

# 智能电能表小电量走字原因分析及抑制方法

田正其,纪 峰,徐 晴,金 萍  
(江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京 211103)

**摘 要:**随着工业技术水平的不断提高,智能电能表现场运行环境日益复杂,其准确可靠运行受到了越来越大的挑战,少数智能电能表现场运行时出现小电量走字的情况,文中对此现象进行了原因分析,并从硬件、软件及现场安装等多个方面提出了抑制方法,试验结果证明抑制方法有效可行。

**关键词:**智能电能表;小电量;空载;防潜

**中图分类号:**TM933.4

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2014)06-0038-04

智能电能表作为电能交易系统中的终端计费装置,以其计量精度高、数据实时查询、电能量存储、抄表时间冻结、开表盖等窃电事件记录、信息远程传送等先进功能特性正在逐步代替传统老式电能表。智能电能表的计量准确度直接关系到广大用户与供电公司的切身利益。智能电能表推广试点应用期间,极少部分用户反应现场新安装的表计,偶尔会出现小电量走字现象。通过用电信息系统对用户的电量进行统计分析<sup>[1]</sup>,可及时发现并排除空载小电量走字的现象。

## 1 智能电能表计量原理分析

智能电能表通过准确地提取用户侧的电压、电流信号,经中央处理器的运算完成电能计量。电压信号普遍采用精密电阻分压的方式实现信号的变换,电流信号常常采用锰铜分流式电流传感器的方式实现信号变化。单相智能电能表原理框图如图 1 所示。锰铜分流器其本质为一种阻抗很小的精密电阻,串接在待测电流信号回路中,当锰铜分流器上有电流信号通过时,利用欧姆定律:

$$u_i(t)=i(t) \times R \quad (1)$$

通过测量分流器两端上的电压降  $u_i(t)$ ,则电能表在  $u(t)$  工作电压下,电能计量公式为:

$$W=\int_0^T u(t) \frac{u_i(t)}{R} \mathrm{d} t \quad (2)$$

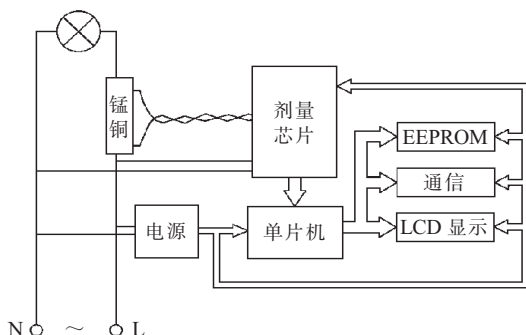


图 1 单相智能电能表原理框图

## 2 智能电能表小电量走字原因分析

现场安装的智能电能表出现小电量走字,其可能性为现场存在某些隐蔽的用电装置导致小电量走字、电能表被某些干扰信号干扰从而导致小电量走字或其他某些原因。

### 2.1 某些隐蔽用电导致小电量走字

(1) 电能表是否真的处于“空载”状态,日常生活中用户对节能知识缺乏系统了解,对很多用电细节不够关注。比如关闭电视不关闭电源、关闭电脑不关闭显示器等不注意的细节,导致“空载”时有小电量走字。且对一些常用办公及家用电器,做外部电源接入情况下待机功耗的测试,测试数据如表 1 所示。

表 1 常用办公及家用电器待机功耗 W

序号	电器名称	设备待机功率 P
1	某品牌投影仪	4.4
2	某品牌传真机	1.9
3	某品牌洗衣机	0.8
4	某品牌微波炉	1.6
5	某品牌电磁炉	0.6
6	某品牌热水器	2.2

从表 1 实际测量数据可得,所测试的电器在外部电源接入,电器电源开关关闭工况下仍均处于微功耗的状态下。以某品牌微波炉举例,在电源接入,微波炉电源关闭的情况下,根据电能计量公式:

$$W=P \times t \quad (3)$$

可以算出每个月产生的电量为:1.152 kW·h。智能电能表计量的高灵敏度有利于引导用户的节能意识,对于长期不使用的电器应尽量拔掉其电源线,使电器处于真正的关闭状态。

(2) 传统的楼道公共用电设备如每层的楼道灯、应急灯、可视对讲门铃等,均采用加装一个公共用电电能表来计量,所产生的电费按月或年平均分到每个住户中,定时由物业管理人员到用户家中收取。但常常出

