

# 變頻器應用 Q&A 節能技術手冊

經濟部 能源局 指導  
財團法人台灣綠色生產力基金會 編印

# 目 錄

目 錄 .....	I
圖 目 錄 .....	V
表 目 錄 .....	VII
第一章 前言 .....	8
第二章 國內電力供需及變頻器節能市場潛力概況.....	9
2.1 國內最終電力消費量電力供需概況.....	9
1. 台灣地區近年最終電力消費量成長如何? .....	9
2. 台灣地區夏季最高氣溫與最高尖峰用電量如何? .....	9
3. 氣溫升高1℃的對夏季電力供應影響多少? .....	10
2.2 國內外變頻器推動概況 .....	10
1. 國內外對於電動機採用變頻器推動概況如何? .....	10
2.3 國內非能源查核用戶用電概況及節能潛力.....	12
1. 非製造業能源查核大用戶 (>1,000kW) 筆數分佈及耗電量如何? .....	12
2. 台灣地區非製造業查核用戶變頻器節能潛力為何? .....	13
第三章 變頻器之技術與裝置的選用.....	14
3.1 變頻器基礎原理 .....	14
1. 變頻器主要基本原理及功能為何? .....	14
2. 變頻器的切換控制為何? .....	15
3.2 變頻器的種類與用途 .....	16
1. 電壓/頻率控制(V/F control)技術為何? .....	16
2. 向量控制(Vector Control)技術為何? .....	17
3. 無轉軸量測器控制(Sensorless Control)技術為何? .....	19
4. 直接轉矩控制(Direct Torque Control, DTC)技術為何? .....	20
3.3 變頻器的節能原理與優點 .....	21
1. 變頻器的節能原理為何? .....	21
2. 空氣調節箱如何利用變頻器控制? .....	21

3.4 變頻器的規格與選取 .....	25
1. 變頻器的規格主要包含那些? .....	25
2. 變頻器如何選取? .....	27
<b>第四章 變頻器工程施工與日常維護.....</b>	<b>30</b>
4.1 變頻器控制工程施工.....	30
1. 變頻器控制工程施工的注意事項有那些? .....	30
2. 變頻器相關的周邊設備控制工程施工的注意事項有那些? .....	32
3. 變頻器故障的原因及對策? .....	34
4. 變頻器本身事故防止機能有那些? .....	36
5. 變頻器影響其他電機設備之防止? .....	37
4.2 變頻器日常維護 .....	41
1. 變頻器日常維護與點檢項目那些? .....	41
<b>第五章 變頻器在空調冰水系統之節能應用 .....</b>	<b>43</b>
5-1 變頻器在空調送水系統之節能原理 .....	43
1. 水泵之水泵性能曲線與運轉特性為何? .....	43
2. 水泵流量之調整方法對於耗能之影響為何? .....	44
5-2 空調變水量冰水系統設計與變頻控制 .....	47
1. 空調冰水定流量系統(CWV)運轉特性為何? .....	47
2. 空調冰水變流量系統(VWV)運轉特性為何? .....	48
3. 在 VWV 變流量系統之旁通共通管安裝位置對於冰水主機的卸載有何影響? ..	51
4. 如何考慮變流量系統變頻控制之冰水幹管差壓感測器安裝的位置? .....	51
5-3 空調變水量冰水系統優缺點比較 .....	52
1. 空調冰水一次側變流量系統的優點為何? .....	52
2. 空調冰水一次側變流量系統缺點為何? .....	53
5-4 變頻泵與變頻器之匹配與選用 .....	54
1. 空調選用變頻水泵需考慮之原則與條件為何? .....	54
2. 空調水泵選取之步驟為何? .....	54
<b>第六章 變頻器在空調送風系統之節能應用 .....</b>	<b>57</b>
6-1 可變風量 VAV 控制策略[1] .....	57

1. 可變風量 VAV 系統以及其包含之子系統為何？	57
2. 可變風量 VAV 系統風量太小對於耗能之影響以及會引起那些問題？	57
3. VAV 系統之空間溫度如何控制？	58
4. VAV 系統如何藉由感測器控制調整系統之總供風量？	60
5. 如何控制 VAV 系統之供風及回風達到一致的風量調整？	60
6. VAV 系統外氣節能循環控制方法如何執行？	62
<b>6.2 變風量系統應用</b>	<b>63</b>
1. 變風量系統之應用設計者應考慮那些要素？	63
<b>第七章 變頻器在其他建築設備之節能應用</b>	<b>65</b>
<b>7-1 建築物給水系統之型式與應用</b>	<b>65</b>
1. 給水系統可分為那四類？	65
<b>7-2 建築物給水系統之變頻器應用</b>	<b>67</b>
1. 壓力水槽給水系統之變頻器節能應用？	67
2. 泵給水系統之變頻器節能應用？	68
3. 高樓層之重力給水或泵給水系統之變頻器節能應用？	69
4. 變頻器在建築給水系統之應用例？[2]	71
<b>7-3 變頻器在建築物輸送系統之應用</b>	<b>72</b>
1. 電扶梯變頻器應用原理及實例？	72
2. 國外電扶梯節能設計方式與實例？	74
3. 新型客用電梯變頻器應用特性(例)？	79
<b>第八章 變頻器在工業製程之應用</b>	<b>81</b>
<b>8-1 加工製造</b>	<b>81</b>
1. 縱切器	81
2. 長度切割	82
3. 旋轉刀具	83
4. 具角度的高速切割(鋸齒切割)	84
5. 平行式高速切割	85
6. 領料及堆疊	86
<b>8-2 物料搬運</b>	<b>87</b>
1. 原物料搬運的循環校正	87

2. 循環修正，包裝案例.....	88
3. 固定的間隔保持.....	89
4. 物料裝填.....	90
5. 捲繞.....	91
6. 包裝工作.....	92
7. 倉庫自動化管理.....	93
<b>第九章 變頻器節能應用案例.....</b>	<b>94</b>
<b>9.1 變頻器應用節能措施計算案例 .....</b>	<b>94</b>
案例【01】採用VRV變頻式冷氣機組.....	94
案例【02】空調冰水區域泵加裝變頻器.....	97
案例【03】冷卻水塔風車加裝變頻器.....	100
案例【04】空調箱AHU加裝變頻器改成VAV控制.....	108
案例【05】電扶梯採用變頻器.....	110
案例【06】鍋爐抽排集塵風扇加裝變頻器.....	112
<b>9.2 變頻器節能改善成功案例 .....</b>	<b>114</b>
案例【1】某辦公大樓採用變頻器節能改善應用例.....	114
案例【2】某大學採用變頻器節能改善應用例.....	115
<b>第十章 結語 .....</b>	<b>123</b>
<b>參考文獻 .....</b>	<b>124</b>
<b>編後語 .....</b>	<b>127</b>

## 圖目錄

圖 3.1-1 三相變頻器基本方塊圖 .....	14
圖 3.1-2 三相變頻器之正弦脈波寬度調變的示意圖 .....	16
圖 3.2-1 電壓/頻率控制 .....	17
圖 3.2-2 電壓/頻率控制的電壓與頻率的關係圖例[1] .....	17
圖 3.2-3 向量控制方塊圖 .....	18
圖 3.2-4 向量控制感應電動機驅動器 .....	19
圖 3.2-5 無轉軸量測器向量控制方塊圖 .....	20
圖 3.2-6 直接轉矩控制方塊圖 .....	21
圖 3.3-1 變頻器於空氣調節箱的控制應用例 [14] .....	23
圖 3.3-2 變頻式空氣調節箱的控制方塊圖 [14] .....	23
圖 3.3-3 變頻式空氣調節箱熱傳量與風機轉速之關係曲線 [14] .....	24
圖 3.3-4 變頻式空氣調節箱耗電量與風機轉速之關係曲線 [14] .....	24
圖 3.4-1 某國外變頻器廠牌型錄資料【例】 .....	28
圖 4.1-1 變頻器的實體圖【例】 .....	30
圖 4.1-2 變頻器相關的周邊設備配線例 [1] .....	32
圖 4.1-3 現有中小型之三相變頻器基本方塊圖 .....	37
圖 4.1-4 六脈波整流器波形 .....	38
圖 4.1-5 具有六脈波整流器之變頻器的實測波形[3] .....	39
圖 4.1-6 使用串聯電抗器之六脈波整流器 .....	40
圖 4.1-7 不同之串聯電抗器值的電源測電壓(上軌)與電流(下軌)波形 ...	40
圖 5.1-1 水泵性能曲線 .....	44
圖 5.1-2 流量調整方法 .....	45
圖 5.1-3 四種流量調整方法之原理比較 .....	46
圖 5.1-4 各種流量調整方法之耗能比較 .....	46
圖 5.2-1 定流量空調冰水系統(CWV) .....	50
圖 5.2-2 二次側變流量空調冰水系統(PRIMARY-SECONDARY VWV) .....	50
圖 5.2-3 一次側變流量空調冰水系統(VARIABLE PRIMARY FLOW, VPF) .....	51
圖 5.3-1 二次側變流量與一次側變流量之水泵耗能比較[1] .....	53
圖 5.4-1 水泵選用範例 .....	56
圖 5.4-2 變頻器選取範例 .....	56
圖 6.1-1 可變風量 VAV 系統之簡圖 .....	57
圖 6.1-2 區域風量控制—利用風速補償 .....	59
圖 6.1-3 區域風量控制—利用機械式補償 .....	59
圖 6.1-4 單一控制器的風管設計 .....	61
圖 6.1-5 利用風量計控制的風管設計 .....	61
圖 6.1-6 利用二個靜壓控制器的風管設計 .....	62

圖 6.1-7	利用排風控制提供回風平衡的風管設計.....	62
圖 7.1-1	建築給水系統之送水方式.....	66
圖 7.2-1	壓力水槽給水系統之變頻器節能應用之系統安裝圖.....	67
圖 7.2-2	泵給水系統之變頻器節能應用之系統安裝圖.....	68
圖 7.2-3	高樓層以中繼水箱區劃之供水系統圖[1].....	70
圖 7.2-4	高樓層以減壓閥區劃之供水系統.....	70
圖 7.2-5	高樓層單級水泵併用減壓閥之加壓給水系統.....	71
圖 7.2-6	高樓層多級泵變頻無減壓閥之加壓給水系統.....	72
圖 7.3-1	可變轉速電動手扶梯多區域紅外線或超音波遙測感知裝置.....	73
圖 7.3-2	可變轉速電動手扶梯遙測感知裝置設備(例).....	74
圖 7.3-3	日本百貨商場入口設置自動感測可變轉速手扶梯應用(例).....	74
圖 7.3-4	CNIM 變頻器電扶梯驅動及控制.....	75
圖 7.3-5	CNIM 多段式自動調速運轉示意圖.....	78
圖 7.3-6	CNIM 多段式自動調速控制原理.....	78
圖 7.3-7	變頻式電扶梯安裝應用(例).....	79
圖 7.3-8	新型變頻電梯外觀(例).....	80
圖 8.1-1	縱切器應用案例.....	81
圖 8.1-2	長度切割應用案例.....	82
圖 8.1-3	旋轉刀具應用案例.....	83
圖 8.1-4	具角度的高速切割(鋸齒切割)應用案例.....	84
圖 8.1-5	平行式高速切割應用案例.....	85
圖 8.1-6	領料及堆疊應用案例.....	86
圖 8.2-1	原物料搬運的循環校正應用案例.....	87
圖 8.2-2	循環修正，包裝應用案例.....	88
圖 8.2-3	固定的間隔保持應用案例.....	89
圖 8.2-4	物料裝填應用案例.....	90
圖 8.2-5	捲繞應用案例.....	91
圖 8.2-6	包裝工作應用案例.....	92
圖 8.2-7	倉庫自動化管理應用案例.....	93
圖 9.2-1	舊有空調管路系統昇位圖及節能方案.....	117
圖 9.2-2	改善後-空調管路系統昇位圖.....	118
圖 9.2-3	改善後-空調箱風扇運轉頻率與耗電趨勢.....	119
圖 9.2-4	改善後-區域泵浦運轉頻率與耗電趨勢.....	119
圖 9.2-5	改善後-冷卻水塔風扇運轉頻率耗電趨勢.....	120
圖 9.2-6	改善前後-空調耗能比較.....	120
圖 9.2-7	改善前後-水塔、水泵、空調箱耗能比較.....	121
圖 9.2-8	不包括冷卻水泵之改善前後-水塔、水泵、空調箱耗能比較.....	121

## 表 目 錄

表 2.1-1 台灣電力消費電量成長(2006 年).....	9
表 2.3-1 2006 年主要建築類型 (>1,000KW) 筆數及用電量統計.....	12
表 3.4-1 變頻器之一般規格例 [15].....	25
表 3.4-2 變頻器的規格例 [15].....	25
表 4.1-1 安裝配線環境規定例 [1].....	31
表 4.1-2 串聯電抗器對電源測電流諧波的影響.....	41
表 4.2-1 變頻器安裝配線環境規定例 [1].....	42
表 7.3-1 20KW~100KW 具省能及無省能裝置之變頻器比較.....	76
表 7.3-2 9KW~20.5KW 具省能及無省能裝置之變頻器比較.....	76
表 9.2-1 某辦公大樓採用變頻器節能改善成效.....	114
表 9.2-2 某大學採用變頻器節能改善對策及效益.....	116
表 9.2-3 某大學採用變頻器節能改善前後比較單一日之耗電差異.....	122

# 第一章 前言

台灣地區天然資源蘊藏貧乏，98%能源仰賴進口。在全球溫室效應，氣候暖化下，到了夏季天氣轉為高溫晴朗型態，加上近年工商業持續成長，空調用電激增，夏季尖峰用電屢創新高，由於電源開發困難及短缺，將造成民眾生活的不便。因此如何推廣省能設備與提升能源效率的節約用電措施，已成國內能源政策的重要課題之一。

在目前節能設備中「變頻器(Inverter)」為最直接有效之節能控制方法。國內各工業、建築物及家電實際安裝案例，已非常普遍，如工業製程之加壓供水泵、抄紙機、冷卻風扇、冷卻水泵及輸送等；建築之空調冷卻水塔風扇、區域冷卻水泵，空調箱 AHU 變風量、電梯給水泵及抽排風車等；家電之洗衣機、冷氣機等。以上設備系統案例導入變頻器，控制設備負載大小運轉，證實可減少用電量約 30%以上。

2006 年統計，國內耗能較大之工商能源查核大用戶 800kW 以上約有 4,764 筆，總用電度數 857.06 億度電，約占全國總最終消費電力 37.78%。目前國內僅約 30%左右的用戶裝設變頻器，實屬偏低，應加強推動採用。

台灣綠色生產力基金會節約能源中心（以下簡稱本中心）進行現場節能輔導時，了解工商各行業能源管理者急需「變頻器節能應用」實際改善經驗、技術與選購及保養的參考資料。本中心乃委請國內此系統設備推廣上有專精的專家學者，臺北科技大學電機系賴炎生教授及能源與冷凍空調工程系李魁鵬助理教授，協助執筆及蒐集實際相關資料，並配合本中心節能技術服務資料，彙編成此一問一答技術手冊。本手冊介紹國內工商能源查核用戶用電概況、變頻器的基本原理種類與選用、工程施工與日常維護及節能應用與案例等內容，提供各能源用戶參考，而遺誤掛漏，必所難免，尚請學者先進，賜予指正為禱。

## 第二章 國內電力供需及變頻器節能市場潛力概況

本章主要介紹台灣地區電力供需概況、夏季最高氣溫與氣溫升高 1°C 對最高尖峰用電量影響，能源查核用戶用電概況，使工商能源用戶及業者了解未來推動變頻器應用之主要對象，及變頻器節能潛力與市場規模。

### 2.1 國內最終電力消費量電力供需概況

#### 1. 台灣地區近年最終電力消費量成長如何？

答：根據經濟部能源局之統計，台灣天然資源蘊藏貧乏，能源 98% 必須仰賴進口，自產能源僅占 1.76%，極易遭受國際能源情勢變遷之影響[1]。依據 95 年經濟部能源統計手冊統計，如下表 2.1-1 所示，可知，2006 年總消費電力 226,871.1 百萬度電，較 2005 年成長 2.89%，電力總消費佔總能源消費工業部門占 49.64%，成長 4.22%，服務業部門占 21.83%，成長 2.35%，值得重視。

表 2.1-1 台灣電力消費電量成長(2006 年)

年份	台灣 電力總消費量		工業部門 電力總消費量			服務業部門 電力總消費量		
	百萬度電	成長率 %	百萬度電	成長率 %	占 %	百萬度電	成長率 %	占 %
2005	220,500.1	-	108,049.1	-	49.00	48,386.6	-	21.94
2006	226,871.1	2.89%	112,610.5	4.22%	49.64	49,522.9	2.35%	21.83

註：參考資料 2006 年依經濟部能源統計手冊統計

#### 2. 台灣地區夏季最高氣溫與最高尖峰用電量如何？

答：(1). 夏季氣溫屢創新高，如基隆地區 2007 年 7 月 20 日最高氣溫達到 38.4°C。

(2). 於 2007 年 7 月 9 日台灣各地白天的最高溫度達攝氏 35 度，下午

1 時至 2 時間，全台一小時平均最高用電量達 3,245 萬瓩，已打破 2006 年 7 月 5 日創下的 3,206 萬瓩尖峰負載記錄，再創歷史新高，增加 39 萬瓩，約 1.2%。

(3).台電公司預估 2007 年夏天淨尖峰供電能力 3,814 萬瓩，尖峰負載為 3,336 萬瓩，備用容量率達 14.5%，電源尚稱充裕；惟從電廠送出的高壓電力必須經過各級變電所降壓及健全完善的輸配電網路，才能提供用戶可靠充裕電力。

※資料來源：台電網站 <http://www.taipower.com.tw>。

### 3.氣溫升高 1°C 的對夏季電力供應影響多少？

答：盛夏炎熱的氣候讓家家戶戶不由得要使用冷氣來驅暑。根據台電統計，在夏季高溫時期，空調的大量使用是造成電力系統尖峰負載的主因，當溫度超過 28°C 後，每上升 1°C，就需要增加約 60 萬瓩的電力供應。如大甲溪上下游的六個水力電廠，有著全台灣將近四分之一的水力發電能力（包括抽蓄電廠），總發電容量也僅約 115 萬瓩，還不足以應付夏日中 2°C 的溫度變化。

## 2.2 國內外變頻器推動概況

### 1.國內外對於電動機採用變頻器推動概況如何？

答：(1).為了改善溫室效應，國際社會於西元 1997 年 12 月在日本京都召開的第三屆氣候變化綱要公約締約國大會，與會各國通過京都議定書等環保公約及簽訂全球氣候變化綱要，用以規範造成全球溫室效應日益惡化的氣體排放量。因此節約能源在新的替代能源技術尚未成熟之前業已成為勢在必行的措施。

(2).臺灣由於生活水準日益提高與經濟快速發展，導致電能消耗急速

成長。由於電源開發困難及負載管理措施造成民眾生活的不便，節省耗電的措施日愈重要；因此如何提升能源效率與推廣省能設備，已成國內能源政策的重要課題之一。

- (3).我國 2007 年 1-6 月的能源供給中，進口能源所占比重為約 98%，自產能源僅占 1.7%[1]；另根據經濟部能源委員會之統計，我國民國 2006 年電力部門消費佔總能源消費之 51.5%[2]，而電力能源消費中約 70%消耗於電動機[3]。由上述統計結果可知我國電動機消耗能源所佔比例，無論於電力能源或能源總量中，皆佔極為重要的多數比例，且其比例有逐年升高趨勢。故可歸納得知電動機效率對能源發展具有重要影響，亦可得知增加電動機應用效率對國內能源發展有極大改善。
- (4).以美國政府為例，考量美國國內電動機所佔消耗能源之重大比例，已由美國能源部(Department of Energy, DOE)、美國國家電機製造協會(National Electrical Manufacturers Association, NEMA)與電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)等推廣電動機節能與驅動系統各類研究計畫與鼓勵方案。
- (5).1980 年代初期起，電力與能源相關公共事業策略開始鼓勵電動機用戶，購買或置換新型高效率電動機(High Efficiency Motor, HEM)；並且在 1980 年代中期，電力與能源相關公共事業體，鼓勵電動機用戶使用變頻之可調速驅動器與調速電動機 [4-6]。
- (6).1980 年代末期，美國能源部亦開始著名的「電動機超越計畫」(Motor Challenge Program)[4-11]，將焦點著重於先進之電動機系統設計。
- (7).1992 年 10 月 24 日，美國政府頒佈著名之「能源政策與保護法案」(The Energy Policy and Conservation Act, EPCA)藉以規範交流電

動機效率；並且於 1997 年 10 月 24 日起實施，以法律強制確保高效率零組件裝置之購買以鼓勵廠商生產[8-11]。

綜合上述美國之提升電動機效率能源政策，可知其政策已由初期之評估、建議與政策鼓勵與先進系統研究，轉由以強制性法案確保電動機與其驅動裝置之效率；其次，推廣變頻之可調速驅動器與調速電動機，以獲得明顯的節能成效。

## 2.3 國內非能源查核用戶用電概況及節能潛力

### 1.非製造業能源查核大用戶 (>1,000kW) 筆數分佈及耗電量如何？

答：依 2006 年非製造業查核年報統計，用電契約容量>1,000kW 的能源查核大用戶共 964 筆，各建築類型筆數及用電量統計，見表 2.3-1 所示，合計總用電達 91 億度電。分析其用電量最高者為學校約占 15.2%，其次為醫院、辦公大樓、百貨公司、軍事單位。

表 2.3-1 2006 年主要建築類型 (>1,000kW) 筆數及用電量統計

建築分類	家數(家)	電力 (度)	佔比(%)
學校	162	1,730,563,926	15.2
醫院	97	1,457,300,717	13.0
辦公大樓	147	1,158,642,795	9.9
百貨公司	66	1,141,553,361	9.8
軍事單位	58	687,903,159	5.9
量販店	78	624,565,924	5.3
旅館	38	407,817,015	4.0
中央政府機關	35	241,716,346	2.1
地方政府機關	36	204,625,765	1.8
其他	247	3,795,965,498	33.0
統計	964	11,450,654,506	100.0

註 1：其他建築類型包括：車站、電信公司、商場、實驗室、展覽館、體育場、停車場、資源回收廠、高爾夫球場、影城、冷凍倉儲、靈骨塔、集合宿舍區、訓練中心、營造工地、航空公司修護廠、綜合市場、道路、KTV 等。

註 2：資料來源-本計畫調查研究，統計期間為 2005 年 1 月至 12 月。

資料來源：2006 年非製造業查核年報統計 (>1000kW) P7

## 2.台灣地區非製造業查核用戶變頻器節能潛力為何？

答：(1).節能推廣對象：台灣地區 2006 年非製造業查核用戶 (>1,000kW)

家數統計共 964 筆電號用戶，可為優先配合能源查核主要推動變頻器對象，見前表 2.3-1 所示。

(2).節能潛力%：電力能源消費中約 70%消耗於電動機[3]，可見對電動機負載運轉效率提升，對能源發展具有重要影響。變頻器應用於流體運送場合中，電動機耗電量與其轉速的三次方成正比。因此，視負載狀況而適時降低電動機轉速可大量減少其耗電量。一般水泵及風車若採用變頻器控制調降負載 10%，節能潛力約 30%。

(3).預估整體節能量：若能配合能源查核推動 30%用戶，採用變頻器，則節能效益如下：

A.節能用電量=總用電 114.5 億度電×動力占 70%×設備導入可行性占 30%×改善落實率 30%×節約效益 30%=約 2.16 億度電。

B.節能用電量=總用電 2.16 億度電×2 元/度=4.32 億元。

C.產生市場=4.32 億元×投資費用 3 年回收計=12.96 億元。

D.減少二氧化碳量=2.16 億度電/年×0.62kg/度電=約 13.39 萬噸/年

### 第三章 變頻器之技術與裝置的選用

本章主要介紹變頻器(Inverter)之技術與裝置的選用，包含變頻器的基礎原理、變頻器的種類與用途、變頻器的節能原理與優點暨變頻器的規格與選取，藉由瞭解變頻器基本背景，以作為應用變頻器節能時，選用與使用變頻器的參考。

#### 3.1 變頻器基礎原理

##### 1.變頻器主要基本原理及功能為何？

答：變頻器主要功能為同時控制輸出交流電壓大小與頻率，其應用範疇十分廣泛，包含空調、電梯驅動系統、電動機車及鐵道驅動工業等。圖 3.1-1 所示為三相變頻器基本方塊圖，包含交流/直流轉換器、直流/交流轉換器、回授、切換控制與驅動控制等。

變頻器係將固定頻與固定電壓之交流整流後的直流電源轉換為交流輸出，其藉由切換技術或是所謂脈波寬度調變 (Pulse-width Modulation, PWM)原理將直流電源轉換為電源電壓與頻率均為可控的交流電源，藉此改變交流電動機之轉速。

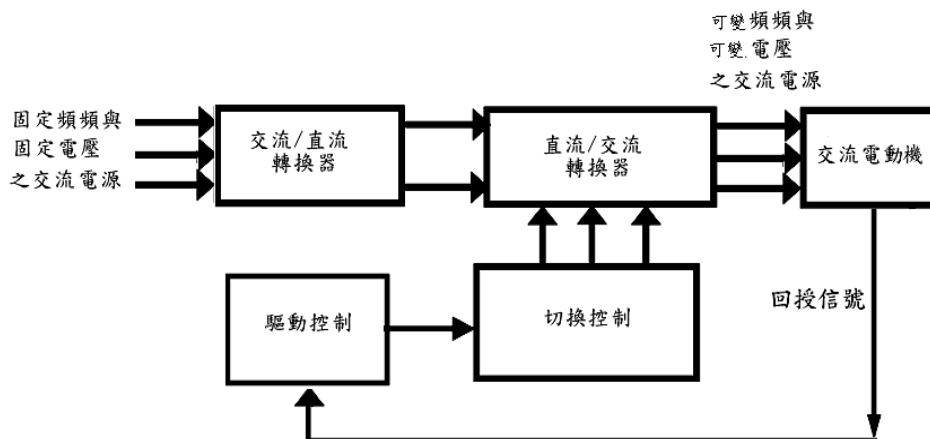
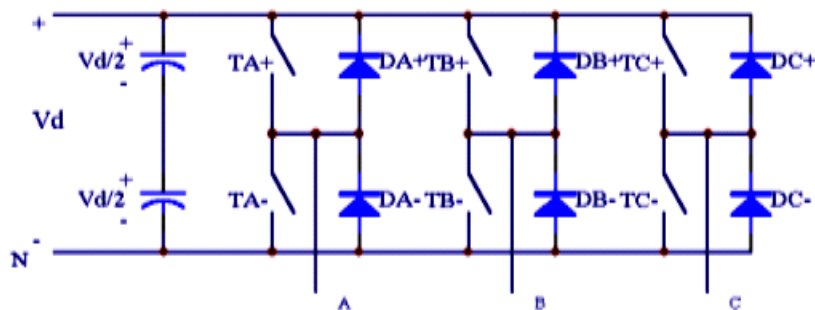


圖 3.1-1 三相變頻器基本方塊圖

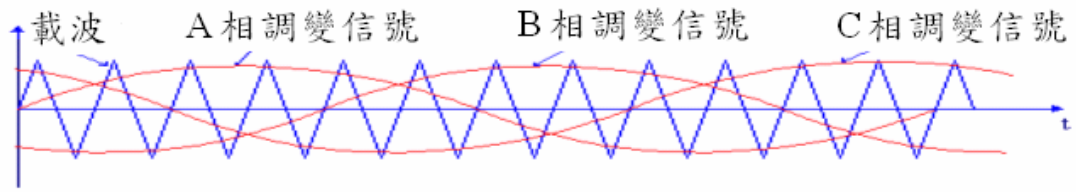
## 2.變頻器的切換控制為何？

答：(1).變頻器的切換控制一般係利用脈波寬度調變技術，達到控制電壓與頻率之目的。圖 3.1-2 所示為正弦脈波寬度調變之三相變頻器的示意圖，如圖 3.1-2 (A)所示的三相變頻器，其具有如圖 3.1-2 (B)所示的三個分別相差 120 度的正弦調變信號與載波信號，”A”相與”B”相正弦調變信號分別與載波信號比較，可以得到如圖 3.1-2(C)所示的電動機端電壓比較結果。

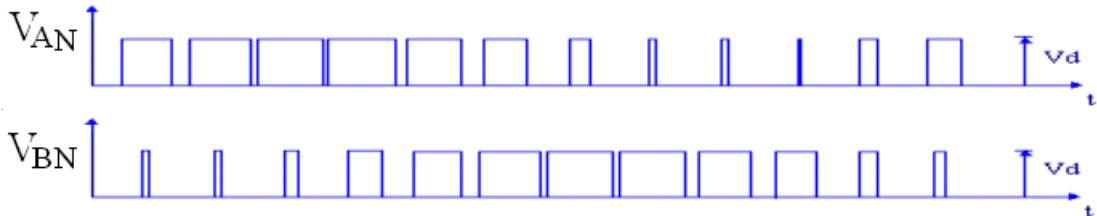
(2).當正弦調變信號大於載波時，則比較器的輸出為正的準位；反之當正弦調變信號小於載波時，則比較器的輸出為負的準位。利用三角載波(Carrier)對取樣調變信號做調變(Modulation)產生輸出脈波，依據調變波的幅度與頻率改變脈波的寬度與頻率；藉此同時改變輸出波脈波的基本頻率(Fundamental Frequency)及基本電壓(Fundamental Voltage)的大小。值得注意的是圖 3.1-2(C)中的輸出脈波寬度隨著正弦信號為調變信號的增加(或減少)而增加(減少)，此即為所謂的「脈波寬度調變」。圖 3.1-2(D)所示為”A”相與”B”相間的線電壓與其基本波(正弦波)，其輸出脈波並非正弦，而是含有正弦與諧波(輸出脈波減去正弦)。



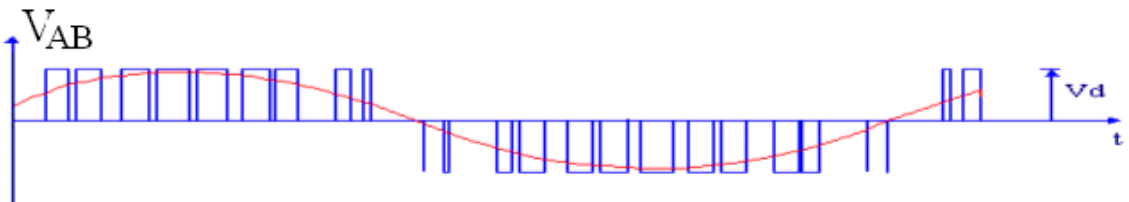
(A). 三相變頻器



(B). 三相正弦調變信號與載波



(C). "A"相與"B"相的自然取樣調變脈波



(D). "A"相與"B"相間的線電壓與其基本波(正弦波)

圖 3.1-2 三相變頻器之正弦脈波寬度調變的示意圖

### 3.2 變頻器的種類與用途

本節將介紹市售變頻器種類，作為應用變頻器節約電動機驅動系統時，選用與使用變頻器的參考。市售變頻器依其驅動控制方法的不同，主要有：(1).電壓/頻率控制(V/F Control)技術，(2).向量控制(Vector Control)技術，(3).無轉軸量測器控制(Sensorless Control)技術，(4).直接轉矩控制(Direct Torque Control, DTC) 變頻器。

#### 1.電壓/頻率控制(V/F control)技術為何？

答：圖 3.2.1 所示為電壓/頻率控制方塊圖，其包含電壓/頻率控制與脈波寬度調變控制兩大方塊；其中電壓/頻率控制為如圖 3.2-2 所示的線性

關係或等比例關係，並不需要如比例積分等控制的複雜控制器，亦並不需要轉速回授。一般而言，此種控制方法最為簡單。其缺點為此方法基本上為不具有轉矩控制的開迴路系統，因此其速度精確度較差，並且當負載加大時，其轉速將受影響。

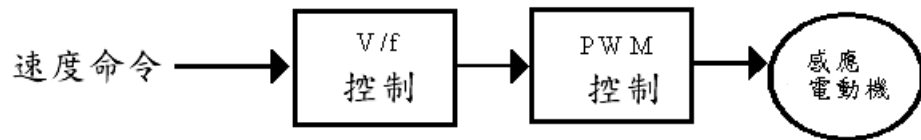


圖 3.2-1 電壓/頻率控制

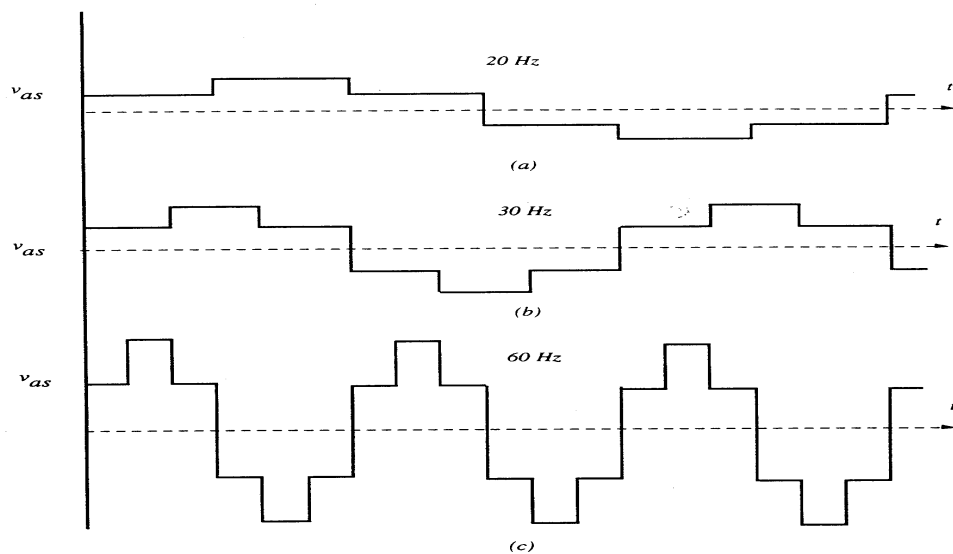


圖 3.2-2 電壓/頻率控制的電壓與頻率的關係圖例[1]

## 2. 向量控制(Vector Control)技術為何？

答：(1).德國西門子公司之 F. Blaschke 在 1972 年，提出向量控制[2]，亦稱為磁場導向控制(Field Oriented Control, FOC)理論，使得感應電動機的控制如同直流機的控制方式一般。直流機的控制方式係使

得磁場為定值則轉矩大小正比於電樞電流；其次，當定子磁場與電樞磁場保持垂直的關係則可以得到最大的輸出轉矩。其優點為如圖 3.2-3 所示的轉矩與速度控制，因此其速度精確度較高，並且當負載加大時其穩態轉速將不受影響。

(2). 交流電動機物理量為交變量而非直流機的直流量，因此首先藉由座標轉換將靜止座標上的交流量轉換成為與交流電相同頻率的同步座標上的直流量；相關數學推導可以參閱[3]。其原理好比行進中火車上的人相對於車外靜止不動的人而言為交變關係，但是相對於與火車相同速度的觀察者而言為靜止關係得道理。將此交變量轉換為直流量的關鍵便是知道交流電相同頻率。因此需要轉軸速度回授與估測滑差，以得到同步轉速作為座標轉換之用。

(3). 為了使得磁場為定值則轉矩大小正比於電樞電流，交流電動機系統在穩態下使轉子磁通在互相垂直之 d-q 軸座標系統上的 q-軸分量為零。如此便可將轉子磁通完全導向在 d-q 軸同步座標系統的 d-軸上，這就是磁場導向控制(向量控制)的原理。

為了達到上述目的，必須使用如圖 3.2-4 所示的複雜方塊圖，向量控制需要速度控制器、磁通控制器與電流回路控制器；另外需要解耦合與滑差頻率計算等問題。

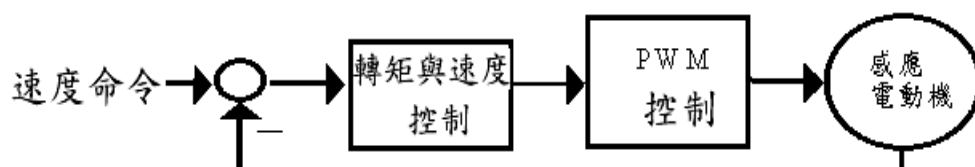


圖 3.2-3 向量控制方塊圖

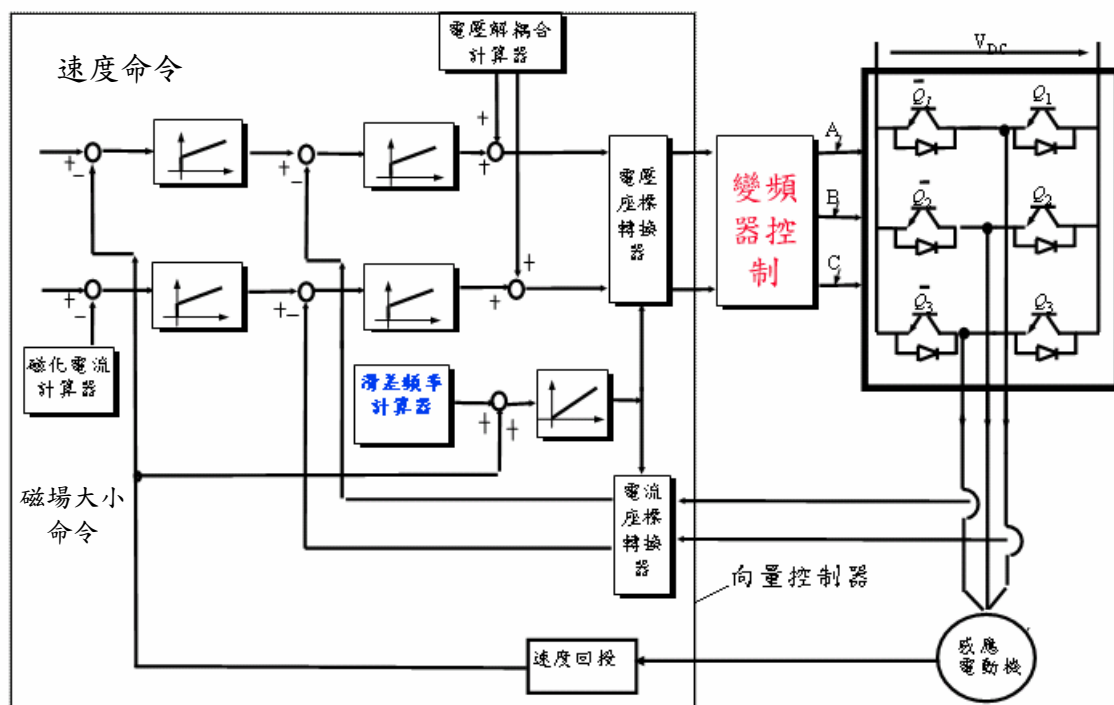


圖 3.2-4 向量控制感應電動機驅動器

### 3. 無轉軸量測器控制(Sensorless Control)技術為何？

答：由於速度回授係向量控制技術不可缺少的要件；速度回授所需要的量測設備價格，例如，Tachometer 與 Encoder，佔整個向量交流變速驅動器總價相當高的比例。因此“無轉軸量測器向量控制器”成為另一種考量的控制技術。如圖 3.2-5 所示，無轉軸量測器向量控制器係以電流/電壓回授估測轉速或同步轉速。其優點為減少成本與體積，缺點為精確度較差與低轉速區域控制不容易，因此減少其控速比(Speed Ratio)。所謂的控速比係指滿載或 150%額定負載下，可以達到的最高轉速與最低轉速的比值。目前市售無轉軸量測器向量控制變頻器的控速比大約在 75-100 之間。

