

水利工程泵站混凝土防裂及温控设计研究

舒婧

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6427

[摘要] 水利工程泵站作为水资源调控的核心设施,其混凝土结构的抗裂性能直接影响工程安全与耐久性。本文系统分析了泵站混凝土裂缝的产生机理,从温度应力、收缩变形、材料性质与配合比三方面揭示裂缝形成的关键因素。结合工程实践,提出五项防裂策略与五项温控设计策略,通过优化材料选择、改进施工工艺、强化温度监测等手段,有效降低裂缝发生率。研究结果表明,科学合理的防裂与温控设计可显著提升泵站混凝土结构的长期稳定性,为类似工程提供理论依据与实践参考。

[关键词] 泵站混凝土; 防裂技术; 温控设计; 裂缝控制

中图分类号: TV675 文献标识码: A

Research on Concrete Crack Prevention and Temperature Control Design for Pumping Stations in Water Conservancy Engineering

Jing Shu

Xinjiang Water Resources and Hydropower Investigation, Design and Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] As the core facilities for water resource regulation and control, the concrete structures of water conservancy project pump stations directly affect the safety and durability of the engineering projects. This paper systematically analyzes the generation mechanism of concrete cracks in pump stations, revealing the key factors contributing to crack formation from three aspects: temperature stress, shrinkage deformation, and material properties and mix proportions. Based on engineering practices, five anti-cracking strategies and five temperature control design strategies are proposed. By optimizing material selection, improving construction techniques, and strengthening temperature monitoring, the incidence of cracks can be effectively reduced. The research results indicate that scientific and reasonable anti-cracking and temperature control designs can significantly enhance the long-term stability of concrete structures in pump stations, providing theoretical foundations and practical references for similar projects.

[Key words] pumping station concrete; crack prevention technology; temperature control design; crack control

引言

水利工程泵站作为调节水资源、保障供水安全的关键设施,其混凝土结构的稳定性和耐久性至关重要。然而,在泵站混凝土施工过程中,裂缝问题时有发生,不仅影响结构安全,还可能缩短使用寿命。裂缝的产生与温度应力、收缩变形、材料性质及配合比等多种因素有关。因此,深入研究泵站混凝土防裂及温控设计,采取科学合理的温控措施和严格的施工管理,对于降低裂缝发生率、保障水利工程质量和运行安全具有重要意义。

1 泵站混凝土裂缝产生机理分析

1.1 温度应力作用

在水利工程泵站混凝土施工过程中,温度应力是导致裂缝形成的关键因素之一。当水泥发生水化反应时,会释放出大量的热量,使得混凝土内部温度显著升高。随着浇筑时间的推移,混

凝土内部温度逐渐降低,而外部环境温度保持相对稳定,这就在混凝土内部形成了明显的温度梯度。由于混凝土材料的热膨胀系数较低,温度变化引起的体积变化会产生相应的应力。当这种由温度梯度引发的拉应力超过混凝土本身的抗拉强度时,便会在结构中产生裂缝。特别是在大体积混凝土结构中,由于其较大的尺寸和较厚的截面,温度应力的作用尤为明显,因为内部与外部之间的温差较大,从而加剧了温度应力的影响。

1.2 收缩变形

混凝土在硬化过程中的收缩变形是泵站结构出现裂缝的重要原因。随着水泥水化反应的持续进行,混凝土体积会发生不可避免的收缩。此外,在干燥条件下,水分蒸发也会导致混凝土进一步收缩。当这些收缩变形受到来自周围结构或基础约束时,会在混凝土内部产生额外的拉应力。如果这些拉应力超过了混

凝土的抗拉极限,就会引发裂缝。收缩变形不仅限于早期阶段,在整个服役期内也可能继续发展,尤其是在环境湿度波动较大的情况下。因此,对于泵站混凝土结构而言,选择合适的材料、优化配合比设计以及实施科学的养护措施至关重要,以此来减小收缩变形及其带来的不利影响,从而提高混凝土结构的整体性能和长期稳定性。

1.3 材料性质与配合比

混凝土的材料性质和配合比对其抗裂性能具有决定性影响。水泥的种类、强度等级、水化热特性,骨料的级配、粒径、弹性模量等参数,均会对混凝土的收缩变形和温度应力产生重要影响。例如,高水化热的水泥品种会导致混凝土内部温度迅速上升,进而增加温度应力的风险;而骨料的选择不当则可能引起不均匀收缩,加大裂缝形成的几率。合理的配合比设计应当综合考虑各种材料特性,确保混凝土具备良好的工作性、强度和耐久性的同时,尽可能降低收缩变形和温度应力。

