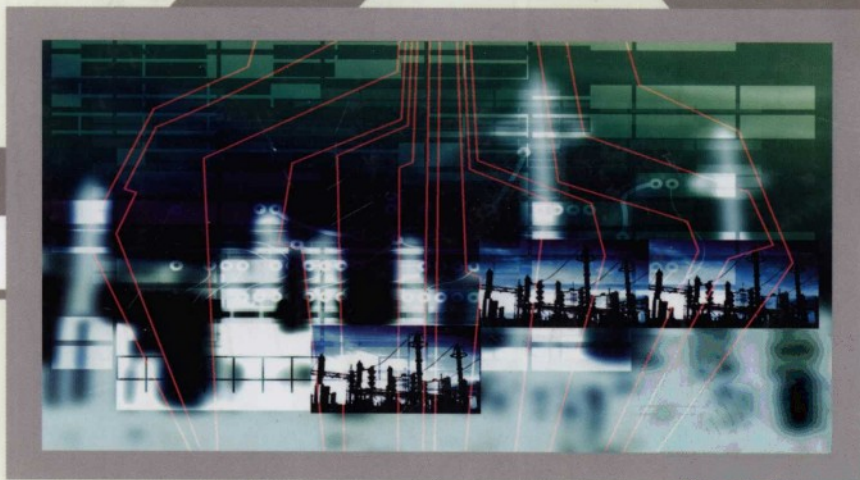


最新电力系统系列丛书

最新供配电工程

设计施工技术与质量验收标准

实用手册



◎ 主 编：王文清

安徽文化音像出版社

封面设计:  设计工作室

ISBN 7-88413-254-0



9 787884 132546 >

ISRC CN-E27-04-519-02/V·T7

定价: 798.00 元 (1CD+ 配套手册三卷)



最新供配电工程设计施工技术与 质量验收标准实用手册

主 编：王文清

下 卷



第六章 电力变压器的试验与检修

第一节 电力变压器的试验

一、电力变压器的试验项目、周期与要求

根据部标 DL/T596—1996《电力设备预防性试验规程》中规定,电力变压器的试验项目、周期与要求见表 4-6-1;电力变压器交流试验电压值及操作波试验电压值见表 4-6-2。

表 4-6-1 电力变压器的试验项目、周期与要求

序号	项目	周期	要求	说明
1	油中溶解气体色谱分析	<p>(1) 220kV 级及以上的所有变压器、容量 120MVA 及以上的发电厂主变压器在投运后的 4、10、30 天(500kV 设备还应增加 1 次在投运后 1 天)</p> <p>(2) 运行中: 额定电压为 330kV 级及以上的变压器为 3 个月; 额定电压为 220kV 级的变压器为 6 个月; 额定容量为 120MVA 及以上的发电厂主变压器为 6 个月; 其余额定容量为 8MVA 及以上的变压器为 1 年; 额定容量为 8MVA 以下的油浸式变压器自行规定</p> <p>(3) 大修后</p> <p>(4) 必要时</p>	<p>(1) 运行设备的油中 H_2 与烃类气体含量(体积分数)超过下列任何一项值时应引起注意:</p> <p>总烃含量大于 150×10^{-6}</p> <p>H_2 含量大于 150×10^{-6}</p> <p>C_2H_2 含量大于 5×10^{-6}</p> <p>(500kV 变压器为 1×10^{-6})</p> <p>(2) 烃类气体总和的产气速率大于 0.25ml/h(开放式)和 0.5ml/h(密封式), 或相对产气速率大于 10%/月则认为设备有异常</p>	<p>(1) 总烃包括: CH_4、C_2H_6、C_2H_4 和 C_2H_2 四种气体</p> <p>(2) 溶解气体组分含量有增长趋势时, 可结合产气速率判断, 必要时缩短周期进行追踪分析</p> <p>(3) 总烃含量低的设备不宜采用相对产气速率进行判断</p> <p>(4) 新投运的变压器应有投运前的测试数据</p> <p>(5) 测试周期中第 1 项的规定适用于大修后的变压器</p>

