

第三章 射出成型與模具

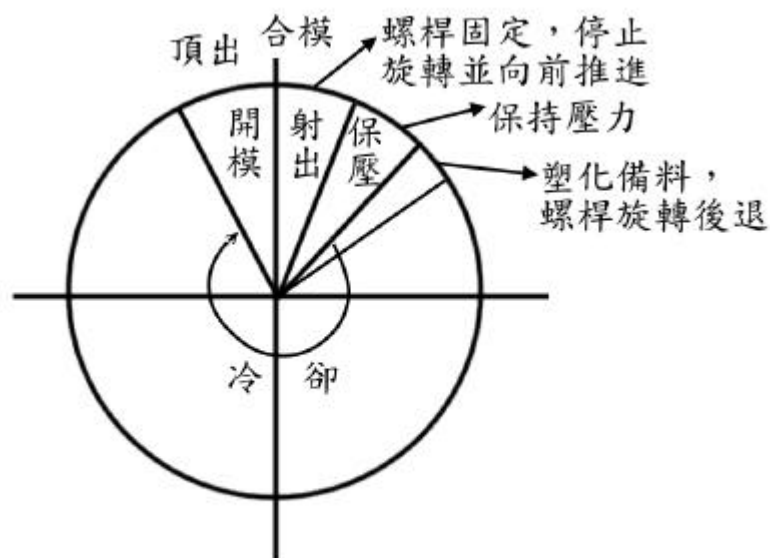
【進深探討】

1. 射出成形

射出成形原理與流程

射出成形的原理是將塑膠粒以定量、間歇的方式，自進料漏斗加入，送至加熱管中加熱使其融化後，透過活塞或推頭向前推進，經過噴嘴射入模具的模穴中。當模穴充滿後，模具的冷卻系統將塑膠料冷卻成固體，待降低到適當溫度後，即可開模頂出成品，然後合模繼續下一個射出循環。

射出的主要流程，可以下圖表示：



目前的射出成型機，多半都是經由微電腦或電子計時機構自動控制。熱塑性塑膠之射出成形循環大多在 10 秒 45 秒之間（依產品大

小、塑膠種類不同而異)。當一塑膠射出件自模穴中頂出後，一批新的熔融塑膠料已經在圓桶中準備接著射出，而另一批塑膠粒也在同時經過漏斗進入圓桶中。因此射出成形可以連續不斷大量生產，故成為目前主要的塑膠產品生產方式。

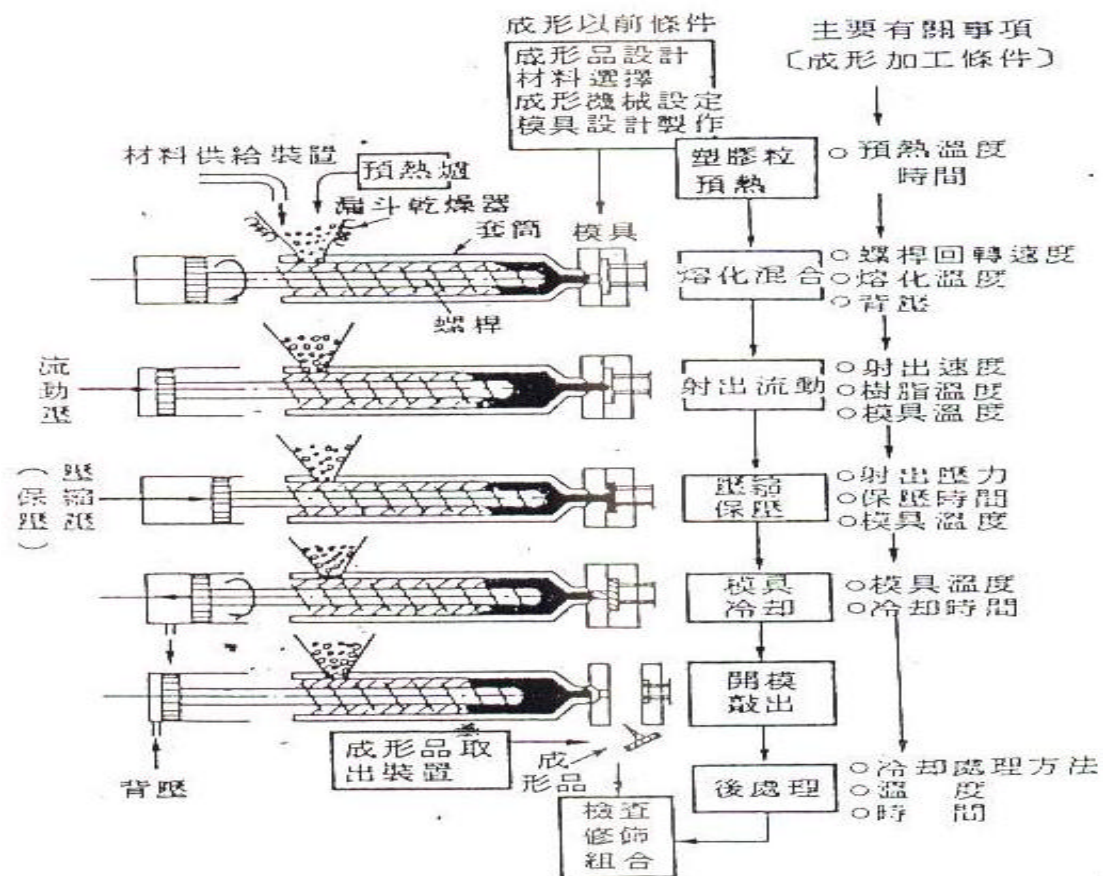
射出成形的主要機制與流程，可以分成幾個部分，下圖以最普遍的螺桿式射出成形機為例子來說明：

- (1) 塑膠粒預熱進料：將塑膠粒放入漏斗中，並且加溫預熱，可乾燥塑膠粒並節省熔化時間。
- (2) 熔化混合：把漏斗中的塑膠粒驅入加熱之圓管，利用活塞或者螺桿之前進，使的塑膠粒通過加熱管，在圓管內裝有分流梭(torpedo)或分散器(spreader)，將熔融的塑膠推向加熱的筒壁，促使塑膠料完全熔化並且均勻混和。
- (3) 射出流動：熔化的塑膠在活塞或螺桿產生高壓驅動下，經由噴嘴(nozzle)被射入閉合的模穴中。
- (4) 壓縮保壓：射出後螺桿或活塞不會馬上收回，而會維持模穴內壓力，待澆口冷卻凝固後，才會回到原來位置。
- (5) 模具冷卻：模具內有冷卻水道，可以冷卻射入模穴中的高溫熔融態塑膠，使其降低到具有足夠強度的溫度(塑膠的強度是溫度與時間的函數)。

(6)開模頂出：待塑膠降低到適當溫度後，即可打開模具，進行頂出動作，取出成品。

(7)後處理：將成品上的廢料剪除，或者進行其他整理修飾動作，組裝成品。

參考下圖可提供更完整的概念：



如欲大量生產某種塑膠零件，射出成形可說是非常經濟，但對於少量生產就不適合了，因為設備之初成本高，射出機動輒數十萬數百萬，模具也是十分昂貴，為了生產少量的零件而採用射出成形，單價將會十分昂貴。但是若要大量快速生產零件，則成本就可以分攤，對於小型零件一次更可以射出好幾個，十分的有經濟效益。

由射出成形方式製作的塑膠零件，包括了大部分的玩具、電腦周邊外殼、滑鼠鍵盤、電視機螢幕外殼、機車汽車零件、風扇、安全帽等等。

射出機規格

常聽到對於射出機的描述方式，都是「這台是 XXX 噸的射出機」，射出機跟噸數兩者間有何關係？這就要從射出機的鎖模力談起。鎖模力的定義，為射出機能夠閉合模具的最大力量，通常以噸為單位，是射出機功能的主要指標。當熔融的塑膠材料在高壓下往模具內射出時，為了不使壓力推開閉合的模具，射出機需要力量來支撐，這個力量就是鎖模力。

