

电子元器件是电子技术发展的基础，是组成电子设备的基本单元。每一种电子元器件都是根据电路原理需要，为了一定电路功能而设计制造的，因此都具有独特的功能和性能参数。对于元器件应用而言，主要关注两个方面：电性能和机械性能。电性能指电流、电压、功率等参数，是电子设计的主要依据；机械性能又称安装性能，指封装形式、外形尺寸、引线材料可焊性等，是将电子设计变成物理实体的主要性能。因此了解元器件要从认识元器件及其基本特性开始。电子元器件种类繁多，对于一般电子技术应用，只要了解一部分常用元器件即可。本书只简单介绍一些在电工电子技术实验中使用频率较高的电抗元件、半导体分立元件和集成元件。

1.1 电抗元件

电抗元件包括电阻器(含电位器)、电容器和电感器(含变压器)。它们在电子产品中应用非常广泛，特别是电阻和电容，往往能占一个产品元器件数量的 50% 以上，所以电抗元件也称为三大基础元件。

1.1.1 电阻器

电阻器主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，其次还可作为分流器、分压器和消耗电能的负载等。电阻器按其结构可分为固定电阻器、可变电阻器两大类。

1. 固定电阻器

固定电阻器一般称为“电阻”，阻值不能改变。电阻的种类很多，常用的有线绕电阻、薄膜电阻、实芯电阻和特殊电阻等。其中金属膜电阻精度高、性能稳定、结构简单轻巧，是迄今为止应用最为广泛的电阻，在电子行业和高精度的军事航天等领域发挥着不可忽视的作用，也是我们在实验室中常用的电阻。金属膜电阻器是用真空蒸发或溅射的方法将特种金属或合金蒸镀在陶瓷或玻璃骨架上形成电阻膜层制成的。这种电阻多采用直插封装，阻值和误差一般通过色环来表示，常见的有四色环或五色环(精密电阻)，如图 1-1 所示。



图 1-1 阻值和误差的色环标记

色环中最后一环表示误差，倒数第二环表示 0 的个数，其余色环表示电阻的有效值。各色环的不同颜色及含义见表 1-1。

表 1-1 色环颜色含义

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	本色
代表数值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	-	-	-
代表误差	±2%				±0.5%	±0.25%	±0.1%				±5%	±10%	±20%

四色环电阻和五色环电阻表示的精确度不同，五色环电阻更精密；误差等级也不同，四色环有金、银和本色三个误差颜色，而五色环有金、银、棕、绿、蓝、紫六个误差色。因此对于初学者来说，当五色环电阻两端最外侧色环颜色同时出现棕、绿、蓝、紫中的一种或两种时，就很难确定第一环和第五环。如果此时手边没有万用表测量，可通过阻值的范围进行判断。一般电阻的阻值范围是 1~10 MΩ，如果读出的阻值超出范围，则说明色环顺序确定反了。比如有一个电阻的色环为绿、棕、黑、绿、棕，如果认为绿色是第一色环，读出的阻值是 51 000 000 Ω(51 MΩ)，超出了阻值范围，由此可确定第一色环应该为棕色。

电阻除了有直插式封装还有贴片式封装，一般称为贴片电阻。贴片电阻是金属玻璃釉电阻器的一种，是将金属粉和玻璃釉粉混合，采用丝网印刷法印在基板上制成的，耐高温和潮湿，温度系数小，可大大节约电路空间成本，使设计更精细化。

2. 可变电阻器

可变电阻器的阻值可以在一定范围内调整，又分为滑动变阻器和电位器。通常所说的滑动变阻器都是线绕的，功率和体积较大，可以直接当负载或者串接在负载回路中用于限制电流，常用于实验中；电位器通常用碳膜制作，体积较小，常用于仪器和电器中，因主要用来改变输出端的电压，所以叫电位器，如其用于收音机中的音量控制。但是不应过于频繁调节，否则会导致电位器损坏。常见电位器如图 1-2 所示。

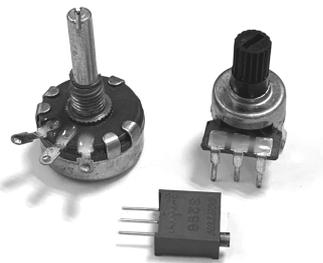


图 1-2 常见电位器

3. 电阻器使用须知

(1) 当电阻器实际功率超过额定功率时, 电阻器的阻值将发生变化甚至发热烧毁, 因此一般选取额定功率比实际功率高 1~2 倍。

(2) 当电阻器需要串并联时, 需要考虑其额定功率。阻值相同的电阻串联或并联, 额定功率等于各个电阻额定功率之和; 阻值不同的电阻串联时, 额定功率取决于高阻值电阻, 并联时, 取决于低阻值电阻, 且需计算是否满足须知(1)。

(3) 选用电阻器时, 很多时候无法刚好与电阻的标称值一致, 一般都是临近选择。

(4) 用万用表测量阻值时, 注意手指不要接触电阻的引脚, 以免影响阻值测量的准确性。

1.1.2 电容器

电容器是由两片金属膜紧靠, 中间用绝缘材料隔开而组成的元件, 主要特性是隔直流通交流, 在电路中用于调谐、滤波、耦合、交流旁路、隔直流等。一般用物理量“电容”来衡量其特性, 故应用中也经常简称为“电容”。电容器按结构分有固定电容和可变电容; 按介质材料分有电解电容、云母电容、瓷介电容、玻璃釉电容、纸介电容和有机薄膜电容。电工电子实验中应用最多的是铝电解电容(图 1-3)、瓷片电容和独石电容等(图 1-4)。

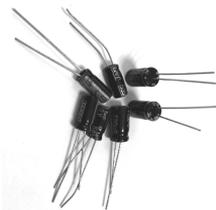


图 1-3 铝电解电容

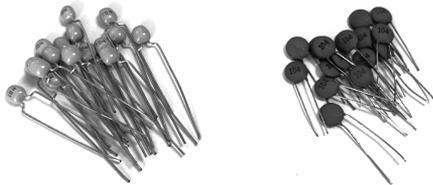


图 1-4 独石电容、瓷片电容

铝电解电容是有极性电容, 具有极性区别, 一般电容器外壳上都标有“+”“-”记号, 且“+”端的引线长于“-”端。电解电容通常在电源电路或中频、低频电路中起电源滤波、退耦、信号耦合及时间常数设定、隔直流等作用, 一般不能用于交流电路。在直流电路中作滤波电容使用时, 其阳极(正极)应与电源电压的正极端相连接, 阴极(负极)与电源电压的负极端相连接, 不能接反, 否则电解作用会反向进行, 氧化膜很快变薄, 漏电流急剧增加, 如果所加直流电压过大, 则电容器很快发热甚至会引起爆炸。瓷片电容、独石电容和涤纶电容等无极性电容可以用在纯交流电路中, 并且由于其容值一般较小, 可用于高频滤波。

电容是一种储能元件, 其容量的大小表示能贮存电能的大小。电容的识别方法与电阻的识别方法基本相同, 分直标法、色标法和数标法三种。电容的基本单位用法拉(F)表示, 其他单位还有毫法(mF)、微法(μF)、纳法(nF)、皮法(pF)。容量大的电容值在电容器上直接标明, 如 $10\ \mu\text{F}/16\ \text{V}$; 容量小的电容值在电容器上用字母表示或数字表示, 如字母表示法 $1\ \text{m}=1\ 000\ \mu\text{F}$, $1\ \text{p}2=1.2\ \text{pF}$, $1\ \text{n}=1\ 000\ \text{pF}$; 数字表示法则一般用三位数字表

示容量大小，其中前两位表示有效数字，第三位数字是10的倍率，单位为pF，如102表示 $10 \times 10^2 \text{ pF} = 1\,000 \text{ pF}$ ，224表示 $22 \times 10^4 \text{ pF} = 0.22 \mu\text{F}$ 。电容容量误差采用字母F、G、J、K、L、M，分别表示允许误差为 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ 、 $\pm 20\%$ ，如一瓷片电容为104 J表示容量为 $0.1 \mu\text{F}$ 、误差为 $\pm 5\%$ 。

1.1.3 电感器

电感元件是将绝缘的导线在绝缘的骨架上绕一定的圈数制成。直流可通过线圈，电阻就是导线本身的电阻，压降很小；当交流信号通过线圈时，线圈两端将会产生自感电动势，自感电动势的方向与外加电压的方向相反，阻碍交流的通过，所以电感的特性是通直流阻交流，频率越高，线圈阻抗越大。电感线圈中流过变化的电流时，不但在自身两端产生感应电压，而且能使附近的线圈中产生感应电压，这一现象叫互感。两个彼此不连接但又靠近，相互间存在电磁感应的线圈一般叫变压器。如图1-5所示，从左至右分别为环形电感、色环电感、工字形电感和变压器。

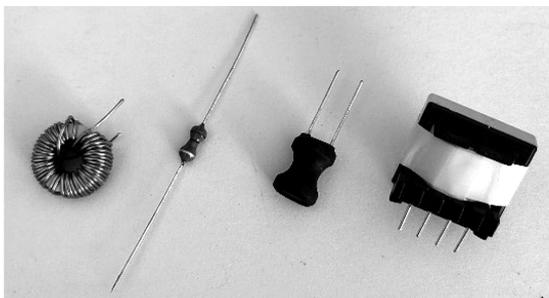


图 1-5 常见电感器

电感器与电阻器或电容器能组成滤波器、移相电路及谐振电路等；变压器可以进行交流耦合、变压、变流和阻抗变换等。

电感器也有很多种分类，按导磁体性质分为空芯线圈、铁氧体线圈、铁芯线圈、铜芯线圈等；按工作性质分为天线线圈、振荡线圈、扼流线圈、陷波线圈、偏转线圈等；按绕线结构分为单层线圈、多层线圈、蜂房式线圈；按工作频率分为高频线圈、低频线圈；按结构特点分为磁芯线圈、可变电感线圈、色码电感线圈、无磁芯线圈等。

电感线圈也是一个储能元件，它以磁的形式储存电能。电感一般也有直标法和色标法，色标法与电阻类似，如棕、黑、金、金表示 $1 \mu\text{H}$ (误差5%)的电感。

