

高等学校教学用书



电子管计算基础

Ю. А. 卡次曼 著

南京工学院无线电工程系 电子管教研组 离子管教研组 集体翻译

高等教育出版社

本書系根据苏联国立动力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版的卡次曼 (Ю. А. Кацман) 著“电子管計算基础”(Основы расчета радиоламп) 1952 年版譯出。

本書闡述了在工程上按照电子管工作情况及其应用于無線电电路中的数据来計算电子管参量的方法,以及按照得出的参量来决定电子管的几何尺寸的方法。同时为了論証所引用的計算方法起見,書中對理論問題也有所討論。

本書系供研究电子管計算与設計問題的学生、工程师和科学工作者之用。

参加本書翻譯或校对工作的有南京工学院無線电工程系馬鳳祥、曹世昌、陈俊美、刘树杞、陆鍾柞、魏先任、屠寿康、沙玉鈞、閔詠川、徐淦卿、莫純昌、沈庆核等同志。

电子管計算基础

Ю. А. 卡次曼 著

南京工学院無線电工程系电子管教研組
电子管教研組集体翻譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

上海劳动印刷廠印刷 新華書店總經售

統一書號 15010·311 開本 850×1163 1/32 印張 94/16 字數 220,000

一九五七年三月第一版

一九五七年三月上海第一次印刷

印數 1-8,800

定價 (10) 1.43

序

电子管計算与設計的研究,是無線电工程电子学中最重要的一問題之一。苏联学者对这个問題曾作出一系列的貢獻。

首先,В. И. 沃婁金 (Волькин) 曾就計算与設計問題作了研究,提供了一系列關於陰極、整流管和振盪管的獨創的計算。在收信放大管的計算与設計問題上,А. А. 沙波什尼可夫 (Шапошников) 作了很多貢獻,他的著作長期是每一个电子管專家的基本参考書。

在电子管計算的研究方面,Г. А. 格林貝爾格 (Гринберг), В. С. 盧柯什可夫 (Лукошков), С. А. 祖斯馬諾夫斯基 (Зусмановский), В. И. 耶基阿查罗夫 (Егiazаров), Е. Л. 波特古爾斯基 (Подгурский) 和其他學者們完成了很多的工作。

關於超高频电子管的計算問題,在作者一系列的著作中和 В. Е. 尼柯爾斯基 (Никольский), Н. Д. 傑夫亞特可夫 (Девятков), Л. А. 柯多明娜 (Котомина), М. С. 聶依曼 (Нейман) 及其他學者的著作中,都曾作過研究。

上述著作的問世,使得在国外長期被作为电子管計算方面的唯一参考書——日本學者楠瀬雄次郎的“电子管計算与三極管設計”,不再显得太重要了。

在战争年代中,在美国出版的關於电子管計算方面的講稿中,曾引用了一些較新的材料,但这仍然不能滿足現代的需要。

这样,苏联學者們的著作就成为主要的文献。当然,这不是偶然的事情,而是由於社会主义国家中科学發展的条件,以及党和政府 and 斯大林同志本人对學者們和他們工作的关怀所決定的。

本書介紹了作者在研究“电子管的工程計算与設計”这一教程中的工作成果,这成果是以作者在以B. И. 烏里揚諾夫(列宁)命名的列宁格勒电工学院中,对專門研究电子学的学生們所作的,关于这门課程的多年講授为基础的。在这門課程中,以由作者所研究出的最大电流法作为計算普通电子管的基础。这方法使得以“校直特性”为根据的無線电工程上的計算与电子管的計算相結合,因为在最大电流点上,实际的和校直的特性是相重合的。除此以外,把所有計算归結到对应於管中电极上最大电位的最大电流点的計算,就使我們有可能略去很多細小因素的影响;並且可以在电子管的参量与几何尺寸之間获得較簡單的相互关系。在研究了普通电子管的計算与設計之后,書中講述了对超高频电子管的計算。

要获得对計算与設計所必需的相互关系,需要研究电子管理論上的某些問題,而与此有关材料,也已引述在本書中。为了熟悉屬於电子管普通教程的理論,讀者可參閱B. Ф. 符拉索夫(Власов)教授的基本教科書“电子管”。^①

