

中华人民共和国水利电力部技术改进局編

高压电气設備絕緣 預防性試驗方法

(修訂第三版)

中国工业出版社

中华人民共和国水利电力部技术改进局編

高压电气設備絕緣 預防性試驗方法

(修訂第三版)

中国工业出版社

本书介绍电气设备絕緣預防性試驗的一些主要方法。全书共分六章：絕緣搖表試驗；泄漏电流試驗；介質損失角試驗；电容比試驗；交流耐压試驗；絕緣油試驗。每章中扼要地介紹了各种試驗的基本原理，各种接綫图，試驗时的操作步骤和誤差的消除方法，試驗的注意事項以及試驗結果的分析判断等。

本书可供电力系統中电气試驗、运行、检修人員和工业企业的电气工作人員参考。

中华人民共和国水利电力部技术改进局編
高压电气设备絕緣預防性試驗方法
(修訂第三版)

水利电力部办公厅图书編輯部編輯 (北京阜外月壇南餐房)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路丙10號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第110號

五三五工厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 787×1092 毫米·印張 2 号·插頁 1·字數 35,000

1958 年 1 月水利电力出版社北京第一版

1963 年 5 月北京第二版·1965 年 3 月北京第四次印刷

印數 27,524—57,843·定价(料二)0.24 元

統一書号：15165·1570(水电-274)

第三版序

本书在印行第三版时，又在原第二版的基础上，进行了若干修訂。主要是对文中遺漏之处作了一些补充，許多插图作了修改，图中符号不統一的，也尽量修改，加以統一。

水利电力部技术改进局

1963年1月

第二版序

这本小册子自1958年1月出版以后，迄今已近四年。从各单位来信詢問再版的訊息和某些企业以油印方式分发使用种种情况看来，这本书确如初版序言中所述，是能够供电力系统各局、厂、綫路工区試驗及維護檢修人員参考的。

今年在貫徹党的調整、巩固、充实、提高的八字方針之下，我們认为应将本书修訂后加以再版。此次修訂中，书中的第六章更动較大；这是因为在1959年我国石油工业部頒布了“石油产品試驗方法”，其中有石油产品取样法(SYB2001-59)及变压器油耐电压(应称为击穿强度)試驗法(SYB2653-59)与本书第六章有关，此外我局于1960年拟訂了变压器油工頻介質損失($\text{tg}\delta$)和介电常数(ϵ)的測量方法草案，这些新材料都包括在修訂后的第六章內。

虽然經過一番努力，想把本书存在的所有錯誤加以訂正，但可能还有疏忽遺漏及限于水平而未能发现之处，希讀者不吝指正。

水利电力部技术改进局

1961年12月

目 录

第一章 絕緣搖表試驗	1
第一节 概論	1
第二节 試驗步驟	4
第三节 注意事項	5
第四节 各种因素对絕緣电阻的影响	6
第五节 吸收試驗反映 B 級絕緣和 A 級絕緣局部缺陷及 其受潮程度的作用	7
第二章 泄漏电流試驗	9
第一节 概論	9
第二节 几种試驗接綫的比較	10
第三节 試驗步驟	21
第四节 注意事項	22
第五节 影响試驗結果的因素	23
第三章 介質損失角試驗	25
第一节 概論	25
第二节 介質損失角与頻率及溫度的关系	30
第三节 試驗方法	31
第四节 測量介質損失角的一般注意事項	41
第五节 介質損失角試驗与設備局部缺陷的关系	42
第四章 电容比試驗	47
第一节 概論	47
第二节 試驗方法	50
第三节 影响測量結果的因素	53
第四节 用电容比法試驗 A 級絕緣受潮的效能	54
第五章 交流耐压試驗	55

第一节	概論	55
第二节	試驗方法及接綫	56
第三节	操作步驟	59
第四节	注意事項	60
第五节	直流耐压試驗及其在旋轉电机預防性試驗中的作用	65
第六节	匝間絕緣的感应工頻耐压試驗	66
第六章	絕緣油試驗	67
第一节	概論	67
第二节	取样	68
第三节	击穿强度試驗	69
第四节	絕緣油的工頻介質損失角和介电常数試驗	71
第五节	絕緣油老化的情况	74
附录		76
一、	介質損失角溫度換算系数表	76
二、	关于溫度換算的解釋	78

