

Durability Test of Repair Materials for Concrete Surface Cracks

Yuan Xue

University of Information Science and Engineering, Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

During service life, concrete structures are prone to surface cracking due to environmental erosion, load effects, and material aging. The presence of cracks compromises structural integrity, exacerbates internal reinforcement corrosion and material degradation, and shortens service life. Crack repair materials serve as critical components for defect remediation and durability assurance, with their performance stability directly impacting repair outcomes. This study systematically investigates the etiology and classification characteristics of concrete surface cracks, analyzes commonly used repair materials including their properties and mechanisms of action, identifies key factors affecting material durability, and designs scientifically validated durability testing protocols. Through mechanical property evaluations and durability performance assessments, degradation patterns are systematically analyzed. Targeted application improvement measures are proposed based on experimental results to provide technical support for material selection, mix optimization, and construction control in concrete surface crack repair projects. These efforts aim to address persistent challenges such as inadequate material durability and short-term repair effectiveness in current crack repair solutions.

Keywords

concrete cracks; repair materials; durability; experimental study; performance optimization

混凝土表面裂缝修复材料的耐久性试验

薛源

信息工程大学, 中国·河南郑州 450000

摘要

混凝土结构在服役期间, 由于环境侵蚀、荷载作用以及材料老化等原因, 表面裂缝很容易出现, 裂缝的存在会造成结构整体性受到破坏, 从而加重内部钢筋锈蚀和材料劣化, 缩短结构的服役寿命。裂缝修补材料是修补结构缺陷、保证结构耐久性的重要材料, 它的性能稳定直接影响到修复工程的效果。通过对混凝土表面裂缝成因和分类特征进行梳理, 分析常用的修复材料种类、性能以及作用机理, 找出影响修复材料耐久性的关键因素, 设计科学合理的耐久性试验方案, 对力学性能和耐久性能进行测试, 分析材料性能退化规律, 根据试验结果提出有针对性的应用改进措施, 为混凝土表面裂缝修复工程材料选择、配比优化和施工控制提供技术支持, 解决目前混凝土表面裂缝修复材料耐久性差、修复效果短期失效的问题。

关键词

混凝土裂缝; 修复材料; 耐久性; 试验研究; 性能优化

1 引言

裂缝修复材料用以填充、黏结, 封堵裂缝通道, 阻断有害介质进入, 并加强裂缝处的结构整体性, 改善结构力学性能。但是目前市场上修复材料种类繁多, 性能相差很大, 部分材料只能起到短期封闭作用, 在复杂的服役环境中容易出现黏结失效、开裂、老化等问题, 造成修复工程反复进行, 增加工程维护成本。耐久性属于修复材料的关键性能指标, 它关乎修复工程的长久可靠程度, 开展修复材料耐久性试验研究, 弄清楚材料性能退化规律和影响要素, 改良材料应用

策略, 对于改善混凝土结构修复品质, 延长结构服役年限有着十分重要的现实意义, 而且也是当下混凝土结构保养领域的重要研究趋向。

2 裂缝修复材料理论基础

2.1 裂缝成因与分类特征

混凝土表面裂缝是由内部应力和外部环境共同作用而产生的, 可分为材料自身原因和外部作用原因两种。材料自身因素是由配合比、骨料级配不合理、水化热释放不均引起的, 造成硬化时收缩变形不协调产生内应力; 外部因素有温度应力、荷载作用、环境侵蚀、施工缺陷等, 温差过大、局部应力集中或者恶劣环境都会引起裂缝。裂缝根据其机理可分为收缩裂缝、温度裂缝、荷载裂缝和腐蚀裂缝, 形态、宽

【作者简介】薛源(1995—), 男, 中国河南郑州人, 本科, 助理工程师, 从事土木工程研究。

度及分布均存在差别,收缩裂缝常呈细小网状,温度裂缝随温度变化而变动,荷载裂缝与受力方向一致,腐蚀裂缝伴随着表层剥落,准确判定类型与成因是选择合适的修复材料的前提^[1]。

2.2 常用修复材料类型与性能

修复材料根据材质分为有机、无机和复合三种,性能及适用场景不同。有机材料以环氧树脂等为主要成分,黏结强度高、柔韧性好、施工方便,适合于室内细微裂缝的修补,但是耐温耐老化性能差,容易脆化失效;无机材料以水泥基为主,与混凝土相容性好、耐久性强,适合于室外宽裂缝的修补,柔韧性与黏结强度较低;复合材料结合了两者的优势,具有黏结、柔韧和耐久的优点,应用范围较广,盲目选择会造成修复效果不好。

2.3 修复材料作用机理分析

修复材料的主要作用机理就是填充、黏结、固化封闭裂缝,阻止有害介质进入,提高结构整体性和力学性能。黏结是基础,依靠物理吸附和化学反应形成牢固的界面,防止修复层剥落,填充是解决宽裂缝,消除通道减少内部劣化的手段,固化是强度形成的环节,有机材料靠化学反应固化,无机材料靠水化形成硬化体,抵抗荷载和侵蚀。部分材料还有渗透作用,可以渗透到细微裂缝里实施深层修补,改善抗渗抗腐蚀性能,减缓裂缝发展^[2]。