本書是編写关于电子管的工程計算与設計的有系統教程的初次嘗試。應該注意,在書中所述及的設計問題仅只限於电极几何尺寸的确定。

作者在本書中只引用了業已表示成为适用於工程計算的形式的那些材料。至於对各种类型的电子管的計算与設計的所有問題,作者不打算作完備的闡述。这一方面正在进行的工作,一定会使我們能在將來对迄今尚未闡明的问题,也加以論述。

對於对本書提供宝贵批評意見的С. А. 奧巴林斯基(Оболенский), А. А. 索罗金(Сорокин), Н. Д. 傑夫亞特可夫, Г. А. 舒斯汀(Шустин), С. А. 祖斯馬諾夫斯基, Б. М. 察廖夫(Царев)及B. Ф. 柯瓦連科(Коваленко),作者衷心向他們表示感謝。

① 按此書中譯本上下兩册,已由高等教育出版社出版。

作者非常感謝 В. Ф. 符拉索夫, 他不辭辛苦地擔任了本書的校閱工作。

作者謹向講師 Н. И. 卡次曼 (Кацман), 研究生 В. И. 帕諾夫 (Панов), И. И. 集里別爾曼 (Зильберман), З. А. 穆林娜 (Мурина) 及 П. П. 德拉吉且斯克 (Драгическ) 表示謝意, 因為他們曾幫助訂正手稿及核對例題。

凡有助於改進本書的意見與批評, 都請寄交: 列寧格勒涅夫斯基大街 28 號國立動力出版社 (Ленинград, Невский пр., 28, Госэнергоиздат.)。

目 录

序	3
第一章 陰極的計算和設計	9
§ 1. 理想陰極的計算	9
§ 2. 已知几何尺寸的实际陰極的計算	13
§ 3. 实际陰極几何尺寸的設計	18
§ 4. 碳化陰極的近似計算和設計	21
§ 5. 氧化物陰極的近似計算和設計	24
1. 原始数据	24
2. 直熱式氧化物陰極的計算和設計	25
3. 旁熱式氧化物陰極的計算和設計	29
4. 結論	35
§ 6. 实验用电子管的結構中鎢陰極加热电流的近似決定	36
第二章 二極管的計算和設計	44
§ 1. 二極管电导的計算	44
§ 2. 根据整流情况的数据对整流管參量的計算	59
§ 3. 按給定參量对二極管几何尺寸的設計	65
第三章 陰極与板極間渡越角 $\zeta < 0.1\pi$ 的三極管的計算和設計	75
§ 1. 三極管中的电子电流控制的計算	75
§ 2. 最大电流法应用範圍的討論	91
§ 3. 振盪管參量的計算	95
§ 4. 低頻功率放大管參量的計算	107
1. 甲类情况	107
2. 乙类情况	110
3. 結論	113
§ 5. 脈冲調制管參量的計算	119

§ 6. 按照給定參量对三極管几何尺寸的設計	125
1. 計算放大系数的公式	125
2. 按照給定參量決定陰極与柵極間的距離	135
3. 按照給定的三極管放大系数決定柵絲螺距	141
4. 板極發散功率所需表面的決定	145
第四章 工作在陰極与板極間渡越角 $\zeta < 0.1\pi$ 时的多極管	
的計算	150
§ 1. 陰極电流的計算	150
§ 2. 參量的計算	154
§ 3. 电流流通的計算	159
第五章 靜电控制超高频 (電極間渡越角 $\zeta > 0.1\pi$) 电子管	
的計算	182
§ 1. 渡越時間的計算	182
§ 2. 輸入电导的計算	191
§ 3. 复数跨导的計算	200
§ 4. 复数跨导的相角对自激振盪管效率的影响的計算	206
§ 5. 超高频放大管第二类參量的計算	210
§ 6. 工作在第二类振盪的振盪管的近似計算	215
§ 7. 計算公式对圓柱極电子管的应用	224
第六章 动态电流控制的电子管 (調速管) 的計算	229
§ 1. 起始假定	229
§ 2. 速度調制和輸入电导的計算	243
§ 3. 在渡越空間中形成的交流电流的計算	246
§ 4. 調速管的放大系数、輸出功率和效率的計算	259
§ 5. 沒有正离子抵消空間电子电荷的直流分量时, 电子流中的現象的計算	277
附录: 用作电子管板極的某些材料的最高允許温度和單位面	
积發散功率	296

