一种调度主站端电网故障特征数据质量稽查方法

电网故障在线诊断软件是调度运行人员进行故障处置的重要技术支撑工具，数据质量不高是影响其实用化水平的重要因素，为此本文从电网故障特征数据的正确性辨识和完备性分析两方面出发，提出电网故障特征数据质量的在线稽查方法，为提高电网在线故障诊断软件的数据辨识处理能力提供参考，同时为系统运行人员进行数据质量分析提供方便快捷的工具，以提高故障情况下数据质量的稽查效率。

闪鑫[1] 宁剑[2] 陈美[1] 张哲[2] 谢旭[2] 张勇[2]/1.国电南瑞科技股份有限公司 2.国家电网公司华北分部

闪鑫/高级工程师

关键词/Keywords
在线故障诊断·数据质量稽查·调度自动化系统·

0 引言

随着智能电网的发展，电网智能调度对数据的正确性、实时性及可靠性提出了更高的要求，目前智能电网调度控制系统已全面推广运行，各类分析决策软件的实用化水平很大程度上取决于基础数据的质量，如何发现辨识基础数据质量问题[1-8]，提高应用分析软件的健壮性是目前面临的问题。

电网故障特征数据是指反映设备短路故障、机组跳闸以及直流闭锁等故障特征的调度主站侧数据，从数据采集的范围来看，电网故障特征数据主要包括三大类：SCADA 系统的遥测、遥信以及 SOE 数据，WAMS 系统的 PMU 三相电压、电流以及保信系统的保护动作信号、故障简报以及故障录波文件等。

故障特征数据质量不高引起的故障误报和漏报是当前电网运行中面临的突出问题。线路正常拉闸操作误发事故信号、遥信变位误发以及遥测数据异常跳变等错误告警信息引起的故障误报，对调度日常运行监控的决策处理造成严重干扰；电网实际故障情况下遥信变位或事故信号丢失、SOE 信号自身延时过长或时标不正确以及设备跳闸后遥测未及时归零等关键告警信息异常引起的故障漏报，延缓了调度事故处置的最佳良机。

目前国内外在电网故障特征数据稽查方面缺乏系统性的研究，稽查手段主要以人工排查为主，即通过运行经验对每个厂站的数据进行逐一排查，核对电网正常情况下是否有告警信息误发以及实际故障情况下告警信息的准确性和时效性是否满足要求，对于 300～400 个变电站规模的省调系统，数据核对工作耗费的人力和时间都是巨大的。

近年来随着调度中心多源数据的接入，电网在线故障诊断软件在算法设计方面较以往的显著区别在于考虑了基于多源信息的错误数据辨识功能，比较有代表性的文章有《基于三态数据的电网在线故障诊断》以及《基于多源信息融合的电网故障诊断算法研究》等，其主要思路是利用多源数据的冗余度以及各类数据之间的内在逻辑关联关系，对错误的告警信息进行辨识，从而提高在线故障诊断的正确率。总体上看上述方法对开展电网故障特征数据稽查技术的研究，具有重要的借鉴意义，但是目前基于多源信息的数据挖掘，其信息关联规则还较为简单，缺乏从多个维度对疑似错误告警信息进行校验和分析，整体辨

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

识准确率离实用要求还存在一定的距离。

1 电网故障特征数据正确性辨识

1.1 基于 PMU 数据的错误遥信在线辨识

新厂站/新设备投运、设备检修调试期间的开关、保护联动试验的遥信变位以及开关结点抖动是引起调度端电网在线故障诊断软件错误告警的主要因素之一，其主要原因是上述信号特征同设备故障时较为相似，单独利用开关量信息无法有效区分，需要进一步结合电气量数据进行辨识。

基于相量测量单元（PMU）采集的相量数据，其特点为采集频率较高（一般不低于 25 帧/s），上送速度快，且具有精确的 GPS 对时，主要包括电压、电流的三相幅值和相角，利用其可以进行电网故障特征的在线辨识和简单分析。

