

第二次眞空測試會 論文 集

(內部資料・注意保密)

1962年8月

前 言

自从大跃进以来，我国真空技术工作发展很快，许多方面都利用真空技术。但是由于大家都是真空技术的新手，工作质量往往不能达到要求，要鑑定真空技术工作质量首先必须有足够精确的真空度的测量方法，而真空的气压值很小，是比较难测的，因此必须在全国真空技术工作者的大协作下，在短期内使真空测试技术达到应有的水平。为了促进这些协作，召开了真空测试会议。

62年初利用第二次真空测试会议的机会我们报告和讨论了一些有关真空技术的测量问题。由于感到这方面的文献（尤其是中文文献）很少，大家都提出要求，希望赶快把这些文献印出来，以便更好地交流经验，共同改进提高。基于这些要求，我们便出版了这个文集。因为讨论的时间很不充裕，会议未能对这些文章作出评价，因此这些文章只能作为参考之用，不是为了推广或者作为教材之用。希望读者读后提出宝贵的意见和批评。

目 录

前言

(一) 绝对真空计和真空计校正系统。

1. 同轴圆筒形辐射真空规的绝对性.....黄慕贤, 李志岩, 潘震明 (1)

2. 膨胀式低真空计校正系统

.....金建中, 王学博, 张希雄, 陈立仁, 李旺奎 (7)

(二) 相对真空计

3. 我校电离计之介绍.....陆家和, 马瑞霖 (9)

4. 可用焦耳热除气的超高真空电离真空规

.....华中一, 黄心沅, 章壮健 (22)

5. 热丝真空计测量线路的一点改进.....徐钦勇 (27)

(三) 真空泵参数测定

6. 国外扩散泵抽气速率测定方法评介.....李希宁 (29)

7. 扩散泵参数测试规程(草案).....陈文奎..... (39)

8. 空气冷却金属油扩散泵的研究

.....金建中, 崔遂先, 徐钦勇, 郭盛厚, 赵树芬, 李希宁 (46)

9. 钛抽气机及其性能的测定.....刘鸿辉, 张兆祥 (54)

(四) 油蒸气压测定和汞毒防护

10. 真空油脂蒸气压测定方法文献评介.....张晏清 (57)

11. 扩散泵油蒸气压测量仪的初步报告

.....金建中, 戴善述, 张景欽 (73)

12. 真空实验室中对汞毒的防护.....程传斌 (75)

1. 同軸圓筒形輻射真空規的絕對性*

黃慕賢

李志岩

潘震明

提要: Klumb-Schwarz⁽⁵⁾提出的同軸圓筒形輻射真空規原則上可以作為低氣壓的絕對量具,然而由於迄今並沒有人提出完整的靈敏度理論,因此阻止了它作為絕對量具的可能性。本文敘述一種近似解法,得出靈敏度的絕對值,並從理論上決定其最佳幾何結構。最後還對Klumb-Schwarz規的量程上下限作了討論。

一、引言

在高真空的測量方面,輻射真空規或所謂 Knudsen 真空規具有特殊的優點:它可以同時測量氣體和蒸汽的總壓強,卻又和氣體或蒸汽的分子量無關;它的工作溫度不高,也不用電場,因此沒有化學清除和電清除效應,測量時不會破壞被測對象,而且能夠連續指示氣壓變化。因此,在所有的真空規中的測量價值是比較高的。

然而最主要的特色還在於它在低壓強時刻度是線性的,而且原則上是一種絕對真空規,即利用它的一些物理量可以直接算出相應的壓強值。Knudsen⁽¹⁾首先得出,如果在真空容器中有兩塊距離為 h 的無限大的平行平板 AB ,其溫度各為 T_1 及 T_2 ,則在 $h \ll$ 容器內氣體分子的平均自由程 λ 時,作用在 A 、 B 中任何一塊上的單位面積純力 f 為**:

$$f = \frac{1}{2} P \left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} + \sqrt{\frac{T_2}{T}} - 2 \right) \quad (1)$$

達因/厘米²

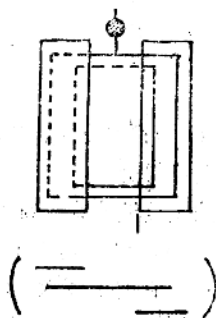
此處 P 、 T 分別為容器中氣體的壓強及溫度。當平板中的一塊(假定為 B)的溫度就是容器溫度時,式(1)可簡化為($T_1 > T$):

$$f = \frac{1}{2} P \left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - 1 \right) \quad (2)$$

達因/厘米²

因此如果能測出 f 的絕對值,就可算得壓強 P (T_1 及 T 為已知)。

f 的測定可以用很多方法,最常見的如圖1所示^(2~4)。一塊方框形的鉑片,用石英細絲



吊起,上面附有一塊電流計用的小薄鏡子。鉑框的兩側分別有兩塊固定的長條鉑片可以加熱到 T_1 。從懸吊着的鉑框尺寸和質量可以算出它的轉動慣量 I ,再用觀察到的迴擺周期 t ,可以得到單位角位移的回復力矩為

$$\tau = \frac{4\pi^2 I}{t^2} \quad (3)$$

如果以 Q 表示鉑框的旋轉角度,則

$$\tau Q = f Q D \quad (4)$$

此處 D 為鉑框的平均寬度, Q 為面對每一條鉑片的框面積。因此從式(2),(3),(4)可

*本文系作者畢業論文的一部分,在華中一先生的指導下進行。

**以下均假定各平板的適應系數(accommodation coefficient)均相等。

得

$$P = \frac{2f}{\left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - 1\right)} = \frac{2\pi\theta}{QD\left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - 1\right)} = \frac{8\pi^2 l\theta}{QDt^2\left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - 1\right)} \quad (5)$$

如果以小鏡的反光來測 θ ，以 x 為透明標尺的讀數， l 為標尺到鏡面的距離，則因 $\theta = \frac{x}{2\pi l}$ ，而

$$P = \frac{4\pi l x}{QDt^2\left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - 1\right)} \quad \text{達因/厘米}^2$$

$$= \frac{4\pi l x}{QDt^2\left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - 1\right)} \times 0.75 \times 10^{-3} \text{ 毫}$$

(6)

式中 l 、 D 、 t 、 Q 、 l 都是常數， T_1 、 T 、 x 可以測定，就可以算得 p 值。

上述結構的主要缺點在於極其害怕振動，因此Klumb-Schwarz⁽⁶⁾提出了另外一種式樣，如圖2所示。它把平板改為兩個同心圓筒，在圓筒的溫度 $T_1 > T_3$ 時，在兩個圓筒之間運動的氣體分子將傳遞能量，因此他在它們之間掛一個很輕的鋁制薄圓筒，上面用刀刻成幾個斜葉窗，稱為“鋁籠”，也用吊絲和鏡子掛起來，這樣作用在葉片上的分子力將使鋁筒轉過一角度 θ ，實驗證明

