

# 精密塑膠射出成型最佳參數之數學理論

葉清民

## 摘 要

本研究所呈現的內容為針對薄板塑膠材料在射出成型過程中，設計各影響因子使產品得到最小的翹曲量。在射出成型中，許多影響因子會導致產品產生缺失如流痕、收縮、內應力和翹曲等，然而，在射出成型條件設計中，減少翹曲量的產生是最重要的部分。在本研究中係採用修正牛頓-拉普拉森法的理論方式( modified Newton-Raphson )，應用在射出成型條件中，尋找最佳的射出成型條件使產品所產生的翹曲量為最小。在設計成型條件的過程中，考慮的範圍包含了流體力學、熱傳導問題和熱應力方面，設計的參數有保壓時間、保壓壓力、熔澆溫度、模具溫度和冷卻溫度等五項因子。本研究所提出的數值分析結果也將與利用田口式的實驗方法結果做比較，發現本研究的方法在尋找最佳成型條件的部分比利用田口式的方法較為快速，在翹曲量分析的部分也可得到較小的翹曲量。

## 目 次

- 一、前言
- 二、模型建立與實驗方法
- 三、結果與討論
- 四、結論
- 五、參考文獻

關鍵詞：修正拉普拉森法、射出成型、翹曲量

## 一、前 言

塑膠材料在工業上使用種類繁多且用途廣泛，主要是其具備了許多良好的性質如質量輕、耐蝕性高、成本低、易於加工成型和機械強度高等特性，因而普遍應用在各種工業的產品中。塑膠加工成型的方式依各種產品的需求而有所不同，而在工業上最常使用的加工方式以射出成型法為主，因為此加工方式適合於大量生產、形狀較複雜、尺寸精準且價格較低的產品，在製程方面可完全自動化操作。隨著科技的進步，各種產品都朝向精緻、微薄的目標發展，也就是朝向高精密產品研發，而在這個過程中，各種製程的技術就變的相當重要，過去傳統射出成型加工條件的選擇，都依賴實務人員過去的經驗，以多次嘗試中，改善模具設計和加工條件，這種方式不但費時費力，且需有技術的累積和傳承。由於模流分析技術至今已發展完善，大多研發人員都會先以模流分析軟體，模擬塑膠在模具內流動情形，在這分析當中，可影響的變數相當多，不一樣的塑膠材料有不同的熔融溫度、冷卻水溫和射出成型機射出成型條件設定的不同，也有不同的影響。因此，如何利用模流分析軟體在這些成型條件中，以最短的時間，得到最佳的各項參數，以減少研發的時間與成本，實為射出成型技術昇級刻不容緩的關鍵所在。

## 二、模型建立與實驗方法

### 1.1 模型的建立

本研究的目的是為了能預先了解在射出成型中，產品所產生的翹曲量和其他性質，為了能讓分析更為仔細以具有良好的光學性質 PMMA Asahi chem. 80N 為分析的塑料，基本的物理性質如表 1 所示，其中較為重要的性質為材料的融膠溫度區間介於 250°C~270°C 之間，因此，在射出成型中射出的溫度必須控制在此範圍內。

本研究所建立的分析模型為長 54.7mm，寬 72.5mm，厚度是由 0.5 漸縮至 0.2mm，如圖 1 所示為成型品的尺寸圖，圖 2 所示為模型經由電腦網格分後，共產生 620 個點進行分析模擬。冷卻部分選用純水為冷卻劑，冷卻水路為分佈在模型兩側，相關位置如圖 3 所示。

比熱, $C_p(J/kg \cdot k)$	1470
彈性模數, $E(MPa)$	$2.9 \times 10$
蒲松比, $\nu$	0.4
融膠溫度, ( $^{\circ}C$ )	250~270
模具溫度, ( $^{\circ}C$ )	60~90

表 1: PMMA 的物理性質

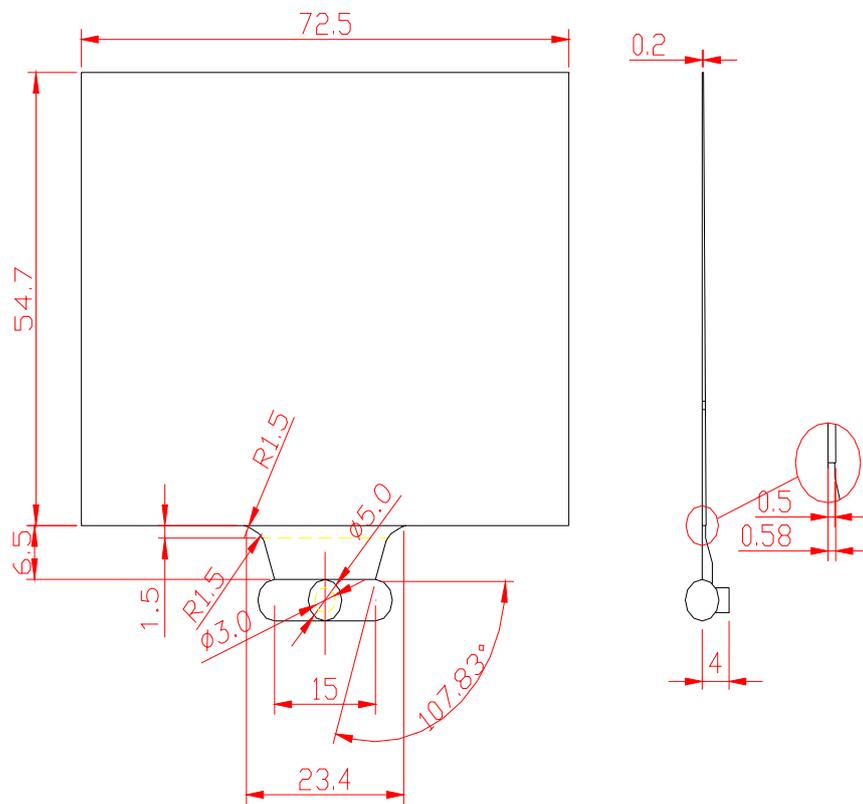


圖 1: 成型品的尺寸圖 (單位 mm)

