



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

高电压技术 实训教程

苏 群 万军彪 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

高电压技术 实训教程

苏 群 万军彪 编
张 红 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书系统介绍了高电压技术中的基本试验和检测方法,详细叙述各类试验的目的和基本原理,提供了大量试验的接线方法和操作步骤,采用了大量的试验实例进行案例分析,并对常用新型试验仪器的使用方法进行了重点介绍。本书共八章,内容有绝缘电阻的测量,泄漏电流的测量,介质损耗的测量,交、直流耐压试验,局部放电的测量,绝缘在线监测,电力设备的红外检测,接地电阻的测量等。

本书可供电力相关专业的高职、高专学校的学生使用,也可供电力行业相关岗位职工技能培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

高电压技术实训教程/苏群,万军彪编. —北京:中国电力出版社, 2010.8

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5123-0702-5

I. ①高… II. ①苏… ②万… III. ①高电压—技术—职业教育—教材 IV. ①TM8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 142539 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://jc.cepp.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 9 月第一版 2010 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 235 千字

定价 16.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

职业教育和技能培训的教学目标是培养出掌握一定理论基础、动手能力强的应用型技术人才，这就要求我们的教材能联系电力生产实际、细化实操环节、加强实训教学。

近年来，随着我国经济社会的发展，社会对电力的需求越来越大，特高压、超超临界机组已成为电力系统的发展方向，对高压电气设备进行试验和检测，能及时有效地诊断设备的缺陷，保证电力系统安全稳定运行。近年来，高电压试验与诊断出现了很多新技术、新方法、新产品，本书力图紧密联系当前电力系统生产实际，对常用的试验进行了详细介绍，并侧重于实际操作和诊断分析，通过丰富的实例深入浅出、通俗易懂地阐述了从方法、接线、测量到结果分析的试验全过程，便于读者学习后能在实践中完成从原理到试验工作的零接轨。

本书共分八章，第一章至第六章、第八章由苏群编写，第七章由万军彪编写，第一章到第五章、第八章中的试验实例由万军彪提供。本书采用了江西电力科学研究院以往的试验案例，在此对参与相关试验的人员深表谢意。

由于作者水平有限，本书还参考和引用了许多前辈的试验数据和研究成果，同时得到了几个知名生产厂家的大力支持和帮助，在此向他们表示衷心的感谢，也欢迎前辈和读者们多提宝贵意见。

作者

2010年9月

目 录

前言

第一章 绝缘电阻的测量	1
第一节 绝缘电阻的概念及测量绝缘电阻的意义	1
第二节 试验接线及试验步骤	2
第三节 试验实例	4
第四节 绝缘电阻试验案例分析	8
第五节 新型测试仪器 XD2905 绝缘电阻测试仪设备简介	10
第二章 泄漏电流的测量	16
第一节 泄漏电流的概念及测量泄漏电流的意义	16
第二节 试验接线及试验步骤	17
第三节 试验实例	20
第四节 泄漏电流试验案例分析	23
第五节 新仪器设备介绍	26
第三章 介质损耗的测量	28
第一节 介质损耗的概念及测量介质损耗的意义	28
第二节 介质损失角正切值试验的接线及试验步骤	31
第三节 介质损耗试验实例	34
第四节 试验案例分析	40
第五节 新型试验仪器设备介绍	42
第四章 交、直流耐压试验	44
第一节 交、直流耐压试验的目的意义	44
第二节 交流耐压试验接线及试验步骤	46
第三节 直流耐压试验接线及注意事项	48
第四节 试验实例	52
第五节 耐压试验案例分析	58
第六节 新产品介绍	62
第五章 局部放电的测量	68
第一节 局部放电的类型	68
第二节 局部放电的参数及其影响因素	71
第三节 局部放电测量	74
第四节 局部放电试验放电位置测定实例	78
第五节 抗干扰技术	82
第六节 几种设备的局部放电测量试验电路的选择	85

第七节 局部放电试验案例分析	87
第八节 产品介绍	91
第六章 绝缘在线监测	95
第一节 绝缘在线监测的必要性	95
第二节 运行及绝缘参数的在线监测	96
第三节 不同电气设备的在线监测	101
第七章 电力设备的红外检测	113
第一节 红外检测技术概述	113
第二节 红外测量的起源及基本原理	113
第三节 红外测量仪器的发展及分类	116
第四节 电力设备红外诊断技术	119
第五节 电力设备红外现场测量方法及标准	123
第六节 典型红外成像仪的特点及使用方法	128
第七节 电力设备红外测量及故障诊断实例	133
第八章 接地电阻的测量	136
第一节 接地的必要性	136
第二节 接地电阻的定义	139
第三节 接地电阻的测量	140
第四节 测量土壤电阻率的方法	143
第五节 测量接触电压、电位分布和跨步电压	145
第六节 接地网试验案例分析	146
第七节 新产品介绍	148
参考文献	150

