

中等专业学校試用教材



电子管及其設計基础

(修訂本)

南京無線电工业学校編



國防工業出版社

蘇平制
初學
PDG

中等专业学校試用教材

电子管及其設計基础

南京无线电工业学校編



內容簡介

本書系根據本社1959年出版的“電子管及其設計基礎”上下二冊改編而成。在改編過程中參考了北京無線電工業學校提出的一些寶貴意見。

全書內容有：電子理論基礎、電子發射、陰極、二極管、三極管、四極管、五極管、多柵管與複合管、新型接收放大管、振盪管、光電器件、倫琴管、半導體器件、不放電器件、附錄共十四章。原書中超高頻電子管與電子束管二章未編入，待改編後另以單行本出版。

本書與原書比較，增添了一些新的內容，如新型陰極、寬頻帶電子管、柱柵管等；電子管的設計計算也較原書完整，如列入了束射四極管、五極管、振盪管的初步設計計算方法；在部分章節後附加了習題、思考題；附錄中列入了實驗內容等。

本書供無線電中等專業學校“電真空器件製造”專業的學生作教本用。對從事電真空器件製造的技術人員也是一本可供參考的書籍。

電子管及其設計基礎

南京無線電工業學校編

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第074號

國防工業出版社印刷廠印刷 內部發行

*

787×1092 1/16 印張15 5/8 362千字

1961年8月第一版 1963年7月第三次印刷 印數：1,401—2,000冊

統一書號：NK 15034·518

目 录

緒論.....	7
0-1 电真空器件及其在现代科学技术中的作用.....	7
0-2 电子管发展过程.....	7
0-3 电子管的分类.....	9
第一章 电子理論基础.....	11
1-1 电子的基本概念.....	11
1-2 电子的速度与能量和电位差的关系.....	12
1-3 电子在电场和磁场中的运动.....	13
1-4 金属中的电子。导体、介质与半导体.....	17
1-5 金属与真空界面上发生的电子现象。电子逸出功.....	20
1-6 接触电位差.....	22
习题.....	22
第二章 电子发射.....	24
2-1 概述.....	24
2-2 热电子发射.....	24
2-3 场致发射.....	28
2-4 光电发射.....	29
2-5 二次电子发射.....	31
习题.....	33
第三章 阴极.....	34
3-1 热阴极及其分类.....	34
3-2 阴极的发射特性.....	34
3-3 阴极的参量.....	35
3-4 阴极的结构.....	38
3-5 純金属阴极。钨阴极的计算与設計.....	40
3-6 被膜阴极。敷钍阴极和碳化阴极的计算和設計.....	45
3-7 氧化物阴极。氧化物阴极的脉冲工作情况.....	48
3-8 氧化物阴极的计算和設計.....	51
3-9 新型阴极.....	57
3-10 阴极的使用規則.....	59
习题.....	61
第四章 两极管.....	63
4-1 概述.....	63
4-2 两极管中的空間电荷.....	63
4-3 二分之三次方定律.....	66



4-4 两极管的靜特性曲綫.....	68
4-5 两极管的靜态參量.....	71
4-6 电子管的板极。板极的热計算.....	75
4-7 两极管的应用.....	77
4-8 两极管的结构.....	79
4-9 整流管的設計.....	81
习题.....	84
第五章 三极管	85
5-1 概述.....	85
5-2 三极管中的电位分布.....	85
5-3 三极管的簡化。等效电位.....	88
5-4 三极管的二分之三次方定律.....	90
5-5 三极管的靜态特性曲綫.....	91
5-6 栅极电流。三极管中的电流分配.....	94
5-7 三极管的靜态參量。电子管的內部方程.....	97
5-8 决定三极管靜态參量的方法.....	102
5-9 三极管的动态工作情况与动态特性曲綫.....	104
5-10 三极管的动态參量。三极管在放大器中的工作.....	105
5-11 三极管在振荡器中的工作.....	108
5-12 三极管靜态參量和电极几何尺寸的关系.....	110
5-13 三极管的設計.....	113
习题.....	116
第六章 四极管	115
6-1 概述.....	118
6-2 四极管的簡化。等效电位.....	119
6-3 四极管中的电流分配,板极电流的計算.....	120
6-4 四极管的靜态特性曲綫。負阻效应.....	121
6-5 四极管的靜态參量.....	123
6-6 消除負阻效应的方法。束射四极管.....	124
第七章 五极管	126
7-1 概述.....	125
7-2 五极管的抑制栅极.....	126
7-3 五极管的等效电位。五极管的电流分配.....	127
7-4 五极管的特性和參量.....	128
7-5 五极管的结构特点。低频放大五极管与高频放大五极管.....	130
7-6 五极管的实例.....	132
7-7 变 μ 管.....	133
7-8 束射四极管和五极管电极尺寸的計算.....	133
习题.....	136
第八章 多栅管与复合管	138
8-1 板流双重控制的电子管。混频管.....	138

