

水利工程中水闸加固施工技术研究

丁国州

江苏金辰建设工程有限公司 江苏 宿迁 223600

摘要：水闸作为水利工程核心调控建筑物，其运行稳定性直接关乎区域水利安全。受环境、年限等因素影响，水闸易产生结构性与功能性病害，亟需科学加固技术支撑。本文围绕水闸加固施工，阐述了水闸结构、病害成因及加固原则，重点分析施工前准备要点，详解地基、闸室结构、闸门启闭设备的核心加固技术，及质量控制、安全环保措施。研究结合实操技术规范，形成完整加固技术体系，可为水闸加固施工提供实操参考，助力提升水利工程耐久性与运行安全性。

关键词：水利工程；水闸加固；施工关键技术

引言：水闸在防洪、灌溉、供水等水利工程中发挥着不可替代的调控作用，是保障区域水资源合理利用与防洪安全的关键设施。随着运行年限增长，加之自然侵蚀、人为操作不当等因素，大量水闸出现混凝土破损、金属锈蚀、启闭失效等问题，严重影响运行安全。当前水闸加固技术针对性不足，施工质量管控存在短板。基于此，本文聚焦水闸加固施工技术，从前期准备、核心工艺到质量安全管控展开研究，旨在梳理科学可行的技术路径，为水利工程水闸加固实践提供技术支撑。

1 水利工程中水闸加固施工技术概述

水闸是水利工程中调控水流的核心建筑物，广泛服务于防洪、灌溉、供水、排涝等领域，其运行状态直接关乎区域水利安全与工程整体效益。受建设年限、运行环境及荷载变化等影响，水闸易产生各类病害，性能逐步衰减，因此需通过科学加固施工恢复并提升其功能，加固技术的合理性与实操性至关重要。

1.1 水闸的结构组成与工作原理

水闸主要由闸室、上游连接段及下游连接段三部分构成。闸室为核心区域，包含闸门、启闭设备、闸墩、底板等构件，承担挡水与泄水调控核心功能；上游连接段由铺盖、护底、翼墙组成，起到引导水流、防渗及减少冲刷的作用；下游连接段含消力池、海漫、防冲槽，用于消除水流能量，保护河床与岸坡稳定。其工作核心是通过启闭设备调节闸门开度，改变水流通道断面，实现水位控制与水量调配，适配不同工况需求。

1.2 水闸常见病害类型及成因分析

水闸长期处于水陆交替、荷载反复作用环境，病害主要分为结构性与功能性两类。结构性病害表现为混凝土裂缝、剥落、露筋，金属构件锈蚀、变形，以及地基渗漏、沉降等；功能性病害集中在闸门启闭失效、止水

防渗性能不足、消能防冲设施损毁等。成因源于自然与人为双重因素，自然因素包括温度交替致混凝土老化、水体侵蚀加速材质劣化；人为因素涵盖施工质量缺陷、运行操作不规范、日常检修维护缺失及设计标准适配性不足等。

1.3 水闸加固的基本原则与目标

水闸加固需遵循安全性优先、因地制宜、经济合理、技术可行四大原则，以原有结构为基础，结合病害检测结果制定方案，避免过度改造与资源浪费。短期目标为彻底治理现有病害，修复破损结构，恢复水闸设计承载能力与调控功能，确保施工后安全稳定运行；长期目标是提升水闸抗风险能力，延长使用寿命，适配水文环境变化与区域水利长远规划，兼顾生态环保与综合效益最大化^[1]。

2 水闸加固施工前准备工作

水闸加固施工前准备要结合前期病害检测结果，从现场勘察、方案设计、资源筹备等多维度统筹推进，为后续施工筑牢基础。（1）现场勘察与病害复核。全面勘察水闸周边地形、水文及地质条件，核查地下管线、周边建筑物分布情况，划定施工范围与安全防护区域。针对已排查的病害，进行二次复核细化，明确裂缝宽度、渗漏范围、构件锈蚀程度等核心参数，同步监测地下水位、水流速度等环境指标，形成完整勘察报告，为方案优化提供精准数据支撑。（2）加固方案设计与技术交底。依据勘察报告及加固基本原则，制定针对性施工方案，明确各环节技术标准、施工流程及质量控制点，对方案进行技术经济论证与优化，规避施工冲突与安全隐患。组织施工、技术、监理等多方人员开展技术交底，明确各岗位职责、操作规范及应急处置流程，确保全员掌握施工核心要求。（3）材料、设备与人员筹备。严

格筛选加固所需材料,水泥、钢筋、碳纤维布、止水带等进场前需核查合格证并抽样复检,不合格材料严禁入库。配置适配的施工设备,包括灌浆机、压路机、除锈设备、检测仪器等,完成调试、保养与试运行,确保设备性能稳定。(4)现场施工布置与安全预案。搭建临时办公区、材料仓库及加工场地,合理规划施工道路与排水系统,做好临时供电、供水设施部署。制定安全防控预案,搭建安全防护设施,配备消防、应急救援器材,排查施工区域安全风险点,落实防汛、防滑、防高空坠落等防护措施,办理相关施工许可手续^[2]。

