



# 空調系統節能重點與 案例說明

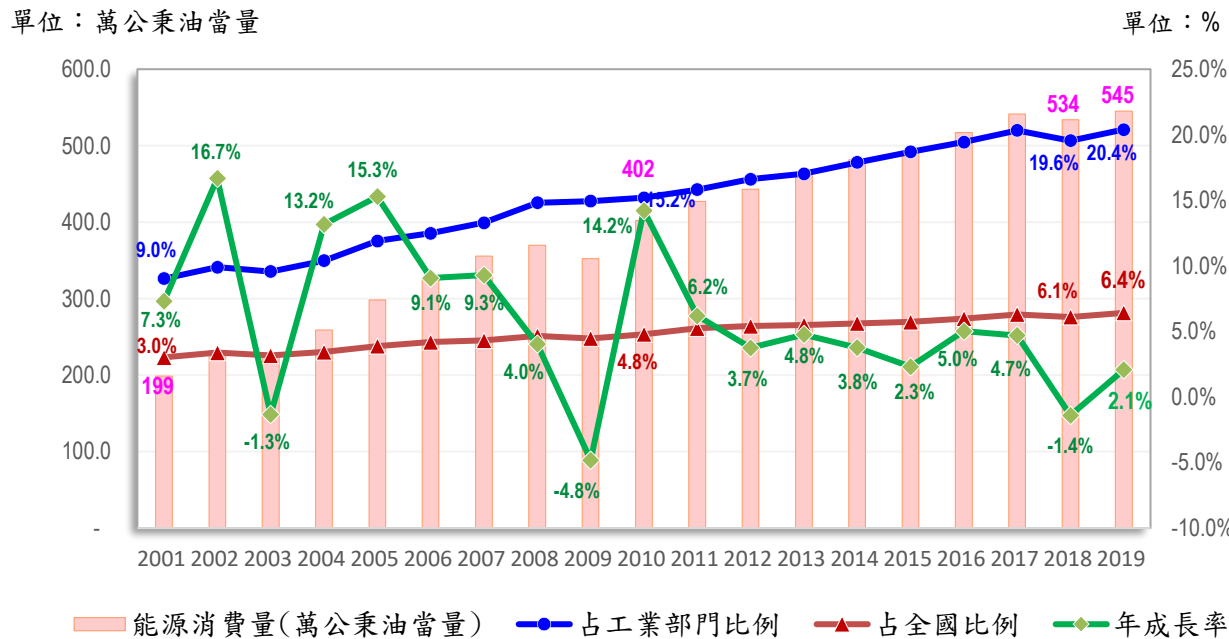
工研院綠能所 產業節能服務室

薛劍青

2020.08.04

## 背景說明(1/4)：能源消費變動趨勢

- 2019年我國電機電子業能源消費量為545萬公秉油當量，較2018年微幅成長2.1%，占全國的6.4%、工業部門的20.4%。2001~2019年均複合成長率(CAGR)達5.9%。
- 探討能耗成長主因在於，國內IC製造商在先進製程的投資仍持續增加，加上更高能效的製程設備以及更趨嚴苛的環境要求條件，皆促使能源消費量居高不下。

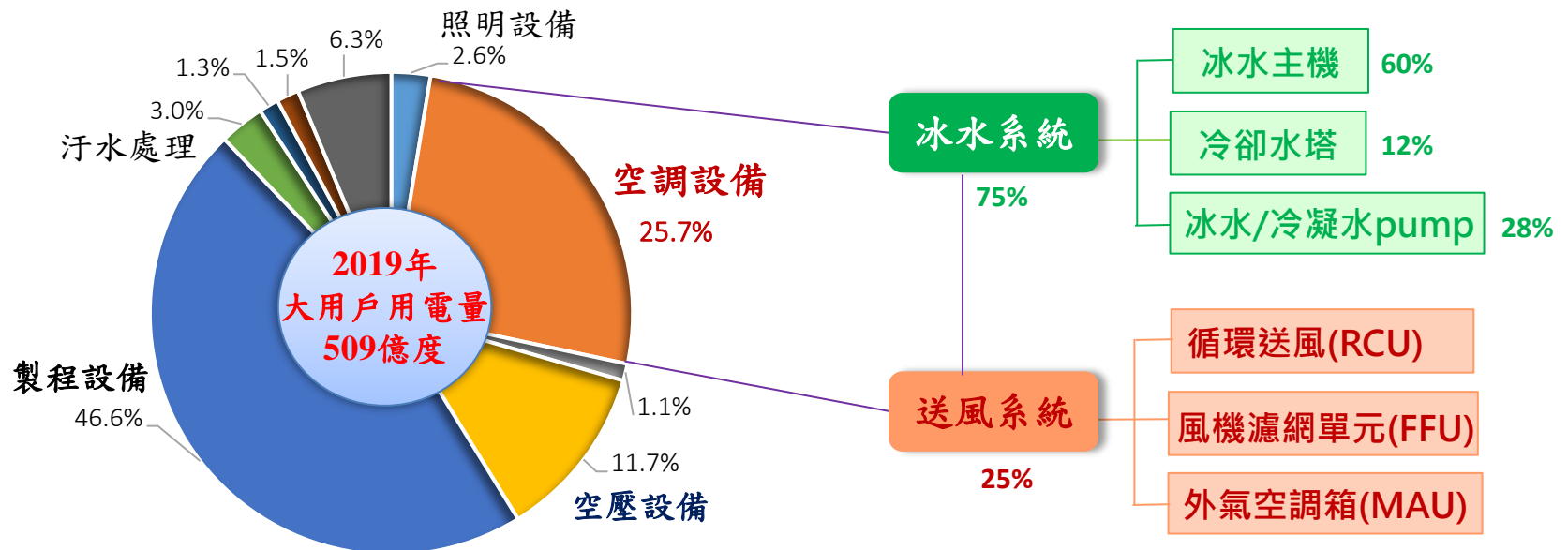


※上述數據引自歷年『能源平衡表』資料，除電腦通信及視聽電子產品製造業(含電子零組件)及精密光學醫療器材及鐘錶製造業

資料來源：經濟部能源局，歷年『能源平衡表』(2020.06)

## 背景說明(2/4)：顯著性能源使用設備

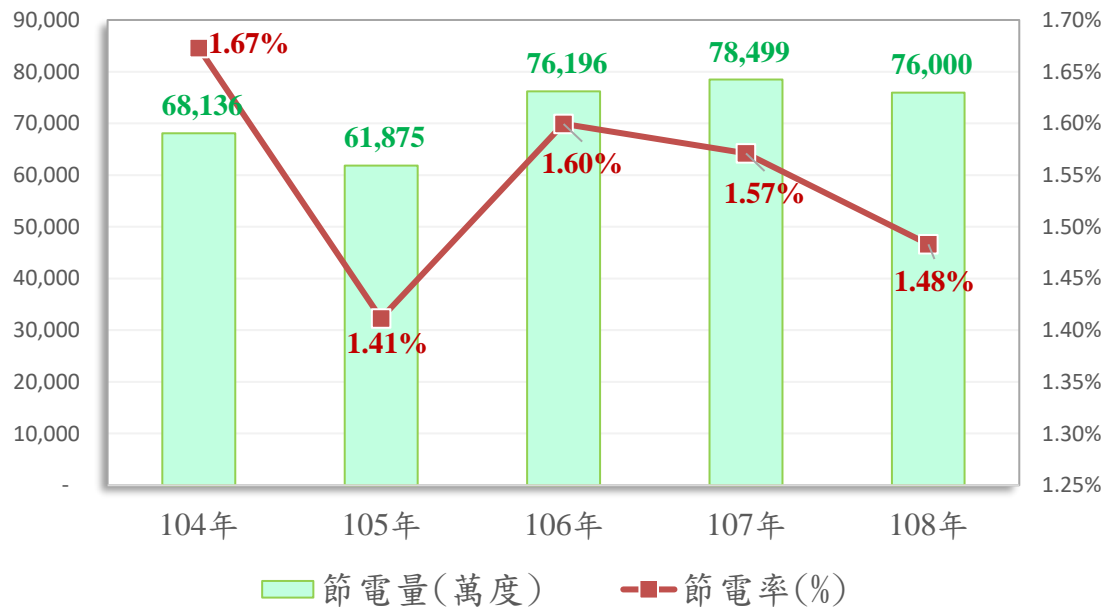
- ▶ 我國電機電子業能源耗用以電力為主，約占95%。2019年電力消費量達527億度電(能源局統計資料)，較前一年微幅成長1.7%，約占全國的19.8%，占工業部門的35.7%。
- ▶ 除製程設備(47%)外，空調設備(26%)、空壓設備(12%)，是電機電子業的顯著性能源使用設備。因為該行業的半導體廠房大多具備對溫、濕度要求較為嚴苛的潔淨室。



※ 上述數據係依據能源申報系統電機電子業810家能源大用戶(契約容量超過800kW)之樣本為計算基礎  
資料來源：工研院綠能所，「生產性質行業能源查核申報系統」資料庫(2020.07)

## 背景說明(3/4)：歷年節電1%成效

- 為因應政府推出的《節電1%》規定(104~113年平均年節電率應達1%)，廠商積極推行節電措施，並也具一定成效。觀察我國電機電子業104~108年的平均年節電量為7.2億度電，平均年節電率為1.55%。

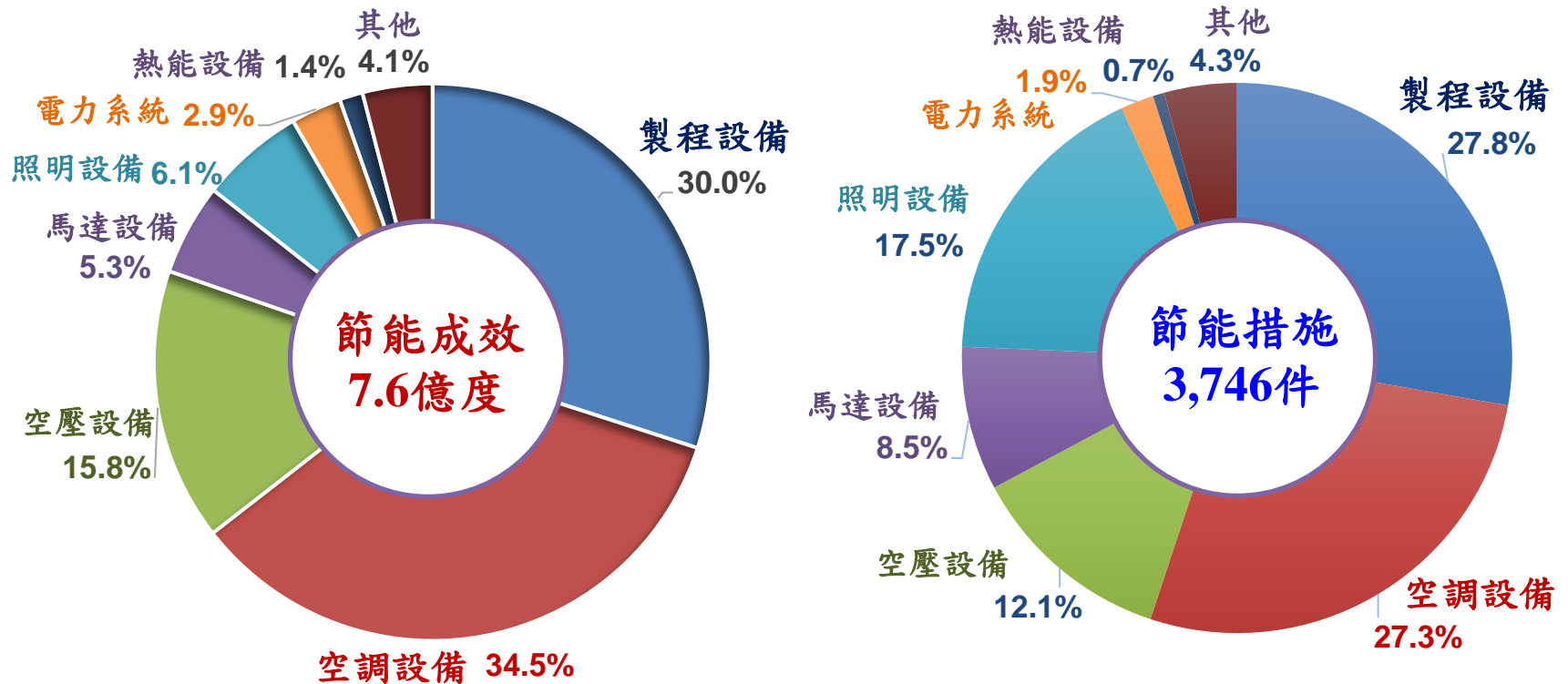


※ 上述數據係依據能源申報系統電機電子業能源大用戶(契約容量超過800kW)之樣本為計算基礎  
※ 108年之數據尚在審核階段，非最後核備之數據

資料來源：工研院綠能所，「生產性質行業能源查核申報系統」資料庫(2020.07)

