

# 乾燥技術概論

馮丁樹

9/27/2001

## 1.1 乾燥緒論

乾燥之重要特徵是移去物質中之水分，將之轉化為水蒸汽。這些水分與物質本質並無關連，可以除去而不影響其本質。在正常的程序中，移去水分必須提供相當的能量，這能量的形式一般為熱。其他型式的能源諸如微波、機械能或化學能等亦有使用，但都必須應用在專門的領域，故不在本書中談論。

熱之轉化絕大部份是依靠熱傳導及對流作用。雖然大部份的乾燥機中均多少有些輻射作用存在，但由於其比例不多，故均很少考慮。這表示大部份水蒸汽的移動均藉傳導與對流來達成。輻射作用不必依賴介質，故與水蒸汽之移動過程無關。在乾燥過程中，輻射僅是第二種作用，通常我們在考慮對流與傳導之餘，常將其作為校正的項目。

以傳導作用為主之乾燥過程與對流方式絕然不同。在以傳導的情況下，濕的物質大部份先放在一個密閉的容器中，然後自外面將容器加熱。容器上方則另設通氣口，使水蒸汽能排出容器以外。這容器通常均處於減壓狀態，目的在增加溫度驅動水分之能力。在對流狀況下，熱氣由外面吹入濕物質內，通過物質之表面。這種方式不但直接提供熱源，而且同時提供移去水分的方法。

在熱傳導乾燥過程，乾燥之速率會一直下降。這種現象部份是因容器牆壁至物質間的傳熱效果愈來愈差之故，故整個過程中，是受到熱傳遞至物質間之現象所控制，為利用乾燥介質與被乾燥物質間之總熱傳係數效應，只要條件許可，被乾燥物之溫度應可提高至水分之沸點溫度。但在乾燥終了時，這項機制即不再成立，因為水分之移除速率將控制整



個乾燥過程，其效果亦因溫度超出水分之沸點而受到限制。在傳導型乾燥機中，這個效應常被歸於總效率之中。所以大部份之乾燥速率均與由物質發生之質傳遞無關。但這並不是說乾燥速率與物質之特性無關，因為熱傳系統仍多少與物質之本質有關聯。

對流的情況則不相同。其熱傳遞係數通常很高且在乾燥過程中不會產生太大的變化，其乾燥速率之限制只是取決於熱傳系統之高低。在這種乾燥過程中常見的兩種乾燥模式是恆率乾燥與減率乾燥。恆率乾燥主要受限於對物質之熱傳遞現象，與被乾燥之物質性質無關，故比較容易預測其變化過程。減率乾燥則受限於物質傳遞，故與乾燥物質本身之特性有關，其過程因而較難預測。在一般乾燥作業上，減率乾燥佔相當重要部份，大部份時候幾乎全屬減率乾燥的狀態。減率乾燥期類似傳導型乾燥機在乾燥後期提高乾燥溫度時之情形。

由恆率乾燥期轉變為減率乾燥期之過渡階段常稱為臨界水分，其影響之因素包括受外界條件及乾燥機幾何尺寸限制之恆率乾燥速率及與乾燥材料本質有關之質量傳遞。所以臨界水分並非固定不變，與一般需有固定值的觀念大異其趣。從另一方面來說，乾燥之重要關鍵在於固體中之質量傳遞。理論上我們仍然無法掌握整個乾燥過程中質量傳遞之機制。

但通常我們認為它與固體中之組成成分大小、形狀及位置有關，同時也與外在水分與水蒸汽進入固體中之空隙或毛細管之容易度有關。這是截至目前為止，我們所能想像到的部份。某些類型的乾燥機(如傳導型乾燥機)及在大部份乾燥機中之某過程(通常在初始階段)裡，乾燥速率是受限於傳導至乾燥物體之熱傳遞現象，而非乾燥物體內之質量傳遞現象。在這種情況下，許多乾燥過程之乾燥速率可以採用熱傳原理進行推測，在某些情況下可以認為與被乾燥材質無關。雖然如此，乾燥速率受到質傳影響的部份仍不應忽略，但不幸的是這一部份仍無法完全瞭解，無法做進一步預測。然而，只要乾燥效率能有效提升，人類依賴不可預測的質傳遞現象也會與日俱增。



