

變頻器於空調之節約能源應用

■ 國立台北科技大學冷凍空調工程研究所 / 張永宗、陳清良 ■

一般空調設計時是以最高尖峰負載為設計依據，然而最高尖峰負載大約只佔整體運轉時間的5%左右，也就是說大部分都在部分負載下運轉，相對地就有很大的節約能源空間。近年來由於電力電子控制技術的快速進步，使得變頻器成為目前空調系統上節能的重要工具，因此本文即針對變頻器之節能應用加以介紹。

壹、前言

[TOP](#)

人類對自然資源無止盡取用及排放大量污染物的情形，已遠超過自然循環自淨作用所能應付，持續惡化的生態所引發的大自然反撲，已嚴重影響到後代子孫的生存環境。

在環保人士多年的努力呼籲下，地球村共生共榮的觀念已逐漸被接受，除著重節能、再生能源、能源新利用等技術的研發推廣外，改善長時間居處的環境亦是各國的發展重點，無論是雪梨的奧運村、荷蘭的無傳統能源街，亦或是如雨後春筍般建設的各式生態綠建築，都以環保、節能、舒適及無污染等設計，為永續生態盡一份心力。

台灣對能源進口依賴度高達 98%，當前面臨能源環境的問題有二：一為全球二氧化碳排放濃度增加的溫室效應；二為國內工商持續發展以致電力需求日增，但在環保意識抬頭下，電源開發不易之電力短缺。因此未來如何抑制能源使用，以降低環境污染及維持高度經濟成長是大家的共同問題，目前全世界公認除了開發再生能源外，節約能源是主要的解決方法。

貳、認識變頻器

[TOP](#)

一、變頻器之原理

變頻器主要可分成控制及電力驅動二部份，如圖 1。電力的轉換方式是先將三相電源經整流後，形成直流電壓跨於主電路電容器上，再藉控制部份送出的六個閘極控制訊號，將直流電壓切割成三相脈波寬度調變的電壓送給電動機，因電動機線圈的電感效應，充放電形成連續鋸齒波形的三相正弦波電流波形，使電動機能平滑的運轉。

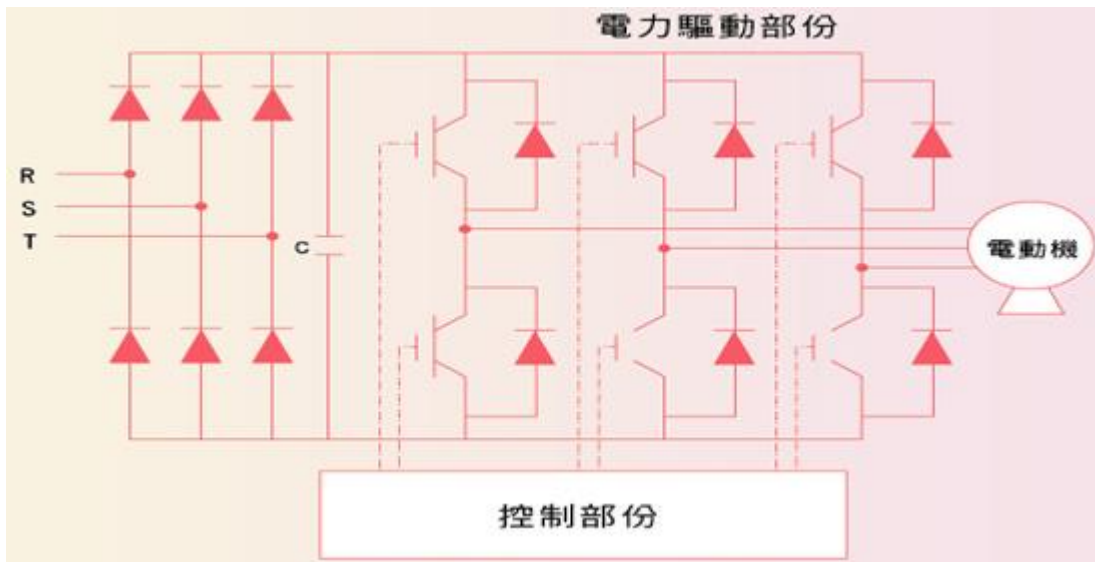


圖 1. 變頻器電路架構

變頻器是以頻率之變化來控制馬達轉速，而頻率與馬達轉速二者之關係如下列公式所示：

$$N = \frac{120F}{P}(1-S)$$

〔N：轉速(rpm)； P：馬達極數； F：頻率； S：馬達之轉差率〕

二、變頻器的型式

由於電路結構不同，一般使用的變頻器大概有以下三種型式：

1. 可變電壓源變頻器(Variable Voltage Input)

