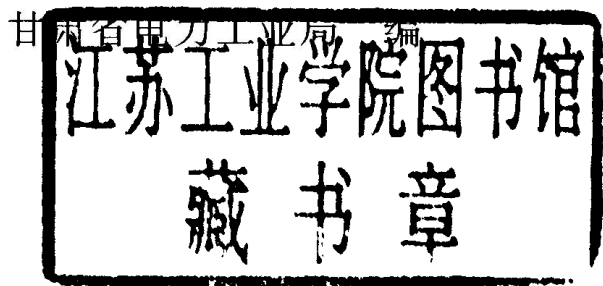


电 气 试 验



中国电力出版社

内 容 提 要

本书结合近年来电气设备型式、结构及电气试验技术的发展情况,根据 DL/T596—1996《电力设备预防性试验规程》,详细介绍了电力设备的基本试验项目、方法、接线及试验结果的分析判断;同时还介绍了一些新的设备试验方法以及绝缘在线监测技术。

本书主要供电力、农电部门及工矿企业的电气试验人员使用,并可作为培训教材,亦可供有关中等专业学校、职工大学有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气试验/甘肃省电力工业局编. —北京:中国电力出版社,1998

ISBN 7-80125-691-3

I. 电… II. 甘… III. 电工试验 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 04870 号

合肥新华书店经售

*

1998 年 6 月第一版 1998 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 13 印张 285 千字

印数 0001—8170 册 定价 14.50 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



随着我国电力系统的高速发展，电力设备的类型和绝缘结构亦有了较大的发展，从而促进了电气试验技术的发展。为满足广大电气试验人员学习技术与培训工作的需要，我们组织兰州供电局、西固热电厂、甘肃省电力试验研究所从事电气试验的工程技术人员，根据电力工业部、劳动部颁电力工人技术等级标准和有关电气试验规程、试验导则的要求编写了本书。本书内容尽可能地切合我国现阶段电气试验技术发展的实际情况，并在结合生产实际的基础上，注意到适当加强理论论述，以扩充知识面。

本书由陈天翔同志主编，蒋智勇、王寅仲同志参编，梁志钰、蒋建平同志审阅了初稿，由蒋芳林同志审阅定稿。

本书紧密结合现场实际，内容丰富全面，通俗易懂，对提高电气试验人员的技术水平很有帮助，同时也可供有关工程技术人员和有关专业师生参考。

由于编者水平有限，特别是编写时间仓促，疏漏、不妥和错误之处难免，敬请广大读者予以批评指正。

甘肃省电力工业局教育处

1997年5月



前 言

第一篇 电力设备绝缘预防性试验 的基本知识与基本方法

第一章 绝缘预防性试验的基本知识	1
第一节 预防性试验的意义	1
第二节 电气试验的分类	2
第三节 电气试验人员应具备的素质	4
复习题	7
第二章 绝缘电阻和吸收比试验	8
第一节 测量绝缘电阻和吸收比的原理	8
第二节 兆欧表的原理与接线	12
第三节 影响绝缘电阻的因素	15
第四节 绝缘电阻的测试及其注意事项	17
复习题	19
第三章 直流泄漏电流试验及直流耐压试验	20
第一节 泄漏电流试验及直流耐压试验的原理及特点	20
第二节 测量设备及接线	21
第三节 影响测量泄漏电流的因素	28
第四节 异常现象分析及注意事项	32
复习题	34
第四章 介质损失角正切 $\tan\delta$ 试验	35

第一节	$\text{tg}\delta$ 测量的原理和意义	35
第二节	测量 $\text{tg}\delta$ 的仪器	41
第三节	QS1 电桥的使用	50
第四节	电磁场干扰下的 $\text{tg}\delta$ 试验	54
第五节	影响 $\text{tg}\delta$ 测量的因素	60
复习题		66
第五章	交流耐压试验	67
第一节	交流耐压试验的目的与意义	67
第二节	交流耐压试验方法	69
第三节	交流高压的测量	76
第四节	交流耐压试验的控制与保护	83
第五节	交流耐压试验的操作要点及异常现象分析	87
复习题		92

