

电压互感器内部故障导致在线监测数据异常实例分析

介绍了在线监测的一些基本概念,并阐述了泉州供电公司目前所用的电压互感器在线监测装置的测试原理及监测方法。根据一起110 kV电压互感器内部故障导致的在线监测数据异常案例,介绍了在线监测装置监测设备状态的方法,以及综合运用在线监测数据、绝缘油色谱分析及停电电气试验等方法,对故障设备进行综合分析诊断的方法。

郑云海 方丽妮 吴奇宝 高阿娜 马会军/泉州供电公司

0 引言



郑云海/高级工程师

电力设备在线监测技术是设备运行过程中对能够反映被监测设备运行状态的信息进行实时监测的技术,其最重要的特点是采用高灵敏度的传感器收集能够反映设备运行状况是否良好的数据,通过对收集到的数据自动或者人工进行分析诊断,使专业人员能够实时、准确地掌握设备的绝缘状态,保证了电气设备的安全运行^[1-5]。

目前泉州供电公司变电站内的变电设备在线监测系统主要有变压器绝缘油溶解气体在线监测装置、变压器铁心电流在线监测装置、避雷器在线监测装置和容性设备在线监测装置,其中容性设备在线监测装置主要包括电流互感器、电压互感器和高压套管等容性设备的在线监测装置。这些在线监测装置能够实现对站内主要变电设备进行运行状态的自动在线监测与诊断,对怀疑有异常状况的设备发出报警^[6]。

关键词/Keywords

在线监测 ·
电压互感器 ·
故障诊断 ·

1 电压互感器在线监测原理

电压互感器在线监测装置主要监测

的数据包括运行电压、泄漏电流、电容量和介质损耗 $\tan \delta$ 值,对监测到的数据进行横向和纵向的比较,通过综合分析诊断,判断设备运行状态是否良好。

通过高电压技术可知,如果被监测设备的泄漏电流及介质损耗增大,说明该设备整体绝缘性能下降。如果电容量会有明显的变化,说明可能有多个电容屏中的一个或几个发生短路、断路^[7-8]。因此测量电气设备的运行电压、泄漏电流和介损是判断该设备的绝缘状况是否良好的传统且非常有效的方法。

图1为电压互感器在线监测中介质损耗测量的等效电路及相量图。图1中, C 为电压互感器的等效电容; R 为等效电阻; I 为总的泄漏电流; I_C 为泄漏电流的容性分量; I_R 为泄漏电流的阻性分量; θ 为电压 U 与电流 I 的相位差; δ 为介质损耗角。 θ 和 δ 的关系是 $\delta = (\pi/2) - \theta$ 。在线监测对介质损耗角的测试方法是采用过零比较法,即通过比较电压 U 和电流 I 的过零时间,计算电压、电流过零时间的相位差求得介质损耗角^[9]。

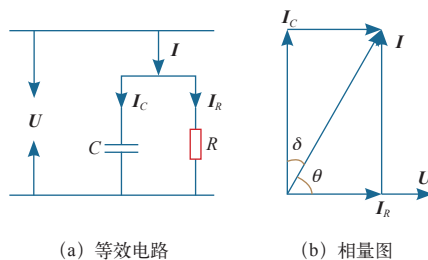


图1 电压互感器介质损耗测量等效电路及相量图

2 故障发现的经过

某220 kV变电站110 kV II段母线TV

型号为TYD110/ $\sqrt{3}-0.02\text{H}$ ，为膜纸复合绝缘电容式电压互感器（TV）。额定电压为 $(110/\sqrt{3})/(0.1/\sqrt{3})/(0.1/\sqrt{3})/0.1\text{ kV}$ ，3组二次绕组的额定负荷分别为 $50\text{ V}\cdot\text{A}$ 、 $250\text{ V}\cdot\text{A}$ 和 $100\text{ V}\cdot\text{A}$ ，1997年4月生产。该产品的电容分压器的主电容及分压电容合装在一个瓷套内，中间变压器T、补偿电抗器L和阻尼电阻R等电磁单元部分都组装在瓷套下面的油箱内。该TV的结构示意图如图2所示。

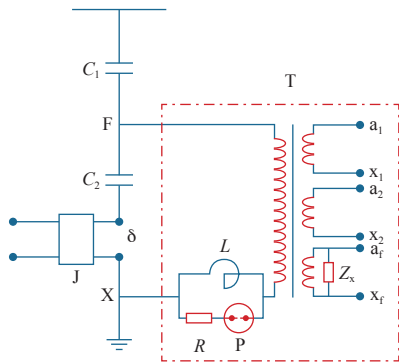


图2 TV结构示意图

2016年3月4日，变电设备在线监测系统显示，110 kV II 段母线电压A相电压从67.63 kV降到64.85 kV，变化量为4.11%，B、C相电压无明显变化，A相电压明显低于其他两相，如表1所示。

