

# 基于录波数据的广域电能质量评估系统的设计

邓云书<sup>1</sup>, 李瑞津<sup>1</sup>, 叶文华<sup>1</sup>, 曾令森<sup>2</sup>, 廖晓春<sup>2</sup>

(1. 云南电网有限责任公司玉溪供电局, 玉溪 653100; 2. 武汉华电顺承科技有限公司, 武汉 430071)

**摘要:** [目的]为填补在特高压电网和新能源并网技术高速发展背景下,对信息化和智能化的更高要求中,传统电能质量在线监测系统凸显出的部署成本高、维护工作量大、覆盖程度低和功能单一等短板。[方法]提出了基于故障录波数据挖掘进行电能质量特征参数辨识、提取和计算的方法,设计了利用现有录波器和调度数据网开展非侵入式的广域电网电能质量监测、评估和决策支持的系统架构。[结果]试点应用结果表明:系统监测的电能质量指标全面,采集精度优于标准要求,事件识别、诊断准确率高,在厂站覆盖率、监测点容量、文件上传、预警、发布等方面有明显优势。[结论]系统设计具备可行性,能以较小投入实现对现有电能质量在线监测系统在广域电网的延伸和补充。

**关键词:** 电能质量; 广域评估; 录波器; 大数据; 非侵入式

中图分类号: TM7; TP274

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)03-0113-07

## Design of Wide Area Power Quality Assessment System Based on Recording Data

DENG Yunshu<sup>1</sup>, LI Ruijin<sup>1</sup>, YE Wenhua<sup>1</sup>, ZENG Lingsen<sup>2</sup>, LIAO Xiaochun<sup>2</sup>

(1. Yuxi Power Supply Bureau of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Yuxi, Yunan 653100, China;

2. Wuhan Huadian Shuncheng Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430071, China)

**Abstract:** [Introduction] To fill the shortcomings of traditional on-line power quality monitoring system, such as high deployment cost, large maintenance workload, low coverage and single function, which are highlighted under the higher requirement of information and intellectualization for the rapid development of UHV grid and new energy grid-connected technology. [Method] A method of identifying, extracting and calculating power quality characteristic parameters based on fault recorder data mining was proposed, and a system architecture of non-intrusive power quality monitoring, evaluation and decision support for wide area power grid using existing recorders and dispatching data network was designed. [Result] The results of pilot application show that the power quality indicators monitored by the system are comprehensive, the acquisition accuracy is better than the standard requirements, and the accuracy of event recognition and diagnosis is high. It has obvious advantages in station coverage, capacity of monitoring points, file upload, early warning and information delivery. [Conclusion] The design of the system is feasible and can extend and supplement the existing power quality online monitoring system in wide area power grid with a small input.

**Key words:** power quality; wide area assessment; fault wave recording; big data; non-intrusive

近年来我国特高压输电技术高速发展,以“西电东送,南北互供”为基础的全国电力联网已初步形成,随着环境、能源的格局改变,以太阳能、风能等为代表的新能源正逐步由补充性能源向能源主要构成部分转变<sup>[1]</sup>,大量分布式电源的并网将给电能质量带来更加严峻的考验,对加强电能质量监管

和治理提出了更高的要求。

传统电能质量在线监测系统主要基于就地化监测终端,受设备采购、停电安装等部署成本约束,在电网内总体覆盖率不足20%,而在低覆盖率下还存在:调度层级间数据转换和传输效率低、实时性弱;不同生产厂家系统间信息难以交互、难以集中管理分析,与其它信息系统的交互共享存在信息孤岛<sup>[2-3]</sup>;厂家私有规约差异化带来的庞大系统维护管理工作量,和接口开发、调试、维护高成本<sup>[4]</sup>,导致区域化管理难度大等问题。想要适应大规模复

杂电网下快速增长的监管需求，不仅需要增设大量监测终端以提升覆盖率，还需构建更加信息化、智能化的电能质量信息管控平台<sup>[5-8]</sup>，其开发和建设周期将会很长。

