

电分析化学原理及仪器使用技术

奚治文 刘立尧 段士斌 王正猛 编著

汪尔康 翁心协 审

四川科学技术出版社



电分析化学原理
及
仪器使用技术

四川科学技术出版社

一九八八年四月

责任编辑: 杨敬祥
封面设计: 李清拂
技术设计: 何 华

电分析化学原理及仪器使用技术

四川科学技术出版社出版发行
(成都盐道街三号)

四川省新华书店经销
成都二十六中印刷厂印刷

ISBN7-5364-0369-0/TN·7

1988年4月第一版 开本 787×1092 1/16
1988年4月第一次印刷 字数 340 千
印数 1—3500 册 印张 19.5

定 价: 4.85 元

前 言

电分析化学法是以溶液电化学性质为基础确定物质含量的一类分析方法。这类方法除具有仪器分析中所共有的灵敏、准确、快速等优点外,在仪器结构简单、设备投资少、操作简便、适用性广等方面则独具特色。在电子技术日新月异,微处理机普遍推广的今天,操作过程 and 数据处理自动化已逐步深入到电分析化学法中,给分析化学工作者带来了很大方便。电分析化学法在地质冶金、化学化工、环境监测及医药卫生等各行各业中已被广泛推广应用,电分析化学法的理论和方法不断在发展,电分析化学用的仪器和技术也在不断更新,而现在《仪器分析》教本中的电分析化学部分大多偏重于基本原理的探讨,几本有关《仪器结构使用与维修》方面的书,则主要侧重于电子线路的介绍,还因当时生产发展水平的限制,当前受到分析化学工作者关注的一些新产品未能收集到书中。为了适应这一发展形势的需要,我们编写了本书。书中系统地讨论了电分析化学各种方法的原理及实验技术,扼要地叙述了电子技术基础及典型仪器的电路原理和使用维修,对近年来国内受到关注的新产品(如JP-2型示波极谱仪、XJP-821型新极谱仪、LS-1型示波滴定仪、PXS-5型离子计等)及引进数量较多的大型仪器(如PAR-384型极谱仪)作了较详细的介绍。

全书共分六章,第一章由刘立尧编写,第二章、第三章第一节至第四节、第六章第七节由奚治文编写,第四章、第五章第八节、第六章第四节至第六节由王正猛编写,第五章第一节至第七节、第六章第一节至第三节由段士斌编写,第三章第五节由张瑞洪编写,第六章第三节之二由陈善本编写,各章插图由闰宗昌描绘,全书由奚治文汇总编定。

编写过程中,中国科学院长春应用化学研究所汪尔康研究员在百忙中审阅了本书,并为本书写了序言;成都仪器厂翁心协总工程师对本书逐章逐节进行了审阅,提供了宝贵意见;成都仪器厂、江苏电分析仪器厂、山东国营电讯七厂、江苏金坛电分析仪器厂、江苏泰兴电子仪器厂对本书的出版给予了支持和帮助,我们在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,书中难免有不妥和错误,欢迎读者批评指正。

作 者

序

分析化学不仅是化学的眼睛，也是工业生产的眼睛。任何工业产品的发展，如果失去质量的控制，很难想像能取得圆满地成功。今天的分析化学对于解决实现四个现代化中的许多问题和科技与生产的发展，都具有极为重要的作用。电分析化学是分析化学不可缺少的主要组成部分，它在科学领域和生产实际中都得到广泛的应用。电分析化学方法的主要特点是：灵敏度高、准确度高和选择性强，同时快速、自动、简便和适用。其仪器装置也较简单、经济。已广泛用于地质、矿物、化工、冶金、纯物质材料、医药、卫生、能源、环保以及生命科学等各个方面。

随着科学技术的不断发展，和其它分析仪器一样，电分析化学仪器也日新月异，其发展也可概括为五十年代仪器化，六十年代电子化，七十年代计算机化，八十年代人工智能化。

为进一步普及、推广和发展分析化学方法用于生产实际，提高电分析化学和检验工作者的水平，这本书的问世是很有意义的。该书较系统地描述了各类电分析化学方法的原理和实验技术。重点描述了国产广为应用的种种电分析化学仪器的原理、结构及与之相关的电子技术基础，也介绍了新的电分析化学手段、方法。我相信这本书的出版将会使电分析化学在四化建设中发挥更大的作用。

