

水利枢纽导流施工混凝土防渗措施及裂缝防控技术研究

肖 硕

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]水利枢纽导流工程混凝土施工质量对于导流系统的安全性与稳定性有着直接的影响,而防渗性能与裂缝防控则是保障混凝土结构长期服役的核心环节。导流施工期间,混凝土结构受到复杂工况的负载、水流冲刷等相关因素的影响,容易出现质量缺陷,对导流工程的正常运行造成严重影响,甚至会引发工程施工安全隐患。充分围绕混凝土材料的特性以及施工工况情况,对导流施工混凝土的防渗措施以及裂缝防控技术进行系统性的分析,并基于实际情况制定针对性的技术优化策略,构建全流程的防控体系,以此确保导流工程混凝土结构的无裂缝运行,为水力扭曲导流施工混凝土的质量控制提供参考。

[关键词]水利枢纽; 导流施工; 混凝土; 防渗措施; 裂缝防控

DOI: 10.33142/ect.v4i2.19185

中图分类号: TV543

文献标识码: A

Research on Concrete Anti-seepage Measures and Crack Prevention Technology for Diversion Construction of Water Conservancy Hub

XIAO Shuo

Hebei Water Resources and Hydropower Investigation, Design and Research Institute Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The quality of concrete construction in water conservancy hub diversion projects has a direct impact on the safety and stability of the diversion system, and the anti-seepage performance and crack prevention are the core links to ensure the long-term service of concrete structures. During the diversion construction period, concrete structures are affected by complex working conditions such as loads and water flow erosion, which can easily lead to quality defects and seriously affect the normal operation of the diversion project, and even cause safety hazards in construction. Based on the characteristics of concrete materials and construction conditions, a systematic analysis is conducted on the anti-seepage measures and crack prevention technology of diversion construction concrete. Targeted technical optimization strategies are formulated based on actual situations, and a full process prevention and control system is constructed to ensure the crack free operation of diversion engineering concrete structures, providing reference for quality control of hydraulic twist diversion construction concrete.

Keywords: water conservancy hub; diversion construction; concrete; anti-seepage measures; crack prevention and control

引言

导流工程在施工过程中主要承担着疏导河道水流、为厂房、大坝等工程创造干地施工条件的重要职责。导流工程的施工质量对水利枢纽工程的施工进度、运行安全性与稳定性有着直接的影响,而混凝土的防抗裂能力以及防渗性能是影响导流结构可靠性的关键性指标。混凝土结构需要承受可变速流压力、温度变化,渗透作用等多重负载作用的影响,在施工过程中,如果没有采取针对性的防渗措施,容易出现渗流通道、引发管涌、渗漏等不良情况。另外,混凝土在后续的浇筑养护以及运行环节中,由于收缩变形、温度应力等相关因素的影响容易出现裂缝,会严重影响混凝土结构的承载能力,甚至也会导致导流工程失效,带来巨大的安全风险。而传统的防渗与防渗防控技术未能满足导流施工的高质量需求,基于此,本文将通过完善防控体系,优化技术方案,弥补传统的防渗与防渗防控技术所存在的弊端。

1 水利枢纽导流施工混凝土防渗与裂缝产生机理分析

1.1 混凝土防渗失效机理

水利枢纽导流施工中混凝土防渗失效的本质,是结构内部形成的贯通性的渗流通道,从而导致水流持续渗漏,严重时甚至可以引发结构损害。其中内部孔隙与裂缝是防渗失效的核心诱因,孔缝与裂缝相互贯通,水流在压力作用下也会不断的渗透冲刷,逐渐扩大通道的尺寸,从而降低混凝土的防渗能力。施工工艺缺陷是防渗失效的重要原因,因混凝土浇筑倒密不密实容易形成缺陷,地基存在裂缝、软弱夹层等问题均会破坏整体的防渗体系。因材料性能不足,也会家具防水失效,因混凝土密实度偏低,抗腐蚀能力较差等相关问题会导致内部的孔隙增多,结构疏松,最终导致防渗结构整体失效。除此之外,运行的工况变化也会加速防生失效的进程,在受到动水压力、水位频繁波动等相关因素的影响,导致混凝土表面冲刷磨损,内部的裂

