

第1章 电子元器件的发展和分类

相对于种类和功能繁多的电器而言，电子元器件是其基石。电子元器件的发展水平是整个电子和信息产业发展水平的标志，在电子元器件及其所用材料上的变革直接影响到整个电子工业的发展。现代社会里，从日常生活到社会生产和生活的各个角落，随处可以看到各类电子器件：手表、电子记事本、无线电话、电视、传真机、计算机、微波炉、电饭锅、空调机、银行联机在线系统、综合数字通信网、因特网、宇宙卫星及其控制系统等都离不开电子元器件。为了更好地对电子元器件中的有价值材料进行再生利用，同时在再生利用过程中保护好生态环境，本章和第2章将简要介绍电子元器件的发展和分类、电子元器件中所用材料的种类及其用途。

1.1 电子元器件的发展

在20世纪出现并得到飞速发展的电子元器件工业使整个世界和人们的工作、生活习惯发生了翻天覆地的变化。电子元器件的发展历史实际上就是电子工业的发展历史。

1906年，李·德福雷斯特发明了真空三极管，用来放大电话的声音电流。此后，人们强烈地期待着能够诞生一种固体器件，用来作为质量轻、价廉和寿命长的放大器和电子开关。1947年，点接触型锗晶体管诞生，在电子器件的发展史上翻开了新的一页。但是，这种点接触型晶体管在构造上存在着接

触点不稳定的致命弱点。在点接触型晶体管开发成功的同时，结型晶体管理论就已经提出，但是直至人们能够制备超高纯度的单晶以及能够任意控制晶体的导电类型以后，结型晶体管才真正得以出现。1950 年，具有实用价值的最早的锗合金型晶体管诞生。1954 年，结型硅晶体管诞生。此后，人们提出了场效应晶体管的构想。随着无缺陷结晶和缺陷控制等材料技术、晶体外延生长技术和扩散掺杂技术、耐压氧化膜的制备技术、腐蚀和光刻技术的出现和发展，各种性能优良的电子器件相继出现，电子元器件逐步从真空管时代进入晶体管时代和大规模、超大规模集成电路时代，逐步形成作为高技术产业代表的半导体工业。

由于社会发展的需要，电子装置变得越来越复杂，这就要求电子装置必须具有可靠性好、速度快、消耗功率小以及质量轻、小型化、成本低等特点。自 20 世纪 50 年代提出集成电路的设想后，由于材料技术、器件技术和电路设计等综合技术的进步，在 20 世纪 60 年代研制成功了第一代集成电路。在半导体发展史上，集成电路的出现具有划时代的意义：它的诞生和发展推动了通信技术和计算机的进步，使科学研究的各个领域以及工业社会的结构发生了历史性变革。凭借卓越的科学技术所发明的集成电路使研究者有了更先进的工具，进而产生了许多更为先进的技术。这些先进的技术又进一步促使更高性能、更廉价的集成电路的出现。对电子器件来说，体积越小，集成度越高；响应时间越短，计算处理的速度就越快；输送频率越高，传送的信息量就越大。半导体工业和半导体技术被称为现代工业的基础，同时也已经发展成为一个相对独立的高科技产业。

1.2 电子元器件的分类

电子元器件种类极多，而且随着科技的进步和社会的发展，具有更优异性能的各种新品种电子元器件层出不穷。下面简要介绍在常用电器上所用的常见电子元器件。

1.2.1 电阻器

电阻的英文名称为 *resistance*，用符号 R 表示。它与导体的尺寸、材料、温度有关，是最常用、最基本的电子元件之一。利用电阻对电能的吸收作用可在电路中分配电能，稳定和调节电路中的电流和电压。常见的电阻器有固定电阻器、电位器、半可调电阻器、敏感电阻器和熔断电阻器等类型。

(1) 固定电阻器 固定电阻器是指阻值固定不变的电阻器，主要用于阻值固定而不需要调节变动的电路中。图 1-1 (a) 是我国国标电阻器符号。图 1-1 (b) 是国外常用电阻器的符号。图 1-1 (c) 是标有该电阻器额定功率的电阻器符号。在电路中，大部分电阻器的功率较小，除个别额定功率要求较高以外，电路图中一般不标出电阻器的额定功率。

