

## 第六章 多維變量的射出成型製程優化

### 6.1 引言

在前面的第三章討論了許多射出成型操作條件的參數，例如射出速度(或充填時間)、射出壓力、熔膠溫度、模具溫度、保壓壓力、與冷卻時間等。如何找出產品射出成型最優成型條件，以提高產品的精密度和品質，也就成了需要考慮多維變量的複雜問題。雖然第四章中介紹的 CAE 模流分析技術可被利用來探討各模具設計於製程控制參數的影響程度，但是面對這麼多的變量參數，純用 CAE 模流分析技術來驗證，尋找出最優化參數組合的效率將很低。

本章想要探討的問題是如何從射出成型製程的多維變量中，迅速找出最優化參數組合。最先被考慮的就是利用田口實驗設計法(Taguchi Methods)，來減少嘗試錯誤中學習的次數，希望能在眾多設計參數中驗證各個的影響程度，統計各設計參數的值，儘早找出射出成型中最優產品成型條件。

本章擬繼續使用第四章的無線通訊橋接器外殼為例，利用 CAE 模流分析與實驗設計法來找出最優射出成型製程條件，探討如何調整各產品的設計與射出成型製造參數的關係，以得到最優的產品設計與製程條件。



### 6.2 田口實驗設計法的介紹

1949 年，日本電信實驗室的田口玄一博士在研發通訊系統時，為縮短實驗次數、迅速降低成本、改善品質，而發展出一個實驗設計法。由於這個實驗設計法相當好用、且容易找出最優品質控制的參數，因而廣被應用，世稱田口法(Taguchi Method)[1]。

傳統的實驗設計法為了實驗精確，故常以完全實驗法來進行，一旦當控制因素及各因素的水準值增加，則實驗次數也跟著成倍數增加。田口式實驗設計法規劃以直交表進行，其目的在於以較經濟的方式即可進行部份要因實驗，雖然犧牲了小部份因素間交互影響作用的解析能力，但卻減少許多實驗次數且可達系統最低要求，並且能夠允許某些程度被外界干擾，同時能保持品質穩定性，且又能對各自身的影響性作出合理的分析，並找出最優品質控制的參數。

## 6.3 應用實驗設計法進行參數的優化研究

應用實驗設計法進行參數最優化設定，此分析模式以田口實驗設計法來進行處理，以取得充填時間、模具溫度、塑料溫度的優化製程加工條件，找尋新優化後各組參數製程條件的結果。

本研究最主要的目的，在於射出成型製程條件對於無線通訊產品橋接器(Access Point)外殼，以最少的實驗次數、最經濟的方法、兼具整個計劃的代表性，快速求得最優的射出成型條件組合，可解決射出成型製程所面臨的問題，最終能夠生產出品質優良的射出成型製品；因此品質選擇標準，以射出成型澆注口限制壓力最低（因為射出成型壓力的大、小會影響成品的品質因素如塑料短射、熔接線、翹曲、變形與成品的成型週期等問題）與射出成型件的翹曲、變形量愈小為最優評估的目標值。

### 6.3.1 射出成型品的品質特性與量化標準及優化目標

射出成型品的品質特性及優化目標，為本實驗設計法的品質要求與製程條件優化的目標，利用實驗數據找出射出成型品的製程優、劣條件，進而制定優化製程條件與數據，以判定成品的品質優、劣的標準，而達到實驗的目的。

#### A. 品質特性

射出成型作業時，判定成品的品質特性其優、劣的標準，可分為：收縮/縮水、接合線、表面凹痕、充填不足、成品毛邊、表面流痕、內有氣泡、翹起/變形量等 8 大部份，其說明如下所示：

(1)收縮/縮水：射出成型作業時，塑膠材料經高溫熔化後射入於模穴內，但因成型後塑膠會產生收縮現象，而影響到產品尺寸，此現象的發生，足以影響整個產品生產、組裝及外觀標準，並於組裝作業時會產生干涉以至無法組合。因此收縮、縮水列為品質判斷標準

(2)接合線：熔接線形成可分為兩種，(a)『熱』熔接線，發生於充填過程中，熔接溫度較高，當熱熔接線的熔接角大於 120~150 度時，熱熔接線的痕跡較不明顯；(b)『冷』熔接線，發生於充填即將結束時，熔合溫度較低，熔接線痕跡明顯，其熔接角接近 0 度。原因在於塑料射入於模具內時，因塑料碰上模具表面，與塑料流經孔洞時，經分割後再結合受熱空氣阻擋而產生；因此塑料表面溫度被模具吸收，在模具內的塑膠表面因溫度驟降，其塑膠表面會形成冷料，當塑料被壓力往前推時，遇上製程條件與成品設計不佳，導致模具內的冷塑料通過模具後，塑料形成包覆而隱約出現明顯的接合線，因而引起成型品外觀不良的問題，射出成型壓力若未控制得宜，則容易產生熔接線的問題，塑料流

