

水利工程施工现场数字化管理平台构建与应用

马忠平

宁夏海原县树台乡人民政府 宁夏 中卫 755200

摘要: 本文首先剖析了当前水利工程施工现场管理面临的痛点与挑战,阐述了数字化管理的必要性与紧迫性;其次,系统性地提出了一个基于“云-边-端”协同架构的数字化管理平台整体框架,并详细论述了其核心功能模块的设计思路;再次,深入探讨了支撑该平台运行的关键技术,包括物联网(IoT)、建筑信息模型(BIM)、地理信息系统(GIS)、人工智能(AI)以及5G/边缘计算等;随后,通过一个典型的大型水库枢纽工程应用案例,具体展示了平台在实践中的部署模式与应用场景;最后,从管理、经济、安全、质量和社会等多个维度,全面评估了平台应用所带来的综合效益,并对未来发展趋势进行了展望。研究表明,水利工程施工现场数字化管理平台是实现工程建设全过程、全要素、全参与方高效协同与智能决策的有效工具,对保障国家水网重大工程高质量建设具有重要的现实意义。

关键词: 水利工程;施工现场;数字化管理;BIM+GIS;物联网;智能建造

引言

水利工程在防洪减灾、水资源配置等方面作用重大。“十四五”规划及2035年远景目标纲要提出构建国家水网主骨架等工程,这些工程投资大、周期长、环境复杂、技术难度高、安全风险多。传统施工现场管理模式依赖经验与纸质文件流转,存在信息孤岛、过程追溯难、风险预警滞后、资源调度粗放等问题,事故或质量问题发生后难以精准复盘,会造成经济损失与不良影响。当下,物联网等新一代信息技术催生“智能建造”新范式,多部门鼓励建筑产业数字化、智能化转型^[1]。在此背景下,将数字技术与水利工程施工管理深度融合,构建集感知、传输等为一体的数字化管理平台,是破解管理困境、实现高质量发展的必然选择。本文旨在系统探讨水利工程施工现场数字化管理平台的构建逻辑、技术路径与应用价值,为行业提供理论与实践参考。

1 水利工程施工现场管理现状与挑战

1.1 信息孤岛现象突出

项目各参与方(业主、设计、监理、施工、供应商等)使用的信息系统各异,数据标准不统一,导致设计图纸、施工方案、材料检测、质量验评、安全巡检等关键信息无法有效共享和联动。例如,施工进度信息可能仅存在于项目经理的日报中,而未能实时同步给业主和监理,造成各方对项目状态的认知偏差。

1.2 过程监管手段落后

大量关键工序的质量控制和安全检查仍依赖人工巡查和纸质记录。这种方式不仅效率低下,而且主观性强、易出错、难追溯。对于隐蔽工程(如基础灌浆、地下连续墙等),缺乏有效的数字化监控手段,事后核查困难,埋下

质量隐患。

1.3 安全风险防控被动

水利工程施工现场通常涉及高边坡、深基坑、大型起重吊装、隧洞掘进等高危作业。传统安全管理多为“事后处理”或“人盯人”模式,缺乏对人员、设备、环境等风险要素的实时动态感知与智能预警能力,难以做到事前预防和事中干预。

1.4 资源调配效率不高

人力、材料、机械设备等生产要素的调度主要依靠经验判断,缺乏基于实时数据的科学分析和优化。这容易导致窝工、材料浪费、设备闲置等问题,增加了项目成本,影响了整体进度。

1.5 决策支持能力不足

管理层在进行进度纠偏、成本控制、风险应对等决策时,往往缺乏全面、准确、及时的数据支撑,决策过程带有较大的不确定性,影响了项目管理的整体效能。

上述问题共同制约了水利工程建设管理水平的提升,亟需通过数字化手段进行系统性变革。

2 数字化管理平台总体架构设计

针对上述挑战,本文提出构建一个“1+3+N”的水利工程施工现场数字化管理平台总体架构。“1”指一个统一的数字底座,“3”指三大核心能力中心,“N”指面向不同业务场景的多个应用模块。

2.1 统一数字底座

数字底座是平台的基石,负责整合和管理所有底层数据与服务。它主要包括:(1)数据湖/数据仓库:汇聚来自BIM模型、IoT传感器、视频监控、业务系统(如OA、ERP)、移动终端等多源异构数据,建立统一的数

