

无线电电子学知识丛书

电子管

徐 淦 卿 著



人民邮电出版社

無線电电子学知識丛书

5

电 子 管

著 者 卿 煊 伦
审 閱 徐 淦 李 张

人 民 邮 电 出 版 社

編 者 的 話

无綫电电子学是一門发展极为迅速的科学技术，在我国社会主义建設的很多方面都有广泛的应用。在今天，从事无綫电电子学的专业队伍正在不断扩大，在工农业生产和科学实验中要求学习和应用这门技术的人也日益增多。为了使无綫电电子学更好地为我国社会主义建設服务，加强普及无綫电电子学知識已經是一件十分迫切的事情。为此，中国电子学会决定成立“无綫电电子学知識丛书”編輯委员会，組織編写这套丛书，分册介紹本学科的各项基本知識、实际应用和发展趋向。我們希望努力做到概念正确清楚，理論联系实际，讲述深入浅出。主要讀者对象是无綫电电子学有关部門的管理干部和初級技術人員，其他专业的电子技术人員，以及有一定基础的无綫电爱好者。

我們热烈希望广大讀者共同推动这一項工作，提出需要編写哪些书籍，并对已出版各书的内容和写法批評指正。来信請寄北京东四6条19号人民邮电出版社图书編輯室。

“无綫电电子学知識丛书”編輯委员会

目 录

緒論

总述	1
电子管的基本結構	4

第一章 电子管的阴极

7

热电子发射	7
鎢阴极	9
碳化敷鈷鎢阴极	11
氧化物阴极	13

第二章 二极管

16

电子在电场中的运动	17
空间电荷对板流的限制	20
二极管的特性曲线	23
板极消耗的功率	24
二极管的应用	26
二极管的种类和使用常識	30

第三章 三极管

34

栅极的控制作用	35
三极管的特性曲线	37
三极管的参量	41
动态特性曲线	46
三极管的应用	48
三极管的种类	55
三极管的缺点	58

第四章 四极管和五极管

60

帘栅极的作用	60
--------------	----

1100740

四极管的特性曲线·····	63
五极管中抑制栅极的作用·····	66
五极管的特性曲线和参量·····	67
五极管的应用和种类·····	71
五极管接成三极管·····	79
束射四极管·····	80
第五章 其他收信放大管 ·····	83
变频管·····	83
调谐指示管·····	88
二次发射管·····	90
柱栅管·····	92
复合管·····	94
如何正确使用收信放大管·····	94
第六章 发射管 ·····	101
概述·····	101
水冷管·····	103
风冷管·····	105
液体汽化冷却电子管·····	106
結束語 ·····	109
附录 1: 我国的电子管命名方法 ·····	113
附录 2: 常用电子管的新旧型号对照表 ·····	115

緒 論

总 述

無線电电子学、宇宙火箭和原子能并称为現代三大尖端技术，其中，尤其是無線电电子学具有异常丰富多采的内容。它已經广泛地应用到国防建設、国民經济、科学技术和日常生活的各个领域中。

近十几年来，無線电电子学的应用已經远远越出了早期無線电通信与广播等范围，而为科学技术的很多領域，例如無線电定位、导航、电视、自动控制、遙控遙测、天文气象、測量技术、計算技术、导弹火箭、人造卫星、宇宙飞船等开拓了嶄新的道路，大大加速了这些技术領域的发展。

無線电电子学之所以能發揮如此巨大的作用，其主要原因之一是研制和运用了多种多样品质优良的电真空器件。大家知道，無線电設備的放大和振蕩等极其重要的功能正是借助于电真空器件才得以實現的。事实証明，电真空器件是無線电設備中最重要的元件。电真空器件的品质，直接决定了無線电設備最重要的技术性能。电真空器件的应用和发展对于無線电电子学的应用和发展具有决定性的意义。因此，人們常将电真空器件誉为無線电的心脏。現在，电真空器件的生产已經形成了一个巨大的現代化工业。无疑地，它是無線电工业的基础和先行軍。

