

电子技术培训教材

真空电子器件

真空电子器件专业工人教材编写组



电子工业出版社

电子工业出版社
PDG

内 容 简 介

本书着重介绍各种真空电子器件(即电子管)的基本工作原理、应用以及有关的基本知识。全书包括十六章:前三章简要介绍电子管的发展简史、电子发射和阴极以及电子在电场和磁场中运动的一些基本规律;以后各章分别介绍空间电荷控制电子管、微波三四极管、速调管、行波管、返波管、磁控管、正交场放大管、天线开关管、回旋管、黑白和彩色显象管、示波管、摄象管、储存管、指示管、光敏管、离子管、计数管以及X射线管。每章末均附有习题。

本书可做真空电子器件专业工人技术培训的理论教材,也可供从事这方面工作的广大工人、战士和干部自学参考,还可供使用各种真空电子器件的技术人员阅读。

真 空 电 子 器 件

真空电子器件专业工人教材编写组

责任编辑:焦桐顺

*

电子工业出版社出版发行(北京市万寿路)

山东电子工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 10.68 字数: 240千字

1984年9月第1版

1984年12月第1次印刷

印数: 11200册

定价: 1.90元

统一书号: 15290·46

新华书店
PDG

出版说明

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，提高电子工业真空器件专业工人技术水平，受电子工业部委托，在中国电子器件工业总公司组织领导下，按部颁电子工业真空器件专业工人技术培训教学计划、教学大纲要求，编写了《真空电子器件》、《真空电子器件制造工艺》、《真空电子器件材料》、《真空技术基础》四本教材。

这套教材是电子工业工人技术培训统编教材，作为初级或中级培训教材时，在内容上可适当增减。本教材也可作为具有一定电真空生产知识的工人、干部的自学丛书。

本教材在编写过程中得到了上海电真空器件工业公司、1412所、七七四厂、七四一厂、七七六厂等单位的大力支持和密切配合，在此一并表示感谢。

《真空电子器件》由李焯、贾沛凯、同志编写，严增濯同志审定。高级工程师陈遥刍、袁磊、徐承浩等同志对本教材作了审阅。

由于真空电子器件的品种繁多，技术复杂，而编写时间紧迫以及编写水平有限，缺点和错误难免，恳切希望广大读者给予批评指正。

电子工业真空电子器件专业工人教材编写组

新华书店
PDG

目 录

第一章 绪论.....	1
§ 1.1 什么叫真空电子器件.....	1
§ 1.2 真空电子器件的分类.....	1
§ 1.3 真空电子器件发展简史.....	4
§ 1.4 真空电子器件的重要性.....	8
第二章 电子发射和阴极.....	10
§ 2.1 原子和电子.....	10
§ 2.2 电子发射.....	12
§ 2.3 阴极的类型.....	18
§ 2.4 热阴极.....	20
§ 2.5 光电发射.....	30
§ 2.6 次级电子发射.....	39
第三章 电子在电场和磁场中的运动.....	47
§ 3.1 电子在均匀电场中的运动.....	47
§ 3.2 电子在均匀磁场中的运动.....	54
§ 3.3 电子在同时存在电场和磁场空间中的运动.....	57
§ 3.4 电子管中利用电场和磁场控制电子运动的例子.....	59
第四章 二极管和空间电荷控制管.....	61
§ 4.1 二极管.....	61
§ 4.2 三极管.....	66
§ 4.3 四极管和五极管.....	74
§ 4.4 束射四极管.....	76
§ 4.5 发射管.....	79
第五章 微波管的基本知识.....	81
§ 5.1 微波的基本知识.....	81
§ 5.2 普通电子管的限制和微波管的特点.....	85

