

中等专业学校試用教材

电 子 管

南京無線电工业学校編



国防工业出版社

中等专业学校試用教材

电子管

南京无线电工业学校編



國防工業出版社

前 言

在过去全民大跃进的三年間，国防工业的各級学校，坚决貫徹执行了党的教育方針，进行了一次极为深刻的教育革命。各校并組織广大教师，陸續編写了讲义，取得很大的成績。为了巩固教育革命的成果，进一步提高教学质量，我們遵照中央关于教材工作的指示，組織各方面的力量，在各校自編讲义的基础上，选編了专科学校、中等专业学校及技工学校所需的部分教材。經過各校党委的領導，参加选編教师的积极努力，以及有关方面的审查，这些教材已經陸續选編出来。由于時間仓促，經驗不足，教材内容还不够完善，有待今后进一步的修訂。为了适应各校教学的急需，作为試用教材，先在内部发行出版。希各校在試用过程中，广泛搜集师生反映，积极提出建議，徑告主編学校，以便进一步加以修訂。

本书由周雄粵同志編写，編写过程中曾参考了王鉴霖、尉維孝等同志所写的讲义及成都无綫电工业学校的讲义。

目 录

第一章 緒言	1
1-1 电子管在現代經濟文化生活中的应用和意义	1
1-2 电子管发展史	1
1-3 电子管分类	1
1-4 电子管的結構	1
1-5 我国电子管工业发展簡史	1
第二章 电子发射	1
2-1 电子在电场中与在磁场中的运动	1
2-2 电子伏特	1
2-3 金属体中的电子逸出功	1
2-4 电子发射的公式	2
2-5 热电子发射公式	2
2-6 阴极的类型	2
2-7 阴极的結構	2
2-8 阴极的发射效率	2
2-9 阴极电压	3
总結和习题	3
第三章 二极管	3
3-1 二极管的构造与电路	3
3-2 二极管的两种特性曲綫	3
3-3 二分之三次方定律	3
3-4 阴极与板极間的电位分布状况	3
3-5 二极管的靜态板阻与动态板阻	4
3-6 二极管的反峰电压	4
3-7 板极損耗	4

3-8 二极管的应用	45
本章要点总结	49
第四章 三极管	52
4-1 三极管的构造与符号	52
4-2 控制栅极的作用	52
4-3 总电流与等效电压	55
4-4 栅电流	56
4-5 三极管的静态特性曲线	58
4-6 三极管的参量	61
4-7 各参量的测求方法	61
4-8 三极管的极间电容量	67
4-9 渗透率	69
4-10 三极管的动态板栅曲线	70
4-11 负载线	72
4-12 三极管的等效电路	76
4-13 用等效电路讨论电压放大器与功率放大器	79
4-14 左特性和右特性三极管的概念和用途	80
本章要点总结	82
第五章 四极管与五极管	88
5-1 四极管的构造与电路	88
5-2 四极管的二次电子发射	91
5-3 四极管的特性曲线	92
5-4 四极管的参量	96
5-5 五极管的构造与电路	98
5-6 五极管抑制栅的作用	99
5-7 五极管的特性曲线	100
5-8 高频五极管与低频五极管	103
5-9 束射四极管的构造	104
5-10 束射四极管的板极曲线与工作性能	106
5-11 变 μ 五极管	107

本章要点总结	10
第六章 复合管与变频管	11
6-1 复合管	11
6-2 調諧指示管	11
6-3 混頻管与变频管的概況	11
6-4 七极混頻管	12
6-5 各种变频管	12
本章要点总结	12
第七章 振蕩管与調制管	12
7-1 結構上的特征	12
7-2 振蕩三极管	12
7-3 振蕩四极管与五极管	13
7-4 振蕩管特性曲綫的取得	13
本章要点总结	13
第八章 电子射綫管	13
8-1 构造	13
8-2 聚焦系統	13
8-3 偏轉系統	13
8-4 螢光屏	14
本章要点总结	14
第九章 充气管	14
9-1 充气管的概況	14
9-2 气体的重要物理状况	14
9-3 电子管内电子或正离子碰撞气分子时的情况	14
9-4 气体的非自持放电与自持放电	14
9-5 气体放电的伏安特性曲綫	14
9-6 輝光放电与弧光放电	15
9-7 热阴极汞汽二极管	15
9-8 氫气二极管	15
9-9 保热式阴极	15

9-10 閘流管.....	160
9-11 热阴极二极充气管与閘流管的使用方法.....	165
9-12 汞弧管.....	166
9-13 稳压管.....	168
9-14 各种輔助管.....	170
本章要点总结.....	173
第十章 光电管.....	178
10-1 光电管的构造与特性.....	173
10-2 电子倍增式光电管.....	132
本章要点总结.....	184
附录.....	187