电真空器件是利用在真空中或气体中发生的电現象而作成的器件。

电真空器件可分为两大类。第一类是不放电的电真空器件。在这类器件中，电流通过处在真空中的金属或合金导体，如白炽灯、真空热电偶等。第二类是放电的电真空器件。它们工作的基础在于利用真空中或稀薄气体中自由电荷的运动。这类器件又可分为电子器件（电子管或真空管）和离子器件（离子管或充气管）两类。

电子器件自1904年第一只真空二极管问世以来，虽然只有短短60余年的历史，但已获得非常巨大的发展。目前，各国生产的电子器件已有三万余种不同的型号，而新的管型还在层出不穷，全世界每年约生产十几亿只管子。尽管如此，按照工作原理、结构和用途，一般可将电子器件分为以下几大类：

1) 静电控制电子管。这类电子管利用电场来控制电流，它的型号最多，目前应用也最广。如按电极的多寡来分，有二极管、三极管、四极管、五极管、六极管、七极管、八极管和复合管。按其应用，则可分为收信放大管、发射管和整流管。

i) 收信放大管。工作波长约在米波以上，可以进行放大、振荡、变频、混频、检波等，广泛应用于收音机、通信接收机、电视接收机以及电子仪器等设备上。

ii) 发射管（又称功率管或振荡管）。工作波长也在米波以上，主要用来进行放大和振荡，用于中、短波广播和通信发射机、工业高频加热设备等。

iii) 整流管。用以把交流电压转变成直流电压。几乎所有使用电子管的设备都要用到整流管。

2) 超高频管（又名微波管）。这类是工作波长在米波以下的收信放大管和功率管。还可按工作波长细分为分米波管（10—100厘米）、厘米波管（1—10厘米）、毫米波管（1毫米—10毫米）及亚毫米波管（1毫米以下）。按其工作原理则可分为速调

管、磁控管、行波管、返波管以及基于普通电子管原理的所謂靜电控制超高频三、四极管。

3) 电子束管。它是作各种电信号和可見图象的轉換或儲存用的特种电子管。这些管子中，电子从阴极发射出来以后，在外加电场或磁场的作用下聚成細束，因此叫电子束管。种类很多，有示波管、显象管、摄像管、儲存管等。

4) 光电器件。它是把光能轉換成电能的器件，有光电管、光电倍增管等。主要用在控制电路中。

此外，还有不属于以上几大类的电子器件，如X光管等。

本书主要是向讀者介紹靜电控制电子管。书中以后所提到的“电子管”，就是指的这种管子。其他管种另有专书介紹。

电子管是依靠电子在真空中的运动来完成各种职能的。电子的质量极小，只有 9.1×10^{-31} 公斤。大約一千万万万万个电子（即 10^{27} 个电子）才有一克重。可見电子的慣性极小，能以极高的速度运动，变化快，反应灵敏。因此，利用电子管可以极为精确地迅速完成振蕩、放大和变换各种信号的职能。

也能起振蕩和放大作用的另一类器件是晶体管（或称半导体管）。近十几年来，晶体管有了十分迅速的发展。它的主要优点是：消耗功率少、寿命长、体积小、耐振动等。但是晶体管在使用上也受到某些限制，如輸出功率小、工作频率低、噪声大、工作温度不能很高、受核輻射的影响大等。尽管晶体管的应用在不断扩大，但在需要微波、高功率和寬頻带的場合，如雷达、导航、散射通信、原子能研究、工业加热以及图象显示等应用，电子管仍有广闊的发展前途。因此，晶体管并不能完全取代电子管。实际上，两者并不是相互排挤，而是相互补充，相互促进，各有其发展前途。关于电子管与晶体管优缺点的詳細比較，将在本书最后叙述。

