

对 500 kV 断路器膜纸绝缘均压电容介质损耗试验探讨

文 剑

(四川省电力公司超(特)高压运行检修公司成都中心,四川 乐山 614000)

摘 要: 主要介绍膜纸复合绝缘电容器的特性, Garton 效应对膜纸复合绝缘电容器介质损耗试验的影响及在低电压(常规 10 kV) 和高电压下膜纸复合绝缘电容器介质损耗试验探讨。

关键词: 介质损耗; 膜纸绝缘; Garton 效应; 解决方法

Abstract: The characteristics of film and paper composite condenser are mainly introduced. The influence of Garton effect on the dielectric loss test of film and paper composite condenser is discussed. The dielectric loss tests of film and paper composite condenser under low voltage (normally 10 kV) and high voltage are also discussed.

Key words: dielectric loss; film and paper insulation; Garton effect; solution method

中图分类号: TM835 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2012)01-0073-04

对于运行中的 500 kV 及以上断路器均压介损试验, 采用常规加压 10 kV, 正接法试验。经常出现介损值超过国家《规程》规定(《规程》规定膜纸复合绝缘电容量不超过 0.2%, 现在高压断路器均压电容大都采用膜纸复合绝缘) 而电容量变化不明显的现象。而其他绝缘试验结果均都符合规程规定, 继续投入运行后仍无异常。这对试验人员对试验结果的分析判断带来很大的影响。

1 电容器介质损耗试验分析

目前, 在电气试验中主要都是通过 10 kV 下的介损试验测量($\tan\delta$) 的大小来发现设备的缺陷。可是, 10 kV 的试验电压远低于设备的运行电压, 不能真实反映设备运行时的状况。良好的绝缘在允许的电压范围内, 无论电压上升或下降, 其介损值均无明显变化。但现场试验数据显示, 不同绝缘介质设备的介质损耗($\tan\delta$) 值会随着电压的升高而变大或变小。所以在设备运行电压下做介质损耗测试才能真正反映设备的绝缘情况。

如进口 500 kV 开关均压电容, 在 10 kV 下测量的介损值通常都比额定电压下要大, 经调查研究确定介损试验受 Garton 效应影响出现超标情况。Garton 效应是 M. Garton 教授发现在含有纸的绝缘介质(或塑料以及油的混合介质) 中, 在较低电压下介质损耗正切值的变化可以比较高电压下的值高 1~10 倍。

1.1 膜纸复合绝缘介质电容器特性

聚丙烯粗化膜就是采用超高纯度电工级聚丙烯树脂为原料, 经平膜法双向拉伸而成。具有厚薄均匀性好, 耐压强度高、介质损耗小、易卷制等优异的物理及电气性能。且与多种电容器浸渍油相溶性好, 经国家电力电容器检测中心检定, 符合作为电力电容器绝缘介质的各项性能。

1) 应用范围: 主要用于以铝箔为电极, 膜纸复合为介质或全膜介质油浸式电力、电热及其他相关高压电容器。

2) 技术特性(典型值) 见表 1。

表 1 电容器技术特性

名 称	典型数值	测试条件
拉伸强度	纵向 /MPa	140
	横向 /MPa	200
断裂伸长率	纵向 /%	150
	横向 /%	50
热收缩率	纵向 /%	3.5
	横向 /%	1.5
空隙率	平均值 /%	9.0 (6 ~ 9 μm) , 10.0 (10 ~ 18 μm)
	极限值 /%	最大 Max 15
		最小 Min 6
表面粗糙度 / μm	0.25 ~ 0.65	23 $^{\circ}\text{C}$
介电强度 /V/ μm	520	23 $^{\circ}\text{C}$ 空气中
相对介电常数	2.2	50 Hz or 1 kHz 23 $^{\circ}\text{C}$
体积电阻率 / $\Omega \cdot \text{m}$	5.0×10^{15}	23 $^{\circ}\text{C}$
介质损耗因素	2×10^{-4}	50 Hz or 1 kHz @ 23 $^{\circ}\text{C}$

1.2 膜纸复合绝缘电容低电压下介质损耗情况

膜纸复合绝缘电容器用聚丙烯薄膜与电容器纸复合浸渍有机合成绝缘油介质取代电容器纸浸矿物质油介质,有功损耗较低,约为油纸绝缘电容器的1/4,介质损耗因数小于0.1%,因为其中聚丙烯粗化膜电容器的介质损耗因数只有0.01%,损耗为电容器纸的1/10,有机合成浸渍剂的介质损耗因数也只有0.03%。现场试验发现膜纸复合绝缘电容器介质损耗因数大大超过0.1%,甚至超标。有两种可能性:①是制造上的原因,如引线端子焊接不良,引线片与铝箔接触不良,有毛刺,容易引起放电,铝箔或膜不平整,浸渍不良等,均会引起介质损耗因数增大。②是