徑孔洞時經分割後再結合受熱空氣阻擋而產生。

(3)表面凹痕：射出成型件是經過塑膠射出成型的製程，將成型件製造出來的，其射出成型壓力與成型件設計的肉厚與成品結構影響最大；因此成型件的表面凹痕是影響成型件相當重要的製程條件因素，足以影響整個產品生產、組裝及外觀標準，因此射出成型件與成品設計有極密切的關係。其不良原因有：模具膠料不足引致收縮、塑料不足原因，塑品切面厚或厚薄不均勻，入料不足，射出壓力太小，射出時間太短，澆口不對稱，射出速度太慢，塑膠過熱，製品脫模時依然過熱等都會引起。

(4)充填不足：塑料射入於模具內時，因熔料碰上模具冷的表面，因此塑料表面溫度被模具吸收，在模具內的塑膠表面因溫度驟降，因而塑膠表面會形成冷料。當塑料被壓力往前推時，遇上薄件、卡鉤、深長孔、長形肋的成品設計，導致模具內的冷塑料無法通過模具，冷料因而卡在模具內，無法將其它熔膠送入模內，而引起成型品發生短射的問題，射出成型壓力未控制得宜，就容易產生短射的問題。其不良原因有：射出壓力太低，射出量不足，料管溫度低，模溫過低，排氣不良，包風等都會引起。

(5)成品毛邊：因為射出成形的製程條件設定不當，而將射出成型壓力施壓過大，再加上模具本身的密合度不佳，以及模具排氣孔公差過大，導致成型品產生毛邊。若塑料過熱流動性太好，過度保壓成品上會有多餘之膜，此膜即是毛邊。

(6)表面流痕：射出成型件是經過塑膠射出成型的製程，將成型件製造出來的，其射出成型壓力、模具表面溫度、塑料溫度與澆口灌點位置有關。塑料過冷模溫太冷澆口太小，引致塑料在模具內有噴射現象，而射壓過低射速過低使成型品表面呈波紋狀。因為射出成型作業時，塑膠材料經高溫熔化後射入於模穴內，但因模具表面溫度過低，及成型時塑料於產品表面產生流痕的現象，將影響到產品外觀件不良，其產品外觀不良時，會影響到成品件品質要求，故表面流痕是屬外觀問題。

(7)內有氣泡：射出成型件是經過塑膠射出成型的製程，將成型件製造出來的，其射出成型壓力與模具排氣孔設計有關，與塑料溫度與澆口灌點位置有關。因為射出成型作業時，塑膠材料經高溫熔化後射入於模穴內，但因成型後塑料於產品表面及內部產生氣泡的現象，將影響到產品外觀與結構強度不良問題；其產品外觀不良時，會影響到成品件品質要求，故內有氣泡不良，不適用於有外觀件要求的產品應用上。其不良原因有：成型品厚薄不一之情形，易造成厚薄面之固化速度不同，使較厚之部位凹塌形成真空之空洞、塑料本身含水份揮發或添加劑因熱分解，在射入模內因壓力降而形成大量之氣泡等都會引起。

(8)翹起/變形：以成型品翹曲、變形量大小為衡量標準(即 X 方向位移量分佈、Y 方向位移量分佈、Z 方向位移量分佈)等三方向，其總變形量以越小為最優，做為田口品質優化

目標判斷因子(準則)，故為射出成型製程條件的最優化選擇的標準。其不良原因有：塑膠製品於太熱時脫模，塑料太冷，製品切面厚薄不均勻，入料太多，澆口不對稱，模具溫度不均勻等都會引起。

## B. 製程條件量化標準

射出成型製程條件經過實驗後，若實驗結果無法取得量化數值，則無法取得一相對比的判斷標準，所以必須建立一個的評量標準，利用可觀察得到的結果，將之量化成為實驗的結果，其判斷方法如表(6.1)所示：

初步、微調、最終製程條件量化方法說明：

- 收縮、縮水數值  $a$  = 收縮、縮水率(%) / 成型件完成率(100%).
- 接合線數值  $b$  = 接合線長度(mm) / 成型件長度(mm).
- 表面凹痕值  $c$  = 表面凹痕(mm) / 成型件長度(mm).
- 充填不足數值  $d$  = 充填不足率(%) / 成型件充填完成率(100%).
- 成品毛邊數值  $e$  = 成品毛邊(mm) / 成型件長度(mm).
- 表面流痕數值  $f$  = 表面流痕長度(mm) / 成型件長度(mm).
- 內有氣泡數值  $g$  = 由內有氣泡數量多寡來做區分，其數值可分為：(0=沒有；1=少量；2=中量；3=大量).
- 翹起變形 X 軸(-) 數值  $h$  = 變形長度(mm) / 成型件長度(mm).
- 翹起變形 X 軸(+) 數值  $i$  = 變形長度(mm) / 成型件長度(mm).
- 翹起變形 Y 軸(-) 數值  $j$  = 變形長度(mm) / 成型件長度(mm).
- 翹起變形 Y 軸(+) 數值  $k$  = 變形長度(mm) / 成型件長度(mm).
- 翹起變形 Z 軸(-) 數值  $l$  = 變形長度(mm) / 成型件長度(mm).
- 翹起變形 Z 軸(+) 數值  $m$  = 變形長度(mm) / 成型件長度(mm).

