

Study on the prevention and treatment of concrete cracks in water conservancy and hydropower projects

Tao Zhu Zhikun Chen Hao Zhou Zhirong Xu

Hubei Ganguan Reservoir Administration Bureau, Jingmen, Hubei, 431899, China

Abstract

As the backbone of national infrastructure, water conservancy and hydropower projects depend on the durability and safety of their concrete structures (e.g., dams) to ensure long-term benefits. However, concrete cracks frequently occur due to material limitations, construction techniques, environmental factors, and structural loads. These cracks may cause minor issues like leakage or reinforcement corrosion, or escalate into structural instability and dam failures. Statistics indicate that approximately 60% of concrete structures in China's water conservancy projects exhibit cracks, with repair costs accounting for 5%-15% of total project investments. Therefore, systematic research on crack prevention and treatment technologies is crucial for ensuring project safety, extending service life, and reducing lifecycle costs. This paper first analyzes the causes of concrete cracks in hydropower projects, then elaborates on preventive techniques, and finally provides detailed treatment strategies, offering valuable references for related research.

Keywords

water conservancy and hydropower projects; concrete cracks; cause analysis; prevention and treatment technologies

水利水电工程中混凝土裂缝的预防与处理技术研究

朱涛 陈志坤 周浩 徐智容

湖北省高关水库管理局, 中国·湖北 荆门 431899

摘要

水利水电工程是国家基础设施的核心, 其混凝土结构(如大坝等)的耐久性与安全性关乎工程长期效益。但受材料、工艺、环境及荷载等因素影响, 混凝土裂缝问题普遍, 轻则渗漏、锈蚀钢筋, 重则引发结构失稳甚至溃坝。数据显示, 我国约60%的水利工程混凝土结构存在裂缝, 修复成本占工程总投资5% - 15%。因此, 系统研究混凝土裂缝预防与处理技术, 对保障工程安全、延长寿命、降低全生命周期成本意义重大。本文先是具体分析水利水电工程中混凝土裂缝的成因, 随后具体阐述了混凝土裂缝的预防技术, 最后对其处理技术进行了详细阐述, 以期对相关研究提供有益参考与借鉴。

关键词

水利水电工程; 混凝土裂缝; 成因分析; 预防与处理技术

1 引言

水利水电工程作为国家水安全、能源安全与生态安全的重要基石, 其混凝土结构(涵盖大坝、溢洪道等)的耐久性对工程的长远效益起着决定性作用。然而, 在水泥水化热、温度应力、干缩变形及化学侵蚀等多重因素作用下, 混凝土裂缝问题成为工程领域的一大顽疾。裂缝不仅会加剧渗漏, 加速钢筋锈蚀, 还可能削弱结构承载力, 甚至引发灾难性后果。据统计, 全球因混凝土裂缝导致的工程失效案例占比惊人, 修复成本亦不菲。尽管当前研究在材料、施工及修复技术上有所突破, 但针对水利水电工程特殊环境的系统性解决方案仍显匮乏。为此, 本文深入探究裂缝成因与防控技术, 力求构建全链条技术体系, 为工程安全运行筑起坚实防线。

【作者简介】朱涛(1983-), 男, 中国湖北潜江人, 本科, 工程师, 从事水利工程研究。

2 水利水电工程中混凝土裂缝的成因分析

2.1 材料因素

水利水电工程中, 材料因素对混凝土裂缝的形成影响显著。水泥方面, 高热水泥水化时释放大量热量, 使混凝土内部升温快、表面散热慢, 形成温差梯度, 温度应力超过抗拉强度便引发开裂, 且水泥中游离氧化钙或硫酸盐含量过高会致后期体积膨胀、裂缝扩展; 掺合料使用有双重性, 适量掺粉煤灰等可降热减缩, 但过量会降低早期强度、增塑性开裂风险, 如某重力坝粉煤灰超标致强度不足、现密集微裂缝^[1]。骨料上, 粗骨料粒径过大或级配不良会增孔隙率、降密实度, 细骨料含泥量高会削弱粘结力、增收缩变形, 且碱活性骨料遇高碱水泥会引发碱骨料反应, 导致网状裂缝, 某拱坝因此大面积剥落开裂。外加剂方面, 其种类与掺量影响大, 减水剂过量会致离析泌水, 引气剂不足会降低抗冻性, 缓凝剂不当会延长凝结时间, 某渠道工程因缓凝剂超标出现渗漏裂缝。

2.2 施工因素

施工因素对水利水电工程中混凝土裂缝的产生影响重大。配合比设计上,水胶比是关键,过高会使混凝土孔隙率增大、强度降低而易开裂,过低则因粘度大振捣不密实形成缺陷,砂率不当也会降低和易性、增收缩变形,如某泵站水胶比达 0.55,底板现贯穿裂缝。浇筑与振捣工艺中,分层浇筑过厚或间歇过长会形成冷缝,振捣不足内部有气泡孔洞成应力点,过振会致粗骨料下沉等加剧干缩裂缝,如某溢洪道振捣不均,翼墙现规则裂缝。养护条件上,早期养护对控裂重要,温湿度不当会使水分散失异常形成梯度收缩,如某大坝夏季未保湿,表面龟裂。

