

## 自動排水器與空壓系統節能

溫室氣體中的二氧化碳是地球暖化的元兇之一，發電過程會產生二氧化碳的排放，所以減少用電即有助於溫室氣體的減量。

空壓機(air compressor)系統運用於產業界非常普遍，幾乎與水、電一樣不可或缺，但其為高耗能、低效率的生財設備，卻鮮少受到關注。由於工廠電費成本內包含許多機械設備及照明燈具的費用，致使能源成本高占其總運轉成本約 80% 的空壓機系統，被大部份使用者忽略了。

空壓機吸取環境空氣，經過加壓產生壓縮空氣。而台灣地處亞熱帶，環境中之溼氣居高不下，故壓縮空氣中含有大量水蒸汽，在適當條件之下即產生危害氣動設備之冷凝水。

空壓系統之冷凝水，以自動排水器即可將之排出。所以自動排水器乃空壓系統不可或缺的設備。但由於空壓系統之冷凝水中含有鐵屑、油泥，傳統排水器無法完美運作，長久以來一直是空壓系統中最弱的一環，導致昂貴的壓縮空氣不知不覺的浪費，甚且降低壓縮空氣品質影響產線運作，故提高空壓機系統能源效率最簡單易於成功的首要條件，即是安裝具備節能、效率、可靠、安全之自動排水器。

節能不只攸關產業本身的生產成本與競爭力，減少溫室氣體的排放，對於人類生存環境的改善，亦有實質的貢獻。

### 不只是冷凝水

空壓機吸取環境空氣加以壓縮，製造壓縮空氣以供工廠之用。環境空氣中含有許多水蒸汽，經空壓機壓縮之後，空氣體積變小、密度增加，經過冷卻之後，其溫度降低，水蒸汽呈過飽和狀態，若干水汽凝結成為液態水。

環境空氣含有許多不明、甚或有毒的物質。工業區附近的環境空氣中，這些雜質的濃度更高，經過壓縮之後，其濃度亦隨之增高。由於壓縮過程的高溫作用，部份有害物質會溶解于冷凝水中，使其 PH 值偏低，成為具有腐蝕性的液體。

### 冷凝水芳蹤何處？

工廠內空壓機的流程，一般為：空壓機-汽水分離器-儲氣桶-初級過濾器-冷凍式乾燥機-精密過濾器。(如圖 1)

空壓機壓縮過程中一般不會產生冷凝水(設計不當或溫控閥失效時除外)，但經冷卻後，只要壓縮空氣溫度低於壓力露點，本來以氣體狀態存在的水蒸汽即凝結為液態水。下圖乃空壓系統在一般運轉工態下的冷凝水分佈。

