璃与框架间的连接和密封。由于室外长期暴露于紫外线、风荷载、雨水侵蚀及温度循环作用下, 胶体无法避免逐渐老化的发展进程——胶体会发生硬度上升、强度下降, 固定与密封性能随之变差, 幕墙的玻璃发生脱落、幕墙玻璃间隙渗漏等风险相应增加。因此, 在工程现场安全性检测中需将幕墙结构密封胶列为重点检查对象。

在工程现场我们常用邵氏硬度法进行快速简单评估: 一般将硬度计压足贴合试样表面, 测量压针伸出长度L, 如果L值越大, 则表明硬度越低、胶体性能保持越好。最重要的是该方法操作简便、结果直观, 可直接对既有幕墙密封胶条取样检测, 对照国标来判定材料状态, 未达标者须则提示我们需要及时更换。另外评估时可结合表面观察并进行定量检测: 前者检视胶体是否褪色或析出化学生成物, 观察幕墙玻璃与结构胶体黏结面是否出现空隙等现象; 后者研究人员一般通过施加集中力荷载, 通过采集位移与力传感器数据, 经软件分析来定量评价黏结面性能。

3 安全性检测技术在幕墙改造中的应用

根据工程案例经验, 我们选取使用较为普遍的隐框玻璃幕墙作为研究对象。隐框玻璃幕墙作幕墙体系当中的一种特殊形式, 其金属框架结构完全隐蔽于玻璃面板后方, 使得建筑外墙呈现出绝对的玻璃质感, 建筑外观高级感得到提高。此类幕墙体系在透光性和气

密性方面表现非常突出。但这种“隐形”的构造特点也带来特殊的技术挑战：面板荷载几乎全部由硅酮结构胶传递至金属框架，胶体在使用持续承受紫外线辐射、臭氧侵蚀，同时还要应对风压作用以及昼夜温差引起的反复应力作用。现行国家标准虽规定了多种人工加速老化试验方法，并给出了相应的拉伸粘接强度指标，但实验室模拟实际上难以完全复现自然老化的复杂机理——实际工程中的温度波动、湿度变化、污染物沉积以及力学疲劳的耦合作用等等，往往比单一因素试验更为严苛。此类型玻璃幕墙的安全隐患主要如下：

3.1 幕墙玻璃自爆开裂问题

钢化玻璃在成型过程中，表面形成压应力层，内部则处于张应力状态。当板芯内含有硫化镍夹杂物时，在热循环作用下可能发生 $\alpha \rightarrow \beta$ 晶型转变，体积膨胀约4%，进而打破原有的应力平衡，触发裂纹扩展。这类自爆多发生在无明显外力作用的情况下，具有延迟性，常见于环境温差超过25℃、持续日照5小时以上的立面。并且中空钢化玻璃由于面层与芯层热响应存在差异，其内部张应力波动更为明显。同时加工缺陷同样是不可忽视的风险因素，如边缘崩角或微裂纹可能成为应力释放的起点，尤其对于厚度在10mm以下的薄型玻璃，更容易出现局部失稳。从实际工程统计来看，幕墙钢化玻璃的年均自爆率约为0.8%，在湿热环境或风压变化剧烈地区，自爆发生率更高。技术人员发现虽然热浸处理可以筛除部分高风险板块，但由于夹杂物分布随机且检测效率有限，隐患仍难以彻底消除。

3.2 幕墙渗水漏水问题

玻璃幕墙渗水问题的成因，往往可以归结为构造设计的先天不足与材料性能的逐步退化。从实际项目反馈来看，高层建筑渗水在保修案例中占比突出，其中约三分之一与排水孔设置不合理或等压腔深度不足有关——按常规标准，等压腔深度通常需达到10mm左右。此外，拼缝处若缺乏合理的滴水坡设计，水流容易长时间滞留，导致密封界面逐步剥离失效。密封材料的老化同样不容忽视。长期暴露于紫外线环境下，密封胶的粘结强度会下降约四分之一，而在反复热胀冷缩过程中，部分样本表面已出现细微裂纹。现场检测发现，渗水高发区域主要集中在立柱交接处、开启扇周边以及玻璃板块的对缝位置。不少项目中，金属副框表面出现均匀腐蚀斑，内部构件氧化情况也较为严重。这类渗水问题具有较强的隐蔽性和周期性特征，往往在连续降雨或高湿气候条件下集中暴露，而在干燥季节则难以察觉，给排查和维修带来一定难度。

3.3 幕墙连接件失效问题

金属挂件、螺栓与副框共同构成了幕墙系统的核心连接体系。一旦节点装配偏差超过2mm，或螺栓扭矩低于设计值的五分之一，整体的受力协同能力就会打折扣。实测数据显示，部分高层建筑在较高等级风荷载作用下，挂件节点的累计位移可达1.5mm，长期循环受力后容易出现滑脱趋势。投入使用超过五年的工程中，约有四分之一的玻璃幕墙存在连接松动问题，常见的表现包括轻微响动或接触不稳。如果缺乏周期性复检和扭矩校验，构件的稳定性会逐年下降。一些项目服役多年后，结构胶的剥离率甚至超过五分之一，形成潜在脱落隐患。而从分布规律来看，节点失效多集中在风压突变区域以及幕墙的边界角部，这些部位应作为日常巡查和重点排查的对象。

