

真空技術簡介

報告人：洪錕銘

日期：92年4月28日晚上7點

地點：化工館5樓研討室

一、真空的定義：

一特定空間內的部分氣體被排出，其壓力小於一大氣壓。

真空 (Vacuum) 並非 “真正的空”，即使以目前技術所及的超高真空狀態，仍然有為數可觀的氣體分子存在。

表示真空的常用單位：托耳 (torr)

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr}$$

$$= 101,325 \text{ Pa (Pascal)}$$

$$= 101,325 \text{ N/m}^2$$

$$= 1,013 \text{ mbar (毫巴 , 氣象學常用單位)}$$

$$= 1.03327 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 7.6 \times 10^5 \text{ micron}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$$

$$= (101,325 \text{ N/m}^2) / 760$$

$$= 133.32 \text{ N/m}^2$$

二、真空的分類：

1. 粗略真空 (Rough vacuum) : 760~1 torr
2. 中度真空 (Medium vacuum) : $1 \sim 10^{-3}$ torr
3. 高真空 (High vacuum) : $10^{-3} \sim 10^{-7}$ torr
4. 超高真空 (Ultra-high vacuum) : 10^{-7} torr 以下

三、真空對薄膜製備的意義：

表 1. 壓力與單層膜形成時間的關係

壓力 (torr)	單層膜形成時間 (sec)
10^{-6}	1
10^{-7}	10
10^{-8}	100
10^{-9}	1000

由表 1 知，即使在 10^{-6} torr 的低壓，只要 1 秒的時間，就可在新鮮的表

面形成一層原子或分子膜(monolayer), 此種殘留氣體將造成樣品的污染。

四、 真空幫浦的挑戰：

1.由波義耳定律知： $P_1V_1 = P_2V_2$

故如欲將一大氣壓 (760 torr) 抽至 10^{-3} torr 的真空，則原來一大氣壓吸附的體積將膨脹為 7.6×10^5 倍，使真空幫浦必須消耗長時間才能得到滿意的真空。

2.高真空或超高真空的操作，使用到冷凍抽氣，如溫度突升，將使真空中的氣體突然逸出，而造成對真空幫浦的嚴重影響。例如：760 torr 抽至 10^{-7} torr 的真空，則逸出 1c.c.的氣體，將膨脹為 7.6×10^9 c.c.

五、 真空狀態下氣體的成分：

1. 氣體的組成會隨著真空度而變。例如：

一大氣壓下氮氣佔有 78 %，在低壓下可能只佔 10 %，甚至更低。

一大氣壓下水蒸氣只佔有 1.57 %，在 10^{-3} torr 的壓力下，水蒸氣可能佔有 75~95 %，但在超高真空時，則僅佔有幾個 %。

表 2. 超高真空下氣體分壓的變化

氣體 種類	一大氣壓		超高真空	
	體積百分比	氣體分壓 (torr)	(1) *	(2) *
N ₂	78.08	5.95×10 ²	2×10 ⁻¹¹	-
O ₂	20.95	1.59×10 ²	-	3×10 ⁻¹³
Ar	0.93	7.05	6×10 ⁻¹²	-
CO ₂	0.033	2.5×10 ⁻¹	6.5×10 ⁻¹¹	6×10 ⁻¹²
Ne	1.8×10 ⁻³	1.4×10 ⁻²	5.2×10 ⁻¹¹	-
He	5.24×10 ⁻⁴	4×10 ⁻³	3.6×10 ⁻¹¹	-
Kr	1.1×10 ⁻⁴	8.4×10 ⁻⁴	-	-
H ₂	5.0×10 ⁻⁵	3.8×10 ⁻⁴	1.79×10 ⁻⁹	2×10 ⁻¹¹
Xe	8.7×10 ⁻⁶	6.6×10 ⁻⁵	-	-
H ₂ O	1.57	1.19×10 ¹	1.25×10 ⁻¹⁰	9×10 ⁻¹³
CH ₄	2×10 ⁻⁴	1.5×10 ⁻³	7.1×10 ⁻¹¹	3×10 ⁻¹³
O ₃	7×10 ⁻⁶	5.3×10 ⁻⁵	-	-
N ₂ O	5×10	3.8×10 ⁻⁴	-	-
CO	-	-	-	9×10 ⁻¹²

* 資料來源 : (1) Dennis and Heppel (1968) p.105

(2) Singleton (1966) p.355

表 3. 超高真空下氣體體積百分比的變化

氣體種類	一大氣壓下 氣體體積百分比	超高真空下氣體體積百分比	
		(1) *	(2) *
N ₂	78.08	0.92	-
O ₂	20.95	-	0.82
Ar	0.93	0.28	-
CO ₂	0.033	3.0	16.44
Ne	1.8×10 ⁻³	2.40	-
He	5.24×10 ⁻⁴	1.66	-
Kr	1.1×10 ⁻⁴	-	-
H₂	5.0×10⁻⁵	82.68	54.79
Xe	8.7×10 ⁻⁶	-	-
H ₂ O	1.57	5.77	2.46
CH ₄	2×10 ⁻⁴	3.28	0.82
O ₃	7×10 ⁻⁶	-	-
N ₂ O	5×10	-	-
CO	-	-	24.66