§ 5.3	微波管的分类·····	88
§ 5.4	微波管的主要参量·····	91
§ 5.5	强流电子注·····	96
§ 5.6	谐振腔和慢波结构·····	99
第六章	微波三四极管和“O”型微波器·····	105
§ 6.1	微波三四极管·····	105
§ 6.2	速调管·····	108
§ 6.3	行波管·····	117
§ 6.4	返波管·····	119
第七章	正交场管·····	124
§ 7.1	正交场管的分类·····	124
§ 7.2	磁控管·····	124
§ 7.3	正交场放大管·····	133
第八章	天线开关管和回旋管·····	139
§ 8.1	天线开关管·····	139
§ 8.2	回旋管·····	144
§ 8.3	回旋管用磁控注入枪·····	148
§ 8.4	回旋管的互作用腔和模式变换器·····	150
第九章	电子束管的基本知识·····	153
§ 9.1	概述·····	153
§ 9.2	电子束管的应用、分类和命名·····	154
§ 9.3	电子光学简介·····	157
§ 9.4	电子光学在电子束管中的应用·····	168
§ 9.5	荧光屏·····	175
第十章	示波管·····	178
§ 10.1	示波管显示波形的基本原理及对示波 管的一般要求·····	178
§ 10.2	示波管的典型结构和工作原理·····	180
§ 10.3	示波管的主要参数·····	189

第十一章	显象管	192
§ 11.1	电视传象的基本原理	192
§ 11.2	对显象管的基本要求	194
§ 11.3	黑白显象管	195
§ 11.4	彩色显示的基本原理	200
§ 11.5	彩色显象管	202
§ 11.6	投影管	211
第十二章	摄像管、储存管和指示管	214
§ 12.1	摄像管的结构和工作原理	214
§ 12.2	摄像管的种类	218
§ 12.3	摄像管的性能特性	223
§ 12.4	摄像管的用途和进展	225
§ 12.5	储存管的基本知识	228
§ 12.6	直观储存管	231
§ 12.7	其他储存管	235
§ 12.8	指示管	235
第十三章	光敏管	238
§ 13.1	光敏管的分类	238
§ 13.2	光电管	238
§ 13.3	光电倍增管	250
§ 13.4	象增强管的一些基本知识	263
§ 13.5	变象管和象增强管	270
§ 13.6	X 射线象增强管	276
第十四章	离子管	280
§ 14.1	概况	280
§ 14.2	气体的物理性质	281
§ 14.3	电子或正离子与气体分子的碰撞	284
§ 14.4	气体放电	285
§ 14.5	闸流管	291

§ 14.6	稳压管	294
§ 14.7	引燃管	295
第十五章	计数管	298
§ 15.1	气体中非自持暗放电的特点	298
§ 15.2	正比计数管	302
§ 15.3	盖革-缪勒计数管	305
第十六章	X 射线管	315
§ 16.1	X 射线	315
§ 16.2	X 射线管的分类与命名方法	315
§ 16.3	X 射线管的典型结构及工作原理	317
§ 16.4	X 射线管的特性参量	325
§ 16.5	X 射线管的应用与发展方向	329
§ 16.6	X 射线的防护	332

第一章 绪 论

§ 1.1 什么叫真空电子器件

真空电子器件通常称为电子管，有时也叫电真空器件，在以后的叙述中我们将不加区别地使用。

真空电子器件是在气密管壳内，由存在于真空或气体媒质中的电极间的电子或离子来实现电传导的一种电子器件。

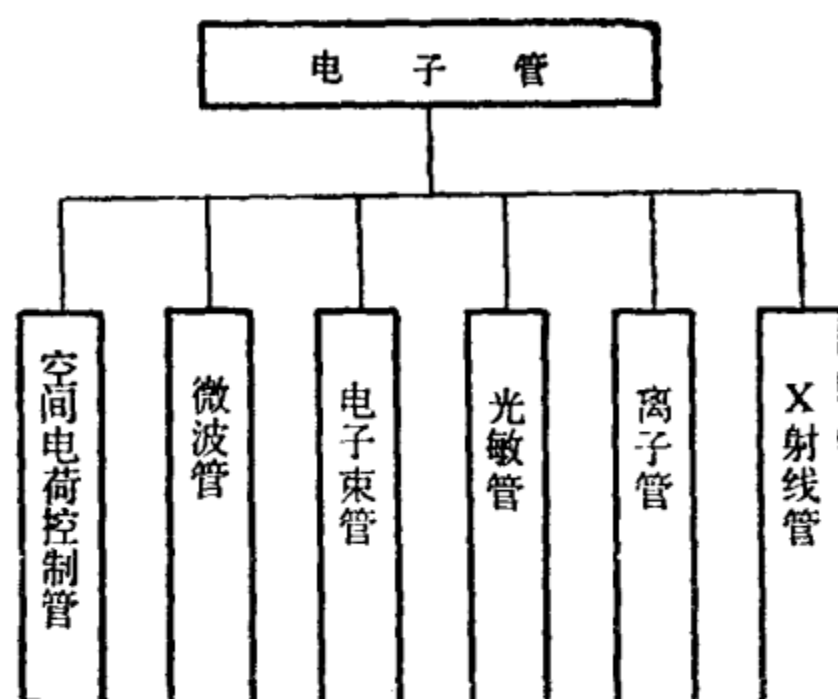
真空电子器件中一般至少有一个发射电子的电极和一个接收电子的电极，还可能有控制电子发射和运动的电极以及其他辅助电极，所有电极都密封在玻璃、陶瓷或(和)金属制成的管壳内。因此，在气密性封闭容器中通电的器件(例如白炽灯泡)不属于真空电子器件。