8-2 多欄變頻管.....	140
8-3 复合管.....	142
8-4 电子束調諧指示管.....	142
8-5 电子管内部噪声.....	154
第九章 新型接收放大管.....	147
9-1 寬頻帶电子管(視頻放大器用电子管).....	147
9-2 柱欄管.....	154
第十章 振蕩管.....	158
10-1 概述.....	158
10-2 他激电子管振蕩器.....	158
10-3 自激电子管振蕩器.....	161
10-4 振蕩管的參量, 結構特点及类型.....	162
10-5 強力振蕩管.....	165
10-6 脉冲振蕩管.....	168
10-7 脉冲調制管.....	171
10-8 水冷阳极的計算.....	123
10-9 风冷阳极的計算.....	176
10-10 振蕩三极管电极尺寸的計算.....	178
第十一章 光电器件.....	180
11-1 概述.....	180
11-2 光电管的結構和光电阴极.....	180
11-3 光电管的特性和參量.....	181
11-4 光电倍增器.....	183
11-5 光敏电阻.....	187
11-6 光电池的工作原理、結構和特性.....	188
11-7 光电变换器.....	189
第十二章 倫琴管(X光管).....	191
12-1 倫琴射綫的产生. 抑制倫射綫和标識倫琴射綫.....	191
12-2 倫琴射綫的性質及其实际运用.....	195
12-3 电子倫琴管及其特性.....	196
12-4 倫琴管的分类和結構特点.....	198
12-5 倫琴管的保安装置.....	200
12-6 倫琴管的运用. 倫琴整流管.....	201
第十三章 半导体器件.....	203
13-1 概述.....	203
13-2 p-n 結. 晶体二极管.....	203
13-3 晶体三极管.....	207
13-4 晶体三极管的參数和特性.....	211
13-5 特种晶体管.....	214
第十四章 不放电器件.....	216
14-1 稳流管.....	216

14-2 稳压管.....	217
14-3 真空热电偶.....	218
14-4 真空电容器.....	219

附 录

附录一 电子管实验.....	220
附录二 电子管符号的命名.....	235
附录三 旧管与新管符号对照表.....	242
附录四 各类型电子管特性参量.....	243
附录五 若干电子管的接线图.....	249

中等专业学校試用教材

电子管及其設計基础

南京无线电工业学校編



前 言

民大跃进的三年間，国防工业的各级学校，坚决贯彻执行了党的教育方针，为深刻的教育革命。各校并组织广大教师，陆续编写了讲义，取得很大的教育革命的成果，进一步提高教学质量，我们遵照中央关于教材工作的指示，量，在各校自编讲义的基础上，选编了专科学校、中等专业学校及技工学校。经过各校党委的领导，参加选编教师的积极努力，以及有关方面的审查陆续选编出来。由于时间仓促，经验不足，教材内容还不够完善，有待了。为了适应各校教学的急需，作为试用教材，先在内部发行出版。希各广泛搜集师生反映，积极提出建议，径告主编学校，以便进一步加以修

