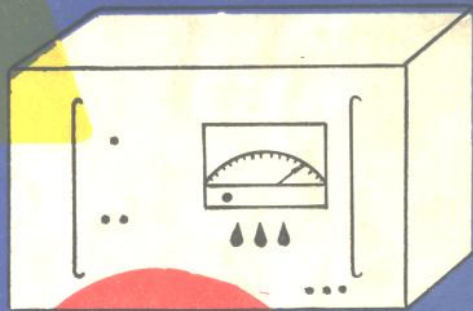
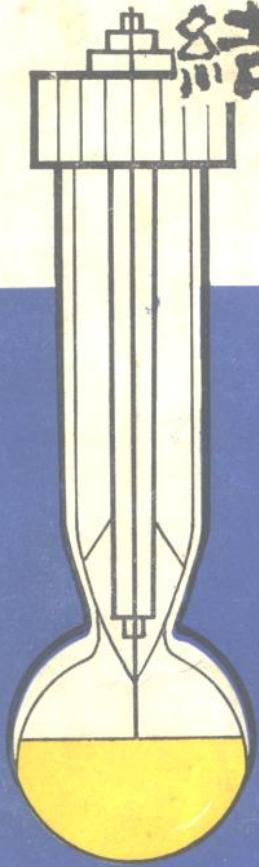


常用分析仪器

结构、使用与维修

王化正 李玉生 编著



石油工业出版社

DF47/27

常用分析仪器结构、使用与维修

王化正 李玉生 编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书详细叙述了比色计、分光光度计、原子吸收分光光度计、红外线气体分析器、发射光谱仪、酸度计、电位滴定计、电导仪、极谱仪、气相色谱仪等常用分析仪器的结构原理、使用维护方法和常见故障及其检修方法。同时也扼要地介绍了常用分析仪器的零部件的构造、使用、维护方面的知识。全书最后还汇列了维修方面的一些小经验,供读者参考。本书通俗易懂、深入浅出,实用性强,可作为广大化学分析工作者和分析仪器检修人员的重要参考书。

常用分析仪器结构、使用与维修

王化正 李玉生 编著

•

石油工业出版社出版

(北京安定门外语馆东后街甲36号)

妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

•

787×1092毫米 16开本 23³/₄印张 566千字 印1—25,500

1984年2月北京第1版 1984年2月北京第1次印刷

书号: 15037·2433 定价: 2.60元

序 言

《常用分析仪器结构、使用与维修》一书，从对实验室常用的各种分析仪器的测试原理、结构分析和基本线路出发，对它们的正常使用、维护、修理和常见故障的排除作了详细的叙述和介绍，是李玉生、王化正二位同志多年辛勤工作、积累了丰富的实践经验后整理、总结编写而成的。本书讲述清楚、理论联系实际，可作为分析化学工作者和使用、管理、维修各类分析仪器的广大科技人员和分析化验人员的重要参考书。

本书内容主要是对国内近二、三十年生产的典型分析仪器作了详尽的剖析。虽然当前国内外分析仪器设计千变万化、日新月异，但读者仍可以从本书中获得与分析仪器有关的光学、电子学的基础理论、元件及零部件性能、线路分析与设计、仪器维护等方面的基本原理和知识。这不但对用好、维护好国内外的新型仪器有很大的实用价值，而且对广大实验工作者根据需要自己设计和组装要用的小型分析仪器有较大帮助。希望有关专业的读者能充分发挥实验室现有国内外仪器的作用和潜力，为我国的社会主义四化建设更好地服务，更多地做出贡献！

本书涉及的面较广，难免有错、漏之处，请读者多加指正。

北京大学化学系 高小霞

一九八一年十二月

编 著 者 的 话

随着我国工农业生产的飞跃发展,化学分析仪器已被广泛地应用于国防、科研、石油化工、医药卫生、水文地质、环境保护以及工厂常规化验等各个领域。

分析仪器的广泛应用,随之带来的突出问题是如何正确的进行日常的使用、维护、调试和检修等。目前介绍这方面内容的书籍甚少,广大分析工作者迫切需要得到一本实用的分析仪器使用维修方面的书,以促进仪器分析的发展、分析仪器知识的普及与提高和仪器使用寿命的延长,以最少的仪器装备,发挥出最大的效益。为此,我们编写了《常用分析仪器结构、使用与维修》一书,以飨读者。

在本书与读者见面之时,必须指出,对于分析仪器而言,正确的使用、经常的细心的维护是第一位的,及时的必要的检修只能是第二位的、从属的。在分析仪器的使用中必须贯彻“预防”为主的思想,切不能依赖检修而忽视了日常的维护、保养。在进行分析仪器的检修时,首先必须弄懂、弄通仪器的结构、线路及原理,在全面了解和细心分析观察错综复杂的故障现象并备有必要的检测工具的基础上,方能进行检修;在检修中要注意防止急于求成、主观臆断或机械地照搬照用检修方法的错误倾向。

