



国家电网
STATE GRID

国网技术学院培训系列教材

断路器 避雷器 电力电缆试验与分析

高楠楠 郑远平 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网
STATE GRID

国

音训系列教材

断路器 避雷器 电力电缆试验与分析

高楠楠 郑远平 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为提高培训质量,国网技术学院依据国家电网公司制定的培训方案,结合自身实训设施和培训特点,编写完成了《国网技术学院培训系列教材》。

本书为《国网技术学院培训系列教材 断路器 避雷器 电力电缆试验与分析》分册,共分六个项目,主要内容包括:断路器试验,避雷器试验,电力电缆试验,套管试验,接地装置试验,绝缘工器具试验。

本书可作为电气试验专业的培训教学用书,也可作为各电力培训中心及电力职业院校的电气试验专业教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

断路器 避雷器 电力电缆试验与分析 / 高楠楠, 郑远平
主编. —北京: 中国电力出版社, 2012.5

国网技术学院培训系列教材

ISBN 978-7-5123-3094-8

I. ①断… II. ①高… ②郑… III. ①断路器—试验—
职业培训—教材 ②避雷器—试验—职业培训—教材 ③电力
电缆—试验—职业培训—教材 IV. ① TM561.06
② TM862-33 ③ TM247.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 107956 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>)

北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 12.5 印张 161 千字

印数 0001—3000 册 定价 38.00 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

《国网技术学院培训系列教材》

编 委 会

主	任	赵建国	钱 平		
副	主	费耀山	程 剑	马放瑞	李勤道
委	员	康梦君	张效胜	范永忠	石 椿
		孙明晔	肖成芳	黄保海	马敬卫
		王立志	陈威斋	冯 靖	张进久
		马 骐	王立新	王云飞	于洲春
		杨 健	高建国	陈祖坤	商自申
		王付生	刘汝水	赵桂廷	刘广艳
编写组组长		费耀山			
副 组 长		黄保海	杨 健		
成 员		高楠楠	郑远平	牛 林	谭立成
		滕国军	谢 峰	王可勇	王爱霞
		李 彬			



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

前言

为贯彻落实国家电网公司“人才强企”战略，积极服务公司“三集五大”体系建设和智能电网发展对技能人才的需求，打造高素质的技术、技能人才队伍，提升企业素质、队伍素质，增强培训的针对性和时效性，创新国内一流、国际先进的示范性培训专业和标杆性培训项目，国网技术学院组织院内专职培训师、兼职培训师及国家电网公司系统内专业领军人才、生产技术和技能专家，结合国网技术学院实训设施和高技术、高技能员工培训特点，坚持面向现场主流技术、技能发展趋势的原则，编写了《国网技术学院培训系列教材》。

《国网技术学院培训系列教材》以培养职业能力为出发点，注重从工作领域向学习领域的转换，注重情境教学模式，把“教、学、做”融为一体，适应成年人学习特点，以达到拓展思路、传授方法和固定习惯的目的。

《国网技术学院培训系列教材》开发坚持系统、精炼、实用、配套的原则，整体规划，统一协调，分步实施。教材编写针对岗位特点，分析岗位知识、技术、技能需求，强化技术培训、结合技能实训、体现情景教学、覆盖业务范围、适当延伸视野，向受训学员提供全面的岗位成长所需要的素质、技术、技能和管理知识。编写过程中，广泛调研和比较分析现有教材，充分吸取其他培训单位在探索培养高素质的技术技能人才和教材建设方面取得的成功经验，依托行业优势，校企合作，与行业企业共同开发完成。

《国网技术学院培训系列教材》在经过审稿和试用后，已具备出版条件，将陆续由中国电力出版社出版。

本书为《国网技术学院培训系列教材 断路器 避雷器 电力电缆试验与分析》分册。全书分为六个项目：项目一、项目四、项目五由国网技术学院高楠楠、郑远平编写；项目二由国网技术学院高楠楠、郑远平、牛林编写；项目三由国网技术学院高楠楠、郑远平、谭立成编写；项目六由国网技术学院高楠楠、郑远平、山东电力集团公司滕国军、李彬编写。全书由国网技术学院高楠楠、郑远平担任主编，国网技术学院杨健担任主审，山东大学李可军、国核设计院邹振宇、河南电力公司姚力夫和山东电力集团公司朱振华、冯新岩等参审。

