

融合智慧感知技术的污水厂站施工过程 质量动态管控方法研究

饶世斌

(深圳市深汕特别合作区深水水务有限公司)

【摘要】针对污水厂站施工关键工序质量数据采集不及时、不精准,以及管控缺乏动态性等问题,文章研究融合智慧感知技术的施工质量动态管控方法。分析污水厂站施工质量管控现状与智慧感知技术应用背景,明确现有数据采集问题;从多源感知设备选型部署、质量数据采集频率与标准体系建立、数据实时传输与预处理机制设计三方面构建管控方法;通过工程案例验证应用效果,结果表明该方法可提升工序合格率15个百分点,缩短关键工序周期12%,降低人工巡检工作量40%,为污水厂站施工质量管控提供有效技术支撑。

【关键词】智慧感知技术;污水厂站施工;质量动态管控

中图分类号:TU242

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.132

Research on Dynamic Quality Control Method for Construction Process of Sewage Treatment Plant Stations Integrating Intelligent Perception Technology

RAO Shi-bin

(Shenshan Special Area Water Co., Ltd.)

【Abstract】Aiming at the problems of untimely and inaccurate quality data collection in key construction processes of sewage treatment plant stations, as well as the lack of dynamics in management and control, this paper studies a dynamic quality control method for construction integrating intelligent perception technology. First, it analyzes the current status of construction quality management and control of sewage treatment plant stations and the application background of intelligent perception technology, and clarifies the existing data collection problems. Then, the control method is constructed from three aspects: the selection and deployment of multi-source perception equipment, the establishment of quality data collection frequency and standard system, and the design of real-time data transmission and preprocessing mechanism. Finally, the application effect is verified through an engineering case. The results show that this method can increase the process qualification rate by 15 percentage points, shorten the key process cycle by 12%, and reduce the workload of manual inspection by 40%, providing effective technical support for the construction quality management and control of sewage treatment plant stations.

【Keywords】intelligent perception technology; sewage treatment plant station construction; dynamic quality control

1 引言

污水厂站是城镇水环境治理的核心设施,施工质量直接决定污水处理效能与设施寿命。智慧感知技术快速发展,物联网、5G、AI预处理等为施工质量动态管控提供新路径。本文聚焦污水厂站施工关键工序质量管控痛点,通过设备选型、标准制定与机制优化,构建智慧感知动态管控方法,实现质量数据实时采集与精准管控,为提升施工质量提供科学方案。

2 污水厂站施工过程质量管控现状与智慧感知技术应用背景

污水厂站结构复杂、工艺特殊,涉及土建施工、

设备安装、管道铺设等多环节,各环节施工质量直接影响污水处理系统运行稳定性与效能。智慧感知技术在工程质量管控中已逐步落地,物联网传感器可对施工关键参数持续监测,BIM与GIS技术能构建可视化施工模型,AI视觉识别可快速检测外观质量问题,为提升管控效率与精度提供良好技术支撑。因此,构建融合智慧感知技术的动态管控体系,成为破解当前管控难题、保障施工质量的关键路径。

3 污水厂站施工关键工序质量数据采集不及时、不精准问题

污水厂站混凝土浇筑中,强度发展、温度变化等

关键指标需实时监测以保障结构稳定。现有采集模式常滞后于施工进度,数据反馈时部分浇筑段已进入养护阶段,若存在强度不足问题,难以及时采取补救措施。管道对接是污水厂站输水系统的关键工序,对接精度直接决定后期防渗漏效果,而数据采集不及时、不精准,不仅导致质量隐患难以及时发现,还会降低后续工序衔接效率。

