

(京)新登字063号

内 容 简 介

全书分两大部分。第一部分介绍电力及牵引变电所一次设备的绝缘及特性试验,对这些试验的基本原理、方法、接线及仪器设备的使用操作等均作了较详细的介绍,对于各种试验中可能出现的问题,以及结果正确性的分析判断等亦从原理上作了探讨;第二部分介绍二次设备的检查与试验。

全书将给读者以变电所试验工作的较为完整的概念,从而为保证一、二次设备的安全运行及可靠供电建立起坚实的基础。

本书除可供运营或施工部门从事电力及牵引变电所试验、检修、运行工作的工人、值班员及技术人员参考外,还可作为设计院在电气试验设备选型、高等及中等专业学校教学的参考书。

电力及牵引变电所试验

何其光 陈蓉平

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 孙燕澄 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 14.125 插页: 2 字数: 360千

1994年3月 第1版 第1次印刷

印数: 1—10000册

ISBN 7-113-01546-8/U·464 定价: 16.50元

前 言

近几年来，随着我国社会主义现代化建设事业的飞速发展，特别是电力建设和铁路电气化改造的大规模展开，大量新人加入到变电施工、运行、检修和试验的专业队伍中来。与此同时，国家改革开放的春风又促进了国外设备的引进及国内设备的更新换代，因此对电力及牵引变电所的试验工作提出了新的更高的要求。我们正是响应广大同行的要求，并顺乎当前这一新形势的需要而着手本书的编写工作的。

本书的第一编介绍了电力及牵引变电所高压电气设备的绝缘及特性试验，对这些试验的基本原理、方法、接线及常用仪器设备的使用操作等均作了较详细的介绍，特别是对于一些试验中可能出现的问题，以及对于试验结果正确性的分析判断，尽可能从原理上进行探讨，并深入浅出地阐述出来，从而在此基础上提出解决的办法，以期对读者在实际的试验工作中有所帮助。尚需说明的是，书中所列的各项电气设备的绝缘及特性试验，一般以国家的有关标准为准、如无国家标准则以有关部标准代之。至于国外引进的电气设备的试验标准，因种类繁多、标准不一，限于篇幅无法一一列出，但试验人员可根据厂家的规定或执行国内同类同电压等级设备的试验标准亦非不可。因为按后一标准试验（特别是绝缘试验）合格的电气设备，应该说在我国的大地上是可以安全运行的。

高压电气设备的试验，特别是绝缘试验，是在不断发展、充实和完善的一项技术。如何用简单的、低电压的、小容量的试验仪器设备去发现运行中的高电压、大容量电气设备的绝缘缺陷，这是当前试验人员正在自己的实践中不断摸索、研究，而力图加以解决的课题。编者相信，随着广大试验和技术人员的共同努力，

这门试验技术将日臻完善并取得新的更大的进步。

为了保证变电所安全、可靠地供电，不仅需要一次设备的安全运行，而且需要二次设备的工作可靠。因此，在本书的第二编，介绍了变电所中常用的继电保护、自动装置及配电屏仪表的检查试验。除了对各主要元件及装置的检查试验内容及方法作了详细介绍外，还对一些新型的半导体及微机继电保护、自动装置的检查试验作了介绍。

本书在电气化铁路这个专业范围内，还是《牵引变电所》、《牵引变电所运行与检修》两书的姊妹篇。此三书按其分工，各有侧重，相互配合，从而给读者以牵引变电所从一、二次设备原理到运行、检修、试验全部工作的完整的概念。编者相信，此书的出版将对我国的铁路电力及电气化事业做出应有的贡献。

本书在编写过程中曾得到高等院校、科研、设计、施工、运行部门的教授、专家以及广大科技和试验人员的帮助，在此一并表示由衷的谢意。在这里尤应感谢的是，众多生产厂家为我们提供了很多新颖、适用的试验仪器设备，当然也就丰富了本书的内容，使之具有了新意。至于书中尚存在的疏漏甚至谬误之处，敬请读者给予批评指正，将不胜感激。

