

## 零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機

目前業界中對於壓縮空氣之露點達到 ISO8573-1 規範第 1~3 級(露點-70°C, -40°C 及-20°C)大多採用吸附式乾燥機，其中仍有大部份的產業使用無熱吸附式的乾燥系統(再生時壓縮空氣損耗量約 15%-30%)，或是使用外部鼓風機加熱式，採用鼓風機吸引環境空氣加熱，屏除無熱式乾燥機採用高能耗之壓縮空氣再生。冷卻時採用壓縮空氣冷卻，冷卻時需損耗壓縮空氣量約 2%-3%，或者採用水冷式密閉循環冷卻，冷卻時無壓縮空氣損耗。

特別是需要極低之壓縮空氣露點，ISO8573-1 一級-70°C 時，無論採用哪一種吸附式乾燥機，為達到-70°C 的要求，一般均需要降低進入吸附式乾燥機的含水量，於系統配置上，吸附式乾燥機前端需配置冷凍式乾燥機或採用冰水用於空壓機的後部冷卻器，以降低進入吸附式乾燥機的水份和溫度，同時吸附式乾燥機內部需充填一定比例之分子篩作為吸附劑，使得吸附式乾燥機得以達到露點-70°C 的要求。對產業影響如下：

1. 取代無熱吸附式乾燥機:藉由推廣零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機之技術，可將國內目前仍使用無熱吸附式乾燥機之生產工廠之空壓機使用電力降低 15~30%。
2. 取代外部鼓風機加熱吸附式乾燥機:以國內某石化廠投資越南設立鋼鐵廠為例，該鋼鐵廠總使用壓縮空量風量 45,000m<sup>3</sup>/h，出口壓力露點需求-40°C，設計 3 台吸附式乾燥機，每台乾燥機處理量 15,000m<sup>3</sup>/h，若採用外部鼓風機加熱式乾燥機則每小時平均耗能約 150KW,採用零耗氣壓縮熱回收式乾燥機之每小時平均耗能僅約 50KW，以每度電平均電費 2.8 元計算，一年可節省電費 150KW-50KWx2.8 元/kWhx24hr.x365 天 x3 台=NT\$7,358,400 元。
3. 市場應用:雖然本技術為外國技術，但國內尚無相同之設備製造廠商，由於此設備對於空壓系統整體節能成效卓著，值得廣泛推廣，可促進國內產業技術升級，改善現有使用無熱及加熱吸附式乾燥機之用戶，大氣量之用戶之節能改善成效更為顯著。

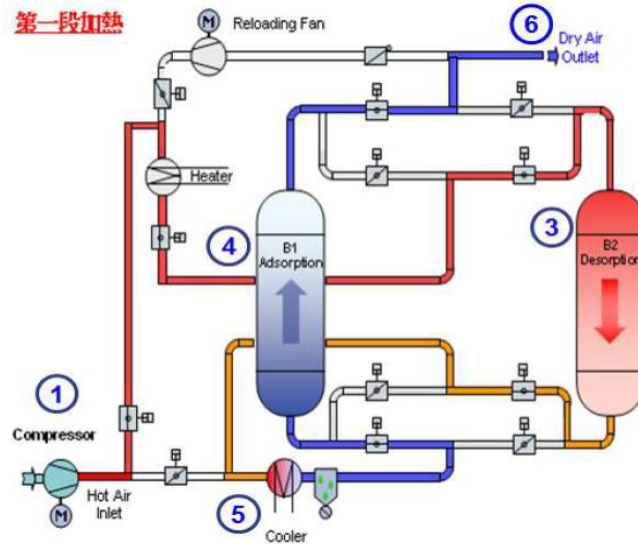
### 技術說明

空壓機在壓縮空氣的過程中，會產生高熱，兩段壓縮無油螺旋式空壓機的出口溫度，在後部冷卻器之前溫度可達 160°C~180°C，三段壓縮無油離心式空壓機在後部冷卻器之前溫度可達 100°C~120°C，因此空壓機必須配置後部冷卻器，將壓縮後的高溫壓縮空氣冷卻，然而外部加熱吸附式乾燥機在脫附的過程中，又必須將空氣加熱至 180°C~210°C，將吸附劑內之水份去除，因此整體乾燥機作動流程，一方面需要用到空壓機後部冷卻器的冷能冷卻，另一方面又要用到外部鼓風機加熱乾燥機的電能加熱，使用零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機則充份利用壓縮後的高溫空氣作為熱源，減少乾燥機本身再生所需的電能，達到雙重節省

