

# 農業推廣手冊 69

## 生質顆粒燃料製造手冊

林法勤

中華民國 101 年 11 月出版



# 目 錄

壹、概述.....	1
貳、步驟一：減積.....	9
參、步驟二：材料輸送.....	11
肆、步驟三：乾燥.....	13
伍、步驟四：混料.....	15
陸、步驟五：調料.....	17
柒、步驟六：顆粒製造.....	20
捌、步驟七：過篩.....	39
玖、步驟八：冷卻.....	41
拾、步驟九：成品輸送.....	43
拾壹、步驟十：裝袋與貯存.....	44
拾貳、結論.....	46
附錄.....	47

本手冊編輯承行政院農業委員會林務局委託研究計畫 100AS-5.4.2-FB-e3 經費補助，特此申謝。

感謝兩位參與編輯同學：簡沂如、林修弘。

# 生質顆粒燃料製造手冊

## Biomass Pellet Production Handbook

林法勤

國立臺灣大學森林環境暨資源學系助理教授



### 壹、概述

顆粒燃料的生產已超過一個世紀。利用熱及壓力，可以從各種材料製造出小圓柱狀的顆粒以供不同目的使用。在 1970 年代，一些使用造粒機 (pellet mills) 來生產動物飼料的公司，開始研究生產木質顆粒作為燃料來源。但當時仍可取得價廉的化石燃料，因此木質顆粒燃料的市場成長緩慢。進入 21 世紀後，木材顆粒燃料的成長迅速，甚至造成供應問題。由於石油及瓦斯價格不斷攀升，氣候變遷議題受

到重視，而顆粒燃料是一種乾淨便宜的產熱燃料，且有助於減緩全球暖化。比起燃燒原木或煤炭，顆粒燃料有下列的優勢：

顆粒燃料特色：

- 容積密度至少  $640\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- 可像液體一樣流動，適於自動供料系統。
- 可用於壁爐或鍋爐。
- 可使用於不同規模的產熱用途。
- 易於處理、貯存及運送。
- 燃燒特性已被改善，超越母原料。

本手冊將詳述顆粒生產程序及所需設備。不過有些設備僅能作基本的描述，例如造粒機。而對於製程中的其它部分，仍可選擇不同的設備來完成所需的工作。

## § 工業標準

顆粒燃料在美國與歐洲皆有不同的工業標準，這是生產者需要遵守的。標準取決於顆粒生產的尺寸、地點以及產品是否在市場上銷售及對象。因此在購買設備之前，建議研究任何可能應用到的工業標準。

## § 優質的顆粒燃料

所謂「優質顆粒」可以由任何生質物材料所製成，而不僅僅是木材。一般市場上所謂的「優質顆粒」是指顆粒含有非常低的灰份，通常是 0.3% 左右。本手冊所指的顆粒燃料涵蓋所有生質物的類型，有些生質物所製成的顆粒產品會有較高的灰份含量。而本手冊則是藉由機械堅牢度與含水率來定義優質顆粒。

### § 機械堅牢度 (Mechanical Durability)

簡單來說，就是指顆粒的緻密及其成型的品質。顆粒愈緻密，當然也愈堅固，優點是顆粒更能經得起運輸，並且在顆粒燃燒器 (pellet burner) 內工作更有效率。

當一個優質顆粒離開造粒機後，它應該會具有平滑的表面，表面伴隨著些許甚至沒有裂縫。如果顆粒破裂或漲大，則是因為顆粒內的水分太高或造粒機的壓力不足。優質的顆粒冷卻後，它應會像一枝著色蠟筆，顆粒的表面應是平滑且具有光澤的。

木材顆粒往往比其它生質物所製成的顆粒更具有光澤，最重要的是其平滑緻密的狀態。可以試著把顆粒對著堅硬的平面輕敲，看看顆粒是否維持完好無缺，或它們是否碎裂或易於壓碎和分開。顆粒的長度並不是生產的重點，但若是顆粒太長 (一般是超過 2.5 公分)，才有可能會對顆粒燃燒器裡面的螺旋推進器 (auger) 造成阻礙或損害。

## § 含水率

顆粒內水分愈少，燃燒器就會有更多的能量可以使用，因為水分汽化時會吸收大量的汽化熱（539 cal/g）使其熱值降低。然而在造粒過程中，仍需維持特定比例之水分以利作業。因此目標是在盡可能降低水分的同時，仍能產生優質顆粒。此目標應使顆粒成品的含水率低於 10%。顆粒成品超過 10% 仍可燃燒，但會降低其效能。

## § 優質顆粒試驗

優質顆粒應有低於 10% 之含水量，並有良好的密度及機械強度。測試顆粒品質最簡單的方法是把顆粒放置於一杯水中，若顆粒沉到杯底表示它具有高密度，即是在足夠的壓力下所形成。然而若顆粒浮起表示其品質較差，因為密度較低、機械耐久性也較低，且更容易碎裂並產生細屑（fines）。

第二種試驗是取一個一公升的容器，用此容器裝滿顆粒並秤其淨重。若是優質顆粒，其結果應介於 600 至 700g/L 之間，此數值也可以稱作顆粒的容積比重，也是顆粒於正確壓力下生產的關鍵指標。品質差的顆粒，像是比重在 0.6 以下者，會容易破裂或粉碎，並產生過多的細屑。

第三種則是標準的顆粒堅牢度測試方法，模擬顆粒在運送時因擠壓翻滾造成的碎裂情形。顆粒的堅牢度高，表示運送中易保持顆粒完整性，碎裂損失愈小。測試方式依據參考 ASAE S269.4，將 500 g 過篩後顆粒，置入一尺寸為 300



mm×300 mm×125 mm 的防塵箱，於轉速 50 rpm 的情況下翻滾 10 分鐘而測得。設備由邊長 300 mm 之箱子繞著一垂直且置中於箱子之軸旋轉。一長 239 mm 的檔板則置於軸上，且在箱子 300×300 mm 的對角線上。支撐檔板的橫軸長度為 50 mm，另一端則固定於箱子的底部。開口可置於盒子的任一邊且須防塵，如圖 1-1 所示。測試完成後取出樣本並篩除碎屑後，再依下式計算完整顆粒的比例：

測試後的顆粒重量

$$\text{堅牢度 (Durability)\%} = \frac{\text{測試後的顆粒重量}}{\text{測試前的顆粒重量}} \times 100$$

測試前的顆粒重量

細屑 (fines) 藉由網目比顆粒直徑稍小的篩網過篩測得。例如直徑 6mm 顆粒採用 7 號篩，8mm 顆粒採用 8 號篩。

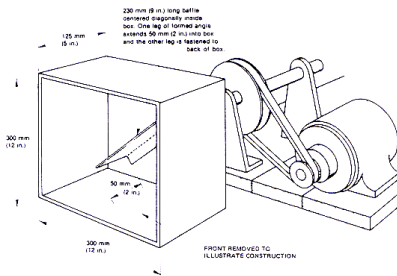


圖 1-1 (a) 顆粒堅牢度測試設備 (ASAE S269.4)

(b) 顆粒堅牢度測試設備實體

## § 原料供應

在購買顆粒壁爐或鍋爐之前，必須先確保顆粒的供應來源。對顆粒生產者而言更應如此。因此確保原料供應無虞，是一個成功的顆粒生產經營單位的必要條件。對於原料的選擇，有下列幾項重要因素：

1. 每種材料各有不同的熱質、灰份含量，以及腐蝕特性。
2. 每種材料需要不同的前處理，以生產優質之顆粒。
3. 母原料的密度會影響顆粒生產。

## § 生質物 (Biomass)

用來做燃料顆粒的原料稱作生質物。可被用作燃料的生質物可以是任何活的或最近才採收的材料。包含任何木材以及廢棄的木製品、芒草、柳枝稷、稻草、玉米桿等等具有熱值的材料。

