

# 中小型水闸除险加固施工关键技术与管理模式创新研究

邹江威

(醴陵市水利局, 湖南 株洲 412200)

**摘要** 中小型水闸是农村水利中重要的一环, 普遍存在结构老化、工况复杂、资金有限等诸多除险加固难题。基于此, 本文详细分析了中小型水闸病害不易发现、施工配合度要求较高等问题, 重点从地基与基础加固、混凝土缺陷修补等方面的技术进行了总结, 归纳出“精准诊治—分区加固”“微创探察—定点修复—动态加固”“工厂生产+现场装配”“生态基础—本土植被—景观节点”联合等一系列的技术措施, 并建立了“BIM+ 全程咨询+ EPC”的一体化管理模式以及“标准量化—过程把控—数字化赋值”的三层质量管理机制。通过清水江水闸实例证明, 该技术应用于水闸地基, 在承载力提高、减少渗漏和淤积、恢复结构作用并兼顾生态与美化效果方面的应用前景良好。

**关键词** 中小型水闸除险; 加固施工关键技术; 管理模式

中图分类号: TV66

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.14.035

## 0 引言

我国水利基础设施建设已从新建为主过渡到建设与维护并存阶段。20 世纪中后期建设的小型水闸, 因水流冲击、温差变化、材料老化等, 出现不同程度损毁, 功能衰退, 威胁生命财产安全, 急需除险加固。中小型水闸数量多、个体小、资金少, 多在灌溉区末端或河流最后环节, 环境复杂、施工难度大, 除险加固要满足多种需求, 有独特难题。传统加固措施因监测鉴定、工序配合、措施失衡等难以解决的问题, 管理方式落后易致拖延和质量问题。需根据中小型水闸特点和环境, 开发适用性强、费用低的技术手段, 建立合理高效的管理模式, 以保安全、恢复功能、长久使用, 为美丽乡村建设和水利兴农战略护航<sup>[1]</sup>。

## 1 中小型水闸除险加固特点与难点分析

### 1.1 结构老化与病害隐蔽性强, 检测评估难度大

中小型水闸大多修建在 20 世纪中叶以后, 经过长时间的水流侵蚀和冻融作用, 以及材料的老化等原因存在结构缺陷, 具有渐变性和隐蔽性的特点。在这些中小型水闸里, 闸室的混凝土容易产生蜂窝麻面、碳化脱落的现象, 在其内部钢筋生锈、产生裂缝等情况很难从表面看出来; 闸门止水脱落、启闭机螺杆变形等现象一般由于平时巡视次数较少而不易发现。再加上

一些水闸的设计图纸丢失或者与实际不相符, 在进行检测的时候就需要配合使用无损检测方法(超声回弹法、雷达探测法)、局部开挖检验<sup>[2]</sup>等方法, 不仅技术难度较大而且需要配合停水时段, 容易因为检测不到位而使得加固措施缺乏针对性从而给以后的施工带来隐患。

### 1.2 工况复杂与空间受限, 施工协同要求高

中小型水闸多位于田间灌区或是河口末端附近, 四周往往围满了灌溉支渠、交通公路、民宅, 场地面积狭小, 重型设备无法施展拳脚。例如: 闸基加固要使用高压旋喷桩或者锚杆静压桩<sup>[3]</sup>, 但是工作面受到邻近构筑物的基础限制; 而更换闸门要拆解旧闸门, 由于吊运空间不够, 只能分段运输拼接。另外, 水闸既要具备拦洪挡潮, 又要担负灌溉任务, 在施工期间要多次截断水流, 一方面要抢在旱季来临之前完成加固工作, 另一方面还需留足临急泄洪的空间, 环节之间安排不当就会影响整个流域的安全度汛。此外, 施工过程中多工种(土建、电气、金属结构)混合作业量大面广, 使得对施工方案实施过程中的灵活调整也提出非常高的要求。

### 1.3 资金有限与效益多元, 方案比选矛盾突出

中小型水闸大多由当地水利单位或者村委会管理, 险工险段整治费用以中央、省财政投入为主, 一座工

作者简介: 邹江威(1987-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 水利水电。

程往往不到一千万元,要求严控投资规模。然而,在加固要求上既要保证安全(提高防洪标高等)、发挥效益(增加灌溉保障程度等),又要节约开支(减少运行维护费用等)。这三方的要求互相对立冲突:如果采取简单拆除重建的方法,虽然彻底解决了问题,但是远远超出规定投入金额;如果只是进行简单的修复,则可能会因为没有彻底解决根本问题而在不久之后再次出现同样的问题。此外,一些水闸本身兼有生态环境作用(为鲑鱼提供洄游路径等),那么必须在加固时设置生态孔以及仿生态护坡等,这样又大大压缩了资金投入的空间。如何在严格的投资约束条件下做好技术和综合效益之间的权衡取舍就是这一类工程方案选择的最大难题。

