

TB 水电工程施工期监测自动化关键技术应用研究

董常文¹, 邹兴宏¹, 王李俊¹, 王杨成¹, 龚云柱²

(1. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650051;

2. 华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南 迪庆 674608)

摘要: TB 水电工程从施工初期即同步实施监测自动化, 在现场无永久电源、无有线通信实施条件、施工干扰大的环境下, 依据现场情况, 通过采用太阳能、施工临时电源或蓄电池配低功耗自休眠模式解决供电问题, 采用无线通信、临时光缆、LORA 信号中继等解决通信问题, 成功实现了施工期高频次、长时段自动观测的难题, 确保施工期全时段监测数据的完整性, 施工完成后完善相关系统即可无缝转为永久自动化监测系统, 为指导工程施工、监测预警提供坚实的数据支持。

关键词: 安全监测; 施工期; 自动化; 通信; 电源; TB 水电工程

中图分类号: TV134.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2024)S1-0086-05

Application research on key technologies for automated monitoring during the construction period of TB Hydropower Project// DONG Changwen¹, ZOU Xinghong¹, WANG Lijun¹, WANG Yangcheng¹, GONG Yunzhu²
(1. POWERCHINA Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming 650051, China; 2. Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: From the early stages of construction, the TB Hydropower Project has simultaneously implemented automated monitoring. In an environment with no permanent power supply, no conditions for wired communication, and significant construction interference, solutions were devised based on the on-site situation. Power supply issues were resolved using solar energy, temporary construction power sources, or batteries with low-power self-sleep modes. Communication issues were addressed using wireless communication, temporary optical cables, and LORA signal relays. These measures successfully realized high-frequency, long-duration automated observations during the construction period, ensuring the completeness of monitoring data throughout the entire construction period. Upon completion of construction, the related systems can be seamlessly transitioned into a permanent automated monitoring system, providing robust data support for guiding construction, monitoring, and early warning.

Key words: safety monitoring; construction period; automation; communication; power supply; TB Hydropower Project

TB 水电工程位于云南省境内澜沧江上游河段, 为一等大(1)型工程, 其枢纽建筑主要由挡水建筑物、泄洪消能建筑物和右岸地下输水发电系统等组成。挡水建筑物采用碾压混凝土重力坝形式, 坝顶高程 1 740 m, 坝顶长度 477 m, 最大坝高 158 m。水库正常蓄水位 1 735 m, 总库容 12.15 亿 m³, 其中调节库容为 2.58 亿 m³。电站的装机容量为 1 400 MW, 多年平均发电量为 62.3 亿 kW·h。

TB 水电工程安全监测范围包括碾压混凝土重力坝、输水发电系统、导流洞堵头及工程边坡(包括左右岸坝肩边坡、进水口边坡、尾水出口边坡、出线场边坡、S0 滑坡体、BT1 堆积体、500 kV 开关站边坡等), 共布置各类监测仪器 3 800 余支(套)。为有效监控 TB 水电工程施工期的安全, 及时反映施工过

程中工程安全状况, TB 水电工程从施工初期即开始实施监测自动化, 确保了监测数据的及时性和连续性, 提高了工程管理水平 and 应急响应能力, 及时反映施工过程中建筑物的变化状况, 为指导工程施工及长效安全建设提供坚实的保障。

1 施工期监测自动化的难点及对策

在传统的水电工程施工期安全监测中, 由于施工干扰及现场环境条件的限制, 通常不具备在施工期实施自动化监测的条件, 施工期主要依赖人工观测。只有当工程施工接近尾声, 并具备稳定电源、有线通信条件及没有施工干扰时, 才实施监测自动化^[1]。这种方式存在数据采集时效性差、覆盖面不全、施工期监测数据量不足等问题, 难以为大坝浇筑和灌浆、工程

蓄水、厂房和边坡开挖等提供实时数据支持,这是工程智能建造中需要解决的关键问题之一。

在施工期实现安全监测自动化,主要难点包括:①供电的限制。施工期间无稳定电源,电压不稳定,容易造成自动化设备损坏。②通信条件的局限。施工期缺乏有线或无线通信条件,导致监测数据无法及时传输和处理。③施工环境恶劣。施工过程中,开挖爆破及其他土建施工容易造成设备损坏;洞室、大坝仓面及廊道内环境恶劣,湿度大,微尘多,这样的环境已不利于自动化设备正常工作,容易导致设备损坏或数据采集中断。