## § 製作程序

本手冊將會依循程序，逐步介紹如何生產優質的燃料顆粒。並說明在每個階段所使用的設備、程序的原則以及其它重點。主要生產過程如下：

1. 減積：切片機/粉碎機，鎚式粉碎機 (Hammer Mills)
2. 材料輸送：風扇、旋流分離器及螺旋推進器
3. 乾燥：旋轉/鼓式乾燥機，管狀乾燥機

4. 混料：批式混合機
5. 調料：添加水與蒸汽，黏結劑
6. 顆粒製造：環模與平模造粒機
7. 過篩：移除細屑
8. 冷卻：逆流式冷卻機
9. 成品輸送：斗式提升機
10. 裝袋與貯存：提袋、麻袋及筒倉

## § 操作原理

以下的每個步驟，都會解釋在該程序期間的原理、影響之變因，及連續高效顆粒生產之重點。

## § 動力

顆粒生產是會消耗大量的能源。鏈式粉碎機及造粒機皆相當耗能，通常需要三相電力的供應。在購買顆粒生產設備前，必須解決電源供應問題。若於電網或成本上的理由而不可能取得三相電力時，還有其它的解決方案。如柴油發電機就是另一種方案，但是柴油引擎直接供應動力可能更為恰當。

## § 地點

為了節省成本，工廠設置理想上應是愈接近原料的供應地愈好，但通常事與願違。因此地點的選擇也取決於通路和

電力的供應。

## § 起重設備

生產顆粒的設備非常笨重，尤其是造粒機。因此搬運時需要起重設備像是大型堆高機等。在安排工廠時，也應考慮能否提供足夠的通道讓其進入。

## 貳、步驟一、減積

無論原料是木材、禾本科植物、麥稈，或任何其它種類的生質物，都需要被縮減至足夠且均一的尺寸以投入造粒機。一般的經驗法則是輾磨過的材料必須小於造粒機中的模孔(die holes)。例如要生產直徑 6mm 的顆粒，磨料尺寸就必須小於 6mm。目前有各種類型的設備能進行尺寸縮減，各具有不同的能力及優點。在某些狀況下需要一臺設備，其它情況下需要兩臺。

### § 切片機 (Chippers) / 粉碎機 (Shredders)

**原料：**處理原木、樹枝，以及直徑超過 2.5 公分的材料。

切片機及粉碎機是用於縮減大直徑或尺寸之原料，例如原木及樹枝。切片機一般是縮小材料尺寸至碎片；粉碎機則可產出更小的顆粒。

1. 切片機：傳統的切片機是個旋轉圓盤，並有數片刀片附於其表面。當材料接觸到圓盤，刀片會將其刨成小片(即碎片 chips)，直到所有的材料都被處理完成。
2. 粉碎機：粉碎機推送材料至一個上面帶齒的旋轉滾筒。齒將材料吃進去並拖曳至一篩網 (screen)，而顆粒尺寸則由篩網上的孔洞大小決定。

若是原料的直徑超過 2.5 公分，建議先使用切片機/粉碎機來進行最初的尺寸縮減。切片機與粉碎機在許多情況下可進行調整以產生不同尺寸的顆粒，但一般都不能直接產出供造粒機使用的顆粒大小。因此在許多情況下，於切片機/粉碎機處理後，材料會被送至鎚式粉碎機（Hammer Mills）來做最終的尺寸縮減。

## § 鎚式粉碎機

**原料：**處理木材碎片、麥稈、禾本科植物與直徑小於 2.5 公分的材料。

若原料的直徑小於 2.5 公分，可以直接送入鎚式粉碎機處理，或是作為已先經過切片機/粉碎機處理之終磨材料。鎚式粉碎機由許多揮動的小鎚刀（hammer blades）所組成，經由刀片的摩擦來減小顆粒尺寸。鎚式粉碎機運行的速度在 3,000 至 8,000 rpm。顆粒的尺寸也是取決於篩網上的孔洞大小，小至 1mm，大至 10mm 或甚至更大。因為鎚式粉碎機在篩網選擇有很大範圍，可以產出不同的顆粒尺寸，是顆粒生產工廠為必備的設備之一。

## § 結論

原料的直徑會影響要選用切片機、粉碎機或是鎚式粉碎機。鎚式粉碎機一般而言是最適於尺寸縮減；但對投入材料的尺寸上是有所限制的。

## 參、步驟二：材料輸送

當原料完成減積後，就需要移至下一道程序：乾燥、混料與調料，或直接送入造粒機。例如要從鏈式粉碎機中收集材料，就會用到風扇及旋流分離器。

### § 旋流分離器 (Cyclone Separator)

一旦材料穿過鏈式粉碎機的篩網，風扇會拉動材料並將其朝旋流分離器吹送。分離器會從輾磨過的材料中分離出空氣，空氣離開氣旋頂端並且材料被拋向錐形物的外緣，然後落至下方。此舉與無袋真空吸塵器很類似。

圖 3-1 紅色箭頭 IN 表示輾磨過的材料，經由風扇提供的空氣而運送至分離器。材料與空氣進入分離器後，因為材料比空氣重，它會繞著分離器的外緣螺旋下降，而比較輕的空氣會

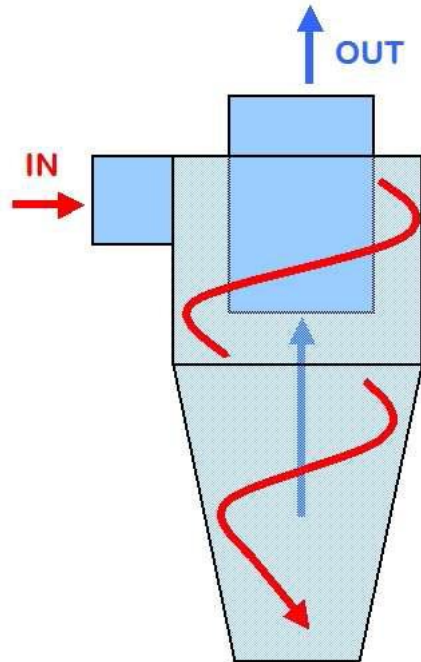


圖 3-1 旋流分離器

從中心離開分離器。

最終可以將材料與空氣分離了，空氣從藍色 OUT 處離開，而材料則落入料斗 (hopper) 下

## § 螺旋推進器/輸送機 (Screw Auger/Conveyor)

螺旋推進器一般是用來輸送材料至造粒機。螺旋推進器的使用非常普遍，因為它們是一種相對重量較低且成本低的解決方案。固定或變速的推進器在特定的速率要求下，可將材料從前一道製程移至下一步驟。

螺旋推進器本身非常依賴料斗，料斗是螺旋推進器的進料來源，常易於架橋 (bridging) 或卡料 (rat holing)。這是當材料停止落至螺桿上，經由推進器使得進料器 (feed) 也會停止。在購置螺旋推進器系統前，對輾磨過的材料進行是否會架橋或卡料的測試是個問題。一般的解決方法是使用攪拌器 (agitators) 或震動器 (vibrators) 來減少或避免架橋情形的產生。



### 肆、步驟三：乾燥

為了生產優質顆粒，原料的含水率通常介於 10 至 20% 間。大部分材料通常是設定在 15%，但每種原料的最適生產含水率不盡相同。通常若原料含水率高於 15 至 20%，就必須要進行乾燥或與較乾的材料混合，這部份將在「步驟四：混料」一節中敘述。

#### § 旋轉／鼓式乾燥機 (Rotary/Drum Dryers)

濕的輾磨過材料經由螺旋推進器而進入旋轉乾燥機內。在一端會產生熱空氣；而另一端會有風扇拉動熱氣及材料，使其通過乾燥機而上至旋流分離器。當熱空氣被拉超過材料，鼓即旋轉；此旋轉動作會產生更有效的乾燥程序。輕的已乾燥顆粒會經由管道被拉走，而重的濕顆粒則繼續保留在鼓中直至乾燥。

#### § 管狀乾燥機 (Pipe Dryers)

濕的材料被進入管狀乾燥機中。熱空氣在管的一端產生並經由風扇被拉過管狀系統；材料之後通過旋流分離器而離開乾燥機。

## § 熱源

某些乾燥機使用重油或瓦斯燃燒器來獲得熱量，然而對於現在的市場，此舉不但非常昂貴而且降低了生質物燃料顆粒的綠色認證。因此最便宜的解決辦法是透過燃燒顆粒或廢料來產生熱能。

