



国家级实验教学示范中心

“电气工程基础实验中心”系列实验教材
西南交通大学 323 实验室 工程系列教材

高电压技术实验

GAODIANYA JISHU SHIYAN

主编 周利军 吴广宁

主审 西南交通大学实验室及设备管理处



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

图书在版编目 (C I P) 数据

高电压技术实验 /周利军, 吴广宁主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.10
国家级实验教学示范中心“电气工程基础实验中心”
系列实验教材 西南交通大学“323 实验室工程”系列教
材

ISBN 978-7-5643-1482-8

I. ①高… II. ①周… ②吴… III. ①高电压—实验
—高等学校—教材 IV. ①TM83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 218680 号

国家级实验教学示范中心

“电气工程基础实验中心”系列实验教材
西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

高电压技术实验

主编 周利军 吴广宁

*

责任编辑 李芳芳

特邀编辑 胡芬蓉

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川锦祝印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 7

字数: 175 千字

2011 年 10 月第 1 版 2011 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1482-8

定价: 12.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

高电压技术实验是“高电压技术”国家精品课程，是“电气设备状态监测”和“过电压与绝缘配合”等主干课程不可缺少的内容，笔者根据多年的教学经验和我校高电压实验设备情况，专门编写了本实验教材。

本教材配合《高电压技术》、《电气化铁道高电压工程》、《电气设备状态监测的理论与实践》及《现代高压电力工程》等教材编写，旨在培养学生在高电压与绝缘技术领域的实验与试验技能，以及发现问题、分析问题与解决问题的科研思维。本书可作为电气工程及其自动化专业本科生，电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术等专业研究生的实验指导教材。

全书分为六章，第一章主要介绍高电压实验的基本知识，包括高电压实验大厅、高电压实验设备以及高电压实验过程中应该注意的问题。第二章至第六章共安排了26个实验，其中，第二章和第三章为绝缘性能测试实验，第二章偏重实验的基本原理，而第三章则偏重具体设备的绝缘性能测试；第四章和第五章分别为绝缘的高电压试验和接地技术相关实验，为了让学生更好地理解抽象概念，还加入了可控性较好的仿真实验；第六章安排了几个较综合的实验，以培养学生初步的科研能力。

本书由西南交通大学周利军和吴广宁主编，高波、曹晓斌、高国强、刘君、李瑞芳参加了编写。本书初稿的编校工作得到了闵英杰、吕玮、马御堂、苏杰、高宗宝、王韬等同志的大力帮助，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者给予指正。

编 者

2011年3月

目 录

第一章 高电压实验的基本知识	1
第一节 高电压实验的基本要求	1
第二节 高电压实验安全操作注意事项	3
第三节 高电压实验大厅	3
第四节 专用设备与仪器	4
第二章 电气绝缘性能测试实验	24
第一节 绝缘电阻与泄漏电流测试	24
实验一 绝缘电阻和吸收比的测试实验	24
实验二 泄漏电流测试实验	25
实验三 固体绝缘表面电阻和体积电阻的测试实验	28
第二节 局部放电与空气间隙击穿	30
实验一 局部放电产生与测量	30
实验二 针尖、针板击穿实验	32
第三节 绝缘油性能测试	35
实验一 绝缘油电气强度测试实验	35
实验二 绝缘油中溶解气体色谱分析实验	36
实验三 绝缘油中微水测试实验	41
第四节 介质损耗测试	43
实验一 用西林电桥法测试介质损耗	43
实验二 用智能化介质损耗仪测试介质损耗	47
实验三 用相位差测试法测试介质损耗	49
第三章 电力设备绝缘预防性试验	51
第一节 绝缘子串的电压分布测试	51
第二节 绝缘子的污秽闪络试验	54
第三节 电力电缆的预防性试验	56
第四节 氧化锌避雷器的预防性试验	61
第四章 高电压的产生与测量实验	64
第一节 工频交流高电压的产生与测量	64
第二节 直流高电压的产生与测量	66
第三节 冲击高电压的产生与测量	68
第四节 冲击电流的产生与测量	71

第五章 接地技术实验	73
第一节 接地电阻和土壤电阻率的测量	73
第二节 变电站接地装置模拟实验	80
第三节 接地网性能分析仿真	86
第六章 综合性实验	96
第一节 绝缘老化实验	96
实验一 绝缘热老化实验	96
实验二 绝缘电老化实验	98
第二节 空间电荷测试	101
第三节 热刺激电流测试	104
参考文献	106

第一章 高电压实验的基本知识

本章主要介绍高电压实验的基本要求、高电压实验安全操作注意事项以及高电压实验大厅（包括高电压设备）对净空距离的要求。

高电压实验的基本要求包括：① 根据实验目的选择所需要的设备、仪器、仪表，确定实验接线图；② 根据实验接线图以及安全准则，合理布置试验场地；③ 根据相关规程及具体要求确定实验步骤；④ 正确使用有关试验设备及仪器、仪表，得出实验数据；⑤ 分析处理实验数据，得出结论，完成实验报告。

进入高电压实验室的所有人员必须遵守高电压实验安全操作规程，这是对每个做高电压实验的人的基本要求，也是对高电压实验参加者的生命保障。通过平时高电压实验的训练，养成遵守安全操作规程的良好习惯，对人对己都是有益无害的。

