

# 电子管

南京無線電工業學校無線電機制造專業編

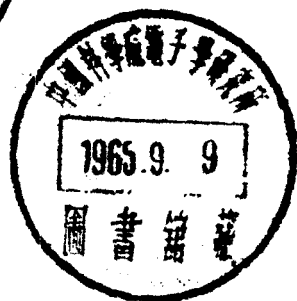


國防工業出版社



# 电子管

南京無線電工業學校無線電機制造專業編



國防工業出版社

04869

## 內 容 簡 介

本書是作为中等技术学校“无綫电机制造”專業的“无綫电工学教程”課中电子管部分的教材，亦可供給“电 真 空 器 件 制 造”專業以外的无綫电專業以及中級技術人員参考之用。

教材內容包括討論二、三、四、五極管，复合、变頻管，超高频电子管，电子射綫管，充气管和光电管等主要电真空管子的結構特点和工作原理。并扼要地介紹了晶体管的物理特性。本書試圖少用数学公式而致力于物理概念的闡述，以滿足學生在學習中的要求。参加本書編写工作的同志有：王鑒霖，周雄粵，尉維孝等。由周雄粵总校对。

本書初稿是在苏联專家 罗·瓦·阿拉那疆 指导下写成的。

讀者對本書缺点及錯誤的指正編者將衷心接受。

國防·業·出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号  
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

850×1168  $\frac{1}{32}$  · 印張 6  $\frac{6}{16}$  · 162 千字 1959 年 1 月第一版

1959 年 1 月第一次印刷

印数：0,001— 5,300 册

NO. 2598 統一書号：15034·286

## 目 录

### 第一章 緒言 .....5

- 1-1 电子管在现代經濟文化  
生活中的应用和意义 .....5
- 1-2 电子管發展史 .....5
- 1-3 电子管分类 .....6
- 1-4 电子管的結構 .....7
- 1-5 我国电子管工业發展  
簡史 .....8

### 第二章 电子發射 .....10

- 2-1 电子在電場中与在磁  
場中的运动 .....10
- 2-2 电子伏特 .....13
- 2-3 金屬体中的电子逸出功 .....14
- 2-4 电子發射的方式 .....15
- 2-5 热电子發射公式 .....16
- 2-6 阴極的类型 .....17
- 2-7 阴極的結構 .....20
- 2-8 阴極的發射效率 .....22
- 2-9 阴極电压 .....24

### 第三章 二極管 .....25

- 3-1 二極管的构造与电路 .....25
- 3-2 二極管的两种特性  
曲綫 .....26
- 3-3 二分之三次方定律 .....29
- 3-4 阴極与板極間的电位  
分布状况 .....30
- 3-5 二極管的靜态板阻与  
动态板阻 .....32
- 3-6 二極管的反峰板压 .....34
- 3-7 板極損耗 .....34

### 3-8 二極管的应用 .....35

### 第四章 三極管 .....37

- 4-1 三極管的构造与符号 .....37
- 4-2 控制栅極的作用 .....37
- 4-3 总电流与等效电压 .....40
- 4-4 栅电流 .....41
- 4-5 三極管的靜态特性  
曲綫 .....42
- 4-6 三極管的参量 .....44
- 4-7 各参量的測求方法 .....47
- 4-8 三極管的極間电容量 .....50
- 4-9 渗透率 .....51
- 4-10 三極管的动态板栅  
曲綫 .....53
- 4-11 負載綫 .....55
- 4-12 三極管的等效电路 .....56
- 4-13 电压放大器与功率  
放大器 .....58