电子管的基本结构

虽然电子管的型号很多，结构也各有特点，但是不论哪一种型号的电子管，都是由装在管壳内部的各个电极和装在管内和管外的辅助零件所组成。

常见的电子管外形有普通八脚管、小型管和超小型管，如图1所示。此外，还有金属管、锁式管、橡胶管和金属陶瓷管等。

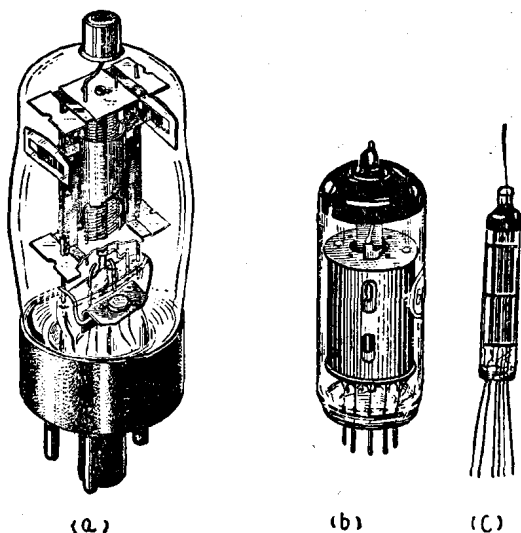


图 1 常见的电子管外形
(a) 普通八脚管；(b) 小型管；(c) 超小型管。

普通八脚管较大（直径约28毫米，高度约60毫米），小型管较小，和大姆指相近，因而有姆指管之称。超小型管更小，最小的超小型管直径小于3毫米。

电子管的内部处于高真空状态，其真空度达 10^{-7} 毫米汞柱，也就是相当于正常大气压的七十六亿分之一。这个比值是很可观的，地球若按同样比值缩小，就会变成一颗直径约为 1 毫米的小球。

为什么电子管内要有高真空呢？因为气体的分子一直不停地在作不规则的热运动，气体分子在所有方向上运动，经常互相碰撞。气体的压强愈高，单位容积内气体分子数愈多，分子的碰撞机会就愈多。根据计算，在标准状态下（ 0°C ，一大气压），每立方厘米体积内，气体分子数达 2.69×10^{19} 个。气体分子平均每移动 0.1 微米就要碰撞一次。如果电子管的真空度不高，那末从阴极飞向板极的电子，在途中会和许多气体分子相碰撞，引起气体分子电离，产生气体离子，电子管的特性就会发生变化，甚至使极间跳火。在 10^{-7} 毫米汞柱的真空度下，虽然每立方厘米内还有 3.54×10^9 个气体分子，但气体分子平均每行进 1000 米才相碰一次，于是在阴极到板极的路程上，大约一百万个电子中只有一个会和气体分子相碰，这么稀少的碰撞对电子管的工作不会起什么有害的影响。

此外，如果电子管内真空度不高，则点燃灯丝时，灯丝便会立刻遭受到严重的氧化而烧毁。

电子管的结构相当精密，所有零件的尺寸都很细小。所用的金属丝，直径最细的为 6 微米，即还不到头发直径的十分之一（头发的直径约为 70—100 微米）。电极间的距离也很近，一般电子管的阴极与栅极间距只有十分之几毫米，目前最小的间距仅 10 微米，真正是间不容发。

为了明显起见，我们以图 2 所示的直热式三极管为例，来说明电子管的基本结构。

三极管有三个电极：阴极、板极和栅极。

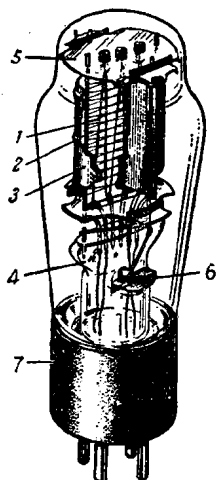


图 2 直热式三极管的结构
1—阴极；2—栅极；3—板极；
4—芯柱；5—云母片；6—吸气剂；7—管底。

阴极是电子管中电子的源泉，热阴极借电流加热来发射电子，一般装在电子管的中心。

板极，又称阳极，工作时接正电压，接收从阴极发射出来的电子。位置在各电极的最外层。一般用金属板做成，形状有矩形、圆筒形等。

栅极位于阴极与板极之间，它的作用是控制到达板极的电子数，它的结构是在两根较粗的金属支杆上用细金属丝绕成螺旋线。截面形状有矩形、椭圆形等。

管内主要的辅助零件有芯柱、云母片和吸气剂等。

芯柱和管壳封接在一起，构成密封的容器，保证电子管所需的真空度。它的作用，一方面是支持管内的各个电极，另一方面把各个电极引出管外。

云母片是管内的绝缘体，管内电极都固定在云母片上。云母片上冲有很多小孔，利用这些小孔来固定电极和维持电极间的相对位置。在很多电子管里，还利用云母片四周突出的小齿和管壳紧密接触，防止管芯振动。