* 資料來源：(1) Dennis and Heppel (1968) p.105
 (2) Singleton (1966) p.355

2. 氣體體積百分比隨真空度而變的原因：

- (1) 氣體本身的特性。
- (2) 氣流的種類與特性。
- (3) 各式真空幫浦不同的抽氣原理。

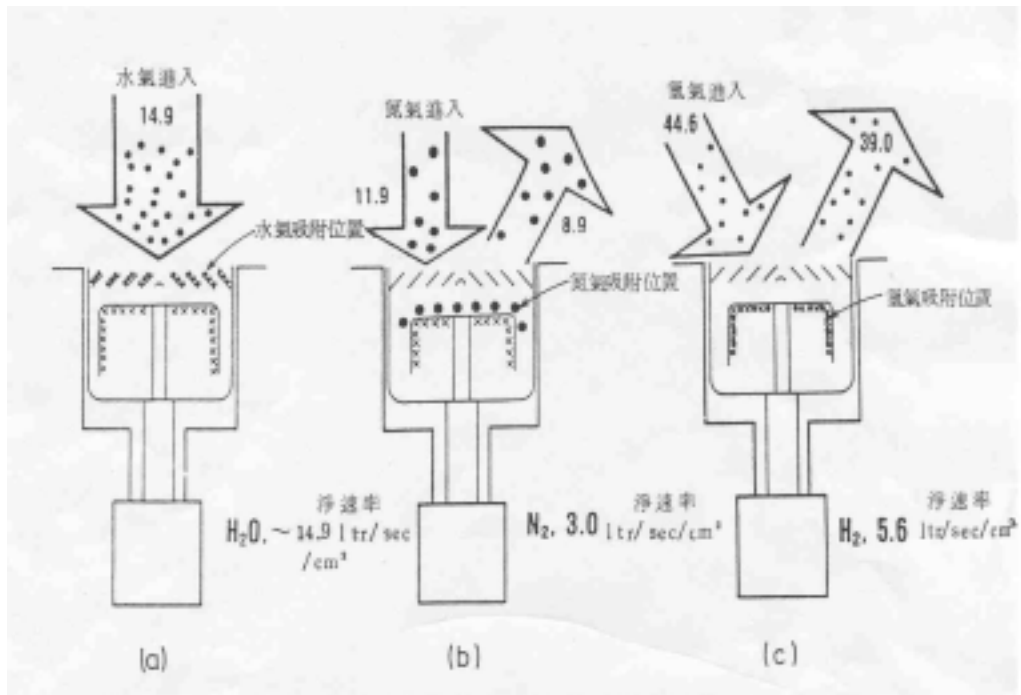


圖 1.水氣、氮氣及氫氣之吸附位置與有效抽氣速率（淨速率）

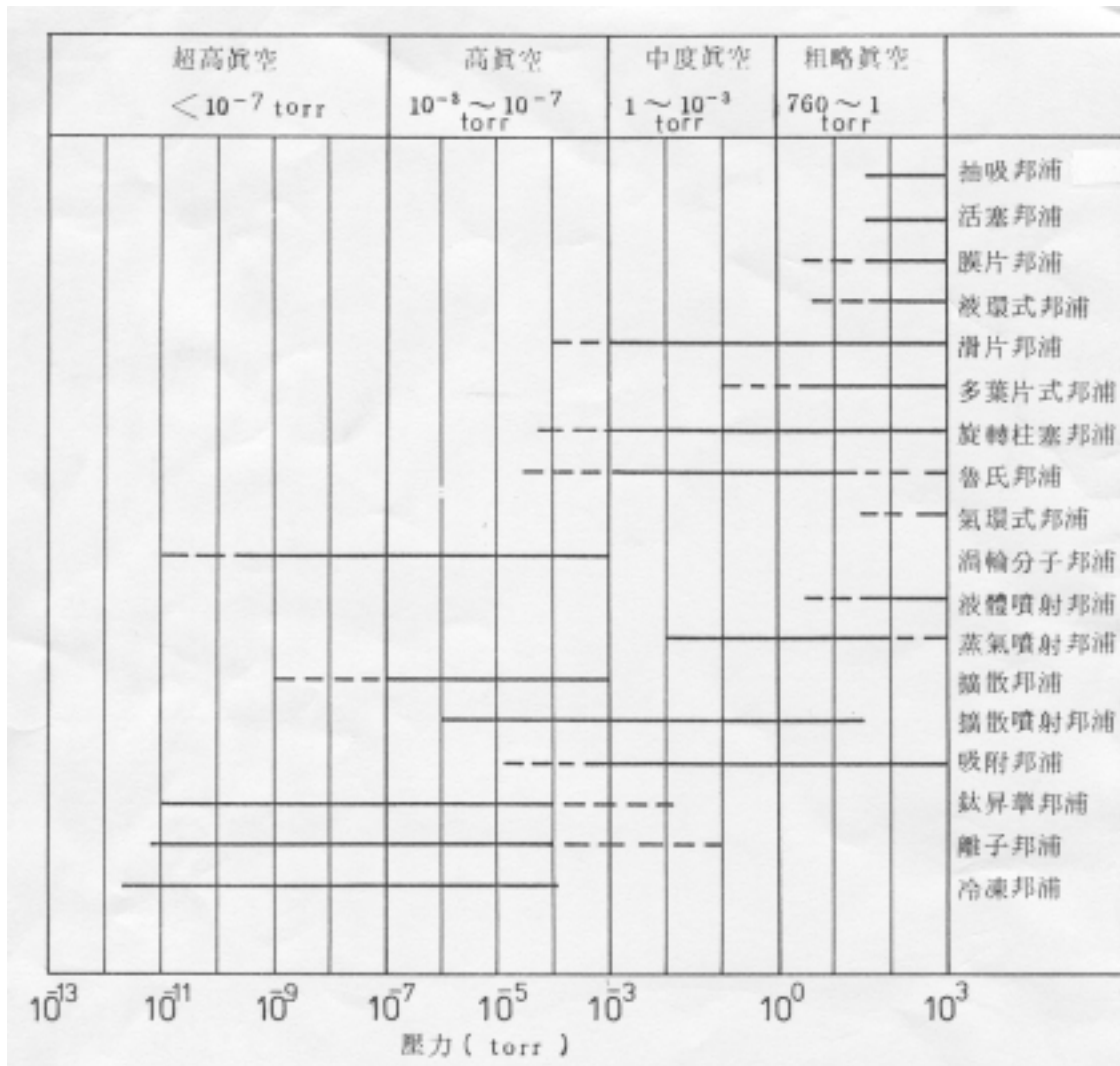


圖 2.各種真空幫浦工作範圍一覽表

今分別摘要說明真空技術中的三個重要的知識：

(1) 氣體本身的特性：

平均自由徑 (Mean free path ,)：氣體分子與氣體分子相繼二次碰撞中所運動之距離的平均值。

$$= 1/2^{1/2} \quad nd_0$$

式中 n = 氣體分子密度 (氣體分子數/真空室體積)

d_0 = 氣體分子的直徑

故 n
 d_0

(2) 氣流的種類與特性：

表 4. 氣流之區分

氣流種類	λ/d	真空範圍
黏滯流 (Viscous flow)	$\lambda/d < 0.01$	粗略真空
過度流 (Transition flow)	$1 > \lambda/d > 0.01$	中度真空
分子流 (Molecular flow)	$\lambda/d > 1$	高真空或 超高真空

