

电 真 空 器 件

苏联 M. Д. 顧 萊 維 奇 著
M. Д. 顧 萊 維 奇
李 际 霖
李 学 仁 译
顧 林 根

人 民 邮 电 出 版 社

М.Д.ГУРЕВИЧ, М.Д.ГУРЕВИЧ
ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО МИНИСТЕРСТВА
ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА—1955

內 容 提 要

本書討論无綫电設備中所用的大部分电子管的結構、工作和特性。尤其着重敘述超短波电子管和脈冲管。本書的特点是講解清楚，分析深入，避免使用高深数学。

本書適合具有中等技术学校水平的讀者閱讀。

电 空 件

著 者： 苏联 М. Д. 顧 萊 維 奇
 М. Д. 顧 萊 維 奇
譯 者： 李 际 霖 李 学 仁 顧 林 根
出 版 者： 人 民 郵 電 出 版 社
 北京东四区6条胡同第3号
印 刷 者： 人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 厂
 南京太平路戶部街6号
發 行 者： 新 華 書 店

1957年9月南京第一版第一次印刷 1—3, 274册
850×1168 1/32 216頁 印張 $13\frac{1}{2}$ 印刷字數324,000字 定價(10)2.20元

★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号★

統一書：15045·总648-无180

目 錄

緒 論

- § 1. 电真空器件在現代技术中的作用…………… (1)
- § 2. 电真空器件的作用原理和構造…………… (1)
- § 3. 电真空器件的分类…………… (5)
- § 4. 簡短的歷史…………… (7)

第 一 章 物質構造、电場和电子的性質的簡論

- § 1. 原子結構…………… (1)
- § 2. 电場…………… (2)
- § 3. 电位…………… (4)
- § 4. 电子在电場和磁場中的运动…………… (7)
- § 5. 真空中的热电流…………… (12)

第 二 章 陰極的構造和工作

- § 1. 概述…………… (13)
- § 2. 电子放射現象…………… (14)
- § 3. 热放射…………… (16)
- § 4. 冷放射…………… (18)
- § 5. 光电放射…………… (18)
- § 6. 二次放射…………… (19)
- § 7. 热陰極的性質和参数…………… (20)
- § 8. 鎢陰極…………… (22)
- § 9. 敷鈦陰極…………… (23)
- § 10. 碳化陰極…………… (24)
- § 11. 氧化物陰極…………… (25)

- § 12. 鎢陰極..... (27)
- § 13. 脈冲放射..... (28)
- § 14. 氧化物陰極的結構..... (30)
- § 15. 陰極的使用規則..... (33)

第三章 二極管

- § 1. 概述..... (34)
- § 2. 二極管的作用原理..... (35)
- § 3. 空間电荷..... (36)
- § 4. 二極管的特性曲綫..... (39)
- § 5. 二極管的参数..... (44)
- § 6. 二極管的应用..... (50)
- § 7. 小功率二極整流管和二極管的主要类型..... (60)
- § 8. 二極管的使用規則..... (62)

第四章 三極管

- § 1. 概述..... (63)
- § 2. 三極管的作用原理..... (64)
- § 3. 有效电压..... (67)
- § 4. 三極管的特性曲綫..... (71)
- § 5. 柵流..... (75)
- § 6. 气体对三極管特性曲綫的影响..... (78)
- § 7. 三極管中的負阻效应..... (80)
- § 8. 三極管的应用范圍和結構..... (81)
- § 9. 三極管的参数..... (83)
- § 10. 电子管內部方程式..... (90)
- § 11. 参数的測定法..... (91)
- § 12. 电子管的極間电容..... (95)
- § 13. 特性曲綫上的工作点及其选择..... (96)
- § 14. 負偏压加到柵極上的方法..... (98)

第五章 接收放大管

- § 1. 概述..... (100)
- § 2. 动态特性曲綫..... (101)
- § 3. 用作电压放大器的三極管..... (107)
- § 4. 用作功率放大器的三極管..... (118)
- § 5. 四極管..... (124)
- § 6. 五極管..... (133)
- § 7. 变跨導的五極管..... (139)
- § 8. 束射四極管..... (141)
- § 9. 接收放大管的使用規則..... (145)