1.2 半导体分立元器件

半导体分立元器件包括二极管、三极管及半导体的特殊器件。由于半导体分立元器件在模拟电子技术中讲述非常详细，因此本书主要涉及半导体分立元器件的类型、外形和封

装等内容。半导体元器件的型号命名方法如表 1-2 所示。

表 1-2 半导体元器件型号命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分		
用数字表示元器件的电极数		用字母表示元器件的材料和极性		用字母表示元器件的类别		用数字表示元器件的序号	用字母表示元器件规格号		
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义	意义		
2	二极管	A	N 型锗材料	P	普通管	反映极限参数、直流参数和交流参数等的级别	反映承受反向击穿电压的程度, 如规格号为 A、B、C、D……其中 A 承受的反向击穿电压最低, B 次之……		
		B	P 型锗材料	V	微波管				
		C	N 型硅材料	W	稳压管				
		D	P 型硅材料	C	参量管				
3	三极管	A	PNP 型锗材料	Z	整流管				
		B	NPN 型锗材料	L	整流堆				
		C	PNP 型硅材料	S	隧道管				
		D	NPN 型硅材料	N	阻尼管				
		E	化合物材料	U	光电器件				
				K	开关管				
				X	低频小功率管 ($f_a < 3 \text{ MHz}$, $P_c < 1 \text{ W}$)				
				G	高频小功率管 ($f_a \geq 3 \text{ MHz}$, $P_c < 1 \text{ W}$)				
				D	低频大功率管 ($f_a < 3 \text{ MHz}$, $P_c \geq 1 \text{ W}$)				
				A	高频大功率管 ($f_a \geq 3 \text{ MHz}$, $P_c \geq 1 \text{ W}$)				
				T	半导体闸流管(可控整流器)				
				Y	体效应器件				
				B	雪崩管				
				J	阶跃恢复管				
				CS	场效应器件				
		BT	半导体特殊器件						
		FH	复合管						
		PIN	PIN 型管						
		JG	激光器件						

1.2.1 半导体二极管

半导体二极管一般由一个 PN 结加上相应的电极引线及管壳封装而成。制作二极管的半导体材料有锗、硅、硒等，目前以锗、硅半导体二极管应用最为广泛。按用途不同，二极管有整流二极管、检波二极管、稳压二极管、发光二极管等，不同用途的二极管，PN 结的结构也各不相同。整流二极管主要用于整流电路，把交流电转换成脉动的直流电，结构多为面接触型；检波二极管的主要作用是把高频信号中的低频信号检出，一般采用锗材料、点接触型；稳压二极管是一种齐纳二极管，可以工作在反向击穿的情况下，在直流稳压电源中普遍采用；发光二极管又叫 LED 灯，是一种将电能转换成光能的半导体器件，发光颜色有红、黄、绿、蓝等单色，也有三色或多色变色，可用直流、交流、脉冲等电源点亮。二极管的封装材料多采用塑料或玻璃，封装形式常见的有插针式和贴片式。

此外，也有不是利用 PN 结原理而是利用金属-半导体结原理制成的二极管，称为肖特基二极管，是以其发明人肖特基博士 (Schottky) 命名的。肖特基二极管阳极由金、银、铂、钼、铝等金属构成，阴极由 N 型半导体材料构成，用途和封装与普通二极管类似。

图 1-6 所示为实验室常用的插针式封装二极管外形及其电路符号。从左至右分别为普通二极管、肖特基二极管和发光二极管。

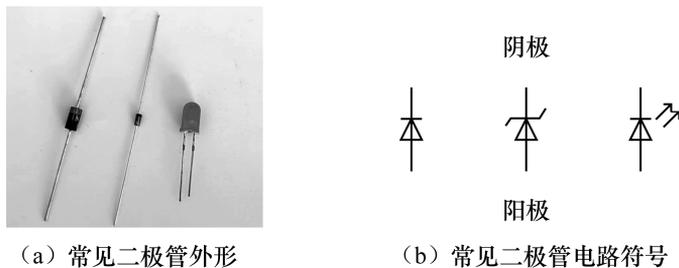


图 1-6 常见二极管外形及电路符号

由于二极管具有单向导电性，应用时须正确区分极性。小功率二极管的 N 极(负极)，在二极管外表大多采用色圈标示；有些二极管用二极管电路符号来表示 P 极(正极)或 N 极(负极)，也有采用符号标志为“P”“N”来确定二极管极性的。在实验中也可用万用表测量来确定二极管的正、负极。用数字式万用表测量时，将万用表打到电阻挡(一般用 $\times 100$ 或 $\times 1\text{ k}$)，红黑两表笔分别接二极管两极，会出现一次阻值很小，而反过来阻值很大近似不通的情况。在阻值很小的情况下，红表笔接的是正极。用二极管挡，如果红表笔接二极管正极，黑表笔接二极管负极，表上示数为二极管正向压降。不同的二极管有不同的值， $0.3\sim 0.7\text{ V}$ 不等。如果黑表笔接二极管正极，红表笔接二极管负极，表上示数为“1”。插针式发光二极管的正负极可从引脚长短来识别，长脚为正，短脚为负。

1.2.2 半导体三极管

半导体三极管，也称晶体三极管(以下简称三极管)是电子元器件中种类繁多、外形多样的一大类器件。按材料分有锗管和硅管，而每一种又有 NPN 和 PNP 两种结构形式，

但使用最多的是硅 NPN 和锗 PNP 两种三极管；按用途分放大管、开关管、低噪声管、达林顿管等；按功率分低频管、高频管、超高频管。每一种三极管又有多种型号，以区别其性能。部分常见型号三极管主要性能指标如表 1-3 所示。

表 1-3 部分常见型号三极管主要性能指标

型号	类型	放大倍数	集-射电压	集-基电压	射-基电压	集电极电流	耗散功率	结温	特征频率
9011	NPN	20~80	30 V	50 V	5 V	30 mA	400 mW		
9012	PNP	30~90	-30 V	-40 V	-5 V	500 mA	600 mW	150 °C	
9013		40~110	20 V	45 V	5 V	625 mA	500 mW		150 MHz
9014	NPN	20~90	45 V	50 V	5 V	100 mA	450 mW		
8050		30~100	25 V			700 mA	200 mW		
8550	PNP	40~140	40 V			1 500 mA	1 000 mW		200 MHz

三极管一般有直插和贴片两种封装形式，如图 1-7 所示。电工电子实验室内常用直插式。

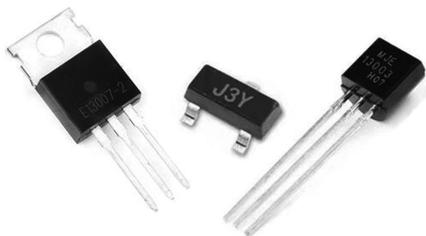


图 1-7 常见三极管封装形式

三极管在使用时，需要弄清其类型、放大倍数和 B、C、E 三个极，这些信息可根据型号判断。如直插式 9012 为 PNP 管，放大倍数在 30~90 之间，具体放大倍数由型号的后缀判断，脚位如图 1-8 所示，其中 1 号脚为发射极(E)，2 号脚为集电极(C)，3 号脚为基极(B)。具体参数可通过查数据手册获得。



1. 发射极(Emitter); 2. 基极(Base); 3. 集电极(Collector)

图 1-8 S90 系列三极管引脚排列图

当没有数据手册时,也可以通过万用表测量获得上述参数。

1. 三极管性质测量

由三极管的结构可知,基极是三极管中两个 PN 结的公共极,因此判断三极管性质首先要找出两个 PN 结的公共极,然后根据三极管工作特性判断是 NPN 管还是 PNP 管。

将万用表调至电阻挡的 $R \times 1 \text{ k}$ 挡,先假设三极管的某极为“基极”,将黑表笔接在假设基极上,再将红表笔依次接到其余两个极上,若两次测得的电阻都很大(几到几十千欧),或者都小(几百欧至几千欧),对换表笔重复上述测量,若测得两个阻值相反(都很小或都很大),则可确定假设的基极是正确的。否则另假设一极为“基极”,重复上述测试,以确定基极。

当基极确定后,将黑表笔接基极,红表笔接其他两极,若测得电阻值都很小,则该三极管为 NPN 型,反之为 PNP 型。

2. 三极管 B、C、E 极测量

测量三极管极性时已确定基极,再判断集电极 C 和发射极 E 即可。以 NPN 管为例,把黑表笔接至假设的集电极 C,红表笔接到假设的发射极 E,并用手捏住 B 和 C 极,读出表头所示 C、E 电阻值,然后将红、黑表笔反接重测。若第一次电阻比第二次小,说明原假设成立。

3. 三极管放大倍数测量

将万用表调到 HFE 挡,将三极管管脚插入对应的 E、B、C 孔,读取万用表上的数值即为该三极管的放大倍数。

4. 三极管性能测量

将万用表调至二极管挡(蜂鸣挡),黑笔接在三极管的 B 极,红笔分别接 C、E 极,测量三极管的基、集极间电阻和基、射极间电阻。NPN 型三极管的正向电阻是 $430 \sim 680 \Omega$,反向电阻无穷大。根据型号的不同、放大倍数的差异,正向电阻值有所不同。PNP 型与 NPN 型相反。通常情况下,基、集极间电阻测量值要比基、射极间电阻测量值小 $5 \sim 100 \Omega$,大功率管比较明显。如果超出这个值,表明这个元件的性能已经变坏,请不要再使用。如果误用于电路中,可能会导致整个或部分电路的工作点变坏,这个元件也可能不久就会损坏;大功率电路和高频电路对这种劣质元件反应比较明显。

1.3 集成电路

集成元件也称集成电路(Integrated Circuit)是相对分立元件而言的,简称 IC。集成电路是将二极管、三极管和电阻电容等元件按照电路结构的要求,制作在一小块半导体材料上,形成一个完整的具有一定功能的电路,然后封装而成。

1.3.1 集成电路分类

按功能、结构的不同,集成电路分为模拟集成电路、数字集成电路和数/模混合集成电路(数字电路和模拟电路集成在一起)三大类。晶体管是构成集成电路的主要元件,模拟集成电路利用的是晶体管的放大作用,而数字集成电路则是利用晶体管的开关作用。早期的模拟集成电路大都使用双极型晶体管,由于CMOS工艺的成熟,克服了早期CMOS电路速度较慢的缺点,并且有着功耗低和工艺升级换代方便的优点(CMOS的等比例缩小),如今模拟集成电路和数/模混合集成电路也常用CMOS来设计和实现了。

按集成度,集成电路可分为小规模集成电路(简称SSI,集成度为10个门电路)、中规模集成电路(简称MSI,集成度为10~100个门电路)和大规模集成电路(简称LSI,集成度为100~1000个门电路)等若干类。所谓集成度,是指单块芯片上所容纳的元件数目,集成度越高,所容纳的元件数就越多。在传统的数字电路教学实验中,经常使用的是中、小规模数字集成电路。由于近年来可编程逻辑器件的应用普及,为了适应实际需要,新的数字电路教学实验中,大规模集成电路及其构成的数字系统设计正在越来越多地被应用。

