

53.91
692
12

高 真 空 技 術

(原理、實驗、工業應用及材料的性質)

傑·亞伍德著

林樹嘉譯

科 學 出 版 社

1954



DT45/16

本書內容提要

本書係根據傑·亞伍德 (J. Yarwood) 所著的高真空技術 (High Vacuum Technique) 1945 年第二版增訂版翻譯的。

原書共分六章：第一章敘述各種類型真空抽氣機的構造及簡明動作原理，並組成真空系統所用的技術；第二章敘述各種類型真空計的構造，原理及優缺點；第三章敘述氣體經過管子的流動原理，及測定抽氣速率的方法；第四章敘述去氣技術，及各種吸氣劑的效能並用法；第五章敘述電子管及光電管的製造方法，及金屬與非金屬在真空中沉積的技術；第六章敘述真空工作中所用的各種材料的性質。

本書適於作為物理系學生及從事真空工作的技術人員之參考資料。

高 真 空 技 術

HIGH VACUUM TECHNIQUE

原著者	J. Y a r w o o d
翻譯者	林 樹 嘉
出版者	科 學 出 版 社 (北京朝陽門大街117號) 北京市書刊出版業營業許可證出字第 061 號
印刷者	上海中科藝文聯合印刷廠
總經售	新 華 書 店

1954年4月第一版	頁數：6016，字數：122,000
1957年12月第二次印刷	開本：850×1168 1/32
(滬)8,201—3,717	印張：6

定價：1.00 元

目 錄

第一章 高真空的產生.....	1
平均自由路程(1) 真空抽氣機(2) 水流抽氣機(2) 給德 機械式“輔助”抽氣機(3) 信扣海維克旋轉油抽氣機(5) 給德 分子抽氣機(6) 好來維克抽氣機(9) 水銀擴散抽氣機(9) 凝結捕集器(14) 油擴散抽氣機(15) 抽氣系統(24) 切 斷器(28) 尋找漏氣(28) 真空抽氣機的特性(31) 真空 系統的組成(36)	
第二章 高真空的測量.....	43
放電管(43) 麥克雷真空計(47) 流體真空計(49) 皮雷 尼真空計(50) 游離真空計(55) 飛利浦斯游離真空計(60) 熱電偶真空計(64) 拿迪遜真空計(64) 粘滯真空計(66)	
第三章 抽氣速率的測量.....	68
氣體經過管子的流動(68) 蓋德抽氣速率定義(69) 定壓法 (71) 定容法(75) 壓力——時間關係特性(75)	
第四章 去氣和“吸氣”.....	77
在低溫爐內烘烤真空管(78) 玻璃之放出氣體(80) 金屬之 放出氣體(81) 渦流加熱(82) “吸氣作用”(87) 乾燥 劑(90) 放電清除法(91)	
第五章 高真空在工業上之應用.....	93
無線電真空管之抽氣及活性作用(93) 陰極射線管(97) 充 氣管(100) 光電管(103) 真空中金屬薄膜之凝積(107) 蒸 發步驟(112) 陰極凝散(115)	
第六章 高真空技術中主要材料的性質.....	119
氣體(119) 元素(120) 使用於高真空技術中的材料的性質 及應用(128) 雜項表(164) 電子學中有用的數據(164)	
參考文獻.....	168
索引.....	177

第一章 高真空的產生

平均自由路程 氣體在低壓時的行動，與它在正常壓力時的行動，在某些方面是完全不同的。主要原因是氣體分子間的距離增大，使分子彼此相撞的可能性甚小。所以引出一個在氣體工作中有用的量，即平均自由路程；這就是在一定的壓力下，一個分子與其他分子相撞前所走的平均距離。若 d 是分子的直徑，於是若兩個分子走到它們的中心距離 d 以內時，我們可以說它們已經相撞。一分子的的標面積，可以寫做 πd^2 。若單位體積內，有 N 個分子，則分子在厚度 z 橫截面 S 內的數目是 NzS ，它的的標面積是 $\pi N d^2 z S$ 。當 $\pi N d^2 z S = S$ 時，分子形成的的標充滿全面積 S ，所以沒有一個分子能夠避免相撞而走過一距離 z 。在 $\pi N d^2 z S = S$ 時， z 的數值是：

