

电力营销计量装置的故障诊断研究

彭禹锋

国网湖北省电力有限公司郧西县供电公司 湖北 十堰 442000

摘要：电力营销计量装置是电费结算与线损分析的核心依据，其运行可靠性直接关系到供用电双方的经济利益。本文系统阐述了计量装置的组成、分类、工作原理及技术标准，深入分析了电能表、互感器、采集终端及接线等环节的常见故障类型与成因。在此基础上，探讨了基于信号特征分析、统计分析、机器学习及多源信息融合的故障诊断方法，并设计了计量装置故障智能诊断系统的总体架构。构建“在线监测-智能诊断-快速处置”一体化的诊断体系，可有效提升计量装置运维效率与营销精益化管理水平。

关键词：电力营销；计量装置；故障诊断；智能检测

引言：随着电力市场化改革的深入推进，电力营销计量装置在电费结算、线损分析及用电监测中的作用日益凸显。然而，计量装置长期运行于复杂环境，受雷击过电压、温湿度变化、电磁干扰及人为窃电等因素影响，故障频发。本文聚焦电力营销计量装置的故障诊断问题，系统梳理常见故障类型与成因，研究各类诊断方法的技术特点与适用条件，设计智能诊断系统架构，旨在为供电企业提升计量装置运维水平提供理论参考与技术支撑。

1 电力营销计量装置概述

1.1 计量装置的组成与分类

电力营销计量装置主要由电能表、互感器、采集终端及二次回路四大部分组成。电能表是计量核心，按工作原理可分为感应式电能表和电子式电能表，目前智能电能表已成为主流，具备双向计量、分时计量、数据通信及事件记录等功能。互感器包括电流互感器和电压互感器，用于将一次侧大电流、高电压转换为二次侧标准信号。采集终端包括集中器和采集器，负责数据汇集与远程上传。计量装置按接入方式分为直接接入式和经互感器接入式，按用户类型分为居民用户、一般工商业用户及大工业用户计量装置。了解各类装置的组成与特点，是开展故障诊断的基础。

1.2 计量装置的工作原理

电能计量基于电压和电流的乘积对时间的积分。智能电能表采用专用计量芯片，对电压、电流信号进行高速采样，通过数字信号处理计算有功功率、无功功率及电能值。其内部结构包括电源模块、采样模块、计量模块、微处理器、通信模块及显示模块。电流互感器与电压互感器的工作原理基于电磁感应定律，将一次电流、电压按比例变换为二次标准值（通常为5A或1A，100V

或57.7V）。采集终端通过RS485总线或载波通信与电能表通信，采集电量数据后经GPRS/4G/5G网络上传至用电信息采集主站。远程自动抄表系统实现了数据采集、传输、处理的全流程自动化^[1]。

1.3 计量装置的技术标准与管理规范

计量装置的设计、制造、安装及运维需遵循一系列技术标准与管理规范。国家标准包括GB/T 17215《交流电测量设备》系列、GB 1208《电流互感器》、GB/T 16934《电能计量柜》等。行业标准涵盖DL/T 448《电能计量装置技术管理规程》、DL/T 645《多功能电能表通信协议》及DL/T 698《电能信息采集与管理系统》等。管理规范要求计量装置实行全生命周期管理，包括选型、检定、安装、运行监测、周期轮换及报废处置各环节。目前，供电企业普遍建立了计量资产管理平台与用电信息采集系统，为计量装置的在线监测与故障诊断提供了数据基础。

2 计量装置常见故障类型与成因分析

2.1 电能表故障

智能电能表常见故障分为显示、计量、通信和时钟四类。显示故障表现为黑屏、乱码或字符缺失，多因液晶屏老化、低温失效或电源模块损坏引起。计量故障包括停走、慢走、飞走及倒走，涉及计量芯片损坏、采样回路故障、EEPROM数据错乱及窃电干扰。通信故障为RS485中断或载波失败，与通信模块损坏、接线错误、信号衰减或电磁干扰有关。时钟故障表现为时间偏差超差或电池欠压，电池寿命约5-8年，到期须及时更换。统计显示，通信故障占比最高约40%，计量故障次之，是运维重点关注对象。

2.2 互感器故障

互感器故障主要包括电流互感器开路、电压互感器

短路、误差超差及绝缘下降。电流互感器二次侧开路时，一次电流全用于励磁，铁芯严重饱和，二次侧产生数千伏高压，可能击穿绝缘并引发火灾，多因接线端子松动或回路断线引起。电压互感器短路时二次侧电流剧增，可导致熔断器烧断或互感器烧毁。误差超差指比差或角差超出允许范围，由铁芯剩磁、绕组匝间短路或负载不匹配引起。绝缘下降多因受潮、老化或过电压冲击，严重时一次二次侧击穿，危及人身安全。定期现场校验是预防关键。

