

水利工程施工中控制混凝土裂缝技术

鹿亚奇 赵远帅

山东大禹水务建设集团有限公司 山东 济南 250014

摘要: 本文围绕水利工程施工中控制混凝土裂缝技术展开研究, 阐述混凝土裂缝的类型、特征及核心影响因素, 明确控制裂缝的目标与原则。深入分析材料、施工工艺、环境温控、养护管理等因素引发裂缝的成因, 提出材料优化、施工工艺控制、温度控制、养护技术优化等关键防控技术, 并构建技术交底、过程管控、应急预案的质量保障体系, 为水利工程减少混凝土裂缝、保障结构安全提供技术支持。

关键词: 极端天气; 水利闸站; 应急管理; 应急响应机制; 协同治理

引言: 在全球气候变化背景下, 极端天气事件频发, 强降雨、台风、低温冰冻等给水利闸站带来巨大压力。水利闸站作为防洪、排涝等关键设施, 其应急管理能力关乎人民生命财产安全与社会稳定。然而, 极端天气引发的闸站运行风险、应急响应与处置难题、应急保障体系压力等问题突出。因此, 深入研究极端天气下水利闸站应急管理能力提升策略具有紧迫性和重要性。

1 水利工程混凝土裂缝相关基础认知

1.1 混凝土裂缝的类型与特征

水利工程中常见混凝土裂缝类型差异显著。温度裂缝因混凝土内外温差过大产生, 外观呈不规则网状或纵向分布, 宽度随温度略有波动, 多在浇筑后数天出现, 轻微裂缝影响耐久性, 严重时可能贯通结构引发渗漏。干缩裂缝为表面细短裂缝, 走向随机, 多在混凝土表面水分快速蒸发后早期形成, 虽深度较浅但降低抗渗能力, 易受环境侵蚀加剧损坏^[1]。沉缩裂缝沿结构薄弱部位分布, 如钢筋密集处或浇筑分层界面, 形态较平直, 多在混凝土初凝阶段因骨料沉降不均产生, 可能导致结构内部结合不紧密, 影响整体承载能力。荷载裂缝多呈横向或斜向分布, 宽度随荷载变化, 在结构承受超设计荷载时出现, 直接削弱结构强度, 严重时可能引发结构破坏, 对水利工程安全运行威胁较大。

1.2 水利工程混凝土裂缝的核心影响因素

水利工程特殊施工环境显著影响裂缝产生。大体积混凝土浇筑后水泥水化热集中释放, 内部温度快速升高, 与表面形成较大温差, 易引发温度裂缝; 水下浇筑时混凝土受水流冲击导致骨料分布不均, 降低密实度, 增加裂缝概率; 露天作业使混凝土暴露于自然环境, 受昼夜温差、风雨侵蚀影响, 表面水分蒸发过快或温度剧烈变化, 易诱发干缩或温度裂缝。施工中材料选择不当会增加裂缝风险, 选用水化热过高的水泥、骨料级配不

合理或外加剂适配性差, 均可能导致混凝土收缩异常或强度发展不均衡。施工工艺控制不佳, 如浇筑速度过快、振捣不密实或分层厚度过大, 会使混凝土内部存在空隙或结合不良, 为裂缝产生提供条件。环境温度骤变、湿度不足或养护不及时, 会加速水分流失或导致温度应力集中, 进一步加剧裂缝形成。

1.3 控制混凝土裂缝的核心目标与原则

控制混凝土裂缝需明确核心目标, 减少裂缝数量可降低结构受侵蚀风险点, 维持整体完整性; 限制裂缝宽度能避免深度扩展, 确保混凝土仍具备抗渗与承载能力; 避免贯穿性裂缝可防止渗漏通道形成, 保障水利工程蓄水与输水功能, 维护结构长期安全稳定。技术应用需遵循适应性原则, 根据水利工程不同结构类型选择适配控制技术, 如坝体与渠道衬砌采用差异化方案。系统性原则要求技术覆盖施工全流程, 从材料选型、配合比设计到浇筑、养护各环节均采取防控措施, 形成完整裂缝控制体系。经济性原则需平衡成本与效果, 在保障质量前提下选择性价比高的技术方案, 避免过度投入增加工程成本, 实现质量与效益统一。

2 水利工程混凝土裂缝的主要成因分析

2.1 材料因素引发的裂缝成因

施工过程中多环节操作不当易诱发裂缝。混凝土配合比设计不合理, 水灰比过大会增加干缩量, 水分蒸发后形成空隙降低结构密实度; 砂率失衡影响和易性, 导致浇筑后骨料分布不均, 局部因收缩差异产生裂缝。搅拌与运输过程中, 搅拌时间不当会使混凝土匀质性变差, 运输时间过长或颠簸剧烈易导致骨料离析、砂浆泌水, 浇筑后内部结构不均, 为裂缝埋下隐患。浇筑顺序混乱破坏整体性, 不同区域浇筑间隔过长形成冷缝, 降低结合强度; 振捣不密实使内部存在气泡或空隙, 削弱局部承载能力。模板拆除时机不当, 过早拆除会因混凝

