

发电机常规试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于额定功率为 50 MW 及以上、环氧粉云母绝缘的三相同步发电机和同步调相机，规定了发电机交接验收、预防性试验、检修过程中的常规电气试验的引用标准、仪器设备要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本作业指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB/T 1029 三相同步电机试验方法

GB/T 7064 透平型同步电机技术要求

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

3 安全措施

a) 为保证人身和设备安全，应严格遵守 DL 408《电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）》中有关规定。

b) 进行交直流耐压等高压试验时，为保证人身和设备安全，必须在试验设备周围设围栏，并有专人监护，发电机出线侧和中性点侧应派专人把守，防止无关人员误入。

负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现电压表指针摆动很大、电流表指示急剧增加、绝缘烧焦气味或冒烟或发生响声等异常现象时，应立即降低电压，断开电源停止试验，对被试绕组进行放电后再对绕组进行检查，查明原因并排除后方可继续试验。

4 试验项目及程序

4.1 发电机常规试验包括以下试验项目

- 定子绕组的绝缘电阻、吸收比或极化指数；
- 定子绕组的直流电阻；
- 定子绕组泄漏电流和直流耐压；

- d) 定子绕组的交流耐压;
- e) 转子绕组的绝缘电阻;
- f) 转子绕组的直流电阻;
- g) 转子绕组的交流阻抗和功率损耗;
- h) 轴电压。

4.2 试验程序

4.2.1 应在试验开始之前详细记录试品的铭牌参数, 检查、了解试品的状态及其历史运行有无异常情况, 并进行记录。

4.2.2 应根据交接或预试等不同的情况依据相关规程规定, 从上述项目中确定本次试验所需进行的试验项目和程序。

4.2.3 一般情况下, 应按先低电压试验后高电压试验、先直流后交流的顺序进行试验。应在绝缘电阻测量无异常后再进行耐压试验。交流耐压试验后还应重复测量绝缘电阻, 以判断耐压试验前后试品的绝缘有无变化。

5 试验方法及主要设备要求

5.1 定子绕组的绝缘电阻、吸收比或极化指数

5.1.1 设备清单和要求

- a) 温度计 (误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)、湿度计。
- b) 对空冷、氢冷及水冷绕组水回路干燥或吹干测量, 应采用量程不低于 10 000 M Ω 的 2 500 V 兆欧表; 对水冷绕组通水测量应采用水内冷电机绝缘测试仪 (简称专用兆欧表)。

5.1.2 作业程序

5.1.2.1 测试方法

如果各绕组的首末端单独引出, 则应分别测量各绕组对机壳及绕组相互间的绝缘电阻, 这时所有其他绕组应同机壳做电气连接。当中性点不易分开时, 则测量所有连在一起的绕组对机壳的绝缘电阻。

5.1.2.2 试验步骤

- a) 测量前要把所有发电机出口电压互感器拉出或拆掉电压互感器的一次熔断器。
- b) 测量并记录环境温度和湿度, 如果绕组温度与环境温度相差较大, 应测量定子膛内平均温度作为绕组温度。
- c) 将所有绕组充分放电。
- d) 被测如果是水内冷发电机, 将汇水管用导线引至试验场地。把汇水管所有引下线拧在一起, 用万用表测量汇水管对地电阻, 通常应达到 30 k Ω 以上方可进行步骤 e)。
- e) 将汇水管引线接至专用兆欧表的屏蔽端子上。
- e) 分相或分支测量时, 每相或每个分支的绕组必须头尾短接, 并将非被试绕组、转子绕组连接至机壳 (见图 1), 而测量绕组整体的绝缘电阻 (如起机时不能分相测量) 一般在发电机中性点接地变压器或电抗器隔离开关上口进行。

- f) 将地线端子用接地线和发电机的外壳连接好,用绝缘把手将相线接触到被测量绕组的引出端头上,开始测量,记录 15、60、600s 的绝缘电阻值。
- g) 将被测绕组回路对接地的机壳作电气连接 5 min 以上使其充分放电。
- h) 测量其他绕组。

5.1.3 试验结果判断依据

- a) 绝缘电阻值自行规定,若在相近试验条件下,绝缘电阻值低到历年正常值 1/3 以下时,应查明原因。
- b) 各相或分支绝缘电阻的差值不应大于最小值的 100%。
- c) 吸收比不小于 1.6 或极化指数不小于 2.0,水内冷绕组自行规定,200 MW 以上机组推荐极化指数。

5.1.4 注意事项

- a) 对水内冷绕组,绝缘电阻测量值受内冷水水质的影响,因此试验时应水质良好,电导率小于 $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。
- b) 如果测量带着封闭母线,有时绝缘电阻会较低,但达到 $(U_N + 1) \text{ M}\Omega$ 机组即可启动(其中 U_N 为发电机额定电压, kV)。
- c) 应考虑环境温度和湿度对测量结果的影响。

5.2 定子绕组的直流电阻

5.2.1 设备清单和要求

- a) 3~5 支温度计(误差 $\pm 1^\circ\text{C}$);
- b) 有效位数不低于 4 位、0.5 级以上 $10^{-5} \sim 10^{-1} \Omega$ 双臂电桥或 0.5 级以上直流电阻测试仪。

5.2.2 作业程序

5.2.2.1 测试方法

- a) 冷态测量,绕组表面温度与周围空气温度之差不应大于 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。
- b) 如果各分支的首末端单独引出,则应分别测量各分支的直流电阻。

5.2.2.2 试验步骤

- a) 在定子膛内放置 3~5 支温度计 15 min 以上,记录并计算平均值作为绕组平均温度,如果温差大于 2°C ,应找出原因并排除。
- b) 其他非被测的绕组短路接地,测量各相或各分支的直流电阻值,每一电阻应测 3 次,每次应在电桥平衡破坏后重新进行测量,每次读数与 3 次读数平均值之差在 0.5% 以内时,取平均值作为测量值。

5.2.3 试验结果判断依据

- a) 各相或各分支直流电阻值互差以及与初次测量值比较,相差值不大于最小值的 1.5% (水轮机为 1%):

$$\text{相间或分支间互差} = \frac{\text{最大值} - \text{最小值}}{\text{最小值}} \times 100\%$$

$$\text{与初次测量值互差} = \frac{|\text{最大值} - \text{最小值}|}{\text{初次值}} \times 100\%$$

其中测量值为换算到同一温度 t_0 (初次值的绕组测量温度) 后的值 R_0 , 即:

$$R_0 = \frac{235 + R_a}{235 + t_a} R_a$$

式中:

t_a ——测量时绕组平均温度;

R_a ——测量值。

b) 汽轮发电机相间差或分支间差与历年的相对变化大于 1% 时应引起注意。

5.3 定子绕组泄漏电流和直流耐压

5.3.1 设备清单和要求

- a) 对空冷、氢冷绕组和水冷绕组水路吹净测量。推荐使用直流发生器, 要求输出电压高于试验电压, 输出电流大于绕组的泄漏电流, 通常在 0.5 mA 以上, 电压脉动因数小于 3%。在保证精度的前提下, 可使用直流发生器自带的电压表 (1.5 级) 和微安表 (0.5 级)。
- b) 对水冷绕组通水测量:
 - 1) 试验变压器: 高压侧额定电压通常高于试验电压 1.2 倍以上, 容量通常为 20 kVA;
 - 2) 调压器: 容量通常与试验变压器匹配;
 - 3) 高压整流硅堆: 额定整流电流通常大于 1 A, 额定峰值电压高于试验电压 1.2 倍以上;
 - 4) 约 1 μ F 稳压电容 C_1 ;
 - 5) 0.5 ~ 5 μ F 滤波电容 C_2 ;
 - 6) 约 10 mH 的滤波电感 L ;
 - 7) 空气开关;
 - 8) 过电压保护球隙;
 - 9) 限流保护电阻: 通常选用水电阻, 其值为 0.1 ~ 1 Ω /V;
 - 10) 球隙保护电阻: 通常选用水电阻, 其值为 0.1 ~ 1 Ω /V;
 - 11) 直流电压测量设备: 可选用合适量程的高压静电电压表, 或合适变比的分压器和合适量程的低压电压表, 要求整体测量精度 1.5 级以上;
 - 12) 1 块 0.5 级微安表;
 - 13) 1 块 1 级毫安表。

5.3.2 作业程序

5.3.2.1 测试方法

- a) 根据相关规程和发电机的额定电压确定试验电压, 并根据试验电压和发电机容量选择合适电压等级的电源设备、测量仪表和保护电阻。
- b) 尽量在停机后清除污秽前热状态下进行, 交接或处于备用时可在冷态下进行。
- c) 对水内冷发电机汇水管直接接地者, 应在不通水和饮水管吹净条件下进行试验, 试验方法 (包括设备、接线图、步骤等) 与空冷和氢冷发电机相同。
- d) 对水内冷发电机汇水管有绝缘者, 应采用低压屏蔽法接线。

5.3.2.2 试验原理接线图

a) 对空冷、氢冷绕组和水冷绕组水回路干燥或吹干时，试验原理接线如图 1 所示。

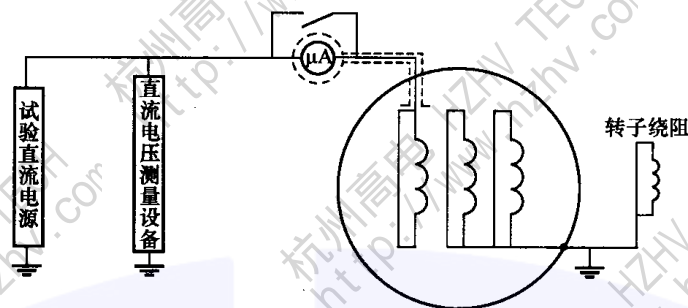


图 1 对空冷、氢冷绕组和水冷绕组水路干燥或吹干时的直流泄漏试验接线示意图

b) 对水冷绕组通水时（低压屏蔽法），试验原理接线如图 2 所示。

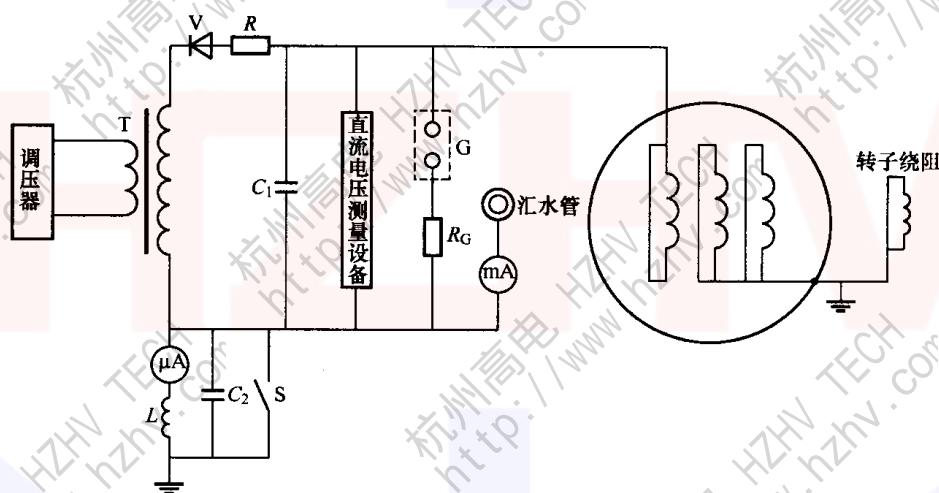


图 2 低压屏蔽法测量通水绕组泄漏电流试验接线示意图

T—试验变压器；V—高压硅堆；R—限流电阻； C_1 —稳压电容，约 $1\ \mu\text{F}$ ； C_2 —抑制交流分量的电容，一般 $0.5\sim 5\ \mu\text{F}$ ；L—抑制交流分量的电感，约几十 mH 至 $1\ \text{H}$ ；S—开关；G—过电压保护球隙； R, R_G —保护水电阻

5.3.2.3 试验步骤

- 转子绕组在滑环处接地，发电机出口电流互感器二次绕组短路接地，埋置检温元件在接线端子处电气连接后接地，对绕组进行充分放电。
- 按接线图准备试验，保证所有试验设备、仪表仪器接线正确、指示正确。
- 记录绕组温度、环境温度和湿度。
- 如低压屏蔽法测量水冷绕组的泄漏电流，在空载条件下，按试验电压的 $1.05\sim 1.1$ 倍调整保护铜球间隙。
- 确认一切正常后开始试验，先空载分段加压至试验电压以检查试验设备绝缘是否良好、接线是否正确。

- f) 将直流电源输出加在被试相或分支绕组上, 从零开始升压, 试验电压按 $0.5U_n$ 分阶段升高, 每阶段停留 1 min, 并记录每段电压开始和 1 min 时微安表的电流值。
- g) 该相或分支试验完毕, 将电压降为零, 切断电源, 必须等到 10 kV 以下充分放电后再改变接线对另一绕组进行试验或进行其他操作 (特别是非水内冷发电机)。

5.3.3 安全措施

- a) 为保证人身和设备安全, 要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护, 发电机出线侧和中性点侧应派专人把守防止无关人员误入。试验时试验人员与看守人员通信要通畅, 没有试验人员的命令看守人员不能乱动。负责升压的人要随时注意周围的情况, 一旦发现异常应立刻断开电源停止试验, 查明原因并排除后方可继续试验。
- b) 试验设备的布置应紧凑、连接线短, 宜用屏蔽导线, 接地线应牢固可靠。
- c) 注意对试验完毕的绕组必须充分放电。
- d) 试验过程中, 如发现泄漏电流随时间急剧增长, 或有绝缘烧焦气味, 或冒烟, 或发生响声等异常现象时, 应立即降低电压断开电源停止试验, 将绕组接地放电后再进行检查。

5.3.4 试验结果判断依据

- a) 在规定的试验电压下, 各相泄漏电流的差别不应大于最小值的 100%, 最大泄漏电流在 $20 \mu\text{A}$ 以下者, 相间与历次试验结果比较, 不应有显著的变化。
- b) 泄漏电流不随时间的延长而增大。
- c) 任一级试验电压稳定时, 泄漏电流的指示不应有剧烈摆动。
- d) 试验过程中应无异常放电现象。

5.3.5 注意事项

- a) 对水内冷绕组, 泄漏电流测量值受内冷水水质的影响, 因此试验时冷却水质应透明、纯净, 无机械杂质, 电导率在 20°C 时要求: 对开启式水系统不大于 $5 \mu\text{S}/\text{cm}$, 对独立的密闭循环水为 $1.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。
- b) 对氢冷发电机应在充氢后氢气纯度为 96% 以上或排氢后含氢量在 3% 以下时进行, 严禁在置换过程中进行试验。

5.4 定子绕组的交流耐压

5.4.1 设备清单和要求

5.4.1.1 交流试验电源

推荐采用谐振方法, 可根据设备情况选择并联或串联谐振。

a) 并联谐振耐压设备:

- 1) 并联电抗器。可使用定值电抗器组或可调电抗器, 必要时也可二者组合使用。额定电压应高于试验电压 U_x (kV), 电感量 L 用下式估算:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C_x} \quad (\text{H})$$

$$\omega = 2\pi f$$

式中:

f ——试验电源频率,通常为 50 Hz;

C_x ——被试绕组对地等效电容 (μF)。

电抗器额定电流应大于试品所需电流 I_x , 其中 I_x 可按下式估算:

$$I_x = 2\pi f C_x U_x \times 10^{-3} \text{ (A)}$$

2) 试验变压器。高压侧额定电压 U_n 高于 U_x , 容量和高压侧额定电流 I_n 可用下式估算:

$$S > I_x U_x / Q \text{ (kVA) (电源频率可调, 完全补偿时)}$$

$$S > \left| \frac{U_x^2}{\omega L} - U_x^2 \omega C_x \right| \text{ (非完全补偿时)}$$

$$I_n = S / U_n \text{ (A)}$$

式中:

Q ——电抗器的品质因数, $Q = 2\pi f L / R$, 一般电抗器的 Q 值为 10~40;

R ——电抗器的电阻 (Ω)。

3) 调压器。容量与试验变压器匹配。

b) 串联谐振耐压设备:

1) 串联电抗器。耐压应高于试验电压 U_x (kV); 电感量和额定电流估算同并联谐振。

2) 试验变压器。额定电流 I_n 大于试品所需电流 I_x (估算公式同并联谐振); 容量和高压侧额定电压 U_n 可用下式估算:

$$S > I_x U_x / Q \text{ (kVA) (电源频率可调, 完全补偿时)}$$

$$U_n = S / I_n \text{ (kV)}$$

$$U_n > \left| \omega L - \frac{1}{\omega C_x} \right| \cdot I_x \text{ (非完全补偿时)}$$

$$S_n = U_n I_n \text{ (kVA)}$$

3) 调压器。容量与试验变压器匹配。

5.4.1.2 其他设备

a) 限流电阻: 通常取 0.2~1 Ω/V 。

b) 过电压保护球隙: 按高压电气设备绝缘试验电压和试验方法规定选择球隙和球径。

c) 球隙保护电阻: 通常取 1 Ω/V , 也可近似计算为:

$$R_c \geq 2 \frac{U_s \sqrt{2}}{3\alpha C_x}$$

式中:

α ——允许波头的陡度, 取 $\alpha = 5 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 。

d) 交流电压测量设备: 根据试验电压选择合适变比的分压器 (或电压互感器) 和合适量程的电压表, 要求整体测量精度 1.5 级以上。

e) 5 级毫安表 1 块, 量程大于 I_x 。水内冷绕组试验时需要两块。

5.4.2 作业程序

5.4.2.1 测试方法

- a) 根据相关规程或制造厂家的规定值确定试验电压，并根据试验电压和发电机容量选择合适电压等级的电源设备、测量仪表和保护电阻。推荐采用串联谐振或并联谐振以降低试验电源的容量，试验前应根据相关数据计算电抗器、变压器的参数，以保证谐振回路能够匹配谐振以达到所需的试验电压和电流。
- b) 尽量在停机后清除污秽前的热状态下进行。交接或处于备用时可在冷态下进行。
- c) 水内冷发电机应在绕组通水的情况下进行，水质要求同 5.3.5 第 a) 条，在试验变压器容量不够时可在不通水的情况下进行，但必须将绝缘引水管中的水吹干。氢冷发电机的试验条件同 5.3.5 第 b) 条。
- d) 试验前先进行绝缘电阻和吸收比、直流泄漏等试验，各项试验合格后再进行本项试验。试验后再进行一次绝缘电阻和吸收比测量，比较试验前后的变化。
- e) 如果试验设备容量允许，可以同时对各相或各分支同时试验。

5.4.2.2 试验原理接线图

试验原理接线图如图 3 所示。

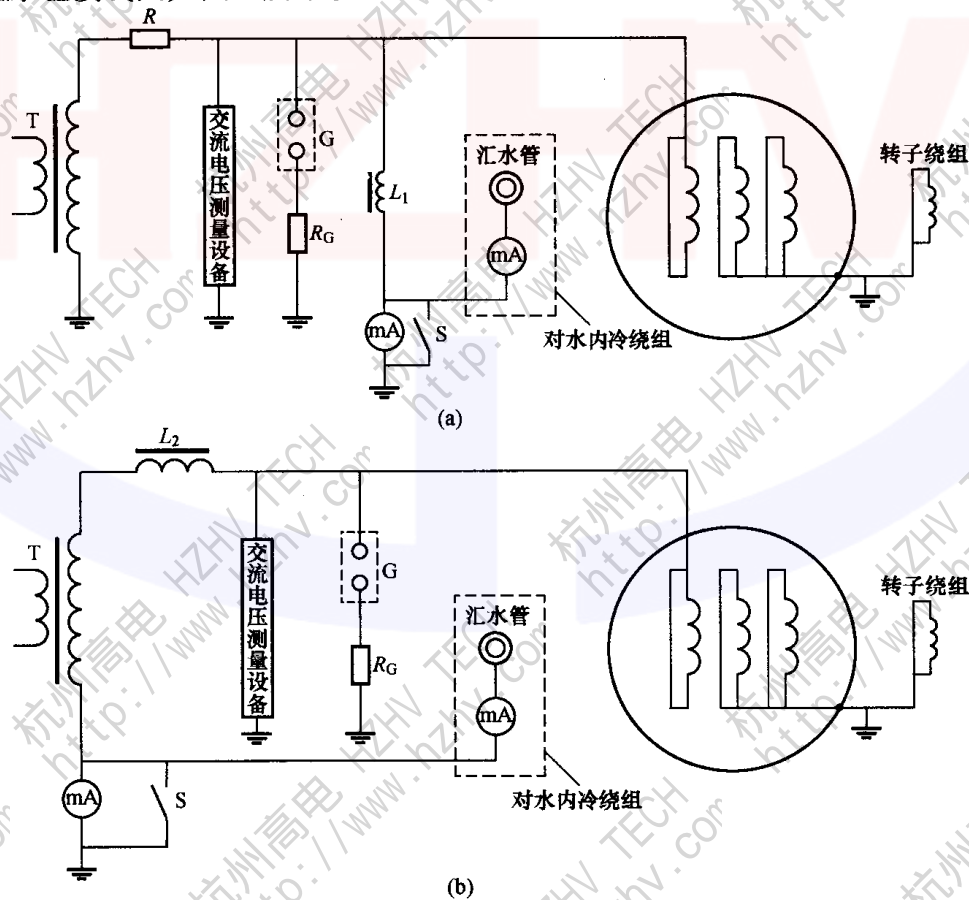


图 3 定子绕组交流耐压试验接线示意图

(a) 并联谐振；(b) 串联谐振

T—试验变压器；L₁—并联电抗器；L₂—串联电抗器；S—开关；

G—过电压保护球隙；R、R_G—保护水电阻

5.4.2.3 试验步骤

- a) 转子绕组在滑环处接地。发电机出口电流互感器二次绕组短路接地。埋置检温元件在接线端子处电气连接后接地。水内冷发电机汇水管接地。检查试验电源、调压器和试验变压器正常。按接线图准备试验, 保证所有试验设备、仪表仪器接线正确、指示正确。
- b) 一切设备仪表接好后, 在空载条件下调整保护间隙, 其放电电压为试验电压的 110% ~ 120% 范围内 (如采用串联谐振需要另外的变压器调整保护间隙)。并调整试验电压在高于试验电压 5% 下维持 2 min 后将电压降至零, 拉开电源。
- c) 经过限流电阻 R 在高压侧短路, 调整过流保护跳闸的可靠性。
- d) 非被试绕组电气连接后接地。被试绕组首尾连接后引出。
- e) 记录绕组温度、环境温度和湿度。
- f) 电压和电流保护调试检查无误, 各种仪表接线正确后, 即可将高压引线接到被试绕组上进行试验。
- g) 升压必须从零开始, 升压速度在 40% 试验电压以内可不受限制, 其后应均匀升压, 速度约每秒 3% 的试验电压。升至试验电压后维持 1 min。
- h) 将电压降至零, 拉开电源, 该试验绕组试验结束。
- i) 对其他相或分支绕组进行试验。

5.4.3 安全措施

- a) 为保证人身和设备安全, 要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护, 发电机出线侧和中性点侧应派专人把守, 防止无关人员误入。试验时试验人员与看守人员通信要通畅, 没有试验人员的命令看守人员不能乱动。负责升压的人要随时注意周围的情况, 一旦发现异常应立刻断开电源停止试验, 查明原因并排除后方可继续试验。
- b) 试验设备的步骤布置应紧凑、连接线短, 接地线应牢固可靠。
- c) 在试验过程中, 如果发现电压表指针摆动很大, 电流表指示急剧增加, 有绝缘烧焦气味, 冒烟或发出响声等异常现象时, 应立即降低电压, 断开电源, 被试绕组接地放电后再进行检查。

5.4.4 试验结果判断依据

- a) 如果耐压后的绝缘电阻比耐压前降低 30% 以上, 则认为试验未通过。
- b) 出现 5.4.3 第 c) 条中任一情况时, 绝缘可能将要击穿或已经击穿, 试验未通过。

5.4.5 注意事项

试验前应明确耐压值按制造厂的规定还是按规程规定。

5.5 转子绕组的绝缘电阻

5.5.1 设备清单和要求

- 1) 温度计 (误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)、湿度计;
- 2) 500 V (或制造厂要求电压等级的) 兆欧表;
- 3) 有 300 mm 以上绝缘手柄的电刷 (发电机动态空转测量时)。

5.5.2 作业程序

5.5.2.1 测试方法

分静态和动态空转两种情况。将兆欧表的火线接于转子滑环上、地线接于转子轴上。

5.5.2.2 试验步骤

- 静态测量前将滑环短路接地放电，提起碳刷测量。
- 动态空转测量时，断开灭磁开关到碳刷架的励磁母线或电缆，将碳刷提起，测量不同转速下的绝缘电阻。该项目试验结束后发电机加励磁前恢复接线。

5.5.2.3 安全措施

动态测量时特别注意，不得同时接触两极或一极与接地部分，谨防衣物或其他物品被旋转物挂住。

5.5.3 试验结果判断依据（或方法）

- 室温下，绝缘电阻一般不应小于 $0.5 \text{ M}\Omega$ 。
- 室温下，水内冷转子绕组绝缘电阻值一般不小于 $5 \text{ k}\Omega$ 。

5.5.4 注意事项

- 不宜将兆欧表的地线接在机座或外壳上。
- 动态空转高转速测量时绝缘电阻值可能会降低较多，应进行综合分析，一般不小于判断依据中规定的数值，就认为试验通过。

5.6 转子绕组的直流电阻

5.6.1 设备清单和要求

- 温度计 1 支（误差 $\pm 1^\circ\text{C}$ ）；
- 有效位数不低于 4 位、0.5 级以上 $10^{-5} \sim 10^{-1} \Omega$ 双臂电桥或 0.5 级以上直流电阻测试仪。

5.6.2 作业程序

5.6.2.1 测试方法

冷态测量，绕组表面温度与周围空气温度之差不应大于 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

5.6.2.2 试验步骤

- 测量绕组表面温度（困难时可用转子表面温度代替），测点不少于 3 点，取平均值作为绕组的冷态温度。对水内冷绕组在通水情况下，可在绕组进出口水温差不超过 1 K ，铁心温度与环境温度温差不超过 2 K 时，取进出口水温的平均值作为绕组的冷态温度。
- 将测量设备或仪表接到滑环上进行测量。转子滑环光滑不易接线，应注意把测量线接牢，否则读数不稳定。
- 当采用电桥测量时，每一电阻应测 3 次，每次应在电桥平衡破坏后重新进行测量，每次读数与 3 次读数平均值之差在 0.5% 以内时，取平均值作为测量值。

5.6.3 试验结果判断依据

- 按 5.2.3 第 a) 条中公式将测量值为换算到同一温度（初次值的绕组温度）。
- 与初次值（交接或大修）所测结果比较，其差别一般不超过 2% 。

5.7 转子绕组的交流阻抗和功率损耗

5.7.1 设备清单和要求

- 温度计 (误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$);
- 220 V 调压器, 可根据厂家提供的本项试验数据中电流值确定容量;
- 0.5 级交流电压表, 量程通常选 150 V;
- 0.5 级交流电流表, 量程 5 A;
- 0.5 级单相低功率因数功率表, 量程通常选 $150\text{ V}/5\text{ A}/\cos\varphi = 0.1$;
- 0.5 级电流互感器, 变比通常选 50 A/5 A。

5.7.2 作业程序

5.7.2.1 测试方法

- 隐极式转子在膛外或膛内以及不同转速下测量, 显极式转子对每个磁极转子绕组测量。
- 每次试验应在相同条件和相同电压下进行, 试验电压峰值不超过额定励磁电压 (显极式转子自行规定)。
- 交接时超速试验前后进行测量。
- 对于转子绕组有一点接地, 或对水内冷转子绕组测量时, 必须用隔离变压器加压, 并在转子轴上加装接地线。

5.7.2.2 试验原理接线图

转子绕组的交流阻抗和功率损耗测量示意图如图 4 所示。

5.7.2.3 试验步骤

- 按图 4 接线, 励侧回路断开, 电压表要用最短的粗导线直接接于滑环 1、2 上。
- 用调压器 TR 分级升压, 测量并记录电压 U 、电流 I 和功率 P 。

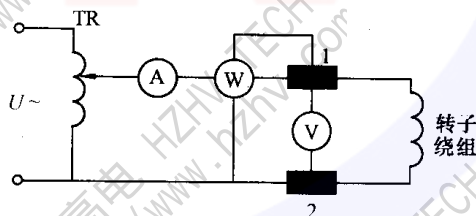


图 4 转子绕组的交流阻抗和功率损耗测量示意图

TR—调压器; A—电流表; W—低功率瓦特表;
V—电压表; 1、2—滑环

5.7.3 安全措施

- 膛内测量时定子绕组上有感应电压, 应将定子绕组与外电路断开。
- 旋转测量时注意谨防衣物或其他物品被旋转物挂住。

5.7.4 试验结果判断依据

- 交流阻抗 Z 计算公式为:

$$Z = \frac{U}{I}$$

- 在相同的试验条件下, 将测量的 Z 与 P 和原始 (或历次) 数值比较, 相差 10% 应引起注意。相同的试验条件指转子同在膛内或膛外、相同的发电机转速和相同的试验电压。

5.7.5 注意事项

影响交流阻抗和功率损耗的因素除了转子在膛内或膛外、发电机转速、试验电压有关外，还与槽楔、护环、转子本体剩磁等有关，分析时应综合考虑。

5.8 轴电压

5.8.1 设备清单和要求

万用表，交流电压档，精度 1.5 级。

5.8.2 作业程序

5.8.2.1 测试方法

被试发电机在额定电压、额定转速下空载和带不同负荷运行时，测量发电机大轴间的交流电压；对于端盖式轴承可仅测汽侧轴对地电压。对静态励磁的发电机，建议同时用示波器或录波仪测量轴电压波形。

5.8.2.2 试验原理接线图

试验原理接线如图 5 和图 6 所示。

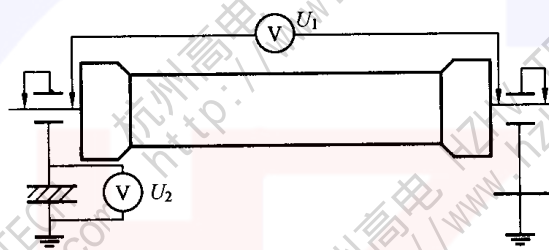


图 5 座式轴承轴电压测量示意图

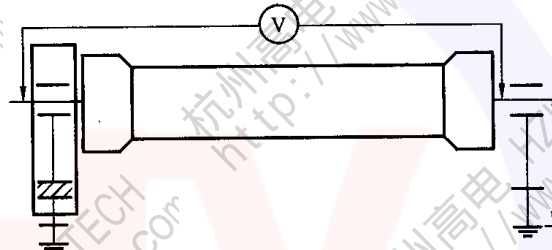


图 6 端盖式轴承轴电压测量示意图

5.8.2.3 试验步骤

- a) 检查轴承座的绝缘电阻。
- b) 将轴上原有的接地保护电刷抬起。
- c) 对于座式轴承，按图 5 将两侧轴与轴承用铜刷短路，测量轴电压 U_1 和轴承座对地电压 U_2 。对于端盖式轴承按图 6 将汽侧轴用铜刷接地，测量轴电压。

5.8.3 安全措施

注意不使衣物或其他物品被旋转物挂住。

5.8.4 试验结果判断依据

- a) 轴对地电压一般小于 10 V。
- b) 对于座式轴承 U_1 与 U_2 应基本相等。

5.8.5 注意事项

测点表面与电压表引线应接触良好。

6 原始记录与正式报告

6.1 对原始记录与正式报告的要求

- a) 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。

- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时, 可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误, 出现记录错误时, 允许用“单线划改”, 并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字; 试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人, 正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

6.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(资料性附录)
发电机常规试验原始记录

标识与编号		试验日期			
单 位		安装地点			
运行编号		试验负责人			
试验参加人					
审 核		记 录			
铭牌					
型 号		额定功率 MW			
额定电压 kV		额定电流 A			
励磁电压 V		励磁电流 A			
额定转速 r/min		功率因数			
接线方式		冷却方式			
定子绕组绝缘		转子绕组绝缘			
制 造 厂		出 厂 号			
出厂日期		备 注			
1 定子绕组的绝缘电阻、吸收比或极化指数 MΩ					
环境温度 ℃		环境湿度	是否带母线		
是否通水	<input type="checkbox"/>	水质	水电导率 μS/cm		
测量方式	R_{15}	R_{60}	R_{10}	吸收比	极化指数
A—B.C. 地					
B—A.C. 地					
C—A.B. 地					
使用仪器					
备 注					

