

水利工程中混凝土裂缝成因及防治措施研究

刘洋

水发众兴集团有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i3.4685

[摘要] 本研究聚焦于水利工程混凝土裂缝问题,经系统分析发现,材料质量缺陷、施工工艺不当以及环境因素变化是导致裂缝产生的主要原因,并针对性地提出了包括优化材料选择与配比、加强施工过程控制、应对环境因素影响等在内的防治措施,研究成果对于提高水利工程混凝土结构耐久性具有重要的指导意义。

[关键词] 水利工程; 混凝土裂缝; 成因分析; 防治措施

中图分类号: TV 文献标识码: A

Research on the Causes and Prevention Measures of Concrete Cracks in Water Conservancy Engineering

Yang Liu

Shuifa Zhongxing Group Co., Ltd

[Abstract] This study focuses on the issue of concrete cracking in water conservancy projects. Through systematic analysis, it identifies the main causes of cracks as material quality defects, improper construction techniques, and environmental changes. Targeted prevention and control measures are proposed, including optimizing material selection and mix proportions, enhancing construction process control, and addressing the impacts of environmental factors. The research findings provide important guidance for improving the durability of concrete structures in water conservancy engineering.

[Key words] Water conservancy engineering; Concrete cracking; Cause analysis; Prevention and control measures

引言

水利工程是我国社会经济发展的重要基础设施,在防洪、灌溉、发电、供水等方面发挥着关键作用。混凝土是水利工程中应用最广泛的建筑材料,其结构的完整性和耐久性直接关系到工程的安全运行。然而,在水利工程建设和运行过程中,混凝土裂缝问题普遍存在,深入研究混凝土裂缝的成因,并探索有效的防治技术,对于保障水利工程的稳定运行具有至关重要的现实意义。

1 混凝土裂缝成因分析

1.1 材料因素

水泥品种与质量对水利工程中混凝土裂缝产生的影响重大,不同品种水泥水化热差异显著,如硅酸盐水泥水化热高,在大体积混凝土施工时这一特性更为突出,大量水化热在混凝土内部积聚形成高温核心,与相对低温的表层产生明显温差,当这种温度梯度引发的拉应力超过混凝土抗拉强度,温度裂缝便会出现;而水泥质量缺陷同样不可小觑,安定性不良的水泥在硬化过程中体积变化不均,致使内部应力集中进而形成裂缝^[1]。

骨料质量对混凝土整体性能影响显著,粒径过大的骨料无法与水泥浆体充分结合,会在混凝土结构中形成薄弱界面;级配不良使骨料间空隙过多,影响混凝土密实度,进而导致混凝土和易性下降,在浇筑过程中易出现分层、离析现象并增加裂缝风险;当骨料含泥量超标,泥土颗粒会附着在骨料表面形成隔离层,严重削弱水泥与骨料的粘结力,且泥土成分吸水后体积变化大,会增加混凝土干缩变形,为裂缝形成创造条件。

外加剂使用不当是裂缝产生的重要诱因,当减水剂掺量超出合理范围,混凝土拌合物流动性虽得以提高,但过度流动会加剧骨料下沉、水分上浮的泌水现象,这种不均匀分布破坏混凝土匀质性,在硬化过程中形成薄弱带;外加剂对混凝土凝结时间的异常改变会影响其内部水分迁移和应力发展,无论是凝结过快还是过慢,都会造成表面龟裂或内部微裂纹;而外加剂种类选择不当还可能导致混凝土收缩增大、早期强度降低等问题,为后期裂缝发展埋下隐患。

1.2 施工因素

混凝土配合比设计的合理性直接决定水利工程中的混凝土

最终性能,其中水灰比作为关键参数,其大小与混凝土密实度和强度发展息息相关:水灰比过大时混凝土中自由水增多,水分蒸发后形成毛细孔道,进而增加混凝土渗透性和干缩变形。水泥用量控制不当同样会带来诸多问题,水泥用量过多不仅会提高成本,还会使水化热大幅提升,尤其在大体积混凝土施工中,高温引发的体积变化和应力集中极易导致裂缝产生。而砂率选择对混凝土工作性能影响显著,不合理的砂率会破坏骨料级配平衡,降低混凝土和易性与抗裂能力。

浇筑与振捣工艺执行质量直接影响混凝土均匀性和密实度,浇筑速度过快会使新旧混凝土层无法充分结合进而形成薄弱施工缝,浇筑高度过大则导致混凝土下落时离析、粗骨料沉底、上部出现浮浆层;振捣作业不当同样会引发诸多问题,振捣不足会留下蜂窝、空洞等缺陷成为应力集中点,过度振捣则破坏混凝土均匀性、表面形成厚浮浆层并在硬化收缩时极易开裂,振捣时间和频率的准确把握依赖丰富经验,任何不当操作都会直接影响混凝土质量。

养护工作质量对混凝土早期性能发展起决定性作用,因混凝土浇筑完成后水泥水化需充足水分,若养护不及时或不充分,表面就会迅速失水,导致早期强度发展受阻、抗裂能力显著降低;当养护方法选择不当,像覆盖材料不合理、洒水不均匀,会造成混凝土表面干湿交替,产生不均匀收缩应力。特别是在干燥、高温或大风环境下,水分蒸发速度加快,混凝土表面失水形成塑性收缩裂缝,这些早期细微裂缝会成为后期裂缝发展的通道,进而影响结构耐久性。