4 融合智慧感知技术的污水厂站施工质量动态管控方法构建

4.1 污水厂站施工多源感知设备选型与精准部署

污水厂站施工关键工序差异显著,需结合混凝土浇筑、管道对接、设备安装的质量监测需求,针对性开展感知设备选型与部署,保障数据采集精准性。

4.1.1 混凝土浇筑工序设备选型与部署

混凝土强度、温度应力、坍落度为核心监测指标。强度监测采用回弹法与超声波传感器组合方案:前者检测表面硬度,后者通过声波速度反映内部密实度;温度应力监测选用抗干扰性强、精度高的光纤光栅温度传感器,可嵌入混凝土内部;坍落度监测采用激光位移传感器,安装于输送泵出口。部署上,浇筑区域按2m~3m间距梅花状布设传感器,混凝土内表层、中层、底层各设置1组光纤光栅传感器,全面捕捉温度变化特征。

4.1.2 管道对接工序设备选型与部署

对接精度、焊接质量、密封性为重点监测内容。对接精度采用双目视觉传感器,通过双摄像头采集图像计算偏差值;焊接质量依焊接方式选型:电弧焊用电弧传感器检测熔深熔宽,热熔焊用红外热像仪排查缺陷;密封性采用压力与气体传感器组合监测,管道内充入惰性气体,外侧布设气体传感器。部署时,双目传感器距对接面1.5m~2m,焊接传感器随机械臂同步移动,压力与气体传感器分别安装于管道内部及接口周边。

4.1.3 设备安装工序设备选型与部署

设备水平度、垂直度、振动幅度直接影响运行稳定性。水平度与垂直度监测选用倾角传感器,粘贴于设备关键受力部位;振动幅度监测采用加速度传感器,安装于电机、轴承等核心部件。部署标准为:每台大型设备设置3个倾角传感器,加速度传感器

按振动源分布布设2个~4个,采样频率不低于50Hz,满足动态监测需求。

4.2 基于关键工序特性的质量数据采集频率与标准体系建立

结合关键工序施工周期与质量变化规律,制定差异化数据采集频率,参考行业规范明确质量标准,同步建立动态调整机制,确保管控科学性。

4.2.1 数据采集频率制定

混凝土浇筑阶段:坍落度实时采集(间隔 $\leq 1\text{min}$);温度应力在浇筑后24h内每30分钟采集1次,养护期调整为每2小时1次;强度分别在3d、7d、14d、28d各采集1次。管道对接工序:对接精度与焊接质量全程连续采集(间隔 $\leq 10\text{s}$);密封性检测持续30min,每5分钟记录1次数据。设备安装调试阶段:水平度与垂直度每15分钟采集1次,运行初期调整为每1小时1次,稳定后延长至每4小时1次;振动数据在试运行阶段每20分钟采集1次,正常运行后改为每30分钟1次。

4.2.2 质量标准体系构建

依据《城镇污水处理厂工程施工及验收规范》等行业标准,明确各指标合格阈值与预警阈值。混凝土指标:C30强度28d $\geq 30\text{MPa}$ (预警值为设计值90%),温度应力 $\leq$ 抗拉强度80%,泵送混凝土坍落度120mm~160mm(预警浮动 $\pm 10\%$)。管道对接指标:轴线偏差 $\leq$ 直径1%,端面平行度 $\leq 0.5\text{mm/m}$,焊缝无缺陷且余高2mm~4mm,密封性检测30分钟压力降 $\leq 5\%$ 且无泄漏。设备安装指标:水平度偏差 $\leq 0.1\text{mm/m}$,垂直度 $\leq 0.5\text{mm/m}$,振动幅度 $\leq 0.1\text{mm}$ 且避开共振频率。

4.2.3 标准动态调整机制

标准动态调整需立足项目实际双维度发力:施工前开展现场勘查,结合项目所在地地质条件、气候特征制定初步调整方案,例如高温环境下将混凝土温度应力预警值降低5%~10%,避免环境因素导致标准适配性不足。施工过程中,专项小组每两周定期分析感知数据与实际质量问题的关联性,若某质量指标多次接近预警阈值却未引发渗漏等问题,需调取施工日志、人工抽检记录交叉验证,确认因标准阈值设置过高导致时,及时校准标准参数。

