

供电企业生产技能人员实训教材

电气试验

国网河北省电力公司 组编

GONGDIANQIYE
SHENGCHAN JINENG RENYUAN
SHIXUN JIAOCAI



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

供电企业生产技能人员实训教材

电气试验

国网河北省电力公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为了加强供电企业岗位培训的基础建设,提高培训针对性和实效性,根据公司集团化运作、集约化发展、精益化管理、标准化建设的工作要求,河北省电力公司组织直属各市供电公司、超高压分公司和石家庄培训中心的专家编写了本套《供电企业人员生产技能人员实训教材》(共18本)。

本书为《电气试验》,主要包括实训基地概况,电气试验的通用要求、安全注意事项,电力变压器、有载分接开关、套管、电流互感器、电压互感器、氧化锌避雷器、耦合电容器、六氟化硫断路器及全封闭式组合电器、电力电缆等设备的结构和实训基地试验仪器,39项电气设备的例行和诊断性试验的接线方法、试验步骤、注意事项及分析判断方法,并列举10个典型设备故障案例的试验分析过程。

本书可供供电企业电气试验技能、管理人员使用,也可作为提高电气试验岗位人员工作能力的培训用书,还可作为电力职业院校教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气试验 / 国网河北省电力公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2015.10

供电企业生产技能人员实训教材

ISBN 978-7-5123-5243-8

I. ①电… II. ①国… III. ①电工试验-技术培训-教材 IV. ①TM64-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 279738 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015年10月第一版 2015年10月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 18.5印张 346千字

定价 49.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

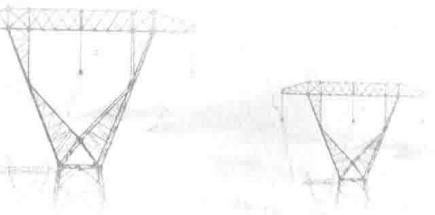
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

供电企业生产技能人员实训教材 电气试验

编 委 会

- | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|
| 主 任 | 刘克俭 | | | |
| 副 主 任 | 董双武 | 苑立国 | | |
| 成 员 | 赵 宁 | 侯书其 | 齐向党 | |
| | 王向东 | 倪广德 | 赵立刚 | |
| 编审组组长 | 赵 宁 | 齐向党 | | |
| 副 组 长 | 侯书其 | 王向东 | 倪广德 | 赵立刚 |
| 主 编 | 刘 超 | | | |
| 主 审 | 潘 瑾 | | | |
| 成 员 | 闫佳文 | 刘廷众 | 吉向新 | 刘 涛 |
| | 李文峰 | 王 民 | 王 宁 | 陈铁雷 |
| | 吕云飞 | 杨军强 | 杜晓霞 | 王孟栓 |
| | 赵金亭 | 张保瑞 | | |



序

国家电网公司董事长刘振亚曾经说过：“在改革发展的关键时期和攻坚克难的考验面前，能不能勇担责任、战胜挑战，完成好各项任务，根本要靠高素质的干部员工队伍。”从某种意义上讲，人才是企业的发展之基、转型之要、跨越之本。作为现代化国有特大型企业，必须从发展的视角、战略的高度充分认识人才培养在企业发展中的地位和作用。

国家电网公司“三集五大”体系建设进一步深化，特高压电网进入全面大规模建设阶段，河北省产业调整、产业升级、生态建设同步推进，长远来看电力需求将稳步增长，对电网发展提出更高要求。只有持续提高电网安全运行水平，才能切实担负起服务京津冀协同发展、促进产业转型升级、服务保障民生的重任。电网生产技能人员是电网企业安全生产的基础，如何培养出一支满足公司发展和电网发展需要的生产技能人才队伍是当前乃至以后较长一个时期的重大课题。

近年来，河北公司以岗位核心技能为重点，以高技能人才队伍建设为抓手，以考试考核为手段，大力开展全员培训取得了明显效果。同时由于培训、竞赛、调考力度的加大，也暴露出了课程教材题库等基础建设的薄弱，由于缺乏长期、统一和规范的教材开发体系，培训教材普遍存在偏重理论知识、技能操作内容较少、针对性差、实用性低的问题，特别是针对高技能人才培训的教材数量尚少，无法满足公司发展对员工

岗位能力不断提高的要求。

本着“干什么练什么，缺什么学什么”的目的，公司提出以科学发展观为指导，紧密结合现场实际操作要求，以技能训练为核心，以规范、规程、作业指导书为依据，以实训室设备设施为基础，在保证知识够用、技能必备的基础上，重点突出实用性、针对性、典型性，组织公司本部专业处室、培训中心、基层单位 18 个专业 115 名专家，在全面收集、分析、筛选现有技能培训教材和现场作业项目，借鉴优秀培训教材的基础上，结合生产一线岗位技能培训的实际需要，编制完成了《供电企业生产技能人员实训教材》。

