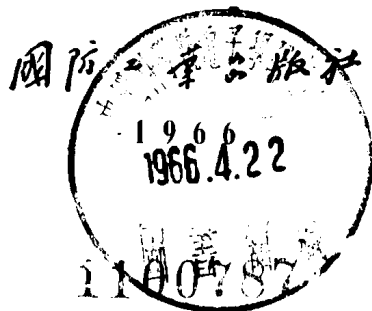


73.6
159

电 子 管

[苏联] Н. Ф. 瓦維洛夫 著

周 志 毅 譯



內 容 簡 介

本书系苏联军事出版社出版的“雷达技术小丛书”之一。

书中简述了电子管的结构、作用原理，研究了电子管的物理特性、特性曲线和参量。同时还给出若干种电子管的参数。在附录中给出了我国与苏联的电子管型号命名法对照表和国产新旧电子管型号对照表。

本书的对象是使用无线电设备的工作人员。

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

〔苏联〕Н. Ф. Вавилов

ВОЕНИЗДАТ 1958

*

电 子 管

周志毅译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 2¹¹/₁₆ 55千字

1966年2月第一版 1966年2月第一次印刷 印数：0,001—5,100册

统一书号：15034·1076 定价：（科四）0.30元

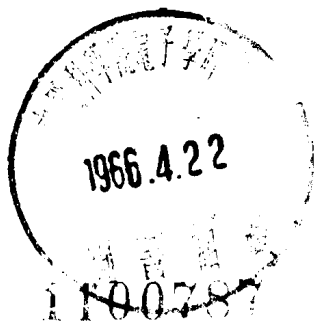
前 言

无綫电技术在定位、导航、电视、通訊、医药、天文、气象以及国防和国民經济的各个领域中，获得了极其广泛的应用。

电子管是无綫电设备的重要元件。它在电子设备中起换能器的作用，即把直流能量轉換成交流能量，或者将交流能量轉換成直流能量，借以实现振蕩的产生、放大、檢波、整流。

近年来，半导体器件有了飞跃的发展，在一些无綫电设备中，由半导体器件代替了电子管，实现了半导体化，这是人类在科学技术领域方面的一个新的成就。但是电子管在无綫电技术领域，仍将繼續发挥其作用。因此，对于使用无綫电设备的工作人员来说，了解一般电子管中的物理过程、特性曲线及其参量，是正确使用无綫电设备所必需的。

在这本小册子中，着重向讀者介绍关于普通电子管的工作原理、特性曲线、参量和电子管的使用方面的知識。



目 录

前言	3
电子管的一般知識	5
1. 电子管的结构和作用原理	5
2. 电子管的阴极和阳极	10
3. 电子管的分类	16
电子管的物理性能、特性和参量	19
1. 二极管	19
2. 三极管	28
3. 四极管、五极管和束射四极管	41
4. 多栅管和复合管	52
现代电子管的结构和应用	58
1. 整流管的结构和量特性	58
2. 收信放大管的结构和量特性	60
3. 发射管的结构和量特性	63
4. 脉冲管	66
5. 工作于超短波波段的电子管的特点	68
6. 电子管的使用	76
附录 1 我国与苏联的电子管型号命名 法对照表	80
附录 2 国产新旧电子管型号对照表	83
附录 3 苏联新旧电子管型号对照表	84

73.6
159

电 子 管

[苏联] Н. Ф. 瓦維洛夫 著

周 志 毅 譯



內 容 簡 介

本书系苏联军事出版社出版的“雷达技术小丛书”之一。

书中简述了电子管的结构、作用原理，研究了电子管的物理特性、特性曲线和参量。同时还给出若干种电子管的参数。在附录中给出了我国与苏联的电子管型号命名法对照表和国产新旧电子管型号对照表。