第一章 陰極的計算和設計

§ 1. 理想陰極的計算

在物理的、化学的和几何的意义上都是均匀的直線形陰極，通常称为理想陰極。

在实际陰極上，由於冷端的影响，溫度的分佈是不均匀的。但是为了对实际陰極进行約略的計算，作为初步的近似算法，可以把它們看作理想陰極。自然，在陰極的全長中，冷端部分所佔分量愈小，則近似度愈大。

關於長度和直徑各为 1 厘米的理想鎢絲陰極的計算，其原始数据是發散功率 P' (瓦)、电阻 R' (欧)、加热电流 I' (安)、加热电压 U' (伏)、發射电流 I_s' (安) 和蒸發速率 M' (克/秒) 等量。这些数据，在鎢陰極可以工作的範圍內，作为溫度的函数引列在下面的表 1.1 中。在表中，溫度用凱氏度数来表示。

为了从長度和直徑都是 1 厘米的陰極(所謂“單位陰極”)轉化到長度为 l 和直徑为 d 的陰極，可以应用下面这些公式：

$$\left\{ \begin{array}{l} P = P' l d, \end{array} \right. \quad (1.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R = R' \frac{l}{d^2}, \end{array} \right. \quad (1.2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U = U' \frac{l}{\sqrt{d}}, \end{array} \right. \quad (1.3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I = I' d^{\frac{3}{2}}, \end{array} \right. \quad (1.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_s = I_s' l d. \end{array} \right. \quad (1.5)$$

表 1.1 關於理想鎢絲

$T^{\circ}\text{K}$	1800	1900	2000	2100	2200
P' [瓦]	44.54	58.45	75.37	95.69	119.80
R' [10^{-6} 欧]	63.74	67.94	72.19	76.49	80.83
I' [安]	836.00	927.40	1022.00	1119.00	1217.00
U' [10^{-3} 伏]	53.28	63.02	73.75	85.57	98.40
I_s' [安]	1.40×10^{-4}	7.15×10^{-4}	3.15×10^{-3}	1.23×10^{-2}	4.17×10^{-2}
M' [克/秒]	2.97×10^{-15}	4.62×10^{-14}	5.51×10^{-13}	4.95×10^{-12}	3.92×10^{-11}

理想鎢絲陰極的壽命或使用期限,可以按照下式來估計:

$$t = 8.45 \times 10^{-3} \frac{d}{M'} \frac{1 - q^{\beta}}{\beta} [\text{小时}], \quad (1.6)$$

式中, q 是使用期限終了時陰極的直徑對始初直徑的比值, β 是一個係數, 它的數值決定於陰極的應用情況和陰極的溫度。上面這個式子是 B. И. 沃婁金 [參考書刊 1] 對各種運用情況所推導出來的普遍公式。

在表 1.2 中列出了從 $T = 2300^{\circ}\text{K}$ 到 $T = 2600^{\circ}\text{K}$ 的溫度範圍內鎢絲的係數 β 的數值, 以及在不同定義下, 用相對單位來表示的陰極壽命。

表 1.2

保持不變的量	係 數 β	用 相 對 單 位 來 表 示 壽 命		
		$q=0.95$	$q=0.90$	發射降低 20%
功 率 P	9.14	0.82	0.68	0.218
電 阻 R	-62.3	7.45	113	0.033
電 流 I	33.9	0.49	0.286	—
電 壓 U	-5.46	1.18	1.43	0.244
發 射 I_s	2.63	0.96	0.92	—
溫 度 T	1	1	1	1

當 q 劇烈地減小時, 陰極就要燒斷。在這種情況下, q^{β} 的數值遠小於 1, 所以公式 (1.6) 成為:

陰極計算的原始数据

2300	2400	2500	2600	2700	2800
148.20	181.20	219.30	263.00	312.70	368.90
85.22	89.65	94.13	98.66	103.22	107.85
1319.00	1422.00	1526.00	1632.00	1741.00	1849.00
112.40	127.50	143.60	161.10	179.70	199.50
1.28×10^{-1}	0.364	0.935	2.250	5.120	11.110
2.45×10^{-10}	1.37×10^{-9}	6.36×10^{-9}	2.76×10^{-8}	9.95×10^{-8}	3.51×10^{-7}

$$t_{\max} = 8.45 \times 10^{-3} \frac{d}{M'\beta} [\text{小时}]. \quad (1.6')$$

在表 1.2 中, 寿命規定为陰極直徑減小 5% ($q=0.95$) 或 10% ($q=0.90$) 的时间, 或者發射降低了 20% 的时间。在实际上計算鎢陰極的使用期限时, 通常採用直徑減小 10% 的时间作为寿命标准。

在計算任何均匀材料所制成的理想陰極时, 如果它的 P' 、 R' 、 I' 、 U' 、 I_s' 、 M' 和 β 等量是已知的, 前面的公式都可应用。

由於支柱的存在, 实际的陰極有着冷端, 加热温度沿陰極而改变, 这样, 除陰極輻射損耗外, 还引起热量傳到支柱上去的損耗, 因而使得公式(1.1)不准确。公式(1.2)、(1.3)和(1.5)也显得不够准确, 由於冷端的影响, 將得出过大的陰極电阻、陰極加热电压和發射的数值。应用公式(1.4)可以得到远較良好的結果。對於充分長的陰極來說, 它的冷端比之全長是很小的, 实际上不影响中部的温度, 这个公式具有工程上計算所需要的准确度。

应用公式(1.3)和(1.5)来計算实际陰極时, 必須同时決定适当的冷端影响的修正。如果不作修正, 那末根据这些公式所作的計算應該看做是約略的。至於提到公式(1.6)和(1.6'), 当它們应用到实际陰極上时, 只能作为对長的陰極的大概估計。在 $\beta < 0$ ($U = \text{常数}$; $R = \text{常数}$) 的情況下, 它們在应用时的誤差特別显著,

因为这时理想陰極的温度逐渐接近室温,使用期限將沒有止境。日常經驗指出,在这样的情况下,实际的陰極也是要燒斷的。

这些現象的解釋,像 B. И. 沃婁金所指出的,是由於支柱的冷却作用使得沿陰極全長上各部份的蒸發不均匀。不均匀的蒸發使得陰極中間部份变細,而在兩端实际上沒有改变。結果是,比如說,当加热电压維持恆定不变时,陰極中間部份的电压降落將會增大,这就可能使陰極中間部分的温度保持不变,或者甚至还要增高。

例題 1 已知一陰極,其長度 $l=19.0$ 厘米,直徑 $d=0.0300$ 厘米(电子管 $\Gamma\Delta-400$ 的陰極),在溫度 $T=2600^\circ\text{K}$ 时工作。要求当作理想陰極来計算它的加热电压、加热电流、發射和使用期限。

从表(1.1)和(1.2)中找到 $P'=263.0$ 瓦; $R'=98.66 \times 10^{-6}$ 欧; $I'=1632$ 安; $U'=161.1 \times 10^{-3}$ 伏; $I_s=2.250$ 安; $M'=2.76 \times 10^{-8}$ 克/秒; $\beta|_{T=\text{常数}}=1$; $\beta_{T=\text{常数}}=1$; $\beta|_{U=\text{常数}}=-5.46$; $\beta|_{I=\text{常数}}=33.9$; 再运用 (1.1), (1.2), (1.3), (1.4), (1.5) 和 (1.6) 等公式,得到:

$$P=P'ld=263 \times 19.0 \times 0.0300=150 \text{ 瓦};$$

$$R=R' \frac{l}{d^2}=98.66 \times 10^{-6} \frac{19.0}{0.0300^2}=2.08 \text{ 欧};$$

