

基于大数据平台的水轮发电机组故障诊断系统

范小波¹, 何虎昌², 朱红波²

(1. 四川华能巴塘水电有限公司, 四川 甘孜藏族自治州, 627650)

(2. 四川华能康定水电有限责任公司, 四川 甘孜藏族自治州, 626000)

摘要:目前对水轮发电机组运行状况的掌握大都通过装设的状态监测系统运行数据的分析比对和计划检修相结合的方式,但往往都是故障已经发生后才能予以发现,不能提前对设备运行工况进行预判。本文详细介绍了一种基于大数据平台的水轮发电机组故障诊断系统,该系统主要由数据处理平台、模型算法平台、可视化展示平台三部分组成,是一种基于大数据平台和互联网技术的典型应用。其主要通过挖掘水电厂现有计算机监控系统、状态监测系统等信息系统的实时及历史数据,再经过一系列关联算法提取这些数据中蕴含的丰富的价值信息来实现对机组的运行状况监视、健康评价、趋势预警、故障诊断、检修指导等。

关键词:大数据; 水轮发电机组; 故障诊断; 监视; 检修

文章编号:2096-4633(2019)11-0086-07 中图分类号:TM312 文献标志码:B

目前,各发电厂均部署了厂级监控系统、状态监测系统以及各种各样的信息系统,这些系统积累了设备运行的海量历史数据,采用传统分析方法对数据进行分析和处理,费时费力且难以发现海量数据中隐含的各种规律和价值信息,数据的价值无法得到充分利用^[1-2]。近年来,随着互联网、人工智能等信息技术的快速发展以及一些算法平台的开放,大数据技术在工业领域已取得突破性进展^[3-8],通过研发一种利用大数据技术来实现对水轮发电机组故障诊断的系统已十分有必要,其成功应用可以提前发现水轮发电机组运行工况的微妙变化,及早发现设备存在的缺陷及变化趋势,同时为企业相关人员提供用于辅助决策的各种价值信息,以降低事故的发生率甚至消除事故的发生,减少损失,从而有效降低水电站的运营成本,为企业创造更高效益。

1 系统的组成及工作原理

按照功能划分,本故障诊断系统主要由数据处理平台、模型算法平台、可视化展示平台三部分组成,如图1。

1.1 数据处理平台

数据处理平台是大数据平台的基础,用来实现各种复杂数据的集成和外部源数据库的同步以及标准化,具有强大的数据采集、数据存储和数据共享功能。数据采集方面,主要通过智能数据终端通信协

议和全息 KKS 数据编码体系实现^[9]。智能数据终端通信协议支持丰富的工业通信规约,用于采集电厂计算机监控系统、PLC、状态监测系统、智能装置等全部监测装置的历史数据和实时数据;采集到的数据再通过全息 KKS 数据编码体系进行地理位置、电站名称、设备编号、安装位置、功能、型号等信息的唯一身份标识,便于提取和存储。数据存储方面,通过内嵌高性能实时数据库,支持序列数据和结构化数据的存储,同时也可外挂各种商用数据库,实现实时、历史数据的大量存储。数据共享方面,通过提供 Web Services 等数据服务接口和数据同步接口实现多个数据处理平台的互联,达到数据共享的目的,如图2所示。

