



台灣積體電路製造  
股份有限公司

# 壓縮空氣系統節能技術整合

薛弘仁 工程師

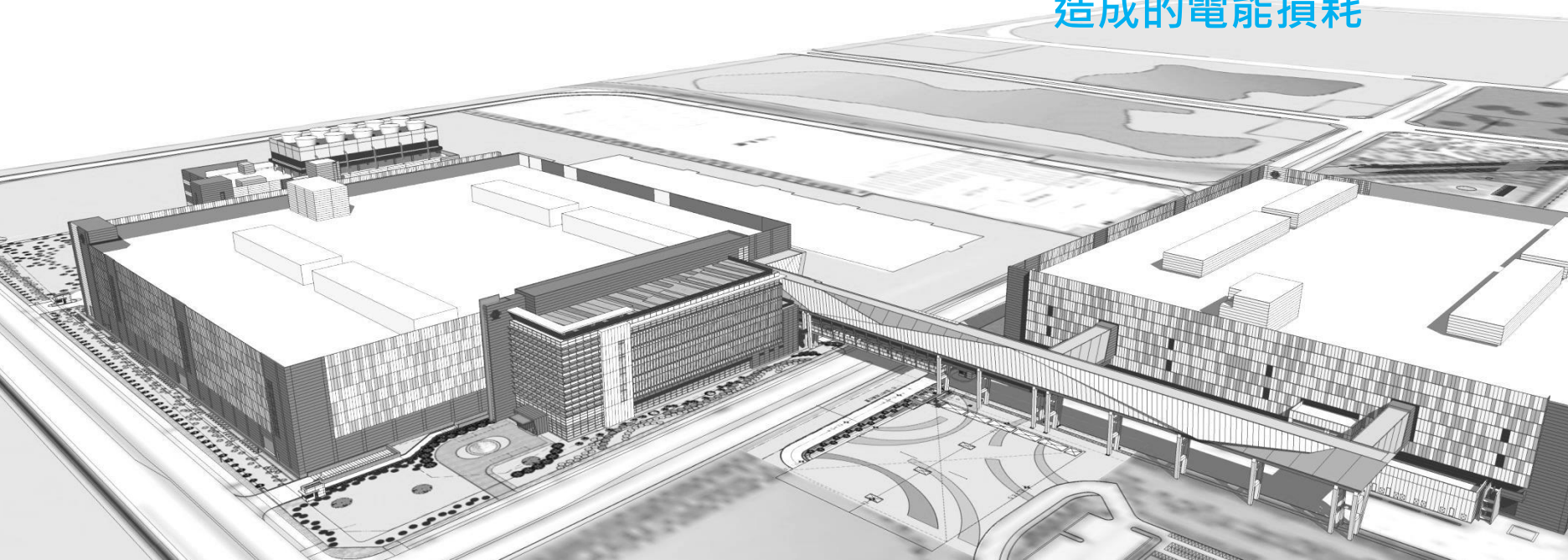


# 簡報 大綱

Report Outline

## 台積電F14B廠壓縮空氣系統節能技術分享

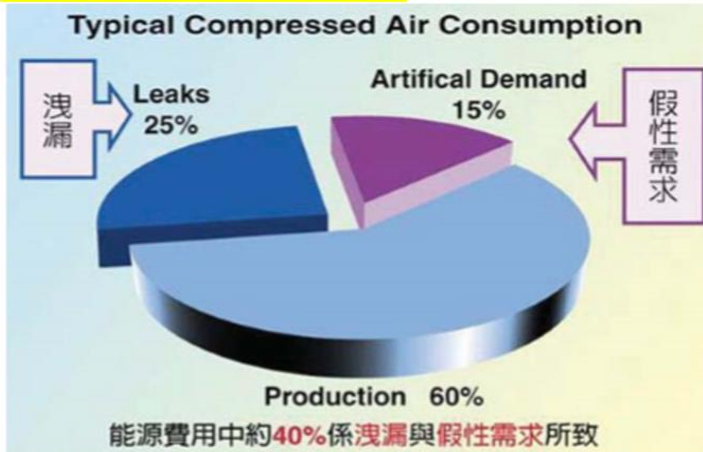
- 環境改善-空壓機進氣環境溫度過高
- 機台改善-空壓機各壓縮段卻水時之吹洩損耗
- 能源管理-改善空壓機空車運轉時電能損耗
- 物聯網大數據分析-改善空壓機局部單機控制造成的電能損耗