针对这些问题,TB水电站在施工期间采取了一系列针对性措施,确保了施工期安全监测自动化的顺利实施。

1.1 系统供电

施工期间,监测自动化设备的供电电源采取以下方法解决:①在边坡以及大坝混凝土浇筑仓面等部位,一个测站配太阳能板及电池,白天太阳能板供电并给蓄电池充电,夜晚由蓄电池供电,基本能保证一个测站自动化监测的需要。②在洞室及廊道内,如测站附近有施工电源,则临时从施工电源点获取电源。由于施工电源电压不稳定,容易造成自动化设备损坏,需在电源接入设备前设置浪涌保护器、稳压器,以确保电源电压稳定。此外,施工电源时常断电或经常移动,导致数据观测中断,为此还配备一定容量的蓄电池,确保自动化设备不间断连续运行。③在不具备太阳能供电条件,周围又没有施工电源的测站,自动化设备的内置电池选用大容量蓄电池设备,并配备外部备用蓄电池。由于要给4G通信模块和自动化采集模块同时供电,施工期监测频次高,内置电池仅可支持工作4~5d,为此对模块的供电采用RTC时钟计时通电的低功耗自休眠模式,在重要观测周期采用不断电模式,平常大部分施工周期采用定时采集供电,采集完毕后进入电源休眠模式,这样蓄电池可以连续使用一个月时间后再更换,显著减少了频繁更换蓄电池的次数。

1.2 系统通信

施工期间现场永久监测站、管理站和中心站均没有建成,均采用随时移动的临时测站,不具备通信光缆布设条件。为解决通信问题,TB水电工程选择的监测自动化设备具有多种通信接口,包括4G全网通、以太网RJ45接口、WiFi、RS485等通信方式^[2-3],有效解决了施工期间数据传输的通信问题。现场具体采取以下方式:①施工期间,大坝、边坡和地下厂房大部分区域均覆盖有移动通信网络,在有网络的地方采用户外4G路由器与移动通信网络组

网,实现自动化监测的无线传输,数据传输至营地办公室服务器。②部分洞室和廊道区域无移动通信网络,在无网络的测站内布置LORA中继搭配LORA无线网关,各自动化设备通过LORA信号与LORA无线网关组成互通局域网,在无线网关位置设置4G路由器,通过4G路由器与移动通信网络组网,实现自动化监测的无线传输,数据传输至营地办公室服务器。③随着工程的进展,部分施工完成区域永久监测站逐渐建成,如边坡施工基本完成,监测电缆已全部集中至永久监测站,具备布设通信光缆的条件,但现场监测管理站还没有建成,此时采用从永久监测站铺设光缆至现场智能指挥中心或110kV开关站,临时接入已有的施工通信备用光缆,通过该光缆接至业主营地的监测中心站,此时监测数据可以直接进入流域大坝中心数据库。

1.3 设备保护和维护

施工期间现场环境条件差,信号相互交叉干扰大,自动化设备极易损坏。为保护自动化设备,TB水电工程在施工期间采取了双重保护措施:设备机箱采用密封设计,箱体内放置加热电阻丝,确保防尘、防潮、防水;同时,设备箱体做好了防雷接地措施,并在设备机箱上张贴反光标识,施工现场机箱尽量放置在干扰小的地方,大坝混凝土浇筑仓面采用支撑杆将机箱升高的方法,安装位置挂设醒目的保护警示标识。此外,TB水电工程与土建施工单位进行了现场交涉,签署了现场备忘录,以确保设备的安全和完好。采取这些措施,也难免出现设备损坏情况,现场还储备有一定数量的设备备品备件,以备出现设备损坏后,及时进行修复或更换。这些措施有效保证了自动化设备的正常运行,确保了监测数据的连续性。

通过以上措施,TB水电工程成功应对了施工期间监测自动化面临的各种挑战,确保了监测工作的顺利进行和数据的及时、准确采集。这些经验和做法为类似工程的施工期监测自动化提供了借鉴。