按导电类型,集成电路可分为双极型集成电路和单极型集成电路。双极型集成电路的制作工艺复杂,功耗较大,代表集成电路有TTL、ECL、HTL、LST-TL、STTL等类型。单极型集成电路的制作工艺简单,功耗也较低,易于制成大规模集成电路,代表集成电路有CMOS、NMOS、PMOS等类型。早期的集成电路大都使用双极型晶体管。随着CMOS工艺的成熟,克服了早期CMOS电路速度较慢的缺点,并且CMOS电路具有功耗低和工艺升级换代方便的优点,如今集成电路常用CMOS电路来设计和实现。

1.3.2 集成元件封装形式

芯片必须与外界隔离,以防止空气中的杂质腐蚀芯片电路导致电气性能下降。封装就是把集成电路装配为芯片产品的过程。简单来说,就是把晶圆厂生产出来的集成电路裸片放在一块起到承载作用的基板上,把管脚引出来,然后固定包装成为一个整体,如图1-9所示。

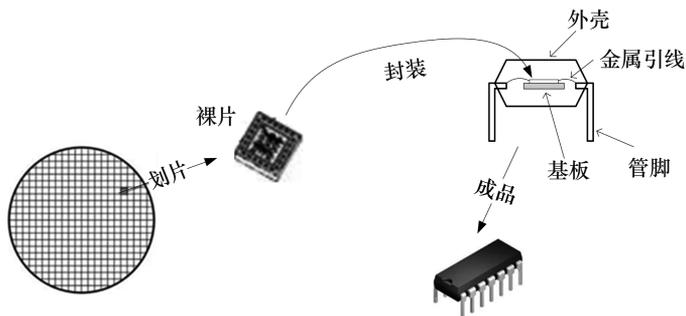


图 1-9 IC 封装过程

一方面,封装不仅起着安装、固定、密封、保护芯片及增强电热性能等方面的作用,还通过芯片上的接点用导线连接到封装外壳的引脚上,这些引脚又通过导线与其他器件相连接,从而实现内部芯片与外部电路的连接。另一方面,封装后的芯片也更便于安装、保存和运输。

芯片的封装结构经历了 TO→DIP→PLCC→QFP→BGA→CSP 的过程;封装采用的材料有金属、陶瓷、塑料等;芯片引脚的形状有长引线直插、短引线或无引线贴装、球状凸点等;装配方式有通孔插装、表面组装、直接安装等。在此只简单介绍实验室中较为常见的封装形式。

1. 双列直插式封装 (double in-line package, DIP)

插装型封装之一,是最普及的插装型封装。如图 1-10(a)所示,外形呈长方形,引脚从封装两侧引出,引脚数 6~64,引脚中心距 2.54 mm;封装宽度通常为 15.2 mm。有的宽度为 7.52 mm 和 10.16 mm 的封装分别称为 skinny DIP 和 slim DIP (窄体型 DIP),但多数情况下并不加以区分,只简单地统称为 DIP。封装材料有塑料和陶瓷两种,应用范围包括标准逻辑 IC、小规模存储器、微处理器等。

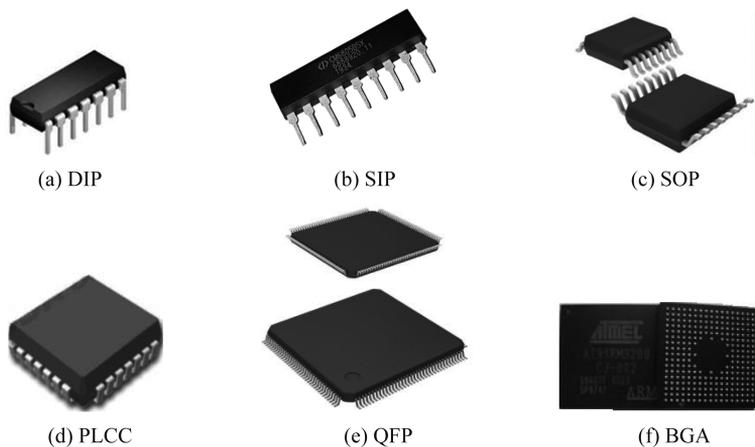


图 1-10 常见封装形式

2. 单列直插式封装 (single in-line package, SIP)

插装型封装之一。引脚从封装一个侧面引出,排列成一条直线。引脚数 2~23,引脚中心距通常为 2.54 mm。多数为定制产品,封装的形状各异,安装到电路板上为站立式,图 1-10(b)所示为 SIP 的一种。数字高清彩电的电源控制 IC、场输出 IC、音频功放 IC 一般采用 SIP 封装形式。

3. 小外形封装 (small out-line package, SOP)

表面贴装型封装之一,是普及最广的表面贴装封装。如图 1-10(c)所示,外形呈长方形,引脚从封装两侧引出,呈海鸥翼(L)形,引脚数 8~44,引脚中心距 1.27 mm。另外,引脚中心距小于 1.27 mm 的 SOP 称为 SSOP;装配高度低于 1.27 mm 的 SOP 称为

TSOP；还有一种带有散热片的 SOP。封装材料有塑料和陶瓷两种，多用于小规模存储器和规模不太大的专用标准产品等。

4. 塑封 J 引线芯片封装 (plastic leaded chip carrier, PLCC)

表面贴装型封装之一。如图 1-10(d) 所示，外形呈正方形，尺寸比 DIP 小得多，引脚从封装的四个侧面引出，呈 J 形，引脚数 18~84，引脚中心距 1.27 mm。适合用表面安装技术(SMT)在 PCB 上安装布线，具有外形尺寸小、可靠性高的优点。封装材料有塑料和陶瓷，首先在 64 kbit DRAM 和 256 kbit DRAM 中采用，现已普及用于大规模逻辑电路或可编程逻辑器件等。

5. 四侧引脚扁平封装 (quad flat package, QFP)

表面贴装型封装之一。如图 1-10(e) 所示，外形呈正方形，引脚从四个侧面引出呈海鸥翼(L)形，引脚中心距有 1.0 mm、0.8 mm、0.65 mm、0.5 mm、0.4 mm、0.3 mm 等多种规格；引脚数大于 100。封装材料有陶瓷、金属和塑料三种，从数量上看，塑料 QFP 是最普及的多引脚大规模集成电路封装，不仅用于微处理器，门阵列等大规模数字逻辑电路，也用于 VTR 信号处理、音响信号处理等大规模模拟电路。

QFP 的缺点是，当引脚中心距小于 0.65 mm 时，引脚容易弯曲。为了防止引脚变形，出现了几种改进的 QFP 品种。但因为工艺和性能的问题，正在逐渐被 TSOP-II 和 BGA 所取代。

6. 球栅阵列封装 (ball grid array package, BGA)

表面贴装型封装之一。如图 1-10(f) 所示，外形呈正方形，I/O 端子以圆形或柱状焊点按阵列形式分布在封装下面。其中一种标准中，元件焊球直径为 0.3 mm，焊点间距 0.5 mm。

BGA 的优点是 I/O 引脚数虽然增加了，但引脚间距并没有减小，提高了组装成品率。虽然它的功耗增加，但 BGA 能用可控塌陷芯片法焊接，从而可以改善它的电热性能；厚度和质量都较以前的封装技术有所减小；寄生参数(电流大幅度变化时，引起输出电压扰动)减小，信号传输延迟小，使用频率大大提高；组装可用共面焊接，可靠性高。

上述封装形式为常见的大类，每一类根据引脚数目、引脚间距、芯片厚度的不同又有不同的分类。如 QFP 形式，有的厂家根据封装本体厚度分为 QFP(2.0~3.6 mm 厚)、LQFP(1.4 mm 厚)和 QFP(1.0 mm 厚)三种；有的厂家把引脚中心距为 0.5 mm 的 QFP 专门称为收缩型 QFP 或 SQFP、VQFP；有的厂家把引脚中心距为 0.65 mm 及 0.4 mm 的 QFP 称为 SQFP，致使名称稍有一些混乱，在此不做展开。

1.3.3 集成元件型号命名

根据《半导体集成电路型号命名方法》(GB 3430—89)，器件的型号由五部分组成，其各部分的符号及意义见表 1-4。

例如

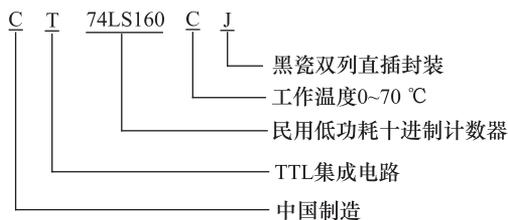


表 1-4 集成电路型号含义

第 0 部分		第一部分		第二部分	第三部分		第四部分	
用字母表示器件符合国家标准		用字母表示器件的类型		用阿拉伯数字和字符表示器件的系列与品种代号	用字母表示器件的工作温度范围		用字母表示器件的封装	
符号	意义	符号	意义		符号	意义	符号	意义
C	符合国家标准/中国制造	T	TTL 电路		C	0 ~ 70 ℃	F	多层陶瓷扁平
		H	HTL 电路		G	-25 ~ 70 ℃	B	塑料扁平
		E	ECL 电路		L	-25 ~ 85 ℃	H	黑瓷扁平
		C	CMOS 电路		E	-40 ~ 85 ℃	D	多层陶瓷双列直插
		M	存储器		R	-55 ~ 85 ℃	J	黑瓷双列直插
		μ	微型机电路		M	-55 ~ 125 ℃	P	塑料双列直插
		F	线性放大器				S	塑料单列直插
		W	稳压器				K	金属菱形
		B	非线性电路				T	金属圆形
		J	接口电路				C	陶瓷片状载体
		AD	A/D 转换器				E	塑料片状载体
		DA	D/A 转换器				G	网格阵列
		D	音响、电视电路					
		SC	通信专用电路					
		SS	敏感电路					
		SW	钟表电路					

第二部分中器件的系列很多，在此不一一列举。根据器件使用环境不同，TTL 系列和 HCMOS 分为 54 军用系列和 74 民用系列。实验室常用的中小规模 IC 多用 74LS(低功耗肖特基 TTL) 和 74HC(高速 CMOS) 系列，一些微处理器有 HCT(与 TTL 兼容的 HCMOS) 系列。

TTL 与 CMOS 集成电路的区别、使用规则、带负载时的接口问题，以及 TTL 与 CMOS 器件之间的接口问题，在数字电路或数字电子技术中有详细介绍，在此不做赘述。

1.3.4 集成电路引脚识别

使用集成电路前,必须认真查对识别集成电路的管脚,确认电源、地、输入、输出等端所在的引脚号,避免因连接错误造成器件损坏。以常用的双列直插式和双列贴片式集成电路为例。以下步骤中,只有引脚编号的识别适用于模拟和数字集成电路,其余测量方法均只适用于数字逻辑电路。

1. 识别引脚编号

一般集成电路上有一个圆点或缺口,将缺口或圆点置于左边,由顶部俯视,从左下第一个引脚开始逆时针数,依次为1,2,3,...