**FH-250 D型乾燥機**

在實際作業上這些問題被忽略有兩項因素：

- (1) 物質之乾燥速率僅能靠實驗獲得，不能依賴預測公式。
- (2) 所做的實驗必須與所採用之乾燥機型式相關。

這些問題將在後章中討論。

## 1.2 化工技術中乾燥技術之地位

固體乾燥過程在所有之工業中是相當實用且經濟上重要的技術。但此項技術之應用與待乾物質之特性有相當大的關係，因為有些僅需要乾燥數秒鐘，有些甚至需要好幾天。故在多數情況下，乾燥技術仍然非常類似技藝的範圍，而非純科學的應用，雖然實際的應用中，仍然採用相當多的科學理念與步驟。因此，乾燥技術發展，在未來仍應存在於“發明家”與“科學工程師”間的合作結晶。

根據粗略的統計，在食品化學業界中，每年在英國利用乾燥方式移去的總水分達一千萬噸，而其所花費相對的燃料以煤當量計，則年達五百萬噸。市場上最大宗使用乾燥作業之產品是合成之氮素肥料，包括磷及鉀之粒狀肥料。1968年英國外銷此種肥料即達三百三十萬噸。

## 1.3 乾燥材料之分類

在化工領域裡，下列材料必須在乾燥過程中，使其成為適當之固體狀態：

- (a) 粒徑大於 1 厘米之結晶、有機或無機顆粒等(通常為混合物)
- (b) 有孔隙之固體，如複合橡膠粒。
- (c) 膠狀物與殘渣流質(經過濾網或離心分離之殘留物等)
- (d) 具流動性之粉末，粒徑小於 200  $\mu\text{m}$ 。潮濕時可以流動，但乾燥後則呈粉塵狀。如許多染料及經過分離後沈澱後之流體。
- (e) 泥漿，未與濕固體分離之前必須事先乾燥者。
- (f) 溶液如萃取液、乳狀液及一些直接溶劑等。

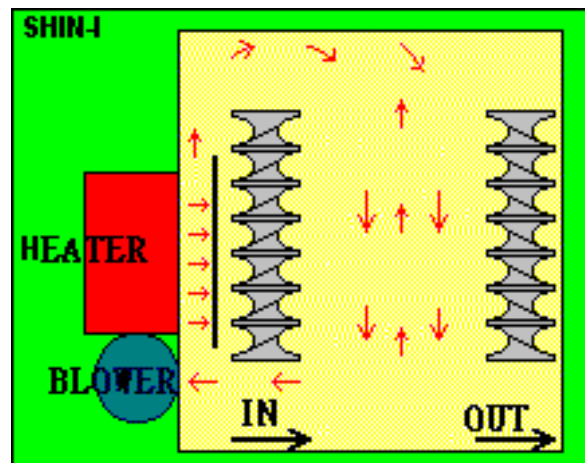
在乾燥過程中，要去除的部份並不一定是水分，也可能是揮發性溶劑，或可燃性或有毒的物質。本書將僅專注水分之去除部份加以討論。

## 1.4 不正確設計之影響

雖然乾燥機之直接與間接成本僅佔整個化學產品製造成本之一小部份，乾燥機性能之好壞仍然具有相當重要的影響，尤其當產品因為乾燥之不當導致市場價值降低時為然。這些商品價值包括產品之流動性質、顆粒分佈、儲藏中不會產生凝結及發汗的現象等。而且，設計過小的乾燥機可能會減少整個產品之生產數量，並造成生產上之瓶頸。選擇不適機型亦可造成其他不良後果，諸如產生低劣產品以致於無法進行後續作業，影響整個生產線。例如乾燥糯米稻反而與其他稻種混合，造成不純的品種。

## 1.5 程序設計工程師的問題

市場上有各種不同的乾燥機供選擇，但並非所有的乾燥機型式均能符合乾燥上述分類的物質對象。程序工程師的責任是如何規劃整個乾燥流程，並選擇適合於整個流程的乾燥機。以乾燥其流程中之物質或中間物質。一旦選定合適的乾燥機，首先必須先行對待乾燥物進行乾燥測試，並加以監測，以瞭解其變化參數，並找出最佳操作狀況。程序工程師必須確定所選定之乾燥機在整個流程上不會造成太多的問題，或者需將困難降至最低。使其在正常作業中，產品之品質沒有太大的改變，除非是容許或者是更好的改變。



