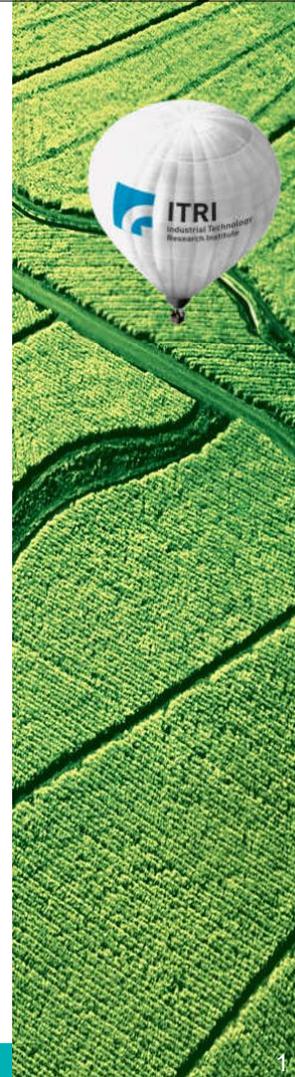


113年 淨零宣導與教育訓練

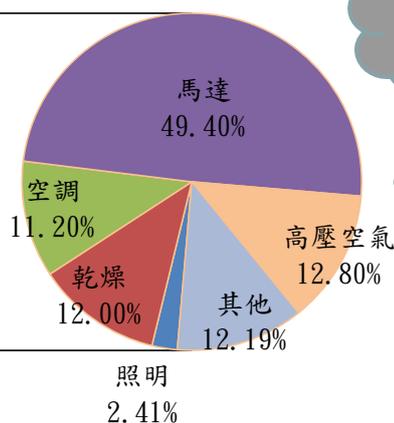
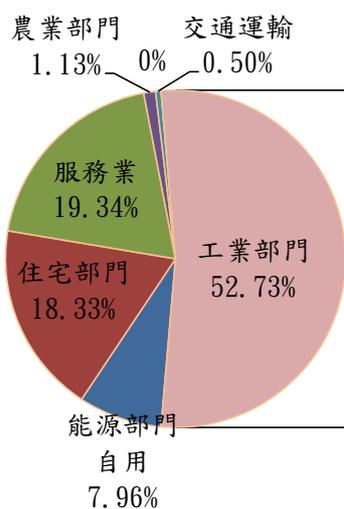
壓縮空氣節能技術

演講人：陳志豪 博士

單位：財團法人工業技術研究院 綠能所



國內壓縮空氣乾燥設備耗能情況



高壓空氣系統：
空壓機+乾燥設備

Source : Industrial Energy Consumption ECUK 2011

Source: Energy Statistics Hand Book 2011, BUREAU of Energy, MOEA, R.O.C

電力流向(電機電子業)

年度	製程動力	空調	空壓機	冷凍冷藏	污水處理	電熱	照明	集塵	其他
2013	44.7%	25.2%	12.3%	1.6%	2.9%	1.5%	3.3%	1.4%	7.1%
2014	45.0%	25.3%	12.3%	1.4%	2.9%	1.5%	3.4%	1.6%	6.6%
2015	45.8%	25.3%	12.0%	1.4%	3.1%	1.1%	3.1%	1.6%	6.7%
2016	45.5%	25.4%	12.2%	1.5%	2.8%	1.2%	3.0%	1.2%	7.2%
2017	45.4%	25.0%	11.8%	1.8%	2.9%	1.1%	2.8%	1.2%	8.0%
2018	46.7%	25.0%	11.6%	1.7%	2.9%	1.1%	2.7%	1.2%	7.2%
2019	46.5%	25.8%	11.7%	1.1%	3.0%	1.5%	2.6%	1.3%	6.3%
2020	46.6%	25.0%	11.8%	1.7%	2.8%	1.2%	2.6%	1.5%	6.9%
2021	46.4%	24.6%	11.5%	1.5%	2.8%	1.3%	2.6%	1.5%	7.7%
2022	46.8%	24.3%	10.9%	1.7%	2.9%	1.2%	2.6%	1.5%	8.1%

High Energy Consumption

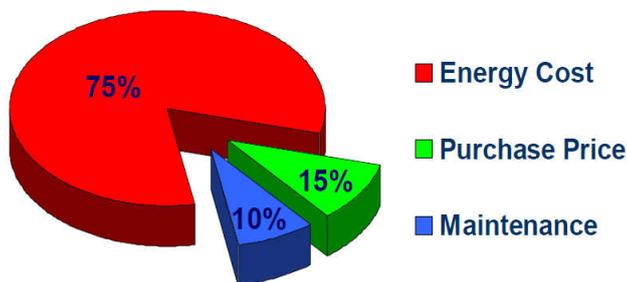
- 壓縮空氣為工業部門基本動力源
- 壓縮空氣系統佔工業部門用電量約 10~12.8%

空壓機能源使用成本佔比高

以100HP空壓機為例之成本估算(新台幣)
(12 CMM)

Year	Equipment	Maintenance	Energy
1	760,000	75,000	1,935,000
2		75,000	1,935,000
3		75,000	1,935,000
4		75,000	1,935,000
5		75,000	1,935,000
6		75,000	1,935,000
7		75,000	1,935,000
8		75,000	1,935,000
9		75,000	1,935,000
10		75,000	1,935,000
Total	760,000	750,000	19,350,000

Compressor Cost of Ownership



Source: Guide 241, E.T.S.U Best Practice Programme
Based on a ten year operating period

高壓空氣是昂貴的!!

每1CMM需6.60kW電能耗損，相當於0.28元/m³

政符現行法規

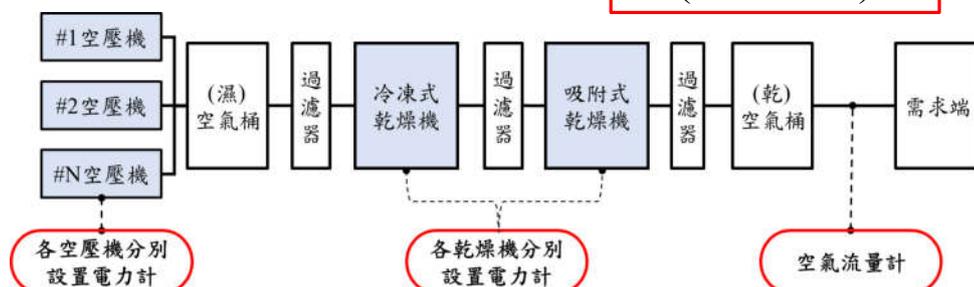
- 104年「**電子業節約能源及使用能源效率**」規定，3台以上空壓系統、總功率達150HP以上，須實施**負載調控**。
- 110年「**空氣壓縮機容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式**」，其能效實測值不得低於**容許耗用能源基準**規定。
- 112年能源大用戶(系統總功率>500hp)，每年須申報**空壓系統能效值(kW/CMM)**。
- **節能績效保證專案示範推廣補助計畫**，壓縮空氣系統耗能指標值低於**6.8kW/CMM**。(補助1/3，上限500萬)

