

# 电气设备试验技术

保定电力技工学校 王浩 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

### 内 容 提 要

本书共分七章, 主要包括: 发电机、变压器、直流电机、异步电动机、油断路器、电力电缆、电容器、避雷器等电气设备预防性试验项目的试验原理, 试验接线和操作步骤、方法, 试验注意事项及结果分析。

本书为电力技工学校电气检测与试验专业的教材, 也可兼作技工学校电气类其它专业实习用教材。另外, 还可作为现场电气技术工人培训或自学用的教材。



787 × 1092毫米 16开本 7.125印张 158千字  
1995年4月第一版 1995年4月北京第一次印刷  
印数 0001—5070册  
ISBN 7-120-02296-2/TM·579  
定价 6.10元

# 前 言

本书系根据技工学校三年制电气检测与维修专业的《维修电工》课程教材编写。

# 目 录

## 前言

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 电气设备的基本试验 .....        | 1  |
| 第一节 直流电阻的测量 .....          | 1  |
| 第二节 绝缘电阻与吸收比试验 .....       | 3  |
| 第三节 直流泄漏电流和直流耐压试验 .....    | 7  |
| 第四节 介质损失角正切值试验 .....       | 13 |
| 第五节 工频交流耐压试验 .....         | 22 |
| 第二章 同步发电机试验 .....          | 30 |
| 第一节 发电机直流电阻的测量 .....       | 30 |
| 第二节 发电机的绝缘试验 .....         | 31 |
| 第三节 发电机轴承电压的测量 .....       | 37 |
| 第四节 转子绕组交流阻抗和功率损耗的测量 ..... | 38 |
| 第五节 发电机的空载特性试验 .....       | 39 |
| 第六节 发电机的短路特性试验 .....       | 40 |
| 第三章 电力变压器试验 .....          | 42 |
| 第一节 变压器的绝缘试验 .....         | 42 |
| 第二节 绝缘油的电气强度试验 .....       | 49 |
| 第三节 变压器直流电阻的测量 .....       | 51 |
| 第四节 变压器的变比试验 .....         | 54 |
| 第五节 变压器的极性和连接组标号测定 .....   | 59 |
| 第六节 变压器的空载试验 .....         | 64 |
| 第七节 变压器的短路试验 .....         | 69 |
| 第四章 直流电机试验 .....           | 74 |
| 第一节 直流电阻的测量和绝缘试验 .....     | 74 |
| 第二节 绕组极性及其连接正确性的检查 .....   | 76 |
| 第三节 炭刷中性位置的检查 .....        | 78 |
| 第四节 直流发电机的特性试验 .....       | 79 |
| 第五章 异步电动机试验 .....          | 82 |
| 第一节 直流电阻测量和绝缘试验 .....      | 82 |
| 第二节 定子绕组的头尾检查 .....        | 83 |
| 第三节 电动机的空载特性试验 .....       | 85 |
| 第六章 油断路器和绝缘子试验 .....       | 87 |
| 第一节 油断路器试验 .....           | 87 |
| 第二节 高压绝缘子试验 .....          | 91 |
| 第七章 电力电缆、电容器、避雷器试验 .....   | 94 |
| 第一节 电力电缆试验 .....           | 94 |
| 第二节 电力电容器试验 .....          | 97 |

|     |                                  |     |
|-----|----------------------------------|-----|
| 第三节 | FS型避雷器试验.....                    | 100 |
| 第四节 | 有并联电阻的阀型避雷器试验.....               | 102 |
| 附录  | .....                            | 106 |
| 附录一 | 常用高压硅整流二极管技术参数 .....             | 106 |
| 附录二 | 直流微安表的保护装置.....                  | 106 |
| 附录三 | 介质损失角正切值 $\tan\delta$ 的温度换算..... | 107 |
| 附录四 | 电缆绝缘电阻温度换算系数 $K$ , .....         | 108 |

# 第一章 电气设备的基本试验

## 第一节 直流电阻的测量

电气设备因制造不良或运行中发生振动和受到机械应力,可能造成导线断裂、接头开焊、接触不良、匝间短路等缺陷。测量直流电阻的目的,是鉴定设备导线连接的质量,以便发现和消除隐患,保证电气设备的安全运行。

测量直流电阻常用电压降法或电桥法。

### 一、电压降法

电压降法是指在被测电阻上通以直流电流,测量其两端的电压和通过的电流,然后利用欧姆定律 ( $R_x = U/I$ ) 计算出被测的直流电阻值。

#### 1. 试验接线

如图1-1所示,为了减小接线方式所造成的测量误差,测量大电阻时(被测电阻大于电流表内阻200倍以上),应采用图1-1(a)接线,而当测量小电阻时(电压表内阻大于被测电阻200倍以上),应采用图1-1(b)接线。

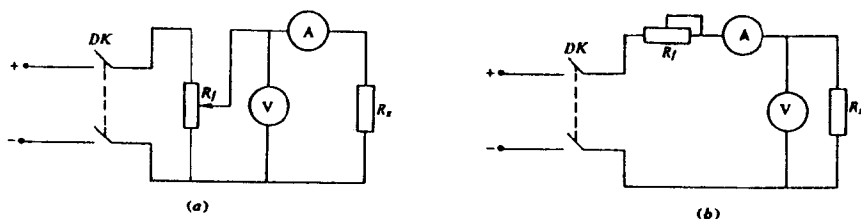


图 1-1 电压降法测直流电阻原理图  
(a) 测量大电阻的接线;(b) 测量小电阻的接线  
DK—电源开关;  $R_f$ —分压电阻;  $R_x$ —被测电阻

