

DIANQI SHIYAN

电气试验

(第三版)

陈天翔 王寅仲 温定筠 海世杰 编著
吕景顺 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANQI SHIYAN

电气试验

(第三版)

陈天翔 王寅仲 温定筠 海世杰 编著
吕景顺 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书在第二版基础上,结合近年来电网发展实际,以及电力设备绝缘介质、结构及电气试验技术的最新发展情况,补充完善了许多新内容,详细介绍了各类电力设备的试验项目、方法、接线及试验结果的分析判断。同时介绍了一些适合于现场新电力设备的绝缘试验方法及绝缘带电监测技术,使本书内容更加全面实用。

本书可供电力及工矿企业电气试验专业人员使用,可作为电气试验工种技能鉴定与培训教材,也可作为高等院校、高职高专电气工程相关专业师生的教材和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气试验 / 陈天翔等编著. —3 版. —北京: 中国电力出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5123-8103-2

I. ①电… II. ①陈… III. ①电气设备-试验-高等学校-教材 IV. ①TM64-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 170707 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 7 月第一版

2016 年 1 月第三版 2016 年 1 月北京第十四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 30.75 印张 741 千字

定价 75.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

《电气试验（第二版）》于2008年11月出版发行以来，继续受企业技术人员和大学师生等读者的欢迎，先后印刷10余次，发行四万多册。

近七年来，电网和电力设备制造技术发展变化很大，电气试验技术和试验设备仪器又有了新的发展和改进，本着与时俱进和更好为读者服务的思想，在继续保持本书内容全面、有针对性和实用性强的基础上，作者充分结合生产实际新情况和现场试验新要求，对《电气试验（第二版）》内容进行了大幅度的修改完善和充实更新，删改了比较陈旧的3章20多节内容，新增了9章20多节新内容，新增及修改内容达30万字以上，使本书内容更加适合读者的需求。

《电气试验（第三版）》修订工作主要由王寅仲高工负责完成，王寅仲高工退休后被聘为技术专家一直活跃在生产现场，协助企业解决电气试验技术问题，从事他热爱的电气试验技术工作。作为一个终身从事电气试验工作的老专家，他不顾76岁高龄，投入大量精力，多方征求现场技术人员的需求和意见，以一个老专家对技术的热爱精神和认真、严谨、无私、负责的态度修改本书，本书修订工作处处都浸透着王高工的心血。本书新增第二、三、二十四、二十五、三十一、三十二章由王寅仲高工编写，新增第九、十二、二十八章由温志筠高工编写。温志筠高工2007年研究生毕业于西安交通大学高电压技术专业，在甘肃电力科学研究院从事高压电气设备故障诊断、设备技术监督和状态评价等工作，是甘肃省电力公司优秀专家和国家电网公司专业领军人才。本书最后由甘肃省电力公司高电压技术专业首席专家吕景顺高工审阅定稿。

科学无国界，技术无止境。由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者继续给予厚爱，给予批评指正和良好建议。

陈天翔博士

2015年9月于厦门理工学院

第一版前言

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、相同职称的医生的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。

第二版前言

《电气试验》一书自 2005 年 7 月出版发行以来，由于切合现场工作实际，受到了读者好评和欢迎，先后印刷 6 次，加之作者主编的 1998 年版《电气试验》一书发行近 4 万册。本书被我的母校西安交通大学高电压与绝缘技术系当做教材，被一些省的电力行业技能鉴定中心作为电气试验工种技师、高级技师技能鉴定的培训教材和唯一的参考教材，一些电力企业的培训单位邀请我们去讲课，热心的读者也纷纷来信向我们提出修改完善的建议，对本书寄予厚望。

近两年来，电网有了很大的发展，电气试验技术和试验设备仪器也有了很大的提高和改进。结合国家有关部门和国家电网公司等企业新出台的有关规程和一些新的规章制度，我们对《电气试验》第一版的内容进行了全面的修改完善和充实更新，新增了 3 章和 10 多节内容，新增及修改内容近 40 万字。由于本书作者均是多年从事现场试验工作的技术人员，本书继续保持原书通俗易懂、充分结合生产实际、现场实践经验丰富、针对性实用性强的特色，使《电气试验》内容更新、更加丰富全面，使用和参考价值更大。

