



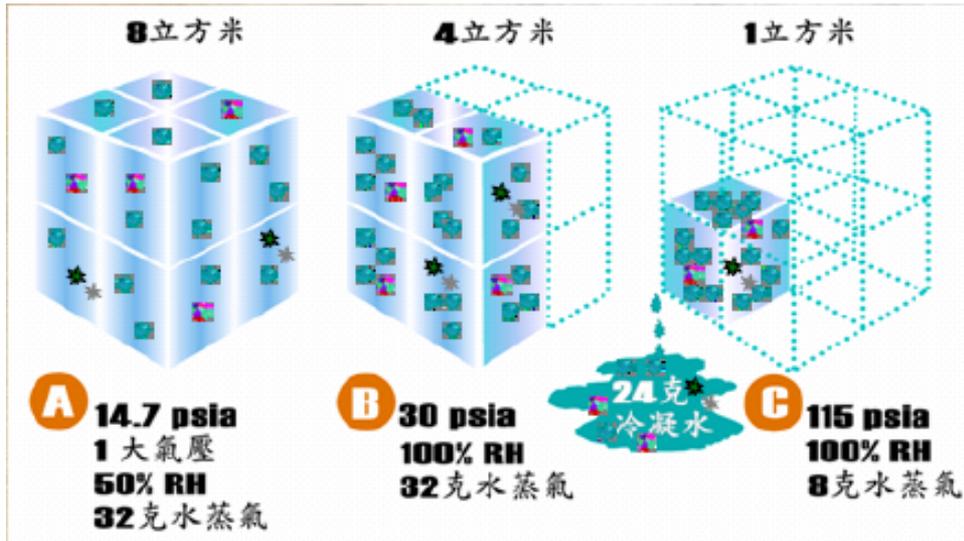
半導體與光電廠務 設施

潔淨乾空氣系統

內容綱要

- 潔淨乾空氣系統介紹
- 壓縮機的分類
- 乾燥原理
- 乾燥機的分類
- 潔淨乾空氣的設計

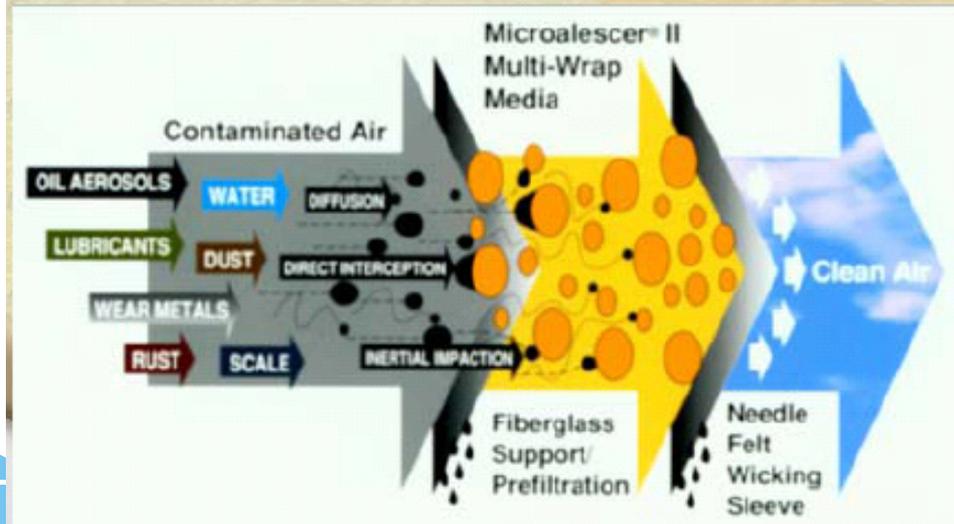
CDA的污染來源



任何空氣都含有一定量的水汽與塵粒，這兩種污染物經壓縮後水汽會凝結為水滴，塵粒會被集結。

如果未經適當的處理與攔阻，這兩種污染物將隨著壓縮空氣，經由管路傳輸侵入所有的用氣設備。造成用氣設備及管路的腐蝕、洩漏；潤滑油的沖失；儀控設備的誤動作；氣壓閥、氣壓缸的緩滯，甚至製程及/或最終產品的污染等嚴重問題。

因此工務單位人員必須選用適當且節能（零損失）的乾燥機與過濾器並施以良好的預防保養，才能避免這些令人頭痛的問題。

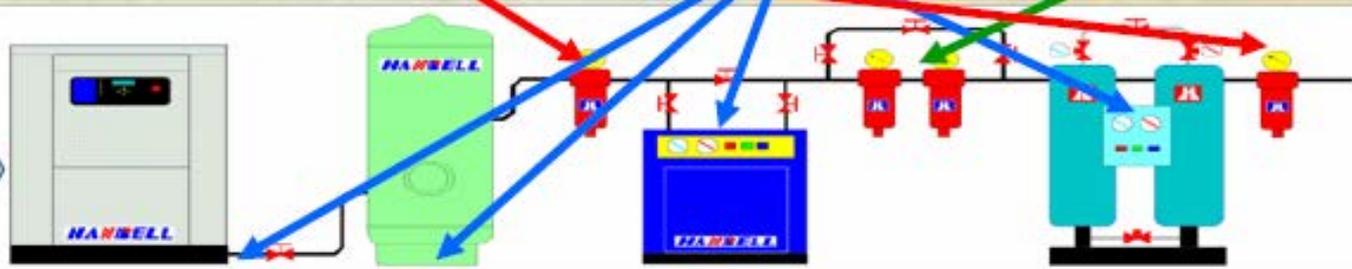


CDA 淨化處理國際標準

ISO 8573.1 Quality Classes

Quality Classes	Solids max. particle size in microns	Moisture Dew Point		Oil Liquid & Gas	
		°C	°F	mg/m ³	ppm _{w/w}
0	as specified	as specified		as specified	
1	0.1	-70	-94	0.01	0.008
2	1	-40	-40	0.1	0.08
3	5	-20	-4	1	0.8
4	15	3	38	5	4
5	40	7	45	>5	>4
6	-	10	50	-	-

環境
空氣

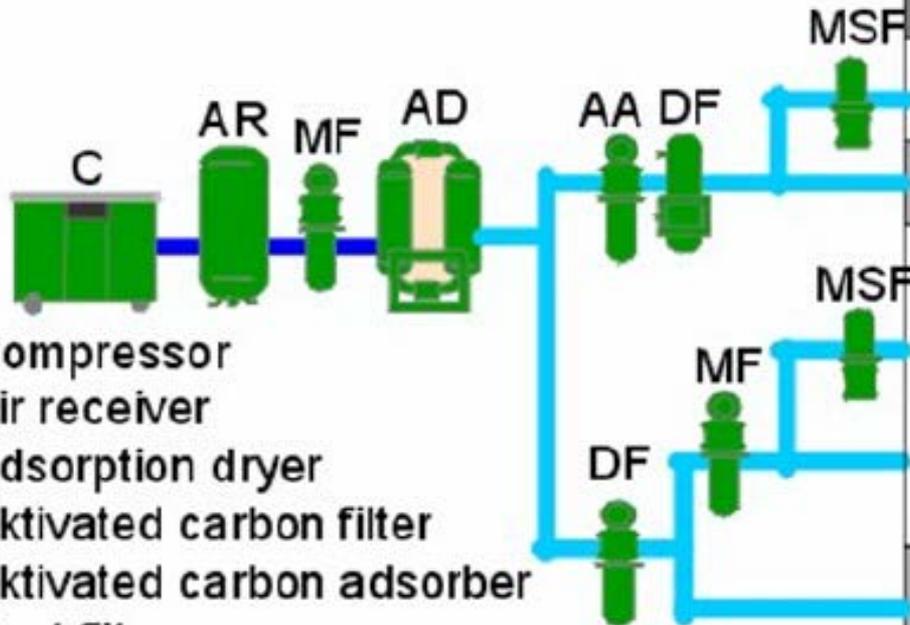


CDA

CDA的淨化處理流程

Class 2.3.1 ~ 1.1.1

Air purification scheme with a central adsorption dryer



- C = Compressor
- AR = Air receiver
- AD= Adsorption dryer
- AF= Aktivated carbon filter
- AA= Aktivated carbon adsorber
- DF= Dust filter
- MF= Micro filter
- M(S)F= Micro-(Steril-) Filter

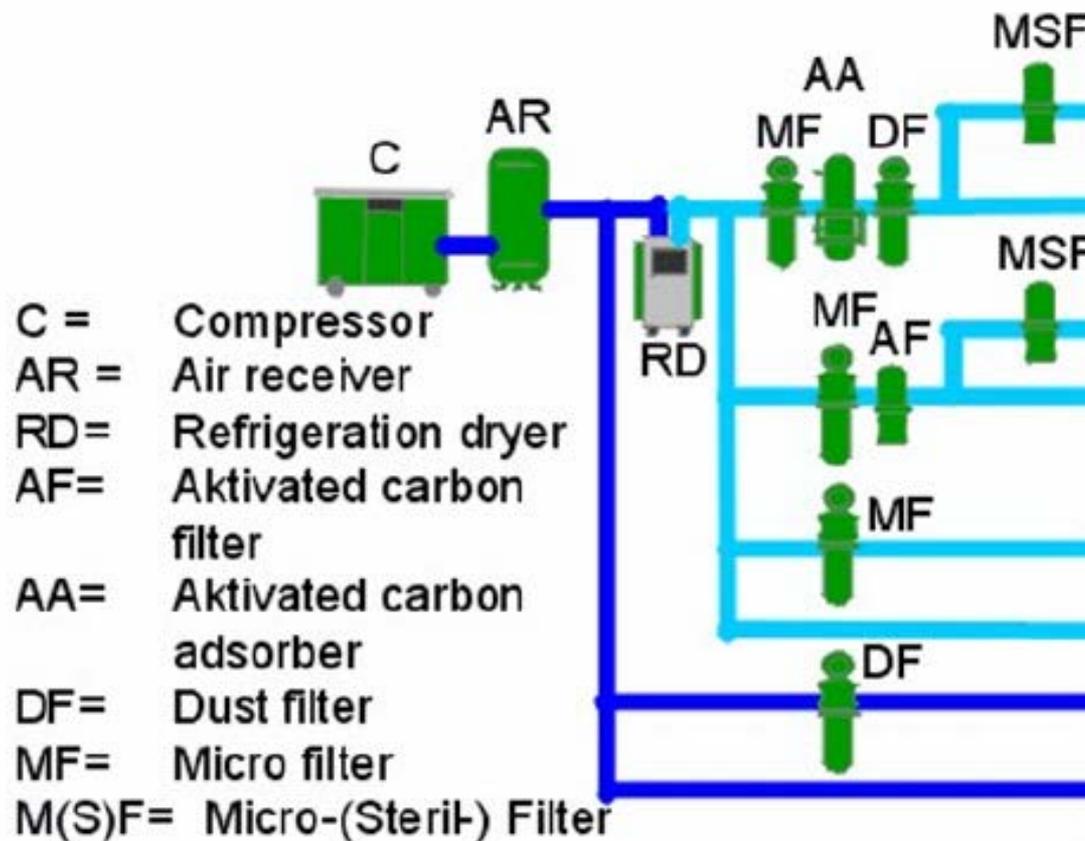
Air quality classes according to ISO 8573-1