编 者

目 录

第一编 一次设备的试验

第一章 一次设备试验的基本知识	1
第一节 一次设备试验的目的和要求.....	1
第二节 试验的分类.....	2
第三节 高压试验的安全技术.....	3
第二章 电气绝缘试验方法及设备	6
第一节 高压电气设备的绝缘特性.....	6
第二节 绝缘电阻的测量.....	7
第三节 直流高压试验.....	16
第四节 介质损耗角正切值的测定.....	27
第五节 工频交流耐压试验.....	56
第六节 绝缘油的电气试验.....	76
第七节 高压电气设备试验的成套仪器设备.....	87
第三章 变压器的试验	94
第一节 主变压器的预防性试验.....	94
第二节 一般变压器的试验.....	130
第四章 其它高压电气设备的试验	192
第一节 互感器的试验.....	192
第二节 高压断路器的试验.....	212
第三节 隔离开关的试验.....	227
第四节 高压套管的试验.....	229

第五节	高压绝缘子的试验	232
第六节	电力电缆的试验	237
第七节	电容器的试验	241
第八节	避雷器的试验	245
第五章	与牵引变电所运行有关的其它试验	256
第一节	概 述	256
第二节	接触网线路绝缘电阻和工频参数的 测量	256
第三节	牵引变电所高压进线相序测量与定相	258
第四节	接地装置的试验	263
第六章	绝缘工具和安全用具的电气试验	273
第一节	概 述	273
第二节	电气试验	273

第二编 二次设备的检查与试验

第一章	概 述	278
第一节	对继电保护、自动装置及测量仪表检查 试验的要求	278
第二节	试验前的准备工作	280
第三节	继电器的一般性检验	281
第二章	电磁式继电器的检验	286
第一节	普通电流和电压继电器的检验	286
第二节	各种系列中间继电器的检验	294
第三节	DS 系列时间继电器的检验	301
第四节	DX 型信号继电器的检验	304
第五节	CJ-1型和HC-11型冲击继电器的检验	306

第六节	DM 系列电码继电器的检验	309
第七节	DH系列和DCH-1型重合闸继电器的 检验.....	313
第八节	同步检查继电器的检验.....	316
第三章	功率继电器的检验.....	322
第一节	GG 型感应式功率继电器的检验	322
第二节	LG 型整流式功率继电器的检验	327
第三节	LLG型整流式功率继电器的检验.....	330
第四章	差动继电器的检验.....	333
第一节	BCH-2及DCD-2型电磁式差动继电器的 检验.....	333
第二节	BCH-1和DCD-5型电磁式差动继电器的 检验.....	341
第三节	LCD-5A 型整流式差动继电器的检验.....	347
第五章	瓦斯继电器的检验.....	353
第六章	半导体继电保护及自动装置的检验.....	359
第一节	BL型过电流和BY型低电压保护装置的 检验.....	359
第二节	BG- $\frac{4}{5}$ 型功率继电器的检验	365
第三节	BCD-23型差动保护装置的检验	367
第四节	ZYX-1型中央信号装置的检验.....	375
第五节	集成电路继电器的检验.....	383

第七章 接触网馈电线成套保护及故障探测装置的	
 检验	388
第一节 ZKH-2A 型晶体管成套保护装置的检	
验	388
第二节 ZKH-7型集成电路成套保护装置的	
检验	402
第三节 WXB-61 型微机保护及故障探测装置	
的检验	406
第四节 DKWG-1型微机故障探测装置的检验	414
第八章 继电保护和自动装置整组动作试验及二次	
 回路检查试验	415
第一节 继电保护和自动装置整组动作试验	415
第二节 用负载电流和工作电压检验继电保护	
及自动装置	419
第三节 二次回路的检查和试验	422
第九章 电气测量仪表的检验	425
第一节 检验仪表的一般规定	425
第二节 仪表的误差	426
第三节 配电屏仪表的检验	428
第四节 现场检验时应注意的问题	436
第十章 二次设备检查试验的成套仪器设备	439
第一节 继电保护测试车	439
第二节 变电所电气试验车程控试验装置	440
第三节 三相交流仪表校验台	440

第一编 一次设备的试验

第一章 一次设备试验的基本知识

第一节 一次设备试验的目的和要求

电力变电所或电气化铁路牵引变电所的首要任务是安全可靠地供电，任何故障停电，都会影响工农业生产及铁路的正常运输秩序，给国民经济造成巨大的损失。所以各种类型的变电所在建成后能否投入运行，以及投入运行后能否保证各种一次设备（即高压电气设备）运行可靠、性能良好，进行一系列的试验是非常必要的。

