

# 冷凍冷藏預知保養及節能應用技術

---

李魁鵬 博士/永續環境控制中心主任  
國立臺北科技大學能源與冷凍空調工程系  
學歷: 成功大學建築博士/ 機械碩士  
經歷: Lawrence Berkeley National Laboratory 研究學者  
台大土木系兼任教授/ 綠建築審查委員/ 冷凍空調技師

1

## 課程大綱

---

- ☐ 預知保養與維護保養方法導論
- ☐ 冷凍冷藏系統冷凝機組之節能技術
- ☐ 冷凍冷藏櫃（庫）之節能技術
- ☐ 賣場濕度控制之節能技術
- ☐ 其他節能技術
- ☐ 冷凍冷藏節能技術實際案例分析

# 預知保養與維護保養方法導論

3

## 預知保養與其它維護保養方法簡介

預知保養的主要內容之一是進行狀態監測，使用狀態監測可以在發生損壞之前及時進行保養或是其他措施，也避免損壞所造成的結果。狀態監測的好處是可以提早發現一些會降低壽命的條件，而不是在真正造成失效之後才知道。

	預知保養 Predictive Maintenance	故障後維修 Reactive Maintenance	預防保養 Preventative Maintenance
時機	必要時	故障後	定期
優點	最低故障風險	沒有保養成本	比故障後維修的風險低
缺點	高修復成本	高故障風險	沒必要之保養
舉例	當車子顯示需要換機油時，再換機油	當故障時才換機油	固定時間換機油

# 故障後維修方法

---

## ■ 優點

- 低成本
- 人力減少

## ■ 缺點

- 由於計劃外的設備停機而增加了成本
- 增加了人工成本，尤其是在需要加班的情況下
- 維修或更換設備的成本
- 設備故障可能造成的二次設備或製程損壞
- 人力資源利用效率低下

# 預防保養方法

---

## ■ 優點

- 在許多資本密集型製程中具有成本效益
- 允許靈活調整維護週期
- 增加了部件的生命週期
- 節省能源
- 減少設備或製程故障
- 相較於故障後維修方法，約可節省12%至18%的成本

## ■ 缺點

- 災難性故障仍然可能發生
- 勞力密集型
- 包括不需要的維護性能
- 進行不必要的維護時可能會損壞部件

# 預知保養方法

## ■ 優點

- 延長了部件的使用壽命及可用性
- 允許採取先發制人的糾正措施
- 減少設備或過程停機時間
- 減少零件和人工成本
- 更好的產品質量
- 改善勞工和環境安全
- 改善員工士氣
- 節省能源
- 與預防性維護計劃相比，約可節省8%至12%的成本

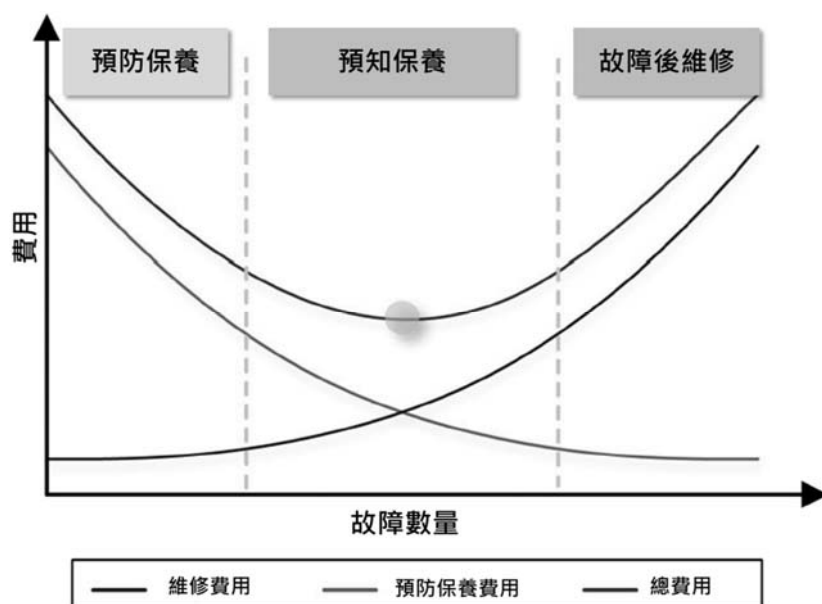
- 投資回報率：10倍
- 降低維護成本：25%到30%
- 消除故障：70%至75%
- 減少停機時間：35%至45%
- 產量增加：20%至25%。

## ■ 缺點

- 增加對診斷設備的投資
- 增加了對員工培訓的投入



# 維護方法之成本比較



Source: TEXAS INSTRUMENTS, 2017

## ■ 預防保養

較少的故障但是因需維護材料及人力，故總體成本較高

## ■ 預知保養

成本介於故障後維修及預防保養之間，可降低總體維護成本

## ■ 故障後維修

故障發生次數會隨著運轉時間增加而變多，造成維修成本明顯提高



## 可靠性維護保養(Reliability Centered Maintenance)

- RCM方法處理的是其他維護方法未考慮的一些關鍵問題，它依據設施中的設備對製程或設施安全的重要性，而採用不同之保養方法。
- RCM是一種評估設施設備和資源以使兩者最佳匹配的系統方法，可實現高度的設施可靠性和成本效益。
- RCM高度依賴於預知保養，但也認識到，對於便宜且對設施可靠性不重要的設備，最好採用故障後維修方法。
- RCM在預知保養技術的使用中佔有很大的比重，因此它的程序優缺點也反映了預知保養的優點和缺點。例如採用的方法權重可能如下：
  - <10% 故障後維修
  - 25% to 35% 預防保養
  - 45% to 55% 預知保養

## 可靠性維護保養之應用

可靠性維護保養之應用策略架構		
故障後維修	預防保養	預知保養
小型零件和設備	設備易磨損	會隨機故障的設備
非關鍵設備	耗材設備	關鍵設備
設備不太可能發生故障	已知故障模式的設備	設備不易磨損
有備援系統	製造商建議	預防保養不正確可能導致系統故障

(NASA, 2000)

# 可靠性維護保養優缺點

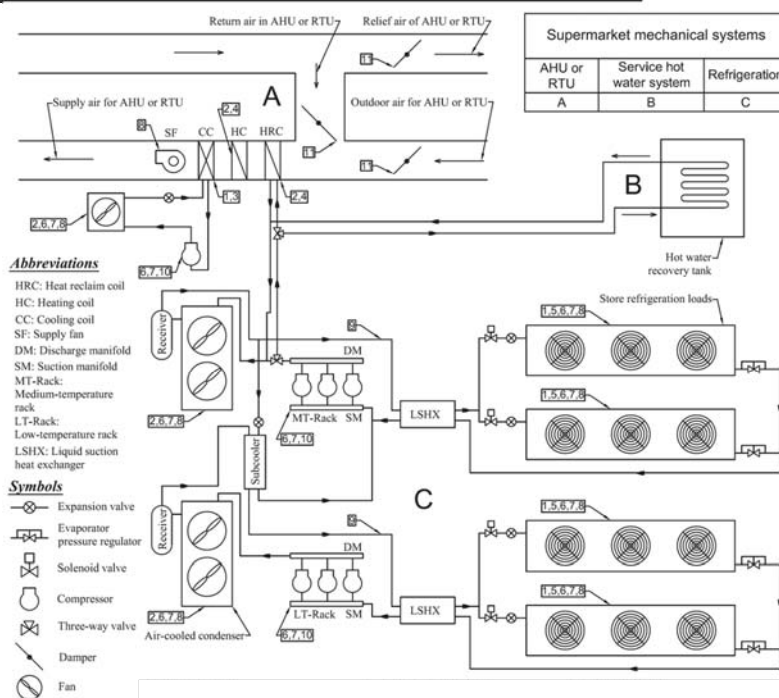
## ■ 優點

- 可以成為最有效的維護程序
- 通過消除不必要的維護或大修來降低成本
- 最小化大修頻率
- 降低設備突然故障的可能性
- 能夠將維護活動重點放在關鍵部件上
- 提高了部件的可靠性
- 結合根本原因分析

## ➢ 缺點

- 可能會有衍生大量的推動成本、培訓、設備等

# 典型超市之冷凍冷藏系統及常見故障問題



Source: ALIREZA BEHFAR, 2017

常見故障項目：

1. 低壓端熱傳問題
2. 高壓端熱傳問題
3. 冷卻盤管結垢
4. 加熱盤管結垢
5. 除霜過度
6. 冷媒不足
7. 冷媒過充
8. 風扇問題
9. 液管阻塞
10. 壓縮機性能衰退
11. 空氣擋板卡住

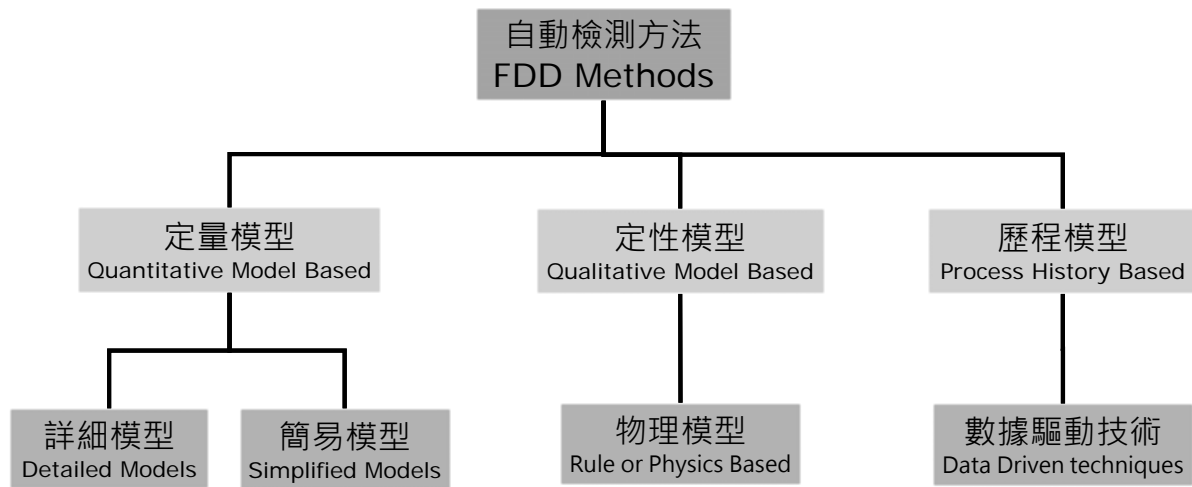
# 常見的預知保養方法

應用場合 技術	泵	電動馬達	柴油發電機	冷凝器	斷路器	閥件	熱交換器	電氣系統	變壓器	容器、管路
振動監測及分析	X	X	X							
潤滑、燃料分析	X	X	X						X	
磨損粒子分析	X	X	X							
軸承、溫度/分析	X	X	X							
性能分析	X	X	X	X			X		X	
超音波噪聲檢測	X	X	X	X		X	X		X	
超聲波流量檢測	X			X		X	X			
紅外熱影像檢測	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
非破壞性檢測(厚度)				X			X			X
目視檢查	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
絕緣電阻		X	X		X			X	X	
馬達電流特徵分析		X								
馬達電路分析		X			X			X		
極化指數		X	X					X		
電氣監控								X	X	

## 自動故障檢測與診斷簡介

- 自動故障檢測與診斷 ( Automated Fault Detection and Diagnosis AFDD ) 是與自動檢測物理系統中的故障及其原因有關的程序。
- 應用原則：
  - 可嵌入到現有系統中
  - 可通過對真實建築物的現場/試點測試得到證明
  - 應盡量減少誤報的數量，以建立用戶對系統的信任
  - 具有成本效益
  - 具有足夠的通用性，以允許獨立於平台/系統的大規模實施 ( 以確保其在產業中的廣泛採用 )