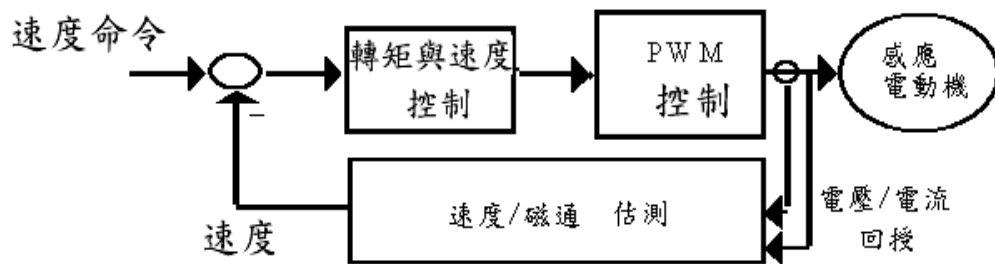


圖 3.2-5 無轉軸量測器向量控制方塊圖

#### 4. 直接轉矩控制(Direct Torque Control, DTC)技術為何？

答：(1).所謂直接轉矩控制即直接控制電動機磁通與轉矩大小，使磁通與轉矩誤差在限定的容許範圍之內。因此如下圖 3.2-6 所示，磁通與轉矩的估測為直接轉矩控制的主要工作之一。直接轉矩控制的特色包含：不需要轉軸機械位置或速度回授、快速轉矩反應及包含低轉速範圍的廣汎轉速控制區間等。

(2).轉矩與磁通是電動機控制最直接的兩個基本物理量，在向量控制法中，必須經由與電動機參數有極大相關的電壓或電流解耦合及滑差頻率計算，才能達到轉矩與磁通的獨立控制，但由於參數會隨著負載增加或運轉時間加長而變動，因此影響了向量控制驅動器的性能。由於直接針對電動機的轉矩與磁通誤差來決定變頻器的開關切換方式，免除解耦合與滑差頻率計算等問題，更不需要實施內電流回路控制，因此較不會受參數變動的影響，其控制方法也較向量控制法容易。

(3).直接轉矩控制(DTC)變頻驅動系統，雖然具有較快速的轉矩響應等優點[5-7]，但是或受限於專利的因素[8]，截至目前為止其商品化產品僅限於 ABB 公司，直接轉矩控制已經廣泛應用於小馬力至中壓系統。

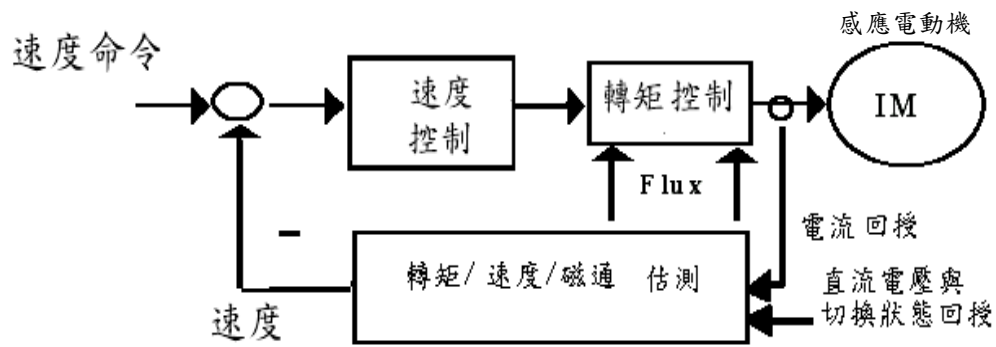


圖 3.2-6 直接轉矩控制方塊圖

### 3.3 變頻器的節能原理與優點

#### 1. 變頻器的節能原理為何？

答：由於環保意識日益受到重視，世界各國均以減少污染與能源損耗作為工業發展的重要參考指標；利用變頻驅器達到節約能源，因此將更加受到重視。利用變頻器或變速裝置提昇電效率：其基本原理即所謂的相似定律(Affinity Law)[9]，應用於流體運送場合中，電動機耗電量與其轉速的三次方成正比。因此，視負載狀況而適時降低電動機轉速可大量減少其耗電量。變頻器作為泵浦或風扇的調速器，具有良好的節能效果。例如：3500Hp 的石油輸送泵浦[10]、40MW 的天然氣輸送泵浦[11]、4 MW 的隧道通風機[12]及自來水輸送泵浦[13]。

#### 2. 空氣調節箱如何利用變頻器控制？

答：(1).利用變頻器於空氣調節箱的控制應用例，如圖 3.3-1 所示[14]，各感測器將回風溫度 (Tra)、冰水入口端溫度 (Twi) 及冰水出口

端溫度 (Two) 輸入控制器 (Controller)，控制器參考回風溫度之期望值與量測值後，輸出信號改變二通比例式電動閥開度及改變調速器 (Adjustable Speed Drives, ASD) 之輸出頻率以調整風機電動機轉速。冰水流量或風機電動機轉速改變時，空氣調節箱的熱轉移量會有所變化，以配合室溫期望值。

- (2). 變頻式空氣調節箱的控制方塊圖，如圖 3.3-2 所示[14]；期望的回風溫度 (Tras)、回風溫度 (Tra)、冰水入口端溫度 (Twi) 及冰水出口端溫度 (Two) 輸入控制器，控制器參考回風溫度之期望值與各量測值後，輸出信號改變二通比例式電動閥之開度 (改變流量  $\dot{m}_{wi}$ ) 及改變調速器之輸出頻率以調整風機電動機轉速 (改變風量  $\dot{m}_{air}$ )。熱傳量與轉速之關係圖，詳如圖 3.3-3 所示，耗電量與轉速之關係圖，則詳如圖 3.3-4 所示；由圖 3.3-3 可得知在不同的風機轉速下，空氣調節箱之熱轉移量隨著風機轉速之增加而增加，具有成正比之關係。另由圖 3.3-4 可獲悉在不同的轉速下，耗電量隨著風機轉速之增加而增加，具有與風機轉速的三次方成正比之關係，符合離心式流體機械之構造相似定律。因此得知利用變頻器於空氣調節箱的控制，在中低負載時可以大量減少用電，達到節能目的。

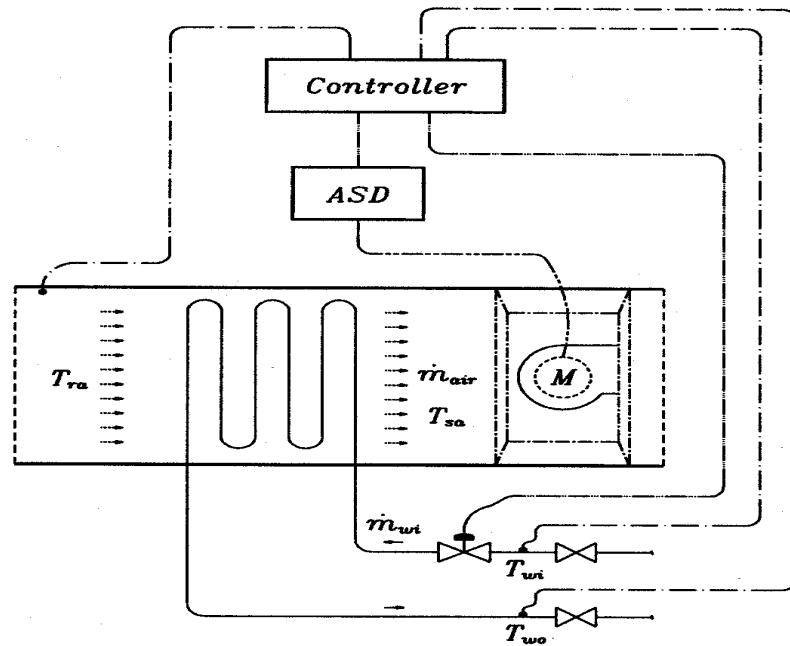


圖 3.3-1 變頻器於空氣調節箱的控制應用例 [14]

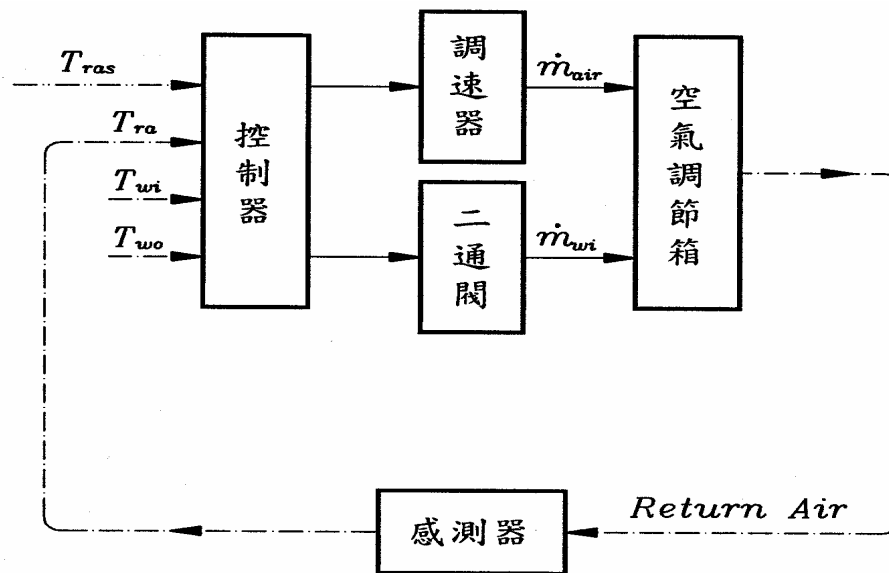


圖 3.3-2 變頻式空氣調節箱的控制方塊圖 [14]

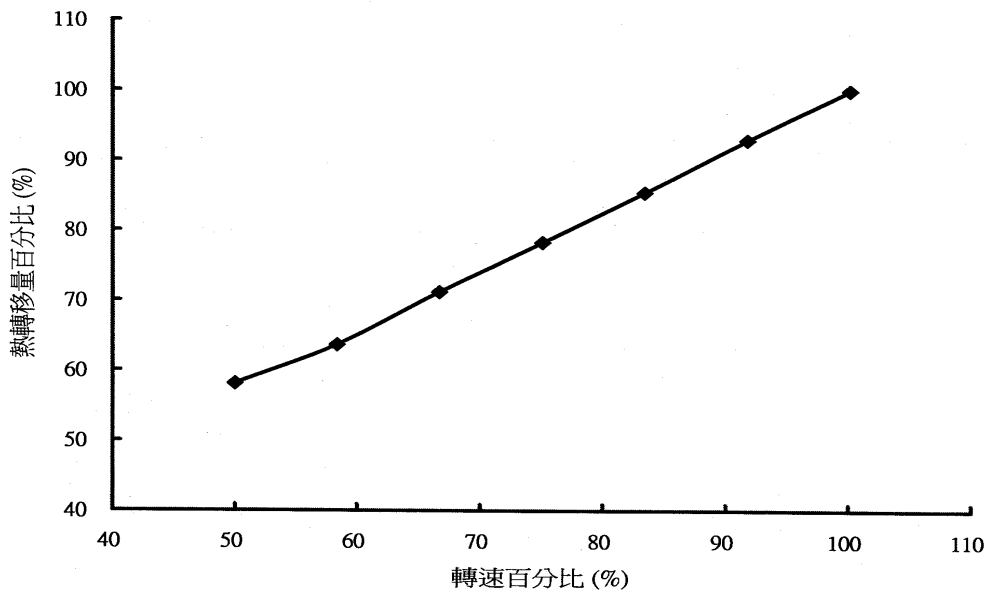


圖 3.3-3 變頻式空氣調節箱熱傳量與風機轉速之關係曲線 [14]

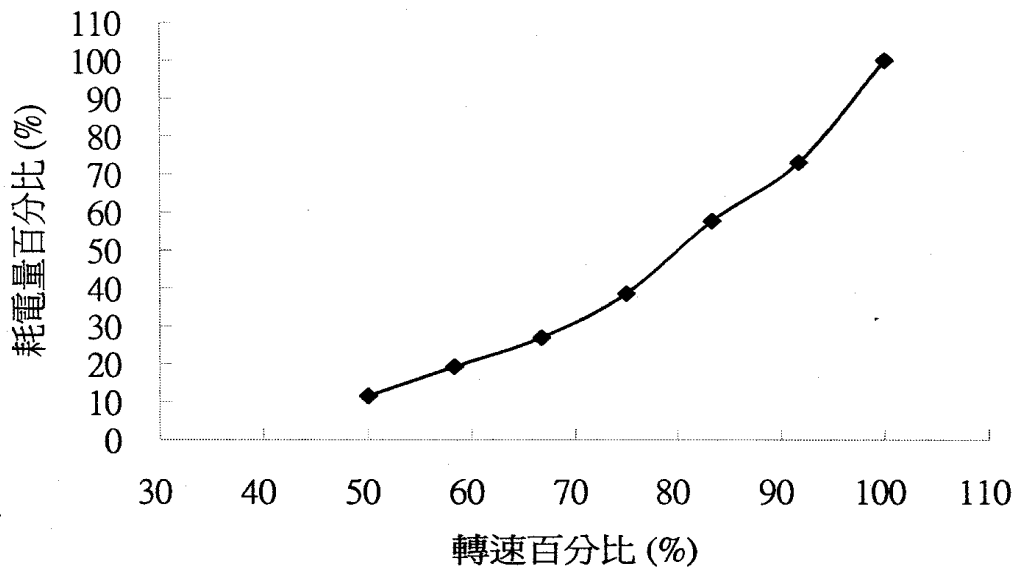


圖 3.3-4 變頻式空氣調節箱耗電量與風機轉速之關係曲線 [14]

### 3.4 變頻器的規格與選取

#### 1. 變頻器的規格主要包含那些？

答：(1). 變頻器的規格主要包含一般規格、電器規格與機械尺寸等。表 3.4.1

所示係以國內某大變頻器廠所列的一般規格為例，其主要包含適用電動機容量、變頻器輸出額額定、變頻器電源規格、變頻器外殼(Enclosure)保護結構、冷卻方式及重量等規格。

(2). 表 3.4-2 所示為該變頻器廠所列的電器規格，其主要包含控制特性(控制方式、輸出頻率範圍及輸出頻率精確度等)、操作特性、保護機制及操作環境等規格。

表 3.4-1 變頻器之一般規格例 [15]

型號		0.75K	1.5K	2.2K	3.7K	5.5K	7.5K	11K	15K	18.5K	22K
適用馬達容量	HP	1	2	3	5	7.5	10	15	20	25	30
	kW	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	18.5	22
輸出	額定輸出容量 kVA	1.9	3.0	4.2	6.7	9.2	12.6	17.6	23.3	29	34
	額定輸出電流 A	5.0	8.0	11.0	17.5	24.0	33.0	46.0	61.0	76	90
	過電流能力	150% 60 秒 ; 200% 0.5 秒 (反限時特性)									
	最大輸出電壓	3 相 200~230V									
電源	額定電源電壓	3 相 200~230V 50Hz / 60Hz									
	電源電壓容許範圍	180~253V 50Hz / 60Hz									
	電源頻率變動範圍	±5%									
	電源容量 kVA	2.5	4.5	5.5	9.0	12	17	20	28	34	41
保護結構	閉鎖型										
冷卻方式	強制氣冷										
重量 kg	1.3	1.5	2.2	2.2	5.6	5.6	8.3	8.3	20	20	

表 3.4-2 變頻器的規格例 [15]

控制特性	控制方式	SPWM 控制、V/F 控制、無速度感測向量控制(電動機參數自動量測)。	
	輸出頻率範圍	0.2~400 Hz (啟動頻率設定範圍為 0~60 Hz)。	
	頻率設定解析度	數位設定	目標頻率設定在 100 Hz 之內，解析度為 0.01 Hz。 目標頻率設定在 100 Hz 以上時，解析度為 0.1 Hz。
		類比設定	DC 0~5V 信號設定時，解析度為 1/500 ; DC 0~10V 或 4~20 mA 信號設定時，解析度為 1/1000。
輸出頻率	數位設定	最大目標頻率的 ±0.01%。	

精確度	類比設定	最大目標頻率的 $\pm 0.5\%$ 。	
輸出電壓 / 頻率特性		基底電壓、基底頻率可任意設定。 可選擇適用的負載模式。	
啟動轉矩		120%/0.5Hz、150%/3Hz。	
轉矩補償(V/F 控制)		轉矩補償設定範圍 0~30% (Pr0)。	
加減速曲線特性		加減速時間設定範圍 0~3600 秒。 可選擇不同的「加減速曲線」模式。	
直流煞車		直流煞車動作頻率 0~120Hz，直流煞車時間 0~10 秒， 直流煞車能力 0~30%。	
失速防護		可設定失速防止準位 0~200% (Pr22)。	
操作特性	目標頻率設定	操作器設定、DC 0~5V 信號設定、DC 0~10V 信號設定、DC 4~20mA 信號設定、多段速檔位設定。	
	輸入端子	電動機啟動	可使用外部接點(開關)啟動電動機正逆轉或使用操作器啟動電動機正逆轉。
		第二機能	第二加速時間、第二減速時間、第二轉矩補償、第二基底頻率。
		外部積熱電驛輸入	可使用外部積熱電驛，保護電動機。
		緊急停止	可使用外部接點(開關)作為緊急停止開關，能瞬間將變頻器的輸出電壓遮斷。
	輸出端子	重置	可使用外部接點(開關)重置變頻器、或使用操作器重置變頻器。
		運轉狀態檢出	電動機運轉檢出、輸出頻率到達檢出、過負載檢出、零電流檢出、PID 異常檢出，容許負荷 DC 24V 0.1A。
		異警繼電器	異警發生時，變頻器的內部繼電器動作，用以檢出異警發生，容許負荷 DC24V 0.1A。
	儀表	可外接「頻率計數器」或「全刻度為 1mA 的電表」，用以指示輸出頻率或輸出電流，頻率容許負荷電流 1mA，60Hz 時 1440 pulse/秒。	
指示機制	操作器	運轉狀態監視	輸出頻率監視，輸出電流監視，輸出電壓監視，異常紀錄(可累積 4 組紀錄)。
		電動機運轉指示	電動機正轉指示燈、電動機逆轉指示燈。
	變頻器主機	LED 指示燈	電源指示燈(Power)，異警指示燈(Alarm)。
保護機制 / 異警功能		過電流保護，回生過電壓保護，電動機過熱保護，IGBT 模組過熱保護，煞車晶體異常保護，風扇異常保護，漏電流過大保護，低電壓保護等。	
環境	周圍溫度	-10~+50°C (未凍結下)	
	周圍溼度	90% Rh 以下 (未結露下)	
	保存溫度	-20~+65°C	
	周圍環境	室內，無腐蝕性氣體，無易燃性氣體，無易燃性粉塵。	
	震動	5.9m/s <sup>2</sup> (0.6G)以下，符合 JIS C0911 的標準	

## 2.變頻器如何選取？

答：變頻器的選取端視應用要求與預算而定，一般的應用仍以價格低廉的 V/F 控制變頻器為主。要求高精密度的應用則以向量控制變頻器為主要考量。因此列出應用需求及預算之後，可洽詢各大變頻器專業廠家與代理商，根據需求、預算與規格選擇合適的變頻器。舉例某國外變頻器廠牌型錄資料【例】，如圖表 3.4-1 所示。

圖 3.4-1 某國外變頻器廠牌型錄資料【例】



## VLT<sup>®</sup> 6000 HVAC 泵浦 / 風機特性 專用變頻器 1.5 Hp - 600 Hp

### VLT 6000 HVAC 變頻器為您準備哪些內容？

技術先進，性能卓越的 VLT 6000 HVAC 變頻器能夠使您有效地降低能源消耗和運行成本。並且可以在最惡劣的條件下運行（缺相、過熱、主電源波動等）。VLT 6000 HVAC 的設計精巧，能放置於極小的空間。但卻內建有安裝、試車和運行所需的一切部件，您會發現正是這些專業的精湛設計使 VLT 6000 HVAC 變頻器成為泵浦、風機、冷凍空調系統的一項精明的投資。我們確信您會為您的投資感到驕傲。

### 全面的規格

VLT 6000 HVAC 變頻器系列規格可以涵蓋絕大多數客戶的需要：

1.5 Hp - 60 Hp	(200V-240V)
1.5 Hp - 500 Hp	(380V-415V)
1.5 Hp - 600 Hp	(440V-480V)
1.5 Hp - 300 Hp	(525V-600V)

防護等級的設計適應於不同場合的要求：IP00 / IP20 / IP21 / NEMA 1 / IP54 / NEMA12 金屬箱體防護設計。VLT 6000 HVAC 小巧緊湊，允許並排安裝（Side-By-Side），為您節省配電盤空間。

### 諧波與雜訊干擾

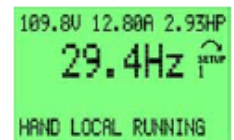
- 內建 2 組 DC 電抗濾波器能夠有效抑制諧波的產生，提高變頻器功率因素不再需要另加功率補償設備。
- 先進的 Soft-switching 技術有效抑制  $dV/dt$ ，減低尖峰突波電壓。最大電纜長度可達 300 米（無屏蔽）或 150 米（有屏蔽）。
- VLT 6000 HVAC 按照 EMC 標準 EN55011 Class 1B / EN61800-3 作為其設計的一個整體部分，並內建 RFI 濾波器<sup>1)</sup>，以防止變頻器操作時對電腦或高靈敏儀器造成雜訊（RFI）干擾。

### 簡單的操作

由於具有自動能量優化功能，自動緩升 / 降功能和馬達自動調諧等功能，因此，VLT 6000 HVAC 能夠在運行中自動調整運行狀態。另外，具備快速表單可快速設定輸出頻率高 / 低限、啓動電流與運轉電流的高限、加速減速時間、馬達資料...等使設定工作變得更輕而易舉。

### 強大的顯示及操作功能

- 大型液晶（LCD）顯示屏可清楚顯示諸如運轉狀態、異常狀態、故障復歸作業提示、I/O 狀態、手動 / 自動模式、故障碼...等資訊，畫面可同時顯示六項馬達操作運轉資訊。
- 現場操作控制器（LCP）：具備熱插拔功能，不會因變頻器於運轉狀態下拔取操作器而發生故障。獨立的手動鍵及自動鍵設計，方便您在現場及遠程控制方式之間進行切換。具有備份及下載功能，完整儲存變頻器的參數，並可快速完成設定程序。



### 特性與功能

- VVC<sup>plus</sup> - PWM 是用於感應馬達轉矩和轉速控制的一種無感測器向量驅動系統。它能夠保證在額定頻率下運行時，馬達得到額定的功率，無需降低額定使用。輸入端電壓  $\pm 10\%$  內，自動補償輸出端電壓至馬達額定電壓。
- 自動能量優化功能（AEO）能夠在各種運行條件下將變頻器的輸出電壓自動調整至馬達的實際負載需要，並進行轉速補償，從而使系統運轉在最佳效率上。
- 馬達自動調諧功能（AMA）可在馬達靜止狀態下測量馬達的關鍵參數。AMA 能保證馬達轉矩的性能達到最佳狀態，自動補償啓動轉矩，可適用於最嚴格的應用場合。
- 飛輪啓動功能（Flying Start）確保順利投入正在旋轉的馬達。
- 自動啓動功能（Auto restart）確保復電後無須重設即可自行啓動。再啓動時間間隔及次數（20 次）均可視需求調整。
- VLT 自動偵測輸入訊號及串列通訊埠，發生異常時可以固定頻率輸出、現在頻率輸出或停機等多重選擇設定。
- 內建睡眠省電功能可在負載過低時自動關閉馬達而在負載上升時重新啓動馬達。

- 自動加減速時間功能可以防止失速，避免不適當的加速或減速時間設定造成電流或電壓異常引發保護跳脫。
- 雙通道的 PID 控制器可以接受多達兩個感測器的回授，設定值和回授信號在控制器中直接規劃並可執行 Max、Min、Sum、Avg、Diff 等邏輯控制功能。
- 載波頻率自動調節功能 (ASFM) 可依負載狀況自動調節載波頻率、提升效率、降低噪音，並允許於馬達運轉中以手動方式調節。
- VLT 自動偵測輸出端以避免發生欠相故障。發生異常時

會顯示故障的相位，縮短維護人員處理時間。

- 自動過熱控制功能在 VLT 超過額定溫升時，立即降低載波頻率。如果這還不夠，它還可以降低輸出功率來維持運行。當市電欠相或市電嚴重不平衡時，變頻器將自動削減輸出功率。
- 運行允許功能可設定檢測第二運行信號，變頻器啟動前可先對周邊設備進行連鎖控制。
- 無載監測功能可執行皮帶異常及濾網骯髒度等監測，節省裝置差壓開關。

## 技術規範

### 電源輸入輸出

電源電壓：	200-240 V, 380-480 V, 525-600 V, $\pm 10\%$
電源頻率：	50 / 60 Hz $\pm 2\text{Hz}$
過載轉矩：	110 % 持續 1 min / 160 % 持續 0.5 sec
功率因數 / $\cos \phi$ ：	0.9 / 1.0
輸出頻率：	0 - 120 Hz 或 0 - 1000 Hz
輸出電壓：	0 - 100% 電源電壓 <sup>2</sup>
輸出切換：	無次數限制
加減速時間：	1~3600 秒自動最佳加減速時間調整
運轉效率：	0.95 以上 (200-240 V) / 0.96 以上 (380-480 V)

### 信號輸入輸出

8 組數位輸入端點：	24 Vdc (max 28 Vdc, $R_i = 2\text{k}\Omega$ )
2 組類比電壓輸入端點：	0 - 10 V (可規劃)
1 組類比電流輸入端點：	0(4) - 20 mA (可規劃)
2 組類比電流輸出端點：	0(4) - 20 mA
1 組數位輸出端點：	0/24 V active
1 組電壓輸出端點：	240 V; 2A, 40 V
1 組專用電源輸出：	24 Vdc / 200mA
內建 RS 485 串列通訊埠：	Danfoss 通信協議
<i>Modbus RTU · Johnson Control N2 和 Siemens FLN 協議 (標準產品)</i>	
<i>可提供 Profibus、DeviceNet 以及 LonWorks (選購)</i>	

### 保護功能

變頻器 100% 接地、短路故障、過熱保護、電壓突波保護
電子式馬達溫昇保護
過電流、過電壓、低電壓保護
電源欠相、極度三相不平衡、電壓突波保護
馬達欠相、過載、欠載、失速保護
內建三段式冷卻風扇及溫度監視系統，延長散熱風扇壽命
4 個跳躍頻率 (可調頻帶寬) 以避免機械的共振
RS 485 通訊中斷保護功能、反饋信號錯誤保護
全部輸入、輸出和控制卡均實行電氣隔離保護、軟體錯誤保護

### 使用環境

環境溫度：	-10°C ~ 40°C (使用變頻器自動降載功能下，最高環境溫度可達 55°C，並持續運轉不跳脫)
存放/運輸溫度：	-25°C ~ 70°C
相對濕度：	95%以下
海拔高度：	1000 m
耐振試驗：	0.7 G (IEC 68-2-34/35/36)

### 品質

符合 CE 及 UL 認證 / ISO 9001 品質認證 / ISO 14001 環保認證
--

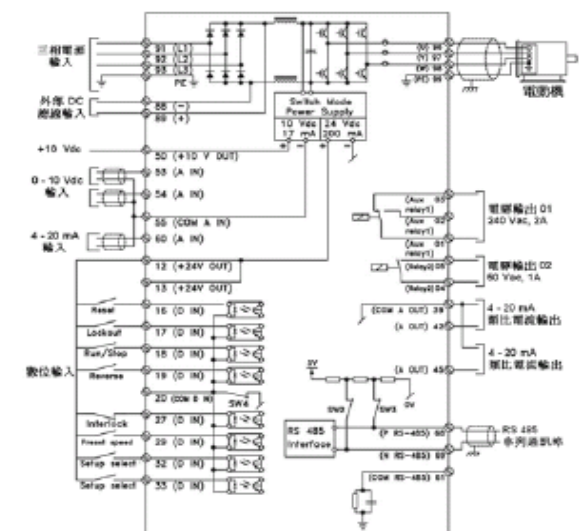
### 使用的 EMC 標準

散射標準：	EN 50081-1/2, EN 61800-3, EN 55011, EN 55014
免疫能力：	EN 50082-1/2, EN 61000-4-2, IEC 1000-4-3, EN 61000-4-4, EN 61000-4-5, ENV 50204, EN 61000-4-6, VDE 0160/1990.12, IEC 801-2-5

### 產地

丹麥 Graasten (125 Hp 或以下) / 美國 Rockford (150 Hp 或以上)

### 控制端子功能表



端子碼	功能
01-03	繼電器輸出，用來輸出變頻器狀態和警告/警報
04-05	繼電器輸出，用來輸出變頻器狀態和警告/警報
12, 13	24 Vdc 電壓電源
16-33	數位輸入
20	數位輸入的公共端子
39	輸出端子的公共端子
42, 45	顯示頻率、參考值、電流或轉矩的類比輸出
50	用於電位器或熱敏電阻的 +10 V 電源電壓
53, 54	類比電壓輸入 0-10 Vdc
55	類比輸入的公共端子
60	類比電流輸入 0/4-20 mA
61	RS 485 串列通信屏蔽層端子
68, 69	RS 485 串列通信

【註】資料來源 <http://www.Danfoss.com.tw>

## 第四章 變頻器工程施工與日常維護

本章主要說明變頻器工程施工與日常維護，主要包含變頻器控制工程施工、變頻器相關的周邊設備、變頻器故障的主要原因及其對策、變頻器本身事故的防止機能、變頻器影響其他電機設備之防止及維護與點檢。

### 4.1 變頻器控制工程施工

#### 1.變頻器控制工程施工的注意事項有那些？

答：圖 4.1-1 所示為本章所列舉之變頻器的實體外觀照片，其主要輸入為三相交流電源，輸出則為一般的交流感應電動機變。安裝配線前應先注意到週遭環境是否符合變頻器運行之規定，其環境規定例如表 4.1-1 所示。



(註：士林電機股份有限公司惠允使用)

圖 4.1-1 變頻器的實體圖【例】

表 4.1-1 安裝配線環境規定例 [1]

環境	周圍溫度	-10 ~ +50°C (未凍結下)
	周圍溼度	90% RH 以下 (未結露下)
	保存溫度	-20 ~ +65°C
	周圍環境	室內，無腐蝕性氣體，無易燃性氣體，無易燃性粉塵
	震動	5.9m/s <sup>2</sup> (0.6G)以下，符合 JIS C0911 的標準

變頻器控制工程施工的注意事項包含[1]：

- (1).週遭溫度：取決於變頻器滿載時所使用之電氣元件最大額定溫度，一般而言，變頻器使用周溫約在-10 ~ +50°C(未凍結下)，保存溫度則在-20 ~ +65°C間。
- (2).周遭濕度：溼度太高，金屬腐蝕速度快，絕緣度就會降低，絕緣度一低，則可能引起故障，一般而言變頻器的使用周圍濕度約在90%Rh 以下(未結露下)。
- (3).周圍環境：若安裝周圍有腐蝕性氣體，則變頻器的入風口易發生腐蝕；若安裝周圍有易燃性氣體，則變頻器於滿載時所發出的熱能有點燃易燃氣體之可能，故一般而言，建議變頻器安裝在無腐蝕性、無易燃性氣體及無易燃性粉塵場所。
- (4).震動度：安裝場所若過度的震動，有造成變頻器內部結構解體之可能，故安裝場所震動度約在 5.9m/s<sup>2</sup> (0.6G)以下。
- (5).安全間距及安裝場所：安裝配線的上下左右間距皆必須符合電氣的安全規定。

## 2.變頻器相關的周邊設備控制工程施工的注意事項有那些？

答：變頻器周邊設備包含：迴路的斷路裝置與煞車電阻等。(1)迴路的斷路裝置用於當短路事故發生時切斷變頻器的電源，選用斷路裝置時其額定電流為電動機額定電流的 1.5 倍以上。(2)煞車電阻則用以消耗電動機於煞車時之回升能量以避免直流鏈電壓過高。(3)變頻器在與周邊設備連接之前，必須先瞭解變頻器所使用的周邊介面及其接線方式，圖 4.1-2 所示為變頻器相關的周邊設備配線圖[1]。

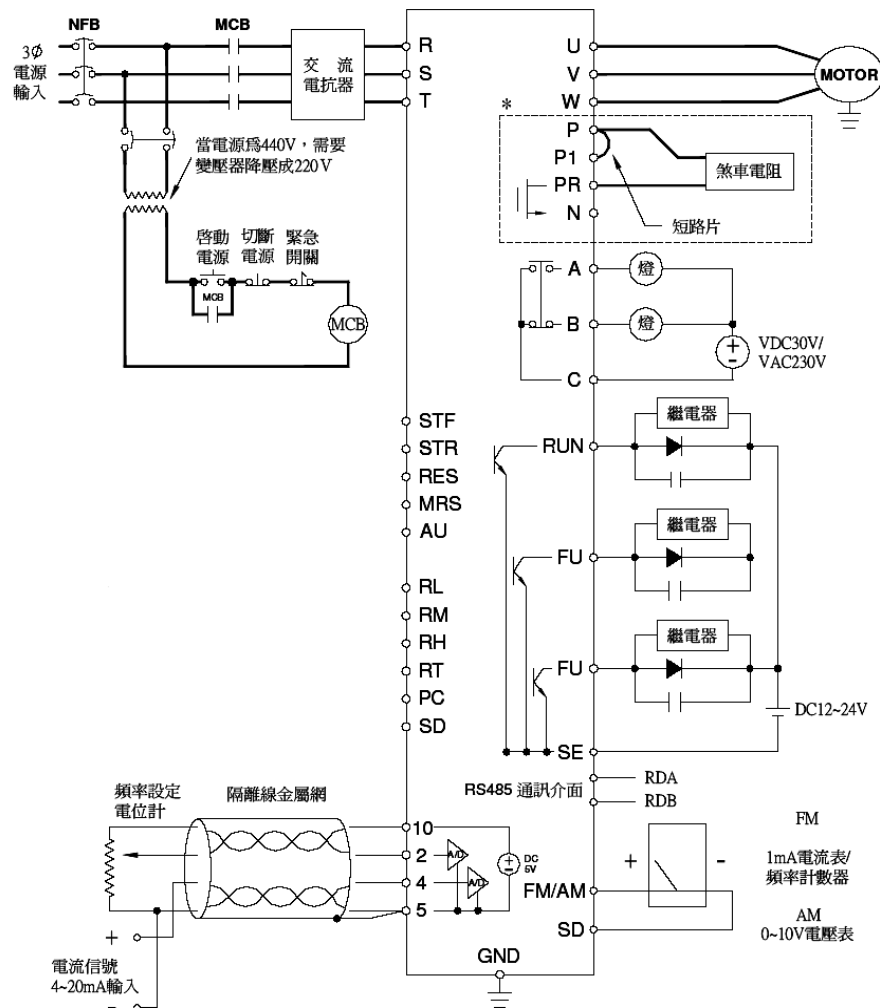


圖 4.1-2 變頻器相關的周邊設備配線例 [1]

變頻器與相關的周邊設備配線需知分別說明如下[1]：

■主迴路端配線：

- (1).嚴禁電源輸入線直接接在變頻器的「電動機接線端子 U-V-W」上，否則將造成變頻器的損壞。
- (2).勿在變頻器的輸出端加裝功因修正進相電容、湧浪抑制器(突波吸收器) 以及電磁接觸器。
- (3).勿使用電源線上的「電磁接觸器」或「無熔絲開關」來啟動與停止電動機。
- (4).變頻器及電動機請確實實施機殼接地，以避免人員感電。
- (5).主迴路配線的線徑、壓接端子的規格、無熔絲開關的規格及電磁接觸器的規格。若變頻器與電動機之間的距離較長時，務必選用壓降在 2%以下較粗的導線。
- (6).電源側及負載側的接線需使用「絕緣套筒壓接端子」。
- (7).電源斷電後，短時間內端子 P-N 間仍有高電壓存在，請勿觸摸以免感電。

■控制迴路端配線：

- (1).類比信號輸入端子所使用的導線必須為隔離線，並將金屬網與圖 4.1-2 所示之端子 5 相接。
- (2).控制板配線，建議使用線徑為  $0.75\text{mm}^2$  的導線。
- (3).控制板配線，請遠離主迴路板配線。嚴格禁止控制板配線與主迴路板配線一起網紮。

### 3.變頻器故障的原因及對策？

答：變頻器故障的原因包含[1-2]：參數設置類故障、過電壓類故障、過電流故障、過載故障與其他故障等。

#### (1).參數設置類故障：

常用變頻器在使用中，是否能滿足系統的要求，變頻器的參數設置非常重要，如果參數設置不正確，會導致變頻器不能正常工作。一般變頻器出廠時，廠家對每一個參數都有一個預設值，這些參數叫工廠值。在這些參數值的情況下，用戶能夠以面板操作方式正常運作，但面板操作往往無法滿足大多數系統的要求。所以，為了使確保用戶正確設置變頻器參數，必須對變頻器參數有下列的認知：

