

水利工程混凝土施工裂缝成因及防治技术

王传杰

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 四川 成都 610000

摘要: 本文围绕水利工程混凝土施工裂缝展开研究, 阐述混凝土材料特性、裂缝分类及危害, 系统分析裂缝产生的材料、施工、环境、设计四大核心因素, 涵盖配合比不合理、施工工艺不规范、温度变化及结构设计缺陷等关键诱因。结合工程实际, 从材料、施工、环境、设计四个层面提出针对性防治技术, 为控制裂缝产生、遏制裂缝扩展提供科学支撑, 对保障水利工程结构安全、提升耐久性、延长使用寿命具有重要的工程实践意义。

关键词: 水利工程; 混凝土施工; 裂缝成因; 防治技术

引言: 水利工程作为保障防洪、供水、灌溉的重要基础设施, 混凝土是其核心构筑材料, 但其抗拉强度低、收缩性等固有特性, 加之施工管控、环境变化等外部因素, 导致裂缝成为施工中普遍存在的质量问题。裂缝不仅影响工程外观, 更会削弱结构承载力、破坏防渗性, 加速钢筋锈蚀, 缩短工程寿命, 甚至引发安全隐患。因此, 深入探究裂缝成因, 构建科学有效的防治体系, 对推动水利工程质量建设、保障工程长期稳定运行至关重要。

1 水利工程混凝土施工裂缝相关基础理论

1.1 混凝土材料的基本特性

(1) 混凝土的物理力学特性。混凝土是水利工程的核心材料, 由水泥、骨料、水及外加剂按比例混合硬化而成, 兼具一定强度与韧性。其抗压强度高, 能承受水利工程的巨大水压, 但抗拉强度较低, 仅为抗压强度的1/10~1/15, 这是裂缝易产生的核心力学原因。同时, 混凝土硬化过程中会产生体积变化, 与基岩或模板约束作用下易产生拉应力, 当拉应力超过抗拉强度时, 裂缝便会出现。(2) 混凝土的耐久性与收缩特性。水利工程混凝土长期处于水下或潮湿环境, 耐久性至关重要, 主要体现在抗渗、抗冻、抗侵蚀能力。收缩特性是混凝土固有属性, 分为干燥收缩、温度收缩等, 干燥收缩是表面水分蒸发导致内部收缩不均, 温度收缩是硬化过程中释放水化热、降温后体积收缩, 两种收缩均会引发内部应力, 诱发裂缝。

1.2 水利工程混凝土施工裂缝的分类

(1) 按裂缝产生时间分类。可分为施工期裂缝和运行期裂缝。施工期裂缝多发生在混凝土浇筑、养护阶段, 因施工工艺不当、养护不及时导致; 运行期裂缝则在工程投入使用后, 由水压、温度变化、地基沉降等因素引发。(2) 按裂缝形态与分布分类。主要有表面裂缝、深层裂缝和贯穿裂缝。表面裂缝深度不超过50mm, 多为收

缩引发, 危害较小; 深层裂缝深度50~500mm, 影响结构整体性; 贯穿裂缝贯通结构截面, 破坏防渗性和承载力, 危害最大。(3) 按裂缝危害程度分类。分为无害裂缝和有害裂缝。无害裂缝宽度小于0.2mm, 不影响结构安全和使用; 有害裂缝宽度超过0.2mm, 会导致渗水、钢筋锈蚀, 降低工程寿命, 甚至引发结构失稳^[1]。

