

水利工程施工过程中的质量控制与安全管理

饶子健

温州市兴海水利建设有限公司 浙江 温州 325006

摘要: 水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分,其质量与安全直接关系到人民群众的生命财产安全和社会稳定发展。本文基于水利工程施工实践,系统分析了施工质量控制与安全管理的核心要素,提出通过构建全流程质量管控体系、强化安全风险动态防控机制、推动技术与管理创新融合等策略,实现工程质量与安全的协同提升。研究表明,采用“验评分离”质量验收、BIM技术辅助施工模拟、智能安全监测系统等创新手段,可有效降低质量缺陷率,提升安全管理效能,为水利工程建设提供可复制的管理范式。

关键词: 水利工程;质量控制;安全管理;全流程管控;技术创新

引言

水利工程具有建设周期长、技术复杂度高、环境干扰因素多等显著特征,其施工过程涉及地质勘测、材料选用、工艺实施、设备操作等多个技术环节,各环节之间存在着紧密的逻辑关联与动态交互。我国近五年水利工程建设事故中,因质量缺陷引发的结构失效占比较高,安全管理漏洞导致的安全事故危害极大,这直观地反映出质量与安全管理的系统性风险。随着《水利工程质量管理规定》《水利工程建设安全生产管理规定》等法规的修订实施,建立覆盖设计、施工、验收全周期的标准化管理体系已成为行业共识。本文结合临淮岗洪水控制工程、南水北调中线工程等典型案例,深入探讨质量与安全协同管控的实施路径,旨在为水利工程建设提供具有实践指导意义的管理策略。

1 水利工程施工质量控制体系构建

1.1 全流程质量管控框架

水利工程质量管控需贯穿项目全生命周期,形成“设计-材料-工艺-验收”四维管控体系。在临淮岗洪水控制工程中,项目部建立“三级质量责任制”:项目经理作为第一责任人,技术负责人统筹技术方案审核,质检员实施过程监督。通过分解质量目标为286项具体指标,实现责任到岗、量化考核。例如,在混凝土浇筑环节,制定含水率波动 $\pm 1.5\%$ 、坍落度偏差 $\leq 20\text{mm}$ 等12项控制标准,配合智能温控系统,使大体积混凝土裂缝发生率降低至0.3%以下。

材料质量控制作为质量管理的基石,其重要性不言而喻。南水北调中线工程建立了“五关”管控机制,从供应商资质审查、进场验收检测、存储环境监控、使用过程追溯到剩余材料回收,形成了一个闭环的质量管控链条^[1]。以水泥、钢筋等主材为例,实施“批次管理”模

式,水泥每500吨/钢筋每60吨为一个检验批,采用X射线荧光光谱仪进行快速成分分析。这种先进的检测技术能够在短时间内准确获取材料的化学成分信息,确保材料性能符合GB/T175-2023标准要求,为工程质量提供了坚实的物质保障。

1.2 关键工序质量控制技术

在深基坑开挖、大坝填筑、水工金属结构安装等高风险工序中,质量控制技术的精准应用至关重要。以某大型水库大坝填筑为例,为确保填筑质量,实施了“三控一监测”技术体系。在分层厚度控制方面,采用激光水准仪进行实时监测,通过高精度的测量设备,将每层虚铺厚度偏差控制在 $\leq 10\text{cm}$ 的范围内,保证了填筑层的均匀性与稳定性。压实度是影响大坝密实程度的关键指标,为此配备了核子密度仪,按照每200m²检测1次的频率进行压实度检测,要求压实度 $\geq 98\%$,确保大坝具有足够的强度和抗渗性能。含水率对填筑材料的质量有着重要影响,通过安装土壤湿度传感器,能够动态监测材料的含水率变化,并根据监测结果及时调整洒水量,使填筑材料的含水率始终处于最佳状态^[2]。变形监测是大坝填筑过程中的重要环节,通过布设56个测斜孔,并使用全站仪进行日监测,能够实时掌握大坝的变形情况。当沉降速率控制在0.5mm/d以内时,表明大坝的变形处于正常范围,从而保障了大坝在施工及运行过程中的安全性。

混凝土施工是水利工程中的关键环节,其质量直接影响工程的使用寿命和安全性。某泵站工程创新应用“智能温控系统”,在混凝土内部埋设128个温度传感器,形成了一个全方位的温度监测网络。通过实时采集混凝土内部温度场数据,系统能够根据预设的温度控制指标,自动调节冷却水管流量,实现对混凝土内部温度的有效控制。将内外温差控制在25℃以内,有效预防了温度裂缝