- A.確認電機參數，依據電動機銘牌資料設定變頻器參數中的電動機的功率、電流、電壓、轉速及最大頻率等。
- B.依據變頻器採取的控制方式，即速度控制、轉矩控制、PID控制或其他方式，設定變頻器參數。設定控制方式後，一般需要進行靜態或動態辨識，以達到控制精確度。
- C.設定變頻器的啟動方式，一般變頻器在出廠時，設定從面板啟動，用戶可以根據實際情況選擇啟動方式，可以用面板、外部端子、通訊介面等方式啟動變頻器。
- D.給定信號的選擇，一般變頻器的頻率設定也有多種給定方式，面板設定、外部設定、外部電壓或電流設定、通訊方式設定。正確設置以上參數之後，變頻器基本上能正常工作，如要獲得更好的控制效果則只能根據實際情況修改相關參數。
- E.參數設置類故障的處理：一旦發生了參數設置類故障後，變頻器都不能正常運行，一般可根據說明書進行修改參數。如果

均無法排除故障，則將所有參數恢復至出廠預設值，然後按上述步驟重新設置。

(2).過電壓類故障：

變頻器來說，都有一個正常的工作電壓範圍，當電壓超過這個範圍時很可能損壞變頻器，常見的過電壓有兩類。

A.輸入交流電源過壓：指輸入電壓超過正常範圍，一般發生在節假日負載較輕，電壓升高或降低而線路出現故障，此時最好斷開電源，檢查、處理。

B.發電類過電壓：這種情況出現的機率較高，主要是電動機的同步轉速比實際轉速還高，使電動機處於發電狀態，而變頻器又沒有安裝制動單元，有兩起情況可以引起這一故障。

a.當變頻器拖動大慣性負載時，其減速時間設的比較小，在減速過程中，變頻器輸出的速度比較快，而負載靠本身阻力減速比較慢，使負載拖動電動機的轉速比變頻器輸出的頻率所對應的轉速還要高，電動機處於發電狀態，而變頻器沒有能量回收單元，因而變頻器直流回路電壓升高，超出保護值，出現故障；要處理這種故障可以裝配煞車單元，或者修改變頻器參數，把變頻器減速時間設的長一些。增加煞車單元包括能量消耗型，並聯直流吸收型、能量回饋型。能量消耗型在變頻器直流回路中並聯一個煞車電阻，通過檢測直流電壓來控制煞車晶體的開關。並聯直流吸收型使用在多電動機傳動系統上，這種系統往往有一台或多台電動機經常工作於發電狀態，產生再生能量，這些能量通過並聯於電動狀態的電動機吸收。能量回饋型的變頻器中的變流器是可逆的，當有再生能量產生時，可逆變流器就將再生能量回饋給電網。

b.多個電動機拖動同一個負載時，也可能出現這一故障，主要由於沒有負荷分配引起的。以兩台電動機拖動一個負載為例，當一台電動機的實際轉速大於另一台電動機的同步轉速時，則轉速高的電動機相當於原動機，轉速低的處於發電狀態，引起故障。處理時只需將負荷分配得宜即可。

(3).過流故障：

過流故障可分為加速、減速與定速過電流。其可能是由於變頻器的加減速時間太短、負載發生突變、負荷分配不均及輸出短路等原因引起的。

過流故障一般可藉由延長加減速時間、減少負荷的突變、外加能耗煞車元件、進行負荷分配設計及檢查線路加以排除。

(4).過載故障：

過載故障包括變頻過載和電動機過載。其可能是加速時間太短、直流電壓過高、電網中電壓太低及負載過重等原因引起的。

過載故障可藉由延長加速時間與檢查電網電壓等加以排除。負載過重所造成的過載故障，係由選的電動機和變頻器無法拖動該負載，或是由於機械潤滑度不好所引起。前者則必須更換大馬力的電動機和變頻器；後者則必須檢修生產機械。

(5).其他故障：

A.欠壓：變頻器電源輸入部分有欠壓問題，需檢查後才可以運行。

B.溫度過高：如電動機有溫度檢測裝置，檢查電動機的散熱情況；變頻器溫度過高，檢查變頻器的通風情況。

#### 4.變頻器本身事故防止機能有那些？

答：變頻器本身事故防止機能包含過電流保護、回生過電壓保護、電動機過熱保護、IGBT 模組過熱保護、煞車晶體異常保護、風扇異常保

護、漏電流過大保護及低電壓保護等。過去”容易跳脫”的印象，拜電力電子與微控器技術的進步，目前的變頻器大多具有上列之精準的事故防止機能。

### 5.變頻器影響其他電機設備之防止？

答：一般而言，工業界所謂的變頻器包含圖 4.1-3 所示的交流/直流轉換器與直流/交流轉換器等。其中交流/直流轉換器一般為由整流二極體所組成之整流器(Rectifier)，對於如圖 4.1-4(A)所示的交流輸入電源而言，其直流鏈的電壓如圖 4.1.4(B)所示的輸出直流電壓。如圖 4.1.4(B)所示在一個輸入電源交流週期內輸出電壓具有六個脈波，因此一般亦稱此種整流器為六脈波整流器(Six-Pulse Rectifier)。加入直流鏈電容後將使得輸出具有更為平滑的輸出電壓。其輸入電流波形則因為六脈波整流斷續導通之故，使得電流呈現畸變(Distortion)，造成諧波(Harmonics)與電源電力品質問題。

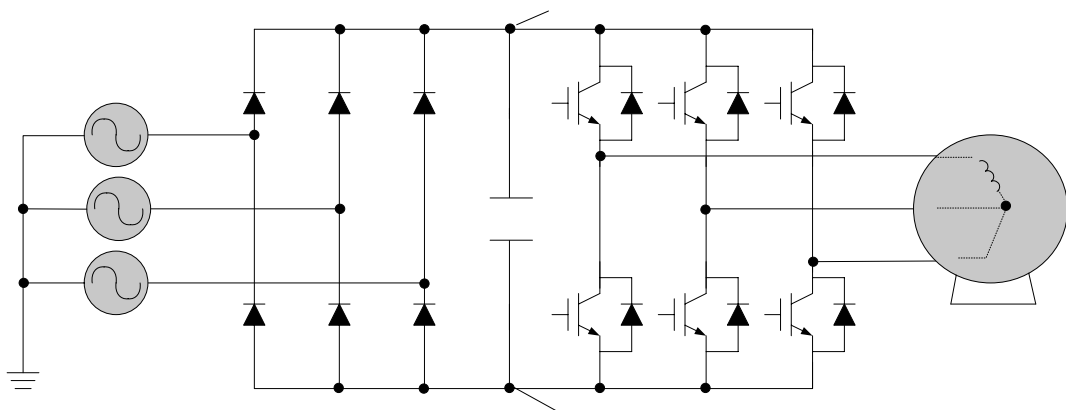
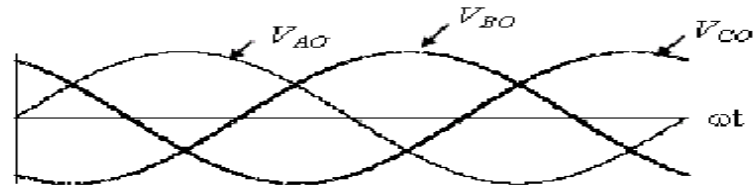
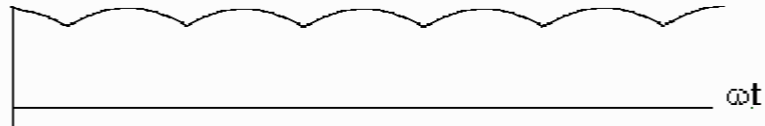


圖 4.1-3 現有中小型之三相變頻器基本方塊圖



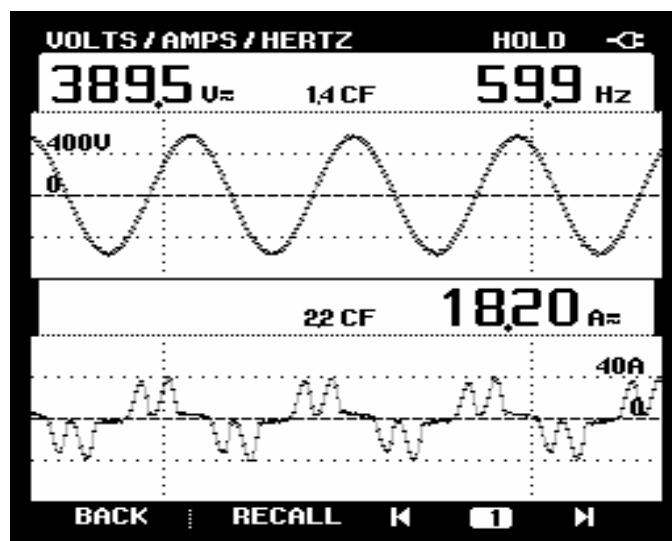
(A). 三相交流輸入電源



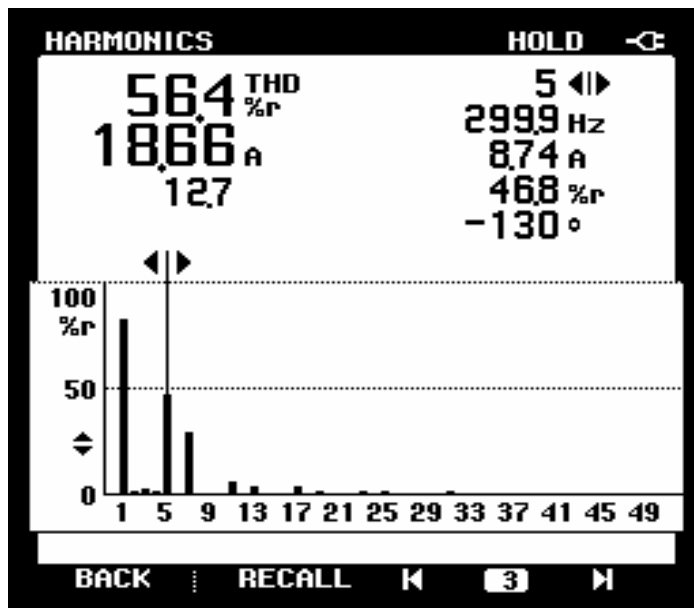
(B). 直流鏈負電壓端參考於零電位之輸出波形

圖 4.1-4 六脈波整流器波形

圖 4.1-5 所示為一實際應用於驅動大樓電梯馬達並且具有六脈波整流器之變頻器的實測波形[3]，其中圖 4.1-5(A)上軌為輸入正弦電壓波形，其下軌為輸入側畸變電流波形。利用傅立葉(Fourier)分析得到輸入側電流頻譜與總諧波失真，詳如圖 4.1-5(B)所示。由圖 4.1-5(B)可以得知此變頻器電流總諧波失真高達 56.4%，而且其 5 次諧波量高達 46.8%。



(A). 上軌為輸入正弦電壓波形，下軌為輸入的畸變電流波形



(B).電流頻譜與總諧波失真

圖 4.1-5 具有六脈波整流器之變頻器的實測波形[3]

防制諧波的方法包含使用多年的被動式濾波器(Passive Filter)、最近研發上市的主動式濾波器與結合被動與主動的混合式濾波器(Hybrid Filter)。使用串聯電抗器係在三相交流電源與六脈波整流器之間串聯電抗器，詳如圖 4.1-6 所示。圖 4.1-7 顯示依實際量測結果，為改變串聯電抗器值所得到的電源測電流波形，串聯電抗器， $L_s$ ，愈大則電源側的電流波形越接近正弦。串聯電抗器， $L_s$ ，愈大則電源側的電流波形諧波越低。表 4.1-2 詳列串聯電抗器對電源測電流諧波的影響，當串聯電抗器增加至  $600 \mu\text{H}$  時，總諧波失真與 5 次諧波分別可以由不加串聯電抗器時的 84.9%與 68.9%，減少至 22.35%與 20.69%。

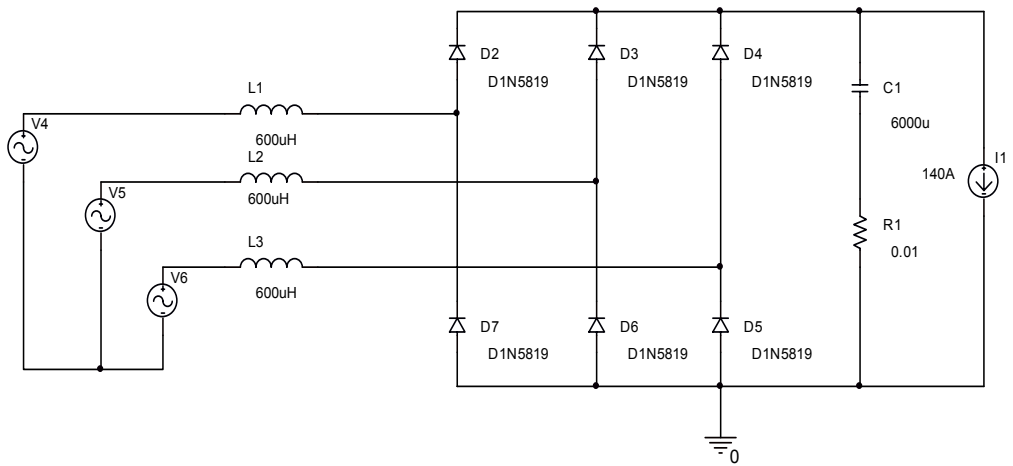
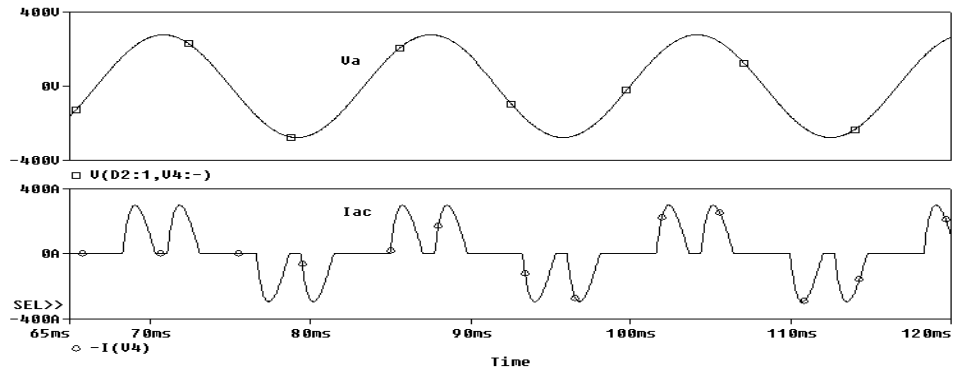
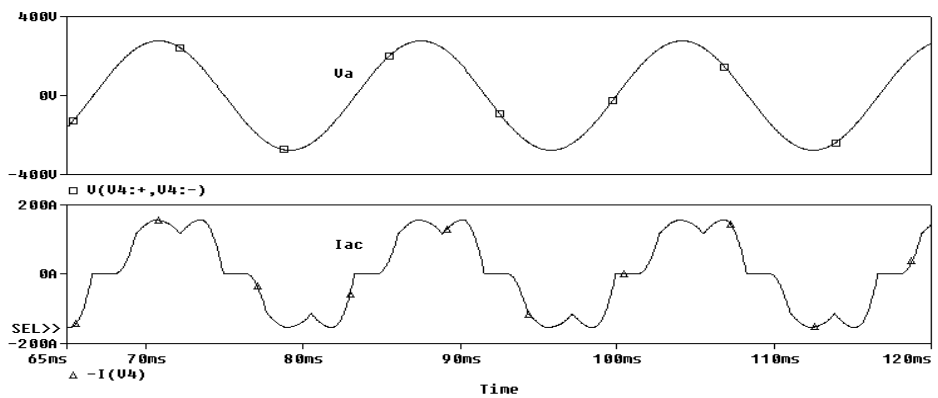


圖 4.1-6 使用串聯電抗器之六脈波整流器



(A)  $L_s = 0$



(B)  $L_s = 600 \mu\text{H}$

圖 4.1-7 不同之串聯電抗器值的電源測電壓(上軌)與電流(下軌)波形

表 4.1-2 串聯電抗器對電源測電流諧波的影響

Ls (μH)	THD	5 次諧波	7 次諧波	11 次諧波	13 次諧波
0	84.09%	68.9%	45.37%	8.98%	8.58%
60	68.72%	59.68%	32.85%	4.65%	6.44%
600	22.35%	20.69%	7.34%	2.82%	2.34%

## 4.2 變頻器日常維護

### 1. 變頻器日常維護與點檢項目那些？

答：為防止因為溫度、油霧、塵埃、震動及濕氣等環境因素，導致零件老化所引發的故障問題與安全問題，使用變頻器時，應確實實施「日常檢查」與「定期檢查」 [1]；只有合格的電機專業人員才可以實施安裝、配線、拆卸及保養。

#### (1). 日常檢查項目：

- A. 安裝的週遭環境是否異常 (變頻器周圍溫度、溼度、塵埃密度等)。
- B. 電源電壓是否正常。
- C. 配線是否牢固。
- D. 冷卻系統是否異常 (運轉時風扇是否有異常聲音)。
- E. 指示燈是否異常 (控制板、操作器、操作器監視幕的 LED，是否正常)。
- F. 是否如預期般的運轉。
- G. 電動機運轉時是否有異常震動、異常聲音、異味發生。
- H. 電容板上的濾波電容是否有液漏現象。

#### (2). 定期檢查(停機檢查)項目：

- A.檢查連接器、連接線是否異常 (檢查電源板與控制板之間連接線是否牢固、是否損壞)。
- B.確實清掃變頻器本體上的灰塵與異物。
- C.檢測絕緣電阻。
- D.冷卻系統是否異常(連接線是否牢固、請確實清掃空氣過濾器、風道)。
- E.檢查固定裝置是否牢固，螺絲是否固定鎖緊。
- F.檢查外部導線與端子台是否有破損。

(3).部品(零件)的定期更換：

變頻器安裝配線環境規定例 [1] ，如表 4.2-1 所示，為了維持良好的操作狀態，變頻器部品(零件)必須定期更換。

表 4.2-1 變頻器安裝配線環境規定例 [1]

部品名稱	標準更換年限	說明
變頻器 冷卻風扇	2 年	冷卻風扇軸承壽命，在規格值內，大約為 1~3.5 萬小時，以每日 24 小時運轉，大約是每兩年需要更新一次。
濾波電容	5 年	濾波電容屬於電解電容器，經年累月使用會有劣化的可能，其劣化程度取決於環境的狀況，一般而言大約 5 年更換一次。
繼電器類	---	如果發生接觸不良，請立即更換。

## 第五章 變頻器在空調冰水系統之節能應用

本章主要說明變頻器在空調冰水系統之節能應用，包含變頻器在空調送水系統之節能原理、空調變水量系統(VWV)之節能控制原理、變頻泵與變頻器之匹配與選用與應用例。

### 5-1 變頻器在空調送水系統之節能原理

#### 1. 水泵之水泵性能曲線與運轉特性為何？

答：(1).由水泵性能曲線可看出水泵運轉時，流量與揚程(水頭)之關係，如圖 5.1-1 所示，虛線代表水路系統性能曲線，用以描述水流量與管線壓降之關係，當水泵運轉之揚程與流量等於在系統管線內之壓降與水流量時，即代表水泵之運轉點，也就是如圖 5.1-1 所示水泵性能曲線與水路系統性能曲線之交點。因此，當水路系統之閥件改變開度時，將影響系統性能曲線，並且改變水泵之運轉點。

(2).水泵之運轉特性可以依照泵浦定律(Pump Affinity Laws)得知水量(Q)、揚程(H)、轉速(N)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。

故降低泵的轉速既可降低揚程及流量，更可大量的降低耗電量。依照泵浦定律，耗電與流量成三次方正比關係，因此省能的效益相當可觀。

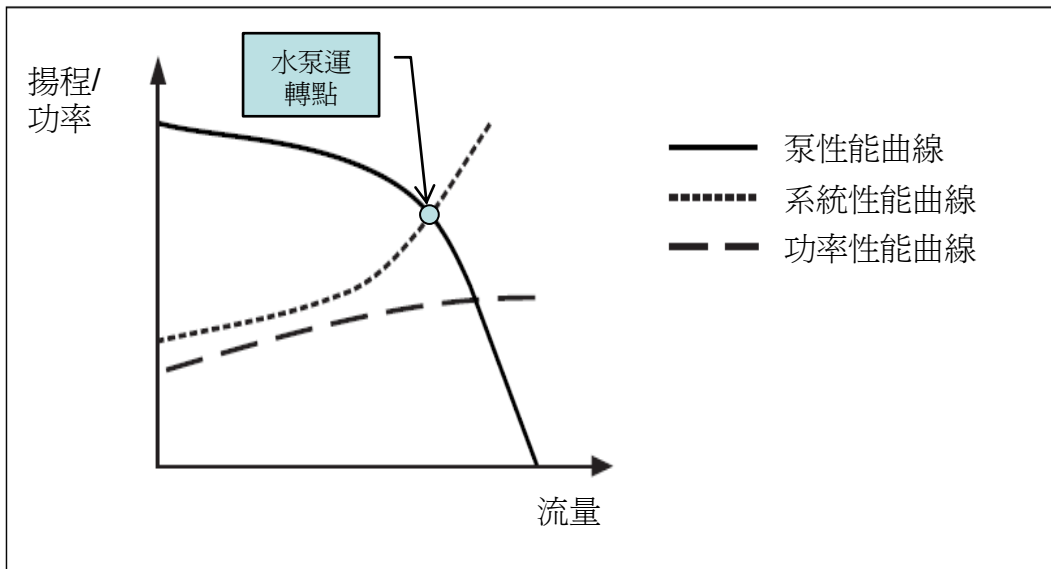


圖 5.1-1 水泵性能曲線

## 2. 水泵流量之調整方法對於耗能之影響為何？

答：對於一個水路系統而言，欲調整其流量以符合使用需求，可使用的方法包含節流、旁通、關斷及變頻控制等，如圖 5.1-2 及圖 5.1-3 所示。這 4 種流量調整方法之原理比較，詳細說明如下：

- (1). 節流閥關小法：將節流閥關小，單位水流量之壓損增加，因此在相同的流量條件下，節流閥關小調整後的系統性能曲線比原來的性能曲線斜率陡，使得系統與水泵性能曲線之交點往上移動，而得到較小流量較高揚程之運轉點。水泵之耗電量(kW)等於體積流率( $m^3/s$ )與壓降(kPa)之乘積，雖然藉由節流閥關小可獲得降低流量之效果，但也相對提升水泵之運轉揚程，因此水泵無法獲得明顯之節能效果。
- (2). 旁通管路法：利用旁通管路將部分水泵吐出水量旁通回到水泵入口，可降低輸送至使用端的水量，但是因為旁通使得水路系統之壓損減小，故旁通調整後的系統性能曲線斜率較緩，使得系統

與水泵性能曲線之交點往下移動，而得到較大水泵總流量，及較低揚程之運轉點。雖然藉由旁通可獲得降低使用端之水量以及降低水泵運轉揚程效果，但也相對提升水泵之總流量，因此水泵無法獲得明顯之節能效果。

(3).起停關斷控制方法：可降低水泵使用時數，但使用性欠佳，控制不精確，水量不穩定，起停頻繁將增加機件耗損率。

(4).變頻控制法：利用泵浦定律，將水泵轉速降低，水泵性能曲線約以平行於原曲線的方式往下移動，使得系統與水泵性能曲線之交點往下移動，而同時得到較低的水泵流量及較低的揚程之運轉點，根據泵浦定律，水泵耗電與轉速或流量成三次方正比關係，因此大量節能耗電，並且其運轉效率可約維持與滿載運轉點的效率相同。

綜合以上之說明，並且由圖 5.1-3 及圖 5.1-4 各種流量調整方法之耗能比較可知，變頻控制之節能效果顯著，相對於節流閥流量調整方法可達 50% 以上。因此，以下將說明變頻器在空調冰水系統之節能應用與應用案例解說。

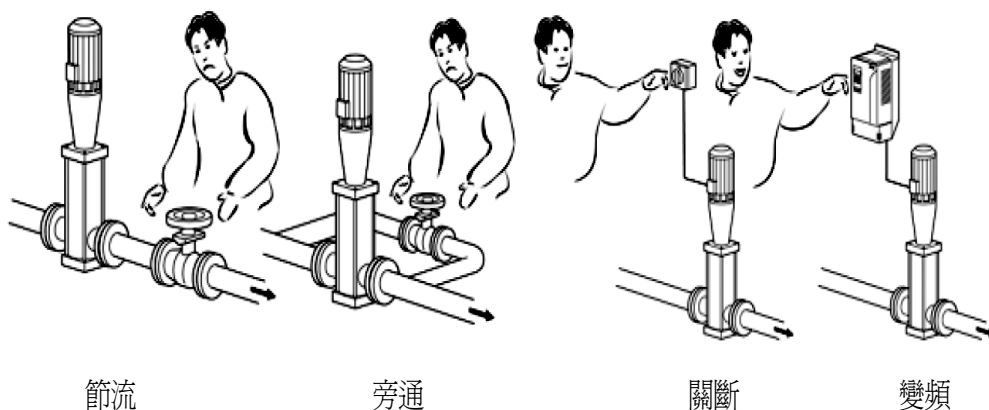


圖 5.1-2 流量調整方法

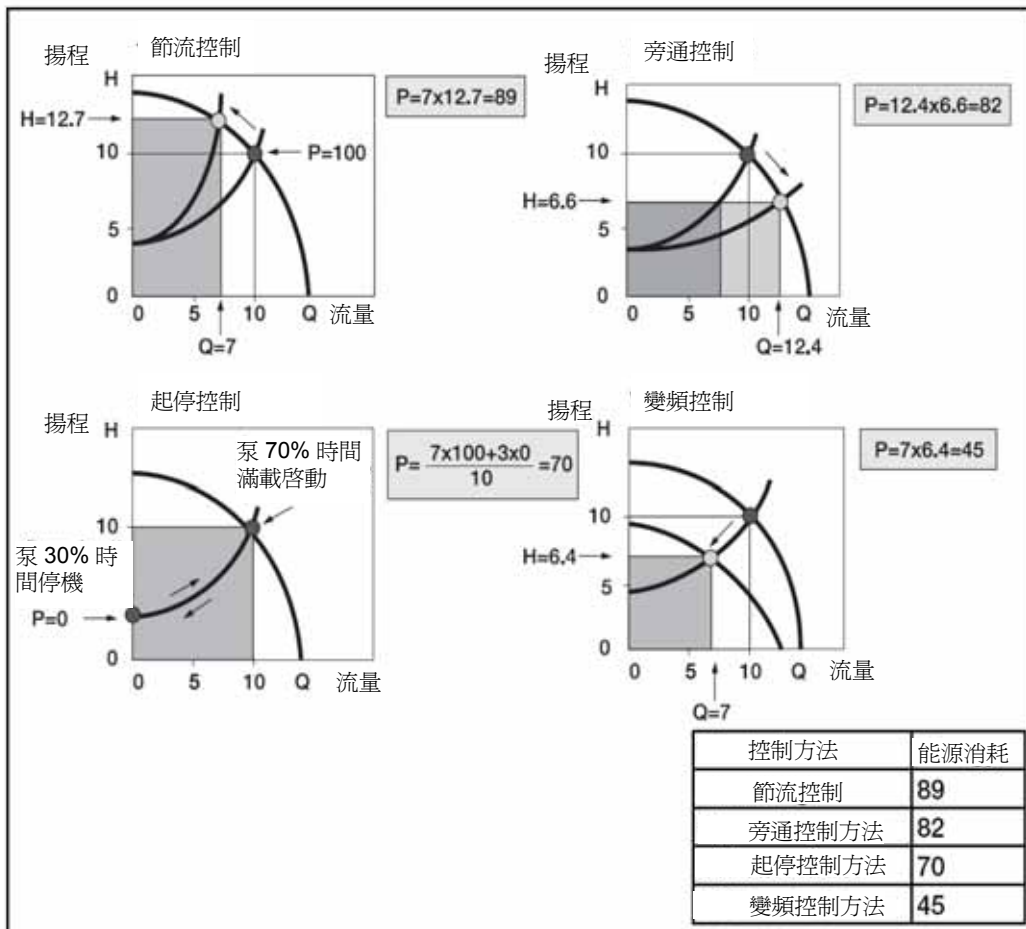


圖 5.1-3 四種流量調整方法之原理比較

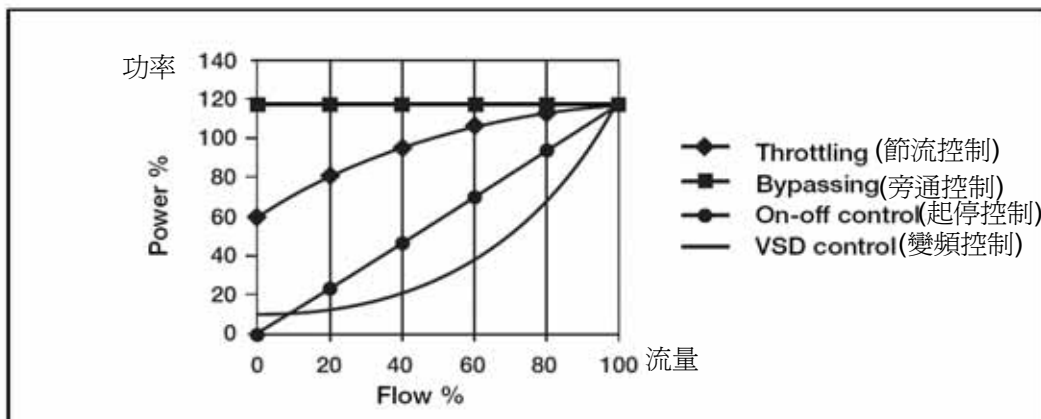


圖 5.1-4 各種流量調整方法之耗能比較

## 5-2 空調變水量冰水系統設計與變頻控制

### 1. 空調冰水定流量系統(CWV)運轉特性為何？

- 答：(1).傳統上空調冰水系統之送水迴路會採用三通閥來控制進入送風機冰水盤管之冰水量，以維持適當之空調送風溫度，並且確保冰水主機蒸發器之流通水量維持固定。如圖 5.2-1 所示之系統，是具有兩台冰水機及四台採用三通閥控制的空調箱(Air-Handling Unit, 簡稱 AHU)之空調冰水系統，空調箱利用冰水主機所提供之 7 °C 冰水以冷卻建築空間。
- (2).在全載時，AHU 吸收空間熱負荷，而被空間熱空氣所加熱後之冰水約以 12°C 之狀態重新回到冰水機系統，然後冰水主機藉由蒸發器冷卻 12°C 冰水，並控制約 7 °C 之冰水出水，再藉由冰水泵將冰水輸送至 AHU，AHU 入口處三通閥完全開啟通往 AHU 冰水盤管之通路，以確保百分之百的冰水進入 AHU 冰水盤管，提供最大之空調冷卻能力。然而，當建築空間對於 AHU 提供的空調冷卻需求量降低時，必須減少進入 AHU 冰水盤管之冰水量，此時三通閥適度增加其旁通迴路之流量，以降低流通 AHU 冰水盤管之冰水流量。
- (3).旁通之 7°C 冰水與流出冰水盤管之 12°C 溫水混合後之回水水量維持和全載運轉時相同的流量，但是此時重新流入冰水主機蒸發器的混合冰水溫度低於全載時之 12°C，若冰水主機繼續維持在原有之冷凍能力，則蒸發器之冰水出水溫度將會低於正常之 7°C 的設定值。
- (4).為了確保空調系統之正常運作，當冰水主機感測蒸發器出水溫度低於正常設定值時，必須適度降低壓縮機運轉台數或是進行降載

運轉。如圖 5.2-1 之系統特徵是採用三通閥控制 AHU 冰水量，故連接冰水主機與空氣側之水路幹管內的總體水流量維持固定，因此稱之為定流量系統(Constant Water Volume System, 簡稱 CWV)。

## 2. 空調冰水變流量系統(VWV)運轉特性為何？

- 答：(1). 如圖 5.2-2 所示之空調冰水系統為變流量系統(Variable Water Volume System, 簡稱 VWV)，相對於 CWV 系統，VWV 系統會隨著建築空間之空調冷卻需求，而調整連接冰水主機與空氣側之水路幹管內的總冰水流量。VWV 系統特徵是採用二通閥來控制進入送風機冰水盤管之冰水量，有別於 CWV 系統之三通閥設計。
- (2). 再者，VWV 系統也具有藉由變頻器控制之可變轉速的冰水泵，如前所述，通常冰主主機提供 7°C 之供水給送風機冰水盤管，以及接受從送風機冰水盤管回來之 12°C 溫水，當建築所需之空調冷卻負載降低時，部分二通閥關閉或減小開度，以降低進入送風機冰水盤管之冰水量，與此同時 VWV 系統之冰水泵控制系統將藉由差壓感測器感測到冰水幹管內因部分二通閥關閉或減小開度所造成之壓力差上升，當壓力差上升到正常設定值時，控制器命令變頻器降低冰水泵之轉速，如此 VWV 系統可因空調負載降低，控制冰水幹管較低的水流量及伴隨較低的水流動阻抗，而獲得冰水泵之節能效果。
- (3). VWV 系統可分為一次側變流量系統(Primary Only VPF)及二次側變流量系統(Primary-Secondary VWV)，如圖 5.2-2 所示之空調冰水系統屬於一般業界較常使用的二次變流量系統，由系統流程圖可看到二次變流量系統具有一次側冰水泵與二次側冰水泵，以及其對應之可各自獨立運作的二個冰水迴路。一次側冰水泵迴路

與二次側冰水泵迴路是藉由共通管連接，以保持若即若離之關係。該系統之一次側冰水泵為定轉速，二次側冰水泵則可依送風機冰水盤管之水量需求進行轉速調整，以降低冰水幹管總體的水流量。當空調冷卻需求全載時，二次側冰水泵以最高設計轉速運轉，引入一次側泵迴路所提供之全部冰水流量，因此共通管內沒有水流動；反之，當空調冷卻需求降低時，二次側冰水泵降低轉速運轉，只引入一次側泵迴路所提供之局部水流量，因此有部分一次側泵送出的 7°C 冰水由此共通管旁通並且與 12°C 回水混合，重新回到一次側泵之入口，與此同時冰水主機亦將感受較低之回水溫度或冷卻需求，以適度進行卸載動作，確保 7°C 之冰水出水溫度。

(4).如圖 5.2-3 所示之系統則為一次側變流量空調冰水系統(VPF)，相對於二次側變流量系統而言，一次變流量系統只有一次側泵，也就是省略二次泵之設計，並且直接以一次側泵進行變頻控制。因此，一次側變流量空調冰水系統具有更高之節能潛力、節省初置成本、較低之機房空間需求。為了確保冰水主機之安全運轉，流通冰水主機之水量有一極限低值，因此，一次側變流量系統必須設置旁通管。當空氣側之冰水需求量降到某一設定值時，冰水泵不允繼續降低轉速，因此須開啟旁通管之控制閥，讓多餘之冰水由旁通管回流至冰水主機。通常可利用流量計或是由冰水主機之冰水進出口的壓差推算流量，決定旁通管控制閥之開度。

(5).不論是一次側或二次側變流量系統，旁通閥或旁通管應該可能安裝在水泵附近，以使旁通水流之壓降減至最小，可將水泵耗能減至最低。另一方面，將旁通閥安裝在水泵附近也能降低控制系統成本，因為距離較遠的閥口的位置需要另增加控制線路安裝費。

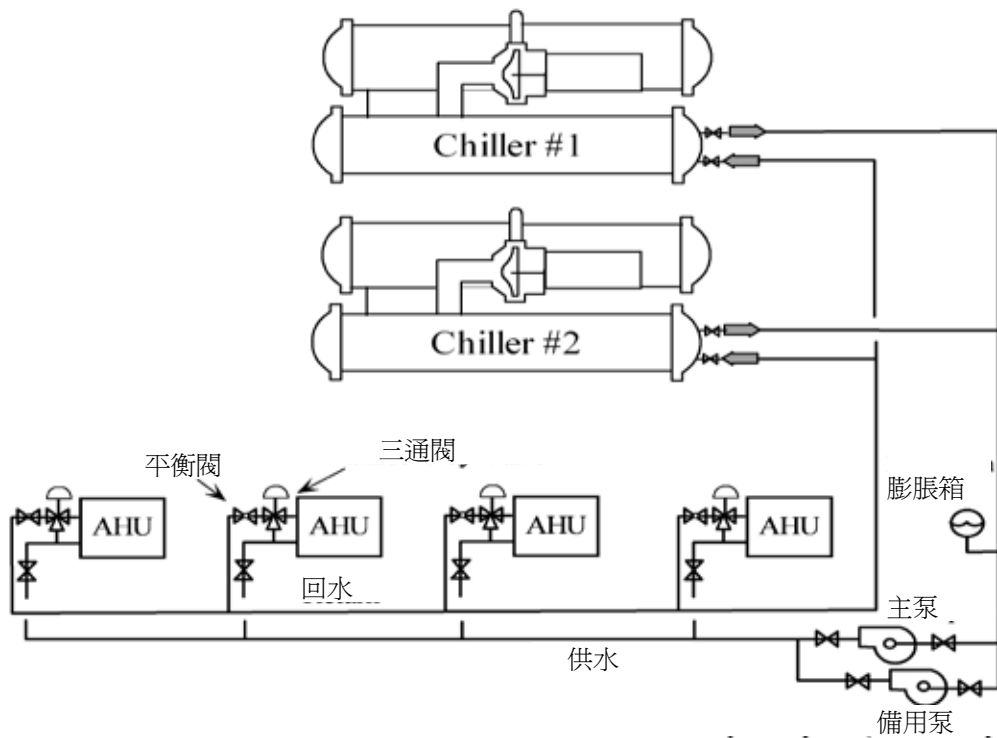


圖 5.2-1 定流量空調冰水系統(CWW)