故最優製程條件數值計算方式(數值愈小代表愈優(最好))

$$= \{ a + b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m \}$$

= 總合的數值 .

表 6.1 初步、微調、最終製程條件量化標準

項 目	品 質 量 化 標 準
收縮/縮水	收縮、縮水率(%)/成型件完成率(100%)
接合線	接合線長度(mm)/成型件長度(mm)
表面凹痕	表面凹痕(mm)/成型件長度(mm)
充填不足	充填不足率(%)/成型件充填完成率(100%)
成品毛邊	成品毛邊(mm)/成型件長度(mm)
表面流痕	流痕長度(mm)/成型件長度(mm)
內有氣泡	由內有氣泡數量多寡來做區分，其數值可分為： (0=沒有；1=少量；2=中量；3=大量)
翹起變形 X 軸(-)	變形長度(mm)/成型件長度(mm)
翹起變形 X 軸(+)	變形長度(mm)/成型件長度(mm)
翹起變形 Y 軸(-)	變形長度(mm)/成型件長度(mm)
翹起變形 Y 軸(+)	變形長度(mm)/成型件長度(mm)
翹起變形 Z 軸(-)	變形長度(mm)/成型件長度(mm)
翹起變形 Z 軸(+)	變形長度(mm)/成型件長度(mm)

### C. 優化目標

衡量標準以射出成品件的翹曲、變形量愈小值為最優，其分析結果說明，成品設計影響未來射出成型製程加工品質優劣，尤其是成型件的翹曲、變形等因素，並以成型品 X、Y、Z 方向位移量分佈總變形量大小為衡量標準，顯示塑件脫模後，冷卻至室溫常壓下，在三個座標方向的總尺寸變化(位移)，此分佈值與座標系統選擇有關。

例如成型件的翹曲、變形的正值代表在 +x、+y、+z 方向的位移，負值代表在 -x、-y、-z 方向的位移；此位移為總位移，考慮了 P-V-T(壓力/體積/溫度)與模溫的綜合效應；此值為線性收縮率(Linear shrinkage)的度量，也是模具設計時尺寸補償的參考。

### 6.3.2 模擬分析流程

要從射出成型製程的多維變量中迅速找出的優化參數組合，利用田口實驗設計法驗證各參數對品質的影響程度，取得充填時間、模具溫度、塑料溫度各設計參數的值，找尋新優化後的參數製程條件。其分析進行模式分為五階段：

- 一、進行初步的模流分析（flowing/packing/cooling/warping）之後，檢驗參數對成品品質的影響。
- 二、選取流道位置設計、塑膠材料、充填時間、模具溫度、塑料溫度等不同工程因子參數。
- 三、再度進行 CAE 模流分析，來進行分析結果。
- 四、依據初步、微調、最終等成型製程條件(每組各有 8 組)，以不同成型組別，對射出澆注口壓力大小與翹起、變形量愈低來做判別，找出其最優射出成型製程條件。
- 五、應用田口實驗設計法以進行參數最優化分析，(依據其不同工程因子對目標品質的影響，首先以流道位置設計、塑膠材料等為固定因子，再以充填時間、模具溫度、熔膠溫度等為可變因子)。

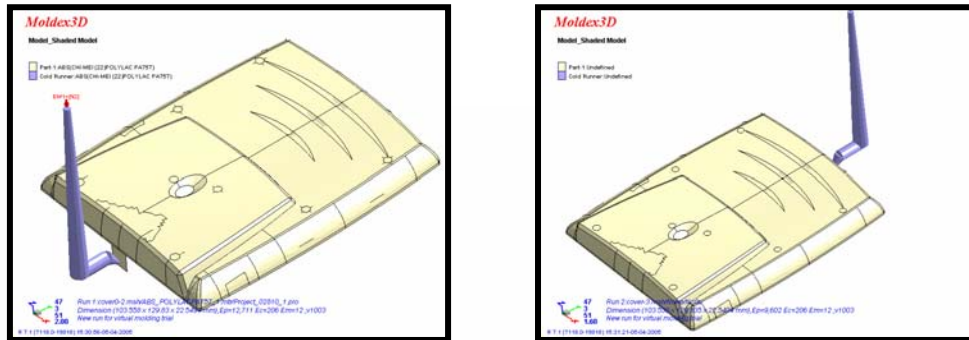
### 6.4 參數設計 (Parameter design)