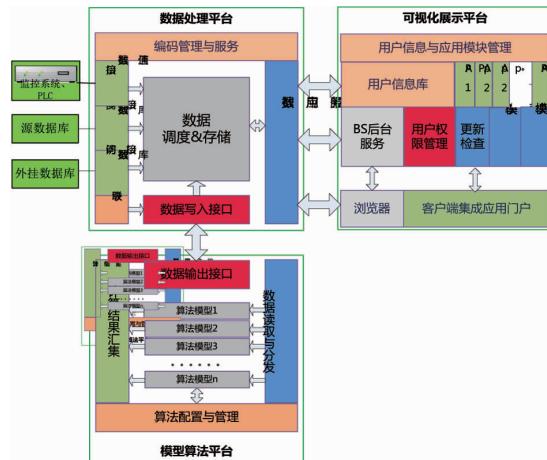


图1 故障诊断系统组成结构

Fig. 1 Structure of fault diagnosis system

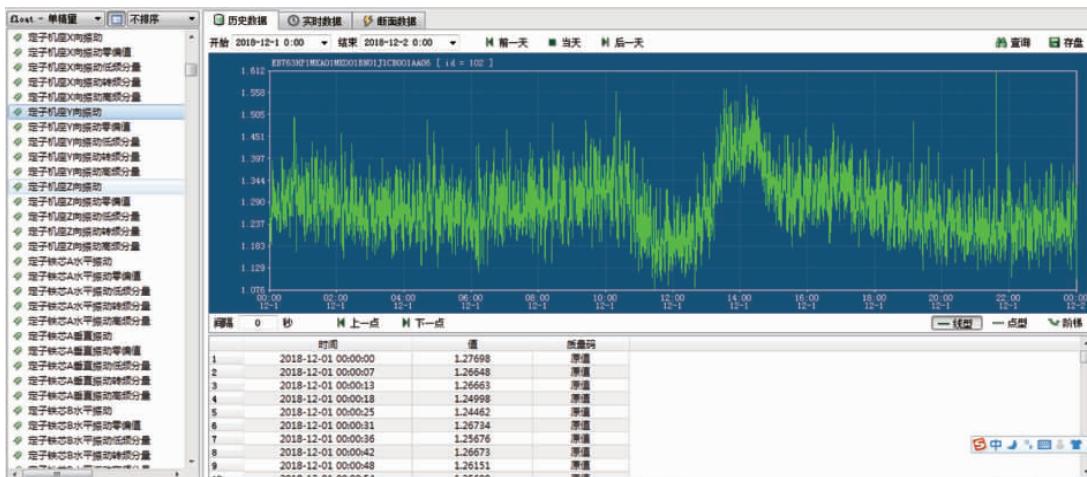


图 2 数据处理平台

Fig. 2 Data processing platform

1.2 模型算法平台

模型算法平台是数据挖掘的核心部件,是数据组件的“协处理器”,用于在线加工计算各种应用指标。它通过Http Rest 等方式,并且支持分类、分时等批量获取模式从数据处理平台获取数据,再通过阈值判断、滑动平均窗口、条件逻辑等方式筛选数据,以保证过滤后的数据能正常使用,对于合格的数据在 ETL 服务中进行缓存,同时对数据进行同步对齐,实现数据交互,保证进入计算环节的数据连续。在数据计算引擎方面,

平台采用了实时在线式流式计算引擎框架(内嵌脚本分析引擎、strom 引擎等)、批量在线分析和大规模实时数据分析引擎框架(内嵌 spark、hadoop 等引擎)和机器学习引擎,即实时流计算、批量和历史计算以及机器学习相结合方式来提升计算能力^[10]。目前已开发有算子计算模型、三维计算模型、指标量计算模型、预警计算模型、故障诊断计算模型。同时基于个算法平台的开放,用户也可以根据实际需要灵活配置各种计算模型、开发新应用和功能,如图 3 所示。



图 3 算法平台

Fig. 3 Algorithm platform

1.3 展示平台

展示平台用于交互和展示数据处理平台和模型算法平台数据,为用户提供人机界面。它是基于 HTML5 开发的应用平台,用户不需要下载客户端或插件,操作更加简单,同时拥有更短的启动时间,更快的联网速度,同时用户也可根据分析场景和需要,

快速地搭建数据指标展示页面。目前已开发界面主要包括电站概览、运行监视、状态检测、故障诊断和运转特性等展示功能,可实时对运算结果、设备运行状况、报警信息、故障处理建议等进行直观展示,方便用户直观掌握和分析设备运行状况,如图 4 所示。