京无线电工业学校徐宝树同志根据该校史世平同志编写的、1959年由国
“电子管及其设计基础”上、下二册改编而成。最后由黄如智等同志

目 录

緒論	7
0-1 电真空器件及其在现代科学技术中的作用	7
0-2 电子管发展过程	7
0-3 电子管的分类	9
第一章 电子理論基础	11
1-1 电子的基本概念	11
1-2 电子的速度与能量和电位差的关系	12
1-3 电子在电场和磁场中的运动	13
1-4 金属中的电子。导体、介质与半导体	17
1-5 金属与真空界面上发生的电子现象。电子逸出功	20
1-6 接触电位差	22
习题	22
第二章 电子发射	24
2-1 概述	24
2-2 热电子发射	24
2-3 场致发射	28
2-4 光电发射	29
2-5 二次电子发射	31
习题	33
第三章 阴极	34
3-1 热阴极及其分类	34
3-2 阴极的发射特性	34
3-3 阴极的参量	35
3-4 阴极的结构	38
3-5 純金属阴极。鎢阴极的計算与設計	40
3-6 被膜阴极。敷鈹阴极和碳化阴极的計算和設計	45
3-7 氧化物阴极。氧化物阴极的脉冲工作情况	48
3-8 氧化物阴极的計算和設計	51
3-9 新型阴极	57
3-10 阴极的使用規則	59
习题	61
第四章 两极管	63
4-1 概述	63
4-2 两极管中的空間电荷	63
4-3 二分之三次方定律	66



4-4 两极管的靜特性曲綫	68
4-5 两极管的靜态參量	71
4-6 电子管的板极。板极的热計算	75
4-7 两极管的应用	77
4-8 两极管的结构	79
4-9 整流管的設計	81
习题	84
第五章 三极管	85
5-1 概述	85
5-2 三极管中的电位分布	85
5-3 三极管的簡化。等效电位	88
5-4 三极管的二分之三次方定律	90
5-5 三极管的靜态特性曲綫	91
5-6 栅极电流。三极管中的电流分配	94
5-7 三极管的靜态參量。电子管的內部方程	97
5-8 决定三极管靜态參量的方法	102
5-9 三极管的动态工作情况与动态特性曲綫	104
5-10 三极管的动态參量。三极管在放大器中的工作	105
5-11 三极管在振荡器中的工作	108
5-12 三极管靜态參量和电极几何尺寸的关系	110
5-13 三极管的設計	113
习题	116
第六章 四极管	115
6-1 概述	118
6-2 四极管的簡化。等效电位	119
6-3 四极管中的电流分配。板极电流的計算	120
6-4 四极管的靜态特性曲綫。負阻效应	121
6-5 四极管的靜态參量	123
6-6 消除負阻效应的方法。束射四极管	124
第七章 五极管	126
7-1 概述	125
7-2 五极管的抑制栅极	126
7-3 五极管的等效电位。五极管的电流分配	127
7-4 五极管的特性和參量	128
7-5 五极管的结构特点。低频放大五极管与高频放大五极管	130
7-6 五极管的实例	132
7-7 变 μ 管	133
7-8 束射四极管和五极管电极尺寸的計算	133
习题	136
第八章 多栅管与复合管	138
8-1 板流双重控制的电子管。混頻管	138

8-2 多欄变频管.....	140
8-3 复合管.....	142
8-4 电子束調諧指示管.....	142
8-5 电子管内部噪声.....	154
第九章 新型接收放大管.....	147
9-1 寬頻带电子管(視頻放大器用电子管).....	147
9-2 柱欄管.....	154
第十章 振蕩管.....	158
10-1 概述.....	158
10-2 他激电子管振蕩器.....	158
10-3 自激电子管振蕩器.....	161
10-4 振蕩管的參量, 結構特点及类型.....	162
10-5 強力振蕩管.....	165
10-6 脉冲振蕩管.....	168
10-7 脉冲調制管.....	171
10-8 水冷阳极的計算.....	123
10-9 风冷阳极的計算.....	176
10-10 振蕩三极管电极尺寸的計算.....	178
第十一章 光电器件.....	180
11-1 概述.....	180
11-2 光电管的結構和光电阴极.....	180
11-3 光电管的特性和參量.....	181
11-4 光电倍增器.....	183
11-5 光敏电阻.....	187
11-6 光电池的工作原理、結構和特性.....	188
11-7 光电变换器.....	189
第十二章 倫琴管(X光管).....	191
12-1 倫琴射綫的产生. 抑制倫倫射綫和标識倫琴射綫.....	191
12-2 倫琴射綫的性質及其实际运用.....	195
12-3 电子倫琴管及其特性.....	196
12-4 倫琴管的分类和結構特点.....	198
12-5 倫琴管的保安装置.....	200
12-6 倫琴管的运用. 倫琴整流管.....	201
第十三章 半导体器件.....	203
13-1 概述.....	203
13-2 p-n 結. 晶体二极管.....	203
13-3 晶体三极管.....	207
13-4 晶体三极管的參数和特性.....	211
13-5 特种晶体管.....	214
第十四章 不放电器件.....	216
14-1 穩流管.....	216