本文设计了一套基于故障录波信息系统的大数据挖掘<sup>[9-10]</sup>和链路资源利用的广域电能质量评估系统，开发电能质量核心指标的实时辨识和提取分析算法，利用录波器和调度数据网分布广、容量大、反应快等优势，开展面向广域电网的常态化、全自动的集中监测、综合评估与决策支持，以及事件预警信息的多渠道发布方式。拟在过渡时期内以较小投入和较短的周期，实现对现有电能质量在线监测系统广域电网的延伸和补充。

### 1 技术原理

故障录波文件由录波器产生，采样精度优于0.2%，在10 kHz采样频率下一周期内采样可达200点，满足S级电能质量监测装置精度0.5%、每周波128采样点的标准要求。在功能触发方面具有幅值突变/越限、频率突变/越限、谐波、振荡、开关量等高敏启动元件，事件量分辨率<1 ms，支持事件触发的暂态录波，和持续记录的稳态录波，具有对电能质量指标的全面记录能力。

当电能质量出现扰动时，也会触发录波器的各种启动元件进行高频率录波，将扰动前后的电压、电流、开关动作等波形完整记录下来，形成COMTRADE (Common format for transient data exchange) 电力系统瞬态数据交换的通用格式的故障录波文件上送到调度端故障录波信息系统<sup>[11]</sup>。通过文件解析，能够准确获取电能质量的主要指标如电压偏差、波动、闪变、频率偏差、谐波等<sup>[12]</sup>，如图1所示。

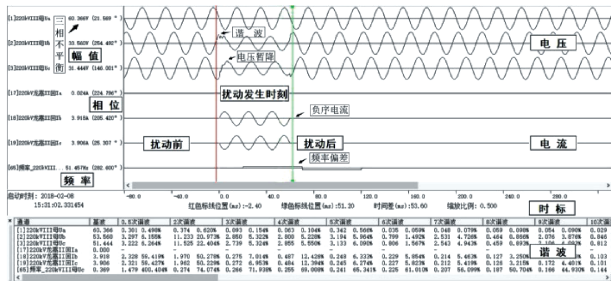


图1 故障录波文件图形分析示例

Fig. 1 Example of fault recorder file graphic analysis

录波器基本实现了110 kV及以上电压等级系统的全覆盖，借助录波器对电网扰动包括电能质量指标的灵敏反应和记录能力，实现快速的事件监视和在线计算。系统部署于省调或是地调通信机房，通过调度数据网轮询故障录波信息系统和录波器的文件列表，发现新文件时优先获取故障录波信息系统的本地文件，当本地文件缺失或不完整时从录波器调取。原理框图如图2所示。

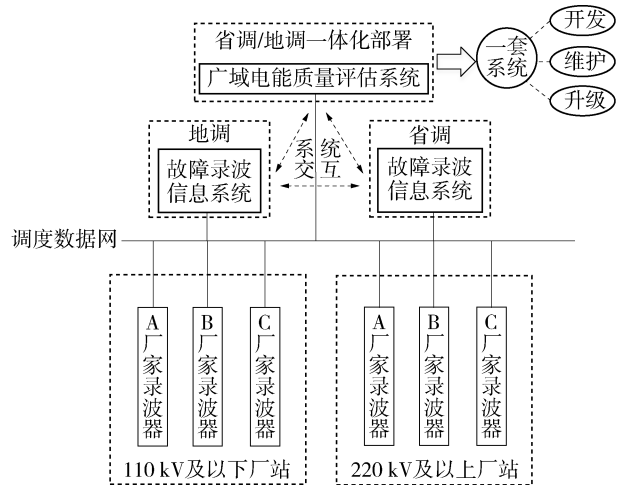


图2 原理框图

Fig. 2 Schematic block diagram

系统分析基于故障录波文件的COMTRADE标准格式，根据监测点配置找到对应的采样通道，提取扰动前后的电能质量指标，参照标准进行分析计算，即可同时得到多个监测点的事件情况，围绕这些指标开发预警发布、统计分析、趋势预测、广域电网综合评估等高级应用。要点在于：(1)采用轻量化部署，纵向结构简单，一体化程度高，提高主站对厂站多厂家生产设备的兼容性，以及信息上送实时性；(2)采用平台化架构，横向开发与调度数据网内其它信息集成系统的交互接口，获取多源信息进行融合分析与决策支持<sup>[13]</sup>，提高决策科学性，同时输出分析结果可供其它系统调用、统计等。