	Particle	Water	Oil
1	1	1-3	0
2	2	1-3	0
1	1	1-3	1
1	1	1-3	1
2	2	1-3	1

CDA的淨化處理流程

Class 4.7.4 ~ 1.4.0

Air purification scheme with a central refrigeration dryer

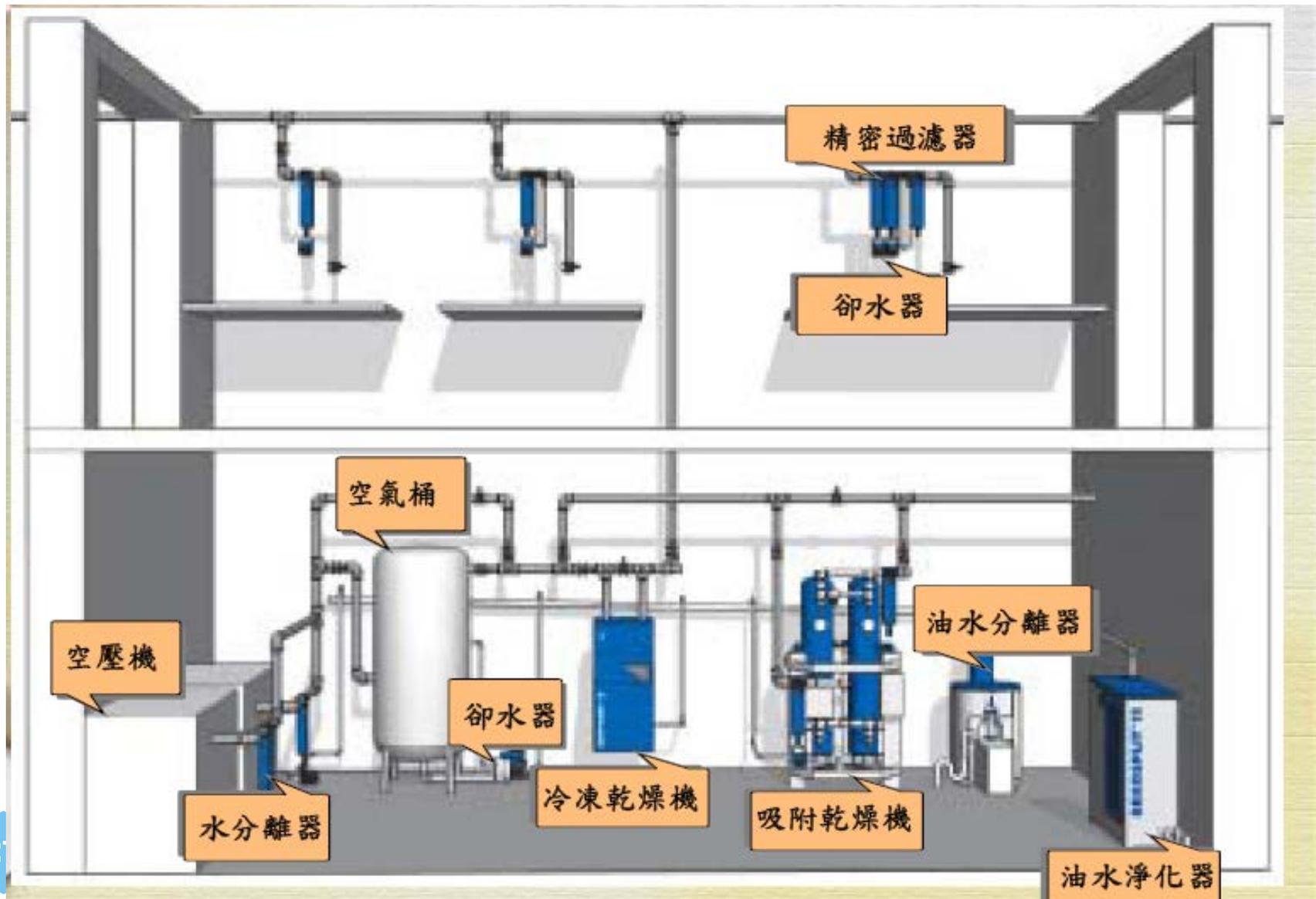


Air quality classes according ISO 8573-1		
Particle	Water	Oil
1	4	0
1	4	0
1	4	0
1	4	1*
2	4	3*
2*	7	4*
4**	7	4*

* Better quality classes possible, depending upon compressor system and suction conditions

** Differing quality classes possible, depending upon compressor system and suction conditions

CDA的淨化處理系統



風機與壓縮機之相異點

使用大量的數氣壓以下之低壓空氣時，通常使用旋轉式鼓風機，而需要數氣壓以上壓力時，則使用旋轉式或往復式壓縮機。

產生水柱 1 m (0.1kg/cm²) 以下空氣壓力之機械，稱為鼓風機 (blower)，而產生同程度之真空壓力者稱為排氣機 (exhauster)，二者均屬單級壓縮。

壓力達到 2 ~ 3 kg/cm² 者稱為輪機鼓風機 (turbo blower)，具有 2 ~ 3 片葉輪之 2 ~ 3 級壓縮，但氣體不在途中被冷卻。壓力為 3 ~ 7 kg/cm² 者稱為輪機壓縮機 (turbo compressor) 屬具有多數葉輪的十數級壓縮，每次壓縮 3 ~ 4 級，經中間冷卻器冷卻氣體。

壓力較高，空氣量較少時使用往復式壓縮機 (reciprocating compressor)。單級壓縮可達 7 kg / cm²，對於 7 kg / cm² 以上之壓力需 2 ~ 3 級壓縮，達到 1000 kg / cm² 左右則需 6 ~ 7 級壓縮。茲將以上所述事項歸納如下。

(1) 依使用壓力分類

(a) 風扇 (Fan)：壓力 0 ~ 500mmAg [H₂O] 者。不必考慮氣體之壓縮性及溫度變化。

(b) 鼓風機 (blower)：壓力 500 Ag ~ 1 kg / cm² 左右者，壓縮氣體時不必考慮其冷卻。

(c) 壓縮機 (compressor)：壓力 1 kg / cm² 以上者，溫度由於氣體之壓縮而上升，須另考慮其冷卻。

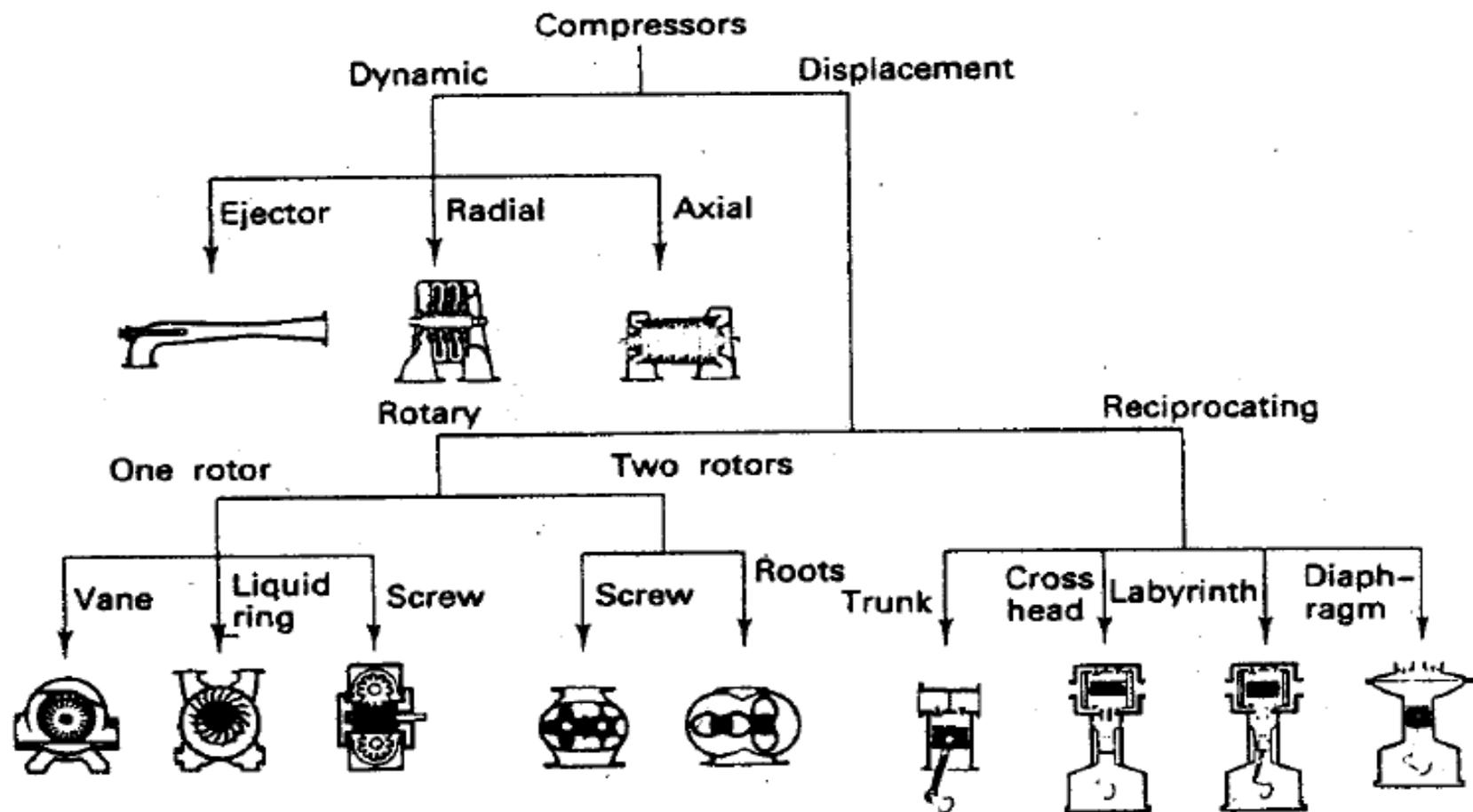
(d) 真空泵 (vacuum pump)：從低於大氣壓力壓縮至大氣壓，以獲得真空狀態者。

... 依據進入點

壓縮機的分類

- 依壓縮模式~動力式與排量式
- 動力式~機械式(離心或軸流型)及流力式
- 排量式~旋轉機或往復機

壓縮機的分類(續)



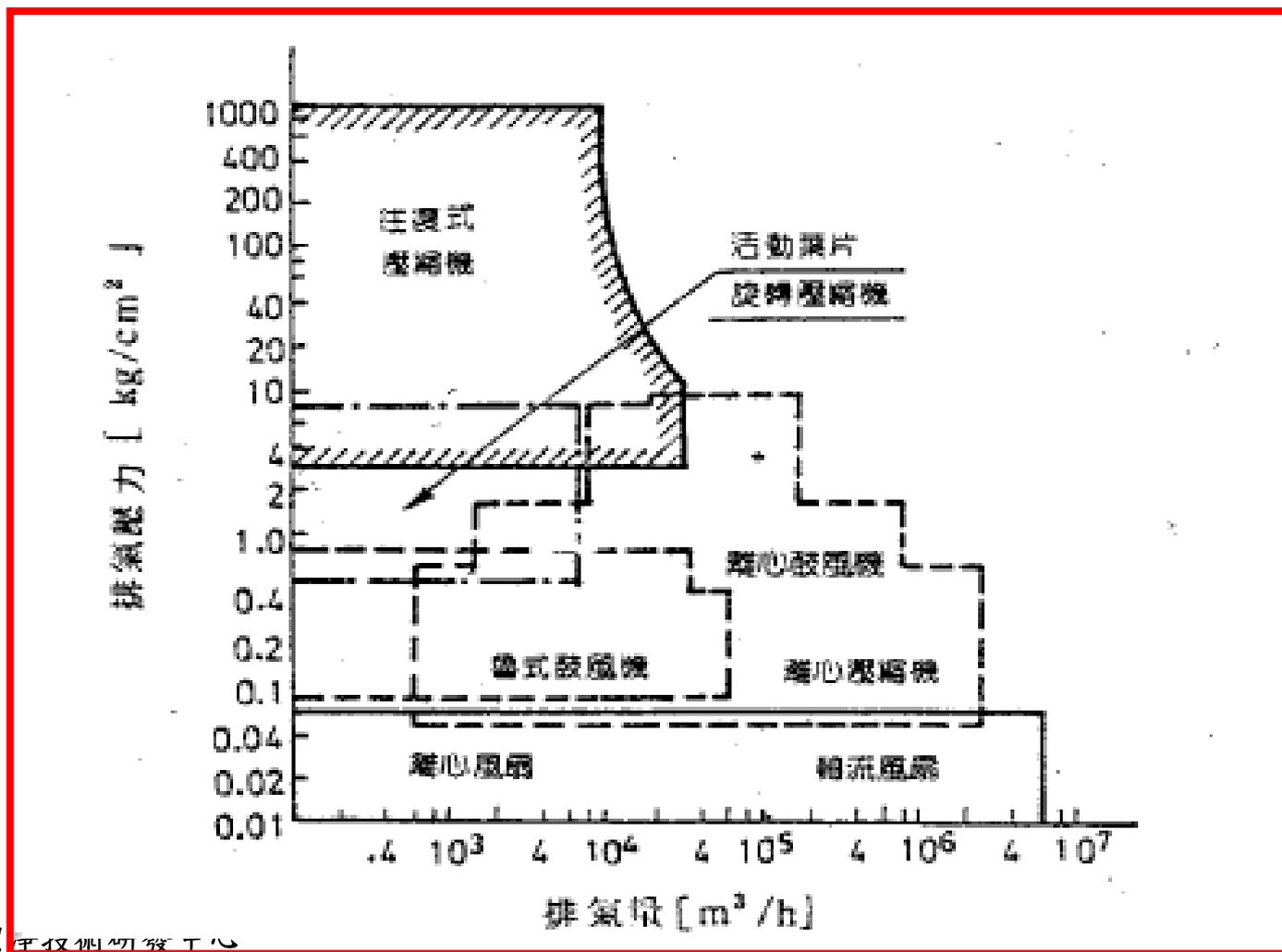
壓縮機的分類(續)

