



变压器及电抗器电气试验标准化作业指导书（试行）

一. 适用范围

本作业指导书适应于电力变压器及电抗器交接、大修和预防性试验。

二. 引用的标准和规程

GB50150-91《电气设备交接及安装规程》

DL/T596-1996《电力设备预防性试验规程》

《重庆市电力公司电力设备试验规程》

三. 试验仪器、仪表及材料

1. 交接及大修后试验所需仪器及设备材料：

序号	试验所用设备（材料）	数量	序号	试验所用设备（材料）	数量
1	QJ42型单臂、QJ44型双臂电桥或直流电阻测试仪	1套	8	倍频电源车、补偿电抗、局部放电测量系统	1套
2	2500—5000V手动或电动兆欧表	1块	9	TDT型变压器绕组变形测试系统	1套
3	试验变压器、调压器、球隙、分压器、水阻等。	1套	10	万用表、直流毫伏表、相位表、电压表、电流表、瓦特表、	若干
4	直流发生器、微安表	1套	11	有载分接开关特性测试仪	1套
5	调压器、升压变压器，电流互感器、电压互感器	1套	12	电源线和试验接线、常用工具、干电池	若干
6	自动介损测试仪或QS1型西林电桥	1套	13	绝缘杆、安全带、安全帽	若干
7	QJ35型变比电桥或变比测试仪	1套	14	温湿度计	1只

2. 预防性试验所需仪器及设备材料：

序号	试验所用设备（材料）	数量	序号	试验所用设备（材料）	数量
1	QJ42型单臂、QJ44型双臂电桥或直流电阻测试仪	1套	6	万用表、电压表、电流表	若干
2	2500—5000V手动或电动兆欧表	1块	7	有载分接开关特性测试仪	1套
3	试验变压器、调压器、球隙、分压器、水阻等。（6-10KV站变时需要）	1套	8	电源线和试验接线、常用工具、干电池	若干
4	直流发生器、微安表	1套	9	绝缘杆、安全带、安全帽	若干
5	自动介损测试仪或QS1型西林电桥	1套	10	温湿度计	1只

四. 安全工作的一般要求

1. 必须严格执行DL409-1991《电业安全工作规程》及市公司相关安全规定。
2. 现场工作负责人负责测试方案的制定及现场工作协调联络和监督

五. 试验项目



1. 变压器绕组直流电阻的测量

1.1 试验目的

检查绕组接头的焊接质量和绕组有无匝间短路；分接开关的各个位置接触是否良好以及分接开关的实际位置与指示位置是否相符；引出线有无断裂；多股导线并绕的绕组是否有断股的情况；

1.2 该项目适用范围

交接、大修、预试、无载调压变压器改变分接位置后、故障后；

1.3 试验时使用的仪器

QJ42型单臂、QJ44型双臂电桥或直流电阻测试仪；

1.4 试验方法

1.4.1 电流电压表法

电流电压表法有称电压降法。电压降法的测量原理是在被测量绕组中通以直流电流，因而在绕组的电阻上产生电压降，测量出通过绕组的电流及绕组上的电压降，根据欧姆定律，即可计算出绕组的直流电阻，测量接线如图所示。

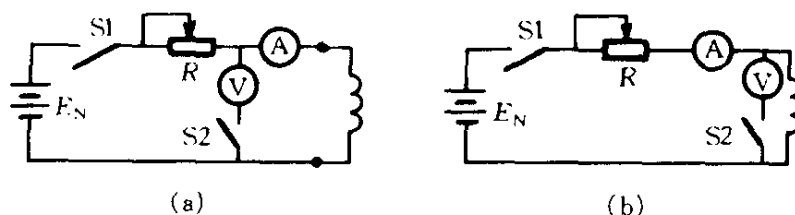


图 1-1 电流电压表法测量直流电阻原理图

(a) 测量大电阻

(b) 测量小电阻

测量时，应先接通电流回路，待测量回路的电流稳定后再合开关 S2，接入电压表。当测量结束，切断电源之前，应先断 S2，后断 S1，以免感应电动势损坏电压表。测量用仪表准确度应不低于 0.5 级，电流表应选用内阻小的电压表应尽量选内阻大的 4 位高精度数字万用表。当试验采用恒流源，数字式万用表内阻又很大时，一般来讲，都可使用图 1-1 (b) 的接线测量。

根据欧姆定律，由式 (1-1) 即可计算出被测电阻的直流电阻值。

$$R_x = U/I \quad (1-1)$$

R_x ——被测电阻 (Ω)

U ——被测电阻两端电压降 (V)；

I ——通过被测电阻的电流 (A)。

电流表的导线应有足够的截面，并应尽量地短，且接触良好，以减小引线和接触电阻带来的测量误差。当测量电感量大的电阻时，要有足够的充电时间。

1.4.2 平衡电桥法

应用电桥平衡的原理测量绕组直流电阻的方法成为电桥法。常用的直流电桥有单臂电桥与双臂电桥两种。

单臂电桥常用于测量 1Ω 以上的电阻，双臂电桥适宜测量准确度要求高的小电阻。

双臂电桥的测量步骤如下：

测量前，首先调节电桥检流计机械零位旋钮，置检流计指针于零位。接通测量仪器电源，具有放



郑州市鸿运试验设备有限公司

ZHENGZHOU SHI HONGYUN TESTING EQUIPMENT CO.,LTD

地址：郑州市经济技术开发区赵庄184号 邮编：450000 电话：037160506960、13383854613 传真：0371-60126316

大器的检流计应操作调节电桥电气零位旋钮，置检流计指针于零位。

接人被测电阻时，双臂电桥电压端子 P1、P2 所引出的接线应比由电流端子 C1、C2 所引出的接线更靠近被测电阻。

测量前首先估计被测电阻的数值，并按估计的电阻值选择电桥的标准电阻 R_N 和适当的倍率进行测量，使“比较臂”可调电阻各档充分被利用，以提高读数的精度。测量时，先接通电流回路，待电流达到稳定值时，接通检流计。调节读数臂阻值使检流计指零。被测电阻按式（1-2）计算

$$\text{被测电阻} = \text{倍率} \times \text{读数臂指示} \quad (1-2)$$

如果需要外接电源，则电源应根据电桥要求选取，一般电压为 2~4V，接线不仅要注意极性正确，而且要接牢靠，以免脱落致使电桥不平衡而损坏检流计。

测量结束时，应先断开检流计按钮，再断开电源，以免在测量具有电感的直流电阻时其自感电动势损坏检流计。选择标准电阻时，应尽量使其阻值与被测电阻在同一数量级，最好满足下列关系式（1-2）

$$0.1R_x < R_N < 10R_x \quad (1-3)$$

1.4.3 微机辅助测量法

计算机辅助测量（数字式直流电阻测量仪）用于直流电阻测量，尤其是测量带有电感的线圈电阻，整个测试过程由单片机控制，自动完成自检、过渡过程判断、数据采集及分析，它与传统的电桥测试方法比较，具有操作简便、测试速度快、消除认为测量误差等优点。

使用的数字式直流电阻测量仪必须满足以下技术要求，才能得到真实可靠的测量值：

- （1）恒流源的纹波系数要小于 0.1%（电阻负载下测量）。
- （2）测量数据要在回路达到稳态时候读取，测量电阻值应在 5min 内测值变化不大于 0.5%。
- （3）测量软件要求为近期数据均方根处理，不能用全事件平均处理。

1.5 试验结果的分析判断

1.5.1 1.6MVA 以上变压器，各相绕组电阻相互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%；

1.5.2 1.6MVA 以下变压器，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%；

1.5.3 与以前相同部位测得值比较，其变化不应大于 2%；

1.5.4 三相电阻不平衡的原因：分接开关接触不良，焊接不良，三角形连接绕组其中一相断线，套管的导电杆与绕组连接处接触不良，绕组匝间短路，导线断裂及断股等。

1.6 注意事项

1.6.1 不同温度下的电阻换算公式： $R_2 = R_1 (T + t_2) / (T + t_1)$ 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。

1.6.2 测试应按照仪器或电桥的操作要求进行。

1.6.3 连接导线应有足够的截面，长度相同，接触必须良好（用单臂电桥时应减去引线电阻）。

1.6.4 准确测量绕组的平均温度。

1.6.5 测量应有足够的充电时间，以保证测量准确；变压器容量较大时，可加大充电电流，以缩短充电时间。

1.6.6 如电阻相间差在出厂时已超过规定，制造厂已说明了造成偏差的原因，则按标准要求执行。

2. 绕组绝缘电阻、吸收比或（和）极化指数及铁芯的绝缘电阻



2.1 试验目的

测量变压器的绝缘电阻，是检查其绝缘状态最简便的辅助方法。测量绝缘电阻、吸收比能有效发现绝缘受潮及局部缺陷，如瓷件破裂，引出线接地等。

2.2 该项目适用范围

交接、大修、预试、必要时

2.3 试验时使用的仪器

2500—5000V 手动或电动兆欧表

2.4 试验方法

2.4.1 断开被试品的电源，拆除或断开对外的一切连线，并将其接地放电。此项操作应利用绝缘工具（如绝缘棒、绝缘钳等）进行，不得用手直接接触放电导线。

2.4.2 用干燥清洁柔软的布擦去被试品表面的污垢，必要时可先用汽油或其他适当的去垢剂洗净套管表面的积污。

2.4.3 将兆欧表放置平稳，驱动兆欧表达额定转速，此时兆欧表的指针应指“∞”，再用导线短接兆欧表的“火线”与“地线”端头，其指针应指零（瞬间低速旋转以免损坏兆欧表）。然后将被试品的接地端接于兆欧表的接地端头“E”上，测量端接于兆欧表的火线端头“L”上。如遇被试品表面的泄漏电流较大时，或对重要的被试品，如发电机、变压器等，为避免表面泄漏的影响，必须加以屏蔽。屏蔽线应接在兆欧表的屏蔽端头“G”上。接好线后，火线暂时不接被试品，驱动兆欧表至额定转速，其指针应指“∞”，然后使兆欧表停止转动，将火线接至被试品。

2.4.4 驱动兆欧表达额定转速，待指针稳定后，读取绝缘电阻的数值。

2.4.5 测量吸收比或极化指数时，先驱动兆欧表达额定转速，待指针指“∞”时，用绝缘工具将火线立即接至被试品上，同时记录时间，分别读取 15S 和 60S 或 10min 时的绝缘电阻值。

2.4.6 读取绝缘电阻值后，先断开接至被试品的火线，然后再将兆欧表停止运转，以免被试品的电容在测量时所充的电荷经兆欧表放电而损坏兆欧表，这一点在测试大容量设备时更要注意。此外，也可在火线端至被试品之间串入一只二极管，其正端与兆欧表的火线相接，这样就不必先断开火线，也能有效地保护兆欧表。

2.4.7 在湿度较大的条件下进行测量时，可在被试品表面加等电位屏蔽。此时在接线上要注意，被试品上的屏蔽环应接近加压的火线而远离接地部分，减少屏蔽对地的表面泄漏，以免造成兆欧表过载。屏蔽环可用保险丝或软铜线紧缠几圈而成。