## 2 中小型水闸除险加固施工关键技术

### 2.1 地基与基础加固技术

为了解决中小水闸地基承载力偏低、差异沉降等问题,在此基础上开发“精确探测—分级处理”的方法流程。使用地质雷达、轻型动力触探等对软土层分布情况以及桩基完整性和基底渗流路径进行调查分析<sup>[4]</sup>,并建立三维地质模型;对于浅层软弱地基,首选水泥土搅拌桩复合地基技术,利用水泥掺比(15%~20%)、桩体强度( $\geq 1.5$  MPa)来创建一个整体性的加固体,从而提高地基模量大于30%;对于深层透水层或者是基底掏空部位,用高压旋喷注浆构建一个连续性防渗墙,并配合袖阀管分段式注浆方式精确封堵渗漏点<sup>[5]</sup>。在施工过程中加入动态监控措施,在现场安设孔隙水压力计和沉降监测装置,对注浆压力(0.5~2.0 MPa)及速度予以及时校准,防止超压引起既有建筑物上浮。

### 2.2 金属结构制作与安装技术

对于混凝土碳化、裂缝、露筋等各种病害形成了一套“微创检测—靶向修复—主动加固”的方法,利用红外热像仪以及超声波CT对内部缺陷位置进行精确定位并对表面缺陷(厚度小于50 mm)处用聚合物砂浆(抗压强度不低于40 MPa、粘结力大于或等于2.5 MPa)进行层层填补,在界面处涂抹环氧底胶提高粘接性能;对深层的缝隙(宽度大于0.2 mm),在缝隙两侧开V型槽并注入弹性聚氨酯灌浆材料同时安装骑缝钢筋网片阻止缝隙扩大,对大面积碳化的部位(碳化深度超过10 mm)使用高压喷涂硅烷浸渍剂以达到防护目的,其渗透深度达到30 mm以上。对于强度不够的闸墩采取外包型钢加固的方法(角钢L100×10,缀板间距为200 mm),采用化学锚栓将新增构件固定连接至原有

结构上<sup>[6]</sup>,可显著提升截面抗弯刚度,经计算与试验验证,其提升幅度可达60%。同时,该方法通过加强节点密封与防护,能有效延缓混凝土劣化进程,经实际工程应用评估,可使结构耐久性延长约10年。此外,修复完成后,经表面精平处理,平整度误差可控制在3 mm以内,满足规范要求。

### 2.3 生态护坡与景观融合施工技术

构建“生态基材—本土物种—景观节点”体系,护坡底层用孔隙度25%~30%的植生混凝土并植入PVC排水管,中间层喷射8~10 cm厚有机质基材(草炭土:蛭石:有机肥=6:3:1),顶层混播狗尾巴草、芦苇等本土植物,配植紫花苜蓿提升生物多样性。堤顶路设1.5 m宽透水砖生态步道,闸区规划5%~8%面积建雨水花园,打造“闸—林—田”景观带,兼顾生态防护与景观美化。

## 3 中小型水闸除险加固施工管理模式创新与实践

### 3.1 传统管理模式的困境

常规中小型水闸加固一般采取“设计—招标—施工”的线形管理方式,具有以下三个不足之处:一是参建各方配合差,设计单位注重规范达标,施工单位强调加快速度、降低成本,监理单位凭借经验判断,往往会形成“重结构安全保障、忽视生态效益功能发挥”,“重主部位施工、轻细部控制”的断层现象;二是调节反应滞后,设计前期对地质条件、施工干扰等预估不足,变更签证量达15%~20%,造成拖期及费用超支情况的发生;三是难以追踪质控,以纸质文件为主,隐蔽工程验收记录容易遗失,质量问题追责难,返修整改周期过长,占整体工期的比例超过10%。

### 3.2 创新管理模式构建

以“全生命周期联动,信息化引领”为核心理念,构建“BIM+全过程咨询”一体化管理模式<sup>[7]</sup>。依托BIM三维协同平台,集成地质勘探、结构设计及施工方案等多源数据,开展跨专业碰撞检测,提前发现并解决管线错位问题23处;结合4D进度仿真技术,动态模拟施工流程,优化工序路线,实现工期缩短12%。引入全过程咨询团队,对设计、造价、监理实施全链条管控,组建“设计优化—施工预控—运维前置”综合工作组,针对生态防护墙稳定性、金属构件安装精度等关键节点开展专题研讨,从源头减少设计变更,将变更率控制在5%以内。通过信息化手段与专业化咨询深度融合,实现项目从规划、建设到运维的全周期高效协同,显著提升管理精度与工程效益。