绝缘电阻的测量

第一节 绝缘电阻的概念及测量绝缘电阻的意义

一、绝缘电阻的基本概念

在图 1-1 中, 相串联的两层不同均匀程度的介质夹在平行板电极之间, 合上开关 S, 在介质上加上直流电压 E , 流过介质的电流 i 与时间 t 的关系如图 1-2 所示。电流的这种变化规律是由加压后介质内所发生的物理过程引起的。加压后, 两极间真空和无损极化(电子式极化和离子式极化)要在外回路造成电流 i_c 。由于无损极化是瞬时完成的, 故 i_c 具有瞬时脉冲性质。除无损极化外, 介质还会发生有损极化(偶极子转向极化和夹层极化), 此类极化会在外回路形成吸收电流 i_a 。因有损极化(主要是夹层极化)进行得非常缓慢, 所以 i_a 的衰减也比较慢。电介质还存在电导, 它会在外回路造成恒定的电流 i_g , 把由绝缘介质的电导引起的这一恒定电流称为泄漏电流, 通常用 I 表示。上述三个电流量叠加, 即为外回路电流 i 。

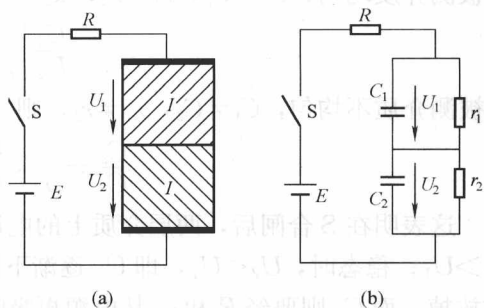


图 1-1 夹层式极化物理过程示意图

(a) 示意图; (b) 电路分析图

电介质的等值电路如图 1-3 表示。由于 $R = \frac{U}{i}$, 绝缘介质在直流电压作用下, 在电流随时间的变化由大到小最后恒定于泄漏电流值时, 绝缘介质所呈现的电阻值就会从小到大恒定于一个绝缘电阻值。把对应于泄漏电流值的那个绝缘介质的电阻值称为介质的绝缘电阻, 用 R_∞ 表示。显然, 极化现象越明显, 回路电流曲线的弯曲度越大, 与之相对应的电阻值曲线的弯曲度也会越大; 而测出的绝缘介质的电阻值也会随时间的变化而发生变化, 但介质的绝缘电阻 R_∞ 为一恒定值。

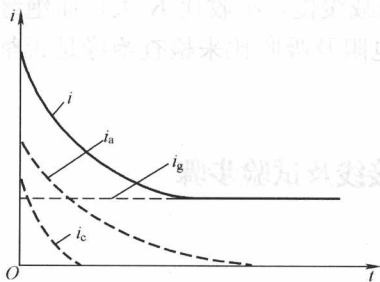


图 1-2 直流电压下流过介质的电流与时间的关系

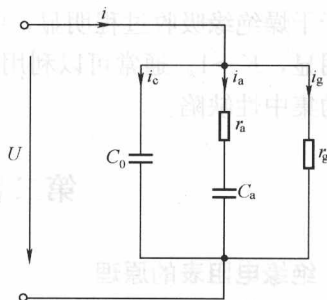


图 1-3 电介质的等值电路

二、绝缘电阻与吸收比

对于单一的绝缘体(如瓷质或玻璃绝缘子、塑料、酚醛绝缘板材料及棒材等), 在直流电压作用下, 介质内发生的电子式极化、离子式极化过程等持续时间很短, 其电导电流瞬间

即可达稳定值,所以测量这类绝缘体的绝缘电阻时,也很快就达到了稳定值。而在高压工程上用的设备内绝缘,大部分是夹层绝缘(如变压器、电缆、电机等)。夹层绝缘在直流电压作用下会产生多种极化,形成吸收电荷现象。下面以双层介质为例说明吸收现象,如图 1-1 所示。在双层介质上施加直流电压,当 S 刚合上瞬间,电压突变,这时层间电压分配取决于电容,即

$$\left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{t=0^+} = \frac{C_2}{C_1}$$

而在稳态 ($t \rightarrow \infty$) 时,层间电压取决于电阻,即

$$\left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{t \rightarrow \infty} = \frac{r_1}{r_2}$$

若被测介质均匀, $C_1 = C_2$, $r_1 = r_2$, 则

$$\left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{t=0^+} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{t \rightarrow \infty}$$

若被测介质不均匀, $C_1 \neq C_2$, $r_1 \neq r_2$, 则

$$\frac{C_2}{C_1} \neq \frac{r_1}{r_2}, \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{t=0^+} \neq \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{t \rightarrow \infty}$$

这表明在 S 合闸后,两层介质上的电压要重新分配。若 $C_1 > C_2$, $r_1 > r_2$, 则合闸瞬间, $U_2 > U_1$; 稳态时, $U_2 < U_1$, 即 U_2 逐渐下降, U_1 逐渐增大, C_2 已充上的一部分电荷要通过 r_2 放掉, 而 C_1 则要经 R 和 r_2 从电源再吸收一部分电荷, 这一过程称为吸收过程。吸收电流随时间增长而衰减, 其衰减速度取决于介质的电容和电阻。

可以看出,对于夹层式极化,从开始到完成需要相当长时间,显然,如果要测量介质的绝缘电阻,一定要等极化结束后,极化现象对绝缘介质的绝缘电阻值没有影响时再测。所以规程上规定加压后 60s 所测得的电阻值为绝缘电阻值,即

$$R_{\infty} = R_{60''} \quad (1-1)$$

另外,越是好的绝缘介质,吸收现象就越明显,绝缘电阻曲线的弯曲度就越大,所以规程还规定加压后 60s 和 15s 时测得的绝缘介质的电阻值之比为吸收比。即

$$K = \frac{R_{60''}}{R_{15''}} \quad (1-2)$$

对于干燥绝缘吸收过程明显,吸收电流衰减缓慢,吸收比 K 大;而绝缘受潮后,吸收过程不明显, $K \rightarrow 1$ 。通常可以利用测量绝缘电阻及吸收比来检查绝缘是否整体受潮,有无贯通性的集中性缺陷。