$$z = \frac{1}{\pi N d^2} \quad (1)$$

此處 z 就是平均自由路程。

馬克士威 (Maxwell) 考慮到分子的速度分配，指出平均自由路程更為精確的結果是：

$$L = \frac{1}{\sqrt{2} N d^2 \pi} \quad (2)$$

此處 L 是平均自由路程。

在大氣壓時 $L = 0.00001$ 厘米¹⁾

在 0.0076 毫米水銀柱的壓力時 $L = 1.0$ 厘米

真空抽氣機 產生高真空的抽氣機，大致可分為兩類：

(a) 自處於大氣壓的容器內抽氣的抽氣機，此類常為機械式抽氣機；(b) 需要輔助真空，或在低於某一定限度壓力時才開始工作的抽氣機。

今僅將最常用的抽氣機，敘述如下。尚有許多其他類型的各式抽氣機，但是不常使用。

列入(a)類的抽氣機，普通稱為“輔助”抽氣機。它有三種廣泛應用的類型：(1) 水流抽氣機，(2) 給德型 (The Gaede pattern)，(3) 信扣海維克型 (The Cenco-Hyvac model)。

抽氣機的速率，是在一定壓力時，等於單位時間內自容器內所抽出氣體的體積。此處體積是在此給定壓力下所測得的。

(1) **水流抽氣機** 由一快速口供給的水，經過厚壁橡皮管到口 A。此水流在收縮的噴口 B 處，以高速度流出。此噴口的周圍有一圓錐形管，用它來避免水流濺出，及引廢水流流入 C 處。一旁管在 D 處接連到準備抽空的容器。在套管 E 中，空氣分子由高速率噴出的水流帶走而使它們到大氣內。這些分子則由正在抽氣

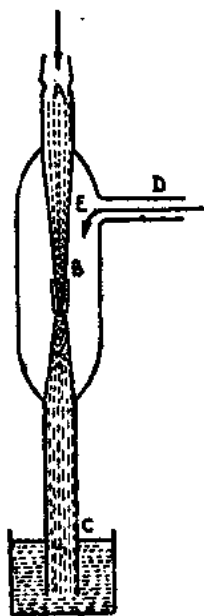


圖 1 水流抽氣機

1) 此等結果為氧氣的情況。其他氣體的平均自由路程，可參考第六章。關於一電子經過一氣體 $L_e = 5.66L$ ，此處 L_e 是電子的平均自由路程。

的容器內所來的分子接替，這樣地繼續下去。此種方法，可得到 7 毫米水銀柱的壓力，就是比水蒸汽壓低 5 毫米。

水流抽氣機是用玻璃或金屬製成。使用這種抽氣機時，必須使用乾燥劑（矽凝膠或五氧化磷）。這能很方便地把它放置在接連抽氣機及被抽氣的容器的管子內。抽氣速率在 10 厘米水銀柱的壓力時，其數量級是每秒 20 立方厘米。

(2) 給德機械式“輔助”抽氣機 在圓筒形的青銅或鋼的鑄件 Q 內，由一鋼製實心圓柱體 P 作為轉動子，以自己軸

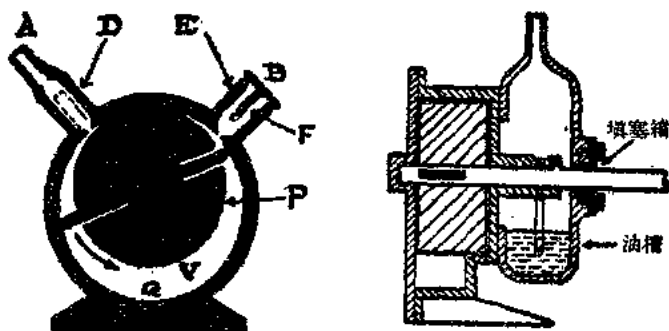


圖 2 給德機械式“輔助”抽氣機

心轉動。A 及 B 分別為進氣口及出氣口，就是將準備抽氣的容器接連到 A 處，自容器內抽出的氣體在 B 處排到大氣中。內外兩圓柱體，在 A B 間的面積上，嚴密地接觸着。內圓柱體轉動的方向，由箭頭來表示。在轉動子內橫嵌有一個或多個翼，由於彈簧作用，使這些翼向外伸張與圓柱形殼的內壁接觸。

