



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 模擬退火法在非球面鏡射出模仁之設計參數分析研究

### Research on Design Parameter Analysis of Aspheric Lens Mold Simulated Annealing Method

計畫編號：NSC 89-2218-E032-018

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：陳炤彰

淡江大學機械系

計畫參與人員：許文憲

淡江大學機械工程研究所

莊育憲

淡江大學機械工程研究所

#### 一、中文摘要

目前在光學鏡片模仁方面，大致分為球面與非球面兩種類型。本研究的目的是在檢驗加工完成後的鏡片模仁，其形狀精度是否在設計容許範圍內。研究的方法是利用模擬退火法來進行模仁設計參數的估算，先以模擬鏡片模仁量測的點數據代入模擬退火法程式運算中作程式的測試，並找出鏡片模仁的相關參數（K、R、A4、A6、A8...）與原始設計的參數作比較，再實際進行鏡片模仁的量測，利用 Form Talysurf 儀器進行球面曲面資料點的截取，代入模擬退火法程式中估算光學鏡片設計參數，研究結論為肯定模擬退火法程式的可行性，但是對於解五個變數以上的多變數時，必須對 SA 參數作調整才能得到較好的結果。最後，本研究開發一組球面 400 度老花眼鏡模具作射出成形實驗，經過量測鏡片成品之後，發現度數介於 375~384 度並未達到設計的 400 度標準，主要因素為縮水率造成成型品曲率偏差而影響度數準確性，如把縮水率加入鏡片模仁的設計參數值裡，將可改善縮水率對成品的影響。

**關鍵詞：**模擬退火法，非球面鏡片，光學鏡片模仁

#### Abstract

Optical lens mold can be classified into spherical and aspherical lens mold. This research is to check the original design parameters (R, k, A4, A6, A8...) of the optical lens molds by simulated annealing (SA) method. First the SA program is developed and tested by computer-simulated data for algorithm accuracy checking and variable adjusting. Then the actual data acquired by surface form and surface

roughness form, roughness analyzer, for example Form Talysurf is fitted into the SA method, which is a multivariable optimal searching method. The developed SA program has been verified to calculate the design parameters of optical lens mold, however the design variable are above five variables, the SA parameters need to be adjusted for better performance.

Finally, a 400 hyperopic lens mold is manufactured for injection molding. After testing the lens, the degree of injected lens are between 375 and 384 . The shrink factor is the main cause for the deflection of the facture curvature and reflecting accuracy. The application of SA in lens mold accuracy checking has shown the shrink factor is critical and should be considered in lens mold making.

**Keywords:** Simulated Annealing, Aspherical Lens, Optical Lens Mold

#### 二、研究動機與目的

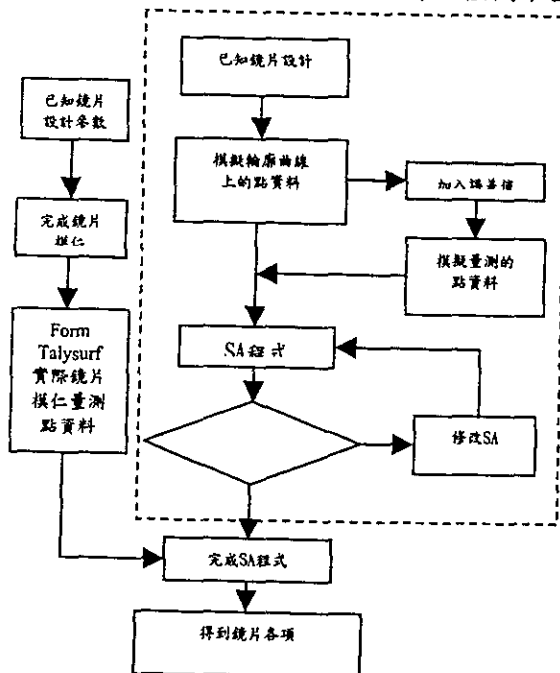
光學鏡片為目前光學產品及光電系統中不可或缺的关键零組件之一，例如從普通的眼鏡鏡片到高精密的光碟機讀取頭等等，面對如此龐大的市場需求量，傳統的生產方式恐怕難以滿足其需求，於是便有模造光學的加工技術產生 [1]，例如塑膠射出成形(Plastic injection molding)技術，以塑膠射出成形模造製程的步驟來說，主要包括塑膠光學鏡片設計、模具的設計與製造、射出成形及檢測。而關鍵技術之一便是鏡片模仁的製程，而模仁的形狀精度不良將會使成品的成像品質影響到原先設計的光學效果。一般對鏡片模仁形狀精度的要求是以鏡片用途來決定，例如低精度的如眼鏡鏡片等，高精度的如光碟機讀取頭等，通常對形狀精度的要求從  $10\mu\text{m}$  到  $0.1\mu\text{m}$  之間 [2]，而判

