

AC變頻系統技術與冷凍空調之應用(下)

■ 鄭諺楠，方一剛

摘要

本文介紹外掛式三相 AC 智能變頻系統的實績案例，區分為冷凍與空調兩大應用領域以及現場安裝的狀況處理與解決方案，提供業界參考。冷凍應用部分包括瑞芳冷凍食品工廠，變頻技術在冷凍冷藏等應用重點突破的整理；空調應用部分包括電信機房空調設備 SEER 的效能驗證，新加坡銀行實施空調 AC 變頻後在溫濕度監控的比對驗證，市立醫院空調設備節能年度電費成果，辦公大樓空調冰水泵改善案，便利商店冷凍冷藏櫃節能案等。

前言

冷凍空調系統設備中，耗電量最大比例為壓縮機，若能有效降低壓縮機的耗電量，且不影響原使用的狀態，將提供對冷凍空調設備最大的節能效益。在一片節能減碳的推動下，相較於市面上各類 DC 變頻空調產品的推陳出新，客戶在考慮既有空調設備的節能規劃時面臨抉擇。更換 DC 變頻新機的採購案就必須放棄既有非變頻機組，價格較高，且 DC 變頻無法支援冰水機，亦無法支援冷凍、冷藏等設備。由於亞得力科技在 AC 變頻技術的突破，提供了一個絕佳的解決方案。外掛式三相 AC 智能變頻系統成功的應用在冷凍、冷藏、空調等系統大馬力壓縮機上，將其原有非變頻的機組，依實際負載，以變頻方式驅動壓縮機，可大幅節能。

本文將介紹各類應用的成功案例，不只應用在大馬力馬達泵浦、壓縮機等設備，三相 AC 變頻智慧型模組的控制技術，更可適用於中、小馬力電機動力設備上。以下就外掛式三相 AC 智能變頻系統，實施在冷凍、冷藏與空調兩大應用領域的實績案例詳加說明。

瑞芳冷凍食品工廠冷凍庫節能改善案

案例規畫說明：冷凍庫約 80 坪(參見圖 1)，主要為儲存海鮮火鍋料理等冷凍食品冷藏，壓縮機運轉(規格：3Φ/ 60Hz/ 380V/ 20HP 兩台/ 冷媒型式 R22&R502/ 運轉時數每天 24 小時/ 冷凍庫溫度設定-20℃)(參見圖 2)，平均每 6 小時進行除霜一次，每次除霜時間約 40 分鐘，壓縮機運轉起動次數頻繁，但每次運轉時間都不長，再量測電壓與電流值，檢查冷媒高壓與低壓值等項目後，判斷有降載空間，實施冷凍庫壓縮機的外掛式 AC 變頻節能系統配置(參見圖 3)，規畫重點如下：

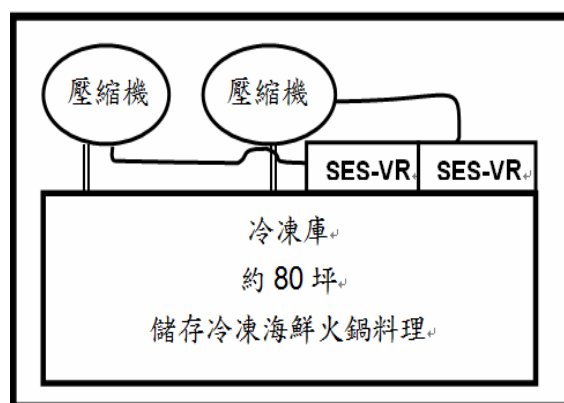


圖 1 冷凍庫設備配置平面圖

1. 觀察壓縮機運轉的高壓表數值與低壓表數值，檢查壓縮機冷媒有無短少，並依照此數值來做壓縮機運轉的設定值。（因冷媒種類不同，設備運轉特性亦不同，因此高低壓值每一台都會有差異）

2. 觀察每一台壓縮機的運轉情形，是輪替運轉，還是固定單一顆壓縮機先運轉，還是兩顆壓縮機同時運轉。並統計冷凍庫的進出貨情形，冷凍庫的製冷負載量，評估預期的節能效益。



