

# 既有建筑外墙保温系统安全性与耐久性研究

苏祥龙

山东顺通公路工程有限公司 山东 枣庄 277400

**摘要:**我国“双碳”目标推进下,建筑节能改造是关键,外墙保温系统作为核心措施在既有建筑改造中广泛应用。但近年来安全事故频发,暴露出其长期服役中的安全隐患与耐久性不足,威胁人民生命财产和城市公共安全。本文系统剖析既有建筑外墙保温系统在安全性与耐久性方面的核心挑战:梳理主流技术类型及构造特点,探究影响安全性的关键因素,如材料防火缺陷、施工控制不严等;从多维度分析耐久性劣化内在机理。在此基础上,构建多手段融合的综合评估体系,提出推广A级不燃材料、优化构造设计等提升策略,为既有建筑外墙保温系统的安全诊断、风险防控与长效维护提供理论与技术支撑,推动建筑节能事业发展。

**关键词:**既有建筑;外墙保温系统;安全性;耐久性;综合评估;提升策略

## 引言

建筑能耗占我国社会总能耗约30%-40%,既有建筑围护结构差、能效低,是节能降碳主战场。外墙外保温系统因优势突出,21世纪初以来在我国大规模应用,提升了建筑能效。但大量早期工程进入或即将进入设计使用年限,多地发生保温层脱落事故,高层建筑火灾也因保温材料可燃性屡见报端,造成严重社会影响。这表明部分既有建筑外墙保温系统安全性与耐久性存潜在风险。当前研究多聚焦新材料、新工艺及新建建筑标准,针对服役多年既有建筑保温系统的系统性评估、风险识别及维护策略研究滞后,管理部门和业主缺乏科学有效手段判断其状态、精准干预。因此,深入研究既有建筑外墙保温系统安全性与耐久性,兼具理论价值与现实意义,本文将就此展开探讨。

### 1 既有建筑外墙保温系统的主要类型与构造

我国既有建筑外墙保温系统主要采用以下几种技术路线:

#### 1.1 薄抹灰外墙外保温系统(ETICS)

这是目前应用最为广泛的系统。其基本构造自内向外依次为基层墙体、粘结砂浆、保温板(常用EPS/XPS/岩棉板)、锚栓、抹面砂浆(内置耐碱玻纤网格布)、饰面层(涂料或柔性面砖)。该系统通过粘结与锚固相结合的方式将保温层固定于外墙,依靠抹面砂浆和饰面层提供保护与装饰功能。其优点是技术成熟、成本较低、保温效果好;缺点是对施工质量和材料匹配性要求极高,一旦任一环节出现问题,极易导致系统失效。

#### 1.2 胶粉聚苯颗粒浆料保温系统

该系统以胶粉聚苯颗粒保温浆料现场涂抹于外墙,形成连续的保温层,再覆盖抗裂砂浆和饰面层。其优点是

整体性好、不易形成热桥、对基层平整度要求不高;缺点是导热系数相对较高,要达到同等保温效果需增加厚度,且现场湿作业受天气影响大,干燥收缩易产生裂缝。

### 1.3 复合保温板系统

近年来发展起来的一种预制化系统,如保温装饰一体板。它将保温层与饰面层在工厂预制成型,现场通过干挂或粘锚结合的方式安装。其优点是施工速度快、饰面效果好、质量可控;缺点是板缝处理是防水和防开裂的薄弱环节,且成本较高。

在既有建筑中,薄抹灰系统占据了绝对主导地位,也是安全事故的高发区,故本文后续讨论将以该系统为主要研究对象。

## 2 安全性影响因素分析

安全性主要体现在两个方面:一是抵抗脱落风险的能力,二是防火安全性能。

### 2.1 脱落风险分析

保温层脱落是既有建筑面临的最直接、最普遍的安全威胁。其成因是多因素耦合作用的结果:(1)材料因素:保温板自身强度不足(如陈化不充分的EPS板)、粘结砂浆或抹面砂浆与保温板的相容性差、粘结剂老化失效、锚栓材质腐蚀或长度/数量不足等。(2)施工因素:这是导致脱落的最主要原因之一。包括基层墙体未清理干净、粘结面积不足(规范要求首层不小于60%,其他层不小于40%)、保温板排版不规范(出现通缝)、锚栓安装时机不当(过早或过晚)、抹面砂浆厚度不足或网格布搭接不规范、饰面层施工不当等。施工过程中的偷工减料和野蛮操作是系统先天不足的根源<sup>[1]</sup>。(3)设计因素:未根据建筑高度、地区风压等因素进行精细化设计,如高层建筑未增加锚栓数量、未设置分隔缝、阴阳角等应力

集中部位未加强处理等。(4) 环境与荷载因素: 长期暴露在自然环境中, 经历反复的温度变化、湿度变化、冻融循环, 导致材料疲劳、界面粘结力下降。强风产生的负风压是诱发脱落的直接外力, 尤其是在建筑角部、檐口等风压放大区域。地震作用也会对系统的整体稳定性构成挑战。

