

# 目录

<b>第 1 章 常用电子材料</b>	1
1.1 线材	1
1.2 绝缘材料和磁性材料	4
1.3 印制电路板	6
1.4 辅助材料	10
<b>第 2 章 常用电子元件</b>	14
2.1 电阻器	15
2.2 电容器	30
2.3 电感和变压器	39
2.4 半导体二极管	44
<b>第 3 章 常用集成电路</b>	51
3.1 概述	51
3.2 常用的模拟集成电路	58
3.3 常用的数字集成电路	66
<b>第 4 章 现代电气安全</b>	77
4.1 用电安全技术	77
4.2 电子装接操作安全	81
4.3 电磁污染与防护	90
4.4 触电事故及安全防范	92
<b>第 5 章 PCB 的设计与制作</b>	124
5.1 PCB 概述	124
5.2 PCB 的设计流程	135
5.3 PCB 板的制作方法	138
5.4 PCB 板的生产流程	139
<b>第 6 章 元器件的焊接工艺</b>	148
6.1 元器件的手工焊接技术	148
6.2 SMT 流程	156

<b>第 7 章 电子装配工艺</b>	166
7.1 工艺文件	166
7.2 电子设备组装工艺	168
7.3 印制电路板的插装	170
7.4 连接工艺和整机总装	172
7.5 整机总装质量的检测	176
<b>第 8 章 电子测量概述</b>	178
8.1 电子测量的内容和特点	178
8.2 电子测量方法和技术	180
8.3 电子测量仪器	185
<b>第 9 章 常用电子测试仪器的原理及应用</b>	187
9.1 万能表的应用	187
9.2 示波器的原理及应用	191
9.3 虚报该发生器的应用	199
9.4 直流稳压电源的原理及应用	206
9.5 逻辑笔的应用	212
<b>第 10 章 电子测量技术的应用</b>	214
10.1 便携式隧道断面激光测量仪	214
10.2 氧化物多孔纳米材料的制备与检测系统	218
10.3 旅客列车的无线烟雾监测系统	223
10.4 无线煤炭自燃预警系统	228
10.5 便携式心电监护系统	233
10.6 同步超声振动调制微细放电电解加工测控系统	238
<b>参考文献</b>	248

# 第 1 章 常用电子材料

## 1. 1 线材

### 1. 1. 1 线材的分类

常用线材分为电线和电缆两类。它们是电能或电磁信号的传输线。构成电线与电缆的核心材料是导线。

电线一般又分为裸线、电磁线、绝缘电线。按导线材料分为单金属丝(如铜丝、铝丝)、双金属丝(如镀银铜线)和合金线。按导线股数分为单股和多股。

电缆由数根绝缘导线或在单根或数根绝缘导线的外面根据具体情况和需要包上屏蔽层、绝缘层、保护层等而组成。电缆根据用途可分为如下四类：

#### (1) 电力电缆

电力电缆主要用于电力系统中电能的传输和分配。

#### (2) 电气装配用电线

电气装配用电线主要指电气设备用电线。

#### (3) 带状电缆

带状电缆又称为排线，主要作为各类总线的连接导线，用于信号的传输。

#### (4) 通信电缆

通信电缆包括通信系统、有线广播系统、有线电视系统及网络传输系统中使用的各种通信电缆、射频电缆、光缆等，用于信号的传输。

下面介绍几种常用的传输线缆。

### 1. 同轴电缆

同轴电缆即单芯高频电缆，对外界有很强的抗干扰能力，其传输效率很高，适用于长距离和高频传输。

同轴电缆由导体、绝缘层、屏蔽层、护套组成，如图 1-1 所示。

①导体：主要材料是铜线或铝线。

②绝缘层：由绝缘材料组成，作用是防止通信电缆漏电和电力电缆放电。

③屏蔽层：一般由细金属丝编织而成，也有采用双金属和多层复合屏蔽结构的。

④护套：电缆线外包裹的物质称为护套。它主要起机械保护和防潮的作用，有绝缘层护套和金属铠装护套两种。有些电缆在绝缘层护套外面还加有钢带铠装、镀锌扁钢丝或镀锌圆钢丝铠装等铠装护套保护层。

## 2. 双绞线

双绞线是一种最常用的网络传输介质。双绞线采用了一对互相绝缘的金属导线互相绞合的方式来抵御部分干扰。双绞线电缆是将多对双绞合的绝缘导线一起包在一个绝缘电缆套管里，典型的双绞线电缆有一对的，有四对的，也有更多对双绞线放在一个电缆套管里的，如图 1-2 所示。



图 1-1 同轴电缆结构示意图



图 1-2 双绞线

双绞线分为屏蔽双绞线和非屏蔽双绞线。屏蔽双绞线的抗干扰性要优于非屏蔽双绞线，但由于屏蔽层给双绞线的驱动电路增加了容性阻抗，因此会影响网络段的最大长度。

## 3. 光缆

光缆的种类很多，根据缆芯结构划分主要有层绞式、束管式、骨架式、单元式等。光缆普遍用于各类光纤数字传输系统中，具有传输衰减小、频带宽、容量大、保密性能好、通信质量高、干扰小等特点。

光缆的核心材料是光纤，如图 1-3 所示。光纤利用全反射来传输经信号编码的光束，在发送端需要用单色光作为光源，并且经调制后送入光纤。在接收端需要把光信号转变成电信号。由于光纤依靠光来传送信号，因此避免了金属导线遇到的信号衰减、电容效应、串扰等问题，能可靠地实现高效的数据传输，并且有极好的保密性。由于光信号不容易被分支，因此使用光纤作为传输介质主要用于两个节点间的点对点连接。光纤传输距离可高达 160km。

## 4. 市话通信电缆

全塑市话电缆是传输音频信号的对称电缆，如图 1-4 所示。市话通信电缆内有多对传输音频信号的绝缘导线，有的多达几百甚至上千对，因此为了便于识别与安装，此类电缆内的绝缘导线均为色码线，即有 5 个主色，顺序分别为白、红、黑、黄、紫，每个主色里面又包括 5 种次色，顺序分别为蓝、橙、绿、棕、灰，组成的线对 1~25

对的排序(主色次色)为白蓝、白橙、白绿、白棕、白灰;红蓝、红橙、红绿、红棕、红灰;……紫蓝、紫橙、紫绿、紫棕、紫灰。每25对用色谱扎带扎好,扎带的色谱排序(次色主色)为蓝白、橙白、绿白、棕白、灰白、蓝红、橙红、绿红……

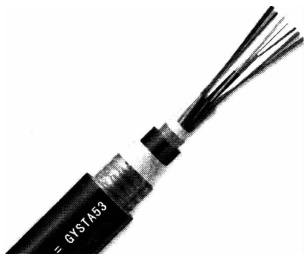


图 1-3 光缆



图 1-4 市话通信电缆

## 1.1.2 线材的选用

### 1. 电路条件

#### (1) 允许电流

允许电流指常温下导线正常工作时的最大电流值,实际工作电流应小于允许电流。

#### (2) 导线电阻的压降

导线很长时,要考虑导线电阻对电压的影响。

#### (3) 额定电压

导线实际工作电压应小于额定电压。

#### (4) 使用频率与高频特性

对不同的频率选用不同的线材,要考虑高频信号的趋肤效应。如果电路的频率较高,应选用高频电缆。为减小趋肤效应,可选用粗裸铜线或铜管。

#### (5) 特性阻抗

在射频电路中选择射频电缆时,应注意阻抗匹配。

#### (6) 屏蔽

当信号较小、相对于信号电平的外来噪声不可忽略时,应选用屏蔽线。

### 2. 环境条件

#### (1) 温度

温度会使电线的覆层变软或变硬。

#### (2) 耐老化性

一般情况下线材不要与化学物质及日光直接接触。

### 3. 机械强度

电线应具有良好的拉伸强度、耐磨损性和柔软性,质量要轻,以适应环境的机械

振动等条件。

选用线材还要考虑安全性，防止火灾和人身事故的发生。易燃材料不能作为导线的覆层。

## 1.2 绝缘材料和磁性材料

### 1.2.1 绝缘材料

具有高电阻率、能隔离相邻导体或防止导体间发生接触的材料称为绝缘材料，又称电介质。

#### 1. 绝缘材料的种类

##### (1) 按物质形态分类

可分为气体、液体和固体绝缘材料三种类型。

① 气体绝缘材料，如空气、氦气等。

② 液体绝缘材料，如绝缘的油类等。

③ 固体绝缘材料，如云母、陶瓷、玻璃等。

##### (2) 按化学性质的不同分类

分为有机、无机和混合绝缘材料三种类型。

① 有机绝缘材料，如棉纱、麻、蚕丝、树脂等。

② 无机绝缘材料，如石棉、陶瓷、大理石、云母等。

③ 混合绝缘材料，是将有机、无机绝缘材料混合加工制成的各种绝缘材料，常用做电器底座、外壳等。

#### 2. 常用绝缘材料的性能及用途

##### (1) 绝缘材料的主要性能

###### 1) 抗电强度

抗电强度又称为耐压强度，即每毫米厚度的材料所能承受的电压。它与材料的种类及厚度有关。

###### 2) 机械强度

绝缘材料的机械强度一般指抗拉强度，即每平方厘米的材料所能承受的拉力。对于不同用途的绝缘材料，机械强度的要求不同，选择时应该注意。

###### 3) 耐热等级

耐热等级指绝缘材料允许的最高工作温度，它取决于材料的成分。耐热等级可分为七级。在一定耐热级别的电机、电器中，应该选用同等耐热等级的绝缘材料。必须

指出,耐热等级高的材料,价格也高,但其机械强度不一定高。所以,在不要求耐高温处,要尽量选用同级别的材料。

### (2)常用绝缘材料

使用绝缘材料时,应根据产品的电气性能和环境条件要求合理选用。

#### 1)薄型绝缘材料

主要应用于包扎、衬垫、护套等,如绝缘纸、绝缘布、有机薄膜、粘胶带、塑料套管等。

#### 2)绝缘漆

使用最多的地方是浸渍电器线圈和表面覆盖。

#### 3)热塑性绝缘材料

这类材料有硬聚乙烯板、软管及有机玻璃板/棒。

#### 4)热固性层压材料

具有良好的电气性能和机械性能,耐潮、耐热、耐油。常用的层压板材有酚醛层压纸板、酚醛层压布板、酚醛层压玻璃布板、有机硅环氧层压玻璃布板、环氧酚醛层压玻璃布板等。

#### 5)云母制品

云母是具有良好的耐热、传热、绝缘性能的脆性材料。

#### 6)橡胶制品

橡胶在较大的温度范围内具有优良的弹性、电绝缘性以及耐热、耐寒和耐腐蚀性,是传统的绝缘材料,用途非常广泛。近年来电子工业所用的天然橡胶已被合成橡胶所取代。

## 1.2.2 磁性材料

磁性材料主要是指由过渡元素铁、钴、镍及其合金等组成的能够直接或间接产生磁性的物质。磁性材料的应用很广泛,主要分为软磁材料和硬磁材料两大类。

### 1. 软磁材料

软磁材料的功能主要是导磁、电磁能量的转换与传输。因此,对这类材料要求有较高的磁导率和磁感应强度,同时磁滞回线的面积或磁损耗要小。

软磁材料的特点是容易被磁化,磁化后也容易去磁,剩磁小,矫顽力低。

软磁材料的应用甚广,主要用于制作磁性天线、电感器、变压器、磁头、耳机、继电器、电磁铁、磁场探头、磁性基片、磁场屏蔽、电磁吸盘、磁敏元件等。

### 2. 硬磁材料

硬磁材料又称永磁材料,经饱和磁化再将外磁场撤除后仍能保持强而稳定的磁性,磁化后不易去磁,剩磁大。它具有宽磁滞回线、高矫顽力和高剩磁等优点。

硬磁材料主要用作电声器件(如扬声器、拾音器、话筒等)的永久磁铁。硬磁材料广泛用于电子、电气、机械、运输、医疗及生活用品等各个领域。

## 1.3 印制电路板

### 1.3.1 覆铜箔层压板

#### 1. 覆铜箔层压板

覆以铜箔的绝缘层压板称为覆铜箔层压板,简称覆铜板,是制作印制电路板的主要材料。

高分子合成树脂和增强材料组成的绝缘层压板可以作为覆铜板的基板。合成树脂作为胶粘剂,是基板的主要成分,决定其电气性能;增强材料一般有纸质和布质两种。常用覆铜板有酚醛纸基覆铜板、环氧玻璃布覆铜板、聚四氟乙烯玻璃布覆铜板和柔性聚酰亚胺覆铜板等品种。

铜箔是制造覆铜板的关键材料,必须具有较高的导电率及良好的焊接性。铜箔质量直接影响覆铜板的性能。要求铜箔表面不得有划痕、砂眼和皱折,金属纯度不低于99.8%,厚度误差不大于 $\pm 5\mu\text{m}$ 。

铜箔能否牢固地附着在基板上,胶粘剂是重要因素。覆铜板的抗剥强度主要取决于胶粘剂的性能。常用的覆铜板胶粘剂有酚醛树脂、环氧树脂、聚四氟乙烯和聚酰亚胺等。

#### 2. 覆铜板的种类

覆铜板按基材的品种可分为纸基板和玻璃布板;按粘接树脂的种类来分有酚醛覆铜板、环氧覆铜板、环氧酚醛覆铜板、聚四氟乙烯覆铜板、聚酰亚胺覆铜板等。

#### 3. 覆铜板的非电技术指标

##### (1) 抗剥强度

使单位宽度的铜箔剥离基板所需的最小力,用来衡量铜箔与基板之间的结合强度。

##### (2) 翘曲度

指单位长度上的翘曲(弓曲或扭曲)值,是衡量覆铜板相对于平面的平直度指标。覆铜板的翘曲度取决于基板材料和板材厚度。目前以环氧酚醛玻璃布覆铜板的质量为最好。

##### (3) 抗弯强度

表明覆铜板所能承受弯曲的能力,以单位面积所受的力来计算。这项指标主要取决于覆铜板的基板材料及厚度。在同样厚度下,环氧酚醛玻璃布层压板的抗弯强度大



约为酚醛纸基板的 30 倍左右。

#### (4)耐浸焊性(耐热性)

指覆铜板置入一定温度的熔融焊料中停留一段时间(大约 10s)后,所能承受的铜箔抗剥能力。这项指标取决于基板材料和胶粘剂,对印制电路板的质量影响很大。环氧酚醛玻璃布覆铜板能在 260℃的熔锡中停放 180~240s 而不出现起泡和分层现象。

此外,衡量覆铜板质量的非电技术指标还有表面平整度、光滑度、耐化学溶剂侵蚀度等。

### 1.3.2 印制电路板的分类和特点

#### 1. 印制电路

印制电路是指在绝缘基板上用印制的方法所形成的印制导线系统。具有印制电路的绝缘基板称为印制电路板,简称为 PCB(Printed Circuit Board)。

使用印制电路板制造的产品具有可靠性高、稳定性好、机械强度高、耐振、体积小、重量轻、维修方便以及用铜量小等优点,成批生产效率高;其缺点是制造工艺较复杂,单件或小批量生产不经济。

#### 2. 印制电路板的类型

印制电路板按其结构可分为如下四种。

##### (1)单面印制电路板

单面覆铜箔板经印制和腐蚀,在绝缘基板覆铜箔一面制成印制导线的印制电路板。

##### (2)双面印制电路板

两面都有印制导线的印制电路板,一般采用金属化过孔连通两面的印制导线,其布线密度比单面板高,使用更为方便。

##### (3)多层印制电路板

在绝缘基板上制成 4 层及 4 层以上印制导线的印制电路板。它由几层较薄的单面或双面印制电路板(每层厚度在 0.4mm 以下)叠合压制而成。一般采用金属化过孔和盲孔连通各层之间的印制导线,布线密度更高。多层印制电路板的主要优点如下:

