

中央人民政府高等教育部推薦
中等技術學校教材試用本



電 真 空 儀 器

I. A. 塔古諾夫 著
洪 效 訓 譯

商 務 印 書 館

本書係根據蘇聯動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版的塔古諾夫 (Г. А. Титунев) 所著“電真空儀器” (Электровакuumные Приборы) 1949 年版譯出。原書經蘇聯通訊器材工業部學校司審定為中等技術學校教科書。

本書由北京工業學院洪效訓翻譯，並經清華大學常迴審閱。

電 真 空 儀 器

洪 效 訓 譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一號

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

(61430·1)

1954 年 1 月初版 版面字數 271,000

印數 1—3,500 定價 ¥19,000

目 錄

導言	1
第一章 得自電子理論的某些知識	5
1. 電子及其特性	5
電子的電荷和質量	5
電子在電場裏的運動	6
電子在磁場裏的運動	10
2. 原子和游子	13
3. 固體裏的電子	14
4. 接觸電位差	19
5. 電子發射	20
電場的影響和自動發射(冷發射)	21
熱電發射	22
光電發射(外部光效應)	25
次級電子發射	28
第二章 電子管的陰極	32
6. 陰極的作用及其基本特性	32
陰極的基本特性曲線	32
陰極參數	34
7. 熱電陰極的型式和結構	35
陰極的主要型式	35
鎢陰極	36
塗鈹陰極	39
碳化陰極	41
氧化物陰極	42
塗鋇陰極(鋇陰極)	46

8.  陰極的運用	48
9.  陰極計算	50
第三章 二極電子管	56
10. 兩極管的伏安特性曲線	56
11. “二分之三定律”	60
12. 兩極管極間空間內電場、容積電荷和電子速度的分佈及電子飛行時間	67
13. 二極電子管的真實特性曲線及該曲線和理論特性曲線的差別	71
14. 兩極管參數	75
15. 兩極管的結構和型式	79
16. 兩極管的應用	82
半波整流線路	84
具有中性點的全波整流線路	85
橋式全波整流線路	86
兩極管用作檢波管	87
第四章 三極電子管	89
17. 對流經電子管的電流的控制	89
18. 極間電容	94
19. 合電位	97
20. 用於三極管的“二分之三定律”	99
21. 柵極電流及三極管內電流在各個電極上的分配	101
22. 三極管的特性曲線及其參數	106
23. 三極管的工作狀況	119
24. 三極管的應用	126
低頻電流的放大	126
工作狀況的選擇	28
不衰減振盪的發生	132
高頻電流的檢波	134
25. 三極管的型式和結構	137

用來放大電壓的三極管	137
用來放大功率的三極管	138
振盪三極管和調幅三極管	139
第五章 多極管	142
26. 各個柵極的用途和作用原理	142
27. 四極管, 它的特性曲線、參數和應用	147
具透截特性曲線的四極管	153
“束射”四極管	155
28. 五極管, 它的特性曲線、參數和應用	153
高頻五極管	158
低頻五極管	159
振盪五極管	160
五極管陽極電流的雙重控制	160
29. 多柵混頻管和變頻管	161
30. 複合管	163
最簡單的複合管	163
次級發射放大管	163
電子式調諧指示器	164
第六章 電子-射線儀器	167
31. 電子光學	167
32. 電子-射線管的構造	171
陰極	172
聚焦裝置	172
束內電流強度的控制	174
電子束的偏轉控制	175
電子速度(能量)的控制	178
電子束的受器	179
電子-射線管的管泡	183
33. 電子-射線儀器的型式、結構和參數	183
電子示波器	183

收像電視管.....	185
送像電視管.....	185
電子換接器.....	185
電子束的電流按一定規律而隨時間起變化的電子-射線管.....	187
基於電子束作用原理的電子管.....	189
電子顯微鏡.....	189
電子加速器和游子加速器.....	191

第七章 用於超高頻的電子管.....194

34. 電子儀器的動態工作.....	194
電子儀器的嘈音.....	196
管內電感和電容的作用.....	201
電子管的效率.....	204
電子飛行時間.....	206
35. 用於超高頻的尋常電子管的型式和結構.....	208
36. 調速管.....	212
37. 磁控管.....	216
38. 行波管.....	222
39. 超高頻電子管的應用.....	224

