

基于离群点算法和用电信息采集系统的反窃电研究

程超, 张汉敬, 景志敏, 陈明, 矫磊, 杨立新

(国网青岛供电公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 为了解决以往依靠用户每月电量变化、台区线损异常确定窃电嫌疑户等传统方法时效性差、准确率低, 现场排查发现窃电行为又效率不高的问题, 利用当前远程集抄海量数据为传统反窃电理论研究和高效反窃电的实现尝试探索一种新方法。全面分析窃电手段及原理, 绘制实施窃电手段的鱼骨图, 由实际案例统计分析确定研究重点为欠压、欠流窃电法。根据高供高计和高供低计用户计量装置接线特点、电压电流值的规律以及离群点理论确定窃电判定算法, 并做出基于距离的离群点检测法判定窃电的流程图。通过实例验证提出的算法和窃电户筛选流程能够完全甄别出窃电用户, 为监控人员利用用电信息采集系统的海量数据精确及时地进行有效反窃电分析提供了新思路。

关键词: 窃电; 鱼骨图; 离群点; 用电信息采集系统; 算法

Study on the anti-electricity stealing based on outlier algorithm and the electricity information acquisition system

CHENG Chao, ZHANG Hanjing, JING Zhimin, CHEN Ming, JIAO Lei, YANG Lixin
(State Grid Qingdao Power Supply Company, Qingdao 266000, China)

Abstract: In order to solve the problem that traditional methods such as screening the electricity stealing suspect users rely on monthly power consumption change, abnormal line loss is of low efficiency and low accuracy rate; and the field investigation finds that act of electricity stealing is inefficient. This paper explores a new method in traditional anti-electricity stealing theory study and efficient anti-electricity stealing implementation using the massive data of current remote centralized meter reading, analyzes electricity stealing means and principles, draws a fishbone diagram of electricity stealing means, determines this paper's research emphasis are under-voltage electricity stealing method and under-current electricity stealing method by statistical analysis of actual case. Electricity stealing decision algorithm is determined based on metering device wiring characteristics and voltage/current value law of high voltage power supply high voltage measurement users and high voltage power supply low voltage measurement users, outlier theory, an electricity stealing determining flowchart is drawn based on distance-based outlier detection method. Examples validate that the proposed algorithm and electricity stealing user selection process can fully identify electricity stealing users, providing a new idea to monitor staff for the accurate and timely anti-electricity stealing analysis with massive data of electricity information acquisition system.

Key words: electricity stealing; fishbone diagram; outlier; electricity information acquisition system; algorithm

中图分类号: TM73

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2015)17-0069-06

0 引言

无论居民还是企业, 用电支出始终是其日常成本支出的重要部分, 因此窃电现象存在已久; 随着现代社会电力用户用电量的增加, 窃电现象愈演愈烈、手段越来越高。然而, 窃电行为严重影响了电网的线损管理和安全运行, 破坏了电力市场的经济

秩序和公平性^[1-2], 因此反窃电工作必须常抓不懈。近年来, 随着智能电表和用电信息采集系统的全面推广^[3-7], 使得用户电表海量数据的远程集抄成为可能, 如何利用这些数据进行更为全面、智能、准确的窃电分析, 是具有极大现实意义的研究课题。一些学者对用电信息采集系统海量数据在反窃电领域的应用作了分析和展望, 但对基础数据如何在反窃

电过程中发挥作用未做深入研究和探讨^[8-9]。

1 窃电手段分析

1.1 窃电原理及窃电手段分类

窃电就是采用非法手段使计量设备不计或者少计电能量，达到不交或者少交电费的目的。根据电量计算公式： $W = Pt = UIt \cos \varphi$ ，窃电者从公式中四个因素下手，窃电方法归纳来说有欠压法、欠流法、移相法、扩差法及无表法这五大窃电手法^[10-11]，其中前四种为主要窃电方式。

