

水利施工中混凝土裂缝防治管理研究

刘 华¹ 朱 荣²

1. 南通金都建设有限公司 江苏 南通 226000

2. 河南潞扬建设工程有限公司 江苏 南通 226000

摘 要：混凝土裂缝是制约水利工程耐久性与安全性的关键隐患，裂缝防治需从材料源头到施工全过程实施系统化管理。本文围绕水利施工中混凝土裂缝防治管理这一课题，深入剖析温度应力、干燥收缩、荷载约束及材料配合比等多重致裂因素，在此基础上构建涵盖原材料质量管控、配合比优化、拌合站运行管理的材料防控体系，并对浇筑温度控制、冷却水管布设、养护执行及接缝处理等施工环节的管理要点展开论述，同时提出基于温度场监测与裂缝观测的预警管理机制。为水利工程混凝土裂缝的全流程管控提供了系统性管理思路。

关键词：水利施工；混凝土裂缝；防治管理；温度控制；监测预警

引言：水利工程中混凝土结构长期承受水荷载与环境温变的双重作用，裂缝问题一直是施工质量管控的难点所在。裂缝一旦产生，不仅削弱结构整体承载能力，还会加速钢筋锈蚀、降低防渗性能，给工程安全运行埋下隐患。传统防治手段多聚焦于单一技术措施，缺乏从管理维度对裂缝成因、材料、工艺及监测各环节的统筹考量。将裂缝防治纳入系统化管理框架，从源头把控到过程监督再到动态预警形成闭环，对于提升水利混凝土施工质量具有重要的实践价值。

1 水利施工混凝土裂缝的成因分析

1.1 温度应力引发的裂缝

水泥水化热积聚是温度应力型裂缝产生的核心诱因，水泥在水化过程中会持续释放大量热量，水利工程中混凝土结构断面通常较厚，表面系数相对较小，释放的热量难以快速散发，导致热量在结构内部不断累积，进而引发内部温度急剧升高^[1]。内外温差梯度变化会直接催生温度应力，混凝土内部与表面温度差值过大时，表面混凝土因降温收缩受到内部约束，产生拉应力，当拉应力超过混凝土抗拉强度限值，便会形成裂缝。

1.2 干燥收缩引发的裂缝

表面水分蒸发速率过快会直接导致混凝土表面收缩开裂，水利施工多在露天环境开展，环境风速、温度等因素会加快混凝土表面水分蒸发，使表面混凝土快速失水收缩，而内部水分补充不及时，形成表面与内部收缩差异。混凝土完成浇筑进入硬化阶段后，整体结构会自然出现体积缩减现象，内部游离水分逐步向外散失进而带动胶体产生收缩形变，这类形变无法顺利舒展释放便会在结构内部积聚形成拉应力。养护环境湿度不足会加剧干燥收缩效应，未能及时提供充足保湿养护时，混凝土

土水分持续流失，收缩量不断增大，最终突破自身抗拉能力形成裂缝。

1.3 荷载与结构因素引发的裂缝

地基不均匀沉降会使混凝土结构产生附加应力，水利工程地基多为岩土体，受地质条件影响，不同区域地基承载力存在差异，沉降量不一致会导致混凝土结构受力不均，产生弯曲拉应力，进而引发裂缝。施工期超载堆放会超出混凝土结构早期承受能力，施工过程中各类物料随意堆放，使未达到设计强度的混凝土结构承受过量荷载，导致局部应力集中，引发开裂。结构约束应力集中会限制混凝土收缩变形，水利混凝土结构多与地基或其他构件刚性连接，收缩过程中受到约束作用，应力在约束部位不断积聚，当应力达到限值时形成裂缝。

1.4 原材料与配合比因素

水泥品种与用量直接影响混凝土抗裂性能，不同品种水泥水化热释放速率和总量存在差异，高热型水泥会加剧内部温度积聚，过量使用水泥则会增加水化热释放量和收缩量。骨料级配与含泥量对混凝土结构稳定性影响显著，级配不合理会降低混凝土密实度，含泥量过高会削弱骨料与水泥浆的粘结力，均会提升裂缝产生概率。

1.5 施工工艺因素

浇筑振捣方式不合理会留下裂缝隐患，振捣不足会导致混凝土内部存在孔隙、蜂窝等缺陷，降低结构密实度和抗拉能力，振捣过度则会造成骨料离析，破坏混凝土内部结构完整性。分层分块浇注接缝处理不当会形成薄弱环节，分层过厚或间歇时间过长，会导致上下层混凝土结合不紧密，形成冷缝，成为裂缝扩展的通道^[2]。拆模时间与顺序不符合规范要求，会使混凝土结构失去有效支撑，早期混凝土强度不足，无法承受自身重量和约