①与集成电路配合使用,有利于整机小型化及减轻重量。

②布线密度高,接线短、直,信号失真小。

③由于引入了接地层,减少了局部过热,提高了整机的稳定性。

##### (4)软性印制电路板

以软质绝缘材料为基材制成的印制电路板,也称柔性印制电路板。它可分为单面、双面和多层三大类。此类印制电路板除了重量轻、体积小、可靠性高以外,最突出的特点就是具有挠性,能折叠、弯曲、卷绕,自身可端接以及三维空间排列。软性印制电路板在计算机、自动化仪表、通讯设备中的应用已日益广泛。

### 1.3.3 印制电路板常用抗干扰设计

印制电路板是电子产品中元器件、信号线、电源线的高密度集合体，其设计决不单是器件、线路的简单布局安排，必须符合抗干扰的设计原则。通常应有下述抗干扰措施。

#### 1. 地线设计

电子产品中地线结构大致有系统地气机壳地(屏蔽地)和模拟地等，接地是抗干扰的重要方法，如能将接地和屏蔽正确结合起来使用可解决大部分干扰问题。

##### (1) 单点接地与多点接地选择

在低频电路中，信号的工作频率小于 1MHz 时，它的布线和元器件间的电感影响较小，而接地电路形成的环流会产生较强的干扰，宜采用一点接地；当信号的工作频率大于 10MHz 时，地线阻抗变得很大，此时应尽量降低地线阻抗，应采用就近多点接地法；当工作频率在 1~10MHz 之间时，如果用一点接地，其地线长度不应太长，否则宜采用多点接地法。

##### (2) 数字、模拟电路分开

电路板上既有高速逻辑电路又有线性电路时，应使它们尽量分开，且两者的地线不要相混，应分别与电源端地线相连。要尽量加大线性电路的接地面积。

##### (3) 接地线应尽量加粗

若接地线条很细，则接地电位会随电流的变化而起伏，致使抗干扰性能变差。因此应将接地线条加粗，使它能通过三倍于印制电路板的允许电流。如有可能，接地用线的宽度应在 2~3mm 以上。

##### (4) 接地线构成闭环路

只由数字电路组成的印制电路板接地时，将接地电路做成闭环路可以明显地提高抗干扰能力。其原因是：当印制电路板上有很多集成电路，特别是有耗电多的元件时，因受到线条粗细的限制，地线上会产生较大的电位差，导致抗干扰能力下降，若将接地线构成环路，则可以缩小电位差，提高电子设备抗干扰能力。

#### 2. 电源线布置

除了要根据电流的大小，尽量加粗导线宽度外，使电源线、地线的走向与数据传递的方向一致，也将有助于增强抗干扰能力。

#### 3. 去耦电容配置

在印制电路板各个关键部位配置去耦电容应视为印制电路板设计的一项常规做法。

① 电源输入端跨接 10~100 $\mu$ F 的电解电容器。如有可能，接 100 $\mu$ F 以上电容更好。

② 原则上每个集成电路芯片都应配置一个 0.01 $\mu$ F 的陶瓷电容器。这种器件的高频阻抗特别小，在 500kHz~20MHz 范围内阻抗小于 1 $\Omega$ ，而且漏电流很小(0.5 $\mu$ A 以下)。

③对于抗干扰能力弱、关断时电流变化大的器件如 ROM、RAM 存储器件，应在芯片的电源线( $V_{cc}$ )和地线(GND)间直接接入去耦电容。

④电容引线不能太长，特别是高频旁路电容。

#### 4. 印制电路板的尺寸与器件布置

印制电路板大小要适中，过大时，印制导线线条长，阻抗增加，不仅抗干扰能力下降，成本也高；过小，则散热不好，同时易受邻近线条干扰。

在器件布置方面，应把相互有关的器件尽量放得靠近些，能获得较好的抗干扰效果。易产生噪声的器件、大电流电路等应尽量远离逻辑电路，如有可能，应另做电路板。

另外，一块电路板要考虑在机箱中放置的方向，将发热量大的器件放置在上方。

#### 5. 印制电路板导线的形状

由于导线本身可能承受附加的机械应力以及局部高电压引起的放电作用，因此，应尽可能避免出现尖角或锐角拐弯。一般优先选用和避免采用的印制导线形状见图 1-5。

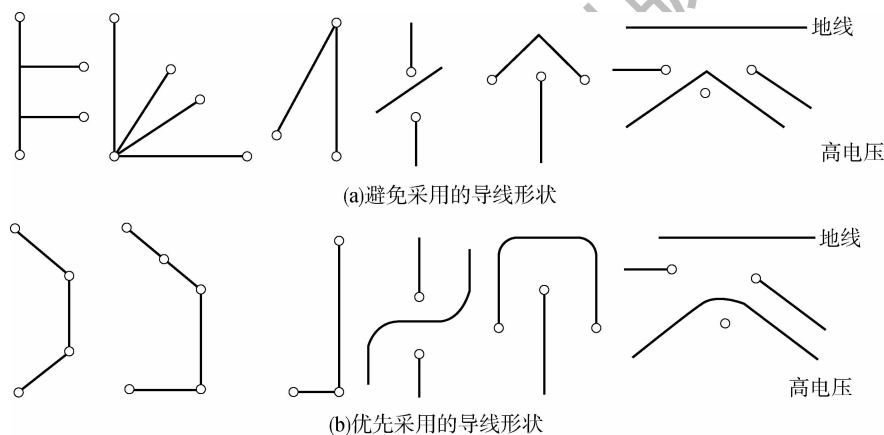


图 1-5 印制电路板导线形状

#### 6. 印制导线的宽度与间距

印制导线应尽可能宽一些，这有利于承受电流，便于制造。由于在蚀刻过程中有侧蚀，导线会变窄，因此，在导线宽度有严格要求的场合，设计时可适当对导线宽度进行补偿。一般补偿量为基体铜箔厚度的两倍。

在决定印制导线宽度时，除需要考虑载流量外，还应注意它在板上的抗剥强度以及与焊盘的协调。

印制电路的电源线和接地线的载流量较大，设计时要适当加宽。

当要求印制导线的电阻和电感小时，可采用较宽的信号线；当要求分布电容小，导线的电阻和电感无关紧要时，可采用较窄的信号线。

## 7. 金属填充

金属填充一般用于制作板卡插件的接触表面，或者用于为提高系统的抗干扰性而设置大面积的电源及接地区域，这样做也可增加电路板的强度。填充如果用于制作接触表面，则放置填充的部分在实际的电路板上是一个裸露的覆铜区，表面没有绝缘漆。如果是作为大面积的电源及地，或者仅为器件、导线间抗干扰而用，则表面会涂上绝缘漆。一般厂家在制作印制电路板时会区分填充的用途，用户也可以对他们提出要求。

放置金属填充的方式有两种：矩形金属填充和多边形金属填充。

多边形金属填充也称放置敷铜，就是将电路板中空白的地方铺满铜膜，不是为了好看，而是为了提高电路板的抗干扰能力。通常情况下将敷铜接地，这样使电路板中空白的地方铺满接地的铜膜，电路板的抗干扰能力会大大提高。

矩形金属填充和多边形金属填充是有区别的。首先前者填充的是整个区域，没有任何遗留的空隙。后者则是用铜膜线来填充区域，线与线之间是有空隙的。矩形金属填充会覆盖区域内的所有导线、焊盘和过孔，使它们具有电气连接关系，而多边形金属填充则会绕开区域内的所有导线、焊盘、过孔等具有电气意义的图件，不改变它们原有的电气连接关系。

## 8. 屏蔽导线

屏蔽导线是为了防止相互干扰，而将某些导线用接地线包住，故又称包地。一般来说，容易干扰其他电路的线路，或容易受其他电路干扰的线路需要屏蔽起来。

# 1.4 辅助材料

## 1.4.1 焊料

凡是用来熔合两种或两种以上的金属面，使之成为一个整体的金属或合金都叫焊料。

在电子整机装配中常用的是锡铅焊料，简称焊锡。纯锡能与多种金属反应形成化合物，但强度低、较脆、价格贵，而且不能很快地流灌和填充焊接处的空隙，所以一般不用纯锡作焊料。用锡与铅制成的锡铅合金，则既可降低焊料的熔点，又可克服纯锡较脆的缺点，提高了焊接强度。

### 1. 锡铅共晶焊料

锡铅合金的熔化温度随锡的含量而变化。当含锡 63%、含铅 37% 时，合金的熔点是 183℃，凝固点也是 183℃，可由固体直接变为液体，这时的合金称为共晶合金。按共晶合金的配比制成的焊锡称共晶焊锡。锡铅共晶焊料有如下优点：

### (1) 熔点低

共晶焊锡的熔化温度比非共晶焊锡要低，减少了元器件受热损坏的机会。

### (2) 熔流点一致

共晶焊锡只有一个熔流点，焊点可迅速凝固，可缩短焊接时间，减少虚焊。

### (3) 表面张力小、流动性好

焊料能很好地填满焊缝并对工件有较好的浸润性，这些都有利于减少虚焊点。

### (4) 强度高

共晶焊锡能承受较大的拉力和剪切力，有较高的焊接强度。

## 2. 杂质对焊锡的影响

焊锡中往往含有少量其他元素，这些元素会影响焊锡的熔点、导电性、强度等性能。

①铜(Cu)。铜的成分来源于印制电路板的焊盘和元器件的引线，并且铜的熔解速度随着焊料温度的提高而加快。随着铜的含量增加，焊料的熔点增高，黏度加大，容易产生桥接、拉尖等缺陷。一般焊料中铜的含量允许在0.3%~0.5%。

②锑(Sb)。加入少量锑会使焊锡的机械强度增高，光泽变好，但浸润性变差。

③锌(Zn)。锌是焊锡中最有害的金属之一。焊料中熔进0.001%的锌就会对焊料的焊接质量产生影响。当熔进0.005%的锌时，会使焊点表面失去光泽，流动性变差。

④铝(Al)。铝也是有害的金属，即使熔入0.005%的铝，也会使焊锡出现麻点，流动性变差。

⑤铋(Bi)。含铋的焊料熔点下降，有使焊锡变脆的倾向，冷却时易产生龟裂。

⑥铁(Fe)。铁难熔于焊料中，它使焊料熔点升高，难于焊接。

## 3. 常用焊料

### (1) 管状焊锡丝

由助焊剂与焊锡制作在一起，在焊锡管中夹带固体助焊剂。助焊剂一般选用特级松香为基质材料，并添加一定的活化剂。管状焊锡丝适用于手工焊接。

### (2) 抗氧化焊锡

在锡铅合金中加入少量的活性金属，能使氧化锡、氧化铅还原，并漂浮在焊锡表面形成致密覆盖层，从而保护焊锡不被继续氧化。这类焊锡适用于浸焊和波峰焊。

### (3) 含银的焊锡

在锡铅焊料中添加0.5%~2.0%的银，可减少镀银件中的银在焊料中的熔解量，并可降低焊料的熔点。

### (4) 焊膏

焊膏是电子产品表面组装技术中的一种重要焊接材料，由焊料粉、助焊剂和一些添加剂混合组成，制成膏状物，能方便地用丝网、模板或锡膏印刷机印涂在印制电路板上，再将片式元器件贴装在印制电路板上。焊膏适合片式元器件用再流焊进行的

焊接。

### 1.2.2 助焊剂

助焊剂的作用是清除金属表面氧化物、硫化物、油和其他污染物，并防止在加热过程中焊料继续氧化。同时，它还具有增强焊料与金属表面的活性、增加浸润的作用。

#### 1. 对助焊剂的要求

- ①有清洗被焊金属和焊料表面的作用。
- ②熔点要低于所有焊料的熔点。
- ③在焊接温度下能形成液状，具有保护金属表面的作用。
- ④有较低的表面张力，受热后能迅速均匀地流动。
- ⑤熔化时不产生飞溅或飞沫。
- ⑥不导电，无腐蚀性，残留物无副作用。
- ⑦完成焊接后的助焊剂的膜要光亮、致密、不吸潮、热稳定性好。

#### 2. 助焊剂的种类

助焊剂一般可分为有机、无机和树脂三大类。

- ①无机类助焊剂。适用于钎焊，腐蚀性大，不宜在电子产品装配中使用。
- ②有机类助焊剂。具有一定程度的腐蚀性，残渣不易清洗，焊接时有废气污染，因而限制了它在电子产品装配中的使用。
- ③树脂类助焊剂。这类助焊剂在电子产品装配中应用较广，其主要成分是松香。

在电子产品焊接中，常常将松香溶于酒精制成“松香水”，松香同酒精的比例一般以 1 : 3 为宜，也可以根据使用经验增减；但不宜过浓，否则使用时流动性变差。

松香加热到 300℃ 以上或经过反复加热，就会分解并发生化学变化，成为黑色的固体，失去化学活性。碳化发黑的松香不仅不能起到帮助焊接的作用，还会降低焊点的质量。因此使用树脂类助焊剂时一定要注意用量适当及焊接时间适当。

### 1.4.3 阻焊剂

阻焊剂是一种耐高温的涂料。将印制电路板上不需要焊接的部位涂上阻焊剂保护起来，在焊接时可使焊料只在需要焊接的焊接点上进行。

#### 1. 阻焊剂的优点

- ①可避免或减少焊接时桥接、拉尖、虚焊等弊病，使焊点饱满，提高了焊接质量。
- ②使用阻焊剂后，除了焊盘外，其余印制导线均不上锡，节省了大量焊料；由于受热少、冷却快、降低了印制电路板的温度，保护了元器件。
- ③由于印制电路板的板面除焊盘外全部为阻焊剂膜所覆盖，增加了一定硬度，是

印制电路板很好的永久性保护膜，起到了防止印制电路板表面受到机械损伤的作用。

## 2. 阻焊剂的分类

阻焊剂的种类很多，一般分为干膜型阻焊剂和印料型阻焊剂。现广泛使用印料型阻焊剂，这种阻焊剂又可分为热固化和光固化两种。

### 1.4.4 胶粘剂

胶粘剂可用于同类或不同类材料之间的胶接。绝大部分的胶粘剂由合成树脂、橡胶等化工材料配制而成。胶粘剂有单组份和双组份两类。双组份由主体胶与固化剂组成，固化剂所占比例会影响胶膜固化条件。

胶粘剂分类的方法很多，这里介绍其中两种。

#### 1. 按胶合件材料分

- ①橡胶胶：用于橡胶之间、橡胶与金属之间的粘合。
- ②木胶：用于木料之间的粘合。
- ③塑料胶：用于一般塑料之间、塑料与金属之间的粘合。
- ④层压纤维胶：用于纤维板层压、浸渍及胶合。
- ⑤硬质材料胶：用于陶瓷、玻璃、金属等材料之间的粘合。
- ⑥有机玻璃胶：用于粘合有机玻璃，经抛光后无痕迹。

#### 2. 按胶膜的特殊性能分(特种胶粘剂)

- ①导电胶：内加有银粉，具有良好的导电性。
- ②导磁胶：具有较好的导磁性，用于硅钢片、铁氧体磁芯的胶接。
- ③感光胶：内含感光剂，胶膜对光照敏感，曝光后的胶膜具有较强的粘接力，非曝光部分的胶膜容易洗除，可用于制作丝网漏印的模板。
- ④密封胶：胶膜的气密性好，有一定的弹性，用于需密封的场合。
- ⑤防潮灌封胶：具有防潮、绝缘和固定的作用，作为灌封材料。
- ⑥超低温胶：在 $-196^{\circ}\text{C}$ 或更低的负温下仍有较好的粘合强度。
- ⑦高温结构胶：在 $180^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 温度中仍具有中等粘合强度。
- ⑧热熔胶：在室温时热熔胶为固态，加热到一定温度时成为熔融状态，冷却后可与被粘物体接在一起。

