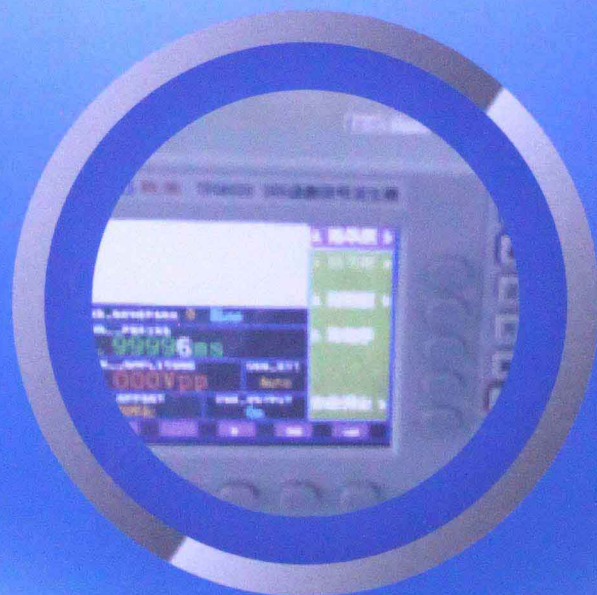


“十二五”普通高等教育电气信息类实验规划教材

电路电子实验 (I)

张新莲 主编 吴贞焕 雷伏容 副主编



化学工业出版社

“十二五”普通高等教育电气信息类实验规划教材

电路电子实验 (I)

张新莲 主 编

吴贞焕 雷伏容 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书内容包括电工技术和电子技术两部分。每个实验包括基本实验和应用实验两个层次，每个实验后面有拓展与思考。本书目的是使学生在加深理解基本理论知识的基础上，通过与学生密切相关的趣味实验培养学生的自主实践能力和创新意识，使学生获得实验技能的同时具有更宽广的知识领域的视野。

本书适用于高等学校工科非电类专业本科学生电工学、电路及电子技术等课程的实验教学使用，也可供高职高专学生、电子技术爱好者及相关的实验室人员和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路电子实验 (I)/张新莲主编. —北京: 化学工业出版社, 2013. 10

“十二五”普通高等教育电气信息类实验规划教材

ISBN 978-7-122-18458-0

I. ①电… II. ①张… III. ①电子电路-实验-高等学校-教材 IV. ①TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 220087 号

责任编辑: 唐旭华 郝英华

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 宋 玮

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 9½ 字数 221 千字 2013 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 21.00 元

版权所有 违者必究

电路电子实验（I）编写人员

主 编 张新莲

副 主 编 吴贞焕 雷伏容

编写人员 （以姓氏笔画为序）

王丽萍 王 琪 史 琳 吴贞焕

张新莲 侯 月 钟庆宾 雷伏容

本书是按照工科高等学校本科电工学课程教学要求，为切实提高本科学生的基本实验技能，培养学生工程实践观念和提高独立分析问题和解决问题的能力而编写的实验教材。

本书的主要内容包括：电路电子实验基本知识；电路及电工实验；模拟电子技术实验；数字电子技术实验；电路电子仿真软件 Multisim 使用方法简介。

本书的主要特点：

- (1) 实验难度分层设置，每个实验包括基本实验和应用实验两个层次；
- (2) 应用实验注重趣味性和实用性，如电话机实验（戴维宁定理）、照相机闪光灯原理实验（一阶电路）、声控 LED 闪烁灯电路实验（二极管、三极管的应用）等；
- (3) 拓展电路电子技术的知识面，每个实验加入了名人名言、知识背景、拓展与思考；
- (4) 注重启发学生独立思考及与教师的互动，每个实验前都有两道开动脑筋的选择题或填空题，实验中注重加入让学生独立思考和设计的内容。

本书第一章、第三章由张新莲编写，第二章由雷伏容编写，第四章由吴贞焕编写，第五章、附录及全书图片由侯月编写和绘制，全书由张新莲统稿，钟庆宾、史琳、王琪及王丽萍在本书的编写过程中给予了大力支持，在此表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏之处，请读者批评指正。

编者
2013 年 7 月

1

第一章

电路电子实验基本知识

- 一、电路电子实验的重要性和目标 / 1
- 二、电工电子实验室供电电源接线及控制开关 / 1
- 三、实验用电安全常识及实验规则 / 2
- 四、实验报告的基本要求 / 3
- 五、常用电工电子网站 / 4

2

第二章

电路及电工实验

- 实验一 常用仪器使用操作训练 / 5
- 实验二 基本电路定理及应用实验 / 15
- 实验三 一阶电路瞬态分析实验 / 20
- 实验四 单相交流电路实验 / 29
- 实验五 三相交流电路实验 / 38
- 实验六 三相异步电动机的控制电路实验 / 43
- 第二章实验数据记录汇总 / 49

3

第三章

模拟电子技术实验

- 实验一 二极管、三极管的特性测试及简单应用电路实验 / 61
- 实验二 晶体管单级共射放大电路及应用实验 / 67
- 实验三 集成运算放大器的应用实验 / 76

实验四 直流稳压电源实验 / 85

第三章实验数据记录汇总 / 91

4

第四章
数字电子技术实验

实验一 集成门电路及其应用电路设计 / 99

实验二 中规模组合逻辑器件的应用 / 104

实验三 触发器及其应用电路设计 / 110

实验四 中规模时序逻辑器件 / 114

第四章实验数据记录汇总 / 119

5

第五章
电子仿真软件 Multisim 使用方法简介

附录 A 面包板及相关工具的使用方法简介 / 138

附录 B 电子电路常用器件的使用要点 / 140

参考文献

第一章 电路电子实验基本知识

一、电路电子实验的重要性和目标

- *Scientists study the world as it is, engineers create the world that never has been.*

