

基于多源感知的水利水电工程施工现场智慧管控研究

李京京

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘 要: 针对水利水电工程施工环境复杂、风险分散、传统管控方式滞后、数据整合能力不足等现场问题, 本文开展基于多源感知的施工现场智慧管控体系研究。结合工程施工安全、质量、进度、环境四大管控需求, 完成感知体系构建、多模态数据传输、智能预处理与分析技术研究, 搭建四层智慧管控总体架构。结合施工现场实际工况, 从安全、质量、进度维度开展多维智慧管控应用研究, 建立智能预警闭环机制与质效协同管控模式。研究表明, 该体系可有效弥补传统管控短板, 提升施工现场管控精细化、数字化水平, 可为水利水电工程现场智能化管理提供技术参考。

关键词: 水利水电工程; 施工现场; 多源感知; 智慧管控; 智能分析

引言: 水利水电工程建设工况复杂、作业工序繁多、高危作业集中, 传统依靠人工巡查、阶段性检测的管控模式, 难以适配现代工程高质量、高效率的建设要求, 普遍存在监测覆盖不全、风险预判不足、质量进度协同性差等现实问题。随着智慧基建技术的不断推广, 多源感知、人工智能、大数据处理技术逐步应用于工程施工领域, 为施工现场数字化管控提供了技术支撑。为破解现场管控碎片化、滞后化难题, 本文依托多源感知技术, 从体系构建、数据处理、架构设计、现场应用等方面开展系统性研究, 旨在建立一套适配水利水电施工现场的智慧管控体系, 助力工程施工提质增效、安全可控。

1 水利水电工程施工现场多源感知体系构建

本文结合水利水电工程施工环境复杂、作业工序繁杂、管控维度多元的工程特性, 完成施工现场多源感知体系的系统化构建工作。(1) 多源感知需求分析: 围绕施工安全、质量管控、进度监测、环境监测四大核心管控维度, 结合各施工环节作业特征, 明确各维度所需感知数据的具体类型、采集精度、传输时效性等核心指标, 锚定感知体系精准化、全覆盖、高适配的建设目标, 贴合水利水电施工现场实际管控诉求。(2) 感知设备选型与布设方案: 针对施工现场地形复杂、作业场景分散、高危区域较多的特点, 择优适配视频监控、环境传感器、航拍无人机、北斗定位终端等各类感知设备, 遵循全覆盖、重点突出、无监测盲区的布设原则, 完成关键施工区域、核心作业环节的设备空间布局规划, 保障施工现场全域状态可感知、可监测。(3) 多源感知数据融合架构设计: 搭建分层式数据融合架构, 统一数据采集层、传输层、处理层的技术标准与接口规范, 依托数据清洗、时空对齐、异构数据整合算法, 解决不同感

知设备数据格式不统一、时空基准不一致、数据冗余度高的问题, 有效提升施工现场感知数据的完整性、准确性与可用性, 为后续智慧管控提供可靠数据支撑^[1]。

2 多源感知数据高效传输与智能处理技术

2.1 施工现场复杂环境下的数据传输技术

水利水电工程多地处山区、河谷区域, 施工现场山体遮挡、构筑物密集、电磁干扰较强, 单一通信方式难以满足全域数据传输需求, 易出现数据断连、延迟过高、丢包率超标等问题。针对该工程实际工况, 本文采用 5G、LoRa、卫星通信相结合的多模态融合传输技术, 构建适配复杂施工场景的立体传输网络。(1) 近距离、高带宽场景优先采用 5G 通信模式, 覆盖主体施工区、厂房作业区等核心区域, 保障视频监控、高精度定位等大容量数据的高速传输。(2) 远距离、遮挡严重的边坡、隧洞、库区等区域采用 LoRa 窄带通信技术, 依托其强穿透、低功耗、广覆盖的优势, 实现环境传感器、监测终端数据的稳定上传。(3) 针对偏远无基站覆盖区域, 搭载卫星通信模块作为兜底传输通道, 解决极端工况下的数据传输盲区问题。同时优化动态带宽分配机制, 根据施工时段数据流量差异自动调配信道资源, 精简冗余传输协议, 有效降低数据传输时延与丢包率, 满足施工现场实时监测、动态管控的数据传输要求。

2.2 多源感知数据的预处理与特征提取

施工现场感知设备类型繁杂, 采集的原始数据存在噪声干扰、数值异常、维度不统一等问题, 无法直接用于数据分析, 需通过标准化预处理流程完成数据规整。本文结合水利水电施工管控指标体系, 搭建适配工程场景的数据预处理算法体系。(1) 数据清洗处理, 针对设