本书在编写过程中,得到了两位化学家的热情鼓励 and 大力支持:中国科学院学部委员、南开大学化学系申泮文教授对本书进行了全面的详细的审校,并提出了不少宝贵意见;中国科学院学部委员、北京大学化学系高小霞教授在百忙中审阅了本书,并特为本书写了序言,我们在此表示衷心的感谢。

本书编写过程中,还得到了中国分析仪器学会秘书长路致林同志、南京大学化学系陈洪渊同志、五机部东华计量所、北京分析仪器厂、北京第二光学仪器厂、上海分析仪器厂和厦门光学仪器厂等有关同志的热情帮助和支持,作者特表深切的谢意。

由于我们水平有限、经验不多,书中难免会有不妥和错漏之处,恳请读者批评指正。

编 著 者
一九八二年十一月

目 录

第一章 常用分析仪器的零部件	1
第一节 电子元件.....	1
第二节 繁用电表.....	17
第三节 检流计.....	21
第四节 直流电位差计.....	29
第五节 自动平衡电子电位差计.....	33
第六节 电阻箱的调修.....	38
第二章 光电比色计	41
第一节 朗伯-比尔定律.....	41
第二节 光电比色计的基本结构.....	42
第三节 581-G型光电比色计.....	45
第四节 GXG-915 型光电比色计.....	50
第五节 520和521型光电比色计.....	52
第三章 分光光度计	56
第一节 72型光电分光光度计.....	56
第二节 721 型分光光度计.....	63
第三节 751 型分光光度计.....	74
第四节 751 型分光光度计电子线路.....	79
第五节 751型分光光度计的使用与维修.....	100
第四章 原子吸收分光光度计	108
第一节 仪器装置.....	108
第二节 仪器基本原理及特点.....	114
第三节 WFD-Y ₂ 型原子吸收分光光度计.....	115
第五章 红外线气体分析器	136
第一节 QGS-04 型红外线气体分析器.....	136
第二节 QGS-05 型红外线气体分析器.....	152
第三节 HQG-71A 型红外线气体分析仪.....	155
第六章 发射光谱仪	165
第一节 光源.....	166
第二节 看谱仪.....	172
第三节 摄谱仪.....	177
第四节 测微光度计.....	181
第五节 光电直读光谱仪简介.....	184
第七章 酸度计	187

第一节	酸度计的结构	187
第二节	直接耦合直流放大式酸度计	193
第三节	直流放大补偿式酸度计	213
第四节	调制式酸度计	216
第五节	酸度计的使用与维护	230
第八章	电位滴定计、电极电位仪和离子计	232
第一节	21-1型自动电位滴定计	232
第二节	ZD-2型自动电位滴定计	238
第三节	DD-2型电极电位仪	243
第四节	PXD-2型通用离子计	247
第九章	电导仪	251
第一节	27型电导仪	251
第二节	DDD-32B型工业电导仪	255
第三节	DDS-11型电导仪	261
第十章	极谱仪	265
第一节	871型极谱仪	265
第二节	883型笔录式极谱仪	272
第十一章	气相色谱仪	287
第一节	气相色谱检测器	287
第二节	气相色谱仪的结构	300
第三节	SP-2305型气相色谱仪	303
第四节	气相色谱仪使用注意事项	333
第五节	气相色谱仪的维护	333
第六节	气相色谱仪的修理	335
第十二章	维修小经验40例	351
参考文献		372

第一章 常用分析仪器的零部件

电子器件是组成分析仪器的零部件。繁用电表（也叫万用电表）是一种简易通用的修理测试工具。检流计是常用分析仪器中应用较多的重要部件。直流电位差计、电子电位差计和电阻箱则是分析仪器中的测试和检定附件。因此，了解它们的构造、使用和修理，对了解、掌握分析仪器并进行正常的仪器配套检测是很必要的。我们将这部分内容放在本章统一作了介绍，其他各章凡涉及到这方面内容的就不复赘述了。

第一节 电子元件

随着电子工业的飞速发展，常用分析仪器的电路结构不但种类繁多，而且日趋复杂、自动化程度越来越高。如果我们想掌握、使用和修理这些仪器，就必须看懂它们的电路图（线路图），还必须对电子元件有所了解。本节将介绍电路的组成，然后分别简述电阻、电容、变压器、电子管和晶体管等方面的知识，以使读者对线路有一个较为完整的基本概念，并为常用分析仪器的线路分析和故障排除打好基础。