考虑到录波数据的采样率基数有两种：1.6 kHz和1 kHz，实际运行时采用采样率基数的整数倍，而计算谐波必须在基数为1.6 kHz采样率下实现，因此，当录波数据采样率基数为1 kHz时应进行曲线拟合以实现采样率变换。曲线拟合采用拉格朗日插值变换，相同采样率的一组录波数据使用同一组插值系数，为了实现多通道插值共用，提高计

计算机处理效率, 每组拉格朗日插值系数应独立计算, 并以常量方式预设为计算参数。

## 2 系统设计

### 2.1 系统架构

基于故障录波大数据驱动的广域电能质量评估系统主要有由5个系统模块组成, 分别是采集模块、通信模块、分析模块、管理模块和发布模块, 如图3所示。

1)采集模块: 由厂站端的故障录波器和调度端的故障录波信息系统组成, 负责电网扰动时的监测点的电气参量采集, 形成故障录波文件并自动上送到调度端。

2)通信模块: 由调度数据网和调度端的通信服务器组成, 负责故障录波文件的召唤、接收和缓

存, 以及与故障录波信息系统、录波器之间的通信IP、端口、服务等参数配置, 链路通断情况的实时监测。

3)分析模块: 由调度端的分析服务器和数据库服务器组成, 负责在录波通道中分拣出与监测点有关的通道, 并对其内的电能质量指标进行辨识提取和分析计算, 将事件文件、事件报告和辅助决策等数据写入数据库存储, 供其它模块使用。

4)管理模块: 由调度端的应用服务器和 workstation 构成, 应用服务器上部署了系统的主要功能软件, 负责电能质量事件的展示、统计、预警、推送至发布平台、人机交互、权限管理等。