§ 1.2 真空电子器件的分类

真空电子器件是无线电设备中最主要的器件之一。按用途可分为整流管、收信放大管、调制管、开关管、发射管、显示管和计数管等；按工作频率可分为低频管、高频管和超高频(微波)管等。

表 1.1 给出了电子管的分类。按工作原理不同电子管可分为六大类，即空间电荷控制管、微波管、电子束管、光敏管、离子管和 X 射线管。每一类又可详细地划分成许多门类或品种，这将在以后有关章节中分别叙述。

表 1.1 电子管分类表



现将电子管的几大类简介如下：

一、空间电荷控制管

空间电荷控制的基本原理是改变控制电极的电位，使真空中电极间的静电场发生变化，从而达到控制空间电荷限制电流的目的。采用这种控制方法工作的电子管叫做空间电荷控制管。

控制电极(通常为栅极)电位的变化，使阴极表面电场改变，这就控制了从阴极流向阳极的电子流，也可以控制电极间电流的分配，以达到控制电子流的目的。由于在这类电子管中起控制作用的电极大多是栅网状，所以空间电荷控制管又称栅控管，有时也称为静电控制电子管。

一般的收信放大管、发射管以及微波三四极管都属于空间电荷控制管。

二、微波管

微波管又称超高频管。一般说,波长从30厘米(10^9 赫)到1毫米(3×10^{11} 赫)范围内的波称为微波。在微波范围内工作的电子管称为微波管。

微波管主要包括微波三四极管、速调管、行波管、返波管、磁控管、正交场放大管和回旋管等。另外,天线开关管也属于微波管之列。

除微波三四极管以外,其他微波管都没有采用空间电荷控制原理。

三、电子束管

性能取决于一个或多个电子束的形成和控制的一种电子管称电子束管,有时也称为电子束器件。

电子束管是电子管的一个重要分支,近十几年来发展尤为迅速。这类器件的种类很多,根据信号转换形式大致分为以下四类:

- (1) 电信号转换为图象,如示波管、黑白和彩色显象管、雷达指示管等;
- (2) 图象转换为电信号,如各种类型的摄像管;
- (3) 图象转换为图象,如变象管、象增强管等;
- (4) 电信号转换为电信号,如网垒式储存管(又称存储管)等。

四、光敏管

功能取决于光电效应的一种电子管称为光敏管。按工作原理和用途,光敏管可分为光电管、光电倍增管、变象管和

象增强管等。

按电极结构形式，光电管又可分为中心阳极式、中心阴极式和平行平板式等几种；按管内充气与否，光电管可分为真空光电管和充气光电管两种。

五、离子管

离子管又名充气管，其电特性基本上是由人为引入的气体或蒸气的电离作用来决定的。这种管子在制造时要先抽成真空，然后充入一定量的气体或蒸气。管子工作时，充入的气体(或液体产生的蒸气)被电离，产生的正离子抵消了阴极附近的电荷，使阴极的发射不受空间电荷的限制，因而电流很大(和真空管相比)、内阻很小。因为管内除了电子之外尚有大量离子存在，所以称为离子管。

六、X射线管

X射线管是专门用来产生X射线而设计制造的一种电子管。现代的X射线管都是真空的，其真空度一般不低于 10^{-6} 毫米汞柱。管内至少有两个电极，其中一个为发射电子的阴极，一般用钨丝制成；另一个为接受高速电子轰击而放射X射线的阳极。

