

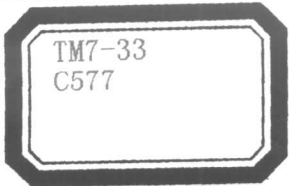
# 电气试验

天翔 王寅仲 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)





郑州大学 \*04010250519R\*

-21

陈天翔 王寅仲 编著

# 电气试验



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

TM7-33

C577



## 内 容 提 要

本书结合近年来电力设备绝缘介质、结构及电气试验技术的发展情况，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；同时还介绍了一些适合于现场的新的电力设备绝缘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、有关高等学校中等专业学校、大学有关专业师生参考使用，也可作为培训教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电气试验/陈天翔, 王寅仲编著. —北京: 中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-2939-2

I. 电... II. ①陈... ②王... III. 电气设备-试验-教材 IV. TM64-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 051082 号

中国电力出版社出版

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2005 年 7 月第一版 2005 年 7 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 16.25 印张 426 千字

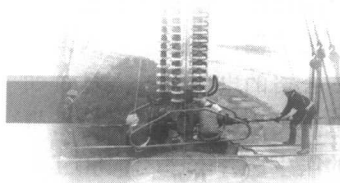
印数 0001—4000 册 定价 30.00 元

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)



郑州大学 \*04010250519R\*



## 前 言

1992年，当我最小的弟弟考上大学后，我母亲就病倒在床上了。那一年，我母亲51岁，在兰州军区总医院通过先进的彩色多普勒检测仪检查，被确诊为一种名叫动脉导管未闭的先天性心脏病。像我母亲这么大年龄的先天性心脏病病人，医生们都说世界罕见。有的医生还责怪我们为何不早点来看，因为这种先天性心脏病在人年轻的时候很好做手术，很容易治疗恢复，而现在年龄大了，血管老化了，做手术风险太大。从我记事起，我母亲就一直身体不好，家里的病历有近一尺厚，在许多大医院的病历上都写着：“风湿性心脏病，注意休息，不要从事重体力劳动……”等诸如此类的诊断结论与意见。由于医生诊断水平导致的误诊，使我母亲失去了最佳的治疗时机。1993年，我和父亲陪我重病的母亲去沈阳看病，在沈阳军区总医院我们遇到了医德高尚、医术高超的汪曾炜教授和他领导下的张根成、宫汉东等优秀大夫，汪曾炜教授是全国著名的心血管病专家，那年他已70多岁，仍然是医院的副院长、心外科主任。汪曾炜教授以他对我母亲病情准确的诊断治疗，在我母亲住院治疗恢复体力半年后，放弃了传统的心脏体外循环的手术方案，以其高超的医术为我母亲进行了手术，使我母亲奇迹般生还，手术后20天我母亲即出院回家了。这些年来我母亲一直跟我们健康地生活在一起。

那时候我是一位在基层从事电气试验工作的电气试验班班长。我想，电气试验工作与医生的工作有异曲同工之处：医生给人看病，电气试验人员给电力设备看“病”；医生给人看病需要

