

水利工程中水闸加固施工技术的应用研究

杨海峰¹ 李红光²

1. 河南华禹水利水电工程有限公司 河南 新乡 453000

2. 河南黄河河务局新乡黄河河务局 河南 新乡 453000

摘要：本文围绕水利工程中水闸加固施工技术展开深入研究，详细阐述施工前的工程勘测、材料设备准备等准备工作，系统分析地基、结构、闸门及启闭设施等多方面加固技术的具体应用。同时，探讨其智能化与信息化应用、新型材料应用、技术创新与多元化等发展趋势，旨在为水利工程水闸加固施工提供理论依据与实践指导，保障水闸工程的安全稳定运行，提高水利工程综合效益。

关键词：水利工程；水闸加固；施工技术；应用研究

引言：水闸作为水利工程的关键建筑物，在防洪、排涝、灌溉、供水等方面发挥着不可替代的重要作用。随着使用年限的增加，水闸受水流冲刷、地基沉降、材料老化等因素影响，出现结构损坏、功能衰退等问题，严重威胁水利工程安全与效益。因此，对水闸进行加固施工至关重要。并深入研究水闸加固施工技术的应用与发展，从施工准备到各类加固技术的具体实施，再到未来趋势分析，全面剖析水闸加固施工技术，为水利工程建设与维护提供有力支持。

1 水利工程中水闸加固施工前的准备工作

1.1 工程勘测与设计

工程勘测与设计是水闸加固施工的关键前提。通过地质勘探，采用钻探、物探等技术，详细了解水闸地基的土层分布、岩土力学性质，确定地基承载能力及潜在问题，如软弱夹层、砂土液化等情况。同时，对水闸现有结构进行全面检测，利用无损检测技术查明混凝土强度、裂缝深度及分布、钢筋锈蚀程度等。基于勘测数据，结合水闸运行功能需求，进行科学合理的加固设计，制定针对性方案，明确加固部位、方法及施工工艺，为后续施工提供精准指导，确保加固效果满足工程安全与使用要求。

1.2 施工材料与设备准备

施工材料与设备的准备直接影响水闸加固施工质量与进度。材料方面，严格按照设计要求采购优质水泥、钢材、砂石等基础材料，以及新型加固材料如碳纤维布、灌浆料等，并对材料进行严格的进场检验，核查质量证明文件，开展抽样试验，确保材料性能符合标准。设备准备上，根据施工工艺需求，配备地基处理设备如高压喷射灌浆机、水泥土搅拌机，混凝土施工设备如搅拌机、振捣棒，起重设备如起重机等，同时对设备进行

全面调试与维护，保证设备性能良好、运行可靠，为施工顺利进行提供坚实的物质基础。

1.3 施工组织与管理

科学的施工组织与管理是水闸加固工程有序推进的保障。首先，组建专业施工团队，明确项目经理、技术负责人、施工员、质检员等岗位职责，形成高效协作的管理架构。依据工程特点与工期要求，编制详细的施工进度计划，合理安排各工序的施工顺序与时间节点，确保施工节奏紧凑。同时，建立完善的质量管理体系，制定质量控制标准与检验制度，加强对施工过程的质量监督。

1.4 安全防护措施制定

安全防护措施制定是水闸加固施工安全的重要防线。针对水闸施工环境复杂、作业风险高的特点，全面识别施工过程中的安全风险，如高空作业坠落、深基坑坍塌、临时用电触电、机械伤害等。制定专项安全防护方案，在施工现场设置明显的安全警示标志，对高空作业区域安装防护栏杆、安全网，深基坑周边设置围挡与监测装置。对施工人员进行全面的安全教育培训，使其掌握安全操作规程与应急处理方法^[1]。

2 水利工程中水闸加固施工技术应用

2.1 地基加固技术

2.1.1 高压喷射灌浆技术

高压喷射灌浆技术是利用高压设备将水泥浆液等以高速喷射流的形式注入地基土层，通过射流的切削、搅拌和挤压作用，使浆液与土体充分混合，形成具有较高强度和防渗性能的固结体。在水闸地基加固中，该技术可有效处理地基的软弱土层、渗漏等问题。施工时，先利用钻机成孔，再将喷射管插入预定深度，通过高压泵将浆液喷射而出。此技术适应性强，可在多种复杂地质

条件下作业,能显著提高地基承载力,增强地基的整体性和抗渗性,且施工对周边环境影响较小,常用于水闸地基的防渗加固和承载力提升。

2.1.2 水泥土搅拌桩技术

水泥土搅拌桩技术是采用深层搅拌机械,将水泥浆或水泥粉与地基土强制搅拌,使软土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥加固土桩体。在水闸地基加固中,通过合理布置搅拌桩,可形成复合地基,提高地基承载力,减少地基沉降。施工过程中,搅拌机械沿着预定桩位下沉,同时喷浆搅拌,提升时再次搅拌,确保水泥与土体充分混合均匀。该技术施工成本较低,对周边土体扰动小,能有效改善软土地基的物理力学性能,增强地基的稳定性,在水闸软土地基加固中应用广泛。