本书引用的主要符号

a ——加速度 α ——板极 A_0 ——电压放大倍数 A_1 ——第一阳极 A_2 ——第二阳极

B ——磁通密度 B ——抑控电极

C ——电容

D ——渗透率 D_{g1g2} ——屏栅对栅极渗透率 D_{g1g3} ——抑制栅对栅极渗透率

e ——电子电荷 e_a ——板极交流电压 e_g ——栅极交流电压
 e_L ——负载交流电压 e_{φ_0} ——逸出功(电子伏特) E_f ——灯丝(热丝)电压 E_a ——板源电压 E_{gm} ——栅压交流电压振幅 E_g ——栅偏电源电压

$f(F)$ ——力, 灯丝 f_c ——讯号频率 F ——光通量

$g(g_1)$ ——栅极 g_2 ——屏栅极 g_3 ——抑制栅极

H ——发射效率

i_a ——板极交流电流 I_a ——板流 I_{am} ——板流交流电流振幅
 I_f ——灯丝(热丝)电流 $I_g(I_{g1})$ ——栅流 I_{g2} ——屏栅流 I_0 ——栅流直流分量 I_s ——发射电流

K ——阴极

L ——电感

m ——质量 $\max$ ——最大值 $\min$ ——最小值

P ——功率 P_a ——板耗

Q ——电荷

r ——半径 R_j ——内阻 R_L ——负载电阻

S ——跨导

t ——时间 T ——绝对温度

U ——电位 U_a ——板压 U_{a0} ——板极直流电压 U_{am} ——板极交流电压振幅 $U_g(U_{g1})$ ——栅压 U_{g2} ——屏栅电压 U_{g3} ——抑制栅压 U_{g0} ——栅极截止电压 U_{Lm} ——负载电压振幅 U_y ——等效管控制电压

Γ ——速度

W ——能量

z_L ——負載阻抗

θ ——角度

ϕ ——逸出功

φ_0 ——电位

μ ——放大系数

ω ——角頻率

第一章 緒 言

1-1 电子管在現代經濟文化生活中的应用和意义

电子管的发明是无綫电技术发展中的一个重大而又是划时代的事件，在現代几乎沒有一个无綫电器械是不用电子管的。因为电子管的发明，就使人們掌握和利用短波、超短波，甚至分米波和厘米波成为可能(从前是用中波和长波的)。因为电子管的应用，使得无綫电的运用有了显著的进步，并且使傳真和电视的理想得以实现。因为电子管的应用，发明了雷达。将电子管应用到有綫电方面，使得电话和傳輸的有效距离显著增加，并且使多路电话电报的傳輸变得很容易。其他本来与无綫电关系不大的技术和知識部門也极其广泛地应用电子管，如电子計算机、宇宙航行、自动控制設備、有声电影、医学、采矿、冶金和食品保藏工业等等。因此有人认为 20 世紀后半叶是属于一个原子能和电子学的时代，这并不是夸大其詞。

在中国共产党第八次全国代表大会关于发展国民經济的第二个五年計划(一九五八年到一九六二年)的建議中曾經指出要加强我国无綫电工业的建設。电子管是无綫电技术和电子学的基础。因此电子管工业的建設和发展，对于迅速发展我国的无綫电工业以及其他工业，使我国提前实现 12 年科学规划，赶上并达到先进国家水平，都具有极重要的意义。

1-2 电子管发展史

电子管包括电子管（高度真空的）和离子管两部分，前者是利用高度真空管子中的自由电子运动作用的产物，后者是在上述的管子中人为地加入一种特殊气体，这种气体在一定条件下因为电离而产生离子，离子管就是利用管子内的离子和自由电子运动作用做成的。

1873年俄国科学家 A. H. 罗德金发明了白炽灯。后来美国发明家爱迪生在实验中又发现了一个现象：如在白炽灯的灯丝 K 前面放置一块金属板 A ，把电源的负极连到金属板上，而把电源的正极连到灯丝上，电路中没有电流；若把电源反接，即正极连到金属板，负极连到灯丝，此时白炽灯的空间内和电路中都有电流流动。这种能在真空中导电的现象，当时无法解释，因此就把它称为爱迪生效应。二十多年后，经过其他科学家的研究，才把上述效应应用

之于技术方面而制成了一只具有金属板和灯丝的简单二极管，金属板称板极，灯丝称阴极。利用二极管只能按一个方向通过电流的特性（叫做单向导电），可以把交流电转变为直流电，这就是整流。后来又有人在二极管的板极和阴极之间加进了一个栅栏状的电极（叫做栅极），栅极对自阴极飞向板极的电子起着控制作用，利用这种

