基于大数据技术的供电可靠性中压停电事件实时智能分析研判与增益研究

赵永生[1],秦　浩[1],甘德志[1],曾　议[2],梅战旗[3],
姜海辉[4],周永真[4],杨　睿[4],邓　帅[4]
(1. 国网安徽省电力有限公司,安徽 合肥　230061;2. 国网淮南供电公司,安徽 淮南　232001;
3. 国网蚌埠供电公司,安徽 蚌埠　233090;4. 国电南瑞科技股份有限公司,江苏 南京　210000)

摘　要:当前供电企业中压用户停电事件已实现从用电采集信息系统采集终端自动接入并推送到配电网供电可靠性管理系统,相比传统的手工录入,及时性和准确性有了较大的进步。然而,由于中压配电网设备规模大,涉及专业面广,数据传输链条长,可靠性中压停电事件的准确性、完整性依然受到多种因素限制,对供电可靠性指标统计分析及应用造成不利影响。文章基于配电网中压用户停电事件智能分析处理,通过对中压停电事件相关业务系统进行调研分析和数据交互设计,从中压用户停复电信号采集、处理、到自动推送至供电可靠性管理系统的全流程,运用大数据技术和动态配电网模型,实现用户采集终端停复电数据实时分析和停电事件智能补全增益,确保停电事件集成完整性、准确性有效提升。

关键词:配电网模型;大数据;实时分析;智能补全
文章编号:2096 - 4633(2019)03 - 0019 - 06　**中图分类号**:TM732　**文献标志码**:B

供电可靠性是反映供电系统运行情况及对用户持续续供电的能力、供电企业优质服务水平的一项重要指标,供电可靠性分析基于中压配电网停电数据的完整与准确。中国配电网建设正朝着智能配电网的方向前进[1],这对中压配电网停电事件的自动接入提出了更高的要求。同时当中压配电网发生停电事件后,针对停电事件快速判断进而进行高效抢修,对于提高供电可靠性及用户满意度等指标有着重要的意义[2]。国家电网公司于 2012 年 4 月发布了《配网生产抢修指挥平台功能规范》,配电网中关于故障诊断的研究已取得较为丰硕的成果[3-5],但针对停电事件自动采集的完整性和准确性分析研究尚较少,文献[6]提出的变电站故障诊断系统采用基于事例和规则混合推理的方法,能够适应新事例数量的增加并在一定程度上给出变电站故障停电的诊断结果。

本文提出了电网模型、C4.5 和 DBSCAN 算法,根据电网拓扑、停电事件、用户/设备表计的电压电流等多项数据,找出停电的用户、线段和线路,并补全遗漏停电设备和用户。经过现场实践,该方法高效可靠,运行稳定,中压配电网停电事件完整率得到有效提升,辅助开展供电可靠性分析,排查电网薄弱环节效果明显。

1　中压停电在线监测与智能补全系统

目前供电可靠性基础台账数据管理工作已基本符合管理要求,但是受日常专业管理、自动采集及数据转换等技术条件的客观原因的限制,从对自动集成的用户停电事件完整率分析中发现,自动集成完整性尚未达到理想水平,部分不完整的运行数据仍然依靠人工补录,占用大量的人力资源,同时由于人工操作的不确定性,给数据完整、准确性和及时性管理带来较大困扰。因此基于大数据、云计算和人工智能技术,开发了供电可靠性中压停电事件实时分析与智能补全系统(以下简称中压停电在线监测与智能补全系统),通过从电能质量在线监测、PMS、营销业务、电能质量在线监测、95598 等系统接入中压用户与设备台账、量测类数据、停电事件和检修计划等信息,根据配电网模型,设计合理的用户停电研判规则,运用大数据、云计算和人工智能技术,开展多源数据融合,通过用户与设备运行信息来分析中压电网停运情况,创新智能分析算法对各类数据进行深度剖析、筛查甄别中压配电网线路、线段和用户/台区的停电信息和性质,补全漏报的各类停电事件,