## 2.2 防火安全性能分析

防火安全是关乎全局的重大问题。我国早期大量使用的有机保温材料(如EPS、XPS)属于B2/B3级可燃或易燃材料, 一旦被引燃, 火势会沿外墙立面迅速蔓延, 形成“烟囱效应”, 救援极其困难。(1) 材料可燃性: 这是最根本的问题。有机保温材料在高温下会熔化、滴落并释放大量有毒烟气, 助长火势。(2) 防火构造缺失: 许多既有项目未按规范要求设置水平防火隔离带(通常采用A级不燃材料如岩棉), 使得火焰可以在整栋建筑立面上无障碍地垂直蔓延。(3) 施工缺陷: 保温板之间、保温板与门窗洞口之间的缝隙填充不密实, 形成了火灾蔓延的通道。(4) 后期维护破坏: 住户私自在外墙上打孔、安装支架等行为, 破坏了原有的防火构造完整性。

## 3 耐久性劣化机理探究

### 3.1 材料老化

材料老化是系统性能衰退的内在驱动力。粘结砂浆与抹面砂浆中所含的有机聚合物乳液, 如VAE或丙烯酸酯, 在长期暴露于紫外线、氧气、水分和温度交变的环境中, 会发生不可逆的氧化与降解反应, 导致其赋予砂浆的粘结性和柔韧性大幅衰减。与此同时, 作为核心保温层的有机材料亦难逃老化的命运<sup>[2]</sup>。EPS或XPS板在长期的热氧环境下, 内部的发泡剂会逐渐逸散并被空气取代, 这不仅使其导热系数增大、保温效能降低, 还可能导致其尺寸稳定性发生变化, 进而诱发或加剧系统内部的应力。

### 3.2 水汽侵蚀与冻融循环

如果说材料老化是慢性病, 那么水汽侵蚀则是急症的催化剂。雨水能够轻易地通过饰面层的微裂缝、板缝或节点构造的缺陷渗入系统内部。一旦水分积聚在保温板与粘结砂浆、抹面砂浆的界面处, 便会如同楔子一般, 持续削弱甚至彻底瓦解各层材料间的粘结力, 形成空鼓。在寒冷地区, 这一问题尤为致命。渗入的水分在冬季冻结膨胀, 对周围材料施加巨大的内应力, 而春季融化后应力释放, 如此反复的冻融循环, 会像无数把小锤子一样, 不断敲击着砂浆, 加速其开裂、粉化进程, 最终导致饰面层剥落, 将脆弱的保温层直接暴露于风雨之中, 形成恶性循环。

### 3.3 生物侵害

在温暖潮湿的气候条件下, 渗水区域为霉菌、藻类等微生物提供了理想的滋生温床。这些生物体不仅影响建筑美观, 其新陈代谢所产生的弱酸性物质还会对砂浆基体和内部的耐碱玻纤网格布产生腐蚀作用, 进一步蚕食系统的结构强度, 成为耐久性链条上又一薄弱环节。

### 3.4 物理与机械损伤

除了上述自然因素, 日常的人为活动同样对保温系统构成威胁。无论是空调安装、外墙清洗时的不当操作, 还是偶发的高空坠物冲击, 都可能对保温系统造成局部的物理或机械损伤<sup>[3]</sup>。这些看似微小的创口, 往往是水分侵入和应力集中的起点, 会迅速演变为系统失效的突破口, 加速整体性能的崩溃。

## 4 综合评估体系构建

### 4.1 目视检查

这是最基础、最经济的初步筛查手段。主要检查外墙表面是否存在明显的裂缝、起皮、剥落、变色、霉斑、饰面层鼓包等现象。重点观察门窗洞口四角、阴阳角、分格缝、女儿墙、檐口等细部构造部位。虽然无法探知内部情况, 但能快速锁定高风险区域。

### 4.2 红外热成像检测

该技术利用物体表面温度分布差异成像。当保温层存在空鼓、脱落或含水率异常时, 其热容和热传导性能与正常区域不同, 在特定时段(如日落后墙体冷却阶段)会形成明显的温度异常区域。红外热成像能够非接触、大面积、快速地扫描整个建筑立面, 精准定位内部缺陷的位置和范围, 是评估系统完整性的有力工具。

### 4.3 锤击回声法

对于疑似空鼓区域, 可采用小锤轻敲听声的方式进行辅助判断。声音清脆表示粘结良好, 声音沉闷或空响则表明存在脱粘或空鼓。此法简单直观, 但主观性强, 且效率较低。

### 4.4 拉拔试验

这是评估系统粘结强度最直接、最可靠的方法。通过专用设备在选定位置钻孔, 安装拉拔头, 施加垂直于墙面的拉力直至破坏, 记录最大拉力值。通过计算可得到系统的实际粘结强度, 并与规范要求值进行对比。该方法具有破坏性, 需在代表性位置少量进行。