2.3 环境因素

环境因素是引发水利水电工程混凝土裂缝的重要原因。温度应力方面,混凝土热胀冷缩系数与基岩或钢筋有差异,温度骤变时易产生约束应力,大体积混凝土内部水化热积聚,内外温差超 25℃时,温度应力可能超抗拉强度引发深层裂缝,如某双曲拱坝夏季浇筑未冷却,内外温差 38℃致垂直裂缝贯穿 1/3 高度。湿度变化上,水泥浆体水分散失会干缩,环境湿度低、风速大时干缩速率快,某渠道衬砌冬季湿度 <40%,干缩应变超极限致板间接缝贯穿裂缝。化学侵蚀中,硫酸盐侵蚀常见,地下水中的离子反应生成膨胀物致混凝土膨胀开裂,如某海堤受海水侵蚀,10 年强度损失达 30%。

2.4 结构与荷载因素

结构与荷载因素对水利水电工程中混凝土裂缝影响显著。基础不均匀沉降方面,地基软硬不均或回填土压实度差,会使结构局部沉降产生附加应力,沉降差超允许变形值就会开裂,如某水闸闸室基础为软土层,运行 5 年沉降 30cm,翼墙与底板连接处现阶梯状裂缝且渗漏激增。结构约束应力上,混凝土结构有伸缩需求,若伸缩缝间距过大或止水带失效,会引发约束裂缝,如某重力坝伸缩缝间距 40m,坝体温度变化时现垂直裂缝。超载或动荷载作用中,静载超限或动荷载会使混凝土应力超设计强度,如某溢洪道因水流脉动压力超设计值,底板现疲劳裂缝。

3 混凝土裂缝的预防技术研究

3.1 材料优化与配合比设计

在混凝土裂缝预防中,材料优化与配合比设计至关重要。低热水泥能有效降低混凝土水化热,减少温度应力引发的裂缝,像采用中热硅酸盐水泥就可显著降低混凝土内部温升。同时,合理运用粉煤灰、矿渣粉等掺合料,既能降低水化热,又能改善混凝土工作性与和易性,粉煤灰可增强后期强度,矿渣粉能提高抗渗性与耐久性,不过要控制好掺量以防影响早期强度^[2]。抗裂性配合比设计方面,需综合考虑水胶比、砂率、骨料级配等因素。水胶比一般控制在 0.35 - 0.5,降低它能提高强度与密实性,但过小会增大粘度;合理调整

砂率保证和易性;优化骨料级配减少孔隙率。最终要通过试验确定最佳配合比,满足抗裂要求。

3.2 施工工艺改进

施工工艺改进对预防混凝土裂缝十分关键。在分层分段浇筑与温度控制上,对于大体积混凝土,分层浇筑且每层厚度控制在 30 - 50cm,合理设置间歇时间以防冷缝形成,同时埋设冷却水管通水冷却,夏季采取遮阳、洒水降低入模温度,冬季做好保温防冻。优化振捣工艺方面,振捣是保证密实性的关键,用插入式振捣器,控制好时间和间距,每个振捣点 20 - 30s,以表面不再下沉、无气泡冒出、泛浆为宜,还要避免碰撞模板和钢筋。智能养护技术可根据混凝土需求提供适宜温湿度环境,温控养护靠传感器实时监测并自动调节设备,保湿养护用喷雾、覆盖保湿膜等方式,像大体积混凝土覆盖塑料薄膜和草袋,能减少干缩和温度应力导致的裂缝。

3.3 结构与构造措施

在混凝土结构与构造中,为预防裂缝采取多项有效措施。合理设置伸缩缝与诱导缝是重要手段,伸缩缝能释放因温度变化和地基变形产生的应力,其设置间距依结构类型和环境而定,一般不超 30m;诱导缝是预先设置的薄弱部位,可引导裂缝在指定位置发生,二者合理设置能避免裂缝无序扩展,保证结构整体性。增强结构配筋率与合理布置构造钢筋也必不可少,增加配筋率可提高抗裂能力,布置分布钢筋和箍筋能约束混凝土收缩变形,且要合理控制钢筋间距和直径以保证粘结力。此外,预应力技术通过施加预压应力抵消使用阶段拉应力,减少裂缝产生,适用于大跨度、重载结构,但施工要求高,需严格控制张拉力和锚固质量。

3.4 环境控制与监测

在混凝土工程中,环境控制与监测对预防裂缝意义重大。施工期温度与湿度实时监测是关键环节,施工时在混凝土内部和表面埋设温度、湿度传感器,能实时获取数据。依据监测结果,可及时调整施工工艺与养护措施,若内部温度过高,就增加冷却水管通水量;环境湿度低时,则加强保湿养护。同时,数值模拟技术如有限元分析也发挥着重要作用,它能模拟混凝土结构的应力、应变分布,预测裂缝风险。通过建立有限元模型,输入相关参数和条件,分析结构响应,提前发现潜在裂缝部位,进而采取预防措施,像发现某部位应力集中,就可增加配筋率或设置诱导缝来加强处理。

4 混凝土裂缝的处理技术研究

4.1 表面处理法

表面处理法是处理混凝土浅层裂缝(宽度 ≤0.2mm)或需快速恢复防水性的有效手段,核心在于通过材料封闭裂缝表面,防止水分和腐蚀介质侵入。其中,表面涂层封闭采用环氧树脂、聚氨酯等高黏结性材料,通过喷涂或刷涂形成致密薄膜,环氧树脂可渗透裂缝微孔,固化后与混凝土化学