

水利工程混凝土裂缝成因及控制措施

刘 丹 双 峰

内蒙古河套灌区黄河水利文化博物馆 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘 要】：大体积混凝土是水利工程主流结构形式，裂缝病害会威胁工程安全、缩短服役年限。本文梳理了水利工程混凝土裂缝的现状，重点分析温度变化、收缩变形、施工工艺不规范三大主要成因。结合裂缝产生机理，配套制定温度防控、收缩抑制、施工管控等针对性措施，依托配合比优化、智能温控、标准化施工与精细化养护等技术降低开裂风险。研究内容与实操方法，可为同类水利工程混凝土裂缝防治提供技术借鉴，提升结构整体质量与耐久性。

【关键词】：水工混凝土；裂缝成因；防控措施

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.070

引言

水利工程是关键的基础设施，结构安全与耐久性直接关系工程运行效果。现代水利工程大量使用大体积混凝土，受材料特性、气候环境、现场施工等因素影响，裂缝问题较为常见。这类病害会破坏结构完整性，造成混凝土性能持续下降。本文结合水工混凝土实际应用特点，系统分析裂缝形成原因，提出多项可落地的防控技术与管理方案，明确现场实施要点，为水利工程混凝土质量管控提供参考。

1 水利工程混凝土裂缝现状

水利工程多运用大体积混凝土结构，材料特质、现场环境及外部荷载都会引发各类问题，裂缝在这类工程中十分常见。混凝土水化热集中散发会让结构内外产生明显温差，形成温度梯度并引发温度应力裂缝，这类裂缝在水工混凝土开裂问题中占比最高^[1]。自然气温起伏、低温冻融、干湿循环持续作用，会让混凝土持续收缩变形，逐渐出现塑性裂缝与干缩裂缝。地基牵制、自身重量、水体压力叠加产生作用力，结构部分区域会聚集应力，让原有裂缝变得更宽、延展距离更长。设施投入使用后，外界环境会慢慢改变混凝土原有性能，抗渗与抗拉能力持续下降，不同类型裂缝彼此影响不断发展，损害整体结构状态，削弱工程使用年限，威胁水利设施正常运转。

2 水利工程混凝土裂缝主要成因

2.1 温度变化产生裂缝

大体积水工混凝土浇筑完成后，内部水泥产生水化反应，不断散发热量，结构内部温度随之攀升。混凝土表层直面外界空气，热量散失速度更快，结构内部与表层形成温度梯度，进而产生温度应力。温度梯度达到 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以上，表层拉应力持续上升，材料抗拉承载能力无法承受应力作用就会出现裂缝。水利工程场地昼夜、季节气温存在明显差距，极端气温波动反复改变构件表层温度，拉大内外温度差值。寒区环境下低温条

件加重温度应力带来的影响，迎水面、施工缝等应力集中位置更容易出现裂缝^[2]。混凝土硬化全程都会受到温度应力作用，水化热升温、温度回落收缩、外界气温变动层层叠加，裂缝逐步出现并不断延伸扩展。

2.2 混凝土收缩变形产生裂缝

混凝土在不同硬化阶段会产生不同类型的收缩变形，是裂缝形成的重要诱因。处于塑性阶段的混凝土，表层水分在空气流动、高温环境下快速蒸发，体积随之收缩，此时混凝土整体强度尚未形成，无法抵抗收缩产生的拉应力，进而形成塑性收缩裂缝。混凝土完全硬化后，内部游离水分持续向外散失，整体体积出现均匀收缩，受基础、相邻结构的约束作用，内部会产生约束拉应力，引发干燥收缩裂缝。在寒区服役环境下，频繁的冻融循环会破坏混凝土内部结构，加剧微观收缩裂纹发育，同时干湿交替作用会改变混凝土内部含水率，反复的胀缩变形不断扩大原有裂缝。多重收缩作用长期累积，会持续降低混凝土结构的整体性与抗裂能力。

2.3 施工工艺不规范诱发裂缝

混凝土全流程施工操作不规范，会从根本上降低结构抗裂性能，间接诱发各类裂缝。搅拌、运输、浇筑各环节管控疏漏，会改变混凝土和易性状态，扰乱入仓温度，改变内部温度分布状态，提升开裂可能性。振捣作业落实不到位，内部会形成孔隙，整体密实度下降，区域受力状态失衡；振捣时长与力度超标会造成骨料分离，结构整体承载能力下降，二次抹面时机把握不准也会让表层产生细微裂缝。养护工作影响裂缝防控效果，温湿度维持不到位或是养护工作缺位，会放缓早期强度发展速度，表层水分快速散失，进而产生收缩类裂缝。部分项目未依照分层分块要求开展浇筑作业，层间衔接处强度不足，施工衔接位置容易发生位移错位，受到外力作用后慢慢产生裂缝，各类施工问题彼此叠加，进一步增加裂缝产生几率。

