

空壓節能監控系統建構 —以輔導案例說明

▶ 專案6部 陳望曾

一、前言

空壓機產生壓縮空氣，是工廠的主要動力來源，也是工廠主要耗能設備之一，無論是傳統產業還是高科技產業，空壓機都是不可或缺的設備，其能源使用佔工廠總用電量10~30%，某些產業甚至高達50%，因此如何有效發揮空壓機運轉效能，就是一門值得探討的課題。

以下針對本會輔導改善實績，特提出離心式空壓機組及螺旋式空壓機組改善案例，說明如何整合既有空壓機，建構空壓監控系統，以發揮空壓系統效率，其改善做法、系統架構及效益說明如下：

二、改善案例

(一)案例1—離心式空壓機組改善案例

1.現況說明

某廠設置有5台800 hp離心式空壓機供應全廠用氣，常態啟動3台，依照性能檢測數據整理得運轉電流範圍約52A~64A，運轉功率約為680~830 hp，空壓機採用定壓控制，藉著進氣閥門(Intake Guide Valve)及排放閥(Blow Off Valve)調節出氣量、維持

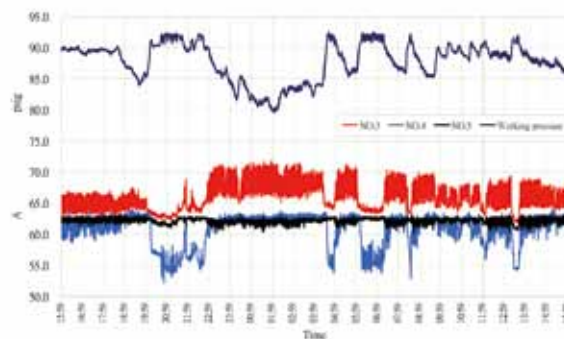


圖1 案例1空壓機組運轉電流記錄

管線壓力並避免空壓機激變(Surge)，現場壓力需求設定為85.3psig($\approx 6\text{kg}/\text{cm}^2$)，實測空壓機出口幹管壓力範圍為85~90psig。依性能檢測數據整理得各機IGV作動壓力及BOV作動之電流值(下限電流)如表1：

經以孔口組流量計及電力分析儀，各別檢測5台離心式空壓機在不同壓力下的排氣量及運轉功率，經排氣壓力(流量計錶壓值)及排氣溫度等參數修正計算後，計算出排氣壓力在85.3 psig($\approx 6\text{kg}/\text{cm}^2$)的空壓機標準排氣量、耗電量及單位馬力排氣量(效率值SCFM/hp)如表2所示，空壓機效率在3.11~3.87 SCFM/hp，空壓機組運轉情形如圖1所示，從圖1可以看出：

表1 空壓機IGV及BOV作動壓力值

項 目	單 位	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	NO. 5
IGV	psig	86.2	85.5	88.3	88.0	85.9
BOV	A	54.1	54.4	54.8	53.8	53.7

表2 空壓機性能彙整表

編號	出口壓力 (psig)	排氣量 (SCFM)	耗電量 (hp)	單位馬力排氣量 (SCFM/hp)	*耗電量 (hp)	**單位馬力排氣量 (SCFM/hp)
NO. 1	85.3 (6kg/cm ²)	3304	805.3	4.1	853.3	3.87
NO. 2		2673	809.8	3.3	858.3	3.11
NO. 3		2899	836.4	3.5	886.5	3.27
NO. 4		2931	839.6	3.5	889.9	3.29
NO. 5		2872	791.8	3.6	839.3	3.42

*當壓力增加1 kg/cm² (14.2 psi) 時, 其耗電量增加6%, 推估在7 kg/cm²時的耗電量。

**當壓力增加1 kg/cm² (14.2 psi) 時, 其耗電量增加6%, 推估在7 kg/cm²時的單位馬力排氣量。

(1)操作過程中僅NO.4機有BOV作動情況發生(運轉電流陡降至53.8A, 使BOV作動排氣), 相對的NO.5機運轉平穩, 電流變化範圍小幾乎處於滿載運轉的情況; NO.3機運轉電流高於NO.4及NO.5機, 幾乎處於超載運轉狀況。