各種氣流狀態的特性：

1. 黏滯流包括：
 - a. $Re > 2200$, 氣流中有渦流產生。
 - b. $Re < 2200$, 氣流中無渦流存在。

$$\lambda \ll d$$

氣體分子與氣體分子間碰撞頻繁，其次數遠大於氣體分子與管壁之碰撞次數。

氣體分子間因黏滯力之作用，使氣體運動有方向性，並與抽氣方向相同，此特性可防止機械幫浦的油氣回流至真空系統；一

般管路直徑 5cm，壓力 0.2torr 之氣流為黏滯流，故使用機械幫浦與擴散幫浦組合之抽氣系統，機械幫浦只抽氣至 0.2torr。

2. 分子流：

$\lambda > d$

氣體分子與管壁之碰撞次數較氣體分子與氣體分子間之碰撞為多。

氣體分子在管路中之運動為隨意方向，不受抽氣方向之影響。

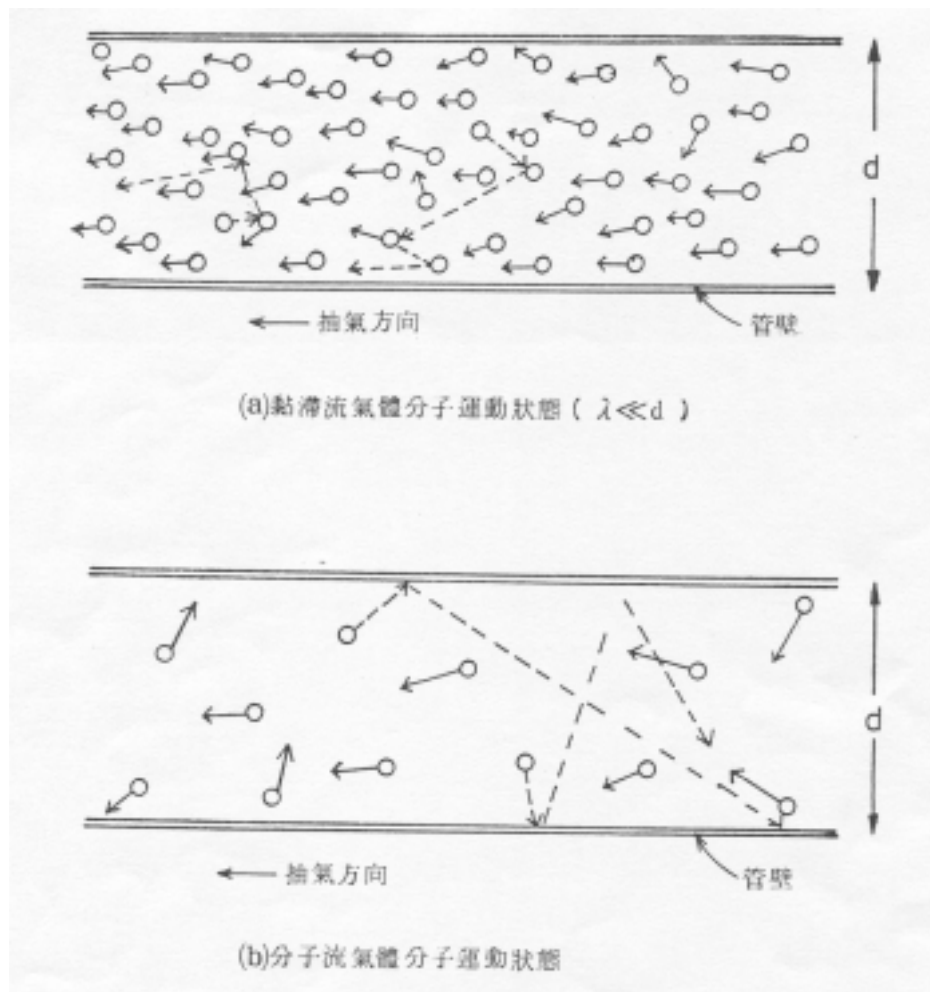


圖 3. 黏滯流與分子流狀態下氣體分子運動情況

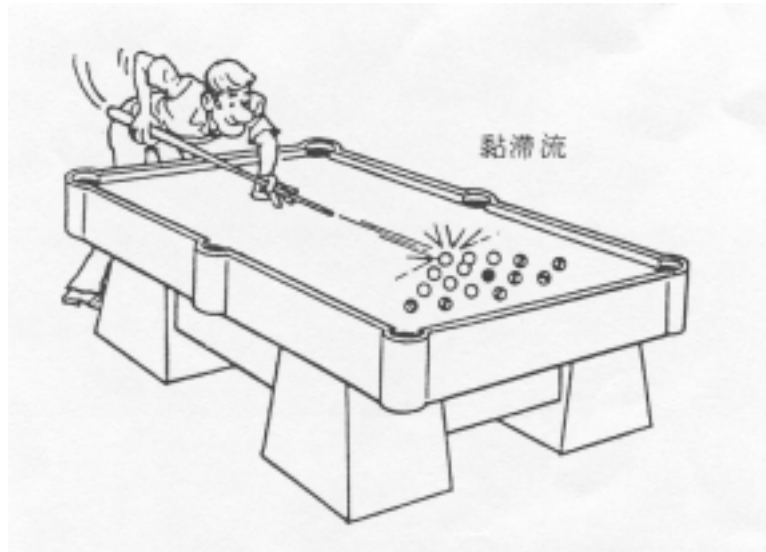


