

“六角图”检测与计量回路核查相结合查获一起寄生回路窃电案例

王宇霖，孙 杰

（泰州供电公司，江苏 泰州 225300）

摘 要：综观典型窃电方式有欠流、欠压、扩差、移相、高压电击、强磁干扰及更动电表内部接线等。然而本文介绍的是一起通过人为制造计量二次寄生回路窃电的查处案例，案例中的窃电手法不但变更微小、表象隐蔽，而且采用“六角图”向量测量法分析出的结论让人匪夷所思、分析无从下手。为此通过停电核查找出计量二次寄生回路，再通过等效电路图分析出电能表两个电流元件所接受的电流量，并与向量测量结果进行比对，最终得出一致的结论。在有力的检测、核查证据面前及公安干警强大的宣传攻势下，窃电用户最终供认了窃电行为并接受追补电费及违约使用电费的处理。

关键词：检测；核查；寄生回路；窃电

某高供高计的工业用户，批准用电容量为1600kVA，TV变比为10/0.1kV，TA变比为100/5A。当年6月供电公司电费核算员发现该用户5月份电费突降至原来的一半左右，且现场核查电表数据与用电信息系统数据无误，排除了数据采集错误的可能。观察该厂生产情况与往月无异。针对这一情况，电费核算员及时将发现的电费疑问向计量管理及用电检查人员报告，随即营销部就安排了一次有公安局、技术监督局及公证处等单位人员参与的反窃电联合检查行动。

1 现场检查、检测及向量图分析情况

现场检查首先从计量柜开始，计量柜门、电表大小盖及端子连接盒封印齐全完好，而且电能表没有报警显示。然而检查人员在对该用户电表显示参数检查时发现，计量电表显示的表头电流经变比换算后只是总柜电流盘表显示电流的一半。为此计量工作人员使用电压电流相位表对电表表头参数进行了测量。测量数据为：

$$\left| \dot{U}_{12} \right| = 102 \text{ V}, \quad \left| \dot{U}_{13} \right| = 100 \text{ V},$$

$$\left| \dot{U}_{23} \right| = 101 \text{ V}, \quad \left| \dot{I}_1 \right| = 1.81 \text{ A}, \quad \left| \dot{I}_3 \right| = 1.82 \text{ A},$$

$$\dot{U}_{12} \wedge \dot{U}_{32} = 300^\circ, \quad \dot{U}_{13} \wedge \dot{U}_{23} = 60^\circ,$$

$$\dot{U}_{12} \wedge \dot{I}_1 = 350^\circ, \quad \dot{U}_{12} \wedge \dot{I}_3 = 350^\circ, \quad \text{已知测量时功率因数角为感性 } 0-30^\circ.$$

从测量数据可以看出，电表电压元件的电压有效值均正常，且表头电压元件1、2、3点电压为正相序。但是两个电流元件的电流有效值几乎相同，角度重合，好似同一个电流。按照表头各量测量值所作电流电压向量图如图1所示。

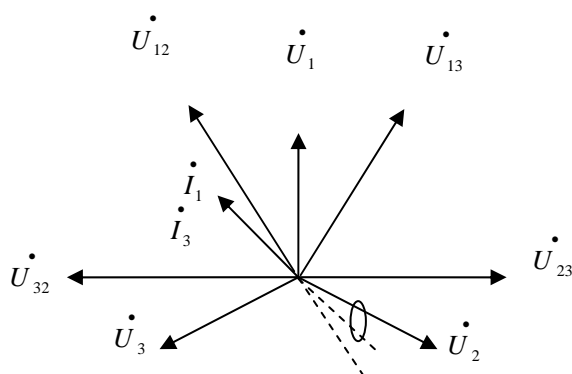


图1 向量图

从向量图中可以看出，两个电流元件的电流是重合的，且角度关系符合 \dot{U}_2 电压对应电流的反向电流。难道两只电流互感器都装到一相上去了？真是让人匪夷所思。

2 停电进行计量装置实物检查发现 TA 二次接线异常

检查、检测及向量图分析结果反映了该起计量错误为非典型计量错接线，仅凭上述检测结果及向量图既不能确定错误计量的方式及原因，也不能计

算少计的电量，更无法进行计量接线更正。为查清该起计量装置错接线实际情况，计量工作人员在实施了保证工作人员安全的组织措施和技术措施后，对该套计量装置进行了停电检查。在对计量一次设备检查过程中确认了接线无误，排除了两只电流互感器误装到一相上去的可能性。在对电流互感器二次接线检查时发现了其接线端子上的异常情况，现场照片如下。

