



# 壓縮空氣系統 節能技術與案例分析

黃茂興



# 目 錄

前 言

第一章、空壓系統概論

第二章、節能運轉與管理

第三章、節能效益評估

第四章、案例分析與雲端應用



# 前言

本課程內容從透過教導用戶正確的壓縮空氣系統節能概念開始，到如何規劃、佈置、建構和診斷節能控制系統止，共分成四個章節。除了筆者20年來從事空壓機相關行業的經驗外，並搭配筆者十年多來近800家百大及非百大能源用戶實地查核之見聞，進行系列性深入淺出的探討，提出實際可行的解決方案，期能協助各企業提高壓縮空氣的能源使用效率，共同為提高企業與國家的能源競爭力，盡棉薄之力。



# 前言

- 壓縮空氣取之於大氣回歸於大氣，具有低污染、不自燃、無味無嗅、安全及易於控制與傳輸等特性。廣泛應用於工業、礦業、工程業、醫療業甚至農業，可說是僅次於電力的普及能源之一，在歐美地區與電、水及蒸氣並稱四大工業能源。然而壓縮空氣卻是四大工業能源中能源轉換效率最低的一種。一般而言4kw的能源輸入，最高只能有1kw的壓縮能輸出；若以能源成本角度來看，台灣地區一般工廠電力成本在2.0~3.0元/kWh，壓縮空氣之直接產氣成本將高達0.2~0.5元/M<sup>3</sup>。
- 『空氣是免費的，壓縮空氣卻是極為昂貴的』。
- 因此，如何有效的操作與控制、避免損壞以及節省壓縮空氣的能源浪費是能源管理者必需面臨的重要課題。



# 前言：認清事實

- 壓空系統能源轉換效率非常低（通常4KW INPUT 只能有1KW OUTPUT）。是汽油的20%、電力的12%。其中75%~80%能源變成廢熱，由熱交換器吸收掉。
- 壓縮空氣的電力使用約佔整體工業用電的10%。
- 電能費用約佔整個壓縮空氣系統總費用的70%~80%，其餘20%~30%為購置費用與維修保養費用。
- 電能費用中只有不到60%是與生產直接相關，25%~35%可能浪費於洩漏、15%~25%則導因於假性需求。一般而言，壓縮空氣系統約有15%~60%的節能潛力。
- 在操作壓力7barg下，每立方米的壓縮空氣至少將消耗0.11KW-HR/M<sup>3</sup>的電力或每馬力約可產生4CFM/HP的壓縮空氣流量。



# 前言：認清事實（續）

- 一台100HP@7kg/cm<sup>2</sup>G空壓機24小時運轉，每年約需支出130萬台幣的電費（單位電價2元/度電計）。
- 空壓機每過壓運轉10PSI（0.7bar）約需增加5%的功率消耗。
- 空壓機的進氣溫度每升高10°C約增加2.5%的電力消耗。
- 一只3mm孔徑之持續洩漏孔在7kg/cm<sup>2</sup>G壓力下，每年將洩漏掉約等同40,000元電費的壓縮空氣。
- 空壓機持續運轉達5年或以上，約有10%機台的能源效率會下降為原始值之50%；50%機台的能源效率會降為原始值之70%；35%機台的能源效率仍可維持原始值之80%；只有5%不到的機台可有90%以上的能源效率。



# 第一章 空壓系統概論



# 為何使用壓縮空氣？

- 與電力比較起來，壓縮空氣這項能源是彈性的，經濟的，而且安全的，它可以使用於許多不同用途，像是氣動工具，以及汽壓缸，或者用來移動或冷卻的各種物質。
- 空壓設備，不會產生火星造成爆炸，而且可以使用在潮濕的環境中。
- 維修也很簡單，不需要特別的訓練就可以安裝氣壓元件...等等。
- 壓縮空氣 彈性，乾淨，而且安全。



# 壓縮空氣的好處

- 利用性-幾乎所有工業設備都須要用到壓縮空氣
- 儲存性-可簡易大量儲存
- 經濟性-相對便宜的安裝成本 (元件)
- 可靠性-長壽命(元件)
- 耐用性-可承受高溫, 腐蝕, 灰塵...等等.
- 潔淨性-乾淨的空氣 (也可使用於無塵室)
- 安全性-沒有爆炸的風險, 也不會產生熱(元件)
- 設計及控制簡單
- 機動性的選配



# 壓縮空氣使用在何處？

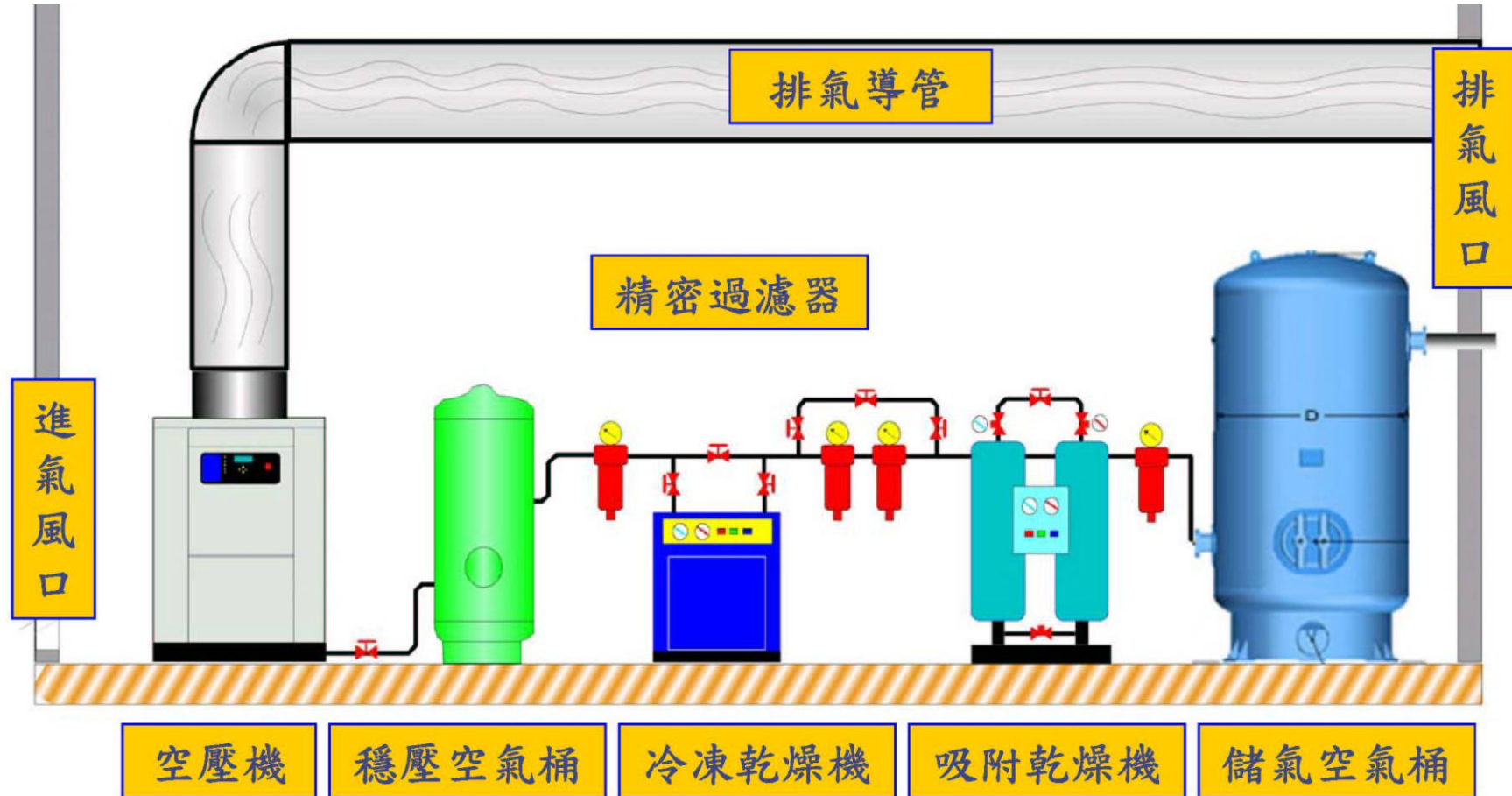
- 壓縮空氣在今日的工業製程, 使用範圍很廣泛
- 空壓汽缸, 可產生線性動作
- 空氣馬達, 可驅動手工具
- 噴嘴或風刀, 用來清潔、冷卻及乾燥... 等等
- 壓縮空氣的動力被使用於許多不同的場所, 不同的用途
- 主要使用者是生產製造業



## 壓縮空氣系統組成與特性

- 壓縮空氣就是將大氣空氣經過空氣壓縮機壓縮後的空氣總稱。壓縮空氣是一種熱能的傳輸媒介，可以藉由管路系統遠距傳輸壓力能，也可以利用儲氣桶來儲存，最後再經由壓力的釋放達到做功的作用。
- 從圖1-1的佈置方式上來看，在空壓機的進氣端設置有進氣風口，如此可將新鮮的空氣導引到空壓機中，而後從空壓機端所送出的壓縮空氣會先經由穩壓空氣桶的穩壓冷卻，然後再到冷凍乾燥機的水分吸附，而後再到吸附式乾燥機的水分再吸附，最後再將處理過後的壓縮空氣儲存在儲氣空氣桶中，以供後端的各項負載能夠來使用。一般在穩壓空氣桶、冷凍式乾燥機、吸附式乾燥機，以及儲氣空氣桶之間都會設置有相關的過濾器，使用在穩壓空氣桶與冷凍式乾燥機之間，主要是用來吸附壓縮空氣中的微塵粒子以減少熱交換器的阻塞；使用在冷凍式乾燥機與吸附式乾燥機之間，主要是用來吸附油氣與微塵粒子以避免阻塞吸附劑；使用在吸附式乾燥機與儲氣空氣桶之間，主要是用來吸附由吸附器所流出的粉屑。所以隨著設置位置所需功能上的不同，在選擇過濾器時應要特別注意。最後在空壓機的廢氣排放口處會設置有排氣導管，說到設置排氣導管的功用，主要是用它來將空壓機所產生的廢氣，從空壓機房引導至室外，如此可避免因熱循環導致進氣溫度上升，進而影響到空壓機的性能。

# 壓縮空氣系統組成與特性



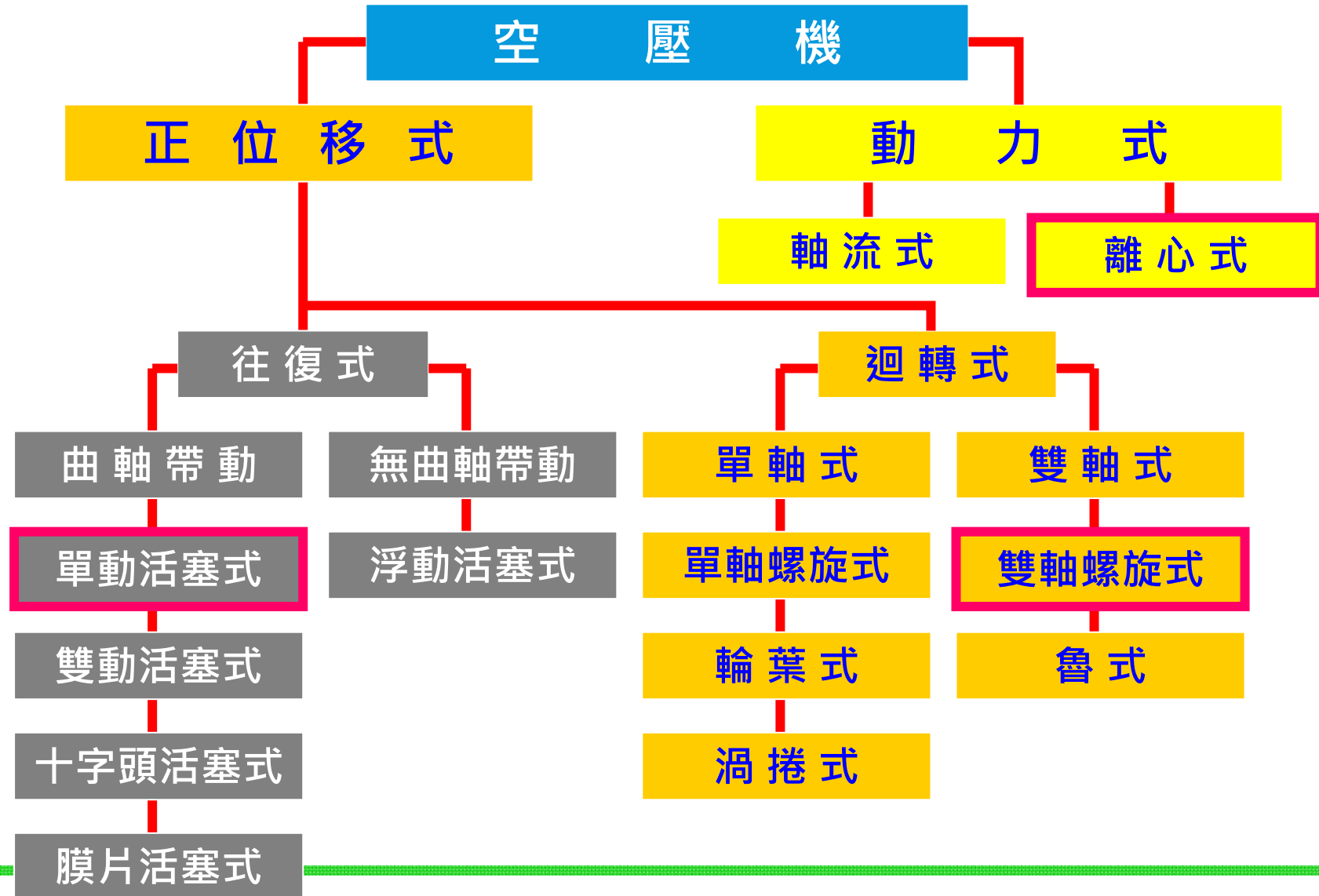


## 空壓機的分類與簡介

- 空壓機依其壓力產生方式，可區分為正位移式（Positive Displacement Compressor）和動力式(Dynamic Compressor)等兩大類。以空氣是否與潤滑油的混合來分類，可以區分為有油式及無油式空壓機兩種。潤滑油對任何機械設備都具有潤滑與冷卻的作用，針對有油式空壓機，潤滑油還兼具具有氣密的作用可以提升空壓機的容積效率，因此，從節能的觀點來看，有油式空壓機的能源效率絕對會高於無油式空壓機。
- 正位移式空壓機是藉助空壓機以機械功來「壓縮」空氣的體積，同時提升壓力，正位移式空壓機可區分為往復式及迴轉式兩類。任何非直接「壓縮」空氣的體積以提升壓力的方式都可歸類於動力式空壓機，動力式空壓機則可區分為離心式及軸流式兩類。參閱圖1-2
- 空壓機在工業的應用範圍相當廣泛，但只有約10~30%的輸入能源能實際到達使用端，其餘70~90%的輸入能源會被轉換成廢熱、摩差損失及噪音等。



# 空壓機的分類與簡介





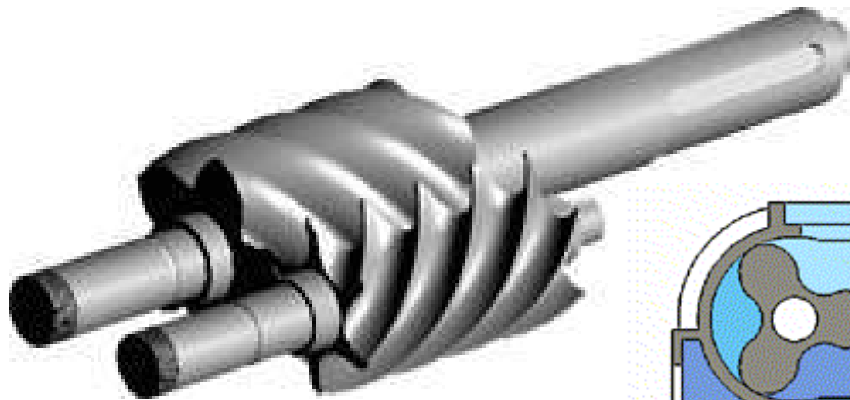
單動活塞式



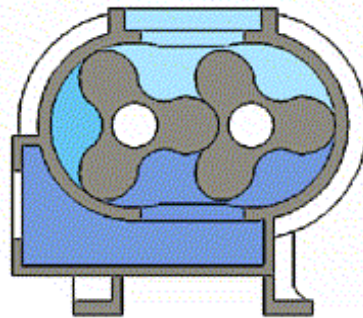
渦捲式



輪葉式



雙軸螺旋式



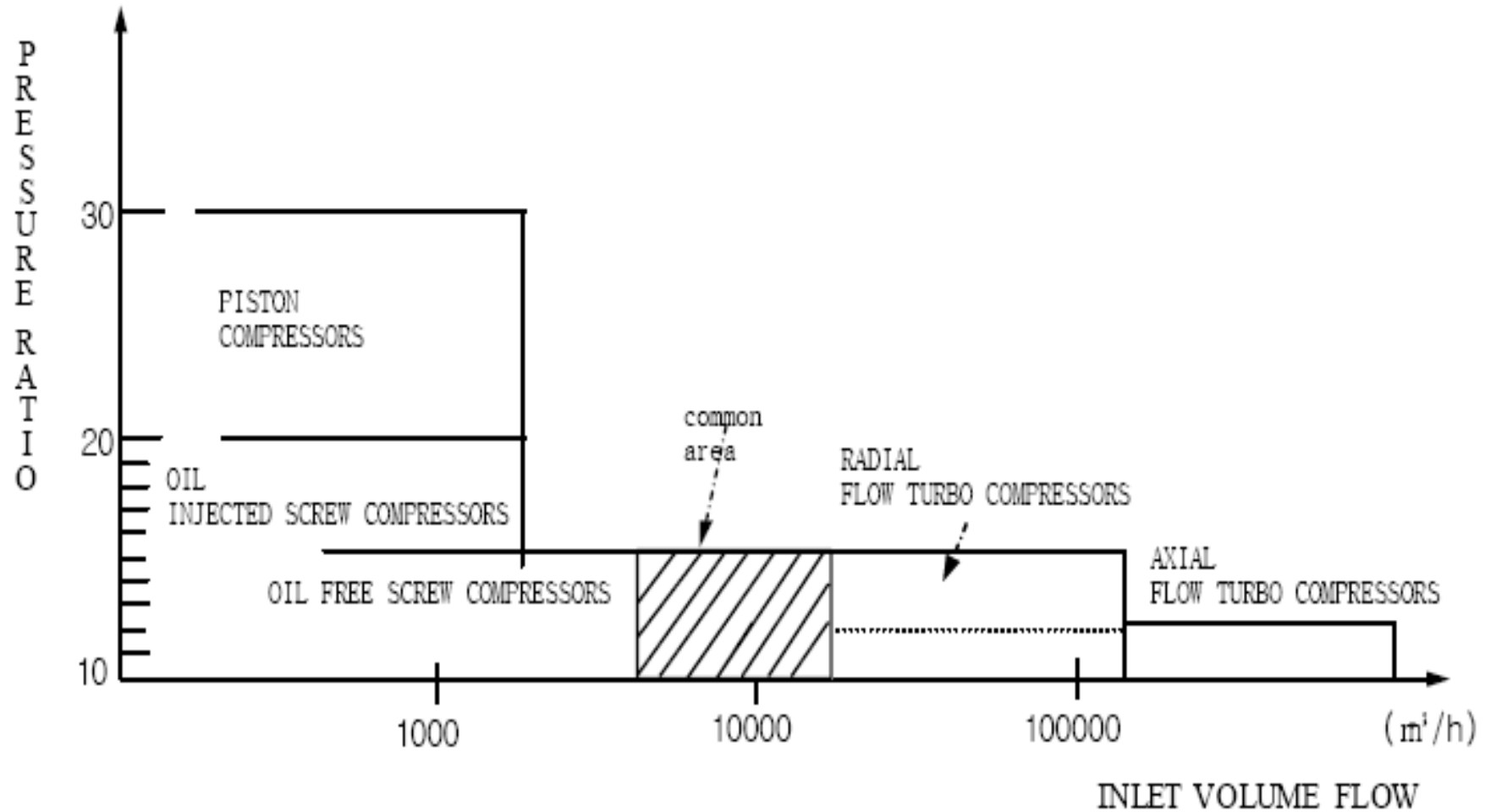
魯式



離心式



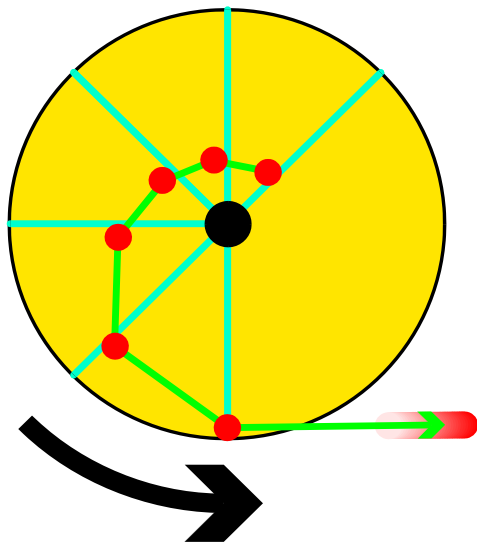
# 空壓機的分類與應用範圍





# 離心式空壓機介紹

# 動力離心式壓縮機原理 (徑向壓縮)



## 動力式壓縮機：

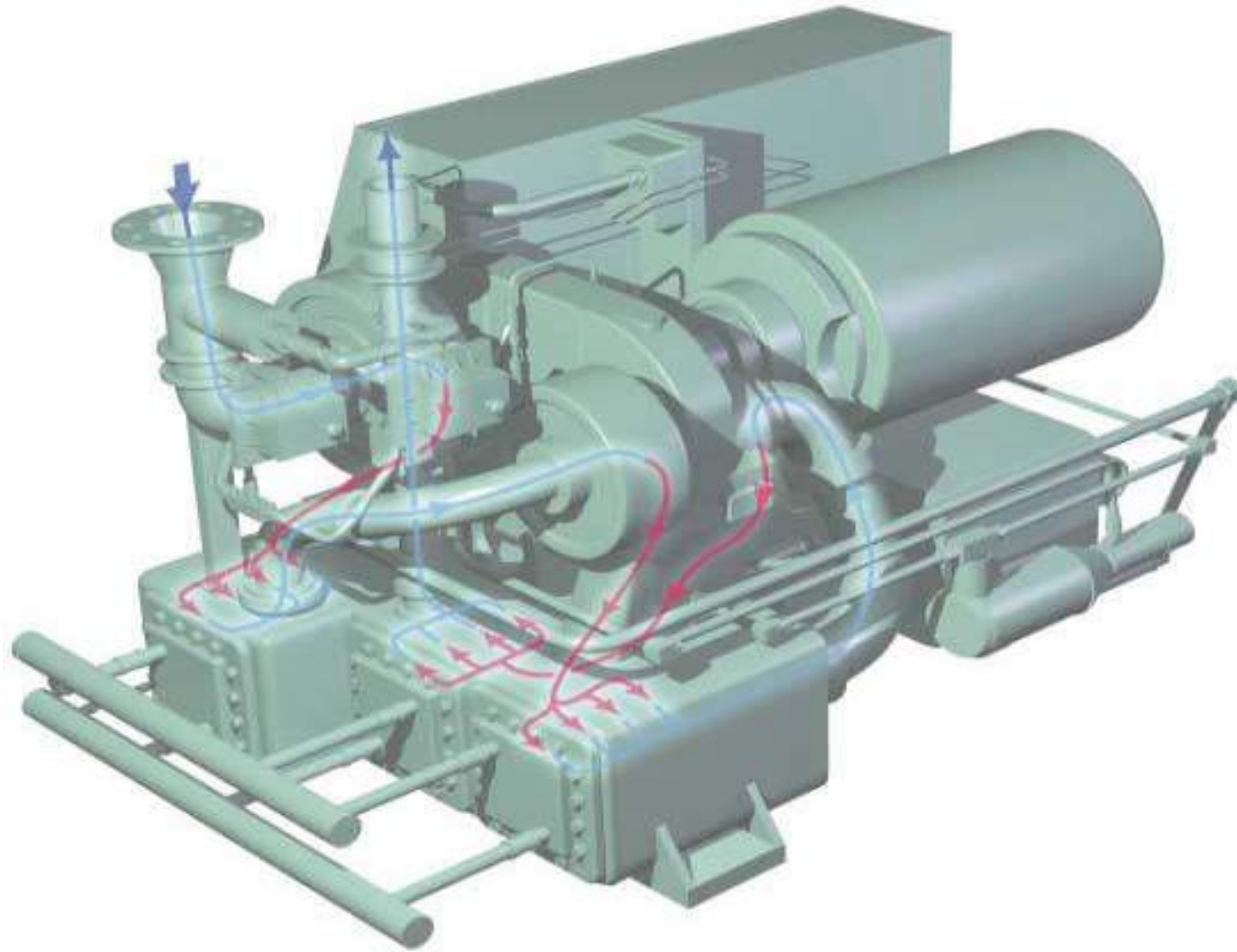
- 1、高速氣流
- 2、擴壓器減速
- 3、蝸殼升壓

## 軟特性：

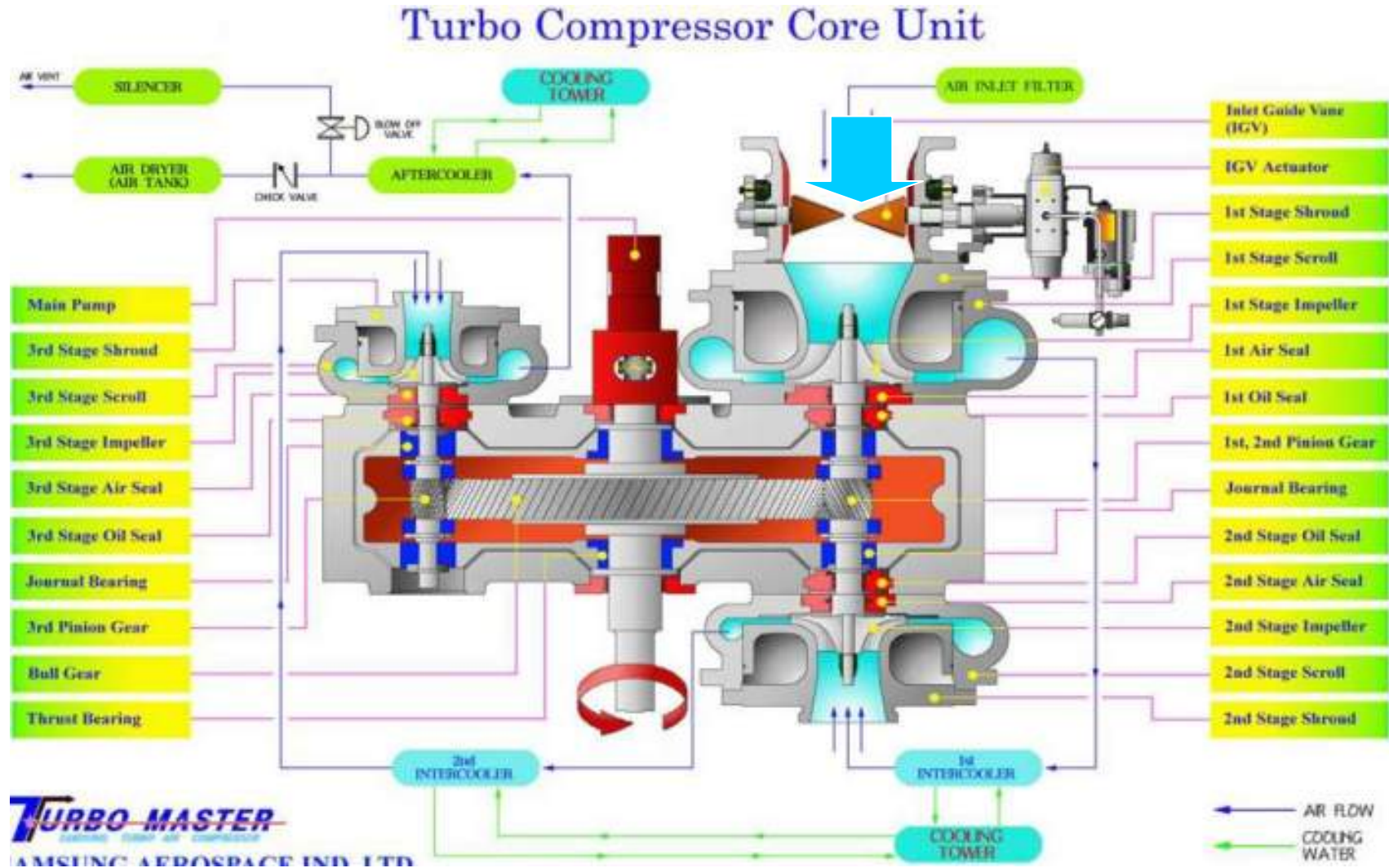
1. 壓力與流量相關
2. 後級與前級相關
3. 高速機械特性：喘振
4. 極高轉速，滑動軸承，柔性軸
5. 轉速超越多個臨界轉速



# 離心式空壓機之空氣流程

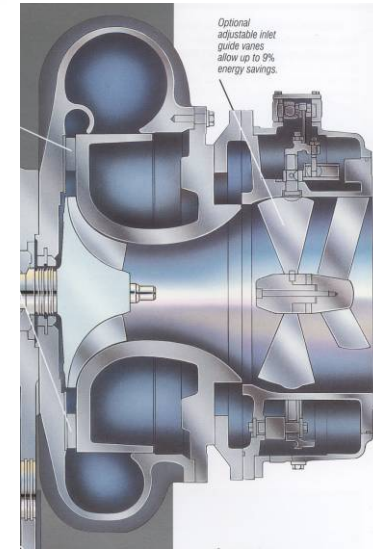
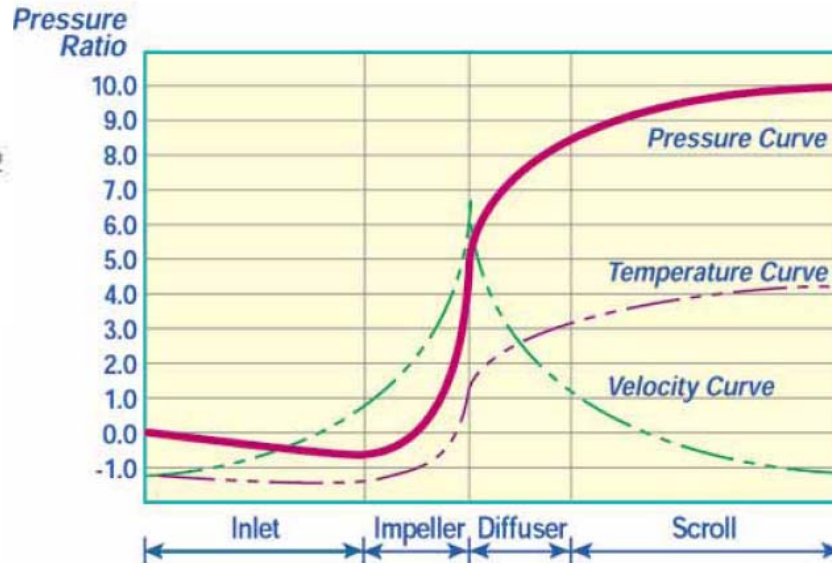
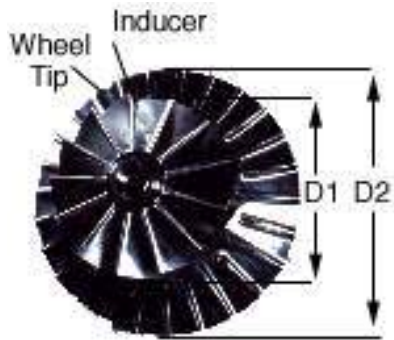
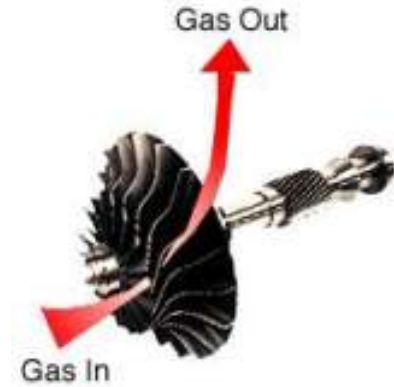
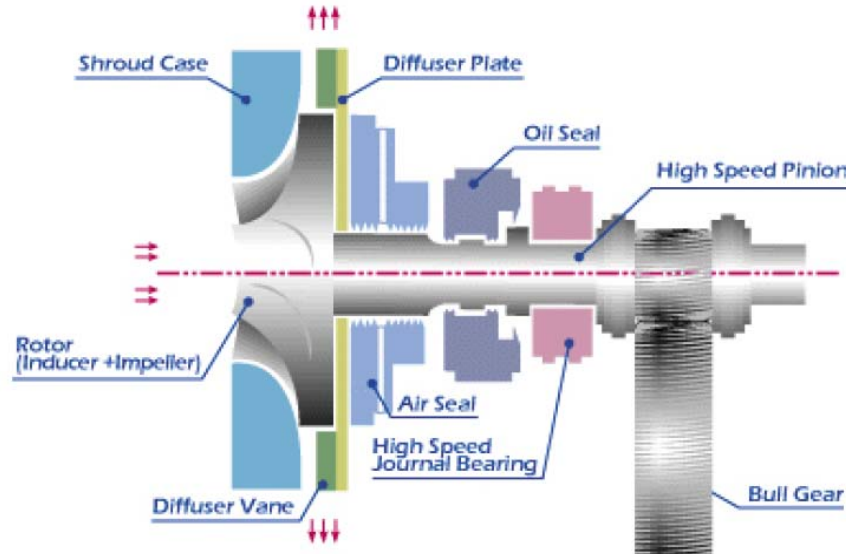
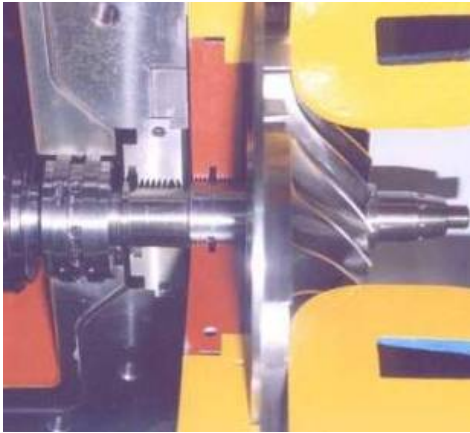