$$U=U' \frac{l}{\sqrt{d}}=161.1 \times 10^{-3} \frac{19.0}{\sqrt{0.0300}}=17.7 \text{ 伏};$$

$$I=I'd^{\frac{3}{2}}=1632 \times 0.0300^{\frac{3}{2}}=8.49 \text{ 安};$$

$$I_s=I_s'ld=2.250 \times 19.0 \times 0.0300=1.28 \text{ 安}.$$

在 $T=\text{常数}$ 时,像通常一样选取 $q=0.9$, 得

$$t=8.45 \times 10^{-3} \frac{d}{M'} \frac{1-q^8}{\beta}=8.45 \times 10^{-3} \frac{0.0300}{2.76 \times 10^{-8}} \times \frac{1-0.9}{1}=919 \approx 920 \text{ 小时}.$$

在 $U=\text{常数}$ 和 $q=0.9$ 时,

$$t=8.45 \times 10^{-3} \frac{0.0300}{2.76 \times 10^{-8}} \times \frac{1-0.9^{-5.46}}{-5.46}=1310 \approx 1300 \text{ 小时}.$$

在 $I=\text{常数}$ 和 $q=0.9$ 时,

$$t=8.45 \times 10^{-3} \frac{0.0300}{2.76 \times 10^{-8}} \times \frac{1-0.9^{33.9}}{33.9}=262 \approx 260 \text{ 小时}.$$

最后我們指出, 在 $U = \text{常数}$ 和 $I = \text{常数}$ 时的使用限期, 我們可以直接从 $T = \text{常数}$ 时所計算出的使用期限值決定。事实上, 在表 (1.2) 中我們可以得出, 当 $q = 0.9$ 时的相对單位寿命值, 在 $U = \text{常数}$ 时为 1.43, 在 $I = \text{常数}$ 时为 0.286, 用 919 去乘这个相对單位寿命值, 我們就可得到和上面直接按照公式 (1.6) 計算所得相同的結果。

§ 2. 已知几何尺寸的实际陰極的計算

对实际陰極的計算, 也就是將冷端的影响考虑在內的計算, 可以利用 B. И. 沃婁金所研究出的方法。这个方法主要在於引用了“理想度”系数 f , 它的数值決定如下。

长度为 l 的实际陰極, 由於冷端的影响, 發射比理想陰極要小, 因此可用具有較短長度 $l - n \Delta l$ 的等效理想陰極来代替, 其中 n 是冷端数目, Δl 是对一个冷端所需要减少的長度。

由一个或几个 V 形迴路所組成的陰極, 除了直徑較粗的支柱外, 还可以有鈎絲。在这些鈎絲上, 热的傳导自然要比在粗的支柱上小得很多, 它所引起的冷却作用也比較弱。为了考虑这一現象, 我們可以在計算时, 對於連接到鈎絲的每段陰極, 把冷端数看成不是一而是小於一的分數。这样, 對於一个有一个鈎絲的 V 形迴路, n 的数值可以取 2.5—3, 也就是在每一連到鈎絲的段落上, 可以採取 0.25—0.5 个冷端来代替整个冷端。当鈎絲十分細而長时, 实际上不致冷却陰極, 其影响通常可以忽略不計。

如果陰極的直徑是 d , 而就“單位”陰極来講, 当它的溫度等於推算的陰極中間部份溫度时, 它的电压降落是 U' , 那么, 理想度系数值可以表示如下:

$$f = \frac{\frac{U'}{\sqrt{d}} (l - n \Delta l)}{\frac{U'}{\sqrt{d}} l} = \frac{l - n \Delta l}{l} = \frac{U - n \Delta U_c}{U}, \quad (1.7)$$