2.4.8 测得的绝缘电阻值过低时，应进行解体试验，查明绝缘不良部位

2.5 试验结果的分析判断

- （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；
- （3）绝缘电阻在耐压后不得低于耐压前的 70%；
- （4）于历年数值比较一般不低于 70%。

测量铁芯绝缘电阻的标准：

- （1）与以前测试结果相比无显著差别，一般对地绝缘电阻不小于 50MΩ；
- （2）运行中铁芯接地电流一般不大于 0.1A；
- （3）夹件引出接地的可单独对夹件进行测量。

2.6 注意事项

2.6.1 不同温度下的绝缘电阻值一般可按下式换算 $R_2=R_1 \times 1.5^{(t_1-t_2)/10}$ R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻。



2.6.2 测量时依次测量各线圈对地及线圈间的绝缘电阻，被试线圈引线端短接，非被试线圈引线端短路接地，测量前被试线圈应充分放电；测量在交流耐压前后进行。

2.6.3 变压器应在充油后静置5小时以上，8000kVA以上的应静置20小时以上才能测量。

2.6.4 吸收比指在同一次试验中，60S与15S时的绝缘电阻值之比，极化指数指10分钟与1分钟时的绝缘电阻值之比，220kV、120000kVA及以上变压器需测极化指数。

2.6.5 测量时应注意套管表面的清洁及温度、湿度的影响。

2.6.6 读数后应先断开被试品一端，后停摇兆欧表，最后充分对地放电。

3. 绕组的 $\text{tg } \delta$ 及其电容量

3.1 试验目的

测量 $\text{tg } \delta$ 是一种使用较多而且对判断绝缘较为有效的方法，通过测量 $\text{tg } \delta$ 可以反映出绝缘的一系列缺陷，如绝缘受潮、油或浸渍物脏污或劣化变质，绝缘中有气隙发生放电等。

3.2 该项目适用范围

交接、大修、预试、必要时。(35KV及以上，10KV容量大于1600KVA)

3.3 试验时使用的仪器

自动介损测试仪、QS1型西林电桥

3.4 试验方法

3.4.1 QS1型西林电桥

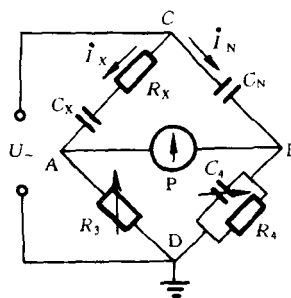
3.4.1.1 技术特性

QS1型电桥的额定工作电压为10kV， $\text{tg } \delta$ 测量范围是0.5%~60%，试品电容 C_x 是30pF~0.4 μ F(当 C_N 为50pF时)。该电桥的测量误差是： $\text{tg } \delta = 0.5\% \sim 3\%$ 时，绝对误差不大于 $\pm 0.3\%$ ； $\text{tg } \delta = 3\% \sim 60\%$ 时，相对误差不大于 $\pm 10\%$ 。被试品电容量 C_x 的测量误差不大于 $\pm 5\%$ 。如果工作电压高于10kV，通常只能采用正接线法并配用相应电压的标准电容器。电桥也可降低电压使用，但灵敏度下降，时为了保持灵敏度，可相应增加 C_N 的电容量(例如并或更换标准电容器)。

3.4.1.2 接线方式

1.正接线法。所谓正接线就是正常接线，如图3-1所示。在正接线时，桥体处于低压，操作安全方便。不受被试品对地寄生电容的影响，测量准确。但这时求被试品两极均能对地绝缘(如电容式套管、耦合电抗器等)，由于现场设备外几乎都是固定接地的，故接线的采用受到了一定限制。

2.反接线法。反接线用于被试品一极接地的情况，故在现场应用较广，图3-2所示。这时的高、电压端恰与正接线相反，点接往高压而C点接地，而称为反接线。在反接线



这联

所因要容壳正限

适情如低D因时，

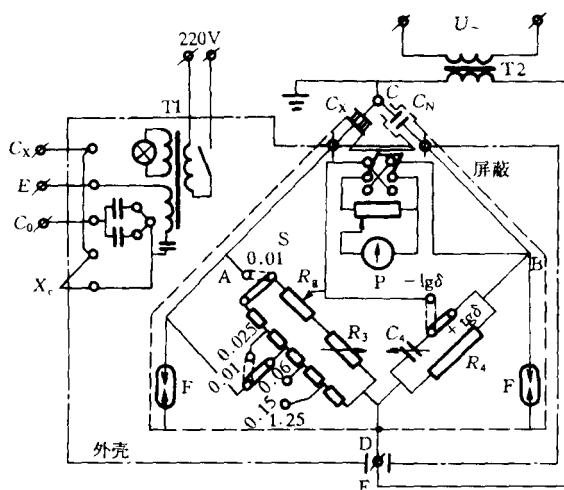


图 3.2 QS1 电桥全部内部接线图



电桥体内各桥臂及部件处于高电位，所以在面板上的各种操作都是通过绝缘柱传动的。此时，被试品高压电极连同引线的对地寄生电容将与被试品电容 C_x 并联而造成测量误差，尤其是 C_x 值较小时更为显著。

3、对角接线。当被试品一极接地而电桥又没有足够绝缘强度进行反接线测量时，可采用对角接线，如图 3-3 所示。在对角接线时，由于试验变压器高压绕组引出线回路与设备对地（包括对低压绕组）的全部寄生电容均与 C_x 并联，给测量结果带来很大误差。因此要进行两次测量，一次不接被试品，另一次接被试品，然后按式 (3-1) 计算，以减去寄生电容的影响。

$$\text{tg } \delta = (C_2 \text{tg } \delta_2 - C_1 \text{tg } \delta_1) / (C_2 - C_1) \quad (3-1)$$

$$C_x = (C_2 - C_1) \quad (3-2)$$

式中 $\text{tg } \delta_1$ ——未接人被试品时的测得值；

$\text{tg } \delta_2$ ——接人被试品后的测得值；

C_1 ——未接人被试品时测得的电容；

C_2 ——接人被试品后测得的电容。

这种接线只有在被试品电容远大于寄生电容时才宜采用。用 QSI 型电桥作对角接线时，还需将电桥后背板引线插头座拆开，图 3-3 中 E 点的输出线屏蔽与接地，以免 E 点与地接通将 R_3 短路。此外，装有一套低压电源和标准电容器，供用来测量压 (100V) 大容量特性。当标准电容 $C_N=0.001\mu\text{F}$ 时， C_x 的范围是 $300\text{pF} \sim 10\mu\text{F}$ ；当 $C_N=0.01\mu\text{F}$ 时， C_x 的范围是 $3000\text{pF} \sim 100\mu\text{F}$ 。 δ 的测量精度与高压测量法相同， C_x 不大于 $\pm 5\%$ 。

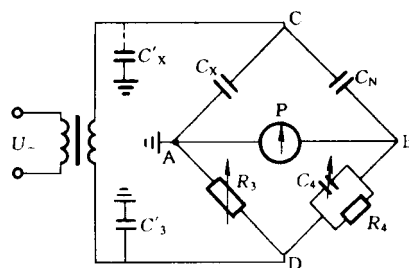


图 3-3 对角线接线原理图

C'_x ——高压端寄生电容

C'_3 ——低压端寄生电容

于寄生电容测量时，将 D 点（即线断开，以在电桥内低压测量电容器的试品电容

100 μF 。 tg 的误差应

3.4.2 数字式自动介损测量仪

数字式介损测量仪的基本原理为矢量电压法。数字式介损型测量仪为一体化设计结构，内置高压试验电源和 BR26 型标准电容器，能够自动测量电气设备的电容量及介质损耗等参数，并具备先进的干扰自动抑制功能，即使在强烈电磁干扰环境下也能进行精确测量。电通过软件设置，能自动施加 10、5kV 或 2kV 测试电压，并具有完善的安全防护措施。能由外接调压器供电，可实现试验电压在 1~10kV 范围内的任意调节。当现场干扰特别严重时，可配置 45~60Hz 异频调压电源，使其能在强电场干扰下准确测量。

数字式自动介损测量仪为一体化设计结构，使用时把试验电源输出端用专用高压双屏蔽电缆（带插头及接线挂钩）与试品的高电位端相连、把测量输入端（分为“不接地试品”和“接地试品”两个输入端）用专用低压屏蔽电缆与试品的低电位端相连，即可实现对不接地试品或接地试品（以及具有保护的接地试品）的电容量及介质损耗值进行测量。

在测量接地试品时，接线原理见图 3-4 (b)，它与常用的闭型电桥反接测量方式有所不同，现以单相双绕组变压器（如图 3-5 所示）为例，说明具体的接线方式。

测量高压绕组对低压绕组的电容 C_{H-L} 时，按照图 3-5(a)所示方式连接试验回路，低压测量信号 I_x 应与测试仪的“不接地试品”输入端相连，即相当于使用 QS1 型电桥的正接测试方式。



郑州市鸿运试验设备有限公司

ZHENGZHOU SHI HONGYUN TESTING EQUIPMENT CO.,LTD

地址：郑州市经济技术开发区赵庄184号 邮编：450000 电话：037160506960、13383854613 传真：0371-60126316

测量高压绕组对低压绕组及地的电容 $C_{H-L}+C_{H-G}$ 时，应按照图 3-5(b)所示方式连接试验回路，低压测量信号 I_x 应与测试仪的“接地试品”输入端相连，即相当于使用 QSI 型电桥的反接测试方式。

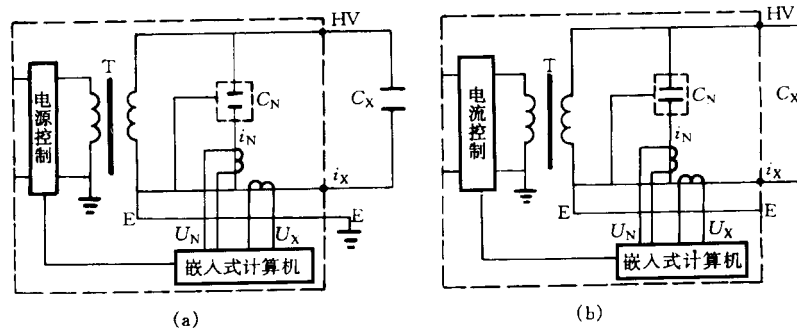


图 3-4 试验时使用的仪器工作原理框图
(a) 测量不接地试品 (b) 测量接地试品

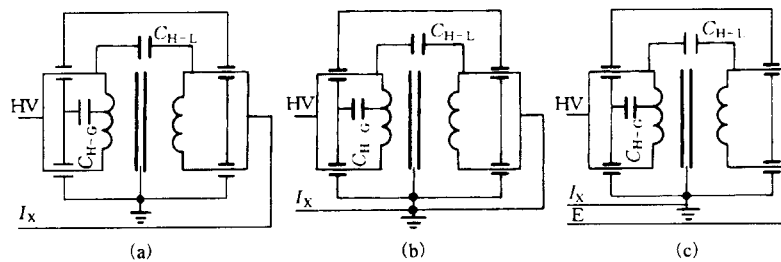


图 3-5 测试接线示意图
(a)测量电容 C_{H-L} (b)测量电容 $C_{H-L}+C_{H-G}$ (c)测量电容 C_{H-G}

测试标准当仅测量高压绕组对地之间的电容 C_{H-G} 时，按照图 3-5 (c) 所示方式连接试验回路，低压测量信号 I_x 应与测试仪的“接地试品”输入端相连，并把低压绕组短路后与测量电缆所提供的屏蔽 E 端相连，即相当于使用 QSI 型电桥的反接测试方式。