轉動子及圓柱形殼的表面，需要高度精確，並有足夠的油

用來潤滑動轉部分和起封閉作用。

從圖中看出，當抽氣機轉動時，原來佔有體積 V 的空氣，被轉動子及翼壓縮，並在 B 處被驅至大氣中。 D 處的細縫用以阻止其他微粒進入抽氣機內，以防止破壞精密的工作表面。在出氣口內，一個含有閥門盤 E 的閥門，由彈簧 F 來使它落到閥門座。

自大氣壓抽氣，可得到的壓力，其數量級為 10^{-3} 毫米水銀柱。兩個抽氣機串聯時，就是一個的動作對於其他一個像是“輔助”抽氣機，所得到的壓力，可低到 10^{-4} 毫米。

給德抽氣機的另一型式是將抽氣機浸入一箱中，全部機械浸入油類內，這些油作為潤滑劑，並對於微小的漏氣，有封閉作用。

大規模的抽氣，將三四個抽氣機串聯放入一箱內，在壓力的數量級為 1 毫米水銀柱時，能有每秒 5 公升的速率。

當用充油“輔助”抽氣機時，若抽氣機長時間放置不動，



圖 3

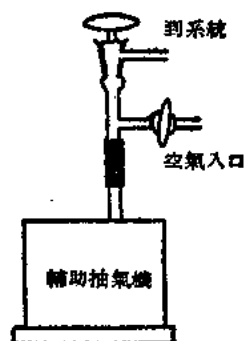


圖 4

應特別注意來保證，使空氣不要自抽氣機被吸返到已被抽空的任何容器內。要避免這種情形發生，在抽氣機上裝置一自動封閉閥門，或在它上面裝置一貯藏器，如圖 3 所示，或採取圖 4 所示的管塞裝置，使容器保持真空而使油抽氣機處在大氣壓情形。多數近代抽氣機，由製造者附裝一油捕集器。無論如何，此等裝置多不可靠，尤其在抽氣機已長期使用。所以應採取圖 3 及圖 4 所示的標準預防裝置。最好的預防，是用圖 4 所示的方法，使抽氣機下降到大氣壓，因為在真空情形下，很難使大型抽氣機再開始工作。

(3) 信扣海維克旋轉油抽氣機 此型式在實驗室及燈泡工廠中工作，是令人滿意的抽氣機。一轉動子，具有彈簧控制的活動翼，在圓柱形殼內轉動。進氣口及出氣口相距甚近。

圖 5 中，A 是精密製造的鋼圓柱體。它在鋼製圓筒形鑄件 C 內，以軸 B 偏心地轉動。翼用彈簧及臂 D 來運轉。箭頭表示轉動子轉動的方向。它的運轉情形與給德抽氣機相同，空氣經過與被抽氣的容器接連的口 E，並佔有體積 V，由轉動子及翼將它在出氣口附近壓縮為較小的體積，而被逐至大氣內。許多此等循環很快地將容器抽低到 10^{-3} 毫米水銀柱的壓力。此整個機

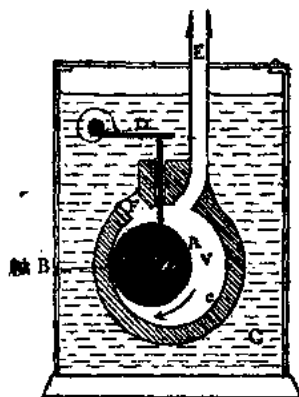


圖 5 信扣海維克“輔助”抽氣機

械構造，放在箱 G 內，浸沒油中。

商業上所製造的海維克型，是由這樣兩個抽氣機串聯而成，並在它們的共同軸上裝置一馬達來拖動。

其他海維克型商業產品為麥格維克 (Megavac) 及海波維克 (Hypervac)。它們的工作情形，由圖 31 中曲線說明。

對於這種抽氣機，也需要有像給德抽氣機相同的辦法來預防將油吸返。

此等機械油抽氣機，不能抽可凝結的蒸汽如水汽，油汽，活門脂汽等。保護此等抽氣機的方法，是將五氧化磷放置在抽氣機及容器中間，這樣便防止水汽影響壓力及損傷抽氣機的精密工作表面。

現在論及在 (b) 項內所列的抽氣機，就是需要一預備真空的抽氣機。此等抽氣機能產生的壓力，遠較“輔助”或預備抽氣機產生的為低。它們有三種重要類型：(1) 分子抽氣機——給德及好來維克 (Holweck) 兩著名型。(2) 水銀擴散抽氣機——有許多類型，只討論最普通應用的。(3) 油擴散抽氣機——在工業應用方面，愈來愈廣泛。

給德分子抽氣機¹⁾ 這種抽氣機的作用，是靠與固定面隣近的一高速率轉動面對於空氣分子所生的拖拉力。這兩個面需要高度準確的加工。

動作原理——一圓柱體 A 在外圓筒形 B 內，以高速率轉動。容器先被抽至預備真空壓力，此時容器內氣體分子的平均自由路程，較分子抽氣機的內轉動圓柱體與外殼間的距離甚

1) Gaede, Phys. Zeit., 13, 864-70, 1912.