### 4.5 材料取样与实验室分析

当现场综合评估的结果仍存疑, 或需要深入探究系统劣化的根本原因时, 就需要进行更具深度的材料取样与实验室分析。通过局部取芯或切割, 获取包含各构造层次的样品, 并送至专业实验室。在那里, 技术人员可

以通过成分分析确认所用材料是否与原设计相符；通过物理力学性能测试，量化评估保温板的密度、强度、导热系数以及砂浆的各项力学指标；甚至可以借助扫描电镜（SEM）等先进设备，从微观层面观察材料的老化形貌、腐蚀情况以及各层界面的结合状态。这些精确的数据和图像，为最终的诊断结论和修复方案的制定提供了坚实的科学依据。

## 5 提升策略与建议

### 5.1 材料层面：源头把控，提升本质安全

提升系统安全性的根本在于材料的本质安全。对于新建项目和既有建筑的节能改造工程，特别是针对高层、超高层建筑以及学校、医院等人员密集场所，必须强制推行使用岩棉、玻璃棉、泡沫玻璃、发泡水泥等A级不燃保温材料，从源头上彻底杜绝因材料可燃性引发的火灾隐患。同时，应鼓励和支持科研机构与企业，大力研发兼具优异保温性能、高强、高韧、憎水、抗老化等特性的新型复合保温材料，以提升系统自身的综合耐久性能。

### 5.2 设计层面：精细化与冗余设计

在设计阶段就应摒弃粗放模式，转向精细化与冗余设计理念。设计师必须充分考虑建筑所在地的具体气候分区、基本风压、抗震设防烈度等关键参数，进行精细化的系统设计，明确不同建筑高度、不同立面部位（如角部、顶部）的差异化锚固方案、加强措施和分隔缝设置要求。特别是在关键连接和高风险区域，应引入冗余设计理念，例如在高层建筑顶部采用粘锚并重甚至以机械锚固为主的连接方式，以增加安全储备<sup>[4]</sup>。此外，必须严格执行防火隔离带的设置规范，确保其材料、宽度、位置和连续性均符合要求，有效阻断火焰的垂直蔓延路径。

### 5.3 施工与验收层面：全过程质量管控

再完美的设计也需要高质量的施工来实现。必须严格市场准入机制，加强对保温系统供应商和施工单位的资质审查与动态管理，坚决杜绝劣质产品和无资质施工队伍进入市场。在施工过程中，监理单位必须切实履行职责，对基层处理、粘结面积控制、锚栓安装、抹面层施工等关键工序进行全过程旁站监督，并做好影像资料留存，确保每一道工序都符合规范要求。在竣工验收阶段，应改革传统的验收模式，引入具备资质的第三方检测机构，对工程实体进行包括拉拔试验在内的强制性抽

样检测，并将权威的检测报告作为竣工验收不可或缺的核心文件。

### 5.4 运维管理层面：建立全生命周期档案与智能监测

建筑的安全服役不应止步于竣工验收，而应延伸至其全生命周期。建议为每一栋实施了外墙保温的既有建筑建立专属的“建筑健康档案”，系统记录其从设计、选材、施工到历次维修的全部信息，实现可追溯管理。在此基础上，应制定并推行强制性的定期安全评估制度，例如规定每5至10年必须进行一次全面的综合安全评估。展望未来，随着物联网和传感技术的发展，可在高风险建筑或关键部位预埋微型传感器，实时监测保温系统的应力、湿度等关键参数，并通过智能算法进行风险预警，从而实现从被动维修向主动预防的管理模式转变。

## 6 结语

既有建筑外墙保温系统的安全性与耐久性问题，是历史积累的技术、管理和市场因素共同作用的结果。经系统分析得出：其安全风险主要表现为脱落和火灾，源于材料、设计等多因素复杂耦合；在自然与人为因素长期作用下，保温系统耐久性劣化不可避免，需主动管理；面对海量既有建筑，建立以红外热成像等为核心的综合评估体系，是精准识别风险、科学决策的前提；解决需系统治理，从源头到末端全链条发力，提升安全底线与服役寿命。未来，随着新材料、新技术发展，对其健康管理将更精准高效。唯有坚持安全第一、预防为主原则，才能确保建筑节能成果惠及长远，守护群众“头顶上的安全”。

## 参考文献

- [1]刘兆秀,李静.关于既有建筑外墙保温系统的性能评价研究[J].工程质量,2023,41(02):74-78.
- [2]刘长顺,邢朝阳,张笑天.既有建筑外墙外保温系统节能性能劣化机理与耐久性评估研究[J/OL].节能,2026,(01):156-160[2026-02-03].
- [3]曲军辉,杨玉忠,孙立新,等.20年以上既有建筑外墙外保温系统研究[J].新型建筑材料,2024,51(03):96-99.
- [4]马国儒.既有建筑外墙外保温系统安全诊断与评估关键技术研究及应用.北京市,北京建筑材料检验研究院股份有限公司,2021-09-22.