根据电网故障机理，如图 1 所示，设备短路故障时电流增大，通过对故障分量信息进行提取和分析，即可判断电网是否发生故障。

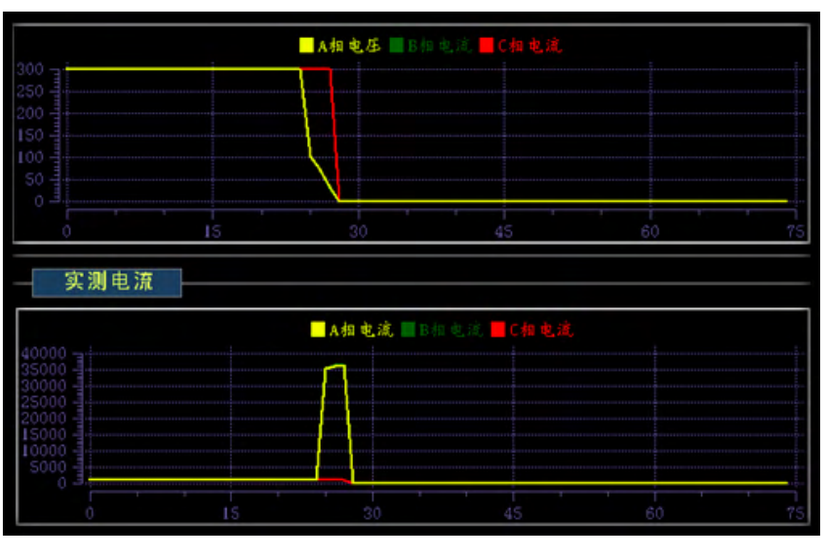

图 1 故障情况下 PMU 三相电压、电流数据

短路故障分量提取计算公式如下，其中：ΔU 为故障时电压突变量，U_{φ} 为故障后电压相量幅值，$U_{\varphi|0|}$ 为故障前电压相量幅值；ΔI 为故障时电流突变量，I_{φ} 故障后电流相量幅值，$I_{\varphi|0|}$ 为故障前电流相量幅值。

$$\Delta U = U_{\varphi} - U_{\varphi|0|}$$

$$\Delta I = I_{\varphi} - I_{\varphi|0|}$$

当电压、电流突变量满足设定的门槛值时，即可认为电网发生短路扰动，将该信息作为上述状态量判断的校验，即可克服由于误发事故总、遥信变位引起的错误告警。

1.2 基于网络拓扑的错误数据辨识处理

机组跳闸后遥测未及时归零是电网运行生产中时常出现的问题，机组跳闸后遥测未及时归零是引起机组跳闸告警漏报的主要原因，影响调度故障处置的及时性。

针对上述问题，可以利用电力系统电气连接的相关性进行辨识，如图 2 所示，假设 1#发变组高压侧 5012、5013 开关变位，1#发电机有功遥测未归零，此时往往无法确定是开关误发变位信号还是机组有功遥测有误。根据电力系统网络理论，各个母线节点的流入和流出功率保持平衡，通过计算此时母线将出现不平衡功率，不平衡功率数值大致上和机组跳闸前的出力大致相等，可基本确定机组有功遥测错误。同时为了进一步佐证，将电厂出线的功率代数和相加，线路出线功率采用电厂出线对端数值代替，若功率总加发生突变，且突变数值和发电机跳闸前出力大致相等，则可认为机组的有功遥测异常。