续表

序号	项目	周期	要求	说明
2	绕组直流电阻	(1)1~3年或自行规定 (2)无励磁调压变压器变换分接位置后 (3)有载调压变压器的分接开关检修后(在所有分接侧) (4)大修后 (5)必要时	(1)额定容量为1.6MVA以上变压器,各相绕组电阻相互间的差别不应大于三相平均值的2%,无中性点引出的绕组,线间差别不应大于三相平均值的1% (2)额定容量为1.6MVA及以下的变压器,相间差别一般不大于三相平均值的4%,线间差别一般不大于三相平均值的2% (3)与以前相同部位测得值比较,其变化不应大于2%	(1)如电阻相间差在出厂时超过规定,制造厂已说明了这种偏差的原因,按要求中第3项热行 (2)不同温度下的电阻值按下式换算 $R_2 = R_1 \left(\frac{T + t_2}{T + t_1} \right)$ 式中 R_1 、 R_2 分别为在温度 t_1 、 t_2 时的电阻值; T 为计算用常数,铜导线取235,铝导线取225 (3)无励磁调压变压器应在使用的分接锁定后测量
3	绕组绝缘电阻、吸收比或(和)极化指数	(1)1~3年或自行规定 (2)大修后 (3)必要时	(1)绝缘电阻换算至同一温度下,与前一次测试结果相比应无明显变化 (2)吸收比(10~30℃范围)不低于1.3或极化指数不低于1.5	(1)采用2500V或5000V绝缘电阻表 (2)测量前被试绕组应充分放电 (3)测量温度以顶层油温为准,尽量使每次测量温度相近 (4)尽量在油温低于50℃时测量,不同温度下的绝缘电阻值一般可按下式换算 $R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1 - t_2)/10}$ 式中 R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻值 (5)吸收比和极化指数不进行温度换算

第六章 电力变压器的试验与检修

续表

序号	项目	周期	要求	说明																												
4	绕组的 $\tan\delta$ 值	(1)1~3年或自行规定 (2)大修后 (3)必要时	<p>(1)20℃时 $\tan\delta$ 不大于下列数值: 330~500kV 0.6% 66~220kV 0.8% 35kV 及以下 1.5% (2) $\tan\delta$ 值与历年的数值比较不应有显著变化(一般不大于30%) (3)试验电压如下:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">绕组电压</td> <td style="padding: 2px;">10kV</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">10kV 及以上</td> <td style="padding: 2px;">10kV</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">绕组电压</td> <td style="padding: 2px;">U_N</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">10kV 以下</td> <td style="padding: 2px;">U_N</td> </tr> </table> <p>(4)用 M 型试验器时试验电压自行规定</p>	绕组电压	10kV	10kV 及以上	10kV	绕组电压	U_N	10kV 以下	U_N	<p>(1)非被试绕组应接地或屏蔽 (2)同一变压器各绕组 $\tan\delta$ 的要求值相同 (3)测量温度以顶层油温为准,尽量使每次测量的温度相近 (4)尽量在油温低于50℃时测量,不同温度下的 $\tan\delta$ 值一般可按下式换算</p> $\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_2 - t_1)/10}$ <p>式中 $\tan\delta_1$、$\tan\delta_2$ 分别为温度 t_1、t_2 时的 $\tan\delta$</p>																				
绕组电压	10kV																															
10kV 及以上	10kV																															
绕组电压	U_N																															
10kV 以下	U_N																															
5	电容型套管的 $\tan\delta$ 和电容值	(1)1~3年或自行规定 (2)大修后 (3)必要时	<p>(1)20℃时的 $\tan\delta$ (%) 值应不大于下表中数值:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">20</td> <td style="padding: 2px;">66</td> <td style="padding: 2px;">220</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">电压等级/kV</td> <td style="padding: 2px;">~</td> <td style="padding: 2px;">~</td> <td style="padding: 2px;">~</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">35</td> <td style="padding: 2px;">110</td> <td style="padding: 2px;">500</td> </tr> </table> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">大修后油纸电容型</td> <td style="padding: 2px;">1.01</td> <td style="padding: 2px;">0.0</td> <td style="padding: 2px;">0.8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">大修后胶纸电容器</td> <td style="padding: 2px;">2.01</td> <td style="padding: 2px;">1.5</td> <td style="padding: 2px;">1.0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">运行中油纸电容型</td> <td style="padding: 2px;">1.01</td> <td style="padding: 2px;">0.0</td> <td style="padding: 2px;">0.8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">运行中胶纸电容型</td> <td style="padding: 2px;">3.01</td> <td style="padding: 2px;">1.5</td> <td style="padding: 2px;">1.0</td> </tr> </table> <p>(2)当电容型套管末屏对地绝缘电阻小于1000MΩ时,应测量末屏对地 $\tan\delta$,其值不大于2%。 (3)电容型套管的电容值与出厂值或上一次试验值的差别超出$\pm 5\%$时,应查明原因</p>		20	66	220	电压等级/kV	~	~	~		35	110	500	大修后油纸电容型	1.01	0.0	0.8	大修后胶纸电容器	2.01	1.5	1.0	运行中油纸电容型	1.01	0.0	0.8	运行中胶纸电容型	3.01	1.5	1.0	<p>(1)用正接法测量 (2)测量时记录环境温度及变压器顶层油温</p>
	20	66	220																													
电压等级/kV	~	~	~																													
	35	110	500																													
大修后油纸电容型	1.01	0.0	0.8																													
大修后胶纸电容器	2.01	1.5	1.0																													
运行中油纸电容型	1.01	0.0	0.8																													
运行中胶纸电容型	3.01	1.5	1.0																													

