

水利工程水闸除险加固的优化设计

龚晓锋

启东市水务局堤闸管理所 江苏 南通 226200

摘要: 水利工程水闸在长期运行中,受自然、设计施工及管理维护等多重因素影响,易出现结构损坏、渗流异常、设备老化等病害,威胁工程安全与效益。针对此类问题,除险加固需遵循安全性、经济性、耐久性与协调性原则,通过结构加固、防渗处理、设备更新及基础处理等优化设计方法,提升水闸整体性能。科学合理的除险加固优化设计,对保障水利工程稳定运行、延长使用寿命、发挥综合效益具有重要意义。

关键词: 水利工程;水闸除险加固;优化设计

引言

水闸作为水利工程的关键组成部分,在防洪、排涝、灌溉、航运等领域发挥着不可替代的作用。然而,随着运行年限增长,诸多水闸出现不同程度的病害,不仅降低工程效益,还可能引发安全隐患。当前,自然环境变化、早期设计施工缺陷及管理维护不足等问题日益凸显。本文基于对水闸常见病害及成因的分析,深入探讨除险加固优化设计的原则与方法,旨在为水利工程水闸安全运行提供理论与实践参考。

1 水利工程水闸常见病害及原因分析

1.1 常见病害

1.1.1 结构损坏

水闸长期受水流冲刷、水位变化、温度波动及冻融循环作用,混凝土结构易出现裂缝、剥落、露筋等病害。过闸水流产生的脉动压力与振动,不断冲击闸室底板、闸墩等部位,致使混凝土表面磨损、破损;水位骤降引发的渗透力与土体变形,易使闸室基础产生不均匀沉降,造成结构开裂错位。水闸在运行过程中,还可能受到船只碰撞、漂浮物撞击等外力作用,进一步加剧结构损坏程度,影响水闸整体稳定性与安全性。

1.1.2 渗流问题

在水闸运行时,上下游水位差促使水流通过闸基及两岸土体发生渗流。若防渗设计不合理或施工质量不佳,极易出现集中渗漏、管涌、流土等现象。闸基土体在渗流力作用下,细小颗粒被水流带走,形成渗流通道,导致渗流量增大、渗透坡降超过允许值,削弱闸基土体承载能力,引发闸室沉降、倾斜;两岸连接部位的渗流问题,还可能造成岸墙后填土流失、岸坡失稳,威胁水闸正常运行。

1.1.3 设备老化

水闸机械设备长期处于潮湿、腐蚀环境中,金属部

件易发生锈蚀、磨损。闸门启闭机的钢丝绳因频繁受力拉伸、弯曲,表面出现断丝、磨损,降低承载能力;液压启闭系统的密封件老化、液压油变质,导致系统泄漏、压力不足,影响闸门启闭效率与可靠性。电气控制系统的电线电缆老化、绝缘性能下降,电气元件故障频发,造成水闸自动化控制失灵,难以满足工程运行调度需求,增加运行维护成本与安全隐患。

1.2 原因分析

1.2.1 自然因素

自然界复杂多变的环境条件对水闸产生持续性影响。季节性气温变化使混凝土结构热胀冷缩,在约束作用下产生温度应力,当应力超过混凝土抗拉强度时便形成裂缝;冻融地区冬季低温,渗入混凝土孔隙的水分结冰膨胀,反复冻融致使混凝土结构疏松、剥落。强降雨、洪水等极端水文事件,带来大流量、高流速的水流,加剧对水闸结构的冲刷破坏;地震活动引发的地震波,使水闸结构承受额外的动荷载,可能导致结构局部损坏或整体失稳。

1.2.2 设计施工因素

水闸设计阶段,若对工程地质、水文条件勘察不全面,地基处理方式不当,易造成闸基承载力不足、抗渗性能差等问题。不合理的结构布置与水力计算,使水闸在运行中出现过流不畅、流态紊乱,增大水流对结构的冲刷破坏。施工过程中,混凝土配合比控制不严、振捣不密实,导致混凝土强度与抗渗性不达标;止水设施安装不规范、接缝处理不当,形成渗漏通道。隐蔽工程质量缺陷在施工时难以发现,运行后逐渐暴露,引发严重病害。

1.2.3 管理维护因素

水闸运行管理中,日常检查与维护工作不到位,无法及时发现早期病害隐患。对结构损坏、设备老化等问

题未采取有效修复措施,任其发展恶化。长期高负荷、超设计标准运行,加速结构与设备的老化损坏。缺乏科学的运行调度方案,频繁的水位骤变、水流冲击,使水闸承受不必要的荷载,降低结构耐久性与设备使用寿命,最终导致各类病害频发,影响水闸工程效益发挥。