第一章 絕緣搖表試驗

第一节 概 論

外電場作用于電介質所發生的基本特性過程，是產生介質的極化，即介質中固有的相互制約的電荷發生位移，或使介質中的偶極子轉動。當作用電壓並不太大時，電介質的束縛電荷按其所受作用力的方向發生位移，電壓愈高，即電場強度愈強，位移就越大。正電荷沿電場方向位移，負電荷則沿反方向位移。這種極化過程極為短暫，在一般電氣測量中可看成是瞬間完成的。因這種極化而生的電流普通稱為幾何電流，其對時間的變化曲線，如圖1-1所示。

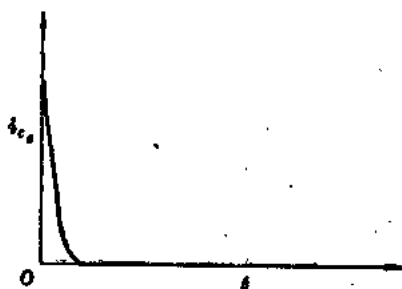


圖 1-1 在直流電壓下固體介質內幾何電流 i_g 對時間 t 的變化

電介質中的偶極子在外電場作用下將沿電場的方向而轉動，其極化的時間依偶極子的電矩、分子的热運動以及介質的粘度而不同，但比上述的那種極化時間要長。

在外電場作用下，電介質中的束縛離子將隨電場的方向

发生弹性位移。

如果絕緣是由不同介质复合而成，因为两种介质的介质常数和导电率的不同，电压的分布开始时决定于其电容量(即介质常数)，经过一段足够长的时间以后，就决定于其导电率。当电压从第一种分布过渡到第二种分布时，在两种不同介质常数的介质交界面上的电荷必须移动，以适应电压的重新分布；同时，介质内部因此而产生电流。由以上三种极化所产生的电流称为吸收电流，它也随加压时间的增长而减小，但比充电电流慢得多，并决定于介质的不均匀程度和介质的结构形态。其对时间的变化曲线如图1-2所示。

通常工程上所用的介质，并非纯粹的絕緣体，里面还有极少数的束缚很弱的或自由的离子。当电压作用在介质上时，正负离子就分别向两极逐步移动。

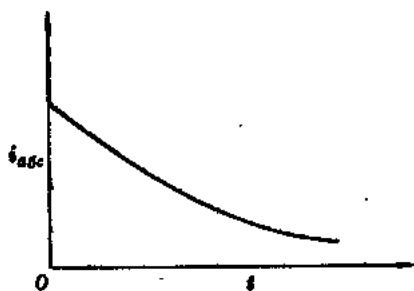


图 1-2 在直流电压下固体介质内吸收电流 i_{abs} 对时间 t 的变化

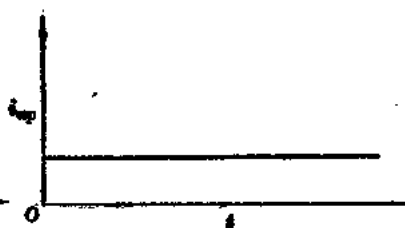


图 1-3 在直流电压下固体介质内传导电流 i_{cp} 对时间 t 的变化

这些离子移动所产生的电流称为传导电流，它在经过一定时间的加压后即趋于恒定，其值决定于介质在直流电场内的导电率。传导电流对时间的变化曲线如图1-3所示。

综合上述，当直流电压作用于任何介质上时，通过的电

流可分为三部分：传导电流往往与介质表面的清洁情况及受潮有关，它是瞬变现象完结以后仅存在的电流；吸收电流和几何电流与受潮也有关系，是一个暂态现象，施加直流电压以后，电流升至定值，然后随时间的增长而逐渐减小，在相当长时间的加压后，趋近于零。这三个电流的总和，如图1-4所示。

所谓绝缘电阻试验，就是用绝缘电阻来表示与时间无关的传导电流。当介质受潮、脏污或开裂以后，介质内的离子增加，因而传导电流剧增，绝缘电阻当然就小了，所以由绝缘电阻的大小，可以初步了解绝缘的情况。

