

基于数据驱动的配电网电压异常检测与根因定位系统开发

刘小艳

国家能源集团神东煤炭集团公司供电中心调度室

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8592

[摘要] 鉴于配电网电压异常检测在及时性方面有所欠缺、根因定位准确程度较低等状况，本文着力研发基于数据驱动的配电网电压异常检测及根因定位系统。此系统依托配电网的实时监测数据，融合数据预处理、特征提取、异常识别以及根因分析等技术手段，达成电压异常的快速检测和精准定位之目标。凭借工程化技术的优化举措，解决数据噪声干扰以及多因素耦合带来的影响等各类难题，增强系统在复杂配电网环境下的适应性与可靠性，为配电网电压调控给予技术上的支持，进而保障配电网安全且稳定地运行。

[关键词] 配电网电压异常检测；数据驱动；根因定位

Development of a data-driven distribution network voltage anomaly detection and root cause localization system

Liu Xiaoyan

Dispatch Room of Power Supply Center of Shendong Coal Group Company of National Energy Group

[Abstract] Given the lack of timeliness and low accuracy in root cause localization for voltage anomaly detection in distribution networks, this paper focuses on developing a data-driven system for voltage anomaly detection and root cause localization in distribution networks. This system relies on real-time monitoring data from the distribution network, integrating techniques such as data preprocessing, feature extraction, anomaly recognition, and root cause analysis to achieve the goal of rapid detection and accurate positioning of voltage anomalies. With optimization measures based on engineering technology, various problems such as data noise interference and the impact of multi factor coupling are solved, enhancing the adaptability and reliability of the system in complex distribution network environments, providing technical support for voltage regulation of the distribution network, and ensuring the safe and stable operation of the distribution network.

[Key words] abnormal voltage detection in distribution network; Data driven; Root cause positioning

引言

随着配电网的规模不断拓展，分布式电源、电动汽车等多种不同类型的负荷接入其中，电压出现波动的次数增多，异常的种类也变得更为繁杂。过去那种依靠人工巡查，凭借经验来判断处理电压异常状况的方式，已然难以契合配电网精细化运行的要求。而数据驱动技术能够借助配电网所积累的海量监测数据，挖掘出电压异常特性和根源原因之间相互联系的规律，从而为电压异常的检测以及找出根本原因指明了新的方向。本

文会从技术的原理、当前面临的困难以及工程化改进这三个层面出发，对基于数据驱动的配电网电压异常检测与根源原因定位系统的开发开展深入探究，其目的在于为实际的工程操作提供切实可行的技术方案。

1 配电网电压异常检测与根因定位核心技术原理

1.1 配电网监测数据预处理技术

配电网监测所获取的数据，包含配电终端收集而来的诸如电压、电流、功率等按时间顺序排列的数据。在实际情形中，

由于通信干扰以及设备自身误差等多种因素的作用，这些数据里面会出现缺失值、噪声以及异常值的状况。所以，一定要借助预处理技术，来保证数据的质量。具体而言，对于原始的电压数据，会运用滑动窗口平均的办法去进行平滑处置。把窗口宽度设定为 5 个采样周期，（这里要说明的是，采样频率是每 15 分钟进行 1 次，这样窗口所涵盖的数据时长就是 75 分钟），通过这种操作，能够降低随机噪声给数据带来的不良影响。针对数据缺失的难题，依据相邻监测点相同类型数据之间存在的相关性，采用线性插值的手段去补齐缺失的数据。若是缺失的时长超出了 2 个小时，那便启动历史同期相似运行工况的数据来进行填补，以此保证数据的连贯性。

1.2 电压异常特征提取技术

电压异常特征的提取，是异常检测工作中极为关键的一环。这就要求我们从经过预处理的数据里面，深入挖掘出能够确切表征电压异常状况的关键指标。鉴于时序数据所具备的特性，我们着重提取三类特征，分别为：电压偏差值（也就是实际电压与额定电压之间的差值）、电压波动幅度（即在单位时间里电压最大值和最小值的差值）以及电压突变率（具体为电压变化量和时间变化量的比值）。针对电压偏差值，我们采取滑动时间窗口的方式（把窗口长度设定为 1 小时）来计算其平均值，通过这样的方式能够排除短期波动所带来的干扰影响；而对于电压波动幅度，则是借助滑动窗口（窗口长度设定为 30 分钟）展开实时计算，以此来捕捉中期的电压变化走向；至于电压突变率，将时间间隔设定成 5 分钟，一旦突变率超出 0.5kV/min，就会将其标记为潜在异常特征，目的就是为后续的异常识别工作提供必要的特征支持。