——Theodore von Karman

- 一切推理都必须从观察与实验得来。

——伽利略（意大利）

• 培养独立思考和独立判断的能力，应始终放在首位，而不应当把获得专业知识放在首位。如果一个人具有扎实的学科基础理论，并且学会了独立地思考和工作，他必定会找到自己的道路。

——爱因斯坦

• 美国贝尔实验室是晶体管、激光器、太阳能电池、发光二极管、数字交换机、通信卫星、电子数字计算机、蜂窝移动通信设备、长途电视传送、仿真语言、有声电影、立体声录音，以及通信网的许多重大发明的诞生地。自 1925 年以来，贝尔实验室共获得两万五千多项专利，现在，平均每个工作日获得三项多专利。

从上面几位著名科学家的名言及美国贝尔实验室的成绩可以看出：扎实的专业基础知识、独立思考能力、实践创新能力是走向成功的三要素。

电工学、电路及电子技术是建立在实验基础上的理论课程。实验教学的目的不仅是巩固学生对理论知识的理解，更重要的是使学生熟练掌握实验操作技能，提高理论联系实际、独立思考并解决实验中所出现的实际问题的能力，以及对实验过程的文字总结和概括能力，教师在实验过程中应进一步启发和鼓励 学生开阔视野，使用创新思维对电路电子进行创新设计。

在实验教学中应遵循“教师为主导，学生为主体”，以取得“教学相长”的良好效果。通过引入与学生生活和后续专业课程密切相关的趣味性和实用性实验，吸引学生积极主动上网查阅资料获取相关知识，了解新技术和新器件的应用领域，培养学生的创造性，为后续课程奠定扎实的基础。

二、电工电子实验室供电电源接线及控制开关

认识和了解电工电子实验室中电源接线图及电源总控制开关和实验台控制开关的位置及操作方法，学会在紧急情况下关断电源开关。

电工电子实验室实验所用电源的接线示意图见图 1-1。三相四线制进线电源由低压配电室引入实验室，经一个电源总控制开关（DZ47-60 型，60A）连接 10 个分支开关（DC45N C32 型 32A），图中虚线框内部分表示开关柜中的断路器组，安装在进门的墙上，实物图片见图 1-2，各个分支开关分别连接一定数量的电工实验台，在每个电工实验台的

侧面安装一个带漏电保护功能的小型开关（DZ47LE 型，漏电动作电流为 30mA，分断时间小于 0.1s），见图 1-3。实验台前面板的左下方是由钥匙控制的实验台电源总开关，如图 1-4 所示。注意：在每次交流电路实验结束后，将实验台前面板的电源总开关用钥匙逆时针关断。

