

第五章 保壓與冷卻系統

【進深探討】

你想賺大錢嗎？

想賺大錢，第一步，你絕對需要知道一般射出成型與精密射出成型的關鍵

	一般射出	精密射出
關鍵	充填系統	後充填系統（保壓與冷卻）

我們都知道，只有生產高附加價值的產品，才会有較高的利潤。生產精密的塑膠製品，就是賺大錢的方向，但是想賺大錢大家都會，如何去賺？才是實際的課題！

We can say

『重視保壓與冷卻系統的設計，就是我們賺大錢的實行方法！！』

保壓、冷卻系統決定了產品的尺寸精度與內應力的大小，因此兩系統的相關設計相當重要！

第一章 保壓系統

1-1 前言

你有看過別人吹氣球嗎？

當我們吹氣球時，一口氣吹完要換另一口氣時，必須用力把嘴巴撐住，否則氣球裡面的氣體就會倒灌出來；而換完氣之後，要再把氣球吹大，嘴巴必須更用力，否則無法把氣體灌入氣球之內。

保壓就如同要把氣體再灌入氣球之內，只是把吹入氣體，換成灌入融膠罷了。可是氣球灌不飽，仍舊是氣球；融膠灌不飽，流線型的電腦殼，可就變成廢料啦！！

1-2 保壓系統

包括澆口(gate)形狀、尺寸，冷卻水管

1-3 保壓系統設計目標

均勻且快速收縮

1-4 保壓系統設計工具

- 澆口形狀、尺寸
- 冷卻水管的佈置

1-4-1 澆口的形式

- 點狀 (pin gate)
- 片狀 (edge gate)
- 扇形 (fan gate)
- 環狀 (ring gate)
- 潛式 (submarine gate)

1-5 保壓系統操作參數

1. 保壓壓力

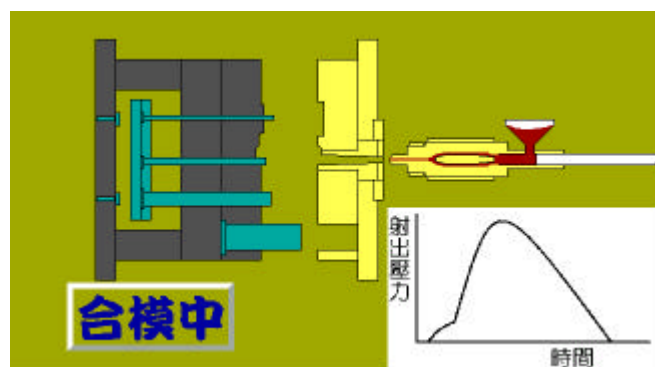
2. 充填保壓轉換點

3. 保壓時間

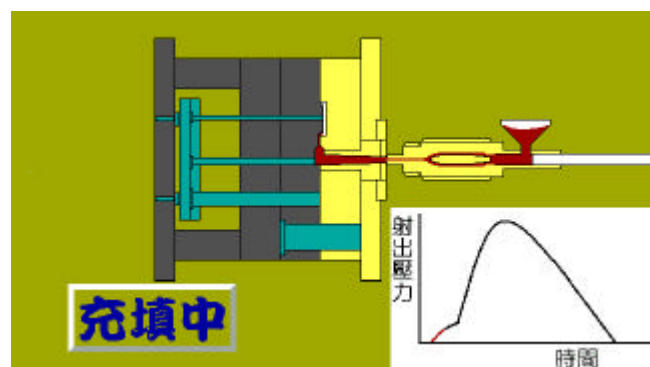
1-6 射出成型流程詳細內容

由於塑膠材料具有重量輕、易成型及大量生產等優點；且塑膠加工成型技術不斷的革新，塑膠製品應用的範圍已由生活用品進展到高精度的產品。在各種不同的塑膠成型技術中，射出成型因具有高生產率及能生產出高精度的三維零件，因此被廣泛的應用。由於應用日廣且要求精度日高，射出成型的研究也受到重視。

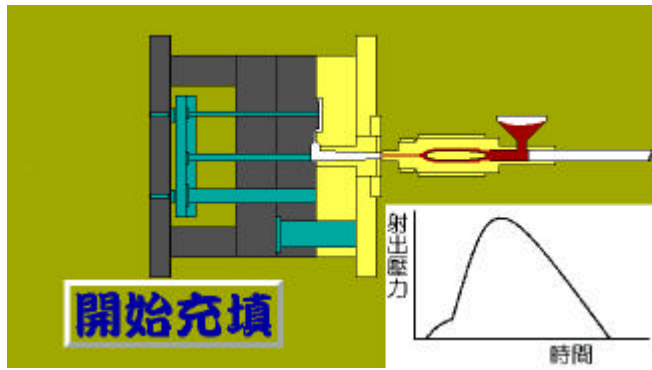
一般射出成型主要可分充填(filling)、保壓(packing)及冷卻(cooling)三階段。當熔融的塑膠由射嘴(nozzle)射出經由澆道(sprue bushing)、流道(runner)、澆口(gate)注入，一直到充滿整個模穴，此過程稱為充填階段。當模穴被填滿後，澆口尚未凝固，再擠膠料進入模穴，以補償因冷卻收縮的量，一直到澆口凝固為止，此過程稱為保壓階段。當澆口凝固之後模穴內已無法再擠進熔膠，模穴內的熔膠溫度逐漸的冷卻而固化，此過程稱為冷卻階段，一般將保壓及冷卻過程稱為後充填階段。三階段中的模穴壓力隨時間變化的曲線圖如下所示。



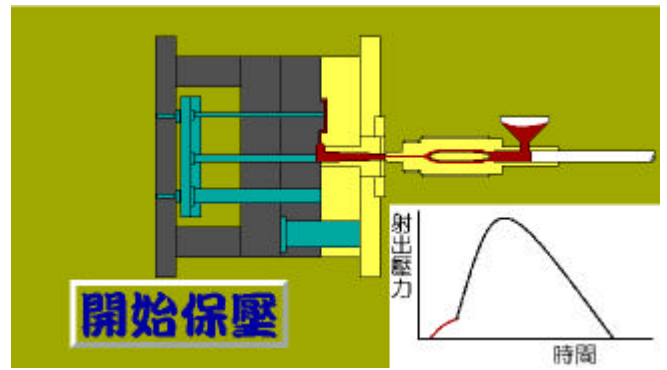
(1)



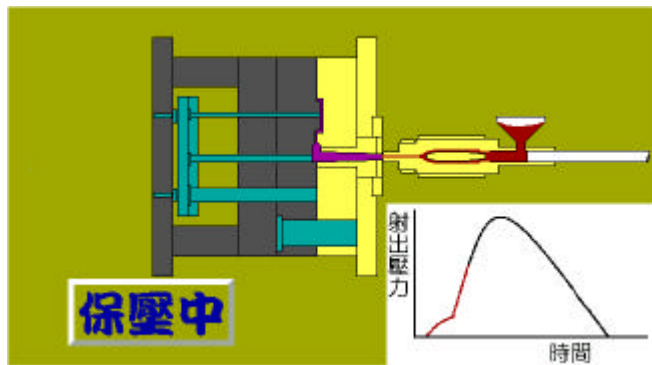
(3)