第六章 复合管和变频管

- § 1. 概述..... (146)
- § 2. 复合三極管和复合二極管..... (146)
- § 3. 帶有五極管的复合管..... (148)
- § 4. 电子調諧指示器..... (149)
- § 5. 变频管和混頻管..... (151)

第七章 超高频接收放大管

- § 1. 概述..... (157)
- § 2. 超高频放大的特征..... (157)
- § 3. 超高频电子管中柵極和陰極間的距離..... (160)
- § 4. 輸入導納..... (162)
- § 5. 米波段和分米波段放大管的参数和結構..... (175)
- § 6. 柵極接地的三極管..... (179)
- § 7. 米波段和分米波段的二極管及晶体檢波器..... (183)
- § 8. 电子管內的噪声..... (185)

第八章 振盪管

- § 1. 概述..... (188)

§ 2. 他激电子管振盪器	(189)
§ 3. 自激电子管振盪器	(196)
§ 4. 振盪管的参数	(197)
§ 5. 振盪管的类型和結構	(203)
§ 6. 振盪管的运用	(212)

第九章 超短波 (米波段和分米波段的) 振盪管

§ 1. 概述	(214)
§ 2. 超短波段內振盪的特点	(215)
§ 3. 超短波电子管的参数	(220)
§ 4. 米波段的振盪管結構和类型	(222)
§ 5. 產生分米波电子管	(227)
§ 6. 米波段和分米波段振盪管的运用	(230)

第十章 脈冲振盪管

§ 1. 概述	(231)
§ 2. 振盪管在脈冲状态下的工作	(232)
§ 3. 脈冲管的参数和結構	(242)
§ 4. 脈冲調制管	(244)
§ 5. 脈冲管的运用	(249)

第十一章 厘米波段中振盪的產生和放大

§ 1. 概述	(251)
§ 2. 腔式回路	(251)

調 速 管

§ 3. 概論	(253)
§ 4. 速度調制的方法	(254)
§ 5. 放大和振盪的調速管	(259)
§ 6. 調速管的振盪状态	(262)
§ 7. 調速管的效率	(266)

- § 8. 双腔調速管的調諧…………… (266)
- § 9. 热膨脹現象…………… (268)
- § 10. 反射調速管…………… (268)
- § 11. 反射調速管的振盪条件…………… (270)
- § 12. 电子調諧…………… (273)
- § 13. 反射調速管的結構…………… (274)

磁 控 管

- § 14. 概論…………… (276)
- § 15. 磁控管振盪器…………… (280)
- § 16. 多腔磁控管中的能量轉換机構…………… (289)
- § 17. 多腔磁控管的工作特征和类型…………… (294)
- § 18. 多腔磁控管的使用…………… (299)

第十二章 电子束管

- § 1. 概述…………… (300)
- § 2. 电子束管的作用原理…………… (301)
- § 3. 电子光学系統…………… (303)
- § 4. 静电偏轉系統…………… (308)
- § 5. 静电控制的电子束管灵敏度…………… (310)
- § 6. 静电控制的电子束管接綫圖…………… (312)
- § 7. 静电控制的特种电子束管…………… (315)
- § 8. 荧光屏…………… (320)
- § 9. 帶余輝的屏…………… (321)
- § 10. 荧光屏的工作状态…………… (321)
- § 11. 磁控制的电子束管…………… (322)
- § 12. 磁聚焦…………… (323)
- § 13. 磁偏轉系統…………… (325)
- § 14. 电子束管的使用規則…………… (327)

第十三章 气体放电管

- § 1. 概述..... (329)
- § 2. 充气二極管..... (330)
- § 3. 閘流管..... (342)
- § 4. 水銀整流器..... (356)
- § 5. 引燃管..... (364)
- § 6. 輝光放电..... (366)
- § 7. 輝光放电管..... (371)
- § 8. 充气(離子)放电器..... (378)
- § 9. 触發管..... (383)