#### 2. 仪表选择

- (1) 一般选用0.5级以上的仪表。
- (2) 仪表量程选择应尽量满足指针指示在满刻度的2/3以上的位置。

#### 3. 试验步骤

- (1) 根据被测电阻大小,选择合适的接线方式。
- (2) 测量时,应先合电源开关,待电流稳定后,再搭测电压值。
- (3) 待电压、电流指示稳定后,同时读取电压、电流值。
- (4) 测完后,应先断开电压表回路,再断开电源开关DK。
- (5) 对于每一个被测电阻,最好选用三个不同的电流值分别进行测量。最后以计算

得出的三次电阻值的平均值作为被测电阻值。

(6) 记录被试品的温度。

#### 4. 注意事项

(1) 接线时, 应注意仪表的正、负极性。

(2) 使用的直流电源应电压稳定、容量充足, 以防止由于电流波动产生自感电动势而影响测量的准确性。

(3) 如被测绕组电感较大, 则在改变测量电流时, 须将电压表的测量回路断开, 以免电压表因受自感电动势的冲击而损坏。

(4) 试验电流不得大于被测电阻额定电流的20%, 且通电时间不宜过长, 以减少被测电阻因发热而产生较大误差。

## 二、电桥法

电桥法是指用直流电桥测量直流电阻的方法。直流电桥是测量直流电阻的专用仪器, 具有较高的灵敏度和准确性。

### 1. 直流电桥工作原理

直流电桥工作原理图, 如图1-2所示。电桥工作时, 调节 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 电阻, 使检流计指示为零 (即电桥达到平衡), 此时,  $c$ 、 $d$ 两点等电位,  $U_{ac} = U_{ad}$ ,  $U_{cb} = U_{db}$ ;  $I_x R_x = I_2 R_2$ ,  $I_1 R_1 = I_3 R_3$ ;  $I_x = I_1$ ,  $I_2 = I_3$  六式成立, 由此可导出电桥平衡时, 四个桥臂电阻的关系式为

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$$

即

$$R_x = R_2 \frac{R_1}{R_3}$$

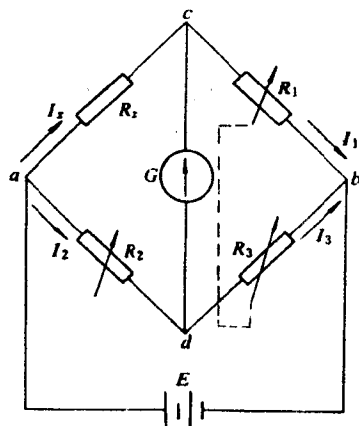


图 1-2 直流电桥测量电阻原理图  
 $G$ —检流计;  $R_x$ —被测电阻;  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ —标准可调电阻;  $E$ —直流电源

为使用方便, 在实际电桥中,  $R_1$ 和 $R_3$ 的比值 $R_1/R_3$ 常配成固定的比值, 称为电桥的比率臂;  $R_2$ 称为电桥的比较臂。测量时, 可先根据对被测电阻的粗略估计, 选取一定的比率臂, 然后调节比较臂使电桥平衡, 则比较臂数值乘上比率臂数值, 即为被测电阻值。

### 2. 电桥型式的选择

按结构不同, 直流电桥可分为单臂电桥和双臂电桥两种型式。一般被测电阻在 $1\Omega$ 以上时, 选用单臂电桥; 在 $1\Omega$ 以下时, 选用双臂电桥。

### 3. 一般测量步骤

(1) 将电桥放置平稳, 先打开检流计锁扣, 调整指针在零位。

(2) 将被测电阻接于电桥相应接线柱上。使用双臂电桥时, 电压线和电流线应分开, 且应使电压线连接点比电流线连接点更靠近被测电阻。

(3) 根据被测电阻过去的测量值, 选择合适的比率臂和比较臂。

(4) 先按下电源按钮,再按下检流计按钮,观察检流计偏转情况。若指针正向(向右)偏转,加大比较臂电阻;反之,减小比较臂电阻。经反复调整,当检流计偏转不大时,可将检流计按钮锁紧,连续调整,直至电桥平衡。

(5) 测量完毕,应先松开检流计按钮,后松开电源按钮,以防被测元件有较大电感时,因电源突然断开产生自感电动势而损坏检流计。

(6) 测量完毕,用锁扣锁住检流计。

(7) 记录测量值和被试品温度。

#### 4. 注意事项

(1) 若不知被试品过去的测量电阻值,可先用万用表粗测其阻值。

(2) 接线要牢固,以防测量时因接线松脱造成电桥极不平衡而损坏检流计。

(3) 当被测元件电感较大时,应先将电源按钮按下一段时间后,再按检流计按钮,以免因自感电动势较大而损坏检流计。

(4) 对含电容的设备进行测量时,应先将其放电一段时间后,再进行测量。

### 三、温度换算

为了便于对测量结果进行比较,直流电阻值均应换算至同一温度下的电阻值。铜线和铝线的直流电阻换算公式为

$$R_2 = R_1 \frac{T + t_2}{T + t_1} \quad (1-1)$$

式中  $R_1$ ——温度  $t_1$  时的电阻值,  $\Omega$ ;