## 第 2 章 常用电子元件

电子元器件是在电路中具有独立电气功能的基本单元。元器件在各类电子产品中占有重要的地位，特别是常用电子元器件，如电阻器、电容器、电感器、晶体管、集成电路和开关、接插件等，更是电子设备中必不可少的基本材料。几十年来，电子工业的迅速发展，不断对元器件提出新的要求；而元器件制造厂商也在不断研究并采用新的材料、新的工艺，不断推出新产品，使电子整机产品的制造技术经历了几次重大的变革。在早期的电子管时代，按照真空电子管及其相应电路元件的特点要求，在设计整机结构和制造工艺时，最主要考虑大的电功率消耗以及因此而产生的散热问题，形成了一种体积较大、散热流畅的坚固结构。随后，因为半导体晶体管及其相应的小型元器件的问世，一种体积较小的分立元件结构的制造工艺便形成了，才有可能出现称之为“便携”机型的整机。特别是微电子技术的发展，使半导体器件和部分电路元件被集成化，并且集成度在以很快的速度不断提高，这就使得整机结构和制造工艺又发生了一次很大的变化，进入了一个崭新的阶段，才有可能出现称之为“袖珍型”、“迷你式”的微型整机。例如，近五十年来电子计算机的发展历史证明，在这个过程中划分不同的阶段、形成“代机”的主要标志是，构成计算机的电子元器件的不断更新，使计算机的运算速度不断提高，而运算速度实际上主要取决于元器件的集成度。就拿人们熟悉的微型计算机的 CPU 来说，从 286 到 586，从奔腾(Pentium)到迅驰(Centrino)，这个推陈出新的过程，实际上是半导体集成电路的制造技术从 SSI、MSI、LSI 到 VLSI、ULSI(即从小、中、大到超大、极大规模集成电路)的发展历史。又如，采用 SMT(表面安装技术)的贴片式安装的集成电路和各种阻容器件、固体滤波器、接插件等微型元器件被广泛应用在各种消费类电子产品和通信设备中，才有可能实现超小型、高性能、高质量、大批量的现代化生产。由此可见，电子技术和产品的水平，主要取决于元器件制造工业和材料科学的发展水平。电子元器件是电子产品中最革命、最活跃的因素。

通常，对电子元器件的主要要求是：可靠性高、精确度高、体积微小、性能稳定、符合使用环境条件等。电子元器件总的发展趋向是：集成化、微型化、提高性能、改进结构。

电子元器件可以分为有源元器件和无源元器件两大类。有源元器件在工作时，其输出不仅依靠输入信号，还要依靠电源，或者说，它在电路中起到能量转换的作用。例如，晶体管、集成电路等就是最常用的有源元器件。无源元器件一般又可以分为耗能元件、储能元件和结构元件三种。电阻器是典型的耗能元件；储存电能的电容器和



储存磁能的电感器属于储能元件；接插件和开关等属于结构元件。这些元器件各有特点，在电路中起着不同的作用。通常，称有源元器件为“器件(Device)”，称无源元器件为“元件(Component)”。

电子元器件的发展很快，品种规格也极为繁多。就装配焊接的方式来说，当前已经从传统的通孔插装(THT)方式全面转向表面安装(SMT)方式。本章主要介绍一些最常用的电子元器件的主要特点、性能指标和表示方法。必须说明，本书不是电子元器件手册，只希望读者通过学习本章内容，能够对五花八门的电子元器件有一个概括性的了解，领悟一些在今后的工程实践中最常用的电子工艺基本原则。在本章后部分内容里，用较多的篇幅介绍了常用电子元器件的性能指标，将有助于工科大专院校电子类专业学生在校期间参加专业实验、工艺实训、课程设计和毕业设计。由于电子元器件种类繁多，新品种不断涌现，产品的性能也不断提高，要想深入准确地了解某种电子元器件的性能指标，必须经常查阅相应的资料信息，参考资料提供的典型应用电路，走访电子元器件的销售商，调研有关生产厂家。

整机装配中，除了主要的零部件和元器件以外，每个电子产品几乎都要用到两种基本材料——导线与绝缘材料。限于篇幅，本书不可能把有关材料的详尽知识一一讲述，但这方面的基本知识也是每个电子科技工作者必不可少的。

## 2.1 电阻器

### 2.1.1 电阻器的作用及构成

导体对电流的阻碍作用称为电阻。电阻在电路图中用“R”加数字表示，如：R1 表示编号为 1 的电阻。常见电阻器符号见图 2-1。



图 2-1 常见电阻器符号

电阻在电路中的主要作用为分流、限流、分压、偏置等。常见的电阻有固定电阻器和电位器(可变电位器)两种，以下介绍几种常见的电阻器的结构特点。

#### (1) 碳膜电阻(RT)

是在陶瓷骨架表面上沉积成碳结晶导电膜而形成的电阻器，其结构如图 2-2 所示。碳膜电阻的阻值范围在  $1\Omega \sim 10M\Omega$  之间，价格低廉，广泛用于各种电子产品中。

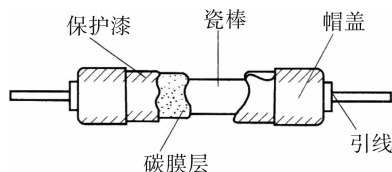


图 2-2 碳膜电阻的结构

### (2) 金属膜电阻(RJ)

是在陶瓷骨架表面，经真空高温或烧渗工艺蒸发沉积一层金属膜或合金膜而形成的电阻器。其结构特点如图 2-3 所示。其阻值范围在  $1\sim 10\Omega$  之间，温度系数小，稳定性好，噪声低，与同功率下的碳膜电阻相比，体积较小，但价格稍贵，常用于要求低噪声、高稳定性的电路中。

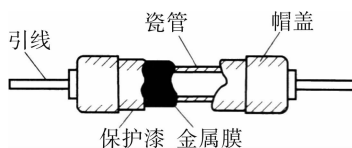


图 2-3 金属膜电阻的结构

### (3) 线绕电阻(RX)

是在瓷管上用康铜丝或镍铬合金丝绕制而成的电阻器。其阻值范围在  $0.01\Omega\sim 10M\Omega$  之间，可以制成精密型和功率型电阻。常在高精度或大功率电路中使用，但不适合在高频电路中工作。

### (4) 金属玻璃釉电阻(RI)

是以无机材料做黏合剂，用印刷烧结工艺在陶瓷基体上形成电阻膜而形成的电阻器。其电阻值范围为  $5.1\Omega\sim 200M\Omega$  之间，具有耐高温，功率大，温度系数小，耐湿性好的特点。常用它制成小型化贴片电阻。

### (5) 实心电阻(RS)

用有机树脂和碳粉合成电阻率不同的材料后热压而成的电阻器。其电阻值范围为  $4.7\Omega\sim 22M\Omega$  之间，具有过负能力强、不易损坏、价格低廉等优点，但其他性能参数都较差，常用在高可靠性的电路中。

### (6) 合成碳膜电阻(RH)

分高压型和高阻型两种。高压型电阻的阻值范围为  $47\sim 103M\Omega$ ，耐压分成 10kV 和 35kV 两挡；高阻型电阻的阻值范围更大，为  $10\sim 106M\Omega$ 。

### (7) 电阻排(集成电阻)

是运用掩膜、光刻、烧结等工艺技术，在一块基片上制成多个参数、性能一致的电阻器，目前广泛应用在微控制器等电子产品中。

常用电阻器的外形图见图 2-4。

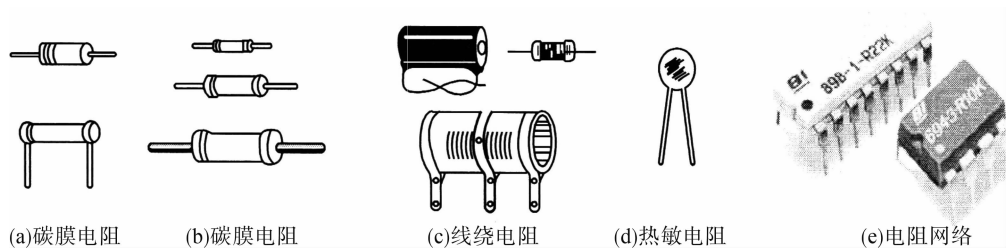


图 2-4 常用电阻器的外形

### 2.1.2 电阻器的型号命名方法

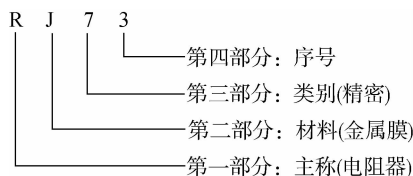
电阻器的型号命名方法如表 2-1 所示。

表 2-1 电阻器型号命名方法

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征分类			第四部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
					电阻器	电位器	
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	普通	对主称、材料相同，仅性能指标、尺寸大小有差别，但基本不影响互换使用的产品，给予同一序号；若性能指标、尺寸大小明显影响互换时，则在序号后面用大写字母作为区别代号
W	电位器	H	合成膜	2	普通	普通	
		S	有机实心	3	超高频		
		N	无机实心	4	高阻		
		J	金属膜	5	高温		
		Y	氧化膜	6			
		C	沉积膜	7	精密	精密	
		I	玻璃釉膜	8	高压	特殊函数	
		P	硼碳膜	9	特殊	特殊	
		U	硅碳膜	G	高功率		
		X	线绕	T	可调		
		M	压敏	W		微调	
		G	光敏	D		多圈	
		R	热敏	B	温度补偿用		
				C	温度测量用		
				P	旁热式		
				W	稳压式		
				Z	正温度系数		

示例：

#### (1)精密金属膜电阻器



#### (2)多圈线绕电位器



## 2.1.3 电阻器的种类结构及性能特点

### 1. 电阻器的种类结构

电阻分固定和可变两类，按结构来分则有合成电阻器、薄膜电阻器、线绕电阻器和电阻网络等几种。

#### (1)合成电阻器

合成电阻器又称实心电阻器。它是用石墨粉做导电材料，用黏土、石棉或石英作填充剂，加上粘合剂，装上引线后，在模具内压制成形，经热处理后成为坚固的实心电阻体，外层喷漆和标上阻值后就制成了合成电阻器。改变石墨粉的比例就可以改变电阻器的大小。

合成碳膜电阻器的可靠性高，体积较小，易于自动化生产，价格低廉。缺点是稳定性较差，噪声也较大。一般用于要求不高的电路中。

#### (2)薄膜电阻器

薄膜电阻器是在一个绝缘体(一般是圆柱形瓷棒)上真空喷镀一层导电薄膜或通过化学热分解的方法淀积一层导电膜，加上引线，喷上保护漆而制成的。薄膜电阻器的阻值可通过镀膜厚度来控制，更多的是采用刻槽的办法来控制。将镀好膜的瓷棒夹在刻槽机上，瓷棒开始旋转，用刻刀把薄膜刻成螺旋状，刻的越细越长，阻值越大。

常用的薄膜有碳膜、氧化膜和金属膜，因而有碳膜电阻器、氧化膜电阻器和金属膜电阻器之分。碳膜电阻器(RT)体积小，重量轻稳定性和精度都较高，噪声较小，自身电感较小，可用于数百兆赫以下的电路中。金属膜电阻器(RJ)精度高、噪声小，能耐受较高的温度，功率容量比较大，相同的功率等级其体积要比碳膜电阻器小。氧化膜电阻器(RY)在高温下的化学性质稳定，更容易制成低阻值的电阻器。

(3)线绕电阻器

线绕电阻器是由绝缘体用高电阻率的金属线绕制而成，它在较宽的温度范围内有很小的温度系数，耐高温，功率容量大，可制成大功率精密电阻器。其缺点是自电感较大，不宜用于高频电路中。

(4)电阻网络

电阻网络是运用掩膜、光刻、烧结等工艺技术，在一块基片上制成多个参数、性能一致的电阻器，目前广泛应用在微控制器等电子产品中。

2. 电阻器的主要技术指标

(1)标称阻值

阻值是电阻的主要参数之一，不同类型的电阻，阻值范围不同，不同精度的电阻其阻值系列亦不同。根据国家标准，常用的标称电阻值系列表 2-2 所示。E24、E12 和 E6 系列也适用于电位器和电容器。

表 2-2 标称值系列

标称值系列	精度	电阻器(⊗)、电位器(⊙)、电容器标称值(PF)							
E24	±5%	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0
		2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3
		4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E12	±10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	—	
		3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	—	
E6	±20%	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8	8.2	—

表中数值再乘以  $10^n$ ，其中  $n$  为正整数或负整数。

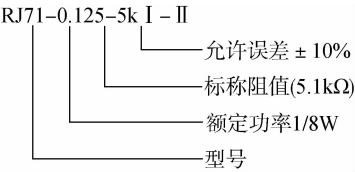
电阻器的标志内容及方法如下。

①文字符号直标法。用阿拉伯数字和文字符号两者有规律的组合来表示标称阻值、额定功率、允许误差等级等。符号前面的数字表示整数阻值，后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值，其文字符号所表示的单位如表 2-3 所示，如 1R5 表示  $1.5\Omega$ ，2k $\Omega$  表示  $2.7k\Omega$ 。

表 2-3 文字符号表示的单位

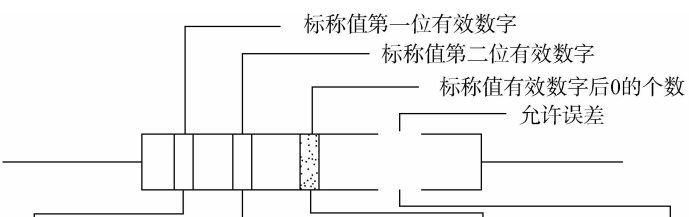
文字符号	R	k	M	G	T
表示单位	欧姆( $\Omega$ )	千欧姆( $10^3\Omega$ )	兆欧姆( $10^6\Omega$ )	千兆欧姆( $10^9\Omega$ )	兆兆欧姆( $10^{12}\Omega$ )

例如：



由标号可知,它是精密金属膜电阻器,额定功率为  $1/8\text{W}$ ,标称阻值为  $5.1\text{k}\Omega$ ,允许误差为  $\pm 10\%$ 。

②色标法。色标法是将电阻器的类别及主要技术参数的数值用颜色(色环或色点)标注在它的外表面上。色标电阻(色环电阻)器可分为三环、四环、五环三种标法。其含义如图 2-5 和图 2-6 所示。



颜色	第一位有效值	第二位有效值	倍率	允许偏差
黑	0	0	$10^0$	
棕	1	1	$10^1$	
红	2	2	$10^2$	
橙	3	3	$10^3$	
黄	4	4	$10^4$	
绿	5	5	$10^5$	
蓝	6	6	$10^6$	
紫	7	7	$10^7$	
灰	8	8	$10^8$	
白	9	9	$10^9$	$-20\%\sim+50\%$
金			$10^{-1}$	$\pm 5\%$
银			$10^{-2}$	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

图 2-5 两位有效数字阻值的色环表示法

三色环电阻器的色环表示标称电阻值(允许误差均为  $\pm 20\%$ )。例如,色环为棕黑红,表示  $10 \times 10^2 = 1.0\text{k}\Omega \pm 20\%$  的电阻器。