名稱	鼓風機		壓縮機	
	風扇	鼓風機		
種類	壓力	未滿 1000 mm A _a	1以上未滿 10m A _a	1 kg/cm ² 以上
軸流式	軸流			
	離心			
	徑向			
	輪式			
螺旋式	魯氏			
	可動葉片			
	螺式			
	往復式			

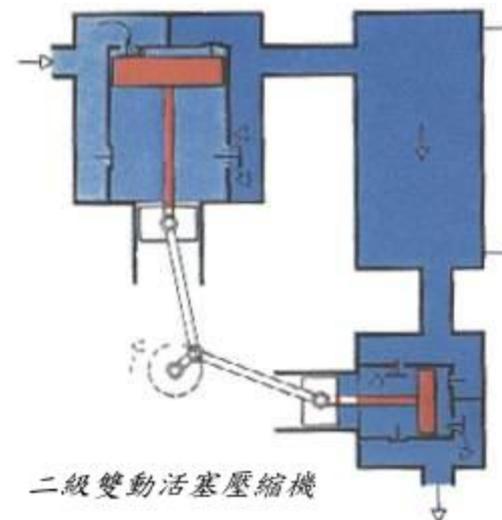
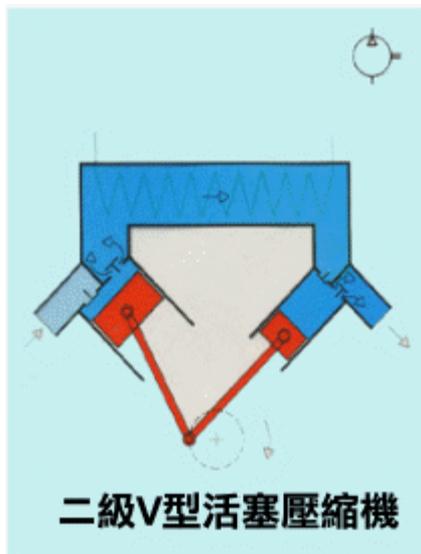
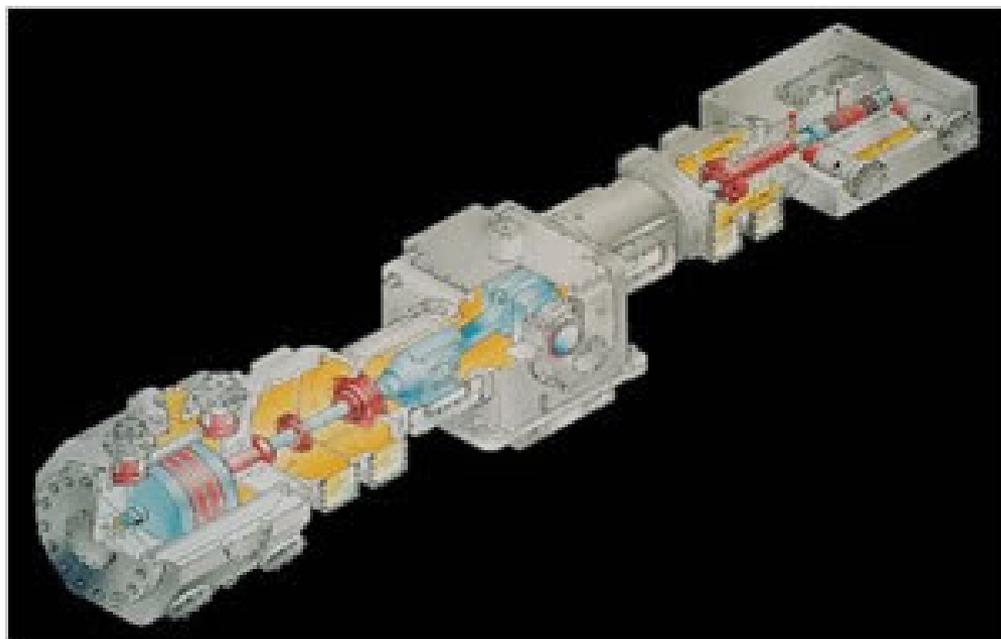
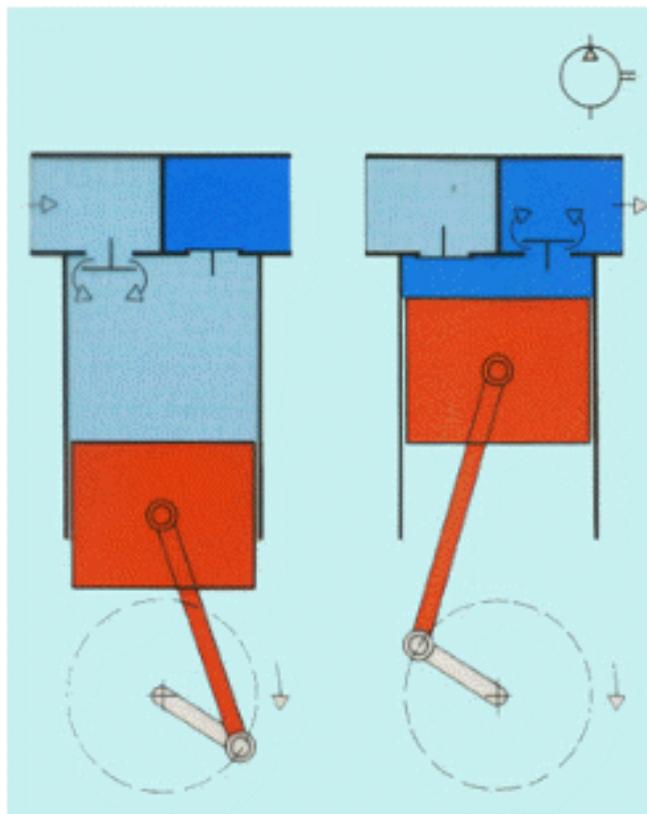
圖 1-1 壓縮機·鼓風機之分類



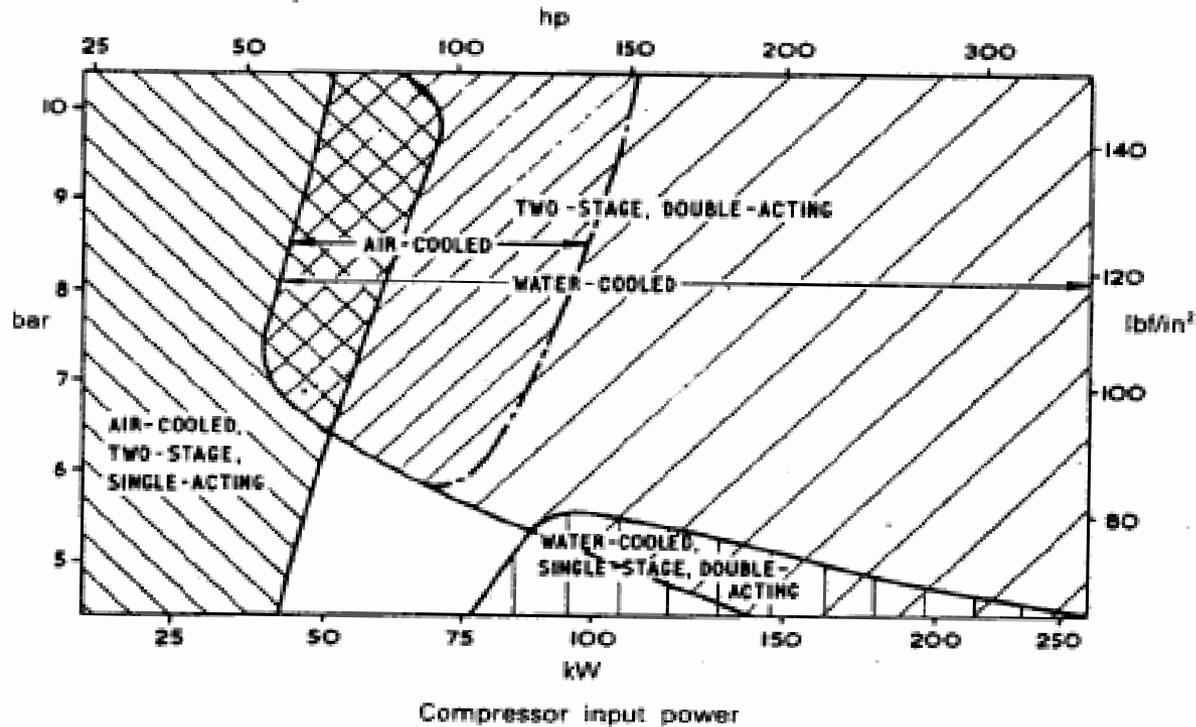
壓縮機型式的適用範圍



往復式壓縮機



往復壓縮機的適用範圍及缺點



They require special foundations to cater for the unbalanced inertial forces of the reciprocating pistons and connecting rods.

The maintenance they need has to be done by skilled personnel.

The inlet and delivery valves are prone to failure.

The discontinuous flow of the compressed medium can cause vibrational resonance in the delivery passages and the distribution system.

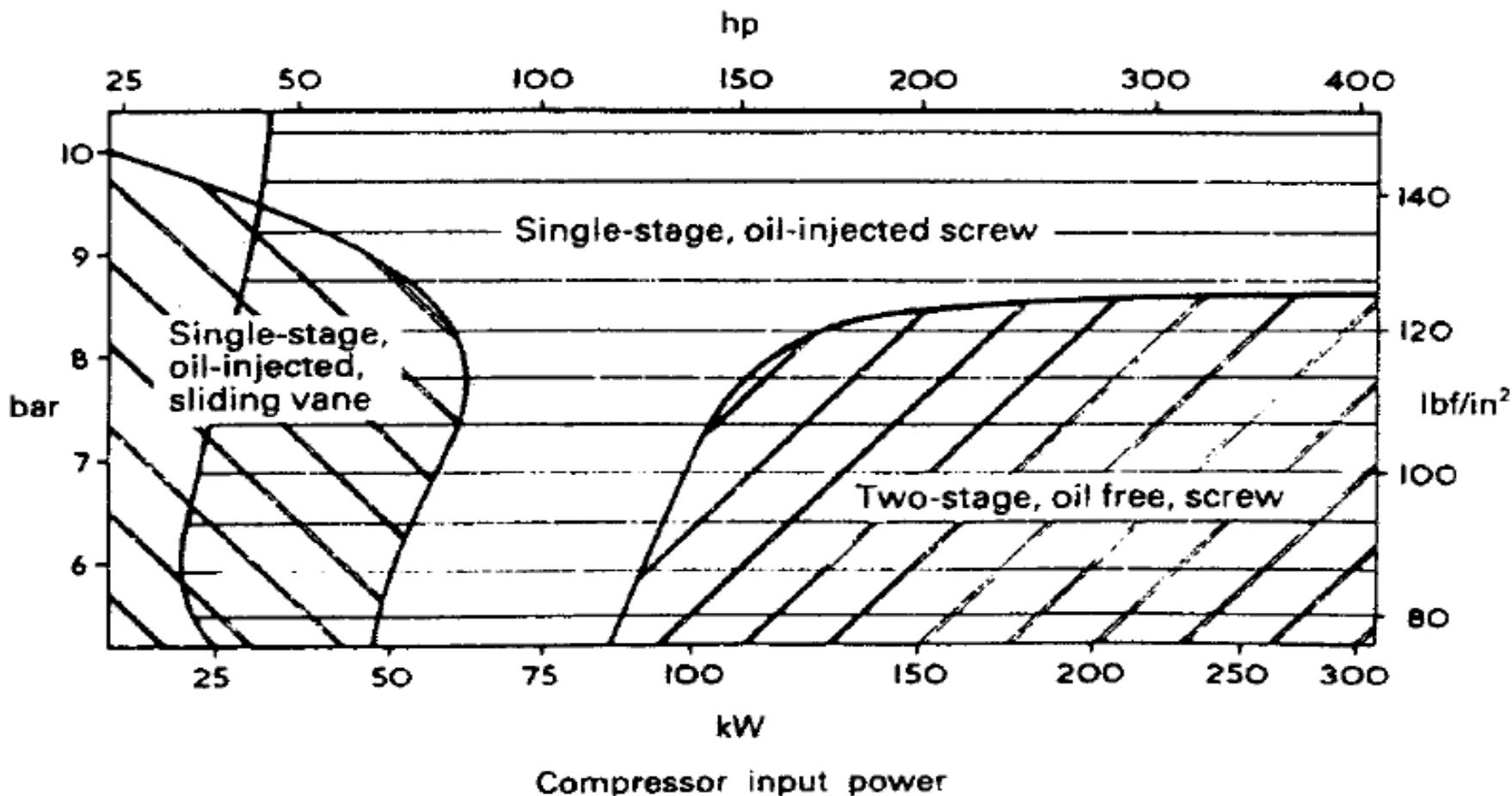
往復壓縮機的優點

- 進氣、排氣壓力的涵蓋範圍非常廣泛，其至可以滿足 4,000PSIG (280kg / cm²G) 以上的需求
- 風量的涵蓋範圍也相當廣泛，在小風量（數馬力甚至更小）的使用範圍仍具有相當的優勢
- 在小風量、高壓的應用領域，往復式空壓機可當做增壓機（Booster）來使用
- 兩段式壓縮的往復式空壓機在能源效率上的表現即相當優越，其多變壓縮效率 (Polytropic Efficiency) 大約可達87%
- 氣密性相當良好，因此也適合壓縮空氣或氮氣以外的特殊氣體
- 採用高強度 (Heavy Duty) 的設計時，轉速低、堅固耐用、連續使用的故障率低

