

# 水工建筑物裂缝成因及处理措施研究

祝梦涵 伏良爽

江苏省水利建设工程有限公司 江苏 扬州 225000

**摘要：**水工建筑物长期服役于复杂水环境，裂缝是其最常见的结构性病害，严重影响工程防渗性、稳定性与使用寿命。本文以大坝、水闸等主流水工建筑物为研究对象，阐述裂缝形成的力学机理与分类特征，从自然环境、设计施工、运维管理三方面剖析裂缝核心成因，分析多因素耦合致病机制。同时针对性梳理不同裂缝的检测评估、修复处理技术，介绍新型修复材料与工艺，并构建全流程防控体系，为水工建筑物裂缝病害治理、工程安全长效运维提供参考。

**关键词：**水工建筑物；裂缝成因；处理措施

**引言：**水工建筑物是水利防洪、输水灌溉、水资源调配的核心基础设施，长期承受水压、温差、冲刷等多重作用，极易产生裂缝病害，引发渗漏、结构变形甚至坍塌等安全隐患，制约水利工程稳定运行。当前多数水工工程存在裂缝频发、病害反复、治理不精准等问题。为有效解决此类问题，本文系统探究水工裂缝的形成机理与分类特征，全面剖析各类致病因素，总结差异化处理措施与新型修复技术，搭建全周期防控策略，助力提升水工建筑物服役安全性与耐久性。

## 1 水工建筑物裂缝基础理论与类型划分

### 1.1 水工建筑物结构特点及服役环境

(1) 常见水工建筑物结构特点：主流水工建筑物包含大坝、水闸、渠道、渡槽等，结构形式各有差异。大坝多为大体积混凝土或砌体结构，整体厚重、整体性要求高；水闸为板式、框架式组合结构，需适应启闭受力变化；渠道以薄壁长条衬砌结构为主，渡槽为架空输水梁式结构。这类建筑主要承受水压、自重及动水荷载，受力复杂且整体性、防渗性要求严苛。建筑主材多为混凝土、石材、砂浆，具备高强度、抗渗、耐久的基础特性，设计需遵循水利工程规范，满足防渗、抗滑、抗倾覆及长期服役的稳定要求<sup>[1]</sup>。(2) 复杂服役环境特征：水工建筑物长期处于露天、临水的复杂工况，受多重外部作用影响。持续的静水压力、动水冲击会对结构产生常态化荷载；渗透压力易破坏结构内部粘结状态；四季温差引发反复温度应力，寒冷地区存在冻融循环破坏。同时，地基不均匀沉降、水流冲刷、空气干湿交替等因素长期叠加，持续损耗结构性能，是诱发结构病害的核心外部条件。

### 1.2 裂缝形成的基本力学机理

(1) 应力失衡机理：水工结构服役中荷载分布不均，加之基础约束、结构拼接等产生的约束应力，易使混凝土、砌体等基材内部拉应力超标。当拉应力超过材料极限抗拉强度时，结构表层及内部就会出现开裂，是荷载型裂缝的核心成因。(2) 变形不协调机理：结构受温度升降、干湿交替、地基沉降影响，会产生差异化变形。各部位变形幅度不一致会产生内部附加约束应力，应力持续累积无法释放，最终撕裂结构形成裂缝。(3) 材料劣化机理：水工材料长期受水侵蚀、冻融破坏、碳化及化学腐蚀，内部结构逐渐疏松，力学性能持续衰减，材料抗拉、抗裂能力大幅下降，在常规荷载与变形作用下易产生裂缝，且会持续扩展。