(2)據先前性能檢測數據顯示, NO.5機出口壓力接近85.9psig時隨即調整IGV關度, 然而對照運轉電流與管線壓力變化記錄發現, NO.5機運轉電流下降發生於管線壓力接近90psig的狀況。

(3)從NO.3機電流變化情況發現在PM 4:00~8:00間電流維持在64~67A, 00:00~05:00升高到67~72A間, 判斷原因為廠方因應大量用氣的作業時段, 而調升空壓機出氣壓力值(調升IGV作動的壓力設定值)

空壓系統運轉耗電及空壓機出口幹管壓力變化情形如圖2, 由圖2管線壓力變化情形可以看出00:00~05:00時段用氣量大, 為用氣高峰期, 3台空壓機均滿載甚至超載運轉, 但出氣量不足無法維持管線壓力, 因此造成該時段管線壓力低至79 psig, 其他時段也發生間歇性大量用氣現象, 造成管線壓力下降, 每次持續時間約1~2小時, 但空壓系統平均壓力仍維持在85~90 psig之間。

另外, 由圖1及圖2可以計算出3台空壓機耗電總合平均約2,379 hp(1,788.2 kW), 出氣量平均約8,273 CFM(234.4 CMM), 空壓系統效率約為3.48 SCFM/hp。

2.系統建構

本案離心式空壓機採用定壓控制, 主要藉著進氣閥門調整進氣量維持穩壓, 因此當用氣量降低, 進氣閥門會關小, 馬達電流也會隨之降低, 但為了避免空壓機激變, 空壓機設有最低電流限制, 因此為維持最低電流值, 此時會將排放閥打開, 維持空壓機最低電流值, 但也會因此造成空壓機排放損失、能源浪費。再加上離心式空壓機馬力較大, 調節能力較差, 因此本案除整合現有空壓機組, 增設各空壓機電子式電表、空壓機用電總表、主空壓管路流量計及壓力傳感器