试验过程或仪器方面的,如果介质损耗因数的出厂试验值比较小而现场试验值较大,则应考虑现场试验的复杂情况。

用AI-6000F自动抗干扰电桥对断路器均压电容进行10kV正接法测量,大多数介质损耗因数为0.2%~0.1%,但也有部分为0.2%~0.3%。虽然有少部分介质损耗因数超过0.2%,但也不能认为不能运行。

以500kV蓝天变电站对500kV开关均压电容(面向主变压器左边为1)在投运时间为1年后首次检修时(全站停电检修无电场干扰)进行10kV介质损耗试验的数据,试验数据见表2。

表2 10kV介质损耗试验数据

开关 编号	相 别	编 号	前一次测量值 ($T=20$, $F=55%$, 泛华 AI-6000D 自动电桥)		本次测量值 ($T=18$, $F=75%$, 泛华 AI-6000D 自动电桥)		本次测量值($T=18$, $F=75%$, 2801电桥)	绝缘电阻
			tg δ /%	C_x /pF	tg δ /%	tg δ /%	测试单位:上海电 容器具检测所	
5021	A1	20916	0.534	1215	0.506	0.37	10 000 +	
	A2	20927	0.538	1221	0.514	0.378	10 000 +	
	B1	20948	0.653	1225	0.6	0.47	10 000 +	
	B2	20788	0.497	1222	0.485	0.345	10 000 +	
	C1	20920	0.245	1219	0.231	0.088	10 000 +	
	C2	20917	0.348	1225	0.358	0.211	10 000 +	
5022	A1	22396	0.26	1202	0.249		10 000 +	
	A2	22399	0.188	1203	0.194		10 000 +	
	B1	22429	0.352	1205	0.333		10 000 +	
	B2	22397	0.312	1202	0.299		10 000 +	
	C1	22400	0.242	1204	0.255		10 000 +	
	C2	22398	0.205	1205	0.225		10 000 +	
5023	A1	23101	0.331	1226	0.306	0.156	10 000 +	
	A2	20918	0.373	1227	0.347	0.208	10 000 +	
	B1	20950	0.635	1234	0.579	0.446	10 000 +	
	B2	20947	0.549	1221	0.498	0.362	10 000 +	
	C1	20876	0.544	1232	0.494	0.364	10 000 +	
	C2	20920	0.586	1229	0.55	0.340	10 000 +	
5063	A1	20835	0.435	1222	0.371	0.246	10 000 +	
	A2	20843	0.553	1216	0.476	0.338	10 000 +	
	B1	20842	0.497	1218	0.517	0.376	10 000 +	
	B2	20891	0.591	1230	0.43	0.292	10 000 +	
	C1	20929	0.661	1220	0.62	0.480	10 000 +	
	C2	20954	0.535	1221	0.507	0.362	10 000 +	
5062	A1	20804	0.25	1224	0.227	0.096	10 000 +	
	A2	20901	0.35	1219	0.32	0.190	10 000 +	
	B1	20892	0.479	1222	0.46	0.310	10 000 +	
	B2	20930	0.667	1231	0.667	0.556	10 000 +	
	C1	20928	0.628	1217	0.601	0.450	10 000 +	
	C2	20912	0.572	1213	0.543	0.400	10 000 +	

注:该开关为阿海珐开关,其均压电容器铭牌为:CPF 460/1050-1.2 SANS PCB 50-60HZ;280kV 460/1050kV 1200±pF;20P30 L2006 Δt 50/±70°C

从上面的数据看,在 10 kV 电压下对均压电容器进行介电损耗试验电容量及绝缘电阻测试的值与出厂值和交接数据变化不大,但介电损耗值 $\text{tg}\delta\%$ 变化明显,普遍偏大。用泛华 AI-6000D 自动抗干扰电桥的数据最大达到 0.67%,即使用测试单位:上海电容器检测所的高精度 2801 电桥试验结果也大大超过《电力设备预防性试验规程》0.2% 的要求。

