

A stylized graphic of a plastic extrusion machine is depicted in dark blue and white against a textured teal background. The machine features a large white extruder barrel with two blue rollers at the top, a complex die head assembly on the left, and a long horizontal extruded plastic profile on the right. The overall design is minimalist and industrial.

# 塑料擠壓成型

PLASTICS EXTRUSION  
MOULDING

林仲仁編著 · 萬里書店出版

# 目 錄

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| <b>1. 擠壓成型的基本原理</b> .....        | <b>1</b>  |
| 塑料的用途 .....                      | 1         |
| 成型的方法 .....                      | 2         |
| 擠壓成型的原理 .....                    | 2         |
| 擠壓機的種類 .....                     | 4         |
| <b>2. 單螺杆擠壓機的基本結構及工藝設計</b> ..... | <b>16</b> |
| 螺杆 .....                         | 18        |
| 機筒 .....                         | 29        |
| 傳動部分 .....                       | 30        |
| 加料裝置 .....                       | 33        |
| 機頭和口模 .....                      | 36        |
| 輔助設備 .....                       | 39        |
| <b>3. 擠壓過程中塑料的流動</b> .....       | <b>40</b> |
| <b>4. 擠壓成型工藝</b> .....           | <b>47</b> |
| 管材擠壓工藝 .....                     | 47        |
| 棒材擠壓工藝 .....                     | 70        |
| 吹塑薄膜的生產工藝 .....                  | 78        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 其他擠壓製品的生產工藝 .....         | 108        |
| <b>5. 擠壓成型常用的塑料 .....</b> | <b>146</b> |
| 聚氯乙烯塑料 .....              | 146        |
| 聚乙烯塑料 .....               | 163        |
| 聚丙烯塑料 .....               | 168        |
| 聚酰胺塑料(尼龍) .....           | 172        |
| ABS 塑料 .....              | 175        |
| 聚碳酸酯塑料 .....              | 179        |
| 聚砜塑料 .....                | 182        |
| 氯化聚醚 .....                | 186        |
| 聚甲醛 .....                 | 186        |

## 附 錄

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>1. 塑料成型加工的物理和化學基礎 .....</b> | <b>191</b> |
| 非晶態高聚物的三種物理狀態 .....            | 191        |
| 高聚物的結晶 .....                   | 197        |
| 高聚物的取向 .....                   | 199        |
| 高聚物的機械強度 .....                 | 202        |
| 高聚物的黏度 .....                   | 206        |
| 高聚物的降解作用 .....                 | 211        |
| 高聚物的主要工藝特性 .....               | 214        |
| <b>2. 常用塑料的縮寫及中英文對照 .....</b>  | <b>216</b> |

## 1. 擠壓成型的基本原理

### 塑料的用途

由於塑料具有比重小，機械性能良好，導熱性小，色彩鮮艷、突出的電絕緣性和化學穩定性等優良性能，同時又具有品種多，成型加工方便及原材料來源豐富等特點，因此受到廣泛的應用。

塑料除能製造深受人們歡迎的日用品外，它更是原子能工業、火箭導彈、超聲速高空飛行器、宇宙飛船等不可缺少的原材料。用塑料製造飛機外殼和精密儀器儀表的摩擦零件，既可減輕重量，又可延長使用壽命。例如用雲母填充的四氟乙烯製造飛機上的活塞環，使用壽命可長達兩年之久，而青銅則只能用兩星期。在機械製造工業中，塑料作為機床導軌（採用塑料鑲條或表面覆層）是減少摩擦、提高耐磨特性的有效途徑。用塑料製造齒輪、軸承、絲杆螺母可減少噪音和震動、提高耐磨性能，又可減少加工工序，節約有色金屬。由於塑料具有優越的耐腐蝕性，因此許多

化工儀器設備如反應釜、容器、管道、泵、閥門、烟囪、靜動密封裝置、摩擦零件等已廣泛採用塑料，解決了用金屬無法解決的腐蝕磨損問題。塑料在農業應用方面也很廣泛，單就使用塑料薄膜育秧來說，不但可以縮短作物的生長期，而且能大幅度地提高產量。