第二节 试验接线及试验步骤

一、绝缘电阻表的原理

绝缘电阻是反映绝缘性能的最基本的指标之一,通常使用绝缘电阻表(俗称摇表)来测量绝缘电阻。

图 1-4 所示是绝缘电阻表的原理接线图。绝缘电阻表是利用流比计的原理,它有两个相互垂直并固定在一起的线圈,即电压线圈 L_V 和电流线圈 L_A , 它们处在同一个永久磁场中。端子 E 接在被试品的接地端、外壳或法兰等处,端子 L 接被试品的另一极。摇动手摇

发电机，产生一定的直流电压。于是，在电压线圈 L_V 中将流过电流 i_V ，与电压成比例。 i_A 经套管绝缘流到芯柱再回到线端 L 将流过电流线圈 L_A ，这个电流反映了被测绝缘中的泄漏电流。这两个电流流经各自的线圈时所产生的转矩的方向是相反的，在两转矩差值的作用下，线圈带动指针旋转，直到两个转矩平衡为止。此时指针偏转角度 α 只与两电流的比值 i_V/i_A 有关，而 i_V 又与电压成比例，所以偏转角 α 就反映了被测绝缘电阻的大小。

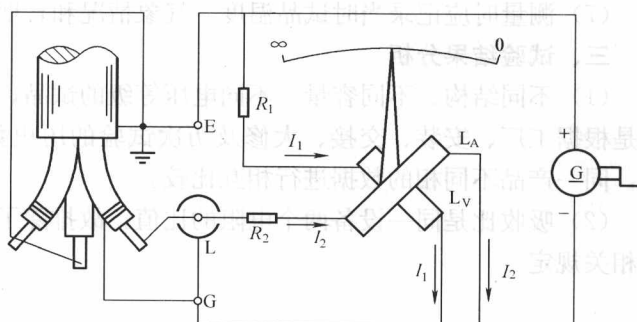


图 1-4 绝缘电阻表原理接线图

如果没有端子 G，则电缆接地外表面的泄漏电流也将流过线圈 L_A ，此时，绝缘电阻表的指示就将反映电缆总的绝缘电阻（包括体积绝缘电阻和表面绝缘电阻）。如果要单独测量电缆的体积绝缘电阻，则应把 G 接于电缆外皮，这样电缆外表面的泄漏电流就通过 G 直接返回发电机负极，只有通过体积绝缘电阻的泄漏电流才流经电流测量线圈，从而反映到指针的偏转中去，这样便只测得了体积绝缘电阻。

二、绝缘电阻测试试验步骤

在使用绝缘电阻表测量试品时一定要注意选择合适的绝缘电阻表，通常绝缘电阻表的额定电压有 500V，1000V，2500V，5000V 等，规程规定，对额定电压为 10kV 及以上的电力设备均用 2500V 绝缘电阻表测量。

试验步骤如下：

(1) 断开被试设备的电源及一切外接线，将被试品对地充分放电，容量较大的放电不得少于 2min。

(2) 用清洁干净的软布擦去被试品表面污垢。

(3) 将绝缘电阻表水平放置，检查其是否能正常工作，方法是：

1) 摇动手柄到额定转速（约 120r/min），此时指针应指向“∞”。

2) 用导线短接 L、E，慢慢摇动手柄，指针应指向零（注意：摇动手柄的转速太快会损坏表针）。

3) 将被测试品的地线接于绝缘电阻表，同时将被试品的非测量部分短接接地，被试品的另一引线不连至 L 端，将手柄空摇至额定转速，指针应指向“∞”，这时表明绝缘电阻表可正常工作。停摇后，将 L 引线接到被试品上。如可能产生表面泄漏电流，应加屏蔽，接在绝缘电阻表 G 端。

(4) 以 120r/min 的均匀速度转动绝缘电阻表，待指针稳定后读取绝缘电阻值。

(5) 测吸收比时，应从绝缘加上全部额定电压后才开始计时，因此，可在绝缘电阻表接地侧装一绝缘良好的刀闸，当绝缘电阻达到额定转速时合上刀闸，同时开始计时，在 1min 内，记录 15s 和 60s 时的读数，取 60s 时读数为绝缘电阻值。

(6) 测量完毕后，应立即断开相线，然后再停止转动手柄，以免被试品电容电流反充而损坏绝缘电阻表，特别是试验大容量设备时更要注意。最后将被试品放电，不少于 2min。

(7) 测量时应记录当时试品温度、气象情况和日期。

三、试验结果分析

(1) 不同结构、不同容量、不同电压等级的试品，其绝缘电阻有很大差异。通常绝缘电阻是根据工厂、安装、交接、大修及历次试验的历史数据进行相互比较；或将同期同型产品，同一产品不同相的数据进行相互比较。

(2) 吸收比是同一设备两个电阻的比值，故排除了绝缘结构几何尺寸的影响。规程做出了相关规定。

第三节 试验实例

一、变压器绝缘电阻及吸收比的测量

1. 变压器绝缘电阻和吸收比测试的意义

测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数，对检查变压器整体的绝缘状况意义重大。具有较高的灵敏度，能有效地检查出变压器绝缘整体受潮情况、部件表面受潮或脏污情况以及贯穿性的集中缺陷。例如，各种贯穿性短路、瓷件破裂、引线接壳、器身内有铜线带桥等原因引起的半贯通性或金属性短路等。经验表明，变压器绝缘在干燥前后绝缘电阻的变化倍数比介质损耗因数变化大得多。