所以对低电压下(10 kV)进行正接法测试介电损耗因数偏大的原因除了仪器自身精度影响外,主要有两个原因。

1) 天气潮湿,设备表面泄漏影响较大。湿度较大时介电损耗因数显著偏大,甚至严重超标。曾经有一清早即进行试验,介电损耗因数达到 0.4%,无论怎么也降不下来,中午天气晴朗后,再次试验,采用同样的仪器和方法,试验结果降到 0.2% 以下。

2) 高压引线和设备接触不良现场试验的设备刚投运时,表面有漆膜,如果不刮去,接触电阻就相当大,在设备运行一段时间后,还会产生氧化层。对 500 kV 断路器均压电容器试验时,通常采用绝缘杆挂接线,设备表面的这些电阻层不易破除,相当于试品中串接了一个接触电阻 R_j 。由串联电容试品等值电路,得试品的介电损耗因数为 $\text{tg}\delta = \omega Cx(Rx + Rj)$ 。式中 ω 为角频率; Cx 为试品等值串联电容; Rx 为试品等值串联电阻。

介电损耗因数增量 $\Delta\text{tg}\delta$ 为

$$\Delta\text{tg}\delta = \omega CxRj$$

如果高压引线接触电阻为 500 Ω ,对 0.01 μF 的试品,有 $\Delta\text{tg}\delta = 0.157\%$ 。该增量对油纸绝缘电容试品的介电损耗因数不会造成误判,因为其介电损耗因数标准较为宽松,一般要求不大于 0.5%,故 0.157%

影响不大。但对于膜纸复合绝缘的试品则很关键,因为,出厂值一般在 0.1% ~ 0.2%,交接和预防性试验规程要求小于 0.2%。在发现高压引线接触电阻影响后,一般采用高空作业车,用强力试验钳夹紧试品以消除接触电阻影响。

但仍然有部分介电损耗因数不符合规程要求(小于 0.2%)。

2 高电压下膜纸复合绝缘电容器介电损耗试验探讨

所以高电压介损试验越来越受到重视,国家电网公司在国家电网生(2009)819号(关于印发《预防油浸式电流互感器、套管设备事故补充措施》的通知)上也提出了对 110 kV 以上电流互感器、套管等开展高电压试验的要求。另外国家电网公司新颁布的企业标准 Q/GDW 168-2008《输变电设备状态检修试验规程》中也要求对主变压器套管、互感器、断路器等运行设备开展额定电压的介损试验。

以下介绍高电压下 500 kV 开关膜纸复合绝缘均压电容高电压下介电损耗试验方法。

1) 均压电容采用正接线,试验接线为一侧接地,先做一侧,另一侧接地。

2) 断路器均压电容高电压介损试验,因试品容量一般小于 2000 pF,所以用 AI-6000M 直接带试验变压器升压,组件最少,接线最简单。只需 AI-6000M 主机、试验变压器和高压标准电容器三大件即可,试验接线如图 1。

