

第335期 June 10, 2009

變頻螺旋空壓機之節能效益與實例

沈宗福、彭昌明

工業技術研究院 機械與系統研究所

一、前言

壓縮空氣可說是僅次於電力的普及能源之一，空壓機提供壓縮空氣，普遍應用於生活中，如輪胎打氣等，更應用於工業中，幾乎任何工廠都需要空壓機提供壓縮空氣以應付工廠所需，如氣動工具與設備等。

空氣取之於大氣，似乎取之不絕用之不盡，然而，將空氣壓縮成所需壓力之壓縮空氣，所需動力卻是昂貴的。使用空壓機提供壓縮空氣需要電力，電力價格一直上漲，反應到壓縮空氣每產生 1M^3 壓縮空氣成本也隨著上漲！如何有效率使用壓縮空氣是值得思考的問題。

二、空壓機的種類

空壓機壓縮的方式可以區分為定排量式空壓機(Positive Displacement Compressor)及動能式空壓機(Dynamic Compressor)。一般常用主要可分為往復式空壓機、螺旋式空壓機與離心式空壓機三類。往復式空壓機、螺旋式空壓機為定排量式空壓機，離心式空壓機為動能式空壓機。

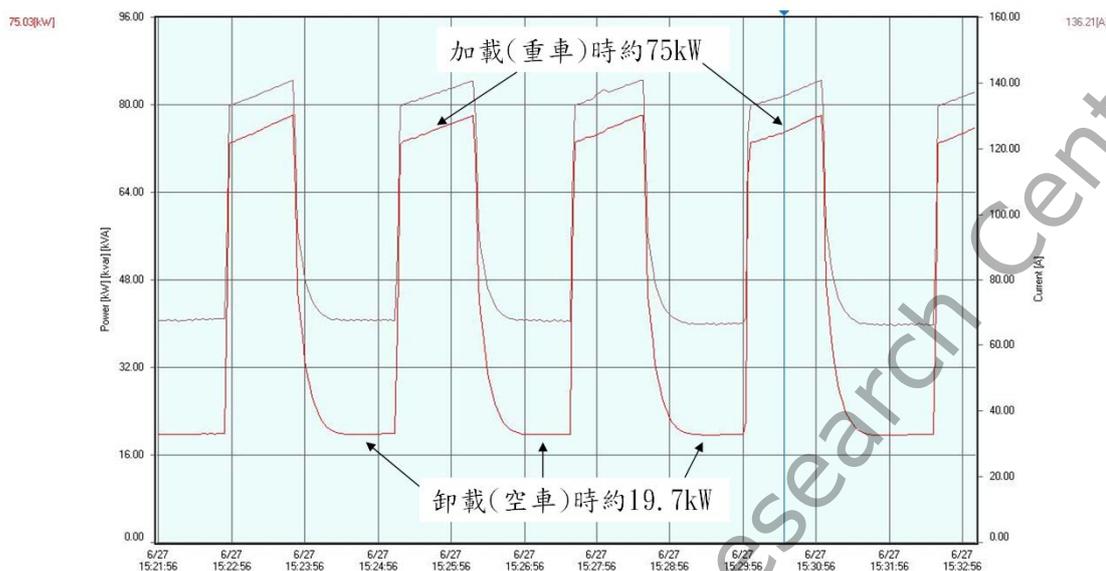
三、螺旋空壓機的控制方式

螺旋式空壓機控制方式主要分為：

加卸載控制模式：

也稱空重車控制，耗電量隨壓力上升而遞增。加載(重車)時產生壓縮空氣，卸載(空車)時不產生壓縮空氣，以一台 100 HP(75kW)壓縮機為例，加載(重車)耗電 75kW，卸載(空車)時雖然不產生壓縮空氣，此時仍然耗電約 20kW。隨著用氣多寡，空車與重車比例跟著改變，用氣愈少，空車越長，欲浪費電，螺旋式空壓機稼動率 100% 時效

