doi:10.11988/ckyyb.20190215 2019,36(6):161-165

基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统研发与应用

牛广利[1,2,3],李端有[1,2,3],李天旸[1,2,3],何 亮[1,2,3]
(1.长江科学院 工程安全与灾害防治研究所,武汉 430010; 2.长江科学院 水利部水工程安全与病害防治工程技术研究中心,武汉 430010; 3.长江科学院 国家大坝安全工程技术研究中心,武汉 430010)

摘 要:目前国内大坝安全监测工作存在着信息化程度较低、软件功能较为单一、专业技术人员缺乏等一系列短板,因此,针对安全监测实际工作需求,设计和研发了一套基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统,实现了安全监测数据的智能感知、云端管理、专业分析与监控预警。阐述了系统技术架构和功能架构,详细论述了系统关键技术。系统已在数十个大中型水利水电工程中成功应用,能够有效提高安全监测数据管理及分析水平,具有很好的推广应用前景。

关键词:大坝安全监测;数据管理;云平台;大数据;水利信息化
中图分类号:TV39;TP319 **文献标志码**:A
文章编号:1001-5485(2019)06-0161-05 **开放科学(资源服务)标识码(OSID)**:

Management and Analysis System for Dam Safety Monitoring Data Based on Cloud Platform: Development and Application

NIU Guang-li[1,2,3], LI Duan-you[1,2,3], LI Tian-yang[1,2,3], HE Liang[1,2,3]
(1.Engineering Safety and Disaster Prevention Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2.Research Center on Water Engineering Safety and Disaster Prevention of Ministry of Water Resources, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 3.National Research Center on Dam Safety Engineering Technology, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: The safety monitoring work for dams in China is inadequately informatized with mono-function of software in lack of professional and technical personnel. In view of this, we designed and developed a management and analysis system for dam safety monitoring data based on cloud platform. The system has functions of intelligent perception, cloud management, professional analysis, monitoring and early warning of dam safety monitoring data. We expound the technical framework, functional framework and key technologies of the system. The system is proved of good application prospect by remarkably improving the management and analysis level of safety monitoring data in more than ten large-and-medium-sized hydropower projects.

Key words: dam safety monitoring; data management; cloud platform; big data; water conservancy informatization

1 研究背景

根据2013年第一次全国水利普查成果,我国现有水库9.8万座、水电站4.7万座[1];数量众多的水利水电工程在防洪、发电、供水、灌溉、航运、生态等方面发挥了巨大的作用,为人类生活和经济发展作出了极大的贡献。因此,保障水利水电工程安全至

收稿日期:2019-03-04; **修回日期**:2019-04-22
基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0401800,2016YFC0401600,2017YFC1502600,2018YFC0407100);长江科学院中央级公益性科研院所基本科研业务项目(CKSF2017051/GC)
作者简介:牛广利(1991-),男,安徽亳州人,工程师,硕士,主要从事大坝安全监测信息化应用研究工作。E-mail:85838737@qq.com
通信作者:李端有(1965-),男,湖北鄂州人,教授级高级工程师,硕士,主要从事大坝安全监测、安全评估与信息化研究工作。E-mail:ldyweb@163.com

关重要,水利水电工程一旦失事将会带来不可估量的损失,国内外均经历了惨痛的教训;近年来,四川涪江流域 13 座水库发生漫坝险情、美国奥洛维尔水库溢洪道破坏[2]、老挝桑片—桑南内水电站副坝溃坝[3]等一系列事件引起了全社会对水库大坝安全的高度关注和深刻反思。2018 年 3 月,为贯彻落实习近平总书记等中央领导同志关于水库大坝安全管理的重要指示批示精神,水利部印发了《水利部进一步加强水库大坝安全管理的意见》(水建管〔2018〕63 号),要求进一步强化水库大坝安全管理,确保工程安全运行。

大坝安全监测作为工程安全的耳目,主要通过仪器监测和现场巡视检查,全面捕捉水工建筑物的性态反应,分析评判建筑物的安全性状及其发展趋势,及时发现异常并采取相应的处理措施,确保工程安全运用[4]。因此,在水库大坝建设施工及运行过程中应充分重视安全监测工作。

近年来,大坝安全监测工作已经得到了各级主管部门及运行管理部门的重视,大中型水库大坝基本布设了安全监测设施,配备了安全监测人员,部分实现了自动化监测[5];然而,我国水库大坝安全监测工作仍存在着较为明显的信息化短板,主要表现在信息化程度较低、软件功能较为单一、专业运维人员缺乏、重建轻管等多个方面;针对上述问题,有必要研发一套基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统,实现水库大坝安全监测数据的智能感知、云端管理、专业分析与监控预警,为安全监测工作提供简单、易用、专业的信息化平台,从而有效提升水库大坝安全管理水平。