# 前言

- 為了使節能最大化，分析壓縮空氣系統(包含供應端,配置端和需求端)的能源使用是非常重要的。

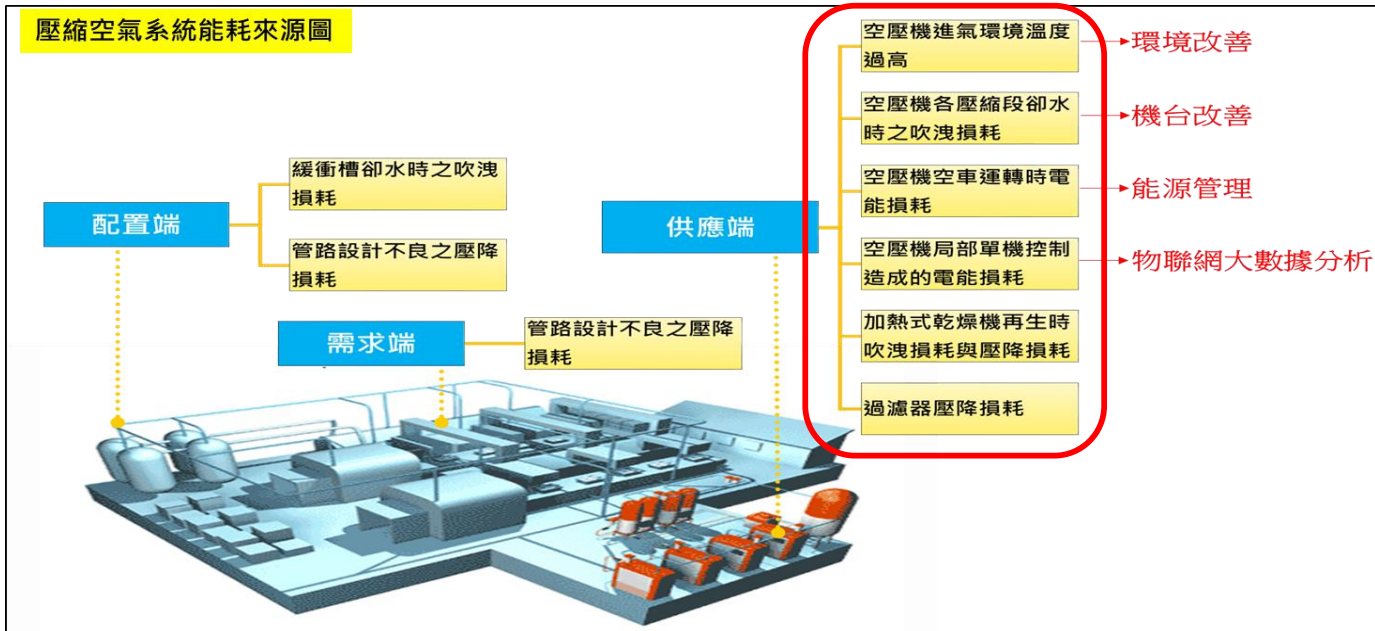
壓縮空氣系統能源使用分析



**洩漏:**5%~10%是較可接受的範圍

**假性需求:**對製程生產毫無助益的壓縮空氣需求或電能未完全用於產氣。

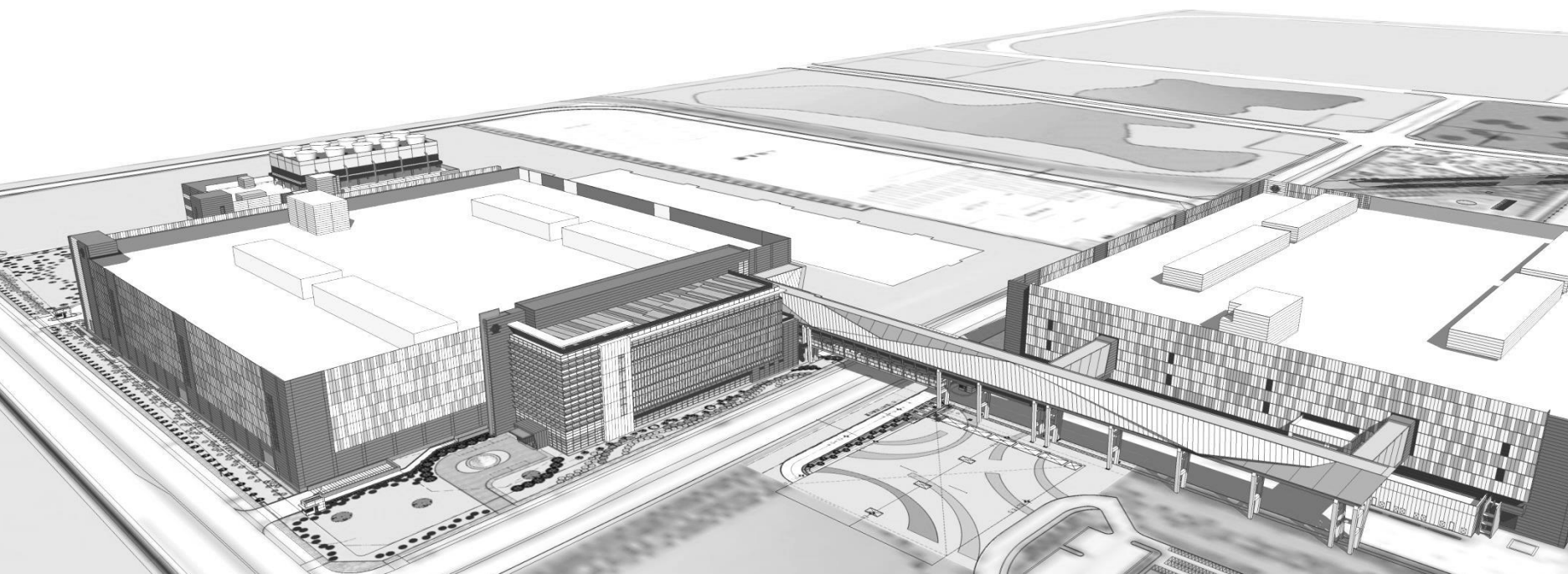
資料來源:美國能源部



- 供應端為假性需求之大宗能耗來源，故從源頭改善和管理。

# 環境改善

## -空壓機進氣環境溫度過高

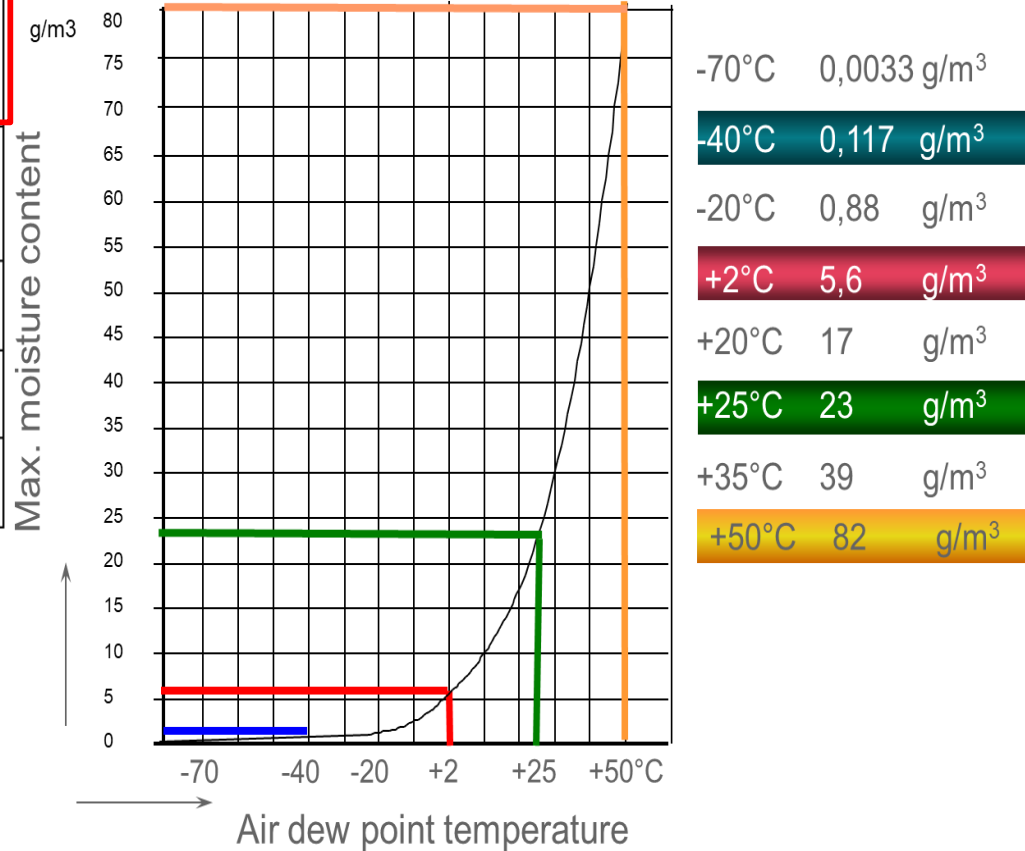


# 機房環境溫度理論背景

項目	合理化建議	節能量換算
空壓機房的容許環境溫度介於 5°C~40°C	理想的環境溫度介於 20°C~30°C	空壓機入口空氣溫度每 10°C 溫差，約會增減 3% 的功率消耗
空壓機房之通風空氣流動設計速度	最好低於 3m/s，最高不得超過 5m/s	-
排熱導管之空氣流速	低於 6 m/s	-
進氣風口面積的設計壓力降	低於 100pa	-
排熱導管面積的設計壓力降	低於 50pa	-

項目	合理化建議	節能量換算
進氣入口溫度	<35°C (夏季)	一般而言，空壓機的進氣溫度每升高 4°C，將增加空壓機輸出等效壓縮空氣時約 1% 的功率消耗
維護保養空間、起重設施與移動走道	維護保養空間離牆 90CM 並預留走道	-
儲存桶、乾燥與過濾設備的擺放空間	儲存桶放室外通風處，避免接受乾燥機排出熱風	-
噪音防治問題	<85 dBA	-
靠近主要用氣點或高使用壓力點	增設二次儲存桶或增壓機	-