缝不断的延伸扩展,从而破坏整体的防渗效果,引发渗漏。

1.2 混凝土裂缝产生机理

温度裂缝产生的主要原因与浇筑完成后,结构内部温度分布不均、温度应力过大存在一定相关性。在混凝土的硬化阶段,水泥水化过程中会释放大量的热量,然而,混凝土自身的导热性能比较差,容易形成内部温度高、表面温度低的情况,进入硬化的后期,结构内部温度也会逐渐降低并产生变形,从而导致生成裂缝。收缩裂缝由混凝土硬化时体积收缩引发,分干燥收缩(表面水分蒸发致表面裂缝)、自生收缩(水泥水化致深层裂缝)和塑性收缩(初凝前表面水分蒸发快致细微龟裂,影响结构整体性与防渗性)三类。施工裂缝多因施工工艺不当、操作不规范,贯穿混凝土施工全程。荷载裂缝因混凝土结构荷载超设计范围或分布不均产生,在导流施工的过程中,结构受到临时负载、水流压力等相关因素的影响,局部拉应力超混凝土抗拉强度会开裂。

2 水利枢纽导流施工混凝土防渗措施研究

2.1 防渗结构设计优化

防渗结构设计优化是确保导流混凝土防渗能力的重要环节,因此,需要充分考虑工程的结构形式,水文地质条件等相关因素,并科学的选用结构形式。导流洞采用圆形等合适断面、导流明渠设置缓坡与防渗层、围堰根据实际情况选型并增设防渗心墙。加强完善防渗构造的设计,在变形缝施工缝等区域设置止水带等防渗措施,对于结构比较薄弱的部位增加衬砌的厚度,配置加强钢筋。对于地质条件较为复杂且渗透压力比较高的工程,应该在结构的上游区域布设防渗的帷幕,在下游配套设置排水系统,从而增强整体的防渗效果。

2.2 防渗材料选择与优化

在提高混凝土的抗渗能力以及密实度关键在于合理选择原材料以及科学优化配合比。在原材料的选择方面,建议选用强度等级不低于 42.5 级的普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥,根据实际情况,合理的掺入矿物掺合料。选择质地洁净,级配优良的骨料材料,细骨料选用细度模数 2.3~3.0 的中砂,粗骨料采用粒径 5~31.5mm 的碎石。选用缓凝型高效减水剂的外加剂,并且以工程的实际需求为依据,加入适量的膨胀剂。在配合比的优化方面,应该严格控制胶凝材料总量在 350~400kg/m³,水胶比在 0.45 以内。通过根据工程的实际情况,优化骨料级配、精准调控外加剂掺量,从而提高混凝土整体的防渗性能。具体见表 1。

表 1 导流施工混凝土防渗配合比优化参数表

混凝土强度等级	水胶比	胶凝材料总量 (kg/m ³)	水泥用量 (kg/m ³)	粉煤灰掺量 (%)	减水剂掺量 (%)	膨胀剂掺量 (%)	抗渗等级
C30	0.40	380	228	40	1.0	4.0	W8
C35	0.38	400	240	40	1.1	4.5	W10
C40	0.35	420	252	40	1.2	5.0	W12

2.3 防渗施工工艺优化

施工工艺的规范性与合理性,对混凝土的防渗性能有着直接的影响。为了提高混凝土的密实度,保证结构的防渗效果,需要对关键工序进行优化。严格遵循分层浇筑、连续施工、均匀密实的相关原则,充分围绕混凝土的浇筑强度、振捣能力等相关因素,确定合理的分层浇筑厚度(30~50cm),浇筑速度应与振捣速度匹配。另外浇筑的顺序由低到高至一端向另一端持续推进,与此同时加强对水凝土材料的检查,加强运输过程的全程管控,防止出现离析与泌水现象。大体积混凝土宜采用直径 50~70mm 的插入式振捣器,振捣时间控制在 20~30s,振捣点间距 30~40cm,随后及时修整表面将浮浆清除干净,进行抹面压实处理。在处理施工缝的过程中,上层混凝土浇筑之前应该对下层混凝土表面进行凿毛,将杂物清除干净,随后铺设 20~30mm 厚水泥砂浆结合层,准确安装止水带,采用柔性填缝材料堵塞变形缝,同样也铺设止水带,确保安装牢固,位置准确,以此形成双重防渗体系。在混凝土浇筑后严格落实养护规范,浇筑后 12h 内覆盖保湿材料,养护时间 >14d,对于大面积的混凝土,延长养护时间,通常为 >28d。