第四篇 供配电工程质量验收与检修技术

续表

序号	项目	周期	要求	说明																				
6	绝缘油试验	(1)1~3年或自行规定 (2)大修后 (3)必要时	见表4-6-7																					
7	交流耐压试验	(1)1~5年(10kV级及以下) (2)大修后(66kV级及以下) (3)更换绕组后 (4)必要时	(1)油浸变压器试验电压按表4-6-2(定期试验按部分更换绕组电压值) (2)干式变压器全部更换绕组时,按出厂试验电压值;部分更换绕组和定期试验时,按出厂试验电压值的0.85倍	(1)可采用倍频感应或操作波感应法 (2)66kV级及以下全绝缘变压器,现场条件不具备时,可只进行外施工频耐压试验																				
8	铁心(有外引接地线的)绝缘电阻	(1)1~3年或自行规定 (2)大修后 (3)必要时	(1)与以前测试结果相比无显著差别 (2)运行中铁心接地电流一般不大于0.1A	(1)采用2500V绝缘电阻表(对运行年久的变压器可用1000V绝缘电阻表) (2)夹件引出接地的可单独对夹件进行测量																				
9	穿心螺杆、铁轭夹件、绑扎钢带、铁心、线圈压环及屏蔽等的绝缘电阻	(1)大修后 (2)必要时	220kV级及以上者绝缘电阻一般不低于500MΩ,其他自行规定	(1)采用2500V绝缘电阻表(对运行年久的变压器可用1000V绝缘电阻表) (2)连接片不能拆开者可不进行																				
10	油中含水量	见表4-6-7																						
11	油中含气量	见表4-6-7																						
12	绕组泄漏电流	(1)1~3年或自行规定 (2)必要时	(1)试验电压一般如下: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>绕组额定电压</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>20</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>/kV</td> <td></td> <td>10</td> <td>35</td> <td>330</td> </tr> <tr> <td>直流试验电压</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>/kV</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>60</td> </tr> </table> (2)与前一次测试结果相比应无明显变化	绕组额定电压	3	6	20	66	/kV		10	35	330	直流试验电压	5	10	20	40	/kV				60	读取1min时的泄漏电流值
绕组额定电压	3	6	20	66																				
/kV		10	35	330																				
直流试验电压	5	10	20	40																				
/kV				60																				

第六章 电力变压器的试验与检修

续表

序号	项目	周期	要求	说明
13	绕组所有分接的电压比	(1)分接开关引线拆装后 (2)更换绕组 (3)必要时	(1)各相应接头的电压比与铭牌值相比,不应有显著差别,且符合规律 (2)电压 35kV 级及以下,电压比小于 3 的变压器电压比允许偏差为 $\pm 1\%$;其他所有变压器:额定分接电压比允许偏差为 $\pm 0.5\%$,其他分接的电压比应在变压器阻抗电压值(%)的 1/10 以内,但不得超过 $\pm 1\%$	
14	校核三相变压器的组别或单相变压器极性	更换绕组后	必须与变压器铭牌和顶盖上的端子标志相一致	
15	空载电流和空载损耗	(1)更换绕组后 (2)必要时	与前次试验值相比,无明显变化	试验电源可用三相或单相;试验电压可用额定电压或较低电压值(如制造厂提供了较低电压下的值,可在相同电压下进行比较)
16	短路阻抗和负载损耗	(1)更换绕组后 (2)必要时	与前次试验值相比,无明显变化	试验电源可用三相或单相;试验电流可用额定值或较低电流值(如制造厂提供了较低电流下的测量值,可在相同电流下进行比较)
17	局部放电测量	(1)大修后(额定电压为 220kV 级及以上) (2)更换绕组后(额定电压为 220kV 级及以上、额定容量为 120MVA 及以上) (3)必要时	(1)在线端电压为 $1.5U_n \sqrt{3}$ 时,放电量一般不大于 500pC;在线端电压为 $1.3U_n \sqrt{3}$ 时,放电量一般不大于 300pC (2)干式变压器按 GB6450—1986 规定执行	(1)试验方法符合 GB1094.3—1985 的规定 (2)周期中“大修后”系指消缺性大修后,一般性大修后的试验可自行规定

