

电 子 管

北京邮电学院中技部电子管教研组 编

人 民 邮 电 出 版 社

目 录

第一章 緒論	1
§ 1.1 电子管的作用和用途	1
§ 1.2 学习本课程的目的和要求	2
§ 1.3 电子管的基本結構	3
§ 1.4 电子管的分类	5
§ 1.5 电子管的发展簡史	6
第二章 电子发射	8
§ 2.1 电子发射的条件	9
§ 2.2 电子发射的种类	13
§ 2.3 电子在电场中的运动	19
§ 2.4 电子在均匀磁场中的运动	25
§ 2.5 电子在电磁场中的运动簡記	27
第三章 电子管的热陰極	29
§ 3.1 热陰極的構造和參量	29
§ 3.2 热陰極的材料	33
§ 3.3 稳流灯和热敏电阻	35
第四章 二極管	38
§ 4.1 二極管的構造	38
§ 4.2 空間电荷	40
§ 4.3 二分之三乘方定律	44
§ 4.4 静态特性	46
§ 4.5 动态參量	48
§ 4.6 灯絲交流电源对陽極电流的影响	51
§ 4.7 二極管的整流作用	54
§ 4.8 二極管構造实例	56
第五章 三極管	59
§ 5.1 栅極的作用	60
§ 5.2 二分之三乘方定律	64

§ 5.3 静态特性	68
§ 5.4 静态参量	75
§ 5.5 动态特性	85
§ 5.6 等效电路	97
§ 5.7 动态参量	99
§ 5.8 放大原理及极间电容的影响	101
§ 5.9 三极管构造实例	105
第六章 多极管	110
§ 6.1 四极管	111
§ 6.2 五极管	115
§ 6.3 电子注功率管	122
§ 6.4 变互导管	123
§ 6.5 变频管	126
§ 6.6 复合管	130
第七章 超高频管的概 念	134
§ 7.1 普通电子管不适用于超高频的原因	135
§ 7.2 超高频用的普通电子管	135
§ 7.3 特殊超高频管的概念	138
第八章 大功率管 (发射管)	141
§ 8.1 大功率管的概念	141
§ 8.2 强力振荡管	142
§ 8.3 大功率管的使用常识	144
第九章 电子射线管	148
§ 9.1 阴极射线管	149
§ 9.2 调制指示管	155
第十章 离子管	158
§ 10.1 气体放电的概况	158
§ 10.2 稳压管	159
§ 10.3 热阴极充气二极管	163
§ 10.4 热阴极充气三极管——闸流管	169
§ 10.5 汞弧整流管	172

§ 10.6	引燃管	175
§ 10.7	其他气体放电器件	177
第十一章	光电管	180
§ 11.1	外在光电效应	180
§ 11.2	光电管	182
§ 11.3	光电倍增管	186
第十二章	晶体管的概念	188
§ 12.1	半导体的导电作用	188
§ 12.2	晶体二极管的概念	190
§ 12.3	晶体三极管的概念	192
§ 12.4	晶体管和电子管的比较	194
附录		195
I.	电子管的编号系统	195
II.	电子管手册的应用	203
III.	电子管的简单检验方法	204

第一章 緒 論

§ 1.1 电子管的作用和用途

中国共产党第八次全国代表大会关于發展国民經济的第二个五年計劃的基本任务中指出：要加强我国無綫电工業的建設。其中也包括电子管工業。随着我国社会主义生产建設的全面大躍进、群众性的技术革新和技术革命运动的蓬勃开展和全国人民物質文化生活的不断提高，全国各个部門对电子管的应用也越来越普遍，特别是我們邮电通信部門，各种机綫设备在迅速增長，各地使用、維護和保管电子管的人也越来越多，因此，需要更好地了解各种电子管的構造、原理和性能特点，并且要能掌握使用、維護和运儲的方法，来妥善地發揮通信设备的效能，保証邮电暢通無阻，为适应持續大躍进的新的需要服务。