3.5 试验结果的分析判断

(1) 20℃时 $\text{tg } \delta$ 不大于下列数值：

330-500kV 0.6%

66-220kV 0.8%

35kV 及以下 1.5%

(2) $\text{tg } \delta$ 值于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：

绕组电压 10kV 及以上 10kV

绕组电压 10kV 以下 U_n

(4) 用 M 型试验器时试验电压自行规定

3.6 注意事项

3.6.1 采用反接法测量，加压 10kV，非被试线圈短路接地。



3.6.2 测量按试验时使用的仪器的有关操作要求进行。

3.6.3 应采取适当的措施消除电场及磁场干扰，如屏蔽法、倒相法、移相法。

3.6.4 非被试绕组应接地或屏蔽。

3.6.5 测量温度以顶层油温为准，尽量使每次测量的温度相近。

3.6.6 尽量在油温低于 50℃时测量，不同温度下的 $\text{tg}\delta$ 值一般可按下式换算

$$\text{tg}\delta_2 = \text{tg}\delta_1 \times 1.5^{(t_1 - t_2)/10}$$

式中 $\text{tg}\delta_1$ 、 $\text{tg}\delta_2$ 分别为温度 t_1 、 t_2 的 $\text{tg}\delta$ 值

4. 交流耐压

4.1 试验目的

工频交流（以下简称交流）耐压试验是考验被试品绝缘承受各种过电压能力的有效方法，对保证设备安全运行具有重要意义。交流耐压试验的电压、波形、频率和在被试品绝缘内部电压的分布，均符合在交流电压下运行时的实际情况，因此，能真实有效地发现绝缘缺陷。

4.2 该项目适用范围

交接、大修、更换绕组后、必要时、6-10kV 站用变 2 年一次

4.3 试验时使用的仪器

试验变压器、调压器、球隙、分压器、水阻等。

4.4 试验方法

4.4.1 试验变压器耐压的原理接线

交流耐压试验的接线，应按被试品的要求（电压、容量）和现有试验设备条件来决定。通常试验时采用是成套设备（包括控制及调压设备），现场常对控制回路加以简化，例如采用图 4-1 所示的试验电路。试验回路中的熔断器、电磁开关和过流继电器，都是为保证在试验回路发生短路和被试品击穿时，能迅速可靠地切断试验电源；电压互感器是用来测量被试品上的电压；毫安表和电压表用以测量及监视试验过程中的电流和电压。进行交流耐压的被试品，一般为容性负荷，当被试品的电容量较大时，电容电流在试验变压器的漏抗上就会产生较大的压降。由于被试品上的电压与试验变压器漏抗上的电压相位相反，有可能因电容电压升高而使被试品上的电压比试验变压器的输出电压还高，因此要求在被试品上直接测量电压。

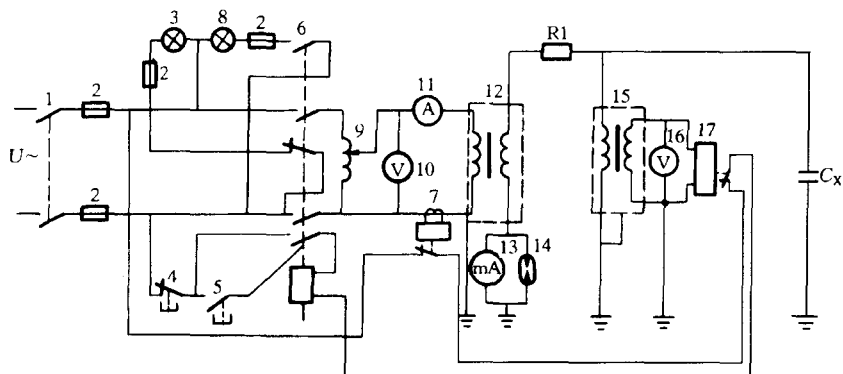


图 4-1 交流耐压试验接线图

- 1、双极开关；2、熔断器；3、绿色指示灯；4、常闭分闸按钮；5、常开合闸按钮；
- 6、电磁对关；7、过流继电器；8、红色指示灯；9、调压器；10、低压侧电压表；
- 11、电流表；12、高压试验变压器；13、毫安表；14、放电管；15、测量用电压互
- 感器；16、电压表；17、过压继电器；R1—保护电阻；Cx—被试品

此外，由于被试品的容抗与试验变压器的漏抗是串联的，因而当回路的自振频率与电源基波或其高次谐波频率相同而产生串联谐振时，在被试品上就会产生比电源电压高得多的过电压。通常调压器与试验变压器的漏抗不大，而被试品的容抗很大，所以一般不会产生串联谐振过电压。但在试验大容量的被试品时，若谐振频率为 50Hz ，应满足 $(C_x < 3184/X_L (\mu\text{F}) X_C > X_L$ ， X_L 是调压器和试验变压器的漏抗之和。为避免 3 次谐波谐振，可在试验变压器低压绕组上并联 LC 串联回路或采用线电压。当被试品闪络击穿时，也会由于试验变压器绕组内部的电磁振荡，在试验变压器的匝间或层间产生过电压。因此，要求在试验回路内串入保护电阻 R1 将过电流限制在试验变压器与被试品允许的范围内。但保护电阻不宜选得过大，太大了会由于负载电流而产生较大的压降和损耗；R1 的另一作用是在被试品击穿时，防止试验变压器高压侧产生过大的电动力。R1 按 $0.1 \sim 0.5\Omega / \text{V}$ 选取（对于大容量的被试品可适当选小些）。

4.5 试验结果的分析判断

- 4.5.1 油浸变压器（电抗器）试验电压值按试验规程执行；
- 4.5.2 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。
- 4.5.3 被试设备一般经过交流耐压试验，在规定的持续时间内不发生击穿，耐压前后绝缘电阻不降低 30%，取耐压前后油样做色谱分析正常，则认为合格；反之，则认为不合格。
- 4.5.3 在试验过程中，若空气湿度、温度或表面脏污等的影响，仅引起表面滑闪放电或空气放电，应经过清洁和干燥等处理后重新试验；如由于瓷件表面釉层损伤或老化等引起放电（如加压后表面出现局部红火），则认为不合格。
- 4.5.4 电流表指示突然上升或下降，有可能是变压器被击穿。
- 4.5.5 在升压阶段或持续时间阶段，如发生清脆响亮的“当、当”放电声音，象用金属物撞击油箱的声音，这是由于油隙距离不够或是电场畸变引起绝缘结构击穿，此时伴有放电声，电流表指示发生突变。当重复进行试验时，放电电压下降不明显。如有较小的“当、



当”放电声音，表计摆动不大，在重复试验时放电现象消失，往往是由于油中有气泡。
4.5.6 如变压器内部有炒豆般的放电声，而电流表指示稳定，这可能是由于悬浮的金属件对地放电

4.6 注意事项

- 4.6.1 此项试验属破坏性试验，必须在其它绝缘试验完成后进行。
- 4.6.2 变压器应充满合格的绝缘油，并静置一定时间，500KV 变压器应大于 72h，220 KV 变压器应大于 48h，110KV 变压器应大于 24h，才能进行试验。
- 4.6.3 接线必须正确，加压前应仔细进行检查，保持足够的安全距离，非被试线圈需短路接地，并接入保护电阻和球隙，调压器回零。
- 4.6.4 升压必须从零开始，升压速度在 40% 试验电压内不受限制，其后应按每秒 3% 的试验电压均匀升压。
- 4.6.5 试验可根据试验回路的电流表、电压表的突然变化，控制回路过流继电器的动作，被试品放电或击穿的声音进行判断。
- 4.6.6 交流耐压前后应测量绝缘电阻和吸收比，两次测量结果不应有明显差别。
- 4.6.7 如试验中发生放电或击穿时，应立即降压，查明故障部位。

5. 绕组泄漏电流

5.1 试验目的

直流泄漏试验的电压一般那比兆欧表电压高，并可任意调节，因而它比兆欧表发现缺陷的有效性高，能灵敏地反映瓷质绝缘的裂纹、夹层绝缘的内部受潮及局部松散断裂绝缘油劣化、绝缘的沿面炭化等。

5.2 该项目适用范围

交接、大修、预试、必要时（35KV 及以上，不含 35/0.4KV 变压器）

5.3 试验时使用的仪器

试验变压器或直流发生器、微安表

5.4 试验方法

试验回路一般是由自耦调压器、试验变压器、高压二极管和测量表计组成半波整流试验接线，根据微安表在试验回路中所处的位置不同，可分为两种基本接线方式，现分述如下。

5.4.1 微安表接在高压侧

微安表接在高压侧的试验原理接线，如图 5-1 所示。

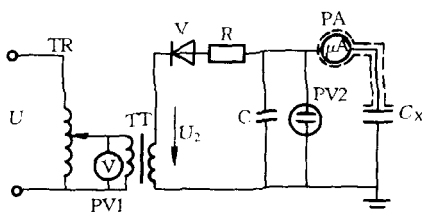


图 5-1 微安表接在高压侧试验原理接线

PV1—低压电压表；PV2—高压静电电压表
R—保护电阻；TR—自耦调压器；PA—微安表；TT—试验变压器；U₂—高压试验变压器二次输出电压

由图 5-1 可见，试验变压器 TT 的高压端接至高压二极管 V（硅堆）的负极由于空气中负极性电压下击穿场强较高，为防止外绝缘闪络，因此直流试验常用负极性输出。由于二极管的单向导电性，在其正极就有负极性的直流高压输出。选择硅堆的反峰电压时应有 20% 的裕度；如用多个硅堆串联时，应并联均压电阻，电阻值可选约 1000MΩ。为减小直流电压的脉动。在被试品 C_x 上并联滤波电容器 C，电容值一般不小于 0.1μF。对于电容量较大的被试品，如发电机、电缆等可以不加稳压电容。



半波整流时，试验回路产生的直流电压为：

$$U_d = \sqrt{2} U_2 - I_d / (2cf)$$

U_d —直流电压（平均值，V）；

C—滤波电容（C）；

f—电源频率（Hz）

I_d —整流回路输出直流电流（A）

当回路不接负载时，直流输出电压即为变压器二次输出电压的峰值。因此，现场试验选择试验变压器的电压时，应考虑到负载压降，并给高压试验变压器输出电压留一定裕度。

这种接线的特点是微安表处于高压端，不受高压对地杂散电流的影响，测量的泄漏电流较准确。但微安表及从微安表至被试品的引线应加屏蔽。由于微安表处于高压，故给读数及切换量程带来不便。