四色环电阻器的色环表示标称值(二位有效数字)及精度。例如,色环为棕绿橙金表示  $15 \times 10^3 = 15\text{k}\Omega \pm 5\%$  的电阻器。

五色环电阻器的色环表示标称值(三位有效数字)及精度。例如,色环为红紫绿黄棕表示  $275 \times 10^4 = 2.75\text{M}\Omega \pm 1\%$  的电阻器。

一般四色环和五色环电阻器表示允许误差的色环的特点是该环离其他环的距离较远。较标准的表示应是表示允许误差的色环的宽度是其他色环的  $(1.5 \sim 2)$  倍。

有些色环电阻器由于厂家生产不规范,无法用上面的特征判断,这时只能借助万用表判断。

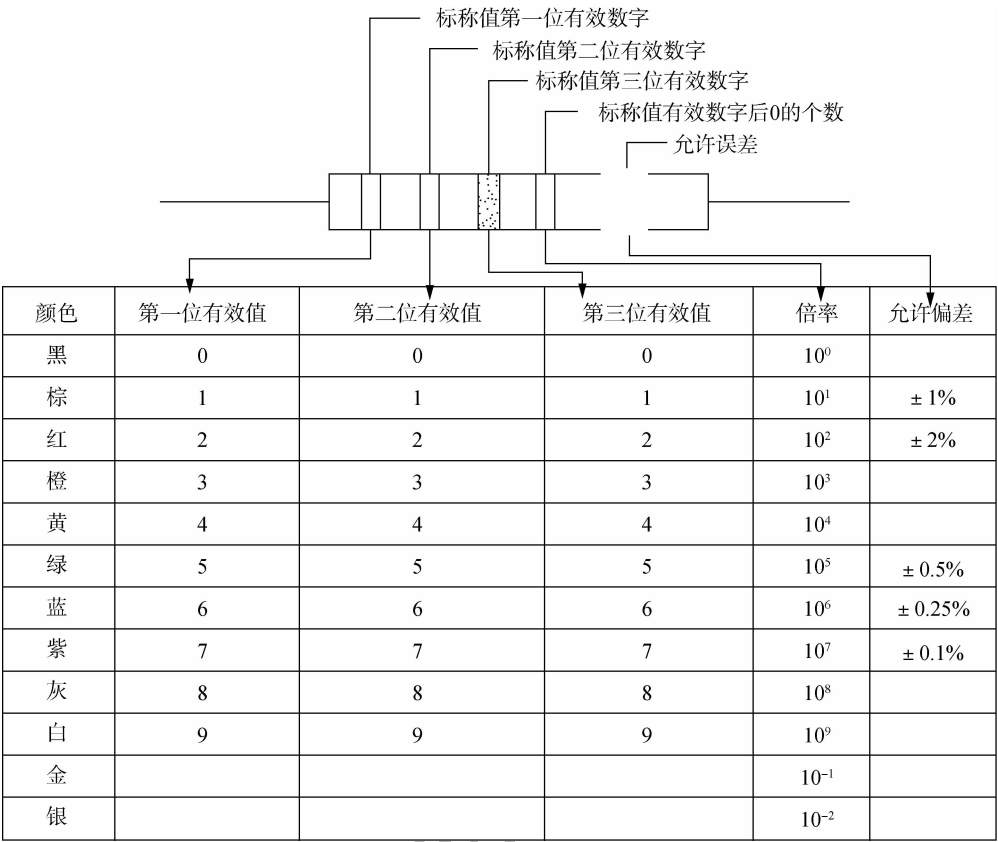


图 2-6 三位有效数字阻值的色环表示法

(2)额定功率

电阻器在电路中长时间连续工作不损坏，或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率称为电阻器的额定功率。电阻器的额定功率并不是电阻器在电路中工作时一定要消耗的功率，而是电阻器在电路工作中所允许消耗的最大功率。不同类型的电阻具有不同系列的额定功率，如表 2-4 所示。

表 2-4 电阻器的额定功率等级

名称	额定功率/W					
实心电阻器	0.25	0.5	1	2	5	“
线绕电阻器	0.525	1	2	6	10	15
薄膜电阻器	0.0252	0.055	0.12510	0.2525	0.550	1

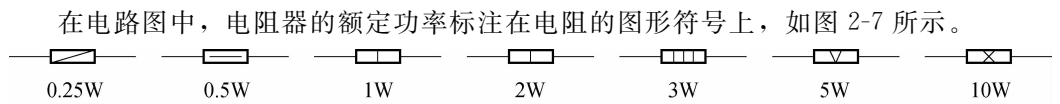


图 2-7 电阻器额定功率的标注

### (3) 允许误差等级

电阻器允许的误差等级如表 2-5 所示。

表 2-5 电阻器的允许误差等级

允许误差/%	$\pm 0.001$	$\pm 0.002$	$\pm 0.005$	$\pm 0.01$	$\pm 0.02$	$\pm 0.05$	$\pm 0.1$
等级符号	E	X	Y	H	U	W	B
允许误差/对	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 20$
等级符号	C	D	F	G	J(I)	K(II)	M(I)

## 2.1.4 特殊电阻器

### 1. 熔断电阻

这种电阻又叫做保险电阻，兼有电阻和熔断器的双重作用：在正常工作状态下它是一个普通的小阻值（一般几欧姆到几十欧姆）电阻，但当电路出现故障、通过熔断电阻器的电流超过该电路的规定电流时，它就会迅速熔断开路。与传统的熔断器和其他保护装置相比，熔断电阻器具有结构简单、使用方便、熔断功率小、熔断时间短等优点，被广泛用于电子产品中。选用熔断电阻要仔细考虑功率和阻值的大小，功率和阻值都不能太大，才能使它起到保护作用。

### 2. 水泥电阻

水泥电阻实际上是封装在陶瓷外壳里、并用水泥填充固化的一种线绕电阻，如图 2-8 所示。水泥电阻内的电阻丝和引脚之间采用压接工艺，如果负载短路，压接点会迅速熔断，起到保护电路的作用。水泥电阻功率大、散热好，具有良好的阻燃、防爆特性和高达  $100\text{M}\Omega$  的绝缘电阻，被广泛使用在开关电源和功率输出电路中。

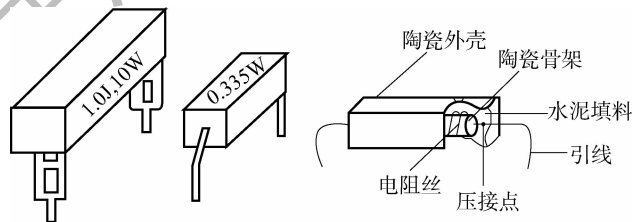


图 2-8 水泥电阻

### 3. 敏感型电阻

使用不同材料及工艺制造的半导体电阻，具有对温度、光通量、湿度、压力、磁通量、气体浓度等非电物理量敏感的性质，这类电阻叫做敏感电阻。通常有热敏、压敏、光敏、湿敏、磁敏、气敏、力敏等不同类型的敏感电阻。利用这些敏感电阻，可以制作用于检测相应物理量的传感器及无触点开关。各类敏感电阻，按其信息传输关



系可分为“缓变型”和“突变型”两种，广泛应用于检测和自动化控制等技术领域。

### 2.1.5 电位器

电位器也叫可调电阻器，其图形符号和外形如图 2-9 所示。电位器有三个引出端：其中两个引出端为固定端，固定端之间的电阻值是固定的；另一个是滑动端（也称中心抽头），滑动端可以在固定端之间的电阻体上做机械运动，使其与固定端之间的电阻发生变化。把输入电压加在两个固定端之间，在滑动端与一个固定端之间就能得到对输入电压的分压，调整滑动端在两个固定端之间的机械位置，就可以改变相应的输出电压，见图 2-9(a)。当滑动端与一个固定端直接连接时，电位器就成为可调电阻器，调整滑动端在两个固定端之间的机械位置，两个固定端之间的电阻也被改变，常用来调节电路中某一支路的电阻值，见图 2-9(b)。可见，因为接入电路的方式不同，才有了电位器和可调电阻器这两种名称。习惯上，把滑动端带有手柄、易于调节的称为电位器，把不带手柄、调节不方便的叫做可调(微调)电阻器。图 2-9 中所示是几种常见电位器的外形。

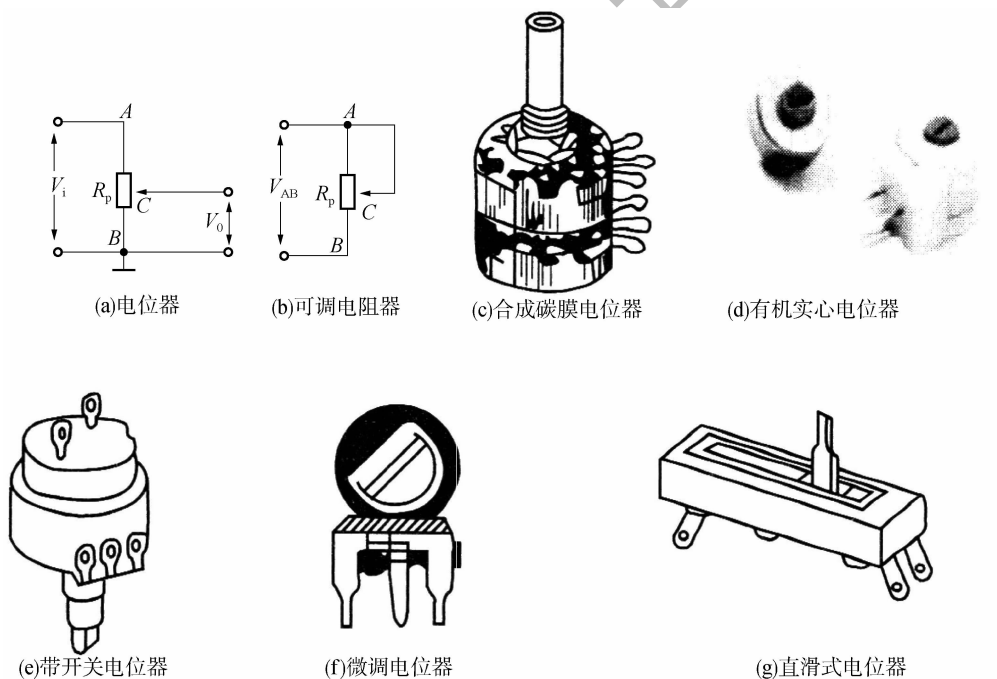


图 2-9 电位器的图形符号及外形

电位器的种类很多，用途各异，可从不同的角度进行分类，介绍电位器的手册也往往是各厂家根据生产的品种而编排的，规格、型号的命名及代号也有所不同。因此，在产品设计中必须根据电路特点及要求，查阅产品手册，了解性能，合理选用。

## (1) 电位器的类别

电位器可按用途、材料、结构特点、阻值变化规律、驱动机构的运动方式等因素进行分类。常见的电位器种类见表 2-6。

表 2-6 接触式电位器分类

分类形式			举例
材料	合金型	线绕	线绕电位器(WX)
		金属箔	金属箔电位器(WB)
	薄膜型		金属膜电位器(WJ)，金属氧化膜电位器(WY)，复合膜电位器(WH)，碳膜电位器(WT)
	合金型	有机	有机实心电位器(WS)
		无机	无机实心电位器，金属玻璃釉电位器(WI)
	导电塑料		直滑式(LP)，旋转式(CP)
用途			普通，精密，微调，功率，专用(高频，高压，耐热)
阻值变化规律	线性		线性电位器(X)
	非线性		对数式(D)，指数式(Z)，正余弦式
结构特点			单圈，多圈，单联，多联，有止挡，无止挡，带推拉开关，带旋转开关，锁紧式
调节方式			旋转式，直滑式

## (3) 电位器的主要技术指标

描述电位器技术指标的参数很多，但一般来说，最主要的几项基本指标有标称阻值、额定功率、滑动噪声、极限电压、阻值变化规律、分辨力等。

①标称阻值。标在产品上的名义阻值，其系列与电阻器的阻值标称系列相同。根据不同的精度等级，实际阻值与标称阻值的允许偏差范围为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ ，精密电位器的精度可达到 $\pm 0.1\%$ 。

②额定功率。电位器的额定功率是指两个固定端之间允许耗散的最大功率。一般点位器的额定功率系列为 0.063、0.125、0.25、0.5、0.75、1、2、3(单位：W)；线绕电位器的额定功率比较大，有 0.5、0.75、1、1.6、3、5、10、16、25、40、63、100(单位：W)。应该特别注意，电位器的固定端附近容易因为电流过大而烧毁，滑动端与固定端之间所能承受的功率要小于电位器的额定功率。

③滑动噪声。当电刷在电阻体上滑动时，电位器中心端与固定端之间的电压出现不规则的起伏，这种现象称为电位器的滑动噪声。它是由材料电阻率分布的不均匀性以及电刷滑动时接触电阻的无规律变化引起的。

④分辨力。对输出量可实现的最精细的调节能力，称为电位器的分辨力。线绕电位器的分辨力较差。

⑤机械零位电阻。当电位器的滑动端处于机械零位时，滑动端与一个固定端之间的电阻应该是零。但由于接触电阻和引出电阻的影响，机械零位的电阻一般不是零。在某些应用场合，必须选择机械零位电阻小的电位器种类。

⑥阻值变化规律。调整电位器的滑动端，其电阻值按照一定规律变化，如图 2-10 所示。常见电位器的阻值变化规律有线性变化(X 型)、指数变化(Z 型)和对数变化(D 型)。根据不同需要，还可制成按照其他函数(如正弦、余弦)规律变化的电位器。

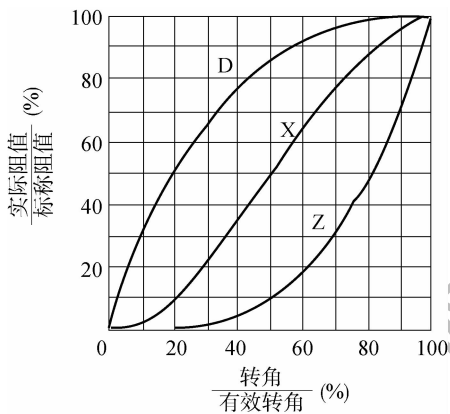


图 2-10 阻值变化规律

⑦启动力矩与转动力矩。启动力矩是指转轴在旋转范围内启动时所需要的最小力矩，转动力矩是指转轴维持匀速旋转时所需要的力矩，这两者相差越小越好。在自控装置中与伺服电机配合使用的电位器，要求启动力矩小，转动灵活；而用于电路调节的电位器，则其启动力矩和转动力矩都不应该太小。

⑧电位器的轴长与轴端结构。电位器的轴长是指从安装基准面到轴端的尺寸。轴长尺寸系列有 6、10、12.5、16、25、30、40、50、63、80(单位：mm)；轴的直径系列有 2、3、4、6、8、10(单位：mm)

常用电位器的轴端结构是根据调节旋钮的要求确定的，有光轴的、开槽的、滚花的、单平面或双平面的等多种形式。电位器的轴长与轴端结构如图 2-11 所示。

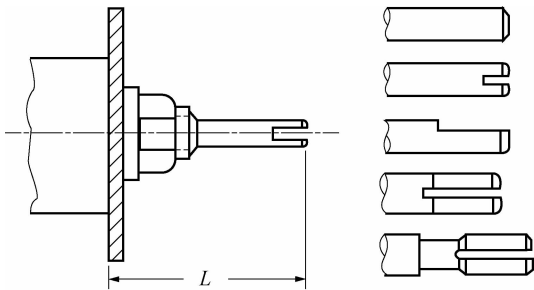


图 2-11 电位器的轴长与轴端结构

### (3) 几种常用电位器

#### ① 线绕电位器(型号: WX)。

• 结构: 用合金电阻线在绝缘骨架上绕制成电阻体, 中心抽头的簧片在电阻丝上滑动。可制成精度达 $\pm 0.1\%$ 的精密线绕电位器和额定功率达 100W 的大功率线绕电位器。线绕电位器有单圈、多圈、多联等几种结构。