14-2 稳压管.....	217
14-3 真空热电偶.....	218
14-4 真空电容器.....	219

附 录

附录一 电子管实验.....	220
附录二 电子管符号的命名.....	235
附录三 旧管与新管符号对照表.....	242
附录四 各类型电子管特性参量.....	243
附录五 若干电子管的接线图.....	249

緒 論

0-1 电真空器件及其在现代科学技术中的作用

凡是利用真空中或稀薄气体中所发生的电现象做出来的器件统称为电真空器件。

电真空器件可以分为两大类。第一类是不放电的电真空器件，其中的电现象发生在真空中的金属或合金导体里。例如白炽灯就是一种不放电的电真空器件，它是俄国工程师 A. H. 拉德庚在 1873 年发明的。这个发明是现代真空技术中的开端。

第二类是放电的电真空器件，它们是以自由电荷在真空或稀薄的气体中运动来传递电流为主要物理过程。只是从器件的电极上用某种方法所得到的自由电子来传递电流者我们称为电子管。若由于电流通过器件极间的稀薄气体，以致气体游离，使电子和离子都参与传递电流的作用，我们称为离子管。

在本课程中，我们专门以电子管为研究对象。

自从俄罗斯天才的物理学家 A. C. 波波夫发明的无线电和电子管联系起来以后，电子管 and 无线电技术的发展就成了有机不可分割的整体。电子管的日趋完善促进了无线电技术的向前发展，而无线电技术的进展反过来又促使电子管向新的领域寻找方向。目前已有数以万计各种不同类型的电子管，大至体积几千立方米，重几千吨的迴旋加速器；小至一根火柴大的超小型管，被广泛应用在各个科学技术部门中。它的使用范围已远远超过最初的无线电通信，而深入到雷达、导航、电视、遙測遙控、医药、生物、天文、地质、气象以及国防和国民经济的每个领域中。

可以毫不夸张地说，目前包括研究电子器件在内的电子学已经发展成独立的学科，它和原子能科学并驾齐驱，是近代两个科学发展的中心。

必须指出，近些年来半导体器件有了惊人的成就，有部分代替电子管的可能性，但是可以肯定电子管仍将向其有利的方向发展，并与半导体器件共同在科学技术各部门发挥它们积极的作用。

0-2 电子管发展过程

十九世纪末叶，人们对固体电子理论的研究给发明电子管创造了科学上的先决条件。基于金属加热时，带负电荷自由电子的发射现象，人们在 1904 年做出了第一个最简单的电子管——二极管。其中，自由电子从真空中炽热的导丝（或称阴极）发射出来，而在阴极附近，置一对它而言是正电位的金属板（或称阳极）来接收这些电子。从二极管的连接线路（图 0-1），可以看出，单向导电性是这种电子管的主要特性，因为若将阳极接负电位，显然不可能接收带负电荷的自由电子。在二极管发明的初期，虽然它可以代替无线电技术中的晶体检波器，但由于技术上的一些缺点，没有获得广泛应用。今天作为整流用和检波用的二极管已在无线电设备或其他工业设备中获得应用。

