

# 水利导流施工混凝土裂缝成因分析及综合防渗处理技术

刘异磊

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]**水利导流工程承担着施工期水流疏导、基坑防护的关键作用,其混凝土结构的完整性与防渗性对工程施工安全以及工程长期运行的稳定性有着直接的影响。导流混凝土施工易受环境因素、材料性能、施工工艺、水文条件等相关因素的综合作用,裂缝问题较为突出,对水利枢纽整体施工进度造成不利影响。基于此,首先分析各类裂缝产生的相关原因,在此基础上提出一系列综合的防渗处理技术,以确保项目工程的安全与可靠,以供参考。

**[关键词]**水利导流;混凝土裂缝;成因分析;防渗处理;施工技术

DOI: 10.33142/ect.v4i2.19188

中图分类号: TV544

文献标识码: A

## Analysis of the Causes of Concrete Cracks in Water Diversion Construction and Comprehensive Anti-seepage Treatment Technology

LIU Yilei

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

**Abstract:** Water diversion engineering plays a key role in water flow diversion and foundation pit protection during the construction period. The integrity and impermeability of its concrete structure have a direct impact on the safety of construction and the stability of long-term operation of the project. The construction of diversion concrete is susceptible to the comprehensive effects of environmental factors, material properties, construction techniques, hydrological conditions, and other related factors. The problem of cracks is particularly prominent, which has a negative impact on the overall construction progress of water conservancy hubs. Based on this, the relevant causes of various types of cracks are first analyzed, and a series of comprehensive anti-seepage treatment techniques are proposed on this basis to ensure the safety and reliability of the project engineering for reference.

**Keywords:** water diversion; concrete cracks; cause analysis; anti-seepage treatment; construction technology

### 引言

水利导流工程是水利枢纽工程建设过程中的重要临时性工程,在枢纽工程施工过程中,将天然水流通过导流建筑物引导至预定的位置,以防止水流冲刷基坑及淹没施工场地,并为枢纽建筑物的施工提供干地或少水干扰条件的一种工程措施。导流混凝土是导流建筑物的主要承重和防渗体,受到水流压力、扬压力、温度应力以及围岩变形的影响,并且在露天或者水中施工,受到洪水季节、温度变化、地质状况等多种因素的影响,极易产生混凝土裂缝这一常见质量问题。按照裂缝形态可以将混凝土裂缝分为表面裂缝、深层裂缝以及贯穿裂缝,按照裂缝产生的原因可以将其分为结构性裂缝以及非结构性裂缝。其中,表面裂缝虽然其初始阶段的危害相对不大,但是长时间处于水或者大气等环境之中,则会受到侵蚀介质的渗透而逐渐演变成深层裂缝;而贯穿裂缝则直接导致了混凝土结构防渗性和整体性的破坏,引起渗水,不仅造成混凝土强度下降,还会导致钢筋锈蚀、混凝土碳化等衍生灾害的发生,缩短导流建筑物寿命,甚至引起施工安全事故发生。目前关于水利导流施工混凝土裂缝的专项研究比较少,基于此,本文首先对裂缝的成因进行系统性的分析,并构建“预防-

处理-加固”一体化的综合防渗技术体系。

### 1 水利导流施工混凝土裂缝类型及基本特征

在水利导流工程中,混凝土裂缝的产生与施工工艺、施工环境等多种因素存在一定相关,准确判别裂缝的类型与特征开展成因分析以及制定针对性防渗治理的重要参考依据。主要根据裂缝的深度与形态可以划分为以下三大类:一是表面裂缝,主要出现在构件的表面层,深度小于50mm,宽度0.05~0.2mm,虽然对结构的承载力影响比较小,但是会降低结构的耐久性。二是深层裂缝,深度为50~500mm,宽度0.2~0.5mm,多呈线性分布,易造成渗漏问题,甚至贯穿裂缝,对结构的整体性能造成影响;三是贯穿裂缝,贯通构件全截面,深度大于500mm,宽度通常大于0.5mm,多呈直线或斜向分布,这种裂缝会对结构的防水能力以及整体性造成严重破坏,影响水利枢纽工程施工安全。为清晰区分各类裂缝的差异,将各类裂缝的基本特征汇总如下表1所示。