提高了中压用户停电事件的完整性、准确性和及时性，满足供电可靠性统计、分析和管控的需求。

中压停电在线监测与智能补全系统由四个部分组成，分别是实时数据分析平台、计算服务子系统、WEB 应用子系统、接口服务子系统。系统以电能质量在线监测系统中的供电可靠性子系统基础台账为核心，通过“营配调”集成，与营销、PMS、用电信息采集等相关业务系统的基础台账信息进行关联，构建中压配电网模型；并利用相关业务系统的数据，对采集终端自动报送的停电事件有效性和完整性进行分析，根据用户停电研判规则，对漏报的终端停电事件进行补全，形成准确、有效、完整的中压用户停电事件数据。技术路线和主要功能如下：

1.1　基于多源数据融合，构建跨系统的中压电网模型

以电能质量在线监测系统里供电可靠性子系统基础台账档案为核心，通过“营配调”集成，与营销、PMS、用电信息采集系统台账档案信息进行关联，构建中压配电网模型，涵盖变电站 6/10 kV 出线开关、线路、线段、配变（含专、公变）等多层拓扑关系及主要设备属性，并对双/多电源用户、光伏台区和小水火电及自备电厂等特殊用户进行标注，支撑中压电网停电事件由点到面的分析，满足停电事件分析与补全的要求。

1.2　应用流处理技术实现停电事件实时分析

为实现对配电网中压用户停电事件实时监测与在线分析，运用大数据流处理技术，对接入用电信息采集系统的停电事件进行在线监测，通过分析终端的负荷信息、通信流量变化、营销业务流程判断是否停电，并根据 95598 系统的计划停电信息，进一步研判是否为故障停电，为监控供电恢复提供技术支撑，实现对配电网停电监测与供电恢复进行实时监测。

1.3　基于电网模型开展停电事件分析与智能补全

由于基于电网拓扑对停电事件补全涉及对海量数据进行多维度的计算与分析，基于大数据平台实现对与停电相关的海量数据进行快速分析与智能补全，通过应用大数据平台分布式存储（HBASE）与内存并行计算技术（SPARK），将停电事件、负荷数据、档案信息和业务流程等海量数据抽取到内存中，按设定的规则进行停电有效性分析、依据电网拓扑进行停电事件补全，基于完整的配变停电事件对线段、线路停电进行快速分析。

1.4　基于单线图、电网 GIS 的可视全景展现

由于基于电网 GIS、单线图和图表工具，对中压停电情况、复电情况、重停进行实现全景可视化展现，为远程进行现场作业管控和供电可靠指标监视提供辅助手段。

2　中压停电有效性实时监测与智能补全

2.1　整体业务分析流程

中压停电事件分析由专公变用户终端上报的停电事件开始分析，参考 96 点准实时负荷数据，结合电网拓扑实现对用户、线段、线路，直至变电站的停电进行综合研判，在判断某一个专公变用户停电时，运用了决策树算法，在研判整个电网停电事件时间，运用了密度算法进行补全。分析流程如图 1。

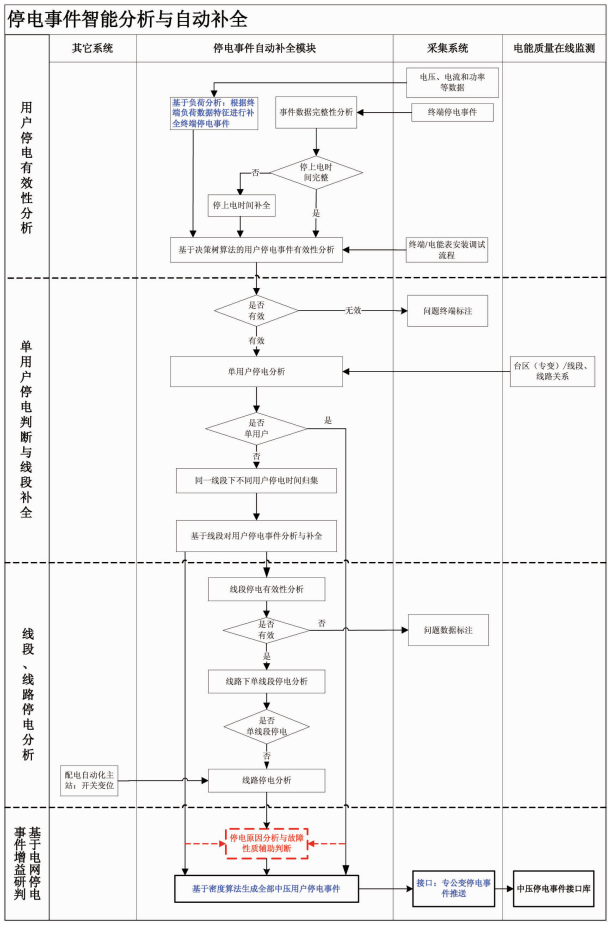

图 1　停电事件智能分析与自动补全流程图

Fig. 1　Flow chart for intelligent analysis and automatic completion of power-off events