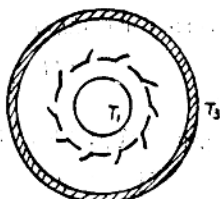
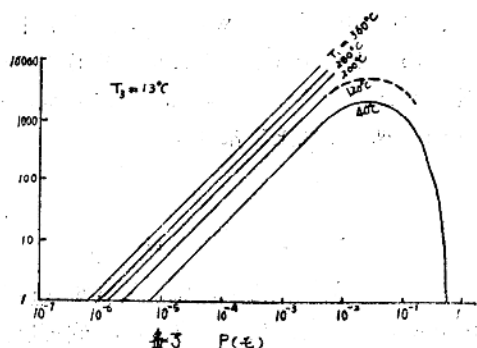


圖 2

$$P = \frac{k\theta}{\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1} \quad (7)$$

此處 k 為常數。這種裝置由於具有對稱性，因此

對於震動是比較不灵敏的；測量下限可以達到 10^{-8} 毫級，而且校準曲線在壓強 P 小於 10^{-2} 毫的低壓區域內十分線性（見圖3）。因此在所有的高真空量具中，看來它是一種最可期望的型式。



然而不幸的是，Klumb-Schwarz 規的特性方程式 (7) 雖然與式 (5) 十分相似，但他的 k 是什麼迄今尚未有人提出完整的理論推导，因此限制了它作為絕對量具的可能性。本文敘述一種近似解法並由此對這種規的最佳設計作了討論。

二、同軸圓筒形輻射真空規理論

在討論圖2的結構以前，可以先了解一下三塊無限大平行平板放置在真空中時其中間一塊的受力情況。圖4表示溫度各為 T_1 、 T_2 、 T_3 的三塊平板 A 、 B 、 C ，作用在 B 板單位面積上的力 f 根據式 (1) 應為

$$f_1 = \frac{1}{2} P \left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} + \sqrt{\frac{T_2}{T}} - 2 \right) \quad (8)$$

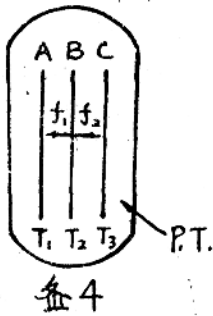
而反方向作用在 B 板單位面積上的力則為

$$f_2 = \frac{1}{2} P \left(\sqrt{\frac{T_3}{T}} + \sqrt{\frac{T_2}{T}} - 2 \right) \quad (9)$$

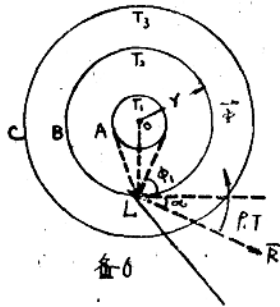
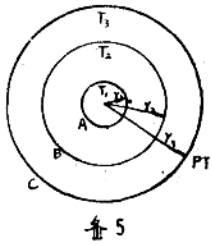
因此作用在 B 板上的總力為

$$f = f_1 - f_2 = \frac{1}{2} P \left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - \sqrt{\frac{T_3}{T}} \right) \quad (10)$$

而和 B 板本身的溫度 T_2 無關⁽⁶⁾。如 $T_1 > T_3$ ，則 B 板受到的力必離開 A 板的方向。



現在將A.B.C卷成半径不同的同軸圓筒，
如图5所示。如果將B板上刻出斜叶窗，則結
果就是图2。在斜叶窗的面积不大时，Klumb-
Schwarz規將近似于这种封闭圓筒的形式。同
样也考虑这些圓筒是无限大的，那么我們就可
以只考虑它垂直于中心軸的截面，如图6所示。
設規受内部的气体压强为P，温度为T，規內气



体分子总数为N，而且满足分配定律，則图6
所示的R-φ平面内有 $\frac{2}{3}N$ 个分子在运动，单
位時間內分子在dφ方向与B上单位面积元的碰
撞次数为

$$\frac{2}{3} n \frac{d\varphi}{2\pi} v \sin \varphi$$

此处n和v为在P,T时的气体分子浓度和方均根
速率。

現在在B板上切出小叶片L，和B筒的切綫
作α角，則与叶片L碰撞的分子在L的法綫方向
的动量分量为

$$\begin{aligned} & \frac{2}{3} n \frac{d\varphi}{2\pi} v \sin \varphi \cdot m v \sin \varphi = \\ & = \frac{1}{3\pi} m n v^2 \sin^2 \varphi d\varphi \end{aligned}$$

此处m为分子質量。如分子和叶片所作的碰撞
是完全弹性的則动量的变化为

$$2 \cdot \frac{1}{3\pi} m n v^2 \sin^2 \varphi d\varphi$$

因此L上单位面积所受的力为：

$$\begin{aligned} f &= \frac{2m}{3\pi} \left[\left(n_3 v_3^2 - n_2 v_2^2 \right) \int_0^\alpha \sin^2 \varphi d\varphi \right. \\ &+ \left(n_2 v_2^2 - n_3 v_3^2 \right) \int_\alpha^{\alpha + \varphi_1} \sin^2 \varphi d\varphi \\ &+ \left(n_1 v_1^2 - n_3 v_3^2 \right) \int_{\alpha + \varphi_1}^{\alpha + \varphi_1 + (\pi - 2\varphi_1)} \sin^2 \varphi d\varphi \\ &+ \left. \left(n_2 v_2^2 - n_3 v_3^2 \right) \int_{\alpha + \varphi_1 + (\pi - 2\varphi_1)}^\pi \sin^2 \varphi d\varphi \right] = \\ &= \frac{2m}{3\pi} \left[\left(n_1 v_1^2 - n_3 v_3^2 \right) \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_1 + \frac{1}{2} \sin 2\varphi_1 \cos 2\alpha \right) \right. \\ &+ \left(n_2 v_2^2 - n_3 v_3^2 \right) \left(\varphi_1 - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right. \\ &\left. \left. - \frac{1}{2} \sin 2\varphi_1 \cos 2\alpha \right) \right] \quad (11) \end{aligned}$$

此处 $n_1 n_2 n_3 v_1 v_2 v_3$ 分别表示相当于温度 $T_1 T_2 T_3$
的分子浓度及其方均根速率，而

$$\phi_1 = \arccos \frac{r_1}{r} \quad (12)$$

为L点对圆筒A所作切线与圆筒B切线之间的夹角(见图6)。

考虑到在超稀薄($h \ll \bar{\lambda}$)状态下平衡条件为:在相反方向通过任何小面积的分子数应相等,因此在AB空间内

$$n_1 v_{a1} = n_2 v_{a2} \quad (13)$$

而在BC空间内

$$n_2 v_{a2} = n_3 v_{a3} \quad (14)$$

此处 $v_{a1} v_{a2} v_{a3}$ 为相当于 $T_1 T_2 T_3$ 的气体分子平均速率。再根据在圆筒两端单位时间内进入的分子数应等于离去的分子数,因此在AB层的一端有下列条件

$$\frac{1}{4} n_1 v_{a1} + \frac{1}{4} n_2 v_{a2} = \frac{1}{4} n v_a \quad (15)$$

