

# 失压后多功能电表差错电量的计算

李琦

(大安供电局, 四川 自贡 643000)

**摘要:** 电力企业在处理计量故障时,原有计算更正系数及追补电量方法的应用对象主要是机械式感应电能表,随着多功能电子式电能表技术的大面积运用,由于电能表电压回路内部结构原理的不同,在失压时对计量的影响与感应式电能表有很大区别。通过多年工作经验总结出了三相三线多功能电子式电能表在各种失压状态下的运行情况及如何正确进行有功、无功退补电量的 $K$ 值计算方法。

**关键词:** 三相三线多功能电能表; 退补电量计算; 失压故障

**Abstract:** The application object for original methods of calculating the correction coefficient and the recover from electricity quantity are primarily mechanical induction watt-hour meter while dealing with the metrological fault in power enterprise. With the wide application of multi-functional electronic watt-hour meter, because of the differences of internal structural principle in voltage circuit, the influence on metering after loss of voltage quite differs from the induction watt-hour meter. The operating condition of three-wire three-phase multi-functional electronic watt-hour meter under different loss of voltage and the method how to calculating correctly  $K$  value of active/reactive recover from electricity quantity are summarized through the working experiences for many years.

**Key words:** three-wire three-phase multifunction watt-hour meter; calculation of recover from electricity quantity; loss-of-voltage fault

中图分类号: TM864 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2012)05-0055-06

## 0 前言

三相三线多功能电能表正全面替代机械式感应系有功、无功电能表联合接线方式计量三相电能,在实际工作中发现当三相三线多功能电能表出现失压故障时,退补电量若仍按传统的追补电量方法进行计算时,常常会发现计算出来的有功、无功退补电量会与事实不符,供电企业经常就此与电力客户发生纠纷,如何准确地计算三相三线多功能电能表在失压期间的退补电量是目前用电、计量部门必须研究和解决的课题。

## 1 三相三线多功能电能表内部电压回路结构简述

目前新型三相三线多功能电能表内部电压回路均采用的是三元件结构,即在表的每两个电压输入端钮之间均接有采样元件,如图1所示,电压采样元件除了进行电压采样外,还为表计内部集成电路提

供工作电源,图1中a、b和b、c之间所接的分别为多功能表电压采样元件的等效阻抗 $Z_{ab}$ 和 $Z_{bc}$ ,它们主要的功能是将交流输入电压进行采样后输入电能表的计量芯片。为了提高表计的工作可靠性在a、c之间也接入了一个电压采样元件等效阻抗 $Z_{ac}$ ,它只用于为表计提供工作电源,在这种结构下,当任何一相失压时,均可保证多功能电能表的正常工作电源,而三相三线机械式感应电能表只有两个电压线圈,如图2所示,分别接在a、b和b、c之间。正是由于这种结构上的差别,导致在失压时多功能表的运行状态和机械表不同。

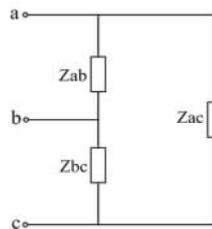


图1 三相三线多功能电能表内部电压结构图

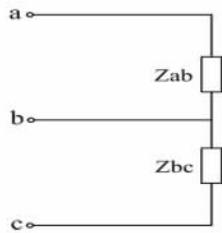


图2 三相三线机械式感应电能表内部电压结构图

## 2 三相三线多功能电表无功计量原理

目前使用的多功能电表无功计量回路都采用90°移相滤波器,将电压信号移相90°来进行无功的计量,如图3所示,而机械式感应系三相无功电能表多数则采用内相角为60°的三相三线无功表进行计量,相量图如图4所示。