据标准和治理体系。(2) 时空信息引擎: 集成BIM(精细的工程实体信息)与GIS(宏观的地理空间信息), 构建覆盖整个工程区域的“BIM+GIS”一体化数字孪生场景, 为所有业务应用提供统一的空间定位和可视化载体^[2]。(3) 微服务架构: 采用松耦合的微服务设计理念, 将平台的各项功能拆分为独立的服务单元, 便于灵活开发、部署、扩展和维护。

2.2 三大核心能力中心

(1) 智能感知中心: 作为平台的“感官”, 通过部署各类物联网设备(如人员定位手环、环境监测传感器、智能安全帽、高清摄像头、无人机等), 实现对施工现场人、机、料、法、环等要素的7x24小时不间断、全方位感知。(2) 智能分析中心: 作为平台的“大脑”, 利用大数据分析、人工智能算法(如计算机视觉、机器学习)对感知数据进行深度挖掘和智能分析。例如, 通过AI视频分析自动识别未戴安全帽、违规闯入危险区域等行为; 通过数据分析预测混凝土强度发展曲线, 优化拆模时间。(3) 智能协同中心: 作为平台的“神经中枢”, 打通各业务流程和参与方之间的壁垒, 实现任务自动派发、信息实时推送、问题闭环处理。任何异常事件(如安全预警、质量问题)都能在平台上形成工单, 并自动通知相关责任人, 确保问题得到及时响应和解决。

2.3 多业务应用场景(N)

基于上述底座和能力中心, 可灵活构建和扩展多种业务应用模块, 主要包括: (1) 智慧工地一张图: 在BIM+GIS场景上, 集成展示所有实时数据, 如人员热力图、设备位置、环境参数、视频画面、进度状态等, 实现“一屏观全域”。(2) 进度精细化管理: 将BIM模型与施工进度计划(4D)关联, 通过移动端采集实际进度, 自动比对计划与实际, 直观展示偏差, 并预警延期风险。(3) 质量全过程追溯: 对关键原材料(如钢筋、水泥)实行“一物一码”管理, 记录其从进场、检验、加工到安装的全过程信息。对关键工序实行电子化报验, 影像资料与BIM构件自动关联, 实现质量责任可追溯^[3]。(4) 安全主动化防控: 建立电子围栏, 对高危区域进行智能管控; 通过UWB或北斗高精度定位, 实时掌握人员位置, 一旦发生紧急情况可快速定位救援; 利用AI识别安全隐患, 变被动为主动。(5) 绿色施工监管: 实时监测扬尘、噪声、污水排放等环保指标, 超标自动报警, 并联动喷淋等降尘设备, 助力绿色文明施工。(6) BIM深化应用: 在施工阶段, 利用BIM模型进行碰撞检查、施工模拟、工程量自动统计等, 优化施工方案, 减少返工。

3 平台构建关键技术

平台的成功构建与高效运行离不开一系列关键技术的支撑。

3.1 BIM与GIS融合技术

BIM擅长于微观尺度的工程实体精细建模, 而GIS则强于宏观尺度的地理空间分析。通过坐标系统一、数据格式转换和可视化引擎集成, 将二者深度融合, 既能从宏观上把握工程与周边环境的关系(如库区淹没分析、料场选址), 又能从微观上精确管理每一个构件的施工细节, 为平台提供了强大的空间信息支撑。

3.2 物联网(IoT)与边缘计算

海量的现场感知数据需要通过低功耗广域网(LPWAN)、5G等通信技术回传。然而, 并非所有数据都需要上传至云端处理。边缘计算技术可以在靠近数据源头的网络边缘侧(如现场的边缘服务器)进行初步的数据清洗、过滤和简单分析, 只将有价值的信息上传, 从而大大降低了网络带宽压力和云端计算负载, 提高了系统的实时性和可靠性。例如, 视频流可以在边缘侧完成AI分析后, 仅上传告警截图和元数据。

3.3 人工智能(AI)与计算机视觉

AI是赋予平台“智慧”的核心。特别是计算机视觉技术, 在安全监控领域应用广泛。通过在摄像头端或边缘服务器部署深度学习模型, 可以实现对施工现场的自动、全天候监控, 精准识别各类违章行为和安全隐患, 其准确率和效率远超人工^[4]。此外, 机器学习算法还可用于分析历史数据, 预测潜在风险(如地质灾害、设备故障), 实现更高级别的智能预警。

3.4 移动互联网与协同办公

通过开发配套的移动APP, 管理人员和一线工人可以随时随地通过手机或平板电脑进行任务接收、数据填报、问题上报、电子签章等操作, 打破了时间和空间的限制, 极大地提升了现场协同效率和信息流转速度。