在绝缘摇表试验中，一方面可以求得加压到一定时间后的绝缘电阻值，同时还可以求

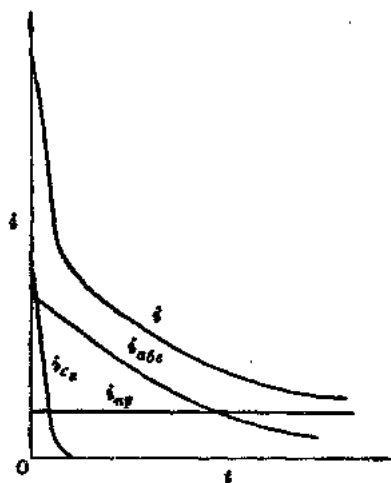


图 1-4 直流电压下固体介质内所产生各电流的总和 i 与时间 t 的变化

得绝缘电阻与加压时间的关系。表示这一关系的曲线称为吸收曲线。由吸收曲线的衰减情况，可以判断绝缘的受潮情况以及绝缘内部有无局部缺陷存在。这可以从下面的关系式中看出来，

$$R_{\infty}/R_0 = 1 + \frac{I_{ao}}{I_{np}},$$

式中 I_{np} ——传导电流值；

I_{ao} ——几何电流加吸收电流的起始值；

R_0 ——加压瞬間(即 $t_1 \rightarrow 0$)时的絕緣电阻值；

R_∞ ——測量过程終了(假設 $t_2 \rightarrow \infty$)时的絕緣电阻值。

絕緣受潮程度增加时，傳导电流經常比吸收电流的起始值增长得快，因此在測量潮湿絕緣时， R_∞/R_0 的比值經常小些，而其极限为1。应用这一原理，由吸收試驗所得的結果，就可以很好的判断出絕緣的情况。显然，在絕緣的吸收試驗中， $R_{60}"/R_{15}"$ 的数值一定比 R_∞/R_0 的值要小一些。但 $R_{60}"/R_{15}"$ 的比值和受潮程度的关系，基本上仍然和 R_∞/R_0 的比值和其受潮程度的关系一样，实际上要測出 R_∞/R_0 的比值是有困难的。因此，在預防性試驗中采用 $R_{60}"/R_{15}"$ 的比值，并不会影响其实用价值。

第二节 試驗步驟

1. 拆除被試物的电源及一切对外联綫后，应将被試物接地放电，放电時間至少1分钟，电容量較大的被試物至少2分钟。

2. 用干燥、清洁的柔軟布，擦去被試物表面的污垢。

3. 將搖表放在水平位置，并在額定轉速下調整指針到“ ∞ ”。有些型号的搖表，制造厂还要求作零值校核，其方法是将搖表的“地”与“綫”端柱短时地短接一下。

4. 将被試物接地綫接于搖表的“地”(“E”或“G”)柱上，被試物引出綫接于搖表的“綫”(“L”或“H”)柱上。如被試物接綫端可能产生表面泄漏电流时，应加遮蔽，接于搖表的“保护”(“P”或“S”)柱上，如图1-5所示。

5. 以恆定速度轉动搖表把手(約每分钟120轉)，搖表指

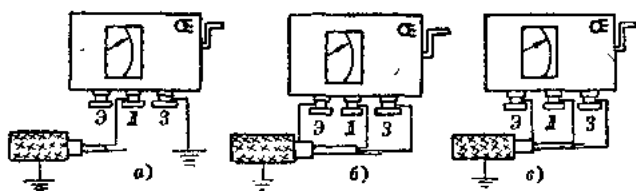


图 1-5 用摇表测绝缘电阻的接线图

α —测对地绝缘； β ， ϵ —测相间绝缘，加以保护

针逐渐上升，待 1 分钟后，记录其绝缘电阻值。

6. 在录制吸收曲线时，为了在开始计算时间时，就能在绝缘上加上全部试验电压，应于摇表接地侧装一绝缘良好的刀闸。当摇表达额定转速后合上刀闸，同时开始计算时间，在 1 分钟内，每 15 秒钟记录一次读数。

7. 试验完毕或重复试验时，必须将被试物对地充分放电，至少 2 分钟。

8. 记录被试物温度和气候情况。

第三节 注意事项

1. 双回路架空送电线或母线当一路带电时，不得测另一路的绝缘电阻，以防止感应高压、损坏仪表或危害人身安全。在下列极个别情况下，可考虑带电测绝缘电阻，并采用带电作业的措施。

(1) 不可能全部停电的双回路架空输电线路或母线，当确认为被试线路感应电压不高时。

(2) 短路干燥发电机的电压不高时。

2. 摇表接线端及接地端的引出线不要靠在一起，如接线端引出线必须经其他支持物才能和被试物接触时，必须用绝缘良好的支持物。

3. 轉動速度應尽可能保持額定值，并維持均勻轉速，不得低於額定值的80%。

4. 測量電容量較大的設備如大容量的發電機、較長電纜或電容器的絕緣時，最初充電電流很大，因而搖表指示數很小，但這并不表示被試物絕緣不良，必須經過較長時間，才能得到它的正確結果。