3 水闸加固关键施工技术

3.1 水闸地基加固施工技术

地基是水闸承载的核心基础,加固施工要先排查地基病害类型,再选用适配技术落实加固作业,核心要点如下:(1)施工前期预处理。先清理地基表面浮土、杂物及破损层,对地基沉降区域、渗漏通道进行标记定位,同步排查地下水位情况,必要时采取降水措施,将地下水位控制在施工面以下0.5-1.0m,避免水位波动影响施工质量。(2)灌浆加固技术要点。选用水泥灌浆或化学灌浆材料,根据地基岩土性质确定灌浆压力与浆液浓度,水泥灌浆压力控制在0.3-1.5MPa,化学灌浆压力宜略低于水泥灌浆。钻孔时需保证孔径均匀,孔位偏差不得超过5cm,钻孔完成后进行清孔,清除孔内岩粉与积水,再按自上而下分段灌浆、分段封孔的流程作业,确保浆液填充密实,无遗漏孔隙。(3)高压喷射注浆加固技术要点。施工前校准喷射设备,确保喷嘴角度、喷射压力符合设计要求,喷射压力一般不低于20MPa。钻孔至设计深度后,缓慢提升喷嘴并开启喷射作业,提升速度控制在0.1-0.2m/min,同时匀速旋转喷嘴,旋转速度为10-20r/min,形成连续的固结体。作业完成后,对注浆孔进行封孔处理,养护时间不少于7天。(4)换填垫层加固技术要点。对于地基承载力不足的区域,开挖至设计深度后,清除软弱土层,选用级配砂石、灰土等符合要求的填料分层回填,每层回填厚度控制在20-30cm,采用压路机分层碾压密实,碾压次数不少于3遍,压实度需达到95%以上,确保垫层均匀承载。

3.2 水闸闸室结构加固施工技术

闸室结构直接承担挡水、泄水荷载,加固以修复破损、提升结构强度为核心,重点针对混凝土结构落实技术措施,要点如下:(1)混凝土表面处理。先对闸室混凝土裂缝、剥落、露筋部位进行清理,裂缝宽度小于0.2mm时,采用压力灌浆封闭;宽度大于0.2mm时,先凿除裂缝两侧松散混凝土,形成V型槽,清理槽内杂物与浮

尘后,铺设防水砂浆打底,再进行灌浆处理。露筋部位需清除锈蚀钢筋表面氧化层,涂刷防锈涂料后,采用高一强度等级的修补砂浆覆盖。(2)粘贴钢板加固技术要点。钢板选用厚度3-8mm的Q235钢板,根据闸室结构受力情况裁剪加工,钢板表面进行除锈、打磨处理,直至露出金属光泽。混凝土基层同样打磨平整,清除浮渣与油污,涂刷界面剂增强粘结力。粘贴时采用环氧树脂胶作为粘结材料,胶层厚度控制在2-3mm,粘贴后加压固定,固定压力保持在0.2-0.3MPa,养护时间不少于14天,养护期间避免碰撞钢板。(3)碳纤维布加固技术要点。选用抗拉强度高的碳纤维布,裁剪成适配闸室结构的尺寸,混凝土基层打磨平整并清理干净,涂刷底胶并养护至不粘手。再涂刷浸渍胶,将碳纤维布平整粘贴于基层,排除胶层内气泡,确保布面与胶层紧密结合。粘贴完成后进行表面防护处理,避免碳纤维布受环境侵蚀。(4)外包混凝土加固技术要点。对闸墩、底板等部位加固时,先凿除原混凝土表面风化层,清理干净后绑扎新增钢筋,钢筋间距、保护层厚度符合设计要求。模板安装需保证牢固、平整,缝隙严密,防止漏浆。浇筑采用高一强度等级的补偿收缩混凝土,分层浇筑振捣密实,振捣时间控制在20-30s/点,浇筑完成后及时覆盖养护,养护周期不少于28天。