2 施工期监测自动化系统的实施和应用

2.1 自动化设备

TB水电工程现场应用的无线智能采集模块主要有以下几种规格:BGK-Micro40Pro(8通道,16通道,32通道主要接振弦式或差阻式采传感器)、G2_CM(8通道主要接485型智能传感器),此外,为便于监测仪器埋设时进行人工观测,在无线智能采集仪G2_CM和BGK-Micro40Pro数据采集单元均设置了人工观测接口。

2.2 各部位施工工期监测自动化实施

a. 在大坝混凝土浇筑仓面,根据设计要求进行仪器电缆集中和牵引,在电缆集中处电缆向上牵引,使用支撑杆将采集模块和保护箱、太阳能板、无线通信系统、蓄电池等固定在高处组成一个临时测站,实现监测数据自动采集和传输。该临时测站随着施工和坝体浇筑不断抬升直至设计高程后,电缆引入观测间,该方法既保护了监测设备,又避免了干扰施工。临时测站组成见图 1。

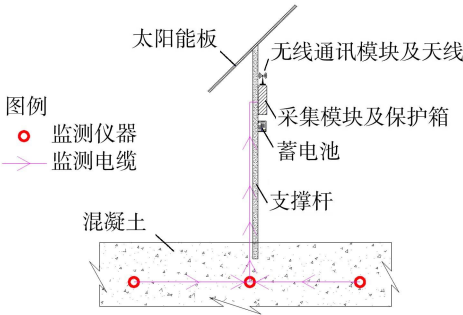


图 1 大坝混凝土浇筑仓面临时测站示意图

b. 大坝廊道。大坝埋设的监测仪器电缆引至廊道及观测间后,安装自动采集装置,监测电缆接入采集模块。电源解决方法为:在混凝土才覆盖的廊道,将电源线向上引至大坝仓面,在仓面立一根支撑杆,杆上放置太阳能板和蓄电池,使用太阳能进行供电;廊道内有施工电源后将太阳能切换至施工电源供电,在部分没有施工电源的测站则使用蓄电池供电。通信采用 4G 路由器与移动通信网络组网,在部分没有网络部位,采用低功耗无线广域网数据采集 LORA 无线网关和无线采集终端进行数据采集,通过 LORA 信号引至有网络的 4G 通信模块以接入无线移动网络。模块自身设置为低功耗自休眠模式,确保信号传输和长时间系统供电的可靠性。

c. 在地下洞室施工开挖期每个监测断面设 1 个临时测站,安装自动采集模块、蓄电池(或施工临时电源)、4G 通信模块,实施自动数据采集,在部分没有网络的洞室,采用低功耗无线广域网数据采集 LORA 无线网关和无线采集终端进行数据采集。

d. 在边坡开挖施工期,在同一高程或同一断面监测电缆临时集中后设置临时测站,安装采集模块和保护箱,采用太阳能和蓄电池供电、4G 通信模块以接入无线移动网络,实现监测数据的自动化采集。

e. 以上部位施工完成后,条件具备时按设计要求建立永久监测站,将采集模块、太阳能或蓄电池移至永久监测站,从永久监测站铺设光缆临时接入现场智能指挥中心或 110 kV 开关站已有的施工通信备用光缆,通过该光缆接至业主营地的监测中心站,

此时监测数据可以直接进入流域大坝中心数据库。通过这些措施,TB 水电工程成功解决了施工期自动化监测的各种难题,确保完整、实时采集和传输各类监测数据,为及时监控和反馈工程安全状况提供了有力保障。

2.3 各坝段监测数据汇聚

因为 TB 水电工程现场施工部位的通信条件不一样,在信号良好的部位直接用 4G 模块汇聚至数据库,有接入光纤条件的则通过 RJ45 走光纤交换机光纤传输至服务器数据库,没有现成通信条件的,则使用模块的 485 通信口走 modbus 协议传输至 LORA 中继模块,把数据中继至有信号的地方通过 LORA 无线网关接入 4G 网络传输至数据库。由于 LORA 无线网关可支持多个无线 LORA 中继终端,一台网关可以组成星形拓扑结构,实现多台采集设备的信号中继传输。拓扑结构如图 2 所示。