以初步設計的分析結果，為優化前的製程條件製程參數安排，變異因子設定，本研究選擇以田口實驗計劃組別(L8 (2<sup>7</sup>) 直交表)來進行，如表(6.2) 所示，2 個水準與 5 個因子項目包含：流道設計、塑膠材料、充填時間、熔膠溫度、模具溫度等，找出參數最優化的組別。

表 6.2 田口實驗計劃組別(L8 (2<sup>7</sup>))直交表比值

變數	製程條件控制參數要因				
	流道位置	模具溫度	塑膠材料	充填時間	熔膠溫度
組別	A	E	B	C	D
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1	-1
3	1	-1	-1	1	1
4	1	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	1
6	-1	-1	1	1	-1
7	-1	1	-1	-1	1
8	-1	1	-1	1	-1

(1)流道設計：考量的重點為產品外觀不可有塑料灌點，加上產品結構設計因素，無法從左、右兩側來，因而選定從外殼底端來進行塑膠給料的流道位置設計 A，與從外殼頂端來進行塑膠給料的流道位置設計 B 等，兩種灌膠位置的澆道位置設計，如圖(6.1)所示。



(a) 澆口底端入料

(b) 澆口頂端入料

圖 6.1 塑料充填模具流道位置設計的兩個選擇

(2)塑膠材料：因無線通訊橋接器外殼是需要強度，來保護內部電子主機板與相關電子，以防止被外力損害或由高處摔下，導致損害無法使用。因此塑膠材料選擇用符合上述要求的奇美\ABS\PA757 與 PA746 塑料兩種。

奇美\ABS\PA757 具高剛性、高光澤性、中衝擊強度的特性，常用在電視機前殼、複印機外殼、電話機殼、化妝品盒、輪胎蓋，如表(6.3)所示[2]。奇美\ABS\PA746 的特性具超高衝擊強度，用於安全帽頭盔、摩托車擋版、鞋後跟、雪地運動用品等，如表(6.4)所示[3]。

兩者塑料物性於加工前通常在 80°C 下烘料約 2~3 小時，在射出週期中勿將熱熔膠長期停留在加熱管中，建議模溫為 40~70°C，射出套筒溫度介於 180~230°C 等製程條件下作業。

表 6.3 PA-757 塑料物性表[2]

特性	試驗法	單位	數值
引張強度	ASTM D-638	kg/cm <sup>2</sup>	480
彎曲強度	ASTM D-790	kg/cm <sup>2</sup>	790
IZOD 衝擊強度	ASTM D-256	kg-cm/cm	20
軟化點	ASTM D-1525	°C	105
流動係數	ASTM D-1238	200°C, 5kg	1.8
		g/10min (Cond. G)	

表 6.4 PA-746 塑料物性[3]

特性	試驗法	單位	數值
引張強度	ASTM D-638	kg/cm <sup>2</sup>	385
彎曲強度	ASTM D-790	kg/cm <sup>2</sup>	620
IZOD 衝擊強度	ASTM D-256	kg-cm/cm	41
軟化點	ASTM D-1525	°C	103
流動係數	ASTM D-1238	200°C, 5kg	1.2
		g/10min (Cond. G)	

(3) 充填時間：充填時間快，射出成品容易發生毛邊、收縮、凹陷、翹曲、變形等問題為克服上述品質不良的問題，塑膠射入模具內的充填時間，選用 0.3 sec 與 0.9 sec 等兩種。

(4) 熔膠溫度：因塑膠熔融溫度至少為 220 °C 以上，經實驗分析以塑料溫度控制在 230 °C 與 245 °C 之間來進行射出成型加工，是最優塑料作業溫度；若溫度過低則造成塑膠材料流動性不佳，但溫度過高則造成塑料有燒焦問題，而影響成型件品質。

(5) 模具溫度：控制模具溫度是關係到成品冷卻與表面是否光滑、變形、難脫模等問題，故將溫度控制在 50 °C 與 65 °C 之間來進行射出成型加工，是最優溫度選擇。



## 6.5 製程控制參數組別與模流分析結果

射出成型的控制參數組別與模流分析結果，可區分成 3 階段分別為：初步、微調、最終實驗設計製程條件。將製程條件各項內容評比分析，並選擇製程條件總合最低，為較優製程條件選擇。

因此射出成型製程條件的安排與設定，為解決成品的品質問題，可由射出成型的製程條件來找出問題點的控制因素，其製程條件如流道位置設計、塑膠材料等為『固定因子』；而其它製程條件如充填時間、熔膠的溫度、模具溫度等為『可變因子』。此成型條件為經田口實驗設計法所得到的數值，並經實驗設計法證明，塑膠射出成型最優化製程條件，以射出成型澆注口壓力最低與成型件的翹起、變形量(X 軸、Y 軸、Z 軸)最小值的製程條件值為較優。