图 4 展示平台

Fig. 4 Display platform

2 故障诊断系统实现方法

2.1 数据来源

水轮发电机组是一个涉及机械、电磁和水力的复杂系统，机组在运行过程中，除了机械自身因素外，还受到电磁和水力等多方面因素的影响。要实现对设备的故障诊断，就需要有与设备相关的运行参数作为判断依据，诸如：键相、转速、振动、摆度、轴向位移、压力脉动、水压、定转子空气间隙、磁场强度、温度、有功、无功、电压、电流、频率、导叶开度、机组流量等状态监测参数和工况参数。2012 年中国国家标准化管理委员会发布了《水轮发电机组状态在线监测系统技术导则》(GB/T 28570 - 2012)，对在线监测系统的功能、基本结构、监测参量等进行了规定。随着在线监测系统技术的不断成熟，目前水电站基本都配置有机组状态在线监测系统，以及计算机监控系统和一些自动化监测装置，这些系统所设备产生的大量历史数据、实时数据为我们实现大数据平台故障诊断系统提供了数据基础。

2.2 数据采集

数据采集是指将不同监测系统所产生的数据进行汇聚和标准化，并按照一定的周期进行实时的存储至数据处理平台，实现数据汇聚。在实际执行过程中我们要解决两个方面的问题，一方面，因计算机监控系统、在线监测系统、以及一些自动化监测装置一般部署在生产控制大区，而数据处理平台一般部署于管理大区，也就是说数据处理平台无法直接采集生产控制大区的相关数据，要实现跨区域数据采集就必须按照电力二次系统安全防护的相关规定增加防火墙、隔离装置等网络安全装置。另一方面，不同的监测系统有着不同的通信协议、产生的数据格式不同、数据存储服务

器也不尽相同，要实现数据的采集和格式统一，就需要根据各系统的差异有针对性的开发数据接口，统一数据服务器。某水电站数据汇聚拓扑图如图 5 所示。

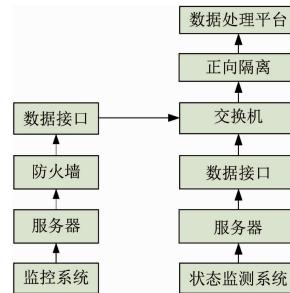


图 5 数据汇聚拓扑图

Fig. 5 Topology diagram of data aggregation for a hydropower station

2.3 数据预处理

因采集到的原始数据大多存在数据量大、不完全、有噪音、模糊等特点，直接用于故障诊断计算势必造成系统计算量大、计算不收敛，计算结果与实际不符等异常情况，直接影响诊断系统诊断结论的可靠性。鉴于该问题，十分有必要对数据进行预处理，以改进数据的质量，提高数据挖掘过程的效率、精度和性能^[11]。数据预处理主要采用两次数据滤波的方法，第一次通过设备的基本参数，使用阈值判断、条件逻辑等简单方式对一些坏点数据和非正常数据进行过滤，第二次采用限幅滤波的方法，通过比较相邻的两个采样值 y_n 和 y_{n-1} ，根据经验确定两次采样允许的最大偏差 Δy ，如果两次采样值的差值超过了允许的最大偏差 Δy ，则认为发生了随机干扰，并认为最后一次采样值 y_n 为非法值，应予以剔除，剔除 y_n 后，可用 y_{n-1} 代替 y_n ，若未超过允许的最大偏差，则认为本次采样值有效，如图 6 所示。

算法参数配置		
参数		
参数值	名称	列名
25.96	额定流量	parameter_RatedFlow
90	额定导叶开度	parameter_RatedVane
212	额定水头	parameter_RatedWater
100	导叶开度最大值	parameter_VaneMax
0.0	导叶开度最小值	parameter_VaneMin
225.86	工作水头最大值	parameter_WaterMax
211.59	工作水头最小值	parameter_WaterMin
5	转速有效值	parameter_rpm