鎖模力的評估方式如下：

(1) 依照成形材料之模內面積平均壓力來計算鎖模力

$$F = A \times P_m \times (1 + \quad) \times 10^{-3}$$

F：必要之合模力（噸）

A：模內投影總面積合（ cm^2 ）

P_m ：模內平均壓力（ Kg/CM^2 ），參考下表

依照材料不同來區分：

成形材料	P_m (Kg/CM^2)
------	--------------------------------------

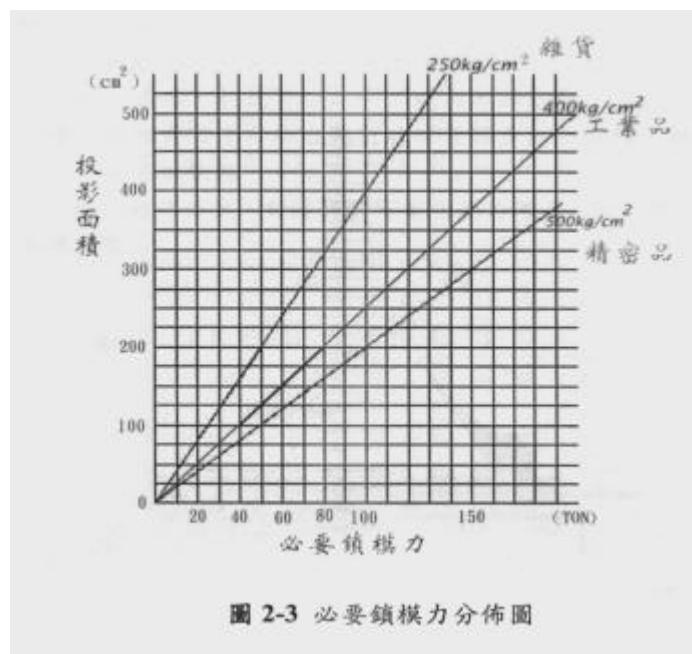
PS,PP,PE	250~300
ABS,SAN,PA,POM	300~400
PC,PMMA,PPO,PVC	400~600

依照零件精密度要求來區分：

零件等級	P_m (Kgf/CM ²)
射出下限	300
一般射出	500
精密射出	700

：安全係數，一般為 0.1~0.2

總投影面積為成形品、澆口、流道、的投影面積總和。投影的方向指的是射出機的螺桿軸的方向。下圖提供另一種參考標準。



射出成形設備

射出成形設備主要可分為：

射出單元 (Injection Unit) : 功能為融解、混和塑膠粒，並升壓射出融化的塑膠液。

鎖模單元 (Clamping Unit) : 控制模具的開關、鎖模，並且頂出成品。

射出單元主要由入料筒、加熱管、加設備等組成。入料筒一般為漏斗狀，負責塑膠粒的進料，加熱管外圍有加熱器，負責加溫使的塑膠顆粒軟化，加壓設備負責提高壓力以供液態狀塑膠射出。

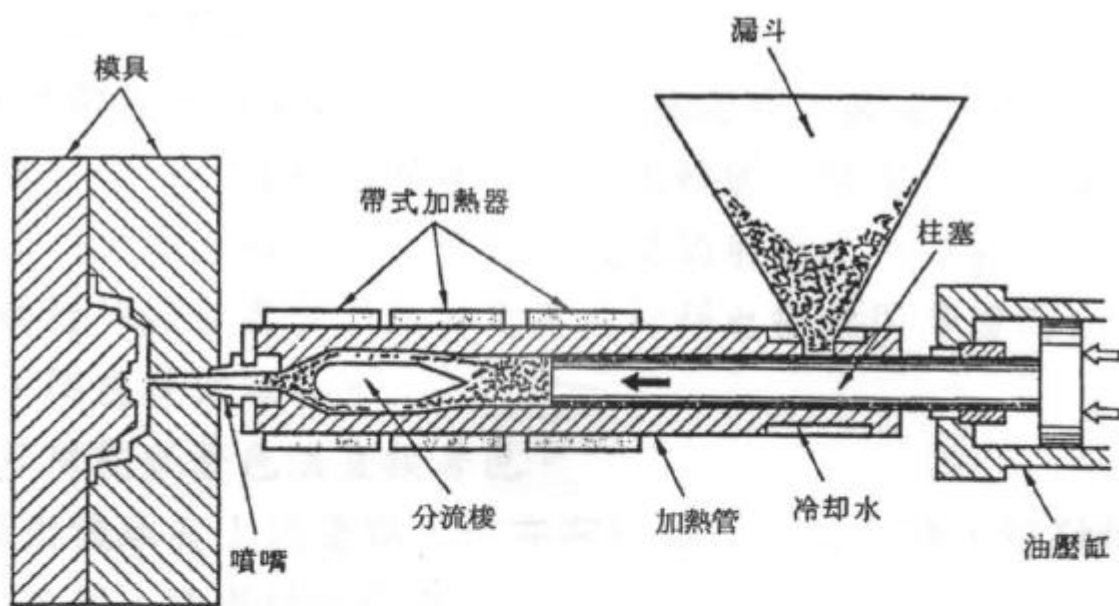
鎖模單元主要分成提供鎖模力的機構：有油壓式與機構式兩種，可動側模版：為模具的可動（開合）部分，內有頂出銷可以頂出射出成品。

多數的射出成形設備為水平式（有少數為垂直式），其入料筒位於加熱筒上方，因而塑膠可不斷落入加熱筒中融化，再利用活塞或螺桿的運動，迫使熔化的塑膠料前進通過加熱管，並且幫助塑膠料混合且提高壓力，然後射出到模具中。加熱管利用蒸汽或節溫器保持正確溫度，或者藉由控制纏繞於管壁的電阻加熱線之電流來控制加熱溫度。加熱管中的分流梭（torpedo）或者分散器（spreader）的設計極為重要，因為他使塑膠對著加熱管壁作適當的分佈，且受熱融化卻不置於過熱燒焦。

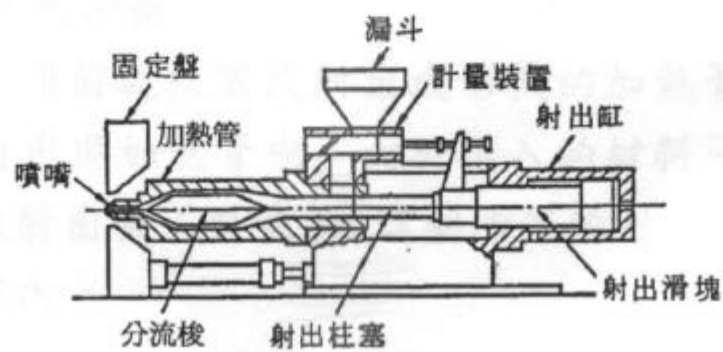
一般的塑膠射出設備可分成四種：

柱塞射出型機 (Ram-fed injection molding machine)

最早的射出成形即是柱塞式射出形機，其構造如下圖所示。



柱塞式射出成形的原理



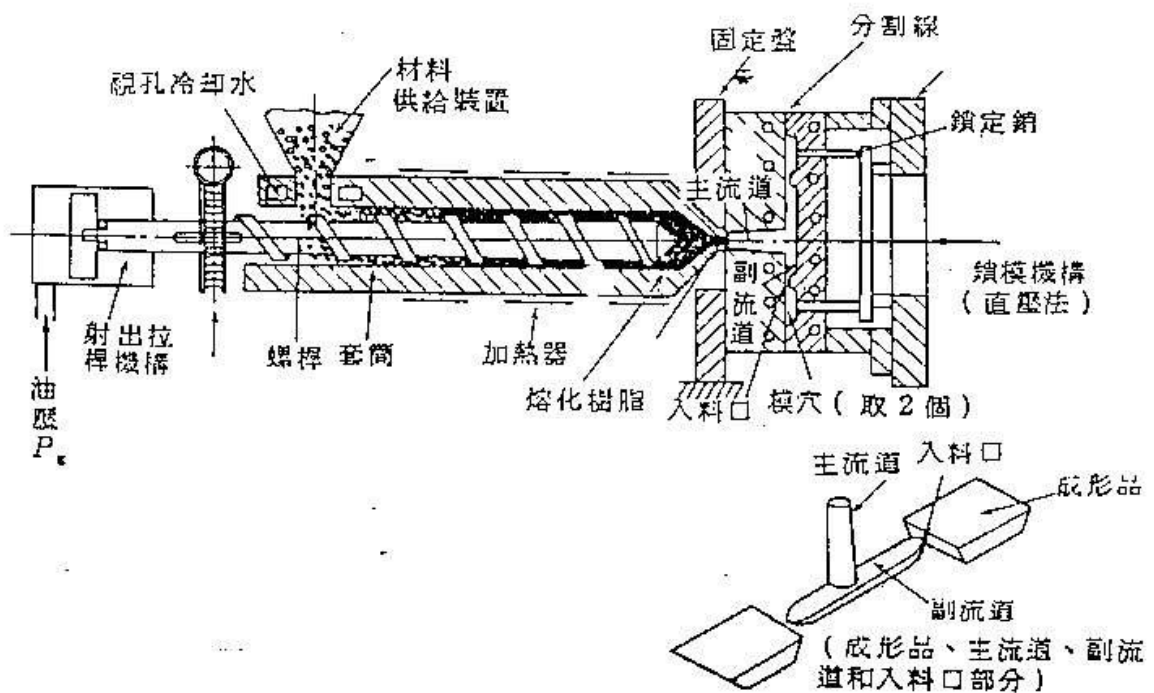
柱塞式射出裝置

從漏斗落下的材料，利用連結於射出柱塞的計量裝置，進行往復運動而計量，計量終了，射出柱塞前進，材料受壓通過加熱管內表面與分流梭構成狹小通路，塑膠料在此受到充分加熱，成為熔融狀態，再從噴嘴部分射出進入模具內。分流梭外圍相對於中心軸成輻射狀配置很多細長溝槽，材料在通過此部分時，會被均勻的加熱融化。

