

小型水闸工程现浇混凝土施工裂缝防控技术研究

王珊珊 谈畅

江苏省鸿源招标代理股份有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i8.4911

[摘要] 文章针对小型水闸现浇混凝土施工裂缝问题,分析温度应力、收缩应力及荷载作用下的裂缝成因,提出温控、收缩控制、荷载控制及裂缝修补等防控技术。通过合理选择浇筑时段、掺加膨胀剂、优化结构设计等措施实现裂缝防控,并强调技术选型依据、协同应用及长期监测维护的重要性。实践表明,多种防控技术综合运用可有效降低裂缝产生概率,提升结构强度与耐久性,保障小型水闸工程整体安全稳定运行。

[关键词] 现浇混凝土; 裂缝防控; 温度控制; 荷载优化

中图分类号: TV66 文献标识码: A

Research on Crack Prevention and Control Technology for Cast-in-Place Concrete Construction of Small Sluice Engineering

Shanshan Wang Chang Tan

Jiangsu Hongyuan Bidding Agency Co., Ltd.

[Abstract] Addressing the problem of cracks in cast-in-place concrete construction of small sluice engineering, this paper analyzes the causes of cracks under thermal stress, shrinkage stress, and load action, and proposes prevention and control technologies such as temperature control, shrinkage control, load control, and crack repair. Crack prevention and control are achieved through measures including reasonable selection of pouring time, addition of expansion agents, and optimization of structural design. The importance of technology selection basis, collaborative application, and long-term monitoring and maintenance is emphasized. Practice shows that the comprehensive application of multiple prevention and control technologies can effectively reduce the probability of crack occurrence, improve structural strength and durability, and ensure the overall safe and stable operation of small sluice engineering.

[Key words] cast-in-place concrete; crack prevention and control; temperature control; load optimization

引言

混凝土裂缝的产生与材料性能、施工工艺及环境因素密切相关^[1]。在规模较小的小型水闸工程里,现浇的混凝土结构会因体积收缩、温度应力以及荷载作用等因素,很容易引发贯穿性的裂缝,进而致使结构耐久性变差、防渗功能丧失。据水利工程病害统计,约65%的水闸结构失效与混凝土裂缝扩展有关^[2],其危害性远超一般建筑结构。基于断裂力学原理,混凝土裂缝扩展需满足应力强度因子大于临界值的条件^[3]。目前,众多研究主要集中在大坝这类大型工程上,对于小型水闸的专项技术体系还不完善,有必要构建涵盖材料选型、施工工艺以及监测维护等环节的全链条防控方案。

1 裂缝成因分析

1.1 温度应力裂缝

现浇混凝土发生水化反应时,其产生的水化热过程成为温

度应力产生的核心机制,水泥水化反应释放出的热量在混凝土内部不断积聚形成非均匀的温度场。热传导理论表明,混凝土这种材料导热系数不高,大概为 $1.74\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,这使得其内部升温速度明显比表面快,形成了内高外低的温度梯度。当环境温度骤降时,表面混凝土收缩受内部约束产生拉应力,超过混凝土抗拉强度设计值(通常为 $1.5\text{--}2.5\text{MPa}$),即引发温度裂缝^[4]。环境温度的起伏变化遵循着傅里叶热传导方程的规律,当昼夜温差超过 15°C 或是遭遇寒潮的猛烈袭击,混凝土表面与内部的温差能够达到 $20\text{--}30^\circ\text{C}$,这样的动态温度场,正是引发温度裂缝形成的主要因素。

1.2 收缩应力裂缝

混凝土收缩现象主要涵盖塑性收缩与干燥收缩这两种类型,其根本原因在于毛细孔里的水分蒸发引发了毛细管张力的改变。在浇筑完成后的3至12小时这个时间段里,塑性收缩悄然发

