

DOI: 10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2025.01.017

500 kV 电容式电压互感器异常发热原因分析及预防措施

田浩, 杨敏, 陈小龙, 冯玉坤
(国网宝鸡供电公司, 陕西 宝鸡 721200)

摘要: 电容式电压互感器作为电力系统中重要的一次设备, 将高电压转换成标准二次电压, 为保护、计量、测量装置提供电压信息。本文针对 500 kV 电容式电压互感器异常发热问题, 通过停电前红外测温 and 停电后的电容量、介损和绝缘油试验, 分析查明问题原因, 确定问题原因为内部联接片与上盖连接部位虚接后放电, 联接片在热能和电蚀的共同作用下脱落后搭接在扩张器上, 长时间的放电导致扩张器击穿, 绝缘油从上盖法兰处渗漏, 同时放电产生的热量传递到法兰引起异常发热。最后针对此类问题, 提出相应的预防措施, 确保设备安全可靠运行。

关键词: 电容式电压互感器; 异常发热; 红外检测; 联接片

Analysis on Abnormal Heating and Preventive Measures of 500 kV Capacitor Voltage Transformer

TIAN Hao, YANG Min, CHEN Xaiolong, FENG Yukun
(State Grid Baoji Power Supply Company, Shaanxi Baoji 721200, China)

Abstract: Capacitor voltage transformer, the important primary equipment of power system, transfers the high voltage into standard secondary voltage and provides voltage information for the protection, metering and measurement device. In view of abnormal heating of 500kV capacitor voltage transformer in this paper, the reason of the problem is analyzed and found by infrared temperature measurement before power off and the capacitance, dielectric loss and insulating oil test after the power off that the reason is the discharge after virtual connection between the internal connection piece and the connection position of the upper cover. The connection piece falls off under the joint action of the heat and electrical corrosion and bounds to the expander. The long term discharge causes breakdown of expander and the insulating oil leaks from the upper cover flange. At the same time, the heat generated by the discharge is transferred to the flange, leading to abnormal heat. Finally, in view of such issue, the corresponding preventive measures are proposed so to assure safe and reliable operation of equipment.

Keywords: capacitor voltage transformer; abnormal heating; infrared temperature measurement; connection piece

0 引言

电容式电压互感器(capacitor voltage transformer, CVT)作为电力系统中测量电压的一次设备, 为保护、计量、测量装置提供电压信息, 其运行的可靠性尤为重要^[1-4]。近几年随着 CVT 在超高压和特高压交流电网的广泛应用, 由于二次电压异常、密封面渗漏油、电容分压器或电磁单元过热等原因引起本体损坏的事故时有发生^[5-6]。目前 CVT 的缺陷检测主要有停电的电容量、介损、油色谱试验, 带电的红外

外测温 and 二次电压曲线监视^[7], 其中红外测温技术是一种非接触式的带电检测^[8-9], 是对设备内部异常发热传导至设备外壳的热辐射强度进行检测, 在红外测温仪中便可以得到红外热像图, 根据图中的温度分布和发热特点, 可以在设备运行过程中提前发现设备内部缺陷^[10-15]。

针对现运行 500 kV 电容式电压互感器的电容分压器异常发热引起法兰渗漏油问题, 通过停电前红外测温 and 停电后的电容量、介损和绝缘油试验, 分析查明问题原因。根据电容式电压互感器结构

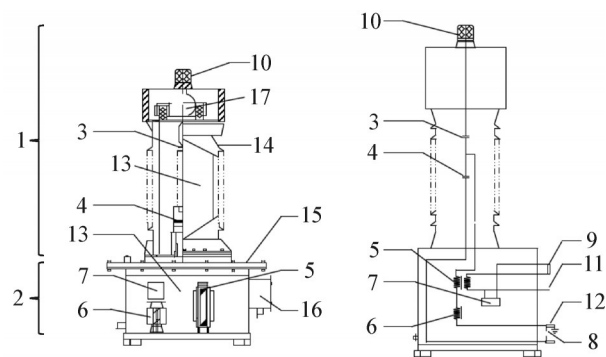
收稿日期: 2024-05-06

和运行原理,提出日常运维巡视中的红外测温 and 二次电压曲线监视的注意事项,提出几条预防措施,确保设备安全可靠运行至关重要。

1 运行 CVT 设备情况

现场运行 500 kV 电容式电压互感器的型号为 TYD500/ $\sqrt{3}$ -0.005H,投运时间为 2012 年 10 月,该 CVT 结构由 3 节电容和油箱叠装组成,内部主要由电容分压器和电磁单元两部分组成。电容分压器由上、中、下 3 节电容构成,每节电容是由单个电容元件串联组成的,密封于充满绝缘油的瓷套内,3 节电容结构独立,通过法兰螺栓连接在一起。电磁单元密封于底部油箱,油箱中绝缘油和下节电容绝缘油独立。高压端子 H 在电容分压器顶端,分压器的中压端子 A 和低压端子 N 是由电容分压器底盖上的小套管引出到电磁单元,与中间电压变压器高压端 AT 及出线板上的 N 端分别相连。CVT 的一次电压

