

165274

TM-33
4303

电力工人技术等级培训教材

主 编 林 虔

副主编 丁毓山 孙成宝 金 哲

(初、中、高级工适用)

电 气 试 验 工

戴庆富 潘明武 杨洪祥 胡乃有 钱菊利 编

中国水利水电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电气试验工/戴庆富等编. —北京: 中国水利水电出版社, 1997. 5

电力工人技术等级培训教材

ISBN 7-80124-445-1

I. 电… II. 戴… III. 电气设备-试验-技术培训-教材 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 06198 号

书 名	电力工人技术等级培训教材 初、中、高级工适用 电气试验工
作 者	戴庆富 潘明武 杨洪祥 胡乃有 钱菊利 编
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 32 开本 9.625 印张 208 千字
版 次	1997 年 8 月第一版 1997 年 8 月北京第一次印刷
印 数	0001—7100 册
定 价	17.00 元

面向二十一世紀

為電力工業

培育優秀職工

張鳳祥

一九九六年

六月

加强职工培训
提高人员素质
为电力工业服
务

李天

序

中华人民共和国第八届全国人民代表大会第四次会议批准了《中华人民共和国国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》，《纲要》是国民经济和社会发展的指导方针和奋斗目标，对深化改革，推进两个转变，加强和改善宏观调控，保证国民经济持续、快速、健康地发展，实行科教兴国，促进两个文明建设，有巨大的推动作用。

科教兴国的伟大战略，是党中央的高瞻远瞩。国运兴衰，系于教育，我们正处在新旧世纪的交接时代，面对21世纪科学和技术的挑战，要在激烈的国际竞争中占居主动地位，关键在于人才，要实现社会主义现代化的宏伟目标，关键问题还是人才。

电力部门的岗位培训和职工教育是科教兴国宏伟战略中的重要组成部分。当前，电力工业正处在向大电网、大机组、大电厂、超高压、现代化方向发展的时期，新技术不断引进，设备正在更新换代，管理体制和管理方式正在不断地改革和完善，技术和电网运行水平的要求正在不断地提高。面对这种新的发展形势，我们深深感到：电力部门广大工人的技术素质还不适应现代化要求的水平。为此，各电力部门的领导同志，应该充分认识和全面落实“科学技术是第一生产力”的战略思想，要大力加强科教意识和科教投入，大力加强人才培养的力度，把电力的岗位培训和职工教育摆在电力工业发展的重要位置。我们应确信，只有提高电力工业部门广大技

术工人的技术素质，才能从根本上增强电力工业的科技实力，才能增强向现实生产力的转化能力，才能提高电网的管理和运行水平，才能从根本上发展电力工业，才能担负起振兴电力工业的伟大历史任务。

为了做好岗位培训工作，提高广大电力工人的技术素质，我们责成中国水利水电出版社，组织有关专家和富有实践经验的工程技术人员，遵照《电力工人技术等级标准》的要求，编写了这套“电力工人技术等级培训教材”，借以促进和配合电力工人岗位培训工作的开展。

本教材的编写提纲是由中国水利水电出版社组织有关省市电力部门的领导，有关院校的教授，富有实践经验的专家，经几次会议研究确定的。其编写的基本宗旨是：严格遵照《电力工人技术等级标准》，密切联系生产实际，既注意基本技术和技能的训练，又注意有关电力规程和规范的贯彻，使其有助于广大技术工人的技术水平和水平的提高。

要把经济建设转移到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来，岗位培训是一项不容忽视的工作，切不可重物轻人，轻人才资源开发。应该在科教兴国的热潮中，满怀信心地把这项工作抓实、抓好，为培养跨世纪的人才，为振兴电力工业，进行不懈的努力！

张维罗

前 言

电气试验工是根据《电力工人技术等级标准》的要求编写的。书中对各种电气设备，诸如变压器、断路器、互感器、避雷器等参数测定和试验方法皆作了详细的论述。书中特别对试验规范和试验规程要求给予了充分的注意，对常用的仪器和仪表也作了必要的说明。本书力求通俗易懂，按初中文化程度编写。为便于掌握本书内容和参加上岗技术考核，书中每章后附有足够的复习题，供初级工、中级工、高级工使用。

全书共分 10 章，第一章至第三章由潘明武同志编写，第四章由杨洪祥同志编写，第五章由钱菊利同志编写，第六章由胡乃有同志编写，其余各章由戴庆富同志编写。全书由丁毓山同志统稿。