# 離心式空壓機之主要結構



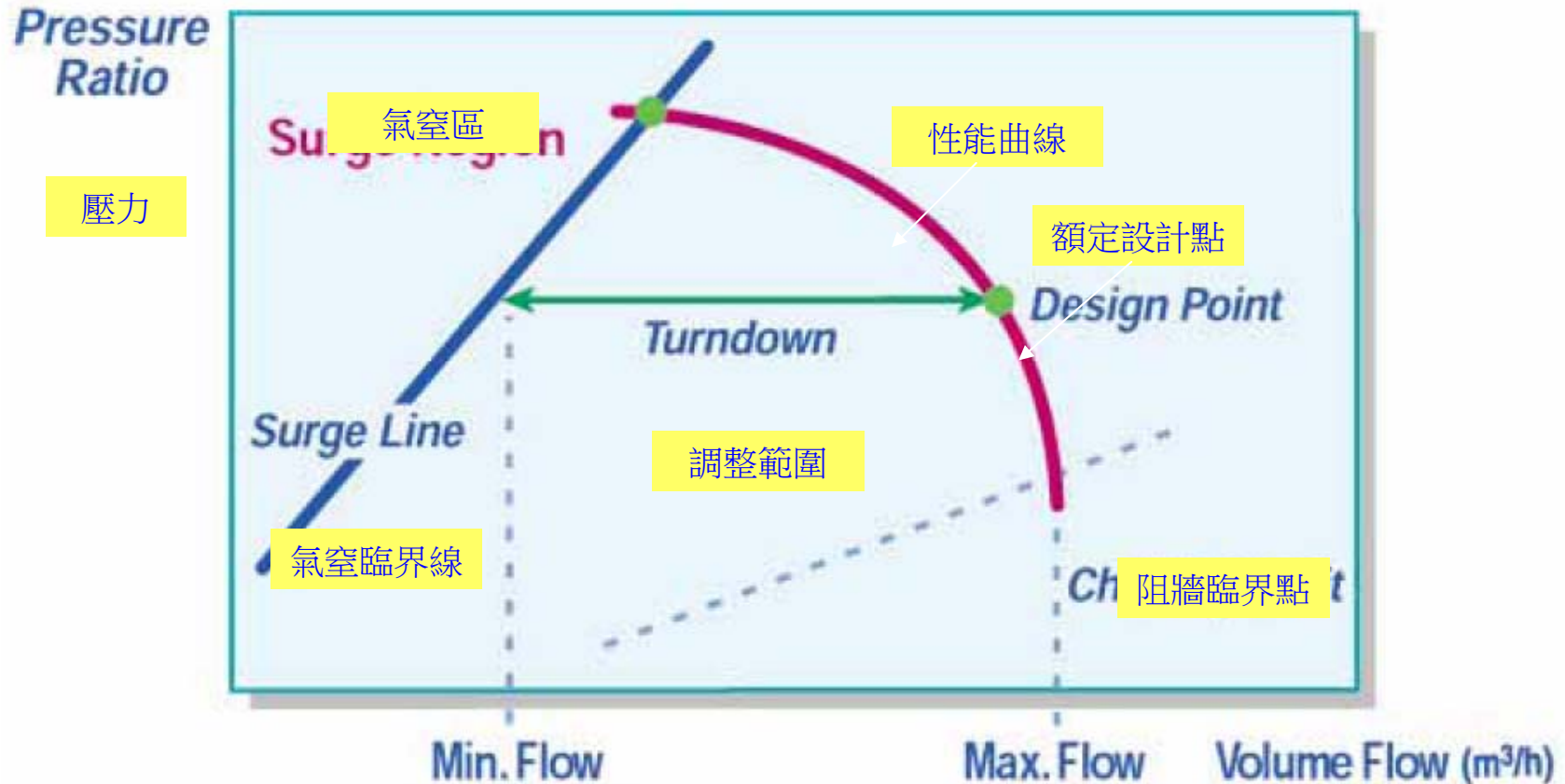


# 離心式空壓機壓力之形成





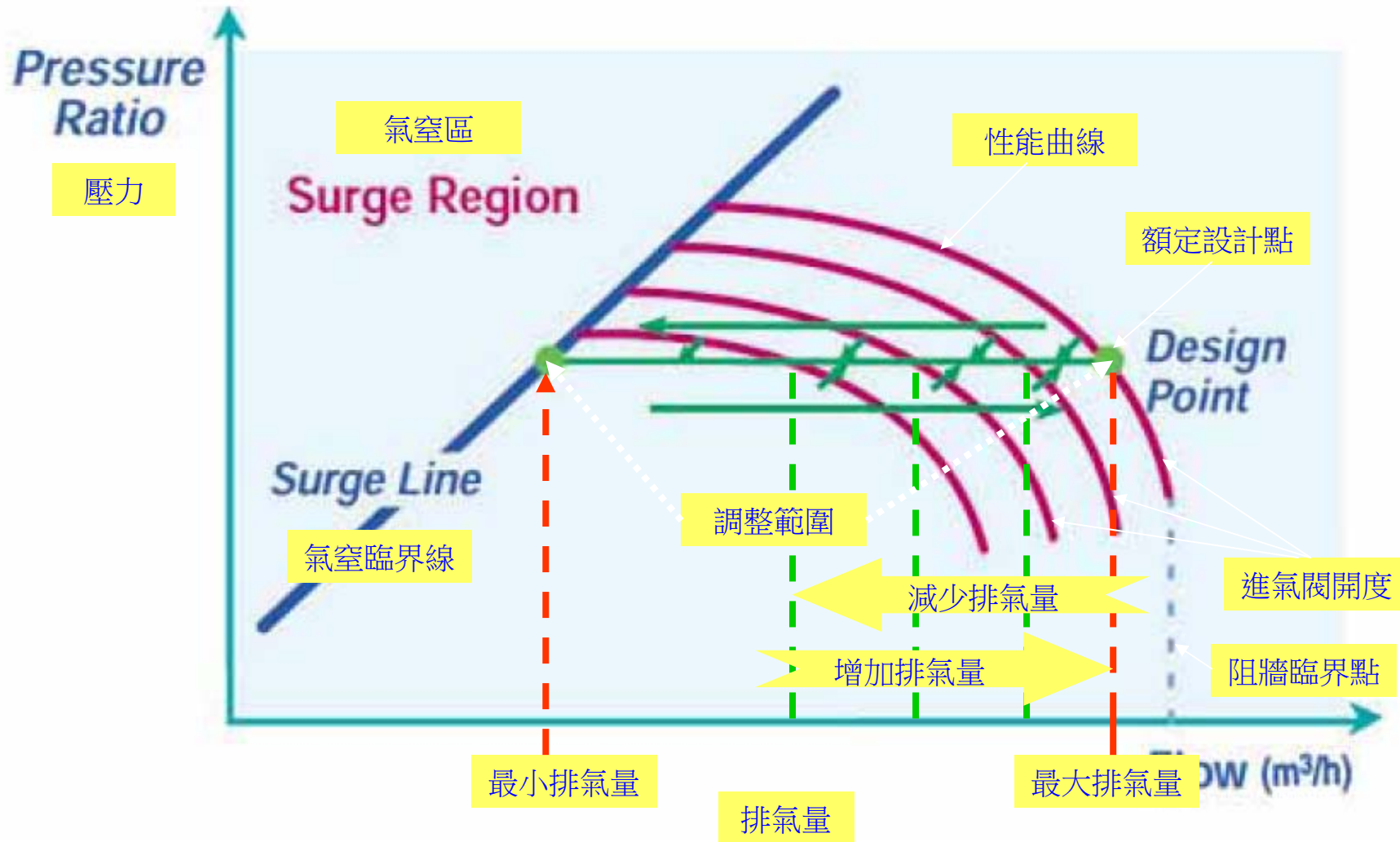
# 離心式空壓機之P- F性能曲線



一般離心式空壓機的最高排氣壓力會高於設計壓力大約10~20%即會產生氣壘現象 (Surge)，因此，要提升排氣壓力到超過設計壓力會有一定的限制，降低排氣壓力到設計壓力的60%左右又會碰到阻牆現象 (Stonewall)，離心式空壓機的壓力變化範圍確實不若定排量式空壓機的廣泛。在選擇離心式空壓機的設計壓力時確實需要慎重的考慮。

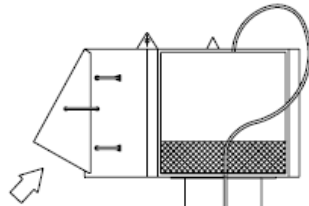


# 離心式空壓機如何進行容量調整





# 離心式空壓機標準測試法

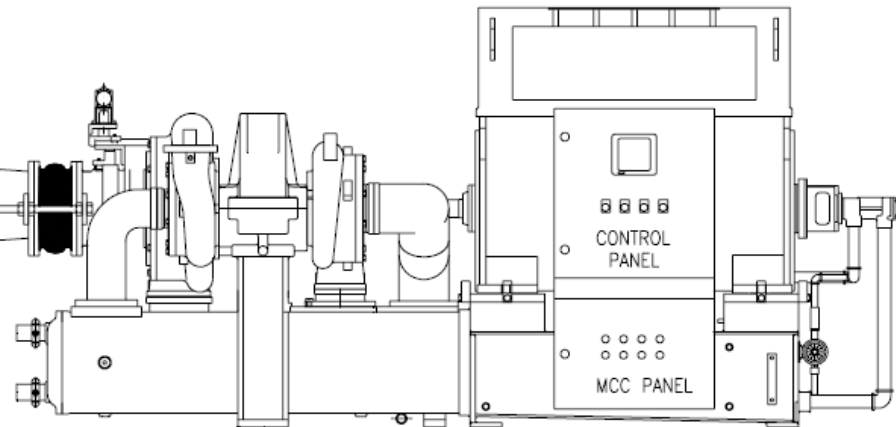


## AMBIENT CONDITION

- Atmospheric pressure :  $P(\text{amb})$
- Absolute Temperature :  $T(\text{amb})$
- Saturated steam Pressure:  $h(\text{amb})$
- Relative humidity:  $RH(\text{amb})$

## INLET CONDITION

- Inlet Pressure :  $P'(\text{in})$
- Absolute Temperature:  $T'(\text{in})$
- Saturated steam Pressure:  $h'(\text{in})$
- Relative humidity:  $RH'(\text{in})$





## 離心式空壓機排氣量的量測

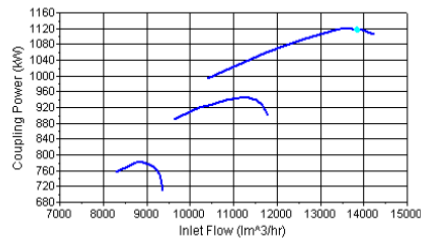
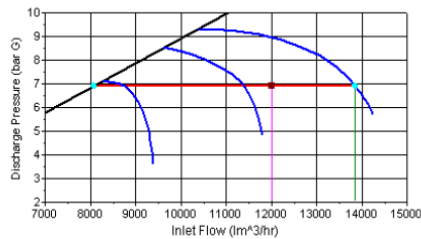
- 離心式壓縮機的排氣量則以ICFM計算，是指在空氣進口溫度為35°C，冷卻水進口溫度為25°C，空氣進口壓力為0.975bar(a)，實際輸出量還要扣除壓縮機及冷卻器的洩漏。
- 離心式壓縮機是同空氣分子的品質有關，當天冷時就重些，天熱時就輕一些，因離心式很多是以進口溫度35°C，冷卻水進口溫度為25°C的ICFM來報價，當天熱時效率降低，**偏離特性曲線，效率相差將達15%左右**。



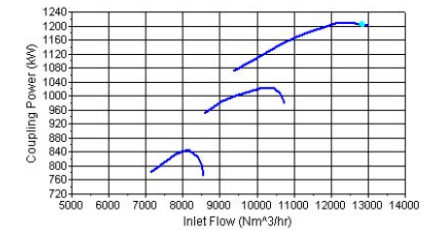
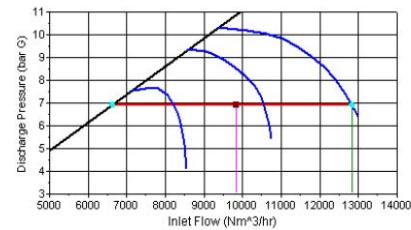
## [ Compressor Performance by Type ]

Items	Barometric Pressure	Inlet Pressure	Inlet Temp	Relative Humidity	Operating Pressure	Maximum Flow		Power at Maximum Flow	Nm <sup>3</sup> /KW
Unit	BarA	BarA	C	%	BarG	Im <sup>3</sup> /hr	Nm <sup>3</sup> /hr	kW	
Standard Type1	1.013	0.983	35	80	10.3	14,075	11,541	1,328	
Standard Type2	1.013	0.983	35	80	8.6	14,021	11,497	1,241	
Standard Type3	1.013	0.983	35	80	6.9	13,847	11,354	1,117	10.16
Standard Type4	1.013	0.983	35	80	5.5	14,390	11,799	1,073	
Low Pressure	0.846	0.816	35	80	6.9	14,002	9,433	1,035	9.11
Low Temperature	1.013	0.983	10	80	6.9	13,848	12,831	1,204	10.66
Low Humidity	1.013	0.983	35	0	6.9	13,201	11,354	1,119	10.15

Type3



Low Temperature 10C



# 離心式空壓機之IGV與開度壓降

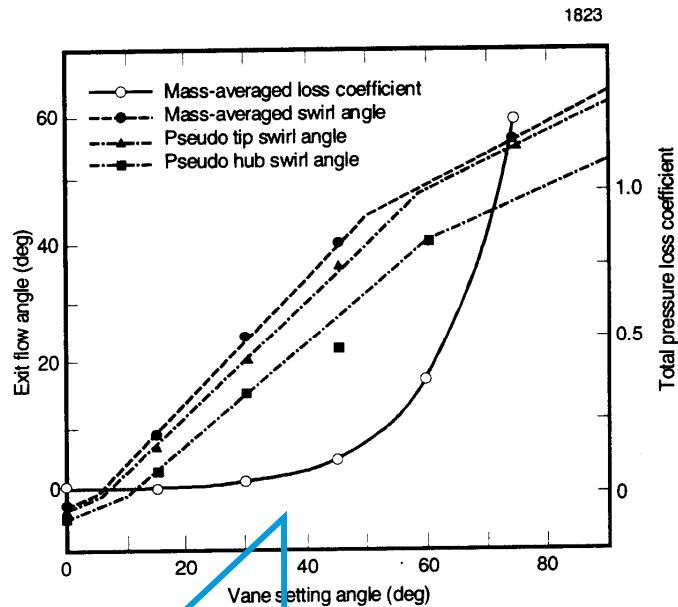
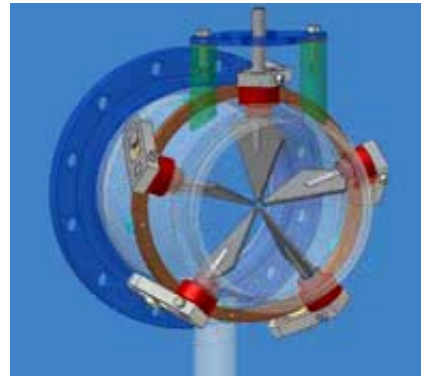


Figure 4.22 Results for axial guide vane system.

IGV(進氣導閥)是一種會產生壓力損失的裝置，尤其在設定角大於30度之後，壓力降損失將呈陡坡式上昇。



## Inlet Guide Vane vs. Butterfly Valve

An IGV offers about 3.5% to 4% BHP better power reduction than a butterfly valve, **but only at maximum "safe" turndown** (throttle). Lower temperatures offer better, improved savings.

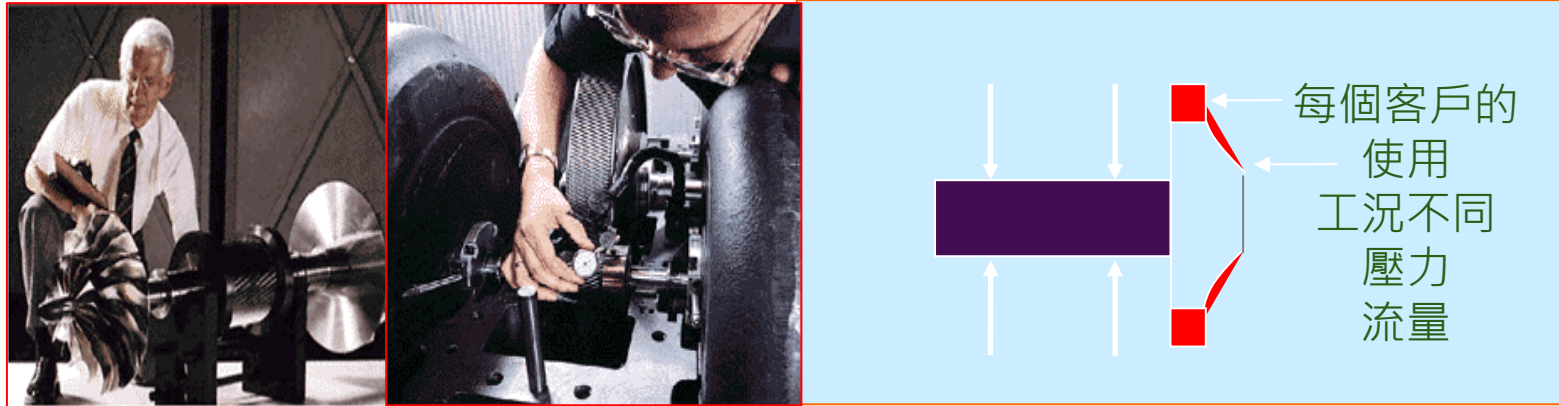
### Payback:

We found the current payback period for one IGV to be close to **eleven years**. In some situations, where several IGV are purchased and installed, the payback period was calculated to be as much as 43 years or more.

### Conclusion:

**IGV is pressure loss device**  
**Variable speed is better than IGV**

## 離心壓縮機-葉輪設計...



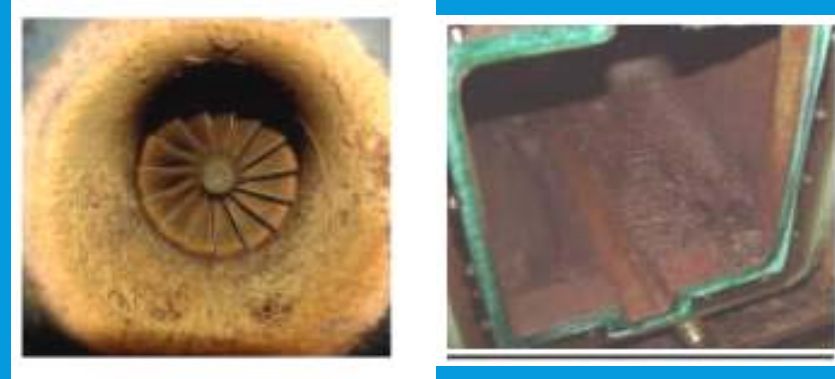
- 離心壓縮機產品非統一設計，即皆單一特製且每個機型流量/壓力均不相同。
- 葉輪損壞故障無法預測
- 葉輪更換需重新製造，往往需要1、2月?
- 修復更換至少15天
- 葉輪損壞概率很高 - 柔性軸 - 葉輪磨損
- 更換成本較高

# 離心壓縮機-葉輪磨損



1. 葉片損壞
2. 被切變葉輪軸引起不平衡力和偏磨

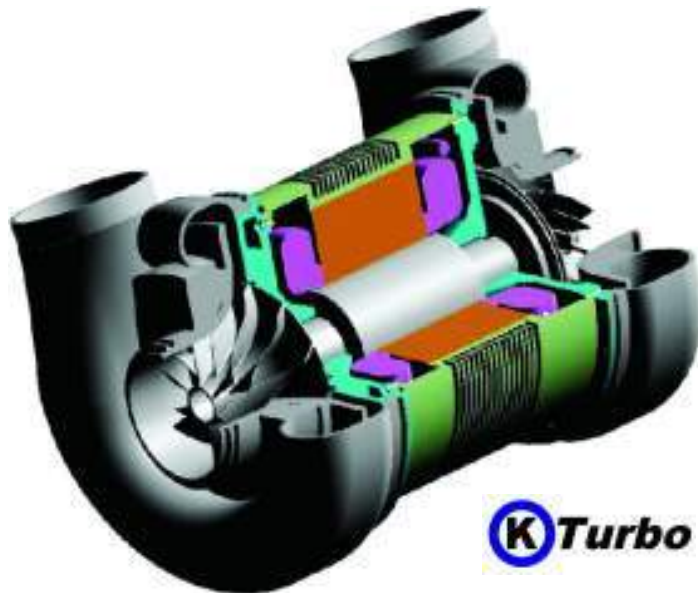
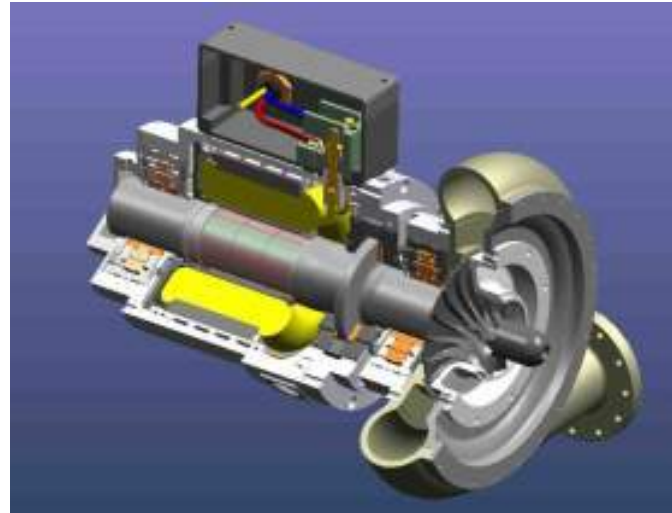
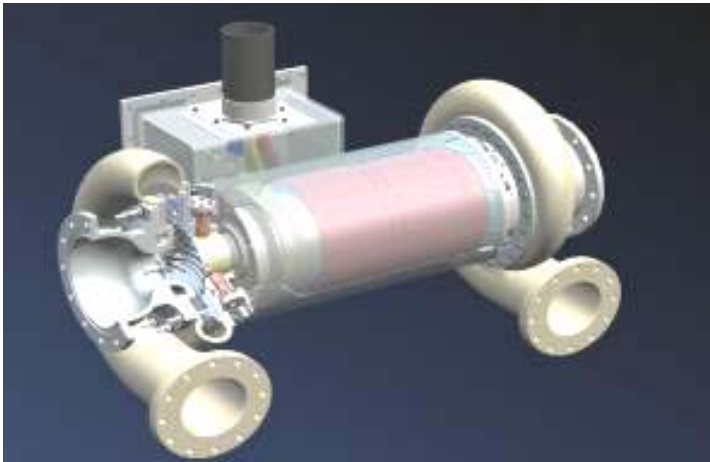
# 空氣流道的腐蝕問題



- Low cost or no protection of air passages results in heavy corrosion even after 1 year's operation
  - Carbon steel diffuser
- High risk of machine failure, extended downtime and heavy repair costs



# 變頻離心式空壓機運作方式



VSD-TURBO  
採用最新永磁式  
PM馬達及AIR  
BEARING空氣軸  
承技術。  
空壓機葉輪與馬  
達同軸，免裝設  
增速齒輪、油  
泵、油封、氣  
封，無任何傳動  
損失可達到變頻  
節能、完全不需  
潤滑油、免裝  
IGV、最少元  
件、最小空間、  
最低保養及最佳  
性價比之完美效  
果。



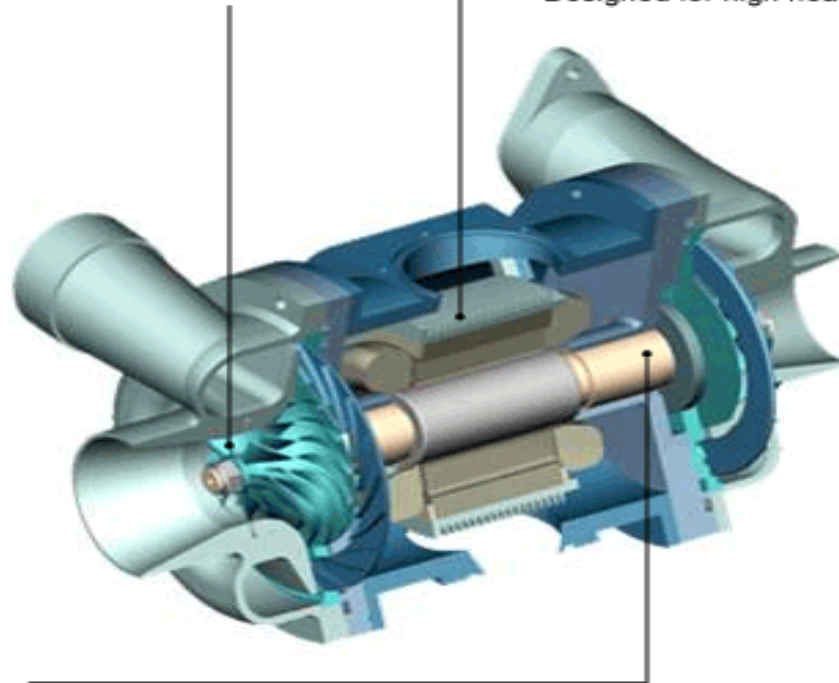
# 變頻離心式空壓機內部結構

## Impeller

Highly advanced computational fluid dynamics programming allows for performance design to truly offer an advancement in efficiency.

## Motor

- Highly efficient and reliable motor design
- Specifically designed for high speed service
- Designed for high heat environments



## Bearings

### Air Bearings

- Individually layered bearings are assembled in the housing support shaft
- As the shaft rotates at high speed, an air film is formed between the shaft and the bearings, which achieves friction free floating without the use of lubricants
- No additional cooling required
- Suitable for high speed; bearing load capability increases with higher RPM

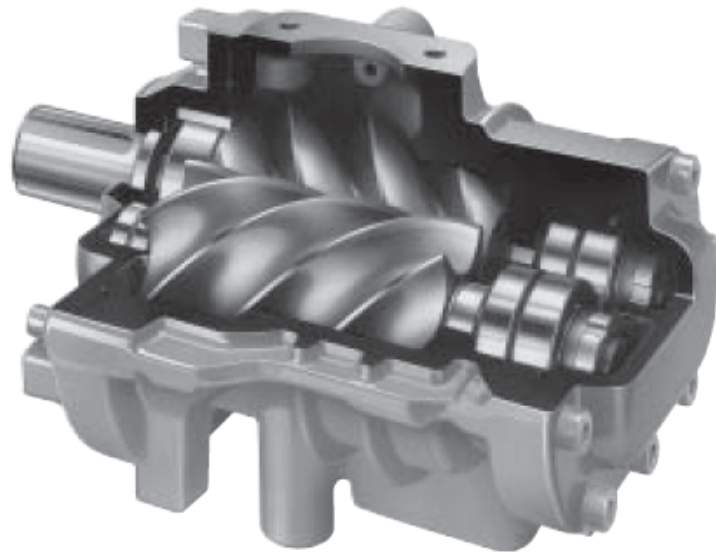


# 螺旋式空壓機介紹

# 螺旋式空壓機之誕生

## 3.4 Screw compressors

### 3.4.1 General



In contrast to the piston compressor, the screw compressor is a relatively new construction. Although the principle was developed as early as 1878 by Heinrich Krigar in Hannover, the construction was only perfected after the second world war. The Swedish company "Svenska Rotor Maskiner" (SRM) developed the screw compressor technically to series standard.

Screw compressors operate on the displacement principle. Two parallel rotors with different profiles work in opposite directions inside a housing.

# 正位移螺旋式壓縮機原理



## 容積式壓縮機：

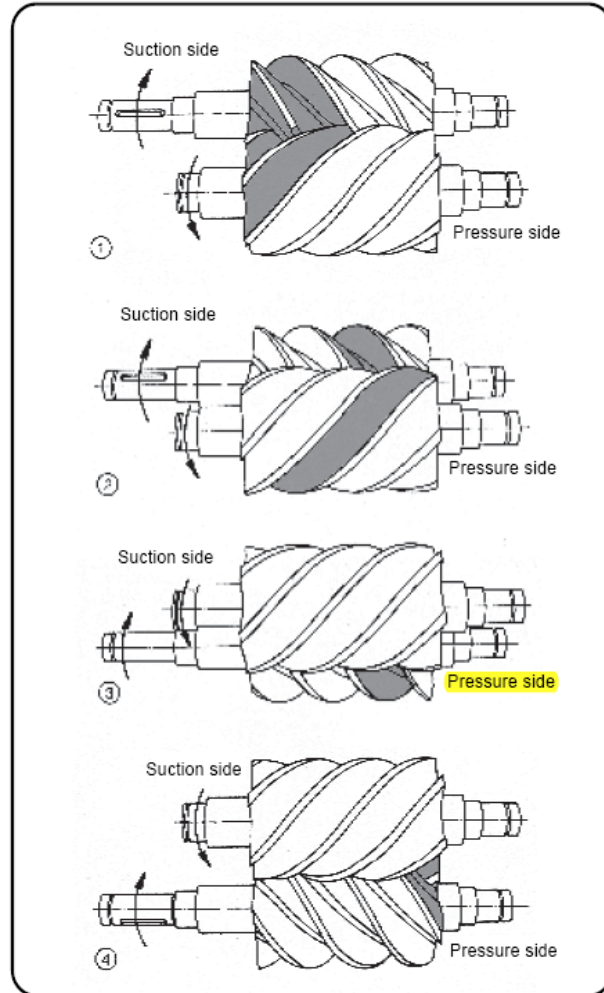
- 1、強制擠壓送氣(硬特性)
- 2、壓縮元件容積
- 3、轉速
- 4、壓縮比

無油螺旋為乾式壓縮，中速範圍運轉

元件的臨界轉速設計點：小於第一臨界轉速的80%

# 螺旋式空壓機之壓縮原理

## 3.4.2 Compression process



The intake air is compressed to final pressure in chambers which continuously decrease in size through the rotation of the screw rotors. When the final pressure is reached the air is forced out through the discharge outlet. The compression chambers are formed by the casing walls and the meshing helical profiles of the rotors.

### Intake ( 1 )

The air enters through the inlet aperture into the open screw profiles of the rotors on the intake side.

### Compression ( 2 ) + ( 3 )

The air inlet aperture is closed by the continued rotation of the rotors, the volume reduces and the pressure increases.