2.3 采集终端与通信故障

采集终端故障表现为死机、掉电、模块损坏及数据采集异常。死机多由软件Bug、电源波动或电磁干扰引起，需远程重启或现场复位。掉电故障因供电中断或电源模块损坏，后备电池可短暂维持。通信模块（GPRS/4G/5G或载波）损坏将致数据无法上传，与雷击、过热或产品质量有关。通信故障包括公网信号盲区致上传中断、载波受线路噪声干扰致采集失败、SIM卡欠费或基站切换致网络异常。数据异常表现为漏抄、误码或跳变，严重影响电量结算准确性，是采集系统最突出的问题^[2]。

2.4 接线与外部故障

接线故障是计量装置中占比最高的类型，包括接线错误、接触不良及极性反接。三相四线装置中，电压相序接反、电流回路开路短路、电压电流不同相均为常见错误，导致计量失准甚至倒走。接触不良多因端子松动、氧化或压接不紧，产生打火发热，严重时烧毁端子排。极性反接指互感器一次或二次极性接反，导致电能反向计量。外部故障涵盖雷击过电压、温湿度影响及窃电行为。雷击可击穿电源或通信接口；高温高湿加速元器件老化；窃电手段包括欠压法、欠流法、移相法及强磁干扰等，隐蔽性强、危害大。

3 计量装置故障诊断方法研究

3.1 基于信号特征分析的诊断方法

信号特征分析通过提取电压、电流、功率等电气量的时域或频域特征判断装置异常。时域分析中，监测电压波动可判断电压互感器断相，电流突变检测可发现回路开路或短路。频域分析利用快速傅里叶变换分析谐波含量，识别铁磁谐振或非线性负载导致的计量异常。功率因数分析可提示接线错误或窃电行为，三相不平衡度分析用于判断缺相或相序错误。该方法计算简单、实时性好，适用于在线监测，但对复杂故障识别能力有限，通常作为初步筛查手段。

3.2 基于统计分析的异常检测方法

统计分析利用历史数据建立正常行为模型，通过判别当前数据与模型偏离程度发现异常。常用方法包括阈值判别法、滑动窗口法及概率统计法。阈值法根据标准设定上下限，超限即报警，简单直观。滑动窗口法比较连续采样点趋势，检测电量突增突减，可发现停走或飞走故障。概率统计法假设数据服从正态分布，偏离均值超3倍标准差判定异常。线损分析法通过对比理论与实际线损，偏差持续超标可推断计量异常或窃电。该方法易于实现，但对数据分布假设敏感，难以检测隐蔽性强的故障。

3.3 基于机器学习的智能诊断方法

机器学习通过训练分类模型实现故障高精度识别。支持向量机适用于小样本分类，通过核函数映射高维空间构建最优超平面。决策树与随机森林可解释性强，根据电气量特征生成分类规则，直观展示判据。深度神经网络能自动提取深层特征，适用于窃电等复杂故障识别。长短时记忆网络处理时间序列数据，捕捉电量变化时序依赖关系，用于预测性故障预警^[3]。该方法诊断精度高，但依赖大量标注数据，训练计算量大，且存在“黑箱”问题，可解释性有待提升。

3.4 基于多源信息融合的综合诊断方法

单一数据源或单一诊断方法存在局限性，基于多源信息融合的综合诊断方法可显著提升诊断的准确性与鲁棒性。信息融合分为数据级融合、特征级融合与决策级融合三个层次。数据级融合将电能表数据、互感器数据、采集终端状态数据及环境数据进行整合，形成统一的故障分析数据集。特征级融合从多源数据中提取互补特征，如将电气特征与设备状态特征相结合。决策级融合对多种诊断方法的输出进行综合评判，常用技术包括D-S证据理论、模糊综合评判及贝叶斯网络。D-S证据理论可处理诊断结果的不确定性，通过证据组合规则得到融合信任度；贝叶斯网络利用概率图模型表达故障与征兆之间的因果关系，支持反向推理。综合诊断方法充分利用了多源信息的冗余性与互补性，代表了计量装置故障诊断的发展方向。

4 计量装置故障智能诊断系统设计

4.1 系统总体架构设计

系统采用分层分布式架构，自下而上分为感知层、网络层、数据层、诊断层与应用层。感知层包括智能电能表、互感器监测单元、采集终端及环境传感器，负责原始数据采集。网络层依托RS485总线、电力线载波、4G/5G及光纤通信实现数据安全传输。数据层构建统一数据中心，涵盖结构化与非结构化数据，采用数据清