空壓站系統能效
(kW/CMM)



$$\eta = \frac{0.35 * V_1 * (p_2^{0.2857} - 1)}{P_{real}}$$

空壓機等熵效率

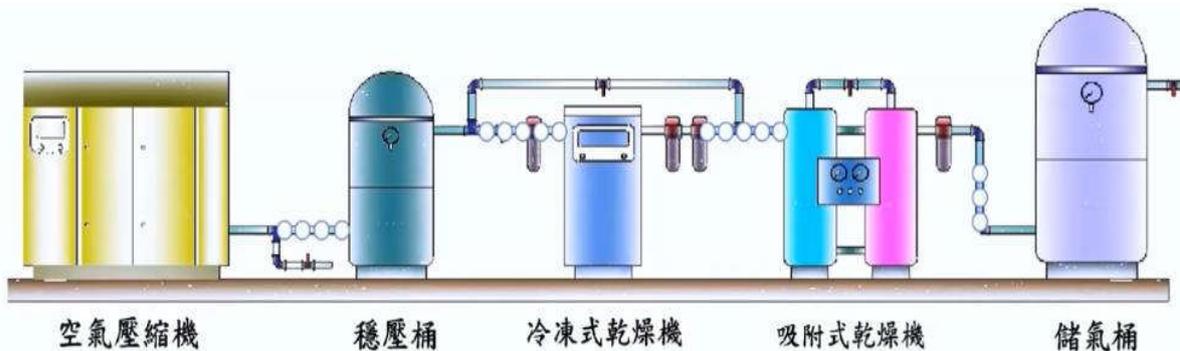


Ref. 能源效率管理系統 (<https://www.meps.org.tw>)

市場調查現況

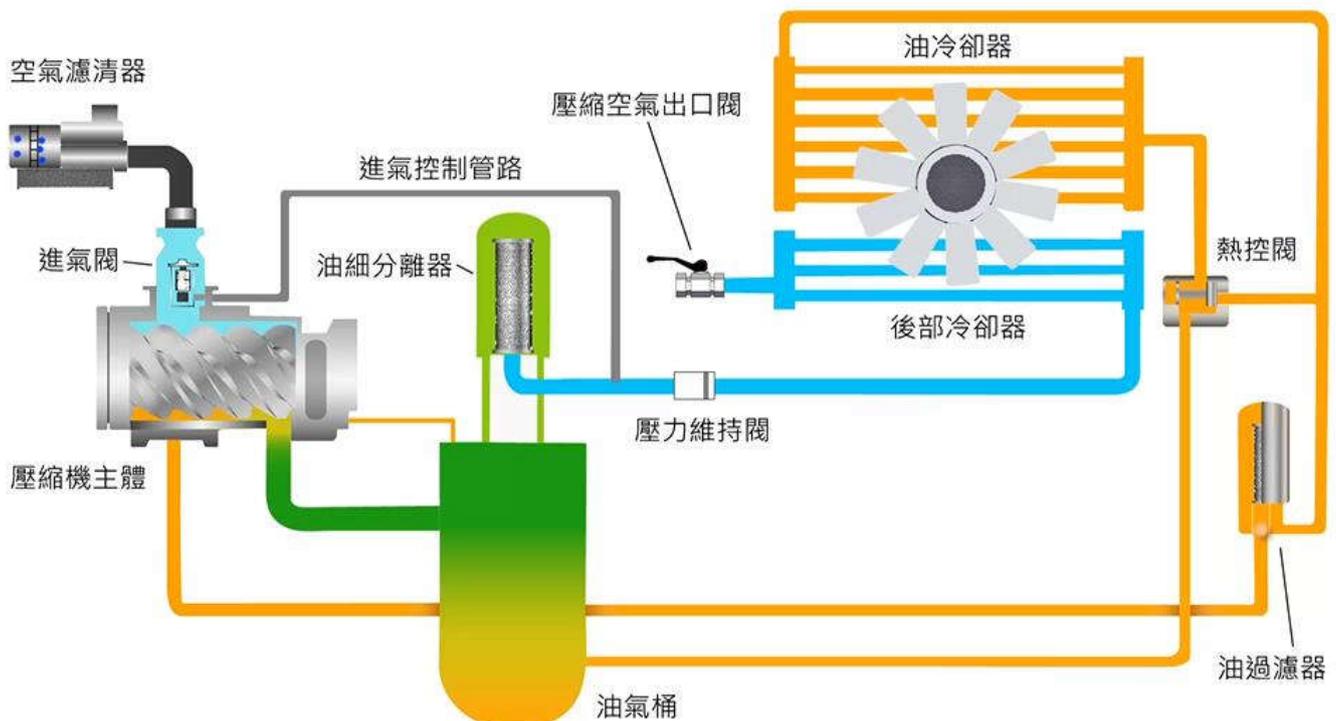
□現況分析與技術缺口：

- **空壓機產業現況**:低階**微油空壓機**正面臨亞洲新興國家削價競爭，須拓展高階/高利潤的**無油空壓機**產品，才有機會打入國際。
- **終端使用現況**:工廠空壓系統能效值落約**8~12 kW/CMM**，高壓氣體洩漏率普遍達**25~40%**。
- **技術缺口**:先進**無油式空壓機**、**流力元件**、**輔助散熱元件**等(提升壓縮過程能源轉換效率)、**智慧能管控制**、**偵測洩漏**(減少不當使用與空車時數)，全面提升國內**高科技廠務空壓系統能效值**<7.2 kW/CMM。



高科技廠務空壓系統示意圖

微油螺桿式空壓機運作原理



空壓機主要機頭(Air end)類別

- 類別與增壓程度
 - 送風機(壓比<1)
 - 鼓風機(壓比1~2)
 - 壓縮機(壓比>2)



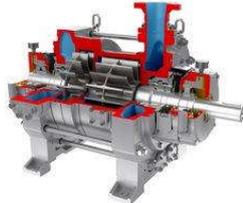
Scroll 渦卷



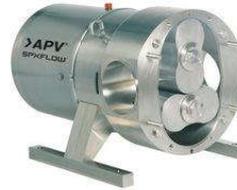
Screw 螺桿



Reciprocating 活塞



Liquid-Ring 液環



Rotary-Lobe 魯式



Rotary-Vane 輪葉

- 流體介質
 - 水、空氣、冷媒、
 - 特殊氣體(氫)...