2.2　基于大数据中压电网停电实时分析

决策树（Decision Tree）是在已知各种情况发生概率的基础上，通过构成决策树来评价项目风险，判

断其可行性的决策分析方法,是直观运用概率分析的一种图解法。其是一种监管学习,即是给定一堆样本,每个样本都有一组属性和一个类别,这些类别是事先确定的,那么通过学习得到一个分类器,这个分类器能够对新出现的对象给出正确的分类。以二分类任务为例,决策树算法希望从给定训练数据集学得一个模型,用以对新的数据进行分类,可以看作是“当前数据属于哪一类”的“决策”过程。基于决策树实现实时分析的过程如下:

2.2.1　用户停上电事件有效性分析

为实现对停上电事件有效性和数据完整性进行实时分析,停电分析与补全模块采用流处理技术对上送采集系统的终端停上电事件进行初步分析,包含停上电时间是否完整、时间前后顺序是否符合逻辑,停电时长是否在合理范围等,对不合理的事件数据进行过滤。对于停上电时间不完整,通过负荷数据中电压正常的时间进行近似补全,基于补全的停电事件,分析线路下其它没有上报停电事件用户发生停电的可能性。

2.2.2　基于 Spark 技术对负荷补全用户停电事件

由于安徽公司用电信息采集系统每天采集的实时负荷记录超过 4 000 万条,涉及停上电分析的数据项超过 2 亿个,传统技术无法满足少量数据高效计算与分析,停电分析与补全模块采用分布式并行计算技术(Spark)和决策树模型,首先对负荷电压、电流特征进行判断,对负荷数据满足停上电且没有上送停电事件的终端,自动生成停上电事件,并补全时间和上电时间,再针对既没有负荷且没有停电事件的用户采用决策树模型进行分析。过程如下。

在 SPARK + 用语负荷进行统计分析后,对于每次停电分析与补全,模型都会进行停电用户占比统计,公式如下:

$P_i = \frac{n_i}{N}$(i 为电网线路上任意一个用户停电,N 为该线路上用户总数)计算出来的占比进行归一化处理。

每个上报的停电事件都会有一定误差,停电数量占比值的不同决定了可信度的大小。可信度的选用是在对最近二年停电故障处理与原因分析的数据统计的基础上,通过大量分析比对得出的结果。对停电占比及对应的可信度值进行划定,如果停电占比在[0,0.2]之间,认为可信度是 20%,停电占比在[0.3,0.6]之间,认为可信度是 60%,停电占比在[0.7,0.85]之间,认为可信度是 90%,停电异常占比在[0.86,1]之间,认为可信度是 100%。停电故障值公式如下:

$K = \sum_i^n P_i \times h$($P_i$ 为停电用户占比,h 为该停电占比对应的可信度)。

通过上述决策树模型的研判,完成对未上报停电事件和负荷的用户进行停电研判。

2.2.3　用户停电事件归集与有效性分析

针对补全后的终端停上电事件,以用户为对象对停上电事件进行归集,结合采集系统的终端/电能表安装调试流程,停上电期间的负荷数据、问题终端通信状况等信息,判断与停电事件是否相符,对误报或漏报停上电事件的终端进行标注,方便后期排查问题。

2.3　基于配电网模型的中压用户停电智能增益

由于配电网拓扑结构非常复杂,基于配电网的变电站、线路、线段和中压用户进行停电事件增益分析采用密度聚类算法(DBSCAN),DBSCAN 是基于一组邻域来描述样本集的紧密程度的先进计算方法,参数(ϵ,MinPts)用来描述邻域的样本分布紧密程度。其中,ϵ 描述了某一样本的邻域距离阈值,MinPts 描述了某一样本的距离为 ϵ 的邻域中样本个数的阈值。

