

水利工程施工过程自动化监控技术应用

王浩龙 张德欣 路梦杰

中国南水北调集团中线有限公司河南分公司 河南 郑州 450000

摘要:大型跨区域调水工程施工环境复杂,自动化监控技术通过全域感知网络实现施工全过程动态追踪。其整合多维度监测手段,将离散数据转化为连续数字流,形成智能监测矩阵,核心是建立数据驱动决策机制。在渡槽、倒虹吸、渠道施工及进度与资源调度中均有具体应用,虽面临技术复杂性、数据处理难、成本与人才制约等挑战,但通过技术研发、构建高效平台、优化成本与培养人才等对策可应对,为水利工程施工提供技术支撑与保障。

关键词:水利工程;施工过程;自动化监控技术;应用

引言

随着水利工程规模扩大与施工环境复杂化,传统人工巡检的离散数据模式已难满足需求。自动化监控技术作为智能施工的核心,能整合多维度监测手段,实现施工全过程动态追踪与数据驱动决策。本文围绕水利工程施工过程自动化监控技术,先概述其体系与作用,再阐述在渡槽、倒虹吸等施工进度与资源调度中的具体应用,最后分析面临的挑战与对策,为相关工程提供参考。

1 水利工程施工过程自动化监控技术概述

大型跨区域调水工程施工环境复杂,沿线地质条件多变,自动化监控技术通过构建全域感知网络,实现对施工全过程的动态追踪。这类技术体系整合了多维度监测手段,能够实时捕捉渠道开挖、衬砌浇筑、渡槽架设等关键环节的物理参数,将传统依赖人工巡检的离散数据转化为连续的数字流,形成覆盖施工空间的智能监测矩阵。自动化监控系统的核心在于建立数据驱动的决策机制,通过布设的传感器阵列采集结构应力、变形位移、渗流场分布等信息,经边缘计算节点初步处理后传输至中央控制系统,借助机器学习算法识别施工异常模式。这种技术路径打破了不同施工标段的信息壁垒,使深埋倒虹吸与露天渠道的施工状态在统一平台上呈现,为跨地貌施工协调提供精准依据。在复杂地质段施工中,自动化监控技术展现出对环境扰动的敏锐响应能力,能够同步监测开挖面围岩稳定性与支护结构受力状态,通过预设的预警阈值自动触发调整指令,实现施工参数的动态优化。这种实时闭环控制模式,既避免了过度支护造成的资源浪费,又防止了支护不足引发的安全风险,使工程结构在建设阶段就形成可追溯的数字档案。自动化监控技术的应用重构了施工质量保障体系,通过三维激光扫描与BIM模型的实时比对,将混凝土浇筑的平整度、钢筋布设的间距误差等指标转化为可视化的偏差预警,使隐蔽工程的质量控制从事后检测转向过程干预。该技术体系具备自适应扩展能力,可随施工进度接入新的监测单元,确保工程从奠基到收尾的全周期处于

可控状态,为复杂水利工程的顺利推进提供技术支撑。

2 自动化监控技术在水利工程施工中的具体应用

2.1 渡槽施工自动化监控

在渡槽预制阶段,利用自动化生产线配备的智能监测设备,实时监控模板安装的精度、钢筋绑扎的质量以及混凝土浇筑的过程。通过在模板上安装位移传感器和角度传感器,确保模板的位置和垂直度符合设计要求,误差控制在允许范围内。在钢筋绑扎环节,采用机器视觉技术对钢筋间距、数量和搭接长度进行自动检测,及时发现并纠正偏差。混凝土浇筑时,监测设备实时采集混凝土的坍落度、温度等参数,保证混凝土质量符合设计标准。(2)渡槽架设过程中,运用自动化监控系统对吊装设备的运行状态和渡槽的姿态进行实时监测。在吊装设备上安装传感器,实时采集起重量、起升高度、幅度等参数,确保吊装设备在安全范围内运行。通过在渡槽上安装倾角传感器和位移传感器,实时监测渡槽在架设过程中的倾斜角度和位移量,结合BIM模型和预设的安全阈值,当监测数据超出阈值时,系统自动发出预警信号,提醒操作人员及时调整,确保渡槽架设的精度和安全。(3)渡槽接缝施工时,采用自动化监测技术对接缝的位移、渗漏等情况进行实时监控。在接缝处布设位移传感器和渗压传感器,实时采集接缝的开合度、沉降量以及渗水压力等数据^[1]。通过数据分析,判断接缝的密封性能和结构稳定性,一旦发现异常,及时采取相应的处理措施,保障渡槽的正常运行。