而在BC层的一端有

$$\frac{1}{4} n_2 v_{a2} + \frac{1}{4} n_3 v_{a3} = \frac{1}{4} n v_a \quad (16)$$

再因为

$$\frac{v}{v_a} = \frac{v_1}{v_{a1}} = \frac{v_2}{v_{a2}} = \frac{v_3}{v_{a3}} = \sqrt{\frac{3\pi}{8}} \quad (17)$$

及

$$P = \frac{1}{3} m n v^2 \quad (18)$$

以式(13)至(18)代入式(11),就可以得到

$$\begin{aligned} f = & \frac{P}{\pi} \left[\left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - \sqrt{\frac{T_3}{T}} \right) \left(\frac{\pi}{2} - \phi_1 \right) \right. \\ & + \frac{1}{2} \sin 2\phi_1 \cos 2\alpha + \\ & + \left(\sqrt{\frac{T_2}{T}} - \sqrt{\frac{T_3}{T}} \right) \left(\phi_1 - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - \right. \\ & \left. \left. - \frac{1}{2} \sin 2\phi_1 \cos 2\alpha \right) \right] \quad (19) \end{aligned}$$

在ABC各为平行平板时, $\phi_1 = 0$, $\alpha = 0$, 上式化为

$$f = \frac{P}{2} \left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - \sqrt{\frac{T_3}{T}} \right) \quad (20)$$

实际上这就是式(10),因此极限条件是满足的。

以上的推导中我们假设叶片是非常微小的,以致成为圆筒B上的一个小点,但实际上叶片具有一定的宽度,即叶片上的各点离中心O的距离 r 是不等的,且叶片上每点的 α 都不一样,这样就使数学计算十分复杂。现在采用

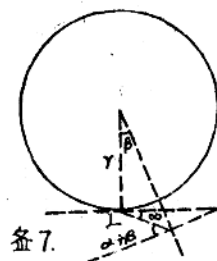


图7.

合理的近似,令叶片足够小,以使它在圆筒B中所对应的圆心角为 β 时(见图7)整块叶片所受的力为

$$F = Q \cdot f' \quad (21)$$

此处Q为每块叶片L的面积, f' 为式(19)中的 r 用 r' 、 α 用 α' 代入的结果,而 r' 及 α' 有下列关系:

$$\begin{cases} r' = \frac{r \cos \alpha}{\cos \left(\alpha + \frac{\beta}{2} \right)} \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} \alpha' = \alpha + \frac{\beta}{2} \end{cases} \quad (23)$$

于是式(21)可写为:

$$\begin{aligned} F = & Q \cdot \frac{P}{\pi} \left[\left(\sqrt{\frac{T_1}{T}} - \sqrt{\frac{T_3}{T}} \right) \right. \\ & \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{r_1}{r'} + \frac{\cos 2\alpha'}{2} \right. \\ & \left. \left. - \frac{r_1}{r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right) + \left(\sqrt{\frac{T_2}{T}} - \sqrt{\frac{T_3}{T}} \right) \right. \\ & \left(\arccos \frac{r_1}{r'} - \frac{\cos 2\alpha'}{2} - \frac{r_1}{r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} + \frac{1}{2} \sin 2\alpha' - \alpha' \right) \left. \right] \quad (24) \end{aligned}$$

因为在实际装置中C是外壳；B是薄金属圆筒，且为了力矩能大一些往往做得接近于C，因此可使实验条件近似地满足 $T_2 = T_3 = T$ ，于是式(24)可简化为：

$$F = \frac{QP}{\pi} \left(\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1 \right) \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right) = \frac{QP}{\pi} \left(\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1 \right) \left(\arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right) \quad (25)$$

设圆筒B上的叶片共有K块，则作用在这些叶片上的力所产生的总扭转力矩为

$$\frac{KQP}{\pi} \left(\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1 \right) \left(\arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right) r' \sin \alpha'$$

$$+ \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right) r' \sin \alpha'$$

如以 θ 表示镜子的旋转角度，则因为

$$\tau \theta = \frac{KQP}{\pi} \left(\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1 \right) \left(\arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right) r' \sin \alpha' \quad (26)$$

同样从式(3)可知

$$\frac{4\pi^2 I \theta}{t^2} = \frac{KQP}{\pi} \left(\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1 \right) \left(\arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right) r' \sin \alpha' \quad (27)$$

或

$$P = \frac{4\pi^2 I \theta}{KQt^2 \left(\arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right) r' \sin \alpha'} \left(\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1 \right)^{-1} \quad (28)$$

如用灯及标尺测 θ ，以 x 为透明标尺的读数， l 为标尺到镜面的距离，则

$$P = \frac{4\pi^2 I x}{KQt^2 l r' \sin \alpha' \left(\arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right)} \left(\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1 \right)^{-1} \text{达因/厘米}^2 \quad (29)$$

因此在P的单位为 ϵ 时，式(7)中的k可定为

$$k = \frac{4\pi^2 I}{KQt^2 r' \sin \alpha' \left(\arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right)} \times 0.75 \times 10^{-3} \quad (30)$$

也就是 Klumb-Schwarz 规的灵敏度。由此可将 Klumb-Schwarz 规作为绝对量具。

分并使它等于零，即

$$\frac{d}{d\alpha'} [\sin \alpha' \cos 2\alpha'] = 0 \quad (31)$$

由此得

$$-2 \sin 2\alpha' \sin \alpha' + \cos \alpha' \cos 2\alpha' = 0$$

或

$$(\alpha')_{\text{最佳}} = 24^\circ \quad (32)$$

验证，得

$$\frac{d^2}{d^2\alpha'} [\sin \alpha' \cos 2\alpha'] \Big|_{\alpha' = 24^\circ} =$$

三、最佳铝镜结构的决定

式(30)所示的k值决定了Keumb-Schwarz规的灵敏度，它被 r' 及 α' 所决定。因此可以从理论上选择叶片的最佳斜角和铝镜的半径，也就是说可以选择一个最佳铝镜结构以获得最大的k。

为了求得最佳的 α' ，可将式(30)对 α' 微

$$= (-4 \sin 2\alpha' \cos \alpha' - 5 \cos 2\alpha' \sin \alpha') \Big|_{\alpha'=24^\circ} < 0$$

因此铝筒叶片的最佳斜角为 24° 。

再求最佳的 r' ，将式(30)对 r' 微分并使它等于零，我们有

$$\frac{d}{dr'} \left[\arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} \right] = 0 \quad (33)$$

或

$$\begin{aligned} & \arcsin \frac{r_1}{r'} + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} - \\ & - \frac{r'}{\sqrt{1 - \left(\frac{r_1}{r'}\right)^2}} \cdot \frac{r_1}{r'^2} - \\ & - \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{r'^2} \sqrt{r'^2 - r_1^2} + \\ & + \frac{r_1 \cos 2\alpha'}{2\sqrt{r'^2 - r_1^2}} = 0 \end{aligned} \quad (34)$$