2. 测量顺序、部位及使用的仪表

测量绕组绝缘电阻时，应依次测量各绕组对地及和其他绕组间的绝缘电阻值。被测绕组各引线端应短路，其余各非被测绕组都短路接地。测量的顺序和具体部位见表 1-1。

表 1-1 测量顺序和部位

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

注 1. 顺序号为 4 和 5 的项目，只针对 15 000kVA 及以上变压器。

2. 括号内项目必要时才做。

测量绝缘电阻时，采用空闲绕组接地的方式，其主要优点是可以测出被测部分对接地部分和不同电压部分间的绝缘状态，且能避免各绕组中剩余电荷造成的测量误差。实测表明，测量绝缘电阻时，非被测绕组接地比接屏蔽时的测量值普遍低一些。

为避免绕组上残余电荷导致测量误差偏大，测量前应将被测绕组与油箱短路接地，其放电时间应不少于 2min。测量刚停止运行的变压器的各项指标时，为使油温与绕组温度趋于相同，应在变压器自电网断开 30min 后，再测量绝缘电阻等，并以变压器上层油温作为绝缘温度。对于新投入或大修后的变压器，应在充满合格油并静置一定时间，待气泡消除后，方可进行试验。

测量绝缘电阻时,对额定电压为 1000V 以上的绕组,用 2500V 绝缘电阻表测量,其量程一般不低于 10 000M Ω ;对额定电压为 1000V 以下的绕组,用 1000V 或 2500V 绝缘电阻表测量。

3. 综合判断

绝缘电阻在一定程度上能反映绕组的绝缘情况,但是它受绝缘结构、运行方式、环境和设备温度、绝缘油的等级状况及测量误差等因素的影响很大,有统计资料表明,由不同变压器厂家制造的同一电压级、同样容量、同一规格的电力变压器,其绝缘电阻值有时相差甚大。因此,很难规定一个统一的判断标准,而往往强调综合判断、相互比较。《规程》规定,绝缘电阻换算至同一温度下,与前一次测试相比应无明显变化。为便于综合判断和相互比较,参考有关资料提出下列数据供参考。

(1) 在安装时,绝缘电阻值 (R_{60°) 不应低于出厂试验时绝缘电阻测量值的 70%。

(2) 在预防性试验时,绝缘电阻 R_{60° 不应低于安装或大修后投入运行前的测量值的 50%。对 500kV 变压器,在相同温度下,其绝缘不小于出厂值的 70%,20 $^\circ$ C 时,最低阻值不得小于 2000M Ω 。

温度对绝缘电阻有很大的影响,当温度增加时,绝缘电阻值将按指数规律下降,为便于比较各次测量所得的数据,最好能在相近的温度下进行测量,测量温度应以顶层温度为准,当测量温度不同时,应对测量结果进行修正。

4. 绝缘电阻表的屏蔽测试法

若通过比较测量结果发现某一绝缘电阻低于允许值或降低得比较多,可利用绝缘电阻表屏蔽法检出变压器绝缘低劣的部位。例如,某主变压器在事故后的中压绕组和低压绕组数值与安装时是相近的,但高压绕组对中压、低压绕组及外壳的绝缘电阻显著降低了。采用屏蔽法可具体判断出是高压对中压、高压对低压或是高压对地的绝缘性能低。采用屏蔽法的接线图如图 1-5 所示,由图可见,高压绕组加压,中压与低压屏蔽,外壳接地。这时绝缘电阻 R_{12} 、 R_{13} 中没有电流流过,相当于这些绝缘电阻值为无穷大。而在 R_{20} 、 R_{30} 中虽有电流流过,但这些电流并不经过电流测量线圈。换言之,测量线圈中流过的电流仅反映流过绝缘电阻 R_{10} 的电流。同理可以测出 R_{12} 、 R_{13} 。从各种测量接线及其测量结果发现:高压绕组对外壳的绝缘电阻最低,吸收比也不满足要求,而中压、低压绕组的绝缘电阻较高,吸收比也满足要求。经过进入箱内检查,确实是高压绕组对铁芯的绝缘最差。

二、发电机定子绕组绝缘电阻及吸收比的测量

1. 发电机定子绕组绝缘电阻及吸收比测量的目的

测量发电机定子绕组绝缘电阻的目的,主要是判断绝缘状况,能够发现绝缘严重受潮、脏污和贯穿性的绝缘缺陷。

测量发电机定子绕组的吸收比,主要是判断绝缘的受潮程度。由于定子绕组的吸收现象显著,所以测量吸收比对反映绝缘受潮是较为灵敏的。

发电机定子绕组的绝缘电阻受很多因素的影响,主要有测量电压、测量时间、温度、湿度、绝缘材料的质量、尺寸等。由于这些因素的影响,使绝缘电阻的测量数值较为分散,所以《规程》