对于新建的变电所或新安装和大修后的电气设备都要按规定进行交接试验。其目的是检验新安装或大修后的电气设备性能是否符合有关技术标准的规定，判定新安装的电气设备在运输以及安装施工的过程中是否遭受绝缘损伤或性能发生变化，或者判定设备大修后其修理部位的质量。

至于正在运行中的电气设备，则按规定周期进行例行的试验，一般将这种例行试验称作预防性试验。通过预防性试验可以及时发现电气设备内部隐藏的缺陷，配合检修加以消除，以避免设备绝缘在运行中由于工作电压尤其是系统过电压的作用被击穿，造成停电甚至严重烧坏设备的事故。这样就能做到预防为主，使设备能长期、安全、经济地运行。

鉴于上述试验目的，不仅要求试验人员熟练掌握试验操作技术，而且还要坚持科学态度。一方面要准确无误地反映出电气设备绝缘材料的实际性能指标和设备的工作状况；另一方面能对试验结果进行全面地、综合地分析，掌握设备性能变化的规律和趋势。从电力管理部门或电气化铁路供电段来说，要加强技术管理，

健全资料档案，开展技术革新，不断提高试验水平。

第二节 试验的分类

对高压电气设备的试验，根据其作用和要求，大致可分为两大类。

一、绝缘试验

变电所高压电气设备在运行中的可靠性在相当大的程度上取决于其绝缘的可靠性，而对绝缘状况的判断和监督，最重要的手段就是依靠绝缘试验。这种绝缘试验又可分为破坏性试验和非破坏性试验两类。

破坏性试验又称耐压试验。耐压试验能揭露那些危险性较大的集中性缺陷，它能保证绝缘有一定的水平和裕度。例如工频耐压试验、感应耐压试验、操作波试验、冲击试验等均属破坏性试验。其缺点是可能会在耐压试验时给绝缘带来一定的损伤。

非破坏性试验就是指在较低的电压下或者用其它不会损伤绝缘的办法来测量绝缘的各种特性，从而判断绝缘内部的缺陷。例如测量绝缘电阻和泄漏电流、测量绝缘的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ (%)、绝缘油的物化特性、油中气体色谱分析、空载试验、局部放电的超声波测量等。这类方法的缺点是目下一般还不能只靠它来可靠地判断绝缘的耐压水平，所以至今耐压试验仍然是绝缘试验中的一项主要方法。耐压试验要具备一定的设备条件，往往由于现场条件的限制，耐压试验不能进行，即使能做耐压试验，一般也是在非破坏性试验之后才进行，以避免不应有的击穿破坏。例如变压器受潮后往往耐压强度下降，但经过烘干处理后仍可恢复。如未经处理就冒然进行交流耐压试验，就很可能被击穿，造成不应有的损失。因而，非破坏性试验作为判断绝缘状况的手段之一是很重要的，尤其是对于运行中的变电所一次设备的预防性试验，更是主要的内容。

二、特性试验

通常把绝缘特性以外的试验统称为特性试验。这类试验主要是表征设备的电气或机械的某些特性，例如变压器和互感器线圈直流电阻试验、变比试验、连接组试验，以及断路器的接触电阻、跳合闸时间及速度特性试验等均属于特性试验。

上述试验有它们共同的目的，这就是通过试验分别发现设备的某些缺陷，但又各具有一定的局限性，试验人员则需根据试验结果，结合出厂数据及历年测试数据进行“纵”的比较，以及同类型设备的试验数据及标准进行“横”的比较，经过综合判断来发现电气设备绝缘缺陷或薄弱环节，以及发现其它损伤，为检修提供依据。

第三节 高压试验的安全技术

进行绝缘试验时，都会遇到向被试的电气设备（称作“试品”）施加直流的或交流的高电压问题。同时，若运行中的变电所在现场进行试验时，周围电气设备也带有高电压，因此为了确保人身安全和设备正常运行，应有严密的安全措施。以下各项安全技术措施，试验人员必须牢记并应严格遵守。