圖 2 食品工廠冷凍庫壓縮機圖



圖 3 SES-VR 外掛式智能變頻節能系統安裝圖

驗證方式：在壓縮機電源入力端架設《電力品質分析儀》來紀錄，『節能模式-變頻運轉』與『市電模式-定頻運轉』的電壓、電流、消耗功率值的數據資料，進行分析。

驗證週期為兩周（一週節能變頻模式比對一週市電定頻用電狀況統計分析，98年02月19日/大氣溫度19°C~26.7°C至98年02月26日/大氣溫度17.3°C~26.3°C）

實施成果：

實測電壓分析：由圖4與圖5電壓平均值的數據上顯示，壓縮機在節能與市電模式下運轉，其電壓值的變化差異不大，但在節電模式狀態下電壓值較高，是因為AC變頻模組使壓縮機進行柔啟動的緣故，在柔啟動過程中，壓縮機不會產生瞬間啟動電流造成電壓瞬間的壓降，因此壓縮機在變頻運轉模式下，能延長設備使用年限，並保護到用電系統的安全，減少電源開關箱跳電的機會。

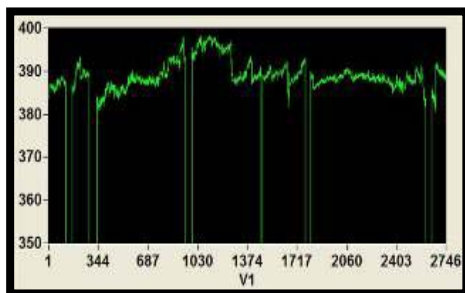


圖 4 電壓平均值 388V
(節電變頻模式)

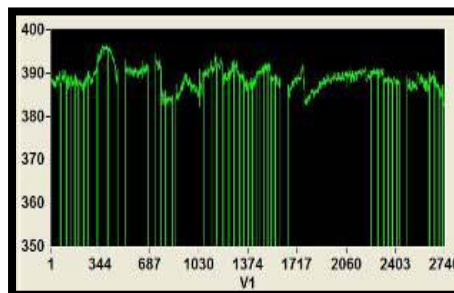


圖 5 電壓平均值 384V
(市電定頻模式)

1. **實測電流分析：**由圖6與圖7電流平均值的數據上顯示，在節電模式下的壓縮機運轉電流值，能隨著冷凍庫的溫度狀態變化，能長時間處於輕載運轉，因此啟停次數大幅減少，減少壓縮機啟停的耗損。從市電模式中發現冷凍壓縮機運轉情形，啟停次數頻繁，瞬間電流也曾記錄到323A，極易造成用電超約罰款、並影響到電源用電品質，容易使電壓不穩，連帶影響日光燈與其他用電設備的壽命。在工業區的大型空調冷凍設備，實施本節能設備進行改善，可大幅降低台電供電配額，降低企業用電契約容量，

是解決夏季高用電時期維持電力足量供給的一大良帖，減少額外跳電或分區輪流停電的限電情形。

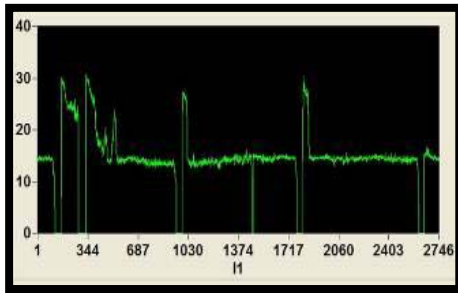


圖 6 電流平均值 14.34 Amp
(節電變頻模式)

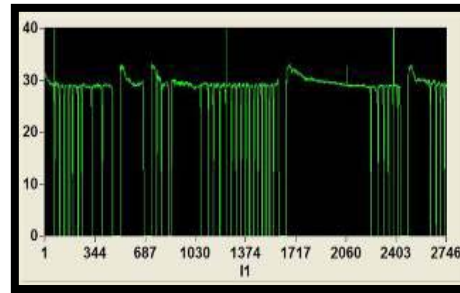


圖 7 電流平均值 26.03 Amp
(市電定頻模式)