其輸出相電壓波型為六階型態，故又稱為六階 VVI。當速度變化時，其輸出電壓及頻率亦跟著變化，此電壓變化乃是藉著直一流電(DC)電壓的高低來達到維持頻率變化的需求。

2. 電流源變頻器(Current Source Input)

其輸出電壓及頻率的大小是利用電流源來控制的。

3. 脈波寬度調變頻器(Pulse Width Modulation)

其本質上亦為電壓源變頻器，利用高速切換變頻器的導通率來控制輸出壓的變化，其

調變方式有方波調變和正弦波調變二種，圖 2 即以方波調變來說明。

V_d 為輸入電壓， V_o 為輸出電壓，可藉由調整 V_d 、S.W 開關時間及電阻值大小來改變輸出電壓，而其輸出電壓平均值為：

$$V_o = \frac{T_{on} \times V_d}{T_s}$$

〔 V_o ：輸出電壓； V_d ：輸入電壓； T_{on} ：S.W on 的時間； T_s ：週期〕

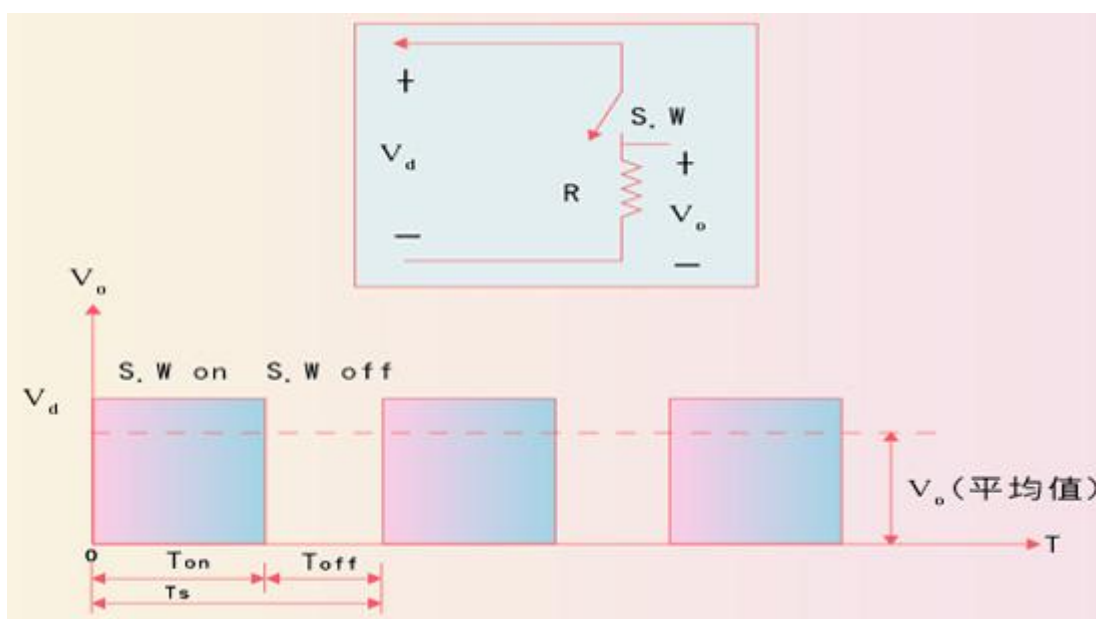


圖 2.方波調變電路圖

三、變頻器控制感應馬達所需注意事項

儘管變頻器在空調節約能源應用控制上有莫大的成效，但應用在標準型馬達和高效率馬達時，仍有以下二個問題須加以注意，才可以達到既節能又安全之目標。

1.馬達溫度上升

馬達的實際散熱能力是隨著轉速的降低而下降，這是因為裝在馬達上的冷卻風扇風量會隨著轉速的降低而減少，當馬達轉速降低到某種程度後，馬達的散熱能力會比滿載運轉時還小，所以馬達轉速降低後，馬達溫度會上升。

為改善此一現象，可以使用高效率馬達，因高效率馬達在做變速運轉時，比標準型馬達有利，主要原因是高效率馬達在定子、轉子和鐵心方面都採用低損失設計，且耐熱性方面採用較高的安全係數，故可以提供比標準型馬達更寬廣的連續轉矩，或者亦可

