



中等专业学校教学用书

电子器件

編者：长春邮电学院长途电信教研組

审校者：邮电院校电子器件教材选編組

人民邮电出版社

PDG

73.6
314
1

中等专业学校教学用书

电 子 器 件

編 者 长春邮电学院长途电信教研組

审校者 邮电院校电子器件教材选編組

人民邮电出版社



DT05/3218
內 容 提 要

本书主要是参考 1958 年邮电部在南京邮电学院組織編写的“电子管”及北京邮电学院中技部編写的“电子管”等书改写的。改写后的特点是加强了理論与实际的連系，使电子管与电路适当接合，加强物理概念，以期更适合中技教材的特点。但此处講述电路，其目的并不是介紹电路本身，而是为使学习者能更好地了解电子管的性能。

电 子 器 件

編 者： 长春邮电学院长途电信教研組

审校者： 邮电院校电子器件教材选編組

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者： 新 华 书 店

开本 850×1168 1/32

印張 7 1/2 頁數 228

印刷字數 190,000 字

1962 年 1 月北京第一版

1962 年 1 月北京第一次印刷

印數 1—9,150 册

統一書号：15045·总1275—无332

定价：(9)0.86元

序 言

本书主要是参考1958年邮电部在南京組織編写的邮电中等专业学校“电子管”教材和北京邮电学院中技部編写的“电子管”教材，并吸收了几年来各邮电院校在教学实践中积累的經驗和意見編写而成。

“电子器件”課程是学习各邮电专业課的理論基础課之一。根据教学大綱要求，在讲述本課程时应着重闡明物理概念，所以本书仍以讲述电子管的物理現象、特性和参量为主，适当地結合一部分应用电路，以便更好地理解与巩固电子管方面的理論知識。

本书共分十一章：第一至第五章讲一般电子管，在第三章三极管讲完之后介紹了音频放大器和电子管振盪器的基本电路。第四章讲帘柵管、五极管电压放大和功率放大器的特性。为了使学生会使用电子管手冊，并介紹了电子管变换因数。第五章多柵管讲完之后介紹了七极变频管应用电路。在第五章最后，为了把前面的內容綜合一下，特別介紹了无綫电广播简单原理和超外差式收音机基本电路。在这一部分中只增加了检波这一新概念，至于調幅和自动音量控制作用則是在变频与变跨导两个概念基础之上扩充的。

本书第六章介紹了普通超短波电子管的概念。第七章介紹了大功率电子管的简单知識。第八章阴极射綫管中还介紹了示波器方框图。第九章除讲述离子管外，还介紹了閘流管鋸齿波发生器电路。第十章光电管介紹了光电繼电器电路。第十一章晶体管，其中还介紹了放大与振盪电路。书末附录有电子管編号制度、电子管手冊查法、电子管简单試驗法及常見电子管特性表。

本书初稿系由长春邮电学院长途电信教研組編写，并在长春邮电学院主持下，經邮电院校电子器件教材选編組进行审校修訂，作为邮电中等专业学校的教学用书。

参加編写本书初稿的长春邮电学院长途电信教研組教师有：陈

102605

工、严家彝、唐如俊、祁学曾、王植槐、王玉铭等同志。

参加审校修订的教材选编组成员是：长春邮电学院教师郭祥溥、陈工、陈文镜、林哲民，西安邮电学院教师王基兆，内蒙古自治区邮电学校教师郭继平，辽宁省邮电学院教师刘恩海，吉林省邮电学校教师李宗华、胡永明，黑龙江省邮电学校教师刘维兰等同志。

由于经验不足，编审时间短促等原因，本书内容难免有不够妥善，甚至错误之处。希望读者，特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和改进意见，以便今后修订提高。

