

高純度氮氣機與綠色節能變革之開發研究

黃運火¹ 沈強²

¹ 愛富明科技股份有限公司

² 美商IGS創新氣體系統集團

摘要

因應目前產品高品質需求，但同時又要求成本降低，目前粉末冶金業界已漸漸大量採用高純度氮氣機供應生產；過去液氮是唯一選項，現在PSA氮氣機純度已不是問題；但是業界往往忽視了氮氣機之空壓運轉成本——電費。事實上氮氣機所消耗空壓對業者而言是經年累月的，如能降低氮氣機的每單位產出氮氣所消耗空氣量(即空氮比)；那麼空壓機馬力數就可以降低，每年總電費至少可以節省15%~20%。氮氣純度越高，其空氮比更高，相對地氮氣製造電費成本更高，因此降低高純度氮氣機系統之總耗電量更是重要。一般影響空氮比主要因素：(1)分子篩；(2)氮氣純度；(3)吸附壓力與週期；(4)PSA吸附工藝設計。本文主要研究如何降低氮氣機系統之空氮比與節省電費成本，開發出節能式變壓吸附氮氣機，獲得綠色節能變革結果之開發成效；尤其當99.998%~99.999%氮氣純度時，每年總電費成本可以降低到25%~30%。

關鍵字：高純度氮氣機、空氮比、吸附塔、分子篩、吸附壓力

1. 前言

以前粉末冶金業界一般皆採用液氮供應作為單一選項；多年來也陸續採用PSA氮氣機加氫純化系統提供爐子氮氣氣氛保護。

由於PSA氮氣機技術越來越進步，近來也開始採用PSA一步法氮氣機，穩定供應超高純度氮氣。但是目前多是屬於傳統PSA一步法，其最受人擔心的是氮氣純度穩定度與空壓機高馬力耗電兩大問題；我們針對此問題已獲得最佳技術方案，並且成功克服了上述缺點。目前已成功普遍使用於金屬行業中，例如 雷射切割業、金屬粉末冶業、熱處理業以及電動車之電池正極材料業等行業。

本文將探討高純度變壓吸附式氮氣機之節能省電研究結果，說明如何在節能省電之綠色變革中，業者未來在追求高純度氮氣時，也要達到低耗電之綠色節能時代要求。

2. 節能變壓吸附式氮氣機技術

目前粉末冶金製程使用氮氣純度要求99.999%，含氧量低於10ppm；目前氮氣機有三種方式：(a)PSA加氫純化系統 (b)傳統PSA一步法變壓吸附式氮氣機。(c)節能PSA一步法變壓吸附式氮氣機。這三種方式各有優缺點，如表(一)所示。

2.1 PSA加氫純化系統

粗氮及按比例添加的氫氣經混合器充

分混合，在鈀催化劑的作用下，混合氣中的氧氣與氫氣在常溫下即可反應生成水。經冷卻旋風脫水，吸附乾燥除水後，露點可達 -60 °C，含氧量 5 ppm。

為提供加工工廠在加工過程中對於高純氮氣的要求，IGS 提供了粗氮純化的方式以滿足客戶的需求，氮氣純化系統所使用的純化方式，為加氫純化方式，此法均具有節省投資成本和高運行經濟性的特點。產品氣純度通過分析儀連續進行在線監測。其化學方程式為：“ $2H_2+O_2 = 2H_2O+熱$ ”。為了確保氧在純化過程中被完全脫除，實際的 H_2 與 O_2 比率略高於理論值；精製後氮氣純度可達 99.999%。

PSA加氫精製 N_2 裝置由混合器、催化反應器、後冷卻器、旋風分離器、過濾器或吸附式乾燥器、氧分析儀、流量計以及產品氮氣緩衝罐組成。(見圖一)

2.2 傳統PSA氮氣機一步法

傳統PSA氮氣機一步法(如圖二所示)，主要利用加長原料氣體與吸附劑的接觸時間，將氮氣出氣量減小，使得氧氮氣分離更加充分，從而讓氮氣純度更高；目前一般PSA氮氣機都只是傳統吸附塔設計，其控制也是一成不變。因此，如果採用傳統的PSA方法來生產高純度氮氣，都會造成氮氣機空耗加大，其空氮比越高，也就代表著氮氣單位耗電成本加大。因此越高純度時，尤其是氮氣