1. 试验前做好周密的准备工作，其中包括拟订试验程序，以做到试验时有条不紊；准备好绝缘接地棒，接地线应用截面不小于 25mm^2 的多股软裸铜线，并不得有断股现象；试验现场应装设遮栏或围栏，向外悬挂“止步，高压危险！”的标示牌，并派人看守；被试设备两端不在同一地点时，另一端还应派人看守。

2. 高压试验工作不得少于两人，试验负责人应由有经验的人员担任，开始试验前，试验负责人应对全体试验人员详细布置试验中的安全事项。

3. 因试验需要断开电气设备接头时，拆前应做好标记，恢

复连接后应进行检查。

4. 试验装置的金属外壳应可靠地使之接地，高压引线应尽可能缩短，必要时用绝缘物支持牢固。为了在试验时确保高电压回路的任何部分不对接地体放电，高电压回路距接地体（如墙壁、金属围栏、接地线、其它设备等）的距离必须留有足够的裕量。

试验装置的电源开关，应使用明显断开的双极闸刀。试验装置应具有可靠的过载及过电压保护设施。

5. 加电压前必须认真检查试验接线，表计倍率、调压器零位及仪表的开始状态，均应正确无误，通知有关人员离开被试设备，并取得试验负责人许可后方可加压。加压过程中应有人监护并呼唱。

高压试验人员在加压过程中应精力集中，不得与他人闲谈，随时警戒异常现象发生。操作人员应站在绝缘垫上。

6. 变更接线或试验结束时，应首先断开试验电源，放电，并将升压装置的高压部分短路接地。

未装地线的大电容被试设备，应先行放电再做试验。进行高压直流试验时，每告一段落或试验结束后，应将设备对地放电数次并短路接地后方可接触。

7. 试验结束时，试验人员应拆除自装的接地短路线，并对被试设备进行检查和清理现场。

运行中的变电所进行试验时，作业人员活动范围距其它带电体不得小于表1—1—1的规定。

作业人员活动范围与带电设备的
最小允许距离(m)

表 1—1—1

电压级(kV)	6~10	25~35	110	220
不设防护棚时	0.7	1.0	1.5	3.0
设防护棚时	0.35	0.6	1.0	2.0

电力试验所或供电段的高压试验室中应设置金属屏蔽网围栏，围栏不仅有机械联锁，还应有电气联锁，并有红色信号灯和挂有“高压危险”的标示牌。试验工作人员均应在金属屏蔽网围栏外面进行观察及操作。

第二章 电气绝缘试验方法及设备

第一节 高压电气设备的绝缘特性

绝缘材料也称绝缘介质或电介质。电气设备的绝缘常常是几种绝缘材料组合在一起使用，也就是由多种绝缘介质组成的，例如油浸变压器主绝缘就是由油浸纸板和油多层交替组成。即使一种绝缘材料，它的成份也很复杂，例如油浸纸绝缘电缆中的油浸纸就是一种复合绝缘介质，这些介质的电气性能可能完全不同。即使同一种或性能接近的介质组成的电气设备绝缘，在运行中也常会由于绝缘材料局部老化和受潮，而使受潮和老化部位的绝缘电阻降低很多，因而造成不同部位绝缘介质的电气性能差异很大。总之，电气设备中的绝缘介质都是不均匀介质。

当电压 U 作用于不均匀绝缘介质上时，通常可用图1—2—1的等值电路来简单地表明其各种电气特性。等值电路的五个并联支路分别为：

C_1 支路，表征绝缘结构的几何电容。这个支路决定绝缘介质在直流电压作用下充电电

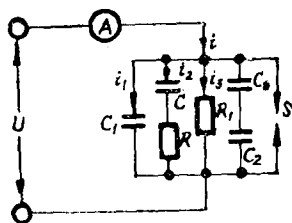


图 1—2—1 绝缘特性等值电路图

流的变化和在交流电压作用下的电容变化。

$C-R$ 支路，表征绝缘材料的不均匀程度、分层和脏污等。这个支路决定绝缘介质在直流电压作用下吸收电流的衰减时间常数，也决定在交流电压作用下，绝缘的电容变化和介质损耗。