斷模仁好壞的方法便是模仁的形狀精度和表面粗糙度是否在要求範圍內。因此鏡片模仁完成後的檢測工作是非常重要的，一般最常採用的方式是使用 Form Talysurf 以接觸式的探針量測模仁表面，以此作為判斷模仁形狀精度與表面粗糙度。

本研究的目的是檢測鏡片模仁的形狀精度是否達到設計要求的精度範圍之內，以及使用模擬退火法(Simulated annealing, SA)的演算來得到一個明確的數值資料，可以表示此鏡片模仁完成後的各項參數數值。研究的方法分為兩方面進行，首先利用幾組模擬鏡片模仁上的點資料(Data1)以及加入誤差值的點資料(Data2)對模擬退火法程式作測試，藉此調整模擬退火法的參數設定，測試完成之後便進行實際模仁的量測，將量測的點資料帶入模擬退火法中運算，圖一為研究架構流程圖。最後，本研究將對一組球面 400 度老花眼鏡作射出成形實驗，在對鏡片成品進行量測之後，發現度數並未達到設計的標準，經過以下這三點的討論之後：(1) 中心厚度的原因、(2) 成型品曲率的問題、(3) 模仁曲率的影響，得到的結論為成型品曲率的問題，即縮水率造成成型品曲率偏差為影響度數準確性最重要的因素。

### 三、模擬退火法於非球面參數之應用

模擬退火法的觀念是根據統計熱力學中熱平衡的過程，將其應用於最佳化的問題而產生[3]。模擬退火法亦可以視為一種機率登山搜



圖一、實驗流程圖

尋演算法 (Probabilistic hill-climbing search)

[4]，它以組合最陡坡降與隨機過程的方式搜尋目標函數的全域最佳解。更精確的說，此種組合在模擬退火法的搜尋過程中，透過隨機過程，當一個解的能量函數值比現行解的能量函數值低時，則當然移至此一解，反之，則允許少數機率能移動到能量函數值較高處的次一個解，即具有跳躍局部最佳解，在非單一凸出性 (Nonconvex) 設計空間中求得最佳解的能力。

### 3.1 非球面的定義與公式

非球面光學應該包含平面和馬鞍面等複雜的曲面。在光學設計上，鏡片大多為旋轉對稱面，如此茲可以用下列的多項式來定義非球面輪廓[5、6]，而球面只是其特例而已。

$$Z = \frac{X^2}{R + \sqrt{R^2 - (1+k)X^2}} + A_4X^4 + A_6X^6 + A_8X^8 + \dots$$

式中，

X：距非球面軸之水平距離。

Z：非球面的旋轉對稱軸。

R：頂點曲率半徑。

k：二次曲線常數。

A4、A6、...：非球面修正係數。

### 3.2 模擬退火法之演算流程

本研究的程式是參考徐君豪先生的論文[7]來做修改，而徐已經對 SA 做了改良，主要針對以下四方面做了改進：

- (1) 試驗 (IC) 及熱平衡 (IT) 迴圈的建立
- (2) 邊界的改良式搜尋法
- (3) 移動步伐的自動調整
- (4) 終止條件的建立

綜合以上的改進，可以得到一個新改良後的 SA 步驟，

#### Step1

設定初始溫度  $T_i$ ，迴圈數 IC、IT，調整步伐參數 C、降溫速率  $\alpha$  及終止條件內的參數等，並輸入一個可行性區域內的解  $X_0$  作為始值。