圖一. PSA 氮氣機 + H2 純化系統

純度達到99.999%時，其空氮比更是迅速加大；同時氮氣純度穩定性也是特別需要予以關注，因此其高純度應用目前尚有很大的改進空間。

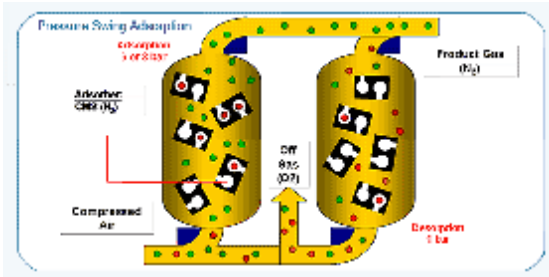
2.3 節能PSA氮氣機一步法

提高PSA氮氣機一步法之高純度穩定性與降低空氮比，除了選用合適的分子篩種類外，目前氣體分離業界已逐漸注意到如何節能省電。其中特殊的PSA吸附工藝專利設計及節能控制專利方式是研究開發主要目標。美商IGS創新氣體系統集團，正是在這種情況下，開創性地開發出了一步法高純度制氮機專利工藝技術。

表(一):不同高純度氮氣機製造方式考量因素比較 ◎ 優 / ○佳 / ▲一般

項目	耗能	純度	操作	安全	管理	投資	含氫**
PSA加氫純化	◎	◎	▲	▲	○	◎	▲
傳統PSA一步法	▲	▲	◎	◎	◎	▲	◎
節能PSA一步法	○	◎	◎	◎	◎	○	◎

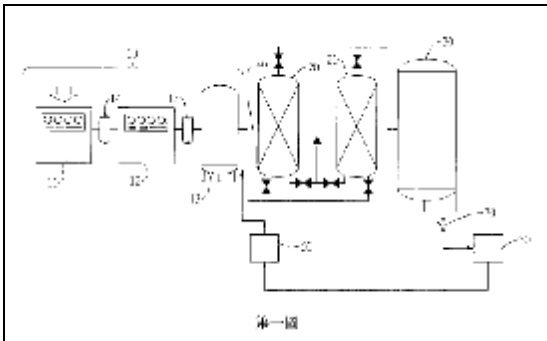
** 氮氣含氫量高時，會對鋁合金或者某些材料造成不良影響。



圖二. 傳統PSA氮氣機一步法

3. 系統架構與實驗方法

本系統架構(如圖三所示)與實驗方法,主要參考節能變壓吸附式氮氣機專利如附件(1)。記錄氮氣機入口空氣總耗氣量及量測氮氣機產出量,每次量測固定一段時間;然後在不同氮氣機產量與氮氣純度時,針對空氮比與耗電成本分析比較。



圖三. 節能式PSA變壓吸附式氮氣機系統

A. 壓縮空氣供應單元

最少輸入空壓氣體(FAD)流量須等於PSA 氮氣產生機需要空氣消耗量再加20% (increased by 20%)以補償大氣溫度與空壓機性能誤差, 有關預估壓縮空氣系統資料皆會於一般文件說明, 包含空氣壓縮機與冷凍式乾燥機。

B. 空氣緩衝桶

此空氣緩衝桶安裝在空壓源與PSA 氮氣產生機之間. 其主要目的為要保證於短時間內提供足夠新鮮乾淨空氣給PSA 氮氣產

生機之分子篩床. 假如空壓系統已包含此緩衝桶時, 則其空壓除緩衝桶體積必須滿足兩者需求, 也就是要滿足氮氣系統PSA 製程和空壓機(max. load/unload cycles)之需求。

C. 氮氣製程桶槽

此氮氣製程桶槽是與NITROSWING PSA 氮氣產生機整合在一起. 此氮氣製程桶槽可保證控制氮氣產生機之氮氣純度與壓力及最低空氣消耗量之最佳化, 此氮氣製程桶體積必須經由IGS製造公司計算。