1.3 基于模式识别的大规模数据跳变处理

电网实际运行中经常会出现全站或多个站的数据跳变情况，上述数据跳变将会造成主站端的错误告警，干扰调度运行人员的日常监控，引

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

起数据跳变的原因主要包括以下两类。

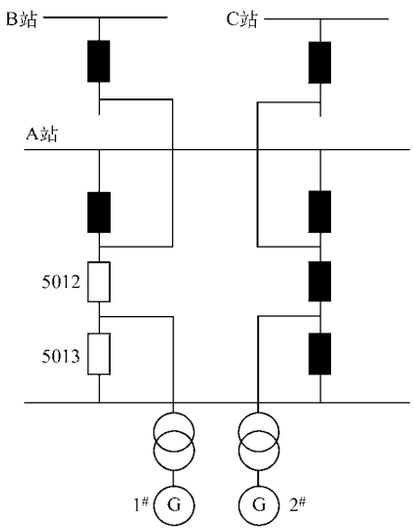

图 2　发电厂主接线图

1）子站通信服务器主备切换，早期的一些变电站监控系统由于未能实现主备机的无缝切换，因此在主备机切换过程中，会误发大量的变位告警信号。

2）数据转发通道异常，调度主站系统中有些数据是通过其他主站系统进行数据转发的，若转发数据通道异常，则会误发大量的变位告警信息。

不管是上述哪种原因造成的大规模数据跳变，均表现出统一的特征：即某个站或某些站的站内绝大部分开关、刀闸出现分位告警、设备遥测值突变，经过短暂时间后，开关又恢复为合位，设备遥测值恢复正常。

然而在电网实际故障情况下，若出现全站母线失压，亦有可能出现站内大规模开关变位和设备遥测突变，但是若出现母线失压，必定是永久故障，因此开关变位和设备遥测突变后，不会短时间内恢复，这是和上述异常情况引起数据跳变存在明显差异。此外，故障情况下只会有开关变位，不会出现刀闸的变位，这也是和上述异常情况下导致数据跳变不一致的地方。

通过比较上述差异，采用模式识别的方法，即可对大规模的数据跳变进行辨识，其计算过程如下。

1）实时接收子站上送的变位告警信息以及遥测信息。

2）判断某个站内开关变位个数是否超过预定的门槛值，或某个站内超过一定个数的设备遥测值突变归零，若满足上述任何一个条件，则进入下一步。

3）若满足条件厂站内的刀闸变位个数占比厂站内刀闸总数一定数值时，则上述告警信息为异常告警信息；否则进入下一步。

4）若在一定的时间范围内，上述站的开关变位或遥测突变恢复，则上述告警信息为异常告警信息。

2　电网故障特征数据完备性分析

电网故障特征数据完备性分析主要实现电网故障情况下，对反映电网故障特征数据的完备性和准确性进行分析，用于评价设备故障情况下电网故障特征数据的数据质量，辅助系统运行人员及时发现故障特征数据中的问题，有针对性的开展数据质量的整治工作。

电网故障特征数据的完备性分析包括以下几个部分：①开关变位告警；②厂站事故告警；③遥测归零；④PMU 告警；⑤监控事故类告警；⑥故障录波类告警。下面分别对上述六类数据的数据质量评价方法进行介绍。

2.1 开关变位完备性分析

开关变位完备性分析指对设备故障情况下应正常跳闸的开关告警信息进行分析、评价，要求能够根据故障设备的实时运行状态，采用网络拓扑分析和保护动作逻辑仿真的方法，自动识别该设备故障情况下应该动作的开关信息，并进行校验。

对于线路故障，应自动搜索线路首末端开关信息；母线故障，自动搜索母线所连开关信息；主变故障，搜索主变高、低压侧（三绕组变为高、中侧）所连开关信息；机组故障，搜索机组出口开关或机组升压变的高压侧开关。

根据搜索到的开关信息，结合实时的遥信告警信息，查看相关的开关告警信息是否在规定的时间范围内上送，若满足条件，则数据质量满足要求，否则对数据质量不满足要求。

此外对于开关变位 SOE 信息，除了查看规定的时间内是否上送 SOE 告警信息外，还需要对 SOE 告警信息的时标合理性进行分析。一般

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

情况下调度主站端的各个服务器都是通过 GPS 时标进行对时，且时标准确程度较高，因此若 SOE 时标同调度主站端机器时间存在较大差异，则 SOE 的时标可能错误。

2.2 厂站事故总完备性分析

厂站事故总是反映厂站内设备发生故障的重要特征告警信息。在设备发生故障情况下，根据实时的遥信/SOE 告警信息，查看故障设备所在厂站是否在规定的时间内发出告警信息，同开关变位告警信息分析相类似，需要对遥信和 SOE 两类告警信息进行分析，SOE 信息需要同时考虑时标的准确性，具体方法不再详述。