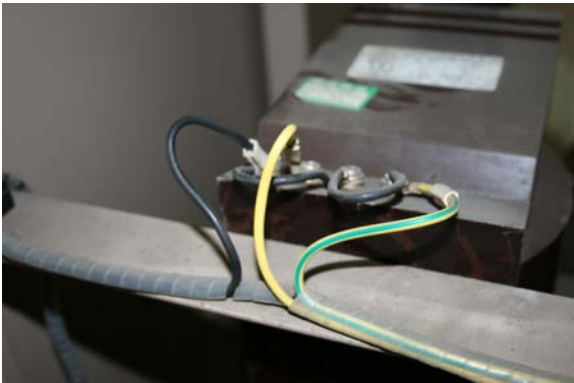


图 2 现场照片 1

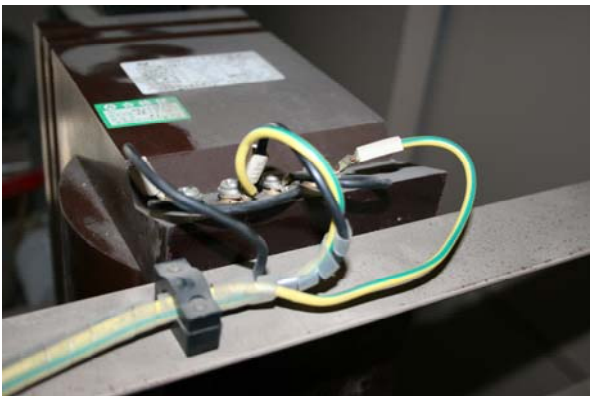


图 3 现场照片 2

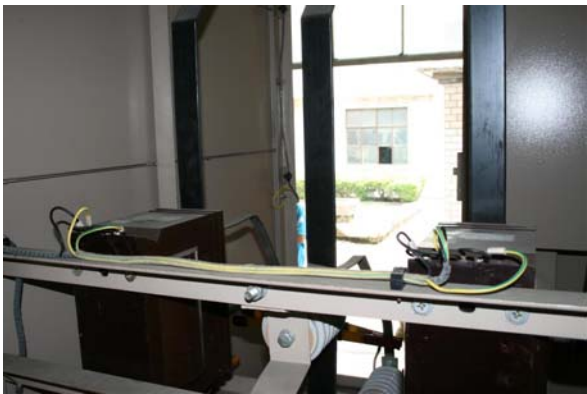


图 4 现场照片 3

从图 2、图 3 中可以看出,A 相电流互感器 1S1、2S1、2S2 通过导线连通,经“直流法”对线测量确定

2S2 通过花线连接到 C 相电流互感器 2S2, 1S2 通过花线连接到 C 相电流互感器 1S2; C 相电流互感器 1S1、2S1、2S2 通过导线连通,经“直流法”对线测量确定 2S2 通过花线连接到 A 相电流互感器 2S2, 1S2 通过花线连接到 A 相电流互感器 1S2。且花线是接地的。