表1 110 kV II 段母线电压在线监测数据

监测时间	设备状态	电压 (单位: kV)		
		A相	B相	C相
2016年3月5日	装置异常	64.83	67.65	67.56
2016年3月4日	装置异常	64.85	67.67	67.6
2016年3月3日	装置正常	67.63	67.68	67.61
2016年3月2日	装置正常	67.65	67.67	67.59
2016年3月1日	装置正常	67.63	67.76	67.66
2016年2月28日	装置正常	67.62	67.75	67.65

查看110 kV II 段母线TV在线监测数据，如表2所示，A相TV泄漏电流在2016年3月4日从444.73 mA增长到446.15 mA，电容量从21 204.2 pF增长到21 878.7 pF，与标准电容量的变化率已经达到4.32%，而B、C相TV的在线监测数据与之前并没有明显变化。

当天，检修试验人员到现场对110 kV II 段母线TV取油，进行绝缘油试验，将本次绝缘油试验结果与之前历次测试数据进行比较。该TV油色谱数据如表3所示。

从油色谱数据可以看出110 kV II 段母线TV A相油中气体含量与之前并无明显变化，测试结果正常。因为TV取油是从底部油箱取油，内

表2 110 kV II 段母线TV在线监测数据

监测时间	泄漏电流/mA			介质损耗(%)			电容量/pF			电容量变化率(%)		
	A相	B相	C相	A相	B相	C相	A相	B相	C相	A相	B相	C相
2016年3月5日	446.13	436.42	444.66	0.57	0.47	0.16	21 929.4	20 559.3	20 947.2	4.56	-1.26	-1.44
2016年3月4日	446.15	436.35	444.56	0.59	0.48	0.12	21 878.7	20 508.1	20 924.6	4.32	-1.51	-1.55
2016年3月3日	444.73	437.14	445.16	0.32	0.47	0.11	21 204.2	20 556.7	20 958.1	1.11	-1.27	-1.39
2016年3月2日	443.92	436.42	443.62	0.37	0.46	0.13	21 200.3	20 521.5	20 894.2	1.56	-1.44	-1.69
2016年3月1日	444.11	436.09	443.56	0.4	0.5	0.1	21 207.3	20 489.4	20 867.7	1.12	-1.6	-1.81
2016年2月28日	443.97	436.56	443.45	0.35	0.47	0.07	21 205.4	20 492.8	20 851.4	1.11	-1.58	-1.89

表3 110 kV II 段母线TV油色谱数据

试验日期	设备名称	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₁ +C ₂
2013年5月16日	A相	180	930	5 700	26	7.2	33	0	66
	B相	350	370	5 200	24	90	0.5	0	114
	C相	160	650	6 500	63	36	0.9	0	99
2016年3月4日	A相	255	850	5 061	26	10.3	36	0	72.3
	B相	365	540	5 360	28	95	1	0	124
	C相	175	700	6 120	59	33	1.2	0	93.2

部是TV的电磁单元，而分压电容部分的绝缘油与电磁单元油箱内的绝缘油是独立的，因此判断该相TV故障可能在分压电容部分，而不在电磁单元，建议尽快停电进行检查以及进行停电试验。

3 停电试验及分析诊断

2016年3月6日运维人员向调控中心申请将该组110 kV II段母线TV停电，对A相进行检查试验。停电后检修试验人员首先对该相进行TV外观检查，TV外观正常，引线连接可靠、瓷套及油箱表面清洁，没有发现油箱渗油、瓷套闪络或其他异常情况。

测试A相TV绝缘电阻，上节电容极间绝缘电阻、电容末端对地绝缘电阻、中间TV一次绕组末端对地绝缘电阻以及中间TV二次绕组绝缘电阻测试结果均正常，且与交接试验数据无明显差异。绝缘电阻测试数据如表4所示， C_1 为上节电容器， δ 为电容末端， X_1 为中间TV一次绕组末端，a1an、a2an和dadn为中间TV二次绕组。

表4 110 kV II段母线TV A相绝缘电阻试验数据

(单位: MΩ)

部件	接线方式	绝缘电阻
		A相
电容器	C_1	100 000
	δ/E	100 000
中间TV	a1an/ a2an.dadn.E	30 000
	a2an/ a1an.dadn.E	30 000
	dadn/ a1an.a2an.E	15 000
	X_1/E	8 000

测试A相TV介质损耗及电容量，使用从二次绕组加压的自激法，测试上节电容的介质损耗及电容量数据正常，下节电容的电容量测试值为67 630 pF，与标准电容量偏差为7.41%，已经超过状态检修试验规程±2%的警示值，明显大于以往历次测试的电容量值。介质损耗1.287%，超过规程0.25%的注意值，且明显大于以往历次测试结果。A相TV介质损耗及电容量测试数据如表5所示， C_1 为上节电容器， C_2 为下节电容器。

