

Research on Key Technologies for Quality Control in Water Conservancy Engineering Construction

Bo Gao¹ Panpan Shan^{2*} Chengfeng Li³ Xiaotong Zhang⁴

1. Woda Construction Group Co., Ltd., Dongying, Shandong, China, 271000, China

2. Guangrao Hengze Real Estate Development Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257091, China

3. Shandong Zhaocaitong Project Management Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

4. Dongying Xiangtai Human Resources Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257091, China

Abstract

The quality and safety of water conservancy projects are related to national economy, people's livelihood, and ecological protection. The construction phase is the core link of quality control. With the iterative upgrading of engineering construction technology, the quality control mode is shifting from passive rectification to active prevention. This article focuses on the core requirements of quality control in water conservancy engineering construction, focusing on the four core construction processes of foundation engineering, concrete engineering, earthwork engineering, metal structure and mechanical and electrical equipment installation. Combined with construction process monitoring and detection technology, the key quality control technical points of each link are systematically studied. By clarifying technical standards and optimizing control processes, we provide technical support for improving the quality of water conservancy engineering construction, promoting the development of water conservancy engineering construction towards precision and intelligent control, and ensuring the long-term stable operation of the project.

Keywords

Water conservancy engineering; Construction quality; Key technology

水利工程施工质量控制关键技术研究

高波¹ 山盼盼^{2*} 李成峰³ 张晓彤⁴

1. 沃达建设集团有限公司, 中国·山东 东营 271000

2. 广饶恒泽房地产开发有限责任公司, 中国·山东 东营 257091

3. 山东招采通项目管理有限公司, 中国·山东 东营 257000

4. 东营市祥泰人力资源有限公司, 中国·山东 东营 257091

摘要

水利工程的质量安全关乎国计民生与生态保护, 施工阶段是质量管控的核心环节。随着工程建设技术的迭代升级, 质量控制模式正从被动整改向主动预防转变。本文聚焦水利工程施工质量控制核心需求, 围绕基础工程、混凝土工程、土石方工程、金属结构与机电设备安装四大核心施工环节, 结合施工过程监测与检测技术, 系统研究各环节关键质量控制技术要点。通过明确技术标准、优化管控流程, 为水利工程施工质量提升提供技术支撑, 推动水利工程建设向精准化、智能化管控方向发展, 保障工程长期稳定运行。

关键词

水利工程; 施工质量; 关键技术

1 引言

水利工程作为保障国家水安全、支撑农业生产与能源供应的核心基础设施, 其施工质量直接决定工程运行稳定性与使用寿命。当前, 中国水利工程建设规模不断扩大, 施工

环境日趋复杂, 地质条件多变、气候差异显著等因素对质量控制提出更高要求。传统质量管控手段存在精准度不足、响应滞后等问题, 易引发渗漏、结构变形等隐患。因此, 系统梳理并深化施工质量控制关键技术, 构建全流程管控体系, 成为提升水利工程建设质量、保障工程安全运行的迫切需求, 具有重要的现实意义。

2 基础工程施工质量控制关键技术

2.1 地基处理质量控制技术

地基处理质量控制需聚焦核心技术的全流程管控。换

【作者简介】高波(1984—), 男, 中国山东东营人, 本科, 高级工程师, 从事水利工程施工研究。

【通讯作者】山盼盼(1986—), 女, 中国山东东营人, 本科, 从事建筑工程管理、项目管理研究。

填垫层法质量控制以材料筛选、工艺把控、成果检测为核心，优先选用级配良好的砂石或灰土填料，严格剔除杂质与易风化物料；摊铺厚度按填料特性控制在 20-30cm，采用重型压路机分层碾压，碾压参数经现场试碾确定；每层施工完成后，通过环刀法、灌砂法抽样检测压实度，达标后方可开展下道工序。振冲碎石桩加固需先经试桩明确振冲功率、加密电流、留振时间等关键参数，施工中严控桩位偏差不超过 5cm，保证桩身垂直度，填料投放连续均匀避免出现断桩、缩颈缺陷；成桩后采用重型动力触探法检测桩体密实度，确保承载性能均匀稳定^[1]。高压喷射注浆需结合地质条件精准调配水泥浆液水灰比，施工中严格控制钻杆提升与旋转速度，保障喷射压力稳定在 20-40MPa，确保浆液与土体充分搅拌融合，成桩后通过钻孔取芯验证加固体强度与范围。