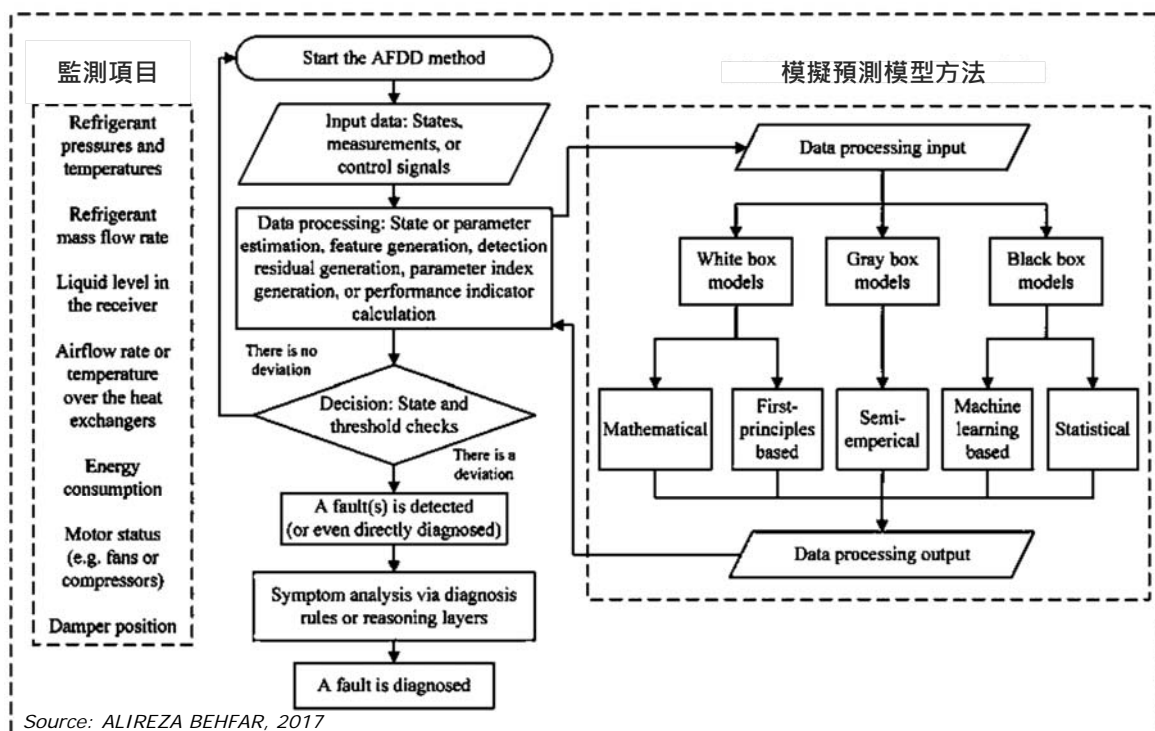
# 自動故障檢測方法之分類



Source: Katipamula and Brambley, 2005



## 製冷和建築系統中使用的AFDD方法體系

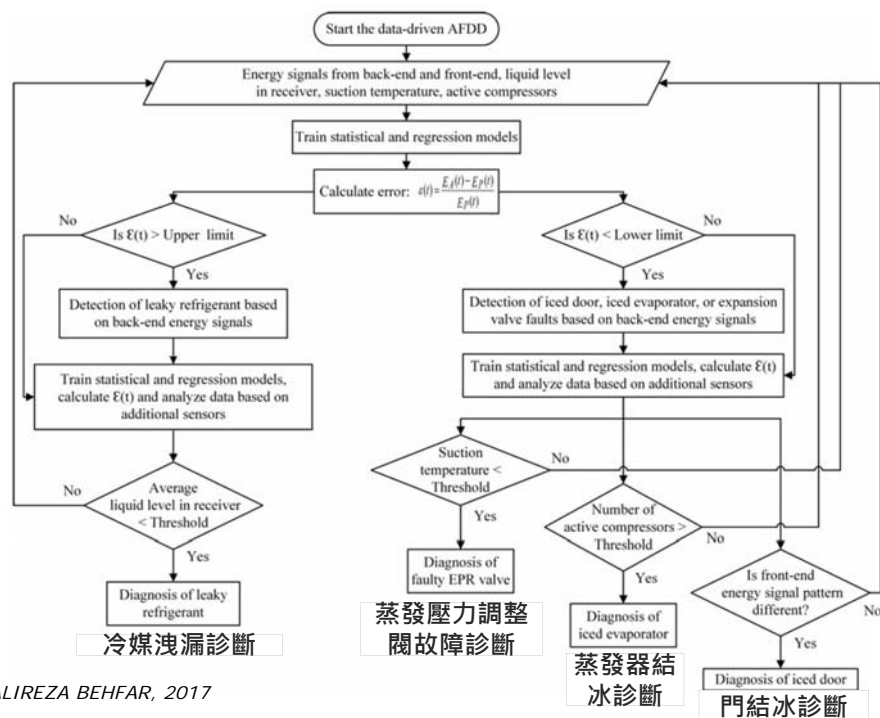


Source: ALIREZA BEHFAR, 2017

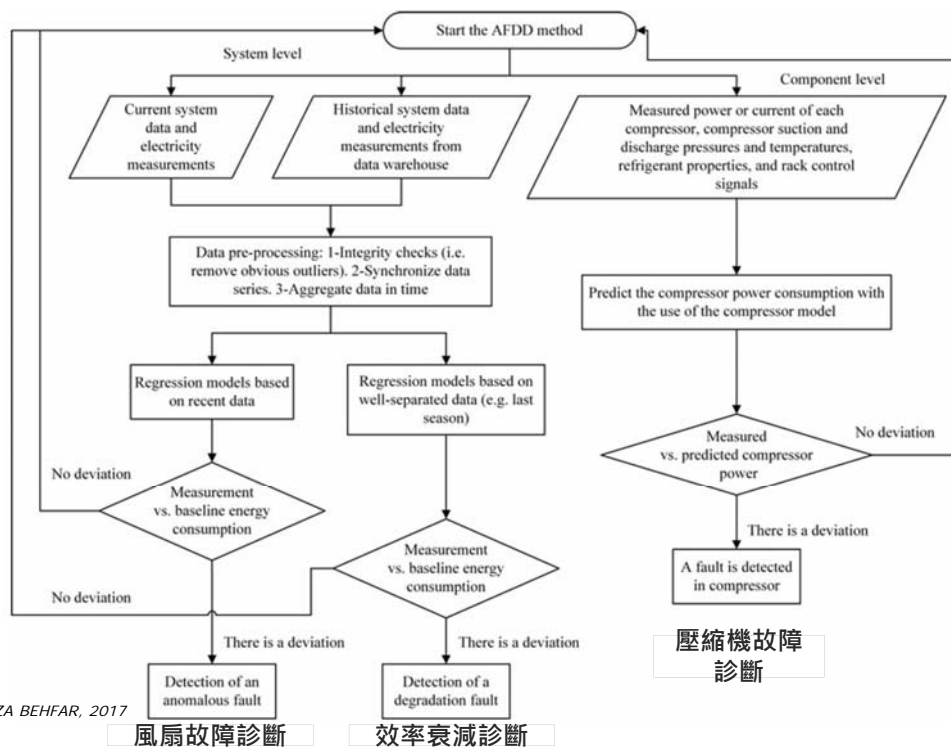




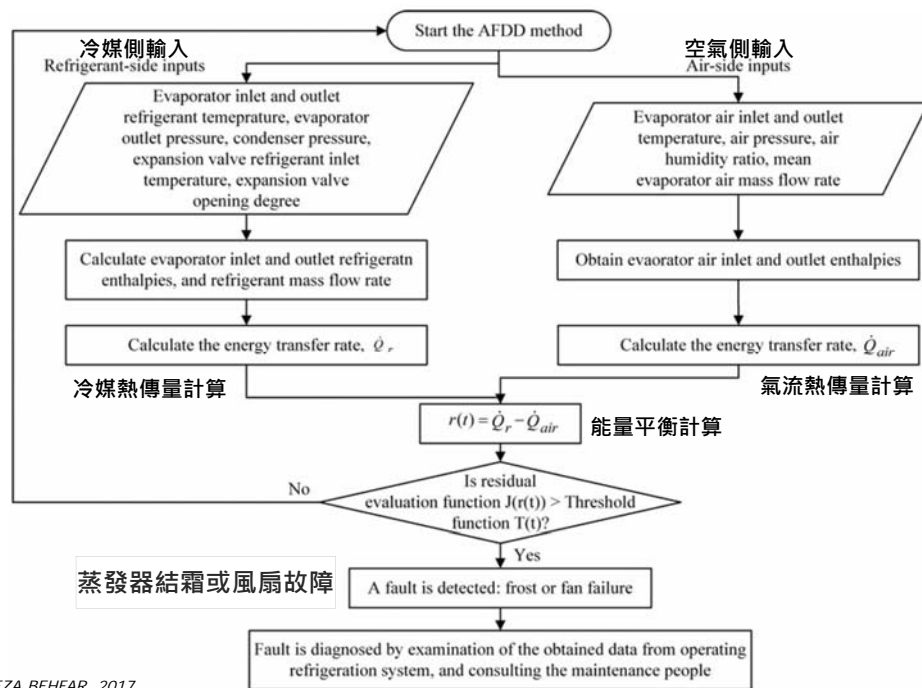
# 冷凍系統AFDD實施案例(一)



# 冷凍系統AFDD實施案例(二)



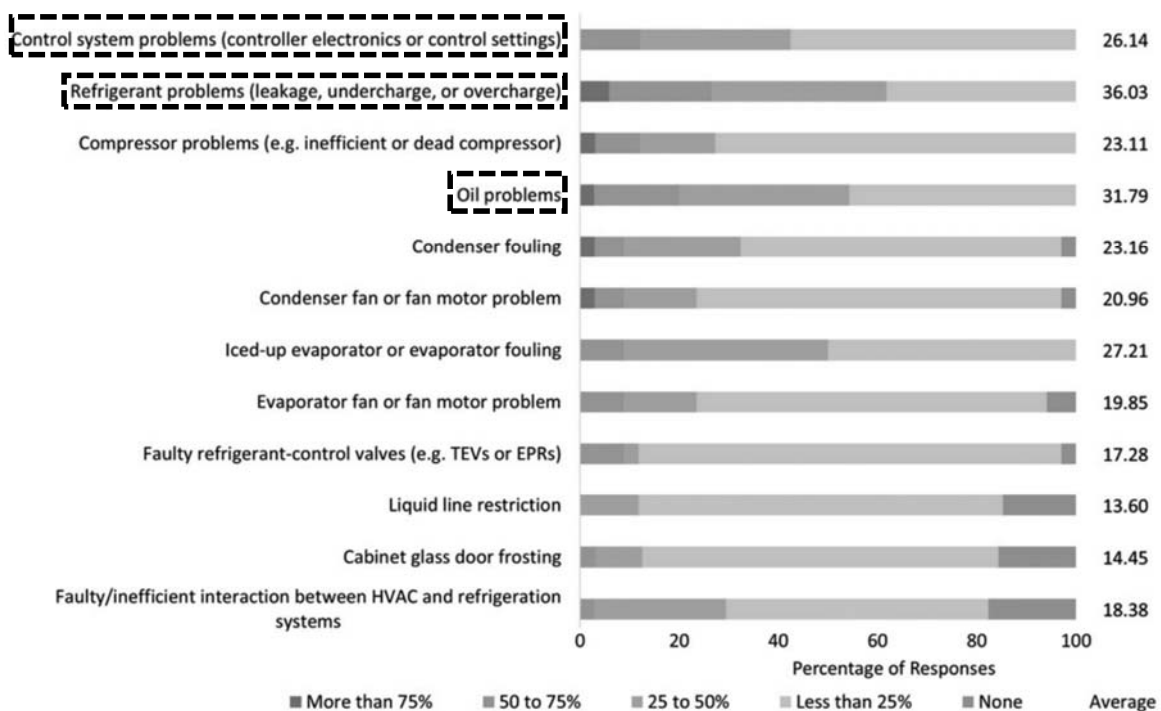
# 冷凍系統AFDD實施案例(三)