#### Step2

進入熱平衡迴圈 IT 及試驗迴圈 IC，然後在初始值  $X_0$  的周圍尋找一個新的可行設計點  $X_i$ ，並計算其目標函數值  $f(X_i)$ 。

#### Step3

如果  $\Delta f = f(X_{i+1}) - f(X_i) < 0$ ，表示目標函數下降， $X_{i+1}$  便可取代  $X_i$  成為現有可行最佳設計點，直接進入步驟四。如果  $\Delta f > 0$ ，

則藉由  $P(\Delta f) = \exp\left(\frac{-\Delta f}{T_j}\right)$  此機率的計算判

斷是否接受這個設計點，即產生一個[0,1]之間的隨機數Z，如果 $Z < P(\Delta f)$ ，則接受這個設計點，否則 $X_{i+1} = X_i$ ，進入步驟四。

Step4

檢查是否已達到試驗迴圈 IC 的預設值，確認過後表示已蒐集了足夠的試驗資料，可以進行下一個步驟，否則回到步驟二。

Step5

由之前得到的資料對新解移動的接受率做分析，來自動調整移動步伐的大小。

Step6

檢查 IT 迴圈數，如果此時已經大於一個預設值，表示在「退火」過程中此溫度 $T_j$ 停留夠久，已達到一熱平衡狀態，便可進入步驟七，否則回到步驟二。

Step7

觀察是否已經構成終止條件，若不滿足其條件，則進一步降低溫度，設 $T_{j+1} = \alpha T_j$ ， $0 < \alpha < 1$ ，回到步驟二，若已達成終止目標，則結束程式，輸出結果。

至於目標函數先定義為計算值 $Z_i$ 與實際值 $Z_a$ 相減的平方和為最小，如下所示：

$$\min f(X_i) = \sum_{i=1}^N (Z_i - Z_a)^2$$

3.3 亂數產生程式

利用分析軟體可以很快的繪出非球面的二維曲線圖形和三維曲面圖形，在此誤差值是由高斯分布的亂數產生器來產生，一般把高斯分布函數定義為：

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-x^2/2\sigma^2}, \quad -\infty < x < \infty$$

其中， $\mu$ 代表平均值， $\sigma^2$ 代表變異數。因此，若想產生一平均值為 $\mu$ ，變異數為 $\sigma^2$ 的亂數 $x$ ，則必須依下列公式：

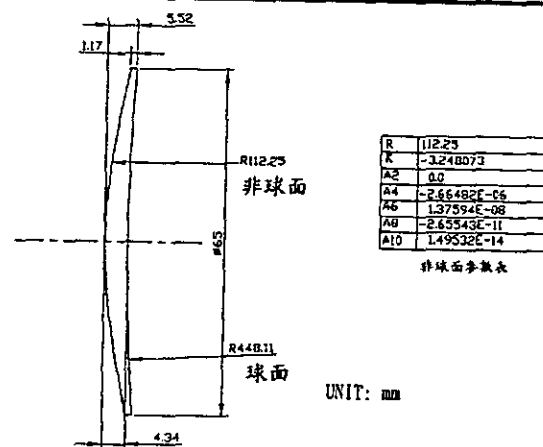
設 randn 所產生的亂數為 $r$ ，則 $x = r \cdot \sigma + \mu$ 所得的 $x$ 即為所求之亂數[8]。

3.4 模擬點資料於 SA 程式的應用

首先針對球面方面，取 400 度老花眼鏡的設計值 $R=79.98$  mm 和 $R=167.43$  mm 的球面曲率及分別擷取 1091 和 5451 的點數進行測試，並做一組有加誤差和一組無加誤差以供比對（其中 $\sigma^2=0.04$ 、 $T=5.0$ 、 $\Delta T=0.5$ 、 $IC=20$ 、 $IT=5$ 、 $C=2$ ），結果如表 3.5 所示。而在非球面方面利用圖二非球面的設計值，一樣的模擬出點資料之後進行 SA 程式的運算，結果如表一所示。