2.3 遥测归零分析

对于设备永久性故障除了满足遥信类的告警信息外，还需要进一步评价遥测的数据质量。评价的内容包括：①遥测是否归零；②遥测归零是否在规定的时间范围内。

计算方法：根据故障设备和故障时间，自动判断设备的量测值（有功或电流）是否在规定的时间内发生突变，且突变后的值是否为零漂值。

遥测归零的评价内容包括：正常、突变超时和突变未归零三类。其中正常指在设备故障后，故障设备的遥测值在规定的时间范围内突变到零漂值以下；突变超时指在设备故障后，故障设备的遥测值未在规定的时间范围内发生突变；突变未归零指在设备故障后，故障设备的遥测值虽在规定的时间范围内发生量测突变，但突变后的量测值未到零漂值以下。

2.4 PMU 数据质量分析

PMU 数据是反映电网故障特征的另一类重要数据，由于 PMU 数据的高采样率，能够快速准确反映电网故障特征。

PMU 数据质量的评价方法如下：①判断 PMU 是否发出故障设备的告警信息；②若未发出告警信息，进一步判断故障设备是否有 PMU 测点；③若有 PMU 测点，进一步判断故障设备的 PMU 数据质量是否正常。

PMU 数据质量的评价内容包括正常、未布点、数据质量异常以及通道异常四类。其中正常指设备故障情况下，调度主站端基于 PMU 数据的在线扰动软件发出对应的告警信息。未布点指故障设备未安装 PMU 量测装置。数据质量异常指故障时间前后一段时间范围内，PMU 上送的数据质量异常；通道异常指故障发生时，故障设备所在厂站的 PMU 子站通信异常。

2.5 监控事故类数据质量分析

针对调控一体化系统，除了采集开关变位和厂站事故总告警信息外，还采集了大量反映设备故障特征的事故类告警信息。

监控类告警信息评价方法如下：①根据故障设备所属间隔，自动搜索故障设备所属间隔内的事故类告警信息模型；②根据事故类告警信息模型，结合遥信和 SOE 告警信息，查看是否具备相关告警信息；③根据告警信息匹配结果，对监控事故类告警信息的数据质量进行评价。

监控类告警信息评价内容包括正常、遥信未告警、SOE 未告警以及 SOE 时标错误四类。其中正常指在设备故障后，故障设备所属间隔内的事故类遥信和 SOE 告警信息均正确；遥信未告警指在设备故障后，故障设备所属间隔内有事故类遥信未告警的信息。SOE 未告警指在设备故障后，故障设备所属间隔内有事故类 SOE 未告警的信息。SOE 时标错误指在设备故障后，故障设备所属间隔内有事故类 SOE 告警信息，但 SOE 时标不正确。

2.6 故障录波数据质量分析

故障录波类告警信息主要包括故障录波文件和故障录波简报两大类。其评价方法如下：①故障设备的每套故障录波器是否自动上送故障录波文件；②故障设备的每套故障录波器是否上送故障简报文件。

故障录波类告警评价内容包括正常、故障录波文件不全、故障简报不全三类。其中正常指在设备故障后，故障设备每套故障录波器的故障录波文件和故障简报均正确上送；故障录波文件不全指在设备故障后，故障设备的某套故障录波器的故障录波文件未上送；故障简报不全指在设备故障后，故障设备的某套故障录波器的故障简报未上送。

3 应用效果

本文相关研究成果在华北电力调控分中心智能电网调度控制系统开展了应用，如图 3 所示，为设备短路故障情况下电网故障特征数据完

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

备性分析结果，包括线路首末端开关遥信变位、SOE、厂站事故总、PMU 以及故障录波文件等各类数据分析结果。经过完备性分析，可自动辨识出故障情况下潞城站 5012 开关遥信变位未告警、5013 开关 SOE 时标异常等数据质量问题，便于系统运行人员及时发现故障情况下的数据质量问题，降低人工统计分析的工作量，为有针对性的开展数据质量稽查提供方便高效的工具。