汪尔康

1986年9月24日

目 录

第一章 电子技术基础	(1)
第一节 电子元器件.....	(1)
第二节 电阻电路和电容器的能量积累和释放过程.....	(14)
第三节 放大电路.....	(19)
第四节 集成运算放大器.....	(34)
第五节 振荡电路.....	(39)
第六节 微处理器在电分析仪器中的应用.....	(45)
第二章 电导分析法	(56)
第一节 溶液的电导.....	(56)
第二节 溶液电导的测定.....	(59)
第三节 电导分析法.....	(61)
第四节 DDS—11型电导仪.....	(63)
第五节 DDS—11A型电导仪.....	(73)
第六节 电导仪常见故障的检查方法.....	(80)
第三章 电位分析法	(82)
第一节 化学电池中的相界电位.....	(82)
第二节 离子选择电极的膜电位.....	(92)
第三节 离子选择电极的性能.....	(113)
第四节 离子选择电极的定量技术.....	(122)
第五节 离子活度计的原理及使用技术.....	(131)
第四章 库仑分析法	(155)
第一节 库仑分析法的电化学基础.....	(155)
第二节 库仑分析法的原理和基本装置.....	(161)

第三节	库仑分析实验技术	(163)
第四节	自动滴定微库仑计	(169)
第五章	普通极谱分析法	(174)
第一节	极谱分析法大要	(174)
第二节	扩散电流理论	(178)
第三节	干扰电流及其消除	(183)
第四节	极谱波方程式和半波电位	(190)
第五节	极谱定量分析技术	(199)
第六节	极谱分析实验技术	(201)
第七节	汞中毒的预防和废汞的纯化	(202)
第六章	现代极谱法	(206)
第一节	极谱催化波	(206)
第二节	溶出分析法	(213)
第三节	示波极谱法	(221)
第四节	方波极谱法原理及仪器使用技术	(254)
第五节	脉冲极谱法原理及仪器使用技术	(265)
第六节	新极谱法的原理及仪器使用技术	(270)
第七节	384型极谱仪的功能和使用技术	(281)
第八节	883型笔录式极谱仪的工作原理及仪器使用技术	(303)

电子技术基础

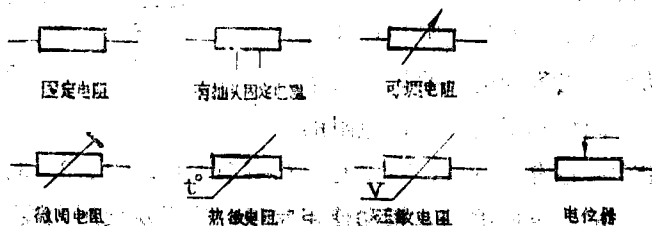
电化学分析法，一般要用到化学、物理学、电子学、数学等学科中的原理和综合技术，实现确定物质的组成和价态等任务。而电分析仪器则是完成这些任务的工具。各种分析仪器广泛应用电子技术，为此，先对电化学分析仪器常涉及的电子技术基本知识作一简明的介绍。

第一节 电子元器件

学习电子技术，重视电路原理无疑是重要的。但在电学分析仪器维修中缺乏电子元件知识，常常会给仪器的维修带来困难。据此，需对电子元件知识作介绍。

一、电阻器

1. 功能 电阻器的主要功能是能稳定和调节电路中的电流和电压。它在电路中常作去耦、偏置、负载、取样和匹配电阻用，其符号见图 1—1。



2. 固定电阻器的标志方法

国产的电阻器，品种繁多，为此，各类电阻器应有统一的标志方法，标明它们的阻值、允许偏差等参数，以便使用。常用的标志方法有两种：

(1) 直标法：直标法它是在电阻器上面直接用文字符号标出它的类别和参数，如图 1—2。

(2) 色标法：是在电阻的一端涂以色圈，表示该电阻的阻值和偏差。其方法是：用黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白分别表示 0、1、2、3、4、5、6、

图 1—1 电阻器的符号

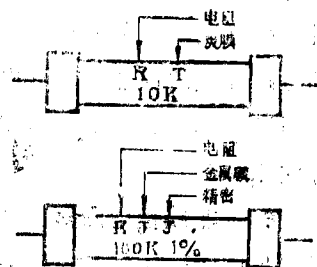


图 1—2 电阻器的直标法

7、8、9。电阻阻值的标注方法是：从左端开始，第1~2圈为有效数字，第3圈表示有效数字后有几个0（即位数），第4圈则表示误差，其中金色表示 $\pm 5\%$ ，银色表示 $\pm 10\%$ ，没有色标的表示 $\pm 20\%$ ，如图1—3。

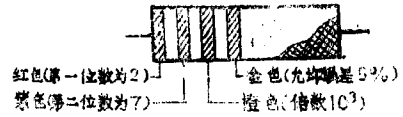


图1—3 实芯合成电阻

3. 电阻器型号的命名方法 主要依据产品的主要特征或制成元件的主体材料。产品的型号由四部分组成，如图1—4。

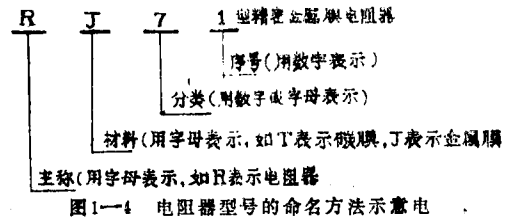
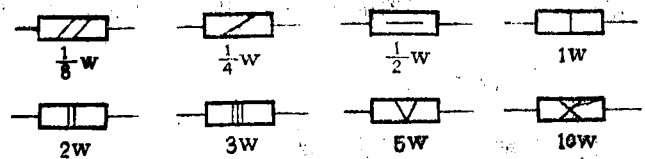