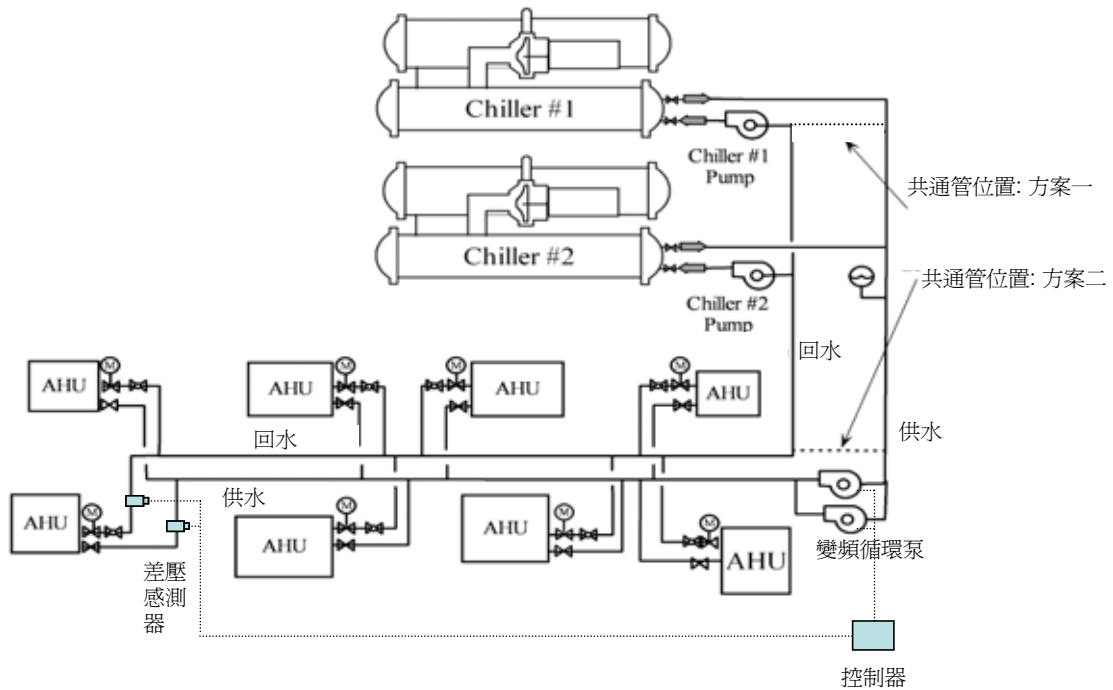


圖 5.2-2 二次側變流量空調冰水系統(Primary-Secondary VWV)

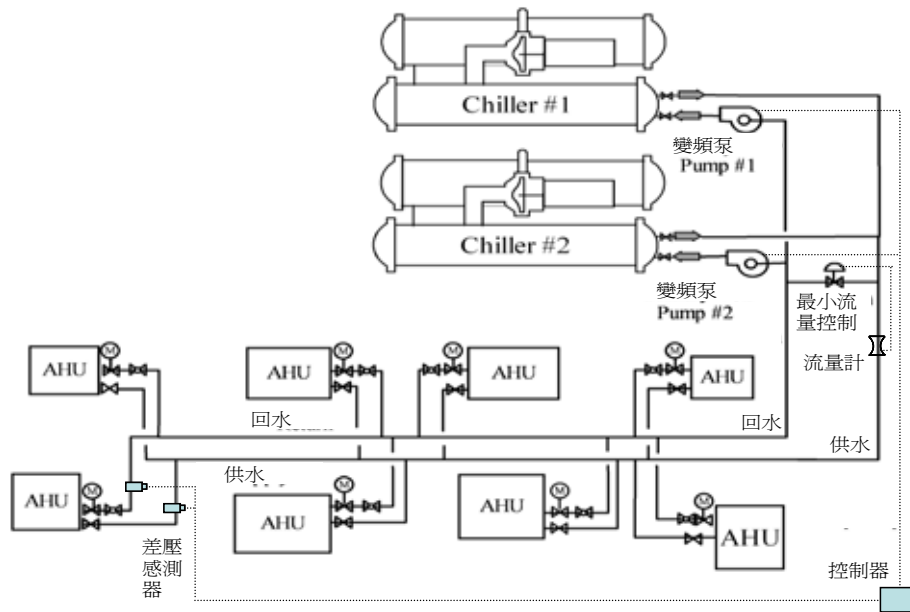


圖 5.2-3 一次側變流量空調冰水系統(Variable Primary Flow, VPF)

**3.在 VWV 變流量系統之旁通共通管安裝位置對於冰水主機的卸載有何影響?**

答：如圖 5.2-2 所示，採用方案二之旁通共通管位置的安裝方法，因一次側多餘冰水旁通回流後，與二次測回水混合，然後分配至各台冰水主機，若各台冰水主機之冰水流量分配均勻且沒有其他特別之台數控制策略時，則各台冰水主機皆感受相同之負載，因此冰水主機將會同步進行卸載；反之若採用方案二之旁通共通管位置的安裝方法，較靠近旁通共通管的冰水主機(Chiller #1)將會優先進行卸載或最後進載。

**4.如何考慮變流量系統變頻控制之冰水幹管差壓感測器安裝的位置?**

答：如圖 5.2-2 及圖 5.2-3 所示，差壓量測點應位於最遠端的熱交換器或熱交換器最大差壓需求的地方，當差壓量測點愈靠近泵，則泵可調整之範圍愈小，節能效益愈低。

## 5-3 空調變水量冰水系統優缺點比較

### 1. 空調冰水一次側變流量系統的優點為何？

答：與慣用的二次側變流量系統比較起來，一次側變流量系統的優點包括：

- (1). 初期費用較低。除了不使用二次泵之外，也因此少了相關附屬配件、隔震、啟動裝置、電力線路、控制...等等。這些節省下來的錢部分抵消了一次側變流量系統變速控制的高花費、旁通閥及連結控制的花費。
- (2). 空間需求較低。也是由於不使用二次泵，而大幅減少機房空間需求，但節省效果則取決於管路配置及空間安排。
- (3). 減少水泵馬達設計電力及大小。其原因為：
  - 第一，沒有使用二次泵必須的額外設備(關斷閥、過濾器、抽吸擴散口、逆止閥、集管...等)，因此得以降低壓力損失。
  - 第二，因為二次側變流量系統之一次側水泵在系統中經常運轉在高流率、低揚程之低效率運轉範圍，因此就大部份情況而言，一次側水泵變頻控制之水泵平均效率，高於二次側變流量系統。
- (4). 較低的水泵耗能。主要由於一次側變流量系統減少水泵需求量，另一原因則是其系統運轉特性更接近”立方定律”的節能原理。對二次側變流量系統來說，一次側循環水泵是與每個冰水主機連動運轉，較不受系統水量變化而變化，因此由圖 5.3-1 可看出二者之耗能差異。圖 5.3-1 所示節能比較之系統案例共具有三組冰水機組，故其系統總流量約可降低至 10%。

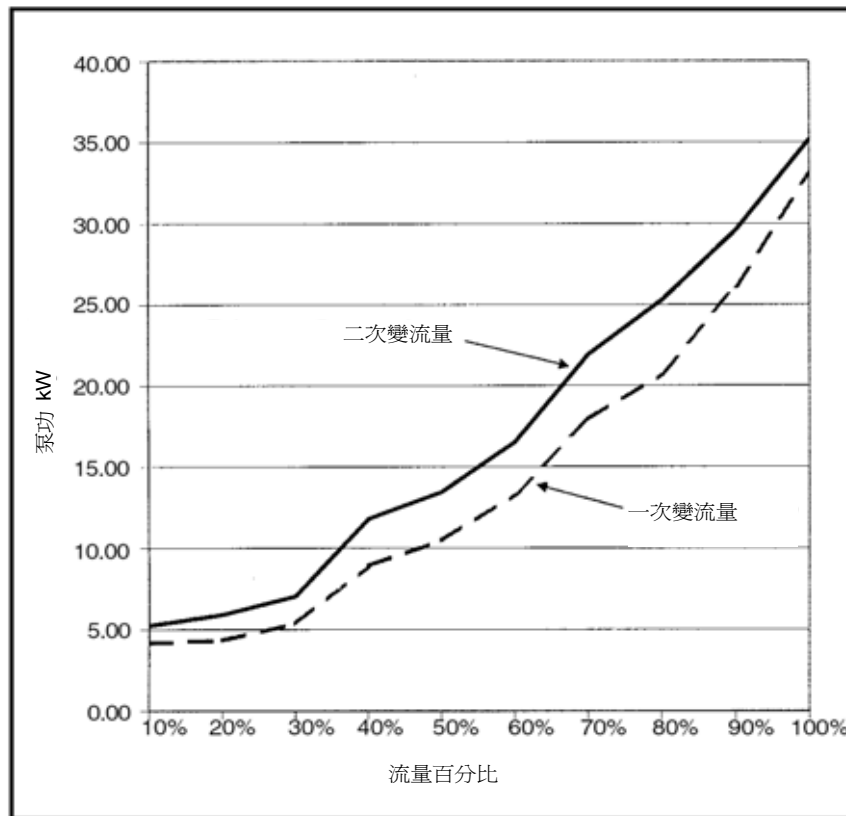


圖 5.3-1 二次側變流量與一次側變流量之水泵耗能比較[1]

## 2. 空調冰水一次側變流量系統缺點為何？

答：一次側變流量系統除了如前所述的許多優點之外，一次側系統具有兩個值得注意的缺點：一、旁通控制的複雜性和可能有失敗的風險；二、主機運轉的複雜性和可能有失敗的風險。二次側變流量系統不需要複雜的運轉控制，且不需要旁通控制，大部分皆有自動防護。因此，一次側變流量系統，除非有其他特殊原因，否則應比較適合以下場合：

- (1). 多主機的設置(多於三台)且具相當高的基本負載，可能為產業應用。這種設置，由於高基本負載，不太需要旁通或不存在旁通條件，因為多台主機，運轉期間流量變化也是相當小的。
- (2). 設計工程師及現場操作員理解控制的複雜度以及維修能力。

(3).對於可自動防護(可限制流量不可降低非成度範圍者)或沒有熟練操作員的建築案例，二次泵系統可能是較好的選擇。(註：中國已將 VPF 列入節能標章中)

## 5-4 變頻泵與變頻器之匹配與選用

### 1.空調選用變頻水泵需考慮之原則與條件為何？

答：選用變頻水泵需考慮之原則與條件如下：

- (1).決定水泵使用環境條件
- (2).計算水泵所需水流率、水泵入口壓力、水泵吐出壓力，並考慮其可能變動範圍。
- (3)水泵機殼可耐受之最大差壓。
- (4).關於特殊之啟動、停止及其他可能之運轉條件。
- (5).包含密度、溫度等流體之規格。
- (6).水泵之構造材料。
- (7).系統設計描述，例如：單機、併聯運轉或串連運轉。

在以上所述條件的前提下，可能會有很多水泵型號符合需求，因此有時仍必須考量其他因素，方有最終之決定。例如，選用較高轉速之水泵，通常初置費用較低；而選用較低轉速水泵，維修費較低。因此，必要時，設計者必須考慮更為詳細之成本效益與使用性。

### 2.空調水泵選取之步驟為何？

答：若某應用案例所需之水量為 300L/s，所需揚程為 30m，以下將舉例說明水泵選取之步驟[2]：

- (1).選定可涵蓋水量 300L/s，需揚程為 30m 之各型式水泵，如圖 5.4-1 所示。

- (2).由水量①及揚程②決定水泵之運轉點。
- (3).選用運轉點落在較高效率區域之水泵，如圖 5.4-1 所示，其運轉效率落在較高之區域，約為 85%。
- (4).由運轉點③可讀取其轉速約為 1,400 rpm。
- (5).由運轉點垂直往下延伸至轉速 1,400 rpm 之運轉功率曲線，獲得交點④。
- (6).由交點往左水平方向，讀取此款水泵所需之運轉功率 110 kW⑤。
- 以上所選之水泵滿足最小之必要容量，如果不考慮未來之擴充性，則最終選定水泵規格為水量 300L/s，揚程 30m，轉速 1400 rpm，功率 110 kW。

變頻水泵在低轉速時，揚程及水量皆低，馬達所承受之轉矩(扭力)極小，因此關於變頻器及馬達之選擇只需檢驗最高轉速時，其是否可提供水泵足夠之轉矩需求。功率 110 kW 之水泵運轉在 1,400 rpm 的條件下，其轉矩(T)為：

$$T = 9,550 * P / n = 9,550 * 110 \text{ kW} / 1,400 \text{ rpm} = 750 \text{ Nm}$$

如圖 5.4-2 所示，為某廠牌馬達之選機程式畫面，則該款馬達規格可看出在功率 110 kW，1400 rpm 的條件下，該馬達可提供 848 Nm 之轉矩，大於 750 Nm 之水泵需求。當馬達電力規格確認後，即可再根據控制性能要求，進行變頻器型號之選取。

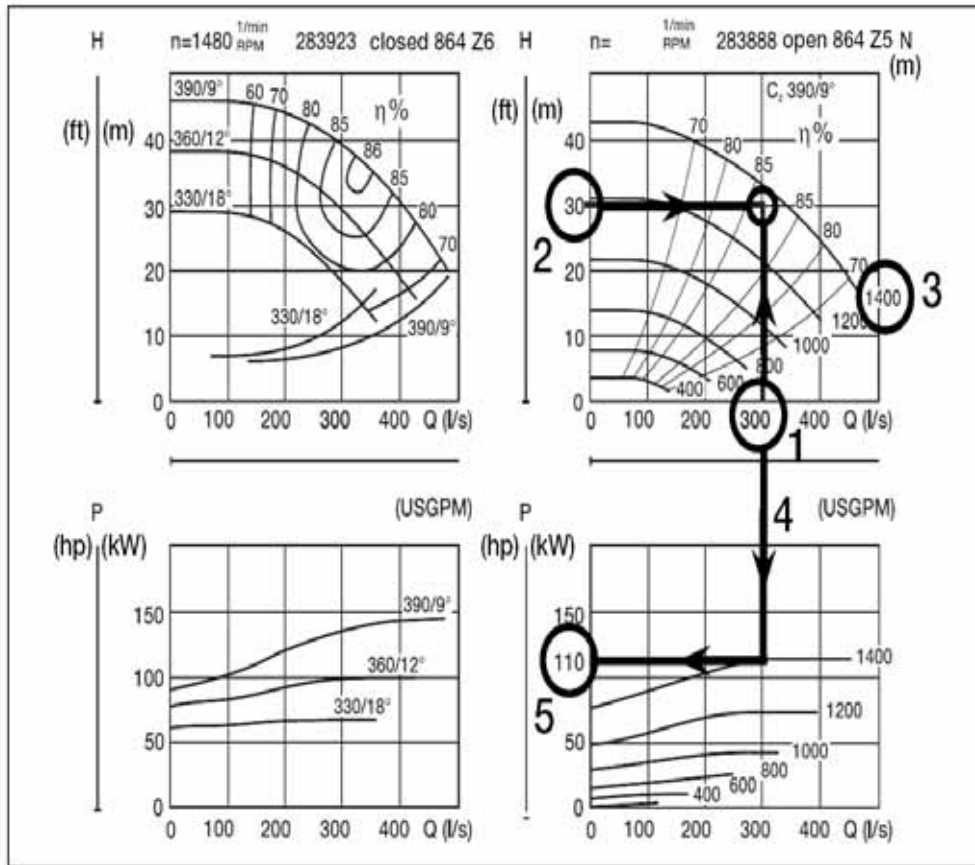


圖 5.4-1 水泵選用範例

**Motor load**

Load type: **Pump/fan load**

Overload type: **Simple cyclic**

	min	base	max
Speed [rpm]	1400	1400	1400
Power [kW]	110	110	110
Overload [%]		100	100

Overload time [s]: **10** every [s]: **600**

**Specifications**

Name	[undefined]
Motors per inverter	1
Motor type	Auto selection

**Selected motor data**

Selection: DriveSize  
Type code: M3BP 315 SMB 4  
Product code: 3GBP 312 220 (FI)

Voltage [V]	400
Frequency [Hz]	50
Power [kW]	132
Poles	4
Speed [rpm]	1487
Max mech speed [rpm]	2300
Current [A]	232
Torque [Nm]	848
T <sub>max</sub> /T <sub>n</sub>	2,7
Power factor	0,86
Efficiency [%]	95,8
Temperature rise class	B
Insulation class	F
Inertia [kgm <sup>2</sup> ]	2,6

資料來源：ABB drives [2]

圖 5.4-2 變頻器選取範例

## 第六章 變頻器在空調送風系統之節能應用

### 6-1 可變風量 VAV 控制策略[1]

#### 1. 可變風量 VAV 系統以及其包含之子系統為何？

答：可變風量 VAV 系統(Variable Air Volume)之系統流程如圖 6.1-1 所示，完整系統之控制包括五個子系統；室內溫度控制、供風量控制、供風及回風風量之匹配、供風溫度控制、及外氣量的節能循環控制，這些子系統控制的問題及一些 VAV 整體系統所產生的問題都和這五個子系統的運作有相當的關聯性。

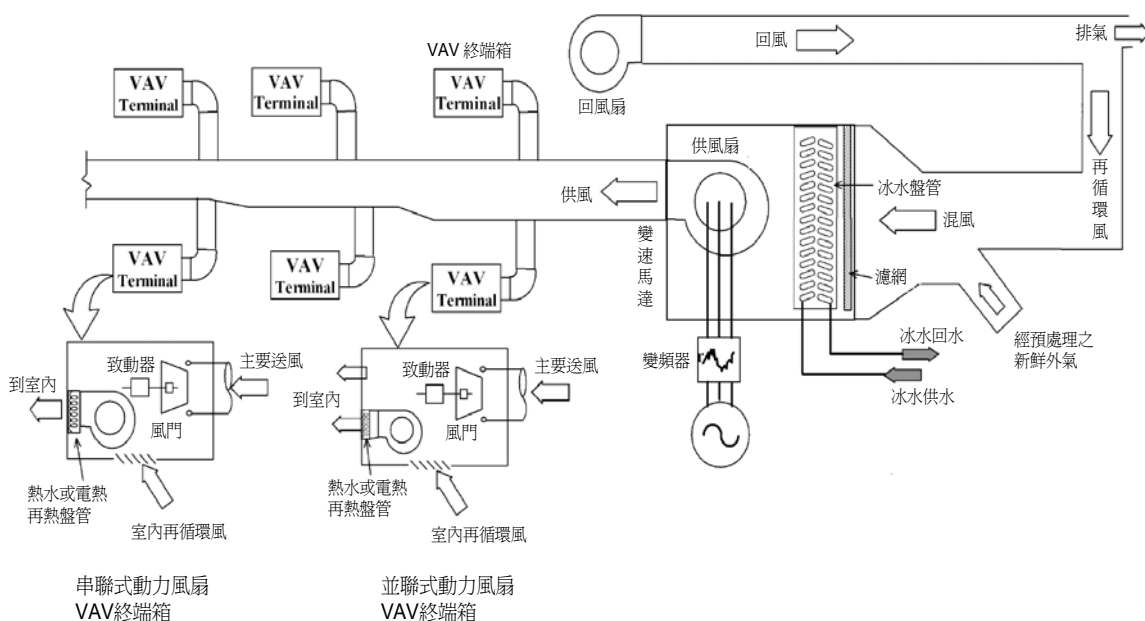


圖 6.1-1 可變風量 VAV 系統之簡圖

#### 2. 可變風量 VAV 系統風量太小對於耗能之影響以及會引起那些問題？

答：如同前述之水泵節能原理，根據風扇定律，風扇馬達之功率消耗亦與風扇之轉速三次方成正比，因風量與風扇轉速之一次方成正比，

故風扇馬達之功率消耗相當於與風量三次方成正比。以一年為基準，相較於其他空調箱系統，VAV 系統的風扇耗能較低。然而風量的減少會引起下列問題，必須謹慎注意：

- (1).減少的風量太多，導致空氣無法適當分配、換氣不良，高濕度、人員抱怨。
- (2).若使用直膨式盤管，風量的減少將導致盤管結冰及空氣溫度控制不良。
- (3).減少穿過任何熱交換氣的風量，會使得系統變得很複雜，造成控制更加困難。
- (4).在任何 VAV 系統中，在系統各個末端出口之間，有效靜壓的分佈非常廣。若要取得良好的區域控制，就要採用適當之系統平衡及壓力補償的方法。
- (5).對於回風與送風之平衡與匹配控制，是相當的複雜且成本也高。很明顯的，VAV 像其他解決方案一樣，不是極簡單或可完全防呆之穩健全自動的。使用 VAV 系統需要謹慎的考慮及充分的理解，並留心在每個子系統的設計、控制與運作細節。

### 3. VAV 系統之空間溫度如何控制？

答：(1).對 VAV 系統來說，空間的溫度是藉由改變供風量來控制，而不是被供風的溫度所控制。其末端的控制裝置是如圖 6.1-1 所示之 VAV 終端箱，VAV 終端箱內部通常含有一馬達驅動的風門。若 VAV 終端箱裝置對於在風管中的靜壓變化不具有靜壓補償之功能，則很難進行準確之控制。大部分的 VAV 終端箱採用以下兩個方法中的其中一個，以進行準確控制。如圖 6.1-2 所示之區域風量控制，是採用風量(風速)感測器(控制器)，根據其設定值控制風門大小，以確保適當之送風量，其設定值是由空間內之溫度感

測器所重置。在圖 6.1-3 所示之區域風量控制方法，是直接由室內溫度感測器之回授訊號，以馬達進行風門大小的控制，該裝置含有一彈簧，以補償系統壓力之變動。

- (2). 為防止低風量造成空氣分配及換氣的問題，建議設定最低之風門開度門檻值，其設定值建議大約為 30% 至 50%，但 40% 至 50% 更則佳。再者，須注意的是，當空調負荷較低時，可能需要將供風溫度提高，以避免過冷。

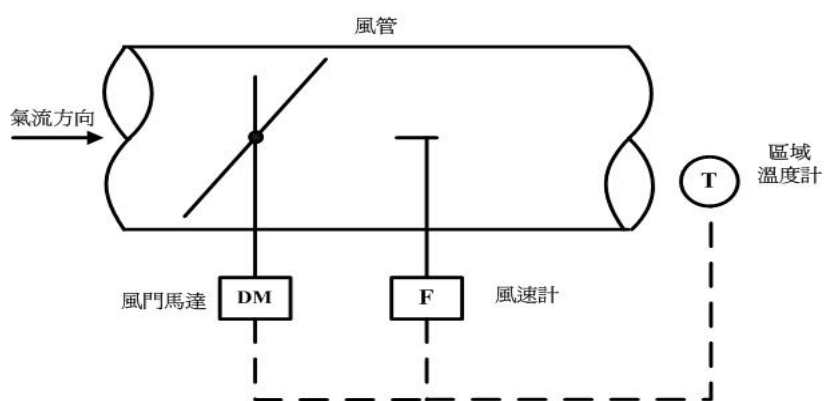


圖 6.1-2 區域風量控制—利用風速補償

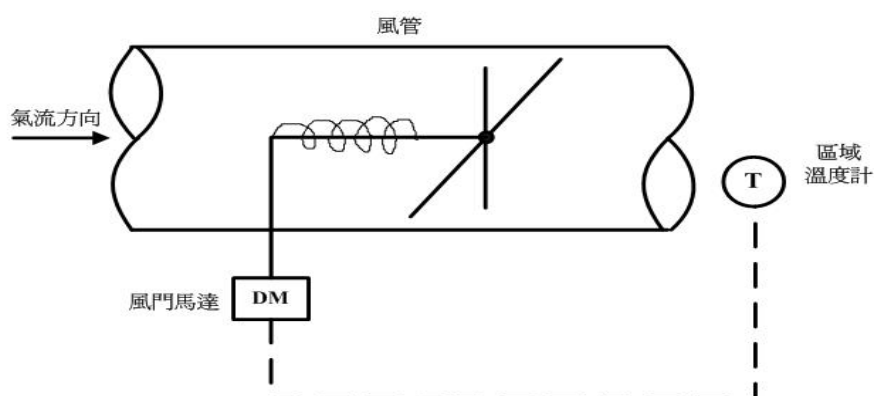


圖 6.1-3 區域風量控制—利用機械式補償

#### 4. VAV 系統如何藉由感測器控制調整系統之總供風量？

答：當末端 VAV 終端箱之風門調整時，總供風量將產生變化。目前有許多供風量調整方法，以進行風量之匹配控制。其中最有效的的節能方法，就是使用進氣導流葉片風門及風扇速度控制，這兩者都是在供風管的某些位置設置壓力感測器，控制使其維持固定的靜壓。除非具有壓力設定點重置補償之功能，否則壓力感測器通常是裝置於設定壓力小於系統總壓力三分之一的位罝。

#### 5. 如何控制 VAV 系統之供風及回風達到一致的風量調整？

答：(1).這可能是在 VAV 系統最困難且最受爭議的部分。一般而言，為了彌補排氣風量及建築室內壓力的建立，回風量應少於供風量。最簡單的控制方式是如圖 6.1-4 所示之單一控制器的風管設計，在供風管中，回風及供風兩個風扇均被一個安裝在供風風管內的靜壓控制器所控制。因控制器以同樣的比例來降低供風與送風量，故兩者風量之絕對值差異量亦隨之下降，因此將會造成外氣補風量與排氣量失去平衡。

(2).有效的補償方法是設置風量感測器，也就是如圖 6.1-5 所示，利用風量計補償的風管設計，精準的量測供風及回風的風量，且調整風量保持絕對差。這是最昂貴的控制系統，但也是較好的控制系統。

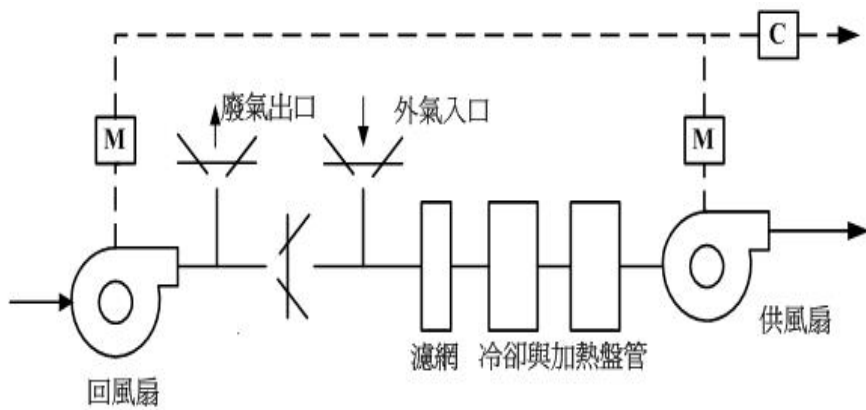


圖 6.1-4 單一控制器的風管設計

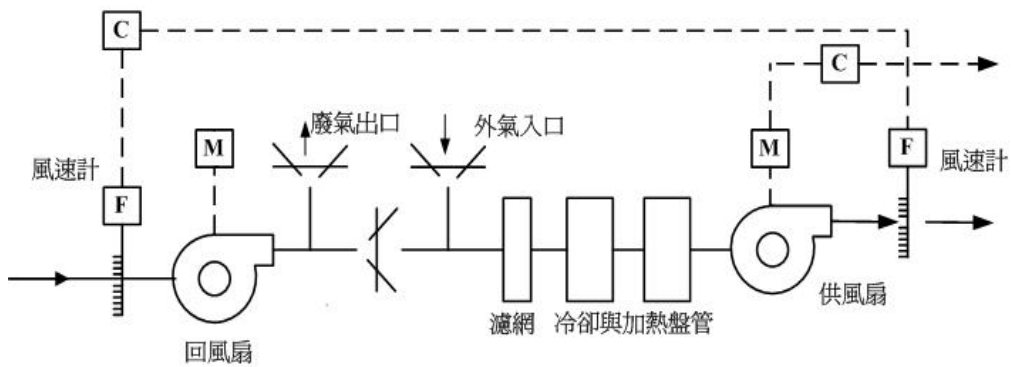


圖 6.1-5 利用風量計控制的風管設計

(3).圖 6.1-6 利用二個靜壓控制器的風管設計，是相當經濟有效的系統設計方案。該系統在供風及回風扇使用分離的靜壓控制器，重置回風扇控制器以維持兩個風量之間的絕對差。該系統之主要問題在於尋找較好的回風靜壓測量點，混風區就是好的測量點，但是擾動較大。圖 6.1-6 表示的方法是一個成功的使用案例[1]，在濾網的下游的空氣相對較穩定，較適合測量點的設置，但可能會受濾網骯髒產生壓降而影響。

(4).另一個選擇是使用排氣輔助風扇，來替代回風風扇，如圖 6.1-7 所示。採用排氣輔助風扇控制之方法只適用於較短的回風管路及回風壓損時，排氣輔助風扇及風門可由建築內部之壓力控制。

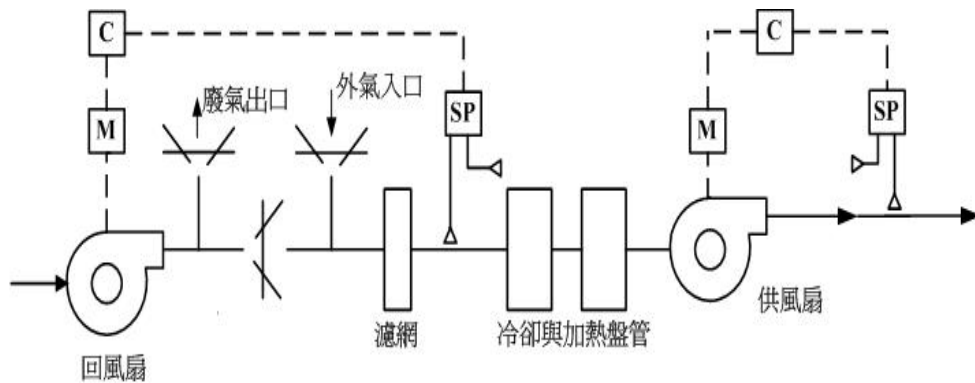


圖 6.1-6 利用二個靜壓控制器的風管設計

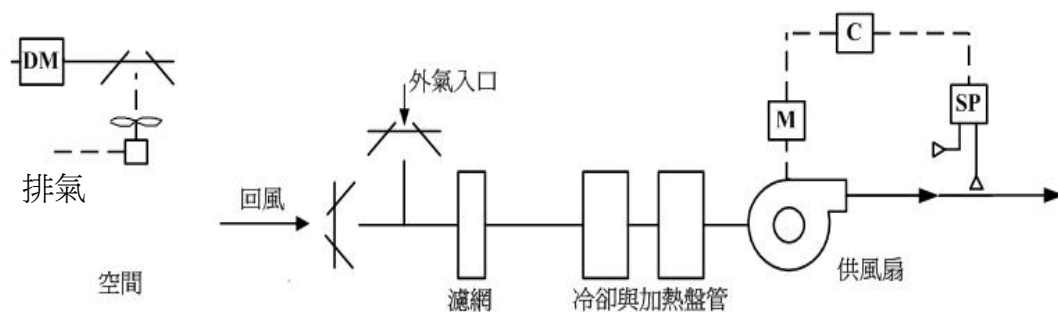


圖 6.1-7 利用排風控制提供回風平衡的風管設計

## 6. VAV 系統外氣節能循環控制方法如何執行？

答：VAV 系統的外氣節能循環與任何型式的空調系統是一樣的，除了一個重要的差異點，在也就是外氣最小量的循環上，當供風量下降，外氣量也會下降。因此，必須執行下列三項中的一項：

- (1).增加最小外氣的設計量，如此最小供風量及最小外氣量皆可符合需求及換氣法規。

(2).在外氣風管中加入一個流量計，以維持在任何供風條件下的外氣最小設計量。

(3) 再適當位置安裝二氧化碳感測器，感測居室內之環境空氣品質，進而調整外氣引入量。

從節能的觀來看，第二個方法是比較好的，但會使系統較複雜。仍需對每個系統進行評估。有時讀者可看到 VAV 系統中的一些問題，也看到利用可變控制的子系統解決這些問題。這些都是來自於實務與經驗的建議。並非唯一的系統，也不最好的系統。在設計其中，讀者要研究每個系統，進而找出最佳或至少能接受的答案。

## 6.2 變風量系統應用

### 1.變風量系統之應用設計者應考慮那些要素？

答：大多數的場合，在非人員活動期間可允許調降最低供風流率及最小外氣流率。這樣的調降措施，可適用於任何長時間非人員活動且具正負壓氣密控制的醫護空間，利用 VAV 變風量空調系統之設計可達成此目的，並且具有可觀之節能成效。對於全時間連續正負壓及氣密控制且具有在任何使用的時間均可重新建立滿載換氣率的空間，美國建築學會(AIA)及 ASHRAE 可允許在非人員活動期間降低其通風率至滿載 25%的換氣率。

舉例而言，當我們在評估一個有效的醫護設施之 VAV 變風量空調系統時，設計者應該詳細考慮下述的要素：

- (1).空調系統提供使用的空間之所需運轉時間。
- (2).最小換氣量與符合空調顯熱負荷所須供風量之間的差異量。
- (3).正負壓氣密控制的需要條件—正壓、負壓、平衡壓或無壓力控制。

例如，每天操作二十四小時的空間(急診室、24 小時實驗室、配藥區域、加護病房、嬰兒室...等等) 或空間的冷房顯熱需求沒有明顯

大於最小換氣率需求，則降低風量可能不會大幅度降低耗能。

然而對於以下特性之空間，採用 VAV 變風量空調系統，可明顯降低耗能：

- (1).無連續正負壓控制、或無最小換氣需求，或
- (2).空間具有明顯之非人員活動期間，或
- (3).空間的冷房顯熱需求明顯大於最小換氣率需求

大多數的醫護空間都具有明顯的 VAV 節能潛力，這些具有 VAV 系統節能明顯之空間包括：

- 大多數的恢復室、剖腹室、放射室，X 光室、放射藥物空間、X 光斷層掃描室、超音波室、磁共振室、物理治療室、門診區及手術室、心臟導管區、等候區、維修區及其他區域、查驗室及作業區。(註：醫療廠所有特殊規定，術手術室有 ACH 標準，不可用 VAV 系統)。
- 辦公室、飲食區、洗衣房

典型的醫護空間，大約只有 20% 的空間會每週使用超過 60-70 小時。除了一些急診用的手術室、恢復室、放射區域，使用中的手術室及手術預備室之外，很少每週使用超過 60-80 小時，這些空間通常只佔總手術區域的 20%。

## 第七章 變頻器在其他建築設備之節能應用

本章以下將介紹變頻器在建築物給水系統之應用原理與方法。

### 7-1 建築物給水系統之型式與應用

#### 1. 給水系統可分為那四類？

答：給水系統可分為直接給水系統、壓力給水系統、重力給水系統及泵給水系統等四類，這四類給水系統之概念圖，如圖 7.1-1 所示。

- (1). 直接給水系統：是指由自來水道幹管向建築物內之用水器具直接給水。
- (2). 壓力水槽給水系統：是利用加壓泵將水注入壓力水槽中，再利用壓力水槽中之加壓空氣將水送至各用水器具。
- (3). 重力給水系統：是在高於最高用水器具水栓之位置設置高架水槽，水泵將建築物受水槽所接收之自來水再加壓輸送至高架水槽，高架水槽內之自來水藉重力向下給水輸送至各用水器具。
- (4). 泵給水系統：是採用水泵直接將建築物受水槽所接收之自來水再加壓送至各用水器具。

#### 2. 給水系統使用條件如何？

答：(1). 通常台灣的自來水道幹管系統之送水壓力不足以將自來水送至二層樓以上之較高樓層，因此各建築物需要額外之水泵輔助供水，其採用方式大多是重力給水之方式，也就是利用定速泵將建築物受水槽所接收之自來水加壓送至屋頂之自來水塔，但是若建築物本身樓層不高或不方便設置高架水槽，則必須採用壓力水槽給水系統或是泵給水系統。另一方面，較高樓層(50~60 公尺以上)之建築物若採用重力給水系統，造成低樓層之水壓較高，必須再使

用減壓閥，以避免用水器具因壓力過大而損壞或使用不便；再者，因樓層較高，泵輸送揚程也較大，因此泵之馬達耗電變大。

(2).對於壓力水槽給水系統、泵給水系統或高樓層之重力給水系統因水泵使用強度較高，因此可考慮結合給水系統之設計，根據使用需求，使用變頻器以適時控制馬達轉速，達到節能及提升給水系統之穩定性及使用性。

