

水库大坝安全监测系统改造优化设计

仇丹琼

宁波市奉源水利勘测规划设计有限公司 浙江宁波 315500

摘要: 水库大坝作为重要水利工程,其安全运行关乎社会经济发展和人民生命财产安全,然而传统安全监测系统因运行时间延长逐渐出现设备老化、功能落后、数据失真等问题,难以满足现代化管理需求,尤其在极端天气和自然灾害风险增加的背景下,亟需改造升级以提高可靠性和实时性。本文针对此类问题提出全面改造优化设计方案,涵盖变形、渗流、应力应变及温度、环境量监测系统的升级优化和地震反应监测系统的新增,同时对自动化系统及通信、供电、防雷系统进行改造,通过采用高精度传感器、自动化采集设备和先进通信技术,构建功能全面、数据可靠、智能化管理且与数字孪生平台无缝对接的监测系统,并以大黑汀水库为例,验证了该方案在提升监测精度、数据实时性和系统稳定性方面的显著成效,为智慧水利建设提供了坚实技术支持。

关键词: 水库大坝; 安全监测; 系统改造; 自动化; 数字孪生

水库大坝作为重要的水利工程,其安全运行对社会经济发展和人民生命财产安全至关重要。水库大坝不仅承担着防洪、灌溉、供水、发电等多重功能,还对区域经济发展和生态环境保护起着重要作用。然而,随着运行时间的延长,许多水库大坝的安全监测系统逐渐暴露出设备老化、功能落后、数据失真等问题,严重影响了大坝的安全运行和管理效率^[1-2]。尤其是在极端天气频发、地震等自然灾害风险增加的背景下,传统的人工观测方式和落后的监测系统已难以应对突发事件,亟需通过改造升级提高监测系统的可靠性和实时性,以保障大坝的安全运行^[3-4]。

1 研究与方法

系统设计以满足水库大坝监测需求为核心,充分利用现有资源,明确监测项目优先级,优化设备利用率,检测评估后保留可用设备接入新系统,合理布置监测点以形成覆盖全面的监测网络^[5-6];采用现代化技术与设备,引入高精度传感器、自动化采集设备及光纤通信等先进通信技术,构建高效稳定的数据传输网络,通过自动化系统实现数据采集、分析、存储、报警及远程监控与智能化管理^[7];结合工程特点与运行需求,针对设备老化、功能缺失等薄弱环节制定针对性改造方案,合理布置监测设施并加强坝体、坝基等关键部位监测以保障安全^[8-9];通过冗余设计、增设UPS电源及优化防雷防潮防腐措施,确保系统运行的稳定性与可靠性,避免数据中断^[10-11];采用模块化设计,预留功能升级、新增项

目接入及与外部系统通信的接口,支持与数字孪生平台集成,满足智慧水利发展需求。

2 系统改造设计方案

变形监测系统改造采用真空激光准直系统替代人工观测,更换升级引张线等老旧设备,优化监测点布置以实现坝顶位移高精度自动化监测;渗流监测系统改造通过更换老化测压管、安装孔隙水压力计及改造量水堰计,提升扬压力、渗流量等监测的自动化水平与数据准确性;应力应变及温度监测系统改造全面检测更换设备,选用高精度传感器并优化布点,接入自动化系统以实现数据实时传输与管理;环境量监测系统改造更换老化设备,选用高精度传感器并优化布点位置,接入自动化系统以精准反映环境量变化;新增地震反应监测系统,通过布置三分向加速度计实时监测地震动态响应并传输数据至监控平台;自动化系统升级构建基于B/S架构的信息化平台,实现数据统一采集、智能分析及远程监控;通信系统采用光纤通信与环网双向结构,供电系统更换设施并增设UPS电源,防雷系统优化避雷、接地等措施以保障系统稳定运行;监测站升级环境条件并新增站点,管理站升级核心设备以提升数据处理能力。

3 实例应用

3.1 功能全面

改造后的大坝安全监测系统功能全面,实现对变形、渗流、应力应变、环境量及地震反应等关键项目全覆盖,以大黑汀水库为例,采用真空激光准直系统替代引张线

系统，布置77个测点并结合倒垂线和双金属标，新增3条静力水准和9套双金属标完善垂直位移监测；对测压管进行测试清理、重建并安装渗压计，更换量水堰计、测针并加装保护罩，提升渗流监测可靠性；检测鉴定原106支应变计和温度计，将正常运行仪器接入新数据采集模块及自动化系统；水位、水温、气温和降雨量分别采用通气型高精度渗压计、半导体热敏电阻仪器及先进集成化设备，显著提升环境量监测精度与实时性。（见表1）

3.2 数据可靠

改造后的大坝安全监测系统数据可靠性显著提升，通过高精度传感器、优化设备布置提升数据准确性，借助自动化采集传输技术实现实时更新，依托更新设备、优化系统设计及稳定通信结构保障连续性，以大黑汀水库为例，真空激光准直系统实现坝顶位移监测精度与连续性双提升，更换量水堰计及测针并加装保护罩解决渗