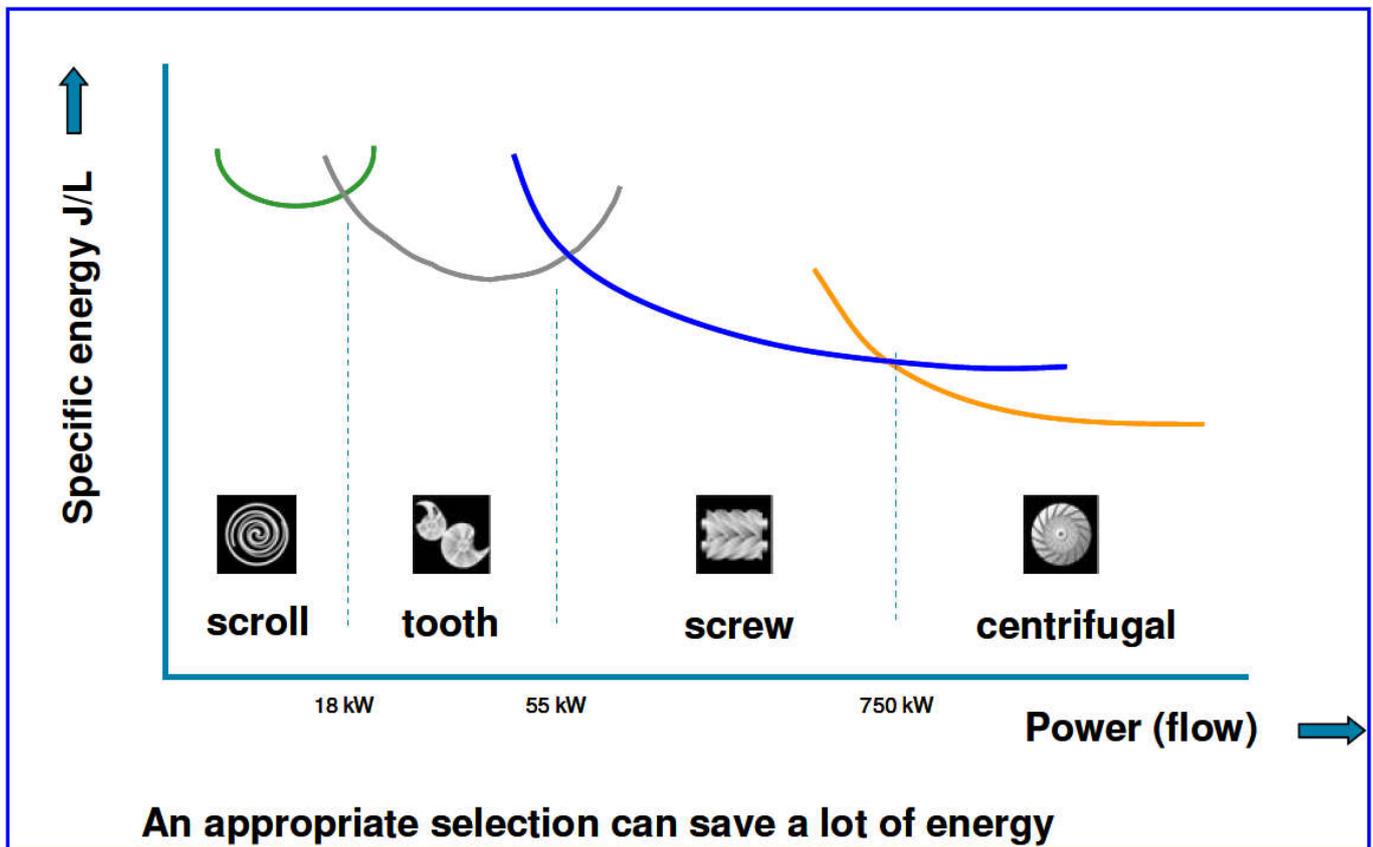


Centrifugal Compressor 離心



Axial Compressor 軸流

各類空壓機之能耗與風量



空壓機之耗能

- ◆往復式單位供風耗能为13.06 ~ 8.80 kW/CMM
- ◆螺旋式單位供風耗能为8.80 ~ 6.60 kW/CMM
- ◆離心式單位供風耗能为7.46 ~ 5.87 kW/CMM

8 kg/cm²壓力下，每1CMM氣量，相當於6.60kW的電能耗損，相當於0.28元/m³。
。約60~70%的電力轉換成廢熱。

(廢熱與廢冷回收技術示範應用專案補助作業，補助1/3，上限500萬)

◆壓縮出口壓力減少1bar

可降低6~10%的空壓機耗電
減少8~12%的耗氣洩漏量

1. 選擇高效率壓縮機

- 單位能耗 < 6.8 kW/CMM
- 廢熱回收型

◆每增加10°C壓縮溫度

增加壓縮空氣濕度20%
增加油氣含量50%
潤滑油使用壽命減少50%
增加空壓機耗能3%

2. 放置陰涼(乾)環境

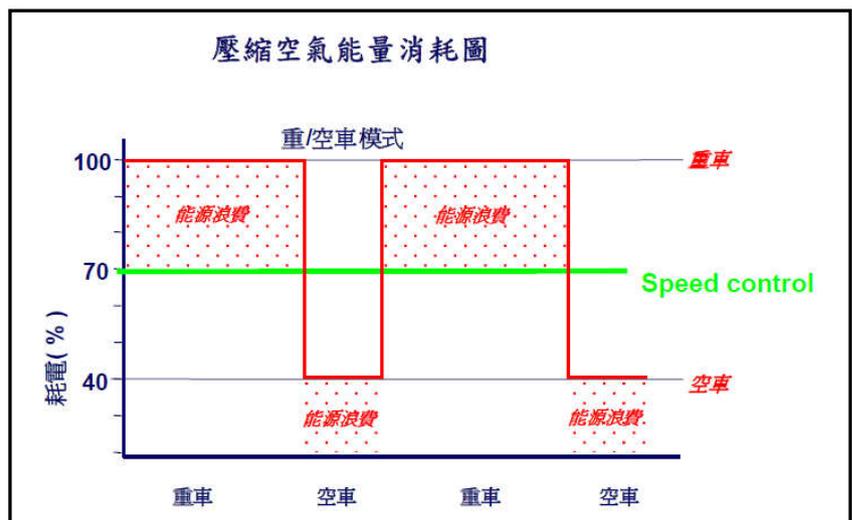
- 吸入端低溫、低濕

空壓機控制模式

- 自動啟動/自動停止 (<15HP)
- 空車/重車
- 容量調節控制(微調進氣閥門)
- 變頻控制
- 多機聯鎖

3. 系統控制

- 變頻、多機聯鎖
(建議screw變頻)