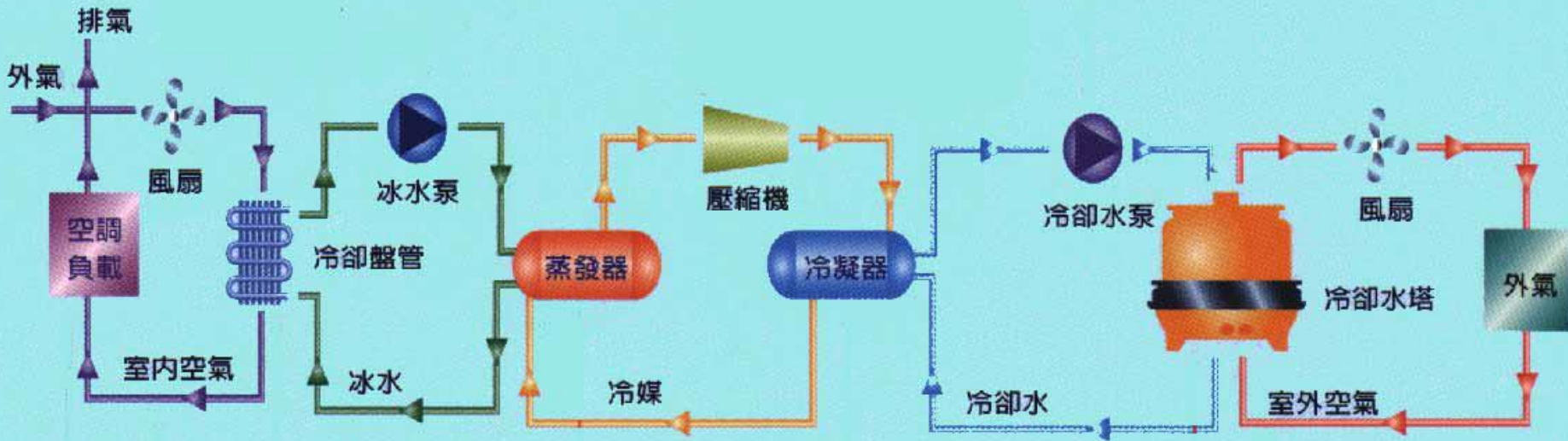
# 背景說明(4/4)：歷年節電1%成效

## 2019年電機電子業節能措施分布情形



# 空調系統節能探討

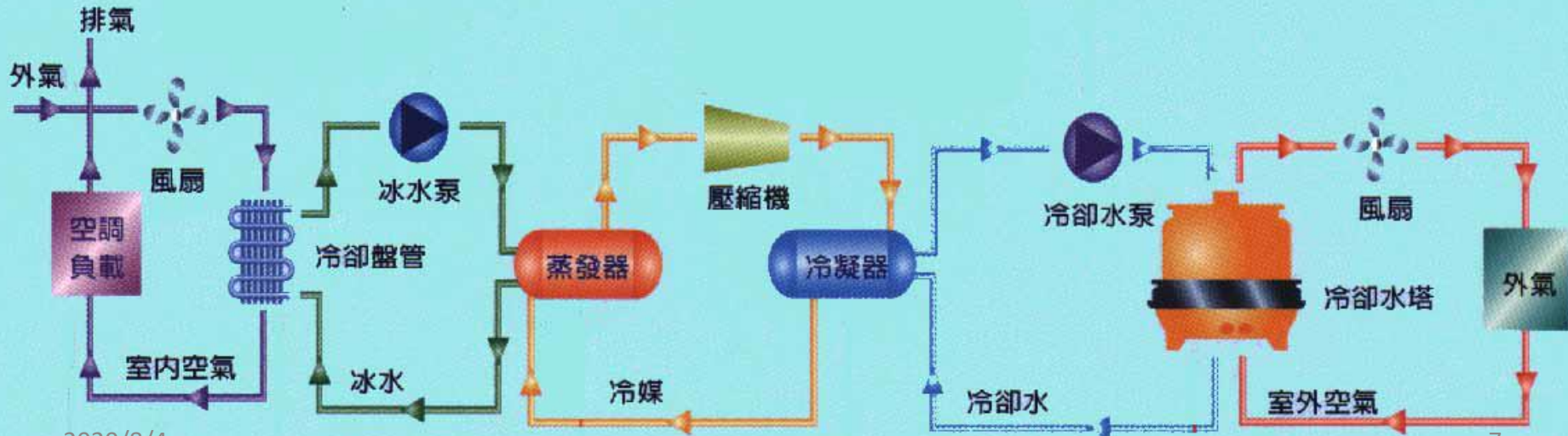
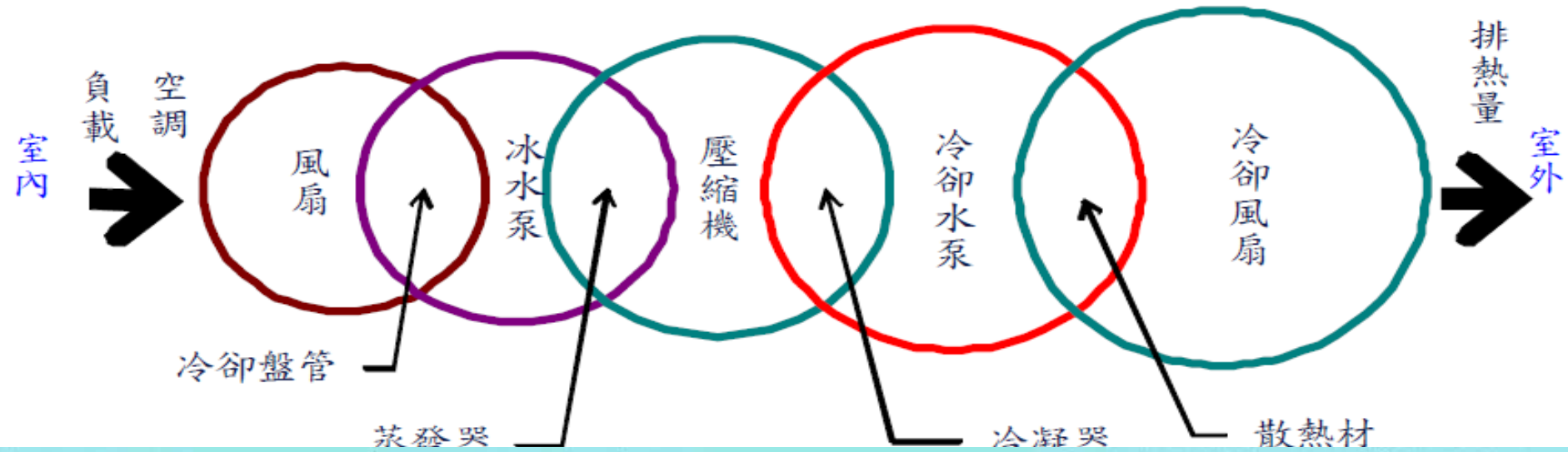
## 完整系統之組成-中央空調系統(電子業能效規定適用)



1. 氣冷式 - 僅蒸發器水溫差
2. 箱型機 - 不適用
3. 一般冷氣(分離式、窗型) - 不適用

# 空調系統熱負載傳遞方向

## (完整中央空調系統)



# 我國現行冰水機能源效率管制標準

施行日期			2003年1月		2005年1月	
型式	冷卻能力等級	能源效率比值	性能係數	能源效率比值	性能係數	
		(EER)kCal/h/W	(COP)	(EER)kCal/h/W	(COP)	
水冷式	容積式壓縮機	<150 RT	3.50	4.07	3.83	4.45
		≥ 150 RT	3.60	4.19	4.21	4.90
		<500 RT				
		≥ 500 RT	4.00	4.65	4.73	5.50
	離心式壓縮機	<150 RT	4.30	5.00	4.30	5.00
		≥ 150 RT	4.77	5.55	4.77	5.55
		<300 RT				
		≥ 300 RT	4.77	5.55	5.25	6.10
氣冷式	全機種	2.40	2.79	2.40	2.79	

容積式依CNS 12575/離心式依CNS 12812「空調系統冰水主機測試標準」，產品標示及測試值誤差應在5%以內。



# 效率指標與節能重點

## • 冰水系統

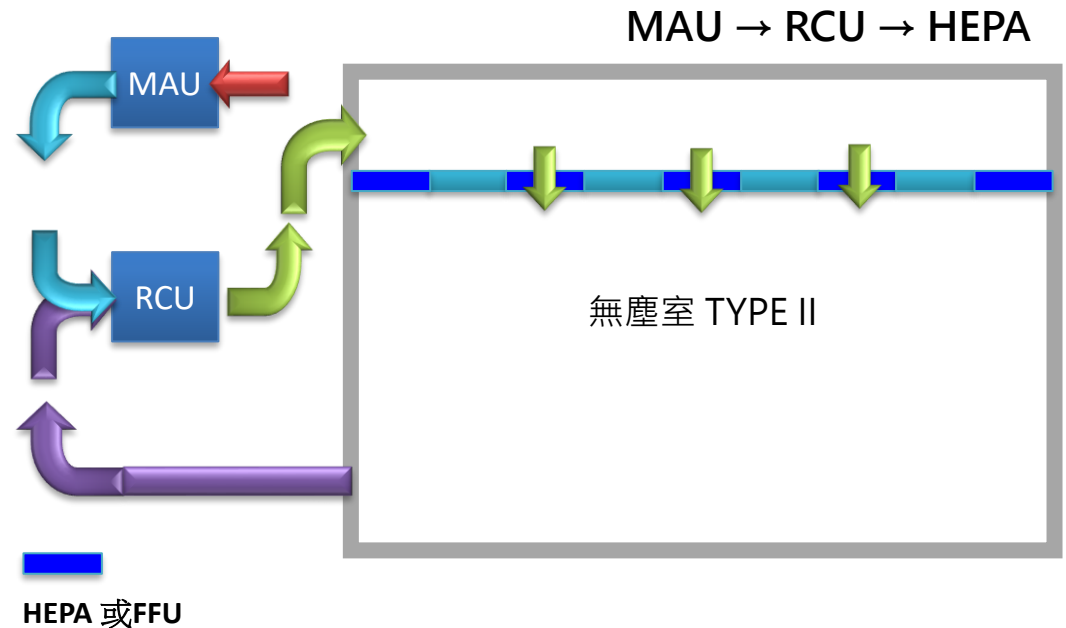
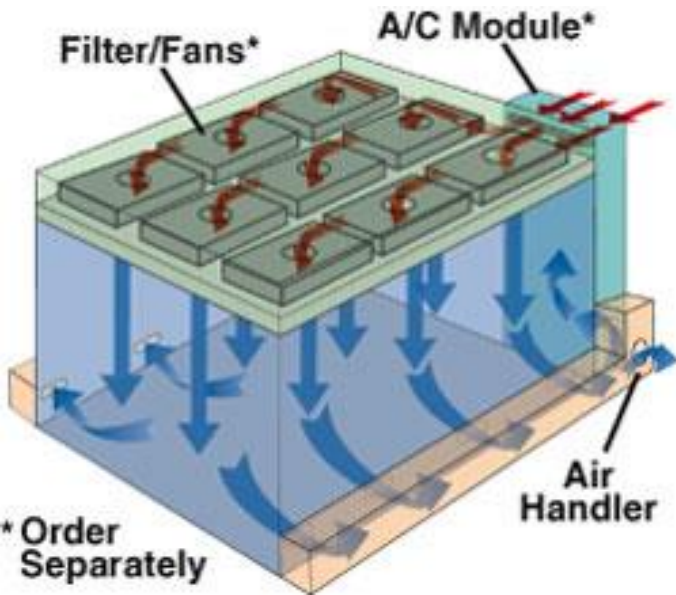
冰水系統的效率量度以 kW/RT 表示，系統的運作包含冰水機、冰水泵、冷卻水塔等，綜合效率其年平均值才具有代表意義。