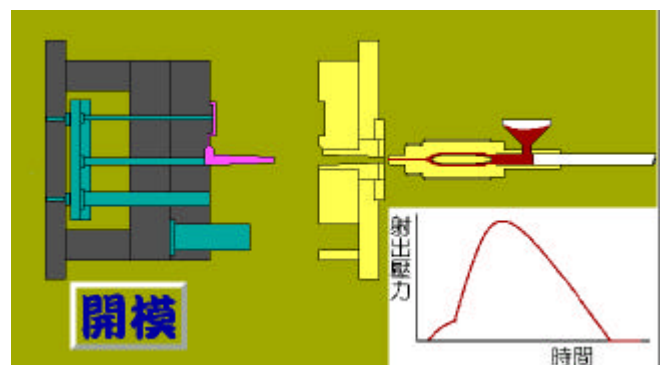
(2)



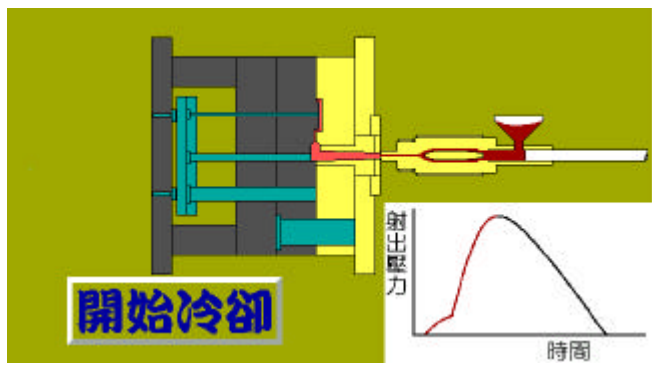
(4)



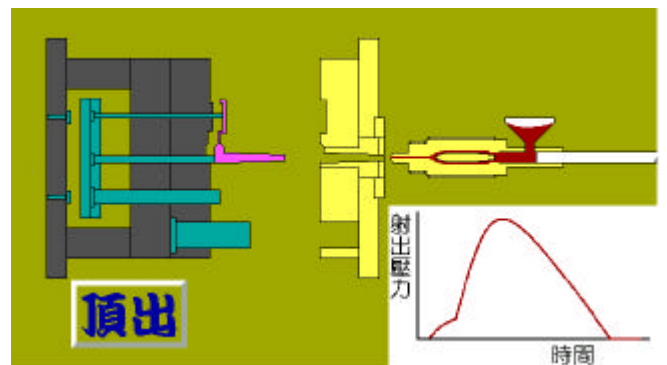
(5)



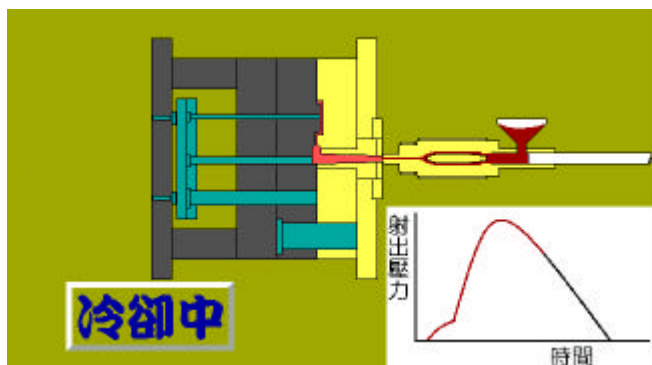
(7)



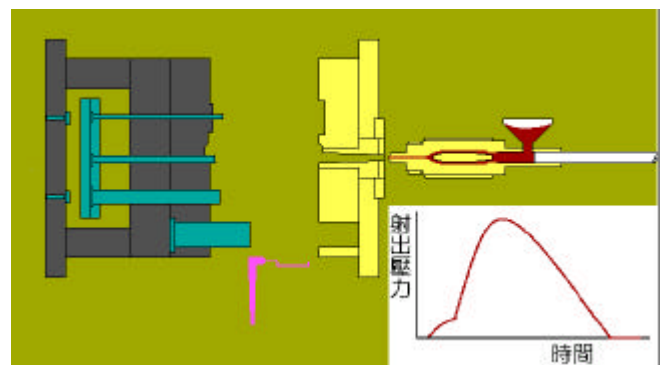
(6)



(9)



(7)



(10)

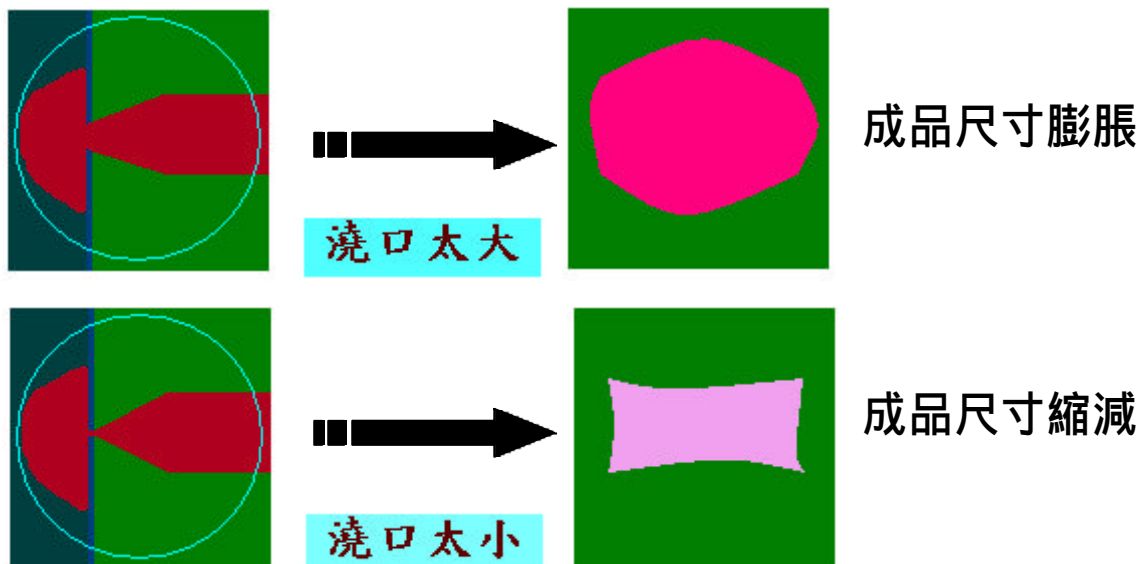
1 - 7 模具性能與保壓設計

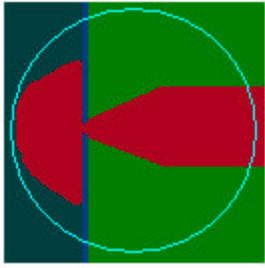
在射出成形中操作的壓力下，塑膠融膠是非常具有可壓性的。所以當活塞向前推進時，筒管中的材料就被壓縮使得在模穴中的流率會比由活塞運動所指示的來得少。一旦活塞變慢時，塑膠就會在壓力下膨脹起來。因此融化時的可壓縮性可以決定模具從充填到保壓時的平順與否。