备抖动、环境干扰产生的噪声数据,采用自适应滤波算法完成平滑处理,通过阈值比对与时序校验机制剔除异常突变数据,规避无效数据对分析结果的干扰。(2)数据标准化处理,针对不同感知设备的数据格式、量纲、时空基准差异,统一数据采集频率与坐标体系,完成数据归一化与对齐处理,实现多源异构数据的格式统一。(3)关键特征提取,围绕施工安全、质量、进度、环境四大管控维度,筛选核心数据特征,重点提取人员轨迹特征、机械设备运行参数、结构沉降位移数据、水土环境监测指标、施工工序进度参数等核心信息,剔除冗余无效维度数据,实现原始海量数据的精简提纯,为智能分析模型运算提供标准化、高质量的数据基底。

2.3 基于人工智能的数据智能分析技术

为实现感知数据的资源化利用,突破传统人工数据分析效率低、误差大、滞后性强的短板,本文依托机器学习与深度学习算法,构建适配水利水电施工现场的多场景智能分析模型。(1)安全风险智能识别模型,以预处理后的人员、设备、环境感知数据为输入,通过深度学习算法挖掘施工违规操作、设备异常运行、边坡位移超标、积水超限等风险特征,实现施工现场安全隐患的自动识别与分类判定。(2)施工质量智能检测模型,结合工程施工质量验收标准,针对混凝土浇筑、岩体支护、设备安装等关键工序,依托图像识别与数据比对算法,精准检测施工质量缺陷,实现质量问题的精细化排查。(3)施工进度智能预测模型,基于时序感知数据训练机器学习算法,对比施工计划节点与实际施工数据偏差,动态研判进度滞后问题,精准预判施工进度走势,将海量原始感知数据转化为精准、有效的管控信息,为施工现场智能化、精准化管控决策提供技术支撑^[2]。

3 水利水电工程施工现场智慧管控核心架构设计

本文依托多源感知数据基础,结合水利水电工程施工管控业务逻辑与现场运行特点,完成施工现场智慧管控核心架构的整体设计。(1)智慧管控总体架构搭建,构建感知层、传输层、平台层、应用层四层递进式整体架构,界定各层级技术构成、运行逻辑与功能边界,贯通现场数据采集、网络传输、数据处理、业务应用与决策反馈的完整链路,形成全覆盖、可联动、可回溯的施工现场闭环管控体系。(2)管控平台功能模块设计,立足水利水电施工现场安全、质量、进度、资源四大核心管控业务,搭建对应独立功能模块,梳理各模块内部业务流程、数据交互逻辑与联动机制,细化模块运行标准与管控细则,实现施工现场各项管控业务的模块化拆分、精细化管控与协同化运行。(3)架构兼容性与可扩展

设计,结合水利水电工程施工场景差异化特征与行业技术更新趋势,设置标准化、开放式数据接口,搭建可迭代模块化扩展机制,适配不同类型、不同规格的感知终端设备接入,支持新增业务功能模块的拓展集成,保障管控架构可适配不同施工阶段、不同工程类型的管控需求,提升系统整体通用性与长期复用性^[3]。

4 基于多源感知的施工现场多维智慧管控体系应用

4.1 基于多源感知的施工现场安全智慧管控

水利水电工程施工现场存在高危作业多、环境变数大、交叉施工频繁、风险点位分散等特点,且施工区域多处于山地、河谷地带,地质条件复杂、气象环境多变,极易诱发突发性安全隐患。传统人工巡查、定点监测的安全管控模式存在监测盲区、数据滞后、研判主观等问题,难以满足现代化工程全域、实时的安全管控要求。依托多源感知技术,融合空、地、机、人多维度监测手段,可搭建全覆盖、动态化、智能化的安全管控模式,实现施工现场安全风险的精细化管控。(1)构建安全风险多源感知监测体系。整合现场高清视频监控、环境监测传感器、人员北斗定位终端、大型机械设备状态监测装置等多元感知设备,打破单一监测手段的局限性。监测内容全面覆盖施工现场人员作业行为、机械设备运行工况、基坑与边坡环境状态、现场作业流程规范度等关键维度,形成全域立体化监测网络。通过多设备同步采集、数据实时回传,实现施工现场各类安全隐患的动态捕捉与持续监测,弥补传统人工巡检频次不足、覆盖不全的短板。(2)建立安全风险智能预警与闭环处置机制。结合水利水电工程施工安全规程,依托多源监测数据集成分级预警判定模型,细化划分风险等级,明确各类安全隐患的阈值标准与预警触发条件。针对边坡位移超标、设备异常运行、人员违规作业、现场环境超限等不同风险场景,制定差异化预警策略。同时搭建标准化处置流程,形成预警信息精准推送、管控任务定向派发、现场隐患整改、整改结果核验反馈的全闭环工作流程,缩短风险处置响应周期,规范现场安全管控流程,提升风险处置的规范性与时效性。(3)搭建安全管控可视化决策体系。依托智慧管控平台搭建施工现场三维可视化场景,对接多源感知实时数据,动态呈现现场人员分布、机械设备运行状态、环境监测参数、风险预警点位等核心信息,直观展示施工现场整体安全态势。管理人员可通过可视化界面实时掌握现场管控全貌,精准定位风险区域与隐患问题,为现场安全调度、隐患治理、应急处置提供直观、可靠的数据支撑,提升施工现场安全管控的精细化水平与决策科学性^[4]。