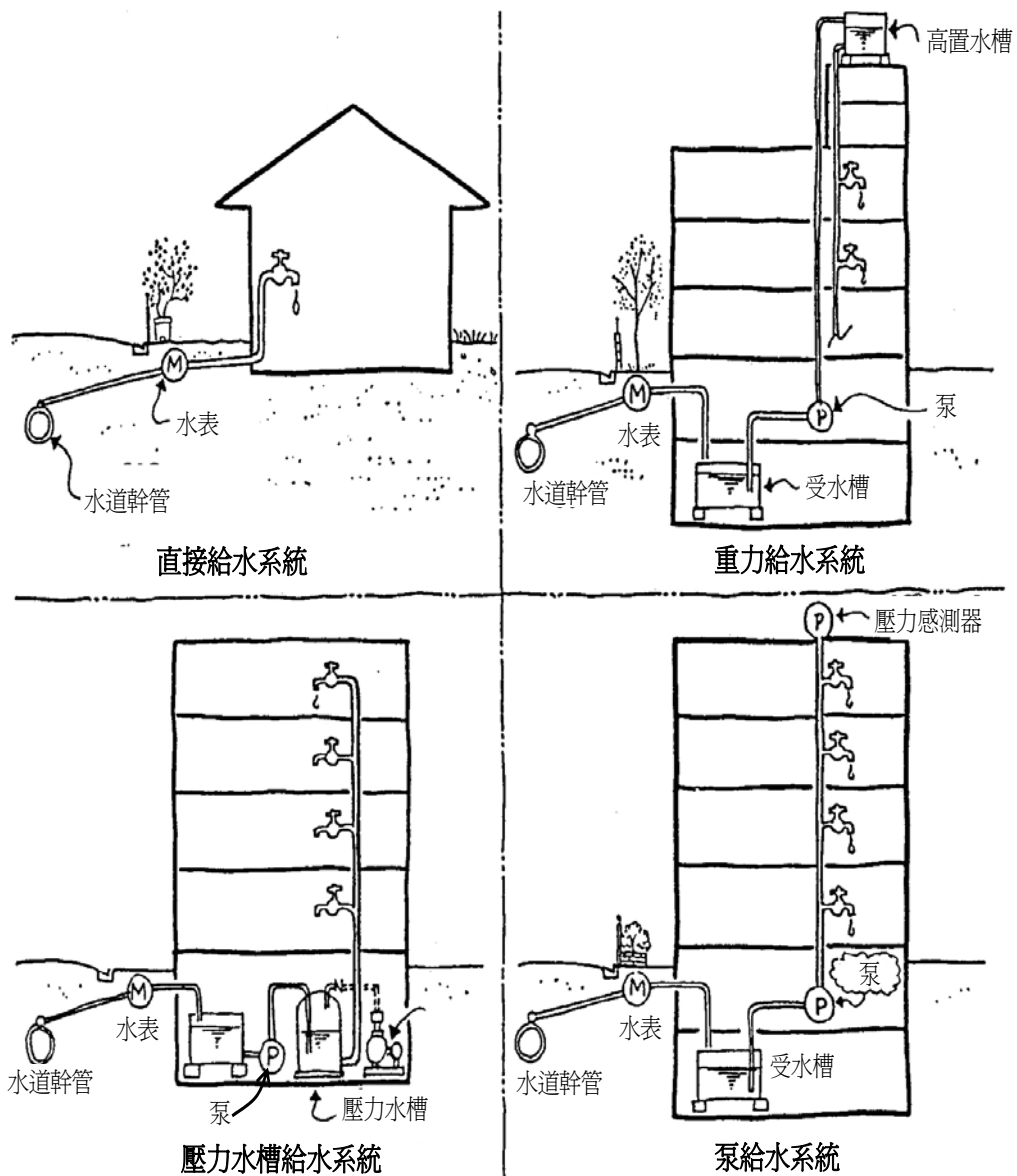


圖 7.1-1 建築給水系統之送水方式



## 2. 泵給水系統之變頻器節能應用？

答：當建築物不方便設置高架水槽，則必須採用泵給水系統時，因建築物之用水系統具有相當程度之動態變化特性，送水泵可能起停頻繁，造成系統壓力不穩，高的啟動電流亦造成較高之耗能。為避免泵的起停造成水壓不穩或水錘效應，並降低給水系統之管線與配件之故障風險，建議採用變頻器根據系統末端壓力，精密控制水泵馬達轉速。如此不僅可提升系統使用性，亦可減少水泵馬達起停頻率，降低馬達耗電。關於泵給水系統之變頻器節能應用之系統如圖 7.2-1 所示，由壓力感測器感測系統末端壓力並且將其壓力訊號傳輸至系統控制器，當末端壓力偏離設定值時，控制器送出增速或減速之訊號給變頻器，最後由變頻器進行馬達轉速之精確控制。

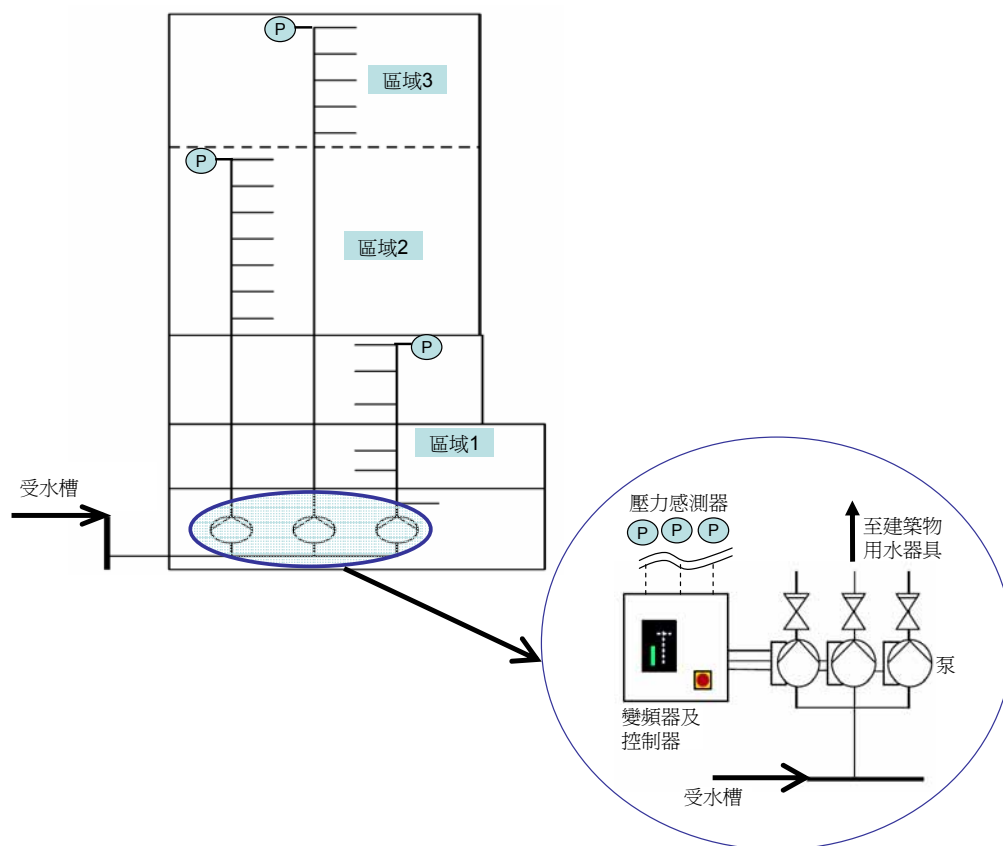


圖 7.2-2 泵給水系統之變頻器節能應用之系統安裝圖

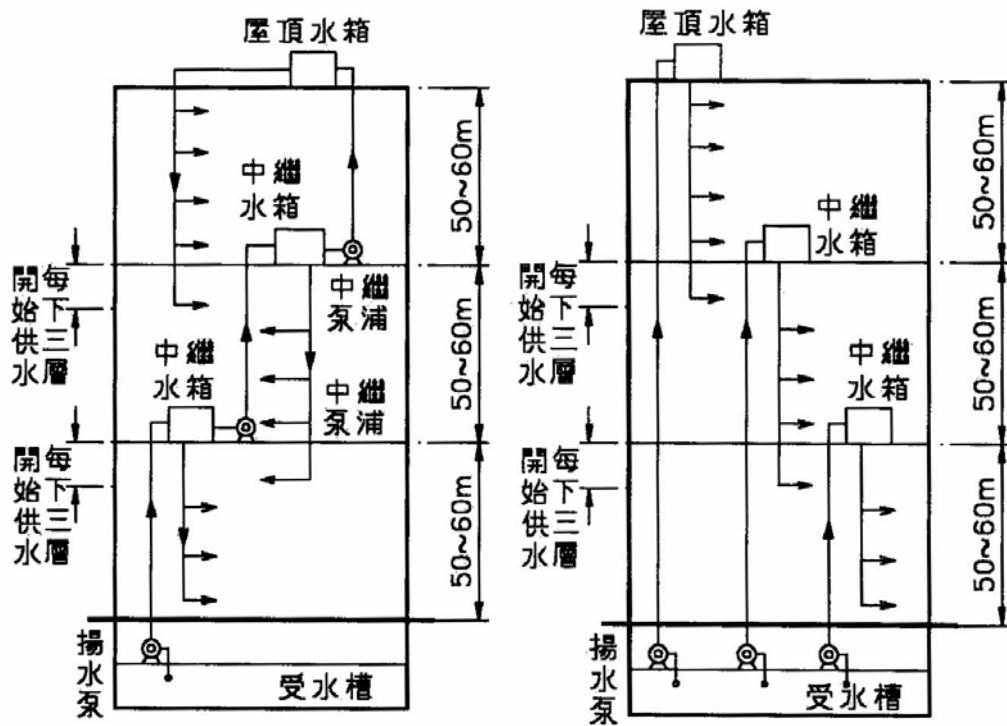
### 3.高樓層之重力給水或泵給水系統之變頻器節能應用？

答：高樓層之重力給水或泵給水系統之水泵使用強度較高，另一方面，較高樓層(7~10樓以上)之建築物若採用重力給水系統，造成低樓層之水壓較高，必須再使用減壓閥，以避免用水器具因壓力過大而損壞或使用不便；再者，因樓層較高，泵輸送揚程也較大，因此泵之馬達耗電變大。因此可考慮結合多級泵變頻加壓給水系統(Staged Pumping Set)之設計，根據使用需求，使用變頻器以適時控制馬達轉速，達到節能及提升給水系統之穩定性及使用性。

傳統上對於高樓層建築給水系統所產生之低樓層高水壓問題的解決方法為：

- (1).每 50~60 公尺設置一個中繼水箱機房，以重力給水方式提供機房第三樓層以下區域之用水，並且採用定速泵從低階水箱以接力方式送水至高樓層之水箱機房(如圖 7.2-3 之圖(A)所示)或每個水箱各自設置一個直接加壓泵(如圖 7.2-3 之圖(B)所示)。
- (2).採用單一屋頂水箱或較少之中繼水箱，以定速泵直接將自來水受水槽加壓送至屋頂或中繼水箱之水箱，然後在低樓層區域設置減壓閥，以避免水壓過高，如圖 7.2-4 所示。

上述傳統高樓層建築給水系統的設計缺點是中間樓層之水箱機房佔用建築可用樓地板面積，低樓層區域所設置之減壓閥初置成本及日常維修成本偏高。因此可考慮採用如圖 7.2-6 所示之多級泵變頻加壓給水系統之設計。



圖(A)

圖(B)

圖 7.2-3 高樓層以中繼水箱區劃之供水系統圖[1]

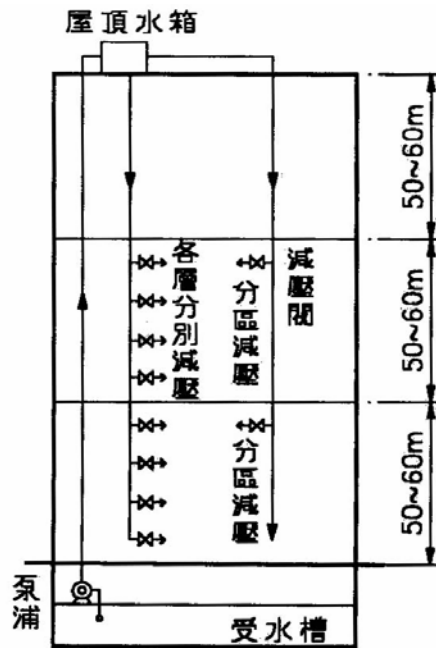


圖 7.2-4 高樓層以減壓閥區劃之供水系統

#### 4.變頻器在建築給水系統之應用例？[2]

答：如圖 7.2-5 所示之某一設計案例單級水泵加壓供水至高樓層之水箱系統，樓層高度 60 公尺，其泵之容量設計必須可提供最大尖峰之水量與頂樓具有最小之水壓需求，並且必須於 40 公尺以下之低樓層區域設置減壓閥。假設最大尖峰需求水量為 12.0 L/sec，泵出口壓力 7.0 (700 kPa)，共需三部 5.5kW 實際運作之水泵(另一台備用)，水泵系統之總耗電為 16.5 kW。

若將該供水系統改為如圖 7.2-6 所示之多級泵變頻加壓給水系統之設計，則系統實際運作之水泵包含 1 樓之 5.0 kW 水泵 1 部、7 樓之 4.0 kW 水泵 1 部、14 樓之 2.2 kW 水泵 1 部，水泵系統之總耗電為 11.2kW。相較於原設計之單級水泵加壓供水至高樓層之水箱系統，多級泵變頻加壓給水系統之設計在尖峰用電節省 32%，並且提昇供水系統之壓力穩定性，降低水錘效應、減少減壓閥之裝置與維修成本。

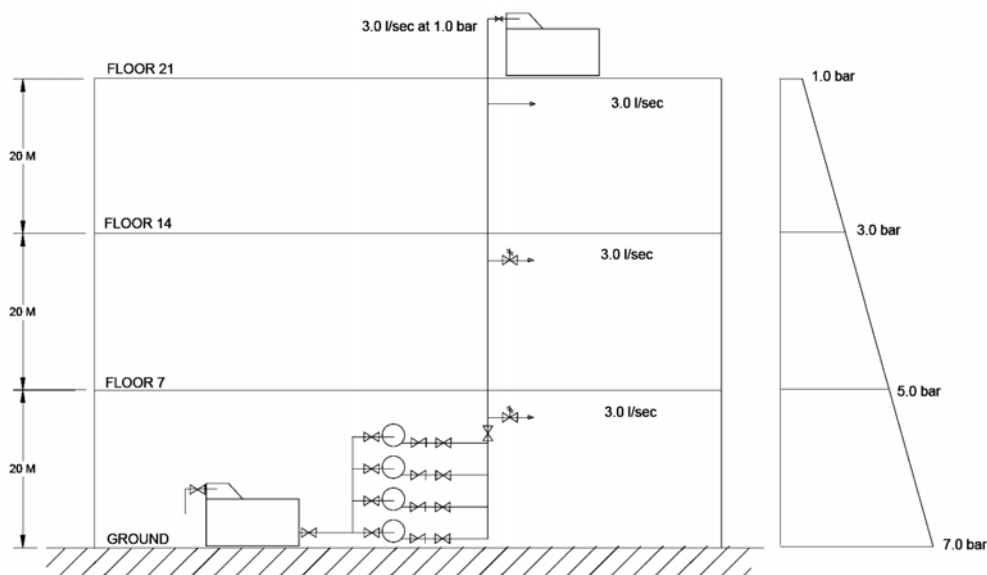


圖 7.2-5 高樓層單級水泵併用減壓閥之加壓給水系統

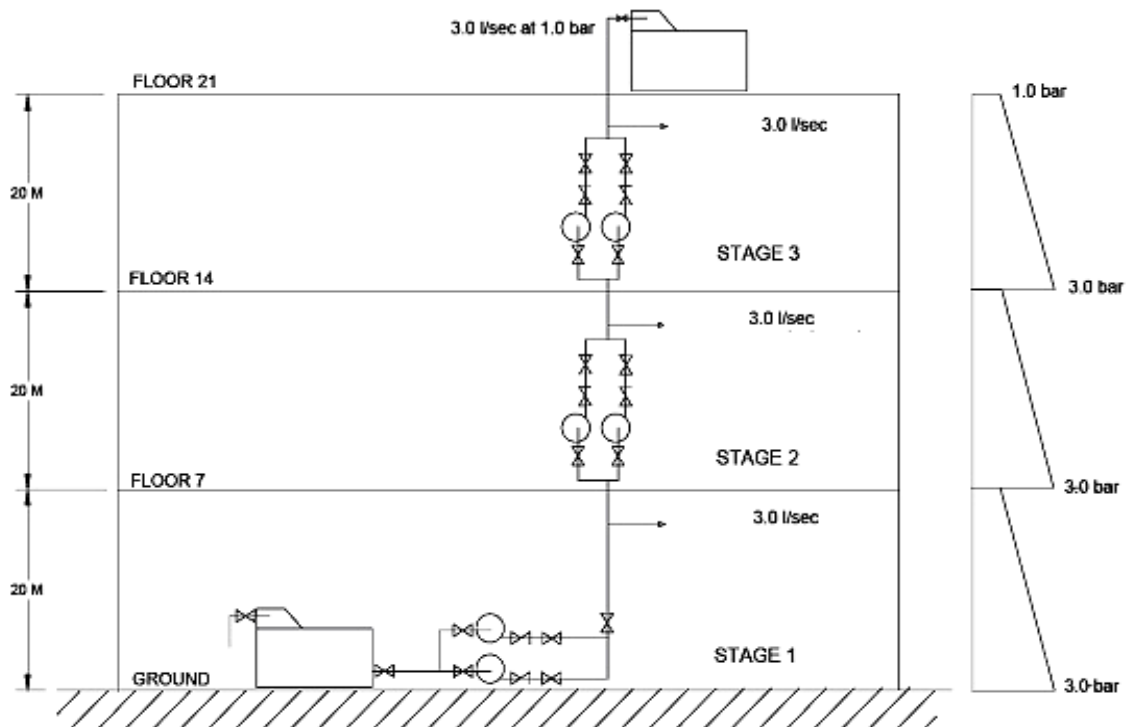


圖 7.2-6 高樓層多級泵變頻無減壓閥之加壓給水系統

### 7-3 變頻器在建築物輸送系統之應用

#### 1. 電扶梯變頻器應用原理及實例？

答：(1). 電扶梯廣泛應用在人員流動量較大之商場、辦公建築或大眾運輸之公共建築等場所，以提供迅速與便捷之人員輸送。但是大部分建築之人員流動量都有尖離峰之變化。在離峰時刻，人員流動量小或是甚至沒有人員流動，若電動手扶梯還是持續運轉在最大需求之運輸的設計條件時，則顯的沒有經濟效益以及浪費能源。因此，對於人員流動量有明顯尖離峰之變化場所，可採用變頻器及可變轉速馬達，甚至可設計成正逆轉控制之電動手扶梯，以節省能源與成本。

(2).關於可變轉速控制之電動手扶梯之原理，是藉由人員流動感知器，感測電動手扶梯入口以及手扶梯出口之人員流動狀況，適時切換電扶梯之轉速與停止運轉，而達到節能之目的。電扶梯之感測技術與設定條件是否與實際人員流動量匹配，將影響其總體節能成效與運輸效率。其感測方法有很多種，例如在距離手扶梯入口前 1 公尺~1.7 公尺處，設置紅外線感測柵欄，當行人在 1.5m/s 的行走速度條件下，從感測有行人靠近到手扶梯全速運轉，約需 0.5~0.8 秒。另外一種感測方法是採用多區域紅外線或超音波遙測感知裝置，如圖 7.3-1 所示。該感測方法可省略前述方法之紅外線感測柵欄感知裝置，再者亦可藉由多區域之緩衝時間設定，避免誤感測或是起停頻繁之狀況。

(3).應用實例：如圖 7.3-2 所示為可變轉速電扶梯遙測感知裝置設備實例，該設計適合應用在空間有限或整體建築設計特殊，而不適合設置紅外線感測柵欄感知裝置之場合。如圖 7.3-3 所示是在日本某商場入口所設置具有紅外線感測柵欄裝置之可變轉速電動手扶。

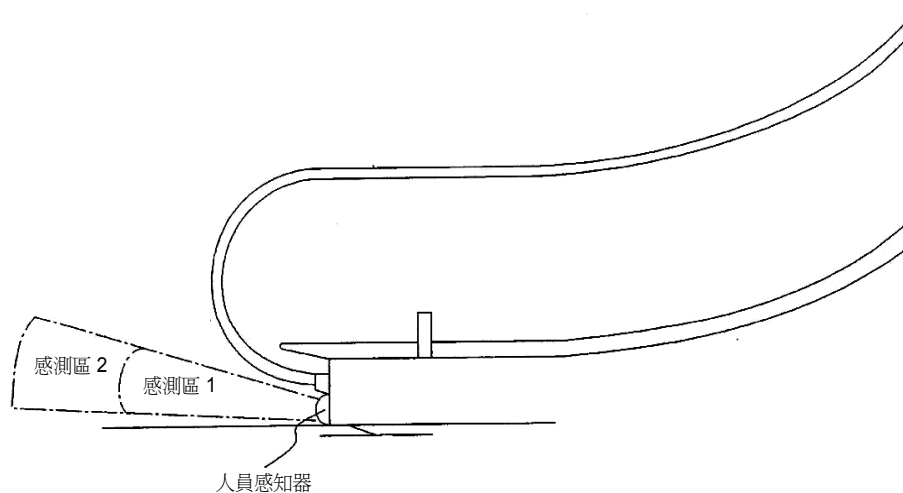


圖 7.3-1 可變轉速電動手扶梯多區域紅外線或超音波遙測感知裝置



圖 7.3-2 可變轉速電動手扶梯遙測感知裝置設備(例)



圖 7.3-3 日本百貨商場入口設置自動感測可變轉速手扶梯應用(例)

## 2. 國外電扶梯節能設計方式與實例？

答：法國 CNIM 公司全名為 Constructions Industrial Mediteranian，1965 年成立重載型（heavy duty）電扶梯生產工廠，年產量約 120 台。亞洲市場除台北捷運 120 台外，以香港地鐵於 1979 年起建造之觀塘線、荃灣線、港島線電扶梯有 334 台及 1998 年建造之東涌線、機場快線則有 79 台，使用量最多。

CNIM 之電扶梯節能設計方式可分成三大方向，分別為(1)以變頻器內電容器改變驅動之功率因素、(2)光電偵測之自動啟閉及(3)多段式變速等，以下分別介紹之。

(1).變頻器啟動及運轉：

A.控制電路主要以功率因素檢知搭配變頻器及 PLC 設計而成，如圖 7.3-4 所示。由圖中，電扶梯之驅動馬達是以變頻器啟動及控制運轉，其省能之方式為當功率因素低於 80%時，PLC 將下達指令使變頻器內之電容器加載，以提高功率因素達到省能之目的。

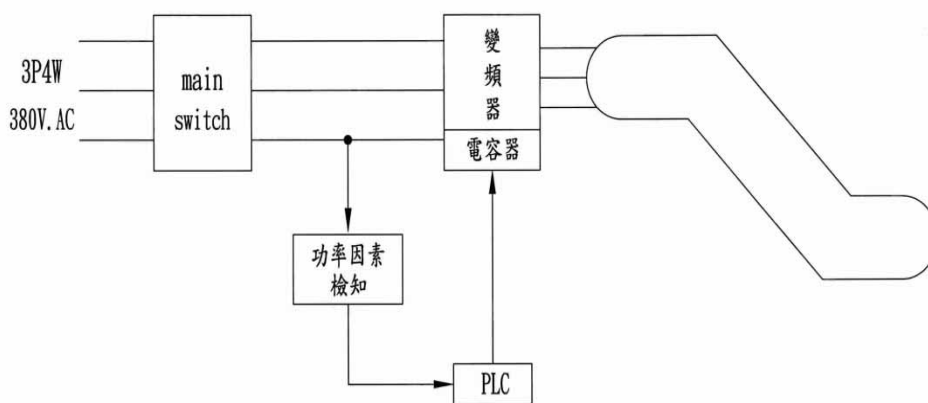


圖 7.3-4 CNIM 變頻器電扶梯驅動及控制

B.以 20~100kW 的馬達為例，無省能裝置及具此種省能裝置之效益如表 7.3-1 所示。由表中，當負載為 40%，無省能裝置其實際消耗電流為額定電流之 49%，若裝有省能裝置則僅為 35%，其經濟效益達 29%；當負載為 80%，無省能裝置其實際消耗電流為額定電流之 84%，若裝有省能裝置則僅為 69%，其經濟效益達 17%。功率因素則有 0.7 與 0.98 之顯著差異。

表 7.3-1 20kW~100kW 具省能及無省能裝置之變頻器比較

負載 %	實際消耗電流／額定電流		功率因素		經濟效益 %
	無省能裝置	有省能裝置	無省能裝置	有省能裝置	
20	27%	17%	0.64	0.98	35
40	49%	35%	0.7	0.98	29
60	68%	52%	0.75	0.98	23
80	84%	69%	0.81	0.98	17
100	100%	87%	0.85	0.98	13

註：CNIM, C306A 詳細技術規範, 附錄 3, 1995 年 4 月

C.再以 9kW、11kW、14kW、17.5kW 及 20.5kW 之變頻器來說明負載大小與省能裝置之效果，其實際消耗電流／額定電流比值及功率因素差異，如表 7.2-2 所示。由表中以 11kW 之變頻器為例，當負載為 20%時，實際消耗電流為額定電流的 30%，功率因素為 0.61；若負載為 80%時，實際消耗電流為額定電流的 81%，功率因素則為 0.78。因此，整體來說，CNIM 之變頻器啟動及運轉之節能方式對大功率數之電扶梯，其節能效果更為明顯。

表 7.3-2 9kW~20.5kW 具省能及無省能裝置之變頻器比較

負載% 額定功率 kW	20%		40%		60%		80%		100%	
	A (%)	功因	A (%)	功因	A (%)	功因	A (%)	功因	A (%)	功因
9	30	0.61	46	0.67	65	0.72	81	0.78	100	0.8
11	30	0.61	46	0.67	65	0.72	81	0.78	100	0.8
14	29	0.61	47	0.67	66	0.72	82	0.78	100	0.8
17.5	27	0.63	49	0.69	68	0.74	84	0.8	100	0.82
20.5	27	0.64	49	0.7	68	0.75	84	0.81	100	0.83

註：上表A(%)為實際消耗電流／額定電流之比值

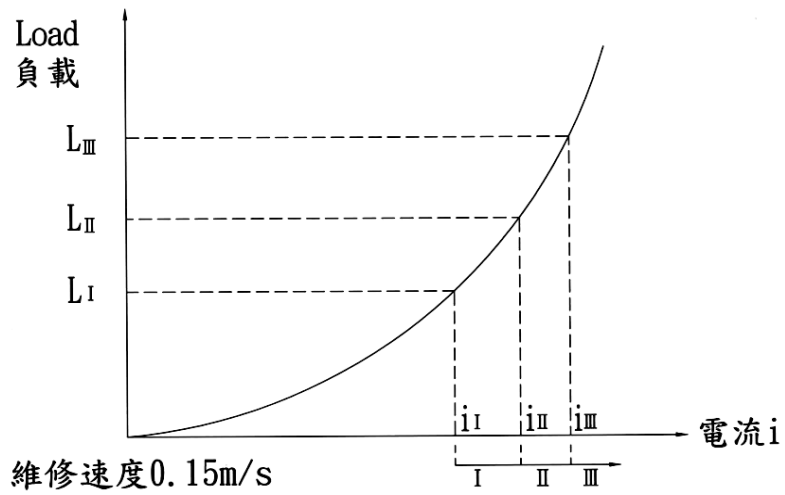
(2).自動偵測啟閉：

CNIM 之第二種節能方式乃是將電扶梯乘場處兩側，各增設一長條狀之光電偵測裝置。當旅客進入乘場區，電扶梯自動啟動運轉，定時（約 3~5 分鐘）無人搭乘則自動停止。此外，為預防旅客並非搭乘僅經過搭乘區所造成之誤動作，該自動偵測除了考慮偵測點有三點以上連續被遮斷設備才會啟動外，並將乘場欄杆延長以避免誤入導致跌傷事件發生。目前巴黎地鐵、里昂國際機場等已現場按裝。

(3).多段式變速：

CNIM 之多段式變速電扶梯設計有四種速度，一般為 0.7m/s、0.6m/s、0.5m/s 及維修速度 0.15m/s 等。其中，前三者係依據負載多寡自動轉換以節省能源之設計，當負載愈大時，電扶梯則以每秒 0.7m 之高速運轉。反之，負載減少後，自動切換至低速運轉，運轉示意圖如圖 7.3-5 所示。

多段式變速之原理如圖 7.3-6 所示，基本上係於變頻器輸入端安裝一感應線圈(coil)，用此線圈偵測運轉電流  $i$ ，測得之  $i$  經電流感測器(Current Sensor) 轉換成電壓  $V$ ，該電壓傳入 PLC 與電位計(Potentiometer) 設定值比對，作為變化速度之依據。例如，電扶梯於 0.6m/s 速度運轉時，當由線圈傳回之電流  $i_{II} \geq i_{III}$ ，則 PLC 會經變頻器將馬達加速成 0.7m/s 運轉，反之也相同。電流  $i$  的大小，反映搭乘負載之多寡，由圖 7.3-7，當負載  $\geq i_{II}$  時，電扶梯以 0.6m/s 運轉；相同地，負載  $\geq i_{III}$  時，電扶梯則以 0.7m/s 運轉，反之亦然。



三速變速

- I : 0.5m/s 運轉
- II : 0.6m/s 運轉
- III : 0.7m/s 運轉

圖 7.3-5 CNIM 多段式自動調速運轉示意圖

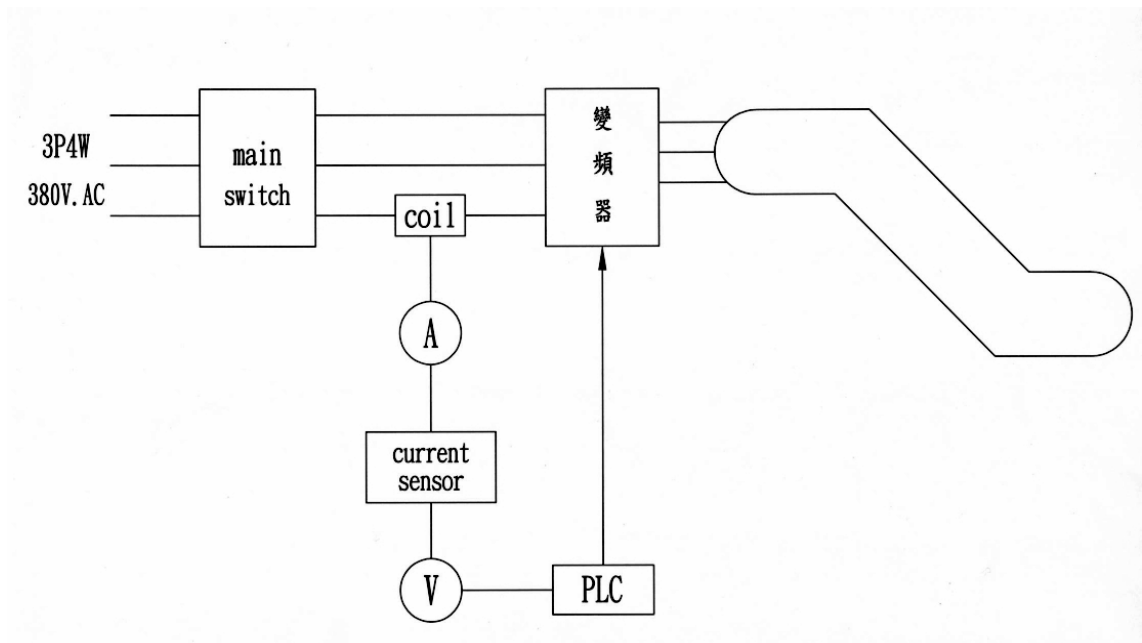


圖 7.3-6 CNIM 多段式自動調速控制原理



註：資料來源：袁紹斌文教基金會 <http://www.tisheng.com.tw/energy-19.html>

圖 7.3-7 變頻式電扶梯安裝應用(例)

### 3. 新型客用電梯變頻器應用特性(例)？

答：目前客用電梯都採用變頻器控制取代過去電梯傳統感應馬達及直流式電梯控制方式，大幅改善性能，獲得啟動電流小耗電小，不須定期保養控制接觸器及碳刷、車廂樓層停靠平準，運轉平順順暢，並且省電 30% 以上。

目前新型變頻電梯功能如下：如圖 7.3-8 新型變頻電梯外觀所示。

#### (1). 進化控制系統：

採用先進科技改善電梯控制盤。順應人性合理又集中的規劃，不但大幅縮小控制盤體積、精巧美觀，變頻控制更讓電梯的搭乘加倍安全、平穩順暢。

#### (2). 便利維修保養：

電梯的驅動及控制系統，因獨立機房之設置，將更便利於安裝、調整、測試，以及日後的維修保養作業。

(3).運行狀態顯示：

消除人與機器間的冷漠與誤解，使用簡單易懂的中文，如保養中、專用、滿員...等明確顯示電梯運行狀態；更重要的是，當電梯發生故障時，將馬上顯示「故障請即撥專線 XXXXXX」字樣，迅速獲得救援。

(4).人機對應按鍵(業界初採用)：

於車廂操作盤及乘場顯示器上配備琥珀色點陣式點燈，並隨著點燈以箭頭顯示電梯上下運行方向，乘場更設置乘客呼叫電梯按鍵響鈴回應功能，只要按下乘場按鍵，系統即會自動發出”嗶”聲回應乘客。

(5).同步運行門機(業界初採用)：

新一代高精度變頻同步式門機，梯廂門與乘場門聯動同步性提昇，有效降低因外界風壓及異物造成電梯系統故障之機率。並提升車廂結構整體鋼性，提供高效能、低噪音的運行品質。

(6).雙重制動功能(業界初採用)：

採用符合 EN81 國際標準的複式煞車制動系統，雙重制動、雙重保障，搭配專利簡潔機體設計，同步提升整體系統穩定性與信賴度。

註：資料來源：永大機電客用電梯 <http://www.yungtay.com.tw>



圖 7.3-8 新型變頻電梯外觀(例)

## 第八章 變頻器在工業製程之應用

這個章節將簡要介紹一些典型的工業應用之變頻器動作控制(資料來源：ABB 產品) [1]。大部分的實例包括一些 PLC 基本操作的訊息，通常控制動作之執行是在每個分散的控制裝置當中。

### 8-1 加工製造

#### 1. 縱切器

如圖 8.1-1 所示，係描述縱切器部分的切割及捲繞，顯式切割工具的運轉。每個切割工具都單獨得與螺旋桿相連。當要使用切割工具時，PLC 會傳送工具位置給裝置，分散控制系統會校正其定位。

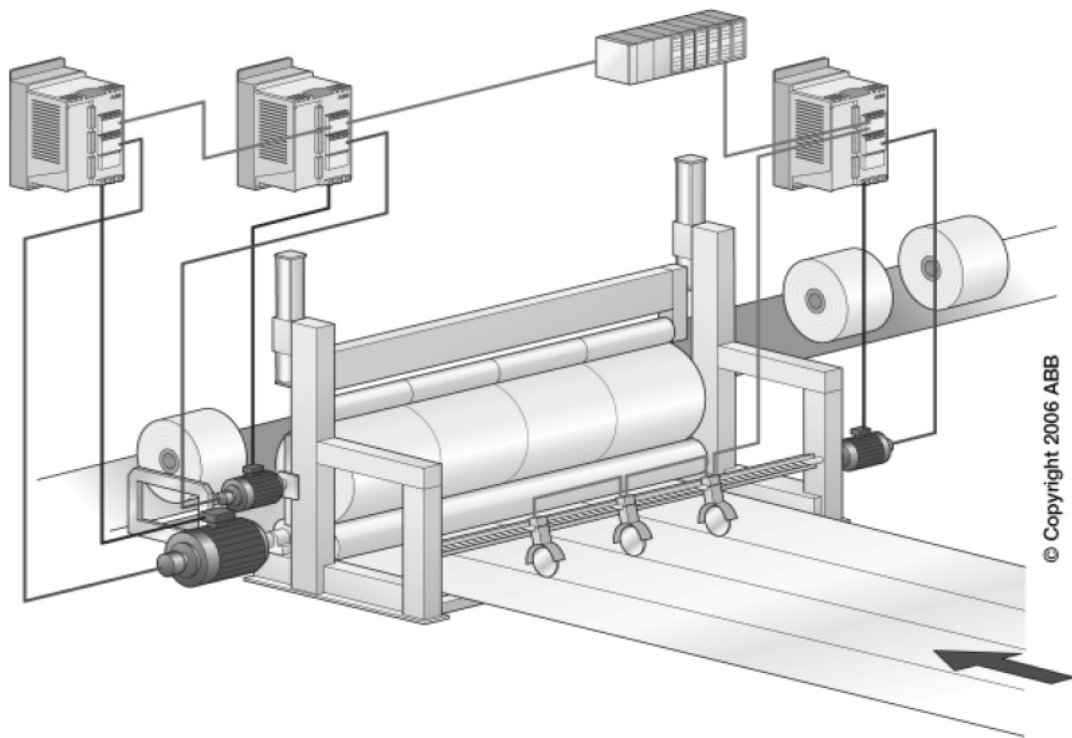


圖 8.1-1 縱切器應用案例

## 2. 長度切割

現今有許多切割不同原物料長度的方法，如圖 8.1-2 所示是最為普遍採用的方法。

在案例中，生產線會停止，然後進行切割，兩個工具軸都需要變頻裝置的定位功能。供給原物料的裝置首先運轉已事先設定好的旋轉圈數，此旋轉圈數相當於原物料長度的。當目標定位點已經到達，變頻裝置將傳送訊號給在定位點的 PLC。也就是控制器會提供進料馬達運轉的訊號，然後切割馬達運轉所需要的旋轉圈數，以進而執行切割作業。

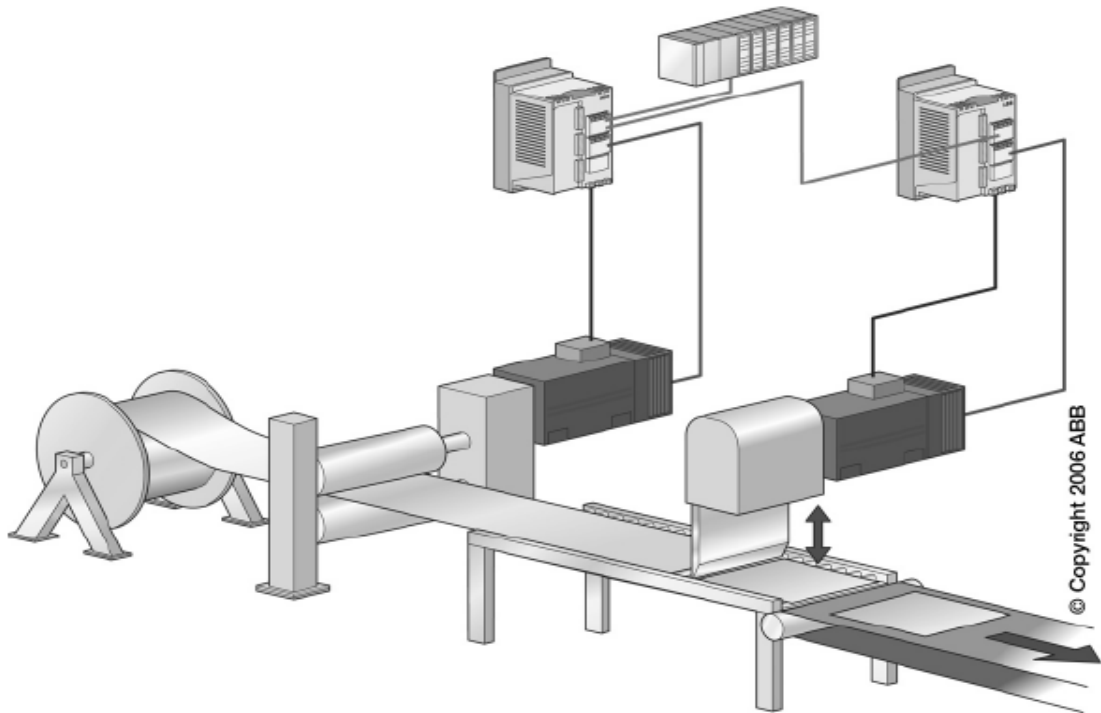


圖 8.1-2 長度切割應用案例

### 3.旋轉刀具

如圖 8.1-3 所示，旋轉刀具是使用於原物料長度的切割，或切割多餘的原物料。簡單的旋轉刀具是需要對電力傳動裝置的線路速度進行同步校正的。但是，在許多案例中，這樣的校正效果並不令人滿意。

