

## 真空幫浦

國立台北科技大學 真空及超低溫技術研究室 鄭鴻斌 副教授

電話:02-27712171 轉 3519, 傳真:02-27711686, 行動電話:0937422889

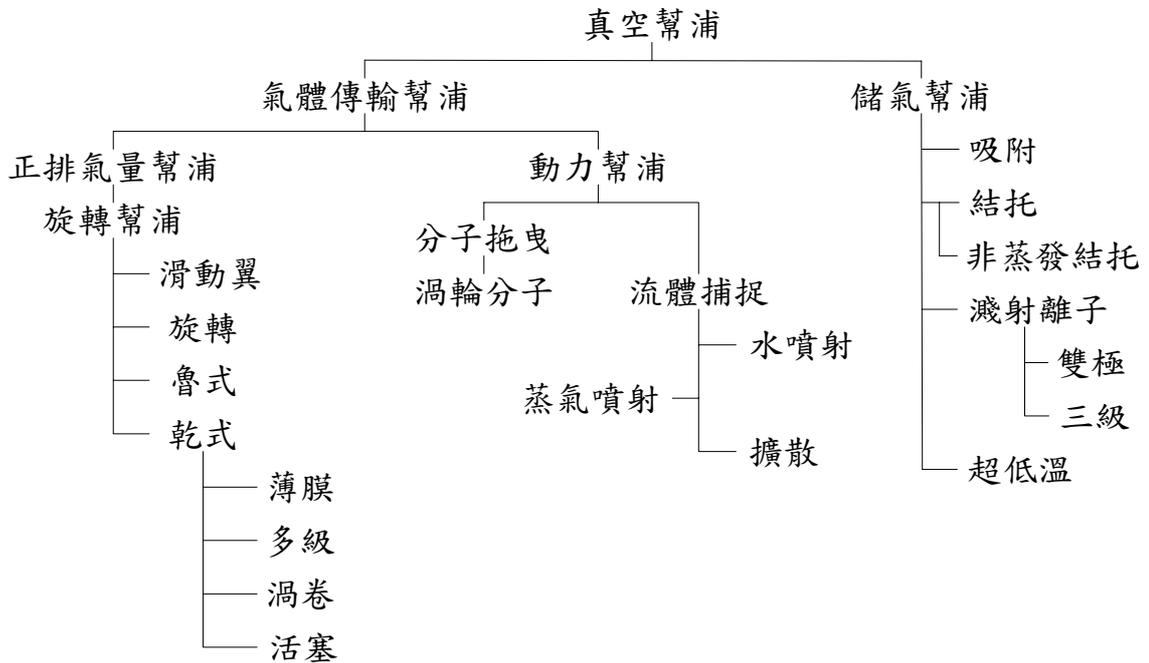
電子郵件: [hpcheng@ntut.edu.tw](mailto:hpcheng@ntut.edu.tw)

本講義主要參考 A. Chambers, R. K. Fitch, and B. S. Halliday 所著之"Basic Vacuum Technology", 2<sup>nd</sup> Edition。本講義僅供上課使用，並不作其他用途，請勿翻印複製。

### 3.0 前言

真空幫浦是創造、改善或維持密閉容器真空度的一種裝置，一般分為氣體傳輸(gas transfer)幫浦或儲氣(entrapment)幫浦這二大類，氣體傳輸幫浦又可分為正排氣量幫浦及動力幫浦這二類，其中正排氣量幫浦是藉由將氣體吸入隔絕密閉的空間之後，經由不斷的壓縮/傳送而將氣體從排氣口排出。而動力幫浦是將動量連續傳送給氣體分子，而使氣體分子可以從進氣口移動到排氣口。而儲氣幫浦是藉由吸附凝結的方式將氣體分子儲存在一密閉空間的內部表面。表 3.1 劃出了各類幫浦可能的歸類，並在後面的章節中將一一述說，其中氣體傳輸幫浦在第 3.1 及 3.2 節中詳細述說，而儲氣幫浦在第 3.1 節中詳細述說，並在表 3.6 中詳述各類幫浦的工作壓力範圍。

表 3.1 真空幫浦分類



### 3.1 正排氣量幫浦(positive displacement pumps)

此類幫浦的抽氣原理為，被抽除的氣體從進氣口進入幫浦內部後被隔絕起來，經過週期性的壓縮及傳送後從排氣口將氣體排出。

#### 3.1.1 旋轉翼片幫浦(rotary vane pump)

這類幫浦可能是使用量最大的幫浦，在許多複合式的真空系統中常被使用作為前級/粗抽幫浦。參考圖 3.1，此類幫浦的轉子為一圓柱形，在圓柱形上開有長條形的孔，轉子由電動馬達直接帶動以偏心的方式旋轉，在長條形的孔內安裝有二個或三個滑動翼片，這些滑動翼片直接且連續和靜子相接觸。被抽除的氣體進入真空幫浦後，經過壓縮從被彈簧壓抑住的排氣閥門排出，幫浦內部的滑動翼片及轉子上包覆油膜，和靜子一同被浸入油中，此油可以提供散熱的效能，至於此類幫浦所用油在第 5.5 節中會描述。

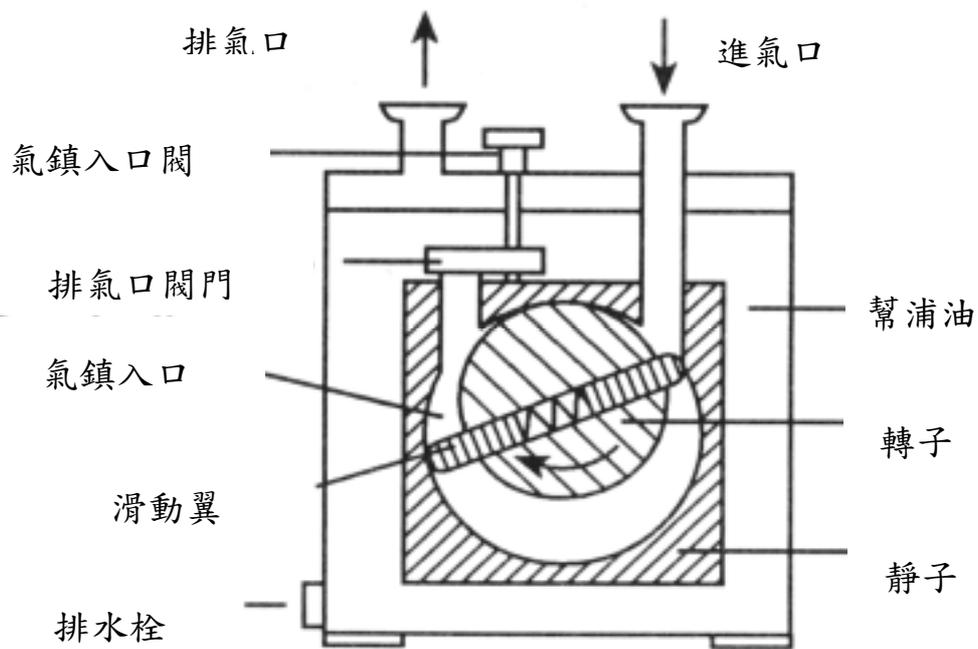


圖 3.1 旋轉翼片幫浦

此型幫浦也有雙級式的設計，也就是第一級幫浦的出口端連接至第二級幫浦的入口端，如圖 3.2 所示。由於這樣的設計可以降低排氣口的氣體經轉子與靜子的間隙而回流至幫浦入口處的氣體回流現象，因此可降低此型幫浦的終極壓力。

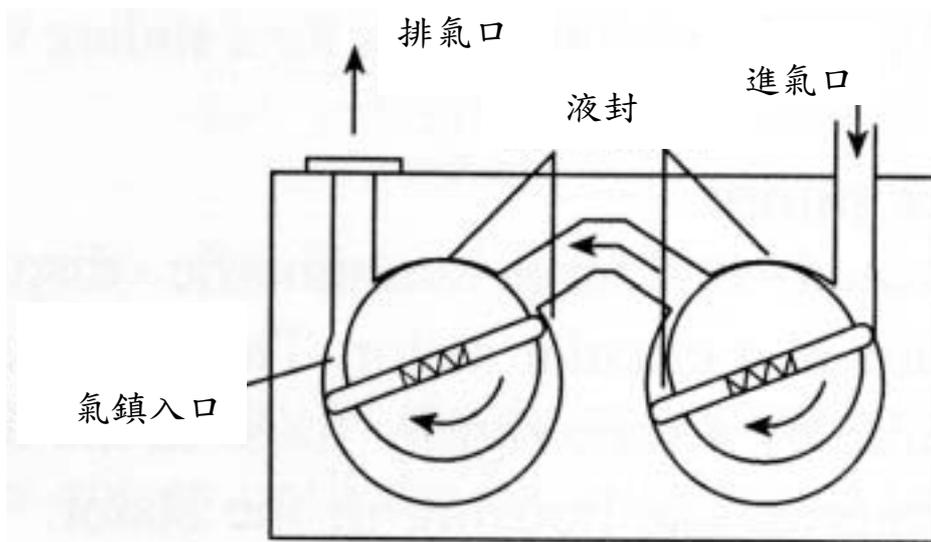


圖 3.2 雙級旋轉翼片幫浦

氣鎮(gas ballasting)是當幫浦在壓縮過程中用來減少可凝結性氣體含量的一種裝置，通常是在幫浦的壓縮過程中通入合適的不可凝結性氣體，通常是空氣，如圖 3.3 所示。

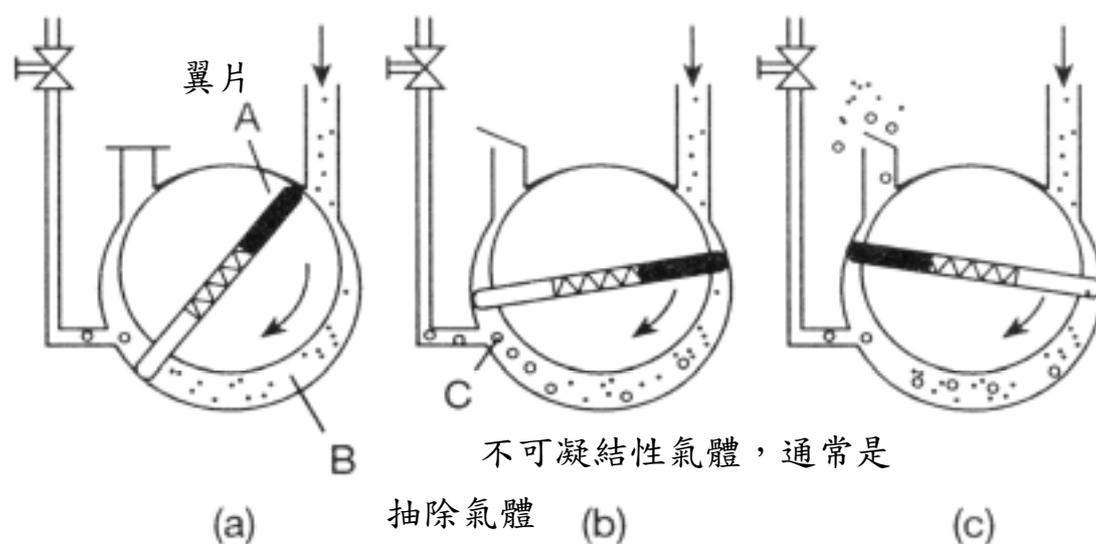


圖 3.3 旋轉翼片幫浦的氣鎮運作情形

參考圖 3.3(a)，翼 A 在幫浦內部形成一半月型的密閉空間 B，此密閉空間包含有被抽除的不可及可凝結性氣體。在圖 3.3(b)中，在 C 的位置控制外界一大氣壓力的空氣通入密閉空間 B，此舉會使密閉空間 B 的壓力升高，但是卻可以防止可凝結性氣體在排氣閥門還未打開之前的排氣行程前段的凝結現象。圖 3.4 說明單級及雙級旋轉翼片幫浦使用及不使用氣鎮裝置的抽氣性能曲線。

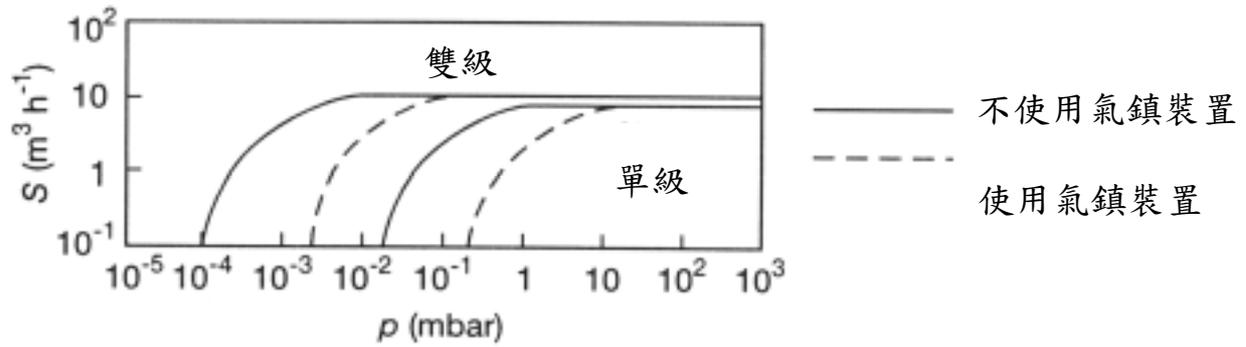


圖 3.4 旋轉翼片幫浦典型的抽氣性能曲線

### 3.1.2 旋轉柱塞幫浦(rotary plunger pump)

此型幫浦主要使用在大排氣量的抽氣系統中，幫浦內部有一圓形的靜子及一與靜子偏心的轉子，靜子所包含的體積被一固定在轉子上的不動翼分隔成兩部分，這個翼以週期性的方式在一被固定於靜子上的柱塞內滑動。此幫浦也可使用氣鎮裝置。雙級旋轉柱塞幫浦的抽氣速率可以達到  $1,500\text{m}^3/\text{hr}$ ，大型的幫浦必須使用水來進行冷卻，終極壓力約為  $10^{-2}\text{mbar}$ 。