第八章 倫琴管.....226

40. 倫琴輻射.....	226
41. 倫琴管的構造.....	229
42. 電子倫琴管.....	232
43. 倫琴管的運用.....	235

第九章 游子儀器.....237

44. 游子儀器裏的物理現象.....	237
氣體裏的基本過程.....	237
電流通過氣體時所發生的現象.....	243
45. 氣體裏的放電形式.....	249
46. 放電的穩定.....	253

47. 冷電極游子儀器	255
電壓穩定器和分壓器	255
氣體放電器	258
輝光放電整流器和繼電器	258
48. 非獨立弧光放電的游子儀器	260
充氣管	260
開流管	265
49. 獨立弧光放電的游子儀器	272
水銀整流器	272
發火管	276
狹壁管	278
50. 其他游子儀器	279
磁引管	279
氣體放電放大管	279
51. 氣光燈	280
負陰極光燈	280
正輝柱光燈	282
第十章 光電池和電子—光學儀器	287
52. 光電池的一般特性	287
53. 外部光效應的光電池之型式和構造	290
54. 具次級電子發射作用的光電池(光倍增器)	293
55. 內部光效應的光電池	297
56. 具有封鎖層的光電池	298
57. 紅內視察管	300
第十一章 其他電真空儀器	302
58. 穩流器	302
59. 真空熱電偶	304
60. 真空電容器	305
附錄	306

電 真 空 儀 器

導 言

電真空儀器是現代技術和日常生活各方面都要用到的在最近幾年來發展得特別蓬勃的電工儀器的一大類。所有這一類儀器統有下面特徵：它們所起作用的基本過程（內部工作過程）決定於真空裏、氣體裏、或是與周圍空氣相隔絕的特種固體導體、半導體或絕緣體裏電的現象。除此之外，在這種儀器裏保持着比大氣壓力為低的氣壓（真空），或者至少在其製造過程中要求在它內部產生真空。儀器工作空間裏的真空程度可以不同，跟這相對應的，在工作空間裏進行着的物理過程也可以有很大差別。

電真空儀器有下面幾個主要優點：它的無慣量性——隨動時間極短（從 10^{-4} 到 10^{-9} 秒）；在它的幫助下，對電流的控制既易且便；極小電脈衝、磁場和光線都有可能機械地直接作用於儀器裏的電流；最後，某些電真空儀器所產生的光線可資利用。

由於上述原因，電真空儀器的應用達到如此廣泛，以致爲了它們，建立了專門的電真空工業。電真空儀器曾使一系列特種技術部門得以產生，例如現代無線電、電子自動機、用高頻電流加熱以及整流技術。它們在戰術上有其特殊的用途：無線電通訊、雷達（依靠無線電確定遠處目的物的位置）、用無線電控制飛機、藉助於紅內線的視覺、地雷和水雷的搜尋——這些都是電真空儀器爲了戰爭目標的應用例子，而這些戰爭目標決定了現代戰爭所具有的十分特殊的性質。戰時電真空儀器特殊用法的發展，自然而然地引起了特種電真空儀器的出現。在目前

和平時代，這些儀器打開了新的技術道路和可能性，而在日常生活中被開始應用。

電真空儀器發展歷史並不很長，它開始於 1872 年 A. H. 洛得金發明白熾電燈、1883 年有當時所謂愛迪生效應的熱電發射現象的發現以及 1887 年莫斯科大學教授 H. A. 斯托萊托夫和赫志發現光電效應。此後大致經過二十年，在這期間，物理家們緊張地研究着各種電子現象，但在技術上，利用這些現象的儀器幾乎未被採用。甚至在 A. C. 波波夫發明無線電之始，也沒有影響到電真空儀器的發展，直到電子管可以用來產生無線電波的這一事實被發現的時候為止。發明和擬製電子管的先進者有著名學者 H. J. 派派萊克西院士（他在 1914 年製成第一隻無線電接收管和振盪管），M. A. 邦奇-伯魯也維奇教授（他在 1916 年擬製了純粹電子放電的接收-放大管的某幾種型式，1921 年又擬製了第一隻水冷大型振盪