本书的对象是使用无线电设备的工作人员。

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

〔苏联〕Н. Ф. Вавилов

ВОЕНИЗДАТ 1958

*

电 子 管

周志毅译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 2¹¹/₁₆ 55千字

1966年2月第一版 1966年2月第一次印刷 印数：0,001—5,100册

统一书号：15034·1076 定价：（科四）0.30元

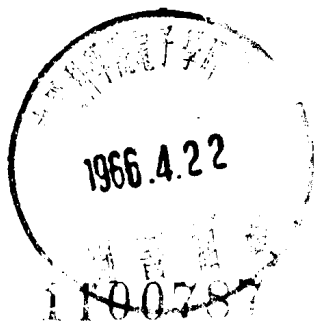
前 言

无綫电技术在定位、导航、电视、通訊、医药、天文、气象以及国防和国民經济的各个领域中，获得了极其广泛的应用。

电子管是无綫电设备的重要元件。它在电子设备中起转换器的作用，即把直流能量轉換成交流能量，或者将交流能量轉換成直流能量，借以实现振蕩的产生、放大、檢波、整流。

近年来，半导体器件有了飞跃的发展，在一些无綫电设备中，由半导体器件代替了电子管，实现了半导体化，这是人类在科学技术领域方面的一个新的成就。但是电子管在无綫电技术领域，仍将繼續发挥其作用。因此，对于使用无綫电设备的工作人员来说，了解一般电子管中的物理过程、特性曲线及其参量，是正确使用无綫电设备所必需的。

在这本小册子中，着重向讀者介绍关于普通电子管的工作原理、特性曲线、参量和电子管的使用方面的知識。



目 录

前言	3
电子管的一般知識	5
1. 电子管的结构和作用原理	5
2. 电子管的阴极和阳极	10
3. 电子管的分类	16
电子管的物理性能、特性和参量	19
1. 二极管	19
2. 三极管	28
3. 四极管、五极管和束射四极管	41
4. 多栅管和复合管	52
现代电子管的结构和应用	58
1. 整流管的结构和量特性	58
2. 收信放大管的结构和量特性	60
3. 发射管的结构和量特性	63
4. 脉冲管	66
5. 工作于超短波波段的电子管的特点	68
6. 电子管的使用	76
附录 1 我国与苏联的电子管型号命名 法对照表	80
附录 2 国产新旧电子管型号对照表	83
附录 3 苏联新旧电子管型号对照表	84

电子管的一般知識

1. 电子管的结构和作用原理

电子管包括許多种电真空器件●，在这类器件中电流的流通与在真空中发生的过程有关。所謂真空，就是指气压比大气压低得多（ 10^{-6} 毫米水銀柱或更低）的空气状态。

一切电子管的基本性能之一是它們的单向导电性：电子管是一个整流元件，并且，对于任何类型的电子管，整流性能的物理原因都是共同的。各种电子管在結構上也有許多共同的地方。所以在研究現代电子管的物理性能、特性和結構以前，我們先来概括地看一看电子管的结构和作用原理。

电子管是一种真空設備，管壳是用玻璃、金屬或金屬陶瓷做成，里面装置着金屬电极。电子放射源——阴极、电子接收者——阳极是电子管的两个基本电极。

最简单的电子管是两个电极的电子管（二极管），它有一个阳极和一个阴极。在多极电子管中另外还有一个或几个称为栅极的电极。各个栅极的用途将在研究具体的电子管类型时再行說明。

管基是各种电子管（无管基的例外）的重要组成部分，管基上装有同管内相应电极相连接的管脚。有了管基，就能既方便又可靠地通过管座把电子管接到它所工作的无线电設

● 还有另一类电真空器件——充气电器件，在这类器件中电流的流通与稀薄气体中的过程有关。这种电真空器件将在小册子“Газоразрядные приборы”中描述。

备的部件上。

为了正确地把电子管插在管座上，在电子管的结构中，通常在管基上，有一个称为钥匙的专门装置。按结构、管脚数和钥匙的样式等差异，管基有许多种。对于收信放大管，八脚管基（八根管脚）用得最广泛，它的钥匙是一个有纵向突起的圆柱形腿柱。在插这种管基的管座上做一个圆孔，圆孔里有一个配合钥匙上的突起用的矩形缺口。可以把6X6C、6C5C、6X4等电子管作为八脚管基结构的例子。管基管脚按管内电极的分布由电子管手册管脚接线图得知。