$R_2$ ——换算到  $t_2$  时的电阻值,  $\Omega$ ;

$t_1$ ——测量  $R_1$  时的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_2$ ——换算时需要达到的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T$ ——温度换算常数,铜线  $T = 235$ 、铝线  $T = 225$ 。

对于铜线与铝线,经常换算至  $20^{\circ}\text{C}$  下的直流电阻。

## 第二节 绝缘电阻与吸收比试验

电气设备绝缘电阻与吸收比试验的目的:检查电气设备绝缘是否存在普遍受潮、局部严重受潮、贯穿性缺陷,以初步了解设备绝缘状况。绝缘电阻与吸收比试验,是电气设备绝缘试验的最基本、最常用的试验项目。

### 一、试验原理

#### 1. 绝缘体在直流电压作用下的电流

由电介质理论可知,当绝缘体刚加上直流电压时,产生的电流可分解成三部分电流:

(1) 充电电流  $i_1$ 。它是由绝缘体内介质电子式极化或离子式极化形成的,因与绝缘体的几何尺寸有关,所以又称几何电流。因电子式极化、离子式极化为快速极化,所以该电流迅速衰变为零,见图1-3中的曲线  $i_1$ 。

(2) 吸收电流  $i_2$ 。它是由绝缘体内介质偶极式极化和夹层式极化形成的,这两种极

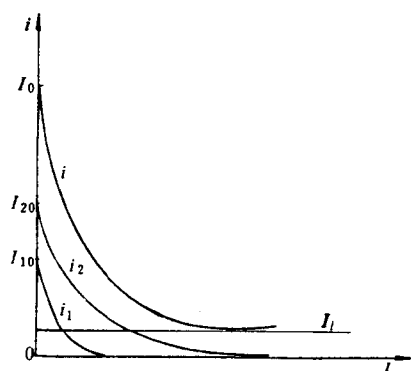


图 1-3 在直流电压作用下，电介质所产生的电流随时间变化的曲线

化，属于缓慢极化，所以吸收电流比充电电流衰减缓慢，见图1-3中的曲线 $i_2$ 。

(3) 泄漏电流 $I_l$ 。它是由绝缘体中极少量载流子（主要是离子）定向运动形成。它在加压后，很快趋于稳定值，即不随加压时间延长而变化，习惯上称为泄漏电流，如图1-3中的 $I_l$ 。

三个电流合成的总电流曲线，如图1-3中所示的曲线 $i$ 。总电流 $i$ 曲线称为吸收曲线。

## 2. 绝缘电阻试验原理

绝缘电阻 $R_j$ 就是加在绝缘体上的直流电压与泄漏电流 $I_l$ 之比，即

$$R_j = U / I_l$$

当试验电压一定时，良好的绝缘体， $I_l$ 很小， $R_j$ 很高；反之，当绝缘体受潮、脏污或局部开裂时，绝缘性能下降，泄漏电流剧增， $R_j$ 显著减小。通过测得的绝缘电阻，可间接表示与时间无关的泄漏电流的大小，以初步了解绝缘状况。

试验时，必须经过一定的加压时间，使充电电流和吸收电流两个分量衰减完毕，使流过绝缘体的电流仅是泄漏电流，才能进行测量。理论上，所需的加压时间是无限长；工程上，一般取1min。

## 3. 吸收比试验原理

绝缘体受潮或有缺陷时， $I_l$ 显著增加，吸收曲线随之发生显著变化，如图1-4(a)、(b)所示。

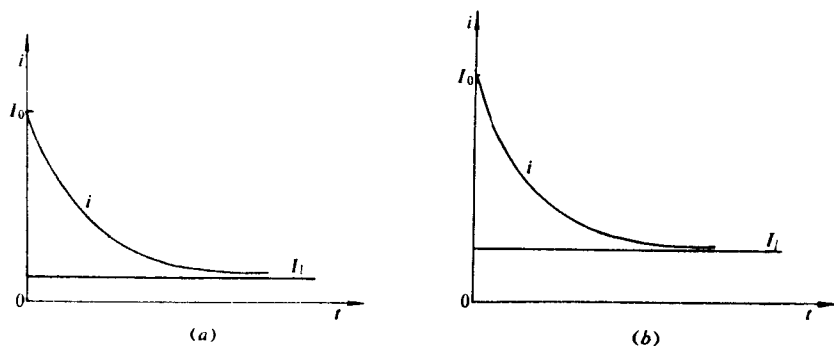


图 1-4 绝缘体在不同状况下的吸收曲线  
(a) 良好绝缘体的吸收曲线；(b) 受潮绝缘体的吸收曲线

由图可见，良好绝缘体的 $I_0/I_l$ 比值大于较差绝缘体的 $I_0/I_l$ 比值。因此，以 $I_0/I_l$ 比值的大小就可以判断绝缘的优劣。将此值变换为

$$\frac{I_0}{I_l} = \frac{U/R_0}{U/R_\infty} = \frac{R_\infty}{R_0} = K$$

式中  $R_0$ ——加压初瞬间视在绝缘电阻,  $M\Omega$ ;