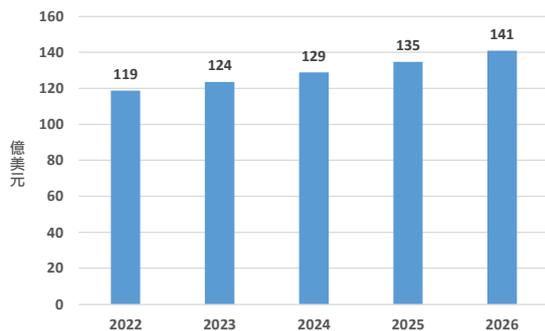
壓縮機未來發展

□ 國內無油式空壓機發展現況

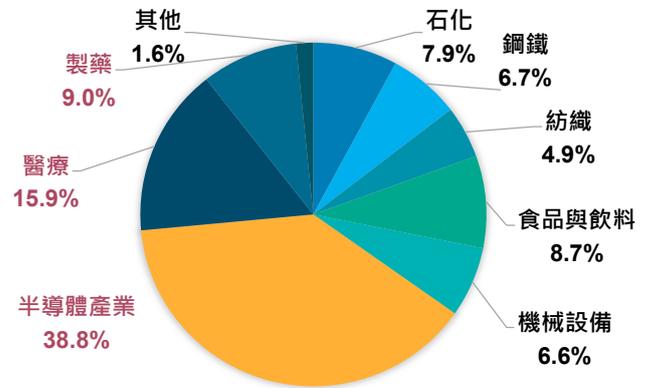
- 工業高壓空氣需求逐漸從**微油**轉為**無油**，我國三相感應馬達/無油式空壓機，以**半導體**最大**38.8%**，其次**醫療**及**製藥**分別為**15.9%**及**9%**。
- 半導體產業從IC設計、晶圓代工、封裝測試等，皆須**無油空壓機**。
- 醫療/製藥業多以**小型往復式無油**為主，應用於生產線潔淨空氣。

國內微油/無油空壓機佔比

類型	微油	無油	功率
活塞式	42.6%	57.4%	1~5HP
螺桿式	45.6%	54.4%	20~100HP
離心式	0%	100%	500~1000HP



全球無油空壓機市場規模(124億美元)



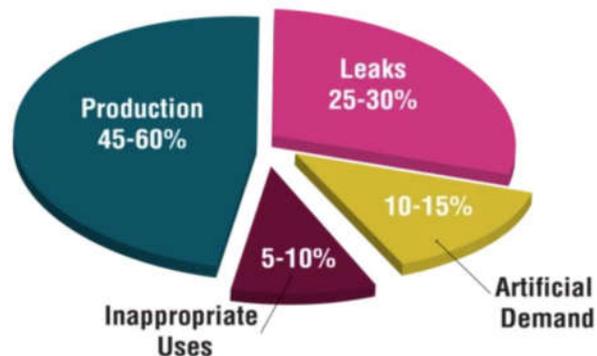
國內無油空壓機市場應用別分布

傳統壓縮空氣使用狀況分佈

- 45~60%-高壓氣體供應與使用
- 25~30%-氣體洩漏(管路、接頭、乾燥塔吹淨、排水)
- 10~15%-假性需求(壓力供應過高)
- 5~10%-不當使用

Air leaks account for **25-30%** of air used in a compressed air system.

- U.S. Department of Energy (DOE)



4. 洩漏偵測

- 卻水器、接頭、乾燥塔

Ref: <https://www.thehopegroup.com/services/air-compressors-field-service/air-compressor-leak-detection/>

如何測漏與何處洩漏

- 使用皂泡液測試管路銜接處
- 關機聽取洩漏聲
- 將出口端密封檢查壓力是否下降劇烈
- 以超音波測試

洩漏點易發生處

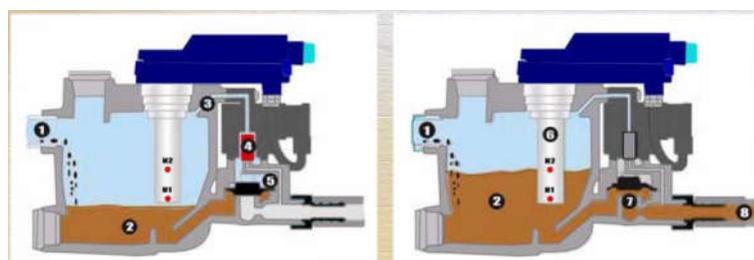
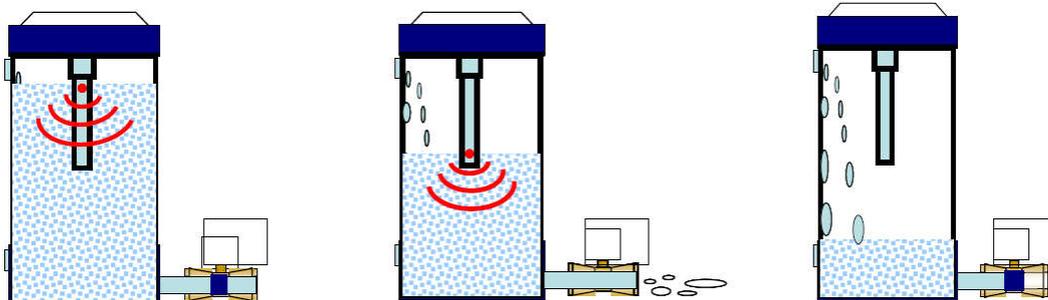
- 聯結器、膠管、接頭、管路接頭
- 快速接頭、三點組合
- 冷凝水排水器、排水閥
- 法蘭、墊片、密封膠圈
- 氣動設備與系統的連接點

壓縮空氣洩漏是很昂貴的!!

13

無耗氣式自動卻水器

1. 冷凝水達高水位
• 液位感測器發出訊號
• 啓動排水球閥，開始排水
2. 冷凝水排放至低水位
• 液位感測器發出訊號
• 通知排水閥關閉。
3. 冷凝水排完前，排水閥已關閉
• 殘留些許冷凝水，產生水封，
• 不會排放壓縮空氣