1.2 窃电手段

电能计量装置包括电能表、互感器以及与之相连的二次回路^[12]，因此窃电者根据 1.1 节所述公式，在电能计量装置的各个部分动手脚，实施窃电。将造成窃电的常见手段绘制鱼骨图^[13-15]如图 1 所示。

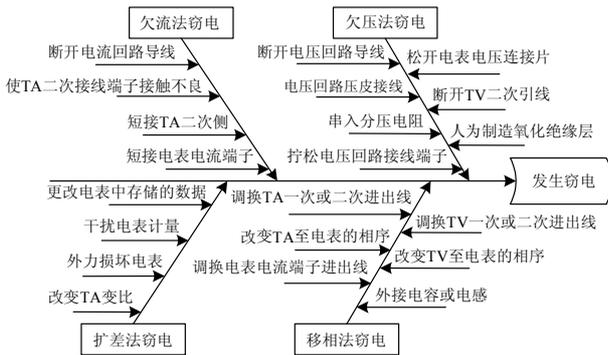


图 1 造成窃电的手段鱼骨图

Fig. 1 Fishbone diagram of electricity stealing means

从图 1 可知，窃电的手段多种多样且极为隐蔽，若在检查人员发现某用户用电量异常偏低后，依靠现场排查窃电则耗时耗力，加之很多窃电手段只要在检查前销毁证据或者恢复正常接线就无法被查获、使得检查效率低下。因此，高效的反窃电工作应当围绕各种窃电手段引起的可以量化的特性量展开。

1.3 窃电手段分析

统计青岛地区 2011 年至 2013 年三年间查处核实的窃电事件 187 起，将窃电手段按照欠压法窃电、欠流法窃电、扩差法窃电及移相法窃电分类，得到图 2。

由图 2 可见，在实际实施过程中，欠压法窃电和欠流法窃电是主要的窃电方式，且 87%的窃电用户为用电量大的高压用户。已有一些学者针对欠流法窃电进行了反窃电的分析研究，市场上也有一些防窃电装置，但是防窃电装置存在准确性不高、使用窃电类型单一、现场应用率低等问题^[16-17]，实际

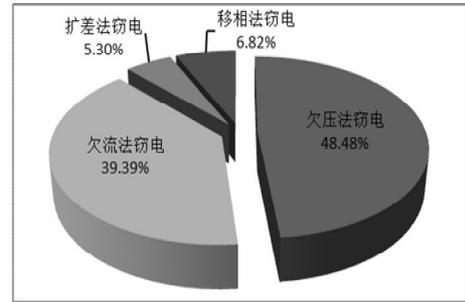


图 2 窃电手段占比

Fig. 2 Proportion of electricity means

在计量现场并未推广使用。本文根据现场实际，基于用电信息采集系统的每天 96 点电压、电流曲线数据，进行针对高压用户欠压法及欠流法窃电的全面准确的反窃电智能化实时分析研究。

2 窃电判定算法及筛选流程

2.1 高压用户计量装置接线方式

高压用户计量装置接线有两种方式，一是高供低计，计量装置安装在配电变压器的低压侧，变压器出线通过电流互感器(CT)进入计量装置进行计量，由于此种方式对计量装置前的电压回路进行窃电操作时接触的是低压电，危险小，操作方便，因此实际在高供低计的计量方式中多数窃电户使用的是欠压法窃电；二是高供高计，计量装置从配电变压器的高压侧拉线到计量装置上方，需通过电压互感器(PT)和电流互感器(CT)进入计量装置，在此种接线方式下对电压回路进行窃电操作时极易触及高压电，危险大，因此实际在高供低高的计量方式中多数窃电户使用的是欠流法窃电。

高供低计计量现场接线采用三相四线制(极少数采用三相三线制)，需要三元件计量，计量装置额定电压为 $3 \times 220 \text{ V}/380 \text{ V}$ ；高供高计计量现场接线采用三相三线制(极少数采用三相四线制)，需要两元件计量，计量装置额定电压为 $3 \times 100 \text{ V}$ ，额定电流为 1(2)、1.5(6)或 3(6)A。

