

冶金动力职业技能培训系列教材

实用电气试验技术



河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂 编
张卫 李秋明 主编

SHIYONG DIANQI SHIYAN JISHU



NLIC 2970711286



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国家示范性高等职业院校规划教材

实用电气试验技术

北京机械工业职业技术学院机电工程系 编

编 者 曹德顺 主编



9 7873021 970000 >



北京机械工业出版社
BEIJING MECHANICAL INDUSTRY PRESS

ISBN 7-302-19700-0

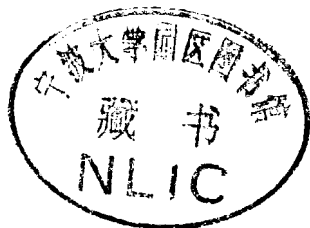
冶金动力职业技能培训系列教材

实用电气试验技术

河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂 编

主编 张 卫 李秋明

参编 刘立灿 苗永增 韩荣莲 赵英杰 李 宏



NLIC 2970711286



机械工业出版社

本书主要内容包括电气试验的主要项目、常用试验仪器仪表的使用方法以及电机、变压器、开关设备、互感器、电容器、电抗器、接地装置、安全用具的试验方法。本书包含了编者大量现场试验经验的总结和体会,对从事 35kV 及以下电气设备的现场试验人员具有参考作用,也可以作为电气试验人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

实用电气试验技术/张卫,李秋明主编. —北京:机械工业出版社,2011.5

冶金动力职业技能培训系列教材

ISBN 978-7-111-33847-5

I. ①实… II. ①张…②李… III. ①电工试验-职业培训-教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 048689 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:吕德齐 责任编辑:吕德齐

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀芝

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2011 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

140mm×203mm·6.75 印张·179 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33847-5

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑 (010) 88379772

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

丛 书 序

河北钢铁集团邯郸分公司（原邯钢）始建于1958年，邯钢动力厂长期从事氧气、氮气、氩气、氢气和压缩空气的生产输送，高炉煤气余压发电，220kV、110kV、35kV输变电、继电保护试验，电机、变压器的修理试验等工作。长期的工作实践，使邯钢气体厂积累了雄厚的技术力量和丰富的实践经验。

近年来，伴随着邯钢的产业结构调整、生产规模扩大、装备更新换代，动力厂以实现企业的可持续发展为目标，一手抓装备的更新改造，一手抓员工素质的提高。2002年以来，动力厂始终把员工职业技能的培训和提高作为本单位最重要的工作之一，常抓不懈。本套培训教材就是动力厂70多位工程技术人员和老技师自己编写的，并在动力厂作为长期使用的操作岗位员工职业技能培训专用教材。

本套教材以操作岗位员工为对象，以提高员工的操作技能、安全生产能力和应急处理能力为重点。全套丛书共有10册，分别是《气体压缩机运行与维护》、《气体深冷分离操作指南》、《气体吸附制取操作指南》、《制氧站辅助系统运行与维护》、《气体生产系统安全》、《余压发电站运行与维护》、《变电站运行与维护》、《常用电气设备的维修》、《实用电气试验技术》、《电气运行维检安全》。

衷心希望本套培训教材能够给同行们提供一定的帮助和借鉴，共同为冶金动力事业做出贡献。

敬 卫

前 言

和电力主系统相比，企业供电特别是冶金企业供电有其自身的特点：一是运行环境恶劣，一般污染比较严重，绝缘子积灰时会造成绝缘下降；二是倒闸操作频繁，频繁的操作会使开关触头被电弧烧蚀严重，也会使机械机构磨损严重而发生故障；三是运行电流大，如果电气连接点接触电阻超标或者通风散热条件差，可能会造成设备发热而烧毁设备。如果没有及时检测设备的性能，发现设备的缺陷和隐患，就有可能造成严重的停电事故，影响正常的生产经营。

电气试验是诊断电气设备性能非常重要的手段之一。要想通过电气试验判断设备性能的优劣、是否存在缺陷、能否投入带电运行，除了要严格按照电气试验规程、电气试验现场实施导则、电气试验设备使用方法进行电气试验的各个项目外，还要有丰富的现场分析和判断经验。电气设备运行的环境、状态不相同，则出现的缺陷和损坏的程度也不相同，很多时候需要丰富的经验来判断设备是否能够继续带电运行。

本书编者都是在电气试验岗位及相应的技术管理上工作了几十年的高级工程师和高级技师，在实践中积累了丰富的经验。主编张卫、李秋明，参加编写人员有（按章节顺序）：苗永增、韩荣莲、刘立灿、赵英杰、李宏。全书由刘立灿负责统稿。