### 第五章 四極管与五極管 .....60

- 5-1 四極管的构造与电路 .....60
- 5-2 四極管的二次电子  
發射 .....62
- 5-3 四極管的特性曲綫 .....63
- 5-4 四極管的参量 .....67
- 5-5 五極管的构造与电路 .....68
- 5-6 五極管抑制栅的作用 .....69
- 5-7 五極管的特性曲綫 .....70
- 5-8 高频五極管与低频  
五極管 .....72
- 5-9 束射四極管的构造 .....73

|                                 |                                           |
|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 5-10 束射四極管的板極曲綫<br>与工作性能.....75 | 第十章 充气管 .....120                          |
| 5-11 变 $\mu$ 五極管.....76         | 10-1 充气管的概况 .....120                      |
| 第六章 复合管与变频管...79                | 10-2 气体的重要物理状况 121                        |
| 6-1 复合管 .....79                 | 10-3 电子管内电子或<br>正离子碰撞气分子时<br>的情况..... 122 |
| 6-2 調諧指示管 .....81               | 10-4 气体的非自持放电<br>与自持放电 .....123           |
| 6-3 混頻管与变频管的<br>概况 .....83      | 10-5 气体放电的伏安<br>特性曲綫 .....125             |
| 6-4 七極混頻管 .....85               | 10-6 輝光放电与弧光放电 127                        |
| 6-5 各种变频管 .....86               | 10-7 热阴極汞汽二極管 ...128                      |
| 第七章 振蕩管与調制管...89                | 10-8 氬气二極管 .....131                       |
| 7-1 結構上的特征 .....89              | 10-9 保热式阴極 .....132                       |
| 7-2 振蕩三極管 .....90               | 10-10 閘流管.....134                         |
| 7-3 振蕩四極管与五極管 ...92             | 10-11 热阴極二極充气管与<br>閘流管的使用方法...138         |
| 7-4 振蕩管特性曲綫<br>的取得 .....94      | 10-12 汞弧管.....139                         |
| 第八章 超高频电子管 .....95              | 10-13 稳压管.....141                         |
| 8-1 概論 .....95                  | 第十一章 光电管 .....143                         |
| 8-2 超高频用的普通<br>电子管 .....98      | 11-1 光电管的构造与特性 143                        |
| 8-3 速調管.....100                 | 11-2 电子倍增式光电管 ...146                      |
| 8-4 磁控管.....106                 | 第十二章 晶体管 .....149                         |
| 第九章 电子射綫管 .....113              | 12-1 半导体的基本原理 ...149                      |
| 9-1 构造.....113                  | 12-2 晶体二極管 .....159                       |
| 9-2 聚焦系統.....115                | 12-3 晶体三極管 .....166                       |
| 9-3 偏轉系統.....116                | 附录 .....180                               |
| 9-4 螢光屏.....118                 |                                           |

# 电子管

南京無線電工業學校無線電機制造專業編



國防工業出版社



## 內 容 簡 介

本書是作为中等技术学校“无綫电机制造”專業的“无綫电工学教程”課中电子管部分的教材，亦可供給“电 眞 空 器 件 制 造”專業以外的无綫电專業以及中級技術人員参考之用。

教材內容包括討論二、三、四、五極管，复合、变频管，超高频电子管，电子射綫管，充气管和光电管等主要电眞空管子的結構特点和工作原理。并扼要地介紹了晶体管的物理特性。本書試圖少用数学公式而致力于物理概念的闡述，以滿足學生在學習中的要求。参加本書編写工作的同志有：王鑒霖，周雄粵，尉維孝等。由周雄粵总校对。

本書初稿是在苏联專家罗·瓦·阿拉那疆指导下写成的。

讀者對本書缺点及錯誤的指正編者將衷心接受。

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第074号  
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

850×1168  $\frac{1}{32}$  · 印張 6  $\frac{6}{16}$  · 162 千字 1959年1月第一版

1959年1月第一次印刷

印数：0,001—5,300册

NO. 2598 統一書号：15034·286

## 目 录

### 第一章 緒言 .....5

- 1-1 电子管在现代經濟文化  
生活中的应用和意义 .....5
- 1-2 电子管發展史 .....5
- 1-3 电子管分类 .....6
- 1-4 电子管的結構 .....7
- 1-5 我国电子管工业發展  
簡史 .....8