### 1.3 水工建筑物裂缝分类及特征

(1) 按成因分类：可分为温度、沉降、施工、荷载、腐蚀裂缝五类。温度裂缝由温差变形引发，分布零散；沉降裂缝因地基沉降不均产生，多呈规律性贯通；施工裂缝源于浇筑、养护工艺缺陷；荷载裂缝由超额受力导致；腐蚀裂缝由材料劣化侵蚀形成。(2) 按形态与位置分类：按形态分为表面、深层、贯穿裂缝，危害逐级递增；按位置分为墙体、坝体、基础裂缝等，基础、坝体裂缝对结构整体稳定性影响更大。(3) 按危害程度分类：轻微无害裂缝多为表层细微裂纹，不影响结构安全；一般性病害裂缝会小幅降低防渗、耐久性能；危险性致命裂缝贯通结构主体，易引发渗漏、坍塌等重大安全事故。

## 2 水工建筑物裂缝主要成因分析

### 2.1 自然环境因素成因

(1) 温度变化影响: 水工建筑物多为大体积混凝土结构, 对温度变化高度敏感。昼夜、季节温差引发结构热胀冷缩, 变形受约束时会产生较大温度应力, 超出材料抗拉极限即产生温度裂缝。同时, 寒冷地区冻融循环会让混凝土孔隙积水结冰膨胀, 反复挤压基材, 造成表层疏松剥落、冻胀开裂。(2) 水文地质影响: 长期地下水渗透会破坏结构密实性, 引发渗透变形、内部空洞, 削弱结构整体性。河道水流冲刷会磨损建筑表层, 降低防护性能。地基不均匀沉降、边坡滑坡挤压等问题, 会使结构受拉伸、剪切作用, 诱发结构性开裂病害。(3) 气候老化影响: 水工建筑物长期露天运行, 风雨冲刷、紫外线照射及干湿交替循环, 会风化氧化建材, 导致表层耐久性下降、内部微观缺陷增多, 产生细微初始裂缝, 并持续扩张延伸, 形成长期病害。

## 2.2 工程设计与施工因素成因

(1) 设计缺陷: 部分工程结构受力计算不够精准, 受力构件截面设计不合理, 导致局部应力集中。伸缩缝、沉降缝、温控缝布设间距不当、数量不足, 无法有效释放结构变形应力。同时, 部分工程温控、防渗防护设计不完善, 未充分考虑复杂服役环境, 为后期裂缝产生埋下先天隐患。(2) 施工工艺不规范: 混凝土配合比设计不合理、砂石骨料含泥量超标, 会直接降低混凝土强度与抗裂性能。浇筑过程中振捣不均、分层浇筑间隔不当, 易出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷。后期养护时长不足、洒水不及时、保温保湿不到位, 会导致混凝土收缩过快, 产生大量收缩裂缝, 施工缝处理不当也会形成薄弱开裂面<sup>[2]</sup>。(3) 施工质量管控缺失: 原材料进场检验不严, 劣质水泥、骨料等材料投入使用, 从源头降低结构质量。施工工序违规操作、施工流程不规范, 加之拆模时间过早、受力过载, 会破坏结构内部粘结结构, 使建筑物存在先天质量缺陷, 服役阶段极易产生裂缝病害。

## 2.3 运行运维因素成因

(1) 运行荷载超标: 实际运行中频繁超设计水位蓄水、汛期突发洪水冲击、闸门启闭设备长期振动, 会使水工结构承受远超设计标准的荷载作用, 结构应力瞬时激增, 超出材料承载极限, 直接诱发结构性开裂。(2) 日常运维不当: 运维巡检工作不到位, 结构表层细微裂缝、微小渗漏等早期病害无法及时发现处置, 在水压力、温度荷载持续作用下不断扩展。同时, 检修加固操作不规范、施工扰动结构, 易造成二次损伤, 加剧裂缝发育。(3) 老化病害累积: 多数水工建筑物长期超期服役, 混凝土碳化、钢筋锈蚀、材料风化等病害持续累

