

非正常回路中感应电流引起电容式电压互感器发热的研究

郭世晓,艾飞,胡巍,洪丽,林楠,张如宏

(国网浙江省电力公司杭州供电公司,浙江 杭州 310009)

摘要: 电容式电压互感器对遥测、继电保护等二次设备的正常运行和电网的安全稳定起着重要作用,运行中的电容式电压互感器如出现异常情况,应立即查明原因并及时处理,这要基于有效的故障检测、诊断和处理技术。根据一起带电检测发现的110 kV电容式电压互感器家族性缺陷,给出了缺陷现象、查找过程和最终处理措施,并从理论上分析了此家族性缺陷形成的原因,锁定了具体的发热点,确定了缺陷是由厂家安装工艺不合格造成的,理清了此类缺陷的排查和处理方法。最后,结合日常巡视、红外测温、电气试验及工作经验,对运行电容式电压互感器的故障诊断和运行维护提出了建议。

关键词: 电容式电压互感器;发热缺陷;故障诊断;红外测温

中图分类号: TM451 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)05-0082-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.05.016

Research on Overheating of Capacitive Voltage Transformer Caused by Induced Current in Abnormal Circuit

Guo Shixiao, Ai Fei, Hu Wei, Hong Li, Lin Nan, Zhang Ruhong

(Hangzhou Power Supply Corporation, State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310009, Zhejiang, China)

Abstract: The capacitive voltage transformer (CVT) is significant for the normal operation of secondary electrical equipment and reliable power systems, so it is necessary to identify the cause and maintenance timely if the running CVTs have unusual situations, which depends on effective techniques of fault detection, fault diagnosis and fault maintenance. Based on the familial fault of a 110 kV CVT which has been detected recently, the fault phenomenon, diagnosis process and final handling measures are provided, the formation reasons of the familial fault are theoretically analyzed, and then the specific heat spot is locked out. It is determined that the cause is failure of factory installation process, thus the investigating and handling methods of the similar fault are sorted out. Finally, combined with routine inspections, infrared temperature measurement, electrical test and work experiences, the references and suggestions for fault diagnosis, operation and maintenance of CVT are proposed.

Key words: capacitive voltage transformer; heat fault; fault diagnosis; infrared temperature measurement

0 引言

电容式电压互感器(capacitive voltage transformer, CVT)是利用串联电容分压原理实现电压变换的,与传统电磁式电压互感器相比,具有输出容量大、瞬变响应速度快、经济成本低、安全可靠、可兼作耦合电容器等优点。因此,中国35 kV及以上电力系统的电压测量一般采用CVT设备,电磁式电压互感器主要应用于110 kV以下的小电流接地系

统^[1-3]。电力系统采用CVT输出二次侧电压,供测量、计量和继电保护装置采样,故运行中的CVT如有缺陷,不仅会影响测量、计量的准确度,甚至可能导致保护装置误动、拒动,会严重影响电网的安全稳定运行^[4-5]。

国网杭州供电公司运行维护人员在220 kV变电站带电检测过程中发现某变电站4号主变压器110 kV CVT的A相油箱存在严重点状发热现象,在停电更换同批次备品后,发现新更换CVT的相同部位仍发热,初步判断为家族性缺陷。国网杭州供电

公司目前有上百台该厂家同类型 CVT 在运行使用,因此对此类型 CVT 进行全面红外测温排查,又发现一台有相同缺陷的运行 CVT。下面从理论上分析了此 CVT 发热的原因,给出了此类缺陷的处理措施,为变电运行维护人员和变电检修人员提供参考,避免发生同类缺陷时盲目停电,并结合实际工作经验提出了相关建议及防范措施,预防此类缺陷再次发生,确保电力系统安全稳定运行。

1 缺陷发现过程

某日,天气晴,环境温度约 10 °C 左右。运行维护人员在某 220 kV 变电站进行全站带电检测时,发现 4 号主变压器 110 kV 侧 A 相 CVT 的电磁单元油箱局部发热,达到了 24.4 °C,比 B 相和 C 相 CVT 的相同部位(12.2 °C)高出 12.2 K。根据规程 DL/T 664 - 2008 《带电设备红外测温诊断应用规范》^[6]可知,电压互感器发热现象一般为电压致热型缺陷,相对温差超过 2 K 即可构成重要缺陷。现场红外测温图谱显示的发热点位于 CVT 电磁单元处,红外测温图谱如图 1 所示。