## 成型的方法

塑料的生產主要指原材料即樹脂和半製品的生產，如聚氯乙烯（Poly Vinyl Chloride，即 PVC）樹脂、聚乙烯（Polyethylene，即 PE）樹脂、聚苯乙烯（Polystyrene，即 PS）樹脂、尼龍（Nylon）等等。塑料製品的生產就是塑料的成型加工。塑料的成型方法很多，主要有壓延成型、擠壓成型、注射成型、壓製成型、吹塑成型及真空成型等等。此外，塑料還可以像金屬材料一樣採用如車、銑、刨、磨、刮、鑽以及拋光等機械加工方法進行加工。同一種塑料可以用不同的方法成型加工，而同一種成型加工方法可以適用於各種不同塑料。

## 擠壓成型的原理

塑料的擠壓成型是用加熱或其他方法使塑料成為

流動狀態，然後在壓力作用下使它通過塑模而製得連續的型材。簡單顯淺一點，可以用日常生活中擠牙膏的例子來說明：牙膏管就好比設備，牙膏當原料，用手對牙膏施加壓力，使牙膏管的容積縮小產生壓力，牙膏從牙膏管頂端的小孔中擠出，形成一根圓形的膏條。早期的塑料擠壓成型工藝，就是採用類似擠牙膏的原理。

擠壓法幾乎能加工所有的熱塑性 (Thermoplastic) 塑料和某些熱固性 (Thermosetting) 塑料。目前用擠壓法大量加工的熱塑性塑料有：聚氯乙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、尼龍、聚丙烯酸酯類 (Polyacrylates)、聚三氯氯乙烯 (Polychlorotrifluoroethylene)、聚四氟乙烯 (Polytetrafluoroethylene) 等，以及酚醛、脲醛等熱固性塑料。擠壓加工的製品有：管材、板材、單絲、薄膜、電纜包層、棒材以及其他各種型材。此外擠壓機還廣泛地用來進行塑料的混合、塑化和造粒。

擠壓成型在塑料成型加工工業中佔有很重要的地位。擠壓成型不但生產率高，而且擠出的產品質量均勻密實，只要更換機頭就可以改變產品的斷面形狀，同一台機器可以適用於多種工藝操作；同時擠壓成型所需的投資小、收效快、操作技術簡單，所以很多廠家都樂意使用。

擠壓過程中，由原料到製成產品需經歷三個階段：第一階段是塑化，這就是經過加熱或加入溶劑使

固體物料變成黏性流體；第二階段是成型，這就是在壓力的作用下使黏性流體經過所要求形狀的銳孔（口模），得到連續的型材；第三階段是定型，這就是用冷卻或溶劑脫除的方法，使型材由塑性狀態變為固體狀態。擠壓機和一些附屬裝置就是完成這三個過程的設備。

根據塑料塑化方式的不同，擠壓工藝可以分為乾法擠壓和濕法擠壓兩種。乾法擠壓是依靠加熱使物料變成熔融體；而濕法擠壓則是用溶劑使塑料充分軟化。乾法擠壓時，塑化和加壓可以在一個設備內進行，而濕法擠壓就必須把塑化和加壓分為兩個獨立的過程。乾法擠壓的定型處理僅為簡單的冷卻，濕法擠壓就要採用比較複雜的溶劑脫除，而且還要考慮溶劑回收。濕法擠壓的優點是塑化均勻，而且能避免塑料的過度受熱，但由於上述缺點，它的應用範圍僅限於硝酸纖維素和少數醋酸纖維素塑料的擠壓，因為前者在加熱時容易燃燒，後者用於乾法擠壓不易塑化均勻。

## 擠壓機的種類

根據對塑料加壓方式的不同，擠壓機大致可以分為單螺桿擠壓機、雙螺桿擠壓機、排氣式擠壓機和無螺桿彈性熔融體擠壓機四種。由於單螺桿擠壓機是目前所有各種類型擠壓機中應用最廣泛的一種形式，因