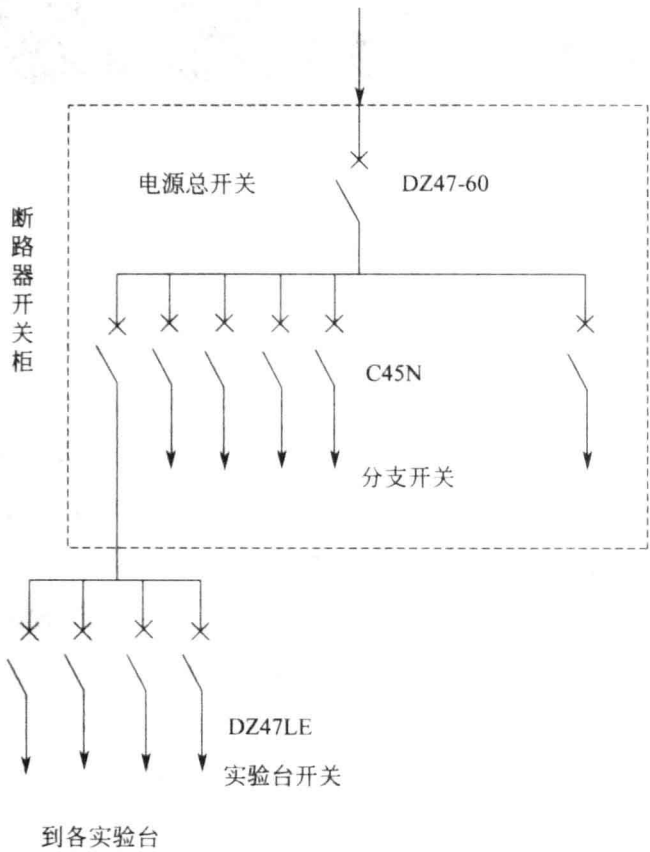


图 1-1 实验室电源接线示意图

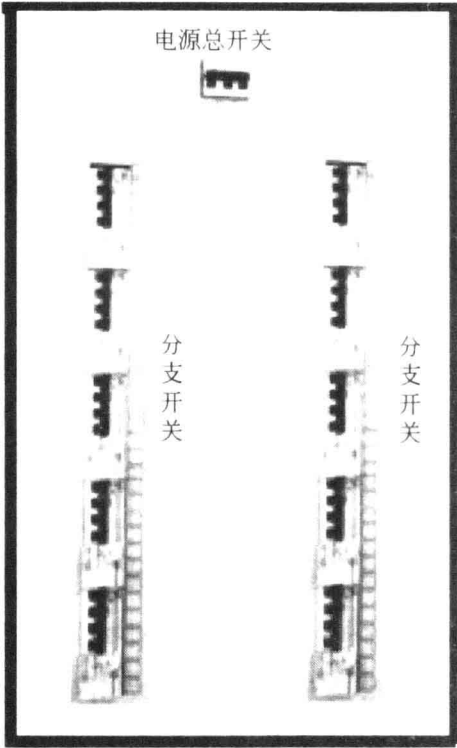


图 1-2 断路器开关柜照片

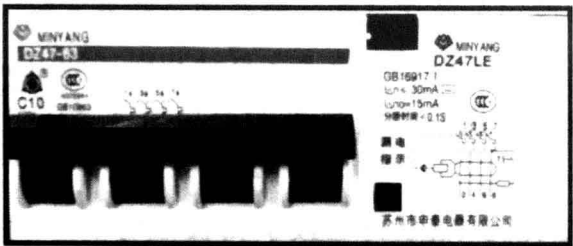


图 1-3 实验台侧面带漏电保护开关

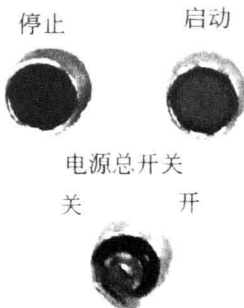


图 1-4 实验台正面电源总开关

三、实验用电安全常识及实验规则

1. 实验用电安全常识

电工电子实验室实验用电关乎实验室的安全。触电是指人体接触到带电体使电流流过人体造成电击或电伤，通过人体电流的大小、持续时间、经过人体的部位及人体的健康状况等都影响电击伤害的程度。在一般情况下，人体的平均电阻在 1~1.5kΩ。国际电工委员会（IEC）规定了人体允许长期承受的电压极限值（通用接触电压极限），见表 1-1。

表 1-1 人体允许长期承受的电压极限值

环 境	电源频率	极限电压值
常规/潮湿	15~100Hz	50V/25V(有效值)
常规/潮湿	直流	120V/60V

实验室中的一切仪器设备都应有用电的安全措施。对于三相四线制中的零线直接接地的供电电路，仪器设备的外壳要采用保护接零，即将仪器设备的外壳与电路系统的中性点相连接，如果出现漏电或一相碰壳时，该相相线与零线之间形成短路，接于该相线上的短路保护装置或过流保护装置就会动作，快速切断电源，消除触电危险。

我国生产的漏电开关适用于 50Hz，额定电压 380/220V、额定电流 6~250A 的低压供电系统和用电设备，漏电开关若用于人身保护，选用漏电动作电流为 30mA 以下的开关，漏电动作时间在 0.1s 以下，当人体触电故障电流超过预定值 30mA，漏电开关就会自动断开，切断供电电路，保护人身安全。动力与照明合用的三相四相制电路必须选用四极漏电开关。

为保证做实验人员的人身安全，在做交流电路实验时使用的导线插接头的金属部分是不外露的，而直流电路实验所用导线的插接头是露金属头的。

我们有必要掌握以下最基本的安全用电常识。

- (1) 认识了解电源总开关，学会在有人触电等紧急情况下关断实验台总电源。
- (2) 不用手或导电物去接触、探试电源插座内部。
- (3) 不用湿手触摸电器，不用湿布擦拭电器。

2. 实验规则

在实验过程中必须按照以下规则进行操作，养成良好的操作习惯，培养严谨的实验作风。

- (1) 严禁带电接线、拆线或改接线路。
- (2) 接好线路再检查一遍，确认无误后再接通电源。
- (3) 使用调压器及直流稳压电源时，通电前要将其起始位置置于零位。
- (4) 根据预算值，合理选择仪表量程，不能预估被测值时，应先选择较高量程。
- (5) 若通电后报警笛响，先将仪表量程切换到最大，按一下报警红灯下的恢复按钮，若报警笛仍响则用实验台的钥匙开关关断实验台电源，检查线路、排除故障后再继续实验。
- (6) 当发生烧断保险管、实验电路中元件出现冒烟等严重现象，应立即关断实验台电源，马上报告指导老师，待检查线路、排除故障后再继续实验。
- (7) 接线要合理布局，每根导线端部连接线不宜超过 3 根。
- (8) 实验过程中要随时检查实验数据是否与理论数据接近，如相差较大应分析原因。
- (9) 实验要严肃认真，保持安静和整洁的实验环境。
- (10) 遵守实验室的规章制度。

四、实验报告的基本要求

实验报告是对实验全过程的总结与思考，要求用简明的语言及图形的形式真实地将实验

结果和扩展与思考中的问题完整地表达出来。实验报告包括预习报告和总结报告。

- (1) 实验课前，要求阅读复习理论课和实验课教材及相关资料后独立完成预习报告，包括实验名称、实验目的、实验原理、主要实验仪器及型号、实验步骤（要求绘制电路图，语言要简洁），特别要认真阅读理解每个实验后面的注意事项。
- (2) 实验结束后，在预习报告的基础上，对实验数据进行分析并得出明确结论，数据要注意参考方向及单位并保留 2 位有效数字；波形曲线要画在坐标纸上，曲线的弯曲部分要多选几个测试点，各点之间的曲线连接要光滑。
- (3) 完成每个实验后面的思考题和实验报告的具体要求。
- (4) 写出在实验过程中遇到的问题和现象及解决的方法、改进建议和心得体会。
- (5) 查阅课外资料，完成扩展与思考题。

五、常用电工电子网站

电气电子工程师学会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）是建立于 1963 年 1 月 1 日的国际性电子技术与电子工程师协会，亦是世界上最大的专业技术组织，拥有来自 175 个国家的 36 万个会员。常用电工电子网站见表 1-2，供同学们查阅课外应用资料。