吸气剂是一种非常容易吸收气体的物质，用来吸收管内残余气体，使电子管经常保持高真空。收音放大管一般都用钨吸气剂，在电子管排气结束前，用感应加热法使钨蒸发，蒸汽立即凝结在附近的管壁上，生成银色镜面。在蒸发时吸收了大量的残余气体，而形成的银色镜面可以长期保持吸气作用。

管底是管外輔助零件，在管底上裝有管腳。管內各電極有引綫通過芯柱接至管腳。使用電子管時，把管底插入管座內，管座有相應的焊片與各管腳接觸，通過焊片就可把電子管與外電路相連。圖 3 是常用的八腳管底。八腳管底上的管腳數可少於八個（即有些應安裝管腳的位置空着不安管腳），視具體需要而定。為了避免管子插入管座時插錯位置，管底的中心有定位鍵。管腳號數的規定是，把管底向上，以定位鍵左方第一個為 1 號，其餘依次按順時針方向確定。

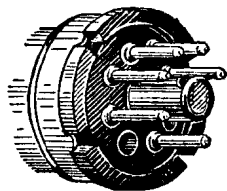


圖 3 八腳管底

小型管沒有管底，芯柱的引出綫就是管腳。管腳的號數也是把管底向上，以管腳間距離最大的左方一個定為 1 號，其餘依次按順時針方向確定。

第一章 電子管的陰極

電子管是依靠在真空中流動的自由電子流來完成各種功能的。因此，在每一個電子管里，都有發射電子的陰極。陰極有電子管的心臟之稱。在電子管中所用的陰極大都是熱陰極。熱陰極靠加熱產生電子發射。

熱電子發射

在討論熱電子發射以前，我們先來談談熱運動。

組成物體的分子、原子和自由電子等質點都在時刻不停地作着劇烈的雜亂運動，這種不規則運動所具有的動能就是熱

能。物体愈热，就表明内部质点的运动愈猛烈。这种运动就叫做热运动。各个质点的热运动速度各不相同，有高有低，按一定的规律分布。温度升高时，热运动速度高的质点数增多。

一切能够导电的金属里都有大量可以在金属内部自由运动的自由电子。金属具有有规则的结晶结构，原子分布得很整齐。失去了电子的金属原子，以正离子的形式构成有规则的结晶格子，自由电子就在结晶格子里作不规则的热运动。

在常温下，金属中的自由电子虽然在不断地作热运动，但绝大多数的电子并不能从金属表面发射出来。这个事实表明，在靠近金属表面，电子受到了阻碍它逸出的阻力。这可以从表示电子在金属内部和金属表面受力情况的图4中看出。在金属内部，

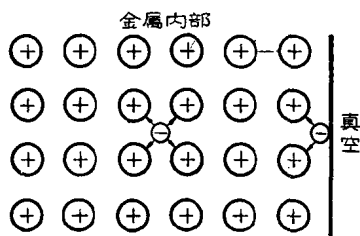


图4 电子在金属内部和金属表面的受力情况。图中箭头表示受力的方向

电子受四周正离子对它的吸引力。由于这些吸引力相互抵消了一部分，电子实际所受的吸引力很小，仍可以自由运动。可是在金属表面，电子只受到金属内部正离子的吸引力，要把电子拉回到金属内部来。一旦电子离开金属表面逸出，金属表面

就因失去电子而带正电，也会对电子产生很大的吸引力，把电子拉回金属。因此，电子要从金属内部逸出，就必须克服这种吸引力而做功，这个功称为逸出功。在常温下，金属中只有很少数的电子的热运动的动能能够超过这个逸出功，克服金属的阻力逸出金属。逸出的电子数极少，以致不可能用现代仪器来测量。但是如果增高金属的温度，使大量电子的热运动动能超过逸出功时，就将有大量的电子逸出金属。温度愈高，发射出