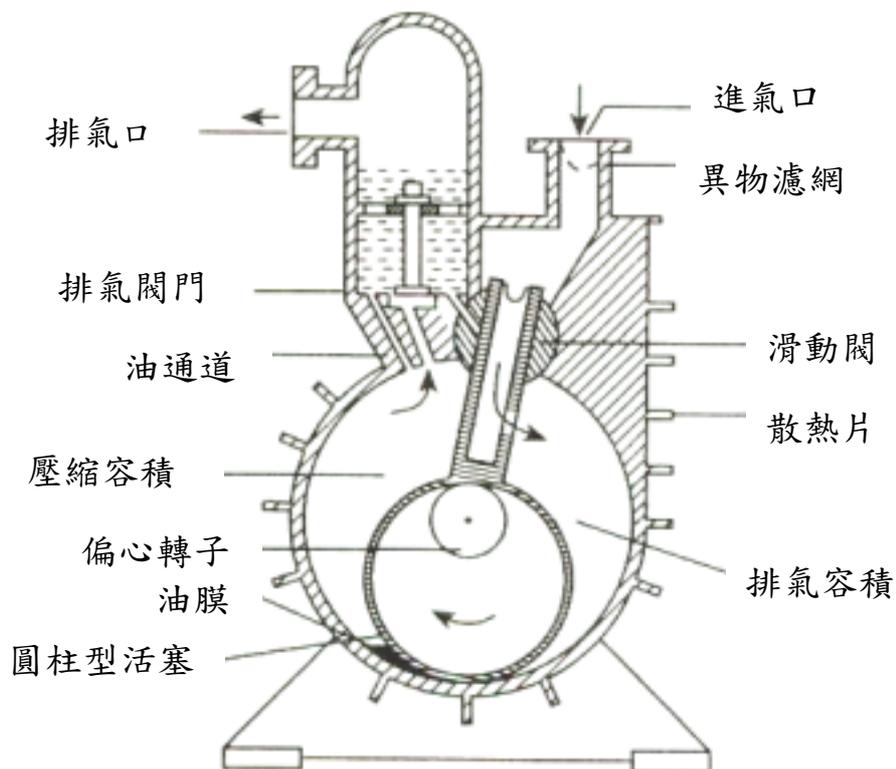
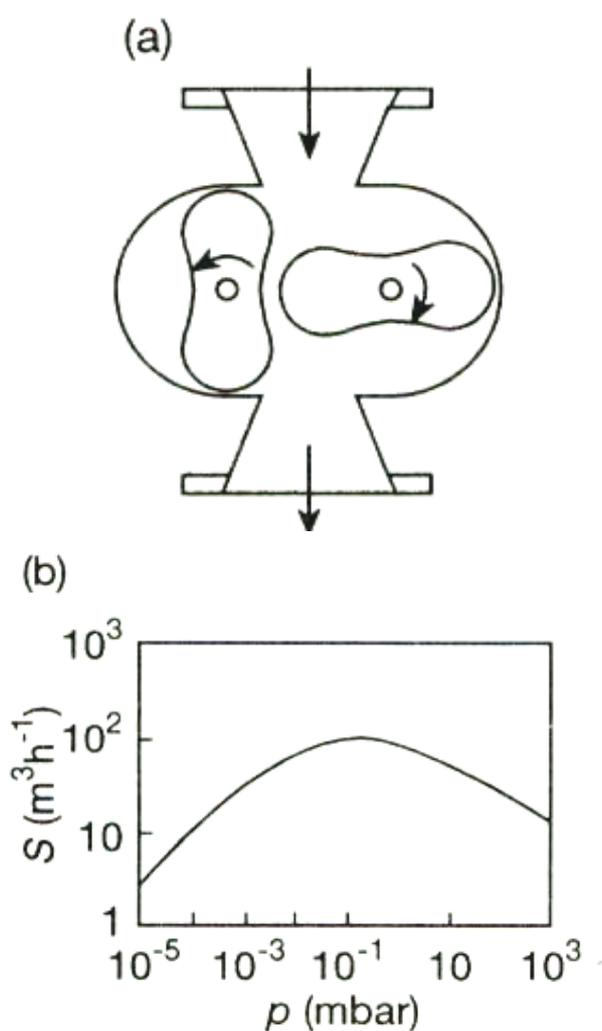


圖 3.5 旋轉柱塞幫浦的剖面示意圖

### 3.1.3 魯式幫浦(roots pump)

魯式幫浦的結構示意圖如圖 3.6(a)所示，使用中低真空範圍，具有很大的抽氣速率，魯式幫浦的出口端不可以直接與大氣環境相連接，出口端通常與擔任前級幫浦的旋轉翼片幫浦或乾式幫浦相連結形成串聯式的抽氣系統，如圖 3.3(c)所示。魯式幫浦的轉子為一對具花生米狀的轉子所構成，由外部同步齒輪所推動而達到同步但反向的轉動，轉子與轉子之間還有轉子與靜子之間存在著一微小的間隙，約有 0.3mm，所抽除的氣體由上部的入口端被排送到幫浦下部的出口端，典型的幫浦抽氣性能曲線如圖 3.6(b)所示。



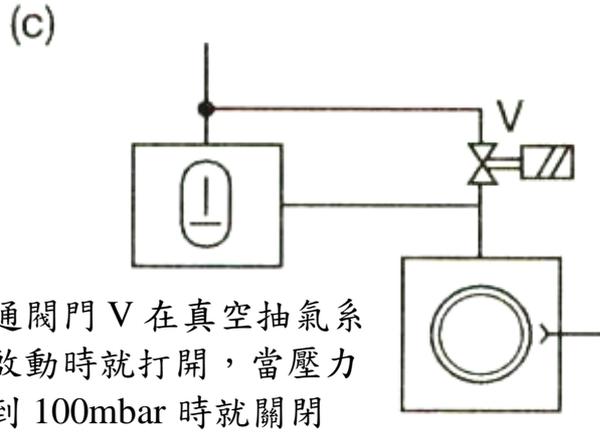


圖 3.6 (a)魯式幫浦 (b)典型抽氣性能曲線 (c)串聯式的真空抽氣系統  
示意圖

由於一大氣壓力的空氣具有極大的黏滯摩擦力，魯式幫浦若在一大氣壓力的環境運轉，將會因為機件過熱而導致轉子的熱膨脹，造成轉子與轉子或轉子與靜子的相互摩擦，進而造成幫浦的損壞，因此必須先依靠前級幫浦將壓力降至 100mbar 以下後才可以啟動魯式幫浦，如圖 3.6(c)所示。在設計上，轉子在剛啟動時可以經由液動聯結器來控制轉子的轉速，或者靠一控制良好的旁通閥門來控制，有些魯式幫浦也會使用內藏式馬達(canned motor)，在真空側的轉子與在大氣側的靜子靠不具磁性的套筒相隔離，因此省卻了轉軸間的密封，這類的幫浦在要求潔淨真空的環境中特別需要。

### 3.1.4 無油正排氣幫浦(Oil free positive displacement pumps)

膜片幫浦(diaphragm pump)的構造示意圖如圖 3.7 所示，主要機構為馬達驅動的活塞造成彈性膜片的變形而達到真空抽氣的效果，通常會設計二級。終極壓力約可達到 4mbar，此類幫浦常用於需要無油氣污染的 UHV 超高真空系統中作為前級幫浦。

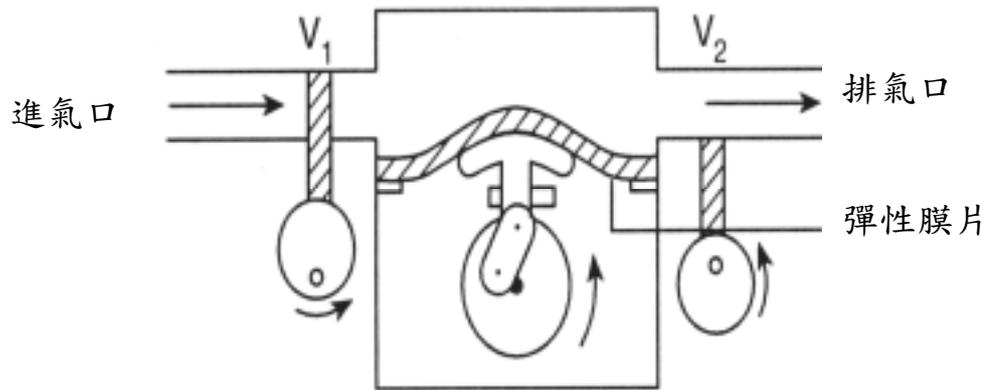


圖 3.7 膜片幫浦

多級乾式幫浦(multi-stage dry pump)包含有數對不同形式的轉子，這些轉子串接於相同的轉軸上，並以外馬達及齒輪以同步反向的方式來驅動。以圖 3.8 及圖 3.10 為例，靠近幫浦入口端為第一級轉子，採用魯式轉子的設計，接下來的三級轉子採用爪式的設計(參考圖 3.10)。這些轉子與軸承及齒輪等相關零配件靠著動態軸封(dynamic seals)而分隔開來。圖 3.9 是多級乾式幫浦與單/雙級旋轉翼片幫浦的抽氣性能比較圖，此類的幫浦被用於需要無油氣污染的真空系統當中，這些幫浦也可處理可凝結性氣體及較不乾淨的空氣。在 3.2(c)節中所探討的分子拖曳幫浦(molecular drag pump)也算是多級乾式幫浦。

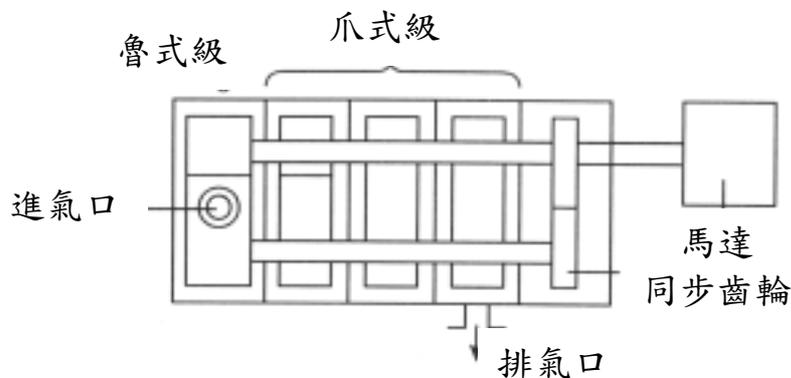


圖 3.8 多級式乾式幫浦示意圖

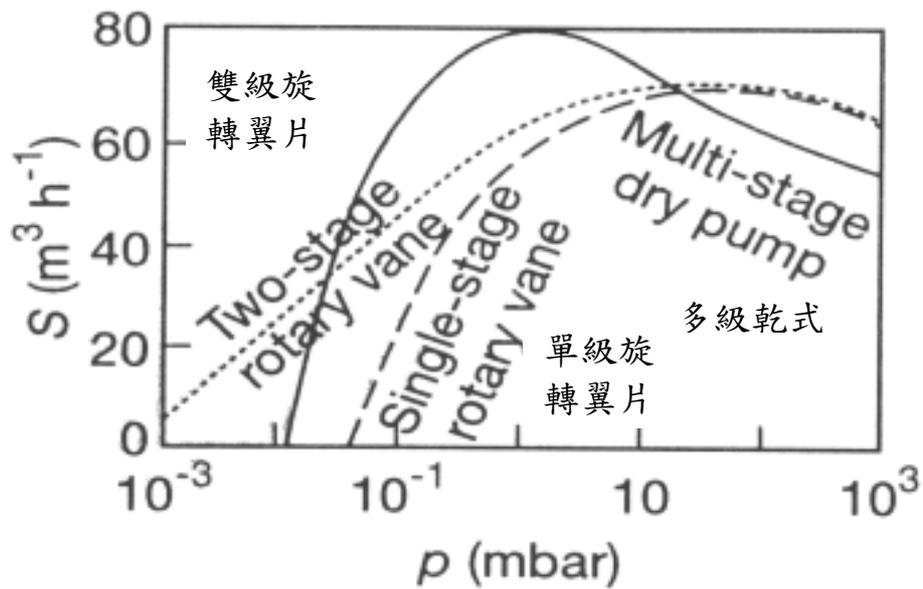


圖 3.9 多級乾式幫浦的抽氣性能比較

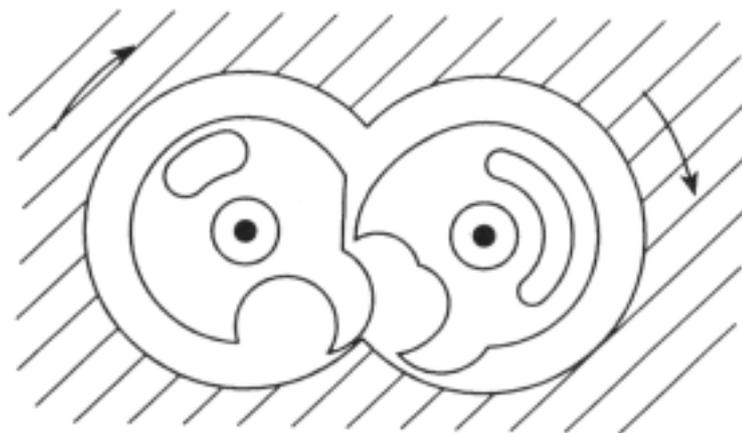


圖 3.10 爪式機構的轉子

渦卷幫浦(scroll pump)包含一固定的渦卷型靜子，與一形狀相同於靜子且與靜子鏗合並以軌道運行(orbiting，非旋轉)的渦卷式轉子，轉子的移動可以將吸入幫浦內部的氣體隔絕起來，從幫浦的周圍壓縮並移動這些氣體往中心移動而排至外界大氣。在幫浦的內部沒有使用油來做潤滑或封合，因此這類幫浦是非常乾淨的乾式幫浦，終極壓力可到達  $10^{-2}$  mbar，常作為渦輪分子幫浦或冷凍幫浦抽氣系統的前級幫浦，且常作為抽除濺射離子幫浦內部氣體的抽氣幫浦。