《供电企业生产技能人员实训教材》共计 18 分册，涵盖了供电企业 16 个专业工种。以技能训练为主线，结合现场使用的《电力生产标准化作业指导书》、《操作导则》等技能操作规范，与各工种现场设备、技术手段、标准化作业程序同步。本教材可用于实训操作训练指导，亦可作为现场培训和生产作业流程优化参考资料。

我们相信，在众多专家的共同努力和广大生产技能人员的支持下，实训教材体系将日趋完善，电网生产技能人员综合能力会日渐提高，企业安全生产根基将持续夯实，建设世界一流电网、国际一流企业的目标将不再遥远。真诚希望本书能够为您带来帮助。

苑立国

2015 年 2 月



前 言

为满足供电企业一线员工现场培训需求，加强供电企业生产技能岗位培训的基础建设，推动生产作业标准化，国网河北省电力公司选择 18 个专业（工种），编写了本套《供电企业生产技能人员实训教材》（简称《实训教材》）。《实训教材》由中国网河北省电力公司一线生产专家编写，省公司组织专业审核把关，并由经验丰富的技术专家担任主审，经省公司组织试用、研讨、反复修改后成稿。

《实训教材》紧密结合现场实际操作要求，以技能训练为核心，以供电企业技术规范、规程、作业指导书为依据，突出教材可操作性、实用性、针对性和典型性。在内容定位上，以专业技能为重点，突出标准化作业，规范作业行为。在编写模式上，各专业（工种）实训指导教材不分层级，要求受训人员均按规范的、标准的作业要求完成实训项目，以操作流程为主线，相关知识和技能有限度展开，由浅入深。在使用功能上，直接用于实训室操作训练指导，并可作为现场培训和生产作业流程优化参考资料。

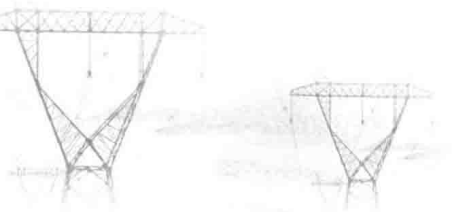
本书为《电气试验》，重点介绍电气试验的通用要求，电力变压器、有载分接开关、套管、电流互感器等设备的例行和诊断性试验的接线方法、试验步骤、注意事项及分析判断方法。同时本书对当前应用的新技术予以介绍，引用标准、规范力求最新。本书每章内容后面附带小结和思考练习题，针对实训给出项目评分细则，便于读者掌握重点内容和培训考核使用。本书最大程度地力求内容与实际紧密结合，理论与实际操作并重。

本书由刘超主编，由潘瑾主审。

本书对供电企业电气试验人员岗位技能培训有较强的指导作用，也可给现场技术人员流程研究和优化提供参考，由于编者水平所限，加之时间仓促，书中难免存在疏漏或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 2 月



目 录

序
前言

第一篇 实训概要

第一章 电气试验工实训室	3
第一节 电气试验工岗位职责	3
第二节 电气试验实训室	4
第三节 电气试验实训室管理制度	4
第二章 高压电气设备	6
第一节 变压器	7
第二节 有载分接开关	14
第三节 套管	20
第四节 电流互感器	23
第五节 电压互感器	28
第六节 耦合电容器	34
第七节 金属氧化物避雷器	36
第八节 高压断路器	38
第九节 组合电器	42
第十节 电缆	48
第三章 电气试验基本要求	52
第一节 电气试验的分类与要求	52
第二节 现场试验工作程序	53

第三节	电气试验的安全措施	54
第四节	试验记录和试验报告	56

第四章 电气试验工常用仪器仪表

第一节	常用仪表	58
第二节	常用仪器	62
第三节	使用通用注意事项	75

第二篇 实 训 项 目

第五章 直流电阻测量

项目一	10kV 配电变压器直流电阻测试	83
项目二	110kV 三相双绕组有载调压变压器直流电阻测量	84
项目三	大容量低压角接变压器低压侧绕组的测试方法*	85
项目四	35kV 电磁式电压互感器各绕组直流电阻测量	89
项目五	断路器导电回路直流电阻的测量	90
项目六	GIS 主回路直流电阻测量	91

第六章 绝缘电阻试验

项目一	金属氧化物避雷器的绝缘电阻试验	96
项目二	三相三绕组变压器绝缘电阻试验	97
项目三	橡塑(充油)绝缘电缆的绝缘电阻试验	98
项目四	电缆外护套绝缘电阻测量	99
项目五	测量电磁式电压互感器的绝缘电阻	100