式中 U 是冷端不存在时的陰極加热电压,

ΔU_e 是对發射的修正量。

假如实际陰極的加热电压等於 U_f ，在电压減低（由於溫度較低，因而末端电阻較小所引起）的修正量假定以 ΔU_f 来标记，那么， U 与 U_f 之間的关系是：

$$U_f = U - n\Delta U_f = \frac{l}{\sqrt{d}} U' - n\Delta U_f. \quad (1.8)$$

利用上式，我們可以將公式(1.7)表示如下：

$$f = \frac{U_f + n(\Delta U_f - \Delta U_e)}{U_f + n\Delta U_f}. \quad (1.9)$$

知道了“理想度”系数 f 的数值之后，根据上述決定这数值的观念，我們可以用下面的公式找出实际陰極的發射：

$$I_s = f I'_s l d. \quad (1.10)$$

要应用公式 (1.8)，(1.9) 和 (1.10)，必須知道修正量 ΔU_f 和 ΔU_e 。

如果冷端和陰極全長比起来是微小的（設計得正确的陰極通常就是这样，这种陰極因支柱导热損失微小而具有高度的經濟性），那么可以根据实际陰極的理論，証明 ΔU_f 和 ΔU_e 的大小与陰極的几何尺寸無關，而仅仅是它中間部份的溫度的函数。当鎢陰極符合这个条件时，它們的 ΔU_f 和 ΔU_e 的数值可从下列表中查得：

表 1.3

$T^\circ\text{K}$	2300	2400	2500	2600	2700	2800
ΔU_f [伏]	0.225	0.237	0.248	0.259	0.269	0.280
ΔU_e [伏]	0.855	0.890	0.930	0.970	1.010	1.050

为了确定我們的条件的成立限度，因而也就是确定表 1.3 中的数据适用的限度，只要分析公式 (1.9) 中的分子就行了。当 $U_f + n(\Delta U_f - \Delta U_e) < 0$ 时，这公式就失去了意义。因此它的应用

范围應該限制在 $U_f + n(\Delta U_f - \Delta U_e) \gg 0$ 或者 $U_f + n\Delta U_f = U \gg n\Delta U_e$ 的情況下, 这也就是說, 冷端比起陰極全長来是微小的。

假如考虑到, 大的冷端除了減低經濟价值外, 将会减小电子管的靜态跨导, 那么, 不等式 $U = U' \frac{l}{\sqrt{d}} \gg n\Delta U_e$ 將可以決定陰極几何尺寸的合理选择。

在应用非鎢陰極的情況下, ΔU_f 和 ΔU_e 的数值可以从待算类型的两个陰極的實驗数据得出, 这两个陰極应有同样的中部温度, 不同的長度 l_1 和 l_2 和相同的直徑 d 。根据实际陰極的理論, 当冷端不佔有陰極全部長度时, 在陰極中部温度不变的情況下, 冷端的長度應該与 $\sqrt{d}$ 的数值成正比。因此, 这两个陰極的冷端相同, 修正量 ΔU_f 和 ΔU_e 也相同。得出这两个陰極的加热电压間或發射电流間的差, 我們就消去了冷端。这就可以用来決定待算类型的“單位”理想陰極的加热电压 U' 和發射 I'_s 的值。事实上, 如果在我們的陰極中加热电压和發射电流分別等於 U_{f1} 、 U_{f2} 、和 I_{s1} 、 I_{s2} , 那么,

$$U' = \frac{U_{f2} - U_{f1}}{l_2 - l_1} \sqrt{d}, \quad (1.11)$$

$$I'_s = \frac{I_{s2} - I_{s1}}{(l_2 - l_1)d} \circ \quad (1.12)$$

如果 U' 和 I'_s 已經決定, 那么我們所关心的修正量 ΔU_f 和 ΔU_e 就可以根据公式 (1.8) 和 (1.9) 得出。这两个公式給出下面 ΔU_f 和 ΔU_e 的表示式:

$$\Delta U_f = \frac{1}{n} \left(\frac{l_1}{\sqrt{d}} U' - U_{f1} \right) = \frac{1}{n} \left(\frac{l_2}{\sqrt{d}} U' - U_{f2} \right), \quad (1.13)$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{I_{s1}}{I'_s l_1 d} \right) \frac{l_1}{\sqrt{d}} U' = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{I_{s2}}{I'_s l_2 d} \right) \frac{l_2}{\sqrt{d}} U'. \quad (1.14)$$