积, 结构力学性能逐年衰减。原有微小病害不断叠加恶化, 最终引发大面积、贯穿性裂缝, 严重影响工程运行安全。

## 2.4 综合成因耦合作用分析

(1) 多因素耦合机理: 水工裂缝病害极少由单一因素引发, 多为自然环境、设计施工、运维管理多因素耦合作用的结果。先天设计施工缺陷形成结构薄弱面, 自然环境荷载持续侵蚀损耗材料性能, 后期运维疏漏加速病害发展, 多因素相互叠加、恶性循环, 大幅加快裂缝产生与扩展速度。(2) 典型工况耦合案例: 多数坝体贯穿裂缝均存在耦合成因, 施工温控不到位产生初始细微温度裂缝, 后期在季节温差、冻融循环作用下持续扩张, 叠加蓄水荷载、渗透压力作用, 裂缝逐步加深贯穿, 最终引发渗漏、结构变形等严重病害, 大幅降低工程稳定性与使用寿命。

## 3 水工建筑物裂缝处理措施与防控策略

### 3.1 裂缝预处理与检测评估技术

(1) 裂缝现场检测技术: 水工工程现已形成多类型、适配性强的裂缝检测体系。目测排查为基础手段, 可快速筛查表面裂缝, 初步判断裂缝分布与形态。超声波、回弹检测为常用无损检测技术, 能够测定混凝土强度、结构密实度与裂缝深度, 适用于坝体、闸体等主体结构检测。钻孔检测主要用于探查深层隐蔽裂缝及基础开裂情况, 可直观掌握内部缺陷与渗水问题。高精度无损探伤技术可在不损伤结构体的前提下识别细微隐形裂缝, 满足重要水工结构的精细化检测要求。(2) 裂缝病害评估标准: 裂缝危害评估严格依据水利工程安全规范, 以量化指标为核心开展综合判定。通过实测裂缝宽度、长度、深度, 持续跟踪裂缝开合、延伸发展趋势, 并结合结构受力状态、服役年限、水文环境等条件, 将裂缝划分为轻微、一般、危险三个危害等级, 精准判定结构受损程度, 为差异化修复、加固方案制定提供可靠依据。(3) 裂缝预处理工艺: 预处理是保障裂缝修复质量和耐久性的关键前置工序。施工时需清理裂缝表面灰尘、淤泥、油污等杂物, 剔除周边松散、风化、劣化基材, 保留坚实结构基体。同时对作业区域进行干燥除湿处理, 去除基面积水与潮气, 避免杂质、水分降低修补材料与基体的粘结性能, 为后续修补、灌浆及结构加固施工筑牢质量基础<sup>[3]</sup>。

### 3.2 不同类型裂缝针对性处理措施

(1) 表面浅层裂缝处理: 针对宽度小、深度浅、未影响结构受力的表层细微裂缝, 以防渗、护面、延缓劣

化为核心处理目标。常规采用聚合物砂浆抹灰修补,填补表层细微缝隙;涂刷专用防水防渗涂料,形成致密防护膜,阻隔水、潮气侵蚀;对于表层易开裂、抗渗性薄弱的区域,可粘贴碳纤维布,提升结构表层抗拉、抗裂及防渗性能,有效抑制浅层裂缝再次发育。(2)深层及贯穿裂缝处理:针对深入结构内部、具备透水通道的深层和贯穿裂缝,重点恢复结构整体性与防渗能力。主要采用压力灌浆、化学注浆工艺,通过高压将修补浆液注入裂缝内部,填满缝隙、粘结开裂基材。搭配封堵嵌缝工艺封闭裂缝表层端口,阻断渗水通道。针对局部受损严重区域,辅以结构补强措施,修复结构内部缺陷,恢复结构整体受力性能,避免裂缝持续扩展贯通<sup>[4]</sup>。(3)结构性危险裂缝处理:针对影响结构稳定、存在安全隐患的致命结构性裂缝,需实施专项加固改造措施。通过增设支撑、圈梁、加固肋等构件优化结构受力体系,对软弱地基开展注浆加固、换填处理,解决基础沉降开裂问题。同时可采用结构置换、体外预应力加固等技术,修正结构受力缺陷,抵消不良应力,彻底消除坍塌、渗漏、失稳等重大安全隐患。