亦即 **冰水系統能耗 = 冰水機 kW/RT + 冰水/冷卻水泵 kW/RT + 冷卻水塔風車 kW/RT**

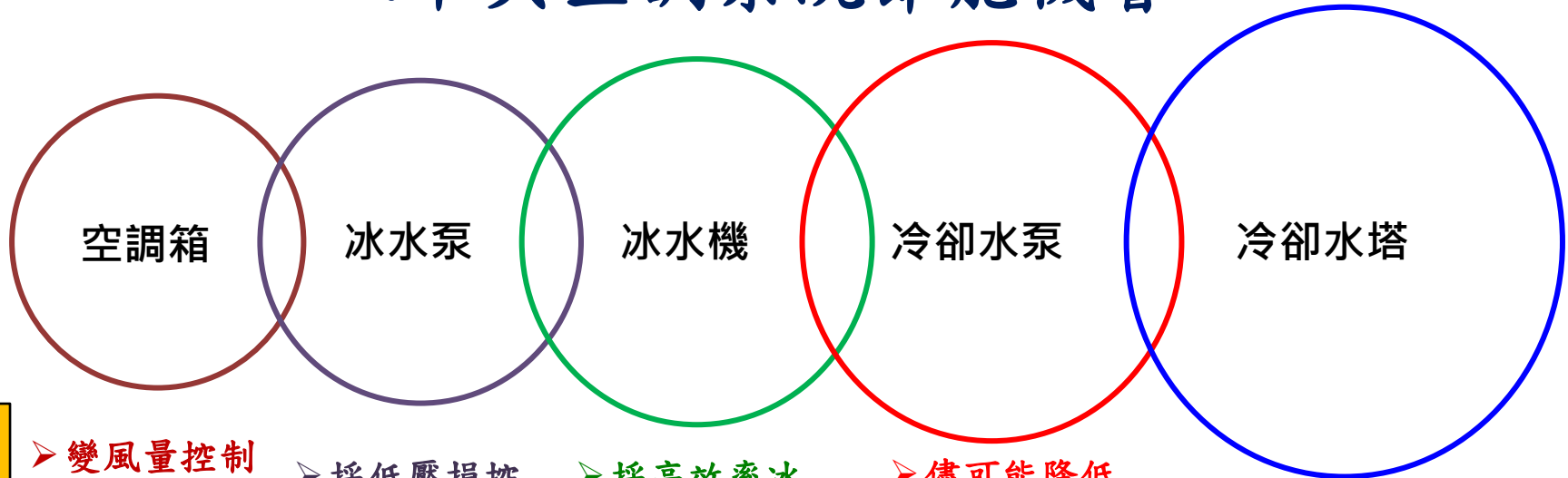


## ● 送風系統

潔淨室送風系統，因潔淨度需求不同構型配置上有些許差異，但主要由外氣空調箱、循環風機、風機濾網單元、高效濾網、排氣風機等構成，構型因潔淨度等級需求或有些許差異。



## 2. 中央空調系統節能機會



節  
能  
機  
會

- 變風量控制 (風機加裝變頻器)
- 盤管清潔
- 空調箱並聯運轉
- 以熱回收源作再熱
- 無塵室正壓調降
- 減少FFU覆蓋率
- 採低壓損濾網

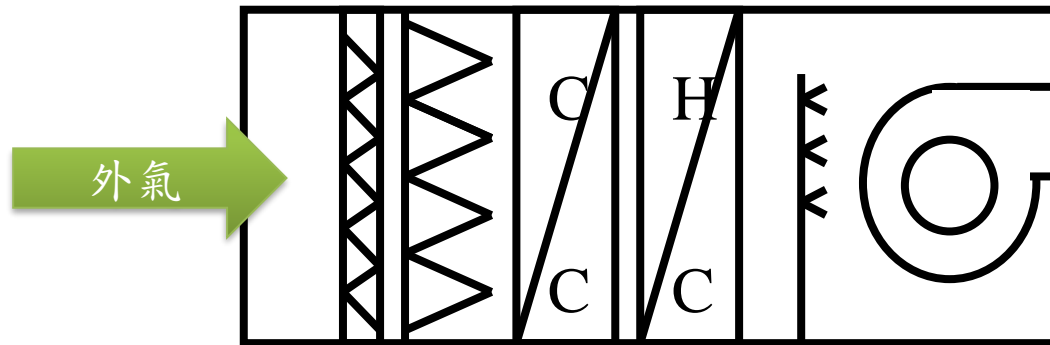
- 採低壓損控制閥
- 儘可能拉大出、回水溫差
- PS系統冰水流量平衡
- 避免混水
- 採變頻控制
- 遠端壓差控制流量
- 採用二通閥

- 採高效率冰水機
- 採用雙溫冰水機系統
- 提高冰水溫度
- 壓縮機採變頻控制
- 主機與冷卻水塔綜效最佳化
- 系統最低耗能之負載調控(開機台數與順序)

- 儘可能降低冷卻水溫度
- 儘可能拉大出、回水溫差
- 定期更換磨損環
- 泵浦依據性能曲線選擇最佳化揚程與流量

- 風車加裝變頻控制
- 水管連通並將風車全數運轉
- 避免短循環
- 採用高效率散熱材
- 卻水塔以外氣濕球溫度+3°C控制風車起停
- 採用輕質化風車葉片

# 外氣空氣箱MAU構造



- 初級濾網
- 袋式濾網
- 冷卻盤管
- 熱水盤管
- 加濕器
- 風機

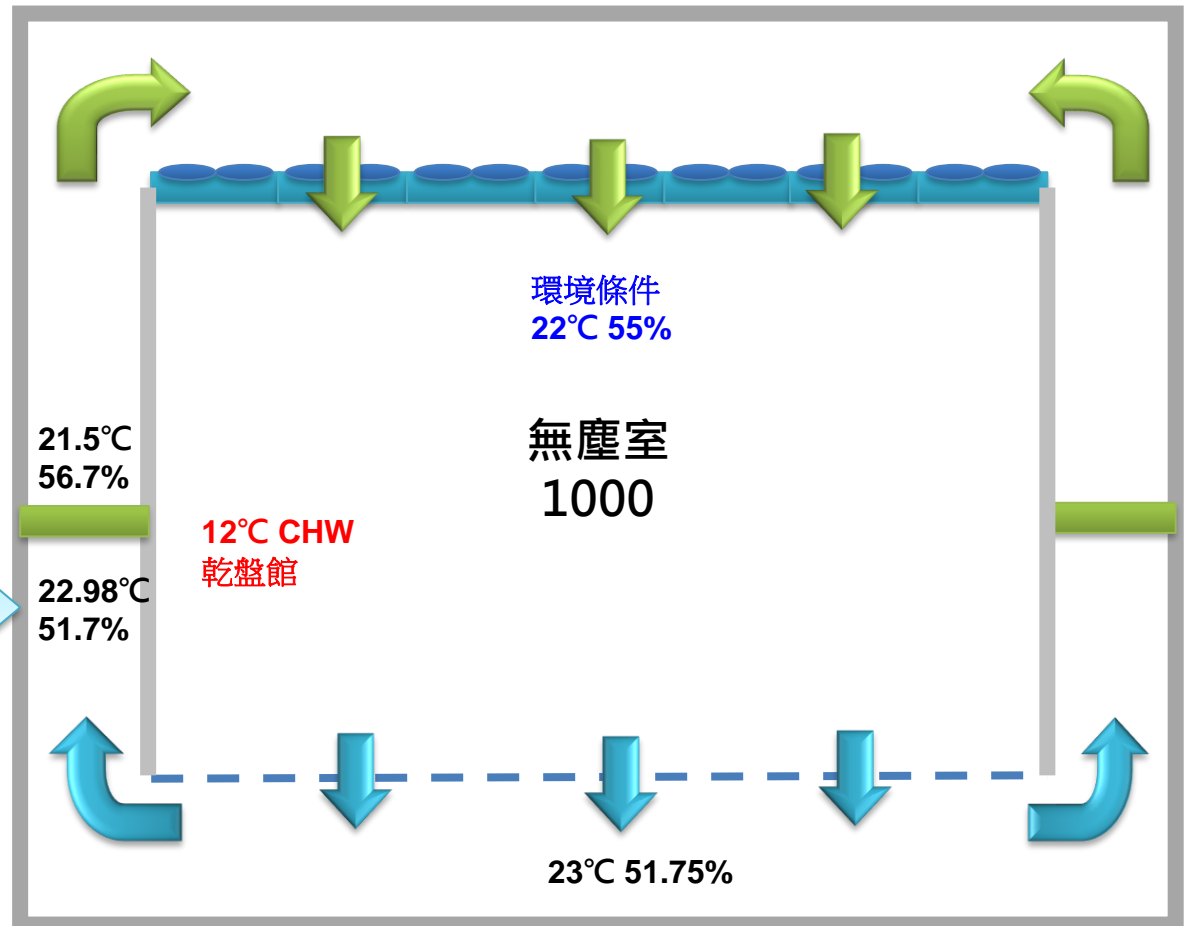
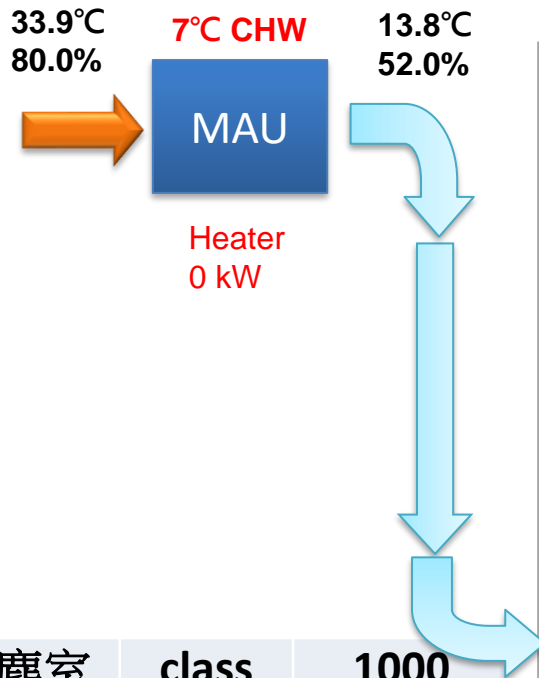
7°C CHW



# 無塵室節能運轉模式

無塵室等級每升高1級(例如CLASS 1000 → 100),  
耗能增加3倍。

 風機濾網單元  
 乾盤管



無塵室	class	1000
長 m	寬 m	高 m
100	185	2.8
外氣風量	25,900	m <sup>3</sup> /h
循環風量	1,295,000	m <sup>3</sup> /h

## 節能計算常用公式

冷凍噸定義:

24小時內將1000kg 0°C的水結凍成0°C的冰所釋放的潛熱稱為一冷凍噸。(逆程序小質量較易驗證;絕熱+可逆)

$$\equiv 1 \text{ RT} = 1000\text{kg} * 79.68\text{kcal/kg} / 24 \text{ h} = 3,320 \text{ kcal/h}$$

$$= 3.861 \text{ kW (公制)}$$

$$\equiv 12,000 \text{ Btu/h(英制)}$$

$$= 3024 \text{ kcal/h} = 1 \text{ USRT} = 3.516 \text{ kW}$$



ASHRAE  
TRANE

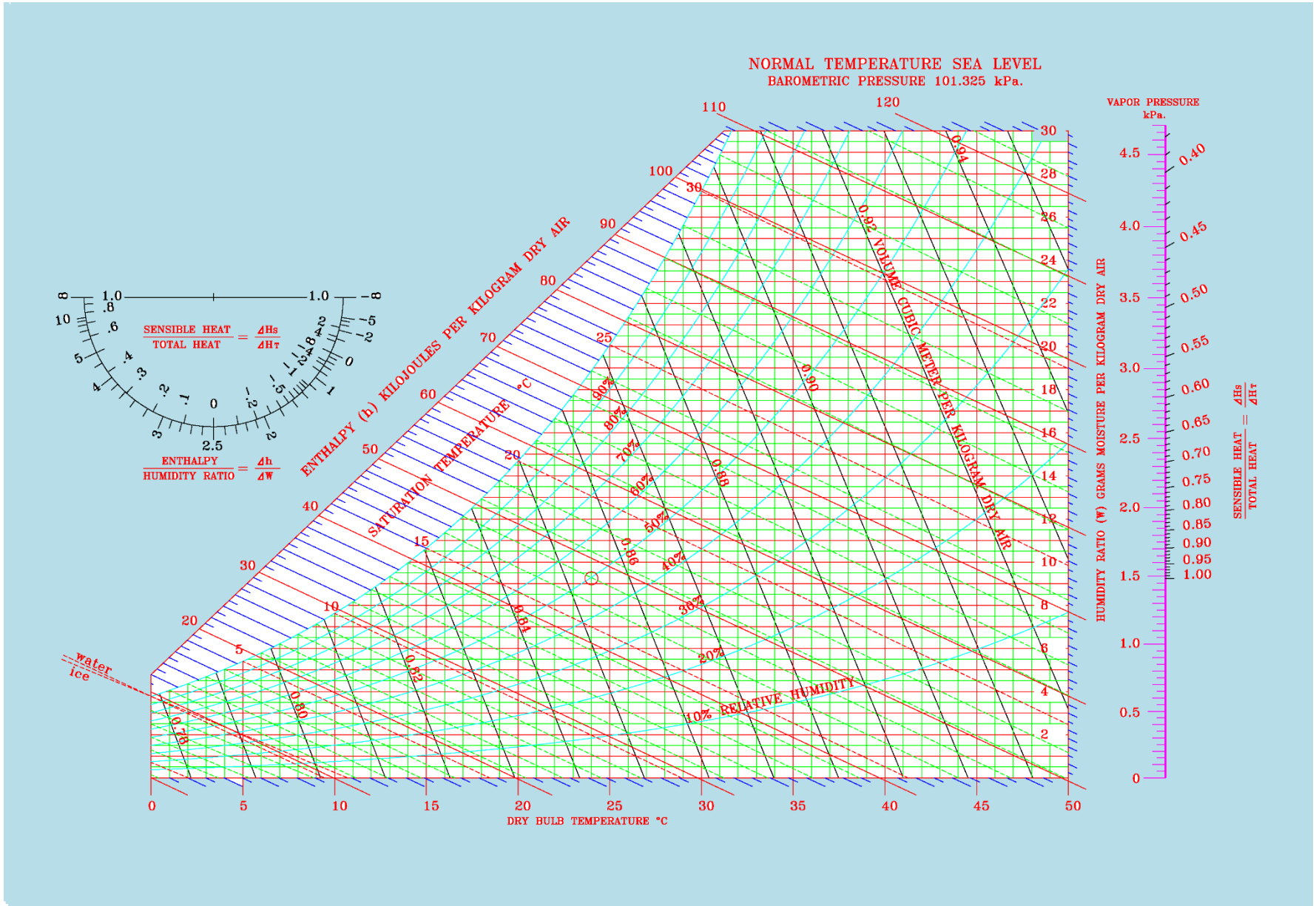
$$\text{EER} \equiv \text{冷能/輸入功} \equiv \text{RT/W} = 3,024\text{Kcal/h} \cdot \text{W}$$