$R_\infty$ ——加压时间无限长时的绝缘电阻,  $M\Omega$ 。

通常, 定义

$$K = R_\infty / R_0$$

为吸收比。因为

$$K = \frac{R_\infty}{R_0} = \frac{I_0}{I_l} = \frac{I_{10} + I_{20} + I_l}{I_l} = 1 + \frac{I_{10} + I_{20}}{I_l} \quad (1-2)$$

式中的  $I_{10}$ 、 $I_{20}$  分别为充电电流及吸收电流的初始值。由式(1-2)可见, 吸收比  $K$  的值大于1, 极限等于1。实际测量  $R_0$ 、 $R_\infty$  是比较困难的, 因此, 绝缘试验中, 给吸收比的工程定义为

$$K = \frac{R_{60''}}{R_{15''}} \quad (1-3)$$

式中  $R_{60''}$ ——加压60s(1min)时的绝缘电阻,  $M\Omega$ ;

$R_{15''}$ ——加压15s时的视在绝缘电阻,  $M\Omega$ 。

$R_{60''}/R_{15''}$  的数值要小于  $R_\infty/R_0$  的值, 但这两个比值分别与绝缘状况优劣的对应关系是一致的, 所以, 工程上按式(1-3)定义吸收比, 并不影响其实际使用。

## 二、试验接线

长期以来, 现场广泛使用摇表进行绝缘电阻与吸收比试验。晶体管兆欧表有很多优点, 目前现场正逐步推广使用。现以电缆为被试品, 介绍用摇表测量电缆绝缘电阻的接线, 如图1-5所示。摇表的“线路”端子(L)和“地”端子(E)分别连接于被试品绝缘的两端。

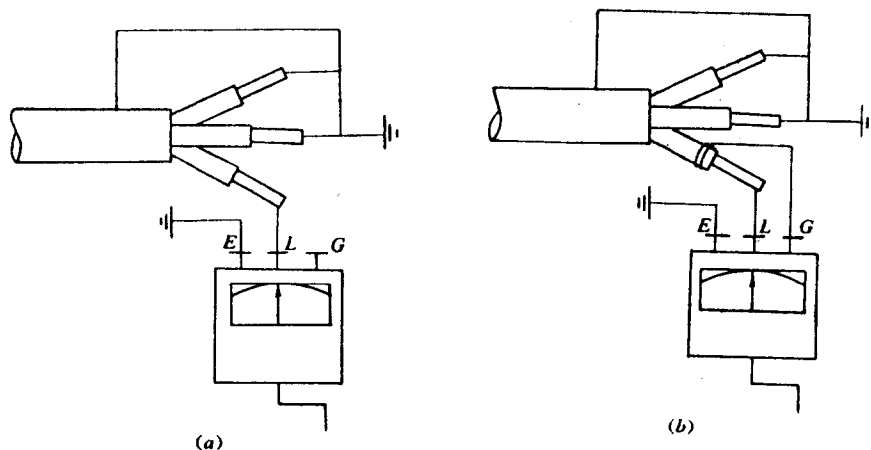


图 1-5 用摇表测电缆绝缘电阻的接线图

(a) 不加屏蔽; (b) 加屏蔽

为避免表面泄漏电流对测量造成误差, 有时应加保护环, 加装方法是用裸导线在靠近与摇表“线路”端子相连相的绝缘上缠绕几圈, 将保护环接到摇表“屏蔽”端子(G)上, 如图1-5(b)所示。

## 三、一般试验步骤

(1) 按摇表内直流发电机电压的不同, 摇表分为500V、1000V、2500V和5000V几种。

使用时,应按被试设备的电压等级选择相应电压种类的摇表。一般额定电压为1000V以下的设备,选用1000V摇表;额定电压为1000V及以上的设备,则选用2500V摇表。

(2) 将摇表放在水平位置,并在额定转速(120r/min)下,观察指针应指在“ $\infty$ ”位置上;将“L”和“E”两端子短接,指针应指在“0”位。否则,应调换和调整。

(3) 拆除被试品的电源及一切对外连线后,应将被试品接地放电,放电时间至少1min,对于电容量较大的被试品至少放电2min。

(4) 用干燥、清洁的柔软布,擦去被试品表面的污垢。

(5) 合理选择并进行接线。

(6) 以额定转速摇动把手,摇表指示逐渐上升,待1min后,读取并记录绝缘电阻值( $R_j$ )。

(7) 做吸收比试验时,应在摇表接地侧装一绝缘良好的刀闸,当摇表达达到额定转速后,合上刀闸,同时开始计算时间,读取 $R_{15}$ 和 $R_{60}$ 值。

(8) 测量完毕,仍使摇表保持转速,待测量引线与被试品分开后,摇表才能停转,以防止被试品反放电而损坏摇表。

(9) 记录被试品温度和空气湿度。

#### 四、一般注意事项

(1) 兆欧表接线柱的引出线不要靠在一起。若引线较长,应设置良好的绝缘支持物。

(2) 测量时,摇表转速应尽量保持额定值,最低不能低于额定转速的80%。

(3) 测量电容量较大被试品的绝缘电阻时,最初充电电流很大,兆欧表指示数值很小,但这并不表明被试品绝缘不良,须待较长一段时间后才能得到正确的结果。

(4) 如测得的绝缘电阻过低时,对能分解者应分部试验,找出绝缘电阻最低的部分。

(5) 注意选择摇表量程。例如,一般额定电压在1000V以上的发电机,良好的定子绝缘,其绝缘电阻多在2500M $\Omega$ 以上,因此,要求选择量程在10000M $\Omega$ 以上的摇表。