图1—4 电阻器型号的命名方法示意图

4. 电阻器的主要参数指标 有标称阻值、允许偏差、额定功率（ P_R ）、最高工作电压、静噪声电动势、绝缘电阻、绝缘耐压、温度系数及附加参数等。选择什么样的电阻，在仪器设计已经考虑了。从使用的角度讲，主要应了解前三项指标。

国家规定了一系列的阻值作为产品的标准，这一系列阻值就叫做电阻的标称阻值。电阻的实际阻值的最大允许偏差除以该电阻的标称值所得的百分数叫做该电阻的误差。对于误差，国家也规定了一个系列。普通电阻的误差可分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 三种，在标志上分别以Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ表示。误差为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ ……的电阻称为精密电阻。

当电流通过电阻时，电阻会因消耗功率而发热，这种因发热而消耗的功率不得超过某一数值。这个不能将电阻烧坏的最大功率值就称为电阻的额定功率。



1—5 电阻的瓦数符号

同标称阻值一样，电阻的额定功率也有标称值，通常有1/8、1/4、1/2、1、2、3、5、10和20瓦等等，如图1—5。

5. 电阻器的选择和使用常识 这里从使用角度介绍几类电阻的特点，以供仪器维修时参考。例如线绕电阻具有：稳定性好、精密度高、噪声比小、能耐高温，并较容易作成大的额定功率，能够承受较大的过载；其缺点是体积较大，价格也高。实芯合成电阻虽价廉，但阻值不太稳定，噪声也较大。碳膜电阻，稳定性较好，温度系数不大，噪声也较小，阻值和额定功率范围都很广，精度也较高。金属膜电阻在很多方面比碳膜电阻更优越，特别是耐高温的性能好，导电膜的机械强度高，温度系数也小。在使用时应根据电路的要求合理进行选择。当一时找不到所需要的电阻值及功率的电阻时，可以采用串联和并联的办法来解决。

6. 非线性电阻器 非线性电阻器最常用的有热敏电阻和压敏电阻，它们在电路中的符号见图1—1。热敏电阻是一种由半导体制成的非线性电阻器，它的电阻值对温度变化很敏感。电阻值随温度升高而增大的称为正温度系数热敏电阻，电阻值随温度升高而降低

的称为负温度系数电阻。负温度系数热敏电阻是目前使用最普遍的热敏电阻，其外形有圆形、方形和棒形，主要应用在温度补偿、温度测量、过载保护和振幅稳定等方面。

热敏电阻的标称阻值是指环境温度为 25°C 时的电阻值。测量热敏电阻不能用普通的欧姆表，因为它的工作电流较大，会使热敏电阻发热而造成阻值改变。

压敏电阻的电阻值，在其两端加电压至一特定值时，会急剧变小。它在电子电路中常作过压保护和稳压元件用。

7. 电位器 是一种连续可调的电阻器，其可动臂的接触刷在电阻体上滑动，可获得与电位器外加输入电压和可动臂转角成一定关系的电压输出。

电位器分线绕和非线绕两大类。线绕电位器由电阻丝绕在环状骨架上制成；非线绕电位器常用的有碳膜和实芯两种。碳膜电位器的电阻体是在纸胶板的马蹄形基体上涂一层碳膜而成；实芯电位器是用有机或无机粘合剂将碳质导电材料加填充料连引出端压在绝缘基体上，并经热聚合或烧结而成。

线绕电位器的接触电阻小、精度高、温度系数小。但易断线，尤其是较大阻值的，故只制成 $100\text{K}\Omega$ 以下阻值的。由于分布电感和分布电容存在的关系，它不适用在高频电路使用。

碳膜电位器的制造工艺简单、价廉，但难以制造低阻值（ $<100\Omega$ ）的电位器，稳定性和耐热性也较差，应采用密封结构质量较高的。

实芯电位器耐温、耐磨、体积小。性能比一般碳膜电位器好。

电位器可动臂转角与输出特性成直线关系的，称为线性电位器，用字母X表示；与输出特性成指数规律的叫指数式电位器，用字母Z表示；与输出特性成对数关系的叫对数式电位器，用字母D表示。在分析仪器中，使用较多的是线性变化式电位器。

线绕电位器的允许偏差一般为 $\pm 5\%$ 及 $\pm 10\%$ 。非线绕电位器的允许偏差一般为 $\pm 10\%$ 及 $\pm 20\%$ 。根据电路要求而定。