电子管可以說是無綫电設備和許多电信設備的心臟，它在机件里起着关键性的樞紐的作用，它是往往会关系到机件命脉的要害部分，所以在使用、維護和运儲工作中要特別重視和爱护它。电子管的灯絲比較“娇嫩”，經不起过高的电压和比較强烈的震动，它的玻璃管壁也比较脆弱，經不起过分的挤压和碰击。万一它的灯絲被燒坏或震断，玻璃管被碰碎或漏气，就会使整个电子管轉眼变成廢物，而且無法修理。这时候，如果没有适量的备用电子管，就会使全部机器設備癱瘓失效，严重地影响国家和人民的通信。所以要十分珍惜和爱护它。

电子管的用途是十分广泛的，主要用途有下列几方面：

1. 通信——無綫电通信、長途電話通信、电报通信等。
2. 工業——高频电流冶金、超声波加工、X光檢驗、自动控

制等。

3. 科学研究——各种测量仪器、电子计算机等。
4. 国防——军事通信、雷达、电视等。
5. 交通运输——航空和航海的导航、控制设备等。
6. 医疗——超短波治疗、X光等。
7. 文教——广播、电影、电视、录音等。

因此，电子管几乎是各个生产建设部门和人民日常生活中不可缺少的器件。

§ 1.2 学习本课程的目的和要求

“电子管”是一门基础课，它是学习专业课的基础。例如，无线电通信的专业课：“低频放大器”、“收音设备”、“发信设备”、“无线电测试”等课程；有线通信的专业课：“长途电信”、“载波电报”、“传真电报”、“有线测试”、“有线电源”等课程，都需要有电子管的知識作为基础。可以说，电子管这门课是学习基础知識和专业知識之間的一个桥梁。学好了这门课，可以给专业课的学习打下一个良好的基础。

学习这门课，要求掌握电子管的特性、工作原理和电子管内的物理过程，使得将来学习专业课时，不致因电子管方面的问题而影响学习；同时要求具有一定的实验工作能力，一方面为专业实验打下基础，另一方面也从而获得实际工作能力。

这门课程的性质决定了对它的学习特点，是着重于概念、物理过程、物理意义的掌握，而不作过多的运算。这和我们以前所学的数学、物理、电工等课程不大一样。例如我们学习了电工的回路电流法以后，可以用来解决电路的问题，不管这个电路具有三个或四个回路都可以，但是如果我們学习三极管的特性，就是要掌握它的特性所包含的物理意义，研究为什么特性是这样的。因此在学习方法上应该特别着重于听课和复习，复习时不仅要搞通所学的内容，

并且要求能表达出来。

我們的学习内容因各专业的要求不同可以不尽相同，其中第七章超高频电子管的概念和第八章功率管，仅无线专业学习，其他专业可以不学。

§ 1.3 电子管的基本结构

1. 电子管的定义

我們的課程名称虽是电子管，却包括电子管和离子管两部分。它们的定义如下：

电子管——以真空中的放电现象作为运用基础的器件，也就是利用自由电子在真空中传输电荷的器件。

离子管——以稀薄气体中的放电现象作为运用基础的器件，也就是利用电子及离子在稀薄气体中传输电荷的器件。

它们的区别在于放电型式不同。电子管的放电过程是在真空中进行的，因此有时也称为真空管；而离子管的放电过程是在稀薄气体中进行的，所以也称为充气管。

它们的共同点是：以放电现象作为运用基础。例如日光灯是利用气体中的放电现象来照明的，所以属于离子管。白炽灯也是一个照明的器件，但是它所利用的不是气体中的放电现象而是电流的热效应，因此它并不是离子管。