(6) 同一被试品的测量结果与其以前的数据相比较时,应为同一电压等级兆欧表测得的结果。

#### 五、影响绝缘电阻的因素

##### 1. 湿度

当空气相对湿度增大时,绝缘物由于毛细管作用,吸收较多的水分,导电率增大,绝缘电阻降低。实践证明,雾雨天气比晴朗天气测出的绝缘电阻明显偏低。

##### 2. 温度

一般绝缘物的绝缘电阻随温度的升高而减小。其原因首先是温度升高时,加速了绝缘物内部的离子运动;绝缘物内部的水分与绝缘物的结合松弛,在外电场的作用下,水分子顺纤维物质呈细长线状伸长,使其电导率增加;此外,绝缘物内含有盐类、酸性物质,它们被水溶解加剧也会增加电导率而降低绝缘电阻。绝缘电阻的变化随绝缘材料的不同而不同,富于吸湿性的材料随温度变化最大。

由于温度对绝缘电阻值影响很大,而且每次测量又难以在同一温度下进行,为了能对

测量结果进行比较，一般都将测量结果换算到同一温度。对 B 级绝缘的发电机，一般应将测得的绝缘电阻值换算至接近运行状态温度 75℃ 时的值，即

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{R_t}{2^{\frac{75-t}{10}}} \quad (1-4)$$

式中  $R_{75^{\circ}\text{C}}$ ——温度为 75℃ 时的绝缘电阻，MΩ；

$R_t$ ——温度为  $t$  时所测得的绝缘电阻，MΩ；

$t$ ——进行测量时的温度，℃。

对于 A 级绝缘的发电机，其绝缘电阻的换算经验公式为

$$R_{t_2} = R_{t_1} \times 10^{a(t_1 - t_2)} \quad (1-5)$$

式中  $R_{t_1}$ ——温度为  $t_1$  时所测得的绝缘电阻值，MΩ；

$R_{t_2}$ ——换算至温度为  $t_2$  时的绝缘电阻值，MΩ；

$a$ ——绝缘物的温度系数。它随绝缘材料的不同而异，A 级绝缘材料取  $a = 1/40$ 。

## 六、试验结果的分析判断

(1) 所测得的绝缘电阻值应不大于《规程》规定值。

(2) 与出厂、交接及历年试验结果进行比较。良好的绝缘，历次测量的绝缘电阻值应相近，否则表明绝缘已受潮或存有某种缺陷。但应注意比较的温度、湿度等试验条件应相同。

(3) 应对同一设备的三相绝缘电阻进行比较。正常情况下，三相绝缘电阻值应相近，如果某相数值很低或者有其它异常，往往是有问题的。一般规定各相绝缘电阻值之比不应大于 2。

(4) 与相同设备的绝缘电阻进行比较。结构、形式相同的设备，其绝缘电阻的大小应大致相等。如个别设备绝缘电阻值特别低，表明绝缘存在问题。

(5) 大修前、后，耐压前、后的绝缘电阻进行相互比较，若有明显差别，也表明绝缘存在问题。

## 第三节 直流泄漏电流和直流耐压试验

### 一、试验原理

#### 1. 直流泄漏电流试验原理

直流泄漏电流试验，就是通过直接测量流过被试品绝缘的直流泄漏电流，鉴定绝缘状况的一种试验。良好绝缘的泄漏电流随外加直流电压的变化曲线，如图 1-6 所示。

常温下，在较低电压范围内，特性曲线  $I_l = f(U)$  近似呈直流上升，且斜率较低，如图 0A 段；超过此范围，因离子活动加剧，此时泄漏电流增加要比电压增加快得

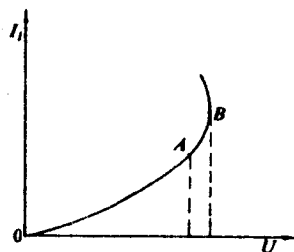


图 1-6 良好绝缘的泄漏电流随直流电压的变化曲线

多,如图 $AB$ 段;到 $B$ 点后,若电压再增加,绝缘将被击穿。

泄漏电流试验所加的电压大都在 $A$ 点以下,故良好的绝缘,其伏安特性曲线近于直线。当绝缘(全部或局部)有缺陷或受潮时,因泄漏电流急剧增加,其伏安特性曲线就不再呈原直线关系。因此,通过泄漏电流试验,可以判断绝缘有无缺陷和受潮。在发掘局部缺陷方面,泄漏电流试验具有特殊的意义。