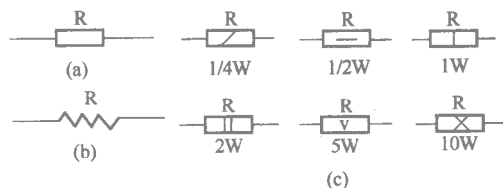


图 1-1 固定电阻器的电路符号

常用的固定电阻器有以下几种。

① 碳膜电阻器 (RT) 碳膜电阻器是在陶瓷棒或陶瓷管上按一定工艺要求先涂一层碳质电阻膜，并在电阻膜上刻螺纹

槽以调整电阻值，然后两端装上帽盖，焊上引线并在表面加涂保护漆，最后在漆膜表面印上标号。碳膜电阻器稳定性好，电压的改变对阻值影响小，阻值范围大，可以制成几欧姆的低值电阻，也可以制成几十兆欧姆的高值电阻。由于碳膜电阻器制作成本低，价格便宜，它是目前使用最多的一种电阻器，在精度要求不高的收音机、录音机中得到广泛使用。

②金属膜电阻器 (RJ) 金属膜电阻器和碳膜电阻器外形相似，只是电阻膜是在陶瓷棒或陶瓷管表面用蒸镀法或烧渗法制成金属膜，其种类主要有镍铬合金膜和金铂合金膜两种。金属膜电阻器除具有碳膜电阻器的特征外，比碳膜电阻器的精度更高，稳定性更好，噪声更低，耐热性能比碳膜电阻器好得多且体积更小，主要用于高档的家用电器，如音响设备、录像机、摄像机等。

③氧化膜电阻器 (RY) 氧化膜电阻器是在绝缘瓷棒上沉积一层金属氧化膜而制成，它的外形与性能均与金属膜电阻器相似，但其制造工艺简单，成本低，耐热、耐压性能更好，在精度要求不太高时可以替代金属膜电阻器使用。

④线绕电阻器 (RX) 线绕电阻器是用电阻系数较大的锰铜或镍铬合金电阻丝绕制在陶瓷管等骨架上制成，它的外层涂有耐热的绝缘层，两端有引线或装有金属引脚。线绕电阻器的特点是精度高、稳定性好、噪声低、功率大，一般可承受 $3 \sim 100\text{W}$ 的额定功率而且耐高温，可以在 150°C 高温下正常工作。但由于它体积大，阻值不高 ($1\text{M}\Omega$ 以下)，因此适用于大功率电路中。此外，精密的线绕电阻器也用于电阻箱、测量仪器（如万用表）等电器和小型电讯仪器、仪表中。由于线绕电阻器的固有电感较大，因而不能在高频电路中使用。有一种陶

瓷绝缘功率性线绕电阻器俗称水泥电阻器，它是将线绕电阻体装在陶瓷绝缘壳中，其型号标示为 RX ，广泛应用于计算机、电视机、仪器、仪表中。水泥电阻器的电阻丝同焊脚引线之间采用压接方式，在负载短路的情况下，可迅速在压接处熔断以保护电路。由于水泥电阻器采用工业高频电子陶瓷外壳，所以具有优良的阻燃、防爆特性和绝缘性能（绝缘电阻达 $100M\Omega$ ）；同时它散热好，功率大。水泥电阻具有多种外形和安装方式，可直接安装在印制电路板上，也可利用金属支架独立安装焊接，其外形如图 1-2 所示。

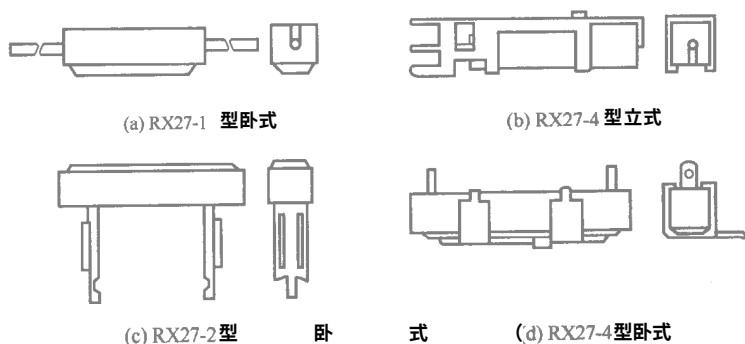


图 1-2 水泥电阻的外形

⑤ 有机实心电阻器 (RS) 有机实心电阻器由石墨或炭黑等导电材料及不良导电材料混合并加入黏结剂后压制而成，它的内部没有绝缘瓷棒和引线帽，而是实心的，引线从内部引出。实心电阻器成本低，价格便宜，过负载能力强，有很高的可靠性；但固有噪声高，分布电容及分布电感影响大，电压和温度稳定性差，在家用电器中较少采用。