表 1-2 常用电工电子网站

序号	网 站 名	网 址	特 色
1	中国电子网	www.21ic.com	工业应用领域
2	电子发烧友网站	www.elecfans.com	电子设计技术资料
3	21IC 工程师社区	bbs.21ic.com	讨论解决问题的方法
4	今日电子	www.epc.com.cn	技术前沿信息
5	电子工程专辑	www.eet-china.com	电子工程技术文库和实例
6	变频技术应用	www.chinabianpin.com	电机变频控制应用实例
7	器件手册	www.datasheet5.com	4000 万器件信息查询
8	工控博客	blog.gkong.com	工业控制技术精华文章和讨论
9	电子产品世界论坛	forum.eepw.com.cn	智能芯片的使用技术交流
10	大虾电子网	www.daxia.com	电子设计开发资料及经验
11	五六电子网	www.56dz.com	电子套件及元器件
12	德州仪器(TI)公司	www.ti.com.cn	模拟芯片和 DSP 技术
13	全国大学生电子设计竞赛官网	www.nuedc.com.cn	电子竞赛规则及历年竞赛题目
14	电子天下	www.dz3w.com	技术栏目及电路图库

第二章 电路及电工实验

实验一 常用仪器使用操作训练

一、万用表的使用方法

1. 万用表简介

万用表是电工电子实验中最常用的测量仪表之一，现在使用的多为数字式。可测量电阻、交直流电压和电流、电容（电感）、三极管的参数及二极管的极性、连线通断的检测等。

2. 数字万用表使用方法

先打开电源开关（power 键），然后要选择正确挡位，V—或 DCV 是直流电压挡，V~或 ACV 是交流电压挡，A—或 DCA 直流电流挡，A~或 ACA 是交流电流挡， Ω 是电阻挡，画有一个二极管符号的是二极管挡也称蜂鸣挡，F 是电容挡，H 是电感挡，hfe 是三极管电流放大系数测试挡。



接下来将两根表笔插入正确插孔，一般数字表会有四个插孔，分别是：V Ω 孔，COM 孔，mA 孔，10A 孔或 20A 孔。COM 孔也称公共端，是专门插入黑表笔的插孔。测量直流电压、交流电压、电阻、电容、二极管、三极管、检查线路通断等，将红表笔插入 V Ω 孔，黑表笔插入 COM 孔。测量 mA 级别的电流或 μ A 级的电流将红表笔插入 mA 电流专用插孔，黑表笔插入 COM 孔。测量高于 mA 级别的电流将红表笔插入 10A 或 20A 孔，黑表笔插入 COM 孔。此时就可以测量了。

如果不知道被测信号的大小，则要先选择最大量程测量。测量直流电压或电流时不必考虑正负极，因为数字表会显示“-”负号，说明黑表笔接的是“+”正极。

测量电阻的时候，首先要选择电阻挡并选择适当量程，测量电阻不分正负极。首先短接两根表笔测出表笔线的电阻值，阻值不能超过 0.5Ω ，否则，说明万用表电池的电压偏低，或者是刀盘与电路板接触松动，根据相应情况更换万用表电池或者将万用表拆开重新安装刀盘。测量中如果发现万用表显示“1”，则要使用最大挡重新测量，如果使用最大挡测量该电阻阻值还是“1”，则说明该电阻开路。如果测量中显示电阻阻值为“001”，说明该电阻内部击穿。另外测电阻的时候不要用手去握表笔的金属部分，以免将人体电阻引入测量而加大误差。

测量二极管的时候要使用二极管挡，红表笔处于 V Ω 孔位置，黑表笔处于 COM 孔位

置。数字表二极管挡 $V\Omega$ 孔和 COM 孔的开路电压为 2.8V 左右，此电压用于测量二极管是安全的。将红表笔接二极管阳极，黑表笔接阴极，测量出正向电阻值。反之则测量的是二极管反向电阻值。如果正向电阻值为 $300\sim600\Omega$ ，反向电阻值大于 1000Ω ，说明管子是好的。如果正反向电阻值均为“1”，说明管子开路。如果正反向电阻值均为“001”，说明管子击穿。如果正反向电阻值差不多，则说明管子质量不太好。

表上其他按键：HOLD 键是锁屏按键，B/L 一般是为背光灯。

注意：测量大电流的时候，一定要注意时间，正确测量时间应该是在 $10\sim15s$ ，如果长时间测量的话，由于分流电阻过热引起阻值变化，会引起测量误差。

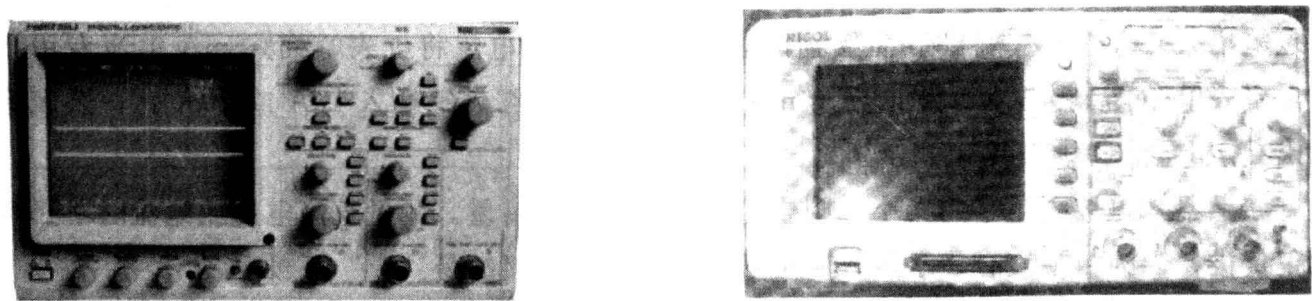
二、示波器的使用方法训练

示波器是电子电路实验中常用的一种观察和测量波形的仪器。示波器分为数字示波器和模拟示波器。模拟示波器采用的是阴极射线管（电子枪）向屏幕发射电子，并打到屏幕上。屏幕的内表面涂有荧光物质，这样电子束打中的点就会发出光来。