5.4.2 微安表接在低压侧

微安表接在低压侧的接线图如图 5-2 所示。这种接线微安表处在低电位，具有读数安全、切换量程方便的优点。

当被试品的接地端能与地分开时，宜采用图 5-2（a）的接线。若不能分开，则采用 5-2（b）的接线，由于这种接线的高压引线对地的杂散电流 I' 将流经微安表，从而使测量结果偏大，其误差随周围环境、气候和试验变压器的绝缘状况而异。所以，一般情况下，应尽可能采用图 5-2（a）的接线。

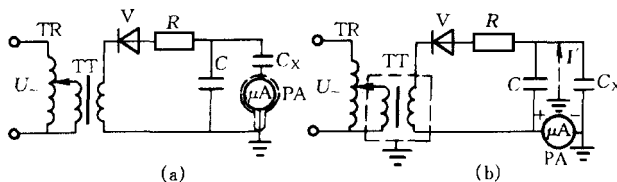


图 5-2 微安表接在低压侧，泄漏电流试验原理接线
(a)被试品对地绝缘 (b)被试品直接接地

5.5 试验结果的分析判断

5.5.1 试验电压见试验规程

5.5.2 与前

相比应无明显变化

5.5.3 泄漏电流最大容许值试验规程

5.6 注意事项

5.6.1 35KV 及以上的变压器（不含 35/0.4KV 的配变）必须进行，读取 1 分钟时的泄漏电流。

5.6.2 试验时的加压部位与测量绝缘电阻相同，应注意套管表面的清洁及温度、湿度对测量结果的影响。

5.6.3 对测量结果进行分析判断时，主要是与同类型变压器、各线圈相互比较，不应有明显变化。

5.6.4 微安表接于高压侧时，绝缘支柱应牢固可靠、防止摇摆倾倒。

5.6.5 试验设备的布置要紧凑、连接线要短，宜用屏蔽导线，既要安全又便于操作；对地要有足够的距离，接地线应牢固可靠。

5.6.6 应将被试品表面擦拭于净，并加屏蔽，以消除被试品表面脏污带来的测量误差。



郑州市鸿运试验设备有限公司

ZHENGZHOU SHI HONGYUN TESTING EQUIPMENT CO.,LTD

地址：郑州市经济技术开发区赵庄184号 邮编：450000 电话：037160506960、13383854613 传真：0371-60126316

5.6.7 能分相试的被试品应分相试验，非试验相应短路接地。

5.6.8 试验电容量小的被试品应加稳压电容。

5.6.9 试验结束后，应对被试品进行充分放电。

5.6.10 泄漏电流过大，应先检查试验回路各设备状况和屏蔽是否良好，在排除外因之后，才能对被试品作出正确的结论。

5.6.11 泄漏电流过小，应检查接线是否正确，微安表保护部分有无分流与断线。

5.6.12 高压连接导线对地泄漏电流的影响

由于与被试品连接的导线通常暴露在空气中（不加屏蔽时），被试品的加压端也暴露在外，所以周围空气有可能发生游离，产生对地的泄漏电流，尤其在海拔高、空气稀薄的地方更容易发生游离，这种对地泄漏电流将影响测量的准确度。用增加导线直径、减少尖端或加防晕罩、缩短导线、增加对地距离等措施，可减少测量结果的影响。

5.6.13 空气湿度对表面泄漏电流的影响

当空气湿度大时，表面泄漏电流远大于体积泄漏电流，被试品表面脏污易于吸潮使表面泄漏电流增加，所以必须擦净表面，并应用屏蔽电极。

6.空载电流、空载损耗

6.1 试验目的

检查变压器磁路

6.2 该项目适用范围

交接时、更换绕组后、必要时

6.3 试验时使用的仪器

调压器、升压变压器、电流互感器、电压互感器、电流表、电压表、瓦特表等

6.4 试验方法

6.4.1 额定条件下的试验

试验采用图 6-1 到 6-3 的接线。所用仪表的准确度等级不低于 0.5 级，并采用低功率因数功率表（当用双功率表法测量时，也允许采用普通功率表）。互感器的准确度应不低于 0.2 级。

根据试验条件，在试品的一侧（通常是低压侧）施加额定电压，其余各侧开路，运行中处于地电位的线端和外壳都应妥善接地。空载电流应取三相电流的平均值，并换算为额定电流的百分数，即

$$I_0\% = [(I_{0A} + I_{0B} + I_{0C}) / 3 I_n] \times \% \quad (6-1)$$

式中 I_{0A} 、 I_{0B} 、 I_{0C} ——三相实测的电流； I_n ——试验加压线圈的额定电流

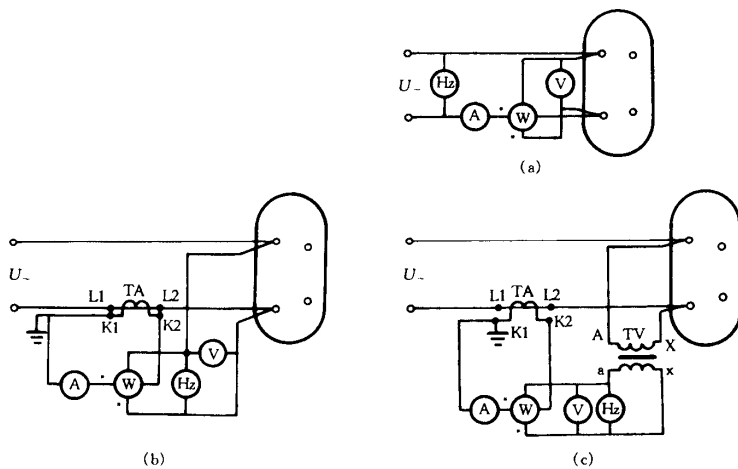


图 6-1 单相变压器损耗的测量接线图

(a)小电流下做空载试验(b)半间接测量接线(c)间接测量接线

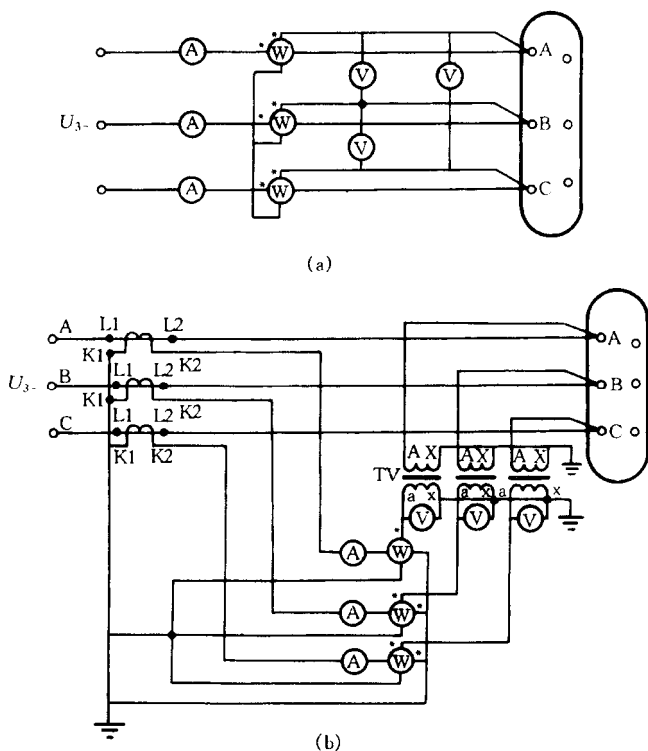


图 6-2 三功率表法测量三相变压器损耗接线图

(a)直接测量 (b)间接测量

试验所加电压应该是实际对称的，即负序分量值不大于正序值的 5%；试验应在额定电压、额定频率和正弦波电压的条件下进行。但现场实际上难以满足这些条件，因而要尽可能进行校正，校正方法如下：

(一) 试验电压



变压器的铁损耗可认为与负载大小无关，即空载时的损耗等于负载时的铁芯损耗，但这是额定电压时的情况。如电压偏离额定值，空载损耗和空载电流都会急剧变化。这是因为变压器铁芯中的磁感应强度取在磁化曲线的饱和段，当所加电压偏离额定电压时，空载电流和空载损耗将非线性地显著增大或减少，这中间的相互关系只能由试验来确定。由于试验电源多取自电网，如果电压不好调，则应将分接开关接头置于与试验电压相应的位置试验，并尽可能在额定电压附近选做几点，例如改变供电变压器的分接开关位置，再将各电压下测得的 P_0 和 I_0 作出曲线，从而查出相应的额定电压下的数值。如在小于额定电压，但不低于 90% 额定电压值的情况下试验，可用外推法确定额定电压下的数值，即在半对数坐标纸上录制 I_0 、 P_0 与 U 的关系曲线，并近似地假定 I_0 、 P_0 是 U 的指数函数，因而曲线是一条直线，可延长直线求得 U_N 下的 I_0 、 P_0 。应指出，这一方法会有相当误差，因为指数函数的关系并不符合实际。

(二) 试验电源频率

变压器可在与额定频率相差 $\pm 5\%$ 的情况下进行试验，此时施加于变压器的电压应为

$$U_1 = U_N \times (f_1 / f_N) = U_N \times (f_1 / 50) \quad (6-2)$$

f_1 ——试验电源频率； f_N ——额定频率，即 50HZ

U_1 ——试验电源电压； U_N ——额定电压

由于在 f_1 下所测的空载电流 I_1 接近于额定频率下的 I_0 ，所以这样测得的空载电流无须校正时，空载损耗按照下式换算

$$P_0 = P_1 (60 / f_1 - 0.2) \quad (6-3)$$

P_1 ——在频率为 f_1 、电压为 U_1 时测得的空载损耗。

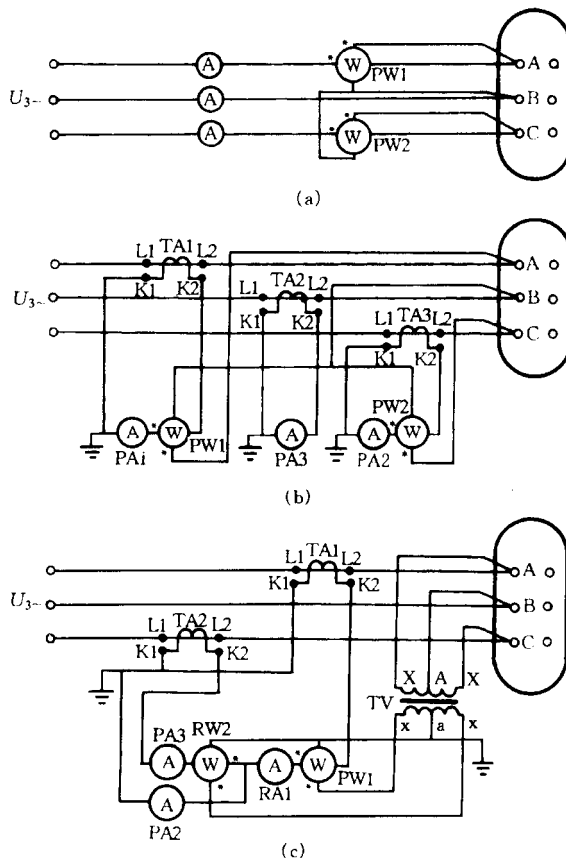


图 6-3 双功率表法测量三相变压器损耗接线图

(a)直接测量(b)半间接测量(c)间接测量



6.4.2 低电压下的试验

低电压下测量空载损耗，在制造和运行部门主要用于铁芯装配过程中的检查，以及事故和大修后的检查试验。主要目的是：检查绕组有无金属性匝间短路；并联支路的匝数是否相同；线圈和分接开关的接线有无错误；磁路中铁芯片间绝缘不良等缺陷。试验时所加电压，通常选择在5%~10%额定电压范围内。低电压下的空载试验，必须计及仪表损耗对测量结果的影响，而且测得数据主要用于相互比较，换算到额定电压时误差较大，可按照下式换算