分析仪器中常用带锁紧装置的电位器，在需要调整仪器时，将锁紧螺丝松开后再行调节，调好后再锁紧，以防振动而使阻值变化。

二、电 容 器

电容器系由两个或两组金属电极间隔一层介质构成。

它属贮能元件，即能够被充电和放电。在电路中，电容器具有阻止直流电通过和允许交流电通过的功能。此外，电容器上的电压不能突变，这也是分析电路的基本概念之一。电容器的符号如图1—6。①固定电容器；②穿心式电容器；③电解电容；④无极性电解电容；⑤、⑥可变电容器；⑦微调电容器。

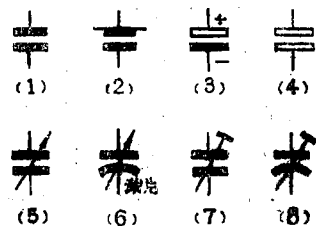


图1—6 各种电容器的符号

电容器分为固定、可变和微调三类。固定电容器，习

惯上按所选用的介质材料分类,如陶瓷、云母……等。介质材料通常用拼音字母来表示,如CC示瓷介电容,CY示云母电容,CZ示纸介电容,CL示涤纶电容器等等。

当在电容器两个极间加以电压时,电极上就贮存电荷,在一定的电压下,电容贮存电荷的能力叫做电容量。电容器贮存电荷越多,电容量越大。电容量的大小与电极面积、介质的介电常数和厚度有关。电极的有效面积越大,介质的介电常数越大,介质越薄,电容器两个极板之间距离越近,电容量就越大。

电容量的误差,国际电工委员会推荐用字母表示: $D = \pm 0.5\%$; $F = \pm 1\%$; $G = \pm 2\%$; $J = \pm 5\%$; $K = \pm 10\%$; $M = \pm 20\%$; $N = \pm 30\%$; $P = \begin{smallmatrix} +100 \\ -0 \end{smallmatrix} \%$; $S = \begin{smallmatrix} +50 \\ -20 \end{smallmatrix} \%$; $Z = \begin{smallmatrix} +80 \\ -20 \end{smallmatrix} \%$ 。

这些字母常标志在电容器上面,以示它们的误差大小。

1. 几种常见电容器的主要特点及其使用

(1)陶瓷电容器:是用陶瓷作为介质,在瓷片的两面各烧渗一层银作为极板而制成的。其外形结构有圆形、方形和管形等各种。陶瓷电容器包括高频瓷、低频瓷介电容器和独石电容器等几种。

高频瓷介电容器使用介质的介电常数小于100,在国际上称为Ⅰ型瓷介电容器。它的体积小,稳定性高,高频特性好,损耗低,绝缘电阻高,容量误差小,还能在相当高的温度下应用,是一种高质量的电容器。常用在电子设备中的高频电路和振荡回路中。也可作为放大器的极间耦合和隔直流电容器。

低频瓷介电容使用介质的介电常数大于1000,如铁电瓷介电容器,在国际上称为Ⅱ型瓷介电容器。它的体积小、电容量大,但稳定性较差,介质损耗较大($\text{tg}\delta < 0.03 \sim 0.05$)。

低频瓷介电容器限于在工作频率低的回路中作旁路或隔直流电容用,或对稳定性和损耗要求不高的场合。这种电容器不宜使用在脉冲电路中,因为它们易于被脉冲电压击穿。

穿心式或支柱式结构的瓷介电容器,它的一个电极就是安装螺丝,引线电感极小,特别适用于高频旁路用。

独石电容器,即多层陶瓷电容器,是60年代的产品。其结构是在若干片陶瓷薄膜环上被覆电极浆材料,叠合后一次烧结成一块不可分割的整体,外面再用树脂包封而成。它是一种小体积、大容量、高可靠和耐高温的新型电容器。高介电常数的低频独石电容器也具有稳定性好,体积小的优点。

(2)云母电容器:就结构而言可分为箔式及被银式。被银式电极是直接在云母片上用真空蒸发法或燃渗法镀上银层而成。由于消除了空气间隙,温度系数大为下降,电容稳定性也比箔片式高。应用最广的是将被银式电容器芯压入塑料外壳中的一种,体积较小,受温度及外界空气压力的影响很小。

云母电容器的性能优良,是一种高稳定、较精密的电容器,它的绝缘电阻高($> 7500\text{M}\Omega$),损耗小、工作电压高,不易老化,温度及频率特性稳定。通常电容量均在 $0.01\mu\text{F}$ 以下。它广泛的应用在高频电路中,并可用作标准电容器。