续表

序号	项目	周期	要求	说明
18	<p>有载调压装置的试验和检查</p> <p>(1)检查动作顺序,动作角度</p> <p>(2)操作试验:变压器带电时手动操作、电动操作、远方操作各2个循环</p> <p>(3)检查和切换测试:</p> <p>1)测量过渡电阻的阻值</p> <p>2)测量切换时间</p> <p>3)检查插入触头、动静触头的接触情况,电气回路的连接情况</p> <p>4)单、双数触头间非线性电阻的试验</p> <p>5)检查单、双数触头间放电间隙</p> <p>(4)检查操作箱</p> <p>(5)切换开关室绝缘油试验</p> <p>(6)二次回路绝缘试验</p>	<p>(1)1年或按制造厂要求</p> <p>(2)大修后</p> <p>(3)必要时</p>	<p>范围开关、选择开关、切换开关的动作顺序应符合制造厂的技术要求,其动作角度应与出厂试验记录相符</p> <p>手动操作应轻松,必要时用力矩表测量,其值不超过制造厂的规定,电动操作应无卡涩,没有联动现象,电气和机械限位动作正常</p> <p>与出厂值相符</p> <p>三相同步的偏差、切换时间的数值及正反向切换时间的偏差均与制造厂的技术要求相符</p> <p>动、静触头平整光滑,触头烧损厚度不超过制造厂的规定值,回路连接良好</p> <p>按制造厂的技术要求</p> <p>无烧伤或变动</p> <p>接触器、电动机、传动齿轮、辅助触头、位置指示器、计数器等工作正常</p> <p>符合制造厂的技术要求,击穿电压一般不低于25kV</p> <p>绝缘电阻一般不低于1MΩ</p>	<p>有条件时进行</p> <p>采用 2500V 绝缘电阻表</p>

第六章 电力变压器的试验与检修

续表

序号	项目	周期	要求	说明
19	测温装置及其二次回路试验	(1)1~3年 (2)大修后 (3)必要时	密封良好,指示正确,测温电阻值应和出厂值相符 绝缘电阻一般不低于 $1M\Omega$	测量绝缘电阻采用2500V绝缘电阻表
20	气体继电器及其二次回路试验	(1)1~3年(二次回路) (2)大修后 (3)必要时	整定值符合运行规程要求,动作正确,绝缘电阻一般不低于 $1M\Omega$	测量绝缘电阻采用2500V绝缘电阻表
21	压力释放器校验	必要时	动作值与铭牌值相差应在 $\pm 10\%$ 范围内或按制造厂规定	
22	整体密封检查	大修后	(1)额定电压为35kV级及以下管状和平面油箱的变压器采用超过油枕顶部0.6m油柱试验(约5kPa压力),对于波纹油箱和有散热器的油箱采用超过油枕顶部0.3m油柱试验(约2.5kPa压力),试验时间12h无渗漏 (2)额定电压为110kV级及以上变压器,在油枕顶部施加0.035MPa压力,试验持续时间24h无渗漏	试验时带冷却器,不带压力释放装置
23	冷却装置及其二次回路检查试验	(1)自行规定 (2)大修后 (3)必要时	(1)投运后,流向、温升和声响正常,无渗漏 (2)强油水冷装置的检查和试验,按制造厂规定 (3)绝缘电阻一般不低于 $1M\Omega$	测量绝缘电阻采用2500V绝缘电阻表
24	套管中的电流互感器绝缘试验	(1)大修后 (2)必要时	绝缘电阻一般不低于 $1M\Omega$	采用2500V绝缘电阻表