實驗前期望所有結果皆能達到觀察成型件翹起、變形量 X、Y、Z 軸最小的情況下，實驗後展現出的結果顯示調整過後，有達到原本需求。以下將實驗結果分為收縮/縮水、接合線、表面凹痕、充填不足、成品毛邊、表面流痕、內有氣泡、翹起/變形量 X、Y、Z 軸等 8 種來詳細討論。

### A. 初步製程條件

依初步實驗設計，第 1 組至第 8 組的製程條件如表(6.5)，分析結果所需澆注口成型射出壓力的排列：第 2 組 (66 Mpa) < 第 5 組 (71 Mpa) < 第 6 組 (78 Mpa) < 第 7 組 (79 Mpa) < 第 1 組 (83 Mpa) < 第 4 組 (82 Mpa) < 第 8 組 (93 Mpa) < 第 3 組 (96 Mpa)。因愈低為較優選擇，所以第 2 組 (65 Mpa) 最好。

以初步塑膠射出成型製程條件，如表(6.6)所示，組別共 8 組為成型條件依據，以不同成型組別，對射出成型壓力比值數據，其射出成型的澆注口壓力愈小，其所得之射出成型製程條件也就愈優化。其詳細說明，如下：流道位置的選擇以選用位置 B 為較優。塑膠材料選擇以選用 PA757 為較優。充填時間選擇選用 0.5 sec 為較優。熔膠溫度選擇以選用 240 °C 為較優。模具溫度選擇以選用 55 °C 為較優。

在此次實驗中，發現各組都沒有接合線、表面凹痕、充填不足、表面流痕、內部氣泡產生。但實驗組別均有少許收縮、縮水的現象，尤其以第 3 組最大、而第 1 組與第 8 組次之，而又大於其他數值相等的各組。在成品毛邊方面，第 3 組最大，第 8 組次之，而又大於其他數值相等的各組。翹起變形量方面，第 2 組的 X 軸(+)、Y 軸(-)、Y 軸(-)、Z 軸(-)、Z 軸(+) 變形量都最小，只有 X 軸(-)、Y 軸(+) 變形量以第 7 組最小。

一般而言，射壓較小有著許多的優點，如所需射壓較小（即鎖模力較小），因此可用較小的機台，即可成到所需的射壓與鎖模力，節省成本亦可延長模具壽命，塑件的殘留應力也較小，獲得較佳的產品品質等。但壓力過小可能帶來負面的影響，如塑件的收縮，翹曲等問題。

由於塑膠射出成型初步製程條件實驗的 8 組數據，未能找出射出成型件最優翹起、變形量(X 軸、Y 軸、Z 軸)最小值的製程條件，所以在接下來的實驗安排與討論，以達到找出最優製程條件為原則。在塑膠射出成型過程中，本實驗需要控制的參數條件有流道位置、塑膠材料、充填時間、熔膠溫度、模具溫度等。經由參數的改變，可以由實驗結果來分析出適當的控制條件，由接下來的微調製程條件安排，繼續找尋較優的製程條件。

表 6.5 初步製程條件控制參數組別與製程數據

變數	製程條件控制參數要因					製程數據
	流道位置	塑膠材料	充填時間 Sec	熔膠溫度 °C	模具溫度 °C	
組別						澆注口 壓力 MPa
1	A	PA757	0.9	245	55	83
2	A	PA757	0.5	240	55	66
3	A	PA746	0.9	245	65	96
4	A	PA746	0.5	240	65	82
5	B	PA757	0.5	245	65	71
6	B	PA757	0.9	240	65	78
7	B	PA746	0.5	245	55	79
8	B	PA746	0.9	240	55	93

表 6.6 初步製程條件分析

項 目	組 別							
	第 1 組	第 2 組	第 3 組	第 4 組	第 5 組	第 6 組	第 7 組	第 8 組
收縮/縮水	0.15	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15
接合線	0	0	0	0	0	0	0	0
表面凹痕	0	0	0	0	0	0	0	0
充填不足	0	0	0	0	0	0	0	0
成品毛邊	0.15	0.10	0.30	0.15	0.15	0.15	0.15	0.25
表面流痕	0	0	0	0	0	0	0	0
內有氣泡	0	0	0	0	0	0	0	0
翹起變形 X 軸(-)	-0.696	-0.611	-0.728	-0.718	-0.665	-0.653	-0.609	-0.648
翹起變形 X 軸(+)	0.685	0.595	0.704	0.706	0.654	0.658	0.597	0.639
翹起變形 Y 軸(-)	-0.861	-0.738	-0.902	-0.902	-0.825	-0.811	-0.743	-0.840
翹起變形 Y 軸(+)	0.730	0.673	0.787	0.758	0.724	0.727	0.672	0.712
翹起變形 Z 軸(-)	-0.529	-0.499	-0.553	-0.519	-0.532	-0.521	-0.513	-0.518
翹起變形 Z 軸(+)	0.182	0.122	0.172	0.154	0.194	0.166	0.217	0.220
總 合	3.983	3.438	4.346	4.007	3.844	3.786	3.601	3.977