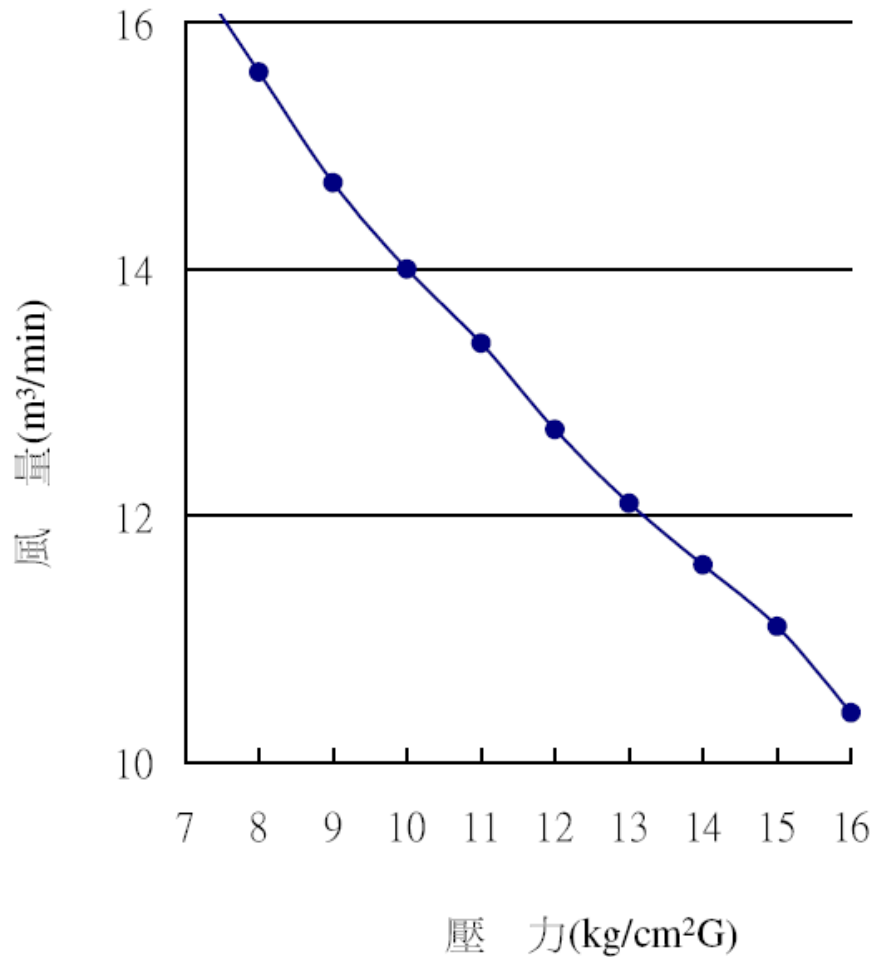
Oil is injected during this process.

### Discharge ( 4 )

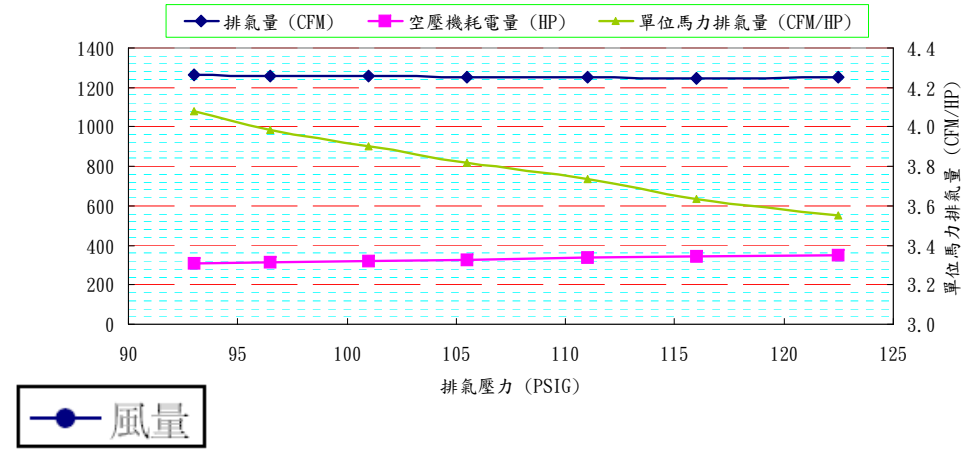
The compression process is completed. The final pressure is reached and the discharge begins.



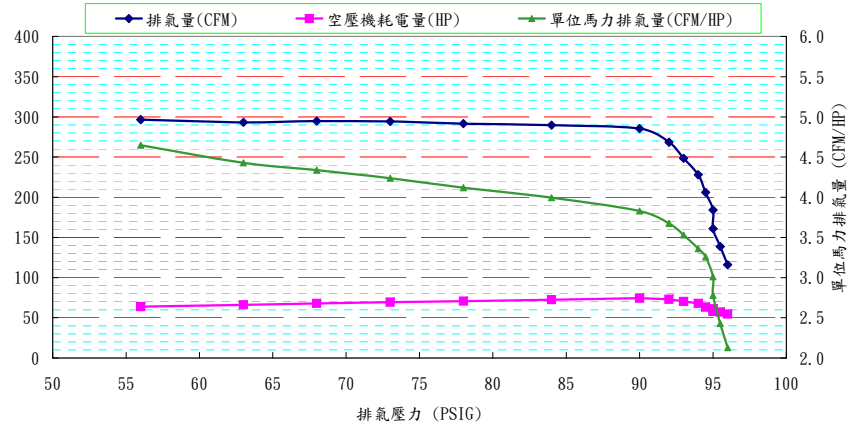
# 螺旋式空壓機之性能曲線



AP-11 空壓機：(Atlas兩段螺旋無油式 ZR-250, 300HP) 檢測日期：91年4月18日

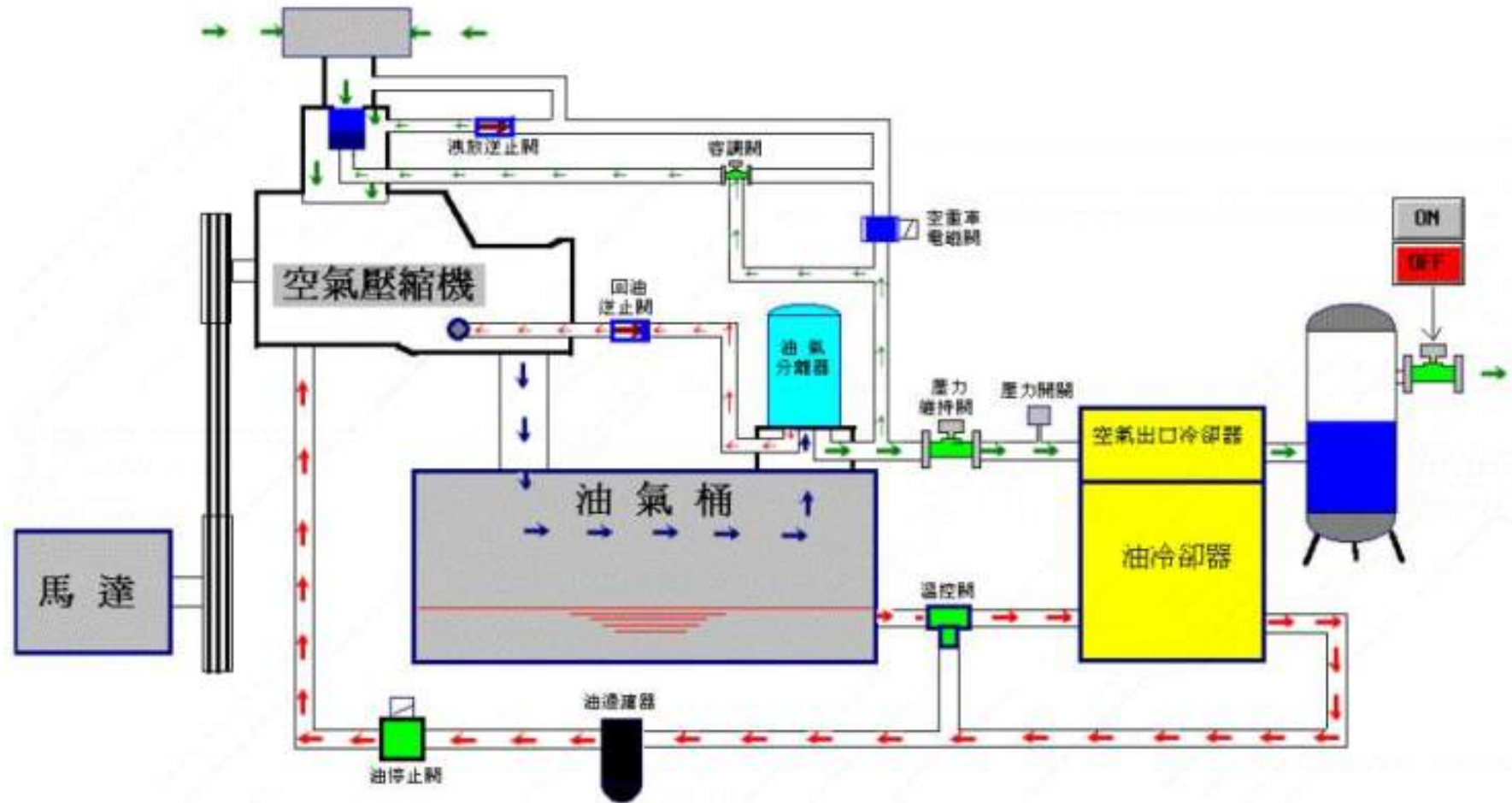


NO.6 空壓機：(復盛 SA-475W 水冷螺旋式, 75HP, 371CFM, 1995年) 檢測日期：91年9月5日



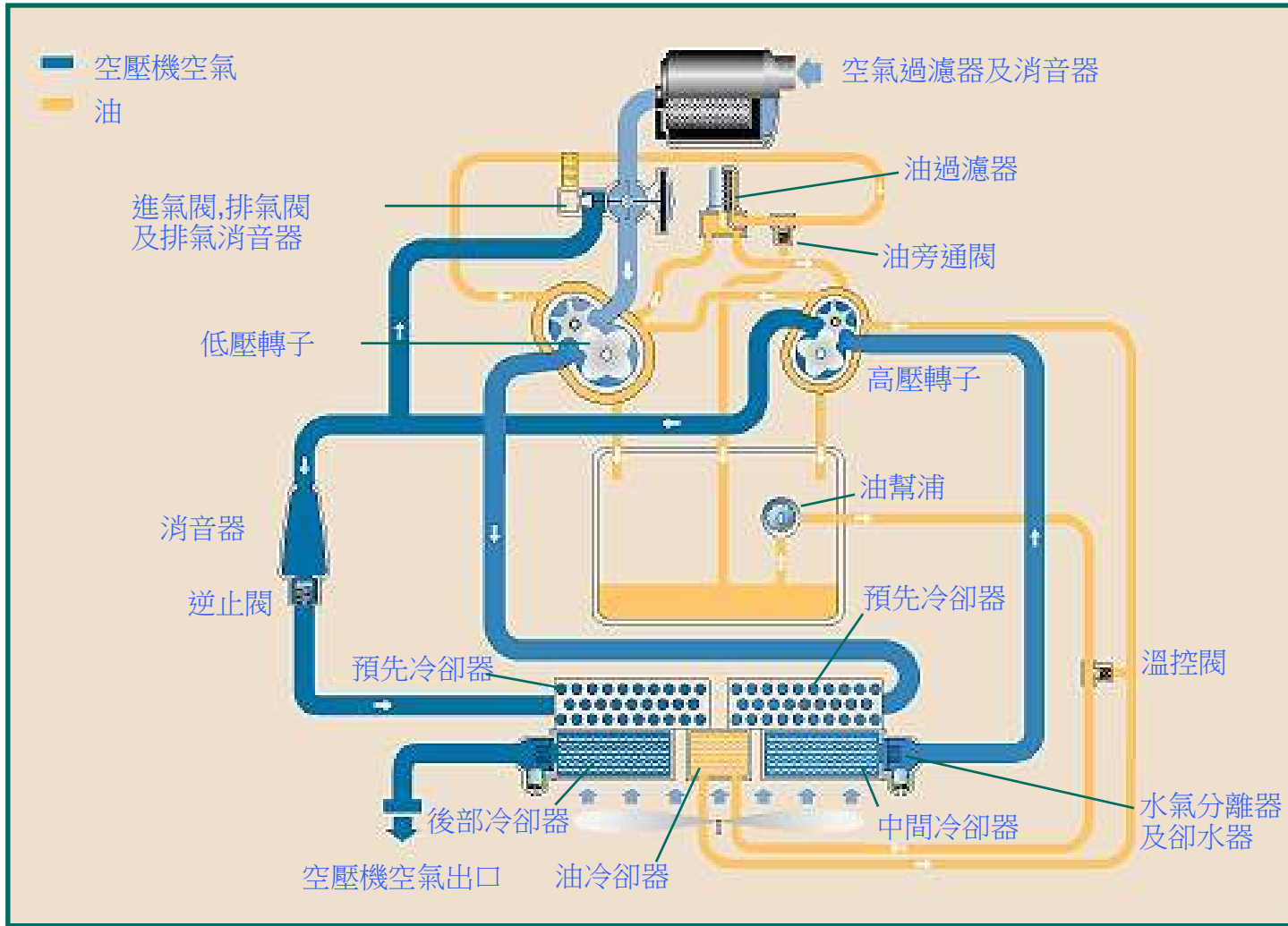


# 單段氣冷油潤空壓機流程



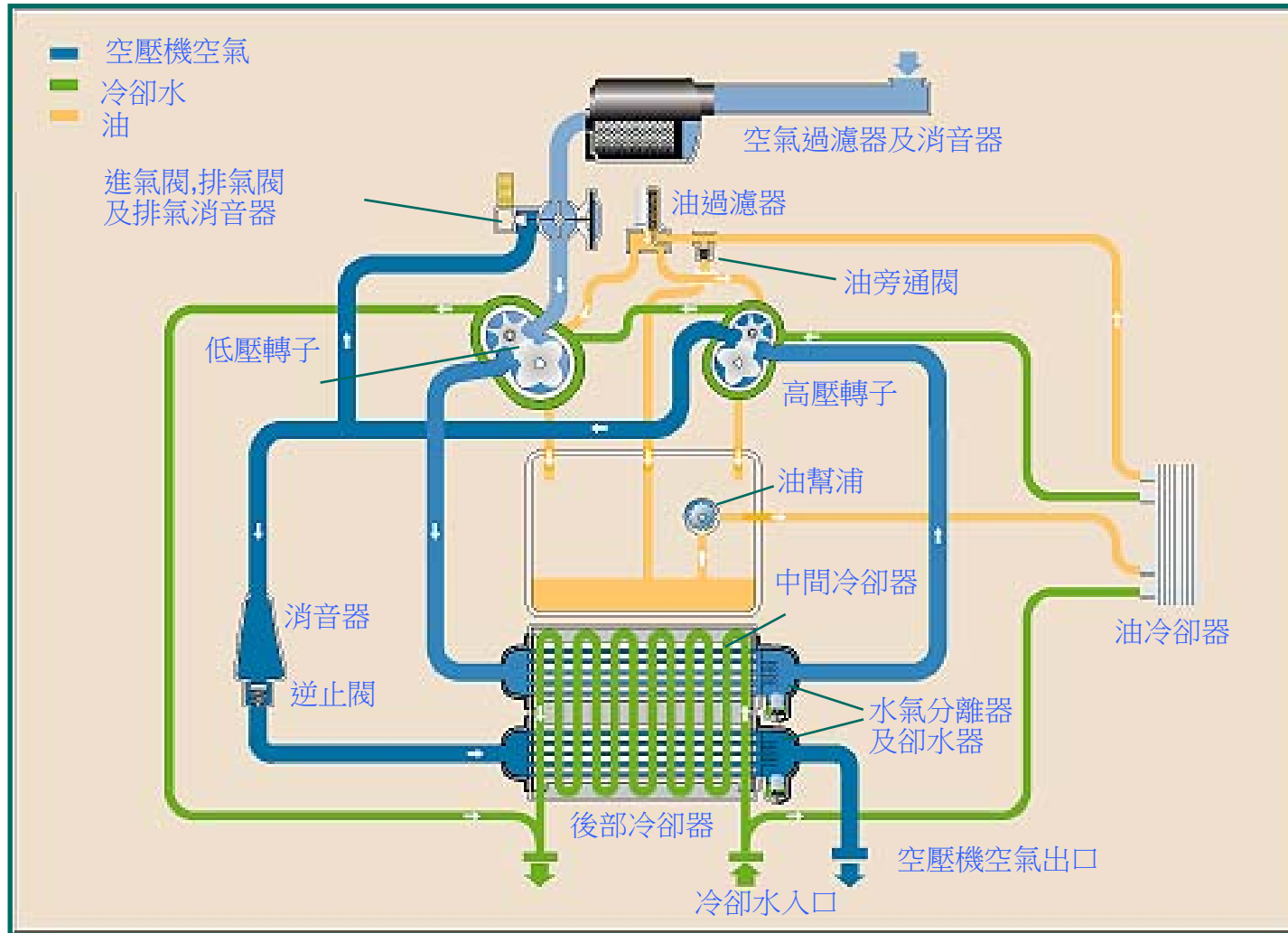


# 雙段氣冷無油空壓機流程





# 雙段水冷無油空壓機流程

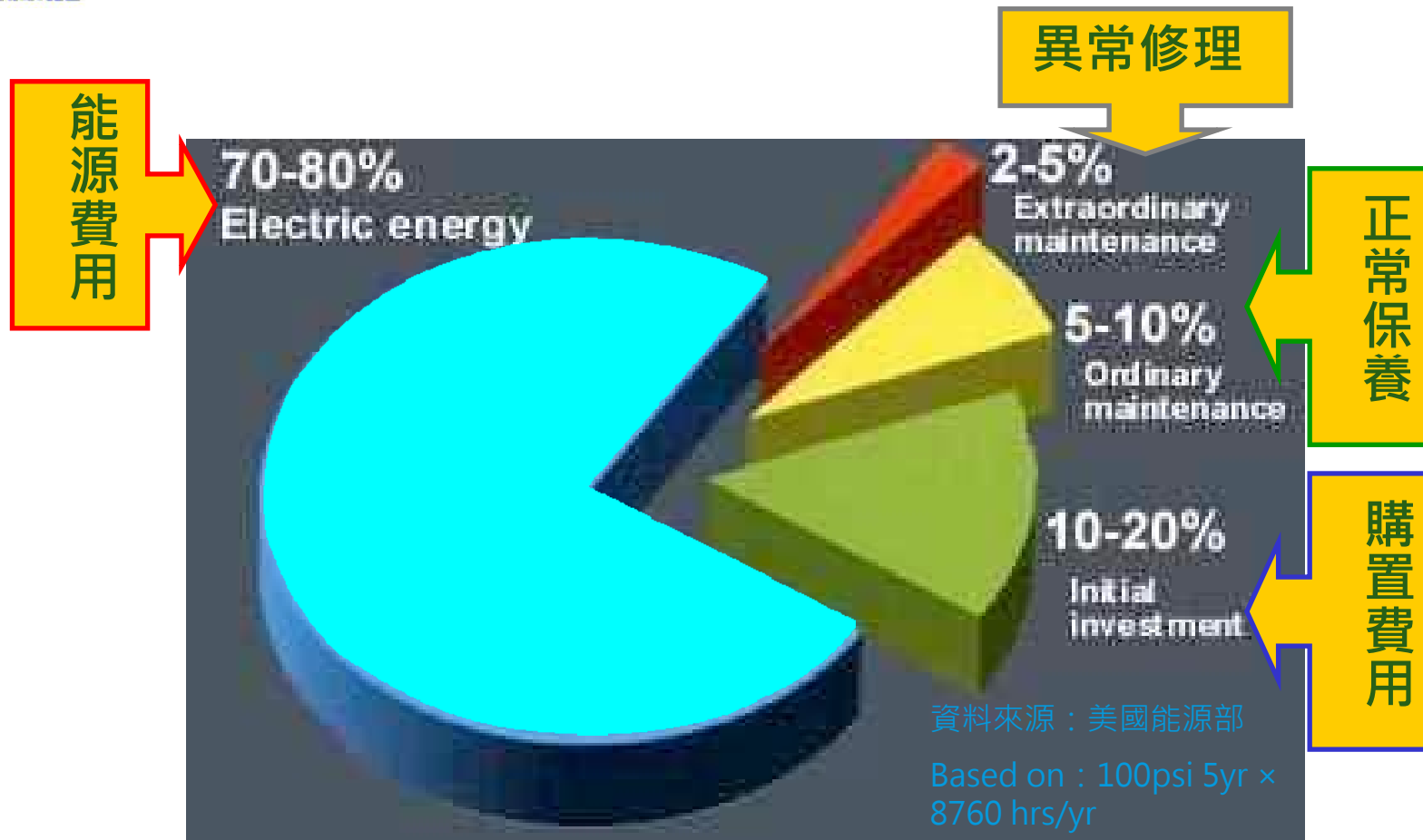




# 第二章 節能運轉與管理



# 壓縮空氣系統總運轉成本分析

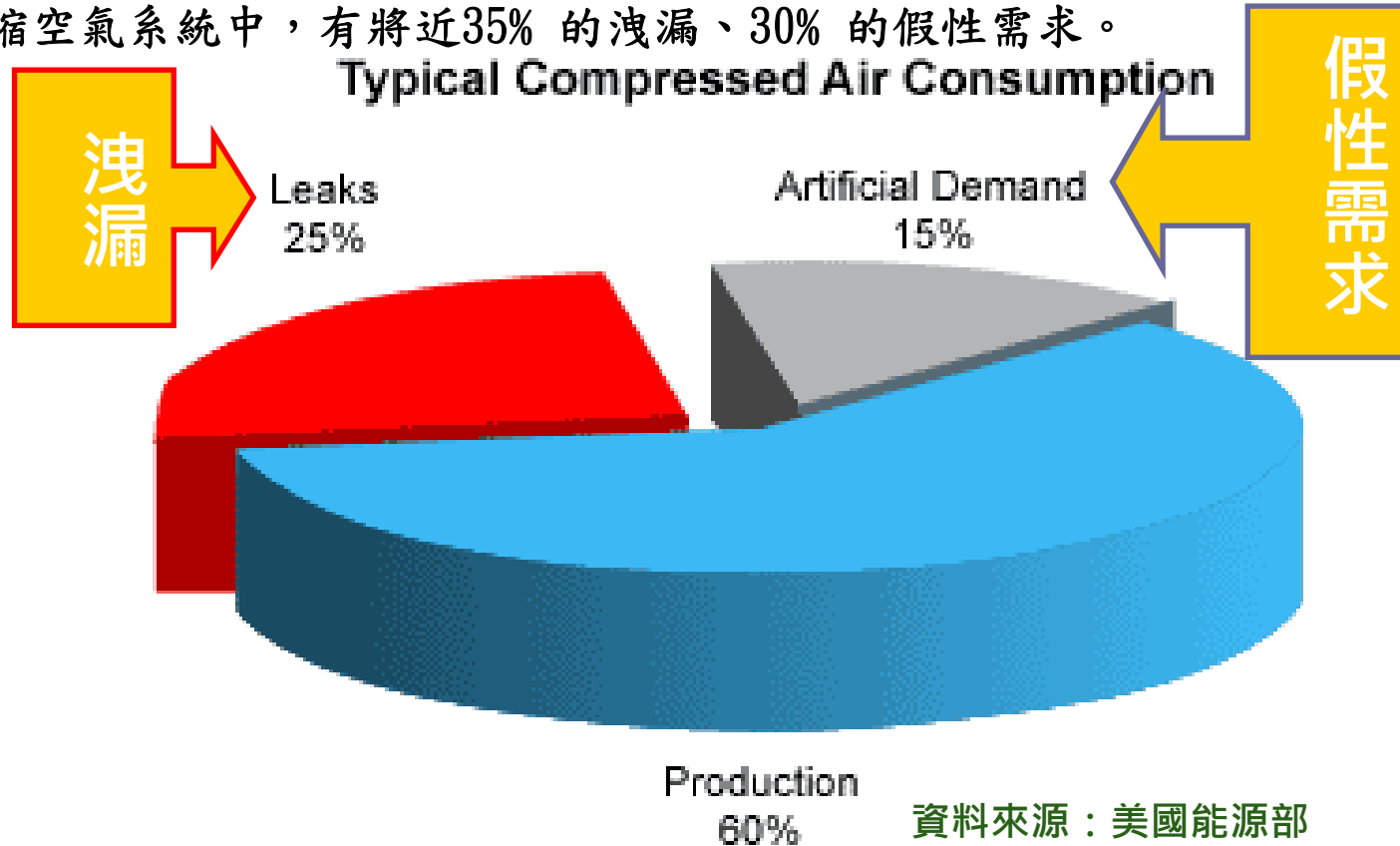


空壓機運轉**能源費用**遠大於初期**購置費用**



# 壓縮空氣系統能源費用分析

真正用於生產有關的只有60%，其餘25% 起因於洩漏、15% 乃是假性需求（如誤用、錯用、壓降等）。根據筆者多年查訪經驗估計，台灣地區用戶的壓縮空氣系統中，有將近35% 的洩漏、30% 的假性需求。

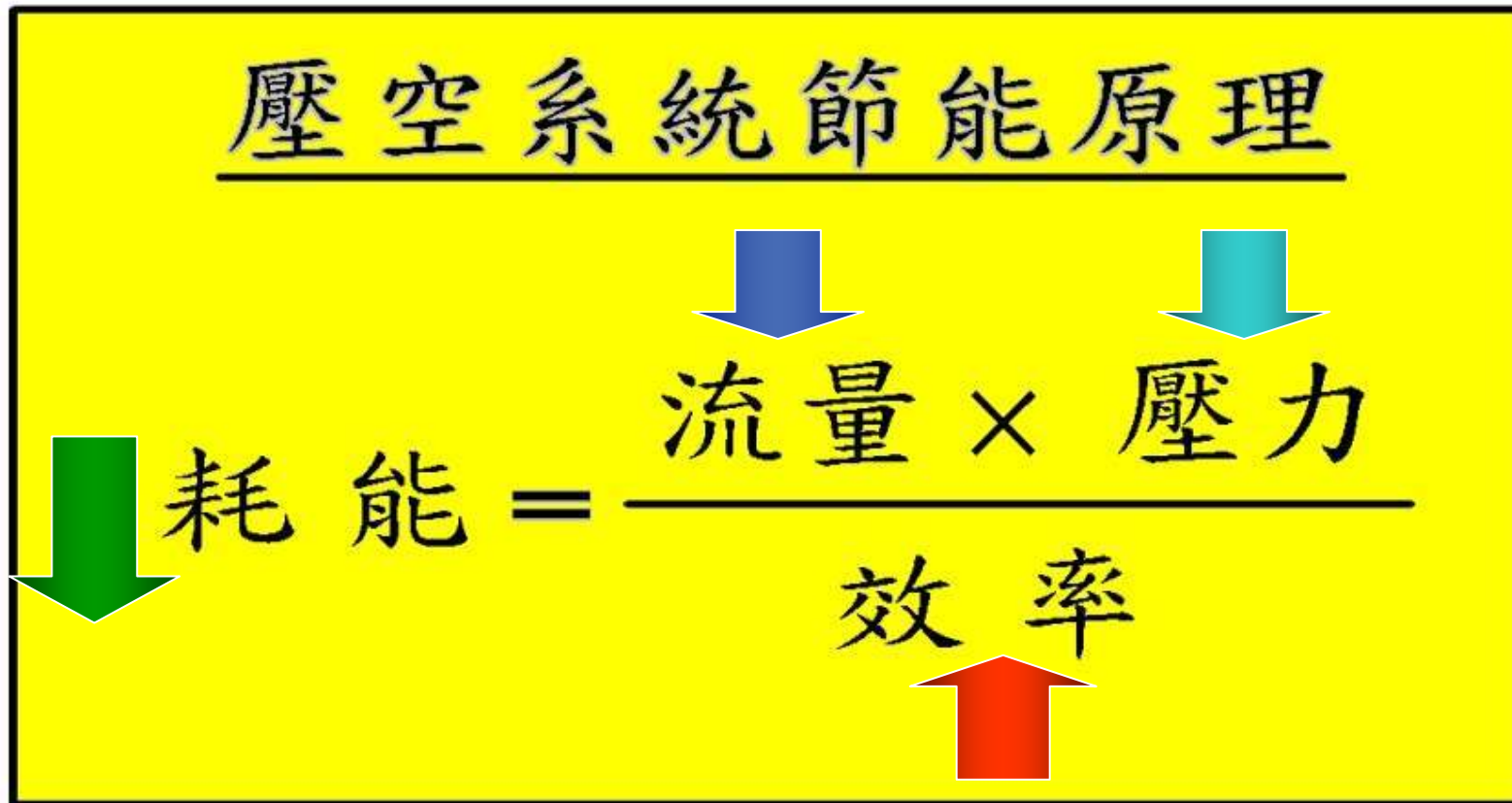


**能源費用中約 40% 係洩漏與假性需求所致**

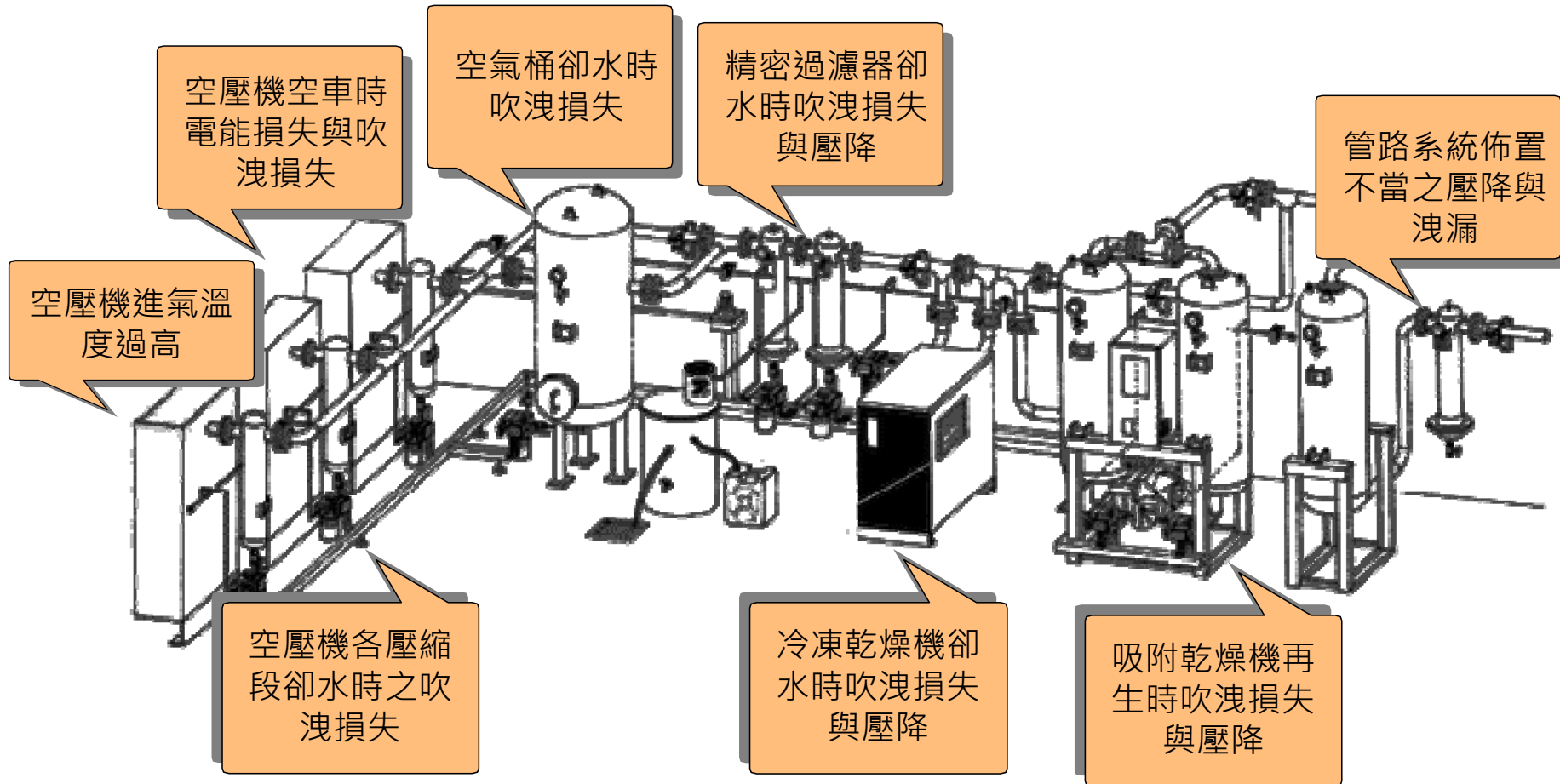


# 壓縮空氣系統節能原理

如圖，壓縮空氣的「電費支出」=「系統的流量」×「系統的壓力」÷「系統的效率」。而節能莫非就是要減少「電費支出」，為達此目的就必須設法減低「系統的流量」及/或降低「系統的壓力」及/或提高「系統的效率」



# 壓縮空氣系統能源損失圖





# 降低空壓機入口溫度的節能效益

Air temperature reduction intake °C

COMPARATIVE AVERAGE LOAD (kW)	3		6		10	20		
	kWh SAVING	\$ SAVING	kWh SAVING	\$ SAVING	kWh SAVING	\$ SAVING	kWh SAVING	\$ SAVING
4	80	8	160	16	164	26	528	53
7.5	150	15	300	30	495	50	990	99
11	220	22	440	44	725	73	1 450	145
15	300	30	600	60	990	99	1 980	198
22	440	44	880	88	1 150	145	2 900	290
30	600	60	1 200	120	1 980	198	3 960	396
37	740	74	1 480	148	2 440	244	4 880	488
55	1 100	110	2 200	220	3 725	363	7 251	725
75	1 500	150	3 000	300	4 950	495	9 900	990
110	2 200	220	4 400	440	7 260	726	14 520	1 452