的目的。

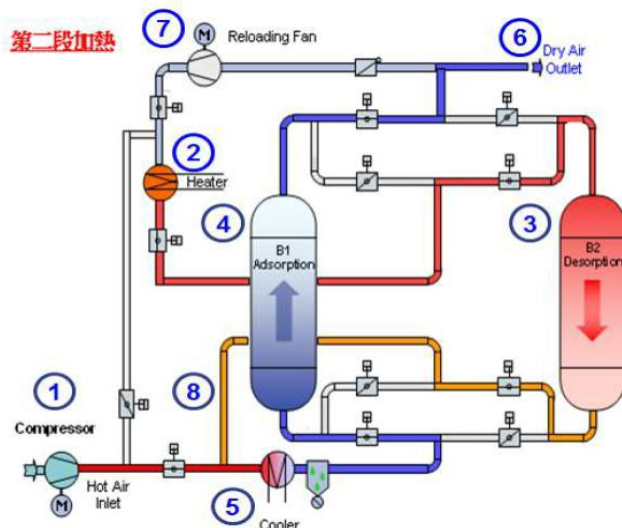
零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機的工作原理，流程如下：

### 1. 第一階段：空壓機廢熱加熱行程



利用空壓機壓縮後所產生的廢熱，100°C-180°C 於空壓機的后部冷卻器之前①引出，進入 B2 桶槽③加熱再生，加熱後之熱空氣再進入中間冷卻器⑤冷卻，冷卻後之壓縮空氣進入 B1 桶槽④吸附，乾燥後之壓縮空氣由出口⑥供應至現場使用，整個再生加熱的過程中，主要使用空壓機的廢熱作為熱源，同時不會排放浪費任何壓縮空氣，由於使用空壓機的廢熱全量加熱，此階段加熱所需的時間僅需約 60 分鐘，根據空壓機廢熱溫度條件，內建之電加熱器可依需要開啟，一般搭配兩段式無油空壓機，由於廢熱溫度極高 160°C~180°C，再生時不需要使用電加熱器。

### 2. 第二階段：二次乾燥空氣加熱行程

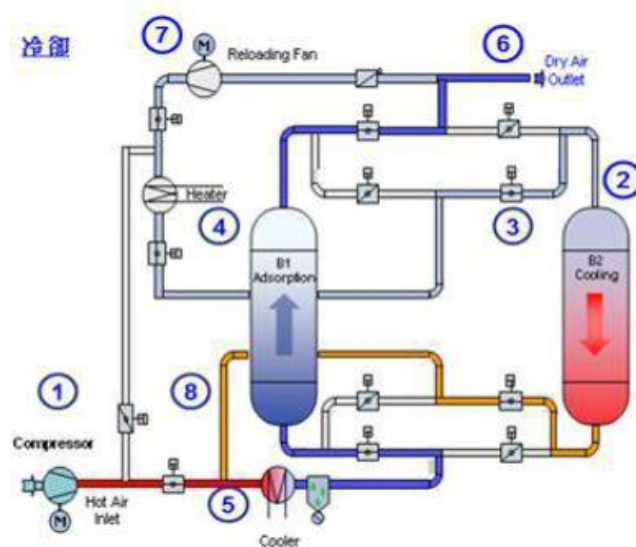


基於空壓機廢熱的溫度不同及出口壓力露點的需求，通常-40°C 的乾燥空氣

出口壓力露點需求，搭配兩段式無油式空壓機，可不需要進行乾燥機的第二段加熱，直接跳入下一行程，進行冷卻。

當乾燥空氣出口壓力露點需求 $-70^{\circ}\text{C}$ 或空壓機廢熱溫度較低，可進行第二階段加熱行程。進行第二段加熱時，以增壓機⑦回抽出口小量乾燥壓縮空氣⑥，經過加熱器②增溫，再進入 B2 桶槽③再加熱再生，經過第二段加熱後的吸附劑，由於使用非常乾燥的空氣再加熱，可將吸附劑內的水份幾乎完全去除，達到最佳的吸附能力，加熱後的熱空氣⑧，再與入口之空壓機高溫壓縮空氣匯流，引入中間冷卻器⑤冷卻，冷卻後之壓縮空氣進入 B1 桶槽④吸附、乾燥後之壓縮空氣由出口⑥供應至現場使用，整個二段加熱過程中不會排放任何壓縮空氣。