续表

序号	项目	周期	要求	说明										
25	全电压下 空载合闸	更换绕组后	(1)全部更换绕组,空 载合闸 5 次,每次间隔 5min (2)部分更换绕组,空 载合闸 3 次,每次间隔 5min	(1)在使用分接上进行 (2)由变压器高压或中 压侧加压 (3)额定电压为 110kV 级及以上的变压器中性 点接地 (4)发电机变压器组的 中间连接无断开点的变 压器,可不进行										
26	油中糠醛 含量	必要时	(1)含量超过下表值 时,一般为非正常老化需 跟踪检测 <table border="1" style="margin: 5px auto;"> <tr> <td>运行 年限</td> <td>1~ 5</td> <td>5~ 10</td> <td>10~ 15</td> <td>15~ 20</td> </tr> <tr> <td>糠醛 量/ (mg /L)</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> </table> (2)跟踪检测时,注意 增长率 (3)测试值大于 4mg/L 时,认为绝缘老化已比较 严重	运行 年限	1~ 5	5~ 10	10~ 15	15~ 20	糠醛 量/ (mg /L)	0.1	0.2	0.4	0.5	建议在以下情况进行: (1)油中气体总烃超标 或 CO、CO ₂ 过高 (2)额定电压为 500kV 级变压器及额定容量为 150MVA 以上升压变压器 投运 3~5 年后 (3)需了解绝缘老化情 况
运行 年限	1~ 5	5~ 10	10~ 15	15~ 20										
糠醛 量/ (mg /L)	0.1	0.2	0.4	0.5										
27	绝缘纸 (板)聚合度	必要时	当聚合度小于 250 时, 应引起注意	(1)试样可取引线上绝 缘纸、垫块、绝缘纸板等 数克 (2)对运行时间较长的 变压器尽量利用吊检的 机会取样										
28	绝缘纸 (板)含水量	必要时	含水量(质量分数)一 般不大于下值: <table border="1" style="margin: 5px auto;"> <tr> <td>500kV</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>330kV</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>220kV</td> <td>3%</td> </tr> </table>	500kV	1%	330kV	2%	220kV	3%	可用所测绕组的 $\tan\delta$ 值推算或取纸样直接测 量。有条件时,可按部颁 DL/T580—1996《用露点法 测定变压器绝缘纸中平 均含水量的方法》标准进 行测量				
500kV	1%													
330kV	2%													
220kV	3%													

第六章 电力变压器的试验与检修

续表

序号	项目	周期	要求	说明
29	振动	必要时	与出厂值比不应有明显差别	
30	噪声	必要时	与出厂值比不应有明显差别	按 GB/T328—1987 要求进行
31	油箱表面温度分布	必要时	局部热点温升不超过 80K	

表 4-6-2 电力变压器交流试验电压值及操作波试验电压值 (单位: kV)

额定电压	最高工作电压	线端交流试验电压值	中性点交流试验电压值	线端操作波试验电压值			
		全部更换绕组	部分更换绕组	全部更换绕组	部分更换绕组	全部更换绕组	部分更换绕组
< 1	≤ 1	3	2.5	3	2.5	—	—
3	3.5	18	15	18	15	35	30
6	6.9	25	31	25	21	50	40
10	11.5	35	30	35	30	60	50
15	17.5	45	38	45	38	90	75
20	23.0	55	47	55	47	105	90
35	40.5	85	72	85	72	170	145
66	72.5	140	120	140	120	270	230
110	126.0	200	170 (195)	95	80	375	319
220	252.0	360	306	85	72	750	638
		395	336	(200)	(170)		
330	363.0	460	391	85	72	850	722
		510	434	(230)	(195)		
500	550.0	630	536	85	72	1050	892
		680	578	140	120		

注: 1 括号内数值适用于不固定接地或经小电抗接地系统。

2. 操作波的波形为: 波头大于 20 μ s, 90% 以上幅值持续时间大于 200 μ s, 波长大于 500 μ s; 负极性三次。

(一) 定期试验项目

1. 额定容量为 1.6MVA 以上的油浸式电力变压器

见表 4-6-1 中序号 1、2、3、4、5、6、7、8、10、11、12、18、19、20、23, 其中 10、11 项适用于额定电压为 330kV 级及以上的变压器。

2. 额定容量为 1.6MVA 及以下的油浸式电力变压器

见表 4-6-1 中序号 2、3、4、5、6、7、8、19、20, 其中 4、5 项适用于额定电压为 35kV 级及以上变电所用变压器。

3. 干式变压器

见表 4-6-1 中序号 2、3、7、19。

(二) 大修试验项目

1. 额定容量为 1.6MVA 以上油浸式电力变压器

(1) 一般性大修见表 4-6-1 中序号 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、17、18、19、20、22、23、24, 其中 10、11 项适用于额定电压为 330kV 级及以上的变压器。