3 耐久性试验方案与结果

3.1 试验材料与试件制备

试验选择有机、无机和复合三种常用的修复材料作为研究对象,分别为环氧树脂类、水泥基复合材料和环氧-水泥复合修复材料,各类材料均为市售主流产品,其性能指标符合有关规范的要求。试件制备采用与实际工程相同的混凝土强度等级,制作标准混凝土试件,用人工切割的方式在试件表面制备不同宽度的模拟裂缝,模拟实际工程中常见的收缩裂缝和荷载裂缝,裂缝宽度控制在合理的范围内,保证试件和实际工程裂缝特征一致。试件制备完毕后,放在标准养护环境中养护到规定龄期,养护结束后对裂缝表面进行清理,清除表面浮尘、杂物和松散混凝土,保证裂缝表面干净、干燥,为修复材料施工创造良好的条件。修复材料施工按照相关施工规范进行,用涂抹、填充的方式将修复材料均匀填充到裂缝内部和表面,保证裂缝完全封闭,施工完成后放在标准环境下养护,直到修复材料完全固化为止,用于后续力学性能和耐久性测试。

3.2 试验方法与加载制度

试验采用室内模拟试验法,结合实际工程服役环境,设计力学性能试验和耐久性试验两种试验项目,对修复材料的耐久性进行全方位的评价。力学性能测试主要有黏结强度测试和抗折强度测试,黏结强度测试用拉伸试验法,用专用测试设备对修复层和混凝土界面施加拉伸荷载,直到界面

剥离为止,记录最大拉伸荷载,计算黏结强度;抗折强度测试用三点弯曲试验法,对修复后的混凝土试件进行弯曲加载,记录试件破坏时的最大荷载,计算抗折强度。耐久性测试采用环境模拟试验方法,模拟温度循环、干湿交替、盐雾侵蚀等典型的恶劣服役环境,将修复后的试件放入模拟的环境中进行长期养护,定时取出试件做性能测试,分析修复材料性能退化的规律。温度循环试验用高低温交替循环的方式模拟不同的季节温度变化,干湿交替试验用浸水和烘干交替的方式模拟雨水侵蚀和自然干燥的环境,盐雾侵蚀试验用盐雾喷淋的方式模拟海洋或者盐碱地区的腐蚀环境,各种试验都按照相关规范设定加载制度和试验周期,保证试验结果的科学性和可靠性^[3]。

3.3 力学性能测试结果

力学性能测试结果表明,各种修复材料的粘接强度和抗折强度有较大的差别。有机修复材料的黏结强度最高,能和混凝土表面牢固黏结,但是抗折强度低,柔韧性好,受力时容易产生塑性变形,不容易开裂;无机修复材料的抗折强度高,与混凝土相容性好,可以和混凝土形成整体受力体系,但是黏结强度较低,柔韧性差,受力时容易出现修复层开裂;复合修复材料的黏结强度和抗折强度都比较高,兼具有机和无机材料的优点,受力时能有效地传递荷载,防止修复层剥离和开裂,力学性能最好。修复后的试件力学性能比未修复的试件要好很多,裂缝处的承载能力得到较好地恢复,复合修复材料修复后试件的力学性能提高最明显,可以更好地满足结构受力的要求。不同的裂缝宽度对修复材料的力学性能也有一定的影响,裂缝宽度越大,修复材料的黏结强度和抗折强度就越低,修复效果越差,细微裂缝的修复效果比宽裂缝好。

3.4 耐久性退化规律

耐久性测试结果表明,各种修复材料在模拟恶劣环境下都会出现不同程度的性能退化,退化规律同材料种类、环境条件有关。温度循环环境下,有机修复材料性能退化最严重,长期高低温交替会使材料脆化、黏结强度急剧降低,甚至造成修复层开裂、剥离,无机修复材料性能退化较慢,耐高温、抗温度变化能力强,只是长期循环后才出现轻微性能下降,复合修复材料性能退化程度介于两者之间,可以较好地抵抗温度变化的影响。干湿交替环境下的无机修复材料性能退化比较明显,水分反复侵入会造成材料内部结构破坏,黏结强度和抗折强度下降;有机修复材料抗水性能好,性能退化较慢,但是长期干湿交替还是会引发界面黏结失效;复合修复材料通过成分优化,抗水性能较好,性能退化速度比单一材料要慢得多。盐雾侵蚀环境下,各种修复材料的性能都会出现明显的退化,盐雾中含有的有害离子会进入修复层和混凝土界面,破坏黏结效果,加快材料劣化,有机修复材料的抗腐蚀性能最差,无机修复材料相对较好,复合修复材料通过添加抗腐蚀成分,抗盐雾侵蚀能力得到明显