由上表可得知，一台75kw (100hp)的空壓機，每降低進氣口溫度10°C，在操作壓力為7bar，每年運轉小時為2,000小時之條件下，以每度電費2元計算，每年可節約電度4,950度，相當於節省電費支出新台幣9,900元。

# 多機連鎖控制的節能效益

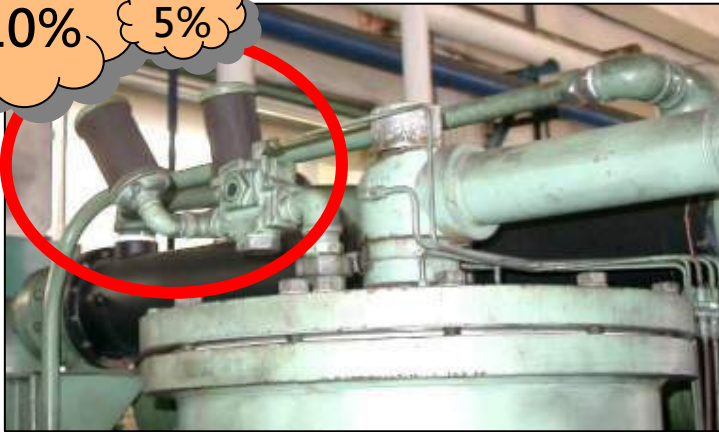


由上圖可知，在未連鎖前，空壓機根據本身的壓力設定範圍進行空重車運轉，將形成三台都有空車的現象；經連鎖後，會只剩下一台在空重車。根據圖中右表可計算出，連鎖前後的電力耗用約為1.24：1.00。假定每台空壓機均為100hp，每度電費為2元，每年運轉時數為2,000小時，每年將可節省電費達新台幣26萬元。運轉時數8,000小時，可省電費102萬元。



# 空壓機的洩漏損失實例

10% 5%



空壓機的洩載排放洩漏

系統資料	信息說明	更改設定	
系統壓力	630.5	進氣閥開度	60
壓力設定點	630.2	旁通閥開度	24
電機電流	90.4		
運轉時數	42070	05-12-2003	11:06:51
最小載荷		選擇加載 地址	1/4

離心空壓機旁通排放洩漏



空壓機的內部洩漏



管路接頭不良造成的洩漏

# 各卻水點的洩漏損失實例



離心式中間段卻水洩漏



空氣桶下方卻水洩漏



浮球式卻水器排水洩漏



離心式中間段卻水洩漏

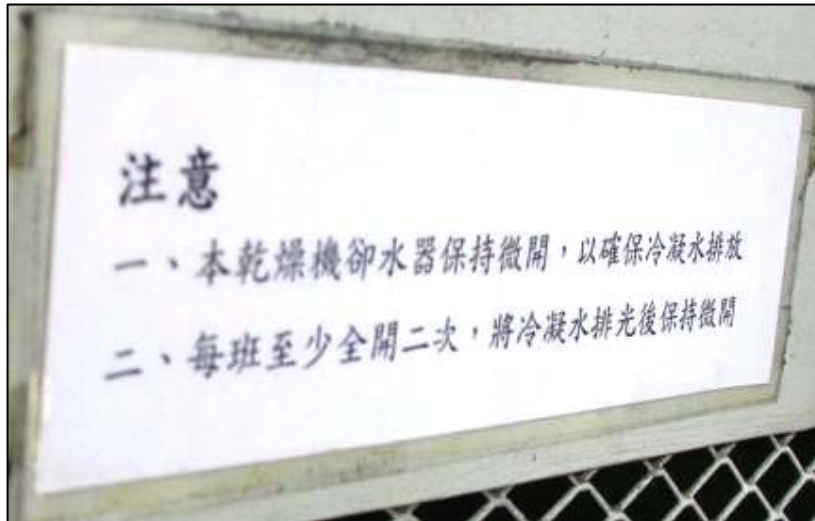


電子式卻水器排水洩漏

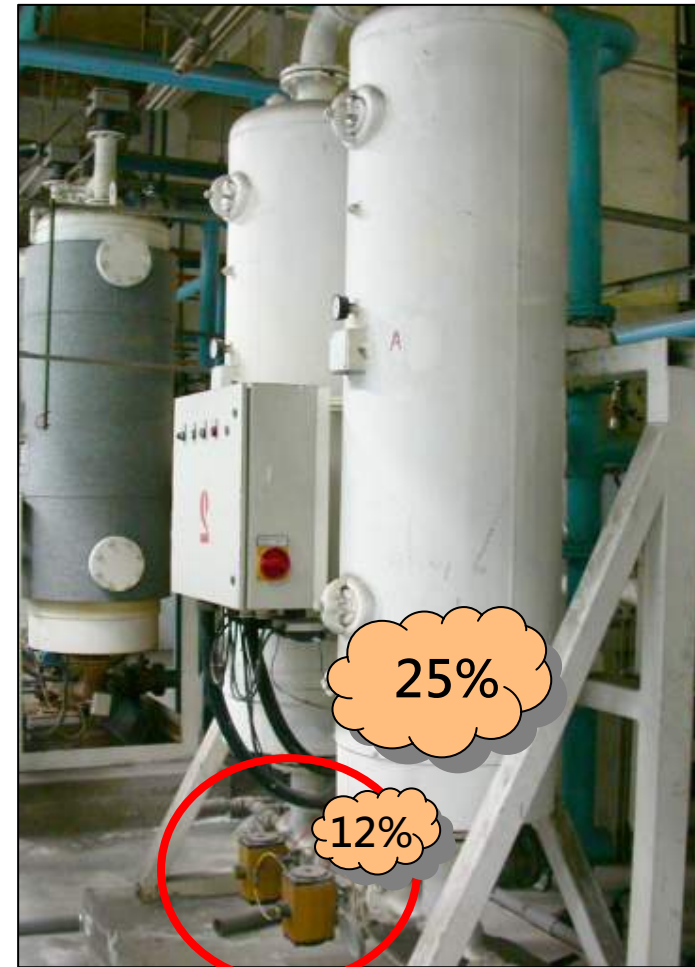


倒筒式卻水器排水洩漏

# 乾燥機的排放洩漏實例



乾燥機的冷凝水排放洩漏



無熱吸附乾燥機的再生排放洩漏



# 減少壓空洩漏的節能效益

不同開口孔徑在不同壓力之下的空氣洩漏量(CFM)

壓力 (psig)	洩放孔徑(英吋)					
	1/64	1/32	1/16	1/8	1/4	3/8
70	0.3	1.2	4.8	19.2	76.7	173
80	0.33	1.3	5.4	21.4	81.7	193
90	0.37	1.5	5.9	23.8	94.8	213
100	<del>0.41</del>	<del>1.6</del>	<del>6.5</del>	<del>26.0</del>	104	234
125	0.49	2.0	7.9	31.6	126	284

註：洩放孔為全圓式開口時，乘**0.97**的洩放係數。洩放孔為半開尖銳開口時，乘**0.61**的洩放係數。

**舉例說明：**一般最為常見的洩漏發生在1/4“半開閥式的卻水裝置，假設每度電為2元，每年運轉時數為8,000小時，排氣壓力為100psig，噴嘴係數為61%。其洩漏量為 $104 \times 0.61 = 63.4$ CFM。以標準空壓機的耗能比值為4cfm/hp計算，如此的洩漏相當於15.9hp的耗能。每年將浪費電費達新台幣23萬元。



# 美國地區CDA 節能措施與效益

節能措施 (美國地區)	平均節 能率	最大節 能率	平均回 收年限
減少壓空洩漏	26.3%	59.3%	0.9
降低系統壓力	2.0%	10.6%	1.3
安裝/調整空車控制 系統	10.5%	33.5%	0.8
採用多機連鎖	7.6%	33.6%	2.7
減低總運轉時數	2.6%	15.8%	< 0.1
總節能比率 (per plant)	43.7%	65.0%	0.8



## 減低系統的流量

- 根據筆者十年多來診斷各行各業近千家用戶的用氣經驗顯示，用戶空壓機的重車時數（有產生壓縮空氣的時數）約為總運轉時數的60%到75%之間，換言之，有25%到40%的時間處於空車狀態（只吃電不打風）。更值得注意的是，真正用於生產的壓空佔比通常低於50%（美國能源部的統計約為60%）。也就是說，您工廠的壓空電能約有一半是白浪費掉的。因此壓空節能的第一步就是找到不當流掉的壓縮空氣並且採取有效的抑止方案，在不影響生產的前提下，減低「系統的流量」，關掉空壓機。
- 「減少壓空洩漏」方面：平均節能率為26.3%，最大節能率為59.3%，平均投資回收年限（ROI）為0.9年。
- 根據圖2-4實際量測所得，一個5.0釐米的孔，洩漏量為1.6 m<sup>3</sup>/min，耗功率為8.3kW，每年2,000小時的運轉時數下就耗掉16,600的電度。
- 壓空洩漏另一項嚴重議題是會造成壓縮空氣網管的開路問題（Open piping）網管將無法建壓或站壓，空壓機會怎麼打都打不停。



# 減低系統的流量

Hole Diameter (mm)	Air leakage @ 6 Bars (m <sup>3</sup> /min)	Power Required for compression (kW)
1	0.06	0.3
3	0.6	3.1
5	1.6	8.3
10	6.3	33

Loss Of Air Through a Smooth Orifice (SCFM)						
Gauge Pressure	1/32"	1/8"	1/4"	3/8"	5/8"	7/8"
30	0.633	10	41	91	253	496
60	1.06	17	68	152	423	828
90	1.48	24	95	213	592	1161
100	1.62	26	104	234	649	1272
120	1.91	31	122	274	762	1494
125	1.98	32	126	284	790	1549



# 降低系統的壓力

- 穩定的系統壓力對製程有相當大的影響，用戶為求穩定的壓力及設置的方便性，通常採取同一水準的高輸出壓力，經過不同調壓閥分別調整到末端需求壓力的方式來確保。此舉當然會造成電能的損失。根據查理定律「壓力」×「體積」=常數，也就是說同馬力的空壓機，在吐出壓力越高時，其排氣量就越少，一般而言2psi的壓力降相當於1%的電能損失。在筆者能源查核過程中，以7K~9K的空壓機吐出壓力提供5K,3K甚至1K的末端壓力使用，屢見不鮮，在昇壓再降壓的過程中，電能的浪費不言可喻。此外，乾燥機、過濾器、管徑及管路佈置等所造成的壓降也是很重要的因素。
- 系統壓力無法調降的主要原因有：
  1. 開路的網管(Open piping)問題
  2. 管路管徑過小問題
  3. 系統元件阻塞問題



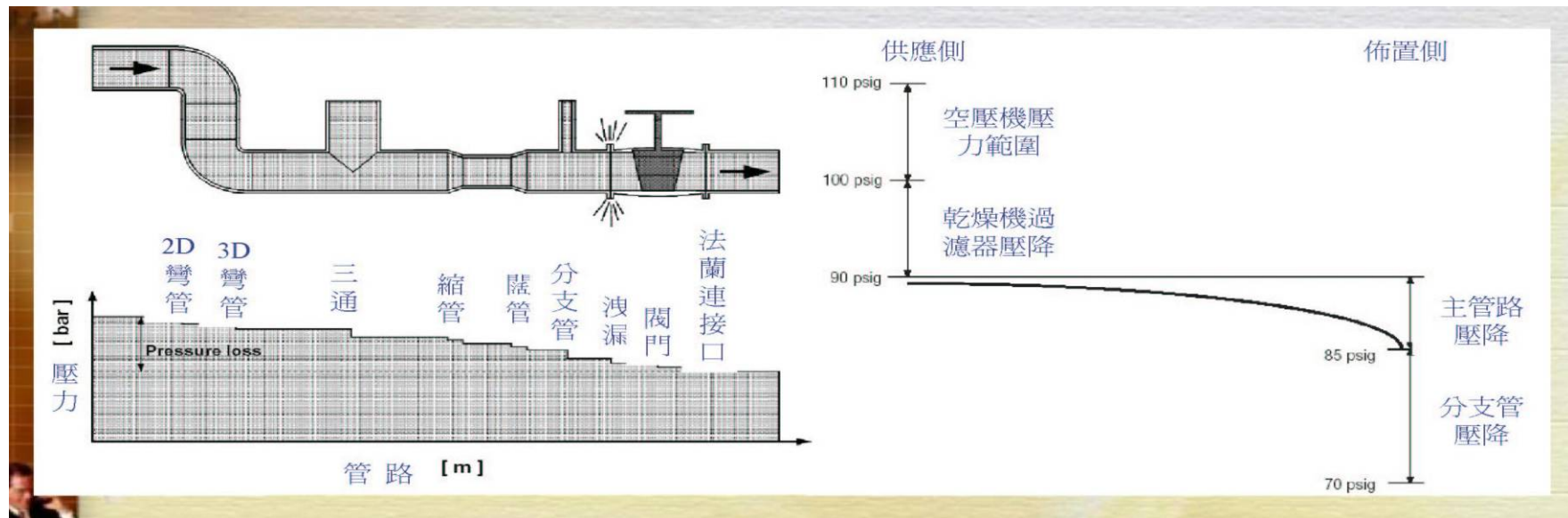
# 降低系統的壓力

Pressure Reduction		Power Savings (%)		
From (bar)	To (bar)	Single-stage Water-cooled	Two-stage Water-cooled	Two-stage Air-cooled
6.8	6.1	4	4	2.6
6.8	5.5	9	11	6.5

Pipe Nominal Bore (mm)	Pressure drop (bar) per 100 meters	Equivalent power losses (kW)
40	1.80	9.5
50	0.65	3.4
65	0.22	1.2
80	0.04	0.2
100	0.02	0.1

# 降低系統的壓力

壓縮空氣系統的管路壓力降來源包含空壓機本身空車到重車的壓力範圍（一般壓力開關控制約 $2\sim 3\text{kg/cm}^2\text{G}$ ，壓力感測器控制約 $0.5\sim 1\text{kg/cm}^2\text{G}$ ，變頻控制約 $0.1\sim 0.3\text{kg/cm}^2\text{G}$ ），冷凍式及吸附式乾燥機本身的必要壓差，精密過濾器組等附屬設備的必要壓差；管路中直管、彎管、三通、縮管、擴管、分支管、連接管、閥件等的壓損；整個管路系統中洩漏所造成的壓力降及經過後端三點組合、調壓閥的壓差等等。若不能有效管理此等壓力降，就必須以提高空壓機的排氣壓力來彌補。而每調高空壓機的排氣壓力 $1.0\text{bar}$ 將導致6%的電力及8%的排氣損失。





# 提高系統的效率

- 「系統的效率」泛指空壓機的耗能比值（單位馬力的排氣量）及馬達的運轉效率。此外，廣泛的系統效率還包含了空壓機的設計壓力與壓縮段數、進氣溫度與壓力露點的高低、系統控制的優劣、淨化設備與週邊設備的效率、冷卻系統的良好等。事實上，整個壓縮空氣系統是否能做到最佳能源效率，在構建壓空系統時就已掌握成敗的關鍵。
- 評判系統效率的最佳方式就是要建立系統能源效率的基準線。
- 在「安裝/調整空車控制系統」方面：平均節能率為10.5%，最大節能率為33.5%，平均投資回收年限（ROI）為0.8年。在「採用多機連鎖」方面：平均節能率為7.6%，最大節能率為33.6%，平均投資回收年限（ROI）為2.7年。在「減低總運轉時數」方面：平均節能率為2.6%，最大節能率為15.8%，平均投資回收年限（ROI）少於0.1年。

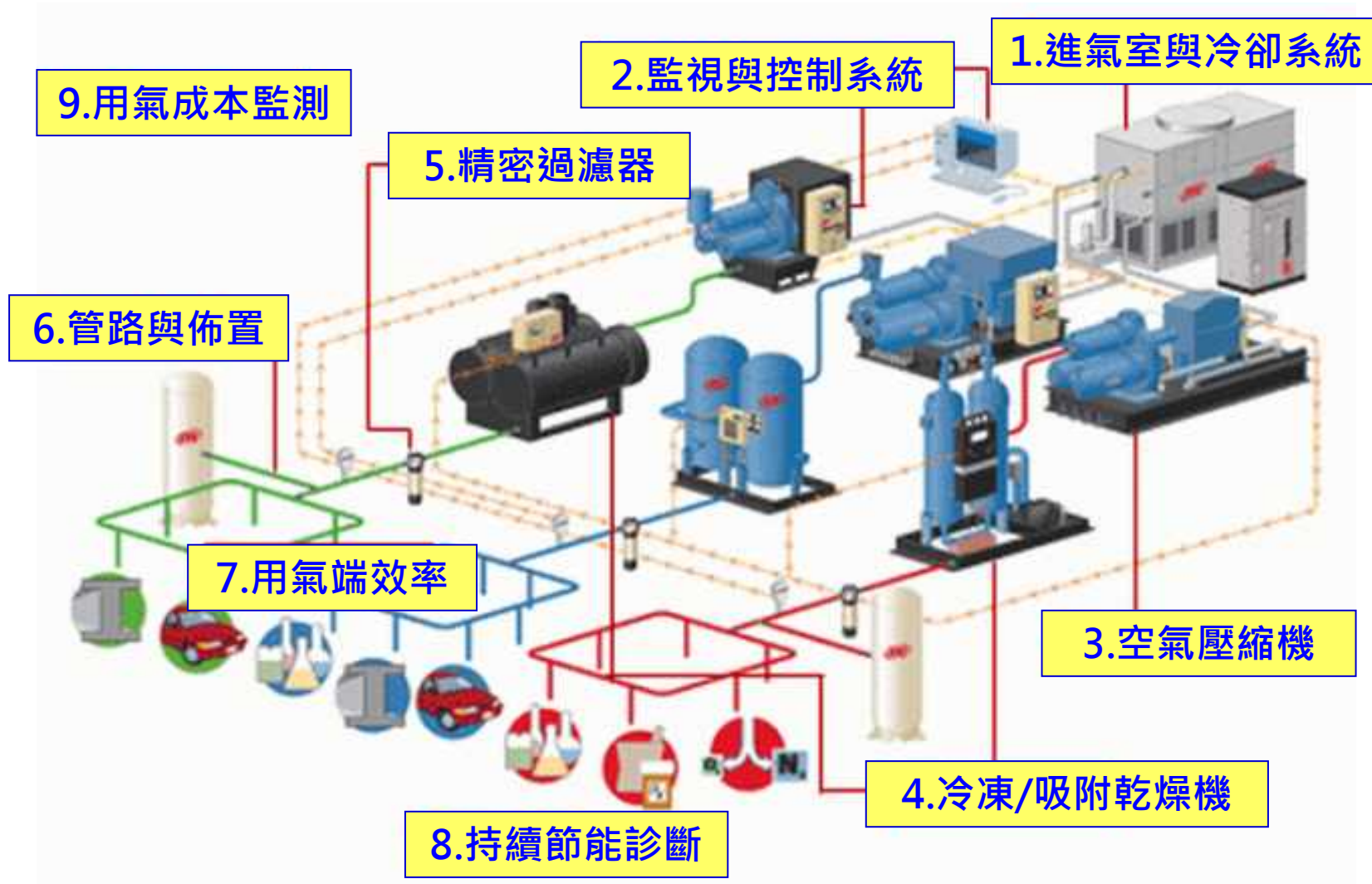


# 第三章 節能效益評估



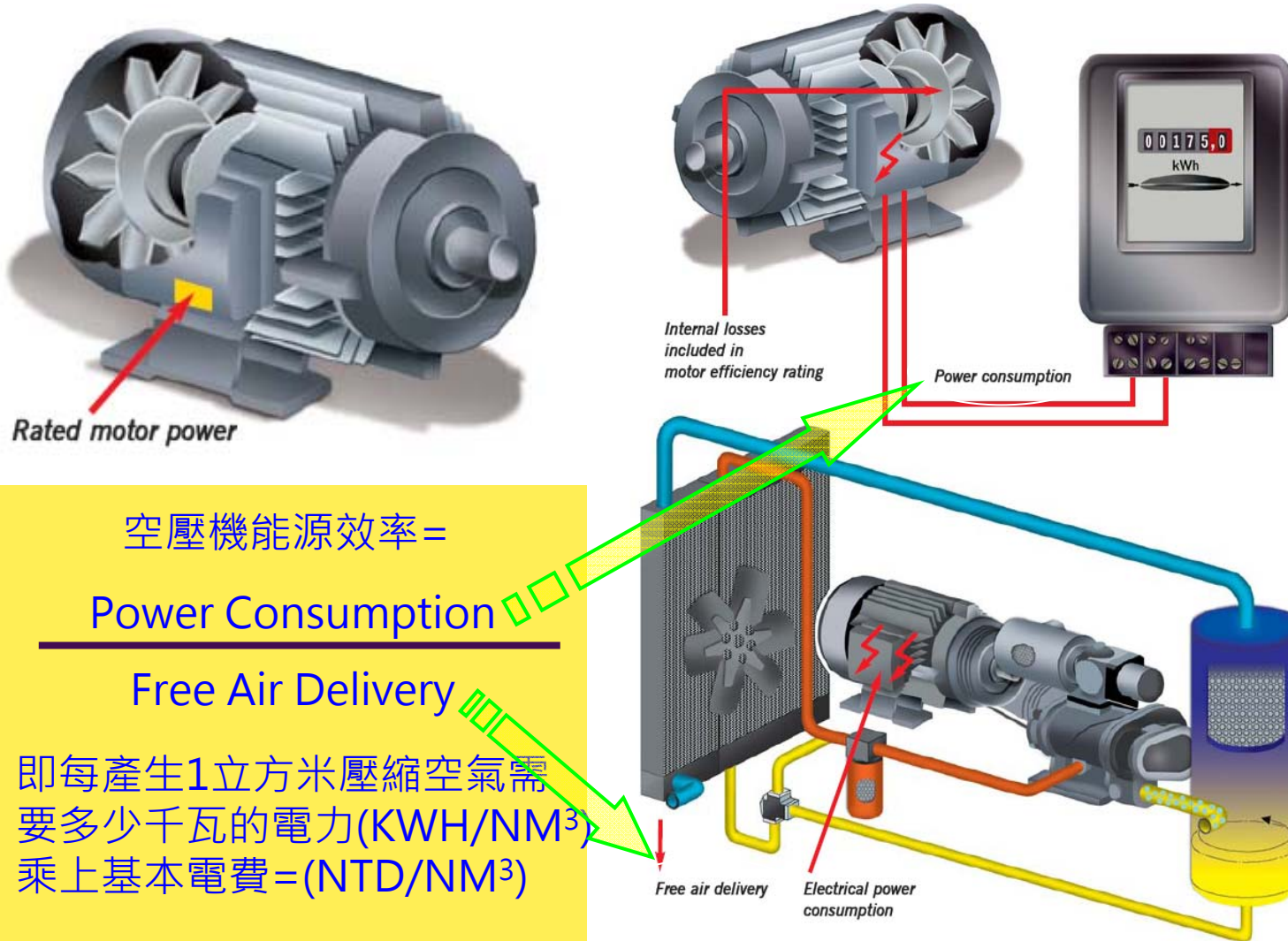
# 壓縮空氣系統診斷

# 壓縮空氣系統節能診斷要素





# 空壓機的能源效率定義



空壓機能源效率 =

$$\frac{\text{Power Consumption}}{\text{Free Air Delivery}}$$

即每產生1立方米壓縮空氣需要多少千瓦的電力(KWH/NM<sup>3</sup>)  
乘上基本電費=(NTD/NM<sup>3</sup>)



# 選用空壓機的十大考量因素

1. 壓縮空氣的用途：絕大多數的使用者在選購空壓機時，鮮少考慮壓空用途，因此經常造成混用或錯用。是壓空系統耗能的最大元凶。
2. 最低使用壓力：訂購空壓機前，我們應該先了解各個用氣端的最低使用壓力，再加上管路及淨化設備等的必要壓降與空壓機空重車的壓力範圍，就可決定空壓機的額定排氣壓力。若最高與最低使用壓力差達3bar時，就必須考慮「高低壓分流」。再根據尖、離峰的負載變化來選擇不同型式的空壓機。「基載」使用離心式（單機 > 75CMM）或螺旋式（單機 < 60CMM）；「變動負載」使用多台螺旋式搭配變頻式；「瞬間負載」使用高壓空壓機與大型儲氣桶來因應。
3. 尖離峰需求風量：絕大多數的用戶通常以「定馬力」的方式選用空壓機，事實上「定風量」才是比較正確的方法。用戶應該根據尖離峰的需求風量來選用與配置不同型式與大小的空壓機，設法讓每個用氣時段的耗氣量與空壓機的排氣量相一致。
4. 用氣品質要求：壓縮空氣必須根據不同的用氣品質要求，進行不同的處理。通常我們將壓縮空氣分成廠用（PA）、儀用（IA）、呼吸用（BA）及特殊製程用（SPA）等。通常根據ISO 8573-1壓縮空氣品質標準，選用與配置不同型式與等級的乾燥機與精密過濾器。過好的用氣品質浪費能源，不足的用氣品質影響製程，必須慎重考量。
5. 控制技術：最早期的空壓機使用「機械式壓力開關」來進行單機ON/OFF控制，1980年代隨著PLC可程式控制器的興起，有所謂「多機順序控制」，不過都只停留在對空壓機本身的電器控制上，對省能並無幫助。直到1990年代後期空壓機才進入PC-Based的「多機連鎖控制」，2000年起「變頻控制」技術也風起雲湧。「多機連鎖」、「變頻變速」及「遠端監控」等技術，能有效抑制離心式的BOV及螺旋式的空車浪費（節約電費25-40%），減少備機容量與投資（15-30%），穩定供氣壓力（±0.1bar）。控制改善可達到近30%的省能效益。

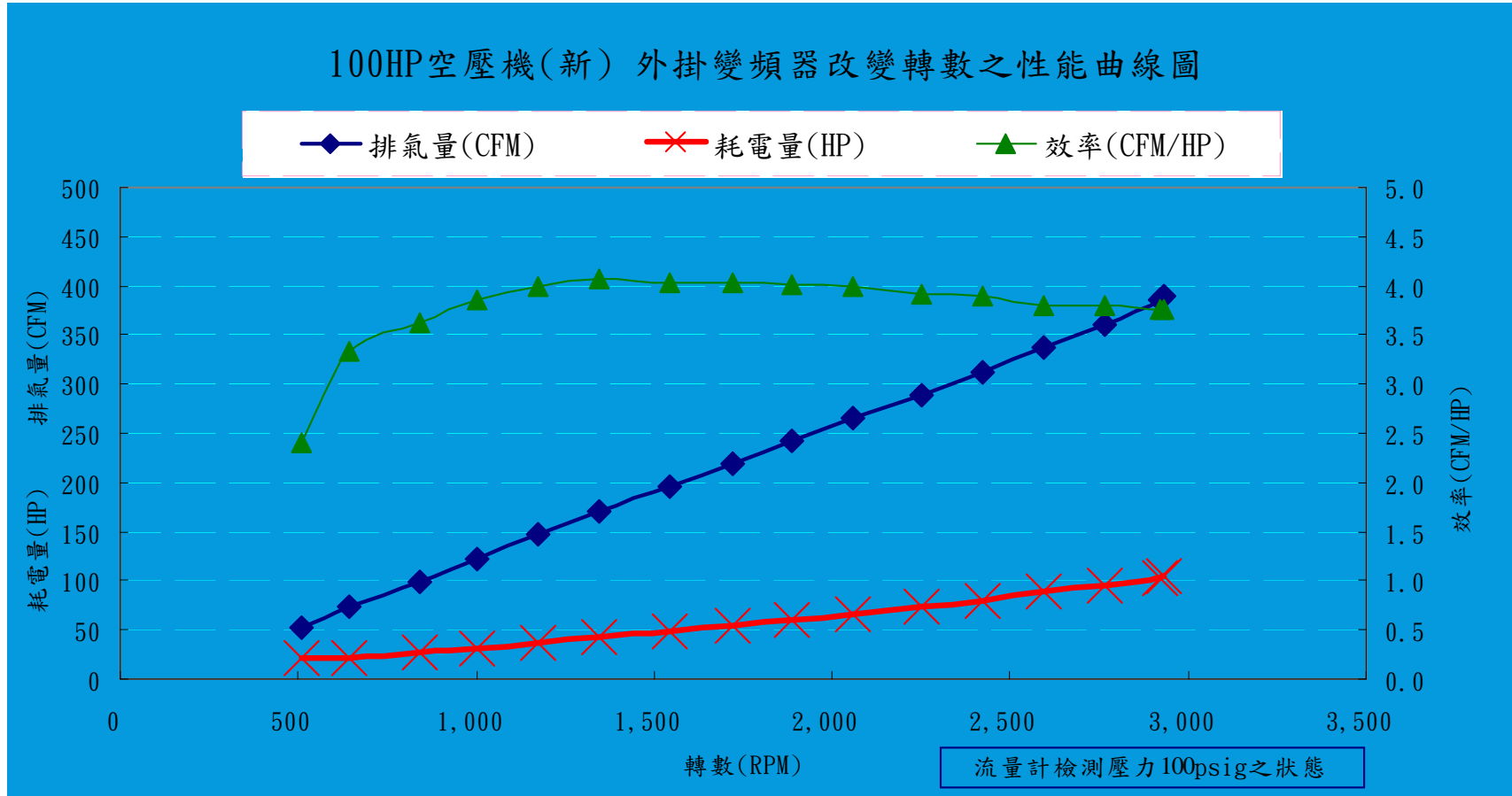


# 選用空壓機的十大考量因素

6. 運轉效率：定馬力的結果，導致用戶通常決定了空壓機的馬力數後，就認為同一額定馬力的空壓機，在同一壓力之下排氣量越大效率就越高。話雖不錯，然而排氣量的量測標準、計量單位及馬達是否有超載等，卻暗藏玄機。不能只比較型錄上的標稱馬力與風量，重點是實際的「性能曲線」與「每單位體積的耗電量」。
7. 安裝通風：相較製程與空調設備，空壓機購置價格相對低廉、耐操、要求不高。因此經常放置於工廠環境最差的角落，漏油、漏氣、漏水、高溫、西曬、潮濕、塵染、通風不良、熱端循環等現象比比皆是。除不利空壓機的運轉壽命外，對於能耗也有一定程度的影響。機房空間的大小，通風條件，噪音隔絕，廢熱、廢水回收等都影響能源的使用。此外「集中式」比「分散式」有較低的安裝、保養與監控成本，也可以減少週邊設備投資。
8. 冷卻方式：空壓機的冷卻方式基本上分為氣冷和水冷兩種。除非環境特殊，通常在200HP以下建議使用氣冷，200HP以上建議使用水冷。氣冷式不必額外投資冷卻水塔與水泵，但必須有良好的通風；水冷式運轉溫度不受環境的影響，有利空壓機的壽命，唯有結冰爆裂與阻塞的缺點。強烈建議避免使用冰水冷卻，其耗能之大，不忍估算。
9. 電源規格：台灣地區頻率為60HZ，200hp以下建議使用220V、380V電壓，200hp以上建議使用3300V電壓。穩定的電壓必須特別要求，此外離心機空壓機通常為中高電壓，啟動時會造成電網衝擊，應盡量保持其經常性穩定運轉。
10. 維護保養：在保養費用上，必須著重耗材使用時數及原廠保固要求，避免使用坊間維修商低價劣品。以節能立場而言，首要考量耗材的壓差及空壓機管理。機房要有適當的保養空間及必要的吊運設施與出入通道。工程人員與保養人員也應該施予不同的節能與維修專業訓練。