5)发布模块: 由部署在安全 III 区的发布服务器和 WEB、短信平台组成。负责管理模块推送信息在 WEB 页面和手机短信平台的发布。

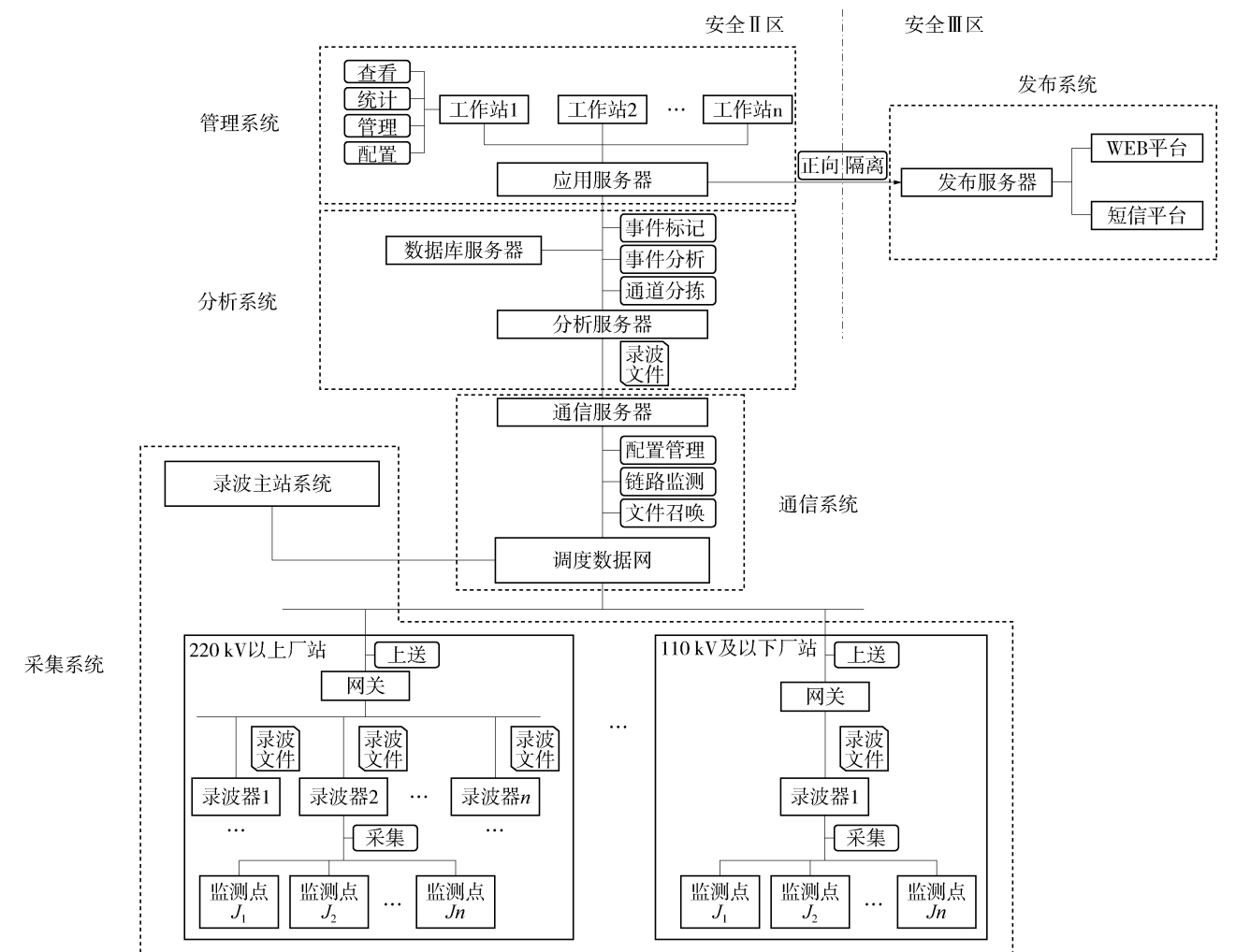


图3 系统架构图

Fig. 3 The architecture of the system

## 2.2 系统流程

针对与故障录波信息系统在管理对象和功能上的差异,在原有数据基础上开发适合于电能质量评估的新流程,如图4所示。此套流程既可作为独立系统部署,也可作为故障录波信息系统的拓展功能模块部署。

录波器的监测通道多、启动灵敏度高,无效启动率超过98%,需要通过监测点参数配置进行过滤,只分析包含监测点的文件;根据定值判定是否发生电能质量事件,对事件文件进行标记、入库,提供事件简报和辅助决策支持;最后通过发布模块在WEB平台和短信平台上,根据用户权限进行定位、定责、定向的信息精准发布。

## 2.3 系统功能

### 2.3.1 电能质量的分析

根据录波器定值文件内的通道信息,建立以监测点为单位的、包含电能质量关键参数、通道属性、判定阈值等信息的监测模型。按模型配置文件提取每个监测点的幅值、频率、相位、时间、谐波等数据,将得到的测量值与标准值或设定值进行相应计算,从而得到各监测点的电能质量情况。为应对广域电网背景下录波数据的海量性<sup>[14]</sup>和骤发性,在线分析系统应建立效率更高的容器化处理方式<sup>[15]</sup>,通过与电能质量特征数据库的历史数据进行基于神经网络算法<sup>[16]</sup>的纵向比对,得到分析简报和辅助决策。分析过程如图5所示。

### 2.3.2 电能质量的评估

1)实时评估:电能质量扰动必然会触发录波器启动,即使在电网故障产生的海量数据环境下,关

键故障录波文件也能在5 min之内上送到调度端,系统通过监测点配置快速查找到所需文件,实时展开分析与评估,找出有电能质量问题的监测点。

2)趋势评估:前文提到,除包含事件的文件外,录波器日常会产生大量的无效启动文件,利用这些文件可进行电能质量的常态化监视,按日、周、月等周期形成指标变化曲线,与电能质量数据特征库里的历史数据进行比对,当吻合度较高时,系统将发出趋势预警,并给出与之吻合的历史数据供参考。运用聚类与模糊数学相结合的评估方法,将电能质量按照标准允许的偏差范围划分为十个等级,1~10逐级表示电能质量越来越差,10级则表示已接近事件临界值<sup>[17-18]</sup>。将每次故障录波文件的分析结果作为一个等级记录点,用户能够统计指定时间段内的等级变化,掌握电能质量的发展趋势,还能根据监测需求调整事件判定的阈值和权重。

