

# 水利施工中混凝土裂缝的成因分析与防治技术研究

罗冬冬

中国葛洲坝集团路桥工程有限公司 湖北 宜昌 443000

**摘要:** 水利工程是国民经济基础设施的关键部分,施工质量影响工程安全运行与寿命。混凝土作为核心材料,裂缝是常见隐患,会破坏结构完整性,降低性能,引发安全事故,影响功能发挥。本文结合实际,明确裂缝类型特征,分析材料、设计、施工、环境四大因素影响,构建涵盖材料优化等的防治体系,探讨智能材料与BIM技术应用前景,为裂缝防控治理提供支撑,保障工程长期稳定运行。

**关键词:** 水利工程;混凝土裂缝;成因分析;防治技术

引言:水利工程关乎防洪、灌溉等使命,质量安全与民生紧密相连。混凝土因优势广泛使用,但有收缩特性,在复杂环境与工艺下易裂缝。如今水利建设规模扩大、环境复杂,裂缝频发,增加成本、缩短寿命、威胁安全。研究裂缝类型特征、成因,构建防治体系,探索新技术应用,对减少裂缝、提升质量、保障运行、推动发展意义重大。

## 1 水利工程混凝土裂缝类型与特征

### 1.1 裂缝分类

水利工程混凝土裂缝根据不同分类标准,可划分为多种类型,结合施工实际与裂缝危害程度,核心分类主要包括以下四类。按裂缝产生的时间可分为早期裂缝与后期裂缝,早期裂缝主要产生于混凝土浇筑完成后72小时内,多由水化热释放、体积收缩引发,裂缝宽度较小但分布较广;后期裂缝产生于混凝土硬化成型后,主要由荷载作用、环境侵蚀、结构老化等因素导致,裂缝宽度较大且易逐步扩展。按裂缝形态可分为表面裂缝、深层裂缝与贯穿裂缝,表面裂缝仅存在于混凝土表面,深度不超过5mm,危害较小;深层裂缝深入混凝土内部,深度在5-50mm之间,会削弱结构整体性;贯穿裂缝贯穿混凝土整个截面,会严重破坏结构防水、防渗性能,是引发工程安全隐患的主要裂缝类型。按裂缝成因可分为结构性裂缝与非结构性裂缝,结构性裂缝由荷载、结构设计不合理引发,危害较大;非结构性裂缝由材料、施工、环境等因素引发,是水利施工中最常见的裂缝类型。

### 1.2 水利工程裂缝特点

水利工程混凝土裂缝与普通建筑的不同,受施工环境、工程功能影响,有鲜明特点,主要体现在四方面。一是普遍性。水利工程混凝土浇筑量大、周期长,涉及地基处理等多个环节,任一环节疏漏都可能引发裂缝,在施工中几乎难以避免,是施工质量控制重点难点。二是危害

性强。水利工程承担防洪、蓄水等功能,混凝土结构需具备良好抗渗、抗冻性能,裂缝会破坏结构完整性,导致水体渗漏,影响功能发挥,还会侵蚀钢筋、破坏强度,长期可能引发结构坍塌,威胁工程安全<sup>[1]</sup>。三是复杂性。水利工程施工环境复杂,多在露天、临水区域,受环境因素影响大,且混凝土浇筑厚度大、结构复杂,裂缝成因、形态、分布多样,检测与治理难度大。四是扩展性。水利工程混凝土长期受水侵蚀,裂缝会在水压力等作用下逐步扩展,危害加剧,需及时防控。

## 2 水利施工中混凝土裂缝成因分析

### 2.1 材料因素

原材料质量不合格直接影响混凝土性能,如水泥强度等级不符、安定性差,会使水化热释放不均、体积收缩异常;骨料级配不合理、含泥量高,会降低混凝土密实度与强度,增加收缩裂缝概率;外加剂选型不当或掺量超标,会破坏内部结构,引发凝结时间异常、收缩开裂。配合比设计不合理也是重要原因,水利工程对混凝土性能要求高,若水泥用量过多,水化热释放大,内外温差超标引发温度裂缝;水胶比过大,会降低强度与密实度,增加收缩裂缝风险;骨料用量不足、砂率过高,会影响和易性与强度,导致裂缝。材料性能缺陷与配合比不合理,共同构成裂缝内在隐患。

### 2.2 设计因素

设计因素是引发水利施工混凝土裂缝的重要前提,不合理设计埋下先天隐患,主要体现在三方面。一是结构设计不合理,部分设计未充分考虑水利工程的受力特点与环境条件,结构截面过薄、刚度不足,易产生应力集中引发裂缝;结构衔接部位设计不当,未设合理伸缩缝、沉降缝,导致混凝土收缩与沉降不均引发裂缝。二是抗裂设计缺失,未考虑混凝土收缩、水化热等因素,未采取有效抗裂措施,如未设计温度控制构造、未选抗裂性

能好的配合比,易产生温度与收缩裂缝。三是设计参数选取不当,对施工环境、荷载条件预估不足,选取的混凝土强度、抗渗等级与实际需求不符,或未考虑地基不均匀沉降,易引发持续性裂缝隐患。