新鎰公司塗膠乾燥機之功能圖

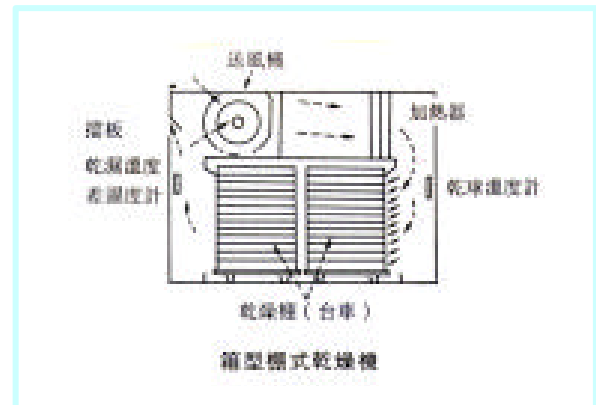
## 1.6 乾燥機種類

### 一、常壓乾燥機

一般大氣壓下，進行各項產品之乾燥工作，是為最常見的機型。

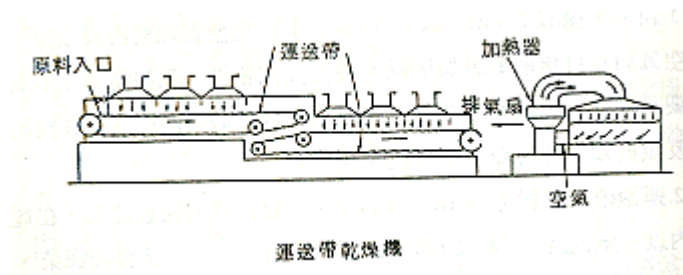
## 1. 貨櫃型乾燥機 (cabinet dryer)

貨櫃型乾燥室內設棚架，使熱空氣與材料接觸的乾燥裝置。屬於批式乾燥，乾燥能力並不高，需要長時間的乾燥。適合於大型食品，乾燥過程的移動會破損的材料及魚貝類、蔬菜類等小規模的乾燥。



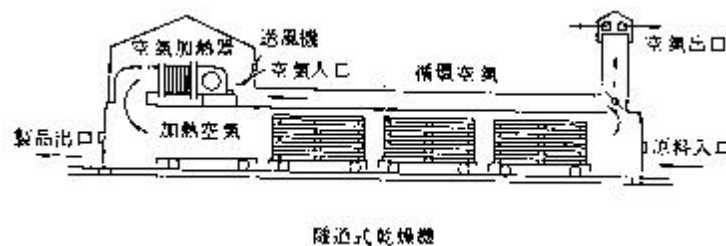
## 2. 運送帶乾燥機 (band dryer)

材料置於運送帶上，在乾燥機內以一定速度移動時與熱空氣接觸的乾燥裝置。適合於蔬菜、咖啡豆、茶葉等的乾燥。



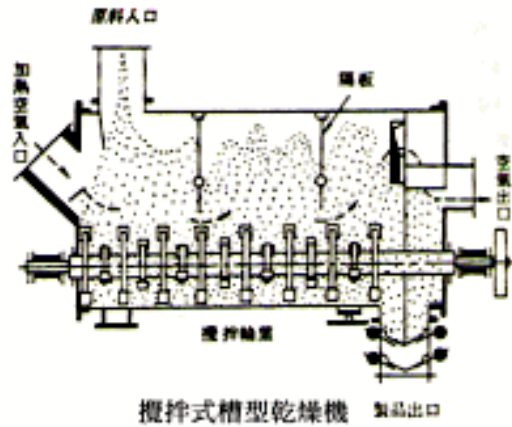
## 3 隧道式乾燥機 (tunnel dryer)

材料置於棚架台車上，自隧道乾燥室的一端推入，在隧道內與熱空氣接觸，然後自乾燥室的另一端移出的乾燥裝置。分為順流式、逆流式及混合流式三種。



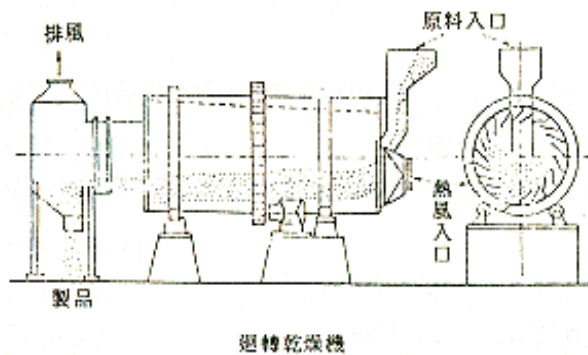
#### 4 攪拌式槽型乾燥機 ( agitated trough dryer )