现收取困难的现象,为避免这类现象发生,很多小区开始安装使用公用电均分器来平均分配公用电能。公用电均分器通过复杂的功率计算程序,无须单独装设公共用电能表,即可将楼道公共设备用电的电量,按功率自动地平均分配到每一个住户的电能表中,由供电局直接收取,从而避免了物业管理人员挨户上门收取电费的繁琐之事,减少物业管理公司与住户之间的矛盾。一种公用电均分器工作原理图如图2所示。公用电均分器通过多路继电器开关并连接到楼道每个用户的智能电能表的出线端,可根据公共用电的情况,智能切换计费所用的电能表,保证每只电能表所计电量均等。

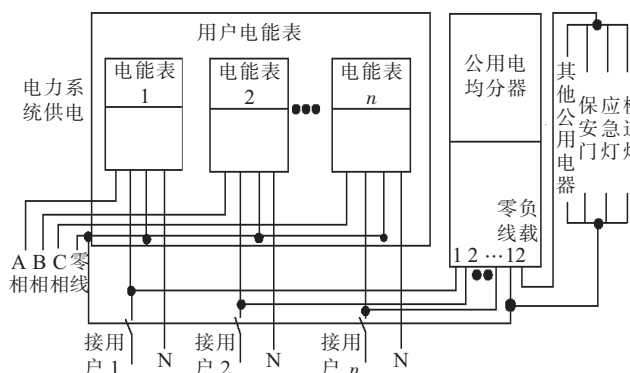


图2 公用电均分器接线

因此,如图2中所示的楼道灯、应急灯、保安门等公共用电设备的电能会平均分配到每一个用户,使得用户的电能表每天或每周会出现小电量走字的现象,属于正常现象。

## 2.2 绝缘引起

有些用户,电线老化、破损,相互绝缘不好,或是家里某个线路通过的地方很潮湿,在这种情况下,可能会出现线路漏电引起电能表的空载小电量走字。家用电器、电能表组成回路的等效示意图如图3所示。

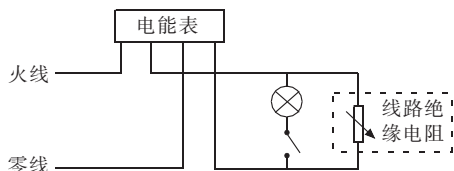


图3 漏电计量等效电路

图3中线路绝缘电阻 $R$ 正常情况下为无穷大,根据公式:

$$E = \int_0^T \frac{u^2(t)}{R} dt \quad (4)$$

可以知道, $R$ 为无穷大时 $E$ 没有能量累计;一旦线路绝缘出现问题,即等效电阻 $R$ 不是无穷大, $E$ 就有微弱电量累积,进而反映在电能表上造成空载时小电量走字。此种情况下,应把整个线路或故障部分线路进行更新,避免微弱漏电导致小电量走字,并提高用电的安全性。

## 2.3 外部干扰导致

随着社会经济的发展,使用电能作为动力的设备越来越多,特别是各种大功率非阻性设备的投入使用,导致电能表现场运行的环境越来越恶劣,部分地区谐波干扰很严重、部分地区工频磁场干扰严重等等,这些干扰可能造成智能电能表空载小电量走字。

