

## 科技廠應用空壓機系統之節能效益改善與性能研究

# Energy-saving Beneficial Improvement and Performance Study of High-Tech Factory by Using Centrifugal Compressor System

許智能<sup>1\*</sup>、黃紀志<sup>2</sup>

Chih-Neng Hsu<sup>1\*</sup> and Chi-Chih Huang<sup>2</sup>

<sup>1\*,2</sup> 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系

<sup>1\*,2</sup> Department of Refrigeration, Air-Conditioning and Energy Engineering,  
National Chin-Yi University of Technology

<sup>1\*</sup>E-mail : cnhsu@ncut.edu.tw

### 摘要

本研究是以科技公司廠務設備之離心空壓機系統之節能效益改善與性能研究分析。對於離心空壓機系統長時間之運轉下會有機械耗能、耗電、氣體洩漏、高溫冷卻、運轉成本等問題，這對科技廠在產業節能營運是極為重要的。最後經由監測探究分析與性能改善後，其效率平均提升 7.8%，年度總耗電量節省約 6.72%，可達到節能效益改善目的。

**關鍵字詞：**離心空壓機、節能、效益改善

### Abstract

This paper focuses on high technology company facility equipment centrifugal air compressor system energy efficiency improvement and performance analysis. For the operation of a centrifugal air compressor system for a long time there will be a mechanical energy consumption, electricity consumption, gas leakage, high temperature cooling, operation cost, and so on. This general industrial energy-saving operation is extremely important in high-tech factory. Finally, this paper has been improved performance through monitoring, the efficiency of an average increase is 7.8%, the total annual power consumption energy-saving is 6.72%, and it can be achieved energy efficiency beneficial improvement.

**Keywords:** Centrifugal Compressor, Energy-saving, Beneficial Improvement

### 一、前言

自工業革命開始，直至現今科技發展迅速的時代，依據某科技公司之用電能耗比例監測資料顯示，如圖 1 所示，廠務系統的離心式空壓機系統占了整廠用電耗能約 20%以上。

在製程生產及廠務操作維護須要使用大量的潔淨壓縮乾燥空氣，用來驅動下列機構與元

件：(1)Air Knife；(2)高壓水洗；(3)Air Curtain；(4)Chamber 破真空；(5)Clean Air；(6)Cooling Air；(7)Air Gun；(8)靜電消除器；(9)Float；(10)氣動閥；(11)Cylinder，為了避免許多不必要的能源浪費及增進企業競爭力，廠房在運轉時有效率之管控能源及如何系統節約能源將是目前節能之議題。

在空壓機系統的節能策略上，顏立永等人[1]則針對減少管路壓降損失提出節能方案，以 7bar 的系統為例，每提高 0.1bar 的壓力將額外損耗 0.7%的電力，此外改善空壓機運轉環境，若空氣入口溫度由 35°C 降到 25°C，大約可節能 3.3%。

而經濟部能源局[2]表示壓縮空氣系統在工業使用上極為頻繁，對於工業之能源使用效率將有一定的影響，在高效率的壓縮系統常因缺乏正確的使用觀念與管理，導致效率降低，造成許多能源之浪費。

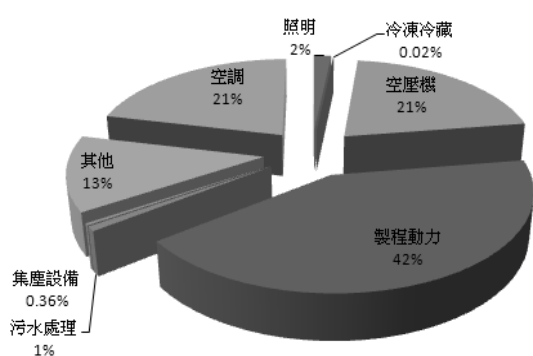


圖 1. 用電能耗比例顯示

在離心式空氣壓縮機方面，X. Wang 等人[3]針對壓縮機冷卻之性能效益探討，在研究上使用 R22、R134a、R410A 以及 R744 冷媒作為循環冷卻之工作流體。