2. **實測功率因數分析:** 在市電狀態(見圖 9)，冷凍壓縮機的功率因數平均值約在 0.66 之間，其功率因數偏低，在台灣電力公司用電計費中規定，當功率因數不及 0.8 時，每少 0.01，該月份電費將增加 0.3%。反之，當功率因數超過 0.8 時，每超過 0.01，該月份電費應減少 0.15%。因此市電模式與節電模式比較之下，節電模式可大幅提高功率因數值(見圖)，不僅能避免功率因數偏低而增加電費支出，還可增加台電在電費上的回饋金額。

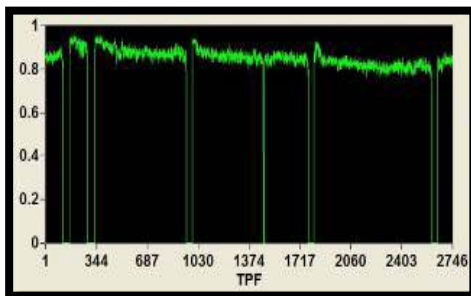


圖 8 功率因數平均值 0.87
(節電變頻模式)

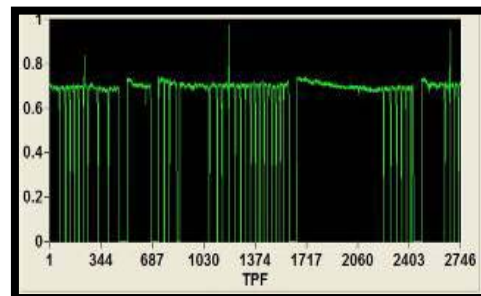


圖 9 功率因數平均值 0.66
(市電定頻模式)

3. **實測消耗功率分析:** 在節電模式(見圖 10)明確的顯示當冷凍庫長時間處於輕載時，運用變頻模式驅動壓縮機的最適量製冷輸出達到節電功效，與市電模式(見圖 11)比較下，平均消耗功率的差異達 34.4%，其差距數值為實際壓縮機在節電模式的節能率，並節省大筆可觀的流動電費。

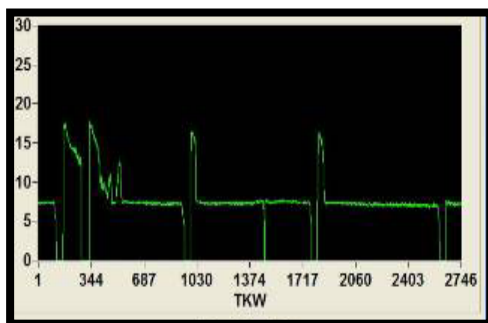


圖 11 消耗功率平均值 11.52 KW
(市電定頻模式)

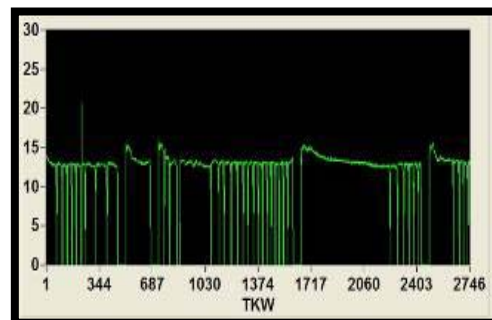


圖 10 消耗功率平均值 7.52 KW (節電變頻模式)

AC 變頻在冷凍冷藏應用的技術領先與突破：由於現場端的設備配置多為客製化，電源配置，冷媒類別，壓縮機運轉模式，冷凍冷藏設定溫度，均較一般空調設備有相當差異，將 AC 變頻技術應用在冷凍壓縮機系統上，亞得力科技已充分克服了以下的技術瓶頸與難題。(參見表 1)