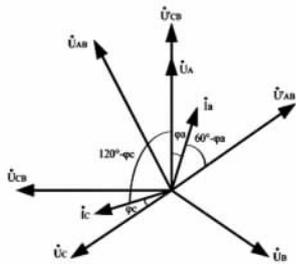


图3 三相三线多功能表无功计量向量图

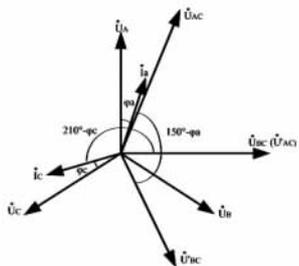


图4 机械式感应系三相三线多无功表向量图

如图3所示,可写出三相三线多功能电表无功计量的表达式。

$$Q = U'_{AB} I_a \cos(60^\circ - \varphi_a) + U'_{CB} I_c \cos(120^\circ - \varphi_c) \quad (1)$$

$$\text{当三相电路对称时, } U'_{AB} = U'_{CB} = U_{\text{线}}, I_a = I_c = I_{\text{相}}, \varphi_a = \varphi_c = \varphi \quad (2)$$

$$\text{可得: } Q = UI \times (\cos 60^\circ \cos \varphi + \sin 60^\circ \sin \varphi + \cos 120^\circ \cos \varphi + \sin 120^\circ \sin \varphi)$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi \quad (3)$$

如图4所示,可写出机械式感应系三相三线无功表功率的表达式。

$$Q = U'_{BC} I_a \sin(150^\circ - \varphi_a) + U'_{AC} I_c \sin(210^\circ - \varphi_c) \quad (4)$$

$$\text{当三相电路对称时, } U'_{BC} = U'_{AC} = U_{\text{线}}, I_a = I_c = I_{\text{相}}, \varphi_a = \varphi_c = \varphi \quad (5)$$

$$\text{可得: } Q = UI \times (\sin 150^\circ \cos \varphi - \cos 150^\circ \sin \varphi + \sin 210^\circ \cos \varphi - \cos 210^\circ \sin \varphi)$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi \quad (6)$$

## 3 三相三线多功能电表失压情况下有功、无功计量的分析

通常在10 kV中性点不接地电网中,计量用电压互感器一般采用两台单相互感器接成不完全星形,也称为V-V接线,用来测量各相间电压,以下就是对三相三线多功能电表在V-V接线时发生在电压互感器一、二次出现电压断线的故障分析。

### 3.1 TV一次回路断线

#### 3.1.1 TV一次A相断线

TV一次A相保险熔断导致断线时的电路及二次电压回路的等效电路如图5、6所示,此时接在A、B相之间的TV一次绕组失压,导致二次绕组ax无感应电势输出,则其可等效成一个阻抗 $Z_{ax}$ ,从TV及多功能电表的结构原理可知 $Z_{ax}$ 的数值为欧姆级,只有几个欧姆,而多功能表的电压采样电路阻抗很大,至少为千欧级,所以有: $Z_{ax} \ll Z_{ab}, Z_{ab} = Z_{ac} = Z_{bc}$ ,因此 $Z_{ax}$ 与 $Z_{ab}$ 并联后的等效电阻 $Z < Z_{ax} \ll Z_{ab}$ , $Z$ 和 $Z_{ac}$ 串联后接在 $U_{cb}$ 上,根据串联分压原理可得出加在 $Z_{ab}$ 上的电压几乎为零, $U_{cb}$ 的绝大部分加在 $Z_{ac}$ 上,所以表计的第一元件基本上可以认为因输入电压为零而停止计量。

如图7所示,多功能表测量的有功功率表达式为

$$P_x = U_{cb} I_c \cos(30^\circ - \varphi) = UI \times \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi + \frac{1}{2} \sin \varphi \right) \quad (7)$$

$$K = \frac{P}{P_x} = \frac{\sqrt{3} UI \cos \varphi}{UI \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi + \frac{1}{2} \sin \varphi \right)} = \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \text{tg} \varphi} \quad (8)$$

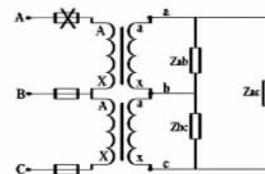


图5 TV一次A相断线接线线图

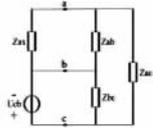


图6 等效电路图

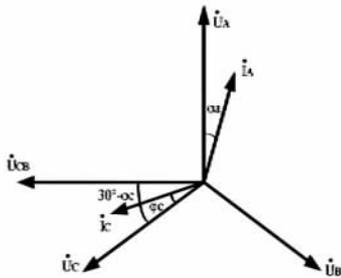


图7 A相断线有功相量图

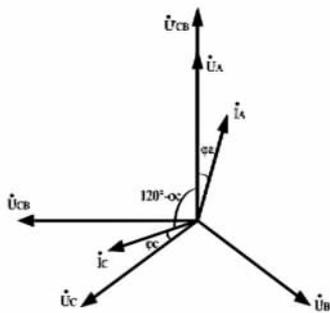


图8 A相断线无功相量图

如图8所示,多功能表测量的无功功率表达式为

$$Q_x = U_{cb} I_c \cos(120^\circ - \varphi) = UI \times \left( -\frac{1}{2} \cos\varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin\varphi \right) \quad (9)$$