### 3. 第三階段：冷卻行程



進行冷卻行程時，關閉加熱器，以增壓機⑦回抽出口小量乾燥壓縮空氣⑥，進入 B2 桶槽②進行冷卻，冷卻後出口的熱空氣⑧，再與入口之高溫壓縮空氣匯流，引入中間冷卻器⑤冷卻，冷卻後之壓縮空氣進入 B1 桶槽④吸附，乾燥後之壓縮空氣由出口⑥供應至現場使用，整個冷卻過程中使用乾燥之壓空氣進行密閉循環，不會排放壓縮空氣。

## 零耗氣 $-70^{\circ}\text{C}$ 壓縮熱回收式乾燥機優勢及低能耗

### 1. 充分利用空壓機廢熱能：

空壓機在壓縮的過程中所產生的高溫廢熱作為乾燥機再生加熱的熱源，有別於傳統無熱式或外部鼓風機加熱式乾燥機，必須先將空壓機產生的廢熱，用額外的冷能降溫，再進入吸附式乾燥機吸附。再生的時候，再使用外加電熱器加熱空氣至 $185^{\circ}\text{C}\sim 210^{\circ}\text{C}$ 。如此一來將多產生二次能耗。

## 2. 整體空壓系統壓損較低：

除壓縮熱回收乾燥機系統以外，其他型式吸附式乾燥機系統，空壓機均需配置後部冷卻器及前置過濾器(如下圖 1 所示)，由於壓縮空氣於未乾燥之前，經過前置過濾器一般多為飽和濕空氣，經過過濾器內部的纖維材質時會被吸收於膨脹而導致過濾器之壓差上昇，因此在整體系統配置上無熱及外部加熱式乾燥機系統之整體壓損較零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機為大。