往復壓縮機的缺點

- 在壓力及風量上與其他類型空壓機有重疊的適用範圍，如果用往復式空壓機，其單位風量的造價相當高
- 運轉中會產生不同程度的振動，在安裝基座的設計上，除了要考量其靜荷重外，還應考量其動荷重才能避免不必要的後遺症
- 類似引擎的設計，零件種類繁雜，其中需要定期更換的消耗性零件數量
- 排氣是非連續性的間歇動作，當然會造成相當明顯的壓力脈動現象
- 閥片、活塞環、密合墊等消耗性零件的狀況是
否良好，直接影響到空壓機的能源效率

螺旋式壓縮機的適用範圍



螺旋式壓縮機的優點

- 產品規格化較容易，在一定的風量範圍。
- 與往複式空壓一樣具有定排量空壓機的共同的特性—排氣壓力有相當廣闊的變化範圍。
- 空壓機本體架構並不複雜，在連續使用的表現上也相當良好，具有保養容易的優點。
- 螺旋式空壓機的噪音度幾乎可說是所有空壓機中最高的，噪音度視風量大小而定，往往都超過100dbA以上，因此螺旋式空壓機必須配備隔音罩，也因此給人較為美觀的良好印象。
- 可以使用節流控制

螺旋式壓縮機的缺點

- 陰、陽螺桿之間必須存在的間隙，造成氣密性不甚理想，是無油螺式空壓機的能源效率不佳的主要原因。
- 空壓機本體僅有3~5年的壽命，換修空壓機本體的技術又往往被原製造廠保留，因此，更換整組的空壓機本體的成本一般都會超過購置新機的六成，這也是使用者對此類型空壓機最大的詬病。
- 在長期運轉後長期停機，空壓機本體內的轉子在「卡住現象」屢見不鮮，備用空壓機變成極不可靠的備用狀態。
- 某些螺旋式空壓機的設計泄載時仍然需要大約70~80%的全載功率，在選購前確實需要的分辨清楚，較佳的設計也往往需要25%的全載功率

螺旋式壓縮機的效率曲線

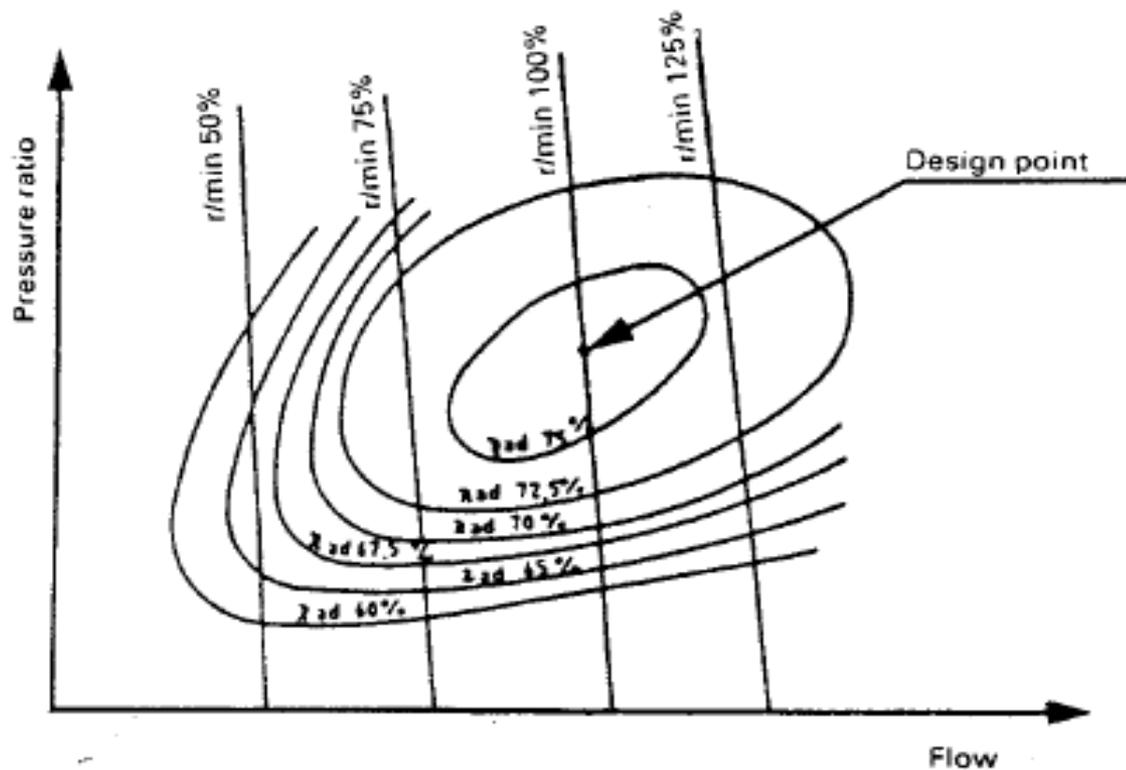


Figure 7
Constant efficiency curves for the rotating screw compressor.

螺旋壓縮機分類

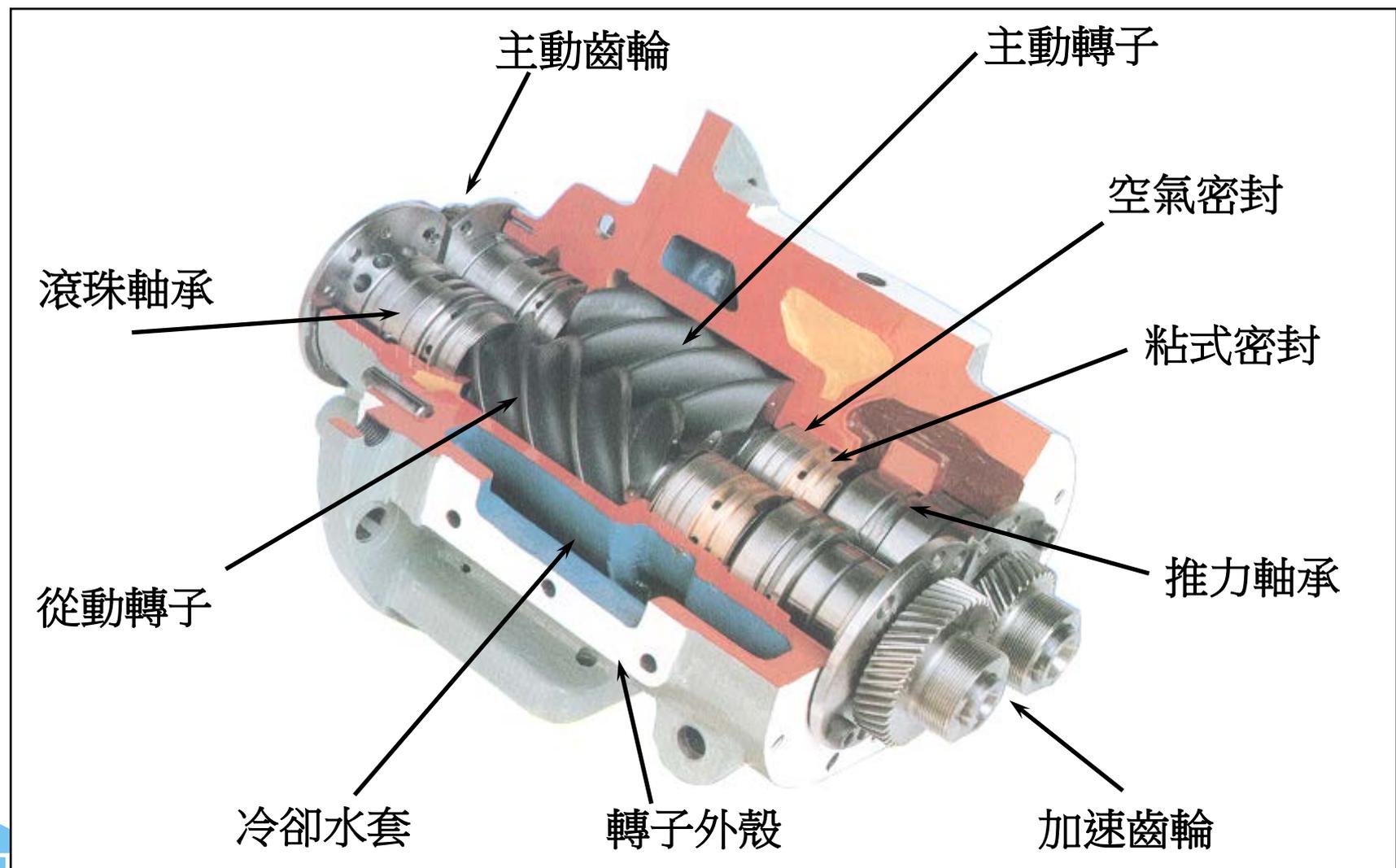
油浸式壓縮機

- 提供機殼與轉子間之填封
- 潤滑陰陽螺紋
- 吸收壓縮熱

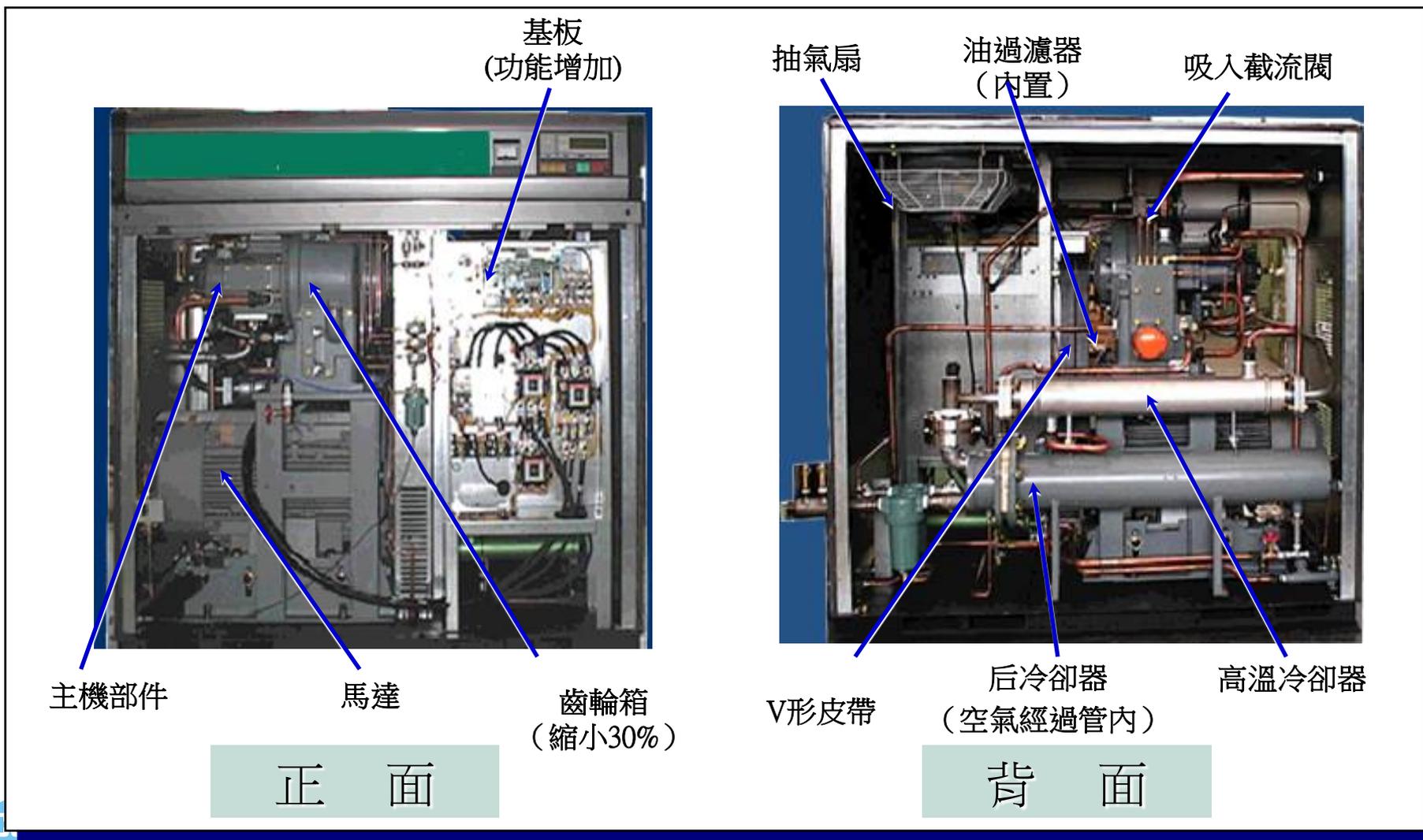
無油式壓縮機

- 提供高品性無油壓縮空氣
- 減輕維修保養負荷
- 微油式或水潤滑式壓縮機

無油螺旋式空氣壓縮機本體構造



新型55kW單級DSP的架構(水冷機)