表 1 常見冷凍冷藏現場端問題的解決方式

冷凍冷藏現場端的問題	解決方式
無法成功啟動冷凍壓縮機。	以變頻方式柔啟動，成功調整扭力與轉速比值，使壓縮機啟動運轉順暢。
冷凍壓縮機於低負載運轉時，有冷凍油失油情況。	根據現勘實際管線揚程，設定低頻運轉可驅動流速，且變頻系統設計有自我保護機制，確保冷凍油回油正常。
低頻變頻運轉上造成冷媒液壓縮情形。	設定運轉頻率上下限，於可運轉頻率範圍內，確保柔啟動且正常驅動冷媒壓縮。
冷凍壓縮機於變頻運轉，冷凍庫無法到達設定溫度-20°C。	系統以 PID 智能調整變頻運轉，依比例驅動壓縮機製冷強度，可快速達到-20°C 溫度設定值，且運轉所需時間與市電定頻模式相接近。
若遇到電源側以 Y- Δ 、Y-Y 接線等啟動方式，無法適用變頻驅動冷凍壓縮機。	若是特別啟動電源接線，需特殊雙旁路接線設計，在節能模式可柔啟動，在市電模式就依原接法啟動。
在供電不穩情況時，影響壓縮機使用壽命。	變頻系統須具有過電壓、低電壓、過電流與低電流、欠相等及內部系統保護，遇有異常情況，3 分鐘後將會跳脫節能模式，自動旁路切換至市電狀態運轉，不會影響空調機正常運轉使用。供電正常後系統自動復歸節能模式。
壓縮機低頻運轉不易，無法平順啟動，或運轉時於特定頻率有共振現象發生。	變頻系統在運轉設定上，設備有 V/F 控制，(18 種固定區分為 50Hz 與 60Hz，共 36 種)與向量控制(一般、VT)。即使面對較老舊的壓縮機，可依照現場設備作立即校正調整，智能化修正運轉曲線，啟動壓縮機正常運轉。
變頻後的諧波干擾會影響周邊設備的動作異常。	在變頻系統的電源端串聯電抗器，可消除諧波干擾。
一次側、二次側冰水泵區域泵無法有效實施變頻節能控制。	一次側冰水泵採偵測差溫回授機制，二次側區域冰水泵採偵測差壓回授機制。

電信機房空調節能改善 SEER 驗證

案例規畫說明: 此電信機房(見圖 12)佔地約 80 坪為五樓大樓，樓層為挑高 3 米 9，整體空間約 100 坪，機房內有多排發熱電信交換機組設備，備用蓄電池蓄電，空調主機 2 台，1 個月會輪替切換運轉 1 次，觀察其運轉情形，空調溫度設定在 28°C，非夏季季節(11 月至 3 月)長期在單顆壓縮機運轉中，室內溫度大約維持 27~28°C，

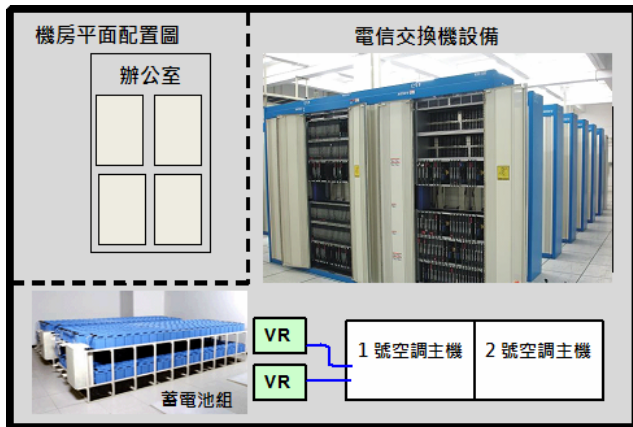


圖 12 電信機房設備配置平面圖

當室內溫度接近 29°C，第二顆壓縮機才會運轉，本次規劃(見圖 13)著重於能源效率比(EER)值 50%、60%、70%、80%、90%、100% 等部分負載的提升，測試期間為 1 號空調主機運轉，因此把外掛式 AC 變頻系統「SES-VR」裝設在 1 號空調主機。進行測試的電信機房空調設備規格如下：大同水冷式空調機/ 額定冷房能力 120000 Kcal/hr，能源效率比 3.59，3Φ/ 60Hz/ 220V/ 40HP (雙 20HP 壓縮機設計)/ 冷媒型式 R22/ 運轉時數每天 24 小時/ 溫度設定 28°C)



