

普通电工学

下 册

苏联 伊·尔·别尔斯基等著

水利电力出版社

普通电 工 学

下 册

伊·尔·别尔斯基 維·阿·別謝克尔斯基
苏联 阿·維·頓斯柯依 斯·阿·浦 列 斯 合著
伊·克·尤尔克夫斯基

高紉麟譯 姚承三 董毓秀校訂

苏联高等教育部审定作为高等学校非电工專業教学参考書

水 利 电 力 出 版 社

內 容 提 要

普通电工学下册共分四篇：电子学，电照，电热设备，电能的生产、输送及分配。这四篇简明而又扼要地介绍了这四方面专门技术的基本概念和知识。

本书是高等学校非电工专业学生的教学参考书。

И.Р.БЕЛЬСКИЙ В.А.БЕСЕКЕРСКИЙ
А.В.ДОНСКОЙ С.А.ПРЕСС Е.К.ЮРКОВСКИЙ

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1951

普 通 电 工 学 下 册

根据苏联国立动力出版社1951年莫斯科版翻译

高緋麟译 姚承三 董毓秀校订

*

401D150

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业许可证出字第105号

水利电力出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

850×1168 1/32开本 * 4%印张 * 119千字 * 定价(第10类)0.80元

1956年9月北京第1版

1960年2月北京第3次印刷(12,131—14,300册)

目 录

第七篇 电 子 学

第十八章 电子与离子变流器	435
18-1. 两极电子管(两极管)	435
18-2. 电子整流管	439
18-3. 三极电子管(三极管)	442
18-4. 充气管	445
18-5. 闸流管	447
18-6. 气体自激放电	449
18-7. 汞弧整流器	452
18-8. 半导体整流器	457
第十九章 工业电子学	459
19-1. 电子管放大器	459
19-2. 电子管振荡器	462
19-3. 光电管及光电继电器	463
19-4. 电子射线管	466
19-5. 电视	469

第八篇 电 照

第二十章 照明量及照明器具	471
20-1. 照明量及照明单位	471
20-2. 电气光源	476
20-3. 灯的光度分布	482
20-4. 照明灯	483
第二十一章 照明制及其计算	489
21-1. 室内及室外照明制	489
21-2. 对人工照明所提出的基本要求	490
21-3. 照明计算的一般指示	491
21-4. 计算方法	494

第九篇 电热设备

第二十二章 利用电阻的电热设备503

22-1. 电热设备的一般概念503

22-2. 用电阻直接加热的电热装置504

22-3. 利用电阻的間接加热电热装置509

第二十三章 感应式电热设备513

23-1. 一般概念513

23-2. 有鉄心的感应式电热设备514

23-3. 无鉄心的感应式电热设备516

23-4. 高频介质加热装置520

第二十四章 电弧加热设备522

24-1. 电热学中的电弧522

24-2. 电弧炉523

24-3. 电弧焊接装置525

第十篇 电能的生产、輸送及分配

第二十五章 电器及配电装置528

25-1. 电力网及配电装置的电器528

25-2. 配电装置534

第二十六章 电能的輸送及分配538

26-1. 供电的一般原理538

26-2. 电力网542

26-3. 变电所546

26-4. 工业企业的供电548

26-5. 計算导綫的一般規則551

26-6. 根据电压损失来計算导綫554

26-7. 电气装置的接地及接零561

第二十七章 发电厂564

27-1. 现代发电厂的类型564

27-2. 电力网567

27-3. 苏联发电厂及电力系统的发展569

27-4. 偉大的共产主义建設571

附录575

第七篇 电 子 学

第十八章 电子与离子变流器

18-1. 两极电子管(两极管)

最近二三十年中，电真空仪器，特别是电子管得到了很大的发展。在我国(苏联)，没有一个技术部门，而且几乎没有一个角落，不应用到电子管。为了满足日益增长的需要，在苏联建立了专门的电真空仪器制造工业，这种工业出产的电子管，以百万计。

电子管发展的历史是从1873年A.H. 罗賓根发明白熾灯开始的。1883年发现了热电子发射现象。无线电的发明(1895年A.C. 波波夫发明)和电子管产生高频电流(为无线电通讯所必需)能力的发现对电子管的发展和改善起了强大的推动作用。