X射线管按用途可分为医学诊断用的、医学治疗用的、材料透视用的、结构分析用的和光谱分析用的等数种。

§ 1.3 真空电子器件发展简史

真空电子器件的历史要追溯到一百年前。1883年，爱迪生在实验中发现：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,这时电路中没有电流;若把电源反接,即正极连到金属板A,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(参看第二章图2.4)。这种能在真空中导电的现象,当时无法解释,后来人们把它称为爱迪生效应。

二十多年后,1904年,英国的佛莱铭在许多科学家研究的基础上制成了一只具有金属板和灯丝的简单二极管,金属板称阳极,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。

1907年,有人在二极管的阳极和阴极之间加进了一个栅栏状的电极(叫做栅极),栅极对自阴极飞向阳极的电子起着控制作用,利用这种作用可使信号得到放大,这就制成了三极管。三极管的出现,使整个无线电通信技术得到飞速发展,标志着一个崭新的电子学时代的开始。

除二极管、三极管以外,随着科学技术的不断发展和客观实际的需要,陆续出现了一些性能更好、用途更广的四极管、五极管、多极管以及各种特殊用途的电子管。

当频率提高到微波范围时,基于空间电荷控制原理的普通结构的低频电子管已不能正常工作。开始只是通过使管子小型化和管子的有效设计,即减小电极的几何尺寸和采用圆柱状或盘状的金属电极引线,并不改变管子的工作原理,把小功率电子管的使用范围扩展到厘米波段,这样就做成了微波三四极管。

然而,为了使小功率电子管的应用能扩展到低于2—3厘米的波段,以及得到能在整个微波范围(波长从30厘米到1毫米)工作的大功率电子管,有必要从根本上改变微波管的工

作原理。

本世纪三十年代末，速调管和磁控管等新型微波管先后问世，稍后又出现了行波管和返波管，五十年代出现了正交场放大管。在此期间还出现了各种各样性能优良、用途广泛的速调管、行波管和正交场管，例如多腔速调管、反射速调管、漂移速调管、低噪声行波管、耦合腔行波管、同轴磁控管、电压调谐磁控管、泊管和正交场前向波放大管等等。这些微波管都是基于电子注与慢波进行相互作用的原理工作的。

1959年，潘特尔提出了电子注与快波相互作用的原理，不久就出现了另一类新型大功率器件——回旋管。

六十年代以后，微波管日趋成熟，但在大功率、高效率、高增益、长寿命、高可靠、宽频带等方面仍有许多值得研究的课题。

在普通电子管和微波管迅速发展的同时，电子束管、离子管、光敏管也在飞速发展。

1897年制成了第一只实用的电子束管——勃朗管，该管是为了测量电信号而研制的。这种管子的结构非常简单，没有使用电子透镜，电子束的形成主要靠膜片的切割作用。管内真空度很低，工作时需要加数万伏高压。

到了二十年代，随着电子光学的创立和发展，人们认识到轴对称电场和磁场能使运动电子流聚焦和成象，并进行了系统的研究。此后，电子束管在理论指导下得到迅速的发展。

随着高效率氧化物阴极的制成和真空技术的发展，1924年制成了加速电压低、真空度高的示波管。从此，电子示波器广泛地应用于科学研究和工业生产中。三十年代以后，又陆续出现了各种用途的示波管，如雷达指示管、行波示波管、

后加速示波管、双迹和多迹示波管，以及宽频带示波管等。

三十年代，由于电视技术的发展出现了电视摄像管和显象管。五十年代以后，陆续发明了各种摄像管和显象管，如光导摄像管、红外线摄像管、单管彩色摄像管、三枪三束动会聚彩色显象管、单枪三束自会聚彩色显象管、黑底彩色显象管等…。

四十年代，由于雷达定位技术和夜间观察的需要，促进了指示管、储存管、红外变象管和象增强管的研制。

近年来，电子束管的品种越来越多，性能越来越好。宽频带示波管已能显示上千兆赫频率的电信号；大屏幕彩色显象管也在不断发展之中。目前，电子束管在整个真空电子器件中已占有相当大的比重。