由于编者自身认识水平和编写时间的局限性，本系列教材难免存在疏漏之处，恳请各位专家及读者不吝赐教，帮助我们不断提高培训水平。

编 者

2012 年 11 月



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目 录

前言

项目一 断路器试验	1
任务一 测量真空断路器、SF ₆ 断路器绝缘电阻	1
任务二 测量真空断路器、SF ₆ 断路器回路电阻试验	9
任务三 真空断路器、SF ₆ 断路器交流耐压试验	17
任务四 断路器的动作特性试验	30
任务五 真空断路器试验报告填写	38
项目二 避雷器试验	40
任务一 金属氧化物避雷器绝缘电阻测量	41
任务二 测量金属氧化物避雷器直流 1mA 电压 (U_{1mA}) 及 0.75 U_{1mA} 直流参考电压下的泄漏电流	47
任务三 测量无间隙金属氧化物避雷器的工频参考电压和 持续电流	61
任务四 220kV 避雷器试验报告填写	71
项目三 电力电缆试验	74
任务一 测量电力电缆主绝缘绝缘电阻	74
任务二 测量橡塑电缆外护套、内衬层的绝缘电阻	81
任务三 电力电缆核相	90
任务四 电力电缆交流耐压试验	97

任务五	110kV 电缆试验报告填写	108
项目四	套管试验	110
任务一	套管绝缘电阻试验	110
任务二	测量 20kV 及以上非纯瓷套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 和电容值	117
任务三	套管的交流耐压试验	128
项目五	接地装置试验	137
任务一	接地网电气导通测试	137
任务二	接地网接地阻抗测量	144
任务三	接地网接地阻抗测试报告填写	160
项目六	绝缘工器具试验	162
任务一	绝缘杆试验	162
任务二	绝缘手套试验	169
任务三	绝缘靴试验	174
任务四	电容型验电器试验	180
参考文献		189

断路器试验

【项目描述】

本项目要求学员掌握断路器试验的相关理论知识和操作技能,其中包括:测量真空断路器、SF₆断路器绝缘电阻,测量真空断路器、SF₆断路器回路电阻试验,真空断路器、SF₆断路器交流耐压试验,断路器的动作特性试验。

【教学目标】

掌握断路器的设备结构知识,掌握本项目中的各项断路器试验的相关理论知识,明确各项试验的目的、器材、危险点及防范措施,掌握各项试验的标准试验接线、方法和步骤,能够在专人监护和配合下完成各项试验过程,并依据相关试验标准,对试验结果做出正确的判断和比较全面的分析。

【教学环境】

相关设施完备、安全的电气试验专用实训场地,被试断路器,合格、安全、完备的试验仪器和安全工器具,设备结构教学模型,白板等完备的教学用品。

任务一 测量真空断路器、SF₆断路器绝缘电阻

【教学目标】

掌握测量真空、SF₆断路器绝缘电阻试验的理论知识和相关设备结构



知识,明确试验目的、器材、危险点及防范措施,掌握标准的试验接线、方法和步骤,能够在专人监护和配合下完成整个试验过程,并依据相关试验标准,对试验结果做出正确的判断和比较全面的分析。

【任务描述】

一、工作目标

测量真空断路器、SF₆断路器的绝缘电阻,能灵敏地反映断路器绝缘情况,及时发现绝缘整体受潮、脏污、贯穿性缺陷,以及绝缘击穿和严重过热老化等缺陷。

二、工作对象

在断路器的交接试验、例行试验和诊断性试验中,应测量整体和断口、绝缘拉杆的绝缘电阻。

【任务准备】

一、知识准备

绝缘电阻是指加于试品上的直流电压与流过试品的泄漏电流(或称电导电流)之比。测量绝缘电阻的目的是检查绝缘受潮或瓷套裂纹等缺陷,是现场检查设备绝缘状态最简便的辅助方法,有助于发现绝缘受潮、脏污、绝缘油严重劣化和严重热老化等缺陷。

测量断路器的绝缘性能包括断路器整体对地绝缘性能、断口绝缘性能和用有机物制成的提升杆的绝缘性能。

二、工作器材准备

(1) 2500V 及以上的绝缘电阻表,其量程一般不低于 10000MΩ。

(2) 放电棒和接地线。放电棒内置有放电电阻且应有效,放电棒的接地线长度应合适。

(3) 适当长度、数量的短接线和接地线。

三、工作危险点分析及防范措施

(1) 试验前为防止真空断路器、SF₆ 断路器的剩余电荷或感应电荷伤人、损坏试验仪器，应将被试断路器进行充分放电。

(2) 绝缘电阻表在自检或测量时，接线柱两端有高压输出，应注意安全，防止电击伤人。

(3) 防止工作人员触电。拆、接试验线前，应将被试设备放电接地。加压前应 与检修负责人协调，不允许有交叉作业。工作人员应与带电部位保持足够的安全距离。试验人员之间口令联系应清楚，加压过程中应有人监护并呼唱。试验仪器的金属外壳应可靠接地，仪器操作人员应站在绝缘垫上。