2. 识别电源和接地端

如上述方式俯视,上排最左引脚为电源端(VCC),下排最右引脚为接地端(GND)。例如14引脚器件引脚7是GND,引脚14是VCC;20引脚器件引脚10是GND,引脚20是VCC。但也有一些例外,例如16引脚的双JK触发器74LS76,引脚13(不是引脚8)是GND,引脚5(不是引脚16)是VCC。所以使用集成电路器件时要先看清它的引脚图,找对电源和地,避免因接线错误造成器件损坏。也可通过万用表测量极间电阻加以鉴别。正常集成电路,在红表笔接GND端,黑表笔接电源端时的阻值明显小于其他端阻值,即电阻值最小的引脚为电源端。

3. 识别输入、输出端

当没有芯片引脚图时,可通过万用表测量确定。以与非门为例。为芯片连接电源,将万用表调至电压2.5V或10V挡位,黑表笔接GND端,红表笔依次接触其他引脚,读取电压值。读数在1V以上的引脚为输入端;读数在0.2~0.4V的引脚为输出端;读数为0的引脚为NC(无连接)端。

4. 识别同一逻辑门

一片集成电路中经常包含一个以上的同类型逻辑门,判别出同一逻辑门的输入、输出端才能正确应用。

同样以与非门为例,在已识别出输入、输出端的基础上,黑表笔接GND端,红表笔接任一输出端;用一导线依次将输入端与GND短接(相当于输入低电平),观察电压读数变化。所有使读数由低(0.2~0.4V)变为高(大于2.7V)的输入端便属于同一与非门。用类似的方法可以识别其他功能的逻辑门。对于测量中电压无任何变化或对任何一个输出端的电压变化都无影响的可认为是空脚或内部引线断路。

1.3.5 常用集成电路型号和功能

部分常用数字和模拟集成电路型号和功能见表1-5,部分引脚图见附录B。

表 1-5 部分常用集成电路型号和功能

型号	功 能	型号	功 能
7400	四 2 输入与非门	74154	四 2 选 1 数据选择器
7407	六同相缓冲/驱动器(OC)	74157	四 2 选 1 数据选择器
7401	四 2 输入与非门(OC)	74160	BCD 十进制加计数器
7408	四 2 输入与门	74161	4 位二进制加计数器(异步清零)
7402	四 2 输入或非门	74163	4 位二进制加计数器(同步清零)
7410	三 3 输入与非门	74164	8 位串入并出移位寄存器
7404	六非门/反相器	74165	8 位并入串出移位寄存器
7411	三 3 输入与门	74175	四 D 触发器
7412	三 3 输入与非门(OC)	74181	算术逻辑单元/函数发生器
7414	六反相器(施密特触发)	74190	十进制同步可逆计数器
7420	二 4 输入与非门	74191	二进制同步可逆计数器
7421	二 4 输入与门	74192	十进制同步可逆双时钟计数器
7427	三 3 输入或非门	74193	二进制同步可逆双时钟计数器
7430	8 输入与非门	74194	4 位双向移位寄存器
7432	四 2 输入或门	74198	8 位双向移位寄存器
7442	4 线(BCD)-10 线(十进制)译码器	74244	八单向三态缓冲器
7451	2-2+3-2 输入双与或非门	74245	八双向三态缓冲器
7455	4-2 输入与或非门	74248	七段显示译码器
7474	双正沿 D 触发器(带预置、清零)	74273	八 D 触发器
7485	4 位比较器	74283	4 位二进制加法器
7486	四 2 输入异或门	74290	异步二、五、十进制计数器
74112	双负沿 J-K 触发器(带预置、清零)	LM324	四运算放大器
74138	3-8 线译码器/解调器	555	定时器
74139	双 2-4 线译码器/解调器	78XX	三端稳压器系列(正电压输出)
74151	8 选 1 数据选择器	79XX	三端稳压器系列(负电压输出)
74153	双 4 选 1 数据选择器	8051	单片机

1.3.6 集成元件检测常识(应用注意事项)

为保证电路安全可靠工作，集成元件在使用时应注意以下几点。

1. 检测前要了解集成电路及其相关电路的工作原理

检查和修理集成电路前首先要熟悉所用集成电路的功能、内部电路、主要电气参数、

各引脚的作用以及引脚的正常电压、波形与外围元件组成电路的工作原理。如果具备以上条件，那么分析和检查会容易许多。

2. 测试不要造成引脚间短路

电压测量或用示波器探头测试波形时，不要由于表笔或探头滑动而造成集成电路引脚间短路，最好在与引脚直接连通的外围印刷电路上进行测量。任何瞬间的短路都容易损坏集成电路，在测试扁平型封装的 CMOS 集成电路时更要加倍小心。

3. 不要轻易断定集成电路的损坏

不要轻易地判断集成电路已损坏。因为集成电路绝大多数为直接耦合，一旦某一电路不正常，可能会导致多处电压变化，而这些变化不一定是集成电路损坏引起的。另外在有些情况下测得各引脚电压与正常值相符或接近时，也不一定都能说明集成电路就是好的。因为有些软故障不会引起直流电压的变化。

4. 测试仪表内阻要大

测量集成电路引脚直流电压时，应选用表头内阻大于 $20\text{ k}\Omega/\text{V}$ 的万用表，否则对某些引脚电压会有较大的测量误差。

5. 引线要合理

如需要加接外围元件代替集成电路内部已损坏部分，应选用小型元器件，且接线要合理以免造成不必要的寄生耦合，尤其是要处理好音频功放集成电路和前置放大电路之间的接地端。

6. 要注意功率集成电路的散热

功率集成电路应散热良好，不允许在不带散热器而处于大功率的状态下工作。

7. 不带电安装或拆除芯片

插拔元器件时，会引起线路上的电压、电流变化。如果电压、电流超过芯片的承受能力，就会烧毁芯片。

8. 要注意电烙铁的绝缘性能

不允许带电使用烙铁焊接。焊接中难免碰到其他管脚，极易造成瞬间短路，从而烧毁芯片。同时把烙铁的外壳接地，对 MOS 电路更应小心，能采用 $6\sim 8\text{ V}$ 的低压电烙铁就更安全。

9. 要保证焊接质量

焊接时确实焊牢，焊锡的堆积、气孔容易造成虚焊。焊接时间一般不超过 3 秒钟，烙铁的功率应用内热式 25 W 左右。已焊接好的集成电路要仔细查看，最好用欧姆表测量各引脚间是否短路，确认无焊锡粘连现象再接通电源。

第 2 章

常用电子仪器仪表

电子仪器仪表是工程技术人员的基本工具，最常用的有万用表、示波器、电子电压表、逻辑分析仪、信号发生器和直流稳压电源等。

2.1 万用表

万用表又称为复用表、多用表、三用表、繁用表等，是电力电子等部门不可缺少的测量仪表，一般可测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻等，有的还可以测交流电流、电容量、电感量、信号频率及半导体的一些参数(如 β) 等。万用表按显示方式分为指针万用表和数字万用表。数字万用表以其直观的数字显示及较高的测量精度，越来越受到用户青睐。数字万用表种类繁多，但用法基本相同。图 2-1 所示为常见万用表面板。

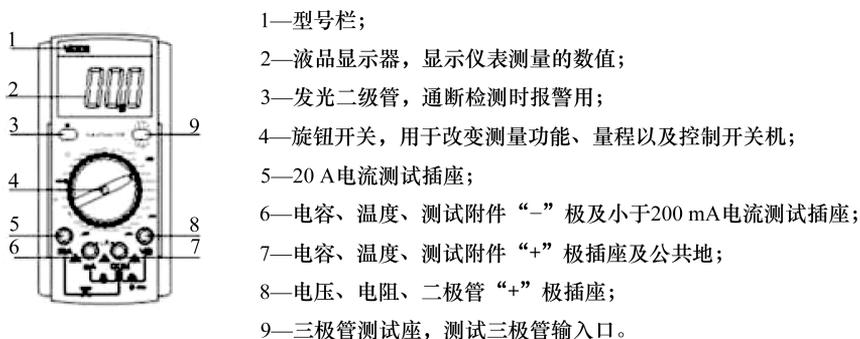


图 2-1 万用表面板

2.1.1 准备工作

万用表使用前要做好准备工作。首先熟悉转换开关旋钮、插孔等的作用及各功能区量程，然后检查红色和黑色两根表笔所接的位置是否正确。红表笔插入“+”插孔，黑表笔插

入“-”(或COM)插孔。有些万用表另有测直流2 500 V高压的测量端,在测高压时黑表笔不动,将红表笔插入高压插口。

2.1.2 电压的测量

电压的测量分为直流电压的测量和交流电压的测量。

1. 测量直流电压

(1) 将黑表笔插进“COM”孔,红表笔插进“V Ω ”孔。

(2) 挡位旋钮调到直流电压挡“V-”范围内比估计值大的量程,表盘上的数值均为最大量程。

(3) 接着把表笔接被测元件或回路两端,并保持接触稳定,从显示屏上直接读取测量数值。若测量数值显示为“1.”,则表明量程太小,要加大量程后再测量;如果在数值左边出现“-”,则表明表笔极性与实际电压极性相反,交换表笔位置即可。

2. 测量交流电压

(1) 将黑表笔插进万用表的“COM”孔,红表笔插进万用表的“V Ω ”孔。

(2) 挡位旋钮调到交流电压挡“V \sim ”,然后将旋钮调到比估计值大的量程。

(3) 把表笔接到电源的两端(交流电压无正负之分),然后从显示屏上读取测量数值。

注意:无论测量的是交流电压还是直流电压,都需要注意人身安全,不要随使用手接触被测位或表笔。

2.1.3 电流的测量

电流的测量同样也分为直流电流的测量和交流电流的测量。

1. 测量直流电流

(1) 将黑表笔插入万用表的“COM”孔。若测量电流大于200 mA,则要将红表笔插入图2-1中位置5所示的“10 A”插孔,并将旋钮打到直流“10 A”挡;若测量电流小于200 mA,则将红表笔插入图2-1中位置6所示的“200 mA”插孔,并将旋钮调到直流200 mA以内的合适量程。