生,此时混凝土呈现出流塑状态,其表面水分蒸发速度比泌水速度还要快,进而形成了塑性沉降裂缝。达西定律表明,蒸发速率突破 $0.5\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的临界值,塑性收缩裂缝出现的风险会迅速增大。干燥收缩现象通常出现在混凝土硬化阶段,当内部相对湿度下降到80%以下,毛细孔中产生的张力能够达到 $100\text{--}200\text{MPa}$,引发宏观体积的收缩,幅度大约在 $0.04\%\text{--}0.06\%$ 之间。进行收缩应力计算时要引入收缩当量温差概念,把收缩应变转化为等效的温度应力。低热水泥与粉煤灰掺合料(替代率控制在 $20\%\text{--}30\%$ 范围内)能够显著降低水化热,有效减小收缩变形。

1.3 荷载引起的裂缝

荷载裂缝可被划分为静载裂缝与动载裂缝两个类别。静载裂缝的产生主要源于结构自身重量、水产生的压力等长时间作用的荷载,其形成所遵循的机制与线弹性断裂力学理论相契合。混凝土所承受的应力强度因子 K_I ,一旦超越了断裂韧度 K_{IC} (数值通常处于 $1.2\text{--}1.8\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 这个范围),裂缝便会开始失稳并不断扩展。动载裂缝是在振动、冲击这类循环荷载的作用下被诱发出来的,其疲劳寿命的演变遵循着Miner累积损伤法则,一旦损伤指数 D 达到或超过1,便会发生疲劳破坏。结构设计环节借助有限元分析来验证荷载组合所产生的效应保证裂缝宽度限值(水面以下不超过 0.2mm ,水面以上不超过 0.3mm)能符合规范要求。施工阶段对堆载进行严格控制显得尤为关键,集中堆放的荷载重量不可超出结构承载能力的70%,并且要确保分布均匀。在动载作用区域,需要额外增设构造钢筋,配筋率需提高 $0.1\%\text{--}0.2\%$,同时选用带肋钢筋(HRB400级)来增强钢筋与混凝土间的粘结性能。

2 裂缝防控技术

2.1 温度控制技术

精准调控混凝土浇筑与养护时的温度是预防温度应力导致裂缝产生的关键方法。浇筑温度控制时全面考虑环境温度、混凝土入模温度以及水化热释放的规律。例如,夏季施工时应优先选择清晨或夜间浇筑,利用低温时段降低混凝土初始温度;同时,对原材料采取预冷措施,如骨料洒水降温、拌合水加冰等,可有效降低混凝土拌合物温度^[5]。混凝土养护温度的控制环节,要依照混凝土内部温度的变化规律,选用保温或降温的养护材料。针对大体积混凝土,在其表面覆盖上保温毯或者土工布能有效减小混凝土内外的温差梯度;当混凝土处于高温环境时可采用循环水冷却系统,埋设好冷却水管降低混凝土内部温度峰值,防止因温度应力集中而出现裂缝。

2.2 收缩控制技术

收缩控制技术的关键是借助材料改性手段来抑制混凝土内部应力的不断积累。膨胀剂,作为在混凝土工程中频繁使用的收缩补偿材料,它的作用机制在于与水泥水化后的产物产生化学反应,进而生成具有膨胀性的晶体,典型的如钙矾石,以此来弥补混凝土在硬化阶段出现的体积缩减。在挑选膨胀剂时,要着重留意其掺入量、水化所需时间以及和水泥的适配性,防止出现因膨胀速率太快或者太慢而使得补偿作用无法正常发挥的情况。低

收缩混凝土的配制,关键在于对胶凝材料体系进行优化,掺入诸如粉煤灰、矿渣粉这类矿物掺合料降低水泥的使用量,让孔隙结构变得更细密减少干燥收缩产生的变形。此外,使用聚羧酸系高性能减水剂,能够进一步减少混凝土的用水量,在提升其工作性能的同时,降低收缩裂缝产生的风险。