## § 提高生產力

藉由熱來乾燥材料的另一項優點是，當材料離開乾燥機時，可以初步軟化材料中的木質素，使得材料更具可塑性。如此可提高造粒機的生產力，但特別緻密的材料如硬木類則效果較差。

## § 結論

在顆粒生產廠中除了造粒機外，乾燥機可能是最大的資本支出。乾燥系統很笨重而且占用相當大的空間。取得乾燥的原料可節省於乾燥系統的花費，並且可大幅降低單位生產成本。

## 伍、步驟四：混料

無論是生產單一材料的顆粒或是混合材料之顆粒，材料一致性對一個穩定、可靠及高效率的顆粒廠至關重要。批式混合機（Batch mixers）是在材料已經過輾磨及乾燥（如有必要）後使用。藉由混合材料，可產生更均質的混合原料來投入造粒機中。混料可能發生在調料程序之前或之後，以下將說明材料不均質時可能產生的影響。

### § 不均質的材料

可能是由於含水率顯著的變化、部份材料結合性能不佳，以及材料密度的變化等情況。這些因素全都影響造粒機生產優質顆粒的能力。造粒機生產顆粒時，所容許水分的最高及最低百分率差異有一定的限度及範圍。而每種材料的上下限與範圍亦不相同。當材料的含水率高於或低於造粒機能力時，可能使顆粒無法成型或使顆粒的品質下降；最壞的情況是會堵塞造粒機的模具。

### § 均質材料

透過批次生產所得之均質材料，或混合材料而產生穩定品質之材料，對穩定且可靠的顆粒生產是至關重要的。如果前述材料經過混合，將可得到均一的含水率。當材料含水率始終介於造粒機的能力範圍內，則可保證生產順利；也因為

能夠生產品質較佳顆粒，模具阻塞的機會也相對減少。

## § 結論

並非所有的材料都需要混料；有些材料可能已具有均一的品質。其它材料具有低密度並結合良好是因為它們具有油性性質。然而許多材料要混合是因為需要達到均一品質，以持續生產優質顆粒。混合設備的使用從小規模生產到大規模的工業滾筒及攪拌器皆是。

## 陸、步驟五：調料

為了生產優質顆粒，原料品質必須達到一定水準之上。造粒機與數學方程式相似，產出的顆粒不會比投入的原料好。更精確說比較像是在烤蛋糕，一個蛋糕品質是不會超越它的原始材料與烹調品質，而烤箱所能做的僅有烤蛋糕。造粒機基本上就是個烤箱，對材料供應熱及壓力。

當材料已經混合且達到良好均質性，可能還需要其它的成分來生產顆粒。其它添加物可以提高造粒機的生產力。為了了解調料程序，必須先明白要生產顆粒的材料需要達到何種品質。

### § 含水率

正如步驟四所述，造粒機於生產顆粒時有最高及最低的含水率限度。但這些條件對於涉及之材料及所使用造粒機種類是有獨一性的。在一般情形下，生產顆粒所需要的平均含水率是控制在 15% 左右。

### § 調整含水率

若是該材料具有過高的含水率，就需要使用乾燥機（步驟三），或是將此材料與比較乾燥的原料混合，來達到 15% 的平均含水率。如果含水率太低，則可使用蠕動幫浦在可調整的控制速率下，在程序中添加水分。

## § 黏結品質

黏結劑是一種膠，可使顆粒黏結在一起並且產生平滑的光澤。有些材料本身即具有足夠的木質素，因為它是種天然的黏結劑。若材料缺乏木質素可將本身黏結在一起時，則必須添加黏結劑。最簡單的黏結劑則是植物油（vegetable oil），這也可以透過蠕動幫浦加入材料之中。一般的油性產品，像是油菜糕（rape cake）以及乾酒糟（distillers grain）亦可作為合適的黏結劑。

## § 材料密度

顆粒是透過熱及壓力而成型的，因此材料的密度會決定造粒機內的熱量及壓力。材料的密度會影響顆粒品質及造粒機生產率。高密度的材料，例如大多數的闊葉樹，就需要更多的熱量和壓力來形成顆粒，因此顆粒的品質可能會產生問題，並減低造粒機的生產率。另一方面，低密度的油性材料，如前述的油菜糕和乾酒糟則可產生平滑堅硬的顆粒，並且提高的造粒機生產率。有些低密度材料，因為沒有油性性質，故顆粒很難成型，因為造粒機無法產生足夠的壓力及熱量。

## § 蒸氣調節

如同在「黏結品質」一節所述，材料如木材含有足夠的木質素來作為黏結劑時，在造粒機的熱及壓力下會使木質素

融化然後使顆粒成型，一旦顆粒離開造粒機，木質素冷卻後就產生堅固耐用的顆粒。木質素亦是賦予優質顆粒表面光澤之物。為了幫助造粒及提高生產力，大型造粒機通常配有蒸氣調節器（steam conditioners），在材料進入造粒機前就先於予曝露乾蒸氣。乾蒸氣並不加任何水分至材料中，它純粹是用來增加溫度以幫助木質素融化。經過蒸氣調節後，材料進入造粒機內。由於材料處於軟化狀態，其會以較低的阻力穿越模具，品質更佳的光澤顆粒會在較高的生產率狀況下產出。蒸氣調節作業會有額外的支出以及安全上的顧慮，因此目前僅使用於大型造粒機上。

## § 提高生產率

蒸氣調節是提高造粒機生產率的一個方法，另一種方法是使用低密度的油性材料。前述的油菜糕或乾酒糟可藉由減少通過造粒機模具之阻力來幫助顆粒生產，並且含油量（oil content）可作為次要的黏結劑而產生堅硬具光澤之顆粒。加入高達 20% 的低密度油性材料至原料中，可以提高生產率至高達 30%。

## § 造粒機容限

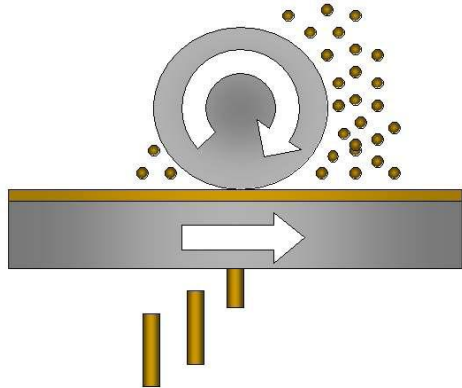
添加油性材料至原料中也可以增加造粒機的容限。油性性質有助於造粒的過程並且能減少模具阻塞以及減少顆粒品質不佳的機率。

## 柒、步驟六：顆粒製造

本節為整個生質顆粒燃料製造最重要的程序。造粒機可分為平模造粒機及環模造粒機 2 種，其中平模造粒機通常用於中、小規模的造粒，而環模則以中、大規模的造粒為主。

### § 平模造粒機

平模造粒機的原理（如右圖）為先將原料由造粒機上方投入，此時在平模上旋轉的壓輥（roller），會把原料擠壓進平模上的孔道中，形成緻密顆粒，並在平模下方設有刀具，可將顆粒切割成所需長度。平模造粒機



的驅動裝置使可分為渦桿及輪軸（worm and wheel drive），或傘型齒輪驅動（bevel gears），並可分為壓輥及平模驅動，壓輥驅動係指平模固定，主要由壓輥帶動運行，而平模驅動則係平模帶動壓輥滾動，使原料能在壓輥與平模間通過。