2.2 倒虹吸施工自动化监控

倒虹吸基坑开挖阶段,利用自动化监测设备对基坑边坡的稳定性进行实时监控。在边坡关键位置,科学合理地布设测斜仪、沉降计等高精度传感器。测斜仪可精准测量边坡不同深度的水平位移,沉降计能实时获取边坡表面的沉降量,通过数据采集系统实时采集边坡的位移、沉降等数据。借助专业的数据分析软件,对采集到的数据进行深入分析,运用数学模型预测边坡的变形趋势。当监测数据达到预设的预警阈值时,系统自动发出

声光预警,并将预警信息推送至相关管理人员手机终端,以便及时采取加固措施,防止边坡失稳引发安全事故。

倒虹吸管道安装过程中,采用激光跟踪仪等高精度测量设备对管道的轴线、高程等参数进行实时监测。激光跟踪仪具有测量精度高、动态跟踪能力强等优点,能快速准确地获取管道的空间位置信息。将测量数据与设计数据进行对比分析,若偏差超出允许范围,及时调整管道的安装位置,确保管道安装的精度符合设计要求。通过在管道关键部位安装应力传感器,实时监测管道在安装过程中的应力变化,避免因应力过大导致管道损坏。

倒虹吸回填施工时,运用自动化监控技术对回填土的压实度进行实时监测。采用土壤压实度传感器等设备,实时采集回填土的压实度数据,结合施工工艺参数,优化回填土的压实方法和压实次数,确保回填土的压实度符合设计标准,提高倒虹吸的结构稳定性。

2.3 渠道施工自动化监控

渠道开挖施工中,利用三维激光扫描技术和自动化测量设备对开挖断面展开全方位、实时的高精度监测。通过专业软件将扫描数据与设计断面细致比对、深入分析,据此及时精准调整开挖设备的作业参数,确保渠道开挖的尺寸、坡度符合设计要求,避免超挖或欠挖现象的发生,减少工程成本和工期延误。

渠道衬砌施工过程中,对混凝土浇筑的质量进行自动化监控。在衬砌模板上安装温度传感器和应变传感器,实时监测混凝土浇筑过程中的温度变化和应力应变情况。通过数据分析,控制混凝土的浇筑速度和养护措施,防止混凝土因温度应力产生裂缝。利用机器视觉技术对衬砌表面的平整度、垂直度等指标进行实时检测,确保渠道衬砌的质量。

渠道防渗工程施工时,采用自动化监测技术对防渗材料的铺设质量和防渗性能进行实时监控。通过在防渗材料下布设渗压传感器和流量传感器,实时监测防渗层的渗水情况,评估防渗效果。对防渗材料的铺设张力、搭接宽度等参数进行监测,确保防渗材料的铺设质量符合设计要求,提高渠道的防渗性能。

2.4 施工进度与资源调度监控

构建基于BIM模型的施工进度管理系统,将工程进度计划与三维模型相结合。通过在模型中精准标注各施工任务的计划开始与结束时间,并实时更新实际进展,以直观的色彩差异或动态效果展示施工进度与计划进度的偏差。利用大数据分析技术,深度挖掘历史施工数据与实时数据,精准预测后续施工进度趋势,提前识别可能影响工期的关键节点及潜在风险,为施工决策提供可视化、精准化的进度信息支持。

对施工资源进行自动化监控与智能调度。在施工设备、材料运输车辆等关键资源上安装物联网设备,实时

采集设备运行状态、位置信息、材料库存等详细数据。借助先进的智能算法,依据施工进度需求,自动生成最优的设备与材料调配方案,优化运输路线,提高资源利用效率,有效避免资源闲置或短缺对施工进度造成的不良影响。

利用视频监控与图像识别技术,对施工现场的人员、设备作业情况进行实时监控。通过图像识别技术自动精准统计现场施工人数、设备数量,深入分析人员与设备的工作状态,判断是否存在违规操作或怠工现象。将监控数据与施工进度、资源调度信息进行深度关联分析,及时调整施工组织方案,保障施工现场的高效有序运行^[2]。

3 水利工程施工过程自动化监控技术应用面临的挑战与对策

3.1 面临的挑战

3.1.1 技术复杂性与环境适应性问题

跨区域调水工程涉及渡槽、倒虹吸、渠道等多元结构,不同施工场景对监控技术提出差异化要求,导致技术体系需兼容多种监测维度。在倒虹吸施工中,传感器需耐受地下水的侵蚀和较大的土压力,而渡槽施工的监测设备则要应对高空作业的振动和风力影响,渠道施工的监测设备需适应露天环境的温差变化和雨水冲刷等,这种环境多样性使通用型监测设备难以满足全场景需求。长距离输水线路中,部分区段存在强电磁干扰或信号屏蔽现象,导致无线传输的数据包丢失率升高,边缘计算节点的算力分配需随地质条件动态调整。在一些复杂地形区域,传感器布设面临安装空间受限问题,需在狭小作业面实现多参数同步采集,技术适配性不足会导致关键数据采集中断。