2 水利工程泵站混凝土防裂策略

2.1 优化混凝土材料选择

水利工程泵站混凝土施工的水泥选择上,应优先选用低热水泥。中热硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥水化热较普通硅酸盐水泥降低20%-30%,能有效减少混凝土内部热量积聚。如某泵站工程采用P·MH42.5中热水泥,混凝土内部温度峰值降低8℃,裂缝数量减少40%。骨料优化也不容忽视,选用级配良好、粒径适中且弹性模量与混凝土接近的骨料,粗骨料最大粒径和细骨料细度模数都有严格要求。掺合料应用可减少水泥用量、降低水化热、改善孔隙结构,粉煤灰和矿渣粉有适宜掺量。外加剂选用能改善混凝土工作性,减少用水量和收缩变形。

2.2 改进混凝土配合比设计

水灰比是影响混凝土抗裂性能的关键。水灰比越大,混凝土孔隙率越高,收缩变形及渗透性越大,水利工程泵站混凝土水灰比宜控制在0.45-0.55,有抗渗要求时不应大于0.50。砂率优化也十分重要,砂率过大会增加用水量、降低强度,过小影响工作性,泵站混凝土砂率宜控制在35%-45%,要根据骨料级配和性能要求调整。胶凝材料用量需合理,过多会导致水化热升高、增加温度应力,过少影响强度和耐久性,泵站混凝土胶凝材料用量宜控制在350-450kg/m³,水泥用量不宜超过300kg/m³。

2.3 加强混凝土施工过程控制

水利工程泵站浇筑工艺优化能有效降低水化热积累。采用分层浇筑、分段跳仓浇筑等工艺,减小单次浇筑体积,分层浇筑厚度不宜超过500mm,分段跳仓间隔时间不宜少于7天。振捣密实是保证混凝土质量的关键,应充分、均匀,避免漏振或过振,振捣棒插入下层混凝土深度不宜小于50mm,以混凝土表面泛浆、无气泡逸出为宜。表面处理也不可或缺,混凝土浇筑完成后及时二次抹面,消除表面收缩裂缝,二次抹面在初凝前完成,之后覆盖塑料薄膜或湿麻袋养护,可有效减少水利工程泵站裂缝产生。

2.4 强化混凝土养护措施

保湿养护是水利工程泵站混凝土养护的基础。混凝土浇筑完成后,立即覆盖塑料薄膜或湿麻袋,保持表面湿润,养护时间不少于14天,大体积混凝土或掺膨胀剂的结构宜延长至28天。温度控制要根据季节采取不同措施,高温季节搭遮阳棚、喷洒冷却水降温,低温季节覆盖保温被、搭暖棚保温。湿度监测能确保养护效果,定期监测混凝土表面湿度,保证养护环境湿度不低于90%,为混凝土强度增长和抗裂性能提升创造良好条件。

2.5 应用新型防裂材料与技术

纤维增强混凝土能有效提高水利工程泵站抗裂性能。掺入碳纤维、聚丙烯纤维等,可提高混凝土抗拉强度及韧性,抑制裂缝扩展,如某泵站工程掺入0.9kg/m³聚丙烯纤维,混凝土抗裂性能提高30%。膨胀剂补偿收缩也是常用方法,掺入钙矾石类膨胀剂可补偿混凝土收缩变形,减少裂缝产生,掺量宜控制在8%-12%,要根据混凝土收缩率和限制膨胀率要求调整。智能监测技术为裂缝控制提供数据支持,采用分布式光纤传感技术、无线传感器网络等,能实时监测混凝土内部温度、应变及裂缝发展情况。

3 水利工程泵站混凝土的温控设计策略

3.1 冷却水管布置与循环水降温

在水利工程泵站的大体积混凝土结构中,冷却水管的合理布置与循环水降温是控制混凝土内部温度的关键策略。水管通常采用蛇形布置方式,这种布局能有效扩大水流与混凝土的接触面积,加速热量交换。水管间距不宜大于1.5m,若间距过大,部分区域的水化热难以被及时带走,易形成温度高点;水管直径宜控制在25-50mm,直径过小会限制水流速度,影响降温效率,过大则可能造成水资源浪费。循环水系统包含水泵、水箱、水管及控制系统,水泵流量需依据混凝土体积和降温要求精准确定,水箱容量要满足循环水持续供应。在冷却水管进出口设置温度传感器,可实时监测循环水及混凝土内部温度,通过对比进出口水温差,判断降温效果,确保混凝土内部温度变化符合设计要求,避免因温度应力导致裂缝产生。