《电气试验》第二版的修订工作主要由王寅仲高工负责。海世杰是兰州超高压输变电公司的技术人员，从事 110~750kV 电力设备的预防性试验近二十年，经常负责大型电力设备的现场试验任务，熟悉新的电力设备和新的电气试验技术，与王寅仲高工一样具有丰富的现场经验。

本书经天津城东供电公司李志坚高工、福建南平供电局魏盛彪高工和厦门理工学院陈丽安教授审阅并提出了宝贵意见，由甘肃省电力公司高电压技术专业技术带头人、甘肃电力科学研究院总工程师吕景顺审阅定稿。

由于作者和鲁华祥研究员等著的《电力设备 $\tan\delta$ 在线监测技术》一书已由中国电力出版社出版发行，因此对《电气试验》一书第三部分“绝缘在线监测方法”未做大的修改，欢迎感兴趣的读者阅读《电力设备 $\tan\delta$ 在线监测技术》一书和同类读物。

本书在编写过程中，参考了许多教材和文献，参考并引用了有关同志的研究结论和试验结果，在此向他们表示衷心的感谢！

限于编者水平所限，书中难免存在不足和错误之处，恳请广大读者一如既往给予厚爱，继续批评、指正。

陈天翔博士

2008 年 10 月于厦门理工学院

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，一些智能化的试验仪器，其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，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；第三篇是绝缘在线监测技术。

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和技术上的问题，以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	
第一版前言	
第二版前言	

第一篇 电力设备预防性试验的 基本知识与基本方法

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	3
第三节 电气试验人员应具备的素质	4
本章提示	6
本章重点	7
复习题	7
第二章 电气绝缘试验基础知识	8
本章提示	12
本章重点	12
复习题	12
第三章 气象条件对电力设备试验的影响和采取的技术措施	13
本章提示	16
本章重点	16
复习题	16
第四章 电气设备外绝缘放电电压大气条件校正	17
本章提示	18
本章重点	18
复习题	18
第五章 绝缘电阻、吸收比和极化指数试验	19
第一节 绝缘电阻、吸收比和极化指数的原理	19
第二节 绝缘电阻表的原理与接线	21
第三节 影响绝缘电阻的因素	22
第四节 绝缘电阻的测试及其注意事项	24
第五节 绝缘电阻表的类型和特点	25
本章提示	26
本章重点	26

复习题	27
第六章 直流泄漏电流试验及直流耐压试验	28
第一节 泄漏电流试验及直流耐压试验的原理及特点	28
第二节 试验设备及接线	29
第三节 影响泄漏电流测量的因素	33
第四节 异常现象分析及注意事项	35
本章提示	36
本章重点	36
复习题	36
第七章 介质损耗因数 $\tan\delta$ 试验	37
第一节 $\tan\delta$ 测量的原理和意义	37
第二节 测量 $\tan\delta$ 的仪器	40
第三节 电磁场干扰下的 $\tan\delta$ 试验	45
第四节 影响 $\tan\delta$ 测量的因素	49
第五节 新型介质损耗测试仪的特点	53
本章提示	53
本章重点	53
复习题	53
第八章 交流耐压试验	54
第一节 交流耐压试验的目的与意义	54
第二节 交流耐压试验的方法	55
第三节 交流高压的测量	59
第四节 交流耐压试验的操作要点及异常现象分析	63
第五节 新的交流耐压试验方法	65
第六节 交流耐压试验频率选择	67
本章提示	68
本章重点	68
复习题	68
第九章 变压器局部放电测量试验	69
第一节 局部放电机理	69
第二节 试验标准	72
第三节 局部放电测量原理及接线	73
第四节 局部放电测量系统	76
第五节 抗干扰措施	77
第六节 局部电源定位	80
第七节 试验加压回路	84
第八节 试验加压设备	89
第九节 试验实例	92
本章提示	96

