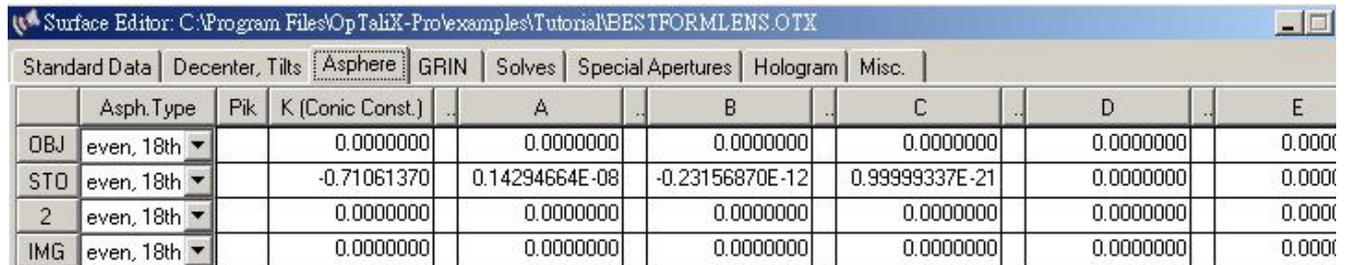


A: 0.14294664E-08

B: -0.23156870E-12

C: 0.99999337E-21



|     | Asph. Type | Pik | K (Conic Const.) | A              | B               | C              | D         | E         |
|-----|------------|-----|------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------|-----------|
| OBJ | even, 18th |     | 0.0000000        | 0.0000000      | 0.0000000       | 0.0000000      | 0.0000000 | 0.0000000 |
| STO | even, 18th |     | -0.71061370      | 0.14294664E-08 | -0.23156870E-12 | 0.99999337E-21 | 0.0000000 | 0.0000000 |
| 2   | even, 18th |     | 0.0000000        | 0.0000000      | 0.0000000       | 0.0000000      | 0.0000000 | 0.0000000 |
| IMG | even, 18th |     | 0.0000000        | 0.0000000      | 0.0000000       | 0.0000000      | 0.0000000 | 0.0000000 |

(圖 4.4) 輸入較高階的非球面係數

後三項係數可不必輸入，因為即便是指定額外的係數項 (D 到 F)，對球面像差的修正不會有任何改善。

## 4.2.2 由指令列輸入

在指令列，找到原始檔案的路徑，並以指令開啓：

```
res C:\Program Files\OpTaliX-Pro\examples\Tutorial\BestformLens.otx
```

改變透鏡表面類型 (SUT)：

```
sut s1 a
```

二次曲線常數設定為：

```
k s1 -0.7106137
```

較高階的非球面項輸入為：

```
A s1 0.14294664E-08
```

```
B s1 -0.23156870E-12
```

```
C s1 0.99999337E-21
```

## 第 3 節 梯度折射率案例

相似於改善軸上單一透鏡的成像表現，我們現在將使用梯度折射率材料來達成此一目的。

同樣地，從 `example\tutorial\BestformLens.otx` 載入舊檔，如先前的圖 4.2 所示。只有兩個參數需要改變，分別是透鏡材料和所謂的 z 向偏移 (z-offset)，其定義在梯度折射率輪廓的點。

### 4.3.1 由功能表輸入

在透鏡表面編輯器中，對表面 1 輸入 Gradium 透鏡 G51SFN。程式會辨識這類型透鏡為梯度折射率 (GRIN)，並自動更新透鏡表面類型為"SI" (S=球面，I=梯度折射率)，接著輸入折射率輪廓為"LPT"，這是一個以 LightPath (LPT) 來定義的折射輪廓率，在"GRIN"分頁視窗中，對表面 1 的 Z-offset 欄位輸入 z 向偏移為 1.854，與 GRIN 等效的光扇像差圖比較，可看出明顯的改善，然而，當稍後執行微調透鏡半徑的優化時，可達成更小的像差，因為本章節並沒有執行優化，有興趣的讀者可以輸入下列的經過優化後的參數：

表面 1 的半徑： 172.068240  
表面 2 的半徑： 889.854031  
Z 向偏移： 5.89166  
失焦： 0.03670

### 4.3.2 由指令列輸入

轉換單一透鏡為梯度折射率透鏡 (GRIN)，需輸入下列指令：

```
gla sl g51sfn  
gzo sl 1.854
```

在優化微調後來改變透鏡的參數為：

```
gla sl g51sfn  
gzo sl 5.89166  
rdy sl 172.068240  
rdy s2 -889.854031  
def 0.03670
```

## 第 4 節 繞射光柵案例

略

## 第 5 節 求解案例

求解 (Solves) 讓使用者對近軸屬性做精準的控制，指定求解的條件，舉例來說，維持近軸

光線角度、近軸光線高度或某一近軸光線入射角。求解將使這些要求得到滿足，舉例來說，對一表面上的一近軸光線角求解將會改變曲率半徑以維持指定的光線角，一近軸高度的求解將改變軸距以維持指定的光線高度，請牢記求解只反應在近軸特性。在本練習中，我們要保持成像平面在近軸焦距上，這個條件將被保持，即使改變其他的參數（如曲率半徑、透鏡厚度）等。

## 第 6 節 特殊孔徑案例 略

## 第 7 節 變焦案例

變焦透鏡系統是一個多重組態系統的典型，其光學元件在所有組態是相同的，但透鏡間距離是不同的。*OpTaliX* 不只能處理變焦系統，也能夠接受任何構造參數來建構可變系統，基於這個功能，*OpTaliX* 能處理的應用項目如下：

- ◆ 標準變焦（只改變透鏡間距離）
- ◆ 掃瞄系統（改變表面傾斜和（或）離心）
- ◆ 多重光譜系統（改變波長或光譜）
- ◆ 顯示系統的多重瞳位追蹤（eye positions）
- ◆ 多重共軛系統（巨集透鏡組）

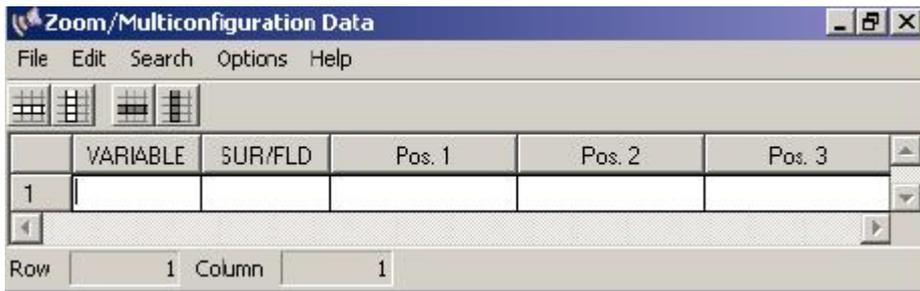
"zoom"這個字在本教學手冊中，是用來描述改變組態的系統，變焦位置的數目是無限制的，然而，在變焦編輯器中可編輯最高 30 個位置，若超過 30 個以上，需輸入 ZED 指令，透過文字編輯器將可提供超出此上限的編輯，所有變焦資料均以透鏡部分來儲存，變焦/多重組態透鏡也可以對任何被選定的變焦位置進行"反向變焦 (de-zoomed)"。

