

聚合物防水卷材接缝强度及耐老化检测研究

宋晓丽, 徐 昆*

(山东诚合信检测鉴定有限公司, 青岛 266200)

摘 要: 聚合物防水卷材接缝质量与耐老化性能是决定防水系统可靠性的关键因素, 通过系统研究热熔焊接、自粘搭接、胶黏剂黏结等接缝连接方式, 建立剪切强度和剥离强度检测方法, 明确接缝强度应达基材强度80%以上的质量标准。采用紫外光老化、热空气老化、湿热老化等人工加速试验, 分析紫外辐射、热氧作用、水分侵蚀等环境因素对卷材性能的影响机制, 构建基于拉伸强度保持率, 低温柔度变化的老化评价指标体系, 应用红外热成像等现场检测技术和 Arrhenius 寿命预测模型, 结合抗老化配方优化与施工质量控制措施, 可有效提升防水工程耐久性。

关键词: 聚合物防水卷材; 接缝强度; 耐老化性能

0 引 言

聚合物防水卷材因延伸性和耐候性好被广泛应用, 但防水系统失效往往源于接缝处理不当和材料老化, 接缝搭接缺陷易形成渗漏通道, 卷材在紫外线、温度、湿度等环境因素长期作用下性能衰减, 导致防水工程渗漏率居高不下, 防水系统的长期可靠性受到严重制约, 目前对接缝强度和老化机理的系统研究不足, 耐久性评估方法亟待完善。本文通过建立接缝强度标准化检测体系、揭示环境因素的劣化机制、构建老化性能评价指标体系和寿命预测模型, 并提出相应的工程控制措施, 对保障防水工程质量和延长使用寿命具有重要意义。

1 聚合物防水卷材接缝强度检测技术

1.1 接缝连接方式与强度质量标准

聚合物防水卷材的接缝连接主要包括热熔焊接、自粘搭接和胶黏剂黏结 3 种方式。热熔焊接适用于苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(styrene-butadiene-styrene block copolymer, SBS)、无规聚丙烯(atactic polypropylene, APP)改性沥青防水卷材, 焊接时温度要控制在 180~220 °C, 其搭接宽度不能小于 100 mm, 通过热风焊枪或者自动焊接设备能让搭接部位充分熔融粘合, 接缝剪切强度可以达到 12~15 N/mm, 自粘型防水卷材是依靠表面黏结层来实

现接缝连接的, 搭接宽度需达到 80 mm 以上, 需要采用压辊反复滚压来排除气泡^[1]。

胶黏剂黏结方式经常用于热塑性聚烯烃(thermoplastic polyolefin, TPO)、聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)等热塑性卷材, 涂胶量要控制在 0.3~0.5 kg/m², 3 种连接方式的技术参数与性能指标对比情况见表 1, 其中热熔焊接的基材强度比可达 90%, 接缝质量最为可靠^[2]。

1.2 接缝剪切强度测试方法

接缝剪切强度检测按 GB/T 328.9—2007《建筑防水卷材试验方法 第 9 部分: 高分子防水卷材 拉伸性能》标准执行, 试样尺寸为 200 mm×50 mm, 搭接宽度 50 mm, 制备 H 型拉伸试件。试样在标准条件下[温度(23±2) °C, 湿度(50±5)%RH]养护 168 h 后进行测试, 采用万能材料试验机把试样两端分别夹持于上下夹具, 夹具间距设置为 150 mm, 以 100 mm/min 的恒定速率施加拉伸载荷, 记录试样破坏时的最大荷载值, 剪切强度按照公式进行计算[公式(1)]:

$$\tau = \frac{F}{b \times l} \quad (1)$$

式中, τ 为接缝剪切强度, N/mm; F 为最大拉伸荷载, N; b 为试样宽度, mm; l 为搭接宽度, mm。每组试样不少于 5 个, 取算术平均值, 优质接缝剪切强度应达到基材拉伸强度的 80%以上, 破坏形式应为基材断裂而非接缝剥离, 若出现界面脱黏说明接缝质量不合格^[3]。接缝剪切强度测试示意图如图 1 所示。

