

Chapter 3 產生真空的辦法

- * 3.1 真空幫浦
- * 3.2 粗略真空到中度真空抽氣用的幫浦
- * 3.3 高真空到超高真空抽氣用的幫浦
- * 3.4 抽真空系統的幫浦組合

1

第一節 真空幫浦

- * vacuum pump
- * 定義：
 - * 真空幫浦為一種裝置可將真空系統中的氣體抽出，使返回真空系統中的氣體數量較抽出真空系統的氣體數量為少
 - * 不論為何種形狀構造或何種抽氣原理，均稱為真空幫浦

2

真空幫浦的分類

- * 排氣式幫浦
 - * 正位移式幫浦 (positive displacement type)
 - * 往復式幫浦
 - * 迴轉式幫浦 (rotary pump and scroll pump)
 - * 動能式幫浦 (kinetic energy type)
 - * 機械動能傳遞式 (turbo-molecular pump)
 - * 流體 (蒸氣) 動能傳遞式 (diffusion pump)
- * 貯氣式幫浦
 - * 吸附式幫浦 (surface adsorption type pump)
 - * 吸附幫浦 (sorption pump)
 - * 結拖幫浦 (getter pump)
 - * 冷凍幫浦 (cryogenic pump 簡稱 cryo pump)
 - * 離子幫浦 (ion pump)

3

真空幫浦的一般性能

- * 最終壓力 (ultimate pressure)
 - * 若真空幫浦僅抽其本身的氣體，在真空幫浦的出口處測定壓力，則幫浦的壓力下降至一極限值後即不會再下降
- * 操作壓力範圍 (operational pressure range)
 - * 通常選擇真空幫浦時應考慮要能維持此真空系統操作的壓力範圍
- * 抽氣速率
 - * 抽氣速率一般多用為真空幫浦的規格
- * 氣體的選擇性 (selectivity)
 - * 氣體的選擇性與幫浦的操作原理有關

4

第二節 粗略真空到中度真空抽氣用的幫浦

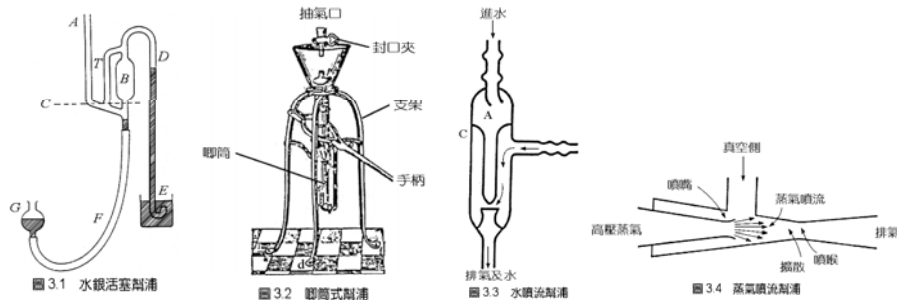
★ 早期的活塞幫浦

★ 水銀活塞幫浦 (mercury piston pump)

★ 人力唧筒式幫浦

★ 水噴流幫浦

★ 蒸氣噴流幫浦



5

迴轉幫浦 (Rotary pump)

★ 滑翼油墊迴轉幫浦

★ 一級滑翼迴轉幫浦

★ 二級滑翼迴轉幫浦 (two-stage sliding-vane rotary pump)

★ 迴轉活塞幫浦

6

滑翼油墊迴轉幫浦

★ 迴轉幫浦 (Rotary pump) 主要有一帶動轉子 (rotor) 迴轉的電動馬達，轉子在一不動的靜子 (stator) 中轉動，以機械方式推動氣體分子流向高壓側而被壓縮，故屬於正位移式幫浦

★ 歸納各種型式的迴轉幫浦，其操作機制如下：

★ 馬達→轉子→滑翼 (sliding vane)，活塞 (piston)，柱塞 (plunger) 或滑動閥 (sliding valve) →壓縮氣體→排至大氣

★ 潤滑與氣密

★ 通常用油為潤滑劑

★ 並作為推動氣體的機件與靜子間的氣密襯墊 (seal)

★ 迴轉幫浦的抽氣速率

★ 與壓力有關，僅在最佳操作壓力範圍內隨壓力變化較小，即抽氣速率接近常數

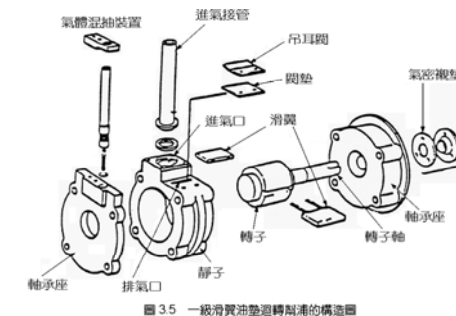
★ 滑翼油墊迴轉幫浦

★ sliding-vane oil-sealed rotary pump

★ 推動氣體的機件即為在轉子上的滑翼 (sliding-vane)

7

滑翼油墊迴轉幫浦的構造與原理



8

利用空氣（或氣體）混抽法（Air ballast method）減低或消除蒸氣

- * 靜子靠近排氣口側設有一氣體混抽裝置
- * 包含有一開關閥，一單向閥，及連接管
- * 當開關閥打開後，外界大氣（或選用的氣體）經單向閥直接進入靜子的氣體壓縮室滑翼推壓氣體的空間，此時空間內的氣體總壓力為一大氣壓力加已被壓縮氣體的壓力，故隨即推開排氣閥排入外界大氣中
- * 因為此時系統內的氣體及蒸氣雖被壓縮但蒸氣的壓力未達飽和蒸氣壓，尚不致凝為液體，故可隨氣體排出
- * 當開關閥打開後，雖真空系統中的壓力會上升，但蒸氣慢慢被抽除後，系統中壓力亦慢慢下降，然後將空氣混抽裝置的開關閥關閉，系統中的壓力即繼續下降