续表

2 定子绕组直流电阻测量 mΩ					
环境温度 ℃				绕组平均温度 ℃	
测量方式	实测值	换算至	℃	基值 ℃	相间互差 %
A					与基值差 %
B					
C					
使用仪器					
备 注					
3 定子绕组直流耐压试验及泄漏电流测量 μA					
环境温度 ℃			环境湿度	绕组温度 ℃	
是否通水	<input type="checkbox"/>	水质		水电导率 μS/cm	
外加电压 kV		A 相		B 相	
				C 相	
使用仪器					
备 注					
4 定子绕组的交流耐压试验					
环境温度 ℃			环境湿度	绕组温度 ℃	
是否通水	<input type="checkbox"/>	水质		水电导率 μS/cm	
测量方式		耐压前绝缘电阻		耐压后绝缘电阻	
A—B.C. 地					

续表

B—A.C. 地							
C—A.B. 地							
使用仪器							
相别	电压 kV	时间 min	结论				
A							
B							
C							
使用仪器							
备 注							
5 转子绕组绝缘电阻测量 MΩ							
环境温度 ℃		环境湿度		试验条件	静态 <input type="checkbox"/> 动态 <input type="checkbox"/>		
		R_{15}		R_{60}			
转子绕组绝缘电阻							
使用仪器							
备 注							
6 转子绕组直流电阻测量 mΩ							
环境温度 ℃		绕组平均温度 ℃					
实测值	换算至 ℃	出厂值 ℃	实测值与出厂值互差 %				
使用仪器							
备 注							
7 转子绕组交流阻抗测量							
环境温度 ℃			电流互感器变比				
	转速 r/min	电压 V	电 流		功率损耗		阻抗 Ω
			读表格	实际值 A	读表格	实际值 A	
基值 膛内/膛外 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							

续表

使用仪器							
备 注							
8 轴电压							
环境温度 ℃							
发电机负载 MW	轴电压 V			励侧轴承座对地 V			
使用仪器							
备 注							

变压器常规试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于 35 kV 及以上的油浸式变压器，规定了变压器交接验收、预防性试验、检修过程中的常规电气试验的引用标准、仪器设备要求、试验人员资质要求和职责、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。变压器试验的主要目的是判定变压器在运输、安装过程中和运行中是否受到损伤或发生变化，以及验证变压器性能是否符合有关标准和技术条件的规定。因此变压器试验的判断原则是与出厂试验和历史数据比较，有关标准和技术条件的各项条款试验判据也是依据这一原则制定的。制定本作业指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 50150 电气装置安装工程电气设备交接试验标准

3 安全措施

- a) 测量前应断开变压器与引线的连接，并应有明显断开点。
- b) 变压器试验前应充分放电，防止残余电荷对试验人员的伤害。
- c) 为保证人身和设备安全，要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护。负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。
- d) 接地线应牢固可靠。
- e) 注意对试验完毕的变压器绕组必须充分放电。
- f) 进行直流泄漏电流试验过程中，如发现泄漏电流随时间急剧增长或有异常放电现象时，应立即停止试验，并断开电源，将被测变压器绕组接地，充分放电后，再进行检查。

4 试验项目

变压器常规试验包括以下试验项目：

- a) 绕组连同套管绝缘电阻、吸收比和极化指数；

- b) 绕组连同套管的直流泄漏电流；
- c) 绕组连同套管的 $\text{tg}\delta$ ；
- d) 铁芯绝缘电阻；
- e) 绕组连同套管的直流电阻；
- f) 绕组的电压比、极性与接线组别；
- g) 油纸套管试验。

5 仪器设备要求

- a) 温度计（误差 $\pm 1^\circ\text{C}$ ）、湿度计。
- b) 2 500 V 兆欧表：输出电流大于 1 mA，220 kV 及以上变压器试验时输出电流宜大于 5 mA。
- c) 直流发生器：要求输出电压高于试验电压，输出电流大于绕组的泄漏电流，通常在 0.5 mA 以上，电压脉动因数小于 3%。在保证精度的前提下，可使用直流发生器自带的电压表（1.5 级）和微安表（0.5 级）。
- d) 介质损耗测试仪（介质损耗测量精度为 1%，电容量精度为 0.5%）。
- e) 变压器直流电阻测试仪（0.2 级）：120 MVA 以下变压器输出电流宜大于 10 A，120 MVA 及以上变压器输出电流宜大于 20 A，180 MVA 以上变压器输出电流宜大于 40 A。
- f) 变压比测试仪（0.2 级）。

所有使用仪器均应在校验有效期内。

6 试验人员资质要求和职责

6.1 试验人员资质

负责人为高压试验高级工以上，参加人为熟练试验工。

6.2 职责

- a) 作业负责人应承担试验方案制定、试验接线检查、试验结果的现场确认和原始记录审核。
- b) 作业负责人对试验过程中的安全问题负责，作业负责人可本身担任安全监督员，也可指定参加作业的一名人员担任安全监督员。
- c) 作业参加人的职责：准备试验仪器设备，进行试验接线、操作、测量等，如实记录数据、编写试验报告。
- d) 作业组应自觉维护所用仪器设备，包括去现场前确认仪器设备的可用性，试验完成交还仪器设备时复核其状态，如实记录和反映存在或出现的问题。

7 作业程序

7.1 绕组连同套管绝缘电阻、吸收比与极化指数

7.1.1 测试方法

测量绕组绝缘电阻时，应依次测量各绕组对地和其他绕组间绝缘电阻值。被测绕组各引出端应短路，其余各非被测绕组应短路接地。

7.1.2 试验步骤

- 1) 测量并记录环境温度和湿度，并记录变压器顶层油温平均值作为绕组绝缘温度。
- 2) 测量前应将被测绕组短路接地，将所有绕组充分放电。
- 3) 各非被测绕组短路接地，被测绕组各引出端短路，测量记录 15、60、600 s 的绝缘电阻值。
- 4) 关闭兆欧表，被测绕组回路对地放电。
- 5) 测量其他绕组。

7.1.3 试验结果判断依据（或方法）

- a) 可利用公式 $R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1 - t_2)/10}$ ，将不同温度下的绝缘值换算到同一温度下，与上一次试验结果相比应无明显变化，一般不低于上次值的 70%（式中 R_1 、 R_2 分别为在温度 t_1 、 t_2 下的绝缘电阻值）。
- b) 在 10~30℃ 范围内，吸收比不小于 1.3；极化指数不小于 1.5。吸收比和极化指数不进行温度换算。
- c) 对于变压器绝缘电阻、吸收比或极化指数测试结果的分析判断最重要的方法就是与出厂试验比较，比较绝缘电阻时应注意温度的影响。由于干燥工艺的改进变压器绝缘电阻越来越高，一般能达到数万兆欧，这使变压器极化过程越来越长，原来的吸收比标准值越来越显示出其局限性，这时应测量极化指数，而不应以吸收比试验结果判定变压器不合格。变压器绝缘电阻大于 10 000 MΩ 时，可不考核吸收比或极化指数。

7.1.4 注意事项

- a) 测量吸收比时应注意时间引起的误差。
- b) 试验时注意兆欧表的 L 端和 E 端不能对调。
- c) 试验时设法消除表面泄漏电流的影响。
- d) 准确记录顶层油温，因为变压器的绝缘电阻随温度变化而有明显的变化。

7.2 绕组连同套管的直流泄漏电流

7.2.1 测试方法

- a) 根据相关规程和所试变压器绕组的额定电压确定试验电压，并根据试验电压选择合适电压等级的电源设备、测量仪表。试验中被测绕组短接，各非被测绕组短路接地。
- b) 试验前应将变压器套管外绝缘清扫干净。

7.2.2 试验步骤

- a) 将变压器各绕组引线断开，将试验高压引线接至被测绕组，其他非被测的绕组短路接地。
- b) 按接线图（如图 1 所示）准备试验，保证所有试验设备、仪表仪器接线正确、指示正确。

- c) 记录顶层油温及环境温度和湿度。
- d) 确认一切正常后开始试验。先空载分段加压至试验电压，以检查试验设备绝缘是否良好、接线是否正确。
- e) 将直流电源输出加在被试变压器绕组上，测量时，加压到 0.5 倍试验电压，待 1 min 后读取泄漏电流值。然后加压到试验电压，待 1 min 后读取泄漏电流值。
- f) 被测绕组试验完毕，将电压降为零，切断电源，必须充分放电后再进行其他操作。

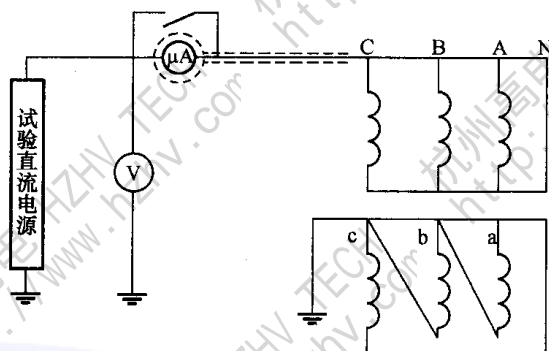


图 1 试验原理接线示意图

7.2.3 试验结果判断依据

- a) 试验电压见表 1。

表 1 试验电压值

kV

绕组额定电压	3	6 ~ 10	35	110 ~ 220	500
直流试验电压	5	10	20	40	60

- b) 绕组的直流泄漏电流测量从原理上讲与绝缘电阻测量是完全一样的，能发现的缺陷也基本一致，只是由于直流泄漏电流测量所加电压高，因而能发现在较高电压作用下才暴露的缺陷，故由泄漏电流换算成的绝缘电阻值应与兆欧表所测值相近。
- c) 500 kV 变压器的泄漏电流一般不大于 30 μA 。
- d) 任一级试验电压时，泄漏电流的指示不应有剧烈摆动。

7.2.4 注意事项

- a) 分级绝缘变压器试验电压应按被试绕组电压等级的标准，但不能超过中性点绝缘的耐压水平。
- b) 高压引线应使用屏蔽线以避免引线泄漏电流对结果的影响，高压引线不应产生电晕。
- c) 微安表应在高压端测量。
- d) 负极性直流电压下对绝缘的考核更严格，应采用负极性。
- e) 由于出厂试验一般不进行直流泄漏电流测量，直流泄漏电流值应符合有关标准规定，并为以后预试比较判断留存依据。
- f) 如果泄漏电流异常，可采用干燥或加屏蔽等方法加以消除。

7.3 绕组连同套管的 $\text{tg}\delta$

7.3.1 测试方法

- a) 测量时根据试品的接地状况选择正接线或反接线。在有干扰时应设法排除以保证测量结果的可靠性。试验中被测绕组短接，各非被测绕组短路接地。
- b) 试验前应将变压器套管外绝缘清扫干净。

c) 试验原理接线图 (参照各介质损耗测试仪试验接线)。

7.3.2 试验步骤

- 测量并记录顶层油温及环境温度和湿度。
- 按照仪器接线图连接试验线路, 应注意测试高压线的对地绝缘问题。
- 按照各介质损耗测试仪操作说明进行试验。

7.3.3 试验结果判断依据 (或方法)

a) 不同温度下的 $\text{tg}\delta$ 值一般可用公式 $\text{tg}\delta_2 = \text{tg}\delta_1 \times 1.3^{(t_2 - t_1)/10}$ 换算 (式中 $\text{tg}\delta_1$ 、 $\text{tg}\delta_2$ 分别为在温度 t_1 、 t_2 下的 $\text{tg}\delta$ 值), 20℃时 $\text{tg}\delta$ 不大于下列数值:

500 kV	0.6%
110 ~ 220 kV	0.8%
35 kV	1.5%

- 交接时应测量变压器绕组的 $\text{tg}\delta$, 并作为该设备原始记录, 以后试验应与原始值比较, 应无明显变化 (一般不大于 30%)。
- 试验电压如下:

绕组电压 10 kV 及以上	10 kV
绕组电压 10 kV 以下	U_n

d) 绕组 $\text{tg}\delta$ 与原始值比较变大或变小都可能是缺陷的反映, 同一变压器各绕组 $\text{tg}\delta$ 应基本一致。

7.3.4 注意事项

- 介质损耗测量能发现变压器整体受潮、绝缘油劣化、严重的局部缺陷等, 但对于大型变压器的局部缺陷而言, 其灵敏度较低。
- 在试验中高压测试线电压为 10 kV, 应注意对地绝缘问题。

7.4 铁芯绝缘电阻

7.4.1 测试方法

打开铁芯接地连接片, 测量铁芯对地的绝缘电阻值。

7.4.2 试验步骤

- 测量并记录顶层油温及环境温度和湿度。
- 将地线端子用接地线和变压器的外壳连接好, 用绝缘把手将相线接触被测变压器的铁芯, 开始测量, 记录 60 s 的绝缘电阻值。
- 关闭兆欧表并将被测变压器的铁芯放电。

7.4.3 试验结果判断依据 (或方法)

- 绝缘电阻值不低于 10 M Ω (使用 2 500 V 兆欧表)。
- 测量铁芯绝缘电阻的主要目的是检查铁芯是否存在多点接地, 按这个目的要求: 使用 2 500 V 兆欧表加压 1 min 应无闪络或击穿现象, 绝缘电阻要求很低。但是铁芯绝缘电阻与变压器器身绝缘有一定的对应关系, 如果铁芯绝缘电阻过低, 应查明原因。

7.4.4 注意事项

- a) 在试验中读取绝缘电阻数值后, 应先断开接至被试品的连接线, 然后再将兆欧表停止运转;
- b) 注意对试验完毕的变压器铁芯必须充分放电。

7.5 绕组连同套管的直流电阻

7.5.1 测试方法

- a) 使用变压器直流电阻测试仪进行测量。
- b) 试验原理接线图(参照各直流电阻测试仪试验接线)。

7.5.2 试验步骤

- a) 测量并记录顶层油温及环境温度和湿度。
- b) 将测量设备或仪表通过测试线与被测绕组有效连接, 开始测量。
- c) 测试完毕应使用测量设备或仪表上的“放电”或“复位”键对被测绕组充分放电。

7.5.3 试验结果判断依据(或方法)

- a) 按公式 $R_2 = R_1 (T + t_2) / (T + t_1)$ 将测量值换算到同一温度(式中 R_1 、 R_2 分别为在温度 t_1 、 t_2 下的电阻值, t_1 可取为交接试验时的变压器绕组温度; T 为电阻温度常数, 铜导线取 235, 铝导线取 225)。
- b) 1.6 MVA 以上的变压器, 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, 线间差别应不大于三相平均值的 1%。
- c) 1.6 MVA 及以上变压器, 相间差别一般应不大于三相平均值的 4%; 线间差别一般应不大于三相平均值的 2%。
- d) 各相绕组电阻与以前相同部位、相同温度下的历次结果相比, 不应有明显差别。
- e) 三相不平衡率是判断的重要标准, 各种标准、规程都作了详细明确的规定。交接时与出厂时比较三相不平衡率应无明显变化, 否则即使小于规定值也不能简单判断为合格。

7.5.4 注意事项

- a) 测量一般应在油温稳定后进行。只有油温稳定后, 油温才能等同绕组温度, 测量结果才不会因温度差异而引起温度换算误差。
- b) 对于大型变压器测量时充电过程很长, 应予足够的重视, 可考虑使用去磁法或助磁法。
- c) 应注意在测量后对被测绕组充分放电。

7.6 绕组的电压比、极性与接线组别

7.6.1 测试方法

- a) 在出厂试验时, 检查变压器极性与接线组别及所有分接头的变压比, 目的在于检验绕组匝数、引线及分接引线的连接、分接开关位置及各出线端子标志的正确性。对于安装后的变压器, 主要是检查分接开关位置及各出线端子标志是否正确。可使用专用变压比测试仪进行测试。
- b) 试验原理接线图(参照变压比测试仪使用接线)。

7.6.2 试验步骤

- a) 将专用变压比测试仪与被测变压器的高压、低压绕组用测试线正确连接。
- b) 根据被测变压器的铭牌、型号对变压比测试仪进行设置。
- c) 运行测试仪便可得到被测变压器的变压比、极性与接线组别。

7.6.3 试验结果判断依据（或方法）

- a) 各相应分接的电压比顺序应与铭牌相同。
- b) 电压 35 kV 以下，电压比小于 3 的变压器电压比允许偏差为 $\pm 1\%$ ，其他所有变压器的额定分接电压比允许偏差为 $\pm 0.5\%$ ，其他分接的偏差应在变压器阻抗值（%）的 1/10 以内，但不得超过 1%。
- c) 三相变压器的接线组别或单相变压器的极性必须与变压器的铭牌和出线端子标号相符。

7.6.4 注意事项

- a) 对于一个绕组有分接开关的多绕组变压器，可只测量带分接开关绕组对一个绕组所有分接头的变压比，而对第三绕组只测额定变压比。
- b) 测试前应正确输入被测变压器的铭牌、型号。

7.7 油纸套管试验

7.7.1 试验项目

- a) 主绝缘及末屏对地的绝缘电阻。
- b) 主绝缘及末屏对地的 $\text{tg}\delta$ 和电容量。

7.7.2 试验接线

$\text{tg}\delta$ 和电容量测量参照介损测试仪接线图，采用正接法。

7.7.3 试验步骤

- a) 测量时记录环境温度和设备的顶层油温。
- b) 测量变压器套管 $\text{tg}\delta$ 时，与被试套管相连的所有绕组端子连在一起加压，其余绕组端子均接地，末屏接电桥，正接线测量。 $\text{tg}\delta$ 和电容量测量接线图参照介质损耗测试仪接线图。
- c) $\text{tg}\delta$ 与电容量测试完毕，使用兆欧表测量末屏对地的绝缘电阻。测量后应对末屏充分放电。
- d) 试验完毕恢复套管的末屏接地。

7.7.4 试验结果判断依据（或方法）

- a) 主绝缘 20℃ 时的 $\text{tg}\delta$ 值应不大于表 2 中的数值。

表 2 主绝缘的 $\text{tg}\delta$ 值 (20℃)

电压等级 kV		20 ~ 35	110	220 ~ 500
交 接 时	充油型	2.5	1.0	1.0
	油纸电容型	0.7	0.7	0.5
	胶纸电容型	1.5	1.0	1.0

续表

电压等级 kV		20 ~ 35	110	220 ~ 500
大修后	充油型	3.0	1.5	1.5
	油纸电容型	1.0	1.0	0.8
	胶纸电容型	2.0	1.5	1.0
运行中	充油型	3.5	1.5	1.5
	油纸电容型	1.0	1.0	0.8
	胶纸电容型	3.0	1.5	1.0

- b) 当电容型套管末屏对地绝缘电阻低于 1 000 MΩ 时, 应测量末屏对地的 $\text{tg}\delta$; 加压 2 kV, 其值不大于 2%。
- c) 试验时应对电容量的测量有足够的重视, 当电容量变化达到 $\pm 5\%$ 时 (或达到一层电容屏击穿引起的变化) 应认真处理。
- d) 油纸绝缘电容式套管 $\text{tg}\delta$ 试验时, 一般不低于 10℃, 而且不进行温度换算。

8 原始记录与正式报告

8.1 对原始记录与正式报告的要求

- a) 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确, 不得随意涂改, 不得留有空白, 并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时, 可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误, 出现记录错误时, 允许用“单线划改”, 并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字; 原始记录的记录人与审核人不得是同一人。试验原始记录的内容及格式参考附录 A。
- e) 试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字, 正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档, 已备查阅。

8.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(规范性附录)

变压器常规试验原始记录

标识与编号		试验日期	
单 位		安装地点	
型 号		制造厂	
出厂序号		出厂日期	
运行编号		试验负责人	
试验参加人			
审 核		记 录	
1 变压器绝缘电阻			
	R_{15} M Ω	R_{60} M Ω	R_{600} M Ω
高压对其他绕组及地			
低压对其他绕组及地			
中压对其他绕组及地			
使用仪器		油温 ℃	
环境温度 ℃		环境湿度 %	
2 变压器的 $\text{tg}\delta$			
	绕组的 $\text{tg}\delta$ %	电容量 nF	
高压对其他绕组及地			
低压对其他绕组及地			
中压对其他绕组及地			
使用仪器		油温 ℃	
环境温度 ℃		环境湿度 %	
备注			
3 变压器的泄漏电流			
	电压 kV	绕组的泄漏电流 μA	

续表

分接	相别	中压对低压			
		AB/ab	BC/bc	CA/ca	
使用仪器		试验日期			
备注					
5 铁芯绝缘电阻					
铁芯对地绝缘电阻 MΩ					
使用仪器		试验日期			
环境温度 ℃		油温 ℃			
环境湿度 %		换算温度 ℃			
结论					
备注					
6 变压器接线组别检查					
使用仪器		试验日期			
结论					
备注					
7 变压器绕组的直流电阻					
分接	相别	高压			
		OA mΩ	OB mΩ	OC mΩ	三相不平衡率 %

续表

低压侧 I 接线	ab mΩ	bc mΩ	ca mΩ	三相不平衡率 %
低压侧直阻				
使用仪器			试验日期	
环境温度 ℃			油温 ℃	
环境湿度 %			换算温度 ℃	
备 注				
8 变压器套管的 tgδ				
		绝缘电阻 MΩ	tgδ %	电容量 pF
高压套管	A	一次		
		末屏		
	B	一次		
		末屏		
	C	一次		
		末屏		
环境温度 ℃			油温 ℃	
环境湿度 %			换算温度 ℃	
9 试验结论				

变压器绕组变形试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于电力生产、基建、试验研究等单位 and 部门。本作业指导书规定了交接验收、预防性试验、检修过程中的变压器绕组变形试验（频率响应法）的试验项目的引用标准、仪器设备要求、试验人员资质要求和职责、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本指导书的目的是规范试验操作，保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据；指导设备管理人员和现场工作人员应用变压器绕组变形测试技术对电力变压器进行检测和诊断，为变压器设备运行检修提供依据，提高变压器设备运行的可靠性。

变压器绕组变形测试技术是根据测得的变压器各绕组频率响应特性的一致性，结合设备结构、运行情况及其他试验项目进行全面的、历史的、综合的分析比较，以判断变压器绕组变形程度。本作业指导书提出的判断方法和注意值仅适用于使用差值判断变压器绕组变形的的方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 1094.1 电力变压器 第一部分 总则

GB 1094.2 电力变压器 第二部分 温升

GB 1094.3 电力变压器 第三部分 绝缘水平和绝缘试验

3 定义

本作业指导书采用下列定义。

3.1 变压器绕组变形

变压器在运行中不可避免地要遭受出口短路或近区短路故障冲击，在运输安装过程中也可能受到碰撞冲击。在这些冲击力（包括电动力和机械力）作用下，变压器绕组就可能发生轴向、径向尺寸变化、位移、扭曲、鼓包等变形。

3.2 变形程度正常

指变压器处于原始状态或不存在明显变形，可以继续运行，绕组不需要整修。

3.3 一般变形

指变压器存在明显变形需要加强监督，应在适当时机安排检修，再次短路或其他冲击

将有很大可能造成变压器损坏，需要整修或更换绕组。

3.4 严重变形

指变压器因变形而不能继续运行必须马上处理。

3.5 频率响应法

在一定的频率范围内，对变压器某一绕组的一端施加一系列特定频率的信号，测量其两端的响应信号，即可得出该变压器绕组频率响应特性。

3.6 两条频率响应特性曲线（1和2）差值

$E_{1,2}$ ——两条频响曲线的差值（方均根值）；

D_{1i} ——1条频响曲线*i*点幅值，dB；

D_{2i} ——2条频响曲线*i*点幅值，dB；

N ——离散点总数（高压侧计算频率范围是10~515 kHz，中压、低压侧计算频率范围是10~700 kHz。）

4 安全措施

负责人制定安全措施，作业参加人在负责人的监督下进行试验工作。本试验要注意为了保护测试仪，测量前应对试验前应将被试变压器线端对地放电，以防静电或感应电损坏仪器。

5 工作程序

5.1 试验人员

本项作业需要2人，一名工作负责人应为工程师及以上，一名作业承担者应为技术员及以上。

5.2 测量仪器及要求

5.2.1 设备清单

绕组变形测试仪1台、用于控制测试仪采集数据的笔记本电脑1台、试验专用线3根。

5.2.2 测量仪器宜满足下列技术要求

- 试验频率范围一般应在10 kHz~1 MHz；
- 采样点应大于600点；
- 采样频率应达到20 MHz；
- 数据文件应以文本文件格式存储以利交流；
- 应能明确判断变压器绕组是否变形，并能判定变形的程度。

5.3 作业程序

5.3.1 变压器绕组变形测试方法

对变压器每一绕组的一端每施加一系列特定频率的信号，测量其两端的响应信号，即可得出频率响应特性 $F (f = 10 \text{ kHz} \sim 1 \text{ MHz}) = 20 \lg (v_2/v_1)$ 。对于有中性点引出的绕组依次测量OA、OB、OC的频率响应特性，对于角接的绕组依次测量AB、AC、BC的频率响

应特性。

5.3.2 变压器绕组变形测试接线图

测试接线如图 1 所示。

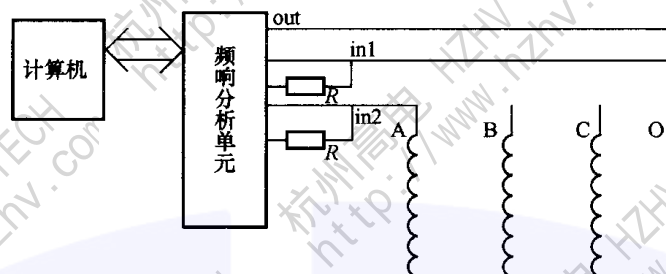


图 1 变压器绕组变形测试系统主接线图

5.3.3 试验步骤

- 通过 3 根专用测试线将被试验变压器的被试绕组引出端与测试仪的 3 个端口 (GEN、INPUT1、INPUT2) 有效连接。
- 打开笔记本电脑输入被试变压器铭牌; 打开测试仪电源开关, 用专用串口线将测试仪与笔记本电脑连接, 开始试验。
- 采集完毕, 关闭笔记本电脑及测试仪的电源。

5.4 变压器绕组变形的判断方法

5.4.1 变压器绕组变形判据

变压器绕组的频率响应特性中、低频部分 (10 ~ 500 kHz) 的频响曲线具有较丰富的谐振点, 这些谐振点的变化灵敏地反应了变压器绕组断股、鼓包、扭曲、饼间错位等变形情况, 而高频部分 (500 kHz 以上) 能反应出变压器绕组的位移。对变压器 110 kV 及以上绕组频响曲线的高频部分, 由于影响因素较多, 有时很难保证该部分曲线较好地重合。在进行判断时, 应重点注意中、低频部分, 高频部分作为必要时的参考。

5.4.2 1.6 MVA 以上变压器绕组无变形诊断步骤

- 如果三相绕组相间差值大于 3.5 dB, 应引起注意, 应将测试结果与该变压器的原始测试结果相比较, 如有明显变大 (大于 3.5 dB), 则可判定为发生了绕组变形。
- 如果没有原始测试结果, 则可与同厂同型同期变压器的测试结果进行比较, 如有明显变大 (大于 3.5 dB), 则可判定为发生了绕组变形。
- 如果仍无法比较, 则需请制造厂说明三相绕组不一致的原因, 并结合短路和过流情况作出判断。
- 如果三相绕组相间差值小于 3.5 dB, 但与该变压器的原始测试结果相比差值大于 3.5 dB 时, 则变压器绕组的共用部分发生变形, 或者发生了三相一致的变形。

5.4.3 变形程度诊断

变压器绕组发生变形后, 还需要知道变形程度。变形程度按前述定义划分为正常、中度变形、严重变形三种。诊断的注意值见表 1。

表 1 变形程度诊断的注意值

dB

变形程度诊断的注意值	变形程度	正常一般变形	严重变形
差值	3.5	3.5 ~ 7.0	> 7.0

5.5 注意事项

5.5.1 测试方法的注意事项

可靠的测试结果是变压器绕组变形判断的基础，测试时应注意以下事项：

- a) 试验前仪器应可靠接地，最好使用隔离变压器。
- b) 试验前应将被试变压器线端对地放电，以防静电或感应电损坏仪器。
- c) 试验电缆放好后，先将电缆短接，检验仪器及电缆是否完好，检验曲线应近似一条 0 dB 直线（末端允许有 ± 1 dB）。
- d) 输入被试变压器铭牌以及分接位置，注明试验是在末屏或变压器外部直接接线。
- e) 应注意电缆与仪器及被试变压器接触良好。
- f) 应尽量在最大分接位置试验。
- g) 应尽量保持变压器外部接线一致。
- h) 对 110 kV 及以上变压器绕组，试验引线与套管间杂散电容可能会影响其频响曲线高频部分的一致性，应尽量在前后试验或三相试验时保持一致。
- i) 试验中如果变压器三相频响特性不一致，应检查设备后重做，直至同一相两次试验结果一致。
- j) 试验完成后，检查数据文件是否存妥，然后退出测试系统并依次关机。

5.5.2 判断方法的注意事项

- a) 变压器绕组发生变形的必要条件是出口短路、近区短路或多次过流动作、运输中发生冲撞。
- b) 在低频部分（几十 kHz）频响曲线一般能够较好地重合，否则应首先怀疑测试接线接触不良。
- c) 一般来说 35 kV 及以下变压器（包括厂用变压器）频响特性一致性可能较差，应在交接时留原始数据待比较。
- d) 测得的频响曲线一般在 +20 ~ -80 dB 之间，如果超出应检查试验回路是否接触不良或断线。
- e) 角接绕组分开试验时三相频响特性可能不一致。
- f) 平衡绕组可能引起三相频响特性不一致。
- g) 绕组严重变形会影响临近绕组的频响特性。
- h) 有些小厂及现场检修的变压器，由于工艺较差可能导致变压器绕组频响特性不一致。
- i) 有资料表明温度对频响特性有影响。
- j) 纠结式绕组有换位导线时可能导致变压器绕组频响特性不一致。

6 原始记录与正式报告

6.1 对原始记录与正式报告的要求

- a) 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

6.2 试验原始记录

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(资料性附录)
变压器绕组变形试验原始记录

标识与编号		试验日期	
单 位		安装地点	
型 号		制造厂	
出厂序号		出厂日期	
分接位置		运行编号	
试验负责人		试验参加人	
记 录		审 核	
使用仪器			
试验数据保存位置	计算机	子目录	
备注			
结论			

电力变压器局部放电试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于 110 kV 及以上电力变压器局部放电试验，作业目的是根据有关国家、行业有关标准对电力变压器进行局部放电检测，检查电力变压器制造、安装、检修质量，提高电力变压器运行的可靠性。本作业指导书规定了变压器交接验收、预防性试验、检修过程中的常规电气试验的引用标准、仪器设备要求、试验人员资质要求和职责、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本作业指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 1094.3 电力变压器 第三部分 绝缘水平和绝缘试验

GB 7354 局部放电试验

3 安全措施

- a) 对试验设备及被试变压器加装安全围栏，在试验期间有专人监护；
- b) 作业负责人确认后方可加压，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立即断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

4 工作程序

4.1 人员要求

本项作业需要 4~6 人，负责人应为工程师及以上，具有一定的变压器专业理论知识，对变压器局部放电试验具有一定经验，参加人应为技术员及以上，具有现场高压试验的经验。

4.2 试验设备和要求

本项作业需要频率大于 100 Hz 的电源 1 套，局部放电测试仪 1 台。试验设备在运输时应捆绑牢固，防止碰撞。

4.2.1 试验电源

试验电源要求背景噪声水平应低于标准对被试品规定的视在放电量的 50%。

4.2.2 局部放电测试仪

局部放电测试仪的要求：方波发生器内阻应不大于 100 Ω，上升时间应小于 60 ns，测量仪器特性应符合国家标准规定。

4.3 作业程序

4.3.1 试验方法

按 GB 1094.3《电力变压器 第三部分 绝缘水平和绝缘试验》第 11.4 款和附录 A 及 GB 7354 的规定。

被试绕组的中性点端子应接地。对于其他的独立绕组如为星形连接应将其中性点端子接地，如为三角形连接应将其一个端子接地。

一台三相变压器，可按照单相连接的方式逐相地将电压加在线端进行试验。

4.3.2 试验接线

试验原理接线图如图 1 所示，试验接线完成后检查接线的正确性。

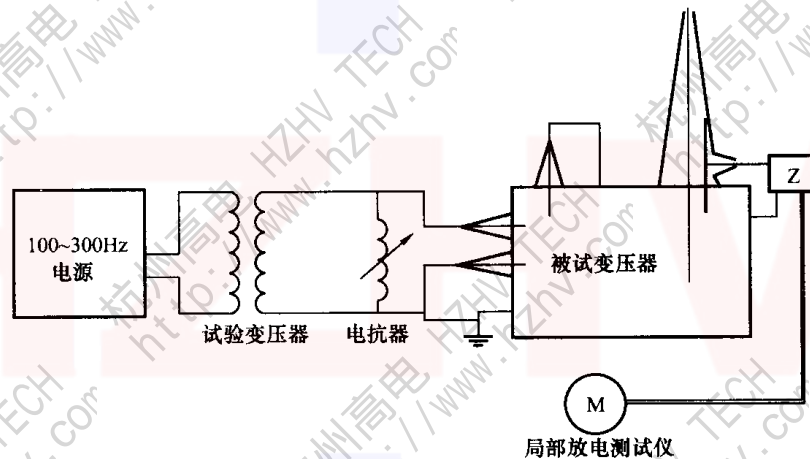
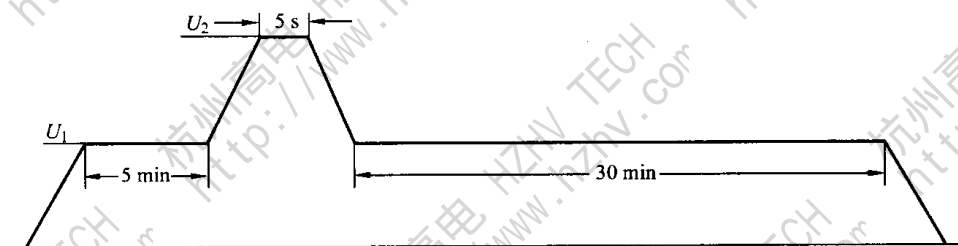