令

$$y = \frac{r_1}{r'} \quad (35)$$

则式(34)可写为

$$\arcsin y - \frac{y}{\sqrt{1-y^2}} \left[1 - \frac{y^2 \cos 2\alpha'}{2} \right] = 0 \quad (36)$$

以最佳 α' 角即 24° 代入上式，得

$$\arcsin y = \frac{y}{\sqrt{1-y^2}} \left[1 - \frac{0.67y^2}{2} \right] \quad (37)$$

由此解得

$$y = 0.45 \quad (38)$$

从式(35)可知

$$r' = \frac{1}{0.45} r_1 = \frac{20}{9} r_1 \quad (39)$$

验证，得

$$\frac{d}{dy} \left[\arcsin y - \frac{y}{\sqrt{1-y^2}} \right]$$

$$\begin{aligned} & \left(1 - \frac{0.67y^2}{2} \right) \Big|_{y=0.45} = \\ & = \left[\frac{1}{\sqrt{1-y^2}} + \frac{0.67y^2}{\sqrt{1-y^2}} - \right. \\ & \left. - \left(1 - \frac{0.67y^2}{2} \right) \left(-\frac{1}{\sqrt{1-y^2}} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{y^2}{(1-y^2)^{3/2}} \right) \right] \Big|_{y=0.45} < 0 \end{aligned}$$

因此在 $r':r_1=20:9$ 时可得到最佳灵敏度。

四. Klumb-Schwarz 规的 量程上下限

式(30)表示 Klumb-Schwarz 规的灵敏度和 r_3 无关，但这并不意味着园筒 c 的半径允许选择为任意值。因为在所有推导的原始假定中，都已经考虑了 $\lambda \gg h$ ，当园筒间的距离 h 变得过大时，满足这个不等式的 λ 就要随之增大，因而能量测的压强 p 值就变小。由此可见，Klumb-Schwarz 规的量程上限实际上也决定于 r_3 的值。

Klumb-Schwarz 规的量程下限取决于灵敏度和对机械震动的敏感性，此外还受到电磁辐射力的限制。已知从温度为 T_1 的板所到达温度为 T_3 的板($T_1 > T_3$)的电磁辐射力为

$$R = \frac{4}{3} \frac{\sigma \epsilon}{c} (T_1^4 - T_3^4) \text{ 达因/厘米}^2 \quad (40)$$

以 ϵ 为辐射表面的发射常数， σ 为 Stefan 常数， c 为光速。表 I 及 II 分别列出了各种温度下在 ϵ

$=1$ 及 $\epsilon=0.05$ 时 $\frac{R}{R+f}$ 的百分数(f 根据 $f = \frac{p}{2} \left[\sqrt{\frac{T_1}{T_3}} - 1 \right]$ 计算)。

从表 I 中可以看出如使用玻璃($\epsilon=0.94=1$)则在 $P=10^{-6}$ 时电磁辐射力在总力中所占的百分数已超过20%；但如选用光亮的铝($\epsilon=0.05$)则从表 II 可知在 $P=10^{-6}$ 时电磁辐射力在总力中仅占1~2%，在 $P=10^{-7}$ 时还不超过20%，因此选用 ϵ 很低的材料可以扩展 Klumb-Schwarz 规的量程下限。这种电磁辐射力对 Klumb-Schwarz 规的低压强测定限

表 I

$T_2 = 293^\circ \text{K}, \epsilon = 1$		
$T_1 - T_2 (^{\circ}\text{K})$	$P (\text{mm})$	$\frac{R}{R+f}$
10	10^{-6}	19%
	10^{-7}	70%
	10^{-8}	96%
60	10^{-6}	25%
	10^{-7}	76%
	10^{-8}	97%
100	10^{-6}	29%
	10^{-7}	80%
	10^{-8}	98%

表 II

$T_2 = 293^\circ \text{K}, \epsilon = 0.05$		
$T_1 - T_2 (^{\circ}\text{K})$	$P (\text{mm})$	$\frac{R}{R+f}$
10	10^{-6}	1%
	10^{-7}	11%
	10^{-8}	54%
60	10^{-6}	2%
	10^{-7}	11%
	10^{-8}	62%

100	10^{-6}	2%
	10^{-7}	17%
	10^{-8}	67%

止十分类似于自发x射线对热阴极电离真空规的限制。

此外,因为玻璃外壳容易积聚电荷吸住园筒B,使这种规不能测定含有离子的气体,所以我们建议使用 ϵ 很低的金属材料作为规管外壳进行 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 毫米汞柱的低气压绝对测定。

参 考 文 献

1. Knudsen, Ann. physik (Leipzig) 31, 633, (1910)
2. Knudsen, Ann. physik 32, 809, (1910)
3. Todd, phil. Mag. 38, 381, (1919)
4. Steckelmacher, Vacuum. 1, 266, (1951)
5. Klumb, Schwarz, Z. physik 122, 418, (1944)
6. Lockenvitz, Rev. Sci. Instrum. 9, 417 (1938)

2. 膨胀式低真空计校正系统

金建中 王学博

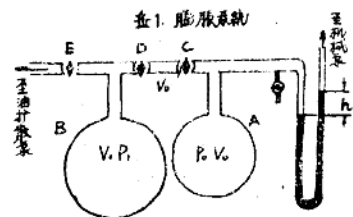
张希雄 陈立仁 李旺奎

我们设计与制造了一套用来校正皮拉尼热丝真空计的玻璃真空系统。使用经验证明它能够在 $10^{-3} - 1$ 毫米汞柱范围内比较准确而快速地对低真空规进行校正。

工作原理:

图1表示系统的主要部份A为一大玻璃瓶(体积为 V_0)预先充以气压为 P_0 。(用U形

管油柱高测量)的干燥空气。B亦为一大玻璃



瓶（体积为 V_1 ）。两瓶之间由一玻璃管及两玻璃活栓（C、D）连接。CD之间的体积为 v_0 。 V_1 及 v_0 予先用油扩散泵抽空至气压可以忽略。然后关闭D，E两活栓，这时开启C活栓放入压强为 P_0 的气体，然后关C并开D，则 v_0 内的气体即膨胀而充满 v_0 及 V_1 ，经过一些时间使温度恢复到原来室温。（实际上需要时间很少，可以忽略不管，因为低压气体数量少，热容小，热扩散快平衡快）则 v_0 及 V_1 内的气体压强应为：

$$P_1^{(1)} = P_0 \frac{v_0}{v_0 + V_1} \dots\dots\dots (1)$$

第二次再重复作：关D，开C，则 v_0 第二次由 V_0 取空气样，如

$$v_0 \ll V_0$$

则取得的气样的压强仍为 P_0 ，再关C开D， V_1 内的气体压强变为：

$$P_1^{(2)} = \frac{P_0 \frac{V_1 v_0}{V_1 + v_0} + v_0 P_0}{v_0 + V_1} \\ = \frac{P_0 v_0}{V_1 + v_0} \left[\left(\frac{V_1}{V_1 + v_0} \right) + 1 \right] \dots\dots\dots (2)$$