運轉的旋轉刀具有許多考量的地方。第一，如果切割長度不同，刀具就必須選擇停機或不間斷旋轉。第二，當刀具開始接觸原物料，大部分生產線都需要相同的速度。第三，切割位置的決定是當重要的。

較精密的應用案例會設置在切割動作的循環流程。當刀具處於停止狀態，而動作指令已下達，刀具必須加速到達切割點，並且減緩切割速度。在切割後，刀具應該快速回到原定位點，進而準備下一次切割。

在一些案例中，刀具可能是無法停止的，必須接連地快速動作，這代表兩種排程是合併在一起的，且通常會運用具有彈性設定性質的排程。

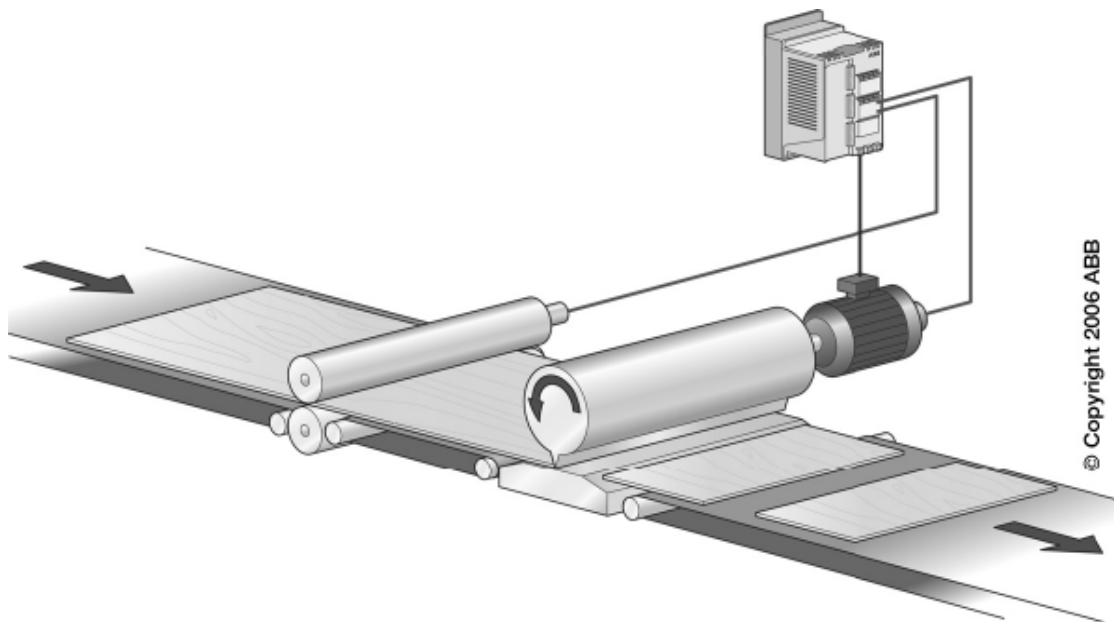


圖 8.1-3 旋轉刀具應用案例

#### 4.具角度的高速切割(鋸齒切割)

如圖 8.1-4 所示，高速切割是一個允許切割時原物料持續向前移動的切割機器。根據直角三角形之幾何原理，當生產線前進速度及切割速度都已知，可以由校正和計算而得到切割的角度。在這個例圖中，這個角度代表刀具在生產線流動上的移動方向。切割點可以直接標示在原物料上，或由編碼器循環測量來標示出來。傳統上，同步的方式或 CAM 功能都可使用。

這樣的配置時常使用於必須使用鋸齒切割的案例，而不是使用於劈斷切割的案例。

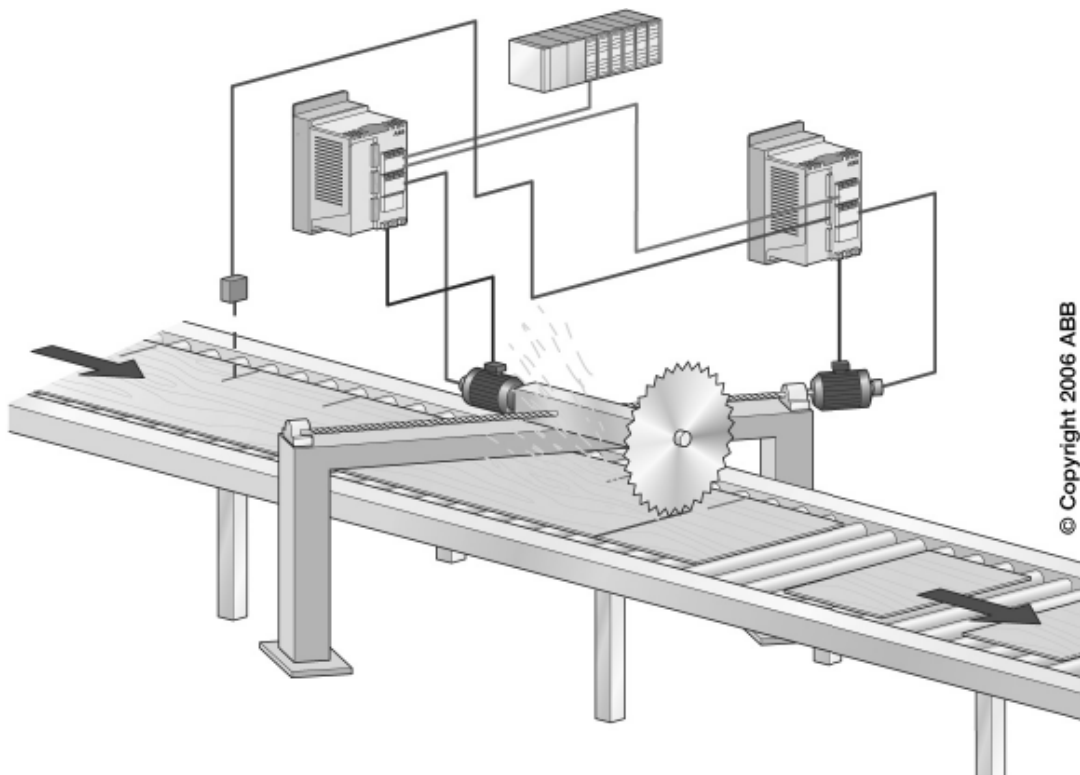


圖 8.1-4 具角度的高速切割(鋸齒切割)應用案例

## 5. 平行式高速切割

如圖 8.1-5 所示，這是另一種高速切割的變化型式。如前所述，切斷點是由一個記號或由編碼器讀取。原物料的移動是根據切斷指令進行動作。當指令下達，推送裝置會同步根據生產線速度，加速移動將原物料往前推進至切割點。基本上，同步的方式或 CAM 功能都可搭配切割器使用。例圖中使用了兩個同步之主要(Master)與附從(Follower)配置的兩個變頻控制器，有的系統也只單獨使用一個馬達。

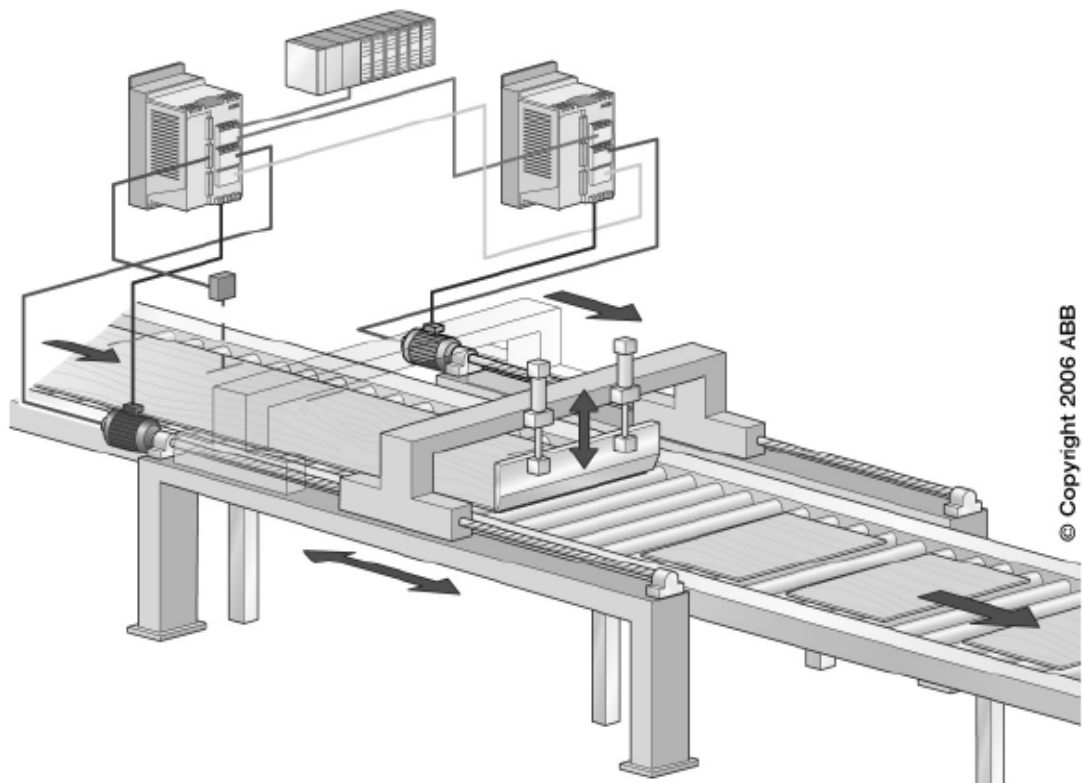


圖 8.1-5 平行式高速切割應用案例

## 6.領料及堆疊

如圖 8.1-6 所示，此案例使用三個軸向的分散控制。手動控制 (Overriding Control) 裝置提供每個軸向指令，使印版製程更流暢。利用定位控制的領料工具取印版，印版會隨著定位控制移動至堆疊位置，最後印版被放置在堆疊位置不斷堆疊。提供印版的輸送帶，能在連續速度下運轉，或在定位控制模式下運轉。

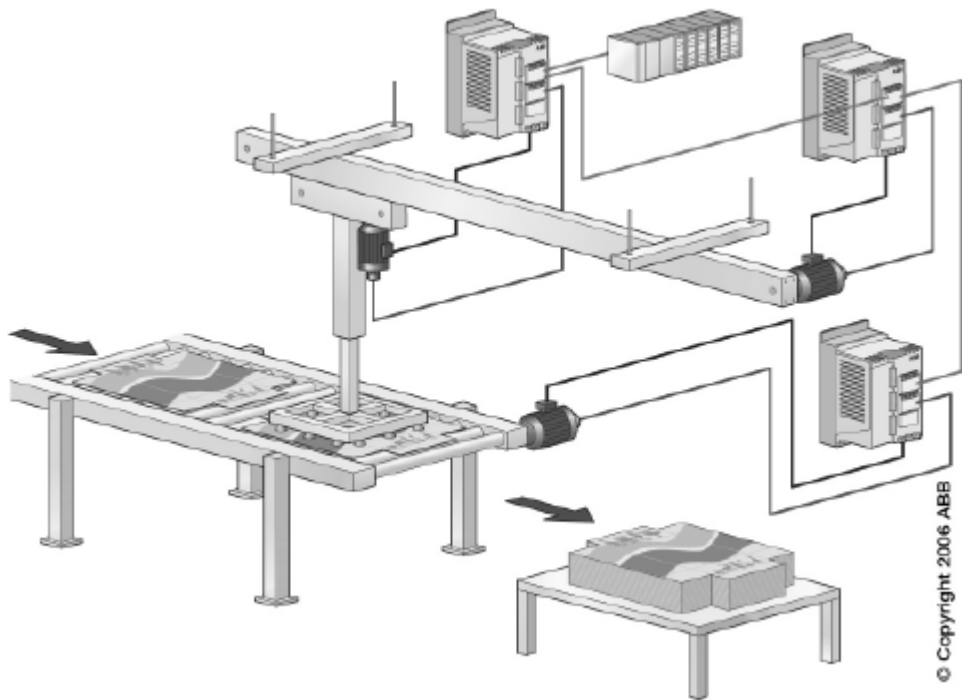


圖 8.1-6 領料及堆疊應用案例

## 8-2 物料搬運

### 1.原物料搬運的循環校正

如圖 8.2-1 所示，這台機器的主要功用在於一校正原物料在搬運過程中任何角度的誤差。兩個裝置是使用在一個主要(Master)/附從(Follower)的配置上的。主要的裝置(Master)是控制主要線路的速度。附從的裝置(Follower)則是接收速度的參照。兩個感應器都是連續的數位訊號輸出。附從的裝置會計算在兩個感應器脈衝數量之間誤差的距離。利用附從裝置的控制速度來校正誤差。依各個案例而定，可選擇不同的馬達型式，且信號的回饋是必要的。

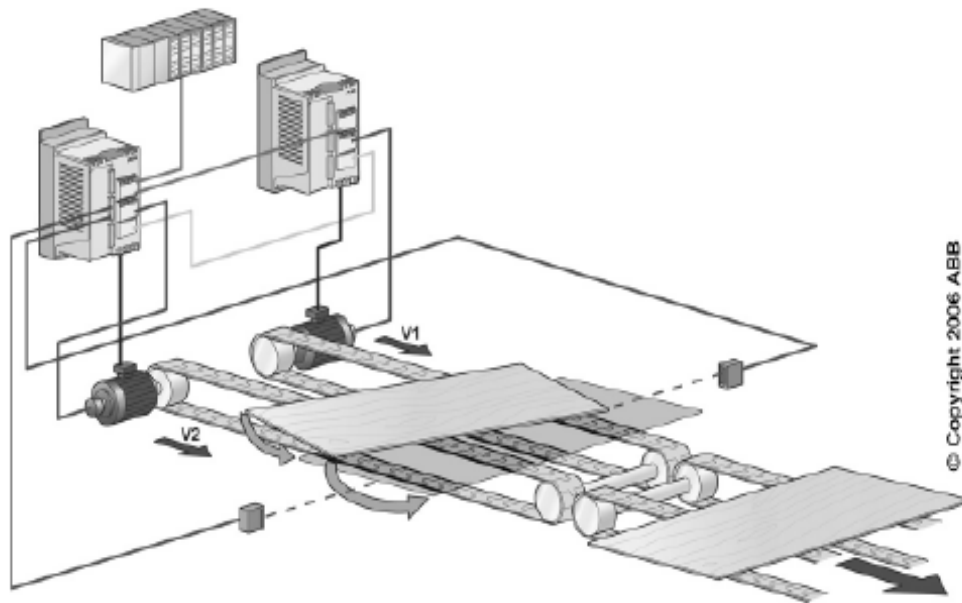


圖 8.2-1 原物料搬運的循環校正應用案例

## 2. 循環修正，包裝案例

如圖 8.2-2 所示，從軟體的觀點來看，這與前例“原物料搬運的循環修正”是一樣的作業模式。其差別在於兩者的物理結構不同。在這兩個案例中，都具有主要(Master)/附從(Follower)配置、確定實際位置的感測器，以及軟體校正。這個系統有兩條輸送帶。而系統會不斷對輸送帶上每個物品之間的距離進行校正。

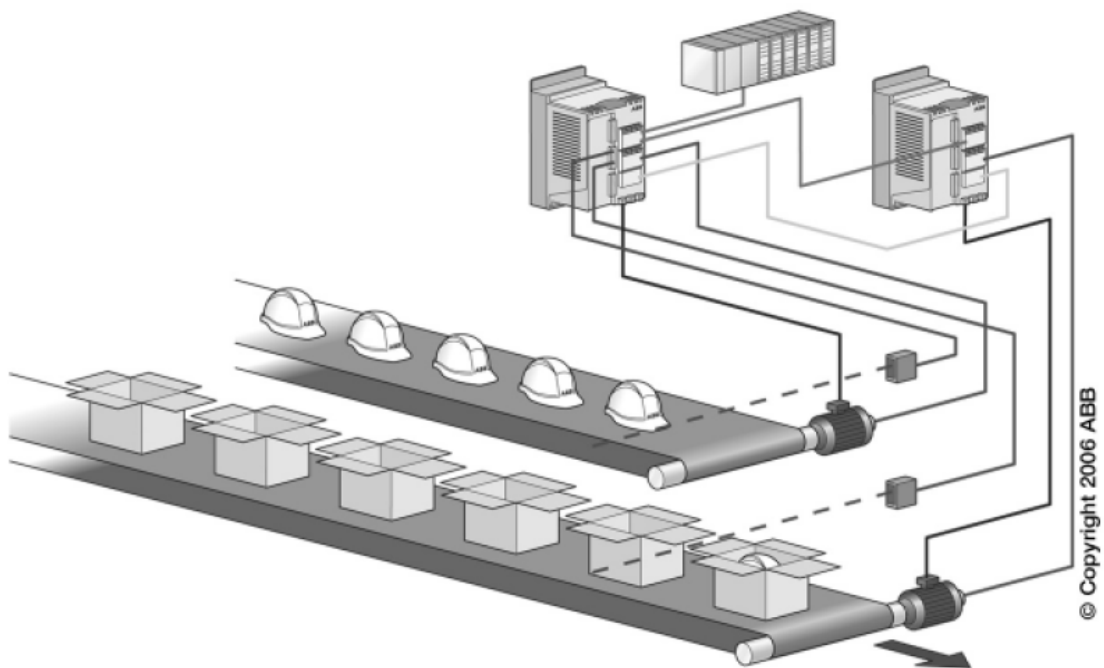


圖 8.2-2 循環修正，包裝應用案例

### 3. 固定的間隔保持

如圖 8.2-3 所示，傳送裝置具有三種不同的皮帶，分別為傳送皮帶、校正皮帶及接收皮帶。物料的傳送是時間及間隔都是不定的。裝置會接收到編碼器傳送的生產線速度指令。感測器則是隨著物料頂端線路的上升及下降調整。當感測器感測一個物料，他將隨著前方緩緩移動的物料移動到適當距離，才會使物料前進。感測器將感測物料的邊緣，且與下一個物料邊緣的距離就是物料間的時間。需要的間隔與控制軟體的對照是需要校正的，即改變校正皮帶的速度來進行校正。

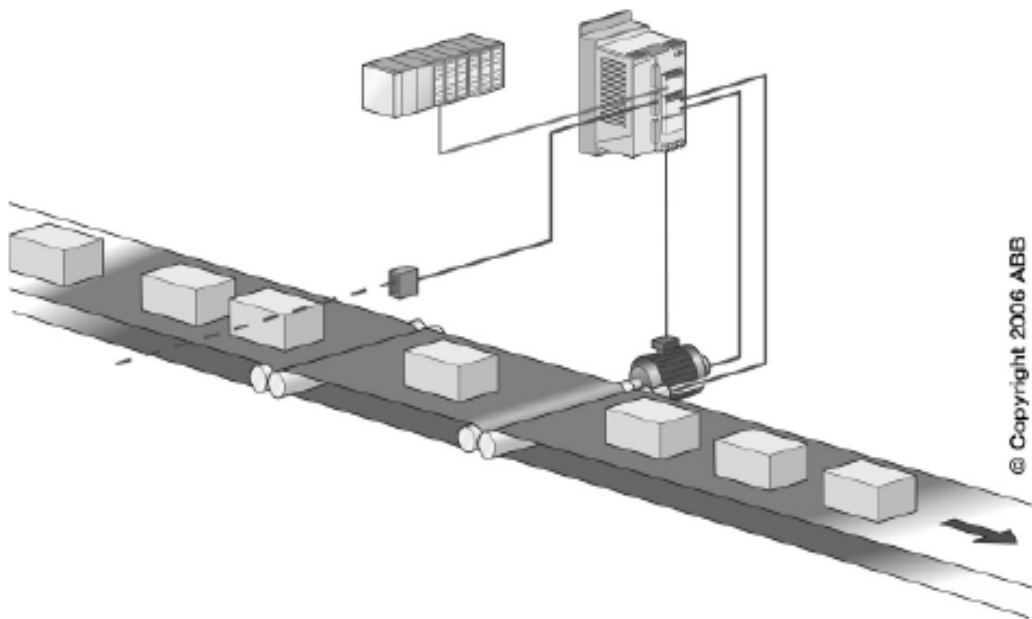


圖 8.2-3 固定的間隔保持應用案例

#### 4.物料裝填

如圖 8.2-4 所示，此應用非常類似長度切割工具控制的設備，然而在  
這個案例中，附從裝置只運轉一個元件。這只是許多配置的其中一種；  
仍然有許多其他的填充瓶罐及封包方式。

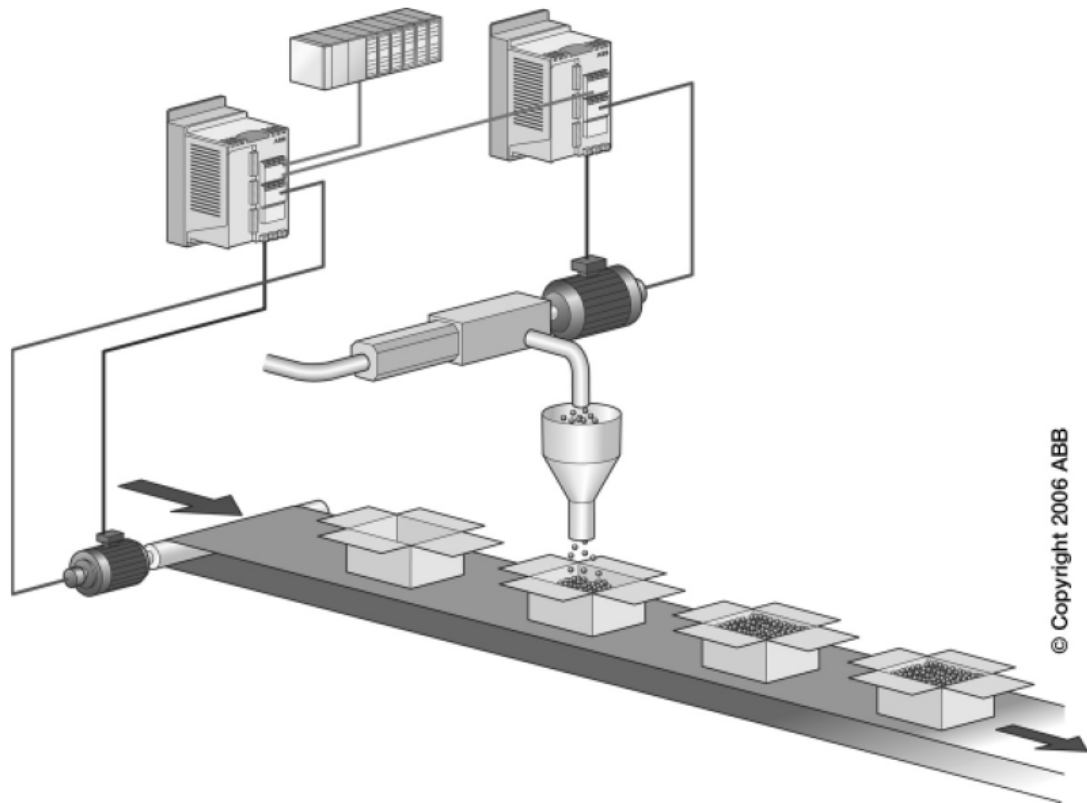


圖 8.2-4 物料裝填應用案例

## 5. 捲繞

如圖 8.2-5 所示，這個案例圖示是相當簡化過的。目的在於顯示出往返控制的主要原理。往返控制是一種透過傳動比率設定的電子傳動工作，以便於固定在物料集結的往返線狀動作。圖示案例中，沒有表示出典型控制轉折點動作的極限轉軌。

捲繞與展開是技術相當成熟的應用例，並且已有許多專用的封裝軟體可以使用。

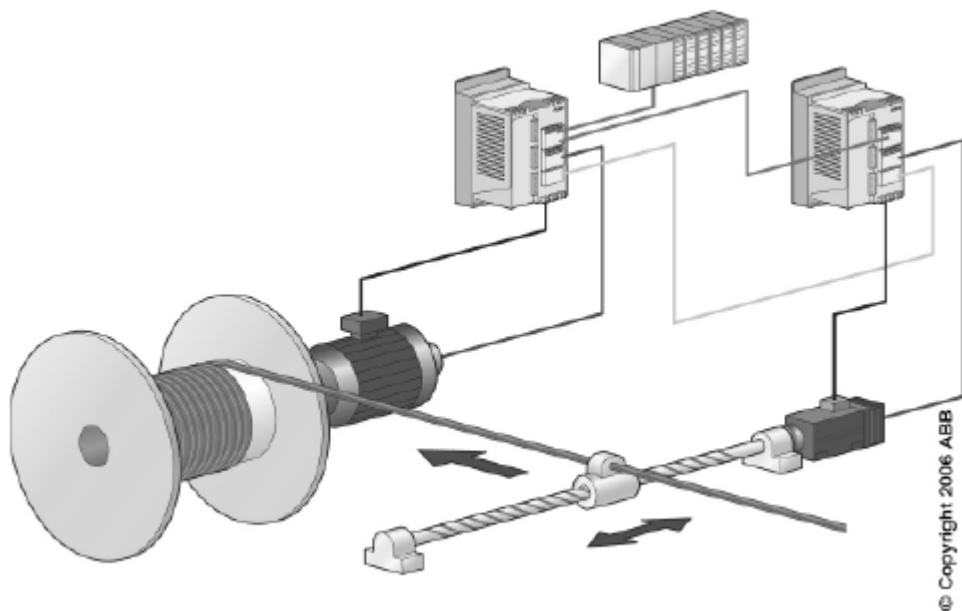


圖 8.2-5 捲繞應用案例

## 6. 包裝工作

如圖 8.2-6 所示，圖例表示一個簡單的包裝應用案例，電子傳動機構是由兩個馬達構成。

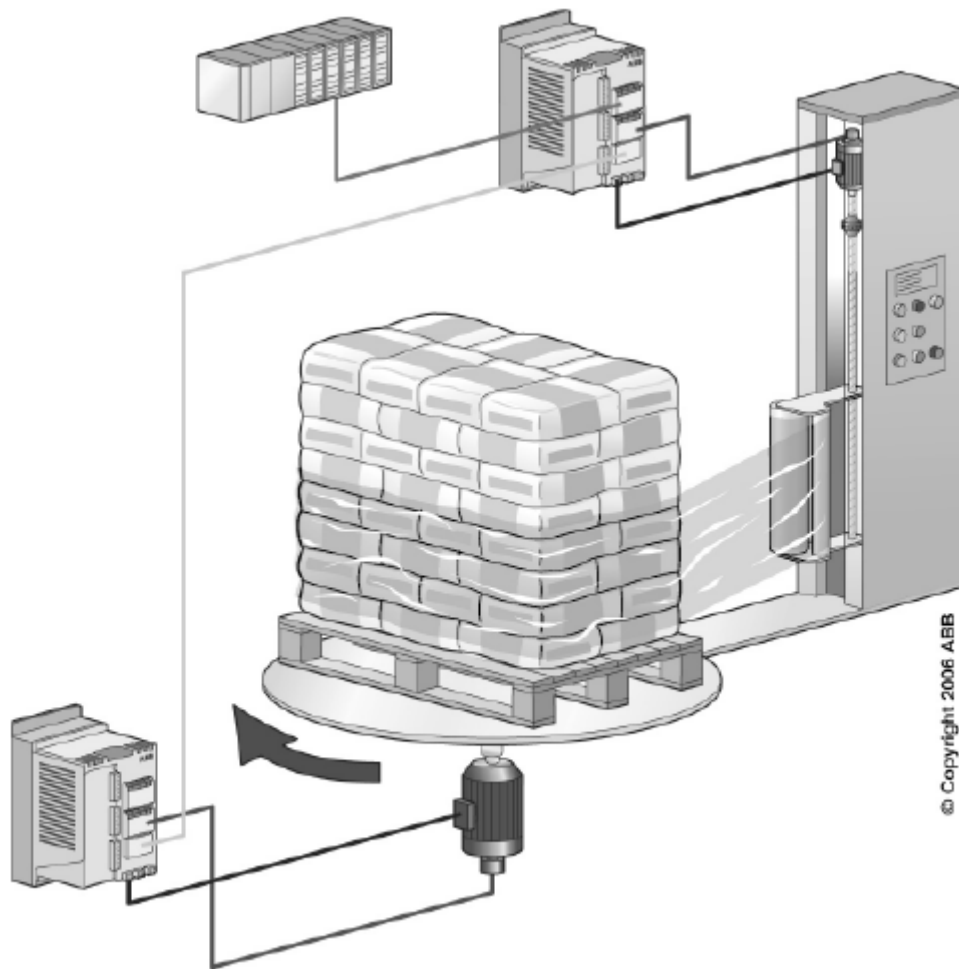


圖 8.2-6 包裝工作應用案例

## 7.倉庫自動化管理

如圖 8.2-7 所示，倉庫自動化管理案例可使用具有成本效益的分散式控制。手動控制(Overriding Control)系統是整個工廠自動化系統的一部分，並且系統能幫助貨物架放置於貨架位置。

在大部分的案例中，從零速度開始動作時，需要高速及高力矩性能，也就是意味需要閉迴路控制。

在全部的案例中，這一類的系統具有較大的物理尺寸，且馬達回饋並不能提供足夠精確的定位控制，可以使用第二個監控實際定位的編碼器來克服此問題。

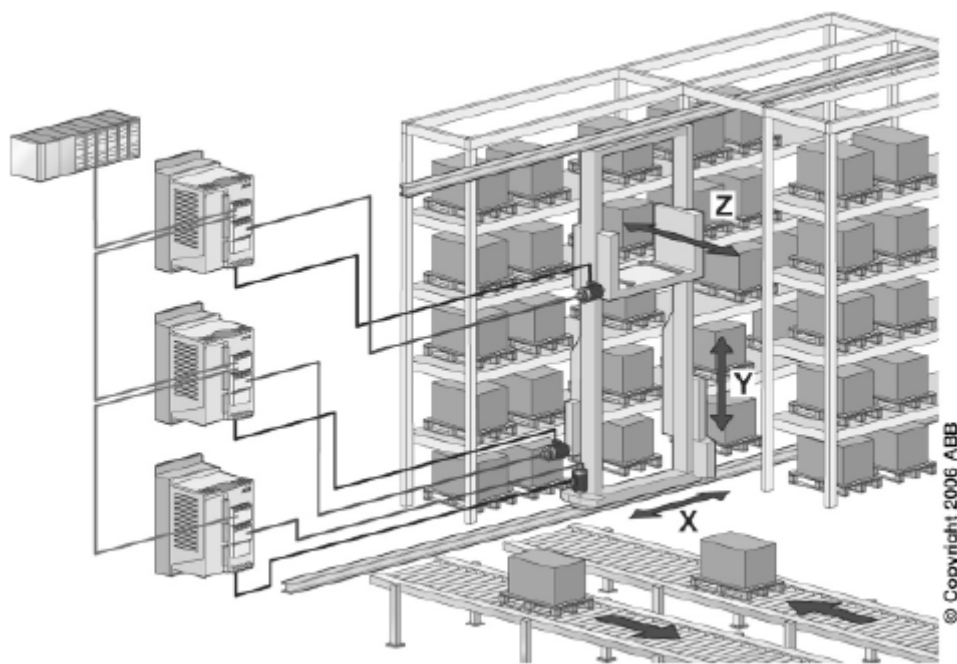


圖 8.2-7 倉庫自動化管理應用案例

## 第九章 變頻器節能應用案例

### 9.1 變頻器應用節能措施計算案例

#### 案例【01】採用 VRV 變頻式冷氣機組

節能措施	採用VRV變頻式冷氣機組	系統分類	空調系統																								
說明	VRV 變頻式冷氣機組省電之特性為在春、秋季氣溫 25°C 上下時，可免除頻啟動，而更省電，且可各別調節空調負荷比，一般空調系統，大約省電 30% 以上。																										
改善前	店內設有 6RT 二台空調主機，為 ON-OFF 控制，因顧客進出頻繁，門開關負載變化大，造成空調主機壓縮機起停頻繁，影響壽命，增加維修費用。	<table border="1" style="display: none;"> <caption>一般空調負載值之發生時數</caption> <thead> <tr> <th>空調負載 (%)</th> <th>發生時數 (H)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>40</td><td>120</td></tr> <tr><td>50</td><td>380</td></tr> <tr><td>60</td><td>220</td></tr> <tr><td>70</td><td>320</td></tr> <tr><td>80</td><td>250</td></tr> <tr><td>90</td><td>180</td></tr> <tr><td>100</td><td>100</td></tr> </tbody> </table>		空調負載 (%)	發生時數 (H)	0	0	10	10	20	20	30	30	40	120	50	380	60	220	70	320	80	250	90	180	100	100
空調負載 (%)	發生時數 (H)																										
0	0																										
10	10																										
20	20																										
30	30																										
40	120																										
50	380																										
60	220																										
70	320																										
80	250																										
90	180																										
100	100																										
改善後	<p>以某便利店之農安店裝置 VRV 變頻式冷氣機組為例：</p> <p>由協力廠商和泰興業提出之測試報告知：可省電 30%</p> <p>農安店與吉林店、中興店，三家之耗電與電費比較為：</p> <p>依台電之電價每度電 1.65 元計(不含基本電費)，</p> <p>農安店一年的總耗電量為 22,823.4 kWh。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 農安店為 22,823.4kWh×1.65 元/kWh=37,658 元(100%)</li> <li>2. 中興店為 28,291.7kWh×1.65 元/kWh=46,681 元 比農安店多 9,023 元 (23.96%)</li> <li>3. 吉林店為 34,027.6kWh×1.65 元/kWh=56,145 元，比農安店多 18,487 元 (49.10%)</li> </ol>																										

節  
能  
成  
效

- 省能效益：(參考某便利店節能案例計算)  
以農安店與吉林店耗電相比，每年節省用電約 11,204.2kWh，18,487 元  
(34,027.6－22,823.4) kWh/年=11,204.2kWh/年×1.65 元/kWh=18,487 元/年
- 投資費用：VRV 變頻式冷氣機組與傳統機種之差價僅約為 18,000 元。  
(傳統定頻冷氣機 7 萬元+工資 1.2 萬元=約 8.2 萬元，變頻冷氣機 8.8 萬元+工資 1.2 萬元=約 10 萬元)  
VRV 變頻冷氣機環保冷媒 R410、冷房能力 14kW(4.5RT)耗電 5kW，COP=3.2。  
符合經濟部公告 91/1/1 日實施窗型冷氣機能源效率比值標準。
- 回收年限：差額計算 1.8 萬元÷1.85 萬元/年=1 年。

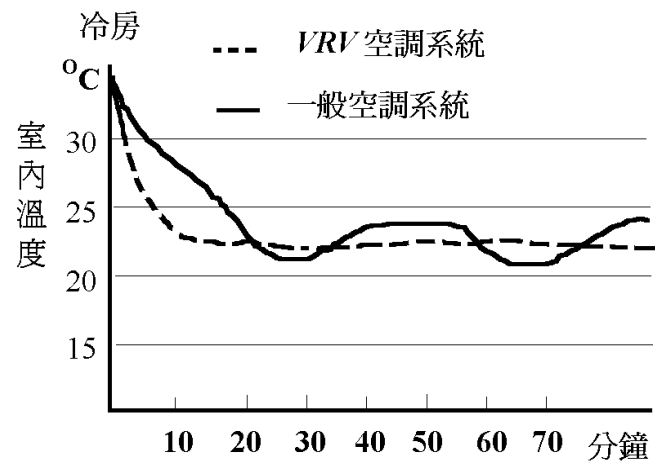
安  
裝  
實  
例



氣冷式分離式變頻冷氣機(例)

DAIKIN INDUSTRIES, LTD. JAPAN 日本製造			
AIR CONDITIONER	空氣調節機	MODEL 型號	RZQ140KTLT
< HEAT PUMP >	室外機	SER. NO. 系列號碼	A00260
OUTDOOR UNIT	分離型氣冷式		
POWER SUPPLY	220V   3~PH   60Hz	電源	220V 三相 60Hz
REFRIGERANT	R410A 3.7 kg	氣候類型	TYPE T1
NET WEIGHT	99 kg	最大運轉電流	25.0 A
		起動電流	25.0 A
		冷媒/充填量	R410A 3.7 kg
		總重量	99 kg
		設計壓力(高/低)	4000 / 2210 kPa
		防水等級	IP24
		熔線額定電流	30 A
		塔配室內機	FCG140KVLT
(Min. ~ Max.)	COOLING	HEATING	變頻式
CAPACITY	kW 6.2 ~ 15.8	6.2 ~ 18.1	最低/標準/最高
INPUT	kW 1.9 ~ 5.0	1.7 ~ 4.9	額定冷氣能力
INPUT CURRENT	A 5.5 ~ 14.5	4.8 ~ 13.9	kW 6.2 14.0 15.8
			kcal/h 5300 12000 13500
			額定冷氣消耗電功率
			kW 1.9 4.4 5.0
			額定冷氣運轉電流
			A 5.5 12.7 14.5
			冷氣能源效率比值
			kW/kW 3.3 3.2 3.2
			kcal/h-W 2.8 2.7 2.7
			額定暖氣能力
			kW 6.2 16.0 18.1
			kcal/h 5300 13700 15500
			額定暖氣消耗電功率
			kW 1.7 4.3 4.9
			額定暖氣運轉電流
			A 4.8 12.2 13.9
進口商名稱: 和康興業股份有限公司			
台北市復興北路143號12F 電話(02)2514-8887			
3P086838-6F		MFGDATE 06 09	

氣冷式分離式變頻冷氣機(規格例)