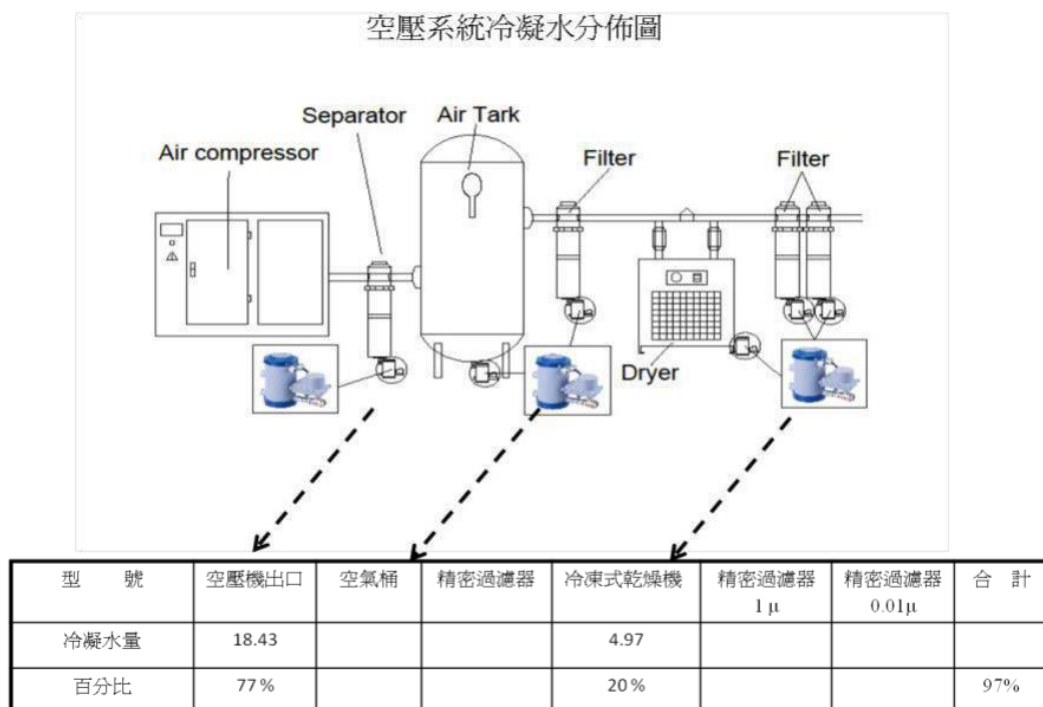


圖 1 空壓系統與冷凝水分佈

## 為何儲「氣」桶化身為儲「水」桶？

若空壓機之冷卻器功能正常，壓縮空氣中之水蒸汽，於冷卻器出口端大部份已凝結成液態水，此處若安裝一個高效能氣水分離器及自動排水器，空壓機吸入的水分，約有 80% 可以去除。但空壓機製造廠基於成本考量，只有少部份廠商、少數機種，安裝上述除水設備。有些則使用簡易的裝置，而大部分空壓機製造商均無此設計。所以空壓系統中之大部分冷凝水就往下游移動，系統中的儲氣桶因而累積了大量的冷凝水。

工廠內實際使用時，使用者常自行於儲氣桶下方裝設一個自動排水器，但因濕度高，儲氣桶極易生鏽，故常見儲氣桶下方的自動排水器堵塞，使儲『氣』桶變成儲『水』桶。又或者使用者不信任自動排水器，直接打開儲氣桶下方之球閥，以微開的方式排水，但實際上，排掉的卻是昂貴的能源—壓縮空氣。

## 產品不良、設備故障的主因—冷凝水

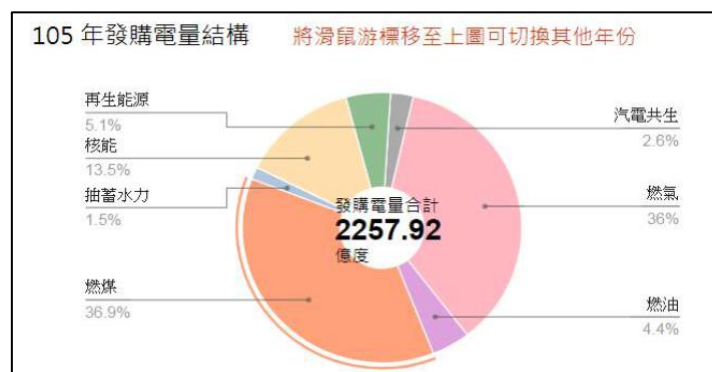
空壓系統未安裝或安裝功能不佳的自動排水器，使用者得以花費較低的初購成本。但運作時，壓縮空氣含水分太高，容易使儲氣桶、氣動設備生鏽、故障，電磁閥線圈燒毀、塗料無法被覆、粉體結塊無法輸送、濾芯堵塞、冷凍式乾燥機效能不佳、離心機葉片損壞---等。可以說，氣動設備的故障原因，90% 以上是因壓縮空氣中的水分所引起。使用者為了節省極低的自動排水器費用，卻付出更多的維修成本，甚至產品不良、延期交貨、商譽損害等慘痛的損失，可謂因小失大！

## 漏氣，漏掉的是企業的競爭力

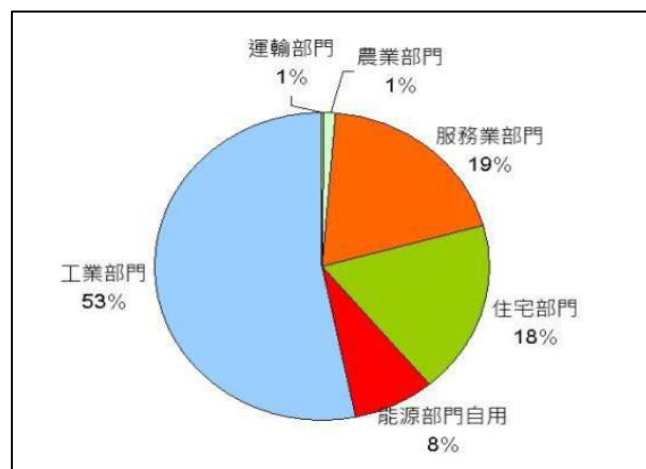
現代化的工廠幾乎均使用空壓機，其運用於產業界非常普遍，空壓機停擺，幾乎與停水、停電一樣，將使生產線癱瘓。但由於空氣無所不在，取之不盡、用之不竭，且工廠電費內包含許多機械設備及照明燈具的費用，致使能源成本極其昂貴的壓縮空氣，被大部份使用者忽略了。