(2) 电位器 电位器也称为可变电阻器，它是在一定的范围内阻值连续可变的一种电阻器，主要用于阻值需要经常变动

的电路中。图 1-3 (a) 是电位器的一般电路符号，在电路用字母 RP 表示。图 1-3 (b) 是带开关电位器的电路符号， S_1 是附在 RP 上的开关， S_1 受转柄控制。图 1-3 (c) ~ 图 1-3 (e) 是电位器在三种应用电路中的表示方法。其中，图 1-3 (c) 是将电位器的 3 根引脚分成 4 个端点，组成双口网络。图 1-3 (d) 是电位器的另一种应用方式，其作用相当于 2 个可变电阻器。图 1-3 (e) 是采用可变电阻器时的表示方式。

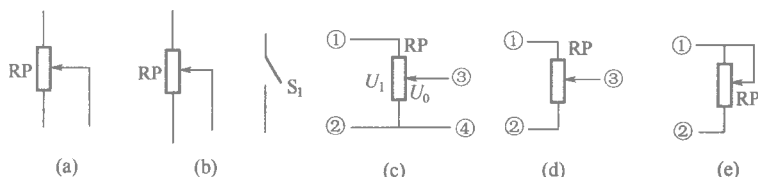


图 1-3 电位器的电路符号

可以按照不同的标准对电位器进行分类。

按调节方式分为旋转式（或称转柄式）和直滑式电位器。

图 1-4 (a) 和 图 1-4 (c) 所示是旋转式电位器，可顺时针、逆时针旋转电位器的转轴来调节阻值。图 1-4 (b) 所示是十字花式电位器，通过滑柄做直线滑动来改变阻值。

按联数分为单联式和双联式电位器。单联式电位器就是一只操纵柄只能控制一个电位器的阻值变化，如图 1-4 (a) 和图 1-4 (b) 所示。双联式电位器可用一只操纵柄同步控制 2 个电位器的阻值变化，如图 1-4 (c) 所示。

电位器按有无开关可分为无开关和有开关两种。有开关的电位器常用于音量控制，其附设的开关则可作为电源开关。

电位器按输出函数特性分为线性电位器（X 型）、对数电位器（D 型）和指数电位器（Z 型）三种。

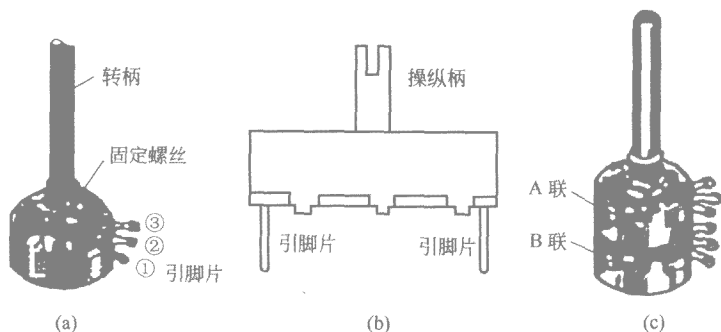


图 1-4 电位器的调节方式

(3) **半可调电阻器** 半可调电阻器又称为微调电阻器，它的结构及工作原理基本上与电位器相同。它的阻值虽然在一定范围内可以变动，但在使用时一般固定在某一阻值上，主要用于一些要求电阻值变化而又不常变动的场合。在一些场合，半可调电阻器还可作为电位器来使用。图 1-5 (a) 是半可调电阻器电路符号，用符号 R 表示。图 1-5 (b) 和图 1-5 (c) 符号较形象地表示了半可调电阻器在电路中的应用。图 1-6 是半可调电阻器的外形，其安装形式分为立式、卧式两种。调节电阻值时，用起子伸入调节槽中转动，使动片上的触点在电阻体上滑动，从而改变阻值。