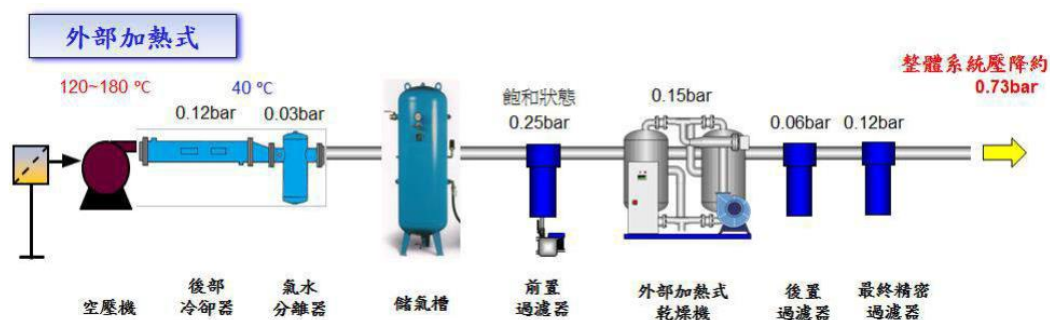


圖 1 空壓機均需配置後部冷卻器及前置過濾器



圖 2 零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機之系統配置

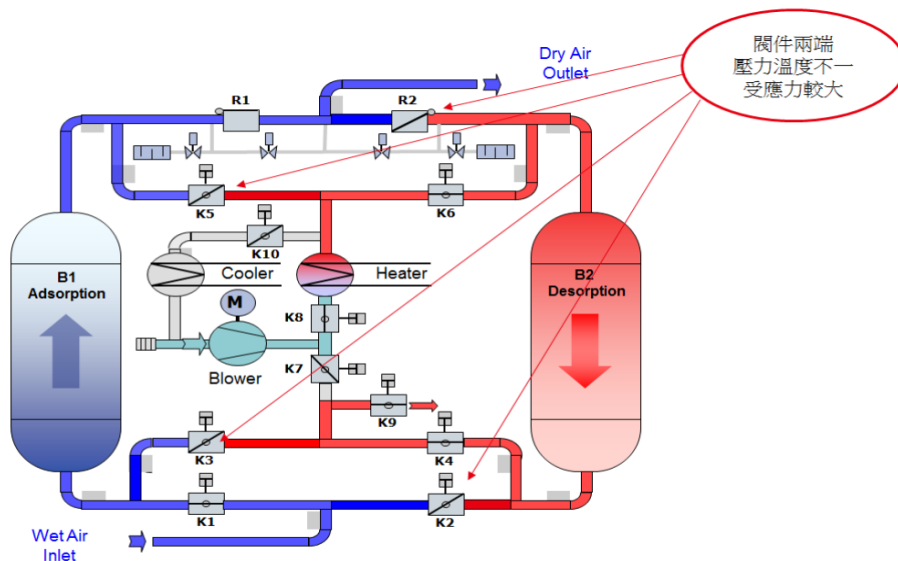
## 3. 再生所需耗能較低：

一般無熱式或外部加熱式乾燥機系統若需達到-70°C 壓力露點，必須充填一定比例之分子篩，然而因分子篩之再生溫度非常高，一般加熱溫度需要到達 195 °C~210 °C，因此所需之再生耗能較高，零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機充填 100%之防水型矽膠，因矽膠之再生特性，導熱性高，再生溫度低所需之加熱溫度僅 155 °C，即可做到-70°C 壓力露點。

## 4. 運轉耗材壽命較長、系統穩定度較高：

零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機運轉時壓縮空氣的運行是一條龍的模式，無論是再生桶槽或是吸附桶槽均全時保持於壓力狀態，再生時不需要洩放桶槽壓力，因此整體設備的應力影響較小。





### Desorption Phase

外部鼓風機加熱式乾燥機再生時必須洩放桶槽壓力，切換閥件於吸附端處於高壓低溫狀態，於再生端處於低壓高溫狀態，受應力影響較大，運轉壽命較短。零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機運作時無須洩壓，因此系統沒有配置連接至大氣之管路閥件，無熱式及外部鼓風機乾燥機系統必須配置再生洩壓閥及管路，當閥件故障洩漏時，可能造成系統瞬間壓降，影響生產。

零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機沒有前置過濾器，可以節省操作成本，吸附劑使用防水型矽膠其使用壽命可達 10 年以上，較一般無熱式或外部加熱式乾燥機所使用之活性氧化鋁或分子篩壽命只有 3-5 年，運轉成本較低。

#### 5. 節省整體空壓系統所需冷能：

為使吸附式乾燥機能達到-70°C 露點之需求，一般進入吸附式乾燥機的壓縮空氣溫度不可高於 20°C~30°C，或者於前端增設冷凍式乾燥機，若是採用降低入口的壓縮空氣溫度的方式，則前端的冷卻器必須使用 16°C~22°C 的冰水作為冷卻水(或是使用更低溫度的冰水)，此冰水所需之耗能比外部鼓風機加熱式乾燥機本身再生所需之耗能為高，若是採用前置冷凍式乾燥機，則需額外之冷媒壓縮機耗能，並增加設備故障率及維護成本，且經過冷凍式乾燥機的壓縮空氣相對溼度一般低於 30%，雖然降低了吸附式乾燥機入口空氣的溫度但相對濕度亦隨之降低，由於低相對濕度時活性氧化鋁的吸附能力不到原本的 $\frac{1}{3}$ (與 100% 相對溼度比較時)，因此所需耗能亦相對提高。

零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機由於使用節能型矽膠作為吸附劑，且第二階段的加熱再生過程中使用出口的乾燥壓縮空氣作為二次加熱的氣源，由於出口的乾燥壓縮空氣濕度非常的低，經過二次加熱後，幾乎去除吸附桶槽頂部吸附劑內的水分，此一結果使得乾燥機吸附時得以容許較高的進口溫度，在進氣溫度 37°C 範圍內均可達到出口壓力露點的需求，因此採用零耗氣-70°C 壓縮熱回收式乾燥機可以使用 32°C 冷卻水，節省冰水能耗。