**優點：**一般來說平模造粒機較環模造粒機容易清理，且模具

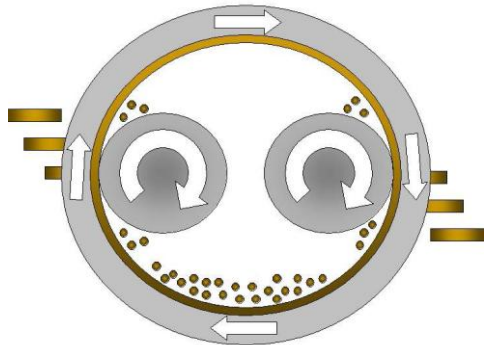


及壓輥更換方便快捷，因此可造粒時間較多。此外，平模造粒機在設計上體積較小，故可以小型及輕量化模組，使平模造粒機在進行小粒徑顆粒造粒時更為穩定。可視性(visibility)為平模造粒機的另一個關鍵優點，原料在壓縮成顆粒時，若顆粒質量不佳甚至無法成型時，可觀察原料在壓縮成型的過程的資訊並且可適時地修正，而在多數的平模造粒機可以觀察到當原料經由壓輥擠壓進入平模孔道的過程，部分的平模甚至設有閘門可直接觀察到孔道內情況。最後，平模造粒機對在造粒時易產生問題的原料容忍性較環模造粒機為大。

**缺點：**由於平模造粒機造粒方式的關係，壓輥與平模容易有不規則的磨損。當壓輥在平模表面旋轉，壓輥的內側及外側邊緣所繞行圓週長度不同，外側所運行的距離會大於內側，也就是壓輥運轉時會有較大的磨損，但若以 45 度錐狀壓輥進行造粒時，則可以改善這個問題。

## § 環模造粒機

環模造粒機主要由直立的環模與環模內的壓輥構成(如右圖)，並由壓輥對環模施予壓力。原料從儲料斗(surge bin)經由造粒機上方的變速調節



器進入，藉由螺桿（screw auger）將原料送入環模內側。環模造粒機以壓輥固定，環模驅動的方式進行造粒，其運作方式與滾筒式洗衣機類似，一旦投入原料，壓輥會因為環模的帶動而擠壓原料。

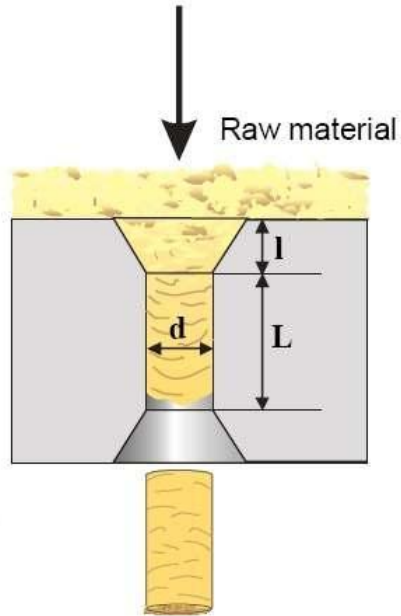
**優點：**首先，壓輥的內緣及外緣涵蓋的距離相同，故環模造粒機不若平模有不規則損耗，環模與壓輥的損耗較低，且所需耗能低，因此適合大粒徑造粒。平模造粒機在造粒時，壓輥在平模上滑動形成額外摩擦力，故耗能較大，然而額外的摩擦力並非全然是壞事，摩擦力越高可產生越多的熱能，並可製造品質更佳的顆粒。所有的環模造粒機均有完整的控制器及變速進料裝置。

**缺點：**環模造粒機的最大缺點為機器尺寸與重量，這在大規模造粒時雖不成問題，但對於小規模造粒來說卻相當困擾，因為更換造粒機上的環模與壓輥是相當勞力密集的過程，模具特別大與重，並在大多數的情況下更換或移除模具需要起重裝置；壓輥的調整亦較困難，多數環模造粒機的壓輥需開啟造粒機並於內部以手動方式調整；雖然目前有些已可利用遠端遙控進行，但成本相對較高。而成本亦是環模造粒機的另一缺點，無論是造粒機本身、模具或壓輥的造價都較平模造粒機昂貴。最後是顆粒製程的可見性，因為模具與壓輥被包覆在堅實的機殼之內，因此無法看見製程中可能發生的問題並加以修正。

## § 傳動裝置

不同的原料適合不同的造粒機，不同的傳動裝置會給予模具與壓輥不同的轉速。低速傳動裝置的扭力較大，有助於原料密度類似木材或特別硬的木材進行造粒，低速造粒機所需的黏結劑與潤滑油較低。高速傳動裝置代表扭力較小但速度較快，有助於低密度的原料如草類秸稈與動物飼料。較高的速度可以得到較高的產率，但這對顆粒的品質不利，

舉例來說，某些木質原料以高速造粒機造粒時，顆粒通過模具的速度過快，以致於無法有足夠的時間達到所需的壓力及溫度來壓縮成型緻密且具光澤的顆粒；另一方面也可能是由於木材在高速造粒機的過程中，因木材的密度增加，超過造粒機所能提供的動力，導致馬達停止運轉；因此添加額外的黏結劑有時可改善此情況，可以幫助潤滑造粒機並減少阻力，同時造出堅硬且表面有光澤的顆粒。有些造粒機為中速傳動裝置，具有良好產率，同時亦可保有一定的顆粒品質。



## § 模具種類

模具有幾種不同的類型，可由孔道深度、孔道開口角度、孔道直徑，模具金屬材質來區分

**孔道深度：**孔道的深度如圖上字母 L 所示，其在造粒過程中扮演極重要的角色，若模孔越深，代表模具金屬受到壓力及熱的時間越長，而木質素伴隨著更高的熱與壓力會呈現更佳的熔融狀，故可壓縮成更堅硬的緻密顆粒。然而孔道越深意味著原料通過模具時會產生越大的摩擦力，因此造粒機要有足夠的動力才能將成品推出較長的孔道之外，所以使用低速傳動裝置或較大型的馬達是必須的。

**孔道開口角度：**孔道開口角度如圖上 I 所示，在造粒過程中也扮演很重要的角色，進料角度會影響顆粒的密度，甚至有些模具會有特定的開口角度以應付某些材料。在顆粒離開的模具出口亦有設計相同角度，同樣可隨原料不同而選用不同角度的模具。

**孔道直徑：**不同的模具的孔道尺寸會不同，範圍從 1 mm 至 10 mm 以上均有，而燃料顆粒常用的尺寸為 6 或 8 mm，6 mm 的顆粒適用於暖爐，6 或 8 mm 則可用於鍋爐。在造粒過程使用大粒徑的孔道可降低摩擦力及抵抗力，可有效提高產率，但對顆粒品質會有負面的影響。

## § 模具金屬材質

造粒機的模具是由不同種類的金屬所製成，而每種金屬都有不同的優點及缺點。模具必須能耐磨損，堅固且可掌控力量以處理顆粒，可抵抗腐蝕、且有良好的產率。因此理想的模具必須具有堅固且低磨耗及耐腐蝕的特性，並可提供最大產率。

**碳鋼合金：**這種模具經由熱處理後，可成為最堅固的模具，主要的優點為低磨耗性，缺點是抗腐蝕性及產率不佳。碳鋼表面的鏽蝕物質會進入模孔內造成阻塞，進而影響產率，因此在造粒機進行造粒前需加入拋光劑如麩糠或植物油以移除鏽蝕物質，才可進行造粒。並在造粒結束後添加鬆散的油性原料，將停留在模具內的原料擠出，才可進行下一個生產週期。假如原料仍留在模具內，當模具冷卻後原料會在孔道內形成堅硬緻密的顆粒，而顆粒冷卻乾燥後，水分會滲出至模具表面造成腐蝕，並將顆粒卡在模具孔道內，一旦發生這種情形就必須在模具的每個孔道鑽孔以便於移出原料。碳鋼合金模具的產率也較其餘金屬模具低。孔道內部的光滑度會影響原料通過模具的阻力，部分碳鋼合金模具由於鏽蝕因素而形成粗糙的內表面，這會增加原料通過模具的阻力，造成低產率，但卻有助於堅硬且高品質的顆粒。總結來說，碳鋼合金模具雖有抗腐蝕性不佳及產率低的缺點，但仍是壽命長、最便宜的穩固模具。碳鋼合金模具被視為常用的良好萬

能模具，特別是容易磨損造粒機的原料。

**不鏽鋼合金：**這類型的合金模具有良好的抗腐蝕及耐磨性，不鏽鋼模具也常用於不同種類的原料。由於抗腐蝕性較碳鋼合金佳，故模孔內表面光滑度高而使產率較高，且模孔可設計成比碳鋼合金深，因此無需考慮原料通過模具的阻力問題，即可兼顧顆粒產率及品質。但造價昂貴為不鏽鋼合金模具最大缺點。