我们以二极管为例来研究在由二极管、安培表和直流电源所组成的串联电路中，产生电流的机构。图1和图2画出了电源正极与二极管阳极相接，而负极与二极管阴极相接时的电路。并且在图1中阴极没有加热。

在图1所示的电路中，没有电流，这证明了在真空中没有自由电荷的载流子。图2所示的电路与图1的差别在于图2中阴极被流过它的电流 I_H 加热。因此在该串联电路中产生了电流 I 。为了阐明这个电流的本质，让我们来研究图3所示的电路，在这电路中阴极也被加热，但是直流电源电动

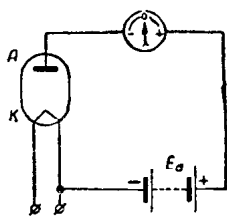


图1 二极管（阴极是冷的）
与直流电源串联

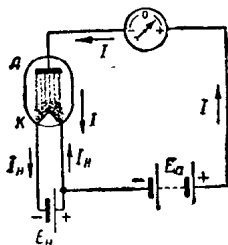


图2 阴极已被加热的二极管
与直流电源串联

势 E_a 的正极接二极管阴极，而负极接二极管的阳极。这时同图 1 所示的电路一样，电路中没有电流。

比较上述三个电路的特点，可以作出下列能说明电子管作用原理的重要结论：

(1) 在真空中和在任何别的物质（金属、气体、液体等）中一样，只有在有电荷载流子（即带电粒子）时，才能通过电流。

(2) 在电子管中电荷载流子源是称为阴极的被加热的电极。

(3) 阴极所放射的微粒带负电荷，它是电子。

最后一个结论被图 3 电路的特点所证明了。在图 3 的电路中虽然被加热的阴极也向真空的空间中放射电子，但是这些电子不能移动到带负电位的板极上去。

因此，只有当阳极接直流电源正极的时候，阴极所放射的电子才能移动到阳极；只有这时，电子管中才能通导电流。因为电流的方向已被规定为电子运动的反方向，所以电子管中的电流始终是从阳极流向阴极。

数学计算证明，一个电子在平行平板形的阳极和阴极（图 4）之间运动所产生的电流，与运动的电荷量 e 和这个电荷的运动速度 v 成正比，与电极之间的距离 r_a 成反比

$$I = \frac{ev}{r_a}。 \quad (1)$$

电子在同轴圆筒形的阳极和阴极（图 5）之间运动所产生的电流为

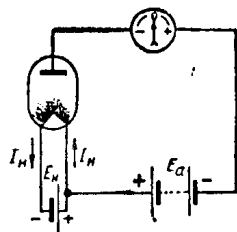


图 3 阴极已被加热的二极管与直流电源反向串联

$$I = \frac{ev}{r_k \ln \frac{r_a}{r_k}} \quad (2)$$

从式 (2) 中可以看出, 当电极 of 圆筒形时, 电子的运动速度 v 愈大, 极间距离愈小, 电子运动所产生的电流就愈大。

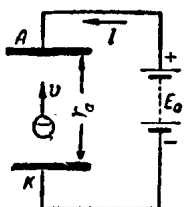


图 4 平行平板电极二极管

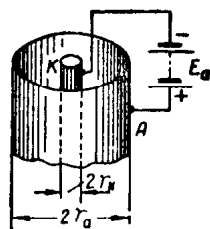


图 5 圆筒形电极二极管

式 (1) 和 (2) 对于分析通过电子管放大电流的方法是有用的。现在我們还是来回答这么一个问题: 为什么在电子管中必须建立高度的真空呢?