• 特点: 根据用途, 可制成普通型、精密型、微调型线绕电位器; 根据阻值变化规律, 有线性 and 非线性(例如对数或指数函数)两种。线性电位器的精度易于控制, 稳定性好, 电阻的温度系数小, 噪声小, 耐压高, 但阻值范围较窄, 一般在几欧到几十千欧之间。

#### ② 合成碳膜电位器(型号: WTH)。

• 结构: 在绝缘基体上涂覆一层合成碳膜, 经加温聚合后形成碳膜片, 再与其他零件组合而成, 其外观如图 2-9(c) 所示。阻值变化规律有线性 and 非线性两种, 轴端结构分为带锁紧与不带锁紧两种。

• 特点: 这类电位器的阻值变化连续, 分辨力高, 阻值范围宽  $100\Omega \sim 5M\Omega$ ; 对温度和湿度的适应性较差, 使用寿命较短。但由于成本低, 因而广泛用于收音机、电视机等消费电子产品。额定功率有 0.125、0.5、1、2(W) 等, 精度一般为 $\pm 20\%$ 。

#### ③ 有机实心电位器(型号: WS)。

• 结构: 由导电材料与有机填料、热固性树脂配制成电阻粉, 经过热压, 在基座上形成实心电阻体, 其外形如图 1-1. 9(d) 所示。轴端尺寸与形状分为多种规格, 有带锁紧和不带锁紧两种。

• 特点: 这类电位器的优点是结构简单、耐高温、体积小、寿命长、可靠性高; 缺点是耐压稍低、噪声较大、转动力矩大。有机实心电位器多用于对可靠性要求较高的电子仪器中。阻值范围是  $47\Omega \sim 4.7M\Omega$ , 功率多在 0.25~2W 之间, 精度有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$  几种。

④ 多圈电位器。多圈电位器属于精密电位器, 调整阻值需使转轴旋转多圈(旋转角) $360^\circ$ , 可多达 40 圈, 因而精度高。当阻值需要在大范围内进行微量调整时, 可选用多圈电位器。多圈电位器的种类也很多, 有线绕型、块金属膜型、有机实心型等; 调节方式也可分成螺旋(指针)式、螺杆式等不同形式。

⑤ 导电塑料电位器。导电塑料电位器的电阻体由炭黑、石墨、超细金属粉与邻苯二甲酸、二烯丙酯塑料和胶黏剂塑压而成。这种电位器的耐磨性好, 接触可靠, 分辨力强, 其寿命可达线绕电位器的一百倍, 但耐潮性较差。

除了上述各种接触式电位器以外, 还有非接触式(如光敏、磁敏)电位器和数字电位器。非接触式电位器没有电刷与电阻体之间的机械性接触, 因此克服了接触电阻不稳定、滑动噪声及断线等缺陷。数字电位器实际是数字控制的模拟开关加上一组电阻器构成的功能电路, 外观看起来就是一片集成电路, 其特性和应用方式与其他集成电路相同。

(4)电位器的合理选用及质量判别

①电位器的合理选用。电位器的规格品种很多，在选用时，不仅要根据具体电路的使用条件(电阻值及功率要求)来确定，还要考虑调节、操作和成本方面的要求。下面是针对不同用途推荐电位器选用类型，参见表 2-7。

- 普通电子仪器：合成碳膜或有机实心电位器；
- 大功率低频电路、高温情况：线绕或金属玻璃釉电位器；
- 高精度：线绕、导电塑料或精密合成碳膜电位器；
- 高分辨力各类非线绕电位器或多圈式微调电位器；
- 高频、高稳定性：薄膜电位器；
- 调节后不需再动：轴端锁紧式电位器；
- 多个电路同步调节：多联电位器；
- 精密、微量调节：带慢轴调节机构的微调电位器；
- 要求电压均匀变化：直线式电位器；
- 音量控制电位器：指数式电位器。

表 2-7 各类电位器性能比较

性能	线绕	块金属膜	合成实心	合成碳膜	金属玻璃釉	导电塑料	金属膜
阻值范围/ $\Omega$	4.7~5.6k	2~5k	100~4.7M	470~4.7M	100~100M	50~100M	100~100k
线性精度/ $\pm\%$	$>0.1$	—	—	$>0.2$	$<10$	$>0.05$	—
额定功率/w	0.5~100	0.5	0.25~2	0.25~2	0.25~2	0.5~2	—
分辨力	中~良	极优	良	优	优	极优	优
滑动噪声	—	—	中	低~中	中	低	中
零位电阻	低	低	中	中	中	中	中
耐潮性	良	良	差	差	优	差	优
耐磨寿命	良	良	优	良	优	优	良
负荷寿命	优良	优良	良	良	优良	良	优

②电位器的质量判别

- 用万用表欧姆挡测量电位器的两个固定端的电阻，并与标称值核对阻值。如果万用表指示的阻值比标称值大得多，表明电位器已坏；如指示的数值跳动，表明电位器内部接触不好。
- 测量滑动端与固定端的阻值变化情况。移动滑动端，如阻值从最小到最大之间连续变化，而且最小值越小，最大值越接近标称值，说明电位器质量较好；如阻值间断或不连续，说明电位器滑动端接触不良，则不能选用。
- 用“电位器动噪声测量仪”判别质量好坏。

(5)安装使用电位器的注意事项

- ①焊接前要对焊点做好镀锡处理，去除焊点上的漆皮与污垢；焊接时间要适宜，

不得加热过长，避免引线周围的壳体软化变形。

②有些电位器的端面上备有防止壳体转动的定位柱，安装时要注意检查定位柱是否正确装入安装面板上的定位孔里，避免壳体变形；用螺钉固定的矩形微调电位器，螺钉不可压得过紧，避免破坏电位器的内部结构。

③安装在电位器轴端的旋钮不要过大，应与电位器的尺寸相匹配，避免调节转动力矩过大而破坏电位器内部的停止挡。

④插针式引线的电位器，为防止引线折断，不得用力弯曲或扭动引线。

## 2.1.6 实训：电阻器的识别(数字万用表的使用)

### 1. 实训目的

- ①熟悉电阻器的基本特性；
- ②学会数字万用表的使用方法；
- ③掌握电阻器的识别与判别技能。

### 2. 实训设备与器材准备

- ①DT9205A 数字万用表，1 块；
- ②收音机电路散件，1 套；
- ③各类电阻与电位器等，若干。

### 3. 实训主要设备简介

DT9205A 数字万用表面板如图 2-12 所示。

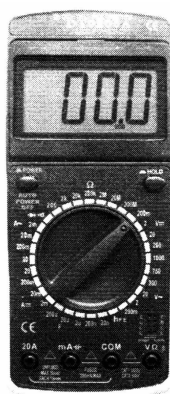


图 2-12 DT9205A 数字万用表面板

①插孔的选择。数字万用表一般有四个表笔插孔，测量时黑表笔插入 COM 插孔，红表笔则根据测量需要，插入相应的插孔。测量电压和电阻时，应插入 V、 $\Omega$  插孔；测量电流时注意有两个电流插孔，一个是测量小电流的，一个是测量大电流的，应根据被测电流的大小选择合适的插孔。

②测量量程的选择。根据被测量选择合适的量程范围，测直流电压置于 DCV 量程，交流电压置于 ACV 量程，直流电流置于 DCA 量程，交流电流置于 ACA 量程，电阻置于  $\Omega$  量程。

• 当数字万用表仅在最高位显示“1”或“-1”时，说明已超过量程，须调整量程。

• 用数字万用表测量电压时，应注意它能够测量的最高电压(交流有效值)，以免损坏万用表的内部电路。

• 测量未知电压、电流时，应将功能转换开关先置于高量程挡，然后再逐步调低，

直到合适的挡位。

- 测量交流信号时，被测信号波形应是正弦波，频率不能超过仪表的规定值，否则将引起较大的测量误差。

- 测量  $10\Omega$  以下的小电阻时，必须先短接两表笔测出表笔及连线的电阻，然后再测量中减去这一数值，否则误差较大。

③与模拟表不同，数字万用表红表笔接内部电池的正极，黑表笔接内部电池的负极。测量二极管时，将功能开关置于“ $\rightarrow$ ”挡，这时的显示值为二极管的正向压降，单位为 V。若二极管接反，则显示为“1”。

④测量晶体管的  $1FE$  时，由于工作电压仅为 2.8V，测量的只是一个近似值。

⑤测量完毕，应立即关闭电源；若长期不用，则应取出电池，以免漏电。

#### 4. 实训步骤与报告

##### ①电阻器的直观识别

- 将收音机散件中的电阻器筛选出来。
- 将筛选出来的各类电阻器的标称阻碍值、允许偏差、额定功率、标注方式、种类以及数量等进行识别。

- 做好记录。

##### ②固定电阻器的单独测量

- 将数字万用表置于“n”挡，确定好量程。
- 对单个电阻器进行实际测量。
- 将所测结果与标称值进行比较，只要在偏差范围内，即为合格电阻器。

##### ③电位器的质量判别

- 将数字万用表置于“n”挡，确定好量程。
- 首先测量固定引脚的电阻值，在偏差范围内应符合标称值的要求。
- 然后将一只表笔接于滑动引脚上，转动电位器，测量其可能范围，正常时应在“0~标称阻值”之间平稳地变化。

##### ④敏感电阻器的质量判别

- 将数字万用表置于“n”挡，确定好量程。
- 将数字万用表两表笔接触敏感电阻两脚进行测量。
- 对敏感电阻器加入相应的敏感条件(比如，热敏电阻→加热；光敏电阻→用光照射；压敏电阻→加压等)。
- 观察数字万用表数值，若变化不大，则质量不好。

## 2.2 电容器

### 2.2.1 电容器的构成及作用

电容器在各类电子线路中是一种必不可少的重要元件。它的基本结构是用一层绝缘材料(介质)间隔的两片导体。电容器是储能元件,当两端加上电压以后,极板间的电介质即处于电场之中。电介质在电场的作用下,原来的电中性能继续维持,其内部也形成电场,这种现象叫做电介质的极化。在极化状态下的介质两边,可以储存一定量的电荷,储存电荷的能力用电容量表示。电容量的基本单位是法拉(F),常用单位是微法( $\mu\text{F}$ )和皮法(pF)。

$$1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF}$$

电容器是储存电能的元件。在电路中可用于滤波、耦合、调谐、交流旁路和能量转换等。

### 2.2.2 电容器的型号命名方法

电容器型号命名法如表 2-8 所示。

示例如下:

表 2-8 电容器型号命名法

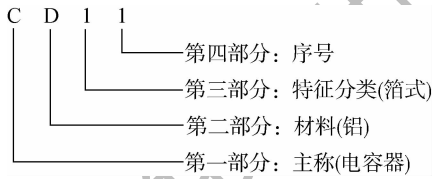
第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征、分类						第四部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义					
					瓷介	云母	玻璃	电解	其他	
C	电容器	C	瓷介	1	圆片	非密封	—	箔式	非密封	对主称、材料相同，仅尺寸、性能指标略有不同，但基本不影响相互使用的产品，给予同一序号；
		Y	云母	2	管形	非密封	—	箔式	非密封	
		I	玻璃釉	3	迭片	密封	—	烧结粉固体	密封	
		O	玻璃膜	4	独石	密封	—	烧结粉固体	密封	
		Z	纸介	5	穿心	—	—	—	穿心	
		J	金属化纸	6	支柱	—	—	—	—	
		B	聚苯乙稀	7	—	—	—	无极性	—	
		L	涤纶	8	高压	高压	—	—	高压	
		Q	漆膜	9	—	—	—	特殊	特殊	



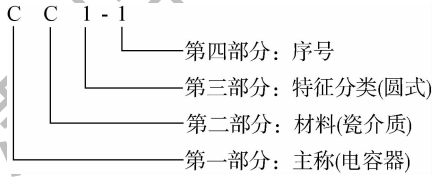
续表

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征、分类						第四部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义					
					瓷介	云母	玻璃	电解	其他	
C	电 容 器	S	聚碳酸酯	J	金属膜					若尺寸性能指标的差别明显；影响互换使用时，则在序号后用大写字母作为区别代号
		H	复合介质	W	微调					
		D	铝							
		A	钽							
		N	铌							
		G	合金							
		T	钛							
		E	其他							

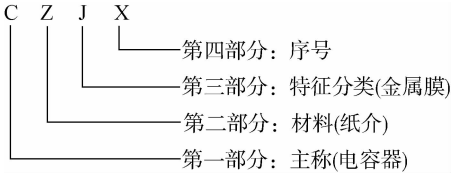
(1) 铝电解电容器



(2) 圆片形瓷介电容器



(3) 纸介金属膜电容器



2.2.3 电容器的主要参数及标注方法

1. 电容器的主要参数

①电容器的耐压。常用固定式电容的直流工作电压系列为：6.3V、10V、16V、25V、40V、63V、100V、160V、250V、400V。

②电容器允许误差等级。常见的有七个等级如表 2-9 所示。

表 2-9 电容器允许误差及等级

允许误差	±1%	±5%	±10%	±20%	±2.0%~3%	±50%~20%	±100%~10%
级别	0.2	I	II	III	IV	V	VI

③标称电容量。如表 2-10 所示。

表 2-10 固定式电容器标称容量系列和允许误差

系列代号	E24	E12	E6
允许误差	±5%(I或J)	±10%(K)	±20%(M)
标称容量对应值	10、11、12、13、15、16、18、 20、22、24、27、30、33、36、 39、43、47、51、56、62、68、 75、82、90	10、12、15、18、 22、27、33、39、 47、56、68、82	10、15、22、23、 47、68

注：标称电容量为表中数值或表中数值再乘以  $10^n$ ，其中  $n$  为正整数或负整数，单位为 pF。

④电容器的损耗角。电容器介质的绝缘性能取决于材料及厚度，绝缘电阻越大，漏电流越小。漏电流将使电容器消耗一定电能，这种消耗称为电容器的介质损耗(属于有功功率)，如图 2-13 所示。图中  $\delta$  角是由于介质损耗而引起的电流相移角度，叫做电容器的损耗角。

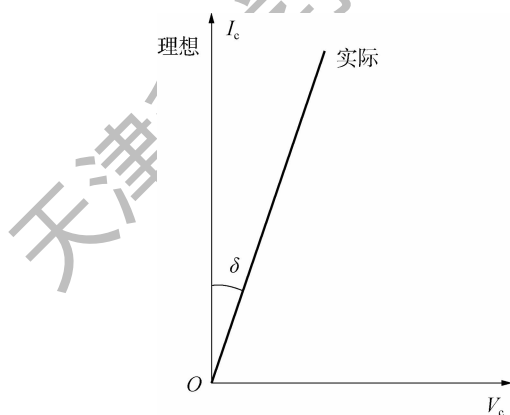


图 2-13 电容器的介质损耗

## 2. 电容器的标注方法

①直标法。在电容器上直接标出其电容值，如图 2-14(a)所示。

容量单位：法拉(F)、微法( $\mu\text{F}$ )、纳法(nF)、皮法或微微法(pF)。

$$1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF},$$

$$1\mu\text{F}=10^3\text{nF}=10^6\text{pF},$$

$$1\text{nF}=10^3\text{pF}$$

例如：4n7 表示 4.7nF 或 4700pF，0.22 表示 0.22pF，51 表示 51pF。

有时用大于 1 的两位以上的数字表示单位为 pF 的电容，例如 101 表示 100pF；用小于 1 的数字表示单位为 pF 的电容，例如 0.1 表示 0.1μF。