### 2.3.1 工频磁场干扰

如前所述,国内单相智能电能表通常使用锰铜分流器做电流信号传感器<sup>[2]</sup>,锰铜分流器的连接方式如图4所示。

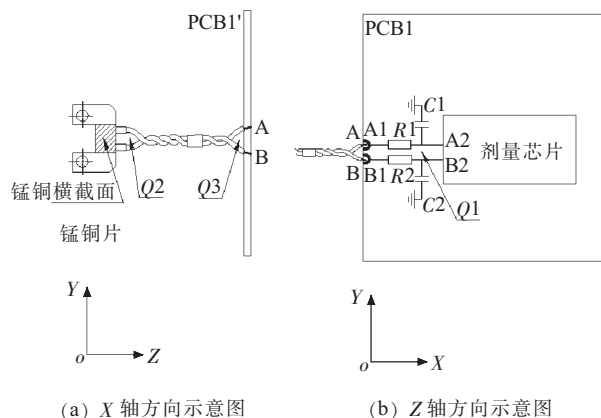


图4 现有锰铜分流器的设计及连接方式

从图4可以看出,该连接方式在 $X$ 轴方向形成围合区域 $Q2$ 和 $Q3$ ,在 $Z$ 轴方向形成围合区域 $Q1$ 。根据法拉第电磁感应定律可知,当 $X$ 轴方向存在交变磁场,围合区域 $Q3$ , $Q2$ 及锰铜横截面均会产生感应电动势,当 $Z$ 轴方向存在交变磁场,围合区域 $Q1$ 会产生感应电动势,从而产生感应电流,在该感应电流的作用下电能表会出现微弱电量。此感应电流的大小取决于交变磁场的大小与围合区域的面积<sup>[3]</sup>。

变压器漏磁通在锰铜分流器两端感应的电压,可用如下函数表达式描述<sup>[3]</sup>:

$$\Delta u = f(S, L_g, i_{rms}, C) \quad (5)$$

式(5)中: $S$ 为闭合线圈包围的面积, $m^2$ ;  $L_g$ 为空气气隙长度; $i_{rms}$ 为变压器线圈电流有效值; $C$ 为锰铜离变压器的距离。

当变压器靠近锰铜时(即 $C$ 变小),感应电压就会变大。当某用户未用电时,由于电能表中的电流采样回路受到自身变压器漏磁或其他工频磁场的影响,电能表中产生的能量根据式(2)和式(5)可得:

$$E = \int_0^T u(t) \frac{f(S, L_g, i_{rms}, C)}{R} dt \quad (6)$$

随着时间的增加,即 $T$ 变大,电能 $E$ 逐渐累积,当累积到一定程度时电能表就会产生小电量走字。

### 2.3.2 干扰来源分析

(1) 自身变压器漏磁。智能电能表的电源部分常

采用以硅钢片为铁心的变压器,由于制造工艺及成本原因,这种变压器在工作时不可避免的会产生漏磁。若在设计电能表时变压器与电流采样回路处理不当,会造成电能表出现微弱的电量递增。

(2) 临近电能表或Ⅱ型采集器的漏磁。变压器漏磁除了对电能表自身有影响外,一旦电能表之间的距离太近,当距离小于2 cm时,就会对附近的电能表产生影响,导致小电量走字。旁侧表漏磁影响示意图如图5所示。

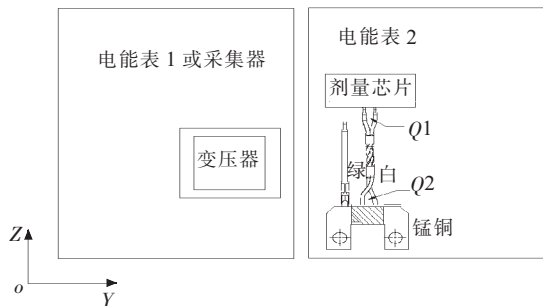


图5 旁侧表漏磁影响示意图

从图5可以看出电能表的变压器的漏磁会对电能表2的计量产生影响。另外,随着用电信息采集系统的普及,Ⅱ型采集器被大量使用,Ⅱ型采集器紧贴着电能表安装于右侧,Ⅱ型采集器漏磁同样会导致电能表出现小电量走字<sup>[4]</sup>。

(3) 现场布线不合理。电能表安装中,现场走线不合理,当其他用户的大电流导线或表箱的进线经过某无负载用户电能表时,因大电流感应出的工频交变磁场会导致无负载用户电能表出现小电量走字。如图6所示中,电能表左侧有大电流导线通过,可以看出大电流感应出的工频磁场会导致电能表锰铜采样电路产生感应电流,导致小电量走字。

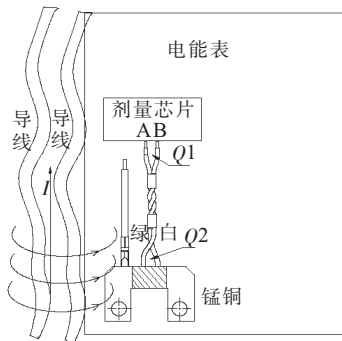


图6 布线不合理影响计量示意图

### 2.3.3 试验验证

(1) 实验室项目测试。为验证工频磁场导致智能电能表出现小电量走字的这一原因,本文选取了6个不同厂家的智能电能表分别按照技术规范完成了工频磁场试验,试验结果如表2所示。