U_1 首先通过电容分压降低电压,中压端输出电压 U_2 ,然后通过中压变压器(变比为 k)降压为二次电压 U_{12} 输出^[16]。CVT 结构图见图 1,原理图见图 2。



1—电容分压器; 2—电磁单元; 3—高压电容; 4—中压电容; 5—中间变压器; 6—补偿电抗器; 7—阻尼器; 8—电容分压器低压端对地保护间隙; 9—阻尼器连接片; 10—一次接线端; 11—二次输出端; 12—接地端; 13—绝缘油; 14—电容分压器套管; 15—电磁单元箱体; 16—端子箱; 17—外置式金属膨胀器。

图1 CVT 结构原理图

Fig. 1 Structural principle diagram of CVT

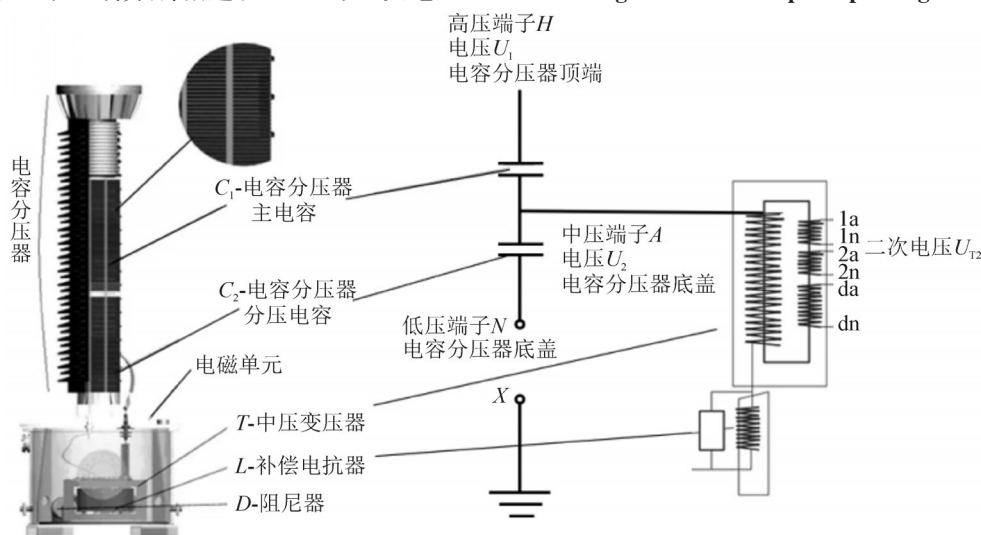


图2 CVT 原理图

Fig. 2 Principle diagram of CVT

电容分压器竖切面见图 3,分压器内部充满绝缘油并保持微正压状态,主要由电容心子和扩张器(波纹膨胀器)组成。扩张器内部通过顶部呼吸口与大气相通,作用主要为补偿分压器内绝缘油受热胀冷缩造成的容积变化,电容心子由电容元件串联而成,其第一个和最后一个电容元件分别通过铜箔联接片与上、下盖板相连。

分压器上盖仰视图见图 4,由图可知联接片固定位置位于上盖靠近铭牌。联接片正常连接可靠时,扩张器、上盖板、联接片均等电位,电压按电容分布;在联接片接触不良断开时,由电容分压器原理图可知,金属扩张器、上盖处于高电位,心子联接片由于和电容心子连接然后通过 N 接地,处于零电