利用此設備可大幅降低壓縮空氣耗氣量

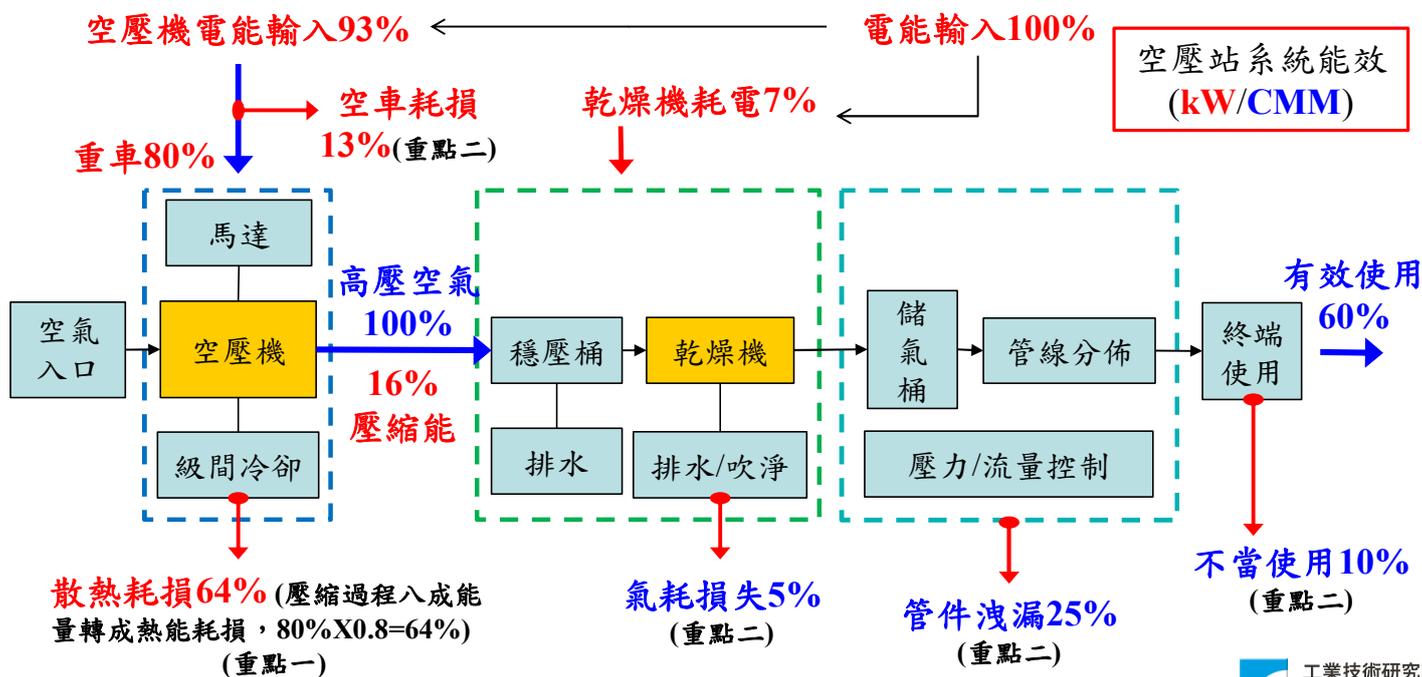
14

耗能分析

提升空壓效率技術發展藍圖與策略

重點一：提升壓縮過程之能源轉換效率，包含馬達、流力元件、級間冷卻

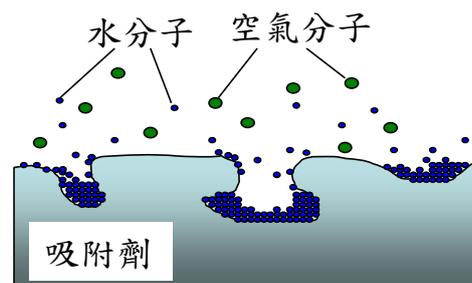
重點二：透過資通訊智慧化，偵測洩漏、減少不當使用與空車



吸附式乾燥機技術介紹

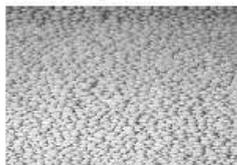
吸附劑之吸脫附原理

- 吸附劑以凡得瓦爾力將水分子**吸附**在孔洞中。
- 吸附劑吸附飽和之後，必須**脫附再生**，才能持續使用，通常藉熱空氣加溫將水分子汽化或孔洞內外水分子濃度差來**脫附**。



Types of desiccant:

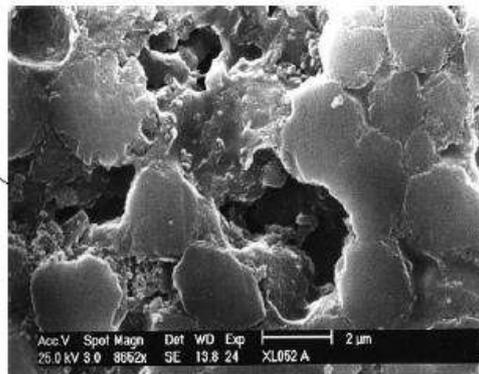
Activated Alumina



Molecular Sieve



Sorbead WS + N



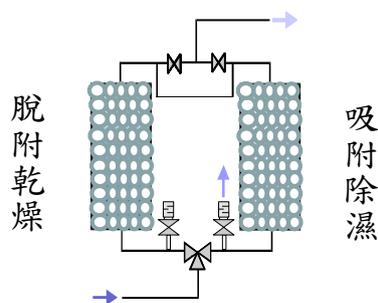
吸附劑特性

特性	矽膠	活性氧化鋁	分子篩
顆粒尺寸 (mm)	2 ~ 8	2 ~ 9	1 ~ 6
孔隙率 (%)	50 ~ 65	50 ~ 60	45 ~ 60
比表面積 (m ² /g)	300 ~ 800	100 ~ 400	500 ~ 900
孔容積量 (ml/g)	0.4 ~ 1.0	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1.1
孔徑 (nm)	1 ~ 10	1.5 ~ 10	0.4 ~ 1.5
比熱 (kcal/kg °C)	0.22 ~ 0.25	0.21 ~ 0.25	0.19 ~ 0.31
比重(kg/m ³)	700 ~ 800	750	720
靜態吸附量 (kg/kg)(%)	20 ~ 40	20 ~ 30	3 ~ 9
吸附溫度 (°C)	5 ~ 40	0 ~ 40	5 ~ 60
脫附溫度 (°C)	100 ~ 150	120 ~ 200	140 ~ 280
再生熱能 (kcal/kgH ₂ O)	700	830	990

吸附式乾燥機種類

無熱式吸附乾燥機

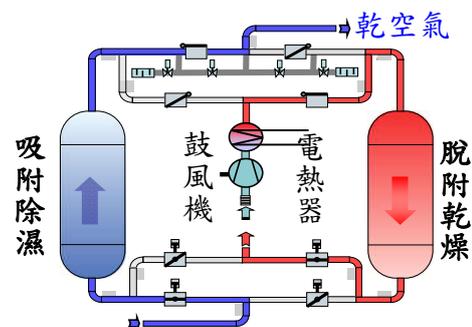
利用部分乾燥壓縮空氣通過吸附劑，**降壓後**藉濃度差來脫附，**然後直接排放到大氣**，最大可乾燥至壓力露點-40°C。