(3)玻璃釉电容器：其介质是由一种浓度适于喷涂的特殊混合物喷涂成的薄膜。在膜上再镀以银层电极经烧结而成“独石”结构。玻璃釉电容器的性能可与云母电容器媲美，能耐受各种气候环境，一般可在 200°C 或更高温度下工作，额定工作电压可达 500V ，损耗 $\text{tg}\delta 0.0005\sim 0.003$ 。

(4)纸介电容器：在电子设备中应用也很广。它的制造工艺简单，价格便宜，能获得较大的电容量，一般在 $1\mu\text{F}$ 以下，但容量误差较大且不易控制，质量较好的 $\pm 10\%$ ，损耗较大($\text{tg}\delta \leq 0.015$)，温度频率特性及稳定性也较差。目前使用的纸介电容器在包封上加以了考虑，因此使用性能有所提高。纸介电容器是中频电容器，一般应用在低频电路内，通常不能在高于 $3\sim 4\text{MHz}$ 的频率上运用。油浸电容器的耐压比普通纸介电容高，稳定性也好，适用于高压电路。

(5)薄膜电容器：其结构与纸介电容器相似，不过是用聚酯、聚苯乙烯等低损耗薄膜材料作介质。

聚苯乙烯电容器性能优良，具有很高的绝缘电阻($>20000\text{M}\Omega$)，损耗很小($\text{tg}\delta 0.0007\sim 0.0015$)，受频率影响较小，稳定性高，还有优良的防潮性能，电容量范围自 PF 量级至 μF 量级，误差可精确到 $\pm 0.05\%$ ，工作电压自 $1\text{V}\sim 15\text{KV}$ 以上。但工作温度较低，约 60°C 以下。聚苯乙烯电容器主要使用在对电容量要求高精度和稳定的电子电路中，也可使用在要求低损耗，小电容温度系数和高 Q 值的高频回路中，可部分代替云母电容器。其负温度系数可以与线圈的正温度系数互为补偿。在低频电路中可作为优良的耦合电容使用。特别适用于 RC 时间常数电路，因为它的介质吸收作用极微而放电快。

耐高温的薄膜电容器有涤纶电容器、聚四氟乙烯电容器和聚碳酸酯电容器等。

涤纶电容器也称聚酯电容器，它的性能优于金属化纸介电容器，电容量和电压范围很宽，体积小，耐热性好，最高工作温度可达 85°C 以上。但它的损耗较大($\text{tg}\delta < 0.01$)，温度频率特性不稳定，一般不适用于在高频工作，在电路中主要用作旁路和隔直流电容等。聚碳酸酯电容器的电性能优于涤纶电容器，可长期工作于 $+120\sim 130^{\circ}\text{C}$ 。

聚丙烯电容器的电性能与聚苯乙烯电容器相似，但单位体积电容量较大，能耐 $+100^{\circ}\text{C}$ 以上高温，温度稳定性则稍差。

(6)电解电容器：是用薄的氧化膜作介质的电容器。因其氧化膜有单向导电性，所以电解电容器一般具有极性。常见的有铝电解电容器、钽电解电容器和铌电解电容器。

铝电解电容器的特点是单位体积电容电压乘积较大，价格便宜。但稳定性差，损耗和漏电也较大，一般电容量的误差为 $-20\%\sim +50\%$ 。普通铝电解电容器不适用于在高频和低温下应用，不宜使用在 25KHz 以上频率，通常作低频旁路、耦合和电源滤波用。

钽电解电容器具有优良的温度特性，频率特性和可靠性，特别是漏电流极小，贮存性很好，寿命长，而体积小，单位体积下能得到最大的电容电压乘积，适用于超小型高可靠机件中使用。它的使用频率比铝电解电容器稍高，但最高工作电压仅 125V ，而且价格昂贵。

铌电解电容器以铌为电极，性能优于铝电解电容器，但比钽电解电容器稍差。铌在自

自然界中蕴藏量远比钽多，价格较便宜。

2. 电容器的主要特性参数

(1) 容量误差：即电容器实际电容量与标称电容量的最大允许偏差范围。常用的误差等级可分为 $\pm 1\%$ (00)、 $\pm 2\%$ (0)、 $\pm 5\%$ (I)、 $\pm 10\%$ (II) 和 20% (III)，可根据用途选用。一般谐振电容和本机振荡用的垫整电容等，应选用 $\pm 5\%$ 。作耦合旁路等用的电容器容量的要求是不严格的。

(2) 介质损耗：由于电容器使用的介质材料在工作过程中是要损耗一定能量的，这就是电容器的损耗，亦称介质损耗。这种损耗所消耗的能量是有功功率，因此，电容器上的交流电流和电压之间的相位差就要小于理论情况的 90° ，若以 δ 表示损耗所引起的相移，即损耗角。通常用损耗角的正切值 $\tan\delta$ 来表征电容器质量的优劣。 δ 值越小，电容器的质量就越好。当电容器的损耗角正切值 $\tan\delta$ 达到或超过下列值，可认为电容器已失效：对云母，高频瓷介电容器为0.0025；纸介，薄膜电容器大于规定损耗值的50%。