### 3.3 新型裂缝修复材料与技术应用

(1)新型修复材料:现阶段新型水工修补材料性能优势显著,适配复杂水环境修复场景。环氧树脂注浆材料粘结强度高、固化速度快、抗渗性优异,适用于深层裂缝注浆加固。聚合物改性砂浆柔韧性、抗裂性、耐久性远优于传统砂浆,适配表层裂缝修补。柔性防渗修补材料具备良好的变形适配性,可跟随结构微变形,有效规避修补后二次开裂问题,大幅提升修复工程使用寿命。(2)新型修复技术:无损修复技术可在不破坏原结构的前提下完成病害治理,最大程度保留结构原有性能。微创注浆技术创口小、扰动低、修复精度高,适用于精密水工结构、薄壁衬砌结构裂缝治理。智能监测修复一体化技术可实时监测结构应力、裂缝变形数据,实现病害预判与精准修复结合,大幅提升水工运维智能化水平。(3)技术应用对比分析:传统修补工艺操作简单、成本较低,但耐久性差、易复发,仅适用于轻微表层病害。新型修复技术与材料治理效果好、结构适配性强、耐久性优异,可彻底解决深层、结构性裂缝问题,但单次施工成本相对较高。综合对比可知,轻微常规病害可选用传统工艺控制成本,重要主体结构、高危裂缝病害需采用新型技术,实现长效治理。

### 3.4 裂缝常态化防控与运维保障策略

(1)设计阶段防控:从源头优化结构设计方案,精准核算结构受力,规避局部应力集中问题。完善大体积混凝土温控、结构防渗专项设计,根据区域气候、水文地质条件,合理布设伸缩缝、沉降缝、温控变形缝,释放结构变形应力,提前规避温差、沉降、渗透引发的裂缝隐患,提升结构先天抗裂性能。(2)施工阶段防控:严格把控水泥、骨料、外加剂等原材料质量,优化混凝土配合比。规范浇筑、振捣、分层施工工艺,杜绝蜂窝、空洞等施工缺陷。强化后期保温、保湿养护,严控拆模时间与施工工序,建立全流程质量验收体系,细化施工质控节点,从施工环节杜绝结构性、工艺性裂缝产生<sup>[5]</sup>。(3)运行阶段防控:建立常态化、智能化巡检监测机制,定期排查结构裂缝、渗漏、变形病害。遵循“早发现、早处置”原则,及时修复微小裂缝,避免病害扩大。规范工程运行管控,严控超水位蓄水、超限荷载运行,减少洪水冲击、设备振动等外力损伤,形成长效运维防控体系,保障建筑物长期安全稳定服役。

### 结束语

本文系统梳理了水工建筑物裂缝的形成机理与类型特征,明确自然、施工、运维多维度致病成因及耦合作用规律,配套完善了分层分类的裂缝处理技术与新型修复方案。研究表明,水工裂缝防控需兼顾源头设计、过程施工、后期运维全流程。精准适配裂缝类型选用修复技术,落实常态化防控措施,可有效减少裂缝病害,延缓结构老化,为水利工程病害治理、安全运维及提质增效提供切实可行的技术支撑。

### 参考文献

- [1] 张庆伟. 水工建筑物混凝土裂缝成因与预防处理[J]. 四川水泥,2021,9(12):116-121.
- [2] 王杨. 水工混凝土建筑物裂缝修补技术探讨[J]. 科学与财富,2024,27(23):387-392.
- [3] 方博. 水工建筑物裂缝成因分析及防治研究[J]. 工程建设与设计,2024,31(10):221-226.
- [4] 谭思源. 水工混凝土建筑物裂缝产生的原因及防治措施[J]. 水利科技与经济,2023,24(08):79-83.
- [5] 赵彩霞. 分析水工建筑物混凝土裂缝成因与预防处理对策[J]. 现代物业(中旬刊),2022,18(01):122-126.