率最高。隨著不同廠牌與機器狀況，空車耗電可能高達重車耗電近 50%，這是節能的重點之一。實際量測典型電流與耗電波形如下圖一：

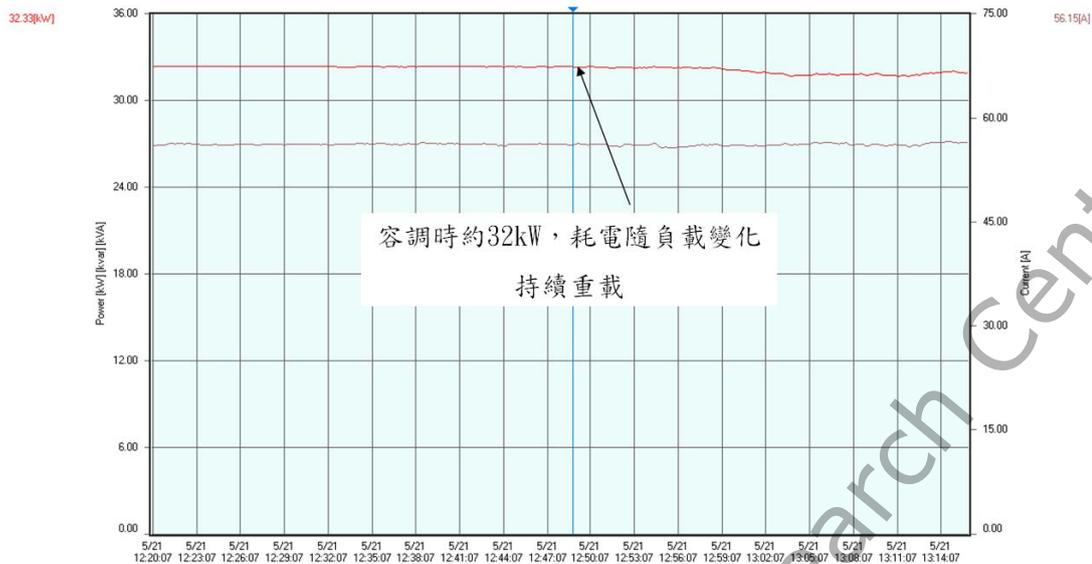


圖一、實際量測加卸載控制之典型電流與耗電波形

容調(進氣節流)控制模式：

在較低壓部分為全載運轉，壓力超過容調啟動設定時，空壓機的排氣量及耗電量隨壓力升高而遞減，但因耗電量的遞減幅度較小，故效率下降的幅度增大，所以，容調控制模式的效率較低。若是容調啟動設定點靠近加載設定壓力值，則空壓機大部分時間操作在容調模式，排氣壓力變動較小，相對效率也較差。

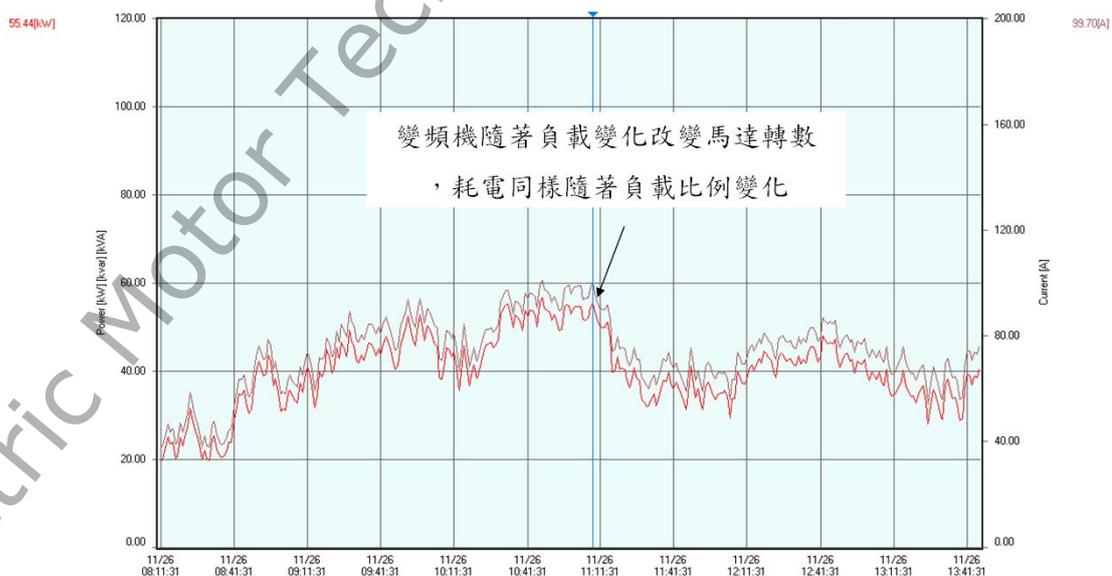
以實際一台 50 HP(37.5kW)壓縮機量測值為例，容調控制耗電約 32kW。隨著用氣愈多，耗電愈大。因為一直處於重載，相對於空重車控制模式耗電。實際量測典型電流與耗電波形如下圖二：