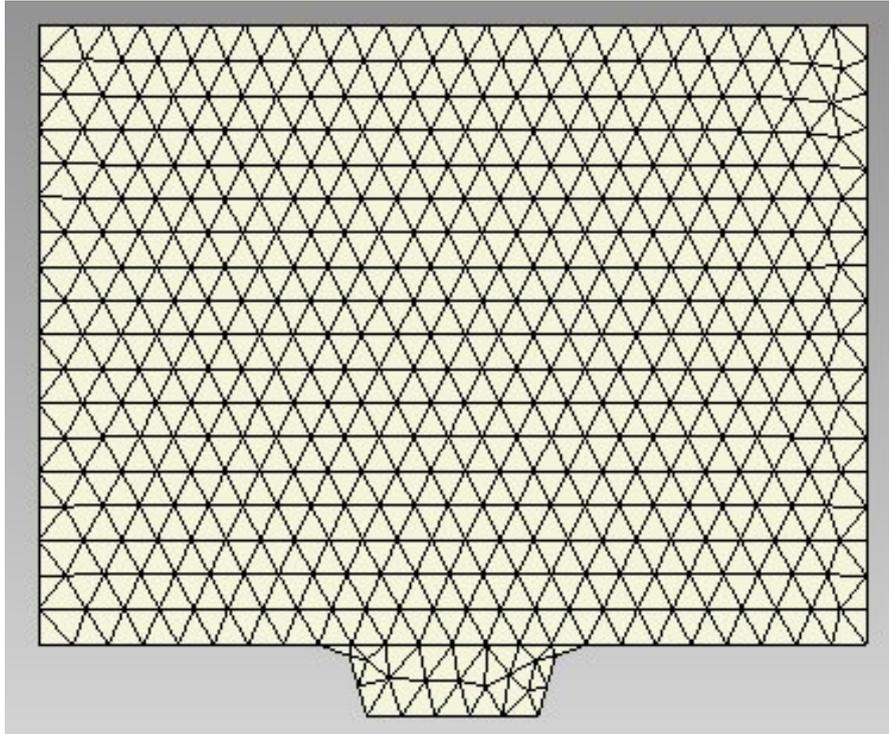


圖 2: 成品網格化圖

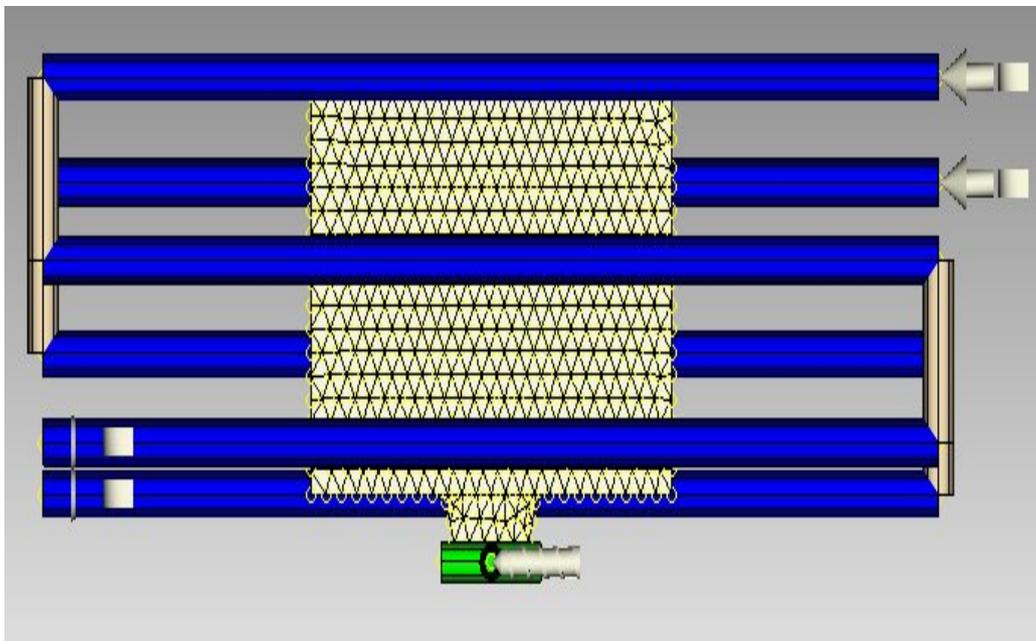


圖 3: 冷卻流路位置

在分析射出成型過程中，C-MOLD [1]分析軟體經常被使用在電腦模擬分析上，其軟體本身也提供在不同階段如充填、保壓和冷卻過程的分析，包括了溫度的變化、壓力、流速、應力和翹曲量等，而分析的結果可有效提供產品和模具設計的成型條件，包括最佳的

澆口位置、流道尺寸和預知產品的收縮量和翹曲量等。

在射出成型過程中，有許多的因素會影響到產品的品質包括材料性質、機器的種類、產品的幾何形狀、模具的材料、冷卻流路的位置和冷卻劑的選擇等，爲了方便分析我們只針對射出成型過程中，有關成型條件控制的分析。因此，在成型條件分析之前必須有下列幾點的假設：

- 1、因爲現在的產品形狀變化很多，所以忽略由於產品幾何形狀和模具所產生的影響。
- 2、影響產品的翹曲有很多因素，本分析只討論成型中充填、保壓和冷卻三個過程的影響因素。
- 3、假設公模和母模的溫度一致且冷卻流路的設計也假設在模具的任何位置溫度保持一定。
- 4、在模穴內忽略模具和融膠所產生的接觸熱阻。
- 5、冷卻劑爲使用純水。