图 6 数据预处理

Fig. 6 Data preprocessing

2.4 模型算法建设

对于数据的计算和挖掘主要通过模型算法来实现, 模型算法就需要结合水轮发电机组的特点和相关理论知识以及实际工作经验来建设, 它包含大量的数学计算方法, 通过数学计算来实现原始数据的提取、变换、关联因子(特征值)的查找, 进而实现故障诊断模型的建设, 其正确性直接关系到大数据平台能否挖掘出海量数据中的有价值信息、能否正确实现故障诊断, 它是整个大数据系统的核心, 也是一个需要开发人员不断深入研究和优化完善的过程。目前已完成算子模型、三维算法模型、指标量计算模型、预警模型和故障诊断模型的开发。算子模型用于处理原始数据, 计算输出中间数据, 实现数据集成; 预警模型对各输入数据进行阈值处理后可实现运行状态监视和状态检测; 三维算法模型, 通过选定 X、Y、Z 各相关量进行三维建模, 为指标量计算模型提供模型输入; 指标量计算模型利用三维模型的输出值通过小波算法、特征值提取等计算得出特征指标; 特征指标经过故障诊断模型的逻辑判断后即可实现故障诊断功能^[12-15]。

下面以上导瓦间隙不匀故障诊断模型为例, 对故障诊断模型的原理进行说明。一般水轮发电机组的上导瓦由多块组成, 每一块均有温度监测数据, 在算法平台上首先通过算子模型提取存储在数据处理平台的 1~6 号瓦温度数据, 并通过算子模型配置的算法对 6 个温度进行科学计算, 产生一个新的综合数据上导瓦温(A)。上导瓦温(A)一方面经过预警模型的阈值处理和趋势判断后用于展示平台进行运行监视, 另一方面与上导油位(A)、有功功率组成三维模型的 X、Y、Z 三个输入量。三维模型对上导瓦温(A)、上导油位(A)、有功功率进行计算产生上导

瓦温三维模型数据, 该数据可直接用于展示平台运转特性显示, 同时通过指标量计算模型的小波算法和特征值提取算法产生上导瓦温缓变率、上导瓦温偏差值等特征值, 特征值是展示平台状态检测的重要对象指标, 也是故障诊断模型的基础数据, 特征值的变化直接反应故障情况。因此将各影响上导瓦温最相关的关联特征值经故障诊断的逻辑判断后就形成了上导瓦故障的相关故障诊断应用, 如图 7 所示。

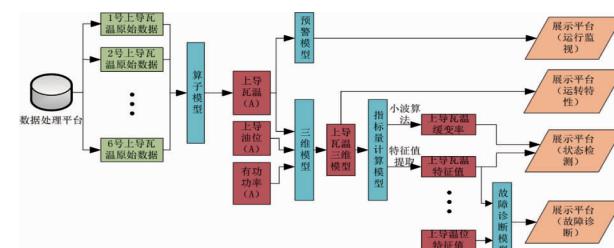


图 7 某水电站上导瓦间隙不匀故障诊断模型算法流程

Fig. 7 Algorithm flow of fault diagnosis model for uneven clearance of upper guide tile in a hydropower station

2.5 应用运行验证

开发的应用投入运行后, 为确保应用的正确性还需要不断开展应用正确性验证工作。一般通过故障模拟测试和历史数据、实时数据运行验证两种方法。故障模拟测试主要用于验证一些能够进行故障模拟又不影响设备正常运行的应用, 该方法对应用正确性验证较为有效, 但受设备运行要求而局限性较大。利用历史数据和实时数据相结合的方式对应用进行验证是一个长期过程, 对过去已发生的故障, 可利用历史数据进行前期验证, 若故障诊断模型不能反应历史故障信息, 则需对故障诊断模型进行优化调整, 寻找更加相关特征值, 直至能够反应历史故障为止, 然后再利用实时数据进行验证, 应用验证流程图见图 8。如何更加科学、高效的开展应用验证