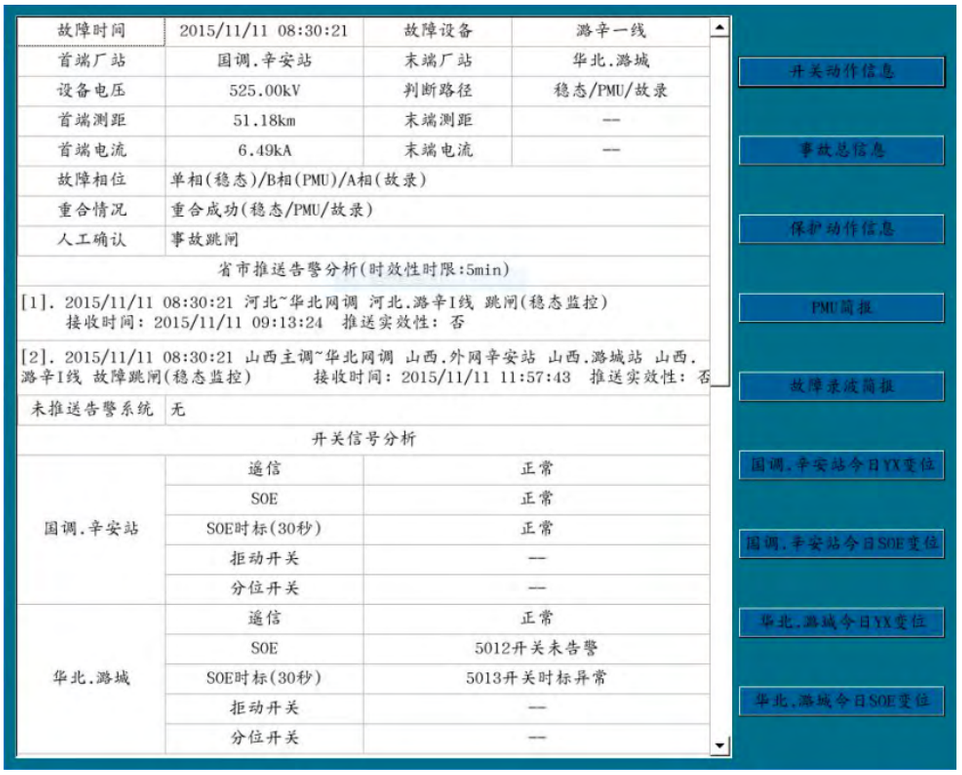

图 3　故障特征数据完备性分析结果

4　结束语

本文从电网故障特征数据质量的正确性辨识和完备性分析两方面出发，提出了电网故障特征数据质量的在线稽查方法，并结合调度自动化系统开展应用，在实际运行中取得了较好效果，有利于提高调度自动化软件对错误量测或异常告警的在线辨识能力及鲁棒性，同时为系统运行人员进行数据质量管控提供了方便快捷的技术支撑工具。

参考文献

[1] 张亮．电力调度数据中心数据质量问题研究．华东电力[J]，2009（3）．
[2] 黄慧，朱齐亮．智能电网数据质量控制的发展分析与展望[J]．科技信息，2012（7）．
[3] 李贺平，王倩．基于电网调度自动化基础数据质量整治的研讨[J]．机械与自动化，2013（11）．
[4] 胡波．电网业务系统数据质量管理平台的设计与初步实现[J]．信息化建设，2010（12）．
[5] 郭志懋，周傲英．数据质量和数据清洗研究综述[J]．软件学报，2002，13（11）：2 076-2 081．
[6] 田芳，刘震．数据仓库清洗技术讨论[J]．青海师范大学学报（自然科学版），2005，41：50-53．
[7] 彭银桥，甘元驹，等．数据 ETL 过程中实体识别方法[J]．信息技术，2005，(2)：22-24．
[8] 曹建军，刁兴春，汪挺等．数据质量控制研究中若干基本问题[J]．微计算机信息，2012（3）．

———————

作者简介
闪鑫（1980-），男，硕士，高级工程师，主要从事电网调度自动化系统高级应用软件研发工作。

（收稿日期：2015-12-10）EA
（编辑：朱金凤）

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net