基于智能技术的用电检查数据分析与异常检测研究

蒋红艳　王璐瑶　王岩松　孟磊　周俊言
国网天津市电力公司武清供电分公司　天津　301700

【摘　要】为解决传统用电检查存在的数据利用率低、异常识别滞后、人工排查效率低下等行业痛点，本文结合智能技术以及大数据技术，以此开展用电检查数据分析以及异常检测。文章从用电检查数据体系构建出发，分析用电数据预处理流程与工序，结合智能化技术开展用电检查数据分析，划分数据异常、行为异常、设备异常三类用电异常类型，建立多维度异常判定体系。研究结果表明，通过在用电检查数据分析与异常检测中结合智能化技术，可进一步提升数据挖掘深度以及用电异常识别精准度，为电力营销稽查与用电风险防控提供智能化技术支持。

【关键词】智能技术；用电检查；数据分析；异常检测

Research on Data Analysis and Anomaly Detection of Electricity Inspection Based on Intelligent Technology

Jiang Hongyan　Wang Luyao　Wang Yansong　Meng Lei　Zhou Junyan
State Grid Tianjin Electric Power Company Wuqing Power Supply Branch Tianjin　301700

【Abstract】In order to solve the industry pain points of low data utilization, lagging anomaly recognition, and low efficiency of manual investigation in traditional electricity inspection, this article combines intelligent technology and big data technology to carry out electricity inspection data analysis and anomaly detection. Starting from the construction of the electricity inspection data system, this article analyzes the preprocessing process and procedures of electricity data, and combines intelligent technology to carry out electricity inspection data analysis. It divides three types of electricity abnormalities: data anomalies, behavior anomalies, and equipment anomalies, and establishes a multidimensional anomaly judgment system. The research results indicate that by combining intelligent technology in the analysis of electricity inspection data and anomaly detection, the depth of data mining and the accuracy of electricity anomaly recognition can be further improved, providing intelligent technical support for electricity marketing inspection and electricity risk prevention and control.

【Key words】intelligent technology; Electricity inspection; Data analysis; Anomaly Detection

引言：

在智能电网全面建设与电力用户规模持续扩展的背景下，用电信息采集系统可实现分钟级、海量式用户用电数据采集的目的，而传统人工巡检以及经验判断的方式已经无法满足智能电网运行以及智能化运维需求。在此背景下，可以引进并落实智能化技术，以此开展用电检查数据分析与异常检测，解决数据碎片化处理、特征提取不全面、异常识别误判率高、隐性窃电与用电故障排查困难等问题，提升电力损耗管控效果，并提升用电安全性。文章在现有文献的基础上，聚焦用电检查数据处理、特征分析、异常判定核心环节，建立系统化、智能化用电数据分析与异常检测体系。

1、用电检查数据体系构建与预处理

1.1 用电检查核心数据来源与分类

智能电网体系下，用电检查数据主要应用智能电表、采集终端、配电监测设备等终端设备，以此开展全域数据采集与检测，覆盖用户用电全过程、设备运行全状态等，随后以此为基础开展用电异常检测，其是前期重要工序。智能用电检查数据具有时序性、多维性以及海量性特征，此时可以数据属性为核心，将整体数据分为运行监测数据、用户用电数据、设备状态数据、台账基础数据，且各类数据值之间相互关联、相互补充，为后期用电异常精准研判基本保障。

运行监测数据为实时动态化数据，包括三相电压、三相电流、有功功率、无功功率、功率因数以及负荷曲线等，数据采集间隔为 15 min，单日单用户可生成 96 组时序数据，通过对该数据进行综合性分析，可以确定用户瞬时用电状态以及负荷波动规律。用户用电数据涵盖日用电量、月用电量、峰谷用电量、用电增长率等统计数据，该数据可以反映用户长期用户行为特征。对于设备状态数据来说，数据类型较多，包括电表故障代码、终端离线记录、数据异常报文、设备温升参数等，以此识别电力计量设备运行故障。文章针对用电检查数据参数进行深度分析，整合并细化数据采集规格与应用场景（具体如表 1 所示）。

表 1　用电检查核心数据参数明细

数据类型	核心参数	采集频率	数据永磊
运行监测数据	三相电压、电流、有功功率、功率因数	15 min/次	实时监测用电负荷波动，识别瞬时异常
用户用电数据	日/月用电量、峰谷用电量、用电增长率	24 h/次	分析长期用电行为规律，研判用电偏离异常
设备状态数据	设备离线时长、故障代码、数据缺失率	实时采集	判定计量设备故障、数据传输异常
台账基础数据	用电容量、报装类型、额定用电参	静态储存	构建用户正常用电基线阈值