$$K = \frac{Q}{Q_x} = \frac{\sqrt{3} UI \sin\varphi}{UI \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \sin\varphi - \frac{1}{2} \cos\varphi \right)} = \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \text{ctg}\varphi} \quad (10)$$

### 3.1.2 TV一次B相断线

TV一次B相保险熔断导致断线时的电路及二次电压回路的等效电路如图9、10示,此时接在A、B相之间的TV一次绕组电压为A、C间相电压值的一半,B、C相之间的TV一次绕组电压为C、A间相电压值的一半。所以此时多功能表第一元件输入的是 $0.5U_{ac}$ 、 $I_a$ ,第二元件输入的 $0.5U_{ca}$ 、 $I_c$ 。

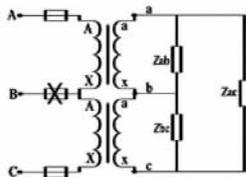


图9 B相断线接线图

如图11所示,多功能表测量的有功功率表达式

为

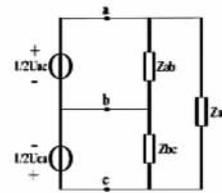


图10 二次电压回路等效电路图

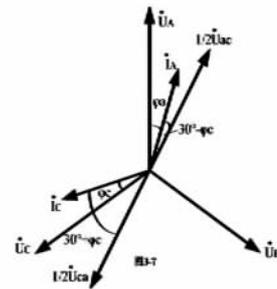


图11 B相断线有功相量图

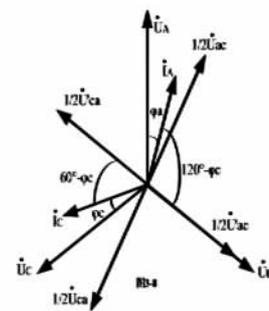


图12 B相断线无功相量图

$$p_x = \frac{1}{2} U_{ac} I_a \cos(30^\circ - \varphi) + \frac{1}{2} U_{cb} I_c \cos(30^\circ + \varphi) = \frac{\sqrt{3}}{2} UI \cos\varphi \quad (11)$$

$$K = \frac{p}{p_x} = \frac{\sqrt{3} UI \cos\varphi}{\frac{\sqrt{3}}{2} UI \cos\varphi} = 2 \quad (12)$$

如图12所示,多功能表测量的无功功率表达式为

$$Q_x = \frac{1}{2} U_{ac} I_a \cos(120^\circ - \varphi) + \frac{1}{2} U_{ca} I_c \cos(60^\circ - \varphi) = \frac{\sqrt{3}}{2} UI \sin\varphi \quad (13)$$

$$K = \frac{\sqrt{3} UI \sin\varphi}{\frac{\sqrt{3}}{2} UI \sin\varphi} = 2 \quad (14)$$

### 3.1.3 TV一次C相断线

TV一次C相保险熔断导致断线时的电路及二次电压回路的等效电路如图13、14示,此时接在B、

C相之间的TV一次绕组失压,导致二次绕组  $ax$  无感应电势输出,则其可等效成一个阻抗  $Z_{ax}$ ,从A相一次断线的分析可以得到类似的结果,即加表计  $Z_{ax}$  电压几乎为零,所以表计的第二元件基本上可以认为因输入电压为零而停止计量。