如 $v_0 \ll V_1$ 时则式（2）变为

$$P_1^{(2)} = \frac{P_0 v_0 + P_0 v_0}{V_1} = P_0 \frac{2v_0}{V_1} \dots\dots\dots (3)$$

n 次膨胀后的气压应为：

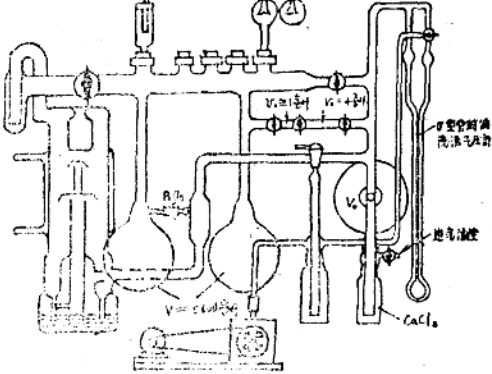
$$P_1^{(n)} = \frac{P_0 v_0}{V_1 + v_0} \left(\left(\frac{V_1}{V_1 + v_0} \right)^{n-1} + \left(\frac{V_1}{V_1 + v_0} \right)^{n-2} + \dots\dots + 1 \right) \\ = \frac{P_0 v_0}{V_1 + v_0} \frac{1 - \left(\frac{V_1}{V_1 + v_0} \right)^n}{1 - \left(\frac{V_1}{V_1 + v_0} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

如 $v_0 \ll V_1$ 时

$$P_1^{(n)} = P_0 \frac{n v_0}{V_1}$$

我们做的系统如图2。

图2. 油液式真空计校正系统



V_0 为3700毫升以上， V_1 为5400毫升以上， v_0 为1毫升及4毫升，用三个活栓隔离开。为了更精确地测量 P_0 ，我们采用油液（变压器油比重为0.8849g/cm³，20°C。）的U形管气压计，一端连接低真空。当 V_0 内气压逐渐下降到可以看出差别时，随时放入空气（经过 P_2O_5 的干燥瓶），这时 P_0 即完全由U形管内的油液面高度差来决定。高度差是用一个刻有毫米刻度的镜面来读的镜面的，垂直度可参考旁边的垂线进行调正。 v_0 与 V_1 亦需要精密地确定。我们用测量灌满 V_0 的水银的重量的方法决定 v_0 的体积， V_1 是用测量灌满 V_1 的水的重量测定的。在校正时附加的热丝真空规的体积要加入前式（1）—（5）中的 V_1 内。

这个方法的相对精确度取决于 P_0 ， v_0 ， V_1 及水银与油的密度之比值四项的相对精确度。体积和密度的决定是比较容易精确的， P_0 的测定取决于U形管内液面的高度差测量的精确度，我们使用时液面差总在100毫米以上，而U形管内径为7毫米。因此，毛细管效应带来的相对误差是很少的。目前还没有计算我们系统的实际相对误差的数值，估计在1/100以内。为了简便我们平常使用公式（5）如果要更精确，我们可以用（4）式。

为了消除 V_1 内玻璃壁放出的水蒸汽设有放 P_2O_5 的磨口玻璃塞子。

用旋轉式麦氏計檢驗膨脹式校准 系統的準確度的試驗

試驗条件: 溫度 18°C , 气压 680 mmHg

日期: 1962.1.13。

試驗数据:

麦氏 計讀数 mmHg	苏联 热电偶讀数 mmHg	系統計算 气压 mmHg	备 注
2×10^{-3}	2.4×10^{-3}	1×10^{-3}	
4×10^{-3}	6.0×10^{-3}	2×10^{-3}	
5×10^{-3}	9.0×10^{-3}	3×10^{-3}	
6×10^{-3}	1.2×10^{-2}	4×10^{-3}	

因灵敏度太低, 改用 $5\mu\text{Hg}$ 放气进行試驗

1.1×10^{-2}	7×10^{-3}	5×10^{-2}	由于人体积V的影响, 胀受电磁辐射的影响, 使麦氏計讀数偏高。
1.7×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1×10^{-2}	
2.5×10^{-2}	2.2×10^{-2}	1.5×10^{-2}	
3.0×10^{-2}	2.9×10^{-2}	2.0×10^{-2}	
3.4×10^{-2}	3.5×10^{-2}	2.5×10^{-2}	用档板消除了电磁辐射 对大体积玻璃胀辐射加热的 影响。
5.0×10^{-2}	5.8×10^{-2}	5.0×10^{-2}	
8.0×10^{-2}	9.0×10^{-2}	7.5×10^{-2}	
1.5×10^{-1}	1.4×10^{-1}	1.5×10^{-1}	
2.5×10^{-1}	2.45×10^{-1}	2.5×10^{-1}	每次放气 $25\mu\text{Hg}$, 共放20次, 使油柱下降 5.5 mm , 使得麦氏計 讀数偏低。
4.95×10^{-1}	4.8×10^{-1}	5.0×10^{-1}	
7.3×10^{-1}	以下曲线已 没有指示。	7.5×10^{-1}	

說明:

1. 旋轉式麦氏真空計是用英国“Vacuettat”的麦氏計。
2. 苏联热电偶的气压值系根据BNT-1-П測量线路的
校准曲线而获得。

3. 試驗开始时, 每次放气为 $1\mu\text{Hg}$, 由于麦氏計的刻
度较粗, 讀数不易准确, 以后采用 $5\mu\text{Hg}$ 放气作試驗, 在 10^{-1}
 mmHg 数量级时, 采用 $50-100\mu\text{Hg}$ 的气压充入大体积, 这样
在麦氏計上较容易讀得准确的讀值。采用这种方式发现 麦
氏計的讀数在 10^{-1} 数量级与系統的计算气压值很接近。

3. 我校电离計之介紹

清 华 大 学

陆家和 馬瑞霖

前 言

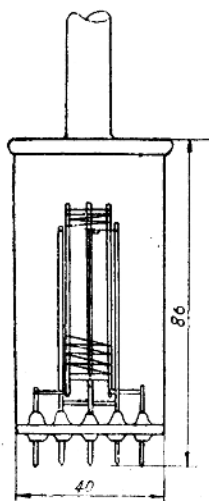
58年以来我校因工作需要曾設計及試制了几批电离計电源及电离計管, 經過試用发现不少問題, 也总结了一些經驗, 这次試因对这一工作做一简单的介紹, 希望得到大家的指正和幫助。这次介紹分五部分, 包括电离計管的结构选择、电离計管的特性和参量、电离計电源的主要設計考虑和性能指标, 有关使用的一些問題的討論, 和我們电离計存在的問題。