在 1906~1907 年第一个具有三个电极的电子管（三极管）做成了，在其中阳极和阴极

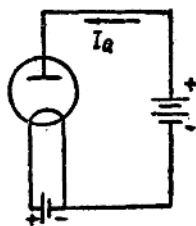


图 0-1 二极管原理图。

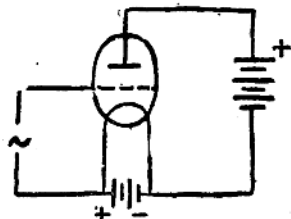


图 0-2 三极管原理图。

之間放上网状的第三个电极——栅极。

实验指出：如果改变栅极的电位（图 0-2）就会影响从阴极出来经过栅极孔到板极的电流。当栅极对阴极的电位为负时，在这两极间的电场阻碍电子穿过栅极达到板极，使板极电流减小，如果栅极对阴极电位是正的，就加速电子穿过栅极使板极电流增加。这样，栅极电位的变化就引起板极电流的变化，而当电极构造做得适当时，栅极电位很小的变动就会使板极电流发生很大的波动。这就是作为交流放大器的简单原理。由于电子质量很小，当交流频率较低时，三极管可以认为是无惯性的放大器件。

三极管发明之后很快地应用在无线电通讯中。1913 年利用三极管作出了再生式接收机。不久又用三极管作出等幅振荡发生器，解决了无线电电话和无线电广播的问题，使在 1913~1920 年期间无线电技术变成了电子管化的技术，并且一直保持到现在。

由于电子管使无线电技术的发展在很短时期内达到很大的成就，因此毫无疑问，无线电技术的发展必将反过来要求有更完善的电子管，这样就迫使从事电子学、设计和制造的工作者加紧研究，创造新型、品质更好的电子管。

例如 1920 年以后，由于广播的蓬勃发展，要求采用更高的频率，而三极管由于板极与阴极间分布电容很大，在高频时不能得到很好的放大作用，因此有人在板极和栅极之间加入屏蔽电极——屏栅极减小这个电容，制成了四极管（1924 年）。

四极管虽然克服了板极和栅极间存在着的大电容，但是另一方面，在运用时，板极电压可能要降到屏栅极电压之下，这样从板极打出来的二次电子就被吸引到屏栅极上引起板极电流不规则地下降，当被放大的信号较强时将引起严重的畸变。

1930 年人们提出采用抑制栅来抑制二次电子的原理，基于这个原理做出了五极管。由于抑制栅的加入，板极与栅极间的电容减到千分之几微做法，成功地克服了三极管不能用于较高频率的缺点。

另一方面超外差无线电接收方法的发明，引起了多栅混频管和多栅变频管的出现（1934~1935 年），此外还出现了各种型式的复合管，应用它们使无线电接收机中的电子管数目大大减少。

近十多年，无线电技术向超高频发展，在初期只是把普通结构的或所谓静电控制的电子管的电极尺寸加以缩小来满足超高频的应用，但是这些管子当运用频率到达某一值时，它们的功率和效率都将很快地降低，最后完全停止工作。它们不能工作的主要原因是电子管的极间电容、引线电感、电子在极间运动的渡越时间和高频损耗太大。

为了根本克服普通结构电子管不能用于超高频的缺点，40 年代以后人们基于完全新颖

的工作原理——电流动态控制原理，制成了一系列超高频电子管，如多諧振腔磁控管、速調管、行波管、返波管等。目前这些管子在厘米及部分毫米波长范围已經获得广泛运用，是近代无线电定位技术、脉冲波技术、微波多路傳輸等方面的主要元件。

近些年，超高频电子管已向更短的毫米波进展，其中有利用高能电子注通过周期性换向磁場引起振动而产生电磁波辐射的波蕩器、利用高速电子沿介质表面通过由于介质极化作用激励起毫米波振蕩的契林科夫效应振蕩器等。