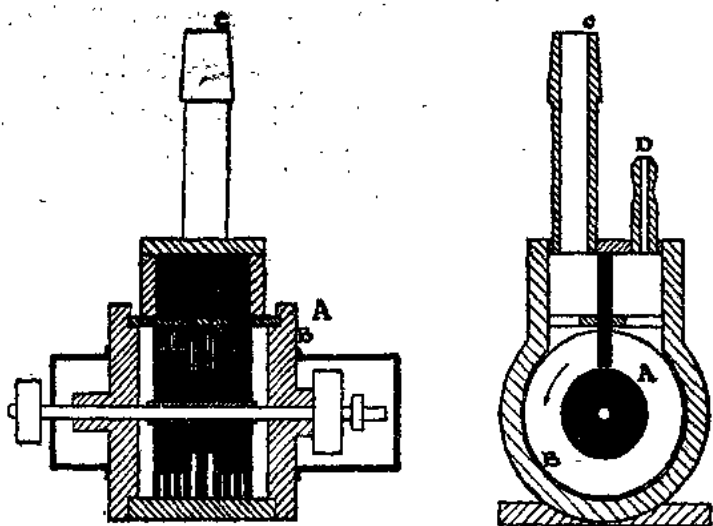


圖 6 給德分子抽氣機

大。然後分子抽氣機的圓柱體，開始轉動。

因為這些分子碰撞到環形罅隙的兩壁上的次數，遠較分子彼此間碰撞的次數為多。結果是，氣體參與轉動子表面的轉動，被高速率轉動子拖走，而驅到預備抽氣機。在口 C 及 D 間，有一定的壓力差，C 接連到被抽氣的容器上，D 連到預備抽氣機。此壓力差由下列方程式計算：

$$P_1 - P_2 = \frac{6L\omega\eta}{d^2} \quad (3)$$

此處 P_1 是低真空壓力， P_2 是高真空壓力， L 是連接高低壓力間的罅隙長度， η 是被抽的氣體粘滯係數， ω 是轉動子轉動角速度， d 是罅隙的深度。此方程式是根據氣體運動學說得出來的。

當更進一步降低預備真空的壓力，則高低壓力間的壓力比與預備壓力無關，而僅與轉動速率有關。結果是，降低預備壓力到某一定最低限度 (10^{-2} 毫米水銀柱) 下，並不能改進其效果。在 10^{-3} 毫米水銀柱時，可得到每秒 8 公升的抽氣速率。

這種抽氣機所需要的輔助壓力約為 10^{-2} 毫米水銀柱。在轉動圓柱體上，約有十二個隙孔，外殼上的凸形體插入這些隙孔內。圓柱體與外殼間的間隙約為 0.1 毫米。這些隙孔，在外部的較淺，在內部的深約 0.5 厘米。在圖 6 內。A 及 B 分別代表內轉動圓柱體及外固定圓筒體。

抽氣是經過口 C，輔助抽氣機接到 D 處。箭頭表示內轉動子的轉動方向。用一高速率感應電動機來使轉動子轉動。這種抽氣機是很快並很便利的，並不像擴散抽氣機一樣，需要凝結捕集器。它們必需在極端清潔條件下工作，並且產生一些機械上的困難，而需要特別加以注意和保養。

下表指出，預備真空及轉動子速率的變化，對於最後所能產生的真空度的影響。表內 n 是轉動子速率每分之轉數， P_1 及 P_2 是初壓及終壓，單位是毫米水銀柱。

n	P_1	P_2
10000	2.0	$5 \cdot 10^{-7}$
10000	10.0	$3 \cdot 10^{-6}$
8000	20.0	$5 \cdot 10^{-6}$
7000	10.0	$8 \cdot 10^{-6}$