表一、程式結果(非球面)

		資料點數			
		1091			
		無加誤差	相對誤差	有加誤差	相對誤差
兩個變數	R	112.24976	2.14E-4%	112.25239	2.13E-3%
	K	-3.2481332	1.85E-3%	-3.2463610	5.27E-2%
	f(X)	5.049E-09		4.049E-05	
三個變數	R	112.25114	1.02E-3%	112.24782	1.94E-3%
	K	-3.2284268	0.605%	-3.2818481	1.04%
	A4	-2.6663191E-06	5.63E-2%	-2.6622451E-06	9.66E-2%
	f(X)	7.239E-09		4.323E-05	
四個變數	R	112.24692	2.74E-3%	112.24930	6.24E-4%
	K	-3.3001452	1.6%	-2.8559550	12%
	A4	-2.6607197E-06	0.154%	-2.6997590E-06	1.3%
	A6	1.3759162E-08	1.73E-3%	1.3764922E-08	4.01E-2%
	f(X)	2.904E-08		4.043E-05	
五個變數	R	112.26790	1.59E-2%	112.45903	0.186%
	K	-5.7051333	75%	-5.5247341	70%
	A4	-2.4412795E-06	8.39%	-2.3942658E-06	10%
	A6	1.3683834E-08	0.549%	1.3530554E-08	1.66%
	A8	-2.6529624E-11	9.29E-2%	-2.6413188E-11	0.53%
	f(X)	6.414E-07		9.353E-05	
六個變數	R	112.92211	0.599%	112.90473	0.583%
	K	-3.0798922	5.18%	-2.4354614	25%
	A4	-2.3400194E-06	12%	-2.4074593E-06	9.6%
	A6	1.2359017E-08	10%	1.2421710E-08	9.7%
	A8	-2.4272575E-11	8.6%	-2.4374355E-11	8.21%
	A10	1.3668700E-14	8.6%	1.3731617E-14	8.17%
	f(X)	1.808E-04		2.006E-04	

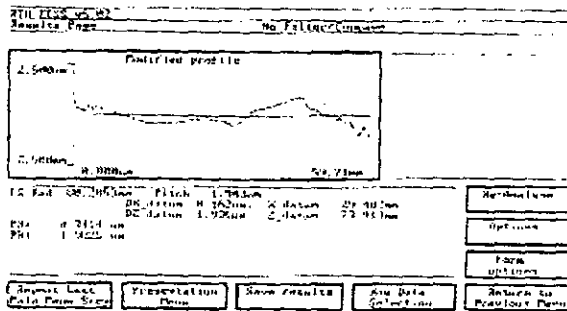


圖二、400 度非球面眼鏡鏡片設計圖

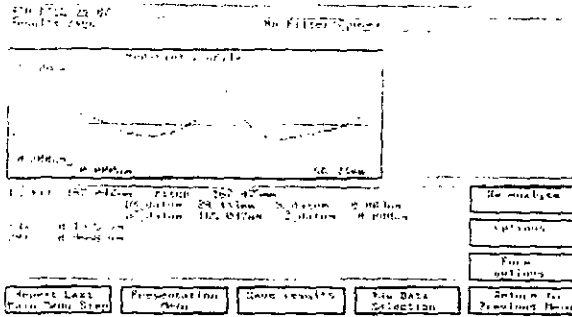
3.5 實際量測資料於 SA 運算的結果

模擬點資料於 SA 程式的測試之後，接下來便實際的使用 Form Talysurf 進行量測曲率 $R=79.98$  mm 和 $R=167.43$  mm 的球面模仁，而圖三為其量測結果分析報表，從報表中可以看出其形狀精度大約在 $1 \mu m$ 之內，分別取資料點 1091 和 5451 兩組，再帶入 SA 中進行分析，