多級活塞幫浦(multi-stage piston pump)包含有四級活塞結構的抽氣機制，每一級的活塞由桿及偏心凸輪來帶動，而驅動軸是採用永久潤滑的方式。此型幫浦的終極壓力可到達  $10^{-2}$ mbar，且對水氣的抽除有非常好的效果。在活塞的表面鍍有低摩擦的 PTFE 材料，而汽缸內壁則鍍有硬膜鋁，因此無需使用潤滑劑。此類幫浦可作為渦輪分子幫浦或冷凍幫浦抽氣系統的前級幫浦，也可使用於可攜式的氦氣測漏儀。

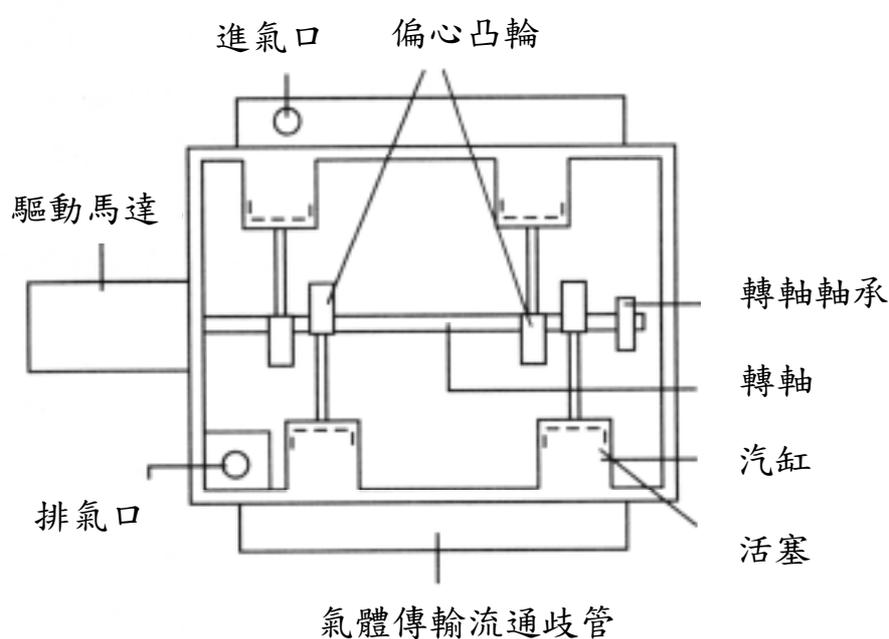


圖 3.11 多級活塞幫浦

正排氣量幫浦抽除腐蝕性、有毒性及具化學活性氣體(positive displacement pumps for corrosive, toxic and aggressive gases)。由於在半導體產業使用相當多的危險性及腐蝕性的化學物質，因此有必要發展可以處理這些物質的真空幫浦，包含合成流體(synthetic fluids)，這些合成流體多數被加入大部份的化學反應物中，這些合成流體大部份是屬於 perfluoro polyether 及 CTFE 類。由於幫浦油經外部循環及過濾後會再度進入幫浦內步重覆循環使用，因為其包含有毒及稀有物

質，因此幫浦的密封及軸封要非常的好，以避免相關物質外洩至大氣環境中。將鈍性氣體通入幫浦內部進行掃氣(purge)，對於抽除可燃性氣體可達到稀釋可燃性氣體濃度的功用，此類幫浦有防爆驗證，可使用於抽除可燃性氣體的抽氣系統中。當具危險性氣體從幫浦的排氣口被排出時，必須使用熱床反應器(hot bed reactors)將這些氣體還原成鈍性、穩定的無機鹽類。這些還原器通常被製作在一個箱子內部，因此可以很容易地進行替換並將處理後的物質進行儲存及掩埋。對於半導體製程中的蝕刻製程需要特殊的反應器。

### 3.2 動力幫浦(kinetic pumps)

動力幫浦是一種將動量持續不斷的加入抽進幫浦內部的氣體，使得氣體可以持續不斷的從幫浦的入口端往出口端移動，這類幫浦包含有水噴射幫浦(water jet pump)、擴散幫浦(diffusion pump)、拖曳幫浦(drag pump)及渦輪分子幫浦(turbo molecular pump)。

#### 3.2.1 水噴射幫浦(water jet pump)

這類幫浦使用於低真空環境，終極壓力約為 20mbar。圖 3.12(a)所示為化學實驗中的強制過濾機構，其中利用水流強制流過一漸縮的噴嘴，造成局部區域的壓力下降，而使被抽除的氣體從幫浦的入口處進入，並與水流混合而往排氣口排出。

蒸氣噴射幫浦(vapor jet pump)是由水噴射幫浦發展出來的，其抽氣性能介於旋轉幫浦及擴散幫浦之間，終極壓力介於  $10^{-2}$ ~ $10^{-4}$  mabr，在這個壓力範圍內擴散幫浦已不穩定。蒸氣噴射幫浦的臨界背壓(critical backing pressure)較高，可達 2~7mabr，通常使用於化工或冶金等具有高含氫量的產業，大型的幫浦其抽氣速率可達  $1.5 \times 10^4$  Ltr/s。

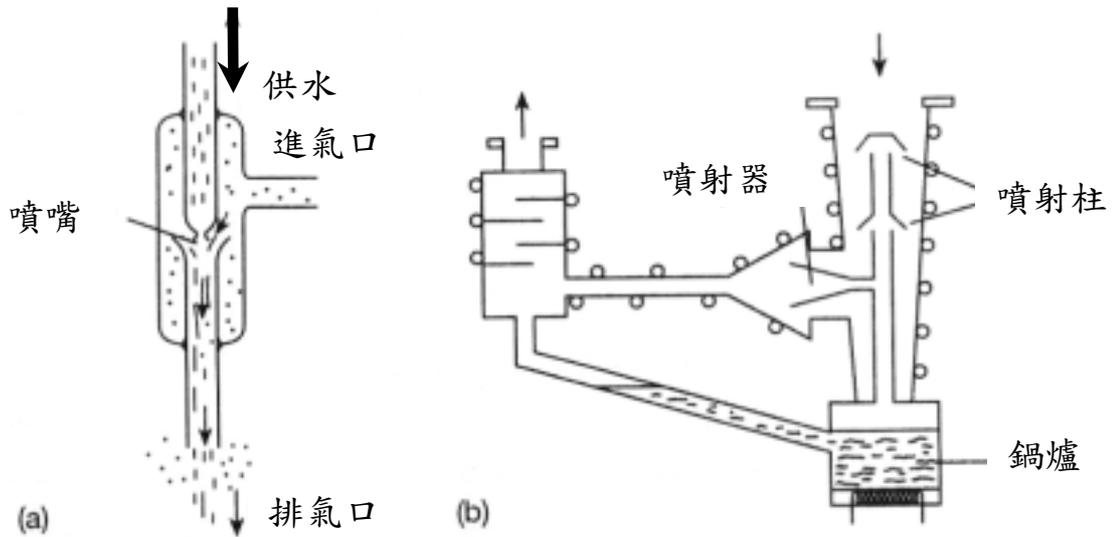


圖 3.12 (a) 水噴射幫浦剖面圖 (b) 蒸氣噴射幫浦

### 3.2.2 擴散幫浦(diffusion pump)

擴散幫浦的截面示意圖如圖 3.13 所示，底部加熱器在蒸發器中將工作流體加熱，並使其蒸發成為蒸氣在蒸氣煙囪內(vapor chimney)往上流動，並透過蒸氣煙囪周圍的噴射孔以超音速的速度將工作流體蒸氣往下噴出，藉以抓取從進口處抽進來的氣體分子，並給予這些氣體分子動量，來強迫這些氣體分子往幫浦的出口處移動，再由前級幫浦將這些氣體分子帶走。擴散幫浦的外殼有循環冷卻水，可使幫浦內部的工作流體蒸氣被冷卻在幫浦外殼的內壁，並回流至底部的蒸發器中。擴散幫浦適合抽除分子流的氣體，在 5.5 節中會說明合適的幫浦油。

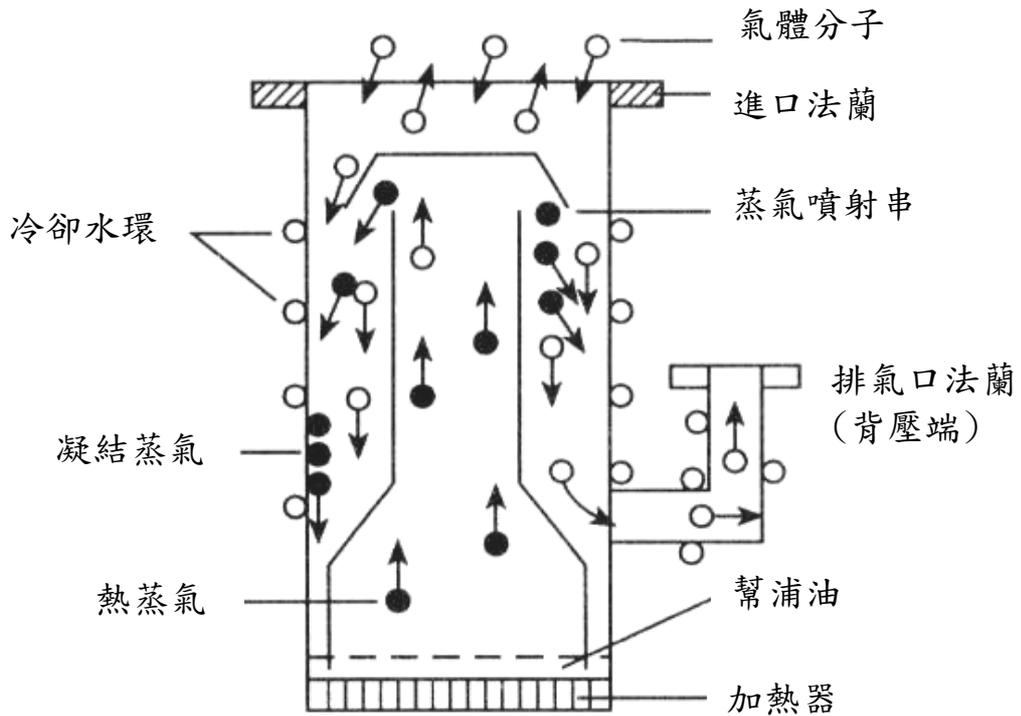


圖 3.13 擴散幫浦截面示意圖

### 臨界背壓(critical backing pressure)

擴散幫浦在操作過程中，若出口處的壓力太高，超過臨界壓力的話(通常為 0.5mbar)，幫浦內部的蒸氣噴射串會因為幫浦內部過高的氣體密度而斷裂，造成抽氣性能大幅降低，而使得真空腔體及幫浦內部的壓力大幅提升，如圖 3.14 所示。