一、电离計管結構的选择

我校电离計管采用了B-A計結構, 这种型式的电离計管結構简单、易于制作、容易去气、既可測量一般高真空, 也可測量超高真空。为了便于制作, 我們的电离計管的另件多半采用制成管的另件。全管結構外形图和图1。現將各部結構分述如下。

1 灯絲結構尺寸的选择

我們最初設計的电离計管灯絲仿照 Bayard和Alpert 提出的結構⁽¹⁾, 用 $\phi 0.13\text{ mm}$ 长 90 mm 的鎢絲繞成直径約 3 mm 长度約 30 mm 的螺旋。这种灯絲在供給 5 ma 发射电流时的灯絲电压約 10 V , 灯絲电流約 2 A 。假如这种灯絲沒有經過很好地退火, 在使用过程中螺旋灯絲常常



伸长及弯曲，有时甚至触及栅极或玻壳。

現用的直綫式灯絲完全避免了这缺点。灯絲的上端用一稍粗的鎢絲彈簧支住，这样栅阴距可保持固定的数值。由于直綫式灯絲长度較短，发射面积較小，如要給出相同的发射电流，灯絲势必需要工作在稍高的温度。

現用的灯絲直径0.1mm、长度30mm，这种灯絲在不同工作温度 T_K 下所給出的发射电流 I_e 的灯絲电压 U_f 、灯絲电流 I_f 和理想寿命 τ 的計算值⁽²⁾如表1所示。表中的温度是指灯絲中部的温度，

所謂理想寿命是指灯絲在理想真空条件下由于鎢絲蒸发最后中断所需的时间。实际測出的灯絲温度与計算值相差不大于100°C，灯絲电流也与計算值很接近，灯絲电压比計算值大較多。

表 1.

$T_K^\circ K$	2200	2300	2400	2500	2600
I_e^{ma}	0.55	1.90	5.85	16.0	40.5
U_f^v	2.51	2.92	3.35	3.81	4.32
I_f^A	1.22	1.32	1.42	1.52	1.63
τ 小时	212,000	32,600	6,200	1,300	3.14

在实际工作中，常常由于真空度較低，例如在 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 托，为給出同样发射电流，灯絲温度需要升高100~200°C，而且当灯絲与活性气体（如 O_2 、 H_2O 等）接触时常常起化学作用，所形成的化合物易于蒸发，这样就加速了鎢的蒸发。根据 Leck⁽³⁾的計算，假設空气中有1/5氧气、灯絲直径減至70%时断裂，則寿命 τ' 与空气压强 P 、灯絲直径 d_K 及氧与鎢絲化合几率 β 有如下关系。

$$\tau' = \frac{0.069 d_K}{\beta p} \dots \dots \dots (1)$$

式中 τ' 以小时計， d_K 以[Cm]計， p 按[托]計。 β 的数值曾在Langmuir⁽⁴⁾早期实验中測定过， β 值随温度变化比較緩慢，設 $T_K = 2400^\circ K$ ， $\beta \approx 0.11$ ，对于我們的灯絲，在不同压强（空

气）下的寿命 τ' 如表2所示。

表2. 灯絲寿命与空气压强关系
($T_K = 2400^\circ K$, $\Phi_K = 0.1mm$.)

$$\frac{I \Phi_K}{\Phi_K} = 30\%$$

空气压强 (托)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}
寿命 (小时)	6,250	625	62.5	6.25

从表1和表2可以看出，如果电离計发射

(1) R.T.Bayard, D. Alpert. Rev. Sci. Inot. 21 p.571 (1950)

(2) 計算方法參看查廖夫，电子管的計算与設計

(3) J. H. Leck "Pressure Measurement in Vacuum system" p. 94 (1957)

电流选择 $2 \sim 5 \text{ mA}$ ，我們的灯絲可有几千甚至上万小时的理想寿命，而現在的直綫式灯絲的灯絲电压和灯絲电流比旧螺旋式灯絲减少很多（这将大大简化电离計电源的結構），旧螺旋式灯絲虽然工作温度可稍低，有更长的理想寿命，但在低真空的寿命只不过比現用的直綫式灯絲长30%左右而已。

2. 栅极和栅陰距

栅極結構尺寸的选择要保証有尽可能大的

灵敏度，但又要保証电离計工作稳定不易发生寄生振盪。B-A型电离計管的灵敏度与栅極直径、栅絲粗細和間距、栅極长度、栅極結構及电离計管的其他結構尺寸有关。比較主要的因素是栅極直径。

我校电离計管的栅極直接采用Гy-50 第三栅，它具有橢圓形，它的主要尺寸、栅極工作电压、电离計管灵敏度，与国外已发表的几种典型B-A計管的比較如表 3

表 3. 我校电离計管和国外 BA 計的栅極尺寸和灵敏比較表

型 号	国 别	栅極直径 $\Phi \text{ mm}$	栅極长度 $l \text{ mm}$	栅絲直径 $\delta \text{ mm}$	栅絲間距 $p \text{ mm}$	栅絲間距比 $p g / \delta g$	栅陰距离 $d g \text{ mm}$	栅 压 $U g \text{ V}$	灵敏度 $S \text{ e}^{-1}$	$S / \Phi g$	来 源
JM-3K	本校	11*	37	0.1	1.4	14	8	200	8.7	0.79	
WL-5966	美	19	38	0.13	1.58	12.5	2.38	170	10	0.53	(5)
RG-75	美	22		0.64+	4.61	7.25		150	10	0.45	(6)
MIT***	美	25.4	38	0.13	2.54	20	< 4	100	50	1.97	(7)
—**	苏	30	50	0.4+				100	30	1	(8)
HM-12	苏	20		0.5+				200	6	0.3	(9)
ECL	日	15	30	0.12	1.5	12.5	< 3	155	9.1	0.6	(10)

- * 橢圓形，长径13.5mm，短径7.3mm；
- ** 栅極具有端屏；
- *** 栅極具有端屏，并有第二栅；
- + 栅極通电加热去气。

对于 BA 电离計來說，只有在栅極圈內产生的正离子才跑向收集極，栅極愈大，电子在栅圈內与气体分子碰撞的几率也愈大，其次，如果栅極的空隙比(栅絲間距对栅絲直径之比)較大，电子可往返几次飞越栅極所包括的空間，这样，电子在栅圈內与气体分子碰撞的几率也愈大。按电离計管灵敏度定义

$$S = \frac{1}{p} \frac{I_+}{I_e} = \frac{1}{p} \frac{e N_+}{e N_e}$$

$$= \frac{1}{p} \frac{N_+}{N_e} \dots\dots\dots (2)$$

式中 N_e 为每秒从阴極发出的电子数， N_+ 为每秒收集極接收的正离子数，灵敏度 S 的意义可看作是在单位压强下，每个从阴極发出的电子所产生被收集極接收的正离子的数目。故灵敏