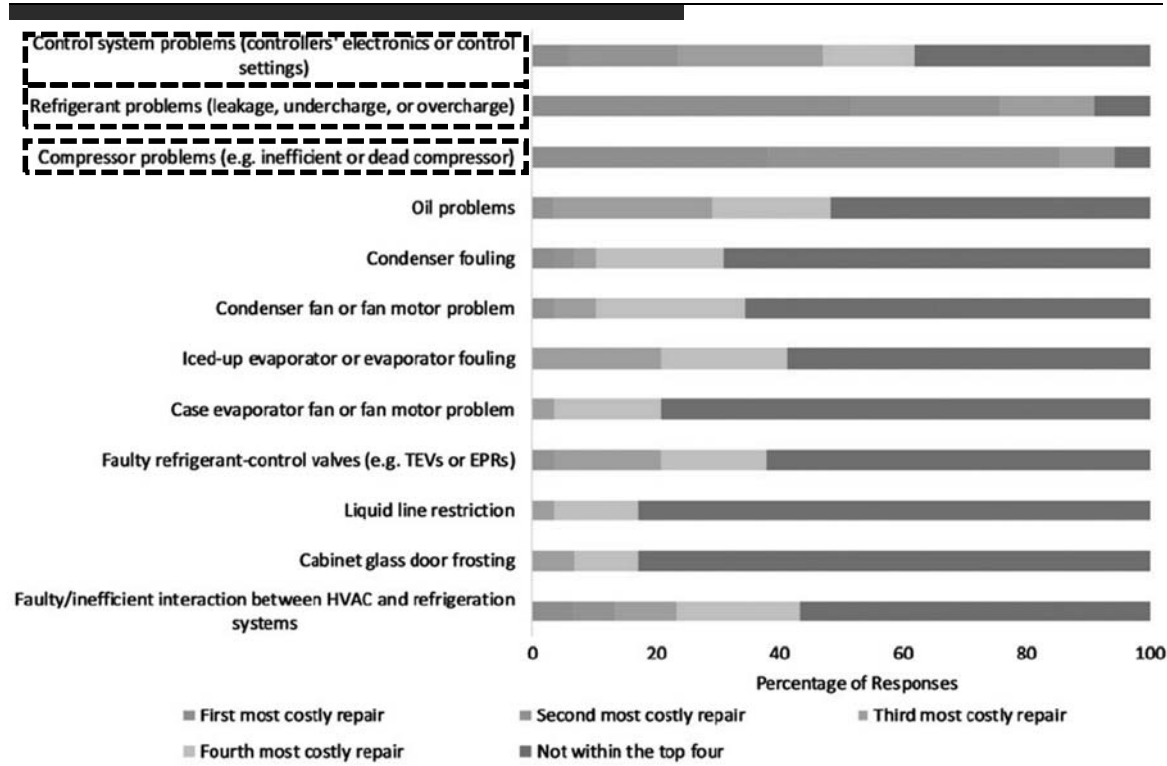
Source: ALIREZA BEHFAR, 2017



## 導致冷凍系統設備損壞之故障類型分析

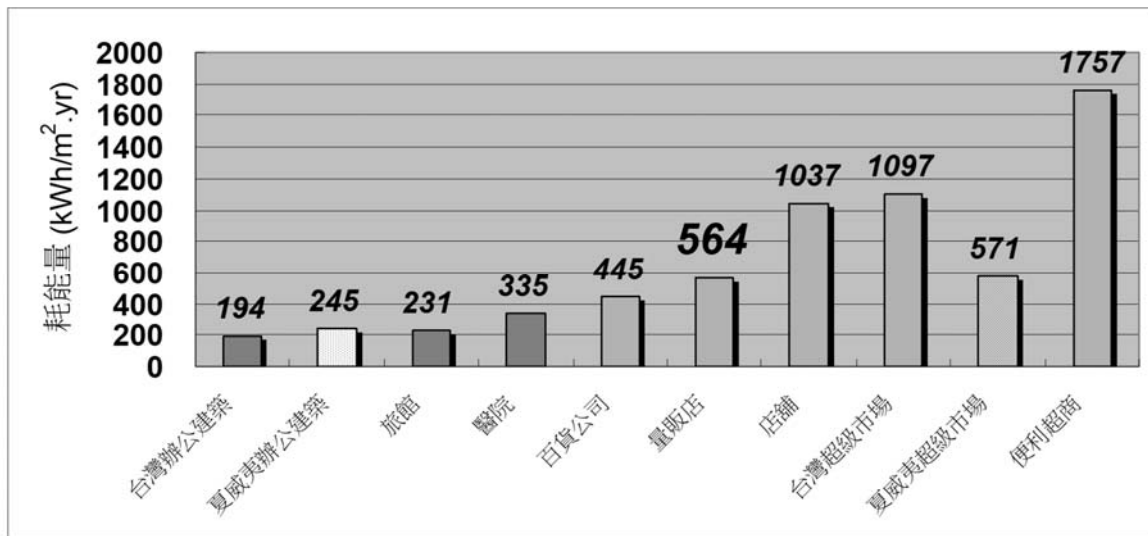


# 冷凍系統故障類型之成本分析



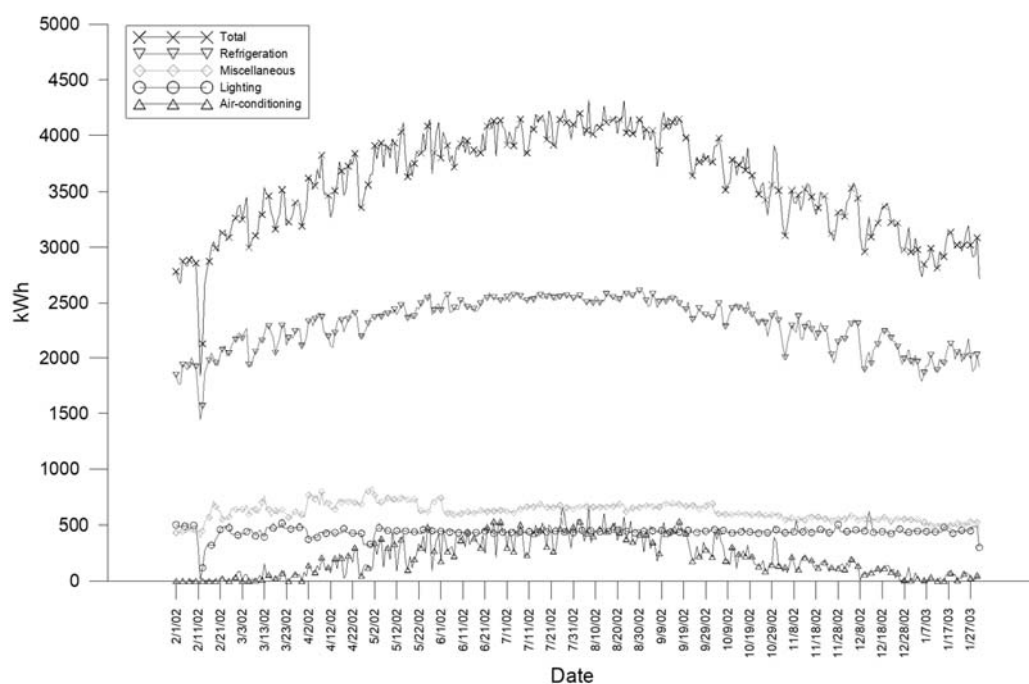
# 冷凍冷藏系統冷凝機組之節能技術

## 超級市場耗電EUI值

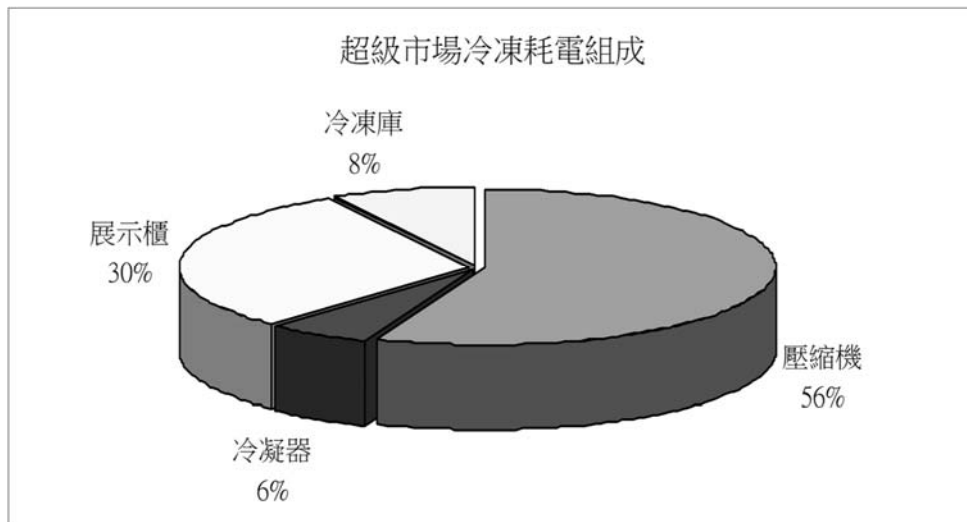


台灣地區與夏威夷各類建築與超級市場全年單位面積耗電量比較

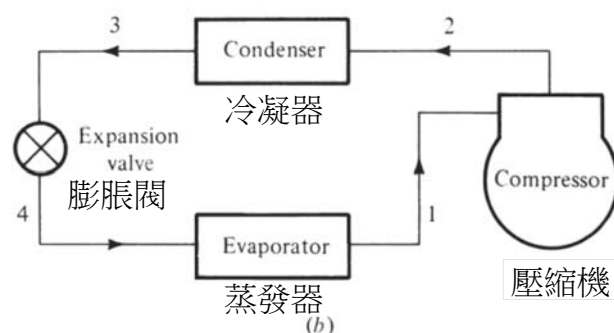
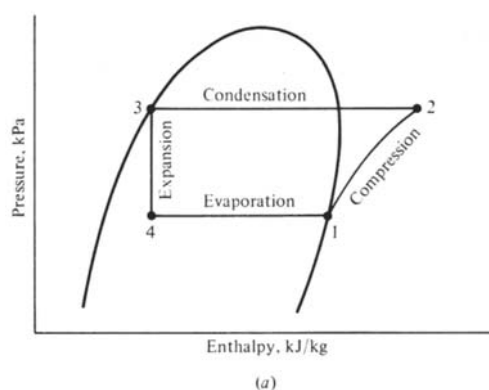
## 超級市場冷凍耗電特性



# 超級市場冷凍耗電組成



## 標準蒸汽壓縮循環之效能



冷凍效果(Refrigeration effect per kg) =  $h_1 - h_4$

壓縮功(Compression work per kg) =  $h_2 - h_1$

排熱量(Heat rejection per kg) =  $h_3 - h_2$

性能係數(Coefficient of Performance) (COP) =  $(h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$

## 蒸發溫度對壓縮機入口氣冷媒質量流率之影響

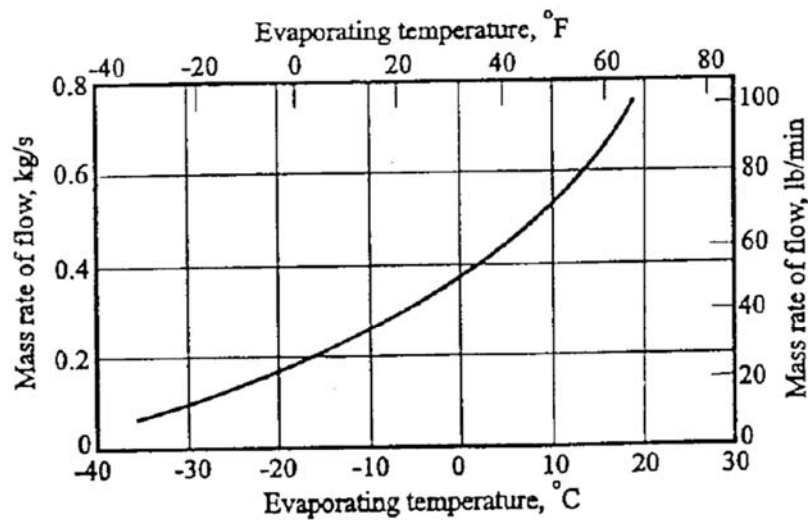


FIGURE 4.6

Influence of the evaporating temperature on the mass rate of flow of ammonia for the reciprocating compressor introduced in Figure 4.4.