### 2.3.3 辅助决策支持

建立包含监测点、干扰源、敏感用户在内的台账管理,开展对干扰源或敏感用户在某一时期内的电能质量趋势进行同比、环比分析,掌握辖区内供、输、用电特性,综合标准规程、治理记录等因素,以量化数据作为是否需要治理、如何治理的决策依据,提供电能质量综合治理方案。

## 3 应用分析

在云南电网玉溪供电局开展试点运用,系统投入试运行后,实现了玉溪供电局220 kV和110 kV变电站的基本覆盖,共接入了64座变电站的106

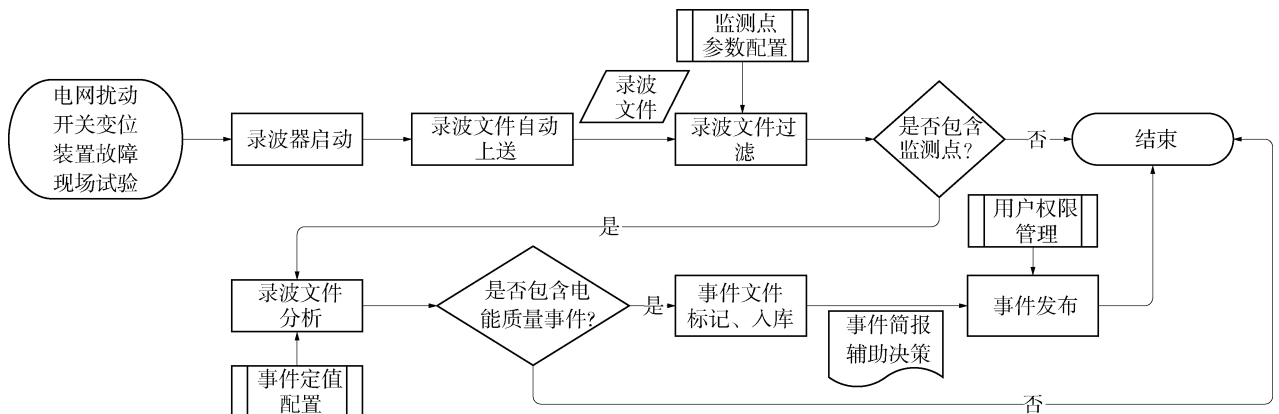


图4 系统流程图

Fig. 4 The flow chart of the system

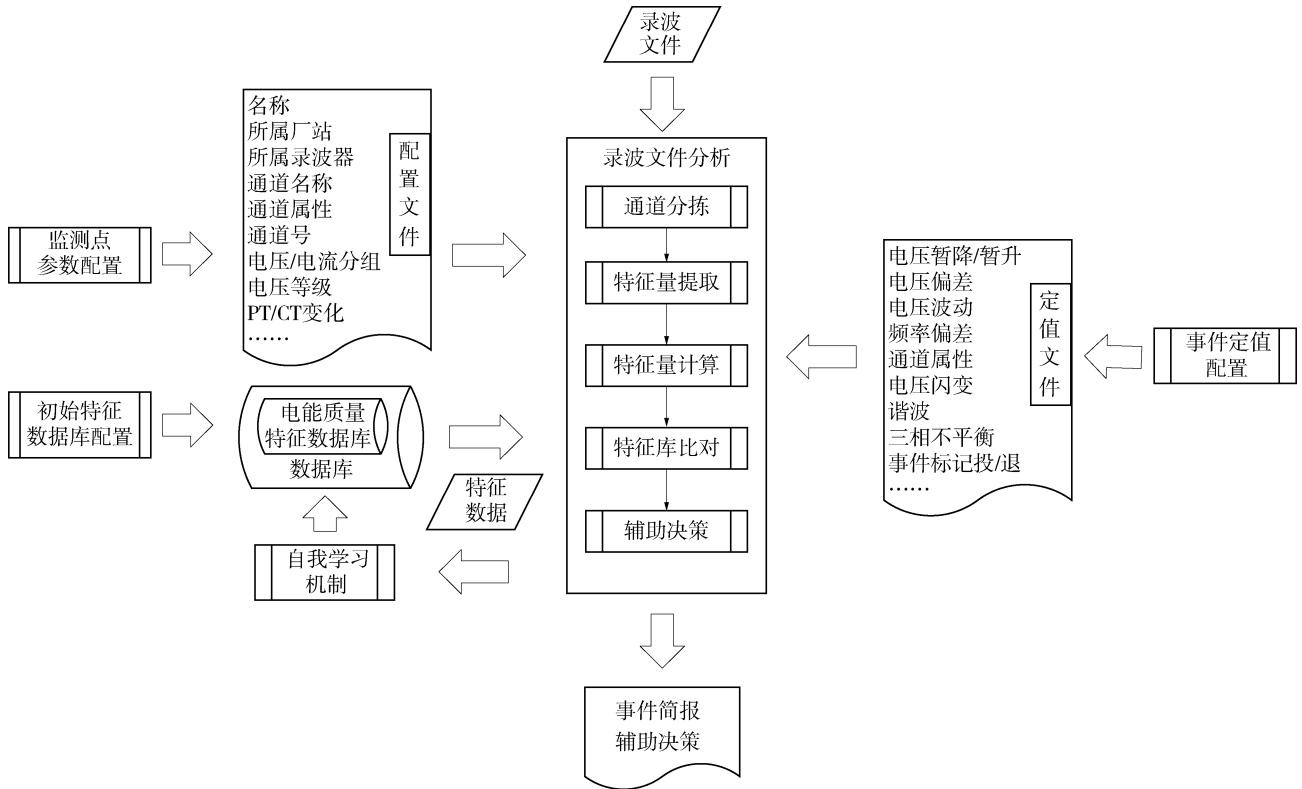


图 5 分析过程图

Fig. 5 Analysis process diagram

台录波器, 可配置的电能质量监测点容量从现有的 30 个提高到 1 000 个。

为验证有效性, 进行了试运行环境下的模拟事件测试, 将测试仪信号源在厂站侧输入电能质量监测装置和故障录波器采集通道内, 进行逐项电能质量事件的模拟扰动信号输入, 来验证本系统的采集精度、事件识别和处理能力、预警发布效率等, 测试结果统计对比如表 1 所示。

