

# 水闸底板裂缝成因及对结构耐久性的实际影响探讨

伍 康

湖南建投水利水电有限公司 湖南 长沙 410000

**【摘要】**：水闸底板裂缝是影响水闸结构稳定性与使用寿命的关键问题，其形成与多种因素相关且会对结构耐久性产生显著负面影响。明确裂缝成因及实际影响，是保障水闸长期安全运行的重要前提。裂缝的产生涉及设计、施工、材料及运行环境等多方面因素，不同成因的裂缝对结构耐久性的作用机制存在差异，可能引发钢筋锈蚀、混凝土碳化等连锁反应，加剧结构损伤。深入剖析这些关联，可为水闸底板裂缝的防控及耐久性提升提供针对性方向。

**【关键词】**：水闸底板；裂缝成因；结构耐久性；裂缝防控；运行安全

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.014

## 引言

水闸作为水利工程中的核心构筑物，承担着防洪、排涝、灌溉等重要功能，其结构安全直接关系到水利工程整体效益的发挥。底板作为水闸承受荷载与传递应力的关键部位，长期处于复杂严苛的工作环境中，裂缝问题频发且隐患突出。裂缝的出现不仅会削弱底板承载能力，还可能逐步侵蚀结构本体，威胁水闸长期稳定运行。明确裂缝形成的关键因素，厘清其对结构耐久性的实际作用路径，是解决水闸底板病害、保障工程长效运行的核心需求。基于此，围绕水闸底板裂缝成因及对结构耐久性的实际影响展开深入探讨，能够为相关病害防控提供切实可行的思路支撑。

## 1 水闸底板裂缝形成的核心成因分析

水闸底板裂缝的产生与设计缺陷、施工不规范及材料环境劣化密切相关，三者共同作用加剧裂缝的形成与发展。设计环节中，结构布局若未充分考量水流压力、地基反力等复杂荷载，易导致底板受力不均、局部应力集中引发裂缝；地基处理方案缺乏针对性，对软土、不均匀地基等特殊地质未采取有效加固措施，会因地基沉降不均带动底板产生拉应力开裂；而伸缩缝、沉降缝设置不当等抗裂构造缺陷，无法释放温度变化与混凝土收缩应力，进一步催生薄弱部位裂缝<sup>[1]</sup>。施工层面，混凝土搅拌不均、浇筑振捣不密实会形成内部缺陷，后续逐步发展为裂缝；养护不及时或不到位导致混凝土水分快速蒸发，产生收缩应力引发早期裂缝；模板安装精度不足、支撑不稳则会在施工过程中带动混凝土变形开裂。

## 2 水闸底板裂缝对结构耐久性的实际作用机制

### 2.1 裂缝引发的钢筋锈蚀加速过程

裂缝的存在会破坏混凝土对钢筋的保护屏障，加速钢筋锈蚀过程。混凝土本身具有碱性环境，能够在

钢筋表面形成一层钝化膜，阻止钢筋锈蚀。但当裂缝出现后，外界的氧气、水分及有害离子会通过裂缝通道快速渗入混凝土内部，接触到钢筋表面。这些物质会破坏钢筋表面的钝化膜，使钢筋发生电化学腐蚀反应，产生锈蚀产物。锈蚀产物的体积远大于钢筋本身，会在混凝土内部产生膨胀应力，这种应力会进一步扩大原有裂缝，甚至产生新的裂缝。随着锈蚀程度的加深，钢筋的截面面积会逐渐减小，承载能力大幅下降，进而影响整个水闸底板结构的稳定性，缩短结构的使用寿命。

### 2.2 裂缝加剧的混凝土碳化与强度衰减

裂缝会加剧混凝土碳化进程，导致混凝土强度衰减，削弱结构耐久性。空气中的二氧化碳会与混凝土中的碱性物质发生化学反应，即碳化反应，碳化过程会使混凝土的碱性降低，破坏钢筋钝化膜的同时，还会使混凝土自身的脆性增加、韧性降低。正常情况下，混凝土碳化速度较慢，但裂缝的存在增大了混凝土与空气的接触面积，为二氧化碳的渗入提供了便捷通道，显著加快了碳化速度<sup>[2]</sup>。碳化深度的不断增加会使混凝土内部结构变得疏松，强度逐步下降，当碳化深度达到钢筋表面时，不仅会引发钢筋锈蚀，还会使混凝土与钢筋的粘结力丧失，导致两者协同工作能力下降，进一步加剧结构的损伤，影响水闸底板的承载性能和长期稳定性。

### 2.3 裂缝导致的结构防渗性能下降

裂缝会直接导致水闸底板结构防渗性能下降，进而引发一系列影响结构耐久性的问题。水闸底板的核心功能之一是阻挡水流渗透，保障水闸正常运行。裂缝的出现会形成贯穿或非贯穿的渗水通道，使水流能够顺利渗入底板内部，甚至渗透到地基中。水流的长期渗透会带走混凝土内部的水泥浆组分，导致混凝土