2.2 离群点理论

2.2.1 离群点及其检测方法综述

离群点目前被广为认可的涵义是 Hawkins 提出的“一个离群点是一个观察点偏离其他观察点如此之大以致引起怀疑是由不同机制生成的”^[18-20]。离群点检测目的是消除噪音或发现潜在的、有意义的知识，离群点检测方法主要分为基于分布(统计)的、基于深度的、基于聚类的、基于距离的和基于密度的五类^[20-21]。

五种离群点检测方法在不同领域均有应用，但

都存在不足: 基于分布(统计)的方法要求数据集服从从某一种概率或分布模型, 基于聚类的方法对离群点的挖掘效率较低且依赖于所有簇的个数, 基于密度的方法多应用于在局部离群点检测中, 基于深度的方法对高维数据处理效率低, 基于距离的方法具有较高的时间复杂度且难以挖掘局部离群点^[21-23]。

因电力用户正常用电时的三相电压及电流不平衡率为极小波动的定值, 故实施窃电后所体现出来的电压、电流异常就使窃电户成为全局离群点; 加之用户电压电流值受供电线路的实际参数情况及计量装置的计量准确度影响, 其值在一定范围内无规律波动属正常现象, 各个用户电压电流值的分布情况难以用某个分布模型描述或统计。综合考虑各方面因素, 本文将基于距离的离群点检测方法应用于窃电的判定和算法实现中。

2.2.2 基于距离的离群点检测方法

基于距离的离群点(DB(pct, D)-Outlier)定义为: 如果数据集中至少有 pct(分数, $\in [0,1]$)部分对象与对象 o 的距离大于 D, 则对象 o 是一个基于距离的关于参数 pct 和 D 的离群点, 即 DB(pct, D)-Outlier^[21-24]。

在对基于距离的离群点检测方法的研究中, 距离的度量是影响算法有效性和时间复杂度的关键问题。目前, 针对基于距离的离群点检测常用距离度量方法为欧几里得距离。设 x_i 、 x_j 为两个 m 维对象, $A=(a_1, a_2, \dots, a_m)$ 为每个对象的 m 维属性集, $x_i(V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{im})$, $x_j(V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jm})$, 其中 V_i 为属性 a_i 的值。在基于欧几里得距离的离群点检测中, 通过 x_i 与 x_j 之间的距离 $d(x_i, x_j)$ 来衡量两者之间的差异, 距离越大, 两者越相异^[23-24]:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{(V_{i1} - V_{j1})^2 + \dots + (V_{im} - V_{jm})^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (V_{ik} - V_{jk})^2} \quad (1)$$

基于距离的离群点检测步骤如图 3 所示, 首先对原始数据进行预处理和降维操作, 当检测对象各个属性的单位、取值范围等不同时可进行数据标准化处理, 随后确定参数 pct 和 D, 根据参数及判断算法规则筛选离群点。

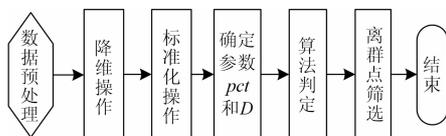


图 3 基于距离的离群点检测步骤图

Fig. 3 Step of distance-based outlier detection

2.3 窃电判定算法及筛选流程

2.3.1 欠压法窃电判定算法及筛选流程

数据预处理: 对于高供低计的三相四线制接线的高压用户, 计量装置额定 A、B、C 三相电压为 220 V, 由于供电线路的实际参数情况及计量装置的计量准确度影响, 在正常用电情况下计量装置采集到并上传至远程集抄的用电信息采集系统的 A、B、C 三相电压会在 220 V 左右一定范围内波动, 即实际读取到的电压会小于或大于 220 V, 但不超过一定阈值范围。为了增加欠压法窃电发生后电压的异常明显程度, 将用户计量装置读取的 A、B、C 三相电压值进行预处理, 用实际相电压值减额定电压后所得差值的绝对值作为研究值, 即用 A 相实际电压值 V_A 进过数据预处理后的值 V'_A 来作为研究值(B、C 相电压同法处理)。