结果表明: 录波器在采集精度上略低于电能质量监测装置, 但优于标准要求, 广域电能质量评估系统的事件识别能力强, 无漏报、错报情况, 且在监测点容量、文件上送、预警、发布等方面有明显优势。

接下来对电能质量监测效果进行验证。对 100 个电能质量历史事件进行验证, 取其中 10 项数据的 5 类指标进行展示, 如表 2 所示, 电能质量评估系统给出诊断分析, 验证结果依据实际情况对诊断分析结果进行正误判断。

表 1 测试结果统计对比

Tab. 1 Statistical comparison of test results

电能质量监测方法	厂站覆盖率/%	运行监测点/个	测试监测点数/个	预警数/测试事件数	采集精度/%	上送一次成功率/%	系统预警平均时间/min	WEB 同步平均时间/min	短信发送平均时间/min
电能质量在线监测系统	20	25	10	100 / 100	0.1	74	45	—	—
广域电能质量评估系统	95	128	10	100 / 100	0.2	100	3	5	5

结果表明: 诊断的正确率达到 90%。监测序号 6 出现“未知原因”为系统在电能质量特征库预定义类型中未建立相应的事件标识所致, 试验记录表明运行过程中新发现特征样本, 通过系统的自我学习机制扩充改特征样本到数据库, 经命名后生效, 并在下一次诊断流程中生效。由此可以预见, 经过足够长时间的学习训练, 电能质量数据特征库的元素