位,从而产生高能放电,一般通过联接片与上盖虚接最近位置放电释放能量。

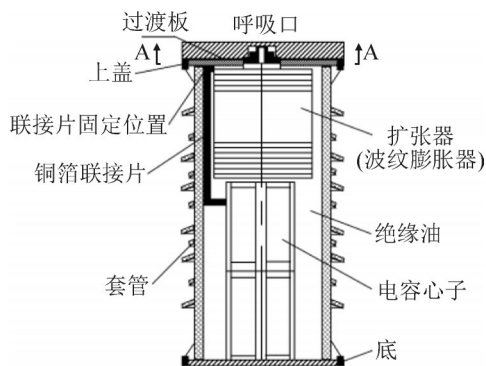


图3 电容分压器竖切面图

Fig. 3 Vertical sectional diagram of capacitance divider

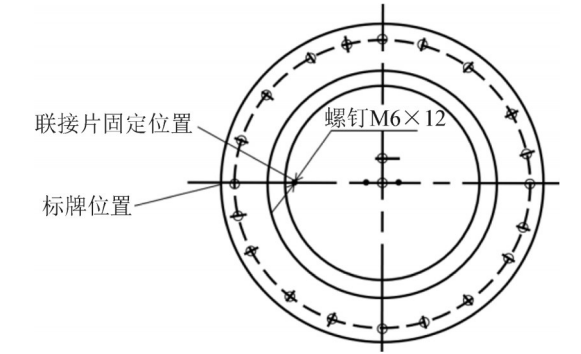


图4 分压器上盖仰视图
Fig. 4 Upward view of upper cover of voltage divider

2 分析原因

2.1 问题概述

2023年8月22日,某500 kV CVT A相中节分压单元上部法兰发热明显,温度异常区域较正常温差达3.3 K;现场望远镜观察,未见A相温度异常区域有明显的污秽、进水、渗漏油等异常痕迹,电磁单元油位正常;后台二次侧电压未见明显异常,波形均为平滑正弦波,零序电压为0.05 V。考虑到发热部位为分压单元上部法兰,二次电压无异常,建议持续跟踪。随后对该异常设备进行测温跟踪发现,异常区域温差并非持续存在,当日平均温度较高时,A相异常区域温度正常,当温度较低时,A相异常区域温度明显异常。2023年12月20日电压互感器A相中节分压单元顶部法兰密封面处漏油,外瓷套有明显油渍。

2.2 成因分析及解体检查

2.2.1 红外测温分析

发现漏油后通过红外热像分析,综合运用表面温度判断法、相对温差判断法等、图像特征判断法、同类比较判断法、综合分析判断法等多种判断方法对缺陷进行查找与分析。500 kV 电容式电压互感器三相红外热像图见图5。



图5 500 kV 电容式电压互感器三相红外热像图
Fig. 5 Three-phase infrared thermogram of 500 kV capacitor voltage transformer

由图5对比可得,A相中节分压单元上部法兰发热明显,温度异常区域最高温度为16℃,B相相同部位温度为12.7℃,温差达3.3 K,三相分压电容发热量很小,而且整体均匀发热,未见异常。

为进一步了解温度异常部位热像分布情况,现场选取设备铭牌两侧进行检测,得到红外热像图见图6。从热像图中可以看出,温度异常区域并非呈环状分布于法兰四周,而是呈面状分布于分压单元铭牌处的法兰,且温度最高点位于上节瓷套下法兰与下节瓷套上法兰连接部位。

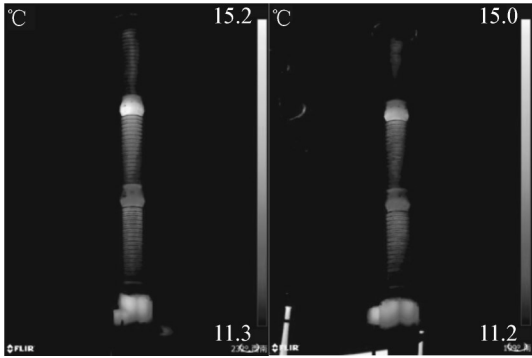


图6 500 kV 电容式电压互感器铭牌正(反)面法兰红外热像图
Fig. 6 The front (back) flange infrared thermogram of nameplate of 500 kV capacitor voltage transformer

由CVT内部结构可知,局部放电可引起电容分压器法兰发热,主要场景有以下3个:

- 1)中节电容单元联接片与上盖连接部位螺栓压接不紧存在虚接,外界温度降低后,扩张器扩张对联接片向下拖拽,产生局部放电,使上部法兰异常发热;
- 2)上节顶盖密封螺栓未紧固或顶盖密封圈老化损坏,雨水携带灰尘沿连接处缝隙进入到法兰内,导致法兰之间接触不良,上下法兰产生电位差放电,引起法兰温度升高;
- 3)顶盖密封圈老化失效后,雨水进入中节电容中,电容器油绝缘水平降低,发生局部放电会引起发热温度升高。发热部位为中节顶部电容单元处,因瓷套导热性相对于金属法兰较差,热量优先通过法兰传导,引起法兰温度升高。

2.2.2 温差变化的分析

为了进一步分析漏油后红外热像图异常发热的原因,随后对异常设备进行持续跟踪发现,异常区域温差并非持续存在。根据上述分析的可能引起法兰发热的3个成因,将法兰温差变化趋势与降水情况的关系,法兰温差变化趋势与环境温度的关系进行比较。