3.1.2 数据处理与分析难度大

工程施工产生的监测数据具有多源异构特征,渡槽的应力应变数据、倒虹吸的渗流数据、渠道的变形数据等需在统一框架下融合分析,数据格式转换与时空校准消耗大量计算资源。长距离输水工程的监测点位数以万计,日均数据增量可达TB级,传统数据库架构难以实现实时查询与关联分析,导致异常信号识别存在延迟。地质条件突变会引发数据分布规律改变,机器学习模型的泛化能力下降,如软土地基渠道施工时,变形数据的波动模式与硬土地基存在显著差异,预设算法易出现误报或漏报^[3]。不同施工阶段的监测指标关联性复杂,需要构建多变量时序预测模型,而数据样本的不均衡性进一步增加了模型训练难度。

3.1.3 成本与人才制约

高精度监测设备的部署成本随工程规模呈非线性增长,一些特种传感器单价较高,在大型渡槽、长距离倒虹吸等结构的全断面布设会显著增加项目投资,而设备

的定期校准与维护费用构成持续支出。兼具水利工程知识与智能监测技能的复合型人才供给不足，现场技术人员需同时掌握相关专业知识和传感器原理与数据分析工具，而现有人员的知识结构难以满足跨学科技术应用需求。算法工程师对水利施工工艺的理解存在局限，导致机器学习模型的参数设置与工程实际存在偏差，影响数据解读的准确性。

3.2 对策

3.2.1 加强技术研发与设备升级

针对不同施工场景开发模块化监测设备，采用标准化接口设计实现传感器的快速更换与功能扩展，在倒虹吸施工中应用耐水耐腐的传感器，在渡槽施工配置抗振动和风力的监测单元，在渠道施工使用适应露天环境的监测设备，通过硬件适配降低环境干扰。研发适用于复杂地形和结构的监测技术，提升监测覆盖率。优化无线传输协议，在信号弱区部署中继节点形成Mesh网络，采用边缘计算与云计算协同架构，提高数据传输和处理效率。开发自适应算法模型，根据地质条件自动调整数据采样频率与分析阈值。

3.2.2 构建高效数据处理与分析平台

采用分布式存储架构搭建数据中台，通过时空数据库索引技术实现监测数据的快速检索，利用数据湖技术存储原始监测信号，数据仓库则存储经过清洗的特征参数，满足不同分析场景需求。引入联邦学习框架，在保护各标段数据隐私的前提下实现模型协同训练，通过迁移学习解决地质突变段的数据样本不足问题。开发可视化分析引擎，将多维度监测数据映射至BIM模型的三维空间，提升数据解读的直观性。部署智能运维设备，在合适区域自主巡检传感器工作状态，自动完成轻微故障的修复。

3.2.3 优化成本控制与人才培养

建立监测设备全生命周期成本模型，根据不同区段的施工环境选择性价比适配的传感器类型，在关键结构段采用高精度设备，在次要区域部署经济型监测单元，通过差异化配置降低总体投资。开发传感器复用技术，延长设备使用周期^[4]。构建校企联合培养体系，设置相关交叉课程，通过现场实训让学员掌握必要技能，定期组织技术交流活动促进施工人员与算法工程师的知识共享。建立监测数据标注平台，由资深工程师对典型工况数据进行专业解读，形成带标签的训练样本库，提升机器学习模型的工程适配性，降低对高端人才的依赖度。

结语

综上所述，水利工程施工过程自动化监控技术通过构建全域感知网络，实现了施工全过程的动态追踪与智能管理，在渡槽、倒虹吸、渠道施工及进度与资源调度等方面发挥重要作用。尽管面临技术复杂性、数据处理难、成本与人才等挑战，但通过加强技术研发、构建高效数据平台、优化成本控制与人才培养等措施，可有效应对。未来，随着技术不断发展，该技术将更成熟，为水利工程施工的安全、高效推进提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]郭少杰.水利工程机电设备自动化监控技术及其应用研究[J].中国高新科技,2023(9):153-154,157.
- [2]刘萍.水利工程机电设备自动化监控技术及其应用研究[J].水电水利,2024,8(2):162-164.
- [3]喻剑.水利工程机电设备自动化监控技术及其应用研究[J].数字化用户,2023(38):31-32.
- [4]陈炳龙.水利工程自动化监控系统在水闸运行中的管理应用[J].现代装饰,2021,488(27):161-162.