2.1.3 钻孔灌注桩技术

钻孔灌注桩技术是使用钻机在地基中钻出桩孔,然后在孔内放置钢筋笼,再灌注混凝土形成桩体,通过桩体与土体的相互作用来提高地基的承载能力。在水闸地基加固中,对于荷载较大、地质条件复杂的情况,钻孔灌注桩可作为桩基使用,将水闸上部结构的荷载传递到深层稳定的土层或岩层中。施工时,需严格控制钻孔的垂直度和深度,保证钢筋笼的安装质量,混凝土灌注过程中防止断桩、缩颈等问题。该技术单桩承载力高,适应性强,能有效解决水闸地基承载力不足和不均匀沉降问题,保障水闸结构安全稳定。

2.2 结构加固技术

2.2.1 混凝土裂缝处理技术

混凝土裂缝会削弱水闸结构强度,引发渗漏等问题。处理时,先对裂缝进行检测,确定裂缝宽度、深度及走向。对于宽度小于0.2mm的细微裂缝,常采用表面封闭法,通过涂刷环氧树脂胶等材料,防止水分和有害介质侵入;裂缝宽度在0.2~0.5mm时,多使用压力注浆法,将低粘度环氧树脂浆液在压力作用下注入裂缝,填充裂缝并粘结混凝土,恢复结构整体性;而宽度大于0.5mm的裂缝,除注浆外,还需增设补强钢筋网片,提高结构承载能力。该技术有效遏制裂缝发展,保障水闸结构安全。

2.2.2 墙体加固技术

水闸墙体长期受水流冲刷、冻融循环等作用易出现强度降低、破损等问题。常用的墙体加固技术有增大截面加固法,通过新增钢筋混凝土层,增大墙体截面尺寸和配筋量,提高墙体承载能力和稳定性;外包钢加固法,在墙体四角或两侧包以型钢,通过缀板连接,使型

钢与墙体协同工作,增强墙体的抗压、抗剪性能;碳纤维布加固法,利用碳纤维布的高强度特性,将其粘贴于墙体表面,约束墙体变形,提升墙体的抗震和抗裂能力。

2.2.3 闸室加固技术

闸室作为水闸核心部分,其加固需综合考虑整体受力。针对闸室底板沉降或开裂问题,可采用锚杆静压桩技术,在底板上开凿压桩孔,利用锚杆将压桩架与底板固定,通过千斤顶将预制桩段压入地基,提高地基承载力,调整不均匀沉降;对于闸室上部结构,可采用体外预应力加固法,通过设置体外预应力束,对闸室施加反向荷载,抵消部分原有荷载,降低结构内力,增强结构刚度;当闸室整体稳定性不足时,可增设扶壁柱或支撑体系,增强闸室的抗倾覆和抗滑动能力,确保闸室在复杂工况下安全运行。

2.3 闸门及启闭设施加固技术

2.3.1 闸门更换与维修

水闸闸门长期受水流冲刷、腐蚀以及机械磨损,易出现变形、漏水、锈蚀等问题。维修时,先对闸门进行全面检查,评估损坏程度。对于轻微锈蚀,采用喷砂除锈后涂刷防腐涂料;若闸门局部变形,通过机械校正或火焰矫正恢复形状。当闸门损坏严重时,则需进行更换。更换前,精确测量闸门尺寸,定制符合设计标准的新闸门。安装过程中,严格控制闸门与闸槽的配合间隙,确保止水装置安装紧密,调试闸门运行状态,保证其在启闭过程中平稳顺畅,有效发挥挡水、泄水功能。

2.3.2 启闭设施更新与维护

启闭设施是控制闸门升降的核心设备,常见故障包括机械传动部件磨损、电气控制系统失灵等。维护时,定期对启闭机的齿轮、轴承等传动部件加注润滑油,检查钢丝绳磨损情况,及时更换磨损严重的部件。对于电气控制系统,检测线路绝缘性能,清理电气元件,确保控制信号传输准确。当启闭设施老化严重,无法满足运行要求时,需进行更新。选用新型高效、自动化程度高的启闭设备,更新过程中,严格按照设备安装规范进行施工,完成后进行空载、负载调试,保证启闭设施运行可靠,实现闸门启闭操作的安全、高效、智能化。

2.4 防渗与排水设施加固技术

2.4.1 防渗设施加固

水闸防渗设施长期受地下水侵蚀、渗透压力作用,易出现裂缝、渗漏通道等问题,威胁水闸安全。对于堤身防渗,常采用垂直防渗墙技术,利用开槽机、深层搅拌机械等设备,在堤身内构建连续的防渗墙体,如塑