而當充填完成之後，整個成品的好壞就取決於保壓的良好與否。由於塑膠融膠強烈的可壓縮性質，使的它冷卻開模之後，體積收縮量相對增大。所以再多充飽一點，多塞一點材料進去，就是我們保壓的過程。

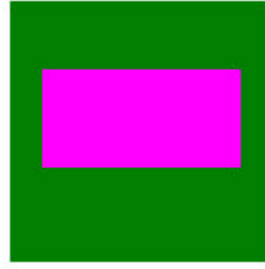
如前言所述，精密射出成型取決於後充填階段，而保壓更是後充填的關鍵，因此，我們從事塑膠射出成型的設計及操作人員，都需要好好瞭解保壓的重要性，及達到良好保壓的關鍵-----澆口尺寸的調整。

● 澆口大小對尺寸之影響





澆口適中



成品尺寸正確

第二章 冷卻系統

2-1 前言

冷卻系統不就是把融膠的熱量帶走嘛！

這可能是一般人的觀念。工廠中的師傅們也都是模具設計完，再橫的豎的鑽出冷卻水道，這不是很容易嗎？

沒錯，這是一位永遠只是次級的模具師傅的想法；也是一家永遠在賺小錢的模具廠的觀念。如果，你想成為擁有專業知識技能的技師；想要賺很多很多的錢，你就不能再存有這種想法，因為你永遠無法製造出精密的塑膠製品。

冷卻系統是後充填中不可或缺的一環，精密射出成型的成功與否，往往只是在小小修改冷卻系統的回路、流量、溫度等等。但是這小小的修改，卻不是隨便東鑽一個洞悉鑽一個洞，能成功達到的。所以，我們的工業要升級，要賺更多錢，你不能不正視『冷卻系統的設計』。

2-2 冷卻系統

冷卻水管為主，模仁材料為輔

2-3 冷卻系統設計目標 快速、均勻收縮

1. 與保壓系統配合，以達所要求之精度
2. 在週期內將射入之融膠熱量帶走

2-4 冷卻系統設計工具

1. 冷卻水道數目配置（3D）
2. 冷卻水道尺寸

3. 其他導熱、對流元件

2-5 冷卻系統設計程序

1. 決定冷卻時間
2. 算冷卻液流量
3. 算水管直徑
4. 配置水管
5. 決定壓力降

2-5-1 模具吸收的熱量

流體在管中流動，通往管壁有熱對流(Heat Convection)的情況。考慮成形模具的溫度調節。流體在管中流動的時候，由於流體以層流(Laminar flow)或紊流(Turbulent flow)流動的情況，其適用公式不同，所以必須明確區分開來。

在共同的條件下，考慮下表做為模式。

射出材料溫度	220	成型週期	30 sec
取出平均溫度	80	樹脂的平均比熱	0.33 kcal/kg
模具溫度	60	1次射出操作重量	60 g

材料為非結晶性，假設保持長程中的熱平衡狀態。

假定流道也包含在內。

此樹脂從 220 冷卻到 80 時，計算被模具取走的熱量 Q，在這裡和模具的重量無關。

$$Q = \frac{\text{重量}}{\text{時間}} \times \text{比熱} \times \text{溫度差} \left[\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times \text{C} \right] = \frac{W}{hr} \times C_p \times \Delta t$$
$$= 0.06 \times \frac{3600}{30} \times 0.33 \times (220 - 80) = 332.64 \text{ kcal/hr}$$

結晶性樹脂的時候，還要加上結晶潛熱。這個公式必須變成下列所示：
以 80 取出時，由於結晶化程度的全部都還未進行，所以計算上要注意。

結晶潛熱的一部分傳給模具的熱量 H_0 kcal/kg

從熱澆道(hot runner)傳給模具的熱量 H_1 kcal/kg

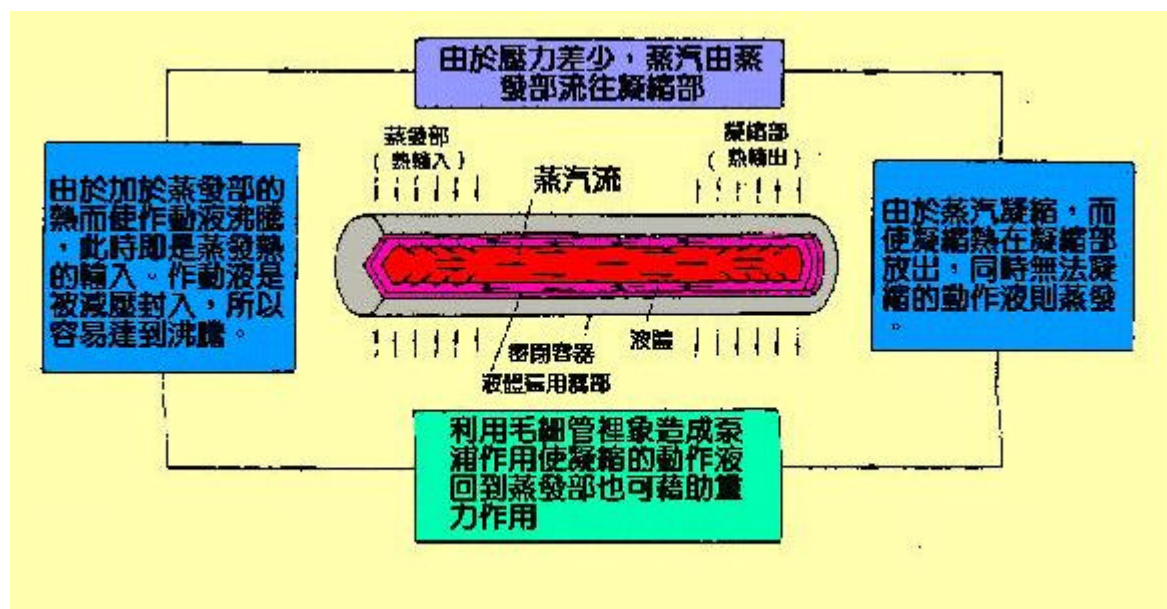
從噴嘴(nozzle)傳給模具的熱量 H_2 kcal/kg

傳到空中、機械的熱量 H_3 kcal/kg

公式將變成：

$$Q = \frac{W}{hr} \times [C_p \times \Delta t + H_0] + H_1 + H_2 - H_3$$

從噴嘴口 (nozzle-touch) 傳來的熱將造成噴嘴的重要溫度亂掉，對於模具也是沒有用處的熱，所以應避免沒有必要的接觸，模具鋼材的反復耐壓強度和圓筒缸的前進力而來的接觸面積加以計算，也應能夠理解越狹窄樹脂越不會漏。