1.3 裂缝对水利工程的危害

(1) 对工程结构安全性的影响。裂缝会削弱混凝土截面承载力, 尤其是贯穿裂缝, 会破坏结构整体性, 导致应力集中, 长期受水压作用易引发结构开裂加剧, 严重时可能造成大坝、涵闸等主体结构渗漏、坍塌, 威胁工程安全。(2) 对工程耐久性的影响。裂缝会破坏混凝土的防渗屏障, 水分、腐蚀性介质通过裂缝侵入内部, 导致钢筋锈蚀、混凝土碳化, 降低材料强度和耐久性, 缩短工程使用寿命, 增加维修养护成本。(3) 对工程正常运行的影响。裂缝引发的渗漏会降低水利工程的蓄水、输水能力, 影响灌溉、供水、防洪等功能正常发挥; 同时, 裂缝扩展会导致结构振动、异响, 影响工程运行稳定性, 甚至需停机检修, 造成经济损失。

2 水利工程混凝土施工裂缝的成因分析

2.1 材料因素导致的裂缝成因

(1) 混凝土配合比不合理。配合比设计未结合水利工程工况优化, 水灰比过大易导致混凝土密实度不足、强度降低, 收缩量增大; 水泥用量过多会使水化热释放过量, 引发内外温差失衡, 产生温度应力; 骨料级配不当则会降低混凝土粘结力, 这些问题均会直接诱发裂缝。(2) 原材料质量不达标。水泥安定性不合格、强度等级不符合设计要求, 骨料含泥量过高、颗粒级配不良, 拌合用水含腐蚀性杂质, 都会削弱混凝土的力学性能和耐久性, 导致混凝土内部结构不均, 易在受力或环境变化时产生裂缝。(3) 外加剂使用不当。未根据施工环境和混凝土性

能需求选用外加剂,或外加剂掺量超标、掺加顺序错误,会破坏混凝土的和易性和稳定性,导致凝结时间异常、收缩量增大,进而引发裂缝。

2.2 施工因素导致的裂缝成因

(1) 搅拌、运输与浇筑工艺不规范。搅拌时间不足或过长导致混凝土拌合不均、离析;运输过程中保温保湿不到位、颠簸剧烈,造成坍落度损失过大;浇筑时分层过厚、顺序混乱,下层混凝土初凝后上层继续浇筑,易产生施工缝和裂缝。(2) 振捣密实度不足或过度振捣。振捣不足会使混凝土内部存在气泡、空隙,密实度不够,抗拉强度下降;过度振捣则会导致骨料下沉、水泥浆上浮,表面起砂,内部结构不均,均会引发裂缝。(3) 养护不及时、养护措施不到位。混凝土浇筑完成后未及时覆盖保湿,高温天气水分快速蒸发,低温天气未采取保温措施,养护周期不足,会导致混凝土收缩过快、内外温差过大,产生干燥收缩裂缝和温度裂缝。(4) 施工荷载与模板支撑不当。施工过程中荷载集中堆放,过早施加施工荷载,会使未达到设计强度的混凝土承受过大应力;模板支撑刚度不足、间距过大或出现沉降变形,会导致混凝土结构受力不均,进而引发裂缝^[2]。

2.3 环境因素导致的裂缝成因

(1) 温度变化引发的温度应力裂缝。混凝土硬化过程中释放大量化水热,表面散热快、内部散热慢,形成较大内外温差,产生温度应力;外界气温骤升骤降,会使混凝土热胀冷缩不均,当温度应力超过混凝土抗拉强度时,便会产生裂缝。(2) 湿度变化与外界侵蚀影响。环境湿度频繁变化,会导致混凝土表面反复干湿收缩,引发表面裂缝;水利工程混凝土长期接触水和腐蚀性介质,会侵蚀内部结构,降低材料性能,诱发裂缝并加速其扩展。(3) 风雪、地震等自然外力作用。冬季风雪荷载会对混凝土结构造成挤压、冻融损伤,引发裂缝;地震等突发外力冲击,会破坏混凝土结构整体性,产生不规则裂缝,严重时导致结构破坏。