Ishihara 等人[4]針對在廠務系統端，使用潔淨乾燥空氣系統，能夠減低功率之消耗。

沈斌等人[5]探討生產製程上之活塞式、離心式和螺旋式等三種不同型式之空氣壓縮機的操作點做分析比較，均可滿足其供氣需求，其離心式空壓機效率高，且較具有優勢。

而張蓉台[6]則提出減少離心式空壓機壓縮功，提高中間冷卻器效率，則有助於增加壓縮空氣密度，對單位電力能耗是降低的，因此維持冷卻器潔淨度與提高散熱能力，是空壓機節能的一環。

然而高磊[7]發覺俄製離心式空氣壓縮機有兩項缺失而出現無法長期運轉，一是使用中出氣

量過低之現象，二是排放損失造成產能損失等問題，藉由冷凝液電子排水器，解決排放冷凝液時洩漏空氣之狀況，附帶警報功能可及時發現異常現象，並可回收冷凝液，節省部分水費支出。

劉勇志[8]在空壓機進氣口增設一 8°C 冰水空調箱及擴散型風管，透過空調箱冰水盤管將 35°C 之空氣降溫，經由擴散型風管導引至空壓機進氣口使用，提升空壓機效率以達到節能之目的。

Shah [9]探究乾燥空氣壓縮機即時監測診斷氣密性能研究。莊朝焮[10]針對壓縮空氣供氣系統節能做使用操作手冊說明。

胡煥奇等人[11]建立小型空壓機性能試驗實驗，以風管及噴嘴進行三部國產 10HP 空壓機之性能試驗，分別比較不同排氣壓力下之空氣流率  $Q_s$ 、容積效率  $\eta_v$ 、絕熱總效率  $\eta_{ad}$ 、耗能比值( $Q_s$ /馬力數)等性能試驗。

Garwood [12] 研究空氣源、氣體供氣以及氣體冷卻。Hartmann et al. [13]廠務系統於不同絕對壓縮空氣儲能之模擬與分析研究。

Nyberg et al. [14]具 HAT (Humid Air Turbine) 循環系統及其組件之熱力學研究。Herron [15]壓縮空氣系統之基礎認知。

## 二、離心式空壓機系統

本研究以科技公司廠房內之空壓機系統為研究討論與分析對象，如圖 2 及圖 3 所示，而該廠區約 15 公頃，主 FAB 樓棟長 260m x 寬 110m x 高 14m，及單一樓層面積約 28,600m<sup>2</sup>，共有三樓層其總面積約 85,800m<sup>2</sup>。

而離心式空壓機系統供應壓力為 6.0 bar，乾球溫度為 30°C 及低於露點溫度為 -40°C 之含水率的潔淨乾燥空氣，主要共有 3 條管線經由輸送管路供給製程端及廠務端使用，每條管線上架設流量計和壓力計，並透過廠務中央監控系統達到監測之效果。