在俄国，电子管是于1912—1913年间由B.И. 克瓦連克夫及斯克里茨基在彼得堡电工学院中首先制造成功的。在1914—1920年间，研究和制造电子管的先驱是H.Д. 巴巴列克西院士和M.A. 波恩茨-布魯耶維茨教授。1920年在根据列宁的建议而建立的尼叶格勒无线电实验室中，M.A. 波恩茨-布魯耶維茨教授創制了世界第一个强力振荡(发射)电子管。

电子管的作用原理是以热电子发射现象为基础的。这一现象的本质如下：在普通的电气真空灯泡中焊入一个辅助电极A(图18-1)。如果把电极(名为阳极)与电池相联接，则在电路中就会出现微弱的电流(几毫安)。而且只有在下列两个条件实现时，才能在阳极电路中产生电流：灯丝应当事先熾热；电池的正极应与阳极相联接。

这种现象很快就得到了解释。大家知道，在一切金属中都具

大量的自由电子(不与某一一定原子发生固定联系的)。这些电子有沿金属移动的可能性。它們(在金属中)进行杂乱无章的热分子运动。但在一般条件下自由电子不能脱离金属,也就是不能外逸。实际上,如果电子脱离金属,则金属失去了负电荷,就带有正电。欲促使电子脱离金属,必须克服正负电荷之间的吸引力,也就是必须消耗若干功。此项功称为电子逸出功。对于每种金属来说,逸出功有一定的数值。碱族金属具有最小的逸出功。

当金属的温度增高时,在金属中运动的自由电子的速率也增加。其中若干积有足够动能的电子就可能由金属逸出。显然,金属的温度愈高,这类电子亦将愈多。当金属加热时,电子从金属中逸出现象称为热电子发射。

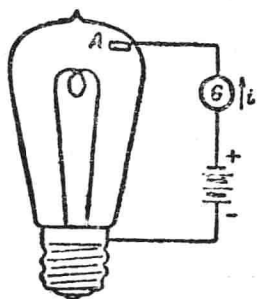


图 18-1 发现热电子现象
之实验接线图

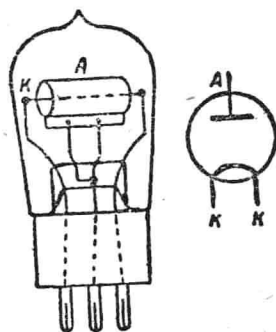


图 18-2 两极电子管及其
符号

在图 18-1 的接线图上,电灯泡的炽热灯丝是“逸出”电子的泉源。若阳极具有对电灯泡的灯丝来说为正的电位时,则阳极与阴极之间的电场将强迫电子从阴极向阳极加速运动。这样,“阳极”电池的电路就闭合了,而在阳极电路中就出现电流了。我们记得阳极电路中电流的方向是与电子(负电荷)运动的方向相反的。

上述现象可应用于电子管中。

图 18-2 表示最简单的电子管(两极管),具有两个电极——阴

极 K 及阳极 A ，放在内部抽成真空的玻璃或金属容器中。

在电子管的旁边示有在电路图中用来表示电子管的代表符号。

可以把阴极制成直接用电流熾热的鎢絲型式。鎢具有較大的逸出功，所以为了得到相当大的电子发射，就需要把它加热到高温（ $2,200-2,500^{\circ}\text{C}$ ）。在鎢絲上涂以逸出功很小的金属的薄层而成的阴极是比較經濟的（按熾热灯絲所損耗之电能来讲）。为此目的通常应用鈦及氧化鋇。因为逸出功較小，故这类阴极可以加热到比較低的温度（ $900-1,100^{\circ}\text{C}$ ）。

除了前述直热式阴极（即由电流熾热）的灯絲直接发射电子的阴极以外，还应用一种由 A. A. 切尔尼謝夫院士于 1918 年所提議的間热式阴极。間热式阴极，一般是把鎢絲装在瓷或陶土（ Al_2O_3 ）的圓筒的軸心小孔內，圓筒的外表面涂有发射物质层（一般用氧化鋇）。在这种情况下鎢絲与发射物质层在电气上是絕緣的，它仅有将瓷筒加热至所需的温度的作用。間热式阴极的特点是热惰性非常大，因此需要若干時間（30—60秒）方能将其灼热。然而也正是由于这种情况才可以用交流来熾热阴极而电子发射不致于有显著的脉动性。