数字示波器则是数据采集、A/D 转换、软件编程等一系列的技术制造出来的高性能示波器。数字示波器一般支持多级菜单，能提供给用户多种选择，多种分析功能。还有一些示波器可以提供数据存储，实现对波形的保存和处理。

不同厂家不同型号的示波器功能会有一些区别，可以根据实验室使用的型号查找相应的详细说明书，另外有些新的型号厂商在网络上会提供相应的视频，详细介绍每一个功能的使用。鉴于篇幅关系，下面以两种示波器（图 2-1-1）为例，简单介绍一下使用方法：一种是模拟示波器，IWATSU（岩崎）SS 7802A；另一种是数字示波器，RIGOL（普源）DS1052D/E。

无论什么型号的示波器，其基本功能均为在屏幕上根据要求适当的显示出完整或局部的波形。因此我们主要从设置合适的参数（以在屏幕上合适的位置获得清晰稳定波形）角度出发，简单介绍示波器使用时的一些基础参数的设置。



(a) 模拟示波器:IWATSU(岩崎)SS7802A

(b) 数字示波器:RIGOL(普源)DS 1052D

图 2-1-1 两种示波器外形图

示波器初级使用中主要涉及三大部分的设置：垂直系统（Y 轴设置）、水平系统（X 轴设置）和触发系统。

SS 7802A 是 20M 模拟双踪示波器，示波器面板的左半部分如图 2-1-2 所示。左上方是

显示屏，显示屏的下面最左边是电源开关，紧邻电源开关的三个旋钮依次是：

- INTEN→调整波形亮度；
 - READOUT→调整文字亮度；
 - FOCUS→波形及文字聚焦。
- “CAL”→校准用标准信号输出端（0.6V，1kHz 方波）；
- “⊥”→接地端，测量时的接地点。

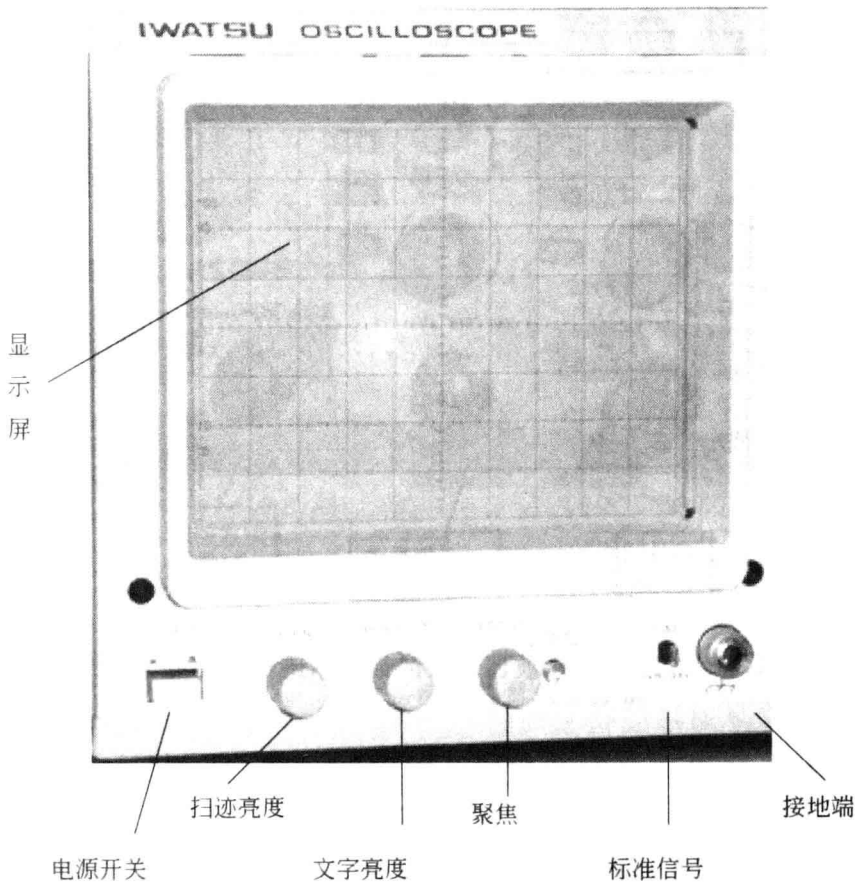


图 2-1-2 SS 7802A 示波器面板左半部分

示波器面板的右半部分如图 2-1-3 所示。该部分有两个主要功能的调节旋钮：水平系统（波形时间）及垂直系统（波形幅度）的调节旋钮。

示波器使用步骤是先校准，即将“CAL”校准用标准信号输出端的输出信号接入示波器信号通道 1 或者 2。观察显示屏上的波形，看看是否能够正确显示。由于实验室会预先校准，所以实验中这一步骤一般可以省略。然后调节波形显示的位置：先将 CH1 和 CH2 的“GND”按钮按下，调节“POSITION”旋钮使置零的直线波形处于屏幕的中央（对于纵轴而言）。然后再按“GND”按钮使其弹起，将需要观测的波形信号通过 CH1 或者 CH2 进行输入。如需双踪显示，从两个通道同时输入即可。

