

水利工程水闸除险加固施工工艺研究

高远

温州市温瑞平水系管理中心 浙江 温州 325000

摘要: 水闸作为水利工程的关键控制性建筑物,在水流控制、防洪减灾等方面发挥重要作用。本文围绕水利工程水闸除险加固施工工艺展开研究,阐述了水闸的核心功能与分类,明确其在水利系统中的重要作用;分析了病险水闸的结构老化、渗流破坏等主要问题及设计、建设、管理等成因;重点研究地基处理、防渗排水、闸室翼墙加固、闸门启闭机改造等关键技术,同时引入FRP材料、新型防渗墙、智能监测系统新型工艺与创新思路。研究旨在为水闸除险加固提供技术参考,提升水闸结构稳定性与运行可靠性,保障水利工程长期安全高效发挥效益,对流域防洪、灌溉等具有重要实践意义。

关键词: 水利工程;水闸;除险加固施工工艺;关键技术

引言:当前水利工程中,部分水闸因运行时间长、环境影响等,出现结构老化、渗流破坏等病险问题,威胁工程安全与功能发挥。当前水闸除险加固需求迫切,而施工工艺的合理性直接影响加固效果。基于此,本文先梳理水闸功能与分类,分析病险问题及成因,再深入研究核心除险加固施工技术,探索传统关键技术优化与新型工艺应用,旨在为实际工程提供科学、可行的技术方案,推动水利工程水闸安全运维水平提升。

1 水利工程水闸的功能与分类

1.1 水闸的核心功能

水闸作为水利工程中的控制性建筑物,核心功能主要体现在以下方面:(1)具备水流控制功能,通过闸门的开启与关闭,可精准调节过闸水流的流量、流速,实现对河道、水库等水体水量的分配,满足下游灌溉、工业用水及生态补水等需求。(2)承担水位调节作用,能根据实际需求抬高或降低闸前水位,为航运创造适宜水深,或为上游区域蓄水提供条件。(3)在防洪减灾方面,水闸是重要的防护设施,汛期可通过关闭闸门阻挡洪水入侵,减轻下游区域洪涝压力,同时在水位过高时有序泄洪,保障流域防洪安全。(4)水闸还具备泥沙调控功能,通过合理调度可减少闸前泥沙淤积,防止河道淤塞,维持水利工程长期稳定运行。

1.2 水闸的主要分类

水闸依据以下不同标准可划分为多种类型。(1)按承担的主要任务,可分为防洪闸、灌溉闸、排水闸、航运闸、挡潮闸等,各类水闸分别对应流域防洪、农业灌溉、排除内涝、保障航运、抵御海潮等特定功能。(2)按闸室结构形式,可分为开敞式水闸、涵洞式水闸,开敞式水闸闸室上部敞开,适用于水位变化较大的场景;涵洞式

水闸闸室置于地下或堤坝内部,适用于需隐蔽布置的情况。(3)按闸门形式,可分为平板闸门水闸、弧形闸门水闸、人字闸门水闸等,不同闸门形式因受力特点、操作方式差异,适用于不同工程条件。按所处位置,还可分为河道水闸、水库水闸、渠道水闸等,分别服务于不同水利工程系统的运行需求^[1]。

2 水利工程病险水闸的主要问题及成因

2.1 病险水闸的主要问题

病险水闸的问题集中体现在以下方面。(1)结构老化损坏问题,表现为闸室、翼墙等混凝土结构出现裂缝、剥落、碳化现象,钢筋锈蚀导致结构承载力下降,部分构件因长期受力出现变形、位移,影响整体结构稳定性。(2)渗流破坏问题,闸基、闸室与两岸连接部位易出现管涌、流土、冒水等现象,防渗设施失效导致水体渗漏量增大,不仅浪费水资源,还会掏空地基,威胁水闸安全。(3)消能防冲设施损坏严重,闸下消力池、海漫、防冲槽等结构因长期受水流冲刷、淘刷,出现混凝土磨损、破碎、沉降,削弱消能防冲效果,可能引发下游河道冲刷变形。(4)部分病险水闸存在防洪标准偏低的问题,无法抵御设计洪水,闸门及启闭设施老化、故障频发,导致操作失灵,难以满足正常运行与应急调度需求。

2.2 病险水闸问题的成因

病险水闸问题的形成受以下设计、建设、运行管理等多方面因素影响。(1)设计层面,早期水闸设计标准较低,部分工程未充分考虑水文地质条件、水流特性等因素,结构选型不合理,防渗、消能防冲设计存在缺陷,为后期病害埋下隐患。(2)建设质量把控不严是重要原因,施工过程中材料质量不达标,混凝土配合比不当、

浇筑工艺不规范,钢筋保护层厚度不足,防渗设施施工质量差,导致工程先天质量缺陷。(3)运行管理维护不到位加剧病害发展,长期缺乏定期检查、监测与维修,未能及时发现并处理早期裂缝、渗漏等问题,闸门、启闭机等设备缺乏日常养护,部件磨损、锈蚀严重。(4)自然环境因素影响显著,水流长期冲刷、泥沙淤积,酸碱水质侵蚀混凝土结构,以及地震、洪水等自然灾害冲击,均会加速水闸老化与损坏,最终形成病险状态^[2]。