## 2.2 使用修正牛頓-拉普拉森法

從先前的文獻可以得知，在射出成型影響產品翹曲量的幾個重要影響因素可以被確認，包括了模具的溫度、融膠的溫度、保壓時間、保壓壓力和冷卻時間。本研究的目的是使用修正牛頓-拉普拉森法求出最佳解的方式，分析在射出成型中各影響因素在最佳的參數值中，對產品所產生的翹曲量最小。在解非線性方程組的領域中，修正牛頓-拉普拉森法一直被多數人所採用，而其方法是導自於泰勒展開式(Taylor Expansion)[2]，以下爲修正牛頓-拉普拉森法應用在成型條件的設計。

一非線性方程式形式如下：

$$\begin{aligned}
 f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \\
 f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \\
 f_3(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \\
 f_4(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \\
 f_5(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = (f_1(x_1, x_2, \dots, x_n), f_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, f_n(x_1, x_2, \dots, x_n))^T \tag{2}$$

$$F(x) = 0 \tag{3}$$

在使用修正牛頓-拉普拉森法中[3]，本研究以五個主要影響產品翹曲量的因素設計爲變數， $x_1$ :代表融膠溫度、 $x_2$ :代表保壓時間、 $x_3$ :模具溫度、 $x_4$ :代表冷卻時間和 $x_5$ :代表保壓壓力，在量測點的部分本研究在平板上共取了十五個量測點，因此，共有十五個方程式

如下：

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (f_1(x_1, x_2, \dots, x_5), f_2(x_1, x_2, \dots, x_5), \dots, f_{15}(x_1, x_2, \dots, x_5))^T$$

每一方程式利用泰勒展開式將其展開如下：

$$f(x) = f(c) + f'(c)(x-c) + \frac{f''(c)}{2!}(x-c)^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(c)}{n!}(x-c)^n \quad (4)$$

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= f_1(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) \\ &+ \frac{\partial f_1}{\partial x_3}(x_3^1 - x_3^0) + \frac{\partial f_1}{\partial x_4}(x_4^1 - x_4^0) + \frac{\partial f_1}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) + \dots \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= f_2(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) \\ &+ \frac{\partial f_2}{\partial x_3}(x_3^1 - x_3^0) + \frac{\partial f_2}{\partial x_4}(x_4^1 - x_4^0) + \frac{\partial f_2}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} f_3(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= f_3(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_3}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_3}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) \\ &+ \frac{\partial f_3}{\partial x_3}(x_3^1 - x_3^0) + \frac{\partial f_3}{\partial x_4}(x_4^1 - x_4^0) + \frac{\partial f_3}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) + \dots \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} f_4(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= f_4(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_4}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_4}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) \\ &+ \frac{\partial f_4}{\partial x_3}(x_3^1 - x_3^0) + \frac{\partial f_4}{\partial x_4}(x_4^1 - x_4^0) + \frac{\partial f_4}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) + \dots \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} f_5(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= f_5(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_5}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_5}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) \\ &+ \frac{\partial f_5}{\partial x_3}(x_3^1 - x_3^0) + \frac{\partial f_5}{\partial x_4}(x_4^1 - x_4^0) + \frac{\partial f_5}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) + \dots \end{aligned} \quad (9)$$

⋮

⋮

$$\begin{aligned} f_{15}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= f_{15}(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_{15}}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_{15}}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) \\ &+ \frac{\partial f_{15}}{\partial x_3}(x_3^1 - x_3^0) + \frac{\partial f_{15}}{\partial x_4}(x_4^1 - x_4^0) + \frac{\partial f_{15}}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) + \dots \end{aligned} \quad (10)$$

修正牛頓-拉普拉森法中，只取泰勒一次展開式，其餘可以省略不計，因此，可得方程式如下

$$0 = f_1(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) \quad (11)$$

$$0 = f_2(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) + \cdots + \frac{\partial f_2}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) \quad (12)$$

$$0 = f_3(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_3}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_3}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) + \cdots + \frac{\partial f_3}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) \quad (13)$$

$$0 = f_4(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_4}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_4}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) + \cdots + \frac{\partial f_4}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) \quad (14)$$

$$0 = f_5(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_5}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_5}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) + \cdots + \frac{\partial f_5}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) \quad (15)$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$0 = f_{15}(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) + \frac{\partial f_{15}}{\partial x_1}(x_1^1 - x_1^0) + \frac{\partial f_{15}}{\partial x_2}(x_2^1 - x_2^0) + \cdots + \frac{\partial f_{15}}{\partial x_5}(x_5^1 - x_5^0) \quad (16)$$

定義一矩陣  $J(x)$  如下:

$$J(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(x) & \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(x) & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_5}(x) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(x) & \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(x) & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial x_5}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{15}}{\partial x_1}(x) & \frac{\partial f_{15}}{\partial x_2}(x) & \cdots & \frac{\partial f_{15}}{\partial x_5}(x) \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} -f_1(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) \\ -f_2(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) \\ \vdots \\ -f_{15}(x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0, x_5^0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(x) & \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(x) & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_5}(x) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(x) & \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(x) & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial x_5}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{15}}{\partial x_1}(x) & \frac{\partial f_{15}}{\partial x_2}(x) & \cdots & \frac{\partial f_{15}}{\partial x_5}(x) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1^1 - x_1^0 \\ x_2^1 - x_2^0 \\ x_3^1 - x_3^0 \\ x_4^1 - x_4^0 \\ x_5^1 - x_5^0 \end{bmatrix}$$

G 方程是定義為如下:

$$G(x) = x - J(x)^{-1} f(x) \quad (18)$$

反覆疊代求解從選擇  $x^{(0)}$  開始, 且  $k \geq 1$

$$x^{(k)} = G(x^{(k-1)}) = x^{(k-1)} - J(x^{(k-1)})^{-1} f(x^{(k-1)}) \quad (19)$$