1) 法兰温差变化趋势与降水情况的分析。将现场降水情况进行赋值,小雨为 1、中雨为 2、大雨为 3,8 月 24 日至 10 月 10 日期间,站内降水较多,温差变化与降水情况的关系见图 7,从对比分析图中未发现现场降水与异常区域温差有明显的相关性。

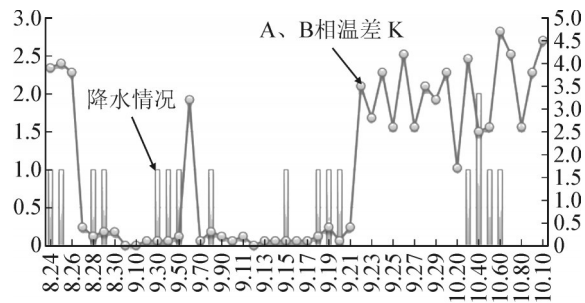


图 7 温差变化与降水情况的关系
Fig. 7 Relationship between temperature difference variation and precipitation

2) 法兰温差变化趋势与环境温度的分析。温差变化与环境温度的关系见图 8。在当日平均温度在 18℃ 以上时,A 相异常区域温度正常,A、B 相温差基本为 0 K;在当日平均温度在 12℃ 以下时,A 相温度明显异常,温差均在 2.5 K 以上。由图中数据变化情况可知,异常发热温差与气温有明显的相关性,即环境气温高时 A 相温度分布正常,三相设备温度一致;环境气温低时 A 相温度异常,A 相异常区域温度明显高于其他两相。

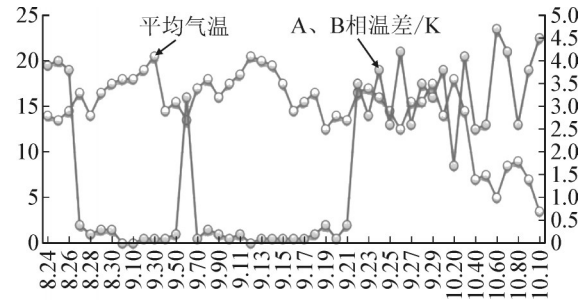


图 8 温差变化与环境温度的关系
Fig. 8 Relationship between temperature difference variation and ambient temperature

结合以上情况可知,温度异常区域呈面状分布于法兰正前方,温度最高点位于法兰连接部位分压单元铭牌处,此处距离内部联接片与上盖连接点最近;环境温度降低时,分压器内部扩张器随着油位的下降而膨胀,此时法兰发热明显^[17-20]。

综合分析发现,该 500 kV 电容式电压互感器 A 相法兰温度异常原因可能为分压器内部联接片与上盖连接部位存在虚接,当环境气温降低时,扩张器扩张侧沿及底部下降对联接片形成向下拖拽,减小了联接片与上盖的接触面积,严重时可能虚接,形

成电位差,产生局部放电,热量传导至法兰引起的温升,相间温差明显;当环境气温上升时,扩张器侧沿及底部向上运动,联接片与上盖的接触面积加大,接触良好,电位相同,无放电现象,相间温差消除。

2.2.3 二次电压曲线监测

现场对后台显示电压、测控数据、保护装置数据、故障录波数据进行检查,二次侧电压未见明显异常, $U_a = 61.07\text{ V}$, $U_b = 60.88\text{ V}$, $U_c = 60.96\text{ V}$,零序电压为 0.05 V,观察二次电压波形均为平滑正弦波,二次侧电压波形见图 9。现场人员测量 PT 端子箱中二次端子电压和后台数据一样,二次电压无异常,根据 CVT 工作原理可知,可排除电磁单元和电容分压器问题。

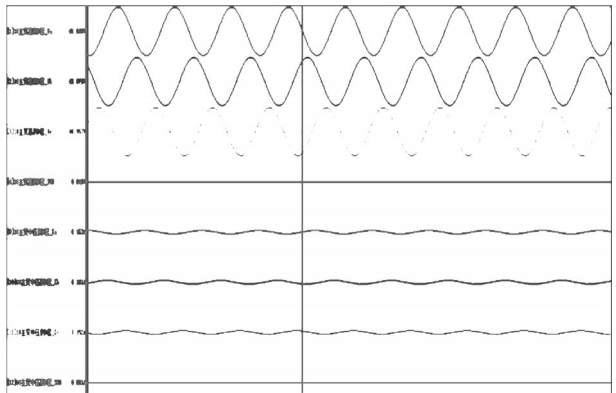


图 9 二次侧电压波形
Fig. 9 Voltage waveform at the secondary side

2.2.4 停电试验分析

1) 油色谱试验

对绝缘油开展色谱试验。对 A 相上、中、下 3 节电容绝缘油取油样进行了耐压、介损、含水量等试验,试验数据见表 1。

表 1 A 相绝缘油试验数据
Table 1 Insulation oil test data of phase A

项目	击穿电压/kV	介损因数	水含量/(mg/kg)
上节	84.23	0.12	17
中节	62.53	0.39	180
下节	83.25	0.13	23
厂内标准	≥60	≤0.15%	≤75