第一作者: 宋晓丽, 中级工程师, 主要研究方向为建筑材料的检验检测工作。E-mail: 18266239621@163.com

*通信作者: 徐 昆, 中级工程师, 主要研究方向为工程检测。E-mail: 15853288570@163.com

表 1 不同连接方式接缝强度性能对比

连接方式	施工温度要求/°C	搭接宽度/mm	剪切强度/(N/mm)	剥离强度/(N/mm)	基材强度比/%	适用卷材类型
热熔焊接	180~220	≥100	12~15	2.0~2.5	85~90	SBS、APP 改性沥青卷材
自粘搭接	≥5	≥80	8~12	1.5~2.0	75~85	自粘型改性沥青卷材
胶黏剂黏结	≥5	≥80	10~14	1.8~2.3	80~88	TPO、PVC 热塑性卷材

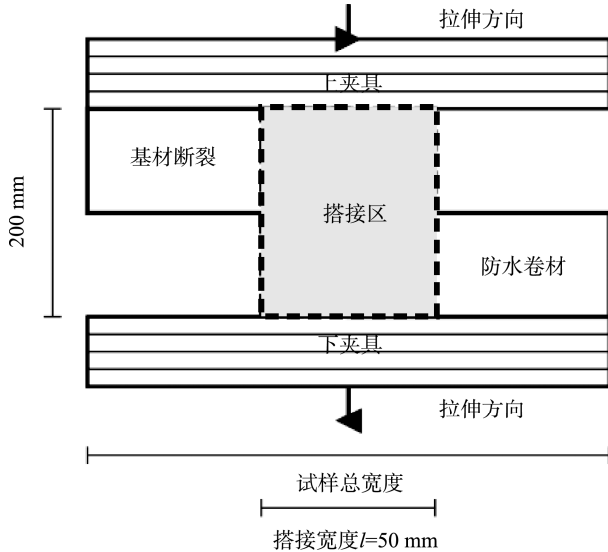


图 1 接缝剪切强度测试示意图

1.3 接缝剥离强度检测方法

接缝剥离强度反映搭接界面的黏结性能, 检测依据 GB/T 328.10—2007《建筑防水卷材试验方法 第 10 部分 沥青和高分子防水卷材 不透水性》标准, 采用 180°剥离试验方法。

(1) 试样制备。将两层卷材按施工工艺搭接黏合, 搭接宽度 80 mm, 试样宽度 50 mm, 长度不小于 300 mm, 搭接端部预留 50 mm 不黏合作为夹持端^[4]。

(2) 试验程序。试样在 23 °C 标准条件养护 7 d 后, 将未黏合端分别夹持于试验机上下夹具, 保持 180°剥离角度, 以 300 mm/min 速率进行剥离, 连续记录剥离过程中的力值变化。

(3) 结果评定。剥离强度按公式(2)计算:

$$p = \frac{F}{b} \quad (2)$$

表 2 人工加速老化试验条件与性能衰减规律

老化类型	试验条件	老化时间/h	拉伸强度保持率/%	断裂伸长率保持率/%	低温柔度变化/°C	主要劣化特征
紫外光老化	550 W/m ² , (63±3) °C 黑板温度	500	92	88	-2	表面粉化
		1000	85	78	-3	轻微龟裂
		2000	72	65	-5	明显龟裂
热空气老化(70 °C)	恒温(70±2) °C	168	95	90	-1	颜色加深
		336	88	82	-3	硬度增加
热空气老化(80 °C)	恒温(80±2) °C	672	78	70	-4	柔韧性下降
		168	90	85	-2	软化剂迁移
热空气老化(80 °C)	恒温(80±2) °C	336	80	72	-4	表面发黏
		500	83	76	-3	胎基水解
湿热老化	(70±2) °C、(95±3) %RH	500	83	76	-3	胎基水解

式中, p 为剥离强度, N/mm; F 为平均剥离力, N; b 为试样宽度, mm。合格标准要求剥离强度 ≥ 1.5 N/mm, 且剥离过程中应出现基材撕裂现象, 若发生界面完全分离则判定为不合格^[5]。