图 1 红外测温

次日,检修人员对该 CVT 进行红外复测,测试结果和运行人员所测数据接近。DL/T 664 - 2008 《带电设备红外测温诊断应用规范》关于电压致热型设备缺陷的诊断判据规定为:温差为 2 ~ 3 K 即建议进行介损、油色谱及油中含水量测量^[6]。由于该 CVT 温差已达到 12.2 K,可判定为重要缺陷以上,因该 220 kV 变电站恰在进行 110 kV 老旧 AIS 设备改造,故检修人员决定结合该站的改造计划进行紧急处理。检修人员对留存的同型号备品 CVT

进行电气试验,各项电气试验合格。临时停役该站 4 号主变压器,更换了该缺陷 CVT,但运行 6 h 后红外测温发现,新更换 CVT 的相同部位仍发热,经查询该 CVT 与缺陷 CVT 为同批次产品,可能存在家族缺陷,后续的全面红外测温排查证实了这一点。

2 CVT 的基本原理和基本结构

CVT 的电气原理接线如图 2 所示。

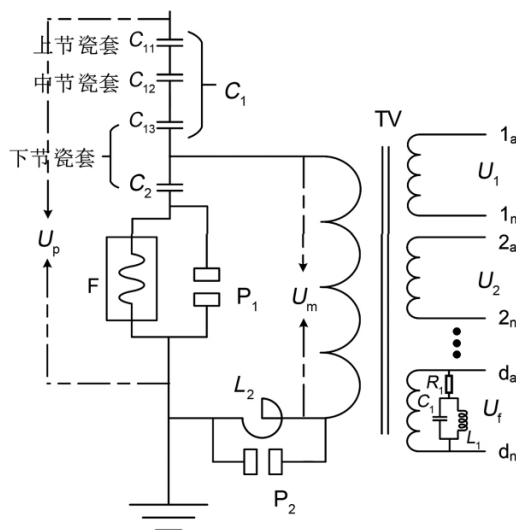


图 2 CVT 电气原理接线

CVT 由电容分压器(又分为高压电容 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} ,中压电容 C_2)、电磁单元(包括中间变压器和补偿电抗器)和辅助设施(包括阻尼器、保护装置等)组成。其中电容分压器将电力系统一次的高压(35 kV 及以上)降为中压(一般为 10 ~ 20 kV),电磁单元实现一、二次电气隔离与电压二次变换(中间变压器将中压变换为标准二次侧电压 $100/\sqrt{3}$ V 或 100 V)。从外观看, CVT 一般由 3 节瓷套和 1 个电磁单元油箱构成,高压电容 C_{11} 和 C_{12} 分别位于上、中节瓷套,高压电容 C_{13} 和中压电容 C_2 位均在下节瓷套;电磁单元和辅助设备则安装在下部电磁单元油箱中,下节瓷套和电磁单元油箱通过法兰连接^[5,7-8]。

图 2 中: C_1 为高压电容,由 C_{11} 、 C_{12} 和 C_{13} 组成; F 为结合滤波器; P_1 、 P_2 为保护装置; L_2 为补偿电抗器; Z 为阻尼器; TV 为中间变压器; $1a - 1n$ 、 $2a - 2n$ 等为中间变压器二次绕组,其输出的二次电压 U_1 、 U_2 等供给保护、计量及测量装置; $da - dn$ 为剩余绕组。

根据电容器分压原理,中压 U_m 与高压 U_p 的关系式为

$$U_m = U_p C_1 / (C_1 + C_2) \quad (1)$$

由电路基础知,式(1)只有在中压侧开路或接有高阻抗负载(如静电电压表等)时才成立,即要求运行 CVT 的二次回路带有很大负荷。对于二次回路,电容分压器相当于电压源,其内阻越小,带负载能力越高,故设计在 CVT 电容分压器中串联一电感(即补偿电抗器 L_2)。理想情况下可实现全补偿,即补偿电抗器的阻抗 Z_{12} 等于电容分压器感抗的内阻 Z_c 。

$$Z_{12} = Z_c = 1/\omega(C_1 + C_2) \quad (2)$$

实际情况需考虑角差,一般设计为过补偿,即 Z_{12} 稍大于 Z_c 。这样的设计造成 CVT 结构中同时存在电容元件和电感元件,电力系统发生扰动产生的电冲击或过电压可能导致 CVT 出现铁磁谐振现象,故 CVT 二次侧的剩余绕组均装设有阻尼器,就是利用电感 L_1 和电容 C_1 构成工频下的并联谐振回路,并与电阻 R_1 串联,吸收多次谐波的能量。