容許誤差  $\varepsilon$  定義為

$$\|x^{(k)} - x^{(k-1)}\| < \varepsilon \quad \text{或} \quad \left| \frac{x^{(k)} - x^{(k-1)}}{x^{(k)}} \right| < \varepsilon \quad (20)$$

### 2.3 靈敏性問題 (Sensitivity problem)

靈敏性問題是數學式是由直接解問題推導而來的。其方法為先假設熱對流係數  $h$  有一微小的變化量  $\Delta h$  時，溫度  $t$  亦產生一微小的變化量  $\Delta t$ ，將  $h + \Delta h$  和  $t + \Delta t$  分別帶入直接解問題中取代  $h$  和  $t$ ，以熱傳導方程式為例，展開後並忽略了二次項，就可得到靈敏性問題的數學表示式。

統御方程式

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = K \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \text{ in } \phi \times t \quad (21)$$

將  $\frac{\partial}{\partial \phi}$  代入方程式，可以得到

$$\rho C_p \frac{\partial X_m}{\partial t} = K \left( \frac{\partial^2 X_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 X_m}{\partial y^2} \right) \text{ in } \phi \times t \quad (22)$$

$$-K \frac{\partial X_m}{\partial n} = h_0 X_m \quad (23)$$

$$X_m(x, y, 0) = X_c \quad (24)$$

$$X_m = \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial \phi} \quad (25)$$

從方程式(22)至(25)可以明確的建立靈敏性係數的數學方程式，這為線性方程式且  $X_m$  和獨立的變數  $x$ 、 $y$  和  $z$  有關，因此，可直接利用有限元素的方法，取得靈敏度分析值。

## 三、 結果與討論

本研究依據所設計的模型，利用 C-MOLD 分析軟體進行數值分析模擬，分析的內容包含了在射出成型過程中的充填階段、保壓階段和最後的冷卻階段，分析的資料提供了在射出成型的過程中，溫度的變化、壓力的變化、熔膠流動的變化和材料的剪應力變化等……，然而這些分析的結果常被作為模具的設計和改善產品品質的依據。

在尋求最小翹曲量的過程中，本研究利用修正牛頓-拉普拉森法求得最佳化的方式，設定了五個最重要的參數，包含了保壓壓力、保壓時間、模具溫度、熔膠溫度和冷卻時間。然而在使用修正牛頓-拉普拉森法求最佳化的過程中，必須先假設一初始值當做邊界，依據了材料的物理性質和機械性質，本研究以材料最低的熔化溫度  $523.15^\circ \text{F}$  設為熔膠溫度的初始值，模具溫度的初始值為  $333.15^\circ \text{F}$ ，保壓壓力為 80% 的射出壓力，保壓時間為 4.9 秒，冷卻時間為 24 秒。最後分析疊代的容許誤差為

$$\|x^{(k)} - x^{(k-1)}\| < 0.05 \quad (26)$$

經過約三十次的最佳化分析疊代之後，最小翹曲量的最佳解參數將被找到，這最佳成

型條件的數值分別是保壓時間為 5.445 秒、保壓壓力為 84.292%的射出壓力、熔膠溫度為 530.293 °F、模具溫度為 333.670 °F 和冷卻時間為 24.060 秒。

將最佳成型條件的數值利用 C-MOLD 分析軟體，模擬材料在模具中的流動變化，如圖 4 至 7 所示，分別為最佳波前圖、壓力圖、溫度分佈圖和 Z 方向的翹曲量圖。本研究應用修正牛頓-拉普拉森法所找出最小翹曲量的結果，將與使用田口式尋找最佳化的結果一併比較。

在蔡俊欽[4] 對導光板的翹曲分析研究中，使用了田口式尋找最佳化的方式，先以熔膠溫度、模具溫度、保壓壓力、充填速度、充填時間、冷卻時間和保壓時間等七個成型條件設為控制因子，每個因子取兩個水準以直交表配置進行分析，最後進一步取模具溫度、熔膠溫度、保壓壓力和射速四個因子進一步以三水準及 L9 的直交表配置進行田口分析，表 2 為本研究初始值的設定和比較使用田口式方式所得到各成型條件的參數值。

影響因子	初始值	田口式最佳參數	本研究最佳參數
保壓時間	4.9 seconds	5.3 seconds	5.445 seconds
保壓壓力	80% 射出壓力	85% 射出壓力	84.292% 射出壓力
熔膠溫度	525.15 °F	533.15 °F	530.293 °F
模具溫度	333.150 °F	343.15 °F	333.670 °F
冷卻時間	24.0 seconds	25 seconds	24.060 seconds