第二篇 各类电力设备的 预防性试验

第六章	电力变压器试验	93
第一节	绕组绝缘电阻、吸收比试验和极化指数试验	94
第二节	泄漏电流试验	99
第三节	介质损失角正切 $\text{tg}\delta$ 试验	100
第四节	交流耐压试验	111
第五节	直流电阻试验	116
第六节	变比试验	124
第七节	变压器的极性和组别试验	129
第八节	空载试验	136
复习题		146
第七章	互感器试验	147
第一节	电压互感器绝缘试验	147

第二节	电流互感器绝缘试验	165
第三节	互感器特性试验	170
	复习题	174
第八章	断路器试验	175
第一节	绝缘电阻和泄漏电流试验	176
第二节	40.5kV 及以上多油断路器介质损失角 正切 $\tan\delta$ 试验	178
第三节	交流耐压试验	180
第四节	SF ₆ 断路器和 GIS 的预防性试验	181
	复习题	187
第九章	套管试验	188
第一节	测量绝缘电阻	192
第二节	$\tan\delta$ 和电容量测量	192
第三节	交流耐压试验	202
	复习题	202
第十章	电容器试验	203
第一节	测量绝缘电阻	205
第二节	$\tan\delta$ 和电容量测量	206
第三节	交流耐压试验	212
第四节	冲击合闸试验	212
	复习题	213
第十一章	避雷器试验	214
第一节	FS 型避雷器试验	216
第二节	FZ、FCD、FCZ 型避雷器试验	218
第三节	氧化锌 (ZnO) 避雷器试验	223
第四节	避雷器基座及放电计数器试验	228
	复习题	231
第十二章	电力电缆试验	232
第一节	测量绝缘电阻	234

第二节	直流耐压和泄漏电流试验	235
第三节	电力电缆相位的检测	238
第四节	电缆故障探测	239
	复习题	258
第十三章	绝缘子试验	259
第一节	测量绝缘电阻	259
第二节	交流耐压试验	260
第三节	带电检测绝缘子	261
	复习题	266
第十四章	绝缘油的化学分析和电气试验	267
第一节	绝缘油及其用途	267
第二节	绝缘油的老化分析	268
第三节	水分对绝缘油的影响	270
第四节	对绝缘油进行化学分析的意义	272
第五节	绝缘油的电气试验	275
第六节	绝缘油中溶解气体分析和故障判断方法	282
第七节	分析变压器绝缘油中微量金属含量判断 变压器故障部位	296
	复习题	301
第十五章	接地电阻试验	302
第一节	接地电阻的测量	304
第二节	土壤电阻率的测量	310
	复习题	313
第十六章	母线试验及定相试验	314
第一节	母线试验	314
第二节	定相试验	315
	复习题	317
第十七章	电气绝缘安全用具试验	318
第一节	带电作业工具试验	318

第二节 常用电气绝缘工具试验	320
复习题	328
第十八章 发电机试验	329
第一节 发电机的绝缘特点	329
第二节 绝缘电阻测量	331
第三节 吸收比测量	332
第四节 直流耐压试验和泄漏电流测量	332
第五节 介质损失角正切 $\tan\delta$ 试验	334
第六节 工频交流耐压试验	334
第七节 发电机定子、转子绕组直流电阻测量	335
第八节 发电机空载和短路特性试验	336
第九节 发电机轴电压测量	338
第十节 发电机相序测定	339
复习题	340
第十九章 电动机的试验	341
第一节 定子绕组的极性检查试验	341
第二节 定子绕组匝间绝缘试验	343
第三节 鼠笼电动机转子笼条故障检查	345
复习题	346

第三篇 绝缘在线监测方法

第二十章 避雷器的带电测试	349
第一节 FS型避雷器的带电测试	349
第二节 FZ型避雷器的带电测试	351
第三节 FCZ型避雷器的带电测试	354
复习题	357
第二十一章 电容型设备的带电测试	358
第一节 电容量的测量	358

