

# 电压回路异常的快速检查处理方法

杨先义, 王华

(成都电业局生技部, 四川 成都 610021)

**摘要:** 分析变电站电压回路异常的常见故障类型, 总结出了快速查找电压回路异常故障原因的方法, 通过分析电压数据特征可快速判断出故障点。其中线电压是否对称是 PT 断线与单相接地的判断标志, 而零序电压有无与否是一次断线与二次断线的判断标志, 接地相电压值的降低程度是系统单相接地与绝缘降低的判断标志。

**关键词:** 电压回路; 异常; 断线; 绝缘; 判断方法

## A method for quick locating the defects in voltage circuit

YANG Xian-yi, WANG Hua

(Production Technology Department of Chengdu Electric Power Bureau, Chengdu 610021, China)

**Abstract:** This paper analyses the familiar faults of voltage circuit in substation and proposes a method for quick locating the defects of voltage circuit through analyzing the characteristic of voltage data. The unbalanced line voltage is the indication of PT disconnection and single phase to ground fault. Whether there is zero sequence current is the indication of primary and secondary disconnection. The drop magnitude of earthing phase voltage is the indication of single phase to ground fault and insulation deterioration.

**Key words:** voltage circuit; defects; disconnection; insulation; judgement method

中图分类号: TM77; TM645.2 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)09-0103-03

## 0 引言

变电站电压回路异常, 究其可能原因, 最常见的有几种: 小电流系统发生单相接地、小电流系统绝缘降低、电压互感器二次断线、电压互感器一次断线、测控故障。变电站运行中, 时有运行人员因为电压回路异常而不知故障何在。如何快速而准确地判断出电压回路异常的故障点呢?

## 1 电压互感器二次接线分析

要想搞清楚电压回路异常的原因, 首先要搞清楚电压互感器的二次接线。

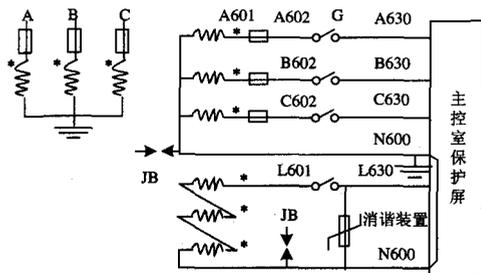


图1 10 kV 三元件 PT 接线方式

Fig.1 Connection of three 10 kV elements

电压互感器有三元件和四元件接线方式之分。三元件接线方式应用较为普遍, 35 kV 以下的一部分和 110 kV 以上电压等级的所有电压互感器都采用三元件接线方式。所谓三元件接线方式, 就是指一次设备上共装设有三只电压互感器元件的, 而四元件方式则是指一次设备上共装设有四只电压互感器元件的。

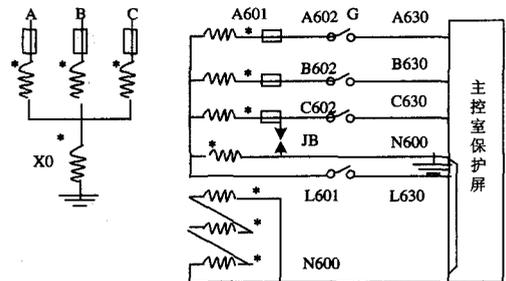


图2 10 kV 四元件 PT 接线方式

Fig.2 Connection of four 10 kV elements

应用于 35 kV 以下电压等级时, 为了实现消除铁磁谐振, 三元件方式通常采用两种消谐方式: 1) 二次消谐; 2) 一次消谐。前者通过在电压互感器二次开口三角绕组上加装消谐器 (阻尼电阻) 的方式

来实现消谐，后者通过在电压互感器一次星形点与接地之间串接阻尼电阻的方式来实现。图1为三元件PT二次接线示意图。

四元件接线方式的电压互感器通过二次接线来实现消谐，即二次开口三角绕组并非接成开口三角形，而通过接成闭口三角形的方式来实现消谐。图2为四元件PT二次接线示意图。

### 2 各种电压回路异常的分析

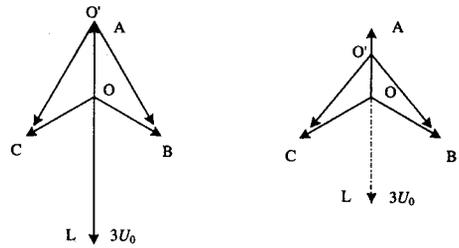
当运行中发生电压异常时，首先要排除测控故障的因素。现在变电站通常已实现综合自动化和无人值班，运行人员与变电站的监测互动是通过监控后台机来实现的。如果运行中发现某电压等级电压数据异常，其表征通常先由监控后台机的遥测越限来予以反应。此时远在数十里路之外的变电站究竟是否PT确实输出电压值异常，还是仅仅只是某个测控单元故障而引起遥测数据异常，为避免浪费不必要的人力和时间，我们可先行作简单的检查判断。