2. 电子管的构造概况

(1) 基本结构

我们以热电子发射的三极管为例来说明电子管的基本结构。图 1-1 为一三极管，它有三个主要部分：

i. 管底 用以支承管身，同时将管内各电极引出，以便联接电路。

ii. 管壳 用以罩罩管内各电极，使成一封闭的器件，而保持管内所需要的状态，有金属的和玻璃的两种。

iii. 电极 是电子管的主要部分。三极管具有以下三个电极：

① 阴极 被加热后发射电子，位置在管子的中央，一般是碗内形或圆柱形。

② 阳极 接受阴极所发射的电子，位置在各电极的最外层，形状是平板形或圆筒形。

③ 栅极 用以控制阴极所发射的电子到达阳极的数量，其位置在阳极和阴极之间，形状是螺旋形或网形。

(2) 制造过程

大部分玻璃电子管的所有电极，都是装在垂直的莖上(图 1-2)。电子管里的莖是用玻璃管做成的，它的上部压扁，代铂丝(铁镍合金)的引丝就焊接在扁顶里面。镍的支柱焊到引丝

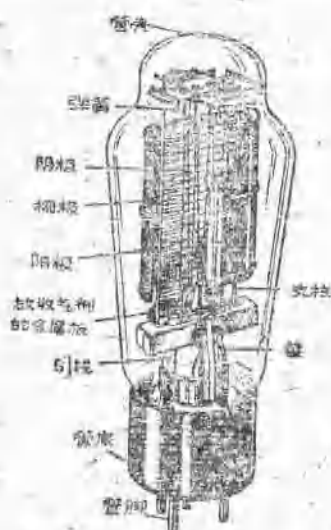


图 1-1

的上端，电极再接到支柱上，电极的上端以云母片固定其相对位置。引丝的下端接到扁引丝上。然后将管壳套在装好了的玻璃莖上，并将它们从下面熔接起来，如图 1-3 所示。封口后用唧筒从抽气管将管内的空气向外抽除（因为电子管内应该保持真空）。为了得到较高的真空度，在抽气时将玻璃加热到 400°C — 500°C ，使玻璃中所含的气体释出抽去，同时以高频交变电磁场使在电极中产生涡流，将电极加热而把其中所含的气体释出抽去。这样仍然不可能把管内的气体全部抽尽，还会有一些残留的气体。为了使管内得到更高的真空度，在装电极的同时，装置一包收气剂，在抽气完畢以后，使它扩散而与管内的残留气体化合，这样就使管内的真空度更提高了。当然，要达到绝对的真空是不可能的，但管内的压强已经很小，大约为 10^{-5} — 10^{-7} 毫米汞柱，这样也就差不多接近于真空了。离子管也需要抽气，因为在未抽气前管内所含的是空气，而空气中的

氧会与陰極起氧化作用，而使陰極毀坏。因此要先把空氣抽出，然



圖 1-2



圖 1-3

后加入少許惰性气体。当管內的狀態确定以后，再把抽气管熔接起来，最后將管身与管底膠合，再把电极的引線与管底上的插脚焊接起来，这样整个管子就算裝配好了。此后还要进行一系列的測試，檢驗其性能是否符合规定的标准，才算最后完成。

§ 1.4 电子管的分类

电子管的分类方法很多，主要的有下面几种：

1. 以放电型式分：

电子管 在真空中放电。

离子管 在稀薄气体中放电。

2. 以發射类型分：

热电子發射 如一般电子管。

光电發射 如光电管。

二次發射 如光电倍增管。

場致發射 如汞弧整流管。

3. 以电极数目分：

• 0 •

電 子 管

另一個問題是如何得到高頻率的電磁波。在高頻時，各電極之間的電容量有極大的影響。1924年制出了四極管，1931年制出了五極管，解決了極間電容的問題。

特殊的無線電接收方法的發展，引起了新型多極變頻管的出現（1934—1935年）；很多各種型式的複合管出現以後，使得無線電接收機中的電子管的數目大大減少了。

為了得到大功率的高頻電磁波，1937年，蘇聯工程師阿列克謝夫和馬雅羅夫制出了多腔磁控管，1940年，蘇聯學者科瓦連科提出了反射式速調管。如何得到大功率高頻電磁波的問題，到現在仍為研究、發展的對象。