2.3 荷载控制技术

荷载控制技术的有效实施需在结构设计与施工管理两个维度上协同推进。结构设计层面,合理、科学地布置钢筋是提升混凝土抗裂性能的重点。增加结构配筋率,能构建起空间钢筋网架,对混凝土变形起到有效约束作用,还能分散应力集中点;运用预应力技术能够提前引入压应力抵消部分荷载产生的拉应力,降低裂缝出现的可能性。施工管理过程中,必须对堆载重量以及施工操作规范进行严格把控。混凝土尚未达到设计强度时,结构表面不可堆放重型材料或设备;拆除模板时遵循“先支后拆、后支先拆”规则,防止局部荷载突变引发裂缝扩大。

2.4 裂缝修补技术

裂缝修补技术的具体选择要根据裂缝的宽度、深度以及具体成因来综合考量确定。针对宽度不足 0.2mm 的表面细微裂缝,可选用环氧树脂或聚氨酯这类化学灌浆材料实施表面封闭作业,借助高压注入手段填充裂缝并构筑起防水屏障;对于宽度处于 0.2mm 至 0.5mm 范围的中等裂缝,适宜采用水泥基灌浆材料开展压力灌浆工作,凭借其出色的粘结性能来恢复结构的整体稳固性;而当面对宽度超过 0.5mm 的深层裂缝时,则必须运用内部加固技术,例如粘贴钢板或者碳纤维布。利用高强螺栓,钢板加固将钢板与混凝土表面紧密连接起来,形成组合结构共同承受外力;碳纤维加固借助碳纤维布的高抗拉强度,用环氧树脂将其粘贴在裂缝两侧,有效限制裂缝的进一步扩展提升结构的承载能力。

3 裂缝防控技术的综合应用策略

3.1 技术选择的依据

在小型水闸工程现浇混凝土施工时,裂缝防控技术的选择过程中,裂缝成因成为首要考虑的因素。温度应力导致的裂缝、收缩应力引发的裂缝以及荷载造成的裂缝,各自的形成机制与作用原理存在显著差异,因此要针对性地挑选防控技术。水闸工程规模大小、结构形式以及使用功能的不同等自身特点都会对裂缝防控技术的选择产生影响,不同工程在这方面的需求存在明显差异。大型水闸工程往往将结构整体性与耐久性视为重点,因而需要综合运用多种防控技术;小型水闸工程则通常更侧重于经济性与可操作性,倾向于选择成本较低、施工简便的技术。气温、湿度、风速等环境条件同样是关键因素,会对混凝土的水化热释放、收缩程度以及荷载作用产生作用,最终影响裂缝防控技术的选用。当处于高温干燥的环境中时须加强混凝土的保湿养护防止塑性收缩裂缝的产生;而在寒冷地区要关注混凝土的抗冻性能,避免冻胀裂缝出现。不同因素在技术选择方面所产生的影响权重,要经过全面且综合的分析来加以确定,保证防控技术既有效又适用。裂缝防控技术的挑选严格遵循科学性

性两大原则。科学性原则规定,选技术必须建立在坚实的理论根基和广泛的实践经验之上,能精准找出裂缝产生的原因并实施有效防控。经济性原则要求,在确保裂缝防控效果达标的基础上,尽力削减技术成本投入,提升工程整体经济效益。

3.2 技术应用的协同性

温度控制技术调节混凝土浇筑和养护时的温度,有效减少温度应力裂缝的出现,给收缩控制与荷载控制技术的实施创造了有利条件。高温季节开展施工时,降低混凝土浇筑温度,能让水化热释放速度变慢,使混凝土内部温度峰值降低,进而减少温度应力对混凝土结构造成的破坏。同时,保持适宜的养护温度能够推动混凝土强度不断增长,提升其抵抗开裂的能力,提升结构在后续承受荷载时的安全性。收缩控制技术运用添加膨胀剂、采用低收缩混凝土等手段,降低混凝土收缩引发的裂缝问题,与温度控制技术相互配合、共同发挥作用。膨胀剂发挥作用是凭借化学反应生成膨胀应力,对混凝土收缩应力加以补偿,达到减少裂缝产生的目的。低收缩混凝土采用的方法是优化配合比设计降低自身收缩率,进而提升抗裂性能。