在標準型馬達加裝固定轉速的散熱風扇，不因轉速降低而降低風扇轉速，以保持良好的散熱能力。

2.變頻器本身的負載能力

不論任何型式的電源驅動裝置都有其電流供給能力的限制，所以在應用時有必要對最大轉矩、起動轉矩和運轉轉矩等需求加以規範。在滿載轉矩的 150%以下範圍，馬達的電流和轉矩大致上是成正比，但是超過 150%全載轉矩時，電流和轉矩便分道揚鑣了。對標準型馬達而言，崩潰轉矩等於全載轉矩的 230%，產生此轉矩所需要的電流是全載電流的 340%；對高效率馬達而言，崩潰轉矩等於全載轉矩的 243%，所需電流則為全載電流的 374%。一般而言，變頻器的最大供電容量是全載的 150%，因為在此範圍內，轉矩/電流的比值相對地維持在定值的關係。

參、變頻器在空調系統之應用

..... [TOP](#)

由於空調系統用電量甚鉅，若能有效降低電力消耗將會有相當大的節能成效。而目前變頻器於空調系統上的使用日漸增加，使用變頻器控制轉速不僅可以節省部分負載電力，又具有下列優點：

1. 由於馬達、風扇在較低轉速運轉，因此 所產生的機械噪音較低。
2. 因變頻器具有緩啟動(Soft Start)功能，所以會降低瞬間啟動轉矩。
3. 由於馬達運轉在低轉速，其軸承壽命較長。
4. 系統控制較傳統(on-off)穩定。

一、風車定律

風車之體積流量率(Q)與風車轉速(N)成正比，靜壓(SP)與風車轉速之平方成正比，馬力(P)則與風車轉速之三次方成正比。此些定律以方程式表示如下(α 表示二者之正比關係)：

1.改變轉速(空氣密度維持不變)

$$\begin{array}{l} Q \propto N \\ SP \propto N^2 \\ P \propto N^3 \end{array}$$

2.改變空氣密度(風量維持不變)

$$\begin{array}{l} SP \propto \rho \\ P \propto \rho \end{array}$$

3.改變空氣密度(靜壓維持不變)

$$Q \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

$$N \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

$$P \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

[Q：體積流量率(m³/sec)；N：風車轉速(rpm)；SP：風車出入口端靜壓差(Pa)；P：風車制動功率(Watt)；ρ：空氣密度(kg/m³)]

二、泵浦相似定律

相似定理不僅可應用於泵浦液態系統，只要是離心設備操作流體介質均適用，當系統流量變化時，靜壓水頭、摩擦損失及其他系統因素均會影響泵浦的性能，其關係如下：

1.改變泵浦轉速(葉輪直徑不變)

$$Q \propto S$$

$$H \propto S^2$$

$$P \propto S^3$$

2.改變泵浦葉輪直徑(泵浦轉速不變)

$$Q \propto D$$

$$H \propto D^2$$

$$P \propto D^3$$

[Q：泵浦流量(m³/sec)；S：泵浦轉速(rpm)；D：泵浦葉輪直徑 (mm)；P：泵浦制動功率 (Watt)；H：揚程 (m)]

三、應用變頻器控制泵浦

泵浦是以壓力加諸流體使其流動之機器，可分為渦輪型及容積型。一般使用的泵浦多為渦輪型，主要可分為離心式、斜流式及軸流式，其中以離心式構造最簡單，價格最便宜，在空調使用也最為普遍。

以往泵浦均為定速運轉，若是要做流量之調整則須使用控制閥來控制流量，但節省能源有

限，因此，近年來大都採用變頻器控制泵浦馬達轉速，以達節約用電的目的。尤其是一般大樓空調均使用密閉冰水系統，所需之靜揚程幾乎為零，絕大部分所需均為動揚程，包括水流速度所需及克服管路設備摩擦所需之動揚程，均與流速之平方成正比，即與水流量之平方成正比，故使用變頻器節能效果更易顯現。

圖 3 所示為泵浦特性曲線，由圖可知泵浦轉速由 100% 降低至 50%，此時流量亦由 100% 降低至 50%；揚程由 100% 降低至 25% 時，泵浦制動功率只要 12.5% 時即可。換言之，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 的三次方，亦即只要 12.5% 之軸動力就夠了。實際上若考慮變頻轉變效率約 5% 之全載損失因素後，估計約需 20% 的軸動力，由此可知其節省電力之功效。