此留待作專文介紹，這裏只簡略地介紹其餘三種擠壓機。

### 雙螺桿擠壓機

雙螺桿擠壓機的結構參數顯然比單螺桿擠壓機多。它不僅能改變螺紋的形狀、螺桿的壓縮比和長徑比，並且還可以改變螺桿的相對旋轉方向及螺桿間的間隙。圖 1-1 表示的是三種可能的旋轉排列，其中 (A) 及 (B) 已為實際應用，而 (C) 所表示的旋轉方式通常不採用。

為了達到適當的壓縮比，可以改變螺桿的螺距、根徑和外徑。大多數雙螺桿擠壓機生產能力的提高由增大螺桿長度比來實現。例如直徑為 80 毫米的逆向旋轉的螺桿長度由  $12D$  增大至  $16D$  時，加工硬聚乙

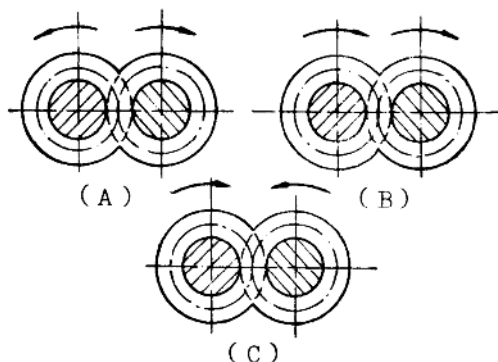


圖 1-1 雙螺桿擠壓機螺桿的旋轉方式

烯管材的生產能力從 40 公斤/小時增加至 90 公斤/小時，而對螺桿直徑為 120 毫米的雙螺桿擠壓機而言，在同樣條件下，生產能力由 100 公斤/小時增大至 150 公斤/小時。

目前雙螺桿擠壓機的長徑比由 8~12 增大至 16~22。這是由於採用了錐形螺桿（圖 1-2）等一系列措施，從而克服了因兩螺桿間中心距不大而限制了止推軸承和傳動齒輪尺寸的缺點。因為軸承要承受很大的軸向力，齒輪要傳遞相當大的扭矩，正確設計齒輪和軸承的工作能力和位置安排是很重要的。

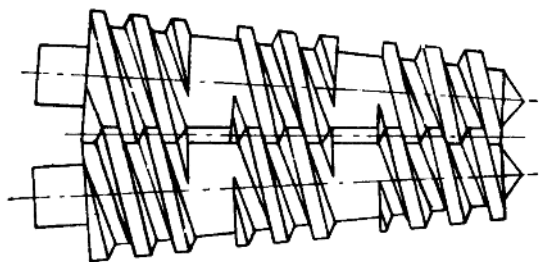


圖 1-2 錐形雙螺桿

雙螺桿擠壓機的機筒內腔截面形狀呈「8」字形（見圖 1-3），其徑向尺寸應與螺桿外徑分段相配合。與單螺桿擠壓機相比，雙螺桿擠壓機具有這樣一些特點：

1. 對物料的正推力大，可以在機頭處建立較高

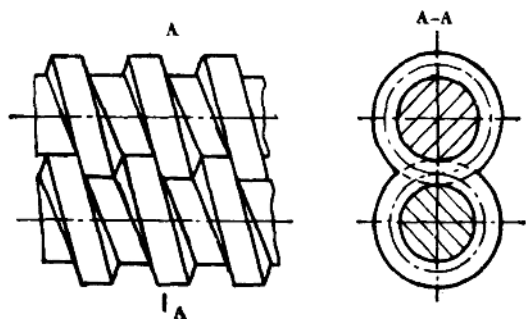


圖 1—3 雙螺桿嚙合圖

壓力。

單螺桿擠壓機在壓力升高時，物料容易出現「打骨」現象，或黏住螺桿與螺桿一起轉動而不前進。雙螺桿擠壓機的兩根螺桿彼此咬合（圖 1-3），在操作中它們能彼此脫除杆身所黏附的塑料，有利於塑料的推進，並且可以在機頭處建立較高的壓力。所以在使用粉料或表面極光滑的顆粒時（如非常細的乳液法聚氯乙烯粉料、低壓聚乙烯粉料及顆粒大小約 0.2~0.3 毫米的珠狀聚苯乙烯，以及某些液體及糊狀塑料等），在普通單螺桿擠壓機上加工就會發生送料困難，而雙螺桿擠壓機却能完全勝任。