表 2: 修正牛頓-拉普拉森法與田口式[4] 所得到成型參數比較值

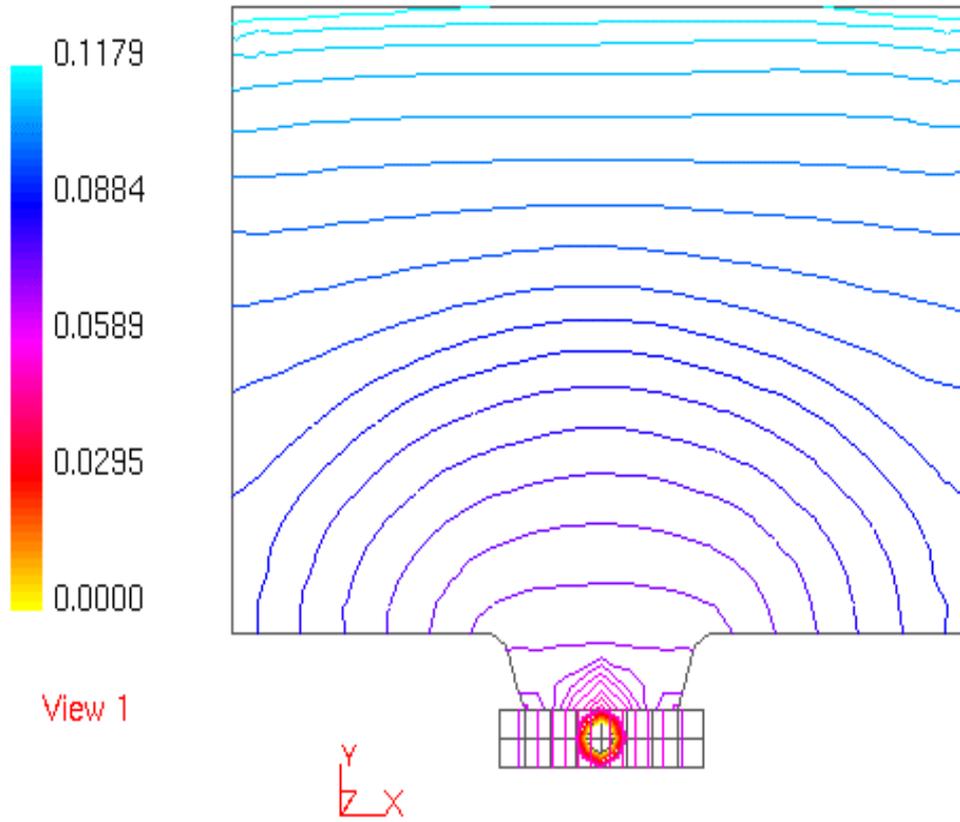


圖 4: 使用修正牛頓-拉普拉森法求得最佳波前流動圖

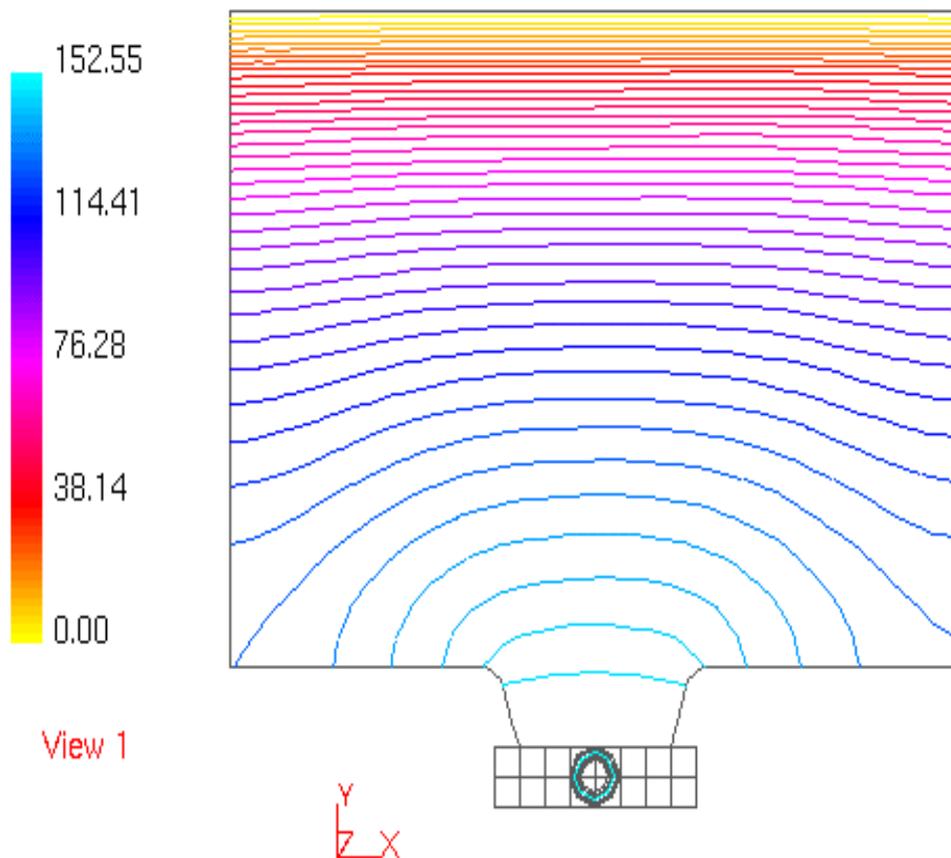


圖 5: 使用修正牛頓-拉普拉森法求得壓力圖

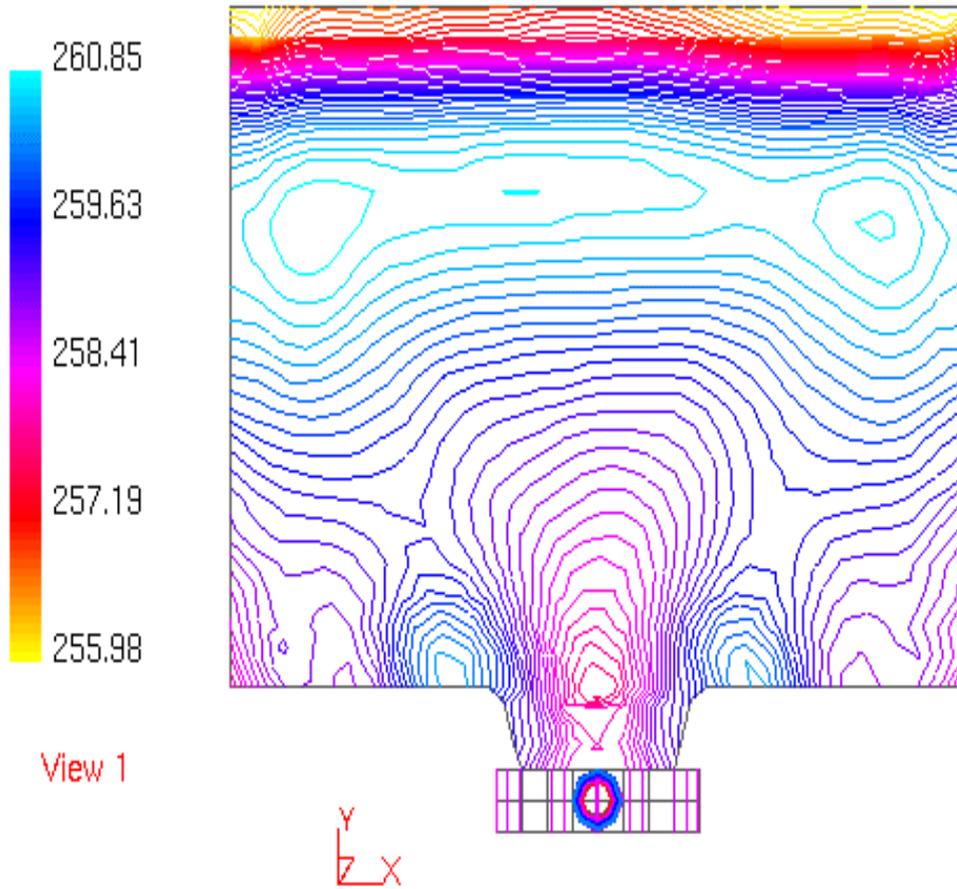


圖 6: 使用修正牛頓-拉普拉森法求得溫度分佈圖

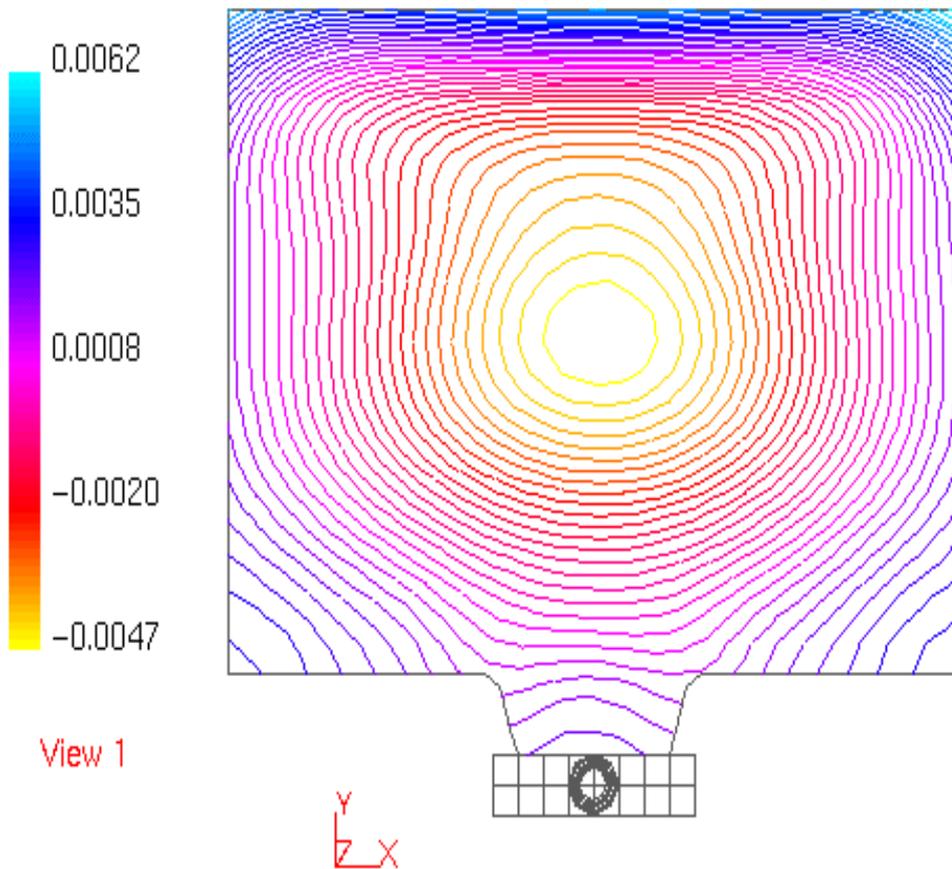


圖 7: 使用修正牛頓-拉普拉森法求得 Z 方向翹曲量圖

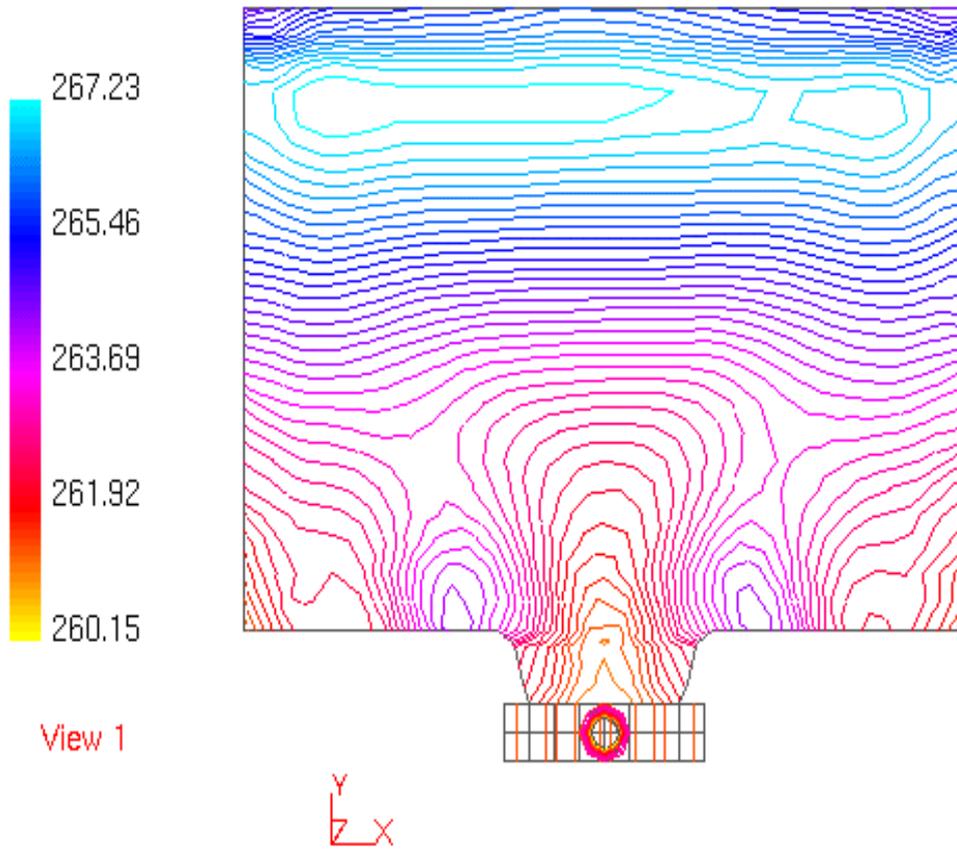