2 系统研发需求

研发基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统的核心需求是为用户提供一套功能齐全、简单易用、维护方便的安全监测信息化系统,重点解决用户在实际安全监测工作中整编效率较低、分析深度不够、监控不及时、部署维护困难等问题;系统的具体研发需求体现在以下 4 个方面。

2.1 提高安全监测资料整编分析水平

现阶段,一般采用人工的方式进行安全监测资料整编分析,其工作量大、效率低、时效性差,且受限于现场基层工作人员的专业技术水平,整编分析成果在规范性、分析深度等方面往往达不到要求,无法真正达到安全监测反馈设计、指导施工及运行的目的。另外,由于水利水电工程建设周期较长,人工整编分析的资料及相关档案难以长期规范保存,无法保证施工期与运行期监测资料的无缝衔接。因此,迫切需要通过信息化手段提高安全监测资料整编分析水平。

2.2 弥补安全监测专业技术人员不足

安全监测工作涉及水工结构、岩土工程、工程测量、工程地质、通讯工程、自动化控制、软件工程等多个学科专业。因此,培养能够完全胜任安全监测工作的专业技术人员并非一日之功。即使有能够胜任安全监测工作的专业技术人员,但由于现场工作环境较差、工作强度较高、职业晋升空间有限等原因,难以长期服务于基层工程运行管理单位,这导致安全监测专业技术人员长期缺乏。因此,有必要开发一套简单易用、专业分析功能齐全的安全监测信息化系统,使得普通技术人员能够运用信息化系统来替代安全监测专业技术人员完成安全监测专业分析工作。

2.3 提升安全监测信息化程度

目前,大多数水利水电工程中使用的安全监测信息化系统主要是安全监测自动化系统配套的采集软件,其功能较为单一,技术较为陈旧,一般采用单机版模式,主要实现安全监测数据的自动化采集,具备一定的数据查询及管理功能,缺少专业数据分析功能。因此,需要紧密结合安全监测业务需求,运用新一代信息技术,融合安全监测理论与方法,有效提升安全监测工作的信息化程度。

2.4 便于用户部署及运行维护

除安全监测自动化系统配套采集软件外,由于安全监测系统专业性强、水工建筑物类型多样等原因,安全监测数据管理及分析系统一般采用定制开发的模式,投资较大,且需要单独购置服务器进行部署,后期运维及升级也较为困难。另外,安全监测信息化系统重建轻管的现象普遍存在,系统维护人员缺失,导致系统逐渐荒废,无法正常发挥作用,造成了投资及软硬件资源的浪费。因此,亟需提供一套便于用户部署且易于维护升级的信息化系统解决方案。

3 系统架构设计

3.1 技术架构设计

基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统总体技术架构如图 1 所示,将系统划分为基础设施层、平台层、应用层和用户层;另外,系统遵循标准规范体系、保障环境及安全体系。

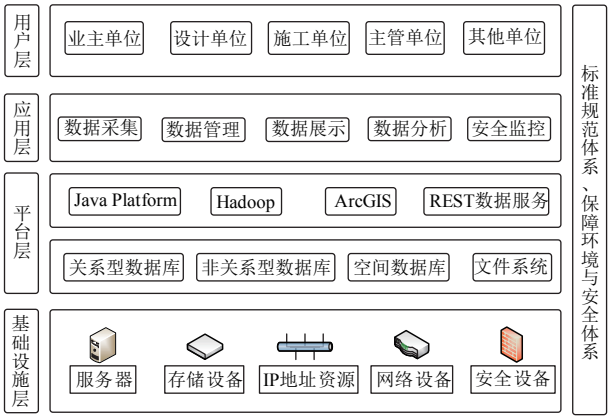


图 1　系统技术架构

Fig.1　Technical architecture of the system

(1)基础设施层:为整个系统运行所依赖的基础设施,包括服务器、存储设备、网络设备、安全设备等;根据实际工作需要,基础设施既可以采用阿里云、亚马逊 AWS 等公有云,也可以采用私有云,甚至可以简化为独立的服务器。

(2)平台层:包括数据平台和应用支撑平台。数据平台主要是利用关系型数据库、非关系型数据库、空间数据库和文件系统来存储监测数据、文档以及多媒体资料;支撑平台主要为系统所用到的支撑软件平台,包括 Java 平台、Hadoop 平台、ArcGIS 平台以及定制开发的 REST 数据服务平台。