第一节 高电压实验的基本要求

根据实验过程，高电压实验的基本要求如下。

一、实验前的准备

(1) 实验前必须复习相关专业课知识，完成实验预习报告，包括实验的目的、内容、接线图和实验步骤，遇到有不熟悉的高电压设备时应该到高压实验室对照实物进行预习，根据实验要求设计出记录数据的表格，明确实验中的注意事项；

(2) 每次实验分小组进行，每组 4 人左右（研究生做实验也必须保持 2 人以上），推选组长一人，负责全组实验分工，并对整个实验小组成员和设备的安全负责；

(3) 实验前，必须牢记高电压实验的安全操作规程，坚决杜绝事故的发生。

二、进行实验

1. 实验通电前的检查

(1) 检查实验接线是否正确，高压电路是否自成回路，带电部分与周围物体的距离是否满足安全距离的规定值。

(2) 每个实验室应有必要的联锁装置, 如门联锁、调压器零位联锁等。做高压实验应有必要的遮栏, 实验人员必须站在遮栏外, 不得向试区探头、伸手。

(3) 高压实验的接地必须牢固、可靠, 每个实验设备的接地端子应与实验室的接地母线相连, 与接地母线相连的接地线须用多股裸导线。凡不参与实验的设备, 除保证安全距离规定值外, 其外壳均须接地, 尤其是电容器, 还应短路后接外壳再接地。开始准备做实验时, 应将接地棒从试验设备的高压端取下。

2. 实 验

(1) 根据实验预习报告的实验接线图及所选设备, 按图接线, 力求线路简单明了, 同时检查实验设备及仪表是否正常。

(2) 所有接线经小组两人检查确定无误后, 再请指导教师复查, 经指导教师同意后才允许合闸通电。

(3) 在高压电源和带有高电压的设备周围围以遮栏, 以保持必要的安全距离, 实验时应站在遮栏之外, 不得向遮栏内探头或伸手。

(4) 实验操作者一只手升压, 另一只手放在跳闸(或紧急)按钮的位置上, 并注意电压表(或电流表)读数, 一旦发生意外, 立即跳闸并向指导老师报告。

(5) 实验电压必须从零开始均匀缓缓升高, 在实验过程中如出现异常现象, 如实验设备出现放电声音、设备冒烟等, 应立即按跳闸(或紧急)按钮, 并将调压器退回到零位, 同时向老师报告, 找出异常的原因。

(6) 实验进行时, 组长必须指定专人做好实验记录, 要求记录数据清楚整齐。实验数据有问题时应及时向指导老师反应, 找出问题所在, 并决定是否重新做实验。

(7) 实验完毕或更换试品时, 在将调压器退回零位后用接地棒对高压部分放电(对电容器或长电缆放电时, 为保护试品和人身安全, 应先经一电阻, 如水电阻, 放电后, 再对试品直接放电, 且时间不得少于 2 min), 并将接地棒挂在试验设备的高压端, 否则不得触及或更换试品。

(8) 在做实验的过程中, 实验小组成员不准打闹或做与实验无关的事情, 须服从组长的安排。

(9) 在没有确定高压设备接地之前, 不得接近或触摸高压设备。

(10) 实验完毕, 应将实验场所打扫干净, 按要求把实验设备摆放整齐, 并将实验连接导线整齐地放回原处。切除电源并关灯后方能离开实验室。

3. 实验报告

实验报告应根据实验目的、实测数据及在实验中发现的问题, 经过分析研究后得出结论。实验报告力求简明扼要, 字迹清楚、图表整洁、结论明确, 并用学校印发的专用实验纸书写, 内容包括:

(1) 实验名称、专业、班级、组别、姓名、同组学生姓名及分工、实验日期、室温、气压、相对湿度。

(2) 实验目的及主要设备。

(3) 实验线路图, 并对实验的原理做简要的说明。

(4) 实验主要内容及步骤。

(5) 实验原始数据记录表及实验数据的处理。

(6) 如果需要绘制曲线,应根据实验数据,选择相应的软件进行绘制,并打印粘贴到实验报告纸中。

(7) 实验结论。实验结论必须根据实验数据和结果进行计算分析而得出。

每次实验完成后每个学生必须完成一份实验报告,除了上述要求的实验内容外,还应该完成实验指导书后的思考题,作为实验报告的一部分按时送交指导教师批阅。

第二节 高电压实验安全操作注意事项

为了按时完成高电压实验,确保实验时的人身安全与设备安全,任何人进入高电压实验室工作,必须严格遵守安全操作规程。高电压实验的安全操作注意事项如下:

(1) 做高电压实验时必须严肃认真,精力集中,精神不振或精神失常者不得进行实验。

(2) 实验时每组成员必须服从组长安排,组长必须指定操作、记录和监护人。

(3) 实验前必须熟悉实验内容,并检查设备及仪表是否正常。

(4) 在合电源之前,务必有两人以上检查接线是否正确,接地是否可靠。

(5) 实验操作者,手不要离开跳闸按钮处,所有组员不得擅自职守。

(6) 实验进行中,操作者必须以按“警铃”等方式发出指令,在监护人同意并重复操作口令后才能进行具体操作。

(7) 在未亲眼看到设备接地之前,不得接近或触摸高电压设备。

(8) 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。

(9) 每次实验完毕后,应将接地棒挂在高压设备上,以防紧接下一组实验的学生因残余电荷触电。

(10) 实验过程中如发生故障或事故,应立即跳闸,将调压器退至零值,切断电源,并报告指导教师进行检查处理,如遇到人身事故应立即组织进行抢救。

第三节 高电压实验大厅

根据研究项目的内容和采用的方法不同,可以把实验室大致的分为三种:大型通用实验室、工业实验室和小型实验室。由于资金、人员等方面的原因,一般大学里为高电压试验和研究建立的实验室一般都属于小型实验室,这也决定了其高电压实验室设备的种类和参数的高低。高电压实验室的水平常常以它能够满足试验需要的电压等级来代表,比如是 220 千伏级还是 500 千伏级。

高电压实验室的净空距离是指室内高电压试验设备、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;也指高电压试验设备、高电压测量装置和被试物相互之间应有的

间隔距离；也指高电压试验设备、高电压测量装置和被试物对室内其他带电的或不带电的设备和物体之间应有的间隔距离。净空距离的要求决定于以下三方面的原因：首先决定于安全距离，即无论设备或试品等都不应该在试验时对周围物体放电，要求他们与周围物体之间的间隔大于放电距离并有一定余度；其次决定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大到足以略去它们对测量的有害影响；第三决定于试验要求，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。各种试验电压等级下的安全距离如表 1.1 所示。

表 1.1 各种试验电压下安全距离的规定值

电压值 (kV)	交、直流时 (cm)	冲击时 (cm)	电压值 (kV)	交、直流时 (cm)	冲击时 (cm)
<100	30	30	500~600	180	180
100~200	60	60	600~700	210	210
200~300	90	90	700~800	240	240
300~400	120	120	800~900	300	290
400~500	150	150	900~1 000	350	300

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。测量球隙对周围物体间最小允许距离如表 1.2 所示，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而应为后者的若干倍。例如，我们知道分压器的最低高度决定于它的对地放电距离，所以分压器的净空距离至少应大于放电距离的 1.5 倍。

表 1.2 测量球周围的空隙规定

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 A		距外物的最小允许距离 B
	最小值	最大值	
<6.25	$7D$	$9D$	$14D$
10~15	$6D$	$8D$	$12D$
25	$5D$	$7D$	$10D$
50~75	$4D$	$6D$	$8D$
100	$3.5D$	$5D$	$7D$
150~200	$3D$	$4D$	$6D$

第四节 专用设备与仪器

一、摇表、数字式兆欧表

兆欧表也叫绝缘摇表，它的原理接线图如图 1.1 所示。图中 G 为手摇（或电动）直流发电机，也可以是交流发电机经晶体二极管整流。 M 为流比计式的测量机构，包括处在永磁磁

场内的可动部分电压线圈 LV 和电流线圈 LA。在把被试品接到两个测量端子 L 和 E 之间时，摇动发电机手柄，直流电压就加到两个并联的支路上。第一个支路电流 I_V 通过电阻 R_V 和电压线圈 LV。第二个支路电流 I_A 通过被试电阻 R_X 和电流线圈 LA。两个线圈中电流产生的力矩方向相反。在力矩差的作用下，使可动部分旋转，两个线圈所受的力也随之改变。当到达平衡时，指针偏转的角度 α 正比于 I_V/I_A 。因为并联支路内的电流分配是与电阻成反比的，所以偏转角的大小可以反映出被试电阻的大小。它不受电源电压波动的影响，这是兆欧表的重要优点。

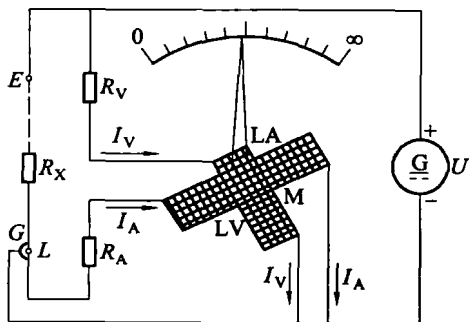


图 1.1 兆欧表原理接线图

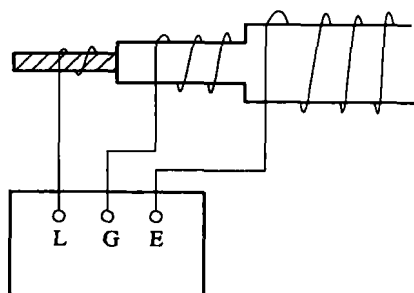


图 1.2 兆欧表屏蔽极的使用

图 1.2 中的 G 是兆欧表的屏蔽端子，用以消除被试物表面泄漏电流的影响。它直接与发电机的 (-) 极（兆欧表直流电源）相连。实验时的接线如图 1.2 所示，图中以电缆作为被试物。如不接屏蔽极，测得的绝缘电阻是表面电阻与体积电阻的并联值，因为这时沿绝缘表面的泄漏电流同样经过电流线圈。如果把绝缘表面缠上几匝裸铜丝，并接到端子 G 上，如图中所示，则沿面泄漏电流将经过 G 直接回到发电机而不经电流线圈。这时测得的便是消除了表面泄漏影响的真实的体积电阻值。