R_1 支路，表征绝缘的直流电阻，它决定泄漏电流的大小。

C_0-C_2 支路，表征绝缘介质中油隙或气隙的电晕放电。

S 支路，表征绝缘介质局部放电的等值火花间隙。

等值电路中的这些参数，表征了电气设备绝缘的电气性能。

当绝缘中存在某些缺陷时，通过绝缘特性的试验，可以反映出这些参数的变化，从而判断出其缺陷的性质和程度。

变电所中高压电气设备的绝缘试验项目通常有：绝缘电阻的测量，直流高压试验，介质损耗角正切值的测定，交流耐压试验，绝缘油的电气试验等。本章正是对上述一些主要的试验方法及设备等作一介绍。

第二节 绝缘电阻的测量

一、基本原理

当直流电压 U 作用于绝缘介质上时，通过介质中的电流有电容电流、吸收电流和电导电流三部分。这三种电流随时间变化的情况是不同的，如图 1—2—2 所示。

电容电流 i_1 是对几何电容 C_1 充电时的瞬时电流，开始加压瞬间很大，然后很快衰减到零。显然其数值决定于电容量的大小。

流过 $C-R$ 支路的电流 i_2 为反映绝缘介质吸收过程的吸收电流，它也跟着加压时间的增长而减小，但比电容 C_1 充电电流的减小要慢得多，如从等值电路看到的这部分电流可以看成是经过一个电阻向电容充电的过程。其数值取决于绝缘体的性质、不均匀程度和结构。

电导电流 i_3 即泄漏电流，它是电阻性电流，相当于直流电压加在电阻上而产生的与时间无关的稳定电流。它的数值反映着绝缘内部是否整体受潮，或者有贯通性缺陷，或表面脏污。可见，

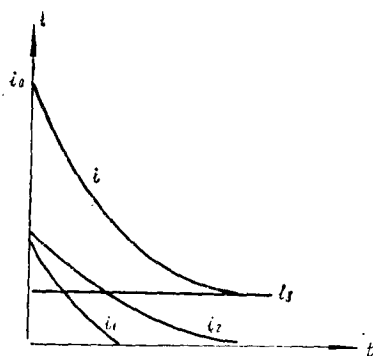


图 1—2—2 直流电压作用下通过绝缘介质的电流

i_1 ——电容电流； i_2 ——吸收电流；
 i_3 ——电导电流； i ——总电流。

同类设备中绝缘性能越好，泄漏电流越小，绝缘电阻越高；因此，绝缘电阻表明了绝缘在直流电压作用下的特性。实践证明，测量绝缘电阻的大小常能灵敏地反映绝缘状况，其方法虽然简单，但却是绝缘试验中的一个重要项目。

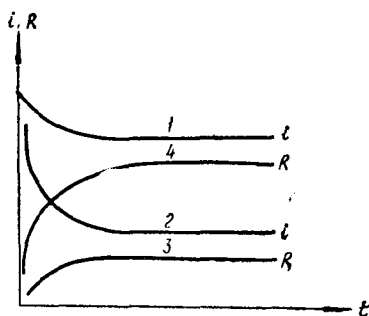


图 1—2—3 良好绝缘和有缺陷绝缘中的电流和绝缘电阻随时间的变化曲线
1——有缺陷绝缘的电流曲线；2——良好绝缘的电流曲线；3——有缺陷绝缘的绝缘电阻曲线；4——良好绝缘的绝缘电阻曲线。

减就较慢；反之，衰减较快。

因此，可以用吸收电流曲线来判断绝缘的好坏。一般可用如图1—2—2中的初始总电流 i_0 与稳态总电流 i_s （即稳态总电流）之比来判断绝缘的好坏。如果以绝缘电阻的比值来表示，则恰与电流比值相反，即

$$\frac{R_{\infty}}{R_0} = \frac{i_0}{i_s}$$

式中 R_{∞} ——测量时经过足够长时间后的稳定绝缘电阻值；
 R_0 ——测量时加压瞬间的绝缘电阻值。

在实际测量中，采用测量绝缘电阻曲线中的两点，即60s时的绝缘电阻 R_{60} 与15s时的绝缘电阻 R_{15} ，取其比值 R_{60}/R_{15} 就可判断绝缘的好坏，这就是通常所说的吸收比。测量这一比值就称为吸收比试验。