空氣飽和含水率與溫度之關係圖

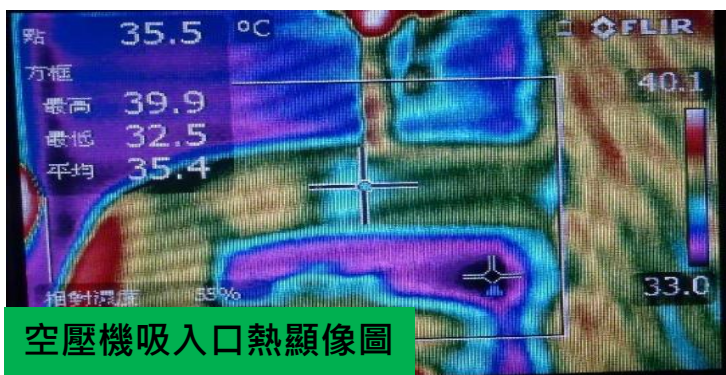
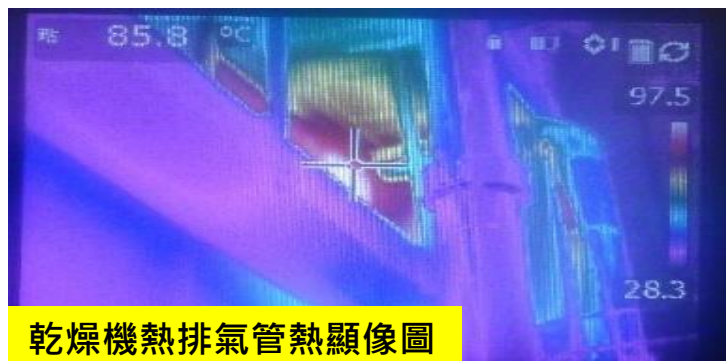


高溫空氣含水量較高致使空壓機產出的壓縮空氣量會減少，因此欲達到相同產量的壓縮空氣下，空壓機就必須耗費更多的能源。

# 空壓機進氣環境溫度過高\_改善前

- 2015 P5 CUP 2F出現2起火警誤警報(CDA Dryer多台熱排時間重疊)
- 乾燥機熱排管出口溫度 $>85^{\circ}\text{C}$ (超出偵測器警報溫度)，熱排氣蓄積於管道間
- 空壓機吸入口環境溫度 $>35^{\circ}\text{C}$

## 改善前

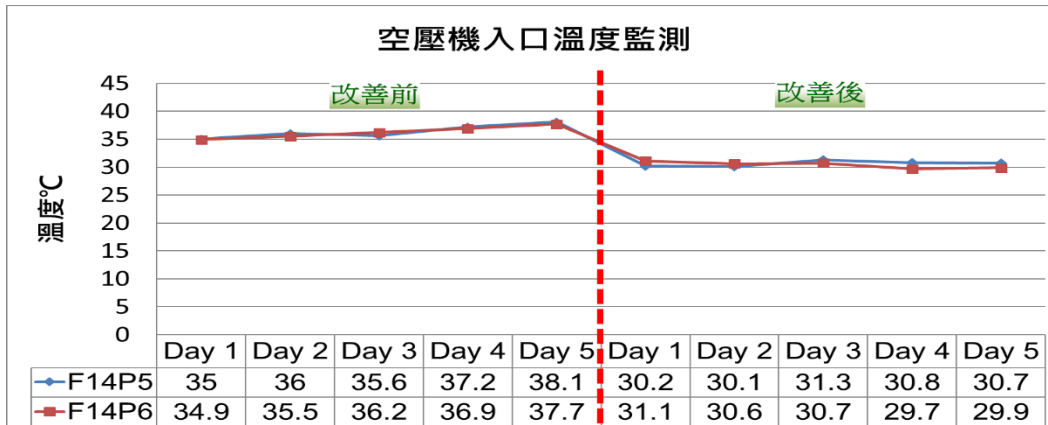
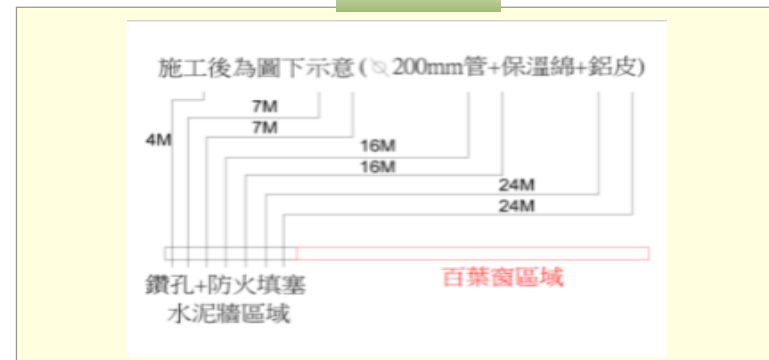


# 空壓機進氣環境溫度過高\_改善後

- 乾燥機熱排氣管改善工程(工程費用：1,440,000元)
  - 乾燥機再生熱排氣管移出建築內部管道間，避免空壓機吸入高溫高濕之空氣
  - 降低空壓機入口環境溫度 $35^{\circ}\text{C} \rightarrow 30^{\circ}\text{C}$ ，由文獻[1]經驗式推估約可提升壓縮效能1%。
  - 當時台積電F14B廠共運轉9台Atlas ZH900型(60Hz/1250Hp/8000CMH)離心式空壓機，  
一年可節省電量：

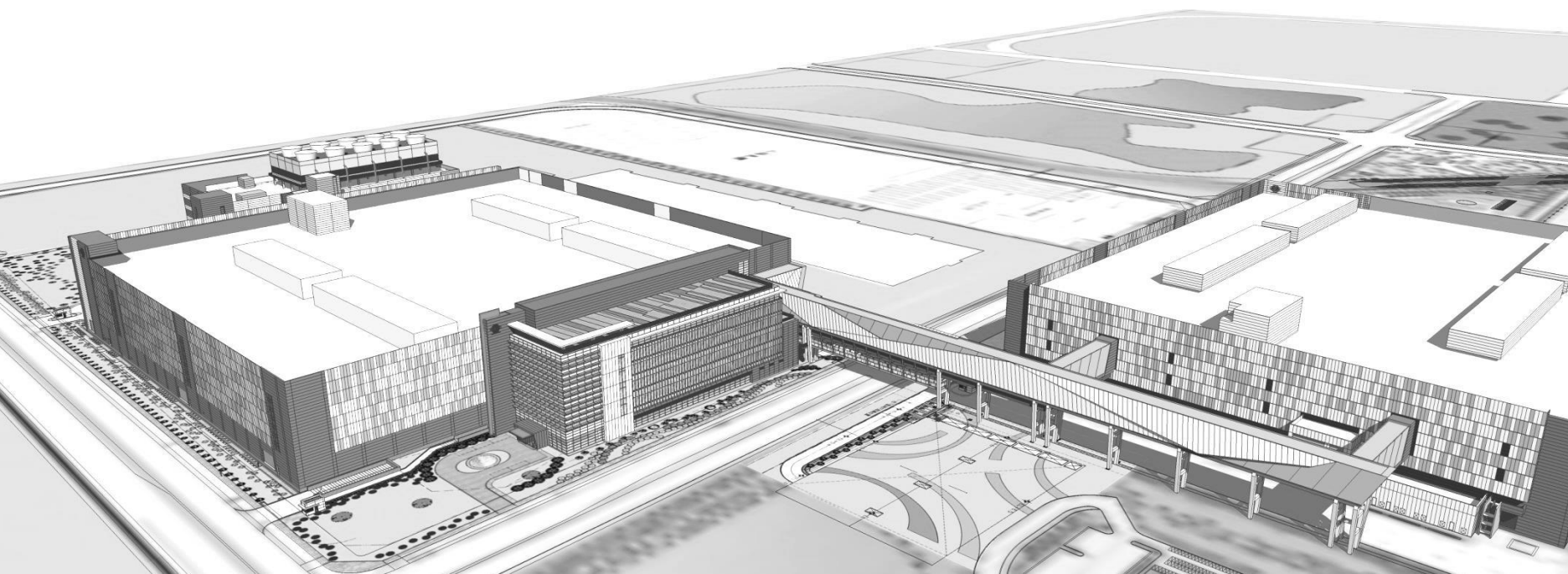
$1250\text{Hp} \times 0.746 \times 24\text{hr} \times 9 \times 1\% \times 365\text{天} = 735183\text{kWh} = 735,183\text{度}$ ，若以1度2.5元計算，  
 一年可省下：**1,837,957元**