熾热阴极的灯絲一般按比較低的电压（从 2 伏到 6 伏）来設計。

电子管的阳极制成圓筒形，方匣形或具有較复杂的形状。阳极材料为鎳、鉬及鉭等。和阴极用的金属不同，阳极的金属应该具有大的逸出功。这是因为从阴极逸出的电子可能受阳极和阴极間電場的作用而强烈地加速并达到很大的速度，这些电子撞击了阳极，能够从阳极金属中“击出”所謂次級电子，这种次級电子离开了阳极，因而减少了阳极电路中的电流（因为阳极电路中的合成电流决定于单位時間內阳极所吸引电子的电量与离开阳极的电子的电量二者之差）。这种次級放射現象也称为負阻效应。很明显，阳极金属底逸出功愈大則次級放射的发生也将愈难。

若是把有热阴极的两极管接入电路，使得在阳极上有正电

位，則电路中即有电流流通。阳极与阴极間的电位差愈大，則电流亦将愈大。但該电路中的电流并不遵守欧姆定律。理論上研究电子在阳极与阴极間的电場中的运动定律的結果証明，对于該电路來說，有所謂 $\frac{3}{2}$ 次幂定律：

$$I_a = K U_a^{\frac{3}{2}}. \quad (18-1)$$

阳极电路中之电流 I_a 和阳极与阴极間电位差之三分之二次方成正比。系数 K 与真空管构造的尺寸及阴极的温度有关。但

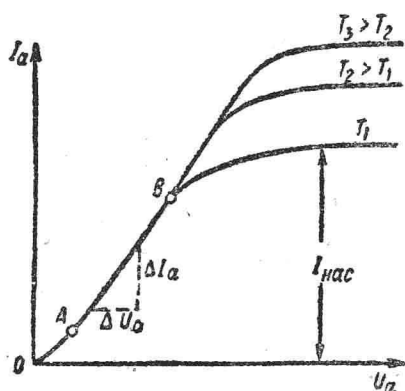


图 18-3 电子管底伏安特性曲线

是，实验研究的结果証明：

电路中的电流仅在特性曲线的开始部分遵守三分之二次幂定律(图18-3)。反之，在阳极电压足够高的条件下，阳极电流将停止增加而达到恒定数值，即所谓饱和电流。这是由于在从阴极逸出的所有电子全部被阳极吸引之后，尽管阳极与阴极間之电位差再增加而电流将不会

加大。饱和电流的大小决定于阴极面积的大小及其温度之高低。阴极的温度 T 愈高，相应地，饱和电流(电子管全放射电流)也愈大。

图18-3上所画的曲线称为电子管的伏安特性曲线。

伏安特性曲线上有一段 $A-B$ ，在这一段上可以认为阳极电流与电压間的关系是线性的。在特性曲线的这一段直线部分上，下面的比值：

$$\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = r_o \text{ [欧]} \quad (18-2)$$

称为电子管的內阻。电子管具有较高的內阻(从100—100,000 欧姆)。电子管的內阻之所以很大，原因是它具有所谓空间负电

荷的关系(电子云)。在阳极与阴极的全部空间中充满着电子。电子云的负电荷阻碍电子由阴极飞出,也就是扼制了热电子发射。所以,就是要得到较小的电流(数毫安至数十毫安),阳极与阴极间也必须具有很高的电压才可以(数十伏以至数百伏)。

18-2. 电子整流管

两极电子管的主要特点是能使阳极电路的电流只依一个方向通过——由阳极流向阴极(电子管中之电子由阴极移动至阳极)。这种作用称为整流(閘)作用。

电子管整流作用可用来使交流变为直流(整直)。若把电子管接入带有交变电势的电路中,则此电路中,只有在阳极电位为正的半周期的时间方有电流通过。用来整直交流的两极管称为两极整流管。