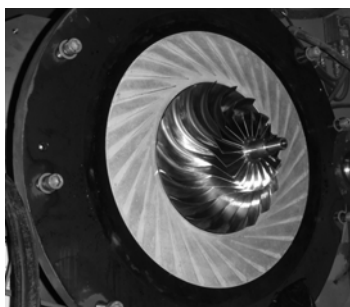


圖 2. 離心式空壓機系統轉子葉片及擴散器

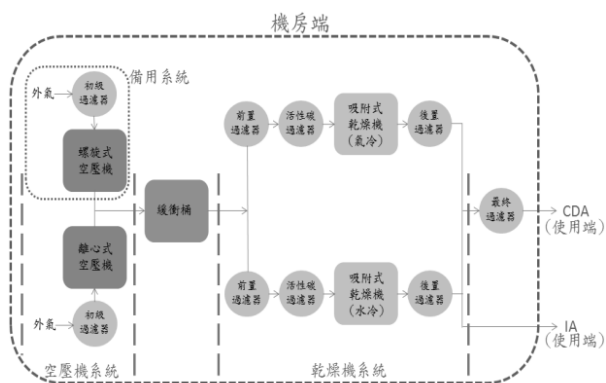


圖 3. 空壓機系統操作流程圖

科技廠房內空壓機系統構成，包括有離心式壓縮機轉子葉片、擴散器、馬達、乾燥機設備、緩衝桶、精密過濾設備、氣體管路閥件等。

空氣壓縮機共有 7 臺，而馬力為 2,250HP (278CMM)是無油型三段離心式，其規格如表 3 所示。

3 臺馬力為 700HP (67CMM)是無油型二段螺旋式高效率空氣壓縮機。

1 座 55m<sup>3</sup> 之臥式緩衝桶。

4 臺 75HP 冷卻水泵。

7 臺 44.52CMM (2671CMH)工業型變頻式冷卻水塔(與 9 臺 3,000RT 離心式冰水主機共用)。

8 臺 278CMM 吸附式外熱型乾燥機，每臺外熱式乾燥機搭配 3+1 道 450CMM 精密過濾器，其中前置過濾器(Pre-filter) 8 組，後置過濾器(After filter) 8 組，活性炭過濾器(Carbon filter) 8 組，最終濾網器(Final filter) 8 組。

表 3. 離心式空壓機系統設備規格表

空壓機規格		
機組廠牌		Atlas Copco
馬力數	HP	2250
排氣風量(at 9.5kg/cm <sup>2</sup> G)	NCMH	17045
機組運轉耗能	KW	1548.7
噪音值	db(A)	74
空壓機效率	Nm <sup>3</sup> /kW	11.036
空壓機效率	kW/Nm <sup>3</sup>	0.0906
調節範圍	%	25-100
排氣閘噪音值	db(A)	74
第一段空氣冷卻器熱交換值	KW	920
第二段空氣冷卻器熱交換值	KW	609
第三段空氣冷卻器熱交換值	KW	609
油冷卻器熱交換值	KW	93
冷卻水需求量/ΔT°C	m <sup>3</sup> /hr	164/10°C
使用電壓	V	4160
額定電流	A	265
效率	%	94-95

### 三、系統監測及數據擷取

離心式空壓機系統之節能工程，其改善目的是為了提升離心式空壓機系統整體系統效率，如調降空壓機排氣壓力，調升乾燥機供應出口含水量(露點溫度)，調降乾燥機再生加熱溫度。

以調降空壓機排氣壓力著言，需經過調查製程機臺需求離心空壓機系統的壓力值，將大於 6.0 bar 供應點位於進製程機臺前端加裝增壓缸(圖 4)至所需壓力，如圖 5 所示。

藉由科技廠房之廠務中央監控系統(Facility Monitoring Control System, FMCS)，來達到離心式空壓機系統整體改善前及改善後監測數據之蒐集，並藉由資料蒐集之圖表分析的能耗相關影響，其構成元件為監控系統(SCADA)，監視器(Monitor)，可程式控制器(Programmable Logic Controller, PLC)軟硬體設備，電腦主機，伺服器，I/O (Input/Output)點位，訊號抑制隔離控制線，儀表，控制盤及附屬控制設備等。

針對離心式空壓機系統改善前後之能耗為

調降空壓機排氣壓力，於調降系統管末壓力由 6.4 bar 降至 6.0 bar，並做成單機出口壓力監控曲線圖如圖 6 所示，以及管末壓力監控曲線圖如圖 7 所示。