柱塞的缺點在於對塑膠料的可塑化能力較差，不能夠使塑膠料充分的均勻融化，射出的壓力損失也大，目前使用的較少。

螺桿式射出成形機（Screw-fed injection molding machine）

下圖即是



螺桿式射出成形機，是目前最廣泛使用的射出機型態。

來自進料漏斗的材料以自身的重量落下，進入加熱管內，由螺桿混料，沿著螺旋槽送到加熱管前端部分，此時塑膠料被外圍的加熱器加熱，而螺桿一邊旋轉使的塑膠料摩擦，也有升溫的功用，並且螺桿旋轉還可以將塑膠料充分混和，是塑膠呈現熔融狀態。螺桿旋轉時，由於塑膠料的反作用力(背壓)是螺桿退後，此時使用限制開關(Limit switch)限制後退量，在一定的位罝停止螺桿旋轉，再開始記量射出。

射出後等模穴內材料冷卻後，進行開模動做並且頂出成品，然後關閉模具，再進入射出階段，此時藉射出裝置後部的油壓缸，對螺桿

施加射出力，螺桿成為射出柱塞，在高壓下，加熱管前端完全熔融的塑膠料便從噴嘴往模內射出。

螺桿式射出機比起柱塞式的優點如下：

- (1) 藉螺桿的混料作用，材料內部也會發熱，比較能均勻的融化塑膠料，可塑化能力較大。
 - (2) 由於加熱管的內部壓力損失少，可使用較低的射出壓力即可成形。
 - (3) 加熱管內的材料滯留處少，熱安定性差的材料較不會因為滯留而產生分解。
 - (4) 材料更換容易，換色操作簡單。
 - (5) 某些材料可利用乾式著色法直接著色（因為螺桿的混料較均勻）
- 螺桿式射出機雖有上述優點，但是亦有缺點，在射出時，熔融材料容易順著螺旋槽逆流，造成問題。

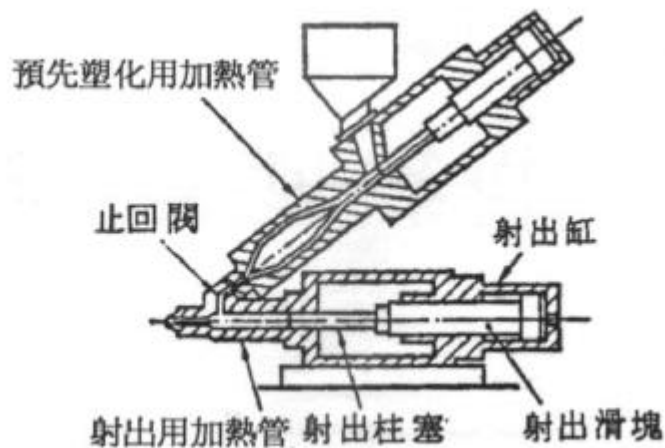
除了以上兩種直接塑化的射出機外，還有一種預先塑化式的射出機。此種類射出機分成：

- (a) 將塑膠料加熱成熔融狀態的「預先塑化用加熱管」。
- (b) 將熔融材料射出的「射出用加熱管」。

依照組和的方式可分成下列兩種：

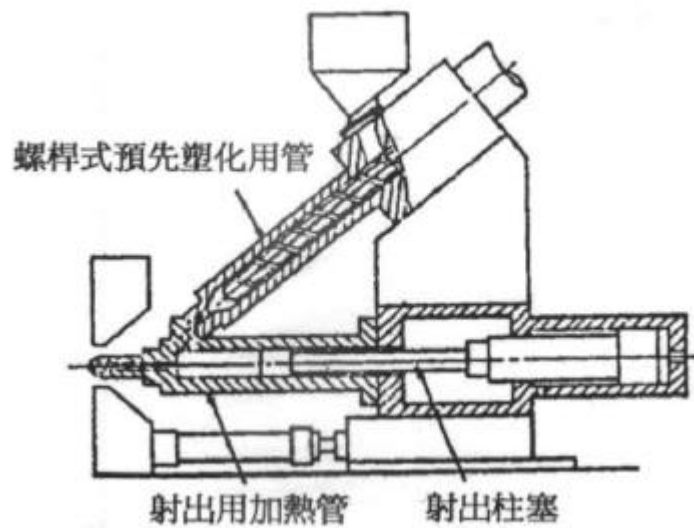
柱塞式預先塑化射出成形機：

如下圖所示，其構造如同前述柱塞式射出成形機的加熱管，將塑膠料熔融後再送入射出用加熱管，在射出用加熱管中，由於送入的材料壓力使射柱後退，調節此後退量可決定一次的射出量（計量）。累積融化塑膠料達到訂定的射出量時，射出柱塞向前推進，將熔融才亮射出進入模穴內，而下來的開模、頂出步驟與其他射出方式皆相同。



螺桿式預先塑化射出成形機：

如下圖所示，將螺桿式射出機用於預先塑化用加熱管。螺桿旋轉，將漏斗內的塑膠粒送入加熱管中，此時也藉著射出柱塞的後退量來調節射出量，計量終了後，柱塞前進，將塑膠料射入模穴中。



以上兩種預先塑化射出機，材料容易滯留於兩組加熱管銜接處的止回筏部分，所以此種類的射出機，不可用於可能熱分解的材料成形上。在構造上，材料更換、換色等操作很費時，所以現今使用這類機器的場合不多。但是預先塑化方式，比起螺桿式射出，可以大幅增加材料的可塑化能力，適用 PE、PS 等不容易熱分解材料，而且希望快速成形的情況。

2. 模 具 (Mold)

功能

模具的功能大致可分為以下幾點：

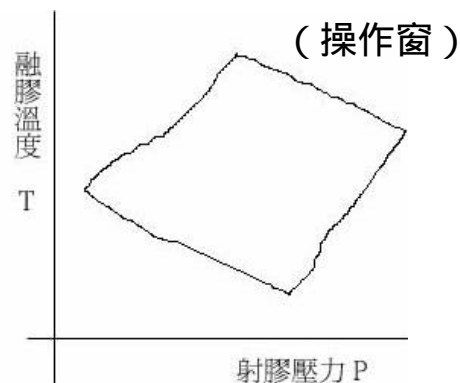
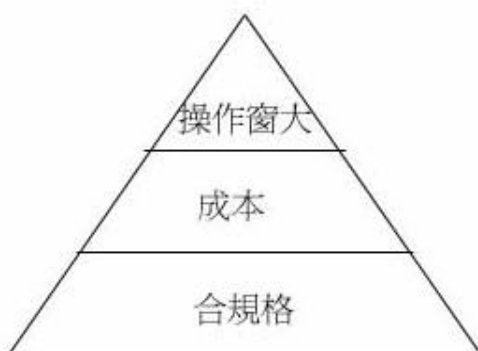
- 成型
- 冷卻 (溫控)
- 融膠傳輸
- 合模、閉模、鎖模
- 頂出

模具的選擇

尚若要在兩個 (或多個) 模具中作比較、選擇時，可依據以下幾點：

1. 合規格 – 出來的成品必須附和尺寸大小、精密度之規定。
2. 成本低 – 生產週期 (cycle time) 要短、廢料少、後加少、成品壽命長等等，都可降低製作成本。
3. 操作窗大 – 操作窗愈大愈好，其好處為 (1) 良率高 (2) 穩定 (3)

可以用性能較低的機器，可減低成本



模具性能的評詁

什麼樣的模具性能好？

我們可以從模具之融膠流道系統及冷卻系統上大略看出模具的好壞。

塑膠模具材料選擇考量

一般我們射出的成品以塑膠為多數，而塑膠模具材料應針對塑料的種類、模具壽命、精度、成本等來選擇物理化學性質合宜的鋼料。

鋼料相關的物理化學性質有：

- (1) 機械強度 – 承受鎖模力
- (2) 韌性
- (3) 熱導性
- (4) 尺寸穩定性
- (5) 溫度穩定性
- (6) 焊接性
- (7) 鏡面加工
- (8) 耐磨耗性
- (9) 耐腐蝕性

規劃之重要性

模具設計能影響模具製造的難易，好的設計能用最低成本生產出精良耐用的模具。模具設計更決定成品的質，一個不良的設，即使使

用最好的機器仍無法順利生產合乎規格的產品。模具設計也影響成型的容易度，設計不良會使允許的操作範圍太小，必需有貴的機器，還會因成型條件變動而生產不良。所以設計之前的按步規劃是模具設計的成功關鍵所在。