(2) 将挡位旋钮调到直流挡(A-)的合适位置,调整好,开始测量。将万用表串接入电路中,保持稳定,从显示屏上读取测量数据。若显示为“1.”,则表明量程太小,那么就要加大量程后再测量;如果在数值左边出现“-”,则表明电流从黑表笔流进万用表。

2. 测量交流电流

方法与直流电流的测量方法基本相同。不过挡位应该打到交流挡位(A \sim),电流测量完毕后应将红笔插回“V Ω ”孔。

2.1.4 电阻的测量

1. 将黑表笔插进“COM”孔,红表笔插进“V Ω ”孔中。把挡位旋钮调到所需的量程,将表笔

接在电阻两端的金属部位。保持表笔和电阻接触良好的同时，从显示屏上读取测量数据。

2. 测量中可以用手接触电阻，但不要同时接触电阻两端，这样会影响测量精确度(因为人体是电阻很大的导体)。

3. 在“200”挡时单位是“ Ω ”，在“2 k”到“200 k”挡时单位为“ $k\Omega$ ”，“2M”以上的单位是“ $M\Omega$ ”。

2.1.5 二极管的测量

数字万用表可以用于测量发光二极管、整流二极管，测量方法如下。

1. 将黑表笔插在“COM”孔，红表笔插进“ $V\Omega$ ”孔。

2. 将挡位旋钮调到二极管挡，用红表笔接二极管的正极，黑表笔接负极。这时会显示二极管的正向压降。锗二极管的压降为 0.15~0.3 V，硅二极管的压降为 0.5~0.7 V，发光二极管的压降为 1.8~2.3 V。

3. 调换表笔，显示屏显示“1.”表明二极管正常，否则此管已被击穿(因为二极管的反向电阻很大)。

2.1.6 使用注意事项

1. 测量前要明确目的，不可盲目测量。

2. 测量时，不能用手触摸表笔的金属部分，以保证测量的准确性和安全性。

3. 测直流量时要注意被测电量的极性，避免损坏表头。

4. 测量较高电压或大电流时，不能带电转动转换开关，避免转换开关的触点因产生电弧而被损坏。

5. 不允许带电测量，否则会烧坏万用表。

6. 万用表内干电池的正极与面板上红表笔插孔相连，干电池的负极与面板上黑表笔插孔相连。

7. 不允许用万用表电阻挡直接测量高灵敏度表头内阻，以免烧坏表头。

8. 测量高值电阻时，不要用两只手捏住表笔的金属部分测电阻，否则会将人体电阻并接于被测电阻而引起测量误差。

9. 测量完毕，拔出表笔，关掉开关。若长期不用，应将表内电池取出，以防电池电解液渗漏而腐蚀内部电路。

2.2 电参数测量仪

虽然万用表可以用来测量电压和电流，但是不适用于实时监测电路中的电压、电流，同时万用表的量程和精度有限，因此在实时监测和精度要求较高的场合，一般使用专用的电压表和

电流表。实验室中常用的是将电压表、电流表和功率表集成在一起的仪表，称为电参数测量仪，该仪器同时还可测量电路的功率因数、频率等。常见电参数测量仪前面板如图 2-2 所示。

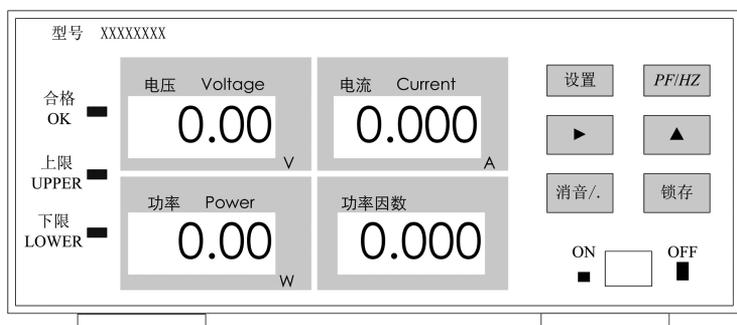


图 2-2 常见电参数测量仪前面板

前面板上四个显示屏分别用于显示电压、电流、功率、功率因数和频率等参数；功能按键用于设置各种测量限值，具体说明如下。

“设置”键。第一次按下此键时，仪器从测量状态进入设定状态，以后每按一次，确定一个已设定的参数，同时仪器进入下一个参数的设定，所有参数设定完毕后再按该键，仪器自动退出设定状态，回到测量状态。

“□”键。在设定状态按下该键，使数据闪烁位右移一位，四位依次循环。

“▲”键。在设定状态按下该键，闪烁位数据从 0→1→2→3→…→9→0 循环变化。

“消音/.”键。在设定状态控制小数点的位置，按下该键，使小数点位置右移一位，依次循环。在测量状态控制蜂鸣器是否发声，按下该键，仪器蜂鸣器讯响在失效和有效之间切换。

“PF/HZ”键。在测量状态按下该键，功率因数显示窗口在“频率”和“功率因数”之间循环转换显示。

2.2.1 电参数测量

根据测量原理(图 2-3)，通过仪器后面板的接口与被测电路相连，如图 2-4 所示。

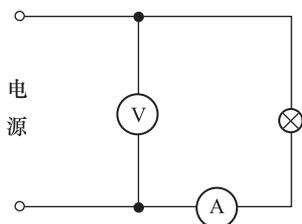


图 2-3 测量原理

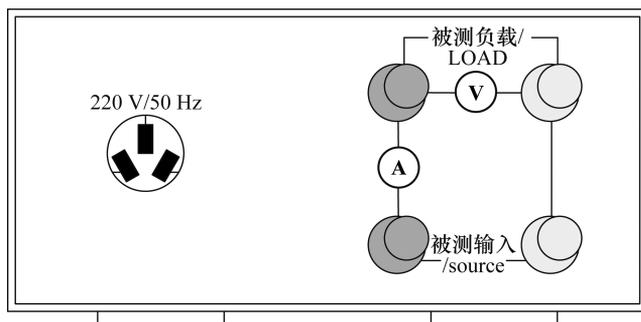


图 2-4 参数测量仪后面板

左边标有“220 V/50 Hz”的电源插座接入市电，为仪器供电。标注“被测负载/LOAD”的两个接线柱，与被测物相连。标注“被测输入/source”的两个接线柱为被测负载接入供电电源，根据被测物电压需求，供电电源可以是市电或稳压电源。

例如被测物为节能灯，供电电压为 110 V/50 Hz。节能灯的两个端子分别接仪器“被测负载/LOAD”接线柱，不区分正负极；“被测输入/source”可与稳压电源的电压输出端相连。

有些型号的参数测量仪，被测负载和被测输入均采用插头或插座接口，但测量原理及接线方式相同；有些型号参数测量仪配有连接电脑用的通信接口，型号不同，接口也有所不同，具体请参考相应型号参数测量仪使用说明书。

按要求接好线后，给负载上电。等负载工作稳定后，即可从仪器前面板的显示器上读出所需的测量值。当对某个值比较感兴趣时，可通过“锁存”按钮使数值暂停实时更新。

2.2.2 分选功能

电参数测量仪不仅适用于各电参数的测量，也可用于监测。用于监测时，可设定各参数上下限，当电路中实际值超出设定的阈值时，可以发出蜂鸣声提醒操作者注意。该功能在实际中多用于元器件合格性检测，称为分选功能。由于不同批次的产品可能有不同的合格判断参数，因此每次测量不同产品时应对应仪器进行重新设定。一般可对被测件的电流、功率及 PF 值设定上下限，设定前须确定好该待测产品的极限参数。设定步骤如下：

1. 按下“设定”键，仪器进入设定状态(默认从电流极限值设定开始)。电流窗口显示电流上限参数，且第 1 位的数据在闪烁，“上限”指示灯亮，表示正在设定电流上限参数状态。

2. 按“▲”键来改变闪烁位数据至应设定数值。

3. 按“▶”改变闪烁位，改动该位数据。依次把 4 位待设定数据设定完毕。

4. 按“.”改变小数点位置。当需要改变小数点位置时，进行该操作，否则忽略。

5. 电流上限值设定正确后，按“设定”键确认，仪器保存电流上限值，同时仪器进入电流下限值设定状态。设定电流下限参数状态。

6. 电流下限参数确认后，仪器进入功率上下限参数设定状态，然后是 PF 值上下限参数设定状态。方法及显示同电流上限设置。

7. 仪器保存功率下限值后自动退出上下限值设定状态。

如果某个参数上下限值不需重新设定，直接按“设定”键跳过即可。数据设定完毕后，仪器保存所设数据，且掉电不丢失，直至下一次重新设定数据。

接上待测负载，负载工作稳定后，即可从仪器前面板的显示器上读出所测负载的测试数据，同时可通过蜂鸣器和合格指示灯提醒操作者被测件是否合格。长按面板上“消音”键 5 秒，仪器会显示 ALARM OUT(不合格报警)、ALARM PASS(合格报警)两个选项，按“▲”键更换所需报警状态，再按“设定”退出即可。

例如选定 ALARM OUT。在测量中，若电流或功率的测试值超出设定的上下限值，表

示被测件不合格，则蜂鸣器发出讯响，同时仪器面板上的“合格”灯灭；若分选结果为合格，蜂鸣器不响，“合格”灯会亮。蜂鸣器声音也可以通过按动“消音”键关掉或打开。

2.2.3 使用注意事项

为了操作人员和仪器的安全以及延长仪器的使用寿命，应遵循以下注意事项：

1. 首先确保仪器工作环境安全。工作环境不能过于潮湿，温度不能过高，不能存放易燃易爆品，且仪器接地良好。
2. 严禁在短时间内反复开关电源。仪器在预热 15 分钟后方进入稳定状态。切断仪器电源后，应等待 10 秒以上才能再次上电。否则可能会缩短仪器使用寿命，并有可能引起仪器故障。
3. 仪器接负载及电源的引线应尽可能粗、尽可能短、尽可能远离仪器外壳，以减小测试误差。在被测电压或电流有高频成分，或者测量大电流时，接线时应注意可能会产生相互干扰和噪声，影响测量精度。在接线中应根据被测件的工作电流，选用足够粗的导线，以免导线电阻过大，产生附加测量误差，并可能使导线发热，发生危险。
4. 仪器在当天测量完毕后，要关闭仪器电源，并拔下插头以防雷击。
5. 仪器应定期计量。