通常我們以非變焦透鏡作為設計起點，因此在本章節中，我們開啓現有的檔案 `\examples\misc\double_gauss.otx`，變焦位置的總數是以指令來定義：

`zoo N`

其中 N 代表變焦位置的數量，舉例來說，`zoo 3`。這個指令將傳送給 *OpTaliX* 去處理此透鏡為一變焦系統，並接受隨後的變焦參數，另一個方式是點選工具列來達成，在此兩種方式中，一個對話視窗將自動開啓，所有的變焦定義均有相通格式的語法：

`variable SFW parameter_1 parameter_2 ... parameter_n`



(圖 4.5) 輸入 zoo 3 指令後，空白的變焦編輯器視窗將開啓

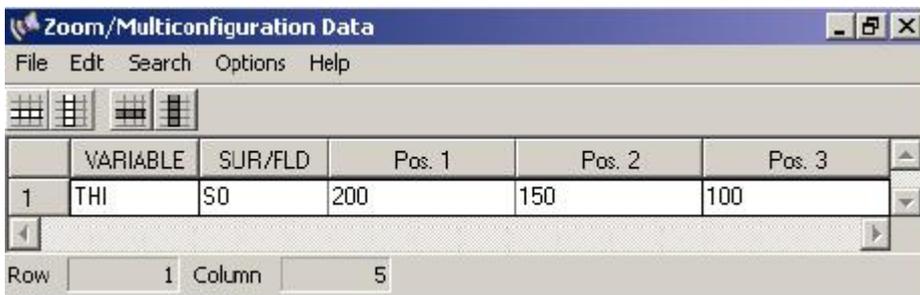
其中，SFW 是對 sk、fk、wk 和 pk（表面、視場、波長和瞳）的固定放置，舉例來說，變焦物體光源距離的指令：

```
thi s0 200 150 100
```

其使得表面 0 的厚度會在三個變焦位置變化，爲了與原本的指令做區隔，任何透鏡資料前加入 ZOO 字首是需要的，因此完整的變焦參數輸入是：

```
zoo thi s0 200 150 100
```

在變焦編輯器視窗中，相對應的輸入值如圖 4.6 所示。

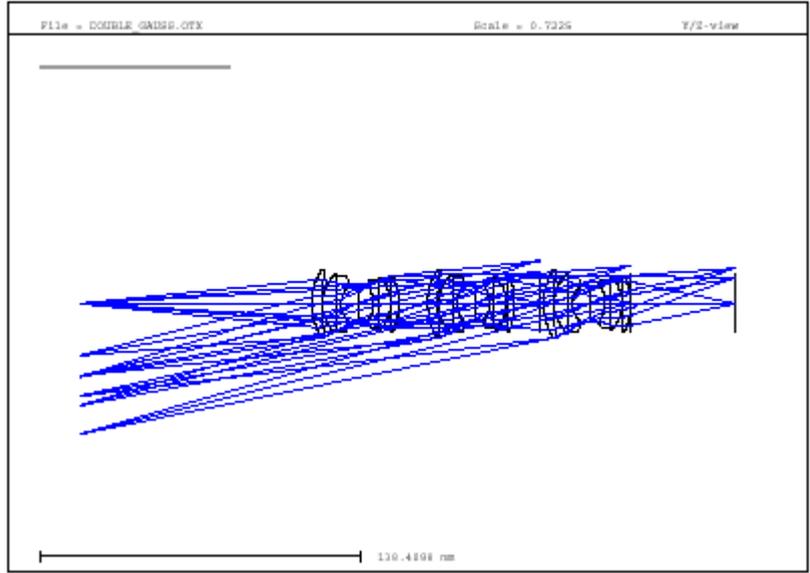


(圖 4.6) 可變的物體光源距離 (THI s0)

我們將建構系統不同的共軛。這需要使物體光源距離 (THI s0) 如圖 4.6 的變化，現在透鏡設計圖（使用指令 vie）可看出所有的三個組態塞滿並重疊在一個圖上（圖 4.7）。

爲了要分開重疊的設計圖，每一組態可以放置於圖上區域的任意位置，這利用到三個指令，POX、POY 和 POZ，其控制每一個組態的位置，這些指令的參數必須以圖面單位的 mm 爲單位，而非以透鏡單位，因此，POY 40 是移動透鏡位置向上 50mm，如圖 4.8 所示。最終的設計圖如圖 4.9 所示。

如此，任何編輯過的構造參數，都可被用來建立起多重組態系統。

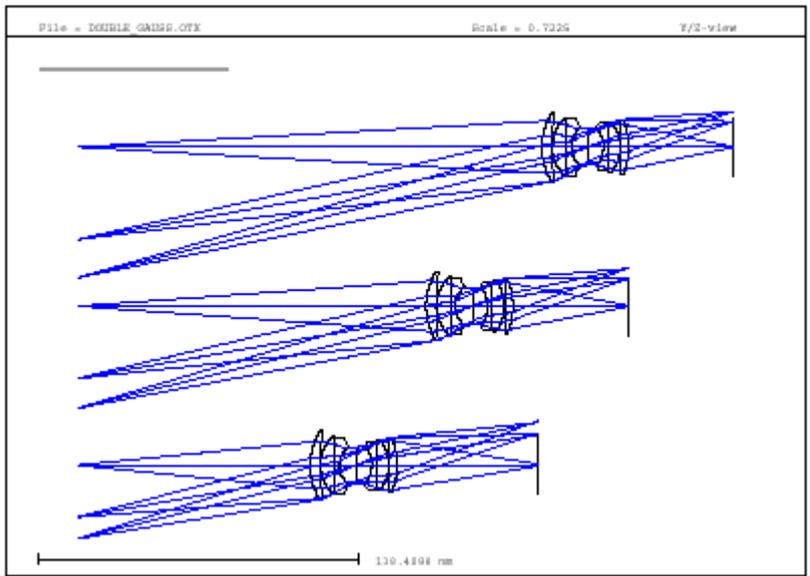


(圖 4.7) 所有組態的設計圖

| Zoom/Multiconfiguration Data |          |         |                   |                  |                    |
|------------------------------|----------|---------|-------------------|------------------|--------------------|
|                              | VARIABLE | SUR/FLD | Pos. 1            | Pos. 2           | Pos. 3             |
| 1                            | THI      | S0      | 200               | 150              | 100                |
| 2                            | POY      |         | 50.00000000000000 | 0.00000000000000 | -50.00000000000000 |

Row 1 Column 3

(圖 4.8) 定義偏移指令 (POY)



(圖 4.9) 於圖面位置上產生分離的各組態圖

## 第5章 特殊選項

### 第1節 巨集

略

### 第2節 使用者自訂圖形

略

## 第6章 優化

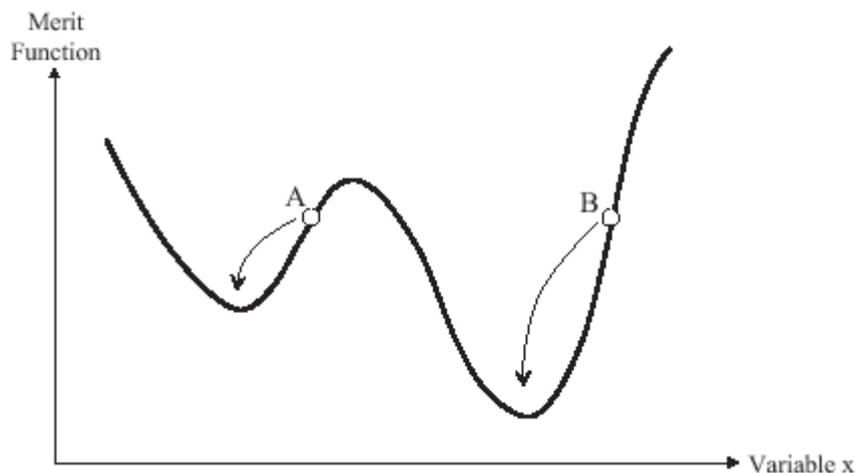
優化是透過改變透鏡資料的某些參數值來達到最小化像差的程序，以符合某些特定應用的需求。在本章節中，我們將解釋 *OpTaliX* 的優化概念，以及所有符合這個目標的必要步驟，對於更詳細的優化演算描述可以在參考手冊找得到。

