文章编号：1006－4729(2005)01－0013－04

电能计量现场问题解析

王鲁杨[1]，许维高[2]，张群耀[1]，王禾兴[1]

（1. 上海电力学院 电力与自动化工程学院，上海　200090；
2. 广东电网 汕尾供电分公司，广东 汕尾　516600）

摘　要：在电能计量的实际工作中存在着许多问题和各种现象. 这些问题和现象困扰着基层电业工作者. 针对居民用电户单相电能表被烧毁的原因及采用单相表对 380V 电焊机进行电能计量时的反转问题进行了分析，并提出解决方法.

关键词：电能计量；电能表；烧毁；反转
中图分类号：TM933.15　　文献标识码：A

Analysis of Problems on-the-spot in Electric Energy Metering

WANG Lu-yang[1], XU Wei-gao[2], ZHANG Qun-yao[1], WANG He-xing[1]

(1. *School of Electric Power and Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China*;
2. *Shanwei Electric Power Supply Branch Co., Guangdong Power Net, Shanwei 516600, China*)

Abstract: There are a lot of problems and phenomena in the field work of electric energy metering. These problems and phenomena have been puzzling electric workers in the basic level. This paper analyzes two of the problems and the solution is proposed to the problems.

Key words: electric energy metering; watt-hour meter; burnout; reverse turn

电力系统的各个环节装有大量的电能计量装置. 电能表是电能计量装置的重要组成部分，其准确、正常地工作，是发电、供电、用电 3 个部门间进行电能这一特殊商品买卖、贸易结算的重要依据.

作者多年从事《电能计量》课程的教学工作，授课对象包括日校学生和成人教育学院的学员. 成人教育学院的学员大都来自电力行业生产第一线，他们带来了许多有关电能计量的现场经验，也带来了实际工作中遇到的一些问题. 多次提及的问题主要有两个：一是在中线断开的情况下居民使用的单相电能表会被烧毁，同时烧毁居民家中的电器. 二是 380 V 电焊机的用户，采用单相表进行电能计量，会出现电能表反转的现象.

1　单相电能表被烧毁的原因及对策

居民用电户，一般采用单相供电，并使用单相电能表进行电能计量，其接线图如图 1 所示. 单相电能表的电压元件与负载并联，电流元件与负载串联. 在中线 N 断开的情况下电能表被烧毁，但仅从图 1 是难于理解的.

尽管对每户居民实行单相供电，但整幢居民楼是实行三相供电的，并尽量使整幢楼中的单相用户负载均匀地分布在三相电路中，原理接线图如图 2 所示.

在中线断开的情况下，烧毁单相电能表和居民家用电器的原因，是由于供电线路的中性线没

收稿日期：2004－09－01

有重复接地.解决这一问题的对策是将中性线重复接地.

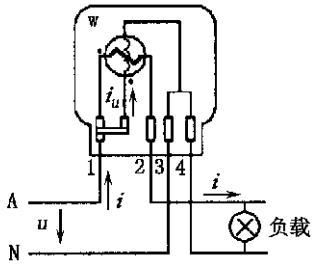

图 1 单相电能表实际接线

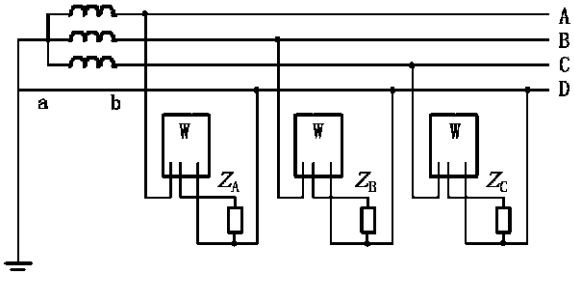

图 2 单相负载用电及计量情况

当中线 N 在 a, b 间断开时, 三相电路中负载的接线等效电路如图 3 所示, 相当于负载星形联接无中线.

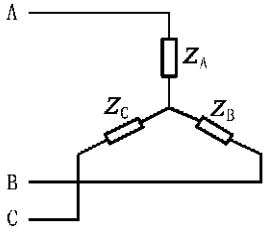

图 3 中线断开时负载接线等效电路

由于接在三相电路中的负载往往不对称, 使得每相负载上的电压都不同, 有的相负载上的电压大于电源相电压, 有的相小于电源相电压. 具体大小和中线断开时各相电路用电情况有关. 在 220/380 V 低压配电系统中, 电源相电压即电能表以及单相负载的额定电压是 220 V. 电源线电压为 380 V. 当中线断开时, 若 A 相用电负荷较小, 设负载的等效阻抗为 220 Ω, B 相用电负荷较大, 设负载的等效阻抗为 22 Ω, C 相无用电设备(即开路), 经计算可得, A 相负载上的电压为

$$\frac{220}{220+22}\times 380=345.5\ \text{V}$$

远远超过单相负载的额定电压 220 V, 而 B 相负载上的电压仅为

$$\frac{22}{220+22}\times 380=34.5\ \text{V}$$

因而, 轻载的 A 相上的电能表被烧毁, 联接在该相上的居民家中的电器也被烧毁.