Source: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker



## 蒸發溫度對冷凍能力之影響

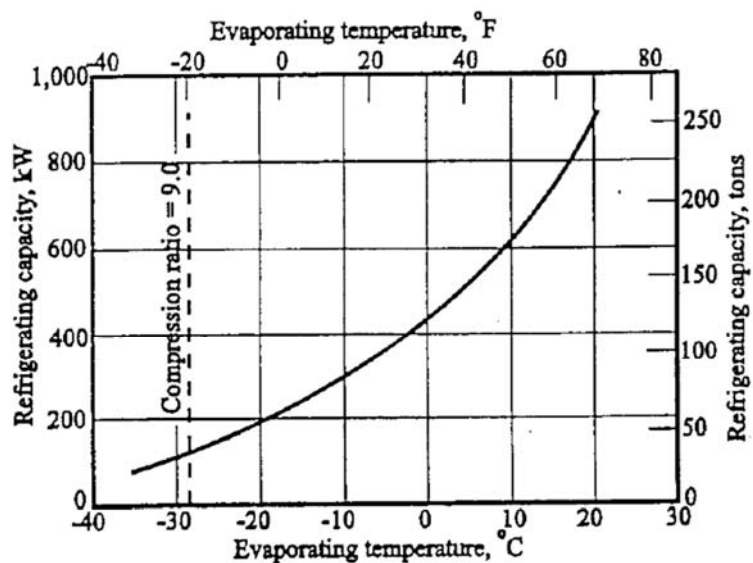


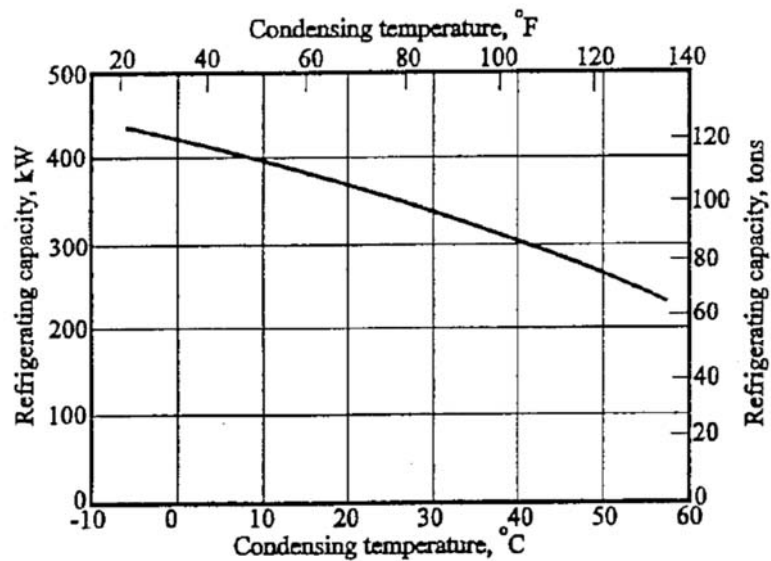
FIGURE 4.8

Effect of the evaporating temperature on refrigerating capacity of the ammonia compressor in Figure 4.4. The condensing temperature is constant at 30°C (86°F).

Source: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker



## 冷凝溫度對冷凍能力之影響

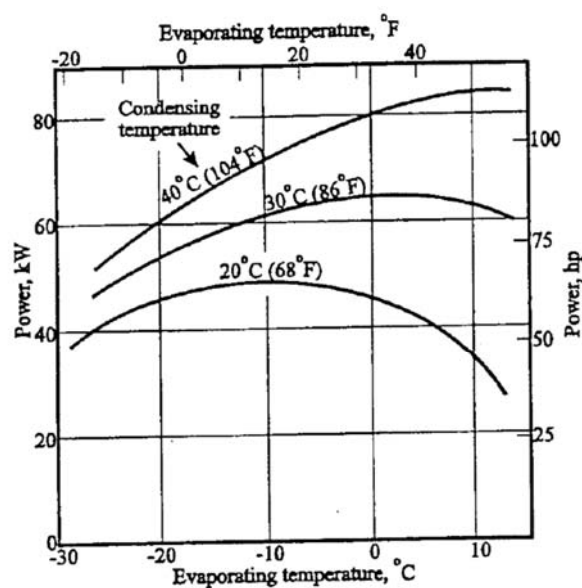


**FIGURE 4.9**  
Effect of condensing temperature on the refrigerating capacity of an 8-cylinder ammonia compressor with a displacement rate of  $0.123 \text{ m}^3/\text{s}$  (260 cfm) operating with an evaporating temperature of  $-10^\circ\text{C}$  ( $14^\circ\text{F}$ ).

Source: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker



## 蒸發溫度及冷凝溫度對往復式壓縮機之影響

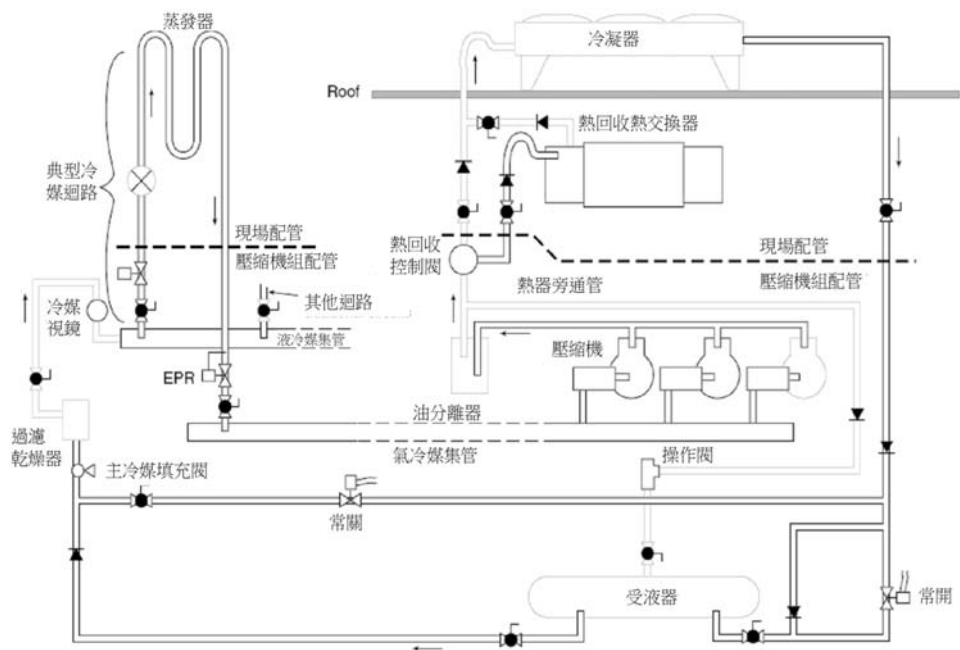


**FIGURE 4.13**  
Actual power requirement of an 8-cylinder Sabroe 108L ammonia compressor operating at 1170 rpm.

Source: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker



# 冷凍冷藏系統之基本系統流程



# 超級市場冷凍冷藏之節能潛力分析

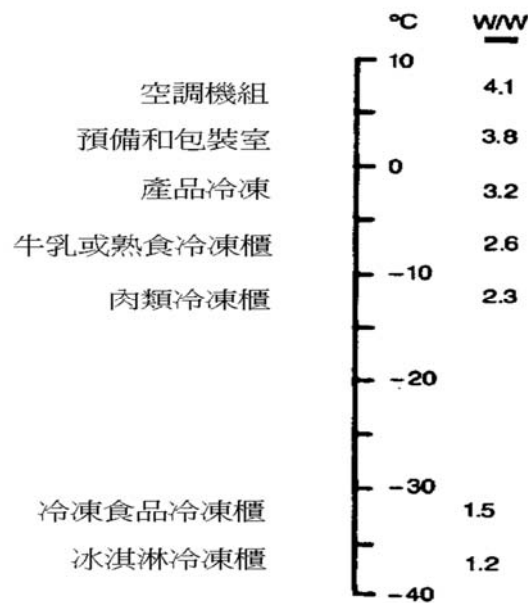
技術類別	節能技術	冷凍耗電 節省百分比(%)	回收年限
冷凍主機	高效率壓縮機	12.0	0.4
	使用蒸發式冷凝器	3.1	N/A
	浮動式高壓控制	3.1	2.5
	熱回收	依應用而定	2.5
	機械式過冷卻	1.4	4.9
	環境過冷卻	0.5	11.0
	高效率照明	10.0	1.0
冷凍冷藏櫃	熱氣除霜	3.1	1.4
	防汗電熱絲控制	5.7	1.6
	蒸發器無刷直流馬達風扇控制	8.2	1.6
	除霜控制	1.3	3.0
	低溫系統之低壓回氣管熱交換	2.4	4.1
	中溫系統之低壓回氣管熱交換	1.8	14.0
	賣場濕度控制 (ASHRAE-HB)	13/10%RH 降低	N/A

Source；超級市場冷凍冷藏節能潛力分析報告，美國能源部DOE





# 冷凍冷藏之蒸發溫度對的能源效率比值之影響

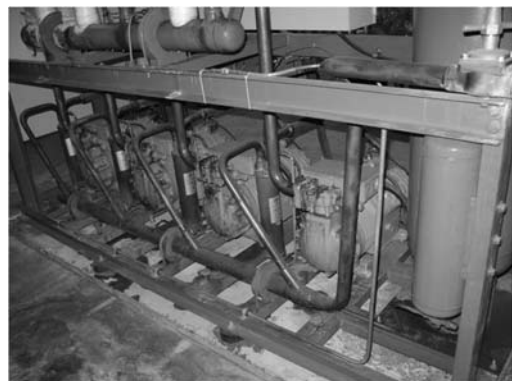
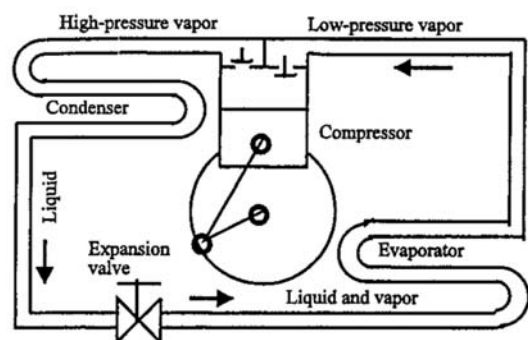