2.4 设计因素导致的裂缝成因

(1) 结构设计不合理,应力集中。结构体型设计存在缺陷,转角、洞口等部位未设置过渡构造,易产生应力集中;构件截面突变、配筋布置不当,会导致混凝土受力不均,应力集中部位易率先开裂。(2) 设计参数选取不当。设计时未结合工程实际工况,混凝土强度等级、抗渗抗冻等级等参数选取不合理,荷载计算偏差,未充分考虑混凝土收缩、温度变化等因素,导致结构抗裂能力不足,易产生裂缝。

3 水利工程混凝土施工裂缝的防治技术

3.1 材料层面的防治技术

(1) 优化混凝土配合比设计。结合水利工程混凝土的使用工况,科学优化配合比,核心是控制水泥用量和水灰比,减少水化热产生和干燥收缩。大体积混凝土应采用低水化热水泥,合理增加粗细骨料用量,优化骨料级配,选用连续级配骨料以提高混凝土密实度;同时掺入适量掺合料,替代部分水泥,降低水化热峰值,减少温度收缩,兼顾混凝土强度、抗渗性和抗裂性,避免因配合比不合理引发裂缝。(2) 严格控制原材料质量。建立原材料进场检验制度,对水泥、骨料、拌合用水等进行严格检测,不合格材料严禁进场。水泥需检测强度等级、安定性等指标,确保符合设计要求;骨料需控制含泥量、颗粒级配,剔除杂质和不合格颗粒,避免因骨料质量问题降低混凝土粘结力和强度;拌合用水需采用洁净水,杜绝含腐蚀性杂质的水用于搅拌,从源头减少裂缝隐患^[3]。(3) 合理选用外加剂与掺合料。根据施工环境、混凝土性能要求,选用适配性强的外加剂,严格控制掺量。缓凝剂可延长混凝土凝结时间,减少收缩裂缝;引气剂可改善混凝土和易性,提高抗冻、抗渗能力;防冻剂需根据低温环境选型,确保冬季施工混凝土不受冻害。同时合理掺入粉煤灰、矿渣粉等掺合料,改善混凝土内部结构,降低水化热,提升混凝土抗裂性能和耐久性。

3.2 施工层面的防治技术

(1) 规范搅拌、运输与浇筑工艺。严格按照配合比进行搅拌,控制搅拌时间和速度,确保混凝土拌合均匀,避免出现离析、分层现象;运输过程中做好保温、保湿措施,缩短运输时间,减少坍落度损失,避免颠簸导致混凝土离析;浇筑时遵循“分层浇筑、分层振捣”原则,控制浇筑厚度和顺序,避免下层混凝土初凝后上层继续浇筑,浇筑间歇时间控制在规范范围内,防止产生施工缝并发展为裂缝。(2) 优化振捣方式,保障振捣质量。根据混凝土构件类型和厚度,选用合适的振捣设备和振捣方式,避免振捣不足或过度振捣。采用插入式振捣器时,控制振捣深度和间距,确保振捣到位,排出混凝土内部气泡,提高密实度;对薄壁构件可采用表面振捣器,避免振捣力度过大导致骨料下沉、水泥浆上浮,防止表面起砂、开裂,确保混凝土内部结构均匀,提升抗裂能力。(3) 完善养护体系,强化养护管理。混凝土浇筑完成后,及时采取覆盖保湿措施,采用土工布、塑料薄膜等覆盖表面,减少水分快速蒸发,防止干燥收缩裂缝;根据环境温度调整养护方案,高温天气增加洒水次数,低温天气采取保温措施,控制混凝土内外温差不超过规范要求;延长养护周期,确保混凝土强度达到设计要求

后再停止养护,避免因养护不及时、不到位引发温度裂缝和收缩裂缝^[4]。(4)合理控制施工荷载与模板支撑。施工过程中,合理规划荷载堆放位置和数量,避免荷载集中堆放,严禁过早施加施工荷载,确保混凝土强度达到设计强度的75%以上再承受荷载;模板支撑系统需进行强度和刚度验算,合理设置支撑间距,确保支撑牢固、无变形,避免模板沉降、变形导致混凝土结构受力不均;严格控制模板拆除时间,根据混凝土强度发展情况确定拆除顺序,防止因拆除过早引发裂缝。