责任心、知识、技能、经验及不断改进的医疗检测仪器与手段，电气试验人员也同样需要责任心、知识、技能、经验及不断改进的试验检测仪器技术与手段；不合格的医生误诊病人，给病人和家属会带来巨大的痛苦与遗憾，一个不合格的电气试验人员，如果误诊或者该检查出的电力设备缺陷未查出也会给企业和社会带来不良后果；相同等级医院相同职称的医生医疗水平有时相互差异很大，不同的单位不同的电气试验人员水平也有差异，这就需要通过经常不断的积极的学习交流与实践来提高。我也一直为自己有一次通过带电测试的方法发现了一起 220kV 磁吹避雷器重大缺陷，从而避免了一次可能发生的重大设备或电网事故而自豪。但医生的工作与电气试验人员的工作也有不同，最大的不同是医生治疗上的失误往往造成的后果是病人的痛苦与遗憾、生命的缩短与消失，一般不危及医生自身的安全；而电气试验人员的工作失误则可能既危及电网及电力设备的安全，又危及自身及他人的生命安全。电气试验人员的工作既有高电压下的工作，又有高空带电作业的工作，电气试验工作必须至少两人以上方可进行，多数工作需要多人配合共同工作。因此电气试验人员首先应具备特别过硬的安全素质。任何事情均有其规律，只要掌握了规律，就可以利用，就不可怕。电气试验工作保障安全的规律就是要严格遵守《电业安全工作规程》，一个合格的电气试验人员首先要熟练掌握并严格遵守《电业安全工作规程》，工作中就可以做到“三不伤害”：不伤害自己、不伤害别人、不被别人伤害。我刚参加工作时师傅们就告诉我一条安全经验；不见地线不干活（带电作业工作例外）。即对电力设备进行预防性试验时，被试验的电力设备两侧没有明显断开点、可能带电的部位没有可靠接地绝不攀登干活。

在医院里陪我母亲治病时，我萌生了一种想法，我想借鉴、搜集各种资料、文章，结合自己在现场从事电力设备预防性试验的一些知识经验，写一本电气试验方面的书，与同行同事们交流，共同做好电气试验工作。

近年来，电气试验技术发展很快，高电压、大容量电力设备制造技术也改进很大，绝缘监测的新技术、新手段层出不穷。新技术、新仪器在现场也有一个推广、适应被大家熟悉的过程，智能化的一些试验仪器，绝缘在线监测技术也在逐步推广应用，因而对电气试验人员也提出了较高的素质要求。新技术的应用，离不开老经验的积累。现场的情况千差万别、千奇百怪，只有在熟悉理论知识并不断实践的基础上，才能更好地掌握应用新技术。

本书在介绍现场实用的传统预防性试验项目、方法、原理的基础上，介绍了一些新的内容，如：电力设备局部放电试验、变压器的绕组变形试验、断路器机械特性试验、橡塑电缆试验、红外成像技术等，使本书内容更加深入全面。本书内容分为三篇三部分，第一篇是电力设备预防性试验的基本知识与基本方法；第二篇是各类电力设备的预防性试验；第三篇介绍了绝缘在线监测技术。

写作是快乐的，工作和生活是快乐的，阅读学习也应当是快乐的。为了改变以往专业技术书籍枯燥呆板单一的形象，提高学习的趣味性，我们在书中对每一章的重点内容及要求做了提示说明，对一些在安全和技术上需特别注意的地方用图解等形式做了提示、强调，部分章节附上讨论题及可供讨论的参考资料，供读者开拓思路。这也是我们为提高阅读效果，使专业技术书籍形式活泼多样化的一种尝试。

我的写作伙伴王寅仲高级工程师，1965年毕业于西安交通大学高电压技术专业，热爱专业技术工作，一直在火电厂一线从事电气试验技术工作，是一位具有丰富现场经验和高超技术的老专家。没有他的参与写作及帮助，本书肯定是不完整的。

本书写作过程中，李彦明教授海世杰、陈广、陈有学等同行朋友对本书提出了宝贵的建议并提供了有关资料。对他们为本书完成出版付出的辛勤劳动和无私帮助表示衷心感谢！

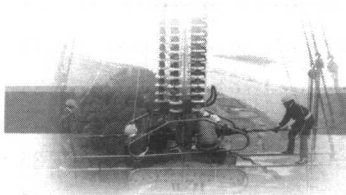
本书主要作为电力、农电及工矿企业的电气试验人员学习使用，也可供高等学校、中等专业学校、职工大学电类专业师生学