首先我们先来分析一下电压遥测值是如何采集进入监控系统的：1) PT二次绕组输出电压；2) 通过二次电缆和回路连接进入各相关保护装置和测控单元；3) 测控单元通过综自系统通讯，在监控后台机上显示相关电压遥测值；4) 微机保护通过通讯口与综自系统联系，在监控后台机保护界面上可调显保护测量值。

因此，如果要排除测控故障的因素，可以通过其他设备相互佐证的办法。即可以检查其他接有相同电压的测控装置的电压遥测数据与后台机上电压监视点（通常显示在“潮流表”上）所显示数据是否一致，或通过微机保护界面上调取相同电压等级的微机保护测量值来进行核对。与微机保护测量值进行核对时，应注意微机保护测量值所显示数据为二次值，而监控后台机潮流表上所显示的电压为一次值，两者之间应存在PT的变比关系。如果其他测控装置或微机保护装置显示的电压值与所监视的电压测点遥测数据相符，则说明此时PT二次绕组电压输出确实有异于正常值，否则可判断为测控装置故障。

在确定了电压遥测数据的真实性后，接下来，就需要判别故障原因了。如何区分可能发生的小电流系统发生单相接地、小电流系统绝缘降低、PT二次断线、PT一次断线、铁磁谐振呢？首先我们先来分析这几种异常运行现象的不同电气特征表现。

#### 2.1 小电流系统单相接地



(a)小电流系统A相接地电压向量图 (b)小电流系统A相绝缘降低电压向量图  
图3 小电流系统接地和绝缘降低电压向量分析

(a) A相接地电压向量图 (b) A相绝缘降低电压向量图  
图3 小电流系统接地和绝缘降低电压向量分析

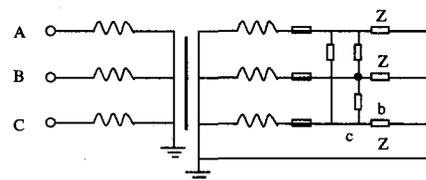
Fig.3 Vector analysis of small current to ground and insulation deterioration

我国 35 kV 及以下电压系统普遍采用小电流接地方式。当小电流接地系统发生单相金属性接地后，系统中性点发生位移，接地相电压降为零，健全相升高 $\sqrt{3}$ 倍，线电压保持对称，零序电压产生， $3U_0$ 根据电压互感器的接线方式不同而有所不同：1)对于三元件PT接线，单相接地时 $3U_0$ 输出 100 V；2)对于四元件PT接线，单相接地时 $3U_0$ 输出 57.7 V。

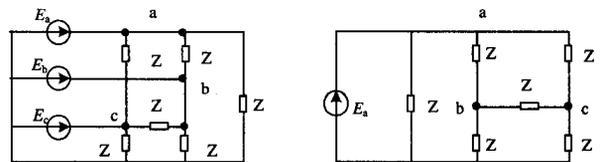
#### 2.2 小电流系统绝缘降低

当雨雾潮湿等原因引起小电流系统绝缘降低时，系统中性点发生位移至 $o'$ 点（即OA点之间），绝缘相电压降低而不为零（值为 $U_{o'A}$ ），健全相升高而未达 $\sqrt{3}$ 倍相电压（值为 $U_{o'B}$ 与 $U_{o'C}$ ），线电压保持对称，零序电压产生（三元件PT低于 100 V，四元件PT低于 57.7 V，即 $U_{o'L}$ ）。

#### 2.3 PT二次断线



(a) 电压互感器二次带负载接线图



(b)C相熔断器熔断等值电路 (c)B、C相熔断器熔断等值电路

图4 电压互感器接线图和等值电路图

Fig.4 The connection and equivalent circuit of voltage transformer

当PT二次断线时，断线相电压并不一定等于零。断线相电压降低（28~57 V之间），健全相电压

保持不变, 涉及断线相的线电压降低, 没有零序电压。

论证如图 4 所示, 系统正常运行时, 电压互感器二次额定电压为: 相电压 57.7 V, 线电压 100 V, 三相对称角度互差 120°。当电压互感器发生单相或两相断线后, 二次设备感受到的三相电压和线电压都将发生改变。在假设 PT 三相负载对称平衡的情况下, 图 4 画出了 C 相及 B、C 相熔断器熔断时的等值电路。其中,  $E_a=100/\sqrt{3} \angle 0^\circ \text{ V}$ ,  $E_b=100/\sqrt{3} \angle -120^\circ \text{ V}$ ,  $E_c=100/\sqrt{3} \angle 120^\circ \text{ V}$ 。