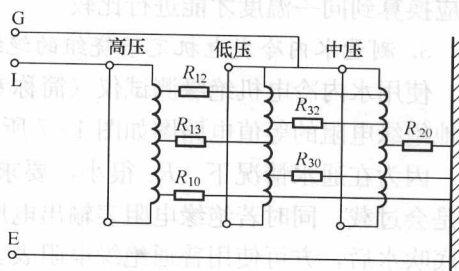


图 1-5 绝缘电阻表采用屏蔽法时的接线图

中对定子绕组值未作规定, 并采用吸收比 $R_{60''}/R_{15''}$ 来进行分析判断, 但由于发电机定子绕组电容及介质初始极化状况的差异, 有时对试验值会带来一定的影响。所以《规程》推荐采用极化指数 $R_{600''}/R_{60''}$ 来分析定子绕组的绝缘性能, 它不仅能更为准确有效地判断绝缘性能, 而且在很大的范围内与定子绕组温度无关。

目前国内已大量生产并广泛采用晶体管绝缘电阻表, 为采用这种方法奠定了基础。

2. 发电机定子绕组绝缘电阻及吸收比测量时的注意事项

测量发电机的绝缘电阻和吸收比虽然很简便, 但必须注意以下几点:

(1) 正确选用绝缘电阻表额定电压。绝缘电阻表的额定电压是根据发电机电压等级选取的, 绝缘电阻表电压过高会使设备绝缘击穿, 造成不必要的损坏。对定子绕组, 额定电压在 1000V 以上时用 2500V 绝缘电阻表, 量程一般不低于 10 000M Ω , 额定电压在 1000V 以下时用 1000V 绝缘电阻表。

(2) 试验时被试相接 L 端子, 非被试相短接接地, 再接 E 端子, 屏蔽接 G 端子。图 1-6 示出了测量定子绕组 A 相绝缘电阻的接线。

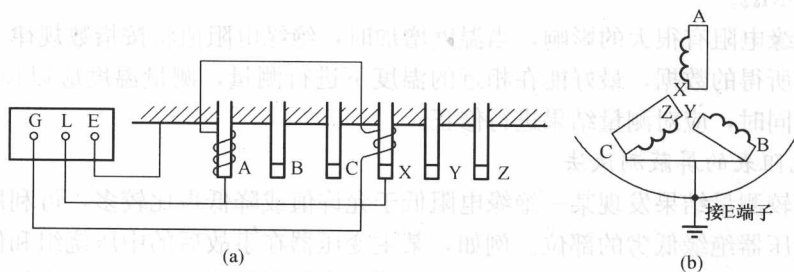


图 1-6 测量发电机定子绕组绝缘电阻接线图

(a) 实际测量接线; (b) 非被试相短接示意图

(3) 测量前后都应充分放电, 以保证测量数据的准确性。否则由于放电不充分, 会使介质极化和积累电荷不能完全恢复, 而且相同绝缘内部的剩余束缚电荷将影响测量结果。例如轮流测量发电机三相绕组的绝缘电阻时, 当第一相测试后未经充分放电就进行另一相测试时, 第二次施加电压的极性对于相间绝缘来说是相反的, 试验电源必然要输出更多的电荷去中和相间残余异性电荷, 从而表现为绝缘电阻降低。特别是吸收现象显著的发电机定子绕组, 试验前后一定要充分放电, 放电时间一般不小于 5min。

(4) 发电机的定子绕组的绝缘电阻值温度与绕组温度有很大关系, 温度升高时绝缘电阻下降很快, 一般温度每上升 10 $^{\circ}\text{C}$, 绝缘电阻值就下降一半。所以对每次测量的绝缘电阻值都应换算到同一温度才能进行比较。

3. 测量水内冷发电机定子绕组的绝缘电阻

使用水内冷电机绝缘测试仪 (简称专用绝缘电阻表) 测试通水时水内冷发电机定子绕组对地绝缘电阻的等值电路图如图 1-7 所示。

因为在通水情况下, R_y 很小, 要求绝缘电阻表输出功率大, 若采用普通绝缘电阻表, 一是会过载, 同时若绝缘电阻表输出电压降低太多, 会引起很大测量误差, 只有在绕组内部彻底吹水后, 方可使用普通绝缘电阻表。另外, 在通水情况下, 汇水管与外接水管之间将产生一极化电动势, 不采取补偿措施将不能消除该电动势和汇水管与地之间的电流对测量结果

的影响,专用绝缘电阻表(如 ZC-37 型绝缘电阻表)不但功率大,同时有补偿回路,而且测量电路输入端接地,适用于在通水情况下测试水内冷发电机的绝缘电阻。

为保证测试仪的输出电压为额定值,被测发电机汇水管与定子绕组引水管之间的电阻 R_y 应保证在 $100\text{k}\Omega$ 左右。试验前必须检查发电机进出的绝缘情况,汇水管(进水管并联)对地绝缘电阻应在 $20\text{k}\Omega$ 以上。没有足够的绝缘水平将给测量结果带来很大的误差。

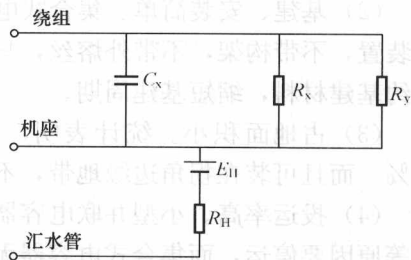


图 1-7 屏蔽不良情况下测量水内冷定子绕组绝缘电阻的等值电路

4. 测量结果的判断、分析

测量额定电压为 1000V 以上的发电机,采用 2500V 绝缘电阻表,量程一般不低于 $10\,000\text{M}\Omega$;水内冷发电机定子绕组采用专用绝缘电阻表。测量的要求如下:

- (1) 若在相近的试验条件(温度、湿度)下,绝缘电阻降低到历年正常值的 $1/3$ 以下时,应查明原因。
- (2) 各相或各分支绝缘电阻的差值不应大于最小值的 100% 。
- (3) 沥青浸胶及烘卷云母绝缘吸收比不应小于 1.3 或极化指数不应小于 1.5 ;环氧粉云母绝缘吸收比不应小于 1.6 或极化指数不应小于 2.0 ;水内冷定子绕组自行规定。

三、电容器绝缘电阻和吸收比的测量

测量绝缘电阻的主要目的是初步判断电容器相应部位的绝缘状况。

对高压并联电容器,仅测量极对壳的绝缘电阻,测量时采用 2500V 绝缘电阻表,测量接线如图 1-8 (a) 所示。测得的绝缘电阻值不应低于 $2000\text{M}\Omega$ 。

对耦合电容器,要测量极间及低压端对地绝缘电阻。测量接线如图 1-8 (b) 所示。测量极间绝缘电阻时,采用 2500V 绝缘电阻表,测得的绝缘电阻一般不应低于 $5000\text{M}\Omega$ 。对于有小套管的耦合电容器,为更灵敏地检出受潮缺陷,还要测量小套管对地的绝缘电阻,测量采用 1000V 绝缘电阻表,测量接线如图 1-8 (b) 中虚线所示。测得的绝缘电阻值一般不应低于 $100\text{M}\Omega$ 。

集合式电容器也称密集型并联电容器,它是将许多带有内熔丝的电容器单元组装于一个大外壳中,并充以绝缘油(一般为烷基苯),有单相式 and 三相式结构。其主要优点是:

- (1) 管理简单。集合式电容器的管理与变压器基本相同,不用像对普通小型电容器那样进行繁琐特殊的维护管理。

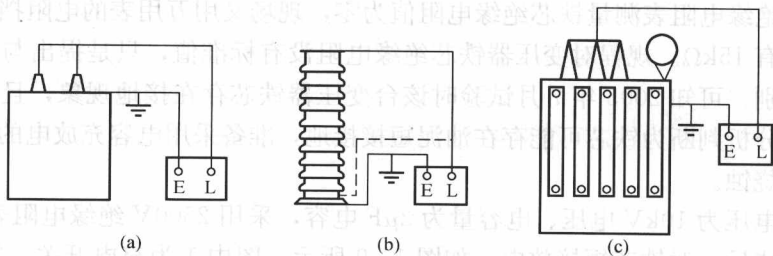


图 1-8 测量电容器绝缘电阻接线图

(a) 高压并联电容器; (b) 耦合电容器; (c) 集合式电容器(极对地)

(2) 基建、安装简单。集合式电容器在户外使用,不用建造电容器室,不需另设通风降温装置,不带构架,不带外熔丝,只有4个地脚螺丝,6个出线头,因而基建、安装简单。节约基建材料,缩短基建周期。

(3) 占地面积小。统计表明,100kvar的集合式电容器与单台产品相比,占地减少60%。而且可装在拐角边缘地带,不用占据黄金地段。

(4) 投运率高。小型并联电容器常由于外熔丝误动、更换漏油或损坏了的产品、打扫卫生等原因要停运,而集合式电容器无上述缺点,投运率高。

由于集合式电容器的推广使用,在DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》中增加了该种电容器的试验。要求测量相间(仅对有6个套管的三相电容器)和极对壳的绝缘电阻。测量时采用2500V绝缘电阻表,测量接线如图1-8(c)所示。测得的绝缘电阻由运行单位自行规定。

应当指出,由于电容的年损坏率—时间曲线,是一条盆形曲线,投运的头两年为早期损坏率,一般高一些。以后10~15年时间内年损坏率较低,变化不大,在往后年损坏率又要升高,因此DL/T 596—1996规定投运后的第一年内要进行预防性试验。以便检出早期缺陷。

第四节 绝缘电阻试验案例分析

【例1-1】 变压器铁芯绝缘电阻

某一台110kV变压器,型号为SFZ9-31500kVA/110/10kV变压器运行正常,2005年7月停电进行正常的预防性试验,按照DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》的要求进行绝缘试验,测量绕组及套管绝缘电阻均正常。该变压器的铁芯及夹件均通过油箱顶部引出接地,打开铁芯接地引线,测量该变压器铁芯及夹件的绝缘情况,采用2500V绝缘电阻表测量,测得的数据见表1-2。

表1-2 绝缘电阻测量值

时 间	2003年9月	2004年10月	2005年7月处理前	2005年7月处理后
绝缘电阻表电压(V)	2500	2500	2500	2500
绝缘电阻表测量绝缘电阻值(MΩ)	2500	2500	0	2500
万用表测量绝缘电阻值(kΩ)	—	—	15	—

由于采用绝缘电阻表测量铁芯绝缘电阻值为零,现场又用万用表的电阻挡测量,发现铁芯绝缘电阻只有15kΩ。规程对变压器铁芯绝缘电阻没有标准值,只是提出与以前测试结果相比无显著差别,可知2005年7月试验时该台变压器铁芯存在接地现象,且接地现象为非金属性接地,分析判断为铁芯可能存在油泥短接接地,准备采用电容充放电的方法将短接油泥用冲击电流烧蚀。