第七章 直流泄漏电流试验和直流耐压试验

项目一	金属氧化物避雷器 U_{1mA} 和 $75\%U_{1mA}$ 下的泄漏电流	108
项目二	测量三相三绕组变压器直流泄漏电流	110
项目三	充油电缆的直流泄漏和直流耐压试验	111

第八章 介质损耗角试验

项目一	变压器介质损耗试验	122
项目二	电容式电流互感器介质损耗试验	123

项目三	220kV 电容式电流互感器额定电压下介质损耗试验	124
项目四	电容式电压互感器介质损耗试验	127
项目五	全绝缘电压互感器介质损耗测量	129
项目六	常规法测 110kV 电磁式电压互感器介质损耗	130
项目七	末端屏蔽法测 110kV 电磁式电压互感器介质损耗	131

第九章 交流耐压试验

项目一	电压互感器外施工频耐压试验	152
项目二	配电变压器外施工频耐压试验	153
项目三	GIS 主回路交流耐压及老练试验*	154
项目四	交联聚乙烯 (XLPE) 电缆的现场交流耐压试验	157

第十章 感应耐压试验

项目一	分级绝缘电磁式电压互感器三倍频感应耐压试验	166
项目二	分级绝缘变压器感应耐压试验*	168

第十一章 局部放电试验

项目一	35kV 干式电流互感器局放试验	190
项目二	全绝缘电压互感器局部放电测量	192
项目三	串级式电压互感器局部放电测量	193
项目四	220kV 三相三绕组变压器局部放电试验	194

第十二章 有载分接开关过渡过程试验

项目	某 220kV 主变压器有载调压绕组的切换过程测试	206
----	---------------------------	-----

第十三章 变压器绕组变形试验*

第十四章 变压器短路阻抗和负载损耗测量*

第十五章 变压器、互感器变比试验

项目一	变比测试仪测试三相变压器变比	230
项目二	电压表法测量单相电压互感器变比试验	231

第十六章 变压器、互感器极性与联结组别试验 233

项目一 互感器极性测量 233

项目二 三相变压器联结组别判别* 234

第十七章 变压器、互感器空载试验* 239

项目一 35kV 电磁式电压互感器的空载电流试验 239

项目二 变压器的空载试验（接表法）* 240

项目三 变压器的空载试验（测试仪法） 241

第十八章 电气设备试验分析案例 245

案例一 ××站 2 号主变压器高压侧直流电阻异常 245

案例二 ××站 2 号主变压器中压侧直阻数值严重超标 245

案例三 ××站线路 B 相电容式电压互感器电压显示异常 246

案例四 ××站 220kV 主变压器绕组变形检测 249

案例五 ××站 500kV 断路器断口交流耐压试验击穿 250

案例六 ××站 220kV 电流互感器介质损耗试验超标 250

案例七 ××站 35kV 5 号母线 B 相电压互感器爆炸 251

案例八 ××站 220kV 变压器中点套管进水受潮 252

案例九 ××站主变压器 35kV 侧桥 BL 缺陷 252

案例十 35kV 干式电流互感器局部放电试验超标 253

第三篇 实训项目评分

第十九章 电气设备例行试验测试考核 257

第一节 35kV 变压器试验实际测试考核 257

第二节 110kV 电容式电流互感器试验实际测试考核 259

第三节 110kV 电容式电压互感器实际测试试验考核 260

第四节 110kV 金属氧化锌避雷器试验实际测试考核 262

第五节 35kV 电磁式电压互感器试验实际测试考核 263

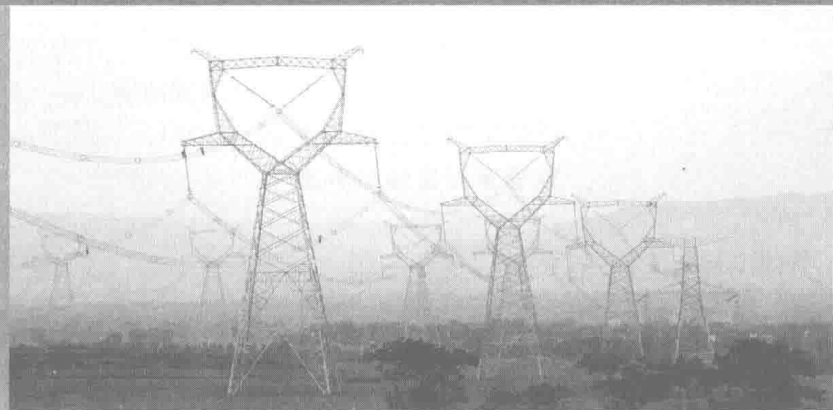
第二十章 试验项目实际操作评分标准 267

评分项目一 直流电阻试验实际操作评分表 267

评分项目二	绝缘电阻实际操作评分表·····	268
评分项目三	泄漏电流试验实际操作评分表·····	269
评分项目四	介质损耗实际操作评分表·····	270
评分项目五	工频交流耐压实际操作评分表·····	271
评分项目六	电流互感器局部放电试验实际操作评分表·····	273
评分项目七	电磁式电压互感器三倍频感应耐压试验 实际操作评分表·····	274
评分项目八	电力电缆谐振耐压试验实际操作评分表·····	275
附录 A	电气试验专业执行的技术规程·····	277
附录 B	河北南网高压试验仪器使用情况·····	278
参考文献	·····	279