特别感谢：中国电力企业联合会理事长张绍贤为本书作序；全国政协常委、原水利电力部副部长赵庆夫，全国人大代表、原水利电力部副部长、中国电力企业联合会原理事长张凤祥为本书题词。

由于编者水平有限，书中疏漏之处望不吝指正。

编 者

目 录

序

前 言

第一章 电气试验的意义和要求	1
第一节 电气设备试验的作用和分类	1
第二节 电气设备试验的技术和安全措施	3
第三节 电气试验的总体要求	5
复习思考题	7
第二章 电气设备的基本试验	9
第一节 直流电阻测量	9
第二节 绝缘电阻和吸收比试验	14
第三节 泄漏电流试验	19
第四节 介质损耗的测量	26
第五节 工频交流耐压试验	35
第六节 预防性试验的要求和效果特点分析	41
复习思考题	43
第三章 电力变压器试验	49
第一节 电力变压器试验内容和要求	49
第二节 变压器的基本试验项目	54
第三节 变压器接线组别和极性的测定	74
第四节 空载和短路试验	87
第五节 无载和有载分接开关接触电阻的测定	98
第六节 绝缘油试验和色谱分析的基本知识	98

第七节 铁芯接地的测定	110
复习思考题	115
第四章 断路器试验	120
第一节 断路器试验项目、周期和标准	120
第二节 断路器基本试验	128
第三节 均压电容值和均压电容介质损耗的测量	134
第四节 分合闸时间和速度的测定	134
第五节 操动机构检验	141
第六节 SF ₆ 气体泄漏检测	144
复习思考题	148
第五章 互感器试验	152
第一节 互感器的试验项目、周期和标准	152
第二节 交流耐压试验	156
第三节 极性试验和分接头变比试验	158
复习思考题	162
第六章 避雷器试验	165
第一节 试验项目和要求	168
第二节 绝缘电阻测定	172
第三节 电导电流及串联元件非线性系数测定	173
第四节 工频放电电压测量	178
第五节 管型避雷器检查	183
第六节 氧化锌避雷器试验	186
复习思考题	190
第七章 电力电缆	194
第一节 绝缘电阻的测量	194
第二节 直流耐压试验和测量泄漏电流	196
第三节 相位测定	200

第四节 故障探测	201
复习思考题	212
第八章 接地装置试验	215
第一节 试验的目的和要求	215
第二节 土壤电阻率测定	219
第三节 接地电阻的测定	223
复习思考题	230
第九章 安全用具试验	233
第一节 概述	233
第二节 绝缘杆试验	235
第三节 绝缘手套和绝缘靴试验	238
第四节 绝缘台和验电器试验	241
复习思考题	246
第十章 试验仪器和试验方案	247
第一节 单、双臂电桥及高压平衡电桥	247
第二节 接地电阻测定仪和介质损耗测定仪	260
第三节 电力变压器大修试验方案	267
第四节 电压互感器预防性试验方案	268
第五节 电流互感器介质损耗测定的标准分析	269
复习思考题	271
附录	273
附录一 直流电阻的温度换算	273
附录二 绝缘电阻的温度换算	275
附录三 直流泄漏电流的温度换算	278
附录四 断路器的时间速度特性和导电回路电阻标准	280
附录五 介质损失角正切值 $\tan\delta$ 的温度换算	294
附录六 常用高压硅堆技术参数	296

第一章 电气试验的意义和要求

第一节 电气设备试验的作用和分类

一、电气试验的作用

电力系统包括众多的电气设备，有些电气设备的故障甚至会威胁到整个系统的安全供电。电力生产的实践证明，对电气设备按规定开展检测试验工作，是防患于未然，保证电力系统安全、经济运行的重要措施之一。所谓“预防性试验”由此得名。

对于新安装和大修后的电气设备进行的试验，称为交接验收试验。其目的是鉴定电气设备本身及其安装和大修的质量。交接验收试验和预防性试验的目的是一致的。

二、电气试验的分类

按试验的作用和要求不同，电气设备的试验可分为绝缘试验和特性试验两大类。

1. 绝缘试验

电气设备的绝缘缺陷，一种是制造时潜伏下来的；一种是在外界作用下发展起来的。外界作用有工作电压、过电压、潮湿、机械力、热作用、化学作用等等。

上述各种原因所造成的绝缘缺陷，可分为两大类：

(1) 集中性缺陷。如绝缘子的瓷质开裂；发电机绝缘的局部磨损、挤压破裂；电缆绝缘的气隙在电压作用下发生局部放电而逐步损伤绝缘；其他的机械损伤、局部受潮等等。

(2) 分布性缺陷。指电气设备的整体绝缘性能下降，如电机、套管等绝缘中的有机材料受潮、老化、变质等等。

绝缘内部缺陷的存在，降低了电气设备的绝缘水平，我们可以通过一些试验的方法，把隐藏的缺陷检查出来。试验方法一般分为两大类：

(1) 非破坏性试验。是指在较低的电压下，或是用其他不会损伤绝缘的办法来测量各种特性，从而判断绝缘内部的缺陷。实践证明，这类方法是有效的，但由于试验的电压较低，有些缺陷不能充分暴露，目前还不能只靠它来可靠地判断绝缘水平，还需我们不断地改进非破坏性试验方法。