由图 4(b)可以得到, 当 C 相单相断线时:

$$U_a=U_b=100/\sqrt{3} \text{ (V)}, U_c \approx (100/\sqrt{3}) \times 0.5 \approx 28.85\text{(V)}$$

$$U_{ab}=100\text{(V)}, U_{bc}=U_{ca}=100/2=50\text{(V)}$$

由图 4(c)可以得到, 当 BC 两相断线时:

$$U_a=100/\sqrt{3} \text{ (V)}, U_b=U_c=(100/\sqrt{3}) \times 0.5 \approx$$

$$28.85\text{(V)}$$

$$U_{ab}=U_{ca}=(100/\sqrt{3}) \times 0.5 \approx 28.85\text{(V)}, U_{bc}=0\text{(V)}$$

### 2.4 PT 一次断线

当 PT 一次断相时, PT 原边无激励电压输入, 其二次绕组自然没有感应电压输出。根据电路等效原理, 此时的 PT 二次绕组在二次回路中相当于短路。如果此时 PT 二次并无断线故障发生, 则 PT 一次断线相电压输出为零, 健全相电压保持不变, 涉及断线相的线电压降低, 零序电压产生 (三元件 PT 输出 33.3 V, 四元件 PT 输出 57 V)。

## 3 电压异常的快速判断方法

综上所述, PT 二次断线、PT 一次断线、小电流系统单相接地、小电流系统绝缘降低, 其二次电气量的特征既有相似之处, 又有不同之处, 归纳如表 1。

表 1 电压回路异常的电气特征区别

Tab.1 Analyzing the characteristics of voltage data

| 序号 | 故障类型      | 电气特征                       |             |      |
|----|-----------|----------------------------|-------------|------|
|    |           | 相电压                        | 线电压         | 零序电压 |
| 1  | PT 二次断线   | 断线相电压降低                    | 涉及断线相的线电压降低 | 为 0  |
| 2  | PT 一次断线   | 断线相电压降低                    | 涉及断线相的线电压降低 | 升高   |
| 3  | 小电流系统单相接地 | 接地相为 0, 健全相升高 $\sqrt{3}$ 倍 | 保持对称不变      | 升高   |
| 4  | 小电流系统绝缘降低 | 绝缘降低相电压下降, 健全相升高           | 保持对称不变      | 略有升高 |

根据上述电气特征, 可以在电压异常缺陷发生时, 较快地进行故障类型识别。

对于 PT 二次断线故障, 要求运行或检修人员尽快找出回路开断点, 恢复二次设备的正常运行; 对于 PT 一次断线, 需要运行人员断开 PT 一次刀闸后更换高压熔断器; 对于小电流系统单相接地, 可以继续运行两个小时, 并同时采用小电流选线或点穴法等多种手段尽快查找出接地线路, 但此时绝不可进行拉开 PT 一次刀闸的操作; 而如果发生小电流系统绝缘降低, 可以视其不对称程度而采取不同的应对手段: 如果不对称程度偏大, 可以视其为单相接地, 按小电流系统单相接地查找手段予以应对, 如果不对称程度较小, 则可以加强监视继续运行, 通常当雨过天晴或风起雾散, 小电流系统绝缘降低故障一般都会自动消失。

此外, 当 10 kV 母线空载运行时还常发生一种虚假接地现象, 此时故障现象与小电流系统绝缘降低电气量特征完全一致, 但究其原因却是因为 10 kV 母线空载运行时三相导线对地等效电容不相等而导致

中性点位移。此时只要令母线带上一定的负载即可令故障现象消除, 如合上一路电容器或送出一条馈线。

当运行中发生电压断线后, 首先应判断确定电压回路异常的发生范围, 如果只是某一保护装置发生电压异常, 则故障点应在该保护装置上或装置至电压小母线的连接回路上。如果发生的是某一段 PT 二次电压连接的所有设备均电压异常, 则故障应在电压互感器端子箱之前或电压小母线上。

当判断故障现象为 PT 二次断线后, 可重点检查以下部分:

- a) PT 端子箱交流空开是否跳闸或二次保险熔断;
- b) PT 刀闸辅助触点是否接触不良或切换不到位;
- c) 对于用 PT 刀闸位置重动继电器代替刀闸辅助触点进行电压切换的, 应检查位置继电器线圈是否断线或继电器触点是否正常重动;