一、电路图的分类

无线电电路图所表示的是各种无线电设备的电路。电路是由电源、负载和连接导线所组成。不论电路的结构如何复杂，它们和最简单的电路之间还是有许多最基本的共性，并且遵循着相同的规律。常见到的有关分析仪器的结构图有电路原理图、安装图和方框图三种。

1. 电路原理图

电路原理图（也叫线路图）是表示仪器工作原理的。在这种图上用符号代表各种电子元件，用连接线表示出各个元件和电路的连接情况，各个元件旁还注有它的规格数值。有了这种图，就可以研究电路的来龙去脉，研究电流是怎样在仪器的元件和导线里流动的，进而分析仪器的工作原理。图7-26等就属于这种图。

2. 安装图

安装图也就是布线图，用元件的实际样子表示的布线图又叫实体图。上面所说的原理图只说明电路的工作原理，但看不到各元件的实际形状和大小以及在仪器中的位置和连接情况，而安装图就能解决原理图所不能解决的这些问题。如果采用印刷电路板，安装图就要用实物图象或符号来画出每个元件在印刷板上的位置，并标明它焊在哪些接线孔上。图10-13就属这种图。有了布线图就能很方便地知道各元件的实际位置，顺利地排除仪器所发生的线路故障。

3. 方框图

方框图只能表示整个仪器的大致结构及其主要组成部分。在方框图中，仪器的每一部分用一个方框表示，并用文字或符号加以说明，各方框之间用线条连起来，表示各部分之

间的关系。方框图只能说明仪器的轮廓以及类型，大致工作原理，而不能看出电路的具体连接方法和元件的型号、规格。

二、电 阻 器

1. 电阻

在仪器的电路中，为了控制电路中的电压和电流或者使放大的电压或电流表现它的工作效率，需要一种具有一定电阻数值的元件，这种元件称为电阻器，通常叫“电阻”。电阻在电路图中用字母“R”或“r”来表示。

电阻器的基本单位是欧姆（简称欧），用符号“ Ω ”表示。在实用中，通常还使用比欧姆更大的单位如千欧（ $K\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）。它们之间的换算关系如下：

$$1M\Omega = 10^3 K\Omega = 10^6 \Omega$$

电阻器在电路中的符号如图1-1所示。

2. 电阻的主要指标

电阻的主要指标是电阻标称数值、误差和额定功率。我们要根据电路图的要求去选用电阻，就必须了解电阻的主要指标。

国家规定了一系列的阻值做为产品的标准，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就叫做该电阻的误差。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。

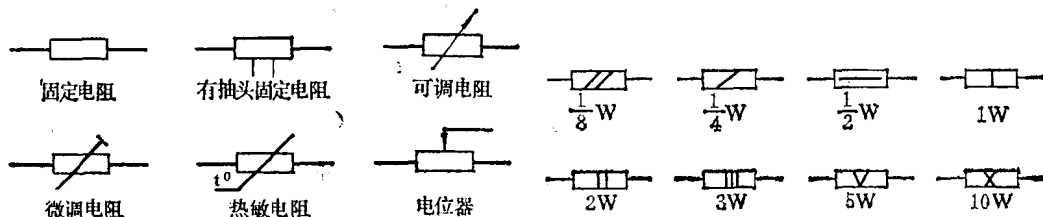


图 1-1 电阻器的符号

图 1-2 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 $\frac{1}{8}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、1、2、3、5、10和20瓦等。“瓦”字在电路中用字母“W”表示。图1-2示出了不同瓦数的电阻符号。有的电阻上没有瓦数标志，我们就要根据电阻的体积大小来判断。常用的碳膜电阻与金属膜电阻的额定功率和体积大小的关系见表1-1。

3. 电阻的类别和型号

随着电子工业的迅速发展，电阻的种类也越来越多。为了区别电阻的类别、阻值和误差等级，就在电阻上用字母来标明，如图1-3所示。表1-2是电阻类别、字母符号标志说明表。

4. 色标阻值识别法

表 1-1 碳膜和金属膜电阻外形尺寸与额定功率的关系

额定功率 (W)	碳 膜 电 阻 (RT)		金 属 膜 电 阻 (RJ)	
	长 度 (mm)	直 径 (mm)	长 度 (mm)	直 径 (mm)
$\frac{1}{8}$	11.0	3.9	6~8	2~2.5
$\frac{1}{4}$	18.5	5.5	7~8.3	2.5~2.9
$\frac{1}{2}$	28.0	5.5	10.8	4.2
1	30.5	7.2	13.0	6.6
2	48.5	9.5	18.5	8.6

碳质合成电阻和有些小碳膜电阻的阻值及其误差，一般用色环来表示（个别电阻也有用色点表示的）。色环所代表的数及数字的意义见表1-3。

如有一只电阻有四个色环，其顺序为红、紫、黄、银，这个电阻的阻值就是270,000Ω，即270KΩ±10%；另一只电阻如标有棕、绿、黑三道色环，其阻值则为15Ω，误差为±20%。