在本世纪初，离子管和光敏管就先后问世。1905年出现玻璃管壳的汞池整流管。二十年代以后，陆续研制成稳压管、冷阴极整流管、冷阴极闸流管(1925年)，汞气闸流管(1929年)，充氢闸流管(1940年)，盖革-弥勒计数管(1943年)。1912年碱金属元素阴极光电管问世，1928年中心阳极光电管诞生，1936年光电倍增管研制成功。

在各类真空电子器件中，X射线管的历史最长。早在1895年，伦琴就发现了X射线并制成X射线管。本世纪三十年代以后，陆续出现了医用X射线管(1931年)，分析用X射线管(1935年)，旋转阳极X射线管(1944年)，高压X射线管。

最近几十年，半导体的研究和应用获得了飞跃的发展，用半导体制成的“电子器件”称为晶体管。晶体管体积小、耗电省、寿命长，因此许多小功率收信放大管已被晶体管所取代。但是晶体管在功率和频率方面还远远比不上电子管，特别是在微波范围内，微波管（小功率振荡器和低噪声放大器除

外)仍然独占鳌头。

随着现代科学技术的迅猛发展,虽然液晶显示、发光二极管和场致发光等固态显示器件正在崭露头角,但是从目前来看,电子束管由于其完善的工艺和优良的性能价格比,在近期仍然具有无法取代的优越性。

离子管和光敏管也遇到了固态器件的挑战和竞争,但在可以预期的一段时期内,两者将会长期共存,互相补充。而大功率闸流管和 X 射线管却很难被固态器件所取代。

§ 1.4 真空电子器件的重要性

在晶体管问世以前,可以说没有电子管就不会有放大器,也不可能有通信技术。即使在今天,电子管仍然不能完全被晶体管所代替。目前,晶体管仍然还是一种低功率的器件,而电子管则能提供数百千瓦的平均功率和几十兆瓦的脉冲功率。晶体管只能在数千兆赫以下作为有效的放大器来用,但是电子管在几十千兆赫时还能有效地进行放大。

不仅现代技术必须依靠电子管,而且许多基础科学研究都要应用电子管。例如,物理学家用来研究原子核的大功率回旋加速器、同步加速器和直线加速器中,在用以观测核反应的射线探测器、放大器和辐射指示器中,都应用了电子管。射电天文学的诞生也与电子管有密切的关系。生物学家和生理学家所应用的最精密的仪器都离不开电子管。如果没有电子管,我们就无法收听到广播电台的节目,不可能坐在家里收看到世界各地精采的体育比赛和新闻报导。总之,不论是在科技领域还是在工业上,乃至日常生活中,电子管的用途都是非常广泛的。

由于电子管是电子技术的基础之一，因此随着电子管性能的不断改进，整个电子技术也必然取得不断的进展。例如，随着厘米波段、毫米波段微波管的研制和出现，我们就从使用波束很宽、角分辨能力很差的波长达数米的雷达，发展到使用波束很窄、有较高分辨率的厘米波段和毫米波段的雷达。我们从早期的波长为数千米的无线电报信号，发展到波长只有10—20米的短波无线电报信号，这样的无线电波虽然受到天气好坏的影响，失真程度也比较大，但是却能把电码和声音传送到全世界。我们还能通过通信卫星把5厘米波长的电波从一个大陆送到另一个大陆。所有这些新的技术都只有在应用各种电子管的情况下才有可能实现。

解放前，我国几乎没有自己的电子管制造工业。解放后，我国的电子管制造工业得到了迅速的发展。我们建造了许多电子管制造工厂，设立了几所真空电子器件研究所，现在已能制造、设计各种各样的普通收音放大管、微波管、电子束管、光敏管、离子管和X射线管。但是，我们也必须清醒地看到，我国的电子管工业比世界先进水平还有一定差距。为了把我国建设成为四个现代化的社会主义强国，我们工作在真空电子器件专业战线上的职工，必须刻苦学习专业基础知识，钻研技术，把我国电子管的研制工作尽快接近和赶上世界先进水平。