COP性能係數 (Coefficient Of Performance) = 冷凍能力W ÷ 耗電W

## 冷凝機組的節能技術

□ 商業冷凍冷藏之主機系統側，也就是包含壓縮機及冷凝器之冷凝機組的節能技術包含：

- (1)變頻式壓縮機
- (2)使用蒸發式冷凝器
- (3)浮動式高壓控制
- (4)熱回收
- (5)環境過冷卻
- (6)機械式過冷卻

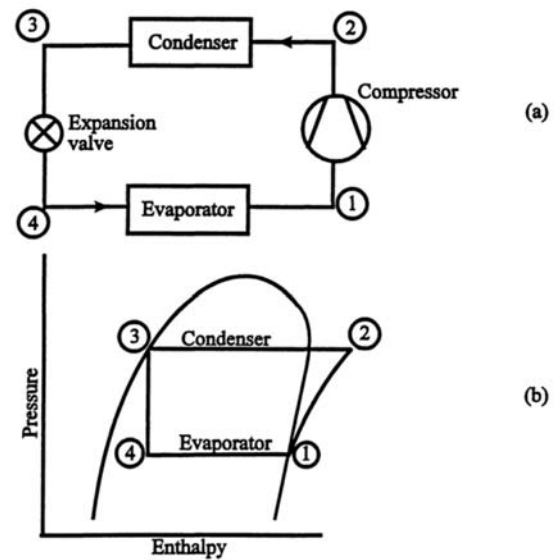


## 變頻式壓縮機

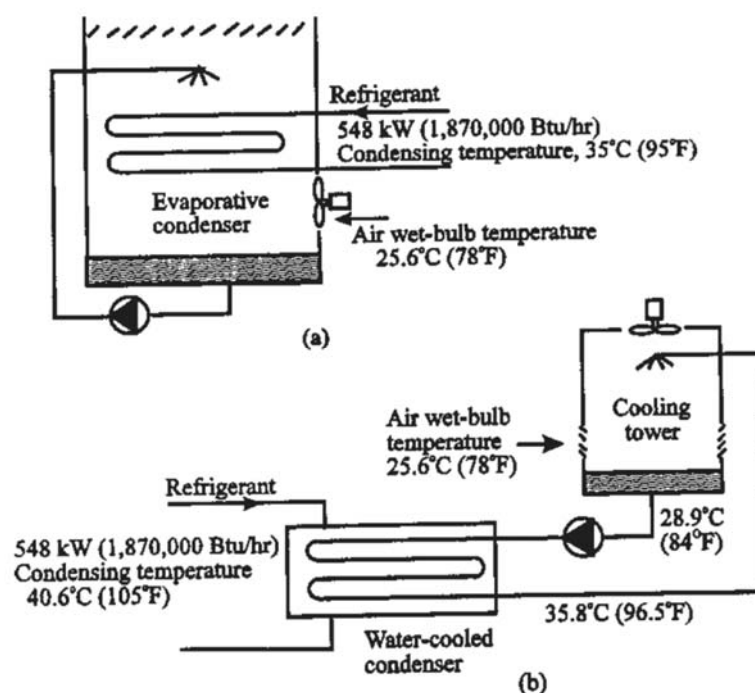
□ 傳統壓縮機之卸載方法有以下三種方法：

- (1) 熱氣旁通法
- (2) 壓縮機蒸氣吸入口節流閥控制
- (3) 壓縮機起停控制

□ 變頻式壓縮機可藉由變頻器適當控制壓縮機之排氣容量，精準匹配蒸發器負載，避免壓縮機起停頻繁以及庫溫過低之現象，而達成節能之目的，其投資回收年限約在2~5年。



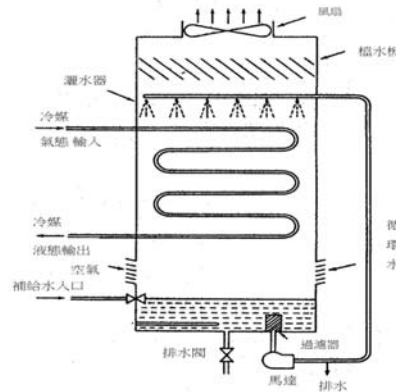
## 水冷式與蒸發式冷凝器之原理比較



Source: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker

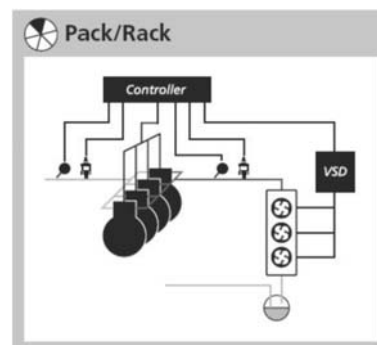
## 蒸發式冷凝器之節能原理

- 蒸發式冷凝器之散熱方式是藉由泵將水灑在散熱管排上所產生之蒸發冷卻效果，蒸發冷卻散熱效果與周圍空氣之濕球溫度有關，濕球溫度都比乾球溫度低，除非空氣相對濕度達100%。因此，蒸發式冷凝器之散熱效率高於氣冷式冷凝器，冷凝溫度低於氣冷式冷凝器，故採用蒸發式冷凝器可提昇冷凍系統之效率。



## 浮動式高壓控制

- 傳統上，冷凍系統之冷凝器高壓側都控制在一定之壓力水準，以避免傳統感溫式膨脹閥兩端之高低壓力差不足，造成冷媒流量減少，影響冷凍能力。但是當冷凝壓力太高時，則造成壓縮機運轉效率變差。
- 目前已商業化之電子式膨脹閥因為可進行較為彈性之閥開口控制，可適應較為寬廣之壓力變化，若搭配採用浮動式高壓控制方法，則可依外界氣候條件適當重置冷凝壓力控制值，當散熱條件好時，降低冷凝壓力，以提升壓縮機效率。

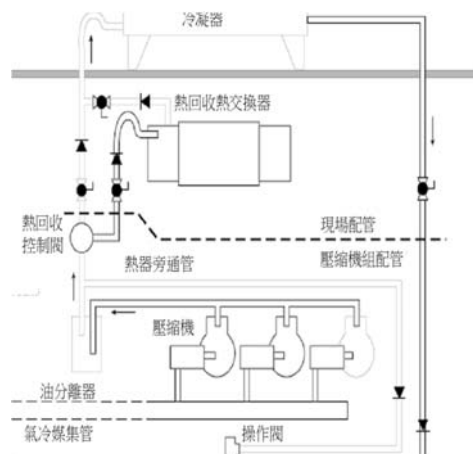


## 使用浮動式高壓控制應該注意那些事項

- 浮動式高壓控制方法相當複雜，必須充分進行系統運作條件之了解與判斷，以避免高壓過低而造成冷媒流量不足、油壓不足或熱氣除霜之能量供給不足等問題。進行浮動式高壓控制方法之施作後，也必須進行系統測試、調整等性能驗證程序，方可確保該節能技術之可靠性。

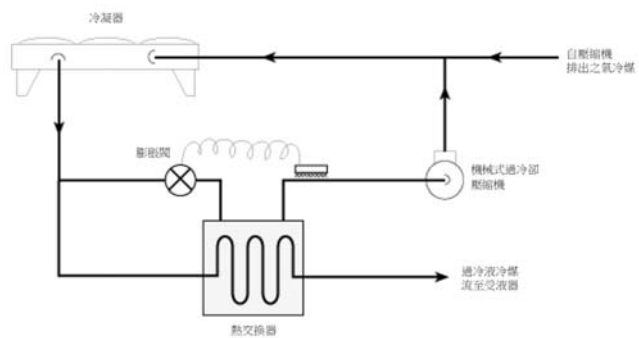
## 冷凍系統之熱回收技術

- 利用熱回收熱交換器將壓縮機吐出之高溫高壓氣態冷媒之熱量取出，再利用在空間除濕之再熱或提供為賣場之熱水加熱之需求。
- 冷凍系統之熱回收設備之控制方法，是藉由熱回收控制閥控制所需之熱回收量，當熱回收需求降低或冷凝壓力太低而造成冷凍系統運轉之可靠性時，必須將熱回收控制閥關小或關閉，降低熱回收器之熱回收量。

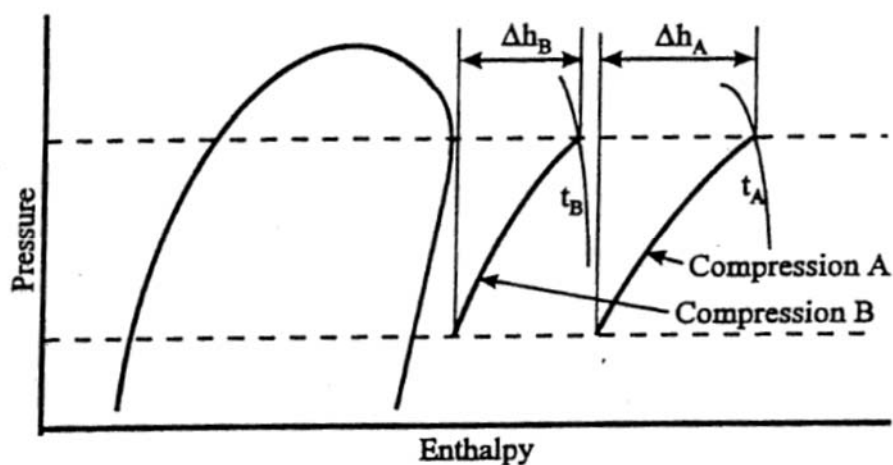


# 冷凝機組機械式過冷卻技術及節能效益

- 機械式過冷卻技術係利用部分分路之冷媒膨脹來冷卻主要供給蒸發器之液態冷媒，經過膨脹與熱交換之分路冷媒汽化後，利用壓縮機將其由中間壓力壓縮至高壓共通管路，而達到節能之效果。
- 機械式過冷卻所需額外增加之壓縮機耗電必須納入總節能計算之減項，但是儘管如此，因為中間段壓縮功率低於低壓段之壓縮功率，良好設計與經過妥當之試車調整的機械式過冷卻還是具有其節能成效。不過，其總體投資之經濟效益還須依個案詳細評估後，才有明確之結果判斷。



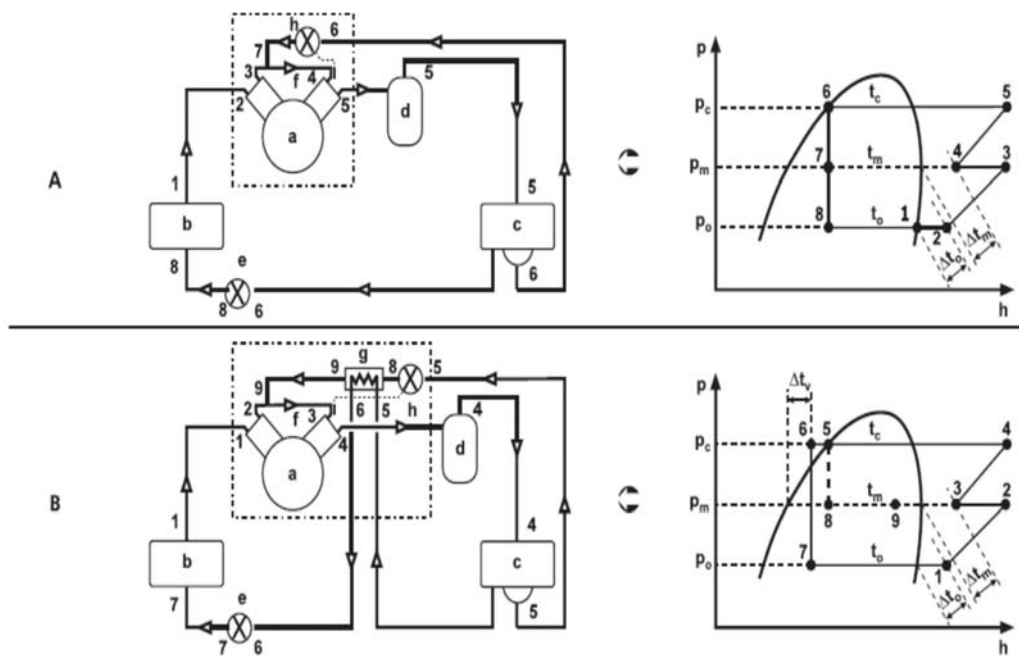
## 入口狀態對壓縮功之影響



Comparison of compression between two given pressures with differing initial temperature

Source: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker

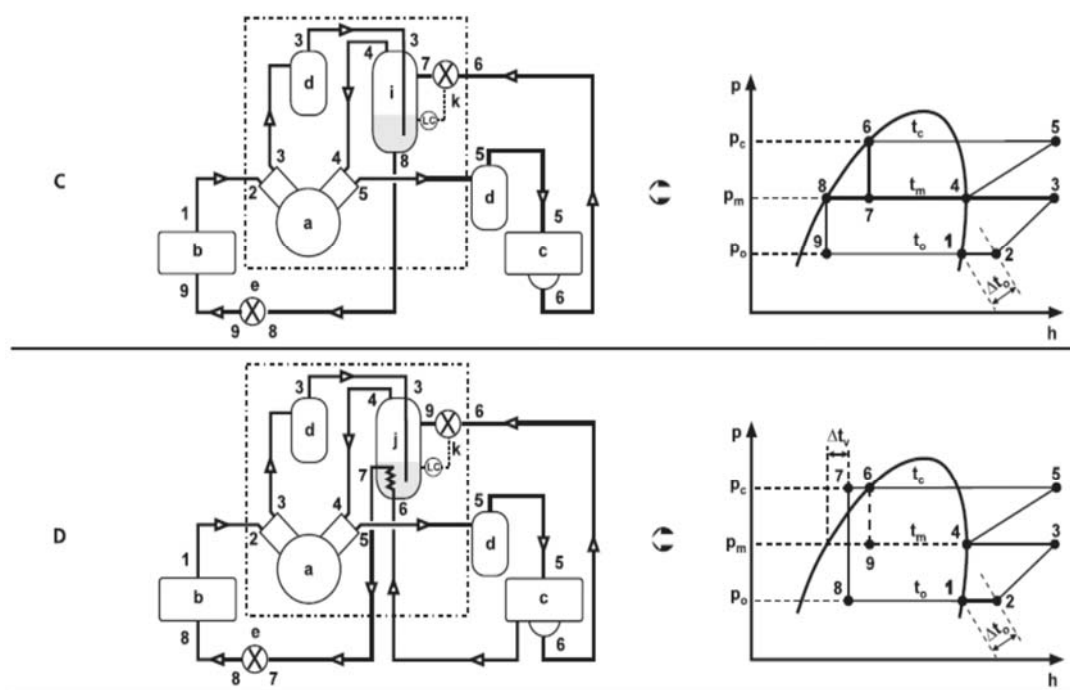
## 各式多段壓縮系統(1)