一個成功的優化設定需要對變數和相關誤差函數的定義，變數基本上是如表面曲率、厚度、傾斜角等等的物理量，一光學系統的性能是以使用者自訂的誤差函數來決定，也稱之為優質函數 (merit function)，優質函數給予設計需求上表現的不同差別計算，優質函數越低，性能也越好。

優化是變數疊代的過程，透過重複的改變變數來找出新的變數符合較低優質函數的新值，因此，第一和最基本步驟是起始點設計，*OpTaliX* 的案例資料庫是一個好的參考方式，輔助我們找出起始點。

使用在 *OpTaliX* 的優化演算是搜尋對於給定函數的局部最小值，因此，像差修正的可達成等級是依據起始點的選擇，對於一個變數，可參考圖 6.1 的圖形化的表示。

然而變數的數量基本上會高於 1，且局部最小值的數也非常大，這使得起始點的選擇非常重要，在圖 6.1 的起始點 A 和 B 大約有相同的優質函數，但優化後將會有不同的優質函數最小值，因此，需要注意到找出最小值總體最小值是由設計者的技巧和經驗。



(圖 6.1) 單變數的優質函數，起始點 (A,B) 的選擇決定哪一個局部最小值被找到

我們現在將描述設定所有需要參數優化的步驟，有以下幾項：

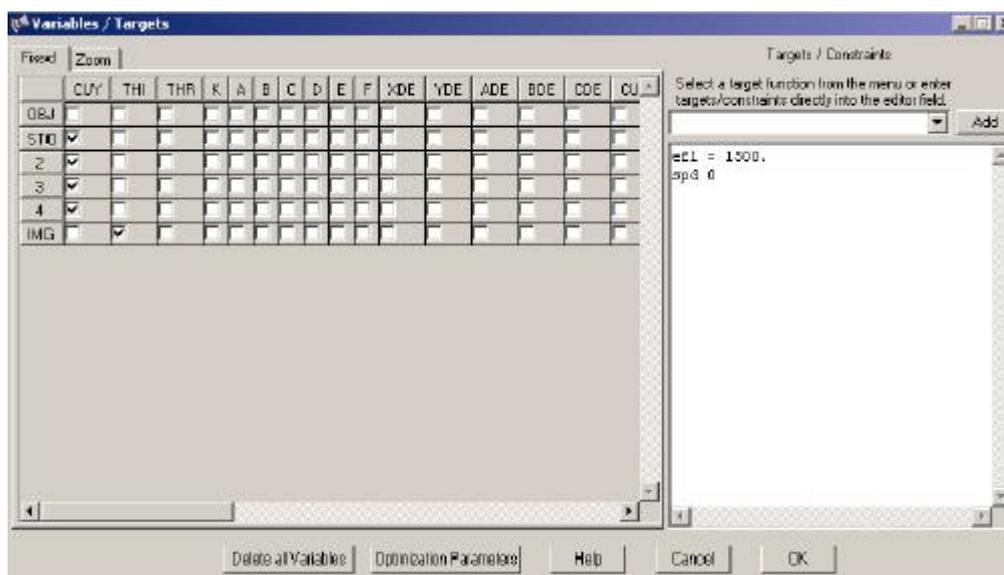
1. 變數的定義
2. 目標與限制項的定義，以形成優質函數
3. 執行優化

## 第 1 節 案例一：固定焦距透鏡的優化

在本章節中，我們將對一個最早由 Buchroeder 提出的複消色差望遠鏡 (apochromatic telescope) 進行優化，設計檔存放於範例資料夾 \examples\optimization\apo\_0.otx。一個橫向像差光扇圖 (使用指令 FAN 或點選圖示 ) 可顯示出不佳的成像品質，因為我們已先對 Buchroeder 的設計中故意調差品質，這是為了稍後優化而修改的。

### 6.1.1 定義變數

使用指令"VAR"或點選工具列圖示來產生構成參數的變數化，開啓後的視窗如圖 6.2 所示。在我們的 Buchroeder 設計中，將產生全部的曲率變數，也就是表面 1 到 4 的 CUY (Y 曲率)，因此，我們勾選 CUY 欄位中的表面 1 到 4。



(圖 6.2) 可定義變數、目標、限制項的對話視窗

此外，我們也將產生一個失焦 (DEF) 變數，失焦對近軸焦距來說是附加上的值，幫助找出最小光點直徑 (spot diameter)，一般不是在近軸焦距上，主要由於殘留球形像差的原因，我們勾選對話視窗左下角的標籤 DEF。

### 6.1.2 優質函數

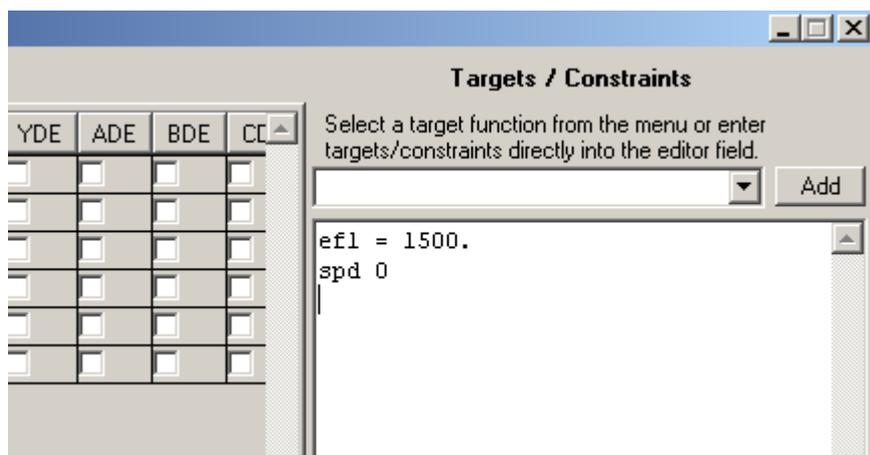
優質函數由目標和限制項所組成，舉例來說，目標可以是小光點直徑 (SPD)，或最小橫向

色差 (LAC)。限制項是一完全等於，或大於或小於一特定值的參數，舉例來說，固定焦距為某一數值即為一限制項。

在本案例中，優質函數的構成是非常簡單的，在變數/目標對話視窗中，輸入：

$EFL = 1500$

$SPD = 0$



這些意義是明顯的：我們固定焦距 (EFL) 為 1500mm，光點直徑 (SPD) 的目標值為零。因為沒有運算子 (>, <, =) 被設定，光點直徑將在所有欄位和波長最小化，在本案例中，這已經是足夠了，我們將在稍後學習如何去建構更進階的優質函數。