1.2 用电数据预处理流程

通过现场采集的原始用电数据存在大量缺失值、异常噪声、冗余数据，受终端故障、传输干扰、环境波动等特点，因此该类数据无法被直接用于用电数据特征分析以及异常数据检测，进而需要开展标准化数据预处理，包括数据清洗、补全、归一化以及去冗余 4 个步骤，此阶段需保证全过程数据完整性与精准性，进而为后续用电异常智能化分析提供基本保障。

数据的清洗阶段，基于预设阈值筛选并剔除极端错误数据，并根据电力设备额定运行参数，科学设定电压、电流、功率的合理取值区间，剔除超出物理极限的异常数据点。数据补全重点针对短时缺失时序数据采用相邻时段均值插值法进行处理，补全连续超过 3 个采集周期的确实数据，将其标记为无效数据并剔除，避免对分析结果精度造成负面影响[1]。在归一化处理的过程中，消除不同量纲数据干扰，将电压、功率以及用电量等不同维度数据统一映射在[0，1]的区间内，此时可用下述数据进行处理。

$$x^* = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

在公式（1）中，x^*表示归一化后的数据；x 表示原始采集数据；x_{min} 表示对应参数数据集最小值；x_{max}表示对应参数数据集最大值。在数据去冗余阶段，主要剔除重复采集数据以及无效台账数据，并合并同源多终端的采集数据，保留核心分析指标，将完成处理的数据储存至电力大数据平台，形成标准化用电检查数据集。

2、基于智能技术的用电检查数据分析

2.1 负荷时序特征数据分析

对于电力负荷数据来说，具有带黏性的时序波动特性，正常用户用电负荷随作息规律、生产节律变化而稳定周期性变化，但是整体电网运行阶段受到窃电、设备故障以及违规用电等异常用电行为的影响，打破负荷时序稳定性。为精准量化负荷波动程度，引进并落实负荷波动率指标，结合滑动窗口标准化算法，计算规定时段内负荷波动幅度，以此提升短时异常波动识别精确性，具体计算公式如下所示：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{P})^2} \quad (2)$$

在公式（2）中，σ 表示负荷波动率；n 表示滑动窗口内数据采样点数；P_i 表示第 i 个采样点的有功功率；$\overline{P}$表示窗口内有功功率平均值。通过综合数据分析，负荷波动率数值越大。则表示时段内用电负荷波动激烈，用电异常概率较高[2]。为更为直观体现用户负荷时序=特征差异，将居民用户、工商业用户以及小微企业用户作为研究对象，采集连续 7 d 内负荷波动率均值（具体如表 2 所示）。正常运行工况下，居民用户负荷波动较大，工商业用户负荷较为平稳，小微企业负荷波动介于两者之间，此时可以将其作为不同用户类型的基线判定标准。

表 2　不同类型用户负荷波动率统计

用户类型	日均负荷波动率均值	最大负荷波动率	负荷稳定特性
居民用户	0.182	0.356	早晚高峰波动明显，夜间负荷平稳
小微企业用户	0.125	0.241	工作日负荷稳定，休息日大幅下降
工商业用户	0.068	0.153	全天负荷平稳，周期性波动极小

2.2 用电行为特征数据分析

对于用户用电行为来说，其具有较强的规律性特点，正常用户的用电量、用电时段、峰谷用电占比长期保持稳定状态，但是在窃电、私自增容以及违规用电等异常行为的影响下，实际用电数据与历史常态数据、同类型用户基准数据之间存在明显偏差。在具体分析阶段，引进并落实用电偏离度指标，以此量化分析用户实时用电行为，分析并识别其与正常基线之间的偏差程度，精准识别并捕获隐性用电异常情况，并利用下述公式展开科学分析：

$$\delta = \frac{|Q_t - Q_0|}{Q_0} \times 100\% \quad (3)$$

在公式（3）中，δ 表示用电偏离度；Q_t 表示当前时段实际用电量；Q_0表示同时段历史平均用电量。用电偏离度越高，用户用电行为异常越为明显，而当偏离度超过预设阈值，则可判定其为疑似异常用户，并再次进行分析，基于大量数据进行深度分析，精准判定当前是否为异常用户[3]。正常情况下，用户用电偏离度在 10%范围内；短期用电设备激增下，合理偏离度在 10%~30%范围内；而当偏离度超过 30%，且并未进行报备记录时，则说明存在窃电以及违规用电等异常风险。

3、基于智能技术的用电异常检测研究

3.1 异常类型界定与特征识别

数据异常是基础异常类型，主要包括采集数据缺失、乱码、极值错误、时序断层等，上述异常行为主要受到终端故障、传输干扰、系统卡顿等多重因素的影响，但是并不能直接代表用户用电违规行为，但是会对用电检查数据有效性造成负面影响，此时需优先识别并剔除、修正异常数据源。对于数据异常来说，其核心识别逻辑为对比与处理后的数据集，匹配数据完整性、合理性阈值，以此快速筛选异常数据样本。在用电行为异常识别来说，重点排查窃电、私增容、违规错峰用电、超合同容量用电等行为，通过数据分析，其核心特征为用户用电负荷时序规律突变、用电量大幅偏离历史基线、峰谷用电结构异常，此时基于智能化技术，获取细微隐性异常，如小额度、持续性窃电导致的用