土未达设计强度，无法承受自重与外部荷载产生结构裂缝；过晚拆除则可能因模板与混凝土粘结力过大，拆除时损伤表面引发裂缝。

2.2 施工工艺因素引发的裂缝成因

施工过程中多个环节操作不当易诱发裂缝。混凝土配合比设计不合理，水灰比过大会增加混凝土干缩量，使水分蒸发后形成较多空隙，降低结构密实度；砂率失衡会影响混凝土和易性，导致浇筑后骨料分布不均，局部因收缩差异产生裂缝。搅拌与运输过程中，搅拌时间不足或过长会使混凝土匀质性变差，运输时间过长或颠簸剧烈易导致骨料离析、砂浆泌水，浇筑后混凝土内部结构不均，为裂缝产生埋下隐患^[2]。浇筑顺序混乱会破坏混凝土整体性，不同区域浇筑间隔过长形成冷缝，降低结构结合强度；振捣不密实会使混凝土内部存在气泡或空隙，削弱局部承载能力。模板拆除时机不当，过早拆除会使混凝土未达到设计强度，无法承受自身重量与外部荷载，易产生结构裂缝；过晚拆除则可能因模板与混凝土粘结力过大，拆除时损伤混凝土表面引发裂缝。

2.3 环境与温控因素引发的裂缝成因

水利工程施工环境特殊性加剧裂缝形成。露天作业中温度骤变会使混凝土表面温度快速升降，内部温度变化滞后，形成内外温差应力，反复温差作用易使表面出现细小裂缝并逐渐扩展。风吹日晒会加速混凝土表面水分蒸发，导致表面干缩速度快于内部，表面收缩受内部约束产生拉应力，引发干缩裂缝。大体积混凝土浇筑后，水泥水化热持续释放使内部温度升高，若未采取有效温控措施，内部与表面温差会持续扩大，温差应力超过混凝土极限抗拉强度时，会产生贯穿性或深层温度裂缝。雨季施工中，雨水冲刷未初凝混凝土会带走表面水泥浆，降低混凝土表面强度与密实度，雨水渗入内部还可能影响混凝土凝结硬化，形成表面裂缝或内部结构缺陷。

2.4 养护与后期管理因素引发的裂缝成因

养护措施不到位是引发混凝土裂缝的重要原因。养护不及时会使混凝土浇筑后早期表面水分快速流失，表面干缩受内部约束产生拉应力，引发早期干缩裂缝；养护时间不足会导致混凝土强度发展不充分，抗裂性能未达到设计要求，在后续使用中易受外界作用产生裂缝。养护湿度与温度控制不当，湿度过低会加速水分蒸发，温度过高或过低会影响混凝土水化反应速率，导致强度发展不均衡，局部因抗裂能力不足产生裂缝。后期管理中，荷载施加过早会使混凝土未达到设计强度就承受外部荷载，超出混凝土承载能力引发结构裂缝；表面保护缺失会使混凝土长期暴露在恶劣环境中，受风雨、冻融

等作用反复侵蚀，表面逐渐出现裂缝并向内部扩展。

3 水利工程施工中控制混凝土裂缝的关键技术

3.1 混凝土材料优化技术

混凝土材料选择与配合比优化是提升抗裂性能的基础。选用低热水泥可减少水泥水化热释放量，搭配高性能掺合料能进一步降低水化热峰值，粉煤灰、矿渣粉等掺合料还能填充混凝土内部空隙，改善微观结构，提升密实度与抗收缩能力。优化骨料级配需确保粗细骨料搭配合理，增加连续级配骨料用量，减少骨料间空隙，提升混凝土整体匀质性，降低因收缩不均引发裂缝的风险。选择适配性强的外加剂可调节混凝土工作性与水化速率，缓凝剂能延长混凝土初凝时间，避免浇筑过程中因凝结过快产生冷缝；减水剂可在不增加用水量的前提下提升混凝土和易性，减少水灰比，降低干缩量，从材料层面为混凝土抗裂提供保障。

3.2 施工工艺控制技术

施工全流程工艺控制需贯穿混凝土制备至模板拆除各环节。精准控制混凝土搅拌时间，确保原材料充分混合均匀，避免搅拌不足导致匀质性差或搅拌过长引发骨料离析；严格把控运输时长，缩短运输距离，选择平稳运输路线，防止运输过程中砂浆泌水、骨料沉降，维持混凝土良好工作性能。采用分层浇筑方式可减少单次浇筑体量，降低水化热积聚，斜面分层推进能缩短浇筑间隔，避免形成冷缝；使用高频振捣设备需控制振捣频率与插入深度，确保混凝土密实且不出现在过振现象，防止骨料下沉、砂浆上浮导致结构不均。合理规划模板拆除顺序与时间，根据混凝土强度发展情况确定拆除时机，优先拆除非承重模板，避免过早拆除引发结构变形开裂。

