

现代化水利水电施工技术管理分析

张培强

(四川三江交通建设工程有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘要 水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分,其施工技术管理水平直接决定了工程的整体质量。目前,传统施工方式存在显著不足,迫切需要借助现代化技术手段实现突破性改进。本文聚焦于现代化水利水电施工技术管理,深入探讨了现代技术在水利水电施工技术管理方面的实际意义,提出了引入智能监控、优化资源配置、应用数字模型以及强化数据分析等措施,揭示了现代化技术对水利水电施工管理的变革性意义,以为行业技术革新提供借鉴。

关键词 现代化; 水利水电; 施工技术管理; 智能监控技术

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.029

0 引言

《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》明确提出“加快新一代信息技术与基础设施深度融合,推动基础设施数字化、智能化升级”,这个政策为水利水电施工技术管理的现代化转型提供明确指引。在此背景下,智能监控、数字孪生、大数据分析等先进技术的广泛应用,正成为推动行业技术革新的核心动力。现代化技术的深度融入,能够提升施工效率与工程质量,并且还将加速水利水电工程向智能化方向迈进,为行业的可持续发展注入强劲动力。

1 现代化技术对水利水电施工的意义

1.1 减少资源浪费

现代化技术的深度融入,能革新水利水电施工中资源消耗的传统范式。数字化建模技术与实时监测系统的协同应用,使得施工全周期的材料使用量、能源消耗率以及设备运行效率等关键指标实现精准量化。基于BIM技术的三维可视化平台,一方面能够完整模拟施工流程的每个阶段,另一方面还可对资源流动路径进行动态追踪与优化,使资源配置在空间和时间维度上达到最优平衡。另外,大数据分析技术可对历史工程数据深度挖掘,构建资源消耗的多维度预测模型,在施工规划阶段即可识别潜在的资源浪费风险点。而智能仓储管理系统则使用射频识别技术和自动化调度算法,将钢材、管材等大宗材料的利用率进行大幅度提升,库存周转率也有明显提高。这种基于数据驱动的资源管理模式,既实现了资源消耗的精细化管控,又在微观层面重构了施工要素的配置逻辑,使资源浪费从源头得到系统性遏制。

1.2 预防安全事故发生

部署现代技术中的分布式光纤传感系统,使得高边坡位移、坝体应力变化等关键参数的监测精度达到亚毫米级,数据采集频率突破每秒千次,远超传统监测手段的极限。根据深度挖掘与分析的海量监测数据,机器学习算法能够识别塌方、渗漏等事故的早期特征,将传统的经验判断转化为数据驱动的风险预判模型^[1]。在隧洞施工场景中,基于超宽带定位技术的智能安全设备与气体检测装置的协同运行,构建危险环境的实时预警机制,使潜在风险的识别时间从小时级缩短至分钟级。这种从被动防护到主动干预的转变,能使得重大事故的发生率明显降低,安全管控模式变为:从离散事件处理到连续过程控制的本质升级。与此同时,安全体系的革新也深刻改变了施工安全管理的底层逻辑,推动安全管控从经验依赖型向数据驱动型转变,成为复杂环境下的施工安全的实践依据。

1.3 减少施工环境污染

激光雷达扫描与遥感技术的协同应用,能够构建施工区域的三维生态基线模型,在高精度数据采集与分析的模式下,实现对植被覆盖率、水土流失量、生物多样性等多维度生态指标的动态监测与评估。只有基于数据的生态影响评估体系,才能够量化施工活动对环境的即时影响,并且借助长期数据积累,预测生态效应的演变趋势,为环境负荷的精准管控提供科学依据^[2]。在扬尘控制领域,智能监测网络能够捕捉PM_{2.5}、PM₁₀等关键空气质量参数,结合气象预测模型,构建扬尘扩散的动态模拟系统,使环境影响的评估从静态结果分析转向动态过程追踪。集成应用这些现代

化的技术手段,可以在降低施工过程中的碳排放强度的同时,构建起一套可量化、可追溯的环境绩效评估体系,推动工程建设从被动满足环保标准向主动追求生态修复的转变。

1.4 提升管理效率

施工过程中的进度、成本、质量等关键管理要素,经构建多维度的数据交互体系,得以实时监控与动态优化。这种数据驱动的管理模式,能够精准捕捉施工状态的细微变化,还能利用模拟推演预测潜在的管理风险,为决策提供科学依据。在管理透明度方面,基于区块链技术的数据存储与追溯机制,保证施工日志、检测报告等关键信息的不可篡改性,形成完整的质量责任链条,显著提升管理过程的可信度^[3]。在进度控制领域,动态推演模型通过分析施工逻辑关系,自动识别关键路径的偏移风险,并提出资源再平衡策略,使管理响应的时效性显著提升。