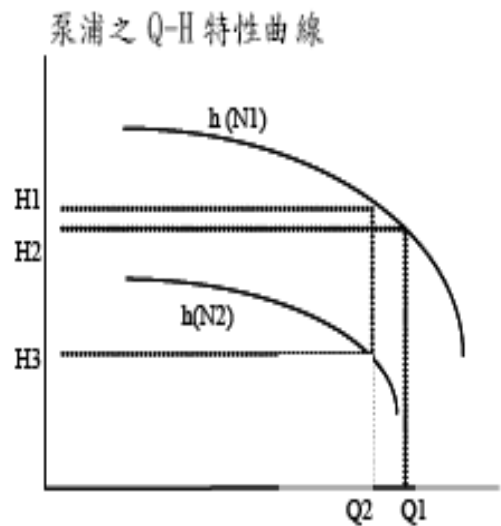


溫度控制之精確度比較圖

註：VRV 空調系統控制頻率的變動範圍約在 30Hz~116Hz 之間。

## 案例【02】空調冰水區域泵加裝變頻器

節能措施	冰水區域泵加裝變頻器	系統分類	空調系統
說明	依美國 ASHRAE 90.1 (1999 版)在空調設計方面規定，泵浦超過 10HP 者，至少有 50%之流量可變流量，應以變頻器控制區域泵運轉，以節約能源。		
改善前	目前冰水管路係採用PS 系統方式配置，即一次側冰水供應迴路與二次側區域泵冰水迴路拼接而成，一次側與二次側之間有共通管，現場使用二通閥作溫度控制，編號 1~4 區域泵(30hp)(另外編號5~8 作為備用)之出水量無法依現場負載變動而變動。		
改善後	<p>編號1~4 區域泵裝設變頻器，使用二通閥作冰水流量控制，所產生的水流量壓差變化作轉速調控，依負載需求不同，變化區域泵轉速，以節約能源。</p> <p>■ 其原理如下：</p> <p>依「泵浦之Q-H 特性曲線圖」，在泵運轉固定於N1，只以控制閥調整水量由Q1至Q2，此時流量減少部份僅發在h(N1)的Q-H特性曲線上。其揚程由H2增加至H1，如假設泵效率在此略成一定值時，軸動力因與H、成比例，故其變化量只為流量之減少率與揚程之增加率之乘積部份而已。</p> <p>若是將控制閥全開，而改變泵轉速由N1降低至N2，流量由Q1至Q2。則此時Q-H 特性曲線h(N1)變至h(N2)，揚程則由H2減至H3，軸動力則為流量Q1 時之<math>(N1/N2)^3</math>倍。換句話說，以變頻器控制轉速調整流量至1/2時，理論上軸動力則僅需1/2三次方，約12.5%之軸動力就夠了，實際上考慮變頻轉變效率(約6%全載損失)，約需18.5%軸動力，相對節省電力。</p>		



節  
能  
成  
效

● 省能效益：全年運轉 252 天、每天運轉 10 小時，運轉 8 個月，各區將其區域泵浦(編號 1-4)裝設變頻器以調整水量，並依外氣焓值之大小估計其負載之大小，且假設變頻器之低限值為 30%，變頻器耗損功率比例約為 6%，每年減少用電量約 62,042kWh，節省電費 11.8 萬元。

(1)現況運轉用電：30hp/台×4 台×0.746kW/hp×2,520h/年×8/12(運轉月數)×平均電價1.91元/kWh=150,394kWh/年、287,252元/年

(2)採用變頻器控制水量用電：全年空調負荷概估：100%轉速佔33.4%、77%轉速佔33.3%、50%轉速佔33.3%。(註：變頻器損失6%)

30hp/台×4 台×0.746kW/hp×[(13+0.06)×0.334+(0.773+0.06)×0.333+(0.53+0.06)×0.333]×2,520h/年×(8/12)×1.91元/kWh  
=88,379kWh/年、168,804元/年。(註：見圖(二)變頻器控制節能)

(3)節能效益(1)－(2)=(150,394－88,379)kWh/年=62,015 kWh/年

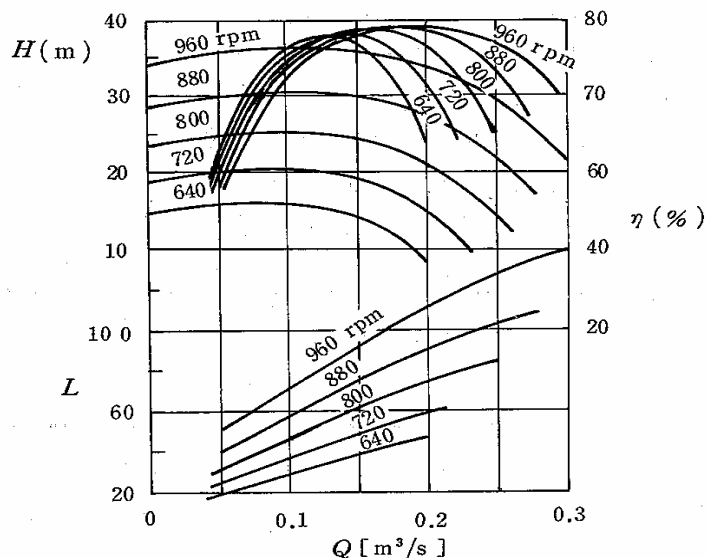
(287,252－168,804)元/年=118,448元/年

● 投資費用：四個 30hp 冰水區域泵需匹配裝置變頻器加控制器及工資費用，共 60 萬元。

● 回收年限：60 萬元÷11.8 萬元/年=約 5 年。 區域泵系統採用變頻式控制(例)

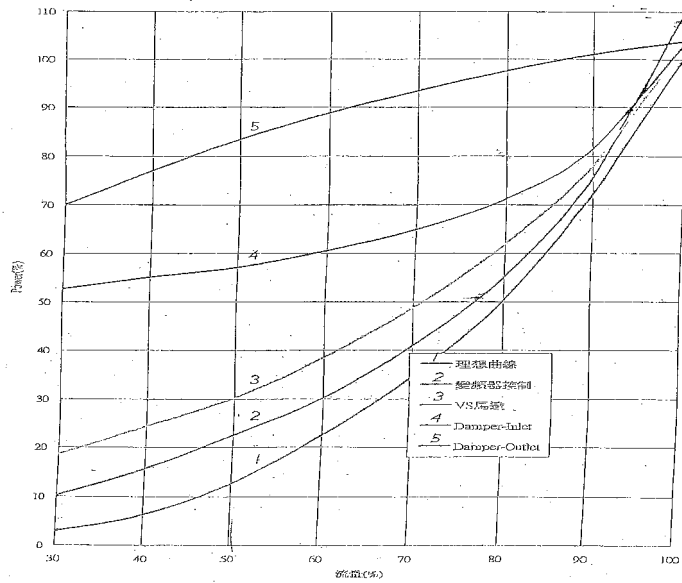


參  
考  
資  
料



註：本圖可概略了解泵浦流量(Q)，揚程(H)，轉速(rpm)及效率(%)與軸馬力%之相互影響關係。

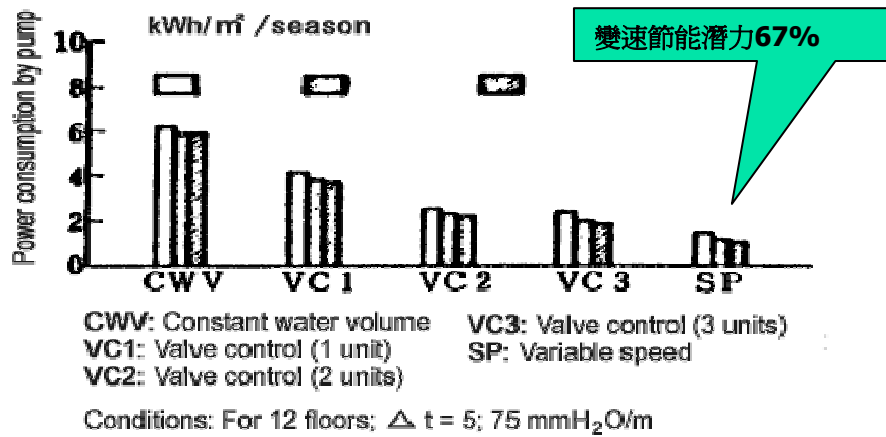
圖(一)泵浦運轉特性(例)



變頻器控制節能圖

註：本圖可概略了解泵浦採用變頻器控制時，當流量(Q)變化，耗電%之相互影響關係。

圖(二)變頻器控制節能(例)



VWV Effect in Perimeter Zone

註：本圖可概略了解泵浦不同變水量控制之節能比較，以變速控制節能效果最高達67%。

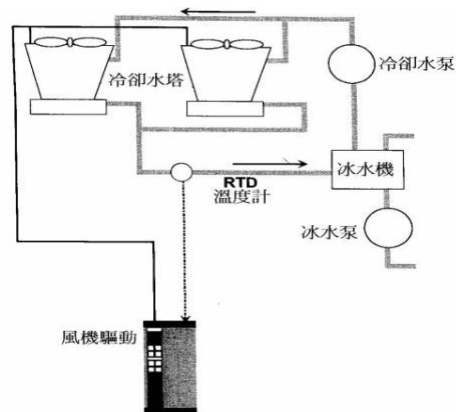
圖(三)不同變水量控制之節能比較 (Ashrae 90.1-1999)

### 案例【03】冷卻水塔風車加裝變頻器

節能措施	冷卻水塔風車加裝變頻器	系統分類	空調系統
說明	<p>1.從一般的經驗知道，冷卻水溫度每降低1°C，可降低冰水主機耗電1.5~2.0%。冷卻水入口溫度應在符合冰水主機特性及外氣濕球溫度的限制下，儘可能地降低來節約冰水主機用電。也就是說，冷卻水塔應與冰水主機的運轉一併考量，才能使系統整體效率提升，二者耗電存在一最佳運轉效率點。欲達成最佳化控制，冷卻水設定溫度應隨外氣濕球溫度重置(Reset)。其目的在使冷卻水塔的散熱能力完全發揮，同時避免接近溫度過低而消耗太多的風車耗電。但冷卻水溫也不是可以無限制地降低，最低設定溫度應諮詢冰水主機製造廠的意見。</p> <p>2.最適當的控制方式，是所有的冷卻水塔風扇都裝變頻器，同時利用備用的冷卻水塔，冷卻水塔風扇轉速可依實測冷卻水溫與設定溫度之間的差值做變頻控制。如此一來，冰水主機可因冷卻水溫隨季節變動調低而使耗電減少，冷卻水塔風扇也可全力運轉，但不致於浪費過多電力約30~40%。</p> <p>3.見後參考資料：降低冷卻水進水溫度對空調節能之影響。</p>		
改善前	<p>中央空調使用良機方型二座 700RT 冷卻水塔(每座風車馬達 10HP×2)，目前使用出水溫之高低採 20°C~28°C 分段溫度控制配合冰水主機開啟使用。冷卻水塔現況運轉耗能：82,533kWh/年。(見後附件 C-1 所示)。</p> <div data-bbox="627 1473 1120 1843" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;"><u>空調用冷卻水塔</u></p>		

改善後

- 1.目前採用溫度控制風車馬達運轉已有相當節能效果，建議於4台風車馬達加裝變頻器控制，將更能有效執行節能管理。
- 2.變頻器用在馬達的速度調控上的技術已日趨普遍與成熟，由於其特性，能使馬達依被控制物的需求作適當的轉速變化，且減少低負載下的馬達之電力需求，此舉即達成節省電能的功用。冷卻水塔風車加裝變頻控制，約可減少30~40%用電量。
- 3.將冷卻水塔之風扇馬達並聯運轉，並由冷卻水塔出水溫度回饋至變頻器，控制冷卻水塔風車轉速，如下圖所示。冷卻水塔的散熱能力在其他條件固定的情形下與風扇風量大小約呈正比關係，如果讓所有冷卻水塔同時一起運轉，則在相同負載下每個冷卻水塔的风量可以減少。因此根據風車定律每一水塔的風車耗電量也會隨風量的三次方減少，達到節能之目的。
- 4.未來除增設變頻設備，並且汰換冷卻水塔散熱片，將能提高散熱效果並降低風扇馬達耗電。



冷卻水塔變頻驅動系統圖

節能成效

- 預估節能效益：
    - (1)預估冷卻水塔風車馬達加裝變頻器控制後，可節省耗電：29,082kWh/年，節省電費5.8萬元/年。(見後附件C-2、C-3所示)。
    - (2)節能率： $(29,082 \div 82,533) \text{kWh/年} = 35.24\%$
- 註1：根據外氣濕球溫度，重置出水溫度控制點，以進行風扇變頻控制，盡可能降低冷卻水溫度，提升冰水主機效率，最低設定溫度應諮詢冰水機製造廠的意見，以避免回油壓力不足及膨脹閥冷媒流量不足之現象。

註 2：減少冷卻水塔因溫度控制使風車馬達啟動頻繁造成傳動皮帶易損壞，並減少冷卻水塔蒸發損失與用水量。

- 投資費用：增設 4 台 10HP 之風車馬達變頻器及其附屬控制設備，約須投資費用 20 萬元。(價錢依廠牌而不同，實際費用請自行詢價)。
- 回收年限：20 萬元 ÷ 約 5.8 萬元/年 = 3.5 年。

參  
考  
資  
料

## 降低冷卻水進水溫度對空調節能之影響

### 水溫及範圍(Water Temperature and Ranges)

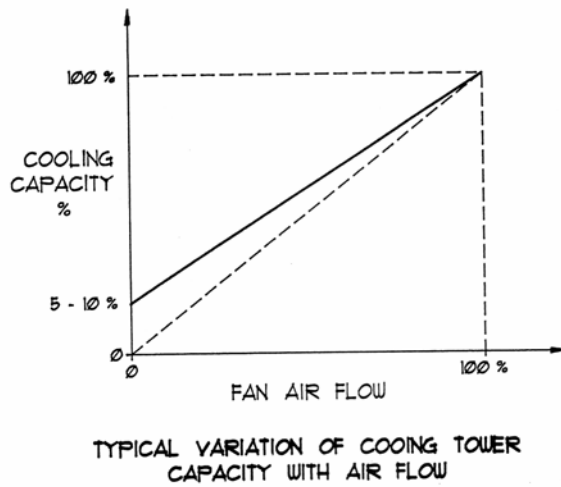
- 溫度差(temperature ranges)的選擇會影響冰水機房的操作及用電。
- 主機蒸發溫度受限於送風溫度，主機冷凝溫度受限於外氣濕球溫度(水冷式或蒸發式冷凝器)或乾球溫度(氣冷式冰水主機)。
- 這些規格指定後，空調系統就必須在此範圍內操作。

### 建議供水溫度(Suggest Supply Water Temperatures)

Chilled Water Temperature Ranges (°F)	Suggested Supply Water Temperature (°F)
10	44
12	44
14	42
16	42
18	40

- 上表為不同的冰水溫差對應建議的冰水出水溫度，最佳的冰水溫差與冰水出水溫度的組合需作年度能源分析才可知道，每個個案會有不同的組合。
- 能源分析的電腦程式可以很快的評估出如泵的節省對主機的浪費所得到的淨效益。

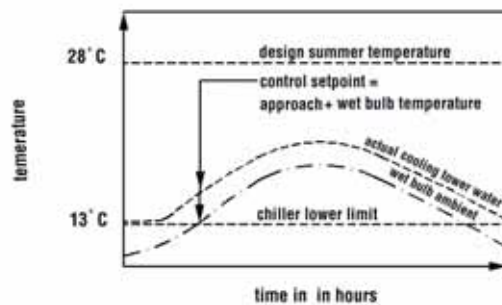
### 冷卻水塔特性(Cooling Tower Character)



- 使用(濕球溫度+冷卻水塔接近溫度)作為設定值，可平衡冰水主機及冷卻水塔的耗電而得到最佳化的控制。

### 最是控制冰水主機/冷卻水塔 Optimal Control Chiller/Cooling Tower

#### Optimal Control Of Chiller/Cooling Tower Condenser Water Temperature



- 使用(濕球溫度+冷卻水塔接近溫度)作為設定值，可平衡冰水主機及冷卻水塔的耗電而得到最佳化的控制。

### 冷卻水溫範圍 Condenser Water Temperature Range

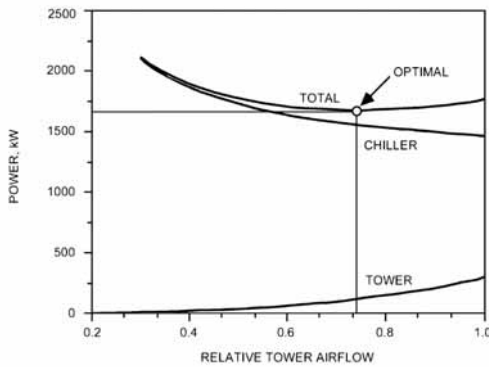
- 增加冷卻水溫差，可減少冷卻水流量，同時冷卻水泵及管路也可減小。
- 提高冰水主機冷凝壓力會增加冰水主機費用及降低冰水主機性能。
- 改善冷卻水塔 LMTD 可使用較小的水塔，但此策略通常無法彌補冰水主機增加的費用。
- 在大部分的情況下，整體的費用會增加，也就是冰水主機增加的費用大於冷卻水塔風車和冷卻水泵減少的費用。

## 冰水主機特性與冷卻水溫 Chiller Performance Vs. CSWT

Chiller Type	Performance Improvement (Percent kW /°F condenser water)
W/C Recip.	1.1 to 1.3
W/C Scroll	1.3 to 1.5
W/C Screw	1.6 to 1.8
W/C Centrifugal	1.0 to 1.6
W/C Centrifugal VFD	2.4 to 2.6
Absorption	1.4 to 1.5

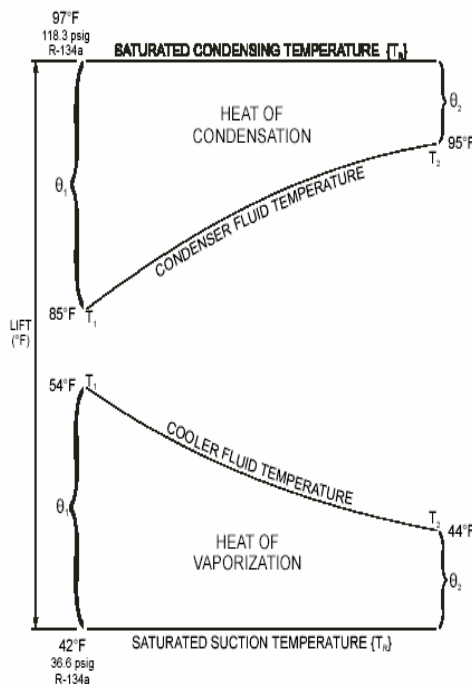
- 降低冷卻水進水溫度可使冰水主機效率增加。
- 冷卻水塔控制的理想目標是提供冷卻的需求，並使空調系統用電量最少。
- 許多案例，將設定點定在 85°F，並非最佳方式。

## 冷卻水塔控制 Cooling Tower Control



- 實際上設計點的外氣濕球溫度一年中平均發生的時間不到 2.5%。
- 水塔風車維持固定的溫度並非最佳運轉點。
- 冷卻水入口溫度應考量外氣濕球溫度與冰水主機用電，才能使系統整體效率提升。

## 冰水主機熱交換條件 Chiller Heat Exchanger Conditions



- 冰水出水溫度與送風溫度相關。
- 冰水溫度必須夠冷才能提供冷卻盤管合理的溫差(LMTD)。
- 傳統上是定 10°F 的溫差，45°F 出水溫度，55°F 回水溫度。
- 降低冰水出水溫度，可將溫差拉大，使空調箱盤管尺寸減小，風車揚程減少。但會增加壓縮機壓力揚程(Lift)，增加冰水主機耗電。
- 降低冷卻水出水溫度，可減少壓縮機壓力揚程(Lift)，降低冰水主機耗電。

附件C-1 冷卻水塔風扇耗電量統計表(改善前)

HP	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
02:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
04:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
08:00	5.0	5.0	10.0	10.0	10.0	10.0	15.0	15.0	15.0	15.0	10.0	5.0
09:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
10:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
11:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
12:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
13:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
14:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
15:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
16:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
17:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
18:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
19:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
20:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
21:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
22:00	10.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0	20.0	10.0
23:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
每月總計(kWh)	3353	3029	6707	6490	6707	6490	10060	10060	9735	10060	6490	3353
每月總計(元)	6653	6009	13306	12877	13306	13357	20703	20703	20035	19959	12877	6653
尖峰						5527	8567	8567	8290			
半尖峰	6653	6009	13306	12877	13306	7830	12136	12136	11745	19959	12877	6653
離峰	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附件C-2 冷卻水塔風扇耗電量統計表(改善後)

HP	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
02:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
04:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
08:00	1.4	1.4	3.2	4.5	7.3	7.0	11.7	10.2	10.4	9.2	3.3	1.1
09:00	3.1	3.0	6.8	9.3	14.0	14.2	23.2	19.9	20.3	19.2	6.7	2.5
10:00	3.4	3.3	6.9	9.6	14.4	14.3	23.4	20.7	20.7	18.4	6.8	2.6
11:00	3.7	3.5	7.6	10.0	15.0	15.3	24.5	21.9	21.9	18.6	7.3	2.5
12:00	3.8	3.7	8.6	10.6	16.3	17.0	25.4	22.9	23.4	19.9	7.6	2.8
13:00	4.0	3.9	9.5	11.5	17.2	17.9	27.2	24.6	24.4	20.7	8.0	3.0
14:00	4.1	4.1	9.9	12.3	17.7	18.2	30.0	26.1	25.2	21.8	8.8	3.2
15:00	4.1	4.1	9.9	12.3	18.1	18.0	30.0	26.1	25.2	21.8	8.8	3.2
16:00	4.0	3.9	9.5	12.3	16.9	17.2	27.5	26.1	25.6	21.5	8.6	3.1
17:00	3.9	3.9	9.0	11.9	16.2	16.6	27.2	24.6	25.4	21.5	8.4	3.1
18:00	3.9	3.8	8.8	11.6	16.8	16.9	26.2	24.4	25.0	21.7	8.3	3.0
19:00	3.8	3.6	8.6	11.0	16.0	15.9	26.1	24.3	24.6	20.6	7.6	2.8
20:00	3.4	3.4	8.2	10.2	15.2	15.3	25.7	23.0	23.9	19.7	7.2	2.6
21:00	3.3	3.1	7.5	9.7	15.1	15.0	25.3	22.6	23.0	18.9	6.7	2.4
22:00	3.1	2.9	7.0	9.3	14.4	13.4	23.6	20.7	21.9	18.3	6.4	2.2
23:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
每月總計(kWh)	1225	1077	2799	3497	5328	5201	8722	7823	7627	6750	2474	929
每月總計(元)	2430	2136	5553	6939	10571	10703	17950	16100	15697	13392	4908	1843
尖峰						4651	7738	6929	6583			
半尖峰	2430	2136	5553	6939	10571	6052	10212	9170	9114	13392	4908	1843
離峰	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 附件C-3 冷卻水塔風扇效益分析表

項目 月份	改善前冷卻水塔 風扇耗電(kWh)	改善後冷卻水塔 風扇耗電(kWh)	節省度數 (kWh)	節省電費 (元)
一月	3353.3	1224.7	2128.6	4223.2
二月	3028.8	1076.8	1952.0	3872.7
三月	6706.5	2798.7	3907.9	7753.2
四月	6490.2	3497.4	2992.8	5937.8
五月	6706.5	5328.3	1378.2	2734.3
六月	6490.2	5200.6	1289.6	2654.0
七月	10059.8	8721.9	1337.9	2753.4
八月	10059.8	7823.1	2236.8	4603.2
九月	9735.3	7627.3	2108.0	4338.3
十月	10059.8	6750.0	3309.8	6566.7
十一月	6490.2	2473.7	4016.5	7968.7
十二月	3353.3	929.1	2424.2	4809.6
合計	82533.7	53451.4	29082.3	58215.3

註：

1. 夏月(6-9月), 尖峰流動電費2.058元/kWh, 半尖峰流動電費2.058元/kWh  
離峰流動電費0.808元/kWh。
2. 非夏月半尖峰流動電費1.984元/kWh, 離峰流動電費0.745元/kWh。

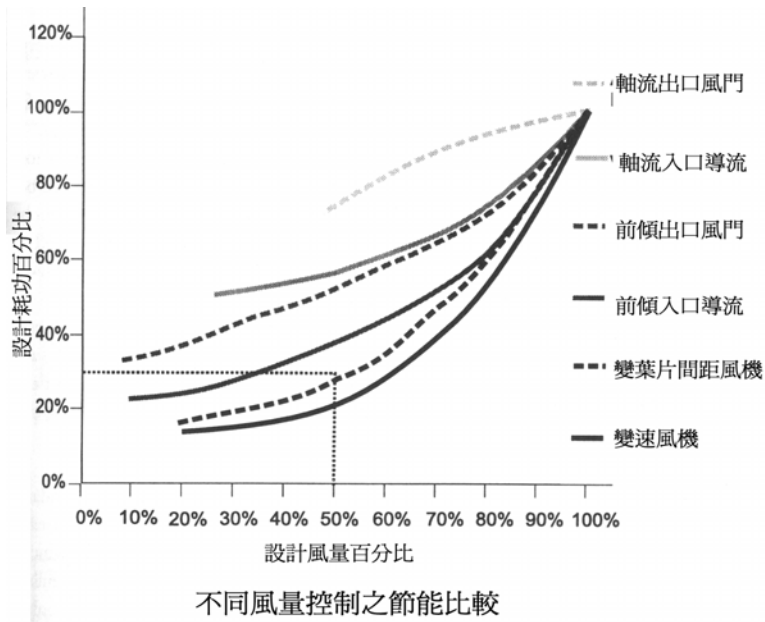
### 案例【04】空調箱 AHU 加裝變頻器改成 VAV 控制

節能措施	空調箱AHU加裝變頻器改成VAV控制	系統分類	空調系統																																																																																			
說明	空調箱 AHU 送風機，採用變頻器 VAV 控制，依空調冷房現場負載需求調整風量，減少送風機耗電。以案例實測初估有 20% 節能效果。																																																																																					
改善前	賣場人潮之尖離峰造成不同時段空調負荷之大差異，經常因缺少適當之控制調整而使離峰時空調太大而耗能。 現有 AHU 送風機共有 9 台。現行無控制。送風機規格由 2HP~20HP，平日使用 14 小時。賣場內氣溫約為 23℃，將調昇至舒適溫度 26℃，以節能。																																																																																					
改善後	<p>1. 將 AHU 送風機，採用 VAV 控制，依空調冷房現場負載需求調整風量，減少送風機耗電。送風機耗電與送風量之三次方成正比，本案送風量可降 20%，可節約 50% 送風耗電。</p> <p>2. 室內溫度升高 1℃，可降低空調耗電約 6%。</p> <p>註：因耗電與流量成三次方之變化，送風不需作過大之調變，如下圖(一)，在送風量降至 50% 時耗電已降至 20% 以下。變頻器亦不宜過低負載，且低負載時小馬達效率降低。</p> <table border="1" data-bbox="770 952 1407 1379"> <thead> <tr> <th data-bbox="770 952 922 1010">項目</th> <th colspan="10" data-bbox="922 952 1407 1010">送風機運轉中變功率輸入特性表</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="770 1010 922 1068">電源電壓 V</td> <td data-bbox="922 1010 963 1068">110</td> <td data-bbox="963 1010 1005 1068">110</td> <td data-bbox="1005 1010 1046 1068">110</td> <td data-bbox="1046 1010 1088 1068">110</td> <td data-bbox="1088 1010 1129 1068">110</td> <td data-bbox="1129 1010 1171 1068">110</td> <td data-bbox="1171 1010 1212 1068">110</td> <td data-bbox="1212 1010 1254 1068">110</td> <td data-bbox="1254 1010 1295 1068">110</td> <td data-bbox="1295 1010 1337 1068">110</td> <td data-bbox="1337 1010 1407 1068">110</td> </tr> <tr> <td data-bbox="770 1068 922 1126">電功率輸入 W</td> <td data-bbox="922 1068 963 1126">93</td> <td data-bbox="963 1068 1005 1126">81</td> <td data-bbox="1005 1068 1046 1126">74</td> <td data-bbox="1046 1068 1088 1126">63</td> <td data-bbox="1088 1068 1129 1126">59</td> <td data-bbox="1129 1068 1171 1126">45</td> <td data-bbox="1171 1068 1212 1126">33</td> <td data-bbox="1212 1068 1254 1126">26</td> <td data-bbox="1254 1068 1295 1126">22</td> <td data-bbox="1295 1068 1337 1126">22</td> <td data-bbox="1337 1068 1407 1126">15</td> </tr> <tr> <td data-bbox="770 1126 922 1184">風速 m/min</td> <td data-bbox="922 1126 963 1184">125</td> <td data-bbox="963 1126 1005 1184">118</td> <td data-bbox="1005 1126 1046 1184">115</td> <td data-bbox="1046 1126 1088 1184">109</td> <td data-bbox="1088 1126 1129 1184">100</td> <td data-bbox="1129 1126 1171 1184">90</td> <td data-bbox="1171 1126 1212 1184">75</td> <td data-bbox="1212 1126 1254 1184">65</td> <td data-bbox="1254 1126 1295 1184">55</td> <td data-bbox="1295 1126 1337 1184">55</td> <td data-bbox="1337 1126 1407 1184">44</td> </tr> <tr> <td data-bbox="770 1184 922 1243">輸入電壓 V</td> <td data-bbox="922 1184 963 1243">110</td> <td data-bbox="963 1184 1005 1243">105</td> <td data-bbox="1005 1184 1046 1243">101</td> <td data-bbox="1046 1184 1088 1243">95</td> <td data-bbox="1088 1184 1129 1243">90</td> <td data-bbox="1129 1184 1171 1243">81</td> <td data-bbox="1171 1184 1212 1243">71</td> <td data-bbox="1212 1184 1254 1243">64</td> <td data-bbox="1254 1184 1295 1243">60</td> <td data-bbox="1295 1184 1337 1243">60</td> <td data-bbox="1337 1184 1407 1243">52</td> </tr> <tr> <td data-bbox="770 1243 922 1301">輸入電流 A</td> <td data-bbox="922 1243 963 1301">0.9</td> <td data-bbox="963 1243 1005 1301">0.8</td> <td data-bbox="1005 1243 1046 1301">0.8</td> <td data-bbox="1046 1243 1088 1301">0.8</td> <td data-bbox="1088 1243 1129 1301">0.8</td> <td data-bbox="1129 1243 1171 1301">0.7</td> <td data-bbox="1171 1243 1212 1301">0.6</td> <td data-bbox="1212 1243 1254 1301">0.5</td> <td data-bbox="1254 1243 1295 1301">0.5</td> <td data-bbox="1295 1243 1337 1301">0.5</td> <td data-bbox="1337 1243 1407 1301">0.4</td> </tr> <tr> <td data-bbox="770 1301 922 1379">馬達熱度 C</td> <td data-bbox="922 1301 963 1379">48</td> <td data-bbox="963 1301 1005 1379">45</td> <td data-bbox="1005 1301 1046 1379">44</td> <td data-bbox="1046 1301 1088 1379">43</td> <td data-bbox="1088 1301 1129 1379">42</td> <td data-bbox="1129 1301 1171 1379">42</td> <td data-bbox="1171 1301 1212 1379">42</td> <td data-bbox="1212 1301 1254 1379">42</td> <td data-bbox="1254 1301 1295 1379">42</td> <td data-bbox="1295 1301 1337 1379">41</td> <td data-bbox="1337 1301 1407 1379">41</td> </tr> </tbody> </table>			項目	送風機運轉中變功率輸入特性表										電源電壓 V	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	電功率輸入 W	93	81	74	63	59	45	33	26	22	22	15	風速 m/min	125	118	115	109	100	90	75	65	55	55	44	輸入電壓 V	110	105	101	95	90	81	71	64	60	60	52	輸入電流 A	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	馬達熱度 C	48	45	44	43	42	42	42	42	42	41	41
項目	送風機運轉中變功率輸入特性表																																																																																					
電源電壓 V	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110																																																																											
電功率輸入 W	93	81	74	63	59	45	33	26	22	22	15																																																																											
風速 m/min	125	118	115	109	100	90	75	65	55	55	44																																																																											
輸入電壓 V	110	105	101	95	90	81	71	64	60	60	52																																																																											
輸入電流 A	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4																																																																											
馬達熱度 C	48	45	44	43	42	42	42	42	42	41	41																																																																											
節能成效	<p>● 節約效益：現行 AHU 送風機電力需求 50.13kW</p> <p>(1). 無控制：年使用電量 = 50.13kW × 73.75% × 365 天/年 × 14hr/天 × 1.98 元/kWh = 188,920 kWh/年，374,063 元/年</p> <p>(2). 採 VAV 控制：年使用電量 = 188,920kWh/年 × 以平均節電 44.75% 計 × 1.98 元/kWh = 84,542kWh/年，167,393 元/年</p>																																																																																					

(3).節約電費：374,063 元/年－167,393 元/年=206,670 元/年

- 投資費用：送風機規格由 2HP~20HP，增設 9 台變頻器費用約 80 萬元（含風車馬達變頻器及其附屬控制設備）
- 回收年限：80 萬元/年÷20.7 萬元=3.8 年

參考資料



圖(一) 不同風量控制之節能比較

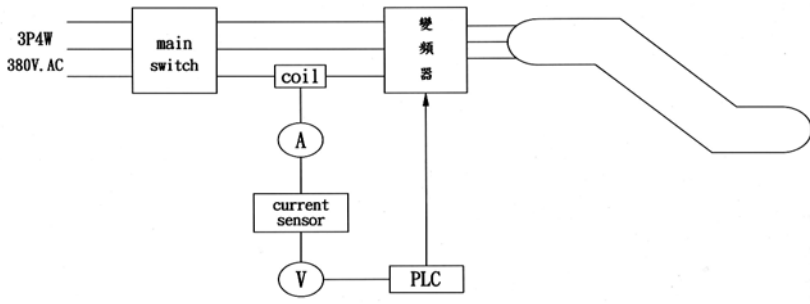



採用變頻式控制(例)



Honeywell central control system(例)

## 案例【05】電扶梯採用變頻器

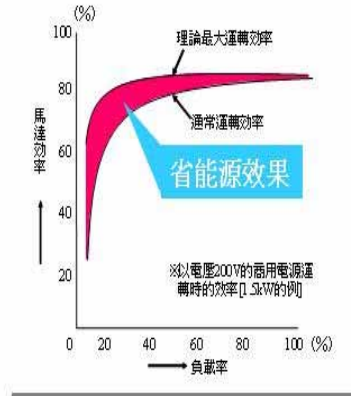
節能措施	電扶梯採用變頻器	系統分類	電扶梯
說明	<p>1.電扶梯及自動走道馬達增設變頻控制，並將其載重訊號回饋至變頻器，以控制其馬達運轉轉速，達到節能之目的。</p> <p>2.變頻器之選用應注意其額定電流是否能匹配電扶梯最大承載重量，以防變頻器當機，影響電扶梯及自動走道之運轉，造成營業困擾。</p> <p>3.晚上或星期例假日則建議停止變頻器控制電扶梯及自動走道運轉，因在電扶梯全載狀況下，變頻器反而造成設備耗電。</p>		 <p style="text-align: center;">電扶梯變頻控制示意圖</p>
改善前	<p>某店 30HP*2 台電扶梯當日訪測了解，非假日因採購人潮大多集中於晚上或星期例假日，平日購物人潮少，電扶梯白天大多是長時間空轉或低載運轉耗電大。</p> <p>每日使用約 12 小時(10:00~22:00)，全年 4,800 小時。</p> <p>電扶梯耗能量：</p> <p><math>30\text{HP}/\text{台} * 2 \text{ 台} * 0.746\text{kW}/\text{hp} * 4,800 \text{ 時}/\text{年} = 214,848\text{kWh}/\text{年}</math></p>		
改善後	<p>電扶梯採用變頻器以節約用電。</p>		

<p>節 能 成 效</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>節省電費：</b> 電扶梯採用變頻器保守可節省耗電約 30%。 30HP*2 台×0.746kW/hp×4,800 時/年×平均節省 30%計×2.2 元/kWh =64,454kWh/年，約 14.2 萬元/年。 節能率%=(64,454÷214,848)kWh/年×100%=30%。</li> <li>● <b>投資費用：</b>估算電扶梯增設變頻器控制開關控制開關配線工資，約 40 萬元。(以 1kW 約 1 萬元估算)</li> <li>● <b>回收年限：</b>40 萬元÷14.2 萬元/年=2.8 年</li> </ul>
<p>參 考 資 料</p>	<p>註：</p> <p>電扶梯採用變頻應請原廠商評估可行性。</p> <p>改善方式可參考見前 7-2 章節變頻器在建築輸送系統之應用所述之國外電扶梯節能設計方式與實例之內容。</p> <p>資料來源：袁紹斌文教基金會 <a href="http://www.tisheng.com.tw/energy-19.html">http://www.tisheng.com.tw/energy-19.html</a></p>

### 案例【06】鍋爐抽排集塵風扇加裝變頻器

節能措施	鍋爐抽排集塵風扇加裝變頻器	系統分類	蒸汽鍋爐系統
說明	風車馬達加裝變頻器及壓力控制器，由壓力(風壓)控制調降抽引力，以減少鍋爐熱能損失和風車馬達電能消耗。		
改善前	館內設置三台 4.5 噸/時蒸汽鍋爐，平常只操作一台，在排煙道氣上設置兩組旋風集塵器，並使用 25HP 風車馬達抽排集塵後之煙道氣，以風車設計規格之排氣風量，應為能滿足三台鍋爐一起操作的狀態，因此在目前只操作一台鍋爐的情況下，風車排氣量應過大，以致鍋爐熱能快速被抽走，而使鍋爐效率欠佳。		
改善後	建議風車馬達加裝變頻器及壓力控制器，由壓力(風壓)控制調降抽引力，以減少鍋爐熱能損失和風車馬達電能消耗。		
節能成效	<ul style="list-style-type: none"> <li>●省電效益：可減少電費支出 4.4 萬元/年。</li> <li>    全年負荷概估：100%轉速佔 33.4%、77%轉速佔 33.3%、50%轉速佔 0%。</li> <li>    <math>(1.06 \times 0.334 + 0.47 \times 0.333 + 0.15 \times 0) = 0.35404 + 0.15651 + 0 = 0.51</math></li> <li>    <math>25\text{HP}/\text{台} \times 3 \text{台} \times 0.746\text{kW}/\text{HP} \times 0.51 \times 2,430\text{h}/\text{年} \times 1.91 \text{元}/\text{kWh} = 23,113\text{kWh}/\text{年}</math>、44,146 元/年</li> <li>●投資費用：增設一台 25HP 變頻器及壓力控制器含施工費，約需 15 萬元。</li> <li>●回收年限：15 萬元<math>\div</math>4.4 萬元/年=3.4 年。</li> </ul>		

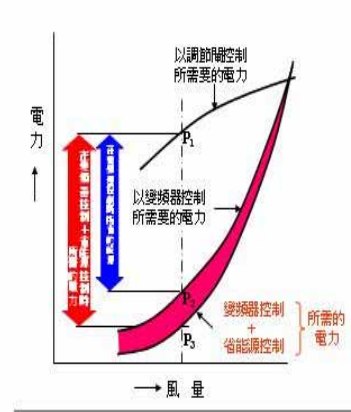
## ■ 充實的省能源控制



### ■ 最接近於理論最大運轉效率的終極省能源運轉

馬達會在負載的重量減輕時,效率降低. 因為省能源控制運轉是基於效率降低時的 Steinmetz 馬達特性計算法的理論來改善運轉的效率, 故可以降低運轉的成本.