束应力,进而引发开裂。

2 裂缝防治的材料管控管理

2.1 原材料质量管控体系

水泥进场检验需严格按照水利工程施工质量标准执行,对进场水泥的强度等级、安定性、凝结时间等关键指标进行全面检测,不合格水泥严禁投入使用。存储管理需划分专用仓储区域,做好防潮、防雨、防晒措施,避免水泥受潮结块或性能衰减,同时按进场批次有序堆放,确保先进先出。骨料产地筛选需优先选择质地坚硬、性能稳定且符合设计要求的产地,规避含杂质过多、强度不足的骨料来源。级配控制需根据混凝土设计强度和抗裂要求,合理调整骨料粒径分布,确保骨料级配连续均匀,提升混凝土密实度和抗裂性能。拌合用水需符合混凝土拌合用水标准,严禁使用含油污、杂质及有害离子的水源,避免影响混凝土强度和耐久性。外加剂管理需严格把控选用标准,结合混凝土施工环境和抗裂需求选择适配外加剂,同时严格控制掺量,避免因外加剂使用不当引发混凝土性能异常。

2.2 配合比优化管理

低热水泥选用需结合水利混凝土结构断面特点和温度控制要求,优先选用水化热释放缓慢、热量总量较低的水泥品种,有效减少混凝土内部温度积聚,降低温度应力裂缝风险。掺合料掺量控制需结合水泥性能和混凝土设计要求,合理确定粉煤灰、矿渣粉等掺合料用量,既能替代部分水泥减少水化热,又能改善混凝土和易性及体积稳定性。水胶比动态调整需根据原材料性能、施工环境温度等因素灵活调整,在满足混凝土流动性和施工要求的前提下,尽可能降低水胶比,提升混凝土抗拉强度和抗裂能力,减少干燥收缩裂缝产生。

2.3 混凝土拌合站管理

计量设备校准与维护需定期开展,确保水泥、骨料、外加剂等原材料计量精度符合规范要求,避免因计量偏差导致配合比失控,影响混凝土抗裂性能。拌合时间需根据混凝土原材料特性和拌合设备性能合理确定,确保原材料充分混合均匀,提升混凝土匀质性。投料顺序需遵循科学合理的原则,避免骨料与外加剂直接接触,减少外加剂失效风险,同时保障拌合过程顺畅,提升混凝土拌合物质量。出机温度监控需结合施工环境温度开展,夏季采取降温措施、冬季采取保温措施,将混凝土出机温度控制在合理范围,避免温度过高或过低引发裂缝隐患。

3 裂缝防治的施工过程管理

3.1 浇筑过程管理

浇筑温度控制措施需结合施工环境温度灵活实施,高温环境下需对骨料、拌合用水进行降温处理,低温环境下需采取保温预热措施,将浇筑温度控制在适宜范围,减少温度应力产生^[3]。分层浇筑厚度控制需结合混凝土凝结速度和振捣能力合理确定,厚度过大易导致内部散热不畅、振捣不密实,厚度过小则会增加施工缝数量,需兼顾施工效率与抗裂需求。振捣操作规范管理需明确振捣方式与频率,振捣需均匀有序,避免漏振、欠振导致混凝土内部存在孔隙缺陷,也需防止过振造成骨料离析,保障混凝土结构密实性与整体性。

3.2 温度控制管理

预埋冷却水管布设需结合混凝土结构断面尺寸与温度控制要求,合理规划水管间距与走向,确保冷却水管覆盖整个结构断面,浇筑完成后通过循环通水带走内部积聚的水化热,降低内外温差。表面保温覆盖管理需在混凝土浇筑完成初凝后及时开展,选用保温性能良好的覆盖材料,避免表面温度快速散失,缩小内外温差梯度,减少表面裂缝产生。

3.3 养护过程管理

养护方式选择与执行需结合施工环境与混凝土性能,露天环境优先采用保湿养护方式,确保混凝土表面持续处于湿润状态,减少水分蒸发引发的干燥收缩。养护持续时间管控需满足混凝土强度增长与体积稳定需求,根据水泥品种、施工环境温度合理确定养护时长,避免过早停止养护导致混凝土强度不足、收缩加剧。养护用水与覆盖材料管理需严格把控质量,养护用水需洁净无杂质,避免污染混凝土表面,覆盖材料需具备良好的保湿、保温性能,且不易产生污染,确保养护效果。

3.4 施工缝与接缝处理管理

施工缝位置设定需避开结构受力集中部位与关键截面,结合混凝土浇筑流程合理规划,确保施工缝设置符合结构设计 with 施工规范要求,减少接缝处应力集中。接缝面处理工艺需规范实施,浇筑新混凝土前需清理接缝面杂物、浮浆,对表面进行凿毛处理,增强新旧混凝土粘结力,避免形成薄弱环节^[4]。止水材料与工艺控制需严格把控质量,选用适配水利工程的止水材料,确保材料性能符合抗渗、抗裂要求,施工过程中规范操作,保障止水效果,防止接缝处渗漏与开裂。