常用兆欧表的电压有 500 V, 1 000 V, 2 500 V, 5 000 V 等几种。对于额定电压为 1 000 V 或以上的设备，应使用 2 500 V 或 5 000 V 的兆欧表进行测试。由于兆欧表功率小，仪表内阻大，当被测绝缘电阻较低时，实际上加在绝缘上的电压远小于仪表的额定电压。

由于采用了流比计的测量机构，仪表的读数与发电机的端电压（转速）绝对值关系不大，一般只要使手柄的转速达到额定转速（通常为 120 r/min）的 80% 以上就行。重要的是必须保持转速的恒定。因为被试物具有一定的电容量，电压的变动将引起电容电流的变化，使指针摇摆不定。基于同样的理由，当试品电容较大时，测量后须先把兆欧表从测量回路断开，然后才能停止转动发电机，以避免试品电容电流反充损坏仪表。对于电容量较大的设备如电机、变压器、电容器等，利用吸收现象来测量这些设备的绝缘电阻随时间的变化，可以更有利于判断绝缘的状态。

BY2671 数字高压兆欧表，是实验室测量绝缘电阻的工具之一，如图 1.3 所示。它的工作原理如下：采用中大规模集成电路，由机内电池作为电源经 DC/AC 变换产生的直流高压由 E 到 L 极的电流，经过 1/V 变换通过除法器完成运算，直接将测得的绝缘电阻值由 LCD 显示。BY2671 数字兆欧表具有以下几个特点：能输出 500 V, 1 000 V, 2 000 V, 2 500 V 四个等级电压，相当于四块手摇指针式兆欧表；输出功率大，带载能力强，抗干扰性能好，不需人力

做功；量程可自动转换，一目了然的面板，轻触键操作使测量更加方便、迅捷，使用电源可以交、直流两用；测量结果由 LCD 数字显示，读数直观，消除了指针式仪表的视觉误差；仪表开启高压键后一分钟时，自动报警，锁定示值 5 秒钟，以便计算吸收比 (R_{60} 秒/ R_{15} 秒)。该仪表是电力、邮电、通信、机电安装和维修以及利用电力作为工业动力或能源工业企业部门常用而必不可少的仪表，该仪表也适用于测量各种绝缘材料的电阻及变压器、电机、电缆及电器设备等的绝缘电阻。测量时，首先开启电源开关“ON”，轻按一下指示灯代表所选电压挡，轻按一下高压启停键，高压指示灯亮，LCD 显示的稳定数值即为被测的绝缘电阻值，启动高压后机内定时器开始工作，一分钟后仪表自动报警 5 秒，此时数值被锁定，便于计算吸收比，关闭高压时只需再按一下高压键，关闭整机电源时按一下电源“OFF”。

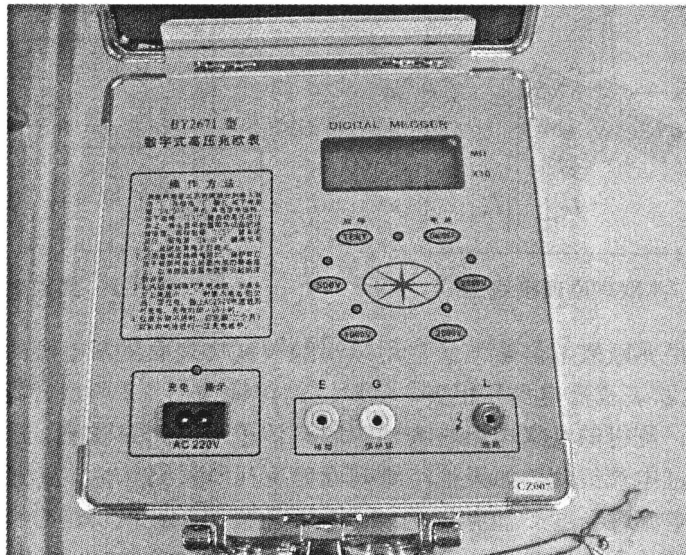


图 1.3 数字式高压兆欧表

二、局部放电测试装置

TE571 是基于计算机处理方法的局部放电测试系统，它是基于局部放电脉冲峰值采集和放电脉冲次数相位分布的分析系统。该测试系统可根据采集数据计算放电量、放电能量、放电功率、放电次数、放电强度谱、放电脉冲密度及诸如偏斜度、峭度、不对称度等相关参量，并可画出放电参量的二维和三维图谱。该系统的主要参数如下：检测带宽为 40~400 kHz；放电量范围为 0~999 pC/nC；局部放电峰值采样保持时间 $<1 \mu\text{s}$ ，脉冲分辨率 $<5 \mu\text{s}$ ，采样精度为 8 位。

该局部放电测量系统软件分析功能强大，但因为是基于峰值采样保持技术和 8 位 A/D 转换精度采集系统，其采集分辨率不高，并且由于没有波形数据，不能用于局部放电信号去噪等方面的研究。

EID-PD18 局部放电系统，专门用于变压器、电机、互感器、电缆、GIS、开关、避雷器等电器设备的局部放电测量。其技术性能完全符合 IEC-270 标准及 GB7354 标准要求，

EID-PD18 局部放电检测系统其独特的两通道同时测量功能，可方便地完成多台试品同时测量或单台试品的多点同时测量，这样使大型变压器放电部位的诊断成为可能。该系统具备以下功能：