D. 氮氣機入口空氣流量控制單元

此氮氣機入口有空氣流量計可以累計總流量, 並有空氣流量。控制單元可保證控制空氣供給量。

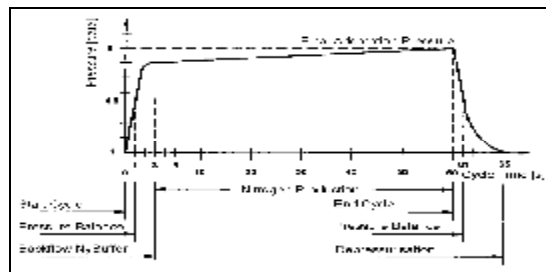
E. 氮氣機出口氮氣流量控制單元

此氮氣出口有氮氣流量計可以累計總流量, 並有氮氣純度與壓力量測; 控制單元可保證控制氮氣純度良好並且完成節能控制模式切換功能, 進而節省空氣消耗量以達節能省電功能。

4. 結果與討論

4-1 採用低壓空壓機與低吸附壓力如附件(2)

一般傳統控制模式之變壓吸附週期如附圖(四)所示。影響變壓吸附能力主要有兩者項主要因素:



圖四. 傳統式PSA變壓吸附週期

~ 因素1. 空氣壓力越高: CMS表面所吸附的氣體分子越多。壓縮氣體進入一吸附

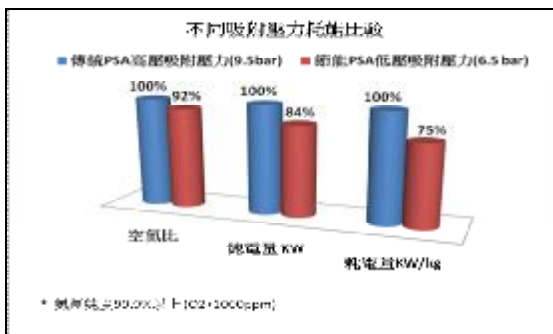
塔，從下到上流經塔體。

~ 因素2. 流量速度：決定了氣體在吸附塔中的吸附時間，即氧分子的吸附時間：

— 流速高：氧吸附時間短 \Rightarrow 產品氣中剩餘氧含量高 \Rightarrow 氮氣純度低

— 流速低：氧吸附時間長 \Rightarrow 產品氣中剩餘氧含量低 \Rightarrow 氮氣純度高

針對氮氣之空氮比，氮氣機最佳吸附壓力約為6.5bar如附件(3)，吸附壓力太高或太低時，其氮氣之空氮比皆會加大。尤其常有人故意加大吸附壓力高到9.5bar時，雖然氮氣機之氮氣產量會加大，但是其每單位氮氣產量之耗氣量也隨之加大，尤其是純度高時特別明顯，如此必須採用高壓空氣來源，空壓機馬力也必須加大；隨之整體氮氣耗能也加大。相對的採用低壓吸附壓力6.5bar時，例如當氮氣純度99.9%時，空氮比減少8%；加上採用較低吸附壓力、空壓機馬力數小，結果可以節省25%電費成本，如附圖五所示。

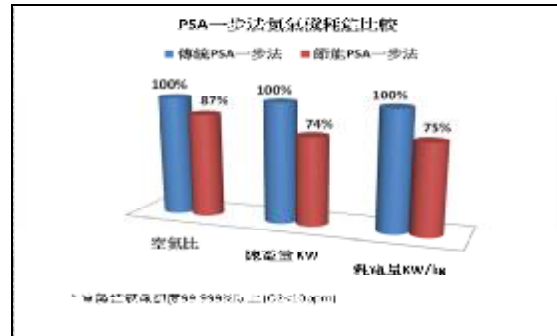


圖五. 不同吸附壓力耗能比較

4-2 節能式PSA氮氣機吸附塔設計專利如附件(4)

氮氣機主要靠吸附塔內部分子篩CMS變壓吸附，解吸再生。其中均壓排空富氧，氮氣逆吹再生是否良好，其均壓方式與週期控制也同樣影響著氮氣機純度與空氮比。本專利採用特殊吸附塔設計，其壓力均衡過程的設計不僅僅單純考慮到壓力的均衡，更關鍵的是同時到考慮到該過程中氣體轉移之

濃度的匹配，即考慮氣體壓力轉移過程濃度分佈的FEM有限元素法最佳設計。配合獨立之專利均壓設計法，實現了高純度PSA一步法氮氣機之高純度、低耗氣量，約可以節省13%空氮比。加上使用節能式低吸附壓力方式，整體而言每單位氮氣之耗電量可以節省25%，如圖六所示。

