

牵引变电所电容式电压互感器检测方法的研究

孟涛

国家能源集团新朔铁路供电分公司

[摘要]牵引供电系统中的综合自动化系统是铁路正常运营的重要保证。它通过采集系统中的电量数据和辅助设备的状态参数来判断系统是否健康。电量数据可以为系统提供测量、控制和保护的关键信息,其采集是通过互感器实现的,这样就可以通过采集电压和电流两种电量来区分电压互感器(TV或PT)和电流互感器(ta或CT)。受限于技术发展的瓶颈,目前电压互感器的原理仍然采用电磁感应,核心部分仍然是电磁单元。按主体结构中是否有分压单元可分为电磁式电压互感器和电容式电压互感器。后者一般采用电容作为阻容分压器,也称为电容v01级变压器(CVT)。目前,CVT已广泛应用于220 kV及以上电压等级铁路牵引供电系统的牵引供电亭,实现电压采集功能。

[关键词]牵引变电所;电容式电压互感器;在线监测;预防性试验

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2020.03.130

铁路牵引供电系统牵引供电棚的外部电源一般采用220 kv为主电源,330kv和110kv为辅电源的供电系统,电压测量和监视由电容式电压互感器实现。这种类型的电压互感器在国家电网中的应用已经极其成熟,相关的规章制度也十分完备和全面,但在铁路牵引供电系统中却明显“水土不服”。

一、概述

电容式电压互感器(CVT)是应用电容分压原理,结合中间变压器的接入,进行监测、保护及通讯等应用的电器设备。与电磁式电压互感器相比,电容式电压互感器具有体积小、重量轻、维护工作量少、电场强度裕度大、绝缘可靠性高、分压电容可兼作耦合电容器供高频载波通道使用、不会与开关端口电容形成铁磁谐振以及价格便宜等诸多优点。目前,在110kV以上电压等级的电力系统中,CVT为主要使用的电压互感器,在超/特高压等级的系统中,CVT的使用率几乎达到100%。另外在中压系统(110kV、35kV)中,虽然CVT价格不占优势,但考虑到其不与系统发生铁磁谐振的优点,不少电站也选用了CVT。可见,在电力系统中,特别是超/特高压电力系统中,CVT得到了广泛使用。高压(特别是超/特高压)电网系统在电网传输中具有举足轻重的地位,超/特高压系统一旦出现故障,将可能引起大面积停电,严重影响正常生产秩序和人民群众的日常生活。高压电网系统的一次电压信息主要通过CVT转换后传送给计量和继电保护装置,因此,CVT的良好状态对计量装置准确计量、继电保护装置获得正确信号以保证其可靠动作,避免事故发生、对电网的安全稳定运行具有重要意义。随着CVT在电力系统中的大量应用,由于受设计制造经验、工艺水平、原材料及过电压等因素的限制,由CVT引发的电网故障是电磁式电压互感器的2倍,一旦CVT发生故障,将引起电能计量错误和保护装置误动作等事故,严重影响电能计量的准确、可靠和电网的安全,严重时还会引起爆炸起火,导致输电线路停止供电,甚至会引起大面积停电。为了实现CVT的状态检修及对CVT的故障进行快速诊断并维修,以减少停电时间,为用户提供可靠、优质的电力供应和减少电力企业的经济损失,必须对CVT故障及其产生故障原因进行深入的了解和分析。目前,大量文献多是根据某一具体的CVT事故,通过停电、解体、试验、等方法分析其原因,较少对CVT各主要部分可能出现的故障及原因进行全面的归纳分析、汇总。虽然对某一具体CVT事故的试验、原因