$$P_0 = P_1 (U_N / U_1)^n \quad (6-4)$$

式中 U_1 ——试验时所加电压； U_N ——绕组额定电压；

P_1 ——电压为 U_1 时测得的空载损耗； P_0 ——相当于额定电压下的空载损耗；

n ——指数，数值决定于铁芯硅钢片种类，热轧的取1.8，冷轧的取1.9~2.0。

对于一般配电变压器或容量在3200kVA以下的电力变压器，对值可由图6-4查出。

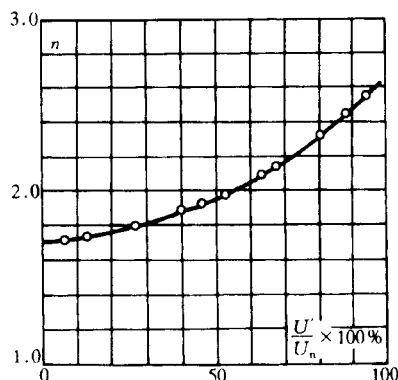


图 6-4 对应于不同的 U_1 / U_N 时的 n 值

6.4.3 三相变压器分相试验

经过三相空载试验后，如发现损耗超过国家标准时，应分别测量单相损耗，通过对各相空载损耗的分析比较，观察空载损耗在各相的分布情况，以检查各相绕组或磁路甲有无局部缺陷。事故和大修后的检查试验，也可用分相试验方法。进行三相变压器分相试验的基本方法，就是将三相变压器当作三台单相变压器，轮换加压，也就是依次将变压器的一相绕组短路，其他两相绕组施加电压，测量空载损耗和空载电流。短路的目的是使该相无磁通，因而无损耗，现叙述如下。

(一) 加压绕组为三角形连接 (a-y, b-z, c-x)

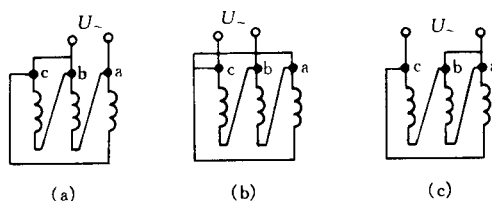


图 6-5 单相试验从三角形侧加压接线图
(a)ab 相加压 (b)bc 相加压 (c)ca 相加压

采用单相电源，依次在 ab、bc、ca 相加压，非加压绕组依次短路（即 bc、ca、ab），分相试验接线如图 6-5 所示。加于变压器绕组上的电压应为线电压，测得的损耗按照下式计算

$$P_0 = (P_{0ab} + P_{0bc} + P_{0ca}) / 2 \quad (6-5)$$

P_{0ab} 、 P_{0bc} 、 P_{0ca} ——ab、bc、ca 三次测得的损耗。

空载电流按下式计算

$$I_0 = [0.289 (I_{0ab} + I_{0bc} + I_{0ca})] / I_N \times 100\% \quad (6-6)$$

(二) 加压绕组为星形连接

依次在 ab、bc、ca 相加压，非加压绕组应短路，如图 6-6 所示。若无法对加压绕组短路时，则必须将二次绕组的相应相短路，如图 6-7 所示，施加电压 U 为二倍相电压，即 $U = 2U_L / \sqrt{3}$ ，式中 U_L 为线电压。

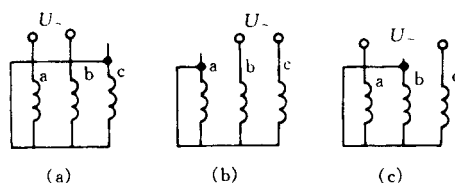


图 6-6 单相试验时加压绕组为星形接线且有中性点引出
(a)ab 相加压 (b)bc 相加压 (c)ca 相加压

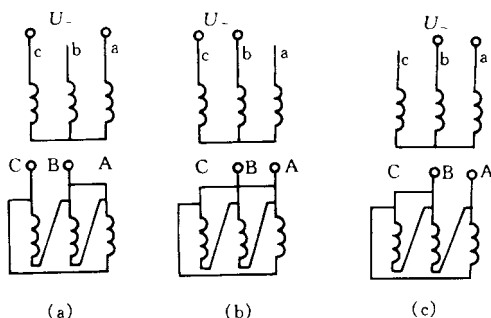


图 6-7 单相试验时二次侧绕组对应相短路
(a)ab 相加压 (b)bc 相加压 (c)ca 相加压



测量的损耗仍然按照式(6-5)进行计算，空载电流百分数为

$$I_0 = [0.333 (I_{0ab} + I_{0bc} + I_{0ca})] / I_N \times 100\% \quad (6-7)$$

由于现场条件所限，当试验电压达不到上述要求 $2U_L/\sqrt{3}$ ，低电压下测量的损耗如需换算到额定电压，可按照式(6-4)换算。

分相测量的结果按下述原则判断：

(1) 由于 ab 相与 bc 相的磁路完全对称，因此所测得 ab 相和 bc 相的损耗 P_{0ab} 和 P_{0bc} 应相等，偏差一般应不超过 3%；

(2) 由于 ac 相的磁路要比 ab 相或 bc 相的磁路长，故由 ac 相测得的损耗应较 ab 或 bc 相大。电压为 35~60kV 级变压器一般为 20%~30%；110~220kV 级变压器一般为 30%~40%。

如测得结果大于这些数值时，则可能是变压器有局部缺陷，例如铁芯故障将使相应相激磁损耗增加。同理，如短路某相时测得其他两相损耗都小，则该被短路相即为故障相。这种分相测量损耗判断故障的方法，称为比较法。

6.5 试验结果的分析判断

与出厂值相比应该无明显变化

6.6 注意事项

①空载试验采用从零升压进行，在低压侧加压，高（中）压侧开路，中性点接地，测量采用两瓦法或三瓦法。

②此试验在常规试验全部合格后进行，将分接开关置额定档，通电前应对变压器本体及套管放气。

③试验应设置紧急跳闸装置。

④计算 平均电流 $I_{\text{平均}} = (I_A + I_B + I_C) / 3$

$$\text{空载电流 } I_0 = I_{\text{平均}} / I_N \times 100\%$$

$$\text{空载损耗 } P_0 = P_1 + P_2 (+P_3)$$

7. 绕组所有分接的电压比

7.1 试验目的

检查变压器绕组匝数比的正确性；检查分接开关的状况；变压器故障后，测量电压比来检查变压器是否存在匝间短路；判断变压器是否可以并列运行。

7.2 该项目适用范围

交接时、分接开关引线拆装后、更换绕组后、必要时

7.3 试验时使用的仪器

QJ35 型变比电桥或变比测试仪

7.4 试验方法

7.4.1 用双电压表法测量电压比

7.4.1.1 直接双电压表法

在变压器的一侧施加电压，并用电压表在一次、二次绕组两侧测量电压（线电压或用相电压换算成线电压），两侧线电压之比即为所测电压比。

测量电压比时要求电源电压稳定，必要时需加稳压装置，二次侧电压表引线应尽量短，



且接触良好，以免引起误差。测量用电压表准确度应不低于0.5级，一次、二次侧电压必须同时读数。

7.4.1.2 电压互感器的双电压表法

在被试变压器的额定电压下测量电压比时，一般没有较准确的高压交流电压表，必须经电压互感器来测量。所使用的电压表准确度不低于0.5级，电压互感器准确度应为0.2级，其试验接线如图7-1所示。其中，图7-1(b)为用两台单相电压互感器组成的V形接线，此时，互感器必须极性相同。当大型电力变压器瞬时全压励磁时，可能在变压器中产生涌流，因而在二次侧产生过电压，所以测量用的电压表在充电的瞬间必须是断开状态。为了避免涌流可能产生的过电压，可以用发电机调压，这在发电厂容易实现，而变电所则只有利用变压器新投入运行或大修后的冲击合闸试验时一并进行。对于110/10kV的高压变压器，如在低压侧用380V励磁，高压侧需用电压互感器测量电压。电压互感器的准确度应比电压表高一级，电压表为0.5级，电压互感器应为0.2级。

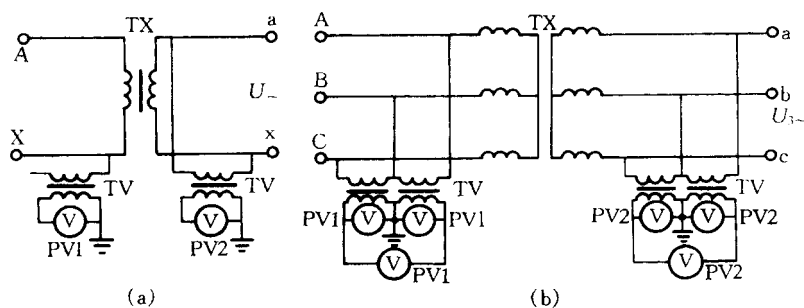


图7-1 经电压互感器测量电压比

(a)单相变压器测量 (b)三相变压器测量

7.4.2 变比电桥测量变压比

利用变比电桥能够很方便的

测量出被试变压器的变压比。变比电桥的测量原理图如图7-1所示，只需要在被试变压器的一次侧加电压 U_1 ，则在变压器的二次侧感应出电压 U_2 ，调整电阻 R_1 ，使检流计指零，然后通过简单的计算求出电压比 K 。

