



普通高等教育实验实训规划教材

电气信息类

高电压技术 实验指导书

王景春 主 编
王 璁 郑书生 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



中国石化出版社

中国石化出版社

高电压技术 实验指导书

主编 王 强
副主编 王 强 王 强

中国石化出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

TM83/5

2009

普通高等教育国家级规划教材



电气信息类

高电压技术 实验指导书

主 编	王景春	
副主编	王 璁	郑书生
编 写	吴 昊	周 丹
主 审	袁亦超	王 伟



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是普通高等教育实验实训规划教材。

本书主要内容包含《高电压技术》教学大纲所列电气设备绝缘试验,同时增补了绝缘子串电压、电场分布测量,接地电阻与土壤电阻率的测量两个试验。第一章主要介绍高电压试验中的安全知识,第二章介绍电气设备绝缘特性试验,第三章介绍电气设备绝缘强度试验,第四章介绍实验室常用的高电压测量设备,第五章简要介绍数理统计在高电压试验中的应用。

本书可以作为电气工程及其自动化专业学生的实验指导书,也可以作为相关专业研究生和工程技术人员自学用书或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高电压技术实验指导书 / 王景春主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

普通高等教育实验实训规划教材. 电气信息类

ISBN 978-7-5083-9700-9

I. ①高… II. ①王… III. ①高电压—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 203715 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 12 月第一版 2009 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.75 印张 159 千字

定价 11.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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

本书是普通高等教育实验实训规划教材。“高电压技术”是高等院校电气工程及其自动化专业的专业课程，而高电压实验是高电压技术课程的重要组成部分。众所周知，目前高压输电在我国发展迅速，从 110、220、330kV 高压输电，到 500~750kV 超高压输电，发展到现在的 1000kV 及以上的特高压交流输电，仅仅用了几十年的时间。伴随着我国高压输电的发展，高电压技术的研究正在快速展开。高电压技术的研究一方面依赖于现有的理论与经验，另一方面依赖于通过试验来验证所做的绝缘设计是否满足工程需求。两个方面在高电压技术的研究中，都起着不可替代的作用。同时，电力系统中电气设备的绝缘预防性试验是保障电力系统安全运行的重要环节，因此高电压试验在工程实践中有着非常重要的实际意义。

本实验指导书主要包含“高电压技术”课程教学大纲所列电气设备绝缘试验，同时增补了绝缘子串电压、电场分布测量和接地电阻与土壤电阻率的测量两个实验。每个实验都设计了与相关知识点对应的思考题，以便开拓学生的思路，培养学生独立思考能力和创新精神，有助于学生综合素质的提高。实验教师可根据本校的具体情况适当选择实验和思考题。为了方便学生预习实验，本书还介绍了实验室常用的高电压测量设备的工作原理及使用方法；简单介绍了数理统计在高电压试验中的应用，供学生完成实验报告时参考。

为了便于在不同的高等院校使用，本指导书除了按常规的模式编写以外，部分实验根据具体要求增加了实验设备的选择以及根据实验结果判断设备缺陷的方法等内容。这样不但可以满足部分实验的设计性要求，还可以解决研究生在科研工作中遇到的实际问题，使本教材具有一定的实际工程意义。

本书由华北电力大学高电压与电磁兼容北京市重点实验室部分教师编写。王景春担任主编，王璁、郑书生担任副主编，吴昊、周丹参编。王景春编写本书的第一章、第三章，王璁编写第五章、第二章的第一至三节及附录 A 和附录 B，郑书生编写第四章、第二章的第四至六节。吴昊对全书的图表进行了整理，并与周丹共同参与了全书的修改工作。

华北电力科学研究院高压研究所袁亦超教授级高工和华北电力大学王伟教授审阅了全书，在此深表谢意。

本书在编写过程中得到了高电压与电磁兼容北京市重点实验室全体教师的帮助与指导；研究生杨敏祥、耿弼博、李光茂、宗文志、薛阳和马会军参与了实验工作，提出了合理的改进意见。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请本书使用者批评指正。

编者

2009 年 11 月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 实验教学与课堂教学的关系	1
第二节 高电压试验安全	1
第三节 高电压实验的基本要求	4
第二章 电气设备绝缘特性试验	6
第一节 实验一 绝缘电阻和吸收比的测量	6
第二节 实验二 泄漏电流的测量	10
第三节 实验三 介质损耗角正切值 ($\tan\delta$) 的测量	15
第四节 实验四 局部放电的测量	19
第五节 实验五 绝缘油中溶解气体的色谱分析	27
第六节 实验六 绝缘子串电压、电场分布测量	36
第三章 电气设备绝缘强度试验	41
第一节 实验七 工频交流耐压试验	41
第二节 实验八 直流耐压试验	49
第三节 实验九 冲击耐压试验	55
第四章 高电压测量常用设备	62
第一节 静电电压表	62
第二节 分压器	64
第三节 数字存储示波器	68
第五章 数理统计在高电压试验中的应用	73
第一节 概述	73
第二节 空气绝缘击穿电压的统计方法	73
第三节 液体绝缘击穿电压的统计方法	75
第四节 固体绝缘的击穿特性	78
附录	79
附录 A 接地电阻与土壤电阻率测量	79
附录 B 各种附表	83
参考文献	101