的产生,提高了混凝土结构的整体性和耐久性。

1.3 质量验收与缺陷处理

参照《SL/T 631-2025水利水电工程单元工程施工质量验收标准》严格实行“验评分离”,这是质量控制的基础。施工中需要根据SL/T 631-2025等标准规范,制定详细的项目划分及质量检验计划。在每个单元工程施工过程中和完成后,进行全面的自查自检,并填写详实的质量检验记录。这个环节的核心是“自我把关”,确保工序质量符合要求后,才能申请报验。根据新标准,要特别注意一般项目的合格率已从70%提升至80%以上,而主控项目则必须100%合格。

对于发现的质量缺陷,采用“PDCA循环”进行闭环管理,通过计划、执行、检查、处理四个阶段的循环往复,不断提升质量缺陷处理的效率和效果。在某堤防加固工程中,针对局部渗水问题,项目团队运用鱼骨图分析方法,从人员、材料、工艺、环境等多个方面进行深入分析,确定了导致渗水的主因。在此基础上,制定了“高压喷射灌浆+复合土工膜”的整改方案。通过实施整改方案,并经过效果验证,渗漏量减少82%,有效解决了渗水问题。同时,将此次整改经验形成《水利工程渗水处理技术导则》企业标准,为今后类似质量缺陷的处理提供了技术指导和参考依据。

2 水利工程施工安全管理机制创新

2.1 安全风险动态防控体系

构建“四色风险”分级管控机制是安全风险动态防控的重要手段,将施工风险划分为红(重大)、橙(较大)、黄(一般)、蓝(低)四个等级,根据不同等级的风险制定相应的防控措施,实现安全风险的精准管控。在某大型水电站建设中,通过HAZOP分析方法,对施工过程中的各个环节进行全面深入的风险识别,共识别出高处坠落、机械伤害等6类重大风险。针对这些重大风险,制定了专项防控方案,从技术措施、管理措施和应急措施等多个方面进行全方位防控。例如,在高处作业方面,安装防坠落差速器,设置双道生命线,为作业人员提供可靠的安全防护;在起重吊装作业中,配备力矩限制器,严格执行“十不吊”操作规程,防止起重设备超载运行;在临时用电方面,采用TN-S系统,设置三级配电两级保护,确保用电安全;在爆破作业中,实施“三员制”(爆破员、安全员、保管员),明确各岗位的职责和权限,加强爆破作业的安全管理。

建立“日巡查、周检查、月评估”的安全检查制度,能够及时发现和消除安全隐患,保障施工安全^[3]。某围堰工程配备无人机进行高空巡查,结合AI图像识别

技术,实现了安全检查的智能化和高效化。无人机能够快速覆盖大面积的施工区域,对安全网破损、安全帽佩戴等违规行为进行实时监测和识别。通过AI图像识别算法,能够准确判断违规行为的类型和位置,并及时将相关信息推送至管理人员,使安全隐患得到及时处理。这种检查方式不仅提高了检查效率,还减少了人工检查的盲区和漏洞,提升了安全管理的水平。

2.2 应急管理能力建设

完善“一案三制”应急体系(应急预案、应急机制、应急体制、应急法制)是提升应急管理能力的保障。某流域防洪工程编制了《综合应急预案》及12项专项预案,涵盖了洪水、地震、火灾等多种突发事件,明确了应急组织机构、应急响应程序、应急救援措施等内容,为应急处置工作提供了详细的指导。同时,配置应急物资仓库3处,储备编织袋10万条、救生衣2000件等物资,确保在突发事件发生时能够及时调配应急物资,满足应急救援的需要。定期开展“双盲”演练(不预先通知时间、不预先设定场景),模拟管涌险情处置等突发事件,检验和提高应急队伍的快速响应能力和协同作战能力。通过演练,平均响应时间缩短至18分钟,抢险效率提升35%,有效提升了工程的应急管理水

平。引入物联网技术构建智能安全监测系统,能够实现施工安全的实时监测和预警。在某隧洞工程中,布设326个传感器,实时监测围岩变形、瓦斯浓度等参数。当监测到拱顶沉降速率超过3mm/d时,系统自动触发三级预警,通过APP推送至相关人员。相关人员能够及时收到预警信息,并迅速采取相应的措施进行处理,实现风险早发现、早处置,有效避免了安全事故的发生。