图 1 变压器局部放电试验原理接线图

4.3.3 试验步骤

作业负责人检查试验接线正确，确认试验现场布置好安全围栏并无人后即可开始试验，试验按照图 2 加压程序图进行，在不大于 $1/3 U_1$ 的电压下接通电源并增加至 U_1 ，持续 5 min，再增加至 U_2 ，保持 5 s，然后，立即将 U_2 降低到 U_1 ，保持 30 min，当电压再降低到 $1/3 U_1$ 以下时方可切断电源。

试验过程中保持对局部放电仪的观察，若出现异常，应停止试验，按 4.4 要求进行检



图中： $U_1 = 1.3 U_m \sqrt{3}$ 或 $1.5 U_m \sqrt{3}$ ； $U_2 = U_m$

图 2 加压程序图

查。试验完成后，由试验负责人对试验结果正确性的初步确认。

4.4 注意事项

- a) 应在所有的分级绝缘绕组的线端上进行测量。对自耦连接的一对绕组的较高电压和较低电压的线路端子，也应同时用来测量。
- b) 每个测量端子都应该在线端与地之间施加重复脉冲来校准，这种校准是用来在试验期间对读数的定量。
- c) 在变压器一个指定线端上测得的视在电荷量是根据经上述校准后的最高的稳态重复脉冲波计算出来的。偶然出现的尖波可以忽略不计。
- d) 在施加电压的前后，应记录所有测量端子的背景噪声水平。背景噪声水平应低于规定的视在电荷量限值 q 的一半。
- e) 在电压升至 U_2 及由 U_2 再降低的过程中，应记录可能出现的起始放电电压和熄灭电压值。
- f) 在电压 U_1 的第一阶段中应读取并记下一个读数。在施加 U_1 的短时间内不要求观测。
- g) 在电压 U_2 的第二阶段的整个期间内，应连续地观察并按一定的时间间隔记录局部放电水平。
- h) 如果在上述局部放电的观测过程中，试验电压不产生突然下降，并在施加电压 30 min 的最后 29 min 内，所有测量端子上的视在放电量的连续水平，低于规定的限值，并不表现出明显地、不断地向接近这个极限方向增长的趋势时，则试验为合格。
- i) 如果在一段试验内，视在电荷量的读数超过规定的限值，但之后又低于这个限值，则试验不必中断可连续进行，直到在此后的 30 min 的期间内取得可以接受的读数为止。偶然出现的较高的脉冲可忽略不计。只要不产生击穿并且不出现长时间的特别高的局部放电，则试验是非破坏性的。
- j) 当测量结果表明局部放电量超过标准规定或被试品有异常放电时，应停止试验，检查测量接线是否存在问题，复测试验电源背景噪声水平是否低于标准对被试品规定的视在放电量的 50%，确定异常放电的原因后，重新进行试验。

5 原始记录与正式报告

5.1 对原始记录与正式报告的要求

- a) 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；原始记录的记录人与审核人不得是同一人。

e) 试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。

f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A

(规范性附录)

变压器局部放电试验原始记录

标志与编号		试验日期							
单位		安装地点							
型号		制造厂							
出厂序号		出厂日期							
运行编号		试验负责人							
试验参加人									
记录		审核							
使用仪器									
试验电压									
时 间		5 min	5 s	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
局部 放电 电量 pC	高压	A相							
		B相							
		C相							
	中压	a相							
		b相							
		c相							
备 注									

套管绝缘试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于套管（含纯瓷型、充油型、油纸电容型、胶纸电容型、复合外套干式电容型、固体绝缘套管）绝缘试验，规定了交接验收试验、预防性试验、大修后试验项目的引用标准、仪器设备要求、作业程序和作业方法、试验结果判断方法和试验注意事项等。该试验的目的是判定套管的绝缘状况，能否投入使用或继续使用。制定本指导书的目的是规范绝缘试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。被试设备所涉及的绝缘油的试验不在本作业指导书范围内，请参阅相应作业指导书。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB/T 4109 高压套管技术条件

GB 50150 电气装置安装工程电气设备交接试验标准

3 安全措施

- a) 为保证人身和设备安全，应严格遵守 DL 408《电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）》中有关规定。
- b) 为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻测量后应对试品充分放电。
- c) 在进行 $\text{tg}\delta$ 及电容量测量时，应注意高压测试线对地绝缘问题。
- d) 在进行交流耐压试验和局部放电测试等高电压试验时，要求必须在试验设备及被试品周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

4 试验项目及程序

4.1 套管绝缘试验包括以下试验项目

- a) 绝缘电阻测量；
- b) 主绝缘及电容型套管末屏对地的 $\text{tg}\delta$ 及电容量测量；
- c) 110 kV 及以上电容型套管的局部放电测试；
- d) 交流耐压试验。

4.2 试验程序

4.2.1 应在试验开始之前检查试品的状态并进行记录，有影响试验进行的异常状态时要研究，并向有关人员请示调整试验项目。

4.2.2 详细记录试品的铭牌参数和出厂参数。

4.2.3 应根据交接或预试等不同的情况依据相关规程规定从上述项目中确定本次试验所需进行的试验项目和程序。

4.2.4 一般情况下，应在绝缘电阻测量之后再行进行介质损耗及电容量测量，这两项试验数据正常的情况下方可进行试验电压较高的局部放电测试和交流耐压试验；交流耐压试验后宜重复进行局部放电测试或介质损耗及电容量测量，以判断耐压试验前后试品的绝缘有无变化。推荐的试验程序如图 1 所示。

4.2.5 试验后要将试品的各种接线、末屏、盖板等进行恢复。

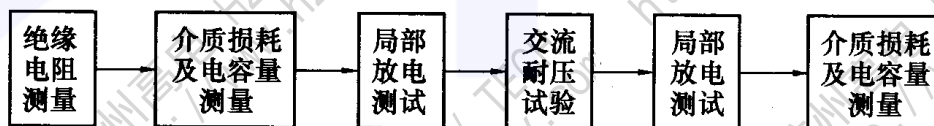


图 1 套管绝缘试验推荐程序

5 试验方法及主要设备要求

5.1 绝缘电阻测量

5.1.1 使用仪器

2 500 V 绝缘电阻测量仪（又称绝缘兆欧表）。

5.1.2 测量要求

主绝缘的绝缘电阻，电容型套管末屏对地的绝缘电阻。

5.1.3 试验结果判断依据

a) 主绝缘的绝缘电阻：110 kV 以下电压等级的套管一般不低于 5 000 M Ω ，110 kV 及以上电压等级的套管一般不低于 10 000 M Ω 。

b) 末屏对地的绝缘电阻：应不低于 1 000 M Ω 。

5.1.4 注意事项

试验时应记录环境湿度。某些情况下测量时需要将外绝缘的几个伞裙进行清洁，或将外绝缘泄漏采取屏蔽措施。

5.2 主绝缘及电容型套管末屏对地的 $\text{tg}\delta$ 及电容量测量

5.2.1 使用仪器

电容/介质损耗电桥（或自动测量仪）及标准电容器、升压装置（有的自动介损测量仪内置 10 kV 标准电容器和升压装置）；现场用测量仪应选择具有较好抗干扰能力的型号，并采用倒相、移相等抗干扰措施。

5.2.2 测量方法

测量电容型套管的主绝缘时，法兰等接地，末屏接测量仪信号端子，采用正接线测

量, 测量电压 10 kV; 其余情况若无法进行正接线测量则用反接线。当末屏对地绝阻低于 1 000 MΩ 时应测量末屏对地的 $\text{tg}\delta$, 测量电压 2 kV。平放保存 1 年以上的油纸电容型套管应进行额定电压下的 $\text{tg}\delta$ 测试。

5.2.3 试验结果判断依据

a) 主绝缘 20℃ 时的 $\text{tg}\delta$ 值不应大于表 1 中数值。油纸电容型套管的 $\text{tg}\delta$ 一般不进行温度换算, 末屏对地的 $\text{tg}\delta$ 不大于 2%; 复合外套干式电容型套管的 $\text{tg}\delta$ 限值参阅其出厂技术条件。

表 1 主绝缘的 $\text{tg}\delta$ 值 (20℃)

%

电压等级 kV		20~35	110	220~500
交接时	充油型	2.5	1.0	1.0
	油纸电容型	0.7	0.7	0.5
	胶纸电容型	1.5	1.0	1.0
大修后	充油型	3.0	1.5	1.5
	油纸电容型	1.0	1.0	0.8
	胶纸电容型	2.0	1.5	1.0
运行中	充油型	3.5	1.5	1.5
	油纸电容型	1.0	1.0	0.8
	胶纸电容型	3.0	1.5	1.0

b) 当 $\text{tg}\delta$ 与出厂值或上一次测量值比较有明显变化或接近上述限值时, 应综合分析 $\text{tg}\delta$ 与温度、电压的关系, 必要时进行额定电压下的测量。当 $\text{tg}\delta$ 随温度升高明显变化, 或试验电压由 10 kV 升到 $U_m/\sqrt{3}$, $\text{tg}\delta$ 增量超过 $\leq 0.3\%$ 时不应继续运行; 试验电压由 $0.5 U_m/\sqrt{3}$ 升到 $U_m/\sqrt{3}$, $\text{tg}\delta$ 增量超过 $\pm 0.1\%$ 时不应继续运行。

c) 电容型套管的电容值与出厂值或上一次测量值的差别超过 $\pm 5\%$ 时应查明原因。

d) 与历史数据相比, $\text{tg}\delta$ 变化量超过 $\pm 0.3\%$ 时建议取油进行分析。

5.2.4 注意事项

试验时应记录环境温度、湿度。测量完成后恢复末屏接地。

5.3 110 kV 及以上电容型套管的局部放电测试

5.3.1 使用仪器

无局部放电高电压试验变压器及测量装置 (电压测量总不确定度 $\leq \pm 3\%$)、局部放电测量仪。

5.3.2 试验方法

先将电压升至预加电压 (最高工作电压 U_m), 维持 5 s 后, 将电压降至局部放电测量电压 (变压器及电抗器套管的局部放电测量电压为 $1.5 U_m/\sqrt{3}$, 其他套管的局部放电测量

电压为 $1.05 U_m/\sqrt{3}$), 维持 5 min 进行局部放电测量。

局部放电试验也可结合耐压试验进行, 即在耐压 60 s 后不将电压回零, 而是直接将电压降至局部放电测量电压进行局部放电测量。

5.3.3 试验结果判断依据

在测量电压下, 油纸电容型的局部放电量应不大于 10 pC (运行中套管的局部放电量应不大于 20 pC); 胶纸电容型不应大于 250 pC (非变压器、电抗器套管不应大于 100 pC)。

5.3.4 注意事项

- 试验时应记录环境湿度, 相对湿度超过 80% 时不应进行本试验。
- 升压设备的容量应足够, 试验前应确认高压升压等设备功能正常。
- 所用测量仪器、仪表在检定有效期内, 局部放电测试仪及校准方波发生器应定期进行性能校核。
- 对变压器及电抗器套管进行局部放电试验时, 其下部必须浸入一合适的油筒内, 注入筒内的油应符合油质试验的有关标准, 并静置后才能进行试验。穿墙或其他形式套管不需放入油筒。
- 试验前应保证试品足够的静置时间: 500 kV 设备静置时间大于 72 h, 220 kV 设备静置时间大于 48 h, 110 kV 及以下设备静置时间大于 24 h。

5.4 交流耐压试验

5.4.1 使用仪器

高电压试验变压器及测量装置 (电压测量总不确定度 $\leq \pm 3\%$)。

5.4.2 试验方法及试验结果判断依据

50 Hz 交流耐压 60 s, 应无内外绝缘闪络或击穿, 交接时或大修后交流耐受电压值见表 2。

表 2 交流耐受电压值

kV

额定电压	3	6	10	15	20	35	110	220	500	
最高工作电压	3.6	7.2	12	18	24	40.5	126	252	550	
变压器/电抗器套管 (油纸电容型)	23	27(18)	38(25)	50	59	85	180	356	612	
穿墙 套管	纯瓷或纯瓷充油	25	30(20)	42(28)	55	65	85	180	360	630
	固体有机绝缘	23	27(18)	38(25)	50	59	85	180	356	612
注 1: 括号内为低电阻接地系统;										
注 2: 110 kV 及以上电压等级的套管如果现场不具备条件可不进行耐压试验										

5.4.3 注意事项

- 试验时应记录环境湿度, 相对湿度超过 80% 时不应进行本试验。
- 升压设备的容量应足够。试验前应确认高压升压等设备功能正常, 所用测量仪器、仪表在检定有效期内。

- c) 对变压器及电抗器套管进行耐压试验时, 其下部必须浸入一合适的油筒内, 注入筒内的油应符合油质试验的有关标准, 并静置后才能进行试验。
- d) 试验前应保证套管有足够的静置时间, 参见 5.3.4 e)。
- e) 35 kV 及以下纯瓷穿墙套管可随母线绝缘子一起耐压。
- f) 耐压试验后宜重复进行主绝缘的介质损耗及电容量测量和局部放电试验, 注意耐压前后应无明显变化。

6 原始记录与正式报告

6.1 对原始记录与正式报告的要求

- a) 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确, 不得随意涂改, 不得留有空白, 并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时, 可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误, 出现记录错误时, 允许用“单线划改”, 并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字; 试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人, 正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

6.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(规范性附录)

套管绝缘试验原始记录

标识与编号			试验日期			
单 位			安装地点			
型 号			制造厂			
出厂编号			出厂日期			
试品铭牌						
环境温度			环境湿度			
试验负责人			试验参加人			
记 录			审 核			
绝缘电阻测量 MΩ	仪器型号				仪器编号	
	主绝缘				末屏对地	
介质损耗及 电容量测试	仪器型号				仪器编号	
	主绝缘					
	耐压前			耐压后		
	测量电压 kV	tgδ %	C pF	tgδ %	C pF	末屏对地(必要时) 测量电压: 2 kV
耐压试验	装置型号				装置编号	
	电压 kV	时间 s	试验结果		备注	
局部放电 测试	高电压测量装置型号				测量装置编号	
	局部放电测量仪型号				局部放电测量仪编号	
	耐压前			耐压后		
	预加电压 kV	测量电压 kV	放电量 pC	预加电压 kV	测量电压 kV	放电量 pC
结 论						
备 注						

绝缘油介质损耗因数测定试验作业指导书

1 范围

本指导书适用于绝缘油（包括新油和运行油）介质损耗因数测定，规定了试验引用标准、仪器设备要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本指导书的目的是规范操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。除介质损耗因数测定的绝缘油其他相关试验不在本作业指导书范围内，参阅相应作业指导书。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 5654 液体绝缘材料工频相对介电常数介质损耗因数和体积电阻率的试验方法

3 工作程序

3.1 试验设备

绝缘油自动介质损耗测量仪。

3.2 作业程序

3.2.1 清洗油杯

试验前（必要时：当试验结果发现异常时，如数据分散性大或不合格）将油杯先用石油醚或清洗剂清洗干净，并在烘干箱烘干，温度设为 105 ~ 110℃，时间为 2 h。

3.2.2 空杯试验

将空杯升温至 90℃，介质损耗角正切值应小于 0.000 1，电容量应符合仪器制造厂要求，即确认干净。

3.2.3 装取油样

空杯先用被试油样冲洗两次以上，再装油样，静置 10 min。

3.2.4 介质损耗角正切值测量

对被试油样升温至 90℃，进行介质损耗角正切值测量。

3.2.5 废油处理

试验完毕后，妥善处理好废油。应有专门容器存放废油，并定期进行集中处理，避免环境污染。

3.3 试验结果判断依据

试验结果应满足表 1 要求。

表 1 绝缘油介质损耗值

项 目	标 准	
	投入运行前的油	运行油
$\text{tg}\delta (90^\circ\text{C})$	注入前: ≤ 0.5 注入后: 220 kV 及以下 ≤ 1 500 kV ≤ 0.7	≤ 2

3.4 注意事项

- 测量仪器放置地点应无强大电磁干扰和机械振动并有可靠接地。
- 油杯要干燥和清洁, 试样要有代表性, 装入油时不能有气泡和杂质。
- 绝缘油自动介质损耗测量仪应定期校验。
- 试验结果发现异常, 如数据分散性大或不合格, 应对试样进行复测。

4 原始记录与正式报告

4.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确, 不得随意涂改, 不得留有空白, 并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时, 可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误, 出现记录错误时, 允许用“单线划改”, 并要求更改者在更改旁边签名。
- 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字, 试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- 原始记录的记录人与审核人不得是同一人, 正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- 原始记录及试验报告应按规定存档。

4.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(资料性附录)
绝缘油试验原始记录

标识与编号			
单位		试验日期	
设备名称		试验人员	
电压等级		油 号	
环境温度		新油或运行油	
记 录		审 核	
介 质 损 耗 角 %	温 度	测 试 值	
	90 °C		
备 注			

绝缘油介电强度测量试验作业指导书

1 范围

本指导书适用于绝缘油（包括新油和运行油）介电强度测定，规定了试验引用标准、仪器设备要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本指导书的目的是规范操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

除介电强度测定的绝缘油其他相关试验不在本作业指导书范围内，请参阅相应作业指导书。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB/T 507 绝缘油击穿电压测定法

DL 429.9 电力系统油质试验方法 绝缘油介电强度测定法

3 试验设备

绝缘油击穿电压试验仪。

4 作业程序

4.1 样品容器

样品的体积应约为试样容量的3倍，采样最好用棕色瓶，透明瓶应在试验前避光保存。也可用不与绝缘油发生作用的塑料容器，但不能重复使用。为了密封，应使用带聚乙烯或聚四氟乙烯材质垫片的螺纹塞。应先用适当的清洗剂清洗容器和塞子，以除去上次的残液，再用丙酮清洗，最后用热空气吹干。

4.2 取样

取样时，应留出3%的容器空间。击穿电压测试对试样中微量的水或其他杂质相当敏感，需用专用采样器采样，以防止试样污染。取绝缘油最易带来杂质的地方，一般为容器底部。

4.3 清洗油杯

试验前的电极和油杯应先用无水乙醇、乙醚清洗烘干。调整好电极距离，使其保持 (2.5 ± 0.1) mm，并用块规校准。试验在室温15~35℃，湿度不高于75%的条件下进行。

4.4 样品处理

试验油样送到试验室后,应在不破坏原有储藏密封的状态下放置相当时间,直至油样接近室温。在油倒出之前,应将储油容器颠倒数次,使油样混合,并尽可能不产生气泡。然后用被试油将油杯和电极冲洗2~3次。再将被试油沿杯壁徐徐注入油杯。盖上玻璃盖或玻璃罩,静止20 min。

4.5 加压试验

在测量装置上,对盛有油样的电极两端施加50 Hz交流电压,升压速度 (2 ± 0.2) kV/s,直至油隙击穿,并记录击穿电压值。

达到击穿电压后,至少暂停2 min,再进行下一次加压;重复试验6次,取击穿电压平均值。

注意电极间不要有气泡,若使用搅拌,在整个试验过程中应一直保持。

4.6 废油处理

试验完毕后,妥善处理好废油。应有专门容器存放废油,并定期进行集中处理,避免环境污染。

5 试验结果判断依据

试验结果应满足表1要求。

表1 绝缘油介电强度

kV

设备额定电压	投入运行前的油	运行油
< 15	≥ 30	≥ 25
15 ~ 35	≥ 35	≥ 30
110 ~ 220	≥ 40	≥ 35
500	≥ 60	≥ 50

6 注意事项

- 电极可采用球形电极、蘑菇形电极、平板电极。
- 电极间距离为 (2.5 ± 0.1) mm,并用块规校准。电极间的距离过小容易击穿,测量结果偏低。反之,测量结果偏大。
- 试验数据分散性大,其原因是击穿过程的影响因素比较多。因此,试验方法中规定取6次平均值做为试验结果。
- 绝缘油中有水份及其他杂质时则对击穿电压有明显影响。所以试样一定要摇荡均匀后注入油杯。
- 试验中发现击穿电压值随次数的增加而增高。这是由于油中混入不同性质的杂质而引起的。若油中混入的主要是纤维杂质和水份,在击穿过程中水份被蒸发,所以试验数据越来越高。但是也有时降低,要考虑一下周围环境,湿度是否超过规定等。

- f) 绝缘油击穿电压测试仪应定期校验。

7 原始记录与正式报告

7.1 对原始记录与正式报告的要求

- a) 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

7.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附 录 A
(资料性附录)
绝缘油试验原始记录

标识与编号			
委托单位		试验日期	
设备名称		试验人员	
电压等级		油 号	
环境温度		新油或运行油	
记 录		审 核	
击 穿 电 压 kV	次 数	测 试 值	
	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	平 均		
备 注			

电磁式电压互感器绝缘试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于电磁式电压互感器绝缘试验，规定了交接验收试验、预防性试验、大修后试验项目的引用标准，仪器设备要求，作业程序和方法，试验结果判断方法和试验注意事项等。该试验的目的是判定电磁式电压互感器的绝缘状况，能否投入使用或继续使用。制定本指导书的目的是规范绝缘试验的操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

被试设备所涉及的绝缘油的相关试验以及准确级检定试验等不在本作业指导书范围内，请参阅相应作业指导书。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 1207 电压互感器

GB 50150 电气装置安装工程电气设备交接试验标准

DL/T 727 互感器运行检修导则

3 安全措施

- a) 为保证人身和设备安全，应严格遵守 DL 408《电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）》中有关规定。
- b) 在进行绝缘电阻测量后应对试品充分放电。
- c) 在进行 $\text{tg}\delta$ 及电容量测量时，应注意高压测试线对地绝缘问题。
- d) 进行空载电流测量、交流耐压试验和局部放电测试等高电压试验时，要求必须在试验设备及被试品周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

4 试验项目及程序

4.1 电磁式电压互感器的绝缘试验包括以下试验项目：

- a) 绕组的直流电阻测量；

- b) 绕组的绝缘电阻测量；
- c) 铁芯夹紧螺栓绝缘电阻测量；
- d) 极性检查；
- e) 变比检查；
- f) 空载电流测量；
- g) $\text{tg}\delta$ 测量；
- h) 交流耐压试验；
- i) 局部放电测试。

4.2 试验程序

4.2.1 应在试验开始之前检查试品的状态并进行记录，有影响试验进行的异常状态时要研究，并向有关人员请示调整试验项目。

4.2.2 详细记录试品的铭牌参数。

4.2.3 应根据交接或预试等不同的情况依据相关规程规定从上述项目中确定本次试验所需进行的试验项目和程序。

4.2.4 一般情况下，应先进行低电压试验，再进行高电压试验。应在绝缘电阻测量之后再行进行介质损耗及电容量测量，这两项试验数据正常的情况下方可进行试验电压较高的空载电流测量、局部放电测试和交流耐压试验。交流耐压试验后应进行局部放电测试、还应重复进行空载电流测量或介质损耗/电容量测量，以判断耐压试验前后试品的绝缘有无变化。推荐的试验程序如图 1 所示。

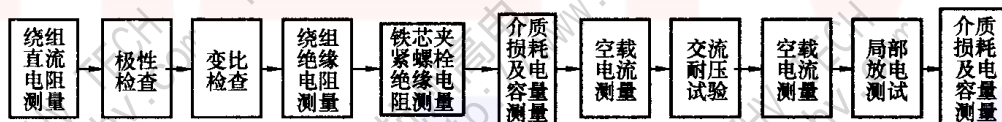


图 1 电磁式电压互感器绝缘试验推荐程序

4.2.5 试验后要将试品的各种接线、盖板等进行恢复。

5 试验方法及主要设备要求

5.1 绕组的直流电阻测量

5.1.1 使用仪器

测量二次绕组一般使用双臂直流电阻电桥，测量一次绕组一般使用单臂直流电阻电桥。

5.1.2 试验结果判断依据

与出厂值或初始值比较应无明显差别。

5.1.3 注意事项

试验时应记录环境温度。

5.2 绕组的绝缘电阻测量

5.2.1 使用仪器

2 500 V 绝缘电阻测量仪（又称绝缘兆欧表）。

5.2.2 测量要求

测量一次绕组和各二次绕组的绝缘电阻。测量时各非被试绕组、底座、外壳均应接地。

5.2.3 试验结果判断依据

绕组绝缘电阻不应低于出厂值或初始值的 60%。

5.2.4 注意事项

试验时应记录环境湿度。测量二次绕组绝缘电阻的时间应持续 60 s，以替代二次绕组交流耐压试验。

5.3 铁芯夹紧螺栓（可接触到的）绝缘电阻测量

5.3.1 使用仪器

2500 V 绝缘电阻测量仪（又称绝缘兆欧表，包含绝缘摇表）。

5.3.2 试验结果判断依据

一般不得低于 10 MΩ。

5.3.3 注意事项

试验时应记录环境湿度。

5.4 极性检查

5.4.1 使用仪器

电池、指针式直流毫伏表（或指针式万用表的直流毫伏档）。

5.4.2 检查及判断方法

各二次绕组分别进行。将指针式直流毫伏表的“+”、“-”输入端接在待检二次绕组的端子上，方向必须正确：“+”端接在“a”，“-”端接在“n”；将电池负极与电压互感器一次绕组的“N”端相连，从一次绕组“A”端引一根电线，用它在电池正极进行突然连通动作，此时指针式直流毫伏表的指针应随之摆动，若向正方向摆动则表明被检二次绕组极性正确。反之则极性不正确。

5.4.3 注意事项

接线本身的正负方向必须正确。检查时应先将毫伏表放在直流毫伏的一个较大挡位，根据指针摆动的幅度对挡位进行调整，使得既能观察到明确的摆动又不超量程撞针。电池连通 2~3 s 后立即断开以防电池放电过量。

5.5 变比检查

本作业指导书提及的方法仅作为确定绕组安装正确性及运输途中无硬性损伤的核实性检查，当计量有要求时、更换绕组后应进行准确级的角比误差检定，其方法查阅相关互感器检定作业指导书。

5.5.1 使用仪器设备

调压器、交流电压表（1级以上）、交流毫伏表（1级以上）。

5.5.2 检查方法

待检电压互感器一次及所有二次绕组均开路，将调压器输出接至一次绕组端子，缓慢升压，同时用交流电压表测量所加一次绕组的电压 U_1 、用交流毫伏表测量待检二次绕组的感应电压 U_2 ，计算 U_1/U_2 的值，判断是否与铭牌上该绕组的额定电压比（ $U_{1n}/$

U_{2n}) 相符。

5.5.3 注意事项

各二次绕组及其各分接头分别进行检查。

5.6 空载电流测量

5.6.1 使用仪器设备

调压器、交流电压表 (1 级以上)、交流电流表 (1 级以上)、测量用电流互感器 (0.2 级以上)。

5.6.2 试验方法

空载电流测量是高电压试验, 试验时要保证被试品对周围人员、物体的安全距离, 并必须在试验设备及被试品周围设围栏并有专人监护。

各二次绕组 n 端单端接地, 一次绕组 N 端单端接地。

将调压器的电压输出端接至某个二次绕组 (应尽量选择二次容量大的二次绕组), 在此接入测量用电压表、电流表 (一般需要用到测量用电流互感器)。

接好线路后合闸, 缓慢升压, 当电压升至该二次绕组额定电压时读出并记录电压、电流值。继续升压至高限电压 (中性点非有效接地系统为 $1.9U_m/\sqrt{3}$, 中性点有效接地系统为 $1.5U_m/\sqrt{3}$), 迅速读出并记录电压、电流值并降压, 断开电源刀闸。

5.6.3 结果判别

在额定电压下的空载电流与出厂值或初始值比较, 应无明显差异。在高限电压 (中性点非有效接地系统为 $1.9U_m/\sqrt{3}$, 中性点有效接地系统为 $1.5U_m/\sqrt{3}$) 下, 空载电流不应大于最大允许电流。

5.6.4 注意事项

感应耐压前后均应进行此项试验, 空载电流不应有明显差异。

5.7 $\text{tg}\delta$ 测量

固体绝缘电磁式电压互感器以及 $U_n < 20 \text{ kV}$ 的电磁式电压互感器一般不进行 $\text{tg}\delta$ 测量。

5.7.1 使用仪器

电容/介质损耗电桥 (或自动介质损耗测量仪) 及标准电容器、升压装置 (有的自动介质损耗测量仪内置 10 kV 标准电容器和升压装置); 现场用测量仪应选择具有较好抗干扰能力的型号, 并采用倒相、移相等抗干扰措施。

5.7.2 测量方法

对于 U_n 为 20 kV 及以上的不接地电压互感器 (全绝缘), 一般采用一次绕组加压法 (即 $A-N$ 短接、外施电压, 分别从二次绕组或外壳、支架取信号), 测量电压 10 kV ; 对于 U_n 为 20 kV 及以上的接地电压互感器 (半绝缘), 一般采用末端屏蔽法 (即 A 端加压, N 端接地, 分别从二次绕组或外壳、支架取信号), 测量电压可选 $10 \text{ kV} \sim U_m/\sqrt{3}$ 。

5.7.3 试验结果判断依据

a) 绕组绝缘的 $\text{tg}\delta$ 值应不大于表 1 中数值。

表 1 绕组绝缘的 $\text{tg}\delta$ 值

%

额定电压	温度 ℃	5	10	20	30	40
35 kV 及以下	交接时、大修后	1.5	2.5	3.0	5.0	7.0
	运行中	2.0	2.5	3.5	5.5	8.0
35 kV 以上	交接时、大修后	1.0	1.5	2.0	3.5	5.0
	运行中	1.5	2.0	2.5	4.0	5.5

b) 支架绝缘的 $\text{tg}\delta$ 应不大于 6%。

5.7.4 注意事项

试验时应记录环境温度、湿度。感应耐压前后均应进行此项试验。

5.8 交流耐压试验

5.8.1 试验要求

应进行外施工频耐压试验及感应耐压试验。对于不接地电压互感器（全绝缘），外施工频耐压试验及感应耐压试验的试验电压见表 2；对于接地电压互感器（半绝缘），外施工频耐压试验电压为 2 kV（可以用 2500 V 兆欧表测量 N 端绝缘电阻代替），感应耐压试验的试验电压见表 2。

表 2 交流耐受电压值

kV

额定电压	3	6	10	15	20	35	66	110	220
最高工作电压	3.6	7.2	12	18	24	40.5	72.5	126	252
出厂耐压值	25	30 (20)	42 (28)	55	65	95	155	200	395
交接、大修后耐压值	23	27 (18)	38 (25)	50	59	85	140	180	356

注 1: 括号内为低电阻接地系统；
注 2: 110 kV 及以上电压等级的电压互感器如果现场不具备条件可不进行耐压试验

5.8.2 试验方法

- 外施工频耐压试验：二次绕组、外壳、支架等应连在一起接地；A-N 短接，施加电压；历时 60 s。
- 感应耐压试验：选择一个二次绕组施加一足够的励磁电压，使一次绕组感应出规定的试验电压值，励磁电压频率一般为 150 Hz，不应大于 400 Hz，耐压时间 = $60 \times 100/f$ (s)，且不应小于 20 s。

5.8.3 使用仪器

高电压试验变压器及测量装置（电压测量总不确定度 $\leq \pm 3\%$ ）、三倍频电压发生器或变频电源。

5.8.4 注意事项

- 试验时应记录环境湿度，相对湿度超过 80% 时不应进行本试验。

- b) 升压设备的容量应足够, 试验前应确认高压升压等设备功能正常。
- c) 所用测量仪器、仪表在检定有效期内。
- d) 外施工频耐压试验应在高压侧测量试验电压; 感应耐压试验也应尽量在高压侧测量试验电压, 如果在施加电压的二次侧测量电压, 则应考虑容升效应, 一般在 150 Hz 下, 对于 220 kV 的电磁式电压互感器, 容升按 8% 考虑, 110 kV 的电磁式电压互感器, 容升按 5% 考虑, 35 kV 的电磁式电压互感器, 容升按 3% 考虑。
- e) 充油设备试验前应保证被试设备有足够的静置时间: 220 kV 设备静置时间大于 48 h, 110 kV 及以下设备静置时间大于 24 h。
- f) 耐压试验后宜重复进行介质损耗及电容量、空载电流测量, 注意耐压前后应无明显变化。