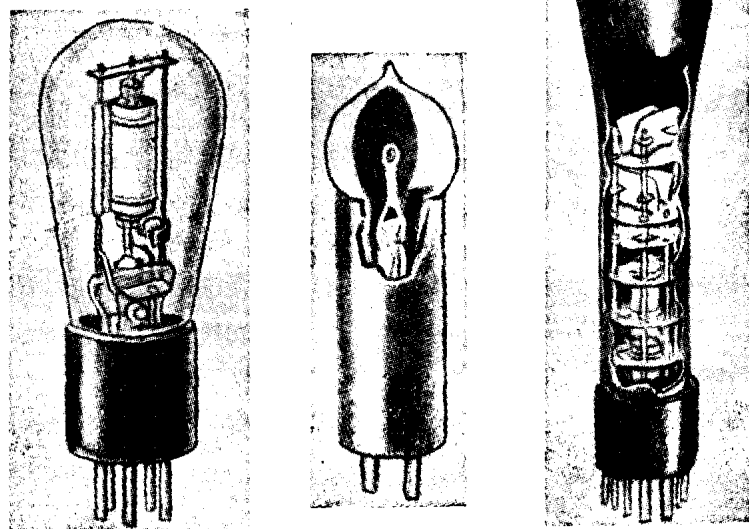


圖 1. 電子管、光電管和電子示波管的外形。

管)，而在電視體系方面，又有 B. Л. 羅新格教授（1907 年）。電真空儀器特別蓬勃的發展開始於第一次世界大戰期間，爲了無線電通訊，各種形式的接收-放大管和振盪管在這期間得到了急速和廣泛的發展。在最近四分之一世紀內，電真空儀器利用了真空和氣體裏各種形式的靜態電子現象，而在最近期間，這類儀器又開始在動態電子現象的某些形式的基礎上被設製出來。

先來介紹一下典型電真空儀器及其組成部分乃是有益的。圖 1 所示，是電子管、光電管和陰極示波管的外形。圖 2 則示三電極電子管的內部結構情形。爲了使管內可以長期保持良好的真空，管的內部空間被緊密地封閉。任何電真空儀器都具有玻璃或金屬製成的外殼（囊，泡） a ，殼內封入所謂芯柱管 κ ，但在另一種型式的囊裏，有時候這只是囊的一部分；經過這一部分，穿出了導電體的引線 g 。在握一樑 u 上固接着電子管的內部電極：電子受器——陽極 ν ，控制柵極 e 和電子產地——陰極 θ 。電子管與電路的連接，依靠與燈頭 δ 的插腳 B 焊接着的對外引線。管內真空的產生，有賴芯柱管裏抽氣管 M ，管內空氣就是經過這個抽氣管抽出去的。抽氣完畢後，抽氣管的末端即行封合。此後依靠塗在囊壁上的化學收氣劑 λ 進一步改善和保持囊內真空。收氣劑得自收氣劑小杯裏固定放着的化學藥片（或者得自這種收氣劑的其他來源）。

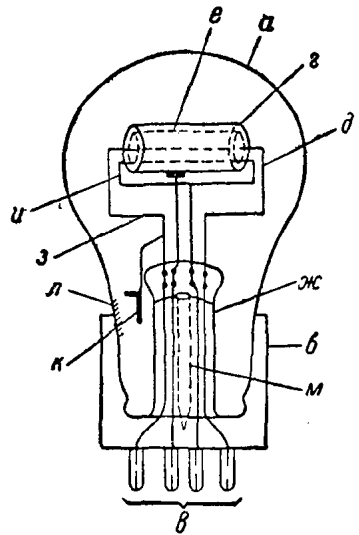


圖 2. 三電極電子管的內部結構。

自然的，由真空儀器的各種型式就其內部結構和外部形狀而言，差別是非常大的。但是大多數儀器都有上面所列舉的共同部分，雖然數

目上不見得老是跟電子管所具有的相同。

由於電真空儀器的型式在某些場合下（例如電子管）數目超過一千，所以研究它們時需要引用專門的名稱。對我們以後將要個別研討到的不同種類的儀器來說，它們的名稱也是互不相同的。