蒸氣被壓縮凝成液體

空氣混抽法抽除蒸氣

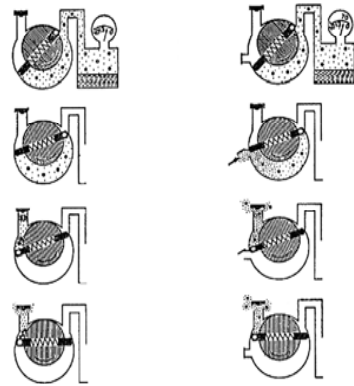


圖 3.7 滑翼迴轉幫浦利用空氣混抽法抽蒸氣的原理

9

渦卷式乾式幫浦

- * scroll pump
- * 由一迴轉的渦旋狀的轉子在一與其共軛（conjugate）的靜子中轉動而抽氣

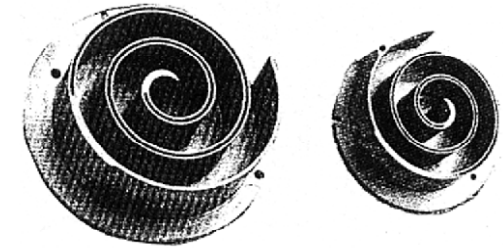


圖 3.18 渦卷式乾式幫浦

10

渦卷式乾式幫浦抽氣原理

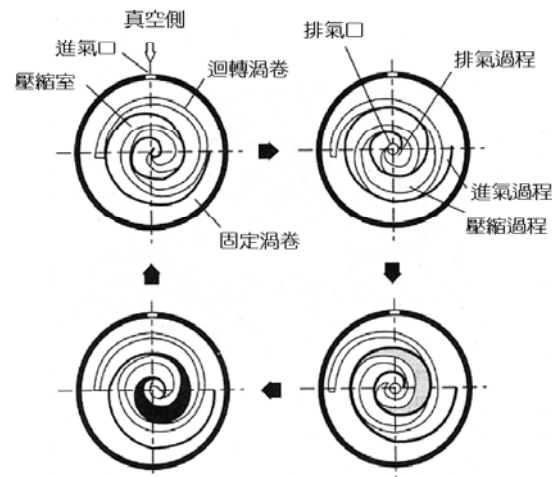


圖 3.19 渦卷式乾式幫浦抽氣原理

11

第三節 高真空到超高真空抽氣用的幫浦

- * 真空系統的真空度達高真空範圍後氣體的分子密度相對減低，事實上已無法應用正位移壓縮的方法抽氣
- * 利用賦予氣體分子動能的排氣式幫浦或將氣體貯存在幫浦中的貯氣式幫浦為高真空到超高真空抽真空用的兩類幫浦
- * 高真空幫浦的設計均不能從大氣壓力開始抽真空，原則上真空系統必須先由上述的抽粗略真空到中度真空用的幫浦將真空系統抽真空至接近高真空的壓力範圍，然後再起動高真空幫浦

12

擴散幫浦

* diffusion pump

- * 為利用氣體擴散的原理的幫浦
- * 當真空系統中的壓力達可起動擴散幫浦的壓力時，此時氣流形態已進入分子流範圍，故每一個氣體分子均獨立作任意運動 (random motion)
- * 幫浦液 (pumping fluid) 在起動幫浦時被加熱成蒸氣經由噴口 (nozzle) 噴出形成蒸氣噴流 (vapour stream)
- * 氣體分子任意運動至蒸氣噴流附近，因蒸氣噴流中並無氣體分子，即氣體分子的濃度為零，故依照擴散定理氣體分子即擴散入蒸氣噴流中
- * 在蒸氣噴流中的氣體分子則隨蒸氣噴流向下流動，噴流至擴散幫浦下端幫浦內壁受冷卻，蒸氣即冷凝成幫浦液回至加熱器，被帶下的氣體分子則在此處被一前段幫浦 (fore pump) 抽出排至大氣

13

擴散幫浦的構造

* 擴散幫浦的構造

- * 幫浦本體 (即外殼)
 - * 幫浦液蒸發器亦稱為鍋爐 (boiler)
 - * 蒸氣噴流裝置 (jet assembly) 亦稱為噴流塔或傘形裝置
 - * 前段排氣管路
- * 幫浦本體外壁
 - * 設有冷卻水管，並延伸至前段排氣管路
 - * 冷卻水由位於幫浦下方的前段排氣管路處的水管進入，至幫浦上方的進氣口附近排出
- * 噴流塔每一層形成環狀噴口，即為一級
- * 由最上層的第一級噴射蒸氣噴流將氣體壓縮，再經其下的第二級繼續壓縮

14

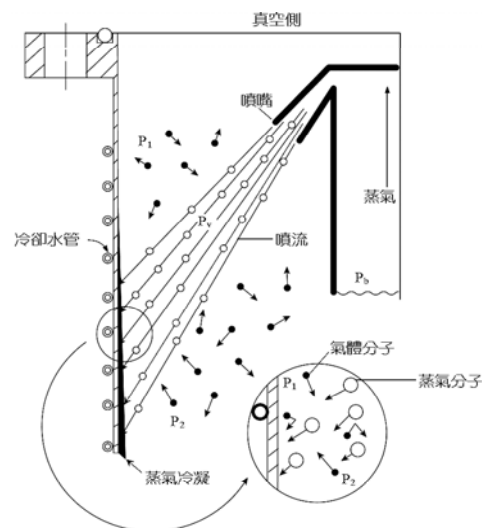
擴散幫浦原理圖

- * 出蒸氣噴流裝置的一 (單級) 噴口。擴散幫浦單級的壓縮比理論上為：

$$p_2/p_1 = \exp(\rho v L/D)$$

- * 其上為真空側，壓力為 p_1 ，其下為壓縮側，壓力為 p_2

- * D 為一常數與氣體分子及蒸氣分子的質量與直徑有關，



15

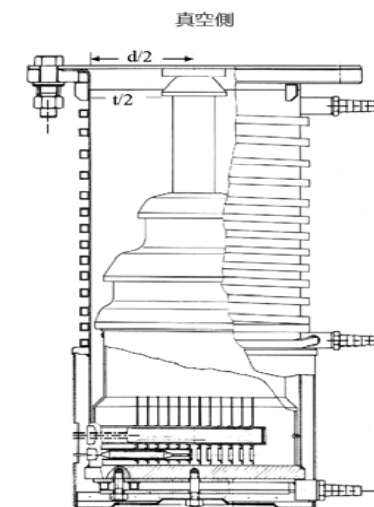
擴散幫浦的理論最大抽氣速率

- * 根據氣導 (conductance) 的理論，真空系統的有效抽氣速率 (effective pumping speed) 不會超過連接真空幫浦至真空系統間的氣導的數值

- * 擴散幫浦的理論最大抽氣速率應不會超過其進氣口的氣導的數值

- * 在高真空分子氣流範圍，孔道氣導的計算公式為：

$$C = 3.64(T/M)^{1/2} A$$



16

實際擴散幫浦的抽氣速率

- * 一般擴散幫浦的抽氣速率 S 應小於幫浦最大抽氣速率，通常可用下式計算：

$$S = HS_{max}$$

- * 大型的擴散幫浦，此因子常取為0.4，而幫浦的噴口餘隙常設計為：

$$t \approx d/3$$

- * 實用時常以室溫 20°C 及所抽氣體為空氣來簡化，即選擇 T 為 293K ， M 為空氣的平均莫耳質量 $=29$ ，故 $(T/M)(293/29)3.18$ 。代入此些數字最後可得：