1.3 环境因素

温度变化是水利工程混凝土裂缝的重要环境诱因,由于混凝土热传导性能差,温度变化时内外响应存在时间差。夏季高温时段太阳辐射使混凝土表面温度骤升而内部升温缓慢,形成明显温度梯度,致使表面产生压应力、内部出现拉应力;夜间温度下降,表面迅速冷却收缩而内部仍保持较高温度,应力状态随之反转,这种日夜温差引发的反复应力循环会造成混凝土疲劳损伤最终产生裂缝。而冬季的冻融循环破坏更甚,当孔隙水结冰体积膨胀产生的压力超过混凝土抗拉强度时就会形成裂缝,反复冻融还会促使裂缝不断扩展,严重时甚至导致混凝土剥落崩解^[2]。

环境湿度变化显著影响混凝土水分平衡状态,低湿度环境促使混凝土表面水分快速蒸发,形成由外向内的湿度梯度,表层失水收缩受内部约束产生拉应力,当该应力超过混凝土抗拉强度时便出现裂缝;干热风天气会导致混凝土表面水分急剧散失,使得处于塑性阶段的混凝土极易产生网状裂缝;在长期干湿交替环境中,混凝土反复胀缩变形致使疲劳损伤不断累积,水分迁移还会带走可溶性物质,造成表面泛碱进而影响其密实性;季节性降雨使混凝土吸水膨胀,干燥季节又使其收缩,这种周期性体积变化加速了裂缝发展;湿度与温度变化相互影响,高温低湿条件下混凝土开裂风险大幅增加,严重威胁水利工程混凝土的耐久性。

2 混凝土裂缝防治措施

2.1 优化材料选择与配比

水利工程中的混凝土材料选用和配比优化,是预防裂缝产生的关键步骤;合理挑选水泥品种,对防治混凝土裂缝起着关键作用;水泥作为混凝土主要的胶结材料,其水化发热的特点,直接关系到混凝土内部温度应力的分布。在大体积混凝土施工中,建议选用水化热量较低的中热矿渣硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥,这样能够有效降低混凝土内部温度的最高值,缩小混凝土内外温差,降低出现温度裂缝的风险。合理添加矿渣微粉、粉煤灰等掺合材料,既能减少水泥使用量、降低水化热,还能改善混凝土的微观结构,增强其抗裂性能;水利工程也可以适当降低水泥强度等级,以此减少水化热,但必须确保混凝土最终强度符合设计要求。

把控骨料质量,是提高混凝土抗裂性能的重要举措;骨料颗粒大小的分布情况和级配状态,直接影响混凝土的密实程度和和易性;优质骨料应具备良好的颗粒形状、合适的级配,并且含泥量要低。通过筛分试验找到最佳级配,能让骨料颗粒之间的空隙达到最小,提高混凝土密实度,减少水泥浆用量,降低干燥收缩变形。水利工程通常适合采用连续级配的骨料,粗骨料的最大粒径要根据结构尺寸和钢筋间距来合理确定;严格控制骨料含泥量,对保证水泥和骨料之间良好粘结十分重要,含泥量过高会大幅增加混凝土收缩,从而引发裂缝^[3]。

科学使用外加剂,能够有效改善混凝土性能;减水剂、引气剂、缓凝剂等外加剂在水利工程中应用十分普遍,但如果使用量控制不好,可能会带来更多问题。减水剂能在降低水灰比的同时,保持混凝土的流动性,不过过量使用会导致混凝土出现泌水、离析现象,影响抗裂性能;引气剂能提升混凝土的抗冻能力,却会降低其强度;缓凝剂可以延缓水泥水化速度,减小混凝土内部温度差异,使用前一定要通过试验确定合适的用量。使用外加剂前,需要进行多组配比试验,验证其对混凝土各项性能的影响。

优化混凝土配合比设计,是调控混凝土性能的核心;水灰比、水泥用量、砂率等关键参数,都需要通过试验确定最佳数值;在满足混凝土强度和耐久性要求的前提下,适当减少水泥用量,可降低水化热;控制合理的水灰比,既能满足施工操作要求,又能减少收缩变形;砂率的调整,要依据骨料特性和混凝土工作性要求来确定。进行多组配比试验验证,是确保得到最佳配比的必要过程,应通过实际试验对比不同配比混凝土的抗裂性能,进而选出最优方案。

2.2 加强施工过程控制

水利工程中的混凝土裂缝防治施工过程控制核心在于规范浇筑振捣与科学养护浇筑振捣作为混凝土成型关键环节,其质量直接影响密实度与整体性能,浇筑时采用分层、连续、对称方式可避免冷缝形成,浇筑层厚度依据振捣设备性能确定,一般不超过50cm;控制自由倾落高度不超过2m以防骨料分离与离析,高落差浇筑借助串筒、溜管等辅助设备保障质量,大体积混凝土结构采取分区、分块浇筑策略减小水化热积聚风险。