爲了希望對電真空儀器有所認識，我們自然要來研討所有各別型式的儀器。但是，爲了很快熟識實用中可能遇見的任一種儀器，必須很好地介紹一下它們的作用原理，也就是說，必須十分注意地研究儀器裏的電子物理過程。儀器裏利用各種電子物理過程的原理若能瞭解清楚，就不難懂得可能遲一些出現及以下未作研討的新儀器的作用。因此，必須認爲精密地通曉電真空儀器所起作用的物理基礎具有特別重大的意義。本書就是從研究這些物理基礎開始，這在研討每一各別種類的儀器時，也是採取這樣的方式。

第一章 得自電子理論的某些知識

1. 電子及其特性

電子的電荷和質量 如所週知，電荷在一定方向上的移動產生了電流。電荷可以在導體裏移動，可以在空間——高度真空——中移動，也可以在亂動的電中性粒子——氣體——之中移動。現代大多數電真空儀器的特點就在於它們內部電流經過相當澈底的真空，也就是說，經過氣壓比大氣壓力低得多的空間。在這種場合裏，荷電體通常是負電荷的元粒——電子。有時候，佔有多餘電子的分子或原子——負游子，或是失落電子的分子或原子——正游子，也担任着這樣的角色。

因而電真空儀器的電導(或者電阻)沒有普通固體導體例如金屬所具電導的特性。同時爲了瞭解這種儀器的作用，首先必須知道它們引導電流的能力是怎樣的，也就是說，要知道真空導電現象的規律，並因而要知道產生導電現象的粒子——電子和游子——的特性。由於電子是基本微粒，而原子和游子——是由其他東西組成的，它們不僅僅包含電子，所以關於電子的特性首先應有詳盡的認識。

電子是負電荷的最小微粒，它的電荷量值曾用不同方法作了多次測量，結果顯示，在所有情況下，這電荷的量值保持不變。根據現代最準確的測量，電子電荷等於：

$$e = 4.803 \cdot 10^{-10} \text{ 絕對靜電單位}$$

$$e = 1.605 \cdot 10^{-30} \text{ 絕對電磁單位}$$

$$e = 1.605 \cdot 10^{-19} \text{ 庫倫}$$

從代表電子電荷的最後一個式子可以算出，1個庫倫等於 $6.25 \cdot 10^{18}$ 個電子的電荷。

研究電子在真空電場和磁場裏的運動，得出來的結果得以決定電

子的質量，但是質量的大小顯得跟電子運動的速度有關。對運動速度比光速小得多的緩行電子來說，實驗方法曾經測定了電荷跟質量的比值：

$$\frac{e}{m} = 1.759 \cdot 10^7 \text{ 絕對電磁單位,}$$

$$\frac{e}{m} = 5.275 \cdot 10^{17} \text{ 絕對靜電單位,}$$

代入電子電荷的已知量值，得到電子質量的值：

$$m = \frac{1.605 \cdot 10^{-20}}{1.759 \cdot 10^7} = 9.108 \cdot 10^{-28} \text{ 克}$$

如果以這量值與所有原子之中質量最輕的氫原子質量 $m' = 1.673 \cdot 10^{-24}$ 克相比，可以顯出，電子質量比氫原子質量小了 1837 倍。

電子質量僅當它的速度不大時保持不變，電子速度增加時，它的質量跟着增加。根據相對論，任何物體的質量在其運動時應該按下式變化：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad (1.1)$$

這裏 m_0 —靜止物體的質量；

v —物體速度；

c —光速。

對普通比光速小得多的速度來說，質量的變化是根本不易覺察的。但是，如果速度跟光速相近，那末質量的變化也就成為實際上可以覺察的了。例如，令 $v = 0.9c$ ，則有：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0.9^2}} \approx 2.3m_0, \quad (1.2)$$

