

水利水电工程中的水闸施工技术及管理措施

孔柯皓

(亳州市茨淮新河闸闸枢纽管理所, 安徽 亳州 236800)

摘要 水闸作为水利水电工程的核心构筑物, 其施工质量与运维效能直接决定工程安全运行与使用寿命。本文以水闸施工技术及全过程管理、运维优化为研究对象, 深入分析水闸地基防渗、主体结构施工核心技术, 探究施工质量、安全、进度成本全流程管理要点, 提出针对性的运维监测、设备优化方法, 旨在为区域水闸工程标准化建设、精细化运维提供参考, 保障水闸防洪排涝、水资源调配等核心功能稳定发挥。

关键词 水利水电工程; 水闸施工; 全流程管理

中图分类号: TV66

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.18.031

0 引言

水闸作为水利基础设施体系的核心构成单元, 是实现水资源精准调控与水安全保障的关键水工建筑物, 是衔接水资源开发利用与生态环境保护的关键节点, 对区域防洪安全、水资源高效利用及经济社会可持续发展具有重要意义。随着水利工程建设标准不断提升, 水闸施工与运维的技术性、精细化要求持续提高, 渗透系数与启闭力作为水闸施工与运维的核心指标, 其精准控制与科学管控尤为重要。

1 水闸地基处理与防渗施工技术

1.1 地基渗透稳定性控制技术

地基渗透稳定性是水闸安全运行的基础, 其核心在于通过合理的施工技术控制土体渗透系数, 防范渗透变形、管涌等病害发生。渗透系数作为衡量土体透水能力的关键指标, 其计算公式为:

$$K = \frac{k\rho g}{\eta} \quad (1)$$

式(1)中: K 为孔隙介质的渗透率(仅与固体骨架性质相关); k 为渗透系数; η 为动力黏滞性系数; ρ 为流体密度; g 为重力加速度。

该公式明确了渗透系数与土体结构、流体性质的内在关联, 为地基处理方案设计提供了理论依据。

在水闸地基处理中, 需根据地质勘察获取的不同土层渗透系数数据, 针对性选择施工技术。对于强透水的粗砂砾石层(渗透系数 > 10 m/昼夜), 通常采用换填法、振动压实法或深层搅拌法, 通过置换弱透水材料、压实土体孔隙等方式降低渗透率, 而针对不透水的黏土层(渗透系数 < 0.001 m/昼夜), 则重点关注施工

扰动对土体结构的破坏, 避免因开挖、填筑导致渗透系数异常升高^[1]。在施工过程中, 需通过现场渗透试验实时监测土体渗透系数变化, 对照公式计算结果验证处理效果, 确保地基抗渗能力满足设计要求。例如: 某水闸工程地基为亚砂土与黏土层互层, 通过高压喷射注浆法形成连续防渗帷幕, 将地基综合渗透系数控制在 0.005 m/昼夜以内, 有效防范了渗透变形风险。

1.2 防渗排水系统施工技术

防渗排水系统是水闸工程抵御渗流侵蚀、保障结构长期稳定的核心屏障, 直接关系到水闸地基安全与运行寿命, 更是水闸施工中兼具技术性与专业性的关键环节, 其施工质量的优劣直接决定了地基渗透压力的控制效果, 进而影响整个水闸工程的安全运行。

结合区域水闸工程多分布于河网密布、地下水位较高区域的实际特点, 防渗排水系统施工需坚持“防渗为主、排水为辅、协同发力”的原则, 紧密结合地基渗透系数计算结果, 精准把控每一道施工工序, 确保系统既能有效阻断渗流通道, 又能及时排出渗透水体, 降低渗透压力, 防范管涌、流土等渗透病害的发生。在具体施工过程中, 需重点围绕防渗体施工、排水系统布设及各环节衔接管控展开, 兼顾施工工艺的规范性与实操性, 实现防渗排水系统功能的最大化发挥, 为水闸工程安全运行筑牢防渗防线。

2 水闸主体结构施工技术

2.1 闸室结构施工技术

闸室是水闸的核心受力结构, 其施工精度与质量直接影响闸门运行、水流控制及结构安全。闸室结构

作者简介: 孔柯皓(1993-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 水利水电工程。

通常由底板、闸墩、胸墙等部分组成,施工过程需遵循“分层浇筑、分段施工、精准控制”的原则,同时结合启闭力计算优化结构受力设计。启闭力作为闸门运行的关键参数,其计算公式为:

$$\text{启门力: } F_{\text{启}} = n \cdot (F + W_1 + W_2) \quad (2)$$

$$\text{闭门力: } F_{\text{闭}} = n \cdot (F - W_1 - W_2) \quad (3)$$

式(2)、(3)中: F 为水压产生的阻力; W_1 为门体自重; W_2 为附加荷载, n 为安全系数。该公式为闸室结构受力分析、启闭设备选型提供了核心依据。

在底板施工中,需先完成地基处理与垫层铺设,通过测量放样精准控制底板高程与平面位置,采用分层浇筑工艺避免混凝土裂缝产生,同时预留止水带、钢筋预埋件等构件,保障与上部结构的连接可靠性^[2]。闸墩施工需重点控制垂直度与平整度,采用模板支护、钢筋绑扎、混凝土浇筑一体化施工流程,结合启闭力计算结果优化闸墩截面尺寸与配筋设计,确保其能承受闸门启闭过程中的动荷载与水压力。与此同时,胸墙施工则应与闸墩、闸门紧密衔接,严格控制结构尺寸偏差,避免因变形导致闸门密封失效,施工过程中还要通过应力监测、变形观测等手段,实时验证结构受力状态是否符合启闭力计算模型,及时调整施工参数。

2.2 闸门与启闭设备安装技术

闸门与启闭设备是水闸实现水流控制的核心功能部件,其安装精度直接决定启闭力的有效传递与运行安全^[3]。在设备选型阶段,需根据公式计算的最大启门力与闭门力,结合运行工况选择合适的启闭机类型(如卷扬式、液压式),同时预留足够的安全余量,避免因荷载波动导致设备过载。

在安装过程中,首先需完成闸门预埋件的精准布设,包括吊耳、导轨、止水座等构件,确保其位置偏差符合规范要求,为启闭力的均匀传递奠定基础。与此同时,闸门安装需重点控制止水密封性能与平面度,通过调整门叶位置、紧固螺栓等方式,使止水橡皮与闸框紧密贴合,降低水流渗漏对启闭力的影响。启闭机安装需与闸门吊点精准对齐,通过试吊装验证启闭力传递路径的合理性,避免因偏心荷载导致设备磨损或结构变形。在调试运行阶段,应按照公式计算的启门力与闭门力,逐步加载测试设备运行状态,记录不同水位下的实际启闭力数据,与理论计算值对比分析,优化设备参数设置。例如:某船闸工程液压启闭机安装调试中,通过对比实际启闭力与公式计算结果,调整液压系统压力,将启门力误差控制在5%以内,保障了闸门的高效、安全运行。

3 水闸施工全过程管理措施

3.1 施工质量管理措施

水闸施工质量是工程安全运行的核心前提,其管理工作贯穿施工全流程,直接决定工程结构耐久性、防渗性能及启闭可靠性,更是规避施工隐患、保障工程长效发挥功能的关键抓手。不同于普通工程,水闸施工涉及地基处理、混凝土浇筑、设备安装等多个技术环节,任何工序出现质量问题,都可能引发渗透破坏、结构开裂等重大隐患,因此必须构建科学完善的质量管理体系^[4]。事前管控需筑牢基础,组织技术团队深入研读设计图纸,明确渗透系数控制标准、启闭力设计阈值等核心指标,结合区域水闸工程地质特点,编制针对性施工方案与质量管控细则,同时开展全员技术交底与专业培训,确保施工人员熟练掌握各工序质量要求。其次,事中管控需精准发力,聚焦关键工序开展常态化监测,在防渗施工中实时检测土体渗透系数,对照计算模型验证施工效果。而在启闭设备安装中,则要精准把控预埋件位置与设备安装精度,确保启闭力传递顺畅。最后,事后管控需闭环落实,严格按照规范开展分部、分项工程验收,对渗透系数、启闭力等核心参数进行专项检测,建立完整的质量验收台账,对不合格工序坚决返工整改,确保每一道施工环节都符合设计标准,全方位保障水闸施工质量。

3.2 施工安全管理措施

水闸施工多涉及深基坑开挖、高空作业、大型设备吊装及水下作业的特点,施工安全管理需坚守“安全第一、预防为主、综合治理”的原则,聚焦高风险环节,构建全流程风险防控体系,杜绝安全事故发生^[5]。安全管理的核心在于提前预判风险、及时排查隐患,相较于其他工程,水闸施工受地质条件、水文环境影响较大,深基坑坍塌、高处坠落、设备过载等安全隐患发生率更高,必须强化全环节安全管控。一方面在于风险辨识与防控需前置,组织专业人员对施工全过程进行全面风险评估,重点识别深基坑开挖、启闭机吊装、临时用电等环节的安全隐患,结合启闭力计算结果预判设备运行风险,制定针对性防控措施,划分安全作业区域,设置明显警示标识。另一方面是隐患排查与应急处置需常态化,建立每日巡查、每周排查、每月复盘的隐患排查机制,安排专人对施工现场支护结构、起重设备、电气系统、防渗排水设施等进行全面检查,及时整改违规操作与设备隐患,同时也要完善应急处置体系,编制深基坑坍塌、渗流失控、设备故障等突

发事件的应急预案,配备充足应急物资与救援队伍,定期开展应急演练,提升施工人员应急处置能力,确保一旦发生安全隐患,能够快速响应、科学处置,保障施工人员的生命安全与工程建设顺利推进。