2 水利工程水闸除险加固优化设计的原则

2.1 安全性原则

水闸作为水利工程的关键组成部分,承担着调节水位、控制水流等重要功能,其安全性直接关系到水利工程的整体效能以及周边区域的安全。在除险加固优化设计中,安全性原则居于首位。要对水闸的结构进行全面且深入的力学分析,考虑水压力、土压力、地震力等多种荷载组合作用下,闸室、闸墩、底板等关键部位的应力应变情况。例如通过有限元分析软件,精确模拟不同工况,判断结构是否存在应力集中或薄弱环节,进而针对性地采取加固措施,像增加钢筋配置、加厚混凝土结构等,以提升结构的承载能力。对于水闸的基础,需详细勘察地质条件,评估地基的稳定性,针对可能出现的地基沉降、滑动等问题,采用桩基础、地基加固处理等手段,保障基础的稳固。在设计中还要充分考虑水闸运行过程中的防洪、泄洪安全,确保在洪水等极端情况下,水闸能正常运行,有效抵御洪水侵袭,保护下游地区人民生命财产安全^[1]。

2.2 经济性原则

在满足水闸安全运行的基础上,遵循经济性原则对除险加固优化设计至关重要。第一,要对不同的加固方案进行详细的成本核算与对比分析。从材料费用来看,应综合考虑不同材料的价格、性能及使用寿命,选择性价比高的材料。如在混凝土选用上,对比普通混凝土与高性能混凝土的成本及耐久性差异,在满足工程要求前提下,优先选用成本较低且能保证一定使用年限的材料。对于施工工艺,要评估不同施工方法所需的设备、人工及时间成本,选择高效且经济的施工方式。例如采用先进的预制装配技术,可缩短施工周期,减少人工费用及设备租赁成本。第二,不能仅关注一次性的建设成本,还要考虑水闸后续长期的运行维护成本。选择耐久性好、维护需求低的加固方案,虽可能初期投入稍高,但从长期来看,能有效降低总体成本。通过合理规划工程规模,避免过度设计造成资源浪费,在保证水闸功能的同时,实现经济效益最大化,使有限的资金发挥最大的效益。

2.3 耐久性原则

水闸长期处于复杂的水环境中,受到水流冲刷、水

质侵蚀、干湿交替等多种不利因素影响,耐久性成为除险加固优化设计中不可忽视的重要原则。在材料选择上,优先选用抗侵蚀性强、耐磨损的材料。对于与水接触的部位,如闸底板、闸门等,采用耐腐蚀的钢材或添加抗侵蚀外加剂的混凝土,提高结构的抗侵蚀能力。在混凝土配合比设计中,优化水泥品种、骨料级配及外加剂使用,增强混凝土的密实度,降低孔隙率,减少水分及有害物质的侵入。对于水闸的防护涂层,要选用附着力强、耐候性好的材料,定期进行维护更新,确保防护效果。在结构设计中,考虑合理的构造措施,如设置伸缩缝、排水系统等,减少因温度变化、积水等因素对结构造成的损害。通过这些措施,提高水闸结构的耐久性,延长其使用寿命,减少后期频繁维修带来的成本增加及对水利工程运行的影响,保障水闸长期稳定地发挥功能^[2]。

2.4 协调性原则

水闸除险加固优化设计需遵循协调性原则,确保水闸与周边环境、水利系统及其他相关设施协调统一。在与周边环境协调方面,要考虑水闸的外观造型、色彩等与周边自然景观、人文环境相融合。例如在风景区附近的水闸,可采用仿自然材质或具有地域文化特色的设计,使其成为景观的一部分,而非突兀的存在。在水利系统协调性上,要保证水闸与上下游河道、其他水工建筑物等协同工作。通过合理设计水闸的过流能力、水位控制等参数,使其与上下游水利设施的运行相匹配,实现整个水利系统的高效调度。还要考虑水闸与周边交通、电力等基础设施的协调性。在施工过程中,合理规划施工场地、运输路线等,减少对周边交通的影响。在运行过程中,确保水闸的电力供应稳定且与周边电力系统协调,避免出现供电冲突或不稳定情况。通过遵循协调性原则,使水闸更好地融入整体环境与系统,发挥综合效益。

3 水利工程水闸除险加固优化设计的方法

3.1 结构加固方法

(1) 针对水闸主体结构强度不足问题,可采用增大截面加固技术。通过在闸墩、底板等部位增设混凝土或钢筋混凝土层,扩大结构受力面积,提升承载能力。施工时需对既有结构表面进行凿毛处理,植入连接钢筋增强新旧混凝土结合力,同时合理设置伸缩缝,防止因温度变化产生裂缝。(2) 粘贴钢板或碳纤维布加固法适用于结构裂缝修复与补强。钢板通过高性能结构胶粘贴于混凝土表面,与原结构协同受力,可有效抑制裂缝扩展;碳纤维布质轻高强,具有良好的柔韧性,能适应