3.3 水闸闸门与启闭设备加固改造技术

闸门与启闭设备是水闸调控的关键部件,加固改造以恢复功能、提升可靠性为目标,分闸门与启闭设备两类落实技术要点:(1)闸门加固技术要点。金属闸门先进行全面除锈,采用喷砂或机械除锈方式,除锈等级达到Sa2.5级以上,除锈后及时涂刷防锈底漆与面漆,底漆涂刷2遍,面漆涂刷3遍,每遍涂刷间隔不少于4小时。闸门裂缝采用焊接修补,焊接前清理裂缝周边杂质,选用匹配的焊条,焊接后打磨焊缝,确保焊缝平整、无气孔、夹渣等缺陷。止水带老化破损时,更换同规格止水带,安装时确保止水带位置准确,固定牢固,接口处采用热接方式连接,保证密封性能。(2)闸门变形矫正技术要点。闸门出现轻微变形时,采用机械矫正法,通过千斤顶、撬棍等工具缓慢矫正,避免用力过猛导致二次损伤;变形严重时,采用热矫正法,加热温度控制在600-800℃,加热后缓慢冷却,矫正后检查闸门平整度,偏差不得超过3mm/m。(3)启闭设备检修加固要点。启闭机先拆解检查,清理内部杂物与油污,对磨损的齿轮、轴承等部件进行更换,更换后涂抹润滑脂。对启闭机机架进行检查,若存在变形、开裂,采用焊接或加固板补强处理,确保机架刚度与稳定性。钢丝绳检查后,若出现

断丝、锈蚀严重，及时更换，新钢丝绳安装后进行张拉调试，张拉力符合设计要求。（4）启闭设备调试优化要点。加固改造后进行启闭调试，检查启闭机运行是否平稳，有无异响、卡阻现象，闸门升降速度是否均匀。调试过程中校准闸门开度指示器，确保指示精准，同步检查限位开关、制动装置的灵敏度与可靠性，确保启闭设备在额定荷载范围内安全运行^[3]。

3.4 水闸加固施工质量控制与检测技术

施工质量控制与检测贯穿加固全过程，通过事前、事中、事后多环节管控，确保加固效果达标，技术要点如下：（1）施工前质量控制。严格核查施工材料质量，水泥、钢筋、碳纤维布、灌浆材料等需具备出厂合格证与检测报告，进场后抽样复检，不合格材料严禁使用。施工设备调试合格后方可投入使用，确保设备性能稳定。组织施工人员进行技术交底，明确施工规范、质量标准与操作要点。（2）施工中质量控制。落实工序交接检验制度，上一道工序验收合格后方可进入下一道工序。灌浆施工时，实时监测灌浆压力、浆液浓度与注入量，做好施工记录，发现异常及时调整。混凝土浇筑过程中，监测混凝土坍落度、浇筑温度，确保符合设计要求。焊接、粘贴等关键工序，由专业人员操作，全程旁站监督。（3）混凝土结构检测技术。采用回弹法检测混凝土强度，检测点数不少于3个/m²，取平均值作为检测结果；采用超声波法检测混凝土完整性，排查内部裂缝、孔隙等缺陷，超声波传播速度低于3.5km/s时，需进一步钻芯验证。加固后的混凝土结构，承载力检测采用静载试验法，确保达到设计承载标准。（4）防渗与外观质量检测。防渗性能采用注水试验或渗水试验检测，渗流量需控制在设计允许范围内。外观质量检查重点排查混凝土表面裂缝、剥落、露筋，钢结构锈蚀、焊缝缺陷等，外观质量需符合水利工程施工质量验收规范^[4]。

4 水闸加固施工安全与环保措施

水闸加固施工要兼顾安全管控与生态保护，从风险防控、环保治理两方面落实措施，保障施工全过程合规有序。（1）施工安全管控措施。一是划分作业区域，设置警示标识，高空、水下作业需搭设防护架、配备救生设备，作业人员持证上岗。二是定期检修施工机械，排查电路、机械传动部件隐患，避免设备故障引发事故。三是制定应急方案，针对汛期、基坑坍塌等风险，储备沙袋、抽水泵等物资，开展应急演练。（2）施工环保治理措施。一是设置沉淀池处理施工废水，经达标检测后排放，严禁泥浆水直排入河。二是集中堆放建筑垃圾，分类清运处理，避免随意丢弃污染环境。三是对易扬尘作业面洒水降尘，金属除锈作业采取封闭措施，减少粉尘扩散。

结束语：本文系统梳理了水闸加固施工的全流程技术要点，明确了前期准备、各核心部位加固工艺及质量安全环保管控的关键要求，形成了适配实际施工的技术体系。该体系贴合水利工程实操场景，可有效解决水闸常见病害治理难题，提升加固施工质量与效率。水闸加固是水利设施运维的长期任务，后续可结合新型材料与智能化技术，优化加固工艺。

参考文献

- [1]冯雅.水利工程中水闸加固施工技术研究[J].水上安全,2025(4):67-69.
- [2]韩宝华,陈峰.水利工程中水闸加固施工技术的应用研究[J].价值工程,2025,44(5):149-152.
- [3]丁华,李震.水闸加固技术在水利工程中的应用与优化研究[J].产品可靠性报告,2025(10):186-188.
- [4]尤新涛.水利工程中水闸加固施工技术的应用要点[J].安家,2025(11):0220-0222.