模具設計規劃

模具訂單大多指明將來配合模具使用的機器，機器的能力是模具設計必需注意的限制，機器能力的限制包括：

- (1) 射膠量 (shot size) – 每次射膠最大重量。
- (2) 塑化能力 (plasticating rate) – 單位時間塑化融膠重。
- (3) 鎖模力 (clamping force) – 最大能承受的總模穴壓力。
- (4) 最大射壓 (maximum injection pressure) – 射融膠的最大射壓。
- (5) 機器繫桿間面積 (effective area of machine platen) – 繫桿限制下的機器模板面積。

模穴充填靠射壓推動融膠前進，在最大射膠限制下，流長與厚度的平方成正比，與融膠黏性係數成反比。

$$L / H^2 = P / 32 C V n$$

L：流長

H：若寬是 W，厚是 T，則 H 為 $2WT / (W+T)$

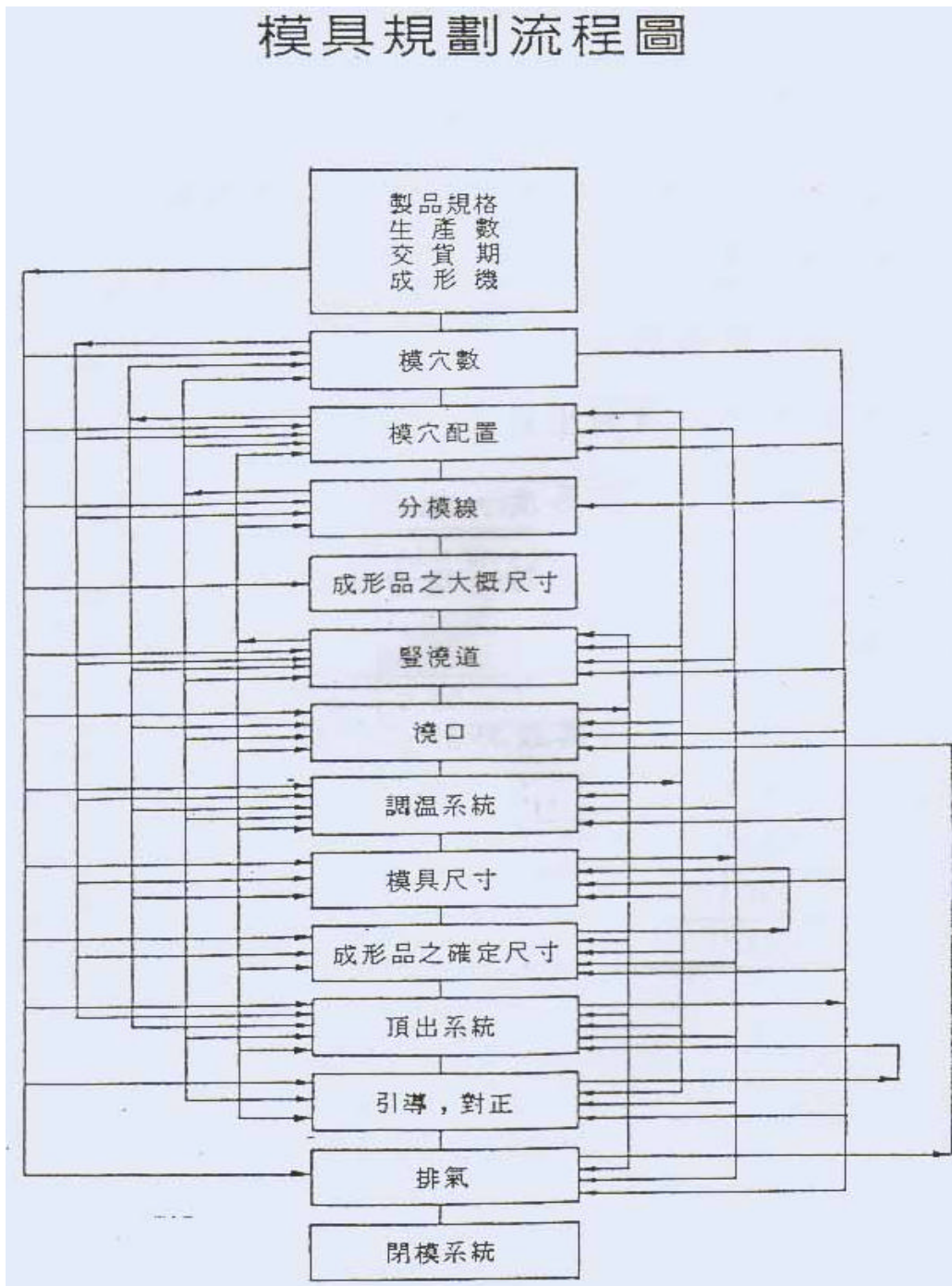
C : 1.5 (W >> T)

V : 波前速度 (約 20 cm/s)

P : 最大射壓 (例如 120MPA)

n : 融膠黏性係數

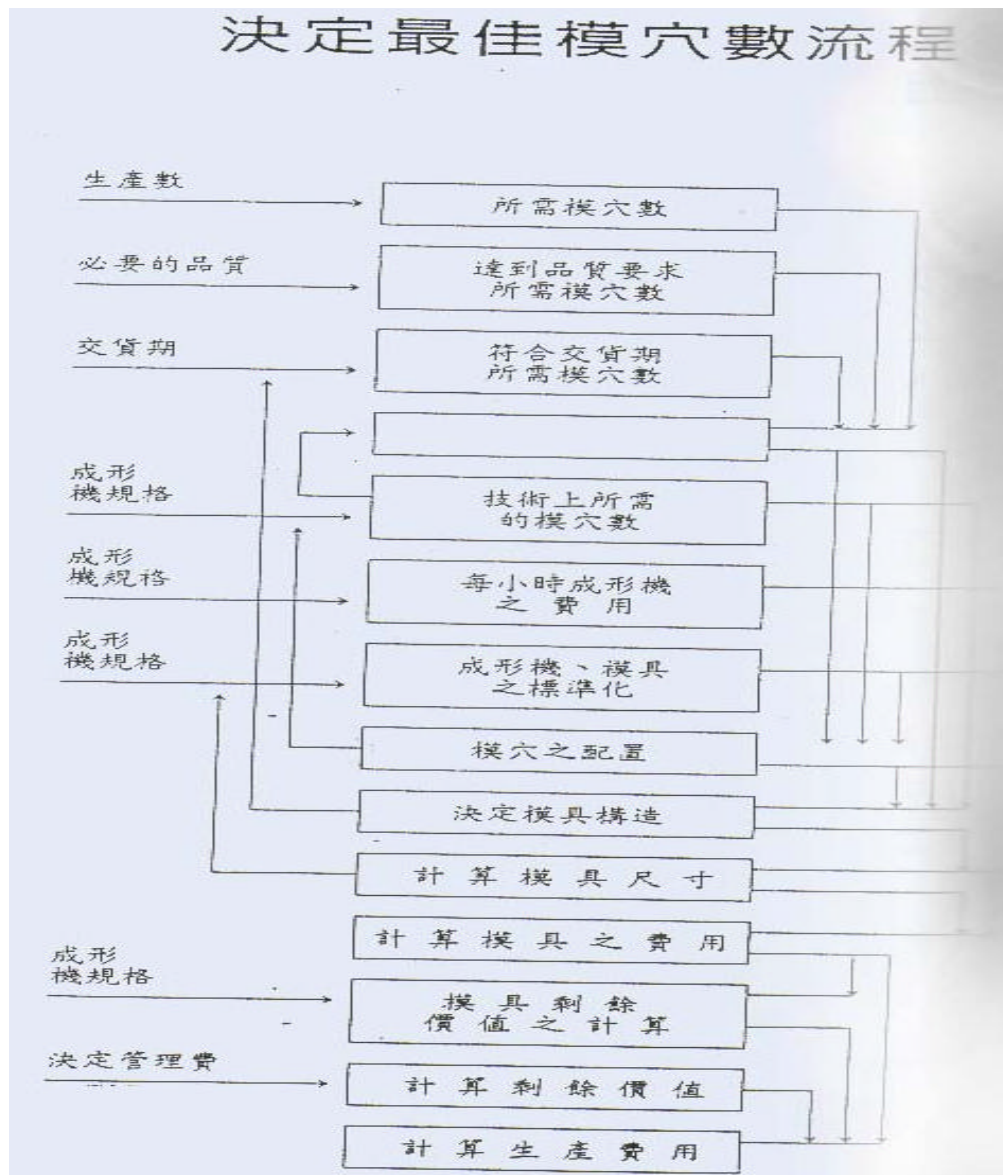
模具規劃流程圖



模穴數的選擇

模穴數的決定是模具設計的第一步，而其有二方面需要兼顧，即技術層面及經濟層面。

技術層面：	經濟層面：
(1) 模穴數影響品質	(1) 模穴數影響能否在交貨期內完成
(2) 模穴數受射出機能力限制	(2) 模穴數要儘量降低零件成本
(3) 模穴數受最大射壓最大流長限制	(3) 模穴數與要生產零件批量有關
(4) 模穴數受目前可供調度加工機械限制	