**高鉻合金：**這類型模具的抗腐蝕性是所有模具中最高的，模孔內表面的光滑度可比不鏽鋼合金高，這意味著初始生產顆粒更為容易且可達極高的產率，但由於缺乏對原料的阻力，故必須使用長度較深的模孔，也因此高鉻含量及深孔道為高鉻合金模是造價昂貴的主因。

## § 模具溫度

由於熱與壓力為製造顆粒的關鍵因子，模具溫度對顆粒品質及產率是不可或缺的。在造粒初期，原料必須緩慢送入造粒機中以利於模具溫度的提昇，假使在造粒初期送入過多的原料，會有很高的機率使造粒機阻塞，而高鉻合金模具則具有降低初期阻塞的優點。經由數分鐘至半小時的緩慢投料可使模具達到最佳造粒溫度，一旦完成升溫過程即可大量投料以獲得最大產率。

## § 壓輥高與毯層

毯層係指經壓縮過的原料在模具表面上側所成型的薄材料層。原料進入造粒機後被，會移到壓輥下方進而形成毯層；當更多的原料送入造粒機時會增加毯層厚度，此時最底下的毯層會受到壓力而進入模孔，這個過程會一直持續到造粒結束。原料若要製成顆粒，就必須先能形成毯層。

**間隙 (gap)=1 mm**：一般認為 1 mm 的毯層可提供多數原料顆粒品質、耗能及裝置耗損的最佳平衡狀態，增加間隙從 0 mm 至 1 mm 會增加 1.2 倍的耗能，但可減少 30% 粉塵量及降低壓輥的損耗。

**間隙 > 1 mm**：壓輥與模具的間隙較大，故耗能較高。假使使間隙高於 1 mm，則在壓輥與模具之間可能無法產生足夠的壓力，沒有壓力代表熱能不足，溫度不足則木質素無法融化且無法形成毯層，如此一來就不能將材料壓縮成顆粒。

**間隙 < 1 mm**：當模具與壓輥接觸而無足夠空間形成毯層，原料會被迫直接通過模孔，造成顆粒品質降低，但嚴重的是金屬之間的碰撞會減少模具與壓輥的使用壽命。

在設定壓輥間隙時，需考慮原料的特性，如原料密度及結合性質，一般而言，1 mm 間隙適用於多數原料，但嘗試不同的間隙以找出最佳的生產條件，是有助於提高生產率。

## § 原料投入

規律的投料對多數原料的生產是相當重要的。在造粒期間，原料的水分會以蒸氣型式釋出，假如投料速率高於造粒機的產率則可能會產生問題，若造粒過程中產出的蒸氣無法脫離造粒機，則壓輥上方的原料會吸收這些蒸氣，並與投入原料結合，進而阻礙原料投入，甚至影響顆粒的品質。這些壓輥上方的原料吸收蒸氣後會增加其含水率，容易使造粒機內部的原料性質及顆粒品質發生變化。

因此，投料速率除應規律外，還需與造粒機配合。在造粒初期以較慢的投料速率，投料速率隨造粒機溫度上升而增加，且投料速率必須配合造粒機性能，緩慢提升投料速率至最大產率。造粒機的產率會隨著不同原料的性質而變化，故投料速率亦須隨之調整，一般投料速率應控制在原料覆蓋壓輥為上限。

## § 模具與壓輥壽命

模具與壓輥的使用壽命取決於幾個因子，首先為影響耐磨性及毀損率的模具金屬，研磨原料會導致模具及壓輥的使用年限縮短，而壓輥間隙亦會影響使用年限，假如模具與壓輥接觸造成金屬間的碰撞，則會增加耗損，減少使用年限。最後，造粒機的轉速會影響模具與壓輥的磨耗。歸納以上幾點，謹慎小心操作可延長造粒機的使用年限。



## § 含水率

原料的含水率在造粒過程中扮演不可或缺的角色，過多或太少的水分都會使顆粒無法壓縮成型；而為了使顆粒能有效燃燒，造粒後的顆粒應盡可能降低其含水率；在造粒過程中，水分也可控制壓力與熱 2 個主要造粒因子。

### 百分比

- 原料所需含水率通常為 10 至 20%（一般為 15%）
- 有些原料須要求特定的含水率
- 要求特定的含水率是由於原料的木質素及壓力需求不同

在造粒期間，水分會使模具溫度散失並形成蒸氣，假如最終想獲得緻密、平滑及有光澤的顆粒，將成品的含水率控制在 10% 以下是必需的。

## § 木質素

木質素是植物細胞壁中所發現的複雜碳氫化合物，為植物體主要機械強度的核心。一般來說，植物的木質素越多，其機械強度越佳。不同纖維材料的木質素含量亦不同，如木材含量較多，而草類則較少，故木材的機械強度高於草類。在造粒的過程中，木質素會將原料黏結成顆粒，因此木質素較多，則可形成機械強度較高的顆粒，故木質顆粒的強度與

硬度均較草本顆粒高。因此高木質素含量的原料不太需要黏結劑，即可造出機械強度高的顆粒。經由造粒機的加壓與加熱後，木質素會呈熔融狀並將原料結合成顆粒，當顆粒離開造粒機後，木質素會開始冷卻固化，形成堅硬緻密的顆粒。

## § 額外添加的黏結劑 (Binder)

假使原料沒有足夠的木質素，則必須添加黏結劑，而添加的種類會隨顆粒用途而不同，例如用於飼料顆粒的黏結劑可能會干擾燃料顆粒的燃燒過程，故不可混用。有些黏結劑純粹用於增加顆粒的緻密性，或可改善原料潤滑性以利通過模具及增加顆粒產率。

無論是單純黏結或增加產率，造粒過程中加入多少比例的黏結劑都需依顆粒的用途來決定。黏結劑如用於改善結合性質，則添加量在 10% 以下；用於增加產率或幫助原料通過模具，其添加量需大於 10%。最常見的黏結劑包括植物油、蜜糖、澱粉、麵筋、酒糟及油菜餅，目前許多企業持續進行研發其它製程的產物或廢棄物，來作為顆粒黏結劑；一般來說，只要具備黏稠及油性，就可嘗試作為黏結劑使用。

將不同原料混合亦可解決需要黏結劑的問題，例如混合木本與草本原料進行造粒，所成型的顆粒品質會較純草本顆粒好，且對燃料顆粒而言，更有其它的益處，由於草類顆粒的灰份及腐蝕性較木質顆粒高，會增加使用者的維護費用。木本／草本的混合顆粒的燃燒性質較佳，並可擴展有限的木材資源利用。

## § 壓力變化

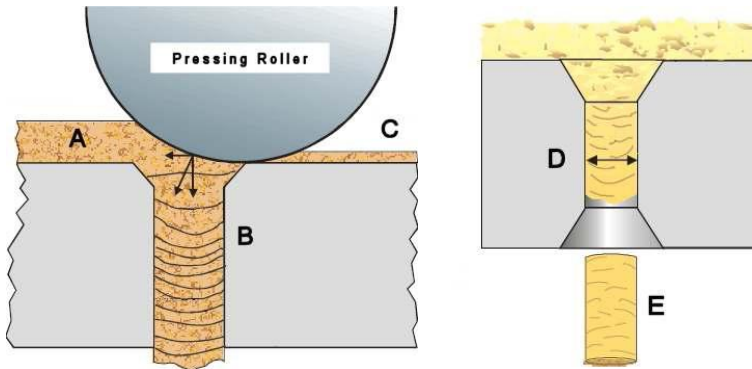
以製造顆粒來說，壓縮原料需要壓力，而壓力可透過模具種類、模具金屬材質及壓輥間隙加以改變；壓力亦取決於原料的性質，因此想改變成型顆粒的壓力可從改變原料性質如添加水分、植物油或其它黏結劑於混料階段或造粒機內的原料著手。水與植物油在某種程度上可以充當黏結劑，且可改變壓力參數，這意味著同種模具在單一製程內能使用不同原料進行造粒。