还需要笔者进一步研究。

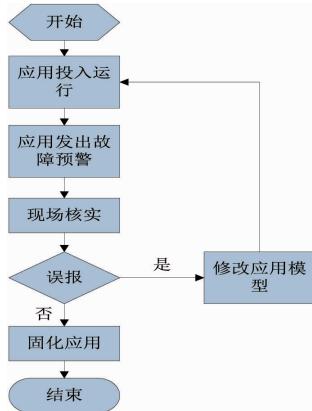


图 8 应用验证流程

Fig. 8 Application validation process

3 该系统在某水电站的应用情况

目前该故障诊断系统已成功在某水电站进行应

用,该系统上线运行后成功发现了该水电站某台机组转轮掉块的异常情况,取得了一定成果。2017 年 6 月 13 日 7 时左右,故障诊断系统“顶盖水平振动转频分量特征值”和“顶盖水平振动转频分量时变化率”两项特征指标分别达到 24 和 0.32,超过预警阈值而发出“转轮不平衡”故障预警,当时因受调度运行方式影响,电厂申请停机检修未能获准,机组被迫坚持运行。在运行至 2017 年 6 月 16 日 12 时左右,故障诊断系统“顶盖水平振动转频分量特征值”和“顶盖水平振动转频分量时变化率”两项特征指标分别达到 44 和 0.47,发出“转轮不平衡”红色紧急故障报警,提示故障原因为转轮叶片脱落,面对该情况,电厂进一步积极协调调度,说明问题的严重性,最终申请检修获准,在进行过流部件检查时,发现转轮确有掉块现象,随即对机组进行了转轮更换检修工作,避免了更严重后果的发生。

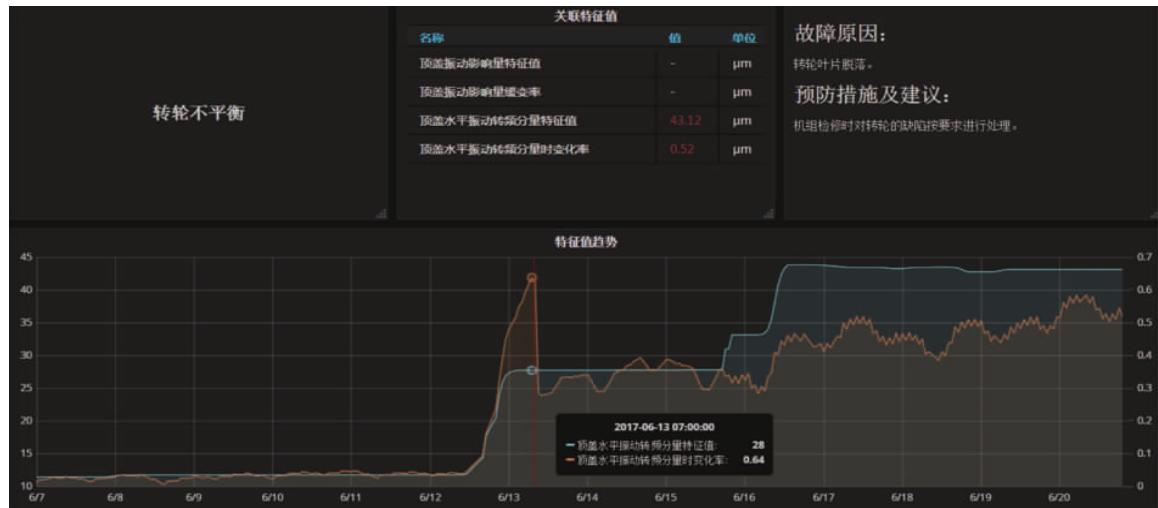


图 9 转轮不平衡故障诊断界面

Fig. 9 Fault diagnosis interface for unbalanced runner

现阶段该电站已开发上线运行监视应用 26 个、状态检测应用 32 个、运转特性应用 13 个、故障诊断应用 17 个,故障诊断应用包含转子回路异常、推力瓦受力不均、上导瓦间隙不匀、上导瓦支撑松动、推力瓦支撑松动、下导瓦间隙不匀、下导瓦支撑松动、水导瓦间隙不匀、水导瓦支撑松动、空冷器异常、油盆冷却器渗漏、油盆渗漏油、转轮不平衡、转子不平衡、水力不平衡、主轴弯曲故障等,覆盖了大部分水轮发电机组的关键部件。通过该系统的应用,除了实现对水轮发电机组进行故障诊断外,还为该水电站管理人员提供了检修决策依据,为开展检修工作和优化运行等方面提供了技术指导,一定程度上降