(4) 试验结束后，应先将断路器的测量部位放电、接地，再进行更换接线、拆线。

【任务实施】

一、工作接线图（举例）

测量断路器整体与绝缘拉杆的绝缘电阻如图 1-1 所示，测量真空断路器断口的绝缘电阻如图 1-2 所示。

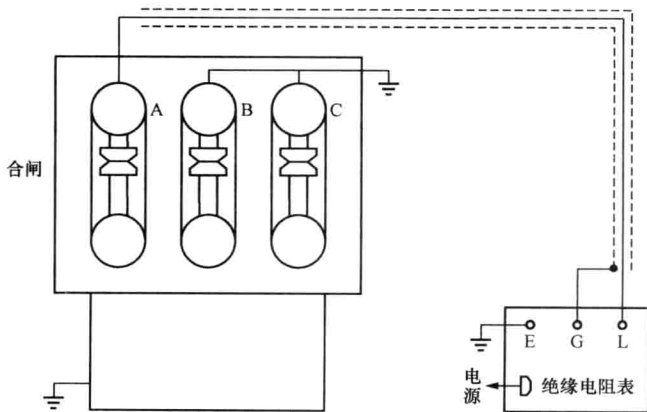


图 1-1 测量断路器整体和绝缘拉杆的绝缘电阻

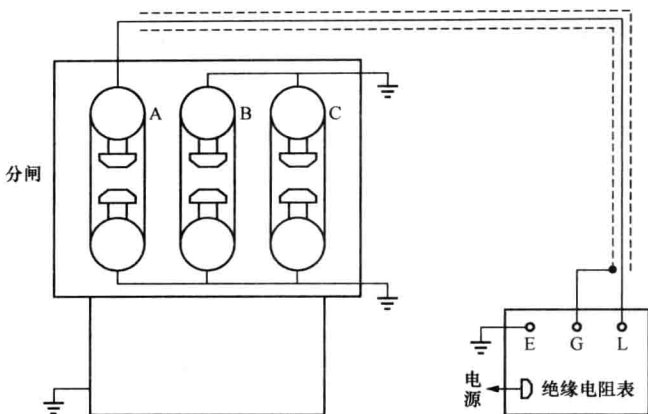


图 1-2 测量真空断路器断口的绝缘电阻

二、工作步骤

(1) 用放电棒对断路器放电、接地。

(2) 选择适当位置平稳放置好绝缘电阻表。将绝缘电阻表的测试线进行正确连接，并在试验负责人监护下对绝缘电阻表进行接地短接、空载检查，确定绝缘电阻表在使用电压挡位下状态良好。试验人员与绝缘电阻表高压部位保持足够安全距离，并应站在绝缘垫上。

使用 DM100C 型数字高压绝缘电阻表测量断路器的绝缘电阻。选择适当位置放置好绝缘电阻表，用该表的专用接地线接地并与绝缘电阻表的“E”连接，用该表的专用高压线分别接在“L”和“G”。按绝缘电阻表的“开、关”键，启动绝缘电阻表，按“电压选择”键，选择 2500V 的试验电压。将绝缘电阻表的高压线接地，按“启动（停止）”键，开始测量，此时绝缘电阻表显示绝缘电阻应为零，将绝缘电阻表的高压线与地断开，此时绝缘电阻表显示绝缘电阻应为 $200 + G\Omega$ 。按“启动（停止）”键和“开、关”键，关闭绝缘电阻表。

(3) 测量断路器整体和绝缘拉杆的绝缘电阻。合上断路器，使断路器

在试验时处于合闸位置。将断路器的三相触头或接线板用试验线分别进行可靠接地，装设接地线时先接接地端，后接断路器导体端。最后将绝缘电阻表的高压输出“L”接至断路器的 A 相触头或接线板上，调整好高压线与接地线的距离。