习使用。

我的父亲常给我说“当官一时荣，文章千古事”，鼓励我多读书多写文章，勉励我认真写好本书。电气试验技术涉及知识面非常广泛，是一门发展很快、现场实践性、经验性很强的技术学科。我们在详细介绍电气试验各种方法的原理知识、常用试验仪器的使用和预防性试验规程要求的基础上，突出介绍了现场测量中经常出现的一些安全及技术上的问题及如何判断解决这些问题的经验及措施，供读者参考。我们有尽最大努力写好本书以给读者某些方面提供有价值的帮助的强烈愿望和渴求，但限于我们的水平所限，书中不妥和错漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

陈天翔

2004年5月于西安交通大学



## 目 录

前言

# 第一篇 电力设备预防性试验的 基本知识 with 基本方法

■ 第一章 预防性试验的基本知识 .....	3
第一节 预防性试验的意义 .....	3
第二节 电气试验的分类 .....	4
第三节 电气试验人员应具备的素质 .....	5
本章提示 .....	8
本章重点 .....	9
复习题 .....	9
■ 第二章 绝缘电阻和吸收比试验 .....	10
第一节 测量绝缘电阻和吸收比的原理 .....	10
第二节 绝缘电阻表的原理与接线 .....	13
第三节 影响绝缘电阻的因素 .....	16
第四节 绝缘电阻的测试及其注意事项 .....	18
本章提示 .....	20
本章重点 .....	20
复习题 .....	20
■ 第三章 直流泄漏电流试验及直流耐压试验 .....	21
第一节 泄漏电流试验及直流耐压试验的原理及特点 ..	21
第二节 测量设备及接线 .....	22
第三节 影响泄漏电流测量的因素 .....	28

Qba78/05



第四节	异常现象分析及注意事项 .....	32
本章提示	.....	34
本章重点	.....	34
复习题	.....	34
■ 第四章	介质损耗因数 $\tan\delta$ 试验 .....	35
第一节	$\tan\delta$ 测量的原理和意义 .....	35
第二节	测量 $\tan\delta$ 的仪器 .....	41
第三节	QSI 电桥的使用 .....	49
第四节	电磁场干扰下的 $\tan\delta$ 试验 .....	52
第五节	影响 $\tan\delta$ 测量的因素 .....	58
本章提示	.....	63
本章重点	.....	63
复习题	.....	63
■ 第五章	交流耐压试验 .....	65
第一节	交流耐压试验的目的与意义 .....	65
第二节	交流耐压试验方法 .....	67
第三节	交流高压的测量 .....	73
第四节	交流耐压试验的控制与保护 .....	79
第五节	交流耐压试验的操作要点及异常现象分析 .....	83
本章提示	.....	87
本章重点	.....	87
复习题	.....	87
■ 第六章	电力设备局部放电试验 .....	88
第一节	局部放电的产生机理 .....	89
第二节	局部放电检测方法 .....	93
第三节	脉冲电流法检测局部放电 .....	95
第四节	电力变压器的局部放电试验 .....	100
本章提示	.....	102
本章重点	.....	102
复习题	.....	103

## 第二篇 各类电力设备的预防性试验

■ 第七章 电力变压器试验 .....	107
第一节 绕组绝缘电阻、吸收比试验和极化指数试验 .....	108
第二节 泄漏电流试验 .....	113
第三节 介质损耗因数 $\tan\delta$ 试验 .....	113
第四节 交流耐压试验 .....	123
第五节 直流电阻试验 .....	127
第六节 变比试验 .....	134
第七节 变压器的极性和组别试验 .....	139
第八节 空载试验 .....	145
第九节 变压器倍频感应耐压和操作波感应耐压试验 .....	154
第十节 变压器绕组变形测试 .....	167
第十一节 铁芯（有外引接地线的）绝缘电阻试验 .....	176
[讨论] 怎样用绝缘电阻吸收比极化指数综合判断变压器的绝缘状况? .....	177
本章提示 .....	185
本章重点 .....	185
复习题 .....	185
■ 第八章 互感器试验 .....	187
第一节 电压互感器绝缘试验 .....	187
第二节 电流互感器绝缘试验 .....	202
第三节 互感器特性试验 .....	207
本章提示 .....	210
本章重点 .....	210
复习题 .....	211
■ 第九章 断路器试验 .....	212
第一节 绝缘电阻和泄漏电流试验 .....	213
第二节 40.5kV 及以上多油断路器介质损耗因数 .....	