供电企业生产技能人员实训教材

电气试验



第一篇

实训概要

第一章

电气试验工实训室

- 知识要点：1. 电气试验工岗位职责
2. 电气试验实训室功能
3. 电气试验实训室管理

第一节 电气试验工岗位职责

一、电气试验工岗位职责

负责电力变压器、断路器、隔离开关、互感器、电容器、避雷器、套管、消弧线圈、电抗器、电缆、接地网等一次设备的电气试验工作。

二、电气试验工作内容

新设备投运前的交接和验收试验，运行中设备的例行、诊断试验。

三、电气试验工职责要求

(1) 具有较丰富的高压专业知识，熟悉并贯彻执行与本专业相关的标准、规程及各项规章制度。

(2) 熟悉高压专业工作程序，掌握高压试验项目的试验原理和试验方法。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。

(3) 熟悉所用仪器仪表的性能和使用，并进行必要的维护保养，能排除一般故障保证正常使用。

(4) 了解各种电气设备的型式、用途、原理及结构，熟悉各型设备绝缘材料的性能、故障后表现，便于正确分析判断试验中发现的异常或缺陷，根据试验数据准确分析设备故障情况，判断故障的性质及所在位置。

(5) 高级电气试验工还应熟悉变电站电气主接线及系统运行方式，了解电力系统过电压、继电保护及电气设备控制原理等方面的知识，正确判断设备故障原因。

(6) 掌握设备状况，参加事故分析，提出改进设备现有状况和防止发生事故的措施。

(7) 能够总结设备绝缘性能变化规律,推行新的测试方法,不断完善测试手段,提高绝缘技术监督水平。

(8) 能够提出设备例行试验计划,对所辖一次设备进行高压试验,并对试验数据和结论负责。及时提供试验报告,建立健全技术档案。

第二节 电气试验实训室

电气试验实训室,适用于电气试验专业人员的岗位技能培训、技术等级考核鉴定及岗位技能竞赛等。目前可完成直流电阻、变比、绝缘电阻、直流泄漏、直流耐压、介质损耗、工频交流耐压、三倍频感应耐压、变频串并联谐振交流耐压、局部放电及地网接地电阻等试验项目的实训。

一、实训室主要拥有的高压电气设备

220kV 设备:电容式电流互感器。

110kV 设备:电容式电流互感器、电磁式电压互感器、电容式电压互感器、套管、有载分接开关、断路器。

35kV 设备:避雷器、电磁式电压互感器、电容式电压互感器、变压器、断路器。

10kV 设备:变压器。

二、实训室的主要特点及功能说明

电气试验实训室由常用高压电气设备以及各种试验仪器组成,试验所需电源由实训室提供,可同时容纳 30~40 人的岗位培训和技能鉴定工作。

实训室功能:

- (1) 变压器试验的试验培训。
- (2) 有载分接开关的结构、试验培训。
- (3) 套管的试验培训。
- (4) 电流互感器的试验培训。
- (5) 电磁式电压互感器及电容式电压互感器的试验培训。
- (6) 避雷器的试验培训。
- (7) 断路器的结构、试验培训。
- (8) 模拟变电站接地网接地电阻、导通试验培训。

第三节 电气试验实训室管理制度

一、培训学员进入实训室,必须穿着工作装;非本专业学员,未经许可,不得入内。

二、培训期间，不准迟到、早退、无故缺席或擅自离开；学员应注意保持实训现场的安静、整洁，不准大声喧哗，禁止吸烟和随地吐痰。

三、严格执行《电力安全工作规程》，做好相应防护措施，正确使用安全工器具，确保人身及设备安全。

四、实训时必须有两人及以上共同工作，其中一人负责监护及配合工作。

五、未经培训教师许可，任何人不得操作电源开关、不得擅自开关或使用实训室内的任何仪器、设备。

六、学员实训前应对设备的外观和状态进行检查，实训的试验接线须经培训教师检查确认后方可通电。

七、实训学员须爱护各种实训设备，严格按照操作规范和训练流程进行操作，严禁违规操作，人为损坏设备、仪器、工具者将追究其责任并按价赔偿。

八、实训结束应关闭设备电源，及时整理仪器、工具、清理现场并关好门窗。