壓縮空氣的能源轉換率非常低，約只 25% 而已，所以壓縮空氣是工廠內最昂貴的能源。根據美國能源部資料顯示，未經能源查核並實施節能改善的空壓機系統，大約有 20%~30% 的洩漏量。

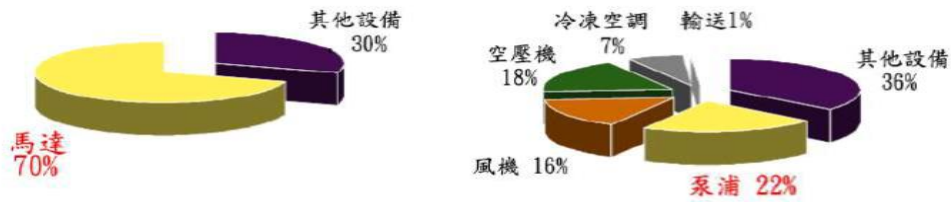
2016 年台灣用電量約為達 2258 億度(圖 2)，工業用電量占全國用電量的 53%(圖 3)。一般馬達用電量約占工業用電之 70%，而空壓機用電約占馬達用電之 18%(圖 4)，故約略可計算空壓機系統一年的用電量為 150 億 kWh(2258 億度 $\times$ 53% $\times$ 70% $\times$ 18%)，若以美國能源部的洩漏估算資料(圖 5)計算，全台灣空壓機系統之洩漏損失將達 37.5 億度(150 億 kWh $\times$ 25%)，電費以新台幣 3 元/度計，則洩漏損失將約達 112.5 億新台幣，至為可觀！



資料來源：台灣電力公司網站  
圖 2 2017 台電發購電量結構圖



資料來源：低碳生活報導網站  
圖 3 2014 台電發購電量結構圖



資料來源：工研院

圖 4 各種設備工業用電百分比

### Minimize Compressed Air Leaks

Leaks are a significant source of wasted energy in a compressed air system, often wasting as much as 20%-30% of the compressor's output. Compressed air leaks can also contribute to problems with system operations, including:

- Fluctuating system pressure, which can cause air tools and other air-operated equipment to function less efficiently, possibly affecting production
- Excess compressor capacity, resulting in higher than necessary costs
- Decreased service life and increased maintenance of supply equipment (including the compressor package) due to unnecessary cycling and increased run time.

資料來源：美國能源部網站

圖 5 空壓系統的洩漏

## 明顯的洩漏

離心式空壓機各級冷卻器排水、無熱式吸附式乾燥機、渦流製冷器、手動洩水閥、自動排水器的洩漏均屬明顯的洩漏。使用者明知其洩漏嚴重，卻礙於既有設備、技術或經費限制，或對壓縮空氣價值的錯誤認知，任由昂貴的壓縮空氣浪費於無形。其中又以儲氣桶下方排水閥及離心式空壓機中間段冷卻器之錯誤排水方式最嚴重。一般均會加大球閥開度排放冷凝水，以換取離心式空壓機安全運轉或較高品質之壓縮空氣。但以此方式排放冷凝水時，大量昂貴之壓縮空氣也隨著冷凝水排出。空壓機不斷的耗能製造壓縮空氣，又不斷的從手動洩水閥消失於大氣之中，錯誤的操作模式，使空壓機耗能比過高，壓縮空氣的單位成本增加。

顯見，壓縮空氣中的冷凝水，不僅使氣動設備無法順利運作，影響生產作業、交期延宕，並墊高企業成本，減低競爭力。

## 傳統排水器的限制

理論上，空壓系統內之冷凝水，以自動排水器即可將此水分排除。但傳統之自動排水器，不論機械浮球式或電子式(計時器+電磁閥)或電子液位控制之自動排水器，均有許多結構上缺陷。例如：電磁閥式的排水通道直徑小且通道彎彎曲曲，極易堵塞。電磁閥膜片容易破裂。機械式有則許多零件泡于冷凝水中、單次排水量小，動作頻繁、短時間內就可能堵塞等(請參考表一、排水器優缺點分析表)。導致傳統自動排水器可靠度低、故障頻仍，使用者信賴度極低。

空壓機系統洩漏點極多，其中「自動排水器」是空壓系統最小卻影響深遠的附屬設備，使用者明知有漏氣之憾，長期以來卻無適當的設備得以替代!