$$\text{COP} = \text{冷卻能力(W)} \div \text{冷卻消耗的電功率(W)}$$

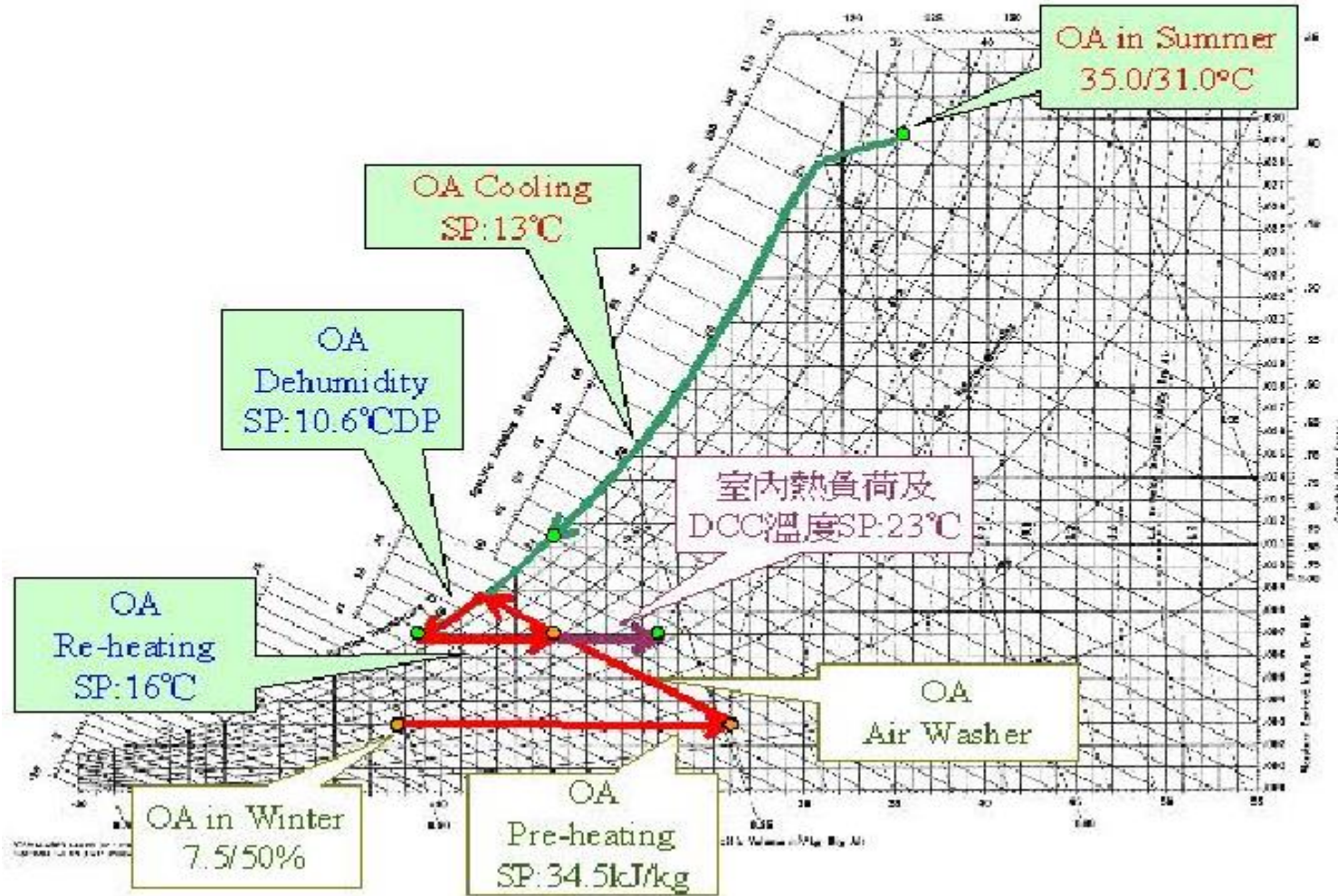
$$= 1.163 \text{ EER}$$

$$\text{kW/RT} = 3.516/\text{COP}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,600 \text{ kJ}$$



# FAB 外氣空調箱溫濕度控制空氣線圖





# 案例1:關閉MAU加熱盤管節省能源

## 降低外氣空氣處理單元(MAU)的出風溫度

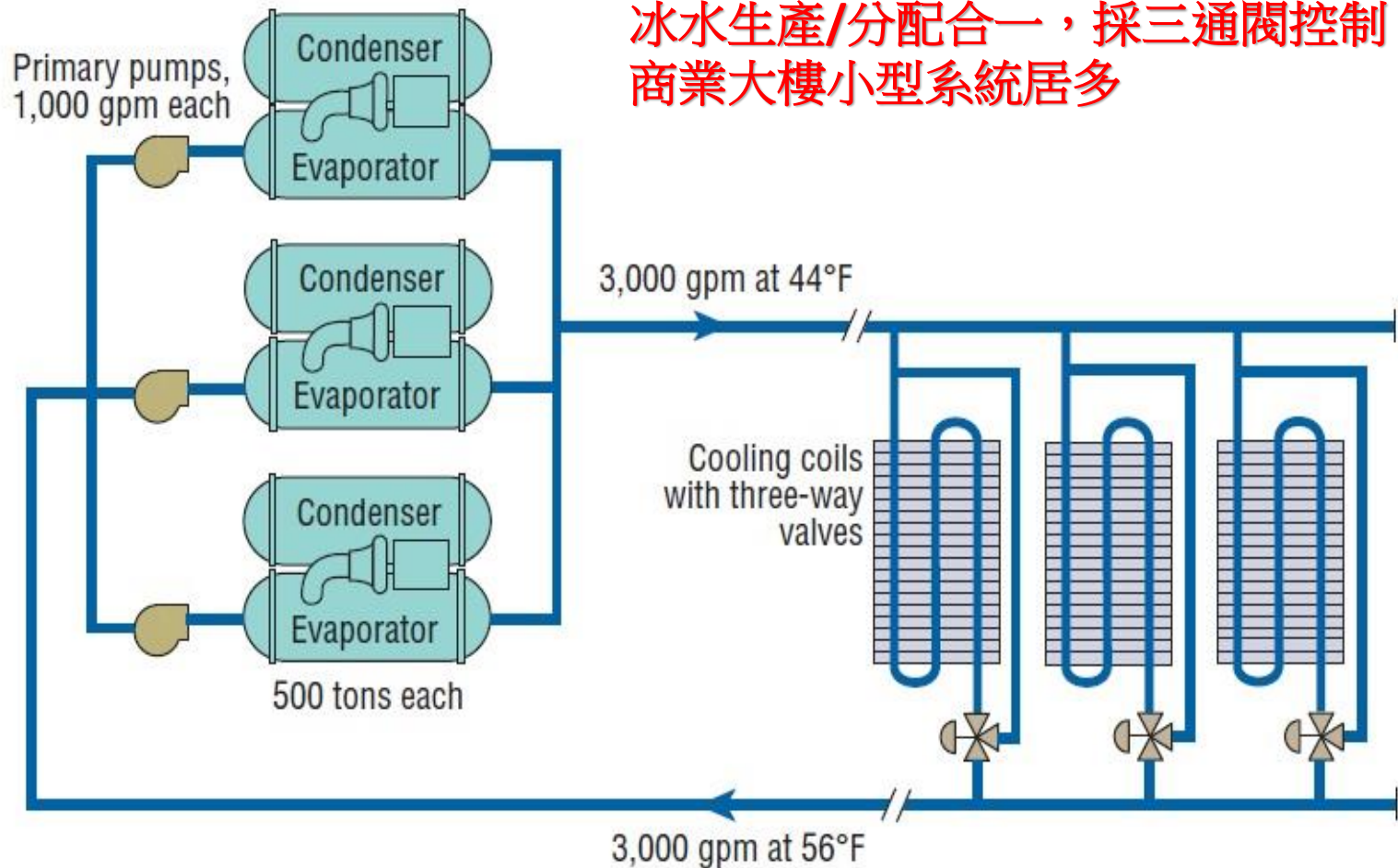
行業別	電子業	設備別	外氣空調箱
現況說明	<p>(1)潔淨室之補充空氣係由外氣空調箱供給，一般程序在除濕之後予以再熱，使其接近潔淨室循環回風溫度，MAU出風溫度改善前為21°C。</p> <p>(2)外氣空調箱總處理風量1,410,062 CMH</p> <p>(3)改善前出風焓值39.1 kJ/kg。</p>		
改善措施	<p>(1)在潔淨室內熱負載穩定的情況下，乾盤管回風溫度及FFU送風溫度亦穩定。關閉MAU加熱盤管，外氣不作再熱，經過冷盤管除濕後的18°C冷空氣直接導入潔淨室乾盤管之前與室內較高溫的回風混合再進入潔淨室，混風溫度已接近所需溫度，可降低乾盤管負載</p> <p>(2)改善後出風焓值36.1 kJ/kg</p>		
節能效益	<p>(1)節省電能：<math>1.29\text{kg}/\text{m}^3 \times 1,410,062\text{m}^3/\text{hr} \times (39.1-36.1)\text{kJ}/\text{kg} \div 4.2\text{kJ}/\text{kcal} \div 3024\text{kcal}/\text{hr}/\text{RT} = 399.68\text{RT} \times 0.68\text{kW}/\text{RT} \times 8,760\text{hr}/\text{年} = 2,380,814\text{度}/\text{年}</math></p> <p>(2)節約電費：<math>2,380,814\text{度} \times 2.3\text{元}/\text{度} = 5,475,872\text{元}/\text{年}</math>。</p> <p>(3)抑低CO<sub>2</sub>排放：<math>2,380,814\text{度} \times 0.612\text{kg}/\text{度}/1000\text{ton}/\text{kg} = 1,457.1\text{ ton}</math></p>		