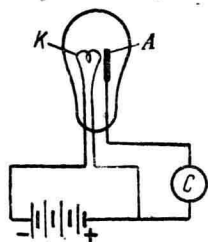


图 1-1 爱迪生效应实验原理图

作用可以用来放大信号，这就制成了三极管。现在除二极管和三极管之外，还有性能更好，用途更广的四极管、五极管和多极管以及各种特殊用途的电子管等。

最近十年来，半导体的研究和应用有着飞跃的发展，用半导体制成的“电子管”称晶体管，其体积可以制成比电子管小得多，还有耗电较小和寿命长等优点，因此各种类型的晶体管正如雨后天春笋之势发展着，尽可能将它代替电子管使用。目前晶体管的功率和频率的高度方面还比不上电子管，这是有待于研究和改进的问题。

1-3 电子管分类

到目前为止，世界各国曾经生产过的电子管品种总数已达到一万种以上。因此，有必要将之归纳分类。分类方法很多，有按放电的方式来分，有按外壳的形式来分，有按能量变换的性质和用途来分。最后一种分类方法应用较广，现在专门讨论这种分类法。

电子管按能量变换的性质和用途可以分成下面几类：

一 把电能从一种形式转变为另一种形式的电子管 詳細的又可分成下面几种：

1. 整流管——把交流变成直流，一般采用二极管和各种类型的离子管。

2. 接收放大管——用在接收机或小功率的放大线路中。用来放大信号的一般采用三极管、四极管、五极管和复合管。接收放大管又可细分为下面几种：

a. 低频和高频放大管——放大低频率和高频率的电压用。

b. 功率放大管——末级的功率放大用。

c. 检波管——检波用。

d. 变频管和混频管——在超外差式接收机中用来改变

接收信号频率之用。

3. 振荡管——用在振荡器和功率放大器中，一般采用三极管、四极管、五极管和用于超高频范围的磁控管、速调管等。

二 光电管 把光能转变为电能的电子管。

三 电子射线管 把电能转变为可见形象的电子管。

1-4 电子管的结构

现代电子管的外形和内部结构随用途的不同而差别很大。现在把我国北京电子管厂出产的拇指型管为例加以说明。

拇指型管的管壳是一个封闭的玻璃外壳，使管子内部保持所需的真空度。管子的下端是管脚，管脚同管内各个电极相接，管脚用以安插在线电机中的管基上，使管内的各个电极和管外的线路连接。为了保证管脚上端导线通过玻璃芯柱时不致漏气，穿过玻璃的一段金属导线是一种特殊的合金丝，其膨胀系数同玻璃接近，因此封接完好的管子不会因膨胀而引起炸裂和漏气。管内的空气是在制造过程中通过管顶的排气管抽出，抽气完毕以后，立刻将排气管用火头熔封，因此管顶上常遗留一个小尖头。封闭后的电子管又依靠加热而蒸发在管壁上的吸气剂来进一步改善和保持管内的真空度。玻壳里面最外层的一个金属筒是板极，板极中央有一根金属管子（称为阴极套管），上面涂有白色粉末，总称阴极。阴极

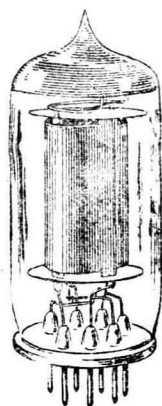


图 1-2 北京牌
拇指型管。

套管之內塞有用來加熱陰極的燈絲。圍繞陰極的是柵極，柵極的外面是屏柵極和抑制柵極，都是用金屬絲繞成螺旋狀的柵欄。上述電子管稱五極管，因其中有五個電極，即陰極、柵極、屏柵極、抑制柵極和板極。

當電子管工作時，燈絲通過電流被加熱，此時可以看到燈絲和陰極熱到發紅的顏色，塗有白色粉末（氧化物，是放射電子的主體）的陰極受熱而發射電子。若板極上加有正的高電壓，即能吸引著電子。柵極的位置是在陰極和板極之間，柵極本身是用金屬絲間繞而成，從陰極發射出來的電子向板極飛去，必穿過柵極的縫隙，因此柵極上的電位控制著電子飛往板極的數量。即柵極上有信號電壓時，板極電路內就有相應變化的電流，或者在板極電路負荷上直接得到了放大的電壓，此種作用稱為放大作用，以後會比較詳細的討論。

1-5 我國電子管工業發展簡史

我國的電子管製造事業是在1935年開始的，抗日戰爭時期曾經用外國的零件裝配過一些電子管，但是得不到過去的反動政府的重視和支持。新中國成立以後，在黨和政府的領導下，在南京成立了南京電子管廠，中國才開始正式的具有雛型的電子管製造工業。我國電子管專家和工人同志們克服了種種困難，製造出各種工藝設備，摸索電子管的製造工藝過程，因此不久便有了真正國產的二極管和三極管。到1952年我們已經能夠製造交流收音機用的成套電子管。以後我國的專家、工人同志們又陸續試制出了其他類型的電子管。到1956年10月，具有現代化設備的北京電子管廠也開始投入生產。