分析過程中透過監控檢測，以每 15 分鐘蒐集 FMCS 的平均數據，換算成離心空壓機系統使用效率之依據。

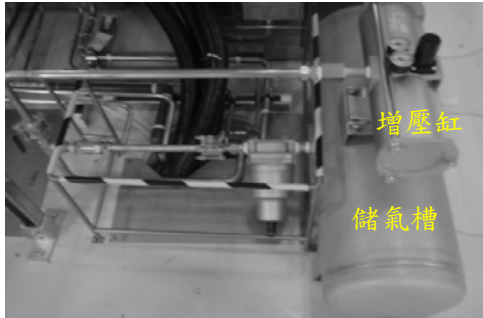


圖 4. 增壓缸與儲氣槽系統

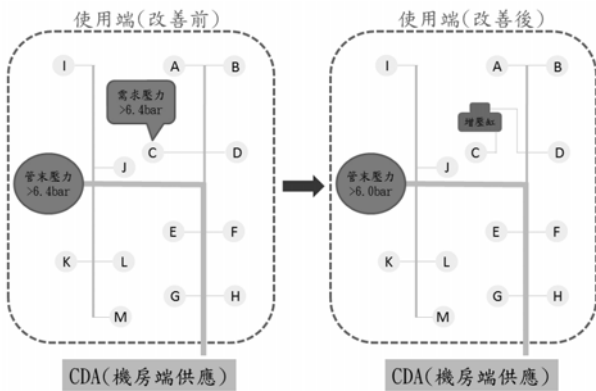


圖 5. 加裝增壓缸改善示意圖

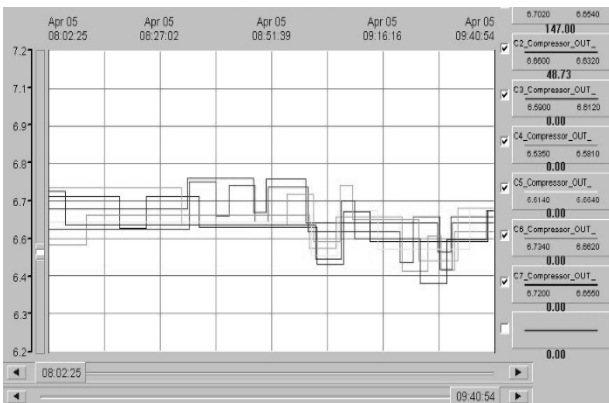


圖 6. 單機出口壓力監測曲線圖



圖 7. 管末壓力監測曲線圖

#### 四、結果與討論

依據熱力學原理，空壓機系統的理論功率公式如下：

$$W = \dot{m} \times C_p \times T_1 \times \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (1)$$

由公式(1)得知，空壓機系統的理論耗功主要由質量流率，比熱，壓縮前後溫度差，氣體絕熱係數，壓縮比等因素所影響，且在使用上還必須考慮到現場的使用方式，系統配置，系統管理與實際操作等因素之影響，皆會影響空壓機系統的運轉效率。

圖 5 為離心式空壓機系統加裝增壓缸改善管末壓力示意圖，主要是利用增壓缸現場升壓符合製程機臺需求壓力，達到降低管末壓力及單機排氣壓力之條件，進而降低離心式空壓機三段壓縮之壓縮比。

離心式空壓機系統使用效率是以壓縮乾燥空氣系統每月之耗電量(kWh)/產出量(片)，作為離心式空壓機系統耗能結果之依據。

以 98 年 9 月至 99 年 8 月共計 1 年作為改善前之基準值，其月均值為 19.14，如圖 8 所示。

99 年 9 月至 100 年 8 月離心式空壓機系統使用效率月均值為 18.08，如圖 9 所示。

100 年 9 月至 101 年 8 月離心式空壓機系統使用效率月均值為 17.63，如圖 10 所示。

101 年 9 月至 102 年 3 月離心式空壓機系統使用效率月均值為 15.78，如圖 11 所示。

所以，離心式空壓機系統調降管末壓力著言，99年9月至100年8月約節省4,314,344 KWh，100年9月至101年8月約節省6,745,913 KWh，累計兩年共節省11,060,257KWh及電費節省約新臺幣27,650,643元(以電價2.5元/KWh為計算基準單位)。