表2 电能质量监测情况

Tab. 2 The situation of power quality

电能质量指标					诊断分析	验证结果
谐波畸变率/%	电压偏差/%	频率偏差/%	三相不平衡/%	电压闪变时长/s		
1.167	3.698	-0.000 14	0.069	0.324	非线性负载或固态开关负载	正确
1.253	7.185	-0.000 9	0.126	0.126	远端故障或电机启动	正确
1.541	5.351	-0.001 3	0.015 4	0.270	不对称负载	正确
1.230	3.578	-0.000 49	0.242	0.055	电弧炉或电机启动	正确
0.543	4.538	-0.000 12	0.061	0.523	闪电或感性开合	正确
1.377	3.919	-0.001 4	0.154	0.075	未知原因	—
1.856	3.918	-0.000 86	0.079	0.477	线路、负载和电容器组的投切	正确
1.036	4.565	-0.000 5	0.305	0.188	电弧炉或电机启动	正确
0.924	3.675	-0.000 74	0.092	0.186	电容器组投切	正确
1.290	6.731	-0.000 72	0.077	0.338	非线性负载或固态开关负载	正确

将会越来越丰富, 诊断结果的正确率也将随之提升。

## 4 结论

本文设计了基于故障录波大数据驱动的广域电能质量评估系统, 通过数据挖掘, 实现电能质量评估、预警发布、辅助决策支持等功能。具备以下特点:

1) 面向广域电网设计, 将电能质量监测从站级提升至网级, 更有利于区域化的电能质量综合治理工作的整体性与科学性。

2) 对原有系统不改造、不影响, 可作为现有电能质量在线监测系统的延伸和补充, 解决其覆盖率低、部署成本高、跨厂家信息交互难的技术瓶颈。

3) 一体化架构, 让未来的高级应用开发、业务拓展和持续优化在一套系统内完成, 更为便捷, 成本投入也更低。

下一步将发挥分布优势开发广域电网内的电能质量自动巡检与普测功能, 以及重点单位、关注指标的专项跟踪检查功能; 横向开发与故障抢修、雷电定位、天气等系统的信息交互接口, 建立电能质

量综合治理生态圈。

## 参考文献:

- [1] 徐龙博. 大型电力设计院在新能源发电领域的发展战略思考[J]. 南方能源建设, 2016, 3(1): 58-62.  
XU L B. Research on new energy development strategy of large electric power design institute [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(1): 58-62.
- [2] 许中, 陈雁, 李丝媛. 广州电网电能质量在线监测系统及其高级应用[J]. 供用电, 2012, 29(4): 6-8.  
XU Z, CHEN Y, LI S Y. Power quality on-line monitoring system in Guangzhou network and its advanced application [J]. Distribution & Utilization, 2012, 29(4): 6-8.
- [3] 张明. 县级电能质量监测系统数据存储与解析研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2015.  
ZHANG M. Research on data storage and data parsing in analysis power quality monitoring system of county [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2015.
- [4] 方迪, 尹颖. 贵阳供电局电能质量在线监测系统维护与管理实践[J]. 电子世界, 2014(17): 48-49.  
FANG D, YIN Y. Maintenance and management practice of power quality online monitoring system in Guiyang power supply bureau [J]. Electronic World, 2014(17): 48-49.
- [5] 张华赢, 朱正国, 姚森敬, 等. 基于大数据分析的暂态电能质量综合评估方法[J]. 南方电网技术, 2015, 9(6): 80-86.  
ZHANG H Y, ZHU Z G, YAO S J, et al. Comprehensive evaluation method of transient power quality based on big data analysis [J]. Southern Power System Technology, 2015, 9(6): 80-86.
- [6] 张逸, 林焱, 吴丹岳. 电能质量监测系统研究现状及发展趋势[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 138-147.  
ZHANG Y, LIN Y, WU D Y. Current status and development trend of power quality monitoring system [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 138-147.
- [7] 肖雄, 刘治. 基于负荷管理终端的电能质量监测研究与分析[J]. 广东电力, 2016, 29(2): 85-89.  
XIAO X, LIU Z. Research and analysis on electric energy quality monitoring based on load management terminal [J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(2): 85-89.
- [8] 王林信, 慕俊强, 巨惠芳. 电能质量在线监测系统研究与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(2): 132-136.  
WANG L X, MU J Q, JU H F. Research and application of power quality online monitoring system [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2015, 13(2): 132-136.
- [9] 冯国平, 解文艳, 吉小恒. 南方电网大数据发展研究[J].