2-5-1-1 亂流的場合

流體通往冷卻孔，其流體的流速、密度、黏度與孔徑之間，下列

的公式成立。這個雷諾數(Re)今後將發揮主要功能。

$$R_e = \frac{dv\rho}{\mu}$$

Re：雷諾數，表示流動混合程度的數字

d：孔的直徑(cm)或(m)

：流速 (cm/sec)或(m/hr)

：流體的密度 (g/cm³)或(kg/m³)

：流體的黏度 (g/m . sec) 或 (kg/m . hr)

此時，讓我們來考量通往冷卻孔的水量和溫度。

Re(雷諾數)在 2,100~10,000 之間是紊流和層流的分界點，首先考量紊流。流體流過管中時，因為黏性黏住管壁使流動困難的一層薄膜會形成。

紊流的時候，管子中央部和壁面部的液體容易混雜在一起，而層流的場合，不容易混雜在一起，所以會形成一層不易流動的薄膜，這個薄膜將大大防礙熱的傳導。模具的場合，這種液體薄膜將形成熱傳導的大障礙。

這種情形的計算，判斷依據就是用 Re。對於空氣、水、油等流體，當

$$10^4 < R_e < 12 \times 10^4$$

$$0.7 < P_r < 120$$

$$L/D \geq 60$$

的時候，下列公式成立：

$$\left(\frac{hd}{\lambda}\right) = 0.025 \left(\frac{dv\rho}{\mu}\right)^{0.8} \left(\frac{C_p \mu}{\lambda}\right)^{0.4}$$

h：界膜傳熱係數，kcal/m² . hr .

C_p : 流體的平均定壓比熱, kcal/kg .

d : 管的內徑, m

V : 流體的平均速度, m/hr

ρ : 流體的平均密度, kg/m³

μ : 流體的平均黏度, kg/m . hr

λ : 流體的熱傳導率, kcal/m . hr .

$\frac{C_p \mu}{\lambda}$: 普蘭德爾數, 表示流體的熱性質

$\frac{hd}{\lambda}$: 努雪魯德數

() 內每一項都沒有單位, 因此 0.8 次方, 單位也不會混亂。如果是水的場合可以簡略成下列帶有單位的式子。在實用上較方便。但只限用在亂流的場合。

$$h = (3210 + 43 \times t) U_s^{0.8} / (d')^{0.2}$$

t : 水的平均溫度,

U_s : 水的流速, m/sec

d' : 管的內徑, cm

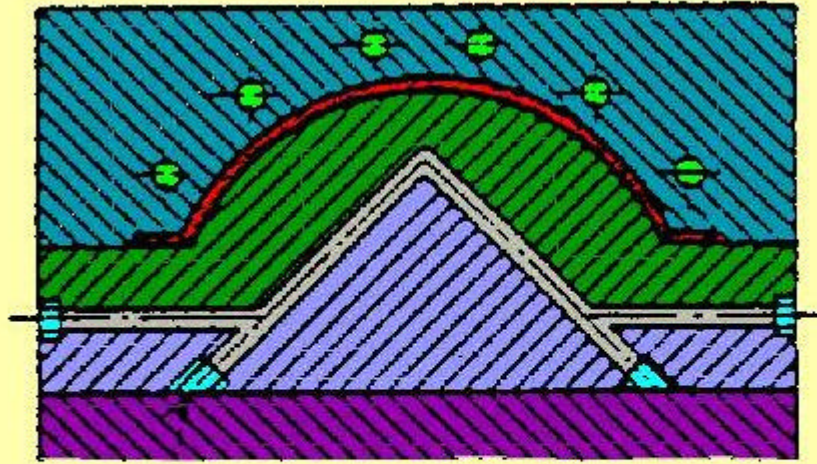
以上式計算之。h 直接以 kcal/m² . hr . 求算。

(單位請不要弄錯)

2-5-2 冷卻水孔的設計步驟

成形工作人應該在模具設計之前, 決定預測成形作業周程、收縮率和模具溫度, 並通知設計人員。另外, 所使用模具調溫器等的媒體、出入口溫度差的限度、流量能力、壓力等等也是必要資料。

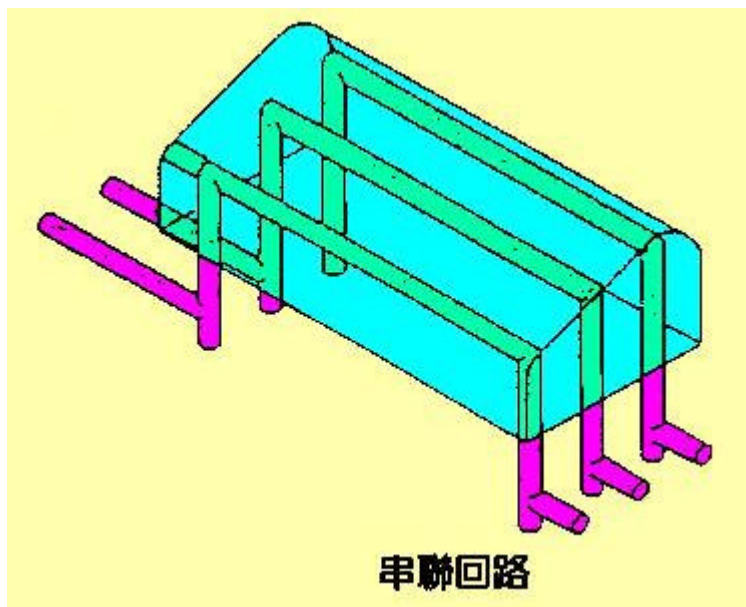
模具設計人員、製作人員將冷卻回路的藍圖, 接讀方法及其設計計算的基礎交給成形人員是最理想。