3 水利工程混凝土裂缝控制措施

3.1 温度防控措施

为有效管控温度应力诱发的裂缝,原材料选型、物料预冷、通水降温、现场防护等环节均要落实温控相关举措。选用低水化热水泥,掺入粉煤灰、磨细矿渣调整配合比,把控水泥投放量,约束混凝土绝热温升,削减结构内部热量散发^[3]。两级预冷系统作用于骨料与拌和物完成降温作业,把控混凝土入仓时的温度数值,规避整体初始温度偏高。现场布设变频智能冷却水管,依照既定间距与深度完成埋设,依托内部温度变化调整水流速度,疏导堆积热量,让结构内外温差维持在规定区间。外界气温出现起伏、区域环境处于低温状态时,混凝土表层铺设复合保温材料形成保温层,放缓表面温度变化节奏,抵御表层受降温影响出现过大拉应力。结合当地气候安排浇筑作业时间,错开温差悬殊的施工时段,依托实时温度数据调整现场温控安排,让结构整体温度场保持均匀状态。

3.2 收缩变形防控措施

针对混凝土各阶段收缩问题,依托配合比调整及现场防护搭建整套防控体系。开展正交试验完成配合比设计,选定适配水胶比,搭配聚羧酸高性能减水剂与钙矾型膨胀剂,拌和物各项性能得到调整,膨胀剂生成的微膨胀效应抵消结构内部收缩应力,材料本身抵抗收缩的性能得到增强。调整骨料颗粒搭配状态,结构整体密实程度有所提升,内部孔隙逐步减少,整体收缩幅度得到控制。混凝土浇筑作业结束后即刻落实保湿养护,搭建湿度智能调控设施,布置微雾喷淋设备,环境湿度出现波动时设备自动更改喷淋频率与供水压力,构件表层始终保持湿润状态,表层水分过快流失引发的塑性收缩得以规避。养护阶段涂抹渗透型养护材料,材料渗入结构表层形成隔水保水薄膜,保湿作用持续更长时间。寒区冻融循环、干湿变换的工况下,增设兼具防水与透气功能的覆盖层,外界环境引发的反

复胀缩作用被弱化,结构内部细微纹路不再持续延伸,收缩引发的裂缝从源头得到管控。

3.3 施工工艺管控措施

依托标准化流程管控全施工环节,规避工艺缺陷引发的裂缝。落实分层分块浇筑方式,限定单次浇筑高度与宽度,维持浇筑状态连续均匀,防止浇筑中断影响层间结合效果。浇筑过程调整振捣力度、作用范围和作业时长,把控振捣作业状态,提升混凝土密实程度,减少骨料分散与内部空腔,混凝土初凝阶段完成二次抹面,填补表面细小孔隙和初期表层裂纹。浇筑结束落实分阶段养护举措,前期做好温度防护,中期放缓降温速度,后期兼顾水分留存与结构强度养护工作。铺设保温棉与真空隔热板搭建保温体系,配合温控装置稳定构件表面温度,借助喷淋手段与养护材料保持湿度,依照规定时长落实完整养护流程。专人跟进现场各道工序,巡查搅拌、运输、浇筑、养护等现场作业,纠正现场违规操作,依托现场工艺管控提升混凝土成型效果与抗裂能力(见图1)。

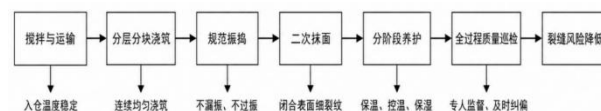


图1 水利工程施工工艺流程图

4 结语

水利工程混凝土裂缝由温度应力、收缩变形、施工操作不规范等因素共同造成,不同诱因形成的裂缝危害各有不同。配合比优化、全程温控、收缩防控以及规范施工养护,是防治混凝土裂缝的有效技术手段。各项防控技术在施工现场落地执行,能够减少裂缝出现。后续水利工程可持续更新施工工艺、推广智能设备,逐步完善裂缝防控体系,让水工混凝土结构维持稳定的运行状态。

参考文献:

- [1] 常旭东,何鑫,孙西文.水利工程混凝土裂缝成因机理及控制措施[J].水泥,2025,(9):116-119.
- [2] 李振全.水利工程混凝土裂缝成因分析及控制技术研究[J].石化技术,2025,32(5):409-410.
- [3] 徐芳.房屋建筑工程混凝土裂缝成因及控制措施分析[J].四川水泥,2024,(6):169-171.