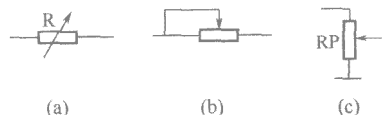


图 1-5 半可调电阻器电路符号

(4) **敏感电阻器** 敏感电阻器是指电阻值对于温度、光通量、电压、湿度、磁通、气体浓度和机械力等物理量敏感的电

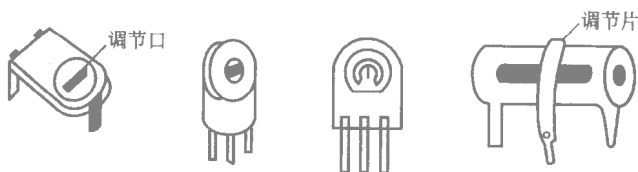


图 1-6 半可调电阻器的外形

阻元件，这些元件分别称为热敏、光敏、压敏、湿敏、磁敏、气敏和力敏电阻器。它们是利用某种半导体材料对这些物理量的敏感性而制成，也称为半导体电阻器。

热敏电阻器是采用对温度敏感的半导体材料制成，它的阻值随温度变化有明显改变。

光敏电阻器是将光导材料沉积在陶瓷基体的蛇形槽内，利用半导体的光电导效应制成的光电传感元件，其阻值随着入射光的强弱变化而变化。当入射光增强时，电导率随之增大，阻值也随之减小；反之，光越弱，阻值越大。

磁敏电阻器是采用具有磁阻效应的材料（如锑化铟）制成，它的阻值会随着磁感应强度的增大而增大。它是一种磁电转换元件，具有体积小、质量轻、灵敏度高、可靠性好和寿命长等优点，常用于如无触点开关或无接触电位器控制电路中。

气敏电阻器是利用半导体材料（如 SnO_2 ）的表面吸附某种气体后使其电阻率产生变化的特性制成，广泛用于各种管道和密封系统的探测和各种可燃或易燃、易爆气体的检测、瓦斯报警以及自动控制等方面。

(5) 熔断电阻器 熔断电阻器又称保险电阻器，是具有电阻器和熔断电阻器双重作用的复合功能的电阻器。当电路正常工作时，它起电阻器的作用。当电路发生故障，流过熔断电阻

器的电流超过该电路的规定要求时，熔断电阻器迅速熔断，从而保护电路中其他元器件免遭损坏以提高电器的安全性。

熔断电阻器的外形同普通圆柱形电阻器相似，电阻值一般较小，一般为几欧姆至几十欧姆。熔断电阻器具有不可逆性，即熔断后不能恢复使用。图 1-7 是熔断电阻器电路符号。图 1-7 (a) 是国际熔断电阻器电路符号。图 1-7 (b) 是常见国内外部分厂家所用的熔断电阻器电路符号。有些电路图中，熔断电阻器采用与电阻器一样的电路符号。

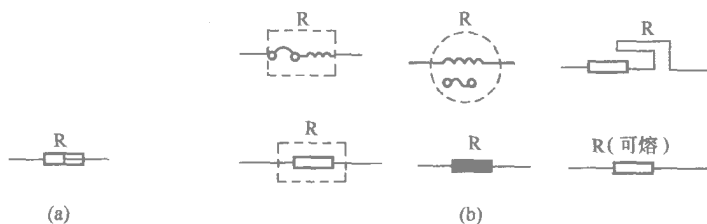


图 1-7 熔断电阻器电路符号

1.2.2 电容器

电容器是两个金属电极中间夹一层绝缘电介质所构成的元件，这两个金属电极称为电容器的电极或极板。当两个极板间加上电压时，电容上就储存电荷，再将两极短路则电荷消失，所以电容器是一种储存电能元件，具有充放电特性和隔直流、通交流的能力。

电容器也是电子电路中广泛应用的基本元件之一。电容器按其极性可分为无极性电容器和有极性电容器；按结构可分为固定电容器、可变电容器和微调电容器；按电解质可分为有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器、液体介质电容器和气体介质电容器等。

(1) 固定电容器 固定电容器是容量固定不变的电容器。图 1-8 (a) 是电容器的一般符号，它在电路图中表示无极性的电容器。图 1-8 (b) 是电解电容器的电路符号，符号中的“+”号表示该引脚为正，另一引脚为负。

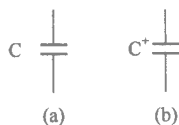


图 1-8 固定电容器的电路符号

常用的无极性固定电容器有以下类型。

① 纸介电容器和金属化纸介电容器 纸介电容器 (CZ) 使用很薄的纸作为绝缘介质材料，以金属箔为电极，将浸过石蜡的薄纸与带状的两层铝箔一起卷成圆柱状，用环氧树脂灌封或用金属、陶瓷、塑料外壳密封而成，外形如图 1-9 所示。

