

水闸施工技术在水利水电工程中的应用

张健君

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：水闸是水利水电工程中承担水位调控、流量调度核心功能的关键构筑物，其施工质量直接决定工程整体运行安全与服役寿命。本文系统梳理水闸专属施工技术的工程应用优势，围绕地基处理、土方开挖回填、主体混凝土结构施工三大核心工序拆解关键技术应用路径，从前期技术准备、过程精度管控、防渗止水专项管控、成品养护与验收四个维度构建全流程质量控制体系，可为同类水闸工程的标准化施工与质量管控提供实操性技术参考，助力水闸构筑物长期稳定发挥防洪、供水、灌溉等核心功能。

关键词：水利水电工程；水闸施工；核心技术；质量控制；应用

引言：水闸作为水利水电工程的核心调控构筑物，长期处于水位周期性变动、水流高速冲刷、地基高渗透的复杂工况中，其施工管控难度远高于普通民用建筑结构。当前部分水闸工程施工仍存在地基处理不到位、精度管控不严、防渗体系失效等问题，易引发不均匀沉降、渗漏等后期病害。在此背景下，系统梳理水闸核心施工技术的应用逻辑，建立覆盖全工序的标准化质量控制体系，对保障水闸工程实体质量、降低全生命周期运维成本具有重要的工程实践意义。

1 水闸施工技术的应用优势

水闸专属施工技术是长期适配水工特殊作业环境形成的专业化工艺体系，针对性解决了水环境下结构施工的各类技术难点，工程适配性与现场实用性极强。（1）该技术体系可全面适配河道、库区等临水复杂作业场地，以及软土地基、高渗透性地层等特殊地质条件，通过配套的换填加固、注浆固结等地基专项处理工艺，有效改善地基承载性能与抗渗能力，规避地层不均匀沉降引发的结构变形、错位等问题，大幅提升水闸基础与主体结构的整体长期稳定性。（2）水闸施工技术的工序衔接逻辑科学紧凑，可实现土方开挖、地基加固、主体结构浇筑、防渗止水处理的一体化有序推进，各工序间设置标准化交接验收节点，有效压缩非必要作业间隔，缩短整体施工周期，减少工序衔接漏洞带来的隐性质量隐患，显著提升现场施工效率，降低临水作业窗口的水文风险。（3）体系内标准化的水工专项施工工艺，可针对性优化混凝土配合比设计与作业流程，强化结构的抗渗、抗冻、抗冲刷性能，降低水闸长期受水流浸泡、高速冲刷、水位周期性变动及冻融循环产生的结构损耗，有效延长构筑物的设计服役寿命，减少全生命周期内的

运维修缮投入。（4）该技术配套的全流程精细化管控模式，可对结构轮廓尺寸、混凝土浇筑密实度、止水系统密封性能等核心指标实现多频次动态复测与精准把控，所有关键工序设置旁站管控节点，保障水闸成型后的整体质量，完全满足水工构筑物长期安全稳定运行的各项性能要求^[1]。

2 水利水电工程中水闸核心施工技术应用

2.1 地基施工技术

地基是水闸整体荷载的主要承载结构，地基施工质量是决定水闸沉降稳定性与结构安全性的根本因素，也是水闸施工的首要关键工序。（1）水闸施工场地多临水域分布，普遍存在土层疏松、含水率高、承载力偏低、地层渗透性强等地质特征，天然地基无法满足水闸承载与防渗要求，必须通过专项施工技术进行加固处理。（2）施工阶段需先完成全面的场地地质勘测，精准掌握土层分布、土体含水率、地基承载力、地下水分布等基础参数，以此为依据制定适配的地基处理方案。（3）针对软土地基，主要采用换填垫层、分层夯实、挤密加固等工艺，清除表层软弱淤土，选用高强度、稳定性好的透水或密实填料分层铺设压实，有效提升地基整体承载力与土体密实度。（4）针对透水地层，采用垫层防渗、注浆固结等技术，封堵土体内部孔隙，阻断地下水渗透通道，避免地基土体长期被水浸泡出现软化、沉降、不均匀变形等问题。地基施工全程严格管控分层厚度、夯实频次、固结强度，施工完成后对地基承载力、密实度、防渗性能进行全面检测，确保各项指标满足水闸结构设计标准^[2]。