Source: Grasso



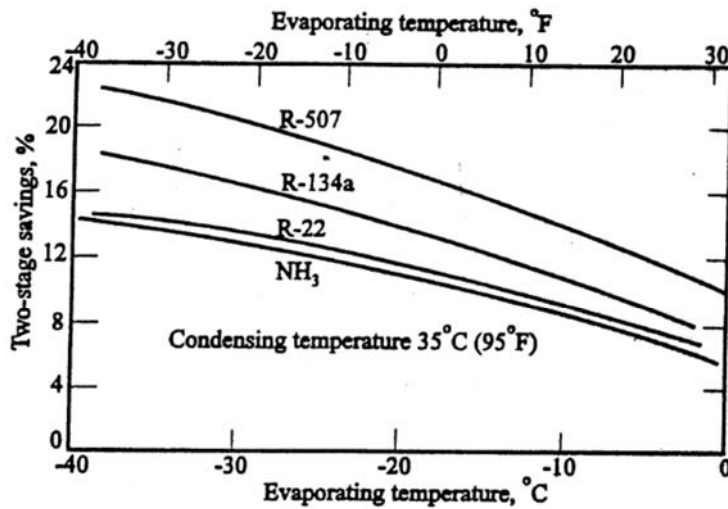
## 各式多段壓縮系統(2)



Source: Grasso



## 兩段壓縮之節能效果

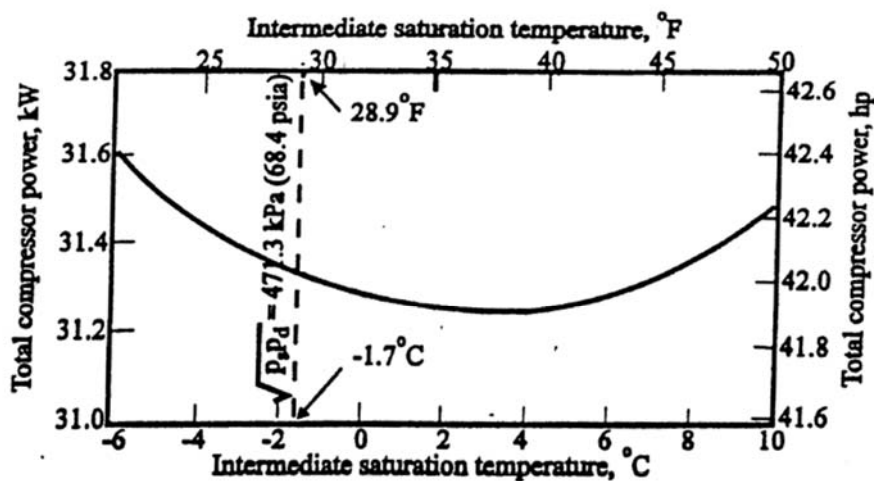


**FIGURE 3.25**  
Percent savings in power of two-stage systems employing flash-gas removal and desuperheating in comparison to single-stage operation.

Source: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker



## 最佳化中間冷卻溫度



**FIGURE 3.18**  
Total power required in a two-stage R-22 system with a refrigerating capacity of 100 kW (28.4 tons of refrigeration) as a function of the saturated intermediate temperature. The evaporating temperature is  $-30^{\circ}\text{C}$  ( $-22^{\circ}\text{F}$ ), and the condensing temperature is  $35^{\circ}\text{C}$  ( $95^{\circ}\text{F}$ ).

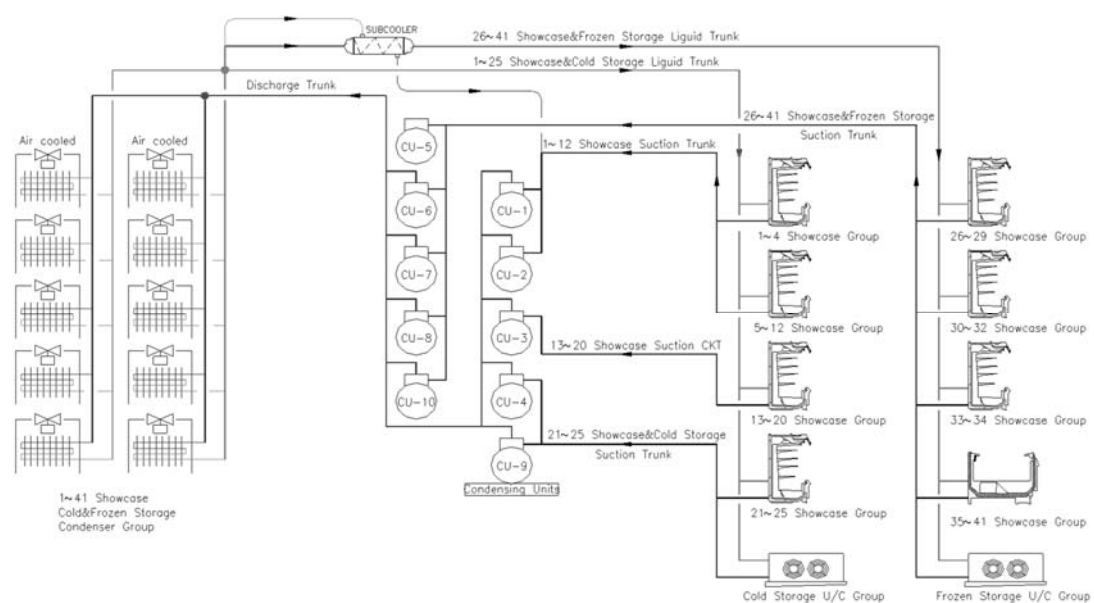
Source: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker



# 冷凍冷藏櫃（庫）之節能技術

47

## 冷凍冷藏櫃（庫）與冷凝機組之關係與系統架構

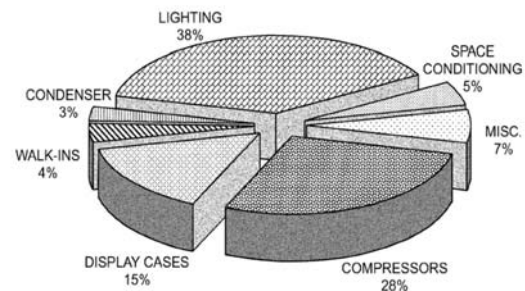




# 冷凍冷藏櫃（庫）具商業化節能技術

## □ 冷凍冷藏櫃（庫）具商業化之節能技術包含：

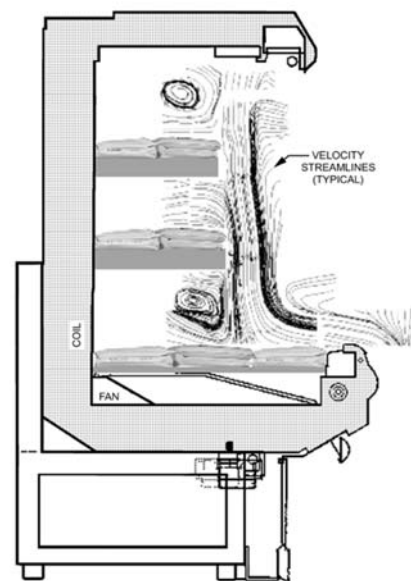
- (1)熱氣除霜
- (2)防汗電熱控制
- (3)蒸發器風扇採用ECM馬達
- (4)除霜控制
- (5)設置壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器(LSHX)
- (6)增加隔熱保溫性能
- (7)高效率照明



超級市場各項設備耗電百分比  
Source: ASHRAE Handbook

## 冷凍冷藏庫之除霜方法

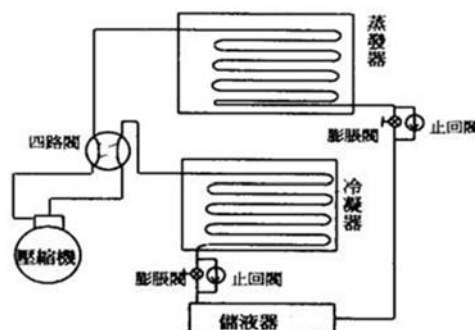
- 為了解決蒸發器冷卻管排之結霜或結冰所造成之冷卻效率降低的問題，通常會採用以下五種方式進行除霜之處理：(1)停機除霜法(或稱為自然除霜法)、(2)電熱除霜法、(3)熱氣除霜法、(4)灑水除霜法及(5)不凍液除霜法，其各有不同之適用條件、場合與優缺點。
- 在商用展示櫃系統而言，以停機、電熱及熱氣除霜法較適用，其中又以停機及電熱除霜法，占大多數。電熱除霜法應用在較低溫、結霜狀況較明顯之冷凍冷藏櫃，蒸發溫度較高之冷凍冷藏櫃常採用停機除霜法。



Source: ASHRAE Handbook

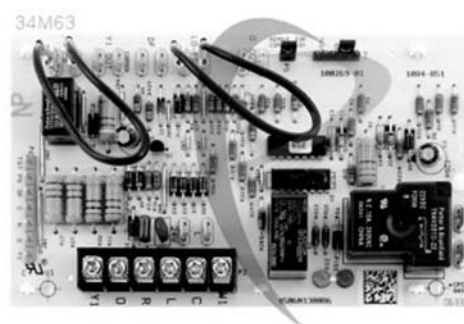
# 冷凍冷藏庫之熱氣除霜法節能原理

- 除霜控制的精神在於當需除霜時才啟動除霜設備，傳統的定時啟動定時停止的控制，除霜時間的設定必須克服最大結霜量的時間，如此，不需長時間除霜的季節如冬季等，則視同一種多餘的耗能。為了解決蒸發器冷卻管排之結霜或結冰所造成之冷卻效率降低的問題，以及降低電熱除霜之耗電，建議採用熱氣除霜法。
- 熱氣除霜法係將壓縮機吐出之高溫氣態冷媒導入蒸發器，加熱管排將蒸發器表面的霜融化掉。相對於電熱除霜而言，因熱氣除霜法係利用系統原來就要在冷凝器散熱之高溫冷媒來提供除霜熱量來源，因此不需額外之耗電，大大節省運轉電費，投資回收年限約為1.5~3年。



## 如何進行除霜之節能控制

- 傳統之除霜控制皆為定時啟動以及定時關閉，除霜時間的設定必須克服最大結霜量的時間，如此，不需長時間除霜的季節如冬季等，則視同一種多餘的耗能。因此，建議應採用需量控制方法，藉由蒸發器氣流速度降低或結霜厚度之偵測以判斷需啟動除霜時間，並且根據盤管溫度上升之偵測以控制除霜完成時間點，如此將可獲得節能之成效以及避免除霜過度或不足所造成之能源浪費或產品品質降低，其投資回收年限約在3年。



Source: 網路資料

## 展示櫃如何節省防汗電熱耗電量

- 防汗電熱控制之方法係由展示櫃周圍之露點溫度感測器來決定防汗電熱啟動之時機，當展示櫃周圍之露點溫度高於展示櫃之表面溫度時，即需啟動防汗電熱，以避免展示櫃邊框或櫃體結露；相反地，當展示櫃周圍之露點溫度低於展示櫃之表面溫度時，即需關閉防汗電熱，以節省耗電，投資回收年限約為1~3年。



Source: 網路資料

## 蒸發器風扇採用ECM馬達之節能成效為何

- ECM 馬達 (Electronically Commutated Motor) 為高效率之直流無刷馬達，普遍應用在具需轉速控制之電子產品，其效率遠比一般小馬力的傳統馬達還高，特別是在低轉速運轉時，因此蒸發器之小馬力風扇採用ECM馬達，並且搭配變頻控制將可獲得很好之節能效果，約 50 - 60%，其投資回收年限約在1~3年。

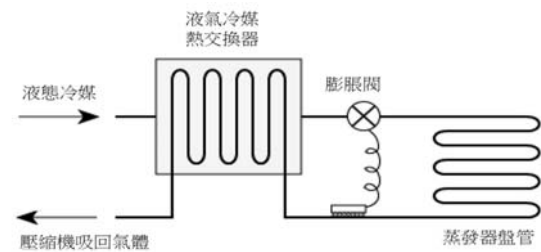
How EC Motor Installation for Wash-line  
NEM works with equipment manufacturers to provide you with the most up-to-date technology for your particular application



Source: 網路資料

## 設置壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器(LSHX)之節能原理

- 設置壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器，使蒸發器出口冷媒在進入壓縮機回氣口前先與冷凝出口的液冷媒進行熱交換，如此可讓液冷媒進一步過冷，且使回氣冷媒過熱度增加，且因回氣冷媒管與周圍環境溫差變小，而降低回氣冷媒在管路上之無效熱得。
- 設置壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器，使蒸發器出口冷媒在進入壓縮機回氣口前先與冷凝出口的液冷媒進行熱交換，如此可讓液冷媒進一步過冷，且使回氣冷媒過熱度增加，且因回氣冷媒管與周圍環境溫差變小，而降低回氣冷媒在管路上之無效熱得。