冷乾機出口、吸乾機入口

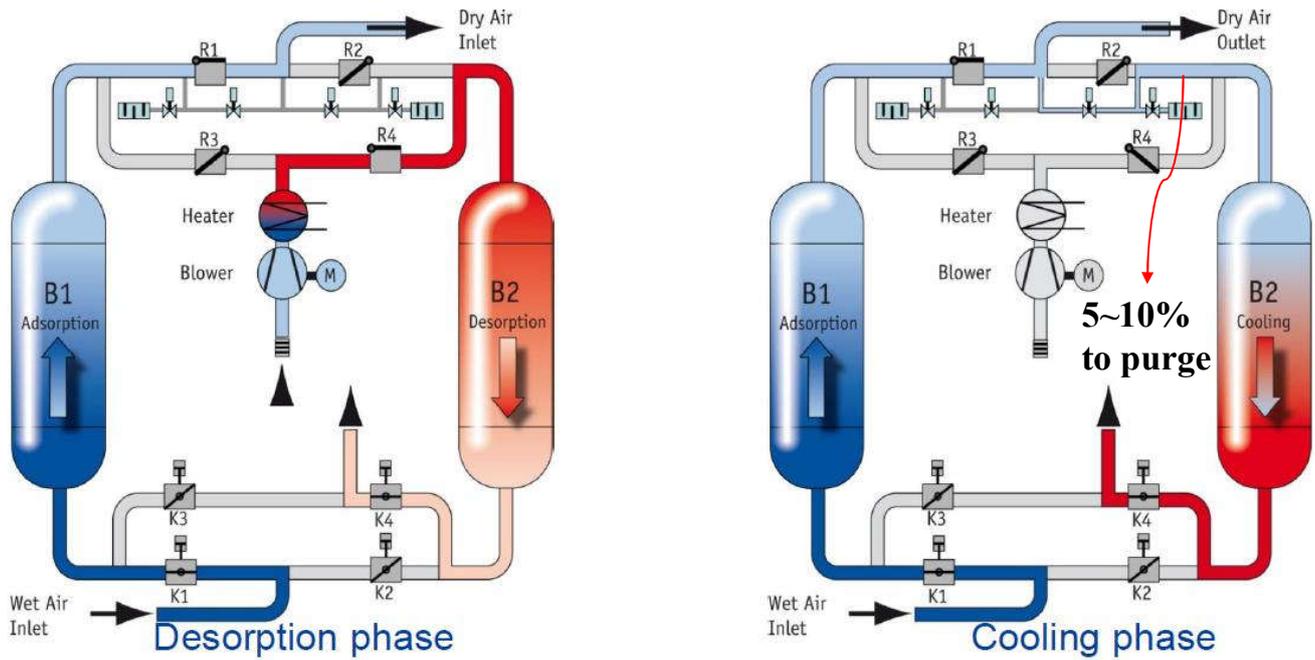
熱風式吸附乾燥機

利用電熱器加熱壓縮空氣後，將吸濕之吸附劑內水份脫附後排放，可乾燥至壓力露點-70°C。



冷乾機出口、吸乾機入口

加熱式吸附式乾燥機運轉原理



Source: BEKO

能耗分析

Table 4. The procedure of the compressed air drying system.

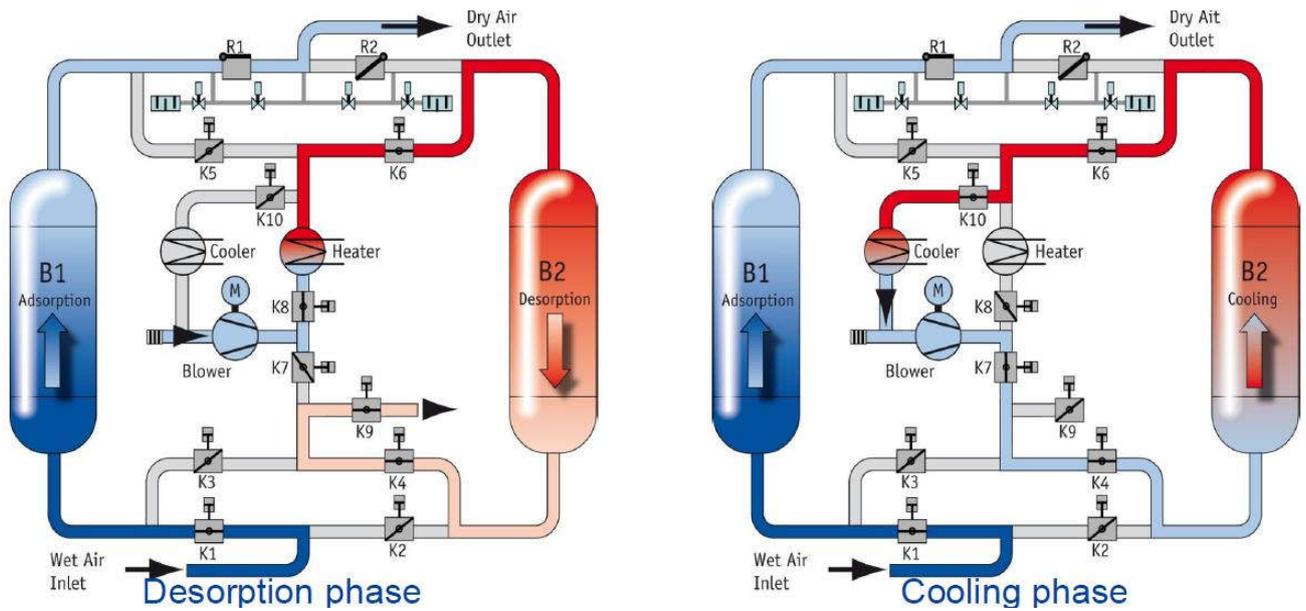
	Atmosphere	After Compressed	Air Storage Barrel	Refrigeration Dryer	Adsorption Dryer
Pressure (kPa)	101	885	876	865	836
Temperature (°C)	30	43	25	8	25
Relative humidity (%RH) (High pressure)	-	100%	100%	100%	2.6%
Relative humidity (%RH) (Atmosphere)	80%	12%	11.5%	11.3%	0.3%
Pressure dew point (°C)	-	43	25	8	-22.2
Dew point (°C)	26.1	7.5	-6.1	-18.3	-42

Table 6. Performance of a commercial adsorption dryer and the proposed ETAU system.

Adsorption Dryer Type	Heatless	Heat-Air-Flow	ETAU	Composite ETAU
Outlet dew point (°C)	-40	-40	-40	-40
Inlet air flow (m ³ /min., CMM)	3.11	2.86	3.01	3.00
Outlet air flow (m ³ /min., CMM)	2.17	2.62	2.79	2.78
Compressed air consumption ratio in cooling step (%)	30.1	8.1	7.3	7.3
Compressed air consumption energy index (kW/CMM _{compressed air}) (Purge)	2.31	0.62	0.56	0.56
Regeneration energy index (kW/CMM _{compressed air})	—	0.57	0.41	0.32
Total energy efficiency index (kW/CMM _{compressed air})	2.31	1.19	0.97	0.86