圖 4. 黏滯流氣體分子之運動與彈子運動之相似性

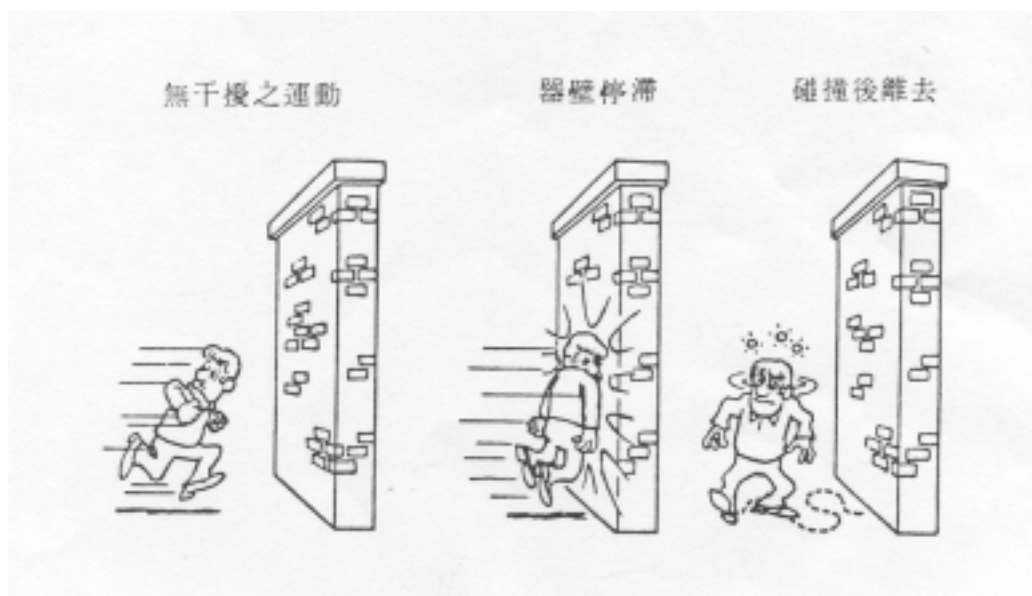


圖 5. 分子流氣體分子之運動與人類行為之相似性

(3) 各式真空幫浦不同的抽氣原理：

1. 旋片幫浦或迴轉幫浦 (Rotary-vane pump or Rotary pump): 油封式機械幫浦 (oil sealed mechanical pumps) 的一種。壓力範圍：

760torr~ 10^{-3} torr。抽氣速率：50~3000 l/min

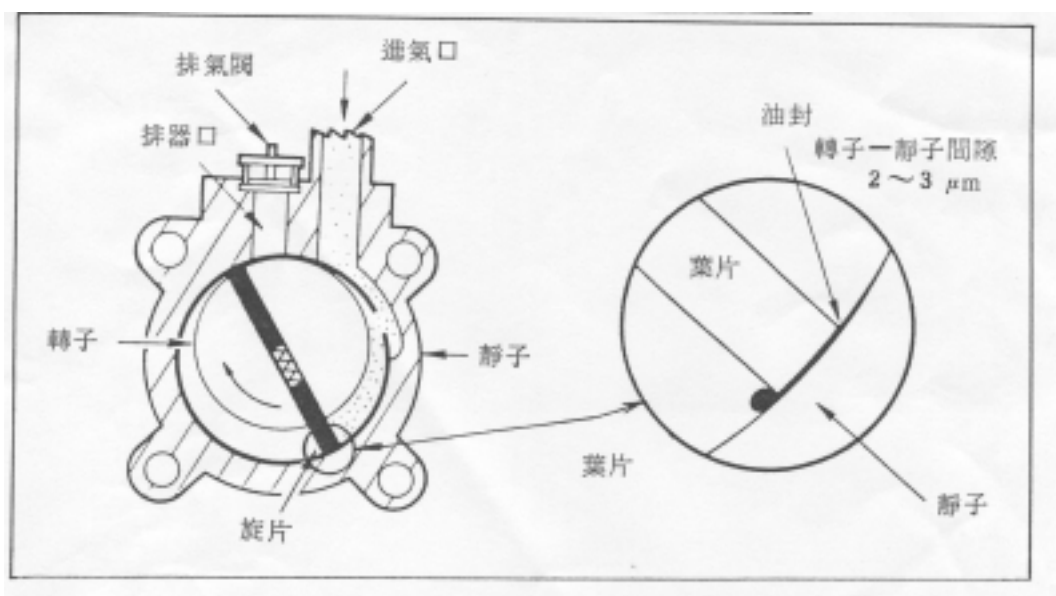


圖 6. 旋片幫浦結構剖面 (左) 轉子與靜子間油封示意圖 (右)

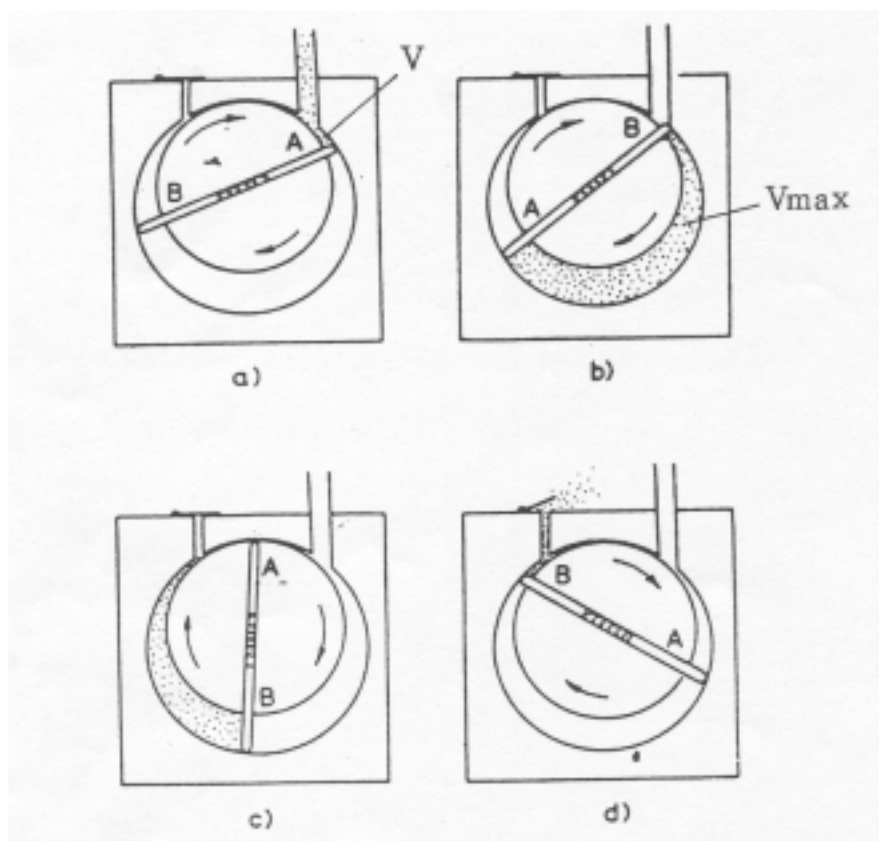


圖 7. 旋片幫浦之抽氣作用過程 (a. 吸入 (Suction) ; b. 壓縮 (Compression) ; c. 過壓 (Overpressure) ; d. 排氣 (Exhaust))