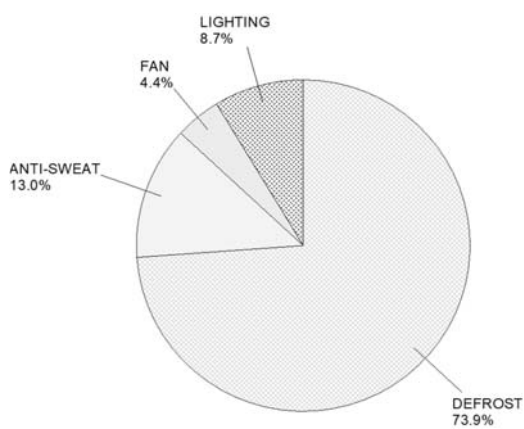
## 冷媒管路壓損對耗能之影響

	氣態冷媒管路壓損， kPa	冷凍能量 %	耗能% (kW 耗功/kW 冷凍)
壓縮機 吸入管	0	100.0	100.0
	1	96.8	104.3
	2	93.6	107.3
壓縮機 流出管	0	100.0	100.0
	1	99.2	102.7
	2	98.4	105.7

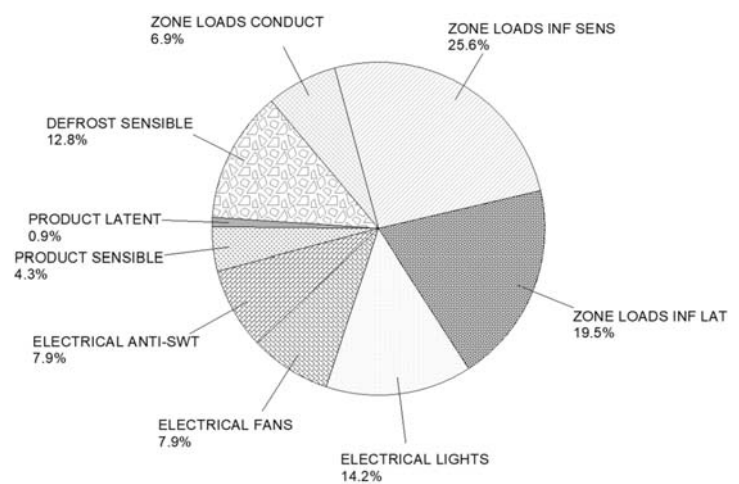
# 賣場濕度控制之節能技術

57

## 開放型展示櫃設備特性

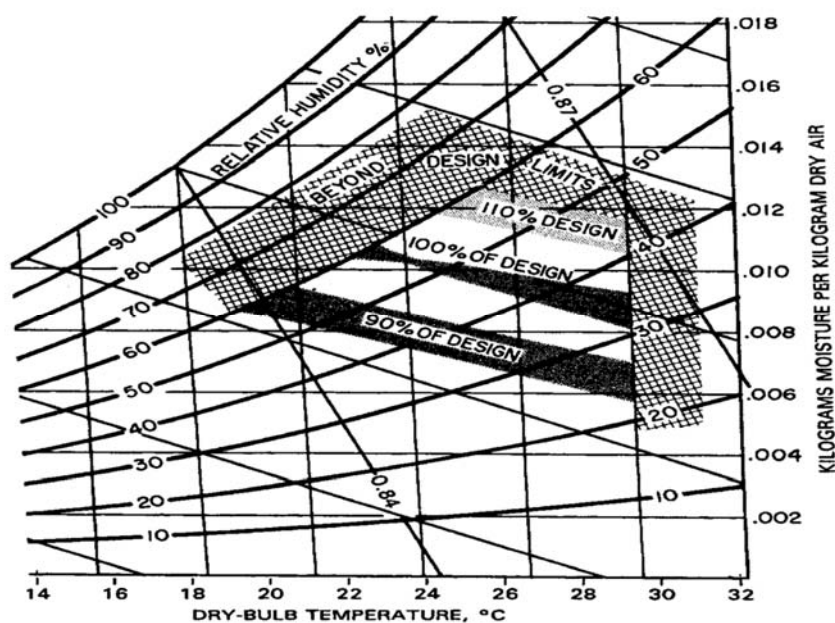


開放型展示櫃各項設備裝置容量百分比

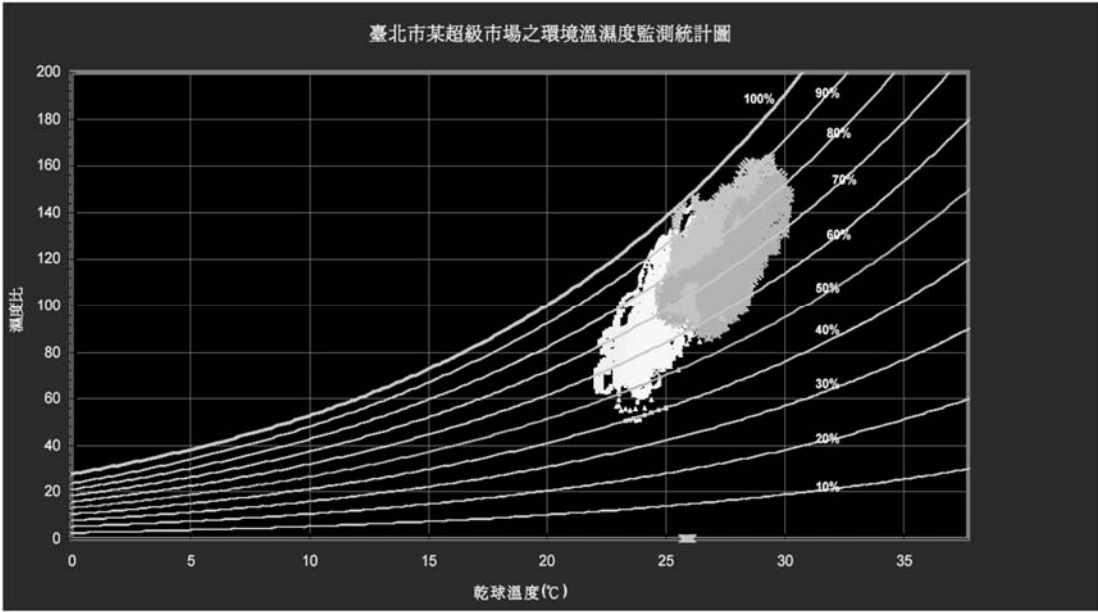


開放型展示櫃全年各項熱負荷百分比

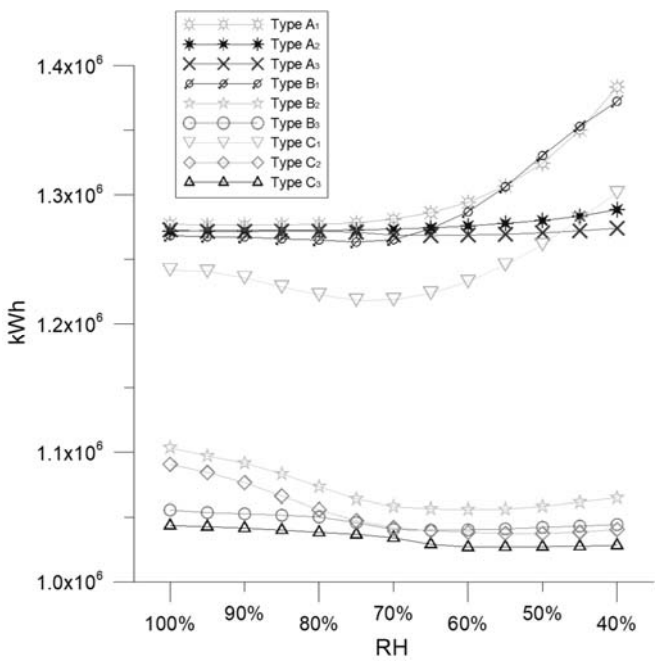
## 賣場濕度對冷凍冷藏系統之耗能影響



# 某超級市場之環境相對溫濕度監測統計



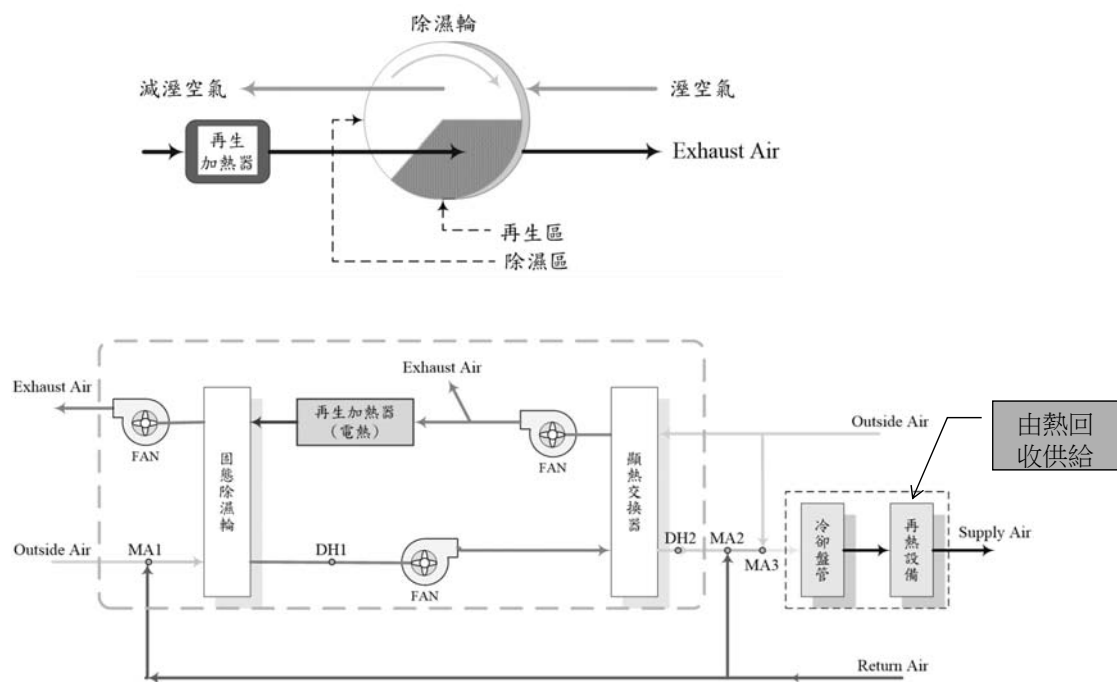
# 賣場濕度控制方法與節能成效



冷卻除濕法 (電熱器再熱)			冷卻除濕法 (熱回收盤管再熱)			固體吸劑除濕法 (熱回收盤管再熱)		
A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
無除霜及防汗控制 (送風溫度最低12.7°C)			具除霜及防汗控制 (送風溫度最低12.7°C)			具除霜及防汗控制 (送風溫度最低10°C)		