這就是說，在這樣大的速度下，電子質量增加二倍多。

電子在電場裏的運動 今來研討自由電子在電場裏的運動。

如果帶有電荷 $(-e)$ 的自由電子處在強度是 E 的電場裏面，那末電場作用在電子上的力等於 $(-eE)$ 。在這個力的作用下，電子經受着加

速作用或減速作用，它的速度和動能因而按照力學定律而起變化。

電子以速度 v_0 越過去的等電位面，它的電位用符號 V_0 代表。如果電子在其自身運動中，接着以速度 v_1 越過電位是 V_1 的另一等電位面，那末它的動能變化量應是：

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

因為這個動能變化是靠電場力所作之功發生的，而根據電位定義，功的大小等於 $e(V_1 - V_0)$ ，所以

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = e(V_1 - V_0) \quad (1.3)$$

顯然的，電子所經歷的加速電位差愈大，它在路徑末端所得的速度和動能也將愈大。

電子在電場內運動時，它所得到的速度數值可以確定。假定，在開始瞬間電子的速度是零（也就是 $v_0 = 0$ ），那末方程式(1.3)即取如下形式：

$$\frac{mv_1^2}{2} = e(V_1 - V_0). \quad (1.4)$$

在(1.4)式中，各量以其 CGS 單位制的值代入，所得能量量值當以爾格為單位。但是，爾格這個單位對測量像電子這樣小的粒子的能量來說，見得太大了些。因此，在電子工程和物理學上，電子能量通常用電子-伏特表示。一個電子-伏特等於電子在一個伏特（電位的一個絕對靜電單位的三百分之一）電位差的作用下，它的能量所發生的變化，即：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 電子伏特} &= e(1 \text{ 伏}) = 4.8 \cdot 10^{-10} \frac{1}{300} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ 爾格} \\ &= 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ 焦耳}, \end{aligned}$$

由於電子電荷 e 是定值，所以電子能量常是簡單地決定於它所經歷的電位差的伏特數。經歷了電位差 $V_1 - V_0$ 的電子，它的速度可從方程式(1.4)來作計算：

$$v_1 = \sqrt{2 \frac{e}{m} (V_1 - V_0)} \quad (1.5)$$

在這個式子裏代入比值 $\frac{e}{m} = 5.275 \cdot 10^{17}$ ，電位差的單位採用伏特，得到了：

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot 5.275 \cdot 10^{17} \cdot \frac{1}{300} (V_1 - V_0)} = 5.945 \cdot 10^7 \sqrt{V_1 - V_0}$$

$$\approx 6 \cdot 10^7 \sqrt{V_1 - V_0} [\text{厘米/秒}] = 600 \sqrt{V_1 - V_0} [\text{公里/秒}] \quad (1.6)$$

從 (1.6) 式可以得出結論，這就是電子速度(及其能量)僅僅決定於它所經歷的電位差，也就是說，我們又可以藉它所經歷的電位差的伏特數有條件地決定電子速度。表 1 所列，是電子經歷不同電位差時所得近似速度。圖 3 用圖形表出同一關係，並且也描上了這樣大的速度，這時候電子質量在這速度下像前面所述那樣開始增加。由於質量的增加，(1.6)式的關係遭受破壞。

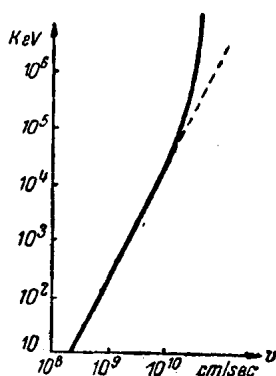


圖 3. 代表電子動能與其運動速度間的關係的圖形。

表 1

$V_1 - V_0$, 伏特.....	0.1	1	10	100	1000	10000
v , 公里/秒.....	190	600	1900	6000	19000	60000

在研究電子在電場裏運動的時候，也要考查一下電子軌道發生彎曲的可能性。假定電場是均勻的，也就是整個空間內電場強度大小一致，方向相同，那末，視電子初速方向及其大小之不同，可能有下面幾種情況。

1) 電子初速 v_0 與電場 E 的作用力方向相符，或是正好相反(圖 4)。這時候電子將作直線運動，並按照(1.3)式，或者均勻加速，或者均勻減速(視初速的方向而定)。