绝缘电阻值可间接地表示泄漏电流的大小,而泄漏电流试验是直接测量泄漏电流,因此泄漏电流试验和绝缘电阻试验两者原理完全相同。

由于使用设备不同,与绝缘电阻试验相比,泄漏电流试验具有如下特点:试验电压调节灵活,对不同电压等级被试品,施以相应试验电压,试验电压高,容易暴露绝缘缺陷;试验时,通过由小到大分段升压,观察和监视微安表在不同电压下的指示,可及时了解绝缘状况;因测量泄漏电流的微安表的量程可以选择,所以读数精确;可以从泄漏电流的大小和 $I_t = f(U)$ 曲线两个方面判断绝缘状况。

## 2. 直流耐压试验原理

直流耐压试验,是对绝缘施加远大于被试品额定电压值的直流高电压,保持一定时间,观察绝缘是否发生击穿和异常。目的在于考验绝缘体的抗电强度。因试验电路、操作方法,与直流泄漏电流试验相同,所以一般两者结合进行,在泄漏电流试验的最后,按《规程》规定进行直流耐压试验。

与工频耐压试验(后面讲)相比,直流耐压试验具有如下优点:首先是试验设备容量小,原因是在进行直流耐压试验时,流过试验变压器的电流仅为绝缘物中的泄漏电流(不含交流作用下的电容电流),数值小。其次,绝缘物中的局部缺陷易暴露,原因是在直流电压作用下绝缘物中的电压按(绝缘)电阻分布,当绝缘有局部缺陷时,电压将主要分配在与有缺陷绝缘部分相串联的未损坏绝缘上。再次,对绝缘损伤小,原因是在直流电压作用下绝缘物中的极化损耗和气泡电离损耗大大减小,绝缘在较长时间、较高直流电压作用下,不会受到大的损伤。最后,因对绝缘损伤小,所以可以施以比工频耐压数值更高的试验电压,有利于发现绝缘缺陷。

## 二、试验接线及仪器设备

### 1. 试验接线

前些年,直流试验普遍采用真空整流二极管获取直流高电压。因为,利用高压硅整流二极管进行整流,具有接线简单、使用方便、试验时间短等优点,所以,目前现场已普遍采用高压硅整流二极管作为整流元件,下面仅介绍这种试验电路。

按微安表所处的位置不同,泄漏电流试验接线只有微安表接于试验变压器二次侧接地端和微安表接于试验变压器二次侧非接地端两种基本类型。

(1) 微安表接于试验变压器二次侧接地端的接线,如图1-7所示。试验电路的工作过程是:试验变压器 $B$ 高压绕组两端的工频交流电压,经过高压硅整流二极管 $D$ 进行半波整流,使被试品 $Z_x$ 两端获得直流高电压,并产生泄漏电流 $I_t$ ,通过微安表进行测量。滤波电容 $C$ ,用以减小直流高电压的波动性。保护电阻 $R$ ,用以限制被试品击穿时的短路电流,保护试验变压器和高压硅整流二极管。静电电压表 $V_2$ ,用以直接测量被试品上的直流高电压。电压表

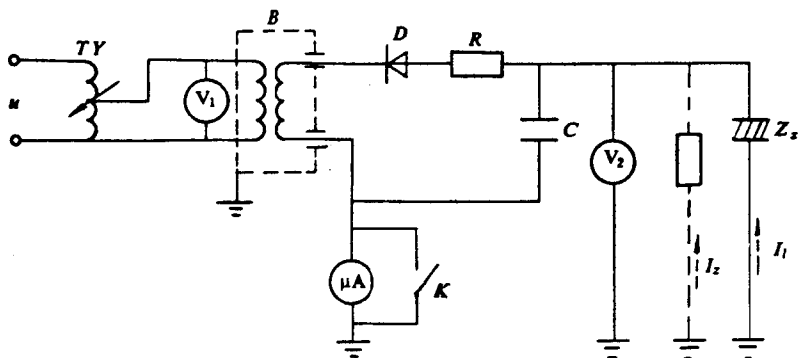


图 1-7 微安表接在试验变压器二次侧接地端的接线

TY—单相调压器；B—试验变压器；D—高压硅整流二极管；R—限流电阻；C—稳压电容器； $\mu A$ —微安表；K—短路开关； $Z_x$ —被试品； $V_2$ —静电电压表； $V_1$ —低压测电压表

$V_1$  用以在低压侧监视和间接测量被试品的直流高电压。短路开关  $K$ ，用以保护微安表。这种接线的优点是因微安表接在接地端，试验安全、读数方便；缺点是由于高压引线对地的杂散电流  $I_z$ （包括引线对地的泄漏电流、电晕电流等）及试验变压器对地的泄漏电流（图1-7中未画出）的影响，测量误差大。

（2）微安表接于试验变压器二次侧非接地端的接线，如图1-8所示。这种接线的优点是因微安表接在非接地侧且靠近被试品，从微安表到被试品间又加装了屏蔽线，所以微安表的读数不受试验变压器对地泄漏电流和高压引线杂散电流的影响。缺点是因微安表所处位置对地电压很高，所以改变量程和读数均不方便，要求采取的安全措施较多。