流量监测精度低与数据缺失问题，新增三分向加速度计确保地震数据实时完整，为大坝安全运行与管理提供了坚实数据支撑。（见表2）

3.3 智能化管理

改造后的大坝安全监测系统在智能化管理方面显著提升，通过先进自动化系统架构、智能传感器及数据处理技术，实现变形、渗流等监测项目的自动化数据采集、实时分析、异常报警及远程控制功能，可生成过程线图、等值线图的分析结果，支持网络平台实时查看数据、调整参数及执行控制操作。以大黑汀水库为例，真空激光准直系统和渗压计实现数据自动化采集，避免人工误差；系统生成的等值线图为安全评估提供依据；扬压力数据异常时通过短信和平台推送报警；管理人员可远程调整设备采集频率并生成报表，提升了监测效率、管理科学性和智能化水平，为大坝安全运行提供了坚实保障。（见表3）

表1 大坝安全监测系统改造设计数据表

监测系统	改造措施	改造效果
变形监测系统	采用真空激光准直系统替代传统人工观测 更换引张线、垂线坐标仪等老旧设备 优化监测点布置，新增77个测点 新增3条静力水准，布置9套双金属标	实现坝顶水平和垂直位移的高精度自动化监测 提高监测精度和效率 确保监测数据的连续性和可靠性
渗流监测系统	更换老化测压管，安装高精度孔隙水压力计 改造或重建量水堰计，优化布设位置 配备堰流计等先进设备	提升扬压力、绕坝渗流和渗流量监测的精度 实现监测数据的自动化采集和实时传输 提高数据的连续性和可靠性
应力应变及温度监测	更换或升级损坏的传感器和测量仪器 选用高精度应力应变传感器和温度监测设备 优化监测点布置，覆盖坝体关键部位 接入自动化监测系统，实现实时数据传输	提升监测系统的自动化水平 提供全面、准确的应力应变和温度数据 支持大坝运行状态的全面评估
环境量监测系统	更换老化的水位计、温度计、气温计、雨量计 选用高精度传感器，优化设备布设位置 接入自动化监测系统，实现数据实时采集和集中管理	提升环境量监测的精度和可靠性 实现对水位、水温、气温和降雨量的全面监测 为大坝运行管理和安全评估提供科学依据
地震反应监测系统	新增高精度三分向加速度计 在坝顶、基础廊道及厂区关键位置布置监测点 实现数据实时采集和传输	提供地震作用下大坝动态响应的全面数据 支持地震后安全状态评估和应急决策 显著提升地震灾害监测能力
自动化系统	构建基于B/S架构的信息化监测平台 集成多种数据处理技术，支持动态图表、等值线图 实现远程通信和多终端访问功能	提升监测数据的可视化水平 支持实时报警和远程控制 提高管理效率和智能化水平
通信、供电及防雷系统	采用光纤通信技术，设计环网双向通信结构 更换老化供电设施，增设UPS电源 优化防雷系统，增加避雷装置和改进接地系统	提升数据传输的高效性和可靠性 确保监测系统在断电情况下的持续运行 提高设备在恶劣环境下的稳定性
监测站和管理站	升级监测站环境条件，新增站点优化布局 升级服务器、工控机等核心设备 提升数据采集、存储和分析能力	扩大监测覆盖范围 提升监测站和管理站的运行环境和技术水平 支持监测系统的高效运行和科学管理

表2 大黑汀水库改造实例数据表

监测项目	改造措施	改造效果
变形监测	布置77个真空激光准直测点 新增3条静力水准，布置9套双金属标	提高坝顶水平和垂直位移监测的精度 确保监测数据的实时性和高精度
渗流监测	更换测压管并安装渗压计 更换量水堰计和测针，加装保护罩	提升扬压力和渗流量监测的精度 确保数据的连续性和可靠性
应力应变及温度监测	检测并接入正常运行的106支应变计和温度计 更换损坏设备，接入自动化系统	提供完整、准确的应力应变和温度数据 确保监测数据的自动化采集和管理
环境量监测	采用通气型高精度渗压计监测水位 采用半导体热敏电阻仪器监测水温 采用集成化设备监测气温和降雨量	显著提升环境量监测的精度和实时性-提供全面的环境参数数据
地震监测	新增三分向加速度计	实现地震数据的实时采集和传输 提供地震后安全评估的科学依据
智能化管理	实现自动化采集、智能分析和实时报警-支持远程控制和多终端访问	提高监测效率和管理效率 提供科学的安全评估和应急响应能力

表3 改造后的系统特点

特点	具体表现
功能全面	覆盖变形、渗流、应力应变、环境量及地震反应等关键监测项目 采用先进设备（如真空激光准直系统、静力水准仪等）
数据可靠	高精度传感器和自动化采集技术 实现数据的实时更新和连续性
智能化管理	支持自动化采集、智能分析、实时报警和远程控制 提供多样化数据展示形式（如动态图表、等值线图）
支撑智慧水利	数据与数字孪生平台无缝对接 支持运行状态评估、风险预警和应急决策