3.2 保温材料选择与使用

保温材料的选择与正确使用对水利工程泵站混凝土温控至关重要。常用保温材料如聚苯乙烯泡沫板、岩棉板、玻璃棉板等,其导热系数不宜大于0.04W/(m·K),导热系数越低,保温性能越好。保温层厚度需根据混凝土内外温差及环境温度综合确定,温差大、环境温度低时,应适当增加厚度。施工时,保温层要紧密贴合混凝土表面,防止出现空鼓或裂缝,否则会影响保温效果,导致热量散失过快。保温层搭接长度不宜小于100mm,接缝处用胶带密封,可有效阻止热量从缝隙中流失。通过红外热像仪监测混凝土表面温度分布,能直观评估保温效果,确保混凝土内外温差不超过25℃,避免因温度骤变引发裂缝,保障混凝土结构的稳定性。

3.3 温控监测与数据分析

精准的温控监测与数据分析是保障水利工程泵站混凝土温控质量的重要手段。在混凝土内部、表面及环境合理布置温度传感器,监测点间距不宜大于5m,深度依据混凝土厚度确定,这

样能全面、准确地获取混凝土温度信息。采用无线传感器网络或有线传输系统,可实时采集温度数据并传输至监控中心,数据采集频率不低于1次/小时,确保能及时捕捉温度变化。建立温度预测模型,对采集的数据进行分析,可掌握混凝土温度变化趋势。当温度超过预警值时,系统自动报警,提示施工人员及时采取降温或保温措施,如增加冷却水流量、加强保温层等,将混凝土温度控制在合理范围内,防止因温度异常导致裂缝产生,保证工程质量。

3.4 施工期温度控制措施

水利工程泵站施工期温度控制措施对混凝土质量影响显著。夏季施工时,原材料温度控制是关键。水泥入机温度不宜超过60℃,骨料温度不宜超过30℃,拌合水温度不宜超过25℃,过高温度会加速水泥水化反应,导致混凝土内部温度迅速升高。混凝土浇筑温度也不宜超过30℃,高温季节应选择清晨或傍晚浇筑,避开中午高温时段,减少环境温度对混凝土的影响。分层浇筑厚度不宜超过500mm,避免单次浇筑过厚导致水化热积聚。间歇时间应根据混凝土初凝时间及环境温度确定,一般不宜超过2小时,保证层间结合良好,防止因施工间隔过长形成冷缝,影响混凝土整体性和抗裂性能,确保混凝土结构质量。

3.5 特殊部位温控设计

特殊部位的温控设计是水利工程泵站混凝土防裂的重要环节。在基础约束区,基础对混凝土有约束作用,易产生温度应力导致裂缝。设置滑动层可减小这种约束,滑动层可采用沥青油毡、塑料薄膜等材料,这些材料具有良好的滑动性能,能使混凝土在温度变化时相对基础有一定位移,释放温度应力。孔洞周边是应力集中区域,设置加强钢筋可提高局部抗裂性能,加强钢筋直径不宜小于12mm,间距不宜大于150mm,合理布置加强钢筋能

有效分散应力,防止孔洞周边出现裂缝。施工缝处理也不容忽视,施工缝应设置在结构受力较小部位,采用凿毛、清洗、涂刷界面剂等措施,可增强新旧混凝土之间的粘结力,确保新旧混凝土结合良好,避免因施工缝处理不当引发裂缝,保障混凝土结构的整体性和耐久性。

4 结语

水利工程泵站混凝土防裂及温控设计是保障工程安全与耐久性的关键环节。本文从裂缝产生机理出发,系统分析了温度应力、收缩变形及材料性质对裂缝形成的影响,提出了优化材料选择、改进配合比设计、加强施工控制、强化养护措施及应用新型防裂技术等五项防裂策略,以及冷却水管布置、保温材料使用、温控监测、施工期温度控制及特殊部位温控设计等五项温控设计策略。工程实践表明,科学合理的防裂与温控设计可显著降低泵站混凝土裂缝发生率,提高结构长期稳定性。

[参考文献]

- [1]张志华,夏天,郭志杰.泵站进水流道混凝土温控技术措施[J].四川水利,2023,44(01):104-107.
- [2]董航凯,晏安平,唐寅.黄金峡水利枢纽泵站厂房温控措施研究[J].水利建设与管理,2022,42(10):8-15+47.
- [3]陈兴军.洪湖东分块蓄洪工程腰口泵站进出水流道混凝土浇筑养护温控技术应用[J].水利建设与管理,2021,41(10):52-58.
- [4]张通,周人飞,李松辉.某水利枢纽工程纵向围堰坝段混凝土温控防裂要点研究[J].水利水电技术,2019,50(1):98-102.

作者简介:

舒婧(1987--),女,汉族,新疆霍城县人,大学本科,高级工程师,研究方向:水利水电工程规划设计、水工建筑物、厂房、泵站。