然后根据输入信号的频率大小调整时基因数（时间的灵敏度），即： $s(ms \text{ 或 } \mu s)/格$ ，使波形在显示屏上显示出 1~2 个完整周期的波形。根据输入信号幅度的大小调节电压灵敏度旋钮（范围在 $2mV \sim 5V/格$ ），即 $V \text{ (或 } mV) /格$ ，使显示波形的幅度不至于过小（看不清楚）或过大（峰值超出显示屏）。如果只使用一个通道，则调节相应通道，如果同时使用两个通道，则两个通道均需调节。横轴每格时间的灵敏度，如“A: 10ms”会在显示屏的左

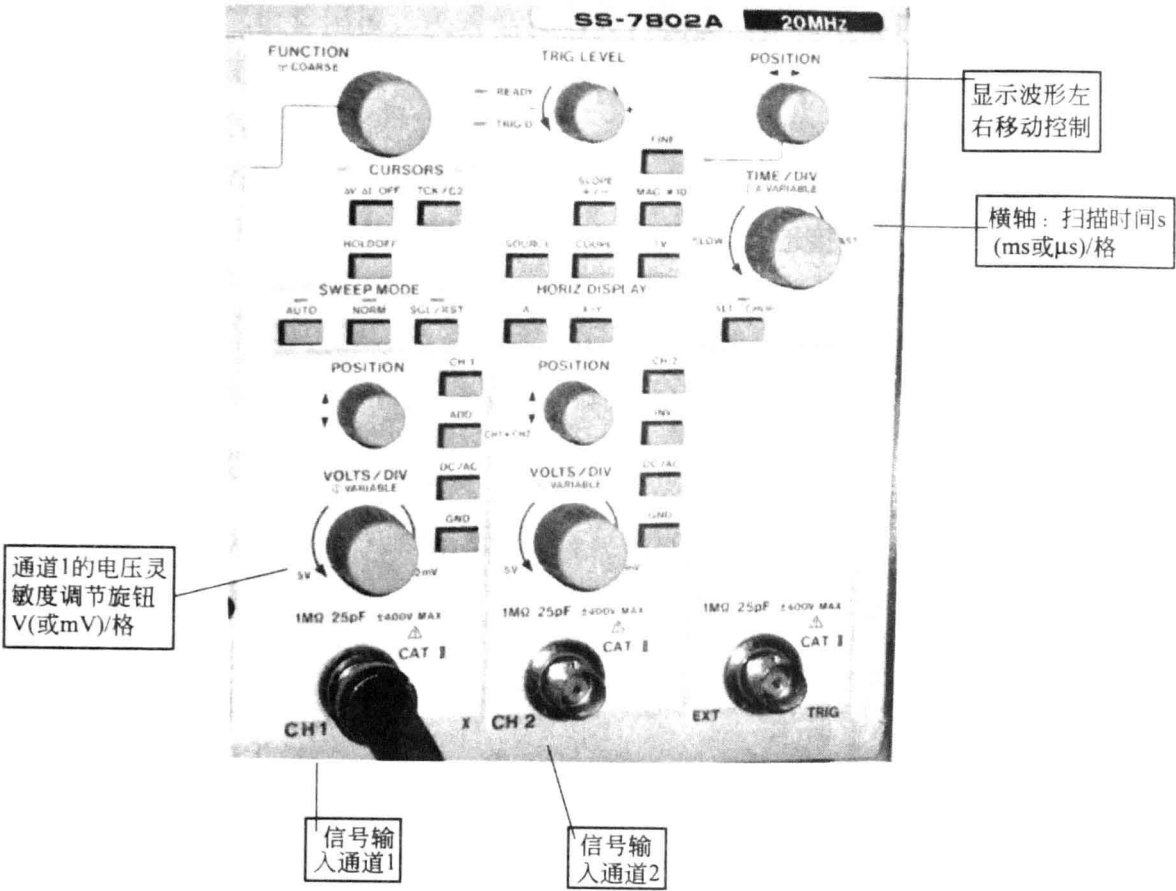


图 2-1-3 示波器面板的最基本旋钮的功能

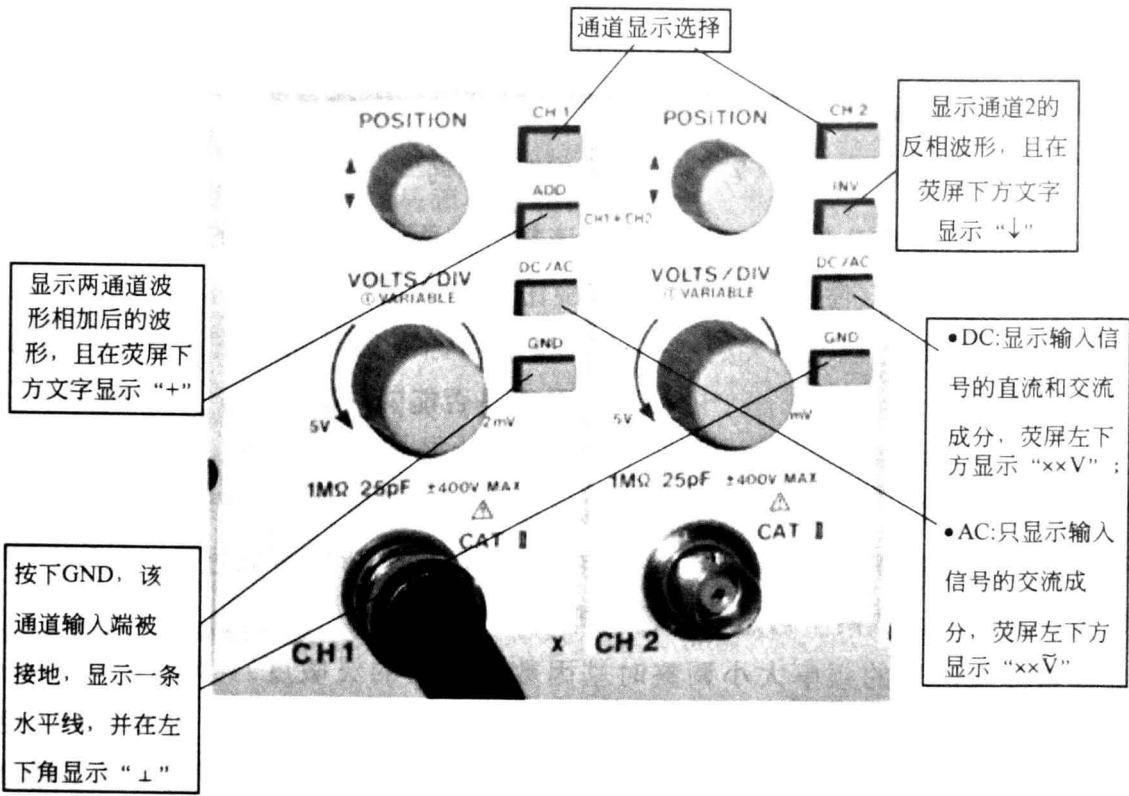