相較於限制項的目標值，也可以從右上方清單中下拉選擇，如圖 6.3，按住"Add"鈕來增加目標函數於優質函數的定義欄中，注意只有函數名稱被增加，相對的優質函數輸入必須透過適當的運算子和目標值（或限制項）來實現。本案例中只有目標函數，如下：

$EFL = \langle \rangle \text{ target}$

是被加入到優質函數中，標記  $=\langle \rangle$  和  $\text{target}$  有固定位置，需適當的來編輯，舉例來說，

$EFL = 1500$

在完成優質函數定義，我們可以關閉此對話視窗。

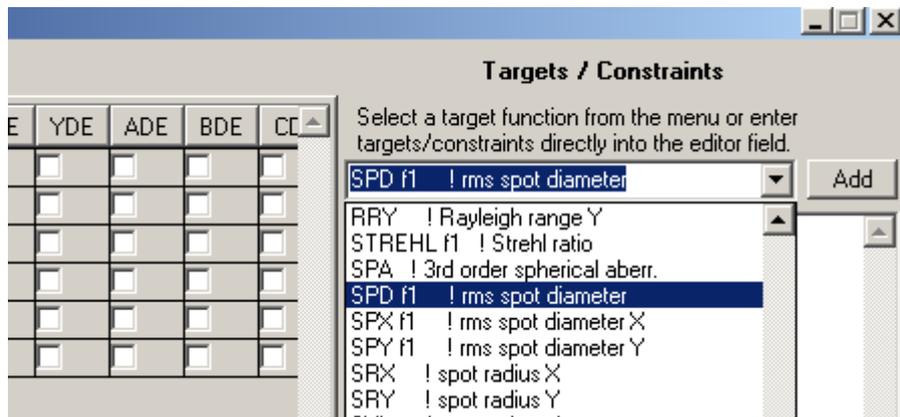
此時，需花時間注意到優質函數可能包含任何的 **OpTaliX** 指令，舉例來說，在指令列中輸入 **SPD** 可以在文字視窗中算出方均根光點直徑，同樣的指令下，而用到優質函數的定義中，可最小化光點直徑，然而，優質函數的輸入也可以十分複雜，如算術表示式  $2*\sqrt{2}/3$ ，和透鏡資料庫（如厚度、曲率半徑）也可被用作為目標，因此，這是完全有效的寫下焦距的限制項式如：

$$EFL = 2*750$$

或

$$EFL = \text{sqrt}(1500)**2$$

在參考手冊中，可參考更多可優化的指令和表示式清單，而現在所有需要優化的參數都已被定義，並可開始執行優化。



(圖 6.3) 從下拉清單中選擇適當的目標/限制項函數，並加入至優質函數定義欄中

### 6.1.3 優化的執行

使用指令 **OPT**，或點選工具列圖示  可進行優化的計算。預設的疊代次數是 10 次，基本上，從優化執行後的輸出可分為四個部分，如下：

第一部分：變數與限制項的數目

```
KT Optimization:
Number of variables      :      5
Number of functions     :     900
Number of equality constraints :      1
Number of inequality constraints :      0
```

第二部分：優化啟動後的誤差函數細項

| Targets/Constraints | Target      | Function    | Error      |
|---------------------|-------------|-------------|------------|
| efl = 1500.         | 1500.000000 | 1457.939417 | -42.060583 |
| spd 0               | 0.000000    | 0.038304    | 0.038304   |

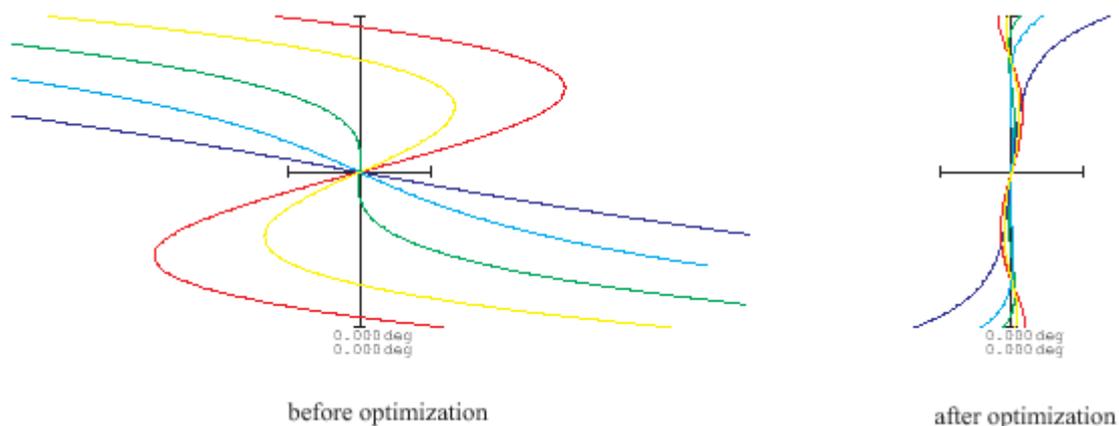
第三部分：每一次疊代的誤差函數報告

| Iter | Min.     | Equal.   | Inequal. | DumpingF.     | Improv. |
|------|----------|----------|----------|---------------|---------|
| 0    | 0.906432 | 6.485413 | 0.000000 | 1.000000      |         |
| 1    | 0.268796 | 1.105826 | 0.000000 | 0.8133397E-02 | 0.70346 |
| 2    | 0.041503 | 0.102830 | 0.000000 | 0.8133397E-03 | 0.84560 |
| 3    | 0.027474 | 0.157272 | 0.000000 | 0.8133397E-07 | 0.33801 |
| 4    | 0.027454 | 0.003427 | 0.000000 | 0.8133397E-13 | 0.00073 |

第四部分：優化終止後的誤差函數細項

| Targets/Constraints | Target      | Function    | Error    |
|---------------------|-------------|-------------|----------|
| efl = 1500.         | 1500.000000 | 1500.000012 | 0.000012 |
| spd 0               | 0.000000    | 0.001160    | 0.001160 |

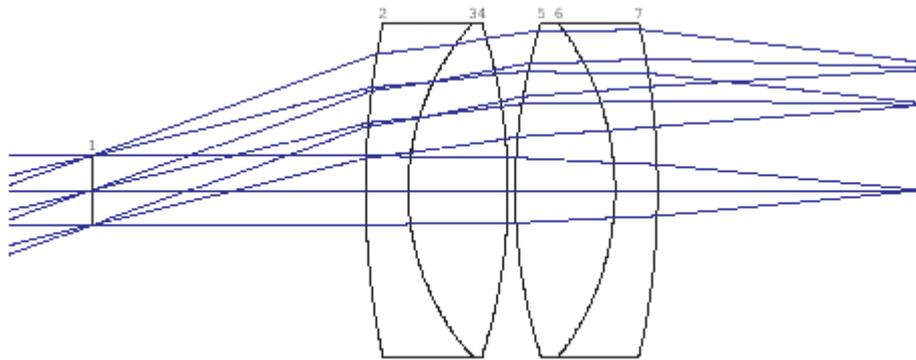
經由光扇圖的分析，比較優化前後的結果，如圖 6.4 所示明顯得到改善。



(圖 6.4) 優化前後的光扇圖比較

### 6.1.4 案例二

在本案例中，我們將優化一個簡單的 Ploessl 目鏡，如圖 6.5 為初始的光學設計圖，此案例可在案例資料夾\examples\optimization\eyepiece\_0.otx 開啓。所有將在下列討論的優化參數，在開啓此光學系統後均已經設定完畢，如同前一章節中，像差會故意的調得非常小，本案例的目標是保持光束在成像面上是遠心的 (telecentric)，也就是主要光線 (principal rays) 平行於成像空間的光軸上。