$$V'_A = |V_A - 220| \quad (2)$$

降维操作: 在对电压进行分析时, 每个用户是分析对象。目前用电信息采集系统已经能够实现每 15 min 对用户计量装置读取的电压进行采样, 即一天有 96 点电压曲线数据。对于窃电用户, 一旦实施窃电, 至少会维持几个小时后再恢复正常接线, 因此, 在分析窃电时, 可对 96 点电压数据进行降维处理, 只分析每小时一次的电压数据即每天 24 点的电压数据则足以说明问题。这 24 点的电压经过即为分析对象的 24 维属性, 又因它们单位相同, 故无需再对属性值进行标准化操作。

随机抽取青岛市未出现过窃电现象且台区线损、配电线路线损值在正常范围内的 50 个台区 16 980 户用户的电压曲线数据, 将数据进行预处理和降维操作, 以 24 点均为额定电压 220 V(即其 $V'_{A1}=V'_{A2}=\dots=V'_{A24}=0$) 的用户对象作为对象分布的质心, 以 A 相为例, 根据式(1)计算所有用户对象距质心的欧几里得距离 d_{x-0} , 分布情况如表 1 所示。

表 1 各对象距质心的欧几里得距离分布(欠压分析)

Table 1 Euclidean distance distribution of each object from the center of mass (under-voltage analysis)

d_{x-0} 范围	包含对象数	分布比率
0.00~48.90	12 911	76.04%
48.91~107.78	2 868	16.89%
107.79~142.07	1 201	7.07%

可见, 大部分正常用电对象距质心的欧几里得距离分布在 [0.00, 48.90] 区间。为了检测出所有的窃电用户, 将距质心的欧几里得距离大于最远边界 ($d_{x-0} > 142.07$) 的对象作为窃电嫌疑对象。因此, 根据基于距离的离群点检测方法, 可以判定, 若有至少 76.04% 数量的对象距某对象的距离超过 93.17(边界

值 142.07 与边界值 48.90 距离之差), 则该对象可以认为是一个离群点。即基于距离的离群点检测参数 pct 为 76.04%, 距离 D 为 93.17。做出筛选窃电户的算法流程图如图 4 所示。

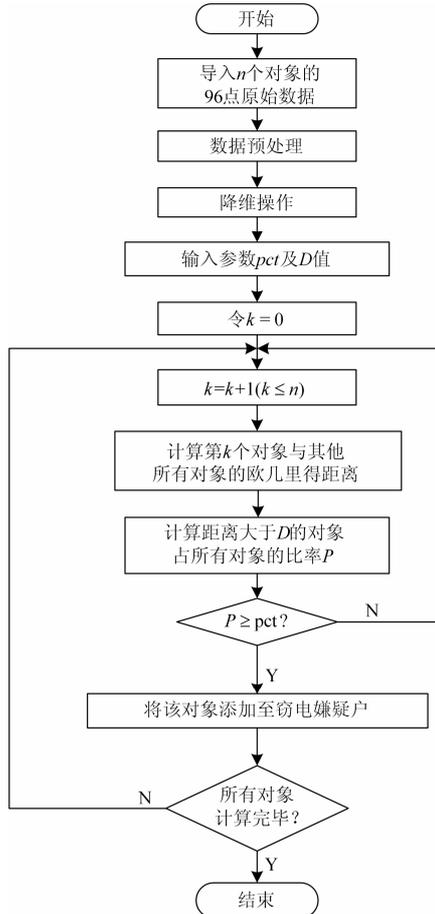


图 4 欠流法窃电判定算法及窃电用户筛选流程图

Fig. 4 Under-voltage electricity stealing decision algorithm and electricity stealing user selection flowchart