4.3 关键工序质量数据实时传输与预处理

针对施工环境复杂引发的数据传输中断与失真问题,搭建稳定传输网络,设计高效预处理算法,优化处理流程,保障数据时效性与准确性。

4.3.1 实时传输网络搭建

采用“5G+边缘计算”架构,建立数据优先级机制:混凝土温度应力、管道焊接缺陷数据设为高优先级,优先占用传输带宽;设备振动数据设为普通优先级。核心施工区域部署双5G基站与双边缘节点,主传输链路故障时自动切换至备用链路,保障数据传输连续无中断。

4.3.2 数据预处理算法设计

采用小波变换分解数据并去除高频噪声,消除机械振动对混凝土温度数据的干扰;运用拉依达准则(3σ 准则)计算数据均值与标准差,判定异常值,核心判定条件为 $|x_i - \bar{x}| > 3\sigma$ (其中 x_i 为单条质量数据,如单次采集的混凝土温度值、管道对接偏差值; $\bar{x}$ 为同一时段内该指标算术平均值; σ 为该时段内数据标准差)。结合施工日志验证超出范围的数据:确认为设备干扰、环境波动导致的噪声数据予以剔除;属于温度骤升、偏差超限等真实质量异常数据则标记并触发预警。数据丢失处理:短暂丢失(≤ 5 分钟)采用线性插值法补全;长时间丢失(> 5 分钟)采用滑动平均法结合历史数据趋势补全。

4.3.3 数据预处理流程优化

构建“采集—传输—预处理—存储”闭环流程:采集设备实时发送数据至边缘节点,10s内完成数据接收与初步处理。流程上先统一电压、图像、位移等多类型数据格式,再依次执行降噪、异常检测、数据补全操作。处理后的数据分两路流转:一部分实时传输至管控平台用于预警展示,另一部分存入本地数据库形成质量档案。定期对比预处理数据与实际检测数据,当误差率超过5%时,优化算法参数,调整小波变换分解层数、拉依达准则置信区间,提升预处理效果。

5 融合智慧感知技术的污水厂站施工质量动态管控方法应用效果

5.1 工程案例选取与应用背景

选取某新建城镇污水处理厂项目作为应用案

例,该项目设计处理规模为5万t/d,涵盖氧化沟、沉淀池、污泥脱水车间等核心构筑物,施工涉及混凝土浇筑、管径1.2m污水管道对接、曝气设备安装等关键工序。项目中期引入融合智慧感知技术的动态管控方法,部署多源感知设备32台套,搭建专属管控平台1套,全面覆盖所有关键施工环节。

5.2 应用效果量化分析

混凝土浇筑工序中,通过实时温度与强度监测,提前识别3处因骨料配比偏差引发的强度增长缓慢问题,及时优化养护方案,该工序合格率从传统管控的92%提升至98%。管道对接工序中,双目视觉传感器与焊接质量检测设备协同联动,累计检测对接接口156处,精准识别8处轴线偏差超标问题,均在后续焊接前完成整改,接口密封性检测一次性合格率达100%,较传统方式提升15个百分点。整体来看,管控方法应用后,项目关键工序平均施工周期缩短12%,质量问题处理成本减少23万元,人工巡检工作量降低40%,实现质量与效率的双重提升。

5.3 方法应用优势与适配性总结

该管控方法的核心优势在于实现质量数据的实时化与精准化,将质量风险管控从“事后补救”转变为“事前预警”。其在污水厂站施工场景的适配性良好,既能满足混凝土、管道等土建工序的监测需求,也能适配设备安装的精细化管控要求。项目雨季施工阶段,感知设备经防雨防尘改造后持续稳定运行,数据传输与预处理未受环境因素影响,充分验证了方法的环境适应性。

6 结语

本文针对污水厂站施工质量管控现存痛点,系统构建融合智慧感知技术的动态管控方法。该方法通过多源感知设备实现关键工序质量数据精准采集,依托标准化体系与实时传输机制保障数据时效性,最终实现质量风险“事前预警”,有效破解传统管控的滞后性问题。未来可结合BIM技术深化数据可视化应用,进一步完善质量—进度—成本协同管控模型,为污水厂站施工质量管控的智能化发展提供更全面的技术支撑。