编写本书时，除了总结了编者大量的电气试验经验外，还参考了大量的国家电气试验规程、标准、现场实施导则及其他相关书籍，在此对这些资料的作者表示衷心感谢。

如果本书能够对您解决电气试验中存在的一些问题有所帮助，我们将感到无比欣慰。由于编者水平有限，加之有许多内容是总结的现场经验，错漏之处在所难免，恳请读者能够与我们联系，多提宝贵意见，我们将不胜感激。

本书编写组

目 录

从书序

前言

第一章 电气试验的基本知识	1
第一节 电气试验的意义	1
第二节 电气试验的分类	1
第三节 电气试验人员应具备的素质	3
第四节 试验数据的分析和判断	6
第二章 电工测量的基本方法	8
第一节 电工测量方法	8
第二节 仪表误差的表达方式	10
第三节 仪表的准确度	11
第四节 数字仪表	13
第五节 读取指示仪表注意事项	15
第三章 绝缘电阻	16
第一节 测量绝缘电阻能够发现的缺陷	16
第二节 测量绝缘电阻的基本原理	16
第三节 测量绝缘电阻的仪表	20
第四节 测量绝缘电阻的方法及注意事项	24
第五节 影响绝缘电阻的因素	26
第六节 测量结果的分析与判断	28
第七节 现场经验交流	29
第四章 直流泄漏电流试验及直流耐压试验	32
第一节 测量原理及特点	32
第二节 测试设备及接线	34
第三节 影响测量结果的因素	41

第四节	异常现象分析、判断和处理	45
第五章	工频交流耐压试验	48
第一节	交流耐压试验的目的和意义	48
第二节	工频交流耐压试验方法	51
第三节	交流耐压试验操作要点	55
第四节	交流耐压试验中的异常现象分析	56
第五节	常见问题处理方法	58
第六章	直流电机试验	61
第一节	绝缘试验	61
第二节	直流电阻测量	62
第三节	确定电刷的中性位置	65
第四节	绕组极性及其连接正确性的检查	68
第七章	异步电动机试验	75
第一节	绝缘电阻和吸收比测定	75
第二节	定子绕组的直流耐压和泄漏电流测量	78
第三节	测量绕组的直流电阻	83
第四节	定子绕组的交流耐压试验	84
第五节	检查定子绕组的极性	88
第八章	同步发电机试验	90
第一节	测量绝缘电阻和吸收比	90
第二节	定子绕组直流泄漏电流及直流耐压试验	93
第三节	发电机的交流耐压试验	97
第四节	测量发电机的直流电阻	101
第五节	发电机轴电压测量	105
第六节	定子绕组极性检查	107
第七节	发电机的相序测定	108
第八节	现场经验交流	109
第九章	电力变压器试验	111
第一节	测量绕组的绝缘电阻和吸收比	112
第二节	测量绕组的泄漏电流	114

第三节	交流耐压试验	117
第四节	测量绕组的直流电阻	120
第五节	绝缘油试验	126
第六节	电炉变压器试验及注意事项	129
第十章	电力电缆试验	136
第一节	测量绝缘电阻	136
第二节	直流耐压和泄漏电流试验	137
第三节	电力电缆相位的检测	140
第四节	交联聚乙烯电缆试验	141
第五节	交联聚乙烯电缆试验分析	143
第六节	交联聚乙烯电缆的交流耐压试验	145
第十一章	互感器试验	153
第一节	电流互感器绝缘试验	153
第二节	电压互感器绝缘试验	154
第三节	互感器的特性试验	157
第十二章	断路器的试验	162
第一节	测量绝缘电阻	162
第二节	真空断路器的试验	163
第三节	断路器特性试验	167
第四节	成套高压开关柜试验	174
第十三章	电力电容器试验	176
第一节	绝缘电阻测试	176
第二节	电容值测试	176
第三节	交流耐压试验	177
第四节	冲击合闸试验	177
第十四章	电抗器试验	179
第一节	概述	179
第二节	绝缘电阻测量	180
第三节	交流耐压试验	180
第四节	阻抗值测试	181

第十五章	避雷器试验	183
第一节	绝缘电阻试验	183
第二节	氧化锌避雷器常规试验	183
第三节	组合式过电压吸收器试验	185
第十六章	母线试验及定相试验	187
第一节	母线试验	187
第二节	母线定相试验	188
第十七章	接地电阻测试	190
第一节	概述	190
第二节	接地电阻测量方法	191
第三节	接地电阻测量周期及标准	199
第四节	常见接地装置故障处理	201
第十八章	安全用具试验	203
第一节	绝缘靴和绝缘手套试验	203
第二节	绝缘棒试验	204
第三节	其他绝缘用具试验周期及标准	205
第四节	绝缘用具试验安全注意事项	206
参考文献	207