在離子管方面：

1908年發明了汞弧整流管。

不久以後熱陰極充氣二極管和閘流管也出現了。

1928年，蘇聯科學院院士契爾內紹夫制成了充氣放電器。

蘇聯院士瓦維洛夫創造了日光灯。

在光電管方面：

1888年，莫斯科大学教授斯托列托夫和德國物理學家赫芝發現了光電效應。

1905年，美國科學家愛因斯坦創立了光與其他物質交互作用的理論，解釋了斯托列托夫由實驗確定的規律。

1932年，蘇聯的顧別茨基發明了光電倍增管。

最近電子學方面又有了新的成就——晶體管、冷子管等。

2. 我國電真空工業概況

在過去半封建半殖民地的舊中國，反動的統治階級是不可能重視本國工業的發展的。因此在解放前，我國的電真空工業幾乎完全沒有基礎。

解放後，由於黨和政府的重視和關懷，我國的電真空工業得到了迅速的發展。1953年9月，南京電子管廠制成了鎢絲，1954年10月，制成了鈹鎢絲。尤其在最近幾年，該廠有很大的發展，已能成批制

造各种各样常用的电子管了。数年前，苏联帮助我们建成了北京电子管厂，这个厂已在1956年10月投入生产，它是世界上第一流的工厂，不仅能生产各式电子管，而且还能生产制造电子管的新型机械。

在电子学的新成就——晶体管方面，近年来，也已取得很大成就；目前我国已经能够成批生产各种晶体管了。

在尖端进中，电真空工业得到了更迅速的发展。就以教育系统来说，自从貫徹党的教育方针以来，各高等学校和中等专业学校都大力地开展了科学研究工作，试制成功了某些新型电子管。

在总路线的光辉照耀下，在技术革新和技术革命的群众运动中，我国人民正在鼓足干劲，不断跃进，我国的电真空工业也将以更高的速度飞躍发展。

复 習 題

1. 试述电子管的作用和重要性。
2. 试述电子管和离子管的定义，及其异同点。
3. 试以三极管为例，说明电子管的基本结构及各电极的功用，并简述管子的制造过程。

第二章 电子发射

在結論中已經講过，無論是电子管或是离子管，都是以放电现象作为运用基础的。因而管内必須有一个能發射电子的电极。这个电极称为阴极。在这一章中，我們將研究阴极發射电子的条件以及电子發射的种类。此外，电子管在运用时，管内各电极間是加有电压的，也就是說在管内存在着电场。而在某些管子中，除电场外还存在着磁场。因而在这一章中，我們还需要研究一下电子在电场及磁场中的运动規律。

§ 2.1 电子发射的条件

1. 原子的結構

原子由原子核及核外的电子所組成。原子核內有質子和中子，它們的質量是相等的，都是核外电子質量的1845倍，因此可以認為整个原子的質量几乎全部集中在原子核，所以元素的原子量即由質子和中子的質量之和所決定。質子帶正電，中子不帶電，因此原子核是帶正電的。核外的电子是帶負電的，电子的数量与質子的数量相等，而每一个电子所帶的电量也和質子所帶的电量相等。因此整个原子是呈电中性的，而核外的电子数即决定了元素的原子序。