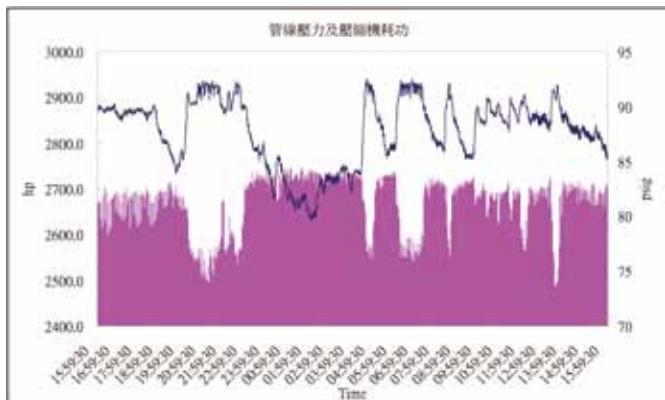


圖2 案例1空壓系統壓力及用電負載變動情形

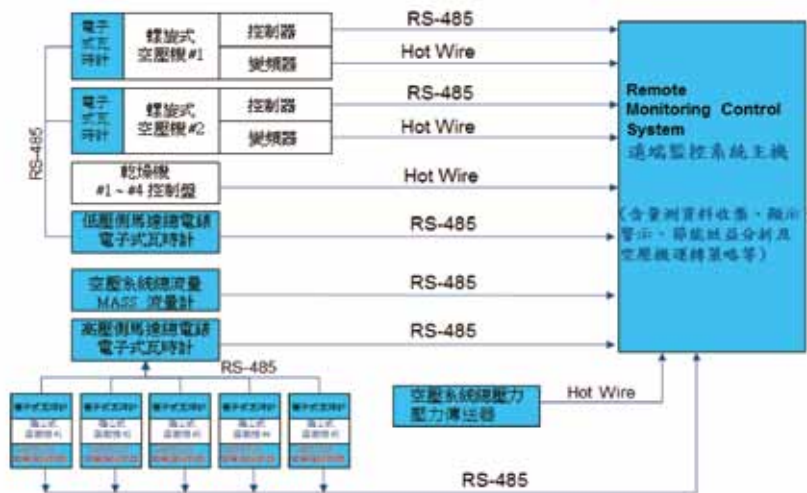


圖3 案例1空壓監控系統架構

外，並增設兩台400hp螺旋式變頻空壓機，其系統架構如圖3，利用RS485連線至監控系統主機，依現場實際用氣量及壓力需求，利用電腦軟體邏輯運算，發揮空壓系統效能，以螺旋式變頻空壓機來調節及調整空壓機的開、關機台數，減少離心式空壓機容調耗電，提升壓縮空氣的系統運轉效率，做最經濟調度之運轉模式，達到最佳之節能效果。

3. 空壓監控系統說明

(1) 空壓機監控系統軟體主畫面結構包含系統包含壓力、總流量、總耗能、效率及環境溫濕度；離心式空壓機包含單機排氣壓力、BOV關度、運轉電流、消耗功率、負載率及ON/OFF狀態；螺旋式空壓機包含單機排氣壓力、變頻頻率、運轉電流、消耗功率、負載率及ON/OFF狀態；冷凍式乾燥機包含ON/OFF狀態。

(2) 螺旋式空壓機監控畫面包含單機排氣壓力、系統壓力、變頻頻率、運轉三相電流RST、消耗功率、負載率、ON/OFF狀態、運轉總時數、機油濾清器壓差、油分離器壓差、進氣過濾器壓差、排氣溫度、箱體

溫度及ALARM顯示。

(3) 離心式空壓機監控畫面包含單機排氣壓力、BOV關度、BOV手動關度設定值、運轉電流、消耗功率、負載率、ON/OFF狀態、馬達軸承溫度、軸承電壓震動值、各段進氣溫度、潤滑油溫度、過濾器前油壓、過濾器後油壓、過濾器壓差、軸承油壓、進氣過濾器壓差、ALARM顯示即時控制來源。

(4) 其他功能包括空壓機種類及規格設定、系統運轉時間顯示、能源單價設定、設備效率量測資料建立包含各單機主機效能檢測資料，作為節能最佳化控制參考依據及使空壓機能最適化運轉，發揮空壓系統效率，達到節能改善成效。

4. 改善成效

本案例空壓監控系統建構完成後，依實際運轉一週資料，經第三公證單位—台灣能源服務技術發展協會(ESCO協會)驗證，空壓系統經最適運轉改善後，空壓系統效率由3.48 SCFM/hp提升至3.75 SCFM/hp，相當產氣耗能比7.03 kW/CMM，全年節能量約1,564,130 kWh，減少電費約344.1萬元/年(平均電價以2.2元/kWh計算)，相當減少溫室氣體排放量838.4公噸CO₂e/年。(100年公告電力排放係數：0.536 kg CO₂e/kWh)

(二) 案例2—螺旋式空壓機組改善案例

1. 現況說明

某廠設置有8台250 hp、2台225 hp及1台100 hp螺旋式空壓機，空壓機組共2,550 hp，平常開啟7台空壓機共1,750 hp供應現場，控制模式為加卸載，供氣壓力5.5~6.0 kg/cm²，空壓



表3 案例2空壓機組規格表

編號	廠牌	馬力(hp)	負載率	效率(SCFM/hp)	年份
CR-201	ATLAS	100	備機	-	1986
CR-202	IR	250	備機	-	1986
CR-203	復盛	250	45.4%	3.66	2007
CR-204	復盛	225	備機	3.74	1990
CR-205	復盛	225	備機	3.8	1990
CR-206	復盛	250	98.7%	3.06	1992
CR-207	復盛	250	91.8%	3.78	1992
CR-208	復盛	250	59.9%	3.6	2003
CR-209	復盛	250	93.3%	3.25	2004
CR-210	復盛	250	58.4%	3.75	2006
CR-211	復盛	250	13.5%	3.69	2006