特別是經過 1958~1960 年連續三年的工農業大躍進，我國許許多多的現代化新型的和“土法”上馬的电子管工廠，除了制造品種更新穎數量更多的小功率电子管之外，還大量地研制和生產了許多大功率的發射管，充气整流管。超高频电子管和超小型化的晶體管。我國人民將满怀信心地看到，我國的無線电电子工業的水平將迅速地達到先進的水平。

第二章 电子發射

2-1 电子在電場中與在磁場中的運動

电子是物質內的一種基本粒子，帶有負電荷。其所荷的負電量為 1.6×10^{-19} 庫倫。其靜止質量為 9.1×10^{-31} 公斤。

电子在原子或分子領域以外的一切運動，亦如普通物體，是受下列牛頓第二定律所支配：

$$F = ma_0 \quad (2-1)$$

电子除與其他粒子相撞時發生的冲击力以外，主要受到電場力與磁場力的作用。

一 电子在電場中的運動 电子管中陰極發射的电子，是受其他電極的電場力作用，從陰極向板極作加速運動。

电子所在處的電場強度如為 E ，則其所受的電場力為

$$F = -eE, \quad (2-2)$$

其中 e 為电子所荷的電量，即 1.6×10^{-19} 庫倫。电子順電場力由低電位處移向高電位處時，是作加速運動。电子逆電場力由高電位處移向低電位處時，是作減速運動。

設电子順電場力作加速运动，其起点上的电位为 U_0 而初速为 V_0 ，其終点上的电位为 U_1 而末速为 V_1 。由于電場施加于电子的功为

$$W = e(U_1 - U_0),$$

而电子在加速运动中增加的功能为

$$\frac{1}{2}mV_1^2 - \frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}m(V_1^2 - V_0^2);$$

故可根据能量守恒定律而演得下式：

$$\frac{1}{2}m(V_1^2 - V_0^2) = e(U_1 - U_0). \quad (2-3)$$

原来靜止的电子，順電場力作自由运动时，由于其初速 $V_0=0$ ，故可将上式簡化为

$$\frac{1}{2}mV^2 = eU, \quad (2-4)$$

其中 $U=U_1-U_0$ ，为起点与終点間的电位差， V 为电子所达的末速。由(2-4)式，演得电子的末速为

$$V = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \quad (2-5)$$

以 $e=1.6 \times 10^{-19}$ 庫侖与 $m=9.1 \times 10^{-31}$ 公斤代入上式，求得

$$V = 5.93 \times 10^5 \sqrt{U} \text{ 米/秒} \cong 600 \sqrt{U} \text{ 公里/秒}. \quad (2-6)$$

可見，一靜态电子經過1伏特电位差后，速度变为600公里/秒了。

电子在均匀電場中的运动軌迹是隨下列两种情况而不同：

1. 电子初速与電場方向平行时——初速 V_0 与電場的方向相同时，电子逆電場力作減速的直綫运动如图2-1所示；方向相反时，电子順電場力作加速的直綫运动。原来靜止的

电子，是順电场力的方向作直綫加速运动。

2. 电子初速与电场方向成一角度时——此时可将电子初速 V_0 分解为垂直于电场的分量 V_{on} 与平行于电场的分量 V_{ot} 。其垂直分量 V_{on} 保持不变。其平行分量 V_{ot} 則視其为順电场力或逆电场力而作加速运动或作减速运动。故电子的綜合运动軌迹是成一抛物綫，如图 2-2。

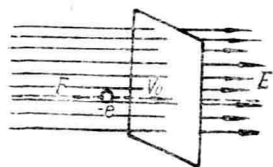


图 2-1 电子在逆电场力中运动。

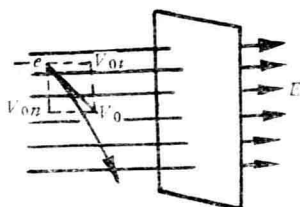


图 2-2 电子初速与电场方向成一角度的运动。

二 电子在磁场中的运动 电子在磁场中运动时，所受的磁场力为

$$F = eBV \sin \theta, \quad (2-7)$$

其中 e 为电子所荷的电量， B 为磁通密度（单位为韦伯每平方米）， V 为电子的速度， θ 为电流方向与磁场间的夹角。上式所示的磁场力方向是經常垂直于电子运动方向与磁场方向所决定的平面，其正负向是取决于左手定則。

电子在均匀磁场中的运动軌迹，是随下列三种情况而不同：

1. 电子初速与磁场方向相同或相反时——此时由于 (2-7) 式中的 $\theta = 0$ ，而 $\sin \theta = 0$ ，故电子所受的磁场力等于零，保持其原来初速而作直綫等速运动，如图 2-3。