电量小幅偏离。

3.2 智能异常检测流程机制

在智能化技术的支持下，用电异常检测的过程中，以标准化数据为基础、以特征量化指标为核心，构建智能用电异常检测流程，以此实现数据预处理、特征提取、指标计算、阈值判定以及异常分类的全流程智能化研判，全流程程序如图 1 所示。



图 1　智能用电异常检测流程示意

在智能化用电检测的过程中，结合分层递进式研判逻辑，其与传统单一指标对比模式之间存在明显差异，此时先进行数据异常校验，随后即可开展用户行为特征对比，最后对设备运行状态进行研判，逐层针对过滤无效数据与异常数据，以此锁定真实用电风险[4]。在具体开展智能化研判的过程中，结合电力大数据平台，开展自动化批量运算与验证，以此获取辖区内用户日度用电量，以此解决人工检查覆盖面窄、滞后性强、主观性强等行业痛点，并按照指标计算、阈值判定、异常分类等进行标准化记录，最终实现用电异常问题可追溯、可复盘的目的。

3.3 多维度差异化异常阈值判定体系

在用电异常检测阶段，结合智能化技术，可有效提升检测结果精确性，同时结合前文多维度用电属性、负荷规律以及生产生活特性，此阶段易产生工商业稳态用电误判以及居民隐性异常漏判等问题。基于前文分析用电数据分析结果，结合各类用户长期用电基线数据以及电力行业运维标准，构建多维度差异化异常阈值判定体系，具体如下所示：

3.3.1 数据异常

结合全域统一量化判定标准展开综合分析，进一步提升基础数据筛查的标准化程度以及数据体系统一性。针对单日 96 组时序采集数据展开综合分析，当数据缺失占比超过 5%、单参数数值超出设备额定运行物理极限、时序数据连续 3 个及以上采集周期无有效更新、出现数据乱码与时序错位时，此时判定为数据异常，此类数据仅代表数据失效或者失真，不属于用户用电违规行为，此时需按照上文预处理流程剔除异常数据、补全数据缺失，修正数据参数，从源头上避免数据缺失引发的检测误差。

3.3.2 用电行为异常

在用电行为异常分析阶段，结合居民、小微企业以及工商业用户负荷波动特征，建立差异化双重阈值标准体系，将用电偏离度与负荷波动率作为核心判定指标，并以此为基础区分疑似异常以及高危异常两类等级，具体判定如表 3 所示。

表 3　不同用户用电行为异常差异化判定阈值

用户类型	正常用电阈值	异常阈值	高危异常阈值
居民用户	用电偏离度≤10%，负荷波动率≤0.20	10% < 偏离度 < 30%，0.20 < 波动率 < 0.30	偏离度≥30%，波动率≥0.30
小微企业用户	用电偏离度≤8%，负荷波动率≤0.15	8% < 偏离度 < 25%，0.15 < 波动率 < 0.22	偏离度≥25%，波动率≥0.22
工商业用户	用电偏离度≤5%，负荷波动率≤0.10	5% < 偏离度 < 15%，0.10 < 波动率 < 0.18	偏离度≥15%，波动率≥0.18

结语：

综上所述，在智能电网背景下，用电检查数据分析与异常检测工作的开展，可以引进并落实智能化技术，以此解决传统用电检查数据利用率低、异常识别滞后、人工排查精度不足、隐性风险难以捕捉等突出问题，利用智能化技术开展负荷时序特征数据分析、用电行为特征数据分析，有序开展异常类型界定与特征识别，制定智能异常检测流程机制，并构建多维度差异化异常阈值判定体系，以此提升用电检查与异常检测数据精度，持续提升智能用电异常检测的精细化与智能化水平。

参考文献

[1]朱明萱. 人工智能技术在异常用电行为识别中的应用研究[J].中国管理信息化,2026,29(16):221-223.
[2]王晓萍. 高频用电信息采集数据在反窃电计量中的应用分析[J].电子元器件与信息技术,2026,10(2):94-96.
[3]江松岭. 智能技术在用电检查数据分析与异常检测中的应用[J].集成电路应用,2024,41(9):248-249.
[4]王维,张庆芸. 智能技术在用电检查数据分析与异常检测中的应用[J].集成电路应用,2024,41(8):224-225.

作者简介：蒋红艳（1981.4），女，汉族，天津人，工程师职称，大学本科，研究方向为异常监控及用电检查。