說明：空壓機效率係指在7 kg/cm²時的單位馬力的排氣量。

機詳細規格及檢測單機效率如表3，空壓機運轉情形及供氣量如圖4及圖5。

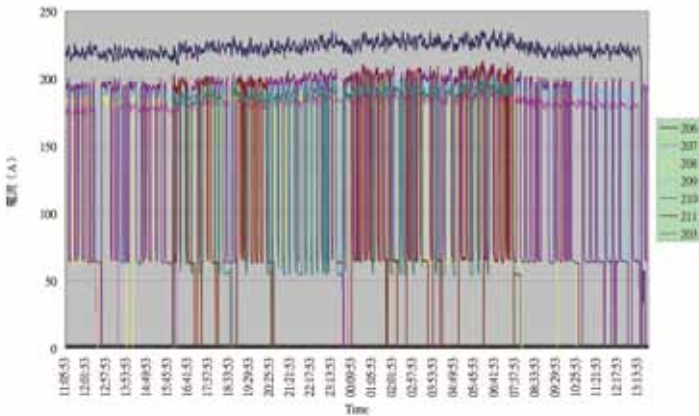


圖4 案例2空壓機組運轉情形

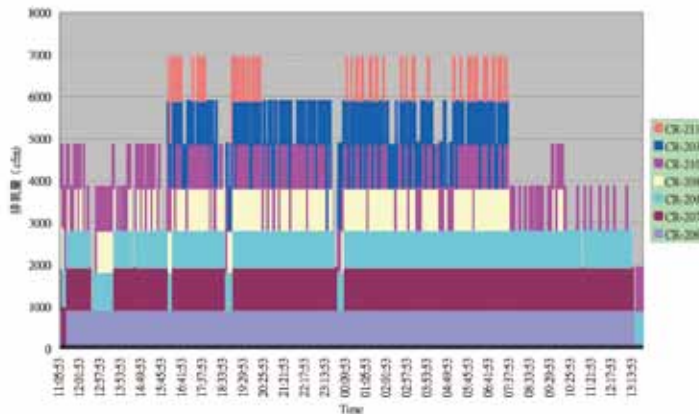


圖5 案例2空壓機組供氣量推估

由圖4及圖5推估全廠最大用氣量6,939 cfm、最小用氣量896 cfm、平均用氣量約4,485 cfm，最大耗電量1,428.3 kW、最小耗電量265.2 kW、平均耗電量1,005.2 kW，空壓系統平均效率約為3.33 SCFM/hp。

2.系統建構

本案螺旋式空壓機採用加卸載控制模式，而卸載會造成空車耗電損失（約滿載電力的1/3），而且沒有統一壓力值作為控制參考，再加上空壓機間壓力表會有表頭誤差，造成空壓機加卸載頻繁，無法有效滿載運轉。因此本案整合現有螺旋式空壓機，增設儲槽系統壓力、現場空氣儲槽壓力、露點計及管路總流量計，以建置空壓監控系統，並將空壓機效能檢測效率差的空壓機(CR-206)汰換成螺旋式變頻空壓機。根據後端乾空氣桶回饋之壓力與流量訊號，利用RS485連線至監控主機，利用內建智慧型分析軟體，根據壓力、流量等歷史紀錄，自動控制基載及變動負載所需空壓機之開機數，提供最佳化操作建議表及控制讓最少數量且為最佳能源效率組合「全載+變動負載」空壓機運轉策略，使得壓縮空氣系統之單位流量耗電量(kWh/m³)最佳化。並顯示於空壓監控系統之圖控畫面上，包含控制改善前之單位流量耗電量(kWh/m³)基準線圖、控制改善後之單位流量耗電量(kWh/m³)即時線圖、當日及累積節能效益(用電度/金額/CO₂減少量)，其系統架構如圖6。

3.空壓監控系統說明

(1)配合現場用氣需求(以4,485 SCFM估算)，可調配效率佳的空壓機運轉，提高空壓系統運轉效率，將空壓系統效率由3.33 SCFM/hp提高至3.70 SCFM/hp，降低空壓機組耗