(3) 绝缘电阻：电容器绝缘电阻的大小，表示其绝缘性能的好坏。当电容器加上直流电压经长时间充电以后，其电流始终保持着一定的值，这种电流称为电容器的漏电流。加在电容器上的电压与通过电容器的漏电流之比，称为电容器的绝缘电阻（即按欧姆定律计算）。它以 $M\Omega$ 表示，电解电容的绝缘电阻以漏电流表示。电容器的绝缘电阻的大小与介质的体积、电阻系数、介质厚度以及极片面积的大小有关。为了减少漏电流的影响，要求电容器要具有很高的绝缘电阻，一般应在 $5000\sim 10000M\Omega$ 以上。

3. 电容器的选用 电容器是电子设备中使用最多的元件之一，广泛应用于各种频率的电路中。在实际应用时应按不同的电路要求，并根据各类电容器的技术特性合理选用。

(1) 大容量电容器的选用：对于低频、低阻抗的耦合、旁路、退耦电容以及电源滤波等电路，通常要使用几微法以上的大容量电容器。其中应用最广的是电解电容器。虽然一般电解电容器的容量偏差、介质损耗较大，稳定性较差。但在上述电路中是完全可以满足需要的。但使用时必须注意工作电压范围和环境工作温度。

对于要求较高的电路，如长延时电路等，大都用钽或铌为介质的优质电容器。另外，金属化纸介电容器也具有较高的质量指标，在条件允许时可采用这类电容器代替一般电解电容。

(2) 小容量电容器的选用：这是指小于几微法至几微微法的电容器。它的品种繁多，用途极为广泛。当仪器需要更换电容器时，可选同种产品换上便可。如手中无同类产品需代用时，在高频电路和脉冲电路中，可选用薄膜、瓷介和云母电容器，不能用纸介电容器。因为纸介电容器会产生超高频寄生振荡。对于一般电路，普通纸介电容器的质量已能满足需要。

(3) 电容器的额定工作电压：通常指的直流值，如果直流中含有脉冲成分，该脉动直流的最大值不应超过额定值；如果工作于交流电路，此交流电压的最大值也不应超过额定值。并且随着工作频率的升高，工作电压应降低。

有极性的电解电容器不能用于交流电路，只能工作于脉动直流，所以脉动直流的最大值

不能超过允许值。电解电容器的耐温性能很差，如果工作电压超过允许值，介质损耗将增大，易造成温升过高，最终必导致损坏。

一般小容量电容器的介质损耗很小，耐温性能和稳定性都较好，但电路对它们的要求也高，因此，选择额定工作电压时应留有一定余量，同时也应注意环境工作温度的影响。

三、电感器

1. 电感器及其在电路中的作用 通常电感器都由导线绕制而成，大体上可分为带有磁芯和不带磁芯两大类。其工作原理基本相同。

电感器也系储能器件，它的基本功能是贮存能量和泄放能量。其充放电过程与电容器有点类似，即电感上电流的增长和电压的变化按指数规律进行。电感器在直流电路中只有在电源开启和关闭两个瞬时有充放电效应，当瞬态效应消失之后，电感器对于直流电源相当于短路。然而，当其接于交流电源或脉动直流电源时，由于线圈周围的磁场不断变化，因而始终存在自感电势，有类似于电阻那样阻碍交流电流通过的作用。另外，电感器中的电流不能突变，也是分析电路的基本概念之一。

2. 电感器的种类 按其工作频率，可分为低频和高频两类。低频电感器又称为低频扼流圈，通常都带有硅钢片磁芯，多数是用于电源的滤波电路。但由于半导体器件的发展，目前一般都采用轻巧的晶体管稳压器件代替笨重的电感电容式滤波电路，低频扼流圈的应用已很少见。

高频线圈的品种很多，常用于无线电设备中，它是一种非标准元件，只有少数品种具有比较统一的规格，如接收机的中频变压器，振荡线圈和天线线圈等，它们在分析仪器中应用较少。

3. 变压器 是利用电磁感应原理制成的器件，根据初、次级圈数比的不同能有不同的电压输出，某种场合用于阻抗变换。实用变压器的种类很多，在分析仪器中应用较多的是电源变压器、耦合变压器等等。