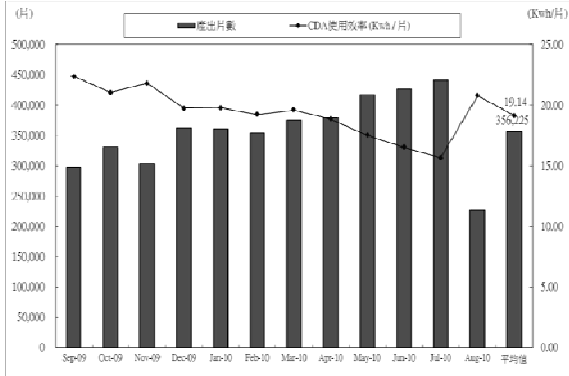


圖 8. 98.09 至 99.08 離心式空壓機系統使用效率

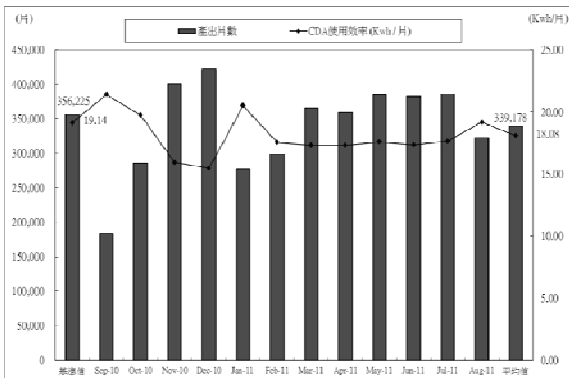


圖 9. 99.09 至 100.08 離心式空壓機系統使用效率

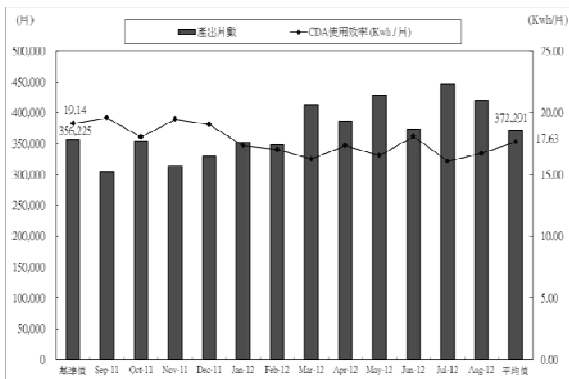


圖 10. 100.09 至 101.08 離心式空壓機系統使用效率

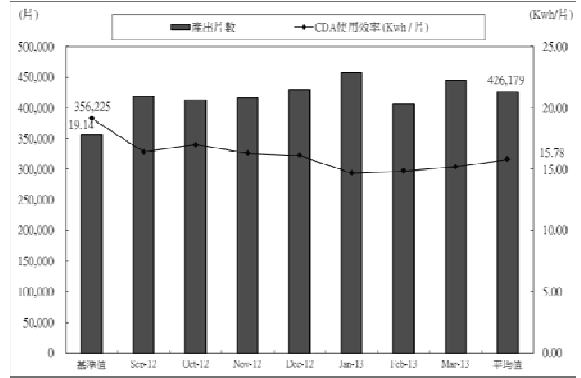


圖 11. 101.09 至 102.03 離心式空壓機系統使用效率

### 五、結論

在整體的分析上，由耗電量著言離心式空壓機系統是一種非常能耗之生產設備，須考量在眾多的參數(氣候、用氣量、產能、設備穩定性等因素)下做驗證比對。然而經由統計過程中，因變動因素過多，固定因素較少之情形下，只能以耗電量即時證明節能之效益是最為直接得知的方式，因為以金錢節省開支最為顯著表達和理解。

然而增壓缸仍屬能耗設備(耗氣量約等於使用量2.2倍)，若能於建廠設計時設置兩套系統，如圖12所示，分為高壓離心式空壓機系統(管末壓力 $\geq 7$  bar)及低壓系統(管末壓力 $\leq 5.5$  bar)分別供應，如同雙溫冰水系統，亦可由高壓系統Back-up 低壓系統，則可免除後期施工困難及增壓缸多餘能耗與日常檢點維護。