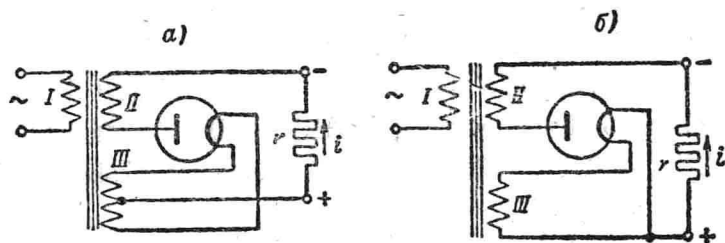


图 18-4 半波整流接线图

图18-4, *a*表示了最简单的利用两极管的半波整流器接线图。

整个线路由变压器供电。变压器一次线卷 *I* 接于交流电网上。二次线卷 *II* 供给电子管的阳极电路,在此电路中接有负载电阻 *r*。线卷 *III* 用来加热电子管的灯丝,其电压为4—5—6伏。电子管的外电路中电流只向一个方向流通——由阴极到阳极。负载与阴极之间的联接一般是借助于线卷 *III* 的中点引出线来完成的(图18-4, *a*)。利用这种接线法可以使电子管灯丝的两半工作均衡。但也常常把负载直接与灯丝的一端联接,因为灯丝两端的工作稍有不平衡是无关紧要的(图18-4, *b*)。

进入受电器的电流是整直电流，但也是脉动电流。图 18-5 上画出了半波整流的电流时间曲线。

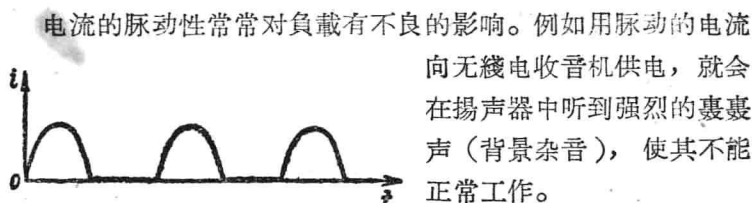


图 18-5 半波整流时负载中电流强弱的变化

电流的脉动性常常对负载有不良的影响。例如用脉动的电流向无线电收音机供电，就会在扬声器中听到强烈的轰轰声（背景杂音），使其不能正常工作。

为了救平整流电流的脉动，采用所谓滤波器。可以应

用电感线圈及电容器来滤去电流的交变分量（整流电流的脉动）。

和受电器串联的电感线圈的作用有如飞轮一样。飞轮在速率增加时贮藏动能，而在速率下降时便将贮藏的动能放出来。

在电流增加的瞬间，线圈的自感电势反抗电流的增加；反之，当电流减小时，自感电势却与电流同方向，维持电流。结果，接上电感线圈之后，整流电流的脉动就减小了。

和受电器并联的电容器也具有类似的作用。如果受电器的电流与电压脉动，则电容器于电压增加时储藏能量，而于电压下降时放出能量。于是受电设备所受的电压及其中的电流的脉动就减小了。

图 18-6 为带有滤波器的半波整流器线路图，滤波器包含一个电感线圈及两个电容器。

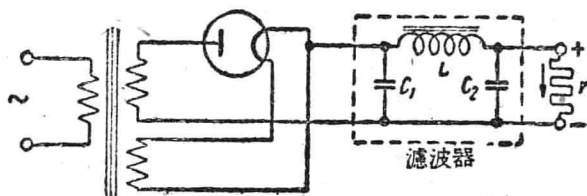


图 18-6 带有滤波器的整流器线路图

在图 18-7 中用虚线表示在没有滤波器时的半波整流电流变化

曲线，而用实线表示利用了图18-6中所示滤波器之后的电流变化曲线。

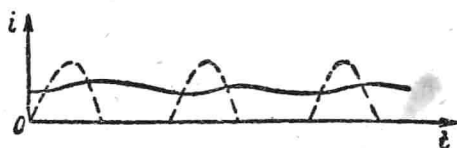


图 18-7 在接入滤波器的情况下受电设备中电流之变化

为了要利用交流的两个半波，采用全波整

流线路。图18-8, a表示利用二个两极管的全波整流线路图。供电变压器的绕组 II 分为两半，其中一半接在第一个两极管的阳极电路中，另一个接在第二个两极管的阳极电路中。在绕组 II 的上端具有正电位的时间内，电流由上面的两极管通过（实线箭头）。这时，因为第二个两极管的阳极为负电位，所以电流不会从下面的两极管通过。在第二个半周期时间中，绕组 II 的下端具有正电位，故电流将从下面的两极管通过（虚线箭头）。不难看出，在两个半波的时间中电流以同一方向流过受电器。