首先, 从阴极飞出的电子, 只有在自己的路径上不同空气微粒碰撞的条件下, 才能到达阳极, 否则, 电子将在到达阳极以前就失掉了自己的速度。因此, 电子管的真空程度不是用残留在单位体积中的空气微粒数, 而是用所谓平均自由程长度来衡量的。平均自由程长度就是电子从一个碰撞到下一个碰撞间所跑过的距离的某个平均值。假如平均自由程的长度远大于极间距离, 就可以认为真空度是高的。只有在这样高真空的空间中, 电子才能从阴极移动到阳极 (或别的电极) 而不会与空气微粒相碰。

其次, 为了使加热到高温的阴极不会同空气中的氧气化

合，在电子管中也必須是真空的，否則，阴极将被氧化而很快燒毀●。

热电子放射 加热后的电子管阴极向周圍空間放射自由电子的能力是使用任何电子管的基础。金屬的这种能力称为热电子放射。

从式(1)和式(2)可以看出，在給定的极間距离 r_a 和由阳极与阴极之間的电位差 E_a 所决定的电子运动速度 v 下，从阴极向阳极移动的电子数愈多，流过电子管的电流就愈大。参与建立通过电子管电流的电子数还与阴极的放射能力有关。所謂阴极放射能力通常是指阴极向周圍空間釋放电子数量多或少的本领。

热电子放射的物理本质归結如下：金屬是导电体，在普通的溫度下（譬如室溫），总是有相当数量的自由电子处于不間断的无規則的热运动状态下。如果让电子得到很大的运动速度，則速度达到一定值时，电子的动能就足以克服束縛它的力而脱离导体。电子在脱离导体时所做的功称为逸出功。加热导体（电子管的阴极）是給电子补充脱离金屬所需的能量的方法之一。

电子管中热电子放射的总电流 I_s 可按实验研究得出的下式相当准确地算出来

$$I_s = S_k A T^2 e^{-\frac{b}{T}} \quad (3)$$

式中 S_k ——阴极的有效表面积，单位是平方厘米；

T ——阴极溫度（用绝对溫度計算）；

e ——自然对数的底，近似等于2.71；

● 由于这个原因，普通白熾灯泡里充有惰性气体或者也做成真空。

A ——常数，它决定于阴极的物质、物质表面的化学純度和其他一些因素；

b ——对于給定的阴极物质是一个常数，它与电子脱离該金屬的逸出功成正比。

加热阴极（热电子放射）是电子管中得到电子放射的最普遍的方法。这种电子放射形式还被利用在其他的电真空器件和專門的器件中：充气电器件（閘流管、充气管）、电子射綫管等等。

热电子放射不是电子放射的唯一形式，另外还有下列几种电子放射形式，它們是根据使电子得到附加能量的方法而命名的。

1. 光电子放射 用可見光、紫外綫和紅外綫照射金屬而得到的电子放射，这种放射形式被利用在各种光电子器件（如光电管、光电倍增器等）中。

2. 場致放射（冷阴极放射） 由于强大的加速電場的作用而得到的电子放射。用所謂的氧化物阴极的电子管要考虑到这种放射，在这里附加的場致放射，在某些情况下要給电子管的使用帶來額外的困难。

3. 二次电子放射 在別种形式放射电子（一次电子）对金屬的轰击作用下产生的电子放射。这种电子放射形式有时在电子管中（譬如在四极管中）起着不良的作用，同时也有以二次电子放射为其作用原理的專門的电子器件——打拿极。二次电子放射还被利用在光电倍增器中。

4. 由于正离子轰击金屬而产生的电子放射 这种形式的电子放射主要被利用在阴极不加热的充气电器件（如稳压管）中。

2. 电子管的阴极和阳极

阴极 阴极这是任何电子管的基本电极，电子管的电流大小首先决定于作为电子源的阴极放射能力。

現在我們來研究在現代電子管中所用的陰極的性能、特性曲線和參量。

表征陰極放射能力的主要參量是放射率，所謂放射率就是在額定工作溫度下，從陰極的單位面積上得到的熱電子流的大小。

放射率 j_s 可按下式確定

$$j_s = \frac{I_s}{S_k} = AT^2 e^{-\frac{b}{T}} \quad (4)$$

放射率通常用“毫安/厘米²”做單位。

由式(4)得出，陰極溫度 T 愈高和逸出功愈小(係數 b 愈小)，放射率就愈大。因此，可以用兩種方法來增大陰極的放射能力：一種是提高陰極的工作溫度，一種是采用逸出功小(常數 b 小)的金屬做陰極。