由表中数据可知,上节、下节电容绝缘油测试数据均合格,中节油样介损明显超标,油中含水量也超过厂内标准,击穿电压较上节、下节电容绝缘油明显降低,接近厂内标准。初步判断为 A 相中节电容内部联接片与上盖连接部位虚接,因联接片和上盖电位差引起放电后周围绝缘油受到污染而介损增大,此外联接片长时间的放电导致金属扩张器击穿后有水汽进入引起含水量和介损超标。

2)电容量及介损试验
停电后对 A 相 CVT 上节和中节使用 10 kV 正 接法,下节使用 2 kV CVT 自激法进行电容量及介损试验,并与历史数据进行对比,试验数据见表 2。

表 2 A 相电容量及介损试验数据
Table 2 Capacitance and dielectric test data of phase A

电容	试验项目	交接值	试验值	电容量初值差
C_{11}	电容量/pF	15 070	15 220	15 324
	介损	0.000 64	0.000 61	0.079
C_{12}	电容量/pF	15 030	15 020	115 326
	介损	0.000 53	0.001 85	0.081
C_{13}	电容量/pF	16 760	16 990	20 450
	介损	0.000 56	0.000 50	1.014
C_2	电容量/pF	133 000	132 400	110 750
	介损	0.000 74	0.000 86	0.164

通过试验后的数据可知,CVT 电容量和介损的试验数据合格,说明没有电容单元击穿问题,但由于中节电容单元内部存在放电问题,使 C_{12} 实测介损 0.001 85 较上次试验数值 0.000 53 有明显增大。

油色谱试验和电容量及介损试验可知,CVT 的中节电容中存在放电问题,电容单元无击穿,电容量无异常,电容分压比不变,电磁单元无异常,变压器变比不变,所以二次电压无异常^[21]。

2.2.5 外观及解体检查分析

1)外观检查

中节分压器顶部法兰密封面处漏油,瓷套表面有大量油迹,瓷套无破损痕迹。取下分压器顶部的上盖板,顶盖密封圈完好,密封胶涂抹均匀,扩张器出气口周边有油迹,其余部位无明显油迹。

2)解体检查

解体后,联接片与上盖连接处有明显电弧烧伤的黑色放电痕迹,且联接片从上盖螺栓固定处脱开,联接片有撕扯痕迹及放电电弧灼烧的破口。联接片破损脱落见图 10。



图 10 联接片破损脱落
Fig. 10 Damage and fall-off of connection piece

搭接于扩张器,扩张器顶部明显放电烧穿出一小孔。如图 11 所示。内部绝缘油颜色呈棕黑色。如图 12 所示。



图 11 扩张器击穿孔
Fig. 11 Expander punch



图 12 绝缘油呈棕黑色
Fig. 12 Brown and black of insulation oil

通过外观及解体检查分析可知,联接片与顶部上盖板脱开,脱落的联接片搭靠在扩张器上,持续的放电击穿扩张器,绝缘油进入扩张器。外界环境温度升高后,压缩扩张器导致绝缘油经出气口从上节流出^[22]。

3 演变过程分析

由上分析可知,CVT 设备出现发热和渗漏油问题的演变过程分为 4 个阶段。演变过程见图 13。

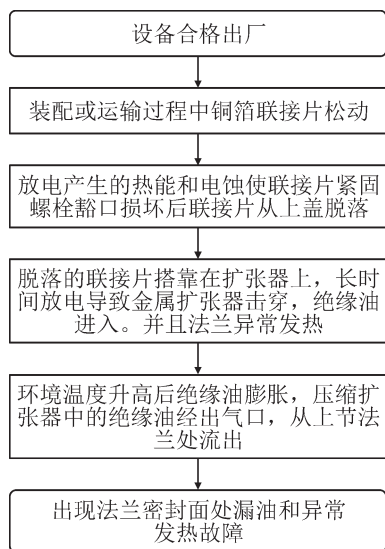


图13 CVT设备出现问题的演变过程图

Fig. 13 Evolution process diagram of the CVT problem

首先是产品装配或运输过程中铜箔联接片可能受挤压拉扯力受损而松动^[23-29]。

其次是运行过程中,环境气温降低时,扩张器扩张侧沿及底部下降对联接片形成向下拖拽使内部联接片与上盖连接部位虚接,扩张器与上盖处于高电位,心子联接片处于零电位,因电位差产生放电,在热能和电蚀的共同作用下,联接片紧固螺栓豁口损坏,随着环境气温度变化引起的扩张器形变拖拽,联接片从上盖脱落。