3.3 施工进度与成本管理措施

水闸施工进度与成本管理是平衡工程建设效益与施工质量的关键,既要确保工程按期交付,又要实现成本优化管控,避免工期延误与成本浪费,为工程建设创造良好的经济效益与社会效益。不同于一般建筑工程,水闸施工受季节、水文条件影响显著,汛期、雨季等特殊时段会直接影响施工进度,同时防渗材料、启闭设备等核心物资的采购与使用也会直接影响工程成本,因此需采取精细化管控措施。在进度管理方面,结合水闸施工工艺与工程特点,编制详细的施工进度计划,将地基处理、主体结构、设备安装等环节分解为具体工序,明确各工序的时间节点、施工流程与逻辑关系,预留充足的缓冲时间应对天气变化、地质异常等不确定因素。在成本管理方面,坚持“精准核算、优化配置、节约高效”的原则,事前精准核算工程成本,结合渗透系数与启闭力计算优化施工方案,避免过度设计导致的成本浪费,而在施工过程中则要严格控制材料损耗、机械台班与人工成本,重点管控防渗材料、混凝土、启闭设备等核心物资的采购与使用,推行限额领料制度,提高资源利用效率。

4 水闸运维管理与技术优化

4.1 运维阶段渗透性能监测与维护

渗透性能是水闸运维阶段需重点管控的核心指标,直接关系到水闸地基与结构安全,其监测与维护工作的规范性、科学性,是防范渗透病害、延长工程使用寿命的关键。在水闸运行过程中,地基土体、防渗设施会受水流冲刷、环境侵蚀等因素影响,导致渗透系数发生变化,若未及时监测处置,易引发管涌、流土等隐患,必须建立常态化的渗透性能监测与维护体系。运维单位需采用“人工巡检+智能监测”双模式,每月开展 1 次人工渗透试验,每季度利用自动化监测设备采集渗透数据,对照渗透系数计算公式精准分析变化趋势,将地基综合渗透系数控制在 $0.001 \sim 0.005 \text{ m/昼夜}$ 的设计范围内。与此同时,重点维护防渗帷幕、止水带、反滤层等设施,对出现裂缝的防渗帷幕及时采用高压补浆修复,修复后渗透系数可恢复至设计值的 95% 以上,针对老化止水带进行更换,确保止水合格率达 98% 以上。

4.2 启闭设备运维与性能优化

启闭设备作为水闸实现水流控制的核心部件,其运维质量直接决定水闸运行效率与安全,科学的运维与性能优化,能有效降低设备故障发生率,延长设备使用寿命。运维单位需以启闭力计算公式为核心依据,常态化开展启闭设备运维工作,每月对启闭机的液压系统、钢丝绳、轴承等核心部件进行全面检查,重点检测钢丝绳磨损程度,确保其断丝数量不超过规范限值的 3%,磨损量不超过直径的 5%。针对启闭机轴承,采用“立体填充式润滑保护”技术,实现润滑覆盖率达 100%,有效延缓轴承腐蚀老化,降低故障发生率。运维单位还要每季度开展 1 次启闭力专项测试,记录不同水位下的实际启门力与闭门力,确保与设计值的误差控制在 $\pm 3\%$ 以内,若出现过载或启闭力不足问题,要及时调整液压系统压力或优化门体配重。同时,定期对闸门止水密封件进行检查更换,采用氟橡胶材质密封件,使其在 $-30 \sim 80^\circ\text{C}$ 环境下稳定工作,使用寿命延长至 8 年以上,减少水流渗漏对启闭力的影响。

5 结束语

水闸施工技术的科学性、全过程管理的规范性及运维优化的合理性,是保障水闸工程安全稳定运行、延长使用寿命的关键。本文系统梳理了水闸施工质量、安全、进度成本管理要点,深入阐述了运维阶段渗透性能监测、启闭设备优化的核心措施,完善了水闸施工与运维管理体系。未来还需结合水利工程智能化发展趋势,进一步优化施工与运维技术,引入数字化、智能化监测手段,实现水闸全生命周期精准管控,持续提升工程运行效能,为区域水利事业高质量发展提供更坚实的保障。

参考文献:

- [1] 王天雄. 水利水电工程防渗施工技术研究[J]. 科技与创新, 2026(05):104-106.
- [2] 陈雯, 涂文斌, 包阳. 水利工程中的水闸加固施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2026(06):217-219.
- [3] 孙圆圆. 水利水电工程基础处理施工技术关键点[J]. 工程建设与设计, 2026(03):192-195.
- [4] 卢宇江. 水利水电工程施工技术管理水平的提升路径[J]. 工程建设与设计, 2026(03):219-221.
- [5] 李渊. 水利工程中水闸施工技术的应用与管理措施研究[J]. 价值工程, 2024, 43(27):30-32.