2. 雙螺桿在擠壓過程中不存在逆流，螺桿特性曲線比單螺桿擠壓機的相應特性曲線平坦，因而雙螺桿擠壓機不但容積效率高，而且對機頭的適應性好。

3. 在雙螺桿擠壓機中，由於沒有逆流，物料的内摩擦作用小，加上螺桿的螺紋深度較大，而且轉速不高，所以馬達功率可以小一些。

雙螺桿擠壓機是強制送料、出料和進料必須精確配合，因而應嚴格控制定量加料。此外，由於物料的剪切作用小，就需要外部加熱器供給較多熱量。

儘管雙螺桿擠壓機能以高的生產率同時連續地進行混合、乾燥及排氣過程，但是它的應用却不廣泛，其原因一方面在於雙螺桿擠壓機構造複雜，價格高；另一方面是單螺桿擠壓機的進一步發展可以不斷克服自身缺點。因此雙螺桿擠壓機僅用來加工單螺桿擠壓機難加工的物料，如聚合物溶液、細粒的粉末料及表觀密度很小的物料。

爲了利用雙螺桿擠壓機有利於加料及送料的優點，可以設計成單螺桿及雙螺桿組合的擠壓機（圖1-4）。

除雙螺桿擠壓機外，還有三螺桿，四螺桿，甚至

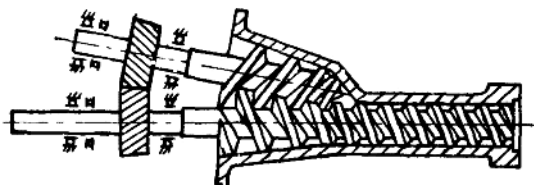


圖 1-4 裝有輔助加料螺桿的單螺桿擠壓機（單螺桿及雙螺桿組合）

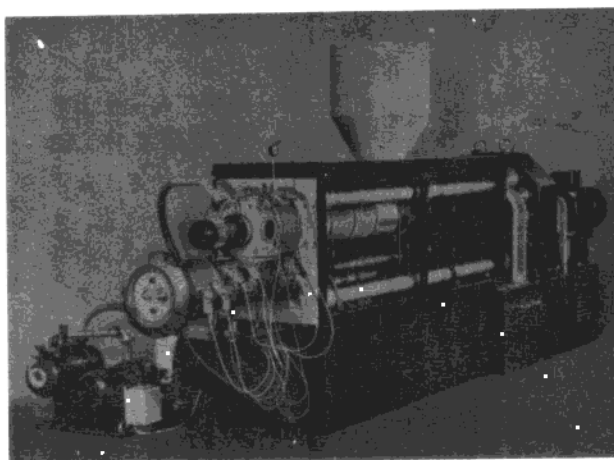


圖 1-5 二段四杆擠壓機的外形

螺杆數目更多的擠壓機，但至今使用仍不廣泛。圖 1-5 是二段四杆擠壓機的外形。

### 排氣式擠壓機

近年來排氣式擠壓機在加工硬質聚氯乙烯乾混料及 A B S、尼龍、聚甲基丙烯酸甲酯 ( Polymethyl methacrylate ) 等吸濕性大的樹脂時得到廣泛的應用。這是因為它不僅能排除粉料表面包覆的空氣和吸附的水分，而且可以排除聚合物熔融時所放出的揮發分，例如剩餘單體、低沸點增塑劑等。這些組分只能在物料熔融後才能到達表面被帶走，若不及時排除這些氣