2.3 交流毫伏表

毫伏表是一种常见的电子测试仪器，主要用于测量电路中的电压。适用于各种电路及电子设备的测量，如测量各种电源的电压、机械电表的电压、电子元器件的电压等。另外，在航空、汽车电路的维护和检测中也会使用毫伏表。毫伏表有指针式毫伏表和数字式毫伏表两种。指针式毫伏表用指针指示电压值，需要通过目测来判断；而数字式毫伏表是用数字显示电压值，相较于指针式毫伏表读取数值更为方便。

2.3.1 指针式毫伏表

图 2-5 所示为一款常见指针式毫伏表。面板由表头和功能区组成，背面连接有工作电源线，使用 220 V 交流电供电。测量电路电压时采用图 2-6 所示的同轴屏蔽电缆将毫伏表连接到电路中，该电缆外层是接地线，可减小外来感应电压的影响。测试电缆 A 端连接到毫伏表输入接口 (INPUT) 端，B 端鳄鱼夹连接到被测电路中。

调零 测量电路之前，要先对毫伏表进行调零，以保证测量的准确性。打开电源开关，将电缆 B 端红色和黑色夹子夹在一起，此时电压值为 0。眼睛平视刻度盘，即尽量不偏左或偏右，检查指针是否停在表盘 0 刻度处。如果未与 0 刻度线对齐，用螺丝刀调整仪表调零电位器，将指针调整到表头 0 刻度处。若毫伏表面板没有调零电位器，说明内部调

零电位器已经调整好，则检查测量线缆是否接触不良或断路，必要时更换测量线缆。

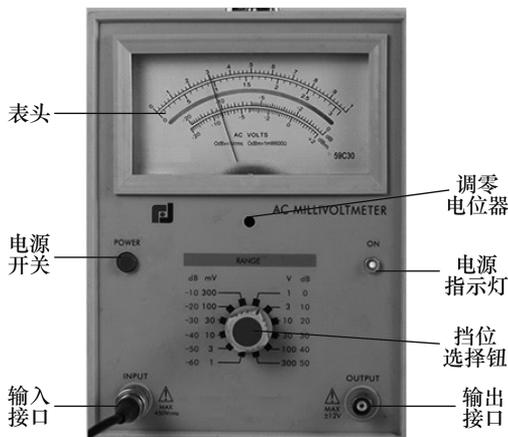


图 2-5 指针式毫伏表



图 2-6 双夹测试线

电路连接 将电缆 B 端红色的夹子连接到被测电压的正极，黑色的夹子连接到被测电压的负极，并保证稳定连接。

挡位选择 连接好电路后，将挡位调整到最大档再打开电源，防止指针满偏而损坏。旋转“挡位选择钮”选择一个适合的电压挡位以便准确测量电压。一般选择挡位略高于电路中的电压即可，避免挡位过高或过低导致读数不准确。例如预估测试电压在 1~3 mV 之间，则选择 3 mV 档。若电压无法预估，可以先选择大挡位，观察表头指针在刻度盘上所指的位置。若指针在起始点位置基本没动，说明被测电路中的电压甚小，且毫伏表量程选得过高，此时用递减法由高量程向低量程变换，直到表头指针指到满刻度的 2/3 左右即可。这样逐步调整到合适的挡位，避免损坏毫伏表。

读取数据 当选择好挡位后，即可读取测量的电压值。目测指针位置并通过下式进行计算：

$$\text{测量值} = \frac{\text{指针读数}}{\text{满量程读数}} \times \text{选择的量程}$$

由图 2-5 可见，表盘上共有四条刻度线，从上到下第一、二条为电压刻度线，第三、四条用来读取分贝 (dB) 值。当选择逢一量程 (如 1 mV、0.1 V、1 V、10 V、100 V 等) 时，读指针在第一条刻度线的位置；当选择逢三量程 (如 3 mV、0.3 V、3 V、30 V、300 V 等) 时，读指针在第二条刻度线的位置。

例如图 2-5 中，量程选择 1 V，指针在第一条刻度线 3 的位置，满刻度为 10，则测得的电压为

$$U = \frac{3}{10} \times 1 = 0.3 \text{ V}$$

关机 在完成测量后，拆开毫伏表接线，将量程旋钮旋到最大量程，然后关闭电源开关。这样可以保护毫伏表，延长其使用寿命。

2.3.2 数字式毫伏表

图 2-7 所示为一款常见数字式毫伏表。面板由显示屏、功能按键和指示灯组成，背面连接有工作电源线，使用 220 V 交流电供电。测量电路电压时同样采用图 2-6 所示的同轴屏蔽电缆将毫伏表连接到电路中。



图 2-7 数字式毫伏表

电路连接 同指针式毫伏表应用。

挡位选择 数字式毫伏表有手动/自动两种挡位选择方式，通过“MANU/AUTO”按键切换，对应的指示灯“MANU”“AUTO”显示当前挡位选择模式。

自动模式下，自动指示灯亮，输入信号小于当前量程的 1/10 时，自动减小量程；输入信号大于当前量程的 4/3 倍时，自动加大量程。

手动模式下，输入信号小于当前量程的 1/10 时，欠压指示灯“UNDER”亮；输入信号大于当前量程的 4/3 倍时，过压指示灯“OVER”亮；使用过程中，可以根据指示灯的提示，按◀▶箭头按键改变量程。

当前量程通过挡位指示灯显示。如当前选择量程为 3 V，则对应电压指示灯“3”和单位指示灯“V”点亮。

读取数据 直接读取显示屏电压值和相应单位指示灯即可。如显示屏数字为 1.000，单位指示灯“V”亮，则测得的电压为 1.000 V。

关机 在完成测量后，拆开毫伏表接线后关闭电源开关。

2.3.3 使用注意事项

毫伏表属于精密仪器，使用时需要注意以下事项，以免影响测量结果或使毫伏表受损。

1. 使用前要检查。使用毫伏表之前要检查测试线是否完好，是否有损坏或老化现象，以免测量时出现问题。

2. 避免高压或高温。在使用毫伏表测量高压电路时，需要具备一定的电气安全知识，以保证人身安全。在使用毫伏表测量时，还需要避免测试线接触到高温设备或高温部件上，以免烧毁测试线。

3. 选择正确挡位，尤其指针式毫伏表。选择适合的挡位是保证毫伏表测量准确性的重要因素，如果选取挡位不当，会影响测量结果，甚至造成毫伏表损坏。

4. 避免震动。毫伏表是一种比较精密的仪器，需要避免受到过度的震动或撞击，以保证其稳定性和精度。

5. 避免受潮。在保存毫伏表时，需要避免受潮，否则会对毫伏表的电路和元器件造成损害。

综上所述，毫伏表是一种比较常见的电子测试仪器，在使用毫伏表时，需要选择适合的挡位、避免高压高温、避免震动和潮湿等，以保证测量准确性和毫伏表的寿命。

2.4 功率表

功率表也叫瓦特表，是一种测量电功率的仪器。电功率包括有功功率、无功功率和视在功率。未作特殊说明时，功率表一般是指测量有功功率的仪表。

2.4.1 功率表的正确接线

功率表都有两对或两组接线端子。一对(组)电压接线端子标字母 U ；一对(组)电流接线端子标字母 I 。有些老式功率表，还设有专门用于变化金属连接片连接方式而改变电流量程的接线端子。常用的功率表接法有两种，如图 2-8、图 2-9 所示。

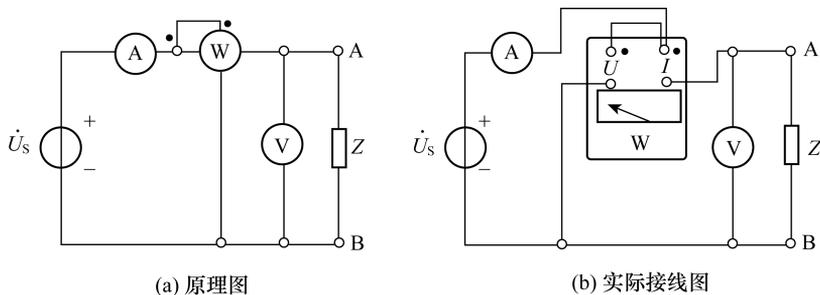


图 2-8 功率表的正确接线方法一

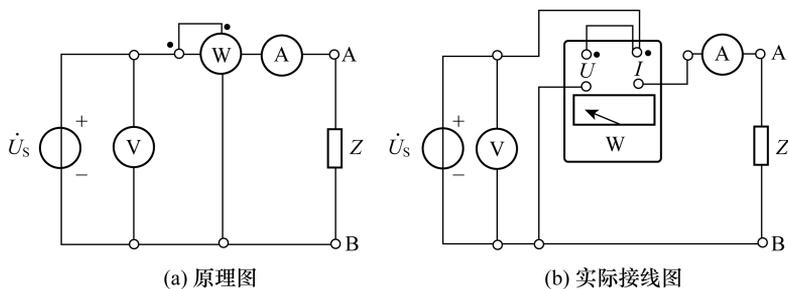


图 2-9 功率表的正确接线方法二

1. 功率表的电压接线端子。如同电压表接法，使用时跨接在被测电源、被测元件或负载两端。但需注意的是带“*”或“•”端是量程的公共端，是必须使用的一端，另一端要根据被测电压的大小对应连接。对于只有一对电压接线端子的，接线后要注意电压量程转换开关位置的正确放置。

2. 功率表的电流接线端子。如同电流表接法，使用时串在被测电路或支路中。接线后同样要根据量程选择的方式，进行量程的合理选择。

3. 电压接线端子和电流接线端子的同名端带“*”或“•”端要连在一起，如图 2-8 所示，而且电流带“*”或“•”端(或电压带“*”或“•”端)端子不能再有其他接线。也就是说，功率表的电压与电流带“*”或“•”端不仅要连在一起，而且这两个端子对外只能有一条接线。

4. 功率表与电路的连接线只有三条。如果对外有四条连线，不是多余，就可能是错误连接。在这种情况下，容易把功率表的电流线圈间接变成与电源或负载并联，或者说短路，因而造成烧坏功率表的电流线圈、损坏电路元器件等事故，所以一定要防止。

2.4.2 功率表的量程与量程选择

在交流电路中，功率 $P=UI\cos\varphi$ ，所以功率表的量程是由三个量程的乘积决定，即电压量程、电流量程和功率因数 $\cos\varphi$ 值。因此功率表的量程选择，实质上是功率表电压量程和电流量程的选择。功率表电压量程选择同电压表，要大于或等于被测电压，如测量 220 V 电压，功率表的电压量程选 250 V 或 300 V 量程。电流量程选择同电流表，要大于或等于被测电流；如被测电流小于 0.5 A 时，电流量程选 0.5 A；大于 0.5 A 时，只能选 1.0 A。如果实际电流比表的最大电流量程还大，只能再换量程大的表，千万不能凑合。