有些低压供电线路的中性线是不允许重复接地的, 如 TT 系统.《农村低压电力技术规程》DL/T499—2001 中规定: 采用 TT 系统低压电力网应装设剩余电流动作总保护和末级保护, 而 TT 系统中性线作重复接地后是不能装设总保护的, 一旦发生单相接地故障或触电事故将无法断开电源, 可能造成人身伤亡事故.

在 TT 系统中, 应采取如下措施防止中性线断线.

(1)必须保证中性线有足够的机械强度, 中线的导线截面见表 1;

(2)保证中线连接的施工质量;

(3)尽量使三相负荷平衡;

(4)对低压线路应定期巡视、定期检修, 发现问题立即处理.

表 1 按机械强度要求中性与相线的配合载面 mm^2

相线截面 S	中性线截面 S_0
$S\leqslant 16$	S
$16<S\leqslant 35$	16
$S>35$	$S/2$

但是, 并非所有的低压供电线路都不允许中性线重复接地. TN-C 系统要求中性线重复接地, TN-S 系统用于单相负载起主导地位, 而且三相经常出现较大的不平衡负载时, 对中线 N 也要作重复接地. 图 4 是 TN-C 系统中性线重复接地情况(TN-S 系统, PE 线与 N 线分开, 并分别重复接地).

当中性线未作重复接地时, 即使中线没有断开, 由于三相负载不平衡, N 线中必然有电流产生, 使负载端零电位飘移, 引起负载上的电压与电源相电压不同, 有的高于 220 V, 有的低于 220 V.

中线进行重复接地后, 可减少此飘移, 使各相电压稳定. 一旦中线发生断裂, 可使各相负载不产

生大的电压波动，防止产生单相电能表及居民家中的电器被烧毁的现象. 图 4 中，当中线在 a，b 间断开时，由于 b 点重复接地，使 b 点后的负载所接中线依然为零电位，保证每相负载上的电压依然为电源相电压. 因此，当中线断开时，不会发生单相电能表和居民家中的电器被烧毁的现象.

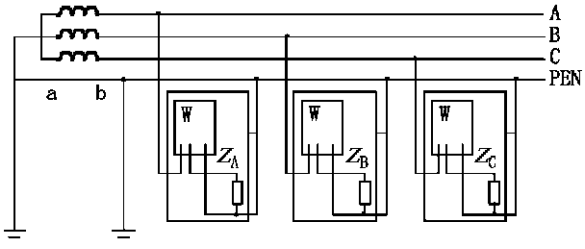

图 4　TN-C 系统原理

2　采用单相表对 380 V 电焊机进行电能计量时的反转问题

农村动力用电，如机电排灌、打场、碾米、农产品深加工等都要采用大量三相异步电动机作为动力，负荷较为分散. 供电公司对其很少能进行经常性的检查，很少有完整的负荷记录. 在三元件有功表发生故障后，有的计量元件停止了工作，但只要有一个元件在工作，感应式表还会转动，只是慢了许多，这在负荷变化较大的农村，很难根据表速来断定计量有无问题. 若发现问题后，由于故障时间、平均负荷等都不了解，很难计算退补电量. 因此有些地区的供电公司，在农村推荐安装 3 块单独的单相有功电能表对三相四线制用户计量电能. 这种计量方式的优点：一是查电方便，有故障时，如某相开路、短路、极性接反，容易暴露问题，容易留下痕迹；二是窃电困难，原来窃电只在一个装置上做手脚，现在要动 3 块表，难度增加. 而对于有诸如电焊机之类 380 V 单相负载的用电户，采用该计量方式会引发一些问题.

380 V 电焊机接在任意两相线之间，无论是使用三相有功电能表（三相四线或三相三线），还是使用两只（或 3 只）220 V 单相表，都可以准确计量其所消耗的有功电能. 这在李文娟老师的自编教材《电能计量》中有详细的论述. 在正确接线的情况下，三相有功电能表（无论是三相四线还是三相三线）正转，而用两只（或 3 只）220 V 单相表时，会出现有一只反转的现象. 原因如下.