## 改善後



# 機台改善

## -空壓機各壓縮段卻水時之吹洩損耗



# 卻水吹洩\_改善前

- Atlas ZH900型空壓機為三段壓縮離心機有三段管徑為3/4“的卻水管，卻水吹洩壓力分別為1、4、7 kg/cm<sup>2</sup>，其卻水手閥開度常開20%排放冷卻水，依據管徑流量表計算單台空壓機卻水吹洩耗氣量：

$$(23 + 56.94 + 90.88) \times 20\% = 34\text{CMH}$$

管徑流量表		管徑流量表										
ID	A(mm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )
SIZE	(mm)	$\pi D^2/4$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1/8"	1.78	2.49	0.13	0.26	0.39	0.52	0.65	0.78	0.91	1.04	1.18	1.31
1/4"	4.35	14.86	0.80	1.58	2.36	3.13	3.91	4.69	5.46	6.24	7.02	7.79
3/8"	7.53	44.53	2.40	4.73	7.06	9.39	11.72	14.04	16.37	18.70	21.03	23.36
1/2"	10.2	81.71	4.41	8.68	12.96	17.23	21.50	25.77	30.04	34.31	38.58	42.86
3/4"	16.6	216.42	11.69	23.00	34.31	45.63	56.94	68.25	79.57	90.88	102.19	113.51
15A	18.4	265.90	14.36	28.26	42.16	56.06	69.96	83.86	97.76	111.66	125.56	139.46
20A	23.9	448.61	24.23	47.68	71.13	94.58	118.03	141.48	164.93	188.38	211.84	235.29
25A	30.7	740.21	39.97	78.67	117.36	156.05	194.75	233.44	272.14	310.83	349.53	388.22
32A	39.4	1219.18	65.84	129.57	193.30	257.03	320.77	384.50	448.23	511.97	575.70	639.43
40A	45.3	1611.66	87.03	171.28	255.53	339.78	424.03	508.28	592.53	676.78	761.03	845.27
50A	57.2	2569.62	138.76	273.09	407.41	541.74	676.07	810.39	944.72	1079.05	1213.37	1347.70
65A	74.1	4312.34	232.87	458.29	683.72	909.15	1134.58	1360.00	1585.43	1810.86	2036.29	2261.71
80A	84.9	5660.99	305.69	601.62	897.55	1193.48	1489.41	1785.33	2081.26	2377.19	2673.12	2969.04
100A	110	9503.04	513.16	1009.93	1506.71	2003.48	2500.25	2997.02	3493.79	3990.56	4487.33	4984.10
150A	159.6	20005.20	1080.28	2126.05	3171.82	4217.59	5263.36	6309.13	7354.90	8400.67	9446.44	10492.21
200A	211.5	35131.59	1897.11	3733.61	5570.11	7406.61	9243.11	11079.61	12916.11	14752.62	16589.12	18425.62

## 卻水吹洩排放損失

洞直徑	用氣量在6 bar (g) 壓力m <sup>3</sup> /min	損失 (NTD*)
● 1 mm	0.065	0.3 5,400.-
● 2 mm	0.240	1.7 30,600.-
● 4 mm	0.980	6.5 117,000.-
● 6 mm	2.120	12.0 216,000.-



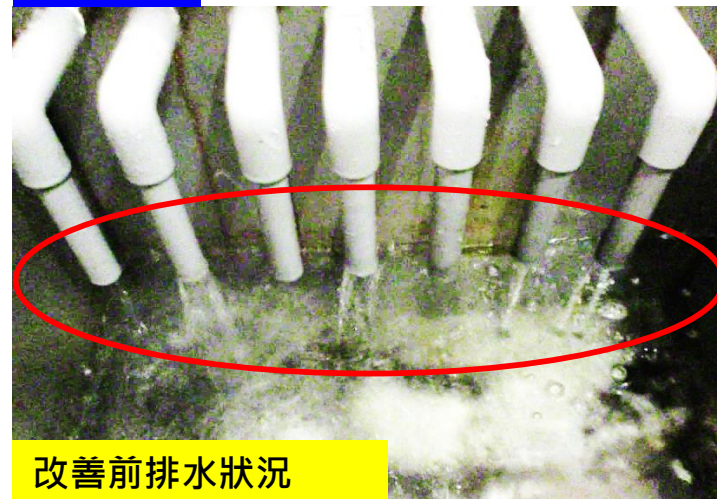
\* Electricity costs: 2.25 NTD/kW-H  
Service hours: 8,000 h/year