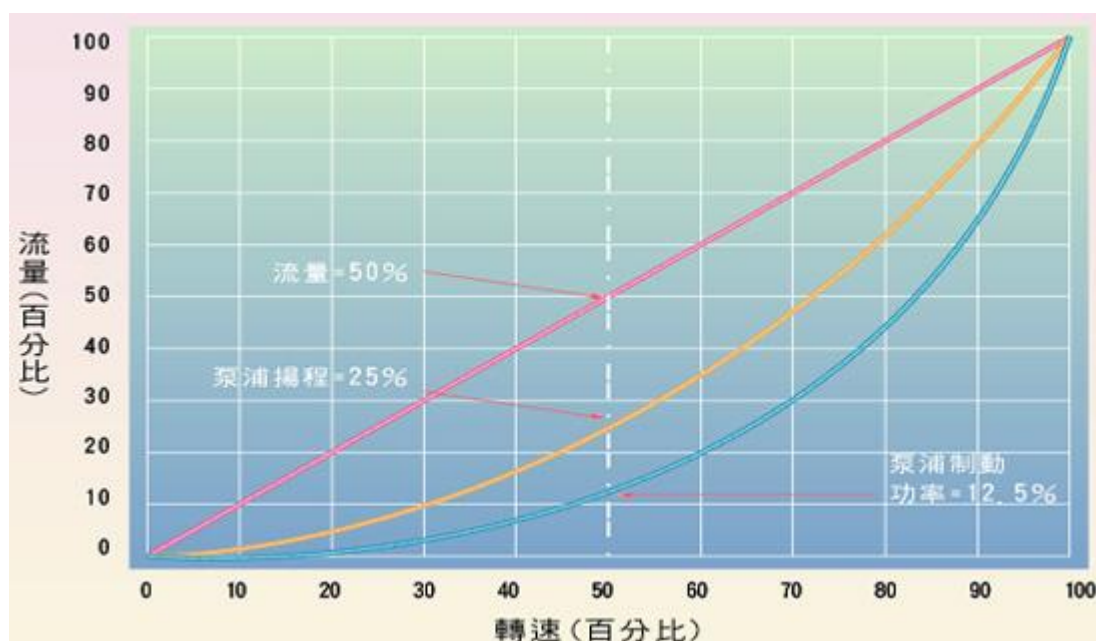


圖 3. 泵浦特性曲線

四、應用變頻器控制風機

送風機所需之動力與風量三次方成正比，所以空調的送風系統在部分負載時，若能採用 VAV 系統(Variable Air Volume)改變送風機之風量，將可節省許多不必要之電力浪費。一般大樓空調常見之風量控制方法有下列三種：

1. 入口閘門控制(inlet vane control)
2. 出口閘門控制(discharge damper control)
3. 改變馬達轉速控制(variable speed motor control)