第一章 绪 论

第一节 实验教学与课堂教学的关系

学习任何一门课程都是对该课程内容的正确认识过程。毛泽东对辩证唯物主义的认识论有这样一段阐述：“实践，认识，再实践，再认识，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和认识之每一循环的内容，都比较地进到了高一级的程度。”在这里，毛泽东强调了实践和认识的不可分性，它们彼此互相依赖、互相促进。

理论来源于实践，而反过来又可以指导实践。课堂教学就是实践—认识这一循环的第二步骤，它是我们认识自然的一个捷径，而实验教学是在课堂教学的基础上对该课程内容认识的延伸与深化。“高电压技术”这门课程的课堂教学与实验教学相互依赖的特点更为突出。通过实验不但使学生加深了对理论知识的理解，而且培养了学生理论联系实际、综合分析问题和解决问题的能力。

“高电压技术”课程内容主要分两大部分：高电压绝缘及绝缘试验和电力系统过电压及保护。

高电压绝缘及绝缘试验部分主要介绍了气体、液体和固体电介质的放电机理及规律；高压电气设备的绝缘性能、结构及绝缘测试技术；高电压的产生及测量技术。电力系统过电压及保护主要介绍了大气过电压和操作过电压产生的原因、危害及限制措施。根据教学大纲的要求，实验教学的主要任务是：熟悉产生高电压的三大设备，即高电压工频试验变压器、直流高电压装置和冲击高电压发生器；掌握典型仪器、仪表的使用方法；掌握高电压实验的基本方法；掌握对电气设备绝缘状况进行诊断的方法。

通过实验教学环节，不仅可以提高同学们的学习兴趣，更重要的是能够引发同学们对所学知识进行更深入的思考，使所学知识掌握得更牢固。只要明确了所学课程的具体实际应用，实验教学就可真正起到对课堂教学深化的作用。

第二节 高电压试验安全

高电压试验必须贯彻“安全第一，预防为主”的方针。为了保障在进行高电压试验时人身、设备和试品的安全，所有参加高电压试验的人员都应具备高电压试验专业知识，熟悉高电压试验的安全规程，在试验过程中必须严格遵守《电业安全工作规程（高压试验室部分）》DL 560—1995 及各实验室制定的高电压试验安全规则。

一、高电压实验室的净空距离

高电压实验室的净空距离包含以下三种：

(1) 室内高电压设备、高电压测量装置和被试物对墙、天花板和地之间应有的间隔距离。

(2) 高电压设备、高电压测量装置和被试物之间应有的间隔距离。

(3) 高电压试验设备、高电压测量装置和被试物对室内其他的带电的或不带电的设备和物体之间应有的间隔距离。

净空距离的要求取决于三方面的因素：首先取决于安全距离，即无论设备或试品都不应该在试验时对周围物体放电，要求它们与周围物体之间的间隔大于放电距离并有一定裕度；其次取决于测量准确度的要求，即要求周围物体与测量装置间的距离达到足以略去它们对测量的有害影响；第三取决于试验要求，即要求被试物在接近实际运行状态下（一般是在标准规定的模拟状态下）进行试验，不要因周围物体的存在改变了被试物周围的电磁场分布，因而影响试验结果。

空气间隙的放电电压与电压性质、电极形状和大气条件等都有关系。不同电压的设备应有不同的距离要求，如工频、直流、雷电冲击和操作冲击作用下空气间隙的放电电压是各不相同的。在同种电压下，放电距离还受极性和波形的影响，通常是从较危险的一种情况出发考虑所需距离，故按正极性的