在RH 60%時節能順序為:  
C3>C2>B3>B2>C1>A3>A2>B1>A1

## 賣場濕度控制節能技術



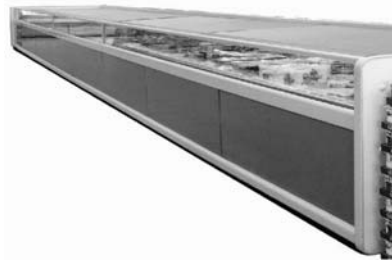
## 其他節能技術



## 降低展示櫃或冷凍庫之熱負荷



冷凍冷藏食品區域倉庫  
門雙廉PVC  
門簾



開放式展示櫃加置夜間節電夜簾及溫控

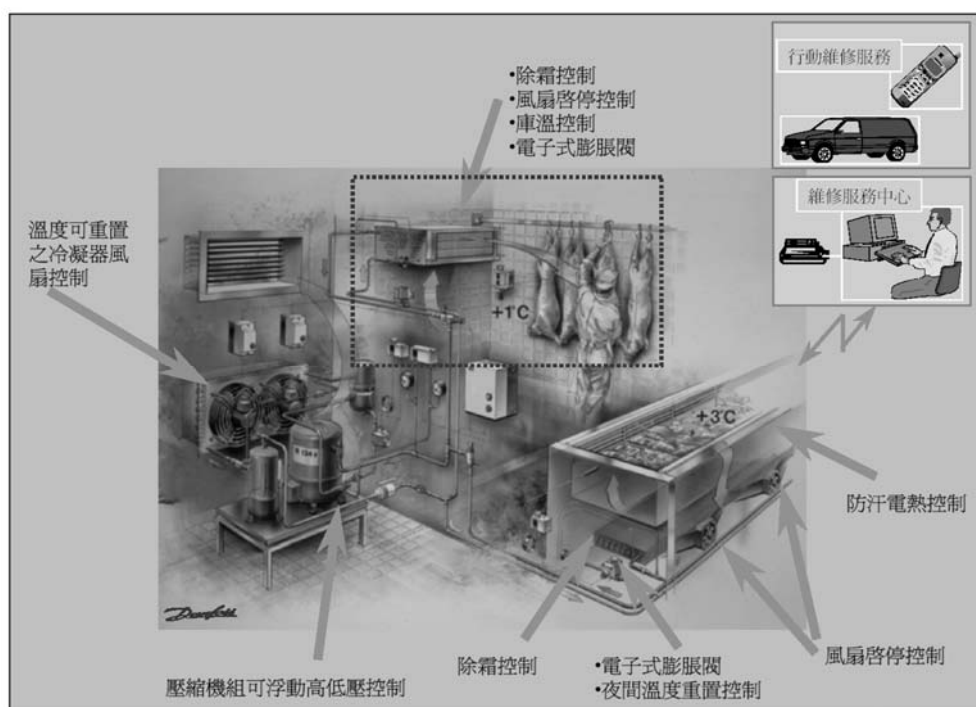
Source: 網路資料



採用拉門密閉式冷凍冷藏櫃可減少冷能散失而節能



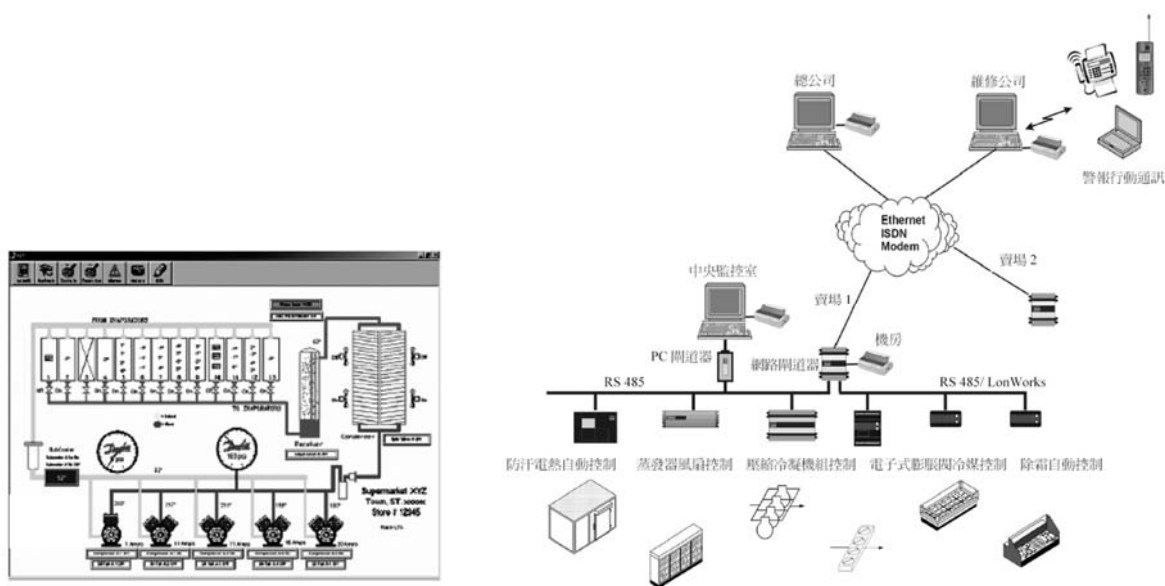
## 冷凍冷藏節能監控系統



Source: Danfoss



# 冷凍冷藏節能監控系統



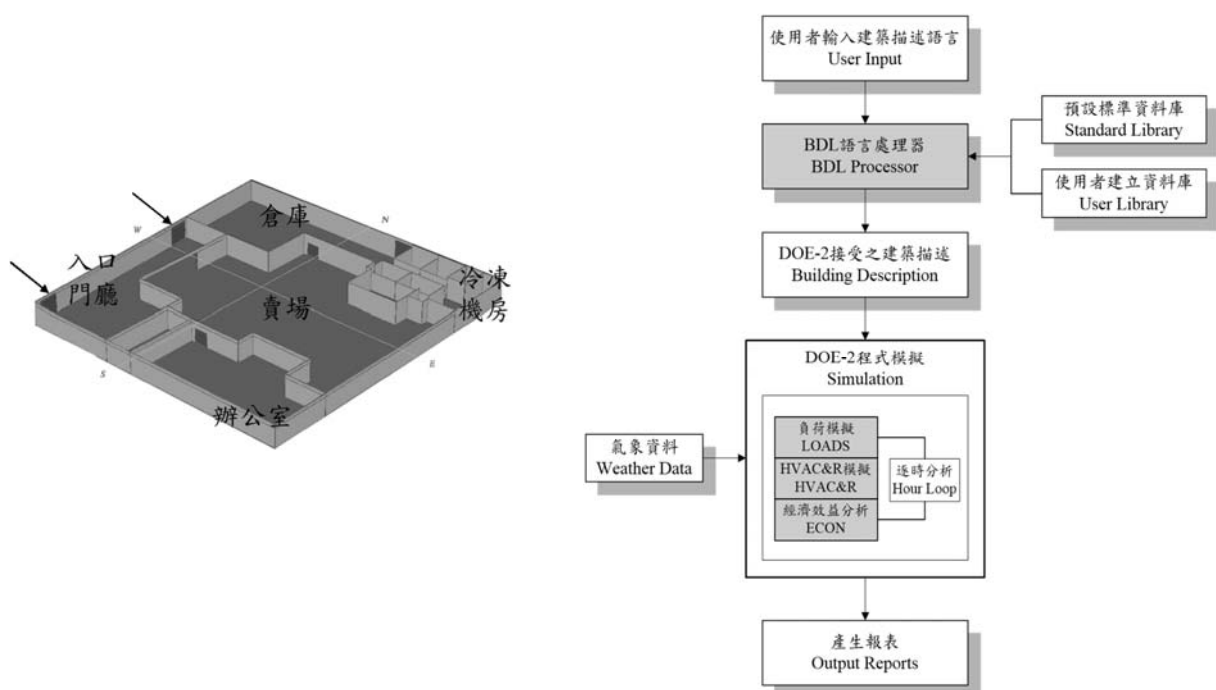
# 冷凍冷藏系統日常應遵循之節能守則

00	冷凍系統
00-01	運轉操作
00-01-01	保持低溫氣流之送風與回風口之清潔，並避開產品
00-01-02	維持產品建議之最低冷凍溫度
00-01-03	確認冷凍系統冷凝器之適當通風或廢熱回收
00-01-04	將冷凍冷藏展示櫃之周圍空氣相對濕度維持在40~50%時，有最佳之冷凍效率
00-02	維護保養
00-02-01	檢查是否有異常噪音、震動，以及壓縮機或馬達效率降低之現象
00-02-02	定期清潔冷卻管排
00-02-03	更換磨損或有洩漏之氣密條
00-02-04	檢查除霜定時器與濕度感測器之運作或效率是否正常，以確保最佳運轉效能
00-02-05	定期對凝結排水盤進行清潔與消毒
00-03	日常守則
00-03-01	遵守製造商所建議之產品擺板位置及大小
00-03-02	隨時關妥垂直立式展示櫃之門扉
00-03-03	定期輪調存貨擺置位置
00-03-04	避免進貨或取貨時造成庫內冷凍冷藏食品溫度起伏變動
00-03-05	隨時停止未被利用之冷凍系統

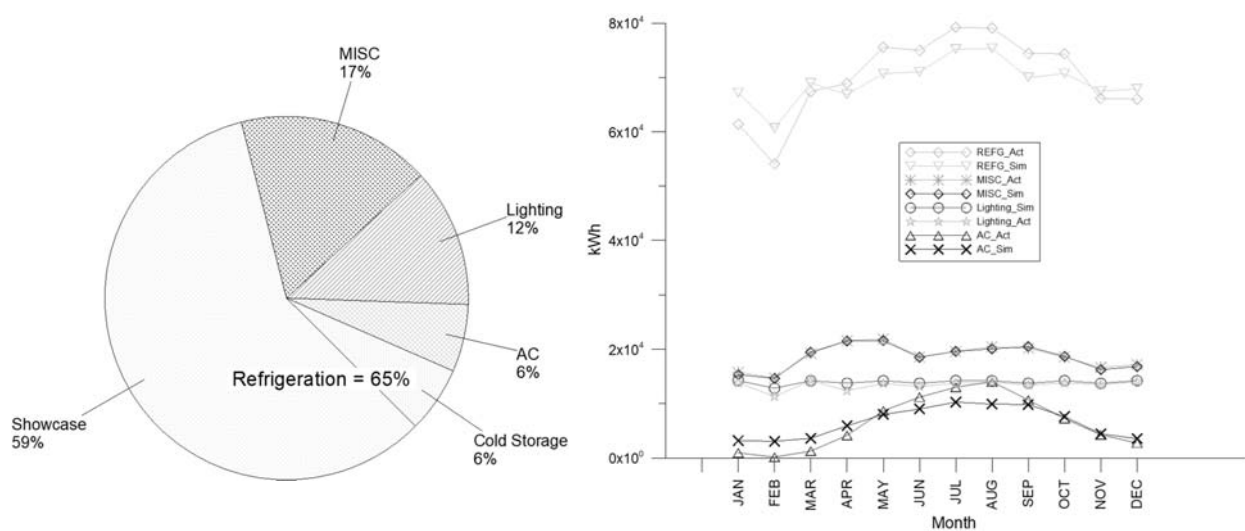
# 冷凍冷藏節能技術實際案例分析

69

## 冷凍冷藏節能技術動態耗能評估分析流程



# 建築環境與監測分析



監測各項設備耗電百分比

監測與電腦模擬逐月耗電比較

- 確認設備使用行為模擬全年開放型展示櫃冷凍設備誤差為+1.37%冷凍冷藏庫冷凍設備-1.28%、空調設備-0.15%、總耗電量誤差為-0.35%

# 節能潛力與經濟效益分析

項 目		方法與說明	節省潛力(%)		節省電量(kWh)	節省電價(元)	工程造價(元)	回收年限(年)
			冷凍系統	全建築				
展示櫃設備	風扇	採用ECM	2.07%	1.30%	16919	37,391	246,000	6.58
	照明	高效率照明	4.00%	2.60%	33838	74,782	206,640	2.76
	除霜控制	電熱定溫	11.76%	7.70%	100212	221,470	492,000	2.22
		電熱定溫DEMAND	11.91%	7.80%	101514	224,346	492,000	2.19
		熱氣定溫	13.47%	8.80%	114529	253,108	492,000	1.94
冷凍	防汗電熱	相對溼度控制	3.78%	3.00%	39044	86,287	328,000	3.80
	冷凝器風扇	兩速度控制	3.10%	1.50%	19522	43,143	210,000	4.87
		變頻控制	3.70%	2.00%	26029	57,525	420,000	7.30
	壓縮機容量控制	低溫櫃低壓熱氣旁通法	8.90%	5.70%	74183	163,945	200,000	1.22
	增設設備	冷媒液體過冷卻器	1.49%	0.95%	12364	27,324	150,000	5.49
	洩漏氣流	平均每降低洩漏氣流5%(100~75%)	3.62%	1.38%	17960	39,692	--	--
	冷凝溫度	平均每降1℃(40℃~30℃)	1.73%	0.49%	6377	14,094	--	--
空調	冷卻除濕模式C <sub>2</sub>	25℃,60%	27.17%	17.27%	224762	496,725	1,100,000	2.21
	吸附除濕模式C <sub>3</sub>	25℃,60%	30.04%	19.19%	250831	554,336	2,000,000	3.61

# 謝謝，敬請指教

---

聯絡資訊：  
[kplee@ntut.edu.tw](mailto:kplee@ntut.edu.tw)  
02-27712171 轉 3520