得到結果如表二所示。



(a) 曲率 R=79.98 mm 的球面模仁



(b) 曲率 R=167.43 mm 的球面模仁

圖三、Form Talysurf 分析結果

表二、SA 運算結果

設計值	1091		5451	
	計算值	相對誤差	計算值	相對誤差
R=79.98	79.6957326	0.355%	79.6952497	0.356%
R=167.43	167.055397	0.224%	167.055966	0.223%

#### 四、射出成形實驗

本實驗主要是進行一組 400 度老花眼鏡鏡片從取得光學設計進而模具設計到射出成形的過程，希望從射出的成品來了解光學鏡片於製程過程中所遭遇的問題，以及解決方法。由於原設計的鏡片度數為 400 度的老花眼鏡，但是經過量測的結果在 384~374 度之間，本實驗的成品未達標準可以歸類出幾點原因：

1. 鏡片成型品縮水的問題，當鏡片成型品凸面的曲率變大時或凹面的曲率變小時，也會影響到鏡片的度數，而縮水的問題可以從調整射出參數方面著手改善。
2. 模仁曲率的影響，一般模仁形狀精度如在 10  $\mu\text{m}$  以內，當眼鏡用的鏡片在形狀精度上算是足足有餘的，以本實驗的模仁量測的結果來看如圖三所示，模仁形狀精度在 2.5  $\mu\text{m}$  以內，因此曲率上應該沒有問題，而如果縮水的問題還無法解決，便須從模仁曲率上著手，加入縮水所影響的誤差，重新計算模仁曲率。

#### 五、結論與建議

##### 結論

1. 本研究利用球面與非球面的數學公式模擬出曲率上的資料點，再加入由高斯分布的亂數產生器所產生的誤差值，模擬出模仁在實際加工後所量測的形狀點資料，如此可以對模擬退火法進行測試。
2. 利用本實驗的球面模仁曲率為 R=79.98 mm 和 R=167.43 mm，經由 Form Talysurf 進行量測模仁表面曲率，程式運算所得到計算值的相對誤差與量測出來報表結果的相對誤差為 0.28% 和 0.23%，表示 SA 程式的結果是可以接受的。
3. 以 400 度球面老花眼鏡鏡片所設計的模具進行射出成形實驗，成型品經過量測之後卻未能達到 400 度的設計值，經過討論整理可能影響度數的因素如下：a. 中心厚度的原因 b. 成型品曲率的問題 c. 模仁曲率的影響。

##### 建議

在射出成型品的量測方面只針對成型品的度數與散光作測量，未來可以利用干涉儀或輪廓儀對成型品的凹凸兩面的曲率進行量測，並對成品量測後的曲率和模仁設計的曲率以及模擬退火法所得到的計算曲率這三者之間的關係進行比較，可幫助了解塑膠縮水率使得成型品曲率發生改變而影響度數準確性的問題，並將縮水率加入鏡片模仁的設計參數值裡，改善縮水率對成品的影響。

#### 六、參考文獻

1. 陳善明，“模造光學的加工技術”，光訊第 39 卷，Feb. 1993，pp.22-25。
2. 林時正，“非球面鏡片的加工技術與應用”，工程，第 66 卷第 4 期，82 年 4 月，pp.67-69。
3. Metropolis, N., Rosenbluth, A. Rosenbluth, M., Teller A. and Teller, E., “Equation of State Calculations by Fast Computing Machines”, Journal of Chem. Physics, Vol.21, pp.1087-1092, 1953.
4. Remeo, F. and Sangiovanni-Vincentelli, A.L., “Probabilistic Hill Climbing Algorithms: Properties and Applications,” Proceedings of 1985 Chapel Hill Conference on VLSI, pp.393-417, May 1985.
5. 內尾舜二，“實用塑膠透鏡”，復文書局(1995)。
6. 潘君驊，“光學非球面的設計、加工與檢驗”，科學出版社(中國大陸)，1994。
7. 徐君豪，“全域最佳化之模擬退火法”，淡江大學機械工程研究所碩士論文，1998。
8. 李新洲，“深入 matlab 4.x for windows”，基峰資訊，1996。