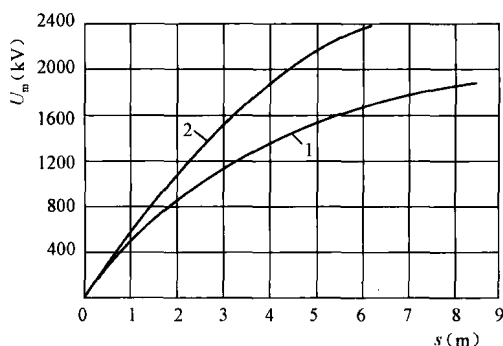


图 1-1 空气间隙工频放电电压（幅值）和长度的关系

1—棒—板；2—棒—棒和环—环

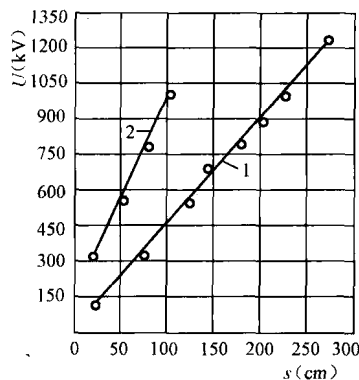


图 1-2 棒—板空气间隙的直流放电电压和长度的关系

1—正极性；2—负极性

一种情况出发考虑所需距离，故按正极性的直流、雷电冲击和操作冲击电压来考虑，对操作冲击波并按波前为 $100 \sim 250 \mu s$ 的波形来考虑。放电电极虽有各种形式，但在估计放电距离时，也按最危险的一种形式——棒—板电极，即正棒对负板来考虑。平原地区高电压实验室在估计放电距离时可按标准大气状态考虑，净空距离对放电距离的裕度系数可以掩盖大气状态变化对放电电压的影响。这个裕度系数一般取为 1.5 倍。图 1-1~图 1-5 所示为在不同电压下，不同电极或不同极性空气间隙的放电电压 U 和放电距离 s 的关系曲线。

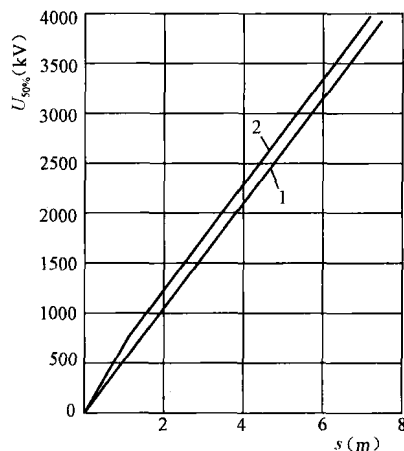


图 1-3 正极性雷电冲击电压作用下空气间隙的 50%放电电压和间隙距离的关系

1—棒—板；2—棒—棒

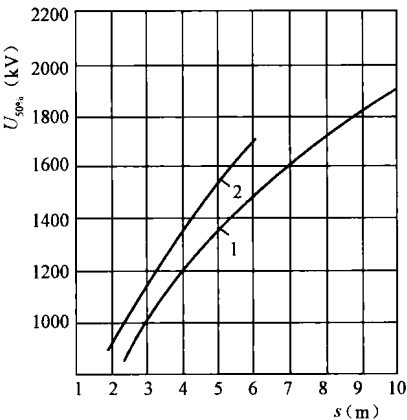


图 1-4 短波前操作冲击电压作用下空气间隙的 50%放电电压和间隙距离的关系
1—棒—板（100~200μs 波前综合数据；
2—导线—板（120μs 波前数据）

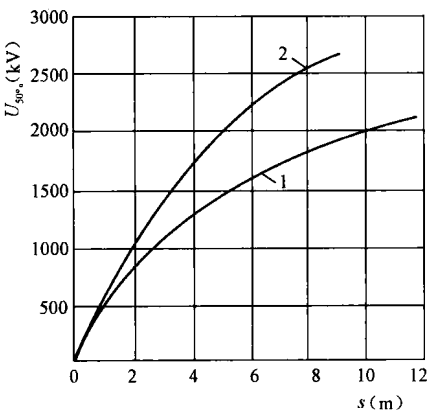


图 1-5 长波前（3000~4000μs）操作冲击电压作用下空气间隙的 50%放电电压和间隙距离的关系
1—棒—板；2—棒—棒

为了保证测量准确度，各种高电压测量装置都有一定的净空距离要求。如测量球隙对周围物体间的最小允许距离见表 1-1，分压器要求对周围的净空距离不小于本身高度的 1.5 倍，显然测量装置的净空距离最少不小于放电距离且应为放电距离的若干倍。

表 1-1 测量球周围空隙的规定

球直径 D (cm)	对地绝缘球极放电点到水平接地平面间的距离		距外物的最小允许距离
	最小值	最大值	
<6.25	7D	9D	14s
10~15	6D	8D	12s
25	5D	7D	10s
50~75	4D	6D	8s
100	3.5D	5D	7s
150~200	3D	4D	6s

注 表 1-1 中 s 表示测量球的测量间隙距离。

外绝缘的闪络电压受周围物体的影响，尤其是在操作冲击下影响更为显著，所以要求试验时被试物尽可能接近实际运行状态。外绝缘的试验标准对试验时的模拟条件，包括对周围物体的最小距离都有具体规定，一般也要求对周围物体距离大于放电距离的 1.5 倍。