### 2 水利导流施工混凝土裂缝成因分析

#### 2.1 材料因素

混凝土的自身性能对其抗裂以及防渗效果有着直接的影响,在水利导流工程施工过程中,若选择不合理的材

表 1 各类裂缝的基本特征

裂缝类型	裂缝深度	裂缝宽度	分布形态	主要危害
表面裂缝	<50mm	0.05~0.2mm	网状、线性、星状，无明显规律	成为侵蚀介质通道，加速混凝土碳化与钢筋锈蚀
深层裂缝	50~500mm	0.2~0.5mm	线性分布，与受力方向一致	局部渗漏，裂缝易扩展，降低结构耐久性
贯穿裂缝	>500mm	≥0.5mm	线性、斜向分布，贯穿结构截面	严重渗漏，破坏结构整体性，引发安全事故

料或者是配合比设计不合理，均会增加裂缝隐患。选择水泥的品种不当，或者是用量控制不合理，均会诱发温度裂缝；外加剂及掺合料使用不规范，如掺量控制不当、与水泥相容性不佳，也可能导致混凝土产生裂缝；骨料品质不佳、级配不合理，含泥量、针片状颗粒含量偏高，或骨料与水泥热膨胀系数相差较大，均会削弱混凝土抗裂性能；混凝土配合比设计存在缺陷，如水胶比偏大或偏小、砂率选取不合理，会降低结构抗裂与防渗能力，提高开裂风险。

### 2.2 施工因素

水利导流施工工序繁多，若某一环节工艺把控不当，极易引发混凝土裂缝问题，主要体现在以下方面：搅拌不均匀、搅拌时间控制不当、运输过程出现问题，都会影响混凝土自身性能，进而产生裂缝；振捣不密实、振捣过度、振捣不均匀，或振捣棒操作方法错误，均会导致混凝土内部缺陷，诱发裂缝；分层浇筑、浇筑顺序及浇筑速度把控不合理，易造成混凝土结构受力不均，引发裂缝；养护启动不及时、养护时长不足、养护方式不合理，以及冬、夏极端环境下养护措施不当，都会大幅提高混凝土开裂风险。

### 2.3 环境因素

通常水利导流工程在露天或水下施工，是容易受到外部环境的影响，从而增加混凝土裂缝的发生概率。其中温度变化是导致混凝土裂缝的主要诱因，气温的急剧升降会导致混凝土因收缩和膨胀受到约束而形成温度应力，而当应力超过混凝土的抗拉强度时，导致裂缝的产生。湿度的变化也会对混凝土的收缩变形造成一定的影响，因风速较大、环境湿度偏低等相关因素容易导致混凝土的塑性收缩及应力集中，进而产生开裂。在水流的作用方面，如果水流的流速过快，或者是水流中携带着杂物、泥沙，对混凝土造成冲刷、磨蚀、剥蚀，同时也会产生附加应力，极易导致混凝土裂缝。地质条件对混凝土造成的影响也不容忽视，地基承载力不足或不均匀，均会导致地基沉降，另外地基存在侵蚀性介质也会导致混凝土腐蚀被破坏，从而增加裂缝的发生概率。

### 2.4 结构受力因素

水利导流混凝土结构承载自重以及水流冲击等多种负载作用，如果设计存在不合理的情况，受力分布不均均会导致内部的应力集中，在应力超出混凝土的抗拉强度时会引起裂缝的产生。截面尺寸选择不当、配筋数量不足或布置不均匀、结构形式不合理，均会导致结构受力失衡，形成应力集中而产生裂缝，结构刚度突变部位、节点连接构造不合理处，同样易因应力集中出现开裂。混凝土在硬