第十四章 光电管

- § 1. 概述..... (385)
- § 2. 光电放射及其定律..... (386)
- § 3. 外光电效应的光电管..... (388)
- § 4. 外光电效应的光电管的特性曲綫和参数..... (389)
- § 5. 光电管的接綫圖和参数..... (394)
- § 6. 内光电效应的光电管..... (395)
- § 7. 阻層(閘式)光电管..... (396)
- § 8. 光电效应的应用..... (398)

第十五章 各种輔助管

- § 1. 穩流管..... (406)
- § 2. 热敏电阻..... (408)
- § 3. 真空热电偶..... (409)
- § 4. 真空热繼电器..... (411)

参考書目

第一章 物質構造、電場和電子的性質的簡論

§ 1. 原子結構

偉大的俄國學者 Д·И· 門捷列夫還在發現複雜的原子結構很久以前，第一次確定了分佈在他所提出的表格中元素性質的周期性，該表稱為元素的周期表。這個表中曾有過未填滿的地方，它應該被一些已被確定了性質的元素所佔據，而這些元素在當時還未發現。門捷列夫的發現後來得到了極好的証實：因每一種新發現的元素，在表中都有其位置，而且它的性質也符合周期表的作者所預言的性質。

現代的原子結構學說充分地解釋了元素性質的周期性（元素的周期表）。原子是一個複雜的體系，它由帶正電荷的核和帶負電荷的電子所構成，這些電子沿着一定的複雜軌道繞核旋轉並形成了原子的電子殼層。在正的核和負的電子之間電的吸引力被電子旋轉的離心力所平衡。原子核是由基本質點——質子和中子所組成。質子具有絕對值等於電子電荷的基本正電荷，而它的質量幾乎等於氫原子的質量。中子不帶電（它的電荷等於零），而它的質量等於質子的質量。原子核的正電荷等於核內的質子數 Z 。這個數稱為元素的原子序數，它確定了元素的化學性質和在門捷列夫周期表中的位置。中子數 N 和質子數 Z 的總和等於原子量 A ，即

$$A = N + Z。$$

假使原子的电子壳層中电子数等于核中的質子数，电子壳層电荷（負的）和核电荷（正的）就彼此相抵消，即原子的电荷等于零——原子呈中性。

最簡單的原子核是由一个質子所構成，圍繞核旋轉的也只有一个电子。这个体系就形成了原子量等于一的氫原子。

原子在外界的影响下（如强电场、高温、紫外线或倫琴射线、具有足够速度的电子或別种核的撞击），会失去一个或几个电子，該电子飛离原子的电子壳層范围而成为自由电子。

原子即使失去了一个电子，也就不再呈中性了，而变为帶正电荷的原子，因为剩下的电子的負电荷已經不能完全抵消原子核的正电荷。这样的原子称为正离子。正离子电荷的絕對值等于它所缺少的电子的电荷。有时电子由外界進入中性原子，則原子即变成帶負电荷。这种原子称为負离子。

在气体中多半是形成正离子，因为原子失去电子比獲得电子容易些。中性原子轉变为离子的过程称做原子的电离或簡称电离。

离子与多余的电子相結合，或失去多余的电子而还原成中性原子的过程称为消电离或者是离子的复合。

当不同的原子所組成的分子电离时，便形成正离子和負离子。

§ 2. 电 場

电场是物質的特殊形态，特别是表现在作用于电场中电荷的力上。

作用于电场中点电荷 Q 上的力 F 等于电荷 Q 与电场强度 E 的乘积：

$$F=QE \quad (1.1)$$

作用于電場中正電荷上力的方向，認為是電場的正向。電場总是由正電荷指向負電荷（或由大的正電荷指向小的正電荷）。

假使位于電場中的電荷沿着作用于它的力的方向由一點移到另一點，它就畫出一條綫，叫做電力綫。把一些類似的綫畫在紙上，我們就得到了關於電場性質的顯明的概念。電力綫的方向與電場力的方向重合。作用于場內某點上的電荷的力是沿該點上電力綫的切綫方向。電力綫起始與終止在導體的表面上，它們“進出”導体的方向和表面成直角。

