

Design and Application of Zaoshi Hydropower Dam Safety Monitoring System Based on Internet of Things Technology

Jiade Zhang Shijun Liu Kun Li Wei Yang

Hunan Lishui Hydro & Power Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract

Focusing on the requirements of engineering safety operation, a dam safety monitoring system for Zaoshi Hydropower Station was constructed based on Internet of Things technology, consisting of three subsystems: a safety monitoring perception system, an automated collection system, and an information management system. The system realizes the full life cycle application of dam safety monitoring data collection, transmission, analysis, monitoring, and early warning, effectively enhancing the comprehensive guarantee capability of dam safety; The system has played an important role in flood control scheduling and daily operation of Zaoshi Hydropower Station, and can provide reference for similar system construction.

Keywords

internet of things technology; hydropower station; safety monitoring; information system

基于物联网的皂市水电站大坝安全监测系统设计与应用

张家德 刘世军 李昆 杨威

湖南澧水流域水利水电开发有限责任公司, 中国·湖南长沙 410000

摘 要

聚焦工程安全运行需求, 基于物联网技术构建了由安全监测感知系统、自动化采集系统和信息管理系统等三个子系统组成的皂市水电站大坝安全监测系统, 实现了大坝安全监测数据采集、传输、分析、监控及预警全生命周期应用, 有效提升了大坝安全综合保障能力; 系统已在皂市水电站防汛调度及日常运行过程中发挥了重要作用, 可为类似系统建设提供参考。

关键词

物联网技术; 水电站; 安全监测; 信息系统

1 引言

1.1 物联网技术概况

物联网技术是将传感器、实体设备等物理设备通过网络技术进行连接, 从而形成一个能够互相通信和交换数据的网络系统, 其中各个层级和组件之间高度集成, 实现高效数据通信与实时控制^[1]。近年来, 物联网技术发展迅速, 已广泛应用于各行各业。

在水利工程大坝安全监测领域, 物联网主要由安全监测仪器、自动化采集设备和信息化系统组成。其中, 安全监测仪器实现监测数据的现场测量, 自动化采集设备实现监测仪器的在线接入和自动化控制, 信息化系统实现对物联网设备的管理以及实现数据采集、汇聚、分析等各项功能^[2]。

1.2 皂市水电站概况

皂市水电站是“98 大水”后国务院批准的国家“十五”

重点防洪骨干工程, 工程位于澧水流域的一级支流渚水上, 坝址距湖南省常德市石门县城约 19km; 水库控制流域总面积 3000 km², 约占渚水流域总面积的 93.7%, 主要工程任务以防洪为主, 同时兼顾发电、供水、灌溉和航运等多方面的综合利用^[3]。

皂市水电站具体工程特征如表 1 所示。

表 1 皂市水电站工程特征表

工程特征	特征信息
工程等别	一等大 (I) 型工程
坝型	碾压混凝土重力坝
坝顶长度	351m
最大坝高	88m
坝顶高程	148m
正常蓄水位	140m
总库容	14.39 亿 m ³
装机容量	120MW
设计年发电量	3.26 亿 kW · h

【作者简介】张家德 (1990–), 男, 中国湖南溆浦人, 硕士, 工程师, 从事水电站运行研究及管理研究。

论文综合运用新一代物联网技术, 围绕皂市水电站大

坝安全需求,构建全方位透彻感知监测物联网,将安全监测仪器、自动化采集设备和信息管理系统进行有机结合,实现了从安全监测数据采集、存储、分析、监控及预警全生命周期应用,有效提升了大坝安全综合保障能力。

2 系统总体框架

皂市水电站大坝安全监测系统整体可划分为物联网采集层、网络连接层和业务应用层。

①物联网采集层:由安全监测仪器和自动化采集设备组成,安装在水工建筑物内部和各现场监测站中,通过振弦、差阻等传感技术,采集获取监测物理量数据。②网络连接层:通过现场光纤局域网络和数据加密传输技术,组成安全稳定的数据传输网络,保障各类物联网设备与系统连接的保密性和可靠性。③业务应用层:主要实现自动化采集和信息管理分析;其中,在自动化采集方面,支持接入各类物联网自动化采集设备,实现振弦、差阻、电流、电压、数字式等多类型传感器的统一接入,并构建基于 MQTT 等通信协议的安全监测物联网平台,实现监测设备的统一管理和运维;信息管理系统实现安全监测数据采集、数据管理、处理分析等功能,提升安全监测数据的管理及利用效率,为工程建设及运行安全提供决策支持。

皂市水电站大坝安全监测系统拓扑结构如图 1 所示。

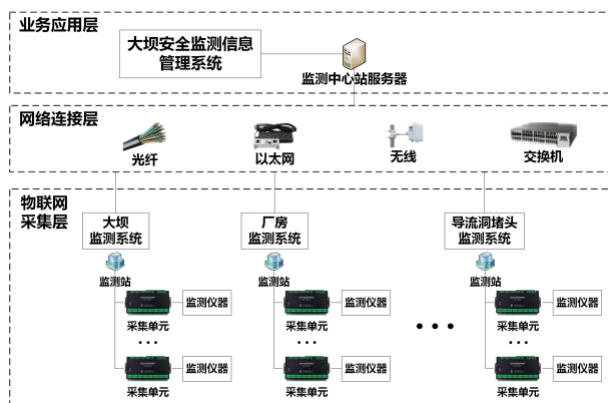


图 1 大坝安全监测系统拓扑图

3 系统分项设计

针对安全监测感知系统、自动化采集系统和信息管理系统等三个子系统进行分项设计,综合应用物联网技术实现了安全监测数据自动采集、管理和分析的全生命周期智慧应用^[4]。