(圖 6.5) Ploessl 目鏡設計圖

為了達到遠心，我們需要在主光線 (chief rays) 方向上有一限制項，可以使用指令 **CY** 來實現此一目的，**CY** 是光線的餘弦方向，因此需要此一組參數來定義單一光線，整個限制項的定義會是：

$$CY\ s8\ w1\ 0\ 0 = 0$$

第一眼看起來似乎有點複雜，然而，假如想法、概念都瞭解後，限制項就會十分容易的瞭解，此限制項 (指令) 指出在 **Y** 方向的餘弦 (**CY**) 在第八個表面 (**s8**)、視場數 **2** (**f2**) 和波長數 **1** (**w1**)，光線在相對座標  $x=0\ y=0$  上通過孔徑光欄 (stop)，這是孔徑光欄的中心點，等式 (=) 指出此條件式將以目標值為零時得到實現。

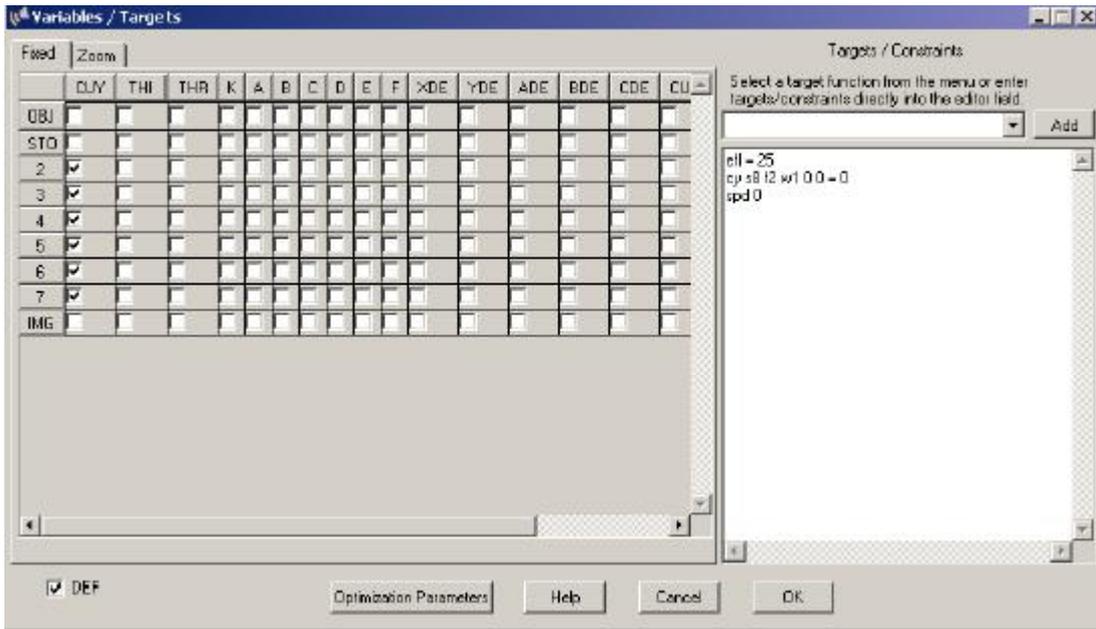
此外，我們需保持焦距為 25mm，並對所有場點的光點直徑最小化，則完整的優質函數定義變為：

$$efl = 25$$

$$CY\ s8\ f2\ w1\ 0\ 0 = 0$$

$$spd\ 0$$

變數是表面 2 到 7 的曲率 (**CUY**) 和離焦項 (**DEF**)，執行指令 **VAR** 或點選工具列圖示 ，如圖 6.6 摘列出所有需要的變數/限制項的輸入。

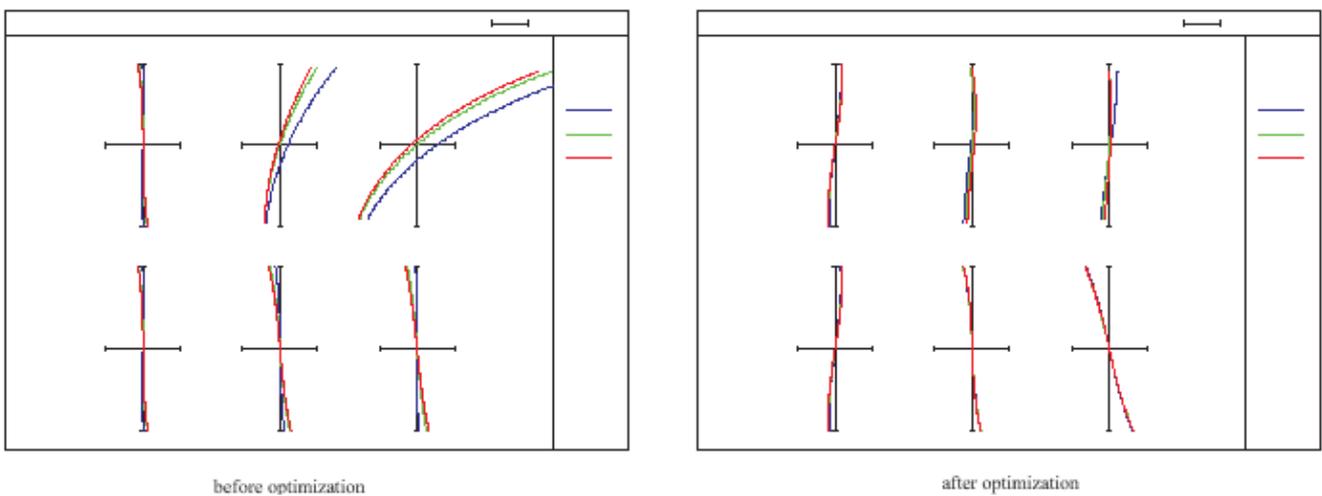


(圖 6.6) 定義 Ploessl 目鏡的變數、目標和限制項對話視窗

如圖 6.7 所示，執行優化後產生一個偏軸像差 (off-axis aberration) 得到明顯改善，我們有興趣知道遠心限制項可多理想的來實現，因此在指令列上，使用估算指令 (EVA) 來查詢餘弦 CY 的方向：

*eva [CY s8 f2 w1 0 0]*

結果得到方向餘弦為  $-6.279830604638548E-06$ ，近似於  $0.00036$  度 ( $\sin^{-1} -6.279830604638548E-06$ )，對大多的實際目的，這個值是足夠理想的。



(圖 6.7) 優化前後的光扇圖比較

### 6.1.5 設定優化參數

一般優化參數 (General optimization parameters) 可控制優化的行為 (例如選擇一個適當的優化法)，和在優化過程中定義哪些種數值需要記錄。