用色点表示的电阻，其识别方法与色环表示方法相同，这里不再赘述。

5. 电阻器的使用常识

表 1-2 电阻的类别和型号标志

顺序(自左至右)	类 别	名 称	简 称	型 号
第 一 位	主 称	电 阻 器	阻	R
		电 位 器	位	W
第 二 位	导 体 材 料	碳 膜	碳	T
		金 属 膜	金	J
		金 属 氧 化 膜	氧	Y
		线 绕	线	X
第 三 位	形 状 性 能 等	小 型	小	X
		精 密	精	J
		测 量	量	L
		高 功 率	高	G

当手头现有的电阻不是仪器所需阻值及功率的电阻时，可以采取串联和并联的办法来解决。电阻串联时阻值增加，串联后的电阻总阻值

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

电阻并联则阻值减小，并联后的电阻总阻值

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

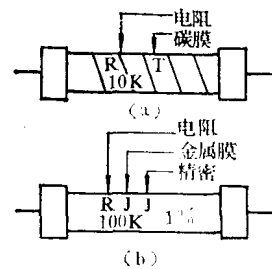


图 1-3 电阻上的字母标志

表 1-3 色环所代表的数及数字的意义

色 别	第一色环第一位数	第二色环第二位数	第三色环应乘位数	第四色环误差
棕	1	1	10	—
红	2	2	100	—
橙	3	3	1,000	—
黄	4	4	10,000	—
绿	5	5	100,000	—
蓝	6	6	1,000,000	—
紫	7	7	10,000,000	—
灰	8	8	100,000,000	—
白	9	9	1,000,000,000	—
黑	0	0	1	—
金	—	—	0.1	$\pm 5\%$
银	—	—	0.01	$\pm 10\%$
无 色	—	—	—	$\pm 20\%$

在串联电路中,阻值大的电阻所分得的功率也大;但在并联电路中则阻值小的电阻分得的功率大。为保证电阻的耐热可靠,所选用的额定功率应比它实际承受的功率大1.5~2倍为宜。

小型电阻的引线不要剪得过短,一般不应小于5 mm,以避免在焊接时热量传入电阻内部,引起阻值的变化。

额定功率10W以上的线绕电阻在使用时应固定在特制的支架上,同时要注意留有一定的散热空间,以防止电阻温升过高或烤坏其他元件。可调式线绕电阻要安装在便于调整的地方,需要调整阻值时首先要松开环上的螺丝再进行调整,以防止电阻丝折断。

电阻在使用前最好用仪表测量一下阻值,核对无误后再用。非线绕电阻在使用前,要经过热处理,热处理方法见第十二章第2条。在修理仪器需要掉换线绕电阻时,应把电阻支架架起来,以免和底板接触造成短路,同时这样做也有利于散热。

三、电 容 器

1. 电容器

电容器是一种能储存电能的元件。两块金属板相对平行而不相接触就构成一个最简单的电容器。如果把金属板的两端分别接到电池的正、负极,那么接电池正极的金属板上的电子就会被电池的正极吸引过去而带正电荷;接电池负极的金属板,就会从电池负极得到大量的电子而带负电荷。这种现象就叫电容器的“充电”。充电时,电路里就有电流流动。当两块金属板因充电而形成的电压与电池的电压相等时,充电停止,电路没有电流,相当于开路,这就是电容器能隔断直流电的道理。

如果将电容器与电池断开,用导线把电容器两金属板接起来,则在刚接通的一瞬间,电路中便有电流流过,这个电流与原充电的电流方向相反。随着电流流动,两金属板之间的电压很快降低,直到两金属板上的正、负电荷完全消失,这种现象叫做“放电”。

如果电容器的两金属板接上交流电,则因为交流电的大小和方向在不断地变化着,电容器两端也必然交替地进行充电和放电,因此电路中就有电流不停地流动。这就是电容器能

通过交流电的道理。

电容器在电路图中用字母“C”来表示。各种电容器在电路图中常用的符号如图1-4所示。

电容器的基本单位是法拉，用字母“F”表示。在实际应用中，法拉这个单位太大，最常用的单位是百万分之一法拉，称为微法拉，用“ μF ”表示；有时也用微法拉的百万分之一为单位，称作微微法拉，用“ $\mu\mu\text{F}$ ”或“PF”表示。在复杂线路图中，为了表示方便起见，常用一些简写形式，例如“ μ ”或“P”等。

2. 电容器的指标

电容器的主要指标有以下几个：

(1) 额定直流电压 就是电容器在线路中能够长期可靠地工作而不致被击穿所能承受的最大直流电压（又称耐压），其单位是伏特，用“V”表示。额定直流工作电压的大小与介质的种类和厚度有关。