的电子数也就愈多。这种现象称为热电子发射。

热电子发射现象和液体蒸发的情况非常相似。例如，在室温时，只有少数水分子蒸发出来，可是把水加热到沸腾时，就有大量水分子蒸发出来。

因为电子的热运动速度，亦即电子的动能，各不相等，凡动能大于逸出功的电子均可逸出。所以，发射出来的电子所具有的动能也不相等，因而电子具有大小不同的初速度。

当然，我們也可以用其他的方法，使金属内部的电子获得足够的动能而逸出表面。例如，用光线照射，使自由电子借助于光能加速而逸出（光电发射）等。

鎢 阴 极

在最初发明的电子管里，阴极是用鎢絲做成的。鎢的熔点在金属中最高，达 3395°C ，故可工作于极高温度而获得较大的发射。另外，鎢絲的工作温度比其熔点低很多，这就保证了阴极有足够长的寿命。最后，由于鎢富有延伸性和抗张性，故用作阴极的鎢絲，其直径可从小型管中约 10 微米一直到大功率管中的 1—1.5 毫米。

鎢阴极靠直接流过加热电流而发热，是一种直热式阴极。图 5 示出了鎢阴极常用的形状。

从 2300°K * 开始，鎢就有发射。鎢阴极的工作温度一般在 $2500—2600^{\circ}\text{K}$ 之間。温度愈高，发射愈大；但随着温度的升高，金属的蒸发显著增加，寿命缩短。图 6 示出了鎢阴极的加热电压与发射和寿命的关系。从图可以看到，若以曲线交点 0 算起，当提高加热电压 5% 时（温度约增高 40° ），发射可提高 50%，

* $^{\circ}\text{K}$ 是绝对温度，它比摄氏温度低 273° ，即 $0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$ 。

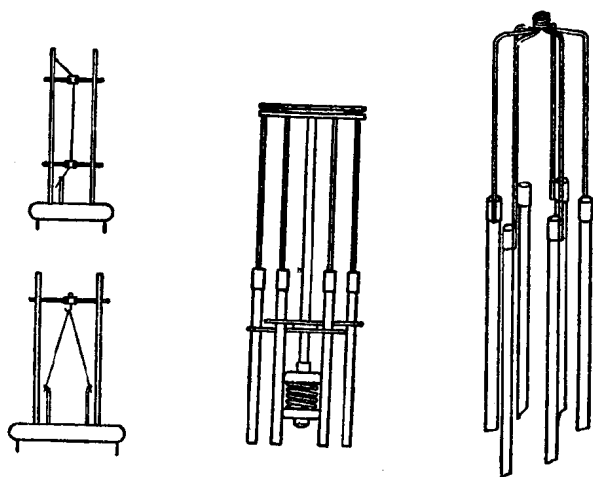


图 5 常用的直热式钨阴极的形状

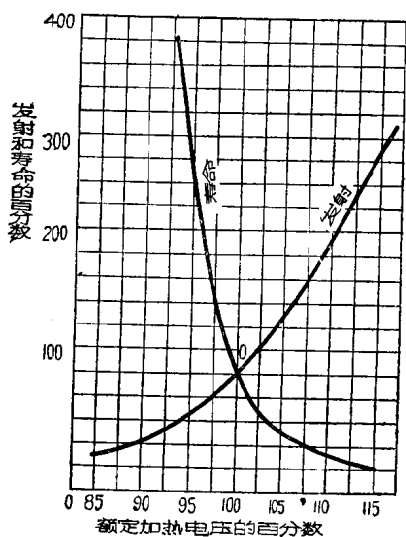


图 6 钨阴极的加热电压与发射和寿命的关系

但寿命却缩短一半；当降低加热电压 5% 时，发射大约下降 35%，而寿命却可以延长一倍多。在钨阴极电子管的使用规则中，虽然容许加热电压变动 $\pm 5\%$ ，但是一般运用都不超过额定的加热电压，以延长阴极的寿命，从而延长电子管的寿命。事实表明：由于阴极损坏而使电子管报废的数目是相当大的。