第二节	介质损失角正切 $\tan\delta$ 的测量	361
第三节	中性点不平衡电压的测量	368
复习题		370
第二十二章	其他设备的绝缘在线监测	371
第一节	串级式电压互感器绝缘的带电测试	371
第二节	少油断路器的带电测试	375
复习题		377
第二十三章	集中型绝缘在线监测装置简介	378
第一节	概述	378
第二节	用集中在线监测装置测量电容量 C 和 $\tan\delta$	380
复习题		384
附录一	常见高压硅堆技术参数	385
附录二	QS1 型交流电桥可能发生的故障、产生原因及其检查、消除方法	387
附录三	介质损失角正切温度换算系数参考值	392
附录四	球隙放电标准表	394
附录五	各种温度下铝导线直流电阻温度换算系数 K_t 值	402
附录六	各种温度下铜导线直流电阻温度换算系数 K_t 值	403
参考文献		404

第一篇 电力设备绝缘预防性 试验的基本知识与基本方法

第一章 绝缘预防性试验 的基本知识

第一节 预防性试验的意义

电力系统运行着众多的电力设备，而电力设备的安全运行是保证安全可靠供电的前提。

众所周知，由于电力设备在设计和制造过程中可能存在着一些质量问题，而且在安装运输过程中也可能出现损坏，由此将造成一些潜伏性故障。电力设备在运行中，由于电压、热、化学、机械振动以及其他因素的影响，其绝缘性能会出现劣化，甚至失去绝缘性能，造成事故。

据有关统计分析，电力系统中 60% 以上的停电事故是由设备绝缘缺陷引起的。设备绝缘部分的劣化、缺陷的发展都有一定的发展期，在这个期间，绝缘材料会发出各种物理、化学信息，这些信息反映出绝缘状态的变化情况。这就需要运行部门的电气试验人员通过电气试验，在设备投入之前或运行中了解掌握设备的绝缘情况，以便在故障发展的初

期就能够准确及时地发现并处理。绝缘预防性试验由此而得名。

电力设备的绝缘缺陷分为两大类：第一类是集中性缺陷，如局部放电，局部受潮、老化，局部机械损伤；第二类是分布性缺陷，如绝缘整体受潮、老化、变质等。绝缘缺陷的存在必然导致绝缘性能的变化。电气试验人员通过各种试验手段，测量表征其绝缘性能的有关数据参数，查出绝缘缺陷并及时处理，可使事故防患于未然。

我国规定，电力系统中的电力设备应根据中华人民共和国电力行业标准 DL/T596—1996《电力设备预防性试验规程》（以下简称《规程》）的要求进行各种试验。

第二节 电气试验的分类

电气试验一般可分为出厂试验、交接验收试验、大修试验、绝缘预防性试验等。

出厂试验是电力设备生产厂家根据有关标准和产品技术条件规定的试验项目，对每台产品所进行的检查试验。试验目的在于检查产品设计、制造、工艺的质量，防止不合格产品出厂。一般大容量重要设备（如发电机、大型变压器）的出厂试验应在使用单位人员监督下进行。每台电力设备制造厂家应出具齐全合格的出厂试验报告。

交接验收试验、大修试验是指安装部门、检修部门对新投设备、大修设备按照有关标准及产品技术条件或《规程》规定进行的试验。新设备在投入运行前的交接验收试验，用来检查产品有无缺陷，运输中有无损坏等；大修后设备的试验用来检查检修质量是否合格等。

绝缘预防性试验是指设备投入运行后，按一定的周期由运行部门、试验部门进行的试验，目的在于检查运行中的设备有无绝缘缺陷和其他缺陷。与出厂试验及交接验收试验相比，它主要侧重于绝缘试验，其试验项目较少。