2 防水卷材老化机制与性能衰减规律

2.1 环境因素对卷材性能的影响机制

聚合物防水卷材在使用过程中受到多种环境因素的协同作用而发生性能劣化, 紫外光辐射是导致卷材老化的主要因素, 波长 280~400 nm 的紫外线能量足以破坏高分子材料化学键, 引发自由基链式反应让分子链断裂或交联, 使材料硬化和脆化, 热氧老化过程当中, 温度每升高 10 °C 化学反应速率大约增加 1 倍, 氧气和高分子链发生氧化反应生成羰基、羟基等极性基团, 破坏材料的分子结构^[6]。

湿热环境下, 水分子渗入卷材内部会引起增塑剂溶出迁移, SBS 改性沥青中的软化剂含量能够下降 15%~25%, 经过 50 次冻融循环之后, 卷材的低温柔度可以降低 5~8 °C, 断裂伸长率下降 20%~30%^[7]。

2.2 人工加速老化试验设计

人工加速老化试验通过强化环境应力缩短试验周期, 评估卷材的耐久性能, 紫外光老化试验采用氙灯老化箱模拟太阳光谱, 辐照强度设定为 550 W/m²(波长 300~400 nm), 黑板温度(63±3) °C, 喷水周期为 102 min 干燥, 18 min 喷淋交替进行^[8]。热空气老化试验把试样放在恒温烘箱中且温度设定为(70±2) °C、(80±2) °C 2 个等级来模拟高温环境长期作用, 湿热老化试验采用恒温恒湿箱且温度为(70±2) °C、相对湿度(95±3) %RH, 不同老化条件下卷材性能的衰减规律如表 2 所示, 紫外光老化 2000 h 后拉伸强度保持率能降至 72%, 热空气老化对低温柔度影响较为显著^[9]。

2.3 老化性能评价指标体系

老化性能评价通过对比老化前后材料物理力学性能的变化率来判定, 拉伸强度保持率是核心指标, 计算公式(3)为:

$$R_t = \frac{T_a}{T_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中, R_t 为拉伸强度保持率, %; T_a 为老化后拉伸强度, MPa; T_0 为老化前拉伸强度, MPa。国标要求热空气老化后强度保持率 $\geq 80\%$, 断裂伸长率保持率 $\geq 70\%$, 低温柔度试验在 $-25\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下弯折卷材试样, 观察有无裂纹、老化后低温柔度下降不能超过 $5\text{ }^\circ\text{C}$, 不透水性检测需采用 0.3 MPa 水压持续 30 min 且试样背面不能出现渗水现象, 表现形态观察要记录卷材表面是否出现粉化开裂起泡等缺陷^[10]。红外光谱分析能够检测羰基指数变化、羰基指数增加意味着氧化程度加深、当羰基指数超过 0.3 时材料性能会显著劣化^[11]。

3 工程应用中的质量控制与寿命预测

3.1 现场接缝质量检测技术

现场接缝质量检测分为非破损检测和取样检测。

(1)非破损检测。红外热成像检测是利用接缝缺陷部位跟完好部位热传导存在差异, 在卷材表面加热之后用红外热像仪进行扫描, 温度异常区域会显示成冷点或者热点, 能够识别脱黏、空鼓等缺陷, 检测效率能达到 $500\text{ m}^2/\text{h}$ 。超声波脉冲反射法是通过分析超声波在接缝界面的反射信号来判断黏结质量, 黏结良好时反射波幅值小于 30% , 存在脱黏情况时反射波幅值超过 60% ^[12]。

(2)现场取样检测。按照每 1000 m^2 抽取一组试样, 采用便携式拉伸试验仪开展剪切强度测试, 要求接缝强度不低于设计值的 85% 。

对于像穿墙管道周边这些重要部位, 要把检测频次增加到每 500 m^2 一组, 以此确保关键节点的施工质量^[13-14]。

3.2 基于老化试验的寿命预测模型

防水卷材使用寿命预测常采用 Arrhenius 方程建立时温等效关系, 加速老化试验在温度 T_1 下进行 t_1 小时, 等效于自然环境温度 T_2 下使用 t_2 小时, 加速因子计算公式(4)为:

$$AF = \exp\left[\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right] \quad (4)$$