模穴配量

模穴數選定後，如何配置是第二步。

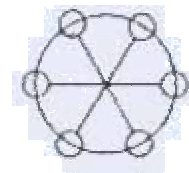
模穴配置考量包括：

- (1) 充模時所有模穴要同步充滿。
- (2) 流長越短越好。
- (3) 各種作用力的合力，應通過模板中心。
- (4) 要有足夠空間裝置頂針、定位梢、冷卻管等。

模穴的排法：

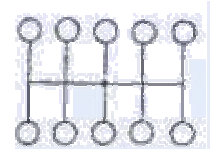
圓周安排

- (1) 好處－流長全同，脫模容易。
- (2) 壞處－模穴數有限。



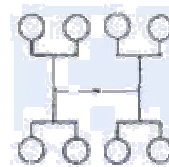
行列安排

- (1) 好處－模穴數較多。
- (2) 壞處－流長不同，需調整各段尺寸。



對稱安排

- (1) 好處－穴數可多，流長相同。
- (2) 壞處－融膠抵模穴前流長（易凝固，廢料多）



射出成型用模具的種類

射出成型所用模具的構造是多變的，不同的澆口方式、有不同的

頂出方式與不同的模具結構，便可成各種種類的模具形式，一般基本常用的分類有二板模具及三板模具。分述如下：

（一） 二板模具

此類型的模具為模具的標準構造，模具構造簡單，製作容易，所有射出成形用模具的基本製作與射出原理都以此為出發點，如圖 2.2-1 所示。

動作流程：此類型模具的固定側（一般為母模）固定於射出成型機的固定盤上，成為材料的射出部。可動側固定於成型機的可動盤上，射出成型完後，開模時，成品附著於可動側，再利用成型機的開模動作或油壓頂出裝置，將成品頂出，動作如圖 2.2-2 所示。

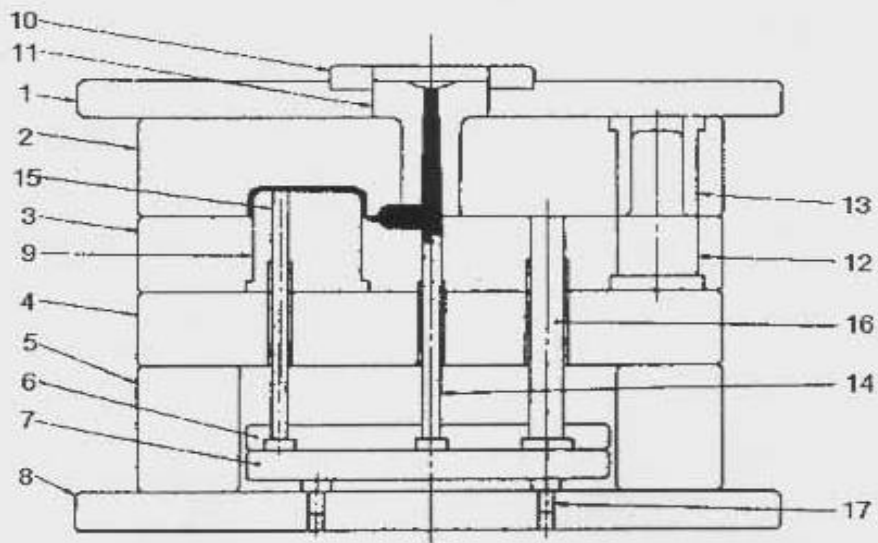


圖 2.2-1 二版式模具

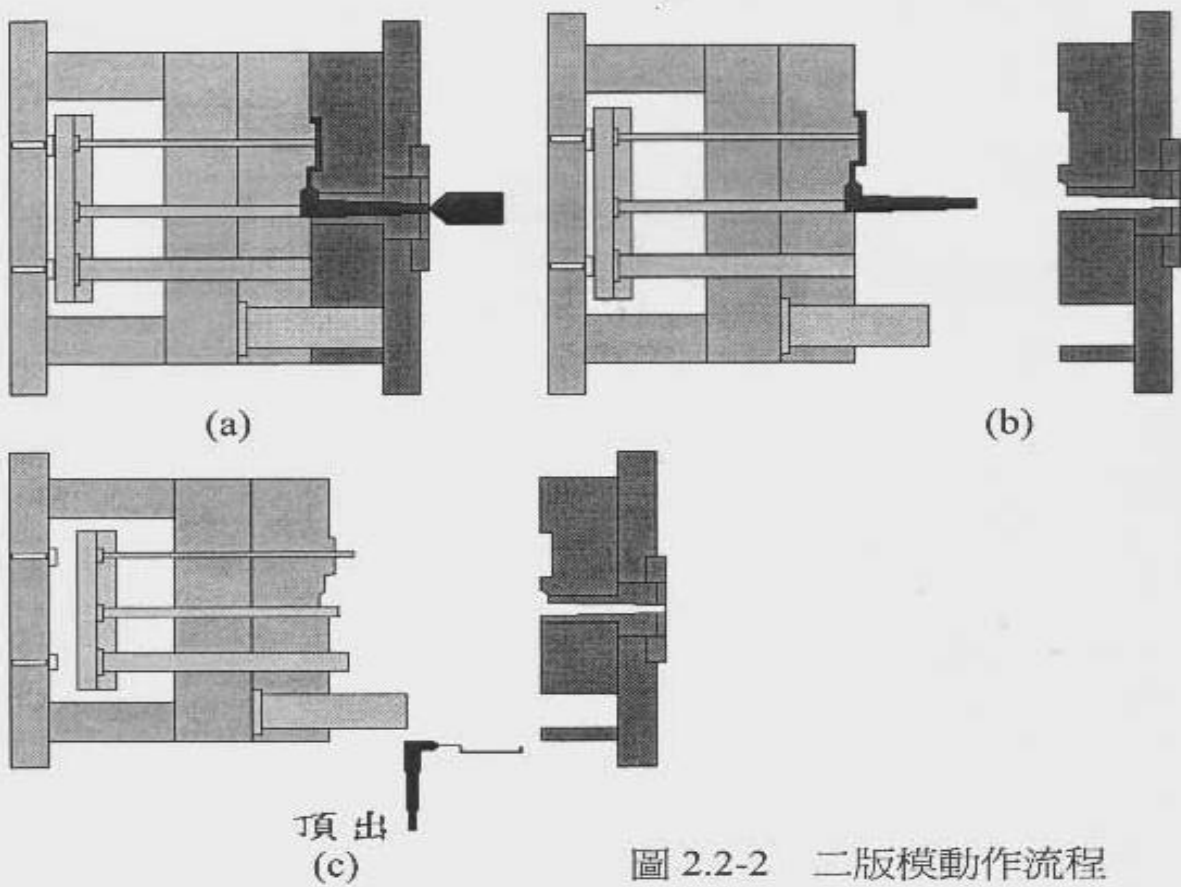


圖 2.2-2 二版模動作流程

(二) 三板模具

此類模具與二板模式模具不同的是，除了兩塊模板外，另外插入一塊流道剝料板，模具的主要部分是由固定側模板、可動側模板及流道剝料板所構成，因此稱三板模具。圖 2.2-3 所示為三板式模具之造，上圖為模具閉合狀態，下圖為模具開啟、頂出成品及流道的情形。

動作流程：三板模具的開模方式及模具固定方式也不太一樣，三板模具的母模並不固定在固定側，而是在支撐銷上浮動的，合模時受活動側的頂壓而密著，開模時則分段分離，第一段先拉出公模及成品，並拉斷點狀澆口，第二段則是母模藉張力環或鍊條牽引脫離，並使橫澆道離開母模，第三段則經由限位螺栓的牽引，引動澆道脫料板，將澆道脫離及成品頂出。其優點是可高速自動化生產，可去除成品之後加工之成浪費，多模穴模具可後成品中心射入，且此種模具的澆道可以設在模具的任一位置而射入膠流。動作如圖 2.2-4 所示。