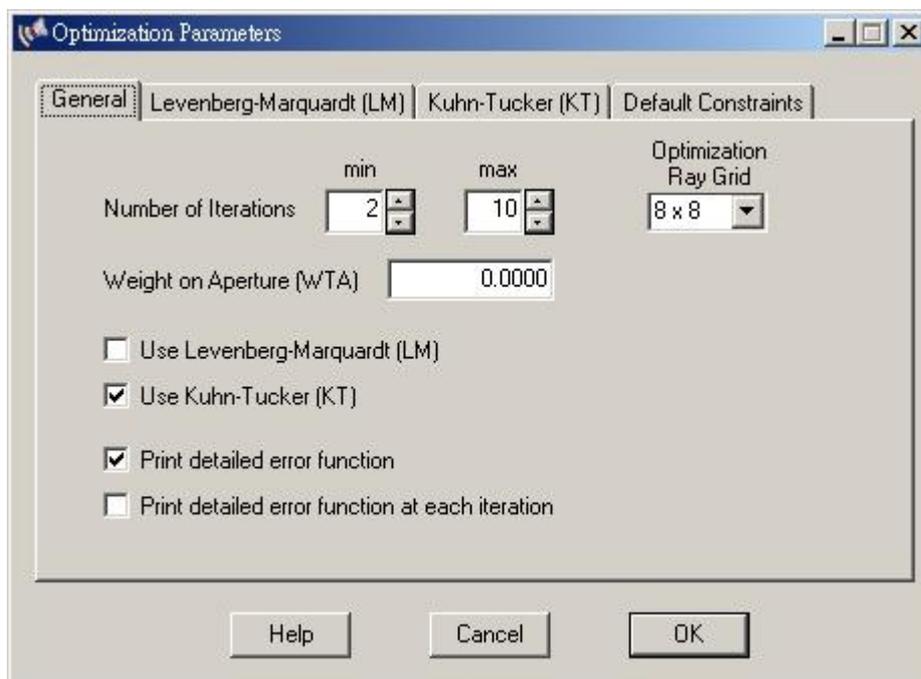
本章節提供一些補充資料來調整優化程序，既然我們已經在所有的優化案例中預訂了合理的優化參數，所以並沒有立即的需求來改變這些值，讀者也許可以跳過這一章節，或晚些時候再去閱讀。

一般優化參數是定義在功能表 **Optimization>Parameter** 的對話視窗中，可參考圖 6.8 所示。

#### 6.1.5.1 一般分頁視窗

在本視窗中，可設定最小與最大疊代次數，優化的循環將至少大於最小疊代數，不論系統是否有無改善，都不會提早中斷疊代過程。

假如最大允許的循環已達到，優化將被中斷，假如部分的改善結果是小於改善係數 (指令 IMPR)，可提前提前中斷優化。



(圖 6.8) 編輯一般優化參數的對話視窗

*OpTaliX* 允許優化中的不同光線格點 (ray grid)，優化光線格點定義只在優化過程中光線通過瞳直徑的數量。此設定不會與使用於分析時的光線數混淆 (參考指令 NRD)，設定優化光線格點至較低於 NRD 值只減少優化過程中的光線數量，舉例來說，選擇優化光線格點 16x16 和

NRD 32 只使用在優化過程中在光線矩陣每秒光線，可加速優化速度，而所有隨後執行的分析將仍舊使用 32x32 光線格點。

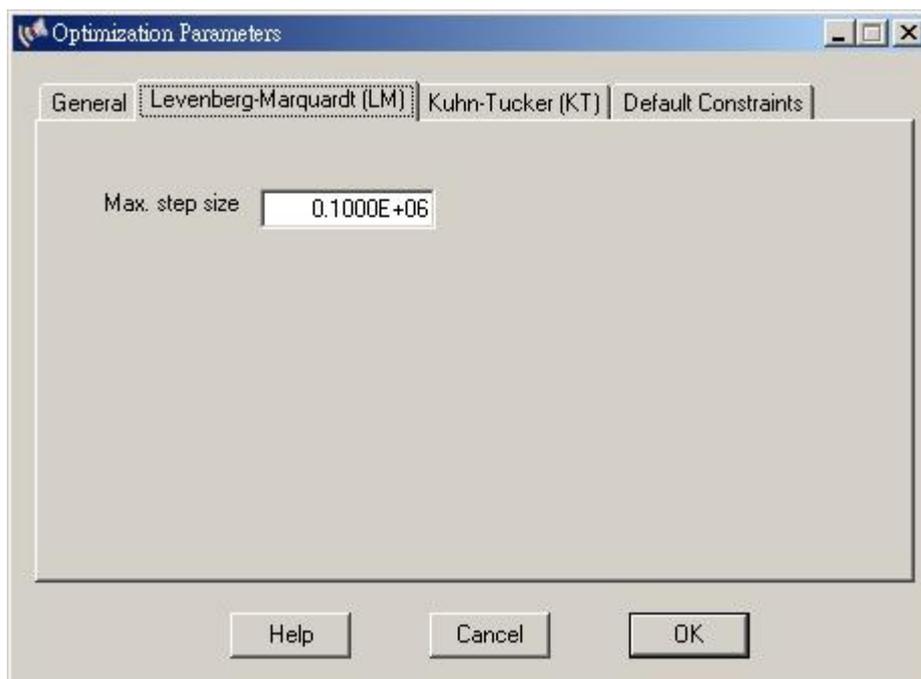
至於優化演算法，*OpTaliX* 目前提供兩個不同的局部優化法，Levenberg-Marquardt (LM) 優化和 kuhn-Tucker (KT) 優化，可參閱參考手冊有對兩種方法更詳細的說明。