表 1 排水器優缺點分析表

		無耗氣式		耗氣式	
排 水 器 型 式	電容液位控制		浮球液位控制	時間控制	人工排放
	液位感知 +不銹鋼球閥	液位感知 +電磁閥			
優 點	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆不銹鋼水槽及球閥</li> <li>◆孔徑 10φ</li> <li>◆直線排水</li> <li>◆雜質與水一同排出</li> <li>◆不易堵塞</li> <li>◆不需 Y 型過濾器</li> <li>◆維修保養需求少</li> <li>◆動作次數累計功能</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>◆不需電源</li> <li>◆低投資成本</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆低投資成本</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆不需電源</li> </ul>
	缺 點	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆依水量決定排放時機</li> <li>◆不浪費壓縮空氣</li> <li>◆有故障顯示</li> <li>◆提供幹接點,可遠端監視。</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆需外接電源</li> <li>◆專業技術高</li> <li>◆初期投資成本稍高</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>◆需外接電源</li> <li>◆專業技術高</li> <li>◆初期投資成本較高</li> <li>◆膜片破損風險</li> <li>◆內部孔徑較小</li> <li>◆通道轉彎多</li> <li>◆較易堵塞</li> </ul>			

### 空壓系統「自動排水器」應具備的性能

空壓系統對於工業的重要性與日俱增,自動排水器是聯結空壓系統各設備間不可或缺的環節,是故,空壓系統之自動排水器必需具備下列功能:

1. 節能:只排水、不排氣。壓縮空氣是工廠內最昂貴的能源。只排水、不排氣,是自動排水器最基本的要求。
2. 效率:單次排水量大,動作頻率低,使用壽命才能延長。
3. 可靠:儲水槽內無活動零件,因冷凝水極髒並具腐蝕性,水槽內無活動元件,可降低故障率,提升可靠度。
4. 安全:自動排水器是空壓系統中最微小的配件。但影響整體空壓系統的運轉與應用品質。故其是否正常運作,應具「遠端監視」及「功能確認」巡檢功能,保障空壓系統之安全運轉。

### 球閥型液位控制自動排水器的原理(圖六)

由於空壓系統之冷凝水多寡,隨環境因素而改變,唯有以「液位感測」的方式決定排放時機,方可達到只排水、不排氣的節能要求。而以球閥作為排水主體,其孔徑大、直線形排水通道最不易堵塞。但其旋轉角度定位及轉速控制技術難度較高。是目前市場上最新的冷凝水排放技術。



球閥型無耗氣自動排水器，以液位感測器偵測水位，決定排水時機，其動作原理如下：

1. 當冷凝水滴入儲水槽內而達高水位時，液位感測器發出訊號，電動球閥打開排水。
2. 當冷凝水被排出，水位漸降而至感測器低水位時，感測器再次發出訊號，電動球閥關閉。
3. 冷凝水並未完全排乾，留下些許冷凝水形成水封，壓縮空氣不會隨冷凝水排放，達到只排水、不排氣的節能效果。



資料來源：能揚空壓公司

圖 6 球閥型無耗氣自動排水器動作

如何選用「無耗氣自動排水器」？

一般機械性浮球排水器或計時型排水器，大部分均只有一個型號，長久以來養成使用者誤以為：「一個自動排水器可以適用所有大小不同空壓系統」的誤認。

液位控制之無耗氣自動排水器，以液位感應決定是否排放，故除了前述之節能、效率、可靠、安全必需具備外，排水器的選擇需考慮：

1. 環境溫度
2. 環境濕度
3. 空壓機的流量
4. 壓縮空氣壓力
5. 壓縮空氣溫度

由於上述五個變素會改變冷凝水的多寡，影響排水器的選型。一般使用者常為了節省費用，選用較小的排水器。但選用過小之排水器，除了排水器動作頻率提高，使用壽命縮短外，亦有可能超載而無法正常運作，導致冷凝水往下游移動的現象。所以購置任何排水器前，必需計算自動排水器裝置點的冷凝水量，選用大小適當的自動排水器。