上面指出, 所推导的 ΔU_f 和 ΔU_e 的定义是以两个陰極的温度相等为基础的。在实际上为了满足这个条件, 按照公式 (1.4), 只

要饋供這些直徑相同的陰極以相同的加熱電流就行了。應該注意，對於複合陰極來講，在用來決定修正量的陰極上，活性層的一致性和激活度的相同有着重大的意義。這對修正量 ΔU_e 特別重要。由於在實際上不可能保證陰極的活性層和激活度絕對相同，所以對於複合陰極來講，它們的發射電流計算應該看做是近似的。

對於實際陰極，特別是複合陰極，計算它的使用期限是十分困難的。但是，對於實際鎢陰極來講，按照 B. И. 沃基金的數據，在直流電壓加熱時，它的壽命可以按照下面公式來估計：

$$t = 1.2 \times 10^{-3} \frac{d}{M'} [\text{小時}]. \quad (1.15)$$

這公式是當 $\beta = -5.46$ (就是 $U_f = \text{常數}$) 和 $q = 0.9$ 時，從公式 (1.6) 演化而得。

例題 2 和例題 1 一樣，設已知陰極其長度 $l = 19.0$ 厘米，直徑 $d = 0.0300$ 厘米 (電子管 $\Gamma\Delta-400$ 的陰極)，在溫度 $T = 2600^\circ\text{K}$ 時工作。現在需要當作實際陰極來計算，就是要考慮它的冷端的影響在內。

這陰極的形狀是 V 形，它的下部固定在兩根粗的支柱上，上部固定在一个鉤絲上，因此我們可以採用冷端總數 $n = 2.5$ 。於是應用公式 (1.1) 和 (1.3)，就得到：

$$U' = 161.1 \times 10^{-3} \text{ 伏}; \quad I_s' = 2.250 \text{ 安};$$

$$M' = 2.76 \times 10^{-8} \text{ 克/秒}; \quad \Delta U_e = 0.970; \quad \Delta U_f = 0.259.$$

在冷端不存在時，陰極加熱電壓的大小是：

$$U = U' \frac{l}{\sqrt{d}} = 161.1 \times 10^{-3} \frac{19.0}{\sqrt{0.0300}} = 17.7 \text{ 伏}.$$

將 U , n 和 ΔU_f 的值代入公式 (1.8)，就得到計算冷端在內的陰極加熱電壓：

$$U_f = U - n\Delta U_f = 17.7 - 2.5 \times 0.259 = 17.05 \text{ 伏}.$$

從公式 (1.7) 我們得出“理想度”系數

$$f = \frac{U - n\Delta U_e}{U} = \frac{17.7 - 2.5 \times 0.970}{17.7} = 0.863.$$

知道了 f 的大小以後，按照公式 (1.10)，就可得出實際陰極的發射：

$$I_s = f I_s' l d = 0.863 \times 2.250 \times 19.0 \times 0.0300 = 1.11 \text{ 安}.$$

最后,按照公式(1.15),決定陰極的使用期限:

$$t = 1.2 \times 10^{-3} \frac{d}{M'} = 1.2 \times 10^{-3} \frac{0.0300}{2.76 \times 10^{-8}} = 1304 \approx 1300 \text{ 小时}.$$

电子管 ГД-400 的額定饋供值是 $U_f = 17$ 伏; $I_f = 8.5$ 安。在当作理想陰極計算时,得出 $U_f = 17.7$ 伏,和 $I_f = 8.49$ 安,这样,对电流講很准确,而在电压方面則有显著的誤差,按照 B. И. 沃基金的方法,將冷端影响計算在內,得出 $U_f = 17.05$ 伏,即在电压方面就很准确了。像我們在上面所看到的,这方法和將陰極当作理想陰極來計算相比較,对發射电流也作了重要的修正。

例题 3 已知一長度 $l = 4.34$ 厘米和直徑 $d = 0.0028$ 厘米的直热式氧化物陰極,形狀为 V 形,下部有兩根支柱,上部有一个鈎子,在加热电压 $U_{f1} = 2.0$ 伏时工作(电子管 2K2M 的陰極)。