3.1 安全监测感知系统设计

根据皂市水电站工程结构特点,依据《混凝土大坝安全监测技术规范》(SL601)和《水利水电工程安全监测设计规范》(SL725)等相关标准规范要求,皂市水电站安全监测感知系统分为大坝、厂房、消力池、左右岸边坡和导流洞堵头 5 个部分。

①大坝安全监测:主要针对大坝变形、渗流、应力应变及坝体温度情况进行监测。②厂房安全监测:主要针对厂房基础渗压、建基面结合度、尾水管钢筋应力及蜗壳结构受力情况进行监测。③消力池安全监测:主要针对消力池基础渗流、左墙基岩面结合情况及支护锚索受力情况进行监测。④左右岸边坡安全监测:主要针对左、右岸边坡、水阳坪—邓家嘴滑坡体和金家沟崩坡积体的变形稳定、地下水及支护锚索受力情况等进行监测。⑤导流洞堵头安全监测:主要针对导流洞堵头温度、变形、渗流及应力应变情况进行监测。

皂市水电站安全监测系统共接入各类监测仪器测点 1175 个。其中,变形监测测点 365 个,包括正倒垂、引张线、测缝计等类型;渗流监测测点 560 个,包括测压管、渗压计、量水堰、排水孔等类型;应力应变及温度监测测点 250 个,包括应变计、无应力计、锚索测力计、温度计等类型;通过构建实时、精准大坝安全监测全面感知系统,发挥安全监测体系的“耳目”作用,为全面捕捉工程运行时的性态反映,分析评判建筑物的安全性状及其发展趋势提供了有力的基础数据支撑^[5]。

3.2 自动化采集系统设计

皂市水电站大坝安全监测自动化采集系统采用监测中心站和监测站二级设置,系统包含 1 个监测中心站和 13 个监测站,共接入 22 套内观自动化采集设备、10 台垂线坐标仪和 14 台引张线仪。

自动化采集系统采用分布式网络结构,建成了冗余独立星型网络,主要采用 TCP/IP 以太网的方式进行数据通信,从而保证系统通讯效率。在网络通信异常时,系统能够按照预设的采集频次,自动采集监测数据并保存在自动化采集设备内部,当网络恢复时将数据同步至监测中心站的信息管理系统中。

自动化采集系统监测站分布如图 2 所示。

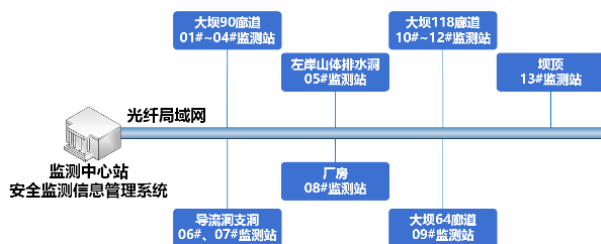


图 2 自动化采集系统监测站分布图

3.3 信息管理系统设计

皂市水电站安全监测信息管理系统基于 B/S 模式和微服务技术构架进行开发,并通过 Restful API 接口与自动化采集系统进行无缝集成,实现物联网设备的统一管理、控制及运维。

系统基于通用化、模块化的设计原则,整体划分为数据采集、数据管理、整编分析、监控报警、测点管理、工程管理和系统管理等 7 个功能模块,满足大坝安全日常业务功能需求。系统各模块的具体功能如表 2 所示。安全监测信息管理系统部分界面见图 3 及图 4。

表 2 安全监测信息管理系统功能模块表

功能模块	具体实现功能
数据采集	对接监测自动化采集系统，实现数据采集管理功能，支持实时采集、定时采集等多种采集形式
数据管理	实现安全监测数据的集中管理，支持快捷输入、输出操作
整编分析	实现数据整编、计算处理和模型分析功能，支持报告自动生成
监控报警	数据入库后自动判别预警数据并提醒相关人员
测点管理	实现测点信息管理，支持自定义测点类型和参数公式
工程管理	实现工程结构、监测站点信息和工程文档资料管理
系统管理	实现用户、权限等管理功能，支持日志记录和服务状态监控



图 3 采集设备网络拓扑图



图 4 监测数据过程线组合图

4 系统应用效益

基于物联网技术的皂市水电站大坝安全监测系统已于 2022 年初建设完成，至今已稳定运行超过 2 年，支持在 2 分钟内完成自动化系统巡回测量，已累计采集监测数据超 200 万条，实现了大坝安全信息采集、传输、分析、监控及预警全生命周期应用，提升了大坝安全保障能力，为皂市水电站防汛调度及日常运行提供了重要技术支撑。

5 结语

论文综合运用物联网技术构建了皂市水电站大坝安全监测系统，并开展了系统总体框架、及监测感知系统、自动化采集系统和信息管理系统分析设计；系统已在皂市水电站

经受长期运行考验，能够有效提升监测数据采集的及时性和稳定性，也可为类似系统建设提供参考。

参考文献

[1] 孙其博,刘杰,黎犇,等.物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J].北京邮电大学学报,2010,33(3):1-9.

[2] 易华,韩笑,王恺仑,等.物联网技术在大型水电站安全监测自动化系统中的应用[J].长江科学院院报,2019,36(6):166-170.

[3] 凌玉标,陈印辉,彭敏.澧水流域防洪规划及防洪工程体系建设[J].湖南水利水电,2005(5):43-45.

[4] 黄跃文,牛广利,李端有,等.大坝安全监测智能感知与智慧管理技术研究及应用[J].长江科学院院报,2021,38(10):180-185+198.

[5] 吴中如.水工建筑物安全监控理论及其应用[M].北京:高等教育出版社,2003.