陰極的工作溫度決定於製造陰極的材料，其值不能超過這種材料開始強烈蒸發的溫度值。表1列出了電真空技術中所用的一些金屬開始顯著蒸發的溫度和常數 b 的值[●]。

表 1

金屬名稱	真空中開始顯著蒸發的溫度 $T, ^\circ K$	$\frac{b}{b_{\text{鎢}}}$
鎢	2770	1
鉬	2220	0.92
鈦	—	0.74
鈣	—	0.59
鋇	770	0.55
鎵	—	0.01

● 表中所列的不是常數 b 的絕對數值，而是它同鎢的常數 b 之比值。

阴极另一个重要参量是它的效率（或經濟性） H 。所謂效率就是在工作溫度下，耗費于阴极加热的功率为 1 瓦特时，阴极的热电子放射电流：

$$H = \frac{I_a}{P_n} \text{ [毫安/瓦特]}$$

式中 $P_n = U_n I_n$ 是耗費于阴极加热的功率（灯絲功率）。

阴极还有对于电子管的使用和无綫电电子设备的可靠性有重要意义的第三个参量是它的寿命 τ 。对于不同的阴极，寿命按不同的方式計算。例如：氧化物阴极（下面会讲到的）的寿命是指放射电流降低到 $0.8 I_a$ 的期限內的时间，当 I_a 降低到这个数值时，就說电子管失去了放射。

从上述可以得出，电子管的质量、經濟性，以及它正常工作的寿命主要由阴极的放射性能决定。由此可以作出一个对于使用頗为重要的結論：在无綫电設備和一些專門設備中所使用的电子管，不能把阴极处于被加热的状态（电子管亮着）看作是电子管良好的足够标志。

现在的电子管的阴极可以分为两类，一类是純金屬阴极，一类是复合阴极。历史上第一批电子管的阴极是純金屬阴极，即鎢阴极。

在第一批电子管的样品中，阴极是用鎢絲做的，并用專門的电池給鎢絲通电流。这个电流通常叫加热电流，它把灯絲加热到很高的溫度（鎢的工作溫度是 2500°K ），鎢就在周圍空間放射电子。用鎢做阴极是因为鎢的开始蒸发的溫度比其他金屬高（見表 1）。

鎢阴极的放射率 $j_a = 300 \sim 700$ 毫安/厘米²，这样大的放射率对于各种用途的鎢阴极电子管是足够的。此外，鎢阴极同

其他阴极相比，其放射率最稳定。

上述的钨阴极放射率是依靠很高的工作温度（2500～2600°K）而得到的，因此，这种阴极最不经济，它的效率 $H = 2 \sim 10$ 毫安/瓦。所以在现在的大多数电子管中，钨阴极被经济得多的复合阴极排挤出去了。钨阴极仅用于高阳极电压下的功率放大管和发射管中。

复合阴极中最普遍的是氧化物阴极，其结构是在镍或钨底金属上涂覆一层氧化钨、氧化铯和氧化钙。

氧化物阴极的工作温度比钨低得多，约 1000～1150°K。因而氧化物阴极是比较经济的，所以在现代电子管中得到了广泛的应用。

由式（4）可知，降低了工作温度要使氧化物阴极的放射率减小。但是氧化物阴极的金属氧化物逸出功比钨小，这样氧化物阴极的放射率的减小得到了一定程度的补偿。结果，氧化物阴极的放射率和钨差不多： $j_s = 150 \sim 500$ 毫安/厘米²；而氧化物阴极的效率却是 $H = 60 \sim 100$ 毫安/瓦。

氧化物阴极的另一重要优点是不会饱和，如果增大电子管阳极和阴极之间的电位差，其电子放射会无限增大直到阴极破坏。这种现象是工作于脉冲状态的电子管的基础，脉冲状态是雷达站里广泛采用的。

氧化物阴极的缺点和根据这些缺点得出的氧化物阴极电子管的使用特点将在以后研究。

上述的几种阴极其加热方法既可以是直热式的，也可以是旁热式的。“直热式”这个术语的意义是表示用来加热阴极的电流是直接通过阴极的。

最简单的直热式阴极是普通的钨热丝（图 6a）或涂覆