體，就會使製品出現氣泡。

排氣式擠壓機的特點是將機筒分成兩段，兩段之間有一個減壓區。塑料在第一段中經過壓縮、熔化等正常擠壓過程，到達最高壓力時，進入減壓區（圖1-6）。減壓區用真空將氣體和濕氣抽出。經過排氣的塑料融體進入螺杆，第二段再經機頭擠出成型。

設計排氣式擠壓機的關鍵是要使擠壓機兩段的擠出能力相平衡。如果第一段的擠出能力比第二段大，熔融樹脂會從排氣孔溢出；相反，如果第二段的擠出能力比第一段大時，就會形成第二段缺料而使製品表面產生波紋。在這種擠壓機中，第一段的擠出能力主要由螺杆轉速來決定（隨不同的擠出條件而稍有變動），第二段的擠出能力除了受螺杆轉速影響外，還

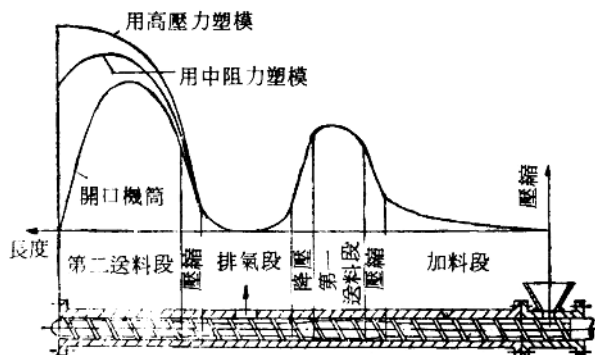


圖 1-6 排氣式擠壓機的一般構造及理論壓強

與機頭阻力大小有關。

排氣式擠壓機的形式很多。從排氣孔開設位置來分，有兩種類型：一種是排氣孔開設在機筒上，另一種是由螺桿中心排氣。後一種排氣方法不如前一種好，因為螺桿通道截面積有限，容易堵塞，而且中心通道用來排氣後，螺桿就不能通水冷却了。

除了單螺桿排氣擠壓機外，現在還有雙螺桿排氣式擠壓機。

排氣式擠壓機的結構要比普通單螺桿擠壓機複雜，製造費用也較高。

### **無螺桿彈性熔融體擠壓機**

螺桿擠壓機和柱塞式擠壓機相比，已經是很大的進步，但是螺桿擠壓機還存在着這樣一些缺點：

塑料是熱的不良導體，由傳熱的方式供給熱量使塑料塑化，需要的時間較長，這對提高生產率是不利的。提高擠壓機機筒壁的溫度，雖然可以縮短物料塑化所需要的時間，但容易引起物料分解。其次，為了使物料充分混合和塑化均勻，螺桿必須有足夠長度。第三，為了在高的擠壓速度下達到壓力穩定的條件，每一種原料所要求的螺桿需要周密設計。如果原料與螺桿不適應，就會引起壓力波動。

上述的缺點通過螺桿擠壓機本身的改進，是可以克服的。近年來，出現了好幾種無螺桿擠壓機，但已經實現工業化生產的還只有無螺桿彈性熔融體擠壓機一種而已，這種擠壓機又叫圓盤擠壓機。

圓盤擠壓機的工作原理是根據法向力作用這一自然現象。這種現象可以由這樣一個實驗來說明：圖 1-7 (A) 中，固定杯 A 內有一個裝在 C 軸上的旋轉盤 B，軸 C 可以自由旋轉，並且可以垂直地在軸承 D 中移動。如果將適當的液體放在杯中，就會出現圖 1-7 (B) 的現象：液體被吸進圓盤和固定杯之間，使圓盤上升。這種使圓盤上升的力與剪切力相垂直，稱為法向力。經過多次試驗，純牛頓液體不能表現這種作用，只有對黏性和彈性液體剪切時才能產生法向力的作用。