上述控制方法之風扇動力消耗與風量的關係曲線如圖 4 所示，由圖可知使用變頻器來控制風車，以改變馬達轉速為最佳而有效的節能方法。

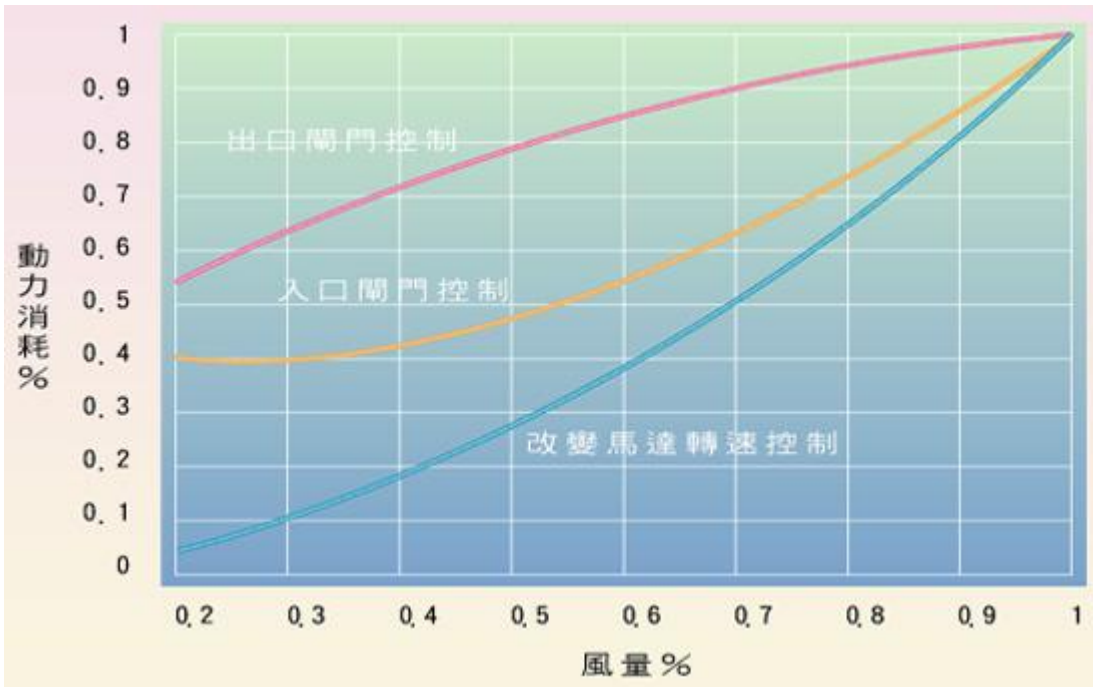


圖 4. 風扇動力消耗與風量的關係曲線

當系統需求風量減少時，需要控制馬達降低送風機轉速，而當送風機轉速降低時，其性能曲線會降低至較低靜壓之曲線，每一個不同的轉速會有一條新的性能曲線且相互平行。一般而言，風量降低時系統之靜壓損失減少，而送風機因轉速降低也降低其產生之靜壓，圖 5 所示為變速風機系統曲線與耗電量變化。

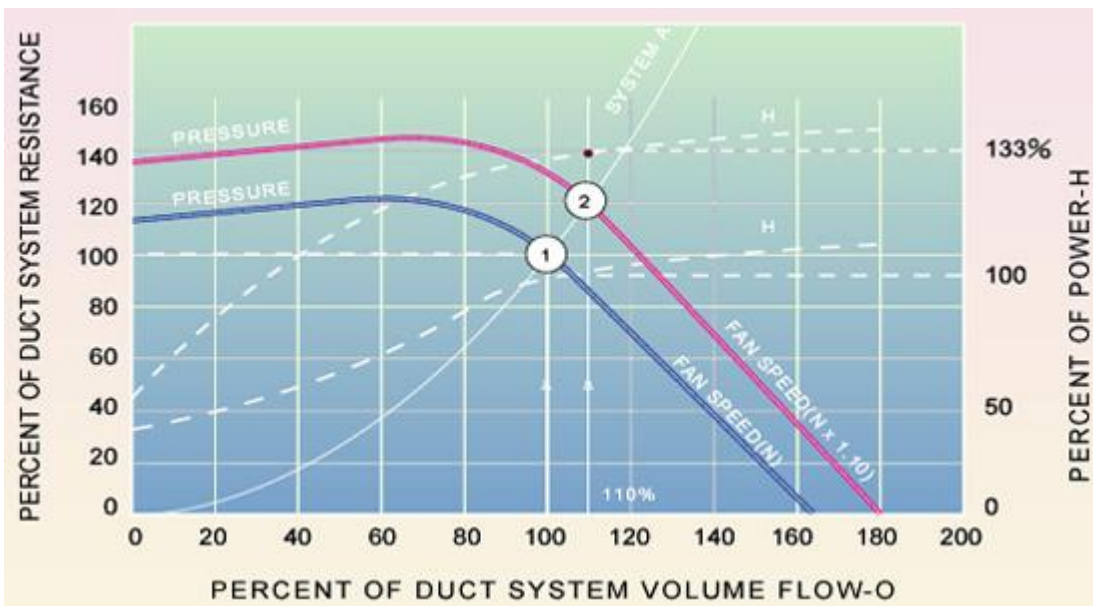


圖 5. 變速風機系統曲線與耗電量變化

空調系統已成為日常生活必需品，尤其是最近幾年空調系統成長的速度更是驚人，除了公共場所及家中所使用的冷氣之外，工廠內為了配合人員舒適需求或是因應生產製程環境要求所使用的冷氣更是大幅成長，當產品要求愈精緻，空調的用電量就愈大。例如，以前的紡織廠是在門口噴水來增加廠房濕度就能滿足生產的需求，但如今因產品的精緻化及機台產量的增加，不僅是需要空調來排除機台熱負載，對廠內空氣溫濕度的要求更是愈來愈嚴格，其結果是造成空調負載及空調用電的增加。

又如目前最熱門的 IC 產業，根據調查在同一廠房面積下，潔淨度每升高一級（例如由 100 級升為 10 級），其空調耗電量約增加三倍。因此，若能在不影響空調品質的情況下，減少空調耗電量，即可達到空調節能的目標，而在眾多節能的方法中，變頻器的應用亦是空調節能的利器之一，值得參考學習。