2.2 土方开挖与回填施工技术

土方开挖与回填是水闸主体结构施工的前置基础工序,施工质量直接影响基坑长期稳定性与后续主体结构的施工精度。基坑施工作业启动前,需依据正式施工图纸与现场布设的一级测量控制网完成精准放线,精准划定基坑开挖边线、开挖深度与边坡坡度,同步设置多层高程控制桩,从源头规避超挖、欠挖、边坡尺寸偏差等前期定位问题。(1) 基坑开挖严格遵循分层、分段、对称开挖的作业原则,结合现场实测土质条件与临时荷载参数合理调整边坡坡度,按设计要求同步施作边坡挂网喷锚等防护措施,防止边坡土体松动、坍塌。对于深度超过5米的深基坑结构,同步配套布设坡面位移监测点与基坑集水井排水系统,及时抽排坑内积水,避免积水长时间浸泡坑底土体,破坏基底原生土层结构,全程保障基坑整体干燥、稳固。开挖至接近设计基底标高时预留20厘米人工清底层,最终清底完成后及时平整坑底,彻底清理浮土、杂物、松散土体,保证基底平整度与土体密实度符合设计要求。(2) 主体结构混凝土强度达到设计强度的75%以上后,方可启动土方回填作业。回填施工前需通过土工试验筛选粒径、含水率达标、杂质含量低的优质填料,严禁使用淤泥、腐殖土、有机质含量超标的不合格填料。回填过程严格执行分层摊铺、分层压实的标准化流程,逐层检测土体压实度,确保回填土体均匀密实,有效规避后期土体不均匀沉降引发的水闸结构开裂、位移、倾斜等质量问题,保障水闸周边回填土体的整体长期稳定性。

2.3 主体混凝土结构施工技术

钢筋混凝土是水闸闸底板、闸墩、胸墙等主体构件的核心用材,混凝土施工技术直接决定水闸结构强度、整体性与防渗性能,是水闸施工的核心工序。(1) 混凝土施工涵盖配合比设计、模板钢筋布设、浇筑振捣、结构养护、接缝止水处理等多个关键环节。(2) 在配合比设计阶段,结合水工结构长期浸水、受冲刷的工况特点,优化水泥、砂石、外加剂的配比参数,提升混凝土的抗压、抗渗、抗冻及抗冲刷性能,适配水环境施工与运行需求。浇筑施工前,全面检查模板的平整度、密封性、稳固性以及钢筋间距、保护层厚度、绑扎质量,整改各类隐患后方可开展浇筑作业。(3) 浇筑过程采用分层连续浇筑工艺,合理控制浇筑速度与单层浇筑厚度,杜绝施工冷缝、蜂窝、麻面、空洞等结构缺陷。同时配

套机械振捣作业,均匀排出混凝土内部气泡,保障结构整体密实度。(4) 针对闸墩、异形墙体等复杂结构,采用分段分层浇筑方式,保障构件成型精度。浇筑完成后及时开展标准化养护作业,根据环境温度、湿度调整养护方式与养护周期,防止混凝土失水干裂、强度增长不足。此外,重点做好施工缝、变形缝的止水处理,规范安装止水带、填充密封防水材料,强化结构接缝位置的防渗能力,杜绝接缝渗漏问题^[3]。

3 水闸施工质量控制要点

3.1 施工前期技术准备控制

完善的前期技术准备是规避施工偏差、保障水闸整体施工质量的核心前置基础。正式施工作业启动前,项目技术人员需完成全套施工图纸、结构设计参数与现行《水闸施工规范》等行业标准的系统性核验,结合现场实际地质勘探报告、近期水文实测数据与场地作业边界条件,针对性细化各分项工程的专项作业指导书,明确各工序的量化施工参数、过程管控阈值与可落地的质量验收标准,同步完成施工安全专项方案的编制与报审。同步落实核心原材料与施工机具的前置管控,对钢筋、止水带、砂石骨料、水泥等关键物料按规范要求的批次比例开展抽样性能检测,所有指标完全符合设计与规范要求后方可进场入库。对土方开挖设备、混凝土振捣机具、工程测量仪器、地基压实设备等各类施工机具完成全性能试运转调试与计量校准,留存设备校验记录,确保设备全程运行稳定、测量与检测数据精准可追溯。在此基础上完成管理层、技术层、作业层三级全覆盖的技术交底,明确各岗位的施工操作规范、核心技术管控要点与质量责任边界,配套开展交底内容考核,确保一线作业人员熟练掌握对应工序的施工标准,从源头阻断人为操作失误引发的各类质量隐患^[4]。

3.2 施工过程精度控制

水闸各构件的轮廓尺寸、轴线位置、设备安装精度直接决定水闸启闭运行的顺畅度与止水密封效果,覆盖全工序的动态精度管控是水闸施工质量控制的核心环节。施工全程依托经计量校准的专业测量设备开展多频次动态复测,对基坑开挖轮廓尺寸、主体结构主轴线、各部位标高参数、模板安装定位精度、钢筋布设间距与保护层厚度等关键指标开展交叉核验,发现偏差第一时间完成调整修正,保证各部位施工尺寸完全符合设计允许误差范围。混凝土浇筑作业阶段,安