算法输入:停电集合 D = (x1,x2,…,xm),邻域参数(ϵ,MinPts),样本距离度量方式。输出:簇划分 C。

(1)初始化核心对象集合 $\Omega = \epsilon$,初始化聚类簇数 k = 0,初始化未访问样本集合 Γ = D,ϵ 簇划分 C = ϵ;

(2)对于 j = 1,2,…m,按下面的步骤找出所有的核心对象:

(a)通过距离度量方式,找到样本 xj 的 ϵ - 邻域子样本集 Nϵ(xj);

(b)如果子样本集样本个数满足 | Nϵ(xj) | ≥ MinPts,将样本 xj 加入核心对象样本集合:$\Omega = \Omega \cup \{xj\}$。

(3)如果核心对象集合 $\Omega = \epsilon$,则算法结束,否则转入步骤 4;

(4)在核心对象集合 Ω 中,随机选择一个核心对象 o,初始化当前簇核心对象队列 Ωcur = {o},初

始化类别序号 $k = k + 1$，初始化当前簇样本集合 $Ck = \{o\}$，更新未访问样本集合 $\Gamma = \Gamma\epsilon\{o\}$；

(5)如果当前簇核心对象队列 $\Omega cur = \epsilon$，则当前聚类簇 Ck 生成完毕，更新簇划分 $C = \{C1, C2, \cdots, Ck\}$，更新核心对象集合 $\Omega = \Omega\epsilon Ck$，$\epsilon$ 转入步骤 3。

(6)在当前簇核心对象队列 Ωcur 中取出一个核心对象 o'，通过邻域距离阈值 ϵ 找出所有的 ϵ - 邻域子样本集 $N\epsilon(o')$，令 $\Delta = N\epsilon(o') \cap \Gamma$，更新当前簇样本集合 $Ck = Ck \cup \Delta$，更新未访问样本集合 $\Gamma = \Gamma\epsilon\Delta$，$\epsilon$ 更新 $\Omega cur = \Omega cur \cup (N\epsilon(o') \cap \Omega)$，转入步骤 5。

基于配电网停电增益模型实现过程如下。

2.3.1　线段停电有效性分析

在完成基于线段分析、补全用户停上电事件后，进一步分析线段下停电用户数量，在排除线段下双电源、季节性停电和终端与主站无通信等特殊情况的用户后，根据停电用户数量占比判断线段停电有效性，对于无效的线段停电事件进行标注。

2.3.2　线路停电分析

对于非单线段停电，可以汇总线路下所有停电线段，按线路对线段停电事件进行归集，分析归集后，在停电时间段内发生停电的线段的比例，如果 70% 以上线段停电，则判断为线路停电事件；同时结合配电自动化主站的开关变位信息进行验证，分析线路停电的有效性。分析结果如下：

2.3.3　基于配电网对用户停电事件分析与补全

运用 DBSCAN 算法构建的配电网停电增益分析模型，在归集后的停电时间内，然后分析没有上送或者基于负荷数据补全停电事件用户，排除终端与主站无通信终端、双电源用户和季节性停运用户，以线路、线段为对象，分析和补全所有用户停电事件，并对误报或漏报停上电事件的终端进行标注，为后续分析提供参考维度。

3　应用成效

随机抽取近两个月内的实际发生停电的 4447 个中压用户，逐个对运行数据生成的几个关键环节进行诊断分析，检查验证补全的停电事件完整性和有效性。统计发现终端采集和上传停电功能完备，但最终生成可靠性停电事件的只有 3005 个用户，约占抽取数据总量的 67.57%；发现采集装置停上电模块功能异常的有 1 010 个用户，约占抽取数据总量的 22.71%；发现系统之间传输环节数据丢失的有 372 个用户，约占抽取数据总量的 8.37%；发现可靠性台帐错误的有 19 个用户，约占抽取数据总量的 0.43%；其他问题有 41 个用户，约占抽取数据总量的 0.92%。其中，未集成的 1 442 个用户中，有 1 355个用户能够通过利用负荷曲线分析等技术手段进行补全，补全率 93.97%，补全后采集完整率达到 98.04%，效果满意。

抽检结果统计表如下表及图 2。

表　停电数据集成情况及问题分析统计表

Tab.　Power-off data integration and problem analysis statistics table

序号	类别	问题描述	用户个数	占比
1	正常	—	3 005	67.57%
2	采集装置	采集装置停上电模块功能异常	1 010	22.71%
3	业务系统接口	系统之间传输环节数据丢失	372	8.37%
4	台帐	可靠性台帐错误	19	0.43%
5	—	其他问题	41	0.92%