3 水闸除险加固施工工艺关键技术

3.1 地基处理技术

地基处理是水闸除险加固的基础,核心目标为提升地基承载力、减少沉降变形,需结合地基土质与病害程度选择适配技术。(1)换填法。施工前清理场地,去除地表杂物与松软土层,明确换填范围及深度以覆盖薄弱区域。换填材料选用级配良好的砂石、灰土或水泥土,进场前需检测颗粒级配、压实度,不合格材料禁用。采用分层填筑,每层厚度20-30cm,用压路机或夯实机械碾压,次数依试验段确定,确保压实度不低于95%。填筑中实时监测高程与压实质量,避免分层不均、局部沉降,完成后检测地基承载力,达标方可进入下道工序。(2)振冲碎石桩法。施工前平整场地,布设并标记桩位,按设计桩长、桩径选振冲设备。将振冲器对准桩位,启动后缓慢下沉,借助高压水冲辅助破土至设计深度。随后边提升振冲器边填碎石料,控制填料与提升速度,保证碎石料密实形成连续桩体。施工后检测桩身完整性、桩间土承载力,通过复合地基载荷试验验证整体加固效果,满足上部结构承载要求。(3)灌浆法。施工前开展地质勘察,明确灌浆范围、地层分布及渗漏通道,确定灌浆材料与参数。按设计孔位、孔深钻孔,清理孔内岩屑杂质保证通畅。采用分段或全孔一次灌浆工艺,依地层渗透性控制压力与流量,防止地层抬动或浆液流失。灌浆中监测浆液浓度、注入量与返浆情况,适时调整参数。

3.2 防渗与排水技术

该技术旨在阻断渗漏通道、排出渗透水,防止渗流破坏,保障水闸结构稳定,关键技术如下:(1)水平防渗技术。铺盖加固前清理原铺盖破损层、杂物与淤积物,修补裂缝或孔洞。铺盖材料可选黏土、土工膜、沥青混凝土,铺设前检测防渗性能、耐久性与强度。铺设时确保基底平整,土工膜采用焊接或粘接工艺,接缝需做密闭性检测;黏土铺盖分层压实,每层15-20cm,压实度不低于93%;沥青混凝土铺盖按规范摊铺、碾压,保证平整密实。重点处理铺盖与闸室、岸坡的衔接,用嵌缝、锚固增强密封性,防止渗漏。(2)垂直防渗技术。防渗墙

施工前确定轴线、深度与厚度,依地质条件选冲击钻、抓斗、液压铣槽等成槽设备。成槽中控制槽壁垂直度与平整度,用泥浆护壁防坍塌,实时调整泥浆性能。墙体采用导管法连续浇筑,混凝土需具备良好和易性与抗渗性,控制导管理深避免断桩或夹层。板桩防渗依板桩类型选打桩设备,打桩前平整场地、定位放线,控制桩身垂直度与入土深度,做好相邻板桩搭接密封。(3)排水设施加固。加固前排查排水孔、排水管、排水棱体的损坏情况,清理堵塞物与淤积物。排水孔堵塞或孔径变小时,用钻孔扩径或高压水冲洗处理,必要时重新钻孔,控制孔位、孔径与孔深保证通畅。排水管出现裂缝、破损或接口渗漏,更换损坏管段或用密封材料修补接口,安装时保证坡度合理,避免倒坡。排水棱体冲刷、塌陷或填料流失时,补充级配良好的砂石填料,整理外形确保透水性及稳定性,做好与周边结构的衔接,防止雨水冲刷或水体浸泡。

3.3 闸室与翼墙加固技术

闸室与翼墙是水闸核心承重结构,加固需解决结构裂缝、承载力不足、混凝土老化等问题,提升强度与稳定性。(1)闸室结构加固。增大截面法:施工前清理闸室表面风化层、疏松混凝土与杂物,凿毛原有混凝土表面,铺设钢筋网并与原有钢筋可靠连接。模板安装保证刚度与垂直度,浇筑高性能补偿收缩混凝土,分层振捣密实避免缺陷。按规范养护不少于14天,确保混凝土强度达标。粘贴钢板法:打磨闸室混凝土表面去除浮浆与油污,钢板表面除锈,用结构胶粘贴钢板并加压固定,保证胶层饱满无气泡。粘贴后设锚固螺栓或焊接角钢加强,防止钢板脱落,最后对钢板做防腐处理。粘贴碳纤维布法:流程与粘贴钢板法类似,确保碳纤维布与混凝土表面紧密结合,发挥高强度特性提升承载能力。(2)翼墙加固。加固前评估损坏程度,裂缝用压力注浆法修补,选用环氧树脂浆液或水泥浆,依裂缝宽度确定注浆压力,确保浆液填满裂缝。翼墙倾斜或承载力不足时,可采用扶壁式加固或增设锚杆(锚索)加固。扶壁式加固需在翼墙外侧浇筑扶壁混凝土,通过钢筋与原有翼墙连接,保证结合紧密,控制浇筑与养护质量。增设锚杆(锚索)需钻孔穿过翼墙嵌入基岩或稳定土层,安装后张拉锚固,控制张拉应力达设计值,约束翼墙变形。