### 第二章 电子發射 .....10

- 2-1 电子在電場中与在磁  
場中的运动 .....10
- 2-2 电子伏特 .....13
- 2-3 金屬体中的电子逸出功 .....14
- 2-4 电子發射的方式 .....15
- 2-5 热电子發射公式 .....16
- 2-6 阴極的类型 .....17
- 2-7 阴極的結構 .....20
- 2-8 阴極的發射效率 .....22
- 2-9 阴極电压 .....24

### 第三章 二極管 .....25

- 3-1 二極管的构造与电路 .....25
- 3-2 二極管的两种特性  
曲綫 .....26
- 3-3 二分之三次方定律 .....29
- 3-4 阴極与板極間的电位  
分布状况 .....30
- 3-5 二極管的靜态板阻与  
动态板阻 .....32
- 3-6 二極管的反峰板压 .....34
- 3-7 板極損耗 .....34

### 3-8 二極管的应用 .....35

### 第四章 三極管 .....37

- 4-1 三極管的构造与符号 .....37
- 4-2 控制栅極的作用 .....37
- 4-3 总电流与等效电压 .....40
- 4-4 栅电流 .....41
- 4-5 三極管的靜态特性  
曲綫 .....42
- 4-6 三極管的参量 .....44
- 4-7 各参量的測求方法 .....47
- 4-8 三極管的極間电容量 .....50
- 4-9 渗透率 .....51
- 4-10 三極管的动态板栅  
曲綫 .....53
- 4-11 負載綫 .....55
- 4-12 三極管的等效电路 .....56
- 4-13 电压放大器与功率  
放大器 .....58

### 第五章 四極管与五極管 .....60

- 5-1 四極管的构造与电路 .....60
- 5-2 四極管的二次电子  
發射 .....62
- 5-3 四極管的特性曲綫 .....63
- 5-4 四極管的参量 .....67
- 5-5 五極管的构造与电路 .....68
- 5-6 五極管抑制栅的作用 .....69
- 5-7 五極管的特性曲綫 .....70
- 5-8 高频五極管与低频  
五極管 .....72
- 5-9 束射四極管的构造 .....73

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 5-10 | 束射四極管的板極曲綫<br>与工作性能 | 75  |
| 5-11 | 变 $\mu$ 五極管         | 76  |
| 第六章  | 复合管与变频管             | 79  |
| 6-1  | 复合管                 | 79  |
| 6-2  | 調諧指示管               | 81  |
| 6-3  | 混頻管与变频管的<br>概况      | 83  |
| 6-4  | 七極混頻管               | 85  |
| 6-5  | 各种变频管               | 86  |
| 第七章  | 振蕩管与調制管             | 89  |
| 7-1  | 結構上的特征              | 89  |
| 7-2  | 振蕩三極管               | 90  |
| 7-3  | 振蕩四極管与五極管           | 92  |
| 7-4  | 振蕩管特性曲綫<br>的取得      | 94  |
| 第八章  | 超高频电子管              | 95  |
| 8-1  | 概論                  | 95  |
| 8-2  | 超高频用的普通<br>电子管      | 98  |
| 8-3  | 速調管                 | 100 |
| 8-4  | 磁控管                 | 106 |
| 第九章  | 电子射綫管               | 113 |
| 9-1  | 构造                  | 113 |
| 9-2  | 聚焦系統                | 115 |
| 9-3  | 偏轉系統                | 116 |
| 9-4  | 螢光屏                 | 118 |