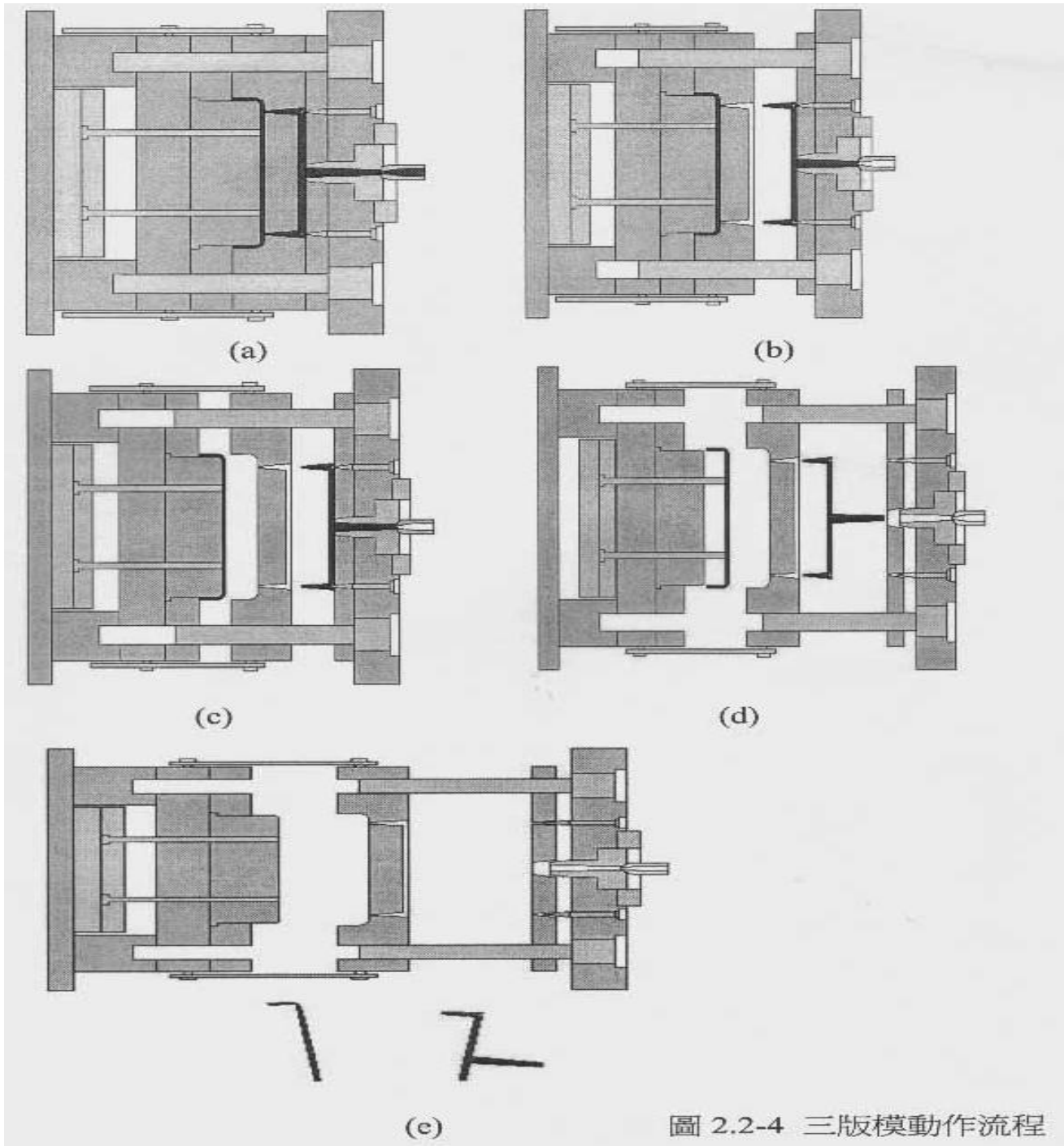
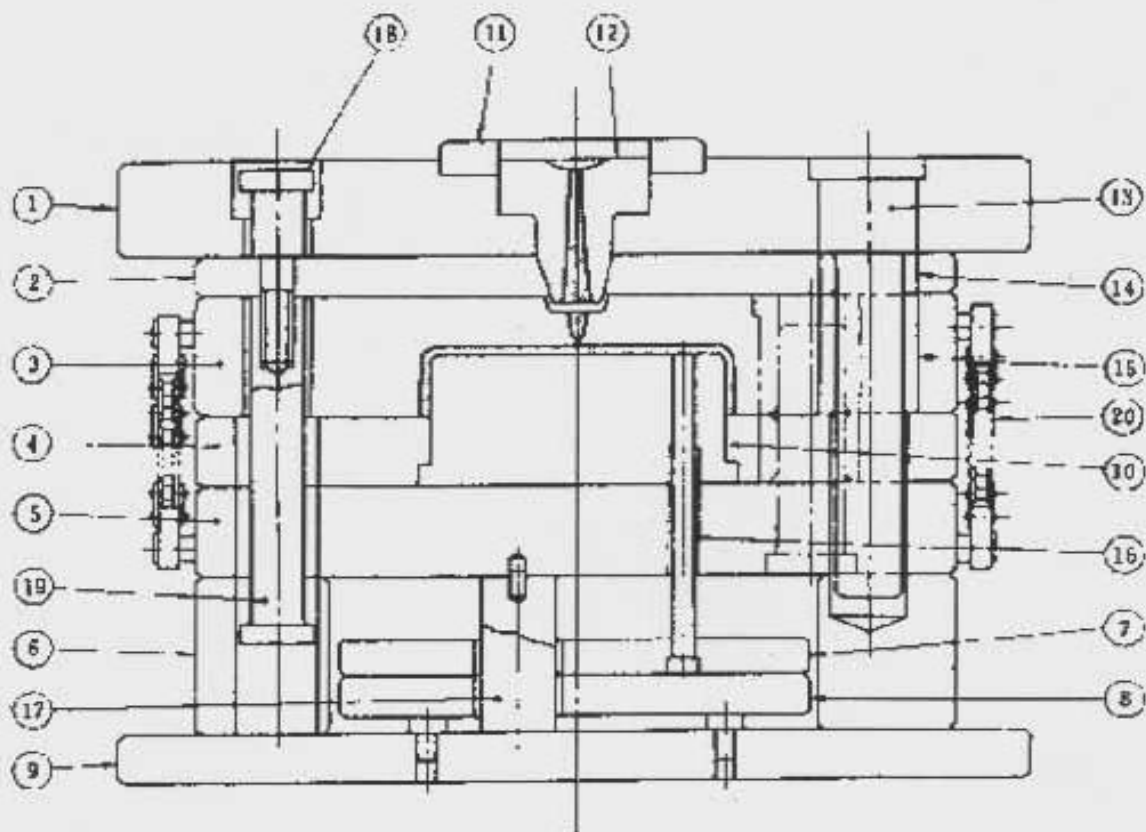


圖 2.2-4 三版模動作流程



件號	名稱	件號	名稱	件號	名稱
1	固定側模板	8	頂出板(下)	15	導銷襯套
2	流道襯板	9	可動側裝接板	16	頂出銷
3	固定側裝接板	10	心型	17	支座
4	可動側模板	11	定位環	18	止動螺釘
5	承板	12	澆道襯套	19	限位螺拴
6	間隔件	13	支承銷	20	鍊條
7	頂出板(上)	14	導銷襯套		

圖 2.2-3 三版式模具(使用點狀澆口)

模具各部構件之功能：

模具基本構件功能，配合圖 2.2-1 之件號依序說明如下：

- (1) 固定側固定板 (cavity adapter plate) – 功能是将固定側模板、定位環、注道襯套等，固定在此板上，然後利用此皮，將整個模具之固定側予以固定在成型機之固定盤上，
- (2) 固定側模板 (cavity plate) – 亦稱為定模板，固定側之主體，導銷襯套即裝在此板上，可用來裝置注道襯套即流道、澆口之加工，
- (3) 可動側模板 (core plate) – 亦稱為動模板，心型及導銷裝置在此板上。流道、澆口、回位銷孔、注道抓銷孔亦都在此板上加工而定位。此板與定模板之接合面稱為*分模面*。
- (4) 承板 (back up plate) – 此板裝置在動模板背面，具有補強功用，使動模板不因射壓力而發生彎曲變形。
- (5) 間隔塊 (spacer block) – 亦稱墊塊，此板為裝置在承板之間的平行塊，其功能為確保成品的頂出距離。
- (6) 頂出銷定位板 (above ejector plate) – 亦稱射銷定位板，此板之功能為使成品頂出的方位正確平衡、穩定，並使頂出銷、回位銷、注道抓銷等確實定位的作用。
- (7) 頂出銷固定板 (below ejector plate) – 此板與射銷定位板 2