式中, AF 为加速因子; E_a 为活化能, kJ/mol, SBS 改性沥青卷材的 E_a 约为 $80\sim 100\text{ kJ/mol}$; R 为气体常数 [$8.314\text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$]; T_1 , T_2 为绝对温度, K。以 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 热空气老化 168 h 为例, 当自然环境平均温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 加速因子约为 32 , 相当于自然使用 5376 h (约 7.4 个月), 结合拉伸强度衰减至初始值 70%

作为失效判据, 若 2000 h 加速老化后强度保持率为 72% , 可推算卷材使用寿命约为 $15\sim 20$ 年, 预测时还需乘以紫外辐射、湿度等环境因素的修正系数 ($0.7\sim 0.9$)^[15]。

4 结束语

聚合物防水卷材接缝强度与耐老化性能检测是保障防水系统质量的核心环节。通过建立接缝剪切强度, 剥离强度的标准化检测方法, 明确优质接缝应达基材强度 80% 以上且破坏形式为基材断裂的判定标准。工程实践中应用红外热成像等非破损检测技术加强现场质量控制, 运用 Arrhenius 模型预测使用寿命, 采取抗老化配方优化, 接缝增强层设置, 表面保护层应用等综合技术措施, 可显著提升防水工程的长期服役性能和可靠性。进一步研究不同接缝连接方式(热熔焊接、自粘搭接、胶黏剂黏结)在复杂环境条件下的耐老化性能差异, 建立更加准确的接缝寿命预测模型。

参考文献

- [1] 陈雪松, 孙宝帅, 李毅程. 新型防水材料在建筑地下室防水工程中的应用实践[J]. 居舍, 2025(30): 52-54, 58.
- [2] 蒲亮, 周欣珂, 夏克然, 等. 复合防水体系-防水卷材与防水涂料相容性搭配研究[J]. 四川建材, 2025, 51(9): 28-30.
- [3] 周欣珂, 蒲亮, 夏克然, 等. 复合防水体系-防水卷材与防水涂料耐老化性能的研究[J]. 四川建材, 2025, 51(8): 32-36.
- [4] 毛小鹏, 黄宏海, 陈宇晗, 等. 软化油对弹性体改性沥青防水卷材物理和老化性能的影响研究[J]. 中国建筑防水, 2024(6): 9-13.
- [5] 吴士玮, 罗伟新, 刘金景, 等. 寒冷地区专用聚合物改性沥青防水卷材[J]. 新型建筑材料, 2018, 45(8): 143-146.
- [6] 于倩. 塑性体改性沥青防水卷材检测技术的探讨[J]. 实验室检测, 2026, 4(2): 171-174.
- [7] 谷亚新, 宋友斌, 刘运学, 等. 抗氧化剂对热塑性聚烯烃防水卷材耐老化性能的影响[J]. 塑料工业, 2025, 53(6): 131-138.
- [8] 黄小琳. 建筑防水材料的检测及其应用技术[J]. 江西建材, 2024(8): 119-121.
- [9] 肖莉, 康杰分. 丙烯酸防水涂料与沥青防水卷材的相容性及耐老化性能研究[J]. 中国建筑防水, 2024(5): 9-12, 17.
- [10] 赵忱. 建筑用高分子防水卷材防水可靠性评估方法[J]. 工程质量, 2024, 42(3): 47-51.
- [11] 张辉. 自粘聚合物改性沥青防水卷材耐老化性能试验研究[J]. 合成材料老化与应用, 2023, 52(2): 55-57.
- [12] 段学伟, 许渊, 陈寿飞, 等. 丁基胶预铺防水卷材性能的研究[J]. 中国建筑防水, 2023(1): 16-20.
- [13] 欧阳威猛, 梁泽钧. 耐老化助剂体系对 TPO 防水卷材热老化性能影响的研究[J]. 中国建筑防水, 2021(12): 5-9, 40.
- [14] 胡然, 黄中峰, 刘正欣. 高分子防水卷材在隧道及地下工程中的应用探讨[J]. 中国住宅设施, 2021(10): 27-28.
- [15] 任欣欣, 郭素华, 康诗懿, 等. 增塑剂和增韧剂对 PVC 防水卷材耐老化性能的影响[J]. 天津科技大学学报, 2018, 33(4): 44-48.