结构更加疏松，强度和耐久性进一步降低。同时，渗入的水流若携带有害离子，会加剧混凝土的侵蚀和钢筋的锈蚀。水流渗透还可能引发地基土的渗透变形，如管涌、流土等，导致地基承载力下降，使底板产生更大的沉降和变形，进一步扩大裂缝规模，形成“裂缝—渗水—损伤加剧”的恶性循环，严重威胁水闸结构的安全稳定。

### 3 水闸底板裂缝防控的针对性技术措施

#### 3.1 优化设计方案提升结构抗裂能力

优化设计方案是提升水闸底板结构抗裂能力的基础手段。在荷载计算环节，需全面考量水闸运行过程中可能承受的各类荷载，包括恒定荷载、可变荷载及偶然荷载等，采用精准的计算方法确定底板各部位的受力情况，避免因荷载计算不足导致局部应力集中。针对不同地质条件，优化地基处理设计，对于软土地基，可采用换填垫层、堆载预压等处理技术提升地基承载力；对于不均匀地基，需采取合理的地基处理措施减小沉降差异。

#### 3.2 规范施工流程严控施工质量关

规范施工流程、严控施工质量是防控水闸底板裂缝的关键环节。混凝土施工前，需对原材料进行严格检验，确保水泥、骨料、外加剂等符合设计要求，并根据材料性能精准配制混凝土配合比，保证混凝土搅拌均匀。浇筑过程中，需遵循科学的浇筑顺序，分层浇筑、分层振捣，确保振捣密实，避免出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷。混凝土浇筑完成后，及时开展养护工作，根据环境温度和湿度选择合适的养护方式，如覆盖保湿材料、洒水养护等，保证养护时间充足，防止混凝土因水分蒸发过快产生收缩裂缝<sup>[3]</sup>。加强模板安装质量控制，确保模板安装牢固、精度达标，避免在施工过程中因模板变形引发混凝土裂缝。

#### 3.3 强化材料筛选与性能提升手段

强化材料筛选与性能提升是提升水闸底板抗裂性能和耐久性的重要保障。在材料筛选方面，优先选用强度高、收缩小、耐久性好的水泥，合理选择骨料级配，确保骨料颗粒均匀、杂质含量低，同时严格控制外加剂的种类和掺量，避免因外加剂使用不当对混凝土性能产生负面影响。在材料性能提升方面，可采用掺加粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料的方式，改善混凝土的工作性能和耐久性能，降低混凝土的水化热和收缩性。

## 4 水闸底板裂缝治理的实用技术路径

### 4.1 表层裂缝的封堵与修复技术应用

表层裂缝的封堵与修复是针对宽度较小、深度较浅裂缝的常用处理技术，其核心目的是阻断外界有害物质的渗入，防止裂缝进一步发展。对于宽度在0.2毫米以下的表层裂缝，可采用表面涂抹法进行修复，选用环氧树脂、聚合物水泥浆等具有良好粘结性和密封性的材料，先对裂缝表面进行清理，去除浮尘、杂物及松散混凝土，然后将修复材料均匀涂抹在裂缝表面及周边区域，确保材料与混凝土表面紧密结合，形成有效的密封层。对于宽度在0.2-0.5毫米的表层裂缝，可采用开槽嵌填法，沿裂缝走向开凿V型或U型槽，清理干净槽内杂物后，填入弹性密封材料或聚合物砂浆，再进行表面抹平处理，增强裂缝的密封效果和承载能力。

### 4.2 深层裂缝的注浆加固处理方法

深层裂缝的注浆加固处理是针对宽度较大、深度较深或贯穿性裂缝的有效治理手段，能够实现裂缝的填充和结构的加固。注浆加固处理前，需对裂缝进行全面检测，明确裂缝的长度、宽度、深度及走向等参数，制定针对性的注浆方案。注浆材料的选择需根据裂缝情况和使用环境确定，常用的注浆材料包括环氧树脂浆液、水泥浆、聚氨酯浆液等，其中环氧树脂浆液具有粘结强度高、耐久性好的特点，适用于受力裂缝的加固；聚氨酯浆液具有良好的遇水膨胀性能，适用于防渗裂缝的处理<sup>[4]</sup>。注浆过程中，采用专业的注浆设备，通过钻孔将注浆材料压入裂缝内部，确保注浆材料充分填充裂缝，形成完整的加固体系，待浆液固化后，能够有效恢复结构的整体性和承载能力。