如表6所示，对A相TV进行电压比测试，三

表5 110 kV II段母线TV A相介质损耗及电容量测试数据

被测元件	A相	
	C_1	C_2
试验方法	自激	自激
试验电压/kV	2	0.905 9
$\tan \delta(\%)$	0.104	1.287
实测电容 C_x/pF	29 810	67 630
额定电容 C_n/pF	29 790	62 960
$\Delta C\%$	0.07	7.41

个绕组的实测电压比与额定电压比的偏差分别为3.82%、3.82%和2.77%，实测电压比与额定电压比已经发生了明显的偏差。

表6 110 kV II段母线TV A相电压比测试数据

接线	额定电压比 K_n	A相	
		K_A	$\Delta K\%$
AX/a1an	1 100	1142	3.82
AX/a2an	1 100	1142	3.82
AX/dadn	635.08	652.6	2.77

综合110 kV II段母线TV A相的在线监测数据、油色谱数据、绝缘电阻测试数据、介质损耗和电容量测试数据以及电压比测试数据分析，该相TV内部存在故障，故障部位不在电磁单元，而应该是在电容分压部分，而且极有可能是下节分压电容发生了部分短路击穿。

4 解体检查及原因分析

因为该TV内部发生了严重的故障造成在线监测数据及停电试验数据异常，因此变电检修部门立即组织对该相TV进行更换。故障TV拆下后，被运到变电站内的备品区进行解体检查，以确定故障原因。

该TV二次接线端子表面无放电灼烧痕迹及局部过热现象，端子连接紧固，无松动现象。吊起分压电容套管检查下部的中间TV电磁单元油箱，油箱内部紧固件无松动，末屏引线搭接良好，其他引线也无异常现象。油箱内外表面无放电灼伤痕迹，油箱内清洁、无污染，未发现金属或非金属碎屑。

对分压电容套管进行解体检查，吊起套管外部的瓷套后，对分压电容进行逐屏检查，发现

下节分压电容有4屏电容已经被击穿，如图3所示，其余屏电容未发现异常。由此可知，故障原因是部分分压电容击穿，改变了分压比，造成在线监测上的电压数据异常，这与之前的分析判断一致。该故障如果没有及时发现，任由其发展下去，可能会造成分压电容整体击穿，影响电网运行安全。



图3 分压电容部分电容屏击穿

5 结束语

近几年来，泉州供电公司在110 kV及以上变电站安装了大量电气设备在线监测装置，通过对装置的监测、维护，积累了许多有益的经验。目前在线监测数据主要是以纵比为主，以横比为辅。如果发现某一状态量相对于之前的数据发生了突变或按照某种趋势持续变化，即使这些状态量未达到报警值，也应对其足够重视。将该设备在线监测数据与三相中的另两相相比或与同类设备相比，进一步判断是否是内部故障导致在线监测数据异常^[9-10]。如果怀疑被监测设备故障，应根据缺陷的严重程度采取相应的检修策略。并加强对该设备的跟踪监测，加强巡视、绝缘油色谱试验和红外热成像测温等带电检测手段，同时结合带电检测的结果对设备状态进一步进行综合分析判断。如果需要，应结合停电试验进行综合分析判断，对设备的状态进行准确的诊断，避免因设备

故障扩大造成电网事故。

这起案例是一起典型的由在线监测数据异常而发现设备故障的案例。通过这起案例可以看出，电气在线监测可以实时、准确地反映设备内部的运行状况，在设备内部绝缘故障或其他异常情况发展过程的早期就将异常数据进行及时反馈，避免缺陷发展到导致电网事故的程度，为电网的安全可靠运行提供了技术保证。

参考文献

- [1] 官根志，贺景亮．电气设备的绝缘在线监测与状态维修[J]．中国电力，1998，31(4)：66-70.
- [2] 徐大可．变电站电气设备在线监测综述[J]．变压器，2002，39(增刊1)：6-11.
- [3] 张元林，王文胜，徐大可．变电站电气设备在线监测综述[J]．高压电器，2001，37(5)：30-33.
- [4] 胡文平，尹项根，张哲．电气设备在线监测技术的研究与发展[J]．华北电力技术，2003(2)：23-27.
- [5] 郑云海，方丽妮，等．电流互感器内部故障导致在线监测数据异常的分析处理[J]．电工技术，2015(4)：27-31.
- [6] 郑云海，王恒山．几组电气设备绝缘在线监测数据的分析[J]．高压电器，2009，45(4)：129-132.
- [7] 甘肃省电力工业局．电气试验[M]．北京：中国电力出版社，1998.
- [8] 李建明，朱康．高压电气设备试验方法[M]．北京：中国电力出版社，2001.
- [9] 卫少华，申晓波．变电站电气设备在线监测的方法[J]．西北电力技术，2005，33(2)：12-16.
- [10] 李华，董明，严璋．对正确开展状态检测及状态维修的建议[J]．电力设备，2004(5)：48-51.

(收稿日期：2017-08-20) **EA**