**水分添加：**在造粒過程中添加水分可增加壓力，額外的壓力可幫助造粒機內部的壓縮力增加，進而增加顆粒密度及熱能，其中熱能對木質素的熔融影響極大，若熔融木質素越多則原料結合的品質越佳，更能產出緻密有光澤的顆粒。水分亦有助於木質素結合於顆粒中，因此水分在某種程度上可做為黏結劑使用。

**植物油添加：**在造粒過程中添加植物油可減少壓力，硬度高的材料如闊葉樹在造粒時會產生過多的摩擦力及壓力，導致模具過度損耗與產率下降。添加油性物質有助於減少壓力、潤滑造粒製程及增加產率。植物油亦可做為缺乏木質素原料的補充黏結劑。

## § 造粒機性質

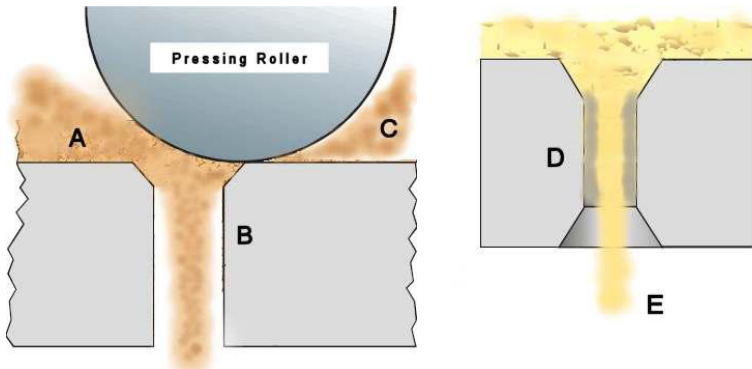
每種原料都有不同的質量及特性，而根據每種原料的含水率、密度及黏結劑量不同，在造粒機內的表現亦不同。以下為原料壓縮成顆粒的過程



若原料的質量足夠形成顆粒，應會發生下列情形：

- A. 首先，原料會進入造粒機，並與壓輥接觸。
- B. 部分原料受壓輥擠壓並通過模孔。
- C. 代表原料在壓輥與模具間形成毯層，當更多原料投入造粒機，壓輥會增加毯層厚度，接著將底部的毯層擠壓通過模孔。
- D. 代表壓縮後原料於模孔中的情況，假如原料藉由摩擦力達到適當的壓力及熱能，則被壓縮的原料可通過模具。
- E. 伴隨充足的摩擦力，壓力及熱能將可造出緻密有光澤的顆粒，將顆粒冷卻後，會變得乾燥且堅硬，此時即可使用。

## § 原料含水率過低



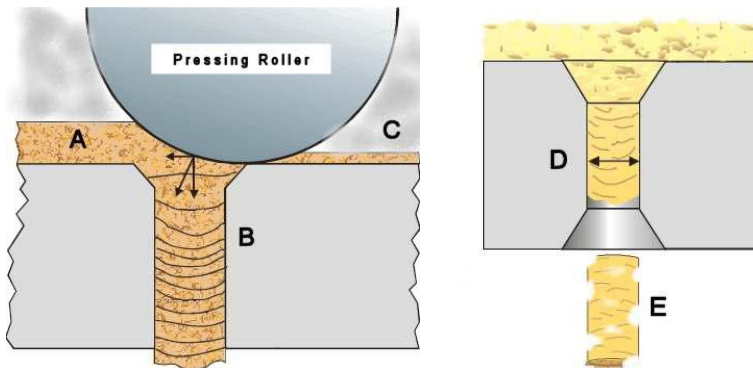
- A. 低含水率的原料投入造粒機時，由於壓輥與模具的作用，原料粉塵會漫佈在造粒機內部。
- B. 由於原料低密度且缺乏水分，壓輥無法將原料壓縮通過模具。
- C. 低含水率的原料無法形成毯層，且當原料於壓輥下時沒有足夠的摩擦力以產生壓力，壓力不足代表沒有足夠的熱使木質素熔融，如此原料不能結合形成毯層。
- D. 低含水率的原料無法產生足夠的摩擦力及壓力，導致原料沒有經過壓縮即通過模具。
- E. 最終無法形成顆粒，僅鬆散且乾燥的原料通過造粒機。

**解決方法：**想以此類原料進行造粒，就必須添加水分於原料內，在某種程度上，更多水分可增加更多的壓力，緩慢加水並測試可產生充足壓力及熱的摩擦力，一旦造出緻密有光澤的顆粒即可得知最佳的水分比例。對於極堅硬且低木質素的

材料來說，可能必需添加植物油以增加原料結合性及潤滑造粒過程。

**原料形式：**有些原料的質地非常細緻且粉塵多，甚至沒有原料的主體。這類原料的密度低，因此更需要添加水分或黏結劑，以幫助原料間的結合。

## § 原料含水率過高

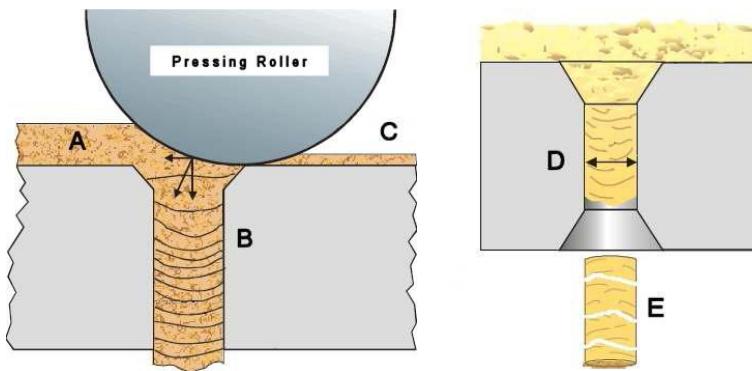


- 高含水率的原料進入造粒機，在壓輥將原料擠壓入模具時會產生極高的壓力，高壓會導致高溫與大量蒸氣逸散出造粒機。
- 由於當原料經壓縮通過模具會產生高度的壓力，此時造粒機馬達亦位於高負荷的狀態下。假如高壓持續的話，可能會使馬達停止運作，並影響壓輥的軸承。
- 溼原料可以形成毯層，但同時也會釋出大量的蒸氣。

- D. 溼原料在通過模具時會產生高壓力，這可能會導致原料通過變得緩慢，雖然高含水率的原料可產生高壓力，卻無法達到木質素熔融的溫度，若原料木質素沒有熔融，則原料的結合性質會降低。
- E. 顆粒離開模具將會變得既軟且十分鬆散，甚至為小型的潮濕塊狀物。此時顆粒內仍有過多水分，會使顆粒膨脹並釋出水分，如此顆粒就無法形成平滑且緻密的圓柱體。

**塞模:**高含水率的原料產生的壓力為造成模具阻塞的原因之一。當原料通過模具時會產生較壓輓力大的阻力。塞模的發生亦可能是因為模孔遭受腐蝕所致。假使模具阻塞就必須將模孔內的原料鑽出，若模具尚有溫度時，原料還沒乾燥及冷卻形成堅硬顆粒前，鑽模清除作業會比較容易進行。

## § 原料黏結問題



- A. 原料首先進入造粒機後，落下與壓輥接觸。
- B. 原料會經由壓輥擠壓後通過模孔，但缺乏黏結性質的原料可能很難達到這點，這些原料呈現出的性質如同含水率低的原料，無法藉由壓輥壓縮而將原料結合。
- C. 由於缺乏黏結性質的原料可能無法形成毯層，並顯示出與低含水率原料相同的特性。
- D. 即使原料有足夠含水率給予適當的壓力即熱，可能依舊無法壓縮，雖然可產生部分原料的壓縮及結合，但仍不足以應付造粒需求。
- E. 若極度缺乏黏結物質，原料可能無法形成顆粒，在許多情況下會出現薄層的壓縮原料，而非完整的顆粒。短顆粒雖無損於其性質，然而仍應在冷卻後重新檢查是否容易碎裂呈粉狀，若發生此情況，則必須解決黏結性質缺乏的問題。