复杂结构外形,在提高结构抗剪、抗弯性能方面表现突出。施工中需严格控制粘贴工艺,确保材料与结构表面充分粘结。(3)体外预应力加固技术利用增设的预应力筋对水闸结构施加反向荷载,抵消部分使用荷载产生的应力。该方法施工便捷,对原结构扰动小,可显著提高结构的承载能力与抗裂性能。通过精确计算预应力大小与科学规划其布置方式,能有效改善结构受力状态,延长水闸使用寿命。

3.2 防渗处理方法

(1)垂直防渗是水闸防渗处理的重要手段。采用水泥-水玻璃双液注浆技术,将浆液注入地基土层,通过渗透、挤密作用填充孔隙,形成连续的防渗帷幕,阻断地下水渗流通道。对于砂砾石地基,可采用高压喷射灌浆,利用高压射流冲击破坏土体,使浆液与土颗粒混合凝结,形成具有一定强度和防渗性能的板墙或桩柱。

(2)水平防渗措施主要通过铺设防渗铺盖实现。选用黏土、土工膜等防渗材料,在水闸上游铺设一定长度的铺盖,延长渗径,降低渗透坡降。土工膜具有良好的防渗性能和抗老化能力,施工时需注意搭接宽度与锚固处理,确保防渗效果。在铺盖表面设置保护层,防止水流冲刷和机械损伤。(3)对水闸闸室与两岸连接部位的绕渗问题,可采用黏土回填结合帷幕灌浆的处理方式。先对连接部位的松散土体进行开挖换填,选用优质黏土分层夯实,再进行帷幕灌浆,进一步封堵渗流通道。通过合理控制灌浆压力与浆液浓度,保证防渗体的密实性与完整性,有效减少绕渗量^[3]。

3.3 设备更新改造方法

(1)水闸启闭设备的更新是保障运行安全的关键。将老旧的螺杆式启闭机更换为液压启闭机,液压系统具有传动平稳、启闭力大、操作灵活等优点,可实现远程自动化控制,提高启闭效率与可靠性。对启闭机的钢丝绳、滑轮等部件进行全面检查更换,确保其符合安全运行标准。(2)闸门的更新改造着重提升其止水性能与结构强度。采用新型橡胶止水带替换老化破损的止水部件,橡胶止水带具有良好的弹性与耐水性,可有效减少闸门漏水。对于钢闸门,可通过增设加劲肋、修补腐蚀部位等方式增强结构强度,采用先进的防腐涂装工艺,提高闸门的抗腐蚀能力。(3)电气控制系统的升级改造是实现水闸智能化运行的基础。采用可编程逻辑控制器(PLC)替代传统继电器控制,结合传感器技术实时监测

闸门开度、水位、设备运行状态等参数,通过自动化控制系统实现精准操作与故障预警。对电气线路进行全面检修更换,优化配电系统,提高供电可靠性与安全性。

3.4 基础处理方法

(1)对于地基承载力不足的情况,可采用换填垫层法。将浅层软弱土层或不良土层挖除,换填级配砂石、灰土等强度较高的材料,分层压实,提高地基的承载能力与压缩模量。换填材料的选择需根据地质条件与工程要求确定,施工过程中严格控制压实度,确保换填效果。(2)深层搅拌法适用于处理软土地基。利用深层搅拌机械将水泥浆或石灰粉等固化剂与软土强制搅拌,使软土硬结形成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥土桩体或墙体,与原地基土共同承担荷载。通过合理设计搅拌桩的间距、直径与深度,可有效提高地基承载力,减少沉降量。(3)灌浆加固法可改善地基的物理力学性能。对砂土地基采用硅化灌浆,通过压力将硅酸钠溶液与氯化钙溶液交替注入地基,使土体发生胶凝反应,提高土体强度与密实度;对于岩基裂缝,采用水泥灌浆进行封堵,增强岩体的整体性与抗渗性。施工中需根据地基特性与工程要求选择合适的灌浆材料与工艺参数,确保加固效果^[4]。

结语

综上所述,水利工程水闸除险加固的优化设计是保障工程安全稳定运行的关键举措。通过系统分析水闸常见病害及其成因,严格遵循安全性、经济性、耐久性与协调性原则,科学运用结构加固、防渗处理、设备更新改造及基础处理等方法,能够有效提升水闸性能。未来,需进一步结合新技术、新材料、新方法,持续完善水闸除险加固优化设计体系,为水利事业高质量发展筑牢根基。

参考文献

- [1]俞铭琦,徐义桦,陈柳杰,等.水利工程水闸除险加固的优化设计[J].水上安全,2025(2):1-3.
- [2]许宇翔,许陈杨.水利工程水闸除险加固设计研究[J].水上安全,2023(16):163-165.
- [3]王帅.水利工程水闸除险加固设计研究[J].工程建设与设计,2024(15):125-127.
- [4]郭威,付亭亭.水利工程水闸除险加固设计研究[J].中州建设,2024(4):112-113.