重要操作事項：

- a. 葉片在轉子內運作時靠彈簧或離心力外張。
- b. 轉子整體浸於真空油中。
- c. 真空油的作用為：潤滑、氣密、冷卻、填塞空間與間隙。
- d. 可凝結性氣體（如水氣）被壓縮後，凝結並與真空油形成乳狀液，導致潤滑作用降低，並增加幫浦油之蒸氣壓，無法達到低壓力，需使用氣鎮（Gas ballast）裝置。
- e. 因迴轉幫浦的操作溫度很高（ > 70 ），為減少油蒸氣的排出，一般使用油分離器（Oil separator）回收大油滴，使用油過濾器（Oil mist filter）回收小油滴。
- f. 幫浦油的一般性質：

(1) 20 時的蒸氣壓	$< 10^{-5}$ torr
(2) 分子量	420~520
(3) 20 之黏滯性	10~30SAE [*]
(4) 流動點（pour point） ^{**}	- 9~ - 18

^{*} SAE：Society of Automotive Engineers 自動化工師協會對潤滑油的分類。分子越是長鏈狀者，通常黏度對溫度變化越小。

^{**} 液體在一定情況下冷卻時，當其冷卻至仍可流動的最低溫度。

2.擴散幫浦 (Diffusion pump)

壓力範圍： $10^{-3} \sim 10^{-9}$ torr。 抽氣速率： $10 \sim 100,000$ l/s

抽氣原理：利用高分子量高速運動之蒸氣分子，經由碰撞把動量轉移給待抽氣體，賦予被抽氣體單一方面的動量，並將之排往較高壓力之區域。

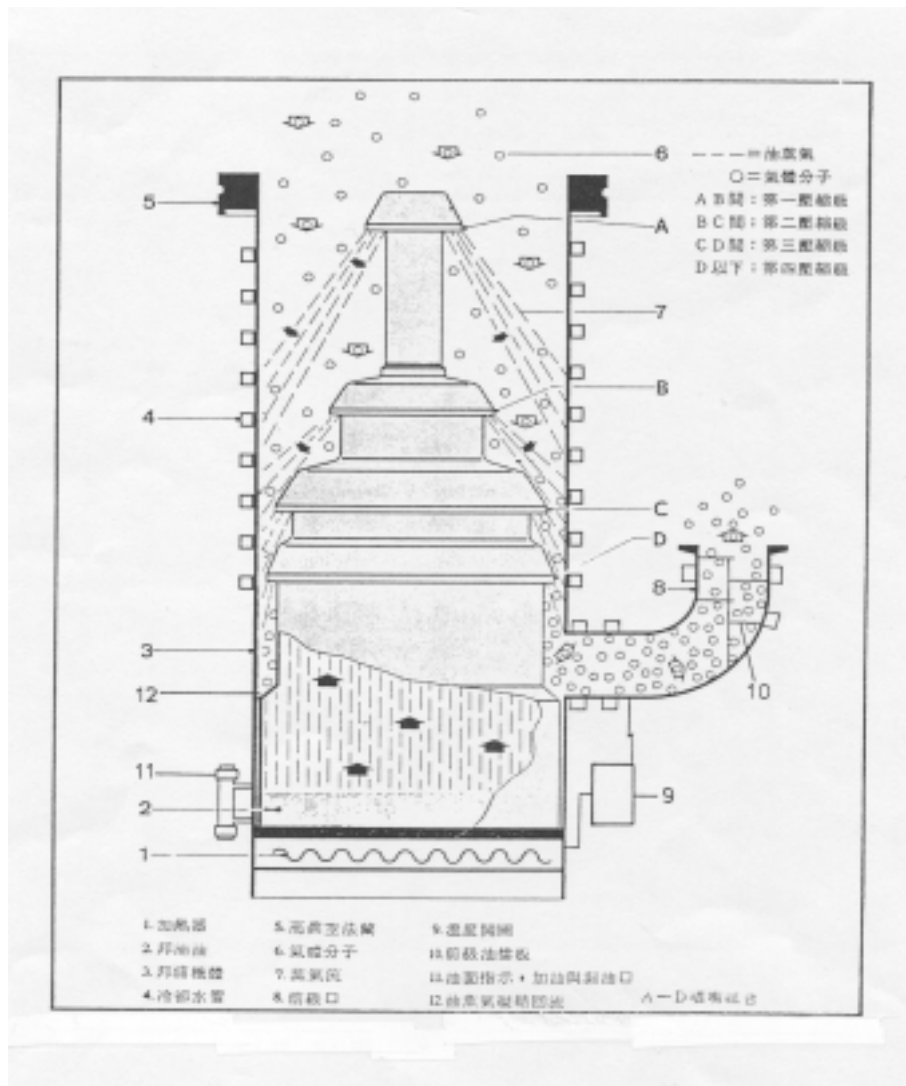


圖 8. 擴散幫浦之結構圖

圖 9. 擴散幫浦內油蒸氣與氣體分子之作用

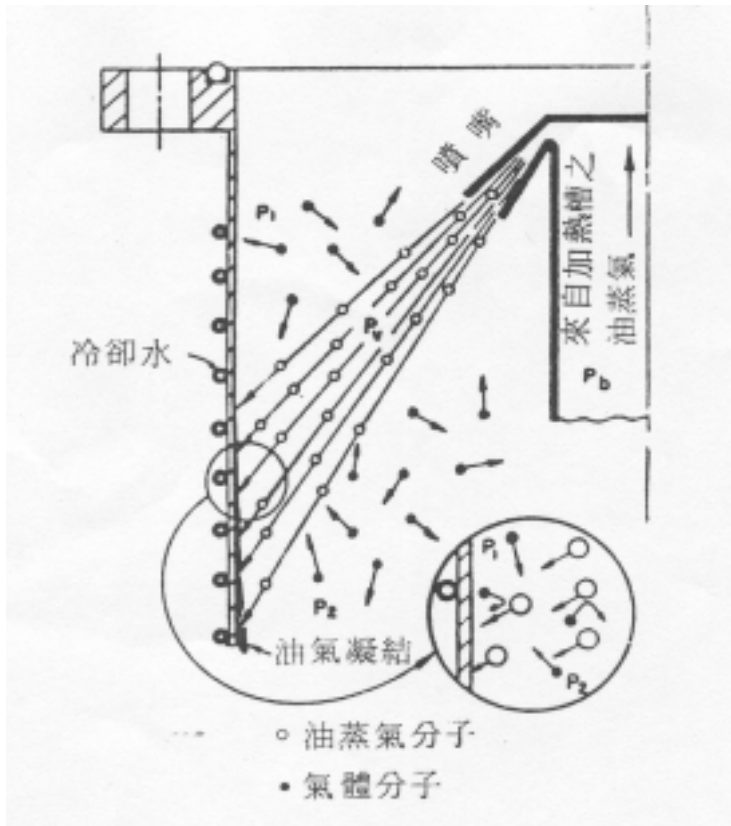