2.4 辅助防渗措施

除既定防渗措施外,可依导流工程实际采用辅助防渗措施增强效果,在混凝土表面涂刷如环氧、聚氨酯涂料形成薄膜,导流明渠边坡、围堰等结构可铺土工膜,用灌浆技术封堵混凝土内部微裂缝、孔隙,提高防渗效果。

3 水利枢纽导流施工混凝土裂缝防控技术研究

3.1 施工材料控制防控技术

混凝土裂缝的产生与材料的性能存在一定的相关性,通过合理的材料选型以及优化配合比。可以有效降低裂缝出现的概率。在胶凝材料优化方面,建议优先选择低热低收缩型的胶凝材料,采用低热矿渣硅酸盐水泥或中热硅酸盐水泥,为了减少水泥水化热与收缩,可加入 30%~50% 的粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料。在骨料的选择方面,建议优先选择线膨胀系数较小的骨料,通过采取连续的级配骨料,以此提高混凝土的密实度。与此同时,应该对骨料的含泥量进行严格的把控,细骨料含泥量不大于 3.0%,粗骨料含泥量不大于 1.0%。合理选用外加剂种类与掺量,采用缓凝型高效减水剂,掺入 3%~5% 的膨胀剂,掺加 0.9~1.2kg/m³ 的聚丙烯纤维,增强混凝土抗裂能力。紧密围绕裂缝的控制目标,水胶比严格控制在 0.35~0.45 之间,水泥用量控制在 220~280kg/m³,混凝土浇筑坍落度控制在 120~160mm,砂率取 35%~42%。

3.2 施工工艺控制防控技术

施工工艺不合理,也会导致混凝土开裂,因此为了可以有效控制裂缝的产生,可优化施工工艺,并严格按照规范作业。采取合理的浇筑方式预防裂缝,控制分层浇筑厚

度在 30~50cm, 层间间隔时间控制在混凝土初凝前, 一般为 8~12h; 保证浇筑过程连续、速度均匀, 规范振捣操作提升混凝土抗裂性能。选用具有足够强度与刚度的模板, 保证支设牢固、拼缝严密; 根据混凝土强度增长情况确定拆模时间, 侧模拆除强度不低于 2.5MPa, 底模拆除强度不低于设计强度的 75%。

3.3 温度控制防控技术

温度应力是混凝土温度裂缝主因, 优化温控措施可防其产生扩展。

浇筑前控制混凝土入仓温度, 减少浇筑后混凝土升的情况。夏季对原材料遮阳降温, 水泥存阴凉处, 骨料洒水, 用冰水或低温水拌合; 冬季预热原材料, 确保入仓温度不低于 5℃。优化拌合工艺, 拌合时间 90~120s, 避免过度拌合升温。

浇筑中控制浇筑温度, 夏季避开中午高温, 选清晨或傍晚浇筑; 冬季选中午气温高时浇筑。控制浇筑厚度与速度, 实时监测温度, 调整工艺保证温度适宜。

浇筑后控制降温速度, 减少温度应力。采用保温保湿养护, 覆盖保温材料, 降温速率不超 2℃/d。大体积混凝土预埋冷却水管。

3.4 裂缝处理技术

尽管已经采取了针对性的防控措施, 但是在导流施工的过程中, 混凝土的结构仍有可能出现少量裂缝的情况。因此, 为了防止裂缝进一步扩展, 需要及时针对性的处理, 以此才能确保结构整体的完整性, 以及提高其防水性能。对于宽度小于 0.2mm、深度比较浅的表面缝隙, 通常实施表面封闭处理, 首先清洁裂缝区域, 确保无杂物后均匀涂刷环氧树脂、聚氨酯等封闭材料。宽度在 0.2~0.5mm、深度 50~100mm 的浅层裂缝。使用高压水冲洗裂缝内部, 在裂缝两端及中间位置布设灌浆嘴, 使用低压灌浆设备将环氧树脂浆或水泥基浆液注入裂缝。针对宽度大于 0.5mm、深度超过 100mm 的深层裂缝或贯通裂缝, 采用环氧树脂或水泥-水玻璃双液灌浆工艺。先采用高压水或高压风清理裂缝, 在裂缝相应位置埋设深入裂缝内部的灌浆管, 使用环氧砂浆或聚合物砂浆对裂缝表面进行密封, 再以 0.3~0.5MPa 压力进行高压灌浆, 直至浆液从另一端溢出, 待首遍浆液初步固化后进行二次补灌, 完全固化后拆除灌浆管, 对结构表面进行清理整平。另外, 裂缝处理过程较为复杂, 要求施工人员能够掌握裂缝处理中的重点与难点, 了解各项技术应用期间的注意事项, 根据工程实际选择合适的材料、技术与方法。