性混凝土防渗墙、水泥土搅拌防渗墙,阻断渗水路径。针对闸基防渗,高压喷射灌浆法可形成防渗帷幕,或采用黏土铺盖与混凝土防渗板结合的方式,增强闸基防渗能力。

2.4.2 排水设施加固

水闸排水设施因泥沙淤积、结构损坏等,易导致排水不畅,影响水闸正常运行。对于排水沟渠,需定期进行清淤疏浚,清除内部淤积的泥沙、杂物,恢复排水断面,保障排水通畅。若排水沟渠出现裂缝、坍塌,可采用浆砌石或混凝土进行衬砌加固,增强其结构稳定性。对于排水孔、减压井等排水设施,当出现堵塞时,通过高压水冲洗、化学药剂溶解等方法疏通;若井管损坏,则需更换新的井管,并对周边土体进行加固处理,确保排水设施能有效降低扬压力,排除地基渗水,维持水闸结构的稳定性与安全性。

2.5 消能与防护设施加固技术

2.5.1 消力池加固

消力池长期受高速水流冲刷、气蚀及冻融循环影响,易出现底板磨损、裂缝、淘刷破坏等问题。加固时,对于轻微磨损和浅表裂缝,可采用高强抗冲耐磨混凝土进行表面修补,通过凿除破损表层、清理基层后浇筑新混凝土,并添加钢纤维或聚丙烯纤维增强抗裂性能;若底板出现严重淘刷或脱空,需先对基础进行灌浆处理,填充脱空区并提高地基承载力,再增设钢筋网片浇筑加厚底板,增强整体抗冲能力^[2]。

2.5.2 海漫与护坡加固

海漫与护坡易因水流冲刷、波浪淘刷、基础沉降等出现局部塌陷、块石松动脱落等问题。加固海漫时,对破损的干砌石或浆砌石海漫,拆除松动或损坏部分,重新铺设块石并加强勾缝处理,提高整体性;若采用混凝土海漫,可在表面喷涂防护涂层,增强抗冲耐磨性能。护坡加固方面,对于土质护坡,种植根系发达的草本植物或灌木,利用植被固土护坡;石质护坡则采用干砌石、浆砌石或混凝土预制块进行修复,增设反滤层防止渗透破坏,必要时采用格构梁护坡技术,将护坡分割成网格状,增强坡面稳定性,有效抵御水流和波浪的侵蚀作用。

3 水利工程中水闸加固施工技术的发展趋势

3.1 智能化与信息化应用

智能化与信息化成为水闸加固施工技术的重要趋势。通过物联网、大数据与人工智能技术,构建水闸智能监测系统,实时采集结构应力、渗流、位移等数据,借助算法精准预测病害风险。施工阶段运用BIM技术进

行三维建模与施工模拟,优化工序安排,实现进度、质量、安全的动态管控,推动水闸加固从传统经验驱动向数据智能驱动转变,提升施工效率与工程全生命周期管理水平。

3.2 新型材料的应用

新型材料在水闸加固中的应用日益广泛。超高性能混凝土、纳米复合材料等具备高强度、高耐久性和优异的抗渗、抗侵蚀性能,可显著延长水闸使用寿命;环保型材料如水性涂料、生物降解止水带,降低施工对生态环境的影响;智能材料如自修复混凝土、形状记忆合金,能自动感知损伤并修复,为水闸结构安全提供更可靠保障,引领材料应用向绿色、智能方向发展。

3.3 绿色与可持续发展

绿色可持续发展理念深度融入水闸加固技术。施工过程中推广节能设备与工艺,减少碳排放;采用生态友好型加固方案,如生态护坡、透水材料应用,保护水生态系统;注重水资源综合利用,结合水闸功能开发清洁能源、生态旅游等。同时,强调加固材料的循环利用,降低资源消耗,实现水利工程与自然环境的和谐共生,推动行业可持续发展。

3.4 加固技术创新与多元化

水闸加固技术呈现创新与多元化趋势。一方面,非开挖技术、3D打印混凝土等新兴工艺不断涌现,减少施工对周边环境的干扰;另一方面,组合加固技术广泛应用,将传统方法与新型材料、工艺结合,针对复杂病害制定个性化方案。此外,跨学科技术融合加速,如仿生学原理应用于结构设计,为水闸加固技术突破提供新思路,满足工程复杂需求^[3]。

结束语

综上所述,水利工程中水闸加固施工技术的应用涵盖施工前准备、地基、结构、闸门设施等多方面。通过科学的准备工作与多元化加固技术实施,有效提升了水闸安全性与稳定性。同时,智能化与信息化、新型材料应用、绿色可持续发展以及技术创新多元化等趋势,为水闸加固注入新活力。

参考文献

- [1]黄平旦.关于水利工程中水闸加固施工技术的应用分析[J].低碳世界,2021,9(08):184-185.
- [2]胡磊.水利工程中水闸加固施工技术的应用分析探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2022,23(06):170-172
- [3]李波.水闸施工技术在水利水电工程中的运用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(20):214-216.