

钢筋混凝土结构裂缝修复与加固技术的应用研究

梁千

370682*****3119

摘要: 钢筋混凝土结构是建筑工程的核心载体, 广泛应用于建筑、桥梁等领域, 而裂缝问题是其常见病害。裂缝的存在易导致结构承载力下降、耐久性受损, 严重时甚至引发安全事故, 因此修复与加固技术成为保障结构安全的关键。当前, 裂缝修复过程中存在技术适配性不足的问题, 部分技术与裂缝类型、结构场景不匹配; 加固效果稳定性差, 受环境、施工影响易出现性能衰减, 这些问题制约结构整体性能提升。

关键词: 钢筋混凝土结构; 裂缝修复技术; 加固技术

DOI: 10.69979/3029-2727.25.12.028

引言

钢筋混凝土结构因强度高、成本低、耐久性较好等优势, 被广泛应用于建筑、桥梁、市政道路、水利工程等多个领域, 是现代工程建设的核心结构形式。但在实际工程中, 结构在施工、使用及环境作用下极易产生裂缝。若裂缝未得到及时有效处理, 会逐渐扩展延伸, 破坏混凝土内部结构, 引发钢筋锈蚀、混凝土碳化等问题, 严重影响结构的承载力与耐久性, 缩短使用寿命, 甚至威胁工程使用安全与人身安全。

1 钢筋混凝土结构裂缝的成因与类型分析

1.1 施工过程导致的裂缝成因

施工过程是钢筋混凝土结构产生裂缝的重要环节, 主要与材料、浇筑、养护三方面因素相关。材料方面, 若混凝土配合比设计不合理, 骨料级配不当、水泥用量过多或水灰比过大, 会导致混凝土收缩变形过大, 易产生裂缝; 水泥质量不合格或骨料中含有杂质, 也会影响混凝土强度与稳定性, 诱发裂缝。浇筑过程中, 若混凝土振捣不密实, 内部存在气泡、空隙, 会降低结构密实度, 形成薄弱区域, 后期易出现裂缝; 浇筑速度过快、分层浇筑间隔时间过长, 会导致新旧混凝土结合不良, 产生界面裂缝。养护方面, 养护不及时或养护时间不足, 混凝土水分过快蒸发, 表面干缩速度大于内部, 易产生表面干缩裂缝; 养护温度、湿度控制不当, 也会加剧混凝土收缩, 引发裂缝。

1.2 使用阶段引发的裂缝类型

使用阶段, 荷载、温度、湿度变化会引发不同类型的裂缝。荷载方面, 结构承受的荷载超过设计限值, 或荷载分布不均, 会导致局部应力集中, 在应力集中区域

易产生弯曲裂缝、剪切裂缝; 长期承受交变荷载, 会引发疲劳裂缝, 此类裂缝初期细小, 随荷载循环次数增加逐渐扩展。温度变化方面, 环境温度剧烈波动时, 混凝土热胀冷缩, 若结构约束较强, 无法自由变形, 会产生温度应力, 当应力超过混凝土抗拉强度时, 会出现温度裂缝, 常见于大体积混凝土结构或露天结构。湿度变化方面, 混凝土长期处于湿度交替变化环境中, 会发生干湿循环, 导致体积反复收缩膨胀, 易产生干缩裂缝, 此类裂缝多分布在结构表面, 呈不规则网状或纵向形态。

1.3 环境因素造成的裂缝特征

环境因素中, 腐蚀、冻融、碳化会对钢筋混凝土结构造成损伤, 形成具有特定特征的裂缝。腐蚀方面, 氯离子、硫酸盐等腐蚀性介质侵入混凝土内部, 会与钢筋发生化学反应, 导致钢筋锈蚀膨胀, 挤压周围混凝土, 产生沿钢筋走向的纵向裂缝, 此类裂缝多为平行于钢筋的直线型, 严重时会伴随混凝土保护层剥落。冻融方面, 在寒冷地区, 混凝土内部孔隙水结冰膨胀, 融化后体积收缩, 反复冻融循环会使混凝土内部结构破坏, 产生冻融裂缝, 初期表现为表面起砂、剥落, 后期发展为内部贯通裂缝, 降低结构强度。

2 钢筋混凝土结构裂缝修复技术的应用与操作要点

2.1 表面修复技术的适用场景与操作规范

表面修复技术主要包括涂抹法与粘贴法, 适用于裂缝宽度较小、深度较浅, 且不影响结构承载力的表面裂缝处理, 如干缩裂缝、表面温度裂缝等。涂抹法常用材料有环氧树脂砂浆、聚合物水泥砂浆等, 操作时需先清理裂缝表面, 去除灰尘、油污及松散混凝土, 确保表面