习 题

1. 真空电子器件有哪些特点？
2. 真空电子器件包括几大类管型？它们各叫什么名字？
3. 试说明真空电子器件各大类管型的特点。
4. 爱迪生效应是什么时候发现的？简述它的现象。
5. 电子管和晶体管各有哪些优缺点？
6. 举例说明电子管的重要性。

第二章 电子发射和阴极

§ 2.1 原子和电子

人们经过长期的科学实验和分析，证明物质都是由许许多多肉眼看不见的微粒构成的。构成物质的微粒有多种，分子是其中之一，还有一些物质是直接由原子构成的。分子也是由原子组成的。各种元素的原子都是由位于原子中心的原子核和围绕原子核高速旋转的电子组成的。原子核是由带正电的质子和不带电的中子组成的。不同元素的原子之所以不同，是因为组成它们的质子数目不同。图2.1示出了氢、氦和锂的原子结构的简化模型。

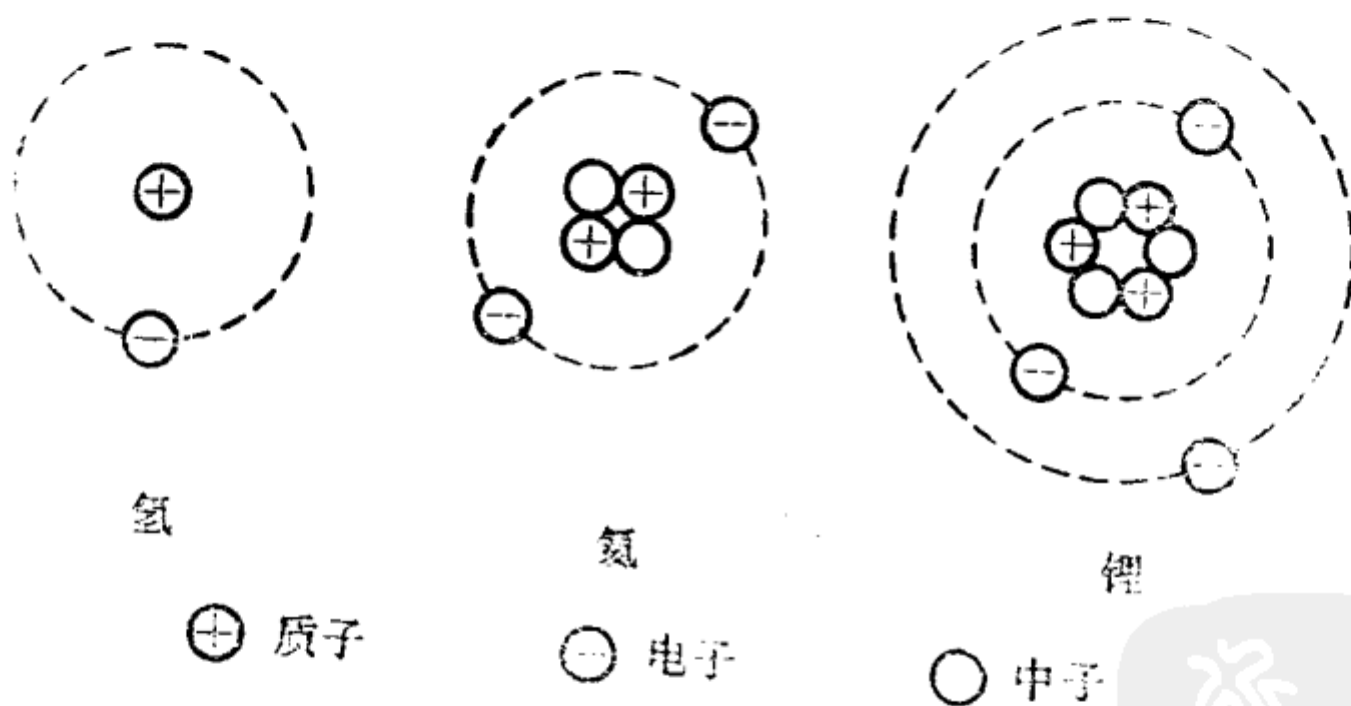


图 2.1 氢、氦、锂的原子结构简化模型

电子是极小的带负电的粒子，它的电荷量为 1.601×10^{-19} 库仑。一个电子所带的电量和一个质子所带的电量