提高。

4 修复材料应用改进建议

4.1 材料配比优化方向

材料配比优化属于提高修复材料耐久性的主要手段,依照材料种类以及适用场合的不同,对材料配比参数实施有区别的调整,从而弥补单一材料所存在的性能短板。有机修复材料要改进树脂和固化剂的比例,适量加入抗老化剂、柔韧性改善剂,加强材料的抗老化性能和柔韧性,削减温度起伏和紫外线照射引发的脆化、开裂情况,还可以加入渗透剂来加强材料的渗透能力,达成对细微裂缝的深层修补。无机修复材料要改善水泥、骨料和外加剂的配比,调节骨料级配,加入减水剂、膨胀剂,削减材料收缩变形,加强材料的黏结强度和柔韧性,防止修复层开裂,还可以添加抗腐蚀成分,提高材料的抗盐雾、抗酸碱侵蚀能力。复合修复材料要改善有机和无机成分的配比比例,兼顾粘接强度、柔韧性、耐久性,按照裂缝种类和服役环境来调节两种成分的比例,保证材料性能同修复需求相适应,还可以加入纳米改性材料,改良材料内部结构,加强材料的力学性能和耐久性能。

4.2 施工工艺控制要点

施工工艺的规范性影响到修复材料的耐久性和修复效果,要从裂缝清理、材料施工、养护等主要环节入手,加强施工质量控制。裂缝清理要将裂缝表面的浮尘、杂物、松散混凝土、油污清除干净,用高压水枪、钢丝刷等工具清理,保证裂缝表面干净、干燥,必要时可以使用烘干设备对裂缝进行烘干处理,防止水分影响修复材料的黏结效果。材料施工必须严格按照配比要求配置修复材料,保证材料均匀混合,无结块、分层现象;施工时将修复材料均匀填充到裂缝内,使裂缝完全封闭,无空隙、气泡,宽裂缝用分层填充、分层固化的方法提高修复效果;施工厚度应控制在合理范围内,防止过厚或过薄造成修复层开裂、剥离。养护过程要严格按照养护规范执行,根据修复材料种类确定合适的养护周期和养护环境,防止温度过高、过低或者湿度变化太大影响材料的固化效果,养护期间不得使试件受到外力碰撞和振动,保证修复层与混凝土界面牢固黏结。

4.3 适用条件与选型建议

修复材料的选择要根据裂缝类型、宽度、服役环境和结构受力要求来确定,不能随意选择材料造成修复效果不好。室内或者环境温和的区域细微收缩裂缝,可以使用有机修复材料,黏结强度高、施工方便,可以快速封闭裂缝;室外恶劣环境、温差大区域或者宽裂缝,可以使用无机修复材

料,耐久性好、抗温度变化能力强,能和混凝土形成整体受力体系;对要求较高的重要工程、复杂服役环境或者不同类型混合裂缝,可以采用复合修复材料,兼顾各种材料的优点,满足不同的修复需求,提高修复工程的长期可靠性。选型时要考虑材料的耐久性、力学性能和施工方便程度,根据工程实际需要,优先选择性能稳定、适应性强的修复材料,还要查验材料质量证明文件,保证材料性能满足相关规范要求。

4.4 长期性能保障措施

修复材料长期性能保证要创建全流程管控体系,融合材料改良、施工把控和后期保养,保证修复成果的长久性。材料进场前要进行性能检测,选择性能稳定、耐久性好的产品,禁止不合格材料进入施工现场;在施工过程中加强质量控制,严格按照施工规范执行,保证施工质量达到要求,防止施工缺陷造成材料性能下降。修复工程完成后要建立长期监测制度,定时对修复区域开展检查工作,观测修复层是否完整,黏结状况怎样,性能出现何种改变等状况,及时察觉并解决修复层开裂,剥离等状况。在恶劣服役环境下修复工程中,在修复层表面增加防护层,减缓紫外线、水分、有害介质对修复材料的侵蚀,提高修复材料的使用寿命;定期对修复区域进行维护,及时清除表面杂物、浮尘,必要时做二次修复,保证混凝土结构长期的安全和稳定。

5 结语

混凝土表面裂缝修补材料的耐久性关系到修复工程的效果,也是保证混凝土结构服役安全的重要因素。不同种类的修复材料在力学性能和耐久性能上存在较大差别,其适用范围以及效果也各不相同,有机修复材料粘接强度高但是抗老化性能差,无机修复材料耐久性好但是柔韧性差,复合修复材料具有各种优点,是今后修复材料的发展方向。耐久性试验结果表明,温度变化、干湿交替、盐雾侵蚀等环境因素都会加快修复材料性能的退化,材料自身的性能、施工质量都会对耐久性产生重要的影响。根据试验结果和理论分析,经由改善材料配比、规范施工工艺、合理选型并创建长期监测维护体系等手段,可较好地改善修复材料的耐久性能,破解目前修复工程短期失效的难题。

参考文献

- [1] 张正周.公路工程混凝土护栏修复材料耐久性试验[J].交通世界,2026(1):23-25.
- [2] 樊康鑫,罗健林,陶雪君.水泥与混凝土路基材料性能的长期耐久性分析[J].水泥,2026(1):102-104.
- [3] 刘晓辉,武宁,陈鹏刚.自修复混凝土材料在桥梁耐久性提升中的应用研究[J].中国高科技,2025(13):91-93.