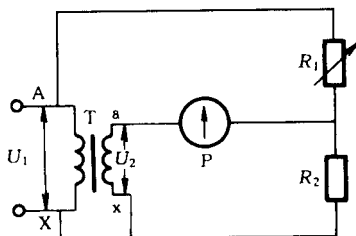


图7-1 变比电桥测量原理图 U_1 —被试变压器一次电压；
 U_2 —二次感应电压；P—检流计； R_1 —变比调节电阻；
 R_2 —标准电阻

测量电压比的计算公式为

$$K = U_1 / U_2 = (R_1 + R_2) / R_2 = 1 + R_1 / R_2$$



QJ35 型变比电桥，测量电压比范围为 1.02—111.12，准确度为 $\pm 0.2\%$ ，完全可以满足我国电力系统测量变压比的要求。

7.4.3 自动变比测试仪

按照仪器的需要，输入相关参数，按接线图和操作步骤，测出每个分接位置的变压比

7.5 试验结果的分析判断

- (1) 各相引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 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 $\pm 0.5\%$ ，其他分接的电压比允许偏差应在变压器阻抗电压值（%）的 1/10 以内，但不得超过 $\pm 1\%$ 。

7.6 注意事项

仪器的操作要求进行，首先计算额定变比，然后加压测量实际变比与额定变的误差。

8.校核三相变压器的组别和单相变压器的极性

8.1 试验目的

由于变压器的绕组在一次、二次间存在着极性关系，当几个绕组互相连接组合时，无论接成串联或并联，都必须知道极性才能正确进行。

变压器接线组别是并列运行的重要条件之一，若参加并列运行的变压器接线组别不一致，将出现不能允许的环流。

8.2 该项目适用范围

交接时、更换绕组后、内部接线变动后

8.3 试验时使用的仪器

万用表或直流毫伏表、电压表、相位表

8.4 试验方法

8.4.1 极性校核试验方法

8.4.1.1 直流法

如图 8-1 所示，将 1.5~3V 直流电池经开关 S 接在变压器的高压端子 A、X 上，在变压器二次绕组端子上连接一个直流毫伏表（或微安表、万用表）。注意，要将电池和表计的同极性端接往绕组的同名端。例如电池正极接绕组 A 端子，表计正端要相应地接到二次 a 端子上。测量时要细心观察表计指针偏转方向，当合上开关瞬间指针向右偏（正方向），而拉开开关瞬间指针向左偏时，则变压器是减极性。若偏转方向与上述方向相反，则变压器就是加极性。试验时应反复操作几次，以免误判断。在开、关的瞬间，不可触及绕组端头，以防触电。

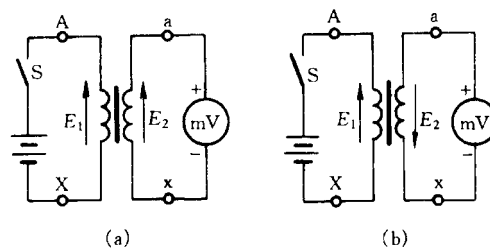


图 8-1 用直流法检查极性(a)加极性(b)减极性

E_1 ~一次绕组电动势 E_2 ~二次绕组电动势



8.4.1.2 交流法

如图 8-2 所示，将变压器的一次的 A 端子与二次的 a 端子用导线连接。在高压侧加交流电压，测量加入的电压 U_{AX} 和低压侧电压 U_{ax} 与未连接的一对同名端子间的电压 U_{Xx} 。如果 $U_{Xx}=U_{AX}-U_{ax}$ ，则变压器为减极性，若 $U_{Xx}=U_{AX}+U_{ax}$ ，则变压器为加极性。

交流法比直流法可靠，但在电压比较大的情况下 ($K > 20$)，交流法很难得到明显的结果，因为 $(U_{AX}-U_{ax})$ 与 $(U_{Xx}=U_{AX}+U_{ax})$ 的差别很小。这时可以从变压器的低压侧加压，使减极性和加极性之间的差别增大。如图 8-2 (b) 所示，一台 220 / 10kV 变压器，其变比 $K=22$ 。若在 10kV 侧加压 20V，则

$$U_{Xx}=440-20 \text{ (V) 为减极性}$$

或 $U_{Xx}=440+20 \text{ (V) 为加极性}$

一般电压表的最大测量范围为 0~600V，而且差值为 440 ± 2 (V) 时分辨明显，完全可以满足要求。

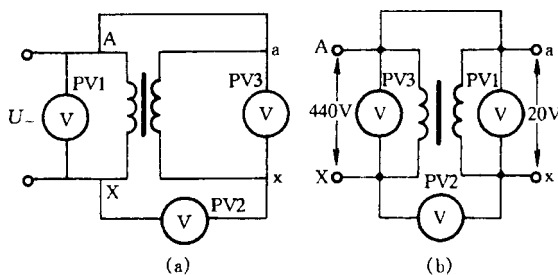


图 8-2 用交流法检查极性

(a) 高压侧加压 (b) 低压侧加压

8.4.2 组别试验方法

8.4.2.1 直流法

如图 8-3 所示，用一低压直流电源，（通常用两节 1.5V 干电池串联）轮流加入变压器的

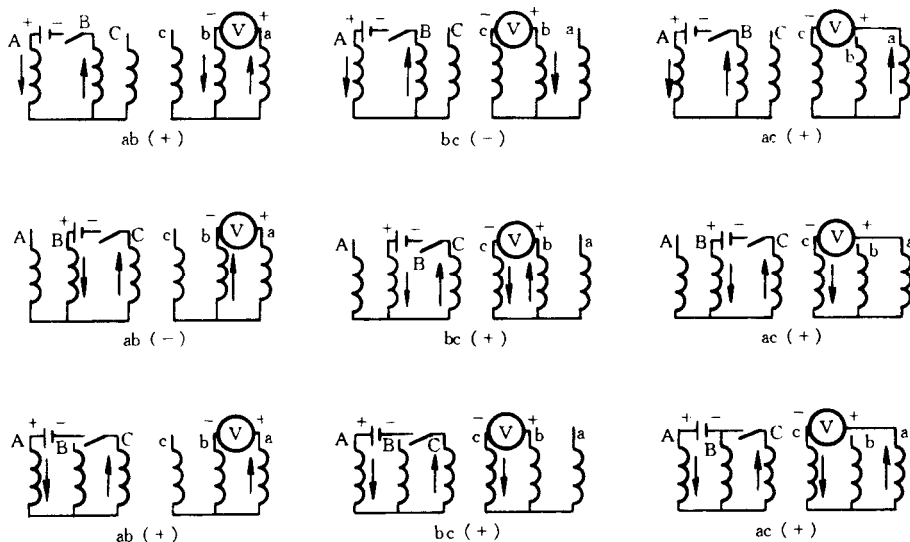


图 8-3 直流法对 Y, y0 连接组的 9 次测量

高压侧 AB、BC、CA 端子，并相应记录接在低压端子 ab、bc、ca 上仪表指针的指示方向及最大数



值。测量时应注意电池和仪表的极性，例如，AB 端子接电池，A 接正，B 接负。表针也是一样的，a 接正，b 接负，图 8-3 是对接线组别为 Y，y0 的变压器进行的九次测量的情况。图中正负号表示的是：高压侧电源开关合上瞬间的低压表计指示的数值和方向的正负；如是分闸瞬间，符号均应相反。

8.4.2.2 双电压表法

连接变压器的高压侧 A 端与低压侧 a 端，在变压器的高压侧通入适当的低压电源，如图 8-4 所示。测量电压 U_{Bb} 、 U_{Bc} 、 U_{Cb} ，并测量两侧的线电压 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 和 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 。根据测量出的电压值，可以来判断组别。

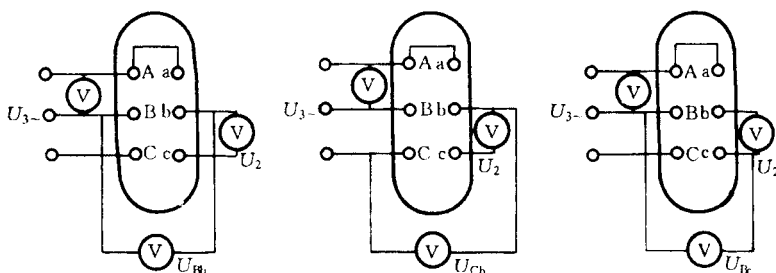


图 8-4 用双电压表法检查变压器接线组别

8.4.2.3
相位表
法
相位表
法就是
利用相

位表可直接测量出高压与低压线电压间的相位角，从而来判定组别，所以又叫直接法。

如图 8-4 所示，将相让表的电压线圈接于高压，其电流线圈经一可变电阻接入低压的对应端子上。当高压通入三相交流电压时，在低压感应出一个一定相位的电压，由于接的是电阻性负载，所以低压侧电流与电压同相。因此，测得的高压侧电压对低压侧电流的相位就是高压侧电压对低压侧电压的相位。

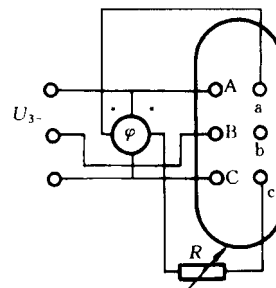


图 8-4 用相位表确定接线组别

8.5 试验结果的分析判断

与铭牌和端子标志相符合。

8.6 注意事项

8.6.1 测量极性可用直流法或交流法，试验时反复操作几次，

以免误判断，在开、关的瞬间，不可触及绕组端头，以防触电。

8.6.2 接线组别可用直流法、双电压表法及相位表法三种，对于三绕组变压器，一般分两次测定，每次测定一对绕组。

8.6.3 直流法测量时应注意电池和仪表的极性，最好能采用中间指零的仪表，操作时要先接通测量回路，再接同电源回路，读数后要先断开电源回路，后断开测量回路表计。

8.6.4 双电压表法试验时要注意三相电压的不平衡度不超过 2%，电压表宜采用 0.5 级的表。

8.6.5 相位表法对单相变压器要供给单相电源，对三相变压器要供给三相电源，接线时要注意相位表两线圈的极性。

8.6.6 在被试变压器的高压侧供给相位表规定的电压一般相位表有几档电压量程，电压比大的变压器用高电压量程，电压比小的用低电压量程。可变电阻的数值要调节适当，即使电流线圈中的电流值不超过额定值，也不得低于额定值的 20%；

8.6.7 必要时，可在试验前，用已知接线组的变压器核对相位表的正确性。



9. 局部放电测量

9.1 试验目的

测试电气设备的局部放电特性是目前预防电气设备故障的一种好方法。

9.2 该项目适用范围

交接时、大修后、必要时

9.3 试验时使用的仪器

倍频电源车、补偿电抗，局部放电测量系统

9.4 试验方法

9.4.1 局部放电试验前对试品的要求

- 本试验在所有高压绝缘试验之后进行，必要时可在耐压试验前后各进行一次，以资比较。
- 试品的表面应清洁干燥，试品在试验前不应受机械、热的作用。
- 油浸绝缘的试品经长途运输颠簸或注油工序之后通常应静止48h后，方能进行试验。
- 测定回路的背景噪声水平。背景噪声水平应低于试品允许放电量的50%，当试品允许放电量较低（如小于10PC）时，则背景噪声水平可以允许到试品允许放电量的100%。现场试验时，如以上条件达不到，可以允许有较大干扰，但不得影响测量读数。