- (1) 包括传感器，信号放大和滤波系统，数据采集系统，数据分析系统。
- (2) 局部放电的最大放电量相位分布。
- (3) 平均放电量相位分布。
- (4) 放电次数相位分布。
- (5) 局部放电幅值分布。
- (6) 局部放电能量分布。
- (7) 二维、三维谱图分析，并通过终端显示。

EID-PD18 局部放电检测系统如图 1.4 所示。

系统硬件部分包括：局部放电传感器、信号前置处理、数据采集、显示器、打印机、电源隔离、滤波及 UPS 电源。系统硬件组成框图如图 1.5 所示。

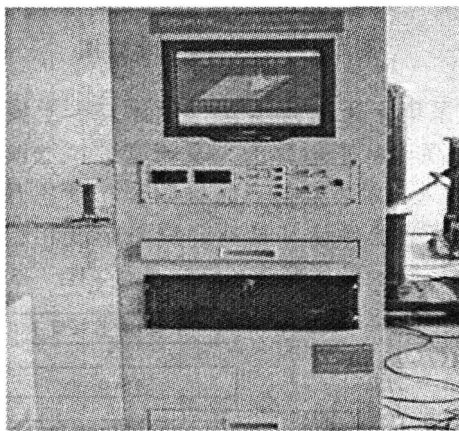


图 1.4 EID-PD18 设备

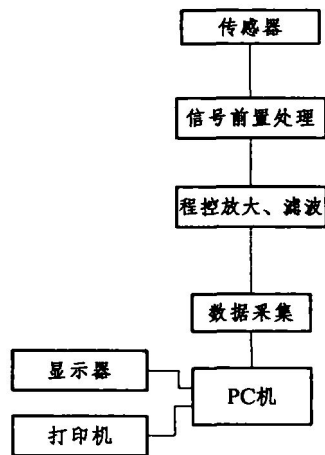


图 1.5 系统硬件组成框图

(1) 局部放电传感器。局部放电传感器原理框架图如图 1.6 所示。

局部放电传感器采用 30 Hz~50 MHz 的高频电流传感器感应变频电机绝缘的局部放电信号，送入宽频带滤波放大器进行滤波放大处理，并通过数据处理装置处理得到测试结果。传感器的制作采用罗科夫斯基线圈方式，选择高性能宽频带环形铁氧体磁芯和优质漆包线作为基本材料，绕制方法如下：漆包线感应线圈先在圆环状磁芯上环绕 35 匝，然后再沿圆环磁芯的外周缘沿与线圈走向相反的方向绕一匝后引出；两引出端间并接 50 Ω 积分电阻；高频电流传感器包裹于环柱状的屏蔽腔中，以消除空间的电磁干扰。主要技术参数：带宽为 80 MHz；灵敏度为 5 pC/mV；信噪比为 50 dB；输出阻抗为 50 Ω。

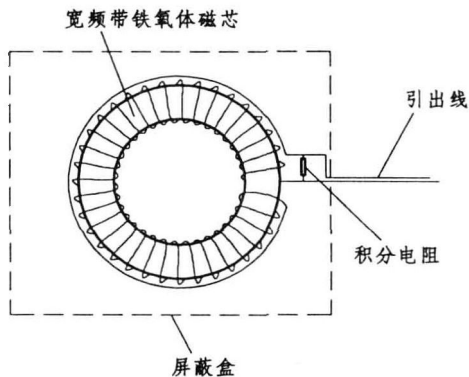


图 1.6 局部放电传感器原理框架图

(2) 信号前置处理。局部放电信号前置处理原理框图如图 1.7 所示。

信号处理的主要技术参数：带宽为 80 MHz；增益为 10~40 dB；信噪比 > 50 dB；输入阻抗 > 1 M Ω ；触发器 50 Hz，输出阻抗 75 Ω 。另外，放大器的输入和输出均采用 75 Ω 同轴电缆传输，触发器交流输入要求与高压系统的工频侧同相，以保证触发相位与高压试验相位同相。