(3)应用层:为具体的系统功能应用,涵盖安全监测数据采集、数据管理、数据展示、数据分析以及安全监控等全方位业务应用。

(4)用户层:包括业主单位、设计单位、施工单位、主管单位以及拥有权限的其他用户,支持用户角色类型与权限的自定义。

(5)标准规范体系、保障环境及安全体系:标准体系是贯穿于整个系统的标准定义和规范定义,既包括水利、电力行业安全监测相关的标准规范,也包括计算机软件领域相关的标准规范;保障环境包括软件保障环境及硬件保障环境;安全体系包括系统安全、操作系统安全、数据库安全、服务安全以及业务应用安全等方面。

3.2　功能架构设计

根据安全监测实际业务需求,基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统主要包括数据采集、仪器管理、数据管理、数据整编、资料分析、报表报告、巡视检查、监控预警、工程管理以及系统等功能应用,能够为各类水利水电工程提供从施工期到运行期全方位的安全监测服务,系统功能架构如图 2所示。

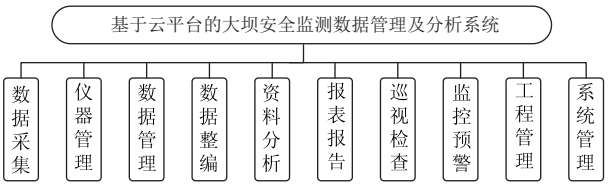


图 2　系统功能架构

Fig.2　Functional architecture of the system

(1)数据采集:调用安全监测自动化系统数据采集接口进行自动化采集,并支持在线采集、定时采集、巡回采集以及强震、强降雨等特殊工况下的触发采集,实现安全监测数据的智能感知。

(2)仪器管理:实现振弦、差阻、电流、电压、光栅光纤等多种原理的安全监测仪器考证信息的管理,并支持仪器类型的自定义。

(3)数据管理:实现安全监测数据和环境量监测数据的增、删、改、查等管理操作,支持数据导入及导出功能,并提供过程线、分布图等多种数据成果展现方式。

(4)数据整编:实现安全监测数据误差处理、特征值统计、数据整编成册等功能。

(5)资料分析:包括相关性分析、渗流分析、应力应变分析以及模型分析等功能。

(6)报表报告:实现报表报告模板定制,并根据模板生成周报、月报、年报等安全监测报表报告。

(7)巡视检查:实现巡检项目管理、巡检路线管理、巡检结果上传及展示等功能。

(8)监控预警:提供安全监控指标拟定方法,支持监控指标的自定义,并实现实时监控预警。

(9)工程管理:实现水利水电工程信息、安全监测结构信息等工程相关信息的管理。

(10)系统管理:实现用户管理、角色管理、权限管理及日志管理。

4　系统关键技术

4.1　基于 SaaS 云计算模式

美国国家标准与技术研究院(NIST)将云计算定义为:“一种利用互联网随时随地、便捷、按需地从可配置计算资源池中获取所需资源的计算模式”,云计算按照服务类型可以分为基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)3 类[6]。目前云计算已广泛应用在互联网、企业办公系统、视频会商等领域,在水利行业中的应用也在逐渐增多[7]。

大坝安全监测数据管理及分析系统是基于 SaaS 云计算模式的云平台,以按需购买、按量付费

的模式提供给用户。经授权的用户通过互联网即可访问系统服务,自助管理属于自己的安全监测工程项目,使用安全监测数据采集、管理、整编、分析及监控预警等系统功能,避免系统的重复开发与部署,节约了软硬件资源投入,为用户提供了低成本软件解决方案,并且降低了系统运维和升级的难度与成本。

基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统采用 Spring Boot 结合 Dubbo 的微服务架构技术进行开发,适合大规模应用场景,伸缩性强,能够根据接入安全监测工程的数量及规模,动态调整硬件及网络资源,从而确保系统稳定可靠运行。

4.2 安全监测全业务功能

依据安全监测相关规范规程,基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统开发了数据采集、管理、整编、分析、监控、预警等安全监测全业务功能,并在资料分析与模型分析方面进行了针对性的深度开发。

(1)系统针对重力坝、拱坝、土石坝、地下洞室等水工建筑物类型,按照变形、渗流、应力应变等监测项目分类,定制开发了资料分析模块,从而满足各类水利水电工程安全监测资料分析的需要。

(2)系统针对安全监测关键物理量建立了多种分析模型,支持逐步回归、BP 神经网络等多种算法,支持模型因子及形式的自定义,能够为工程安全监控提供专业的模型分析服务。