2) 電子運動的最初方向與電力線方向垂直。在這種情況下，電子

將沿圖 4 所示的拋物線運動，其情形與在地面上空水平拋出去的石子所作的運動一樣。

3) 如果電子初速方向與電力線方向成 α 角度(圖 5)，那末，可以將初速分成二個分速 v_{0n} 和 v_{0t} ——力線的法線方向的分速和切線方向的分速。在法線分速度 v_{0n} 的作用下，電子力求沿拋物線運動，跟只有這部分速度單獨作用着一樣。切線分速度 v_{0t} 使電子在電場方向以恆速 v_{0t} 產生附加的位移。因此電子軌道仍是拋物線形狀，雖然它已有了某些改變。

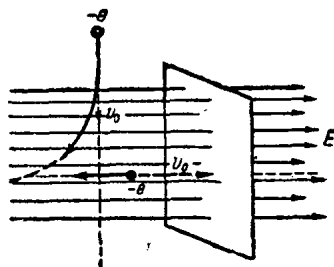


圖 4. 電子在電場裏的運動軌道
($\vec{v}_0 \parallel \vec{E}$ 及 $\vec{v}_0 \perp \vec{E}$)。

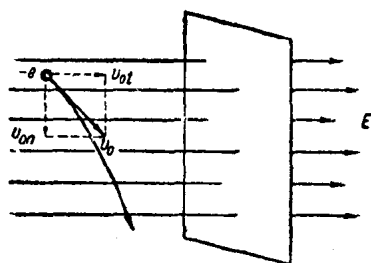


圖 5. 電子在電場內的運動軌道，設其初速方向與電場強度方向相交某一角度。

電子在恆定電場內的運動，當 $v_0 = 0$ 時，其情形與自由落體在地球引力場內的情形相似。由於作用在電子上的力恆定不變，所以電子加速度也是定值。

由此可以決定電子經過真空中的路徑 γ_a ——電極間的距離——所需的時間。電子在電場裏所受作用力等於：

$$eE = ma, \quad (1.7)$$

這裏 $E = \frac{V_a}{\gamma}$ ——電場強度；

a ——電子加速度。

電子在時間 t 內經過路徑 γ_a ，因此，

$$\gamma_a = \frac{at^2}{2} = \frac{eE}{2m} t^2 \quad (1.8)$$

由此定出飛行時間：

$$t = \sqrt{\frac{2m\gamma_a}{eE}} = \sqrt{\frac{2m\gamma_a^3}{eV_a}}.$$

算出定值 $\sqrt{2\frac{m}{e}}$ ，最後得到：

$$t = 3.35 \cdot 10^{-8} \frac{\gamma_a}{\sqrt{V_a}}, \quad (1.9)$$

這裏 t —以秒為單位；

r_a —單位是厘米；

V_a —單位是伏特。

可以簡要地說，電子飛行時間與極間距離成正比，與極間電位差的平方根成反比。

電子在磁場裏的運動 爲了確定磁場對在場內運動着的電子所起的影響，必須認識到移動着的電荷產生電流，及一個運動着的電子產生元電流 I_1 。這時候，場度是 H 的外來磁場作用在這個電流上的力，按照俾尤—薩哇定律，應該等於：

$$F = I_1 l H \sin \theta, \quad (1.10)$$

這裏 θ —磁場強度 H 和電流方向間的夾角；

l —被磁場作用着的導體段的長度。

若要決定一個電子在導體裏所產生的元電流 I_1 的量值，必須首先保證這個電流不致中斷這一條件。今使導體 l 的兩端彼此閉合。如果電子速度不變並且等於 v ，那末它在一秒鐘內沿着導體經過的路徑也等於 v 。它在一個方向上循環，每秒鐘越過導體每一截面共有 $\frac{v}{l}$ 次。因爲電流就是於一秒鐘內越過導體截面的電荷，所以它將等於：

$$I_1 = -\frac{ev}{l}. \quad (1.11)$$

以這個式子代入(1.10)式，得到：

$$F = -e\frac{v}{l} \cdot lH \sin \theta = -evH \sin \theta \quad (1.12)$$