4.2 基于多源感知的施工现场质量与进度智慧管控

施工质量与施工进度是水利水电工程建设的核心管控指标,二者存在相互制约、相互关联的耦合关系,直接决定工程建设成效、运行安全与投资效益。水利水电工程工序衔接紧密、结构性工程不可逆特征突出,前期进度偏差、质量缺陷极易引发后续连锁问题。传统管控模式多采用事后检测、阶段性复盘的管理方式,存在管控滞后、数据碎片化、协同性不足等问题。依托多源感知技术,可实现施工质量、施工进度的全过程动态管控与协同优化。(1)施工质量多源感知与智能管控。针对工程核心施工工序,涵盖混凝土浇筑、土方填筑、岩体支护、钢结构安装等关键施工环节,部署高精度感知设备开展全过程数据采集。通过传感器实时采集填筑压实度、混凝土温度、结构沉降位移等质量参数,结合无人机航拍、高清视频设备完成施工工序全过程影像留存。依托工程质量规范标准搭建智能分析算法,对施工过程中的尺寸偏差、工序违规、参数超标等质量缺陷进行自动识别与精准定位,并及时发出预警提示。同步建立质量溯源台账,整合感知数据、施工影像、检测记录等资料,形成施工质量全过程可追溯管控体系,实现质量问题事前预警、事中管控、事后溯源。(2)施工进度多源感知与动态调控。融合北斗定位、视频智能分析、设备运行监测、人员出勤统计等多源数据,实时掌握各施工区域、各作业工序的推进状态,精准统计设备作业效率、人员投入配比、工序完成进度等核心指标。基于时序监测数据构建施工进度预测模型,将实时施工进度与专项施工计划、总体工期节点进行比对,精准识别进度滞后工序与偏差成因。结合现场资源配置情况,依托智能调度算法优化人员、设备、物料的调配方案,针对性调整施工组织方式,实现施工进度的动态调控,保障各阶段施工任务按期落地。(3)质量与进度协同管控优化。针对施工现场质量、进度管控相互制约的行业痛

点,搭建双向联动分析模型,量化研判质量管控措施对施工工期的影响,以及赶工、工序压缩等进度调整行为带来的质量风险。通过多源数据联动分析,平衡严苛质量管控造成的工期延误与盲目赶工引发的质量隐患,动态优化施工工序安排与资源配置方案,实现施工质量达标前提下的进度最优管控,兼顾工程建设质量标准与工期目标,提升水利水电工程施工整体建设效益^[5]。

结束语: 本文完成了水利水电工程施工现场多源感知体系、数据处理技术、智慧管控架构及多维应用体系的系统性研究,形成了覆盖数据采集、传输处理、平台搭建、现场应用的全流程智慧管控方案。通过多维度现场管控应用验证,体系能够有效提升施工现场安全风险防控能力、质量管控精度与进度调控水平,解决了传统施工管理数据割裂、管控被动的问题。后续可结合不同类型水利工程的差异化场景,持续优化感知适配算法与协同管控模型,进一步提升智慧管控体系的通用性与工程落地价值。

参考文献

- [1] 吴长峰,谢志诚,钟燕.基于多源信息融合的智慧水务管控平台建设与应用[J].中国设备工程,2026,(12):204-206.
- [2] 李文杰.智慧水利背景下水利水电工程质量全过程数字化管控技术[J].睿士,2023,(21):118-120.
- [3] 钟兆轩.智慧水电背景下水电站智能运行管控平台设计与实现[J].中国科技期刊数据库工业A,2026,(2):099-103.
- [4] 陈继邹.基于多源数据的水电站电力施工安全风险动态评估与控制策略研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026,(1):141-144.
- [5] 石金彪.智慧工地技术在水利水电工程现场管理中的融合应用[J].中国科技期刊数据库工业C,2026,(6):107-110.