**解決方法:**上述問題為原料的自然黏結劑缺乏甚至無法利用所造成，舉例來說，原料應有足夠的天然木質素，然其含水率不足以產生所需的壓力來熔融木質素，故原料無法結合，而某些原料則木質素含量低，需添加額外的黏結劑，但會使造粒成本上升，因此可先嘗試增加原料含水率以幫助原料結合。

## § 設備與造粒機的維護

造粒機是長期暴露在高溫高壓的環境中，並處於極端壓



力中的設備，必須適時的保養以降低能源消耗並延長使用年限。

**保養：**鏈式粉碎機與造粒機均有許多可在高溫下運作的軸承，時常檢查這些軸承給與潤滑，以保持機械性能以延長使用年限。

**耗能：**檢查鏈式粉碎機與造粒機可運行的最小阻力，能保持耗能需求達最小。例如，確保原料的組成不造成模具與壓輥額外的磨擦力，若沒有這項檢查，可能會使能源浪費在模具與壓輥的額外磨擦力上。

## § 造粒結束後

造粒完成後，清理模具是十分重要的，可使下個製程容易進行。如果原料被留於模具內，則當模具冷卻後內部原料亦冷卻，使木質素固化，一旦發生這類情況會不易進行下個造粒製程，此時就必須將原料鑽出模具，而堵塞的程度取決於原料性質與模具種類和其金屬材質。

**原料：**若以低密度油性原料進行造粒，則製成完成後不必清模，然而在中多數情況下，木質與其它生質物顆粒須從模具中移除，以便於下次造粒製程進行，故在該造粒結束後須以低密度油性原料處理通過模具，低密度油性原料不會固化成如木質與其它生質物顆粒的堅硬成品，並使下次製程更容易進

行，而這些低密度的油性原料包括混合植物油的麥糠、麵粉、玉米或大麥。

**模具種類與金屬材質：**不同的模具種類如前所述，如碳鋼模具有腐蝕的問題，最後會導致模孔表面不若其它種類模具光滑，假使原料留於碳鋼模具內冷卻，則在冷卻過程中，冷卻的水分會腐蝕模孔內部並將原料鎖於模具內，此時就必須將原料鑽出模具。高鉻模具較碳鋼模具的模孔表面更為光滑且不會有腐蝕問題，但原料也不易形成使造粒初期較易進行的緊密鍵結。因此一般建議無論模具的金屬或表面為何，在造粒結束後於造粒機內部留下鬆散的油性混合物。

## 捌、步驟七：過篩

### § 細屑 (Fines)

當造粒機壓製原料成為顆粒時，有些材料並沒有被壓製成顆粒，這些粉末被稱為細屑 (fines)。細屑是在顆粒成型時沒有黏結成顆粒的材料微粒，這可能是因為造粒機內壓力不足或是缺乏黏結力。若是產生的顆粒缺乏機械強度，當顆粒移動並摩擦到其它顆粒，其表面的微粒就從顆粒上脫離，這也稱之為細屑。因此造粒機的性能以及顆粒成品的品質會影響產生細屑的比率。

顆粒對抗垂直壓力非常強，但所有的顆粒在水平壓力下都相當容易粉碎。顆粒粉碎並不是那麼重要，重要的是如何破壞的。當施加水平壓力於優質顆粒時，顆粒應會完全地破壞。然而當品質不佳的顆粒在水平壓力下，會破壞為數個碎塊並產生許多細小的微粒。

關於細屑的比例的重要性，是取決於生產顆粒的市場需求。細屑會干擾投入顆粒壁爐/鍋爐的顆粒進料系統，這對一般小型的住宅使用者相當困擾。也有顆粒壁爐或鍋爐為了燃燒顆粒而設有進料速率及風扇速度。然而細屑燃燒比顆粒快，在一些顆粒燃燒器中這會導致灰份熔化與燒結。優質木材顆粒的細屑量的需在重量百分比 1% 以下。歐洲標準委員會的規範 (CEN standard) 中有載明細屑的最高容許量，並

且在許多狀況下，銷售時必須註明細屑的百分率。顆粒裝於袋子中往往比裝於麻袋中銷售的細屑量少，貯存於筒倉中的顆粒在運送時一般會有產生更多的細屑。

**造粒機毯層：**如本手冊前面所述，設置造粒機時如有毯層構成於模具之上可以減少細屑的比例高達 30%。

**分級過篩：**在顆粒生產後，可以將顆粒置於震動篩 (vibrating screen) 上運行以除去細屑。但如果造粒機安裝恰當並且材料正確的壓製，此步驟可能不需要。然而確保顆粒的機械強度是可以減少細屑的產生。

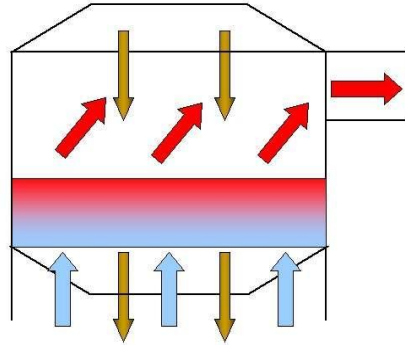
## 玖、步驟八：冷卻

當顆粒離開造粒機，它們會非常熱、柔軟並釋放水分。在顆粒可以使用或貯存之前，它們必須先留下來冷卻和乾燥，否則大量堆積會因內部熱量無法降低而有自燃的危險。最簡單的顆粒冷卻形式是散開顆粒，並使其於室溫下冷卻。

### § 逆流式冷卻機 (Counterflow Coolers)

逆流程序是一種精煉技術，將處理過的產品暴露於環繞之向上移動的氣流中。

當空氣通過產品上升，它是溫暖的，增加空氣中的水分運載能力。產品進入冷卻室的頂部而暴露於冷卻機內最溫暖的空氣中，將溫度衝擊減到最小。當產品由此裝置底部離開就



被冷卻到周圍空氣溫度的 5 至 10 °C 範圍內。產品與空氣有「相反的流動」。逐步的熱量轉移提高了產品品質，並且減少了加壓及細屑量。

## § 冷卻技巧

熱的顆粒不應被置放成堆來冷卻和乾燥，因為堆積物的中間及底部之溫度會維持相當長一段時間高溫，使得顆粒停止適當的冷卻及硬化。顆粒應被散開，以增加顆粒周圍的空氣流通，使之冷卻更快。使用風扇來增加空氣循環也有助於冷卻。

顆粒冷卻後，它們應會堅硬、平滑，並且在某些情況下具有表面光澤。優質顆粒就像一枝著色蠟筆。如果顆粒並不像如此，如脆化，則必需要調整前面的生產參數。

## § 冷卻問題

冷卻顆粒是一道需要小心處理的程序。如果顆粒冷卻得太快，快速釋放的水分會造成應力不均而發生破壞。快速冷卻也會影響木質素適當地凝固以形成堅硬緻密之顆粒的能力，影響顆粒品質並增加細屑。

## 拾、步驟九：成品輸送

在造粒機冷卻後，或是從冷卻機到裝袋/貯存設備時，顆粒可能需要立即運輸。前述螺旋推進器通常使用在材料運輸上的，但在此並不適用。螺旋推進器會損壞顆粒於其易碎狀態。顆粒會被螺旋推進器打碎，如此將嚴重影響顆粒品質以及細屑的比例。

因此將顆粒運送至下一步所使用的是斗式提升機(bucket elevators)而不使用螺旋推進器。斗式提升機僅僅是一組旋轉桶。顆粒經由重力下降送至斗式提升機中，在機器內每隔幾秒會有筒從底部浮出來一次收集一些顆粒，然後再溫和地將它們移送至下一道程序。斗式提升機有不同的尺寸與速度，並且是運送顆粒至冷卻機或裝袋/貯存設施的優先選擇。

## 拾壹、步驟十：裝袋與儲存

顆粒冷卻完成並具有足夠的品質，就可以準備進行包裝、貯藏和銷售。顆粒要如何包裝及貯藏，再次取決於市場需求。顆粒必須避免潮濕和破損。若是水分進入，接觸到顆粒，顆粒會吸收水分而膨脹而無法使用。