## 改善前



卻水手閥開度常開20%

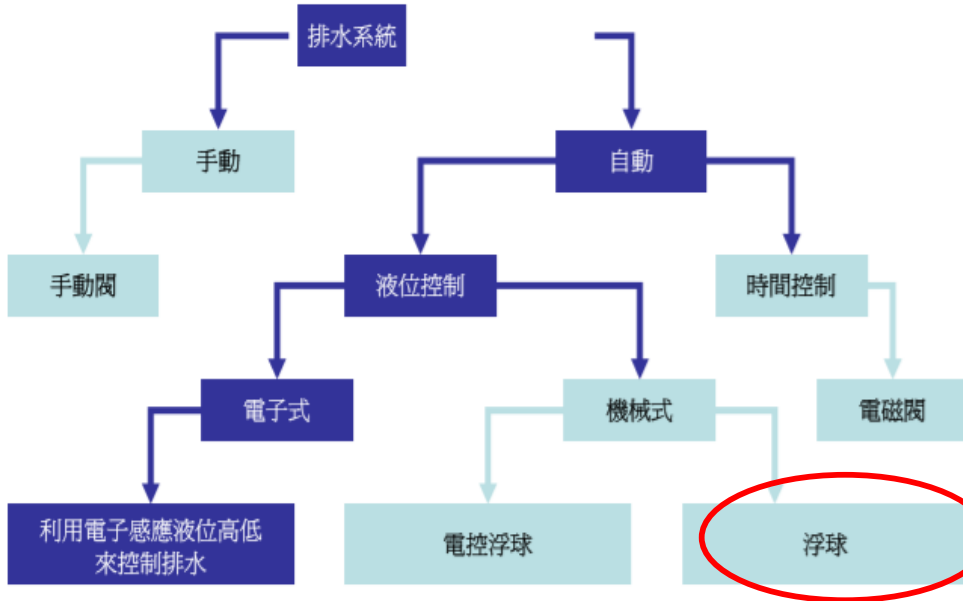
## 改善前



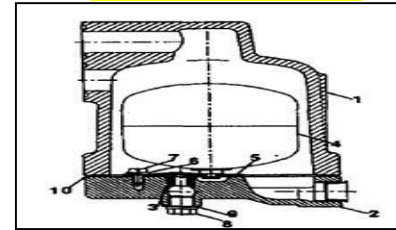
改善前排水狀況

# 卻水吹洩\_改善後

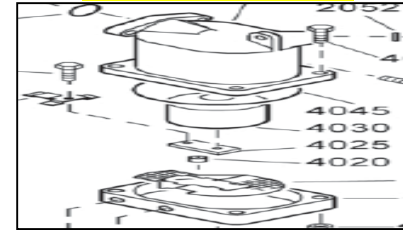
## 排水系統選擇



## 外觀形狀



## 內部構造

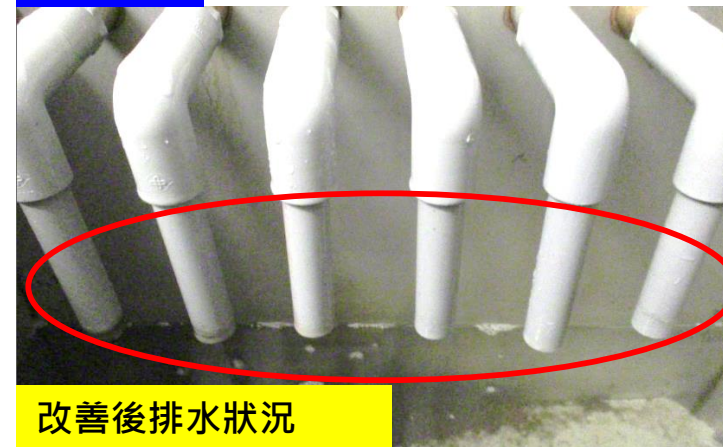


無耗氣浮球式卻水器圖

- 關閉卻水手閥改由無耗氣的浮球式卻水器自動排水其為機械式設計，液位達八分滿浮球才會開啟排水可避免耗氣。當時台積電F14B 廠共運轉 12 台 Atlas ZH900型離心式空壓機，一年可節省氣量：