1961年10月

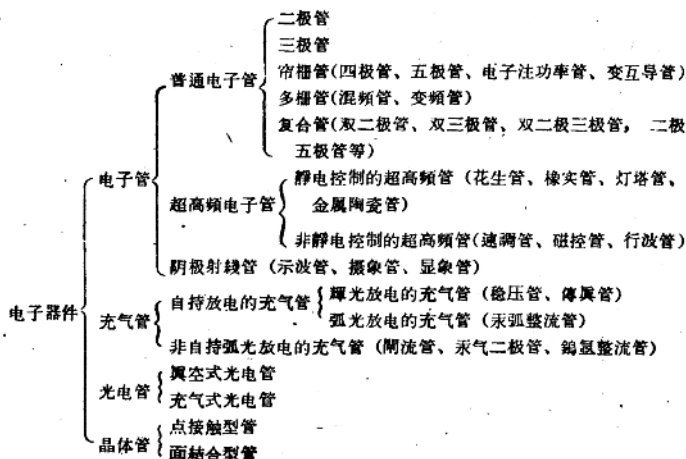
緒 論

1. 电子器件的定义及分类

电子器件是借电极間电荷运动来进行工作的，它的种类很多，总称为电子器件（习惯上除半导体器件外，有时也籠統地称为电子管）。以真空中阴极发射电子作为工作基础的器件，也就是利用自由电子在真空中传输电荷的器件，称**电子管**，有时也叫**真空管**。以稀薄气体中的放电现象作为工作基础的器件，也就是利用电子及离子在稀薄气体中传输电荷的器件称为**充气管**，又称**离子管**。还有一种以光电现象为工作基础的器件，称为**光电管**。

晶体管并不是一种以放电现象作为工作基础的器件，但是它的特性在许多方面与电子管是相似的，常常用以代替电子管。

为了学习上方便起见，将它们再进一步的分类如下表。



應該指出，电子管的分类方法是很多的。如按它的使用的目的划分有：整流管、放大管、振盪管、变频管、調幅管和检波管等。如按管壳材料划分有：玻璃管、陶瓷管和金属管等。还有一些其他分类法，在此不一一介紹。

2. 电子管的發展簡史及我国 电子管工业的發展概況

电子管从发明到現在，仅有六十年左右的历史，但其发展极为迅速，应用非常广泛。

电子管在发展初期，完全是为了通信事业的需要，以后才逐渐应用到其他部門。波波夫最初发明的无线电报接收机，用的是粉末检波器，沒有放大作用，通信距离是不远的，但对电子工业起了巨大的推动作用。一九〇四年已制成了真空二极管，因其结构不良，沒有得到广泛的应用。一九〇七年三极管問世，它能够将微弱的信号电压予以放大，从而增加了通信距离。从那时起电子管才被人們重視起来。

一九一三年到一九二〇年这一阶段，在通信方面，大量采用了电子管。在一九二〇年以后，由于广播事业的迅速发展，原来的长波段已无法容納那么多的电台，于是想借提高工作頻率，以增加通信波道，向中、短波方面发展。可是三极管的极間电容量很大，不适用于高频，而且放大能力也較小，人們为了解决这些問題，便在一九二四年，又研究制成了四极管，克服了三极管所存在的缺点，但它本身又出現了新的所謂“負阻效应”的严重缺点，因而使用价值不大。于是在一九三〇年到一九三一年間，性能良好的五极管便应运而生，至此电子管在通信工程中奠定了巩固的基础。

随着无线电接收方法的改进，在一九三四年到一九三五年間，又制成了新型的多栅混頻管及变频管。为了减少接收机中电子管的数量，更制造了各种类型的复合管。

由于通信需要的不断增加与通信技术的繼續发展，有必要进一

步提高工作频率，以增加电路容量，来满足通信的需要。人们又想利用超短波即超高频进行通信，但已有的电子管是不适合的。在1935年以后的十多年时间内，一方面改进了原有的一部分电子管品种，使它们适合于超高频通信，如花生管、橡实管、灯塔管、金属陶瓷管等；另一方面根据与一般电子管完全不同的原理，制成了许多新型的超高频电子管，如速调管、磁控管、行波管等。这些电子管的制成，给雷达、无线电导航、多路无线通信等的发展开辟了广阔的途径。同时又制成了各种摄像管与显影管等，使电视事业得到飞速发展。

在电子管发明与发展的同时，光电管与充气管亦相继发明，得到相应的发展。它们在通信中用得不多，但在工业方面应用颇广。

第二次世界大战以后，晶体管又以崭新的姿态出现，它具有小、轻、省电、耐用等特点，已在很多地方取电子管而代之，其发展前途是很大的。

电子管工业，对于我国说来还是一项年轻的工业。在国民党反动统治下的旧中国，根本谈不上什么电子管制造工业。解放后，在党和人民政府的重视与关怀下，我国电子管工业得到了迅速的发展，相继建立了一些电子管厂，使我国的电子管工业面目一新。现在我国已能大批生产各式电子管及晶体管，根本改变了以前电子管只能依赖进口的落后状态。