圖 13 SES-VR 電信機房變頻節能系統安裝圖

驗證方式: 此空調機房採用《電力品質分析儀》與《溫溼度量測儀器》進行測試，採兩階段記錄比較『節能模式-變頻運轉』與『市電模式-定頻運轉』在單顆壓縮機與雙顆壓縮機運轉下，節能模式與市電模式的出風口(見圖 14)、回風口(見圖 15)溫溼度，記錄壓縮機停機時的溫濕度值。並以此計算出節能前後的空調主機運轉於各區段頻率的製冷量變化與 EER 效能值的差異。驗證週期為兩個月。(一個月節能變頻模式比對一個月市電定頻用電狀況統計分析，97 年 11 月 14 日至 98 年 1 月 15 日，大氣溫度 97 年 12 月平均溫度 18.4°C)，空調主機風量測量值：量測平均風速 2.5917 (M/S)，有效面積 3.0625(M²)，總風量 28573 40HP，標準風量 21600，比值 132%。



圖 14 空調出風口 圖 15 空調回風口

【實施成果: 單顆壓縮機運轉】

單顆壓縮機的運轉 E.E.R 值，在市電模式，其運轉數值作為基準點，與節能模式後的運轉數值進行以下結論(見圖 16)：節能模式後，隨著 HZ 數越低，其消耗

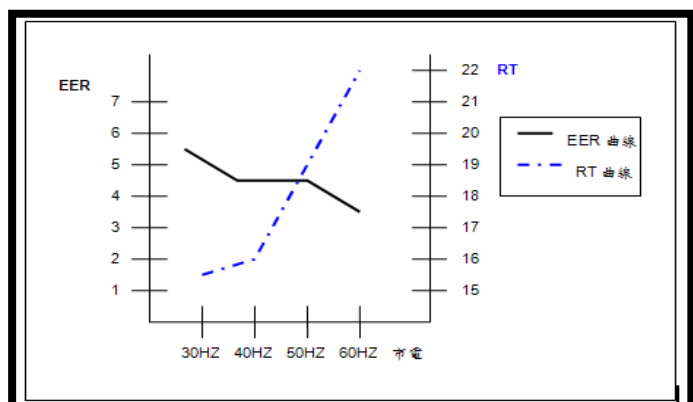


圖 16 SEER 值與製冷凍噸曲線圖 (單顆壓縮機節電變頻模式)

功率也就越低，冷氣能力相對也越低，但在效率值 E.E.R 卻可達 5.2，效率比最高可高於市電模式約 37%，代表機房室內溫度接近設定溫度時，壓縮機降頻運轉，可提高能源效率比，更可降低消耗功率值。

【實施成果：雙顆壓縮機運轉】

由(見圖 17)得知，以市電模式下啟動兩顆壓縮機同時運轉的 E.E.R 值 ~3.9，作為基準點，與節能模式運轉值進行分析結論歸納以下三點：

1. 在節能變頻模式下，空調主機運轉於各區段頻率的製冷效能 EER 值皆高於原機定頻 60Hz 的 EER 值。

2. 在節能模式下，當【32HZ+40HZ】與【40HZ+40HZ】，我們量測出

E.E.R 值高達 5.3，代表在此區間運轉為空調效能最佳化。其能源效率比由原先 3.9，提升至 5.3，比例高達 37%。

3. 在夏季期間，壓縮機雙顆同時運轉，在市電模式【60HZ+60HZ】下需要消耗 33.7KW，但在節能模式下，可在最佳化運轉模式【40HZ+40HZ】下運轉，其消耗功率 22.3KW。經實際測試後，在此區間內，兩個模式運轉時間相當接近，但消耗 KW 值上的差異達 33.8%。實際驗證充分證明，運用 AC 變頻驅動空調壓縮機，發揮部分負載的最適製冷輸出，並兼顧了省電的效能提供良好的空調品質。