②文字符号表示法。将电容器主要参数用文字符号和数字有规律的组合来表示的方法。如图 2-14(b)所示。标称值中常用符号有 F、m、μ、p 等，最常用的是“μ”和“n”。

③数码表示法。一般用三位数字来表示容量的大小，单位为 pF。如图 2-14(c)所示。前两位为有效数字，后一位表示位率。即乘以  $10^i$ ， $i$  为第三位数字，若第三位数字 9，则乘  $10^{-1}$ 。如 223J 代表  $22 \times 10^3 \text{pF} = 2200\text{pF} = 0.22\mu\text{F}$ ，允许误差为  $\pm 5\%$ ；又如 479k 代表  $47 \times 10^{-1} \text{pF}$ ，允许误差为  $\pm 5\%$  的电容。这种表示方法最为常见。

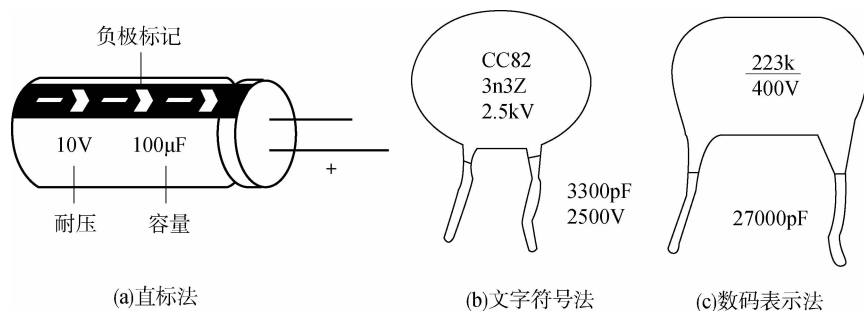


图 2-14 电容器的标注

④色码表示法。这种表示法与电阻器的色环表示法类似，颜色涂于电容器的一端或从顶端向引线排列。色码一般只有三种颜色，前两环为有效数字，第三环为位率，单位为 pF。有时色环较宽，如红红橙，两个红色环涂成一个宽的，表示 22000pF。

## 2.2.4 电容器的种类及性能特点

### (1) 按结构分类

可分为：固定电容器，其电容量不可调；半可变电容器(微调电容器)，其电容量可在十几至几十皮法(pF)的小范围内变化；可变电容器，其电容量在一定范围内连续变化，有“单联”和“双联”之分。

### (2) 按介质材料分类

可分为：电解电容器、有机介质电容器、无机介质电容器和空气介质电容器。

①电解电容器。以铝、钽、铌等金属氧化物作其介质，应用最广的是铝电解电容器。电解电容器容量大，耐压高(500V 以下)，但有正、负极性之分(外壳为负端，另一接线端为正端)，使用时不能接反。

②有机介质电容器。其中包括纸介电容器和有机薄膜电容器。纸介电容器的结构简单、价廉，容量一般为 100pF~10μF，但介质损耗大，稳定性不高；有机薄膜电容

器较纸介电容器体积小, 损耗小, 稳定性好, 但温度系数大。

③无机介质电容器。其中包括云母、瓷介和玻璃釉电容。云母电容一般为几十至几万皮法, 高频性能稳定, 耐压高(几百至几千伏); 瓷介电容体积小, 损耗小, 耐压低(一般  $60\sim 70\text{V}$ ), 容量小(一般  $1\sim 1000\text{pF}$ ); 玻璃釉电容, 容量为  $4.7\text{pF}\sim 4\mu\text{F}$ , 可用到  $125^\circ\text{C}$  高温。

④空气介质电容器。有些可变电容器采用空气作介质。

## 2.2.5 可变电容器

### 1. 常见可变电容器实物与结构特点

常见可变电容器的实物如图 2-15 所示。其结构特点如下。

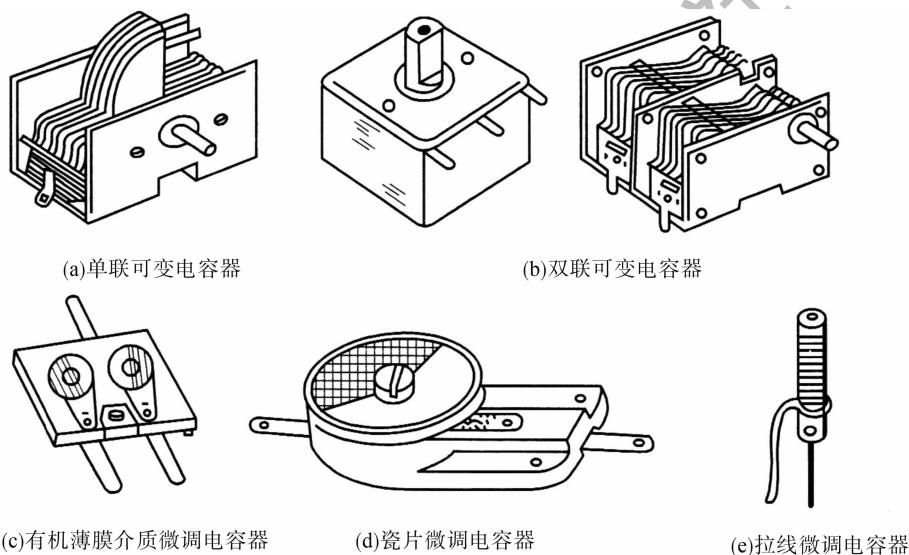


图 2-15 常见对变电容器实物图

①单联可变电容器。是由一组动片和一组定片以及旋轴等组成, 可用空气或薄膜作介质。

当转动旋轴时, 就改变了动片和定片的相对位置, 即可调整容量; 当动片组全部旋出时, 电容量最小。一般可变容量在  $7\sim 270\text{pF}$  之间

②双联可变电容器。由两组动片和两组定片以及转轴等组成。双联电容器的动片安装在同一根转轴上, 当旋动转轴时, 双联动片组同步转动(转动角度相同)。

如果两联最大电容量相同, 称等容双联, 容量一般为  $2\times 270\text{pF}$ 、 $2\times 365\text{pF}$  等, 如果两联容量不相同, 称差容双联, 容量一般为  $60/170\text{pF}$ 、 $250/290\text{pF}$  等。

③微调电容器。容量最小, 调整范围也小。其最小/最大容量一般为  $5/20\text{pF}$ 、 $7/30\text{pF}$  等。

## 2. 常用可变电容器电路符号

常用可变电容器的电路符号如图 2-16 所示。

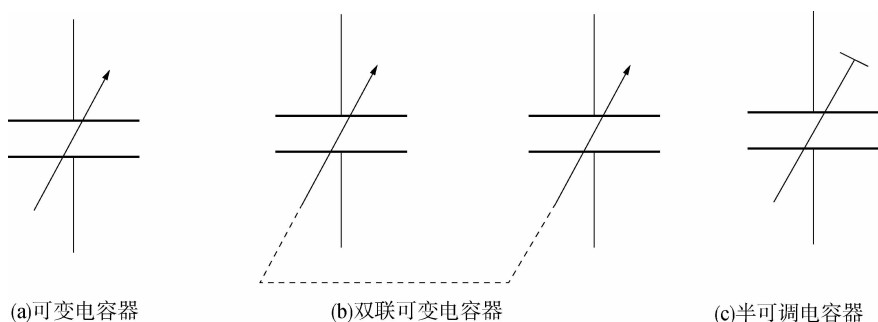


图 2-16 常用可变电容器的电路符号

### 2.2.6 电容器的合理选用

电容器的种类繁多，性能指标各异，合理选用电容器对于产品设计十分重要。所谓合理选用，就是要在满足电路要求的前提下综合考虑体积、重量、成本、可靠性等各方面的因素。为了合理选用电容器，应该广泛收集产品目录，及时掌握市场信息，熟悉各类电容器的性能特点；了解电路的使用条件和要求以及每个电容器在电路中的作用，如耐压、频率、容量、允许偏差、介质损耗、工作环境、体积、价格等因素。

一般，电路各级之间耦合多选用金属化纸介电容器或涤纶电容器；电源滤波和低频旁路宜选用铝电解电容器；高频电路和要求电容量稳定的地方应该用高频瓷介电容器、云母电容器或钽电解电容器；如果在使用中要求电容量做经常性调整，可选用可变电容器；如不需要经常调整，可使用微调电容器。

在具体选用电容器时，还应该注意如下问题。

#### (1) 电容器的额定电压

不同类型的电容器有不同的额定电压系列，所选电容器的耐压应该符合标准系列，一般应该高于电容器两端实际电压的 1.5~2 倍。不论选用何种电容器，都不得使其额定电压低于电路实际工作电压的峰值，否则电容器将会被击穿。因此，必须仔细分析电容器所加电压的性质。一般，电路的工作电压是按照电压的有效值读数的，往往会忽略电压的峰值可能超过电容器的额定电压的情况。因此，在选择电容器的额定电压时，必须留有充分的裕量。

但是，选用电容器的耐压也不是越高越好，耐压高的电容器体积大、价格高。不仅如此，由于液体电解质的电解电容器自身结构的特点，一般应使电路的实际电压相当于所选额定电压的 50%~70%，才能充分发挥电解电容器的作用。如果实际工作电压低于其额定电压的一半，让高耐压的电解电容器在低电压的电路中长期工作，反而容易使它的电容量逐渐减小、损耗增大，导致工作状态变差。

### (2) 标称容量及精度等级

各类电容器均有其容量标称值系列及精度等级。电容器在电路中的作用各不相同,某些特殊场合(如定时电路)要求一定的容量精度,而在更多场合,容量偏差可以很大,例如,在电路中用于耦合或旁路,电容量相差几倍往往都没有很大关系。在制造电容器时,控制容量比较困难,不同精度的电容器,价格相差很大。所以,在确定电容器的容量精度时,应该仔细考虑电路的要求,不要盲目追求电容器的精度等级。

### (3) 对 $\text{tg}\delta$ 值的选择

介质材料的区别使电容器的  $\text{tg}\delta$  值相差很大。在高频电路或对信号相位要求严格的电路中,  $\text{tg}\delta$  值对电路性能的影响很大,直接关系到整机的技术指标,所以应该选择  $\text{tg}\delta$  值较小的电容器。

### (4) 电容器的体积和比率电容

在产品设计中,一般都希望体积小、重量轻,特别是在密度较高的电路中,更要选用小型电容器。由于介质材料不同,电容器的体积往往相差几倍或几十倍。

单位体积的电容量称为电容器的比率电容,即

$$\text{比率电容} = \frac{\text{电容量}}{\text{电容器体积}} (\text{F}/\text{m}^3)。$$

比率电容越大,电容器的体积越小,价格也更贵一些。

### (5) 成本

由于各类电容器的生产工艺相差很大,因此价格也相差很大。在满足产品技术要求的情况下,应该尽量选用价格低廉的电容器,以便降低产品成本。

## 2.2.7 实训：电容器的识别与测量(指针式万用表的使用)

### 1. 实训目的

- ①熟悉电容器的基本特性;
- ②学会 MF47 型指针万用表的使用方法;
- ③学会 DT9205A 型数字万用表电容挡的使用方法;
- ④掌握各类电容器的识别与判别技能。

### 2. 实训设备与器材准备

- ①MF47 型指针万用表, 1 块;
- ②DT9205A 型数字万用表, 1 块;
- ③某彩电电路板, 1 块;
- ④各类固定电容器与可变电容器, 若干。

### 3. 实训主要设备简介

MF47 型指针万用表面板如图 2-17 所示。

### 4. 实训步骤与报告

- ①电容器的直观识别。

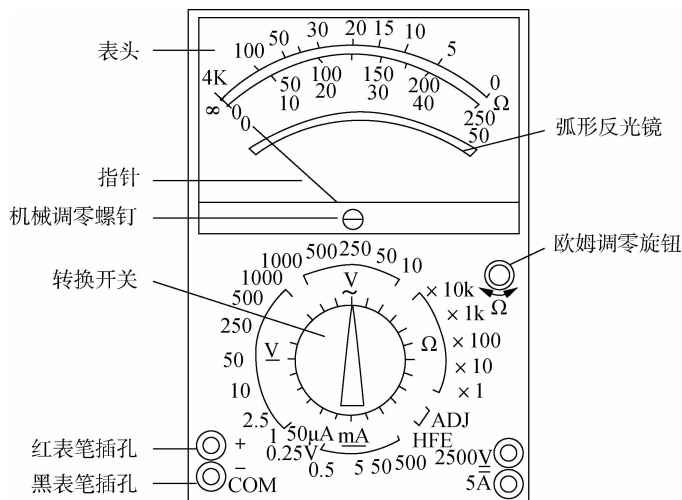


图 2-17 MF47 型指针万用表面板

- 准备一块电路整机板，比如彩电电路板。
- 在整机板上对各类电容器的标称阻值、允许偏差、耐压、标注方式、种类以及数量等进行识别。
- 做好记录。

#### ② 电容器的容量测试。

- 将 DT9205A 型数字万用表置于所需电容挡量程。
- 对单个的各类电容器的容量进行实际测试。
- 将所测结果与标称容量进行比较，若在允许偏差内，则为合格元件。

#### ③ 5000pF 以上无极性的电容器检测。

- 利用 MF47 型万用表电阻挡 RX10k $\Omega$  或 RX1k $\Omega$  挡测量电容两端，表头指针应先摆动一定角度后返回(1)(由于万用表精度所限，该类电容器指针最后都应指向无穷大)。
- 若指针没有任何变动，则说明电容器已开路；若指针最后不能返回 $\infty$ ，则说明电容器漏电较严重；若为 0 $\Omega$ ，则说明电容器已击穿。

• 电容器容量越大，指针摆动幅度就越大。可以根据指针摆动最大幅度值来判断电容器容量的大小，以确定电容器容量是否减小了。测量时必须记录好测量不同容量的电容器时万用表指针摆动的最大幅度，才能做出准确判断。若因容量太小看不清指针的摆动，则可调转电容两极再测一次，这次指针摆动幅度会更大。

#### ④ 5000pF 以下无极性电容器的检测。

- 用 MF47 型万用表 RX10K $\Omega$  挡测量，指针应一直指到若指针指向无穷大则只能说明电容器没有漏电，是否有容量却无法确定。

- 利用 DT9205A 型数字万用表测量其容量，若容量正常，则该电容器为合格元件。

#### ⑤ 电解电容器的检测。

- 利用 MF47 型万用表黑表笔接电容器正极，红表笔电容器负极。
- 万用表指针摆动一定幅度后返回 $\infty$ ，但并不是所有的电容器都会使万用表指针

返回至 $\infty$ ，有些会慢慢地稳定在某一位置上。

• 读出该位置阻值，即为电容器漏电电阻，漏电电阻越大，其绝缘性越高。一般情况下，电解电容器的漏电电阻大于  $500\text{k}\Omega$  时，性能较好，在  $200\sim 500\text{k}\Omega$  时电容器性能一般，而小于  $200\text{k}\Omega$  时漏电较严重。

#### ⑥ 可变电容器的检测。

• 首先观察可变电容动片和定片有无松动。  
• 然后再用万用表最高电阻挡测量动片和定片的引脚电阻，并且调整电容器的转轴。  
• 若发现旋转到某些位置时指针发生偏转，甚至指向 $\infty$ 时，说明电容器有漏电或碰片情况。