$$S \approx 2d^2 \text{ 公升/秒}$$

17

擴散幫浦的抽氣速率曲線

- * 氫氣，氦氣及氖氣在正常操作的壓力範圍，其抽氣速率較其他氣體為高
- * 此些氣體能達到的最終壓力則比一般大分子氣體者較高

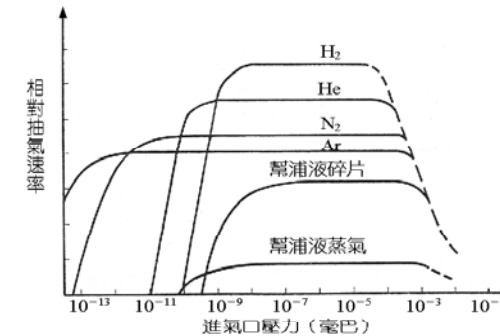


圖 3.23 擴散幫浦的抽氣速率曲線

18

擴散幫浦的最終壓力

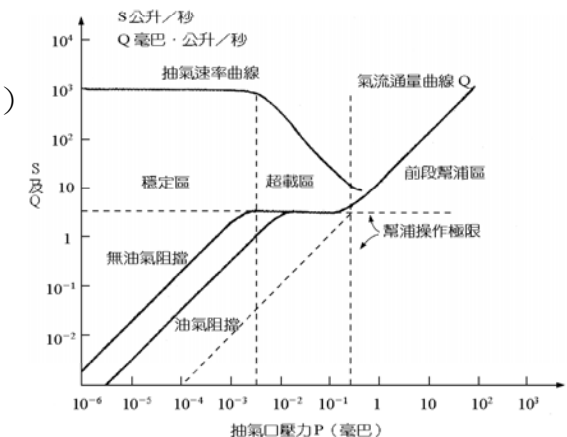
- * 擴散幫浦的最終壓力（Ultimate pressure）受下列限制：

- * 油蒸氣
- * 水蒸氣
- * 溶於幫浦液
- * 幫浦結構金屬中的氫（氦）

19

擴散幫浦的氣流通量與進口壓力的關係

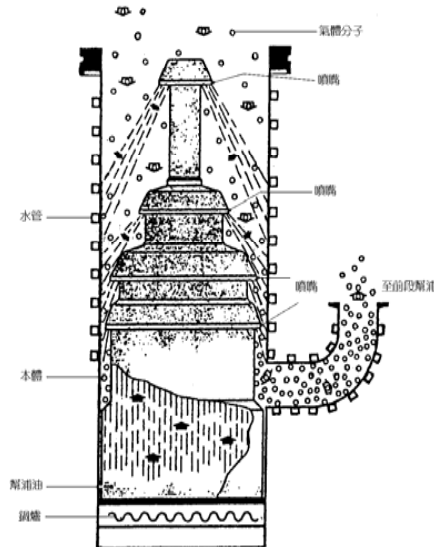
- * 當進口壓力在10毫巴以上則為超載區（over load zone）
- * 在擴散幫浦的起動壓力範圍，此時幫浦的氣流通量為最大
- * 曲線超過此範圍則為前段幫浦抽氣的範圍



20

多級擴散幫浦

- * 幫浦液蒸發成蒸氣從噴流塔中各級噴口噴出
- * 擴散幫浦用水銀為幫浦液者因其僅為一種元素成分，蒸氣無分噴的需要，故用非分噴式多級擴散幫浦
- * 幫浦液蒸氣從噴流塔中向上自各級噴口噴出至幫浦本體冷卻的內壁凝結成液體流回至鍋爐



21

常用幫浦液的蒸氣壓

- * Mercury 2.6×10^{-3}
- * DC704 (silicone oil) 2.6×10^{-8}
- * DC705 (silicone oil) 4×10^{-10}
- * Fomblin (perfluorinated polyether) 9×10^{-9}
- * Santovac或Convelex (polyphenyl ether) 2.5×10^{-9}
- * Ultralen (polyphenyl ether) 1.8×10^{-9}
- * Apiezon A (hydrocarbon oil) 2.7×10^{-5}
- * Apiezon B (hydrocarbon oil) 6×10^{-7}

22

結拖幫浦

- * getter pump
- * 貯氣式幫浦
- * 原理
 - * 利用一種物質可與氣體起化學作用生成固體而產生幫浦的作用者
 - * 製成真空幫浦並非單純將此種物質放置在真空系統中即可

23

結拖幫浦介紹

1. 幫浦作用
2. 用作幫浦的結拖應具備的性質
3. 結拖的型式
4. 幾種常用的結拖材料對不同氣體的反應
5. 結拖的理論抽氣速率
6. 商品不蒸發結拖幫浦
7. 鈦昇華幫浦
8. 結拖幫浦的問題

24

Getter幫浦作用

- * 一種材料可製成真空幫浦的元件
 - * 與氣體起化學吸附作用生成固體而達到抽真空的效果，或幫浦作用 (pumping action)
- * (1) 化學吸附 (chemisorption)
 - * 表面化學吸附 (Chemical absorption) 的簡稱
 - * 作用在固體的表面
- * (2) 結拖 (getter)
 - * 名詞
 - * 一種材料，其可與大多數氣體及蒸氣結合成為具有低蒸氣壓的固體者
 - * 動詞
 - * 利用此種結拖材料以抽大多數氣體及蒸氣的機制

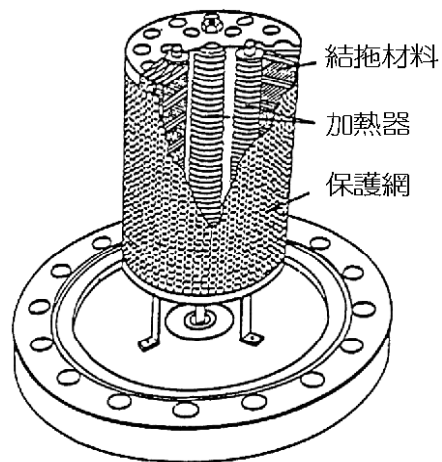
25

Getter Pump的型式

- * (1) 閃燃結拖 (flash getter)
 - * 亦稱為散布結拖 (dispersal getter) 或接觸結拖 (contact getter)
 - * 紅磷 (red phosphor)，鹼土金屬 (alkali earth metals) 及其化合物，鋇 (Ba) 及其合金
- * (2) 塗附結拖 (coating getter)
 - * 將糊狀氫化鋯 (ZrH) 粉塗附在電極上於真空中加熱至800°C將氫氣 (H) 釋放而留下鋯 (Zr)
- * (3) 整體結拖 (bulk getter)
 - * 亦稱為不蒸發結拖 (non-evaporation getter) 或固體結拖 (solid getter)
 - * 固體如片狀，條狀等的高溫金屬 (refractory metals)，如鉭 (Ta)，鈮 (Nb)，鋯 (Zr)，鉬 (Mo)，鎢 (W) 等以固體形態作為幫浦
 - * 結拖時要加高溫以使反應生成物擴散入固體內部而保持其表面新鮮繼續供結拖作用

26

不蒸發結拖幫浦



27

撞濺離子幫浦

- * sputter ion pump
- * 離子幫浦 (ion pump)
- * 原理亦為結拖
 - * 材料亦與上述的結拖幫浦者同
 - * 不用加熱昇華或加熱擴散等方法而係利用離子撞濺 (ion sputtering) 技術濺射出結拖材料的原子以結拖氣體

28

撞濺離子幫浦介紹

- * 1.撞濺
- * 2.二極離子幫浦
- * 3.撞濺離子幫浦的抽氣作用
- * 4.氬不穩定性
- * 5.三極離子幫浦
- * 6.三極離子幫浦的抽氣作用
- * 7.離子幫浦的抽氣速率及最終壓力
- * 8.離子幫浦的起動
- * 9.離子幫浦的壽命，幫浦可能的污染及雜訊
- * 10.離子幫浦的優缺點

29

Ion Pump: 撞濺

- * Sputtering
 - * 為以帶有能量的離子撞擊固體表面，而將固體中的原子濺射出為中性原子或帶電荷離子的機制
- * (1)撞濺的理論
 - * 過程並不產生高溫，被濺射出的原子或離子並非被高溫蒸發出的蒸氣
 - * 一般而言大質量的離子產生撞濺的效果較大
 - * 離子的能量必須超過門檻能量 (energy threshold) 才會產生撞濺作用
- * (2)撞濺產率 (sputtering yield)
 - * 定義為每一撞擊的離子可濺射出中性原子或帶電荷離子的數目
 - * 代表撞濺的效果