用于全波整流的两个两极管可以合成一个具有一个阴极和两个阳极的真空管，这就是孪生两极管或双阳极整流管。孪生两极管的应用简化了接线图（图18-8, b），而其工作与两个两极管的线路图相似（图18-8, a）。

在图18-9上画出了没有滤波器和全波整流时受电器中的电流变化曲线。应用滤波器就能收平整流电流的脉动。

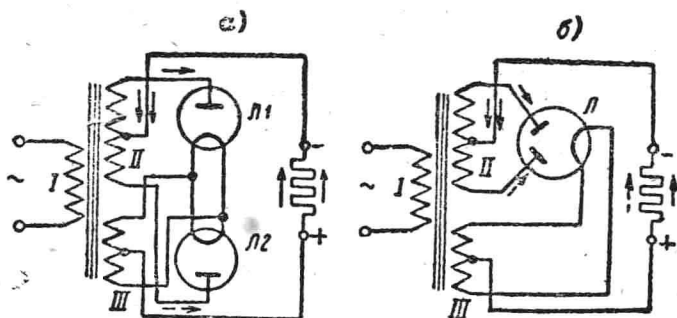


图 18-8 全波整流线路图

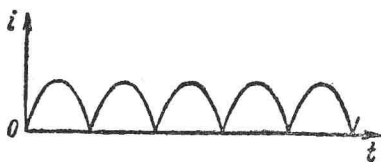


图 18-9 在全波整流情况下受电器中电流的变化

是：由于电子管的内阻大，因此能量损失大而结果效率也低，同时整流电流的数值有限（数百毫安）。两极整流管常用在小功率的设备中，这种设备需要电流数值不大的直流电源（无线电接收机、电子管放大器、继电器、仪表线路、X光设备等）。

18-3. 三极电子管(三极管)

三极电子管和两极管的区别在于它具有第三个，叫做栅极的电极。栅极 C 位于阴极和阳极之间（图18-10）。在电子管中由阴极 K 飞向阳极 A 之电子必定由栅极导线近旁穿过。若栅极与阴极间电位差为零，则栅极对管中运动着的电子不起任何作用。但如栅极对阴极有某些电位差存在时，则栅极与阴极间的电场将起着这样的作用：或者是栅极具有负电位而阻止电子飞过，或者是栅极具有正电位而帮助电子飞过。因此，在三极管中，阳极电流 I_a 不仅是由阴极和阳极间电位差 U_a 来决定，并且还由阴极和栅极间电位差 U_c 来决定，也就是

$$I_a = f(U_a, U_c).$$

在图 18-11 上画出了用以测定三极管特性曲线的接线图。极与阴极间的电压 U_c 的大小可用变阻器 r_1 来改变，而阳极与极间的电压 U_a 的大小则用变阻器 r_2 来改变。

两极整流管的主要优点是：可以得到高压直流（整流电流）。现在可以在 200—400 千伏电压下运用的两极整流管。

电子整流管的重大缺点

规定了常数之后， $f(U_a)$ 的关系曲线及伏安特性上此曲线伏安特性，然而和是极管不线，而是极特性曲

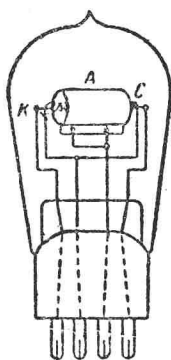
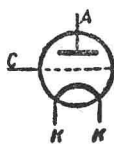