3 绘制错接线电路图并进行等效简化后确定两电流元件的电流

根据停电查看及“直流法”对线测量结果绘制 A、C 相 TA 二次侧错接线情况示意图如图 5 所示。

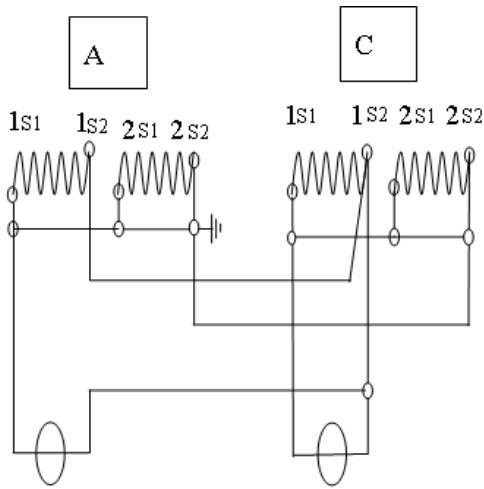


图 5 A、C 相 TA 二次侧错接线情况示意图

从图 5 中可以看出,由于 2S1 与 2S2 短接,根据等电位原理可视该组线圈不存在,故图 5 可简化为图 6。

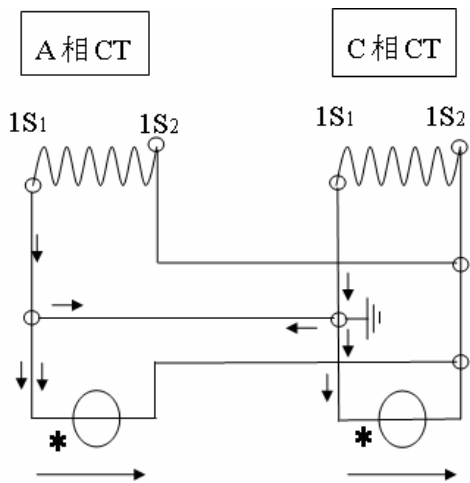


图 6 图 5 可简化图

根据等电位原理,并将 A、C 相电流互感器二次绕组看成两个电流源,则图 6 还可以进一步等效

简化为图 7。

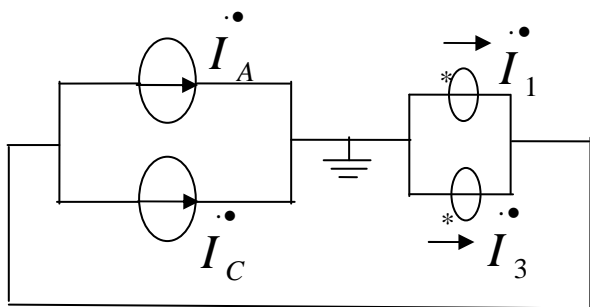


图 7 图 6 等效简化图

从图 7 很容易判定电能表两个电流元件的电流分别为：

$$\dot{I}_1 = (\dot{I}_A + \dot{I}_C) / 2$$

$$\dot{I}_3 = (\dot{I}_C + \dot{I}_A) / 2$$

由于三相三线供电，故 $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ ，所以电能表两个电流元件的电流实际上均等于

$-\dot{I}_B / 2$ 。分析至此再回看图 1 向量图中的 \dot{I}_1 、

\dot{I}_3 向量，其有效值及角度均相等，且与 \dot{U}_2

相（B 相）电压对应的电流反向。这一结论与总柜电流盘表显示及向量检测结果形成了相互印证。

以上“六角图”检测、计量回路核查及等值电路分析都是在公安干警、技术监督员及公证员参与的情况下开展的，并且建立了“六角图”检测记录、等值电路分析资料等书面证据，同时拍摄了计量回路核查发现问题的照片。

4 更正系数、更正率的计算

根据表头向量检测及停电检查结果确定电能表电压、电流元件的输入量为：

$$\text{一元件电压和电流分别为：} \dot{U}_{AB}, -\dot{I}_B / 2$$

$$\text{二元件电压和电流分别为：} \dot{U}_{CB}, -\dot{I}_B / 2$$

电压电流向量图如下：

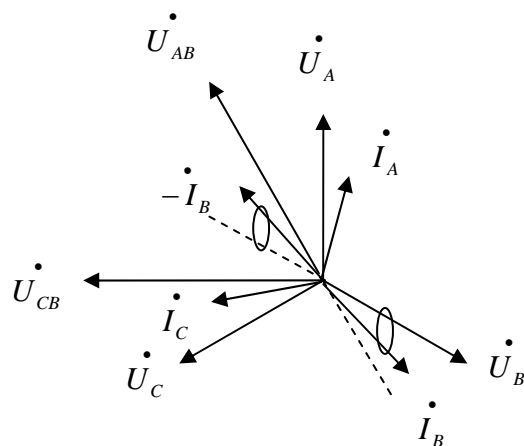


图 8 电压电流向量图

根据向量图计算错误功率表达式：

$$P' = (1/2) |\dot{U}_{AB}| |-\dot{I}_B| \cos(30^\circ - \varphi) + (1/2)$$

$$|\dot{U}_{CB}| |-\dot{I}_B| \cos(30^\circ + \varphi) = (1/2) \sqrt{3} UI \cos \varphi$$

$$\text{所以更正系数 } K = P/P' = \sqrt{3} UI \cos \varphi / (1/2)$$

$$\sqrt{3} UI \cos \varphi = 2, \text{ 更正率 } G = K - 1 = 1$$

可见，错误计量功率是正确计量功率的一半，也就是这种错接线情况下少计一半的电量。据此追补电量应为这种情况下已计电量的一倍。

5 公安部门办理相关手续突击讯问涉案单位负责人查清窃电真相

该单位生产状况基本不变，电量却突然下降，说明其计量装置状态发生了变化。也就是说以上查见的二次线异常情况绝非初始形成，而是中途被人为变更。据此公安干警在办理了传唤手续后，突击讯问了被查单位的负责人。