3.3 环境层面的防治技术

(1)温度裂缝的防控措施。针对大体积混凝土温度裂缝,采用“内降外保”措施,内部预埋冷却水管,通入循环水降低内部温度,控制水化热峰值;外部采用保温层覆盖,减少环境温度对混凝土表面的影响,缩小内外温差。施工过程中实时监测混凝土内部和表面温度,当温差超过规范限值时,及时调整保温、降温措施,避免温度应力引发裂缝;避免在高温、严寒天气露天浇筑,必要时采取遮阳、保温防护。(2)防潮、防侵蚀防护措施。针对水利工程混凝土长期处于潮湿、腐蚀性环境的特点,做好防潮、防侵蚀防护。在混凝土表面涂刷防腐、防渗涂层,形成防护屏障,阻止水分和腐蚀性介质侵入;对水下、地下混凝土构件,采用抗渗等级符合要求的混凝土,设置止水带、止水片等防渗构造;定期对混凝土表面进行检查和维护,及时处理表面破损,防止侵蚀加剧引发裂缝^[5]。(3)自然外力的防控应对。针对风雪、地震等自然外力,提前制定防控措施。冬季做好防冻、防雪措施,及时清除积雪,避免风雪荷载对混凝土结构造成挤压、冻融损伤;在地震多发区域,优化结构抗地震设计,增加抗震构造措施,提高混凝土结构的抗冲击能力和整体性,减少地震外力引发的裂缝和结构破损;定期对工程结构进行检查,及时加固薄弱部位,提升抵御自然外力的能力。

3.4 设计层面的优化措施

(1)优化结构设计,避免应力集中。结合水利工程

实际工况,优化结构体型设计,对转角、洞口等易产生应力集中的部位,设置过渡圆角、加肋等构造,分散应力;合理设计构件截面尺寸,避免截面突变,确保结构受力均匀;优化配筋设计,在易开裂部位增加钢筋用量,合理布置钢筋,提高混凝土结构的抗拉能力,避免因应力集中引发裂缝;完善防渗、抗裂构造设计,提升结构整体抗裂性能。(2)合理选取设计参数,提升结构抗裂性。设计过程中,结合工程所处环境、使用要求,合理选取混凝土强度等级、抗冻等级、抗渗等级等参数,确保参数符合实际工况需求;准确计算施工荷载、水压、温度荷载等各类荷载,避免荷载计算偏差导致结构设计承载力不足;充分考虑混凝土收缩、温度变化等因素,预留合理的伸缩缝、沉降缝,减少结构约束应力,提升结构抗裂性,从设计层面杜绝裂缝隐患。

结束语

综上所述,水利工程混凝土施工裂缝的产生是材料、施工、环境、设计多因素共同作用的结果,其防治需坚持“预防为主、防治结合”的原则,统筹各环节技术措施。通过优化材料配比、规范施工工艺、强化环境防控、完善设计方案,可有效降低裂缝发生率、控制裂缝危害。后续需结合工程实际工况优化防治策略,加强施工全过程管控与后期监测,持续提升裂缝防治水平,为水利工程安全稳定运行筑牢保障。

参考文献

- [1]闫毅.水利工程施工混凝土裂缝成因分析及控制措施[J].科学与财富,2024,(19):226-228.
- [2]李传友.水利工程混凝土裂缝成因及防治技术研究[J].中国科技投资,2024,(4):134-136.
- [3]蒋宜英.水利工程施工中混凝土裂缝的防治策略研讨[J].水上安全,2023,(16):169-171.
- [4]高古帅.水利工程施工中混凝土裂缝防治措施分析[J].工程技术研究,2022,7(17):145-147.
- [5]袁月丽.水利工程施工混凝土裂缝成因分析及控制措施[J].黑龙江水利科技,2022,50(7):113-117.