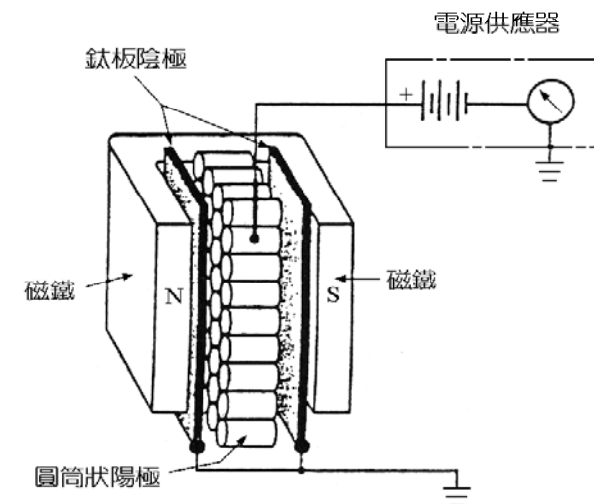
30

Ion Pump: 二極離子幫浦

- * 傳統的撞濺離子幫浦為二極離子幫浦 (diode ion pump)
 - * 陽極: 在兩片陰極板間有多數個不銹鋼圓柱筒體 (cylindrical cells) 的陽極 (anode)
 - * 陰極: 兩片鈦金屬板製成的陰極 (cathode)
 - * 兩片陰極板互相電連通並接於電源供應器的負輸出端，而多數個圓柱筒體陽極則互相電連通並接於電源供應器的正輸出端
 - * 陽極與陰極係絕緣支撐裝設於一不銹鋼長方形盒體內，盒體頂端為連接真空系統的幫浦口
- * 盒體外部設有永久磁鐵產生相對陽極與陰極電場方向平行的磁場
- * 磁場強度 (field intensity) 約在1000~2000高斯間，視幫浦的大小而定
- * 通常電場所加的直流高電壓約在3000~5000伏特間，亦視幫浦的大小而定

31

二極離子幫浦



32

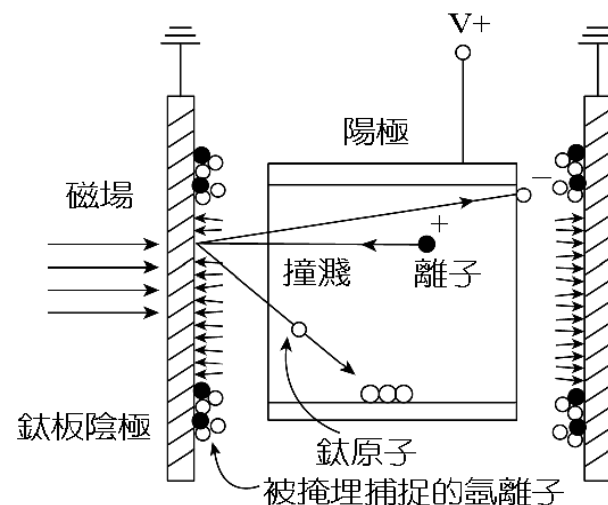
撞濺離子幫浦的抽氣作用

★ 傳統的二極離子幫浦的抽氣作用（pumping action）過程：

- ✳ (1) 產生離子：空間電子在磁場與電場作用下碰撞氣體分子使其電離
- ✳ (2) 離子加速：離子在高電場下向陰極加速
- ✳ (3) 撞濺：鈦原子被離子撞濺由陰極濺射出附著於陽極
- ✳ (4) 結拖：氣體分子（或離子）被鈦原子結拖，結拖可在陰極，空間，或陽極發生
- ✳ (5) 惰性氣體掩埋
 - ✳ 惰性氣體如氬，氖，及氬氣等不會被結拖，但會被電子電離成離子
 - ✳ 惰性氣體離子加速至陰極而被掩埋在鈦原子間
 - ✳ 亦有部分鈦氣分子附在陽極上，而被濺射出的鈦膜覆蓋掩埋

33

二極離子幫浦的抽氣作用



34

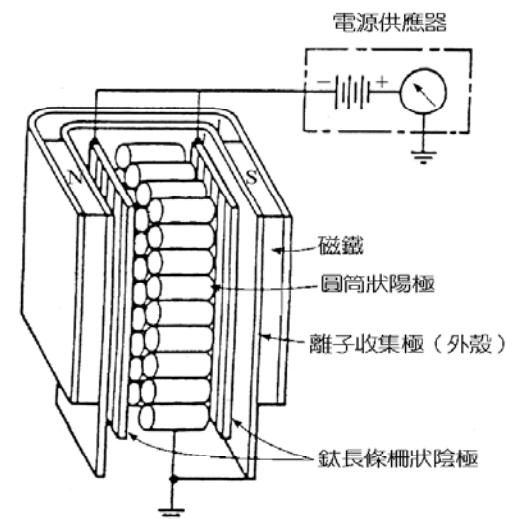
三極離子幫浦

★ triode ion pump

- ✳ 陰極：相電連接的多數根鈦條並接於5000伏特的直流電源
- ✳ 陽極：不銹鋼圓柱筒體，但係接地（零電位）
- ★ 收集極（collector）
 - ✳ 幫浦的不銹鋼外殼設為另一電極亦接於零電位，係用以收集離子電流者
- ★ 其外加磁場與二極離子幫浦者相同，即磁場強度在1000~2000高斯間，而磁場方向與電場方向同
- ★ 有三個電極故稱為三極離子幫浦

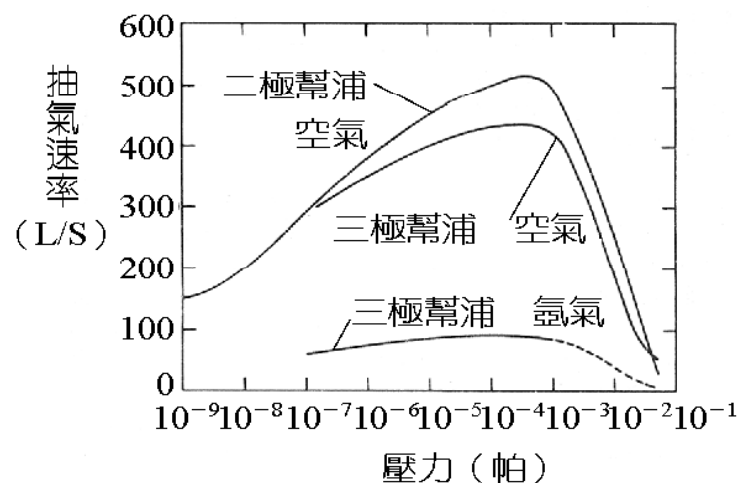
35

三極離子幫浦



36

離子幫浦的抽氣速率曲線



37

離子幫浦的最終壓力

* (2) 最終壓力

- * 離子幫浦的最終壓力受幫浦的構造及所抽氣體的種類所限制
- * 在真空度接近超高真空時，真空系統內僅剩小分子氣體如氫氦等，而小分子質量輕其撞濺效果甚低或不能產生撞濺作用，故此時已達到最終壓力