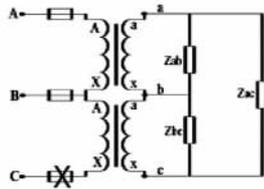


图13 C相一次断线接线图

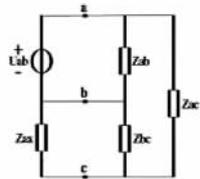


图14 C相一次断线等效电路图

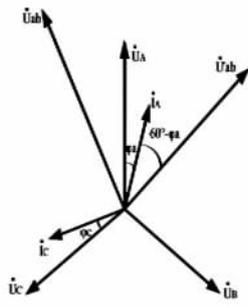


图15 C相断线有功相量图

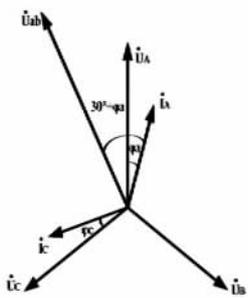


图16 C相断线无功相量图

如图15所示,多功能表测量的有功功率表达式为

$$P_X = U_{ab} I_a \cos(30^\circ + \varphi) = UI \times \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \cos\varphi - \frac{1}{2} \sin\varphi \right)$$

$$K = \frac{p}{P_X} = \frac{\sqrt{3} UI \cos\varphi}{UI \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \cos\varphi - \frac{1}{2} \sin\varphi \right)} = \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \text{tg}\varphi} \quad (15)$$

相量图如图16所示。多功能表测量的无功功率表达式为

$$Q_X = U_{ab} I_a \cos(60^\circ - \varphi) = UI \times \left( \frac{1}{2} \cos\varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin\varphi \right) \quad (16)$$

$$K = \frac{2\sqrt{3}}{\text{ctg}\varphi + \sqrt{3}} \quad (17)$$

### 3.2 TV二回路断线

#### 3.2.1 TV二次A相断线

在此故障情况下,二次电压回路的电路如图17所示,此时多功能表A、B相之间电压采样电路等效阻抗  $Z_{ab}$  和A、C相之间的  $Z_{ac}$  串联后再与  $Z_{bc}$  并联在  $U_{cb}$  上,  $U_{cb} = 100\text{V}$ , 因为  $Z_{ab} = Z_{ac} = Z_{bc}$ , 所认加在表计A、B相之间的电压  $= 0.5U_{cb} = 50\text{V}$ , 多功能表第一元件输入的是  $0.5U_{cb}$ 、 $I_a$ , 第二元件输入的  $U_{bc}$ 、 $I_c$ 。

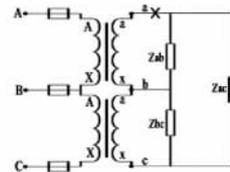


图17 TV二次A相断线接线图

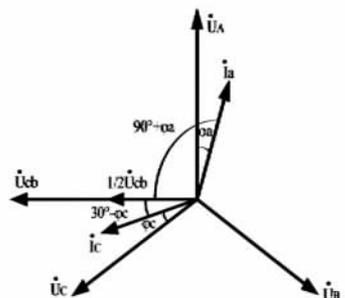


图18 TV二次A相断线有功相量图

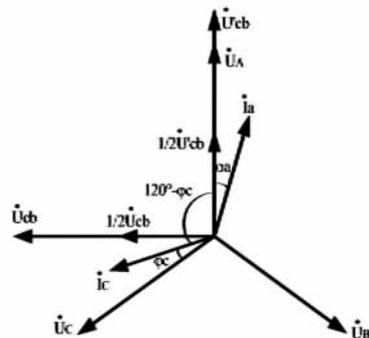


图19 TV二次A相断线无功相量图

如图18可得此时多功能电能表所计有功功率的表达式为

$$\begin{aligned}
 P_X &= \frac{1}{2}U_{cb}I_a \cos(90^\circ + \varphi) + U_{cb}I_c \cos(30^\circ - \varphi) \\
 &= UI \times \left[ \frac{1}{2}\cos(90^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi) \right] \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2}UI \cos\varphi \quad (17)
 \end{aligned}$$

$$K = \frac{P}{P_X} = \frac{\sqrt{3}UI \cos\varphi}{\frac{\sqrt{3}UI \cos\varphi}{2}} = 2 \quad (18)$$

如图19可得此时多功能电能表所计无功功率的表达式为

$$\begin{aligned}
 Q_X &= \frac{1}{2}U_{cb}I_a \cos\varphi + U_{cb}I_c \cos(120^\circ - \varphi) \\
 &= UI \left( \frac{1}{2}\cos\varphi - \frac{1}{2}\cos\varphi + \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi \right) \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2}UI \sin\varphi \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$K = \frac{Q}{Q_X} = \frac{\sqrt{3}UI \sin\varphi}{\frac{\sqrt{3}}{2}UI \sin\varphi} = 2 \quad (20)$$