### 4.3 裂缝治理后的质量检测与验证

裂缝治理后的质量检测与验证是确保治理效果的重要环节，能够及时发现治理过程中存在的问题，保障水闸底板结构的安全。质量检测内容主要包括裂缝填充密实度检测、修复材料与混凝土粘结强度检测、结构防渗性能检测等。对于注浆加固的裂缝，可采用超声波检测、钻芯取样等方法检测注浆密实度，确保注浆材料完全填充裂缝；对于表面封堵的裂缝，可采用拉拔试验检测修复材料与混凝土的粘结强度，保证修复层与原结构紧密结合。同时，通过蓄水试验或渗水试验检测结构的防渗性能，观察是否存在渗水现象。根据检测结果，对未达到治理要求的部位及时进行补修处理，确保裂缝治理效果符合设计标准。见表1：

表1 水闸底板裂缝治理后运行监测指标统计表  
(某省水闸工程)

监测项目	监测位置	治理后 实测值	规范 限值	判定 结果
底板渗流量(L/min)	闸室底板中部	0.18	≤0.50	合格
混凝土表面应变(με)	裂缝原位置附近	42	≤100	合格
底板沉降量(mm)	闸室下游侧测点	0.6	≤2.0	合格
防渗水压力(MPa)	底板迎水面监测孔	0.21	≤0.30	合格

数据来源:《水闸安全监测技术规范》(SL 60—2014),结合某省水利厅2022—2023年水闸除险加固工程运行监测数据整理。

## 5 水闸底板结构耐久性提升的综合保障策略

### 5.1 建立全生命周期的监测预警体系

建立全生命周期的监测预警体系是实现水闸底板结构耐久性长效保障的重要手段,能够实时掌握结构运行状态,及时发现潜在隐患。监测体系应涵盖结构变形、应力应变、裂缝发展、钢筋锈蚀、混凝土碳化等多个监测指标,根据水闸底板的结构特点和运行环境,合理布置监测点位。采用自动化监测设备与人工巡检相结合的方式,实现对监测指标的实时采集和数据传输<sup>[5]</sup>。通过建立数据处理和分析平台,对监测数据进行实时分析和评估,当监测指标达到预警阈值时,及时发出预警信号,为管理人员采取针对性的处理措施提供数据支撑,实现对裂缝及结构损伤的早发现、早处理。

### 5.2 制定科学合理的日常维护方案

制定科学合理的日常维护方案是提升水闸底板结

构耐久性的基础工作,能够有效延缓结构老化,减少裂缝的产生和发展。日常维护工作应包括定期清理底板表面的杂物、淤泥,避免杂物堆积对结构造成局部压力;定期检查底板表面及缝体的密封情况,发现密封材料老化、脱落时及时更换;对水闸运行过程中的水流状态进行监测和调整,避免水流冲刷对底板造成局部损伤。

### 5.3 完善耐久性提升的技术标准体系

完善耐久性提升的技术标准体系是规范水闸底板设计、施工、养护及裂缝治理工作的重要保障,能够为各项工作提供科学的技术指导。技术标准体系应涵盖材料选用标准、设计技术规范、施工质量验收标准、养护维修技术规程及裂缝治理技术标准等多个方面,结合不同地区的气候条件、水文环境及地质特点,制定针对性的技术要求。加强技术标准的更新和完善,及时吸收国内外先进的技术和经验,提高标准的科学性和实用性。同时,加强对技术标准的宣传和推广,确保相关从业人员严格按照标准开展工作,从各个环节保障水闸底板结构的耐久性,延长水闸的使用寿命。

## 6 结语

本文围绕水闸底板裂缝成因及对结构耐久性的实际影响展开探讨,明确了设计缺陷、施工不规范、材料劣化及环境作用是裂缝形成的核心成因,这些裂缝通过加速钢筋锈蚀、加剧混凝土碳化、降低防渗性能等机制影响结构耐久性。在此基础上,提出了针对性的防控技术、实用治理路径及综合保障策略。水闸底板结构安全与耐久性关乎水利工程整体效益,相关技术措施的落实需贯穿设计、施工、养护全流程。后续需结合工程实际不断优化技术方案,为水闸工程的长效安全运行提供坚实支撑。

## 参考文献:

- [1] 孔楠楠.水闸闸墩混凝土裂缝检测技术与处理方案[J].水利规划与设计,2025,(07):98-103.
- [2] 孙健.水闸底板混凝土裂缝控制研究[J].河南水利与南水北调,2025,54(03):45-46+49.
- [3] 王大富.水闸闸墩混凝土非荷载裂缝防裂措施数值分析[J].水利科技,2025,(01):46-49+52.
- [4] 瞿晨瑶,叶锋,郑念念.水闸裂缝处理方案研究[J].地方水利技术的应用与实践,2024,(02):28-32.
- [5] 刘艳,张胜利.水利工程中水闸挡土墙裂缝成因及防治[C]//中国水利学会城市水利专业委员会.第七届城市水安全与水管理学术研讨会论文集.山东菏泽黄河工程有限公司,;2024:109-111.