38

離子幫浦的起動

- * 離子幫浦除第一次按裝時或因某特殊原因而使幫浦內進入大氣壓力外
- * 原則上不論暫時真空系統停機或繼續維持真空，離子幫浦均應保持在高真空
- * (1) 熱起動 (hot starting)
- * (2) 冷起動 (cold starting)

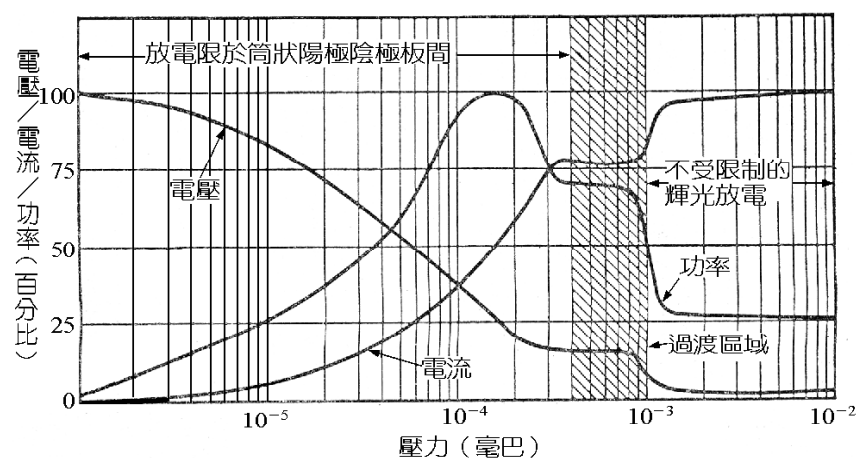
39

熱起動

- * 在壓力較高的情況下起動，起動時幫浦會產生熱故稱為熱起動
- * 離子幫浦中若進入大氣壓力則應先由粗略真空幫浦將壓力抽至約在10毫巴範圍
- * 將離子幫浦的電源控制器選擇起動 (start) 的位置
- * 壓力下幫浦內發生輝光放電 (glow discharge)
- * 在放電的情況為兩極間離子電流很大
- * 電流的流通使兩極間的電阻很小，故電場的電壓很低，通常約為毫伏特 (mV)
- * 離子在此電場中獲得的能量亦很低，故在此階段幫浦內並無離子撞濺的情形
- * 當壓力繼續下降輝光放電漸減弱，離子電流亦下降而電場的電壓開始上升，此時離子幫浦中已有離子撞濺的幫浦作用
 - * 壓力抽至10毫巴範圍時為過渡區域，輝光放電漸消失，壓力繼續下降而幫浦也逐漸冷卻
 - * 壓力進入10毫巴範圍時應停止粗略真空幫浦抽氣
- * 當離子電流降低至低於毫安培，而電場的電壓逐漸上升至其額定的高壓時，熱起動已完成，真空系統便由離子幫浦繼續抽氣

40

離子幫浦的電流，電壓及功率曲線



41

冷起動

- * 原則上
 - * 不論暫時停機打開放入大氣，或部分打開更換工件，部分繼續維持真空，通常用一隔斷閥將離子幫浦的抽氣口關閉使其保持在高真空
- * 抽整個真空系統的目的
 - * 若真空系統停機打開放入大氣，則先用粗略真空幫浦將系統壓力抽至約在10毫巴範圍，然後起動離子幫浦
 - * 因為離子幫浦係保持在高真空，故可逕由冷起動離子幫浦而達到
- * 冷起動係將隔斷閥慢慢打開讓幫浦逐漸地抽真空系統的氣體，故幫浦不會發熱
- * 幫浦內的壓力逐漸升高，而真空系統的壓力則繼續降低，最後幫浦與真空系統的壓力趨近相等，此時將隔斷閥完全打開即完成冷起動

42

離子幫浦的優點

- * (A) 有自動安全裝置，幫浦操作不需要人看守
- * (B) 適用於清潔真空系統
- * (C) 清靜無聲
- * (D) 可兼作真空計
- * (E) 無振動
- * (F) 耗電量甚小
- * (G) 正常操作壽命極長

離子幫浦的缺點

- * 撞濺離子幫浦基本靠結拖材料抽氣，故材料消耗太快的操作較不適宜
- * (A) 不適合產生大量氣體的系統
- * (B) 不適合有惰性氣體的系統
- * (C) 不適宜操作在較高壓力或常開閉的真空系統

43

冷凍幫浦

- * cryogenic pump 簡稱 cryopump
- * 係一種以極低溫將氣體冷凍成固體貯於幫浦內的真空幫浦
- * 以冷凍為基本抽氣原理的幫浦多以液態氦為冷凍介質，此類的冷凍幫浦因太過昂貴，維護保養不易，且對氫，氦等氣體並不有效故現很少有用者

44

冷凍幫浦的抽氣機制

- * (1) 冷凝 (condensation)
 - * (A) 氣體在冷凍面上凝結成固體厚度的速率
 - * (B) 比較難固化的氣體在低溫的情況
- * (2) 冷凍陷捕 (cryo-trapping)
- * (3) 冷凍吸附 (cryosorption)

45

冷凝

- * 利用冷凍面將氣體冷凝於其上成為固體即為此抽氣的機制
- * 考慮：
 - * 冷凍面為此抽氣機制
 - * 除幫浦構造設計要有大冷凍面外，氣體凝結成固體將冷凍面掩蓋住
 - * 因為固態氣體為熱絕緣體，當冷凍面完全被固體掩蓋住後則冷凍面的溫度即變成該固體的冷凝溫度，即冷凍面已失去其原有的冷凝能力
 - * 被冷凝的固態氣體仍具有蒸氣壓，此為抽超高真空必要的考慮

46

氣體在冷凍面上凝結成固體厚度的速率

- * 在壓力為 10^{-2} 毫巴：10厘米／小時
- * 在壓力為 10^{-4} 毫巴： 10^{-2} 厘米／小時
 - * 凝結成固體厚度速率與幫浦操作的真空度有關
- * 冷凍幫浦雖然在較高壓力應亦可用，但其冷凍面很快被固體掩蓋而使幫浦失去作用
- * 壓力愈低時起動及操作愈有效

47

比較難固化的氣體在低溫的情況

- * (a) 氖氣 (Ne)
 - * 在10K冷凝為固體，其蒸氣壓為 10^{-4} 毫巴
- * (b) 氫氣 (H)
 - * 在14K冷凝為固體，其蒸氣壓為100毫巴
 - * 在10K為固體，其蒸氣壓為30毫巴
 - * 在4.2K為固體，其蒸氣壓為 10^{-7} 毫巴
 - * 在3.5K為固體，其蒸氣壓為 10^{-9} 毫巴
- * (c) 氦氣 (He)