圖 8: 使用田口式求得最佳溫度分佈圖[4]

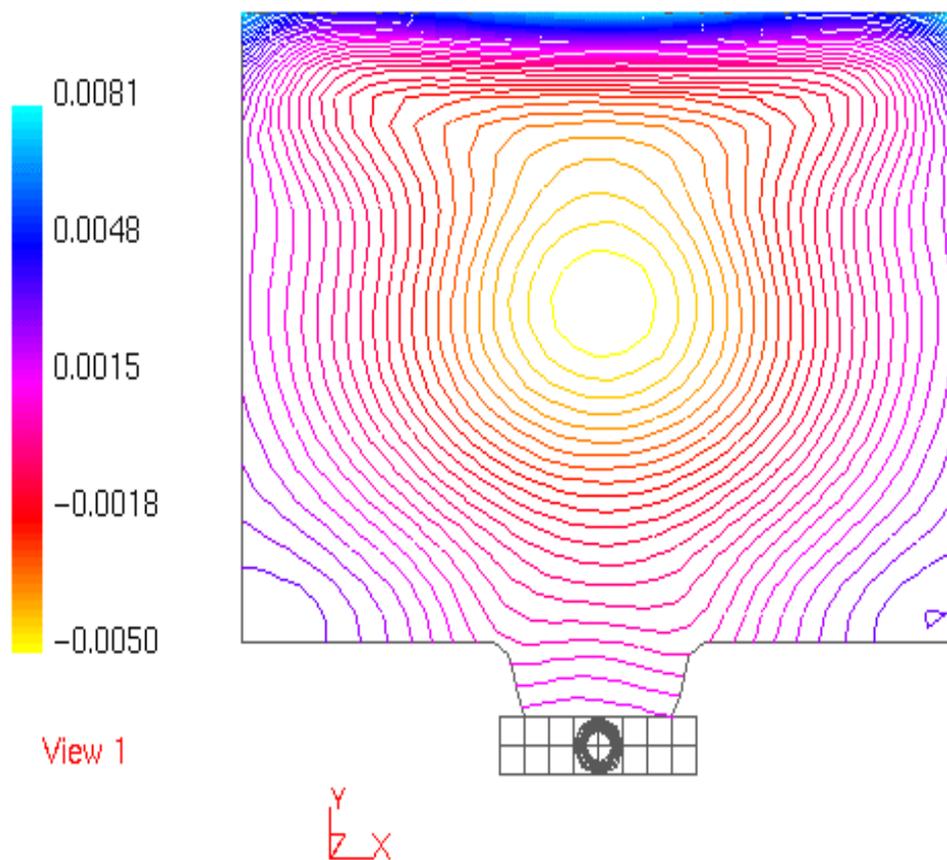


圖 9: 使用田口式求得最佳 Z 方向翹曲量圖[4]

圖 4 所示，是本研究所呈現塑料在射出成型過程中的波前流動圖，由圖可知材料在射出成型的初期，是以激進的方式往前流動，到達快射出完成之前是以接近直線波動前進的方式，直到完成整個射出成型，從圖中的分析可以很清楚的了解塑料在流動的過程是很平順，不會產生紊流的現象，完成射出成型的時間為 0.1179 秒。

圖 5 所示，是本研究所呈現塑料在射出成型過程中，完成充填的壓力圖，由圖可知塑料在模具的射入口處壓力最大，為 152.55 MPA，而在接近模具最上緣的部分壓力分佈接近為零。從所呈現的結果可以了解在射出的過程中，壓力的分佈是相當均勻和穩定，這個結果分析是非常重要的，因為在射出成型的過程中，產品所產生的翹曲問題與模具內壓力的分佈有相當大的關係。

圖 6 所示，為本研究所呈現塑料在射出成型過程中模具內溫度分佈圖，從圖中可以發現本研究所呈現模具內溫度的分佈較為均勻，且溫度的高低溫差為五度左右，低溫為 255.98°F，高溫為 260.85°F。圖 8 為蔡俊欽[4] 利用田口式所呈現的溫度分佈圖，從溫度的分佈中，可以發現所呈現的溫度高低溫差為七度左右，低溫為 260.15°F，高溫為 267.23°F。在射出成型中冷卻的部分時間最長也是最重要的部分，因為成品的好壞決定於冷卻部分的設計，因此保持模具內溫度分佈的均勻是減少產品產生翹曲的不二法門，由圖上的比較可清楚的了解本研究所呈現的結果，使模具內的溫度分佈更加均勻一致。