(2) 标称容量和允许误差范围 为了生产和选用的方便，国家规定了各种电容器容量的一系列标准值，称为标称容量，也就是在电容器上所标出的容量。

实际生产的电容器的容量和标称电容量之间总是会有些误差的。所以要根据不同的允许误差范围，规定电容器的精度等级。电容器的电容量允许误差分为五个等级，00级表示允许误差为 $\pm 1\%$ ；0级表示允许误差为 $\pm 2\%$ ；I级表示允许误差 $\pm 5\%$ ；II级表示允许误差 $\pm 10\%$ ；III级表示允许误差 $\pm 20\%$ 。

(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，其电流最终仍能保留一定的值，这种电流称为电容器的漏电流。这时绝缘电阻可按欧姆定律计算。

电容器绝缘电阻的大小和介质的体积、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 $5000\sim 10000\text{M}\Omega$ 以上。

3. 电容器的类别和型号

在固定电容器上，一般都印有许多字母来表示它的类别、容量、耐压和允许误差。表1-4中第一个字母代表主称电容器，第二个字母代表电容器所用介质的材料；以后的字母分别代表形状、结构等。例如“CZX”则代表小型纸介电容器。电容器容量允许误差的表示方法，有的是在电容器上面直接标出误差的百分数，也有的是标出误差等级。

4. 电容器的使用常识

(1) 当现有的电容器和修理仪器所用的电容不相同或所需耐压不够时，都可采用串联或并联的方法来解决。

电容器并联就相当于加大了极片的面积，因此并联后的电容量是各个电容量的总和。它的计算公式是：

$$C_{\text{并}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

电容器串联就相当于增加了电容介质的厚度，也就是加大了电容器两极板之间的距离，因而使电容量减小。串联后的电容量用以下公式计算：

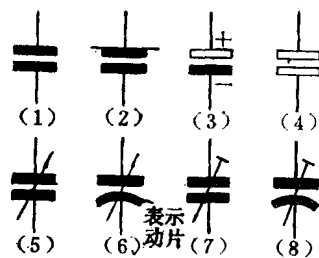


图 1-4 各种电容器的符号

1—固定电容；2—穿板式电容；3—
电解电容；4—无极性电解电容；5、
6—可变电容；7、8—微调电容

表 1-4 电容器的类别和型号

类 别	名 称	简 称	字 母
主 称	电 容 器	容	C
介质材料	纸 介 电 解 云 母 瓷 介 铁 电	纸 电 云 瓷 铁	Z D Y C T
形 状	筒 状 管 状 立式矩形 圆 片 形	筒 管 立 圆	T G L Y
结 构	密 封	密	M
大 小	小 型	小	X

$$C_{\text{串}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$

如果把两只容量相同的电容串联起来，其总耐压就可增加 1 倍。如果两只容量不等的电容串联，则电容量小的所承受的电压要高于电容量大的所承受的电压。

(2) 电容器接在电路中时，其两端的电压不应超过电容器本身的耐压值。使用电解电容时，除了注意耐压值外，还要注意正、负极不能接错，否则电解电容器将被损坏，甚至会发生危险。

(3) 不同的电路应选用不同类型的电容。谐振电路可用云母、陶瓷等电容器；隔直流电路可选用纸介、涤纶、云母、电解和陶瓷等电容器；滤波电路可选用电解电容器；旁路电路可选用涤纶、纸介和陶瓷等电容器。

(4) 电容器装入电路前应先检查是否有短路、漏电和断路，并要在核对其数值后再用。

(5) 在修理仪器更换电容时，应使电容器的标志易于观察，以便核对。焊接电容器时，要将电容器靠近底板，两根引出线都应固定，以免短路。

四、变 压 器

1. 变压器

根据两个线圈的互感原理，我们可以看到初级上的电能由于电磁感应作用能够传递到次级去，利用这个原理制作并起交连、变压作用的元件称作变压器。

最简单的变压器是在一闭合的铁芯上绕两个线圈。交流电源输入的那一个线圈称初级绕组，接负载的那个线圈称次级绕组。当初级绕组接上交流电压 U_1 时，由于在铁芯中产生了交变磁场，于是就在次级绕组中产生感应电势，因而有输出电压 U_2 。如果初级绕组的匝数为 n_1 ，线圈中的电流为 I_1 ，次级绕组的匝数为 n_2 ，线圈中的电流为 I_2 ，则

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

上二式说明，初级电压 U_1 与次级电压 U_2 之比等于初级匝数与次级匝数之比。也就是说，电压与匝数成正比，而电流与匝数成反比。对于一定功率的变压器来说，其输出电压升高，则其输出电流就会减小。