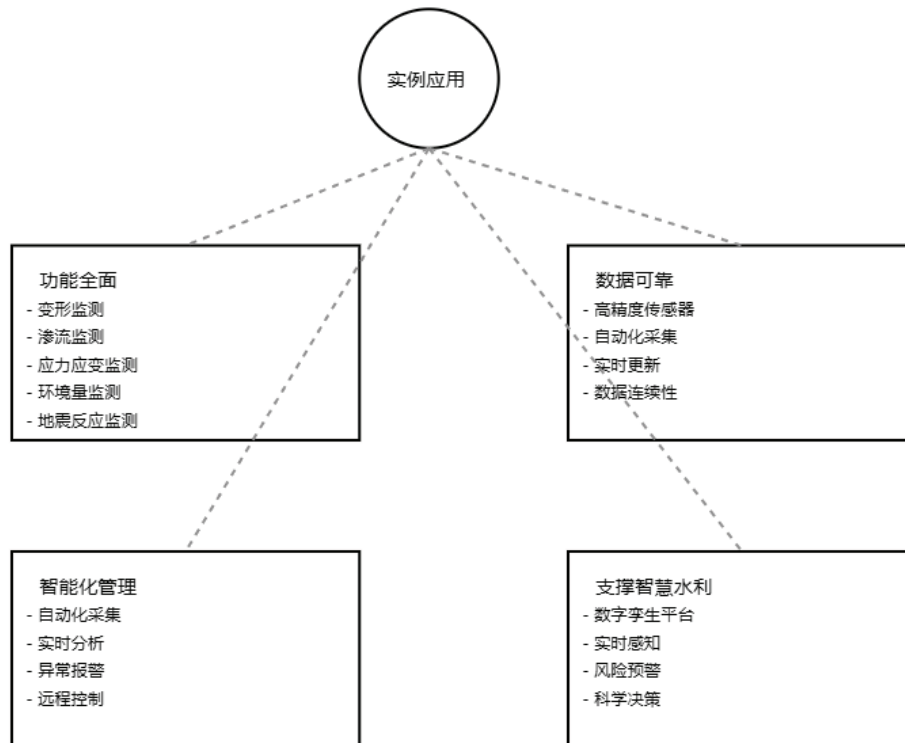


图1 系统改造示意图

3.4 支撑智慧水利

改造后的大坝安全监测系统通过升级设备、优化网络及实现自动化采集分析,实时感知大坝运行状态并生成高精度连续监测数据,借助数据接口与数字孪生平台无缝对接,为智慧水利建设提供数据基础与技术支持,以大黑汀水库为例,其新增多种监测设备构建全面监测网络,通过信息化平台实现数据自动化采集分析共享,高精度数据传输至数字孪生平台,支撑水库运行评估、风险预警及应急决策,满足智慧水利发展需求,为数字孪生水库建设奠定基础。(见图1)

结语

本文改造设计针对现有系统存在的主要问题进行了全面优化,通过更新监测设备、完善监测网络、升级数据采集与传输系统,成功构建了功能全面、技术先进的大坝安全监测系统。改造后的系统具备高精度、实时性和连续性的监测能力,支持自动化数据采集、分析、报警及远程控制,为大坝的安全运行和智慧化管理提供了坚实保障。

参考文献

[1] 贺虎,朱赵辉,李秀文.白水峪水电站安全监测自动化系统改造[J].中国水能及电气,2020(1):21-25.

[2] 赵清,孙仁伟.新立城水库大坝安全监测系统改造[J].吉林水利,2011(4):60-62.

[3] 王浩,李帮芬,夏艳松.黄河龙口水利枢纽工程安全监测设计[J].水利水电工程设计,2011(2):40-42.

[4] 刘祥生,易华,何苗.万家寨水利枢纽大坝安全监测系统改造设计[J].大坝与安全,2006(6):9-14.

[5] 陈锴,刘代彬,兰有磷,等.高砂水电站大坝安全监测系统改造及后评价[J].大坝与安全,2021(1):33-36.

[6] 谢志峰,靳刘永.喀麦隆曼维莱水电站安全监测自动化系统的运行与维护[J].水利水电工程设计,2019,38(4):8-11.

[7] 杨永辉.小坑水库大坝安全监测系统改造方案探讨[J].广东水利水电,2020(7):55-58.

[8] 王浩,张忠辉,王晓辉,等.大黑汀水库除险加固工程大坝安全监测自动化[J].水利水电工程设计,2003,22(3):40-42.

[9] 朱化广,何利华,李善岩.潘家口抽水蓄能电站下池大坝安全监测系统改造设计[J].水利水电工程设计,2006,25(2):43-45.

[10] 蓝刚.那板水库大坝安全监测系统更新改造设计[J].广西水利水电,2018(2):103-106.

[11] 叶秀.漳泽水库大坝渗流安全监测自动化系统改造与建设设计[J].山西水利科技,2018(1):28-31.