圖 7 所示，為本研究所呈現塑料在射出成型過程中 Z 方向翹曲量的分佈圖，由圖可知 Z 方向的翹曲是沿著平板的邊緣，尤其是在平板上端的兩側，圖 9 為蔡俊欽[4] 利用田口式所呈現 Z 方向翹曲量分佈圖，所呈現的最低翹曲量為-0.005mm，最高翹曲量為 0.0081mm，總翹曲量為 0.0131mm，本研究所呈現最低的翹曲量為-0.0047mm，最高翹曲量為 0.0062mm，總翹曲量為 0.0109mm，從圖中比較發現，本研究所呈現 Z 方向翹曲量分佈比蔡俊欽[4] 所呈現的翹曲量分佈較為均勻一致，且 Z 方向的翹曲量也比較小。經由使用本方法所得結果與田口式的方法，減少了 16.7%的翹曲量。

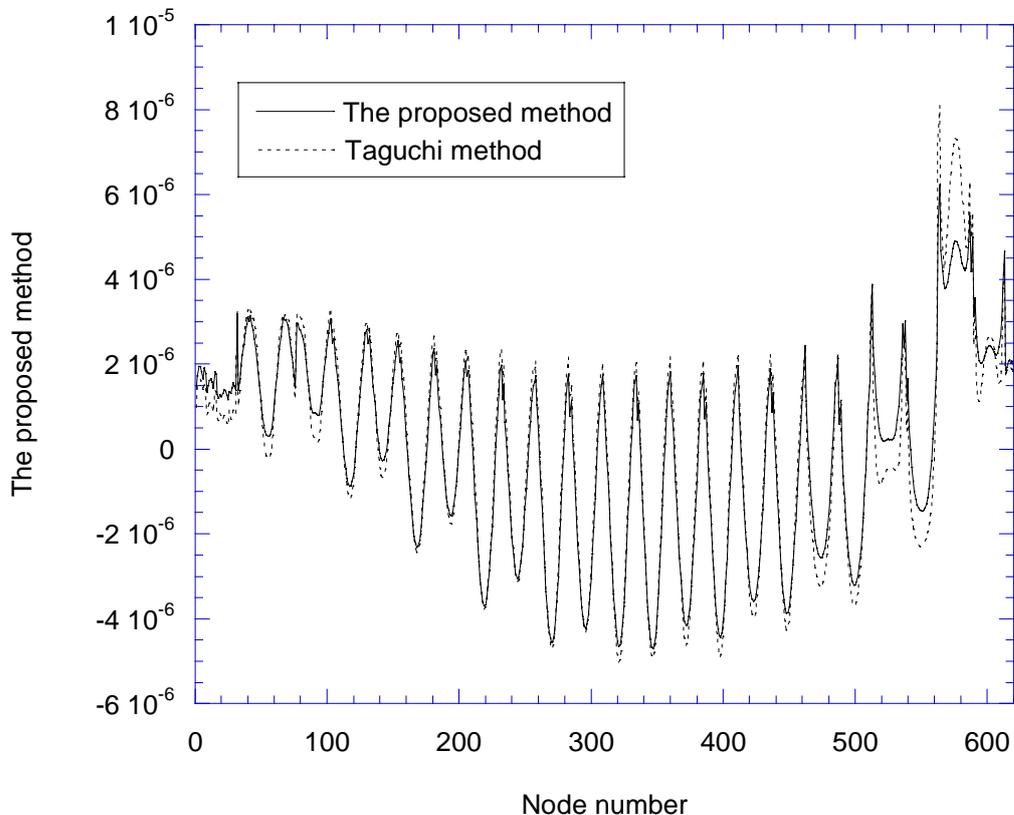


圖 10: 比較各點產生的翹曲量圖 (單位:mm)

圖 10 所示，為本研究模擬塑料每一點的翹曲量與使用田口式方法比較分析，由圖可知，利用本研究的方法所模擬的每一點翹曲量都比使用田口式的方法所產生的翹曲量較小。從比較的結果可以了解到使用本研究所提出的分析模擬，有效的減少在射出成型的過程中所產生的翹曲量。

由以上所呈現的數值分析結果可以發現，本研究方法提供了在整個射出過程中，穩定的波前流動而不會產生紊流的現象，在壓力方面也正確的分析出適當的壓力分佈，減少產品變形情況的發生，在溫度方面也經過多次的疊代後，找出模具冷卻溫度和材料溫度合理的範圍，最後，主要目的減少產品 Z 方向的翹曲量也可以達到。

#### 四. 結論

本研究提供了在射出成型過程中，尋找最佳成型條件的方法，在射出成型中，這些成型條件的設計是建立為非線性最佳化的問題，修正牛頓-拉普拉森法應用在射出成型尋找最佳成型條件上為一有效解決非線性問題的方法，且也尋找到使得產品產生最小翹曲量的最佳條件。在分析的過程中，找出最佳成型條件所使用的時間約經過了約三十次的分析疊

代後，便可以找出最佳解。

從以上得到的數值分析結果可以知道，使用修正-拉普拉森法尋找最佳成形條件所得到的翹曲量數值會比使用田口式的方法還要小，在尋找最佳解的過程中，所花的時間也比使用田口式的方法還要短，因此，本研究提供的方法為一有效且更精確的方法，希望藉由本研究的內容能夠提供業界改良射出成型中的一些缺點，使得未來的產品品質可以更好更精密。

## 五. 參考文獻

- [1]C-MOLD Injection User's Guide, 1999, AC Technology Ithaca, New York, U.S.A.1999.C-MOLD 99.
- [2]簡聰海，2002，數值分析，全華科技圖書股份有限公司，台北。
- [3]Richard L. Burden, J. Douglas Faires, 2001, Numerical Analysis.
- [4]蔡俊欽，2003，導光板光學設計及製程之最佳化研究，高雄應用科技大學，碩士論文。