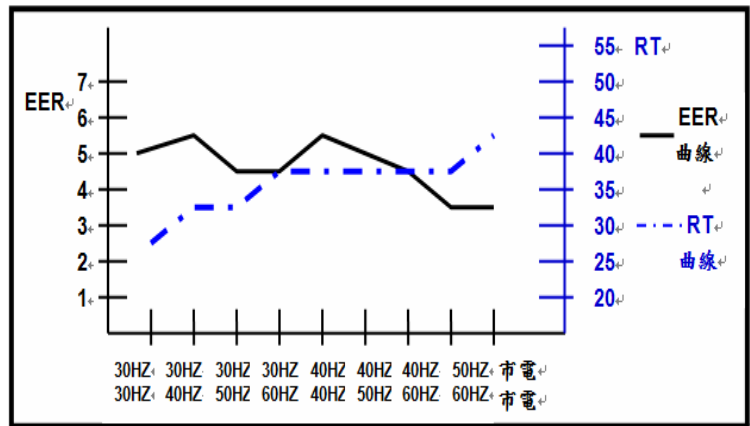


圖 17 SEER 值與製冷凍噸曲線圖 (雙壓縮機節電變頻模式)

醫院空調設備節能改善案

案例規畫說明：創院 30 年為台北市合格地區醫院，6 樓大廈建築：含門診、診療室、綜合病房、復健治療中心以優質醫療服務品質建構病患安全就醫環境。單層坪數約 60 坪，空調設備均每天 24 小時運轉，於 2007 年 12 月起採用 SES-VR 空調節能交流變頻系統，大幅提升整棟醫院大



圖 18 醫院空調變頻系統安裝圖

樓的空調效能環保節能。空調設備規格為東元水冷式冰水主機 3Φ/ 60Hz/ 220V/ 7.5HP ~ 20HP/ 冷媒型

式 R-22，合計十組總共 125HP 空調系統，會輪替運轉，規劃冰水主機之壓縮機全面安裝 AC 變頻系統 SES-VR (參見圖 18)可達到最大節能效益，壓縮機總消耗功率為 92.5KW 佔整體用電約 50%。

實施成果：醫院內熱負載變化量不大，且無開關機時間不同之疑慮，可由每期電費單觀察節能效益。節省整體用電 16% ~23%，於 97 整年度節省電費 40 萬以上(參見圖 19)，節電績效卓著。

辦公大樓空調冰水泵浦設備節能案

案例規畫說明: 證券行位為 3F, 空間約為 120 坪, 大多為辦公室與證券交易所, 平日營運時間為白天較為多人進出, 為用電的尖峰時間, 下午時段人員進出減少, 為用電的離峰時間, 從冰水泵浦(東元冰水泵浦 3Φ/ 60Hz/15HP/ 220V)進行節能規劃(參見圖 20)。

冰水泵浦的出水溫度常年都定在 18°C, 與一般冰水主機設定 11°C 高出許多, 用意在於減少壓縮機運轉時間, 減少耗電, 但冰水泵浦是不會隨壓縮機起停, 耗電仍很大, 因此泵浦有較大的卸載空間。在一次側冰水泵浦加裝變頻系統, 以溫差控制, 依現場實際負載需求的冰水流量, 供應適量的冰水, 以節省冰水泵耗電量。

在正常的狀況下, 空調系統大部份的時間都可以部份負載運轉, 尖峰負載時數低於 20% 以下, 因此有 80% 的時間是有節能的空間。依照風扇定律流量率 Q、揚程 H, 以及制動馬力 BHP 之間的關係如下:

$Q1/Q2 = N1/N2$, 水量與轉速成正比。

$H1/H2 = (N1/N2)^2$, 揚程與轉速平方成正比。

$BHP1/BHP2 = (N1/N2)^3$, 制動馬力與轉速三次方成正比。

改變一次側冰水泵的轉速既可降低動揚程及流量, 更可大量的降低耗電量, 流量與耗電成 3 次方成正比的關係, 因此省能的效益是非常可觀的。而以變頻系統直接驅動控制泵的馬達, 可以很精確平順地控制馬達轉速而且能量損失極少。