(1) 变压器的主要参数：不同类型的变压器具有不同的特征，可由相应的参数来表示。这里以图 1—7 的低频变压器为例，扼要地介绍变压器的主要参数。

① 变压比：图 1—7 变压器有两个线圈，圈数分别为 N_1 和 N_2 ， N_1 为初级， N_2 为次级。初次级电压和线圈圈数之间具有下列关系：

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = n \quad (1-1)$$

式中： n —变压比；当 $n < 1$ 时，则 $N_1 > N_2$ ， $U_1 > U_2$ 。

2) 变压器的效率：在额定负载时，变压器的输出功率和输入功率的比值，叫做变压器的效率，即：

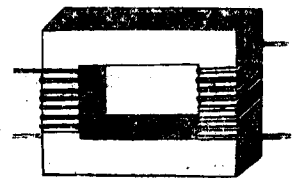


图 1—7 低频变压器的参数

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中： η —变压器效率。

当变压器输出功率 P_2 等于输入功率 P_1 时将不产生损耗，效率 η 为100%。但实际上这样的变压器是没有的，变压器在传输电能时总要产生损耗，这种损耗，主要有铜线损耗和铁芯损耗。一般大功率的变压器比较重视效率，小功率变压器比较重视功能。

3) 频率响应：是低频变压器的重要质量指标。通常要求变压器对不同频率分量的信号电压能均匀而不失真地传输。但实际变压器，由于两种损耗和漏感的存在，对不同频率分量的传输能力并不一样。从而使信号产生失真。

4) 变压器的电压、电流及阻抗间的关系：如果不考虑电能在变压器的损耗，那么次级线圈的输出功率 P_2 应等于初级线圈的输入功率 P_1 。即 $P_1 = P_2$ ，由于 $P_1 = U_1 I_1$ ， $P_2 = U_2 I_2$ ，所以

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \text{ 或 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1-3)$$

即变压器初级电压 U_1 与次级电压 U_2 之比等于次级电流 I_2 与初级电流 I_1 之比。

根据欧姆定律可以导出： $P = \frac{U^2}{Z}$ ，于是，

$$P_1 = \frac{U_1^2}{Z_1}, P_2 = \frac{U_2^2}{Z_2}, \frac{U_1^2}{Z_1} = \frac{U_2^2}{Z_2}$$

$$\text{所以 } \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{U_1^2}{U_2^2} \quad (1-4)$$

即：初、次级阻抗之比等于初、次级电压之比的平方。

如果阻抗比用变压比来表示，则有：

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{(N_2)^2}{(N_1)^2} = n^2 \quad (1-5)$$

很显然，输出阻抗等于输入阻抗的 n^2 倍。

四、半导体器件

当今半导体器件在电子电路中已居支配的地位。近十几年来半导体器件发展迅速，出现了一大批新型器件。半导体器件几乎是以PN结为基础的。

1. 半导体二极管

(1) 普通半导体二极管：当P型材料与N型材料生长在一起，便形成一个PN结，成为半导体二极管。什么是P型材料，什么又是N型材料？还得从半导体和掺杂说起。

1) 半导体和掺杂：目前，半导体中最常用的是两种元素——锗(Ge)和硅(Si)。最初的晶体管是由锗元素制成。目前元素硅在半导体制造中已超过锗的重要性。

不论锗还是硅，它先要高度提纯，然后有控制地掺入某些元素，根据掺入的杂质不

同，半导体材料分为P型和N型。N型半导体具有带负电荷的电子载流子。P型半导体则有带正荷的，叫做空穴的载流子。P型可以用硼(B)、镓(Ga)或铟(In)一类的元素对半导体进行掺杂而成；而N型则可掺入磷(P)、砷(As)、或锑(Sb)等元素制成。

不仅有P型和N型锗，同样也有P型和N型硅。

2) PN结的形成:

一块半导体中，其一侧掺磷形成N型半导体区，另一侧掺硼形成P型半导体区(见图1—8)，就会在交界面附近，N区的电子越过界面扩散到P区去填补空穴，P区的空穴也

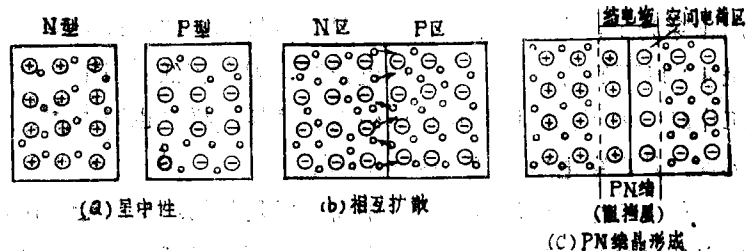


图1—8 pN结的形成

会扩散到N区去与电子复合。这样，在靠近界面的N区，由于电子跑到了P区，使磷原子带了正电，又因磷原子不能移动而留在原处，形成了正电荷区。同理，在靠近界面的P区，由于空穴跑到N区，使硼原子带负电并留在原处形成负电荷区。于是在界面附近产生了N区侧带正电荷，P区侧带负电荷的空间电荷区，这便形成了PN结。

