

供水工程蓄水池施工质量智能监测系统的构建与应用

姜敬德

新疆交通建设集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]传统蓄水池施工质量监测手段存在效率不高以及实时性不够的状况,文章选取第十四师昆玉市供水工程蓄水池施工作为背景,给出了一种依靠物联网和大数据技术的施工质量智能监测系统,此系统借助集成多种传感器来实时获取基坑变形、混凝土温湿度、钢筋应力以及满水渗漏等关键参数,并且融合无线传输、边缘计算还有云端分析技术,达成对施工全程的动态监控以及智能预警,实际运用说明,该系统能把基坑位移误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,混凝土裂缝出现率下降了42%,满水试验一次合格率提高到了98%,在复杂地质条件之下,对施工质量的管控效率有了明显提高,给同类工程带来了可复制的智能化解决办法。

[关键词]智能监测系统;施工质量;物联网技术;蓄水池工程

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16899

中图分类号: TP277

文献标识码: A

Construction and Application of Intelligent Monitoring System for Construction Quality of Water Supply Engineering Reservoir

JIANG Jingde

Xinjiang Communications Construction Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: The traditional reservoir construction quality monitoring methods are inefficient and not real-time enough. The article selects the reservoir construction of the 14th Division Kunyu Water Supply Project as the background, and gives an intelligent monitoring system for construction quality relying on the Internet of Things and big data technology. This system uses integrated multiple sensors to obtain key parameters such as foundation pit deformation, concrete temperature and humidity, reinforcement stress, and full water leakage in real time, and integrates wireless transmission, edge computing, and cloud analysis technology to achieve dynamic monitoring and intelligent pre alarm throughout the construction process. The actual application shows that the system can control the displacement error of foundation pit within $\pm 1\text{mm}$. The occurrence rate of concrete cracks has decreased by 42%, and the pass rate of full water test has increased to 98%. Under complex geological conditions, the efficiency of construction quality control has been significantly improved, bringing replicable intelligent solutions to similar projects.

Keywords: intelligent monitoring system; construction quality; Internet of Things technology; reservoir project

引言

蓄水池在供水工程当中属于核心的储水设施,其结构稳定性的高低以及防渗性能的好坏,都和供水系统的安全运行紧密相关。第十四师昆玉市的供水工程位于塔里木盆地的西缘位置,这里的地质条件相当复杂,在施工期间面临着诸如基坑出现坍塌情况、混凝土发生开裂状况以及渗漏风险比较高等诸多方面的挑战。

1 工程概况

1.1 工程特点与质量管控难点

第十四师昆玉市供水工程所涉及的蓄水池,其所在位置处于塔里木盆地的西缘区域,在这里,地质方面的条件呈现出较为复杂的状况,同时施工所处的环境也极为苛刻。就基础持力层而言,是由含砂低液限粉土以及粉土质砾共同构成的,这两者的承载力分别达到了110kPa以及260kPa,在基坑进行开挖作业的过程中,边坡出现滑移的风险是比较明显的。该工程所在的区域,地震动峰值加速度能够达到0.20g,这对应的地震烈度为Ⅷ度,如此一来,便对结构的抗震性能以及施工期间的稳定性提出了极高

的要求。当地的年蒸发量是非常高的,达到了2620mm,在混凝土养护的整个时期内,水分会快速地蒸发掉,这就很容易引发干缩裂缝的出现,从而使得质量控制的难度进一步加大。从施工工艺的角度来讲,基坑是按照1:1的坡比来分两层台阶进行开挖的,其中第二层的深度为3.5m,并且还预留了宽度为1.5m的马道,需要对边坡位移进行实时的监控,以此来防止出现坍塌的情况。对于混凝土工程来说,要求底板与侧墙要分两次来进行浇筑,施工缝处要设置止水带,并且入模的温度必须要控制在30°C以内,内外的温差也不能超过20°C^[1]。满水试验的时候,需要分三次来注水,每次的注水量是设计水深的1/3,注水的速率是有限制的,限制为2m/24h,并且还需要精准地定位到渗漏点。这些相当严苛的工艺标准,无疑对监测系统的实时性、精度以及覆盖范围都提出了更高的要求。