低了运维成本,取得了较好效果。

4 结语

近年来,随着互联网、大数据、人工智能等信息技术发展进入新的阶段,智慧地球、智慧城市、智能工厂、智能制造以及工业互联网等概念不断提出并付诸实践,大数据技术在电力行业的应用必将带来前所未有的变革。笔者所开发的基于大数据平台的水轮发电机组故障诊断系统能够通过对水电站实时数据、历史数据进行深入挖掘,实现对水轮发电机组的故障早期预警、状态分析、故障诊断等智能分析和诊断功能,引导操作人员优化运行,提升发电生产效

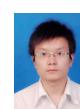
益,将为水电站现代化设备管理提供新模式、新理念。

参考文献:

- [1] 韩波,卢进玉,肖燕凤,马龙. 水电站检修维护管理现状及趋势[J]. 水电自动化与大坝监测,2014,38(01):31–34.
HAN Bo, LU Jinyu, XIAO Yanfeng, et al. The present situation and trend of the power plant maintenance strategy [J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2014, 38(01):31–34.
- [2] 徐洪泉,陆力,潘罗平,等.“仿医疗”的水电机组故障诊断系统[J]. 水力发电学报,2014,33(03):306–310.
XU Hongquan, LU Li, PAN Luoping, LIAO Cuilin. Fault diagnosis system of hydropower unit based on imitating medical diagnosis [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33(03):306–310.
- [3] 彭康华,黄裕锋,姚江梅. 多种人工智能算法的数据库技术课程自动组卷比较[J]. 计算机系统应用,2018,27(03):210–216.
PENG Kanghua, HUANG Yufeng, YAO Jiangmei. Comparison of automatic test paper generation for database technology courses of various artificial intelligence algorithms [J]. Computer Systems & Applications, 2018, 27(03):210–216.
- [4] 耿清华. 浅谈基于大数据的智慧水电厂建设[J]. 水电与新能源,2018,32(10):33–35.
GENG Qinghua. Construction of the intelligent hydropower plant based on big data technology [J]. Hydropower and New Energy, 2018, 32(10):33–35.
- [5] 李如初,沈名龙,彭海棠. 大数据、云计算在电力工业中的应用[J]. 电信科学,2018,34(04):151–155.
LI Ruchu, SHEN Minglong, PENG Haitang. Application of big data and cloud computing in power industry [J]. Telecommunications Science, 2018, 34(04):151–155.
- [6] 江樱,黄慧,卢文达,骆伟艺. 基于大数据技术的电力全业务数据运营管理平台研究[J]. 自动化技术与应用,2018,37(09):56–61.
JIANG Ying, HUANG Hui, LU Wenda, LUO Weiyi. Research on electric power full business data of operation and management platform based on big data technology [J]. Techniques of Automation and Applications, 2018, 37(09):56–61.
- [7] 魏丽峰,韩俊玉,梁灏. 基于大数据分析挖掘技术的电力设备局部放电诊断方法[J]. 科学技术与工程,2018,18(19):203–208.
WEI Lifeng, HAN Junyu, LIANG Hao. Partial discharge diagnosis method for power equipment based on big data analysis and mining technology [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(19):203–208.
- [8] 段炼达,刘晓波. 基于摆度大数据的水轮发电机故障预测方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2017,15(06):439–443.
DUAN Lianda, LIU Xiaobo. Study on failure prediction for hydro-
- generator based on big data of run-out value [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2017, 15(06):439–443.
- [9] 梁梓钰,郭鹏,张晋宇,等. 基于数字化电厂的电厂标识系统编码改进[J]. 热力发电,2015,44(09):102–104+108.
LIANG Ziyu, GUO Peng, ZHANG Jinyu, et al. KKS coding improvement in whole life cycle of digital power plants [J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(09):102–104+108.
- [10] 王德文,杨力平. 智能电网大数据流式处理方法与状态监测异常检测[J]. 电力系统自动化,2016,40(14):122–128.
WANG Dewen, YANG Liping. Stream processing method and condition monitoring anomaly detection for big data in smart grid [J]. Automation of Electric Power System, 2016, 40(14):122–128.
- [11] 孔钦,叶长青,孙赟. 大数据下数据预处理方法研究[J]. 计算机技术与发展,2018,28(05):1–4.
KONG Qin, YE Changqing, SUN Yun. Research on data preprocessing methods for big data [J]. Computer Technology and Development, 2018, 28(05):1–4.
- [12] 任继顺,崔悦,汪洋,等. 基于大数据的水电机组不平衡故障预警技术研究[J]. 水电与抽水蓄能,2018,4(04):69–72+37.
REN Jishun, CUI Yue, WANG Yang, et al. Research on unbalance fault early warning technology of hydroelectric generator unit based on big data [J]. Hydropower and Pumped Storage, 2018, 4(04):69–72+37.
- [13] 孙广春,李志咏,谢军. 基于CIM模型的水电大数据分析平台建设[J]. 电力大数据,2017,20(12):27–29+7.
SUN Guangchun, LI Zhiyong, XIE Jun, et al. Construction of hydropower large data analysis platform based on CIM model [J]. Power Systems and Big Data, 2017, 20(12):27–29+7.
- [14] 潘罗平,安学利,周叶. 基于大数据的多维度水电机组健康评估与诊断[J]. 水力学报,2018,49(09):1178–1186.
PAN Luoping, AN Xueli, ZHOU Ye. Multi-dimension health assessment and diagnosis of hydropower unit based on big data [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(09):1178–1186.
- [15] 姚景涛,张春龙,牛锐,等. 水轮发电机滑环磨损故障原因分析及处理[J]. 内蒙古电力技术,2017,35(01):80–83.
YAO Jingtao, ZHANG Chunlong, NIU Qiang, et al. Wear fault reason analysis on hydro generator slip rings [J]. Inner Mongolia Electric Power, 2017, 35(01):80–83.

