

# 一起500 kV变电站220 kV母线电压异常事件分析

万亚玲<sup>1</sup>,刘 阳<sup>2</sup>,周 俊<sup>1</sup>,熊军辉<sup>2</sup>,周曦琨<sup>2</sup>

(1. 国网江西省电力有限公司南昌供电分公司,江西 南昌 330069;2. 国网江西省电力有限公司电力科学研究院,江西 南昌 330096)

**摘 要:**文中对一起500 kV变电站220 kV母线B相电压互感器二次电压下降为零的故障进行深入分析,在现场即对电压互感器进行电容量、介损以及电磁单元绕组绝缘电阻试验,发现电磁单元绕组对地绝缘电阻不合格;设备返厂后,开展了电磁单元油中溶解气体分析和电容式电压互感器解体检查,发现电磁单元内部存在电弧放电,刀闸刀口有明显的放电点。分析故障原因为接地刀闸的操作杆和刀闸之间通过一个紧固螺栓进行连接,该结构没有相应的防松动措施,厂内制造阶段装配存在问题导致螺栓松动,在长期运行过程中,刀闸在振动和重力的作用下,逐渐由分闸位置向合闸位置转动,最终导致互感器中压侧接地,二次电压输出为零。

**关键词:**220 kV 母线;绝缘电阻试验;电压互感器;接地刀闸;连接螺栓松动;中压侧接地

**中图分类号:**TM 451 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2026)01-0067-04

## 0 引言

500 kV 变电站作为区域网络的核心枢纽,其母线电压的二次侧异常将导致相关保护失去电压判据,极易引发保护误动或拒动<sup>[1-4]</sup>,严重威胁主网安全稳定运行。近年来,随着设备投运年限增长,电容式互感器内部隐性缺陷导致二次侧电压异常故障时有发生<sup>[5-6]</sup>,其故障原因往往具有隐蔽性和渐进性,给电网的隐患排查与状态评估带来严峻挑战。文中对一起500 kV 变电站220 kV 母线电压互感器二次侧电压降为零的故障事件进行了深入分析,通过绝缘试验、解体分析,详细阐述了电容式电压互感器(capacitor voltage transformer, CVT)内部接地刀闸这一非典型原件的故障机理与发展过程;并总结暴露出的设备设计、制造及运维环节的薄弱点,提出了具体的改进意见,以提高同类型高压互感设备的运行可靠性。

## 1 故障情况

### 1.1 事件概述

某500 kV 变电站发生电压互感器断线告警故障,检查发现220 kV 母线B相电压互感器二次电压下降为零。停电后,对母线B相电压互感器开展诊断性试验,

试验结果显示电压互感器电磁单元内部存在放电故障。

### 1.2 故障设备基本情况

220 kV 母线B相CVT设备型号为TYD220/ $\sqrt{3}$ -0.01 H,原理结构如图1所示。CVT由上下两节电容分压器及电磁单元组成,电磁单元由中压变压器、补偿电抗器、阻尼装置和避雷器组成。一次电压经电容分压器分压后,再经电磁单元降压和隔离输出二次电压。电磁单元内有接地刀闸(QE),当正常运行时,应处于“分”位,当检修试验时,将其置于“合”位,即将中压端子接地,便于对电容分压器进行试验。

如图1所示,C为电容分压器; $C_{11}$ 为下节电容分压器高压电容; $C_{12}$ 为上节电容分压器高压电容;1a、1n为二次绕组端子;da、dn为剩余电压绕组端子; $U_p$ 为一次电压; $C_2$ 为下节电容分压器中压电容; $X_L$ 为电磁单元低压端子;L为补偿电抗器;N为低压端子;A'为中压端子;T为中压变压器;D为阻尼装置;P为保护器件;QE为接地刀闸。