5.9 局部放电测试

5.9.1 使用仪器

无局部放电高电压试验变压器及测量装置 (电压测量总不确定度 $\leq \pm 3\%$)、局部放电测量仪。

5.9.2 试验程序

局部放电试验可结合感应耐压试验进行, 即在耐压 60 s 后不将电压回零, 直接将电压降至局部放电测量电压进行 30 s 局部放电测量; 如果单独进行局部放电试验, 则先将电压升至预加电压, 停留 10 s 后, 将电压降至局部放电测量电压进行局部放电测量。

注意: 对于接地电压互感器, 试验时 A 端接高电压, N 端及二次绕组单端与箱壳一起经测量阻抗接地 (如果耦合电容器经测量阻抗接地, 则被试互感器 N 端等直接接地); 对于不接地电压互感器, 应进行两次局部放电试验, 第一次 A 端接高电压, N 端及二次绕组单端与箱壳一起经测量阻抗接地 (如果耦合电容器经测量阻抗接地, 则被试互感器 N 端等直接接地), 第二次 N 端接高电压, A 端及二次绕组单端与箱壳一起经测量阻抗接地 (如果耦合电容器经测量阻抗接地, 则被试互感器 A 端等直接接地), 接线与程序与接地电压互感器类似。

5.9.3 局部放电预加电压、测量电压及局部放电量限值

1998 年 5 月以后出厂的电磁式电压互感器试验电压及要求见表 3 (相对地电压互感器两种局部放电测量电压任选其一进行)。

表 3 局部放电允许水平 (1998 年 5 月后)

绝缘类型	预加电压 kV	局部放电测量电压 kV		局部放电允许水平 pC	
				交接时/大修后	运行中
15.75 ~ 35 kV, 固体绝缘	预加电压为 其感应耐压值 的 80%	相对地 电压互感器	$1.2 U_m$	50	100
			$1.2 U_m / \sqrt{3}$	20	50
		相对相 电压互感器	$1.2 U_m$	20	50

续表

绝缘类型	预加电压 kV	局部放电测量电压 kV		局部放电允许水平 pC	
				交接时/大修后	运行中
110 kV 及以上, 油浸式	预加电压为 其感应耐压值的 80%	相对地 电压互感器	U_m	10	20
			$1.2 U_m/\sqrt{3}$	5	10
		相对相 电压互感器	$1.2 U_m$	10	20

1998年5月之前的电磁式电压互感器执行旧标准, 见表4。

表4 局部放电允许水平 (1998年5月前)

绝缘类型	预加电压 kV	局部放电测量电压 kV		局部放电允许水平 pC	
				交接时/大修后	运行中
15.75 ~ 35 kV, 固体绝缘	$1.3 U_m$	相对地 电压互感器	$1.1 U_m/\sqrt{3}$	50	100
			$1.1 U_m$ (必要时)	250	500
		相对相 电压互感器	$1.1 U_m$	50	100
110 kV 及以上, 油浸式	$0.8 \times 1.3 U_m$	$1.1 U_m/\sqrt{3}$		20	20

5.9.4 注意事项

- 试验时应记录环境湿度, 相对湿度超过 80% 时不应进行本试验。
- 升压设备的容量应足够, 试验前应确认高压升压等设备功能正常。
- 所用测量仪器、仪表在检定有效期内, 局部放电测试仪及校准方波发生器应定期进行性能校核。
- 充油设备试验前也应保证试品足够的静置时间, 参见 5.8.4 e)。

6 原始记录与正式报告

6.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确, 不得随意涂改, 不得留有空白, 并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时, 可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误, 出现记录错误时, 允许用“单线划改”, 并要求更改者在更改旁边签名。
- 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字, 试验报告应由拟稿人员、审核

人员、批准人员三级审核签字。

e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。

f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

6.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(资料性附录)

电磁式电压互感器绝缘试验原始记录

标识与编号					单位				
型 号					安装地点				
出厂编号	制造厂						出厂日期		
环境温度	环境湿度						试验日期		
试验负责人					试验参加人				
记 录					审 核				
试品铭牌	一次额定电压： 二次组合（额定电压、准确级、额定负载）：								
绕组直流电阻 Ω	仪器型号				仪器编号				
	一次绕组	1a-1n	2a-2n		3a-3n		af-nf		
绝缘电阻 Ω	仪器型号				仪器编号				
	一次绕组	1a-1n	2a-2n	3a-3n		af-nf		铁芯夹紧螺栓	
极性检查	二次绕组	1a-1n	2a-2n		3a-3n		af-nf		
	极性								
变比检查	变比								
	仪器型号				仪器编号				
空载电流测量	电压表编号				电流表编号		电流互感器编号		
	加压在 二次绕组			电压 V					
		耐压前		电流 A					
		耐压后							
电容量及 介质损耗测试	仪器型号				仪器编号				
	测量电压	绕组绝缘 kV			支架绝缘 kV				
		$\text{tg}\delta$ %	C pF		$\text{tg}\delta$ %		C pF		
	耐压前								
	耐压后								

续表

局部放电测试	测量装置型号		编号		
	局部放电仪型号		编号		
	频率 Hz	预加电压 kV	测量电压 kV	放电量 pC	备注
耐压试验	测量装置型号		编号		
	耐压电压 kV	频率 Hz	耐压时间 s	耐压结果	
结论					

电容式电压互感器绝缘试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于电容式电压互感器绝缘试验，规定了交接验收试验、预防性试验、大修后试验项目的引用标准、仪器设备要求、作业程序和方法、试验结果判断方法和试验注意事项等。该试验的目的是判定电容式电压互感器的绝缘状况，能否投入使用或继续使用。制定本指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。被试设备所涉及的其他试验如准确级检定试验不在本指导书范围内。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 4703 电容式电压互感器

JB/T 8169 耦合电容器及电容分压器

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

DL/T 727 互感器运行检修导则

3 安全措施

- a) 为保证人身和设备安全，应严格遵守 DL 408《电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）》中有关规定。
- b) 为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻测量后应对试品充分放电。
- c) 在进行 $\text{tg}\delta$ 及电容量测量时，应注意高压测试线对地绝缘问题。
- d) 在进行交流耐压试验和局部放电测试等高电压试验时，要求必须在试验设备及被试品周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立即断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

4 试验项目及程序

4.1 电容式电压互感器绝缘试验包括以下试验项目

- a) 中间变压器一、二次绕组的直流电阻测量；

- b) 各电容器单元及中间变压器各部位绝缘电阻测量；
- c) 电容器各单元的电容容量及 $\text{tg}\delta$ 测量；
- d) 交流耐压试验与局部放电测试。

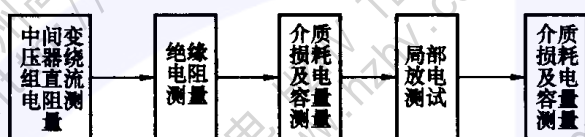
4.2 试验程序

4.2.1 应在试验开始之前检查试品的状态并进行记录，有影响试验进行的异常状态时要研究，并向有关人员请示调整试验项目。

4.2.2 详细记录试品的铭牌参数。

4.2.3 应根据交接或预试等不同的情况依据相关规程规定从上述项目中确定本次试验所需进行的试验项目和程序。

4.2.4 一般情况下，应先进行低电压试验再进行高电压试验；应在绝缘电阻测量之后再



再进行 $\text{tg}\delta$ 及电容试验后宜重复进行局部放电测试和介损及电容容量测量，以判断耐压试验前后试品的绝缘有无变化。推荐的试验程序如图 1 所示。

图 1 电容式电压互感器绝缘试验推荐程序

等进行恢复。

4.2.5 试验后要将试品的各种接线、盖板

5 试验方法及主要设备要求

5.1 中间变压器一、二次绕组的直流电阻测量

5.1.1 使用仪器

测量二次绕组使用双臂直流电阻电桥，测量一次绕组使用双臂直流电阻电桥或单臂直流电阻电桥。当一次绕组与分压电容器在内部连接而无法测量时可不测。

5.1.2 试验结果判断依据

与出厂值或初始值比较应无明显差别。

5.1.3 注意事项

试验时应记录环境温度。

5.2 各电容器单元及中间变压器各部位绝缘电阻测量

5.2.1 使用仪器

2 500 V 绝缘电阻测量仪（又称绝缘兆欧表）。

5.2.2 测量要求

各电容器单元测极间，中间变压器测各二次绕组、N 端（有时称 J 或 δ ）、X 端等。

5.2.3 试验结果判断依据

电容器单元极间绝阻一般不低于 5 000 M Ω ；中间变压器一次绕组（X 端）对二次绕组及地应大于 1 000 M Ω ，二次绕组之间及对地应大于 10 M Ω 。

5.2.4 注意事项

试验时应记录环境湿度。测量二次绕组绝缘电阻时，其他绕组及端子应接地，时间应持续 60 s，以替代二次绕组交流耐压试验。

5.3 电容器各单元的电容及 $\text{tg}\delta$ 测量

5.3.1 使用仪器

电容/介质损耗电桥（或自动测量仪）及标准电容器、升压装置（有的自动介损测量仪内置 10 kV 标准电容器和升压装置）；现场用测量仪应选择具有较好抗干扰能力的型号，并采用倒相、移相等抗干扰措施。

5.3.2 测量方法

220 kV 及以上电压等级的电容式电压互感器的高压电容器 C_1 一般会分节，对于其中各独立电容器分节，宜采用正接线测量，测量电压 10 kV。

对于 C_1 下节连同中压电容器 C_2 ，一般建议采用自激法（一般分两次分别进行，个别型号的仪器一次接线可同时完成测量），测量电压一般不应超过 2 kV；对于某些型号的电容式电压互感器，自激法测试不理想，也可采用测量 C_1 串联 C_2 的总体电容及介质损耗，介质损耗仪用正接线测量方式，从下节电容器高压侧施加电压，中间变压器 X 端子悬空，N 端子（有时称 J 或 δ ）不接地、接入介质损耗仪测量信号端，测量电压 5 kV。

如果电容式电压互感器下节带有中压测试抽头，则优先采用利用测试抽头的接线方法，即：测量 C_1 下节时从电容器高压侧一次加压，从测试抽头取信号，而 X 端子及 N 端（有时称 J 或 δ ）应悬空，介质损耗仪用正接线测量方式，测量电压 10 kV；测量中压电容器 C_2 时从测试抽头加压，从 N 端（有时称 J 或 δ ）取信号，而电容器高压侧应悬空、X 端子应悬空，介质损耗仪用正接线测量方式，测量电压不应高于 C_2 在正常工作时的电压。

5.3.3 试验结果判断依据

- a) 电容量：每节电容值不超出额定值的 $-5\% \sim +10\%$ ，电容值大于出厂值的 102% 时应缩短试验周期；一相中任两节实测电容值差不超过 5%。
- b) $\text{tg}\delta$ ：交接时，膜纸复合绝缘型不超过 0.0015，油纸绝缘型不超过 0.005；运行中，膜纸复合绝缘型不超过 0.003，超过 0.0015 的应加强监视，超过 0.003 的应更换。油纸绝缘型不超过 0.005，超过 0.005 但与历年测试值比较无明显变化且不大于 0.008 的可监督运行。

5.3.4 注意事项

试验时应记录环境温度、湿度。测量完成后恢复中间变压器各端子的正确连接状态。

5.4 交流耐压试验与局部放电测试

5.4.1 使用仪器

无局部放电高电压试验变压器及测量装置（电压测量总不确定度 $\leq \pm 3\%$ ）、局部放电测量仪。

5.4.2 试验方法及试验结果判断依据

高压电容器 C_1 中各独立分节宜分节进行试验，耐压值为出厂值的 75%，耐压 60 s 应无内外绝缘闪络或击穿；耐压后将电压降至局部放电测试预加电压 $0.8 \times 1.3 U_m$ 历时 10s，再降至局部放电测量电压 $1.1 U_m/\sqrt{3}$ 保持 60 s，局部放电量应不大于 10 pC。如果耐压值低

于局部放电测试预加电压 $0.8 \times 1.3 U_m$ ，则只进行局部放电测试、不耐压。

对于下节整体，不进行耐压试验，局部放电试验不进行预加压，测量电压为 $1.2 U_n / \sqrt{3}$ ，局部放电量不应大于 15 pC 。

对于高压电容器的各分节，计算上述试验电压时， U_m 和 U_n 应用该电容式电压互感器设备的相应参数除以节数。

5.4.3 注意事项

- 试验时应记录环境湿度，相对湿度超过 80% 时不应进行本试验。
- 升压设备的容量应足够，试验前应确认高压升压等设备功能正常。
- 所用测量仪器、仪表在检定有效期内，局部放电测试仪及校准方波发生器应定期进行性能校核。
- 耐压试验后宜重复进行主绝缘的局部放电测试、介质损耗及电容量测量，注意耐压前后应无明显变化。

6 原始记录与正式报告

6.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- 原始记录及试验报告应按规定存档。

6.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

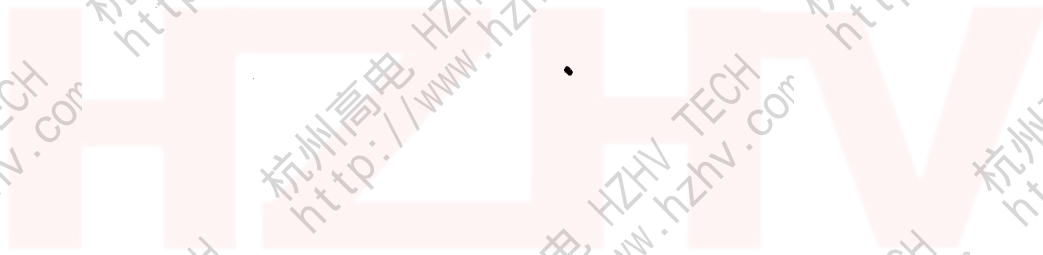
附录 A
(资料性附录)

电容式电压互感器绝缘试验记录

标识与编号				试验日期			
单位				安装地点			
型号				制造厂			
出厂编号				出厂日期			
单元编号							
环境温度				环境湿度			
试验负责人				试验参加人			
记录				审核			
绕组直流电阻 Ω		测量仪器型号		测量仪器编号			
		1a - 1n	2a - 2n	3a - 3n	af - nf		
绝缘电阻测量 $M\Omega$		测量仪器型号		测量仪器编号			
		1a - 1n	2a - 2n	3a - 3n	af - nf	X	
		C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	N	
电容量及 介质 损耗 测试	耐压后	仪器型号		仪器编号			
		2 kV		10 kV			
		tg δ %	C nF	tg δ %	C nF	tg δ %	C nF
	C_{11}	—	—				
	C_{12}	—	—				
	C_{13}	—	—				
C_{14}			—	—	—	—	
C_2			—	—	—	—	
耐压 及局 部放 电测 试	高电压测量装置型号		测量装置编号				
	局部放电测量仪型号		局部放电测量仪编号				
		耐压电压 kV	耐压结果	预加电压 kV	测量电压 kV	放电量 pC	
	C_{11}						
	C_{12}						
C_{13}							
下节整体	—	—	—	—	—		

续表

电容量及介质损耗测试	耐压后	仪器型号		仪器编号		10 kV		10 kV	
						tgδ %	C nF	tgδ %	C nF
		C ₁₁	—	—					
C ₁₂	—	—							
C ₁₃	—	—							
结 论									
备注									



电流互感器绝缘试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于电流互感器绝缘试验，规定了交接验收试验、预防性试验、大修后试验项目的引用标准、仪器设备要求、作业程序和方法、试验结果判断方法和试验注意事项等。该试验的目的是判定电流互感器的绝缘状况，能否投入使用或继续使用。制定本指导书的目的是规范绝缘试验的操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

被试设备所涉及的绝缘油、绝缘气体介质的相关试验以及准确级检定试验等不在本作业指导书范围内，请参阅相应作业指导书。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 1208 电流互感器

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

DL/T 727 互感器运行检修导则

3 安全措施

- a) 为保证人身和设备安全，应严格遵守 DL 408《电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）》中有关规定。
- b) 在进行绕组和末屏绝缘电阻测量后应对试品充分放电。
- c) 在进行主绝缘及电容型套管末屏对地的 $\text{tg}\delta$ 及电容量测量时应注意高压测试线对地绝缘问题。
- d) 进行交流耐压试验和局部放电测试等高电压试验时，要求必须在试验设备及被试品周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

4 试验项目及程序

4.1 电流互感器的绝缘试验包括以下试验项目

- a) 二次绕组的直流电阻测量；

- b) 绕组及末屏的绝缘电阻测量;
- c) 极性检查;
- d) 变比检查;
- e) 励磁特性曲线;
- f) 主绝缘及电容型套管末屏对地的 $\text{tg}\delta$ 及电容量测量;
- g) 交流耐压试验;
- h) 局部放电测试。

4.1 试验程序

4.2.1 应在试验开始之前检查试品的状态并进行记录, 有影响试验进行的异常状态时要研究, 并向有关人员请示调整试验项目。

4.2.2 详细记录试品的铭牌参数。

4.2.3 应根据交接或预试等不同的情况依据相关规程规定从上述项目中确定本次试验所需进行的试验项目和程序。

4.2.4 一般情况下, 应先进行低电压试验再进行高电压试验、应在绝缘电阻测量之后再行介损及电容量测量, 这两项试验数据正常的情况下方可进行试验电压较高的交流耐压试验和局部放电测试; 交流耐压试验后进行局部放电测试、还应重复介质损耗/电容量测量, 以判断耐压试验前后试品的绝缘有无变化。推荐的试验程序如图 1 所示。

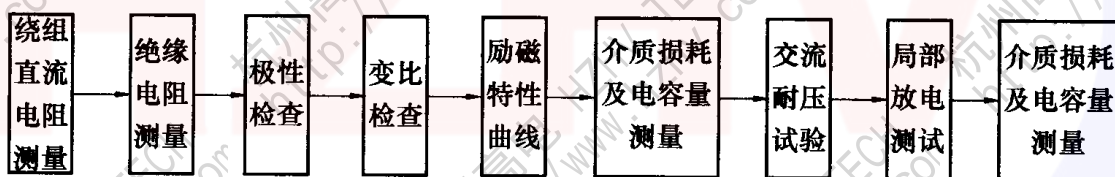


图 1 电流互感器绝缘试验推荐程序

4.2.5 试验后要将试品的各种接线、末屏、盖板等进行恢复。

5 试验方法及主要设备要求

5.1 二次绕组的直流电阻测量

5.1.1 使用仪器

一般使用双臂直流电阻电桥, 个别参数型号的二次绕组的直流电阻超过 $10\ \Omega$, 则使用单臂直流电阻电桥。

5.1.2 试验结果判断依据

与出厂值或初始值比较应无明显差别。

5.1.3 注意事项

试验时应记录环境温度。

5.2 绕组及末屏的绝缘电阻测量

5.2.1 使用仪器

2 500 V 绝缘电阻测量仪 (又称绝缘兆欧表, 包含绝缘摇表)。

5.2.2 测量要求

测一次绕组、各二次绕组、末屏。测量时非被试绕组（或末屏）、外壳应接地。500 kV电流互感器具有两个一次绕组时，尚应测量一次绕组间的绝缘电阻。

5.2.3 试验结果判断依据

绕组绝缘电阻不应低于出厂值或初始值的 60%。电容型电流互感器的末屏对地的绝缘一般不低于 1000 M Ω 。

5.2.4 注意事项

试验时应记录环境湿度。测量二次绕组绝缘电阻时非被试绕组及端子应接地，时间应持续 60 s，以替代二次绕组交流耐压试验。

5.3 极性检查

5.3.1 使用仪器

电池、指针式直流毫伏表（或指针式万用表的直流毫伏档）。

5.3.2 检查及判断方法

各二次绕组分别进行。将指针式直流毫伏表的“+”、“-”输入端接在待检二次绕组的端子上，方向必须正确：“+”端接在 s1（或 k1），“-”端接在 s2 或 s3 上（或 k2、k3）；将电池负极与 TA 一次绕组的 L2 端相连，从一次绕组 L1 端引一根电线，用它在电池正极进行突然连通动作，此时指针式直流毫伏表的指针应随之摆动，若向正方向摆动则表明被检二次绕组为“减极性”，极性正确。反之则极性不正确。

5.3.3 注意事项

接线本身的正负方向必须正确；检查时应先将毫伏表放在直流毫伏的一个较大档位，根据指针摆动的幅度对档位进行调整，使得既能观察到明确的摆动又不超量程打表。电池连通后立即断开，以防电池放电过量。

5.4 变比检查

本作业指导书提及的两种方法（可任选其一进行）均仅作为确定绕组安装正确性及运输途中无硬性损伤的核实性检查，当计量有要求时，更换绕组后应进行准确级的角比误差检定，其方法查阅相关互感器检定作业指导书。

5.4.1 方法一：测量电流比

5.4.1.1 使用仪器设备

调压器、升流器、测量用电流互感器、交流电流表（两块）。

5.4.1.2 检查方法

由调压器及升流器等构成升流回路，待检电流互感器一次绕组串入升流回路；同时用测量用电流互感器和交流电流表测量加在一次绕组的电流 I_1 、用另一块交流电流表测量待检二次绕组的电流 I_2 ，计算 I_1/I_2 的值，判断是否与铭牌上该绕组的额定电流比（ I_{1n}/I_{2n} ）相符。

5.4.1.3 注意事项

各二次绕组及其各分接头分别进行检查。测量某个二次绕组时，其余所有二次绕组均应短路、不得开路。

注意根据待检电流互感器的额定电流和升流器的升流能力选择量程合适的测量用电流互感器和电流表。

5.4.2 方法二：测量电压比

5.4.2.1 使用仪器设备

调压器、交流电压表、交流毫伏表。

5.4.2.2 检查方法

待检电流互感器一次及所有二次绕组均开路，将调压器输出接至待检二次绕组端子，缓慢升压，同时用交流电压表测量所加二次绕组的电压 U_2 、用交流毫伏表测量一次绕组的开路感应电压 U_1 ，计算 U_2/U_1 的值，判断是否与铭牌上该绕组的额定电流比 (I_{1n}/I_{2n}) 相符。

5.4.2.3 注意事项

各二次绕组及其各分接头分别进行检查。二次绕组所施加的电压不宜过高，防止电流互感器铁芯饱和。

5.5 励磁特性曲线

5.5.1 检查对象

在继电保护有要求时对 P 级绕组进行；对 0.2、0.5 级测量绕组一般不进行此项试验；对 TPY 级暂态保护绕组，由于其励磁特性曲线饱和点电压一般很高，现场检查时如进行工频试验，则在电压不超过 2kV 时进行检查性比较，建议创造条件进行降低频率的试验。多抽头的绕组可在抽头或最大抽头测量。

5.5.2 使用仪器设备

调压器、交流电压表（1 级以上）、交流电流表（1 级以上）、毫安表（1 级以上），有些参数的电流互感器试验时还需要小型试验变压器及测量用电流互感器。试验前根据该电流互感器出厂报告数据或参数计算出本试验所需电压、电流，选择适当量程的试验设备和测量仪器。

5.5.3 试验方法

各二次绕组分别进行；待检电流互感器一次及所有二次绕组均开路，将调压器或试验变压器的电压输出高压端接至待检二次绕组的一端，待检二次绕组另一端通过电流表（或毫安表，视量程需要）接地、试验变压器的高压尾接地，接好测量用电流互感器、电压表，缓慢升压，同时读出并记录各测量点的电压、电流值。

5.5.4 结果判别

与同类型电流互感器励磁特性曲线、制造厂的特性曲线以及自身的历史数据比较，应无明显差异。

5.5.5 注意事项

试验时待检电流互感器一次及所有二次绕组均开路；试验时应先去磁，然后将电压逐渐升至励磁特性曲线的饱和点即可停止，如果该绕组励磁特性的饱和电压高于 2 kV，则现场试验时所施加的电压一般应在 2 kV 截止，避免二次绕组绝缘承受过高电压。试验时记录点的选择应便于计算饱和点、便于与出厂数据及历史数据进行比较，一般不应少于 5 个记录点。

5.6 电容型电流互感器主绝缘、末屏对地的 $\text{tg}\delta$ 及电容量测量

固体绝缘电流互感器一般不进行 $\text{tg}\delta$ 测量。 SF_6 气体绝缘电流互感器是否应进行 $\text{tg}\delta$ 测量以及测量标准参阅其出厂技术条件。

5.6.1 使用仪器

升压装置、电容/介质损耗电桥（或自动测量仪）及标准电容器（有的自动介损测量仪内置 10 kV 标准电容器和升压装置）；现场用测量仪应选择具有较好抗干扰能力的型号，并采用倒相、移相等抗干扰措施。

5.6.2 测量方法

测量电容型电流互感器的主绝缘时，二次绕组、外壳等应接地，末屏（或专用测量端子）接测量仪信号端子，采用正接线测量，测量电压 10 kV；某些型号的气体绝缘电流互感器无专用测量端子，无法进行正接线测量则用反接线。当末屏对地绝阻低于 1000 M Ω 时应测量末屏对地的 $\text{tg}\delta$ ，测量电压 2 kV。

5.6.3 试验结果判断依据

- a) 主绝缘 20℃ 时的 $\text{tg}\delta$ 值不应大于表 1 中数值，且与历年数据比较不应有显著变化。

表 1 主绝缘的 $\text{tg}\delta$ 值

额定电压等级 kV		35	110	220	500
交接时 大修后	充油型	3.0	2.0	—	—
	油纸电容型	—	1.0	0.7	0.6
	胶纸电容型	2.5	2.0	—	—
运行中	充油型	3.5	2.5	—	—
	油纸电容型	—	1.0	0.8	0.7
	胶纸电容型	3.0	2.5	—	—

油纸电容型绝缘的电流互感器的 $\text{tg}\delta$ 一般不进行温度换算。

末屏对地的 $\text{tg}\delta$ 不大于 2%；

复合外套干式电容型绝缘电流互感器、 SF_6 气体绝缘电流互感器的 $\text{tg}\delta$ 值的限值参阅其出厂技术条件；固体绝缘电流互感器一般不进行 $\text{tg}\delta$ 测量。

- b) 当 $\text{tg}\delta$ 与出厂值或上一次测量值比较有明显变化或接近上述限值时，应综合分析 $\text{tg}\delta$ 与温度、电压的关系，必要时进行额定电压下的测量。当 $\text{tg}\delta$ 随温度升高明显变化，或试验电压由 10 kV 升到 $U_m/\sqrt{3}$ ， $\text{tg}\delta$ 增量超过 $\pm 0.3\%$ 时不应继续运行。

- c) 电容型电流互感器的主绝缘电容量与出厂值或上一次测量值的相对差别超过 $\pm 5\%$ 时应查明原因。

5.6.4 注意事项

- a) 试验时应记录环境温度、湿度。

- b) 拆末屏接地线时要注意不要转动末屏结构；测量完成后恢复末屏接地及二次绕组各端子的正确连接状态，避免运行中电流互感器二次绕组及末屏开路。

5.7 交流耐压试验

5.7.1 使用仪器

高电压试验变压器及测量装置（电压测量总不确定度 $\leq \pm 3\%$ ）。

5.7.2 试验方法及试验结果判断依据

一般采用 50 Hz 交流耐压 60 s，应无内外绝缘闪络或击穿，一次绕组交流耐压值见表 2，二次绕组之间及对地交流耐压 2 kV（可用 2 500 V 兆欧表代替）。全部更换绕组绝缘后应按出厂值进行耐压。对于 110 kV 以上高电压等级的电流互感器的主绝缘现场交接试验时，可随所连断路器进行变频（一般 30 ~ 300 Hz）耐压试验。

表 2 一次绕组交流耐压值

kV

额定电压	3	6	10	15	20	35	110	220	500
最高工作电压	3.6	7.2	12	18	24	40.5	126	252	550
出厂耐压值	25	30 (20)	42 (28)	55	65	95	200	395	680
交接、大修后耐压值	23	27 (18)	38 (25)	50	59	85	180	356	612

注 1：括号内为低电阻接地系统；

注 2：110 kV 及以上电压等级的 TA 如果现场不具备条件可不进行耐压试验。但 SF₆ 绝缘电流互感器则必须在现场进行老练及耐压试验

5.7.3 注意事项

- 试验时应记录环境湿度，相对湿度超过 80% 时不应进行本试验；升压设备的容量应足够，试验前应确认高压升压等设备功能正常。
- 充油设备试验前应保证被试设备有足够的静置时间：500 kV 设备静置时间大于 72 h，220 kV 设备静置时间大于 48 h，110 kV 及以下设备静置时间大于 24 h。
- 耐压试验后宜进行局部放电测试、还应重复进行主绝缘的介质损耗/电容量测量，注意耐压前后应无明显变化。

5.8 局部放电测试

5.8.1 使用仪器

无局部放电高电压试验变压器及测量装置（电压测量总不确定度 $\pm 3\%$ ）、局部放电测量仪。

5.8.2 试验方法

局部放电试验可结合耐压试验进行，即在耐压 60 s 后不将电压回零，直接将电压降至局部放电测量电压停留 30 s 进行局部放电测量；如果单独进行局部放电试验，则先将电压升至预加电压，停留 10 s 后，将电压降至局部放电测量电压停留 30 s 进行局部放电测量。

5.8.3 局部放电预加电压、测量电压及局部放电量限值

1998年5月以后出厂的电流互感器的试验电压及要求见表3（两种局部放电测量电压任选其一进行）。

表3 局部放电允许水平（1998年5月后）

电流互感器绝缘类型	预加电压 kV	局部放电测量电压 kV	局部放电允许水平 pC	
			交接时/大修后	运行中
35 kV 固体绝缘	工频交流耐 压值的 80%	$1.2 U_m$	50	100
		$1.2 U_m/\sqrt{3}$	20	50
110 kV 及以上油浸式、 SF ₆ 气体绝缘		U_m	10	20
		$1.2 U_m/\sqrt{3}$	5	10

1998年5月之前的电流互感器执行旧标准，见表4。

表4 局部放电允许水平（1998年5月前）

电流互感器绝缘类型	预加电压 kV	局部放电测量电压 kV	局部放电允许水平 pC	
			交接时/大修后	运行中
35 kV 固体绝缘	$1.3 U_m$	$1.1 U_m/\sqrt{3}$	50	100
		$1.1 U_m$ （必要时）	250	500
110 kV 及以上油浸式	$0.8 \times 1.3 U_m$	$1.1 U_m/\sqrt{3}$	20	20

5.8.4 注意事项

- 试验时应记录环境湿度，相对湿度超过80%时不应进行本试验。
- 升压设备的容量应足够，试验前应确认高压升压等设备功能正常。
- 所用测量仪器、仪表在检定有效期内，局部放电测试仪及校准方波发生器应定期进行性能校核。
- 试验时电流互感器一次绕组短接并接至试验变压器高压（采取适当的均压、屏蔽措施及扩径导线），二次绕组全部短接并接地或通过局部放电测量阻抗接地，末屏应通过局部放电测量阻抗可靠接地。
- 充油设备试验前也应保证试品足够的静置时间同5.7.3 b)。

6 原始记录与正式报告

6.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签

名。

- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

6.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附 录 A
(资料性附录)

电流互感器绝缘试验原始记录

标识与编号					试验日期				
单位					安装地点				
型号					制造厂				
出厂编号					出厂日期				
环境温度					环境湿度				
试验负责人					试验参加人				
记 录					审 核				
试品参数	端子								
	变比								
	等级								
	容量								
	端子								
	变比								
	等级								
	容量								
二次绕组 直流电阻 Ω	测量仪器型号			仪器编号					
绝缘绕组 $M\Omega$	测量仪器型号			仪器编号					
	一次	末屏		1S	2S	3S			
	4S	5S	6S	7S	8S				
极性检查	1S	2S	3S	4S	5S	6S	7S	8S	
变比检查	1S	2S	3S	4S	5S	6S	7S	8S	

续表

励磁特性	电压表编号		电流表编号		电压互感器编号		
		电流 A					
		电压 V					
		电流 A					
		电压 V					
		电流 A					
		电压 V					
		电流 A					
		电压 V					
		电流 A					
介质损耗与容量	测量仪器型号		测量仪器编号				
	主绝缘					末屏对地 (必要时) 测量电压: 2 kV	
	电压 kV	耐压前		耐压后		tgδ %	C nF
		tgδ %	C nF	tgδ %	C nF		
耐压与局部放电	高电压测量装置型号			编号			
	局部放电测量仪型号			编号			
	耐压电压 kV	耐压结果	预加电压 kV	测量电压 kV	放电量 pC		
结论							
备注							

真空断路器试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于真空断路器试验作业，包括交接验收试验、预防性试验、大修后试验项目的引用标准、仪器设备要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。该试验的目的是判定真空断路器的状况，能否投入使用或继续使用。制定本指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 1984 交流高压断路器