3 缺陷原因分析

该缺陷 CVT 于 2005 年 3 月生产,并于 2006 年 3 月投运,运行超 10 年。型号为 WVB2110-20H,生产编号为 133790,额定电压比为 $(110/\sqrt{3}) : (0.1/\sqrt{3}) : (0.1/\sqrt{3}) : 0.1$,绝缘介质为油浸纸,上节电容量为 28 000 pF,下节电容量为 67 000 pF。

因外观检查未发现缺陷 CVT 的其他部位存在异常,为查明该家庭性缺陷引起 CVT 电磁单元油箱发热的原因,防止同类缺陷再次发生,对更换下来的缺陷 CVT 进行了一系列的电气试验和解体分析。

绝缘电阻试验、介损及电容量试验和阻尼电阻试验均未发现异常情况。结合 CVT 红外测温检查现象及电气试验看,该缺陷 CVT 的电容部分完好(含分压电容)因此推断故障发热点位于电压互感器电磁单元。吊起电容分压器单元后,检查油箱内油位正常,油的微水测试和油色谱分析均正常,待油箱内油全部吸干后,发现电磁单元油箱内下部一只阻尼电阻的穿心螺杆与油箱内壁非正常接触,如图 3 所示。对照红外图谱,发热点的中心部位与该非正常接触部位吻合。

根据该缺陷 CVT 发热部位和电磁单元接线原理图,再结合 CVT 箱体结构图,得知穿过阻尼器饱和电抗铁芯的安装支架与箱体之间形成了一个非

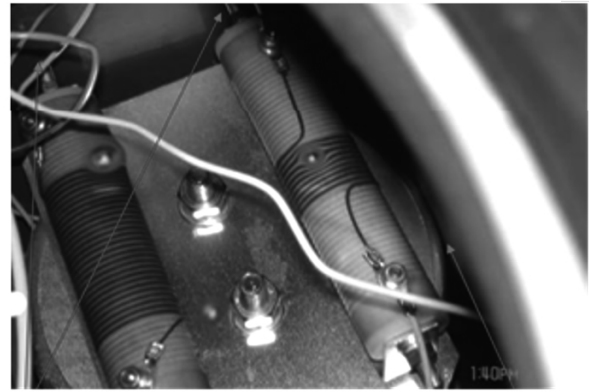


图3 电磁单元油箱解体

正常的闭合回路。阻尼器的额定工作电压为 CVT 的二次剩余绕组输出电压,即交流 100 V。根据电磁感应定律可知,电磁单元阻尼线圈中存在变化的电磁场,此非正常回路因电磁感应产生了感应电流,示意如图 4 所示。因阻尼电阻穿心螺杆与油箱内壁的接触部位电阻大,感应电流在此非正常接触点引起点状发热,原理类似于变压器铁芯多点接地造成