选择一台电压为10kV电压、电容量为2μF电容,采用2500V绝缘电阻表给电容充电,待电容充电完成后,对铁芯短接放电。如图1-9所示,图中1为充电开关、2为放电开关,当电容高压极的引线靠近铁芯引出线套管接线柱时,没有出现任何响声,停止试验,测量铁芯绝缘电阻仍为15kΩ,分析认为电容放电电压偏低,又选择一台5000V绝缘电阻表给电容

充电,重复上述步骤,当高压引线靠近铁芯引出线套管接线柱时听到“啪”的一声放电声,再次给电容充电、对铁芯放电,又出现“啪”的一声放电声,停止试验,采用万用表测量铁芯绝缘,万用表显示无穷大,更换 2500V 绝缘电阻表测量,显示绝缘电阻值为 2500M Ω ,铁芯绝缘恢复正常。

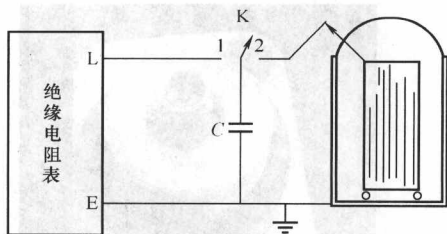


图 1-9 对铁芯进行绝缘电阻测试

上述实例说明,对变压器铁芯进行绝缘电阻测试十分必要,能有效地发现变压器铁芯的多点

接地现象。铁芯多点接地会引起变压器铁芯内部环流,烧损硅钢片,变压器正常运行时要防止此种现象的发生。变压器带电运行时,可通过钳型电流表测量铁芯接地引下线上的电流,一般在 0.1A 以下。若在预防性试验时发现变压器存在铁芯接地现象时,要通过电阻值分析接地的故障类型,判断是金属性接地还是非金属性接地,金属性接地属于低阻,一般只有几欧或几十欧,非金属性接地常常达到数千欧,而对于非金属性接地采用电容放电烧穿法效果较好,金属性接地采用电容放电烧穿法很难烧去短路点,除非是金属颗粒状的短路型式。

【例 1-2】 套管末屏绝缘电阻

一台 500kV 单相变压器,容量为 250 000kVA;高压套管型号: BRLW-550/1600-3,整体实物图如图 1-10 所示。2007 年 1 月 26 日投运,运行一年后 2008 年 4 月 10 日对该主变压器进行投运后第一次预防性试验,测量变压器套管介损,三相介损均合格,电容量的变化率也在规程范围内,按规程要求进行套管末屏绝缘电阻测试时发现 A 相绝缘电阻很低,具体测量数据见表 1-3。

表 1-3

绝缘电阻测量值

相 别	A	B	C
绝缘电阻 (M Ω)	0.18	2500	2500

规程要求,采用 2500kV 绝缘电阻表测量套管末屏对地的绝缘电阻不应低于 1000M Ω ,B、C 相绝缘电阻正常,而 A 相绝缘电阻不满足规程要求。仔细查看末屏,发现护套盖内存有渗漏油,立即取套管油样进行色谱分析,色谱分析结果发现氢气、甲烷、总烃、乙炔含量均超过规程要求,准备对 A 相主变压器的高压套管进行解体分析。

2008 年 4 月 23 日,该主变 A 相套管已吊离本体,对末屏进行解体分析。小套管解体后可看到套管法兰末屏引线孔口存在大量碳化油污(如图 1-11 所示),末屏引线保护筒(环氧筒)端部存在烧伤痕迹,底部塑料密封垫严重烧伤、部分烧穿(如图 1-12 所示),接地套根部电弧烧蚀呈凹陷状(如图 1-13 所示)。

通过解体观察接地套根部烧蚀情况可知变压器在投运时接地套与引线柱存在卡涩,未有效弹起接地,引起正常运行时对地放电。

避免以上故障的处理办法是:现场操作人员应采用专用工具对小套管进行操作、严禁用钳子、螺丝刀等硬物操作损伤接地套及引线柱,接地套每次复位后应用万用表测量电阻,保证接地套弹起后可靠接地。

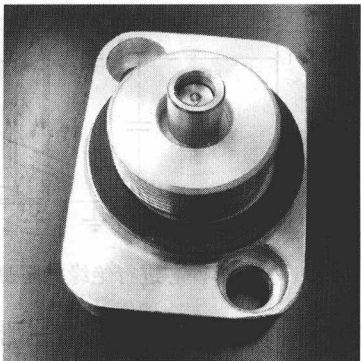


图 1-10 套管末屏实物整体图

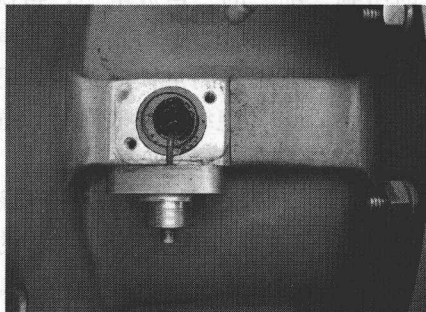


图 1-11 套管末屏引线孔口大量碳化油污

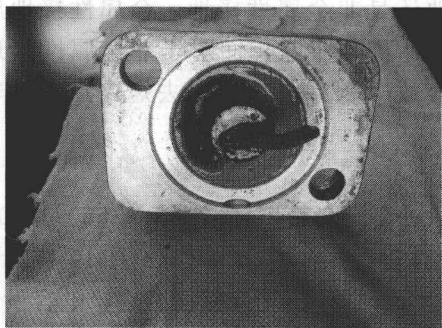


图 1-12 底部塑料密封垫严重烧伤



图 1-13 接地套根部电弧烧蚀呈凹陷状

第五节 新型测试仪器 XD2905 绝缘电阻测试仪设备简介

一、概述

XD2905 型绝缘电阻测试仪符合国家标准 DL/T 845.1—2004《电阻测量装置通用技术条件 第 1 部分：电子式绝缘电阻表》的要求，适用于测量变压器、电机、电缆、开关等各种电气设备及绝缘材料的绝缘电阻、吸收比和极化指数，在获得相关指标数据的同时，还能描绘出相关特性曲线，并有自动放电功能。