JB 3855 3.6~40.5 kV 户内交流高压真空断路器

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

3 安全措施

为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻测量后应对试品充分放电；进行交流耐压试验等高压试验时，要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

4 工作程序

4.1 试验项目

真空断路器试验包括以下试验项目：

- a) 真空断路器整体和断口间绝缘电阻；
- b) 导电回路电阻；
- c) 合、分闸时间及同期性及合闸弹跳时间；
- d) 合分闸速度及分闸反弹幅值；
- e) 灭弧室的触头开距及超行程；
- f) 合闸接触器及合、分闸电磁铁的最低动作电压；
- g) 断路器主回路对地、断口间及相间交流耐压。

4.2 试验方法及主要设备要求

4.2.1 真空断路器整体和断口间绝缘电阻

4.2.1.1 使用仪器

测量真空断路器整体和断口间绝缘电阻使用 2500V 兆欧表。

4.2.1.2 试验结果判断依据

- 对整体绝缘电阻参照制造厂规定或自行规定。
- 断口和有机物制成的提升杆的绝缘电阻 (MΩ) 不应低于表 1 数值 (20℃时)。

表 1 真空断路器断口和提升杆的绝缘电阻值

MΩ

试验类型	额定电压 kV	
	< 24	24 ~ 40.5
交接时、大修后	> 1200	> 3000
运行中	> 300	> 1000

4.2.1.3 注意事项

试验时应记录环境温度。

4.2.2 导电回路电阻

4.2.2.1 使用仪器

回路电阻测试仪 (要求不小于 100 A) 或双臂直流电桥。

4.2.2.2 测量要求

将真空断路器合闸, 将导电回路测试仪试验线接至断路器一次接线端上, 注意电压线接在内侧, 电流线接在外侧。

4.2.2.3 试验结果判断依据

交接时和大修后导电回路电阻数值应符合制造厂的规定, 运行中自行规定, 建议不大于 1.2 倍的出厂值。

4.2.2.4 注意事项

如采用直流压降法测量, 则电流应不小于 100 A。

4.2.3 合、分闸时间及同期性及合闸弹跳时间

4.2.3.1 使用仪器

- 可调直流电压源。输出范围: 电压为 0 ~ 250V 直流, 电流应不小于 5 A, 纹波系数不大于 3%。
- 断路器特性测试仪 1 台, 要求仪器时间精度误差不大于 0.1 ms, 时间通道数应不少于 3 个。

4.2.3.2 测量方法

将断路器特性测试仪的合、分闸控制线分别接入断路器二次控制线中, 用试验接线将断路器一次各断口的引线接入测试仪的时间通道。试验接线如图 1 所示。

将可调直流电源调至额定操作电压, 通过控制断路器特性测试仪, 对真空断路器进行

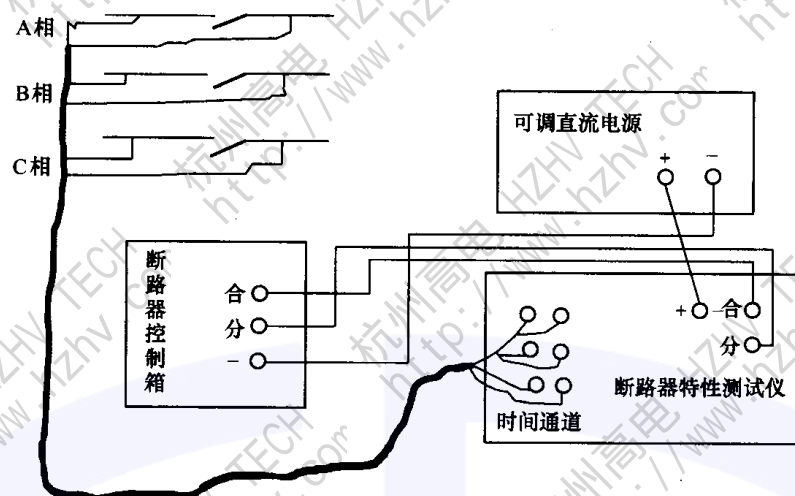


图1 合分闸时间、同期性及合闸弹跳时间试验接线图

分、合操作，得出各相合、分闸时间及合闸弹跳时间。三相合闸时间中的最大值与最小值之差即为合闸不同期；三相分闸时间中的最大值与最小值之差即为分闸不同期。

4.2.3.3 试验结果判断依据

- 合、分闸时间与合、分闸不同期应符合制造厂的规定。
- 合闸弹跳时间除制造厂另有规定外，应不大于 2 ms。

4.2.3.4 注意事项

试验时也可采用站内直流电源作为操作电源；对于电磁操作机构，应将合闸控制线接至合闸接触器线圈回路。

4.2.4 合分闸速度及分闸反弹幅值

4.2.4.1 使用仪器

- 可调直流电压源。输出范围：电压为 0~250V 直流，电流应不小于 5A，纹波系数不大于 3%。
- 断路器特性测试仪 1 台，要求仪器时间精度误差不大于 0.1ms，时间通道数应不少于 3 个，至少有 1 个模拟输入通道。

4.2.4.2 试验方法

本项试验可结合断路器合、分闸时间试验同时进行，将测速传感器可靠固定，并将传感器运动部分牢固连接至断路器动触杆上。对利用断路器特性测试仪进行断路器合、分操作，根据所得的行程—时间曲线求得合、分闸速度以及分闸反弹幅值。

4.2.4.3 试验结果判断依据

- 合、分闸速度与分闸反弹幅值应符合制造厂的规定。
- 分闸反弹幅值一般不应大于额定触头开距的 1/3。

4.2.5 灭弧室的触头开距及超行程

4.2.5.1 使用仪器

游标卡尺。

4.2.5.2 试验方法

断路器处于分闸位置时，测量动触杆与某一基准面的距离 L_1 ，同时测量超行程弹簧的长度 L_3 ，将断路器合闸，再次测量动触杆与基准面的距离 L_2 ，以及超行程弹簧的长度 L_4 。 L_1 与 L_2 之差即为该相的触头开距； L_3 与 L_4 之差即为该相的触头超行程。

4.2.5.3 试验结果判断依据

触头开距及超行程应符合制造厂的规定。

4.2.6 合闸接触器及合、分闸电磁铁的最低动作电压

4.2.6.1 使用仪器

可调直流电压源。输出范围：电压为 0~250 V 直流，电流应不小于 5 A，纹波系数不大于 3%。

4.2.6.2 试验方法

将直流电源的输出经刀闸分别接入合闸接触器线圈或断路器二次控制线的合闸或分闸回路中，在一个较低电压下迅速合上并拉开直流电源出线刀闸，合闸接触器或断路器不动作，逐步提高此电压值，重复以上步骤，当合闸接触器可靠吸合或断路器正确动作时，记录此前的电压值。则分别为合闸接触器或合、分闸电磁铁的最低动作电压值。

4.2.6.3 试验结果判断依据

- 合闸电磁铁的最低动作电压不应大于额定电压的 80%，在额定电压的 80%~110% 范围内可靠动作。
- 分闸电磁铁的最低动作电压应在额定电压的 30%~65% 的范围内，在额定电压的 65%~120% 范围内可靠动作。当电压低至额定电压的 30% 或更低时不应脱扣动作。
- 对于电磁机构，合闸电磁铁线圈的端电压为操作电压额定值的 80%（关合峰值电流 50 kA 时为 85%）时，应可靠动作。

4.2.7 断路器主回路对地、断口间及相间交流耐压

4.2.7.1 使用仪器

调压器、试验变压器、保护球隙、限流电阻，分压器等。

4.2.7.2 试验方法

试验接线如图 2 所示。

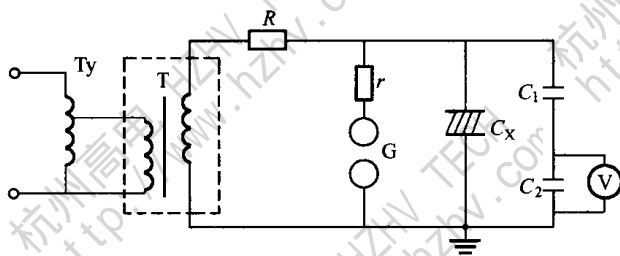


图 2 交流耐压试验接线

Ty—调压器；T—试验变压器；R—限流电阻；r—球隙保护电阻；G—球间隙；Cx—被试品；
C₁、C₂—电容分压器；V—电压表

对断路器进行合闸对地、断口间以及相间进行耐压，时间为 1min，耐压值见表 2。

表 2 真空断路器交流耐压试验值

kV

断路器额定电压		3.6	7.2	12	18	24	40.5
耐压值	出厂	25	30 (20)	42 (28)	55	65	95
	交接大修	23	27 (18)	38 (25)	50	59	85

注：括号内为低电阻接地系统

4.2.7.3 试验结果判断依据

试验中无击穿、闪络视为通过。

5 原始记录与正式报告

5.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(资料性附录)
真空断路器试验原始记录

标志与编号		试验日期	
试验负责人		试验参加人	
单 位		断路器编号	
记 录		审 核	
铭 牌			
型 号		额定电压 kV	
额定电流 A		额定短路开断电流 kA	
绝缘水平 kV		操作顺序	
制 造 厂		出 厂 号	
出 厂 日 期		备 注	
1 断路器绝缘电阻 MΩ			
试验项目	技术要求	A 相	B 相
合闸对地			
分闸断口间			
使用仪器		试验日期	
环境温度	℃		
2 导电回路电阻 μΩ			
试验项目	技术要求	A 相	B 相
回路电阻			
使用仪器		试验日期	
环境温度	℃		
3 机械特性 ms			
试验项目	技术要求	A 相	B 相
合闸时间			

续表

合闸弹跳时间				
合闸不同期				
合闸速度 m/s				
分闸时间				
分闸不同期				
分闸反弹幅值 mm				
分闸速度 m/s				
触头开距 mm				
合闸超行程 mm				
使用仪器		试验日期		
环境温度	℃			
备 注				
4 最低动作电压 V				
试验项目	技术要求	A 相	B 相	C 相
合闸最低动作电压				
分闸最低动作电压				
使用仪器		试验日期		
环境温度 ℃				
备 注	测量时采用突然加压法			
5 断路器交流耐压				
试验项目	技术要求	A 相	B 相	C 相
合闸对地				
相间				
分闸断口间				
使用仪器		试验日期		
环境温度 ℃				

少油断路器试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于少油断路器试验作业，包括交接验收试验、预防性试验、大修后试验项目的引用标准、仪器设备要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。该试验的目的是判定少油断路器的状况，能否投入使用或继续使用。制定本指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 1984 交流高压断路器

GB/T 3309 高压开关设备常温下的机械试验

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

3 安全措施

为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻、直流泄漏测量后应对试品充分放电；进行交流耐压试验直流泄漏等高压试验时，要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

4 工作程序

4.1 试验项目

少油断路器试验应包括以下试验项目：

- a) 少油断路器整体和断口间绝缘电阻；
- b) 导电回路电阻；
- c) 合、分闸时间及同期性；
- d) 合、分闸速度；
- e) 断口并联电容器的电容量和 $\text{tg}\delta$ ；
- f) 合、分闸电磁铁的最低动作电压；
- g) 少油断路器的泄漏电流；

h) 断路器主回路对地、断口间及相间交流耐压。

4.2 试验方法及主要设备要求

4.2.1 少油断路器整体和断口间绝缘电阻

4.2.1.1 使用仪器

测量少油断路器整体和断口间绝缘电阻使用 2 500 V 兆欧表。

4.2.1.2 试验结果判断依据

- 对整体绝缘电阻参照制造厂规定或自行规定。
- 断口和有机物制成的提升杆的绝缘电阻 ($M\Omega$) 不应低于表 1 数值 (20℃时)。

表 1 断口和提升杆的绝缘电阻值

试验类型	额定电压 kV		
	< 24	24 ~ 40.5	126 ~ 252
交接时、大修后 $M\Omega$	> 1 200	> 3 000	> 6 000
运行中 $M\Omega$	> 600	> 1 500	> 3 000

4.2.1.3 注意事项

试验时应记录环境温度。

4.2.2 导电回路电阻

4.2.2.1 使用仪器

回路电阻测试仪 (要求不小于 100 A) 或双臂直流电桥。

4.2.2.2 测量要求

将少油断路器合闸, 将导电回路测试仪试验线接至断路器一次接线端上, 注意电压线接在内侧, 电流线接在外侧。

4.2.2.3 试验结果判断依据

交接时和大修后导电回路电阻数值应符合制造厂的规定, 运行中自行规定, 建议不大于 1.2 倍的出厂值。

4.2.2.4 注意事项

如采用直流压降法测量, 则电流应不小于 100 A。

4.2.3 合、分闸时间及同期性

4.2.3.1 使用仪器

- 可调直流电压源。输出范围为: 电压为 0 ~ 250 V 直流, 电流应不小于 5 A, 纹波系数不大于 3%。
- 断路器特性测试仪 1 台, 要求仪器时间精度误差不大于 0.1 ms, 时间通道数应不少于 3 个。

4.2.3.2 测量方法

将断路器特性测试仪的合、分闸控制线分别接入断路器二次控制线中，用试验接线将断路器一次各断口的引线接入测试仪的时间通道。试验接线如图 1 所示。

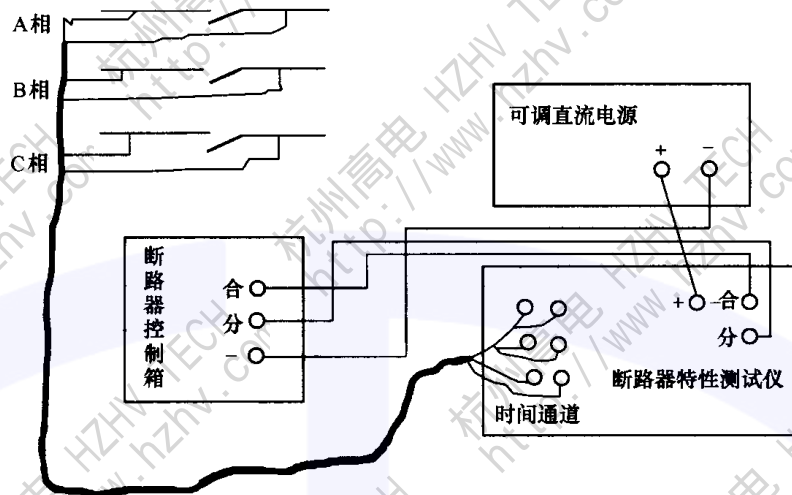


图 1 合分闸时间及同期性试验接线

将可调直流电源调至额定操作电压，通过控制断路器特性测试仪，在额定操作电压及额定机构压力下对少油断路器进行分、合操作，得出各相合、分闸时间。三相合闸时间中的最大值与最小值之差即为合闸不同期；三相分闸时间中的最大值与最小值之差即为分闸不同期。如果少油断路器每相存在多个断口，则应同时测量各个断口的合、分时间，并得出同相各断口合、分闸的不同期。

4.2.3.3 试验结果判断依据

合、分闸时间与合、分闸不同期应符合制造厂的规定。

4.2.3.4 注意事项

试验时也可采用站内直流电源作为操作电源；如果存在第二分闸回路，则应测量第二分闸回路的分闸时间、同期性和同相各断口的分闸 2 的同期性。

4.2.4 合分闸速度

4.2.4.1 使用仪器

- 可调直流电压源。输出范围为：电压为 0 ~ 250 V 直流，电流应不小于 5 A，纹波系数不大于 3%。
- 断路器特性测试仪 1 台，要求仪器时间精度误差不大于 0.1 ms，时间通道数应不少于 3 个，至少有 1 个模拟输入通道。

4.2.4.2 试验方法

本项试验可结合断路器合、分闸时间试验同时进行，将测速传感器可靠固定，并将传感器运动部分牢固连接至断路器动触杆上。利用断路器特性测试仪进行断路器合、分操作，根据所得的行程—时间曲线求得合、分闸速度。

4.2.4.3 试验结果判断依据

合、分闸速度应符合制造厂的规定。

4.2.5 断口并联电容器的电容量和 $\text{tg}\delta$

4.2.5.1 使用仪器

- a) 温度计 (误差 $\pm 1^\circ\text{C}$)、湿度计;
- b) 介质损耗测试仪。

4.2.5.2 试验方法

断路器处于分闸位置时, 参照各介质损耗测试仪进行试验接线, 试验采用正接线法。

4.2.5.3 试验结果判断依据

交接时测量少油断路器各断口及并联电容并联后的电容量和介质损耗角正切, 并作为该设备原始记录, 以后试验应与原始值比较, 应无明显变化。

4.2.5.4 安全措施

- a) 介质损耗试验中高压测试线电压约为 10 kV, 应注意测试高压线对地绝缘问题和人身安全。
- b) 介质损耗测试仪应良好接地。

4.2.6 合、分闸电磁铁的最低动作电压

4.2.6.1 使用仪器

可调直流电压源。输出范围: 电压为 0~250 V 直流, 电流应不小于 5 A, 纹波系数不大于 3%。

4.2.6.2 试验方法

将直流电源的输出经刀闸分别接入断路器二次控制线的合闸或分闸回路中, 在一个较低电压下迅速合上并拉开直流电源出线刀闸, 断路器不动作, 逐步提高此电压值, 重复以上步骤, 当断路器正确动作时, 记录此前的电压值。则分别为合、分闸电磁铁的最低动作电压值。

4.2.6.3 试验结果判断依据

- a) 合闸电磁铁的最低动作电压不应大于额定电压的 80%, 在额定电压的 80% ~ 110% 范围内可靠动作。
- b) 分闸电磁铁的最低动作电压应在额定电压的 30% ~ 65% 的范围内, 在额定电压的 65% ~ 120% 范围内可靠动作。当电压低至额定电压的 30% 或更低时不应脱扣动作。

4.2.7 少油断路器的泄漏电流

4.2.7.1 使用仪器

推荐使用直流发生器, 要求输出电压高于试验电压, 输出电流大于被试断路器的泄漏电流, 通常在 0.5 mA 以上, 电压脉动因数小于 3%。在保证精度的前提下, 可使用直流发生器自带的电压表 (1.5 级) 和微安表 (0.5 级)。

4.2.7.2 试验方法及步骤

根据相关规程和所试断路器的额定电压确定试验电压, 并根据试验电压和选择合适电压等级的电源设备、测量仪表和保护电阻。试验一般对三相断路器分相进行。

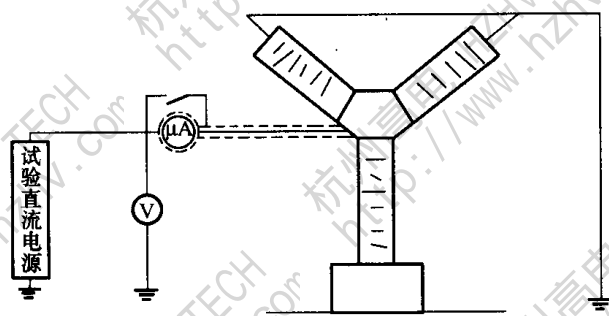


图2 少油断路器泄漏电流试验接线

试验前应将断路器外绝缘清扫干净。

试验接线如图2所示。

试验步骤如下：

- a) 断路器断开，并将其引线短路接地。将试验高压引线接至断路器三角箱位置。
- b) 按接线图准备试验，保证所有试验设备、仪表仪器接线正确、指示正确。
- c) 记录环境温度和湿度。
- d) 确认一切正常后开始试验。先空载分段加压至试验电压以检查试验设备绝缘是否良好、接线是否正确。期间读取各分段的空载泄漏电流，如 $1 \sim 2 \mu\text{A}$ 可忽略不计，但较大时应在测试相对应的分段泄漏电流内扣除。
- e) 将直流电源输出加在被试断路器上，从零开始升压，试验电压按 $0.5U_n$ 分阶段升高，每阶段停留 1 min ，并记录每段电压开始和 1 min 时微安表的电流值。
- f) 该相断路器试验完毕，将电压降为零，切断电源，必须等到充分放电后并接好接地线后再进行其他操作。

4.2.7.3 试验结果判断依据

- a) 对于少油断路器的直流泄漏电压标准见表2。

表2 少油断路器直流泄漏电流试验电压

kV

额定电压	40.5	126 ~ 252
直流试验电压	20	40

- b) 在规定的试验电压下，断路器泄漏电流不应大于 $10 \mu\text{A}$ 。
- c) 220 kV 少油断路器提升杆（包括支持瓷套）的泄漏电流大于 $5 \mu\text{A}$ 时，应引起注意。
- d) 任一级试验电压时，泄漏电流的指示不应有剧烈摆动。
- e) 若试验结果数值较大，应对各口及提升杆分别进行试验，以确定缺陷位置。

4.2.7.4 注意事项

- a) 高压引线应采用屏蔽线，引线外层泄漏电流不计入试品泄漏。
- b) 必要时应在绝缘子表面进行屏蔽，减小绝缘外表面泄漏对试验读数的影响。

4.2.8 断路器主回路对地、断口间交流耐压

4.2.8.1 使用仪器

少油断路器交流耐压一般采用串联谐振回路，具体可分为工频串联谐振和变频串联谐振，试验回路分别如图3和图4所示。

4.2.8.2 试验方法

如图1和图2进行试验接线。

对断路器进行合闸对地、断口间进行耐压，时间为1min，耐压值见表3。

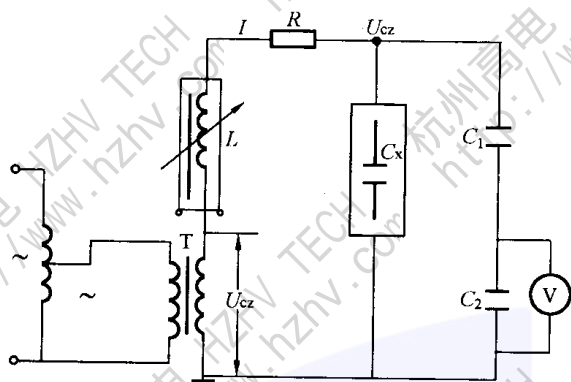


图3 工频串联谐振耐压试验接线图
Ty—调压器；T—试验变压器；L—可调电抗器；R—限流电阻；Cx—被试品；C₁、C₂—电容分压器；V—电压表

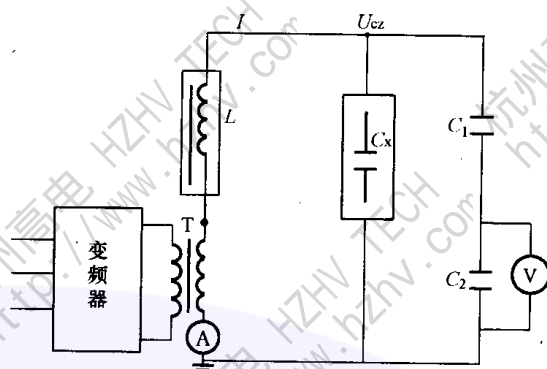


图4 变频串联谐振耐压试验接线图
T—试验变压器；L—电抗器；Cx—被试品；C₁、C₂—电容分压器；V—电压表；A—电流表

表3 交流耐压试验电压值

kV

断路器额定电压		10	35	66	110	220
耐压值	出厂	42 (28)	95	140	200	395
	交接大修	38 (25)	85	155	180	356

注：括号内为低电阻接地系统

4.2.8.3 试验结果判断依据

试验中无击穿、闪络视为通过。

4.2.8.4 安全措施

- 为保证人身和设备安全，要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立即断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。
- 在试验过程中，如果发现电压表指针摆动很大，电流表指示急剧增加，发出绝缘烧焦气味或冒烟或发生响声等异常现象时，应立即降低电压，断开电源，被试品进行接地放电后再对其进行检查。

5 原始记录与正式报告

5.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。

- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A

(资料性附录)

少油断路器试验原始记录

标志与编号		试验日期		
试验负责人		试验参加人		
单 位		断路器编号		
记 录		审 核		
铭 牌				
型 号		额定电压 kV		
额定电流 A		额定短路开断电流 kA		
绝缘水平 kV		操作顺序		
制 造 厂		出 厂 号		
出厂日期		备 注		
1 断路器绝缘电阻 MΩ				
试验项目	技术要求	A 相	B 相	C 相
合闸对地				
分闸断口间				
使用仪器		试验日期		
环境温度 ℃				
2 导电回路电阻 μΩ				
试验项目	技术要求	A 相	B 相	C 相
回路电阻				
使用仪器		试验日期		
环境温度 ℃				
3 机械特性 ms				

续表

试验项目	技术要求	A相	B相	C相		
合闸时间						
同相合闸不同期						
合闸不同期						
合闸速度 m/s						
分闸1时间						
分闸1不同期						
同相分闸1不同期						
分闸速度 m/s						
分闸2时间						
分闸2不同期						
同相分闸2不同期						
使用仪器		试验日期				
环境温度 ℃						
备注						
4 断口并联电容器的电容量和介质损耗角正切						
	A相		B相		C相	
	电容量 pF	介质损耗 %	电容量 pF	介质损耗 %	电容量 pF	介质损耗 %
断口1						
断口2						
断口3						
断口4						
使用仪器			试验日期			
环境温度 ℃						
备注						
5 最低动作电压 V						

续表

试验项目	技术要求	A相	B相	C相		
合闸最低动作电压						
分闸1最低动作电压						
分闸2最低动作电压						
使用仪器			试验日期			
环境温度 ℃						
备 注	测量时采用突然加压法					
6 直流耐压试验及泄漏电流测量 μA						
外加电压 kV	A相		B相		C相	
	柱1	柱2	柱1	柱2	柱1	柱2
使用仪器			试验日期			
环境温度 ℃						
备 注						
7 断路器交流耐压						
试验项目	技术要求	A相	B相	C相		
合闸对地						
分闸断口间						
使用仪器			试验日期			
环境温度 ℃						

六氟化硫断路器试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于六氟化硫断路器试验作业，包括交接验收试验、预防性试验、大修后试验项目的引用标准、仪器设备要求作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。该试验的目的是判定六氟化硫断路器的状况，能否投入使用或继续使用。制定本指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 1984 交流高压断路器

GB/T 3309 高压开关设备常温下的机械试验

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

3 安全措施

为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻试验后应对试品充分放电；进行交流耐压试验等高压试验时，要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

4 工作程序

4.1 试验项目

六氟化硫断路器试验应包括以下试验项目：

- a) 辅助和控制回路绝缘电阻及交流耐压；
- b) 导电回路电阻；
- c) 合、分闸时间及同期性以及合闸电阻预投入时间；
- d) 合、分闸速度；
- e) 断口并联电容器的电容量和 $\text{tg}\delta$ ；
- f) 合、分闸电磁铁的最低动作电压；
- g) 断路器主回路对地、断口间及相间交流耐压。

4.2 试验方法及主要设备要求

4.2.1 辅助和控制回路绝缘电阻及交流耐压

4.2.1.1 使用仪器

测量六氟化硫断路器辅助和控制回路绝缘电阻使用 1 000 V 兆欧表, 辅助和控制回路交流耐压值为 1 000 V, 可采用普通试验变压器或 2 500 V 兆欧表代替。

4.2.1.2 试验结果判断依据

- 辅助和控制回路绝缘电阻不低于 1 M Ω 。
- 在进行交流耐压试验前后绝缘电阻值不应降低。

4.2.1.3 注意事项

试验时应记录环境温度。

4.2.2 导电回路电阻

4.2.2.1 使用仪器

回路电阻测试仪(要求不小于 100 A)或双臂直流电桥。

4.2.2.2 测量要求

将六氟化硫断路器合闸, 将导电回路测试仪试验线接至断路器一次接线端上, 注意电压线接在内侧, 电流线接在外侧。

4.2.2.3 试验结果判断依据

交接时和大修后导电回路电阻数值应符合制造厂的规定, 运行中敞开式断路器的回路电阻不大于交接试验值的 1.2 倍, GIS 中的断路器应符合制造厂的规定。

4.2.2.4 注意事项

如采用直流压降法测量, 则电流应不小于 100 A。

4.2.3 合、分闸时间及同期性

4.2.3.1 使用仪器

- 可调直流电压源。输出范围: 电压为 0 ~ 250 V 直流, 电流应不小于 5 A, 纹波系数不大于 3%。
- 断路器特性测试仪 1 台, 要求仪器时间精度误差不大于 0.1 ms, 时间通道数应不少于 6 个。

4.2.3.2 测量方法

将断路器特性测试仪的合、分闸控制线分别接入断路器二次控制线中, 用试验接线将断路器一次各断口的引线接入测试仪的时间通道。试验接线如图 1 所示。

将可调直流电源调至额定操作电压, 通过控制断路器特性测试仪, 在额定操作电压及额定机构压力下对六氟化硫断路器进行分、合操作, 得出是各相合、分闸时间。三相合闸时间中的最大值与最小值之差即为合闸不同期; 三相分闸时间中的最大值与最小值之差即为分闸不同期。

如果六氟化硫断路器每相存在多个断口, 则应同时测量各个断口的合、分时间, 并得出同相各断口合、分闸的不同期。

如果断路器带有合闸电阻, 则应同时测量合闸电阻的预先投入时间。

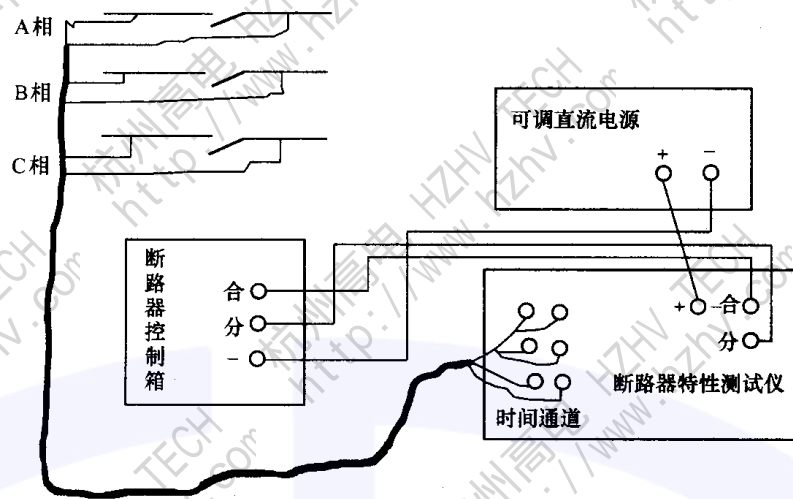


图1 合分闸时间及同期性试验接线

4.2.3.3 试验结果判断依据

- a) 合、分闸时间与合闸电阻预先投入时间应符合制造厂的规定。
- b) 除制造厂另有规定外，断路器的分、合闸同期性应满足下列要求：
 - 相间合闸不同期不大于 5 ms；
 - 相间分闸不同期不大于 3 ms；
 - 同相各断口合闸不同期不大于 3 ms；
 - 同相各断口分闸不同期不大于 2 ms。

4.2.3.4 注意事项

试验时也可采用站内直流电源作为操作电源；如果存在第二分闸回路，则应测量第二分闸回路的分闸时间、同期性和同相各断口的分闸 2 的同期性。

4.2.4 合、分闸速度

4.2.4.1 使用仪器

可调直流电压源。输出范围：电压为 0~250 V 直流，电流应不小于 5 A，纹波系数不大于 3%；断路器特性测试仪 1 台，要求仪器时间精度误差不大于 0.1 ms，时间通道数应不少于 6 个，至少有 1 个模拟输入通道。

4.2.4.2 试验方法

本项试验可结合断路器合、分闸时间试验同时进行，将测速传感器可靠固定，并将传感器运动部分牢固连接至断路器机构的速度测量运动部件上。利用断路器特性测试仪进行断路器合、分操作，根据所得的时间—行程特性求得合、分闸速度。

4.2.4.3 试验结果判断依据

合、分闸速度的测量方法及结果应符合制造厂的规定。

4.2.5 断口并联电容器的电容量和 $\text{tg}\delta$

4.2.5.1 使用仪器

- a) 温度计（误差 $\pm 1^\circ\text{C}$ ）、湿度计；

b) 介质损耗测试仪。

4.2.5.2 试验方法

断路器处于分闸位置时，参照各介质损耗测试仪进行试验接线，试验采用正接线法。

4.2.5.3 试验结果判断依据

交接时测量六氟化硫断路器各断口及并联电容并联后的电容量和介质损耗角正切，并作为该设备原始记录，以后试验应与原始值比较，应无明显变化。

4.2.5.4 安全措施

a) 介质损耗试验中高压测试线电压约为 10 kV，应注意测试高压线对地绝缘问题和人身安全。

b) 介质损耗测试仪应良好接地。

4.2.6 合、分闸电磁铁的最低动作电压

4.2.6.1 使用仪器

可调直流电压源。输出范围：电压为 0~250 V 直流，电流应不小于 5 A，纹波系数不大于 3%。

4.2.6.2 试验方法

将直流电源的输出经刀闸分别接入断路器二次控制线的合闸或分闸回路中，在一个较低电压下迅速合上并拉开直流电源出线刀闸，断路器不动作，逐步提高此电压值，重复以上步骤，当断路器正确动作时，记录此前的电压值。则分别为合、分闸电磁铁的最低动作电压值。