用電力綫的圖示來表示電場就容易理解很多現象，因而常常用它。當然，電力綫并不具有任何現實的物理性質。

在圖 1.1 中用電力綫示出帶正電荷和帶負電荷的孤立球體的電場力的分佈情形，而圖 1.2 則表示兩個帶異性電荷球體的電場分佈。

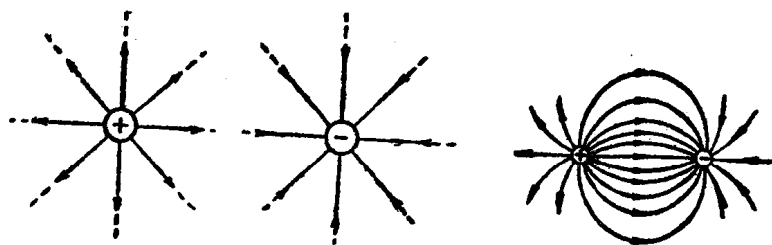


圖 1.1 單獨的正電荷和負電荷的電場 圖 1.2 兩個帶異性電荷球體的電場

我們假定把垂直穿過單位面積的一根電力綫當作電場強度的單位。所以，圖中某處的電力綫密度也就表示出該處的電場強度。

圖 1.3 示出兩塊帶異性電荷平板之間的電場。在兩板之間的中間部分，電力綫相互平行，且沿平板作均勻的分佈。這種電場稱為均勻電場。在均勻電場中所有各點上的電場強度 E 是一樣的。在板的邊緣處的電力綫變為曲綫，它們之間的距離增大了，就是說電力

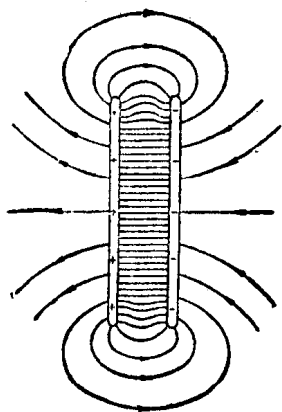


圖 1.3 兩塊帶異性电荷平板之間的電場

綫的密度是变化的。这种電場称为非均匀電場。

电荷在電場中的運動

電場中的自由电荷，力圖沿着作用于它的力的方向运动。假使电荷沒有慣性（即它的質量等于零），那么它的运动軌跡將与通过电荷最初位置的一点的任意形状的力綫相重合。具有質量的帶电質点是可能沿弯曲的

电力綫移动的（圖1.4）。在A点有一沿力綫1的切綫方向的力 F_A 作用于質点。在該力作用下移动的質点在力的方向得到某种速度。在B点（离A点任意近）的帶电質点在慣性力和電場力 F_B （沿着电力綫2的切綫方向）的作用下沿合成方向BC移动。由此可以看到質点运动的軌道是不可能跟电力綫方向相重合的。

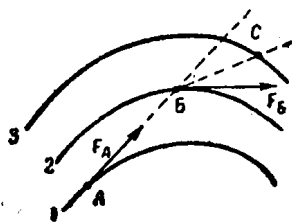


圖1.4 具有慣性的电荷在電場中的运动

§3. 电 位

電場中的电荷 Q 要受到力 F 的作用。当电荷移动时，電場力 F 就对它作功。

電場力使單位正电荷由場內某点移到无限远处（沒有電場的地方）所作的功，称为該点的电位。电位以字母 U 表示，單位用伏特量度。

假使正电荷由場內某点移动是沿电場的方向進行，則該点电位为正，因为电場力移动該电荷須消耗功。假使正电荷由該点沿着与电場相反的方向移动，則該点电位为負，因为电荷移动必須由外界对它作功（电荷反抗作用于它的电場力而移动）。