二、高电压试验的安全距离

人体能接触的电压仅在 50V 以下或更低，而高电压试验具有很高的电压，一般为几千伏至几十万伏，甚至上百万伏。在前面我们介绍了在不同电压下，不同电极或不同极性空气间隙的放电电压 U 和放电距离 s 的关系曲线，根据这些数据可以推算出试验人员与高电压试验设备应保持的安全距离。高电压试验区周围应设置遮栏，在试验升压期间，所有人员均应站在遮栏以外，以确保试验人员的人身安全。根据《电业安全工作规程（高压试验室部分）》

DL 560—1995 规定，试验中的高压引线及试验设备带电部分至遮栏的距离必须大于表 1-2 和表 1-3 中的数值。

表 1-2

交流和直流试验安全距离

试验电压 (kV)	50	100	200	500	750	1000
安全距离 (m)	1.2	1.5	3	5	7	10

表 1-3

冲击试验（峰值）安全距离

试验电压 (kV)		250	500	1000	1500	2000
安全距离 (m)	操作冲击	3	5	7	10	15
	雷电冲击	2	3	5	7	9

当在同一实验室内同时进行不同的高压试验时，各试区间必须按各自的安全距离用遮栏隔开，同时设置明显的标识牌，留出安全通道。

三、高电压试验安全规则

- (1) 试验前必须熟悉试验内容及试验中所使用的设备与仪表，试验前检查设备及仪表是否正常，重点检查接地棒接地是否可靠。
- (2) 试验前准备好试验记录本。
- (3) 在合电源前，务必有两人以上检查接线是否正确、接地是否可靠，做好分工，专人记录；试验中必须有一人做专职的安全监督员。
- (4) 接通电源时，要高声告知试验现场的所有人员。
- (5) 在高压电源和带有高电压的设备周围应围以遮栏，以便保持一定的安全距离，试验时所有人员应站在遮栏之外，不得向遮栏内探头或伸手。
- (6) 在试验中不允许交谈或议论，有问题需要讨论时，要切断电源。
- (7) 试验完毕，应先用接地棒给设备放电，尤其是在做完电容器或电缆等大电容试品试验后，务必仔细放电；将试验场地恢复整齐，信号线、测量线每次试验完毕要收好，不得在试验场地随意拖放。
- (8) 在未亲眼看到高压设备接地之前，不得接近或触摸高压设备。
- (9) 使用升压设备时，升压必须从零开始，使用完毕后，要退回零位。
- (10) 试验中发生事故或出现异常现象时，应立刻拉闸切断电源，放电后检查线路和设备，如果发生人身伤害或触电事故应立刻进行抢救。

第三节 高电压实验的基本要求

- (1) 实验前必须认真预习。通过预习明确实验目的，熟悉实验原理、方法及步骤，了解仪器仪表的使用方法。
- (2) 认真测量并记录各项实验数据，实验数据应记在事先设计好的表格中，并注明被测量的名称和单位。
- (3) 实验中要仔细观察、记录各种现象和规律，并运用所学知识解释这些现象。
- (4) 实验结束，应检查实验数据是否与理论值接近，如果相差较大应分析其原因。实验

结果经老师检查无误后方可拆线，整理好试验设备方能离开实验室。

(5) 认真及时完成实验报告。实验报告是整个实验的重要组成部分，报告宜采用规定的格式，一般应包含以下几项：

- 1) 实验地点和日期；
- 2) 实验环境（温度、湿度和气压）；
- 3) 实验目的；
- 4) 实验内容；
- 5) 实验装置和接线图；
- 6) 实验步骤；
- 7) 实验数据统计及分析；
- 8) 思考题。

通过《高电压技术》理论课程的学习，再经过高电压实验的实践环节后，学生对电力系统高电压技术领域的相关知识都会有较深刻的认识，并能为大家将来在电力行业从事相关的工作提供一定的技术储备。



第二章 电气设备绝缘特性试验

电力系统由众多的电气设备所组成,个别设备发生故障将会威胁整个系统的安全供电,造成部分甚至全部地区停电,给生产生活造成不可挽回的损失,严重时还会发生设备损坏或人身伤亡的重大事故。因此,对设备绝缘按规定进行检测试验,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。对运行中的电气设备绝缘按规定定期进行的试验工作,称为绝缘预防性试验。