在公安干警的宣传攻势下，在电量变化及现场查见的事实面前，该单位负责人很快交代了窃电真相。该单位负责人早年曾当过电工，具有一定的电气知识。该厂 5 月初曾因进线开关大修实施全所（变电所）停电，工作间隙期间该厂负责人在去变电所查看工作进度时，看到了裸露在外的计量电流互感

器。这时他突发奇想，将 TA 二次接线更改一下，看是否能够达到少计电量的目的。于是他就根据现场情况进行了最简单的接线变更，将一根短线从一个桩头改接到旁边的另一个桩头上。但他自己并不知道其原理、接线图及实际效果，也不知道是否会产生送电故障。在次日检修结束恢复送电后，该厂负责人一是庆幸改接后未出现送电故障，二是期待计量装置少计电量的结果。当他经过半个月观察发现确实少计不少电量后，心中既是窃喜，但又有些害怕。根据其供述，结合现场检查结果，可以判定当时该单位负责人变更的接线实际上是将每个电流互感器原 2S1 接到 1S2 上的连线改接到 1S1 桩头上了（见图 2、3 及 5）。据此，还原该计量装置电流互感器二次接线情况如图 9 所示。

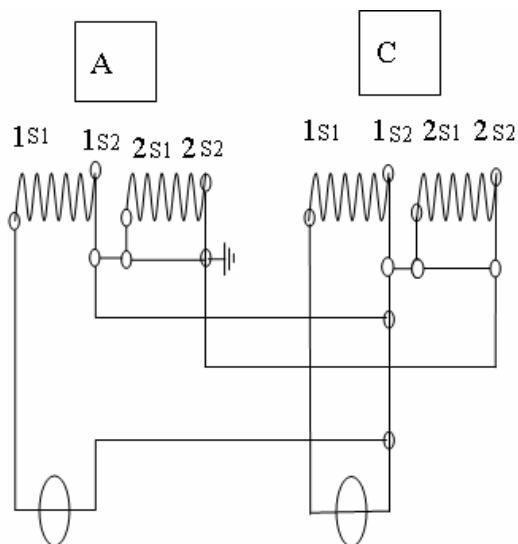


图 9 还原该计量装置电流互感器二次接线图

从图 9 中可以看出，该例 A、C 相电流互感器二次绕组与电能表电流线圈的连接采用的不完全星形接法，即三线连接法，两个二次绕组的回流端共用一线。这种不完全星形接法的两个绕组间只能有一个公共点，否则必产生寄生回路。该计量装置 A、C 相电流互感器副边均有两组绕组，而计量回路只用了一组绕组，另一组备用绕组出线端 2S1、2S2 短接是为了避免电流互感器二次绕组开路，这是没有疑问的，也是应该的。为防止绝缘损坏、设备击穿，高压串入低压危及人员及设备安全，高压电流互感器副边的每组绕组必需有且仅有一点接地，故 A 相 TA 的 2S2 端的接地是必要的也是正确的。然而 A 相与 C 相的 2S2 相连是没有必要的，其本意可

能是为了让 C 相 2S2 也接地，实际上由于两个互感器的 1S2 相连，而 C 相的 2S2、2S1 均与 C 相的 1S2 相连，故 C 相副绕组已经实现二次接地，再连接 A 相的 2S2 实现接地就是多余的了，但这根多余的连线对计量没有影响，也与形成窃电的情况无关，因为两个副绕组的四个端子本来就是等电位的，再连一根线只是多余，并无妨碍。

现在电能计量装置各相二次绕组与电能表电流线圈的连接已不允许采用不完全星形接法（及三线连接法），而规定必需采用独立回路的四线连接法，其目的也就是为了减少计量二次侧产生寄生回路导致计量失准的可能。规范接线应为图 10。