9.4.2 试验基本接线

变压器局部放电试验的基本原理接线，如图9-1所示

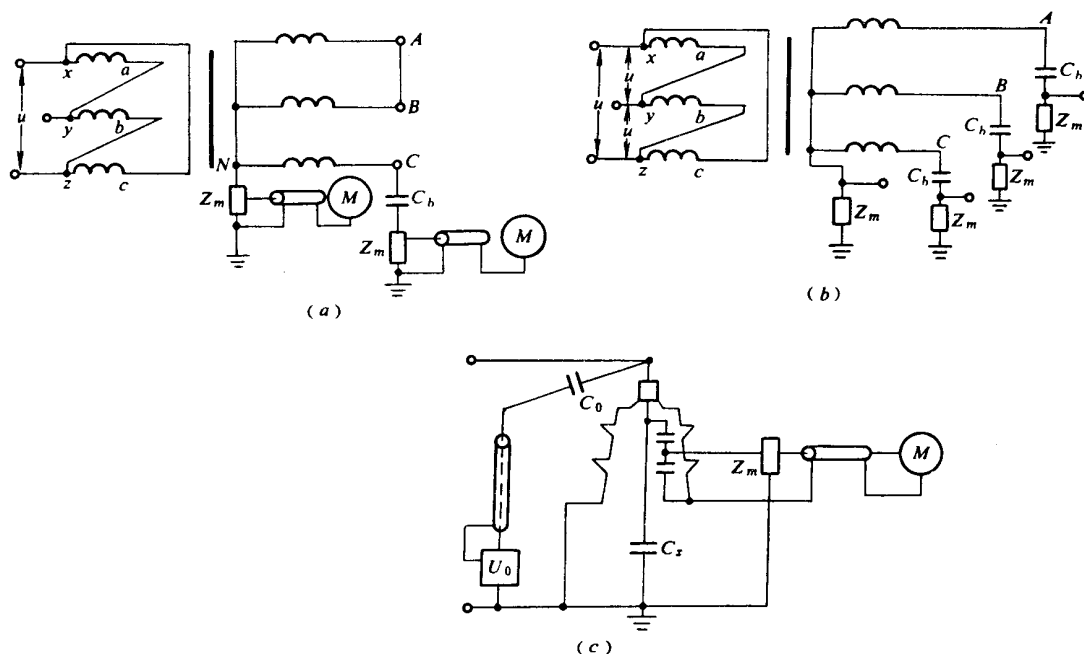


图9-1 变压器局部放电试验的基本原理接线图

(a)单相励磁基本原理接线；(b)三相励磁基本原理接线；(c)在套管抽头测量和校准接线

Cb—变压器套管电容



利用变压器套管电容作为耦合电容 C_k ，并且在其末屏端子对地串接测量阻抗 Z_m 。

9.4.3 试验电源

试验电源一般采用 50 Hz 的倍频或其它合适的频率。三相变压器可三相励磁，也可单相励磁。

9.4.4 现场试验电源与试验方法

现场试验的理想电源，是采用电动机—发电机组产生的中频电源，三相电源变压器开口三角接线产生的 150Hz 电源，或其它形式产生的中频电源。试验电压与允许放电量应同制造厂协商。若无合适的中频或 150Hz 电源，而又认为确有必要进行局部放电试验，则可采用降低电压的现场试验方法。其试验电压可根据实际情况尽可能高，持续时间和允许局部放电水平不作规定。降低电压试验法，不易激发变压器绝缘的局部放电缺陷。但经验表明，当变压器绝缘内部存在较严重的局部放电时，通过这种试验是能得出正确结果的。

9.4.5 现场试验工频降低电压的试验方法

工频降低电压的试验方法有三相励磁、单相励磁和各种形式的电压支撑法。现推荐下述两种方法。

9.4.5.1 单相励磁法

单相励磁法，利用套管作为耦合电容器 C_k ，其接线如图 9-2 所示。这种方法较为符合变压器的实际运行状况。图 9-2 同时给出了双绕组变压器各铁芯的磁通分布及电压相量图（三绕组变压器的中压绕组情况相同）。

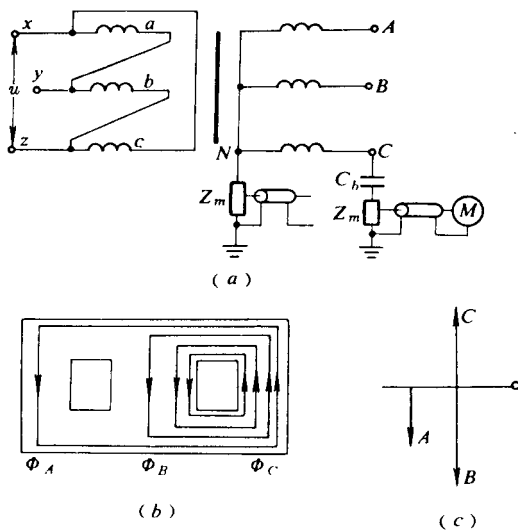


图 9-2 单相励磁的试验接线、磁通分布及电压相量
(a)C 相励磁时的接线图；(b) 各柱磁通分布示意图；
(c)电压相量图

由于 C 相（或 A 相）单独励磁时，各柱磁通分布不均，A、B、C（或 A_M 、 B_M 、 C_M ）

感应的电压又服从于 $E = 4.44f_w \Phi$ 规律，因此，根据变压器的不同结构，当对 C 相励磁的感应电压为 U_c 时 B 相的感应电压约为 $0.7U_c$ ，A 相的感应电压约为 $0.3U_c$ （若 A 相励磁时，则结果相反）。

当试验电压为 U 时，各相间电压为 $U_{CB} = 1.7U$ ； $U_{CA} = 1.3U$

当 A 相单独励磁时，各相间电压为 $U_{BA} = 1.7U$ ； $U_{AC} = 1.3U$

当 B 相单独励磁时，三相电压和相间电压为

$$U_A = U_C$$

$$= (1/2) U_B$$

$$U_{BA} =$$

$$U_{BC} = 1.5U$$

单相电源可由电厂小发电机组单独供给，或以供电网络单独供给。选用合适的送电网络，如经供电变压器、电缆送至试品，对于抑制发电机侧的干扰十分有效。变电所的变压器试验，则可选合适容量的调压器和升压变压器。根据实际干扰水平，再选择相应的滤波



器。

9.4.5.2 中性点支撑法

将一定电压支撑于被试变压器的中性点（支撑电压的幅值不应超过被试变压器中性点耐长时间工频电压的绝缘水平），以提高线端的试验电压称为中性点支撑法。支撑方法有

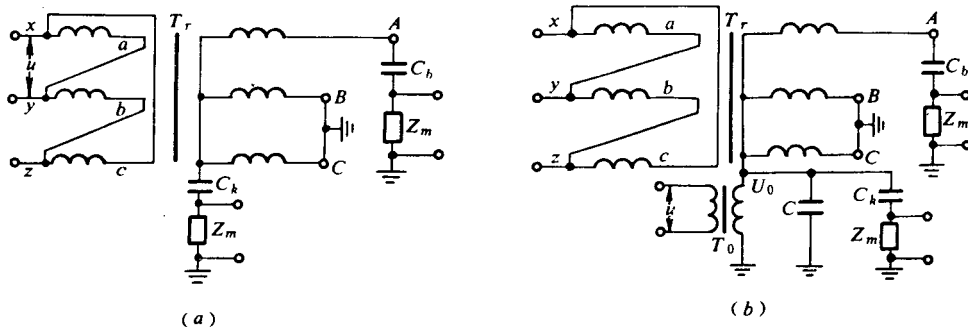


图 9-3 中性点支撑法的接线图

(a) 低压侧加压法；(b) 中性点加压法

C_b —变压器套管电容 C_k —耦合电容； T_0 —支撑变压器； C —补偿电容； U_0 —支撑电压； Z_M —测量阻抗； T_R —被试变压器

多种，便于现场接线的支撑法，如图 9-3 所示。

图 9-3(b) 的试验方法中，A 相绕组的感应电压 U_i 为 2 倍的支撑电压 U_0 ，则 A 相

线端对地电压 U_A 为绕组的感应电压 U_i 与支撑电压 U_0 的和，即

$$U_A = 3U_0$$

这就提高了 A 相绕组的线端试验电压。

根据试验电压的要求，应适当选择放电量小的支撑变压器的容量和电压等级，并进行必要的电容补偿。

9.5 试验结果的分析判断

国家标准 GB 1094—85(电力变压器)中规定的变压器局部放电试验的加压时间步骤，如图 9-4 所示。其试验步骤为：首先试验电压升到 U_2 下进行

测量，保持 5min；然后试验电压升到 U_1 ，保持 5s；

最后电压降到 U_2 下再进行测量，保持 30min。

U_1 、 U_2 的电压值规定及允许的放电量为

$$U_1 = \sqrt{3} U_M / \sqrt{3} = U_M;$$

$$U_2 = 1.5 U_M / \sqrt{3} \text{ 电压下允许放电量 } Q < 500pC$$

$$\text{或 } U_2 = 1.3 U_M / \sqrt{3} \text{ 电压下允许放电量 } Q <$$

300pC

式中： U_M ——设备最高工作电压。

试验前，记录所有测量电路上的背景噪声水平，其值应低于规定的视在放电量的 50%。测量应在所有分级绝缘绕组的线端进行。对于自耦连接的一对较高电压、较低电压绕组

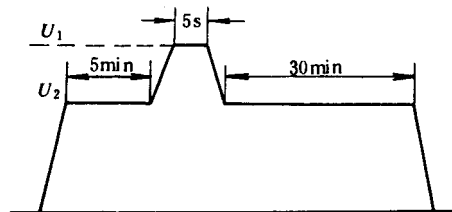


图 9-4 变压器局部放电试验的加压时间及步骤



的线端，也应同时测量，并分别用校准方波进行校准。在电压升至 U_2 及由 U_2 再下降的过程中，应记下起始、熄灭放电电压。在整个试验时间内应连续观察放电波形，并按一定的时间间隔记录放电量 Q 。放电量的读取，以相对稳定的最高重复脉冲为准，偶尔发生的较高的脉冲可忽略，但应作好记录备查。

整个试验期间试品不发生击穿；在 U_2 的第二阶段的 30 min 内，所有测量端子测得的放电量 Q 连续地维持在允许的限值内，并无明显地、不断地向允许的限值内增长的趋势，则试品合格。

如果放电量曾超出允许限在 但之后又下降并低于允许的限值，则试验应继续进行，直到此后 30min 的期间内局部放电量不超过允许的限值，试品才合格。

9.6 注意事项

9.6.1 干扰的主要形式如下：

- (1) 来自电源的干扰；
- (2) 来自接地系统的干扰；
- (3) 从别的高压试验或者电磁辐射检测到的干扰；
- (4) 试验线路的放电；
- (5) 由于试验线路或样品内的接触不良引起的接触噪声。