假设电焊机接在 A，C 两相间，如图 5 所示. 电焊机的电流通过 A，C 相的两只单相表，值得注意的是，电焊机的电流从其中一只电能表电流元件的同名端流入，从另一只的异名端流入，即

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{DH} \qquad \dot{I}_C = -\dot{I}_{DH}$$

图 6 为图 5 所示接线情况下的相量图，其中 ϕ 是电焊机的功率因数角. 接在 A 相中的单相表在时间 t 内所测电能为

$$W_A = U_A I_{DH} \cos(30^\circ + \phi) t \tag{1}$$

接在 B 相中的单相表因无电流通过，故所测电能

$$W_B = 0 \tag{2}$$

接在 C 相中的单相表在时间 t 内所测电能

$$W_C = U_C I_{DH} \cos(\phi - 30^\circ) t \tag{3}$$

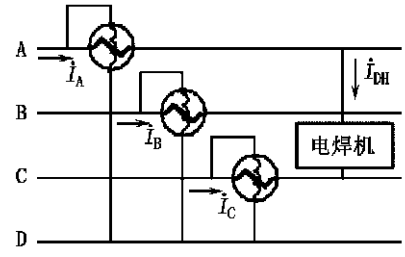

图 5　电焊机接在 A，C 两相间

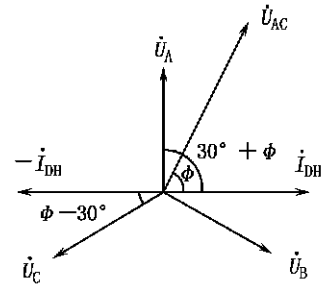

图 6　图 5 所示接线的相量图

由于电焊机在空载时功率因数很低，功率因数角 $\phi > 60^\circ$；进行焊接时，电焊机的负荷增加，$\cos\phi$ 提高，$\phi < 60^\circ$. 而电焊机在工作时，通常其空载时间长，负载时间短，故绝大部分时间 $\phi > 60^\circ$. 因而当电焊机接在 A，C 两相间时，式（1）所示的 $W_A < 0$，即接在 A 相的单相表反转. 同样可以证明，当电焊机接在 A，B 两相间时，接在 B 相的单相表反转；当电焊机接在 B，C 两相间时，接在 C 相的单相表反转. 因此，采用单相表对 380 V 电焊

机进行电能计量时，出现电能表反转是正常现象.

3 采用单相表对 380 V 电焊机进行电能计量时的电费问题

通常单相表用来计量 220 V 单相负载消耗的电能，在正确接线（如图 1 所示）的情况下电能表正转. 如果电能表反转，必有异常情况，或是电流反进，或是电压反进. 造成电流或电压反进的原因之一，就是用电户私自改接线，这是一种窃电行为. 因此，在一些基层电业职工的工作中会形成条件反射：电能表一旦反转，则认为用电户窃电，就要按有关规定进行处罚. 某些地区是按照反转表计抄读电量的双倍收取电费的. 其依据是《电力供应与使用条例》第 41 条："……盗窃电能的，由电力管理部门责令停止违法行为，追缴电费并处应交电费 5 倍以下的罚款……."但是，按照反转表计抄读电量的双倍收取电费是不合理的，因为反转表计抄读电量并不是应交电费所对应的电量. 电焊机所消耗的电能，是 3 只单相表所测电能的代数之和：$W = W_A + W_B + W_C$. 代入式（1）、式（2）、式（3）并化简，$W = U_{AC} I_{DH} \cos\phi t$. 这与负载消耗电能的理论值是一致的. 由此可见，W 不同于 W_A，也不同于 W_B，W_C. 对于 380 V 电焊机，其中任何一只单相表的读数都不能成为收取电费的依据，应以 3 只单相表读数的代数之和为依据收取电费（只有在三相负载对称的情况下才能以一只单相表的读数为依据收取电费）.

4 结束语

中华人民共和国电力行业标准《农村低压电力技术规程》DL/T499－2001 中规定：农村低压电力网宜采用 TT 系统，城镇电力用户宜采用 TN-C 系统.

采用 TT 系统时，除变压器低压侧中性点直接接地以外，中性线不得再接地，而且应该与相线保持同等的绝缘水平，并采取措施防止中性线断线.

采用 TN-C 系统时，为了在出现故障时保护中性线的电位尽可能保持接近大地电位，保护中性线应均匀分配地重复接地，若条件许可，宜在每一接户线、引接线处接地. 中性线不能重复接地的是 TT 系统，而 TN-C 系统的中性线是应该重复接地的.

使用单相 380 V 额定电压电焊机的用户，应安装三元件有功表，且不允许在单相用户间跨相用电，以避免计量错误而引起的电费纠纷. 有的用电户，380 V 电焊机在单相用户间跨相用电，3 只单相表分别装设在不同的地方. 380 V 单相负载工作时，若有单相表反转，则必定在另一个地方还有一只单相表正转. 如果是采用 3 只单相表计量电能，应该全面掌握用电户电能计量装置的装设情况，并以 3 只单相表读数的代数之和为依据收取电费.

参考文献：

[1] 陈向群. 电能计量技能考核培训教材[M]. 北京：中国电力出版社，2003. 296.

[2] 张 强，张雅明，阎文贵. 山西省大同供电分公司（037008）低压电气装置保护接地系统中存在的问题[EB/OL]. http://www.chinarein.com/ndlk/ndqh/web/2002/docs/2002－12/2002－12－32.htm.

[3] 吴安岚. 电能计量基础及新技术[M]. 北京：中国水利电力出版社，2004. 134.