圖二、實際量測容調控制之典型電流與耗電波形

變頻控制(排氣壓力固定)模式：

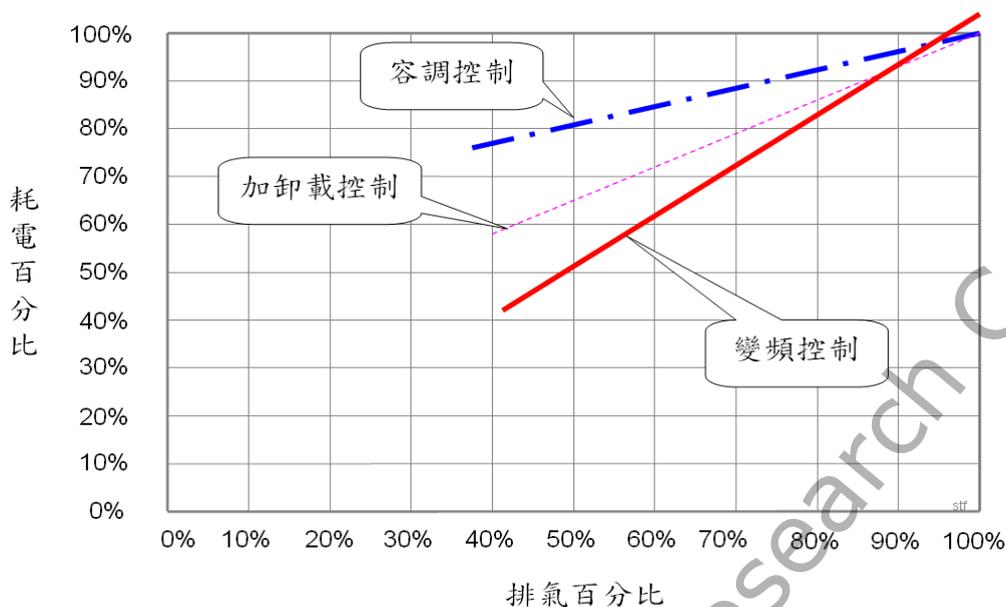
於固定排氣壓力下，壓縮機轉數若降低，排氣量及耗電量同步下降，以實際一台 100 HP(75kW) 變頻壓縮機為例，變頻機隨著負載變化改變馬達轉數，耗電同樣隨著負載比例變化，若維持在 80%以下，相對於空重車控制模式與容調控制模式最為省電。若負載持續 >90% 變頻機就看不出效益了！實際量測電流與耗電波形如下圖三：