图 2-1-4 电压调整按键

上角显示。纵轴每格电压的灵敏度，如“1: 100mV”，会在显示屏的左下角显示。其中“1:”表示是CH1 通道信号的电压灵敏度。若想同时显示两个输入信号的电压波形，则调整通道 2 的电压灵敏度旋钮，在显示屏右下方显示“2: ××V”。电压调整按键如图 2-1-4 所示。

最后是关于触发系统的设置，如图 2-1-5 所示。

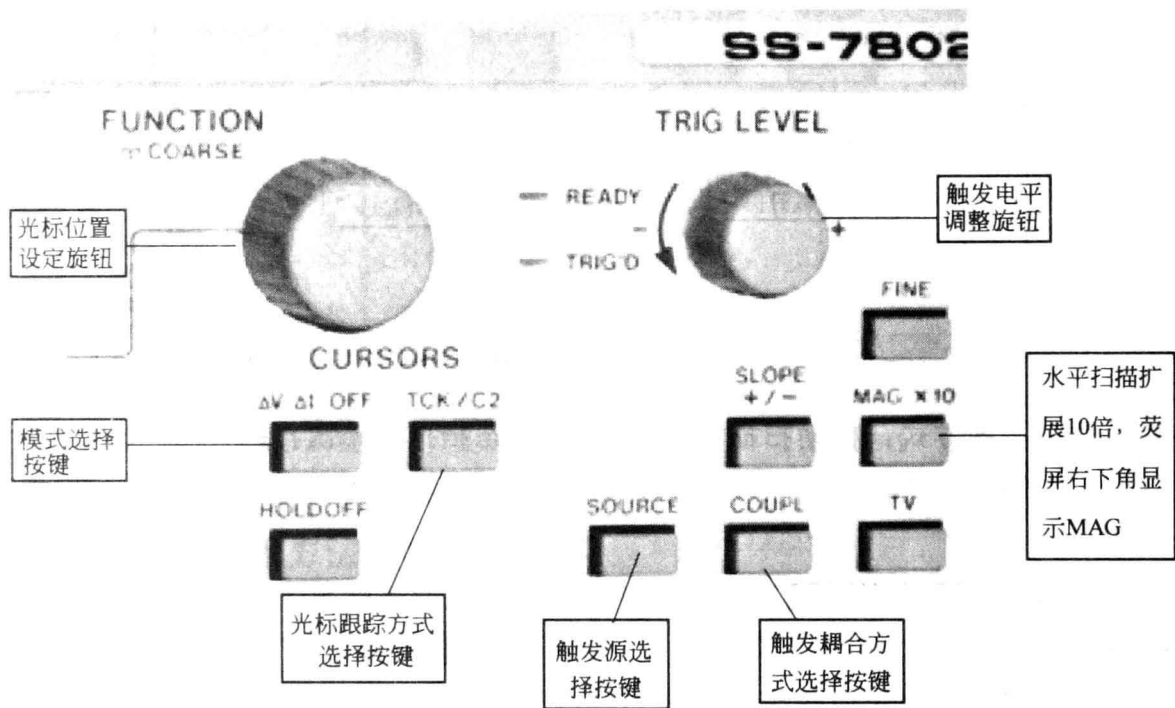


图 2-1-5 触发系统及测量相关按键

(1) 触发电平 (TRIG LEVEL) 调整旋钮：当触发信号产生时，触发指示灯亮，并在荧屏上方显示触发电平值。当荧屏上的波形显示不稳定，总是处于滚动显示状态，则要调整该旋钮使荧屏上方右侧显示的触发电平数值调小，直到捕捉到信号，触发指示灯亮，显示稳定波形。