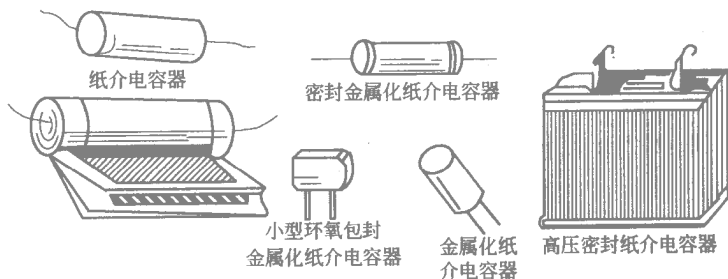


图 1-9 纸介电容器和金属化纸介电容器外形

纸介电容器的主要特点是体积较大，容量范围大（约 $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{F}$ ），额定工作电压较高（ $160 \sim 400 \text{V}$ ），价格便宜；但是它的高频性能不好，热稳定性差，只能用于频率在几千赫兹以下的电路中。

金属化纸介电容器（CJ）的结构与一般纸介电容器相似，但电极不是铝箔，而以真空条件下蒸发在电容器纸上的一层金属膜代替，其体积只有纸介电容器的 $1/6 \sim 1/4$ ，但能做成高电压大容量的电容器（耐压从几十伏到一千伏，容量从零点几微法到几十微法）。

金属化纸介电容器的特点是具有“自愈”能力：当过高电压使电容器介质某点击穿时，击穿处产生的电弧电流会使金属膜熔化蒸发，短路点消失，两极板重新恢复绝缘，电容器可以自动恢复正常。自动恢复正常之后电容器的电容量有所下降，自动恢复正常作用也不是无限制的。金属化纸介电容器适用于作为电风扇、洗衣机、电冰箱及空调设备使电动机运行的电容。

② 涤纶电容器 涤纶电容器（CL）又称聚酯电容器，用涤纶薄膜做介质。它和纸介质电容器一样有两种：一种是以金属箔和涤纶薄膜卷绕而成；另一种是金属化涤纶电容。金属化涤纶电容除具有“自愈”功能外，在焊接成引线前，还在电容器芯子两端分别喷上一层金属薄层，增加引出线与电极接触面（不是从金属膜一端引出电极），可以消除卷绕带来的电感。它具有体积小，无电感的特点，常用于电视机以及各种仪器、仪表，起旁路、退耦、滤波、耦合作用。涤纶电容器的外形如图 1-10 所示。



图 1-10 涤纶电容器的外形

③云母电容器 云母电容器（CY）以云母片为介质，以金属箔片为电极，外部用胶木粉制成。它的电容一般较小，但绝缘电阻高，介质损耗小，耐高温，电容精确度高，常用于高频振荡电路中的回路电容或标准电容。云母电容器的外形如图 1-11 所示。

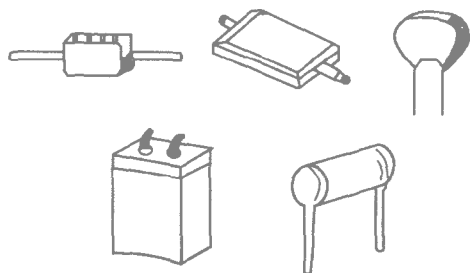


图 1-11 云母电容器的外形

④瓷介电容器 瓷介电容器介质为陶瓷，根据陶瓷成分不同可分为高频瓷介质电容器和低频瓷介质电容器。它具有结构简单，体积小，稳定性高，高压性能好的特点。高频瓷介质电容器常用于要求损耗小、电容量稳定的场合，如振荡电容和温度补偿电容；低频瓷介质电容器适用于低频电路。瓷介电容器的温度系数通过外保护漆提供颜色标识，蓝色和灰色表示正温度系数，其他颜色为负温度系数。瓷介电容器的外形如图 1-12 所示。