第一章 电气试验的基本知识

第一节 电气试验的意义

电力系统包括发电、输电、变配电、用电等众多的电气设备，电气设备的故障会造成电力网络运行电压、电流等参数的剧烈变动，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，能够及时发现运行设备潜在的缺陷和隐患，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。

对于新安装和大修后的电气设备进行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。电气设备的预防性试验是指对已投入运行的电气设备按规定的试验条件、试验项目和试验周期所进行的试验，通过试验数据和结论判断设备能否继续投入运行，其目的都是为了保证电气设备的安全运行。

第二节 电气试验的分类

按照试验的性质和要求，电气设备的试验可分为绝缘试验和特性试验两大类。

一、绝缘试验

众所周知，电气设备在长期的运行过程中会受到电场的作用、导体发热的作用、机械力损伤、化学腐蚀作用以及大气条件的影响等。在这些外界因素的影响下，电气设备可能逐渐老化，使其绝缘性能逐渐变坏，这就是通常所说的劣化。劣化的绝缘有的是可逆的，有的是不可逆的。例如，绝

缘受潮后其性能下降，但进行干燥后，又恢复其原有的绝缘性能，显然它是可逆的。若绝缘在各种因素的长期作用下发生一系列的化学、物理变化，导致绝缘性能和力学性能等不断下降，则称这种劣化为老化，它是不可逆的劣化。例如局部放电时会产生臭氧，很容易使绝缘材料发生臭氧裂变，导致材料性能老化；油在电弧的高温作用下能分解出碳，油被氧化而生成水和酸，都会使油逐渐老化。正确区分绝缘的可逆劣化和不可逆劣化，在预防性试验中具有重要意义。综上所述，各种原因所造成的绝缘缺陷可分为集中性缺陷和分布性缺陷两类。

1) 集中性缺陷。指缺陷集于绝缘的某个或某几个部分，例如局部受潮、局部机械损伤、绝缘内部气泡、瓷介质裂纹等，它又分为贯穿性缺陷和非贯穿性缺陷，这类缺陷的发展速度较快，因而具有较大的危险性。

2) 分布性缺陷。指由于受潮、过热、动力负荷及长时间过电压的作用导致的电气设备整体绝缘性能下降，例如绝缘整体受潮、充油设备的油变质等，它是一种普遍性的劣化，是缓慢演变、发展的。

既然电气设备绝缘有缺陷，那么它的绝缘性能就要发生变化。这样，我们就可以通过某种试验手段测试其性能的有关参数，以查找绝缘存在的缺陷。因此，我国规定：凡电力系统的设备，应根据《电力设备预防性试验规程》（以下简称《规程》）的要求进行预防性试验。它已成为我国电力生产中的一项重要制度。电气设备预防性试验通常按其对被试绝缘的重要性进行分类，包括以下两类：

1) 非破坏性试验。在较低电压（低于或接近额定电压）下进行的试验称为非破坏性试验。主要指测量绝缘电阻、泄漏电流和介质损失角正切等电气试验项目。由于这类试验施加的电压较低，故不会损伤设备的绝缘性能，其目的是判断绝缘状态，及时发现可能的劣化现象。

2) 破坏性试验。在高于工作电压下所进行的试验称为破坏性试验。试验时在设备绝缘上加上规定的试验电压, 考验绝缘对此电压的耐受能力, 因此也叫耐压试验。它主要指交流耐压和直流耐压试验。由于这类试验所加电压较高, 考验比较直接和严格, 但也有可能在试验过程中给绝缘造成一定的损伤, 故而得名。

应当指出, 这两类试验是有一定顺序的, 应首先进行非破坏性试验合格之后, 然后再进行破坏性试验, 这样可以避免不应有的击穿事件。例如进行变压器预防性试验时, 当用非破坏性试验检测出其受潮后, 应当先进行干燥, 然后再进行破坏性试验, 这样可以避免变压器一开始试验就发生绝缘击穿放电故障, 造成修复困难。

二、特性试验

一般将绝缘试验以外的试验都称为特性试验。特性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, 断路器导电回路的接触电阻, 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 与该设备的出厂试验及历次试验结果进行比较, 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》给出的标准进行比较是否超标, 综合分析和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电气设备安全运行方面担负着重要责任。作为一个合格的电气试验人员, 应该一不要因为自己工作失误造成设备事故, 二不要放过设备隐患, 三不要误判断, 因

此必须具备以下条件：

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和良好的安全自我保护意识，上岗前必须经过《电力安全工作规程》的培训并通过安全考试。