48

冷凍陷捕

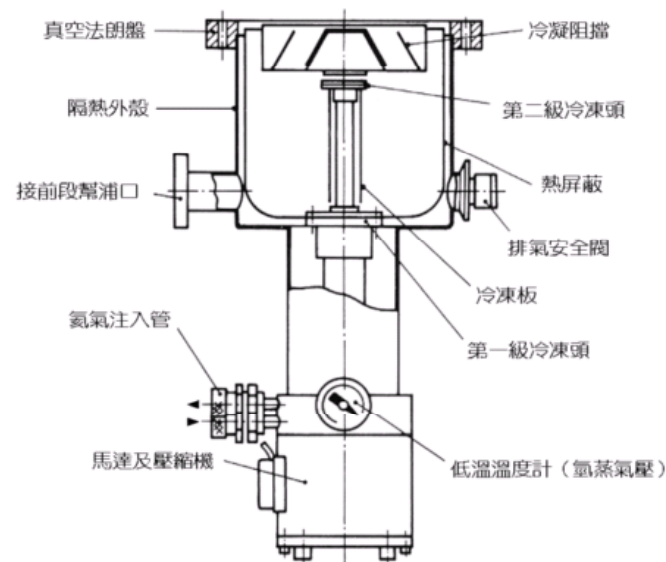
- * 小分子氣體可用大分子氣體冷凝在其上而將其掩埋
- * 原理可抽小分子氣體，特別如氦氣，在低溫下被大分子氣體如氬氣所冷凍陷捕

冷凍吸附

- * 在前述抽粗略真空的吸附幫浦曾介紹過冷凍吸附，此處所用者原理完全相同，僅高真空及超高真空範圍要抽的氣體主要為小分子氣體，故吸附劑選擇5X的活性碳，因其對小分子氣體如氦，氬，及氫可有效吸附
- * 通常冷凍吸附用在高真空及超高真空範圍係配合冷凝抽氣而並不單獨應用

49

冷凍機冷卻式冷凍幫浦



50

冷凍幫浦的操作及再生

- * 操作
 - * 先抽真空至壓力達到10毫巴或更低的範圍
 - * 再起動冷凍幫浦，起動後氣體在冷凍板的冷凍面上被冷凝成固體而抽氣
 - * 冷凍板在幫浦操作時，會逐漸被冷凍的固態氣體所掩蓋，故冷凍幫浦的抽氣速率係隨操作的時間而下降
 - * 當抽氣速率下降至一定的程度時，幫浦即需停機再生
- * 再生
 - * 冷凍面及冷凍吸附的吸附劑活性碳
 - * 需將幫浦停機使回至室溫，再利用前段幫浦將解凍回復成氣態的氣體及活性碳吸附的氣體抽除
 - * 用乾燥的氮氣通入幫浦內可將幫浦內的氣體及污染物排出

51

冷凍幫浦的應用

- * 適合用於高度潔淨的真空系統
 - * 但冷凍機冷卻式有馬達帶動壓縮機，故仍有振動及發生噪音的可能
- * 不適於加高溫
 - * 若被污染僅能以乾燥的氮氣通入幫浦內將幫浦內的污染物驅出，即使要加熱亦僅能將氮氣加熱至70°C的溫度，對於一些需加高溫才能蒸發的污染物如油類或一些有機物等，即難以清除
- * 不適合用於可能產生污染的真空系統
- * 壓縮機必須用潤滑油，故其冷媒氮氣中會有油氣混合

52

渦輪分子幫浦

- * turbomolecular pump
- * 簡稱渦輪幫浦 (turbopump)
- * 一種排氣式幫浦，利用高速轉動的葉片使氣體分子獲得動能而壓縮
- * 動能式幫浦

53

渦輪分子幫浦的抽氣機制

- * 葉輪係高速轉動，氣體分子被葉片撞擊獲得動能後，飛行的方向用葉片的真空側及壓縮側說明
- * 以氣體分子碰撞A點為例，碰撞後被散射由角範圍飛出落在壓縮側，屬於被壓縮部分。碰撞後被散射由角範圍飛出，則碰撞相鄰的葉片可能再落在壓縮側仍屬於被壓縮部分，而另一部分飛向真空側，則未被壓縮。若碰撞後被散射由角範圍飛出落在真空側，則未被壓縮。在葉片的壓縮側的氣體分子仍會被葉片撞擊
- * 以氣體分子碰撞B點為例，碰撞後被散射由角範圍飛出落在壓縮側，屬於被壓縮部分。碰撞後被散射由角範圍飛出，則碰撞相鄰的葉片可能再落在壓縮側仍屬於被壓縮部分，而另一部分飛向真空側，則未被壓縮。若碰撞後被散射由角範圍飛出回到真空側，故未被壓縮
- * 等角度為決定氣體被壓縮的因素
 - * 等角係由包括葉片傾斜的葉片角 (blade angle)，葉片寬 (blade width) b ，及葉片間距離 d 的葉輪設計所決定

54

渦輪分子幫浦的最大壓縮比

- * 最大壓縮比 (maximum compression ratio) CR
 - * 定義
 - * 在幫浦出氣口的抽氣速率為零 (表示無排氣) 的壓力與進氣口壓力之比
 - * $CR_m \propto \exp(M^{1/2} U G Z)$
 - * 式中 M 為莫耳質量， U 為葉輪的圓周速度， G 為幾何因子與葉輪的構造有關， Z 為幫浦的級數

55

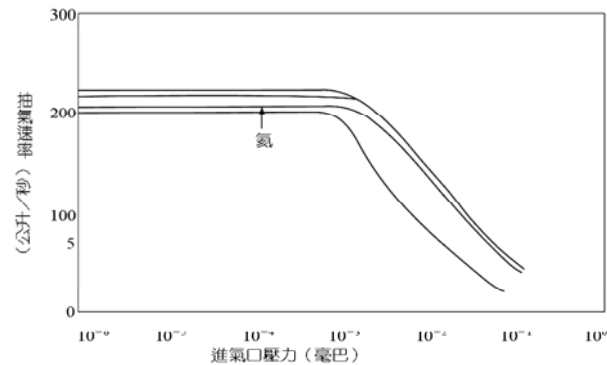
最大抽氣速率與最終壓力

- * (A) 渦輪分子幫浦的最大抽氣速率 S 與葉輪的圓周速度及幾何因子直接成比例
 - * $S_{max} \propto U G$
- * (B) 最終壓力 (ultimate pressure) P 取決於幫浦的壓縮比及渦輪分子幫浦的前段壓力 (fore-line pressure)
 - * $P_u = P_f / CR$

56

渦輪分子幫浦的抽氣速率曲線

- * 抽氣速率由最大抽氣速率乘一因子
- * 隨壓力變化的曲線隨被抽氣體分子的大小而不同
- * 氫氣與氮氣的抽氣速率平均較氮氣或空氣者為低



57

渦輪分子幫浦的型式

- * 構造形態
 - * 垂直式 (verticle type)
 - * 軸向流壓縮 (axial flow compression) 式，幫浦為直立，其抽氣口可直接連接在真空系統
 - * 水平式 (horizontal type)
 - * 轉子及靜子為水平設立
 - * 轉子分為互相間隔的兩部分，抽氣口進氣方向垂直於轉子軸方向，氣體經左右兩部分壓縮再轉90°匯流至排氣口排至前段管路
 - * 因氣流的轉折，故消耗較多的能量
 - * 轉子兩端均有軸承支承轉動，故振動可大為減低