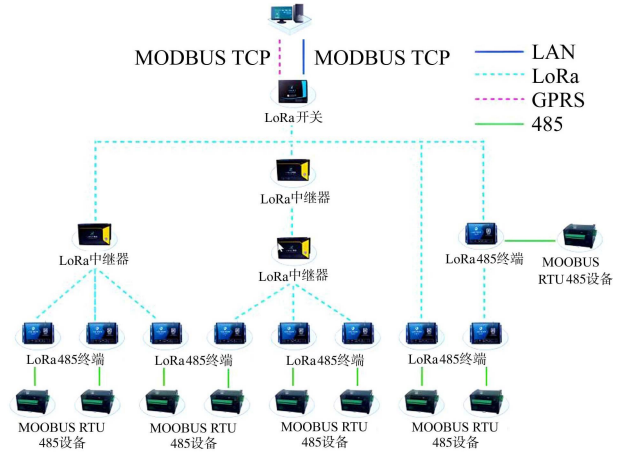


图 2 LORA 中继系统拓扑结构示意图

LORA 无线网关通过移动通信网络与 TB 水电工程大坝施工期监测自动化系统中心站进行数据通信。在施工初期,中心站设在营地机房内,并在机房内安装了 4G 通信模块,通过无线方式接入大坝施工期监测自动化系统。随着工程的推进,现场逐步铺设了通信光缆,通过光纤通信方式接入大坝施工期监测自动化系统。这种方式确保了各监测数据的及时传输和处理,有效解决了施工期间的数据传输问题,确保了监测数据的实时采集和上传,为整个施工期的安全监测提供了可靠保障。

2.4 数据传输和处理

TB 水电工程永久自动化监测系统还没有形成,施工期监测自动化数据传输和处理主要通过以下几种方式进行:①无线传输。通过 4G 通信模块 LORA 无线网关与 TB 水电工程大坝施工期监测自动化系统的中心站进行数据通信。②有线传输。在施工后期,在有条件的部位通过光纤通信方式接入大坝施工期监测自动化系统。③数据处理上传。TB 水电

工程施工期监测自动化系统的数据处理主要包括数据采集、数据传输、数据存储、数据上传和数据分析等环节。现场监测数据自动化采集后,通过无线或有线通信方式传输至监测中心站。数据存储主要通过 TB 水电工程大坝施工期监测自动化系统的中心站进行数据存储。数据上传是把每天采集的数据通过中心站的数据库上传至流域大坝中心数据库,数据分析主要通过 TB 水电工程大坝施工期监测自动化系统的数据处理平台进行数据分析。④鉴于永久自动化监测系统还没有形成,目前监测数据传输有无线传输和有线传输两种方式,且数据需及时报送至流域大坝中心数据库,现场采用自主开发的数据传输软件,用于将采集软件数据库中的数据实时同步到大坝中心数据库。该软件能够每天同步数据并统计缺报数据,确保关键节点的数据完整准确地上报至流域大坝中心。流程见图 3 所示。

通过以上方式,TB 水电工程施工期监测自动化系统能够确保各监测数据的及时传输和处理,有效解决了施工期间数据传输和数据上传的问题。同时,通过数据处理上传平台的应用,TB 水电工程监测自动化系统能够对监测数据进行实时分析和处理,为施工安全提供有力保障^[4-12]。

3 永久自动化监测系统

在土建施工完成后,条件具备时需按设计要求

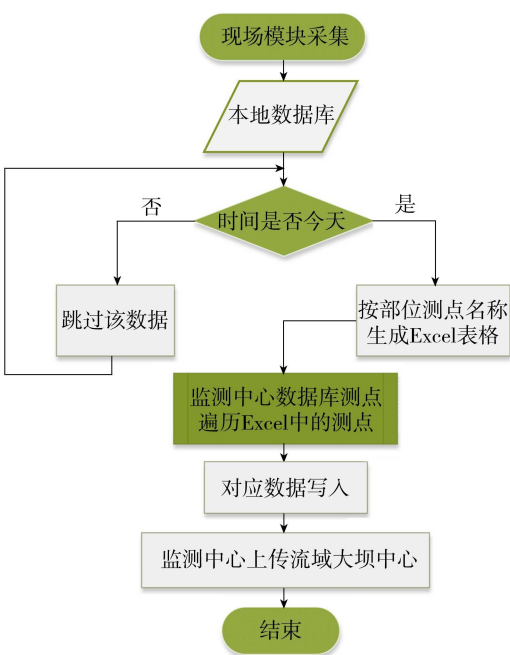


图 3 数据库对接软件流程图

逐渐实施两地永久监测站、监测管理站的建设,铺设或改造测站至监测管理站间、管理站至监测中心站间的光缆,各测站和管理站接入稳定的永久电源,完善防雷的接地系统,将各数据采集装置移至监测站内,安装调试完成后,施工期监测自动化系统无缝转为永久自动化监测系统。TB 水电工程永久自动化监测系统组成架构见图 4。