绝缘的缺陷是造成设备故障的根本原因。绝缘缺陷产生的原因有两种:一种是在制造或大修过程中产生;另外一种是在运行中在外界因素如工作电压、过电压、过电流、机械力、潮湿、污秽等作用下逐步发展而成。绝缘中可能存在的缺陷分两种:一种是分布式缺陷,其缺陷分布于介质整体,如绝缘整体受潮、普遍老化等;另一种是集中性缺陷,制造或大修时遗留在绝缘内部的气泡、气隙,绝缘子瓷件开裂等均属于集中性缺陷。集中性缺陷按其发展的程度可分为贯穿性和非贯穿性的两种。

用于检测缺陷的试验方法很多,不同的试验对象和绝缘结构所采用的试验方法不尽相同,通常将绝缘预防性试验项目分为非破坏性试验和破坏性试验两大类。

非破坏性试验是在较低的试验电压下检查电气设备绝缘的各种特性,根据测量结果并结合历次试验记录,通过综合分析来判断电气设备绝缘的状况。我国规定,电力系统中的电气设备应根据《电力设备预防性试验规程(高压试验室部分)》DL/T 596—1996(以下简称《规程》)的要求进行各种相关试验。

非破坏性试验的试验项目种类繁多,如绝缘电阻和吸收比的测量、泄漏电流测量、介质损耗角正切值的测量、局部放电的测量、电压分布的测量等。这些试验方法简便,对绝缘优劣的检查行之有效,但因试验电压较低,有些缺陷不易被发现。目前正在大力开展绝缘在线监测的研究,即在正常运行电压下实时监测电气设备绝缘的状态参数,并实现微机控制和数据处理。电气设备在线监测可以连续观察设备绝缘的状况,根据监测数据的变化,可以及时发现问题,快速做出分析判断,减少或避免电力系统中事故的发生。

破坏性试验包含各种耐压试验,具体内容将在第三章中详细介绍。

第一节 实验一 绝缘电阻和吸收比的测量

一、实验目的

- (1) 掌握测量绝缘电阻和吸收比的原理与方法。
- (2) 根据实验结果能够简单分析被试品绝缘状况。

二、实验内容

- (1) 选择绝缘良好和绝缘劣化的瓷质绝缘子各一片,分别测量它们的绝缘电阻,并比较其差异。
- (2) 选择绝缘良好和绝缘劣化的氧化锌避雷器各一只,分别测量它们的绝缘电阻,并比

较其差异。

(3) 测量三相电缆相对相及相对地的绝缘电阻和吸收比。

三、实验说明

绝缘电阻是反映绝缘性能的最基本的指标之一。测量电气设备的绝缘电阻能够有效地发现两极间的穿透性导电通道、受潮和表面污秽等缺陷，现场和实验室中通常使用绝缘电阻表（兆欧表）来测量绝缘电阻。

由于流过绝缘介质的电流有表面电流和体积电流，所以绝缘电阻也有表面绝缘电阻和体积绝缘电阻之分。当绝缘受潮或具有贯穿性缺陷时，体积电阻降低。因此，体积绝缘电阻的大小标志着介质内部绝缘的优劣。在测量过程中，应采取屏蔽措施，排除表面绝缘电阻的影响，以便得到真实准确的体积绝缘电阻值。

对于大容量试品（如变压器、发电机、电缆），《规程》规定除测量其绝缘电阻外，还要求测量吸收比。吸收比 K 为 60s 的绝缘电阻与 15s 的绝缘电阻之比，即 $K=R_{60s}/R_{15s}$ 。根据经验，一般认为当 $K \geq 1.3 \sim 1.5$ 时绝缘是良好的。

为了克服测量吸收比可能产生的误判断，常采用对吸收比小于 1.3 的试品测量其 10min 和 1min 的绝缘电阻之比，即用测量极化指数 P 的方法来判断绝缘优劣。

绝缘电阻或吸收比的试验结果只是参考性的。根据绝缘电阻或吸收比的值来判断绝缘状况时，不仅需要与规定标准相比较，更应该与历史试验数据进行比较，与同类型的设备相比较。

下面将分别介绍绝缘子、氧化锌避雷器和三相电力电缆绝缘电阻的测量。

1. 测量绝缘子的绝缘电阻

绝缘子在运行中，由于受电压、温度、机械力以及化学腐蚀等的作用，绝缘性能会劣化，可能会出现零值绝缘子，即绝缘电阻很低（一般低于 $300M\Omega$ ）的绝缘子。零值绝缘子的存在对电力系统安全运行是一个潜在的隐患。当电力系统出现过电压或工频电压升高等情况时，有零值绝缘子的绝缘子串易发生闪络事故。

测量绝缘子绝缘电阻可以发现绝缘子裂纹或瓷质受潮等缺陷。绝缘良好的绝缘子的绝缘电阻一般很高，而劣化绝缘子的绝缘电阻明显下降，一般低于 $300M\Omega$ ，因此用绝缘电阻表（兆欧表）可以检测判断绝缘子的优劣。