$34\text{CMH} \times 12 = 408\text{CMH}$ ，此相當於省下1台Atlas ZH900型離心式空壓機產氣量的5%

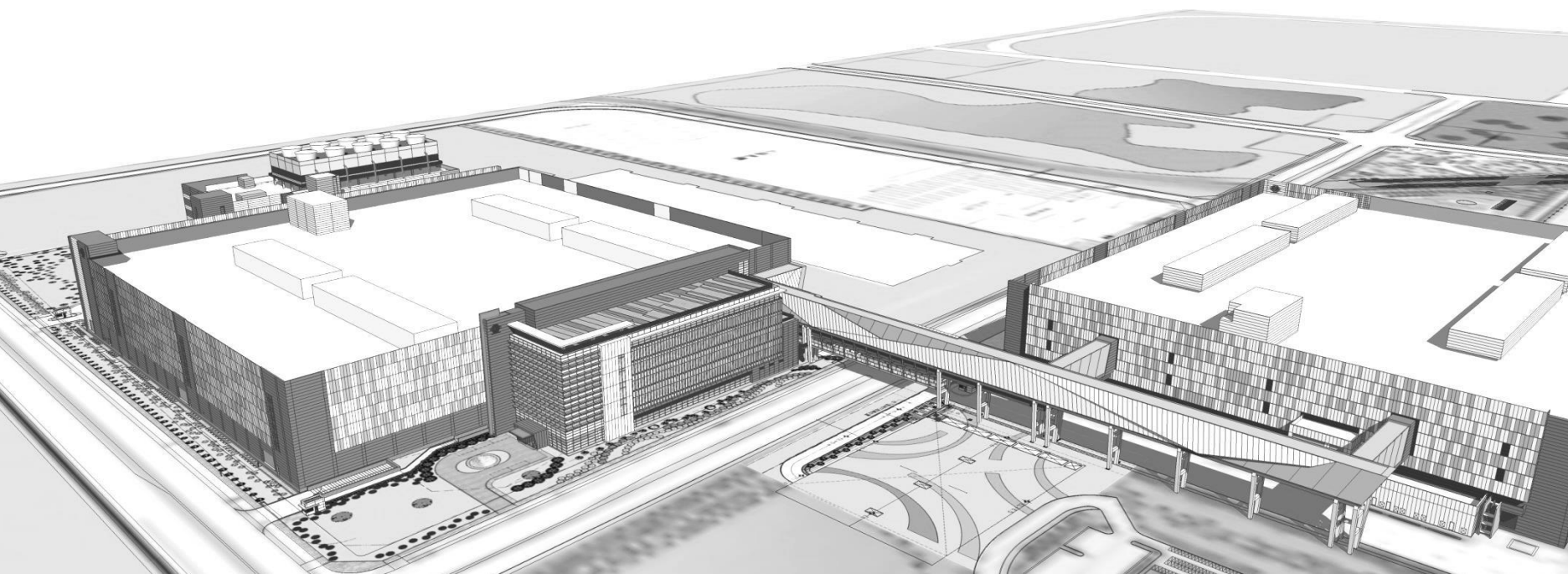
## 改善後



改善後排水狀況

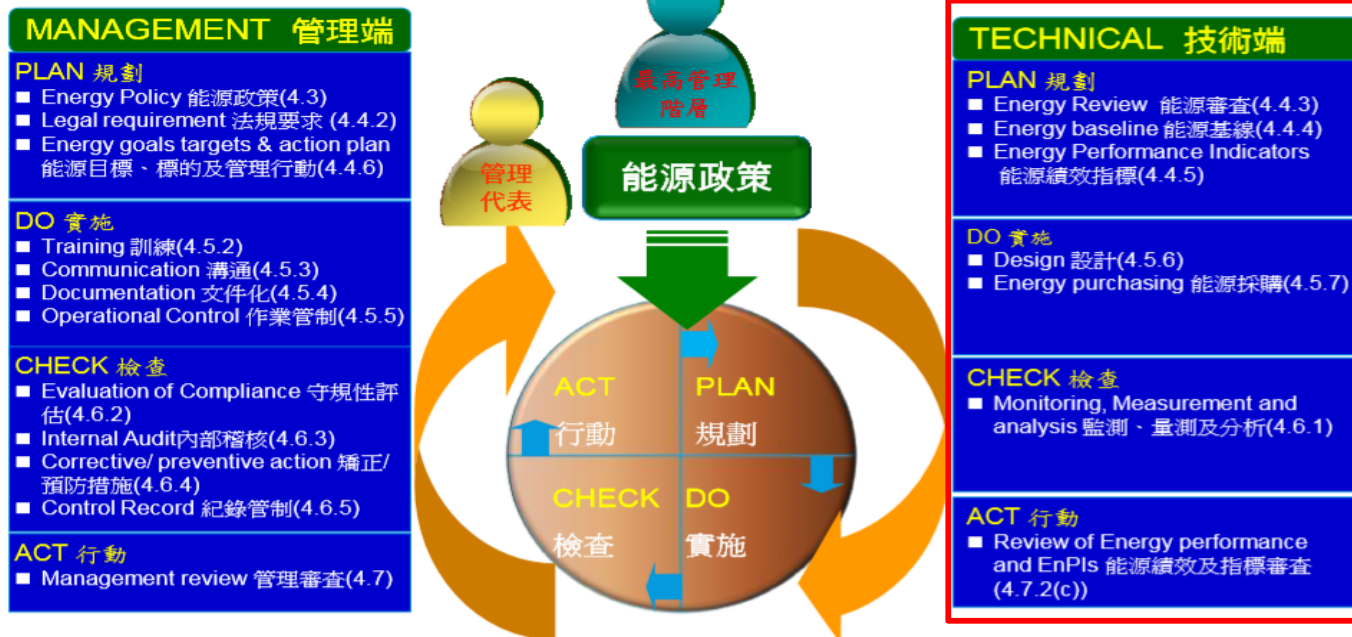
# 能源管理

## -改善空壓機空車運轉時電能損耗



# 能源管理理論背景

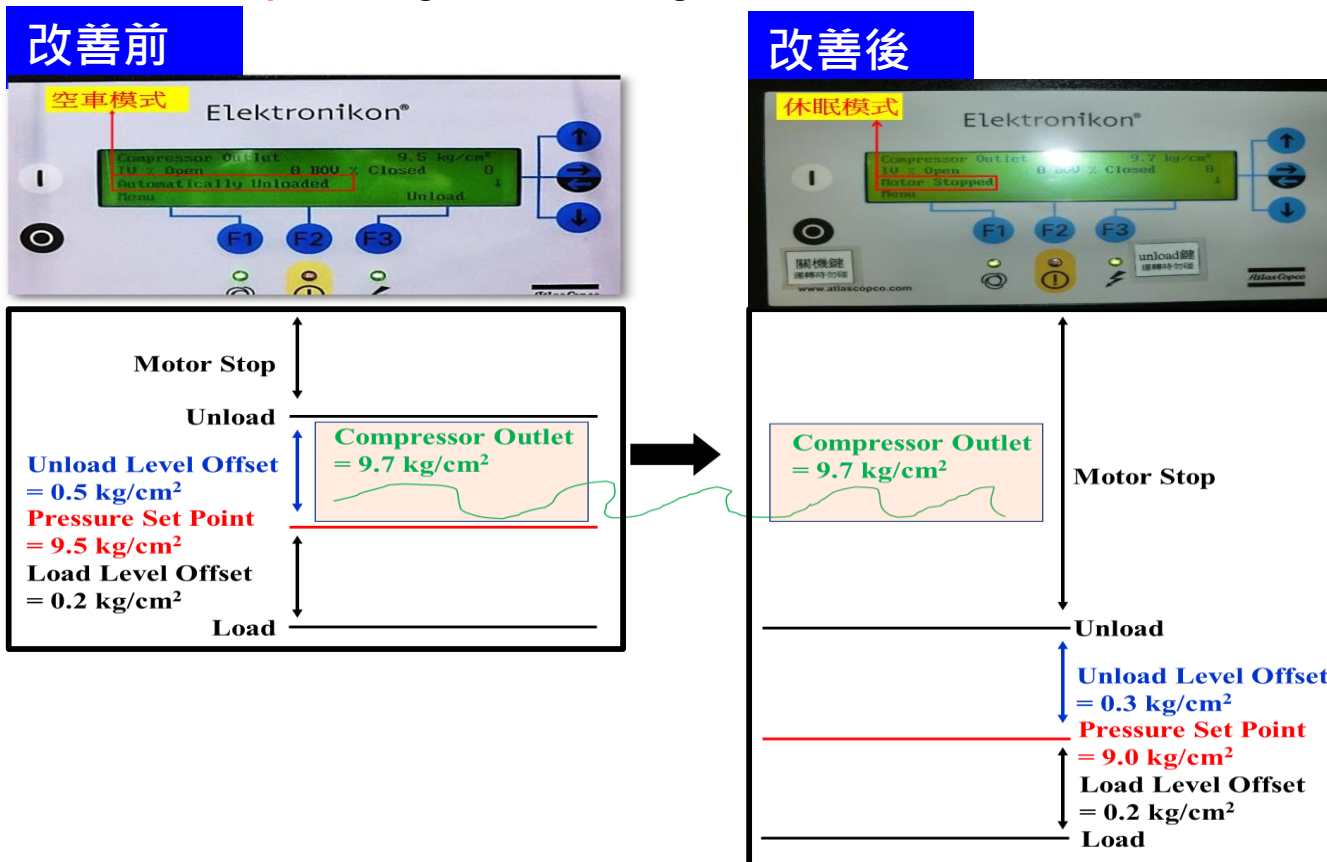
ISO50001能源管理系統圖



- CDA\_ECF(Clean Dry Air Energy Conversion Factor):用電量/用氣量(KWh/m<sup>3</sup>)
- tsmc Module/FAC 用電量報表系統

# 空壓機空車模式改休眠模式

- 針對運轉中但不供氣的空車運轉空壓機共6台進行模式修改
- 不變更供氣中空壓機主管壓力下(Compressor Outlet=9.7kg/cm<sup>2</sup>)，修改空車運轉空壓機的參數設定：壓力設定點(Pressure Set Point)：9.5kg/cm<sup>2</sup>→9.0kg/cm<sup>2</sup>和空車偏移量(Unload Level Offset)：0.5kg/cm<sup>2</sup>→0.3kg/cm<sup>2</sup>，將閒置機台由空車模式改為休眠模式。



# 空壓機空車模式改休眠模式效益

項次	溫室氣體減量措施	改善前狀況	改善後狀況	CO <sub>2</sub> 減量績效計算
2	F14 P5 CDA 系統節能	<p>1.F14 P5 共有相同型號 CDA 空壓機 7 台，以維持系統穩定，其中有 2 台機台做為備機(以運轉狀態)。</p> <p>2. P5 2015 年空壓機生產能耗為 <b>0.15051492</b> kWh/m<sup>3</sup>。</p>	<p>1. 導入藉由自動化控制，配合需求自動調整空壓機運轉，並將 1 台備用之空壓機，由待機運轉變完全停止運轉，減少電量浪費。</p> <p>2.P5 2016 年空壓機生產能耗為 <b>0.146310122</b> kWh/m<sup>3</sup>，空壓機生產壓縮空氣量為 294,321,317m<sup>3</sup>。</p> <p>3.P5 2017 年空壓機生產能耗為 <b>0.144457385</b> kWh/m<sup>3</sup>，空壓機生產壓縮空氣量為 292,025,443 m<sup>3</sup>。</p>	<p>1.節省電力：</p> <p>(1)( 0.15051492—0.146310122) kWh/m<sup>3</sup> ×294,321,317m<sup>3</sup>/年 = 1,237,562 kWh/年</p> <p>(2)( 0.146310122—0.144457385)kWh/m<sup>3</sup> ×292,025,443 m<sup>3</sup>/年 = 541,046 kWh/年</p> <p>(3)( 1,237,562+541,046) kWh/年 = <b>1,778,608 kWh/年</b></p> <p>2.CO<sub>2</sub>減量績效： 1,778,608 kWh/年×0.530 kgCO<sub>2</sub>/kWh ÷1,000 kg/ton = <b>943tonCO<sub>2</sub>/年</b></p> <p>3.投資效益： 1,778,608 kWh/年×2.5 元/kWh÷1,000 元/仟元 = <b>4,447 仟元/年</b></p>

項次	溫室氣體減量措施	改善前狀況	改善後狀況	CO <sub>2</sub> 減量績效計算
34	F14 P5/6 CDA 系統節能	<p>1.F14 P6 共有相同型號 CDA 空壓機 7 台，以維持系統穩定，其中有 2 台機台做為備機(以運轉狀態)。</p> <p>2. P6 2015 年空壓機生產能耗為 <b>0.17555141</b> kWh/m<sup>3</sup>。</p>	<p>1. 導入藉由自動化控制，配合需求自動調整空壓機運轉，並將 1 台備用之空壓機，由待機運轉變完全停止運轉(兩台備機常態皆為停止)，減少電量浪費。</p> <p>2.P6 2016 年空壓機生產能耗為 <b>0.156939086</b> kWh/m<sup>3</sup>，空壓機生產壓縮空氣量為 275,350,939 m<sup>3</sup>。</p> <p>3.P6 2017 年空壓機生產能耗為 <b>0.139814983</b> kWh/m<sup>3</sup>，空壓機生產壓縮空氣量為 271,417,733 m<sup>3</sup>。</p>	<p>1.節省電力：</p> <p>(1)(0.17555141—0.156939086) kWh/m<sup>3</sup> ×275,350,939m<sup>3</sup>/年 = 5,124,921 kWh/年</p> <p>(2)(0.156939086—0.139814983)kWh/m<sup>3</sup> ×271,417,733 m<sup>3</sup>/年 = 4,647,785 kWh/年</p> <p>(3)( 5,124,921 + 4,647,785) kWh/年 = <b>9,772,706 kWh/年</b></p> <p>2.CO<sub>2</sub>減量績效： 9,772,706 kWh/年×0.554 kgCO<sub>2</sub>/kWh ÷1,000 kg/ton = <b>5,414 tonCO<sub>2</sub>/年</b></p> <p>3.投資效益： 9,772,706 kWh/年×2.5 元/kWh÷1,000 元/仟元 = <b>24,432 仟元/年</b></p>