3. 电子管在现代科学技术中的重要地位

近二十年来，电子学的应用已扩大到各个方面、各个部门，而电子器件是应用电子学的核心，在现代科学技术中占有极重要的地位。

(1) 在通信方面 现代通信技术已不只限于电报电话和广播了。传真、电视、无线电导航和定位已得到广泛的应用，资料传输及脉冲通信等新技术也在迅速地发展着，而电子器件在每项通信设备中担负着极为主要的任务。

(2) 在工农业方面 电子器件在工农业方面应用也很广，如遙控、遙測、高频加热、超声波加工、X 光檢驗、自动控制，莫不应用电子器件及电子线路。

(3) 在軍事方面 除一般軍事通信外，目前已广泛应用导航及定位，电视与紅外線通信、偵察，以及导弹控制等，这些軍事设备中的主要器件内部都少不了电子器件。

(4) 在科学研究方面 电子器件在科学研究工作中特别重要，象电子显微鏡、X 光分析仪、粒子加速器及电子计算机等主要科研设备，都要装用大量的电子管。一架电子计算机所用的电子管就多至数千到一万只以上。

电子器件除广泛地应用于上述各个方面外，在其他部門，例如交通运输业、气象、文教卫生事业及人民文化生活等方面应用的也极为广泛。

4. 学习电子器件课程的目的、要求和方法

由前面所介紹的事例可知，电子器件的用途是多方面的，类型也很繁杂，但在这门课程中，我們只能就通信工程中常用到的一些电子器件加以讲述，为学生学习邮电专业课程打好基础。

通过这一门课程的学习，要求能够掌握各种电子器件的一般构造、特性、参量及器件内部物理过程；能够选择和使用一般通用的电子器件；并且在以后学习专业课程时讲到有关电子电路的問題时不会因电子器件方面的問題而感到困难。

学习电子器件这门课程与学习电工学及通信传输等课程在方法上略有区别。我們知道电工学及通信传输等课程中所讲述的导电是在金属中进行的，电流与电压一般都成线性关系；电流与电压的函数关系都是用方程式表示的，而电子器件课程中所讲述的导电大部分是在真空或气体中进行的（晶体管系在固体中进行），并且电流与电压一般都不成线性关系，因而两者的分析方法不完全一样；前者頗多推导与計算，而后者往往借助于物理概念与特性曲线来描

述。如果忽略这点显然是不恰当的。

对于电子器件课程应特别重视从示教、例题、习题、应用电路和实验实习（有条件时还可以从工业生产）等多方面加强理论与实际的联系，来促进对电子器件理论的理解。此外，还要特别注意分析、比较、归纳、总结，找出各类电子器件的个性与共性，以及它们之间的联系，使成一完整、系统的概念。

目 录

序言 緒論

第 一 章 电子发射及电子管的热阴极	1
§ 1-1 电子发射	1
§ 1-2 电子管的热阴极	6
§ 1-3 电子在电场中与在磁场中的运动	11
第 二 章 二极管	15
§ 2-1 二极管的构造	15
§ 2-2 空间电荷与静态特性	17
§ 2-3 二极管的二分之三次方定律	23
§ 2-4 二极管的静态参量	26
§ 2-5 电子管的屏极耗散功率	29
§ 2-6 灯丝交流电源对屏流的影响	30
§ 2-7 二极管的应用	33
第 三 章 三极管	38
§ 3-1 三极管的构造与栅极控制屏流的作用	38
§ 3-2 三极管的二分之三次方定律	44
§ 3-3 三极管的静态特性	45
§ 3-4 三极管的静态参量	50
§ 3-5 三极管的动态特性	57
§ 3-6 三极管放大的基本电路及其工作原理	63
§ 3-7 等效电路	68
§ 3-8 三极管的极间电容	72
§ 3-9 电压放大器和功率放大器	74
§ 3-10 振荡器	81
第 四 章 帘栅管	83
§ 4-1 四极管的构造与帘栅极的作用	85