## B. 微調製程條件

依微調實驗設計，第 1 組至第 8 組的製程條件如表(6.7)，分析結果所需澆注口成型射出壓力的排列：第 2 組 (65 Mpa) < 第 5 組 (70 Mpa) < 第 6 組 (78 Mpa) < 第 7 組 (79 Mpa) < 第 1 組 (80 Mpa) < 第 4 組 (81 Mpa) < 第 8 組 (90 Mpa) < 第 3 組 (95 Mpa)。因愈低為較優選擇，所以第 2 組 (65 Mpa) 最好。

以微調塑膠射出成型製程條件，如表(6.8)所示，組別共 8 組為成型條件依據，以不同成型組別，對射出成型壓力比值數據，其射出成型的澆注口限制壓力愈小，其所得之射出成型製程條件也就愈優化。其詳細說明，如下：流道位置的選擇以選用位置 B 為較優。塑膠材料選擇以選用 PA757 為較優。充填時間選擇選用 0.5 sec 為較優。熔膠溫度選擇以選用 240 °C 為較優。模具溫度選擇以選用 55 °C 為較優。

在此次實驗中，發現各組都沒有接合線、表面凹痕、充填不足、表面流痕、內部氣泡產生。但實驗組別均有少許收縮、縮水的現象，尤其以第 3 組最大、而第 1 組與第 8 組次之，而又大於其他數值相等的各組。在成品毛邊方面，第 3 組最大，第 8 組次之，

而第 1 組與第 4 組及第 6 組又次之，第 2 組與第 5 組及第 7 組則最小。翹起變形量方面，第 2 組的 X 軸(-)、X 軸(+)、Y 軸(-)、Z 軸(-)、Z 軸(+)  
變形量都最小，只有 Y 軸(+)  
變形量以第 7 組最小。

由於塑膠射出成型微調製程條件實驗的 8 組數據，未能找出射出成型件最優翹起、變形量(X 軸、Y 軸、Z 軸)最小值的製程條件，所以在接下來的實驗安排與討論，以達到找出較優製程條件為原則。

在塑膠射出成型過程中，本實驗需要控制的參數條件有流道位置、塑膠材料、充填時間、熔膠溫度、模具溫度等。經由參數的改變，可以由實驗結果來分析出適當的控制條件，由接下來的最終製程條件安排，找到較優的製程條件。

表 6.7 微調製程條件控制參數組別與製程數據

變數	製程條件控制參數要因					製程數據
	流道位置	塑膠材料	充填時間 Sec	熔膠溫度 °C	模具溫度 °C	澆注口壓力 MPa
組別						
1	A	PA757	0.3	230	55	80
2	A	PA757	0.5	240	55	65
3	A	PA746	0.3	230	50	95
4	A	PA746	0.5	240	50	81
5	B	PA757	0.5	230	50	70
6	B	PA757	0.3	240	50	78
7	B	PA746	0.5	230	55	79
8	B	PA746	0.3	240	55	90

表 6.8 微調製程條件分析

項 目	組 別							
	第 1 組	第 2 組	第 3 組	第 4 組	第 5 組	第 6 組	第 7 組	第 8 組
收縮、縮水	0.15	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15
接合線	0	0	0	0	0	0	0	0
表面凹痕	0	0	0	0	0	0	0	0
充填不足	0	0	0	0	0	0	0	0
成品毛邊	0.15	0.10	0.25	0.15	0.10	0.15	0.10	0.2
表面流痕	0	0	0	0	0	0	0	0
內有氣泡	0	0	0	0	0	0	0	0
翹起變形 X 軸( - )	-0.695	-0.594	-0.721	-0.713	-0.662	-0.655	-0.607	-0.646
翹起變形 X 軸( + )	0.680	0.589	0.709	0.702	0.653	0.648	0.599	0.640
翹起變形 Y 軸( - )	-0.865	-0.736	-0.907	-0.900	-0.828	-0.810	-0.747	-0.800
翹起變形 Y 軸( + )	0.733	0.678	0.783	0.756	0.717	0.707	0.672	0.701
翹起變形 Z 軸( - )	-0.532	-0.498	-0.546	-0.517	-0.532	-0.521	-0.501	-0.513
翹起變形 Z 軸( + )	0.187	0.116	0.167	0.152	0.194	0.166	0.214	0.170
總 合	3.992	3.411	4.283	3.990	3.714	3.757	3.540	3.820

### C. 最終製程條件

依最終實驗設計，第 1 組至第 8 組的製程條件如表(6.9)，分析結果所需澆注口成型射出壓力的排列：第 2 組 (63 Mpa) < 第 5 組 (69 Mpa) < 第 6 組 (77 Mpa) < 第 1、7 組 (78 Mpa) < 第 4 組 (81 Mpa) < 第 8 組 (89 Mpa) < 第 3 組 (94 Mpa)。因愈低為較優選擇，所以第 2 組 (63 Mpa) 最好。