	tan $\delta$ 试验 .....	214
第三节	交流耐压试验 .....	216
第四节	SF <sub>6</sub> 断路器和 GIS 的预防性试验 .....	217
第五节	断路器速度测量 .....	222
第六节	断路器动作时间测量 .....	224
	本章提示 .....	228
	本章重点 .....	228
	复习题 .....	228
<b>第十章</b>	<b>套管试验</b> .....	229
第一节	测量绝缘电阻 .....	229
第二节	tan $\delta$ 和电容量测量 .....	232
第三节	交流耐压试验 .....	240
	本章提示 .....	240
	本章重点 .....	241
	复习题 .....	241
<b>第十一章</b>	<b>电容器试验</b> .....	242
第一节	测量绝缘电阻 .....	244
第二节	tan $\delta$ 和电容量测量 .....	245
第三节	交流耐压试验 .....	250
第四节	冲击合闸试验 .....	250
	本章提示 .....	251
	本章重点 .....	252
	复习题 .....	252
<b>第十二章</b>	<b>避雷器试验</b> .....	253
第一节	FS 型避雷器试验 .....	255
第二节	FZ、FCD、FCZ 型避雷器试验 .....	256
第三节	金属氧化物 (MOA) 避雷器试验 .....	261
第四节	避雷器基座及放电计数器试验 .....	265
	本章提示 .....	268
	本章重点 .....	268
	复习题 .....	268

■ 第十三章	电力电缆试验	270
第一节	测量绝缘电阻	272
第二节	直流耐压和泄漏电流试验	273
第三节	电力电缆相位的检测	276
第四节	电缆故障探测	276
第五节	橡塑电缆试验	293
[讨论]	充油电缆和橡塑电缆为什么投运后不再做 直流耐压试验	294
本章提示		295
本章重点		295
复习题		295
■ 第十四章	绝缘子试验	297
第一节	测量绝缘电阻	297
第二节	交流耐压试验	298
第三节	带电检测绝缘子	299
第四节	防污闪技术	303
本章提示		305
本章重点		305
复习题		305
■ 第十五章	绝缘油的化学分析和电气试验	306
第一节	绝缘油及其用途	306
第二节	绝缘油的老化分析	307
第三节	水分对绝缘油的影响	308
第四节	对绝缘油进行化学分析的意义	311
第五节	绝缘油的电气试验	313
第六节	绝缘油中溶解气体分析和故障判断方法	319
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	331
[讨论]	变压器油与断路器油有何区别?	335
本章提示		336
本章重点		336

复习题.....	336
■ 第十六章 接地电阻试验 .....	338
第一节 接地电阻的测量.....	340
第二节 土壤电阻率的测量.....	345
本章提示.....	348
本章重点.....	348
复习题.....	348
■ 第十七章 母线试验及定相试验 .....	349
第一节 母线试验.....	349
第二节 定相试验.....	350
本章提示.....	352
本章重点.....	352
复习题.....	352
■ 第十八章 电气绝缘安全用具试验 .....	353
第一节 带电作业工具试验.....	353
第二节 绝缘安全工器具试验.....	355
第三节 试验报告.....	367
本章提示.....	368
本章重点.....	368
复习题.....	368
■ 第十九章 同步发电机和调相机试验 .....	369
第一节 定子和转子绕组绝缘电阻、 吸收比和极化指数.....	370
第二节 测量定子绕组泄漏电流和直流耐压试验.....	376
第三节 定子绕组交流耐压试验.....	379
第四节 测量定子绕组槽部线圈防晕层对地电位.....	387
第五节 定子绕组端部手包绝缘施加直流电压测量.....	388
第六节 定子和转子绕组直流电阻试验.....	392
第七节 测量转子绕组交流阻抗和功率损耗.....	394
第八节 发电机空载和短路特性试验.....	395
第九节 发电机轴电压测量.....	396