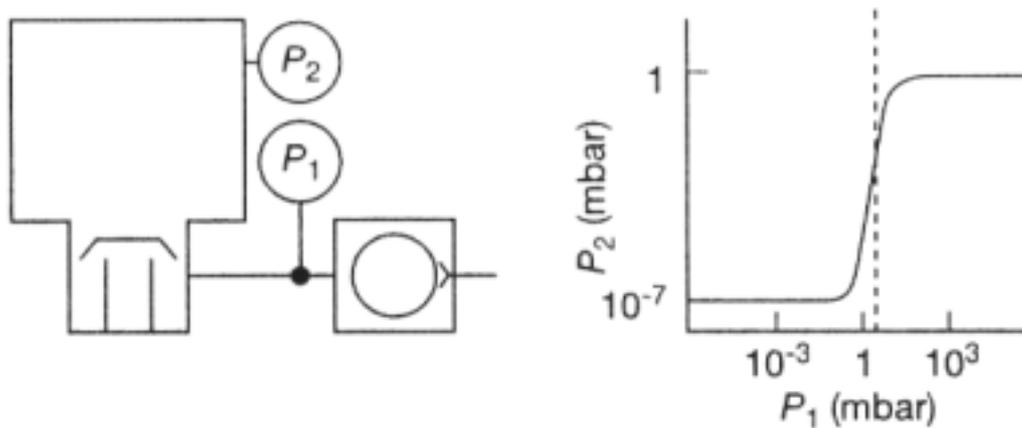


圖 3.14 臨界背壓

一典型使用擴散幫浦作為抽氣系統的真空系統示意圖如圖 3.15 及第 8 章所示。

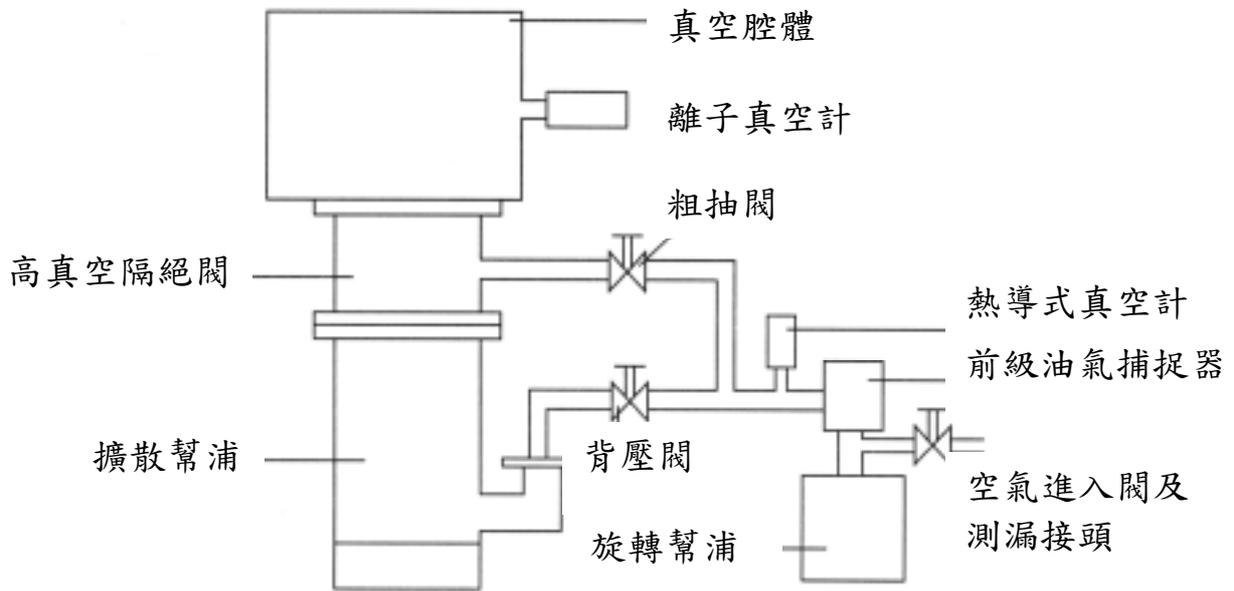


圖 3.15 典型擴散幫浦真空系統圖

圖 3.16 為進口直徑 63mm 的擴散幫浦抽氣速率曲線示意圖，由圖可以得知當進口壓力小於  $10^{-3}$  mbar 時，擴散幫浦的抽氣速率幾乎為一定值，這是因為在這個壓力範圍中，幫浦內部的蒸氣噴射串不會被幫浦內部的氣體密度所干擾。擴散幫浦的終極壓力取決於所使用的幫浦油種類、幫浦的設計及真空腔體的氣體負荷。

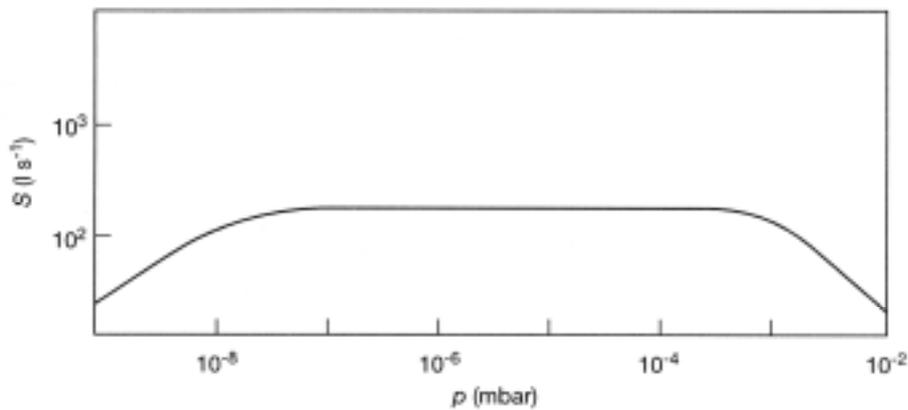


圖 3.16 進口直徑為 63mm 的擴散幫浦抽氣性能曲線

圖 3.17 為完整的擴散幫浦結構示意圖，此圖不包括進口處隔絕閥的法蘭、冷卻擋板及頂帽。

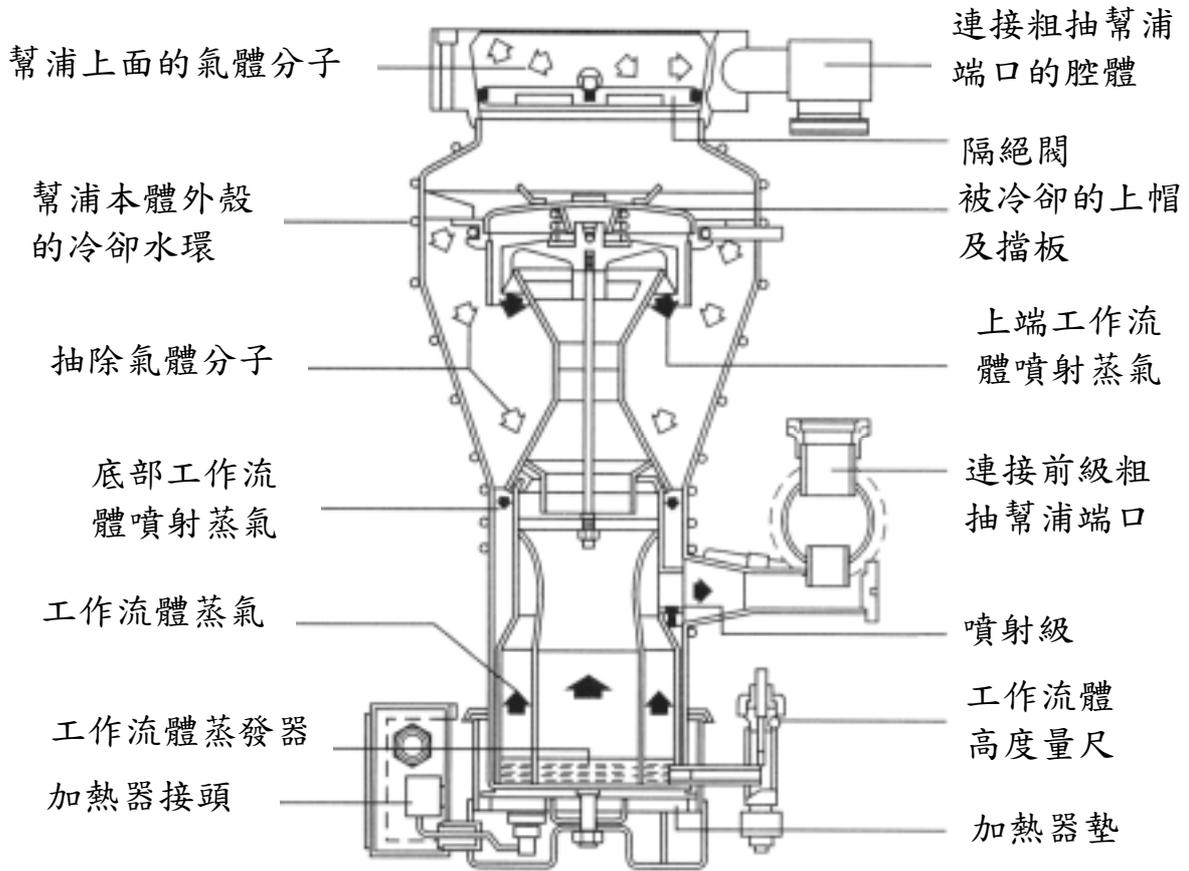


圖 3.17 擴散幫浦整體示意圖( Diffstak,Edwards High Vacuum International 公司的產品名稱 )取材並徵得 Edwards High Vacuum International, Crawley 的同意

### 油蒸氣回流(back-streaming)

當幫浦內部工作流體的蒸氣分子跑到最頂層工作流體噴射蒸氣串之上時，這些蒸氣分子會流入真空腔體，而造成真空腔體的污染。此現象可以藉由在擴散幫浦入口處裝設冷卻擋板及補捉器來加以改善，如圖 3.18 及 3.19 所示，也可以藉由改善上部工作流體噴射蒸氣

的設計，及使用較大的冷卻頂帽來改善油蒸氣回流的現象。

真空腔體內的油蒸氣一般認為是擴散幫浦油蒸氣回流所造成的，但是最近的研究顯示，旋轉幫浦內的油蒸氣透過粗抽管路回流至真空腔體也會造成上述的現象，這是因為當粗抽壓力下降至  $10^{-2}$  mbar 以下時，旋轉幫浦內部的油蒸氣會進入分子流的範圍而任意流動，這種情形可藉由使用前級捕捉器( fore-line trap, 如圖 3.20 所示)來進行改善，還有一點非常重要的是，當真空腔體到達正確的粗抽壓力時，一定要將粗抽閥門關閉，以避免旋轉幫浦油蒸氣回流至真空腔體。

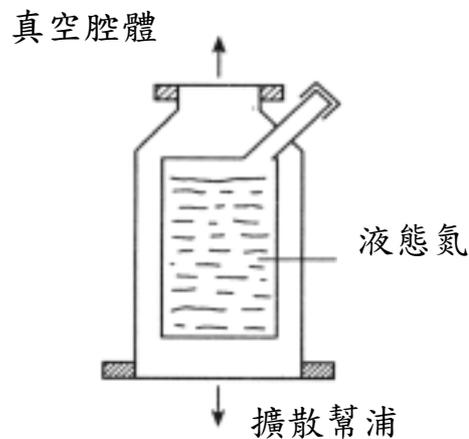


圖 3.18 液態氮冷凝阱圖

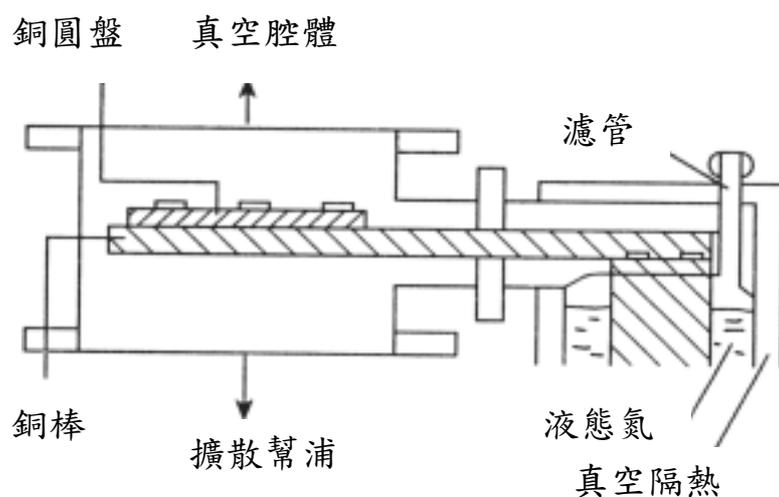


圖 3.19 冷凝擋板

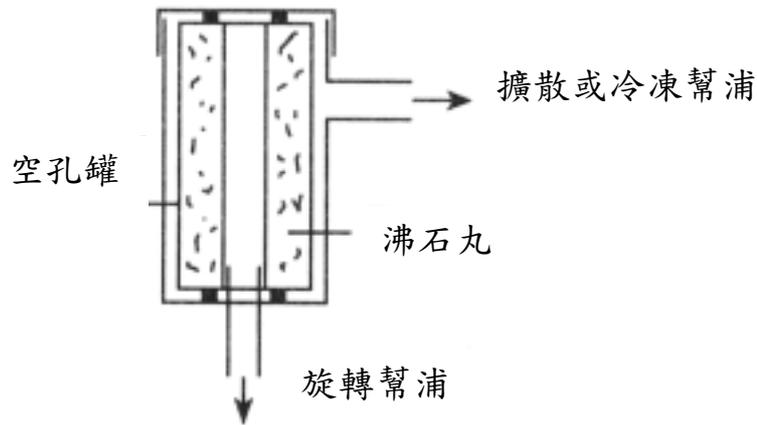


圖 3.20 前級補級阱

### 3.2.3 分子拖曳幫浦(molecular drag pump)

分子拖曳幫浦是一種動力幫浦，此型幫浦利用氣體分子與幫浦內部高轉速旋轉轉子的壁面相互碰撞而獲得動量並改變運動方向的方式，將氣體分子不斷地從進口處往排氣口處移動，而達成真空抽氣的效果。圖 3.21 是 Holweck(1923)形式的幫浦結構示意圖，轉子的轉速為 27,000rpm，轉子為圓柱型，外殼的內壁有螺旋溝槽。被壓縮的氣體進入動態密封(dynamic seal，類似一個小型的分子拖曳幫浦)後，繼續壓縮氣體分子進入前級的膜片幫浦(diaphragm pump)，前級幫浦一般採用乾式無油活塞幫浦或其他的乾式幫浦。