好來維克抽氣機 這種抽氣機是給德型的改良式。一根光滑表面磨圓柱體，在青銅外殼內轉動。外殼的內表面上，刻有螺旋槽。槽有兩條，一為左旋，一為右旋。這兩個槽相遇於中部入氣口處，見圖7。槽的深度，由兩端向裏漸漸增加，兩端深約0.5毫米，兩槽相遇處約為5毫米。槽的兩端，由殼內

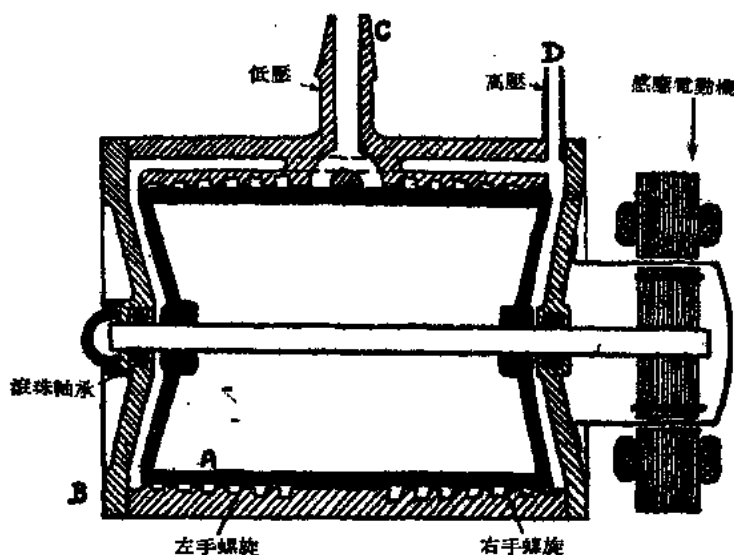


圖7 好來維克分子抽氣機

所刻的槽連到“輔助”抽氣機管。氣體因轉動子轉動，被抽到圓柱體兩端。圖7中，A是內轉動圓柱體，B是外殼，C及D分別表示入氣口及出氣口。抽氣機轉動約為每分5000轉，能產生 10^{-6} 毫米水銀柱數量級的真空。

水銀擴散抽氣機 在這種抽氣機中，水銀蒸汽自一孔散出。被抽氣的容器，在水銀加熱以前，先用預備抽氣機，經過

此擴散抽氣機來抽氣。於是在產生的壓力下(就是將幾毫米水銀柱的壓力以下)，使水銀沸騰。容器內的氣體分子，擴散到高速度水銀蒸汽流中，被它捕集而引導到預備抽氣機，這些氣體分子再由預備抽氣機抽到大氣中。氣體分子不被水銀蒸汽流導出的可能率，用氣體運動學說來計算，約為 10^{28} 分之一。所以擴散抽氣機是很有效力的。

圖 8 表示出更為清楚的動作。此圖所示的抽氣機，叫做“傘”型。

貯藏器 A 中的水銀，在“輔助”壓力下被沸騰，而蒸發到管 B 內。在適當的速率加熱下，此水銀蒸汽流衝擊到傘狀椎形 C 的反射面，而沿環形管 D 噴下。用水套 E 將這抽氣機包圍起來，可使噴下的水銀蒸汽流，在管 D 底部附近壁上凝結，經過管 F，回到貯藏器中。F 是 U 形管，可使在管中凝結的水銀，阻止抽氣機的高低兩壓力能直接連通。被抽氣的容器，直接連到空間 J，裏面的氣體分子，在 D 處擴散到水銀蒸汽流中，而被驅到“輔助”抽氣機。此擴散抽氣機叫做凝結抽氣機更為恰當些，因為早期給德抽氣機，並不用水套使水銀蒸汽受其作用而凝結。最先的給德擴散抽氣機，需要小心調節水銀蒸汽的溫度。此等溫度對於現今廣泛使用的凝結抽氣機，並不甚重要，因為應用凝結原理，可以阻止水銀