3.3 温度控制技术

针对大体积混凝土与露天施工特点，温度控制需兼顾内部降温与表面保温。预埋冷却水管可通过循环水带走混凝土内部热量，降低内部温度峰值，缩小内外温差，减少温度应力；表面覆盖遮阳棚能避免阳光直射导致表面温度骤升，覆盖保温被可减少夜间或低温时段表面热量散失，维持表面温度稳定，缩小昼夜温差。合理安排浇筑时段，避开高温正午或低温凌晨，选择温度适宜时段浇筑，减少环境温度对混凝土的不利影响；通过喷淋方式为混凝土表面补水降温，或采用蓄水养护形成稳定温度环境，避免表面温度剧烈波动，从环境层面控制温度裂缝产生。

3.4 养护技术优化

养护技术需适配水利工程不同施工场景。大体积混凝土采用“保湿+保温”双重养护，覆盖土工布与塑料膜

能锁住表面水分,减少水分蒸发,同时减缓热量散失,维持混凝土内部温度稳定,避免干缩与温度裂缝叠加;水下混凝土无法直接洒水养护,采用覆膜养护或喷涂养护剂可在表面形成保护层,隔绝水分流失,确保水化反应持续进行^[1]。延长养护周期能让混凝土强度稳步增长,提升抗裂性能,根据混凝土强度发展规律确定养护时长,避免过早停止养护导致强度不足;养护过程中需定期检查覆盖层完整性,及时修补破损部位,确保养护效果持续有效,防止早期失水引发表面裂缝。

4 水利工程施工中控制混凝土裂缝的质量保障体系

4.1 技术交底与人员培训体系

施工前技术交底需明确裂缝控制核心内容,向各岗位人员传递裂缝控制要点,包括材料选择标准、配合比参数、施工工艺细节及温控与养护要求,明确各环节工艺标准,如搅拌时间范围、振捣频率区间、模板拆除强度阈值等,确保技术要求清晰传递至执行层面。对施工人员开展专项培训需聚焦实操能力与风险意识提升,振捣操作人员需掌握不同混凝土坍落度对应的振捣方法,避免过振或漏振;养护人员需熟练掌握各类养护技术的操作流程,如土工布覆盖方式、养护剂喷涂厚度等;所有人员均需接受温控意识培训,了解温度变化对混凝土裂缝的影响,学会识别温度异常引发的早期裂缝迹象,确保各岗位人员能精准执行裂缝防控技术要求,减少人为操作失误导致的裂缝风险。

4.2 施工过程质量管控体系

材料进场检验机制需严格核查原材料性能指标,水泥检测水化热释放速率与强度发展曲线,骨料检查级配分布与含泥量,外加剂验证适配性与作用效果,掺合料测定活性与细度,所有材料检验合格后方可入场,从源头杜绝材料质量引发的裂缝隐患。施工工序验收制度实行“合格准入”原则,搅拌环节验收匀质性与坍落度,运输环节验收离析情况,浇筑环节验收分层厚度与振捣质量,养护环节验收覆盖完整性与湿度保持情况,每道

工序合格后方可进入下一道,确保工艺符合裂缝控制要求。现场巡查机制实时排查裂缝隐患,安排专人定期巡查混凝土表面状态,重点关注大体积混凝土温控点、结构薄弱部位及养护关键区域,及时发现微小裂缝并记录,为后续处置提供依据,保障技术措施落地执行。

4.3 应急预案与风险管控体系

针对裂缝风险的应急准备需制定专项预案,极端高温天气下需预案明确遮阳降温措施升级方案,如增加喷淋频次、扩大遮阳范围;寒潮天气下需预案细化保温措施强化内容,如增设保温层、启用加热设备,通过预案提前规划应对策略,减少极端天气对混凝土的不利影响。储备应急修补材料与设备需覆盖不同裂缝类型,如针对表面细微裂缝准备专用修补砂浆,针对深层裂缝配备注浆设备与灌浆材料,确保裂缝出现后能快速获取修补资源。建立裂缝问题快速响应机制,明确裂缝发现、上报、评估、处置的流程与责任人员,发现裂缝后第一时间组织技术人员评估危害程度,制定修补方案并及时实施,避免小隐患发展为大问题,保障混凝土结构质量稳定。

结束语

水利工程混凝土裂缝控制是系统工程,需从材料、工艺、环境、养护等多方面协同发力。通过实施关键控制技术,构建完善质量保障体系,可有效减少裂缝产生,提升工程质量。未来应持续探索创新技术,优化控制策略,为水利工程建设提供更坚实的技术支撑,推动水利事业高质量发展。

参考文献

- [1]杨信国.水利水电施工中混凝土裂缝的主要原因及防治技术[J].中国高新科技,2021,(12):123-124.
- [2]王志勇.水利施工过程中混凝土裂缝措施控制技术探讨[J].珠江水运,2021,(09):86-87.
- [3]陈思成.探索水利施工中混凝土裂缝的控制技术[J].低碳世界,2021,11(04):122-123.