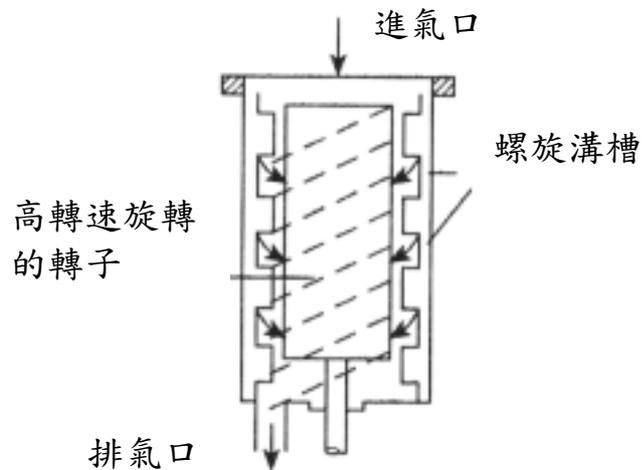


圖 3.21 分子拖曳幫浦示意圖

### 3.2.4 渦輪分子幫浦(turbo molecular pump)

渦輪分子幫浦(Becker, 1958)是一種分子拖曳幫浦，由多層葉片圓盤所構成的轉子及靜子所組成，轉子與靜子相互交錯，形成一層轉子/一層靜子的複合式結構，如圖 3.22 所示。轉子外緣的切線速度與氣體分子的運動速度大小相當，此型幫浦在分子流區域中操作。



圖 3.22 渦輪幫浦內部轉子和靜子圓盤結構示意圖

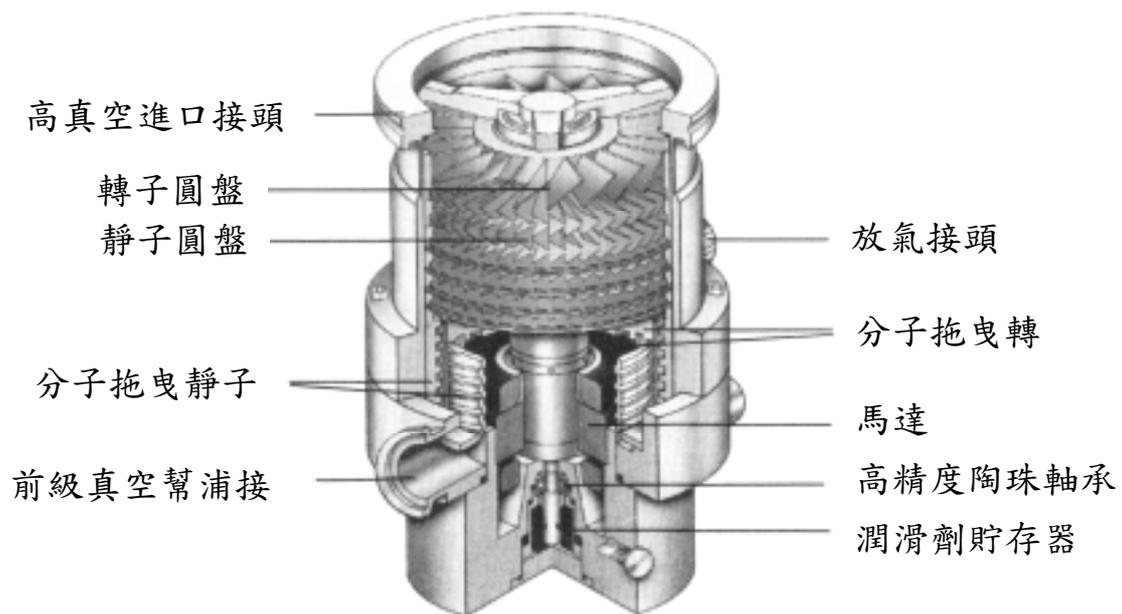


圖 3.23 渦輪分子/分子拖曳(Holweck 型式)複合幫浦的內部構造圖，由 Pfeiffer Vacuum Ltd 所提供

渦輪分子幫浦在 1958 年開始進行商業化的量產，早期的幫浦使用液態油來進行軸承的冷卻，後來改用油脂潤滑軸承，但是由於在應

用上有任意位置都可安裝及無碳氫化合物污染的需求，因此發展出不需要維護的陶珠軸承來替代鋼質軸承。陶珠軸承在使用壽命期限內不需要進行任何的潤滑，其重量輕及低徑向力的優點，可以降低軸承運轉的溫度並增加軸承的壽命。後來又發展出使用高磁力密度的永久磁鐵磁浮軸承，並與陶珠軸承整合成為複合式幫浦的軸承系統。為達到更潔淨真空環境的需求必須使用乾式幫浦來替代油封式的旋轉幫浦。但是必須提高渦輪分子幫浦的壓縮比，且必須提升渦輪分子幫浦的背壓到 10mbar，為達此目的，將分子拖曳式轉子的機構整合於渦輪葉片轉子的下游，如 Holweck(1923)螺旋溝槽轉子及 Gaede(1913)圓盤轉子，如圖 3.24 所示。這些複合式轉子的設計並不需要增大轉子的尺寸，其幫浦運轉的消耗功率也不會增加。

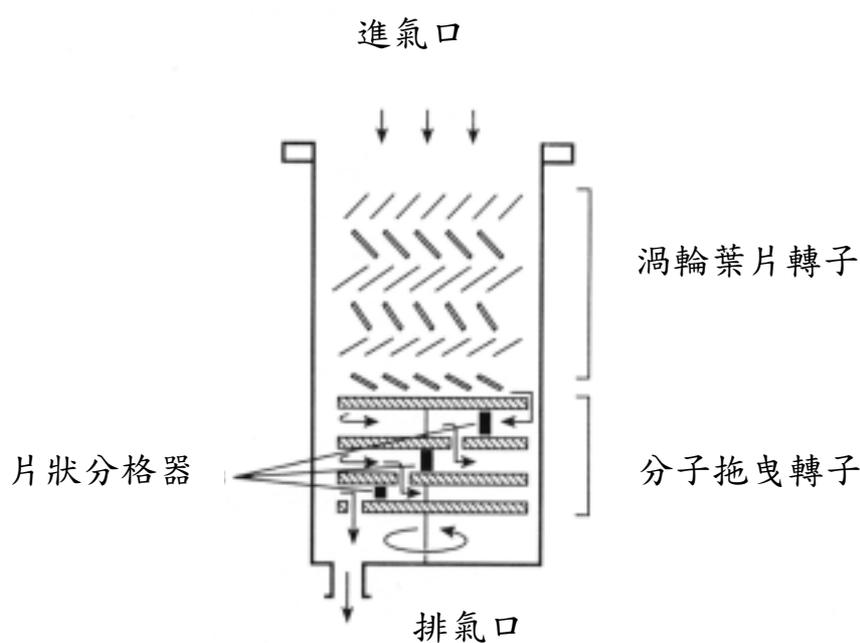


圖 3.24 渦輪分子/拖曳(Gaede 型式)複合式幫浦示意圖，由 Edwards High Vacuum International 公司所提供

早期這類高轉速的轉子是藉由外部馬達以皮帶及齒輪來帶動，後來改由變頻器驅動的高頻馬達來帶動，最近改用直流無刷馬達來帶

動。

渦輪分子幫浦和擴散幫浦一樣需要前級幫浦將其出口端所排出的氣體繼續壓縮排至大氣環境，前級幫浦負責將真空腔體的壓力下降至渦輪分子幫浦合適的操作範圍，並使渦輪分子幫浦的性能維持在一穩定優良的狀況，因此選用合適的前級幫浦非常重要，尤其是在高進口壓力(高於  $10^{-1}$  mbar)的操作狀況下更為重要。渦輪分子幫浦一般需要使用冷卻水來進行軸承及馬達的冷卻，特別是在大抽氣量及高進口壓力的操作狀況。

對於傳統渦輪葉片轉子的渦輪分子幫浦而言，其前級幫浦一般採用雙級式的旋轉翼片幫浦，而對於整合了拖曳轉子的廣域式複合轉子的渦輪分子幫浦，其前級幫浦可以使用爪式、渦卷式、薄膜式或往復式的乾式真空幫浦，可以得到非常乾淨且無油氣污染的真空系統。對於需要絕對無碳氫化合物污染的真空系統而言，可以使用具有拖曳機構的磁浮軸承複合式渦輪分子幫浦及乾式真空幫浦作為真空抽氣系統。

另外使用渦輪分子幫浦抽除腐蝕性(corrosive)及磨蝕性(abrasive)的混合氣體，或具有高含氧(超過 25%)氣體時，要從幫浦的掃氣(purge)口通入乾氮。此類幫浦會在轉子及靜子的表面鍍鎳(Nickel)，並使用磁浮軸承用來取代陶珠軸承。當真空系統有低震動的要求時，如電子顯微鏡，建議採用全磁浮軸承的渦輪分子幫浦，在幫浦與真空系統相連接處安裝隔絕震動的波紋管(bellow tube)可進一步降低震動的傳遞。

渦輪分子幫浦對所有氣體而言，在壓力範圍  $10^{-2}$ ~ $10^{-9}$  mbar 的抽氣速率幾乎都為定值。而壓縮比與氣體的種類有關，對於較重的氣體而言其壓縮比較高，特別是對於碳氫化合物而言有很好的壓縮比。如圖

3.2 所示。

表 3.2 渦輪分子幫浦對於不同氣體的壓縮比比較表

氣體	壓縮比
H <sub>2</sub>	1,000
He	10,000
N <sub>2</sub>	1 000,000,000

由於渦輪分子幫浦對於碳氫化合物的氣體分子具有很高的壓縮比，因此渦輪分子幫浦可以直接安裝在真空系統上面，其進口處並不需要安裝冷卻擋板或冷凍阱。若前級幫浦是使用油式的幫浦，則和擴散幫浦抽氣系統一樣，建議在渦輪分子幫浦出口端與前級幫浦連接的地方安裝油捕集器，典型的渦輪分子幫浦對於空氣(air)、氦氣(helium)及氫氣(hydrogen)的抽氣速率如圖 3.25 所示。

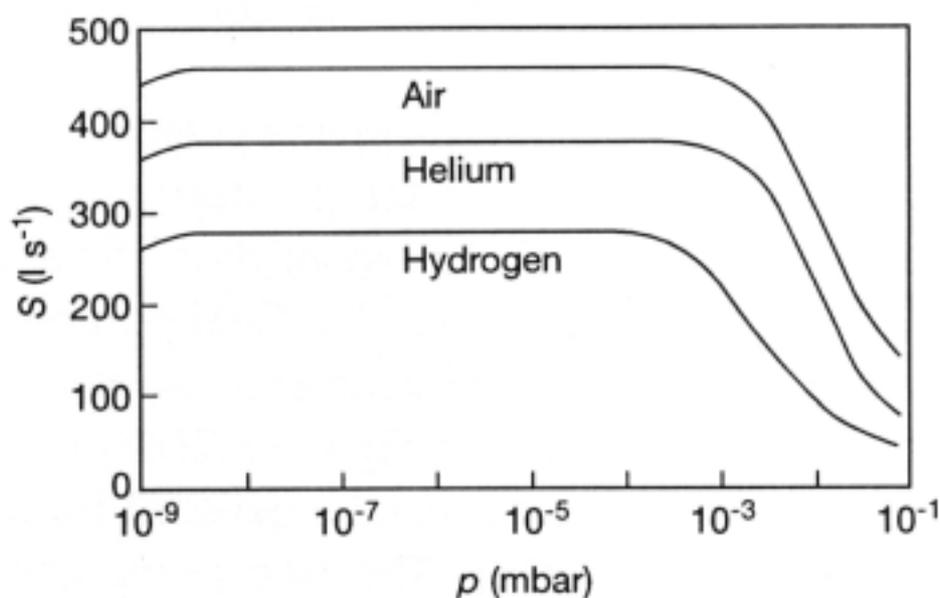


圖 3.25 渦輪分子幫浦對於不同氣體的抽氣速率比較圖

### 3.3 儲氣幫浦(entrainment pumps , capture pumps)

儲氣式幫浦是利用吸附或冷凝的方式將氣體儲存在幫浦內部的表面上，因此在容量上有其限制，並可能需要進行再生的程序。

#### 3.3.1 吸附幫浦(adsorption pump)

此類幫浦以物理吸附的方式將氣體吸附在幫浦內部具有大表面積的物質表面上，例如多孔性物質，圖 3.26(a)是吸附幫浦的內部結構示意圖，其中沸石(zeolite，一種矽化鋁鹼物質 alkali alumino-silicate)有很大的表面積，每一克的表面積  $10^3\text{m}^2$ ，吸附等量於  $133\text{mbar}\cdot\text{Ltr}$  的氣體。