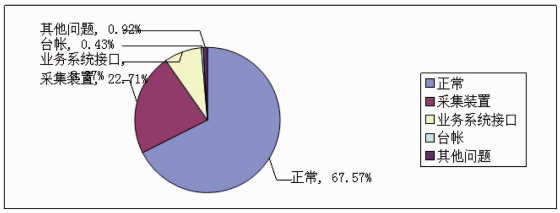

图 2　停电数据集成情况占比饼图展示

Fig. 2　Power-off data integration display

4　结束语

利用大数据技术实现中压停电事件智能分析与自动补全，停电事件自动集成完整率超过 98%，有效保证了供电可靠性运行数据的完整、及时和准确，促进了可靠性管理对实际电网规划建设、设备运维检修、电网调度控制的指导和支持，也大大减轻了人

工录入工作量。随着低压可靠性管理工作的逐步推广,在集成数据量指数级增长的情况下,大数据处理技术将会得到进一步深入作用。

参考文献:

[1] 刘振亚. 智能电网技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010.

[2] 徐丙垠,李天友,薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系 统自动化,2009,33(17):38 -41.
XU Bingyin, LI Tianyou, XUE Yongduan. Smart distribution grid and distribution automation [J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(17):38 -41.

[3] 毕天姝,杨春发,黄少锋,等. 基于改进 Petri 网模型的电网故障诊断新方法[J]. 电网技术,2005,29(21):52 -56.
BI Tianshu, YANG Chunfa, HUANG Shaofeng, et al. Improved petri net models based fault diagnosis approach for power netwo rks [J]. Power System Technology,2005,29(21):52 -56.

[4] 陈玉林,陈允平,孙金莉,等. 电网故障诊断方法综述[J]. 中国电 力,2006,39(5):27 -31.
CHEN Yulin,CHEN Yunping,SUN Jinli,et al. A survey of power system fault diagnoses[J]. Electric Power,2006,39(5):27 -31.

[5] 邓宏贵,罗安,刘雁群,等. 电力关键设备远程监测与故障诊断系统的研究[J]. 电网技术,2003,27(5):51 -54.
DENG Honggui, LUO An, LIU Yanqun, et al. Research on remote monitoring and fault diagnosis system for key equipment in power sys t em [J]. Power System Technology, 2003, 27 (5):51 -54.

[6] 杜一,张沛超,郁惟镛. 基于事例和规则混合推理的变电站故障 诊断系统[J]. 电网技术,2004,28(1):34 -37.
DU Yi,ZHANG Peichao,YU Weiyong. A substation fault diagnosis system based on case-based reasoning and rule-based reasoning [J]. Power System Technology,2004,28(1):34 -37.

[7] 余炽业,宋跃,曾国敬,等. 一种智能家居远程监控系统设计[J]. 电测与仪表,2011,48(2):36 -39.
YU Chiye,SONG Yue,ZENG Guojing,et al. A system design of smart home remote monitoring system[J]. Electrical Measurement &Instrumentation,2011,48(2):36 -39.

[8] 梁爱虎. 精通 SOA:基于服务总线的 Struts + EJB + Web Service 整合应用开发[M]. 北京:电子工业出版社. 2007.

[9] 曾祥君,楚相辉,李灵,等. 株洲电网故障行波定位系统[J]. 电力科学与技术学报,2008,23(4):38 -43.
ZENG Xiangjun,CHU Xianghui,LI Ling,et al. Faults location system with traveling wave for Zhuzhou power grid[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2008,23(4):38 -43.

[10] 刘同明. 数据挖掘技术及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,2001.

[11] 高巍,迟宇,赵海,等. 基于粗糙集和神经网络的数据融合方法研究[J]. 现代电子技术,2009,32(2):72 -75.
GAO Wei,CHI Yu,ZHAO Hai,et al. Study of data fusion based on rough set and BP neural network [J]. Modern Electronics Technique,2009,32(2):72 -75.

[12] 李杰,魏权利. 基于模糊神经网络的晶闸管三相桥式全控整流电路故障诊断[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版),2004,25(1):69 -72.
LI Jie, WEI Quanli. Diagnostic method of three-phase bridge circuit of SCR based on fuzzy neural networks[J]. Journal of Qingdao University OF Science and T, 2004, 25 (1): 69 -72.