按照试验的性质和要求，电气试验分为绝缘试验和特性试验两大类。

绝缘试验是指测量设备绝缘性能的试验。绝缘试验以外的试验统称特性试验。

绝缘试验一般分为两大类：第一类是非破坏性试验，是指在较低电压下，用不损伤设备绝缘的办法来判断绝缘缺陷的试验，如绝缘电阻吸收比试验、介质损失角正切试验、泄漏电流试验、油色谱分析试验等。这类试验对发现缺陷有一定的作用与有效性。但这类试验中的绝缘电阻试验、介质损失角正切试验、泄漏电流试验由于试验电压较低，发现缺陷的灵敏性还有待于提高。但目前这类试验仍是一种必要的不可放弃的手段。第二类是破坏性试验，如交流耐压试验、直流耐压试验，用较高的试验电压来考验设备的绝缘水平。这类试验优点是易于发现设备的集中性缺陷，考验设备绝缘水平；缺点在于电压较高，个别情况下有可能给被试设备造成一定损伤。

应当指出，破坏性试验必须在非破坏性试验合格之后进行，以避免对绝缘的无辜损伤乃至击穿。例如互感器受潮后，绝缘电阻、介质损失角正切试验不合格，但经烘干处理后绝缘仍可恢复。若在未处理前就进行交流耐压试验，将可能导致绝缘击穿，造成绝缘修复困难。

特性试验主要是对电气设备的电气或机械方面的某些特征进行测试，如断路器导电回路的接触电阻，互感器的变

比、极性，断路器的分合闸时间、速度及同期性等。

各类试验方法各有所长，各有局限。试验人员应对试验结果进行全面综合分析：①与该产品出厂及历次试验的数据进行比较，分析设备绝缘变化的规律和趋势。②与同类或不同相别的设备的数据进行比较，寻找异常。③将试验结果与《规程》给出的要求进行比较，综合分析是否超标，判断是否有缺陷或薄弱环节。

第三节 电气试验人员应具备的素质

电气试验人员在保证设备安全运行方面担负着重要责任，力争既要放过设备隐患，造成设备事故，又要不误判断，将合格设备判为不合格，造成检修人员的额外、无效劳动。做一个合格的电气试验人员，必须具备以下条件。

一、具有全面的安全技术知识

电气试验既有低压工作，又有高压工作；既有低空作业，又有高空作业；既有停电试验，又有带电检测。因此电气试验人员必须具有全面的安全技术知识、良好的安全自我保护意识，总的来讲必须严格遵守《电业安全工作规程》。（简称《安规》）。

《安规》中规定的高压试验应遵守的基本要求有：

（1）高压试验应填写第一种工作票。在一个电气连接部分，同时有检修和试验时，可填写一张工作票，但在试验前应得到检修工作负责人的许可。

在同一电气连接部分，高压试验的工作票发出以后，禁止再发出第二张工作票。

加压部分与检修部分之间的断开点，按试验电压有足够

的安全距离，并在另一侧有接地短路线时，可在断开点的一侧进行试验，另一侧可继续工作。但此时在断开点上应挂有“止步，高压危险！”的标示牌，并设专人监护。

(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注意事项。

(3) 因试验需要断开设备接头时，拆前应做好标记，接后应进行检查校对。

(4) 试验装置的金属外壳应可靠接地；高压引线应尽量缩短，必要时用绝缘物支挂牢固。试验装置的电源开关，应使用明显断开的双极刀闸。为了防止误合刀闸，可在刀刃上加绝缘罩。试验装置的低压回路中应有两个串联电源开关，并加装过载自动掉闸装置。

(5) 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。

(6) 加压前必须认真检查试验接线，表计倍率、量程，调压器零位及仪表的开始状态，均应正确无误；然后通知有关人员离开被试设备，并取得试验负责人许可，方可加压；加压过程中应有人监护并呼唱。高压试验工作人员在加压全过程中，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。