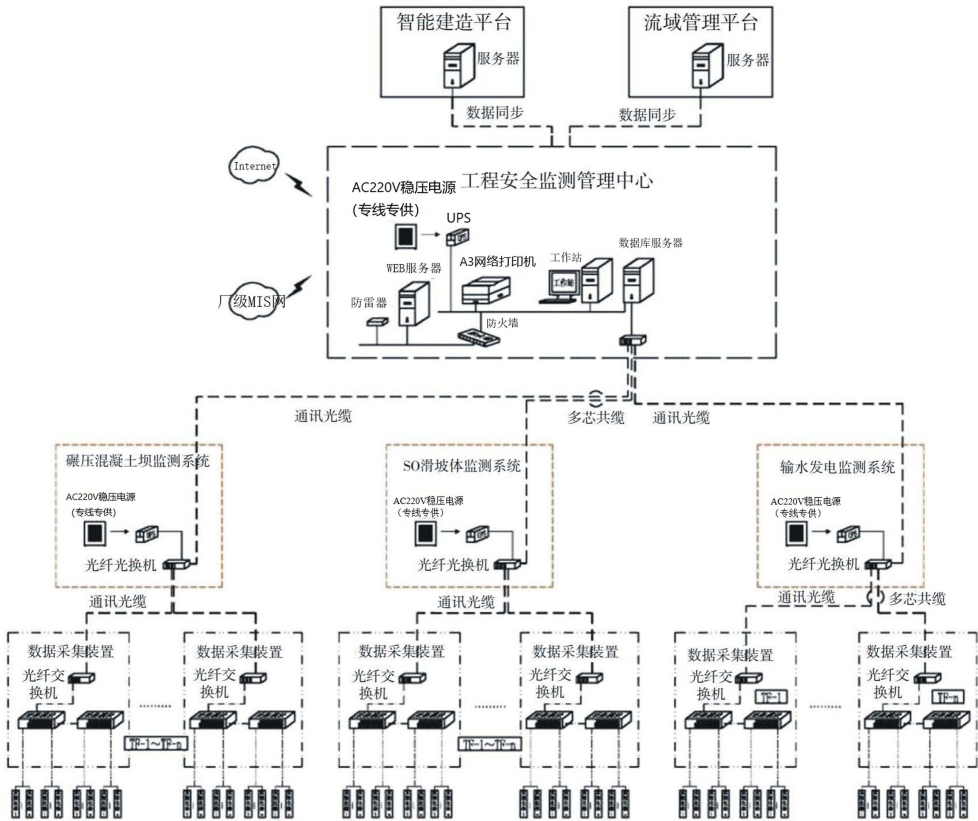


图 4 TB 水电工程自动化监测系统总体架构图

4 结 语

TB 水电工程是国内率先在施工初期即全面实施全过程安全监测自动化的大型水电工程,其自动化包含大坝、边坡、输水发电系统的施工期和蓄水期自动化以及运行期永久监测自动化,数据实时上传至流域大坝中心数据库,实现数据采集与上传全过程不间断衔接。为了应对混凝土大坝施工期自动化面临的通信和供电困难,采用 LORA 低功耗无线组网可以有效解决施工期通信问题,模块的低功耗休眠模式也可以极大地缓解施工期设备供电的不足,这不仅可以提供更稳定的通信质量和更远的传输距离,还能进一步降低功耗。整体系统良好运行了 3 年,成功实现了施工期全部为高频次、长时段观测的难题,确保从施工开始全时段、全部位监测数据的及时性和完整性,这不仅提高了施工期监测数据的采集效率和数据质量,为施工安全提供了有力保障,同时也为大坝智能建造和安全监测技术进步提供了技术支持。

参考文献:

[1] 樊启祥,张超然,陈文斌,等. 乌东德及白鹤滩特高拱坝智能建造关键技术[J]. 水力发电学报,2019,38(2): 22-35. (FAN Qixiang, ZHANG Chaoran, CHEN Wenbin, et al. Key technologies for intelligent construction of Wudongde and Baihetan Super High Arch Dams [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2019, 38(2): 22-35. (in Chinese))