用上述方法筛选完成窃电户 A 相窃电情况分析后, 继续进行 B 相、C 相的窃电情况分析, 方法同 A 相。

2.3.2 欠流法窃电判定算法及筛选流程

数据预处理: 对于高供高计的三相三线制接线的高压用户, 计量装置额定电压为 $3 \times 100 \text{ V}$, 额定电流为 1(2)、1.5(6)、3(6) A 中的某个, 且采用两元件计量法(仅计量 A、C 两相电压电流值)。由于实际负荷平衡情况及计量装置的计量准确度影响, 在正常用电情况下计量装置采集到并上传至远程集抄的用电信息采集系统的 A、C 两相电流基本保持一致但会在一定范围内波动, 按照式(3)对 A、C 两相电流进行预处理, 计算两相电流不平衡率绝对值 $|\theta_{AC}|$ (%) 作为研究值。

$$|\theta_{AC}| = |(I_A - I_C) / ((I_A + I_C) / 2)| \times 100 \quad (3)$$

降维操作: 同 2.3.1 节分析, 将 96 维数据将为 24 维数据, 且也无需再对属性值进行标准化操作。

随机抽取青岛市未出现过窃电现象且台区线损、配电网路线损值在正常范围内的 60 个台区 22 315 户用户的电流曲线数据, 将数据进行预处理和降维操作, 以 A、C 两相电流平衡(即其 $|\theta_{AC}| = 0$) 的用户对象作为对象分布的质心, 根据式(1)计算所有用户对象距质心的欧几里得距离 d'_{x-0} , 分布情况如表 2 所示。

表 2 各对象距质心的欧几里得距离分布(欠流分析)

Table 2 Euclidean distance distribution of each object from the center of mass (under-current analysis)

d'_{x-0} 范围	包含对象数	分布比率
0.00~24.50	16 154	72.39%
24.51~49.03	4 820	21.60%
49.04~63.69	1 341	6.01%

可见, 大部分正常用电对象距质心的欧几里得距离分布在 $[0.00, 24.50]$ 区间。为了检测出所有的窃电用户, 将距质心的欧几里得距离大于最远边界 ($d'_{x-0} > 63.69$) 的对象作为窃电嫌疑对象。因此, 根据基于距离的离群点检测方法, 可以判定, 若有至少 72.39% 数量的对象距某对象的距离超过 39.19 (边界值 63.69 与边界值 24.50 距离之差), 则该对象可以认为是一个离群点。即基于距离的离群点检测参数 pct 为 72.39%, 距离 D 为 39.19。筛选窃电户的算法流程图同 2.3.1 节部分图 4 所示。确定欠流法窃电户的嫌疑户后, 可以逐个查看每一户的 A、C 相具体电流, 电流较低相或者电流为负相为问题相。

3 案例分析

以青岛地区台区线损较高、窃电现象较为严重的 30 个台区 1 278 户用户作为分析对象(以 1 至 1 278 编号代表 1 278 户不同用户), 构成测试样本。分别利用欠流法、欠流法窃电判定算法对窃电嫌疑户进行筛选, 并派稽查人员赴现场检查核实, 结果如表 3 所示。

为了测试算法的准确性, 安排 9 名稽查人员对该测试样本除了表 3 所列算法筛选出的窃电嫌疑户 13 户以外的 1 265 户用户进行为期两周的逐户现场稽查, 未发现有窃电用户, 可见, 本文建议的算法及筛选条件能够完全甄别出窃电用户; 从表 3 可以看出, 为了保证所有窃电户均被检出, 算法的检测参数 pct 和 D 的设置可能会导致部分正常用电户被检测为窃电嫌疑户, 但数量不多。在实际应用中,

