

# 电能计量装置故障分析与差错电量计算

万忠兵

(广安电业局 四川 广安 638000)

摘要:根据现场实测一例 10 kV 高压三相三线电能计量装置的误接线数据,通过分析其错误接线方式,归纳实际的错误接线分析方法,并求出无需具体功率因数值的更正电量,使差错电量的计算更加准确。

关键词:电能计量装置;错误接线分析;功率因数;电量计算

Abstract: Based on the data of faulty wiring of a 10 kV HV three-phase three-wire electrical energy metering device measured in the field, the analysis methods of faulty wiring are summed up by analyzing the faulty wiring, and the corrective quantity of electricity is calculated without specific power factor, which makes the calculation of error quantity of electricity more accurate.

Key words: electrical energy metering device; faulty wiring analysis; power factor; electricity quantity calculation

中图分类号:TM933 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2012)01-0031-03

## 0 引言

电能计量装置是供用双方进行贸易结算的依据,由电能表、计量用电压、电流互感器及其二次回路、电能计量柜等构成。电能计量装置接线正确、装置本身误差合格是电能计量装置实现准确计量的两个必要条件。电能计量装置本身误差经检定后方可投入使用,在运行过程中由误差引起的计量差错较少,影响电量也较小。电能计量装置接线错误引起的电量差错较大,需对故障及时分析处理,并准确退补差错电量。下面以一例 10 kV 高压三相三线计量的大客户计量装置错误接线为例,总结计量差错分析方法,准确计算不用具体功率因数的故障期间正确电量。

## 1 计量差错实例

广安市一施工用电负荷,采用 10 kV 供电,安装有两台 500 kVA 变压器,两台变压器并列方式运行,计量点分别设置在两台变压器高压侧,采用三相两元件高压组合互感器方式计量,其接线方式与计量方式如图 1。

低压无功是两套无功集中自动补偿,补偿屏上显示为滞后 0.98 ~ 1.0。

## 2 故障分析

### 2.1 相量图绘制

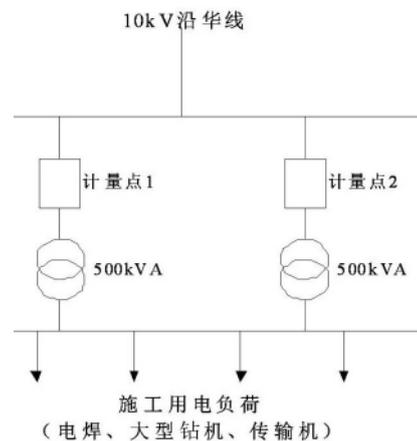


图1 客户主接线与计量点设置图  
根据测试数据分析,画出两个计量点的相量图如下。

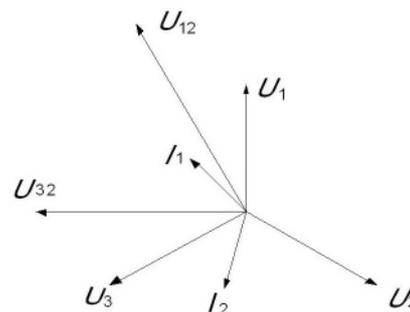


图2 计量点1相量图

### 2.2 故障接线情况分析

根据已知条件,计量点采用组合互感器计量,电

表1 2011年4月25日现场检测两计量点数据

计量点	$U_{12}/V$	$U_{32}/V$	$I_1/A$	$I_2/A$	$U_{12} \wedge I_1$	$U_{32} \wedge I_2$	$U_{12} \wedge U_{32}$
计量点1	103.49	103.88	1.21	1.22	342.5°	283.4°	300.5°
计量点2	102.89	103.11	1.20	1.22	45.2°	345.8°	300.2°

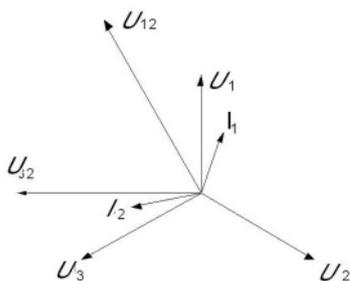


图3 计量点2相量图

压幅值正常,电压不存在极性接反的情况,负载性质为感性,分析两计量点的相量图,初步判定计量点1相量图异常,计量点2相量图正常。

由于该用户采用两台变压器并列运行方式,由于变压器型号、规格、参数均相同,低压侧采用单母线的接线方式,两台计量装置计量的功率应基本相同,电流、电压的相位、幅值应基本相同。