圖三、實際量測變頻控制之典型電流與耗電波形

在負載 80%以下時，螺旋式空壓機加卸載控制、容調控制與變頻控制 3 種模式之

耗電示意比較如下圖四，可以看出變頻控制有明顯節能效益。

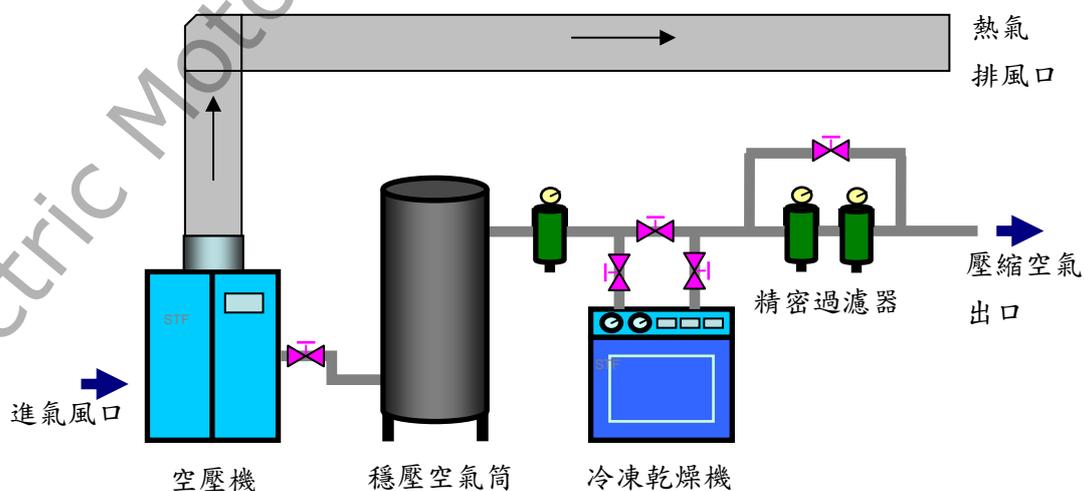


圖四、螺旋式空壓機加卸載控制、容調控制與變頻控制之耗電示意比較圖

四、空壓系統的節能點

國內常見的螺旋空壓系統如下圖，隨著不同需求再增減設備，如需更乾燥、清潔之空氣，後端可再加吸附式乾燥機與更精密之過濾器。

每一個環節都有節能的空間，進氣口濾網是否乾淨？空壓機壓縮效率是否理想？馬達是否為高效率馬達？空氣筒容量是否足夠？乾燥機效率是否理想？過濾器是否壓降太大？管路配置是否恰當？整個系統設計是否理想？空壓機的運轉模式是否節能？漏氣合理化等每每皆是省能的地方。



圖五、國內常見的螺旋空壓系統

五、變頻空壓機與定頻空壓機之比較

變頻式空壓機使用在 90% 以下負載才會達到省電的功能，如果空壓機使用負載在 100%，不但不會比較省電反而更耗電！變頻式空壓機近來逐漸普及，原因在變頻器穩定性愈來愈好，價格也逐漸下降，加上實際運轉後的節能的效果，雖然購置成本比定頻式空壓機貴 3~5 成，但是，適當的運轉下，長期省下的電費遠大於多出之購置成本。

目前，改為變頻控制有兩種方式：一為將原來的定頻式空壓機加裝變頻櫃改為變頻控制；另一種為直接購買新的變頻空壓機，國產機如復盛公司與漢鐘公司皆已經有變頻空壓機，進口機如 Atlas Copco、Kaeser 等也有變頻空壓機，CompAir 也有類似之變速空壓機。簡單比較定頻空壓機、定頻加裝變頻櫃與新購變頻機的差別，如表一所示：

表一、定頻空壓機、定頻加裝變頻櫃與新購變頻機簡單比較表

	新購螺旋定頻式空壓機	舊螺旋定頻式空壓機加裝變頻櫃	新購螺旋變頻空壓機	說明
價格	1	0.4~0.7	1.3~1.8	進口變頻空壓機比國產貴
主馬達	一般馬達	原來一般馬達或更新馬達	變頻用馬達	變頻馬達考量較多
交期	1~3 個月	1~3 個月	1~3 個月	進口機器時間較久
可靠度	較好	普通	較好	舊機有潛在的問題，故障時責任不好歸屬
節能率	0~10%	0~30%	0~30%	依負載使用狀況而定

六、外加變頻櫃

若自己加裝變頻器改為變頻控制，可能會燒掉馬達或造成轉子故障等問題。基本上馬達絕緣與散熱問題要考量，此外油溫等許多地方也需要注意。

國內有專門改裝變頻器的廠商，以下介紹兩款國產外加式變頻櫃改裝實績，第一個例子(圖六)為 Ceccato 200HP 與天鵝牌 250HP 空壓機(左)分別加裝 A 廠商之變頻櫃(右)，第二個例子(圖七)為復盛牌 400HP 空壓機(左)加裝 B 廠商之變頻櫃(中)。



圖六、Ceccato 200HP 與天鵝牌 250HP 空壓機(左)加裝 A 廠商之變頻櫃(右)



圖七、復盛牌 400HP 空壓機(左)加裝 B 廠商之變頻櫃(中)

七、變頻節能案例

舉本計畫於 2008 年輔導統一永康第一總廠節能案例說明變頻之節能效益：

改善前狀況說明



(1) 水產廠原有 2 部 Atlas Copco 牌 100HP 定頻空壓機，型號分為 GA807 及 GA75，每日只需啟動一部，因 GA807 使用多年效率已經降低，故啟動 GA75 一部。飼料廠現有 2 台 Atlas Copco 牌 100HP GA75+ 定頻螺旋空壓機，每日只需啟動一部。控制皆採用空重車控制模式，由資料統計得知水產廠空壓機每月用電量平均為 31293 度(kW-Hr)，平均重車負載率約 40%，飼料廠空壓機每月用電量平均為 45500 度，平均重車負載率約為 75%，合計兩廠平均每月空壓機電費為 76793 度，內有許多電費是浪費在空車運轉。