58

水平式渦輪分子幫浦

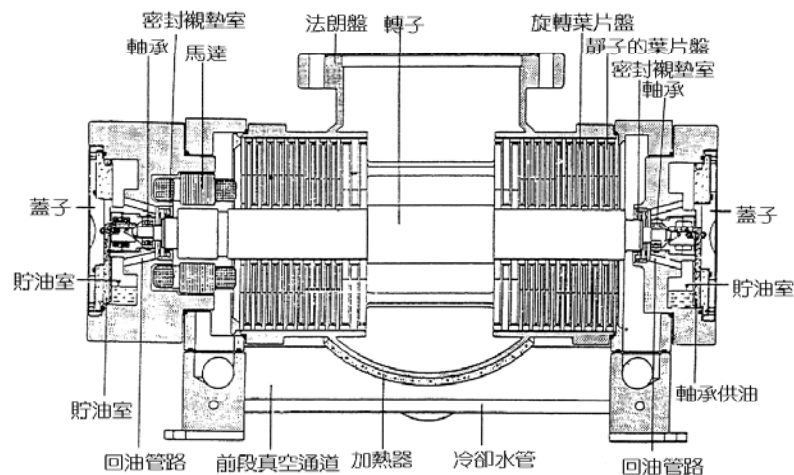


圖 3.47 水平式渦輪分子幫浦

59

(A) 幫浦的構造-1

- * 轉子 (rotor)
 - * 轉子上固設有多數個具有傾斜葉片的葉輪
 - * 由幫浦真空壓縮室外部的馬達驅動高速旋轉
- * 靜子 (stator)
 - * 有多數個葉輪，但係固定於幫浦真空壓縮室內壁上
- * 轉子與靜子的葉輪係交錯間隔設置，其間隙約在1毫米左右

60

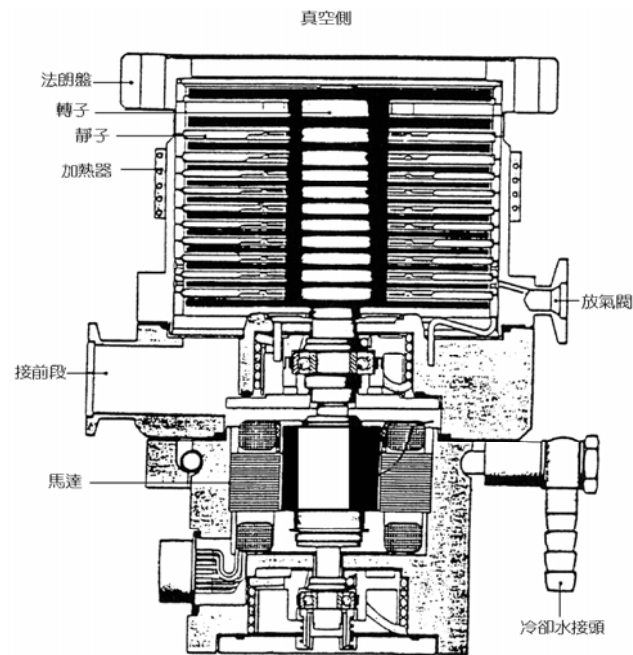


圖 3.45 垂直式渦輪分子幫浦的構造

61

(A) 幫浦的構造-2

- * 一組轉子與靜子葉輪形成一級 (stage)
 - * 因轉子與靜子間的機械配合約有毫米範圍的間隙並非緊密配合，故每一級的壓縮比並不大
 - * 因渦輪分子幫浦多級設計，最大壓縮比CR與幫浦的級數Z的關係為指數關係，故總壓縮比可能很大
- * 葉輪上傾斜葉片的設計，因在抽氣口附近氣體的壓力比較低，故轉子與靜子的徑向長度較長，而能使抽入的氣體量較多
- * 轉子與靜子的徑向長度較短，增加氣體被壓縮效果
- * 設計葉片的葉片角，葉片寬，及葉片間距離均隨壓力的範圍而不同
 - * 目的使氣體經由各級壓縮最後達到較高的前段壓力

62

(B) 渦輪分子幫浦的軸承

- * 轉子轉速很高，每分鐘從大型者約36000轉至小型者約72000轉
- * 重要機件
 - * 渦輪分子幫浦的軸承
 - * 因馬達帶動轉子軸旋轉必須有軸承支承
- * 轉子高速轉動
 - * 故軸承的潤滑及冷卻為重要的考量

63

(a) 油潤滑滾珠軸承

- * 舊式
 - * 鋼珠在鋼製的導軌 (race) 內滾動
 - * 因摩擦生熱而使潤滑油溫度上升，若無適當的冷卻則會使油分解產生黏膜或顆粒
 - * 結果
 - * 在鋼珠與導軌間的接觸造成微焊結 (microwelding) 現象而減低軸承的壽命
- * 新式
 - * 採不同材料的滾珠與導軌
 - * 例如
 - * 有種陶瓷材料的滾珠及鋼製導軌稱為混合軸承 (hybrid bearing) 者
 - * 因陶瓷滾珠具有高硬度及耐磨且較鋼的重量約輕60%，故旋轉時所受的離心力較小，軸承不易磨損，並可免除微焊結的發生

64

(b) 油脂潤滑滾珠軸承

- * 用油作潤滑雖然潤滑效果很好，但油的蒸氣分子有可能從軸承的密封襯墊與轉軸間進入真空幫浦內部，且其僅適用於垂直式渦輪分子幫浦
 - * 故用油脂取代潤滑油的設計
- * 油脂的性能
 - * 用作高速轉動滾珠軸承潤滑劑的關鍵考量
 - * 油脂的黏度
 - * 蒸氣壓
 - * 穩定性
 - * 因油脂不似油有流動性，故可適用於垂直式及水平式渦輪分子幫浦，且其冷卻可採風扇氣冷式
 - * 故用油脂潤滑的渦輪分子幫浦可用於移動式真空裝置
 - * 油脂仍有少量消耗，故必要時需添加油脂

65

(c) 自身潤滑滾珠軸承

- * 軸承有足夠硬度但本身又有潤滑作用的材料製成滾珠
 - * 滾珠材料據著者所知應屬陶瓷材料的一種
 - * 如氮化硼 (BN) 等
 - * 硬度甚高而且又有自身潤滑的特性，故可符合此種滾珠軸承的要求性能
 - * 氮化硼可能因其具有吸濕性，在實用技術上有困難待解決

66

(d) 磁浮軸承

- * 磁浮式渦輪分子幫浦
- * 磁浮的原理
 - * 使渦輪分子幫浦的轉子受磁力懸浮在空中，其轉軸並不與幫浦本體有任何機械接觸
 - * 轉子的旋轉係利用旋轉磁場帶動，另有偵測線圈可測轉子的轉速
 - * 用磁浮軸承的轉子轉軸與幫浦本體因無機械接觸
 - * 故無潤滑劑，因此不會產生任何油蒸氣分子進入真空幫浦內部的問題
 - * 旋轉傳動係利用磁力
 - * 故無傳統馬達驅動轉子轉軸進入真空幫浦本體的真空室與轉軸間密封的問題
- * 可否正常操作的主要關鍵
 - * 磁場控制系統
 - * 故操作時應注意磁場控制系統的維護保養
- * 附有上下各一的接觸軸承 (touch down bearing)
 - * 其用途為當幫浦停機時轉子轉速減緩至停止，而懸浮磁力消失，此時轉子下落至下接觸軸承上而不致有金屬摩擦撞擊的危險
 - * 上接觸軸承的用途為當幫浦意外傾斜或因特殊原因如葉片不平衡等而使轉子轉軸不垂直造成轉軸上端自由端碰觸幫浦口金屬而高速磨損
 - * 轉軸上端裝有上接觸軸承則仍可支持其轉動故可避免造成損害