## 可行性評估

### 1. 技術可行性評估：

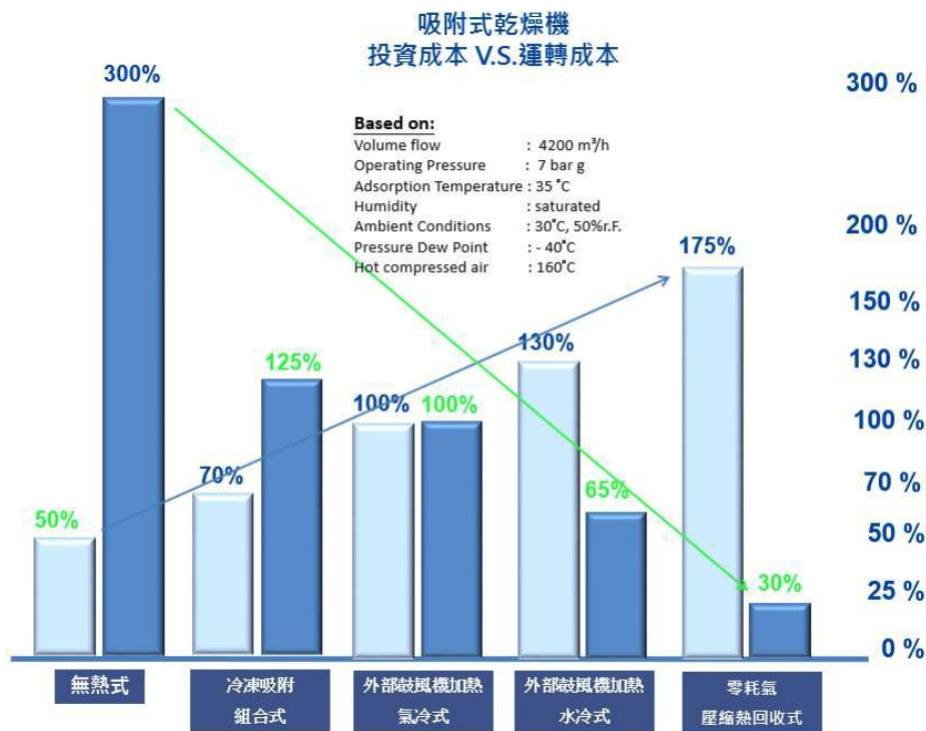
- (1) 發展階段：目前國內多家電子廠，台塑企業集團，中油均有許多已採用零耗氣壓縮熱回收吸附式乾燥機。
- (2) 適用於國內所有吸附式乾燥機需求之產業。例如：電子產業、光電產業、石化產業、鋼鐵產業、紡織產業、造紙產業、食品產業、醫療生技產業等。
- (3) 推廣可行性：技術成熟，需求殷切且廣泛。

### 2. 環境可行性評估：

- (1) 物料和能源：減少使用整體空壓系統冷能，低耗電量，耗材壽命長能提高工廠能源利用，達到減廢與節能之目的。
- (2) 是否產生污染介質的移轉：否。同時再生的過程中完全密閉，不與環境空氣接觸，完全不受環境影響及污染，不同於一般鼓風機加熱再生式乾燥機，必需吸入環境空氣加熱，增加壓縮空氣污染的因子，影響壓縮空氣品質。