测试电压为 250~5000V，可每 50V 步进测量，可以快速设置 500、1000、2500、5000V 标准测试电压，也可以灵活设定 2、3、4、5mA 输出短路电流，可快速适应各种环境。

仪器内置存储器，可保存或提取数据。仪器显示界面采用图形 LCD 友好设计，测量过程及仪器状况提示充分，相关功能及符号不需试验人员较多记忆。各测试环节尽量采取适当的智能化、自动化措施，以提高测量效能，减轻试验人员的工作强度。

仪器支持 L、E 输出端无极性测量。用户可以用 L、E 任意端接地测量。

仪器的结构、操作和接线都按现场试验的作业要求设计。针对现场可能出现的意外，具备完整的保护措施。能承受频繁运输、装卸、搬动所产生的震动与冲击。能承受 500kV 变电现场的电磁干扰。

二、测量及工作原理

XD2905 型绝缘电阻测试仪测量时在试品两端施加一个恒定的直流试验电压,该电压产生一个通过试品的电流,借助仪表测量出试品的电流—时间特性,根据欧姆定律可以换算出试品的绝缘电阻—时间特性或某一特定时间下的绝缘电阻值。测量原理如图 1-14 所示。

屏蔽端 G 的电压接近于接地端 E。一般测量绝缘电阻高于 $500\text{M}\Omega$ 的试品时,为防止表面漏电流的影响,需要用到屏蔽端 G。不同组构制式对屏蔽端 G 的安放位置有不同的要求,位置选择不当,将影响绝缘电阻的正确测量。

XD2905 型绝缘电阻测试仪由大规模集成电路组成,工作原理框图如图 1-15 所示。仪器有高压发生模块、取样电路、A/D 转换电路、充电电路、数字显示单元等组成。

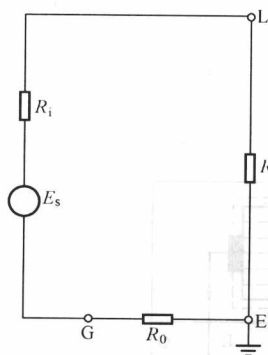


图 1-14 XD2905 型绝缘电阻测试仪测量原理图

E_s —内部直流高压电源; R_i —等效内阻;

R_0 —测量取样电阻; R_x —试品;

E—接地端; L—线路端; G—屏蔽端

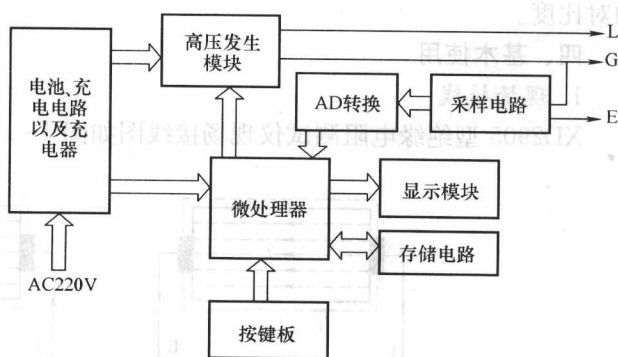


图 1-15 XD2905 型绝缘电阻测试仪工作原理框图

三、结构介绍

XD2905 型绝缘电阻测试仪面板图如图 1-16 所示。

1. 面板

2. 按键

(1) $\odot$ 键: 电源开、关键。

开机: 关机状态时, 连续按该键 3s 以上可以打开测试仪, 一般待仪器出现开机画面就可松手。

关机: 开机状态时, 按一下该键, 关机。

(2) 测量键: 测量开始和停止的按键。

测量开始: 连续按该键 3s 以上打开高压, 开始测量, 一般待仪器出现高压标记时就可松手。

测量停止: 测量过程中按该按键, 则关

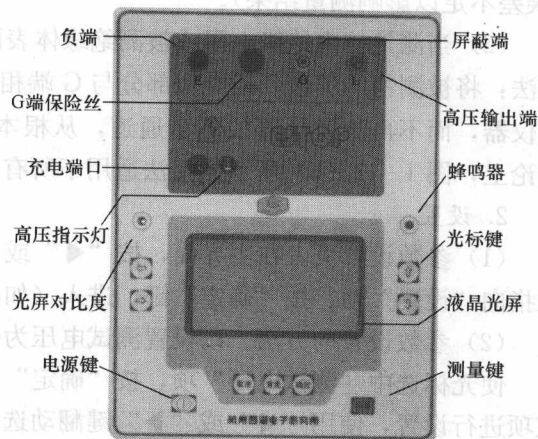


图 1-16 XD2905 型绝缘电阻测试仪面板图