|       |                             |     |
|-------|-----------------------------|-----|
| 第十章   | 充气管                         | 120 |
| 10-1  | 充气管的概况                      | 120 |
| 10-2  | 气体的重要物理状况                   | 121 |
| 10-3  | 电子管内电子或<br>正离子碰撞气分子时<br>的情况 | 122 |
| 10-4  | 气体的非自持放电<br>与自持放电           | 123 |
| 10-5  | 气体放电的伏安<br>特性曲綫             | 125 |
| 10-6  | 輝光放电与弧光放电                   | 127 |
| 10-7  | 热阴極汞汽二極管                    | 128 |
| 10-8  | 氬气二極管                       | 131 |
| 10-9  | 保热式阴極                       | 132 |
| 10-10 | 閘流管                         | 134 |
| 10-11 | 热阴極二極充气管与<br>閘流管的使用方法       | 138 |
| 10-12 | 汞弧管                         | 139 |
| 10-13 | 稳压管                         | 141 |
| 第十一章  | 光电管                         | 143 |
| 11-1  | 光电管的构造与特性                   | 143 |
| 11-2  | 电子倍增式光电管                    | 146 |
| 第十二章  | 晶体管                         | 149 |
| 12-1  | 半导体的基本原理                    | 149 |
| 12-2  | 晶体二極管                       | 159 |
| 12-3  | 晶体三極管                       | 166 |
| 附录    |                             | 180 |

# 第一章 緒 言

## 1-1 电子管在現代經濟文化生活中的应用和意义

电子管的發明是无綫电技术發展中的一个重大而又是划时代的事件，在現代几乎沒有一个无綫电器械是不用电子管的。因为电子管的發明，就使人們掌握和利用短波、超短波，甚至分米波和厘米波成为可能(从前是用中波和長波的)。因为电子管的应用，使得无綫电的运用有了显著的进步，并且使傳真和电视的理想得以实现。因为电子管的应用，發明了雷达。将电子管应用到有綫电方面，使得电话和傳輸的有效距离显著增加，并且使多路电话电报的傳輸变得很容易。其他本来与无綫电关系不大的技术和知識部門也極其广泛地应用电子管，如电子計算机、宇宙航行、自动控制設備、有声电影、医学、采矿、冶金和食品保藏工业等等。因此有人認為 20 世紀后半叶是屬於一个原子能和电子学的时代，然而这并不是夸大其詞。

在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建議中指出：要加强我国无綫电工业的建設。电子管是无綫电技术和电子学的基础，因此电子管工业的建設和發展，对于迅速發展我国的无綫电工业以及其他工业，使我国提前实现 12 年科学规划，并促进工业水平与先进国家并列，都具有極重要的意义。

## 1-2 电子管發展史

电子管包括电子管和离子管两部分，前者是利用高度真空管子中的自由电子运动作用的产物，后者是在上述的管子中人为地加入一种特殊气体，这种气体在一定条件下会因为电离产生离子，

离子管就是利用管子内的离子和自由电子运动作用做成的。

1873年俄国科学家A·H罗德金发明了白炽灯。后来美国发明家爱迪生在实验中又发现了一个现象：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，电路中没有电流；若把电源反接，即正极连到金属板，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。这种能在真空中导电的现象，当时无法解释，因此就把它称为爱迪生效应。二十多年后，其他科学家的研究，才把上述效应用之于技术方面而制成了一只具有金属板和灯丝的简单二极管，金属板称板极，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。后来又有人在二极管的板极和阴极之间加进了一个栏栅状的电极（叫做栅极），栅极对自阴极飞向板极的电子起着控制作用，利用这种作用可以用来放大信号，这就制成了三极管。现在除二极管和三极管之外，还有性能更好，用途更广的四极管、五极管和多极管以及各种特殊用途的电子管等。

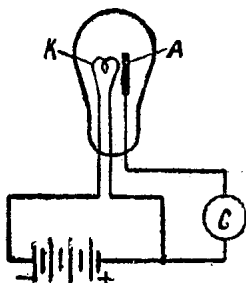


圖 1-1

最近十年来，半导体的研究和应用有着飞跃的发展，用半导体制成的“电子管”称晶体管，其体积可以制成比电子管小得多，还有耗电较小和寿命长等优点，因此各种类型的晶体管正如雨后春笋之势发展着，尽可能将它代替电子管使用。目前晶体管的功率和频率的高度方面还比不上电子管，这是有待于研究和改进的问题。