圖 9. 擴散幫浦內油蒸氣與氣體分子之作用

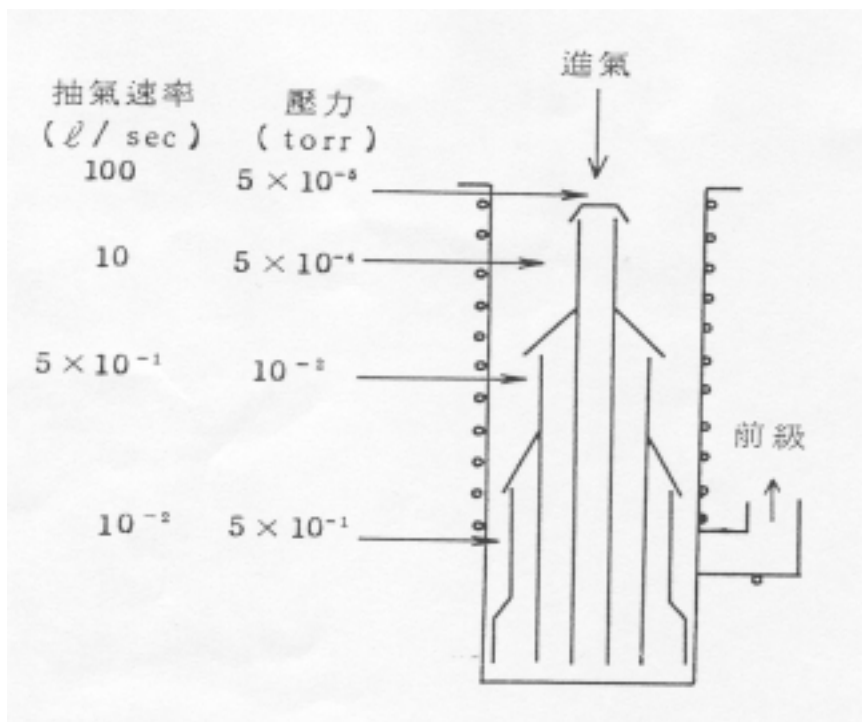


圖 10. 擴散幫浦各級抽氣速率與壓力之大小

擴散幫浦使用時常見之問題、原因與解決之道：

問題	可能原因	解決方法
1. 無法達到預期之終極壓力	a. 系統漏氣 b. 系統嚴重污染 c. 幫浦油被污染 d. 幫浦熱量不足 e. 冷卻水不夠 f. 冷卻水過量或溫度過低 g. 前級壓力太高 h. 幫浦急速冷卻水管仍有水流 i. 真空計不準確	查出漏氣位置並修護 清潔工作之執行 更換幫浦油 檢查電壓供應、熱接觸效果及有無漏電 查水壓大小 查水溫、調水流量 查前級位置有否漏氣，查前級機械幫浦功能，查機械幫浦油是否已失效 查看並排除 真空計校正
2. 抽氣速率太低	a. 電熱量太小 b. 油面太低 c. 噴嘴組合不正確或損壞	查電熱線情況 添加油 檢查、修理或更換

3. 進氣壓力突升	a. 熱電能輸入不當 b. 幫浦油嚴重逸氣 c. 進氣口之前以至前級段漏氣	檢查並修正 查視油情況 檢查並處理
4. 系統污染嚴重	a. 前級壓力太高 b. 在大於 10^{-3} torr 之壓力下長時間工作 c. 系統操作或放氣不當	檢查前級區域是否漏氣、機械幫浦性能、油品質

3. 冷凍幫浦 (Cryopump) 特點：乾淨，無油氣污染。

壓力範圍： $10^{-3} \sim 10^{-10}$ torr。抽氣速率：500~10,000 l/s

抽氣原理：利用氣體膨脹吸熱的原理，產生極低的溫度，以達到抽真空的效果。一般使用 99.995 % 以上純度 He，經壓縮機壓縮到 300psi 的高壓，壓縮機產生的熱利用水或空氣來冷卻，高壓氦氣在膨脹室膨脹，產生降溫作用。