交接和预防性试验通常工作在变电所和现场，大多是设备综合性检修，检修人员由于分工不同有时还需要穿插作业，加之被试品所处环境的局限、人员杂乱和堆放杂物等，这些均增加了试验工作的难度和复杂性。在有些试验项目中需要施加高电压，这样就必须具备完善的安全措施才能开展工作，具体如下：

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，另一端除布置相应警示标志、安全围网（遮栏）外，必须派专人看守。

3) 高压试验工作不得少于两人，试验负责人必须由有经验的人员担任。开始试验前，负责人应向全体试验人员详细说明试验中的注意事项和安全事项。

4) 因试验需要断开电气设备接头时，拆前应做好标记，恢复连接后应认真进行检查。

5) 试验设备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、设备金属外壳等）的距离必须留有足够的裕量，由于环境的局限不能满足试验要求的，必须采取技术措施，确保人身和设备的安全。

6) 试验装置的电源开关，应使用具有明显断开点的双极刀

开关，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试验接线，计量器具的倍率、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后，方可加压。加压过程中应有人监护。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。

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，并对被试品进行认真检查和清理现场。

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，其技术含量非常高，既要有丰富的理论知识，又得有很高的操作技能。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形式、用途、结构及原理。

2) 熟悉变电所电气主接线及系统运行方式，熟悉电气设备的结构和原理，了解继电保护及电气设备的控制原理及实际接线。

3) 熟悉各种试验设备、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) 能够正确理解《规程》，能够正确选择各种电气设备的试验方法，熟悉每个试验项目的接线、操作及测量，熟悉各种影响试验结果的因素及消除方法。

三、具有良好的职业道德和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。作为一个电气试验人员应当做到：

1) 干一行，爱一行；学一行，精一行；爱岗敬业，尽职尽责。

2) 试验前要进行周密的准备工作，根据电气设备的试验项目，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、设备及工具。

3) 安全合理布置试验场地，做好安全措施，对测量、控制及操作装置应在就近处合理放置，以便于操作及读数。

4) 必须正确无误地接线、操作，对异常现象必须一查到底。

5) 试验结束，对仪器、仪表、引线要妥善保管，试验现场清理要彻底。

6) 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。

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

第四节 试验数据的分析和判断

要想准确分析和判断试验数据，首先要了解电气设备的构造、性能、工作原理，不断提高电工理论知识水平，达到“知己知彼”的境界，自然而然就提高了分析与判断能力，也就是说“知识从书中提取”，一句话多看专业书籍。然后在本职工作中多问、多干、多接触、多总结、多参加培训，即“经验从实践中来”，只要肯付出一定有收获。再次，平时注意搜集所需资料，包括设备技术资料、设备运行资料、设备检修资料等，做到“日积月累积财富，随用随取用就有”。

1) 技术资料是掌握电气设备运行情况,分析绝缘劣化趋势,总结电气设备运行、检修与试验的依据。对每个电气设备都应建立台账,包括产品制造说明书、出厂试验报告、交接验收记录、历次试验报告以及运行记录等。

2) 虽然试验结果是分析判断的依据,但试验的全过程分析更为重要。仔细观察测量仪表的动态、静态和瞬态,注意电流随电压发展的趋势以及试验电源质量,这些都是分析判断的重要情报。

3) 了解设备在运行过程中的负荷变化、周围温度、湿度、环境与异常情况资料,这些资料对试验结果的分析判断有参考价值。

一般来说,试验方法正确,各项试验结果都在《规程》的规定范围内,则可以认为试验结果基本正确,电气设备绝缘为良好,可以投入运行。如果试验结果超过《规程》的规定范围或者被试设备没有标准可供参考时,首先考虑试验方法和试验结果的正确性,必要时进行复试验证。如果试验结果正确,可按下列原则进行分析比较:

1) 与历次试验结果比较。电气设备几乎每年都要进行预防性试验。若在运行中没有发现什么异常情况,则试验结果应该大致相同,特别是与上次试验结果比较更应接近;若两次试验结果相差过大,又超过标准很多(甚至超过100%以上)时,如果试验方法、接线与试验仪表都没有问题,则说明绝缘存在缺陷。

2) 同一设备相间比较。同一设备三相之间绝缘状况应该比较接近,如果有一相的试验结果与其他两相的不同,且超过一半以上时,则可能该相绝缘有问题。

3) 同类型电气设备比较。同类型电气设备由于结构相同,其绝缘性能也应近似。如果运行环境相同,而试验结果相差较大,则通过互相比较就可以发现问题。为了便于比较,两次试验都应在条件相近的情况下进行。