振捣工序决定混凝土密实度,依据结构特点选择插入式振动棒、附着式振动器等振捣方式,遵循“快插慢拔、逐点移动、均匀布点”原则,相邻振点间距不超振捣器作用半径1.5倍,以混凝土表面泛浆、不再下沉、气泡不再逸出判断振捣时间,避免振捣不足或过度,钢筋密集区用小直径振动棒辅助振捣,浇筑完成及时清除表面浮浆为养护创造条件。

养护是防裂缝重要保障,浇筑后立即开始避免表面水分过快蒸发,根据结构与环境特点选择覆盖、洒水、喷涂养护剂、蓄水等养护方式,大面积混凝土覆盖土工布或塑料薄膜并定期洒水保湿,大体积混凝土控制内外温差,通过埋设冷却水管、调控浇筑温度实现;养护时间依混凝土强度等级、环境、结构重要性而定,普通混凝土不少于7天、抗渗混凝土不少于14天;高温环境增加洒水次数并遮阳,寒冷环境覆盖保温材料、搭设暖棚或加热防止受冻,专人负责定期检查湿润状态,养护结束缓慢降温、逐步拆除保护措施,防止环境突变引发应力集中开裂。

2.3 应对环境因素影响

水利工程中的混凝土裂缝防治时,环境因素影响的应对策略主要围绕温度与湿度管控展开。温度管控是预防温度裂缝的关键做法,水利工程混凝土浇筑时的温度状况会直接影响混凝土内部应力的变化。夏季高温施工是水利工程常见情形,此时需要采用多种降温方法;降低原材料温度是首要步骤,可以通过给骨料堆放场地遮阳、喷水降温,以及给水泥仓库通风等方式实现。控制拌和用水温度能取得明显效果,可使用冰水混合或者专用冷却设备,将水温降低到5℃左右。混凝土拌和厂房要做好通风散热工作,降低环境温度对混凝土的影响。控制混凝土出机温度是重要指标,夏季应将其控制在30℃以下,必要时可采用液氮等特殊降温方法^[4]。

混凝土浇筑后的温度控制更为关键,大体积混凝土结构内部温度可能上升到70~80℃,与表面形成较大温差。内部降温是有效的温控办法,通过预先埋设冷却水管系统,在混凝土凝结后通入冷水循环,加快内部热量散发。冷却水温度、流量及循环时长应依据温度监测数据灵活调整,通常将混凝土降温速度控制在每天不超过2℃,防止因快速冷却产生裂缝。表面降温和内部降温应协同进行,将内外温差控制在不超过25℃。布设温度监测系统是科学温控的前提,需要在混凝土不同深度、不同部位安装测温元件,实时监测温度变化。

冬季施工的温度控制同样不容忽视,混凝土浇筑温度应保持在5℃以上,可以通过加热拌和用水、用蒸汽加热骨料等方式提升混凝土初始温度。浇筑区域要做好保温措施,比如搭建暖棚、安装加热装置等,保证施工环境温度符合要求。浇筑前应清理模板、钢筋上的冰雪,避免影响混凝土质量。冬季养护更要重视保温,可采用覆盖保温材料、使用电热毯加热、蒸汽加热等方式,确保混凝土在0℃以上环境中正常水化。

湿度控制是预防干缩裂缝的重要途径,在干燥环境下,混凝土表面水分蒸发速度往往快于内部水分向上移动的速度,导致表面收缩应力聚集。调控环境湿度是基础措施,可以通过喷雾、设置喷淋系统等方式增加施工现场湿度。在风力较大地区施工时,应设置挡风设施,减缓风力对表面水分蒸发的加速作用。对混凝土表面进行保湿是直接有效的手段,覆盖湿麻布、土工布等材料并定期洒水保湿,能有效减少水分蒸发。使用养护剂是现代的湿度控制方式,在表面喷涂成膜养护剂可以形成致密保护层,阻止水分蒸发,尤其适用于大面积水平混凝土结构。

3 结论

综上所述,水利工程中的混凝土裂缝问题解决需从材料选择、施工控制、环境应对源头着手,三者相辅相成,共同作用于工程质量。工程实践表明,建立系统质量控制体系并将预防理念贯穿施工全过程,是有效降低裂缝发生率的关键。水利工程因其特殊性,要求技术人员既要掌握混凝土基本理论,又要深刻理解各因素相互作用机制,通过精细化管理与科学化施工,才能确保水利工程质量、延长其使用寿命。

[参考文献]

- [1]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(04):34-35.
- [2]孙茜.水利工程中混凝土裂缝的成因以及防治举措探究[J].水电水利,2022,6(02):10-12.
- [3]万里.水利工程中混凝土裂缝的成因与防治研究[J].城市周刊,2022(30):85-87.
- [4]阿合买提·哈司木.水利工程施工混凝土裂缝成因分析及控制措施[J].城市建设理论研究(电子版),2024(03):29-30.

作者简介:

刘洋(1975—),男,汉族,山东泰安人,大学本科,工程硕士,高级工程师,研究方向:水利项目施工、建设管理及工程技术控制。