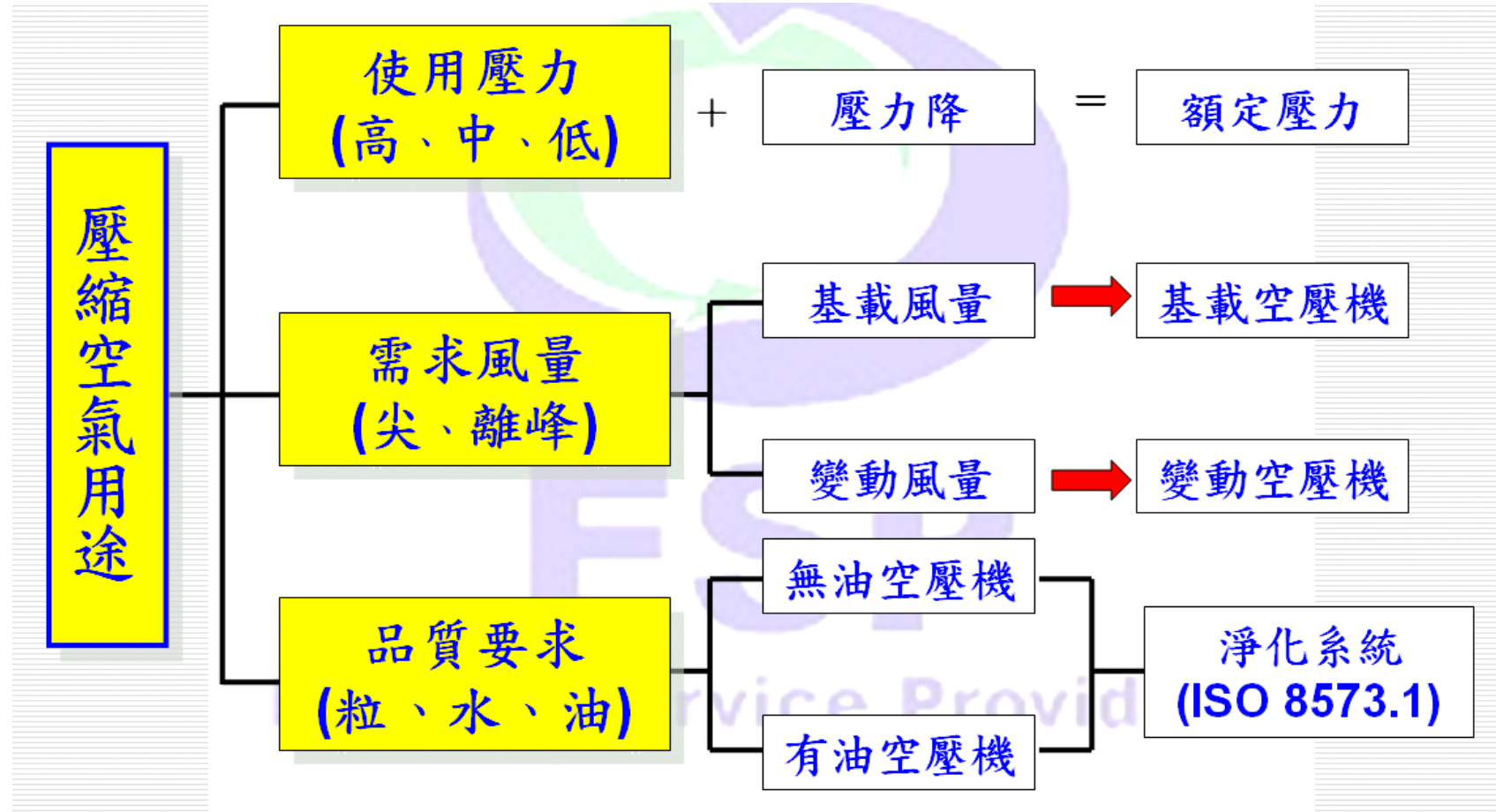


# 選用空壓機之十大考量因素





# 空壓機的節能選用要點





# 空壓機的周邊選用要點

1. 空壓機之電源規格與冷卻方式

2. 空壓機之維護保養與備用計劃

3. 空壓機之安裝與佈置

4. 空壓機房之通風與導熱

5. 空壓機之多機控制與監控系統



## 空氣流量定義與釋疑

- SCFM ( Standard Cubic Feet per Minute) : 14.7 psiA 60°F 0%RH
- ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute) : 進氣口進氣狀態的壓力與溫度
- ACFM (Actual Cubic Feet per Minute) : 排氣狀態的壓力與溫度
- OCFM (Operating Cubic Feet per Minute) : 操作狀態的壓力與溫度
- NM<sup>3</sup>/Min (Normal cubic Meters per Minute) : 1 atm 0°C 0%RH
- FAD (Free Air volume Delivered) : 排氣口進氣狀態的壓力與溫度
- Lb/Min (Pounds per minute) : 進氣溫度下的乾(0%RH)空氣磅重
- Kg/Min (Kilograms per minute) : 進氣溫度下的乾(0%RH)空氣公斤重
- Mole/Min (Moles per minute) : 進氣溫度下的乾(0%RH)空氣莫耳重



# 壓縮空氣流量換算 (ICFM→ACFM→FAD→SCFM)

ICFM入口流量 - Leakage losses洩漏 (約7.48% for 離心機)

= ACFM實際流量

ACFM實際流量 - Intake losses吸入損失

(3% for 1 bar reference intake vs 0.97 bar) = FAD自由空氣流量

**FAD 自由空氣流量 = ICFM流量 x (100% - 10.48 %)**

$$\text{FAD (m}^3\text{/min)} = \text{Nm}^3\text{/min} \times \frac{T_{\text{site}}}{273} \times \frac{1.01325}{P_{\text{site}} - (\text{RH}\%/100 \times P_s)}$$

$$\text{FAD (CFM)} = \text{SCFM} \times \frac{T_{\text{site}}}{288.6} \times \frac{1.01325}{P_{\text{site}} - (\text{RH}\%/100 \times P_s)}$$





# 溫濕度綜合因素對排氣量的影響

1bar，35°C，90%相對濕度時的流量100m<sup>3</sup>/min，  
換算為Normal 標準狀態之流量：

$$\begin{aligned} \text{Nm}^3/\text{min} &= \text{Im}^3/\text{min} \times \frac{\{ P_I - (RH_I \times PV_I) \}}{\{ P_N - (RH_N \times PV_N) \}} \times \frac{T_N}{T_I} \\ &= 100 \times \frac{\{ 0.1013 - (0.9 \times 0.00562) \}}{\{ 0.1013 - (0 \times 0.00051) \}} \times \frac{(273+0)}{(273+35)} \\ &= 84 \text{ Nm}^3/\text{min} \quad ( 1.013\text{bar} , \underline{0^\circ\text{C}} , 0\% \text{相對溼度} ) \end{aligned}$$



# 溫濕度綜合因素對排氣量的影響

1bar，35°C，90%相對濕度時的流量100m<sup>3</sup>/min，  
換算為Standard標準狀態流量：

$$\begin{aligned} \text{Nm}^3/\text{min} &= \text{Im}^3/\text{min} \times \frac{\{ P_I - (RH_I \times PV_I) \}}{\{ P_N - (RH_N \times PV_N) \}} \times \frac{T_N}{T_I} \\ &= 100 \times \frac{\{ 0.1013 - (0.9 \times 0.00562) \}}{\{ 0.1013 - (0 \times 0.00051) \}} \times \frac{(273+20)}{(273+35)} \\ &= 90.5 \text{ Nm}^3/\text{min} \quad ( 1.013\text{bar} , \underline{20^\circ\text{C}} , 0\% \text{相對溼度} ) \end{aligned}$$



# 由離心空壓機原廠資料證實

MODEL NO. 1		100	110	125
DISCHARGE PRESSURE	PSIG	100	110	125
	kPa	689.5	789.5	861.9
DISCHARGE PRESSURE AFTER AFTERCOOLER	PSIA	114.4	124.4	139.4
CAPACITY AT INLET CONDITIONS (1)	ICFM	3518	3499	3528
	SCFM	3051	3034	3059
	MC/MIN	99.6	99.0	99.8
	NMC/MIN	86.3	85.9	86.6
POWER AT COUPLING (2)	BHP	694	716	761
	KW	519	535	569
ISOTHERMAL EFFICIENCY	%	65.29	65.47	65.35
NATURAL SURGE	PSIA	126	137	151
THROTTLE CAPACITY BEFORE BYPASS (3)	ICFM	2919	2855	3031
THROTTLE HORSEPOWER	BHP	605	619	704
UNLOADED HORSEPOWER (4)	%	13	10	10
COOLING WATER CONSUMPTION: 25°F/14°C RISE				
INTERCOOLER(5)		US GPM	105	106
		L/MIN	424	439
AFTERCOOLER		CTD °F/US GPM	15/38	15/40
		CTD °C/L/MIN	8/144	8/151
OIL COOLER - 10°F/6°C RISE		US GPM	65	65
		L/MIN	246	246
TOTAL - PARALLEL FLOW		US GPM	208	211
		L/MIN	787	799
INPUT SPEED	RPM	3575	3575	3575

ICFM(3518) → SCFM(3051) 流量足足少了15.3%，最低節流量 (2919，83%)耗功率BHP 605kw(Full Load 之87.2%)



## 由離心空壓機原廠資料證實

NOTES:

Performance data listed are nearest standard build with the following footnoted comments:

- (1) Inlet conditions defined as P Baro = 14.4 PSIA/.98 Bar, P inlet = 14.1 PSIA/.972 Bar, T Inlet = 95°F/35°C, RH = 60%, T water in = 80°F/26.7°C.

型錄標稱的流量是在入氣壓力0.972Bar 入氣溫度35°C 入氣溼度60%RH 冷卻入水溫度 $T_{CWI}$  26.7°C 之條件下在進氣口端量測的ICFM (根據ASME-PTC10標準)



## 螺旋式空壓機排氣量的量測

- 螺旋式是以FAD計算，即由空氣輸出量，它是以空氣濾清器進口端算起，直至後冷卻器出口端，進氣是在標準情況下計算，即空氣進口溫度為 $20^{\circ}\text{C}$ ，冷卻水溫度為 $20^{\circ}\text{C}$ ，空氣進口壓力為 $1\text{bar(a)}$ ，已扣除了壓縮機及冷卻器的洩漏。
- 螺旋式壓縮機排氣不受氣候的影響，在天冷天熱時都一樣，因為它是容積變化，由大到小，天冷天熱容積都一樣。



# 由螺旋空壓機原廠資料證實

Maximum working pressure	bar g	8.0	8.0	10.5	8.0	10.5	8.0	10.5	9.3	
Minimum working pressure	bar g	4.0	4.0		4.0		4.0		4.0	
Ambient temperature - min/max	°C	0 to 40								
Maximum working pressure	FAD*	m <sup>3</sup> /min	24.81	24.55	29.85	29.56	35.48	35.20	42.08	41.97
	Total package input power	kW	165.62	193.48	198.84	232.07	235.28	267.44	284.59	305.86
5 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min	25.30	30.18	25.30	35.82	30.18	42.33	35.82	42.33
	Shaft power	kW	138.00	150.00	138.00	180.00	150.00	222.00	180.00	222.00
	Total package input power	kW	150.61	163.47	150.61	195.63	163.47	240.64	195.63	240.64
6 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min	25.09	30.06	25.09	35.69	30.06	42.23	35.69	42.23
	Shaft power	kW	141.00	160.00	141.00	191.00	160.00	233.00	191.00	233.00
	Total package input power	kW	153.83	174.19	153.83	207.42	174.19	252.43	207.42	252.43
7 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min	24.92	29.95	24.92	35.57	29.95	42.14	35.57	42.14
	Shaft power	kW	145.00	170.00	145.00	204.00	170.00	246.00	204.00	246.00
	Total package input power	kW	158.11	184.91	158.11	221.35	184.91	266.37	221.35	266.37
8 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min	24.81	29.85	24.81	35.48	29.85	42.08	35.48	42.08
	Shaft power	kW	152.00	183.00	152.00	217.00	183.00	263.00	217.00	263.00
	Total package input power	kW	165.62	198.84	165.62	235.28	198.84	284.59	235.28	284.59
9.0 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min			24.70		29.73		35.37	41.97
	Shaft power	kW			161.00		196.00		230.00	288.00
	Total package input power	kW			175.26		212.78		249.22	305.86
10.5 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min			24.55		29.56		35.20	
	Shaft power	kW			178.00		214.00		247.00	
	Total package input power	kW			193.48		232.07		267.44	
Total package input power at no load	kW	30	38	30	53	38	54	52	54	
1st stage male rotor speed	rpm	6705	7876	6705	9217	7876	10719	9217	10719	
2nd stage male rotor speed	rpm	10272	12002	10272	13826	12002	16079	13826	16079	
Compressed air discharge temp.***	°C	10 above cooling water inlet temperature								
Free field noise level @ 1 metre**	dB(A)	77	78	77	79	78	80	79	80	
<b>Electrical Data</b>										
Nominal motor rating	kW	150	185	185	200	200	260	260	300	

\*Measured and stated in accordance with ISO1217 Annex C and Pneurop/Cagi PN2CPTC2 at reference conditions \*\* +/- 3dB(A) according to Pneurop/Cagi test code  
 \*\*\*At reference conditions - Air Intake Pressure - 1 bar a (14.5 psi a), Air Intake Temperature - 20°C(68°F), Cooling Water Inlet Temperature - 20°C(68°F), Humidity - 0%(dry)

型錄標稱的流量是在1.0Bar 20°C 0%RH TCWI  
 20°C條件下量測的FAD (根據ISO1217標準)



# 由螺旋空壓機原廠資料證實

Maximum working pressure	bar g	8.0	8.0	10.5	8.0	10.5	8.0	10.5	9.5	
Minimum working pressure	bar g	4.0	4.0		4.0		4.0		4.0	
Ambient temperature - min/max	°C	0 to 40								
Maximum working pressure	FAD*	m <sup>3</sup> /min	24.81	24.55	29.85	29.56	35.48	35.20	42.08	41.97
	Total package input power	kW	165.62	193.48	198.84	232.07	235.28	267.44	284.59	305.86
5 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min	25.30	30.18	25.30	35.82	30.18	42.33	35.82	42.33
	Shaft power	kW	138.00	150.00	138.00	180.00	150.00	222.00	180.00	222.00
	Total package input power	kW	150.61	163.47	150.61	195.63	163.47	240.64	195.63	240.64
6 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min	25.09	30.06	25.09	35.69	30.06	42.23	35.69	42.23
	Shaft power	kW	141.00	160.00	141.00	191.00	160.00	233.00	191.00	233.00
	Total package input power	kW	153.83	174.19	153.83	207.42	174.19	252.43	207.42	252.43
7 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min	24.92	29.95	24.92	35.57	29.95	42.14	35.57	42.14
	Shaft power	kW	145.00	170.00	145.00	204.00	170.00	246.00	204.00	246.00
	Total package input power	kW	158.11	184.91	158.11	221.35	184.91	266.37	221.35	266.37
8 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min	24.81	29.85	24.81	35.48	29.85	42.08	35.48	42.08
	Shaft power	kW	152.00	183.00	152.00	217.00	183.00	263.00	217.00	263.00
	Total package input power	kW	165.62	198.84	165.62	235.28	198.84	284.59	235.28	284.59
9.0 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min			24.70		29.73		35.37	41.97
	Shaft power	kW			161.00		196.00		230.00	288.00
	Total package input power	kW			175.26		212.78		249.22	305.86
10.5 bar g	FAD*	m <sup>3</sup> /min			24.55		29.56		35.20	
	Shaft power	kW			178.00		214.00		247.00	
	Total package input power	kW			193.48		232.07		267.44	
Total package input power at no load	kW	30	38	30	53	38	54	52	54	
1st stage male rotor speed	rpm	6705	7876	6705	9217	7876	10719	9217	10719	
2nd stage male rotor speed	rpm	10272	12002	10272	13826	12002	16079	13826	16079	
Compressed air discharge temp.***	°C	10 above cooling water inlet temperature								
Free field noise level @ 1 metre**	dB(A)	77	78	77	79	78	80	79	80	
<b>Electrical Data</b>										
Nominal motor rating	kW	150	185	185	200	200	260	260	300	

標稱功率200kw · 實際軸功214kw · 總Package Input Power需要232.07kw ( 標稱功率+16% )



# 供應端乾燥機之節能效益檢視

## □ 乾燥機的效率管理

1. 避免要求過低的系統露點溫度。現今，許多化工廠將儀表空氣IA設定在 $-40^{\circ}\text{C}$  ( $0.117\text{g}/\text{M}^3$ )，半導體工廠將CDA設定在 $-70^{\circ}\text{C}$  ( $0.0033\text{ g}/\text{M}^3$ )~ $-100^{\circ}\text{C}$  ( $0.00005\text{g}/\text{M}^3$ )之間，都是Over Design。主因在於建廠時工程公司多半參考歐美標準(大陸型氣候，冬季平均氣溫均低於 $0^{\circ}\text{C}$ )。若以台灣亞熱帶性氣候，儀表空氣IA設定在 $-20^{\circ}\text{C}$  ( $0.880\text{ g}/\text{M}^3$ )，半導體工廠將CDA設定在 $-40^{\circ}\text{C}$  ( $0.117\text{g}/\text{M}^3$ )~ $-50^{\circ}\text{C}$  ( $0.038\text{ g}/\text{M}^3$ )之間，應已足夠。
2. 切勿使用無熱吸附式乾燥機進行壓縮空氣乾燥。因無熱吸附式乾燥機必須使用系統所產生的壓縮空氣做為乾燥再生的氣源，其每再生一次會耗掉乾燥機額定處理量20%~45%的壓縮空氣，相當不經濟。零損失外部加熱吸附式乾燥機相對耗能只有無熱吸附式乾燥機的30%，可有效節省再生耗能。
3. 切勿使用使用冰水做為空壓機冷卻水，二次的能源轉換耗能之鉅，不言可喻。



# 飽和溫度與含水量

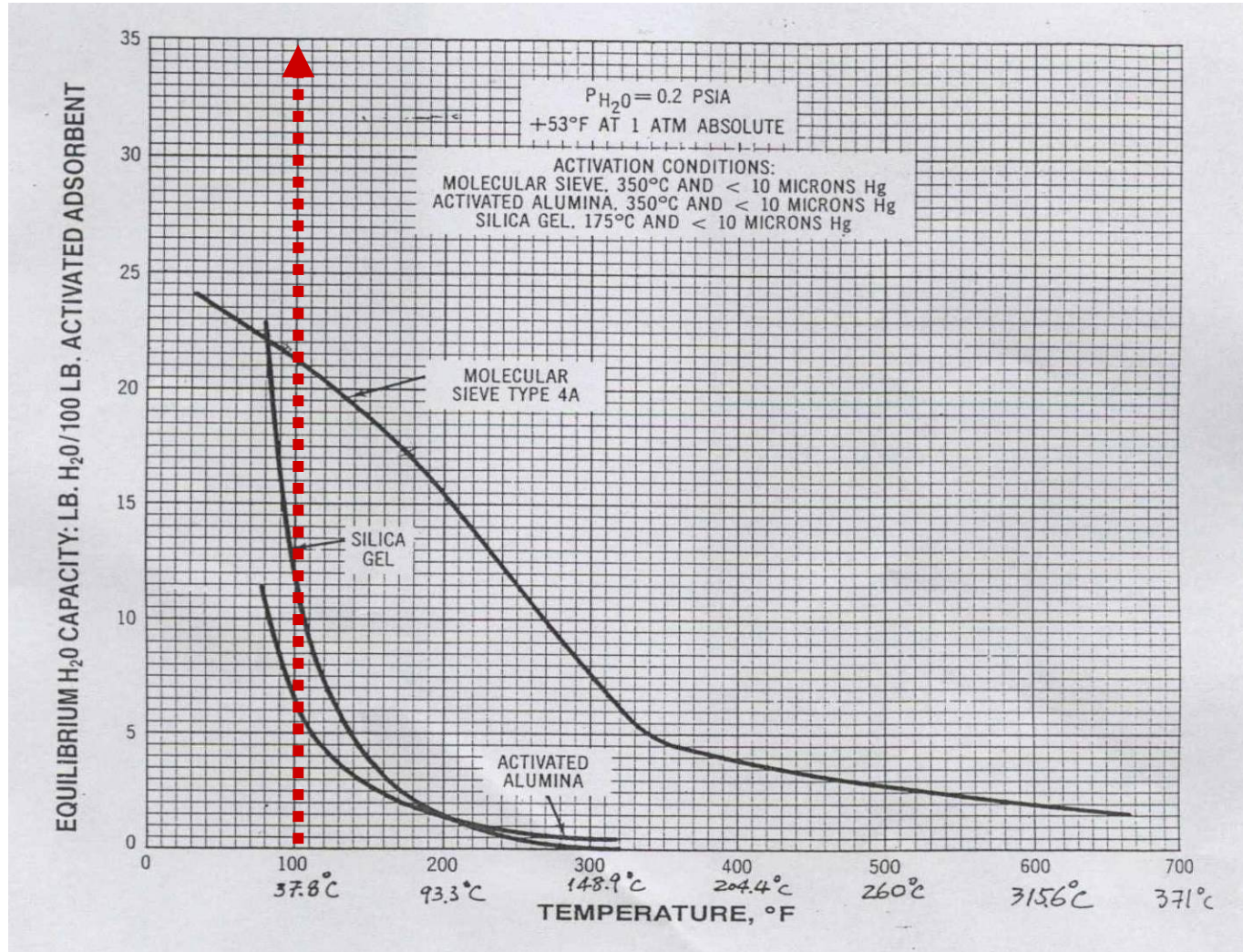
飽和濕分量表(大氣压下)

Pressure Dewpoint	Relative Humidity
+10°C	54%
+3°C	34%
-20°C	5%
-30°C	2% (Limit of Corrosion)
-40°C	0.7%
-70°C	0.016%

溫度 (°C)	濕分量 (g/m³)	溫度 (°C)	濕分量 (g/m³)	溫度 (°C)	濕分量 (g/m³)	溫度 (°C)	濕分量 (g/m³)
-87	0.0004	-52	0.0494	-17	1.37	18	15.4
-86	0.0004	-51	0.0553	-16	1.48	19	16.3
-85	0.0005	-50	0.0617	-15	1.61	20	17.3
-84	0.0006	-49	0.0689	-14	1.74	21	18.3
-83	0.0007	-48	0.0767	-13	1.88	22	19.4
-82	0.0009	-47	0.0853	-12	2.03	23	20.6
-81	0.0010	-46	0.0950	-11	2.19	24	21.8
-80	0.0012	-45	0.106	-10	2.36	25	23.0
-79	0.0014	-44	0.117	-9	2.54	26	24.4
-78	0.0016	-43	0.130	-8	2.74	27	25.8
-77	0.0019	-42	0.144	-7	2.95	28	27.2
-76	0.0022	-41	0.159	-6	3.17	29	28.7
-75	0.0026	-40	0.176	-5	3.41	30	30.3
-74	0.0030	-39	0.194	-4	3.66	31	32.0
-73	0.0034	-38	0.214	-3	3.93	32	33.8
-72	0.0040	-37	0.236	-2	4.22	33	35.6
-71	0.0046	-36	0.260	-1	4.52	34	37.5
-70	0.0053	-35	0.286	0	4.85	35	39.6
-69	0.0060	-34	0.314	1	5.19	36	41.7
-68	0.0069	-33	0.345	2	5.56	37	43.9
-67	0.0079	-32	0.378	3	5.95	38	46.2
-66	0.0090	-31	0.414	4	6.36	39	48.6
-65	0.0103	-30	0.453	5	6.79	40	51.5
-64	0.0117	-29	0.496	6	7.26	41	53.7
-63	0.0133	-28	0.542	7	7.75	42	56.4
-62	0.0151	-27	0.592	8	8.27	43	59.3
-61	0.0171	-26	0.646	9	8.82	44	62.2
-60	0.0193	-25	0.705	10	9.40	45	65.3
-59	0.0218	-24	0.768	11	10.0	46	68.5
-58	0.0246	-23	0.863	12	10.7	47	71.9
-57	0.0277	-22	0.909	13	11.3	48	75.4
-56	0.0312	-21	0.989	14	12.1	49	79.0
-55	0.0351	-20	1.07	15	12.8	50	82.8
-54	0.0442	-19	1.17	16	13.6		
-53	0.0442	-18	1.26	17	14.5		



# 吸附劑吸附能力vs入口溫度曲線表





# 中X林X廠不同型式加熱式乾燥機能耗比較

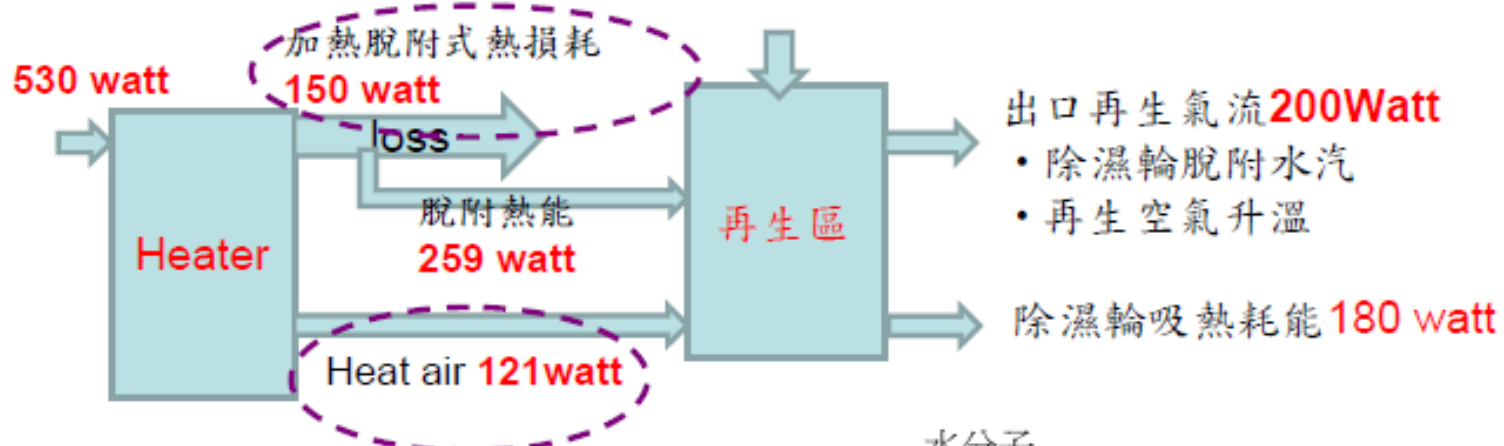
乾燥機編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
機型	外部鼓風機加熱 壓縮空氣冷卻	箱型內部加熱 壓縮空氣冷卻	外部鼓風機加熱 壓縮空氣冷卻	零損耗 壓縮熱回收式
入口量流	3,380 m <sup>3</sup> /h	6,780 m <sup>3</sup> /h	5,100 m <sup>3</sup> /h	6,000 m <sup>3</sup> /h
入口溫度	40°C	40°C	40°C	75~105 °C
出口壓力露點	- 10°C	- 10°C ~ -50 °C	- 40°C ~ -65 °C	- 40°C ~ -75 °C
平均輸出風量	3,278 m <sup>3</sup> /h	5,763 m <sup>3</sup> /h	4,900 m <sup>3</sup> /h	6,000 m <sup>3</sup> /h
Purge air 損失	102 CMH	1012 CMH	200CMH	0
平均耗電量	130 kw/hr.	27 kw/hr.	65 Kw/hr.	31 Kw
單位產氣成本	0.04142 Kw/M <sup>3</sup>	0.01895 Kw/M <sup>3</sup>	0.01735 Kw/M <sup>3</sup>	0.00517 Kw/M <sup>3</sup>
每立方米 能耗比較kw/m <sup>3</sup>	<b>7.84</b>	<b>3.38</b>	<b>2.97</b>	<b>1.00</b>



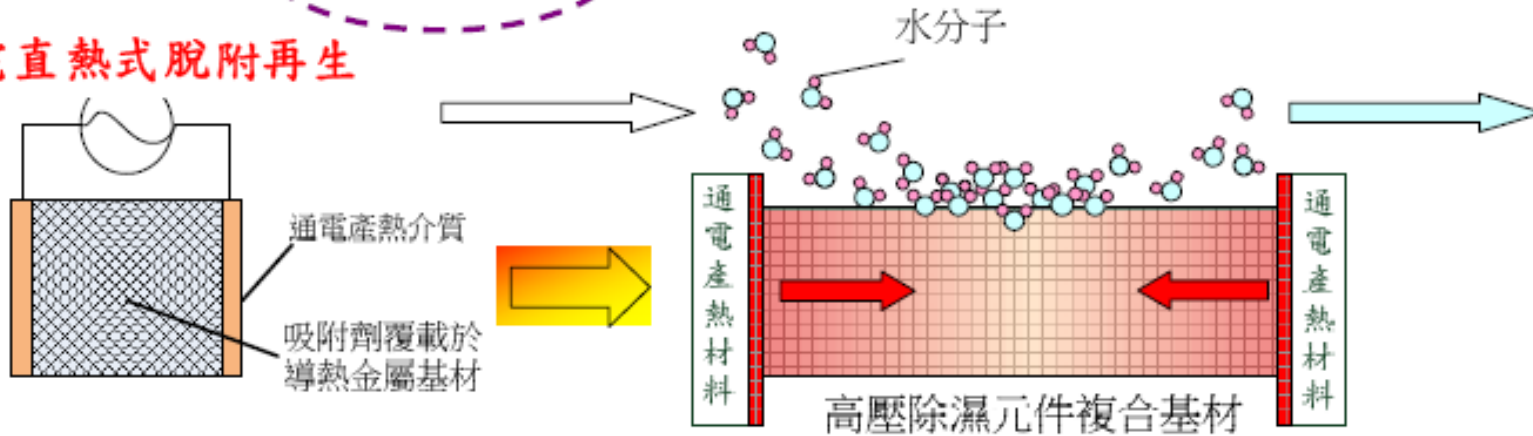
# 通電直熱吸乾機創新技術概念說明

## ■ 傳統熱風脫附法

以2公分厚分子篩除濕輪實例說明



## ■ 通電直熱式脫附再生



無須經由外部供風送熱至吸附元件上，直接將能量傳給吸附劑與水汽以完成脫附



**大幅減少熱風脫附熱損失**



# 省能潛力分析

Dryer型式	無熱式Dryer	加熱式Dryer	高效率壓縮空氣Dryer (TRD)
供風量(cmm)	30	30	30
再生氣耗(cmm)	4.5 (15%)	1.8 (6%)	0
入口濕度(kgw/kg)	0.005	0.005	0.005
入口溫度(°C)	15	15	>23
供氣露點(PDP)	- 20	- 40	- 40
再生方式	壓縮空氣 4.5cmm (再生後排至環境)	壓縮空氣1.8cmm +熱風 2.1cmm (再生後排至環境)	通電直熱再生 (壓縮空氣15cmm,再生 後回收)
再生溫度(°C)	-----	204.3	140
再生耗電(kW)	35.5	28.2 (=14.2氣耗+14)	25.9
冷凍乾燥耗電(kW)	10.6	9.7	6.1
增壓+散熱耗電(kW)	0	0	0.5 (=0.2+0.3)
耗電合計(kW)	46.1	37.9	32.4
單位供氣量耗電 (kW/cmm)	1.53	1.26	1.08
耗電評比	1	0.82	<b>0.70</b>



# 佈置端節能效益檢視

## □ 壓空管路壓力降管理

1. 慎選初始壓差值較小的乾燥機(0.3bar)與精密過濾器(0.2bar)等空壓附屬設備，適時(> 0.7bar時)加以更換。
2. 根據壓空管路佈置綱要主幹管 < 0.04bar、分支管 < 0.04bar、連接管 < 0.03bar，確保管路總壓差 < 0.1bar或總壓差值 < 空壓機排氣壓力的10%規劃環狀管路系統。
3. 按管路壓差目標計算管徑大小並選用摩擦係數小的管路材質。
4. 採用壓差值較小的三點組合、調壓閥、管路閥件（如閘閥、球閥）及彎曲半徑大的彎管。
5. 必要的三通接管處儘可能使用同一管徑，並順壓縮空氣的流動方向以“y”型入管。
6. 採用空重車壓力控制範圍窄（變頻、壓力感測器）的空壓機。儘可能接近系統最低需求壓力，來設定空壓機的排氣壓力。
7. 儘可能縮減壓空管路長度，並定期進行洩漏防治。
8. 單一高壓需求點，可另設增壓機或以獨立的壓空系統供應。