3.4 闸门与启闭机更新改造技术

闸门与启闭机是水闸运行控制核心,更新改造要针对性解决不同类型设备的老化、功能失效问题,全面提升运行可靠性与操作便捷性。(1)闸门更换。根据水闸工况与设计要

面钢闸门重点把控面板厚度、主梁刚度及止水座面平整度,采用高强度耐候钢并优化防腐涂层体系;弧形闸门需保证门叶曲率精度与支铰安装同心度,强化主梁与面板的连接强度,选用适配的弧形止水装置;小型闸门可采用复合新材料,兼顾轻量化与抗老化性能。更换前拆除原有闸门时做好闸室门框、导轨的防护,吊装依据闸门重量与尺寸选用合适设备,严控吊装速度与姿态避免碰撞。安装时精准调整与门框、导轨的配合间隙,确保启闭灵活,止水装置固定牢固、密封良好,最终通过启闭试验检测运行平稳性、止水效果与启闭力,保障符合设计运行要求。(2)启闭机改造。结合卷扬式、螺杆式、液压力等不同启闭机类型的结构特点开展改造:卷扬式启闭机重点检修卷筒磨损、钢丝绳锈蚀断丝情况,及时更换达标部件,优化制动系统灵敏度,升级电气控制的限位保护功能;螺杆式启闭机需修复螺杆螺纹磨损、校正弯曲变形,更换老化的螺母组件,强化机架刚度,确保传动顺畅;液压力启闭机重点检测液压油质、密封件老化渗漏情况,清洗油路与阀组,校准同步控制精度。改造前全面检测原有设备的电机、减速器、传动机构等损坏状况,确定改造范围与方案,更换功率匹配的电机、修复或更换损坏的减速器部件,调试后通过空载与负载试运行,保障各部件运行稳定、操作便捷安全,满足自动化运行需求^[3]。

4 水闸除险加固新型工艺与创新思路

针对传统加固工艺施工周期长、对原结构扰动大、耐久性不足等问题,结合材料与智能技术发展,引入新工艺可提升加固效果与效益,具体如下:(1)纤维增强复合材料(FRP)在结构修复中的创新应用。针对闸室、翼墙混凝土裂缝扩展、钢筋锈蚀致承载力下降问题,传统粘贴钢板法存在自重高、易腐蚀局限,可采用FRP加固工艺。其具备高强度、轻量化、耐腐蚀、抗疲劳优势,适配潮湿环境。施工时先打磨、除污混凝土表面,用专用树脂胶将FRP布粘贴于结构受拉区,加压固化确保界面结合紧密。(2)新型防渗墙工艺在深层渗漏治理中

的应用。针对闸基深层渗漏,传统防渗墙成槽浅、适配复杂地层差,可引入超深高压喷射与自凝灰浆防渗墙工艺。前者通过高压设备将水泥浆与地层土强制搅拌,形成连续墙体,成槽深超60m,适配砂卵石等复杂地层,渗透系数降至 10^{-7} cm/s以下;后者用水泥、膨润土、缓凝剂组成的自凝灰浆,无需振捣自凝,经专用注浆管分层注入,适配狭窄空间,墙体整体性与抗渗性稳定。(3)智能监测与预警系统在加固效果保障中的融合。传统工艺缺加固后实时监控,难及时发现二次病害,可构建“加固施工+智能监测”一体化体系。施工阶段嵌入光纤、无线应变传感器,实时监测混凝土浇筑温度、结构应力变形、防渗墙渗漏量;加固后通过云平台整合数据,结合有限元模型动态评估预警。如闸门更换时,在主梁、止水装置布传感器,监测启闭受力与渗漏,数据传管控中心,异常即预警并调参数^[4]。

结束语:本文系统梳理水闸除险加固施工工艺,从传统关键技术到新型创新工艺,全面覆盖地基、防渗、结构、设备等核心加固环节,明确各技术的适用场景与操作要点,为病险水闸治理提供完整技术体系。研究表明,合理选用加固技术并融合新型材料与智能监测手段,可有效解决水闸病险问题,提升其安全性与耐久性。未来,还需进一步推动技术迭代与实践应用结合,针对复杂地质与水文条件优化工艺方案,持续提升水闸除险加固的科学性与高效性。

参考文献:

- [1]吴小军.水利工程水闸除险加固施工工艺研究[J].科学技术创新,2020(31):129-130.
- [2]金亚峰.水利工程水闸除险加固施工工艺研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2020(10):00084-00084+86.
- [3]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.
- [4]李世天.水利工程中水闸施工工艺要点及施工质量控制分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(8):106-109.