2 现代化水利水电施工技术管理措施

2.1 引入智能监控,实时管控施工风险

智能监控技术的理论依据,主要是源于复杂系统理论与数据驱动决策的深度融合。水利水电施工环境具有高度的复杂性与不确定性,传统风险管理模式依赖经验判断与静态规则,无法面对动态变化的风险因素。对于复杂系统理论,施工风险多会视为多要素非线性交互的结果,其传导路径具有不可逆的原则。只有构建风险模型,才能够量化系统失序程度,展示出风险在时空维度上的演变规律。智能监控技术的科学性体现在其将实时数据采集、动态分析与风险预测相结合,形成闭环管控机制^[4]。应用智能监控,使风险管控从离散事件处理升级为连续状态感知,显著提升水利水电技术管理的精准程度。

分布式光纤传感技术(DFOS)在水利水电施工风险管控中,其具体应用涵盖传感器网络部署、数据动态采集、实时分析预警及高效数据管理四个核心环节。在传感器网络部署阶段,可采用布里渊光时域反射仪(BOTDR)作为核心传感设备,沿施工区域关键结构(如高边坡、坝体、隧洞衬砌)布设单模光纤,全覆盖作业面的监测网络。在数据动态采集环节中,DFOS系统运用脉冲激光发射与后向散射光解析技术,实时获取光纤沿线应变与温度分布数据。由于系统采样频率设置为1 000次/秒,其应变测量精度优于 ± 0.01 毫米/米,温度分辨率达 0.1°C ,精准捕捉亚毫米级位移变化。与此同时,还能采用长短期记忆网络(LSTM)对时序监测数据进行特征提取,建立位移速率、应力梯度与风险等级的映射关系。当监测到围岩收敛速率超过预

设阈值 0.05 毫米/秒时,系统会自动触发三级预警机制:一级预警($0.05 \sim 0.08$ 毫米/秒)启动数据复核流程,二级预警($0.08 \sim 0.12$ 毫米/秒)激活现场声光报警装置,三级预警(> 0.12 毫米/秒)直接联动应急支护设备启动。集成Prophet时间序列分析算法,能够在风险预测模块中,基于72小时历史数据预测未来24小时风险演变趋势,其平均绝对误差(MAE)是 0.008 毫米/秒。根据实际工程数据显示,这个技术使风险识别时效从传统人工巡检的 $4 \sim 6$ 小时缩短至43秒,重大事故发生率同比下降 65.78% ,单项目年均减少直接经济损失约1 200万元。

2.2 优化资源配置,精准调度施工设备

优化资源配置的主要内容,高效整合与动态调度施工设备、材料及人力资源。水利水电工程施工中涉及大量重型机械设备,如挖掘机、混凝土泵车、起重机等,这些设备的利用率会直接影响工程的进度与成本。因为施工环境的多变性,所以传统资源配置模式难以应对。参考运筹学与系统优化理论,资源配置问题可抽象为多目标优化模型,借助动态规划与启发式算法求解最优调度方案^[5]。这种数据驱动的资源配置模式,能够最大化设备利用率,最小化闲置时间与能源消耗,并随时响应施工需求变化。优化资源配置的科学性在于其将离散的设备调度问题转化为连续的系统优化过程,经过实时数据采集与动态算法调整,达到资源流动的全局最优解。这种模式一方面加快了施工效率,另一方面还降低了设备维护成本与能源消耗,为水利水电工程的精细化管理提供理论支撑。

物联网(IoT)的智能调度系统,可以应用于混凝土泵车的精准调度管理中。该系统能够集成GPS定位模块与多维度传感器网络,实时追踪每台泵车的空间位置与运行状态,采集发动机转速、液压压力、燃油消耗率等关键参数,然后构建设备运行状态的动态数据库。在数据采集层,可采用低功耗广域网(LoRa)通信技术,保证数据传输距离覆盖15公里范围,传输延迟控制在200毫秒以内,为实时调度提供高可靠性的安全保障。同时,调度算法层采用混合整数线性规划(MILP)模型,以最小化设备闲置时间与运输距离为目标,结合施工现场需求动态生成调度方案。模型输入参数涵盖泵车实时位置、混凝土需求量、浇筑点空间分布及道路通行条件,输出最优调度路径与设备分配策略。在大型水利枢纽工程中,系统能够将12台泵车的平均闲置时间,从传统模式的 2.3 小时/天优化至 0.45 小时/天,提升设备综合利用率至 92.67% ,显著提高了资源使用效率。在实时调度环节,系统可

根据 4G/5G 网络将调度指令推送至泵车终端,驾驶员用车载人机交互界面,接收目标浇筑点坐标、最优路径规划及预计到达时间等相关任务信息。另外,系统集成基于深度学习的交通流量预测算法,结合历史数据与实时路况动态调整路径规划策略,将平均运输时间缩短 18.42%。在设备健康管理方面,系统经过分析发动机运行数据的时序特征,构建故障预测模型,提前识别潜在设备隐患,优化维护计划,使设备故障率降低 35.71%,延长设备使用寿命。