再次是扩张器呼吸作用会使脱落的联接片搭靠在扩张器上,联接片与扩张器间有电位差会产生放电,长时间的放电导致金属扩张器击穿,绝缘油进入扩张器中。并且放电产生的热量会传递到法兰引起异常发热。

最后是外界环境温度升高后,瓷套中的绝缘油体积膨胀,压缩扩张器导致扩张器中的绝缘油经出气口从上节法兰处流出^[24,30-35]。

4 结语

针对 CVT 设备法兰异常发热的问题,持续红外跟踪发现法兰温差变化趋势与环境温度明显的相关性,根据法兰发热的位置初步判断异常发热为内部联接片与上盖连接点虚接后放电引起的发热。通过停电后的电容量、介损和绝缘油试验及现场解体试验查明问题主要原因是联接片长时间的放电导致金属扩张器击穿,绝缘油进入扩张器中,放电产生的热量传递到法兰引起异常发热,并且扩张器压缩形变使绝缘油经出气口从上节法兰处流出。根据电容式电压互感器结构和运行原理,预防此类

问题出现,提出以下措施:

1)严格控制厂内装配工艺要求,运输过程中严格按照要求放置和搬运,严禁卧放;

2)运行状态时,加强对二次电压的监视。当出现二次电压异常时,应迅速判断二次电压异常的具体原因^[22-25];

3)例行巡视时,要注意电磁单元绝缘油颜色和油位,有无渗漏油现象,有无放电异响;

4)加强红外测温,对比三相温差和上下节温差,如超过 1.5 K 时,应缩短测温周期并警惕其温度变化。测温时需要从多角度获取图谱,根据 CVT 结构特点明确发热具体部位,结合外界环境如降水量或环境温度来自综合考虑和发热相关的因素。

参考文献

- [1] 刘力,孙结中. 中间变压器对电容式电压互感器介损测量的影响[J]. 电网技术, 2001, 25(9): 56-60.
LIU Li, SUN Jiezhong. Effect of intermediate transformer on dielectric loss measurement of capacitive potential transformer[J]. Power System Technology, 2001, 25(9): 56-60.
- [2] 刘水平. 互感器 电力电容器[M]. 北京:中国电力出版社, 2020.
- [3] 莫佩珊. 关于电容式电压互感器的故障原因分析及预防措施探讨[J]. 科技展望, 2015, 25(29): 68.
- [4] 李良书,韩彦华,李晋,等. 电容式电压互感器典型故障案例分析[J]. 变压器, 2020, 57(9): 72-76.
LI Liangshu, HAN Yanhua, LI Jin, et al. Typical fault case analysis of capacitor voltage transformer[J]. Transformer, 2020, 57(9): 72-76.
- [5] 童涛,徐碧川,袁思凡,等. 一起电容式电压互感器二次电压异常事故分析[J]. 电瓷避雷器, 2022(2): 98-104.
TONG Tao, XU Bichuan, YUAN Sifan, et al. A CVT secondary voltage abnormal accident[J]. Insulators and Surge Arresters, 2022(2): 98-104.
- [6] 李威,胡润阁,刘亚林,等. 500 kV CVT电压异常分析与处理[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(3): 74-78.
LI Wei, HU Runge, LIU Yalin, et al. Analysis and treatment on abnormal voltage issue of 500 kV CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(3): 74-78.
- [7] 曲欣,王兴友,吴西博,等. 一起 500 kV CVT 二次电压异常分析及预防[J]. 电力电容器与无功补偿, 2017, 38(3): 105-109.
QU Xin, WANG Xingyou, WU Xibo, et al. Study and prevention on abnormal secondary voltage of 500 kV CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2017, 38(3): 105-109.
- [8] 吴晓晴,马小斌,李玫瑾,等. 红外热成像带电检测技术发现设备缺陷[J]. 建筑工程技术与设计, 2018(26): 126.