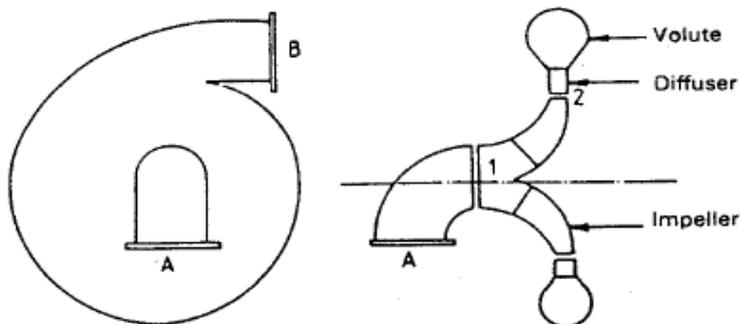
離心式壓縮機的優點

- 涵蓋的風量範圍非常廣泛，從20M³/min到數千M³/min都能以單機來承擔，單機風量愈大則愈凸顯單位風量的投資成本低廉。
- 堅固耐用，長期連續運轉的故障率極低。
- 構造簡單，僅由少數的齒輪、軸承及葉輪 (Impeller) 構成主要的壓縮部份，消耗性零件極少，保養容易。
- 具有等壓變容 (Constant Pressure, Variable Volume) 的特性，不僅有保持壓力穩定的作用而且有某種程度的節流作用沒有像往複式空壓機一樣的壓力脈動現象。
- 是相同風量的各類型空壓機中噪音度最低者。
- 葉輪可以經過特殊設計來適合特殊的地理環境。
- 良好的動平衡設計，基礎設計完全可以不必考慮空壓機的動負荷。
- 必須使用多段壓縮，這是效率良好的主要原因之一

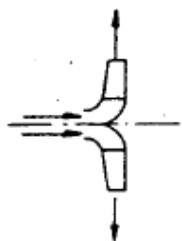
離心式壓縮機的缺點

- 環境因素的改變，例如進氣溫度、進氣壓力、溼度、水溫對離心式空壓機效率的衝擊較大。
- 以目前的市場區隔，離心式空壓機仍然不適合低風量(100hp以下)、高壓(50kg / cm²以上)的用途。
- 構造雖然簡單但是非常精密，維修人員的技術層次要遠高於往復式空壓機。
- 用於高轉速的軸封氣密性無法達到100%，因此不適合空氣或氮氣以外的任何氣體壓縮。
- 在靜止中（備用）的離心式空壓機一旦遭受壓縮空氣系統的逆流將會反轉，如果油泵也在靜止中，離心式空壓機會有因為共油而嚴重損壞的風險。
- 離心式空壓機與定排量式空壓機有截然不同的壓縮特性，操作人員最好要有離心式空壓機的基本概念以防止離心式空機獨具的氣室現象（Surge）。
- 不能使用變速控制

離心式空壓機構造

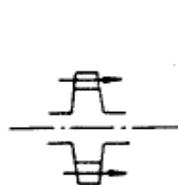


Principal parts of a turbocompressor.

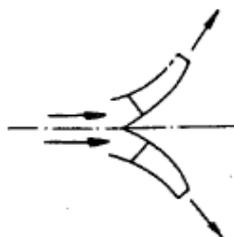


Centrifugal impeller

Figure 24



Axial impeller.



Mixed flow impeller

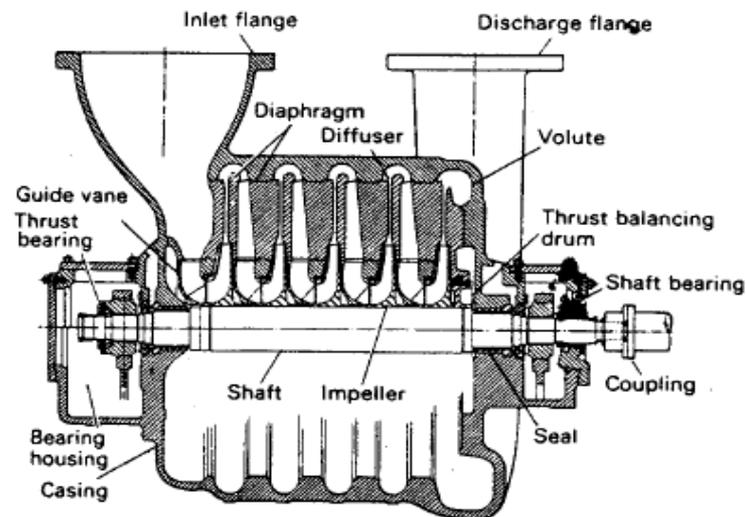
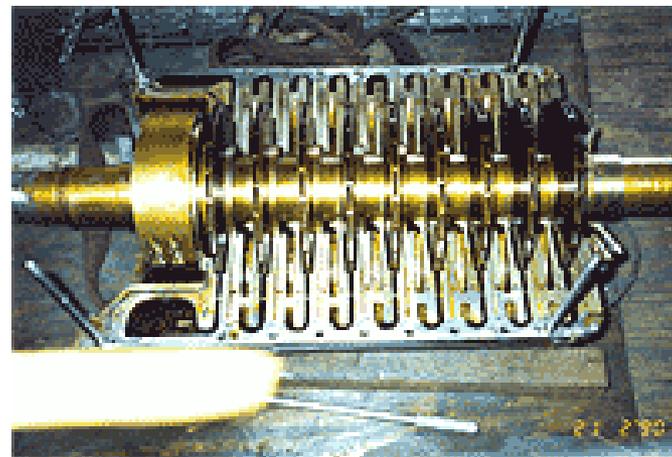
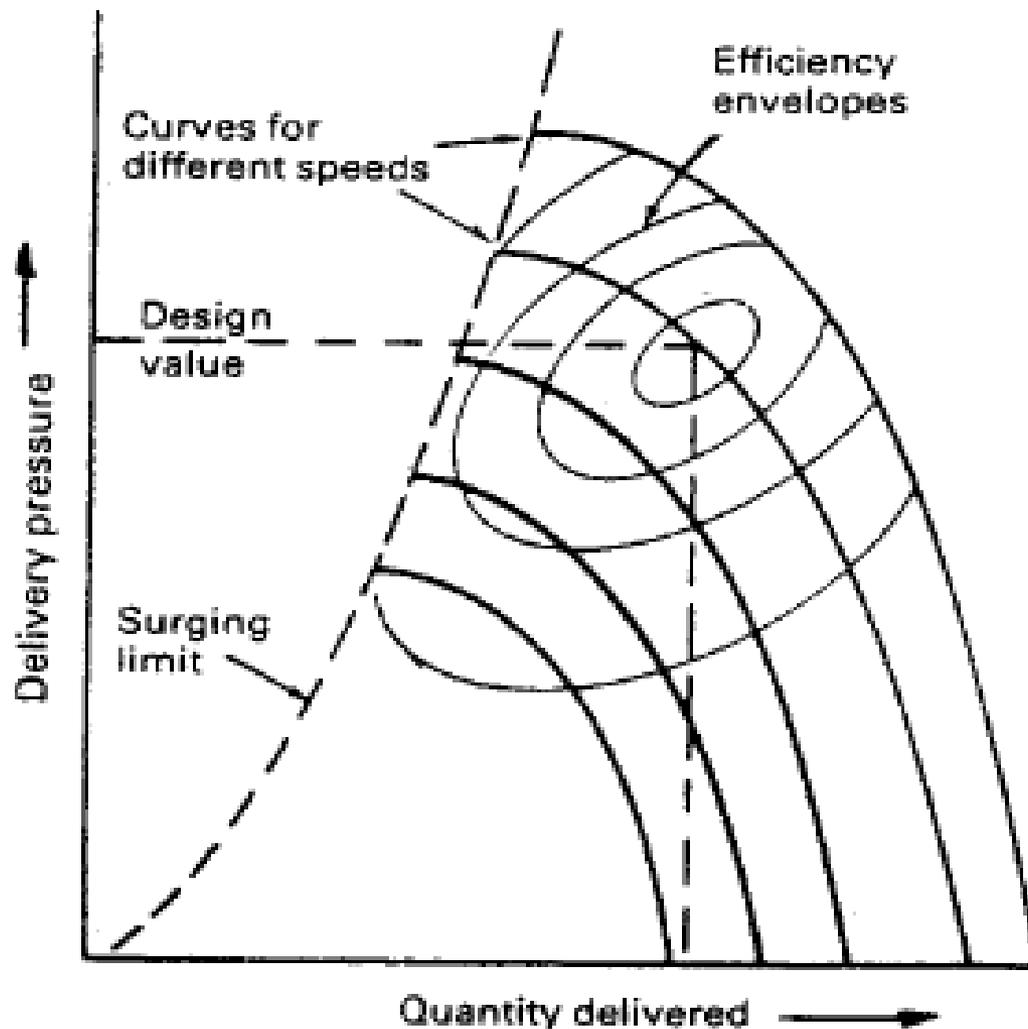


Figure 25
Sectional view of a typical five-stage horizontally-split centrifugal compressor.