第十节	发电机相序测定	399
第十一节	定子铁芯试验	400
第十二节	转子一点接地试验	406
第十三节	转子绕组匝间绝缘短路试验	411
第十四节	测量定子绕组单相接地电容电流值	416
	本章提示	418
	本章重点	419
	复习题	419
<b>■ 第二十章</b>	<b>电动机试验</b>	420
第一节	定子绕组的极性检查试验	420
第二节	定子绕组匝间绝缘试验	422
第三节	鼠笼电动机转子笼条故障检查	423
第四节	绕组的直流电阻试验	424
第五节	试验判断异步电动机旋转方向	426
	本章提示	426
	本章重点	426
	复习题	427

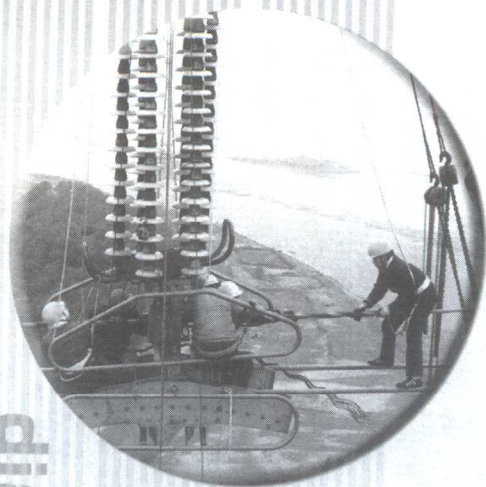
### 第三篇 绝缘在线监测方法

<b>■ 第二十一章</b>	<b>避雷器带电测试</b>	433
第一节	FS型避雷器的带电测试	433
第二节	FZ型避雷器的带电测试	435
第三节	FCZ型避雷器的带电测试	438
	本章提示	440
	本章重点	441
	复习题	441
<b>■ 第二十二章</b>	<b>电容型设备带电测试</b>	442
第一节	电容量的测量	442
第二节	介质损耗因数 $\tan\delta$ 的测量	445
第三节	中性点不平衡电压的测量	450
	本章提示	452

本章重点	453
复习题	453
<b>第二十三章 电压互感器和少油断路器的绝缘在线监测</b>	454
第一节 串级式电压互感器绝缘的带电测试	454
第二节 少油断路器的带电测试	457
本章提示	459
本章重点	459
复习题	459
<b>第二十四章 集中型绝缘在线监测装置简介</b>	460
第一节 概述	460
第二节 用集中在线监测装置测量电容量 $C$ 和 $\tan\delta$	462
[讨论] 集中型电力设备绝缘在线监测装置的结构、 组成、关键技术是什么? 测量误差有哪些?	465
本章提示	476
本章重点	477
复习题	477
<b>第二十五章 红外成像技术检测电力设备热故障</b>	478
第一节 红外成像技术检测电力设备的 热故障的理论	478
第二节 电力设备发热分类和热成像技术 适用范围及不足	479
第三节 红外成像技术在电力系统的具体应用	481
本章提示	486
本章重点	486
复习题	486
附录一 常见高压硅堆技术参数	487
附录二 QS1 型西林电桥可能发生的故障、产生原因 及其检查、消除方法	488
附录三 介质损耗因数温度换算系数参考值	491
附录四 球隙放电标准表	493
附录五 各种温度下铝导线直流电阻温度	

换算系数 $K_t$ 值 .....	501
附录六 各种温度下铜导线直流电阻温度	
换算系数 $K_t$ 值 .....	502
主要参考文献 .....	503





diangqishiyān

## 第一篇

# 电力设备预防性试验的基本知识 与基本方法