- [9] 带电设备红外诊断应用规范:DL/T 664—2016[S]. 2016.
Application rules of infrared diagnosis for live electrical equipment:DL/T 664—2016[S]. 2016.
- [10] 李浩伟,张楚岩,史梓男,等. 基于红外图像检测和改进YOLOv4的高压套管故障识别方法[J]. 高压电器, 2023, 59(11):24-31.
LI Haowei, ZHANG Chuyan, SHI Zinan, et al. Fault identification method of high-voltage bushing based on infrared image detection and improved YOLOv4 algorithm[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 59(11):24-31.
- [11] 刘江,关向雨,温跃泉,等. 基于改进YOLOv4的GIS红外特征识别与温度提取方法[J]. 电力工程技术, 2023, 42(1):162-168.
LIU Jiang, GUAN Xiangyu, WEN Yuequan, et al. Infrared feature recognition and temperature extraction method of GIS components based on improved YOLOv4[J]. Electric Power Engineering Technology, 2023, 42(1):162-168.
- [12] 刘文君,贺馨仪,王彬,等. 基于异常检测集成算法的油色谱在线监测数据质量评价体系[J]. 电网与清洁能源, 2022, 38(8):16-23.
LIU Wenjun, HE Xinyi, WANG Bin, et al. Online monitoring data quality evaluation system for oil chromatography based on anomaly detection integrated algorithm[J]. Power System and Clean Energy, 2022, 38(8):16-23.
- [13] 韩金华,马云飞,王立楠,等. 电力变压器绝缘油色谱氢气超标故障的分类分析[J]. 变压器, 2023, 60(2):26-31.
HAN Jinhua, MA Yunfei, WANG Linan, et al. Classification and analysis of abnormal hydrogen gas fault of power transformer oil chromatography[J]. Transformer, 2023, 60(2):26-31.
- [14] 裴少通,马子儒,刘云鹏,等. 500 kV输电线路劣化瓷绝缘子非线性发热特性的红外分析[J]. 高压电器, 2023, 60(1):33-40.
PEI Shaotong, MA Ziru, LIU Yunpeng, et al. Infrared analysis of nonlinear heating characteristics of deteriorated porcelain insulator of 500 kV transmission lines[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 60(1):33-40.
- [15] 周阳洋,胡俊华,徐华,等. 一种瓷支柱绝缘子红外图像目标检测算法[J]. 浙江电力, 2023, 42(11):78-85.
ZHOU Yangyang, HU Junhua, XU Hua, et al. An infrared image target detection algorithm for porcelain post insulators[J]. Zhejiang Electric Power, 2023, 42(11):78-85.
- [16] 王法顺,周刚,李伟琦,等. 一起500 kV电容式电压互感器二次电压异常的故障分析[J]. 电气开关, 2022, 60(2):105-108.
WANG Fashun, ZHOU Gang, LI Weiqi, et al. Fault analysis of an abnormal secondary voltage of 500 kV capacitive voltage transformer[J]. Electric Switcher, 2022, 60(2):105-108.
- [17] 变压器油中溶解气体分析和判断导则:DL/T 722—2014[S]. 2014.
Guide to the analysis and the diagnosis of gases dissolved in transformer oil: DL/T 722—2014[S]. 2014.
- [18] 夏经德,苗思雨,邵文权,等. 基于纵向阻抗的变压器虚拟相位保护[J]. 西安工程大学学报, 2023, 37(2):54-62.
XIA Jingde, MIAO Siyu, SHAO Wenquan, et al. Transformer virtual phase protection based on longitudinal impedance[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2023, 37(2):54-62.
- [19] 张凯煜,沈云超,郭全军,等. 一起500kV电容式电压互感器电压异常事件的分析与处理[J]. 变压器, 2023, 60(8):65-70.
ZHANG Kaiyu, SHEN Yunchao, GUO Quanjun, et al. Analysis and treatment of an abnormal voltage event of 500 kV capacitive voltage transformer[J]. Transformer, 2023, 60(8):65-70.
- [20] 姜言金,刘栩霏,徐晓东,等. 基于多场耦合的变压器直流偏磁噪声异常表征[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(1):11-19.
JIANG Yanjin, LIU Xufei, XU Xiaodong, et al. Anomaly characterization of transformer DC bias noise based on multi-field coupling[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(1):11-19.
- [21] 电力设备预防性试验规程:DL/T 596—2021[S]. 2021.
Preventive test code for electric power equipment: DL/T 596—2021[S]. 2021.
- [22] 张兴飞. 两起CVT电磁单元过热缺陷的分析和处理[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018, 39(2):44-48.
Zhang Xingfei. Analysis and processing on two overheating defects of capacitor voltage transformer electromagnetic unit[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(2):44-48.
- [23] 赵富强,包旺宁,贺政,等. 330 kV电容式电压互感器喷油故障分析[J]. 机械研究与应用, 2021, 34(4):131-134.
ZHAO Fuqiang, BAO Wangning, HE Zheng, et al. Oil injection failure analysis of the 330 kV capacitive voltage transformer[J]. Mechanical Research & Application, 2021, 34(4):131-134.
- [24] 王维喆,艾博,田晓云. 二次电压检测法在电容式电压互感器故障诊断中的应用[J]. 电工技术, 2021(3):98-101.
WANG Weizhe, AI Bo, TIAN Xiaoyun. Application of secondary voltage detection method in fault diagnosis of capacitive voltage transformer[J]. Electric Engineering, 2021(3):98-101.
- [25] 刘隰蒲,王俊娜,乐佳琪. 220 kV电容式电压互感器发热故障分析及预防措施[J]. 变压器, 2021, 58(9):81-83.
LIU Xipu, WANG Junna, YUE Jiaqi. Fault analysis and preventive measures of 220 kV capacitive voltage trans-