化收缩过程中，受到地基、钢筋、模板等外部或内部约束，无法自由变形，从而产生收缩应力，当该应力超过混凝土抗拉强度时，即会出现收缩裂缝。

## 3 水利导流施工混凝土裂缝综合防渗处理技术

### 3.1 裂缝预防技术：从源头控制裂缝产生

充分围绕水利导流工程的施工环境以及结构受力特点，优化混凝土原材料以及配合比。建议优先选用低热矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥等低热水泥，骨料应选用质量优良的集料，控制含泥量不大于 2%，针片状颗粒含量不大于 8%。外加剂与掺合料优选与胶凝材料相容性良好的产品，采用高效减水剂（掺量 0.8%~1.2%）、缓凝剂（掺量 0.3%~0.5%）及引气剂（掺量 0.01%~0.03%），掺入 I 级粉煤灰、磨细矿渣粉等优质矿物掺合料，掺量控制在 20%~30%，控制水胶比 0.45~0.55，砂率 38%~45%，单方水泥用量 300~350kg/m<sup>3</sup>，提升混凝土密实性与抗裂能力。另外，在所有材料进场之前需要进行严格的检验，确定合格之后方可使用。针对不同环境条件采取防控措施，夏季避开高温时段浇筑，并采取降温措施，大体积混凝土预埋冷却水管；冬季做好保温防冻工作；干旱多风地区加强防风保湿措施，雨季做好防雨排水。

严格规范各个工序的施工操作准则，控制搅拌的时间以及原材料的用量。充分围绕导流工程结构的断面特点采用斜面分层、薄层浇筑、连续推进的方式，分层厚度控制在 300~500mm。层间间隔时间夏季为 4~6h，冬季为 6~8h，浇筑坡度控制在 1:3~1:5，在浇筑过程中优先浇筑温度应力较大的部位，混凝土浇筑后立即覆盖由土工布+泡沫板+塑料薄膜组成的复合保温层，按照季节合理调整保温层的厚度，夏季 50~80mm，春秋 80~100mm，冬季 100~150mm，控制养护时长与环境温度。混凝土初凝后，涂刷渗透结晶型防渗涂料，涂层厚度控制在 0.8~1.2mm，施工人员在混凝土表面开始失去光泽但尚未初凝时（浇筑后 1~2h）进行第一次抹面，在混凝土终凝前（浇筑后 3~6h）进行第二次抹面，提高混凝土的表面质量及抗裂性能。

### 3.2 裂缝应急防渗处理技术：快速控制渗漏隐患

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。对于宽度小于 0.2mm、深度比较浅的表面缝隙，实施表面封闭处理，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置灌浆嘴,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。

### 3.3 裂缝长效加固防渗技术:彻底消除裂缝隐患

#### 3.3.1 注浆加固法:适用于深层裂缝与贯穿裂缝

注浆加固法是借助高压注浆设备,把注浆浆液压入混凝土结构裂缝中,待浆液固化后,可有效增强结构整体性与力学性能。化学注浆材料适用于宽度 $\leq 0.5\text{mm}$ 、深度 $\geq 500\text{mm}$ 的裂缝,以及渗漏量较小的裂缝。水泥基注浆材料适用于宽度 $\geq 0.5\text{mm}$ 、深度 $\geq 500\text{mm}$ 的贯穿裂缝,以及渗漏量较大的裂缝。宜采用 42.5 级及以上普通硅酸盐水泥,可掺入减水剂、膨胀剂等外加剂改善浆液性能。推荐配合比为:水泥:纳米硅粉:乳胶粉:膨胀剂:水=1:0.06:0.04:0.03:0.45。深层及贯穿裂缝控制在 0.3~1.0MPa,浅层裂缝为 0.1~0.3MPa,采用逐级升压方式。裂缝宽度 $< 0.1\text{mm}$ 时压力过高易出现浆液回流或裂缝扩宽;宽度 $\geq 0.2\text{mm}$ 的裂缝,以 0.3~0.45MPa 为最优压力区间。注浆速度控制在 0.5~2.0L/min,裂缝窄、深度大时采用低速 0.5~1.0L/min。施工流程:清理裂缝表面浮渣、灰尘及杂物,按设计位置钻孔,孔径 10~15mm,孔深为裂缝深度的 1.2~1.5 倍,完成后清孔。孔内安装注浆管,管底距孔底 50~100mm,采用专用密封材料对孔口及裂缝表面进行封闭。使用高压注浆设备,按设计参数逐级加压至工作压力并稳压,当相邻孔或裂缝处出浆均匀、压力持续稳定后即可停止。注浆完成后养护时间不少于 14d,期间避免雨水冲刷与外力撞击。