# 空壓機空車改休眠模式效益

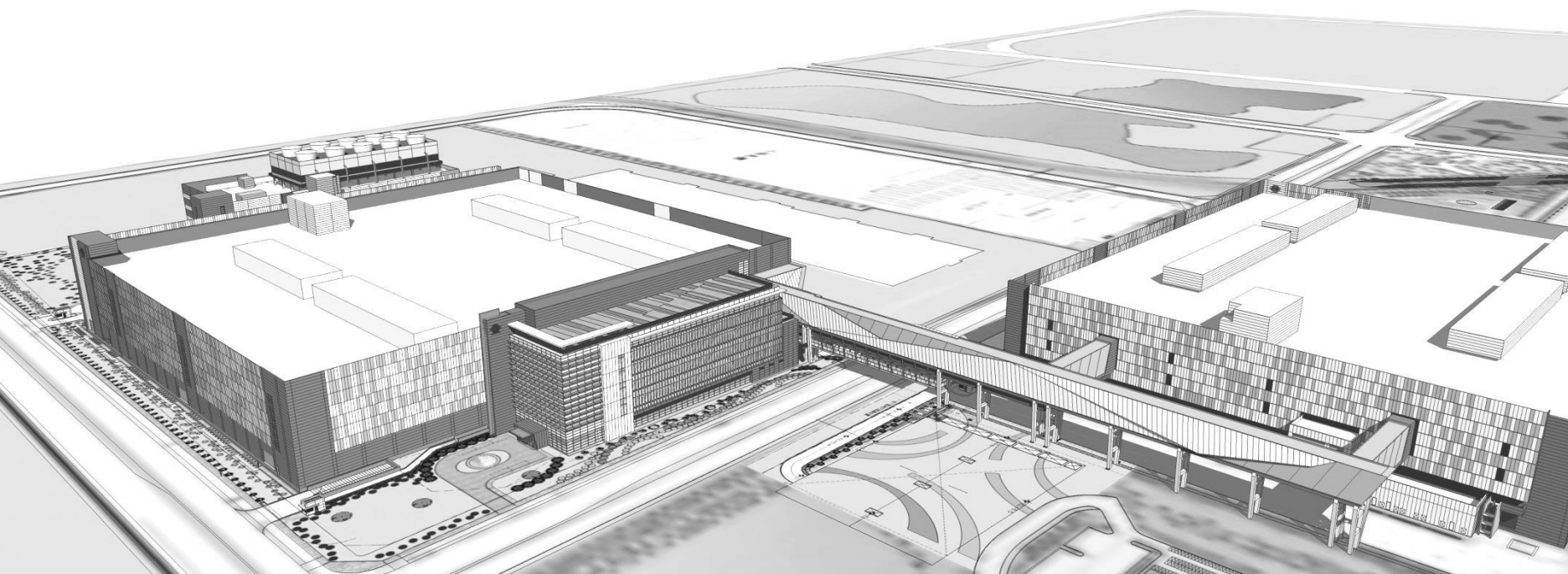
23	F14P7 CDA 系統節能	<p>1.F14 P7 共有相同型號 CDA 空壓機 8 台，以維持系統穩定，其中有 2 台機台做為備機(以運轉狀態)。</p> <p>2. P7 2016 年空壓機生產能耗為 <b>0.184463762</b> kWh/m<sup>3</sup>。</p>	<p>1. 導入藉由自動化控制，配合需求自動調整空壓機運轉，並將 1 台備用之空壓機，由待機運轉變完全停止運轉，減少電量浪費。</p> <p>2.P7 2017 年空壓機生產能耗為 <b>0.1424540741</b> kWh/m<sup>3</sup>。</p> <p>3. 2017 年空壓機生產壓縮空氣量為 169,261,506 m<sup>3</sup>。</p>	<p>1.節省電力：  <math>(0.184463762 - 0.1424540741) \text{ kWh/m}^3 \times 169,261,506 \text{ m}^3/\text{年} = \mathbf{7,110,623 \text{ kWh/年}}</math></p> <p>2.CO<sub>2</sub> 減量績效：  <math>7,110,623 \text{ kWh/年} \times 0.530 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 1,000 \text{ kg/ton} = \mathbf{3,939 \text{ tonCO}_2/\text{年}}</math></p> <p>3.投資效益：  <math>7,110,623 \text{ kWh/年} \times 2.5 \text{ 元/kWh} = 1,000 \text{ 元/仟元} = \mathbf{17,777 \text{ 仟元/年}}</math></p>
----	----------------	--	--	--

## 台積電F14B廠共節省電量:

1,778,608 + 9 772 ,706 + 7,110,623 = **18,661,937度**，若以 1 度 2.5 元計算，**可省下：46,654,842元**

# 物聯網大數據分析

## -改善空壓機局部單機控制造成的電能損耗



# 空壓機群組控制模式理論背景

- 局部單機控制

- 空車/重車控制

- 主供/副供控制：一台運轉中空壓機當副供，其壓力設定點等於空壓機主管壓力，藉由入口閥和排氣閥的部分開關調節控壓；其餘運轉中空壓機當主供，壓力設定點高於空壓機主管壓力，入口閥最大開度和排氣閥最大開度使其為重車全載狀態供氣。