§ 4-2	四极管的静态特性	88
§ 4-3	五极管的构造和抑制栅极的作用	90
§ 4-4	五极管的静态特性与参量	92
§ 4-5	电子注功率管	95
§ 4-6	变互导管	98
§ 4-7	帘栅管的变换因数及其应用	99
§ 4-8	五极管和电注功率管在放大器中的应用	104
第五章	多栅管与复合管	111
§ 5-1	变频原理	111
§ 5-2	七极变频管 (6A2Π)	113
§ 5-3	复合管介绍	116
§ 5-4	调谐指示管	117
§ 5-5	电子管应用实例——超外差式收音机	120
1.	无线电广播的一般原理	120
2.	超外差式收音机	123
第六章	超高频电子管的概念	128
§ 6-1	对超高频电子管应考虑的新问题	128
§ 6-2	超高频用的普通电子管	130
第七章	大功率管(发射管)	133
§ 7-1	大功率管的概念	133
§ 7-2	大功率发射管的构造	134
§ 7-3	大功率管的使用常识	136
第八章	阴极射线管	137
§ 8-1	阴极射线管的构造	137
§ 8-2	电子束的聚焦原理	139
§ 8-3	电子束的偏转方法	142
§ 8-4	扫描的功用	144
§ 8-5	阴极射线示波器简介	146
第九章	离子管	148
§ 9-1	引言	148
§ 9-2	气体原子的激发、游离和复合	149

§ 9-3 冷阴极充气二极管放电的全伏安特性	150
§ 9-4 辉光放电的离子管	154
§ 9-5 自持弧光放电的离子管	159
§ 9-6 非自持弧光放电的离子管	163
第十章 光电管	174
§ 10-1 概述	174
§ 10-2 光电管	175
§ 10-3 光电倍增管	179
§ 10-4 光敏电阻	180
§ 10-5 光电池	181
第十一章 晶体管	182
§ 11-1 晶体管工作的物理基础	182
§ 11-2 晶体二极管	186
§ 11-3 晶体三极管	192
附录	201
Ⅰ、电子管的编号系统	201
Ⅱ、电子管手册的应用	209
Ⅲ、电子管的简单检验方法	210
Ⅳ、常用电子管特性曲线和特性表	211

第一章 电子發射及 电子管的热陰極

§ 1-1 电子發射

一切电子管都是以管内电子运动作为运用基础的。因而管内必須有发射电子的电极，这个电极称为阴极。为了說明阴极发射，讓我們先討論一下金属中的自由电子及其逸出条件。

1. 金属中的电子及其逸出功

金属是由一定排列的結晶格子組成，每一个結晶格子內的原子分布得非常整齐，形如有規則的骨架一样，故而得名。图 1-1 所示是鎢的結晶格子的形状，在角上和中心的是鎢原子。原子的最外层电子和原子核的結合力很弱，所以电子并不固定地附着于任何一个原子，而是在这些結晶格子間作不規則的热运动。温度愈高，电子热运动的平均速度也愈高。这种电子称为自由电子。大家所知道的金属导电性就是因为有这些电子存在的緣故。金属結晶格子中的原子实际上是以正离子的形态存在着的。

根据电子理論的某些假定，可以計算出在室溫下金属中自由电子热运动的平均速度約为每秒 100 公里。这样运动着的电子虽具有相当的动能，但却不能脱离金属，也即是說，在室溫下是不会有电子发射現象的。这是由于下列原因：

第一，一部分运动速度較高的电子可能暂时地离开金属，但在金属的正电荷吸引下，又重复回到金属中来。在这个过程不断的进行中，就在金属表面附近造成一层密度較大的电子云层。带负电荷的电子云 and 带正电荷的金属表面形成了一个偶电层。偶电层中电場的方向是从金属指向电子云层的。因此后来从金属中逸出的电子在通过这一偶电层时，将受到电場力的拒斥，即必須作功。电子为克服偶电层中电場力而作功时，本身运动的速度将要减低。也就是說，

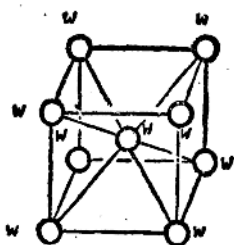


图 1-1 钨的结晶格子

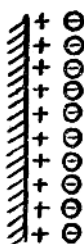


图 1-2 由电子云和金属表面形成的偶电层

电子克服电场力所作的功是以消耗本身的动能来完成的。被消耗的动能将变为电子的电位能而储藏在电场中。

第二，自由电子在金属结晶格子中时，各个电荷作用于电子上的力平均地为零，故行动很“自由”。但是当电子逸出金属后，金属体内将感应一正电荷而吸引电子。如欲克服这种吸引力，电子也必须作功。因此，电子要从金属中跑出来所需具有的总能量应该是两部份功的和以 W_a 表示。