實施成果: 安裝 AC 變頻系統 **SES-VR** 於一次側冰水泵浦, 改善後省能的效益, 節省原冰水泵浦高達 66% 的用電量, 且冰水泵浦運轉時外部機殼實測溫度由原 48.1°C (定頻運轉) 降到 36.7°C (依負載變頻運轉) 且運轉噪音降低, 設備使用年限延長。

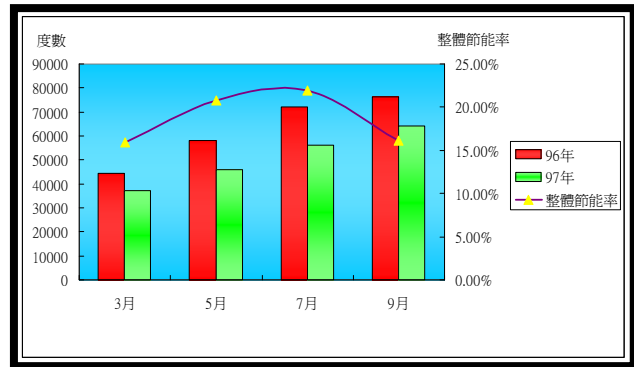


圖 19 整體節能率與節電度數 96, 97 年度比較表

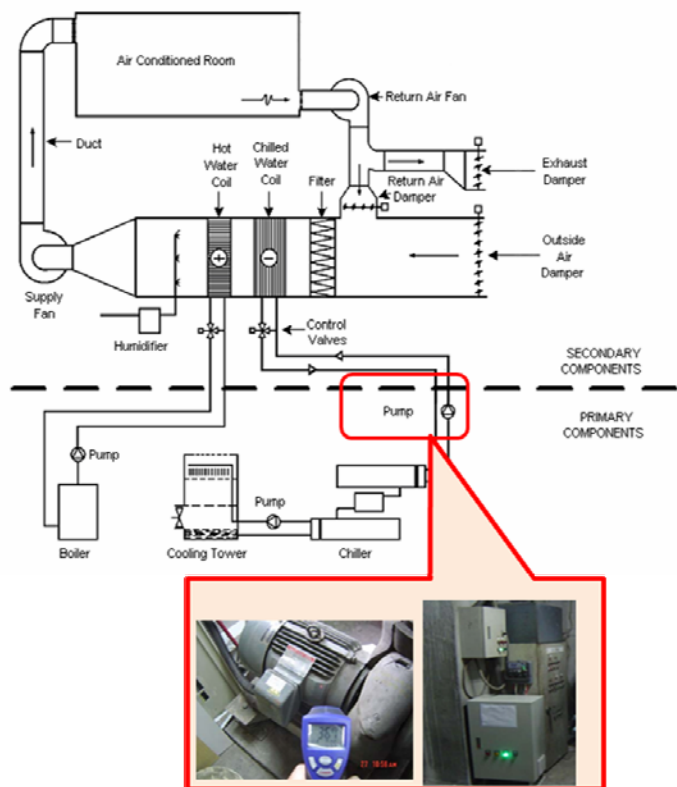


圖 20 空調冰水泵浦平面配置圖

新加坡銀行空調設備節能案

案例規畫說明: 銀行 1F 空間坪數約 25 坪(參見圖 21)，新加坡當地大氣溫度全年長期約 28°C~32°C，空調運轉時間週一至週五，AM7:30~PM7:30，週六 AM7:30~PM1:00，周日休假，平均每周運轉 65.5hrs。現場勘查過程中，銀行行員反應空調溫度過冷，因此評估過後，室內溫度忽冷忽熱，代表壓縮機運轉卸載空間大。針對壓縮機 (Trane 氣冷式空調主機 3Φ/ 50HZ/ 380V/ 10HP/ 冷媒型式 R22，規劃安裝 AC 變頻系統 **SES-VR**，可提升舒適度與降低流動電費。



圖 21 AC 變頻安裝圖(銀行空調設備)