2. 变压器的构造和分类

变压器的种类很多。按用途分有：输入变压器、耦合变压器、输出变压器、电源变压器、调压变压器等。按铁芯结构可分为壳式和芯式两种。芯式变压器采用“□”形铁芯，变压器的初、次级分开绕在两边。壳式变压器采用“E”形铁芯，变压器的初、次级绕在中心柱上。按交流电频率范围来分，又可分为低频、中频和高频三类。低频变压器都有铁芯，中频和高频变压器一般是空气芯或用特制的铁粉芯。

低频变压器又可分为音频变压器和电源变压器，这是变换电压或作匹配阻抗的元件。电源变压器是供变换电压用的，而音频变压器则是供收音机或广播设备中用的。本书各章中所谈到的变压器的原理及线路主要是指电源变压器。

中频变压器习惯上称为中周，它有调容式和调感式两种。目前新式的中频变压器都是调感式的，可通过调线圈中的铁粉芯来改变线圈的电感量，它一般用在超外差式收音机的中频放大器里。

高频变压器多为空气芯的，也有加铁粉芯的。这种变压器又叫做耦合线圈或调谐线圈。收音机里所用的振荡线圈、高频放大器的负载回路和天线线圈都是高频变压器。因为这些线圈是用在高频电路中，所以电感量可以很小。

3. 变压器使用注意事项

使用变压器首先要分清它的初级和次级。例如25型酸度计，它的电源变压器中接220V的是初级，接灯丝和整流管屏极的是次级。

变压器是一种磁感应元件，它对周围的电感元件也有影响。因此，在安装变压器时，一定要注意变压器之间的相互位置和变压器对周围元件的影响。有时还须采取必要的屏蔽措施。在电路里，电源变压器有发热现象，还须考虑到安放的位置要有利于散热。

变压器线圈要通过变化的电流才产生感应作用，所以如果把变压器的初级接在直流电源上时，就没有感应作用，次级就没有感应电压。线圈对直流电来说是一个低电阻电路，如果电源变压器接在直流电源上，就会因发高热而烧坏，这一点一定要注意。

五、电子管及管座

在分析仪器中对高频信号和低频信号的放大、检波、整流等有些是靠电子管来完成的，因此了解常用电子管的结构和简单工作原理是很必要的。

1. 二极管

最简单的电子管是二极管，它有两个电极即屏极（也叫阳极或板极）和阴极。屏极用字母“A”表示，阴极用“K”表示。阴极又有两种：一种是直热式阴极，即将甲电直接接在阴极上，使它发热而发射电子，实际上这种阴极也就是灯丝，故称为直热式阴极；另

有一种是旁热式阴极，这种阴极也发射电子，不过是用另外的灯丝加热，由灯丝把热量供给阴极，从而间接地使阴极受热而发射电子。

当阴极受热而发射电子后，如果屏极连接一直流电源的正极，阴极接负极，那么从阴极发射的电子就会被屏极的正电场所吸引（异性相吸）而飞向屏极，形成电子流，这时二极管就导通。若屏极接电源负极，阴极接正极，从阴极发射的电子将受到屏极负电场的排斥（同性相斥）而不能飞向屏极，也不会产生电子流，这时二极管就不导电。当二极管的屏极和阴极间接有交流电时，只有在正半周（屏极为正，阴极为负）二极管才导电，而在负半周就不导电。在分析仪器中，就是利用二极管的这种单向导电特性，把交流电变成直流电，来完成“整流”作用的。

2. 三极管

由于二极管不能完成放大作用，所以为了放大交流信号，人们又发明了“真空三极管”。它是在二极管屏、阴极之间靠近阴极处再加入第三个电极，称为“控制栅极”简称（栅极）。栅极一般是由金属丝在支架上绕成螺旋状的栅网构成的。

（1）控制栅极的作用 为了说明这个问题，先把三极管按图1-5(a)电路连接起来。由于屏极对阴极来说加的是直流正电压，因而它会吸引从阴极发射出来的大量电子，形成屏流 I_a 。但是栅极对阴极来说加的却是直流负电压，栅极会排斥电子。这种屏极吸引和栅极排斥电子的作用是互相抵消的。