如果存在第二分闸回路，则应同时测量第二分闸回路电磁铁的最低动作电压。

4.2.6.3 试验结果判断依据

a) 合闸电磁铁的最低动作电压不应大于额定电压的 80%，在额定电压的 80%~110% 范围内可靠动作。

b) 分闸电磁铁的最低动作电压应在额定电压的 30%~65% 的范围内，在额定电压的 65%~120% 范围内可靠动作。当电压低至额定电压的 30% 或更低时不应脱扣动作。

4.2.7 断路器主回路对地、断口间交流耐压

4.2.7.1 使用仪器

六氟化硫断路器交流耐压一般采用串联谐振回路，具体可分为工频串联谐振和变频串联谐振，试验回路分别如图 2 和图 3 所示。

4.2.7.2 试验方法

如图 2 或图 3 所示进行试验接线，对断路器进行合闸对地、断口间进行耐压，时间为 1 min，耐压值见表 1。

4.2.7.3 试验结果判断依据

试验中无击穿、闪络视为通过。

4.2.7.4 安全措施

表 1 交流耐压试验电压值

kV

断路器额定电压		10	35	66	110	220	500
耐压值	出厂	42 (28)	95	140	200	395	680
	交接大修	38 (25)	85	155	180	356	612

注：括号内为低电阻接地系统

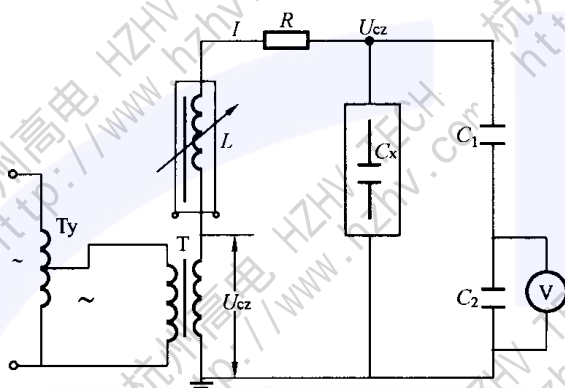


图 2 工频串联谐振耐压试验接线图

Ty—调压器；T—试验变压器；L—可调电抗器；R—限流电阻；Cx—被试品；C₁、C₂—电容分压器；V—电压表

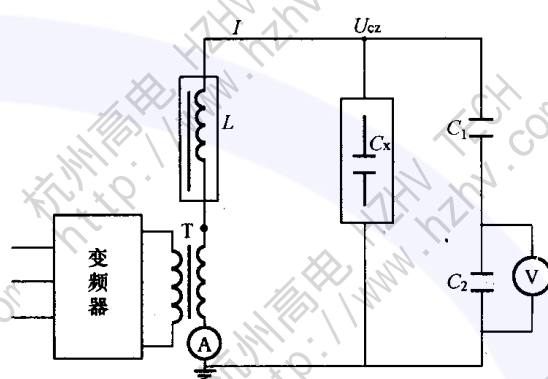


图 3 变频串联谐振耐压试验接线图

T—试验变压器；L—电抗器；Cx—被试品；C₁、C₂—电容分压器；V—电压表；A—电流表

- 为保证人身和设备安全，要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。
- 在试验过程中，如果发现电压表指针摆动很大，电流表指示急剧增加，发出绝缘烧焦气味或冒烟或发生响声等异常现象时，应立即降低电压，断开电源，被试品进行接地放电后再对其进行检查。

5 原始记录与正式报告

5.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得

是同一人。

f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
六氟化硫断路器试验记录

标志与编号		试验日期	
试验负责人		试验参加人	
单位		断路器编号	
记录		审核	
铭牌			
型号		额定电压 kV	
额定电流 A		额定短路开断电流 kA	
绝缘水平 kV		操作顺序	
制造厂		出厂号	
出厂日期		备注	
1 辅助和控制回路绝缘电阻与交流耐压			
MΩ			
试验项目	技术要求		
辅助和控制回路绝缘电阻			
辅助和控制回路交流耐压			
使用仪器		试验日期	
环境温度 ℃			
2 导电回路电阻			
μΩ			
试验项目	技术要求	A相	B相
回路电阻			
使用仪器		试验日期	
环境温度 ℃			
3 机械特性			
ms			
试验项目	技术要求	A相	B相
			C相

续表

合闸时间					
同相合闸不同期					
合闸不同期					
合闸速度 m/s					
合闸电阻预投入时间					
分闸 1 时间					
分闸 1 不同期					
同相分闸 1 不同期					
分闸速度 m/s					
分闸 2 时间					
分闸 2 不同期					
同相分闸 2 不同期					
使用仪器			试验日期		
环境温度 ℃					
备 注					
4 断口并联电容器的电容量和介质损耗角正切					
	A 相		B 相		C 相
	电容量 pF	介质损耗 %	电容量 pF	介质损耗 %	电容量 pF 介质损耗 %
断口 1					
断口 2					
断口 3					
断口 4					
使用仪器			试验日期		
环境温度 ℃					
备 注					
5 最低动作电压 V					
试验项目	技术要求	A 相	B 相	C 相	
合闸最低动作电压					

续表

分闸 1 最低动作电压				
分闸 2 最低动作电压				
使用仪器			试验日期	
环境温度 ℃				
备 注	测量时采用突然加压法			
6 断路器交流耐压				
试验项目	技术要求	A 相	B 相	C 相
合闸对地				
分闸断口间				
使用仪器			试验日期	
环境温度 ℃				

六氟化硫电气设备气体湿度测定试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于六氟化硫电气设备中气体湿度的测定，本作业目的是对新安装的六氟化硫电气设备中所充的六氟化硫气体的湿度进行检验；对运行中的六氟化硫电气设备中的六氟化硫气体湿度进行监督。本作业指导书规定了试验引用标准、仪器设备要求、试验人员资质要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本作业指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB/T 8905 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则

DL 506 六氟化硫气体绝缘设备中水分含量现场测量方法

3 安全措施

- a) 对于充、放气口或检测口有阀门控制的六氟化硫电气设备，本项作业可在设备带电状况下进行。
- b) 带电作业时，如发现六氟化硫气体压力异常，应立即关闭控制阀门。
- c) 为安全考虑，逆止阀结构的设备推荐在停电状态下检测。

4 人员要求

本作业需要作业人员 2~3 人，作业人员必须经过培训、考核并取得相应作业资格。

5 试验设备和要求

本作业需要设备包括：水分仪（露点式水分仪、阻容式水分仪均可）。

露点式仪器检测范围：0~ -60℃；检测精度：±0.2℃。

阻容式仪器检测范围：0~ -80℃；检测精度：±3.0℃。

温度计、湿度计、设备取气接口等。

以上所需仪器、仪表均需通过计量检定，取得合格证书，在证书有效期内使用，水分仪检定同期为 1 年。

6 作业程序

6.1 试验方法

本作业推荐现场使用露点法及阻容法检测气体湿度。

6.2 检测步骤

- 将仪器与待检设备经设备检测口、连接管路、接口相连接。
- 接通气路，用六氟化硫气体短时间地吹扫和干燥连接管路与接口。
- 开机检测，待仪器读数稳定后读取结果，同时记录检测时的环境温度和湿度。
- 露点式、阻容式水分仪读取的露点值需查冰面的饱和水蒸气压 P_w (MPa)。

按下式计算：

$$\text{体积比浓度} = (P_w/P_T) \times 10^{-6} (\times 10^{-6})$$

式中： $P_T = 0.1\text{MPa}$ 。

冰面的饱和水蒸气压值见附录 B。

- 按要求将测试值换算到 20℃ 时的数值。

换算方法见附录 C 推荐的方法。

6.3 试验结果判断

六氟化硫断路器和 GIS 中气体湿度的控制指标见表 1，其他六氟化硫电气设备的气体湿度指标可参见其他六氟化硫电气设备的有关标准或参见表 1。

表 1 试验结果判断标准

检测项目 20℃	有电弧产生的气室		无电弧产生的气室	
	体积比 ($\times 10^{-6}$)	露点 (常压下) ℃	体积比 ($\times 10^{-6}$)	露点 (常压下) ℃
交接值	≤ 150	≤ -38.6	≤ 250	≤ -34.0
运行值	≤ 300	≤ -32.2	≤ 500	≤ -27.3

6.4 注意事项

- 新安装的设备，六氟化硫气体充气至额定压力，经 12 ~ 24 h 后方可进行气体湿度检测。
- 推荐在一个大气压下 (常压) 检测。推荐使用不锈钢、铜、聚四氟乙烯材质的连接管路与接口。
- 由于受六氟化硫的液化温度的影响，对较干燥的气体，露点式水分仪不能得到确切的测试数值，即使在设备压力下测量也无法避免，此时建议不要使用露点式水分仪。
- 对较干燥的气体，为取得较确定的测试数值，推荐采用阻容式水分仪测量。
- 对于可在压力状态下检测的水分仪，检测时注意调节相应的阀门，以得到准确的压力和测试数据。可参考如图 1 所示推荐方法及有关仪器说明。

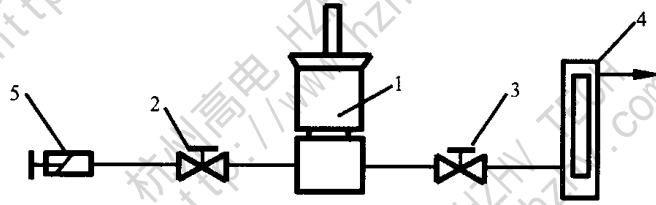


图1 测试示意图

1—测试仪器；2—仪器入口阀门；3—仪器出口阀门；4—流量计；5—接待检测设备常压下测量；
阀门3全开，用阀门2调节流量；压力下测量：阀门2全开，用阀门3调节流量

f) 本项作业试验结果不符合标准时，应对试验进行复核。确认不合格时，应按要求要求六氟化硫电气设备用户进行气体处理。

7 原始记录与试验报告

7.1 对原始记录与试验报告的要求

- 原始报告的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称和编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- 原始记录应由记录人员和审核人员二级签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级签字。
- 原始记录的记录人和审核人不得是同一人，试验报告的拟稿人和审核/批准人不得是同一人。
- 原始记录及试验报告应按规定存档。

7.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(资料性附录)

六氟化硫设备气体湿度测定原始记录

标识与编号			
单 位		试验日期	
试品名称		安装地点	
型 式		出厂日期	
出 厂 号		试验人员	
记 录		审 核	
试验条件			
结 论			
备 注			

附录 B

冰面的饱和水蒸气压 (-20 ~ -59.9 °C)

Pa

温度 (°C)	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9
-20	103.276	102.289	101.311	100.341	99.3809	98.4284	97.4843	96.5485	95.6210	94.7016
-21	93.7904	92.8872	91.9920	91.1047	90.2253	89.3537	88.4898	87.6336	86.7850	85.9439
-22	85.1104	84.2842	83.4655	82.6540	81.8498	81.0528	80.2629	79.4801	78.7043	77.9355
-23	77.1735	76.4184	75.6701	74.9286	74.1937	73.4655	72.7438	72.0286	71.3199	70.6176
-24	69.9217	69.2321	68.5487	67.8716	67.2005	66.5356	65.8768	65.2239	64.5770	63.9360
-25	63.3008	62.6715	62.0479	61.4300	60.8178	60.2112	59.6101	59.0146	58.4245	57.8399
-26	57.2607	56.6868	56.1182	55.5548	54.9966	54.4436	53.8958	53.3530	52.8152	52.2824
-27	51.7546	51.2317	50.7136	50.2003	49.6919	49.1882	48.6892	48.1948	47.7051	47.2199
-28	46.7393	46.2632	45.7916	45.3244	44.8616	44.4031	43.9489	43.4991	43.0534	42.6120
-29	42.1748	41.7417	41.3126	40.8877	40.4667	40.0498	39.6368	39.2278	38.8226	38.4213
-30	38.0238	37.6301	37.2402	36.8540	36.4714	36.0926	35.7173	35.3457	34.9776	34.6131
-31	34.2521	33.8945	33.5404	33.1897	32.8423	32.4983	32.1577	31.8203	31.4862	31.1554
-32	30.8277	30.5032	30.1819	29.8637	29.5486	29.2365	28.9275	28.6215	28.3185	28.0185
-33	27.7214	27.4272	27.1358	26.8474	26.5617	26.2789	25.9988	25.7215	25.4469	25.1751
-34	24.9059	24.6394	24.3755	24.1142	23.8555	23.5993	23.3457	23.0947	22.8461	22.5999
-35	22.3563	22.1150	21.8762	21.6397	21.4056	21.1739	20.9444	20.7173	20.4924	20.2698
-36	20.0494	19.8312	19.6152	19.4014	19.1898	18.9803	18.7729	18.5675	18.3643	18.1631
-37	17.9640	17.7669	17.5717	17.3786	17.1874	16.9982	16.8108	16.6254	16.4419	16.2603
-38	16.0805	15.9025	15.7264	15.5521	15.3795	15.2088	15.0397	14.8725	14.7069	14.5430
-39	14.3809	14.2204	14.0615	13.9043	13.7488	13.5948	13.4424	13.2916	13.1424	12.9947
-40	12.8486	12.7040	12.5609	12.4192	12.2791	12.1404	12.0032	11.8674	11.7330	11.6000
-41	11.4685	11.3383	11.2095	11.0820	10.9559	10.8311	10.7076	10.5854	10.4645	10.3449
-42	10.2266	10.1095	9.99366	9.87903	9.76563	9.65343	9.54243	9.43260	9.32395	9.21646
-43	9.11011	9.00490	8.90082	8.79785	8.69598	8.59521	8.49552	8.39690	8.29934	8.20283
-44	8.10736	8.01292	7.91950	7.82708	7.73567	7.64525	7.55580	7.46733	7.37981	7.29325
-45	7.20763	7.12294	7.03917	6.95631	6.87436	6.79330	6.71313	6.63384	6.55542	6.47785
-46	6.40114	6.32526	6.25022	6.17601	6.10262	6.03003	5.95824	5.88725	5.81704	5.74761
-47	5.67894	5.61104	5.54389	5.47749	5.41182	5.34688	5.28267	5.21917	5.15688	5.09429
-48	5.03290	4.97219	4.91216	4.85280	4.79411	4.73608	4.67870	4.62196	4.56587	4.51040
-49	4.45556	4.40134	4.34773	4.29473	4.24233	4.19052	4.13930	4.08866	4.03860	3.98910
-50	3.94017	3.89179	3.84397	3.79669	3.74996	3.70375	3.65808	3.61293	3.56829	3.52417
-51	3.48056	3.43744	3.39483	3.35270	3.31106	3.26990	3.22921	3.18900	3.14925	3.10996
-52	3.07113	3.03275	2.99481	2.95731	2.92025	2.88362	2.84742	2.81165	2.77628	2.74134
-53	2.70680	2.67266	2.63893	2.60559	2.57265	2.54009	2.50791	2.47611	2.44469	2.41364
-54	2.38296	2.35263	2.32267	2.29306	2.26381	2.23490	2.20633	2.17810	2.15021	2.12265
-55	2.09542	2.06852	2.04193	2.01567	1.98972	1.96408	1.93874	1.91371	1.88898	1.86455
-56	1.84042	1.81657	1.79301	1.76974	1.74674	1.72403	1.70159	1.67942	1.65752	1.63589
-57	1.61452	1.59340	1.57255	1.55195	1.53160	1.51150	1.49165	1.47204	1.45266	1.43353
-58	1.41463	1.39596	1.37752	1.35931	1.34133	1.32356	1.30602	1.28869	1.27157	1.25467
-59	1.23797	1.22149	1.20520	1.18912	1.17324	1.15756	1.14207	1.12678	1.11167	1.09676

注：在一个大气压下测量的露点值通过查表得到饱和水蒸气压值，饱和水蒸气压值乘以 10 即得到气体湿度的体积比 ($\times 10^{-6}$)。如：露点 -54.5°C ，查出饱和水蒸气压为 2.23490 Pa，气体湿度的体积比即为 $22.3 (\times 10^{-6})$ ，质量比为 $22.3 \div 8.11 = 2.8 (\times 10^{-6})$

附录 C

推荐的温度换算方法

测试结果的温度换算可参见 DL 506 的最新版本执行。

- a) 由于环境温度对测试气体湿度有明显的影响，测试结果应换算到 20℃ 时的数值。
- b) 由于各型号、品牌的六氟化硫电气设备对气体湿度测试数据的温度修正依据不同，推荐采用厂家提供的曲线、图表进行温度修正。
- c) 在没有厂家提供的曲线、图表时，推荐使用以下的修正公式：

$$X_2/X_1 = (P_2/P_1) \times (T_1/T_2)$$

式中：

X_1 ——测试温度下的水分测量值， $\times 10^{-6}$ ；

X_2 ——换算至 20℃ 时的水分测量值， $\times 10^{-6}$ ；

P_1 ——测试温度下的饱和水蒸气压，Pa；

P_2 ——20℃ 时的饱和水蒸气压，Pa；

T_1 ——测试温度，K；

T_2 ——20℃，293K。

- d) 对于专门管理的设备，可以根据 3~5 次的不同温度下的测试值，作出针对每一台设备的温度校正曲线，供日常监督中使用。
- e) 各地也可以使用自己的经验修正方法。

六氟化硫电气设备气体泄漏测定试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于六氟化硫电气设备中气体泄漏的测定，本作业目的是对新安装的六氟化硫电气设备中所充的六氟化硫气体的泄漏进行检验；对运行六氟化硫电气设备中的六氟化硫气体泄漏进行监督。本作业指导书规定了试验引用标准、仪器设备要求、试验人员资质要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本作业指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB/T 8905 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则

GB 11023 高压开关设备六氟化硫气体密封试验方法

3 安全措施

- a) 进入试验现场，试验人员必须戴安全帽，穿绝缘鞋。
- b) 现场试验工作必须执行工作票制度，工作许可制度、工作监护制度、工作间断、转移和终结制度。
- c) 在现场进行试验工作时，试验人员应注意保持与带电体的安全距离不应小于安全规程中规定的距离。
- d) 工作中如需使用梯子等登高工具时，应做好防止高空坠落的安全措施。
- e) 本项作业应在设备停电状况下进行。
- f) 试验应在天气良好的情况下进行，遇雷雨大风等天气应停止试验。

4 工作程序

4.1 人员要求

本作业需要作业人员 2~3 人，作业人员必须经过培训、考核取得相应作业的资格。

4.2 试验设备和要求

本作业需要设备包括：六氟化硫气体检测仪（电子捕获型、紫外型等均可）。

检测灵敏度不低于 10^{-6} ，检测范围在 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 。

以上所需仪器、仪表均需通过计量检定，取得合格证书，在证书有效期内使用，检测周期为 1 年。

4.3 作业程序

4.3.1 试验方法

本作业推荐使用挂瓶法或局部包扎法对六氟化硫电气设备气体泄漏定量检测。

4.3.2 检测部位

高压断路器采用挂瓶法或局部包扎法检测的部位推荐如图 1 所示。

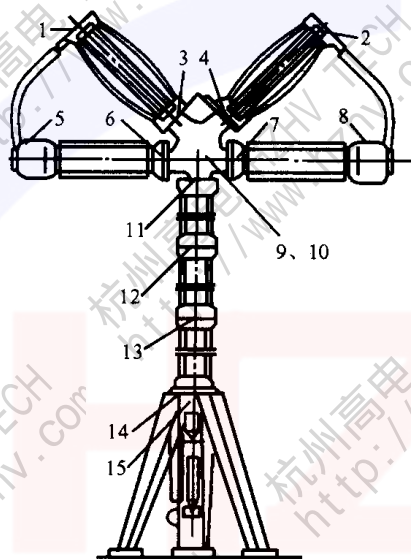


图 1 采用挂瓶法或局部包扎法检测部位推荐图

其他电气设备可参照此图，检测各分装部件的密封部位及分装部件间的密封，包括控制柜（阀、仪表、监视装置等）。

4.3.3 检测步骤

4.3.3.1 采用挂瓶法时，挂瓶体积为 1 L，挂瓶时间间隔为 30 min。

4.3.3.2 采用局部包扎法时，局部包扎时间间隔为 24h。

4.3.3.3 经一定时间间隔后使用检漏仪检测挂瓶内或包扎腔内六氟化硫气体浓度。

4.3.3.4 检测步骤如图 2 所示。

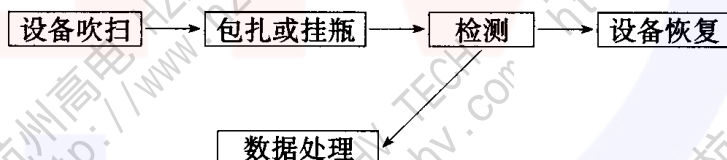


图 2 检测步骤

4.4 试验结果判断

4.4.1 现场判断

- 每个包扎腔内泄漏六氟化硫气体浓度（体积）应小于 30×10^{-6} 。
- 每个挂瓶内泄漏六氟化硫气体浓度（体积）应小于 5×10^{-6} 。

4.4.2 整体泄漏量的判断

a) 按下式计算整台设备六氟化硫气体年泄漏率：

$$F_y = \frac{(6.16 \times \sum C_i V_i) t}{\Delta t \times Q}$$

式中：

F_y ——整台设备年漏气率，%/年；

$\sum C_i V_i$ ——整台设备累计泄漏量，L；

6.16——六氟化硫气体的密度，g/L；

t ——以年计算的时间， 31.5×10^6 ，s；

Δt ——时间间隔, s;

Q ——整台设备的充气量, kg。

b) 判断标准: 整台设备六氟化硫气体年泄漏率应小于 1%。

4.5 注意事项

a) 新安装的设备, 六氟化硫气体充气至额定压力, 经 12 ~ 24h 后方可进行气体泄漏检测。

b) 为排除周围环境中残存的六氟化硫气体的影响, 检测前应先吹尽设备周围的六氟化硫气体。

c) 本项作业试验结果不符合标准时, 应对试验进行复核。确认不合格时, 应按标准要求通知六氟化硫电气设备用户对设备进行处理。

5 原始记录与试验报告

5.1 对原始记录与试验报告的要求

a) 原始报告的填写要字迹清晰、完整、准确, 不得随意涂改, 不得留有空白, 并在原始记录上注明使用的仪器设备名称和编号。

b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时, 可用“/”表示此格无数据。

c) 若确属笔误, 出现记录错误时, 允许用“单线划改”, 并要求更改者在更改旁边签名。

d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级签字; 试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级签字。

e) 原始记录的记录人和审核人不得是同一人, 试验报告的拟稿人和审核/批准人不得是同一人。

f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

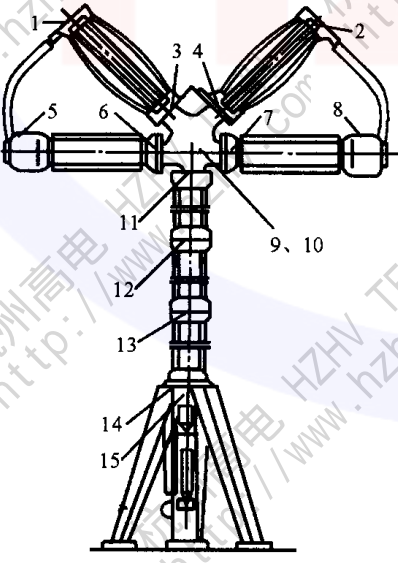
附录 A

(资料性附录)

六氟化硫电气设备气体泄漏测定原始记录

标识与编号			
单 位		试验日期	
试品名称		安装地点	
型 式		出厂日期	
出 厂 号		试验人员	
审 核		批 准	
试验条件			
H Z H V			
结 论			
备 注			

附 录 B
断路器原始记录

单 位		试验日期			
试品名称		安装地点			
型 式		出厂日期			
出 厂 号		试验人员			
审 核		批 准			
试验条件					
备注 	序号	$C_i (\times 10^{-6})$	V_i L	$C_i V_i$ L	备注
	测点号	检测浓度	测点体积	检测量	
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
15					
结 论					

六氟化硫电气设备密度继电器和 压力表校验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于六氟化硫电气设备使用的密度继电器和压力表的校验，本作业目的是对新安装的六氟化硫电气设备的密度继电器及对运行中的六氟化硫电气设备的密度继电器的报警和闭锁动作值及返回值进行监督，对安装有压力表的设备可同时对其压力表的示值进行校核。本作业指导书规定了试验引用标准、仪器设备要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本作业指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

DL/T 596 电力设备预防性试验规程

3 安全措施

- a) 进入试验现场，试验人员必须戴安全帽，穿绝缘鞋。
- b) 现场试验工作必须执行工作票制度、工作许可制度、工作监护制度、工作间断、转移和终结制度。
- c) 在现场进行试验工作时，试验人员应注意保持与带电体的安全距离不应小于安全规程中规定的距离。
- d) 工作中如需使用梯子等登高工具时，应做好防止高空坠落的安全措施。
- e) 本项作业应在设备停电状况下进行。
- f) 试验应在天气良好的情况下进行，遇雷雨大风等天气应停止试验。

4 工作程序

4.1 人员要求

本作业需要作业人员 2~3 人，作业人员必须经过培训、考核取得相应作业资格。

4.2 校验设备和要求

本作业需要设备包括：密度继电器校验台，温、湿度计。

以上所需仪器、仪表均需通过计量检定合格证书，在证书有效期内使用。

4.3 作业程序

4.3.1 试验方法

本作业采用密度继电器校验台对六氟化硫电气设备使用的密度继电器和压力表进行校验。

4.3.2 试验接线

按图 1 所示连接密度继电器校验台与六氟化硫电气设备的气路和节点。图中节点号码（如 135、136 等）为示例，具体校验时节点号码视每台设备而不同。

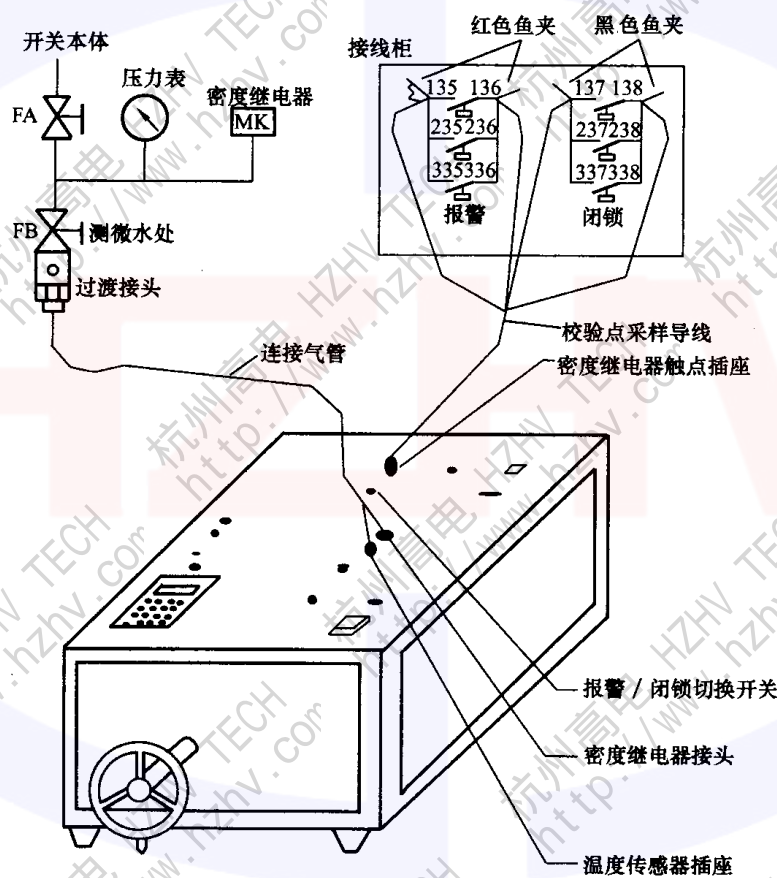


图 1 六氟化硫气体密度继电器和压力表校验接线图

4.3.3 试验步骤

- 将被测设备的密度继电器气路与设备本体气路切断。
- 将被测设备的密度继电器控制回路电源切断。
- 将密度继电器校验台气路连接部分与被测密度继电器的气路连接。
- 将密度继电器校验台节点插座接到被测密度继电器的相应节点上。
- 调节密度继电器校验台储气缸的压力，使其达到被测密度继电器的报警或闭锁压力。
- 记录密度继电器达到报警或闭锁的动作值或返回值（记录数值应校正到 20℃ 时的

压力值)。

- g) 对于同时安装有压力表的设备, 校验报警或闭锁的动作值或返回值时, 可同时记录压力表的示值, 与密度继电器校验台的给出压力值对比 (另外可按需要增校 2~4 点不同压力值)。每块压力表的校验应校验 5~8 点。
- h) 没有安装的密度继电器校验按 c)~f) 执行。

4.4 试验结果判断

密度继电器的校验结果与生产厂家对密度继电器的报警和闭锁节点的整定值及其范围 (出厂值) 比较, 压力表的校验只给出压力表的示值与相对应的密度继电器校验台的给出压力值。

4.5 注意事项

- a) 校验时应正确选择密度继电器校验台接点插座的连接位置, 避免连接到密度继电器的常开或常闭接点上。
- b) 使用的密度继电器校验台的压力、温度示值应由计量检定部门检定。检定周期按国家压力、温度量器的检定周期处理。
- c) 本项作业试验结果不符合出厂值时, 应对试验进行复核。确认不合格时, 应按要求要求六氟化硫电器设备用户进行处理。

5 原始记录和试验报告

5.1 对原始记录与试验报告的要求

- a) 原始报告的填写要字迹清晰、完整、准确, 不得随意涂改, 不得留有空白, 并在原始记录上注明使用的仪器设备名称和编号。
- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时, 可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误, 出现记录错误时, 允许用“单线划改”, 并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级签字; 试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级签字。
- e) 原始记录的记录人和审核人不得是同一人, 试验报告的拟稿人和审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附录 A
(规范性附录)

六氟化硫气体密度继电器校验原始记录

标识与编号						
继电器型号		额定压力 MPa				
生产厂家		补气压力 MPa				
试验条件		闭锁压力 MPa				
		试验日期				
安装地点		试验人员				
记录人员		审查人员				
序号	编 号	MPa (P/P ₂₀)				备 注
		报警值	闭锁值	闭锁返回值	报警返回值	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
说明						

橡塑绝缘电力电缆绝缘试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于 6 kV 及以上橡塑绝缘电力电缆线路，其目的是检验电缆线路的绝缘性能是否满足有关标准的要求，规定了交接验收、预防性试验、检修过程中的试验项目的引用标准、仪器设备要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本作业指导书的目的是规范操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 11017 额定电压 110 kV 铜芯、铝芯交联聚乙烯绝缘电力电缆

GB 12706 额定电压 35 kV 及以下铜芯、铝芯塑料绝缘电力电缆

3 试验项目

橡塑绝缘电力电缆的绝缘试验包括以下试验项目：

- a) 绝缘电阻；
- b) 交流耐压。

4 安全措施

- a) 为保证人身和设备安全，要求必须在试验现场周围设围栏，被试电缆两端均应专人监护，且通信畅通，负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立即断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。
- b) 在试验过程中，如果发现电压表指针摆动很大，电流表指示急剧增加，发出绝缘烧焦气味或冒烟或发生响声等异常现象时，应立即降低电压，断开电源，被试品进行接地放电后再对其进行检查。
- c) 进行绝缘电阻和交流耐压试验后，应对电缆充分放电。
- d) 工作中如需使用梯子等登高工具时，应做好防止高空坠落的安全措施。

5 工作程序

5.1 绝缘电阻试验

5.1.1 设备清单和要求

- a) 温度计 (误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)、湿度计;
- b) 500 V 兆欧表 1 块、2 500 V 或 5 000 V 兆欧表 1 块。

5.1.2 作业程序

5.1.2.1 测试方法

测量电缆的绝缘电阻是检查其绝缘状态的最基本和最简便的方法。用兆欧表来测量设备的绝缘电阻, 由于受到介质吸收电流的影响, 兆欧表的指示值随时间逐步增大, 对电缆而言, 通常读取稳定值, 作为工程上电缆的绝缘电阻值。一般对电缆的线芯对外屏蔽 (即主绝缘)、外屏蔽对地 (即外护套) 及护层保护器都应进行绝缘电阻试验。

5.1.2.2 试验步骤

- a) 测量并记录环境温度和湿度。
- b) 将所有被试部分充分放电。
- c) 将兆欧表地线端子用接地线和接地体连接好, 用绝缘把手将兆欧表相线接触被测量部位的引出端头上, 稳定后, 记录绝缘电阻值。拆离兆欧表相线, 关兆欧表。
- d) 将被测回路对地放电。
- e) 测量其他部分。