以最終塑膠射出成型製程條件，如表(6.10)所示，組別共 8 組為成型條件依據，以不同成型組別，對射出成型壓力比值數據，其射出成型的澆注口限制壓力愈小，其所得之射出成型製程條件也就愈優化。其詳細說明，如下：

流道位置的選擇以選用位置 B 為較優。塑膠材料選擇以選用 PA757 為較優。充填時間選擇選用 0.5 sec 為較優。熔膠溫度選擇以選用 240 °C 為較優。模具溫度選擇以選用 55 °C 為較優。

在此次實驗中，發現各組都沒有接合線、表面凹痕、充填不足、表面流痕、內部氣泡產生。但實驗組別均有少許收縮、縮水的現象，尤其以第3組、第8組相同，而大於其他數值相等的各組。在成品毛邊方面，第3組最大，第4組與第8組次之，第1組、第6組及第7組又次之，第2組與第5組則最小。翹起變形量方面，第2組的X軸(-)、X軸(+)、Y軸(-)、Z軸(-)、Z軸(+)變形量都最小，只有Y軸(+)變形量以第7組最小。

由於塑膠射出成型最終製程條件實驗的8組數據，能找出射出成型澆注口限制壓力最低與成型件翹起、變形量(X軸、Y軸、Z軸)最小值的製程條件，在塑膠射出成型過程中，本實驗需要控制的參數條件有流道位置、塑膠材料、充填時間、熔膠溫度、模具溫度、澆口成型壓力等。

經由參數的改變，可以由實驗結果來分析出適當的控制條件，因而最終製程條件安排，可找尋到最優的製程條件。

表 6.9 最終製程條件控制參數組別與製程數據

變數 組別	製程條件控制參數要因					製程數據
	流道位置	塑膠材料	充填時間 Sec	熔膠溫度 °C	模具溫度 °C	澆注口 壓力 MPa
1	A	PA757	0.7	235	55	78
2	A	PA757	0.5	240	55	63
3	A	PA746	0.7	235	60	94
4	A	PA746	0.5	240	60	81
5	B	PA757	0.5	235	60	69
6	B	PA757	0.7	240	60	77
7	B	PA746	0.5	235	55	78
8	B	PA746	0.7	240	55	89

表 6.10 最終製程條件分析

項 目	組 別							
	第 1 組	第 2 組	第 3 組	第 4 組	第 5 組	第 6 組	第 7 組	第 8 組
收縮、縮水	0.10	0.10	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15
接合線	0	0	0	0	0	0	0	0
表面凹痕	0	0	0	0	0	0	0	0
充填不足	0	0	0	0	0	0	0	0
成品毛邊	0.10	0.05	0.20	0.15	0.05	0.10	0.10	0.15
表面流痕	0	0	0	0	0	0	0	0
內有氣泡	0	0	0	0	0	0	0	0
翹起變形 X 軸( - )	-0.695	-0.594	-0.721	-0.713	-0.662	-0.655	-0.607	-0.646
翹起變形 X 軸( + )	0.680	0.589	0.709	0.702	0.653	0.648	0.599	0.640
翹起變形 Y 軸( - )	-0.865	-0.733	-0.907	-0.900	-0.828	-0.810	-0.747	-0.800
翹起變形 Y 軸( + )	0.733	0.659	0.783	0.756	0.717	0.707	0.669	0.701
翹起變形 Z 軸( - )	-0.532	-0.498	-0.546	-0.517	-0.532	-0.521	-0.501	-0.513
翹起變形 Z 軸( + )	0.187	0.107	0.167	0.152	0.194	0.166	0.214	0.170
總 合	3.892	3.330	4.183	3.990	3.736	3.707	3.537	3.770

## 6.6 最終(優)製程參數與分析結果的討論

以塑膠射出成型製程條件，分為三階段(初步、微調、最終)不同成型組別，其組別各分為 8 組為成型條件的依據，對射出成型的總合數據的比值，其最終(優)製程參數與分析結果的討論。

### A. 最終(優)製程參數

判定最終製程條件的標準最優化組別，以『射出成型澆注口壓力最低』與『成型件的翹曲、變形量(X 軸、Y 軸、Z 軸)最小值』為最好，依據上述分析可得最優及最差成型條件組合，其製程條件說明如下：

以最終製程條件組別第二組為『最優』成型條件。使用塑膠材料為奇美\ABS\PA757，當熔膠溫度設定於 238 °C，選用模具流道位置 A，充填時間設定為 0.5 sec，控制模具成型溫度為 55 °C 時，所需射出成型澆注口限制壓力為 63 Mpa，其成型品翹曲、變形量