在一個固定的槽或圓筒中以攪拌軸迴轉，材料自一端供給，向另一端移動時進行乾燥的裝置，適合於飼料或肥料的乾燥。



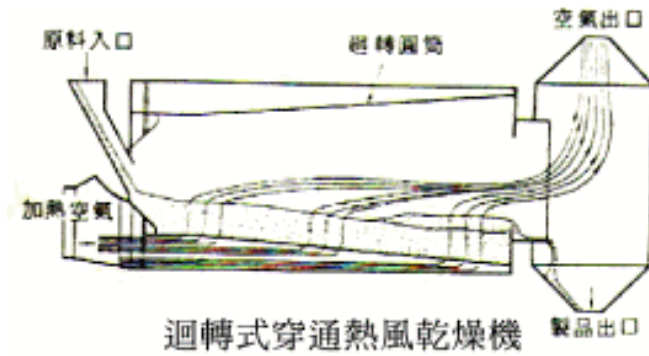
#### 5 迴轉乾燥機 ( rotary dryer )

原料供給於輕微傾斜的橫型迴轉圓筒中，以逆流或順流的熱空氣乾燥的連續式乾燥裝置。一般用於殼類、砂糖、魚粉等的乾燥。



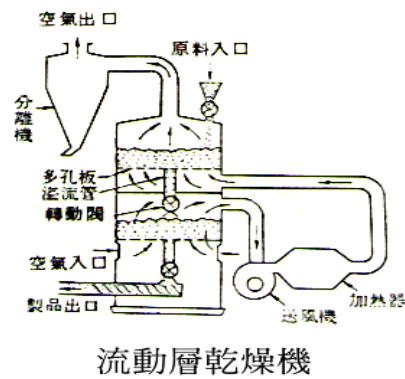
#### 6 迴轉式穿通熱風乾燥機 ( rotary louver dryer )

材料連續供給於迴轉圓筒的一端，在向另一端移動中進行乾燥的裝置。適合於粒狀材料的乾燥。



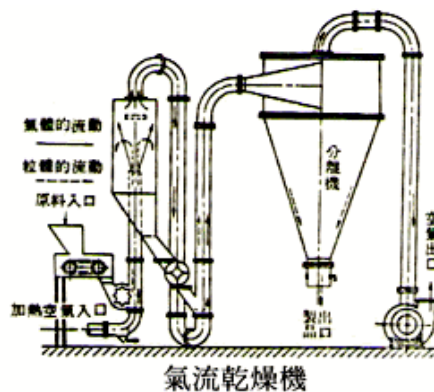
## 7 流動層乾燥機 (fluidized-bed dryer)

從粒狀或粉狀材料層的下部送入熱空氣，使材料層在分散狀態流動的過程中乾燥的裝置。適合於材料間互相不發生凝集的乾燥。



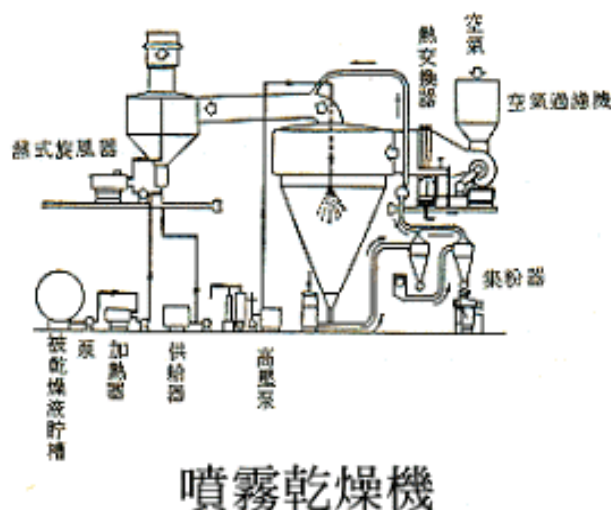
## 8 氣流乾燥機 (pneumatic conveying dryer)