通常电子速度在室温下只有 100 公里/秒还不能通过偶电层，当然就更不能发射了。因此要使电子发射必须由外界供给能量。假定速度最大的电子所具有的能量为 W ，要使电子发射外界所需要供给的最小能量为 $W_0 = W_a - W$ 。电子为要逸出金属而必须由外界供给的最低能量 W_0 称为逸出功，通常用计算电子动能的单位电子伏特来量度。

电子伏特的定义是：使电子沿电场方向移动 1 伏特电位差的空

间所需要作的功。因电子的电荷量 e 为 1.601×10^{-19} 库仑，故

$$1 \text{ 电子伏特} = 1.601 \times 10^{-19} \text{ 库仑} \times 1 \text{ 伏}$$

$$\approx 1.6 \times 10^{-19} \text{ 焦耳}$$

$$\approx 1.6 \times 10^{-12} \text{ 尔格}$$

$$(1-1)$$

采用电子伏特，而不是尔格，作为逸出功的单位是为了使用上的方便。因为尔格作为单位嫌太大一些。再则电子的电荷量是一个

常数，所以一个电子在电场中所作的功，在数量上决定于电子在电场內最初和最后两个位置間的电位差。知道了电位差的数值后，就可以直接得到功的电子伏特数。它們在数值上是相等的。

一般金属的逸出功在 1-10 电子伏特。表 1-1 所列 是不同金属的逸出功。其中常用阴极材料有鎢、钽等。在一般室内温度下，这

表 1-1 几种金属的逸出功

金 属	逸 出 功 (电子伏特)	金 属	逸 出 功 (电子伏特)
铂 (Pt)	6.0	钍 (Th)	3.38
鎢 (W)	4.52	钙 (Ca)	3.2
汞 (Hg)	4.5	钡 (Ba)	2.52
钼 (Mo)	4.3	钠 (Na)	1.9
钽 (Ta)	4.1	钾 (K)	1.81
铜 (Cu)	4.1	铯 (Cs)	1.81

些金属內的自由电子沒有足够的动能逸出金属表面。因此必須加热，使电子有足够的动能而向外发射。

按照不同的能量来源，各种电子管所用的电子发射形式可分为下列几种：

(1) **热电子发射** 金属加热至高温，使自由电子获得足够的热能，引起大量发射的现象，称为热电子发射。

(2) **光电发射** 电子吸收光綫的辐射能而发射出金属体外。这种现象称为光电发射。

(3) **二次发射** 金属受高速度运动的电子或离子的撞击时，体内的自由电子接受了这些高速质点的动能而向外发射。这种现象称为二次发射。

(4) **场致发射** 如金属体的旁边置有电位对金属体来说是正的电极，在金属体的表面即产生强大的加速电场 (10^7 伏/厘米)，而使金属发射电子。这一现象叫场致发射，又称为冷发射，因为电子是从不加热的冷阴极表面飞出的。

2. 热电子发射

为了产生热电子发射,必须增加金属发射体的温度到某种程度,以致使结晶格子的空间内,有相当多的自由电子获得的动能大于逸出功(这时总动能超过 W_0)。金属的温度愈高,具有这样大动能的电子数就愈多,因而离开金属的电子数也愈多。所以电子发射的数量,即由金属表面发射出来的电子流,是随温度的上升而增加的。

李查生曾研究热电子发射而得出一个发射电流的密度与金属材料 and 金属温度之间的关系式。后来道舒曼也研究热电子发射,得出一个与之类似的公式:

$$J = AT^2 e^{-\frac{W_0}{kT}} \quad (1-2)$$

此式称为道舒曼公式,现在用得最多,也比较准确,式中:

J ——发射电流的密度,其单位为安/厘米²;

A ——热电子发射常数,其值由金属的材料决定。对所有的纯金属而言,它的数值一般都等于 60.2 安/厘米²度²;

T ——金属的运用温度,以绝对温度(°K)表示,即摄氏度数(°C)加 273;

e ——自然对数的底,其值为 2.7183;

W_0 ——金属的逸出功,单位为电子伏特;

k ——波尔兹曼常数,等于 8.62×10^{-5} 电子伏特/°K。

公式 (1-2) 中,主要决定发射电流的数值是因子 $e^{-\frac{W_0}{kT}}$ 。

表 1-2 几种金属的发射常数 A 和 $\frac{W_0}{k}$:

阴 极 材 料	A 安 厘米 ² ·度 ²	$\frac{W_0}{k}$
钨	60.2	52,400
钼	60.2	49,900
钽	60.2	47,500
钽	60.2	39,200
钨	60.2	29,200
钨	162	21,000