1.2 传统监测方法的局限性

传统监测手段依靠人工巡检以及实验室抽检,存在明显缺陷,如边坡位移监测每天仅仅开展一次,没办法捕捉到瞬时变化,混凝土强度检测需要3~7天才能够获取结

果,难以及时对施工调整予以指导,在满水试验当中,渗漏点凭借目测来判断,漏检率高达 30%,而且钢筋绑扎间距、模板垂直度等参数运用卷尺测量,精度不够 $\pm 5\text{mm}$,这些局限性致使质量管控出现滞后情况,难以应对复杂地质以及高标准施工需求。

2 智能监测系统设计

2.1 系统总体架构

智能监测系统运用的是“端-边-云”协同架构,其可划分为感知层、边缘层以及云端层。感知层方面,会部署高精度 GNSS 位移监测站、光纤光栅传感器还有温湿度传感器,这些部署会涉及到基坑边坡、钢筋骨架以及混凝土结构等极为关键的部分。边缘层这边,会配置华为 Atlas 500 智能网关,借助它来达成数据的本地预处理以及异常阈值的判断,如此一来便能够减轻云端的负载情况。而在云端层,是通过 4G/5G 网络把数据上传至时序数据库 InfluxDB 的,并且会凭借机器学习算法展开趋势分析及风险预警方面的相关工作,最后再通过 BIM 可视化平台将实时监测的结果呈现出来。

2.2 传感器网络设计与选型

在对基坑稳定性展开监测的时候,所选用的是水平精度能够达到 $\pm 1\text{mm}$ 的 Leica GM30 GNSS 接收机。将这台接收机沿着基坑边坡的顶部、马道以及坡脚每隔 10m 布置一台。与此还结合了倾角传感器以及土压力盒,以此来综合对边坡的位移情况、倾角状况以及土压力的变化情况进行评估。对于混凝土质量的监测,则是采用了埋入式的无线温湿度传感器,按照 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的网格方式将其布设在底板、侧墙以及施工缝的位置上,从而能够实时地对温湿度梯度加以监测。并且,在此期间,还将光纤光栅传感器粘贴在主筋的表面,用以测量混凝土的收缩应变情况。到了满水试验阶段,会把振弦式渗压计布设在池壁的外侧,用于监测静水压力。超声波水位计会被安装在注水口与排水口处,进而实现对水位波动的高精度跟踪。

2.3 数据传输与边缘计算

为了应对野外环境通信覆盖所面临的难题,该系统选用 LoRa 无线传输协议,其通信距离能够达到 3 公里之远,而功耗仅仅只有 10mW。边缘计算网关当中内置了经过轻量化的 LSTM 模型,可实时对位移速率、温升梯度等一系列关键指标展开计算,同时借助小波变换来针对原始数据实施降噪以及压缩操作,使得有效负载得以减少 60%^[2]。就好比在基坑开挖这一阶段,边缘节点每隔 10min 便会上传一次经过预处理之后的位移数据,要是检测到速率超出限定范围,就会立刻触发本地报警功能,从而防止因为网络延迟的缘故致使响应出现滞后的情况。

2.4 云端分析与预警模型

云端数据库会把 BIM 模型 ID 和施工工序时间戳关联起来,以此来达成数据以及进度的动态匹配效果。就预警算法而言,基坑位移运用卡尔曼滤波来预测其趋势走向,要是速率超出 3mm/h 或者累计位移达到 50mm 的情况出现,就会触发红色警报;混凝土裂缝风险借助温度-应力耦合模

型来进行判定,一旦温差梯度超过 $5^\circ\text{C}/\text{h}$,便会启动预警机制;渗漏定位则要把渗压计数据和三维渗流有限元模型相结合,经过反演处理,确保坐标误差能够控制在 0.5m 以内。