试验人员检查试验接线正确后，经试验负责人复查试验接线并同意后，拆去接在 A 相断路器的接地线，开始进行该断路器 A 相整体和拉杆绝缘电阻测试。在试验过程中要进行互唱并加强监护，试验人员与施加电压部位保持足够的安全距离，并应站在绝缘垫上，手要放在绝缘电阻表开关附近，随时警戒异常情况的发生。

按 DM100C 型数字高压绝缘电阻表的“开、关”键，启动绝缘电阻表。按“电压选择”键，选择 2500V 的试验电压。按“启动（停止）”键，开始测量。

无特殊要求或说明，可读取 60s 时的绝缘电阻值为该断路器 A 相整体和拉杆对地的绝缘电阻值。试验结束时，读出和记录试验数据后，应先取下接在触头或接线板上的绝缘电阻表高压端（此条只针对手摇式绝缘电阻表），再停止绝缘电阻表，并对被试断路器 A 相触头或接线板放电。

使用 DM100C 型数字高压绝缘电阻表，可先按“启动（停止）”键，停止测量，然后对被试断路器 A 相触头或接线板放电、接地。按“显示切换”键可查阅测量数据。按“电压选择”键，返回主菜单。按“开、关”键，关闭绝缘电阻表。

用上述办法分别测量断路器 B 相、C 相整体和绝缘拉杆的绝缘电阻。

（4）测量断路器断口的绝缘电阻。分开断路器，使断路器在试验时处于分闸位置。将断路器的三相触头或接线板用试验线分别进行可靠接地，装设接地线时先接接地端，后接断路器导体端。由于断路器处于分闸状态，断路器每一相的两个触头或接线板都应该接地。最后将绝缘电阻表的高压输出“L”接至断路器的 A 相没有绝缘拉杆的一侧触头或接线板上，调整



好高压线与接地线的距离。

按本节前述所示方法进行断路器 A 相断口的绝缘电阻试验。

按本节前述所示方法进行断路器其他两相断口的绝缘电阻试验。

(5) 全部测试完毕,应对被试断路器各测试部位进行充分放电、接地。在拆除试验线时应先拆测试导线,最后拆掉测试仪的接地线。

(6) 记录该断路器的铭牌数据、观察和记录测试现场的环境温度和湿度、试验人员姓名、试验地点等内容。

(7) 再次检查试验现场有无遗留物,是否恢复被测断路器原始状态等,均正确无误后,拆去自接接地线,向试验负责人汇报测试工作结束和测试结果、结论等。整个试验过程结束。

【相关知识】

一、工作标准

1. GB 50150—2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》(摘录)

(1) 真空断路器。

测量绝缘电阻值:

1) 整体绝缘电阻值测量,应参照制造厂规定。

2) 绝缘拉杆的绝缘电阻值,在常温下不应低于表 1-1 的规定。

表 1-1 绝缘拉杆的绝缘电阻值标准

额定电压 (kV)	3~15	20~35	63~220	330~500
绝缘电阻值 (MΩ)	1200	3000	6000	10000

(2) SF₆ 断路器。

测量断路器的绝缘电阻值:整体绝缘电阻值的测量,应参照制造厂规定。

2. DL/T 393—2010《输变电设备状态检修试验规程》

试验要求见表 1-2。

表 1-2 **DL/T 393—2010 试验要求**

例行试验项目	基准周期	要求	说 明 条 款
绝缘电阻	3 年	$\geq 3000\text{M}\Omega$	采用 2500V 绝缘电阻表测量，分别在分、合闸状态下进行。要求绝缘电阻大于 $3000\text{M}\Omega$ ，且与之前测量结果相比没有显著下降。测量时，注意外绝缘表面泄漏电流的影响

3. DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》

真空断路器的试验项目、周期和要求见表 1-3， SF_6 分段器的试验项目、周期和要求见表 1-4。

表 1-3 **真空断路器的试验项目、周期和要求**

试验项目	周期	要 求			说明
绝缘电阻	(1)1~3 年。 (2) 大修后	(1) 整体绝缘电阻参照制造厂的规定或自行规定。 (2)断口和用有机物制成的提升杆的绝缘电阻不应低于下表中的数值。			
		试验类别	额定电压 (kV)		
			<24	24~40.5	72.5
		大修后 (MΩ)	1000	2500	5000
		运行中 (MΩ)	300	1000	3000