2. 测量氧化锌避雷器的绝缘电阻

氧化锌避雷器在运行过程中常常因为受潮老化、瓷质裂纹等内部缺陷，使其工频放电电压和通流容量下降，进而导致其所保护的电气设备安全受到危害，因此需要定期对氧化锌避雷器进行预防性试验。

氧化锌避雷器由氧化锌阀片串联组成，没有火花间隙和并联电阻。通过测量氧化锌避雷器的绝缘电阻，可以发现其受潮老化以及瓷质劣化等缺陷。

3. 测量三相电缆的绝缘电阻和吸收比

电力电缆的薄弱环节是电缆的终端头和中间接头，往往由于制造工艺不良、使用材料不当以及现场安装不当而带来缺陷。绝缘缺陷在运行当中将逐步发展，直至击穿甚至引起爆炸，因此电力电缆必须定期进行预防性试验。

电力电缆的绝缘电阻，是指电缆芯对金属铠甲或其他芯之间的绝缘电阻，因此测量时，除测量相的电缆芯之外，其他非被测相的电缆芯应短路接地。电力电缆的绝缘电阻与电缆的

长度、测量时的温度以及电缆接头或套管污秽、潮湿程度有较大关系，所以测量时应将电缆终端或电缆中间接头表面擦拭干净，并进行表面屏蔽。

四、实验装置和接线图

1. 实验装置

测量试品绝缘电阻一般采用绝缘电阻表。绝缘电阻表根据电压等级可分为 500、1000、2500、5000V 等几种，根据使用方式又可分为手摇式和电动式两种。手摇式绝缘电阻表又被称为摇表，采用流比计原理，其直流电源是通过内置手摇发电机供给，输出的是负极性高压。电动式的直流电源则采用电池使晶体管震荡器产生交变电压，经变压器及倍压整流后输出直流高压。

装置选取原则：①测量高压绝缘子的绝缘电阻一般采用 2500V 及以上的绝缘电阻表；②测量氧化锌避雷器的绝缘电阻时根据其电压等级来选取绝缘电阻表，35kV 及以下的避雷器使用 2500kV 的绝缘电阻表，35kV 以上的氧化锌避雷器用 2500V 或 5000V 的绝缘电阻表；③测量电力电缆的绝缘电阻时根据其电压等级来选取绝缘电阻表，1000V 以下的电缆可用 1000V 绝缘电阻表，1000V 及以上的电缆用 2500V 绝缘电阻表，6000V 及以上的电缆也可用 5000V 绝缘电阻表。

本书选取 2500V 手摇式绝缘电阻表（兆欧表）1 只作为测试装置；试品则采用悬式绝缘子 2 片、10kV 氧化锌避雷器 2 只和 10kV 橡塑绝缘三相电力电缆模型 1 套。