### 1-3 电子管分类

到目前为止，世界各国曾经生产过的电子管品种总数已达到一万种以上。因此有必要将之归纳分类，分类方法很多，有按放

电的方式来分，有按外壳的形式来分，有按能量变换的性质和用途来分。最后一种分类方法应用较广，现在专门讨论这种分类法。

电子管按能量变换的性质和用途可以分成下面几类：

(一) 把电能从一种形式转变为另一种形式的电子管 详细的又可分成下面几种：

(1) 整流管——把交流变成直流，一般采用二极管和各种的离子管。

(2) 接收放大管——用在接收机或小功率的放大线路中。用来放大信号的一般采用三极管、四极管、五极管和复合管。接收放大管又可细分为下面几种：

a. 低频和高频放大管——放大低频率和高频率的电压用。

b. 功率放大管——末级的功率放大用。

c. 检波管——检波用。

d. 变频管和混频管——在超外差式接收机中用来改变接收信号频率之用。

(3) 振荡管——用在振荡器和功率放大器中，一般采用三极管、四极管、五极管和用于超高频范围的磁控管、速调管等。

(二) 光电管 把光能转变为电能的电子管。

(三) 电子射线管 把电能转变为可见形象的电子管。

#### 1-4 电子管的结构

现代电子管的外形和内部结构随用途的不同而差别很大。现在我国北京电子管厂出产的拇指型管为例加以说明。

拇指型管的管壳是一个封闭的玻璃外壳，使管子内部保持所需的真空度。管子的下端是管脚，管脚同管内各个电极相接，管脚用以安插在无线电机组中的管基上，使管内的各个电极和管外的线路连接。为了保证管脚上端导线通过玻璃芯柱时不致漏气，穿过玻璃的一段金属导线是一种特殊的合金丝，其膨胀系数同玻璃接近，因此封接完好的管子不会因膨胀而引起炸裂和漏气。管内的空气

是在制造过程中通过管顶的排气管抽出，抽气完畢以后，立刻将排气管用火头熔封，因此管頂上常遺留一个小尖头。封閉后的电子管又依靠加热而蒸發在管壁上的吸气剂来进一步改善和保持管內的真空度。玻壳里面最外層的一个金屬筒是板極，板極中央有一根金屬管子（称为阴極套管），上面塗有白色粉末，总称阴極。阴極套管之內塞有用来加热阴極的灯絲。圍繞阴極的是栅極，栅極的外面是屏栅極和抑制栅極，都是用金屬絲繞成螺旋狀的栏栅。上述电子管称五極管，因其中有五个电極，即阴極、栅極、屏栅極、抑制栅極和板極。

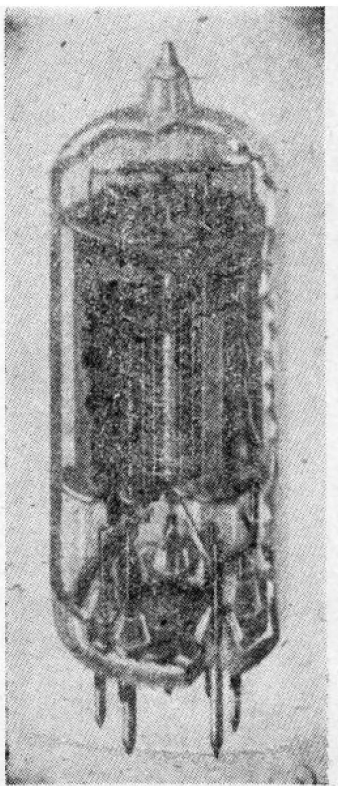


圖 1-2

当电子管工作时，灯絲通过电流被加热，此时可以看到灯絲和阴極热到發紅的顏色，塗有白色粉末（氧化物，是放射电子的主体）的阴極受热而發射电子。若板極上加有正的高电压，即能吸引着电子。栅極的位置是在阴極和板極之間，栅極本身是用金屬絲間繞而成，从阴極發射出来的电子向板極飞去，必穿过栅極的縫隙，因此栅極上的电位控制着电子飞往板極的数量。即栅極上有信号电压时，板極电路內就有相应变化的电流，或者在板極电路負荷上直接得到了放大的电压，此种作用称为放大作用，以后会比较詳細的討論。