- 南方能源建设, 2017, 4(增刊1): 13-17+27.  
FENG G P, XIE W Y, JI X H. Research on big data development of China southern power grid [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(Supp. 1): 13-17+27.
- [10] 卢建昌, 樊围国. 大数据时代下数据挖掘技术在电力企业中的应用 [J]. 广东电力, 2014, 27(9): 88-94.  
LU J C, FAN W G. Application of data mining technology in electric power enterprises in the era of big data [J]. Guangdong Electric Power, 2014, 27(9): 88-94.
- [11] 陈文睿, 陈创, 廖晓春. 变压器和断路器远程在线监视系统的设计与应用 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(1): 132-138.  
CHEN W R, CHEN C, LIAO X C. Design and application of remote online monitoring system for transformers and circuit breakers [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(1): 132-138.
- [12] 王晶, 白冉明. 关于电能质量标准和电能质量监测管理 [J]. 供电企业管理, 2013(4): 37-39.  
WANG J, BAI R M. On power quality standards and power quality monitoring management [J]. Power Supply Enterprise Management, 2013(4): 37-39.
- [13] 冯国平, 解文艳, 王海吉, 等. 基于大数据的DSS融合架构研究 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(增刊1): 1-4+13.  
FENG G P, XIE W Y, WANG H J, et al. Research on DSS fusion architecture based on big data [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(Supp. 1): 1-4+13.
- [14] 张琳波, 李本瑜, 翟海燕, 等. 基于Hadoop技术的批量录波数据高性能处理方法 [J]. 云南电力技术, 2015, 43(2): 135-138.  
ZHANG L B, LI B Y, ZHAI H Y, et al. Research on high performance treatment of batch wave recording data based on Hadoop technology [J]. Yunnan Electric Power, 2015, 43(2): 135-138.
- [15] 翟海燕, 李本瑜, 廖晓春, 等. 基于容器调度架构的录波信息主站系统的设计 [J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(11): 40-46.  
ZHAI H Y, LI B Y, LIAO X C, et al. Design of wave recording information master station system [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(11): 40-46.
- [16] 李刚, 刘燕, 宋雨, 等. 基于信息融合的电力大数据可视化预处理方法 [J]. 广东电力, 2016, 29(12): 10-14.  
LI G, LIU Y, SONG Y, et al. Visualization preprocessing method of electric power big data based on information fusion [J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(12): 10-14.
- [17] 刘颖英, 戴平, 徐永海, 等. 电能质量综合评估方法比较 [J]. 电力自动化设备, 2008, 28(12): 93-97+100.  
LIU Y Y, DAI P, XU Y H, et al. Comparison of power quality comprehensive evaluation methods [J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(12): 93-97+100.
- [18] 卢验锋, 郜慢慢, 钟红梅, 等. 考虑数据聚类特性的电能质量分级预警阈值设置方法 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2016, 37(3): 88-94.  
LU Y F, GAO M M, ZHONG H M, et al. Graded early warning threshold setting method of power quality considering the data clustering features [J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2016, 37(3): 88-94.

---

#### 作者简介:



DENG Y S

**邓云书**

1988-, 男, 云南曲靖人, 玉溪供电局变电修试所技术专责, 工程师, 电气工程及其自动化学士, 主要从事继电保护专业管理工作 (e-mail) 592343433@qq.com.

**李瑞津**

1987-, 男, 云南玉溪人, 玉溪供电局变电修试所检修专责, 工程师, 电气工程及其自动化学士, 主要从事继电保护专业管理工作 (e-mail) 610234357qq.com.

**叶文华**

1987-, 男, 云南临沧人, 玉溪供电局系统运行部继电保护整定组组长, 工程师, 电气工程及其自动化学士, 主要从事继电保护专业管理工作 (e-mail) 531378991@qq.com.

**曾令森**

1986-, 男, 重庆江津人, 武汉华电顺承科技有限公司项目经理, 工程师, 电子信息工程学士, 主要从事智能电网技术开发管理工作 (e-mail) hdszcls@163.com.

**廖晓春(通信作者)**

1976-, 男, 湖北武汉人, 武汉华电顺承科技有限公司总工程师, 高级工程师, 计算机应用技术博士, 主要从事智能电网、电力系统信息集成技术研发工作 (e-mail) whsckj@139.com.

(责任编辑 郑文棠)