由实验确定电子所帶的电量為

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{庫。}$$

电子所帶电量与其質量的比值，称为电子的“荷質比”。由实验测得这一比值为

$$\frac{e}{m} = 1.759 \times 10^{11} \text{庫/千克。}$$

由此可算得电子的質量為

$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{千克。}$$

核外的电子各依一定的軌道圍繞原子核而运动，这些电子所具有的能量是不尽相同的，而能量基本相同的电子处于同一个“壳層”。因此可以近似地这样說：具有相同能量的电子在同一壳層上运动。电子的壳層自內而外依次有K、L、M、N、O、P、Q等層，各層能量依次升高。而每一層所能容納的电子数都有一个限額，各層的限額自K至Q依次为2、8、18、32、18、8、2。电子都具有趋向較低壳層的趋势，因此只有在能量較低的壳層中电子数达到限額后，其余电子才可能佔有能量較高的壳層。例如鋁原子具有11个电子，那么必然是K層有2个电子，L層有8个电子，而M層有1个电子。总之，原子核外的电子是由內而外逐一地占據壳層，

而在一个原子中，总有一个或几个电子是处在这个原子的最外層。这些电子所具有的能量最大（这儿指的是位能与动能的总和），同时由于它們离原子核的距离最远，受原子核束縛作用最小，因此最容易受到外界的影响而参与化学作用或游离作用。这些电子称为外層电子或价电子，价电子的数目即决定了元素的原子价。

电子接受外来能量后，可以由能量較低的壳層跑到能量較高的壳層，这种现象称为“激發”。但这种情况是不稳定的，它将迅速回到原壳層，并以辐射的形式（光或电磁波）放出多余的能量。如果外能很大，使电子脱离了原子，不再受原子核的控制，則称为“游离”。脱离了原子的电子便成为自由电子，而失去了电子的原子則成为一个正离子。

2. 金属中的电子

原子中的电子有外層的，也有內層的。因为內層电子距离原子核近，受原子核的束縛作用大，因此不容易参与外界的作用，这种电子称为束縛电子。由于束縛电子不容易接受外界的影响，所以可把原子核与束縛电子看作一个正离子，这样整个原子就是由所謂的正离子和价电子所組成。

在金属中，原子間的距离極近，所以价电子具有很大的公有性，同时在通常的固态金属中，原子的排列非常整齐，形成有規則的“結晶格子”。例如鎢的晶格，其正离子就是位于立方体的各顶点及其中心，如图 2-1 所示。这样各正离子作用于价电子的合力趋近于零，因此这些电子就可以在晶格中自由来往。这种电子称为自由

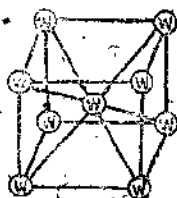


图 2-1

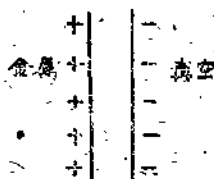


图 2-2

电子。

自由电子在晶格中的运动是杂乱无章的，它们的速度各不相同，其平均值与温度有关，在室温下约为100公里/秒。其中速度大的电子，有可能暂时离开金属表面一个极近的距离。由于这些电子的数量是相当多的，因而在金属表面极近处保持了一层负电荷。由于每一个电子的离开金属只是暂时的，此出彼进，所以，组成这一层负电荷的电子是交替的而不是固定的。整个金属原来是不带电的，那么在离开金属表面极近处出现了一层负电荷时，金属表面就必然出现一层正电荷，这样一层正电荷和一层负电荷就构成了一个“偶电层”，如图2-2所示。应该注意，这个偶电层的距离极小，大约为 10^{-8} 厘米，相当于金属结晶格子内一層原子的厚度。

3. 电子发射的条件

(1) 电子发射所需要的能量

所谓电子发射，是指金属体内的自由电子，大量地脱离金属而自由逸出的现象。

现在我们来研究一个电子发射的情况，一个电子发射的问题解决了，大量电子的发射问题也就迎刃而解了。

如果有一个自由电子从金属中向外发射，首先它必须通过偶电层。在偶电层中有一个电场，这个电场使从金属中向外逸出的电子受到一个与它运动方向相反的力，即有一个拒斥作用。因此电子要从金属中发射出来，首先必须克服偶电层的拒斥作用而做功。我们近似地认为偶电层中的电场是一个均匀电场，则电子在这个电场中任何一点所受的力都相等。如果以纵坐标表示电子受