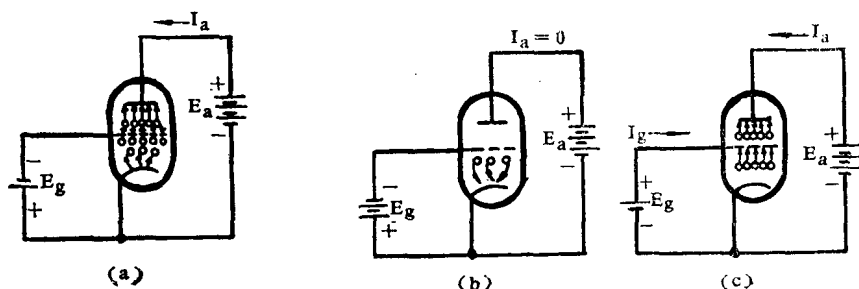


图 1-5 真空三极管控制栅极的作用

在栅极负电压 E_g 一定的情况下，如果提高屏极的正电压 E_a ，那么它对电子的吸引力就会加强，从而使屏流 I_a 增大。与此相反，在屏压 E_a 不变的情况下，如果栅极负压 E_g 所产生的排斥力能把全部电子都截住而返回阴极，就不会再有屏流，如图1-5 (b)所示。当栅负压减小时，电子受到栅极电场的排斥力也会小些，穿过栅网飞向屏极的电子增多，使屏流 I_a 增大。栅负压越小，飞过的电子数越多，屏流也就越大。如果栅极带正电，那么很多电子还会飞向栅极，产生栅极电流 I_g ，如图1-5 (c)所示。

显然，屏极电压 E_a 和栅极电压 E_g 的大小都能决定屏流的大小。从三极管的结构看，由于栅极距阴极较近，屏极距阴极较远，根据电场作用的特点，距离越近，相互作用力也越强，所以在同样的电压变化下，栅极电压的变化对屏流的影响比屏极电压变化对屏流的影响要大得多。正是由于二极管中加入了一个控制栅极，使三极管具有了放大作用。

（2）三极管对交流信号的放大 当在三极管的栅极加上交流信号时，栅压 E_g 将随交流信号的变化而变化，屏流也随交流信号而变化。这样，在交流信号正半周时也会出现栅流，使三极管的工作情况变坏，放大后的输出信号波形也会“失真”。为了不使产生栅

流,通常都在栅极上加一个负电压 E_g ,并使它的绝对数值大于信号电压的变化幅度,这样在交流信号的整个变化过程中就不会再产生栅流了,如图1-6所示。

放大后的输出信号从屏极负载电阻 R_a 上取出。当随栅极交流信号变化的屏流流过 R_a (高阻值电阻)时,根据欧姆定律可知,在 R_a 上会造成很大的电压降,这就得到了放大后的交流信号电压。这里 R_a 的作用是把电流变化转变为电压变化。通过 R_a 的电流变化越大,在 R_a 上的电压降变化也就越大。显然,如果 R_a 足够大,则输出电压的幅度要比栅极输入信号电压的幅度大很多倍,这就达到了电压放大的目的。

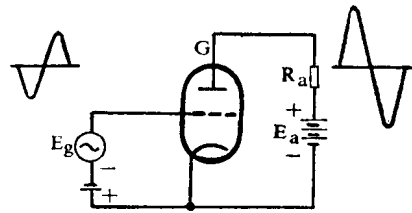


图 1-6 真空三极管对交流信号的放大

3. 其他类型的电子管

三极管虽能放大交流信号,但当信号频率太高或要求放大能力很大时,就不能很好地工作。为了克服这一缺点,进一步增大屏流,以提高电子管的放大能力和效率,又相继出现了四极管、五极管和束射四极管等。

分析仪器中常用的五极管有6J1、6K4和6P15等。除屏极和阴极外,五极管有三个栅极,即控制栅极、帘栅极和抑制栅极。束射四极管是具有阴极、控制栅极、帘栅极、屏极和束射屏的四极管,其中束射屏极装在帘栅极和屏极之间并与阴极相连,以使电子流能从束射屏的开口处集中射向屏极,使屏流增大。

随着电子管的不断改进,又出现了五栅管,它有五个栅极。所有电子管反映在电路图上都是把栅极绘成虚线,栅极多的管子则多绘上几条虚线。此外,还有一种复合管也是常见的,即一个电子管内包含两个电子管。图1-7所示双三极管6N2即为复合管的一种。