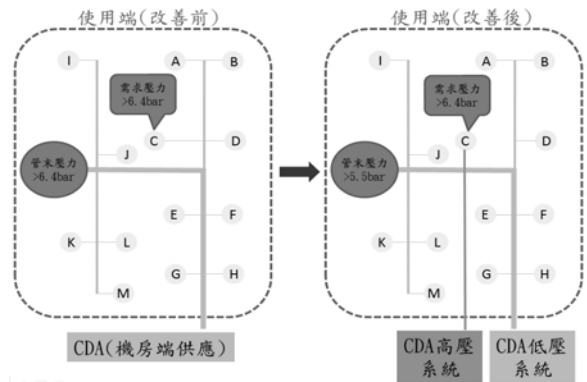


圖 12. 離心空壓機系統高低壓系統示意圖

## 參考文獻

1. 顏立永、林豐詠, “節能減碳-空壓系統的節能策略”, 機械工業雜誌, 第 85 至 91 頁, 2009。
2. 壓縮空氣系統-能源查核及節約能源案例手冊, 行政院經濟部能源局, 2006。
3. Xudong Wang, Yunho Hwang, and Reinhard Radermacher, “Investigation of Potential Benefits of Compressor Cooling,” Applied Thermal Engineering, Vol. 28, Issues 14–15, pp. 1791–1797, 2008.
4. Yoshio Ishihara, Daiji Nakajima, and Tadahiro Ohmi, “Economical Clean Dry Air System for Closed Manufacturing System,” IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR ENGINEERING, Vol. 13, No. 1, pp. 16 - 23, 2000.
5. 沈斌、劉曉紅、張萍, “談空氣壓縮機的性能分析、比較與選型”, 全國性建材科技期刊-《玻璃》, 第 189 期, 第 6 期, 第 28 至 30 頁, 2006。
6. 張蓉台, “離心式空氣壓縮機中間冷卻器熱交換效能提升與節能的關係”, 電子月刊, 第 15 卷, 第 12 期, 第 118 至 133 頁, 2009。
7. 高磊, “太鋼俄製離心式空氣壓縮機的改進措施”, 山西冶金, 第 118 期, 第 2 期, 第 63 至 65 頁, 2009。
8. 劉勇志, “壓縮空氣乾燥系統之耗能分析與節能改善方法”, 國立勤益科技大學冷凍空調與能源碩士學位論文, 2012。
9. Piyush Shah, “Dry Air Compressor Seals,” Proceedings of the Seventeenth Turbomachinery Symposium, Tutorial Session on Seals, pp. 133-139, Dallas, Texas, November 8 - 10, 1988.
10. 莊朝焮, 壓縮空氣供氣系統節能手冊, 財團法人中技社節能技術發展中心, 2008.
11. 胡煥奇、吳澤松、吳向宸、鄭駿豪、楊馬田、謝章嘉、羅瑞文、吳明章, “不同排氣壓力下之空壓機效率分析”, 中國機械工程學會第二十五屆全國學術研討會, 中華民國九十七年十一月二十一日、二十二日。
12. D. R. GARWOOD, “Air-Sources, Supply and Cooling,” Ergonomics, Vol. 31, No. 7, pp. 1015-1023, 1988.
13. Niklas Hartmann, O. Vöhringer, C. Kruck, and L. Eltrop, “Simulation and Analysis of Different Adiabatic Compressed Air Energy Storage Plant Configurations,” Applied Energy, Vol. 93, pp. 541–548, 2012.
14. Björn Nyberg and Marcus Thern, “Thermodynamic Studies of a HAT Cycle and Its Components,” Applied Energy, Vol. 89, Issue 1, pp. 315–321, 2012.
15. David J. Herron, “Understanding The Basics of Compressed Air Systems,” Energy Engineering, Vol. 96, Issue 2, 1999.