本章重点	96
复习题	96



第二篇 各类电力设备的预防性试验

第十章 电力变压器试验	99
第一节 绕组绝缘电阻、吸收比和极化指数试验	99
第二节 泄漏电流试验	104
第三节 介质损耗因数 $\tan\delta$ 试验	104
第四节 交流耐压试验	110
第五节 直流电阻试验	112
第六节 变比试验	117
第七节 变压器的极性和组别试验	121
第八节 空载试验	124
第九节 变压器感应耐压试验	130
第十节 变压器绕组变形测试	136
第十一节 铁芯（有外引接地线的）绝缘电阻试验	141
第十二节 变压器现场干燥方法	143
第十三节 变压器分接开关试验	154
第十四节 变压器绝缘纸（板）含水量测量	158
第十五节 变压器油流带电试验	159
第十六节 变压器短路试验	161
第十七节 变压器零序阻抗测量	167
第十八节 绝缘油带电度试验	168
第十九节 绝缘油颗粒含量试验	170
第二十节 变压器冷却系统电动机吸收功率测量	171
本章提示	177
本章重点	177
复习题	178
第十一章 互感器试验	179
第一节 电压互感器绝缘试验	179
第二节 电流互感器绝缘试验	188
第三节 互感器特性试验	191
第四节 充油电流互感器干燥试验方法	193
第五节 充油电压互感器干燥试验方法	194
第六节 电流互感器铁芯退磁试验	195
本章提示	196
本章重点	196
复习题	196

第十二章	断路器和气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS) 试验	197
第一节	绝缘电阻和泄漏电流试验	197
第二节	真空断路器交流耐压试验	198
第三节	断路器速度测量	198
第四节	断路器动作时间测量	200
第五节	断路器导电回路直流电阻测量	202
第六节	真空断路器真空度试验	203
第七节	SF ₆ 断路器和气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS) 交流耐压试验	203
第八节	GIS 设备主回路接触电阻测量	210
	本章提示	211
	本章重点	211
	复习题	212
第十三章	套管试验	213
第一节	测量绝缘电阻	213
第二节	介质损耗因数 $\tan\delta$ 和电容量测量	213
第三节	交流耐压试验	217
第四节	电容式套管测量小套管试验	218
	本章提示	218
	本章重点	218
	复习题	218
第十四章	电容器试验	219
第一节	测量绝缘电阻	219
第二节	介质损耗因数 $\tan\delta$ 和电容量测量	220
第三节	交流耐压试验	223
第四节	冲击合闸试验	223
第五节	并联电阻值自放电测量法	223
	本章提示	224
	本章重点	225
	复习题	225
第十五章	避雷器试验	226
第一节	金属氧化物避雷器 (MOA) 试验	226
第二节	避雷器基座及放电计数器试验	229
第三节	金属氧化物避雷器 (MOA) 带电测试	230
第四节	金属氧化物避雷器工频参考电压试验	230
	本章提示	231
	本章重点	231
	复习题	231
第十六章	电力电缆试验	232
第一节	测量绝缘电阻	233

第二节	直流耐压和泄漏电流试验	233
第三节	电力电缆相别的检测	235
第四节	电缆故障探测	235
第五节	橡塑电缆耐压试验	245
	本章提示	247
	本章重点	247
	复习题	247
第十七章	绝缘子试验和防污闪试验	249
第一节	测量绝缘电阻	249
第二节	交流耐压试验	249
第三节	带电检测绝缘子	250
第四节	防污闪技术	253
第五节	复合绝缘子的憎水性试验	254
	本章提示	257
	本章重点	257
	复习题	257
第十八章	绝缘油和 SF₆ 气体	258
第一节	绝缘油质量要求	258
第二节	绝缘油及其用途	258
第三节	绝缘油的老化分析	259
第四节	水分对绝缘油的影响	260
第五节	对绝缘油进行化学分析的意义	261
第六节	绝缘油的电气试验	262
第七节	绝缘油中溶解气体分析和故障判断方法	265
第八节	分析变压器绝缘油中微量金属含量判断变压器故障部位	275
第九节	SF ₆ 气体的性质	277
第十节	SF ₆ 气体的用途	278
第十一节	温度对 SF ₆ 气体湿度的影响	279
	本章提示	283
	本章重点	283
	复习题	283
第十九章	接地装置试验	284
第一节	测量接地阻抗的原理	284
第二节	接地阻抗的测量	285
第三节	接地装置的电气完整性试验	288
第四节	土壤电阻率的测量	289
第五节	接触电压和跨步电压测量	291
第六节	输电线路杆塔工频接地阻抗测试	292
第七节	水电阻率测量	295