由于负载的性质为感性,  $\cos\Phi = 0.98$  左右,电流应滞后相电压  $14^\circ$  左右,计量点1的相量图中,两相电流均不满足以上条件,初步分析为电流极性接反。根据以上假定,绘出两相电流均接反的相量图如图4。

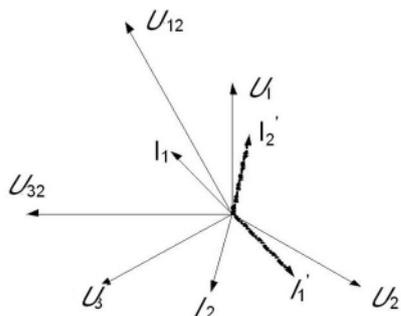


图4 电流极性反接相量图

从上图中可以看出  $I_1'$  滞后  $U_2$  约  $15^\circ$  左右,  $I_2'$  滞后  $U_1$  约  $15^\circ$  左右,满足负载为感性约  $15^\circ$  的条件。由于计量点采用三相两元件的计量方式,  $I_1'$  与  $U_2$  为同相电流电压,  $I_2'$  与  $U_1$  为同相电流电压,  $U_3$  无电流,故确定  $U_3$  为 V 相电压。由于已知测试的相序为正相序,  $U_3$  为 V 相电压,则电压的接入顺序为 WUV。根据  $I_1'$  与  $U_2$  为同相电流电压,可以确定第一元件为 U 相电流反相接入。同理,可以确定第二元件为 W 相电流反相接入。

根据上述分析,绘制出故障情况下对应的相量图

如图5。

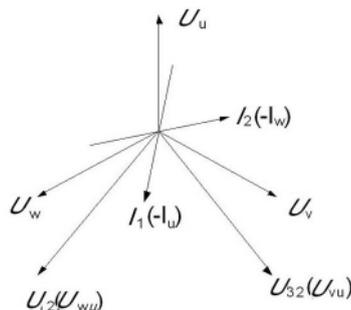


图5 错误接线相量图

### 2.3 相量图分析方法小结

相量图分析法是用现场实测的三相电压电流相量图中各相电压电流的相序、相位关系,以及已知的电力负荷性质,分析判定电能表实际接线方式的方法。结合以上实例分析,三相三线电能表接线相量分析方法主要有以下步骤。

#### 2.3.1 电能表回路参数测试

①电压:应测试电能表的三个线电压,判定电压是否正常,有无失压或反极性。

②电流:应测试电能表两个元件的电流,判定电流是否正常,有无分流或断相。

③相位角:应测试第一元件电压、电流,第二元件电压、电流的相位关系。为了确定相序,还需要测试第一元件电压与第二元件电流(也可以选第二元件电压对第一元件电流)的相位关系,通过同一电流对两个元件电压的相位差,判定电能表电压的接入相序。当第一元件电压与第二元件电流的相位角减去第二元件电压与第二元件电流的相位角等于  $300^\circ$  时为正相序,等于  $60^\circ$  时为逆相序。

#### 2.3.2 相量图绘制

①绘制基准电压相量图:根据电压极性不反的正相序和逆相序的6种电压接入情况,加在元件上的电压相量始终位于两个相电压的相量之间,其基准电压相量图如下。

正相序基准电压相量图如图6,无论电压是按UVW、VWU、WUV相序接入,均可按图6画出准电压相量图。

逆相序基准电压相量图如图7,无论电压是按

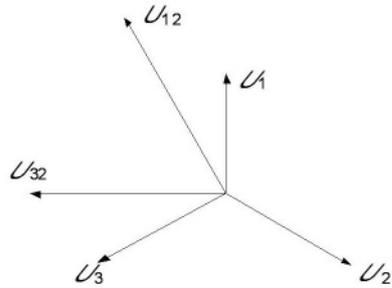


图6 正相序基准电压相量图

UVV、VUV、WVU 相序接入,均可按图7画出基准电压相量图。

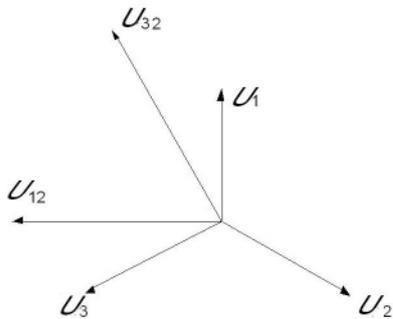


图7 正相序基准电压相量图

②绘制电流相位图:根据现场实测的各元件的电流与电压的相位关系,在正相序或逆相序基准电压相量图上绘制出电流、电压的相量图。相量图绘制时,应以各元件的电压为基准,顺时针方向旋转至相应的角度,并标注相应的元件编号。