表 1-4 **SF_6 分段器的试验项目、周期和要求**

试验项目	周期	要 求	说 明
绝缘电阻	(1) 1~3 年。 (2) 大修后	(1) 整体绝缘电阻值自行规定。 (2) 用有机物制成的拉杆的绝缘电阻值不应低于下列数值：大修后 $1000\text{M}\Omega$ ，运行中 $300\text{M}\Omega$ 。 (3) 控制回路绝缘电阻值不小于 $2\text{M}\Omega$	一次回路用 2500V 绝缘电阻表。 控制回路用 1000V 绝缘电阻表

二、综合分析方法及注意事项

(1) 测量的绝缘电阻应充分考虑温度、湿度等因素的影响，要与出厂值、交接试验值、历次试验值相比较，必要时，与同类型设备、同组设备



进行相互比较，测试数据不应有明显的降低或较大差异。有较大差异时，应结合规程标准及其他试验结果进行综合分析、判断。

(2) 测量断路器断口绝缘电阻，如果绝缘电阻表的高压端“L”接在有绝缘拉杆的端口上，另一端口接地，则测得的该绝缘电阻包括拉杆的绝缘电阻。如果断路器的两断口都有对地绝缘支撑，则绝缘电阻也包括这部分的绝缘测试值。

(3) 测量的高压线宜使用高压屏蔽线。若无高压屏蔽线，测试线不要与地线缠绕，并应尽量悬空。必要时可用绝缘棒作支撑，以免因绞线绝缘不良而引起误差。

(4) 测量应在天气良好的情况下进行，空气相对湿度不高于 80%。若遇天气潮湿、断路器绝缘表面脏污，可擦拭干净或用电吹风吹干来消除影响，也可用屏蔽的方法来消除影响。

(5) 在实际现场工作中，由于断路器的绝缘性能一般比较好，对 40.5kV 及以下的断路器可先采用测量整体绝缘的方式进行断路器绝缘电阻的测量工作。具体做法是：用短接线分别将断路器三相同侧的触头或接线板进行短接，合上断路器，将绝缘电阻表高压输出“L”接在断路器其中一侧的触头或接线板上，启动绝缘电阻表，测量断路器三相整体绝缘电阻；整体绝缘电阻测试完成后，分开断路器，将没有接绝缘电阻表高压输出端“L”的一侧触头或连接线板接地，启动绝缘电阻表，测量断路器三相断口的绝缘电阻值。若三相整体或断口绝缘电阻异常，则采用上述分解的方式逐步测量绝缘电阻，以找出影响绝缘的具体部位。

(6) 在实际工作现场中，许多断路器是手车式的，需要将断路器推出开关柜才能进行测量。这时应注意一定要将断路器本体可靠接地，才可进行测量工作。

(7) 测试结果分析。

测得的绝缘电阻值很低，试验人员除认为该设备的绝缘不良外，在一

般情况下，试验人员应将同样条件下的不同相绝缘电阻值或以同一设备历次试验结果，结合其他试验结果进行综合判断。需要时，对被试品各部位分别进行分解测量（将不测量部位接屏蔽端，便于分析缺陷部位）。

任务二 测量真空断路器、SF₆断路器 回路电阻试验

【教学目标】

掌握测量真空断路器、SF₆断路器回路电阻试验的理论知识和相关设备结构知识，明确试验目的、器材、危险点及防范措施，掌握标准的试验接线、方法和步骤，能够在专人监护和配合下完成整个试验过程，并依据相关试验标准，对试验结果做出正确的判断和比较全面的分析。

【任务描述】

一、工作目标

断路器回路电阻是指断路器在合闸状态下的导电回路的接触电阻，它包括套管导电杆电阻、导电杆与触头连接处的连接电阻和动、静触头之间的接触电阻等。导电杆电阻一般不会变化，由于各种因素的影响，（如连接处螺栓松动导致接触压力下降、触头表面氧化、触头间残存有杂物或碳化物、接触面积减小和短路电流烧伤等）其他两处的连接电阻和接触电阻常常有所增加。所以测量断路器导电回路电阻，实际上是检查连接电阻和动、静触头之间的接触电阻的变化，主要是判断动、静触头是否接触良好，检查回路有无接触性缺陷，是否接触良好、是否有磨损以及接触面是否存有氧化层等。运行中，如果这些接触电阻大，就会导致断路器通过电流时发热，尤其是通过短路电流时发热更严重，可能烧伤周围绝缘或造成触头烧熔黏结等，从而影响断路器跳闸时间和开断能力，甚至产生拒动。