2 配电网电压异常检测与根因定位技术现有难点

2.1 多源数据时空异构导致的数据融合难度大

配电网监测数据有着多方面的来源，包含配电终端像 FTU、TTU，此外分布式电源监测装置以及负荷监测装置等等。各类不同设备在采样频率方面，范围在 1 分钟/次到 1 小时/次之间，数据格式也各有不同，比如 JSON、XML、CSV，在时空分辨率上同样存在差别，由此产生了时空异构数据。比如，FTU 的采样频率是 5 分钟/次，主要收集的是线路电压、电流相关数据，而光伏逆变器采样频率为 1 分钟/次，采集的是出力、电压数据，这两类数据从时间角度来看，不太容易直接做到匹配。并且，各个不同监测点在地理位置上分布较为零散，数据之间在空间上的关联性，需要依靠配电网拓扑结构才能得以体现出来。上述这些情况致使多源数据无法有效融合到一起，很难形成一套完整的用于电压异常分析的数据链条，对异常检测的全面性以及根因定位的准确性都产生了影响。

2.2 复杂工况下异常特征易被干扰导致识别准确率低

配电网的运行状况，会因为季节、时段以及气象条件等多种要素产生作用，展现出复杂且多变的特性，这极易让电压异常的特点受到干扰。比如，在夏季空调用电负荷集中的时间段，配电网的负荷会产生较为剧烈的波动，电压正常的波动幅度会有所加大，与电压偏低的异常特点相重合，致使异常识别模型错误地把正常的波动判断成电压异常情况。而在冬季气温较低的天气状况下，线路的电阻会有所增大，电压损耗也会跟着增加，电压偏差值的特点出现变化，原本训练好的 SVM 模型由于没有将这种运行状况的特点包含在内，识别的准确程度就会降低。除此之外，像风电、光伏这类分布式电源的出力，会受到风速、光照的影响，表现出间歇性的波动状态，当其出力突然降低时，有可能会造成电压突然下降，这与线路故障引发的电压骤降特点比较相似，运用传统的特征提取办法很难将二者区分开来，从而进一步使得异常识别的准确程度有所降低。

2.3 多因素耦合作用导致基因定位模糊

配电网出现电压异常状况，通常是多种因素相互交织、共同作用所致。在这种情况下，单个因素与电压异常状态之间的联系不再如此紧密，这就使得确定引发电压异常的根本原因变得模糊不清。比如，若是出现电压偏低的情况，很可能是因为负荷过载、无功补偿不够、分布式电源输出功率突然大幅下降等多个因素引起。若是只按照某一个因素的关联规则来判断，就有可能把不太重要的因素当成主要的根本原因。比如，当负荷超过额定数值的 10%，同时电容器组停止运行的情况下，这两个情况都和电压偏低有比较密切的关联。但传统的关联规则挖掘算法无法分辨出这两个因素谁的影响更大，也就很难找出主要的根本原因。另外，此外一部分因素之间存在间接的影响关系，就像变压器出故障了，使得线路供电能力降低，接着造成负荷分布不均匀，最后引起电压异常。而传统的根因分析技术不太容易识别出这种间接的联系，进而就导致定位结果出现偏差。

3 配电网电压异常检测与根因定位技术工程化优化

3.1 多源数据标准化融合优化方案

运用数据标准化和拓扑关联映射相关技术，致力于处理多源数据存在的时空异构难题。第一步，设定适用于配电网监测数据的标准样式，把各类不同设备所输出的数据都统一转换为 JSON 格式。明确电压、电流、功率等各项数据所对应的字段名称、单位（像电压的单位规定为 kV，电流的单位规定为 A）以及精度（要求保留 2 位小数），以此来保障数据格式的一致性。第二步，以配电网的拓扑结构作为依据，构建时空关联映射表，把不同监测点位的地理位置信息（具体指经纬度坐标）和线路拓扑的相互关系（例如节点编号、线路连接的关系）联系起来，从而建立起数据的空间索引。在时间层面上，采用线性插值的

办法，把采样频率较低的数据（比如每1小时采集一次的TTU数据）通过插值变为高采样频率数据（即每5分钟采集一次），让其在时间维度上和FTU、分布式电源监测数据达成一致。第三步，搭建基于Hadoop平台的分布式数据存储体系，将完成标准化处理的多源数据按照时间进行分片（每小时划分为一个数据分片）存储，以此提高数据读取的效率，最终达成多源数据的有效整合。