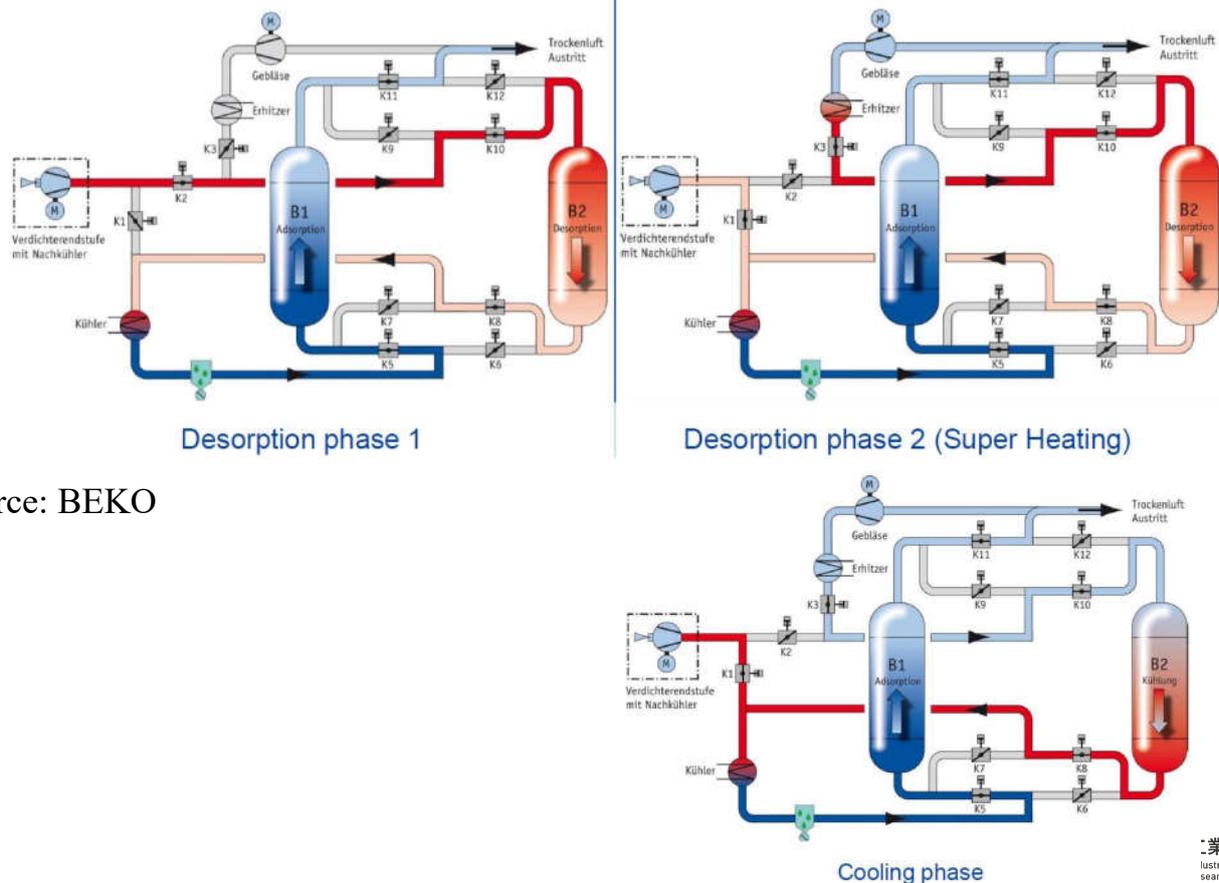
Source: Electrothermal Desiccant Regeneration Technique for Air Dehumidification

吸附式乾燥機運轉原理-無耗氣式



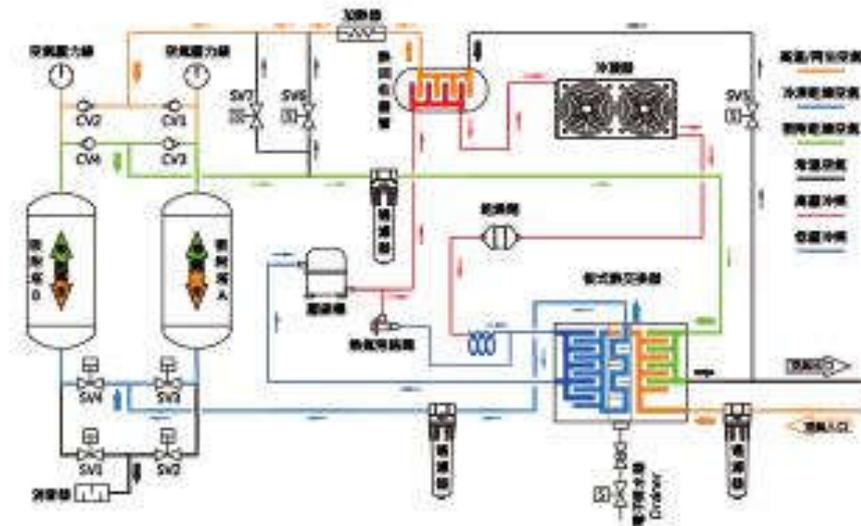
Source: BEKO

吸附式乾燥機運轉原理-廢熱回收式



Source: BEKO

吸附式乾燥機運轉原理-冷乾機複合式



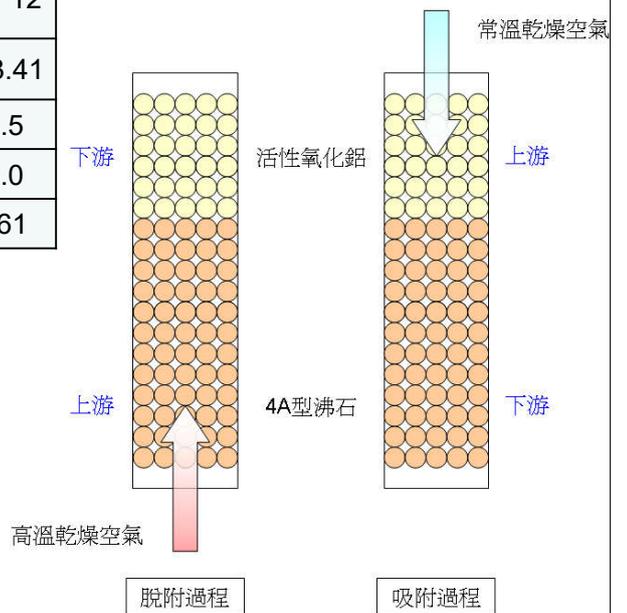
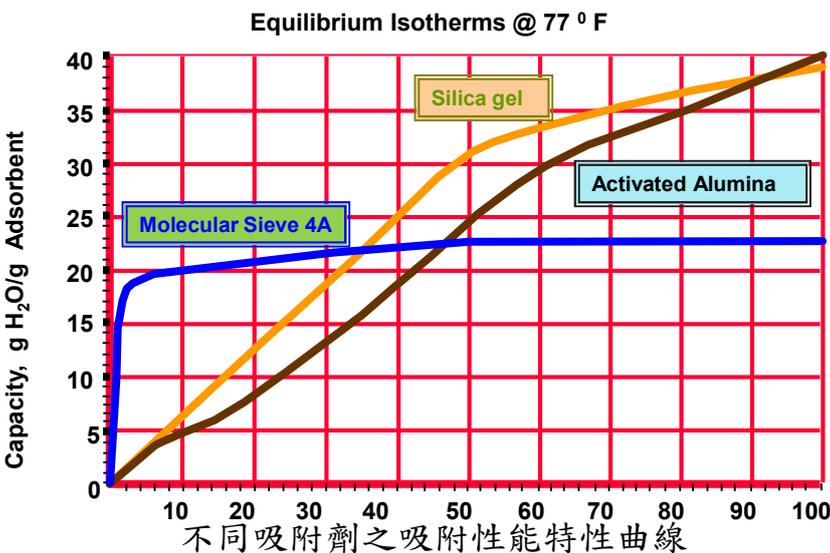
Source: 石大