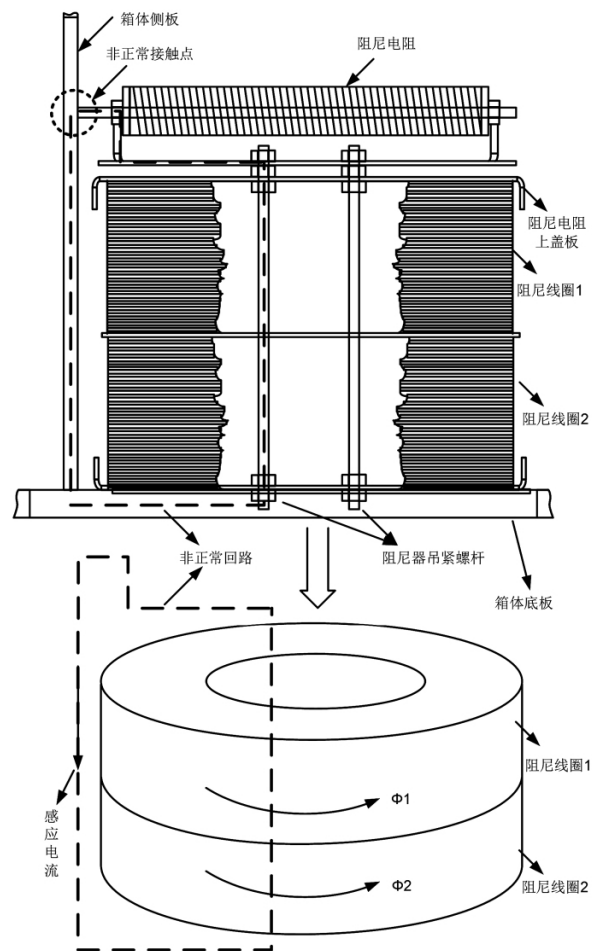


图4 感应电流产生

的环流发热^[9]。

4 缺陷处理

由上节原因分析可知,该 CVT 发热是非正常回路中感应电流引起的,属于电流致热型缺陷。根据 DL/T 664 - 2008《带电设备红外测温诊断应用规范》,电流致热型缺陷的温差不超过 15 K 均属于一般缺陷。又构成非正常回路的是螺栓、外壳等非主要元件,且经厂家试验验证,已更换下的缺陷 CVT 的输出电压、阻尼器抑制铁磁谐振的功能均正常,即该缺陷不影响 CVT 的正常运行,故暂时不再安排该 220 kV 变电站 4 号主变压器 110 kV A 相 CVT 的停电处理工作。

对已更换下的缺陷 CVT 进行维修,调整其阻尼器与电磁单元油箱内壁之间的间隙,同时在油箱内壁和阻尼器之间增加电工绝缘纸,确保运行中不出现发热。对新更换上去的备品 CVT 在停电处理前需每周对其进行红外测温跟踪,并对二次电压进行监视,发现缺陷有发展趋势或其他异常情况要及时上报。

对在运行的 2005 年及以前生产的同类 CVT 进行了全面红外测温普查并统计温度异常情况,共发现 3 台有相同缺陷的 CVT,后结合停电计划安排了现场维修。

5 结语

目前, CVT 设备的在线监测技术和带电测试技术还不太成熟,一般通过综合采取多种方法,如利用红外测温、局部放电测试、绝缘电阻测试、介损及电容测量、油样试验等各种手段发现和分析诊断 CVT 的异常情况,确定故障原因,在 CVT 缺陷发展成为事故之前及时发现并消除,确保电网完全稳定运行。

针对 CVT 设备的运行维护,结合实际工作经验,给出以下建议:

1) 为避免 CVT 的材料、备件质量及生产、装配工艺不合格导致的缺陷,电力公司应完善对电力设备厂家的评价体系,并加强对 CVT 设备厂家设计、制造阶段的全过程管控,严把设备全过程技术

监督关。

2) 加强对 CVT 二次电压及遥测数据的监视,当相关装置的测量、计量数据出现异常时,运行人员应及时发现并初步判断二次电压异常的原因,以便检修人员迅速作出应急反应,选择合适的诊断方法最终判断具体原因。

3) 积极开展运行 CVT 带电检测技术应用,如红外线测温诊断设备故障具有准确、实时、快速的特征^[10]。运行人员应通过定期对 CVT 进行红外线测温巡视,在无需停电的情况下及早发现 CVT 设备缺陷,排除事故隐患。

参考文献

- [1] 乐健,柳永妍,李琼林,等. 电容式电压互感器谐波测量误差试验技术[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(8): 108 - 113.
- [2] 彭庆华,陈龙,康文斌,等. 电容式电压互感器谐波测量误差分析[J]. 高电压技术, 2015, 3(41): 956 - 962.
- [3] 冯宇,王晓琪,陈晓明,等. 电容式电压互感器电路参数对电网谐波电压测量的影响[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(28): 4968 - 4975.
- [4] 姚建光,邹逸云,冯伟,等. 电容式电压互感器的暂态特性及其对微机继电保护装置影响的研究[J]. 高压电器, 2009, 45(4): 34 - 36.
- [5] 咸日常. 电容式电压互感器常见故障分析处理方法和预防措施[J]. 变压器, 2002, 39(5): 38 - 41.
- [6] 带电设备红外测温诊断应用规范: DL/T 664 - 2008 [S]. 2008.
- [7] 王德忠,王季梅. 电容式电压互感器误差特性的研究[J]. 高压电器, 2001, 37(1): 5 - 9.
- [8] 陈玉峰,李永宁,尹奎龙,等. 电容式电压互感器油箱过热故障分析[J]. 高压电器, 2008, 44(5): 486 - 488.
- [9] 王胜辉,律方成,李楠,等. 变压器铁心接地在线监测及限流装置[J]. 高压电器, 2008, 44(2): 156 - 164.
- [10] 何子东,付炜平,霍春燕. 红外监测诊断电容式电压互感器故障分析[J]. 高电压技术, 2008, 34(6): 1310 - 1312.

作者简介:

郭世晓(1990),硕士研究生,工程师、技师,从事变电设备的运行与维护工作,研究方向为电网安全运行与灾变控制。

(收稿日期: 2019 - 05 - 06)