2.4.3 使用注意事项

1. 串电流表监视电流量程。由于功率表的指针偏转由电压与电流的乘积决定，但此时流过功率表电流线圈的电流和加在功率表电压线圈的电压各是多少、是不是过量程，看不到也说不清，存在着看不到的危险。所以测量时，功率表的电流量程要串电流表进行监视。为了便于监视，电流表的量程最好与功率表使用的电流量程一致。

2. 并电压表监视电压量程。理由同上。为考察测量时功率表的电压线圈是否过载，要并电压表进行监视。而且为了便于监视，电压表的量程最好与功率表使用的电压量程一致。

3. 功率表指针反转的处理方法。测量时如果遇到功率表的指针反转，应立刻关断电源，再行改变功率表上换向开关的极性，即可使指针顺方向偏转。切忌互换电压接线，以免产生误差或使仪表内部损坏。

4. 功率表指示值小的处理方法。测量时如果遇到功率表的指示值小(低于满偏的 1/4)时，不能盲目去改变功率表的电流或电压量程，而是要根据电路实际情况进行判断后再行

减小电流或电压量程。如果电流量程与电压量程都与实际测量值相吻合而不能再减小，功率表指示还是小，说明电路的功率因数低，应改换成相同量程的“低功率因数”功率表后再进行测量。

2.5 电子示波器

示波器是一种用途十分广泛的电子测量仪器。利用示波器能观察各种不同信号幅度随时间变化的波形曲线，还可以用它测试各种不同的电量，如电压、电流、频率、相位差、调幅度，等等。

根据工作原理，示波器可分为模拟示波器和数字示波器两大类。模拟示波器直接测量信号，并以连续方式显示被测信号。数字示波器利用 A/D 转换器把被测信号转换成数字信号存储在 RAM 中，根据需要从 RAM 中取出数字信号，再经过 D/A 转换重构模拟信号进行显示。这种示波器中信号采集和显示功能是分开的，由于采用 RAM 存储器，即使在观察缓慢信号或者观测高速信号时也不会有闪烁现象。

根据应用场合，示波器又分为通用示波器、多踪示波器、取样示波器、记忆存储示波器和专用示波器。电工电子实验室使用最为普遍的是通用双踪示波器。

2.5.1 示波器前面板

一般示波器都会提供一个简单而功能明晰的前面板以进行基本操作。图 2-10 所示为目前高校实验室广泛应用的某型号示波器的前面板，面板上包括显示屏、各种旋钮和功能按键。

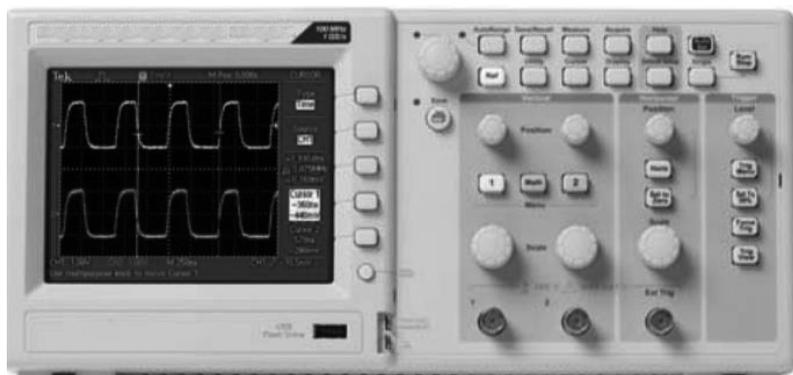


图 2-10 某型号示波器前面板

显示屏是示波器的显示部分，屏上水平方向和垂直方向各有多条刻度线，指示信号波形的被测量和时间之间的关系，水平方向指示时间，垂直方向指示被测量。旋钮和功能按键用于调整显示波形的位罝、参数等。不同种类的旋钮作用也不一样，一般可分为以下 11

种类型。

1. 扫描速度旋钮，可以改变示波器扫描线从左向右移动的速度。
 2. 电压选择旋钮，可以改变输入电压时扫描线在示波器屏幕 Y 轴方向的偏转幅度。
 3. 上下、左右调整旋钮，可以改变扫描线在屏幕中上下左右方向的位置。
 4. 电压标准旋钮，向顺时针方向达到最大值位置为标准状态，其他位置为非标准状态。
 5. 扫描速度标准旋钮，向顺时针方向达到最大值位置为标准状态，其他位置为非标准状态。
 6. 同步旋钮，可以稳定示波器的波形。
 7. 通道选择键，选择 CH1 通道、CH2 通道或双通道。
 8. 信号同步键，为 CH1 信号同步或 CH2 信号同步。
 9. 测量作用选择开关，使测量处于交流 AC、直流 DC 和接地 GND 三种状态。当处于直流 DC 状态时，无论是直流还是交流信号都能够进行测量；当处于交流 AC 状态时，示波器测量接口的内部被串上一个电容，此时信号中的直流成分被电容阻隔，而交流成分却可以通过电容而被测量；当处于接地状态时，示波器的测量接口在示波器内部与地短路，此时外部信号不能进入示波器。
 10. 亮度调整旋钮，可以调整图像的亮度。
 11. 聚焦调整旋钮，可以使图像变得精细。
- 示波器型号不同，旋钮和功能按键的个数、挡位及位置略有不同，但其中主要控制键及功能基本相同。具体应用方法见相应型号示波器用户手册。

2.4.2 示波器常见故障处理

1. 点击电源开关，示波器仍然黑屏没有任何显示。
检查电源接头是否接好、电源开关是否按实，然后重新启动示波器。如果仍然无法正常使用示波器，则可能是示波器内部有故障，须送专业维修公司修理。
2. 采集信号后，画面中并未出现信号的波形。
检查探头是否正常接在信号连接线上；检查信号连接线是否正常接在通道连接器上；检查探头是否与待测物正常连接；检查待测物是否有信号产生，可将有信号产生的通道与有问题的通道接在一起来确定问题所在；最后再重新采集信号。
3. 测量的电压幅度值比实际值大 10 倍或 0.1 倍。
检查通道衰减系数是否与实际使用的探头衰减比例相符。
4. 有波形显示，但不能稳定下来。
 - (1) 检查触发面板的信源选择项是否与实际使用的信号通道相符。
 - (2) 检查触发类型：一般的信号应使用“边沿触发”方式；视频信号应使用“视频触发”方式。只有应用适合的触发方式，波形才能稳定显示。
 - (3) 尝试改变“耦合”为“高频抑制”和“低频抑制”显示，以滤除干扰触发的高频或低

频噪声。

5. 点击 RUN/STOP 键无任何显示。

(1) 检查触发面板触发方式是否在“普通”或“单次”挡。

(2) 检查触发电平是否超出波形范围，如果是，将触发电平居中，或者设置触发方式为“自动”挡。

另外，按自动设置按钮即可自动完成以上设置。

2.6 逻辑分析仪和码型发生器

本书参考的逻辑分析仪和码型发生器是一款集成在数电实验箱中的简易测试仪器，工作原理和使用方法与其他逻辑分析仪和码型发生器类似。面板如图 2-11 所示，逻辑分析仪用来观测电路的输入输出波形，码型发生器用来产生一些简单的数字信号作为被测电路的输入使用，采用触控屏进行显示和功能选择、设置。



图 2-11 某数电实验箱集成逻辑分析仪和码型发生器操作面板

2.6.1 逻辑分析仪

逻辑分析仪是分析数字系统逻辑关系的仪器，属于数据域测试仪器中的一种总线分析仪，即以总线(多线)概念为基础，同时对多条数据线上的数据流进行观察和测试的仪器，对复杂数字系统的测试和分析十分有效。逻辑分析仪最主要的作用在于时序判定。有逻辑状态分析仪(logic state analyzer, LSA)和逻辑定时分析仪(logic timing analyzer, LTA)两类。这两类分析仪的基本结构相似，主要区别在于显示方式和定时方式不同。

逻辑状态分析仪用字符 0、1 或助记符对系统进行实时状态分析，检查在系统时钟作用下总线上的信息状态。它的内部没有时钟发生器，用被测系统时钟来控制记录，与被测系统同步工作，主要用来分析数字系统的软件，是跟踪、调试程序、分析软件故障的有力工具。

逻辑定时分析仪用来考察两个系统时钟之间的数字信号的传输情况和时间关系。它的

内部装有时钟发生器，在内时钟控制下记录数据，与被测系统异步工作，主要用于数字设备硬件的分析、调试和维修。本书用到的逻辑分析仪为逻辑时序分析仪。

触摸仪器功能选择按钮，选择逻辑分析仪，进入逻辑分析仪主界面。如图 2-12 所示，界面由波形显示区、指示区和功能控制区组成。

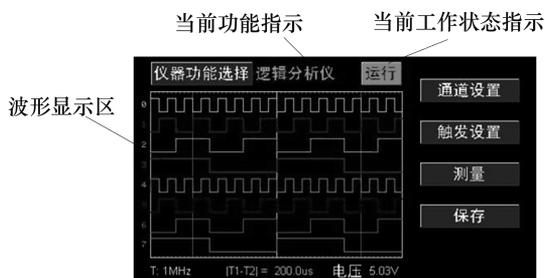


图 2-12 逻辑分析仪主界面

1. 通道设置

用来设置分析仪门限电平。点击通道设置按钮后，旋转多功能旋钮改变阈值电压值。

逻辑分析仪不像示波器那样有许多电压等级，通常只显示两个电平（逻辑 1 和 0），因此设定了参考电压后，逻辑分析仪通过比较器对被测信号进行判定，高于参考电压者为高电平，低于参考电压者为低电平。例如电平阈值设置为 2.5 V，当所测信号电压值高于 2.5 V 时波形显示为高电平，低于 2.5 V 时显示为低电平。

2. 触发设置

用来设置对输入信号进行采样的触发条件。一般有自动触发、沿触发和组合触发三种方式。点击触发设置按钮，即可按顺序在三种触发方式间进行切换。

(1) 自动触发。无条件自动采样，从开始抓取就计算时间，一直到存满存储深度后，抓取停止。点击触发设置后，即可看到默认触发方式为自动触发。

(2) 沿触发。选择某一通道的上升沿或下降沿作为触发条件。由于逻辑分析仪有深度限制，不可能无限期保存数据。当开始使用逻辑分析仪的时候，如果没有采用任何触发设置的话，在实际操作过程中，开始抓取的一段信号可能是无用信号，有用信号可能就是其中一段，但是无用信号还占据了存储空间。在这种情况下，就可以通过设置触发方式来提高存储深度的利用率。比如想抓取 UART 串口信号，而串口信号平时没有数据的时候是高电平，因此可以设置一个下降沿触发。开始抓取后，逻辑分析仪不会把抓到的信号保存到存储器中，而是会等待一个下降沿的出现，一旦出现了下降沿，才开始进行真正的信号采集，并且把采集到的信号存储到存储器中。也就是说，从点击开始抓取到下降沿出现这段时间内的无用信号被屏蔽掉了。