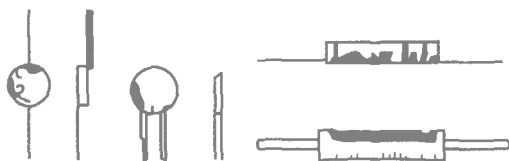


图 1-12 瓷介电容器的外形

⑤**聚苯乙烯电容器** 聚苯乙烯电容器（CB）以聚苯乙烯薄膜为介质，采用两层或三层薄膜与金属电极交叠绕制而成并进行热老化处理以提高稳定性。这种电容器绝缘电阻高、高频损耗小、电容量稳定、精度高，在各种滤波器及对电容量要求精确的电器（如电子琴音阶电路）中采用。但它不耐高温，上限温度低，焊接时间不宜过长，以免热损坏薄膜。聚苯乙烯电容器的外形如图 1-13 所示。

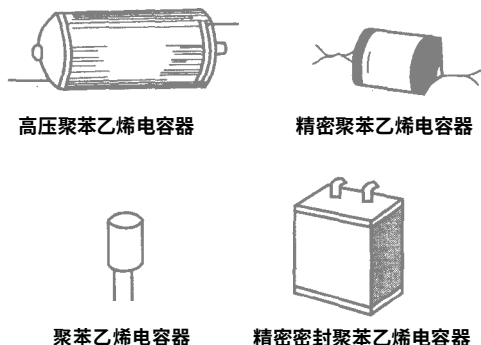


图 1-13 聚苯乙烯电容器的外形

⑥**独石电容器** 独石电容器实际上是一种瓷介质电容器，陶瓷材料以钛酸钡为主，由若干片印有电极的陶瓷薄膜叠放起来烧结而成。它外形具有独石形状，上有若干个小陶瓷电容并联，容量大、体积小，是小型陶瓷电容器。它具有耐高温、可靠性好、成本低等优点，广泛用于小型和超小型电子设备（如液晶手表）中。独石电容器的外形如图 1-14 所示。

⑦**玻璃釉电容器** 玻璃釉电容器采用钠、钙、硅等粉末按一定比例混合压制成薄片作为介质，并在各自薄片上涂敷银层，若干薄片加在一起进行熔烧；再在端面上焊上引线，最后

再涂以防潮绝缘漆制成，外形与独石电容相似。玻璃釉电容器
的外形如图 1-15 所示。

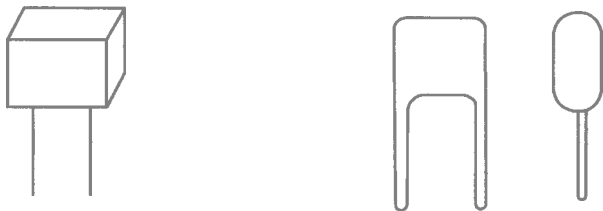


图 1-14 独石电容器的外形 图 1-15 玻璃釉电容器的外形

前面几种常见电容都属于无极性电容，其中纸介电容器、瓷介电容器、独石电容器、玻璃釉电容器为无机介质电容器。

(2) 电解电容器

① 铝电解电容器 铝电解电容器是目前应用最多的一种电解电容器，这种电容器的显著优点是电容量大、体积适中、价格低廉。但是由于它的介质是极薄的氧化铝薄膜，所以存在漏电、介质损耗大、寿命短等缺点。此外，在直流电压的连续影响下，铝电解电容器的氧化铝膜会逐渐变厚，电解液由于连续工作引起水分蒸发导致电解液逐渐变稠甚至干涸变质，导致失效；若长期搁置，氧化膜会在电解液微弱的溶解力下逐渐变薄，因而绝缘电阻变小，漏电流增大，耐压降低。所以，储存久的铝电解电容器不能立即使用，必须先进行激活处理，重新赋能，使氧化膜逐渐得到恢复。铝电解电容器常见外形如图 1-16 所示。

② 钽电解电容器 钽电解电容器以纯度很高的金属钽粉压成钽片作为正极放在真空中烧结，再用电化学腐蚀方法在钽片上形成氧化钽薄膜，然后在介质薄膜上沉积一层固体二氧化锰为电解质，其外喷涂金属形成负极，外加封装。钽电解电容

器具有体积小、容量大、漏电流小、耐压高、性能稳定可靠、寿命长、工作温度高（可达 200°C ）等优点，但价格贵。它主要应用于技术指标要求较高的电路中。钽电解电容器常见外形如图 1-17 所示。

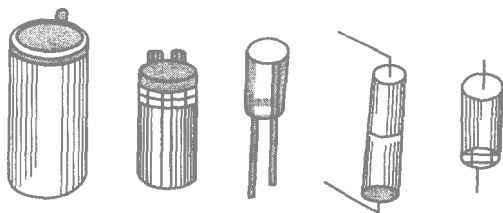
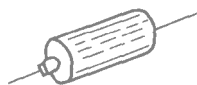