## 案例2:降低廠房室內冷氣外洩

### 安裝氣簾阻絕冷氣洩漏

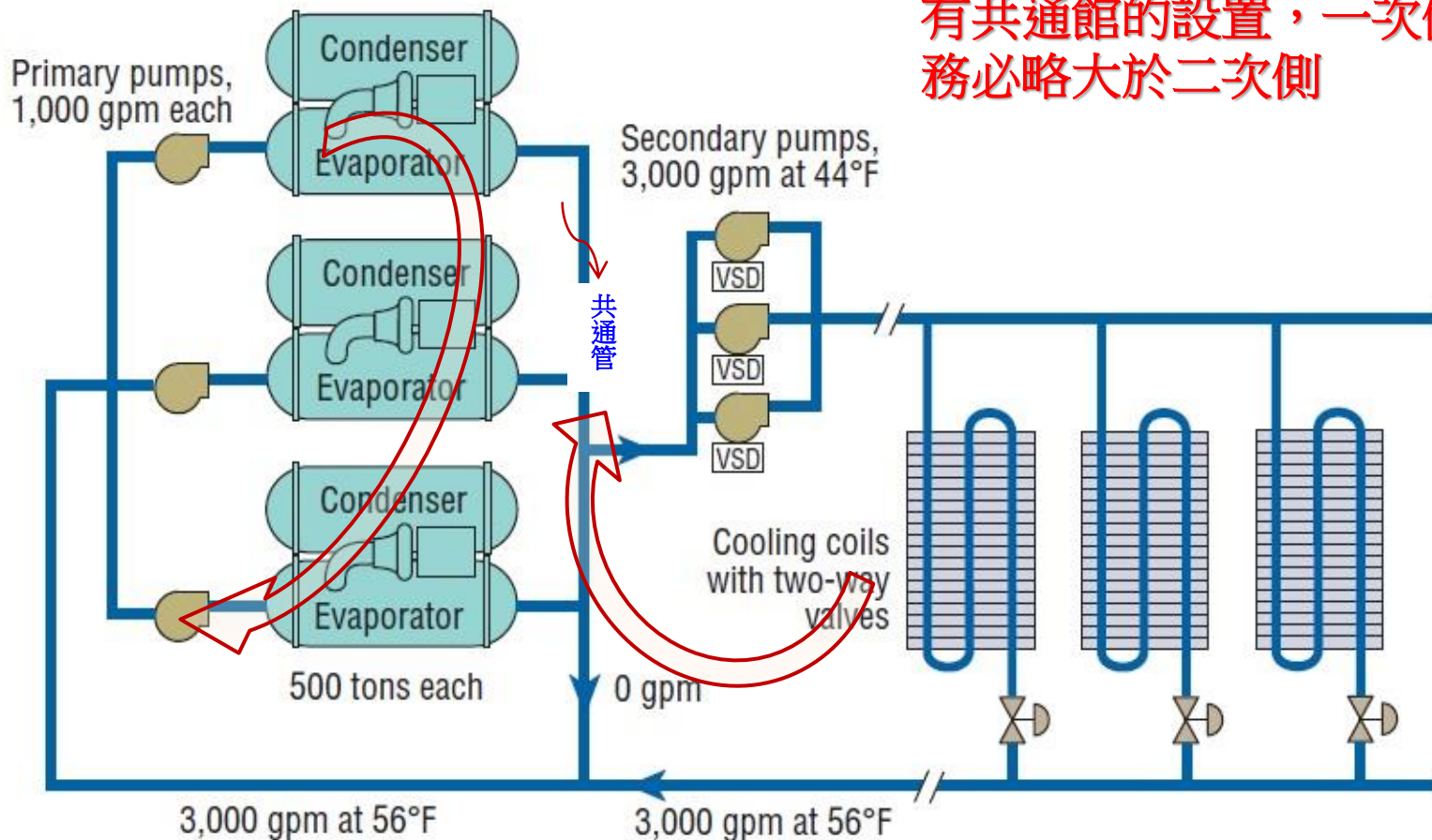
行業別	電子業	設備別	外氣及循環空調箱
現況說明	<p>(1)廠房/倉庫空氣係由室內循環風及外氣空調箱供給，倉庫碼頭出貨時冷氣外洩。</p> <p>(2)碼頭鐵捲門開口 3.5m × 3.5m，外洩風量736.5 (m<sup>3</sup>/min)</p> <p>(3)出風焓值45.9 kJ/kg，室外焓值平均80.0 kJ/kg</p> <p>(4)冰水機 COP 值4.815</p> <p>(5)每日出貨時間平均累計3小時</p>		
改善措施	<p>(1)安裝氣簾阻絕冷氣洩漏</p> <p>(2)改善後洩漏率約減少80%</p>		
節能效益	<p>(1)節省電能：<math>1.29\text{kg}/\text{m}^3 \times 736.5\text{m}^3/\text{min} \times (80.0-45.9)\text{kJ}/\text{kg} \times 60\text{min}/\text{h} \div 3,600\text{kJ}/\text{kWh} \div 4.14 \times 0.8 = 107.4\text{ kW} \times 4,380\text{ hr}/\text{年} = 470,416\text{度}/\text{年}</math></p> <p>(2)節約電費：<math>470,416\text{度}/\text{年} \times 2.3\text{元}/\text{度} = 1,081,957\text{元}/\text{年}</math>。</p> <p>(3)抑低CO<sub>2</sub>排放：<math>470,416\text{度} \times 0.612\text{kg}/\text{度} / 1000\text{ton}/\text{kg} = 287.9\text{ ton}</math></p>		

# 一次側定流量(Constant Primary Flow)冰水系統



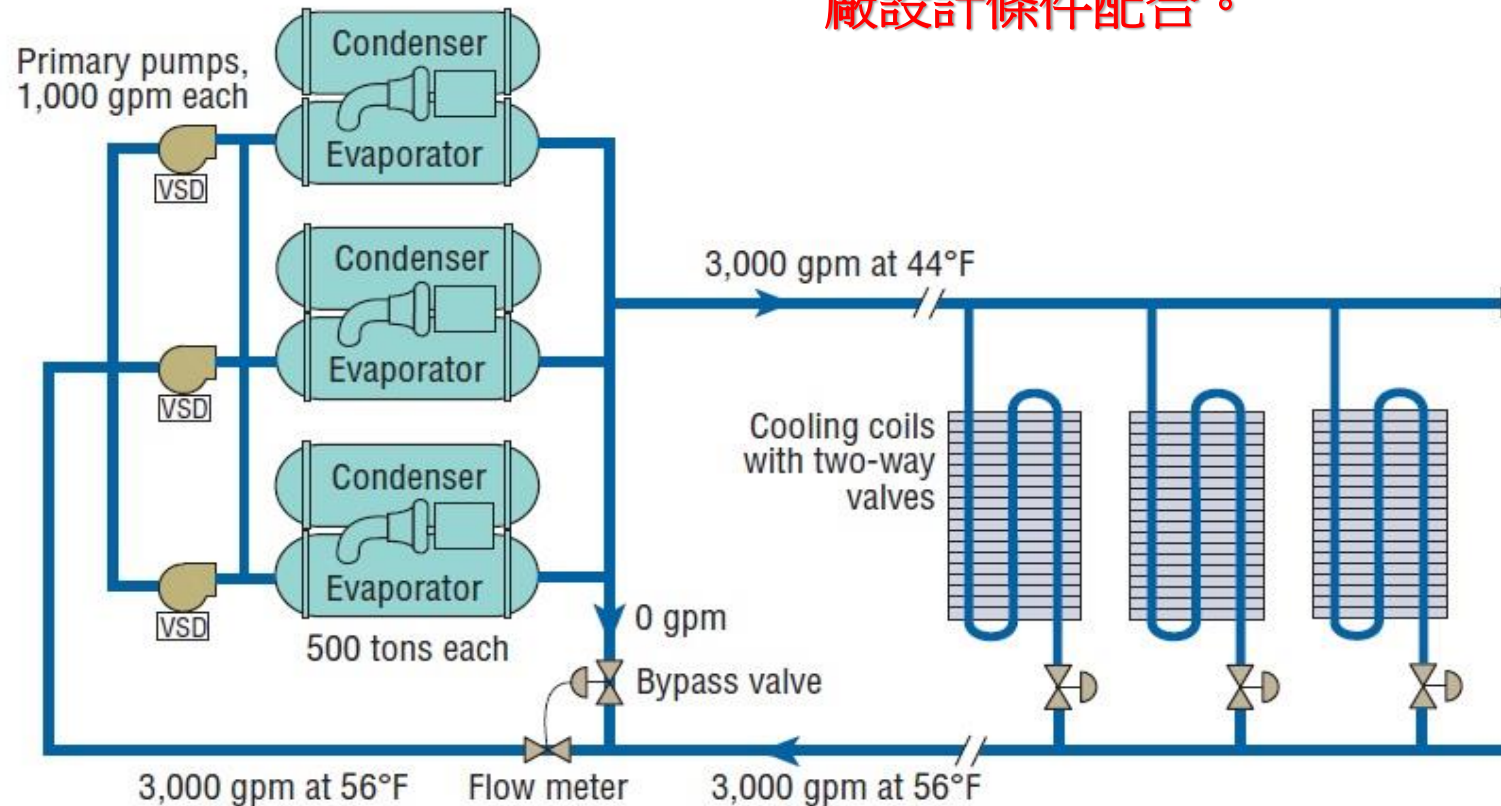
# 一次側定流量/二次側變流量 (Constant Primary Flow/Variable Secondary Flow) 冰水系統的構造稱為 P/S 冰水系統。

有共通館的設置，一次側水量務必略大於二次側



## 一次側變流量(Variable Primary Flow)冰水系統

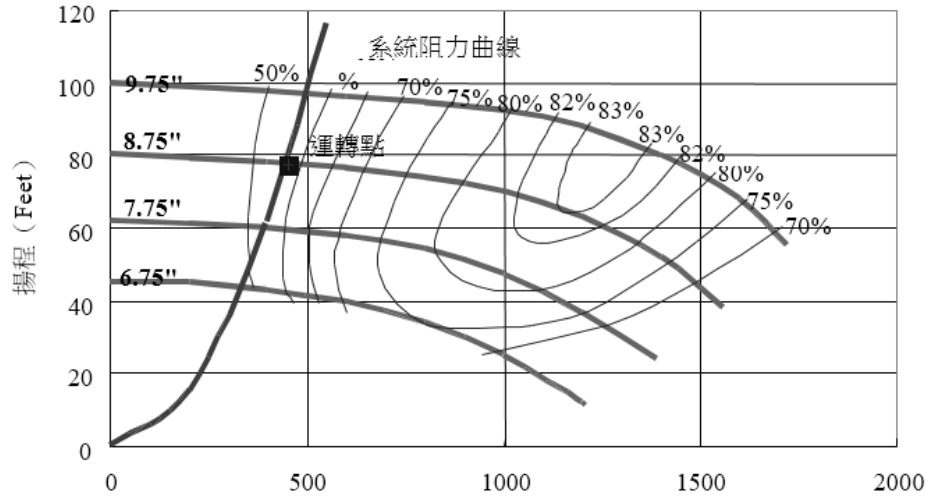
以流量計/旁通閥調節水量，  
控制較複雜，需冰水機原  
廠設計條件配合。



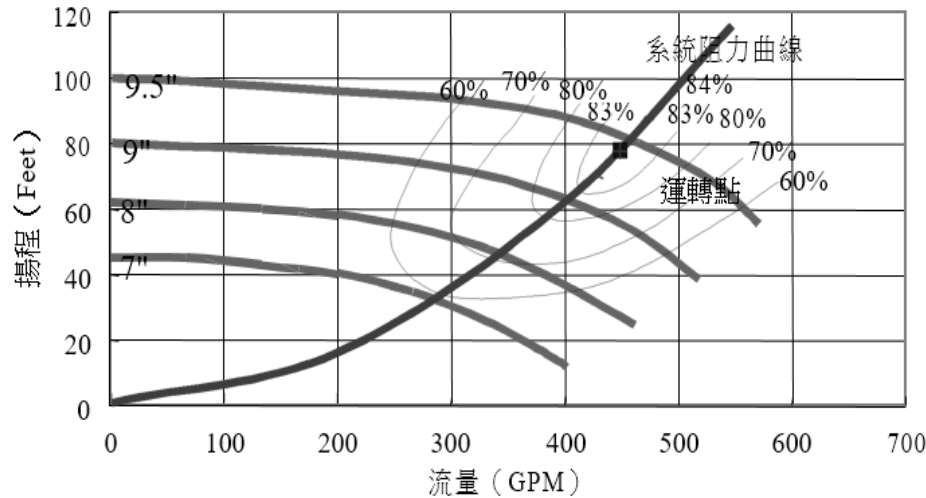
## 三種冰水管路配置構造與其優、缺點比較

類型 比較項目	一次側定流量 (CPF)	一次側定流量/二 次側變流量(P/S)	一次側冰水變流 量(VPF)
幫浦能耗	設為比較基準	少 50% ~ 60%	少 60% ~ 75%
減緩盤管冰水溫 差無法拉大的問 題	n/a	耗能較多	耗能較少
冰水流量控制閥 型式	三通閥	二通閥	二通閥
初期建置成本	設為比較基準	多 10%	少 5%
控制的難易度	簡單	簡單	依管路情況，可 能較複雜
冰機 - 管路占地 面積	設為比較基準	較大	與基準相同