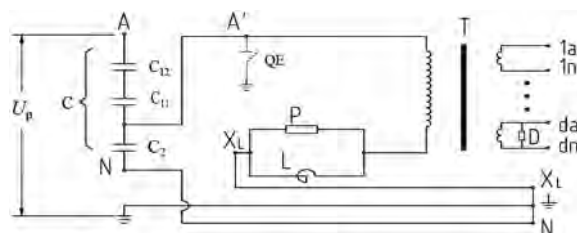


图1 CVT原理结构图

收稿日期:2025-12-10

作者简介:万亚玲(1992),女,硕士,工程师,从事供用电技术研究。

## 2 试验情况

### 2.1 绝缘试验情况

在故障现场对电压互感器进行电容量、介损以及电磁单元绕组绝缘电阻试验。电容单元电容量及介损试验未见异常,电磁单元绕组对地绝缘电阻为2.2 MΩ,表明试验不合格。

设备返厂后,进行准确度以及绕组直流电阻、绝缘电阻的试验,并对电磁单元取油,进行油中溶解气体分析。试验表明,二次直流电阻和变比数据合格,但绕组对地绝缘电阻不合格。

油中溶解气体分析结果如表1所示。油中溶解气体含量严重超标,乙炔含量超过1 500 μL/L。根据三比值法,判断电磁单元内部存在电弧放电。

根据试验情况,判断电压互感器电磁单元内部发生绝缘故障。

表1 油中溶解气体分析结果

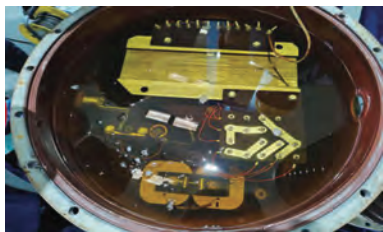
气体种类	现场取油结果	返厂取油结果
H <sub>2</sub>	1 878.21	2 026.48
CH <sub>4</sub>	1 001.52	1 557.45
CO	1 590.00	3 770.88
CO <sub>2</sub>	3 662.00	4 824.45
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2 011.15	2 481.80
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	224.44	262.61
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1 503.49	1 786.99
总烃	4 740.60	6 088.85

### 2.2 解体检查情况

对CVT进行解体,电磁单元内部未发现明显放电痕迹,中压变压器绕组外观正常,如图2所示。



a) 中压套管及引线



b) 电磁单元

图2 电磁单元外观正常

进一步检查发现,接地刀闸接近合闸位置,如图3所示;而外部操作杆处于“运行”位置,如图4所示。转动操作杆,发现操作杆和刀闸之间存在相对运动,操作杆无法控制刀闸的分合,且操作杆的运动行程超出试验-运行位置。



图3 接地刀闸处于合闸位置



图4 操作杆处于运行位置

检查刀闸,发现刀闸连接杆固定螺栓松动,在刀闸刀口发现明显的放电点,判断有放电现象,如图5所示。



a) 螺栓松动



b) 放电痕迹

图5 接地刀闸螺栓松动和放电痕迹

## 3 故障原因分析

### 3.1 试验数据分析

在电压互感器运行过程中,B相二次电压降为

零,试验数据显示,电容单元介损及电容量数据合格,二次绕组绝缘电阻试验数据合格,因此,可以排除电容单元及二次回路故障引起的二次电压异常;电磁单元油中溶解气体分析结果严重超标,根据三比值法分析为电弧放电,确认电磁单元发生绝缘放电故障;电磁单元绕组对地绝缘电阻不合格,结合油色谱结果,可以确认放电点位于电磁单元一次绕组回路。

### 3.2 故障录波分析

查阅故障录波系统,发现事件发生当天 16:55:08, B 相电压出现畸变,在电压峰值时刻,电压发生跌落,表明此时存在间歇性电弧放电,如图 6 所示;16:55:33, B 相电压进一步下降,表明此时已经发生持续性电弧放电,如图 7 所示;17:53:53, B 相电压完全降低为零,表明此时 B 相已完全金属性接地,如图 8 所示。

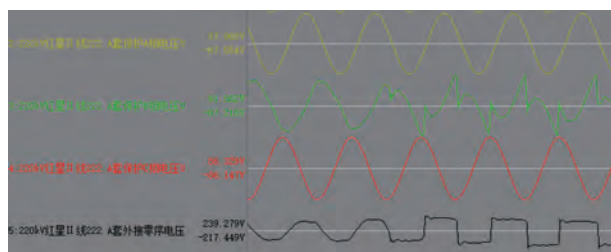


图 6 故障阶段 1(16:55:08)

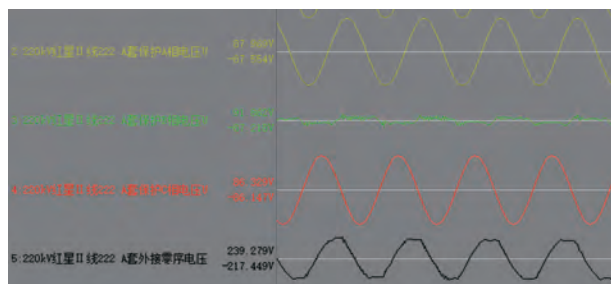


图 7 故障阶段 2(16:55:33)

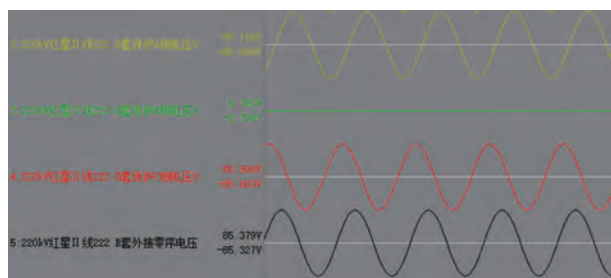


图 8 故障阶段 3(17:53:53)

根据试验结果和解体情况,可以判断 220 kV 母线 B 相电压异常的原因为:接地刀闸连接螺栓松动,经长期运行后,刀闸在振动和重力的作用下,逐

渐由分闸位置(竖直方向)向合闸位置(水平方向)转动,最终导致中压侧接地,二次电压输出为零。

### 3.3 二次电压异常原因分析

现场检查后发现,电压互感器外部操作杆处于运行位置,此时电磁单元内部一次绕组接地刀闸正常应该处于断开状态,但解体检查发现,此时接地刀闸为接地状态,且刀闸存在明显放电痕迹;电压互感器正常运行时,电磁单元一次绕组有 15 kV 的电压,若此时接地刀闸接地,则接地刀闸触头间会发生放电。