例如采样信号在通道 0，且上升沿触发。点击触发设置后，选择沿触发为上升沿；点击通道选择，然后旋转多功能按钮选择 0 通道，则当 0 通道信号上升沿到来时，对输入信号进行采样。

(3) 组合触发 可以设置更精准的触发条件, 捕捉特定信号。组合触发模式下需要设置比较方式和组合字, 即触发条件。比较方式有“=、≠、≥、≤、>、<”几种, 通过按下比较方式按键选择; 组合字即设置一个具体的值, 点击组合字按键后, 旋转多功能旋钮, 选择不同的值, 之后回到主菜单, 当前的触发方式即为最后一次设置的触发方式。

3. 测量

用来移动波形显示区的两条游标(两条白色竖线)位置, 可以观测不同时间段内波形情况。触摸游标 A 或 B, 旋转多功能旋钮, 即可改变对应游标的位置。

4. 保存

用于将测试的结果存储到外部存储器(U 盘)中。

2.6.2 码型发生器

码型发生器主要用于实验室测试数字电路系统时提供测试用输入信号。点击仪器功能选择按钮, 选择码型发生器后进入码型发生器主界面。如图 2-13 所示, 码型发生器主界面主要包含逻辑波形显示区或逻辑状态编码设置表、主菜单和一些状态指示, 点击主菜单上各项按钮, 可进入相应菜单项设置。



图 2-13 码型发生器主界面

1. 图形输入

采用图形的方式为每一个通道设置不同的波形。触摸图形输入后, 触摸上下箭头键, 选择不同的通道; 点击高/低电平图标, 然后旋转多功能按钮, 实现高/低电平持续的时长设置。

2. 数据输入

指采用直接编辑信号编码的形式进行码型设计。触摸数据输入, 显示区以表格的形式列出编辑输出通道的编码, 每一行代表一个单位点, 前面显示该点的序号。8 路通道分两组显示, D3~D0 为一组, D7~D4 为一组。点击各个单元格, 然后转动多功能旋钮可以设

置相应通道及单位点的编码，编码以十六进制形式显示。点击数据长度按钮，然后转动多功能旋钮可以设置输出码型的总长度。

3. 常用码

是指码型发生器预置的一些编码，可以直接调用，包括 BCD 码和二进制码两种。

4. 清除码型

用于清除编辑好的码型。按下清除码型按钮，码型存储器清空，码型长度归零。

5. 运行设置

主要对已编辑好的码型进行运行状态的设置。时钟设置按钮选择码型发生器的发送时钟，默认为 1 kHz。生成按钮是码型发生器启动按钮，按下该按钮，下面显示“ok”，码型发生器启动，设置好的码型数据开始循环输出。

2.7 函数信号发生器

信号发生器是一种能提供各种频率、波形和输出电信号的设备，常用作科研、生产、维修和实验测试中的信号源或激励源。例如在教学实验中，常使用函数发生器的输出波形作为标准输入信号，接至放大器的输入端，然后用示波器定性观察放大器的输出端，判断放大器是否工作正常，从而获得该放大器的性能指标。根据测量要求的不同，信号源大致可分为三大类：正弦信号发生器、函数(波形)信号发生器和脉冲信号发生器。能够产生多种波形，如三角波、锯齿波、矩形波(含方波)、正弦波的电路被称为函数信号发生器，也是实验室中常用的信号源。图 2-14 为某函数信号发生器的前面板。

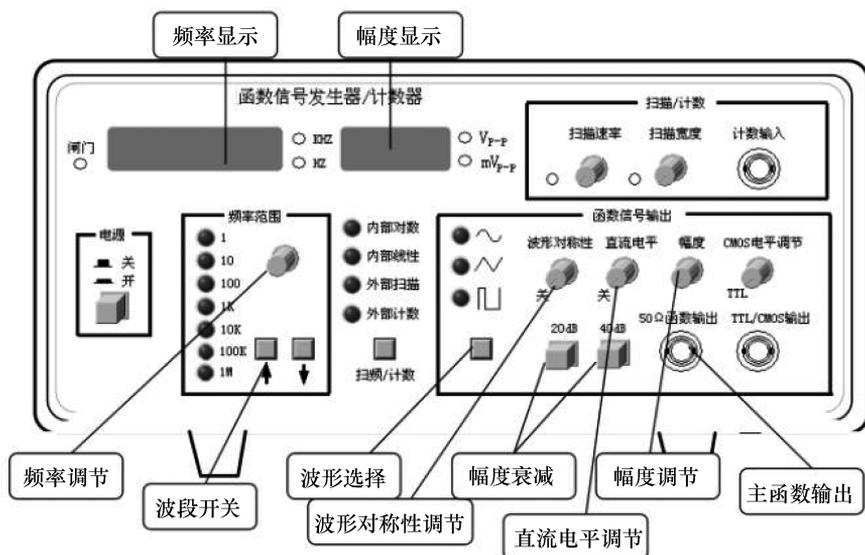


图 2-14 某型号函数信号发生器前面板

面板上包含显示屏、接口、功能旋钮和按键。显示屏用于显示输出信号的频率和幅度，或外测频信号的频率；旋钮和按键分别实现电源开关、频率范围选择、函数信号输出、扫描/计数输入等功能，主要使用方法如下：

1. 电源键，按下时接通电源，弹起时关断电源。
2. 频率范围由波段按键和调节旋钮控制，按键选择信号波段，旋钮调节输出频率的范围。如波段选中 100，调节旋钮，则输出频率在 $0 \times 100 \sim 1 \times 100$ Hz 之间变化。
3. “扫描/计数”按键，可选择多种扫描方式和外测频方式。
4. 波形选择按键，可选择输出正弦波、三角波、脉冲波。
5. 函数信号输出端，输出多种波形受控的函数信号，输出幅度峰峰值为 20 V (1 M Ω 负载)、10 V (50 Ω 负载)。
6. TTL 信号输出端，输出标准 TTL 幅度的脉冲信号，输出阻抗为 600 Ω 。
7. 波形对称性调节旋钮，可改变输出信号的对称性。当电位器处在“OFF”位置(逆时针旋到底)时，则输出对称信号。
8. 直流电平旋钮，预置输出信号直流电平。调节范围 -5 ~ +5 V (50 Ω 负载)，当电位器处在“OFF”位置(逆时针旋到底)时，则为 0。
9. 幅度旋钮，调节函数信号输出幅度，范围为 0 ~ 20 dB
10. “20 dB”“40 dB”键，调节函数信号输出幅度衰减。均不按下，输出信号不经衰减直接输出到插座口；“20 dB”“40 dB”键分别按下，则可选择 20 dB 或 40 dB 衰减。
11. 扫描速率调节旋钮，调节此旋钮可改变扫频输出的范围。在外测频时，逆时针旋到底(绿灯亮)，表示外输入测量信号经过衰减“20 dB”进入测量系统。
12. 扫描宽度旋钮，调节此旋钮可以改变内扫描的时间长短。在外测频时，逆时针旋到底(绿灯亮)，表示外输入测量信号经过低通开关进入测量系统。
13. 计数输入插座，当“扫描/计数”键功能选择在外扫描/外计数状态时，外扫描控制信号或外测频信号由此输入。

2.8 直流稳压电源

直流稳压电源是一种自动保持输出直流电压不变的装置，通过把电网电压进行变压、整流、滤波和稳压后获得，常见的有单路输出和两路输出两种。图 2-15 是一款实验室常用两路输出直流稳压电源。

该系列电源的工作特性称为恒压/恒流自动转换型，能随负载的变化在恒压与恒流状态之间连续转换，恒压与恒流方式之间的交点称为转换点。例如如果负载使电源工作于恒压方式，则输出稳定电压。随着负载的减小，输出电压会一直保持恒定，直至达到预置的限流值。到限流值后，输出电流保持稳定，输出电压随着负载的进一步增加而成比例减小，恒压与恒流的转换由前面板的 LED 灯指示。相似地，从恒流到恒压的自动转换是随



图 2-15 常见直流稳压电源前面板

着负载的减小进行的。恒压时 CV 指示灯亮，恒流时 CC 指示灯亮。主要操作方法如下。

1. 电源键 将电源开关置于“OFF”位置，确保输入电源电压正确，接上电源。然后将电源开关置于“ON”位置。

2. “VOLTAGE”和“CURRENT”旋钮 可调节到需要的电压和电流值，连接外部负载到“+”“-”输出端子。当用在对稳定性要求比较高的地方，输出端“+”或“-”接线柱必须有一个要与 GND 接线柱可靠连接，这样可以减小输出的纹波电压。

3. 操作模式选择 该型号稳压源有三种工作方式：

(1) 独立模式 将面板正中的拨动开关拨到“INDEP”挡位，此时此挡位正上方的 LED 灯点亮，电源工作在独立模式。I 路和 II 路单独输出相互独立的电压或电路。

(2) 串联跟踪模式 将面板正中的拨动开关拨到“SERIES”挡位，此时此挡位正上方的 LED 灯点亮，电源工作在串联跟踪模式。此时电源输出“+”为 II 路输出“+”，输出“-”为 I 路输出“-”。此模式下电源输出电压和电流调节均由 II 路电压、电流调整旋钮控制。为了使电源达到良好的串联跟踪效果，建议电源工作在此模式下将 I 路输出“+”与 II 路输出“-”两端子用 AWG20#以上的导线短接。

(3) 并联跟踪模式 将面板正中的拨动开关拨到“PARALLEL”挡位，此时此挡位正上方的 LED 灯点亮，电源工作在并联跟踪模式。此时电源输出“+”为 II 路输出“+”，输出“-”为 II 路输出“-”。此模式下电源输出电压和电流调节均由 II 路电压、电流调整旋钮控制。为了使电源达到良好的并联跟踪效果，建议电源工作在此模式下分别将 I 路输出“+”与 II 路输出“+”，I 路输出“-”与 II 路输出“-”用 AWG20#以上的导线短接。

单路输出的直流稳压电源，操作方式同独立模式中的某一路。

具体使用方法见第 4 章实验一。