表3 样本算法检测及现场核实情况

Table 3 Algorithm testing and on-site verification of the sample

算法筛选的窃电嫌疑户	怀疑窃电方式	怀疑窃电相	现场核实	现场核实窃电相
用户 29	欠压法	A 相	窃电	A 相
用户 101	欠压法	A、C 相	窃电	A、C 相
用户 135	欠压法	B 相	窃电	B 相
用户 360	欠压法	A 相	窃电	A 相
用户 425	欠压法	A、B 相	窃电	A、B 相
用户 490	欠压法	B 相	窃电	B 相
用户 528	欠压法	C 相	窃电	C 相
用户 612	欠压法	C 相	窃电	C 相
用户 653	欠压法	A、B 相	窃电	A、B 相
用户 789	欠流法	A 相	窃电	A 相
用户 933	欠流法	A 相	正常	-
用户 1005	欠流法	A 相	窃电	A 相
用户 1097	欠流法	C 相	窃电	C 相

为了打击窃电行为, 算法对窃电户筛选的完整率优先级高于准确率, 且由于在算法筛选出窃电嫌疑户后, 稽查人员仍需要去现场核实并追捕电量, 因此, 少量的窃电误报在允许范围内。

4 结论

本文在全面分析窃电手段及原理, 绘制实施窃电手段的鱼骨图, 由实际案例统计分析确定本文研究重点为欠压、欠流窃电法后, 根据高供高计、高供低计用户计量装置接线特点、电压电流值的规律以及离群点理论确定了窃电判定算法, 并做出基于距离的离群点检测法判定窃电的流程图。对青岛地区 1 278 户用户的测试样本进行算法判定、窃电嫌疑户筛选及现场检查核实, 结果表明本文提出的判定算法和窃电户筛选流程能够完全甄别出窃电用户, 为监控人员利用用电信息采集系统的海量数据精确及时地进行有效反窃电分析提供了新思路。

参考文献

- [1] 赵兵, 吕英杰, 邹和平. 一种新型防窃电装置的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 116-119.
ZHAO Bing, LÜ Yingjie, ZOU Heping. Design of a new anti-stealing electricity[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(23): 116-119.
- [2] 王珏昕, 孟宇, 殷树刚, 等. 用电信息采集系统反窃电功能现状及发展趋势[J]. 电网技术, 2008, 32(增刊 2): 177-178.
WANG Juexin, MENG Yu, YIN Shugang, et al. The present situation and development trend of anti electric stolen function of power demand information acquisition

- system[J]. Power System Technology, 2008, 32(S2): 177-178.
- [3] 牟龙华, 朱国锋, 朱吉然. 基于智能电网的智能用户端设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 53-56.
MU Longhua, ZHU Guofeng, ZHU Jiran. Design of intelligent terminal based on smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 53-56.
- [4] 高强, 张保航, 谷海青. 用户端电能管理系统的研究现状与发展趋势[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(7): 148-155.
GAO Qiang, ZHANG Baohang, GU Haiqing. Current situation and development of client electric management system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(7): 148-155.
- [5] 唐毅, 江波, 李红斌. 数字电能计量系统检定方法综述[J]. 电工技术学报, 2013, 28(增刊 2): 372-377.
TANG Yi, JIANG Bo, LI Hongbin. Survey on the verification methods for digital electrical energy metering[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(S2): 372-377.
- [6] 刘博, 刘晓胜, 徐殿国. 基于新距离测度的电能质量测量数据压缩算法[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 129-136.
LIU Bo, LIU Xiaosheng, XU Dianguo. Power quality measuring data compression based on new distance measurement[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 129-136.
- [7] 张良, 刘晓胜, 戚佳金, 等. 一种低压电力线通信改进分级蚁群路由算法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 318-324.
ZHANG Liang, LIU Xiaosheng, QI Jiajin, et al. Study of improved hierarchical ant colony routing algorithm for low-voltage power line communication[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 318-324.
- [8] 于光辉, 耿桂森. 基于用电信息采集系统的防窃电措施[J]. 山东电力技术, 2014, 41(3): 49-51.
YU Guanghui, GENG Guisen. Measures of anti-stealing electricity based on the power energy data acquisition system[J]. Shandong Electric Power, 2014, 41(3): 49-51.
- [9] 周键, 何强. 用电信息采集系统在反窃电中的应用[J]. 现代经济信息, 2014(1): 326.
ZHOU Jian, HE Qiang. Application of electricity information acquisition system in anti-electricity[J]. Modern Economic Information, 2014(1): 326.
- [10] 陈乐培. 智能计量监控在反窃电工作中的应用[J]. 城市建设理论研究, 2013(9): 1-3.
CHEN Lepei. Application of intelligent measuring monitoring in the anti-electricity theft[J]. Cheng Shi Jian