荷载控制技术借助对结构设计的优化以及对施工荷载的精准把控,有效降低结构在荷载影响下产生裂缝的可能性,与温度控制、收缩控制技术携手构建起一套完整的裂缝防控体系。通过合理布置钢筋、提升结构配筋率等结构设计优化手段,能够有效增强结构的抗裂能力,进而减少裂缝的出现。施工时采取的荷载控制措施,像是对堆载重量加以限制、规范各项施工操作流程等,能有效避免结构在施工环节因承受荷载过大而出现裂缝。当裂缝出现后,裂缝修补技术便会发挥作用,通过采用表面修补以及内部加固等一系列方法,让结构重新恢复使用功能,同时增强其耐久性。像环氧树脂、聚合物水泥砂浆这类表面修补材料,能填充裂缝表面,有效防止水分和有害物质侵入;而粘贴钢板、碳纤维加固等内部加固方法,则可提升结构的承载能力以及抗裂性能。

3.3 长期监测与维护

小型水闸工程现浇混凝土施工裂缝防控不仅需在施工阶段采取有效措施,还需在工程运营阶段进行长期监测与维护确保结构安全与耐久性。通过安装传感器、定期巡查等手段,对混凝土结构变形、应力、裂缝发展等关键参数展开长期监测,进而实时把握结构状态。变形监测反映出结构在承受荷载时发生的变形状况,进而判断结构是否处于安全状态;应力监测有助于深入

了解结构内部的应力分布情况,评估产生裂缝的可能性大小;裂缝监测可以及时察觉到裂缝的出现以及发展态势,为后续裂缝修补工作提供有力依据。

维护措施涵盖裂缝修补、结构加固以及表面防护等多个方面,要依据监测结果和工程实际需求来制定相应的维护计划。针对裂缝的成因、程度以及工程的具体特点,需挑选适宜的修补材料与对应方法保障裂缝修补达到理想效果。结构加固要在完成裂缝修补后,针对结构承载能力不够的部位进行加固处理,以此提升结构的整体性能。表面防护工作通常采用涂刷防护涂料、设置防护层等具体措施,目的是防止混凝土结构遭受环境侵蚀,进而延长其使用寿命。在确定维护周期时,要全面考量工程自身特点、所处环境条件以及实际监测结果等多方面因素。针对重要工程或者处于恶劣环境中的工程,其维护周期应当酌情缩短;一般工程或者处于良好环境中的工程,维护周期则能够适当延长。

4 结论

小型水闸现浇混凝土施工以断裂力学与材料力学为基础,构建裂缝防控技术体系,涵盖温度应力调控、收缩补偿机制、荷载传递优化及损伤修复等关键环节。温控技术可降低水化热与内外温差,抑制热致裂缝开展;收缩控制采用低收缩混凝土配合比并辅以膨胀剂,减少干缩裂缝;荷载控制通过优化配筋与施工荷载管理提升抗裂性能;裂缝修补可恢复结构耐久性。多项技术协同应用,结合工程环境与裂缝成因建立动态调控模型,依据监测反馈优化维护,形成施工全周期裂缝防控闭环,显著提升水闸结构安全性与耐久性。

[参考文献]

- [1]黄峰.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术研究[J].水上安全,2025(1):124-126.
- [2]郑国泰.水闸工程中超薄型混凝土防渗墙施工技术的应用研究[J].全面腐蚀控制,2025(1):96-98.
- [3]周艳艳,孙震国.水利工程混凝土施工技术及其裂缝控制研究[J].水上安全,2025(4):196-198.
- [4]崔博.房建工程大体积混凝土浇筑施工裂缝控制技术研究[J].工程机械与维修,2025(7):122-124.
- [5]曹倩,吴先敏,李杨.水闸工程大体积混凝土施工温度控制数值模拟研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,2023(6):897-906.