5. 如所測絕緣電阻過低，應分部試驗，找出絕緣電阻最低部分。

第四節 各種因素對絕緣電阻的影響

1. 濕度對絕緣電阻的影響

絕緣物的吸潮量，隨濕度的變化而變化。當空氣相對濕度大時，絕緣物由於毛細管作用，吸收較多水分，致使導電率增加，降低了絕緣電阻值，尤其是对表面洩漏電流的影響更大。

2. 溫度的影響

絕緣物的絕緣電阻，是隨着溫度的變化而變化的，其變化程度又隨絕緣的種類而異。富於吸濕性的材料，受溫度的影響最大，一般絕緣電阻隨溫度的上升而減少。這是因為溫度升高，加速了介質內部分子和離子的運動，同時絕緣內的水分，在低溫時和絕緣物相結合的緣故。當溫度上升時，水分即向電場兩極伸長，這樣在纖維物質中呈細長綫狀的水分粒子伸長，因而增加其導電性。此外，水分中含有溶解的雜質或絕緣物內含有鹽類、酸性物質，被水分解，亦會增加導電率，而降低絕緣電阻值。例如，發電機當溫度每變化8~10°C時，絕緣電阻降低一倍。

在預防性試驗中，為了便于比較不同溫度下的試驗結

果，对于发电机絕緣以75°C为标准时，应按下列經驗公式进行換算。

$$M\Omega_{75} = \frac{M\Omega_t}{2^{\frac{75-t}{10}}}$$

式中 $M\Omega_{75}$ ——温度在75°C时之絕緣电阻(兆欧)；

$M\Omega_t$ ——温度为 t °C 时所测得的絕緣电阻值(兆欧)；

t ——测定时之温度(°C)。

对于 A 級絕緣的絕緣电阻換算式为：

$$R_2 = R_1 10^{\alpha(t_1 - t_2)}$$

式中 R_1 ——温度为 t_1 时所测得的絕緣电阻值；

R_2 ——換算至温度为 t_2 时的絕緣电阻值；

α ——絕緣物的温度系数，它随絕緣材料的种类而异，对于 A 級絕緣材料 $\alpha = 1/40$ 。

第五节 吸收試驗反映 B 級絕緣和 A 級絕緣 局部缺陷及其受潮程度的作用

1. 吸收試驗，反映 B 級和 B 級浸胶絕緣的旋轉电机的局部缺陷和受潮程度最为灵敏。

由于近代的高压旋轉电机的靜子主絕緣，主要是采用連續云母带，而云母带是用胶将紙或綢布与薄片云母粘合而成的，其結構极不均匀，与純云母性质不同。因而用云母带絕緣的电机，其吸收現象非常明显。发电机靜子絕緣在制造过程中，已經过真空浸漬处理，其内部几乎无气泡和空隙，而云母本身又具有不易吸潮的特性，即使受潮，潮气亦不易深入，主要是沿着电场等位面分布(云母层之間)，除有局部缺陷，如絕緣发生裂紋等外，潮气夹杂物沿电力綫方向并无伸

长现象，因而 B 级和 B 级浸胶绝缘的电机受潮后，除非特别严重时，其吸收曲线基本上不改变。当局部缺陷及绝缘结合部分严重受潮时，将大大增加其传导电流，致使其吸收曲线改变。根据这一原理，对 B 级和 B 级浸胶绝缘的电机进行吸收试验，由其吸收比 $R_{60}"/R_{15}"$ 的变化，可以反映绝缘的情况。