[13] 薄海涛,白振兴. 基于故障树和神经网络的飞机电源系统故障诊断[J]. 现代电子技术,2005,28(10):65 -67.
BO Haitao, BAI Zhenxing. Application of fault tree and neural network in fault diagnosis of aircraft electric power system [J]. Modern Electronics Technique,2005,28(10):65 -67.

[14] 丁蕾,范春菊. 高压地下电缆自适应继电保护方案的研究[J]. 继电器,2004,32(22):43 -47.
DING Lei, FAN Chunju. Research on schemes of adaptive protective relaying for transmission lines with high voltage underground cables[J]. Relay,2004,32(22):43 -47.

[15] C. k-S. Berendsen,G. Rostaing, G. Champenois,G. Obrecht,J. Saadi. Detection of sensor faults with observer structures in control loops [C]// Proceedingsof the IECON '93,1993,1:344 -348.

[16] 苏鹏声,王志强,姜建国,等. 用人工神经网络诊断电力电子电路主回路故障[J]. 清华大学学报(自然科学版),1999,39(3):19 -22.
SU Pengsheng, WANG Zhiqiang, JIANG Jianguo, et al. Fault diagnosis of power electronic circuits using artificial neural networks [J]. JOURNAL OF TSINGHUA UNIVERSITY (SCIENCE AND TECHNOLOGY),1999,39(3):19 -22.

[17] 刘明先,康勇,候婷,等. RBF 网络在电力电子电路故障诊断中的应用[J]. 仪器仪表用户,2006,13(2):64 -66.
LIU Mingxian,KANG Yong,HOU Ting,et al. Application of the RBF network in fault diagnosis for power electronic circuit [J]. Instrumentation Customer,2006,13(2):64 -66.

[18] 刘颖,张民,张永辉. 基于模糊理论和频谱分析的电力电子设备的故障诊断[J]. 海军工程大学学报,2005,17(1):85 -88.
LIU Ying, ZHANG Min, ZHANG Yonghui. Fault diagnosis of power electronic circuits based on fuzzy theory and frequency spectrum analysis[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2005,17(1):85 -88.

收稿日期:2018 -10 -11

作者简介:

赵永生(1965),男,本科,高级工程师。主要从事电力可靠性管理工作和质量监督管理工作。

(本文责任编辑:龙海丽)

Study on real-time intelligent analysis and judgment and gain of power supply reliability medium-voltage power-off events based on big data technology

ZHAO Yongsheng[1], **QIN Hao**[1], **GAN Dezhi**[1], **ZENG Yi**[2], **MEI Zhanqi**[3], **JIANG Haihui**[4], **ZHOU Yongzhen**[4], **YANG Rui**[4], **DANG Shuai**[4]

(1. State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei 230061 Anhui, China;

2. State Grid Huainan Electric Power Sapplg Company, Huainan 232001 Anhui, China;

3. State Grid Bengbu Electric Power Sapplg Company, Bengbu 233090 Anhui, China;

4. NARI Technology Co., Ltd., Nanjing 210000 Jiangsu, China

Abstract: At present, the medium-voltage power-cut incidents of power supply enterprises have been automatically connected from the collection terminal of power consumption information system and pushed to the distribution network power supply reliability management system. Compared with the traditional manual input, the timeliness and accuracy have been greatly improved. However, due to the large scale of medium voltage distribution network equipment, involving a wide range of specialties, long data transmission chain, reliability, accuracy and integrity of medium voltage blackouts are still limited by many factors, which has a negative impact on the statistical analysis and application of power supply reliability indicators. Based on the intelligent analysis and processing of power cut events for medium voltage users in distribution network, this paper investigates and analyzes the relevant business systems of medium voltage power cut events and designs the data interaction. The whole process of collecting, processing and automatically pushing the interruption signals from medium voltage users to the power supply reliability management system is realized by using large data technology and dynamic distribution. The network model realizes the real-time analysis of power cut and restore data of user acquisition terminal and the intelligent complementary gain of power cut event, and ensures the integrity and accuracy of power cut event integration.

Key words: distribution grid model; big data; real-time analysis; smart complementing