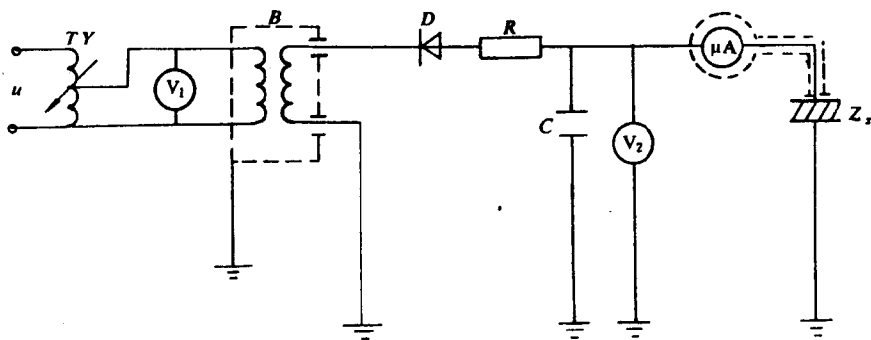


图 1-8 微安表接于试验变压器二次侧非接地端的接线

## 2. 仪器设备的选择

（1）试验变压器  $B$ 。在现场常用电压互感器代替试验变压器。电压互感器是一个两极不接地的试验电源，可根据接线的需要，灵活使用。在正常情况下，因被试品直流泄漏电流很小，因而所需试验变压器容量不大，一般电压互感器都能满足。若电压互感器容量不能满足要求，可利用专用试验变压器。

(2) 高压硅整流二极管 $D$ 。高压硅整流二极管是由若干个硅整流二极管串联后,再由环氧树脂浇铸封装而成,环氧树脂起绝缘及固定作用。高压硅整流二极管习惯上又称硅堆。高压硅整流二极管外形为条形长方体,两端是电极引线,外表标有二极管的图形符号,表明高压硅整流二极管两个电极的极性。此外,还标有额定反峰电压和额定电流(即最大允许平均整流电流)。例如:2DL-50/0.015,表明该高压硅整流二极管反峰电压为50kV,额定电流为0.015A。由试验电路不难理解,选择高压硅整流二极管时,其额定反峰电压应大于试验变压器的二次侧最高电压有效值的 $2\sqrt{2}$ 倍,额定电流应大于最高试验电压下被试品上可能出现的最大泄漏电流的2~3倍。常用高压硅整流二极管的主要技术参数详见附录一。

(3) 稳压电容器 $C$ 。稳压电容器 $C$ 的电容量一般选择为 $0.01\sim 0.1\mu\text{F}$ ,其耐压强度应能承受最大试验电压值。若耐压强度不够,可将几个电容器串联使用,但应计算各电容器间的电压分布,使每一个电容器实际承受的电压都应小于其耐压值。当被试品本身的电容量较大时(如发电机、电缆等),可不另接电容器;但当被试品本身的电容量较小时(如避雷器等),必须接入容量足够大的稳压电容器,否则将引起不允许的误差。

(4) 保护电阻 $R$ (又称限流电阻)。保护电阻 $R$ 值可按高压硅整流二极管短时允许电流选择,一般按 $10\Omega/\text{V}$ 选取。

(5) 静电电压表 $V_2$ 。静电电压表 $V_2$ 的量程应大于被试品所加最大直流试验电压。

(6) 直流微安表 $\mu\text{A}$ 。直流微安表 $\mu\text{A}$ 的准确度等级最低应为0.5级,其量程应大于被试品可能出现的最大泄漏电流。

(7) 电压表 $V_1$ 。电压表 $V_1$ 的量程,应大于最高直流试验电压时试验变压器一次电压值。

### 三、试验方法、步骤

(1) 根据被试品的绝缘状况,查阅《规程》规定,确定直流试验电压值。若直流泄漏电流试验与直流耐压试验结合进行,则应以直流耐压试验电压值作为最高试验电压。

(2) 根据试验电压大小、现场设备条件,选择合适的试验设备和接线方式,画出接线图。

(3) 首先结合场地条件,进行试验设备的合理布置,然后接线。合理布置的原则应是安全可靠、读数操作方便、接线清晰、高低压应尽量有明显界限。接线完毕,由第二人进行检查,应做到接线正确、仪表量程选择合适、调压器处于零位、微安表短路刀闸应闭合。

(4) 正式试验前,可将最高试验电压分成4~5段,在不接被试品的情况下逐段升压“空试”,记录各试验电压下流过微安表的杂散电流值。“空试”结束,退下高压,拉开电源刀闸。

(5) 接上被试品,按第(4)步的对应分段电压,逐段升压,并相应读取泄漏电流值,每升压一次,待微安表指示稳定后,再读取泄漏电流值(一般在加压1min后读)。最后升到最高试验电压值,按《规程》所要求的持续时间,读取泄漏电流。用分段读取的泄漏电流值减去相应“空试”泄漏电流值,即为流过被试品的泄漏电流。