### 2.3.3 故障情况分析

由于中性点绝缘系统采用三相两元件的计量方式,无V相电流,根据已知的功率因数性质,电流与同相电压应符合已知的功率因数角度的要求,由此可以确定无电流相为V相电压。V相确定后,根据已知的相序,可以确定其他相电压的接入情况。根据电流电压的相位关系,即可确定电流的接入情况。

## 3 差错电量计算

通过对故障情况的分析,可由误接线时功率计算表达式和正确接线时功率计算表达式求得更正系数,通过更正数即可求出差错电量。但更正系数中均有功率因数角相关的函数参数,用户的功率因数是随着负荷变化而变化,不是一个恒定值,从而使更正系数有一定的误差,计算出的电量与实际消耗电量存在差别。

高供高计电能计量装置能同时计量有功电能和无功电能,在计量装置误接线时,有功电能和无功电能同时出现计量差错,可以根据有功电能误接线时功率计算表达式和无功电能误接线时功率计算表达式以及有功电能、无功电能读数求得较准确的实际消耗电量,计量过程中约去功率因数,从而消除功率因数带来的误差影响。

由更正系数的定义和功率三角形可推出以下公式。

$$G_P = P_{正} / P_{误} = W_{P正} / W_{P误} \quad (1)$$

$$G_Q = Q_{正} / Q_{误} = W_{Q正} / W_{Q误} \quad (2)$$

$$\text{tg}\varphi = Q_{正} / P_{正} = W_{Q正} / W_{P正} \quad (3)$$

上述故障情况中,电压接入顺序为WUV,第一元件为U相电流反相接入,第二元件为W相电流反相接入。错误接线的功率表达式为

$$P_{误} = U_{wu} I_u \cos(330^\circ + \Phi) + U_{uw} I_w \cos(270^\circ + \Phi) \\ = 1/2 UI \cos(\sqrt{3} \cos\varphi + 3 \sin\varphi) \quad (4)$$

$$P_{正} = U_{uv} I_u \cos(30^\circ + \Phi) + U_{vw} I_w \cos(30^\circ - \Phi) \\ = \sqrt{3} UI \cos\varphi \quad (5)$$

更正系数为

$$G_P = P_{正} / P_{误} = \sqrt{3} UI \cos\varphi / (1/2 UI \cos(\sqrt{3} \cos\varphi + 3 \sin\varphi)) = \frac{2}{1 + \sqrt{3} \text{tg}\varphi} \quad (6)$$

无功电能由电压滞后90°获得,则由相量图可知

$$Q_{误} = U_{wu} I_u \cos(240^\circ + \varphi) + U_{vw} I_w \cos(180^\circ + \varphi) \\ = 1/2 UI \cos(\sqrt{3} \sin\varphi - 3 \cos\varphi) \quad (7)$$

$$Q_{正} = U_{uv} I_u \cos(60^\circ - \Phi) + U_{vw} I_w \cos(120^\circ - \Phi) \\ = \sqrt{3} UI \sin\varphi \quad (8)$$

更正系数为

$$G_Q = Q_{正} / Q_{误} = \sqrt{3} UI \sin\varphi / (1/2 UI \cos(\sqrt{3} \sin\varphi - 3 \cos\varphi)) = \frac{2}{1 - \sqrt{3} \text{ctg}\varphi} \quad (9)$$

将式(1)代入式(6)得

$$W_{P正} / W_{P误} = \frac{2}{1 - \sqrt{3} \text{tg}\varphi} \quad (10)$$

将式(3)代入式(10)得

$$W_{P正} = 2 W_{P误} - \sqrt{3} W_{Q正} \quad (11)$$

将式(2)代入式(9)得

$$W_{Q正} / W_{Q误} = \frac{2}{1 - \sqrt{3} \text{ctg}\varphi} \quad (12)$$

(下转第56页)