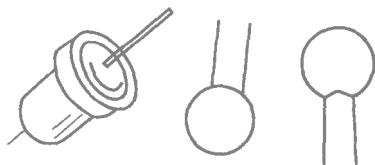
图 1-16 铝电解电容器常见外形



管状非固体电介质烧结钽电容器



固体电介质烧结钽电容器



固体电介质钽电容器

图 1-17 钽电解电容器常见外形

③ 铌电解电容器 铌电解电容器的结构与钽电解电容器相似，其介质采用氧化铌 (Nb_2O_5)。氧化铌的介电常数比氧化

钽大得多。钽电解电容器的体积更小，其他性能比钽电解电容器稍差。

(3) 可变电容器和微调电容器 可变电容器是一种容量可连续变化的电容器，主要用于调谐回路中。微调电容器是一种变化范围较小的电容器。

可变电容器是由两组形状相同的金属片间隔一定的距离并夹以绝缘介质而组成。其中一组金属片固定不动，称为定片；另一组金属片和转轴相连，能在一定角度内转动，称为动片。转动动片可以改变两组金属片之间的相对面积，使电容量可调。当动片全部旋入时，电容量最大。当动片全部旋出时，电容量最小。当使用可变电容器时，动片应接地，避免调节时人体通过转轴感应引入噪声。

可变电容器的种类很多，按照介质划分为空气介质和薄膜介质两种。空气介质的可变电容器体积较大，不常用。常采用的是薄膜介质的可变电容器。按照联数划分有单联、双联、四联等。

① 单联可变电容器 图 1-18 (a) 是空气单联可变电容器外形。图 1-18 (b) 是密封单联可变电容器外形。

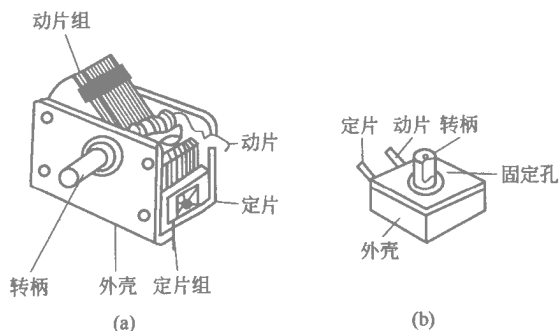


图 1-18 单联可变电容器外形

②双联可变电容器 双联可变电容器又可分为等容双联可变电容器和差容双联可变电容器两种。

a. 等容双联可变电容器 等容双联可变电容器就是将两个单联结构的可变电容器连在一起，两个单联的容量相等。有一个转柄控制两联的动片同步变化，这种双联可变电容器一般都共用一个动片。图 1-19 (a) 是等容空气双联可变电容器。图 1-19 (b)、(c) 分别是等容密封双联可变电容器。

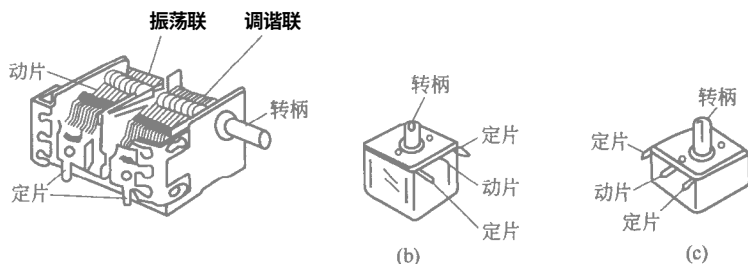


图 1-19 等容空气双联可变电容器

b. 差容双联可变电容器 差容双联可变电容器就是指两个联的容量不相等，但仍由一个转柄控制两个联动片的转动。例如，超外差式收音机中片数少（或片距大）、电容量较小的振荡连接于振荡电路中，电容量大的调谐连接入调谐电路中。

图 1-20 (a) 是差容空气双联可变电容器外形。它多用于体积较大的设备上。图 1-20 (b)、(c) 是差容密封双联可变电容器，用于袖珍式收音机上。为减少收音机的体积，在双联后面一般还附有两个微调电容器。

③四联可变电容器 四联可变电容器的四联也是受一个转柄的同步控制，其外形如图 1-21 所示。四联可变电容器一般为密封式，多用于超外差调频调幅收音机中。