度可以和电子在气体中的相对电离系数 E_i 連系如下⁽⁷⁾：

$$S = \beta \cdot \bar{E}_i \cdot \bar{L}_e = \beta \cdot \bar{E}_i \cdot \bar{n} \cdot \Phi_g \dots\dots\dots (3)$$

式中 $\bar{E}_i$ 是电子在栅圈內相对电离系数的平均值， $\bar{L}_e$ 是电子在栅圈內走过的平均距离， $\bar{L}_e =$

(4) I. Langmuir J. Amer. Chem. Soc. 37 p.417
 (5) G.J.Schulz, J.A.P., 1957, 10/1, P1149
 (6) J.L.Peters.Vacuum Symp. Trans 1955. P71
 (7) W.B.Nottingham, Vacum Sgmp.Trans 1954 P76
 (8) В. М. Гаврилюк, Я. М. Кучеров П. Т. Э. 1959, №2, P195
 (9) А. М. Григорев, П. Т. Э. 1959 №6, P10
 (10) 樋田喜次郎, 真空 (日) Vol.3 №7 P.240 1960

$= \bar{n} \phi_g$, ϕ_g 是栅极直径, $\bar{n}$ 是电子经过栅极空间的平均次数; β 是小于1的系数, 考虑到在栅圈内产生的正离子有一部份从栅极两端跑至玻壳, 不被收集极接受。

E_i 与电子能量有关⁽¹¹⁾, 因此与栅压有关, 然而当电子能量在100~250范围内时, E_i 变化不大于10%; β 与栅极结构及收集极直径有关; $\bar{n}$ 与栅极空隙比、栅边杆的直径等有关。 S/ϕ_g 可以衡量电离计栅极结构的合理性。从表3中看出, 我枝电离计栅极的直径较小, 灵敏度也较小, 但它具有较大的 S/ϕ_g , 可能因为栅极的空隙比较大, 栅极相对较长及收集极直径用得较粗, 比较有效地吸收正离子。

栅阴距的选择应考虑电离计管灯丝工作在温度饱和情况下, 这样当栅极电压改变时发射基本上不变。选用小的栅阴距可以在相同玻壳直径下使栅极直径做得大一些, 然而小的栅阴距可能造成较大的参量另散, 因此在我們条件下选择了较大的栅阴距, 而这时栅极电流约等

于空间电荷饱和电流的1/6, 即充分保证灯丝工作在温度饱和情况下。

3 栅极去气所需功率

我們所用的栅极是由镍边杆, 镍加固腰带

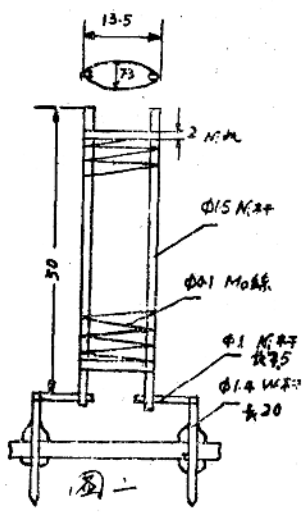


表4. 栅极散热功率计算结果

栅极温度 °K	900	1000	1100	1200	1300
栅极温度 °C	630	730	830	930	1,030
镍单位面积辐射 W/Cm ²	0.43	0.77	1.20	2.00	3.23
钼单位面积辐射 W/Cm ²	0.30	0.55	0.90	1.35	2.20
镍辐射面积 Cm ²	5.06*	5.06*	6.27**	6.27**	6.27**
钼辐射面积 Cm ²	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
总热导 瓦/度	4.85×10 ⁻³⁺	4.85×10 ⁻³⁺	6.8×10 ⁻³⁺⁺	6.8×10 ⁻³⁺⁺	6.8×10 ⁻³⁺⁺
镍辐射功率 瓦	2.18	2.78	7.53	12.5	20.3
钼辐射功率 瓦	0.81	1.46	2.40	3.60	5.85
热传导功率 瓦	2.91	3.38	5.44	6.12	6.80
总散热功率 瓦	5.90	7.62	15.4	22.2	33

- * 栅边杆辐射面积按 1/2 计算;
- ** 栅边杆辐射面积按 2/3 计算;
- + 栅边杆热导按 1/2 长度计算;
- ++ 栅边杆热导按 1/3 长度计算。

和钼丝做成。Mo 丝原含气量少, 且直径较细, 容易去气。故只要考虑镍边杆的出气就够了。

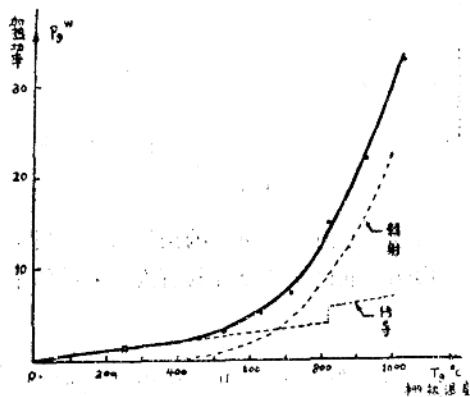
(11) A. Зирель, М. Штенбек "Физика и техника электрического разряда в газах" том I Р.

41 1935
 (12) Smythel, Proc. Roy. Soc. 1936, 155 P195
 (13) R. H. Collins, J. C. Tumball, Proc of 5th U. S. National Conference Advances in Electron Tube Technique 1961 P. 191

一般鎢的去氣溫度大約 900°C ，按 Smyth el⁽¹²⁾ 實驗結果， $\phi 1\text{mm}$ 鎢絲在該溫度下去氣 10 分鐘左右即可去除大部份表面吸附的氣體及一部份溶解在體積中的氣體，然而如果由於條件關係去氣功率不足，把柵極加熱到 $550\sim 700^{\circ}\text{C}$ 亦有一定的去氣作用⁽¹³⁾。

柵極加熱到不同溫度所需的加熱功率可計算如下：在熱平衡時加熱柵極的功率等於柵極散熱功率，柵極散熱借輻射和邊杆引綫的熱傳導。在高溫下前者占主要部份，在較低的溫度下，由於我們用平底芯柱，引綫又粗又短，熱傳導是不可忽略的。在實驗中觀察到，當用 20W 轟擊柵極時，大約有 $1/4$ 柵極長度的區域其溫度是較低的（冷端），可以推想，在較低的溫度下將有更長的“冷端”。柵極的尺寸如圖 2，具粗略的熱計算結果如表 4。表 4 中柵極溫度是指主要部份（或柵極上半部）的溫度。計算時認為當柵極溫度大於 830°C 時柵邊杆有 $3/4$ 長度輻射熱量，柵邊杆熱導按 $1/4$ 長度計算。當柵極溫度低於 830°C 時，設柵邊杆以 $1/2$ 長度輻射熱量，柵邊杆熱導按 $1/2$ 長度計算。表 4 的結果畫在圖 3 上。從圖上可以看出，為把柵極加熱到 900°C 約需 20W 功率。如用 $6\sim 7\text{W}$ 加熱柵極，則溫度可達 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。