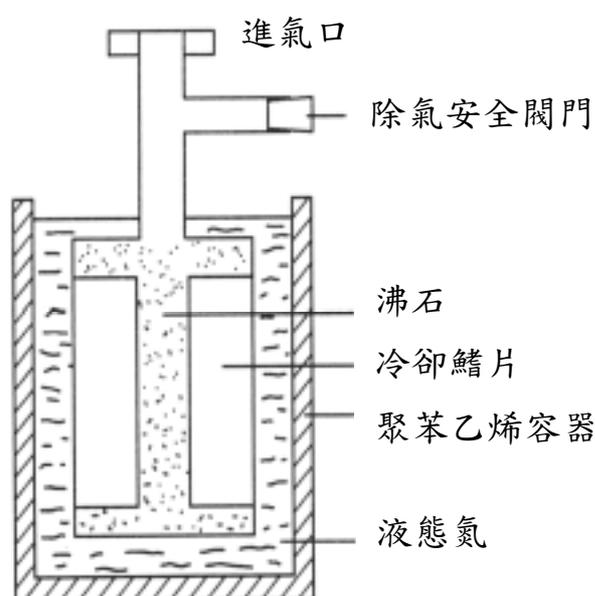


圖 3.26(a) 吸附幫浦

當沸石被冷卻至液態氮的溫度時，整個氣體吸附的效能會再大幅提昇，吸附的氣體最終會充滿在幫浦內部的空間。此類幫浦通常被使用於將真空腔體的壓力下降至離子幫浦或冷凍幫浦可以啟動的壓力，並使腔體內的碳氫化合物氣體完全被抽除。參考圖 3.26(b)，此類幫浦使用於真空系統通常安裝兩套以交替使用，一次只使用一套，當

第一套飽和時，將第一套幫浦與真空系統隔絕，並打開第二套幫浦與系統的連結閥，讓第二套幫浦對真空系統進行抽氣，同時對第一套幫浦進行再生的程序，移除第一套幫浦內部的液態氮，並對其加熱直到移除內部所有的氣體為止。此類幫浦對氫、氮、氬氣的抽氣性能非常差，這是由於這些氣體不同的物理吸附特性的關係，所幸這類氣體非常稀少，在大氣環境中只佔有百萬分之一的比例，因此並不會造成抽氣過程上的困擾。在一些應用上，通常先使用膜片幫浦或乾式真空幫浦將真空腔體內的壓力下降至 10mbar 以下之後在打開此類幫浦進行抽氣，使真空腔體壓力再下降。

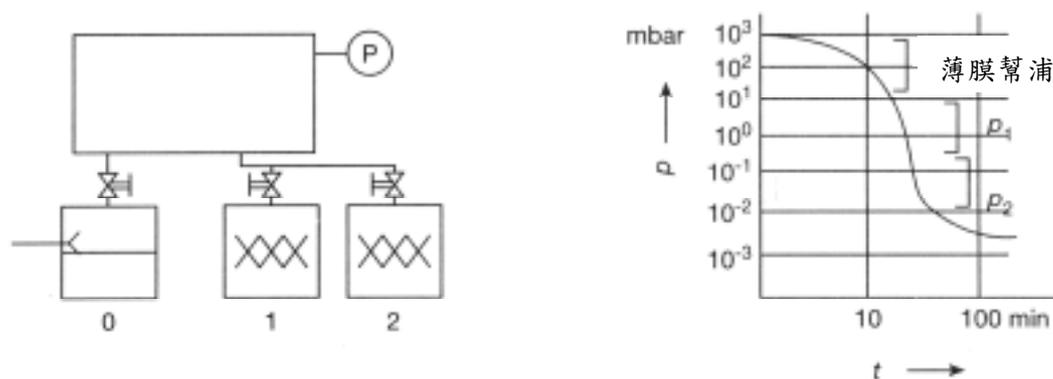


圖 3.26(b) 交替工作的幫浦抽氣系統

### 3.3.2 結拖幫浦(getter pump)

此類幫浦使用結拖原理以化學結合的方式將氣體儲存吸附於金屬或金屬化合物中，以整體吸附或沉積成薄膜的方式進行。

昇華幫浦(sublimation pump)示意圖如圖 3.27 所示，在幫浦腔體內部有鈦/鉬(titanium/molybdenum)合金燈絲，當燈絲被加熱後會產生鈦蒸氣，附著於幫浦內部腔體的任意表面上，這層鈦金屬會與氣體產生化學變化而形成穩定的化合物，如氧化鈦，持續不斷的產生鈦蒸氣

可以產生新的活性鈦金屬層，此型幫浦的抽氣速率取決於幫浦內部表面積的大小及活性鈦金屬層的溫度，如表 3.3 所示。在圖 3.27 中，幫浦的內部利用液態氮進行內部表面的冷卻。

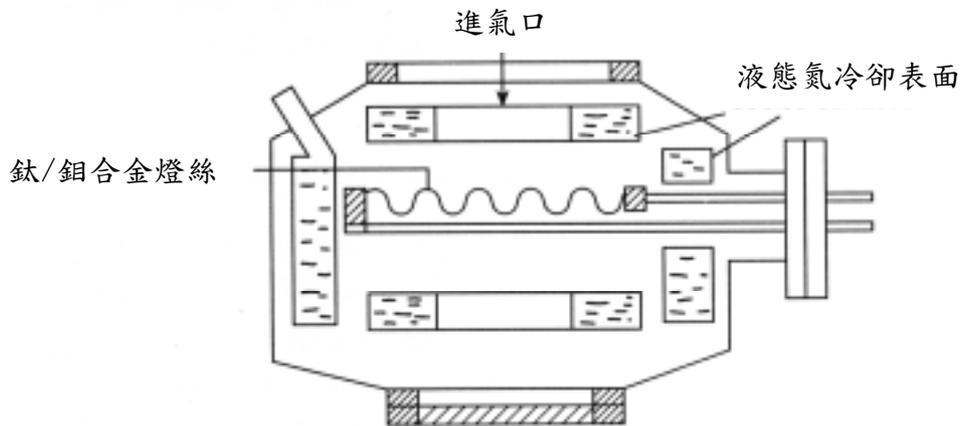


圖 3.27 昇華幫浦的剖面示意圖( Pfeiffer AG, Liechtenstein )

表 3.3 具不同表面溫度的昇華幫浦對不同氣體的抽氣速率

活性結拖層的溫度	當壓力小於 $10^{-6}$ mbar 時， 新表面對於不同氣體的抽氣速率 ( Ltr/s·cm <sup>2</sup> )					
	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
20	3.0	4.5	9.0	9.0	7.5	3.0
-195	10.0	10.5	10.5	10.5	9.0	14

此幫浦在高真空及超高真空系統當中使用作為可以在短時間內提供大抽氣速率或達到操作壓力的輔助幫浦，為了不致過度消耗幫浦的燈絲材料，此型幫浦通常只使用一短暫的時間就關閉。

**非蒸發結拖幫浦(non-evaporable getter NEG pump)**所使用的結拖材料為 SAES Getters SpA 公司所出產，編號為 St101，為銦

(zirconium 84%)-鋁(aluminum 16%)合金，另外一種材料為 St707，為銦(zirconium 70%)-鈦(vanadium 25%)-鐵(ferrum 5%)合金，這些合金以粉末的形式被沉積於非磁性帶狀材料上，而形成大表面積的結構。此結拖物質在真空中被加熱後具有真空抽氣的特性，在真空腔體內的氣體經擴散進入幫浦後會被 NEG 幫浦的結拖物質所吸收而形成真空抽氣的效應，一般是利用電加熱或輻射加熱的方式將這些物質加熱至 400 °C。此種幫浦對於氫氣及其同位素的抽氣效果相當良好。當這些結拖物質被加熱至更高溫度如 700 °C 時，原本被結拖物質所吸收的氣體將會被釋放出來。表 3.4 列舉 NEG 幫浦對不同氣體的抽氣速率。

表 3.4 典型 NEG 幫浦對不同氣體的抽氣速率

抽氣速率(400°C時) (Ltr/s)	H <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>
	1,250	900	800	625	210

這些幫浦很成功的被應用在電漿機台及大型的粒子加速器中，現在更與濺射離子幫浦組合以提升真空抽氣系統對氫的抽氣性能。圖 3.28 顯示一具大抽氣速率之 NEG 幫浦內部結構示意圖，由圖可以得知，幫浦內部具有大面積結構件。圖 3.29 為包含在一圓形腔體內的抽氣元件所形成的單一真空幫浦，依據此圖有兩種尺寸。

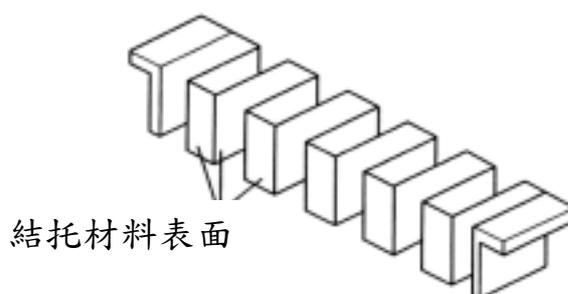


圖 3.28 NEG 抽氣元件

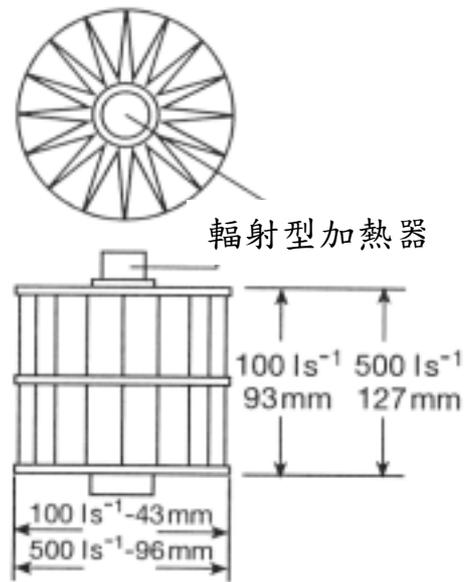


圖 3.29 NEG 抽氣盒

### 3.3.3 濺射離子幫浦(Sputter ion pump)

濺射離子幫浦是一種結拖離子幫浦，幫浦內部被離子化的氣體加速撞擊陰極的結拖物質，藉由此陰極濺射而不斷的更新結拖物質薄膜來吸收氣體。基本的濺射離子幫浦包含有一平的鈦陰極，一圓柱狀陽極，及一軸向磁場，如圖 3.30 所示。

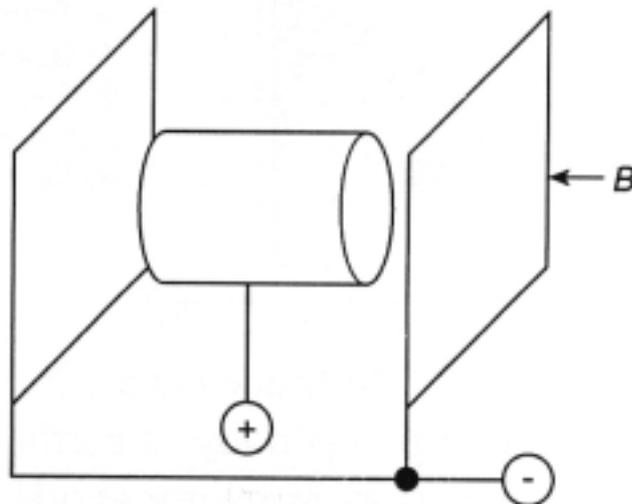


圖 3.30 一單元的濺射離子幫浦的示意圖

雙級離子幫浦(Diode ion pump)包含有 3~7kV 的電壓及 0.1~0.2Tesla(1 A/m=1.26 uT)的磁場，以便幫浦在低壓力時可以持續放電。被加速具高能量的電子撞擊中性的氣體後，中性的氣體被離子化，帶正電的離子與陰極相碰撞後而濺射出鈦原子，進而在陽極及對面的陰極形成鈦金屬結拖膜，如圖 3.31 所示，而鈦金屬膜並與所有的活躍氣體產生反應而形成穩定的化合物。其中部分撞擊到陰極的氣體分子會埋入陰極內部。

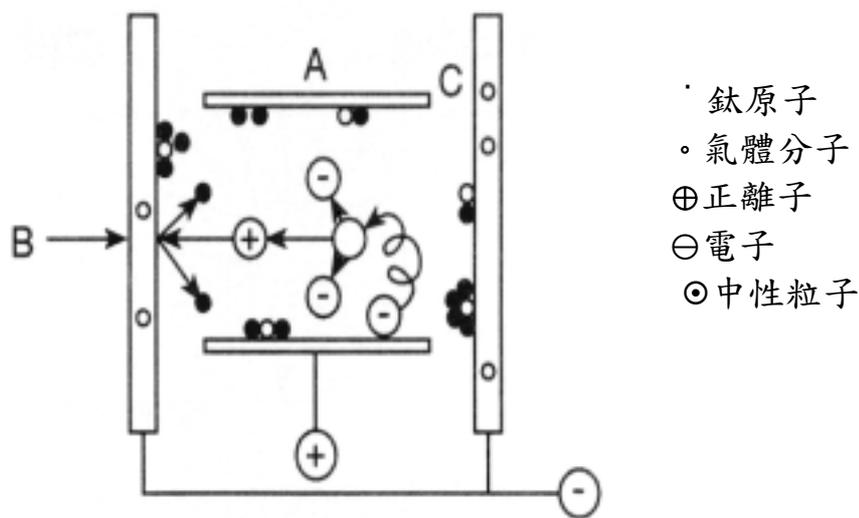


圖 3.31 雙極離子幫浦

部分惰性氣體如氦、氬、氙被埋於幫浦內壁及陽極的鈦金屬層中，而其他的氣體則被埋入陰極中。不幸的是，當濺射過程一直持續進行時，原先被埋入的氣體會被釋放出來，造成幫浦抽氣性能的不穩定。有一些方法被嘗試用來抽除惰性氣體，例如，使用不同的陰極，一為鈦(Titanium)金屬，一為鉭(Tantalum)金屬，並在陰極處開槽，使得離子得以偏斜的角度撞擊幫浦的內壁。然而最成功的就是三極離子幫浦(Triode ion pump)，如圖 3.32 所示。