# 泵浦正確選擇；性能曲線 VS. 管路系統阻力曲線

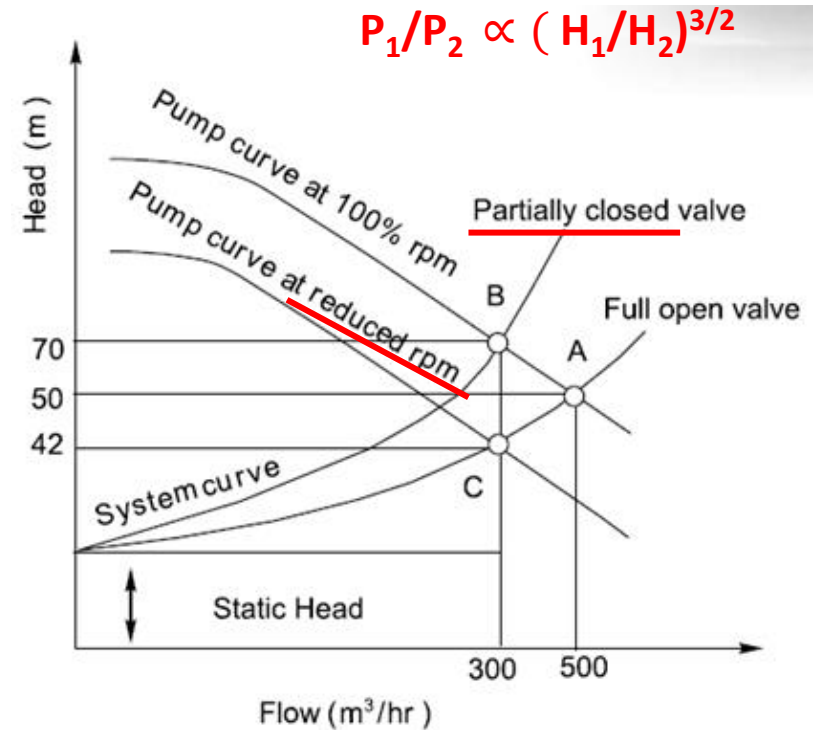
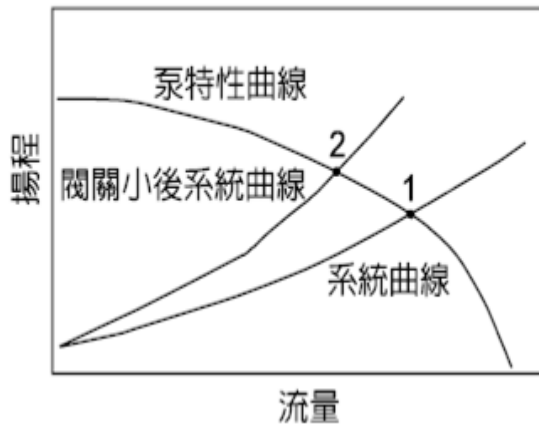
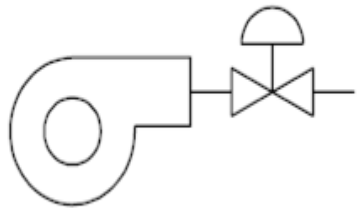


**節能42.7%**



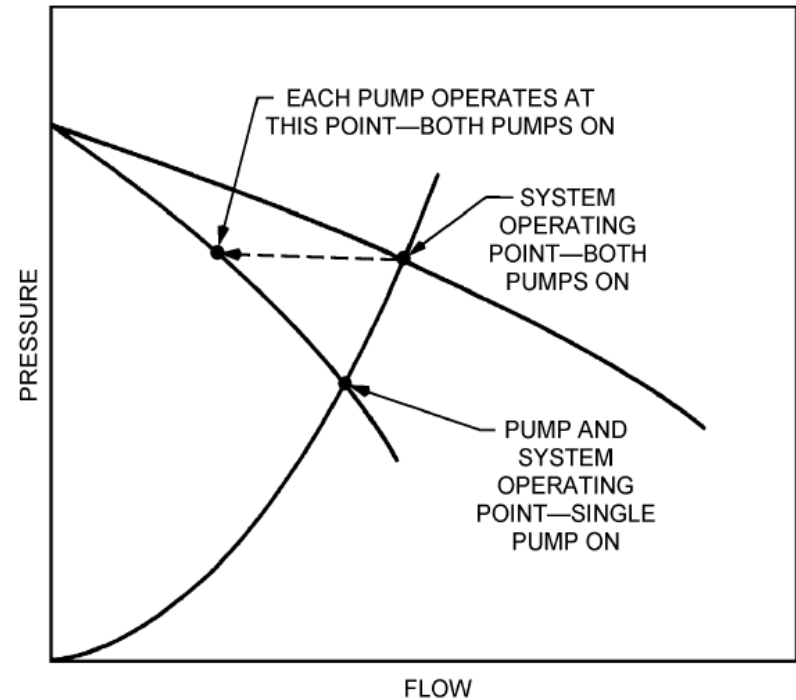
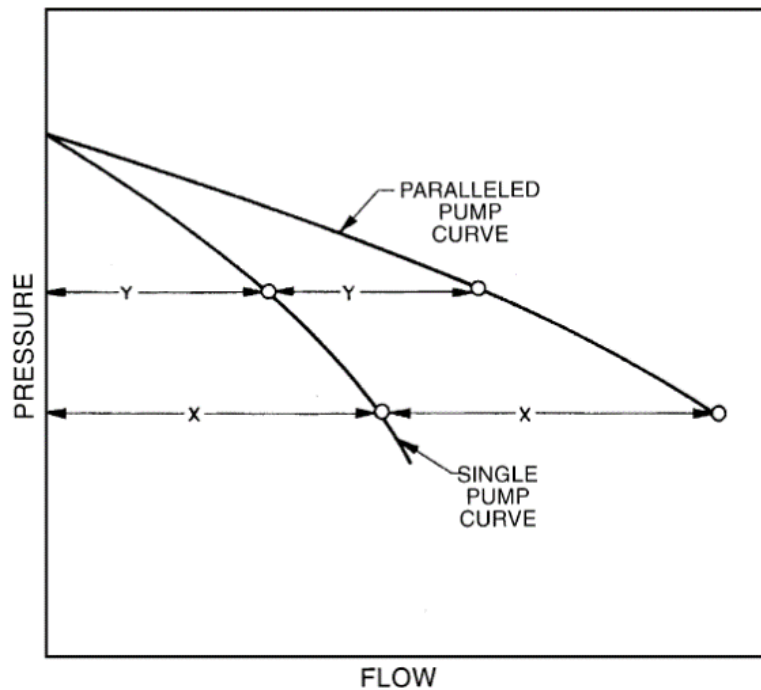
# 泵節能操作策略

- 冰水流量的控制是節能關鍵  
三通閥 VS. 二通閥的流量控制策略





# 冰水系統常見相同性能兩泵**並聯**操作性能曲線

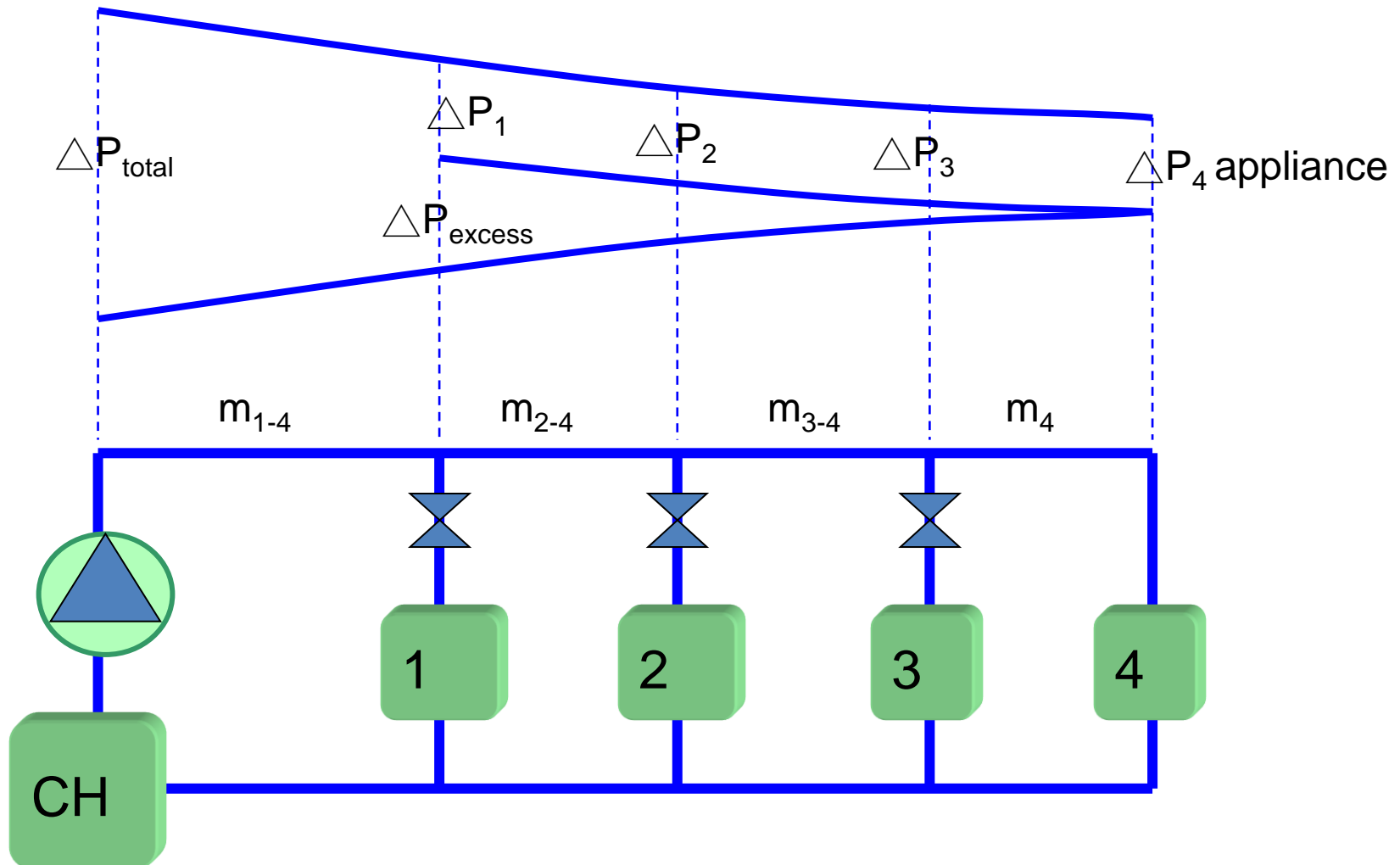




# 測試、調整、平衡(TAB)與節能

1. 重新計算分區負載
2. 重新計算分區水量
  - 依據現有分區管路計算所需壓降
3. 重新計算總水量
  - 從最遠端開始計算
  - 依據現有路計算主管至各分區所需壓降
  - 計算至泵出口，決定泵揚程
4. 調整泵流量與揚程
5. 根據平衡閥特性曲線圖調整平衡閥

# 計算所需壓降



# 案例3:冰水泵加裝變頻器

改善措施	預計年效益					
	省電效益			省熱效益		其他效益
冰水泵加裝變頻器	降低尖載 (kW)	千度/ 年	萬元/年	公秉/年	萬元/年	萬元/年
	13.9	83.4	23.7	—	—	—
	現況說明			改善方案		預計效益
<p>1.廠內空調系統以1台120RT、1台200RT及2台220RT冰水機運轉，供應製程使用，冰水泵採定載運轉，有改善空間</p> <p>2.冰水出、回水溫各為8.5°C、11°C，溫差小，顯示流量過大</p> <p>3.冰水機負載運轉時數為6,000小時/年。</p> <p>4.冰水泵15hp計4台。</p>	<p>1.建議冰水泵加裝變頻器，並以冰水管線壓力或供/回冰水管壓力差做為控制變數，使泵依照冰水負載改變冰水流量。</p> <p>2.加裝變頻器後，依附載狀況，設運轉頻率平均為52Hz。</p> <p>3.變頻器自身耗電約增加6%。</p>	<p>1.預期省能直（間）接效益降低尖載：  <math>\{1 - [(52/60)^3 \times 1.06]\} \times 15\text{hp/台} \times 0.746\text{kW/hp} \times 4\text{台} = 13.9\text{kW}</math>            節省電力：  <math>13.9\text{kW} \times 6,000\text{小時/年} = 83,400\text{度/年}</math>            節省電費：  <math>83,400\text{度/年} \times 2.85\text{元/度} = 237,690\text{元/年}</math></p> <p>2.投資費用            購買變頻器與線路施工，需投資20萬。</p> <p>3.回收年限：  <math>20\text{萬元} \div 23.7\text{萬元/年} = 0.84\text{年}</math></p>				