2.2 防渗工程质量控制技术

防渗工程质量控制需构建全链条闭环管控体系。防渗墙施工需同步把控墙体材料、成槽精度与接头处理：选用塑性或刚性混凝土适配工程抗渗需求，严格控制配合比与坍落度；成槽施工保障槽孔垂直度偏差不超过 0.3%，避免出现塌槽、缩孔问题；接头采用接头管法处理，彻底清理接头处泥皮确保密实性。土工合成材料防渗铺设前需平整压实基底、清除尖锐杂物，铺设中控制材料拉伸率，搭接宽度不小于 10cm，焊接接头经充气检测无虚焊、漏焊，铺设后及时覆盖保护层防止紫外线老化与机械损伤^[2]。灌浆防渗需按地层渗漏情况选用水泥浆或水泥-水玻璃双液浆等适配浆液，精准控制浆液配比与灌浆压力，采用分段式灌浆工艺避免地层抬动；通过压水试验、声波透射法检测灌浆密实度，确保形成连续完整的防渗帷幕，杜绝渗漏通道。

3 混凝土工程施工质量控制关键技术

3.1 混凝土配合比优化与质量控制

混凝土配合比优化与质量控制是基础前提，需结合水利工程的抗渗、抗冻、抗压等核心需求精准调控。施工前需对水泥、骨料、外加剂等原材料进行全面检测，根据材料性能确定基准配合比；针对水利工程多处于潮湿或冻融环境的特点，优化水胶比、砂率及外加剂掺量，在保证混凝土流动性的同时提升其密实度与耐久性。配合比调整需通过多次试配验证，重点控制坍落度损失速率，确保混凝土浇筑过程中工作性能稳定；施工中严格按确定的配合比计量投料，采用电子计量设备保障骨料、水泥、外加剂的计量精度，偏差控制在规范允许范围内，杜绝随意调整配合比的情况。

3.2 混凝土浇筑过程质量控制

混凝土浇筑过程质量控制需统筹把控浇筑顺序、振捣工艺与温度控制三大核心要素。浇筑顺序需遵循“分层分段、由低向高、对称推进”的原则，避免出现施工冷缝，分层厚度根据振捣器性能确定，一般不超过 50cm。振捣工艺采用插入式振捣器为主，振捣时遵循“快插慢拔、分层振捣”的要求，振捣器插入深度需穿透下层混凝土 5-10cm，振捣间

距控制在振捣器作用半径的 1.5 倍内，至混凝土表面泛浆、不再下沉、无气泡溢出为止，杜绝漏振与过振。温度控制针对大体积混凝土尤为关键，通过采用低热水泥、掺加粉煤灰等掺合料降低水化热，同时布设冷却水管、采取分层浇筑延缓升温速率，实时监测混凝土内部与表面温差，确保温差不超过 25℃，规避温度应力引发的裂缝。

3.3 混凝土养护质量控制技术

混凝土养护质量控制需把握养护时机、方式与周期的协同管控。养护时机需紧跟浇筑进程，在混凝土初凝后、终凝前及时开展，避免表面失水过快产生干缩裂缝。养护方式根据施工环境调整，常温环境采用洒水养护结合覆盖土工布、麻袋等保湿材料，确保混凝土表面持续湿润；高温或大风环境需增设遮阳、防风设施，必要时采用喷雾养护；低温环境则采取保温养护，防止混凝土受冻。养护周期需严格遵循规范要求，普通混凝土不少于 14 天，抗渗、抗冻混凝土不少于 28 天，确保混凝土强度稳步增长，形成完善的结构性能。