### 3.2.2 TV 二次 B 相断线

在此故障情况下,二次电压回路的电路如图20所示,此时多功能表A、B相之间电压采样电路等效阻抗 $Z_{ab}$ 和B、C相之间的 $Z_{bc}$ 串联后再接在A、C相之间, $U_{ab} = 100\text{V}$ ,因为 $Z_{ab} = Z_{bc}$ , $U_{ab} = 0.5U_{ac} = 50\text{V}$ , $U_{cb} = 0.5U_{ca} = 50\text{V}$ ,多功能表第一元件输入的是 $0.5U_{ac}$ 、 $I_a$ ,第二元件输入的 $0.5U_{ca}$ 、 $I_c$ 。

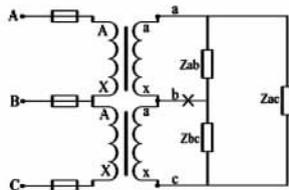


图20 TV 二次 B 相断线后接线图

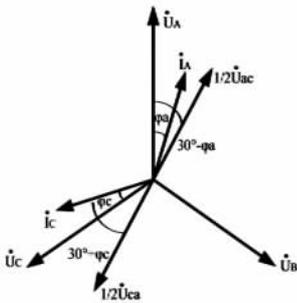


图21 TV 二次 B 相断线后有功相量图

如图21可得此时多功能电能表所计有功功率

的表达式为

$$\begin{aligned}
 P_X &= \frac{1}{2}U_{ac}I_a \cos(30^\circ - \varphi) + \frac{1}{2}U_{ca}I_c \cos(30^\circ + \varphi) \\
 &= \frac{1}{2}UI \times [\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)] \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2}UI \cos\varphi \quad (21)
 \end{aligned}$$

$$K = \frac{P}{P_X} = \frac{\sqrt{3}UI \cos\varphi}{\frac{\sqrt{3}UI \cos\varphi}{2}} = 2 \quad (22)$$

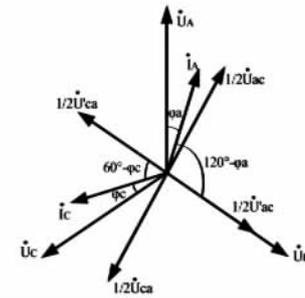


图22 TV 二次 B 相断线后无功相量图

如图22可得此时多功能电能表所计无功功率的表达式为

$$\begin{aligned}
 Q_X &= \frac{1}{2}U_{ac}I_a \cos(120^\circ - \varphi) + \frac{1}{2}U_{ca}I_c \cos(60^\circ - \varphi) \\
 &= \frac{1}{2}UI \times [\cos(120^\circ - \varphi) + \cos(60^\circ - \varphi)] \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2}UI \sin\varphi \quad (23)
 \end{aligned}$$

$$K = \frac{Q}{Q_X} = \frac{\sqrt{3}UI \sin\varphi}{\frac{\sqrt{3}}{2}UI \sin\varphi} = 2 \quad (24)$$

### 3.2.3 TV 二次 C 相断线

在此故障情况下,二次电压回路的电路如图23所示,此时电表B、C相之间等效阻抗 $Z_{bc}$ 和A、C相之间的 $Z_{ac}$ 串联后再与A、B相之间的 $Z_{ab}$ 并联在 $U_{ab}$ 上, $U_{ab} = 100\text{V}$ ,因为 $Z_{ab} = Z_{ac} = Z_{bc}$ ,所认加在表计C、B相之间的电压为 $0.5U_{ab} = 50\text{V}$ ,多功能表第一元件输入的是 $U_{ab}$ 、 $I_a$ ,第二元件输入的 $0.5U_{ab}$ 、 $I_c$ 。