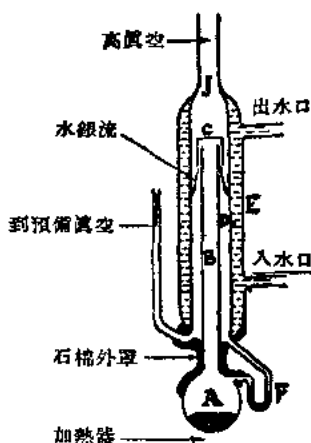


圖 8 水銀擴散抽氣機

蒸汽擴散到被抽氣的容器內的趨勢。雖然水銀蒸汽溫度，在現代凝結抽氣機中，並不重要[拉麥爾¹⁾(Langmuir)]，但水銀的加熱速率，決定所需要的輔助壓力，以達到滿意的運轉。所以溫度也需要很好地來加以調節。加熱很慢，需要低“輔助”壓力，但如果很快地加熱，便會使水銀蒸汽到達不希望到達的抽氣機上部。若要滿意地應用凝結原理，必需使擴散孔端在水套以內²⁾，並使抽氣機的長度相當大，足夠阻止任何可覺量的氣體向回擴散。在某一固定壓力下，當水銀擴散孔的寬度等於平均自由路程時，即可得到最高的抽氣速率。

此等抽氣機是用玻璃，石英或鋼製成。普通常用的種類，在 9, 10 及 11 等圖中描敘之。

圖 9 為凡摩而 (Volmer) 型，由貯藏器內水銀所形成的蒸汽流，經過管 T 到口 J，直接向下噴，最後在螺旋管 S 內凝結。管 T 包以石棉，來防止散熱。這種抽氣機作為機械式輔助抽氣機及傘型抽氣機中間的抽氣機，非常合用，因為擴散抽氣機的抽氣速率，因預備壓力降低而增加。

圖 10 表示鋼製三級給德擴散抽氣機。每一級“輔助”上一級。此抽氣機可在“輔助”壓力高達 20 毫米水銀柱的情況下工作，最後仍可得到每秒 20 公升的抽氣速率。

圖 11 說明喀義³⁾(Kaye) 所設計的現代鋼製擴散抽氣機。它是單級寬口抽氣機，能得到高速率的抽氣，而不受接連管子的流阻的限制。同樣的大型抽氣機，能有每秒 200 公升的抽氣

1) Langmuir, Gen. Elect. Rev., 19, 1060, 1916.

2) Dushman, High Vacuum.

3) Backhurst and Kaye, Phil. Mag., 1924, Kaye, ibid., 1926.

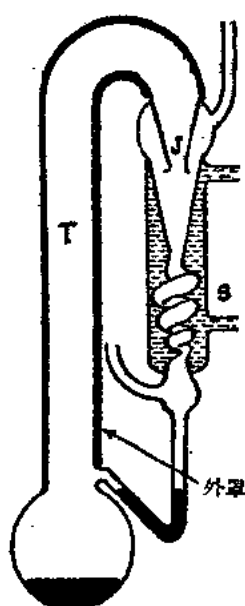


圖 9
凡摩而抽氣機

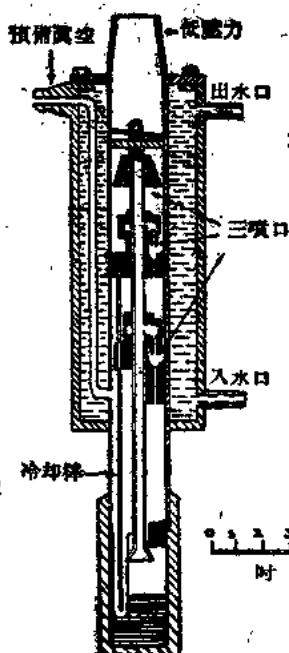


圖 10
給德抽氣機

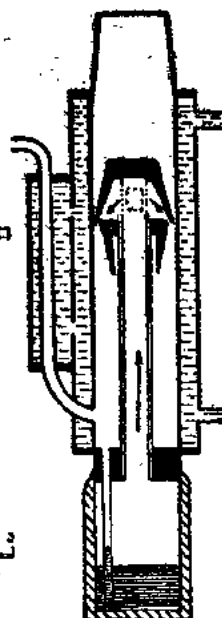


圖 11
喀義抽氣機

速率。

另一型擴散抽氣機是用玻璃製造，它所用的噴口是用鋼精密製成，這樣能夠保持清潔，並容易將它直接接到玻璃真空管上。

見圖 12。

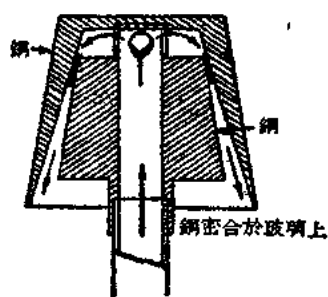


圖 12

何增祿¹⁾設計一多口擴散抽

1) 何增祿 Rev. Sc. Inst., 3, 133, 1932.