3.4 混凝土裂缝防控关键技术

混凝土裂缝防控关键技术需贯穿施工全流程，形成“预防为主、治理为辅”的管控体系。除优化配合比、控制浇筑温度外，还需在混凝土中合理布设钢筋，增强结构抗裂能力；施工中避免模板拆除过早，根据混凝土强度发展情况确定拆除时机，防止结构受力不均产生裂缝。针对已出现的微小裂缝，及时采用压力灌浆法灌注环氧浆液封堵；对较宽裂缝，需先凿除破损部分，采用高强修补材料回填压实，确保裂缝彻底闭合，避免渗漏隐患扩大。

4 土石方工程施工质量控制关键技术

4.1 土石方开挖质量控制

土石方开挖质量控制需聚焦开挖坡度、精度与边坡稳定监测三大核心。开挖坡度需结合地质条件与工程设计要求精准确定，松软土层或破碎岩层需采用更缓坡度，并分段开挖支护，避免陡坡开挖引发坍塌。开挖精度控制需依托测量放样技术，采用全站仪、水准仪等设备实时校准开挖轮廓，确保基坑或边坡开挖边线、高程偏差符合规范要求，杜绝超挖或欠挖。边坡稳定监测需贯穿开挖全过程，布设位移监测点与沉降观测桩，实时采集数据，当监测值接近预警阈值时，立即暂停施工并采取加固措施。

4.2 土石方填筑质量控制

土石方填筑质量控制的关键在于填料选择、分层碾压与压实度检测的协同管控。填料需优先选用级配良好、抗剪强度高的土石混合料，严禁采用淤泥、冻土等不合格填料，进场前需完成材料性能检测。填筑施工遵循“分层摊铺、分层碾压”原则，摊铺厚度根据碾压设备性能确定，一般控制在 20-50cm，采用重型压路机匀速碾压，确保碾压均匀无死角。压实度检测需按规范频率开展，采用灌砂法或环刀法抽样检测，压实度需达到设计标准，检测合格后方可进行下一

层填筑。

4.3 基坑排水与边坡防护质量控制技术

基坑排水与边坡防护是保障土石方工程施工质量的重要辅助技术。基坑排水需根据地下水情况选用集水明排或井点降水方式,确保基坑内无积水,避免土体软化引发边坡失稳。边坡防护需结合施工进度及时开展,临时边坡可采用挂网喷浆防护,永久边坡则根据地质条件采用浆砌石护坡、植草防护等方式,增强边坡抗冲刷与抗风化能力,同时做好坡脚排水设施,避免雨水浸泡侵蚀边坡^[3]。

5 金属结构与机电设备安装质量控制关键技术

5.1 金属结构制作与安装精度控制

金属结构制作与安装精度控制是质量保障的基础。制作阶段需严格把控原材料进场检测,对钢材的力学性能、化学成分进行全面核验,确保符合设计标准;加工过程中精准控制下料、焊接、机加工精度,采用数控切割、埋弧焊等精准加工工艺,减少加工误差,关键焊缝需进行无损检测,杜绝未焊透、裂纹等缺陷。安装阶段以基准线为核心开展定位,采用全站仪、激光测距仪等精密设备校准构件位置,控制安装轴线偏差、高程偏差在规范允许范围内;吊装过程中合理选用吊具与吊装方案,避免构件变形,安装完成后及时紧固连接螺栓,确保结构整体稳定性。