### 1-5 我国电子管工业發展簡史

我国的电子管制造事业是在1935年开始的，抗日战争时期

曾經用外国的零件装配过一些电子管，但是得不到过去的反动政府的重視和支持。新中国成立以后，在党和政府的领导下，在南京成立了南京电子管厂，中国才开始正式的具有雛型的电子管制造业。我国电子管專家和工人同志們克服了种种困难，制造出各种工艺設備，摸索电子管的制造工艺过程，因此不久便有了真正国产的二極管和三極管。到1952年我們已經能够制造交流收音机用的成套电子管。以后我国的專家、工人同志們又陸續試制出了其他类型的电子管。到1956年10月，在苏联无私帮助下具有現代化設備的北京电子管厂也开始投入生产，从此我国电子管工业进入一个新的阶段。目前我国不仅能生产低頻和小功率的电子管，大功率發射管、整流管以及某些超高頻电子管也成批出現，在第二个五年計劃期間，除了地方部門紛紛建立小型电子管工厂之外，国家将建立更多的現代化新型的电子管和晶体管工厂，使我国的无綫电电子工业达到更高的水平。

## 第二章 电子發射

### 2-1 电子在電場中与在磁場中的运动

电子是物質內的一种基本粒子，帶有負电荷。其所荷的負电量为  $1.6 \times 10^{-19}$  庫侖。其靜止質量为  $9.1 \times 10^{-31}$  公斤。

电子在原子或分子領域以外的一切运动，亦如普通物体，是受下列牛頓第二定律所支配：

$$F = ma_0. \quad (2-1)$$

电子除与其他粒子相撞时發生的冲击力以外，主要受到電場力与磁場力的作用。

(一) 电子在電場中的运动 电子管中阴極發射的电子，是受其他電極的電場力，从阴極向板極作加速运动。

电子所在处的電場强度如为  $E$ ，則其所受的電場力为

$$F = -eE, \quad (2-2)$$

其中  $e$  为电子所荷的电量，即  $1.6 \times 10^{-19}$  庫侖。电子順電場力由低电位处移向高电位处时，是作加速运动。电子逆電場力由高电位处移向低电位处时，是作减速运动。

設电子順電場力作加速运动，其起点上的电位为  $U_0$  而初速为  $V_0$ ，其終点上的电位为  $U_1$  而終速为  $V_1$ 。由于電場施加于电子的功为

$$W = e(U_1 - U_0);$$

而电子在加速运动中增加的动能为

$$\frac{1}{2} mV_1^2 - \frac{1}{2} mV_0^2 = \frac{1}{2} m(V_1^2 - V_0^2);$$

故可根据能量守恒定律而演得下式：

$$\frac{1}{2} m(V_1^2 - V_0^2) = e(U_1 - U_0). \quad (2-3)$$

原来靜止的电子，順電場力作自由运动时，由于其初速  $V_0 =$

0, 故可将上式简化为

$$\frac{1}{2}mV^2 = eU, \quad (2-4)$$

其中  $U = U_1 - U_0$  为起点与终点间的电位差,  $V$  为电子所达的末速。由 (2-4) 式, 演得电子的末速为

$$V = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \quad (2-5)$$

以  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  庫侖与  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  公斤代入上式, 求得

$$V = 5.93 \times 10^5 \sqrt{U} \text{ 米/秒} \cong 600 \sqrt{U} \text{ 公里/秒}. \quad (2-6)$$

可見一靜态电子經過 1 伏特电位差后速度变为 600 公里/秒了。

电子在均匀电场中的运动軌迹是随下列两种情况而不同:

1. 电子初速与电场方向平行时——初速与电场的方向相同时, 电子逆电场力作减速的直綫运动; 方向相反时, 电子顺电场力作加速的直綫运动, 如图 2-1 所示。原来静止的电子, 是顺电场的方向作直綫加速运动。