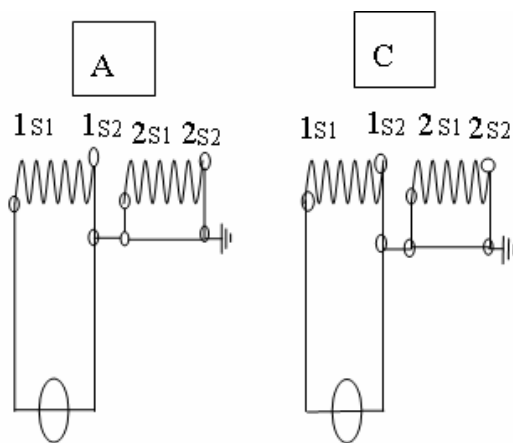


图 10 规范接线图

6 窃电量认定及电费追补

根据该厂负责人交代五月初进线开关大修期间实施窃电的情况，经调阅调度停电记录及用电信息采集系统电能表失电记录，确认该用户停电检修时间为 5 月 3 日 10 时至 5 月 4 日 11 时。通过用电信息采集系统调阅当日电能表有功示数为 12239，6 月份查见窃电情况时该电能表示数为 12305。故窃电期间该用户已计电量为 $(12305 - 12239) \times (10\text{kV} / 0.1\text{kV}) \times (100\text{A} / 5\text{A}) = 132000$ 千瓦时；应计电量为已计电量的两倍，即为 264000 千瓦时；应补电量为 132000 千瓦时；应补电费为 132000 千瓦时 $\times 0.6601$ 元/千瓦时 = 87133.2 元；应追缴违约使用电费为 87133.2 元 $\times 3 = 261399.6$ 元。以上窃电量及追补电费的认定，证据充分、时间明确、错计量分析严谨、计算符合《供电营业规则》及《电力供应与使用条例》规定，用户表示接受。故该用户选择按照“供用电合同”中约定的民事处理方式补缴电

费及违约使用电费处理。

7 结束语

回顾该起窃电事件，其查处过程曲折、艰辛。之所以这样一是因为没有直接证据能够证明用电客户的人对计量装置动了“手脚”。前面已经介绍过，检查时其计量“三封”（计量柜门封、电表大小盖封、联合接线盒封）都是真实、齐全、完好的。问题出在电流互感器二次接线端子上，而电流互感器高压仓门却没有加封装置，在停电状态下即可以随便打开。二是因为本案 TA 二次接线也有较大漏洞，也就是四组副绕组共连合线接地，这种接线方式只要挪动一个间距约 2 厘米的桩头接线即可成为本文窃电电路，并且从现场接线看难以认定是初始形成还是后期改接。三是该起更动二次接线形成的寄生回路错接线为非典型计量错接线，这种错接线只有通过“六角图”向量检测与线路核查相结合方能弄清并验证错接线情况，所以检查、检测、认定工作烦琐、复杂。该起窃电查处案例给了我们以下警示：一是计量装置封闭性管控不仅仅是电表接线仓，TV、TA 仓虽为高压电气设备，但在停电检修时如不设防一样存在窃电隐患，故 TV、TA 仓密闭与加封标准应

与电表接线仓一样；二是三相三线两元件电能表电流线圈与电流互感器的连接应采用回路及接地独立的“四线”连接法（如图 10），从源头上规范计量接线，减小二次线被改接或错接造成的电量损失风险；三是电费核算工作不可小觑，窃电最明显的特征就是电量下降，该案就是在电费核算环节被最早发现的；四是周期性下厂巡检工作质量有待提高，巡检记录反映该案查见前 12 天有过下厂检查活动，当时电能表表显电流就已经与开关盘表指示电流不符，而用电检查人员却没有发现；五是重视周期性电能计量装置现场检测工作，“六角图”向量测量分析法对这种非典型计量错接线虽不能解决问题，但仍不失为一个发现问题并帮助分析问题的好方法。

作者简介：

王宇霖（1963-），男，江苏泰州人，南京电力专科学校发电厂及电力系统专业毕业，工程师，曾从事线路运行管理、计量管理、安全监察及用电检查工作，目前从事反窃电检查、检测管理工作；

孙杰（1968-），男，江苏泰州人，上海电力学校自动控制专业毕业，工程师，曾从事负控管理、需求侧管理及用电检查工作，目前从事计量管理工作。