(2) 更换绕组的大修见表 4-6-1 中序号 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、13、14、15、16、17、18、19、20、22、23、24、25, 其中 10、11 项适用于额定电压为 330kV 级及以上的变压器。

2. 额定容量为 1.6MVA 及以下的油浸式电力变压器

见表 4-6-1 中序号 2、3、4、5、6、7、8、9、13、14、15、16、19、20、22, 其中 13、14、15、16 适用于更换绕组时; 4、5 项适用于额定电压为 35kV 级及以上的变电所用变压器。

3. 干式变压器

更换绕组的大修试验项目见表 4-6-1 中序号 2、3、7、9、13、14、15、16、17、19, 其中 17 项适用于浇注型干式变压器。

(三) 判断故障时可供选用的试验项目

下面列举的项目主要针对容量为 1.6MVA 以上变压器, 其他变压器可作参考。

1. 当油中气体分析判断有异常时可选择的试验项目

(1) 绕组直流电阻。

(2) 铁心绝缘电阻和接地电阻。

(3) 空载损耗和空载电流测量或长时间空载(或轻负载下)运行, 用油中气体分析及局部放电检测仪监视。

(4) 长时间负载(或用短路法)试验, 用油中气体色谱分析监视。

(5) 油泵及水冷却器检查试验。

(6) 有载调压开关油箱渗漏检查试验。

(7) 绝缘特性(绝缘电阻、吸收比、极化指数、 $\tan\delta$ 、泄漏电流)。

(8) 绝缘油的击穿电压、 $\tan\delta$ 。

(9) 绝缘油含水量。

(10) 绝缘油含气量(500kV)。

(11) 局部放电(可在变压器停运或运行中测量)。

(12) 绝缘油中糠醛含量。

(13) 耐压试验。

(14) 油箱表面温度分布和套管端部接头温度。

2. 气体继电器报警后

进行变压器中溶解气体和继电器中的气体分析。

3. 变压器出口短路后可进行的试验

- (1) 油中溶解气体分析。
- (2) 绕组直流电阻。
- (3) 短路阻抗。
- (4) 绕组的频率响应。
- (5) 空载电流和损耗。

4. 判断绝缘受潮可进行的试验

- (1) 绝缘特性(绝缘电阻、吸收比、极化指数、 $\tan\delta$ 、泄漏电流)。
- (2) 绝缘油的击穿电压、 $\tan\delta$ 、含水量、含气量(500kV)。
- (3) 绝缘纸的含水量。

5. 判断绝缘老化可进行的试验

- (1) 油中溶解气体分析(特别是 CO、CO₂ 含量及变化)。
- (2) 绝缘油酸值。
- (3) 油中糠醛含量。
- (4) 油中含水量。
- (5) 绝缘纸或纸板的聚合度。

6. 振动、噪声异常时可进行的试验

- (1) 振动测量。
- (2) 噪声测量。
- (3) 油中溶解气体分析。

二、电力变压器的试验方法

(一) 测量绕组直流电阻

1. 测量目的

测量绕组直流电阻的目的主要是:检查三相绕组的直流电阻是否平衡;检查导线规格是否正确;检查并绕导线和并联支路的正确性;检查焊接质量,如导线与引线之间的焊接、引线与套管连接处的焊接以及导线之间的焊接等;提供精确的直流电阻值,供计算附加损耗和电阻损耗之用,为此,要求直流电阻的测量误差不超过 $\pm 0.2\%$,并且要换算到 75℃ 值。

变压器绕组直流电阻可测三相之间的线间电阻;有中性点引出的变压器要测试相电阻值。

2. 测量方法

(1) 电压降法 测量直流电阻最简单的方法是电压降法。在绕组上通以直流电流,用电压表和电流表测量,然后按欧姆定律计算出电阻值($R = U/I$),这种方法叫电压降法,也叫电压、电流法。

为了减少接线所造成的测量误差,测量小电阻时采用图 4-6-1a 接线;测量大电阻时采用图 4-6-1b 接线。

按图 4-6-1a 接线时,考虑电压表电阻 r_v 的分路电流 I_v ,被测绕组电阻 R 应为

$$R = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}}$$

当被测绕组电阻远小于电压表内阻 r_V 时, I_V 远小于通过 R 中的电流, 可以忽略不计, 此时可认为 $R \approx U/I$ 。因此这种接法适用于测量小电阻。