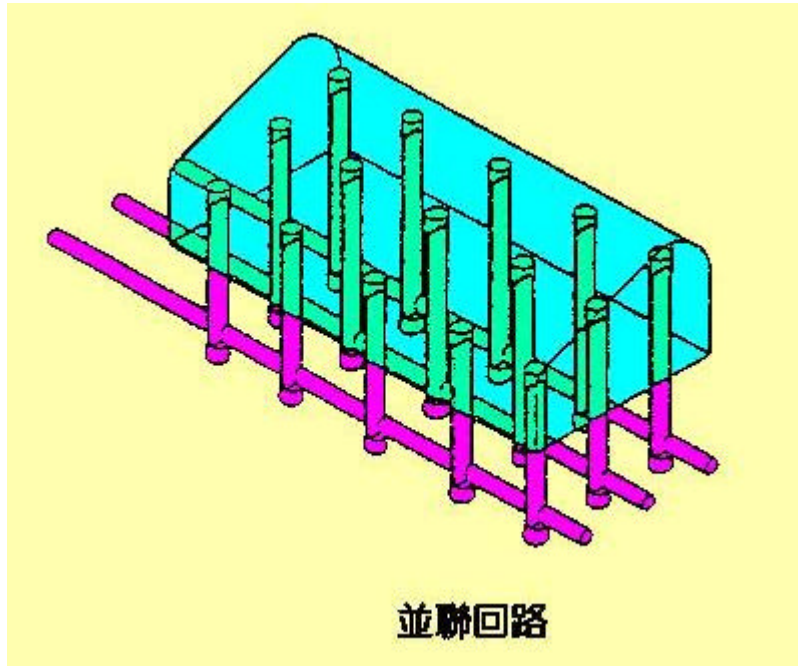
冷卻水用

冷卻水孔與成形品形狀配置圖

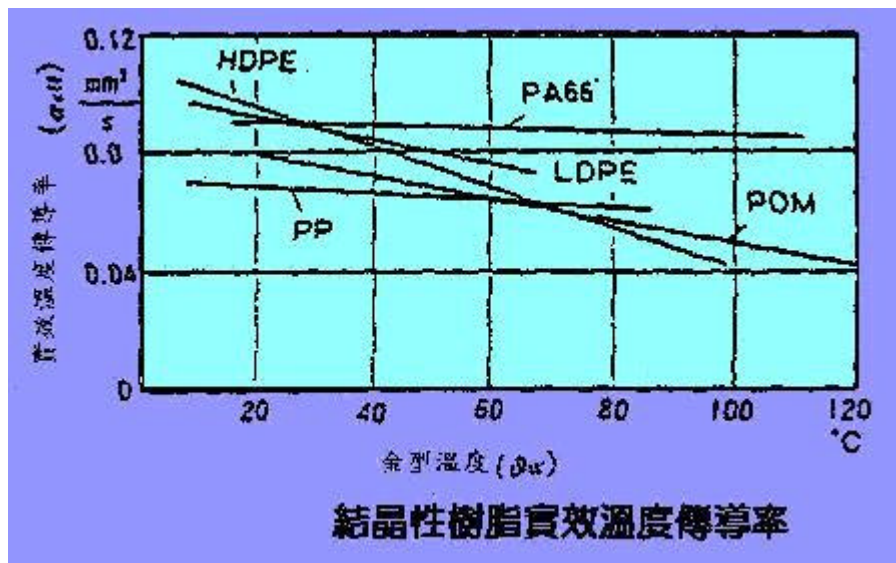
2-5-2-1 冷卻孔的串並聯

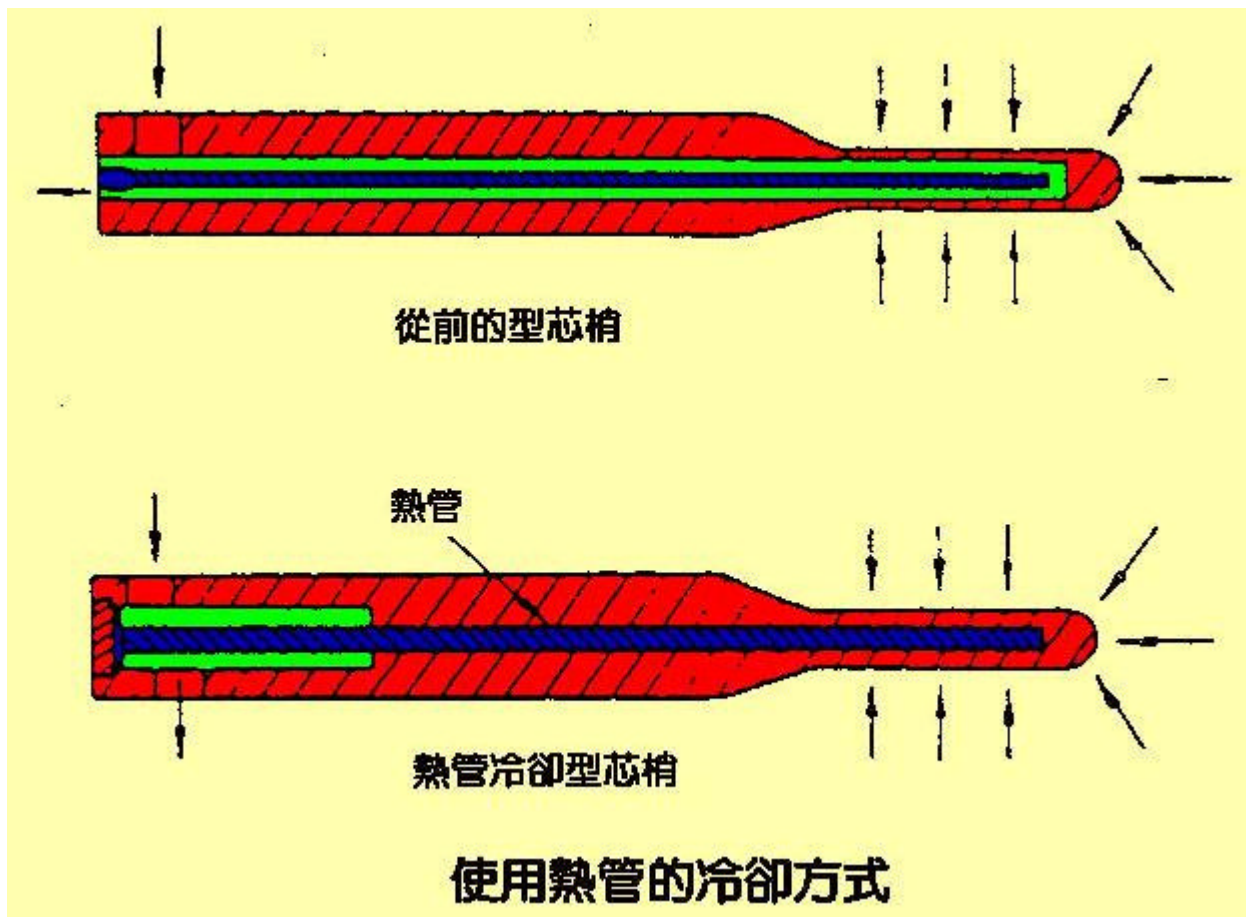
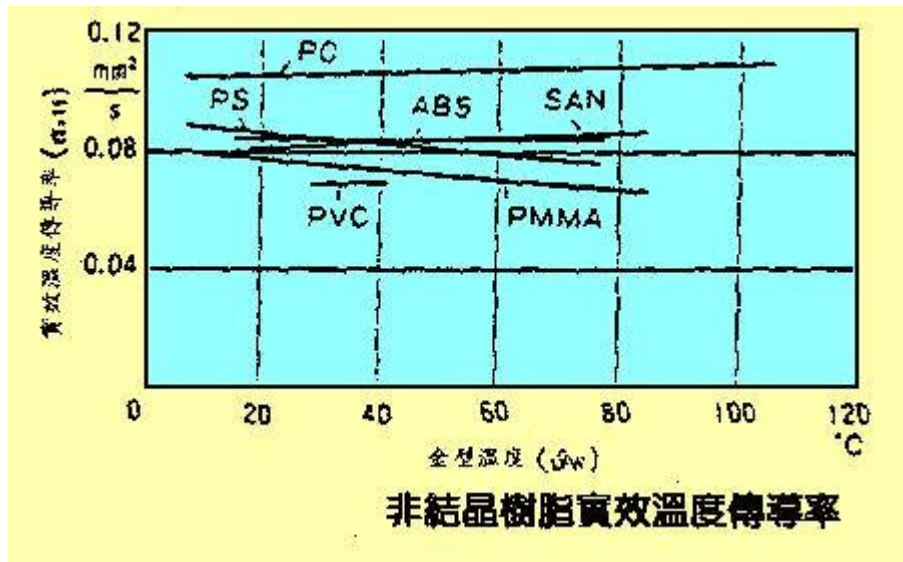