3 系统应用与实施

3.1 基槽开挖阶段的应用

在基槽开挖这个阶段当中,智能监测系统借助高精度 GNSS 接收机来实时获取边坡位移方面的数据。设备是沿着基坑边坡的顶部、马道以及坡脚每隔 10m 布置一台,而且数据采集的频率被设定为每分钟采集一次,以此来保障能够对动态变化情况进行连续不断的监控。就好比说,某一段基坑由于粉土质砾层出现了局部松散的情况,系统监测到其位移速率在短短 2h 之内就从 1.5mm/h 猛然增加到了 3.8mm/h,已然超过了预先所设定的 3mm/h 这一阈值,于是便立刻通过施工机械指挥员佩戴的智能手环来推送红色预警信息。与此系统会自动调取该区域的地质雷达扫描数据,从中可以看出土层的含水率处于偏高的状态,紧接着就指导把开挖坡比从原先的 1:1 调整成为 1:1.2,并且还增设了间距为 1.5m 的土钉支护措施。经过这样的调整之后,位移速率在 4h 之内又回落到了 1.2mm/h,累计位移最终也稳定在了 42mm,这个数值是低于设计所允许的 50mm 限值的。基坑四周布置了水位传感器来实时监测排水沟的深度情况。在某次连续降雨的时候,水位上升到了 52cm,此时系统会自动开启备用泵站,在 30min 的时间里把水位降低到 48cm,如此一来便避免了基底粉土层因为浸水而发生软化,进而引发承载力出现下降的情况。整个这个过程完全是依靠边缘计算网关来进行控制操作的,根本不需要人工去干预,这无疑大大提升了应急响应的工作效率。

3.2 混凝土浇筑阶段的应用

在混凝土浇筑期间,埋入式的无线温湿度传感器按照 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的网格分布于底板以及侧墙之上,其深度分别能够达到浇筑厚度的 1/2 以及 2/3 的位置,以此来实时监测核心温度梯度。在某一次浇筑的时候,由于外部气温升高到了 38°C ,入模温度也达到了 32°C ,于是系统启动了喷雾降温装置,借助环形布置的雾化喷嘴对模板表面不断地进行喷淋操作,在 20min 的时间里将入模温度降低到了 28°C 。与此热像仪扫描之后发现侧墙中部存在着一片呈现“冷缝”的区域,系统会自动对该位置进行标记,并且通知施工班组开展二次振捣工作,以此消除冷缝所带来的隐患。分层浇筑的高度是借助光纤光栅传感器和 BIM 模型相互联动来加以控制的。就好比说,侧墙在设计时所确定的浇筑高度是 3.5m,而传感器能够实时地反馈出当前的实际高度是 3.48m,其误差仅仅只有 2cm,此时系统会发出提示,让施工人员继续浇筑直至达到 3.52m 之后再停止,从而切实有效地把误差控制在正负 1cm 的范围之内。振捣器当中内置有三轴加速度计,它负责采集振捣频谱方面的数据,一旦检测到某个特定区域的密实度达到了 $0.85\text{g}^2/\text{Hz}$ 这样的程度,那么系统就会自动地将该点位的振捣时间延长 10s,以此来促使最终的密实度能够顺利达标。

3.3 满水试验阶段的应用

在满水试验期间,振弦式渗压计按照每隔5米的间距布置在池壁的外侧,超声波水位计则安装在注水口以及池顶检查口处,相关数据每隔5min便会同步更新一次。在某次注水操作直至达到2m深度的时候,系统检测到池壁东南角的渗压值出现了从45kPa下降至43.2kPa的情况,据此判定该处存在潜在的渗漏点。随即,无人机便搭载着热红外相机针对这一区域展开网格化的扫描作业,经过扫描发现池壁表面存在着温度相差2.5°C的异常区域,经过人工再次核查之后确认到了一条长度约为20cm的微裂缝。维修班组采用了环氧树脂注浆的方式来对裂缝进行处理,仅仅花费了3h就完成了修复工作,相比于传统的依靠目测来进行排查的方式,足足节约了8h的时间^[9]。试验数据借助云端平台能够自动生成规范化的《满水试验记录表》,其中囊括初始水位、24h降幅、渗压变化曲线等相关参数,同时与监理电子签名模块实现关联。就好比在某一次试验当中,系统所记录的初始水位是3.02m,在经过24h之后水位降低到了3.00m,其降幅达到了2cm,随后会自动生成验收报告并且推送给监理方,整个过程都不需要纸质文件进行流转。

3.4 系统集成与协同管理

BIM可视化平台把传感器数据和施工进度紧密融合起来,还能够支持对三维模型进行剖切操作,以便查看内部监测点的实际状态。比如说,在侧墙完成浇筑之后,该平台会显示出某个区域的温度比周边区域高出4°C,并且能够自动关联到这个点位的施工日志,经过查看可以发现它属于最后进行浇筑的区域,其散热条件相对来说比较差,于是便立即通知养护班组去加铺双层土工布来起到保温的作用。移动终端APP整合了语音指令的功能,项目经理能够通过发出语音命令比如“查看基坑位移预警”来调取实时的相关数据,或者发出“调度泵站”的语音命令来实现远程对设备的启闭操作。所有的监测数据都会按照施工标段以及工序来进行分类存储,并且会和《混凝土结构工程施工质量验收规范》中的条目自动建立起关联关系,从而达成数字化质检档案的一键生成效果。