最小(即 X 方向、Y 方向、Z 方向位移量分佈總變形量大小為衡量標準)。

以最終製程條件組別第三組為『最差』成型條件。使用塑膠材料為奇美\ABS\PA746，當熔膠溫度設定於 235 °C，選用模具流道位置 A，充填時間設定為 0.7 sec，控制模具成型溫度為 60 °C 時，所需射出成型澆注口限制壓力為 94 Mpa，其成型品翹曲、變形量最大(即 X 方向、Y 方向、Z 方向位移量分佈總變形量大小為衡量標準)。

## B. 最終(優)製程參數分析

由塑膠射出成型最終製程條件數據，可得到『最優組別』與『最差組別』兩組，如表(6.10)所示。並依據上述分析可得最優及最差成型條件組合，經比對最優及最差成型條件後，得到下列結論：

由上述實驗數據與分析說明後可得下列重點：其充填時間、塑料熔膠溫度、模具溫度等為主要製程關鍵條件；而模具流道位置、塑膠材料等，影響成型件品質並不明顯。

- (1)經相互交差比對後發現，此製程條件：模具流道位置 A，(兩者模具流道位置相同，不足以影響射出成型製程作業，為非主要關鍵整個製程條件的要因)。
- (2)塑膠材料使用奇美\ABS\PA757 與 PA746 等兩種，兩者塑膠材料不相同，足以影響射出成型製程作業，為主要關鍵整個製程條件的要因)。
- (3)充填時間 (0.5 sec) 與 (0.7 sec)，(兩者充填時間為 0.5 sec - 0.7 sec = - 0.2 sec (即為延長充填時間)，其充填時間對整個射出成型製程作業，並不會受到影響。
- (4)塑料熔膠溫度 (235 °C) 與 (240 °C) 等兩種，(兩者熔膠溫度相差 235 °C - 240 °C = - 5 °C (此增加熔膠溫度 5 °C，足以影響射出成型製程作業，為主要關鍵整個製程條件的要因)。
- (5)模具溫度 (55 °C) 與 (60 °C)，(兩者模具成型溫度 55 °C - 60 °C = - 5 °C (即增加 5 °C)，但模具成型溫度對整個射出成型製程作業，並不會受到影響。故充填速度因此降低(即延長時間)與增加模具成型溫度(即增加 5 °C)等製程條件影響並不明顯。
- (6)澆注口成型壓力最低壓為 63 Mpa 與最高壓 94 Mpa，而兩者成型壓力相差：31 MPA (最高壓 94 Mpa - 最低壓為 63 Mpa = 31 Mpa )，此成型壓力差對整個射出成型製程作業，與成型件品質優、劣影響度最大的製程控制因素。

由上述實驗數據與分析說明後可得下列重點：其充填時間、塑料熔膠溫度、模具溫度等為主要製程關鍵條件；而模具流道位置、塑膠材料等，影響成型件品質並不明顯。



## C. 分析結果的結論

經比對利用這三種射出成型製程作業的方法，包括了初步與微調及最終製程條件分析結後，發現如下：

- 射出成型品質與製程條件有非常大的相關連性。
- 射出成型製程條件以流道位置、塑膠材料、充填時間、熔膠溫度與模具溫度等為最主要製程條件控制因子。
- 本實驗製程條件中製程條件當被限制時，如流道位置：『A』、『B』與塑膠材料：『奇美/ABS / PA757』、『奇美/ABS / PA746』時，其餘充填時間、熔膠溫度、模具溫度、澆注口壓力等為最主要製程條件控制因子，影響製程控制因子最直接。
- 塑膠射出成型其澆注口成型壓力大小，會最直接關係到成型件品質優、劣等因素。
- 塑膠射出成型製程中，以澆注口壓力大小與充填時間、熔膠溫度、模具溫度等為最直接影響主要製程條件控制因子。
- 成型製程條件中，其充填時間、熔膠溫度、模具溫度等與設定的溫度高低影響最大。
- 充填時間快慢與熔膠溫度及澆注口壓力影響最大。
- 塑料熔膠溫度與澆注口成型壓力影響最大。
- 成型品質的優、劣，以射出成型壓力影響最大，其成型件產生內應力也就愈大。

## 6.7 結語

由以上的實驗方法來進行塑膠射出成型製程作業，其製程新優化各組參數的結果，以成型件射出成型製造加工條件，選擇製程參數的優化，以愈容易成型為主。以不同射出成型製程條件組別，來進行射出成型製程條件的觀察，故射出成型製程條件，以簡單且愈容易成型為首選(最好)，其製程條件也就最優。

故成型製造加工條件，以所需澆注口限制壓力最低與成型品翹曲、變形量最小值做為品質衡量標準，可作為判斷因子(準則)。現今塑膠射出成型製造技術與成品設計，已經相互結合並能形成一體，能有效率地提升製程的效益，以極短的時間找出製程最優化條件，以再現性良好的生產條件達到最好的品質。