干燥清洁；再将修复材料均匀涂抹在裂缝表面及周围区域，厚度需符合设计要求，涂抹过程中需压实抹平，确保材料与混凝土表面紧密结合。

2.2 内部修复技术的材料选择与施工要点

内部修复技术包括灌浆法与注浆法，适用于裂缝宽度较大、深度较深，或贯穿性裂缝的处理，可有效填充裂缝内部空隙，恢复结构整体性。材料选择需结合裂缝特征与使用环境，裂缝宽度较小时，可选用环氧树脂类灌浆材料，其粘结强度高、流动性好，能有效填充细小裂缝；裂缝宽度较大或处于潮湿环境时，可选用水泥基灌浆材料，其强度高、耐久性好，且与混凝土相容性好。

2.3 复合修复技术的适配条件与效果控制

复合修复技术是表面修复与内部修复相结合的方法，适用于裂缝情况复杂，如表面有明显破损且内部存在空隙，或对结构修复效果要求较高的场景，如重要建筑构件、桥梁承重结构等。适配条件需满足裂缝既有表面缺陷，又存在内部贯通或深层空隙，单一修复技术无法达到理想效果。施工时需先采用内部修复技术（如灌浆）填充裂缝内部，待内部修复材料固化后，再采用表面修复技术（如粘贴纤维布）处理表面缺陷，增强结构表面强度与抗裂性能。效果控制需注重各修复环节的衔接，内部修复后需检测裂缝填充情况，确保无空隙。

3 钢筋混凝土结构加固技术的创新与应用方向

3.1 传统加固技术的优化升级方向

传统加固技术中的粘贴钢板法与外包混凝土法，在工程中应用广泛，其优化升级方向主要聚焦于提升加固效果与施工便捷性。粘贴钢板法优化可从材料与工艺入手，采用高性能粘结剂，提高钢板与混凝土的粘结强度和耐久性；对钢板进行防腐处理，如镀锌或涂刷防腐涂料，延长使用寿命；开发轻量化钢板材料，降低结构附加荷载。外包混凝土法优化可改进混凝土材料性能，采用高性能混凝土或纤维增强混凝土，提升加固后结构的强度与抗裂性；优化施工工艺，如采用喷射混凝土施工，减少模板用量，提高施工效率；合理设计外包混凝土截面尺寸，在保证加固效果的同时，减少对结构空间的占用。

3.2 新型加固技术的应用场景

新型加固技术中，FRP 复合材料加固法与体外预应力加固法具有独特优势，适用场景各有侧重。FRP 复合材料具有强度高、重量轻、耐腐蚀等特点，适用于对结

构自重敏感、处于腐蚀环境或空间受限的场景，如桥梁上部结构加固、古建筑钢筋混凝土构件加固、沿海地区建筑结构加固等。该技术可有效提升结构承载力，且施工便捷，对结构正常使用影响较小。体外预应力加固法通过在结构外部设置预应力筋，施加预应力来抵消部分荷载效应，适用于大跨度结构、受弯构件承载力不足的加固，如桥梁主梁、厂房吊车梁、大型框架梁等。

3.3 智能加固技术的创新发展方向

智能加固技术是当前研究热点，其创新发展方向主要集中在自修复材料与监测一体化两方面。自修复材料方面，开发具有自修复功能的混凝土或粘结剂，如在材料中掺入微胶囊，当结构产生裂缝时，微胶囊破裂释放修复剂，自动填充裂缝并固化，实现裂缝自修复；研究生物自修复技术，利用微生物在裂缝中代谢产生碳酸钙，填补裂缝空隙，提升结构耐久性。监测一体化方面，将传感器与加固材料结合，如在 FRP 复合材料中嵌入光纤传感器，在加固过程中同步实现对结构应力、应变、温度等参数的实时监测；开发无线监测系统，实现数据远程传输与分析，及时掌握加固后结构的性能变化，当出现异常时发出预警，为结构维护提供依据，实现加固与监测的一体化管理。

4 钢筋混凝土结构裂缝修复与加固技术的应用优化路径

4.1 基于裂缝特征的修复与加固技术适配选择路径

基于裂缝特征的技术适配选择，需先全面检测裂缝的宽度、深度、长度、走向及分布情况，明确裂缝类型与成因。裂缝宽度较小、深度较浅且为表面裂缝时，优先选择表面修复技术，如涂抹法或粘贴法；裂缝宽度较大、深度较深或为贯穿性裂缝时，采用内部修复技术，如灌浆法或注浆法；裂缝情况复杂，兼具表面缺陷与内部空隙时，选用复合修复技术。加固技术选择需结合结构承载力评估结果，若结构承载力下降较小，可采用粘贴钢板或 FRP 复合材料加固；若承载力严重不足，或结构变形较大，可选用外包混凝土或体外预应力加固。

4.2 结合结构使用环境的技术施工工艺优化路径

结合结构使用环境优化施工工艺，需充分考虑环境因素对修复加固效果的影响。在潮湿环境或地下工程中，施工前需采取防潮、排水措施，确保施工面干燥；选用耐水型修复加固材料，如水泥基灌浆材料、水性粘结剂；