排专人实时监测模板体系的受力形变与位移数据,根据监测结果动态加固模板支撑体系,避免浇筑过程中模板偏移、变形引发的构件尺寸超标问题。针对闸孔门槽、闸门轨道、止水系统等高精度要求的特殊部位,制定专项精细化管控方案,精准把控安装定位与混凝土浇筑的全过程精度,保障后续闸门启闭运行顺畅、闭合状态下止水密封性能达标。同步严格执行工序验收流转制度,上一工序精度核验不合格不得进入下一环节,杜绝简化工序、违规操作等行为,确保全流程各节点施工精度全部满足规范要求。

3.3 防渗与止水施工质量控制

防渗、止水性能是评判水闸施工质量的核心指标,直接关系水闸长期运行的安全性与耐久性,渗漏病害会逐步引发地基渗透掏空、结构不均匀沉降、闸体墙体剥蚀破损等一系列连锁安全隐患。施工过程需重点把控地基防渗、结构接缝止水、闸体本体防渗三大核心管控环节,构建完整的全维度防渗止水体系。地基防渗施工阶段,严格把控防渗垫层铺设、高压喷射注浆固结等工序的作业质量,全程跟踪核验防渗层的连续性与完整性,确保防渗结构无破损、无空隙,形成封闭连续的地基防渗屏障,阻断基底渗透路径。结构接缝作业时,按规范要求精准固定橡胶止水带、金属止水带,保证止水带安装位置完全符合设计要求,无扭曲、无偏移,混凝土浇筑过程中对接缝周边区域实施精细化振捣作业,确保止水构件与周边混凝土结构紧密结合,避免止水带周边形成空隙缺陷。闸体混凝土施工阶段,通过优化抗渗配合比设计、规范分层浇筑工艺,减少混凝土内部孔隙与早期细微裂缝,提升结构本体的抗渗等级。施工完成后及时开展闸体表面缺陷排查,对发现的细微裂缝、蜂窝麻面等问题按专项方案完成修补,从源头彻底消除各类渗漏隐患。

3.4 成品养护与验收管控

成品养护与分阶段验收管控是保障水闸结构强度稳定、整体施工质量达标的重要闭环环节。混凝土结构浇筑完成并完成最终收面作业后,结合现场实时监测的气温、湿度、风速等环境参数制定适配性专项养护方案,常温作业条件下按固定频次开展持续洒水保湿养护,低温作业环境下落实全覆盖保温防冻防护措施,严格执

行不同强度等级混凝土的最低养护时长要求,保障水泥水化反应充分推进,促进混凝土强度按设计路径稳步增长,避免结构出现干缩裂缝、表层起砂、早期强度不足等质量问题。养护全时段划定作业警戒区域,严禁重型设备通行碾压、外力直接撞击或其他扰动成品结构的违规作业,保障构筑物成型后的完整性。各分项工序施工完成后,第一时间启动阶段性质量验收流程,对地基密实度、地基承载力、实体混凝土强度、结构轮廓尺寸、防渗止水效果等关键指标开展专项检测,对排查发现的各类质量缺陷制定专项整改方案闭环处置,确认分项工程全部达标后方可推进后续工序施工。整体工程完工后,按现行水利工程验收规范开展全面竣工验收,系统核查水闸全部位的结构性能与实体施工质量,确保工程各项指标完全满足长期安全运行的要求^[5]。

结束语

综上,水闸施工技术体系是适配水工特殊作业环境形成的专业化工艺集合,其核心管控逻辑贯穿从地基处理到竣工验收的全作业周期。只有将精细化管控要求落实到每一道工序节点,才能从源头规避沉降、渗漏等常见质量病害,保障水闸结构的稳定性与耐久性。未来随着水利工程建设标准持续提升,水闸施工管控体系还可结合数字化动态监测技术进一步优化,全面提升管控精准度,为水利水电工程长期安全稳定运行筑牢坚实的实体支撑。

参考文献

- [1] 朱修理. 浅析水闸施工技术在农村水利水电工程中的应用——以渠系水闸建设为例 [J]. 江西农业,2026,(10):126-128.
- [2] 高聚峰. 水利水电工程中的水闸施工技术研究 [J/OL]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026,(4):048-051
- [3] 柯善铁. 水闸施工技术在水利水电工程中的应用研究 [J]. 水上安全,2025,(21):158-160.
- [4] 刘群. 水闸施工技术在水利水电工程中的应用研究 [J/OL]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025,(3):163-166
- [5] 孙兴龙. 农田水利水电工程中水闸施工技术应用研究 [J]. 江西农业,2025,(6):142-144.