2. 电子初速与电场方向成一角度时——此时可将电子初速  $V_0$  分解为垂直于电场的分量  $V_{0N}$  与平行于电场的分量  $V_{0t}$ 。其垂直分量  $V_{0N}$  保持不变。其平行分量  $V_{0t}$  则視其为顺电场力或逆电场力而作加速运动或作减速运动。故电子的綜合运动軌迹是成一拋物綫, 如图 2-2。

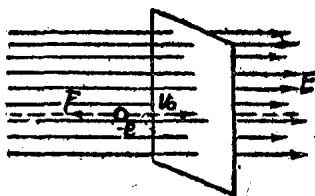


圖 2-1

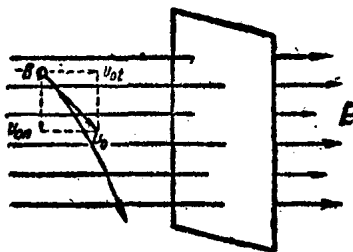


圖 2-2

(二) 电子在磁场中的运动。电子在磁场中运动时, 所受的磁场力为

$$F = eBV \sin\theta, \quad (2-7)$$

其中  $e$  为电子所荷的电量,  $B$  为磁通密度 (单位为韋白 每 平方 米),  $V$  为电子的速率,  $\theta$  为电流方向与磁場間的夹角。上式所示的磁場力方向是經常垂直于电子运动方向与磁場方向所决定的平面, 其正負向是取决于左手定則。

电子在均匀磁場中的运动軌迹, 是随下列三种情况而不同:

1. 电子初速与磁場方向相同或相反时——此时由于 (2-7) 式中的  $\theta = 0$ , 而  $\sin \theta = 0$ , 故电子所受的磁場力等于零, 保持其原来初速而作直綫等速运动, 如圖2-3。

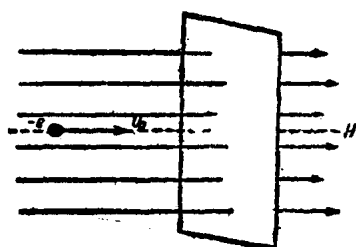


圖 2-3

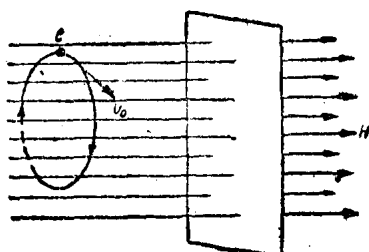


圖 2-4

2. 电子初速与磁場方向垂直时——此时由于 (2-7) 式中的  $\theta = 90^\circ$ , 而  $\sin \theta = 1$ , 故电子所受的磁場力为  $eBV$ 。此力是垂直于电子的运动方向, 使电子仅改变其运动方向而不改变其速度, 結果成圓周的等速运动, 如圖2-4。由于此圓周运动的离心力  $mV^2/r$  是等于磁場力  $eBV$ , 故得其圓周軌迹的半徑为

$$r = \frac{mV}{Be} \quad (2-8)$$

3. 电子初速与磁場方向成一角度时——电子的初速  $V_0$  如与磁場方向成一角度  $\theta$ , 則此初速  $V_0$  可分解为垂直于磁場的分量  $V_{0N}$  与平行于磁場的分量  $V_{0s}$ 。垂直分量使电子在

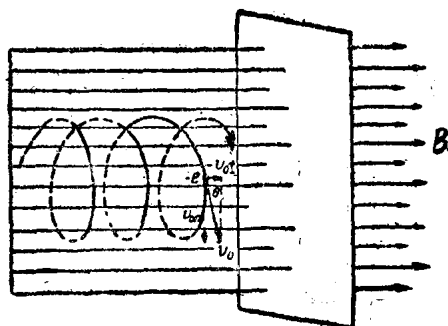


圖 2-5