如图24可得此时多功能电能表所计有功功率的表达式为

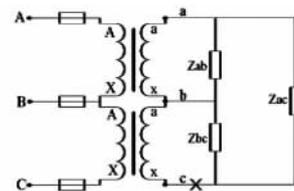


图23 TV 二次 C 相断线接线图

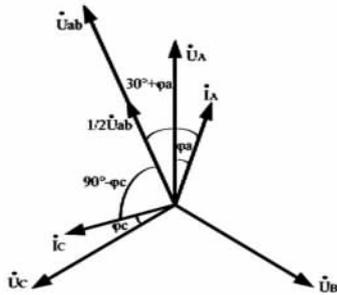


图 24 TV 二次 C 相断线有功相量图

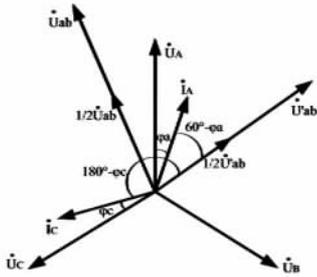


图 25 TV 二次 C 相断线无功相量图

$$\begin{aligned}
 p_x &= U_{ab} I_a \cos(30^\circ + \varphi) + \frac{1}{2} U_{ab} I_c \cos(90^\circ - \varphi) \\
 &= UI \times [\cos(30^\circ + \varphi) + \frac{1}{2} \cos(90^\circ - \varphi)] \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2} UI \cos \varphi
 \end{aligned} \tag{25}$$

$$K = \frac{p}{p_x} = \frac{\sqrt{3} UI \cos \varphi}{\frac{\sqrt{3} UI \cos \varphi}{2}} = 2 \tag{26}$$

如图 25 可得此时多功能电能表所计有功功率的表达式为

$$\begin{aligned}
 Q_x &= U_{ab} I_a \cos(60^\circ - \varphi) + \frac{1}{2} U_{ab} I_c \cos(180^\circ - \varphi) \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2} UI \sin \varphi
 \end{aligned} \tag{27}$$

$$K = \frac{Q}{Q_x} = \frac{\sqrt{3} UI \sin \varphi}{\frac{\sqrt{3} UI \sin \varphi}{2}} = 2 \tag{28}$$

#### 4 综合分析及结论

根据上述分析计算,可总结得出三相三线多功能表在各类电压断线的情况下的更正系数  $K$  值。

从表 1 可以看出当三相三线多功能电表发生失压故障后,在计算其差错电量更正系数  $K$  值时,应弄清其故障断线点的位置,判断其失压是发生在 TV 的一次侧或二次侧后,再计算出其  $K$  值。通过多功

表 1 三相三线多功能表失压时有功、无功更正系数  $K$  值

	有功 $K$ 值	无功 $K$ 值
TV 一次侧 A 相断线	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \operatorname{tg}\varphi}$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \operatorname{ctg}\varphi}$
TV 一次侧 B 相断线	2	2
TV 一次侧 C 相断线	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \operatorname{tg}\varphi}$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \operatorname{ctg}\varphi}$
TV 二次侧 A 相断线	2	2
TV 二次侧 B 相断线	2	2
TV 二次侧 C 相断线	2	2

能电表与机械式感应系电能表在失压情况下更正系数计算的比较,可得出以下结论。

(1) 当断线点发生在电压互感器一次侧时,其有功电量更正系数与机械式感应系有功表一样。

(2) 当断线点发生在电压互感器二次侧时,因三相三线多功能表内部多一个电压线圈的原因,会使失压相的元件仍然会因其他相电压而工作,所以此时计算差错电量时若仍按传统式算法将会出现很大偏差。经过计算可知:当多功能电能表在 TV 二次侧发生失压时,其有功、无功差错电量更正系数  $K$  值均为 2。

(3) 无功更正系数的计算因其三相三线多功能表无功计量原理与内相角为  $60^\circ$  的三线三相无功表计量原理的不同,更不能沿用传统的  $K$  值算法,应根据具体情况进行计算。

#### 5 结 语

随着三相三线多功能电能表的大面积使用,如何正确地计算其在失压时的退补电量工作已经显得非常重要,将在电能计量工作多年的经验总结出来,希望能对电力企业电能计量及用电检查人员在面对这些问题的时候,提供一定的帮助和借鉴。而实际工作中要求只有以更加严谨的工作态度和科学的工作方法才能保证电能计量工作的公平、公正,在维护供用电双方合法权益的同时,树立供电企业严谨科学的工作作风和优质服务的良好形象,实现经济效益和社会效益的双赢。

#### 参考文献

[1] 韩玉. 电能计量[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.  
[2] 康广庸. 电能计量装置故障接线分析模拟与检测[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

(收稿日期: 2012-06-11)