收稿日期:2019-01-07

作者简介:



范小波(1989),男,大学本科,助理工程师,主要从事水轮发电机组检修维护、故障监测与诊断方面工作。

(本文责任编辑:范斌)

Fault diagnosis system of hydro generator unit based on big data platform

FAN Xiaobo¹, HE Huchang², ZHU Hongbo²

(1. Sichuan Huaneng Batang Hydropower Co., Ltd., Ganzi Prefecture 627650 Sichuan, China;

2. Sichuan Huaneng Kangding Hydropower Co., Ltd., Ganzi Prefecture 626000 Sichuan, China)

Abstract: At present, the operation status of hydroelectric generating units is mostly mastered through the combination of analysis and comparison of the operation data of the installed condition monitoring system and planned maintenance, but it is often found after the fault has occurred, and the operation condition of the equipment can not be predicted in advance. In this paper, a fault diagnosis system for hydroelectric generating units based on large data platform is introduced in detail. The system is mainly composed of data processing platform, model algorithm platform and visual display platform. It is a typical application based on big data platform and Internet technology. It mainly excavates the real-time and historical data of the existing computer monitoring system and condition monitoring system of hydropower plants, and then extracts the rich value information contained in these data through a series of association algorithms to realize the monitoring of the operation status of units, health evaluation, trend early warning, fault diagnosis, maintenance guidance and so on.

Key words: big data; hydro generator; fault diagnosis; monitoring; maintenance