2. 装置原理图

手摇式绝缘电阻表的原理结构图如图 2-1 所示。

L 端子——线路端子，测量时接被试品的高压侧；

E 端子——接地端子，测量时一般接地或试品外壳；

G 端子——屏蔽端子，测量时接被试品的屏蔽端子。

3. 实验接线图

绝缘子绝缘电阻的测量电路如图 2-2 所示。氧化锌避雷器绝缘电阻的测量电路如图 2-3 所示。三相电缆模型绝缘电阻的测量电路如图 2-4 所示。

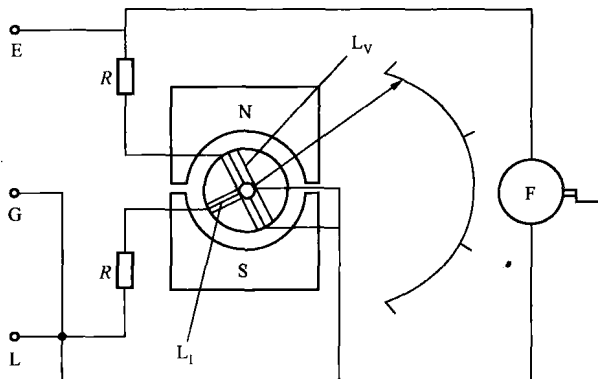


图 2-1 手摇式绝缘电阻表的原理结构图

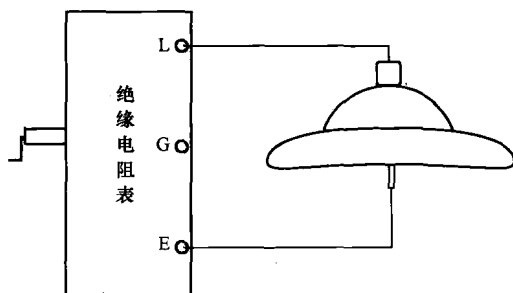


图 2-2 绝缘子绝缘电阻的测量电路

五、实验步骤

(1) 测量前先检查安全措施，确保被试品电源及一切对外连线应拆除。使用放电棒对被试品放电，大容量设备（该实验中的电缆试品）至少放电 5min。

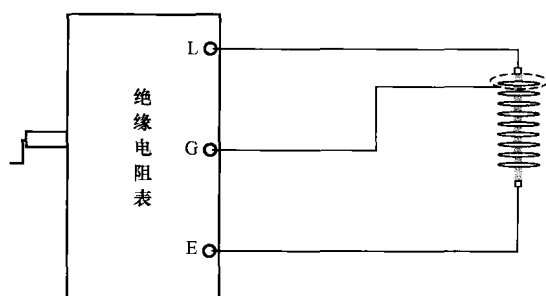


图 2-3 氧化锌避雷器绝缘电阻的测量电路

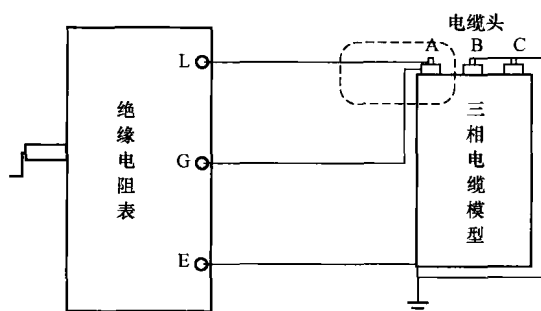


图 2-4 三相电缆模型绝缘电阻的测量电路

(2) 根据表面污秽及潮湿情况决定是否采取表面屏蔽或擦拭表面污秽，以消除表面污秽对测量绝缘电阻的影响。

(3) 将绝缘电阻表（兆欧表）水平放置。短接 L、E 端子，顺时针、低速摇动摇柄，以免损坏绝缘电阻表，此时仪表指示应是零；将 L、E 端子断开，匀速摇动摇柄，此时仪表指示应是无穷大。

(4) 将 L 端子接于被试品高压侧，E 端子接低压或外壳接地部分。摇动绝缘电阻表达到额定转速（120r/min），读取 1min 时的绝缘电阻值。

(5) 当测量容性试品的吸收比时，应先摇动绝缘电阻表达到额定转速，再将 L 端子接被试品的高压侧，同时开始计时，读取 15s 和 60s 时的绝缘电阻值。

(6) 读数后先断开 L 端子与被试品的连线，再停止摇动手柄，防止容性试品对绝缘电阻表放电，损坏绝缘电阻表。

(7) 试验完毕，必须将被试品对地充分放电，以保证人身、仪器的安全。

(8) 更换试品，重复（1）～（7）步骤，测量不同被试品的绝缘电阻值。

(9) 记录被试品的设备型号、环境温度以及绝缘电阻表的型号。

六、实验报告要求

(1) 根据测量被试品所得的绝缘电阻值，参照《规程》判断被试品绝缘状况，并简单分析绝缘劣化的原因。

(2) 用 2500V 及以上绝缘电阻表摇测绝缘子绝缘电阻，每片悬式绝缘子的绝缘电阻不应低于 300 MΩ。

(3) 对 35kV 及以下金属氧化物避雷器用 2500V 绝缘电阻表摇测每节绝缘电阻，应不低于 1000MΩ；对 35kV 以上的金属氧化物避雷器用 2500V 或 5000V 绝缘电阻表摇测每节的绝缘电阻，应不低于 2500MΩ

(4) 为了便于比较，可将不同温度下测得的电力电缆绝缘电阻值换算为 20℃ 时的值。换算式为

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = R_t K_t$$

式中 $R_{20^{\circ}\text{C}}$ ——换算到 20℃ 时的绝缘电阻值；

R_t ——温度为 t 时的绝缘电阻值；

K_t ——温度换算系数，按表 2-1 中选用。

表 2-1 绝缘电缆的部分温度换算系数

电缆温度 (°C)	5	10	15	20	25	30	35	40
K_t	0.57	0.7	0.85	1.0	1.15	1.41	1.61	1.92

(5) 根据测量所得电力电缆的 R_{60s} 和 R_{15s} ，进行温度换算，计算吸收比 K ，并参照《规程》或表 2-2 判断电力电缆的绝缘状况，并简单分析绝缘劣化的原因。

表 2-2 电力电缆绝缘电阻（供参考）

额定电压 (kV)		1~3	6	10	35
绝缘电阻每公里 不小于 (MΩ)	油浸纸绝缘电缆	50	100	100	100
	交联聚乙烯绝缘电缆		1000	1000	2500
	聚氯乙烯绝缘电缆	50	60		