串聯回路



2-5-3 塑膠的熱傳導

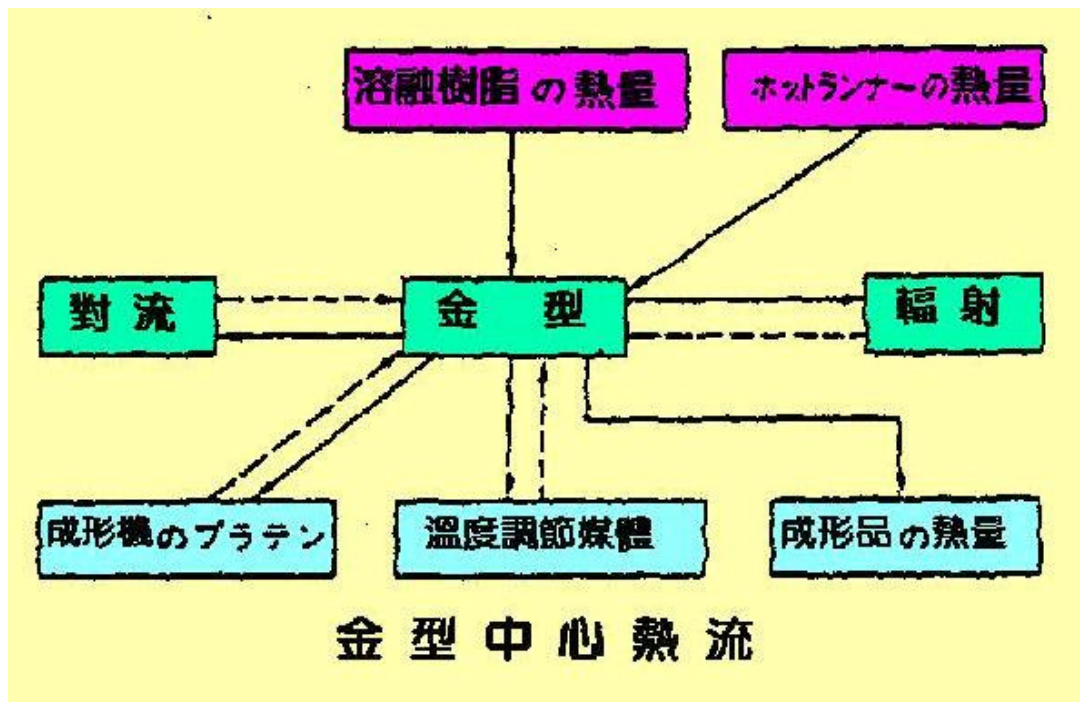




2-6 冷卻系統原理

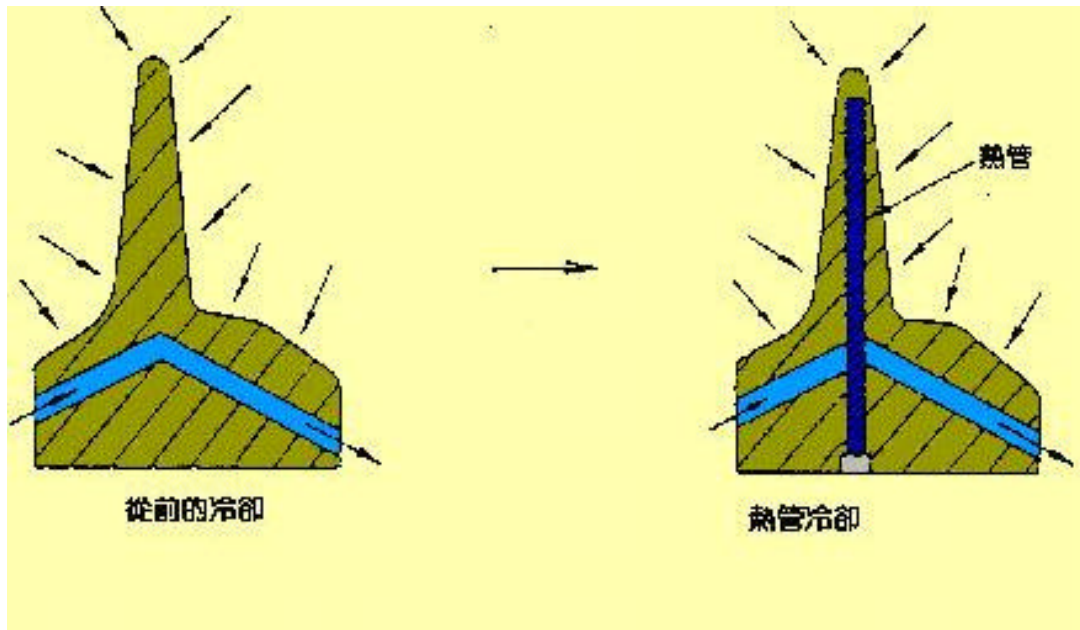
1. 熱傳導
2. 熱對流

3. 熱輻射



2-7 模具性能與冷卻設計

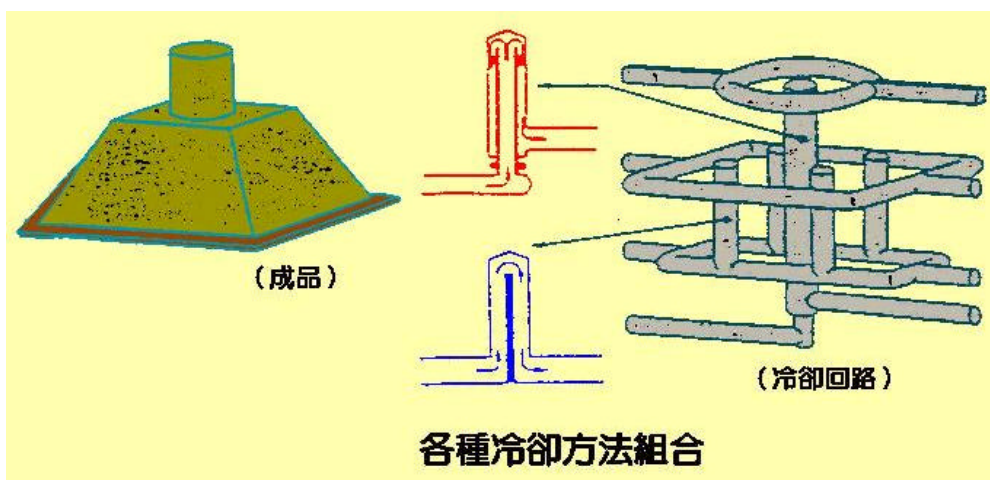
在射出成型的充填及保壓過程中，熔融的膠料藉由高壓擠入模穴內，但待澆口凝固後的冷卻過程中，模穴壓力已無法再進行控制，因此影響模穴內的比容變化，可說是取決於模穴內的溫度。