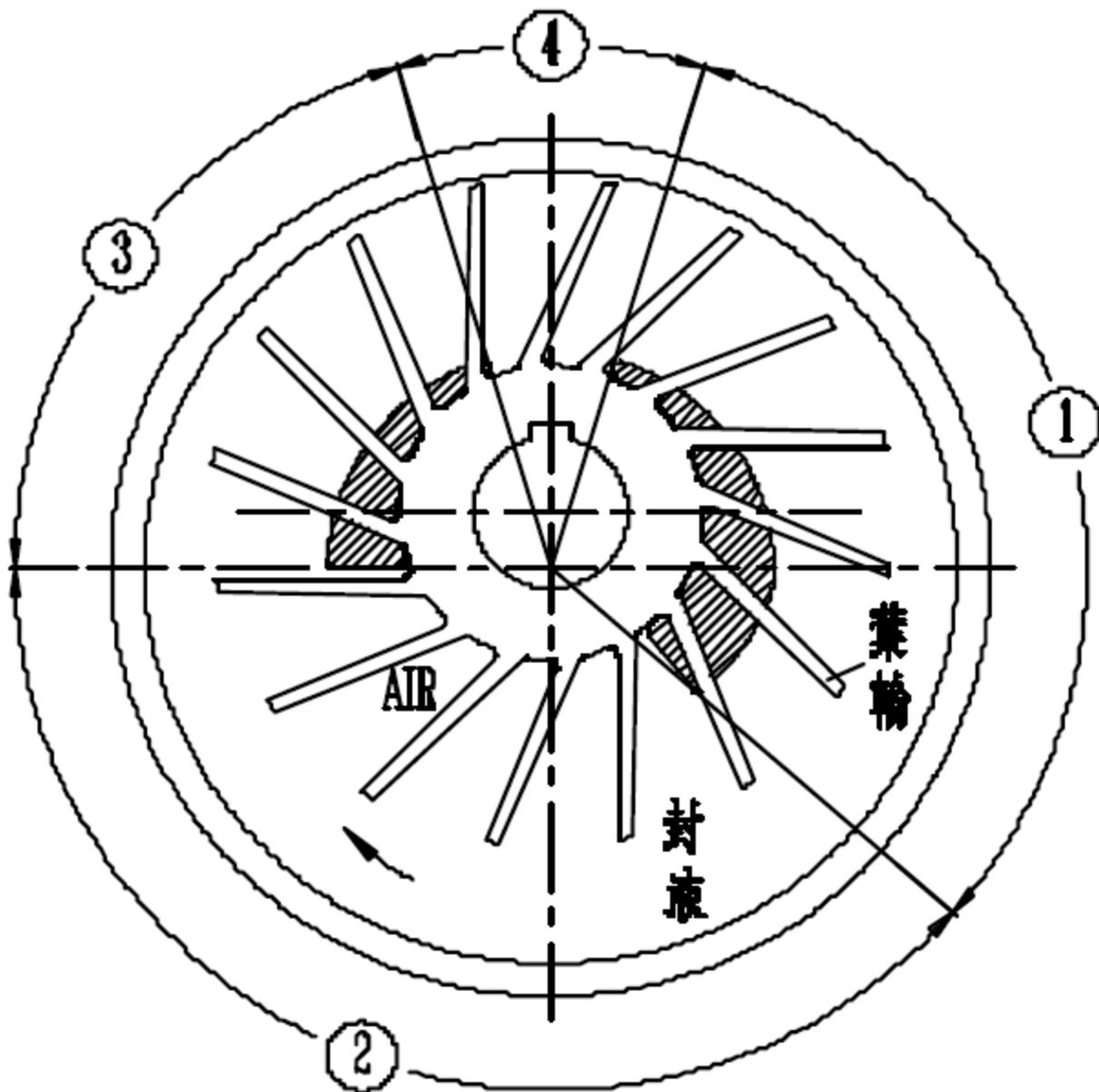


離心壓縮機的性能曲線



水封式壓縮機

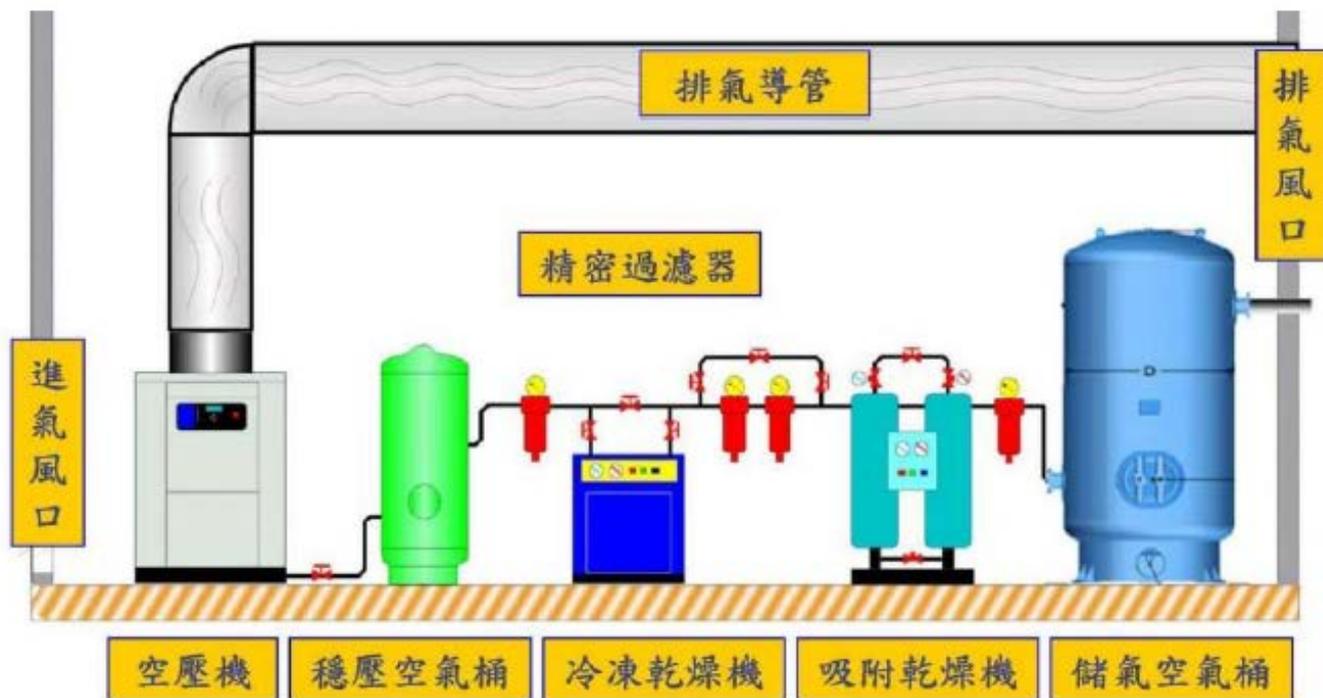
- 保養容易：僅一轉動葉輪，無金屬摩擦面,故內部不須潤滑。
- 排氣量大：氣體吸入後被封液冷卻，因此其排氣量較一般容積式泵浦大。
- 出口溫度低：壓縮熱被封液吸收，故排氣溫度低。
- 振動小：不須昂貴之基礎裝置。
- 近似等溫壓縮：對易爆氣體排氣安全性特高。
- 適用任何氣體：以水或其它液體作封液，適用於含水份、蒸氣、微粒固體及腐蝕性氣體之真空排氣。



空壓機各種不同冷卻模式之比較

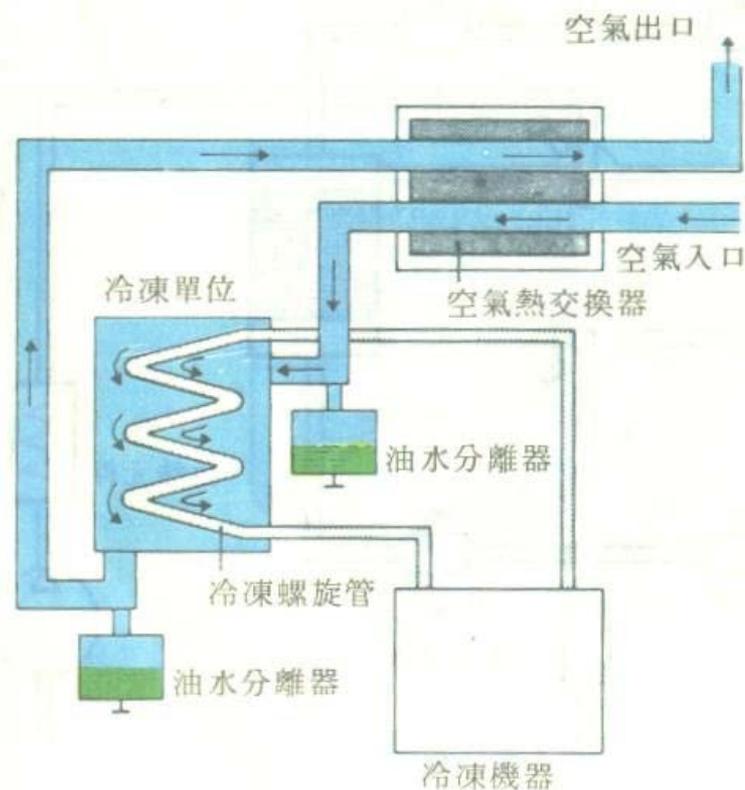
	冰水冷卻	PCW冷卻	冷卻水冷卻
水溫	5~7°C	15~20°C	30~35°C
出風溫度	最低, Dryer負荷最少	次低, Dryer負荷少	出風溫度高, Dryer負荷大
結露問題	較嚴重	較不嚴重	無
水質控制	佳	佳	差
節能性	較差	較差	較佳
操作彈性	需冷卻水及冰水系統Ready	需冷卻水, 冰水系統及PCW系統Ready	需冷卻水Ready

空壓系統流程圖



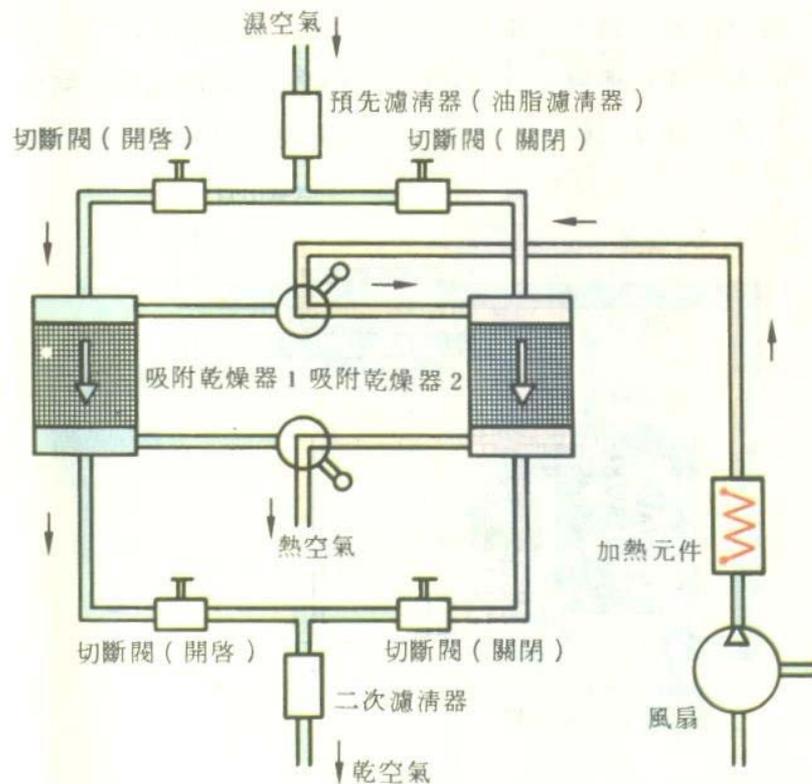
冷凍式乾燥機

- 乾燥方式是利用低溫冷媒冷卻並凝結出壓縮空氣中的水份，再由排水閘排出。冷凍乾燥法最低之露點溫度為 0.5°C



吸附式乾燥機

- 通常吸附式乾燥機有兩個並聯的乾燥器，當其中一個有濕空氣通過時，另一個即進行再生程序，如此交替循環使用。此方法所使用之乾燥劑有矽膠、活性鋁、分子篩。目前已可使用分子篩使用壓力露點溫度降低至 -70°C 以下。



吸附式乾燥機

■ 再生方式

- 無熱式：引入已乾燥後之高壓空氣直接進行吸附材的再生，消耗總處理氣量中**15~20%**的壓縮空氣。
- 加熱式：只需在吸附材冷卻時消耗壓縮空氣，其再生所使用之壓縮空氣量可大幅降至約**5%**的總處理量

外部加熱再生式乾燥機外觀



ZERO PURGE

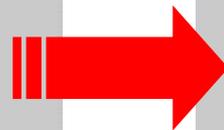
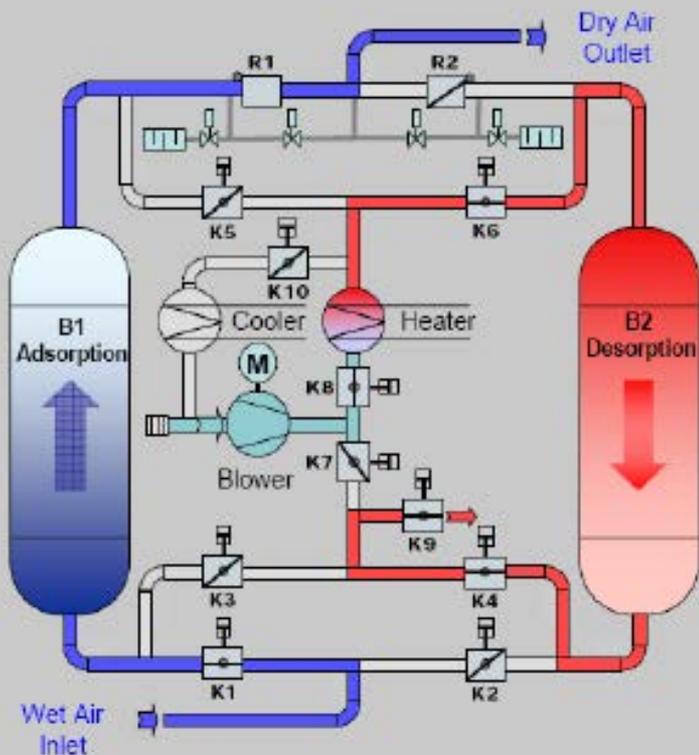
- 與吸附行程反向，鼓風加熱氣體再生
- 鼓風氣體冷卻，密閉回路