(3) 数据采集。数据采集卡示意图如图 1.8 所示。

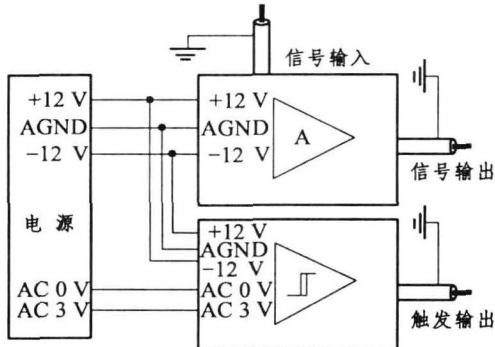


图 1.7 局部放电信号处理原理框图

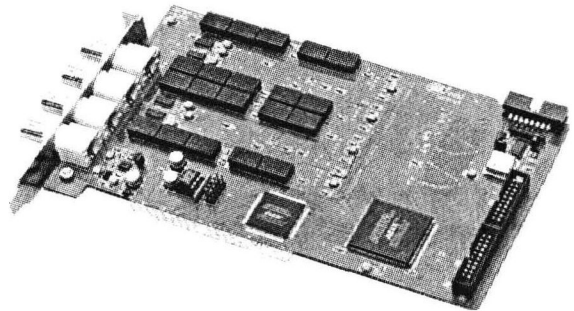


图 1.8 数据采集卡示意图

数据采集采用高速数据采集卡。高速数据采集卡采用同步并行设计，卡上集成了 4 片高速 50 Mbps 12 bit A/D 转换器，4 个独立的高速精密运算放大及精密衰减滤波网络组成程控增益通道，实现大动态信号采集。模拟输入、触发功能、时钟同步和动态升级都是其重要的构架。每个通道的独立控制和无手工调节器件使其具有高测量精度和相位一致性，具有较高的工作可靠性和稳定性。主要性能指标：采样频率 (sps) 为 1 kHz~50 MHz；A/D 分辨率为 12 bit；系统直流精度为 $\pm 0.2\%$ (FS)；系统交流精度为 $\pm 0.5\%$ (1 kHz)；输入阻抗为 1 M Ω /25 pF；通道间相差 < 1° (300 kHz)。

软件系统完成局部放电数字信号的处理存储。该系统包括实现单次/多次信号采集；局部放电信号的椭圆显示；局部放电信号参数的分析统计，即最大放电量相位分布、平均放电量相位分布、放电次数相位分布、局部放电幅值分布、局部放电能量分布、三维谱图等统计信息的处理及显示。软件框架如图 1.9 所示。

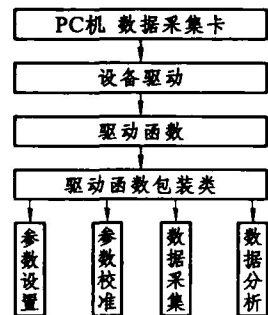


图 1.9 EID-PD18 系统软件框图

三、气相色谱仪

SC-200-06T 型充油设备绝缘油专用气相色谱仪，如图 1.10 所示，为实验室用分析仪器。其主机装有一个导热检测器、两个氢火焰离子化检测器、一个 ZHQ-01 型转化器、两根专用色谱柱、四路恒温温控，如图 1.11 所示。该气相色谱仪适用于充油设备，包括变压器、电感器、电流互感器、充油套等制造厂及电力部门，也适用于各个行业分析微量的 CO，CO₂。气相色谱仪主要用于充油电器设备绝缘油中溶解气体 H₂，CO，CH₄，CO₂，C₂H₆，C₂H₄，C₂H₂ 的分

析，为发现设备内部存在的潜伏性故障及故障的发展情况提供有效帮助。若仪器与专用色谱工作站联用，能自动打印分析结果报告及其故障诊断，使分析工作更方便、更快速、更准确。

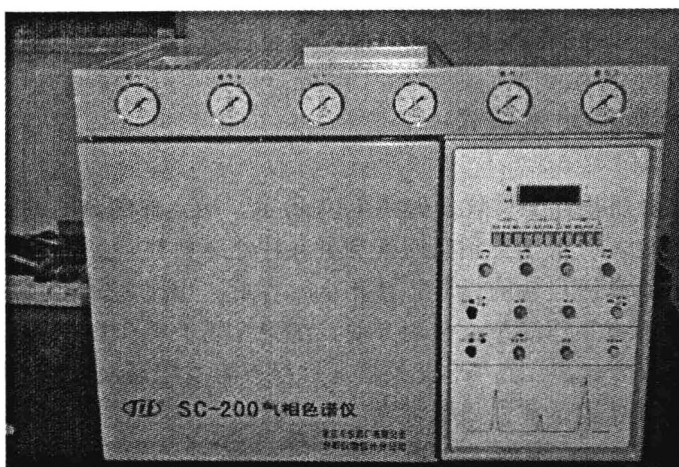


图 1.10 SC-200-06T 型气相色谱仪

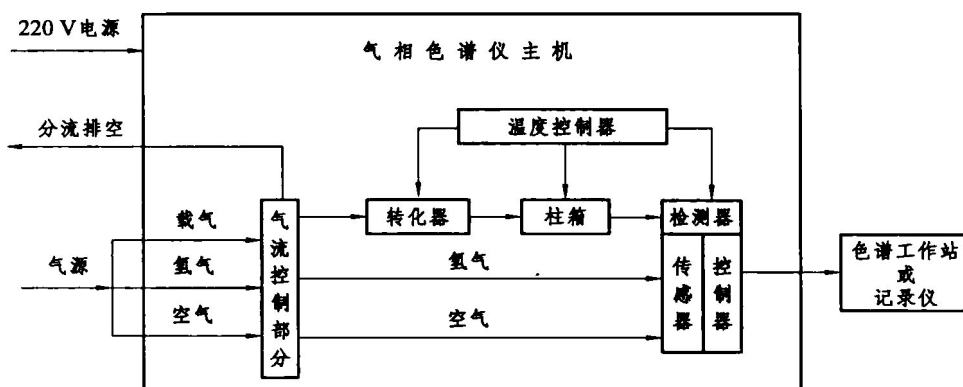


图 1.11 SC-200-06T 型气相色谱仪主要组成部分

仪器工作流程如图 1.12 所示。

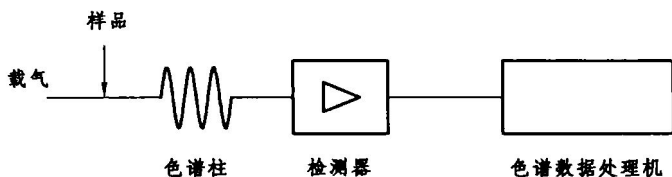


图 1.12 SC-200-06T 型气相色谱仪工作流程

仪器工作原理如下：当经净化处理流量适当的载气在仪器内流过时，若有样品注入，则带着样品进入色谱柱，由于样品中各种组分对色谱柱中固定相的吸附或分配系数上的差异，当混合组分样品在载气冲洗下流经一定长度的色谱柱后，就被分离成各种单一成分，并按一定时间顺序，依次进入检测器的传感器，通过非电量-电量变换，将化学成分信号变成电信