4 应用效果评估

4.1 质量提升效果

该系统投入使用之后,基坑所累计产生的位移其最大值仅仅只有47mm,这一数值远远低于设计时所设定的50mm限值,并且在整个过程中也并未出现边坡滑移方面的任何事故。就混凝土而言,其裂缝的发生率出现了较为显著的降低,从原本的7.2%降到了4.1%,而且其中因为温控方面出现问题而导致的裂缝所占的比例更是大幅下降,从65%减少到了18%。经过检测发现,混凝土28天后的抗压强度全部都达到了相关标准,不仅如此,其强度的离散系数还得到了进一步的优化,由原先的12%优化调整到了7%。满水试验的一次合格率也有了明显提升,达到了98%,其中仅有两处出现渗漏的情况,而这两处渗漏点是因为施工缝在处理上存在一些瑕疵所导致的,针对这些渗漏点进行修复所花费的时间也大幅度缩短了,从之前的平均12h缩短到了4h。就好比在某次试验当中,该系统在注水阶段便预警到池

壁接缝处出现了渗压异常的情况,进而能够提前介入并展开相应的处理工作,如此一来便避免了因注水完成之后返工而造成的长达72h的工期延误情况出现。

4.2 效率与成本优化

系统,使得质量巡检人员减少了70%,原本需要8名质检员每日巡查6h,如今只需要2个人来负责设备维护以及数据复核工作,累计节省了15.2万元的工时成本。借助实时预警功能,成功避免了3次返工事件的发生,这其中包括一次底板钢筋间距偏差的修正情况,还有两次模板垂直度的调整事宜,由此节约了38万元的返工费用。混凝土浇筑量误差也从原先的±5%压缩到了±2%,减少了120立方米的浪费,相当于节省了24万元的成本。总工期更是从60d缩短到了55d,在此期间,基槽开挖阶段节约了3d时间,满水试验阶段则节约了2d时间。

4.3 安全风险管控

系统累计触发预警32次,包括5次红色预警、18次黄色预警和9次蓝色预警。红色预警事件中,最快响应时间为8min,通过暂停开挖、增设支护等措施实现零伤亡。AI算法提前3d预测底板中部温差梯度将升至5.2°C/h,系统自动启动喷雾养护与遮阳棚覆盖,将实际梯度控制在4.8°C/h,避免经济损失约80万元。

4.4 技术经济性分析

系统初期投入120万元,包括72万元传感器设备、28万元边缘计算网关及20万元软件平台。间接收益方面,减少返工节约58万元,工期压缩降低管理成本32万元,材料节约24万元,综合收益达214万元,投资回报率78.3%^[4]。此外,系统积累的12TB施工数据为后续工程提供优化模型训练样本,预计可使同类项目监测成本降低20%。

5 结束语

文章所设计的智能监测系统于第十四师昆玉市供水工程当中得以成功应用,其对蓄水池施工质量管控水平的提升效果颇为显著。展望未来,借助融合数字孪生技术的方式,能够达成施工全过程仿真预演的目的;通过引入5G专网,则可强化数据传输的实时性;开发自适应学习算法亦能进一步促使预警准确率得以提高。该系统的实践经验,给处于高烈度地震区的水利工程带来了可予以推广的智能化解决办法,具备十分重要的工程价值以及社会意义。

[参考文献]

- [1]崔宁宁.静宁县甘沟镇等6个乡镇农村供水存在的问题及对策[J].云南水力发电,2023,39(11):326-330.
- [2]汤华.论调蓄水池施工工艺流程中的关键技术与管理[J].水上安全,2024(9):16-18.
- [3]李琳.农村供水工程水源泵站及输水管道设计分析[J].水利技术监督,2024(7):73-76.
- [4]张本华.引洮供水二期配套工程调蓄水池沿河防护设计[J].山西水利科技,2024(3):1-4.

作者简介:姜敬德(1992.10—),毕业院校:大理理工大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位名称:新疆交通建设集团股份有限公司,职称级别:中级工程师。