5.1.3.3 注意事项

在试验中读取绝缘电阻数值后, 应先断开接至被试品的连接线, 然后再将兆欧表停止运转, 注意: 电缆一般容量较大, 兆欧表最初读数可能为零。

5.1.4 试验结果判断依据

- a) 对于 110 kV 及以上电缆进行外护套绝缘电阻测试 (必须在有外电极的条件下进行), 每 km 绝缘电阻值不低于 0.5 M Ω (使用 500 V 兆欧表);
- b) 0.6/1 kV 以上等级电缆主绝缘的绝缘电阻测量采用 2 500 V 或 5 000 V 兆欧表, 绝缘电阻标准自行规定。

5.2 交流耐压

5.2.1 设备清单和要求

交流耐压试验可选用工频耐压试验设备、工频串联谐振耐压试验设备或变频串联谐振耐压试验设备, 设备电压及容量由所试电缆的情况确定。

5.2.1.1 工频耐压试验设备

试验变压器: 额定电流 I_n 大于试品所需电流 I_x (估算公式为 $I_x = U\omega C$); 高压侧额定电压 U_n 应大于试验所需电压的 1.2 倍。

5.2.1.2 工频串联谐振耐压设备

- a) 串联电抗器: 耐压应高于试验电压 U_x (kV); 电感量应近似等于 $l / (\omega^2 C_x)$ 和额定电流应近似等于 $U\omega C$ 。
- b) 试验变压器: 额定电流 I_n 大于试品所需电流 I_x (估算公式为 $I_x = U\omega C$); 容量和高压侧额定电压 U_n 可用下式估算:

$$S > I_x U_x / Q, \text{ kVA (完全补偿时)}$$

$$U_n = S / I_n, \text{ kV}$$

$$U_n > \left| \omega L - \frac{1}{\omega C_x} \right| \cdot I_x \text{ (非完全补偿时)}$$

$$S_n = U_n I_n, \text{ kVA}$$

式中:

Q ——电抗器的品质因数。

c) 调压器: 容量与试验变压器匹配。

5.2.1.3 变频串联谐振耐压试验设备

a) 串联电抗器: 耐压应高于试验电压 U_x (kV); 电感量和额定电流估算同工频串联谐振。

b) 试验变压器: 额定电流 I_n 大于试品所需电流 I_x (估算公式同并联谐振); 容量和高压侧额定电压 U_n 可用下式估算:

$$S > I_x U_x / Q, \text{ kVA}$$

$$U_n = S / I_n, \text{ kV}$$

c) 调压器: 容量与试验变压器匹配。

5.2.1.4 其他通用设备

a) 限流电阻: 通常取 $0.2 \sim 1 \Omega/V$ 。对于谐振回路可不使用限流电阻。

b) 过电压保护球隙: 按高压电气设备绝缘试验电压和试验方法规定选择球隙和球径。

c) 球隙保护电阻: 通常取 $1 \Omega/V$ 。也可近似计算值为:

$$R_g \geq 2 \frac{U_s \sqrt{2}}{2\alpha C_x}$$

式中:

α ——允许波头的陡度, 取 $\alpha = 5 \text{ kV}/\mu\text{s}$ 。

d) 交流电压测量设备: 根据试验电压选择合适变比的分压器 (或电压互感器) 和合适量程的电压表 (如果采用谐振方法可使用普通电压表), 要求整体测量精度 1.5 级以上。

e) 2 级毫安表 1 块, 量程大于 I_x 。

5.2.2 作业程序

5.2.2.1 测试方法

a) 根据相关规程或制造厂家的规定值确定试验电压, 并根据试验电压和所试电缆的电容及长度选择合适电压等级的电源设备、测量仪表和保护电阻。如试验电压较高, 则推荐采用串联谐振以降低试验电源的容量, 试验前应根据相关数据计算电

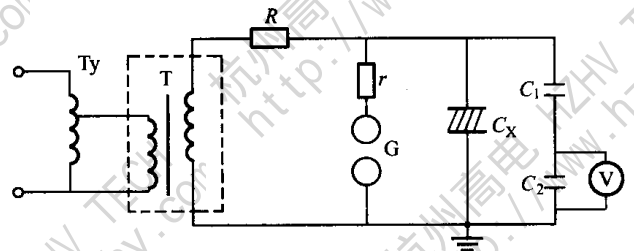


图 1 工频耐压试验接线图

Ty—调压器; T—试验变压器; R—限流电阻;
r—球隙保护电阻; G—球间隙; C_x ——被试品;
 C_1 、 C_2 —电容分压器; V—电压表

抗器、变压器的参数，以保证谐振回路能够匹配谐振以达到所需的试验电压和电流。

- b) 试验前先进行主绝缘电阻和交叉互联、外护套的试验，各项试验合格后再进行本项试验。

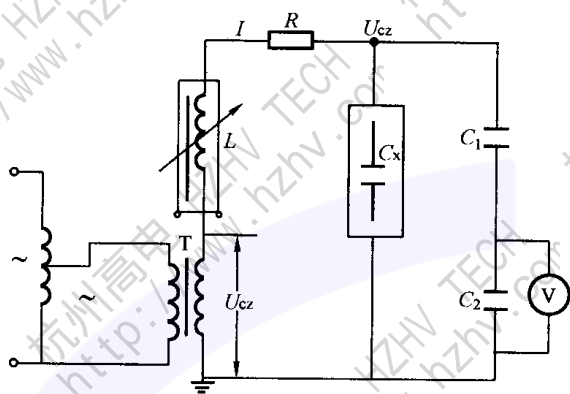


图2 工频串联谐振耐压试验接线图

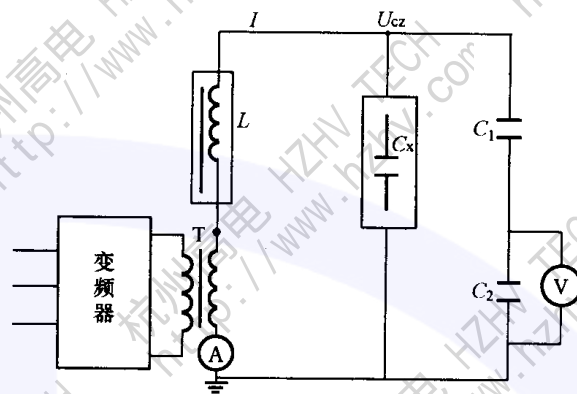


图3 变频串联谐振耐压试验接线图

5.2.2.2 试验步骤

- 检查试验电源、调压器和试验变压器正常。按接线图准备试验，保证所有试验设备、仪表仪器接线正确、指示正确。
- 一切设备仪表接好后，在空载条件下调整保护间隙，其放电电压为试验电压的110%~120%范围内（如采用串联谐振，需要另外的变压器调整保护间隙）。并调整试验电压在高于试验电压5%下维持2 min后将电压降至零，拉开电源。
- 经过限流电阻R在高压侧短路，调整过流保护跳闸的可靠性。
- 电压和电流保护调试检查无误，各种仪表接线正确后，即可将高压引线接到被试绕组上进行试验。
- 升压必须从零开始，升压速度在40%试验电压以内可不受限制，其后应均匀升压，速度约每秒3%的试验电压。升至试验电压后维持规程所规定时间。
- 将电压降至零，拉开电源，该试验结束。

5.2.2.3 试验结果判断依据

如果试验中未发生击穿放电现象，则认为试验通过。

5.2.2.4 注意事项

- 试验前应明确耐压值按制造厂的规定还是按规程规定。
- 电缆交流耐压时间较长，试验期间应注意试验电流的变化，试验前后应测量主绝缘的绝缘电阻。

6 原始记录与正式报告

6.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。

- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

6.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附 录 A

(资料性附录)

试验原始记录的内容

标识与编号		试验日期	
单 位		安装地点	
运行编号		试验负责人	
试验参加人			
审 核		记 录	
铭 牌			
型 号		额定电压 kV	
制 造 厂			
出 厂 日 期		备 注	
1 绝缘电阻 MΩ			
试验项目	A 相	B 相	C 相
主绝缘 (耐压前)			
主绝缘 (耐压后)			
外护套			
护层保护器			
使用仪器		试验日期	
环境温度 ℃		环境湿度 %	
备 注			
2 交流耐压试验			
相 别	电 压 kV	时 间 min	结 论
A 相主绝缘			
B 相主绝缘			
C 相主绝缘			
使用仪器		试验日期	
环境温度 ℃		环境湿度 %	
备 注			

绝缘子盐密测量试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于电力设备外绝缘盐密测量，规定了电力设备预防性试验、检修过程中的盐密测量试验项目的引用标准、仪器设备要求、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本指导书的目的是规范试验操作，保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB/T 16434 高压架空线路和发电厂、变电所环境分区污秽及外绝缘选择标准

DL 408 电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）

DL 409 电业安全工作规程（电力线路部分）

3 安全措施

如果为现场测量，应遵守 DL 408《电业安全工作规程（发电厂和变电所电气部分）》及 DL 409《电业安全工作规程（电力线路部分）》的有关规定。

4 工作程序

4.1 设备清单和要求

4.1.1 擦洗绝缘子表面污秽的工具及要求

- a) 去离子水（或蒸馏水）——电导率小于 $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。
- b) 带刻度容器——用于定量量取去离子水（或蒸馏水）。使用前须用去离子水清洗干净。
- c) 专用盐密取样巾——用于擦洗绝缘子表面污秽。该取样巾由无纺布沾取少量乙醇溶液（化学纯）制成，制成后密封保存。该取样巾一次性使用。使用该取样巾的优点在于现场使用方便，湿润的布可以轻松擦去绝缘子上的污秽，同时确保不占用去离子水量，亦不影响污秽溶液的电导率。

4.1.2 测量盐密所需仪器、仪表

目前，国内外主要使用电导率仪测取污秽溶液电导率，再经计算得到盐密。由于目前

使用的电导率仪种类较多，操作人员应严格按照仪器说明书进行测量。

- a) 国标GB/T 16434 推荐使用的电导率仪型号为 DDS—11A(国产), 配套电极有 3 支, 温度计 1 支:

DJS—1 型白电极——用于测蒸馏水电导率;

DJS—1 型黑电极——用于测低电导率的污液;

DJS—10 型黑电极——用于测高电导率的污液;

温度计——用于测污液温度。

使用上述电导率仪或类似的国产仪表需在测量中更换合适的电极, 且因结构问题电极易受损。

- b) 国电公司武汉高压研究所开发的专用盐密测量仪体积与进口产品相当, 且盐密的整套计算程序均编入仪器中, 从使用到携带上均较为方便。

- c) 目前, 已有一些国外电导率仪产品进入国内, 例如: 美国产的 125A 型电导率仪, 德国产的 LF330 型电导率仪, 体积小, 无需交流电源, 携带及使用方便。相应的探头(电极)既适合于测量蒸馏水电导率, 又适合于测量污液电导率, 温度探头也做在其中, 使用方便, 且不易损坏。

4.2 作业程序

4.2.1 测试方法及试验步骤

4.2.1.1 伞裙或绝缘子片数的选取

- a) 支柱绝缘。110~500 kV 支柱绝缘子, 带电绝缘子均应取上数第二片、中间一片、下数第二片三个单元裙段; 非带电绝缘子应取任意位置的三片单元裙段。分别擦洗每个单元裙段的表面污秽, 然后分别测量每个单元裙段的污液电导率, 并计算各单元裙段的盐密, 最后取各单元裙段盐密值的均值作为整支绝缘子的盐密。

- b) 盘形悬式绝缘子串。110~500kV 绝缘子串, 带电绝缘子均应取上数第二片、中间一片、下数第二片三片绝缘子; 非带电绝缘子应取任意位置的三片绝缘子。分别擦洗每片绝缘子的表面污秽, 然后分别测量每片绝缘子的污液电导率, 并计算各片绝缘子的盐密, 最后取各片绝缘子盐密值的均值作为整串绝缘子的盐密。

4.2.1.2 去离子水(蒸馏水)的用量

- a) 方法一: 对单片普通型悬式绝缘子, 建议用水量按 300 ml 取。当被测绝缘子(包括悬式绝缘子及支柱绝缘子的单元裙段)的表面积与普通型悬式绝缘子不同时, 可根据面积大小按比例适当增减用水量, 具体用水量见表 1。
- b) 方法二: 按每 cm^2 表面积用水 0.2 ml 计算总用水量。

表 1 绝缘子表面积与盐密测量用水量的关系

面积 cm^2	$\leq 1\ 500$	$> 1\ 500 \sim 2\ 000$	$> 2\ 000 \sim 2\ 500$	$> 2\ 500 \sim 3\ 000$
用水量 ml	300	400	500	600

4.2.1.3 刷洗绝缘子表面污秽

- a) 打开密封袋，取出第一张专用盐密取样巾，擦拭绝缘子，直至绝缘子表面基本洁净。
- b) 取出第二张专用盐密取样巾，擦拭绝缘子，直至绝缘子表面完全洁净。
- c) 将上述两张沾有绝缘子污秽的取样巾放入准备好的去离子水中，充分搅拌，使污秽充分溶解在去离子水中，得到污秽溶液。

注：如果因绝缘子积污过重或绝缘子表面积过大，两张一组的盐密取样巾难以擦净绝缘子时，可以适当增加取样巾的数量。例如，以三张取样巾为一组用于擦洗一片绝缘子。

4.3 试验结果判断依据

- a) 将上述得到的悬浮污秽溶液充分搅拌均匀后，测其电导率 σ_t 和溶液温度 t 。
- b) 将温度为 t 时的电导率 σ_t 换算至温度为 20℃ 的电导率值。温度换算系数 K_t 应根据表 2 插值得到。

$$\sigma_{20} = K_t \cdot \sigma_t$$

- c) 由 20℃ 时的电导率 σ_{20} ，根据表 3 插值得出盐量浓度 S_a 。
- d) 按下式计算盐密：

$$S_{DD} = \frac{S_a \cdot V}{100 \cdot A}$$

式中：

S_a ——盐量浓度，mg/100 ml；

V ——去离子水量， cm^3 ；

A ——清洗表面的面积， cm^2 。

表 2 污秽绝缘子清洗液电导率温度换算系数表

t ℃	K_t	t ℃	K_t
1	* 1.651 1	16	1.099 7
2	* 1.604 6	17	1.073 2
3	* 1.559 6	18	1.047 7
4	* 1.515 8	19	1.023 3
5	* 1.473 4	20	1.000 0
6	* 1.432 3	21	0.977 6
7	* 1.392 6	22	0.955 9
8	* 1.354 4	23	0.935 0
9	* 1.317 4	24	0.914 9
10	1.281 7	25	0.895 4
11	1.248 7	26	0.876 8
12	1.216 7	27	0.858 8
13	1.185 9	28	0.841 6

续表

t ℃	K_t	t ℃	K_t
14	1.156 1	29	0.825 2
15	1.127 4	30	0.809 5

注：本表换算系数根据 IEC 507:1991 插值得出，* 为与原水电部(83)23 号文有差异，最大为 1.9%。

也可以按下式直接由 20℃ 时的电导率 σ_{20} 计算得到盐密。

$$S_{DD} = \frac{(\sigma_{20}/24.56)^{1/k} \cdot V}{100 \cdot A}$$

式中：

σ_{20} ——20℃ 时的电导率 σ_{20} ， $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；

V ——去离子水量， cm^3 ；

A ——清洗表面的面积， cm^2 ；

K ——换算指数。

当 $\sigma_{20} \leq 800 \mu\text{S}/\text{cm}$ 时， K 取 0.910；

当 $800 \mu\text{S}/\text{cm} < \sigma_{20} \leq 3\,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 时， K 取 0.925；

当 $3\,000 \mu\text{S}/\text{cm} < \sigma_{20} \leq 20\,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 时， K 取 0.938。

表 3 污秽绝缘子清洗液电导率与盐量浓度的关系

S_a mg/100 ml	σ_{20} $\mu\text{S}/\text{cm}$	S_a mg/100 ml	σ_{20} $\mu\text{S}/\text{cm}$
224 00	202 600	150	2 601
16 000	167 300	100	1 754
11 200	130 100	90	1 584
8 000	100 800	80	1 413
5 600	75 630	70	1 241
4 000	55 940	60	1 068
2 800	40 970	50	895
2 000	29 860	40	721
1 400	21 690	30	545
1 000	15 910	20	368
700	11 520	10	188
500	8 327	8	151
350	6 000	6	114
250	4 340	5	96
200	3 439	4	77

注：本表与原水电部(83)23 号文的附表 2 略有不同

e) 污秽等级判断见表 4。

表 4 污 秽 等 级

污秽等级	盐密 S_{DD} mg/cm^2	
	线路	发电厂, 变电站
0	≤ 0.03	—
1	$> 0.03 \sim 0.06$	≤ 0.06
2	$> 0.06 \sim 0.10$	$> 0.06 \sim 0.10$
3	$> 0.10 \sim 0.25$	$> 0.10 \sim 0.25$
4	$> 0.25 \sim 0.35$	$> 0.25 \sim 0.35$

4.4 注意事项

- 国外电导率仪产品中无盐密计算程序, 虽然仪表中编入了电导率的温度转换程序, 但所用转换系数与 GB/T 16434 不完全相符, 暂不宜使用该功能。
- 如果所测量瓷绝缘子非 XP 型绝缘子或积污时间非标准时间, 应进行结果修正, 再用于污秽等级判断。

5 原始记录与正式报告

5.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确, 不得随意涂改, 不得留有空白, 并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时, 可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误, 出现记录错误时, 允许用“单线划改”, 并要求更改者在更改旁边签名。
- 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字; 试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- 原始记录的记录人与审核人不得是同一人, 正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附 录 A
(资料性附录)
盐密测试原始记录

标识与编号		试验日期		
单 位		试验人员		
试 品				
审 核		记 录		
使用仪器				
试验结果				
试品编号	绝缘子型号	电导率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	温度 $^{\circ}\text{C}$	标准温度下的盐密值 mg/cm^2
1号				
2号				
平均值 mg/cm^2				
系 数				
饱和盐密系数				
非带电系数				
积污时间系数				
形状系数				
修正盐密				
结 论				

附录 B

(资料性附录)

常用绝缘子表面积及泄漏距离一览表

序号	绝缘子型号	上表面积 cm ²	下表面积 cm ²	总表面积 cm ²	泄漏距离 mm	生产厂家
1	FC70 ~ FC120/146 (127)	566	1 083	1 649	320	四川 自贡 塞迪 维尔 钢化 玻璃 绝缘 子有 限公 司
2	BC8 ~ BC12/146 (127)	566	1 083	1 649	320	
3	FC160/155 (146, 170)	825	1 492	2 317	380	
4	BC160/155 (146, 170)	825	1 492	2 317	380	
5	FC210/170	854	1 458	2 312	400	
6	FC300/195	1 020	2 157	3 177	485	
7	FC7P ~ FC12P/146	611	1 392	2 003	400	
8	BC8P ~ BC12P/146	611	1 392	2 003	400	
9	FC70P ~ FC120P/146	881	1 646	2 527	450	
10	BC80P ~ BC120P/146	881	1 646	2 527	450	
11	FC16P/155 (170)	895	1 794	2 689	450	
12	FC160P/170 (155)	1 198	2 541	3 739	550	
13	FC210P/170	1 183	2 536	3 719	550	
14	FC300P/195	1 627	3 718	5 345	690	
15	FC70D ~ FC120D/127 (146)	1 184	1 203	2 387	365	
16	FC160D/146 (155)	1 500	1 769	3 269	380	
17	FC210D/155 (170)	1 433	1 468	2 901	375	
18	LXY - 70 LXY4 - 70	648	862	1 510	320	南京 电气 集团 有限 公司 (原南 京电 瓷总 厂)
19	LXY - 100	548	862	1 410	320	
20	LXY - 120	648	862	1 510	320	
21	LXY - 160 LXY3 - 160 LXY4 - 160	773	1 325	2 098	380	
22	LXY3 - 210	859	1 459	2 318	390	
23	LXY - 240	859	1 459	2 318	390	
24	LXY - 300	1 097	2 041	3 138	485	
25	LXHY - 70 LXHY4 - 70	870	1 378	2 248	400	
26	LXHY5 - 70	975	1 601	2 576	450	
27	LXHY4 - 100	975	1 601	2 576	450	

续表

序号	绝缘子型号	上表面积 cm ²	下表面积 cm ²	总表面积 cm ²	泄漏距离 mm	生产厂家	
28	LXHY4 - 120	975	1 601	2 576	450	南京 电气 集团 有限 公司 (原南 京电 瓷总 厂)	
29	LXY3 - 210	859	1 459	2 318	390		
30	LXY - 240	859	1 459	2 318	390		
31	LXY - 300	1 097	2 041	3 138	485		
32	LXHY - 70 LXHY4 - 70	870	1 378	2 248	400		
33	LXHY5 - 70	975	1 601	2 576	450		
34	LXHY4 - 100	975	1 601	2 576	450		
35	LXHY4 - 120	975	1 601	2 576	450		
36	LXHY3 - 160 LXHY4 - 160	993	1 806	2 799	450		
37	LXHY5 - 160 LXHY6 - 160	1 256	2 415	3 671	545		
38	LXHY4 - 210	1 256	2 415	3 671	545		
39	LXAY - 120	946	784	1 730	360		
40	LXZY - 160	1 256	2 415	3 671	545		
41	LXZY - 210	1 256	2 415	3 671	545		
42	LXZY - 300	1 811	3 152	4 963	635		
43	XP - 70	674	917	1 591	295		大连 电瓷 厂
44	XP - 100	670	807	1 477	295		
45	XP - 160	681	891	1 572	305		
46	XP - 210	874	1 112	1 986	335		
47	XP2 - 210	950	1 337	2 287	370		
48	XP1 - 300	127	1 994	2 121	485		
49	XWP1 - 70	1 162	861	2 023	400		
50	XWP2 - 70	1 162	861	2 023	400		
51	XWP2 - 100	1 288	1 208	2 496	450		
52	XWP2 - 160	1 551	1 208	2 759	450		
53	XWP - 210	1 423	1 360	2 783	450		
54	XDP - 70C	336	382	718	160		
55	XDP - 70CN	336	382	718	160		
56	XWP - 7	1 210	803	2 013	410		
57	X - 4.5	645	805	1 450	300		
58	XP - 7	685	715	1 400	290		
59	XP - 10	645	805	1 450	295		
60	LXP - 7	685	715	1 400	290		

附录 C

(规范性附录)

绝缘子表面积测量方法

等值附盐密度(盐密)的测量、计算需要掌握所测量绝缘子的表面积,厂家提供了一些型号绝缘子的表面积,但仍有一些绝缘子未提供该项参数,这就需要操作人员自己进行测量。下面介绍一种表面积的测量、计算方法,以备使用。

绝缘子一般为旋转体,即由一条曲线绕轴线旋转而成,这条曲线即是泄漏距离(爬距)。将这条曲线等分成若干等份,其中每一小段围绕绝缘子轴线旋转形成的旋转体近似构成一个圆台(或圆柱),计算出这些圆台(或圆柱)外侧的表面积之和就可得出整个绝缘子的表面积。

C.1 单个圆台的侧表面积

单个圆台的侧表面积为:

$$\begin{aligned} S_1 &= \pi (d_1 + d_2) \times \Delta L / 2 \\ &= \pi D_1 \times \Delta L \end{aligned}$$

式中:

S_1 ——圆台侧表面积;

$d_1 + d_2$ ——圆台上、下面直径;

D_1 ——圆台平均直径;

ΔL ——圆台侧面高度。

C.2 整个绝缘子的表面积

整个绝缘子的表面积为:

$$\begin{aligned} S &= S_1 + S_2 + \cdots + S_n \\ &= \pi D_1 \times \Delta L + \pi D_2 \times \Delta L + \cdots + \pi D_n \times \Delta L \\ &= \pi (D_1 + D_2 + \cdots + D_n) \Delta L \end{aligned}$$

C.3 近似计算公式

当等分该曲线(爬距)的数量 n 越大(即 ΔL 越小),则绝缘子表面积的计算值越接近实际值,这时可以用该曲线各等份中任意一点处的直径 D_1, D_2, \cdots, D_n 代替圆台的平均直径 D_1, D_2, \cdots, D_n ,即将圆台近似为圆柱体,这样绝缘子表面积的近似计算公式为:

$$S = \pi (D_1 + D_2 + \cdots + D_n) \Delta L$$

C.4 总表面积计算

从上式可以看出,测量绝缘子表面积只需将其沿泄漏距离方向等分成 n 份,再将各份中的任意一点的直径 D_n 测出,即可计算得到总表面积。如果将绝缘子的泄漏距离按 1cm 等分,则总表面积为:

$$S = \pi (D_1 + D_2 + \cdots + D_n)$$

C.5 测量工具及方法

测量工具包括卡尺、卡钳、直尺、坐标纸（米格纸）。

将坐标纸条沿绝缘子泄漏距离（爬距）方向粘贴在绝缘子表面上，并在该纸条对称方向同样粘上一条。设定每等份长度为 1 cm，并在坐标纸上标上等份号（1, 2, …, n），然后用卡尺、卡钳或其他测量工具测得各等份上某点处的直径，将这些直径相加后乘 π 即得出绝缘子表面积。

碳化硅阀式避雷器试验作业指导书

1 范围

本作业指导书规定了碳化硅阀式避雷器的交接验收试验、预防性试验的试验项目、作业程序、试验结果判断和试验注意事项。适合电力生产、基建、试验研究单位在碳化硅阀式避雷器的交接验收、预防性试验、检修过程中应用。

制定本指导书的目的是在检查碳化硅阀式避雷器的制造与安装质量，以及在检查运行中避雷器的安全状况过程中规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

3 安全措施

3.1 为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻或直流试验后应对试品充分放电。

3.2 在进行高压试验时，应有专人在试验场地周围监护，严禁非试验人员进入试验场地。

a) 进入试验现场，试验人员必须戴安全帽，穿绝缘鞋。

b) 现场试验工作必须执行工作票制度，工作许可制度，工作监护制度，工作间断、转移和终结制度。

c) 在现场进行试验工作时，试验人员应注意保持与带电体的安全距离不应小于安全规程中规定的距离。

d) 试验现场应装设遮栏或围栏，悬挂“止步，高压危险！”的标示牌，严禁非试验人员进入试验场地。

e) 试验器具的金属外壳应可靠接地，试验仪器与设备的接线应牢固可靠。

f) 工作中如需使用梯子等登高工具时，应做好防止高空坠落的安全措施。

g) 试验装置的电源开关，应使用具有明显断开点的双极刀闸，并有可靠的过载保护装置。

h) 开始试验前，负责人应对全体试验人员详细说明在试验区应注意的安全注意事项。

i) 试验过程应有人监护并呼唱，试验人员在试验过程中注意力应高度集中，防止异

常情况的发生。当出现异常情况时，应立即停止试验，查明原因后，方可继续试验。

- j) 变更接线或试验结束时，应首先将调压器回零，然后断开电源。
- k) 为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻或电导电流测量后应对试品充分放电。
- l) 试验结束后，试验人员应拆除试验临时接地线，并对被试设备进行检查和清理现场。
- m) 试验应在天气良好的情况下进行，遇雷雨大风等天气应停止试验。

4 工作程序

4.1 试验项目

本作业指导书包括碳化硅阀式避雷器的以下试验项目：

- a) 绝缘电阻；
- b) 电导（泄漏电流）及检查串联组合元件的非线性系数差值；
- c) 工频放电电压；
- d) 放电计数器试验。

4.2 试验流程（建议）

试验流程如图 1 所示。

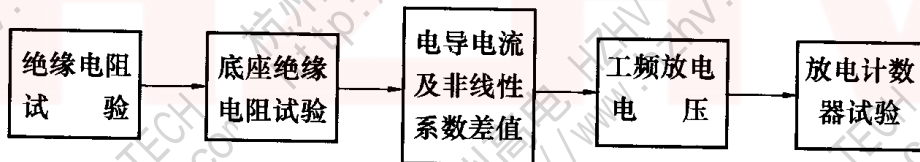


图 1 试验流程

4.3 人员要求

本作业需要作业人员 2~3 人。作业人员应熟悉高压试验的有关要求和避雷器有关原理。

4.4 设备要求

本项工作要求设备如下：

- a) 60 kV 直流发生器 1 台；
- b) 2 500 V 及以上兆欧表 1 个；
- c) 试验变压器、调压器、分压器等。

4.5 试验方法

碳化硅阀式避雷器分为不带并联电阻避雷器、带有并联电阻避雷器。

4.5.1 不带并联电阻避雷器（FS 型）的试验

4.5.1.1 测量避雷器及底座绝缘电阻

4.5.1.1.1 测量方法

采用 2 500 V 兆欧表测量，并加屏蔽环，以消除表面泄漏电流的影响。

4.5.1.1.2 判断方法

FS型的绝缘电阻交接时应大于2 500 MΩ，运行中应大于2 000 MΩ，当测量值低于规定值时，为查明原因，可进行泄漏电流的测量，泄漏电流一般不大于10 μA，当测量值大于2 000 MΩ时，一般可不做泄漏电流试验。

底座绝缘电阻自行规定，可在带电情况下检查。

4.5.1.1.3 试验注意事项

当天气潮湿时，表面泄漏电流影响很大，应引起试验人员的注意，严重时可以增加屏蔽环。

4.5.1.2 测量工频放电电压

4.5.1.2.1 测量目的

对于FS型避雷器，测量工频放电电压的目的是检查火花间隙的结构及其特性是否正常，检查它在内过电压下是否有动作的可能性。

4.5.1.2.2 判断方法

FS型避雷器的工频放电电压应该在表1所示范围内。

表1 FS型避雷器的工频放电电压

kV

额定电压		3	6	10
放电电压	交接时、大修后	9~11	16~19	26~31
	运行中	8~12	15~21	23~33

4.5.1.2.3 试验注意事项

- 电压测量的问题。FS型避雷器在间隙击穿以前，流过避雷器的电流是很小的，如果保护电阻 R 的数值不大，则可以认为变压器高压侧的电压即是作用在避雷器的电压。因此可以近似地根据变压器的变比和低压侧电压表的读数来求避雷器的放电电压，但是最好能够做一下变压器高低压侧（或对测量线圈）电压的校正曲线。
- 保护电阻 R 数值的选择问题。如果为了避免避雷器在试验时候不能自行熄弧而将间隙烧坏，采用增大 R 阻值的方法，会给试验带来严重的误差，因为当避雷器火花间隙虽然已经开始放电，但由于 R 太大，所以电流非常小，不足以在间隙中建立弧，当电压继续升高以后，火花间隙中才能建立稳定的工频电弧，表计才能有所反映，这样就使测量的工频放电电压超过实际的真实数值，造成误判断，而将工频放电电压较低的避雷器误认为合格。所以在实际试验当中应控制间隙击穿以后工频电流不超过0.7 A。可以参照下面的公式选择 R ：

$$I = \frac{U}{\sqrt{X_B^2 + R^2}}$$

式中：

I ——通过避雷器的电流，A；

U ——估计的避雷器的放电电压，V；

X_B ——试验避雷器的电抗（折算到高压侧），Ω；

R ——加入的限流电阻, Ω 。

试验时还应注意, 在间隙击穿以后, 电流应在 0.5 s 内切断, 以免间隙烧坏。

c) 升压速度问题。在试验的时候, 升压的速度应该控制, 不宜太快, 以免电压表由于机械惯性作用而得不到正确的读数, 升压的速度一般可以按照下面的速度来控制:

- 1) 10 kV 及以下避雷器: 3 ~ 5 kV/s;
- 2) 20 ~ 35 kV 的避雷器: 15 ~ 20 kV/s。

d) 放电的间隙问题。避雷器在进行两次放电之间的间隔时间应该不小于 10 s, 以免间隙内部没有充分去游离, 造成放电电压偏低或分散性较大。

4.5.1.3 放电计数器试验

4.5.1.3.1 试验目的

该试验项目能判断计数器是否状态良好, 判断其能否正常动作。

4.5.1.3.2 试验方法

可以采用专门的放电计数器测试仪器或者采用并联电容充放电的方法。

4.5.1.3.3 判断方法

测试 3 ~ 5 次, 均应正常动作。

4.5.2 带有并联电阻避雷器的试验

带有并联电阻的避雷器一般型号为 FZ (PBC、LD) 型、FCZ 和 FCD 型, 为了改善避雷器的放电特性, 在 FS 型避雷器的基础上, 增加了并联 (分路) 电阻, 所以在试验项目上有一些不同, 体现在以下一些方面:

- a) 由于增加了并联 (分路) 电阻, 所以必须检查并联电阻的通断和接触情况及非线性电阻系数是否近似相等, 增加了测量电导电流及检查串联组合元件的非线性系数差值。
- b) 限制测量工频放电电压的加压时间。由于增加了并联 (分路) 电阻, 在做工频放电电压试验时, 并联电阻上会有电流通过, 因为并联电阻的热容量不大, 所以在接近放电电压时, 如果持续时间太长, 就会使并联电阻因发热而损坏, 所以加压时间与 FS 型避雷器相比较有所不同。