3.3.2 粘贴碳纤维布加固法:适用于深层裂缝与贯穿裂缝的强度加固

粘贴碳纤维布加固技术通过碳纤维布增强混凝土结构的抗拉性能与整体刚度,可有效封闭结构裂缝,适用于水利导流工程中承受较大水流冲刷与水压力作用的关键部位。采用高强度单向碳纤维布,双向受力区域可采用双向布,其抗拉强度不低于 3000MPa,弹性模量不低于  $2.1 \times 10^5\text{MPa}$ ,厚度控制在 0.11~0.16mm,幅宽为 500~1000mm。采用配套环氧树脂类胶黏剂,底胶粘结强度 $\geq 2.5\text{MPa}$ ,固化时间宜控制在 24~48h。根据裂缝宽度、深度及结构受力情况确定粘贴层数,宽度 $\geq 1.0\text{mm}$ 的贯穿裂缝或受力较大区域粘贴 2~3 层,层间间隔 5~10mm,宽度 0.5~1.0mm 的深层裂缝粘贴 1~2 层。施工流程:清除

表面灰尘、杂物,打磨去除疏松层,对缺陷部位进行修补。均匀涂布底胶,厚度 0.2~0.3mm,在 25°C 环境下固化 4~6h。按尺寸裁剪碳纤维布,涂刷浸渍胶,厚度 0.3~0.5mm,平整铺贴并压实排除气泡;多层粘贴时,待前一层固化约 12h 后再进行下一层施工。在碳纤维布表面均匀涂刷浸渍胶进行封闭,厚度 0.3~0.5mm,完成后自然固化。整体养护时间不少于 7d。25°C 条件下 48h 后可承受轻微外力。

3.3.3 外包钢板加固法:适用于重载、高水压下的贯穿裂缝加固

外包钢板加固法通过钢板增强混凝土结构的承载能力与整体性能,适用于水利导流工程中承受重载及高水压作用的贯穿性裂缝。钢板采用 Q235 或 Q355 级钢材,厚度 6~12mm,宽度 200~500mm(根据裂缝宽度及结构尺寸确定),长度超出裂缝两端不少于 600mm,钢板表面经喷砂除锈处理。黏结剂采用环氧类结构胶,粘结强度不低于 3.0MPa,固化时间 24~72h;针对单条裂缝,钢板宽度应覆盖裂缝两侧各 100~200mm,长度超出裂缝两端不少于 600mm。施工流程:清理混凝土基面,打磨平整并保持干燥;钢板经喷砂除锈、涂刷防锈漆后再次打磨处理。按设计参数钻孔,孔径比螺栓直径大 2~3mm,孔深 100~150mm,清孔完成后在孔内注入结构胶。在钢板表面均匀涂胶后粘贴于混凝土表面,安装并拧紧螺栓,拧紧力矩控制在 40~60N·m。养护时间不少于 14d,养护完成后可涂刷防腐涂料。

## 4 结论

水利导流施工混凝土裂缝产生是材料、施工、环境、结构受力四大因素相互作用的结果,通过优化材料选择与配合比设计、完善施工工艺、控制环境影响、优化结构设计,可从源头降低裂缝产生的概率,提升混凝土的抗裂性与防渗性。

### 【参考文献】

- [1]杨廉海.水利工程中的防渗处理灌浆施工技术[J].黑龙江水利科技,2013,41(9):266-268.
- [2]慧珍.水利工程渠道施工技术及管理措施探究[J].江西农业,2024(9):88-90.
- [3]廖业飞.水利工程现浇混凝土衬砌渠道防渗漏技术[J].建材发展导向,2024,22(16):115-117.
- [4]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.
- [5]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.
- [6]徐伟杰,朱虎勇.大体积混凝土施工阶段开裂风险评估及裂缝控制措施[J].交通世界,2025(25):149-152.

作者简介:刘昇磊(1986.1—),毕业院校:河北建筑工程学院,所学专业:工程管理,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:副高。