設計資料-標準-

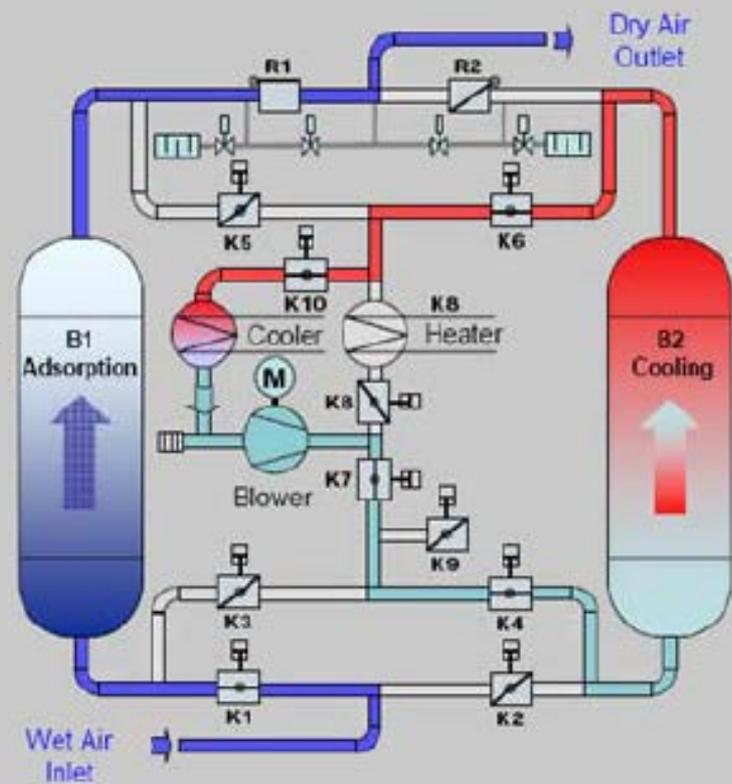
- 壓力露點溫度	-70 °C
- 流量	880 – 20.000 m ³ /h
- 操作壓力	4 – 10 bar g
- 進氣溫度	5 – 35 °C
- 環境溫度	5 – 40 °C
- 最高環境濕度	35 °C/85% resp. 40 °C/70%r.F

外部加熱再生式乾燥機流程(其一)

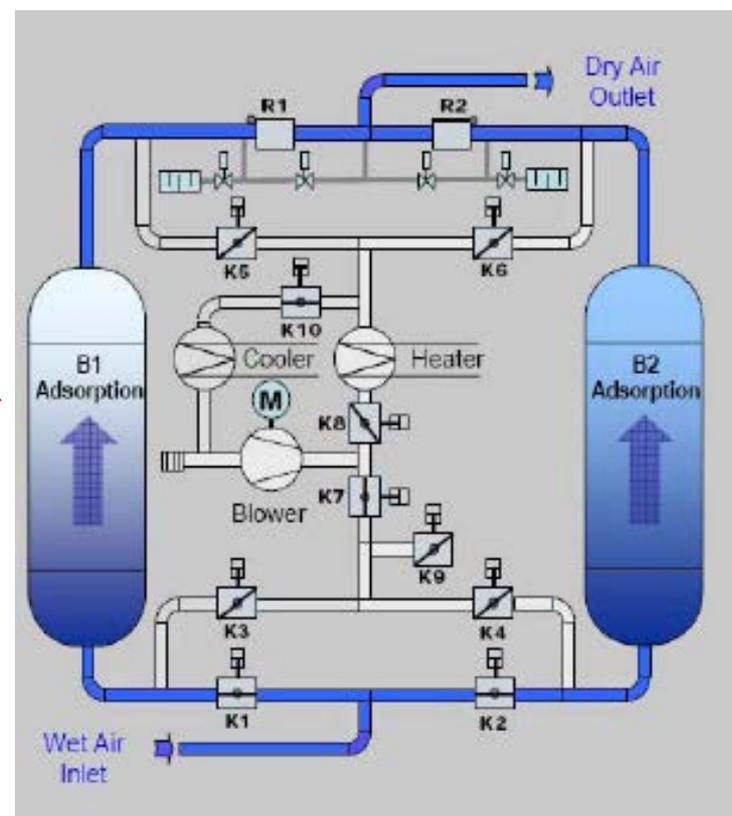
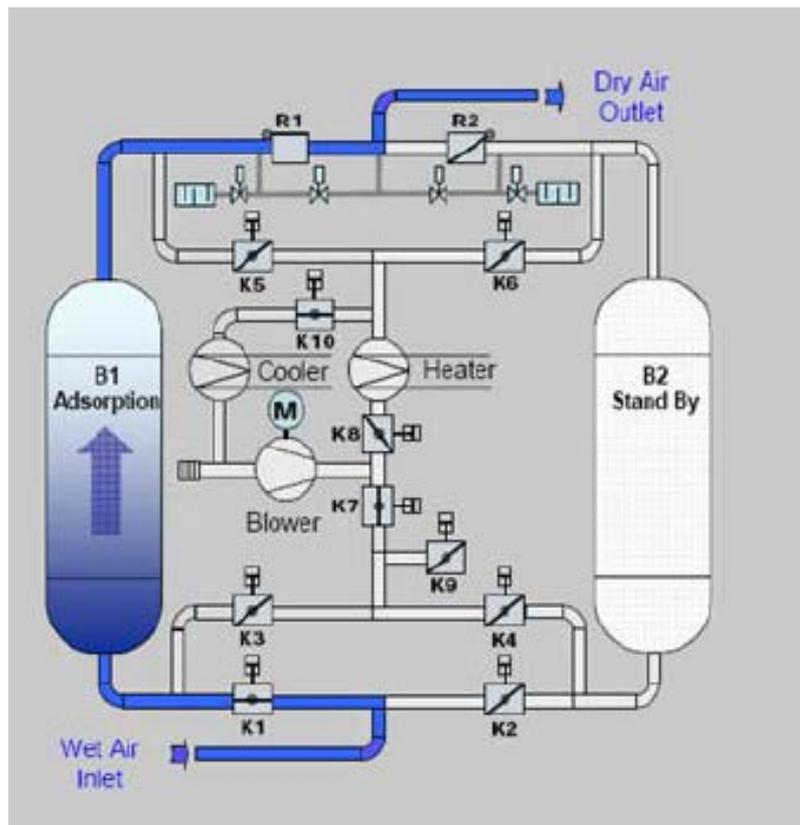
利用鼓風加熱氣體與吸附行程反向再生



密閉回路鼓風氣體冷卻



外部加熱再生式乾燥機流程(其二)

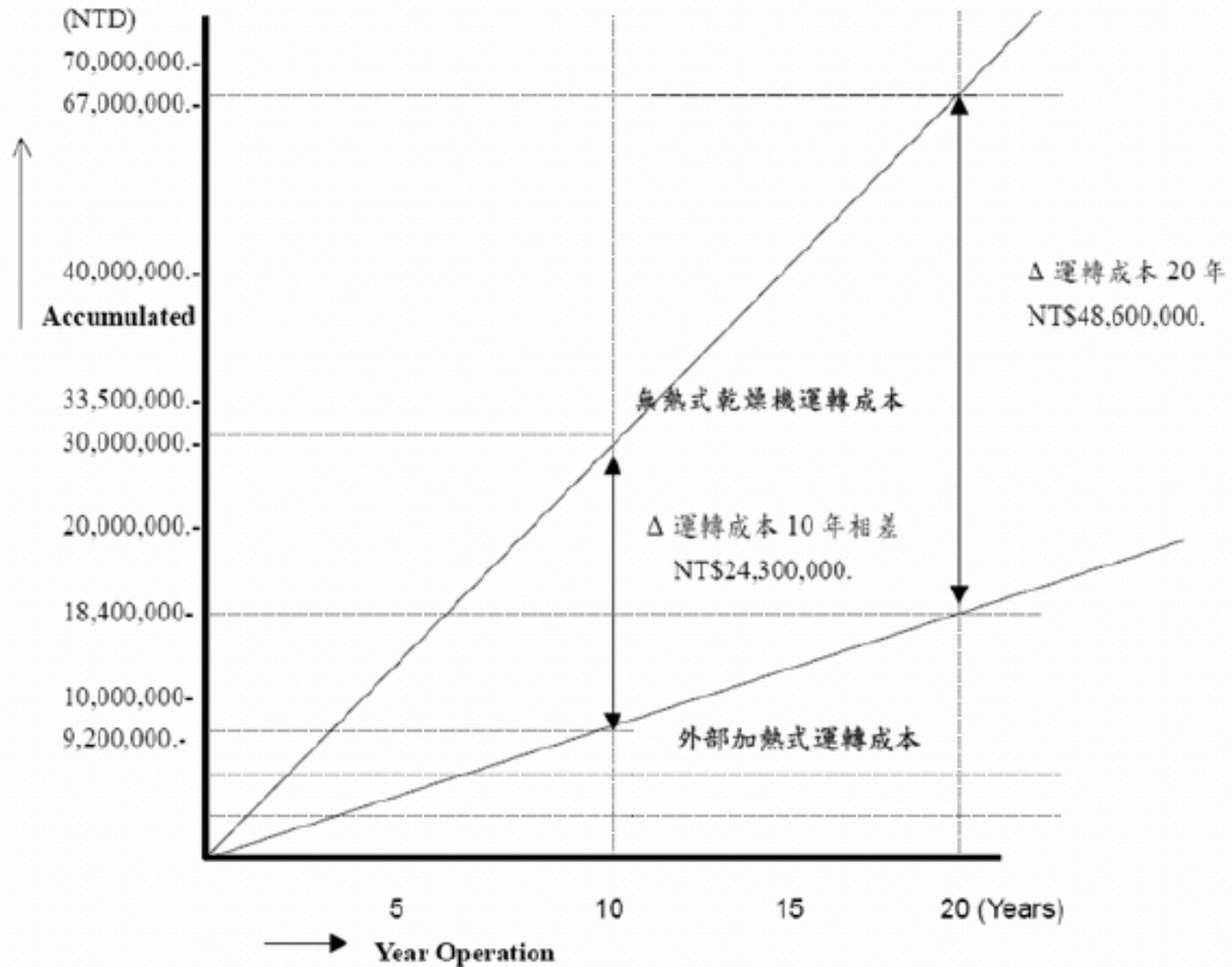


加熱再生式乾燥機與無熱式乾燥機之比較

(10,000 Nm³/Hr @ 7 kg/cm² g , 40 °C)

	外部加熱再生式吸附乾燥機 (Heat Regenerated)	無熱式吸附乾燥機 (Heatless)
進口流量	10,000 Nm ³ /Hr.	11,770 Nm ³ /Hr.
出口流量	10,000 Nm ³ /Hr.	10,000 Nm ³ /Hr. (1,770 Nm ³ /Hr. 消耗)
壓 降	< 0.1 bar	< 0.2 bar
操作週期	12小時	10分鐘
再生使用能源	風車 + 電熱 108 KW/Hr	壓縮機壓縮空氣 1,770 Nm ³ /Hr ≐ 220 KW/Hr (1KW/Hr 約可 生產 8 Nm ³ /Hr 壓縮氣體)
設備成本 含過濾器	US\$ 220,000.-	US\$ 140,000.-
單機運轉成本 (五年)	108 KW/HR x 24小時 x 365天 x 5年 x 1.8元/KW/HR = NTS850萬	220 KW/HR x 24小時 x 365天 x 5年 x 1.8元/KW/HR = NTS1,730萬
閥壽命	因少切換，壽命較長	常切換，壽命較短
吸附劑壽命	五年以上 增、減壓時間各10分鐘， 無壓震	三年以下 增、減壓僅數秒鐘， 壓震大，吸附劑易碎
空壓機成本	低 (僅10,000 Nm ³ /Hr)	高 (11,770 Nm ³ /Hr.)