此外，由图 1—2—3 中可以看到，绝缘性能的好坏，不但影响着绝缘电阻和泄漏电流的最后稳定值，而且使绝缘电阻 R 和总电流 i 随着时间变化的关系曲线也不同，曲线 i 随着时间变化的现象称为吸收现象。同类产品干燥良好的绝缘，其绝缘电阻较高，泄漏电流较小，吸收电流相对较大，吸收现象比较明显，该曲线衰

二、影响因素及结果的分析判断

(一) 温度的影响

介质的绝缘电阻是随着温度的变化而变化的，其变化程度又因绝缘体的材料而异。富于吸湿性的材料，受温度的影响较大。一般的规律是绝缘电阻随温度的上升而下降。这是由于温度的升高，加速了介质内部分子和离子的运动；同时，绝缘物内的水份在低温时与绝缘物相结合，一遇温度升高，水分子即向电场两极伸长，这样在纤维物质中增加了导电性。此外，温度升高时绝缘层中的水份会溶解更多的杂质，也会增加导电率，降低绝缘电阻值。因此为了正确地比较和判断结果，试验时应记录温度和湿度。并根据规程规定，试验应在良好的天气，且试品温度及周围环境温度一般不低于 $+5^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行。

对于变电所中的电气设备，如变压器、互感器等，一般多为A级绝缘，这时绝缘电阻的温度换算式为

$$R_2 = K R_1$$

式中 R_2 ——换算到温度为 $t_2^{\circ}\text{C}$ 时的绝缘电阻值 ($\text{M}\Omega$)；

R_1 ——试品温度为 $t_1^{\circ}\text{C}$ 时测得的绝缘电阻值 ($\text{M}\Omega$)；

K ——绝缘电阻的温度换算系数，其值为。

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

其中 α ——绝缘的温度系数，它是随绝缘材料而异的，对于A级绝缘材料， α 为0.01728。

尚须指出，不同产品，由于其绝缘结构和绝缘材料不同，没有一个通用的换算系数。为避免因换算引起误差，应尽量在规定的绝缘温度相近的情况下进行测量和比较。

(二) 湿度的影响

湿度也是影响绝缘电阻的因素之一。当空气相对湿度大时，绝缘体由于毛细管的作用，吸收较多水分，使得导电率增加，绝缘电阻下降。而湿度对于表面的泄漏电流的影响更为明显，因而试验时对此应引起足够重视并采取相应措施，否则测得的将主要

是表面电阻。

(三) 试验结果的分析判断

由于绝缘电阻和介质的材料、结构、几何尺寸有关，在分析试验结果时要考虑以下几点：

1. 所测得的绝缘电阻值应大于一般的容许值（按有关规定）。
2. 进行“纵”的比较（即与本台设备的出厂及历年试验结果相比较）和进行“横”的比较（即与同类设备的试验结果相比较），这时都不应有明显的下降或较大的差别，否则必须引起注意，特别是对重要设备必须查明原因。例如主变压器在新安装交接试验时所测值应不低于制造厂所测原始数值的70%，不然要查明原因。在比较电气设备绝缘电阻时也要考虑温度、湿度、脏污及气候条件的影响。

三、测量方法

(一) 测量绝缘电阻的仪表

测量绝缘电阻的专用仪表是兆欧表。ZC系列携带式兆欧表是由一手摇式高压发电机和一磁电式双动圈流比计所组成，俗称摇表。摇表的电压一般为500V、1000V、2500V三种。

摇表的原理接线如图1—2—4所示。

手摇式发电机一般为转磁式，即转子为一永久磁铁。摇动手柄使转子转动时，定子绕组的磁场即改变，从而在绕组中感应出电势。平稳地以120r/min的速度（有的摇表额定转速为150r/min）摇动发电机手柄就可输出稳定的电压，再经过硅二极管 D 及电容 C 进行全波倍压整流后就得到所需的测量绝缘用的直流电源电压，即摇表的额定电压。

发电机发出的电压送到磁电式流比计两个并联的电路，即电压线圈回路和电流线圈回路，其原理如图1—2—5所示。由于流比计的磁场是不均匀的磁场，因此两个线圈所受的力与线圈在磁场中所处的位置有关。还由于两个线圈绕的方向不同，因而流过