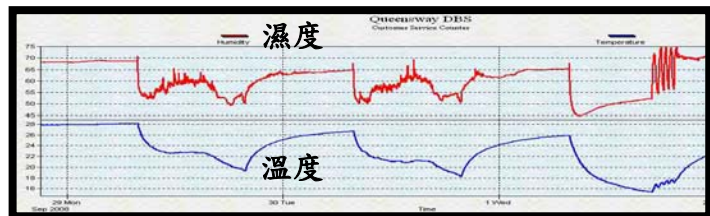


圖 22 周溫濕度紀錄圖(定頻運轉)

實施成果:

節電效能佳平均每月節省 1200 kwh，空調系統運轉平順穩定。由定期監測周溫濕度的紀錄圖中(定頻運轉，參見圖 22)，可充分顯示溫濕度的變化更趨平穩，且保持與原安裝前的室內溫度冷度(變頻運轉，參見圖 23)。

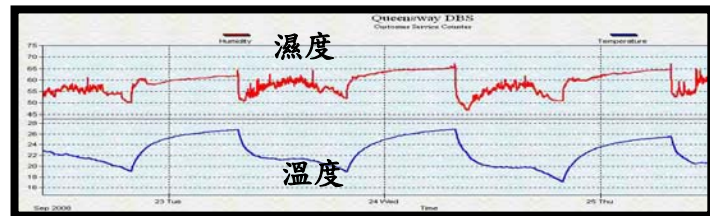


圖 23 周溫濕度紀錄圖(變頻運轉)

便利商店冷凍冷藏冰櫃設備節能案

案例規畫說明: 便利商店、生鮮超市(參見圖 24)、飲料/生鮮蔬果/肉品/冰品，皆需要設備體積小、低於 5 馬力的冷凍冷藏冰櫃，每天 24 小時運轉，冷藏冷凍庫溫度設定 4°C~ -20°C。



圖 24 生鮮超市飲料冷藏櫃

SES-VV 系統(參見圖 25)採用 AC 變頻技術再次突破，結合微電腦控制、AC 變頻、電源整流、抗諧波干擾、散熱等技術，體積小。應用範圍：馬力數在 1HP~5HP 的電感性負載：可單相入力，驅動三相負載，小型箱型空調、冷凍、冷藏、排水排風、泵浦等設備。



圖 25 冷卻水塔風扇馬達、便利商店冷藏櫃 AC 變頻安裝圖

實施成果: 三相 AC 中小箱型空調、冷凍冷藏冰櫃省電效能 25% 以上，泵浦節電效能 50% 以上。

結語

從實際案例中，由電力品質分析儀表、電表與溫溼度量測儀器監測，符合使用端的使用實際狀況下測量，所得數值資料，充分顯示應證理論設計值的效能。外掛式 AC 變頻式壓縮機冷凍冷藏系統，依實際環境需求，動態式匹配其空調的負載變化，提供了一個與原製冷效果相當，且穩定、安靜、有效的變頻式運轉模式。省電效能卓著，SEER 值的高效能，不但提昇整體空調系統的使用品質，而且產生立竿見影的節能效果。如此並兼顧原空調設備再使用率的節能投資，一舉數得。AC 變頻系統的應用很廣泛，目前應用於冷凍空調設備空調機、冰水泵浦、散熱水塔風扇、排水排風馬達，提供可觀的實質節能效益。智慧型 AC 變頻模組可與箱型空調機、冷凍空調設備共同開發成為新一代三相 AC 變頻冷凍空調機。

三相 AC 變頻智能控制的節能技術，可作垂直整合與系統化的空調智能控制，例如冷媒閥的流量、一對一、一對多的機組。亦可作橫向結合多組多聯 AC 變頻壓縮機組的控制，多組多聯 AC 變頻泵浦機組的控制，都是未來技術發展的重點方向。

參考資料

- [1] 翁偉彬 [空調壓縮機驗收報告]
- [2] 黃俊山 [冷凍空調科學工業技術用書]
- [3] 蕭明哲，沈志秋[空調設備修訂版]
- [4] Wilbert F. Stoecker、Jerold W. Jones [冷凍與空調 第二版]
- [5] BetterBricks [Operation and Maintenance of HVAC Water Distribution Systems]
- [6] US Department of Energy, Improving Pumping System Performance

作者

鄭諺楠，方一剛/亞得力科技股份有限公司