67

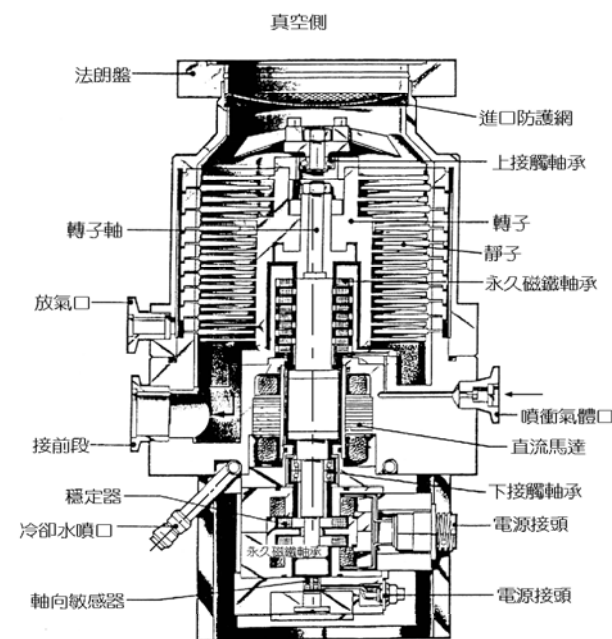


圖 3.46 磁浮式渦輪分子幫浦的構造

68

渦輪分子幫浦的操作

- * 利用高速轉動葉片使氣體分子獲得動能而壓縮的動能式幫浦，其轉子與靜子間的機械配合精密度並不要求非常緊密，其間並無摩擦
 - * 內部不須任何潤滑油或脂
- * 壓縮的機制為動能傳遞而非正位移，故亦不必用如油膜等的氣密襯墊
 - * 屬高度潔淨的真空幫浦

69

起動

- * 必要條件為真空系統的壓力已進入分子氣流範圍
 - * 以避免太多的氣體分子摩擦生熱會損害葉片
 - * 一般操作時利用前段幫浦將真空抽至壓力至少應達10毫巴範圍，然後再使渦輪分子幫浦的轉子開始轉動
- * 經驗得知起動的壓力愈低幫浦抽高真空的效果愈佳
 - * 因為渦輪分子幫浦停機時必須放入大氣（見下節）
 - * 故起動時即用其前段幫浦經由渦輪分子幫浦直接將幫浦與真空系統抽至中度真空以上

70

停機

- * 渦輪分子幫浦停機後此情況卻大不相同，若幫浦內部仍為真空則前述的油氣分子均會因大壓力差進入幫浦內部，而且會不規則地附著在葉片等處
- * 因為轉子為高度機械平衡，葉片有任何污染均有造成不平衡的可能，不平衡的轉子在高速轉動時瞬間即損壞
 - * 因此渦輪分子幫浦停機後，幫浦應緩緩放入大氣19至最後為一大氣壓力，如此可阻止油氣分子因壓力差而進入幫浦內部的機會。

71

起動時油氣回流問題

- * 停機後入大氣
 - * 故其起動時要用前段幫浦抽氣至分子氣流範圍，在此期間渦輪分子幫浦並不作動，而為一氣流阻抗
- * 因前段幫浦多採用迴轉幫浦，幫浦油蒸氣分子此時有進入渦輪分子幫浦內部的可能
 - * 此種情形即使為磁浮式渦輪分子幫浦亦不能避免
- * 解決此問題的方法
 - * 設計在起動的期間使渦輪分子幫浦作慢速的轉動以配合前段幫浦抽氣
 - * 如此有助於氣流流向前段幫浦而減少油氣從前段幫浦回流而污染渦輪分子幫浦的轉子葉片

72

渦輪分子幫浦的適用範圍

- * 理論上壓力範圍從 10^{-3} 毫巴至 10^{-11} 毫巴，且可抽清潔真空
- * 實際應用時在超高真空範圍真空系統中的氣體幾乎僅有氬氣與氫氣，而渦輪分子幫浦對輕的氣體分子抽氣速率頗低
- * 轉子為高度機械平衡，故實質上振動應可忽略，但所有的渦輪分子幫浦均需要前段幫浦而且多用迴轉幫浦
 - * 因此前段幫浦的振動會經由渦輪分子幫浦傳至真空系統

73

第四節 抽真空系統的幫浦組合 高度潔淨真空系統的幫浦組合

- * 真空系統選擇
 - * 內部無潤滑油，不會產生污染性氣體或蒸氣
 - * 故粗略真空可選擇吸附幫浦
- * 高真空及超高真空可選擇
 - * 離子幫浦
 - * 冷凍幫浦
 - * 渦輪分子幫浦
 - * 結拖幫浦

74

不能有任何振動系統的幫浦組合

- * 真空系統選擇
 - * 靜態運作無機械振動，即無馬達，高頻振動，或任何動態的機械運作
 - * 故粗略真空可選擇吸附幫浦
- * 高真空及超高真空可選擇
 - * 離子幫浦
 - * 結拖幫浦

75

會產生氣體或蒸氣系統的幫浦組合

- * 真空系統選擇
 - * 因會產生氣體或蒸氣者
 - * 幫浦應能經常承受高氣流通量
- * 粗略真空可選擇
 - * 迴轉幫浦
 - * 用於腐蝕性氣體或蒸氣的幫浦一般商品稱為化學幫浦者
 - * 乾氏幫浦
 - * 加路持幫浦
- * 高真空及超高真空可選擇
 - * 擴散幫浦
 - * 幫浦油可選擇適合用於腐蝕性氣體或蒸氣者
 - * 渦輪分子幫浦
 - * 若產生的氣體或蒸氣具有腐蝕性或會沉積固體粒子者，應避免用渦輪分子幫浦

76

極端溫度系統的幫浦組合

- * 真空系統操作在高溫例如攝數仟度或極低溫
 - * 例如液態氦溫度者
- * 粗略真空可選擇
 - * 迴轉幫浦
 - * 乾氏幫浦
 - * 加路特幫浦
 - * 高溫者應避免用吸附幫浦
- * 高真空及超高真空可選擇
 - * 擴散幫浦
 - * 渦輪分子幫浦
 - * 高溫者應避免用冷凍幫浦
- * 應注意極端溫度系統的真空接頭如幫浦接真空室或管路，閥等的氣密襯墊最好用金屬襯墊，門與窗的氣密襯墊亦最好用金屬襯墊，在高溫系統具有外部冷卻的設計者則門可用矽橡皮（silicon rubber）襯墊

77

其他特殊要求的真空幫浦組合

- * 真空幫浦的組合
 - * 高輻射場
 - * 高週波電場
 - * 高磁場
- * 考慮的方向原則
- * 等場效應（field effect）
 - * 對於幫浦甚至幫浦的電源供應器均有可能影響
 - * 高磁場的真空系統
 - * 即不宜用磁浮式渦輪分子幫浦
 - * 電源供應器應特別設計可用在高輻射場或高週波電場等

78