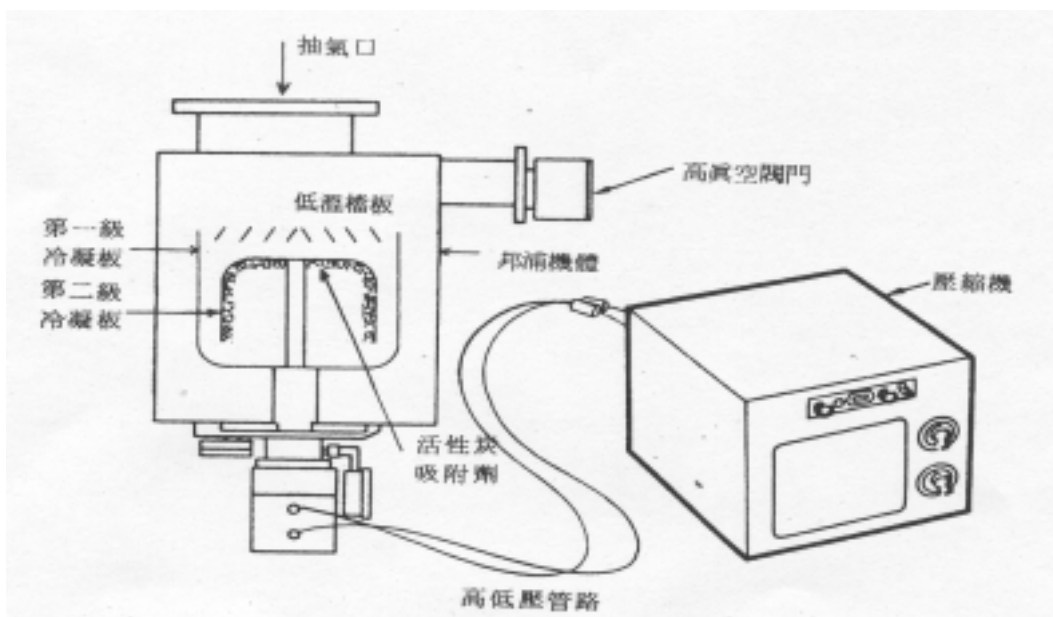


圖 11. 冷凍幫浦之構造

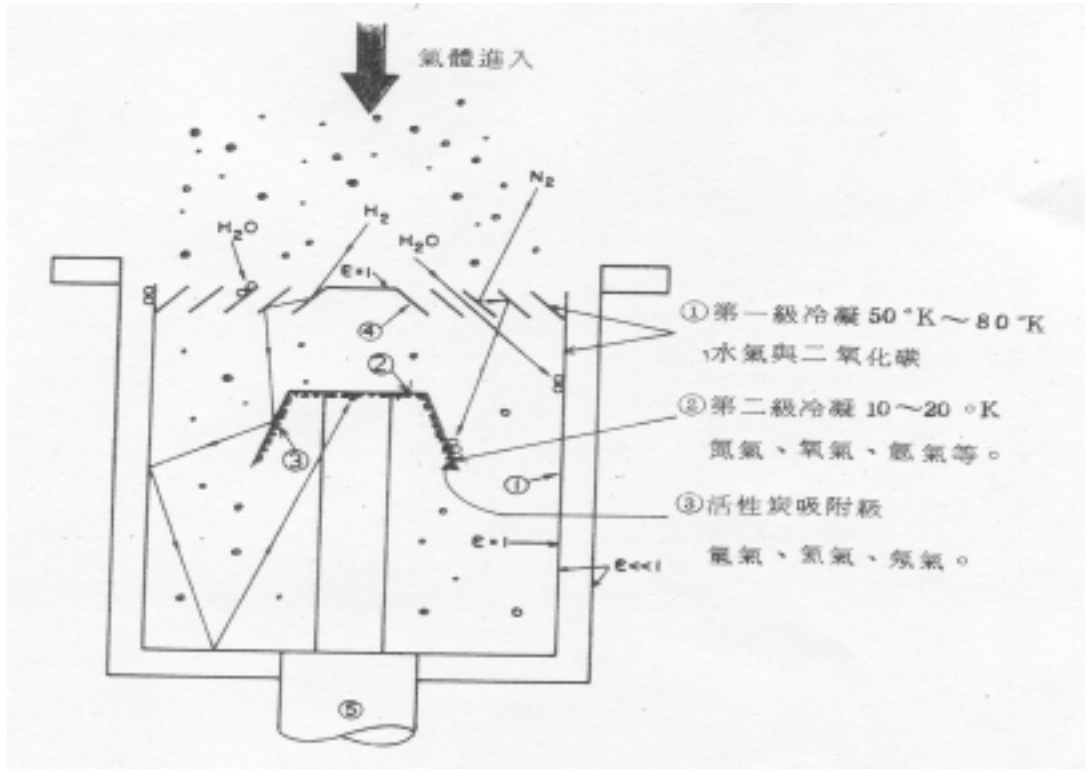


圖 12. 冷凍幫浦致冷機內之低溫抽氣配置

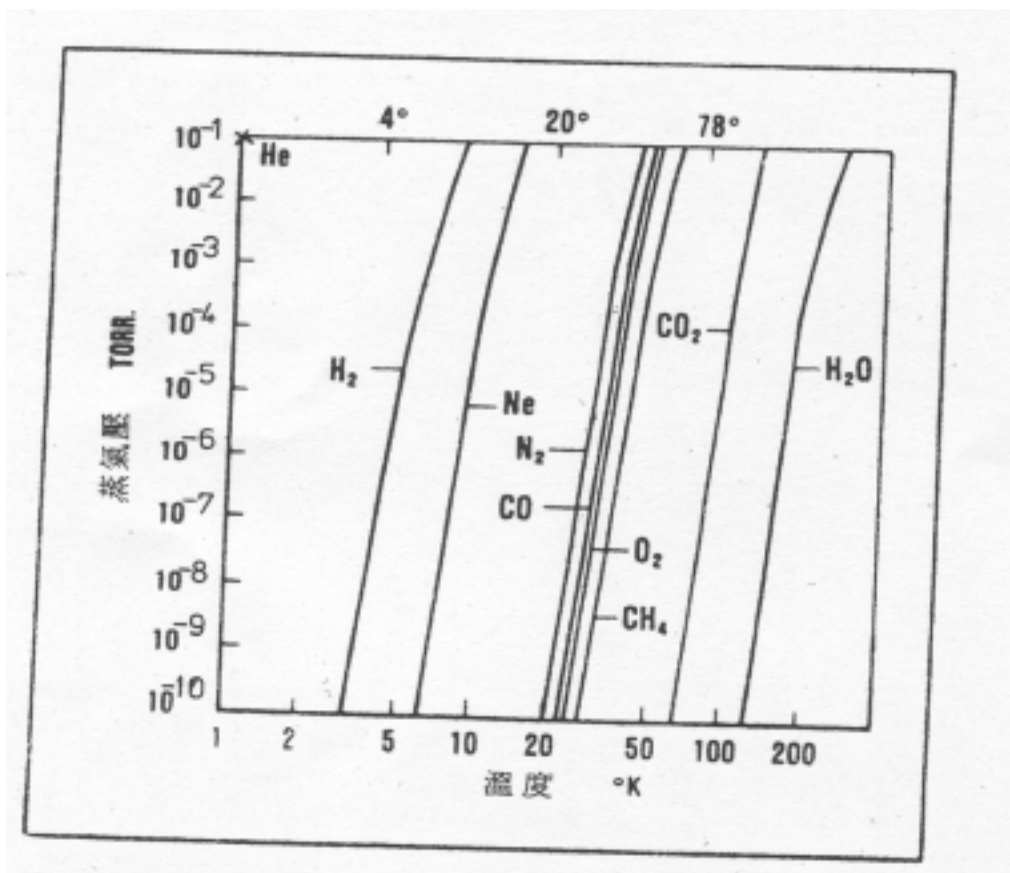


圖 13. 常見氣體之蒸氣壓與溫度之關係

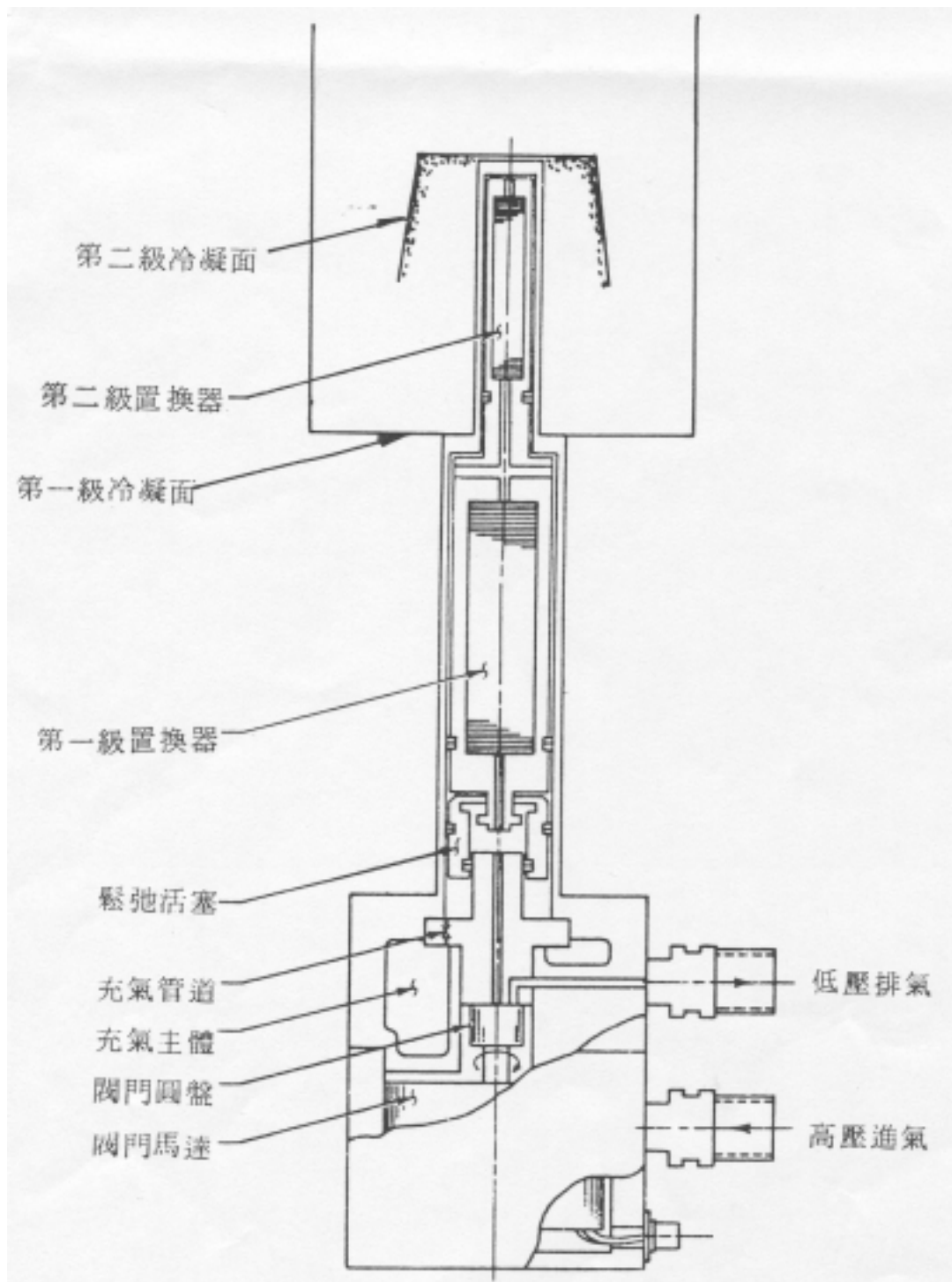


圖 14. 冷凍幫浦膨脹室剖面

冷凍幫浦運轉過程：

閥門圓盤有 4 個開口，由閥門馬達帶動而旋轉，每轉一圈，氣體

進出兩次。

- 1.幫浦開動，300psi 之氦氣進入第一級和第二級置換器，在此膨脹吸熱降溫；同時高壓氦氣也會進入鬆弛活塞，將置換器下拉，並將鬆弛活塞下方的氣體壓入充氣主體，充氣主體內之壓力最後可達 220psi，介於高低壓的中間。
- 2.進入兩個置換器內的高壓氦氣，因置換器的向下運動而充入此二置換器的上方空間之致冷帽（Cold end）而降溫。
- 3.當置換器向下運動快接近底部時，進氣口關閉，使置換器減速而不致發生猛烈的碰撞。
- 4.當閥門圓盤轉到排氣口位置時，已吸熱減壓的氦氣經原路抵達排氣口排氣；此時置換器上方空間也因膨脹吸熱減壓為 100psi，而充氣主體內之壓力為 220psi，將迫使置換器組合向上運動。
- 5.在置換器恢復定位前，排氣口關閉，使其運動減速，置換器到達定位後，閥門圓盤又轉到進氣口位置。如此週而復始，又進入另一個循環。