复合管的代表符号有时可分为两半画在两个地方,如图1-7(b)所示。还有一些其它结构的电子管,其代表符号如图1-8所示。

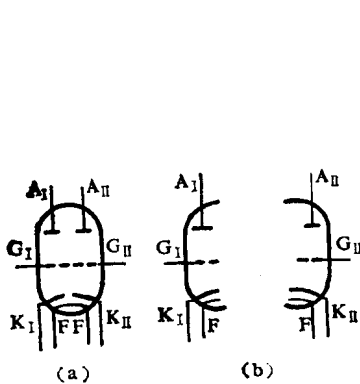


图1-7 复合管和符号

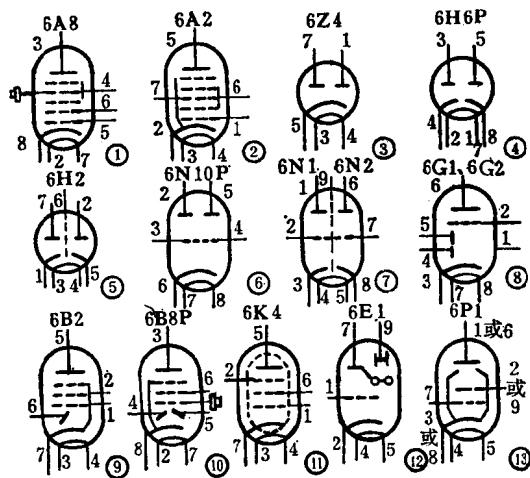


图 1-8 几种电子管的符号

1、2—七极变频管, 3—共阴极双二极管, 4—分阴极双二极管, 5—两组电极隔开的双二极管, 6—共阴极双三极管, 7—两组电极隔开的双三极管, 8—双二极-三极管, 9—二极-五极管, 10—双二极-五极管, 11—隔离的五极管, 12—调谐指示管, 13—输出束射四极管(功放束射四极管)

4. 电子管的接线法

一般电子管内部的每一电极都与一个管脚相连。但有些电子管内把两个极联在一起,如小型七脚管6A2,其抑制栅与阴极在管内是相连接的。有些电子管的某些电极是不独立存在的,没有引线引到管外,也有在管内接好的。例如,功率放大束射四极管6P1中的小屏就是如此。有一些电极有几个引出头,以适应不同条件的需要。如6P1屏极就有两个引出头,接线时可接1或6的任何一脚。有的电子管内加有隔离罩,应将隔离罩的引出线接到机壳或公共地线上。

熟悉电子管内部结构和接线方法很重要,这样在使用电子管时就不致产生接线错误。

5. 管脚和管座

常见的电子管有玻璃管和金属管等。玻璃管有体积较大的,如FU-7和普通八脚管6P6P等;也有体积较小的,如小七脚6A2、6K4和小九脚6N1、6N2等。

电子管各电极的引出线大多是从管脚引出的(也有少数电极是从管顶引出的)。随着电子管电极数的增加,电子管的管脚数目也相应增加。常见的电子管管脚有4、5、6、7、8、9、11、12、14、20和25个等,最少的为三个脚。但因为三个脚的管座在使用上不方便,所以都用四脚来代替,其中一个脚空着不用,如常用的12F管便是这样的。具有5、6个脚的管子一般都是旧式电子管。7脚管是小型花生式管子,它的管脚位置是按8个脚等分,但空一个脚不作引出线,以防止接错。如国产北京牌电子管6K4、6A2和6J1就是7脚小型管。8脚式管子的8个脚是等距的,为了防止插错位置又设了一个中心管脚,如6P13P就是一例。9脚管是小型电子管,如国产北京牌6P1、6N1、6N2和6Z19等。9个脚设在10个平均距离相等的位置中的九个位置上,其中一个位置空着没有管脚。另外还有一种老式的玻璃管,其管脚粗细不一致,其中二只粗管脚接灯丝,其他各极则用较细的管脚,如FU-25等。此外,还有11、12、14和25脚的电子射线管等。分析仪器中应用的电子管以7、8和9脚为最常见。管脚的编号是将电子管管脚朝上,从最大缺口(小型管)或管脚凸起部分(八脚管)数起。如果是管脚粗细不一致的电子管,就从粗管脚左边沿圆周按顺时针方向数,依次为1、2、3、4……。

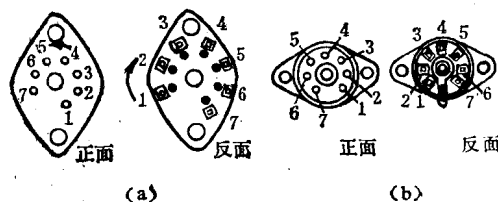


图 1-9 小型七脚管座

一个接地用的管座隔离芯,如图1-9(b)所示。

八脚电子管管座如图1-10所示。由图可见,中心有圆洞,圆洞有一处缺口,以保证电子管插对位置。管座插孔的排列次序应和电子管一致,即在管座反面(焊片朝上)按顺时针方向从插孔间隔最大处左边的那个插孔开始数(小型管)1、2、3、……,或从中心圆洞的缺口的左边那个插孔开始数1、2、3、……(八脚管)。如果从管座正面数,则可从管座距离最大的那个间隔的右边的管座开始(小型管)逆时针数1、2、3、……,或从中心孔缺口右边那个孔逆时针数1、2、3、……(八脚管)。

电子管管座是用瓷料或电木等绝缘材料制成的,有插孔和焊接片,插孔数与管脚数一般是一致的。不过有的电子管只有四只脚,但设计也得适用八脚管座。管座为配合不同电子管也相应应有各式各样的设计。我国常见的国产小型管管座如图1-9(a)所示。每一种小型管管座中间还装有一