七、实验注意事项

- (1) 测试时，L 和 E 端子引线需要使用外绝缘良好的导线。
- (2) 测量电力电缆等容性试品时，注意屏蔽端子 G 的接法，可以尝试比较有无屏蔽两种状况下的绝缘电阻情况。
- (3) 测量同类设备最好使用同种型号的绝缘电阻表。
- (4) 如果测量电力电容器极间绝缘电阻时，由于电力电容器的电容量较大，吸收电流衰减时间长，很难摇测出准确的绝缘电阻值，并且其充电电荷大、危险系数高，因此一般现场测量常采用火花法。火花法即摇测两极间绝缘电阻时，绝缘电阻表轻摇 2~5 圈，用一导线短路两极，当出现明显火花时，可以认为绝缘为合格，无火花则可能极间出现了绝缘劣化情况。
- (5) 绝缘电阻测试数值的大小与环境温度的高低有很大的关系。温度越高，绝缘电阻降低得越快，吸收比的值也会有所改变。所以，测试绝缘电阻或吸收比的时候，应当记录当时的温度。

八、思考题

- (1) 测量绝缘电阻能够发现绝缘的哪些缺陷？
- (2) 影响绝缘电阻测量结果的因素有哪些？如何能够尽量消除这些因素的影响？

第二节 实验二 泄漏电流的测量

一、实验目的

- (1) 掌握测量泄漏电流的原理。
- (2) 掌握电力电缆泄漏电流的测量方法。
- (3) 掌握金属氧化物避雷器的 U_{1mA} 和 $0.75U_{1mA}$ 下泄漏电流 I 的测量方法。
- (4) 掌握根据泄漏电流测量结果诊断绝缘状况的方法。

二、实验内容

- (1) 测量电力电缆的泄漏电流。
- (2) 测量氧化锌避雷器的泄漏电流。

三、实验说明

泄漏电流是反映设备绝缘性能的基本指标之一。通过测量泄漏电流，可以掌握电气设备绝缘的情况，及早发现其缺陷，从而进行相应的维护与检修，以保证设备的正常运行，防止运行设备在工作电压或过电压作用下击穿而造成停电甚至严重损坏设备。

在直流电压作用下测量泄漏电流，实际上也就是测量绝缘电阻。经验表明：当所加的直流电压不高时，由泄漏电流换算得的绝缘电阻值与绝缘电阻表所测值极为接近。此时，测量泄漏电流并不能比用绝缘电阻表测量绝缘电阻能获得更多的信息；当用较高的电压来测量泄漏电流时，更有可能发现一些尚未完全贯通的集中性缺陷，如变压器套管开裂、内部受潮、绝缘油劣化、绝缘纸沿面炭化等。在不同的电压下测量绝缘泄漏电流的变化，可有效地判断绝缘质量。绝缘没有缺陷时，泄漏电流将随电压大致按线性增长；绝缘有缺陷时，则泄漏电流的增长就比电压增长快，尤其是在电压较高时，泄漏电流急剧增加，这是绝缘电阻表所不能发现的。

绝缘电阻或泄漏电流值都和绝缘的温度密切相关。温度升高时，泄漏电流上升，绝缘电阻下降。所以在测量泄漏电流和绝缘电阻时都要记录温度，对有的试品还要进行温度校正。

1. 电力电缆泄漏电流的测量

电力电缆主要由导电线芯（载流芯）、电缆护层和绝缘介质三部分组成。根据绝缘材料的不同，电力电缆分为油纸绝缘电力电缆、橡塑绝缘电力电缆、塑料绝缘电力电缆、充油电缆等类型，广泛应用于各种电压等级。

对电力电缆进行直流耐压及泄漏电流试验，是检查电力电缆绝缘状况的一个主要试验项目。直流耐压试验和泄漏电流试验是同时进行的。

表 2-3 中为《规程》中部分电力电缆直流耐压试验并测量泄漏电流时的直流试验电压标准。

表 2-3 部分电力电缆直流耐压与泄漏电流测量时标准试验电压

电缆类型	额定电压（kV） (U_0/U)	直流试验电压（kV）	说明
橡塑绝缘电力电缆	3.6/6	18	U_0 为电力电缆导体与金属套或金属屏蔽之间的设计电压， U 为导体与导体之间的设计电压
	6/6, 6/10	25	
	8.7/10	37	
	21/35	63	
	26/35	78	
	64/110	192	
	3.6/6	17	
	6/6	30	
纸绝缘电力电缆	8.7/10	47	
	21/35	105	
	26/35	130	