由以上试验可以看出,所选择的电能表正面0.5 mT工频磁场影响试验符合技术规范要求,而技术规

表2 工频磁场影响试验 (imp·h<sup>-1</sup>)

项目 \ 厂家	厂家1	厂家2	厂家3	厂家4	厂家5	厂家6
正面 0.5 mT	0	0	0	0	0	0
侧面 0.5 mT	5	1	0	8	1	2
侧面 0.4 mT	5	0	0	4	0	1
侧面 0.3 mT	5	0	0	4	0	2

范未规定的侧面在工频磁场作用下受到一定的影响。这一试验可以看出,漏磁、布线不合理导致的工频磁场干扰,会对极少部分电能表造成小电量走字。

(2) 电能表安装现场测试。为进一步验证前面的理论分析及实验室的试验,且到电能表安装现场对实验室试验过程中影响较大的厂家4的表计进行了相关测试分析。该电能表与本楼其他电能表安装在一起,该电能表左侧紧贴供电母线,通过高斯计测得电能表左侧磁场最小值为0.15 mT,但磁场变化较大,5 min内磁场峰值多次达到0.5 mT以上(约2次/min),每次维持3 s左右,即每天0.5 mT磁场出现的时间有144 min(2.4 h),结合实验室试验结果,电能表侧面在0.5 mT工频磁场影响下脉冲频率约为8 imp/h,则144 min的0.5 mT工频磁场影响可使电表走字为:

$$W = \frac{n}{C_0} = \frac{8 \times 2.4}{1200} = 0.016 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (7)$$

计算结果与用电信息采集系统数据基本一致。用电信息采集系统中查询到每日用电量均在0.01 kW·h左右。所以这只电能表的小电量走字现象是由于周围供电母线线路产生的磁场引起的。

## 3 解决措施

通过以上分析可知,智能电能表出现小电量走字主要由隐蔽用电、现场磁干扰造成。解决隐蔽用电一方面需要养成良好的用电习惯,另外一方面需要根据现场具体情况进行排查,对症下药。现场磁干扰可以通过如下改进措施,来避免现场运行的智能电能表出现小电量走字。

### 3.1 提高智能电能表抗扰能力

#### 3.1.1 智能电能表硬件设计方面的优化

(1) 根据变压器的设计原理以及漏磁产生的机理,变压器的设计可以从变压器的铁心选材、线圈绕制方式、屏蔽等方面来优化变压器的设计,减小变压器的漏磁通<sup>[5]</sup>。

① 选用导磁性能更好的铁心材料,增加铁心对磁力线的束缚;通过改变变压器的铁心材料,变压器的漏磁会得到明显的改善。

② 非晶态合金作为在性能上优于传统材料的新材料主要是利用磁旁路原理来引导场源所产生的电



磁能流使它不进入空间防护区。可以采用非晶态合金完成变压器的屏蔽<sup>[6]</sup>。

(2) 若要控制此类交变磁场干扰信号的等级在电能表安装布线及电能表设计时可以从以下方面进行优化:改进锰铜分流器设计、安装工艺、PCB 布线可有效抑制该类干扰,主要的原则是尽量缩小  $Q1, Q2, Q3$  的围和面积,对于  $Q1$  可通过 PCB 板布线设计尽量缩小其有效面积,对于  $Q3$  可要求安装工艺绕紧电流信号采样线尽量缩小其有效面积,对于  $Q2$  及锰铜横截面可通过采用新型的穿孔型锰铜分流器使得  $Q2$  和锰铜横截面在交变磁场下产生的感应电动势相互抵消。新型锰铜分流器的设计如图 7 所示。