### § 袋裝(Bags)

包裝顆粒最常見的方式是用塑膠袋，可以容納 10 至 20 公斤的顆粒。這樣的包裝重量易於讓消費者能輕易地搬運而裝填他們的顆粒壁爐／鍋爐。在許多情況下，這些袋子是由一個兩端被融接的摺疊塑膠片所製成。這些袋子可以很容易堆疊，並且以單獨袋裝或是裝於棧板上整組來販售。而使用塑膠袋則有回收上的考量。因此有時會使用複層紙袋，因為它們容易回收，但可能發生防水不足的問題。袋裝主要使用於住宅用戶及小型的顆粒燃燒器 (pellet burners)。

### § 麻袋(Sacks)

大型的麻袋或散裝的麻袋可運載大約 1 噸之鬆散顆粒，這種方式多用在大型設備。麻袋一般無法提供防水，因此顆粒通常裝進筒倉 (silo)。顆粒以重量計，以大型麻袋銷售往往比用小包裝出售的價格便宜，這是因為減少了材料及人工成本。



## § 顆粒槽車(Pellet Tanker)

有些消費者擁有大型筒倉，能供應予他們的顆粒燃燒器。在此情形下顆粒則可藉由顆粒槽車 (pellet tanker) 來搬運。槽車可確保顆粒出廠品質並使用空氣來將顆粒輸送入筒倉。筒倉通常可維持數個月的顆粒使用。

## § 防水

顆粒的防水問題遠在貯存、包裝及銷售等問題之上。若防水不佳，顆粒會一直吸收水分並膨脹，最後失去機械強度並無法使用。

## 拾貳、結論

以上資料大致描述顆粒生產從最初的原料，加工至最終銷售的貯存及包裝的過程。其中的製程所用的設備是有選擇性的，但很顯然，造粒機是絕對必要的設備。顆粒生產程序從小型工廠到大型工廠是大同小異，只有設備的規模和自動化程度不同而已。

購買造粒設備前，應確保上游原料供應及下游的目標客戶是非常重要的。顆粒生產是項昂貴的事業，但當正確地經營將可獲得可觀的利潤。良好的顆粒生產關鍵是知識，此可確保購買到正確的設備以及安裝程序。對於任何規模而言，顆粒生產都是一項需要技巧的程序，缺乏正確的知識會增加不必要的生產成本甚至造成虧損。

多用途的小規模移動式生產模廠，在產業發展初期可被個人或團體使用，作為小型企業在當地銷售燃料，或純粹作為持續與燃料自主的一種方法。對於教育機構如高職或大學，則可用來作為教學示範。而最終，對於大型機構是希望其能大膽投入大規模之顆粒生產。因為顆粒生產是知識和技術密集的綠色產業。

## 附錄：歷年來臺大農業推廣委員會出版農業推廣手冊目錄

出版年月	輯別	題 目	執 筆 者
71年10月	1	紫蘇	園藝系 蔡平里
71年10月	2	鄉村居民發展社區	農推系 蔡宏進
71年10月	3	矮牽牛	園藝系 李 晔
71年11月	4	擴大農場經營規模	農推系 蔡宏進
71年11月	5	農民對農會合併措施之反應	農推系 廖正宏、陳昭郎
71年11月	6	農會總幹事領導才能之研究	農推系 徐永燦
72年8月	7	市場導向經濟與農業推廣	農經系 李順成
72年8月	8	綠竹筍的栽培	森林系 郭幸榮
72年8月	9	茭筍	園藝系 黃 涵
72年8月	10	蔥蟲害與防治	植病系 許洞慶
72年8月	11	農業推廣實務的新方向	農推系 蔡宏進
72年8月	12	非洲鳳仙花	園藝系 李 晔
72年8月	13	草莓栽培法	園藝系 鄭正勇
72年8月	14	柿之旅	園藝系 蔡平里
73年2月	15	台灣柑橘事業	園藝系 林 樸
73年2月	16	山羊與綿羊的飼養管理	獸醫系 黃敦仁
73年2月	17	肉雞飼養管理與疾病防治	獸醫系 黃敦仁
73年5月	18	豬隻病蟲害防治	獸醫系 吳義興
73年5月	19	淺談臺灣主要柑桔病害	植病系 莊再揚
73年5月	20	農藥之安全經濟有效的使用	農化系 王一雄
73年5月	21	農業推廣與農民參與	農推系 陳昭郎
73年8月	22	百香果栽培法	園藝系 鄭正勇
73年8月	23	農民基層組織輔導原理與方法	農推系 蔡宏進
73年8月	24	鷓鴣、雉雞之飼養與保健	獸醫系 黃敦仁
73年8月	25	彩葉草	園藝系 李 晔
74年5月	26	乳牛的飼養管理	畜牧系 宋永義
74年5月	27	農產品運銷	農經系 許文富
74年5月	28	成功的農場經營靠管理	農經系 江榮吉
75年6月	29	臺灣香蕉主要病害	植病系 莊再揚
75年6月	30	花卉害蟲與防治	植病系 許洞慶
75年6月	31	獼猴桃	園藝系 蔡平里
79年8月	32	畜產廢棄物處理利用	農化系 楊盛行
79年8月	33	農家垃圾處理	農推系 高淑貴
82年6月	34	果菜運銷	農經系 蕭清仁
82年6月	35	蔬果農藥殘留與安全評估	農化系 王一雄

出版年月	輯別	目 錄	執 筆 者
83年7月	36	西印度櫻桃之栽培	園藝系 林 樸
83年11月	37	蔬菜採收處理	園藝系 蔡平里
84年12月	38	蔬菜害蟲	植病系 彭武康
84年12月	39	蔬菜與水果的品質與品質維護	園藝系 劉富文
85年6月	40	家禽病毒性疾病防治	獸醫系 王金和
85年6月	41	香辛類蔬菜推廣試論	園藝系 蔡平里
86年6月	42	環境污染公害之鑑定與診斷	植病系 孫岩章
86年6月	43	農業產銷班的經營管理	農經系 江榮吉
87年4月	44	克弗爾與健康	畜產系 林慶文
87年5月	45	農業害蟲食痕診斷	植病系 彭武康
87年5月	46	蔬菜及花卉病害	植病系 吳文希
88年5月	47	溫室的故事	農機系 馮丁樹
88年5月	48	穴盤育苗自動化	農機系 陳世銘
89年11月	49	休閒農業	農推系 陳昭郎
89年11月	50	稻米加工與貯藏	生機系 盧福明
89年11月	51	植物營養缺乏症之診斷	農化系 鍾仁賜
91年11月	52	有機栽培	園藝系 鄭正勇
91年12月	53	電腦網路應用基礎訓練	農推系 岳修平
92年12月	54	香草植物之栽培管理	園藝系 張祖亮、張育森
92年12月	55	生物農藥概論	植微系 陳昭瑩
93年8月	56	漁村家政推廣行腳	農推系 高淑貴
93年10月	57	鄉村社區行動組織工作手冊	農推系 闕河嘉
94年11月	58	植物與保健	園藝系 許 輔
94年11月	59	家禽流行性感冒	獸醫系 蔡向榮
94年11月	60	台灣地區外來入侵昆蟲	昆蟲系 柯俊成、陳陽發
95年11月	61	果瓜實蠅及果樹害蟲之生態與防治	昆蟲系 石正人
95年11月	62	土壤的健康管理	農化系 何聖賓
96年10月	63	無毒農業	植微系 孫岩章
97年10月	64	植物蟲害診斷諮詢 QA 問答集~ 消費者篇	昆蟲系 柯俊成
98年12月	65	嫁接梨栽培管理	園藝系 陳石人、農化系 鍾仁賜 植微系 洪挺軒、昆蟲系 柯俊成
99年11月	66	柑橘栽培管理	園藝系 陳石人、農化系 鍾仁賜 植微系 洪挺軒、昆蟲系 柯俊成
100年12月	67	話說『植物工廠』	生機系 方 煒
101年11月	68	施肥管理與植物病害	農化系 鍾仁賜