[2] 杨宁,卢正超,乔雨,等. 乌东德水电站施工期大坝安全监测自动化[J]. 水利发电,2021 47(11): 113-117. (YANG Ning, LU Zhengchao, QIAO Yu, et al. Automation of dam safety monitoring during the construction period of Wudongde Hydropower Station [J]. Hydropower, 2021, 47(11): 113-117. (in Chinese))

[3] 李娜,孙建会,朱赵辉,等. 通用安全监测信息管理与分析系统的开发与应用[J]. 水利水电技术,2013(2):36-38. (LI Na, SUN Jianhui, ZHU Zhaohui, et al. Development and application of a general safety monitoring information management and analysis system [J]. Water Conservancy and Hydropower Technology, 2013(2): 36-38. (in Chinese))

[4] 胡旭阳,陈昌华,段杭,等. 白鹤滩水电站施工期安全监测自动化技术的应用[J]. 中国水利,2019(1):99-102. (HU Xuyang, CHEN Changhua, DUAN Hang, et al. Application of safety monitoring automation technology during the construction period of Baihetan Hydropower Station[J]. China Water Resources, 2019(1): 99-102. (in Chinese))

[5] 沐固静,高赐威,宋梦,等. 含通信基站备用储能的虚拟电厂构建及调度方法[J]. 电力系统自动化,2022,46(18):99-107. (MU Gujing, GAO Ciwei, SONG Meng, et al. Construction and scheduling method of a virtual power plant with backup energy storage for communication base stations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(18): 99-107. (in Chinese))

[6] 彭虹. 大坝安全监测自动化 30 年历程回顾与展望[J]. 水电自动化与大坝监测,2012(5):31-33. (PENG Hong. Review and prospect of 30 years of dam safety monitoring automation [J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2012(5):31-33. (in Chinese))

[7] 赵博,徐卫亚. 锦屏一级水电站左岸边坡深部变形安全监测分析[J]. 人民长江,2011,42(增刊2):101 -103. (ZHAO Bo, XU Weiya. Analysis of deep deformation safety monitoring of the left bank slope of Jinping I Hydropower Station [J]. Yangtze River, 2011, 42 (Sup2):101-103. (in Chinese))

[8] 王继敏,段绍辉,郑江,等. 锦屏一级特高拱坝混凝土 4.5 m 仓层厚度施工关键技术[J]. 南水北调与水利科技,2015(3):12-15. (WANG Jimin, DUAN Shaohui, ZHENG Jiang, et al. Key construction technologies for 4.5 m layer thickness of concrete in Jinping I Ultra-High Arch Dam [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015(3):12-15. (in Chinese))

[9] 段绍辉,张晨,李小顺. 锦屏一级拱坝施工期混凝土温度监测及自动化监控系统[J]. 水电与新能源,2015(12):11-16. (DUAN Shaohui, ZHANG Chen, LI Xiaoshun. Concrete temperature monitoring and automation control system during construction period of Jinping I Arch Dam [J]. Hydropower and New Energy, 2015(12):11-16. (in Chinese))

[10] 张晨,冯永祥. 雅砻江流域施工期水电站安全监测信息化探讨[J]. 大坝与安全,2016(1):38-39. (ZHANG Chen, FENG Yongxiang. Discussion on the informatization of safety monitoring during the construction period of hydropower stations in the Yalong River Basin [J]. Dam and Safety, 2016(1):38-39. (in Chinese))

[11] 刘满江,陈平,田超. 锦屏水电站监测自动化系统设计与实现[J]. 能源管理,2016(16):90-92. (LIU Manjiang, CHEN Ping, TIAN Chao. Design and implementation of the automated monitoring system for Jinping Hydropower Station [J]. Energy Management, 2016(16):90-92. (in Chinese))

[12] 聂强,张晓松. 以信息化建设推动雅砻江流域大坝安全管理创新[J]. 大坝与安全,2016(1):16-20. (NIE Qiang, ZHANG Xiaosong. Promoting innovation in dam safety management in the Yalong River Basin through informatization [J]. Dam and Safety, 2016(1):16-20. (in Chinese))

(收稿日期:2024 - 09 - 23 编辑:彭桃英)