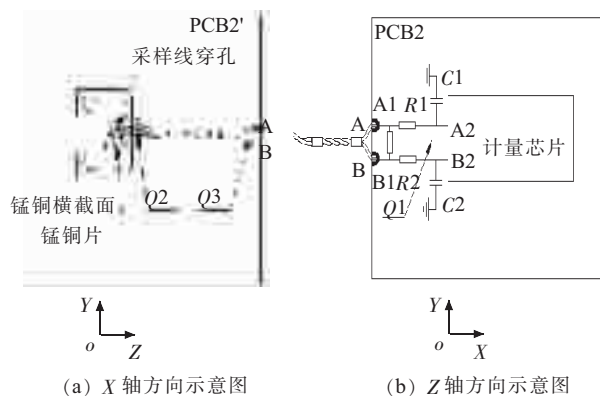


图 7 新型穿孔型锰铜分流器的设计及连接方式

### 3.1.2 提高智能电能表软件抗扰能力

(1) 电能表性能规范中对电能表的起动和潜动性能有明确要求,即要求在  $0.004I_b$  起动电流条件下,仪表应能起动并连续记录电量;当电能表只加电压,电流线路无电流时,其测试输出不应产生多于一个的脉冲。电能表起动、潜动性能的考核主要在于功率阈值的合理设置,一般情况下设置为起动功率的 50%,当实际功率大于功率阈值时,电能表开始计量,但在工况下时常存在各干扰源的干扰,这些干扰一旦大于功率阈值(如图 8 所示),电能表亦会进行计量,长时间积累也会出现微小电能,从而产生电量脉冲。因此功率阈值的合理设置,需考虑电能表内部存在固有的干扰信号,其主要来源于变压器的漏磁,DC/DC,AC/DC 电源对外辐射对信号传感器的影响,实际的功率阈值设置值应为理论功率阈值设置值与固有干扰等级的总和。固有干扰等级因变压器等器件的一致性因素存在一定的差异,因此在设置功率阈值时应对电能表逐只设置,切勿按统一数据设置。功率阈值的合理设置如图 9 所示。

(2) 通常情况下,在受到工频磁场干扰时,电能表功率因数会不断变化,因此可以通过软件进行自动判断剔除;当电能表采样电流小于一定值(起动阈值)且功率因数在反复变化,则认为电能表此时处于工频干扰状态,电能表起动相应的防潜措施。

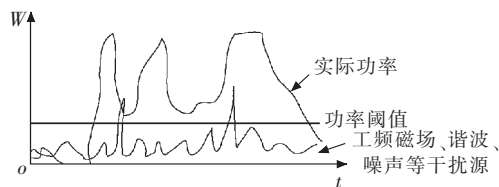


图 8 功率阈值的设置

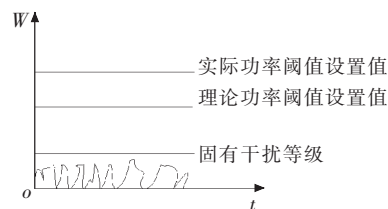


图 9 功率阈值的合理设置

### 3.2 优化智能电表现场安装环境

根据试验,表与表之间的距离达到 5 cm 以上,漏磁对附近电能表的影响将微乎其微<sup>[3]</sup>,因此现场安装时应保证电能表与电能表、电能表与采集器之间的安装距离大于 5 cm,电能表附近不要有其他用户大电流的走线经过。另外,还可以选择防工频磁场干扰的多用户电表箱,如专利为 CN2708321 Y 的表箱,采用屏蔽结构,能有效地防强电磁干扰,避免用户间电能表采集的相互影响,保证了智能电能表计量的准确性。

## 4 结束语

本文从智能电能表的计量原理出发,分析了各种可能导致表计小电量走字的原因,并给出了几种解决措施。通过试验证明,优化设计电能表、优化现场安装方式等对应的改进措施可以避免出现小电量走字。

### 参考文献:

- [1] 钱立军,李新家.用电信息采集系统中数据比对功能的实现及应用[J].江苏电机工程,2013,32(2):64-65.
- [2] 肖 迁.基于分流式电流传感器的三相智能电能表设计[D].长沙:湖南大学,2011:5-6.
- [3] 徐 晴,纪 峰,黄奇峰,等.变压器漏磁对锰铜采样电能表计量误差影响的研究[J].电测与仪表,2012,49(8):66-70.
- [4] 金 萍,田正其,鲍 进,等.Ⅱ型采集器接入电力系统对电能表的影响分析[J].江苏电机工程,2013,32(5):59-61.
- [5] 陈邓伟,韩金华.基于磁屏蔽原理的变压器漏磁研究与分析[J].技术与应用,2012(6):69-72.
- [6] 冯 猛,张羊换.非晶态合金在电磁屏蔽领域中的应用现状[J].金属功能材料,2005,12(3):26-30.