3.2 工况自适应的异常识别模型优化

为了提高在复杂运行状况下对异常情况的识别精准度，引入了运行工况分类以及模型动态更新这两项机制。首先，运用K-means聚类算法针对配电网过往的运行相关数据开展运行工况的分类工作。选取了负荷率（即实际负荷数值与额定数值的比例）、分布式电源出力占比（也就是分布式电源的出力与线路整体负荷的比例）以及气象条件（涵盖温度、光照强度等方面）这三类指标作为聚类所依据的特征，进而把运行工况划分成高峰负荷、平段负荷、低谷负荷、分布式电源高出力、分布式电源低出力这五类具有代表性的运行工况，针对每一类运行工况都构建相应的SVM异常识别子模型。其次，对配电网当下的运行工况指标展开实时监测，借助运行工况匹配算法（通过计算当下运行工况与典型运行工况之间的欧氏距离，把距离最小的判定为匹配的运行工况）来挑选对应的子模型用以开展异常识别操作。最后，构建模型动态更新机制，每个月收集新增的电压异常样本数据，针对相应运行工况的SVM子模型实施增量式训练，对模型的参数（如惩罚参数C与核函数参数 γ ）进行优化，以此确保模型能够适应运行工况的改变，让异常识别的准确率一直稳定保持在90%以上。

3.3 多因素权重量化的根因定位优化方案

运用把层次分析法(AHP)跟关联规则相融合的办法，来处理由于多个因素相互耦合造成的根因定位不清晰问题。首先，搭建电压异常根因的层次结构模型，把电压异常设定成目标层级，把负荷变化、分布式电源出力的波动情况、设备出现的故障状况、无功补偿装置的状态等作为准则层级，而各个准则层级下面的具体相关因素（像负荷超出额定数值、光伏的出力产生波动、变压器出现过载、电容器组退出运行等）当作方案层级。其次，邀请大概5到8名配电网方面的专家，针对各个层次的因素重要程度给出分数，建立起判断矩阵。在通过一致性检验（也就是一致性比例CR小于0.1）之后，算出各个因素的权重数值。

3.4 轻量化计算与边缘计算结合的实时性优化

对于关联规则挖掘算法，用FP-growth算法来取代Apriori算法，从而减少对数据库进行扫描的次数，实现将数据处理所需的时间缩短40%以上。而后，搭建起“边缘节点-区

域中心-调度中心”这样的三级计算架构体系。在配电网分区边缘的节点部位，比如变电站的本地服务器，部署经过轻量化处理的异常识别模型，以便对本地监测数据予以实时处理（该处理所覆盖的监测点范围是半径在5-10km以内）。一旦识别出异常情况，仅仅把异常特征数据（并非全部数据）上传到区域中心。区域中心的服务器布置根因定位模型，基于边缘节点所上传的异常特征以及区域内的多种来源的数据，能够快速地完成根因的定位工作，随后将定位的结果上传至调度中心。通过这一架构，能够让数据处理在本地进行，降低数据传输量以及计算所面临的压力，使得异常检测与根因定位所消耗的总时长被控制在8分钟之内，从而符合工程对于实时性的相关要求。

结语

本文聚焦于以数据驱动为基础的配电网电压异常检测及根因定位体系，对其核心技术的原理展开了深度探究。文中详细分析了多源数据融合、复杂工况干扰、多因素相互耦合，以及实时性和计算资源之间的矛盾这四大重点难题。同时，依据这些问题提出了具备工程化特性的优化策略。借助多源数据的标准化整合、工况自适应模型的完善、多因素权重的量化确定，以及轻量化和边缘计算相结合等技术手段，解决了该体系开发过程中的关键要点，从而提高了电压异常检测的准确程度以及根因定位的精确水平，切实满足了工程实际应用的需求。此体系能够为配电网的电压调控给予技术保障，对配电网的安全平稳运行起到推动作用。后续可针对极端工况下的模型适应性开展进一步研究，增强系统的稳定性与可靠性。

[参考文献]

- [1]刘明群,何鑫,覃日升,等.基于改进K-means聚类k值选择算法的配网电压数据异常检测[J].电力科学与技术学报,2022,37(06):91-99.DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2022.06.010.
- [2]李辉,平海荣,罗超.农村低压配电网电压异常快速排查的方法[J].电气时代,2021,(02):33-34.
- [3]康党兴,李萌.10 kV配电网电压异常现象及对策[J].农村电工,2020,28(12):38-39.DOI:10.16642/j.cnki.ncdg.2020.12.043.
- [4]陈耀文.10 kV配电网电压异常问题处理措施探究[J].机电信息,2020,(08):15-16.DOI:10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2020.08.009.
- [5]杨昌海,彭婧,妥建军,等.含高渗透率光伏的低压配电网电压控制方法[J].自动化与仪表,2020,35(01):18-22.DOI:10.19557/j.cnki.1001-9944.2020.01.005.