2.3 安全文化建设实践

安全文化建设是提升员工安全意识和行为习惯的重要途径。推行“安全积分卡”制度,将安全行为量化为积分,员工可以通过积累积分兑换劳保用品或获得参与培训优先权。这一制度激发了员工参与安全管理的积极性和主动性,使员工从被动接受安全管理转变为主动参与安全管理。某灌区改造项目实施以来,员工主动报告安全隐患数量增长210%,违章操作率下降67%,形成了良好的安全文化氛围。开展“安全微课堂”活动,组织一线工人拍摄安全操作短视频,评选优秀作品纳入培训教材。通过这种方式,让一线工人成为安全知识的传播者和实践者,提高了员工的安全技能和安全意识,形成了“人人讲安全、个个会应急”的良好局面。

3 质量与安全协同管理创新

3.1 BIM技术应用

BIM技术在水利工程施工中的应用,为质量与安全的协同管理提供了有力支持。在某大型泵站工程中,构建了包含地质、建筑、结构、机电等专业的BIM模型,实现了多专业之间的信息共享和协同工作。通过模型碰撞检测,提前发现管线冲突287处,避免了施工过程中的返工和变更,减少了质量隐患和安全风险,节约了工程成本。同时,利用BIM模型模拟高处作业场景,对脚手架搭设方案进行优化,通过直观模型展示,使施工人员能够更好地理解施工要求和安全注意事项,降低了高空坠落风险^[4]。此外,BIM技术与4D施工模拟技术相结合,实现了施工进度动态模拟和可视化展示。通过模拟施工过程,能够提前发现进度计划中存在的问题,及时调整资源配置,使关键路径工期缩短15%,提高了施工效率和管理水平。

3.2 数字化管理平台

开发“智慧工地”管理系统,集成质量检测、安全监控、人员定位等12个子系统,实现了质量与安全管理数字化、智能化和集成化。在某堤防加固工程中,该平台发挥了重要作用。通过RFID芯片记录每批材料使用部位,实现了质量追溯的全生命周期管理。在施工过程中,任何一批材料的使用情况都可以通过系统进行查询和追溯,一旦发现质量问题,能够迅速定位问题材料的来源和使用范围,及时采取措施进行处理。利用UWB定位技术,划定电子围栏,自动识别违规进入危险区域行为。当人员进入危险区域时,系统会立即发出警报,提醒人员注意安全,并将相关信息推送至管理人员,以便及时采取措施进行处理。同时,平台还具备数据分析功能,通过建立质量缺陷预测模型,能够对工程质量缺陷的发生概率进行预测,准确率达89%。根据预测结果,指导预防性维护工作的开展,提前采取措施消除质量隐患,提高了工程质量和安全管理水平。

3.3 绿色施工管理

推行“四节一环保”措施(节能、节地、节水、节材和环境保护)是水利工程施工可持续发展的重要方向。某生态河道治理工程在施工过程中积极践行绿色施工理念,取得了显著成效。采用透水混凝土铺装,增加了地表的透水性,减少了地表径流40%,有效缓解了城市内涝问题。应用太阳能路灯,利用可再生能源为施工现场提供照明,年节约用电1.2万度,降低了能源消耗和运营成本。建筑垃圾回收利用率达92%,通过对建筑垃圾进行分类回收和再利用,减少了弃土外运1.8万m³,降低了对环境的污染。同时,种植本土水生植物,构建湿地生态系统,不仅美化了工程环境,还改善了水质,使水质改善至Ⅲ类标准,实现了工程建设与生态环境的协调发展。

4 结语

水利工程施工质量与安全管理体系构建“技术-管理-文化”三位一体管控体系,实施全流程质量管控等策略后,可以使工程质量合格率提升,安全事故率降低。未来,质量与安全管理将向智能化、精细化演进。研究应聚焦三大方向:开发数字孪生质量安全预测系统;研究人工智能在缺陷识别与风险预警中的应用;探索装配式施工技术在水利工程质量安全管控模式,为构建现代化水利基础设施网络提供坚实保障。

参考文献

- [1]张仁政,丁仕龙.水利工程施工安全管理与质量控制研究[J].水上安全,2025,(14):163-165.
- [2]王明时.水利工程施工中的质量控制与安全管理研究[J].水上安全,2025,(03):83-85.
- [3]苗得伟.水利工程施工中的安全管理和质量控制[J].水上安全,2024,(23):118-120.
- [4]罗德兵.水利水电工程施工质量与安全管理措施研究[J].工程技术研究,2024,9(12):139-142.