藉由向量控制 + 省能源控制, 可達成雙贏的高效率與高響應.



### ■ 省更多的能源

左圖為送風機的風量調節閥的控制  
圖中所示為變頻器控制與變頻器 + 省能源控制在運轉時所需要的電力.

只採用變頻器可省 P1-P2 的電力.

若加上省能源控制更可省 P2-P3 的電力.

參考資料：<http://www.yaskawa.co.jp/> 日本安川變頻器產品

## 9.2 變頻器節能改善成功案例

### 案例【1】某辦公大樓採用變頻器節能改善應用例

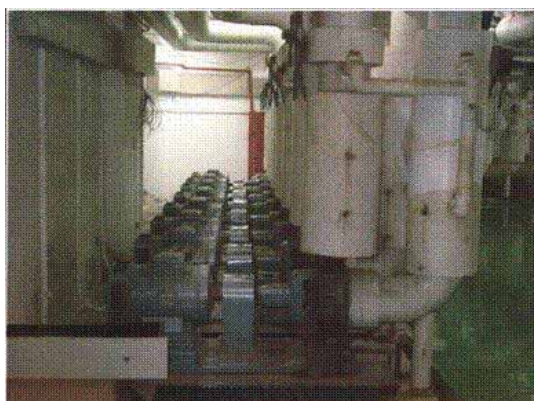
表 9.2-1 某辦公大樓採用變頻器節能改善成效

項次	改善內容	改善對策	節能成效
1	汰換已故障 300RT 儲冰用主機	將既有故障之儲冰主機汰換成 200RT 新式高效率螺旋主機。	提高冰水主機效率，修正舊有主機 OVER DESIGN 部分，可節省主機耗能 30%。
2	冰水系統區域泵改善為變水量系統	區域冰水泵加裝變頻器，並於送、回水之集水頭加設旁通管路，使其達到依負載變化供應冰水流量。	可節省冰水泵運轉耗能 30%。
3	增設節能監控系統	增設電力監測系統，有效掌握空調、電力、照明用電比例，有效控管用電情形。	有效管理及節約空調耗能 30% 以上。

註：參考資料：辦公大樓空調節能介紹-國立台北科技大學 能源與冷凍空調工程系 蔡尤溪教授



- 汰換已故障 300RT 儲冰用主機
- 故障 300RT 儲冰用主機，新設 200RT 新式高效率螺旋主機



- 冰水系統區域泵改善為變水量系統

## 案例【2】某大學採用變頻器節能改善應用例



### 某大學-行政圖書大樓

- 地上 9 層地下 2 層之辦公大樓
- 建築物樓層總樓地板面積:13607 m<sup>2</sup>
- 冰水主機：190RT \*1 台、 120RT \*1 台
- AHU 空調箱：24 台
- FCU 室內送風機：104 台



### 改善前現況照片-空調箱

- 原以冰水流量控制，改以 VAV 因應空調負荷作容量控制。



### 改善前現況照片-冷卻水塔

- 冷卻水塔加裝變頻裝置，可節省能源。



### 改善前現況照片-冰水管路系統

- 水側原採定水量系統（三通閥系統），改採變水量省能裝置。

## 改善前現況照片-地下室主機房



改善方法：將效果已劣化之儲冰系統拆除，增加圖書空間。

表 9.2-2 某大學採用變頻器節能改善對策及效益

NO	改善內容	改善對策	改善效益
1	AHU 空調箱效能改善	VAV 控制系統，區域風管配合 Damper 電動風門作舒適控制。	無段變風量系統(VAV)，隨空調負荷，自動無段調整，達到舒適與靜音境界。
2	空調箱及小型冷風機配合 VWV 系統改善	空調箱及小型冷風機三通閥修改成二通閥，區域管路末端加裝旁通閥。	配合 VWV 系統，有效節省冰水供應量。
3	冷卻水塔效能改善	冷卻水塔風扇加裝 VAV 變風量控制。	在低負載時，VAV 系統較傳統式系統省能 30% 以上。
4	水泵效能改善	加裝變頻器，依空調負載變動調整馬達轉速，以達節能之功效。	變頻器依空調負載變動調整馬達轉速，節約送水耗電 30% 以上。
5	地下室主機房空調系統改善	將主機房內熱傳效果不佳之板式熱交換器及儲冰系統拆除，並作管路調整。	改善冰水主機熱交換效率。
6	增設中央監控系統	增設中央監控系統。	有效控制空調設備，達到節省空調設備用電量。

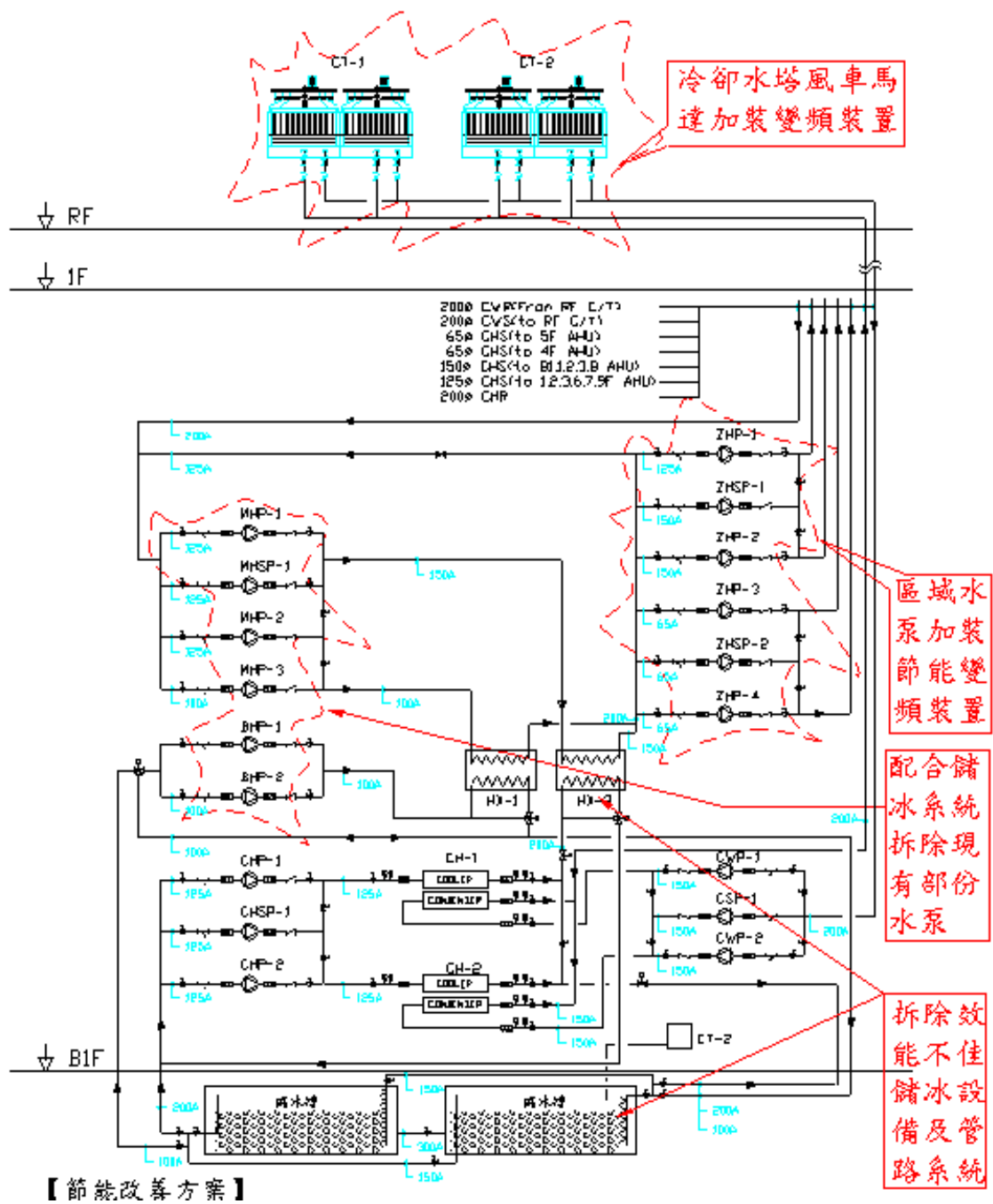


圖 9.2-1 舊有空調管路系統昇位圖及節能方案

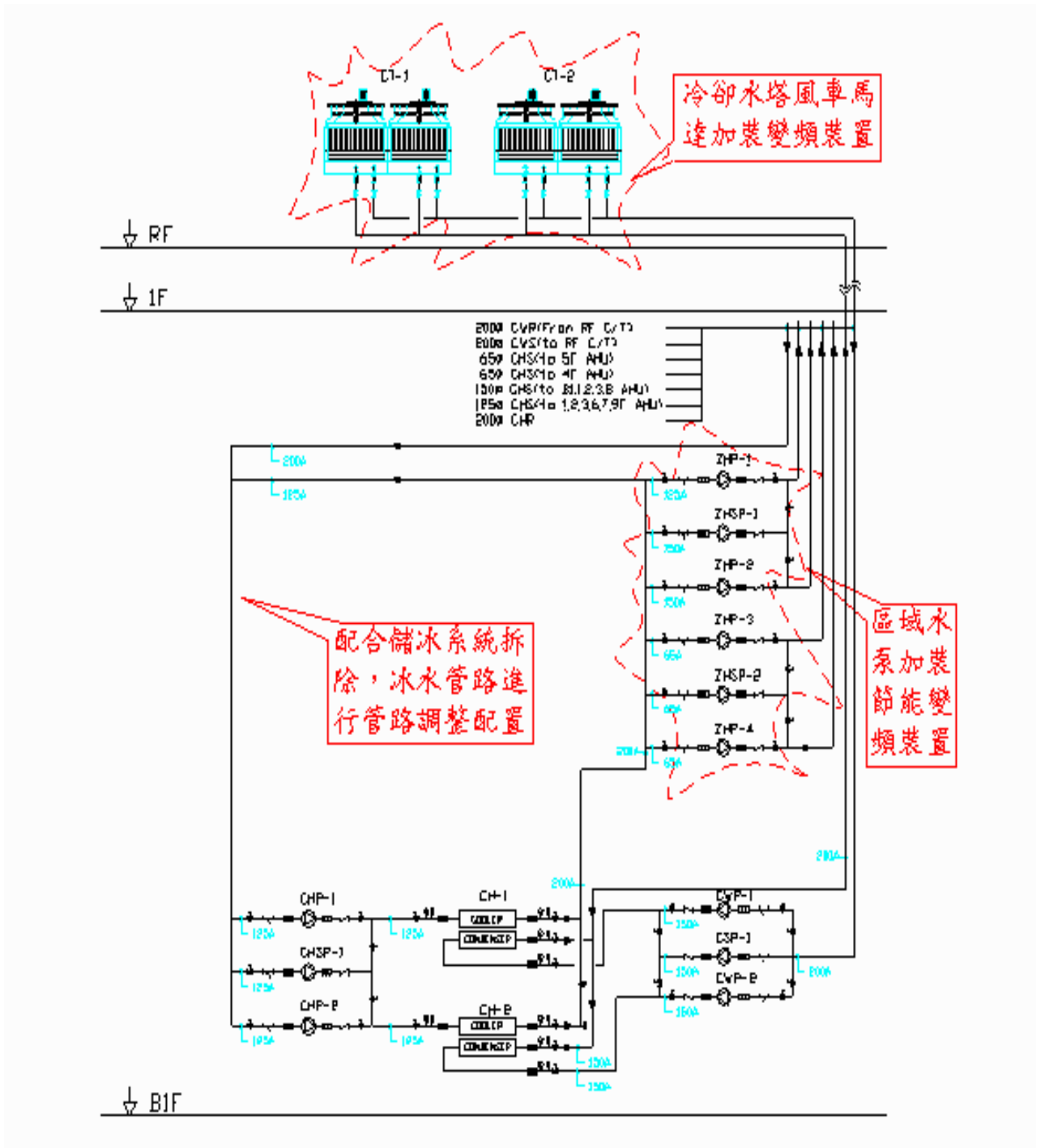


圖 9.2-2 改善後-空調管路系統昇位圖

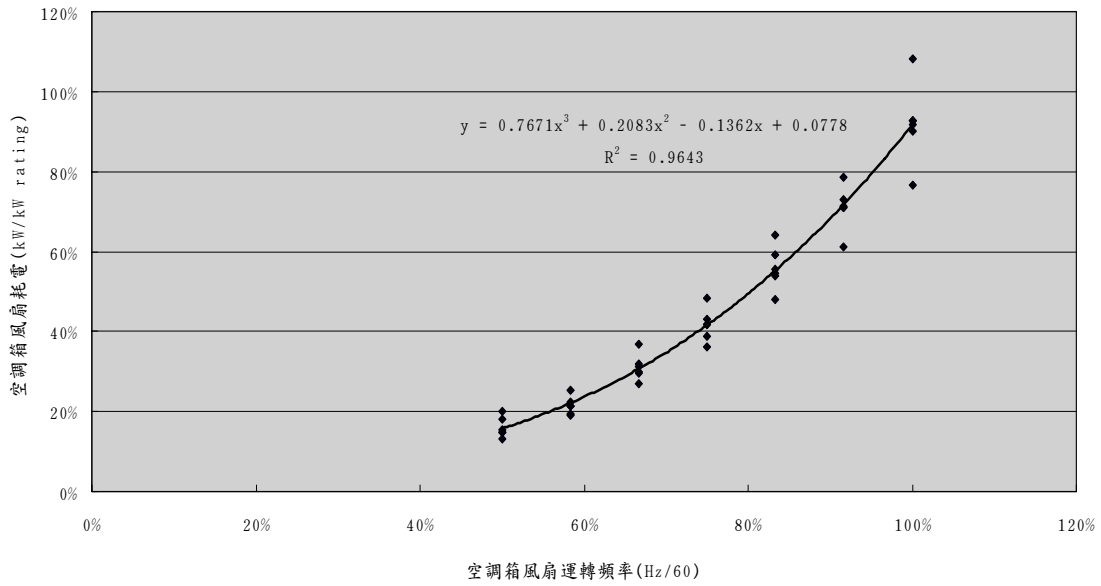


圖 9.2-3 改善後-空調箱風扇運轉頻率與耗電趨勢

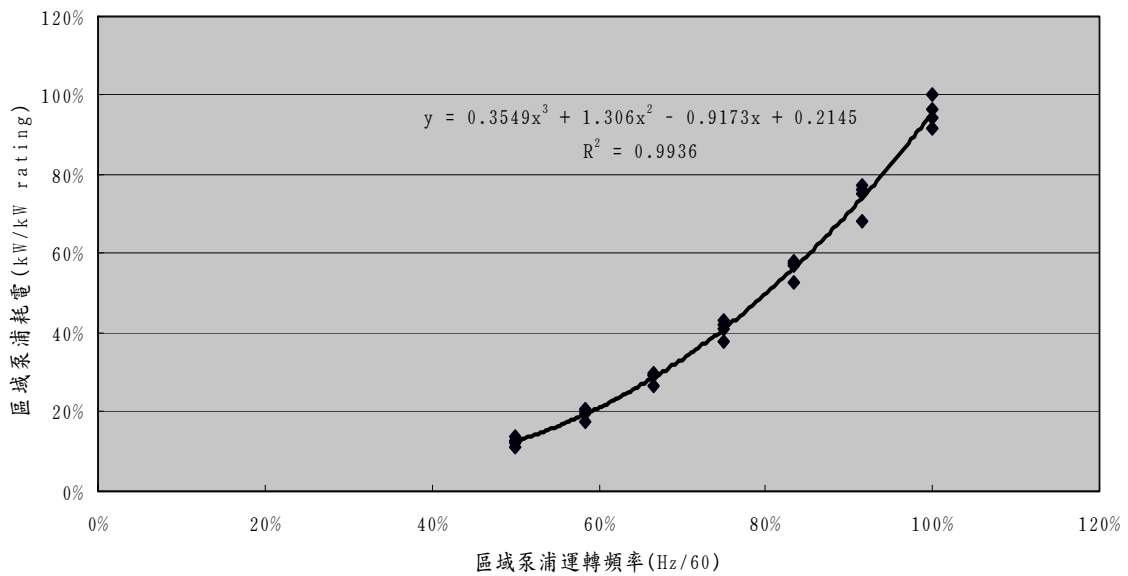


圖 9.2-4 改善後-區域泵浦運轉頻率與耗電趨勢

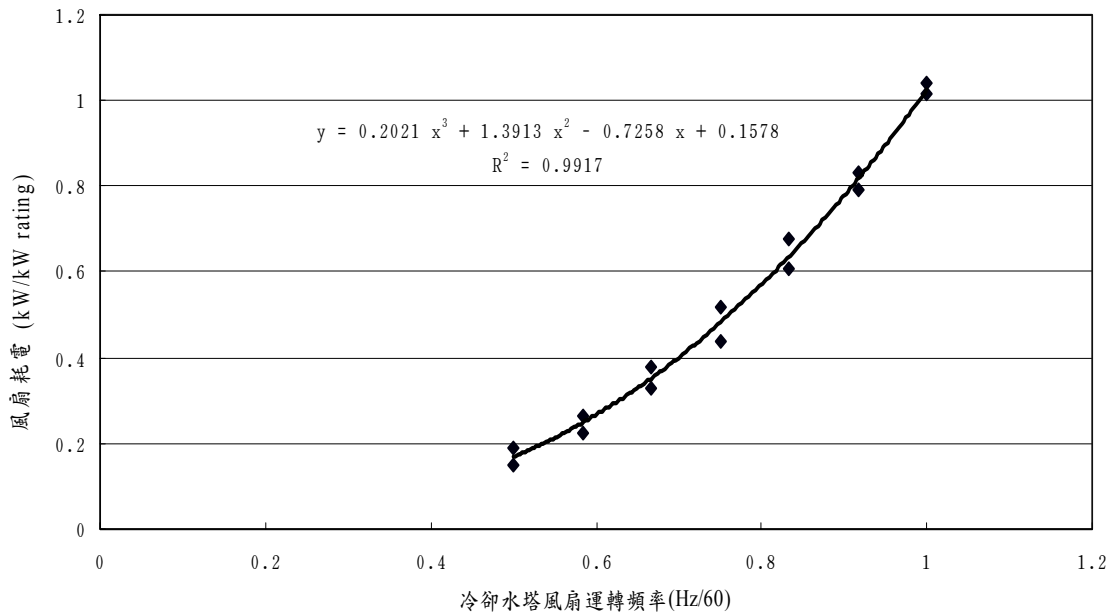


圖 9.2-5 改善後-冷卻水塔風扇運轉頻率耗電趨勢

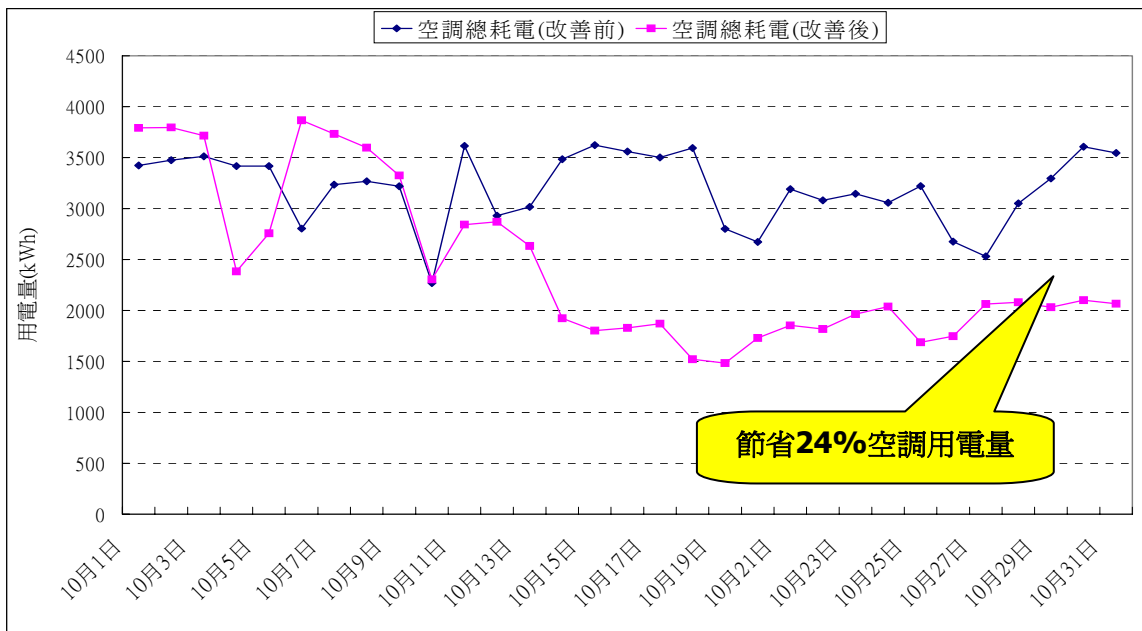


圖 9.2-6 改善前後-空調耗能比較

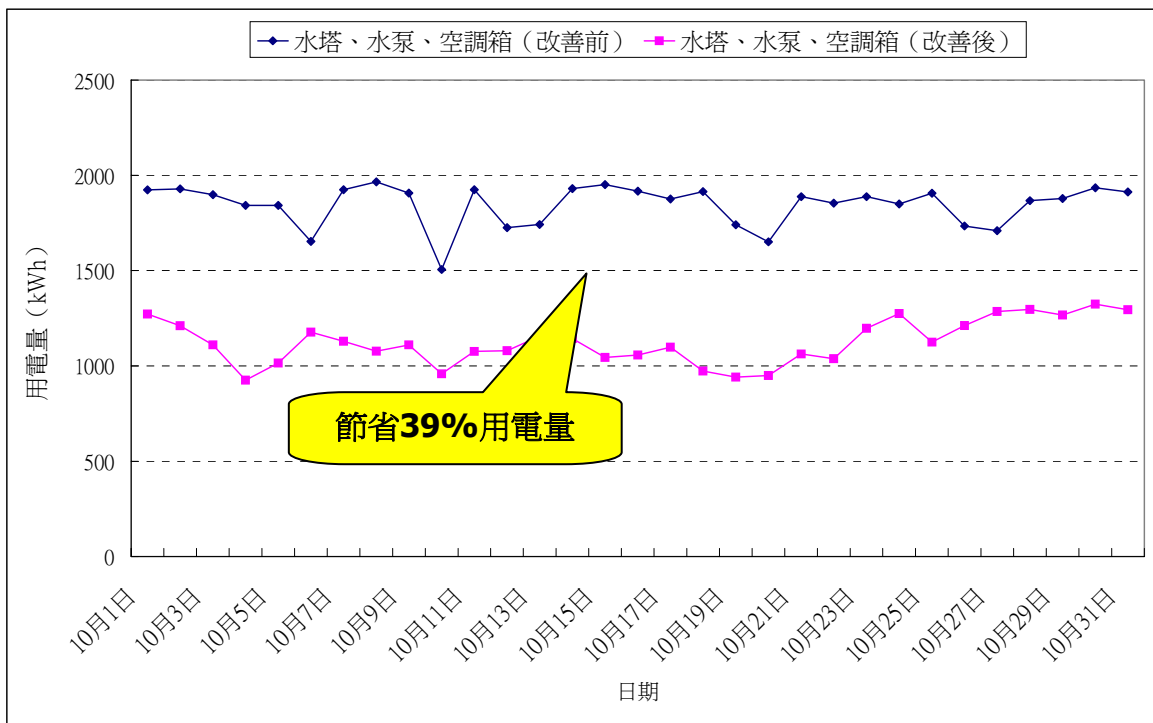


圖 9.2-7 改善前後-水塔、水泵、空調箱耗能比較

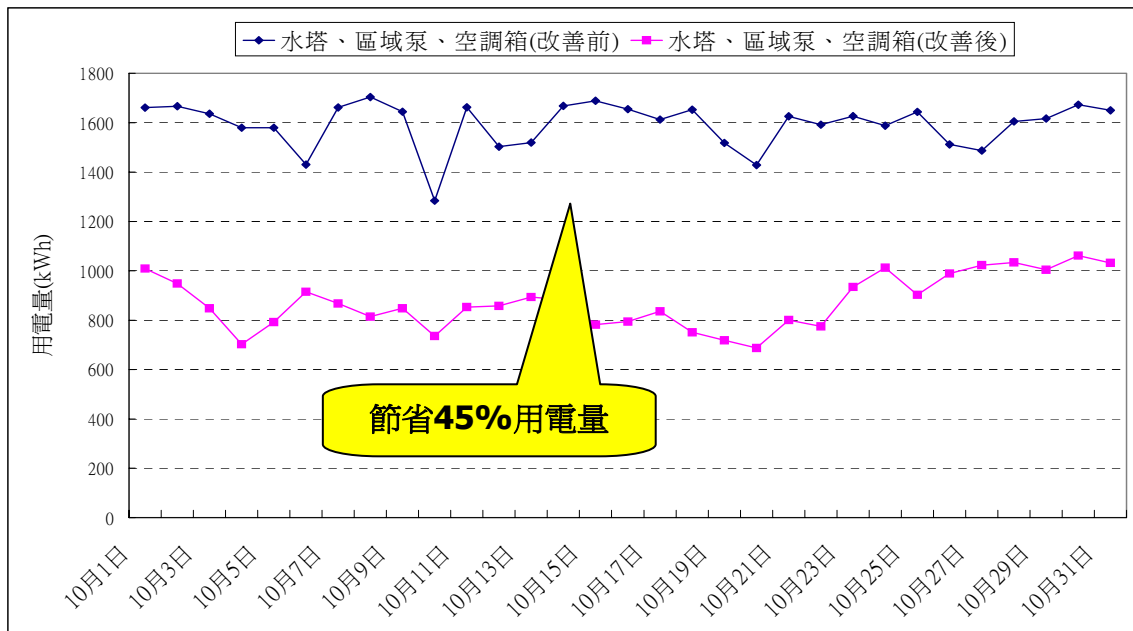


圖 9.2-8 不包括冷卻水泵之改善前後-水塔、水泵、空調箱耗能比較

## 改善前後差異：

表 9.2-3 某大學採用變頻器節能改善前後比較單一日之耗電差異

空調系統	改善前	改善後	節約用電	
變頻改善部份	實測值	實測值	節約量	節約率
泵浦、空調箱用電量(kWh/D)	2,774	1,375	1,399	50.43%

採用變頻器控制的泵浦、空調箱、冷卻水塔等設備整體用電量自 2,744kWh/D，減少至 1,375kWh/D，共節約用電 1,399kWh，大約是 50% 的節約率。

### 整體節能改善效益：

- 改善冷卻水塔、空調箱、區域泵及冰水管路後，可降低這些設備用電量約 45%，節省空調整體耗電約 24%。
- 以 91 年改善前監測之數據顯示，行政圖書館大樓之年度空調總耗電約為 1,067,046 kWh，則改善後，每年約可節省 256,091 kWh。
- 以學校平均每度電 2.2 元計算，則每年可節省之電費約為 563,400 元/年，投資效益相當高。
- 若以平均每度電二氧化碳排放量 0.62kg 計算，則每年可降低二氧化碳排放量為

$$0.62\text{kg/kWh} \times 256,091\text{kWh/年} = 158,776\text{kg/年}$$

註：參考資料：辦公大樓示範觀摩研討會(960921)-辦公大樓空調節能介紹-國立台北科技大學 能源與冷凍空調工程系 蔡尤溪教授

## 第十章 結語

由歷年節能訪測中，了解國內工業、商業建築及家電，已逐漸普及，採用變頻器控制調整系統變風量、變水量及製程速度合理化，如空調系統(變頻冰水主機、VWV 區域冰水泵、冷卻水塔變風扇、VAV 空調箱)、抽排風機、給水泵及家電(變頻洗衣機、變頻分離式冷氣機)等，都可獲得節約用電約 30%及更穩定舒適空調環境，目前變頻器因普及化，國產品質提升，價格大幅降低，已加速投資改善回收年限。

依以本中心 2006 年產業及政府機關節能技術服務計畫資料統計，台灣地區契約容量大於 1,000kW 之工商能源大用戶合計，總筆數約 3,400 筆、總用電度數約 738 億度電、總用電費約 1,252 億元、平均電價約 1.7 元/度。依變頻器應用節能案例統計，國內能源查核用戶採用者最多，因此應再加強推廣，優先配合能源查核制度，推動整個能源查核大用戶，採用變頻器，較符合投資效益及成果呈現，並起示範作用。若日後國內能再增加 30%用戶採行，估計可獲得節約總用電量約 14 億度電，總電費約 24 億元，可觀的節能效益，投資費用 3 年回收計，至少產生約 72 億元節能市場及降低二氧化碳排放量 86.8 萬噸/年。變頻器節能潛力計算如下：

- 節能用電量 = 總用電 738 億度電 × 動力占 70% × 設備導入可行性占 30% × 改善落實率 30% × 節約效益 30% = 約 14 億度電。
- 節能用電量 = 總用電 14 億度電 × 1.7 元/度 = 約 24 億元。
- 產生市場 = 24 億元 × 投資費用 3 年回收計 = 72 億元。
- 減少二氧化碳量 = 14 億度電/年 × 0.62kg/度電 = 約 86.8 萬噸/年

最終期望各用戶能善加利用變頻器節能，由能源使用成本降低，可提升經營利潤，加強市場競爭力，對國家整體節約能源目標推動上，也相對提出貢獻。

## 參考文獻

### 第二章 國內電力供需概況

- [1]. <http://www.moeaec.gov.tw/news/newsdetail.asp?group=g&no=03&serno=00328>。
- [2]. [http://www.moeaec.gov.tw/ePublication/energy\\_qreport/main/files/03/3-2.國內能源消費%20\(按能源別\)\(09601\).pdf](http://www.moeaec.gov.tw/ePublication/energy_qreport/main/files/03/3-2.國內能源消費%20(按能源別)(09601).pdf)。
- [3]. 康基宏，「環保產品－高效率馬達」，機械月刊，第 286 期，頁 337-341，民國 88 年。
- [4]. G. G. Gray and W. J. Martiny, "Efficiency testing of medium induction motors - a comment on IEEE Std," IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 11, pp. 495-499, 1996.
- [5]. A. H. Bonnett, "An update on AC induction motor efficiency," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 11, pp. 1362-1372, 1994.
- [6]. P. S. Hamer et al. "Energy-efficient induction motors performance characteristics and lifecycle cost comparisons for centrifugal loads," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 33, pp. 1312 -1320, 1997.
- [7]. A. H. Bonnett, "An overview of how AC induction motor performance has been affected by the October 24, 1997 implementation of the Energy Policy Act of 1992," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 36, pp. 242 -256, 2000.
- [8]. B. H. Campbell, "Failed motors: rewind or replace?" IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 3, pp. 45-50, 1997.
- [9]. S. Nadel, M. Shepard, S. Greenberg, G. Katz and A. T. de Almeida, Energy-efficient motor systems, 2nd ed., American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington DC, 1999
- [10]. Oak Ridge National Laboratory, Evaluation of the U.S. Department of Energy Motor Challenge Program, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 2000.
- [11]. P. E. Scheihing, US Department of Energy's Motor Challenge Program : A national strategy for energy efficient industrial motor-driven systems, U. S. Department of Energy, Office of Industrial Technologies, Washington DC, 1997.
- [12]. M. K. Yoon, C. S. Jeon and S. K. Haataja,, "Efficiency increase of an induction motor by improving cooling performance," IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 17, pp. 1-6, 2002.

- [13]. E. G. Pita, Air conditioning principles and systems, Prentice-Hall, pp. 293, 3rd Edition, 1998.

### 第三章 變頻器之技術與裝置的選用

- [1]. D. W. Novotny and T. A. Lipo, Vector control and dynamics of AC drives, Oxford University Press, 1996.
- [2]. F. Blaschke, 'The principle of field orientation as applied to the new TRANSVECTOR closed loop control system for rotating field machines,' Siemens Review, 34, pp.217-220, 1972.
- [3]. Y. S. Lai and Y. T. Chang, "Vector-controlled induction motor drives using random switching technique with constant sampling frequency," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 16, no. 3, May, pp. 400-409, 2001.
- [4]. Y. S. Lai, "Modeling and universal controller for vector-controlled induction motor drives," IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 18, No. 1, pp. 23-32, March 2003.
- [5]. Direct torque control-the world's most advanced AC drive technology, Technique Guide, No. 1, ABB Industry Oy, Power Electronics, Helsinki, 1995.
- [6]. J. R. G. Schofield (ABB Industrial System Ltd.), "Direct torque control-DTC," IEE Colloquium on Vector Control and Direct Torque Control, 1995.
- [7]. J.N. Nash, "Direct torque control, induction motor vector control without an encoder," IEEE Trans. on Ind. Application, vol. 33, no. 2, pp. 333-341, 1997.
- [8]. M. Depenbrock (inventor), ABB (Assignee), "Direct-self control of the flux and rotary moment of a rotary-field machine," US Patent 4,678,248, 1987.
- [9]. E. G. Pita, Air conditioning principles and systems, Prentice-Hall, pp. 293, 3rd Edition, 1998.
- [10]. F. A. Dewinter and B. J. Kedrosky, "The application of a 3500Hp variable frequency drive for pipeline pump control," IEEE Trans. on Industry Applications vol. 25, pp. 1019-1024, 1989.
- [11]. R. A. Robertson and A. H. Bornes, "Adjustable-frequency drive system for North Sea gas pipeline," IEEE Trans. on Industry Applications vol. 34, pp. 187-195, 1998.
- [12]. M. J. Carpenter, et al., "A 4MW variable speed drive for a research and development aerodynamic wind tunnel," Proc. of the IEE Electrical Machines and Drives Conference, pp. 321-325, 1991.
- [13]. D. T. W. Chan and W. Li, "Design and implementation of a variable frequency regulatory system for water supply," IEEE Energy Conversion Engineering

Conference vol. 3, pp. 2095-2098, 1996.

[14].張明吉，變頻器於中央空調冷氣系統之應用，，國立臺北科技大學碩士論文，民八十九年六月。

[15].士林電機高機能 SH 系列變頻器操作手冊 1.02 版。

#### 第四章 變頻器工程施工與日常維護

[1]. 士林電機高機能 SH 系列變頻器操作手冊 1.02 版。

[2]. 潘星、張建平，電力工業雜誌第八期，2006 年。

[3]. 邱春兆，主動型與被動型電力濾波器使用於低壓三相配電系統之功能比較研究，國立臺北科技大學碩士論文，民九十一年六月。

#### 第五章 變頻器在空調冰水系統之節能應用

[1] Steven T. Taylor, Primary-Only vs. Primary-Secondary Variable Flow Systems, ASHRAE Journal, February 2002

[2]. ABB drives, Using variable speed drives (VSDs) in pump applications

#### 第六章 變頻器在空調送風系統之節能應用

[1] Roger Haines , 1993, Roger Haines on HVAC Controls

[2] S. P. Kavanaugh, 2006, HVAC Simplified, ASHRAE

#### 第七章 變頻器在其他建築設備之節能應用

[1] 陳啟中, 2005, 建築設備概論, 詹氏書局

[2] D.V.Taylor, Control of Water Pressure in High Rise Buildings-- using Variable Speed Staged Pumping Sets.AquaTech Limited.

#### 第八章 變頻器在工業製程之應用

[1] ABB drives, Using variable speed drives (VSDs) in pump applications

## 編後語

財團法人台灣綠色生產力基金會節約能源中心(簡稱綠基會節能中心)，主要任務是配合國家能源政策，執行經濟部能源局委辦之各項節約能源技術服務計畫。藉由檢測、診斷找出產業、住商及政府機關部門能源使用缺失，尋找節能機會(政策、技術、設備、管理)，對能源用戶提供能源效率評估及改善規劃、製程、操作等服務工作外，亦製作節約能源海報、貼紙及出版各種節能成果專刊、節能技術手冊，而推廣節約能源的觀念。

此「變頻器應用 Q&A 節能技術手冊」之編撰，主要是配合變頻器控制器之推廣，希望提供給各能源用戶能源管理者，有一參考學習技術觀念與手法之手冊，而自發性推動導入改善工作，並借此加強節約能源教育宣導，落實全民節約能源共識。

此手冊的編撰是在綠基會節能中心王主任文伯的指導下，得以順利完成。其過程首先經中心進行現場節能評估，以瞭解國內變頻器的使用節能現況及特點。感謝臺北科技大學電機系賴炎生教授及能源與冷凍空調工程系李魁鵬助理教授的資料收集及撰稿，由節能中心郭華生組長彙整編排和校對後，交付廣宣李思昀小姐，進行封面規畫設計及聘請臺北科技大學能源與冷凍空調工程系蔡尤溪教授及台北科技大學電能科技研發中心主任楊勝明教授，二位諮詢委員負責審核後，送經濟部能源局呈核核准，才得以印製完成，倉促間內容不免有所疏漏和缺失，還望產、官、學界的各位先進不吝指教正!得以使本手冊更形充實和完備。