**Print detailed error function**：假如勾選，全部誤差函數值將記載出優化開始與優化完成的資訊。

**Print detailed error function**：假如勾選，全部誤差函數值將記載出每次優化疊代的資訊。因此此選項將可能會增加文字視窗的輸出，建議只在診斷分析時才勾選。

### 6.1.5.2 Levenberg-Marquardt (LM) 分頁視窗

此分頁視窗提供一個參數 - 最大步階 (maximum step size)，假如收斂變慢或收斂不穩定，這個值可以適時增加，最大步階正常來說不需要修改。



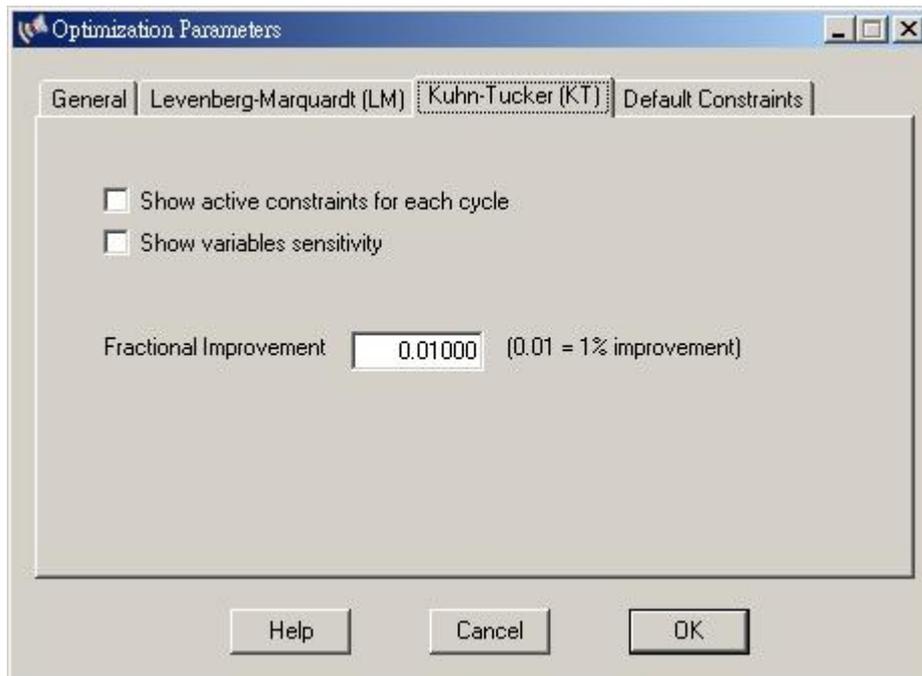
(圖 6.9) LM 優化法的編輯視窗

### 6.1.5.3 Kuhn-Tucker (KT) 分頁視窗

**Show active constraints for each cycle**：顯示目前啓用的限制項，不等式限制式是動態地被啓動或當優化完成時釋放。

**Show variables sensitivity**：假如勾選，顯示每變化參數的相對於優質函數改變的貢獻。

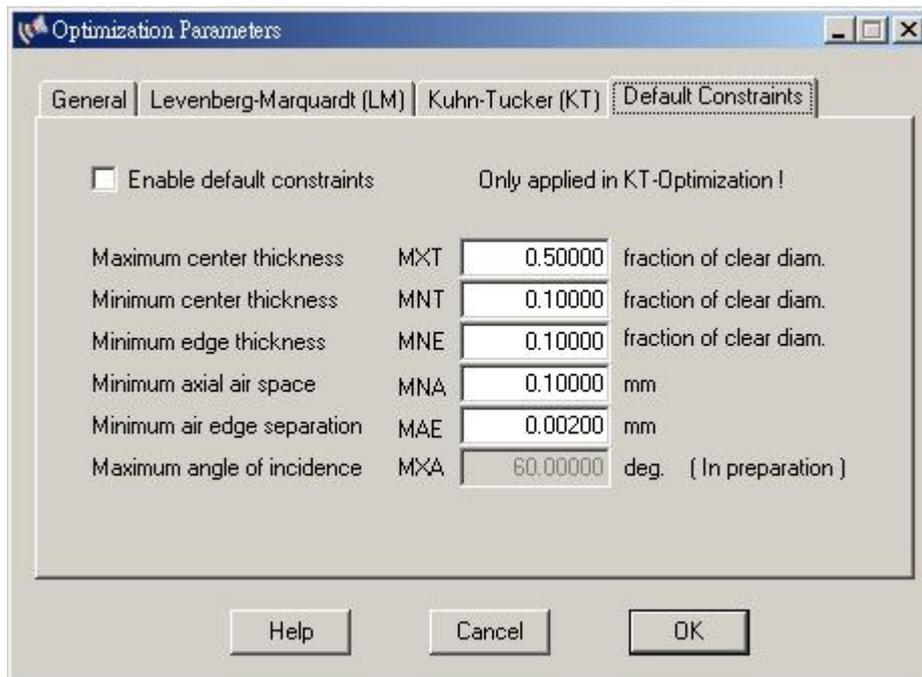
**Fractional improvement**：假如誤差函數的改善小於部分改善，優化將被中斷，假如超出最大循環數，中斷可能提前發生。



(圖 6.10) KT 優化法的編輯視窗

#### 6.1.5.4 預設限制項分頁視窗

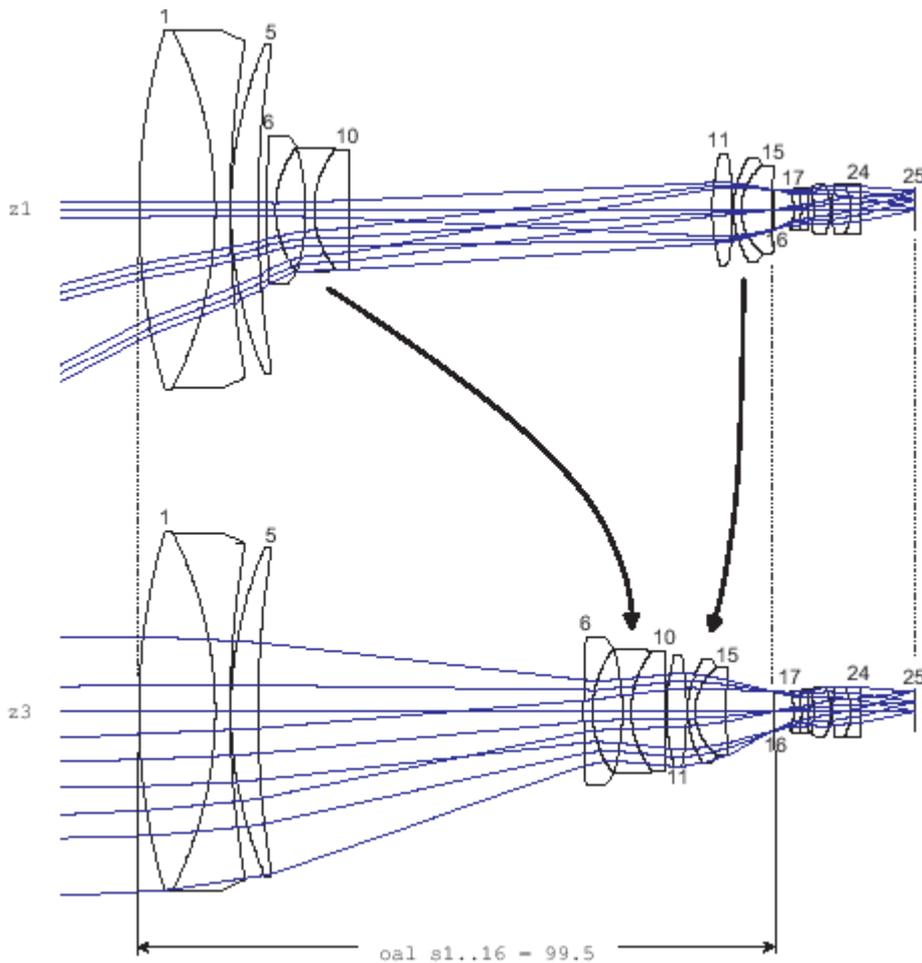
假如勾選，預設限制式將自動加入至目標（誤差）函數清單中，預設限制式對於保持合理的透鏡尺寸和優化過程中的空間是有用的，舉例來說，預設限制式可確保邊緣厚度總是可製造（換句話說，大於透鏡直徑的某一比例），以及透鏡間不會交疊（換句話說，空間邊緣間隔總是為正）。