### 3. 經濟可行性評估：

- (1) 投資：零耗氣-70°C壓縮熱回收式乾燥機之投資成本依據處理風量之不同而異，但操作運轉成本相對較低，其購置與運轉比較約如下。



- (1) 責任成本：無環境風險與負債。
- (2) 效益：依據台化工務部之報告，經濟效益比較，預估回收年限2.78年。

## SWOT 分析

### 1. Strength :

- (1) 零耗氣-70°C壓縮熱回收式乾燥機，有別於傳統壓縮熱回收式乾燥機系統，是唯一能到處理後乾燥空氣壓力露點-70°C的壓縮熱回收機型。
- (2) 充分利用空壓機壓縮後產生之廢熱作為乾燥機加熱的熱源，同時減少冷能的使用(雖然壓縮熱回收乾燥機亦需要冷卻器使用冷能，但再生加熱期間，主要空壓廢熱已被吸附劑吸收，所需冷能比使用外部鼓風機加熱式乾燥機，使用空壓機後部冷卻器，需全時將高溫壓縮空氣冷卻為低。)若搭配二段式壓縮無油螺旋空壓機，處理量1,000kW以下，乾燥機之平均耗能-40°C露點時，平均耗電量僅約2kW。
- (3) 機的前置過濾器 and 熱排氣管路，可以減少空壓系統整體壓損及運轉成本。
- (4) 使用節能型防水型矽膠作為吸附劑，再生能耗較低，同體積之吸附水量較分子篩高50%以上，使用壽命長達10年，比活性氧化鋁或分子篩一般為3-5年為佳。
- (5) 系統全時於壓力下操作，完全不與環境空氣接觸，操作不受環境影響，無污染空氣及吸附劑的問題，系統穩定性高。
- (6) 使用零耗氣-70°C壓縮熱回收式乾燥機，空壓系統可以使用一般32°C冷卻水，可以節省大量之冰機耗能，也是目前所有空壓系統中，在沒有搭配冷凍式乾燥機的情況之下，空壓系統能使用32°C冷卻水，吸附式乾燥機唯一能達到處理後乾燥壓縮空氣壓力露點-70°C的機型。

### 2. Weakness :

- (1) 須搭配無油式空壓機使用，有油式空壓機不適用。
- (2) 購置成本較外部鼓風機加熱式高。

### 3. Opportunity :

- (1) 零耗氣-70°C壓縮熱回收式乾燥機為最新研發之吸附式乾燥機-70°C壓力露點的新技術，在業界需求露點-70°C的製程需求下，除了無熱式、外部鼓風機加熱式之外的新選擇，雖然初期購置成本較高，但系統設備運轉低，一般投資約2~3年即可回收。
- (2) 目前世界趨勢發展綠色能源，減少石化能源的使用，使得發電成本，與日俱增，壓縮空氣的乾燥技術也需要突破，發展及使用更潔淨的技術因應世界新趨勢。

### 4. Threat :

- (1) 政府無訂定針對壓縮空氣系統吸附式乾燥機相關能耗標準，亦無第三公證單位可提供認證，使用者於購買設備時無依據可參考，只能依業者自行提供相關參數做為依據。

- (2) 業界目前有一些廠商誇大數據或以能源轉換方式，降低吸附式乾燥機的能耗，例如使用冰水冷卻吸附式乾燥機的入口空氣溫度，雖降低乾燥機單機的耗能，但忽略冰水的成本，又冷凍吸附組合式乾燥機可回收冷媒系統的部分蒸發熱，但忽略冷媒壓縮機的耗電、整體乾燥機系統的壓損及再生吹掃空氣(purgeair)的損耗。
- (3) 由於政府無訂定吸附式乾燥機能耗標準，部分使用者購買設備時皆以價格為優先考量，而忽略能耗及操作運轉成本。
- (4) 對於先進綠能及清潔生產相關技術設備，政府偶有專案補助獎勵措施，但在相關技術未能全面普及之前，該獎勵措施即終止，無法有效達到全面持續推廣之目的。
- (5) 國內充斥著低價的仿冒品，卻打著熱回收的旗號，號稱可節能減碳，實質上卻忽略了系統整體壓損、能源轉嫁，使用大量冰水或者增加額外設備的能耗。

## 技術來源

1. 貝克歐科技成立於 1982 年，總部設於德國 NEUSS(諾宜斯市)，主要技術專注於壓縮空氣後處理系統，BEKO 研發、製造及銷售優質、可靠的產品及提供相應的服務。此產品及服務主要是用來優化使用者現有的設備、系統及工廠，目的就是讓客戶獲得更好的效能及更高的可靠性，同時還要達到節約能源、降低污染及改善工作條件的目的。
2. BEKOTECHNOLOGIES 於 2009 年 2 月 18 日取得 $-70^{\circ}\text{C}$  壓縮熱回收吸附式乾燥機的歐洲發明專利，專利號碼 EP2024056B1。