### 作者简介:

田正其(1987),男,江苏南通人,工程师,从事计量检测工作;  
纪 峰(1981),男,江苏淮安人,高级工程师,从事计量检测工作;  
徐 晴(1973),女,江苏南通人,研究员级高工,从事电磁测量与仪表工作;  
金 萍(1969),女,江苏南京人,工程师,从事电能计量工作。

(下转第 44 页)

式(7)中: $K_1$ 为不同不平衡率的损耗系数; $K_2$ 为按照调整负荷后三相不平衡率小于15%(进入合理区间)的损耗系数; $\Delta A_{av}$ 为不同台区月均配电量计算的平均配变容量和负载率下的平均年损失电量, $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

根据式(7)初步测算,中低压电网改造将可使公司线损率每年下降0.05个百分点。

(5) 营销降损技术包括强化电能计量工作管理;加大计量技术改造投资力度,提高计量准确性;加大营销稽查工作力度;加强反窃电管理工作;加强对电力客户用电负荷需求的预测等。预计线损率可每年降低0.05个百分点。

初步估算,上述各降损因素可使公司线损率每年下降约0.4个百分点。

## 6 结束语

基于对江苏电网结构、线损现状、重损线路、三相负荷不平衡等方面的分析,分别从加强电网结构、线路扩径改造、增加无功补偿配置、调整三相负荷不平衡、加强营销手段等5个方面进行降损潜力分析,初步测算出公司线损的最大降损空间,为线损管理提供强有力的理论支持。

## 参考文献:

- [1] 袁建梅. 电力企业线损管理现状及改进对策[J]. 电源技术应用, 2013, 02(6): 31-34.
- [2] 王琳琳, 李 钧. 供电企业线损管理存在的问题及对策分析[J]. 科技创新与应用, 2012, 12(8): 132-134.
- [3] 贵州电力试验研究院, 华北电力科学研究院有限责任公司. ISBN 7-5083-3204-0 电力降损节能手册[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 94.
- [4] 吴雪花. 应用于月度用电量预测的小波分析法[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(2): 8-11.
- [5] 刘 健, 段璟靓. 配电网极限线损分析及降损措施优化, 电力系统保护与控制[J]. 2013, 12(41): 27-35.
- [6] 李 萍. 配电变压器三相负荷不平衡对低压线损率的影响[J]. 黑龙江科技信息, 2009, 29(2): 62-63.
- [7] 周文俊, 吴 熙, 施伟成. 电力系统无功优化算法性能比较及分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(4): 24-27.

## 作者简介:

安海云(1981), 女, 河北石家庄人, 博士, 从事电力系统仿真及技术线损研究工作;  
周 前(1978), 男, 江苏宜兴人, 高级工程师, 从事电力系统分析及技术线损研究工作;  
周 琪(1968), 女, 江苏南通人, 高级工程师, 从事线损管理的研究工作。

## Analysis on the Potential Loss Reduction and its Implementation of Jiangsu Power Grid

AN Haiyun<sup>1</sup>, ZHOU Qian<sup>1</sup>, ZHOU Qi<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;  
2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** Line loss rate is an important synthetic indicator for power enterprise, which reflects the level of network planning and design, production technology and operation management. In order to promote the management of loss, Jiangsu electric power company has carried out the research on the potential loss reduction and its realization method from 2013 to 2015. This paper analyzed the grid structure, loss management level, technology line loss, problems in loss management, factors for line loss reduction, factors of power losses, and causes for large line loss and so on. At the same time, based on the theoretical calculation and analysis of line loss, a three-year loss reduction target, along with its implementation method and some suggestions are proposed.

**Key words:** loss rate; line loss management; technology line loss; loss reduction; large line loss

(上接第41页)

## Analysis and Suppression Method for Small Metering Error of Intelligent Electric Meter

TIAN Zhengqi, JI Feng, XU Qing, JIN Ping

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** With the continuous improvement of industrial technology, intelligent electric meter is running in an increasingly complex environment. The reliability and accuracy of meter is facing more and more challenges. Small metering error has been observed in some meters in practice. In this paper, we analyzed the causes of small metering error, and provided a suppression method from the point of view of hardware, software and field installation. Test results show that the suppression method is effective and feasible.

**Key words:** intelligent electric meter; small accumulation; no-load; creeping