在长期使用过程中，鎢阴极的发射始終稳定不变，这是鎢阴极的一个优点。此外，鎢的蒸汽能和残留在电子管内的气体起化学作用而一起附着在管壳內壁上，使管內的真空度得到提高。在大功率电子管中，常常利用鎢阴极的这个性能。大功率电子管在长期存放以后，由于管内零件和管壳緩慢地放气，或者由于慢性漏气，真空度下降。在使用时，可能因残余气体过多而出現輝光和打火等現象。如果預先点燃鎢阴极，利用它的吸气性能，就可以提高管內的真空度。

当把冷的鎢阴极接上电源时，加热电流远大于額定的数值，这是因为冷阴极的电阻較小的緣故。鎢阴极的冷电阻約为工作时的热电阻的十五分之一左右，因此在启动时，加热电流可达額定加热电流的 15 倍。如果不采取措施限制启动电流，則启动电流在阴极各綫段間形成的电磁力可能破坏阴极，使阴极弯曲，甚至断裂。在使用大功率电子管时，通常把加热电压分两档接入，第一档低于額定加热电压的一半，經過 30 秒到 1 分钟，由延迟继电器自动接入額定加热电压；或用自耦变压器、电阻器等調节装置，逐步增高加热电压，以限制阴极的启动电流不大于額定值的 1.5 倍。

鎢阴极的缺点是发射能力太小，1 瓦加热功率只能使它发射不到 10 毫安的电流，因而为了加热阴极需要消耗很大的加热功率，很不經濟。其次，高溫鎢阴极所輻射的热量，使其它邻近电极和零件都处在高溫环境里，这对电子管是很不利的。

鎢阴极主要用在大功率发射管、超高压整流管、X 光管和静电測量管等使用其他阴极有困难电子管中。

碳化敷鈦鎢阴极

敷鈦鎢阴极(或称鎢鈦阴极)是一种比較經濟的阴极。在用

含有氧化鈷的鎢絲作陰極時，發射電流將大大增加。例如，在 1500°K 時，發射可增加 1.8×10^5 倍。經過詳細的分析研究，証實發射增大是由于鎢絲的表面覆蓋了一層相當於一個原子厚度的鈷，使逸出功大大降低的緣故。

敷鈷鎢陰極的材料是含有 0.5—1.5% 氧化鈷的鎢絲。在電子管排氣以後，把陰極加熱到 2800°K ，維持 0.5—1 分鐘（稱為閃煉），這時氧化鈷分解出鈷原子；然後把陰極溫度降低到 2300°K 左右，鈷原子從鎢絲內部擴散出來，覆蓋在鎢絲的表面。這個過程叫做激活。

早期的敷鈷鎢陰極發射很不穩定，後來採用碳化的方法獲得了改進。碳化是把還未進行激活的陰極放在碳氫化合物的蒸汽中加熱，由於碳氫化合物分解的結果，碳沉積在鎢絲的表面，并向鎢絲內部擴散形成碳化鎢。一般陰極截面積約 30% 轉變成碳化鎢。碳化以後，再進行激活處理。

碳化後發射比較穩定的原因是，鈷原子附着在碳化鎢的表面上比附着在鎢的表面上更為牢固。

碳化敷鈷鎢陰極（碳化鎢鈷陰極）的發射能力，和表面上單原子鈷層的存在與否有關。電子管工作過程中，陰極表面鈷原子不斷地消耗（蒸發和與氣體作用），又不斷地從陰極內部擴散出來得到補充。在表面鈷原子層不減小的情況下，發射保持穩定不變。如果鈷原子層遭到破壞，發射立即下降。

當陰極喪失發射能力時，只要陰極還未斷裂、陰極內部鈷原子還未耗盡，就可以把陰極復活。

復活是在其他電極不加電壓的情況下提高陰極溫度，使它內部儲存的鈷原子擴散出來，把破壞的表面覆蓋層恢復到正常的狀態。

復活的方法有兩種：一種是用比額定加熱電壓高 5—10%