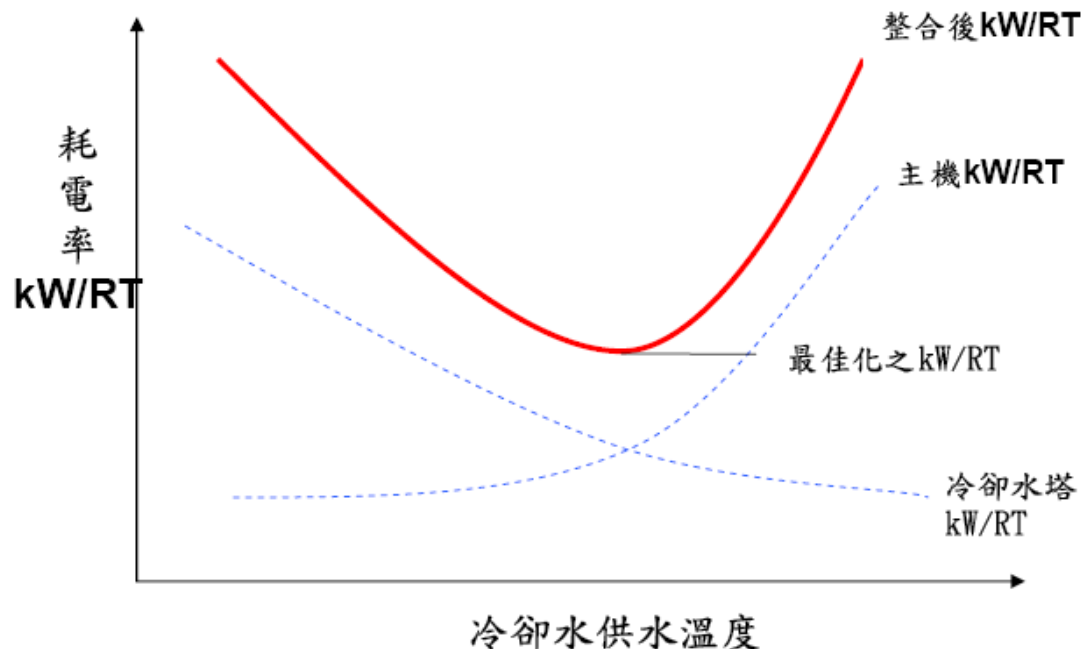
## 案例4:冰水泵浦運轉台數最佳化

### 冰水泵浦運轉台數最佳化

行業別	電子業	設備別	外氣空調箱
現況說明	使用P/S冰水系統，冰水有混水情形，造成平衡管冰水水溫高於二次側冰水泵回水溫，顯示區域泵流量過大		
改善措施	於二次冰水泵出、回水之間設置壓差計，即時偵測系統需求揚程，並以泵性能曲線限定運轉頻率的範圍，使泵運轉台數及效率達到最佳化，節省冰水泵之耗電量。		
節能效益	節省電量: 改善後可節省使用1台25hp冰水泵 節省費用: $25\text{hp} \times 0.746\text{kW}/\text{hp} \times 8600\text{hr}/\text{年} \times 2.3\text{元}/\text{度} = 36.9\text{萬元}/\text{年}$ 抑低二氧化碳: 98公噸/年		

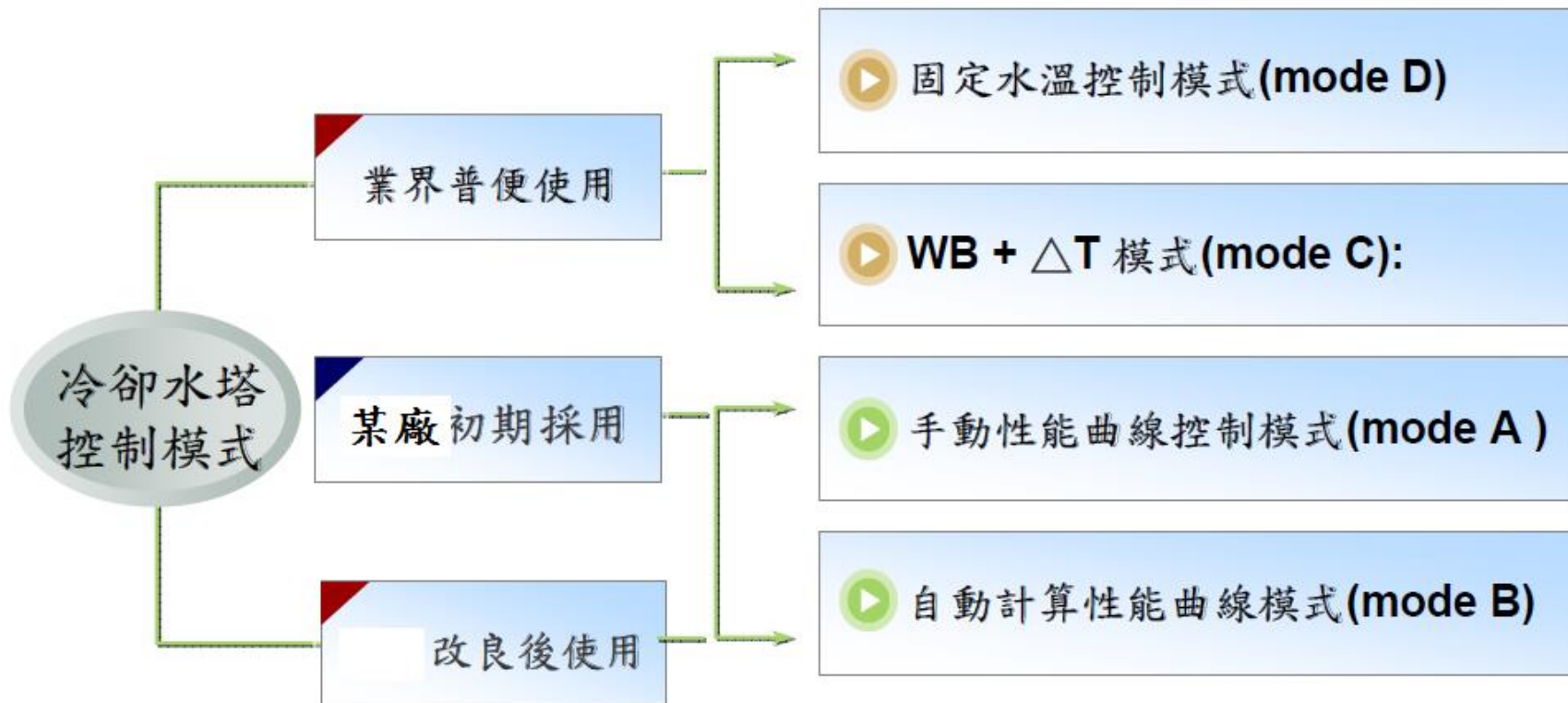
# 冰水機+冷卻水塔耗能最佳化

- 冰水機的效率由兩個主要參數決定；一是平均負載率(約占50%影響度，另一則是冷卻水的溫度(占能耗20%以上影響度)
- 考慮冰水機與冷卻水塔二者的綜合能耗，找出最佳的操作點。較傳統僅將冷卻水出水溫設定在固定值可多節省20%的能源<sup>[註]</sup>



註:英國CARBON TRUST的研究 2011

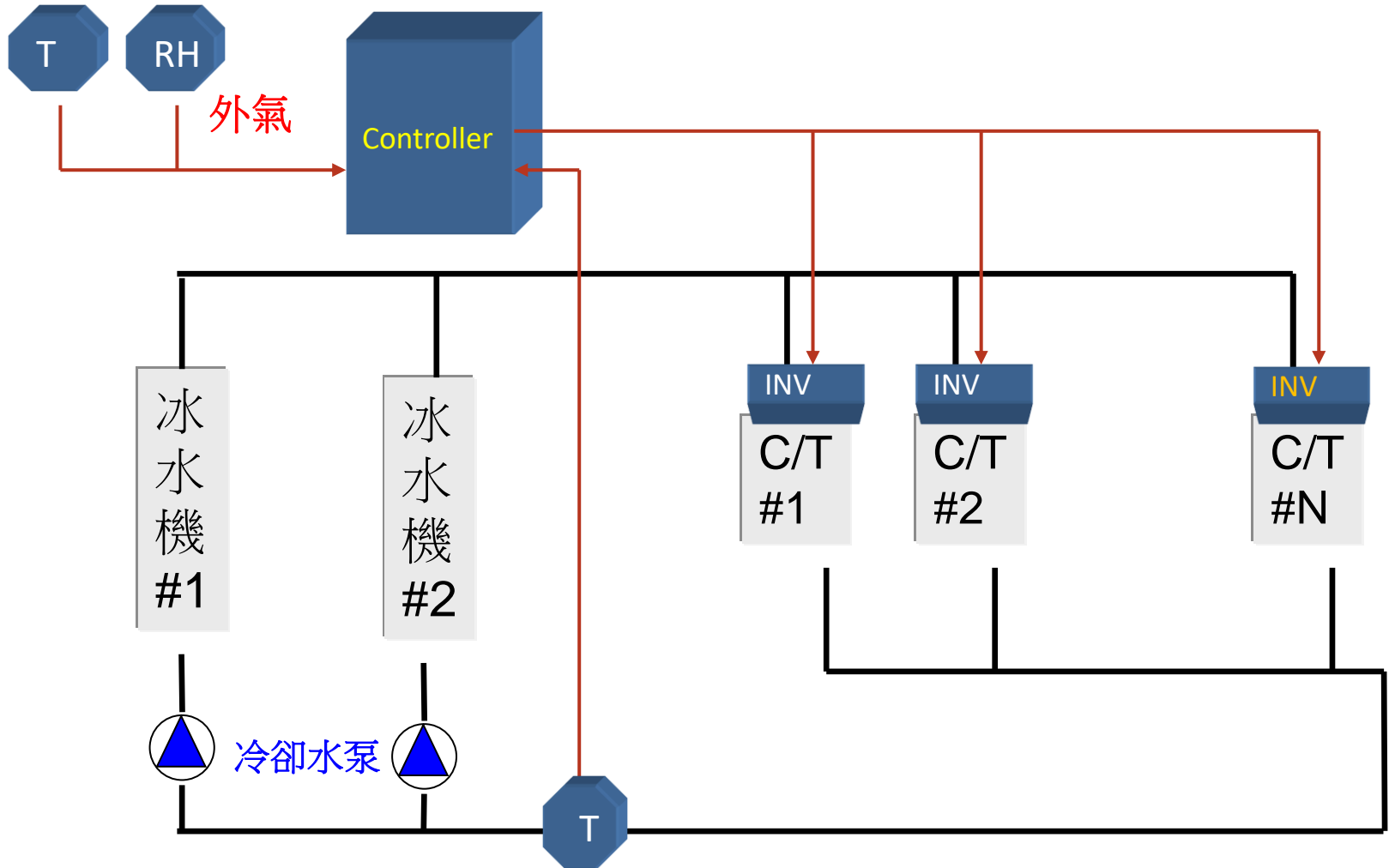
# 冷卻水塔控制模式說明



□ Mode A/B是早期冷卻水塔的傳統控制方式

- ✓ 某電子廠目前使用自動計算性能曲線控制
- ✓ **FMCS(廠務監控系統)**可以自動計算冷卻水塔出水溫度。

# 冷卻水塔風車轉速控制

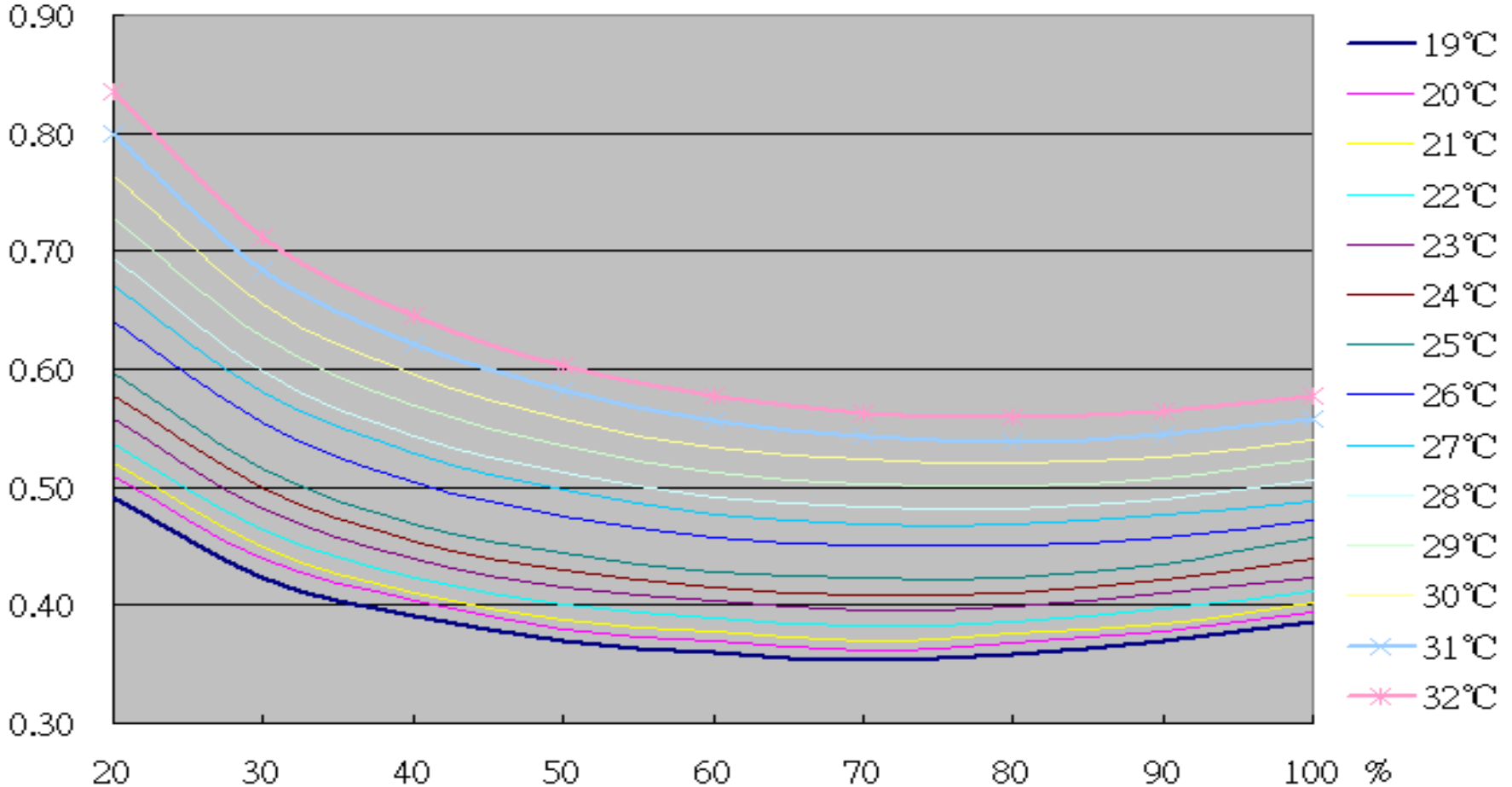




# 冷卻水入口溫度與主機性能

kW/RT

主機性能曲線(冷卻水入水溫調整)