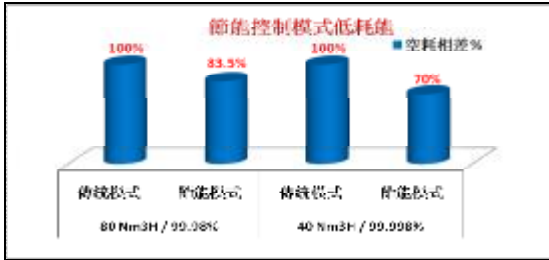


圖六. 節能PSA一步法氮氣機耗能比較

4-3 節能氮氣機控制技術專利如附件(1)

針對客戶端用量減少時，尤其是分階段擴廠時初階段氮氣用量只有原規格氮氣產量一半時氮氣機避免因此製造出太高純度及更高空氮比，如此將造成更高電費支出。設備要因應產能變化，但又同時能完全自動化控制生產週期，避免太高氮氣純度。這樣的話，優先會考慮純度的控制，而從節能角度，我們的方案中也會兼顧到。

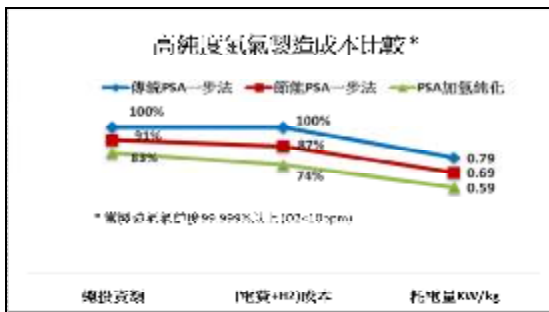
當氮氣機純度99.98%、流量是80Nm³/hr時，當我們採用節能控制模式時耗氣比約可以節省16.6%；此時如果客戶氮氣使用量減半為40Nm³/hr時氮氣純度可以達到99.999%；但是此時空氮比會大幅多出約70%，此時節能控制模式之耗氣比約可以節省30%，如圖七所示。



圖七. 節能控制模式低耗能比較

5. 結論

A. 雖然採用PSA氮氣機加氫純化方式比PSA一步法之更節省電(如圖八)。但是因為需要過量加氫方式，除了安全因素與更換氫氣鋼瓶等問題，現場管理與人員操作更需要嚴謹小心。尤其當有些金屬材料並不適合接觸氫氣(H₂)，例如鋁合金遇氫氣易鋁化而造成品質不良；另外爐子內部一般有其他材料也是很怕氫氣，會減少使用壽命，因此務必確認過量加氫對產品或設備無害，方可採用PSA氮氣機加氫純化系統。



圖八. 高純度氮氣機不同製造方式之成本比較

B. 全都採用低吸附壓力方式，當利用節能吸附塔設計方式時，整體氮氣耗能可以節省13%。主要原因是優異的吸附塔設計更保證高純度氮氣時，空氮比更可以減小13%，如此空壓機可以選用較小一級，總耗電量相對降低進而可以達到綠色節能變革時代要求。

- C. 利用節能控制方式，當客戶產能減半時，因應生產狀況如此氮氣機整體可以降低空氮比達16.5%~30%。氮氣機可以因應生產使用端用氣量少時可以切換節能模式，減少空氣進氣量、延長吸附時間；整個週期加長、氮氣機再生次數減少。透過多模式選擇切換，達到節能省電效果，尤其氮氣純度越高，低耗能效益越明顯。
- D. 目前PSA氮氣機其他技術也可以提升氮氣機性能，例如更低耗氣比的份子篩CMS研發；在追求氮氣機高純度、低耗氣比的同時；也要注意設備壽命的配套設計同等重要，例如防呆裝置、防粉化設計、雙過濾器設計、備載系統等皆要考量。

6. 參考資料

- 1) 節能變壓吸附式氮氣機專利 M348633 (愛富明科技股份有限公司)。
- 2) IGS PSA N₂ Generator operation Menu。
- 3) Kuraray Chemical CMS 材料特性表。
- 4) 節能吸附塔設計ZL 2008 2 0064847.6 專利 (IGS SMC 美商創新氣體集團)。

7. 致謝

本開發研究係由美商創新氣體集團(IGS, Innovative Gas Systems)與愛富明科技(股)公司同仁共同研究開發；並且感謝福泉金屬(股)公司、台全金屬(股)公司、連鴻企業(股)公司、律勝科技(股)公司與矽格科技(股)公司等先進業界提供意見與建議！