- 5. 高效率乾燥機**

 - 無耗氣式
 - 廢熱回收式

高壓系統吸附劑篩選與混合配置測試探討

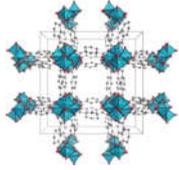
	4A型沸石：活性氧化鋁					
	12 : 0	9 : 3	8 : 4	6 : 6	3 : 9	0 : 12
上游露點溫度(°C)	-11.48	-11.33	-9.88	-10.06	-11.81	-13.41
吸附壓力 (atm)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
脫附壓力 (atm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
脫附溫度 (°C)	154	161	163	160	163	161



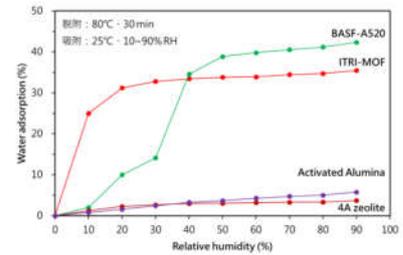
傳統加熱式吸附乾燥機

未來發展

- 低溫可再生吸附劑：
金屬有機骨架(MOFs)



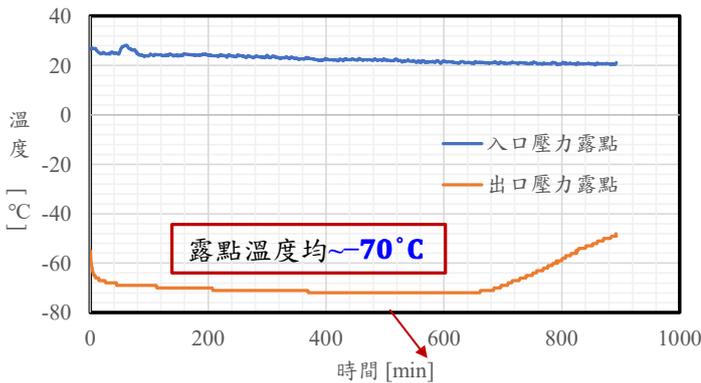
ITRI-MOF顆粒



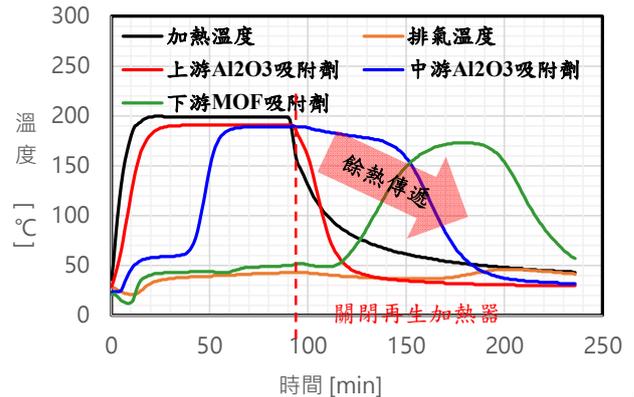
MOF吸附式乾燥設備測試

- ◆ 180~200 °C再生熱風溫度具最佳熱傳效率。再生溫度降至140°C，會無法完全再生傳統氧化鋁吸附劑
- ◆ 以餘熱再生低溫型吸附劑可提升系統能效，故可利用氧化鋁餘熱再生下游MOF吸附劑，達到11.8%系統節能效益

MOF吸乾機入出口露點變化

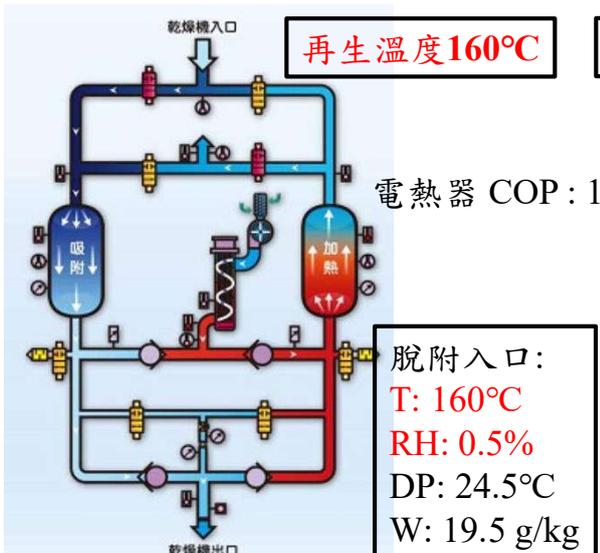


餘熱再生操作模式之吸附劑溫度變化

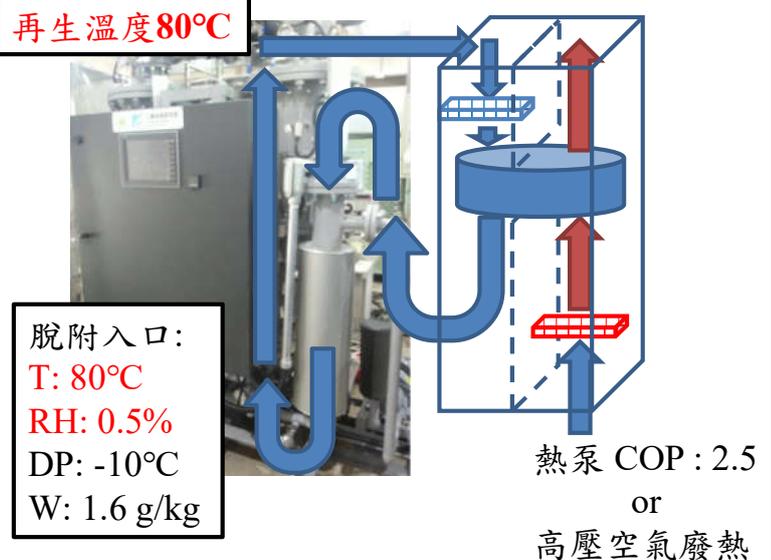


未來發展

傳統高壓空氣吸附乾燥運作原理



用熱泵+轉輪 取代 電熱器



1 CMM 再生風量	能耗 (kW)	成本 (元)
傳統高壓空氣吸附乾燥	2.6	3000
熱泵+轉輪高壓空氣吸附乾燥	1(電熱器) + 0.4(熱泵) = 1.4	11000

總結

1. 選擇高效率壓縮機

- 單位能耗 <6.8 kW/CMM
- 廢熱回收型

2. 放置陰涼(乾)環境

- 吸入端低溫、低濕

3. 系統控制

- 變頻、多機聯鎖

4. 洩漏偵測

- 卻水器、接頭、乾燥塔

5. 高效率乾燥機

- 無耗氣式
- 廢熱回收式



廠商節水節能經驗分享、淨零排放宣導
及技術教育訓練

敬請指導