9.6.2 对以上这些干扰的抑制方法如下：

(1) 来自电源的干扰可以在电源中用滤波器加以抑制。这种滤波器应能抑制处于检测仪的频宽的所有频率，但能让低频率试验电压通过。

(2) 来自接地系统的干扰，可以通过单独的连接，把试验电路接到适当的接地点来消除。

(3) 来自外部的干扰源，如高压试验、附近的开关操作、无线电发射等引起的静电或磁感应以及电磁辐射，均能被放电试验线路耦合引入，并误认为是放电脉冲。如果这些干

扰信号源不能被消除，就要对试验线路加以屏蔽。需要有一个设计良好的薄金属皮、金属

板或铁丝网的屏蔽。有时样品的金属外壳要用作屏蔽。有条件的可修建屏蔽试验室。

(4) 试验电压会引起的外部放电。假使试区内接地不良或悬浮的部分被试验电压充电，就能发生放电，这可通过波形判断与内部放电区别开。超声波检测仪可用来对这种放

电定位。试验时应保证所有试品及仪器接地可靠，设备接地点不能有生锈或漆膜，接地连

接应用螺钉压紧。

(5) 对试验电路内的放电，如高压试验变压器中自身的放电，可由大多数放电检测仪检测到。在这些情况中，需要具备一台无放电的试验变压器。否则用平衡检测装置或者可以在高压线路内插入一个滤波器，以便抑制来自变压器的放电脉冲。

9.6.3 如果高压引线设计不当，在引线上的尖端电场集中处会出现电晕放电，因此这些引线要由光滑的圆柱形或者直径足够大的蛇形管构成，以预防在试验电压下产生电晕。采用环状结构时圆柱形的高压引线可不必设专门的终端结构。采用平衡检测装置或者在高压线终端安装滤波器，可以抑制高压引线上小的放电。滤波器的外壳应光滑、圆整，以防止滤波器本身产生电晕。



10. 变压器绕组变形测试

10.1 试验目的

确定变压器绕组是否发生变形，保证变压器的安全运行

10.2 该项目适用范围

交接时、出口短路后

10.3 试验时使用的仪器

TDT 型变压器绕组变形测试系统

10.4 测试方法

10.4.1 变压器绕组变形后频响特性曲线变化情况分析

变压器绕组的等值网络图如下：

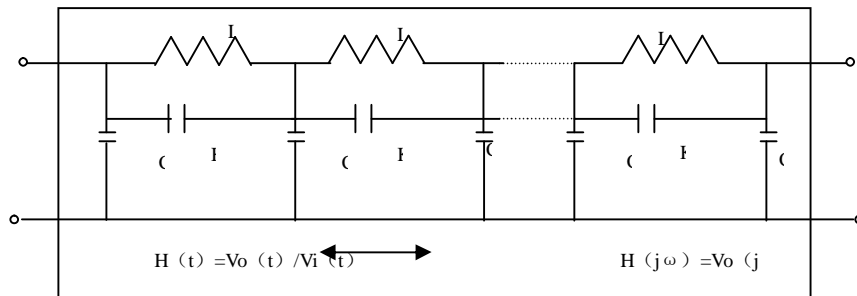


图 1 变压器等值网

频率响应法是一种先进的测试方法，它主要对绕组的频响特性曲线进行测试，进行前后或相间比较来判断绕组是否发生了机械变形。

变压器绕组变形的种类很多，但大体上可分为：整体变形和局部变形。如果变压器在运输过程或安装过程中发生了碰撞，变压器绕组就可能发生整体位移，这种变形一般整体完好，只是变压器绕组之间发生了相对位移，这种情况下，线圈对地电容 C 会发生变化，但线圈的电感量和饼间电容并不会发生变化，频响特性曲线各谐振峰值都对应存在，但谐振点会发生平移。线圈在运行中，出现固定压板松动、垫块失落等情况时或由于绕组间安匝不平衡，可能会出现高度尺寸上的拉伸，线圈在高度上的增加，将使线圈的总电感减小，同时线饼间的电容减小，在对应的频响特性曲线上，变形相曲线将出现第一个谐振峰值向高频方向偏移，同时伴随着幅值下降，而中高频部分的曲线与正常相的频响特性曲线相同。线圈在运行中，由于漏磁的作用，线圈在端部所受到的轴向作用力最大，可能使线圈出现高度上的压缩，线圈的总电感增加，线饼间的电容增加，在对应的频响特性曲线上，变形相曲线将出现第一个谐振峰值向低频方向偏移，同时伴随着幅值升高，而中高频部分的曲线与正常相的频响特性曲线相同。

变压器在发生出口短路后，一般只是发生局部变形，如出现局部压缩或拉开变形、扭曲、幅相变形（向内收缩和鼓爆）、引线位移、匝间短路、线圈断股、存在金属异物等情



况。如果变压器出现事故，则这几种情况可能同时存在。当线圈两端被压紧时，由于电磁力的作用，个别垫块可能被挤出，造成部分线饼被压紧，部分线饼被拉开，纵向电容发生变化，部分谐振峰值向高频方向移动，部分谐振峰值向低频方向移动。变压器绕组发生匝间短路后，由于线圈电感明显下降，低频段的频响特性曲线会向高频方向偏移，线圈对信号的阻碍大大减小，频响曲线将向衰减减小的方向移动，一般说来也可以通过测量变压比（有时候不一定能够测出变压比）来判断绕组是否发生匝间短路。线圈断股时，线圈的整体电感将略有增大，对应到频谱图，其低频段的谐振点将向低频方向略有移动，而中高频的频响曲线与正常曲线的图谱重合。在发生断股和匝间短路后，一般会有金属异物产生，虽然金属异物对低频总电感影响不大，但饼间电容将增大，频谱曲线的低频部分谐振峰值将向低频方向移动，中高频部分曲线的幅值将有所升高。当变压器绕组的引线发生位移时，不会影响线圈电感，频响特性曲线在低频段应重合，只是在中、高频部分的曲线会发生改变，主要是衰减幅值方面的变化，引线向外壳方向移动则幅值向衰减增大的方向移动，引线向线圈靠拢则曲线向衰减较小的方向移动。在电动力作用下，在线圈两段受到压迫时，线圈向两端顶出，线圈被迫从中部变形，如果变压器的装配间隙较大或有撑条受迫移位，线圈可能会发生轴向扭曲，由于这种变形使部分饼间电容和部分对地电容减小，所以频响特性曲线谐振峰值会向高频方向偏移，低频附近的谐振峰值略有下降，中频附近的谐振峰值点频率略有上升，高频段的频响特性曲线保持不变。在电动力作用下，一般是内线圈向内收缩，如果装配留有裕度，线圈有可能出现幅向变形，出现收缩和鼓爆，这种情况下，线圈电感会略有增加，线圈对地电容会略有增加，在整个频段范围内谐振点会向高频方向略微偏移。

10.4.2 试验步骤

10.4.2.1 变压器停电完毕；

10.4.2.2 将变压器的各侧出线完全拆除；

10.4.2.3 将变压器的档位调至最大档

10.4.2.4 用 DTD 绕组变形测试仪对变压器的每相进行测量，并且对数据进行横向与纵向比较，得出最后结论。

10.5 试验结果的分析判断

10.5.1 变压器绕组变形测试时，可根据特定相关系数的变化判断绕组变形的严重程度，并结合频响特性曲线的谐振点和谐振幅值的变化加以确认。

10.5.2 当变压器绕组的频响特性曲线相关系数小于 0.6 且低频段谐振点有明显偏移时，变压器绕组发生了严重变形；

10.5.3 当相关系数小于 0.8 且大于 0.6 且低频段谐振点有偏移时，变压器绕组发生了较严重变形；

10.5.4 当相关系数大于 0.9 时小于 1.3 时，变压器绕组有轻微变形；

10.5.5 当相关系数大于 1.3 时，且频响特性曲线低频部分谐振点无明显偏移时，变压器绕



组无明显可见变形；

10.5.6 通过相关系数判断绕组的变形程度后，还需通过谐振点的偏移和谐振幅值进一步确认线圈的变形性质：变压器绕组频响特性曲线谐振点在低频段发生了较明显偏移且幅值变化较大，或在整个频段范围内谐振点都发生了偏移时，变压器绕组发生了严重变形或发生了整体变形，应尽快处理变压器。

10.6 注意事项

10.6.1 电源使用 220V 交流电源；

10.6.2 测试过程中要排除外部干扰，进行准确测量；

10.6.3 设备在运输过程中要注意防止过度震动。

11.分接开关试验

11.1 试验目的

进行分接开关的试验，以确定分接开关各档是否正常

11.2 该项目适用范围

交接、大修、预试及必要时

11.3 试验时使用的仪器

QJ44 型双臂电桥、有载分接开关特性测试仪

11.4 试验项目和试验方法

11.4.1 试验项目

接触电阻（吊罩时测量），过渡电阻测量，过渡时间测量

11.4.2 试验方法

11.4.2.1 在变压器吊罩时时可用双臂电桥测量无载调压分接开关和有载调压分接开关选择开关的接触电阻和切换开关的接触电阻和过渡电阻，用有载分接开关特性测试仪可测量分接开关不代线圈时的切换波形和切换时间和同期。

11.4.2.2 用有载分接开关特性测试仪可测量分接开关代线圈时的切换波形和切换时间和同期。

11.5 试验结果的分析判断

11.5.1 无载分接开关每相触头各档的接触电阻，应符合制造厂要求。

11.5.2 有载分接开关的过渡电阻、接触电阻及切换时间，都应符合制造厂要求，过渡电阻允许偏差为额定值的 $\pm 10\%$ ，接触电阻小于 $500 \mu \Omega$ 。

11.5.3 分接开关试验可检查触头的接触是否良好，过渡电阻是否断裂，三相切换的同期和时间的长短。

11.6 注意事项

11.6.1 测量应按照仪器的操作步骤和要求进行，带线圈测量时，应将其其他侧线圈短路接地。

11.6.2 应从单数档到双数档和双数档到单数档两次测量。



郑州市鸿运试验设备有限公司

ZHENGZHOU SHI HONGYUN TESTING EQUIPMENT CO.,LTD

地址：郑州市经济技术开发区赵庄184号 邮编：450000 电话：037160506960、13383854613 传真：0371-60126316

河南鸿运试验设备简介：

专业生产销售及批发服务于各种环境设备；产品泛用于航空、航天、军工、建材、造船、机械、电子、医药、汽摩、纺织等领域，型号包括：高低温试验箱、高低温湿热试验箱、霉菌试验箱、紫外线试验箱、氙灯试验箱、臭氧试验箱、盐雾箱、淋雨试验箱、砂尘试验箱、恒温水槽、干燥试验箱、高低温冲击试验箱、综合试验室等。公司所有产品均全国发售、质量有保、服务快捷；

河南鸿运试验设备联系方式：

关于公司最新促销活动及产品更新信息，请登录河南鸿运试验设备网站或电话咨询。

服务热线电话:0371-60506960、传真：0371-60126316

电信用户网址：<http://www.hongyunkj.com/> 网通用户网址：<http://www.feixue.ha.cn>