(7) 变更接线或试验结束时，应首先断开试验电源，放电，并将升压设备的高压部分短路接地。

(8) 未装地线的大电容被试设备，应先行放电再做试验。高压直流试验时，每告一段落或试验结束时，应将设备对地放电数次，并短路接地。

(9) 试验结束时，试验人员应拆除自装的接地短路线，

对被试设备进行检查并清理现场。

(10) 特殊的重要电气试验，应有详细的试验方案，并经厂（局）主管生产的领导（总工程师）批准。

二、具有全面熟练的试验技术

电气试验工作本身既是一种繁重的体力劳动，又是一种复杂的脑力劳动。一个合格的电气试验人员，应当达到以下要求：

(1) 了解各种绝缘材料、绝缘结构的性能、用途。了解各种电气设备的型式、用途、结构及原理。

(2) 熟悉发电厂、变电所电气主接线及系统运行方式。熟悉电气设备，了解继电保护及电气设备的控制原理及实际接线。

(3) 熟悉各类试验设备、仪器、仪表的原理、结构、用途及使用方法，并能排除一般故障。

(4) 能正确完成试验室及现场各种试验项目的接线、操作及测量，熟悉各种影响试验结果的因素及消除方法。

三、具有严肃认真的工作作风

严肃认真的工作作风是保证安全、正确完成试验任务的前提。电气试验人员应当做到：

(1) 试验前要进行周密的准备工作，根据设备及试验项目，准备齐全完好的试验设备及仪器、仪表、工器具等，不要漏带仪器、设备及器具。

(2) 安全合理布置试验场地，做好安全措施，与带电部分保持足够安全距离。测量、控制及操作装置应在就近处放置，以便于操作及读数。

(3) 必须正确无误地接线、操作。

(4) 记录人员详细记录被试设备编号、试验项目、测量

数据、使用仪器编号，以及试验时的温度、湿度、日期、试验人员等，最后整理好试验报告。

(5) 对于测试数据反映出的设备缺陷应及时向负责人及领导反映，并填写有关记录。

复 习 题

1. 简述绝缘预防性试验的意义。
2. 电气试验如何分类，为什么破坏性试验必须在非破坏性试验合格之后进行？
3. 一名合格的电气试验人员应具备什么样的素质？
4. 高压试验应遵守哪些基本要求？

第二章 绝缘电阻和吸收比试验

第一节 测量绝缘电阻和吸收比的原理

电力设备中的绝缘材料（电介质）是不导电的物质，但并不是绝对的不导电。在直流电压作用下，电介质中有微弱的电流流过。根据电介质材料的性质、构成及结构等的不同，这部分电流可视为由三部分电流构成，如图 2-1 所示。

图中 i_1 为电容电流。直流电压作用到绝缘材料上，加

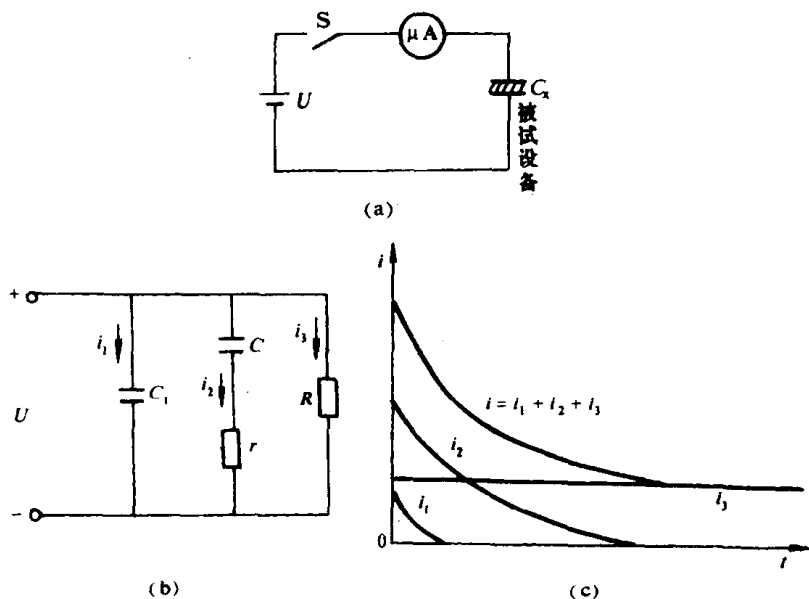


图 2-1 直流电压下不均匀介质中电流构成示意图

(a) 试验接线图；(b) 不均匀介质等值电路图；(c) 吸收电流示意图