## □ 壓空管路的洩漏防治

成立壓空系統查漏小組，依據『定量』=>『偵測』=>『定位』=>『處理』的管理循環，列入ISO 9000 品質管理系統程序中，每月定期持續進行改善。



# 佈置端節能效益檢視

## □ 量測系統洩漏量：

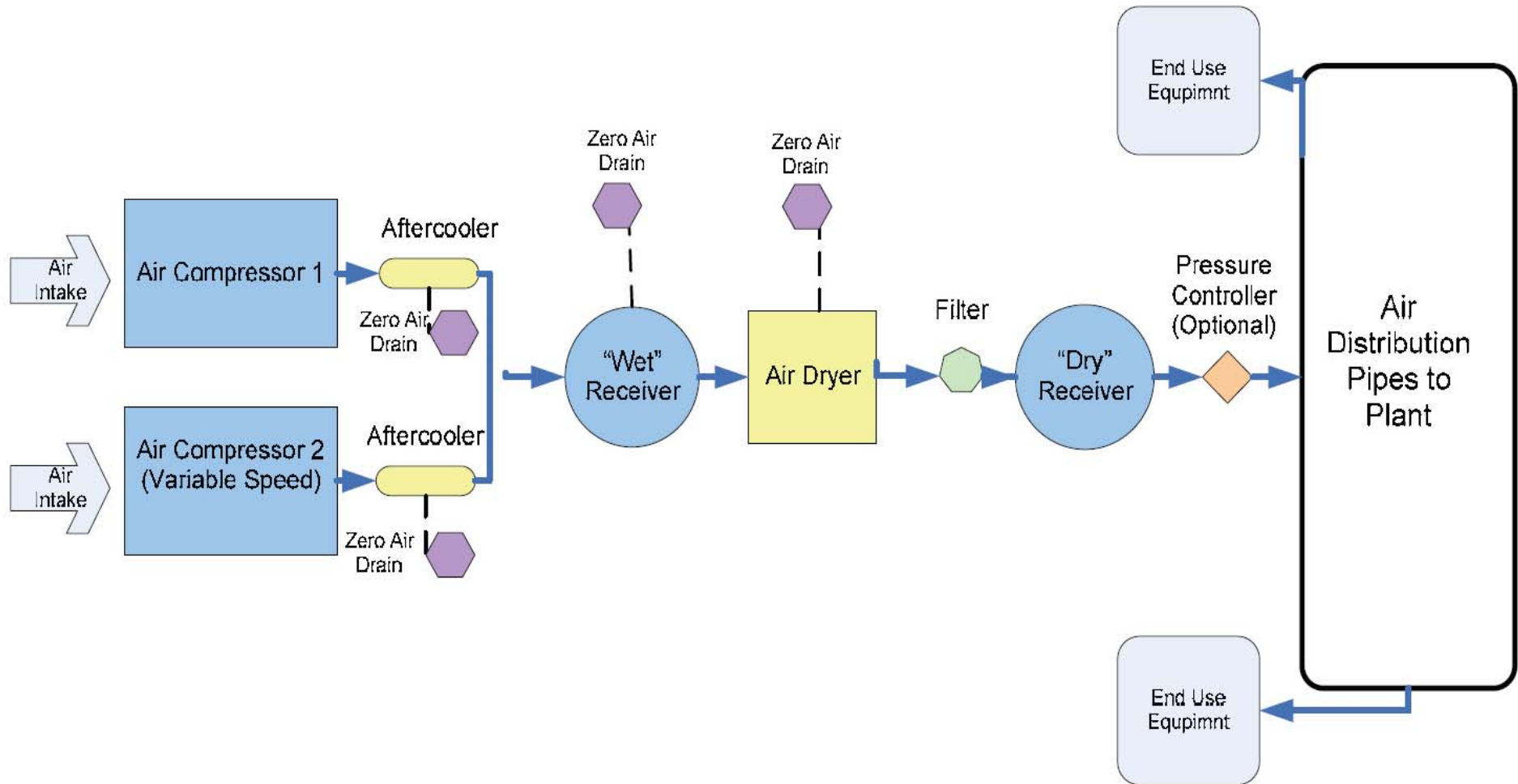
1. 觀測流量計數值，加總空壓機的總排氣量減去用氣總量可得知（經驗告訴我們系統總洩漏量可能高達30~50%）。
2. 關閉所有用氣單元，紀錄空壓機ON & OFF的時間（循環5次以上），將ON時間乘上空壓機的額定排氣量除以總運轉時間可約略估算。
3. 關閉空壓機及所有用氣單元，紀錄壓力降低的時間與數值，洩漏量約等於壓力降數值（bar）乘上系統總容積除以降壓時間。
4. 檢測並檢修洩漏點：以肥皂沫、假日監聽、超音波檢測器等方式為之。

## □ 管線最佳化：

管路壓降與管路長度成正比；與管內空氣流速平方成正比；與管徑大小成反比。為求壓降最小，必須以最低的設置成本，設法使用最短、較大、較平滑、最少彎管及接頭的管線佈置。合理的管線壓降目標為0.1~0.2 bar；空氣流速為6~10 m/s。「兩端供氣環狀管路佈置」可減少1/2的管線等效長度是最佳的佈置方式。



# 佈置側節能效益檢視\_典型佈置原則





# 使用端節能效益檢視

## □ 決定使用者需求與負載曲線

只要按照「典型壓縮空氣使用者壓力與用量需求規劃表」分別針對「壓空用途」、「使用壓力」、「需求風量」、「平均使用量」、「尖峰使用量」與「品質要求」等參數，進行使用者調查，填入表中，計算出尖峰與平均總用氣量。再乘上20%的洩漏預估及10~30%的擴充欲度考量，就可以得到尖峰與平均總規劃量。

## □ 檢討用氣端氣動工具、設備之

1. 使用效率與空氣品質 (ISO 8573.1) 是否得宜？例如：調高露點溫度；使用最適壓力（過高壓力只會增加工具的磨損與洩漏量）；使用高效率噴嘴風槍；使用單擊雙密封免洩漏快速接頭；品質分流（無油及微油空氣）等。
2. 有無更省能的替代工具、設備？例如：使用真空泵取代以壓縮空氣產生真空；以電動風扇取代壓縮空氣進行冷卻；電動馬達取代氣動馬達等。
3. 是否有高壓低用的情況？盡可能將壓縮空氣系統分成高壓、中壓及低壓三種管路，分別使用不同壓力等級的空壓機，避免以7barg空壓機經調壓成4barg使用；除非用量甚低否則也不宜使用增壓機（效率甚低）來調高壓力。
4. 各氣動設備、工具之前是否均裝有關斷閥，以利不用氣時可適時切斷之？



# 使用端節能效益檢視

典型壓縮空氣系統使用者壓力與用量需求規劃表

使用點	用氣設備	需求壓力 PsiG	需求風量 SCFM	使用率 平均 %	使用率 尖峰 %	平均用氣量 SCFM	尖峰用氣量 SCFM	露點要求 ℃	線上壓力 PsiG	備註
Pa1	空氣馬達	90	20	25	20	5	6	20	95	
Pa2	空氣噴槍	80	5	50	20	2.5	3	5	95	
Pa3	氣動砂輪	90	20	30	15	3	3.45	20	93	
Pa4	氣壓缸	90	30	75	10	22.5	24.75	5	92	
Pa5	氣動泵	90	15	25	0	3.75	3.75	5	85	
Pa6	儀表用氣	60	25	15	30	3.75	4.88	-20	93	
Pa7	掛絲用氣	150	30	100	0	30	30	5	93	
Pa8	一般清潔用	90	20	30	20	6	7.2	20	95	
Pa9	產品清潔用	80	30	50	20	15	23	-20	90	
						總使氣量	91.5	106.03		
						洩漏預估	18.3	21.2	【洩漏預估 20%】	
						欲度考量	9.15	10.6	【欲度考量 10%】	
						總規劃量	118.95	137.83		



# 使用端節能效益檢視

- 杜絕不當與錯誤的壓空使用
  - 1. 未調壓的壓空使用端：
  - 2. 未調壓的壓空使用，除了會增加壓縮空氣的使用量及無謂的能源耗用外，同時也會增加工具與設備的磨損率。建議每一個用氣端都應裝置調壓閥。
  - 3. 未能及時拆除或隔離壞廢與停用設備：
  - 4. 由於同一壓力的管路系統一般都互相連通，壓縮空氣自然會沿著連通的管路回流到壞廢與停用設備，經常造成額外的壓縮空氣流失。又不易發覺。
  - 5. 錯誤的壓空使用（壓空的能源轉換效率僅25%）：
  - 6. 較常見的有：個人清潔、吹洩乾燥、吹洩清潔、製程冷卻、產生渦流、產生真空、氣動攪拌、氣動填料、氣動粉碎、電器箱的冷卻、驅動氣動馬達和驅動氣動泵浦等。事實上，在無電氣安全顧慮及需求壓力不高的情況下，改用低壓鼓風機、電動真空泵浦、電風扇、電動攪拌機、電動馬達及其他電動設備或電動工具等替代壓縮空氣使用，其能源效率通常高出使用壓縮空氣達數倍之多。



# 壓縮空氣系統量測



# 現有系統的測試與診斷

## □ 壓縮空氣系統節能改善之量測與驗證程序

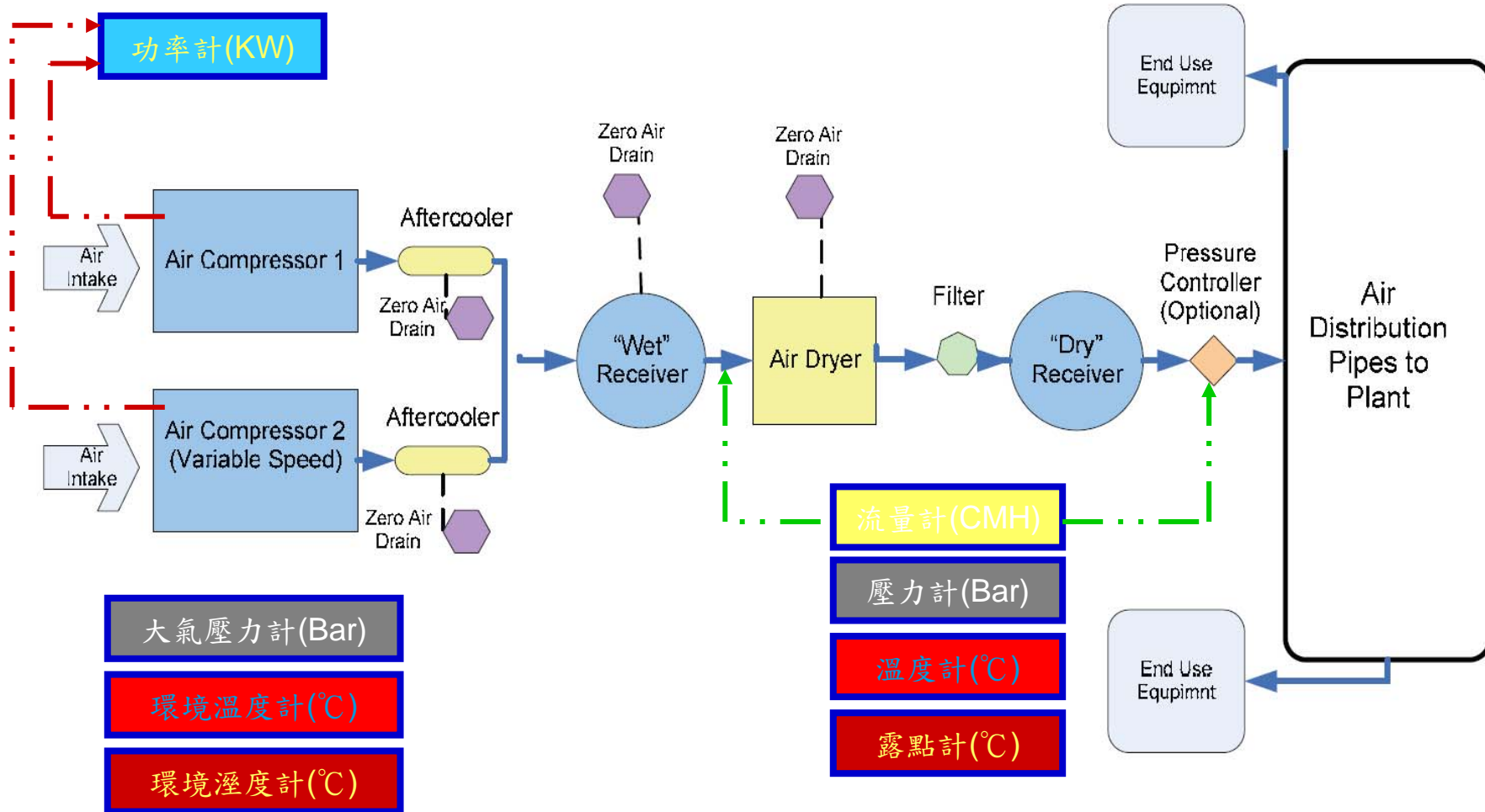
1. 在壓縮空氣系統管路上評估適當檢測點位置(需一段15倍管徑直管部且不能有水汽殘留現象)。
2. 進行線上(為避免影響生產之進行，量測期間系統以不必停機，不必停氣為作業原則)量測孔鑽探施工(包含管節焊接、關斷球閥安裝等)。
3. 量取管徑並計算管路中心位置點尺寸。將熱質式空氣流量計插入量測孔(因管內存有壓力必須先以鍊條或繩索套牢流量計以測安全)並固定流量計探針在管路中心位置點。
4. 空壓機(群)電源入線端加掛累計式電量瓦時計。
5. 連接流量與電量紀錄器(或電腦)測試紀錄通訊並同步歸零。開始進行一個週期的連續性量測與記錄。

## □ 節能效益評估

單位時間節能量 = (基準線單位體積耗電量  $\text{kWh/M}^3$  - 改善後單位體積耗電量  $\text{kWh/M}^3 \pm$  調整量  $\text{kWh/M}^3$ )  $\times$  單位時間總用氣量  $\text{M}^3$



# 壓縮空氣系統量測概念圖



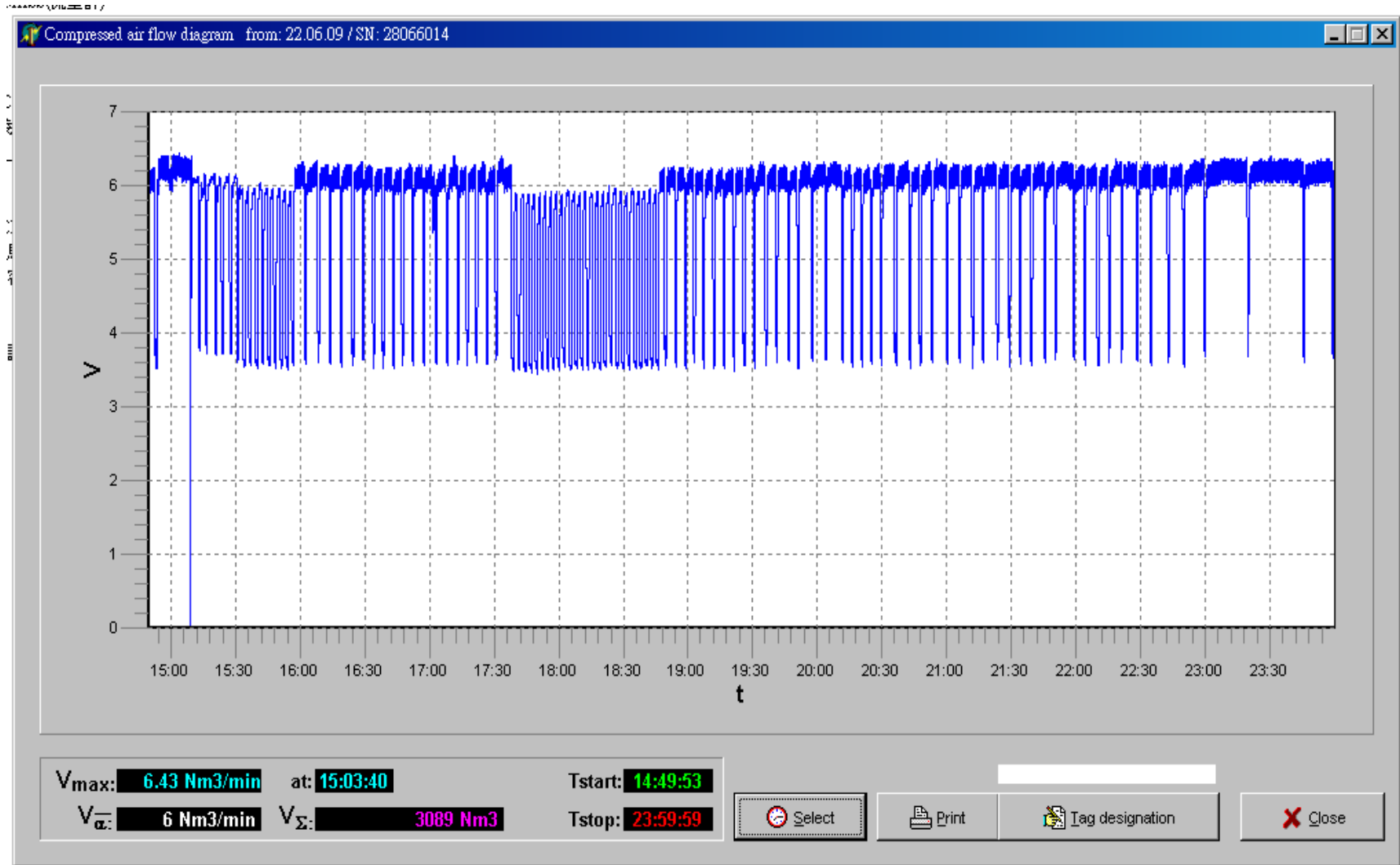


# 不停電、不斷氣線上檢測孔施工法





# 壓縮空氣系統量測紀錄\_流量





# 壓縮空氣系統量測紀錄\_電量

通訊設定與下載軟體 V2.20

電表序號 9905120809030047 通訊埠 2 速率 19200 離線  
電表時間 2009/11/9 9:31:13 電表位址 15 停止位元 1 已連線

即時電量 累計電量

電壓-N	電流	實功率	乏功率	視在功率	功率因數
208.99965	191.31836	36.6868248	15.9032907	39.9854698	0.91750
209.65147	199.26416	38.1135330	17.1054039	41.7760239	0.91233
210.85060	199.59261	39.3971367	14.7968597	42.0842209	0.93615
209.83391	196.72504	114.197486	47.8055534	123.799980	0.92244

電壓-B Angle-V Angle-I kWh+ kWh- PT比值  
361.67834 0.00000 -23.43615 10671.5517 1.0  
364.88712 119.51765 95.34704 4508.07812 CT比值  
363.76358 -121.04202 -141.62729 0.0939989 120.0  
363.44299 kWhAh 11584.8125

接線方式 3P3W 2CT  
相序 CBA  
顯示項目  
Display Item :  
1 : PT Ratio(8)  
2 : Vln\_b(102)  
3 : Vln\_c(103)  
4 : Vll\_ab(105)  
5 : Vll\_bc(106)  
6 : Vll\_ca(107)  
7 : I\_a(109)  
8 : I\_b(110)  
9 : I\_c(111)  
10 : kW\_a(113)

設定電表通訊位址 15 接線方式設定 Auto  
設定速率 19200 時間設定  
設定停止位元 1  
設定PT比值 1  
設定CT比值 1 清除累計值

顯示設定  
順序 1 項目 1 設定顯示項目  
Scroll Time 3 設定顯示時間  
開啟顯示項目說明  
設定電表序號不顯示

電表設定 LoadProfile設定 LoadProfile基本資料 LoadProfile資料 LP通訊與儲存訊息



# 螺旋式空壓機單機檢測法



## 2.2 壓空運轉成本的計算

### 空壓機電能成本計算公式

$$\text{電能成本} = \frac{\text{總馬力數(HP)} \times 0.746 \times \text{電費(元/度)} \times \text{使用時數}}{\text{馬達效率}}$$

計算案例：

假設馬達的伺服係數為**SF1.1**，馬達的效率為**90%**，基本電費為**2元 / kw-hr**，每年運轉時數為**8,000**小時。則，每台標稱**100**馬力的空壓機每年所耗用的電費為

$$(100\text{hp} \times 0.746 \text{ kw/hp} \times 1.1 \times 2 \text{ 元} \times 8,000 \text{ 小時}) / 0.9$$

$$= 1,458,844 \text{ 元/年}$$

威鐘企業 黃茂興      節能專線 03-3935200

附件3

### 正位移动式空壓機容積效率計算公式

According to ASME PTC 9

$$\eta_v (\text{容積效率}) = \frac{Q_a (\text{實際排氣量})}{P.D (\text{理論排氣量})} \quad (\text{請查原廠空壓機標稱排氣量})$$

$$Q_a (\text{實際排氣量}) = \frac{W (\text{排出空氣重量})}{\gamma_1 (\text{吸入口空氣比重})}$$

$$W (\text{排出空氣重量}) = 0.066 \times C \times (D_n)^2 \times \sqrt{\gamma_2 \times \Delta P}$$

其中·C：流量係數(查表)；Dn：噴嘴口徑(cm)；ΔP：風管壓力差水柱高(cm)

$$\gamma_2 (\text{排出口空氣比重}) = 341.5 \times P_2 \div T_2$$

$$P_2 (\text{風管內壓力 mmHg}) = P_1 + (\Delta P \div 1000)$$

$$T_2 (\text{風管內絕對溫度}^\circ\text{K}) = 273 + \text{風管溫度}^\circ\text{C}$$

$$\gamma_1 (\text{吸入口空氣比重}) = 341.5 \times P_1 \div T_1$$

其中·P<sub>1</sub>(吸入口壓力 mmHg) = 1.033 × (大氣壓力 mmHg) ÷ 760

$$T_1 (\text{吸入口絕對溫度}^\circ\text{K}) = 273 + \text{環境溫度}^\circ\text{C}$$




# 第四章

## 案例分析與雲端應用



# 實務應用與輪胎製造廠案例分析

## 改善案例說明

- 1 現況調查
- 2 改善建議與效益預估
- 3 預期改善效益與實際執行狀況
- 4 改善後實際效益



# 1 現況調查

- 輔導單位分別於2010年4月26日、5月5日、5月10日及5月20日至廠區進行現勘。
- 根據現場能耗檢測，發現可供改善之空壓系統(含空壓機、管路修改)如下：
- 現狀說明：
  1. 七台150HP高壓12kg/cm<sup>2</sup>G空壓機 (總供氣量65M<sup>3</sup>/min)，全載六台,另一台AH5作為調控(效率不佳)。
  2. 四台100 HP空壓機低壓7kg/cm<sup>2</sup>G(總供氣量不計)，全載三台,另一台備載。
- 主要問題點：
  1. 目前管路全部連通，由高壓區提供壓縮空氣至低壓區計12.3 M<sup>3</sup>/min(相當於驅動180HP空壓機)，耗能嚴重。
  2. 管路由高壓區提供壓縮空氣至低壓區:壓力於低壓末端僅剩10kg/cm<sup>2</sup>G壓力損失計12-10=2kg/cm<sup>2</sup>G。
  3. 管路老舊:洩漏推估6%(高壓洩漏)。



## 2 改善建議與效益預估

### □ 改善建議：

1. 割斷高壓區與低壓區聯通管路避免耗能=(+180HP當量)
2. 低壓區不足之空氣，啟動低壓備載之空壓機=(-100HP當量)。
3. 低壓區老舊4" 管路割斷後改成10" 管，可同時改善壓損與洩漏等損失。
4. 壓力損失約7台x150HPx2Kx6%x運轉率90% = (+113.4HP當量)。
5. 減少洩漏約7台 x 150HP x 6% = (+63HP當量)。
6. 淘汰AH5效率不佳之空壓機並改為變頻空壓機。

### □ 效益預估：

150HP x 50%(目前運轉效益) x 35%(空車耗電) = (+26.25HP當量)



### 3 預期改善效益與實際執行狀況

□ 改善後預期效益：

$(180-100+113.4+63+26.25)\text{HP} \times 0.746\text{kW/HP} \times 24\text{hr/天}$   
 $\times 365\text{天/年} \times 95\% = 1,754,751\text{kWh/年}$  (約 $\times$   
 $0.623\text{kg/kWh}/1000 = 1,093.21\text{噸CO}_2$ )

□ 實際執行狀況:

1. 高壓區與低壓區空壓系統聯通管路已悉數以閘閥關斷。
2. 客戶原依照建議應啟動低壓備載之100HP空壓機，以補足管路切割後不足之供氣，實際執行改善後，低壓備載之空壓機仍不必啟動(系統供氣仍足)，詳系統供氣表(高低壓月報8,9月計四張表)。
3. 管路如期依建議修改擴大。
4. 如期添置變頻空壓機取代效率不佳之AH5空壓機、同時因啟動變頻調控，另一台AH3可備載不用。
5. 額外建置監控軟體與流量計，整合所有高低壓空壓機設備所有流量資訊，均能線上(ONLINE)擷取直接數值以利管理掌握整廠耗氣動態(如項2A報表)。



表 2A-1 低壓 AIR 壓縮機用電量 2010 年 08 月 月報表

表 2A-1 低壓 AIR 壓縮機用電量 2010 年 08 月 月報表

低壓 AIR 壓縮機用電量 月報表

2010 年 08 月

日期	壓縮機用電量(kwh)					平均壓力 kg/cm2	平均流量 m3/min	用氣量 m3	原單位 kwh/m3
	AL1	AL2	AL3	AL4	合計				
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	33.00	0.0	0.0000
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0000
3	159,640.0	167,531.0	0.0	157,362.0	484,533.0			24,415.0	19.8457
4	0	0	0	0	0	6	31	0	0
5	0	0	0	0	0			0	0
6	164895	173013	229809	162596	730313			158092	4.619544316
7	1828	1880	1922	1849	7479	6	44	62428	0.119802012
8	1827	1909	1913	1850	7499	6	44	62686	0.119627987
9	0	0	0	0	0	6	45	0	0
10	0	0	0	0	0			0	0
11	171242	179566	236377	168871	756056			371321	2.036125078
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	192	26	191	169	578	0	0	4109	0.140666829
14	1189	1236	990	934	4349	0	0	31212	0.139337434
15	1820	1896	1777	1680	7173	6	33	56891	0.126083212
16	1834	1919	1899	1803	7455	6	44	61175	0.121863506
17	1837	1927	1905	1810	7479	6	44	61219	0.122167954
18	1817	758	1942	1852	6369	6	44	51405	0.123898453
19	1802	0	1938	1851	5591	6	31	44386	0.125963142
20	1791	0	1935	1858	5584	6	31	44392	0.125788443
21	1794	0	1933	1863	5590	6	31	44261	0.126296288
22	1795	18	1942	1877	5632	6	31	44203	0.127412167
23	1806	0	1942	1882	5630	6	31	44363	0.126907558
24	1800	0	1937	1881	5618	6	31	44518	0.126196145
25	1776	28	1938	1887	5629	6	31	44353	0.126913625
26	1804	0	1932	1890	5626	6	31	44251	0.12713837
27	1801	0	1928	1892	5621	6	31	44099	0.127463208
28	1804	0	1929	1901	5634	6	31	44060	0.127871085
29	1803	0	1929	1907	5639	6	31	44017	0.128109594
30	1805	0	1928	1907	5640	6	31	43694	0.129079507
31	1802	0	1919	1897	5618	6	30	43685	0.128602495
總計	531,504.0	531,707.0	503,855.0	525,269.0	2,092,335.0			1,519,235	1.3772

每日低壓系統平均風量使用約 31-45 m3/min 間 ★AL2 機台可免開機, 比預期成效優

表 2A-2 高壓 AIR 壓縮機用電量 2010 年 08 月 月報表

表 2A-2 高壓 AIR 壓縮機用電量 2010 年 08 月 月報表

高壓 AIR 壓縮機用電量月報表

2010 年 08 月

日期	壓縮機用電量(kwh)								平均壓力 kg/cm2	平均流量 m3/min	用氣量 m3	原單位 kwh/m3	
	AH1	AH2	AH3	AH4	AH5	AH6	AH7	合計					
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	57.0	0.0	0.0000
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0000
3	400,083.0	188,217.0	4,618.0	153,773.0	138,028.0	149,794.0	396,455.0	1,430,969.0				45,789.0	31.2514
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	59.0	0.0	0.0000
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0000
6	407,683.0	192,473.0	6,736.0	160,766.0	144,222.0	157,995.0	404,682.0	1,474,557.0				284,987.0	5.1741
7	2,647.0	2,145.0	0.0	58.0	2,256.0	2,829.0	2,818.0	12,753.0	9.0	49.0	69,077.0	0.1846	
8	2,660.0	2,145.0	0.0	0.0	2,260.0	2,830.0	2,825.0	12,720.0	9.0	49.0	68,673.0	0.1852	
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	48.0	0.0	0.0000	
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	0.0000
11	416,913.0	199,929.0	6,736.0	160,824.0	151,405.0	167,837.0	414,321.0	1,517,965.0				519,283.0	2.9232
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000
13	290.0	131.0	31.0	0.0	88.0	19.0	0.0	559.0	0.0	0.0	2,596.0	0.2153	
14	1,715.0	472.0	0.0	0.0	839.0	138.0	0.0	3,164.0	0.0	0.0	14,929.0	0.2119	
15	2,666.0	1,377.0	10.0	149.0	1,242.0	1,538.0	1,578.0	8,560.0	10.0	13.0	43,877.0	0.1951	
16	2,660.0	2,148.0	0.0	565.0	1,356.0	2,285.0	2,832.0	11,846.0	9.0	43.0	64,135.0	0.1847	
17	2,651.0	1,267.0	0.0	1,145.0	1,122.0	2,809.0	2,840.0	11,834.0	9.0	47.0	63,692.0	0.1858	
18	2,665.0	1,304.0	105.0	2,181.0	1,520.0	2,674.0	2,823.0	13,272.0	9.0	45.0	72,761.0	0.1824	
19	2,657.0	2,150.0	0.0	2,727.0	1,598.0	2,824.0	2,818.0	14,774.0	9.0	57.0	82,020.0	0.1801	
20	2,661.0	2,151.0	43.0	2,770.0	1,436.0	2,666.0	2,732.0	14,459.0	9.0	59.0	79,092.0	0.1828	
21	2,638.0	2,144.0	70.0	2,761.0	1,513.0	2,756.0	2,756.0	14,638.0	9.0	58.0	79,799.0	0.1834	
22	2,653.0	2,140.0	0.0	2,748.0	1,385.0	2,786.0	2,767.0	14,479.0	9.0	54.0	79,927.0	0.1812	
23	2,658.0	2,147.0	0.0	2,762.0	1,133.0	2,794.0	2,773.0	14,267.0	9.0	53.0	81,785.0	0.1744	
24	2,585.0	2,069.0	560.0	2,740.0	1,231.0	2,826.0	2,784.0	14,804.0	9.0	57.0	83,035.0	0.1783	
25	2,674.0	2,152.0	516.0	2,759.0	1,027.0	2,785.0	2,751.0	14,664.0	9.0	57.0	81,226.0	0.1805	
26	2,657.0	2,157.0	614.0	2,772.0	1,194.0	2,823.0	2,663.0	14,880.0	9.0	57.0	81,490.0	0.1826	
27	2,655.0	2,154.0	677.0	2,766.0	1,143.0	2,842.0	2,670.0	14,907.0	9.0	57.0	81,240.0	0.1835	
28	2,654.0	2,151.0	1,039.0	2,759.0	520.0	2,868.0	2,719.0	14,710.0	9.0	56.0	81,188.0	0.1812	
29	2,654.0	2,151.0	1,428.0	2,758.0	0.0	2,896.0	2,722.0	14,609.0	9.0	54.0	81,369.0	0.1795	
30	2,660.0	2,152.0	1,308.0	2,759.0	0.0	2,889.0	2,736.0	14,504.0	9.0	57.0	80,583.0	0.1800	
31	2,650.0	2,143.0	1,938.0	1,708.0	606.0	2,913.0	2,796.0	14,754.0	9.0	60.0	81,661.0	0.1807	
總計	1,277,089.0	619,469.0	26,430.0	514,259.0	457,124.0	527,416.0	1,266,861.0	4,688,648.0			2,304,214.0	2.0348	

每日高壓系統平均風量使用約 49-80 m3/min 以下 ★AH3 機台如期改當備機



表 2A -3 低壓 AIR 壓縮機用電量 2010年 09 月 月報表

低壓 AIR 壓縮機用電量 月報表

2010 年 09 月

日期	壓縮機用電量(kwh)					平均壓力 kg/cm2	平均流量 m3/min	用氣量 m3	原單位 kwh/m3
	AL1	AL2	AL3	AL4	合計				
1	1,775.0	23.0	1,917.0	1,902.0	5,617.0	6.0	30.00	43,893.0	0.1280
2	1,803.0	0.0	1,924.0	1,910.0	5,637.0	6.0	31.00	44,200.0	0.1275
3	1,800.0	0.0	1,923.0	1,911.0	5,634.0	6.0	31.00	44,255.0	0.1273
4	1,797.0	0.0	1,923.0	1,916.0	5,636.0	6.0	31.00	44,242.0	0.12739
5	1,801.0	0.0	1,924.0	1,925.0	5,650.0	6.0	31.00	44,041.0	0.12829
6	1,805.0	0.0	1,932.0	1,935.0	5,672.0	6.0	31.00	44,105.0	0.128602
7	1,805.0	0.0	1,931.0	1,944.0	5,680.0	6.0	31.00	44,021.0	0.129029
8	1,799.0	0.0	1,928.0	1,949.0	5,676.0	6.0	30.00	43,822.0	0.129524
9	1,807.0	0.0	1,932.0	1,952.0	5,691.0	6.0	31.00	0.0	0.0
10	1,796.0	0.0	1,926.0	1,950.0	5,672.0	0.0	0.00	0.0	0.0
11	1,812.0	0.0	1,927.0	1,959.0	5,698.0	0.0	0.00	0.0	0.0
12	1,812.0	0.0	1,929.0	1,969.0	5,710.0	0.0	0.00	0.0	0.0
13	1,798.0	0.0	1,928.0	1,678.0	5,404.0	0.0	0.00	178,149.7	0.003033
14	1,803.0	2.0	1,941.0	1,888.0	5,634.0	6.0	31.00	44,148.0	0.127616
15	1,811.0	6.0	1,939.0	1,921.0	5,677.0	6.0	30.00	43,806.0	0.129594
16	1,796.0	0.0	1,925.0	1,931.0	5,652.0	6.0	31.00	43,885.0	0.128791
17	1,809.0	0.0	1,933.0	1,969.0	5,711.0	6.0	30.00	43,287.0	0.131933
18	1,811.0	0.0	1,939.0	1,972.0	5,722.0	6.0	30.00	43,312.0	0.132111
19	599.0	0.0	644.0	646.0	1,889.0	6.0	30.00	14,375.0	0.131409
20	1,781.0	0.0	1,894.0	1,842.0	5,517.0	0.0	0.00	40,548.0	0.136061
21	1,820.0	0.0	1,944.0	1,952.0	5,716.0	6.0	29.00	42,156.0	0.135592
22	687.0	0.0	734.0	746.0	2,167.0	6.0	29.00	15,919.0	0.136127
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
24	1,806.0	0.0	1,917.0	1,897.0	5,620.0	0.0	0.00	39,791.0	0.141238
25	1,826.0	0.0	1,946.0	1,987.0	5,759.0	6.0	28.00	41,056.0	0.140272
26	1,826.0	0.0	1,946.0	1,923.0	5,695.0	6.0	29.00	41,307.0	0.13787
27	1,830.0	0.0	1,951.0	1,901.0	5,682.0	6.0	29.00	41,140.0	0.138114
28	1,837.0	1,031.0	1,960.0	1,886.0	6,714.0	6.0	30.00	51,579.0	0.130169
29	1,850.0	1,884.0	1,968.0	1,851.0	7,553.0	6.0	43.00	59,604.0	0.12672
30	1,855.0	1,887.0	1,969.0	1,831.0	7,542.0	6.0	43.00	59,774.0	0.126175
總計	50,157.0	4,833.0	53,594.0	53,043.0	161,627.0			279,976.3	0.057729