• 电容器旋动不灵活或动片不能完全旋入或旋出，都必须修理或更换。对于四联可调电容器，必须对四组可调电容分别测量。

#### ⑦ 电容器的识别与判别实训报告

实训项目	实训器材	实训步骤
(1)		①②③
(2)		①②③
心得体会		
教师评语		

### 5. 实训注意事项

① 利用 MF47 型指针式万用表电阻挡测量电容器时，插入“+”插孔的红表笔是负极，因它接表内电池的负端；插入 COM 插孔的黑表笔是正极，因它接表内电池的正端。

② 电容器常见故障有开路，短路，漏电或容量减小等现象。

③ 每测量一次电容器前都必须先对电容器放电后测量(无极性电容器也一样)。

④ 测量电解电容器时一般选用  $R\times 10\text{k}\Omega$  或  $R\times 1\text{k}\Omega$  挡，但  $47\mu\text{F}$  以上的电容器一般不再用  $R\times 10\text{k}\Omega$  挡。

⑤ 选用电阻挡时要注意万用表内电池(一般最高电阻挡使用  $6\sim 22.5\text{V}$  的电池，其余的使用  $1.5\text{V}$  或  $3\text{V}$  电池)，不应高于电容器额定直流工作电压，否则测量出来结果是不准确的。

⑥ 当电容器容量大于  $470\mu\text{F}$  时，可先用  $R\times 1\Omega$  挡测量，电容器充满电后(指针指向 $\infty$ 处)再调置  $R\times 1\text{k}\Omega$  挡，待指针再次稳定后，就可以读出其漏电电阻值，这样可大大缩短电容器的充电时间。



## 2.3 电感和变压器

### 2.3.1 电感的作用及结构

电子产品中除了需要电阻、电容之外，电感也是必不可少的基本元件之一。电感器又称电感线圈，是利用自感作用的元件，电感器在电路中的符号见图 2-18，用  $L$  表示，电感器在使用中常用的单位有：亨[利](H)、毫亨(mH)、微亨( $\mu\text{H}$ )等，其换算关系为： $1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$ 。实际中常用的是微亨( $\mu\text{H}$ )这个单位。

电感在电路中起调谐、振荡、滤波、阻波、延迟、补偿等作用。变压器实质上也是电感器，它是利用多个电感线圈产生互感作用的元件，在电路常起到变压、耦合、匹配、选频等作用。

电感器一般由骨架、绕组、屏蔽罩、封装材料、磁芯或铁芯等组成。

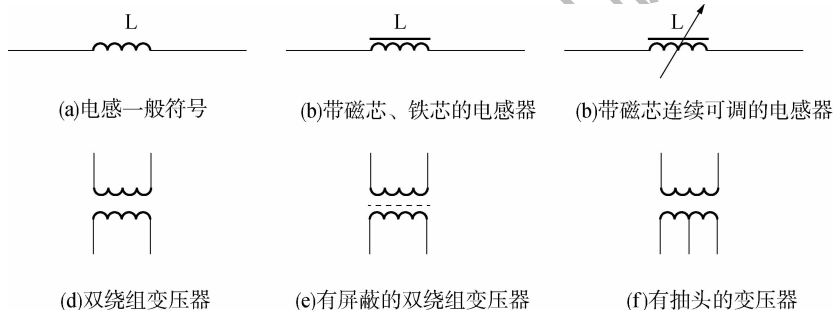


图 2-18 常见电感器符号

#### (1) 骨架

骨架泛指绕制线圈的支架。一些体积较大的固定式电感器或可调式电感器(如振荡线圈、阻流圈等)，大多数是将漆包线(或纱包线)环绕在骨架上，再将磁芯、铜芯或铁芯等装入骨架的内腔，以提高其电感量。

骨架通常采用塑料、胶木、陶瓷制成，根据实际需要可以制成不同的形状。

#### (2) 绕组

绕组是指具有规定功能的一组线圈，它是电感器的基本组成部分。

绕组有单层和多层之分，单层绕组又有密绕(绕制时导线一圈挨一圈)和间绕(绕制时每圈导线之间均隔一定的距离)两种形式；多层绕组有分层平绕、乱绕、蜂房式绕法等多种方式。

磁芯与磁棒磁芯与磁棒一般采用镍锌铁氧体(NX 系列)或锰锌铁氧体(MX 系列)等材料，它有“工”字形、柱形、帽形、“E”形、罐形等多种形状。

#### (3) 铁芯

铁芯材料主要有硅钢片、坡莫合金等，其外形多为“E”形。

屏蔽罩为避免有些电感器在工作时产生的磁场影响其他电路及元器件正常工作，就为其增加了金属屏蔽罩(例如，半导体收音机的振荡线圈等)。采用屏蔽罩的电感器，会增加线圈的损耗，使  $Q$  值( $Q=X_L/R=X_C/R=\omega L/R=\omega/RC$ )降低。

封装材料有些电感器(如色码电感器、色环电感器等)绕制好后，用封装材料将线圈和磁芯等密封起来。封装材料采用塑料或环氧树脂等。

常见的线圈类电感实物如图 2-19 所示。

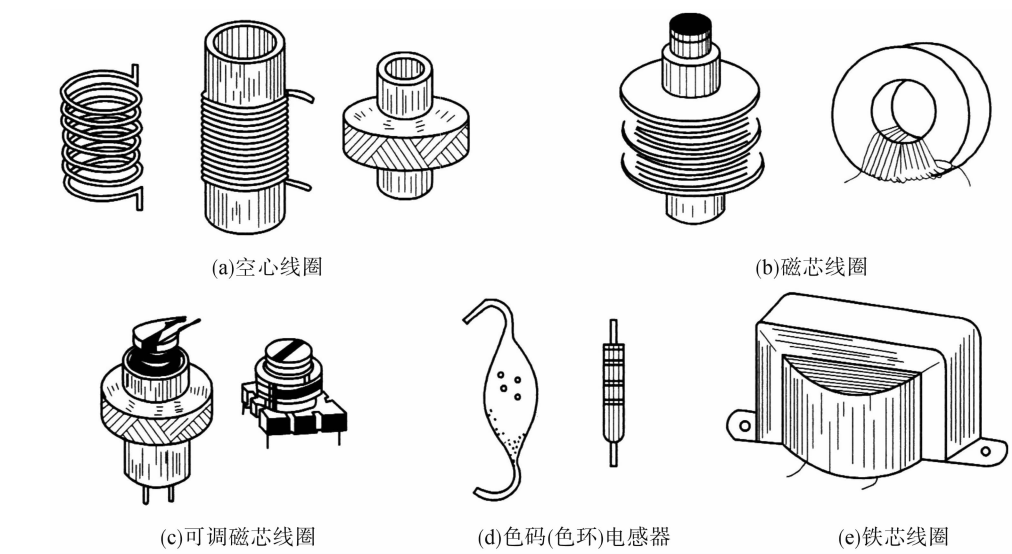


图 2-19 常见线圈类电感实物图

### 2.3.2 电感器的型号命名方法

电感器的型号命名由三部分组成，各部分的含义见表 2-11。

表 2-11 电感器的型号命名及含义

第一部分 <sup>①</sup> ：主称		第二部分 <sup>②</sup> ：电感量			第三部分 <sup>③</sup> ：误差范围	
字母	含义	数字与字母	数字	含义	字母	含义
L 或 PL	电感线圈	2R2	2.2	$2.2\mu\text{H}$	J	$\pm 5\%$
		100	10	$10\mu\text{H}$	K	$\pm 10\%$
		101	100	$100\mu\text{H}$		
		102	1000	1mH	M	$\pm 20\%$
		103	10000	10mH		

①第一部分用字母表示主称为电感线圈。

②第二部分用字母与数字混合或数字来表示电感量。

③第三部分用字母表示误差范围。

### 2.3.3 电感器的主要参数及标注方法

(1) 电感器的主要技术指标

① 电感量。在没有非线性导磁物质存在的条件下，一个载流线圈的磁通量与线圈中的电流成正比，其比例常数称为自感系数，用  $L$  表示，简称为电感。即

$$L = \frac{\varphi}{I}$$

式中， $\varphi$  为磁通量； $I$  电流强度。

② 固有电容。线圈各层、各匝之间、绕组与底板之间都存在着分布电容。统称为电感器的固有电容。

③ 品质因数。电感线圈的品质因数定义为

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

式中， $\omega$  为工作角频率； $L$  为线圈电感量； $R$  为线圈的总损耗电阻。

④ 额定电流。线圈中允许通过的最大电流。

⑤ 线圈的损耗电阻。线圈的直流损耗电阻。

(2) 电感器电感量的标志方法

① 直标法。单位为亨利(H)、毫亨(mH)、微亨( $\mu$ H)。

② 数码表示法，方法与电容器的表示方法相同。

③ 色码表示法。这种表示法也与电阻器的色标法相似，色码一般有四种颜色，前两种颜色为有效数字，第三种颜色为倍率，单位为  $\mu$ H，第四种颜色是误差位。

### 2.3.4 电感器的种类及性能特点

常用的电感器有固定电感器、微调电感器、色码电感器等；变压器、阻流圈、振荡线圈、偏转线圈、天线线圈、中周、继电器以及延迟线和磁头等，都属电感器种类。

常见线圈类电感器的特点如下。

(1) 固定电感器

在铁氧体上绕制线圈而构成，特点是体积小。电感量范围大、Q 值高，常用直标法或色环表示法把电感量标在电感器上，主要在滤波、陷波、扼流、延迟等电路中使用。

(2) 片式叠层电感器

组成磁芯的铁氧体浆料和作为平面螺旋形线圈的导电浆料相间叠加后，烧结而成无引线的片式电感器，其特点是可靠性高、体积小，是理想的表面贴片元件。

(3) 平面电感器

用真空蒸发、光刻、电镀方法，在陶瓷基片上淀积一层金属导线，并用塑料封装而成，其特点是性能可靠，精度高。

这种电感器也可以在印制电路板上直接印制，可以在  $1\text{cm}^2$  的平面上制作  $2\mu\text{H}$  的平面电感，常用于高频电路上。

(4)高频空心小电感线圈

在不同直径的圆柱上单层密绕脱胎而成的，其结构简单易于制造。

常用于收音机、电视机、高频放大器等高频谐振电路上，并可以通过调节其间距离实现电路各项频率指标的调整。

(5)各种专用电感器

根据各种电路特点要求，绕制出各种专用电感器，种类很多。常见的如蜂房式绕制中波高频阻流线圈、行振荡线圈、行场偏转线圈、亮度延迟线圈及各种磁头等。

2.3.5 变压器

变压器是由铁芯和绕在绝缘骨架上的铜线圈构成的，绝缘铜线绕在塑料骨架上，每个骨架需绕制输入和输出两组线圈，线圈中间用绝缘纸隔离，绕好后将许多铁芯薄片插在塑料骨架的中间，这样就能够使线圈的电感量显著增大。变压器利用电磁感应原理从它的一个绕组向另外一个绕组传输电能，因此从原理上来说，各种变压器都属于电感器。

变压器在电路中具有重要的功能：耦合交流信号而阻隔直流信号，并可以改变输入输出的电压比；利用变压器使电路两端的阻抗得到良好匹配，以获得最大限度的传送信号功率。因此变压器在电子产品中能够起到交流电压变换、电流变换、传递功率和阻抗变换的作用，是不可缺少的重要元件之一。

电子产品中常用变压器的分类方法、种类及特点见表 2-12。

表 2-12 变压器的分类方法、种类及特点

分类方法	种类		特点、用途
按用途分类	隔离变压器		初/次级绕组匝数 1 : 1，多在实验室内使用
	调压器		调整滑动端改变输出电压，多在实验室内使用
	输入/输出变压器	音频变压器	在音频电路里阻抗变换，失真小
		中频变压器	在无线电设备里工作在谐振频率上，金属外壳电磁屏蔽
		高频变压器	在高频电路里阻抗变换，失真小
	脉冲变压器		传递脉冲信号失真小
	硅钢片(或玻莫合金片)变压器		价格低，效率较低
	低频铁氧体磁芯变压器		体积小，效率高，用于信号变换
	高频铁氧体磁芯变压器		工作频率高，体积小，效率高，用于开关电源

续表

分类方法	种类	特点、用途
按铁芯形状分类	E 形铁芯变压器	结构简单，价格低，效率较低，用于低档电子产品
	C 形铁芯变压器	效率高，成本较高，用于工业电子产品及仪器设备
	R 形铁芯变压器	漏磁小，体积小，损耗低，寿命长，噪声低，重量轻，干扰小，效率高，用于高档电子产品及数字设备
	O 形铁芯变压器	
按防潮方式分类	非密封式变压器	一般变压器，防潮性能较差
	灌封式变压器	用绝缘油灌封绕组，防潮、耐热好，用于大功率输出
	密封式变压器	金属外壳密封，防潮性能较好，并能防止磁场泄露

变压器的图形符号及外形见图 2-20。变压器的主要性能参数如下。

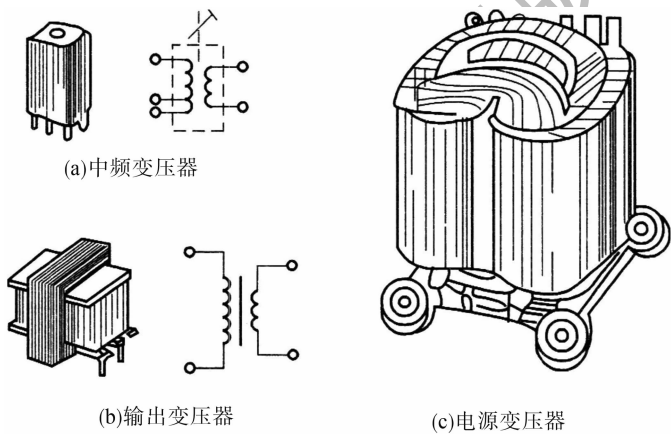


图 2-20 变压器的图形符号及常用变压器的外形

①额定功率。在规定的电压和频率下，变压器能够长期连续工作而不超过规定温升的输出功率(单位：VA、kVA 或 W、kW)。一般电子产品中的变压器，其额定功率都在数百瓦以下。

②变压比。变压器次级电压与初级电压的比值或次级绕组匝数与初级绕组匝数的比值，通常在变压器外壳上直接标出电压变化的数值，例如 220V/12V。变阻比是变压比的另一种表达形式，可以用来表示初级和次级的阻抗变换关系。例如用 4：1 表示初级、次级的阻抗比值。

③效率。输出功率与输入功率的比值，一般用百分数表示。变压器的效率由设计参数、材料、制造工艺及额定功率决定。通常 20W 以下的变压器的效率大约是 70%～80%，而 100W 以上的变压器的效率可达到 95%左右。

④温升。指线圈的温度。当变压器通电工作以后，线圈温度上升到稳定值时，比

环境温度升高的数值。温度升高的变压器，绕组导线和绝缘材料容易老化。

⑤绝缘电阻和抗电强度。指线圈之间、线圈与铁芯之间以及引线之间，在规定的时间内(例如 1min)可以承受的试验电压。它是判断电源变压器能否安全工作特别重要的参数。不同的工作电压、不同的使用条件和要求，对变压器的绝缘电阻和抗电强度有不同的要求。一般要求，电子产品中的小型电源变压器的绝缘电阻 $\geq 500\text{M}\Omega$ ，抗电强度 $\geq 2000\text{V}$ 。