0-3 电子管的分类

現代科学技术采用着大量不同型式和结构的电子管，若按能量变换方式的不同来分类，可以把它們分为下面几大类（图 0-3）。

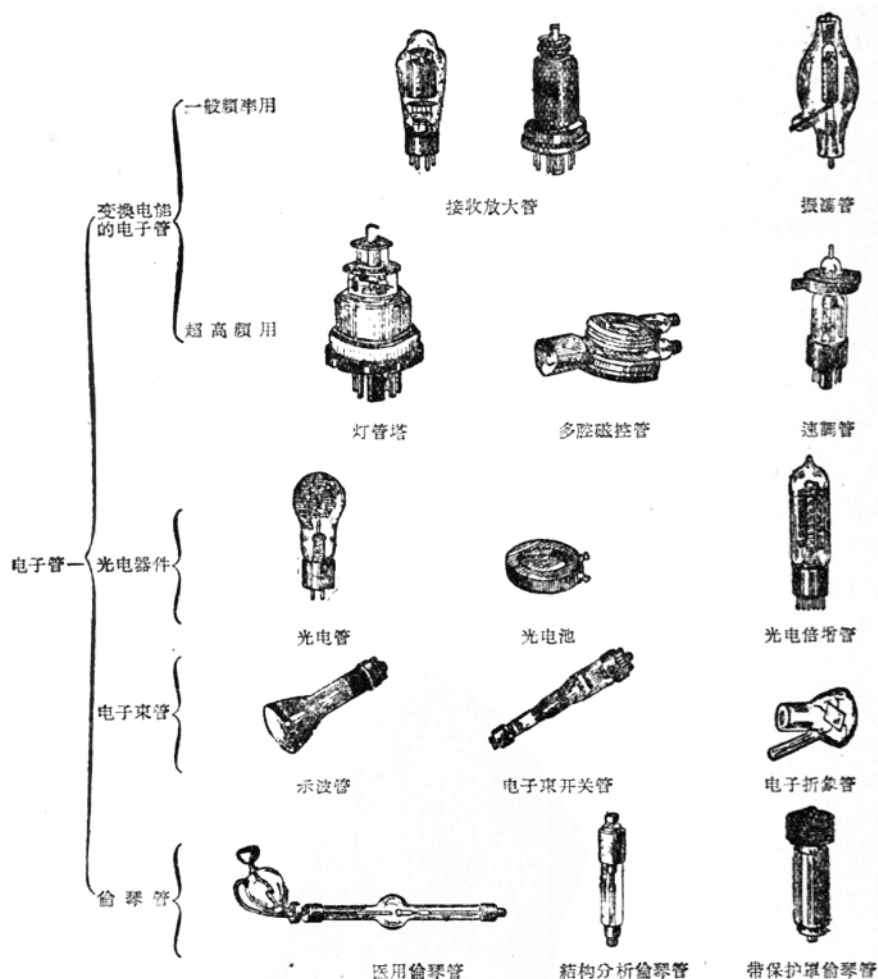


图 0-3 电子管的分类图。

第一大类是变换电能的电子管，它用来把电能从一种形式变换到另一种形式。这类电子管包括的范围很广，有变换交流电能为直流电能的整流管，把直流电能变换为交流电能产生不同频率电振荡的振荡管及主要在天线接收设备中供电压或功率放大的接收放大管和变换频率的变频管等。这一类电子管具有相似的结构外形和工作原理。

基于电流动态控制原理产生超高频电振荡的磁控管、速调管、行波管和返波管也属于这一类。

所有变换电能的电子管都带有热阴极，它是电子管自由电子的源泉。

第二类是变换光能为电能的光电器件，其中包括：利用外光电效应，金属或某些半导体表面当光照射时逸出自由电子的现象做成的光电管、光电倍增管；利用内光电效应，当光照射物体时引起电导变化及产生电动势的现象做成的光敏电阻、光电池等。

利用聚焦电子束能量的器件属于第三类，其中有观察电信号变化过程的电子示波管，观察电视图象的显象管，用于雷达作定位指示的指示管和用电子束作电路转换开关的电子束转换管等。

还有一些电子器件，是综合光电器件和电子束器件的工作原理做成的。例如电视传送管和光电变换管；前者能把图象变成电信号，后者能把不可见光的图象变换成可见光的图象。

最后一类是把电能变换为伦琴射线（X射线）的伦琴管，它是利用快速电子束受到抑制时产生伦琴辐射的原理制成的。