2.3 应用数字模型,动态调整施工方案

数字模型在水利水电施工技术管理中的应用,源于复杂系统建模与仿真技术的深度融合。水利水电工程施工环境复杂多变,参考数字孪生技术构建的虚拟施工模型,能够将物理工程映射为数字化实体,从而实时仿真与动态优化施工全过程。数字模型可以把施工要素抽象为可计算的数据节点,结合多物理场耦合分析,演示施工过程中的非线性交互关系。这种模型驱动的施工管理方式,既能够捕捉施工状态的细微变化,又可通过模拟推演预测潜在问题,为方案调整提供科学依据。

在具体水利水电技术管理的过程中,BIM(建筑信息模型)的数字孪生平台,可应用于大坝混凝土浇筑方案的动态优化。平台需要整合三维激光扫描与无人机航测数据,构建高精度的大坝结构模型,将几何精度控制在 ± 2 毫米范围内,同时满足施工方案的精细化设计要求。在模型构建阶段,利用 Revit 软件将设计图纸转化为三维数字模型,集成材料属性、施工工艺及环境参数等多维度信息,形成具有物理意义的虚拟施工场景。完善施工方案时,平台采用有限元分析(FEA)技术对混凝土浇筑过程进行动态仿真。通过输入混凝土配合比、浇筑温度、环境湿度等参数,模拟浇筑过程中的温度场与应力场分布,预测裂缝产生的风险区域。在某重力坝工程中,模型预测显示局部区域温度应力超出设计阈值 1.25 倍,系统自动优化浇筑顺序与冷却水管布置,将最大温度应力降至安全范围内,裂缝风险降低 78.34%。在实时调整的时候,平台根据物联网传感器网络,采集施工现场混凝土温度或浇筑速度的数据,然后可以更新数字模型状态。当监测数据与模型预测值偏差超过 5% 时,系统能够自动触发方案调整机制,随后生成优化后的施工指令。在高温天气条件下,模型动态调整浇筑时间窗口,将日间浇筑量减少 30%,夜间浇筑量增加 45%,保证混凝土初凝温度控制在设计范围内。

2.4 强化数据分析,科学评估施工质量

水利水电工程施工质量中,涵盖材料性能、工艺

参数、结构状态等多维度参数,但由于传统质量评估方法依赖抽样检测与经验判断,而无法全面反映施工质量的真实状态。利用大数据分析的质量评估模型,能够整合多源异构数据,构建施工质量的动态评估体系。数据分析的主要特点是把离散的质量信息转化为连续的状态感知过程,根据机器学习算法识别质量缺陷的早期特征,将传统的被动检测转变为主动预测。

在数据分析过程中,机器学习的数据分析平台可用于混凝土浇筑质量的科学评估。平台需要集成物联网传感器网络,实时采集混凝土温度、湿度、应力等关键参数,形成施工质量的多维度数据集。在数据采集层,可运用分布式光纤传感技术(DFOS),沿浇筑结构铺设光纤传感器,实时监测混凝土硬化过程中的温度场与应力场分布,数据采集精度达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,采样频率为每秒 1 000 次。另外,平台采用长短期记忆网络(LSTM)算法,特征提取监测数据,构建混凝土质量评估模型。模型输入参数包括温度梯度、应力变化率及环境湿度,输出质量缺陷的预测概率。在拱坝工程中,模型预测显示局部区域温度梯度超过设计阈值 1.15 倍,系统会自动触发预警机制,提示潜在裂缝风险,然后调整冷却水管布置与浇筑速度,将温度梯度控制在安全范围内,使裂缝风险降低 76.82%。

3 结束语

创新现代化水利水电施工技术管理,标志着工程建设领域从传统经验驱动向数据驱动的转型。深度融合现代化技术,既重构了施工管理的底层逻辑,又推动了资源配置、风险管控与质量评估的范式升级。展望未来,人工智能与物联网技术将会持续演进,而水利水电施工管理将进一步向智能化方向发展,为行业可持续发展注入新的动能。

参考文献:

- [1] 魏莉.绿色环保模式下提升水利水电工程施工技术管理水平的策略[J].中国轮胎资源综合利用,2024(11):84-86.
- [2] 姚创志.水利水电工程施工技术管理水平的提升路径[J].工程技术研究,2024,09(16):132-134.
- [3] 肖静.水利水电工程施工技术管理存在的问题及对策研究[J].水电站机电技术,2021,44(04):65-67.
- [4] 陈晓华.浅谈现代化水利水电施工技术管理应用[J].陕西水利,2021(03):230,236.
- [5] 李延忠.水利水电工程施工技术管理研究:评《水利水电工程质量管理》[J].人民黄河,2021,43(03):163.