3) 500 kV 蓝天变电站对 500kV 开关其中 1 只在 10 kV 试验时介电损耗超标的均压电容进行高电压

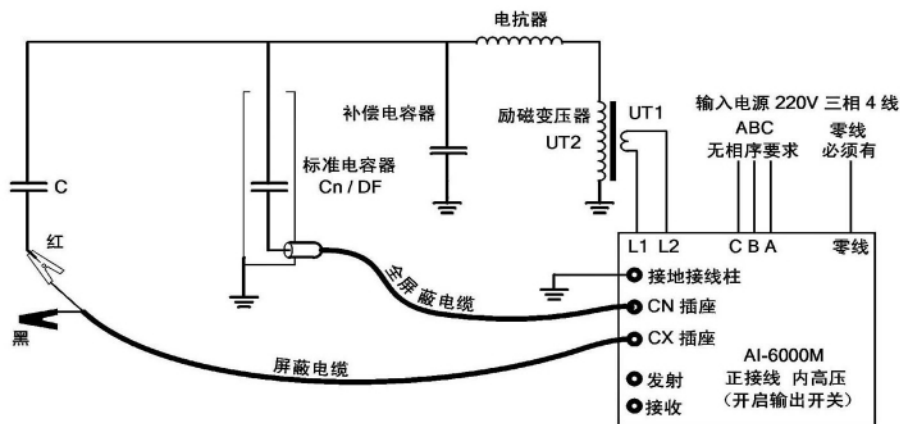


图 1 介损试验接线图

表3 介损超标高电压试验结果

NO	设置电压 /V	实测电压 /kV	电容量 /nF	tgδ /%
01	10000	9.844	1.212	0.587
02	20000	19.69	1.210	0.381
03	30000	29.51	1.209	0.255
04	40000	39.34	1.204	0.205
05	50000	49.17	1.204	0.183
06	60000	58.99	1.204	0.181
07	70000	68.80	1.204	0.186
08	80000	78.56	1.204	0.190
09	90000	88.32	1.204	0.199
10	80000	78.52	1.204	0.192
11	70000	68.74	1.204	0.186
12	60000	58.94	1.204	0.178
13	50000	49.13	1.204	0.180
14	40000	39.32	1.205	0.201
15	30000	49.13	1.204	0.253
16	20000	19.68	1.210	0.369
17	10000	9.840	1.212	0.561

注: 试品名称: AI-6000M 正接线 测量日期: 2010/10/20
10:40 频率设置: 50 ± 1 Hz

试验结果见表3。

从上面数据可以看到电容量与电压变化的关系不大,但是随着电压的升高其介质损耗呈现明显的下降趋势,原来在低电压(10 kV)试验电压下介质损耗tgδ高达0.57%,随着试验电压升高其介质损耗下降明显,当电压升高到50 kV及以上后tgδ下降到合格范围,当试验电压升高到60 kV时,介质损耗tgδ最低,但是当试验电压继续升高后其介质损耗也约有上升,但变化幅度不大,其值也在《规程》范围内。4) 试验结果图形

试验采用 AI-6000M 电质损耗测试仪:

AI-6000H 2010/10/20 10:40 50 ± 1Hz

(上接第23页)

负荷的同步变化,因此分析机组负荷波动原因时在实际工作中往往需从以下几个方面入手:①结合机组或线路故障录波装置通过分析机组励磁控制系统的波形图,查找是否有来自电网的干扰因素;②分析调速器控制系统部分硬件存在的问题及可能造成的后果,软件是否存在逻辑控制缺陷;③分析调速器机械部分是否存在发卡或堵塞等导致负荷波动的因素;④停机后有针对性地检查控制系统或机械部分软硬件存在的问题;⑤必要时应通过相关模拟试验进行功能验证,如检查调速器电转信号动作方向、机械零位检查

22℃,试验结果见图2。

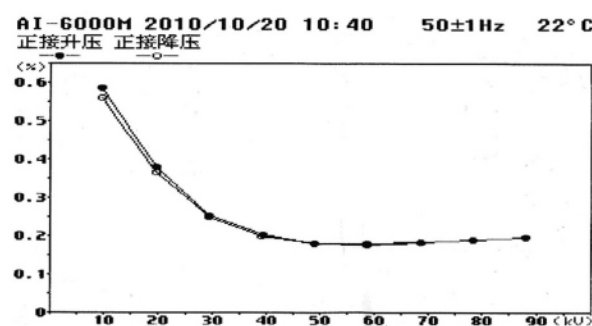


图2 试验结果图

5) 数据分析

从电压上升曲线上看,电压从10 kV到50 kV,介损从0.587%急剧下降到0.183%,这是均压电容内部绝缘材料的Garton效应引起的介损剧烈变化,当极性分子达到平衡,介质损耗趋于稳定,随着电压的继续升高,介损略有增大,这是由于表面泄漏引起的介损增大。

下降曲线是上升曲线的逆过程,但两条曲线一般不会完全重合,但试验值的变化趋势基本相同。

3 结论

对于运行中的500 kV及以上断路器均压介损试验,采用常规加压10 kV,正接法试验。由于Garton效应的影响,经常出现介损值超过国家《规程》规定(膜纸复合绝缘电容量不超过0.2%)的现象,当低电压下tgδ在除了仪器自身精度影响和试验方法的影响不符合规程要求(大于0.2%)时,此种情况下可进行额定电压下的复测,复测值如符合10 kV的要求,可继续投入运行。

(收稿日期:2011-09-16)

与调整、并网后负荷增减试验等。

此次缺陷能及时有效地得以解决,正是基于对数据的综合仔细分析后作出了有针对性的检查处理。

参考文献

- [1] 魏守平. 水轮机控制工程[J]. 电力系统自动化, 2005(12): 82-82.
- [2] 谭中美, 刘小改. 二滩水电站调速器控制系统改造[J]. 水电站机电技术, 2005, 28(1): 64-65.
- [3] 魏守平, 王雅军, 罗萍. 数字式电液调速器的功率调节[J]. 水电自动化与大坝监测, 2003(4): 20-22.

(收稿日期:2011-11-07)