图 18-10 三极电子管及其表示的符号



为了避电位。当栅极示。欲得：必須愈高线就向右

图 18-12 三假使用变=常数，并称为栅极特时三极管的

主要优点 = 规定了某一电压 U_c 常数之后, 就可得到 $I_a = f(U_a)$ 的关系曲线。这种关系曲线称为三极管阳极伏安特性曲线。在形状上此曲线和两极电子管的伏安特性曲线是一样的, 然而和两极管不同的是三极管不止有一条特性曲线, 而是具有和栅极与阴极间电压 U_c 各个数值相对应的一族阳极特性曲线。

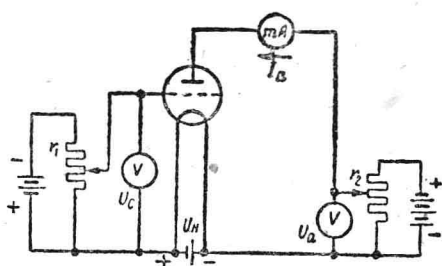


图 18-11 测定电子管特性曲线所用之接线图

为了避免栅极吸收电子, 也就是避免有栅流, 务使栅极具有负电位。

当栅极具有不同数值的负电位时阳极特性曲线族如图 18-12 所示。欲得到同样的阳极电流, 栅极的负电位愈高, 阳极的电压必须愈高。所以当增加栅极负电位时, 电子管的整条阳极特性曲线就向右移动了。

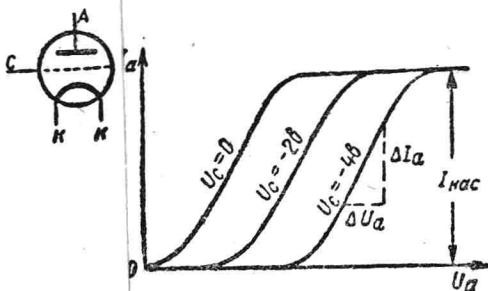


图 18-12 三极管阳极特性曲线

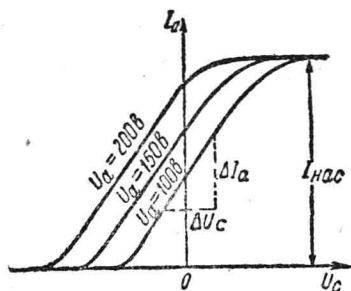


图 18-13 三极管栅极特性曲线

假使用变阻器 r_2 调整阳极与阴极间的电压至某一恒定值 = 常数, 并改变栅极的电位, 则所得到的 $I_a = f(U_c)$ 关系曲线称为栅极特性曲线。图 18-13 表示在各种不同的 $U_a = \text{常数}$ 数而阳极与栅极特性曲线族。电压 U_a 越大, 则须在更大的栅

极负电位下，方能得到同样的阳极电流。栅极特性曲线的形状与阳极特性曲线相似。随着电压 U_a 的增高，栅极特性曲线也向左移动。对于栅极特性曲线的直线部分来讲，下面的比值

$$\frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} = S \text{ [毫安/伏]} \quad (18-3)$$

称为栅极特性曲线的跨导。跨导表示当栅极电位变化 1 伏时，阳极电流的增量(以毫安计)。

在我国(苏联)工业所生产的电子管中，随电子管的型式不同，跨导数值可以在自 1 至 10 毫安/伏的范围内变化(在振荡管中可达 100 毫安/伏)。

电子管最重要的特性是：改变栅极阴极间的电压与改变阳极阴极间同一电压数值相比较，前者对阳极电流的影响较强。这是因为栅极离阴极比阳极离阴极近得多的缘故。所以，栅极电位的小量变化所显示的效应要比阳极(与阴极相距较远)电位的同样变化的效应大得多。

电子管的内阻 $r_0 = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$ 与栅极特性曲线的跨导 S 的乘积叫

作电子管的静态放大系数：

$$\mu = r_0 S = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \cdot \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}. \quad (18-4)$$

此值说明改变栅极电位比改变阳极电位对阳极电流的影响强多少倍。(18-4)公式中 ΔU_a 及 ΔU_c 两数值是引起同一阳极电流增量 ΔI_a 的阳极电位的增量和栅极电位的增量。

很明显，栅极的位置愈近于阴极，也就是它愈处于“深处”，则三极管的静态放大系数亦愈大。在我国(苏联)工业出品的电子管中，按其类型之不同，静态放大系数之值约自 4 到 100。在带有附加电极(附加栅极)的一些特殊电子管中，其放大系数可达几百以至几千。