以螺栓固定成一體。整個頂出機構就是靠這塊板與頂出銷定位板把頂出銷、注道抓銷、回位銷之位置確實固定而組成。當模具閉合時，此板與可動側固定板的停止銷接觸。

(8) 可動側固定板 (core adapter plate) – 此板將整個可動側組裝起來，並將其固定於成型機之可動盤上。此板與間隔板及承板構成頂出空間。

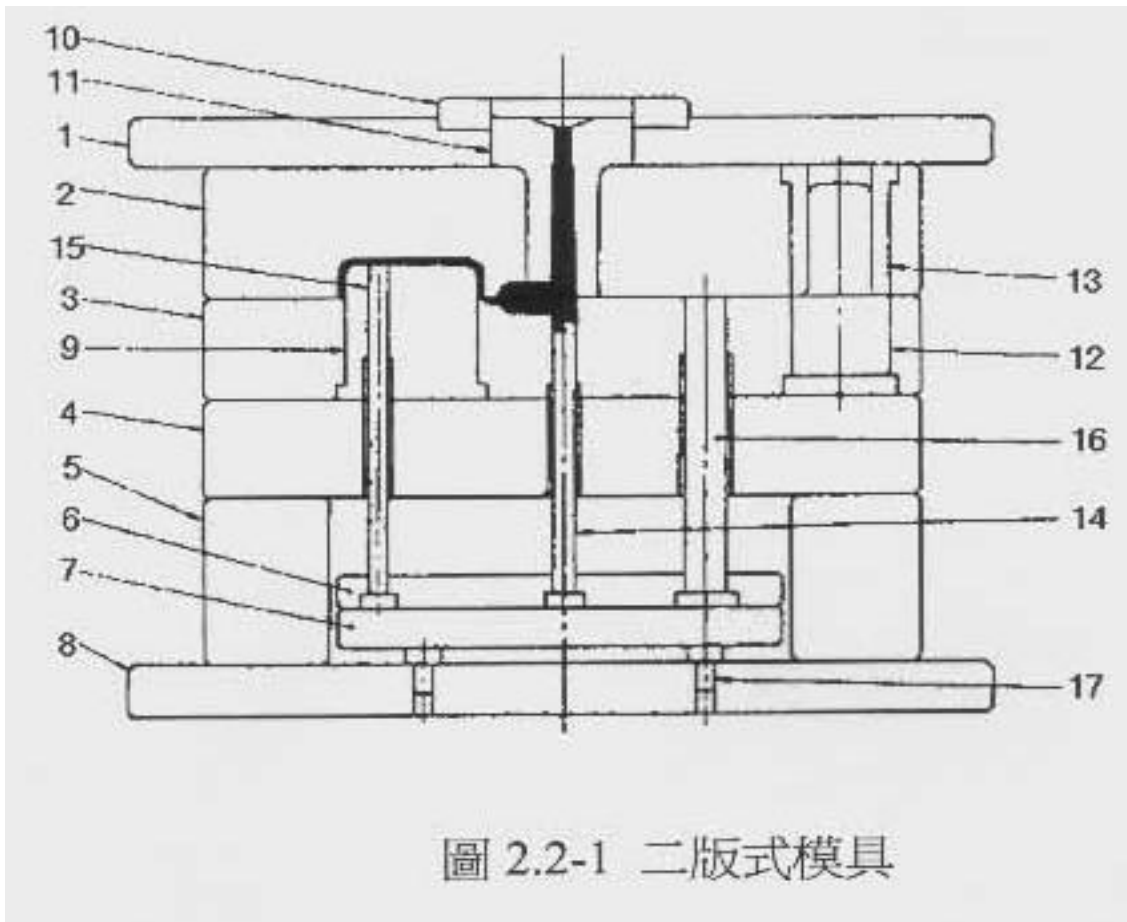
(9) 心型 (core) – 亦可稱為模心或雄模。與模穴構成模具之成型空間。成型完畢，模具開啟，作品必須附著心型上，再由頂出機構之頂出動作而脫離模穴。

(10) 定位環 (locate ring) – 整個模具是靠定位環與成型機固定盤上之定位環孔配合，而使得模具容易安裝在成型機上，並使成型機之噴嘴與注道襯套得以對正，而順利進行成型之操作。

(11) 注道襯套 (sprue bush) – 亦稱豎澆道襯套，與成型機加熱缸前端之噴嘴相接觸，膠流即經由它上面錐孔而進入流道、成形空間而順利進行成型的操作，注道襯套因與成型機之噴嘴直接接觸，故磨耗較大，容易損壞，因此為便於修理與更換而做成襯套。

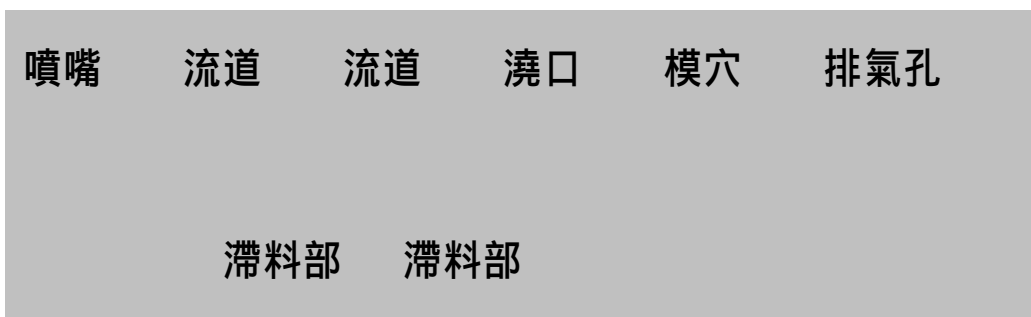
(12) 導銷 (guide pin) – 一般裝置於動模板上的鋼質導銷是經過硬化與研磨的，用來使模具之固定側與可動側能迅速確實地定位配合。

- (13) 導銷襯套 (guide pin bush) – 一般裝置於定模板上，使用鋼質材料，經過硬化後研磨加工，也是用來使模具的固定側與可動側能迅速確實地定位配合。
- (14) 注道抓銷 (sprue snatch pin) – 亦稱注道定位銷，為使成型操作順利每次成形完畢，模具開啟後，將注道自襯銷中抓出，為使注道附著在可動側與成品同時被頂出脫落。其位置通常設置在模具中心位置，但亦有特殊情況而偏離中心者。
- (15) 頂出銷 (ejector pin) – 亦稱射銷，當模具開啟動作完畢時，將成品頂出脫落。
- (16) 回位銷 (return pin) – 亦稱復歸銷，使整個頂出機構能在頂出成品後，開模完畢時，回到原來的位置。
- (17) 停止銷 (stop pin) – 亦稱阻銷，它們被壓裝在可動側固定板上，整個頂出機構，就座落在它們上面，其功能適時調整整個頂出機構之高度，目前使用之模具，大都省略不用。



流道系統

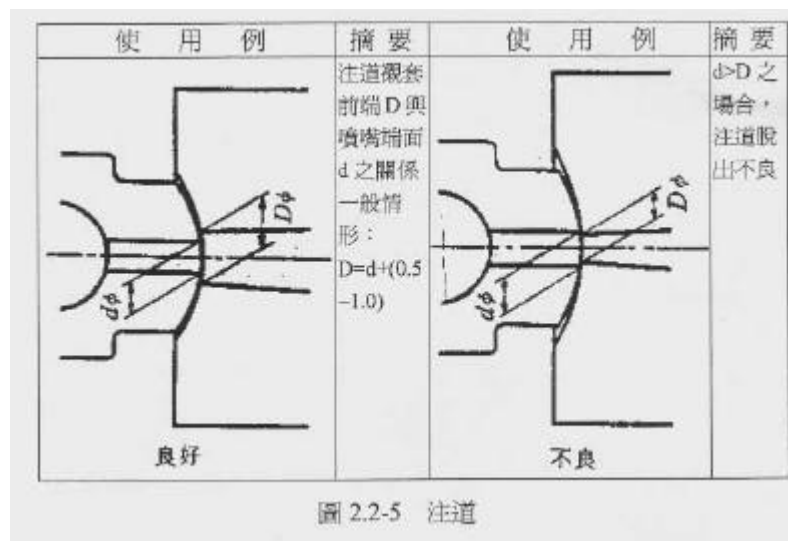
流道系統 (Runner System) 的功能，是在導引從成形機的噴嘴所射出的熔融材料，進入成形機間 (模穴) 中成。流道系統由下示部分構成：



流道系的設計是否適當，直接影響成品的外觀、物理性質、尺寸精度和成形週期。

注道 (sprue) :

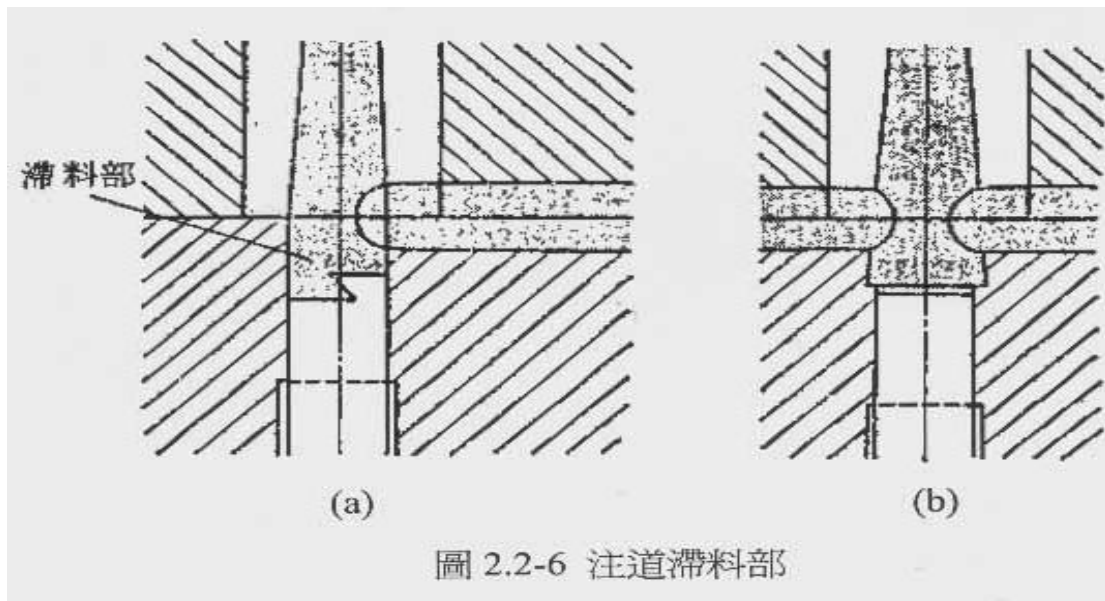
注道為接合成機噴嘴的部分，圖 2.2-5 所示為注道襯套前端 R、D 與噴嘴端 r、d 之關係使用例。