⑥空载电流。变压器初级加额定电压而次级空载，这时的初级电流叫做空载电流。空载电流的大小，反映变压器的设计、材料和加工质量。空载电流大的变压器自身损耗大，输出效率低。一般，空载电流不超过变压器额定电流的 10%。设计和制作优良的变压器，空载电流可小于额定电流的 5%。

⑦信号传输参数。用于阻抗变换的音频、高频变压器，还要考虑漏电感、频带宽度和非线性失真等参数。

变压器的常见故障有开路 and 短路。开路故障大部分是因为引出端断线，用万用表的电阻挡容易检查出来。短路故障则不太容易判断，除了线圈电阻比标准阻值明显变小以外，绕组局部短路很难用万用表准确检查出来。一般，可以观察空载电流是否过大，空载温升是否超过正常温升。

## 2.4 半导体二极管

### 2.4.1 半导体二极管结构

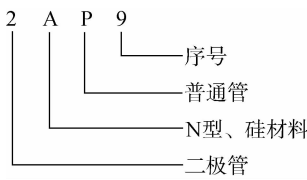
半导体二极管也称晶体二极管，它是在 PN 结上加接触电极、引线和管壳封装而成的。按其结构，通常有点接触型和面接触型两类，如图 2-21 所示。

### 2.4.2 半导体二极管的型号命名方法

半导体二极管的型号命名方法遵循半导体分立器件的命名法。(1)我国半导体分立器件的命名法(如表 2-13 所示)

例如：

①N 型硅材料普通二极管



②N 型硅材料稳压二极管

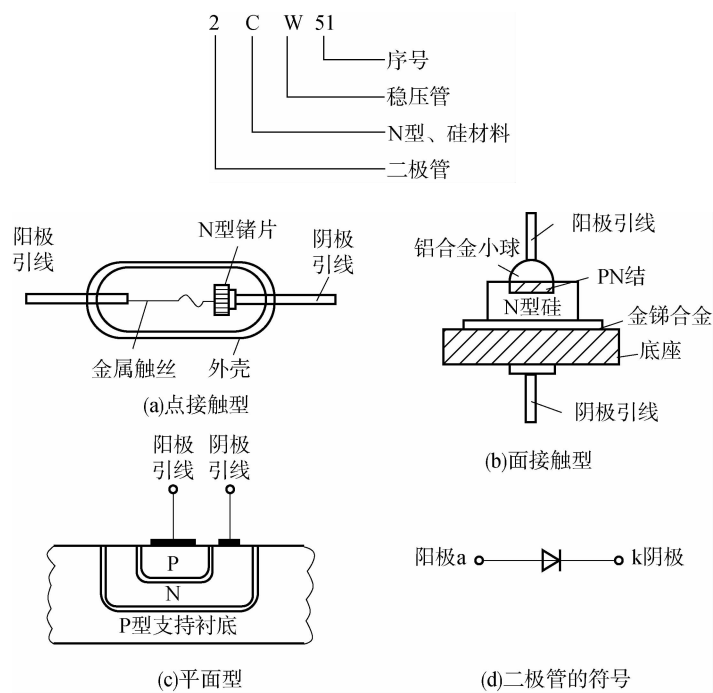


图 2-21 半导体二极管的结构和符号

表 2-13 国产半导体分立器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分				第四部分	第五部分
用数字表示器件电极的数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类型				用数字表示器件序号	用汉语拼音表示规格的区别代号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N型，锗材料	P	普通管	D	低频大功率管 ( $f_a < 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )		
		B	P型，锗材料	V	微波管				
		C	N型，锗材料	W	稳压管	A	高频大功率管 ( $f_a \geq 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )		
		D	P型，锗材料	C	参量管	T	半导体闸流管 (可控硅整流器)		
				Z	整流管	Y	体效应器件		
				L	整流堆	B	雪崩管		
				S	隧道管	J	阶跃恢复管		
				N	阻尼管	CS	场效应器件		
				U	光电器件	BT	半导体特殊器件		
3	三极管	A	PNP型锗材料	K	开关管	FH	复合管		
		B	NPN型锗材料	X	低频小功率管 ( $f_a < 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )	PIN	PIN型管		
		C	NPN型硅材料			JG	激光器件		
		D	NPN型硅材料	G	高频小功率管 ( $f_a \geq 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )				
		E	化合物材料						

(2) 国际电子联合会半导体器件型号命名法(如表 2-14 所示)

表 2-14 国际电子联合会半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分				第三部分		第四部分	
用字母表示使用的材料		用字母表示类型及主要特性				用数字或字母加数字表示登记号		用字母对同一型号者分档	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
A	锗材料	A	检波、开关和混频二极管	M	封闭磁路中的霍尔元件	三位数字	通用半导体器件的登记序号（同一类型器件使用同一登记号）	A B C D E …	同一型号器件按某一参数进行分档的标志
		B	变容二极管	P	光敏元件				
B	硅材料	C	低频小功率三极管	Q	发光器件				
		D	低频大功率三极管	R	小功率可控硅				
C	砷化镓	E	隧道二极管	S	小功率开关管	一个字母加两位数字	专用半导体器件的登记序号（同一类型器件使用同一登记号）		
		F	高频小功率三极管	T	大功率可控硅				
D	铋化铜	G	复合器件及其他器件	U	大功率开关管				
		H	磁敏二极管	X	倍增二极管				
R	复合材料	K	开放磁路中的霍尔元件	Y	整流二极管				
		L	高频大功率三极管	Z	稳压二极管 即齐纳二极管				

国际电子联合会晶体管型号命名法的特点如下：

①这种命名法被欧洲许多国家采用。因此，凡型号以两个字母开头，并且第一个字母是 A、B、C、D 或 R 的晶体管，大都是欧洲制造的产品，或是按欧洲某一厂家专利生产的产品。

②第一个字母表示材料（A 表示锗管，B 表示硅管），但不表示极性（NPN 型或 PNP 型）。

③第二个字母表示器件的类别和主要特点。如 C 表示低频小功率管，D 表示低频大功率管，F 表示高频小功率管，L 表示高频大功率管等。若记住了这些字母的意义，不查手册也可以判断出类别。例如，BL49 型，一见便知是硅大功率专用三极管。

④第三部分表示登记顺序号。三位数字者为通用品；一个字母加两位数字者为专用品，顺序号相邻的两个型号的特性可能相差很大。例如，AC184 为 PNP 型，而



AC185 则为 NPN 型。

⑤第四部分字母表示同一型号的某一参数进行分档。

⑥型号中的符号均不反映器件的极性(指 NPN 或 PNP)。极性的确定需查阅手册或测量。

### 2.4.3 半导体二极管主要参数

描述二极管特性的物理量称为二极管的参数,它是反映二极管电性能的质量指标,是合理选择和使用二极管的主要依据。在半导体器件手册或生产厂家的产品目录中,对各种型号的二极管均用表格列出其参数。二极管的主要参数有以下几种。

(1)最大平均整流电流  $I_F$  (AV)

$I_F$  (AV)是指二极管长期工作时,允许通过的最大正向平均电流。它与 PN 结的面积、材料及散热条件有关。实际应用时,工作电流应小于  $I_F$  (AV),否则,可能导致结温过高而烧毁 PN 结。

(2)最高反向工作电压  $V_{RM}$

$V_{RM}$ 是指二极管反向运用时,所允许加的最大反向电压。实际应用时,当反向电压增加到击穿电压  $V_{BR}$  时,二极管可能被击穿损坏,因而,  $V_{RM}$  通常取为  $(1/2 \sim 2/3)V_{BR}$ 。

(3)反向电流  $I_R$

$I_R$  是指二极管未被反向击穿时的反向电流。理论上  $I_R = I_{R(sat)}$  但考虑表面漏电等因素,实际上  $I_R$  稍大一些。 $I_R$  愈小,表明二极管的单向导电性能愈好。另外,  $I_R$  与温度密切相关,使用时应注意。

(4)最高工作频率  $f_M$

$f_M$  是指二极管正常工作时,允许通过交流信号的最高频率。实际应用时,不要超过此值,否则二极管的单向导电性将显著退化。 $f_M$  的大小主要由二极管的电容效应来决定。

(5)二极管的电阻

就二极管在电路中电流与电压的关系而言,可以把它看成一个等效电阻,且有直流电阻与交流电阻之别。

需要指出的是,由于制造工艺的限制,即使是同类型号的二极管,其参数的分散性很大。通常半导体手册上给出的参数都是在一定测试条件下测出的,使用时应注意条件。

### 2.4.4 晶体二极管种类及性能特点

(1)晶体二极管的种类

晶体二极管按材料不同,可分为硅管和锗管两类。两者区别为:锗管正向压降比硅管小(锗管为  $0.2 \sim 0.3V$ ,硅管约为  $0.6 \sim 0.8V$ );锗管的反向漏电流比硅管大(锗管

几百微安，硅管小于  $1/\mu\text{A}$ ）；锗管的 PN 结可承受的温度比硅管低（锗管约为  $100^{\circ}\text{C}$ ，硅管约为  $200^{\circ}\text{C}$ ）。晶体二极管按结构不同可分为点接触型二极管和面接触型二极管；按用途不同可分为检波、整流、稳压、开关、发光、光敏、变容、激光、隧道等二极管和桥式整流组件、硅堆等组合器件。

## (2) 晶体二极管的性能特点

二极管最主要的特性是单向导电性，其伏安特性曲线如图 2-22 所示。

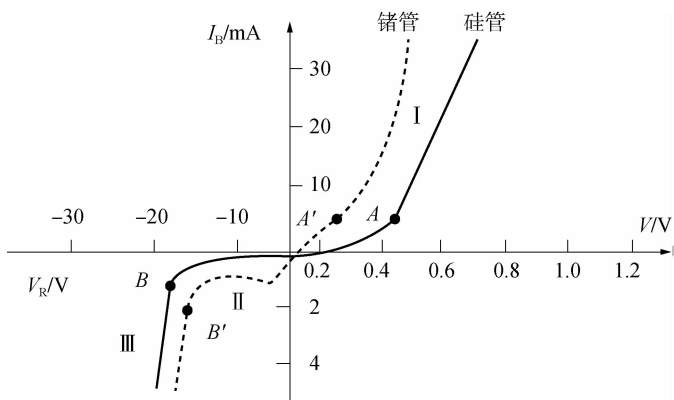


图 2-22 晶体二极管的伏安特性曲线

①正向特性。另在二极管两端的正向电压（P 为正、N 为负）很小时（锗管小于  $0.1\text{V}$ ，硅管小于  $0.5\text{V}$ ），管子不导通处于“死区”状态，当正向电压超过一定数值后，管子才导通，电压再稍微增大，电流急剧增加（见曲线 I 段）。不同材料的二极管，起始电压不同，硅管为  $0.5\sim 0.7\text{V}$  左右，锗管为  $0.1\sim 0.3\text{V}$  左右。

②反向特性。二极管两端加上反向电压时，反向电流很小，当反向电压逐渐增加时，反向电流基本保持不变，这时的电流称为反向饱和电流（见曲线 II 段）。不同材料的二极管，反向电流大小不同，硅管约为  $1\mu\text{A}$  到几十微安，锗管则可高达数百微安，另外，反向电流受温度变化的影响很大，锗管的稳定性比硅管差。

③击穿特性。当反向电压增加到某一数值时，反向电流急剧增大，这种现象称为反向击穿（见曲线 III 段）。这时的反向电压称为反向击穿电压，不同结构、工艺和材料制成的管子，其反向击穿电压值差异很大，可由  $1\text{V}$  到几百伏，甚至高达数千伏。

④频率特性，由于结电容的存在，当频率高到某一程度时，容抗小到使 PN 结短路，导致二极管失去单向导电性，不能工作，PN 结面积越大，结电容也越大，越不能在高频情况下工作。

## 2.4.5 实训：二极管的认识与判别

### 1. 实训目的

①熟悉各种晶体二极管的基本特性；

- ②学会常用测试设备的使用方法；
- ③掌握各种晶体二极管的识别与检测技能。

## 2. 实训设备与器材准备

- ①MF47 型指针万用表，1 块；
- ②DT9205A 型数字万用表，1 块；
- ③某彩电电路板，1 块；
- ④各种二极管，若干。

## 3. 实训步骤与报告

### ①晶体二极管的直观识别。

- 准备一块电路整机板，比如彩电电路板。
- 在整机板上对各种二极管的名称、型号、引脚极性等进行了识读。
- 做好记录。

### ②普通二极管极性判别。

- 将万用表置于“欧姆”挡，选择  $R \times 100\Omega$  或  $R \times 1k\Omega$  挡量程。
- 将万用表的两表笔分别接触二极管的两脚，测得第一次电阻值。
- 交换万用表的两表笔，测得第二次电阻值。
- 阻值较小的一次，黑表笔接触的一端是二极管正极，

### ③普通二极管性能检测。

- 将万用表置于“欧姆”挡，选择  $R \times 100\Omega$  量程。
- 测量小功率锗管，其正向电阻  $R_{正}$  (黑表笔接二极管的正端，红表笔接二极管的负端) 在  $200 \sim 600\Omega$  之间，反向电阻  $R_{反}$  (黑表笔接二极管的负端，红表笔接二极管的正端) 大于  $20k\Omega$  以上，则符合一般要求。

• 测量小功率硅管，其正向电阻  $R_{正}$  在  $900\Omega$  到  $2k\Omega$  之间，反向电阻都要在  $500k\Omega$  以上，则符合一般要求。正常硅管测其反向电阻时，万用表指针都指向  $\infty$ 。

- 二极管正、反向电阻相差越大越好，凡阻值相同或相近都视为坏管。

### ④稳压二极管的检测。

- 将万用表置于“欧姆”挡，选择  $R \times 1k\Omega$  挡量程。
- 极性和好坏的判断与普通二极管所使用的方法一样。
- 将万用表置于“欧姆”挡，选择  $R \times 10k\Omega$  量程。
- 测量稳压二极管的反向阻值，从万用表“10V 电压刻度线”上读出数值。
- 根据“稳压值 =  $(10 - \text{读数}) \times (9 + 1.5) / 10$ ”，可大概求得稳压值。其中数值“9、1.5”是指的电池电压数。

注意：万用表型号不同，高阻挡使用的高压叠层电池电压也不同，常有 6V、9V、15V、22.5V 等。故利用万用表直接测量稳压二极管的稳压值是受表内电池高低所限制的。

⑤稳压二极管与普通二极管的判别。

- 将万用表置于“欧姆”挡，选择  $R \times 10k\Omega$  量程。
- 测量稳压二极管与普通二极管的反向电阻值，对于稳压二极管，若表内叠层电池电压高于稳压管稳压值时，其反向电阻则变的较小，因为此时稳压管已被击穿；对于普通二极管阻值一般为  $\infty$ 。
- 有电阻者为稳压二极管无电阻(即  $\infty$ )者为普通二极管。

注意：对于稳压值高于表内叠层电池电压时，稳压二极管与普通二极管的分辨通过万用表就非常困难。

⑥发光二极管的检测

- 将万用表置于“欧姆”挡，选择  $R \times 10k\Omega$  量程。
- 测量发光二极管的正向电阻  $R$  正应很小，有的会发出微弱的光。
- 测量发光二极管的反向电阻  $R$  反应为  $\infty$ 。

⑦光敏二极管的检测

- 将万用表置于“欧姆”挡，选择  $R \times 1k\Omega$  挡量程。
- 判断出正负极，然后再测其反向电阻。
- 无光照射时，一般阻值都大于  $200k\Omega$ 。受光照射时，其阻值会大大减小。
- 若变化不大，则说明被测管已损坏或不是光敏二极管。

注意：若要检测红外线接收管的好坏，则要用红外线照射。