油潤滑空壓機系統因冷凝水中含有少量潤滑油，故其冷凝水 pH 值約為中性，自動排水器一般為鋁合金已符所需。但無油式空壓機，冷凝水沒有機油的中和，環境中的二氧化碳、有害物質，均可能溶解于冷凝水中。故使用於無油式空壓機

系統之自動排水器，應選用不銹鋼製品，以免自動排水器組件的腐蝕物堵住排水口，或銹蝕損壞而影響排水功能。

表 2 各種排水器比較表

各種排水器性能比較		能揚空壓 www.super-air.com.tw				
	Super Trap					
節能	無耗氣 節能設計	標準設計	標準設計	會消耗壓縮空氣	標準設計	
效率	單次排水量	較大	較小	較小	較小	?
可靠	儲水槽 內部設計	無活動零件	無活動零件	活動零件繁多 故障率高	活動零件繁多 故障高	無儲水槽
	儲水槽材質	不銹鋼	鋁製品，銹蝕物 堵塞排水閥風險	鋁製品，銹蝕物 堵塞排水閥風險	鋼鐵，銹蝕物 堵塞排水閥風險	無儲水槽
性	排水流程	簡單	簡單	繁複，易故障	繁複，易故障	簡單
	動作壓力	0 ~ 16 bar	0.8 ~ 16 bar	?	?	?
安全	排水主體及元件	1/2" 球閥，不銹鋼球	電磁閥膜片	1/2" 球閥，不銹鋼	浮球閥組	電磁閥
	排水通道直徑	10mmφ	3 ~ 5 mm	? mmφ	?	1.5~3 mm
	排水通道暢通度	高，成一直線	低，彎彎曲曲	高，成一直線	低，彎彎曲曲	低，彎彎曲曲
安全	堵塞時自動除污	Yes,	Yes,	無此設計	無此設計	無此設計
	無電時自動緊急排水	Yes, Option	無此設計	無此設計	無此設計	無此設計
	無電時自動僅計排水	Yes, Option	不可能	Yes	無此設計	無此設計
	警示功能	Yes, 可外接訊號	Yes, 可外接訊號	無此設計	無此設計	無此設計

如何確認「無耗氣自動排水器」的功能正常？

自動排水器的重要性已如前述，每一個空壓機系統或多或少，也均裝設有自動排水器。但自動排水器功能是否正常，除了自動偵測水位之報警功能外，具備「累計作動次數」功能(如圖 7)，方便使用者定期巡檢，排除傳統排水器問題發生、嚴重損失後才被發現，為時已晚之憾，可提升使用者採用無耗氣自動排水器意願。



資料來源：能揚空壓公司

圖 7 計數功能自動排水器

## 如何安裝無耗氣自動排水器？

### 1. 注意「氣鎖」(Airlock)的問題

計時型自動排水器依設定之時間，決定是否開啟排水器排水。當其開啟時，系統壓力高於環境之大氣壓力，故無論其裝置點高於排水口，或排水管路彎曲、遠近，均不致影響其排放，因為高壓往低壓作用是不變的物理現象。

而任何型式的『無耗氣』自動排水器，裝置於空壓系統時，除了剛安裝完成後，第一次開啟排水閥門時，空壓系統對無耗氣排水器有高壓對低壓的現象外，其餘時間排水器與空壓設備連成一體，其間並無壓差現象。故若排水器入口高於空壓系統排水口，即產生「氣鎖」現象(圖 8)，冷凝水就無法流入排水器。當此狀況發生時，液位感測器即無法偵測到高水位，自動排水器即無法作動，使用者常以為產品瑕疵所致。