(下转第 108 页 continued on page 108)

目前大量新建厂站仅采用光纤通信,未考虑载波通信方式,且线路保护均采用电流差动保护,租用电信的电路无法满足继电保护需求。为提高通信可靠性,受灾的两端变电站可通过地理光缆与当地的电信部门连接,紧急情况下通过租用电信的纤芯,利用电网的通信设备恢复通信,以满足继电保护、调度电话和调度自动化的业务需求。采用这种方式充分利用了地理光缆的抗灾优势以及公网资源,既可解决继电保护的问题,又可以最大限度满足其他专业需求。

### 2.4 改进光纤电流差动保护

部分位于冰区的运行厂站由于无法新增载波通道或增加地理光缆,可以考虑在光纤电流差动保护中增加高频距离功能,提高继电保护自身的通道适应能力,降低对通道的技术要求。一旦光纤通道中断,通过租用电信的电路以恢复通道,线路保护工作在高频距离模式。

各主流继电保护厂家均能够开发相应的装置,目前已准备通过相关试验进行验证,并挂网试运行。

### 3 结束语

继电保护利用通道实现其快速性,而高压电网的安全稳定也越来越依赖于继电保护的快速动作。受灾害天气的影响,继电保护面临各种复杂故障的考验,保护通道的中断将使继电保护面临更大的压力。此次冰灾暴露出的保护通道不够健壮、保护专

用收发信机可靠性低等问题对继电保护提出更高的要求。然而,冰灾也指引了今后的方向,通过强化继电保护自身的通道配置、改进继电保护原理以及改进收发信机原理等手段进一步加强继电保护对灾害天气的适应性;通过与通信部门合作,重新审视复用载波的作用、健全光纤通信网络等手段加强继电保护的通道,确保在任何情况下继电保护有通道可用。

### 参考文献

[1] 赵曼勇,周红阳,余江,等. 光纤电流差动保护在应对冰灾期间采用公用通信网通道的改进措施[J]. 南方电网技术, 2008, 2(2): 27-30.  
ZHAO Man-yong, ZHOU Hong-yang, YU Jiang, et al. Enhancement of Optical Fibre Line Differential Protection When Using Public Communication Network Channels During Anti-icing[J]. Southern Power System Technology, 2008,2(2): 27-30.

收稿日期: 2008-06-17

作者简介:

丁晓兵(1979-),男,工程师,从事电网继电保护运行工作;E-mail:imdx@126.com

赵曼勇(1957-),女,教高,从事电网继电保护管理工作;

周红阳(1969-),男,高工,从事电网继电保护管理工作。

(上接第 105 页 continued from page 105)

d) N600 回路是否断线从而导致相位偏移;

e) PT 切换的直流空开是否跳闸(注 LFP/RCS900 保护装置切换回路由磁钢保持,不会报断线,而无磁钢保持的保护装置将告警);

f) PT 二次电压回路电缆是否有断芯、电压小母线是否松动等。

[例]某变电站 10 kV 一段电压互感器,运行中发现该段保护设备电压均异常,在保护装置液晶面板上显示“ $U_A=58\text{ V}$ ,  $U_B=30\text{ V}$ ,  $U_C=58\text{ V}$ ,  $3U_0=0\text{ V}$ ”,如何查找出故障点?

查找思路:

1) 从保护装置采样值分析,可得知该缺陷符合 PT 二次断线电气量特征。

2) 在电压互感器端子箱,检查 B 相电压空气开关是否跳闸或保险是否熔断。用万用表交流电压 AC100V 档分别量测 B601、B602 对 N600 回路,量测结果均为 58 V。结论:空开接触良好或保险未熔断。

3) 进一步量测 B630 对 N600 回路,量测结果为 30 V。结论:PT 刀闸辅助触点 B 相 B602 至 B630

回路断开,即辅助触点接触不到位。解决办法:调整辅助触点行程,使其接触良好。

### 4 结束语

电压回路异常时,根据电压数据特征可快速判断出故障点。线电压是否对称是 PT 断线与单相接地的判断标志,而零序电压是否为零是一次断线与二次断线的判断标志,接地相电压值的降低程度是系统单相接地与绝缘降低的判断标志。

### 参考文献

[1] Alvarado F L. The Stability of Power System Markets[J]. IEEE Trans on PAS, 1999, 14(2):505-511.

收稿日期: 2008-06-19;

修回日期: 2008-07-15

作者简介:

杨先义(1973-),男,工程硕士,长期从事继电保护维护工作;E-mail: cddyj\_jbs@sohu.com

王 华(1974-),男,本科,长期从事生产技术监督管理工作。