施工过程中加强对材料养护环境的湿度控制,避免湿度不当影响材料固化。在寒冷或高温环境中,需调整施工时间,避开极端温度时段;对材料进行温度适应性处理,如冬季施工时对灌浆材料采取保温措施,夏季施工时对粘结剂采取降温措施;优化养护工艺,延长养护时间,确保材料强度正常发展。在腐蚀环境中,施工前需对结构表面进行防腐处理;选用耐腐蚀性能强的材料,如FRP复合材料、镀锌钢板;施工后在结构表面涂刷防腐涂层,增强结构抗腐蚀能力。

4.3 面向全生命周期的修复加固后性能维护路径

面向全生命周期的性能维护,需建立从修复加固完成到结构报废的全过程维护体系。修复加固完成后,定期对结构进行外观检查,观察是否出现新的裂缝、修复材料是否脱落或老化;定期开展性能检测,如采用超声波、回弹法等检测结构内部质量与强度,采用钢筋扫描仪检测钢筋锈蚀情况。根据检测结果制定维护计划,若发现修复材料轻微老化,及时进行表面处理;若出现新的细小裂缝,采用表面修复技术进行修补;若结构性能出现明显下降,需评估是否需要再次加固。

5 钢筋混凝土结构裂缝修复与加固效果的保障机制

5.1 修复加固材料质量检测与性能评估机制

修复加固材料质量检测与性能评估,需从材料进场到使用前建立全流程管控。材料进场时,严格核查材料出厂合格证、检验报告,确保材料型号、规格符合设计要求;对进场材料进行抽样检测,检测项目包括材料的强度、粘结性能、耐久性等,如检测灌浆材料的抗压强度、FRP复合材料的抗拉强度、粘结剂的粘结强度等,不合格材料严禁使用。材料使用前,根据施工环境条件进行性能适配性评估,如在高温、潮湿环境中,评估材料的耐高温、耐水性是否满足要求;对混合配比的材料,需在现场进行试配,检测试配材料的性能指标,确保符合设计与施工需求,从源头保障修复加固材料质量。

5.2 施工过程的质量管控机制

施工过程质量管控需围绕工艺、人员、设备三方面展开。工艺管控方面,制定详细的施工方案,明确各工序的操作流程、技术参数与质量标准;施工前对操作人员进行技术交底,确保其掌握工艺要点;施工中加强工序检查,如灌浆施工时检查灌浆压力、孔距是否符合要

求,粘贴纤维布时检查粘结剂涂抹厚度、纤维布粘贴平整度,上道工序不合格不得进入下道工序。人员管控方面,选择具备相应资质与经验的施工队伍,操作人员需经培训合格后方可上岗;建立质量责任制度,明确各岗位人员的质量职责,对关键工序实行专人负责、专人监督。设备管控方面,施工前检查设备的性能状态,如灌浆机的压力稳定性、搅拌机的搅拌均匀性、检测设备的精度等,确保设备正常运行;定期对设备进行维护保养,避免因设备故障影响施工质量。

5.3 加固后结构性能的长期监测机制

加固后结构性能长期监测,需建立以承载力与耐久性为核心的监测体系。承载力监测方面,在结构关键部位布设应力、应变传感器,实时监测结构在荷载作用下的应力应变变化,分析结构承载力是否满足使用要求;定期开展静载试验或动载试验,评估结构的承载能力与刚度变化,当监测数据出现异常时,及时分析原因并采取措施。耐久性监测方面,布设钢筋锈蚀传感器、混凝土碳化深度检测点,定期监测钢筋锈蚀速率、混凝土碳化程度;监测环境因素,如温度、湿度、腐蚀性介质浓度,分析环境对结构耐久性的影响。

6 结论

本文通过分析裂缝成因与类型,明确了施工、使用、环境三类因素对裂缝产生的影响及不同裂缝的特征;梳理了表面、内部、复合三类修复技术的适用场景与操作要点,传统、新型、智能三类加固技术的创新方向与应用场景;设计了基于裂缝特征、使用环境、全生命周期的技术应用优化路径;构建了材料检测、施工管控、长期监测的效果保障机制,形成了系统化的裂缝修复与加固技术应用体系。

参考文献

- [1] 谢沛真,杨胜,林子涛.钢筋混凝土结构裂缝产生的原因及修复加固措施研究[J].工程技术研究,2024,9(11):116-118.
- [2] 蒋烨.混凝土裂缝的预防和有效修复措施[J].住宅与房地产,2018,(18):191.
- [3] 鲍烨超,赵鹏.浅谈混凝土局部开裂原因及修复措施[J].河南科技,2015,(22):91.
- [4] 王向林.电化学修复后钢筋混凝土柱延性性能及裂缝特征研究[D].昆明理工大学,2022.