三极管的应用将在 § 19-1 中来研究。

18-4. 充 气 管

从构造上来看，充气管实质上就是具有两个电极的两极管（图18-14）。

在玻璃泡中装上两个电极——冷阳极 A 和用电流熾热的阴极 K 。它和电子管的区别在于把玻璃泡抽成真空之后充以水銀蒸气或惰性气体（氙、氖或氩）。在电子管两极間的空间中有气体存在时，就根本地改变了它的特性。

如果充气管的阳极对其阴极具有正电位，则由于热电子放射的作用而从阴极逸出之电子流将冲向阳极，这和电子管中的情形一样。但是这时，飞向阳极的电子，将与管中气体的分子相碰撞。

当电子与分子碰撞时，可能发生彈性的碰撞，这时撞击后的电子和分子仅仅改变了它們运动的途徑。假若增高阳极与阴极間的电位差，也就是当提高电子飞向阳极的速度时，就可能产生非彈性碰撞，这时，电子能量的一部分在碰撞下傳給了气体的分子。

分子得到了一部分附加能量之后，就处于所謂激发状态，即是繞着带有正电之原子核而旋轉着的电子轉移到新的离原子核更远的軌道上。分子的激发状态是不稳定的。大約經過一亿分之一秒以后，电子就回到它自己的正常軌道。此时，激发了的分子以光量子形式把以前与飞出的电子相撞所得到的能量放出来。所以，在分子的激发过程中气体有輝光发生。

最后，也可能有这样的情况：
当加在阴极与阳极間的电压是如此地高，而电子飞出的速度是这样地

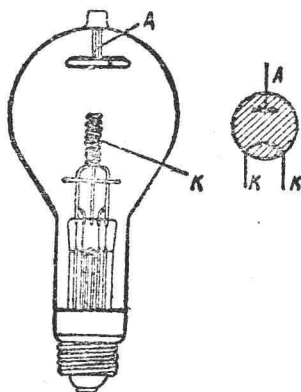


图 18-14 充气管及表示它的符号

快，以致电子和中性分子的碰撞可以引起“碰撞电离”。假使碰撞后分子所得到的那部分能量足够大，则分子就可能分离为正离子与自由电子。新生的自由电子也将受外电场的作用而加速，并也能够引起电离。在足够强大的外电场作用下，气体电离的过程有如雪山崩潰样地增加着。由于电子流不断由阴极飞出的结果，在两极之间的空间中，一部分分子是被分裂(电离)了。

因而，充气管的极间空间不仅充满着负电子，而且也充满着正离子。这些正离子将冲向阴极，这样在充气管中就建立了两种相反的运动：电子飞向阳极，离子飞向阳极。

正离子所传送的电量不多，而与电子所传送的电量相比较，所起的作用就很小了^①。

这一点可以由离子的质量很大，因而其运动速度比电子小得多来解释。

但是，在电极间的空间有正离子存在可以抵消电子所造成的空间负电荷。这就大大地削弱了电子云对电子发射的扼制作用，

因而有利于电流在管中通过。

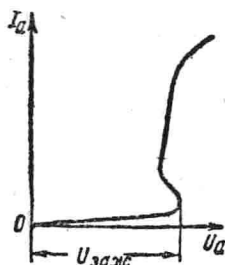


图 18-15 充气管伏安特性曲线

充气管阳极电路中的电流 I_a 和外施电压 U_a 之间的关系曲线如图 18-15。当阳极电位到达某值以前，这时逸出电子的能量不足使气体电离，因而通过管中的电流不大；当阳极电位达到 U_{sazh} 之值（起弧电位），即气体开始电离之值时，这时电流就急骤地增加，而阳极与阴极之间的电压由于正离子抵偿了负空间电荷的关系却

下降了。通常的充气管的起弧电位约为 20—30 伏。

充气管主要用于交流电流的整流，因为和两极电子管相似，充气管具有整流的作用(只允许电流单向通过)。

① 每一个正离子携带的电量虽然比电子大，但是每秒钟达到阴极的正离子却很少，故其所传送的电量不大。——校者