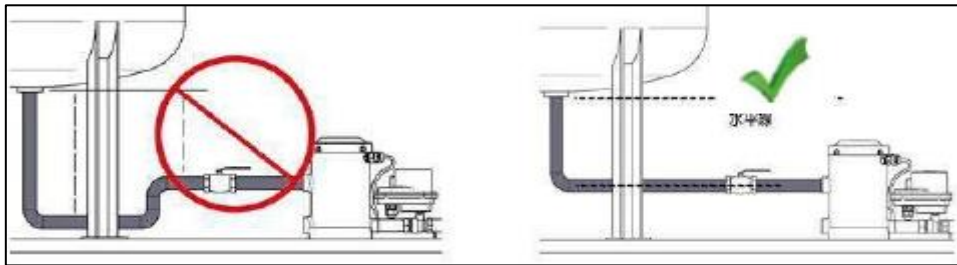


圖 8 無耗氣自動排水器的安裝方式

### 2. 『無耗氣』自動排水器，『不可』加裝 Y 型過濾器(strainer)

傳統自動排水器因排水管道彎彎曲曲且通道極小，冷凝水中的雜質極易堵住而無法排水，導致嚴重損失。故有許多使用者在自動排水器之前加裝「Y 型過濾器(strainer)」以保護自動排水器。但如此裝置憑添許多維護工作，一段時日之後人員疏於清潔，常見冷凝水無法排出累積於系統之中，造成更大的傷害。

### 3. Y 型過濾器的傷害

Y 型過濾器不僅增加維護人員保養負擔，堵住時更摧毀電子液位控制之「堵塞保護」功能。液位控制之自動排水器，超過設定時間(約 30~90 秒)若仍處於高水位，排水器即判定「堵塞」，排水器立刻發出警報。因 Y 型過濾器網目較小，裝於系統中，一定比排水器先「堵塞」，此時液位控制之排水器無冷凝水流入，堵塞警報系統無法察覺。大量冷凝水累積無人發現，嚴重的傷害必定造成！



圖 9 無耗氣自動排水器不可加裝 Y 型過濾器



## 無耗氣自動排水器的節能案例

單台螺旋式空壓機之變頻及排水器改善：本案為系統改善之先期可行性評估測試。廠內分為十個生產工廠。螺旋式空壓機有 100HP 及 50HP 共 22 台，為測試空壓機節能改善之效益，先選一台 100HP 傳統螺旋式空壓機為先期試驗，測試其效果以做為廠內全面推廣依據。

### 1. 量測紀錄

- (1) 由施工者記錄改善前狀態，並測量空壓機單機效率及運轉耗能。

表 3 改善前使用狀態

名目功率 kW	名目流量 M <sup>3</sup> /min	控制模式	運轉壓力 bar	每年運轉時數 (h)	電費成本 (NT\$/kWh)
75	13.6	空/重車	6~7.5	8,000	2.5

- (2) 該廠為訂單生產，業主為確認改善效益，特選產品規格統一，空壓機耗能狀態幾乎全年不變之工廠，記錄一年該機之耗電狀態。

### 2. 節能潛力計算

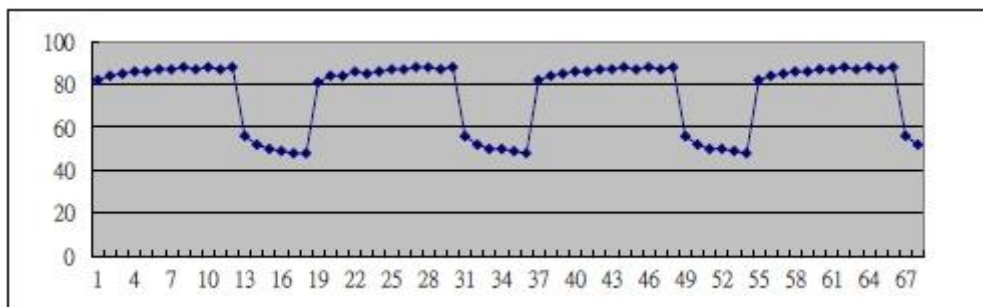
- (1) 單機耗能與運轉耗能(如圖 10)，由施工單位測量該空壓機之單機耗能比紀錄如下：

表 4 空壓機單機耗能量測記錄表

名目功率 kW	名目流量 M <sup>3</sup> /min	量測壓力 bar	實測耗能 kW	實測流量 M <sup>3</sup> /min	全載耗能比 kWh/m <sup>3</sup>
75	13.6	7.5	87.5	13.1	0.112