当單位正电荷沿电場的方向由点 1 移到点 2 时，电場力所作的功为：

$$A_{12} = A_1 - A_2 = U_1 - U_2 \quad (1.2)$$

式中 A_1 和 A_2 是点 1 和点 2 的电位，也就是使电荷从点 1 和点 2 移到无窮远处所作的功。

式 (1.2) 表明，將單位正电荷由一点移到另一点所作的功等于这两点的电位差。假使 $U_2 > U_1$ ，則电位差 $U_1 - U_2$ 为負；因而，功 A_{12} 不是电場力所作，而是外力所作的。其实，如果 $U_2 > U_1$ ，則电荷由低电位的点 1 移到高电位的点 2 將反抗作用于它的电場力。

对于在均匀电場內沿电力綫方向移动的电荷（电荷运动的全部路程中場强 E 是不变的）來說，所作的功应为：

$$A_Q = Fl,$$

式中 F 是作用于电荷 Q 上的电場力；

l 是电荷所經過的路程。

因为 $F = EQ$ ，則

$$A_Q = Fl = EQl \quad (1.3)$$

移动电荷所作的功也可以用路程 l 上的始点与終点的电位差來表示，

$$A_Q = Q(U_1 - U_2) \quad (1.4)$$

比較式 (1.3) 和 (1.4)，我們得到：

$$A_Q = EQl = Q(U_1 - U_2) \quad (1.4)$$

由此得

$$E = \frac{U_1 - U_2}{l} \quad (1.5)$$

即均匀电场强度等于电场内在同一根电力线上的任意两点间的电位差被该两点间的距离除。场强用每厘米的伏特数来量度（伏/厘米）。

在两块平行板电极中间的空间内（在均匀电场内）的电场强度等于

$$E = \frac{U_1 - U_2}{d}, \quad (1.6)$$

式中 $U_1 - U_2$ 是电极间的电位差；

d 是电极间的距离。

在不均匀电场中，由一点到另一点的强度大小是变化的。非均匀电场内任意点的电场强度要根据两邻近点的电位差 ΔU 来确定。假使两点间的距离 Δx 足够小（而它始终能够选择任意小的值），即可认为电场强度 E 在 Δx 整个长度上是相同的（电场均匀的）。

那么

$$E = \frac{\Delta U}{\Delta x}. \quad (1.7)$$

距离 Δx 愈小， $\frac{\Delta U}{\Delta x}$ 就愈近于真正的 E 值。

图1.5示出了电位为 $U_2 = +U$ 和 $U_1 = -U$ （即电位差 $U_{21} = U_2 - U_1 = 2U$ ）的两块平行板间（图1.5, a）的均匀电场的电位变化曲线。沿 X 轴（图1.5, b 和 c）表示由一个平板（在此情况下是由左边板）到电极间的电场中各点之距离，沿 Y 轴表示这些点的电位。

圖 1.5.6 中的零電位是在兩板之間的中點，距兩板的距離都為 $X = \frac{d}{2}$ ，而在圖 1.5.6 中是假設左板的電位為零。

在平板之間的均勻電場中，選定的一點對任一平板的電位與該點到平板的距離成正比。

電場強度 E 的定義為單位長度內電位的變化。圖 1.5 中的電位是沿傾斜直線變化的，即所有各點上的比值 $\frac{\Delta U}{\Delta x}$ 都相同，因而電場強度 E 在圖中畫成和橫坐標平行的直線。

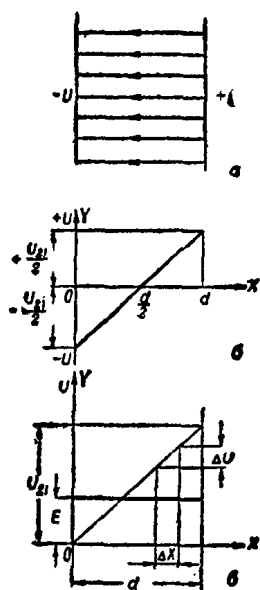


圖 1.5 兩塊帶異性電荷的板間電位與電場強度的曲線

§ 4. 電子在電場和磁場中的運動

電子是最小的（不可分的）負電荷。

電子電荷 e 是一個常數。許多學者曾用各種方法測量過它。同時得到的 e 值是有些出入的，但它們都在 4.758×10^{-10} 到 4.830×10^{-10} 絕對靜電單位的範圍內。