(2) 水產廠與飼料廠空壓管路獨立彼此互不支援，重複浪費空車電力。

(3) 飼料廠空壓機房進氣口與熱氣排氣口太過接近，造成回流，增加空壓機耗能！

改善前空壓系統使用狀況，經量測一週(2008.4.3~2008.4.9)數據如表二：

表二、改善前空壓系統一週量測數據表

數據來源	實際測得	
	GA75	GA75+
空壓機種類	GA75	GA75+
使用單位	水產廠	飼料廠
馬力 (HP)	100 馬力	100 馬力
Loaded Time (h) 重車時數	75.6	103.6
Unloaded Time (h) 空車時數	82.6	50.5
Stopped Time (h) 停機時數	9.8	14
Load/Unload Cycles 空重車循環次數	26842	17396
Energy Loaded (kWh) 重車耗電	5900	8028
Energy Unloaded (kWh) 空車耗電	4554	2698
Total Energy Cons. (kWh) 總耗電	10455	10726

經使用流量計與電力計量測系統單位耗電量得

$$\text{系統單位耗電量} = \text{系統總耗電量} / \text{系統總風量} = 0.139 \text{ kWh} / \text{M}^3$$

改善建議

- (1) 於飼料廠空壓機房新增一台 Atlas Copco GA75VSD 100HP 變頻式螺旋空壓機取代水產廠空壓機房 2 台 100HP 空壓機(此兩台空壓機改作為備用機)。同時，新增變頻式螺旋空壓機與飼料廠空壓機房中原來之兩台 GA75+ 100HP 螺旋式空壓機併聯做連控，同時於土木工程時加開進氣口與抽排風



機，抽排風機加裝溫度控制。

- (2) 連接水產廠與飼料廠空壓管路。
- (3) 將飼料廠空壓機房熱氣排氣口移開，使與進氣口分隔，避免造成熱氣回流增加空壓機耗電率。
- (4) 加裝流量計分別計算水產廠與飼料廠用氣流量。
- (5) 使用漏氣偵測儀找出漏氣嚴重部分加以改善。
- (6) 各生產線增設電動切斷閥，目的為若有生產線停產，可防止該生產線壓縮空氣持續洩漏。
- (7) 改善前壓力範圍設為 6.2~7.0 bar，將新變頻空壓機壓力設定調降至 6.5bar，穩定壓力範圍，可以節省能源。

改善後節能效益分析

改善後空壓系統使用狀況，經量測一週(2008.11.18~2008.11.25)數據如表三：

表三、改善後空壓系統一週量測數據表

數據來源	實際測得	
	空壓機種類	GA75VSD
使用單位	水產廠與飼料廠共用	
馬力 (HP)	100	100
Loaded Time (h)重車時數	115.5	102.5
Total Energy Cons. (kWh)總耗電	3482	9119
合計總耗電(kWh)	12601	

改善前系統單位耗電量=系統總耗電量/系統總風量 = 0.139 kWh/ M³

改善後系統單位耗電量=系統總耗電量/系統總風量= 0.0965 kWh/ M³

節能比率= (0.139-0.0965)/0.139 = 30.6%

空壓機節能比率 **30.6** %。

改善前合計一年水產廠與飼料廠空壓機總耗電度：921,521 kW-h

改善後合計一年水產廠與飼料廠空壓機總耗電度：12601*52 週 = 655,252

kW-h

改善後年節能：921,521－655,252 = 266,269 kW-h

改善後年節省電費：NT\$ 689,636 (每 kW-h 設為 NT\$ 2.59 元)

從改善前後實際使用一週電量也可看出省電的效果，如表四：

表四、省電效果比較

單位:kWh

使用單位	日期	GA75+ 耗電	GA75 耗電	GA75VSD 耗電	總耗電	省電%
改善前	2008.4.3~ 4.9	10,726	10,455	-----	21,181	---
改善後	2008.11.18 ~11.25	9,119	-----	3,482	12,601	40.5



圖八、改善前空壓機房



圖九、改善後空壓機房新增進風孔與排風管



圖十、新裝 100HP GA75 VSD 變頻空壓機



圖十一、新裝電動切斷閥

八、結論

變頻式空壓機的確有省電效果，配合空壓系統改善，節電效果可達 30% 以上，以統一公司永康廠之例子回收年限不到 3 年，實在值的投資。

本計畫為能源局委託之「高效率馬達應用技術開發與推廣計畫」，對於工廠馬達設備(包含馬達、泵浦、空壓機與風機等)有免費之到廠診斷輔導，有興趣廠商可與我們聯絡，相關資料請參考網站：「高效率馬達資訊-交流網站」 <http://hem.org.tw/>