5.2 机电设备安装调试质量控制

机电设备安装调试质量控制需贯穿安装全流程。安装前需完成设备基础验收,核查基础尺寸、标高、预留孔洞位置的精度,清理基础表面杂物并找平;设备吊装就位后,严格按照规范要求进行找平、找正,控制设备水平度、垂直度偏差,确保设备运转部件间隙符合设计要求。调试阶段遵循“单机试运转—系统联动调试”的流程,先对水泵、发电机组等单机设备进行空载与负载试运转,监测转速、振动、温度等关键参数;联动调试重点检验设备间协同运行性能,校准控制系统、保护装置的灵敏度与可靠性,确保设备运行参数达到设计值。

5.3 设备与结构连接部位质量控制

设备与结构连接部位质量控制是规避运行隐患的关键。螺栓连接需采用扭矩扳手精准控制紧固力矩,重要部位采用双螺母锁紧或防松垫圈,防止运行中松动;焊接连接需清理接头表面油污、铁锈,选用匹配的焊接材料,控制焊接工艺参数,焊后及时进行焊缝探伤检测与应力消除处理。同时强化密封部位质量管控,对法兰连接、轴封等关键密封面进行精度打磨,选用适配的密封材料,确保密封严密,杜绝漏水、漏油等渗漏隐患,保障设备与结构连接的可靠性与密封性。

6 施工过程监测与检测关键技术

6.1 实时监测技术

实时监测技术贯穿施工全周期,聚焦变形、应力应变、

渗流三大核心监测维度。变形监测针对大坝、边坡等关键结构,采用全站仪、激光位移计等设备布设监测网点,实时追踪沉降、位移等参数,重点防控不均匀变形引发的结构开裂;应力应变监测通过在钢筋、混凝土结构内植入应变计、应力传感器,实时采集施工荷载作用下的应力分布数据,保障结构受力符合设计要求;渗流监测依托渗压计、流量计量设备,监测坝体、地基的渗流量与渗压变化,及时发现防渗体系缺陷,避免渗流淘刷引发安全隐患。

6.2 无损检测技术在质量控制中的应用

无损检测技术凭借非破坏性优势,广泛应用于水利工程质量复核。针对混凝土结构,采用超声波检测法、回弹法核查内部密实度与强度,规避蜂窝、孔洞等缺陷;对金属结构焊缝,运用超声波探伤、射线探伤技术精准识别未焊透、裂纹等隐患,确保焊接质量达标;对防渗墙、灌浆体等隐蔽工程,通过地质雷达检测其完整性与连续性。该技术可在不损伤结构本体的前提下完成质量核验,大幅提升检测效率与覆盖面,为隐蔽工程质量控制提供关键支撑。

6.3 检测数据的分析与质量预警技术

检测数据分析与质量预警技术是实现主动管控的核心。通过建立数据处理模型,对监测、检测数据进行降噪、整合与趋势分析,剔除异常数据干扰;结合工程设计标准与施工规范,设定各参数的预警阈值,构建分级预警体系。当数据趋近或超出阈值时,系统自动触发预警,同步推送至管控终端,指导施工方及时开展隐患排查与整改。该技术实现了从“被动检测”到“主动预警”的转变,保障质量控制的前瞻性与有效性。

7 结语

本文系统研究了水利工程施工质量控制五大关键技术领域,明确了各环节质量管控核心要点与技术路径。从基础工程的地基处理、防渗控制,到混凝土工程的全流程管控,再到土石方工程、金属结构与机电设备安装的精度把控,结合实时监测、无损检测与数据预警技术,构建了全方位、全周期的质量控制体系。研究成果为水利工程施工质量管控提供了科学的技术参考,可有效降低质量隐患风险。未来需持续优化技术方案,为水利工程高质量建设提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 刘东海. 水利工程施工质量控制的关键因素与优化路径[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (25): 36-38.
- [2] 杨洁榕. 水利工程质量控制关键技术研究与应用[J]. 工程建设与设计, 2025, (10): 255-257. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2025.05.284.
- [3] 徐建, 杨莉, 孙国煊. 水利工程混凝土施工质量控制技术研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(09): 181-184.