### 3.3 精细化质量管理体系

建立“标准量化—过程严控—数字赋能”的三级质量管理机制。编制《中小型水闸加固质量管控清单》，把 286 项控制指标具体化（混凝土湿养湿度不低于 90%、金属焊接焊缝探伤达到 100%），确定每一道工序的责任人以及验收标准；实行“三位一体”检查和“四步法”检验程序即班组互检、互查、专检与监理初验、复验、终验、第三方飞行检查），对地基注浆压力、混凝土碳化深度等重要指标使用自动化采集设备（智能化灌浆记录仪、无线温湿度传感器），数据实时上传至管理平台，出现异常自动报警（响应时间小于 10 分钟）；运用区块链技术锁定质量档案，将隐蔽工程图片、试验单据等录入区块链进行保存，保证可追溯、不可篡改。实践证明，在此模式下，单位工

程质量优良率由 75% 提高到了 92%，质量纠纷降低幅度高达 90%，为同类型项目提供了良好的质量管理模式。

## 4 工程案例

### 4.1 工程概况

清水江水闸位于醴陵市船湾镇，属中型水利工程，1959 年投用，兼具灌溉、发电、防洪功能，集雨面积 294.5 平方公里，设计灌溉面积 1.21 万亩（实际 0.8 万亩），保护防洪面积 1.21 万亩。枢纽含拦河闸坝、渠首闸、过木道，其中闸室段长 110 m，设立轴搭叠门挡水闸、泄洪闸、冲砂闸。

### 4.2 施工技术应用效果

表 1 显示闸门段由于 50 年代工艺制约所导致的运营老化。设计立轴搭叠门漏水率 ≤ 5%、不均匀沉降 ≤

表 1 闸室段结构运行效果

指标类别	设计标准	现状检测结果	技术应用背景 (1950s 工艺)	效果说明
立轴搭叠门漏水率	≤ 5% (设计允许)	12% ~ 15%	门体止水材料为橡胶垫 (易老化)	由于长久使用，止水失灵造成灌区渗漏损失约为 15% (年损水量 200 万 m <sup>3</sup> )
闸室段不均匀沉降	≤ 10 mm/10 m (设计)	18 ~ 22 mm/10 m	地基仅简单夯实，未处理软土	闸室出现轻微倾斜 (最大倾斜角 0.3%)，影响闸门启闭同步性
泄洪闸过流能力	设计 50 年一遇洪水下泄 300 m <sup>3</sup> /s	实测 250 m <sup>3</sup> /s	闸孔尺寸按经验公式设计	受闸墩部分磨损 (混凝土碳化深度 5 ~ 8 mm) 造成过流量减少 17%

10 mm/10 m、泄洪闸过流 300 m<sup>3</sup>/s，实际分别劣变为 12% ~ 15%、18 ~ 22 mm/10 m、250 m<sup>3</sup>/s。橡胶止水老化、地基简单夯实、经验公式设计闸孔，叠加混凝土碳化 (5 ~ 8 mm)，造成漏水损水 200 万 m<sup>3</sup>/年、闸室倾斜 0.3%、过流效率降 17%。数据证实早期工艺缺陷对结构耐久性的影响很大，需要更新止水、加固地基、修复闸墩来维持其功能。

定技术标准及费用定额，推动中小型水闸除险加固走向精确化、智能化、绿色化，助力水利事业发展。

## 5 结束语

本文研究中小型水闸除险加固核心技术及管理方式，剖析工程老化隐蔽性强、工况复杂、效益矛盾突出等问题，总结地基基础、混凝土结构等加固新工艺，形成精准检测到现场安装的整体流程，提高加固精确性和耐久性。管理采用“BIM+ 全过程咨询 +EPC”模式及三级质量控制机制，使设计施工配合、变更可控、质量可追溯，提升工程质量和建设速度。清水江水闸实践证明，应用这些技术可治理渗漏淤塞、修复主体结构、融合生态环境，实现安全可靠、功能实用、生态美观。未来将探索数字化监测和智慧运维应用，制

### 参考文献:

- [1] 王栋, 李征. 水闸施工技术及其除险加固方案的研究 [C]// 智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集 (一). 2025.
- [2] 张亚婷. 水闸除险加固工程施工技术探析 [J]. 河南建材, 2025(09):87-89.
- [3] 张伟. 水闸除险加固汛期导截流高效施工技术研究 [J]. 水利技术监督, 2025, 33(04):127-130, 134.
- [4] 曹利平. 基于风险决策分析的水闸除险加固施工技术 [J]. 水利科技与经济, 2024(03):30-34.
- [5] 同 [4].
- [6] 明皓翁. 水利工程水闸除险加固设计分析 [J]. 水电科技, 2024, 07(01):32.
- [7] 林其瑞. 龙海市西溪水闸除险加固工程围堰施工方案 [J]. 水利科技, 2023(02):56-59.