冷卻水入水溫度°C	36.1	33.9	31.6	28.9	26.1	23.9	21.1	18.9
kW/RT	0.64	0.616	0.592	0.565	0.538	0.518	0.494	0.475

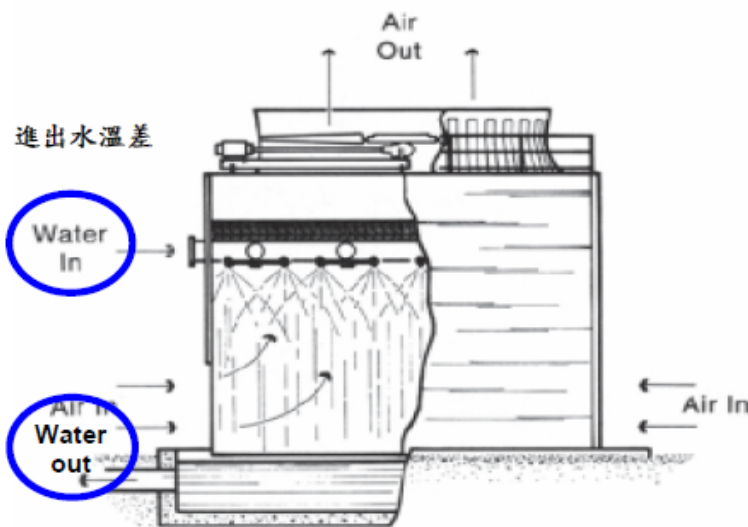
# 影響冷卻水塔性能主要因素

## ❑ 冷卻水進出水溫差(Cooling Range)

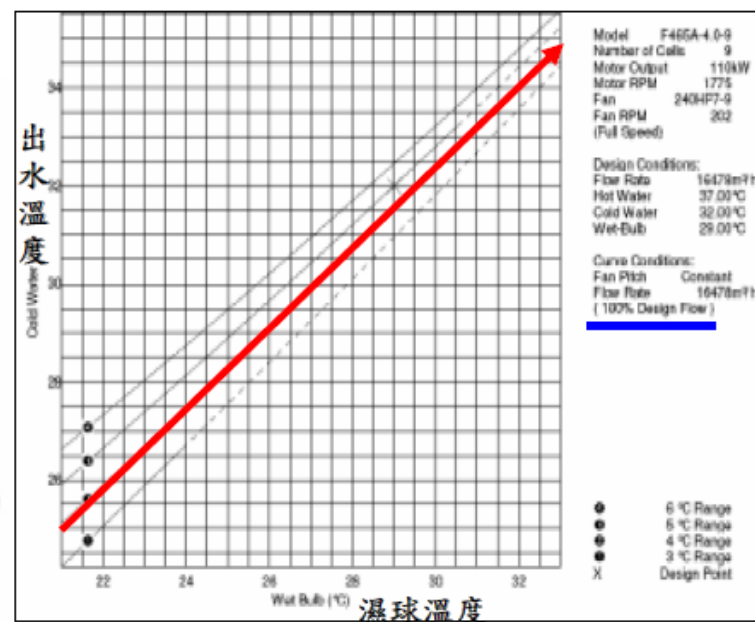
- ✓  $R = \text{進水溫度} - \text{出水溫度}$ ；不同之水溫，有不同之性能曲線。
- ✓  $R = 3^{\circ}\text{C}$     $R = 4^{\circ}\text{C}$     $R = 5^{\circ}\text{C}$     $R = 6^{\circ}\text{C}$ 。

## ❑ 變流量定溫差的控制方式

- ✓ 冷卻水泵變頻運轉流量改變。
- ✓ 運用原廠的水塔性能曲線。



## 原廠性能曲線

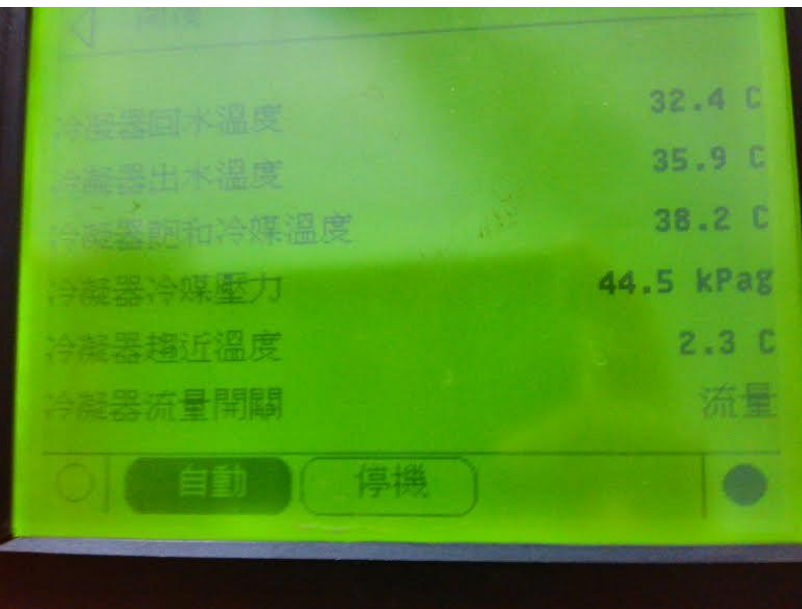


## 案例5:降低非夏月時間冷卻水供水溫度，提高冰水機

降低非夏月時間冰水機冷卻水供水溫度及調整控制參數提高冰水機效率。

行業別	電子業	設備別	冷卻水塔
現況說明	<p>(1)現有冷卻水塔風車控制方式係以冷卻水出水溫度為控制參數，主機於非夏季時間，效能無法有效提升。</p> <p>(2)某廠5 °C空調系統冰水機總容量1,280RT，非夏月期間平均效能值0.6kW/RT。</p>		
改善措施	<p>(1)依據離心式冰水機廠商之冷凝器最低允許冷卻水溫，調低非夏季冷卻水供水溫度至22°C。</p> <p>(2)修改程式，以外氣溼球溫度+3°C為參數，控制冷卻水溫度降低3°C冷卻水供水溫度，至少可節省冰水主機用電4.5%。</p>		
節能效益	<p>(1)<math>0.60\text{kW/RT} \times 1,280\text{RT} \times 4.5\% = 34.5\text{kW}</math>。</p> <p>(2)節省電能:<math>34.5\text{kW} \times 6,000\text{小時/年} = 207,000\text{度/年}</math></p> <p>(3)減少電費:<math>207,000\text{度/年} \times 2.4\text{元/度} = 496,800\text{元/年}</math></p> <p>(4)抑低CO<sub>2</sub>排放:<math>207,000\text{度} \times 0.612\text{kg/度} / 1000\text{ton/kg} = 126.7\text{ ton}</math></p>		

## 案例6:以外氣濕球溫度+3°C控制冷卻水供水溫度



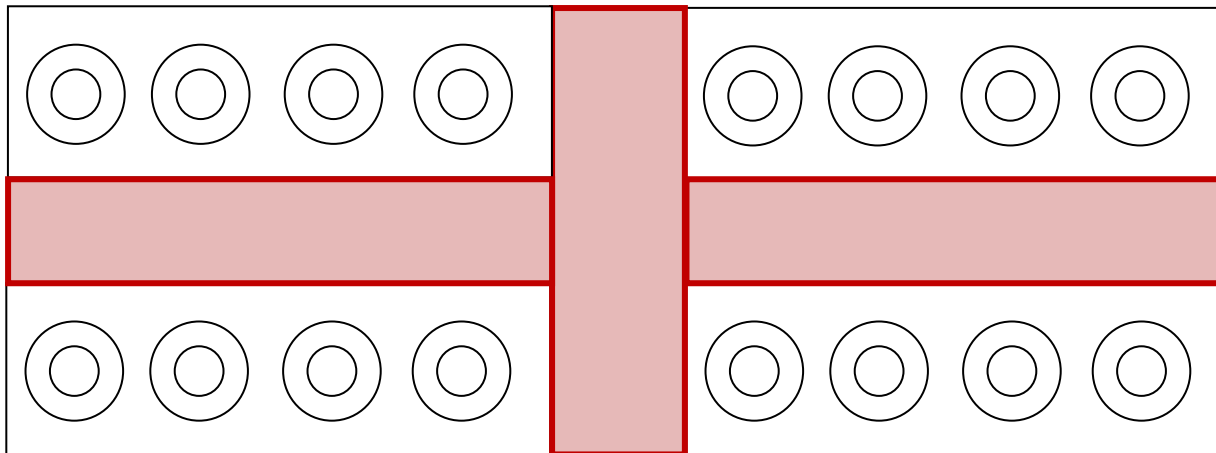
- 檢視冰水機冰水、冷卻水出、回水溫度
- 紀錄數據
- 實地觀看冷卻水塔水路配置、風車運轉情形探討異常原因
- 發掘操作改善項目
- 提出改善建議方案與廠方討論確認
- 評估節能效益

## 案例6:以外氣濕球溫度+3°C控制冷卻水供水溫度

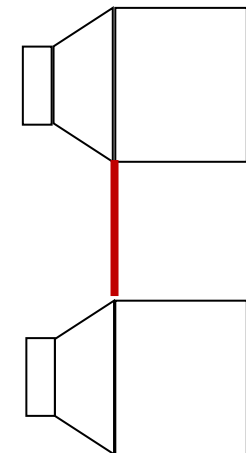
改善措施	預計年效益				
	省電效益		省熱效益		其他效益
以外氣濕球溫度+3°C控制冷卻水供水溫度	降低容量 (kW)	千度/年	萬元/年	m <sup>3</sup> /年	萬元/年
	117	702	175.5	—	—
現況說明	改善方案		預計效益		
<p>1.冷卻水塔容量合計4,600RT，計有16組風車，其中1台因冷卻水量不足，停止運轉，平均負載率70%。</p> <p>2.冰機冷凝器出水溫度35.9°C，入水溫32.4°C。</p> <p>3.四座冷卻水塔底部水槽連通，其中1,100RT用於微油式空壓機冷卻，入水溫33.8°C，出水溫46.5°C</p> <p>4.冷卻水塔距離太近，有短循環現象，散熱不佳。</p> <p>5.冰水機總容量2,600RT，平均效能0.60kW/RT。</p>	<p>1.建議將空壓機、冰水機冷卻用的水塔分開，以降低冰水機冷凝器冷卻水溫度。</p> <p>2.以外氣溼球溫度+3°C為參數，控制冷卻水溫度，每降1°C冷卻水供水溫度，可節省冰水主機用電1.5%。</p> <p>3.建議暫於冷卻水塔上方設置隔板，或加高導風罩避免短循環。</p> <p>4.長期對策建議檢視是否更換散熱材，檢討冷卻水量及水塔進風方向改為兩側進風，增加散熱效果。</p>		<p>1.預期省能直（間）接效益降低容量：  <math>0.60\text{kW/RT} \times 2,600\text{RT} \times 1.5\% / \text{°C} \times (32-27)\text{°C} = 117\text{kW}</math>            節省電能：  <math>117\text{kW} \times 6,000\text{小時/年} \times 70\% = 702,000\text{度/年}</math>  <math>702,000\text{度/年} \times 2.5\text{元/度} = 1,755,000\text{元/年}</math></p> <p>2.投資費用 冷卻水塔散熱材更換及重整費用約350萬元</p> <p>3.回收年限：  <math>350\text{萬元} \div 175.5\text{萬元/年} = 1.99\text{年}</math></p>		

## 案例6：輔助圖示說明冷卻水塔節能改善

建置隔板(紅色部分)避免水塔短循環



冷卻水塔-頂視圖



冷卻水塔-側視圖