第八节 直流接地极接地电阻、地电位分布、跨步电压和分流的测量	295
本章提示	299
本章重点	299
复习题	300
第二十章 母线试验及定相试验	301
第一节 母线试验	301
第二节 定相试验	301
本章提示	303
本章重点	303
复习题	303
第二十一章 电气绝缘安全用具试验	304
第一节 带电作业工具、装置和设备电力试验	304
第二节 绝缘安全工器具试验	322
第三节 试验报告	330
本章提示	330
本章重点	330
复习题	330
第二十二章 发电机试验	331
第一节 定子和转子绕组绝缘电阻、吸收比和极化指数	331
第二节 测量定子绕组泄漏电流和直流耐压试验	335
第三节 定子绕组交流耐压试验	337
第四节 测量定子绕组槽部线圈防晕层对地电位	342
第五节 定子绕组端部手包绝缘施加直流电压测量	342
第六节 定子和转子绕组直流电阻试验	344
第七节 测量转子绕组交流阻抗和功率损耗	345
第八节 发电机空载和短路特性试验	346
第九节 发电机轴电压测量	347
第十节 发电机相序测定	348
第十一节 定子铁芯试验	349
第十二节 转子一点接地试验	352
第十三节 转子绕组匝间绝缘短路试验	356
第十四节 测量定子绕组单相接地电容电流值	359
第十五节 汽轮发电机组退磁试验	361
第十六节 发电机定子绕组端部振动特性试验	363
第十七节 定子绕组断股试验	367
第十八节 转子绕组单开口变压器匝间短路试验	368
第十九节 发电机零序电抗试验	371
第二十节 定子绕组端部电晕检测试验	373
本章提示	380

本章重点	380
复习题	381
第二十三章 电动机试验	382
第一节 定子绕组的极性检查试验	382
第二节 定子绕组匝间绝缘试验	384
第三节 鼠笼电动机转子笼条故障检查	385
第四节 绕组的直流电阻试验	385
第五节 试验判断异步电动机旋转方向	386
第六节 电动机干燥试验	387
第七节 电动机空载试验	389
第八节 电动机短路试验	391
第九节 电动机接地故障检测	393
第十节 电动机断线故障点的寻找试验	394
本章提示	395
本章重点	395
复习题	395
第二十四章 非有效接地系统单相接地电容电流测量	396
本章提示	406
本章重点	406
复习题	406
第二十五章 输电线路试验	407
第一节 输电线路接头连接测量	407
第二节 输电线路工频参数测量	407
第三节 架空线路绝缘电阻测量	413
第四节 波阻抗测量	413
本章提示	416
本章重点	416
复习题	416



第三篇 绝缘在线监测方法

第二十六章 电容型设备带电测试	419
第一节 电容量的测量	419
第二节 介质损耗因数 $\tan\delta$ 的测量	421
第三节 中性点不平衡电压的测量	425
本章提示	426
本章重点	426
复习题	426

第二十七章 电压互感器的绝缘在线监测	427
第一节 串级式电压互感器绝缘的带电测试	427
第二节 电容式电压互感器开口三角电压测量	429
本章提示	429
本章重点	430
复习题	430
第二十八章 GIS 局部放电在线检测技术	431
本章提示	442
本章重点	442
复习题	442
第二十九章 变压器油的在线监测	443
本章提示	443
本章重点	444
复习题	444
第三十章 红外成像技术检测电力设备热故障	445
第一节 红外成像技术检测电力设备热故障的理论	445
第二节 电力系统热故障分类、检测方法及优缺点	446
第三节 红外成像技术专用名词	447
第四节 远红外成像技术判断方法和缺陷处理	447
第五节 红外成像技术现场检测的要求	448
第六节 现场红外成像测温操作方法	450
第七节 悬式绝缘子红外成像检测	450
本章提示	451
本章重点	451
复习题	451
第三十一章 其他行业检测技术在电力设备试验中的应用	452
第一节 x 光射线检测技术	452
第二节 SF ₆ 气体分解物化学检测	452
第三节 光学检测法	453
第四节 超声波无损探伤检查	453
第五节 紫外成像检测技术	454
本章提示	454
本章重点	455
复习题	455
第三十二章 试验报告	456
第一节 误差分析	456
第二节 试验数据处理	457
第三节 编写试验报告	458

本章提示	459
本章重点	459
复习题	459
附录 A 电流致热型设备缺陷诊断判据	460
附录 B 电压致热型设备缺陷诊断判据	462
附录 C 高压开关设备和控制设备各种部件、材料和绝缘介质的温度和温升极限	464
附录 D 常用材料发射率的参考值	466
附录 E 球隙放电标准表	467
参考文献	471

第一篇

电力设备预防性试验的 基本知识与基本方法



电气试验 (第三版)



如需购买，请到书店或网上书店在线购买：www.cntradingbook.com