如果用同样絲料做一个陰極,它的加热电压改变为 $U_f = 6.3$ 伏,並且保持以前的工作溫度,試計算它的長度。

为了決定計算中所必要的 U' 和 $4U_f$ 的数值,必須知道和电子管 2K2M 的陰極在同样溫度下工作的,用同样絲料做成的某一其他陰極的加热电压。

在解决这一有关陰極換算的問題之一时,採用和电子管 2K2M 相同的絲料制备了一些陰極長度 $l = 5.1$ 厘米的實驗用电子管。我們这里就要应用檢驗这些电子管和陰極長度正常的电子管所获得的数据。

有九个电子管作了檢驗,其中四个的陰極長度正常,有五个的陰極增長到 5.1 厘米。这样的檢驗可以決定:在同一加热电流下,陰極增長的电子管的加热电压高出正常电子管的加热电压的增量。我們选择加热电流,使它等於陰極長度正常的电子管在通用加热电压 $U_f = 2.0$ 伏下的加热电流。因为在陰極長度正常的各个电子管中,这些加热电流的大小不是严格一律的,所以得到 20 个电压增量。这些电压增量是由九个电子管中每兩個陰極長度不同的电子管組合而成。結果可以写成下表:

电子管号数		陰極長度 $l = 5.1$ 厘米的电子管				
		1	2	3	4	5
陰極長度 $l = 4.34$ 厘米的电子管	1	0.40	0.40	0.40	0.33	0.33
	2	0.40	0.40	0.40	0.37	0.37
	3	0.40	0.40	0.40	0.33	0.37
	4	0.37	0.40	0.40	0.37	0.37

电压增量的平均值等於：

$$U_{f2} - U_{f1} = \frac{0.40 \times 11 + 0.33 \times 3 + 0.37 \times 6}{20} = 0.38 \text{ 伏。}$$

再按照公式(1.11)和(1.13)，採取 $n=3$ ，得出：

$$U' = \frac{U_{f2} - U_{f1}}{l_2 - l_1} \sqrt{d} = \frac{0.38}{5.10 - 4.34} \sqrt{0.0028} = 0.0264 \text{ 伏；}$$

$$\Delta U_f = \frac{1}{n} \left(\frac{l_1}{\sqrt{d}} U' - U_{f1} \right) = \frac{1}{3} \left(\frac{4.34}{\sqrt{0.0028}} 0.0264 - 2.0 \right) = 0.057 \text{ 伏。}$$

知道了 U' 和 ΔU_f 的数值以后，我們就可以对 l 解公式(1.8)，於是得出在加热电压 $U_f = 6.3$ 伏时的陰極長度的数值。選擇陰極的形式为下部有三根支柱和上部有两个鈎絲的 W 形，这时候我們可以採取 $n=6$ ，於是得到：

$$l = \frac{U_f + n \Delta U_f}{U'} \sqrt{d} = \frac{6.3 + 6 \times 0.057}{0.0264} \sqrt{0.0028} \approx 13 \text{ 厘米。}$$

§ 3. 实际陰極几何尺寸的設計

在实际陰極的設計中，發射电流 I_s 是給定的。加热电压 U_f 的大小是标准化的，但在沒有指定时，也可以按照陰極的应用特性来选择。

B. И. 沃婁金的方法可以供給設計时应用，这种方法的原理在給定几何尺寸的陰極的計算中已經引用过了。根据这种計算的公式(1.8)和(1.10)得出：

$$\frac{l}{\sqrt{d}} = \frac{U_f + n \Delta U_f}{U'} = a, \quad (1.16)$$

$$ld = \frac{I_s}{I'_s} = b, \quad (1.17)$$

式中的符号和以前是一样的，即

l 和 d 是陰極的長度和直徑，用厘米做單位；

U_f 和 I_s 是陰極的加热电压和發射电流，用伏和安做單位；

U' 和 I'_s 是所謂“單位”陰極的加热电压和發射电流，用伏和安做單位(鎢陰極的数据見表 1.1)；