4.5.2.1 测量避雷器及底座绝缘电阻

4.5.2.1.1 测量目的

此项试验除了检查内部受潮、瓷套裂纹等缺陷以外, 还可以检查并联电阻通断, 是否老化变质或断裂以及接触情况。测量底座绝缘电阻判断底座绝缘是否良好。

4.5.2.1.2 测量方法

采用 2 500 V 兆欧表测量, 并加屏蔽环, 以消除表面泄漏电流的影响。

4.5.2.1.3 判断方法

绝缘电阻: 可以自行规定, 但是与前一次及同类型的测量数据相比较, 不应有显著变化。

底座绝缘电阻: 自行规定, 可在带电情况下检查。

4.5.2.2 测量电导电流及串联组合元件的非线性因数差值

4.5.2.2.1 测量目的

为了检查避雷器的并联电阻是否受潮、老化、断裂、接触不良以及非线性系数是否合适。

4.5.2.2.2 测量方法

电导电流是当避雷器两端施加直流电压时避雷器通过的电流。

测量电导电流时施加的直流电压可以参照表 2。

表 2 测量电导电流时施加的直流电压

kV

元件额定电压	3	6	10	15	20	30
试验电压 U_1	—	—	—	8	10	12
试验电压 U_2	4	6	10	16	20	24

非线性因数 α 由下式来决定：

$$\alpha = \frac{\log(U_2/U_1)}{\log(I_2/I_1)}$$

式中：

α ——避雷器并联电阻的非线性因数；

U_1 、 I_1 ——50%额定试验电压及此电压下的电导电流值；

U_2 、 I_2 ——额定试验电压及此电压下的电导电流。

每个元件的非线性因数 α 应在 0.35 ~ 0.45 之间。当避雷器由几个元件组合而成时，同一串联元件组两个元件的非线性因数的差值称之为非线性系数差值。

4.5.2.2.3 试验注意事项

- 施加在避雷器两端直流电压应符合 GB/T 16927.1 的要求，并且高压的测量应该在高压侧使用屏蔽线进行。
- 如果避雷器由两个或两个以上的元件组成，应该对各个元件进行试验。

4.5.2.2.4 判断方法

FZ、FCZ、FCD 型避雷器的电导电流参考值见表 3 和表 4，注意电导电流值不仅要符合表中要求，而且应该与历年相比较，数据不应该有显著变化。

如果测量得到的电导电流显著降低，则表示并联电阻断裂或接触不良，如果显著增加，则可以认为避雷器受潮，如果电导电流降低不多，但是却是逐年降低，可以认为接触电阻已经劣化。

同一相串联元件的非线性因数差值不应大于 0.05，电导电流差值不能大于 30%。试验研究表明如果非线性因数差值超过 0.05 时，各元件的工频电压分布不均匀性比较严重，避雷器的灭弧性能将受到影响。

如果 FZ 型避雷器的非线性因数差值大于 0.05，但是电导电流合格，允许更换其中一节，换后的非线性因数应该符合要求。

表 3 国产 FZ、FCZ 型避雷器电导电流的参考值

避雷器型号	元件试验电压 kV	电导电流 μA	备注
FZ-3	4	450 ~ 650	西瓷厂
FZ-6 ~ 220	参见表 2 中的 U_2	400 ~ 600	西瓷厂
FCZ3-35 FCZ3-35L	50	250 ~ 400	
FCZ1-110J ~ 220J	110	500 ~ 700	西瓷厂
FCZ2-110J ~ 220J	110	400 ~ 600	抚瓷厂
FCZ3-110J ~ 220J	110	250 ~ 400	西瓷厂
FCZ-500J	160	1 000 ~ 1 400	较少使用

表 4 FCD 型避雷器的电导电流值

额定电压 kV	2	3	4	6	10	13.2	15
试验电压 kV	2	3	4	6	10	13.2	15
电导电流 μA	FCD 为 50 ~ 100, FCD1、FCD3 不超过 10, FCD2 为 5 ~ 20						

4.5.2.3 工频放电电压测量

4.5.2.3.1 试验方法

带并联电阻的避雷器的工频放电电压测量基本等同于 FS 型避雷器进行工频放电电压试验。

4.5.2.3.2 判断方法

FZ、FCZ 和 FCD 型避雷器的工频放电电压参考值参见表 5 和表 6。

4.5.2.3.3 注意事项

由于带并联电阻避雷器结构中增加了并联电阻,所以对加压时间有严格的限制,施加电压超过放电电压以后的时间应不大于 0.2s,间隙放电后,通过避雷器的电流应在 0.5s 内切断,电流幅值应限制在 0.2 A 以下。

表 5 FZ 型避雷器的工频放电电压值

型号	FZ-3	FZ-6	FZ-10	FZ-15	FZ-20	FZ-35	
工频放电电压 有效值 kV	9 ~ 11	16 ~ 19	26 ~ 31	41 ~ 49	51 ~ 61	82 ~ 98	
型号	FZ-40	FZ-60	FZ-110J	FZ-110	FZ-220J		
工频放电电压 有效值 kV	98 ~ 121	140 ~ 173	224 ~ 268	254 ~ 312	448 ~ 536		

表 6 FCZ 型避雷器的工频放电电压值

型 号	FCZ3-35	FCZ3-35L	FCZ-30DT	FCZ3-110J FCZ2-110J	FCZ3-220J FCZ2-220J
工频放电电压 有效值 kV	70 ~ 85	78 ~ 90	85 ~ 100	170 ~ 195	340 ~ 390

4.5.2.4 放电计数器试验

4.5.2.4.1 试验目的

该试验项目能判断计数器是否状态良好，判断其能否正常动作。

4.5.2.4.2 试验方法

可以采用专门的放电计数器测试仪器或者采用并联电容充放电的方法。

4.5.2.4.3 判断方法

测试 3 ~ 5 次，均应正常动作。

5 原始记录与正式报告

5.1 对原始记录与正式报告的要求

- 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附 录 A
(资料性附录)

碳化硅阀式避雷器试验记录

标识与编号		试验日期	
单 位		安装地点	
试验地点		环境温度	
试验负责人		试验参加人	
记 录		审 核	
铭牌参数			
型 号		额定电压	
系统运行电压		出厂序号	
出厂时间		生产厂家	
绝缘电阻 MΩ			
仪器型号		仪器编号	
试品编号			
绝缘电阻			
电导电流及非线性因数差值			
仪器型号		仪器编号	
试品编号	试验电压 kV	电导电流 μA	非线性因数 α
工频放电电压 kV			
试品编号			
放电电压			
底座绝缘电阻检查			
放电计数器检查			
结 论			

无间隙金属氧化物避雷器试验作业指导书

1 范围

本作业指导书规定了无间隙金属氧化物避雷器的交接验收、预防性试验的试验项目、作业程序、试验结果判断和试验注意事项。适合电力生产、基建、试验研究单位在无间隙金属氧化物避雷器的交接验收、预防性试验、检修过程中应用。

制定本指导书的目的是在检查无间隙金属氧化物避雷器的制造与安装质量，以及在检查运行中的避雷器的安全状况过程中规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

GB 11032 交流无间隙金属氧化物避雷器

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

DL/T 804 交流电力系统金属氧化物避雷器使用导则

3 安全措施

3.1 为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻或直流试验后应对试品充分放电。

3.2 在进行高压试验时，应有专人在试验场地周围监护，严禁非试验人员进入试验场地。

a) 进入试验现场，试验人员必须戴安全帽，穿绝缘鞋。

b) 现场试验工作必须执行工作票制度，工作许可制度，工作监护制度，工作间断、转移和终结制度。

c) 在现场进行试验工作时，试验人员应注意保持与带电体的安全距离应不小于安全规程中规定的距离。

d) 试验现场应装设遮栏或围栏，悬挂“止步，高压危险！”的标示牌，严禁非试验人员进入试验场地。

e) 试验器具的金属外壳应可靠接地，试验仪器与设备的接线应牢固可靠。

f) 工作中如需使用梯子等登高工具时，应做好防止高空坠落的安全措施。

g) 试验装置的电源开关，应使用具有明显断开点的双极刀闸，并有可靠的过载保护装置。

h) 开始试验前，负责人应对全体试验人员详细说明在试验区应注意的安全注意事项。

- i) 试验过程应有人监护并呼唱，试验人员在试验过程中注意力应高度集中，防止异常情况的发生。当出现异常情况时，应立即停止试验，查明原因后，方可继续试验。
- j) 变更接线或试验结束时，应首先将调压器回零，然后断开电源。
- k) 为保证人身和设备安全，在进行绝缘电阻和直流试验后应对试品充分放电。
- l) 试验结束后，试验人员应拆除试验临时接地线，并对被试设备进行检查和清理现场。
- m) 试验应在天气良好的情况下进行，遇雷雨大风等天气应停止试验。

4 工作程序

4.1 人员要求

本作业需要作业人员 2~3 人，作业人员应熟悉高压试验的有关要求和避雷器有关原理。

4.2 设备要求

本项工作要求设备如下：

- a) 250 kV（或以上）直流发生器 1 台（适用于 110~500 kV 系统的无间隙金属氧化物避雷器，电压等级低的可以选择相应的直流发生器）；
- b) 2 500 V 及以上兆欧表 1 个；
- c) 无间隙金属氧化物避雷器阻性电流测试仪器 1 台；
- d) 150 kV/380 V 试验变压器、调压器、分压器等。

4.3 试验项目

- a) 绝缘电阻；
- b) 直流 1 mA 电压 $U_{1\text{mA}}$ 及 $0.75U_{1\text{mA}}$ 下的泄漏电流；
- c) 运行电压下的交流泄漏电流；
- d) 工频参考电流下的工频参考电压；
- e) 底座绝缘电阻；
- f) 放电计数器动作检查。

4.4 作业程序

建议的试验流程如图 1 所示。

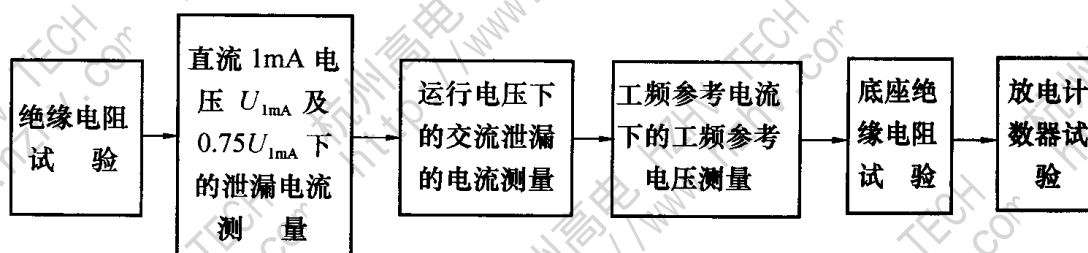


图 1 试验流程

4.4.1 测量避雷器及底座绝缘电阻

4.4.1.1 试验目的

测量无间隙金属氧化物避雷器的绝缘电阻可以初步判断避雷器内部是否受潮。测量底座绝缘电阻,判断底座绝缘是否良好。

4.4.1.2 试验方法及步骤

使用 2 500V 及以上兆欧表。

- a) 使用 2 500 V 及以上兆欧表,摇测避雷器的两极绝缘电阻,1 min,记录绝缘电阻值。
- b) 用接地线对避雷器的两极充分放电。

4.4.1.3 判断方法

无间隙金属氧化物避雷器:35 kV 以上,绝缘电阻不低于 2 500 M Ω ;35 kV 及以下,绝缘电阻不低于 1 000 M Ω 。

底座绝缘电阻:自行规定,可在带电情况下检查。

4.4.2 直流 1 mA 电压 $U_{1\text{mA}}$ 及 0.75 $U_{1\text{mA}}$ 下的泄漏电流测量

4.4.2.1 试验目的

为了检查氧化锌阀片是否受潮或者是否劣化,确定其动作性能是否符合产品性能要求。

4.4.2.2 试验方法及步骤

- a) 将避雷器瓷套表面擦拭干净。
- b) 采用高压直流发生器进行试验接线(选用的试验设备额定电压应高于被试避雷器的直流 1 mA 电压),泄漏电流应在高压侧读表,测量电流的导线应使用屏蔽线。
- c) 升压。在直流泄漏电流超过 200 mA 时,此时电压升高一点,电流将会急剧增大,所以应放慢升压速度,在电流达到 1 mA 时,读取电压值 $U_{1\text{mA}}$ 后,降压至零。
- d) 计算 0.75 倍 $U_{1\text{mA}}$ 值。
- e) 升压至 0.75 $U_{1\text{mA}}$,测量泄漏电流大小。
- f) 降压至零,断开试验电流。
- g) 待电压表指示基本为零时,用放电杆对避雷器放电,挂接地线,拆试验接线。
- h) 记录环境温度。

4.4.2.3 判断方法

避雷器直流 1 mA 电压的数值不应该低于 GB 11032 中的规定数值,且 $U_{1\text{mA}}$ 实测值与初始值或制造厂规定值比较变化不应超过 $\pm 5\%$,0.75 $U_{1\text{mA}}$ 下的泄漏电流不得大于 50 μA ,且与初始值相比较不应有明显变化。如试验数据虽未超过标准要求,但是与初始数据出现比较明显变化时应加强分析,并且在确认数据无误的情况下加强监视,如增加带电测试的次数等。

4.3.2.4 注意事项

- a) 由于无间隙金属氧化物避雷器表面的泄漏原因,在试验时应尽可能地将避雷器瓷

套表面擦拭干净。如果仍然试验直流 1 mA 电压不合格，应在避雷器瓷套表面装一个屏蔽环，让表面泄漏电流不通过测量仪器，而直接流入地中。

- b) 测量时应记录环境温度，阀片的温度系数一般为 0.05% ~ 0.17%，即温度升高 10℃，直流 1 mA 电压约降低 1%，所以如果在必要的时候应该进行换算。以免出现误判断。

4.4.3 运行电压下的交流泄漏电流测量

4.4.3.1 试验目的

测量运行电压下的交流泄漏电流能够判断无间隙金属氧化物避雷器的状况。

4.4.3.2 试验方法及步骤

- a) 按图 2 进行距离的交流试验接线。
- b) 升压，当电压达到运行电压时，测量避雷器泄漏电流（全电流、阻性电流、有功损耗）。
- c) 降压至零。
- d) 断开电源，挂接地线，拆除试验接线。

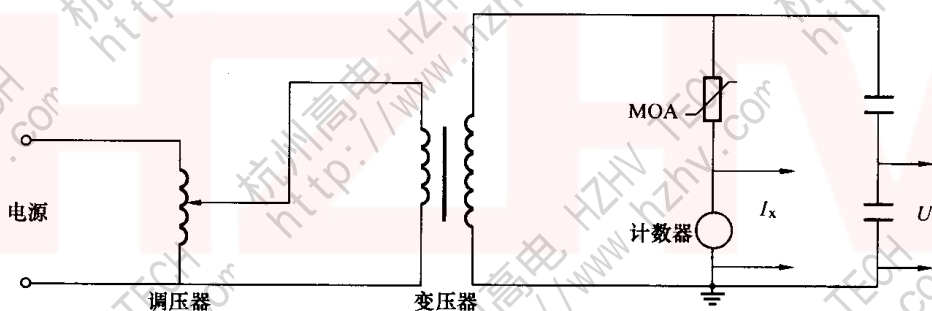


图 2 避雷器交流试验接线示意图

4.4.3.3 判断方法

该试验主要的判断方法是将相邻的避雷器试验数据进行比较，并且与以前试验的数据进行比较来判断设备是否运行正常。

4.4.3.4 注意事项

试验时需记录环境温度和相对湿度以及试验施加的电压，并且应该注意瓷套表面的清洁程度；同时要求注意相邻避雷器的影响（即相间干扰）。

4.4.4 工频参考电流下的工频参考电压测量

4.4.4.1 试验目的

该试验项目能判断避雷器的老化、劣化程度。

4.4.4.2 试验方法及步骤

- a) 按图 2 进行试验接线。
- b) 升压，并测量避雷器阻性电流，当超过避雷器的阻性电流为工频参考电流时，迅速读取工频电压的数值（施加工频电压的时间应严格控制在 10 s 以内）。
- c) 降压。

- d) 记录试验电压。
- f) 断开电流、挂接地线、拆除试验接线。

4.4.4.3 判断方法

避雷器工频参考电流下的工频参考电压必须大于避雷器的额定电压。

4.4.4.4 注意事项

- a) 试验中的环境温度宜为 $20 \pm 15^{\circ}\text{C}$ ，多节避雷器应该对每节单独进行试验，如果一相中有一节不合格，应更换该节避雷器。
- b) 试验中尤其应该注意由于试验电压对于避雷器而言相对较高（超过额定电压），所以在到达工频参考电流时应该缩短试验时间，施加工频参考电压的时间应严格控制在 10 s 以内。

4.4.5 放电计数器试验

4.4.5.1 试验目的

该试验项目能判断计数器是否状态良好，判断其能否正常动作。

4.4.5.2 试验方法

可以采用专门的放电计数器测试仪器或者采用并联电容充放电的方法，测试 3~5 次。

4.4.5.3 判断方法

均应正确动作。

5 原始记录与正式报告

5.1 对原始记录与正式报告的要求

- a) 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

5.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附 录 A
(规范性附录)

无间隙金属氧化物避雷器试验原始记录

标识与编号		试验日期		
单位		安装地点		
试验地点		环境温度		
试验负责人		试验参加人		
记 录		审 核		
铭牌参数				
型 号		额定电压		
系统运行电压		出厂序号		
出厂时间		生产厂家		
绝缘电阻和直流试验				
编 号	U_{1mA} kV	$I_{75\%U_{1mA}}$ μA	绝缘电阻 M Ω	
交流试验				
编 号	试验电压 kV	I_X $\mu A, rms$	I_r $\mu A, Peak$	P mW/kV
底座绝缘电阻				
放电计数器检查				
结 论				
备 注				

接地网接地电阻试验作业指导书

1 范围

本作业指导书适用于接地网接地电阻测量，规定了接地网交接验收、预防性试验和检修过程中的接地电阻测量试验的引用标准、仪器设备要求、试验人员要求和职责、作业程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本指导书的目的是规范接地网接地电阻试验，保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

DL 475 接地装置工频特性参数的测量导则

DL/T 621 交流电气装置的接地

3 工作程序

3.1 人员要求

- a) 人数：一般根据被测接地网面积大小来定，整个接地网最大对角线长度超过 500 m，至少需 10 人。
- b) 资质：负责人必须熟悉地网测试技术；试验人员中至少有 2 人为电气技术工人。

3.2 设备清单和要求

接地网接地电阻测量目前常用的方法有两种：一是变频法；一是工频电压电流法。每种测量方法的设备分可共用部分和不可共用部分，可共用部分单列清单及要求，不可共用部分在每种测量方法的清单及要求中分别说明。

3.2.1 可共用的设备清单及要求

- a) 对讲机：2 对；
- b) 大锤子：1 把；
- c) 常用工具：1 套；
- d) 绝缘黑胶布：若干卷（视接地引线的卷数而定）。

3.2.2 采用变频法的设备清单及要求

- a) 变频接地电阻测试仪一套，电源须充电的设备应在测试前一天充好电。
- b) 接地电极：一端为尖头，长度不小于 1 m，直径不小于 20 mm 的钢管或圆钢 4

根。

c) 接地引线:

- 1) 电流极引线。铜芯绝缘外皮, 截面不小于 1.0 mm^2 , 长度为 4~5 倍整个被测地网的最大对角线长度减去整个地网中心与地网边缘之间的距离, 如放线有困难或土壤较均匀时, 长度至少取 2 倍整个被测地网的最大对角线长度减去整个地网中心与地网边缘之间的距离。
- 2) 电压极引线, 铜芯绝缘外皮, 截面不小于 1.0 mm^2 , 长度为电流极引线长度的 0.618 倍减去整个地网中心与地网边缘之间的距离; 组成电流极引线和电压极引线的各段线应在测试前分别测量过连通状况。

3.2.3 采用工频电压电流法的设备清单及要求

一般情况下, 电流极接地电阻均可达到 100Ω 以下, 所以下列设备均是在满足这个条件下提出的。

- a) 专用的工频电压电流法测试仪: 1 套, 工频输出电流应能达到 10 A 及以上。
 - b) 如没有专用测试仪, 则需要设备:
 - 1) 单相调压器: 容量不小于 15 kVA , 1 台;
 - 2) 隔离试验变: 容量 10 kVA 及以上, 变比 $1 \text{ kV}/400 \text{ V}$ (220 V), 1 台;
 - 3) 隔离电流互感器: 1 台, 0.2 级;
 - 4) 电压表: $0 \sim 600 \text{ V}$, 0.5 级, 1 只; 如电流极接地电阻很小, 需要 1 只毫伏表;
 - 5) 电流表: $0 \sim 5 \text{ A}$, 0.5 级, 1 只;
 - 6) 两相刀闸: 两只。
 - c) 接地电极: 10 根及以上空心 (实心) 铁 (钢) 管, 一端为尖头, 每根长度不小于 1 m , 截面直径不小于 20 mm 。
 - d) 接地引线:
 - 1) 电流极引线。铜芯绝缘外皮, 截面不小于 2.5 mm^2 , 长度为 4~5 倍整个被测地网的最大对角线长度减去整个地网中心与地网边缘之间的距离, 如放线有困难或土壤较均匀时长度至少取 2 倍整个被测地网的最大对角线长度减去整个地网中心与地网边缘之间的距离。
 - 2) 电压极引线: 铜芯绝缘外皮, 截面不小于 1.0 mm^2 , 长度为电流极引线长度的 0.618 倍减去整个地网中心与地网边缘之间的距离; 组成电流极引线和电压极引线的各段线应在测试前分别测过连通状况。
- 注 1: 如电流接地极的接地电阻不能低于 100Ω 时, 各设备的参数要依据该电阻值和试验电流值而定;
- 注 2: 现场应能提供 220 V 试验电源。

3.3 作业程序

3.3.1 变频法

3.3.1.1 测试方法

采用变频法测量时, 其原理接线图如图 1 所示。电压线与电流线相距为 2 m 及以上,

可避免互感的影响。试验电流宜为 1 A 及以上。

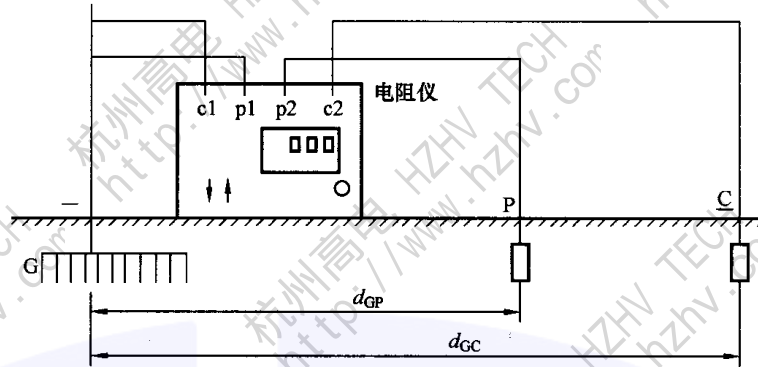


图1 变频法测量工频接地电阻的原理接线图

G—被测接地装置；P—测量用电压极；C—测量用电流极

3.3.1.2 试验步骤

假设被测地网的最大对角线长度为 D ，整个地网中心与地网边缘之间的距离为 d ，单位为 km。

a) 将电压极、电流极按照图 1 所示的方法布线，其中：

$$d_{GC} = 4D - d$$

$$d_{GP} = 4D \times 0.618 - d$$

b) 按下测试键。

c) 直接读出电阻值。

d) 记录数据后，关掉电源；改变电压极位置，使 $d_{GP} = (4D \times 0.618 - d) \times 1.05(\text{km})$ 。

e) 重复上述步骤 b)、c)，测 1 次。

f) 记录数据后，关掉电源；改变电压极位置，使 $d_{GP} = (4D \times 0.618 - d) \times 0.95(\text{km})$ 。

g) 重复上述步骤 b)、c)，再测 1 次。

h) 记录数据后，关掉电源。

i) 试验结束，清理现场。

3.3.1.3 注意事项

测试时，引线沿线应有专人照看，以免测试线丢失，造成测量终止。

3.3.2 工频电压电流法

3.3.2.1 测试方法

采用三极法，其试验原理接线图如图 2 所示，按照图 2 布置好接线方式，电压极引线和电流极引线之间距离不小于 2 m，假设被测地网的最大对角线长度为 D ，整个地网中心与地网边缘之间的距离为 d ，那么， d_{GC} 取 $(4D - d)$ ， d_{GP} 取 $(4D \times 0.618 - d)$ ；利用调压器和隔离升压变组成的工频电源从被测地网测点加入一不小于 10 A 的电流，记录此时的电压和电流数，由此便可得到接地电阻值。

3.3.2.2 试验步骤

设被测地网的最大对角线长度为 D ，整个地网中心与地网边缘之间的距离为 d ，单位

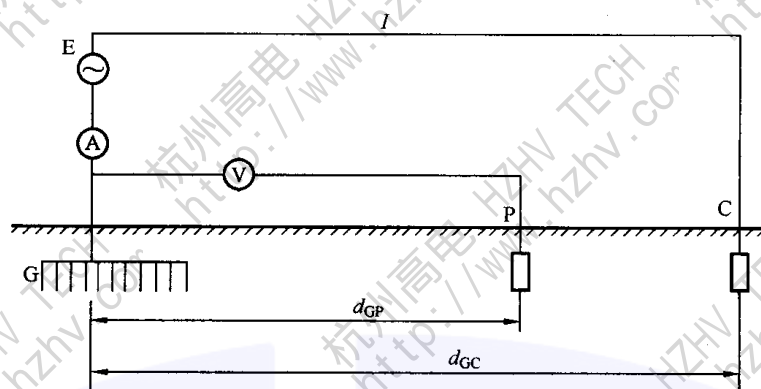


图2 电压电流表法测量工频接地电阻的原理接线图

G—被测接地装置；P—测量用电压极；C—测量用电流极；E—工频电源

为 km。

- a) 将电压极、电流极按照图 2 所示的方法布线，其中：

$$d_{GC} = 4D - d$$

$$d_{GP} = 4D \times 0.618 - d$$

- b) 首先，在加电源前，读电压表，记录 U_0 。
- c) 加电源，将工频交流电源的输出电流升至 10 A。
- d) 准确读出电流表、电压表值。
- e) 记录数据后，降低电源电压至零，关掉电源。
- f) 倒电源极性，重复上述步骤 b)、c)、d)、e)，再测 1 次。
- g) 改变电压极位置，使 $d_{GP} = (4D \times 0.618 - d) \times 1.05$ 。
- h) 重复上述步骤 b)、c)、d)、e)，进行测量。
- i) 改变电压极位置，使 $d_{GP} = (4D \times 0.618 - d) \times 0.95$ 。
- j) 重复上述步骤 b)、c)、d)、e)，进行测量。
- k) 试验结束，清理现场。

3.3.2.3 安全措施

- a) 试验区域内，凡有碍于试验的其他工作务必停止。
- b) 试验期间，试验区域内必须有安全监护人员。
- c) 电压极引线和电流极引线沿线每 100 m 应设一人照看，尤其是有行人和车辆通过的路口，引线通过时必须架高，必要时装设注意安全红色标记，以确保行人和车辆安全。

3.4 试验结果判断依据

对于非直接产生的结果，包括相关的计算公式和计算方法。

3.4.1 变频法

用变频法测量时，通过改变电压极的位置，可测得 3 个电阻值，比较 3 个电阻值的变化情况是否与电压极引线离开测点距离的变化情况一致，如一致，便可确定 d_{GP} 取 $(4D \times$

0.618 - d) 时所测得的电阻值为实测值；如不一致，须结合历史数据、实际土壤电阻率等情况进一步分析原因，以确定实测值。

发电厂、变电所电气装置保护接地的接地电阻要求如下。

a) 一般情况下，接地装置的接地电阻应符合下式要求：

$$R \leq \frac{2000}{I} \quad (1)$$

式中：

R ——考虑到季节变化的最大接地电阻， Ω ；

I ——计算用的流经接地装置的人地短路电流，A。

公式(1)计算用流经接地装置的人地短路电流，采用在接地装置内、外短路时，经接地装置流入地中的最大短路电流对称分量最大值，该电流应按5~10年发展后的系统最大运行方式确定，并应考虑系统中各接地中性点间的短路电流分配，以及避雷线中分走的接地短路电流。

b) 当接地装置的接地电阻不符合式(1)要求时，可通过技术经济比较增大接地电阻，但不得大于5 Ω ，且应符合以下要求：

1) 为防止转移电位引起的危害，对可能将接地网的高电位引向厂、所外或将低电位引向厂、所内的设施，应采取隔离措施。例如：对外的通信设备加隔离变压器；向厂、所外供电的低压线路采用架空线，其电源中性点不在厂、所内接地，改在厂、所外适当的地方接地；通向厂、所外的管道采用绝缘段，铁路轨道分别在两处加绝缘鱼尾板等等。

2) 考虑短路电流非周期分量的影响，当接地网电位升高时，发电厂、变电所内的3~10 kV 阀式避雷器不应动作或动作后应承受被赋予的能量。

3) 应核算接触电位差和跨步电位差。

3.4.2 工频电压电流法

用倒相法得到的工频接地阻值为：

$$R_G = \frac{1}{I} \sqrt{\frac{1}{2} [(U'_G)^2 + (U''_G)^2] - U_{G0}^2} \quad (2)$$

式中：

I ——通过接地装置的接地电流，测试电压倒相前后保持不变；

U'_G 、 U''_G ——测试电压倒相前后的接地装置的对地电压；

U_{G0} ——不加测试电压接地装置的对地电压，即零序电流在接地装置上产生的电压降。

试验结果判断依据同3.4.1。

3.5 注意事项

3.5.1 测试方法注意事项

a) 消除接地装置中的零序电流的影响。对于工频电压电流法，在不停电的条件下，由于接地装置中存在电力系统的零序电流，它会影响工频接地电阻的实测值。既

可以通过增大接地装置测试电流值的办法，也可以用倒相法来减小零序电流对工频接地电阻实测值的影响。

- b) 消除高频干扰电压的影响。当测量用的电压线较长时，电压线上可能出现广播电磁场等交变电磁场产生的干扰电压。如果用有效值电压表测量电压，则电压表的指示值要受高频干扰。
- c) 消除输电线的避雷线的影响。在许多变电所中，输电线的避雷线是与变电所的接地装置相连，这会影响到变电所接地电阻的实测值。因此，在测量前，应将避雷线与变电所接地装置的电连接断开。
- d) 尽量增大工频电压电流法中的测试电流。通过接地装置的测试电流大，则接地装置中的零序电流和干扰电压对测量结果的影响就小。为了减小工频接地电阻实测值的误差，通过接地装置的测试电流不宜小于 10 A。为了得到较大的测试电流，一般要求电流极的接地电阻不大于 100 Ω 。
- e) 避免运行中的输电线路的影响。尽可能使测量线远离运行中的输电线路或与其垂直，以减小干扰影响。
- f) 避免河流、地下管道等导体。测量电极的布置要避开河流、水渠、地下管道等。
- g) 不能在雨后立即进行测试。
- h) 应记录测试时的环境温度。
- i) 应用高阻电压表测电压。

3.5.2 判断方法注意事项

- a) 电压极分别在 3 个不同位置时测得的视在电阻变化情况应与电压极引线距离变化趋势保持一致。
- b) 正常情况下，测得的接地网阻值应与历史数据比较接近，且与根据地网面积和土壤电阻率的估算值接近。

4 原始记录与正式报告

4.1 对原始记录与正式报告的要求

- a) 原始记录的填写要字迹清晰、完整、准确，不得随意涂改，不得留有空白，并在原始记录上注明使用的仪器设备名称及编号。
- b) 当记录表格出现某些“表格”确无数据记录时，可用“/”表示此格无数据。
- c) 若确属笔误，出现记录错误时，允许用“单线划改”，并要求更改者在更改旁边签名。
- d) 原始记录应由记录人员和审核人员二级审核签字；试验报告应由拟稿人员、审核人员、批准人员三级审核签字。
- e) 原始记录的记录人与审核人不得是同一人，正式报告的拟稿人与审核/批准人不得是同一人。
- f) 原始记录及试验报告应按规定存档。

4.2 试验原始记录的内容及格式

试验原始记录的内容及格式参考附录 A。

附 录 A
(资料性附录)
地网接地电阻试验原始记录

标识与编号			
单 位		试验地点	
试验负责人		试验日期	
试验参加人		试验温度	
审 核		记 录	
使用设备			
接地网概况			
测点位置			
引出方向			
地网、引线示意图：			
接地电阻测量结果：			
电压极位置	p1 - p2x 距离 km	阻值 Ω	备 注
p1 - p20			
p1 - p21			
p1 - p22			