分析具有与现场紧密结合的优点,但由于电压等级、环境条件等的各不相同,使得CVT的故障现象和原因千差万别,每个事故都有其自身的特

二、电容式电压互感器基本概述

1. 电容式电压互感器概念。电容式电压互感器运用英文可以表达为CVT,主要是由电磁装置和电容分压器组合而成,其中电磁装置主要是由中间变压器构建而成,而电容分压器又包含了限压装置、阻尼器等,其中无论是高压电容,还是低压电容都处于瓷套包围之下,也促使呈现出一个单节或者是多节莲藕状的电容器。例如,当无感双绞线,通过35 A交流,将铂电阻温度传感器放置在光纤不锈钢单元与导线表层后,对温度变化情况进行实时监测。即每隔1 min记录样品测温点实验值,并通过观测冰层的变化情况,来获取导线融冰温度的变化情况。2. 电容式电压互感器类型。电磁装置在电容式电压互感器中发生作用的主要是位于中间的变压器和补偿电抗,电容式电压互感器根据电容分压器和电磁装置的组装方式又可以将之分为两种类型,即一体式电容式电压互感器和分体式电容式电压互感器,其中一体式的特点在将电容分压器安装在电磁装置的油箱之上,与此同时在电容分压器的下部底盖处有两个线管,其中一个是中压场出套线管,对进行连线可以直接深入到电磁装置的内部,从而有效保障电容分压器与电磁装置对接,也可以通过在瓷套上开一个小洞,进而引出中压端,最后对电容及其介损效用进行准确估算,而分体式特点在于电子装置和中压端的连接位置处于外端,在这种情况下,分压电容器就需要通过对瓷套开孔之后实现,同时通过套管,将高压端引出和连接。

三、故障原因分析

1. 试验分析。(1) 测量介损对判断电气设备的绝缘状况是一种传统的、十分有效的方法。绝缘能力的下降直接反映为介损增大。进一步就可以分析绝缘下降的原因,如:绝缘受潮、绝缘油受污染、老化变质等。测量介损的同时,也能得到试品的电容量。如果多个电容屏中的一个或几个发生短路、断路,电容量就有明显的变化,因此电容量也是一个重要参数。(2) 变压器油与油中的固体有机绝缘材料(纸和纸板等)在运行电压下因电、热、氧化和局部电弧等多种因素作用会逐渐变质,裂解成低分子气体;变压器内部存在的潜伏性过热或放电故障又会加快产气的速率。随着故障的缓

慢发展，裂解出来的气体形成泡在油中经过对流、扩散作用就会不断地溶解在油中。同一类性质的故障，其产生的气体的组分和含量在一定程度上反映出变压器绝缘老化或故障的程度，可以作为反映电气设备异常的特征量。检修试验人员通过对运行中的变压器定期分析其溶解于油中的气体组分、含量及产气速率，总结出了能够及早发现变压器内部存在潜伏性故障、判断其是否会危及安全运行的方法，即油色谱分析法。油色谱分析法是将变压器油取回实验室中用色谱仪进行分析不受现场复杂电磁场的干扰，而且可以发现油设备中一些用介损和局部放电法所不能发现的局部性过热等缺陷。变压器油中溶解气体分析包括从变压器中取出油样，再从油中取出溶解气体，用气相色谱分析该气体的成分和含量，判断设备有无内部故障，诊断其故障类型，并推定故障点的温度、故障能量等。几种典型的油中气体如氢气（H₂）、一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、乙烷（C₂H₆）、乙烯（C₂H₄）及乙炔（C₂H₂），常被用作分析的特征气体。检修试验人员在对该CVT底部油箱取油样时，发现其油箱顶部的注油孔密封处装有两层密封胶垫，其中上面一层的密封圈已老化龟裂。通过对其底部油箱内油色进行色谱分析，因CVT的过电压保护器击穿烧毁，测得的高压试验数据异常，底部油箱内的油色谱数据及微水严重超标，故分析认为该CVT的中间变压器绕组匝间短路及绝缘故障的可能性较大，应对其进行更换处理。

2. 设备解体分析。通过对电压互感器进行解体，发现如下问题：底部油箱注油孔螺栓采用与箱沿紧固螺栓一样的产品，帽沿宽度不足；注油孔螺栓在未安装密封圈的情况下无法上紧到底，中间留有较大间隙；注油孔密封圈宽度不足，且采用双层密封圈，其中一枚已老化龟裂；另外，检修人员对电容分压器和电磁单元中的中间变压器进行相关高压试验，数据正常。