数据带回模型的约束条件中,将使计算结果更趋合理。

(3) 锦屏1、2级电站总共有14台大容量机组,调节范围大,运行方式灵活,在出力分配上应结合机组的效率区和振动区,结合水库水位控制及来水情况,科学优化分配机组负荷,降低耗水率。

(4) 实际运行中,同级电站的各机组效率不可能完全相同,若据实际情况带入各机组效率,让效率高的机组优先带负荷运行,也能使模型得到优化。

(5) 在事故情况或调度要求紧急调频情况下,可优先将负荷分配给2级机组短时运行,发挥2级的日调节库容的作用。

该部分主要提出了锦屏电站总负荷在1、2级站内机组分配的一种计算模型,使之能计算出各机组的最优负荷分配,并提出了对计算模型的改进意见,以期能在站内AGC的原理设计中起到一定的参考作用。

## 2 结 语

做好锦屏电站投运后枯期运行分析对保证电力系统安全和在满足系统各项指标的前提下最大程度节约水资源,从而充分发挥电站效益有着非常重要的意义。仅在一定条件下做了研究尝试。电站投产后枯期运行时锦屏1、2级电站负荷不统一安排情况下的优化调度等问题还需实际验证分析。

### 参考文献

- [1] 田开华,王旭东.二滩水电站枯水期经济运行及改善方法探讨[J].水电站机电技术,2005,28(5):54-55.
- [2] 孟祥萍,高嫵.电力系统分析[M].北京:高等教育出版社,2004.

(收稿日期:2011-10-17)

(上接第33页)

将式(3)代入式(12)得

$$W_{Q正} = 2W_{Q误} + \sqrt{3}W_{P正} \quad (13)$$

将式(11)和式(13)联合求解得

$$W_{P正} = W_{P误}/2 - \sqrt{3}W_{Q误}/2 \quad (14)$$

$$W_{Q正} = W_{Q误}/2 + \sqrt{3}W_{P误}/2 \quad (15)$$

由于错误接线情况下的有功电能和无功电能可以根据实际抄见电量计算,正确电量即可根据抄见有功和无功电量计算得出,消除了功率因数不恒定的影响,保证差错电量计算的准确性。

若按计量点2记录的加权平均功率因素0.92值代入更正系数计算故障期间的正确电量为

$$\begin{aligned} W_{P正} &= G_P \times W_{P误} \\ &= \frac{2}{1 - \sqrt{3}\text{tg}\varphi} \times W_{P误} \\ &= 251\,488 \text{ kWh} \\ W_{Q正} &= G_P \times W_{Q误} \\ &= \frac{2}{1 - \sqrt{3}\text{ctg}\varphi} \times W_{Q误} \\ &= 55\,162 \text{ kvar} \end{aligned}$$

用上述计算出的电量反推回去计算该线路的损耗为3.79%,与全年累计线损损率3.12%相差较大。

按错误计量期间的实际计量的有功电量和无功电量计算故障期间的正确电量为

$$\begin{aligned} W_{P正} &= W_{P误}/2 - \sqrt{3}W_{Q误}/2 \\ &= 267\,485 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{Q正} &= W_{Q误}/2 + \sqrt{3}W_{P误}/2 \\ &= 43\,744 \text{ kvar} \end{aligned}$$

用上述计算出的电量反推回去计算该线路的损耗为3.20%,与全年累计线损损率3.12%非常接近,故此方法计算值更接近实际值。

## 4 结 语

通过对10 kV高压三相三线计量装置现场测试电流、电压、相位的测试数据,采用相量图分析方法,可以确定计量装置接线的接入情况,并可推算出故障情况下的差错更正系数。通过更正系数的公式代换计算,采用故障期间的错误有功电量和无功电量计算出故障期间的正确有功电量和无功电量,减少了由于功率因数不恒定带来的电量计算影响,电量的计算更加准确。

### 参考文献

- [1] 鲍卫东.电能计量装置接线差错时电量计算方法探讨[J].电测与仪表,2007,44(6):26-30,23.
- [2] 孟凡利,祝素云,李红艳.运行中电能计量装置错误接线检测与分析[M].北京:中国电力出版社,2006.

(收稿日期:2011-11-07)