資料來源：能揚空壓公司

- (2) 運轉耗能量測(改善前)運轉耗能曲線圖



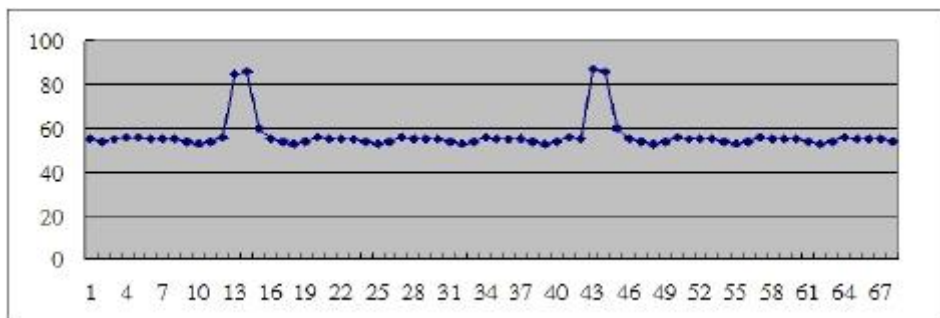
資料來源：能揚空壓公司

圖 10 空壓機運轉耗能曲線圖

3. 改善施工

4. 再量測

- (1) 原來運轉之 75 kW 空壓機加裝變頻節能控制盤。
- (2) 加裝變頻控制後量測運轉耗能(如圖 11)發現(圖 11)中之耗能凸波為計時型排水器造成。
- (3) 汰換計時型排水器為球閥型無耗氣自動排水器。(如圖 12)
- (4) 再量測運轉耗能。(如圖 13)



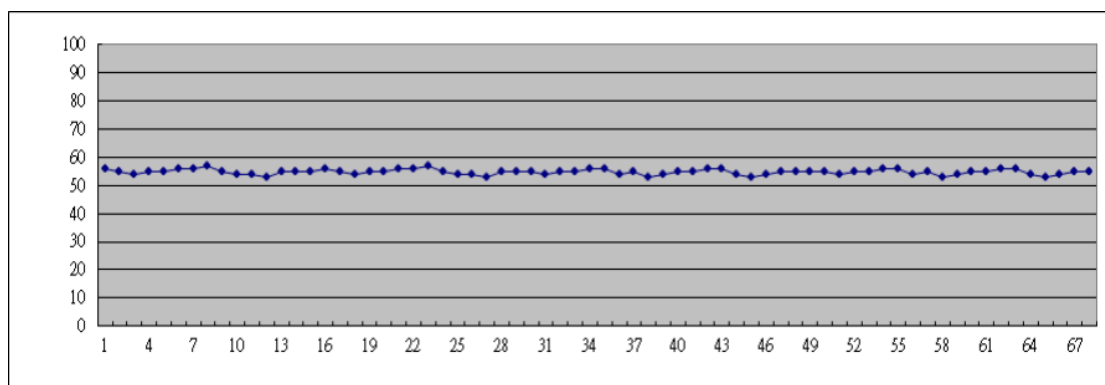
資料來源：能揚空壓公司

圖 11 空壓機運轉耗能曲線圖



資料來源：能揚空壓公司

圖 12 球閥型無耗氣自動排水器



資料來源：能揚空壓公司

圖 13 改善排水器後空壓機運轉耗能曲線圖

## 5. 成果報告

	控制方式	自動排水器型式	耗電量	改善效益
改善前	空/重車	計時器+電磁閥	75 kWh	
改善(1)	變頻控制	計時器+電磁閥	57 kWh	$(75-57)/75=23\%$
改善(2)	變頻控制	<u>球閥型無耗氣自動排水器</u>	55 kWh	$(57-55)/57=3.6\%$
改善成果				26.6%

表 5 SuperTrap 球閥型無耗氣自動排水器的回收年限

	自動排水器型式	耗電量	改善效益
改善前	計時器+電磁閥	57 kWh	
改善後	<u>球閥型無耗氣自動排水器</u>	55 kWh	$(57-55)/57=3.5\%$
投資費用	<u>NT\$15,000</u>		
節省電費			$(57-55)8000H*2.5=40,000(NT\$)$
回收年限			0.4 年

## 結論

由以上個案的呈現可以發現，一般人認為些微的漏氣無關緊要，但 24 小時經年累月的洩漏，其累積的損失卻極為驚人。

使用者因傳統排水器的價格印象，較高價的無耗氣自動排水器尚無法普及。但其價格成本相對於昂貴的壓縮空氣成本，其實只是九牛一毛而已！

提高空壓機系統能源效率，不只攸關產業本身的生產成本與競爭力。當企業競爭日趨嚴峻、營收微利化後，產業除了必需不斷創新、降低成本，以提升競爭力爭取市場外，更需以符合環保要求之綠色生產方式，提高能源效率、降低溫室氣體排放量，減少產業因經濟活動對地球環境的污染，善盡地球公民的義務。