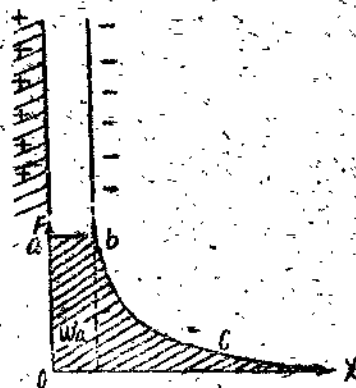


图 2-3

力的大小，而以横坐标表示电子离开金属表面的距离，则电子在偶电层中的受力情况，就象圖 2-3 中直綫 ab 所示。电子为了通过偶电层，必須克服这个力而作功，其所消耗的能量即相当于 ab 綫下所包的面积。

当电子通过偶电层后，金属因失去了一个电子而帶正电，因此它对已經通过偶电层的电子有一种吸引力，想使电子返回金属，所以电子在这时候仍受金属的作用，还没有完成發射的全部过程，必須当电子不再受金属的束縛时，此电子才算从金属中發射出来了。我們知道金属的正电荷对电子的吸引力，是与电子离开金属表面的距离之平方成反比的，即如圖 2-3 中曲綫 bc 所示。理論上必須电子离开金属無穷远，此力才等于零，电子才算發射出来了。但在实际上，由于此力随电子与金属間的距离的增加而急剧地减小，因而在一个相当小的距离內，此力即降至可以忽略的程度。电子为了克服金属的吸引力而繼續向外逸出，須要消耗的能量相当于圖 2-3 中 bc 綫下所包的面积。

总起来說，电子的發射須要克服偶电层的拒斥作用和金属的吸引作用而作功，一个电子从金属中發射出来所消耗的能量即为此兩部分功的和，相当于圖 2-3 中曲綫 abc 下所包的面积，我們以 W_e 来表示。

(2) 逸出功

每一个电子的發射必須消耗能量 W_e ，也就是說至少須要具有 W_e 能量的电子，才有可能發射。我們知道金属体内每一个自由电子，都具有一定的能量，它們能不能憑借这一部分能量而自行發射呢？一般地說这是不可能的。对通常作为电子管陰極的金属來說，电子必須具有約为 1000 公里/秒的速度才能通过偶电层。而在室温的情况下，电子的平均速度只有 100 公里/秒左右，还不是以通过偶电层，当然就更不能發射了。因此要使电子發射，通常都需要由外界供給能量。

自由电子所具有的能量是各不相同的，我們假定能量最大的电

子所具有的能量为 W ，則要使此电子发射，外界所必須供給的最小能量为：

$$W_0 = W_A - W_i,$$

此 W_0 即称为“逸出功”。逸出功的單位是电子伏特 (e.v.)，它的定义是：一个电子经过电位差为 1 伏的空間时，其能量所發生的变化。即一个电子经过电位差为 1 伏的空間时，电场力对电子所作的功，或电子为克服电场力所作的功。故

$$\begin{aligned} 1 \text{ e.v.} &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ 庫} \times 1 \text{ 伏} \\ &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ 焦。} \end{aligned}$$

应该注意电子伏特是能量的單位，而不是电位或电压的單位。应用这个單位的方便处在于它的数值与电位差的数值相同。逸出功的数值只决定于金屬的物理性質。表 2-1 列出几种常用的金屬的逸出功，作为参考。

表 2-1

金 屬 名 称	W_0 . (电子伏特)
鋇	4.52
鈦	3.35
鉍	4.07
銅	4.41
銀	2.52
鎢	1.81

§ 2.2 电子发射的种类

1. 光电发射

金屬体内的自由电子，接受了光的輻射能以后，从金屬中发射出来的現象，称为光电发射。

2. 二次发射