利用上述方法還可以估算柵極在正常工作情況下的溫度。這對估計柵極在正常工作下的出氣速率是有用的。在正常工作條件下，電子給予柵極的功率為 $200\text{V} \times 2\text{mA} = 0.4\text{W}$ ，柵極對燈絲張的立體角約 1.77 ，設燈絲總輻射功率為



5W ，則柵極接受燈絲的輻射功率為 $\frac{1.77}{4\pi} \times 5 = 0.7\text{W}$ 。柵極接受的總功率為 1.1W 。設柵極熱導為 $4.85 \times 10^{-3}\text{W}/\text{度}$ ，這時熱輻射可忽略。算出柵極溫度比室溫高 227°C ，即柵極溫度約 250°C 。

4 收集板

收集極用金屬絲可使柵極發出的軟 X 射綫在它上面引起的光電流大大減少，從而提高電離計管所能測量的極限真空。收集極光電流減少的倍數等於收集極對柵極所張立體角減少的倍數。由於我們電離計管原來只為測一般高真空，收集極沒有採用細金屬絲，用了 $\phi 1\text{mm}$ 的鎢絲，因此立體角比一般 B-A 計收集極大 $10\sim 20$ 倍，殘余光電流所相當的極限真空約 10^{-9}mmHg ，如容許殘余光電流占離子流的 5% ，則本電離計管可正確測量 $5 \times 10^{-8}\text{mmHg}$ 真空度。

5 電離計導管直徑選擇

電離計導管直徑的選擇應從電離計出氣或吸氣速率出發，使得氣體流經導管時的壓強差在電離計工作範圍內不顯著地影響電離計的讀數。根據不同作者的报导⁽¹⁴⁾，電離計吸氣抽速在 $0.001\sim 0.3$ 升/秒的範圍內，在我們實驗中電離計抽速亦在此範圍內（見第四部份），抽速和使用的壓強範圍及事先去氣的情況等有關。在 $10^{-3}\sim 10^{-4}\text{mmHg}$ ，抽速較小，在高真空，抽速較大。由於電離計管的吸氣作用，其吸氣速率

$$Q = Sp = C(p' - p) = C\Delta p \dots (4)$$

式中 S 為電離計抽速， p 是電離計管內壓強， p' 是系統壓強， c 是電離計導管的管導，從 (4) 得出

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{S}{C} \dots (5)$$

(14) N. A. Florescu, Advances in Vacuum Science & Technology Proc 1st International Cong. (1958) Vol. I, p. 367

如果要求电离計讀数誤差 $\frac{\Delta p}{p} < 10\%$, 則 $c \geq 10S$
如 $S = 0.2$ 升/秒, 則 $c \geq 2$ 升/秒。

当考虑电离計出气影响时, 須对电离計出气速率主要是栅極出气速率作一估算。設栅極表面吸附气体已基本去除, 栅極出气主要是由于体积内部气体向外扩散。对于镍, 出气主要是 CO (或少量 CO_2), 由于 CO 在镍中的扩散極慢, 扩散过程可当作半无穷大界面的扩散問題处理。按扩散理論⁽¹⁵⁾, 这时单位時間从单位面积金属表面放出的气体量为

$$q = C_0 \left(\frac{D}{\pi t} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (6)$$

式中 C_0 为镍边样的起始含气量, D 是 CO 在 Ni 中的扩散系数, t 是扩散持續時間。設 $C_0 = 5cc$ (标准态) / $100g = 5 \times 760 \mu C_m^3 / 100g = 38 l \mu / g = 3.35 \times 10^2 l \mu / C_m^3$

設栅極工作在 $300^\circ C$, 这时 $D = 1.5 \times 10^{-15} C_m^2 / \text{秒}$ ⁽¹²⁾, 如开机后10分鐘讀讀数, 則 $t = 600$ 秒, 于是 $q = 3 \times 10^{-7} l \mu / \text{sec} \cdot C_m^2$, 栅边杆面积共 $4.8 C_m^2$, 故栅極在正常工作时的出气速率 $Q' = 4.8q = 1.44 \times 10^{-6} l \mu / S$, 出气速率随時間的平方根而下降。考虑到电离計栅極經過例常去气后, 仍有部分表面吸附气体繼續放出, 并考虑到栅極正常工作溫度的估計的不准确性, 可以認為栅極出气速率在 $10^{-5} \sim 10^{-6} l \mu / S$ 左右 (參看第四部分), 这样, 出气速率

$$Q' = C(p - p') = C \Delta p \dots \dots \dots (7)$$

或

$$\Delta p = \frac{Q'}{C} \dots \dots \dots (8)$$

栅極出气主要决定于栅極处理及工作溫度。据此, 在低真空情况下出气影响不显著, 在高真空情况下影响显著。如电离計导管的管导为 2 升/秒, 則

$$\Delta p = \frac{Q'}{C} = \frac{10^{-5} \frac{l \mu}{s}}{2 \frac{l}{s}} = 5 \times 10^{-9} \mu$$

对于

$$p = 10^{-6} \mu \quad \frac{\Delta p}{p} = 0.5\%,$$

$$p = 10^{-7} \mu \quad \frac{\Delta p}{p} = 5\%,$$

$$p = 10^{-8} \mu \quad \frac{\Delta p}{p} = 50\%.$$

綜合以上考虑, 选择导管內径 $\phi 12^m m$, 导管长度 $100^m m$, 則 $c = 2.16$ 升/秒, 这样的导管, 在一般場合下, 由于电离計出气及吸气作用所引起的測量誤差將小于 5% 。如采用很細的导管, 导管所引起的誤差是很严重的 (參看第四部份)。

二、电离計管的特性和參量

我校电离計管的电特性、电离計管灵敏度的測定方法和結果、灵敏度另散的測定方法和結果分述如下:

1 电离計管的电特性

电离計管的 $I_+ \sim I_e$ 关系, $I_+ \sim U_a$ 关系, $I_+ \sim U_e$ 关系如图 (4) (5) (6) 所示。在求

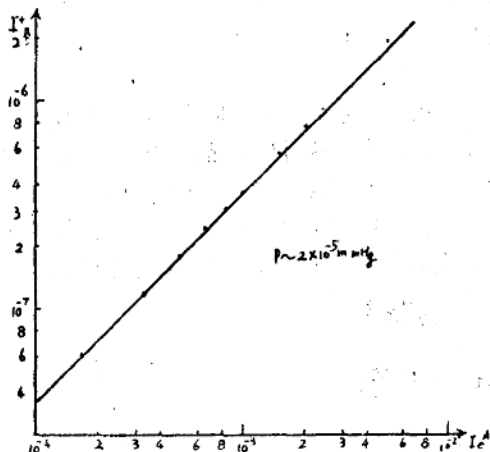


图 4

前面两个关系时, 电离計的出气与吸气对实验很有影响, 我們实验是在具有人工漏孔的系統

(15) W. Just "Diffusion in Solid, liquid and gases" 1952, p. 22