3. 故障原因总结和防范措施。通过上述试验数据分析与解体检查，确定造成CVT故障的主要原因有：底部油箱注油孔的密封螺栓设计不合理，其帽沿过小且无法将密封圈上紧，水分由注油孔渗入底部油箱内，接线板受潮造成绝缘性能下降而击穿。防范措施：对电压互感器底部油箱注油孔的密封螺栓进行改进，加大了帽沿的设计宽度；对CVT的底部油箱注油孔的密封圈进行更换，加大了密封圈的厚度以确保密封效果；统计同批次产品的数量，要求厂家提供改进后的注油孔螺栓及密封圈，结合设备停电予以更换；加强未整改设备底部油箱内变压器油的色谱分析；加强新投运设备的交接验收工作。

四、CVT的测试标准

铁路行业关于电容式电压互感器的试验标准主要有《电容式电压互感器》、《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》和《高速铁路牵引变电所运行检修规则》，前两者属于交接性试验标准，为工程项目在电气设备安装完成后投入运行的前置证明保证条件，为国家强制性的要求，后者属于预防性试验标准，为电气设备投入运行后正常运营中的例行

隐患检查，为行业或企业的要求，二者试验和检测的原理、方法相同，不同点只是标准条款和数值要求略有差异，试验项目条目解释：（1）绝缘电阻测量：内容包含一次绕组对二次绕组及外壳、各二次绕组间及其对外壳的绝缘电阻；（2）分压电容测试：对CVT电容量与介质损耗因数tanδ进行测试；（3）绝缘介质测试：主要是对CVT内部填充的绝缘介质进行检测，一般包括绝缘油和绝缘气体；（4）直流电阻测试：主要是对CVT二次绕组进行直流电阻测试；（5）绕组特性测试：主要是测试绕组的连接组别和极性；（6）变比误差测试：对CVT电压比值进行测试；（7）励磁特性测试：对二次绕组的误差曲线进行检测；（8）密封性能检查：对油箱的整体密封性进行检查；（9）交流耐压试验：针对高电压部件是否符合最低电压标准的检验。

五、在线式测试方法

1. 随着技术的进步，尤其是微电子技术的迅猛发展，对电容式电压互感器的在线测试也有了相应的手段，如宽频带局部放电检测、绝缘油在线化验分析和红外热成像技术。

（1）宽频带局部放电检测：当电容式电压互感器发生局部放电时，通常会在其接地引下线或其他地电位连接线上产生脉冲电流，根据此脉冲电流以及背景信号特征，可判断其内部是否存在局部放电及其放电程度。（2）绝缘油在线化验：对电容式电压互感器进行绝缘油在线取样，并与设备内的绝缘油循环，对样品进行微水、耐压、色谱试验分析，给出各试验项目的测试数据。（3）利用红外热成像设备，对电容式电压互感器进行红外成像，观测设备是否有异常发热现象，保证设备运行安全。

2. 电容式电压互感器电压异常及原因。电容式电压互感器发生电压异常主要是由于分压单元电容击穿短路或者内部受潮，电压互感器二次连接不牢固或短路，电磁单元故障和铁磁谐振等，详见表1。

表1 CVT常见电压异常及主要原因

现象	主要原因
二次电压波动	二次部分连接不紧密；铁磁谐振；电容单元间断击穿
二次电压低	电磁单元故障；中压单元电容损坏
二次电压高	高压单元电容损坏；电磁单元故障
开口三角形电异常	某相电压互感器故障

总之，电容式电压互感器应用广泛，在输变电等行业中使用几十年而运行状态良好，但其在高速铁路牵引供电系统中的使用时日方短，数据积累还略显不足，与牵引供电系统的匹配性还有待专家、学者和一线技术人员共同研究和探索

参考文献

[1] 刘刚，江波. 电容式电压互感器故障分析及预防措施[J]. 变压器，2012，49（9）：68-72.
 [2] 夏震，刘宏耀，豆河伟，等. 关于电容式电压互感器电压异常原因探讨及预控措施[J]. 变压器，2018，55（10）：64-67.