4 裂缝监测与预警管理

4.1 监测方案制定

监测点位布设原则需结合混凝土结构形式、受力特点及裂缝易发生区域,优先布置在断面突变、约束较强及水化热易积聚部位,确保监测点位能够全面反映结

构温度与裂缝变化情况。监测频次与周期设定需根据混凝土施工阶段与结构状态动态调整,浇筑初期与温度变化剧烈阶段加密频次,结构趋于稳定后逐步降低频次,兼顾监测精度与施工效率。监测仪器选型与布置需符合水利工程监测规范,温度监测选用精度达标、稳定性强的测温仪器,裂缝监测选用适配不同裂缝宽度的量测仪器,布置时确保仪器安装牢固、数据采集准确,避免外界干扰影响监测结果。

4.2 温度场监测管理

混凝土内部温度采集需严格按照监测方案设定的点位与频次有序开展,采集过程中规范操作流程,避免人为操作误差,确保采集数据真实、完整、连续,全面掌握混凝土内部温度分布规律,及时捕捉温度峰值及变化趋势,为温度调控提供精准数据支撑。表面与环境温度需分开记录、分别管控,表面温度采集需避开阳光直射、风吹等易造成温度偏差的部位,选择结构表面具有代表性的点位;环境温度采集需选择距离结构较近、无遮挡且能反映现场真实环境的区域,准确捕捉环境因素对混凝土温度的影响程度。温度梯度变化跟踪需重点关注混凝土内部与表面、结构不同断面之间的温度差值,实时记录温度梯度变化数据,及时发现温度应力异常情况,为调整温度控制措施提供科学依据,防范温度应力引发的裂缝风险。

4.3 裂缝观测管理

表面裂缝巡视制度需常态化、规范化执行,明确巡视范围、责任分工及操作标准,每日定时对混凝土结构进行全面巡视,重点排查易发生裂缝的结构部位,及时发现新增裂缝,详细记录裂缝出现的位置,避免裂缝隐蔽发展而延误处置时机。裂缝宽度与长度量测需采用标准化、高精度的专用量测仪器,量测时保持仪器与裂缝垂直,规范操作流程,确保量测数据精准无误,同时详细记录量测时间、环境条件等相关信息,为裂缝发展规律分析提供完整数据支撑。裂缝发展趋势跟踪需结合多次量测数据进行系统分析,梳理裂缝宽度、长度的变化规律,判断裂缝是否处于稳定状态,及时识别裂缝扩展风险,为后续处置措施的制定提供可靠依据^[5]。

4.4 预警机制管理

温度控制预警阈值设定需结合混凝土性能、结构尺寸及施工环境综合确定,严格参照水利工程温度控制相关标准,明确温度峰值、内外温差及温度变化速率的预警数值,确保阈值设定科学合理、贴合工程实际,既避免过度预警影响施工效率,也防止预警阈值过高导致风险漏判。裂缝出现后分级响应需根据裂缝宽度、发展速度及影响范围划分响应等级,不同等级对应差异化处置措施,轻微裂缝强化监测频次、密切跟踪变化,严重裂缝立即启动应急处置流程,快速采取管控措施,避免裂缝进一步扩展。预警信息传递与处置流程需明确传递路径、责任分工及处置时限,监测到预警信号后,快速将预警信息传递至相关责任人员,同步启动对应处置流程,规范处置操作,确保处置措施及时落地、精准有效,防范裂缝风险扩大。

结束语

水利施工混凝土裂缝防治是一项涉及材料、工艺与监测的系统性管理工作。温度应力与干燥收缩构成裂缝产生的主要驱动力,原材料质量与配合比设计则从源头决定了混凝土抗裂能力的上限。施工过程中浇筑温度控制、养护执行与接缝处理等环节的精细化管理,能够有效抑制裂缝萌生与扩展。温度场监测与裂缝预警机制的引入,使防治工作从被动修补转向主动管控。各管理环节相互衔接、协同运转,方能切实保障水利混凝土结构的完整性与长期服役性能。

参考文献

- [1]杨文锐.水利施工中混凝土裂缝防治管理研究[J].低碳世界,2025,15(4):61-63.
- [2]何宇翔.水利建筑施工中大体积混凝土裂缝防治技术[J].建筑与装饰,2026,29(3):103-105.
- [3]桑利雄.水利施工中混凝土裂缝的防治施工技术探讨[J].中国住宅设施,2025(4):190-192.
- [4]何吉东.水利工程中混凝土裂缝的防治施工技术[J].中国水泥,2025(5):110-112.
- [5]李海涛.水利工程施工中混凝土裂缝的防治技术探讨[J].水上安全,2024(8):185-187.