4 应用案例分析: 某大型水库枢纽工程

为验证平台的有效性, 本文以“某大型水库枢纽工程”为例进行说明。该工程包含大坝、溢洪道、发电厂房、输水隧洞等多个复杂子项。

4.1 平台部署

项目部建立了专用的数据中心, 部署了平台服务器。在现场, 安装了数百个IoT传感器(监测大坝应力、渗流、变形等)、数十路高清AI摄像头、人员定位基站, 并为关键岗位人员配备了智能安全帽。同时, 建立了覆盖整个工区的5G专网, 确保数据传输的稳定与高速。

4.2 典型应用场景

(1) 大坝碾压质量智能监控: 在振动碾上安装了高

精度GNSS和传感器,实时采集碾压遍数、行进速度、激振力等数据,并与BIM中的碾压单元模型关联。平台自动生成碾压质量热力图,不合格区域一目了然,避免了漏压、欠压,保证了大坝填筑质量。(2)隧洞施工安全预警:在隧洞内布设了有毒有害气体、粉尘、收敛变形等传感器。一旦监测值超过阈值,平台立即向洞内所有人员的智能安全帽发送声光报警,并在指挥中心大屏上弹出告警信息,同时启动应急预案,有效防范了窒息、塌方等事故。(3)进度动态管控:通过无人机定期航拍,结合AI图像识别技术,自动提取土石方开挖量、混凝土浇筑面积等数据,并与4D进度模型比对。项目管理者能清晰看到每周的实际进展与计划的偏差,及时调整资源投入,确保了关键线路工期。(4)材料全流程追溯:所有进场钢筋均贴有二维码标签,扫码即可查看其炉批号、检测报告、领用去向等信息。一旦某批次钢筋出现问题,可迅速锁定其在工程中的所有使用位置,极大提升了质量追溯效率。

5 平台应用效益分析

水利工程施工现场数字化管理平台的应用,带来了多维度的显著效益:

5.1 管理效益

实现了从“碎片化”管理到“一体化”协同的转变,打破了信息壁垒,优化了管理流程,提升了决策的科学性和时效性,推动了项目管理模式的根本性变革。

5.2 经济效益

通过精细化管理和资源优化配置,有效减少了返工、浪费和窝工现象,降低了直接工程成本。同时,高效的管理也缩短了工期,间接创造了巨大的经济效益。

5.3 安全与质量效益

主动式的安全风险防控体系大幅降低了安全事故发生概率,保障了人员生命安全。全过程、可追溯的质量管理体系,从源头上杜绝了质量隐患,确保了工程实体的百年大计。

5.4 社会与生态效益

平台对扬尘、噪声等环保指标的实时监控,有力地促进了绿色施工,减少了对周边社区和生态环境的影响,提升了企业的社会形象。同时,数字化交付也为工程后期的智慧运维奠定了坚实的数据基础。

6 结语

本文系统阐述了水利工程施工现场数字化管理平台的构建理念、技术架构、核心功能及应用价值,该平台深度融合BIM、GIS、IoT、AI等新一代信息技术,构建了覆盖工程建设全生命周期的数字化、智能化管理新生态,有效解决了传统管理模式痛点,显著提升了水利工程建设在质量、安全、进度和成本控制方面的水平。展望未来,该平台发展前景广阔:将与智慧运维无缝衔接,实现“建管一体”,让建设期数据成为智慧运维的宝贵资产;AI赋能下,平台决策能力将从“辅助”向“自主”演进,自动生成最优方案与应急预案;数字孪生技术将全面深化,实现物理与虚拟世界的实时双向动态映射,超前模拟和精准预测工程状态;同时,核心软硬件的国产化替代与行业数据标准统一,将成为保障平台安全可控、大规模推广应用的关键。

参考文献

- [1]刘德平.数字化时代水利水电工程施工技术的优化研究[J].水上安全,2025,(20):64-66.
- [2]王生村.探究数字化时代水利水电工程施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(25):151-153.
- [3]孙岩民,曹校天.信息化数字化对水利施工效率的提升研究[J].智能建筑与智慧城市,2023,(10):181-183.
- [4]陈丽芳.水利桩基工程数字化施工及验收应用研究[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2022年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册).上海市水利工程设计研究院有限公司;上海市水务局防汛减灾工程技术中心,;2022:361-365.