(2) 触发源 (SOURCE) 选择按键：按下此键，依次循环选择 CH1 或 CH2 或 LINE、EXT、VERT 触发源，荧屏右上角有相应文字显示。

CH1 或 CH2：以通道 1 或通道 2 的输入信号为触发源。

LINE：以电源为触发源。

电路电子实验中一般选择有信号输入的通道 CH1 或者 CH2 作为触发源即可。

(3) 触发耦合方式 (COUPL) 选择按键：按下 COUPL 以选择触发耦合方式，荧屏上方文字显示相应符号“AC DC HF-R LF-R …”等。

AC：隔离触发信号的直流成分，最低触发频率为 100Hz。

DC：通过触发信号的所有成分。

HF-R：滤除高频信号。

LF-R：滤除低频信号。

(4) 触发边沿 (SLOPE) 选择按键：荧屏上方文字显示上升沿“+”或下降沿“-”触发。

除了上述几个最基本的示波器显示调节旋钮外，还有几个较常用的显示调节旋钮或按键，扫描及显示模式选择，如图 2-1-6 所示。

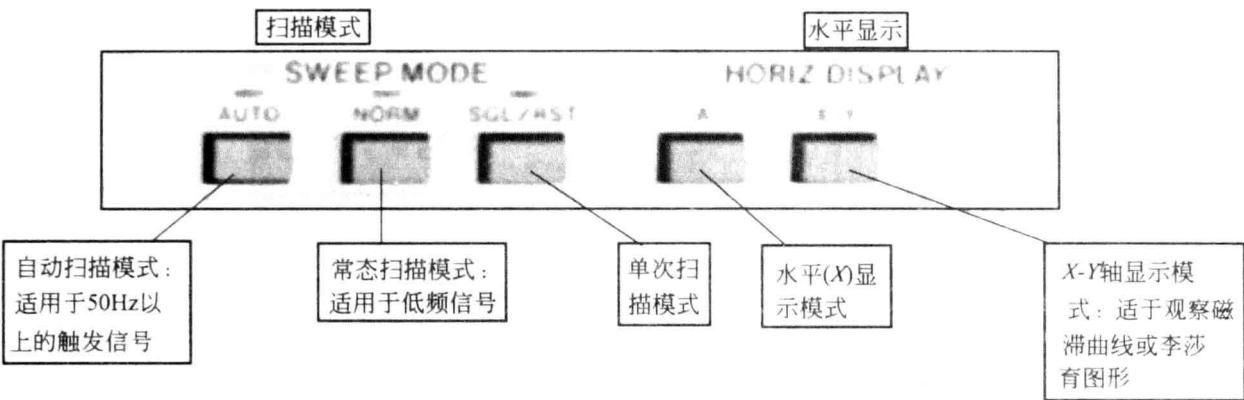


图 2-1-6 扫描及显示模式选择

扫描模式有三种方式：自动扫描（最常用）、常态扫描、单次扫描。
显示模式有两种方式：水平（X）显示模式（最常用）、X-Y 轴显示模式（李莎育图形模式时使用）。

数字示波器 DS1052E 为双通道加一个外部触发输入通道的数字示波器。
DS1052D 系列比 DS1052E 系列多了一个 16 通道逻辑分析仪。其功能比模拟示波器更丰富，但是电路电子实验中常用的简单功能与模拟示波器类似。DS1052D/E 数字示波器具有自动设置的功能。也就是根据输入的信号，可自动调整电压倍率、时基以及触发方式，使波形显示达到最佳状态。应用自动设置要求被测信号的频率大于或等于 50Hz，占空比大于

1%。使用自动设置时：首先将被测信号连接到信号输入通道，然后按下 AUTO 按键。示波器将自动设置垂直、水平和触发控制。如果自动设置显示的波形不合适，可手动调整这些控制使波形显示达到最佳。手动调节的步骤和 SS7802 类似。主要分为时基因数（水平系统）、垂直系统和触发系统相应设置。垂直系统按钮示意图如图 2-1-7 所示。其中“POSITION”旋钮功能和 SS7802A 中通道旋钮下的纵轴位置调节旋钮一样，“SCALE”旋钮类似于 7802A 中的“VOLTS/DIV”（电压灵敏度）旋钮，通道 CH1、CH2 选择可通过左边按键选择，按下“CH1”“CH2”按键还可设置其耦合方式。“MATH”按键可实现波形计算，如相加、相减、相乘、FFT 变化等。水平系统按钮示意图如图 2-1-8 所示，“POSITION”旋钮功能

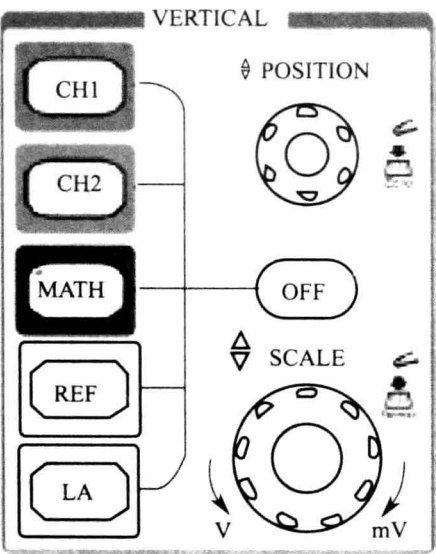


图 2-1-7 垂直系统

和 SS7802A 右上角的水平位置调节旋钮一样，“SCALE”旋钮类似于 7802A 中的“TIME/DIV”（时间灵敏度）旋钮。触发系统按钮示意图如图 2-1-9 所示，“LEVEL”旋钮用来调节触发电平。“MENU”按键可以设置触发信号源、触发方式、触发边沿等。

要特别提醒的是：使用中示波器屏幕亮度适中，不要调得过亮；双通道显示时，两个黑