- former[J]. Transformer, 2021, 58(9): 81-83.
- [26] 张东明, 张鲁安, 周凡, 等. 电容式电压互感器电压异常故障分析与处理[J]. 电力安全技术, 2020, 22(11): 45-47.
ZHANG Dongming, ZHANG Louan, ZHOU Fan, et al. The analysis and treatment of the abnormal voltage fault for capacitor voltage transformer[J]. Electric Safety Technology, 22(11): 45-47.
- [27] 宋守龙, 谭彦民, 李小燕. 一起电容式电压互感器二次电压不平衡故障的分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018, 39(2): 42-43.
SONG Shoulong, TAN Yanmin, LI Xiaoyan. Analysis on secondary voltage unbalance fault of capacitor voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(2): 42-43.
- [28] 饶蕾, 刘国建, 韩尊占, 等. 500 kV 电容式电压互感器介质损耗异常分析及处理[J]. 水电与新能源, 2022, 36(4): 63-66.
RAO Lei, LIU Guojian, HAN Zunzhan, et al. Analysis and treatment of abnormal dielectric loss of a 500 kV capacitive voltage transformer[J]. Hydropower and New Energy, 2022, 36(4): 63-66.
- [29] 高超, 熊佳明, 林志力, 等. 电力系统中全光纤电流传感器的研究进展[J]. 西安工程大学学报, 2023, 37(6): 78-88.
GAO Chao, XIONG Jiaming, LIN Zhili, et al. Research progress of all fiber optical current sensors in power system[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2023, 37(6): 78-88.
- [30] 黄海飞, 许家响, 王静, 等. 电容式电压互感器电磁单元异常发热故障分析[J]. 电力安全技术, 2021, 23(11): 67-69.
HUANG Haifei, XU Jiaxiang, WANG Jing, et al. Analysis on an overheat fault of electromagnetic unit of capacitor voltage transformer[J]. Electric Safety Technology, 2021, 23(11): 67-69.
- [31] 肖嵘, 赵丹丹, 张嘉旻, 等. 基于改进 CVT 的暂态电压扰动监测技术研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2023, 44(5): 58-66.
XIAO Rong, ZHAO Dandan, ZHANG Jiamin, et al. Study on transient voltage disturbance monitoring technology based on improved CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2023, 44(5): 58-66.
- [32] 余立伟, 毛兴华, 邹学伟, 等. 某 220 kV 电容式电压互感器异常诊断分析[J]. 湖南电力, 2020, 40(2): 42-44.
SHE Liwei, MAO Xinghua, ZOU Xuwei, et al. Diagnosis and analysis of abnormality for a 220 kV capacitive voltage transformer[J]. Hunan Electric Power, 2020, 40(2): 42-44.
- [33] 徐鹏, 殷鑑, 沈亚春, 等. 一起 220 kV CVT 二次电压异常事件调查[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(5): 94-99.
XU Peng, YIN Jian, SHEN Yachun, et al. Investigation of abnormal secondary voltage of 220 kV CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(5): 94-99.
- [34] 姚勇, 杜科, 杨凌, 等. 110 kV 电容式电压互感器红外测温异常分析及处理方案[J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2019, 24(1): 9-12.
YAO Yong, DU Ke, YANG Ling, et al. Anomaly analysis of the infrared temperature measurement of the 110 kV capacitor voltage transformer and the solution[J]. Journal of Chongqing Electric Power College, 2019, 24(1): 9-12.
- [35] 刘佳鑫, 郎业兴, 韦德福, 等. 500 kV 电容式电压互感器过热异常诊断分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018, 39(6): 66-70.
LIU Jiaxin, LANG Yexing, WEI Defu, et al. Diagnosis and analysis of abnormal overheating of 500 kV capacitance voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(6): 66-70.

作者简介:

田浩(1982—),男,高级工程师,从事输配电工程及线路设备运行维护工作。E-mail:17092450@qq.com。

杨敏(1983—),女,工程师,工程师,从事输配电工程及线路设备运行维护工作。

陈小龙(1981—),男,工程师,高级技师,从事输配电工程及线路设备运行维护工作。

冯玉坤(2001—),男,本科,从事输配电工程及线路设备运行维护工作。