(2) 破坏性试验，或称为耐压试验。这类试验对绝缘的考验是严格的，特别是能揭露那些危险性较大的集中性缺陷。通过这类试验，能保证绝缘有一定的水平和裕度，其缺点是可能在试验中给被试设备的绝缘造成一定的损伤，但在目前仍然是绝缘试验中的一项主要方法。

为了避免破坏性试验对绝缘的无辜损伤而增加修复的难度，破坏性试验往往在非破坏性试验之后进行，如果非破坏性试验已表明绝缘存在不正常情况，则必须在查明原因并加以消除后再进行破坏性试验。

2. 特性试验

通常把绝缘以外的试验统称为特性试验。这类试验主要是对电气设备的电气或机械方面的某些特性进行测试，如变压器和互感器的变比试验、极性试验；线圈的直流电阻测量；断路器的导电回路电阻、分合闸时间和速度试验等等。

上述试验有它们的共同目的，就是揭露缺陷，但又各具一定的局限性。试验人员应根据试验结果，结合出厂及历年的数据进行纵向比较，并与同类型设备的试验数据及标准进行横向比较，经过综合分析来判断设备缺陷或薄弱环节，为检修和运行提供依据。

第二节 电气设备试验的技术和安全措施

电气试验必须坚持实事求是的科学态度,要严肃认真,既不应放过隐患,更不应将隐患扩大化。

一、技术措施

(1) 周密的准备工作。包括:拟订试验程序;准备好试验设备、仪器及仪表、电源控制箱;准备好绝缘接地棒、接地线、小线、工具等等。

(2) 合理、整齐地布置试验场地。试验器具应靠近试品,所有带电部分应互相隔开,面向试验人员并处于视线之内。操作者的活动范围及与带电部分的最小允许距离应按表 1-1 规定。调压、测量装置及电源控制箱应靠近放置,并由 1 人操作和读数。

表 1-1 操作人员活动范围及与带电设备的最小距离 (m)

电压等级 (kV)	6~10	25~35	60~110	220
不设防护栏时	0.7	1.0	1.5	3.0
设防护栏时	0.35	0.6	1.0	2.0

(3) 试验接线应清晰明了、无误。

(4) 操作顺序应有条不紊,试验接线应正确无误。在操作中除有特殊要求,均不得突然加压或失压,当发生异常现象时,应立即停止升压,并应立即进行降压、断电、放电、接地,而后再检查分析。

(5) 做好试验的善后工作。善后工作包括清理现场,以

防在试品上遗忘物件，妥善保管试验器具，以利再次使用。

(6) 试验记录。对试验项目、测量数据、试品名称及编号、仪器仪表编号、气象条件及试验时间等应进行详细的记录，作为分析和判断设备状态的依据，然后整理成试验报告，以便抄报和存档。

二、安全措施

交接和预防性试验中的多数试品装设在发电厂、变电所现场，由于试品的对外引线、接地装置易触及附近的带电运行设备，加之人员嘈杂和堆放的杂物等情况，均增加了试验工作的复杂性。在试验项目中，有些要施加高电压，这样就必须具备完善的安全措施才能开展工作。

1) 现场工作必须执行工作票制度、工作许可制度、工作监护制度、工作间断和转移及终结制度。

2) 在试验现场应装设遮栏或围栏，悬挂“止步，高压危险！”标示牌，并派专人看守。试品两端不在同一地点时，另一端还应派人看守。

3) 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，负责人应对全体试验人员详细布置试验中的安全事项。

4) 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。

5) 试验器具的金属外壳应可靠接地，高压引线应尽量缩短，必要时用绝缘物支持牢固。为了在试验时确保高压电压回路的任何部分不对接地体放电，高电压回路与接地体（如墙壁、金属围栏、接地线等）的距离必须留有足够的裕度。