通常應用以下單位：

$$e = 4.774 \times 10^{-10} \text{ 絕對靜電單位} = 15.91 \times 10^{-20} \text{ 庫侖(庫)}。$$

根據實驗測定的電荷與質量的比值：

$$\frac{e}{m_0} = 1.769 \times 10^8 \text{ 庫/克} = 1.769 \times 10^7 \text{ 絕對電磁單位，由此得電子質量}$$

$$m_0 = 9 \times 10^{-28} \text{ 克。}$$

这个数值是电子的静止质量。根据相对论知道，运动的电子质量是与它的运动速度 v 有关的：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (1.8)$$

式中 c 是光在真空中传播的速度。

当速度不大，比值 $\frac{v}{c}$ 很小时， m 与 m_0 的值差别很小。假使 $v = c$ ，式 (1.8) 中的分母等于零，而质量应当等于无限大。当然，这是不可能的，所以电子无论如何也不能达到光速 c 。

例 以速度 $v = 50000$ 公里/秒运动的电子的质量 m 对静止的电子的质量 m_0 的比值（光速 $c = 300,000$ 公里/秒）等于：

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{50000}{300000}\right)^2}} = 1.015。$$

当电子速度 $v = 290000$ 公里/秒时

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{290000}{300000}\right)^2}} \approx 3.8。$$

电子在两块平板电极间的均匀电场内的运动

电子在加速场内的运动。在点 1 处的电子（图 1.6）受到由负电极到正电极的电场力 $F = Ee$ 的作用。电子受到加速，并以不断增加的速度 v 沿着力 F 方向移动。这时电场力做功，使电子获得动能。

电场使电子由点 1 移到点 2 所作的功 A_1 等于电子的电荷 ($-e$) 与这两点间电位差的乘积：

$$A_s = (-e)(U_1 - U_2)。$$

因為在所討論的情況下電位 U_1 低於電位 U_2 , 即電位差 $U_1 - U_2$ 為負, 如用 $(-U)$ 表示它, 則得

$$A_s = (-e)(-U) = eU。$$

此時電場力是在作正功, 即電場放出能量。根據能量守恆定律, 功 A_s 應該等於電子從點1移至點2的路程上所獲得的動能 A_k :

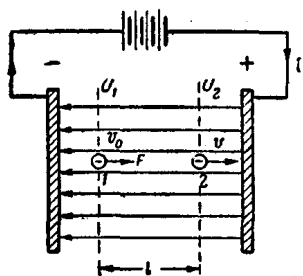


圖 1.6 電子在加速場中的運動

$$A_k = \frac{m(v^2 - v_0^2)}{2} = A_s = eU, \quad (1.9)$$

式中 v_0 和 v 是電子在點1和點2處的速度。

假使電子初速等於零($v_0 = 0$), 則由式(1.9)得到:

$$eU = \frac{mv^2}{2}。 \quad (1.10)$$

由此可以確定電子飛過電位差為 U 的加速場後的速度:

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U}。 \quad (1.11)$$

將 $\frac{e}{m}$ 的數值和電壓的絕對靜電單位轉換成伏的係數代入, 得到表示電子速度的下列公式:

$$v = 5.948 \times 10^7 \sqrt{U_s} \text{ 公分/秒} \approx 600 \sqrt{U_s} \text{ 公里/秒}, \quad (1.12)$$

式中 U_s 是電子通過的電位差, 單位為伏。

由式(1.12)可以看出, 電子速度可以有條件地用伏來表示。速度 v 的實際數值由公式(1.12)來計算。例如, 假使電子的速度等於