3.4 幕墙拼接变形

隐框玻璃幕墙在长期荷载、建筑沉降和温度变化的共同作用下，如果位移协调设计没留够变形的余地，面板就很容易发生偏移。从实际排查的几个项目来看，像导轨偏离、单元板错槽这类异常情况并不少见，发生率大概在四分之一左右，有的楼体沉降甚至超出了设计的承受范围。说到底，如果幕墙系统没有设置有效的滑移节点，连接构件受力就会不均匀，形成局部的刚性传力。红外测距的数据也印证了这一点：那些偏移量超过3毫米的单元面板，大部分都没配浮动支座或柔性锚固。热胀冷缩还会让构件接口处的受力方向频繁反转，要是调节余量小于2毫米，连接节点就会产生强制剪切，破坏原本的应力平衡。抽检还发现，导轨安装垂直度偏差超过2毫米的区域，脱轨的概率明显更高，而且问题多半集中在角部转折和楼层的变形节点附近。

4 幕墙安全风险管控

4.1 聚焦重点区域，严控关键风险

玻璃幕墙中，拼缝交界以及转折节点这些部位，由于本身就存在应力集中和结构突变，往往容易成为隐患的温床。在专项检测时，测点通常会沿着龙骨和板缝来布置，间距一般控制在1米左右。同时，需要从结构胶和密封胶中各取几组样本，仔细查看有没有龟裂、卷边，或者接缝宽窄有没有变化。从一些项目的抽查情况来看，接缝宽度超过2毫米的地方，有五分之一都伴有胶体老化甚至断裂的问题。对于夹持结构，要用电子测力仪测一下螺栓的预紧力，记录下夹持力的上下限，并拍照存档。检测结果最好统一整理成图表和编号图像，比如节点状态图、剖面图，再加上参数对比表。把这些数据上传到无人机巡检平台的后台，系统就能

自动生成风险标签并入库,方便后续的结构建模和预警联动。

4.2 构建信息系统,实现动态管理

BIM 技术在后期运维中正受到越来越多的关注。这套信息系统以建筑信息模型(BIM)为核心来构建数据链条,可以采集幕墙构件的尺寸、编号、连接方式以及空间坐标,方便检测数据的快速挂接和溯源。所有巡检和缺陷记录都会按构件 ID 编号归档,最终形成结构全生命周期的信息档案。在变形敏感区域,通常会布设应变、位移、振动等传感器,数据以 1 分钟为周期上传至 BIM 平台。监测数据显示,当风压峰值超过限值,同时立柱位移响应大于 5mm 时,系统可以自动触发预警,并在图形界面联动——异常构件会在三维模型中自动标红,图层也支持叠加图像资料和数值曲线。后台系统还会通过热力图展示风险等级的变化趋势,形成动态演化的图谱。目前,这套 BIM 平台已经在部分建筑部署试用,构件故障的识别响应时间从人工模式的 48 小时缩短到了 2 小时以内。系统支持多维数据接入和横向比对,既能满足建筑长期运行各阶段的信息调用与分析需求,也具备与城市级建筑监管平台对接的能力。

5 结语

建筑玻璃幕墙系统构造复杂,运行环境也多变,因此安全管理需要把结构逻辑和技术手段结合起来推进。本文从构件特性出发,结合典型的隐患表现,梳理出一套以节点为核心、聚焦风险、联动数据的排查路径。通过制度巡检、智能检测、重点锁定和信息集成,形成技术闭环,让隐患识别从静态、被动转向动态和前置。随着建筑越来越高,运维也越来越精细,玻璃幕墙的排查技术还有不少可以提升的地方。下一步,一方面要持续

推动技术更新和机制优化,提升整体安全水平;另一方面也要加快引入基于人工智能的监测分析模式,探索 BIM、物联网与多维感知、数据驱动相结合的幕墙全周期动态管理路径。

参考文献

- [1] 贺雄英,谭卡,简超.既有幕墙安全性检测与可靠性评估技术的研究进展[J].中国建筑装饰装修,2023(11): 151-153.
- [2] 王建勇. 红外热成像技术在玻璃幕墙建筑检查中的应用[J]. 上海建材,2023(4):13-16,28.
- [3] 曾建伟. 高层建筑玻璃幕墙安装施工风险及控制措施分析 [J]. 新材料·新装饰,2024,6(21):31-34.
- [4] 吴笛,刘欢,陈旭东. 浅析高层建筑玻璃幕墙施工技术应用及质量管理[J]. 四川建材,2024,50(4):138-140.
- [5] 袁文薇,章建高,郭狄炯,等.既有建筑大型玻璃幕墙安全监测平台建设概述[J].新型工业化,2022(10):313-316.
- [6] 吴小翔,既有建筑幕墙结构安全检测成套技术及其应用.江苏省,苏州市建设工程质量检测中心有限公司,2021-12-01.
- [7] 李玲.既有建筑玻璃幕墙安全检测与维护[J].住宅科技,2020,40(11):59-62.
- [8] 杨健,余小寅.既有建筑玻璃幕墙安全问题及在线检测技术现状分析[J].华东科技,2017,(06):57-59.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