粒狀材粉分散於熱風中，以順流方向移動的過程中乾燥的裝置。因乾燥時間短，適合於熱敏感性材料的乾燥，可連續大量乾燥，故適合於澱粉或結晶性鹽類的乾燥。



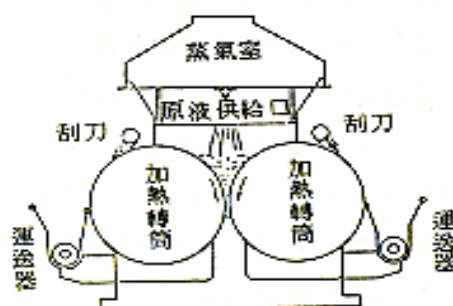
## 9 噴霧乾燥機 ( spray dryer )

液體材料自中央上部的噴嘴或高速迴轉圓板噴出微細液滴，分散於熱空氣氣流中以行乾燥的乾燥裝置。液體材料在瞬間變為乾燥粉末。熱敏感液體可由此製成乾燥粉末，適用於牛乳、蛋、咖啡精等的乾燥。



## 10 轉筒乾燥機 ( drum dryer )

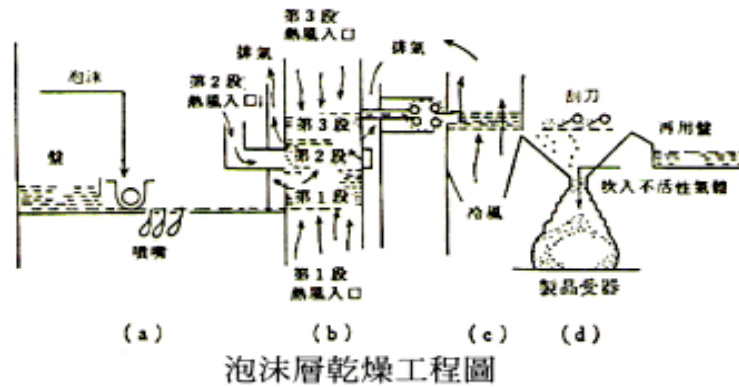
利用表面光滑的金屬圓筒作為加熱轉筒，轉筒內通入蒸汽或熱水，當轉筒在迴轉時，使材料附著於轉筒表面，筒迴轉至 3/4 周時，以刮刀刮取轉筒表面的膜狀乾燥品。適用於飼料用脫脂乳粉或乳清等的乾燥。



**滾筒乾燥機**



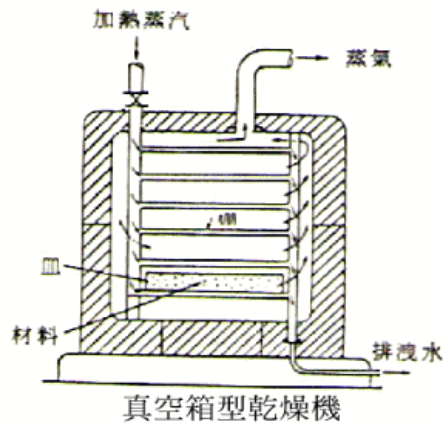
11 泡沫層乾燥機 ( foam-mat dryer )：液體材料中添加界面活性劑並均勻地通入氣體使形成海綿狀泡沫，敷於運送帶上，自運送帶下往上升熱風的乾燥裝置。適用於果汁、咖啡、牛乳的乾燥。



## 二、真空乾燥機

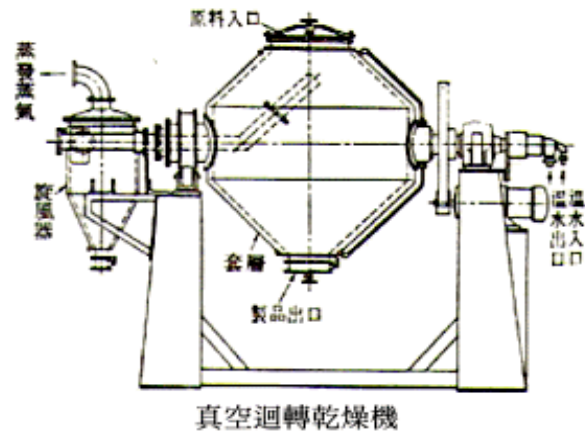
### 1 真空箱型乾燥機 ( vacuum cabinet dryer )