6) 试验装置的电源开关，应使用具有明显断点的双极闸刀，并保证有两个串联断开点和可靠的过载保护设施。

7) 加压前必须认真检查接线、表计量程, 确信调压器在零位及仪表的开始状态均正确无误, 并通知有关人员离开被试设备, 在取得试验负责人许可后, 方可加压, 加压过程中应有人监护。

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

8) 变更接线或试验结束时, 应首先降下电压, 断开电源、放电, 并将升压装置的高压部分短路接地。

9) 未装接地线的大电容试品, 应先放电再进行试验。进行高压直流试验时, 每告一段落或试验结束后, 应将试品对地放电数次并短路接地后方可接触。

10) 试验结束时, 试验人员应拆除自装的接地短路线, 并对试品进行检查和清理现场。

第三节 电气试验的总体要求

电气设备的预防性试验是判断设备能否继续投入运行、预防设备损坏及保证安全运行的重要措施。凡电力系统的设备, 均应根据原水利电力部 1985 年颁布的《电气设备预防性试验规程》的要求进行预防性试验。

1) 《电气设备预防性试验规程》的各项规定是检查设备的基本要求, 应认真执行。在维护、检修工作中, 有关人员还应执行部颁检修、运行的有关规定, 不断提高质量, 坚持预防为主, 积极改进设备, 使设备能长期、安全、经济地运行。

2) 坚持科学的态度, 对试验结果必须全面地、历史地进行综合分析, 掌握设备性能变化的规律和趋势。要加强技术

管理，健全资料档案，开展技术革新，不断提高试验技术水平。

3) 额定电压为 110 kV 以下的电气设备，应按《电气设备预防性试验规程》规定进行交流耐压试验（有特殊规定者除外）。对于电力变压器和互感器，在局部和全部更换绕组后，应进行耐压试验。

4) 进行绝缘试验时，应尽量将连接在一起的各种设备分离开来单独试验（成套设备除外），同一试验标准的设备可以连在一起试。为了便利现场试验工作，已经有了单独试验记录的若干同一试验标准的电气设备，在单独试验有困难时，也可以连在一起进行试验，此时，试验标准应采用连接的各种设备中的最低标准。

5) 当电气设备的额定电压与实际使用的额定工作电压不同时，应根据下列原则确定试验电压的标准：①当采用额定电压较高的电气设备以加强绝缘者，应按照设备的额定电压标准进行试验；②采用额定电压较高的电气设备，在已满足产品通用性的要求时，应按照设备实际使用的额定工作电压的标准进行试验；③采用较高电压等级的电气设备，在已满足高海拔地区或污秽地区要求时，应在安装地点按照实际使用的额定工作电压的标准进行试验。

6) 在进行与温度、湿度有关的各种电气试验时（如测量直流电阻、绝缘电阻、损耗因数、泄漏电流等），应同时测量被试物和周围空气的温度、湿度。绝缘试验应在良好的天气，且被试物温度及周围空气温度不低于 5℃，空气相对湿度一般不高于 80% 的条件下进行。

7) 对于绝缘电阻的测量，规定用 60s 的绝缘电阻 (R_{60})；吸收比的测量，规定用 60s 与 15s 绝缘电阻的比值 (R_{60}/R_{15})。

复习思考题

1. 名词解释

- (1) 绝缘试验；(2) 集中性缺陷；(3) 分布性缺陷；
(4) 非破坏性试验；(5) 破坏性试验；(6) 特性试验。

2. 何谓电气试验，其在生产中的作用如何？

3. 试述绝缘缺陷的分类，其各自特点是什么？

4. 试述预防性试验的技术措施。

5. 试述预防性试验的安全措施。

6. 填空题

(1) 试验装置的电源开关，应使用具有（ ）的双极闸刀，并保证有（ ）断开点和（ ）的过载保护设施。

(2) 现场工作必须执行（ ）制度、（ ）制度、（ ）制度、（ ）和（ ）及（ ）制度。

(3) 对未装接地线的大电容试品，应先（ ）后，再进行试验。

(4) 高压试验工作不得少于（ ）人，试验负责人应由（ ）担任。

(5) 在试验现场应装设（ ）或（ ），悬挂（ ）标示牌，并派（ ）看守。

(6) 试验器具的金属外壳应（ ），高压引线应（ ）。

7. 选择题

(1) 对 60~110 kV 的带电设备，操作人员应与其保持的最小距离是：

(A) 1.5m；(B) 2.0m；(C) 1m。

(2) 变压器绝缘材料老化、受潮是：

(A) 集中性缺陷；(B) 分布性缺陷。