### 2.3 施工因素

施工因素是引发水利施工混凝土裂缝的最主要因素,贯穿浇筑、振捣、养护等全过程,工艺不规范、操作不当会直接引发裂缝。一是浇筑工艺不合理,下料过快、布料不均会导致混凝土离析、密实度不足,形成内部空隙引发裂缝;浇筑厚度过大、分层浇筑间隔时间长,会使上下层混凝土结合不紧密,产生分层裂缝。二是振捣不规范,振捣过度会使骨料下沉、水泥浆上浮,形成表面裂缝;振捣不足会使混凝土密实度不够,内部有气泡与空隙,降低结构强度引发裂缝<sup>[2]</sup>。三是养护不及时、不到位,未及时覆盖保湿会使表面水分蒸发快、体积收缩过快引发表面裂缝;养护周期不足、方式不当会使混凝土强度增长慢、抗裂性能下降,易产生收缩与温度裂缝。此外,模板支护不牢、拆除过早,钢筋绑扎不规范、保护层厚度不足,也会引发裂缝。

### 2.4 环境因素

环境因素是引发水利施工混凝土裂缝的外部诱因,水利工程多处于露天、临水环境,受自然条件影响显著,主要体现在温度、湿度、降水与侵蚀方面。一是温度变化影响,露天施工中昼夜温差大、夏季高温暴晒、冬季严寒冰冻,会使混凝土内外温差超范围,产生温度应力,当应力大于抗拉强度时引发温度裂缝,这是常见裂缝类型之一。二是湿度变化影响,环境湿度急剧变化会使混凝土表面水分蒸发快、体积收缩不均,引发表面收缩裂缝;长期处于高湿度环境,混凝土会反复膨胀收缩,引发裂缝扩展。三是降水与风荷载影响,暴雨、大风会使混凝土表面冲刷、水分流失快,引发裂缝;雨水渗入未硬化混凝土内部,会破坏结构、降低强度,引发裂缝。四是环境侵蚀影响,水利工程混凝土长期接触水,水中的盐分、酸性物质等会侵蚀混凝土,破坏内部结构,导致强度下降、表面开裂,加剧裂缝危害。

## 3 水利施工中混凝土裂缝防治技术体系

### 3.1 材料优化技术

材料优化是预防水利施工混凝土裂缝的基础技术,核心是通过提升原材料质量、优化配合比设计,增强混凝土抗裂性能,从源头减少裂缝产生。严格把控原材料质量,选用强度等级适宜、安定性好的水泥,优先选用低热、中热水泥,减少水化热释放;选用级配合理、含泥量符合标准的骨料,提升混凝土密实度与强度;选用与

水泥适配性好的外加剂,严格控制掺量,优先选用缓凝剂、减水剂,延缓混凝土凝结时间,减少收缩裂缝;优化混凝土配合比设计,根据水利工程的性能要求,科学确定水泥用量、水胶比、砂率等参数,在保证混凝土强度、抗渗、抗冻性能的前提下,减少水泥用量,降低水化热释放;掺入适量的矿物掺合料,如粉煤灰、矿渣粉等,替代部分水泥,改善混凝土工作性能与抗裂性能,减少体积收缩;合理调整骨料级配,增加粗骨料用量,减少混凝土收缩,通过材料层面的全方位优化,提升混凝土自身抗裂能力。

### 3.2 设计改进措施

设计改进是预防水利施工混凝土裂缝的前提措施,核心是结合水利工程特点与施工环境,优化设计方案,消除裂缝产生的先天隐患。(1)优化结构设计,充分考虑水利工程的受力特点、环境条件与混凝土收缩特性,合理确定结构截面尺寸,增强结构刚度,避免应力集中;在结构衔接部位、易开裂部位,设置合理的伸缩缝、沉降缝,预留足够的收缩空间,减少混凝土收缩与沉降不均引发的裂缝。(2)完善抗裂设计,在设计过程中,充分考虑混凝土水化热、体积收缩等因素的影响,采取针对性的抗裂措施,例如设计温度控制构造,设置冷却水管,降低混凝土内外温差;选用抗裂性能良好的混凝土配合比,明确抗裂设计要求。(3)合理选取设计参数,精准预估施工环境、荷载条件、地基沉降等因素,科学选取混凝土强度等级、抗渗等级等参数,确保设计方案与工程实际需求相符;充分考虑地基不均匀沉降的影响,采取有效的地基处理措施,减少地基沉降对混凝土结构的影响,从设计层面遏制裂缝产生<sup>[3]</sup>。

### 3.3 施工控制技术

施工控制是预防水利施工混凝土裂缝的核心技术,贯穿施工全过程,通过规范施工工艺、强化过程管控,减少施工环节引发的裂缝。规范浇筑工艺,混凝土浇筑前,做好施工准备工作,清理模板、钢筋表面杂物;浇筑过程中,控制下料速度与布料均匀性,避免混凝土离析;根据混凝土浇筑厚度,合理分层浇筑,控制分层间隔时间,确保上下层混凝土紧密结合。选用适宜的振捣设备,控制振捣时间与振捣力度,避免振捣过度或不足,确保混凝土密实度,减少内部空隙与表面裂缝。强化养护管理,混凝土浇筑完成后,及时覆盖保湿材料,防止表面水分快速蒸发;根据环境温度与混凝土性能,合理确定养护周期,确保养护时间充足;采用洒水、覆盖保温被等养护方式,保持混凝土表面湿润,控制混凝土内外温差,减少温度裂缝与收缩裂缝。另外,加强模板支护与