号（电压或电流），送入色谱数据处理机，记录下色谱图并进行处理。这样，根据特定条件下出峰的时间，即可确认其化学成分；根据峰面积的大小，可确定其含量，从而达到对混合物进行定性定量分析的目的。

四、智能化介质损耗测试仪

JJS-II型智能化介质损耗测试仪，如图 1.13 所示，是一种先进的测量介质损耗（ $\tan \delta$ ）和电容容量（ C_x ）的仪器，用于工频高压下测量各种绝缘材料、绝缘套管、电力电缆、电容器、互感器、变压器等高压设备的介质损耗和电容容量。相比 QS₁型高压电桥，JJS-II型智能化介质损耗测试仪具有操作简单、使用方便、结果无需换算、自带高压电源、抗干扰能力强、可显示并打印结果等优点。此外，此仪器还针对电容式电压互感器，增设了外接法测试，可外接标准电容器和调压器，测试简单可靠。

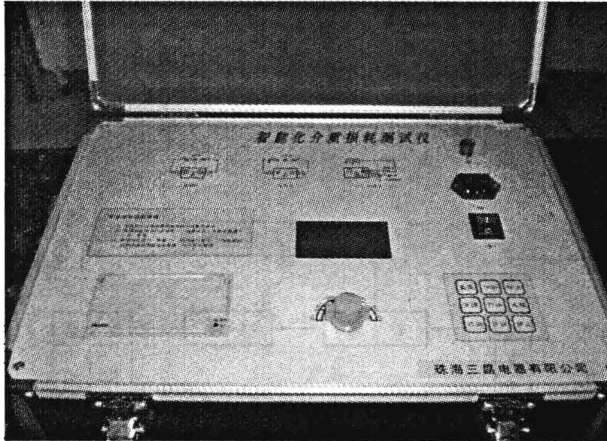


图 1.13 JJS-II型智能化介质损耗测试仪

仪器测量线路包括一路标准回路和一路测试回路，如图 1.14 所示。标准回路由内置高压稳定标准电容器和标准电阻网络组成，由计算机实时采集标准回路电流与测试回路电流的幅值及相位差，并由此算出被测试品介质损耗和电容容量。数据采集电路全部采用高压稳定器件，

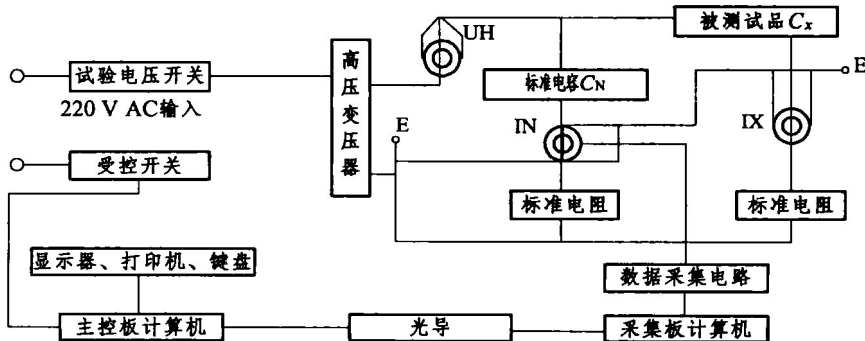


图 1.14 JJS-II型智能化介质损耗测试仪工作原理框图

采集板和采集计算机被铁盒完全浮空屏蔽，仪器外壳接地屏蔽。另外，仪器使用了先进的抗干扰技术，加之计算机对数百个工频周期的数据进行计算处理，使测量结果稳定、精确、可靠。

由图 1.14 可知，仪器高压侧和测量线路都是浮空的，可根据不同的测量对象和测量需要，灵活地采用多种接地方式。例如，采用“正接线法”进行测量时，可将“E”点接地；而当采用“反接线法”进行测量时，可将“UH”点接地，而将“E”点浮空。

五、绝缘油耐压测试仪

MJD-3 变压器油耐压测试仪，如图 1.15 所示，是符合国际 IEC-156 和国标 GB507-86 《绝缘油介电强度测定法》要求的全自动化变压器油耐压测试仪。该仪器选用单片机为主导，采用先设定后开机测试的方法，全过程由微机自动运行控制，具有以下性能特点：设有自动检测功能，如开机自动进入复位状态执行调压器回零；采用微型 TPU-A 面板式打印机，自动打印输出；根据用户需求可改变测试次数、搅拌静置时间、声控光控提醒、连续打印与非打印；采用全自动磁振子搅拌，消除油样的不均匀和气泡。