每日低壓系統平均風量使用約 31 m3/min ★AL2 機台可免開機，比預期成效優(連續)

第二個月紀錄)

表 2A -4 高壓 AIR 壓縮機用電量 2010 年 09 月 月報表

高壓 AIR 壓縮機用電量 月報表

2010 年 09 月

日期	壓縮機用電量(kwh)							平均壓力 kg/cm2	平均流量 m3/min	用氣量 m3	原單位 kwh/m3	
	AH1	AH2	AH3	AH4	AH5	AH6	AH7					合計
1	2,556.0	2,078.0	2,699.0	1,630.0	1,544.0	2,941.0	2,789.0	14,770.0	9.0	57.00	80,227.0	0.1841
2	2,672.0	2,140.0	2,711.0	419.0	1,589.0	2,479.0	2,794.0	14,804.0	9.0	56.00	80,732.0	0.1834
3	2,656.0	2,139.0	1,106.0	1,630.0	1,428.0	2,782.0	2,775.0	14,516.0	9.0	57.00	80,016.0	0.1814
4	2,643.0	2,139.0	8.0	2,742.0	1,846.0	2,783.0	2,779.0	14,940.0	9.0	58.00	82,885.0	0.1802
5	2,649.0	2,140.0	8.0	2,739.0	1,798.0	2,778.0	2,743.0	14,855.0	9.0	57.00	81,684.0	0.1819
6	2,637.0	2,139.0	1,020.0	1,524.0	1,737.0	2,776.0	2,725.0	14,558.0	9.0	55.00	79,657.0	0.1828
7	2,662.0	2,141.0	2,366.0	29.0	1,673.0	2,784.0	2,725.0	14,380.0	9.0	55.00	78,746.0	0.1826
8	2,657.0	2,139.0	2,402.0	0.0	1,688.0	2,782.0	2,745.0	14,423.0	9.0	55.00	79,162.0	0.1822
9	2,651.0	2,140.0	2,327.0	0.0	1,651.0	2,783.0	2,728.0	14,280.0	9.0	55.00	0.0	0.0000
10	2,653.0	2,145.0	2,052.0	0.0	1,452.0	2,789.0	2,584.0	13,675.0	0.0	0.00	0.0	0.0000
11	2,653.0	2,150.0	1,880.0	0.0	1,541.0	2,797.0	2,604.0	13,805.0	0.0	0.00	0.0	0.0000
12	2,672.0	2,157.0	1,503.0	0.0	2,043.0	2,799.0	1,520.0	12,694.0	0.0	0.00	0.0	0.0000
13	2,660.0	2,152.0	2,156.0	0.0	2,046.0	2,759.0	310.0	12,085.0	0.0	0.00	2,832,232.0	0.0043
14	2,665.0	2,150.0	2,663.0	0.0	1,371.0	2,783.0	860.0	12,492.0	9.0	45.00	67,766.0	0.1843
15	2,626.0	2,120.0	2,754.0	0.0	1,962.0	2,741.0	374.0	12,577.0	9.0	50.00	68,481.0	0.1837
16	2,670.0	2,148.0	2,740.0	0.0	1,626.0	2,766.0	892.0	12,942.0	9.0	50.00	71,229.0	0.1817
17	2,657.0	2,148.0	2,695.0	0.0	1,427.0	2,763.0	1,304.0	12,994.0	9.0	52.00	70,968.0	0.1831
18	2,651.0	2,144.0	2,682.0	0.0	2,273.0	2,762.0	274.0	12,766.0	9.0	52.00	70,076.0	0.1822
19	897.0	714.0	837.0	0.0	771.0	858.0	0.0	4,077.0	9.0	49.00	22,041.0	0.1850
20	2,640.0	2,120.0	1,985.0	1,141.0	1,229.0	2,261.0	0.0	11,376.0	0.0	0.00	59,260.0	0.1920
21	2,662.0	2,154.0	2,498.0	1,087.0	1,319.0	2,685.0	0.0	12,405.0	9.0	54.00	66,691.0	0.1860
22	1,014.0	815.0	862.0	0.0	494.0	878.0	0.0	4,063.0	9.0	48.00	21,321.0	0.1906
23	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.00	0.0	0.0000
24	2,700.0	2,137.0	2,208.0	0.0	1,286.0	2,049.0	0.0	10,360.0	0.0	0.00	53,961.0	0.1920
25	2,672.0	2,149.0	2,566.0	1,798.0	1,288.0	2,722.0	0.0	13,195.0	9.0	40.00	70,894.0	0.1861
26	2,651.0	2,148.0	2,480.0	2,738.0	652.0	2,707.0	0.0	13,376.0	9.0	53.00	72,985.0	0.1833
27	2,672.0	2,149.0	2,675.0	2,739.0	1,054.0	2,799.0	0.0	14,088.0	9.0	52.00	77,306.0	0.1822
28	2,664.0	2,148.0	2,835.0	1,349.0	1,470.0	1,677.0	1,083.0	13,226.0	9.0	55.00	73,352.0	0.1803
29	2,656.0	989.0	2,837.0	0.0	1,788.0	1,506.0	2,388.0	12,144.0	9.0	45.00	64,800.0	0.1874
30	2,662.0	0.0	1,471.0	1,320.0	1,803.0	2,783.0	2,479.0	12,518.0	9.0	46.00	65,619.0	0.1908
總計	73,580.0	56,032.0	58,995.0	21,418.0	43,821.0	72,772.0	41,575.0	368,193.0			4,472,091.0	0.0823

每日高壓系統平均風量使用約 60 m3/min 以下★本月 AH4 機台當備機(AH5 為具變頻功能新機)



## 4 改善後實際效益

- 整體均如建議執行改善，成效優於預期：

低壓區經高低壓分離後:考慮因無來自高壓區供氣，原預估須啟動低壓備載100HP空壓機。監控實測平均用量31 M<sup>3</sup>/min，每台低壓100HP空壓機額定供氣量14 M<sup>3</sup>/min，啟動3台空壓機仍足夠，低壓區並無供氣不足現象(如8、9月用氣報表)，故現場經改善後目前仍可維持改善前一樣，3台運轉、1台備載(原預估須啟動備載空壓機，實際可免啟動)。

高壓區經高低壓分離後及管徑更大、與空壓機設備汰換後，因不必供氣給低壓區，所節餘之供氣，讓一台AH3(AH4)可備載不用，而新汰換之變頻空壓機(AH5)，又可以調節尖、離峰節能，本次改善獲得客戶極佳的肯定。

- 改善後實際效益：

$$(180+113.4+63+26.25)\text{HP}\times 0.746\text{kW}/\text{HP}\times 24\text{hr}/\text{天}\times 365\text{天}/\text{年}\times 95\%$$

$$=2,375,572\text{kWh}/\text{年}$$

$$(\text{約}\times 0.623\text{kg}/\text{kWh}/1000= 1,479.981\text{噸}\text{CO}_2)$$

# 監視畫面(1)

Data List	
電壓	
AH_01	3426 V
AH_02	3423 V
AH_03	3470 V
AH_04	3436 V
AH_05	3404 V
AH_06	3413 V
AH_07	3419 V
高壓用量	3420 V
AL_01	3423 V
AL_02	3420 V
AL_03	3429 V
AL_04	3419 V
低壓用量	3423 V
原動用量	3426 V
高壓空氣壓力	9.24
低壓空氣壓力	6.14
乾燥空氣壓力	6.14
Ack	Time In

# 監視畫面(2)

12

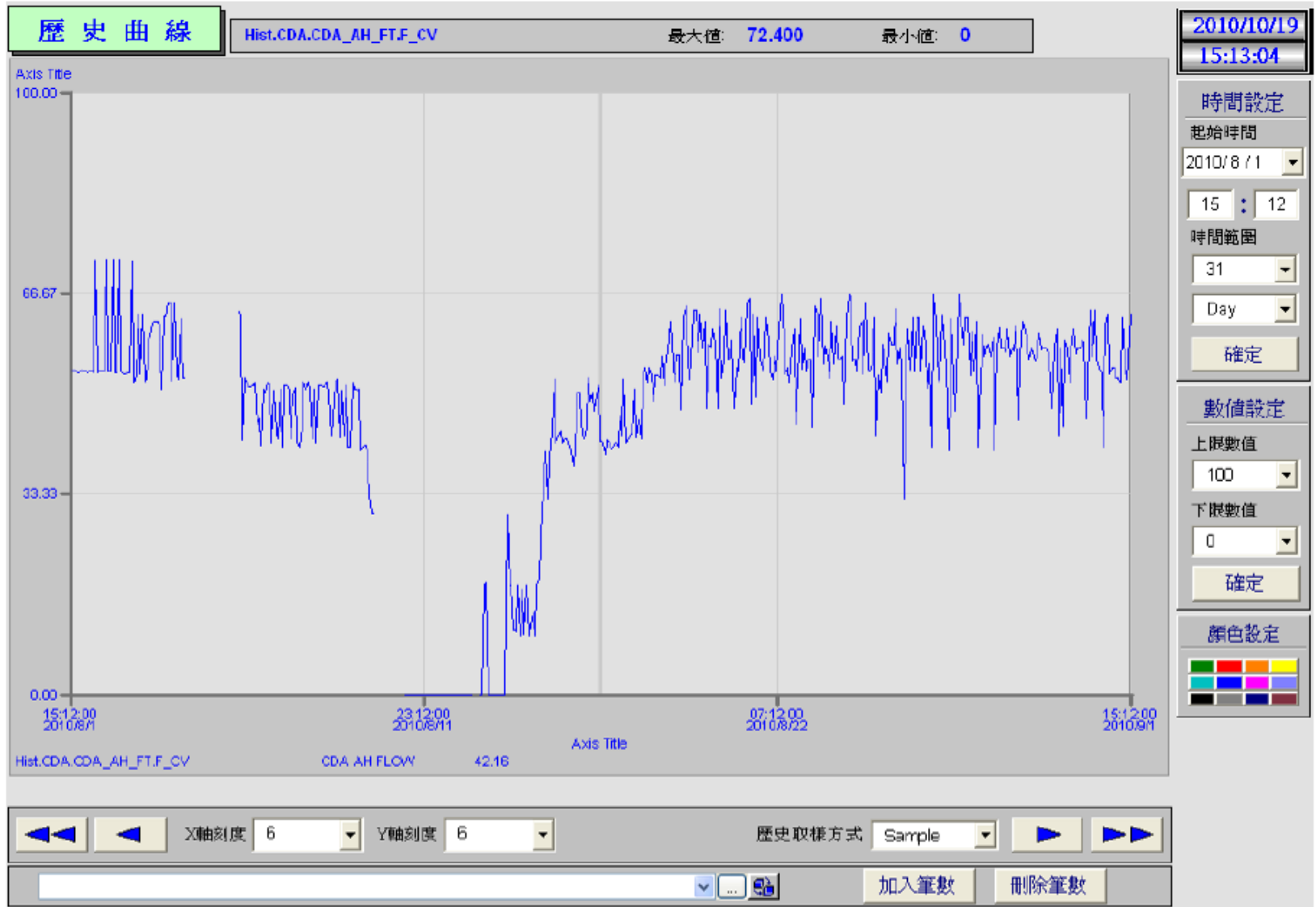
Data List		2010/10/19			
電壓	電流	功率	功因	累積量	
AH_01	3411 V	20.55 A	113.3 KW	0.9338	582701 KWH
AH_02	3408 V	0.00 A	0.0 KW	0.0000	291584 KWH
AH_03	3478 V	0.07 A	0.0 KW	0.3533	67985 KWH
AH_04	3423 V	23.82 A	115.8 KW	0.8186	266296 KWH
AH_05	3408 V	9.44 A	39.0 KW	0.6962	235795 KWH
AH_06	3397 V	22.11 A	115.0 KW	0.8867	334104 KWH
AH_07	3402 V	23.97 A	115.4 KW	0.8167	546265 KWH
高壓用量	3408 V	99.89 A	498.5 KW	0.8304	
AL_01	3412 V	16.80 A	76.4 KW	0.7700	284898 KWH
AL_02	3403 V	17.08 A	78.2 KW	0.7762	224113 KWH
AL_03	3416 V	16.35 A	82.2 KW	0.8489	355719 KWH
AL_04	3401 V	17.10 A	80.6 KW	0.7996	284076 KWH
低壓用量	3408 V	67.33 A	317.4 KW	0.7987	
原動用量	3406 V	231.30 A	1360.0 KW	0.9963	2933726 KWH
高壓空氣壓力	9.18 kg/cm2	高壓空氣流量	43.19 n3/min	高壓空氣累積量	4904174 n3
低壓空氣壓力	6.20 kg/cm2	低壓空氣流量	43.13 n3/min	低壓空氣累積量	3398993 n3
乾燥空氣壓力	6.20 kg/cm2				
Ack	Time In	Tagname	Description	Status	Value

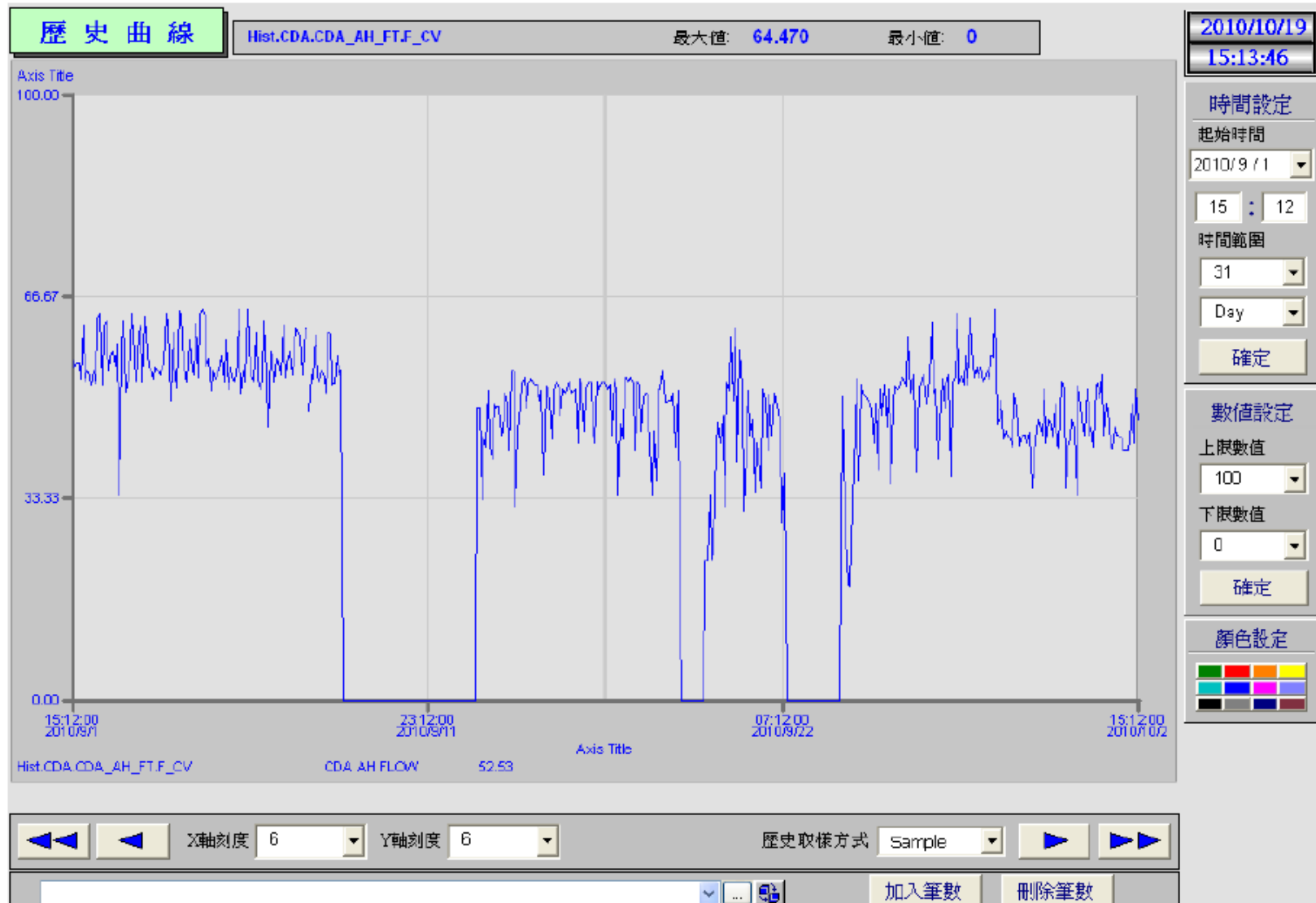
曲線編輯器

日報表 月報表



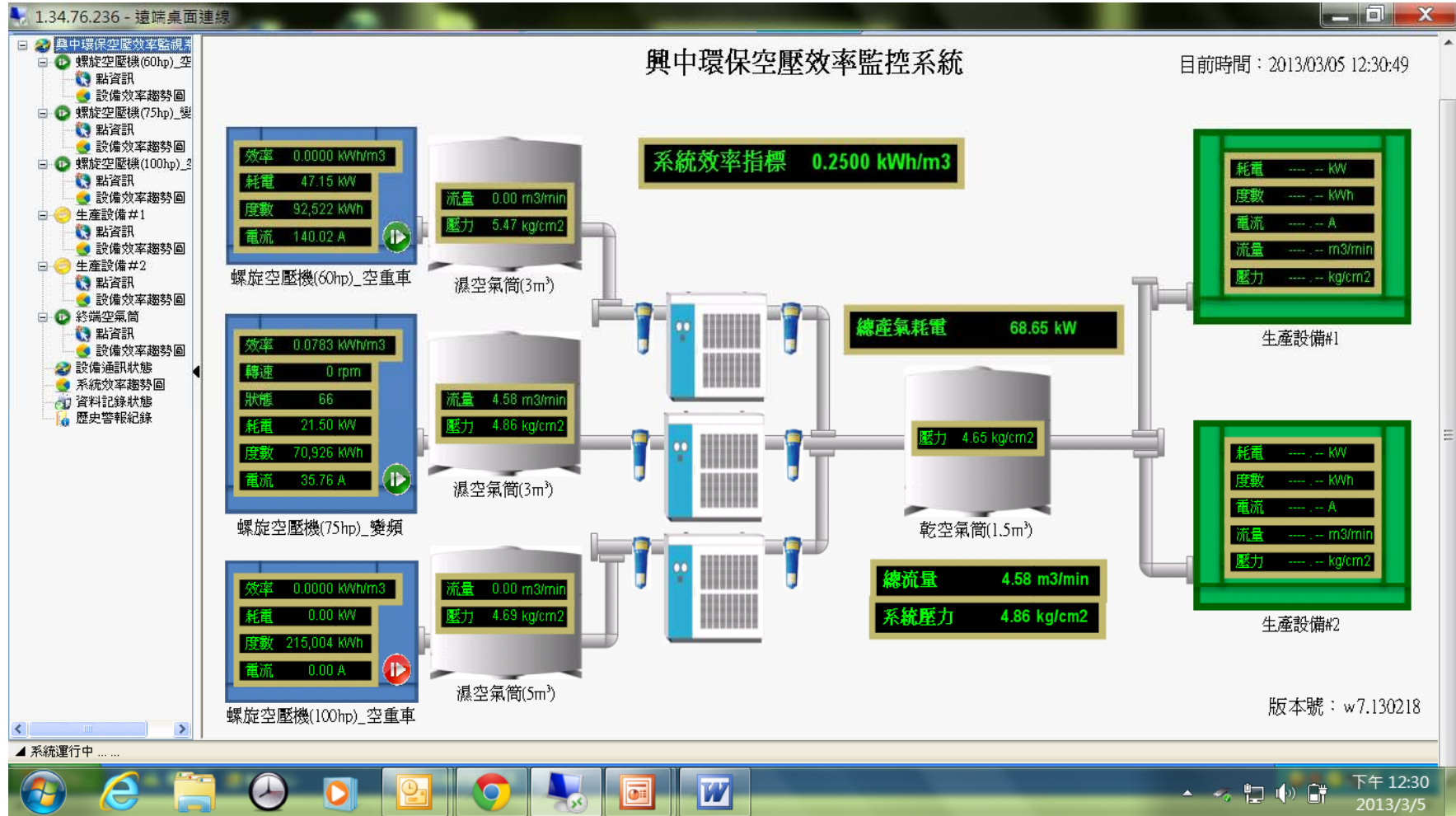
# 8月流量總計







# 壓縮空氣系統遠端監測系統圖





# 壓縮空氣系統遠端監測系統圖





# 壓縮空氣系統遠端監測系統圖

1.34.76.236 - 遠端桌面連線

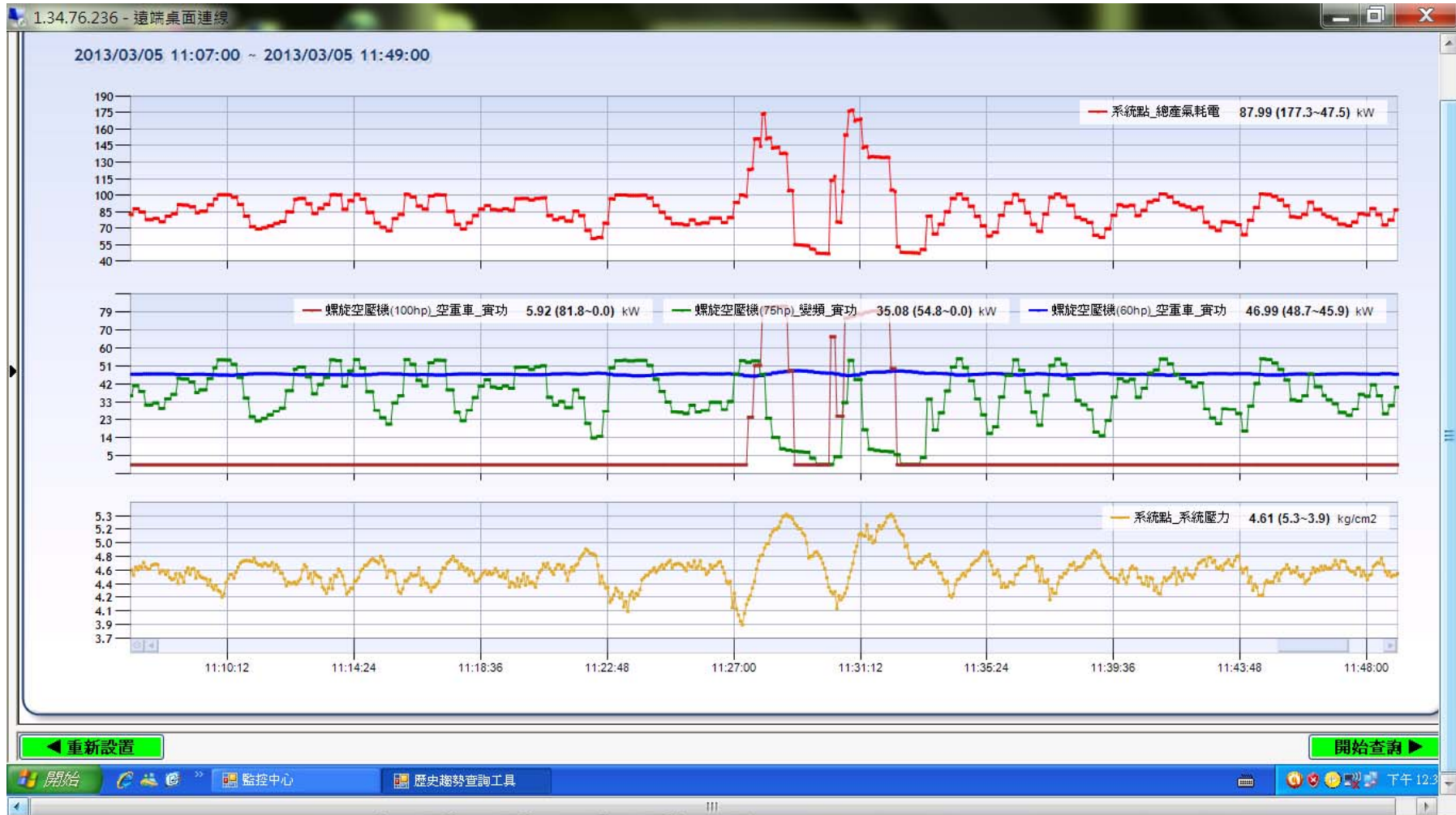
監控中心

啟動監控 暫停 重新啟動 停止監控 顯示即時警報 確認所有警報 啟動通訊管理員 啟動報表管理員 歷史趨勢查詢

測點	中文名稱	目前數值	單位	最大值	上限	下限	最小值	縮放
A1	R相電流	84.08	A	NA	NA	NA	NA	1
A2	S相電流	81.49	A	NA	NA	NA	NA	1
A3	T相電流	70.76	A	NA	NA	NA	NA	1
Aavg	平均電流	82.26	A	NA	NA	NA	NA	1
V1	R相電壓	216.73	V	NA	NA	NA	NA	1
V2	S相電壓	216.25	V	NA	NA	NA	NA	1
V3	T相電壓	216.73	V	NA	NA	NA	NA	1
Vavg	平均電壓	216.54	V	NA	NA	NA	NA	1
KW	實功	50.46	kW	NA	NA	NA	NA	1
KVAR	虛功	19.62	kVar	NA	NA	NA	NA	1
KVA	視在	54.14	kVA	NA	NA	NA	NA	1
PF	功因	0.93		NA	NA	NA	NA	1
KWH	用電度數	70,926.23	kWh	NA	NA	NA	NA	1
Q	流量	6.44	m <sup>3</sup> /min	NA	NA	NA	NA	0.001
P	壓力	4.95	kg/cm <sup>2</sup>	NA	NA	NA	NA	0.01
QM	流量表	6.44	m <sup>3</sup> /min	NA	NA	NA	NA	0.001
STATUS	變頻器狀態值	65.00		NA	NA	NA	NA	1
SPEED	變頻器速度	0.00	rpm	NA	NA	NA	NA	1
CURR	變頻器電流	923.00	A	NA	NA	NA	NA	1
VOLTAGE	變頻器電壓	329.00	V	NA	NA	NA	NA	1
POWER	變頻器功率	4,639.00	kW	NA	NA	NA	NA	1

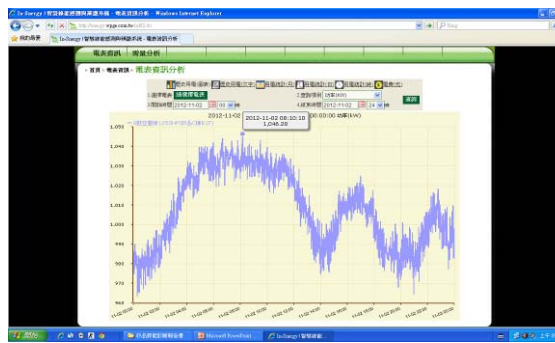
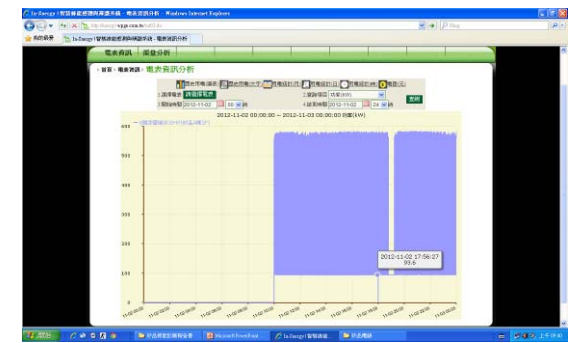
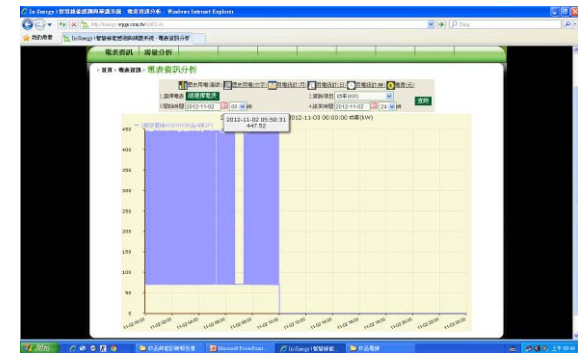
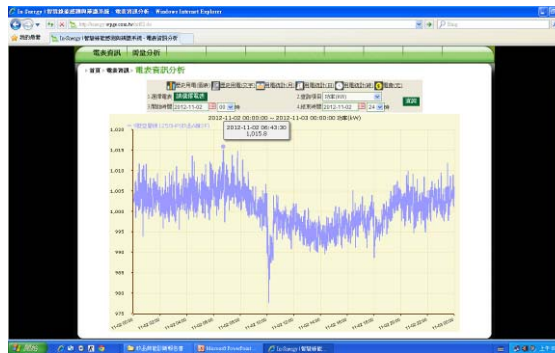
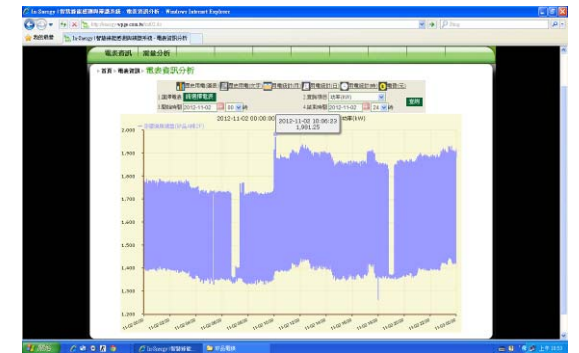