而溫度控制除熔膠溫度之外，最主要是模內溫度，由於射出成型是週期性生產，熱量經熔膠充填時定期輸入，這些熱量需經由模具內所配置的溫度控制系統，利用循環液以熱傳導及熱對流的方式將熱帶走，否則模穴表面溫度會越來越高，如此說來，射出模具基本上也是複雜形狀的熱交換器，而溫度控制系統的配置方式及模仁材料，將在模具的熱交換過程中扮演重要的角色。

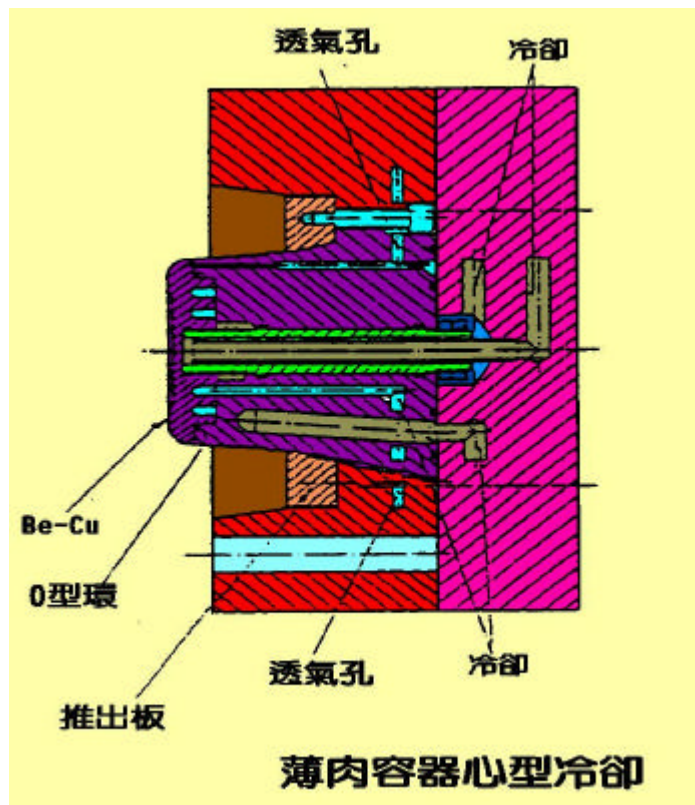
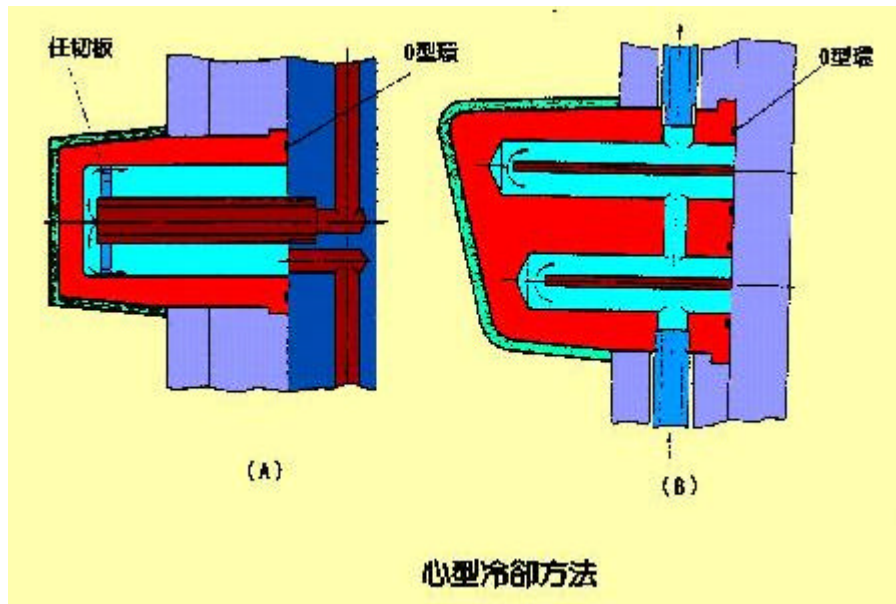