箱型乾燥室內設棚架，箱內抽真空，各棚以溫水或蒸汽等加熱的乾燥裝置。



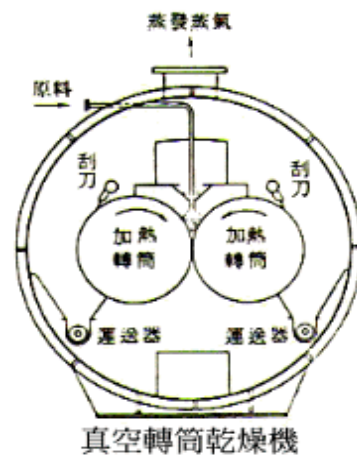
### 2 真空迴轉乾燥機(vacuum rotary dryer)

具有加熱套層的圓筒內供給固體材料，迴轉的圓筒內抽真空，自套層加熱的批式乾燥裝置。圓筒在迴轉時可使粒體或粉體混合，同時與加熱面接觸，所以能得到均勻的乾燥製品。



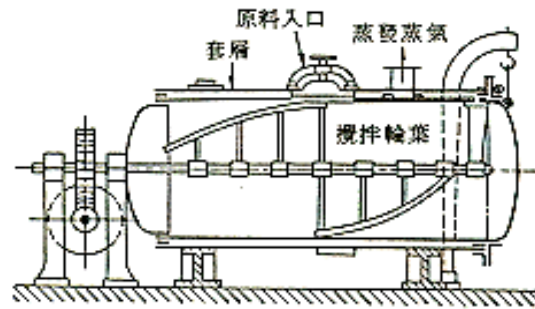
### 3 真空轉筒乾燥機 ( vacuum drum dryer )

常壓型轉筒乾燥機在真空下使用的型式。在低溫下乾燥，適用於泥狀或糊狀材料的乾燥。



### 4 攪拌型乾燥機 ( agitated dryer )

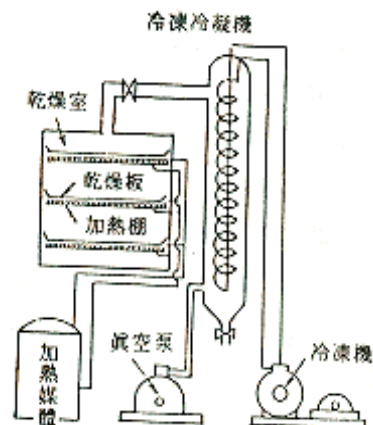
在乾燥機內沾著加熱面設有迴轉攪拌輪葉的乾燥裝置。適用於粒狀或泥狀材料的乾燥。



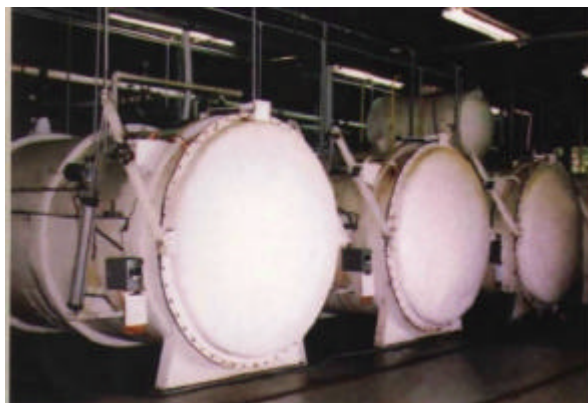
攪拌型乾燥機

## 5 . 真空冷凍乾燥機 ( freeze dryer )

材料以急速冷凍法冷凍，然後在高真空下使冰結晶昇華的乾燥裝置。  
真空冷凍乾燥法的設備費及操作費均比一般乾燥法高出很多，所以在經濟上只適用於蝦、肉、洋菇、咖啡等高價值或特殊食品的乾燥。



真空冷凍乾燥機



資料來源：

1. 學習加油站

[http://content.edu.tw/vocation/food\\_production/tn\\_ag/dry/dry-11.htm](http://content.edu.tw/vocation/food_production/tn_ag/dry/dry-11.htm)