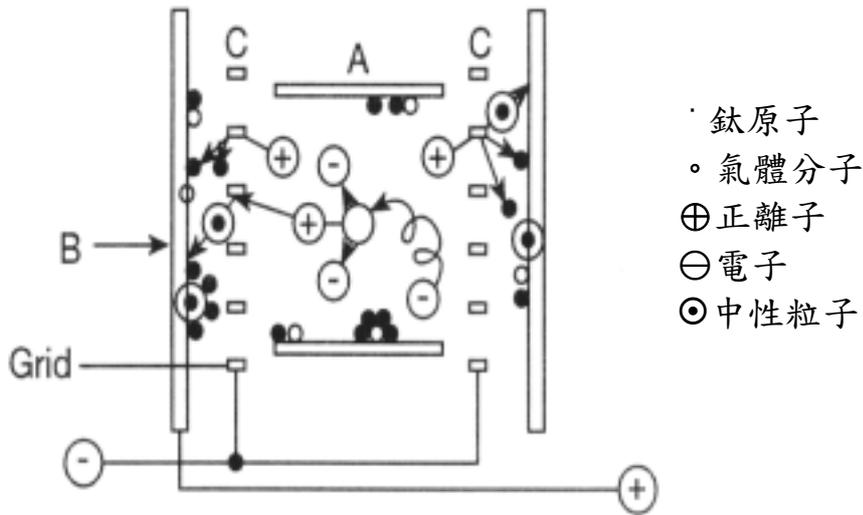


圖 3.32 三極離子幫浦

三極離子幫浦(Triode ion pump)的整個幫浦本體是接地的，且與其內部圓柱型的陽極具有相同的電位，類似一個輔助的陽極。幫浦內部的離子被產生後，撞擊掠過以鈦金屬製成的隔柵陰極而造成高度的鈦濺射率，而被濺射出來的鈦金屬優先附著於幫浦的內壁，帶正電高速運動的離子撞擊經過陰極隔柵後便成中性粒子，且以偏斜的角度撞擊至幫浦的內壁而被埋入，或者反射至陽極而被陽極所吸收。任何帶正電的離子在靠近幫浦內壁時會被帶正電的幫浦內壁所排斥，而不會干擾幫浦內壁的表面，因此，被埋入幫浦內壁的惰性氣體會被新的鈦金屬所覆蓋，而不會受到干擾，此型幫浦對於這些惰性氣體具有很大的抽氣速率，如表 3.5 所示。

表 3.5 三極離子幫浦對於不同氣體的抽氣速率比較表

氣體	抽氣速率(相對於空氣的抽氣速率比例%)
氫	150 - 200
甲烷	100
氧	80
氫	30
氮	28

具尖角陰極的三極離子幫浦(如 Varian “Star Cell”離子幫浦)可提昇對氫氣的抽氣速率，並可提高幫浦的啟動壓力，減少電極的變形。

圖 3.33 為一典型 150Ltr/s 抽氣速率的濺射離子幫浦的抽氣速率曲線圖，所提供給離子幫浦的能量要精確才行，過多的能量會造成幫浦內部過熱，使得高壓力區域的抽氣性能變差，若提供的能量過小，會降低幫浦的啟動壓力。一典型的三極離子幫浦在操作壓力為  $10^{-6}$  mbar 時，可使用 40,000 小時，若操作壓力更低時，則使用的時間可以更久。若真空系統常需要週期性的回復至一大氣壓力則不適合使用離子幫浦。

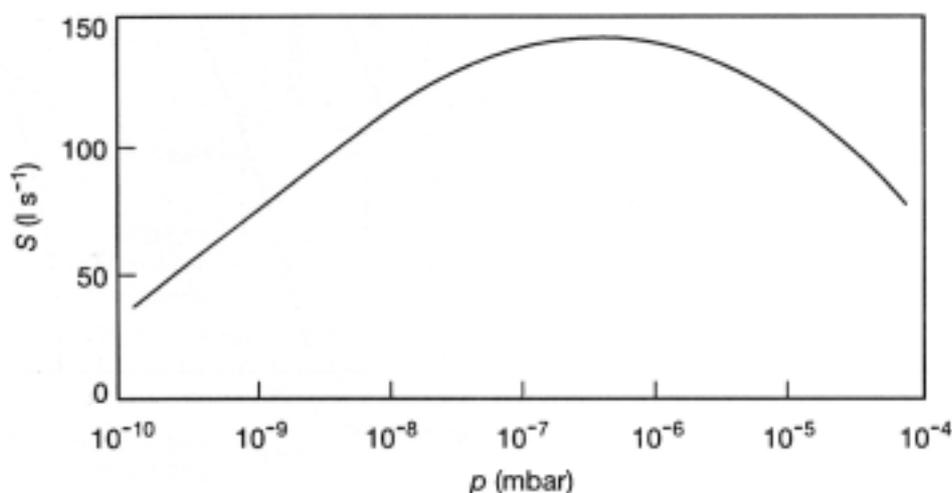


圖 3.33 150 Ltr/s 三極離子幫浦抽氣速率曲線圖

離子幫浦進行複雜分子結構的氣體抽除時，如甲烷(methane)，這些氣體會因為電子的撞擊而解離，因此類似在抽除相互分開的氣體。離子幫浦可以在  $10^{-3}$  mbar 的壓力下啟動，此時電極可以進行放電，但是對於較舊的離子幫浦而言，在此壓力下放電的能量會消散，而造成幫浦加熱並使原先被埋入的氣體分子釋放出來，因此建議使用適當的粗抽幫浦(3.3.1 節) 將真空腔體的壓力下降至  $10^{-4}$  mbar 之後才啟動離子幫浦。由於離子幫浦內部的濺射率與壓力成正比，因此離子幫浦的抽氣速率約略為定值。

### 3.3.4 冷凍幫浦(Cryopump)

冷凍幫浦是利用超低溫冷凝面將氣體冷凝並留在這些表面上，此類幫浦相當潔淨，沒有碳氫化合物的污染，其抽氣速率和幫浦內部冷凝面的面積成正比。圖 3.34 顯示要將真空腔體壓力保持於或低於氣體飽和蒸氣壓所需要的溫度。

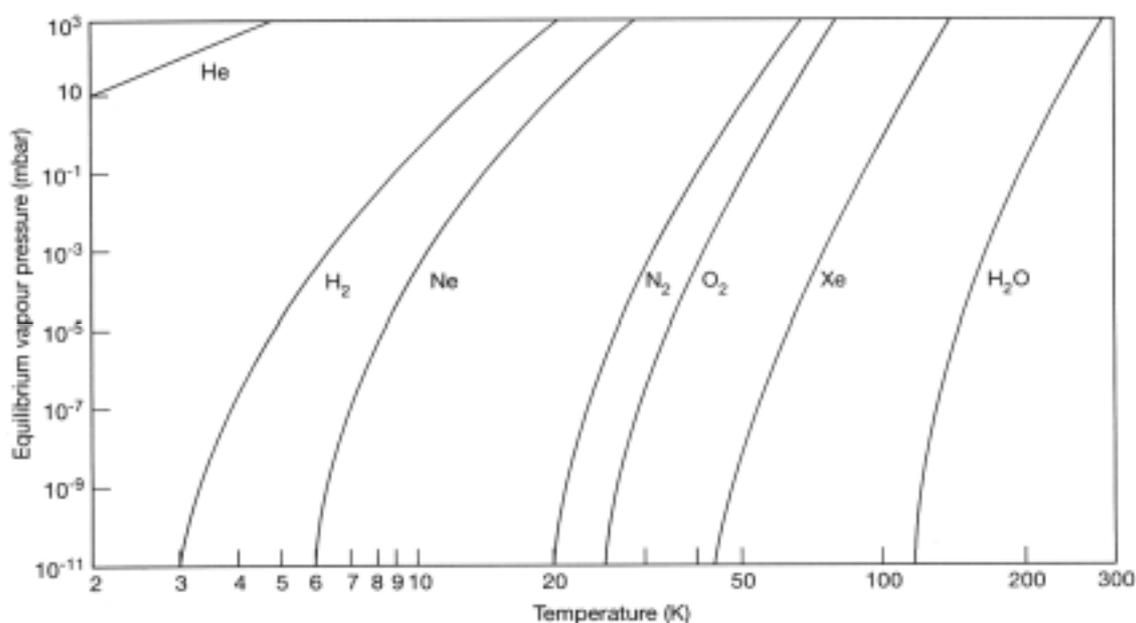


圖 3.34 不同氣體溫度與蒸氣壓力曲線圖

此類幫浦有兩種主要的形式。

**液池冷凍幫浦(liquid pool cryopump)**的內部冷凝抽氣面溫度保持在液態氮的溫度，並利用外部液態氮冷卻的外罩及擋板作為熱屏障，如圖 3.35 所示。此類幫浦需要使用大量的液態氮，但是設計良好的冷凝吸附面及擋板可以讓此類幫浦達到大的抽氣速率，例如 107Ltr/s。

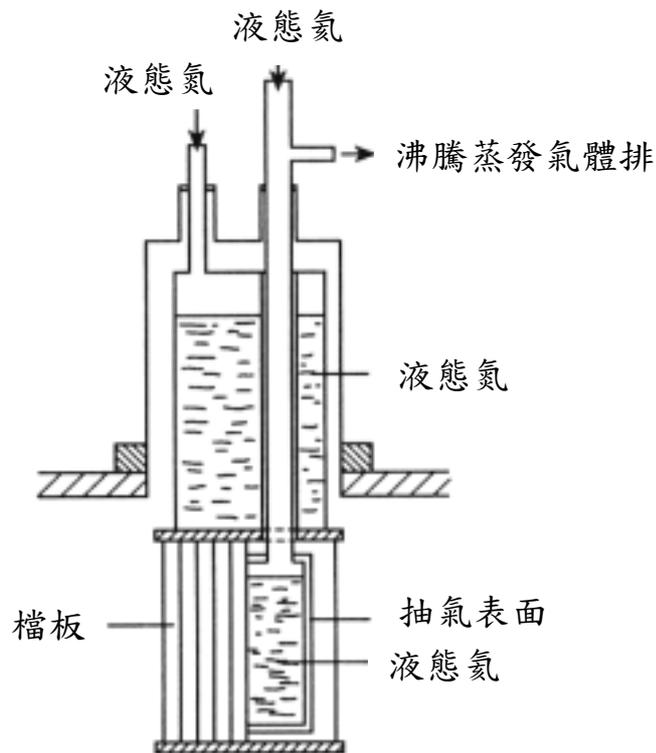


圖 3.35 液池冷凍幫浦

目前一種不需要使用液態氮或液態氬，可獨立運作的冷凍幫浦採用雙級冷凍循環，搭配在室溫環境的氬氣壓縮機，此型幫浦有自己的儲氣筒槽，其截面示意圖如圖 3.36 所示。

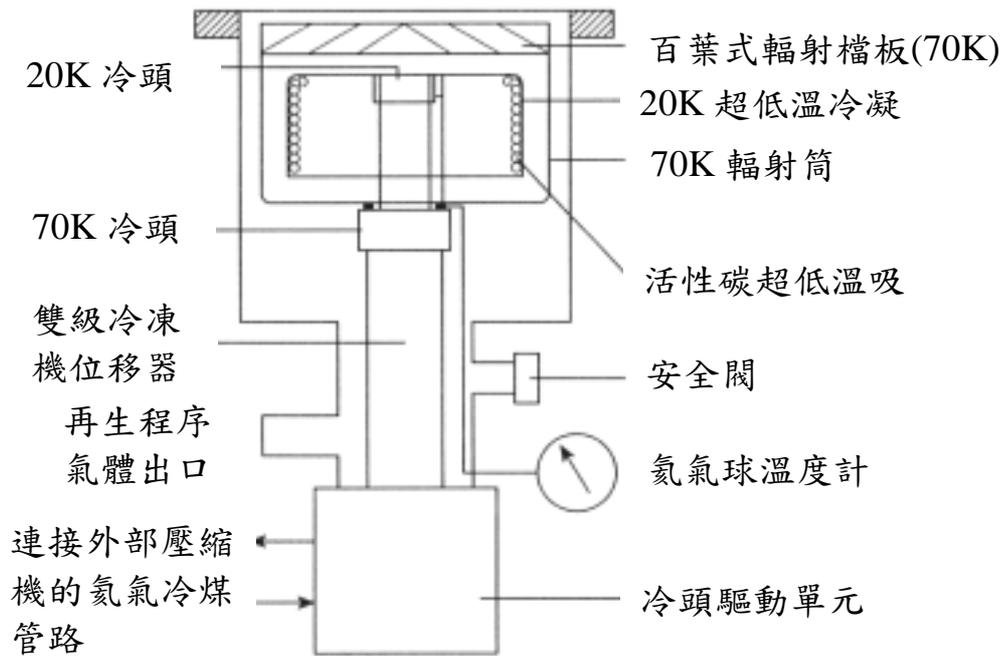


圖 3.36 可獨立運作的冷凍真空幫浦截面圖

由圖 3.34 可以得知，20K 的超低溫表面可以將所有氣體的蒸氣壓下降至  $10^{-11}$  mbar 以下，除了氫、氦、氖這三種氣體之外，這三種氣體藉由低溫吸附的原理被吸附在黏著於 20K 冷凝面下方的活性炭中。活性炭設計擺放的位置是避免吸附其他的氣體分子。至於水氣是在 70K 的擋板及輻射筒被冷凝下來。冷凍幫浦必須在壓力小於  $10^{-2}$  mbar 以下操作，以減少由於氣體的熱傳導及熱對流所造成的熱負荷。此幫浦採用 Gifford-McMahon 冷凍循環來產生制冷端，而 G-M 循環是從 Solvay 循環改良而來，是以氣態氦作為冷媒，從壓縮機進入 G-M 循環高壓端的氦氣，其壓力約為 13mbar，溫度為室溫，二級 G-M 冷凍循環可以產生兩級分別為 70K 及 20K 的制冷端，壓縮機內部可以將循環的氦氣過濾及再冷卻，壓縮機內部的過濾器在使用 12,000~15,000 小時後要再進行維護、清洗或更換。