無熱式與外部加熱式乾燥機運轉成本比較圖
 (以 8,000 M³/Hr、7 bar G、25°C 為例)



潔淨壓縮乾燥空氣

潔淨和乾燥的壓縮空氣被廣泛地應用於精密儀器、氣動設備、氣動工具、化工、製藥、食品、半導體及電子工業中。乾燥、潔淨的壓縮空氣系統能否正常運轉，對於保證上述工業系統之正常操作及降低操作、維修費用有著重大意義。然而空氣中的塵埃微粒在壓縮機及其後之管道中與水蒸汽、油蒸汽、氣溶膠、“降解”之潤滑油、碳氫化合物之蒸汽、鐵鏽、管垢等單獨或相互結合形成的淤渣污垢，對精密儀器、氣動工具、氣動設備、閥等造成較大傷害。如堵塞儀器，損壞設備，降低了控制設備之準確度及成品品質等；甚至引起系統控制失靈，造成停機等事故。

在半導體及電子工業中，由於潔淨室（Clean Room）對空氣潔淨度（一定體積中所含塵埃之大小與數量）有一定的要求，故對進入潔淨室之壓縮空氣潔淨度亦有相應要求。在液晶顯示器重要組件 - 彩色濾光片生產中，壓縮空氣作為“風刀”與製品玻璃板直接接觸，若塵埃粒子沉積在其上，將影響產品質量。解決上述問題之方法乃是在空氣送至用戶（潔淨室）前，採用過濾方法把存在於其中含固體、液體、油等塵埃粒子除去，使其含量降低至所規定的標準。

壓縮空氣濾材選用

第2表 市售空氣過濾器的濾過度與用途

	濾材的濾過度 (μm)	特徵及應注意事項	主要用途
主管路空氣過濾器(前置過濾器)	74 50	壓力損失少，一般均以金網的表面進行濾過作用，不但容易洗淨，且可重複使用。	多用於主管路及較粗大歧管上，用以濾除鐵銹及其他較粗大的雜質、水份等。
泛用空氣過濾器	50 44 25	壓力損失較少，普通多以燒結合金、金網、樹脂帶(resin ribbon)等構成，濾過作用發生在表面及表面下的不遠處。	這是最常見的過濾器，在小規模配管的主管路、大規模空壓系統的分歧管路或使用端附近都可看見。除非下流系統中有漏細的通路(直徑1mm以下)或有金屬封圈(metal seal)的切換閥，否則在大多數場合使用這種空氣過濾器便已足夠。
精密用空氣過濾器	25 10 5	多以銅合金、不銹鋼、樹脂或金網等的燒結合金製成。初期使用時，多呈表面濾過型態，但長期使用之後，微塵也會侵入濾材內部，造成清洗的困難，故必須經常保養。每當孔目阻塞所造成的壓降達到初期使用時壓降的50%~100%，便是應當再做保養的時刻。	系統中若有極狹的通道(直徑1mm以下的細孔、噴嘴或其他細縫)，則需以此種精密過濾器安裝於使用端，作為二次過濾器。但壓縮空氣中如果混有大量的壓縮機用油，則濾材所過濾出的灰塵很容易和油混合，而黏在孔目上，使孔目迅速阻塞。故遇有上述狀況時，應當儘量改用下述的油霧分離器。
油霧分離器	1 ~ 0.1	以交叉形玻璃纖維為濾材，除去空氣中的油滴。有些油霧分離器內部已裝有前置過濾器，但其他品牌則必須在它的上游附近安裝空氣過濾器。	對於厭油的空壓系統而言，它是不可或缺的元件；尤其是在噴漆、計測儀器、純流體控制元件，及其他即使使用了精密過濾器亦嫌不足の場合中使用得很廣泛。

潔淨壓縮乾燥空氣

不同行業對空氣潔淨度之要求有所不同，表 1 列出了 ISO-8573-1 對壓縮空氣質量等級之分級標準：

表 1

質量等級	固態污染物		水分含量 (常壓露點)	容許最高油含量 (包括油滴、霧、氣)	備註
	粒子大小 微米 μm	容許最高含 量毫克/米 ³	℃	毫克/米 ³ (PPM)	
1	0.1	0.1	-70	0.01(0.0083)	若空氣等級為 1-2-1 表示，0.1 微米之塵埃含量為 0.1 毫克/米 ³ 常壓下露點為 -40℃，油含量為 0.01 毫克/米 ³
2	1	1	-40	0.1(0.083)	
3	5	5	-20	1(0.83)	
4	15	8	3	5(4.17)	
5	40	10	7	25(20.83)	
6	-	-	10	-(-)	

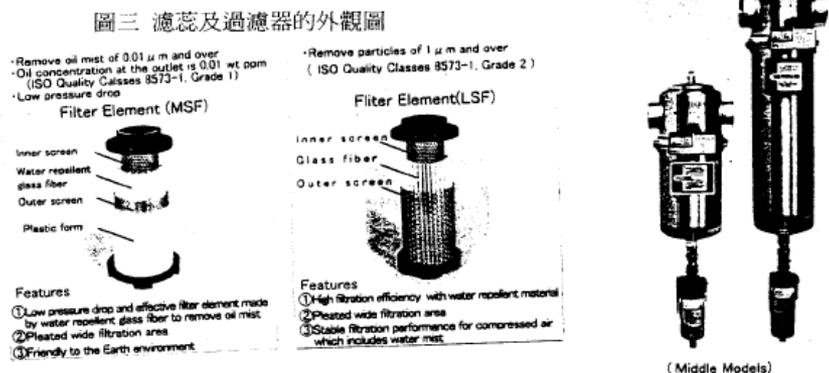
潔淨壓縮乾燥空氣(續)

在半導體工業中對壓縮空氣潔淨度之要求，也隨不同製程而有所不同。一般言若空氣與半成品、產品直接接觸（例如“風刀”用壓縮空氣）則其潔淨度要求也提高；而 DRAM 及 TFT-LCD 廠對壓縮空氣潔淨度的要求，也隨著製程的發展有愈來愈高的趨勢。茲列出 A, B, C 三廠在不同製程時，對壓縮空氣潔淨度的要求（此值應由業主根據製程要求提出）

廠名	粒子要求	常壓露點	油含量	非甲烷系 碳氫化合物量
A	≥0.1 微米者應少於/等於 10 粒/ft ³	-70°C	-	≤100PPB
B	≥0.3 微米者應少於/等於 10 粒/ft ³	-70°C	-	
C	≥0.3 微米者應少於/等於 100 粒/ft ³	-50°C 以下	0.5PPM 以下	

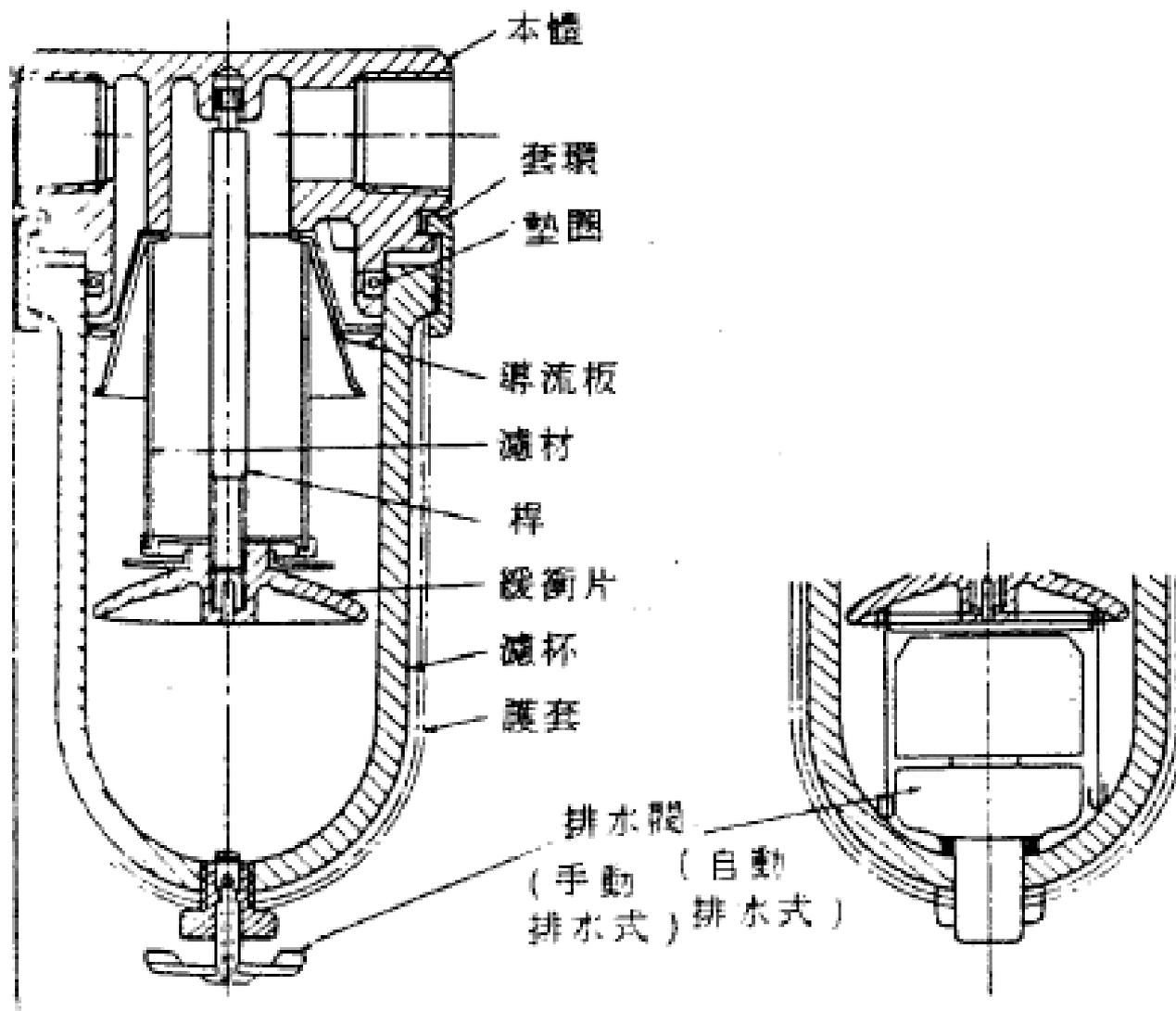
潔淨壓縮乾燥空氣(續)

塵粒過濾器目前均以凝聚 (Coalesced) 式為主，濾蕊材質由玻璃纖維、硼矽酸微細纖維或賽璐璐纖維製成。大多採用雙級過濾，第一級為纖維介質和介質濾網交替疊層以濾除較大的顆粒，第二級為多層黏合混和纖維介質，凝聚油霧及濾除聚凝物或顆粒。圖三為濾蕊及過濾器的外觀圖。過濾器具有液面、差壓指示及內部自動排液裝置。空氣經過過濾器之壓降視過濾粒子之大小而定，不同廠家也有不同的標準，表三列出一些廠家數據供參考。



表三

公司名稱	Domnik Hunter(英)		Hankison(美)		Atlas Copco(比)		Orion(日)	
塵粒過濾精度(微米)	1	0.01	1	0.01	1	0.01	1	0.01
氣中殘油含量 (PPM)	0.5	0.01	1	0.01	0.5	0.01	--	0.01
過濾器初期壓降(kg/cm ²)	0.087~0.0704	0.106	0.07	0.14	0.087	0.102	0.05	0.1
過濾器飽和壓降(kg/cm ²)	0.141	0.211	0.14	0.42	0.141	0.204	--	0.2
濾蕊調換壓降(kg/cm ²)	0.7~0.352	0.7~0.352	0.7	0.7	0.51	0.51	0.7	0.7



第 1 圖 空氣過濾器構造圖

潔淨壓縮乾燥空氣(續)

上述過濾器濾蕊壽命一般均可達 6,000~8,000 小時，但若壓降已達規定值則需調換。脫除油蒸氣及臭味之過濾器，其濾蕊第一級為極精細的活性碳粉穩定層，可濾除絕大部分油蒸氣，第二級為多層纖維介質，黏合微精活性碳粉，可濾去殘餘的油蒸氣；其濾蕊額定壽命為 1,000 小時；殘油含量可降至 0.003 PPM；初期阻力降為 $0.071\sim 0.306\text{kg/cm}^2$ ，視不同廠家而有所不同。濾蕊壽命與進氣溫度有明顯關係，進氣溫度不能高於 30°C ，因在 40°C 時隨空氣帶入之油蒸氣較 21°C 時高 10 倍以上。而 1,000 小時的額定壽命，乃根據在 21°C 時之入氣溫度來考慮。為保護活性碳過濾器，在其前要有能濾除 0.01 微米的固與液態顆粒，殘留油含量為 0.01PPM (重量) 之精密過濾器，且一般活性碳過濾器均放置在各過濾器之最後端。

在生產現場，在乾燥器前設置了一台能濾除 1 微米和更大的固、液態顆粒過濾器；在乾燥器後則設置兩台串聯的精密過濾器(可濾除 0.01 微米和更大的固態與液態顆粒，殘油含量可降至 0.01PPM 重量)，以保證經過濾器後的氣體其潔淨度能符合潔淨室的要求。現場裝置的這三台過濾器，分別由不同廠家提供。根據實踐結果來看，其濾除效率在同一等級上者，基本上沒有什麼區別。主要根據經濟等其他因素決定取捨。