按图 4-6-1b 接线时, 考虑电流表电阻 r_A 上的电压降, 被测绕组电阻 R 应为

$$R = \frac{U - I r_A}{I} = \frac{U}{I} - r_A$$

当被测绕组电阻远大于电流表内阻 r_A 时, 电流表的内阻可忽略不计, 可认为 $R \approx U/I$ 。因此这种接法适用于测量大电阻。

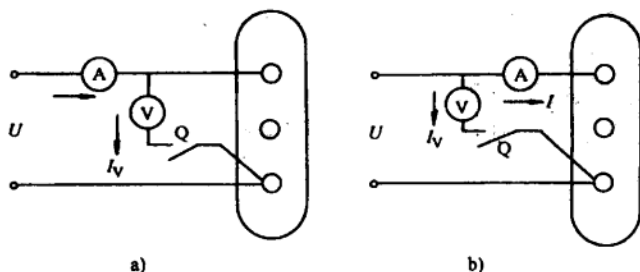


图 4-6-1 压降法测量电阻接线图

a) 测量小电阻 b) 测量大电阻

电压降法所用直流电源, 可采用 6V 或 12V 蓄电池电源; 所加电流的大小要以保证足够的灵敏度为准, 但不要超过绕组额定电流的 20%, 以免绕组发热造成附加测量误差。

电压表和电流表的准确度不低于 0.5 级。由于变压器绕组的电感较大, 所以测量时必须注意在电源电流稳定后, 方可接入电压表进行读数; 而在断开电源前, 一定要先断开电压表, 以免绕组反电动势使电压表损坏。

由于电压降法准确度不高、灵敏度低、需要换算、消耗电能多等原因, 在有电桥的单位, 应采用电桥法测量, 不要采用电压降法。

(2) 电桥法 用电桥法测量时, 采用专门测量直流电阻的仪器, 有单臂电桥(惠斯登电桥)、双臂电桥(凯尔文电桥)、单双臂电桥(凯惠电桥)三种。测量 $1 \sim 10^6 \Omega$ 范围内的电阻, 通常选用单臂电桥; 测量 $10^{-5} \sim 10 \Omega$ 范围内的电阻, 通常选用双臂电桥。

电桥一般具有内部电源(如 QJ23 型直流单臂电桥为 1.5V 干电池三节), 如需外接电源, 可将电压符合说明书规定的直流电源接于外接电源的“+”、“-”接线柱上。

电桥的连接导线应短而粗、电阻值尽量小、连接应牢固、接触应良好。特别要注意双臂电桥中连接电阻器的四个端钮不可接错。

用电桥测量变压器绕组电阻, 同样由于绕组的电感较大, 须等电流稳定后, 再合上检流计开关; 读取读数后拉开电源开关前, 断开检流计; 测量额定电压为 220kV 级及以上的变压器绕组时, 在切断电源前, 不但要断开检流计开关, 而且要将被测绕组进电桥的电压线也断开, 防止由于拉闸瞬间的反电动势将桥臂电阻间的绝缘和桥臂电阻对地等部位击穿。

电桥法测量准确度高、灵敏度高, 并具有直接读数的优点。

3. 操作注意事项

不论用哪种测量方法, 除上面分别介绍的注意事项外, 还应注意以下几点。

(1)测量电阻时要准确记录温度。油浸式电力变压器,可用油面温度作为被测绕组的温度;吊出器身放在室内时间较长时,可用环境温度作为绕组温度;当温度不稳定时,如绕组与周围温度差较大,要待温度稳定后再测量。

(2)不可在短路试验刚完或热油注入箱内不久,马上测量绕组直流电阻。

(3)测二次绕组电阻时,由于引线铜排长度不一,会使三相电阻值不一样,这时要分段测量,除去引线长度不同和套管焊接部分影响,直接测量每相绕组电阻。由于排除了出线端、连接的接触、焊接部分、分接开关等影响,可以查出影响直流电阻不合格的原因。

(4)测量大型高压变压器绕组的直流电阻时,其他非被测的绕组应短路接地,防止直流电源开断和投入时产生高压。

4. 测量结果的分析

(1)为便于分析比较,应将不同温度下测出的直流电阻换算至 75℃ 时的电阻,换算公式如下:

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = R \frac{T + 75}{T + t}$$

式中 R ——被测出的电阻值(Ω);
 T ——计算用常数,铜导线取 235,铝导线取 225;
 t ——测量时温度($^{\circ}\text{C}$)。

(2)三相电阻平衡要求见表 4-6-1 中序 2 项。

(3)如果测量的是线电阻,应换算成相电阻。

①当三相电阻平衡时,按下面公式换算

星形联结时 $R_p = R_l/2$

三角形联结时 $R_p = 1.5R_l$

式中 R_p ——相电阻(Ω);

R_l ——线电阻(Ω)。

②三相电阻不平衡,且不平衡率超过表 4-6-1 中序 2 项要求,换算为相电阻的公式如下:

星形联结时

$$R_a = (R_{ab} + R_{ac} - R_{bc})/2$$

$$R_b = (R_{ab} + R_{bc} - R_{ac})/2$$

$$R_c = (R_{bc} + R_{ac} - R_{ab})/2$$

三角形联结,并为 a-y; b-z; c-x 时

$$R_a = R_{ac} - R_{ax} - \frac{R_{ab}R_{bc}}{R_{ac} - R_{ax}}$$

$$R_b = R_{ab} - R_{bx} - \frac{R_{ac}R_{bc}}{R_{ab} - R_{bx}}$$

$$R_c = R_{bc} - R_{cx} - \frac{R_{ab}R_{ac}}{R_{bc} - R_{cx}}$$

$$R_x = \frac{R_{ab} + R_{bc} + R_{ac}}{2}$$

式中 R_a, R_b, R_c ——相电阻(Ω);

R_{ab}, R_{bc}, R_{ac} ——线电阻(Ω)。

(二)测量介质损耗角

测量变压器的介质损耗角,目的在于检查变压器绝缘受潮、油质劣化、绕组附着油泥等情况,测量灵敏度很高,介质损耗角正切 $\tan\delta$ 是判断绝缘好坏一项很重要的数据。

目前测量变压器的 $\tan\delta$ 是采用专用的 QS1 型交流电桥。改变仪表内桥电路的连接,可以测量两端绝缘的或一端接地的变压器,测量两端绝缘的变压器的电桥是采用正接法,如图 4-6-2a 所示;测量一端接地的变压器采用反接法,如图 4-6-2b 所示。由于反接法无须两端绝缘,被广泛应用在现场测试和出厂试验中。

采用反接法时,被试绕组的各引线端子要短连接,其余各非测量绕组都要短连接后进行接地。

绕组测量部位和顺序按表 4-6-3 进行。表中序号 4、5 项目前只对 15000kVA 及以上的变压器进行测量。

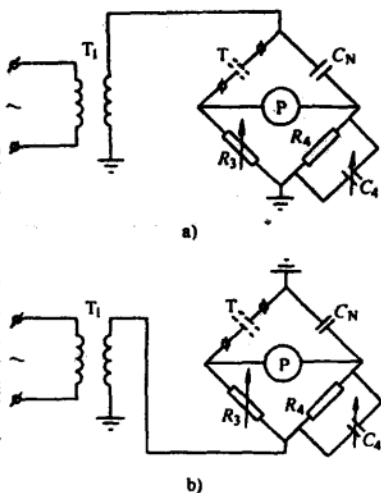


图 4-6-2 QS1 型电桥试验接线图
a)正接法 b)反接法
 T_1 —电源变压器 T —被试变压器
 C_N —标准电容 R_3, R_4 —桥臂电阻
 C_4 —桥臂电容

表 4-6-3 变压器介质损耗角测量部位及顺序

序号	双绕组变压器		三绕组变压器	
	被测绕组	接地部位	被测绕组	接地部位
1	低压	外壳及高压	低压	外壳、高压及中压
2	高压	外壳及低压	中压	外壳、高压及低压
3			高压	外壳、中压及低压
4	高压及低压	外壳	高压及中压	外壳及低压
5			高压、中压及低压	外壳

新制和更换绕组绝缘的变压器的 $\tan\delta$ 允许值见表 4-6-1 中序号 4;大修后未经干燥的变压器的 $\tan\delta$ 允许值见表 4-6-4。

表 4-6-4 大修后未经干燥的变压器 $\tan\delta$ 值标准

高压绕组的电压等级	温度/ $^{\circ}\text{C}$						
	10	20	30	40	50	60	70
35kV 及以下	2.5%	3.5%	5.5%	8.0%	11.0%	15.0%	20.0%
35kV 级以上	2.0%	2.5%	4.0%	6.0%	8.0%	11.0%	18.0%
110kV 级及以上	1.0%	1.5%	2.0%	3.0%	4.0%	6.0%	8.0%