4.3 通用化系统设计

为满足各类水利水电工程安全监测工作需要,大坝安全监测数据管理及分析系统基于通用化系统设计,主要体现在数据通用化、工程信息通用化和整编分析通用化 3 个方面。

(1)数据通用化:充分考虑安全监测数据结构,设计了满足大规模数据应用需求的安全监测数据库表结构,并结合定制开发的数据交换程序,能够在数据层兼容各类安全监测自动化系统或业务系统,实现了数据的通用化。

(2)工程信息通用化:支持工程名称、系统名称、安全监测工程结构、安全监测仪器类型等信息的自定义,实现了工程信息的通用化。

(3)整编分析通用化:能够定制安全监测分析报表及报告模板,支持模型分析及监控指标的自定义,从而实现了安全监测整编分析的通用化。

4.4 多级权限控制体系

基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统设计了单位、工程、用户三级权限控制体系,每个安全监测实施单位可以拥有多项安全监测工程,每项安全监测工程可以授权给多名系统用户。系统包括系统管理员、安全监测负责人、数据录入人员、资料分析人员、巡视检查人员等多种角色,并支持系统用户角色的自定义;另外,通过 Apache Shiro 框架实现系统可配置化权限控制,并以系统日志的形式记录用户操作过程,实现对系统事件的监视及事后追踪。

4.5 大数据技术应用

基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统面向用户开放使用,随着在线运行的工程数量的增加,会逐渐积累形成海量的多源异构安全监测数据及资料,传统存储及计算方法已无法满足系统应用需求,因此,在数据存储、并行计算以及数据挖掘等方面应用了大数据技术,以提高系统的可用性及性能。

(1)数据存储:采用 HDFS 分布式文件系统存储安全监测大数据及相关安全监测资料,并实现快速全文检索功能,实现了系统数据存储的高可用性。

(2)并行计算:采用 MapReduce 并行计算框架,针对大批量数据采集、数据校核、安全监控、模型分析等计算任务,以并行计算的模式有效提高了程序的执行效率。

(3)数据挖掘:基于随机森林、GBDT、决策树等大数据算法,构建了安全监测大数据分析模型,实现了安全监测大数据挖掘。

5 系统应用

基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统已获得计算机软件著作权(登记号:2017SR008513),并入选《2018 年度水利先进实用技术重点推广指导目录》(编号:TZ2018106)。

系统既适用于单个安全监测工程的独立应用,也适用于多个安全监测工程的集中管理。目前该系统已在大藤峡水利枢纽工程、溪洛渡水电站、乌东德水电站地下工程、湖南澧水流域等数十个国家重点水利水电工程中获得了成功应用,能够有效提高大坝安全监测数据管理及分析水平,为保障工程安全发挥了重要作用。系统典型界面如图 3、图 4 所示。

6 结 语

(1)本文详细论述了基于云平台的大坝安全监测数据管理及分析系统的研发需求,阐述了系统的技术架构、功能架构以及系统应用的关键技术,并介绍了系统的应用情况。大量工程应用结果表明,本



图 3　系统应用列表界面

Fig.3　Interface of system application list



图 4　数据管理界面

Fig.4　Data management interface

系统技术先进、功能齐全、易于使用与维护，能够有效提升安全监测工作效率与专业水平，具有很好的应用推广前景。

（2）在下一步的研发工作中，本系统将结合“水利工程补短板、水利行业强监管”中的具体业务需求，开展水库大坝安全监督管理方面的研发工作，从而更好地服务于大坝安全管理工作。

参考文献：

[1]　中华人民共和国水利部，中华人民共和国国家统计局.第一次全国水利普查公报[J].中国水利，2013(7)：1-3.

[2]　张秀丽，沈海尧，郑子祥，等.美国奥洛维尔水库溢洪道泄槽破坏事件简介及初步分析[J].大坝与安全，2017(1)：1-6，11.

[3]　徐泽平.老挝桑片-桑南内水电站溃坝事件初步分析与思考[J].水利水电快报，2018，39(8)：6-10.

[4]　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.

[5]　王　健，王士军.全国水库大坝安全监测现状调研与对策思考[J].中国水利，2018(20)：15-19.

[6]　罗军舟，金嘉晖，宋爱波.云计算：体系架构与关键技术[J].通信学报，2011，32(7)：3-21.

[7]　周力峰，刘　文，张治中.云计算在水利科研信息化中的地位与作用[J].长江科学院院报，2014，31(9)：110-114.

（编辑：刘运飞）