结合解体检查及故障录波系统,分析本次故障发展过程:接地刀闸在运行过程中,由于螺栓松动向接地位置靠近,在接近合闸位置时,绝缘油发生反复击穿,产生间歇性电弧放电;当接地刀闸间隙距离进一步缩短时,故障进一步发展,在间隙间发生持续性的电弧放电,电压进一步降低;最后,刀闸完全接地,二次电压输出接近为零。

### 3.3 螺栓松动原因分析

接地刀闸的操作杆和刀闸之间通过一个紧固螺栓进行连接,如图 9 所示。操作杆的连杆上有一个凹槽,依靠螺栓顶在凹槽处,形成操作杆和刀闸之间的连接,该结构没有实施相应的防松动措施。在厂内制造阶段,螺栓的装配存在问题,可能导致螺栓松动或错位,经长期运行后,振动进一步导致螺栓的松动,导致刀闸和操作杆之间发生相对转动。

图 9 接地刀闸结构拆解图



## 4 结语

1) 本次电压互感器二次电压异常原因为电磁单

元接地刀闸紧固螺栓松动,导致接地刀闸在正常运行情况下发生接地。

2) 设备厂家应采用具有防松动措施的刀闸结构,在制造过程中应使用相应力矩扳手紧固螺栓。

3) 运维单位应对相应产品重点关注,结合停电取油进行油中溶解气体测试。若发现气体超标,及时进行分析处理。检修过程中,可转动刀闸操作杆,正常情况下,操作杆行程应在“运行-试验”位置之间,若发现行程超出,应及时进行处置。

4) 加强电压互感器二次电压运行监测,发现电压异常时,应及时查明原因,必要时停电开展诊断性试验。

### 参考文献:

- [1] 张帅,肖兰,梁博,等.500 kV 变电站不同电压等级线路 PT 断线的原理分析及研究[J].电气技术与经济,2023(01):31-35,44.
- [2] 柯新,叶翰靖,魏艺君.一起 500 kV 变电站保护装置 PT 断线的故障分析与查找[J].江西电力,2023,47(01):43-45.
- [3] 刘妮娜.电压二次回路异常引起的过电压保护误动作分析与反措[J].工程建设与设计,2017(02):52-53.
- [4] 孙其寿.变电站二次系统运行维护实用技术[M].北京:中国电力出版社,2014.
- [5] 孙艳军,谢蓓敏,唐延明.500 kV 线路 PT 二次电压不平衡的原因分析[J].电力安全技术,2015,17(03):38-43.
- [6] 左亚芳.变电站二次系统典型异常级故障 100 例[M].北京:中国电力出版社,2017.

(上接第 33 页)

- [10] 邱刚,陈杰,张迺龙,等.基于 YOLOv3 和 HSV 颜色空间的绝缘子低/零值故障诊断研究[J].高压电器,2023,59(01):148-153.
- [11] 武涵聪,陈思磊,孟羽,等.基于 Chirplet 稀疏表示的大电流光伏系统微弱故障电弧检测方法[J].中国电机工程学报,2025,45(03):1148-1160.
- [12] 王琼苑,褚继峰,李秋霖,等.基于微型气体传感阵列的空气绝缘设备放电故障识别[J].电工技术学报,2023,38(23):6494-6502.
- [13] 杨正盛,刘芳.基于 LSTM 和多头注意力的气体绝缘开关柜局部放电检测框架[J].河南理工大学学报(自然科学版),2025,44(02):108-115.
- [14] 张廷荣,段承成,胡延文,等.一种用于接触网腕臂绝缘子破损大小检测的 YOLOv7-OpenCV 算法[J].铁道科学与工程学报,2025,22(04):1870-1882.
- [15] 孙新娟,杨天宇.融合注意力机制的改进型 YOLOv5 绝缘子缺陷故障检测方法[J].科学技术与工程,2024,24(17):7221-7230.

(上接第 50 页)

- [3] 王永强,胡芳芳,谢军,等.GIS 盆式绝缘子气隙缺陷下电场变化规律仿真研究[J].绝缘材料,2016,49(01):40-45.
- [4] 王浩然,郭子豪,张丝钰,等.缺陷对特高压交流盆式绝缘子电场分布的影响[J].高电压技术,2018,44(03):982-992.
- [5] 常文治,毕建刚,刘姝嫫,等.GIS 盆式绝缘子典型缺陷的电场仿真[J].高压电器,2018,54(05):138-143.
- [6] 孟庆红.不同绝缘缺陷局部放电下 SF<sub>6</sub> 分解特性与特征组分检测研究[D].重庆:重庆大学,2010.
- [7] 刘东阳,王瑶,佟维妍,等.一种降低 GIS 盆式绝缘子局部放电的方法及应用[J].绝缘材料,2025,58(01):137-144.
- [8] 刘惠龙.典型缺陷对盆式绝缘子的影响及相关检测方法研究[D].南昌:南昌大学,2024.
- [9] 黎斌.SF<sub>6</sub> 高压电器设计(第 5 版)[M].北京:机械工业出版社,2019.