(6) 试验完毕,先将调压器退回零位,切断调压器电源,然后将被试品经电阻充分

放电，放电时间不少于2min。放电时，应使用绝缘棒，可根据被试品放电火花的大小，大概了解绝缘状况。

(7) 记录整理试验数据，记录内容包括被试品的名称、编号、铭牌规范、运行位置、温度、环境温度、试验数据。绘制  $I_l = f(U)$  曲线。

#### 四、注意事项

(1) 如微安表接在高压侧，则支持微安表的绝缘支架要牢靠，以防操作时发生摇摆和倒塌。

(2) 微安表是贵重的精密表计，其过载能力很小，为了防止微安表损坏，应设置专门的保护电路，详见附录二。

(3) 与被试品连接的试验用导线长度，应尽可能短；对地及其它接地部分应有足够的绝缘距离，以减小杂散电流。

(4) 为了保护微安表，在升压过程中应合上微安表短路刀闸，读取泄漏电流时再打开短路刀闸。

(5) 升压时，速度要均匀、缓慢。

(6) 对能分相试验的设备，必须分相试验，以便比较各相试验结果。

(7) 试验中出现闪络、击穿等异常情况时，应立即降压，切断电源，查明原因，进行处理后再继续试验。

(8) 微安表指示的异常分析及处理如下。

1) 指针抖动：这可能是微安表有交流分量流过。若不影响读数，可取平均值；若影响读数，应检查微安表保护装置或加大滤波电容。

2) 指针突然摆动：若向小的方向摆动，多是电源电压突然下降（如电网突然投入大负载时，即发生此情况），若向大的方向摆动，多是试验回路或被试品内有断续放电或闪络。

3) 指针周期性摆动：这可能是试验回路存在反充电或因被试品绝缘内存在周期性放电。

4) 指针读数过大：应先检查试验接线是否正确，屏蔽是否完好，再检查被试品是否有异常，以免发生误判断。

5) 指示数值过小：应先检查接线是否正确，再检查微安表保护有无分流。

#### 五、影响试验结果的因素

##### 1. 不同的试验接线

这种影响已在试验接线讨论中作了简介。

##### 2. 高压连接导线

当高压连接导线表面电场强度大于20kV/cm时，沿导线表面的空气发生游离，对地有一定的电晕电流。另外，高压引线对地还要产生漏导电流。增大高压连接导线直径、减少尖端、增加对地距离，都可以减小高压连接导线对地的杂散电流。

##### 3. 温度

温度对试验结果的影响极为显著（原因与温度对绝缘电阻的影响相同）。实践证明，B级绝缘的发电机，温度每升高10℃，泄漏电流增加0.6倍。对任何温度下的泄漏电流，应用

下式换算为75℃时的泄漏电流,即

$$I_{75℃} = I_t \times 1.6^{\frac{75-t}{10}} \quad (1-6)$$

式中  $t$  ——试验时,被试品的温度;

$I_t$  ——温度为  $t$  时,测量的泄漏电流;

$I_{75℃}$  ——75℃时的泄漏电流。

A级绝缘的被试品,其泄漏电流的温度换算式为

$$I_{t2} = I_{t1} e^{a(t_2 - t_1)} \quad (1-7)$$

式中  $I_{t1}$  ——在温度为  $t_1$  时的泄漏电流;

$I_{t2}$  ——换算至温度  $t_2$  时的泄漏电流;

$a$  ——温度系数,  $a = 0.05 \sim 0.06/℃$ 。

泄漏电流试验最好在被试品温度为30~80℃范围内进行,因为在此温度范围内,被试品绝缘的不同状况,其泄漏电流变化较为显著,而在低温时变化较小。故对电机而言,应在运转刚停下后进行试验,或在冷却过程中在几种不同温度下进行测量。在低温(尤其在0℃以下)时,是得不到正确测量结果的。

#### 4. 表面泄漏电流

被试品的泄漏电流包括体积(内)泄漏电流和表面泄漏电流两部分。表面泄漏电流的大小,主要决定于被试品的表面受潮、脏污等情况,若绝缘没有缺陷,而仅绝缘表面受潮、脏污,并不会影响绝缘体内的抗电强度。在泄漏电流试验中,所要求测量的是绝缘体积(内)的泄漏电流。在恶劣的条件下,表面泄漏电流比体积泄漏电流可能大得多,因而可能大大影响其试验结果,必须设法消除。消除办法,一是尽量在晴朗天气试验,使被试品表面保持干燥、清洁,二是加装屏蔽环。

#### 5. 电源电压的非正弦波形

要求泄漏电流试验的交流电源电压为正弦波电压,若为非正弦波电压,将对试验产生不良影响。对试验影响最大的是尖顶波电压。当整流设备输入非正弦波电压时,如果仍通过测量交流电压换算求得直流试验电压,就会造成误差。

实践证明,自耦调压器输出电压波形畸变小,所以在容量满足的前提下,应尽量采用自耦调压器调压。另外,为了使电源的电压波形接近正弦波,最好选用交流电源的线电压,而不用相电压。

#### 6. 升压速度

对电容量较大的被试品(如电容器、电缆)进行泄漏电流试验时,吸收电流较大。若升压速度较快,读取的泄漏电流中仍包含较大的吸收电流,将造成测量误差,有时甚至导致判断错误。因此,为了准确测量泄漏电流的数值,应采取逐级加压方式,即在每两个试验电压间有几次短暂停留时间,同时应限定升压速度,保证有足够的加压停留时间。对于电容量较小的设备,因吸收现象较弱,升压速度对试验结果不会产生大的影响。

### 六、对试验结果的分析判断

(1) 将试验结果与《规程》中的规定值进行比较。一般说来,这种判断方法能说明