圖 1-7 (C) 中，轉盤由於軸肩的阻力而不能上升，如在杯底開一個口，則當圓盤旋轉時由於法向力的作用，物料將從開口處被擠出。

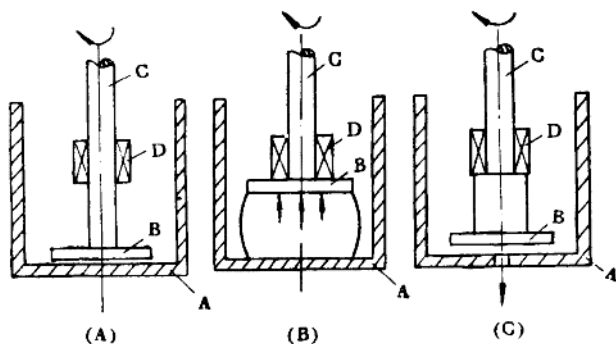


圖 1-7 表示法向力作用的裝置示意圖

圓盤擠壓機最初出現在 1958 年，它是用一個旋轉的圓盤代替螺杆，而圓盤則由電動機直接帶動。物料進入轉動的圓盤與固定底盤之間的間隙中(圖1-8)，依靠圓盤對它所做的機械功而熔融和塑化，並從圓盤的周邊移至中心，然後借助於一根短的計量螺杆，將物料送入成型機頭。這種擠壓機的特點是結構簡單、體積小、清潔、方便，物料塑化均勻，生產率高，物料在擠壓機中的停留時間短（約 20~25 秒），適用於加工熱敏性材料，此外還能加工各種不同形狀的原料（粒料、粉料、液體物料等）。這種擠壓機的缺點

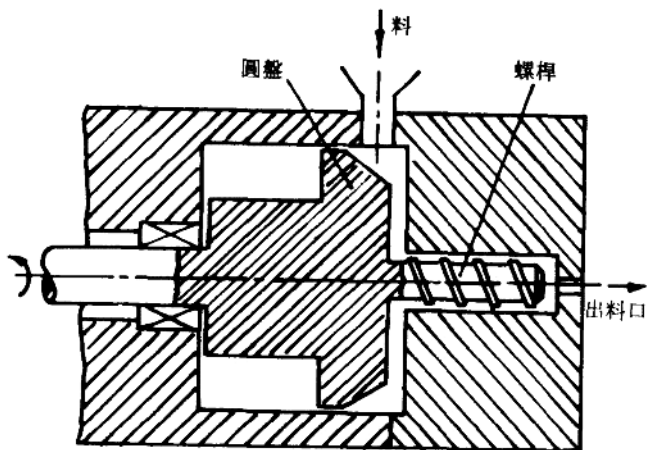


圖 1—8 熔融黏彈性無螺杆圓盤擠壓機示意圖

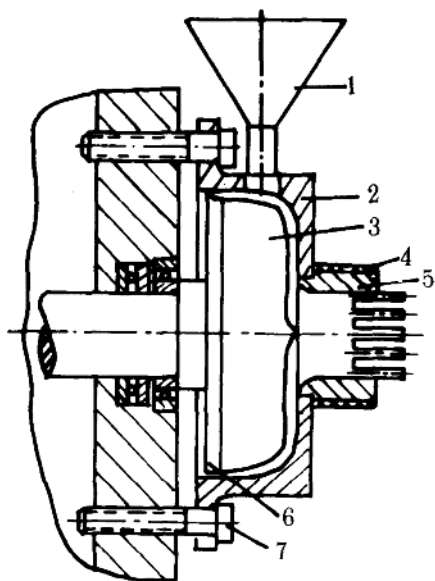


圖 1-9 圓盤擠壓機示意圖

- 1.料斗 2.固定盤 3.轉盤 4.加熱元件  
5.成型頭 6.密封螺釘 7.調距螺釘

是產生的壓力比較小，必須增加裝置後才能提高壓力，加料也比較困難。圖 1-9 是沒有計量螺杆的圓盤擠壓機示意圖。

還有一種圓盤擠壓機，是專用來處理生產薄膜和真空成型製品時產生的廢料的。廢料薄膜毋需經過預