拆除管理,确保模板支护牢固,严格控制模板拆除时间,避免过早拆除引发裂缝;规范钢筋绑扎操作,确保保护层厚度符合设计要求,防止钢筋锈蚀引发裂缝。

### 3.4 裂缝修复技术

裂缝修复是水利施工混凝土裂缝防治的补充措施,针对施工过程中已产生的裂缝,根据裂缝类型、宽度与危害程度,采取针对性的修复技术,防止裂缝进一步扩展,恢复混凝土结构完整性与性能。对于宽度小于0.2mm的表面细微裂缝,采用表面封闭法修复,清理裂缝表面杂物,涂抹环氧树脂、聚合物水泥浆等封闭材料,封堵裂缝,防止水分渗入。对于宽度在0.2-0.5mm的深层裂缝,采用压力灌浆法修复,清理裂缝,埋设灌浆嘴,选用环氧树脂浆液、水泥浆液等适宜的灌浆材料,通过压力灌浆将浆液注入裂缝内部,填充裂缝,恢复结构整体性。对于宽度大于0.5mm的贯穿裂缝,采用加固修复法,结合裂缝位置与结构受力特点,选用碳纤维布加固、粘钢加固等技术,在修复裂缝的同时,增强混凝土结构强度与刚度,防止裂缝再次产生。修复过程中,严格把控修复材料质量与施工工艺,确保修复效果,避免修复后裂缝再次扩展,保障混凝土结构性能稳定。

## 4 未来展望

### 4.1 智能材料(如自修复混凝土)的应用

随着水利工程高质量发展需求的提升,智能材料在混凝土裂缝防治中的应用将成为未来发展重要方向,其中自修复混凝土的研发与应用最具潜力。自修复混凝土是通过在混凝土中掺入自修复剂、微生物、纤维等材料,使混凝土在产生裂缝后,能够自行感知裂缝并进行修复,恢复结构完整性与性能,从根本上解决裂缝防控难题。目前,自修复混凝土已在小型水利工程中开展试点应用,通过微生物代谢产生碳酸钙,填充混凝土裂缝,或通过纤维材料的拉伸作用,抑制裂缝扩展,取得了良好的修复效果<sup>[4]</sup>。未来,需进一步加强自修复混凝土的研发力度,优化自修复材料配比,提升自修复效率与耐久性,降低生产成本,扩大应用范围;结合水利工程特点,研发适配不同施工环境、不同裂缝类型的专用自修复混凝土,推动智能材料与水利施工深度融合,实现混凝土裂缝的主动防控与自主修复。

### 4.2 基于BIM的裂缝预测与动态控制

BIM(建筑信息模型)技术作为新型数字化技术,其可视化、信息化、协同化的优势,为水利施工混凝土裂缝的预测与动态控制提供了新的技术路径,将成为未来裂缝防治的核心技术手段。基于BIM技术,可构建水利工程混凝土结构三维模型,整合材料性能、设计参数、施工工艺、环境条件等各类数据,通过数值模拟分析,精准预测混凝土浇筑过程中可能产生裂缝的位置、宽度与发展趋势,为施工方案优化提供数据支撑。在施工过程中,可将BIM模型与施工现场监测数据相结合,实时采集混凝土温度、湿度、应力等参数,通过BIM平台进行动态分析,及时发现裂缝隐患,调整施工工艺与养护措施,实现裂缝的动态控制。未来,需进一步完善BIM技术在裂缝预测与控制中的应用体系,整合物联网、大数据等技术,实现监测数据的实时采集、分析与反馈,提升裂缝预测的精准度与动态控制的有效性;推动BIM技术在水利工程全生命周期中的应用,实现裂缝从设计预防、施工控制到运行维护的全过程管控,提升水利工程施工质量与智能化水平。

### 结束语

混凝土裂缝是水利施工常见质量隐患,影响工程安全、寿命与功能,成因复杂,涉及多环节,防治是重点难点。当前,我国水利工程建设正朝着规模化、智能化、高质量方向发展,裂缝防治技术仍需不断创新与完善。未来,需加强新型防治技术的研发与应用,强化施工全过程质量管控,不断提升裂缝防治水平,减少裂缝产生,保障水利工程长期安全稳定运行,推动水利工程高质量发展,为国民经济发展与民生保障提供有力支撑。

### 参考文献

- [1]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.
- [2]米杰.水利工程施工中的混凝土裂缝的防治技术[J].水上安全,2024(6):163-165.
- [3]刘恒.水利水电工程混凝土施工管理信息化措施研究[J].科学与信息化,2025(9):103-105.
- [4]朱保松.水利工程施工中混凝土裂缝防治技术研究[J].数字化用户,2025(28):82-84.