2.4 级绝缘的设备(如变压器等)的吸收现象并不显著。

纤维质绝缘物的电气设备，如变压器等，其 $R_{60}"/R_{15}"$ 的数值和受潮程度的关系比较不显著。这是由于这类绝缘，当其受潮程度增长时，不单是传导电流增长，吸收电流亦同时增长。此外，没有受潮的变压器的吸收电流本来就小。又由于变压器的固体绝缘物是用棉纱、电缆纸等绝缘材料，而这些固体绝缘，仅为变压器绝缘的一小部分，其主要部分是由绝缘油组成，绝缘油是没有吸收特性的(合成油除外)。同时没有受潮的变压器等的纤维绝缘，是相当均匀的，即使浸入绝缘油后，也相差不大，因而吸收现象不显著。所以吸收试验在判断变压器等纤维质绝缘的线圈受潮上，不太灵敏(与 B 级绝缘相比较)，但仍具有相当的反映能力，因此，变压器的整体试验中，利用吸收比的大小能有效的发现绝缘纸板、套管及线圈上的油泥等局部缺陷。因为当这些部分有局部弱点存在时，其传导电流大增，吸收比也就减小。虽然它在反映绝缘受潮程度方面较差，但能有效地发现局部缺陷，故在预防性试验中仍应进行吸收试验。

第二章 泄漏电流試驗

第一节 概 論

泄漏电流試驗的原理与搖表試驗完全相同。不过泄漏电流試驗中所用的直流电源，一般均由高压整流設備供給，用微安表来指示泄漏电流。它比搖表优越的地方是：試驗电压高，并可随意調节。对一定电压等級的被試物施以相应的試驗电压，可使絕緣本身的弱点更易显示出来。同时在升压过程中，可随时監視微安表的指数，以了解絕緣情况。另外，因微安表的量程可以选择，故其讀数較搖表精密。

加直流电压于被試物时，其充电电流(几何加上吸收)会随着时间的增长而逐渐衰减至零，而傳导电流則保持不变。故微安表在加压一定時間后其指示趋于恆定，此时讀取其数值(一般为加压1分钟后讀数)則等于或近于傳导电流。对于良好的絕緣物，其傳导电流与一定的外施电压的关系应为一直接。

但是实际上傳导电流值 I_{np} 与电压 U 的关系曲綫，仅在一定的范围内是类似直綫的，如图 2-1 的 A 点。超过此范围后，离子活动更加剧烈，此时电流的增长要比电压增长快得多，如图 2-1 中 AB 綫段呈弯曲状。到 B 点以后，如

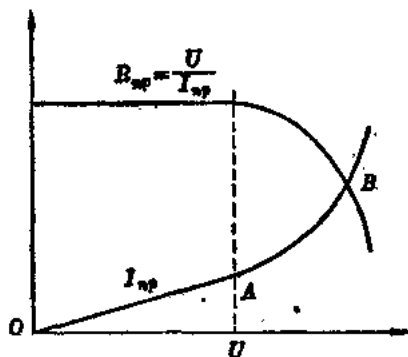


图 2-1 絕緣电阻值 R_{np} 和傳导电流值 I_{np} 与外施电压 U 的关系

果电压再增加，則电流急剧增长，产生更多的損耗，以至絕緣物破坏，发生击穿。

在預防性試驗中，泄漏試驗所加的直流电压，大都在 A 点以下，故对絕緣良好者，其伏安特性应近于直綫关系。当然，絕緣有缺陷(全部或局部)或受潮的現象存在时，則傳导电流将急剧增加，而其伏安特性曲綫就不再成为直綫关系了。因此，泄漏試驗可以分析絕緣有无缺陷和受潮現象存在。在发掘絕緣局部缺陷上，泄漏电流試驗就更具有其特殊的意义了。

第二节 几种試驗接綫的比較

泄漏电流試驗接綫图，根据微安表及整流管所处位置的不同，可有六种接綫方式。但严格的說来只有两种，即按微安表所处位置的不同而分。因为整流管所处位置仅决定于試驗变压器的条件，如試驗变压器为二个高压出头，且一头套管能承受二倍試驗电压而另一头能承受試驗电压时，則可尽量地将高压整流管灯絲接地，因为这样可以降低灯絲变压器的絕緣强度。

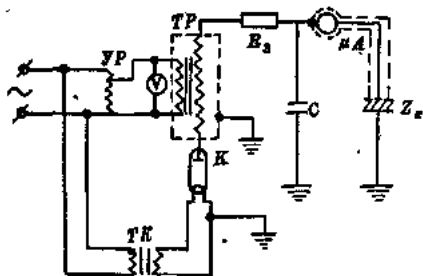


图 2-2 整流管灯絲在低压微安表处于高压时的泄漏試驗接綫图

下面对各种不同接綫的优缺点加以研究：

1. 微安表处于高压端

图 2-2 中的 K 是高压整流管，是发生高压直流电源的主要設備。

TP 是高压試驗变压器。 TK 是灯絲变