- 容調控制：手動設定限縮運轉中空壓機入口閥至最小開度，使排氣閥達到最大開度避免耗氣。

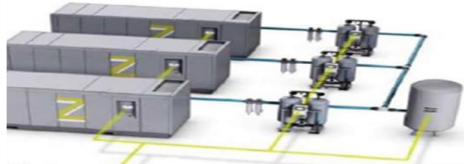
- 變頻控制

- 中央多機連鎖控制

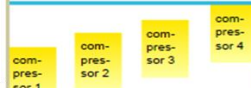
# 空壓機控制模式改善前後

改善前

局部單機控制



(\*) 主供/副供控制



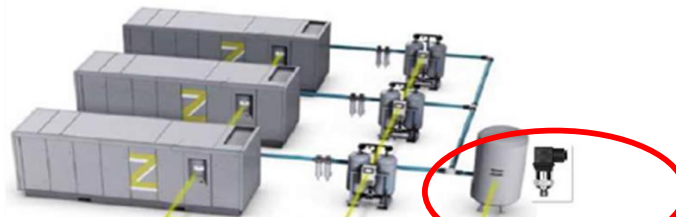
Pressure BAND CASCADE LOCAL CONTROL



HIGH COSTS  
高成本

改善後

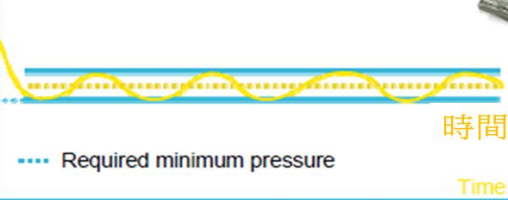
中央多機連鎖控制



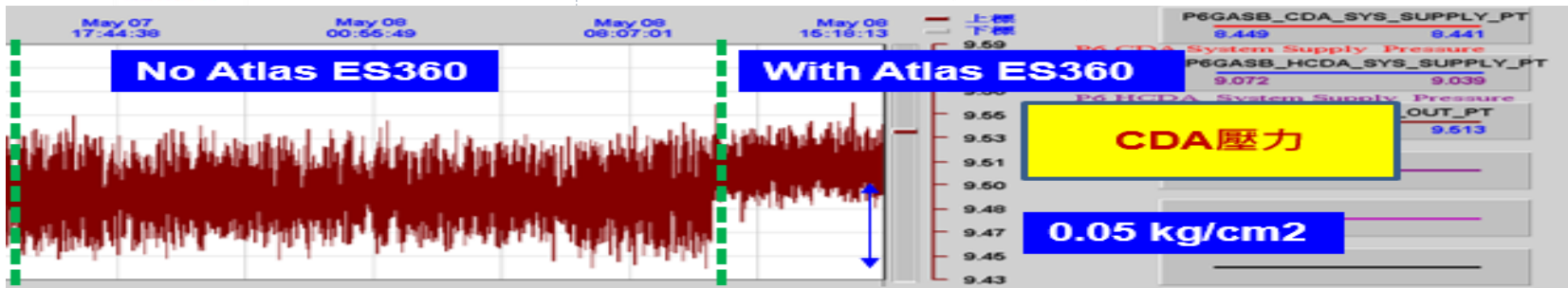
Atlas ES360

緩衝槽壓力計

CENTRAL CONTROL

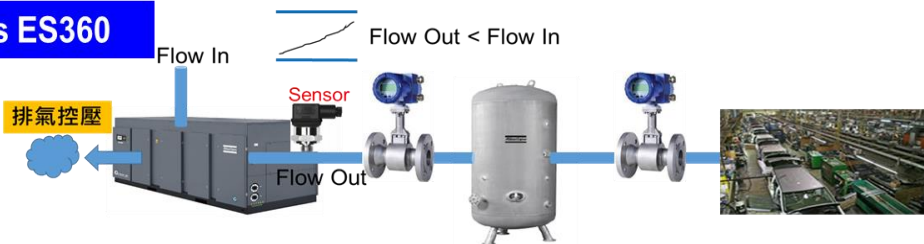


LOW COSTS  
低成本

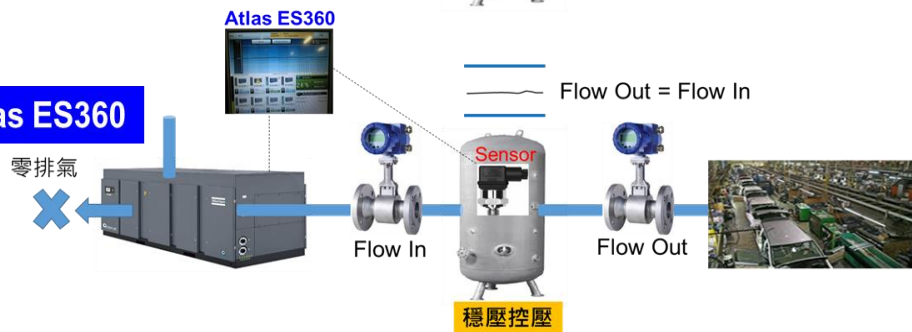


# 中央控制器特色

No Atlas ES360



With Atlas ES360



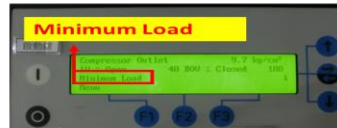
緩衝槽  
壓力計



Atlas ES360  
分析運算



空壓機  
最小負載



- 1. 控壓點(sensor)位置由空壓機出口改至緩衝槽
- 2. 結合主供/副供控制和容調控制的優點，藉由追壓緩衝槽較平穩的壓力取代主供/副供控制的壓力階梯設定窄化整體控壓帶寬達到節能效果。
- 3. 中央控制器不間斷接收緩衝槽壓力計回傳數據並經由程式分析運算後動態預測壓力調整各台運轉中空壓機狀態使其達到節能最小負載 (Minimum Load)。

# 中央控制器效益

自願性節能減碳措施項目 採取之具體措施說明	改善前狀況	改善後狀況	CO <sub>2</sub> 減量績效計算
F14P5/6 Compressor 最適化控制節能系統	1.CDA compressor 機台間沒有中央控制系統，經評估應有 30%氣量浪費。 2.改善前 3 個月平均生產 ECF 能耗為 <b>0.142195308</b> kWh/NM <sup>3</sup> 。	1.連線運轉機台至中央控制系統 ES360，達到最適化控制。 2.改善後 1 整年平均生產 ECF 能耗為 <b>0.134339595</b> kWh/NM <sup>3</sup> 。年 ECF 生產量為 30,5728,553 NM <sup>3</sup> 。	1.節能量： $(0.142195308-0.134339595) \text{ kWh/NM}^3 \times 305,728,553 \text{ NM}^3/\text{年}$ $=$ <b>2,401,716 kWh/年</b> 2.CO <sub>2</sub> 減量績效： $2,401,716 \text{ kWh/年} \times 0.554 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \div 1,000 \text{ kg/ton}$ $=$ <b>1,331 tonCO<sub>2</sub>/年</b> 3.投資效益： $2,401,716 \text{ kWh/年} \times 2.174 \text{ 元/kWh} \div 1,000 \text{ 元/仟元}$ $=$ <b>5,221 仟元/年</b>
F14P7 Compressor 最適化控制節能系統(P7 僅有一壓縮空氣群組，共有八台設備(七台大台，1 台小台)，常態運轉三台(其中兩台接中央控制系統))	1.CDA compressor 機台間沒有中央控制系統。 2.改善前 ECF 的能源轉換因子為 <b>0.1506</b> kWh/m <sup>3</sup> 。	1.連線 2 台機台至中央控制系統 ES360，達到最適化控制。 2.改善後 ECF 的能源轉換因子為 <b>0.1401</b> kWh/m <sup>3</sup> ；年 ECF 產量為 178,987,398m <sup>3</sup> 。	1.節能量： $(0.1506-0.1401) \text{ kWh/m}^3 \times 178,987,398 \text{ m}^3/\text{yr}$ $=$ <b>1,879,368 kWh/yr</b> 2.換算 CO <sub>2</sub> 減量： $1,879,368 \text{ kWh/yr} \times 0.554 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \div 1,000 \text{ kg/ton}$ $=$ <b>1,041 tonCO<sub>2</sub>/yr</b> 3.投資效益： $1,879,368 \text{ kWh/yr} \times 2.174 \text{ 元/kWh} \div 1,000 \text{ 元/仟元}$ $=$ <b>4,086 仟元/yr</b>

台積電F14B廠共節省電量：

2,401,716+ 1,879,368 = **4,281,084度**，若以1度2.174元計算，

可省下：**9,307,076元**

# 結論- 壓縮空氣系統節能技術整合

## ● 環境改善面

- 降低環境溫度5°C，解決空壓機吸入高溫高濕空氣問題，節能735,183度/年。

## ● 機台改善面

- 改用無耗氣的浮球式卻水器自動排水，改善卻水吹洩時假性需求問題，節氣408CMH。

## ● 能源管理面

- 將非供應中的空車運轉空壓機改為休眠模式，解決閒置機台耗能問題，節電18,661,937度/年。

## ● 物聯網大數據分析面

- 導入物聯網大數據概念的中央控制器透過分析緩衝槽壓力數據進而優化空壓機控制，由中央多機連鎖控制取代局部單機控制改善耗能問題，節電4,281,084度/年。

- 共節電:**23,678,204度/年**，省錢:**57,799,875元**



台灣積體電路製造  
股份有限公司

謝謝指教