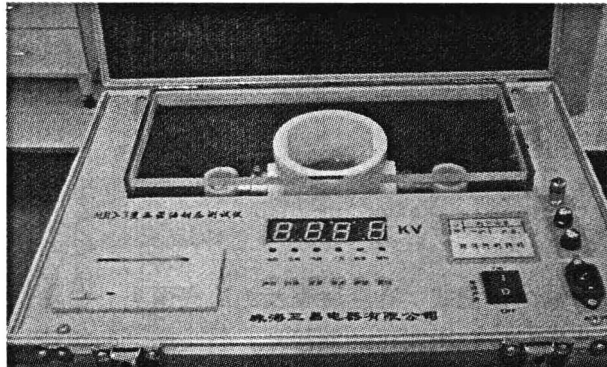


图 1.15 MJD-3 变压器油耐压测试仪

MJD-3 变压器油耐压测试仪面板示意图如图 1.16 所示。

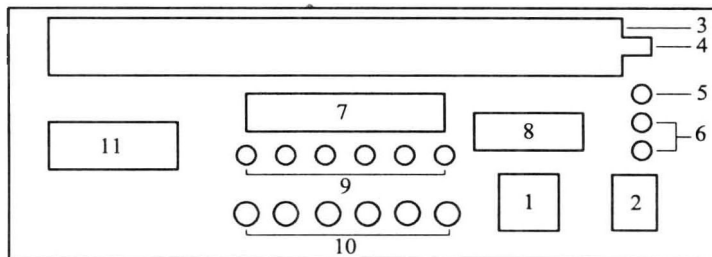


图 1.16 MJD-3 变压器油耐压测试仪面板示意图

1—电源开关；2—电源插座；3—高压舱；4—安全开关；5—安全接地；6—A 保险；
7—显示屏；8—设置盘；9—指示灯；10—键盘；11—打印机

MJD-3 变压器油耐压测试仪共有 6 个功能键，即声控、打印、显示、停止、测值、复位，属于点动键，按一下便可回应工作。

(1) “测值”键。待测试时按“测值”键，搅拌、静置、升压和打印各功能会按设定的数值顺序而行。

(2) “停止”键。在升压过程中按“停止”键，升压会停止，显示屏显示的数值就是此时高压端输出的电压值，按住此键不放可调低高压输出值。按“停止”键不会改变原运行状态，只需再按一次即可恢复运行。

(3) “声控”键。第一次升压油样击穿后，声控提醒连续“嘀”一短声 20 s，第二次后“嘀”两短声，第六次“嘀”一长声一短声，第七次“嘀”一长声两短声，待平均值显示完后“嘀”不断响 20 s。如果不需要声控提醒，按一下“声控”键进入光控提醒，光控指示灯亮，闪亮次数同声控时“嘀”响声次数一样。再按声控键无效，保持光控不变，只有当下一次打开电源时声控才有效。

(4) “显示”键和“打印”键。测试完毕后，可通过使用“显示”键和“打印”键查看数据。按“显示”键一次，显示屏上显示一次测试值，直到显示平均值。按“打印”键可打印所测得的全部电压值为止，但测试时间不再打印。

(5) “复位”键。按“复位”键时，显示屏显示 OCPU，即表示复位到初始等待状态。在测试升压过程做中按“复位”键，不会进入初态而是按原运行状态继续运行，只有连续再按“复位”键才会被确认为复位操作而进入初态。

六、工频高压产生装置

1. 高压试验变压器

高压试验变压器大多数为油浸式，有金属壳及绝缘壳两类。金属壳变压器又可分为单套管和双套管两种。单套管变压器的高压绕组一端接地，另一端（高压端）经高压套管引出，如果采用绝缘外壳，就不需要套管了。双套管变压器高压绕组的中点通常与外壳相连，这样每个套管所承受的只是额定电压 U_N 的一半，因而可以减小套管的尺寸和重量。当高压绕组一端接地时，外壳应当按 $0.5U_N$ 对地绝缘起来。试验变压器由于常用来在被测试样上施加高压，并确定试样加上电压后是否发生绝缘击穿，因此，在多数情况下其高压侧额定电流在 $0.1 \sim 1$ A 范围内变化，电压在 250 kV 及以上时一般为 1 A。对于大多数试样，一般可以满足试验要求。

试验变压器一般做成单相的。高压绕组大多数做成多层绕组，层间绝缘是由电缆纸和绝缘材料制成的圆筒组成。这种绕组在放电瞬间产生的过电压作用下所遭受的损坏危险要比其他形式的绕组小。试验变压器与电力变压器相比工作原理上没有什么不同，它的主要特点是变比较大，但容量较小，因为试验变压器需要供给较高的试验电压，而试样绝缘则相当于较小的电容负荷。此外，试验变压器的工作时间短，在额定电压下满载运行的时间更短。因此，不需要像电力变压器那样装设散热管及其他附加散热装置。试验变压器的结构和尺寸主要决定于绝缘的要求。由于电压高，需要采用较厚的绝缘及较宽的间隙距离，所以试验变压器的漏磁通较大，短路电抗值也较大。考虑到试验变压器在工作时不会受到高幅值过电压的作用。其绝缘可以采取较小的裕度，绝缘的出厂试验电压一般只比额定电压高出 $10\% \sim 20\%$ 。

试验变压器的容量由被测试样在最不利的试验条件下（如淋雨时）需要的电流来确定。