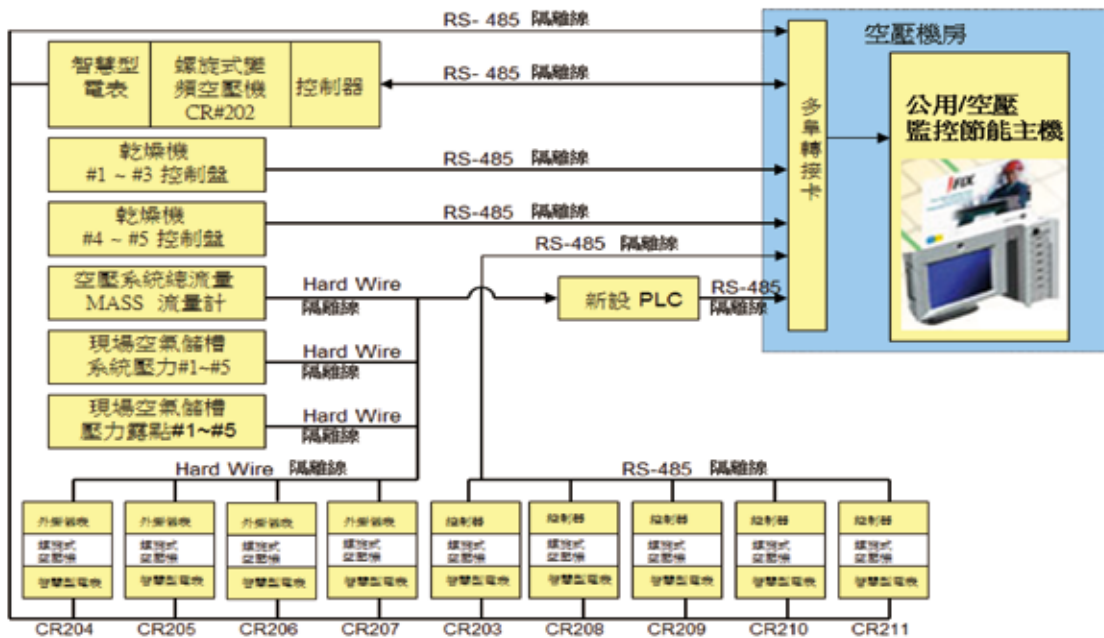


圖6 案例2空壓監控系統架構

電。

- (2)記錄空壓系統運轉相關設備歷史資料，即時監控，可即時發現空壓機異常現象立即警示，如在相同產能的基準下，用氣量增加或運轉台數增加，即表示洩漏量增加，可即時安排檢漏查修，減少洩漏損失，或空壓機效能衰減，應立即進行維修保養，減少無效電力損失。
- (3)監控系統可將空壓機起停、故障等歷史資料，自動儲存於硬碟，以供日後維修保養記錄及故障追蹤排除等參考。
- (4)監控系統查詢顯示壓縮空氣系統之故障、停機、可/已運轉狀態及查詢顯示設備之運轉時數、保養週期、保養屆期警告、近期故障時間、維修妥畢時間、平均故障間隔時間，做空壓設備維護管理工具。

4.改善成效

本案例空壓監控系統，依實際運轉一週資料，經第三公證單位－台灣能源服務技術發展協會(ESCO協會)

驗證，裝置空壓監控系統，改善前產氣效率3.33 SCFM/hp，改善後產氣效率3.75 SCFM/hp，預估全年可節省電量1,145,696 kWh/年，相當減少溫室氣體排放量614.1公噸CO₂e/年。(100年公告電力排放係數：0.536kg CO₂e/kWh)。

三、結論

空壓機是工廠的主要公用設備，配合生產製程全年運轉，尤其在目前微利時代，如何能有效管理並發揮空壓系統效率，就能降低生產成本，提高產品競爭力，而且在科技化及資訊化時代，自動化是必然趨勢，在電腦輔助下，可自動配合生產用氣需求，調配空壓機開關機及調速變頻，穩壓供氣及節省空壓機空車耗電，由前述案例可看出建構空壓監控系統的成效，還有電腦記錄空壓機運轉相關歷史資料，也可作為故障查修、定期保養及預知保養的參考，提供有效資訊。因此建構空壓監控系統，可有效發揮空壓系統運轉效能，減少公用系統能源使用，進而降低生產成本，提高企業產品競爭力。