# 壓縮空氣系統遠端監測系統圖



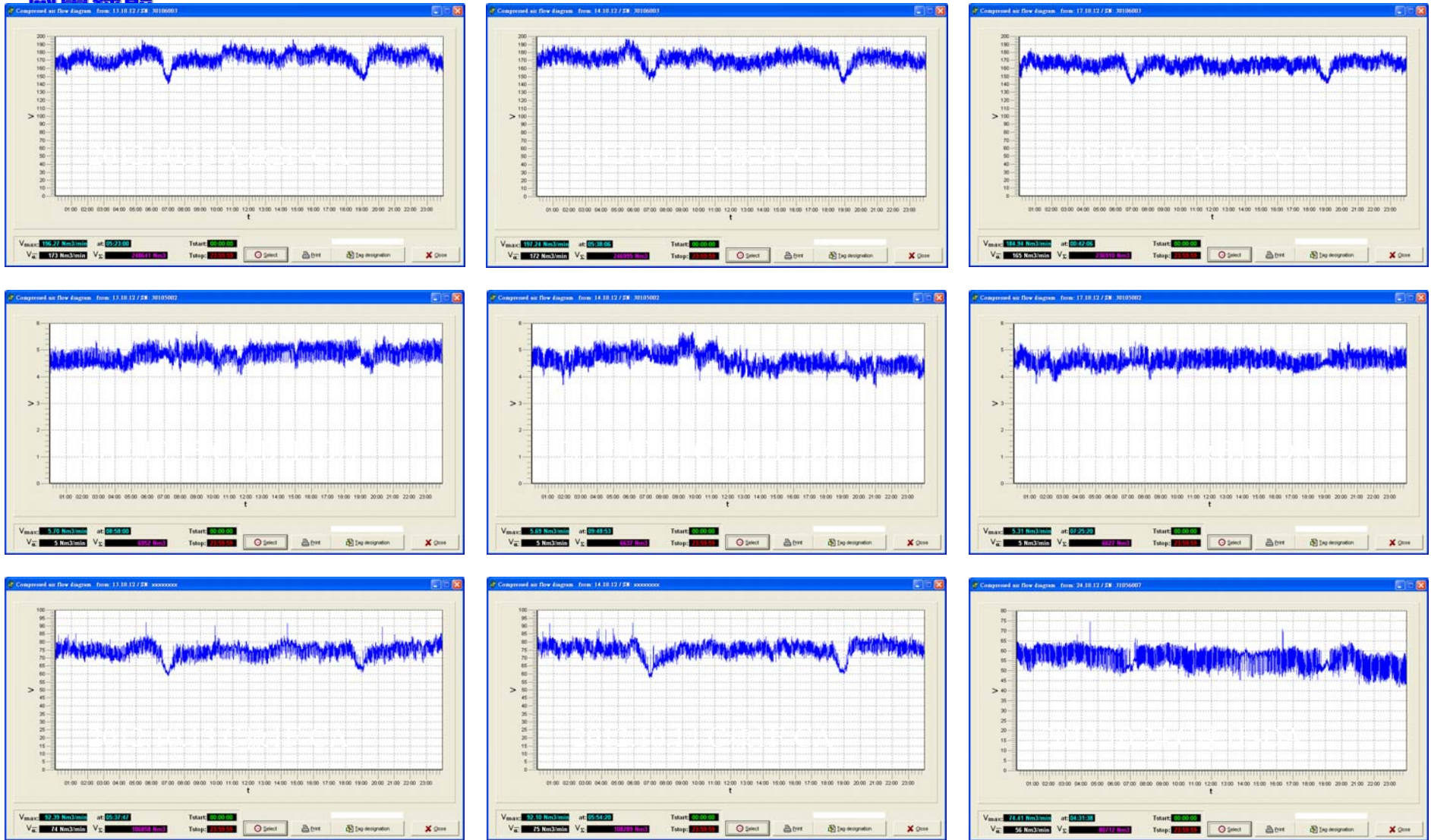


# 某電子大廠空壓用電雲端即時資訊





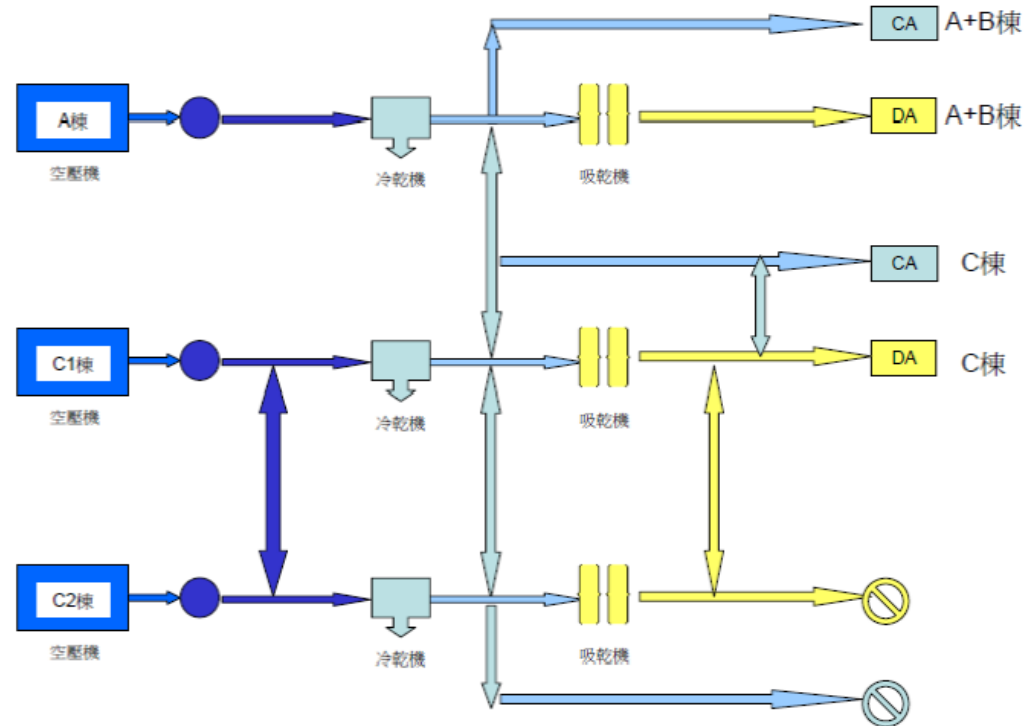
# 某電子大廠空壓流量歷史曲線





# 空壓系統竄流損失400萬/年

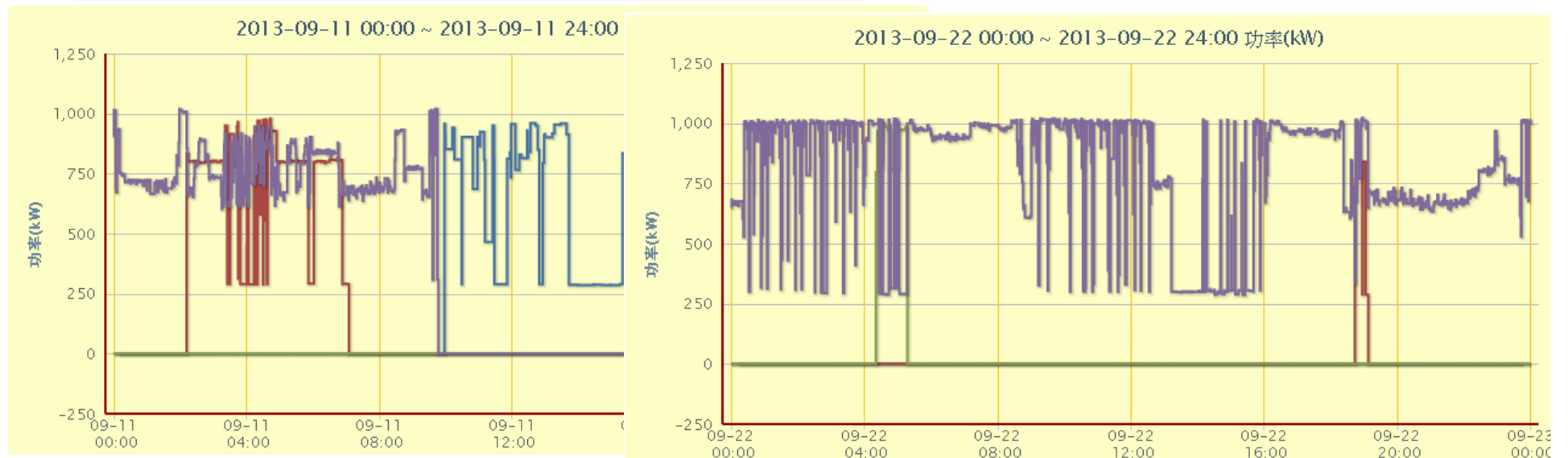
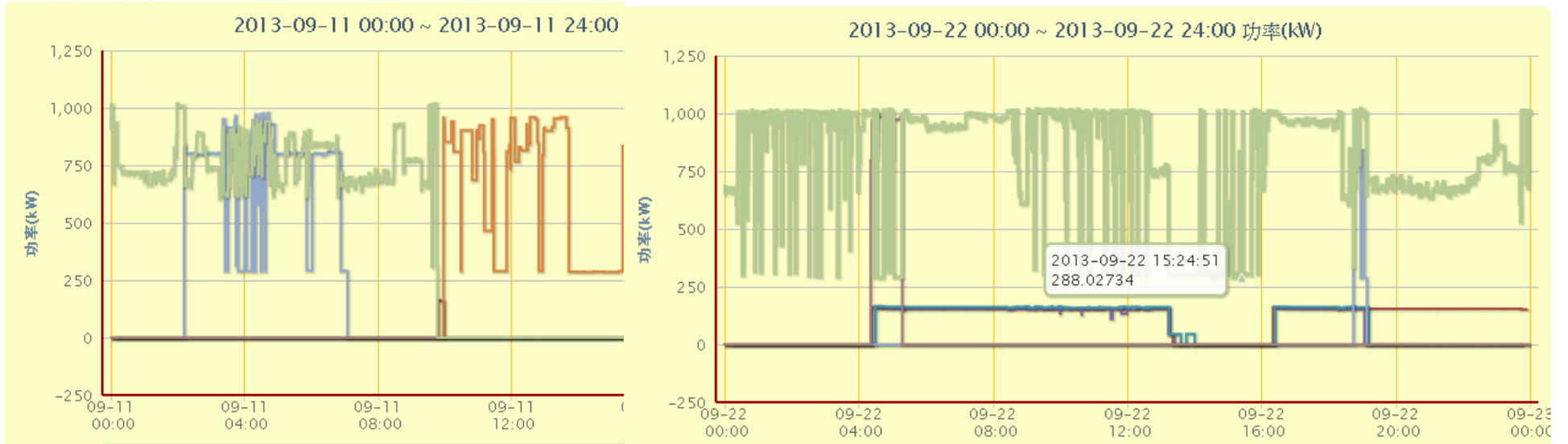
3. A棟與C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>棟空壓機群壓縮空氣竄流(如下示意圖)



空壓機出口後端分別在冷乾機與吸乾機前後各以 10 及 12 英吋管路連通，因三群空壓機的出口壓力與流量不時變化，壓縮空氣(包含濕空氣及 CA 及 DA)會在連通管路中竄流，導致管路系統壓力飄動及空壓機假性空重車及壓縮空氣倒流回 Stand-By 機器問題。



# 某傳產大廠空壓用電雲端即時資訊





# iEnMS

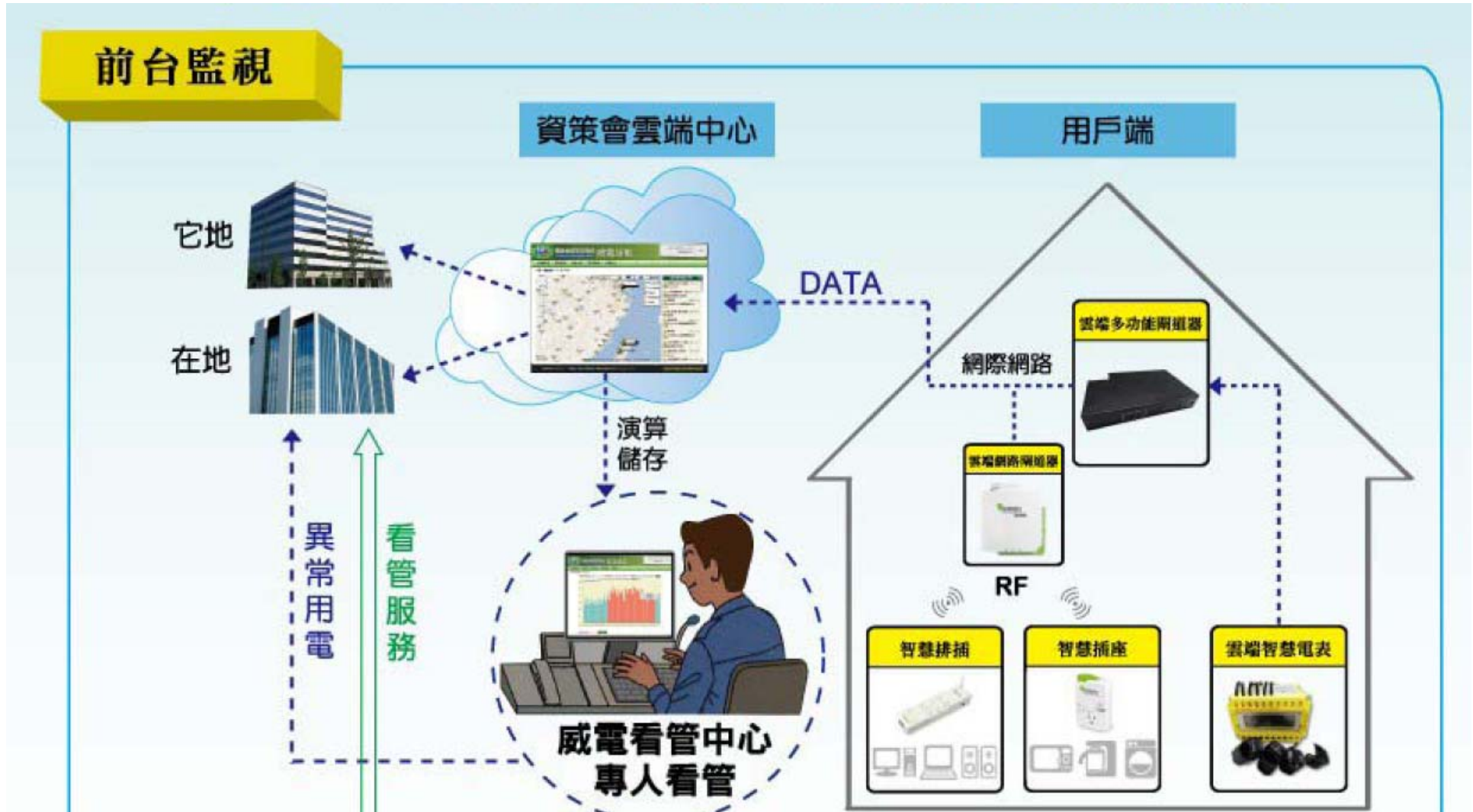
## intelligent Energy

## Management System

## 雲端三階段能管服務作法



# 威電iEnMS工具：前台監視





# 威電iEnMS工具：後台分析

## 後台分析

專家系統

顧問群

### 看管 能源看管服務

- 全面電能健康檢查。
- 用電流向行為分析，自動報表輸出。
- 能源診斷全面改善。
- 用電異常警告。
- 定期看管報表。

### 服務 現場有感服務

- 即時提供新電價方案因應對策。
- 分析每月電力需量，調查產生最高需量的原因和用電設備。
- 適當調配耗能設備開機順序，提升運轉效率。
- 提供各類電力數據與協助能源申報。

即時資料

### 改善 節能節費改善

- 制訂最佳契約用電。
- 電價結構最適化。
- 尖離峰用電策略方案。
- 耗能設備效能改善。

### 安全 用電保全措施

- 用電異常預防保全。
- 設備維護、校對。
- 系統軟體更新。
- 用電安全巡檢。
- 紅外線熱顯像儀檢測。

ESCO  
設備廠商

TESA  
公會認證



# iEnMS三階段能管服務之天龍八部

能源醫生

## 第一階段：先節電

- 1. 導入雲端節電服務
- 2. 滿足初階節電需求
- 3. 產生初階節電效益



知電、控電

節電、省錢

收費模式

雲端能源服務平台

雲端能源看管工具及服務費用(租賃式)

電能管理專家系統

健康診斷

用戶感受到節電成效後再推動進階節能服務

## 第二階段：再節能

- 4. 監看電器耗能狀況
- 5. 提供節能分析建議
- 6. 滿足進階節能需求

抓出耗電異常設備

整體節能方案

照明

空調

空壓

熱泵

能源設備改善費用(專案性)

重大能源設備之節能效益量測驗證專家系統

治療改善

用戶感受到節能成效後提供持續保全服務

## 第三階段：能源保全

- 7. 受電設備安全監視
- 8. 用電設備預測保養

預知設備異常

避免財務損失



能源及設備保全費(持續性)

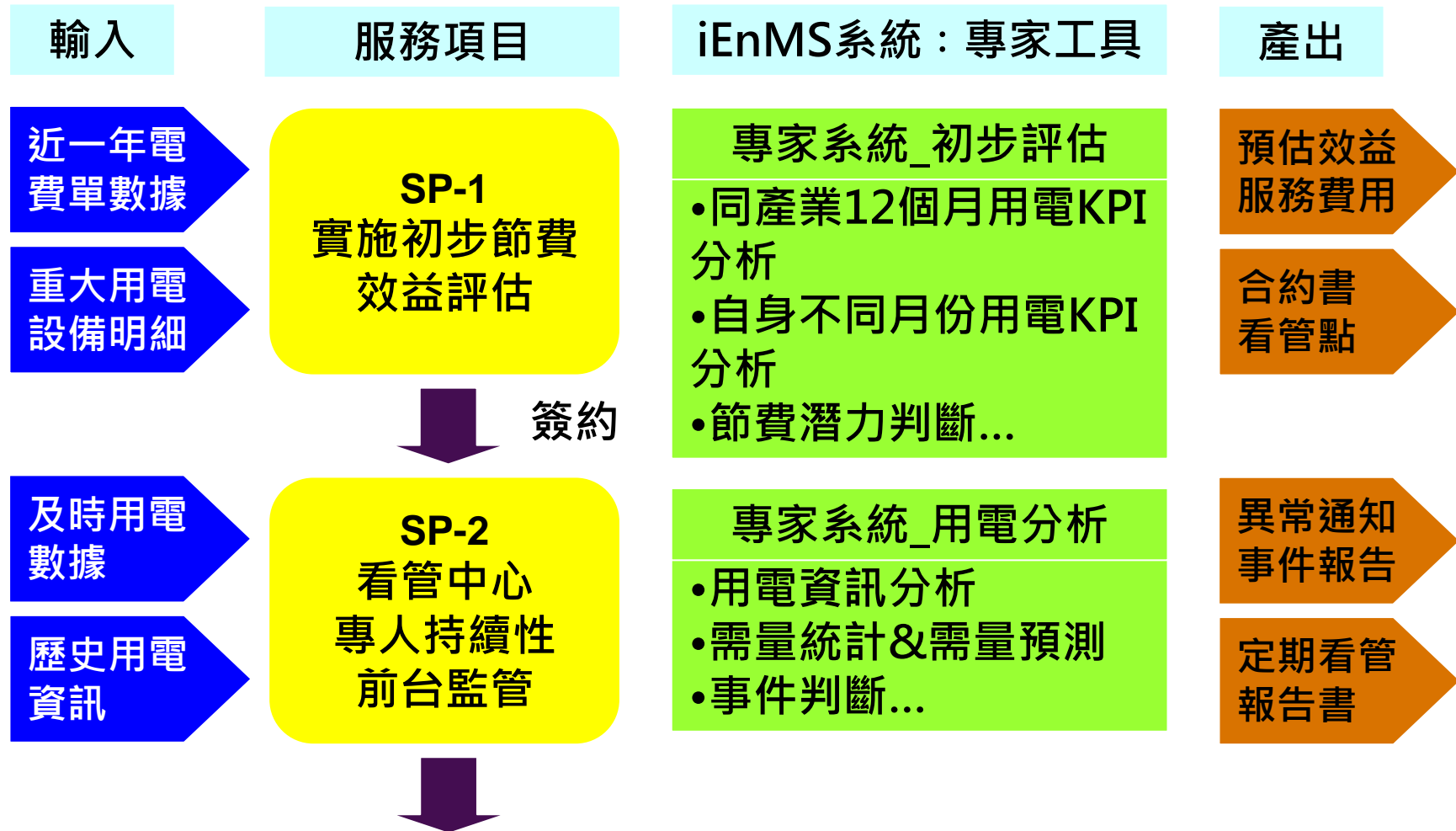
能源保全專家系統

定期追蹤

# 第一階段：先節電

## (1) 導入雲端能管服務

# iEnMS三階段能管服務之十面埋伏



## 第一階段：先節電

威電綠能

### (2) 滿足初階節電需求

目標在相同用電度數基準下，  
降低電費單價，達成節費效果



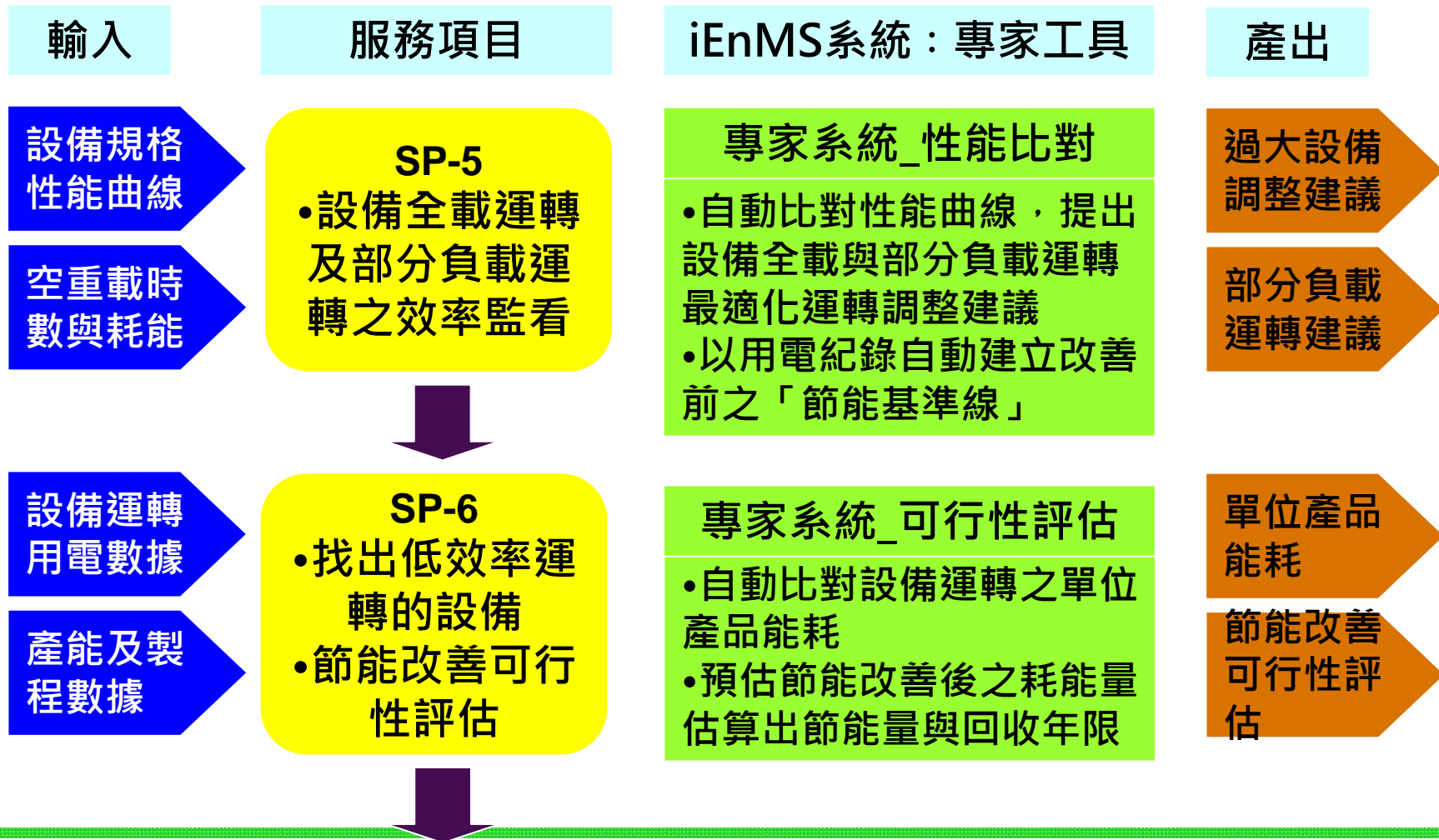
### (3) 產生初階節電效益

在相同用電度數基準下，降低電費單價，達成節費效果

## 第二階段：再節能

威電綠能

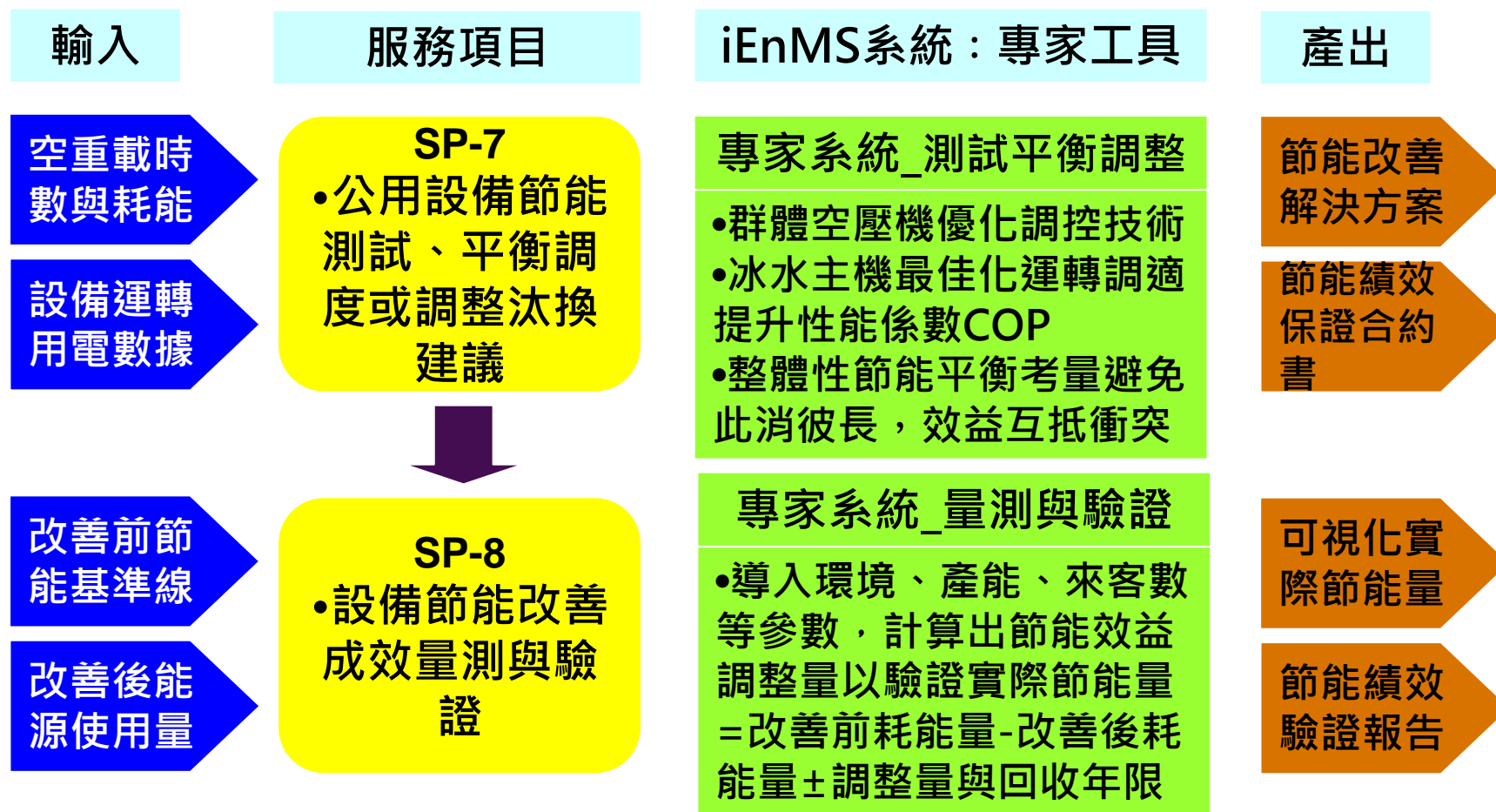
### (4) 監看電器耗能狀況



## 第二階段：再節能

### (5) 提供節能分析建議

目標在相同產能基準下，降低用電度數，達成節能成效



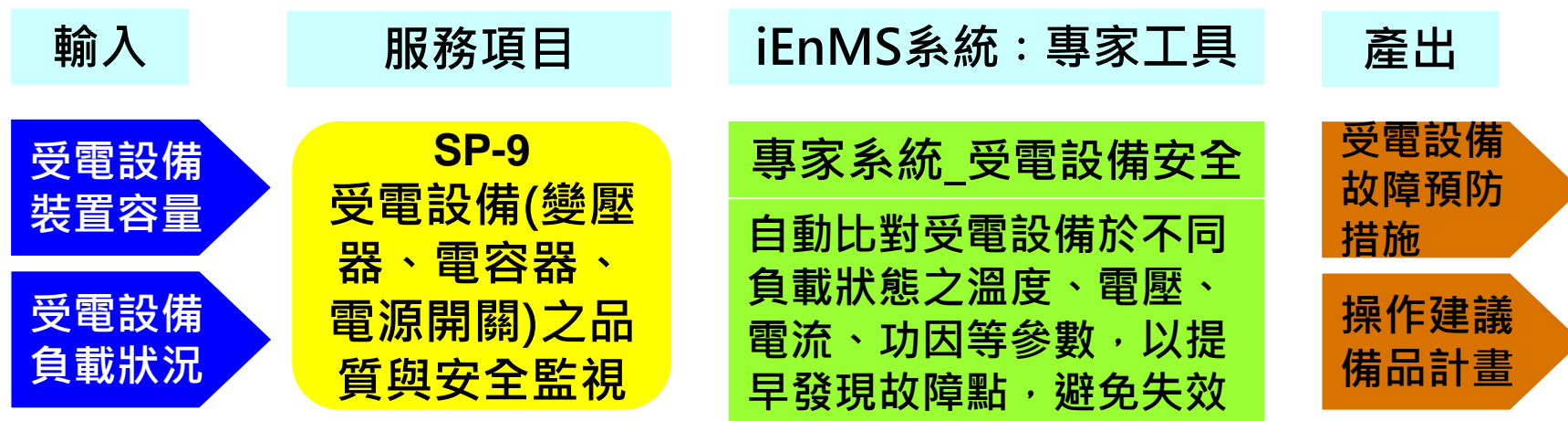
### (6) 滿足進階節能需求

在相同產能基準下，降低用電度數，達成節能成效

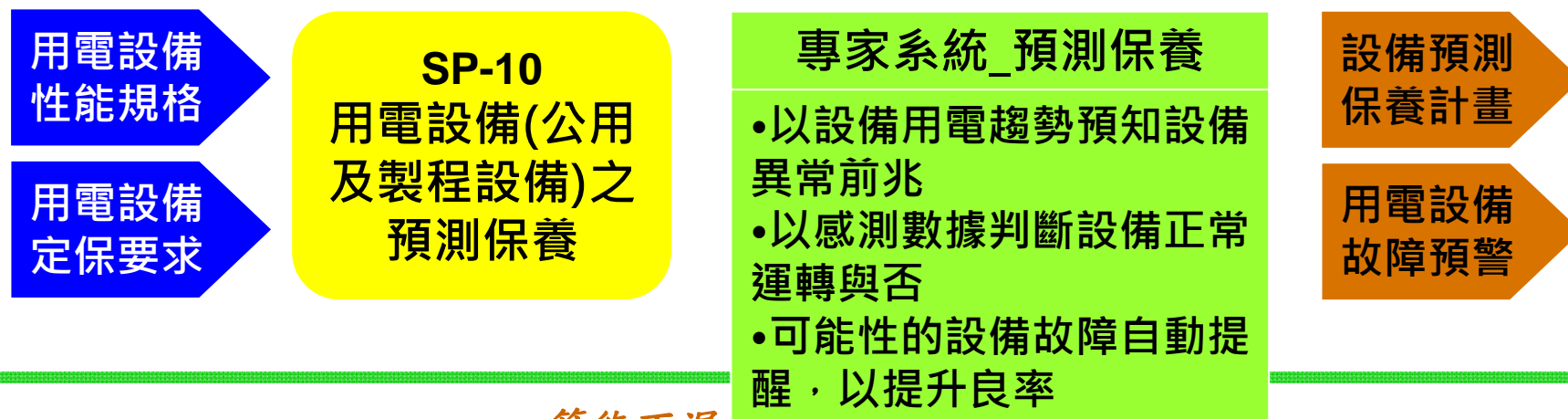
節能不漏氣 省電不客氣

## 第三階段：後保全

### (7) 受電設備安全監視



### (8) 用電設備預測保養



目標在提早發現故障點，避免失效；預測保養以提升良率



# iEnMS與現行ESCO節能改善模式比較

- 與現行ESCO模式比較：能源用戶**成本更低、效益更高**，**回收年限短**

		用戶成本	年投資效益	回收年限
本計畫創新服務	第一階段： 看管服務	每年看管費用 20萬元	每年節省能源費用 40萬元	0.5年
	第二階段： 設備改善	投入設備改善費用 60萬元	每年節省能源費用 30萬元	2年內
	兩階段合計 (以一年計)	總計投入費用 80萬元	節省能源費用 70萬元	1.15年內
現行ESCO公司 之設備改善工程		投入100萬元	節省能源費用 30萬元	3.3年

		保養次數	保養費用	備註
本計畫 創新服務	第三階段： 能源保全	8次	80萬元	本數據以100HP(馬力)空壓機運轉 50,000小時為案例
現行ESCO公司 之設備保養服務		10次	100萬元	

註：第一階段效益主要來自減少無謂耗能與無效耗能。第二階段則因可確中實際應改善之目標設備，投資成本自然降低。



# SP-7

## 公用設備節能測試、平衡調度或調整汰換建議



# 雲端看管案例分析- 空壓系統管理改善

1號空壓機：空/重車運轉



2號空壓機：重車滿載運轉



3號空壓機：空車運轉



雲端電能分析結論	建議方案	電費節省效益
<p>經電能看管分析，3號100HP空壓機，空車轉時數偏高。</p>	<p>將3號空壓機關閉不使用，工廠用氣量仍足夠。</p>	<p><b>475,200元/年</b></p>

免換設備



Q & A

威電綠能

黃茂興

[gino@wpge.com.tw](mailto:gino@wpge.com.tw)