当电源电压按某一种极性接到二极管时，结果N区的电子被电源的正极所吸引，而P区的空穴被负电源所吸引。这叫反向偏置，电荷被扩散到二极管两端，在PN结处留下了电荷载流子的空位。上述知道，导电时，必须产生电子——空穴的互换。但现在由于空穴和电子二者都从结上离开，致使电子——空穴的互换无法发生。其结果只有很小的电流流过或者说是一种高阻状态。

如果把加在二极管上的电压极性反过来，电源两端便各自排斥P区和N区的电荷，使电荷集聚于PN结处，这样电子——空穴就容易得到交换，导电易于产生，这叫正向偏置。二极管处于低阻状态，这就是二极管具有单向导电性的原因。从上可知，可改变加在二极管上的电压(偏压)极性，就可使二极管导通或截止。

3) 半导体二极管的种类：半导体二极管是一种具有单向导电性的半导体器件。据其表面阻挡层的不同，可分为点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管的特点是：正反向电阻相差大(数百倍以上)、结电容小，损耗功率也小，机械强度高，使用寿命长，制作简单。常用于小电流的整流，高频及超高频检波和混频等。

面接触型二极管，能承受比点接触型二极管更大的整流电流，正向电压降也小，整流效率高，可以作大功率整流二极管。这类二极管多用硅半导体材料制成。

硅二极管可以制成电流容量大，反向击穿电压高，反向电流小的硅整流二极管，但由于PN结面积大，使结电容较大，工作频率一般在几十KHZ以下。人们常常把几个硅整流管组成桥式电路封装在一起，成为桥式整流组件，如果将许多整流单元的管芯串联成堆并用环氧树脂灌封，它的反向耐压可达数十至数百KV，称为高压硅堆。

(2)稳压二极管：是一种特殊的二极管。其正向部分特性与一般二极管无异。当外加的反向电压小于其击穿电压 U_2 之前，反向电流极小，等于 U_2 时，反向电流急剧增大而处于击穿状态，这时尽管电流在一定范围内变化，其电压基本维持在击穿电压不变，其特性曲线见图1—9。这种击穿包括雪崩击穿和齐纳击穿两种形式。击穿电压大于6V的以雪崩击穿为主，大多数是硬击穿，具有较好的线性；齐纳击穿是4V以下的锗、硅PN结的电击穿，但在较低反向电流下工作时，电压偏离标称稳压值较大。稳压二极管也叫齐纳二极管，其击穿电压 U_2 称为齐纳电压。

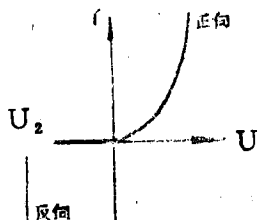


图1—9 稳压二极管的特性曲线

稳压二极管的温度系数在正向一般是负的。反向电压在4.5V以下为负温度系数，这是齐纳击穿效应特点所决定；大于6.5V的则具有正的温度系数，这是雪崩击穿效应所致；在5—7V的稳压管温度系数最小。

稳压二极管的动态电阻，就是它的交流阻抗 Y_2 ， $Y_2 = \frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}$ ，它是在稳压管击穿区内，一定电流范围内的电压变化量之比，即反向击穿特性的斜率。动态电阻随工作电流的不同而异，一般工作电流越大，动态电阻越小。

稳压二极管的结构有合金型和扩散型两种，前者的稳定电压小于30V，后者则可达300V。稳压二极管广泛应用于电源装置中，作为基准电压，过载保护和开关元件等用途。

(3)硅稳压二极管使用须知

- 1) 可以将任意数量的稳压管串联使用，但不能并联使用。
- 2) 工作过程中，在规定温度范围内，所使用稳压管的电流与功率不允许超过极限值。
- 3) 和大多数晶体管一样，稳压管引线的焊接，必须在离外壳5mm以远处进行，要用60W以下的电烙铁，时间不得超过5秒。
- 4) 使用稳压管时应注意电极连接方向，其上所加的电压应与一般整流两极相反。
- 5) 在稳压器中，由于稳压管有一定的电压稳定系数，为获得高稳定度的基准电压，需选择动态电阻小，温度系数小的管子。

2. 晶体三极管 是一种有三层结构的半导体器件，习惯上称晶体三极管，如图1—10。

虽然晶体三极管的功能很多，但多数场合是利用它的放大功能，它既可以放大电压，也可以放大电流。当同时放大电流和电压时，它就是功率放大器。晶体管因其结构牢固、寿命长、体积小、耗电省等优点，故在各个领域得到广泛应用。

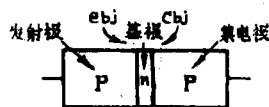


图1—10 pnp型晶体管的结构示意图

(1)晶体管的种类及其应用范围：晶体管用金属、玻璃或塑料外壳密封。晶体管有不少类型，最常见有下面几种。