洗、插值与归一化等预处理技术。诊断层集成多种算法引擎,实现故障识别、定位与预警。应用层面向运维人员,提供故障告警、工单派发、统计分析及可视化展示等功能。系统遵循“采得全、传得通、存得优、算得准、用得好”的设计理念,各层之间通过标准接口解耦通信,支持模块化扩展与功能迭代。

4.2 数据采集与预处理模块

数据采集与预处理模块是系统的数据入口。采集子模块通过用电信息采集系统接口,定时获取电能表的电压、电流、功率、电量及事件记录,采集频率为15分钟至1小时,同时接入互感器在线监测、终端状态及环境温度湿度数据。预处理子模块执行五项核心功能:缺失值处理,短时缺失用线性插值填补,长时缺失标记无效;异常值检测与修正,识别并剔除或修正超出合理范围的数值;数据归一化,将不同量纲特征映射到统一区间;特征工程,构造三相不平衡度、电压波动率等衍生特征;数据存储,将处理后数据写入时序数据库或数据仓库,确保数据质量满足诊断精度要求^[4]。

4.3 故障诊断核心引擎

诊断核心引擎是系统运算中枢,采用多引擎协同架构。规则引擎基于专家经验编制诊断规则库,如“电压缺相且电流正常→电压回路故障”,响应速度快,适用于明确故障快速判定。统计引擎运用阈值判别、滑动窗口及概率统计方法,检测电气量越限与趋势异常。机器学习引擎部署随机森林、支持向量机、轻量级神经网络等分类模型,对疑似故障进行精细化识别。多引擎协同机制为:规则引擎与统计引擎第一轮快速筛查识别确定性故障;机器学习引擎对剩余样本深度分析;诊断结果不一致时,启动融合评判引擎(如D-S证据理论)综合决策。引擎输出故障类型、置信度及关联证据,确保诊断结果准确可靠。

4.4 故障定位与预警模块

故障定位与预警模块负责将诊断结果转化为运维指令。定位子模块基于计量点拓扑关系与设备资产档案,采用层次化定位策略:首先定位到故障计量箱或计量柜,再精确定位到具体设备;接线类故障结合相位分析与接线图拓扑推算错误点位。预警子模块按严重程度划分为三级:一级(紧急)对应可能引发安全事故或大规模计量失准的故障,5分钟内推送至手机APP并自动生成紧急工单;二级(严重)对应影响电量结算的故障,

30分钟内派单;三级(一般)对应潜在性故障或轻微异常,纳入日常运维计划。预警信息包含故障描述、定位信息、推荐处理措施及参考依据,实现“诊断-定位-推送”闭环管理。

4.5 可视化与运维管理模块

可视化与运维管理模块是系统与用户的交互界面。驾驶舱大屏以GIS地图为基础,展示计量装置总体运行状态、故障分布热力图、实时告警信息及关键指标趋势(如计量装置完好率、故障平均处置时长)。故障看板提供按区域、按设备类型、按故障等级的筛选功能,支持故障详情钻取查看。工单管理子模块实现故障告警自动派单、运维人员接单、现场处理反馈及完工审核的全流程闭环管理。知识库子模块记录历史故障案例的诊断过程、处理措施及效果评价,支持按关键字检索,为运维人员提供参考。统计分析子模块定期生成故障统计报表,分析故障高发时段、高发区域及高发设备类型,为备品备件储备及预防性维护提供决策依据。系统同时提供移动端APP,支持现场运维人员接收工单、查询诊断详情及上传处理结果。

结束语

电力营销计量装置故障诊断是保障电费结算公平与营销管理精益化的关键技术支撑。本文系统梳理了计量装置组成原理与常见故障类型,分析了电能表、互感器、采集终端及接线环节的主要故障成因。研究了基于信号特征分析、统计分析、机器学习及多源信息融合的四类诊断方法,设计了包含数据采集、诊断引擎、故障定位及可视化管理功能的智能诊断系统架构。供电企业应加快推进计量装置由“被动报修”向“主动诊断”转变,构建“在线监测—智能诊断—快速处置”一体化运维体系,持续提升计量服务水平。

参考文献

- [1]吴剑. 电力营销计量装置运行与故障诊断研究[J]. 消费电子,2024(12):210-212.
- [2]张亮,陈晓刚,井含香,等. 电力营销计量装置的故障诊断研究[J]. 电力设备管理,2024(16):280-282.
- [3]李云鹏,金旭荣,张鑫瑞. 基于并行计算的电能计量装置故障诊断技术研究[J]. 电测与仪表,2022,59(12):96-102.
- [4]池远帆. 电力营销计量装置的常用故障诊断方法研究[J]. 电脑采购,2024(10):88-90.