5 结论与展望

5.1 研究结论

本文围绕水利枢纽导流施工混凝土防渗措施及裂缝防控技术展开研究, 得出以下结论:

(1) 混凝土孔隙与裂缝, 施工工艺缺陷, 材料性能

不足等相关原因导致水利枢纽导流施工混凝土防渗失效; 收缩变形、温度应力、负载作用等相关因素导致裂缝产生, 且防渗与裂缝之间存在相互加剧的内在关联。

(2) 优化防渗结构设计, 选用抗渗性能优良的材料, 规范施工工艺, 结合表面涂层等辅助措施可提高混凝土的防渗性能。

(3) 在导流施工混凝土裂缝防控技术优化改进方面, 结合根据具体的情况合理选用材料、优化施工工艺、合理控制温度等措施, 可有效减少裂缝产生。对于已经出现的裂缝, 及时采取针对性的处理措施, 可以有效防止裂缝扩展, 确保混凝土结构的完整性, 保证了导流建筑物的施工质量, 保证后续水利水电施工的顺利进行

5.2 研究展望

未来的研究方向主要包括以下几个方面:

(1) 加大对新型防渗与防裂材料的研发, 结合新型材料技术, 研发纳米改性混凝土、纤维增强混凝土等低热、低收缩、高抗渗、高抗裂的混凝土材料, 提升混凝土的防渗与抗裂性能。

(2) 在未来的研究中, 充分融合人工智能、物联网等新兴技术, 通过应用智能化防控技术, 构建智能化的监控体系, 实时监测混凝土的裂缝渗流量以及温度等相关指标, 并且能够实现数据自动化分析与智能预警, 自动调整防控措施, 在提高防控效率的同时, 确保防控的精准性。

(3) 复杂工况下的防控技术研究, 针对高海拔、高寒冷、高渗透等复杂水文地质条件下的导流施工, 研究针对性的防渗与裂缝防控技术, 优化防控方案, 提高技术的适配性和可靠性。

(4) 另外在确保防控效果的前提之下, 优化防渗与裂缝防控技术方案, 降低施工成本, 提高工程经济效益, 为同类水利枢纽导流工程提供更具实用性的技术参考。

[参考文献]

- [1]雷明士.水利工程施工中的导流施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025(8):211-213.
- [2]孟羽昊,刘斌.水利工程施工中导流施工的影响因素和关键技术[J].数字农业与智能农机,2024(8):61-63.
- [3]姜文玉.水利工程施工中导流施工技术的应用分析[J].农业与技术,2018,38(21):79-80.
- [4]张登云,曹其飞.水利水电施工的导流因素及其施工要点研究[J].水上安全,2025(20):169-171.
- [5]叶德权.大坝防渗工程中塑性混凝土防渗墙的设计与施工[J].科学技术创新,2024(5):162-165.
- [6]赵斌,刘波,刘兴友,等.浅析一种新的大坝防渗墙及其施工方法[J].四川水利,2024,45(3):106-110.
- [7]张慧宇.水利水电工程大坝深覆盖层处理和防渗墙施工要点[J].科学技术创新,2018(12):111-112.

- [8]周殿喜.水利水电工程大坝深覆盖层的处理和防渗墙施工要点[J].云南水力发电,2020,36(6):126-127.
- [9]马小龙.塑性混凝土防渗墙施工技术探究——石板沟水库为例[J].中国建筑装饰装修,2022(3):179-180.
- [10]胡俊.水利水电施工中防渗处理施工技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(7):89-91.
- [11]赵焯.水利堤防加固工程中防渗墙施工技术的应用[J].

建筑技术开发,2022,49(24):89-91.

- [12]厉旭龙,潘德雄.水利建筑工程中的堤坝防渗加固施工技术[J].工程技术研究,2024,9(10):94-96.

作者简介:肖硕(1988.2—),毕业院校:河北工程大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司,职务:职员,职称级别:高级工程师。