- She Li Lun Yan Jiu, 2013(9): 1-3.
- [11] 戴俊峰. 电能表错接线远程诊断系统[D]. 北京: 北京交通大学, 2006.
DAI Junfeng. Electric energy meter wiring fault remote diagnosis system[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2006.
- [12] 李静, 杨以涵, 于文斌, 等. 电能计量系统发展综述[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(11): 130-134.
LI Jing, YANG Yihan, YU Wenbin, et al. Review of electric energy metering system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(11): 130-134.
- [13] 刘增明. 供电企业防窃电方法和对策的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2013.
LIU Zengming. Research on the anti power theft methods and strategies in power supply company[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2013.
- [14] 陈腾飞. 基于用电信息采集系统的窃电在线稽查装置的开发应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.
CHEN Tengfei. Development and application of electricity-stealing online inspection device based on the electricity information acquisition system[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.
- [15] 辛洁晴, 夏正侃, 高亦凌, 等. 基于事故树的窃电损失要因分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(3): 47-51.
XIN Jieqing, XIA Zhengkan, GAO Yiling, et al. Root cause analysis for electricity stealing losses based on the accident tree method[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2014, 26(3): 47-51.
- [16] 孙洪波, 唐治德, 张建立, 等. DJYL-1 型防窃电测录仪[J]. 电测与仪表, 2002, 39(2): 15-17.
SUN Hongbo, TANG Zhide, ZHANG Jianli, et al. DJYL-1 recorder for preventing stealing power energy[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2002, 39(2): 15-17.
- [17] 秦春斌. 电力计量系统防分流窃电技术研究[D]. 郑州: 河南大学, 2009.
QIN Chunbin. Technology study on the anti-current electricity stealing of power metering system[D]. Zhengzhou: Henan University, 2009.
- [18] HAWKINS D. Identifications of outliers[M]. London: Chapman and Hall, 1980.
- [20] 王敬华, 赵新想, 张国燕, 等. NLOF 一种新的基于密度的局部离群点检测算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(8): 181-185.
WANG Jinghua, ZHAO Xinxiang, ZHANG Guoyan, et al. NLOF: a new density-based local outlier detecting algorithm[J]. Computer Science, 2013, 40(8): 181-185.
- [21] 江峰, 杜军威, 睦跃飞, 等. 基于边界和距离的离群点检测[J]. 电子学报, 2010(3): 700-705.
JIANG Feng, DU Junwei, SUI Yuefei, et al. Outlier detection based on boundary and distance[J]. Acta Electronica Sinica, 2010(3): 700-705.
- [22] 薛安荣, 姚林, 鞠时光, 等. 离群点挖掘方法综述[J]. 计算机科学, 2008, 35(11): 13-18.
XUE Anrong, YAO Lin, JU Shiguang, et al. Survey of outlier mining[J]. Computer Science, 2008, 35(11): 13-18.
- [23] 杨福萍. 离群点检测及其应用研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2013.
YANG Fuping. Research of outlier detection and its application[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2013.
- [24] 王震. 基于距离的离群点检测算法分析与研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
WANG Zhen. Research and analysis on distance-based outlier detection[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [25] 韩红霞. 基于距离离群点的分析与研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2007.
HAN Hongxia. Analysis and research of distance-based outliers[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2007.

收稿日期: 2014-10-27; 修回日期: 2015-01-13

作者简介:

程超(1987-), 女, 硕士, 助理工程师, 从事电力终端电表计量、用电信息远程采集和系统运维工作。Email: zhefeicheng@sina.com

(编辑 姜新丽)