滯料部 (slag well)

射出成形機的噴嘴前端在射出後，仍有少量的熔融材料殘留，此殘留材料在下次的射出成形前可能已經固化，若不設法收集此種以固化的材料，就可能引起流道或澆口的阻塞，即使進入成形空間，也會造成成品外觀不良。滯料部就是用來收集這些已固化的材料，滯料部通常設在注道末端與流道末端兩處，以便在開啟模具時將注道拉出。

圖 2.2-6(a) ， (b) 為一般常用型。

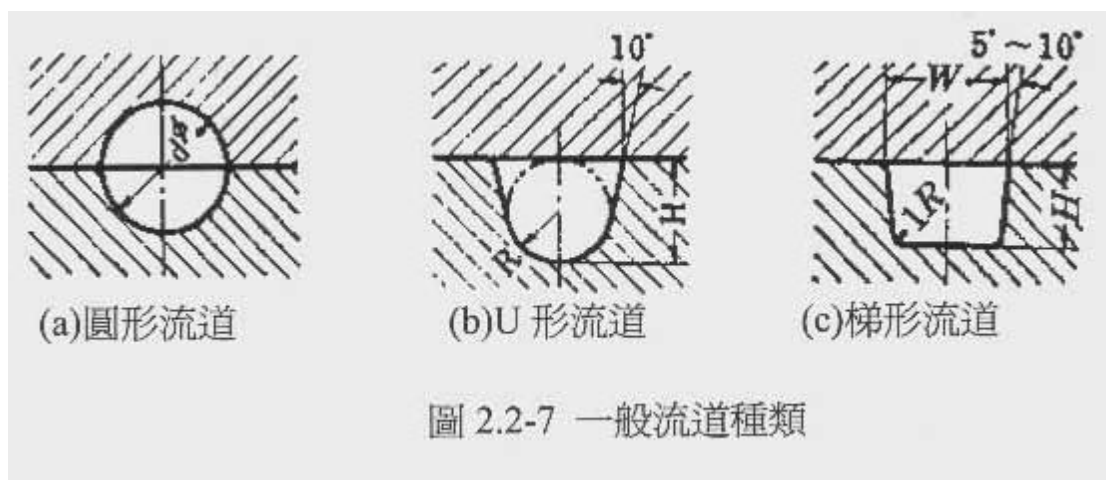


流道 (runner)

流道為成形材料從注道到模穴間的主要通路，依材料的流動性、成形品的重量及投影面積來決定形狀及大小。其斷面形狀及大小如圖 2.2-7 所示。圓形流道體積最大而斷面積最小，有助於熔融材料的流動和減少其溫度傳到模具中，廣泛應用。而三板式點狀澆口之模具，大都使用梯形流道。梯形流道唯一之缺點為與同一斷面積之圓形流道比較，有較大之接觸面積。U 形流道缺點多，少被使用。

流道的斷面尺寸過大時，一來浪費材料，二來冷卻時間增長，成形週期增長，造成成本提高。斷面尺寸過小，材料流動阻力大，亦造成充填不足，或必須增高射出壓力始能充填，故流道斷面大小應適合成品之重量或投影面積。

流道長度宜短，因為長的流道不但會造成壓力損失，不利於生產性亦浪費材料。但是，材料以低溫成形時，為增高成形空間的壓力來減少成品收縮下陷時，或欲得肉厚較厚的成品而延長保壓時間，減短流道長度並非絕對可行。因為流道過短，成品的殘留應力增大，易生毛邊，材料的流動性不均，所以流道長度也應適合成品之重量。

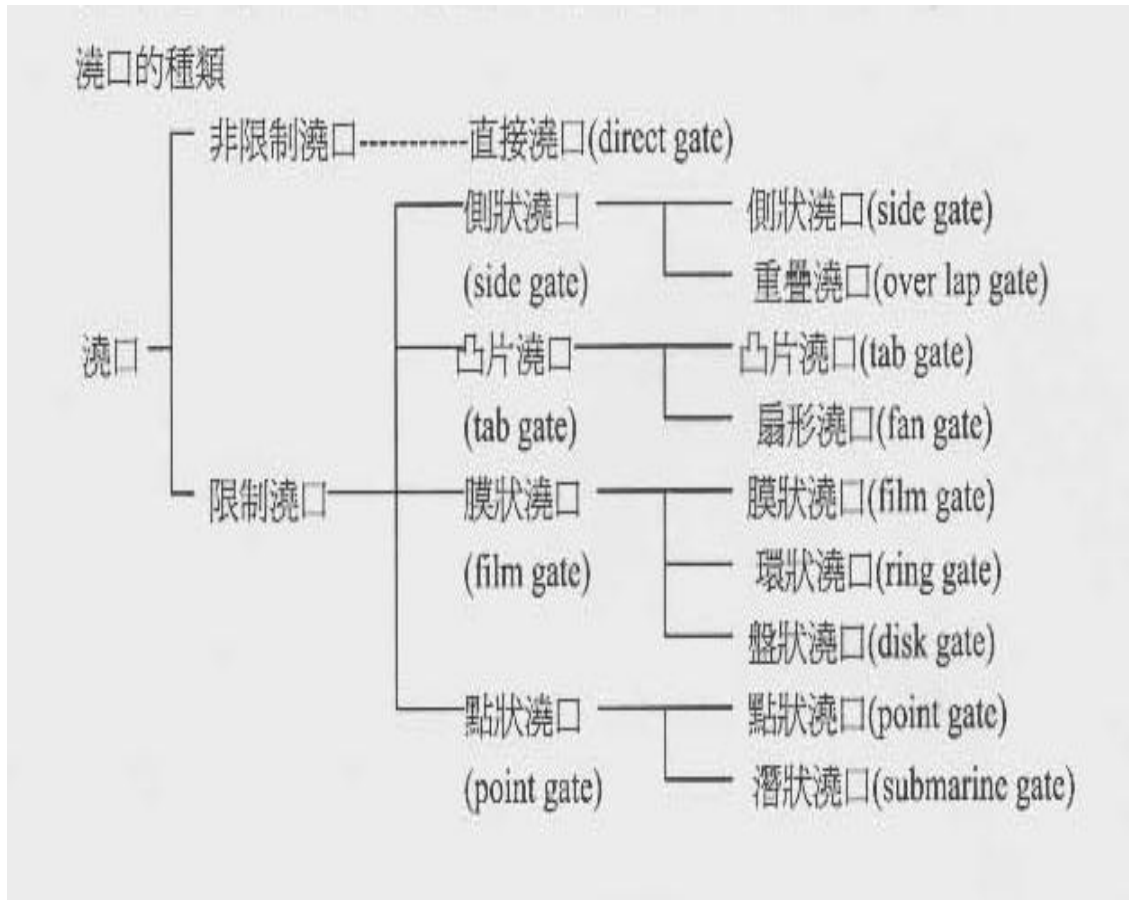


澆口 (gate)

澆口是位於流道與成形空間的小通道，澆口的位置、數量、形狀、尺寸等是否適宜，直接影響到成品的外觀、尺寸精度、物理性質和成形效率。

澆口大小之決定，需成品之重量、成形材料及澆口之形狀而定，在不影響成形品機能及成形效率下，澆口應盡量縮減其長度深及寬度。若澆口過小，則易造成充填不足、收縮下陷、熔合線等外觀上的缺陷，且成形收縮會增大。若澆口過大，則澆口周圍產生過剩的殘留

應力，導致成品變形或破裂。



參考資料：

- (1) 上課筆記
- (2) 實用模具學 張永彥 全華圖書
- (3) 塑膠與塑膠工業 謝俊雄 台北圖書
- (4) 塑膠加工原理 原著：Zohev Tadmor 譯者：孫志雄
- (5) 講義 – 塑膠射出模具設計概論與實務

製作群

組員：B87502142 張曉佳

B87502084 陳宗伯

B87502145 黃運雄