冷凍幫浦在使用一陣子之後，當冷凝面充滿了冷凝下來的氣體時

要進行再生，至於要多少時間進行再生則需要視被抽除的氣體總類及被抽除的量而定。再生程序是使幫浦及壓縮機關機，幫浦內部的溫度會逐漸上升，再輔助通入乾氮作為掃氣(purge)氣體，之後再將幫浦內部的氣體抽除至幫浦的啟動壓力，再開啟幫浦的電源重新啟動幫浦。當幫浦進行再生程序時要非常小心，因為當幫浦內部的溫度上升時，原先固化下來的氣體會迅速變為氣體，造成幫浦內部壓力的急劇上升而從安全洩壓閥排出。若抽除的氣體為具爆炸性及反應性的氣體，就可能對外界造成污染。冷凍幫浦的冷卻時間(cool-down)約為一小時，幫浦的抽氣速率最大約可達到 10,000Ltr/s，部分產品的位移器(displacer)移動速度可以被調整以控制幫浦的冷凍能力，因此有待機狀態及全速抽氣狀態，以達到減少活塞的磨耗及減少氮氣的消耗。

冷凍幫浦主要應用於要求無碳氫化合物污染(hydrocarbon free)的真空系統中，例如表面科學(surface science)、半導體製程(semiconductor production)、平面顯示器製程(flat panel displayer production)、太空模擬腔體(space simulation chamber)等，圖 3.37 為一典型的冷凍幫浦抽氣系統，目前還有一個壓縮機搭配數個冷凍幫浦的系統。

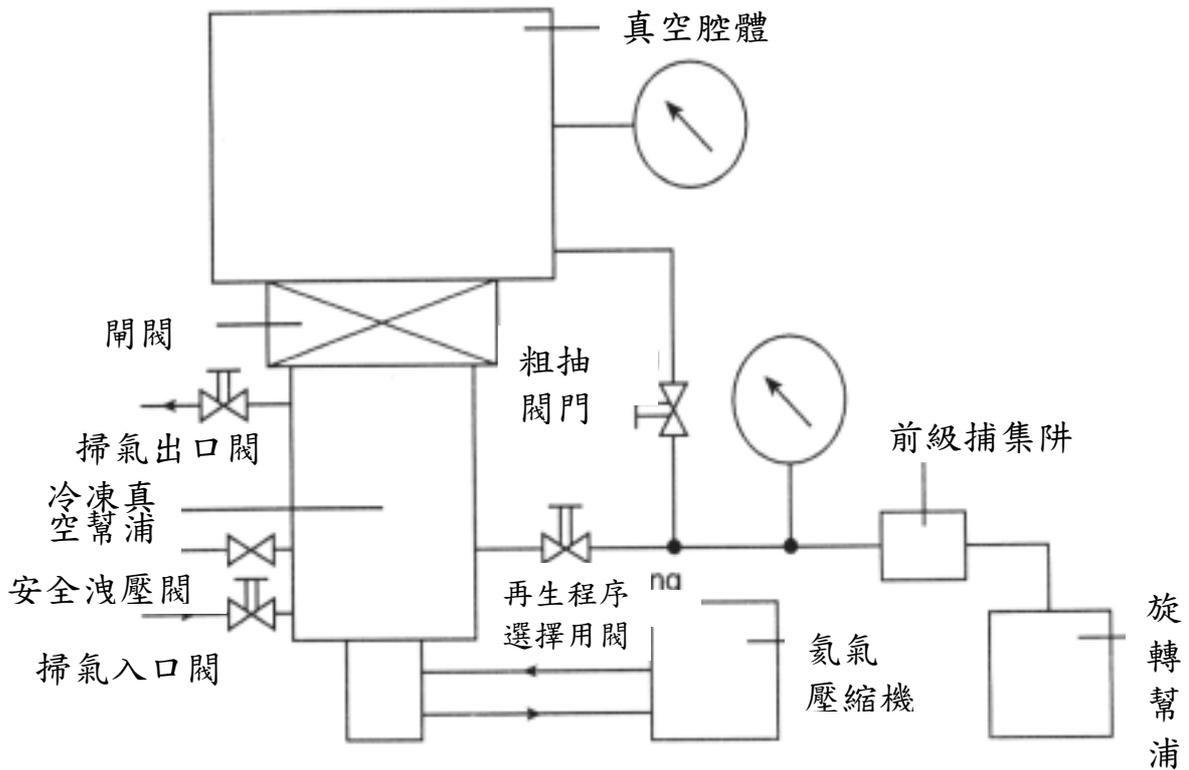


圖 3.37 典型冷凍真空幫浦抽氣系統

### 3.4 幫浦選用

正確的選用真空幫浦抽氣系統需要考慮許多因素，需要搭配表 3.6 及表 3.7 並回答下列問題才可以試著正確選用。

如何選用正確的真空幫浦。

1. 我想要做甚麼?製程是甚麼?
2. 終極壓力為多少?
3. 真空腔體的體積及內部表面積有多大，表面逸氣有多大?
4. 操作壓力有多大?包含通入多少的製程氣體?
5. 最大可容許的壓力有多少?
6. 將壓力從一大氣壓力抽至額定壓力需要多少時間?系統循環週期時間有多少?
7. 系統預先準備的工作時間?

8. 週邊附屬物品是否充足?包含氣體及液體的供應量，特殊放氣 (vent)或回壓裝置?
9. 尺寸及重量?包含淨高空間及升降設備?
- 10.操作人員是否具備足夠的技術?
- 11.有無特殊需求?
  - (a) 超高潔淨
  - (b) 無碳氫化合物
  - (c) 有毒或腐蝕性物質
  - (d) 具反應性氣體
  - (e) 製程溫度
  - (f) 烘烤
  - (g) 輻射環境
  - (h) 稀有氣體的獲得
  - (i) 排氣系統
- 12.震動限制?
- 13.費用是否經濟?液態氮、動力、流體、現金?
- 14.安全?

表 3.6 真空幫浦的工作壓力範圍

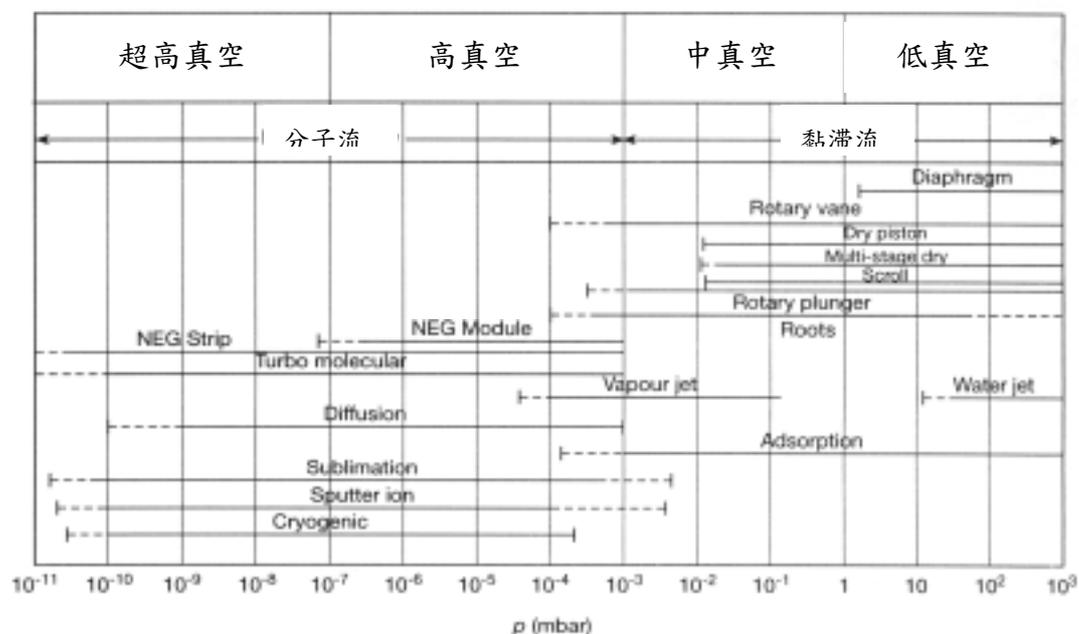
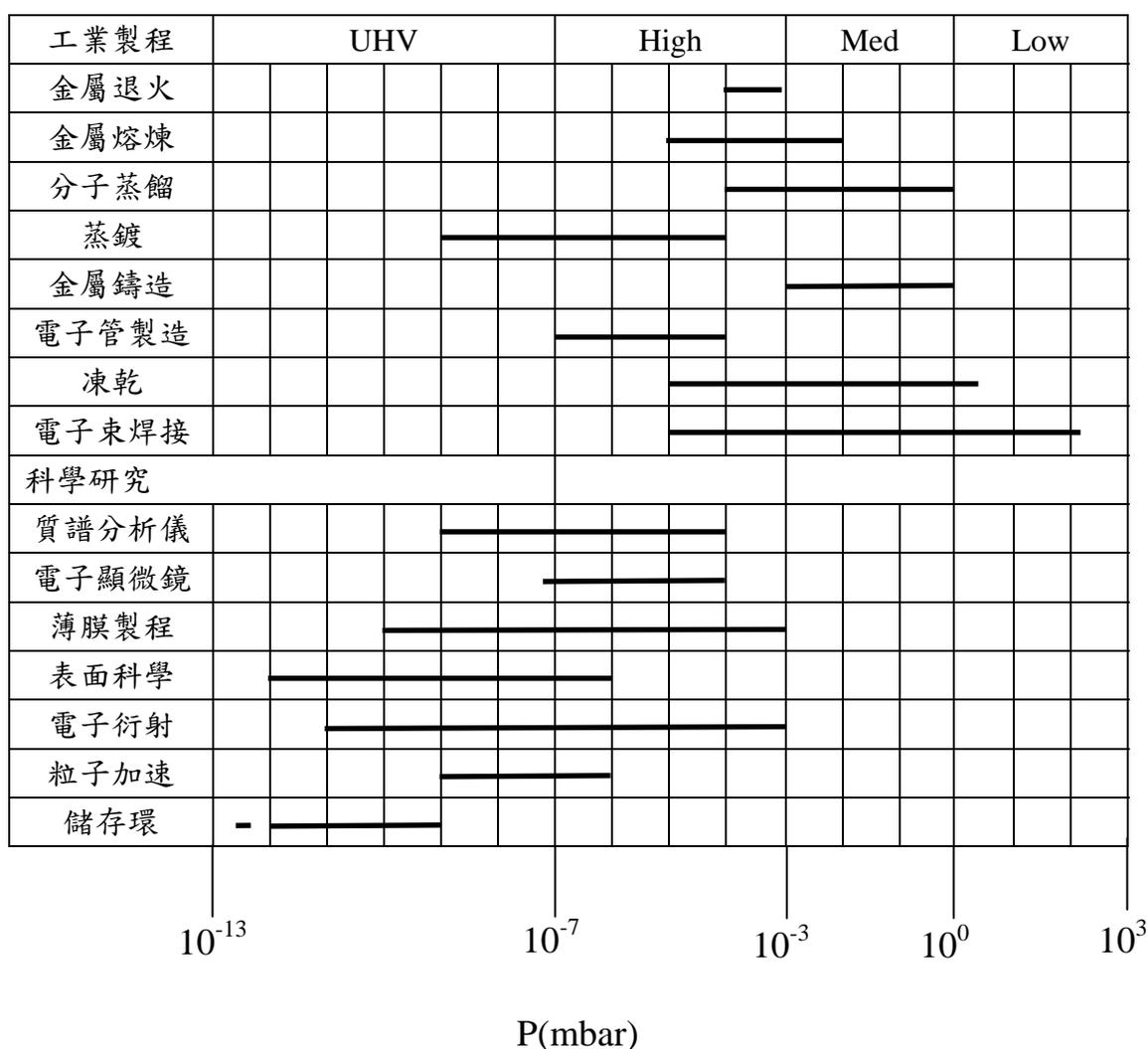


表 3.7 工業科學及研究製程的真空工作壓力範圍



### 結論

本章描述常用的真空幫浦種類，並列舉幫浦的操作原理，但是無法將製造者所有的產品述說完整，請讀者參考 G. F. Weston 於 Vacuum 雜誌 Vol. 37, Nos 8/9, 1987 年所著的“Modern Vacuum Practice”一文相關資料。

### 參考文獻

Becker W 1958 Vacuum-Technik 7 149.