氣機，其工作效率甚大。（見圖 13）。

他認為拉麥爾型抽氣機是其中有一狹隙形成於蒸汽口與凝結壁之間（例子為圖 8 及 9），並指出噴口系統受有限制，因

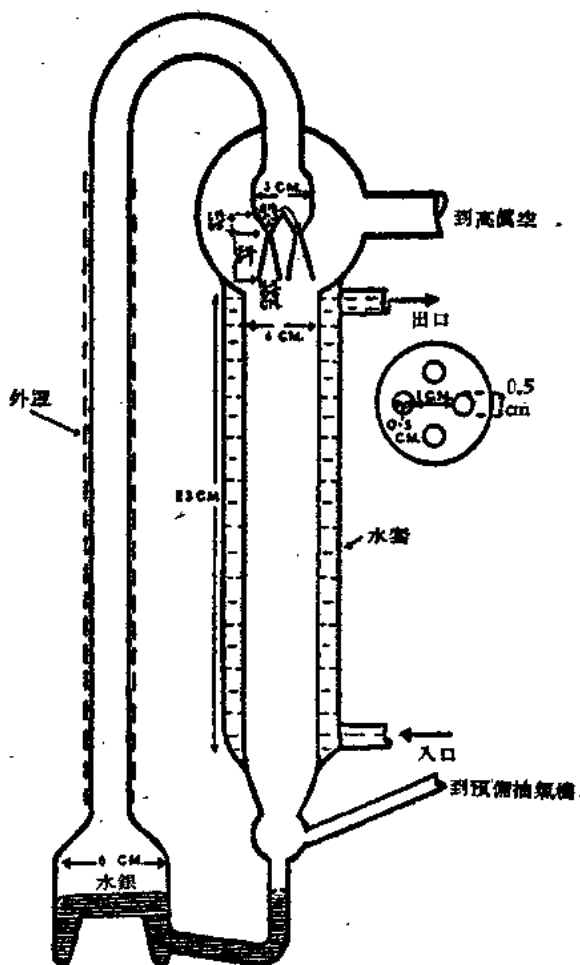


圖 13 多噴口水銀擴散抽氣機（何增祿創作）

爲如上所述，隙孔寬度必須與在某一壓力時，與氣體分子的平均自由路程相近。這就是說，狹隙的有效面積，比抽氣機的蒸汽管的尺寸爲小。後來克勞福¹⁾ (Crawford) 做出發散的噴口抽氣機 (如圖 11 所示)，如此可除去經過隙孔而擴散的蒸汽量。採用環形噴口 (如圖 12 所示)，及同軸圓柱型，可除去中央部分剩餘的蒸汽，以增加熱量的節約。何增祿並指出，在所有此等類型中，凝結壁正在隙孔以下，能使一些氣體分子經過臨近凝結壁的隙孔部分，散射回來。在多噴口構造中，用一加大的噴口室，有足夠的空間讓氣體走動，可使所有蒸汽全部有效使用。如此所得的效率較排列一組小擴散抽氣機所預期的效率爲大。如抽氣機的構造爲一發散的噴口，狹道直徑 6 毫米，口的直徑 22 毫米，使用水銀，並以 140 瓦特加熱，預備壓力爲 0.1 毫米，其抽氣速率爲每秒 14.5 公升，在 10^{-3} 毫米到 10^{-5} 毫米水銀柱間，抽氣速率實際不變。另一抽氣機，具有相同大小及噴口，但噴口分爲四部分，在一切相同條件下，其抽氣速率爲每秒 33 公升。

凝結捕集器 要阻止水銀蒸汽進入到被抽氣的容器內，或沾污其中任何構造的情形發生，那麼在擴散抽氣機及容器中間，應加入一凝結捕集器。普通的捕集器有兩種，如圖 14 及 15 所示。

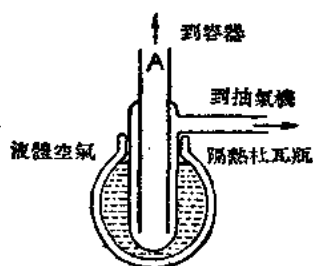


圖 14 凝結捕集器

1) W. W. Crawford, Phys. Rev., 10, 557, 1917.