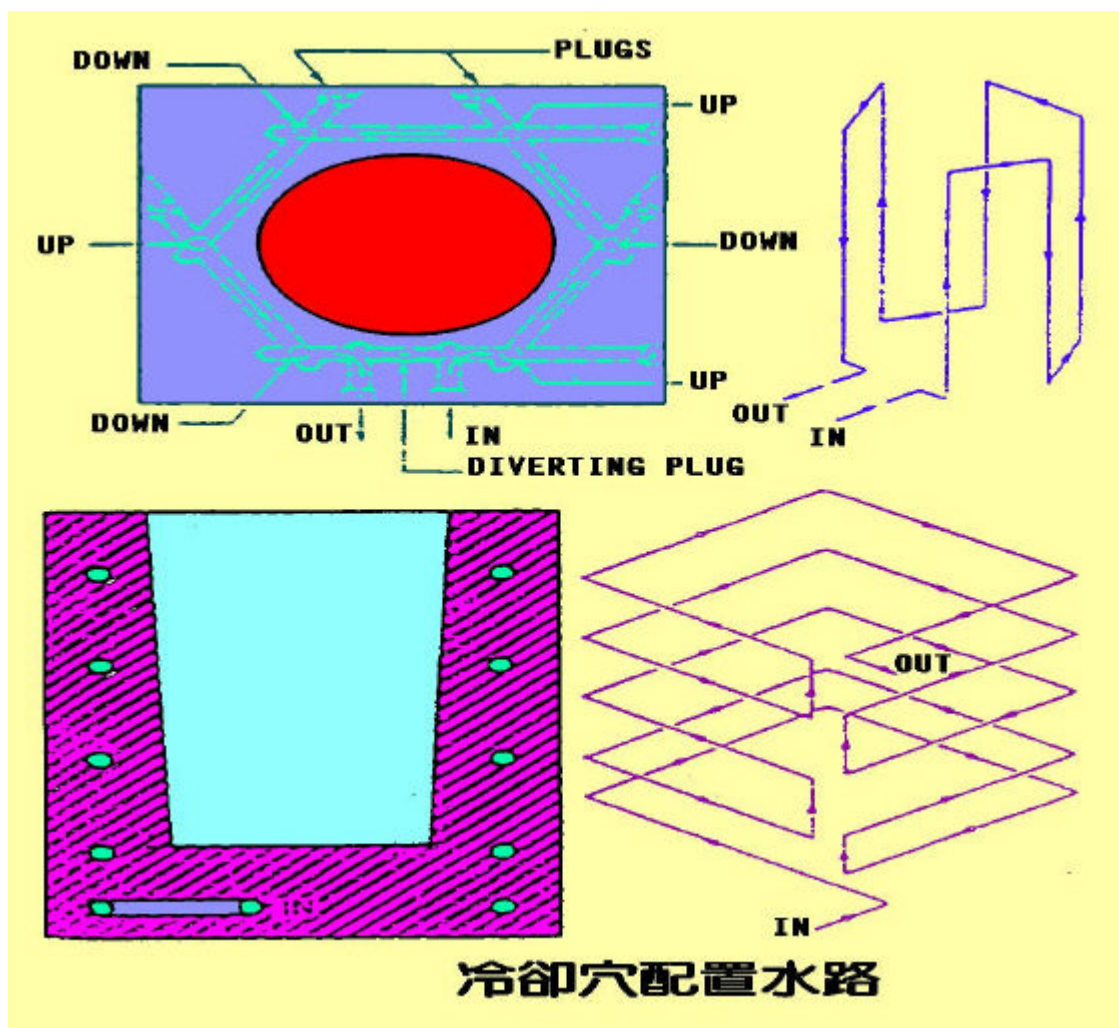
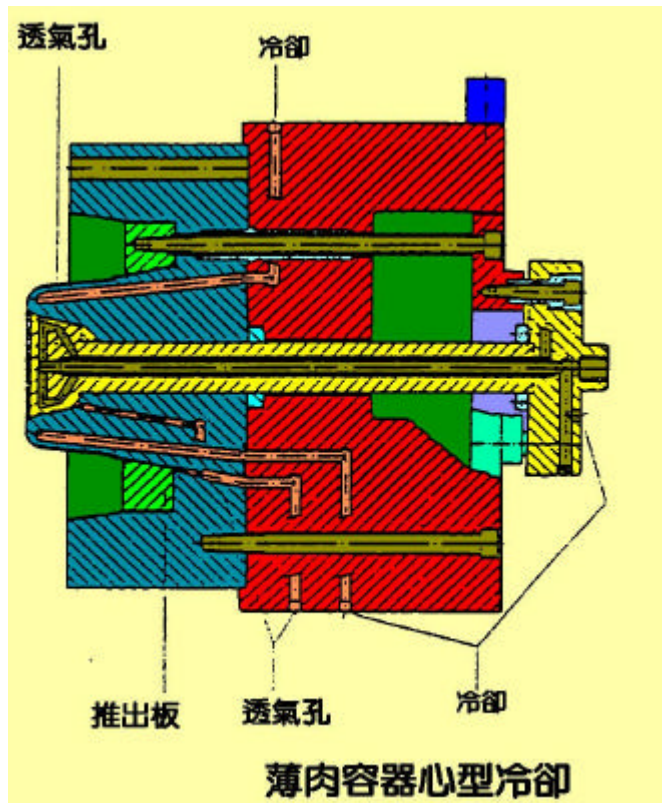
2-8 冷卻系統性能

冷卻系統性能	
一般冷卻	一模多穴冷卻
達到所需精度	達熱平衡所需週期
最短週期生產	對應點最大溫差
最均勻收縮	模溫與冷卻液溫差

2-9 設計實例

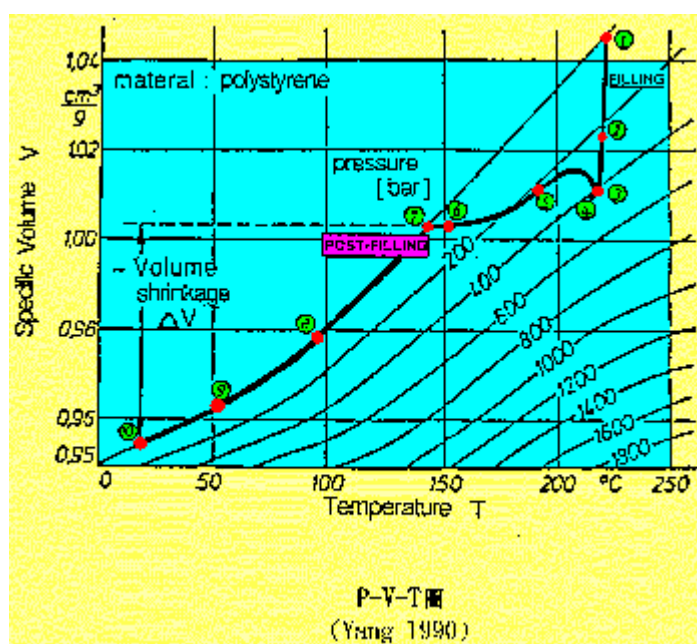






2-10 相關問題與討論

塑膠材料對溫度壓力十分敏感，從融膠保壓、冷卻直到室溫，期間經過熔點、玻璃轉折溫度、分子結構、機械特性、光學性質、比容及壓力等均隨著變化，收縮量因此決定。而且塑膠材料的熱傳導率相較金屬相當低(約只 1/250)，溫度梯度在模具接觸面甚大，而且保壓壓力過大或不足，都極易產生殘留應力。所以，為了生產出精密的成品，我們實在需要多多注意保壓及冷卻系統的設計方法及目的。精密射出成型的關鍵步驟不在充填階段，而在後充填。也就是熔膠在後充填階段所受之壓力與溫度，決定其品質及尺寸精度，下圖是在 P-V-T 圖上熔膠受的熱壓變化。



參考資料

1. 孫志雄 譯，「塑膠加工原理」索書號：466.92 3424
2. 洪瑞庭 編著，「塑膠加工技術與工程」索書號：467.4 3410
3. 張永彥 編著，「實用塑膠模具學」索書號：466.92 1130
4. 岡田清監，「射出成形用金型」索書號：472 7763
5. 實驗室網頁資料：<http://plastic.me.ntu.edu.tw/lab/>

製作群

姓名：羅志謙 R90522702

陳守仁 R90522719

林毓彬 R90522733