(圖 6.11) 預設限制式的編輯視窗

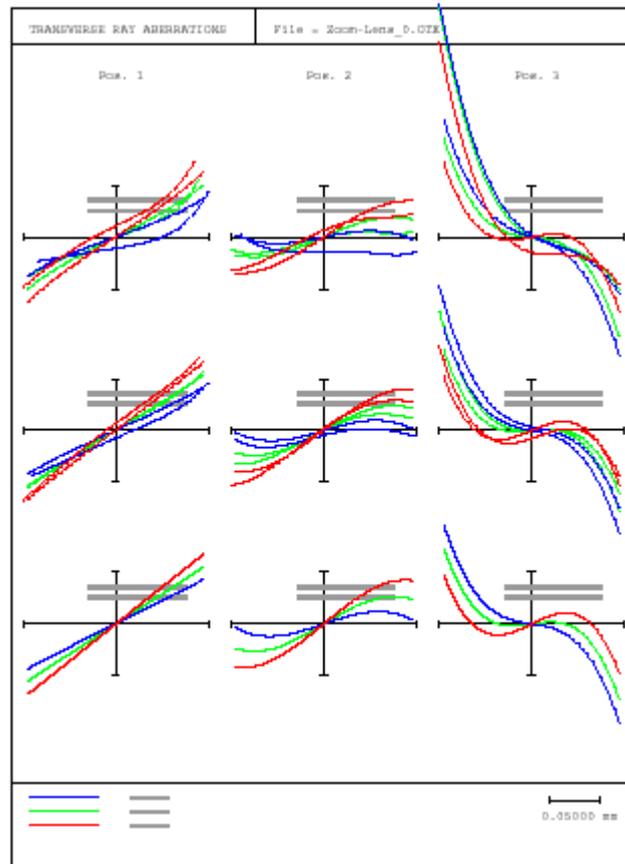
## 第 2 節 變焦透鏡的優化

讀者應該熟習在[章節 4.7](#) 所學習到的變焦透鏡系統，變焦（或多重組態）透鏡的優化是比固定焦距透鏡來的複雜，因為通常有更多的變數和限制式需要被定義。本章節將介紹設定這些所需參數的詳細步驟，優化設計此種系統可在範例資料夾 `\examples\optimization\zoom-lens_0.otx` 找到，這是從 Laikin 所設計的透鏡刻意降低品質的案例，[圖 6.12](#) 顯示光學設計圖和透鏡組移動後的結果。



(圖 6.12) 機械補償式變焦透鏡顯示在兩個位置  $z_1$  和  $z_3$ ，中間的位置  $z_2$  為了圖形清楚而被省略

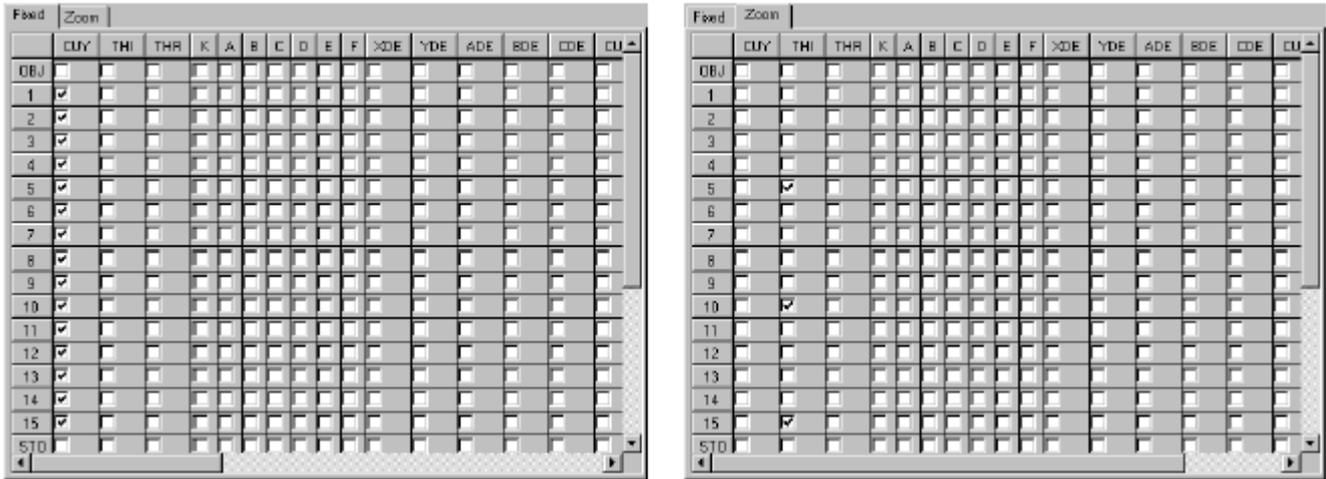
變焦透鏡包含四個透鏡組，分別的透鏡表面範圍為 1-5、6-10、11-15 和 16-25。外部的透鏡組 (1-5, 16-25) 是固定位置的，而兩個內部透鏡組 (6-10, 11-15) 可互相反向的移動，如圖 6.12 的箭頭所示。如此焦距 (EFL) 可從 5.8mm 至 58mm 約十倍的比例改變。如圖 6.13 所示，我們初始系統的成像表現是差的，因為其構成參數為了教學目的已從最理想的狀態改變。



(圖 6.13) 初始系統（優化前）的橫向像差圖，注意：假如我們的圖形與此張圖不同，我們在喜好設定是不同的，從功能表 File>Preferences 選擇 operations'分頁，勾選 Align ray fan curves horizontally'

我們現在開始定義變數。在這過程中，我們必須分辨對所有變焦位置完全相同的參數和那些將呈現在每個位置的不同值的參數，我們現在將表示第一種變數為固定（非變焦系統中的）變數，以及變焦變數，清楚地可知曲率半徑必須在所有位置上保持不變，而對於厚度，三個空間將因位置而改變，即 THI s5、THI s10 和 THI s15 控制內部透鏡組的軸向位置。

變數的定義可從工具列圖示 **VAR** 的點選來開啓進行，或是輸入指令"VAR"來進行，在開啓後的對話視窗中（參考圖 6.14），圖中出現的矩陣形核取方塊，以預設來說，左邊的分頁視窗可編輯非變焦系統，我們勾選最左邊欄位標籤"CUY（曲率半徑）"除了表面 16（孔徑光欄）和表面 25（成像表面）的所有表面，因此，現在所有的曲率半徑已經標記為變數。

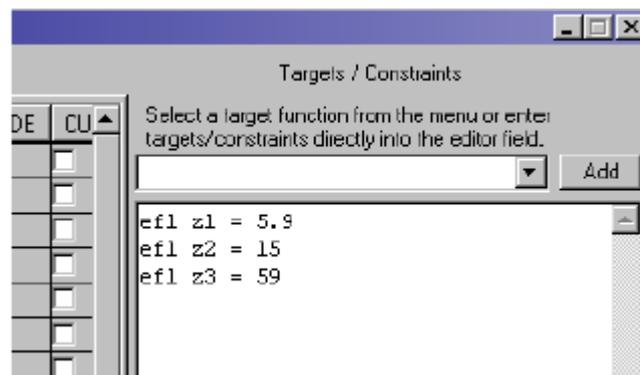


(圖 6.14) 圖左為非變焦系統的變數編輯，圖右為變焦系統的變數編輯

點選"Zoom (變焦)"分頁標籤，開啓類似於非變焦分頁視窗，所有的矩陣形核取方塊均未被勾選，在這裡我們勾選所有的距離來允許對每一變焦位置的改變，即在之前所提到的，勾選欄位標籤"THI"的表面 5、10 和 15，結果如圖 6.14 所示。

此時，需說明變焦與非變焦參數為何是有所差別，在變焦控制上建立的變數參數將會產生 N 個變數，其中 N 是變焦位置的數量，而非變焦參數只會產生一個單一變數。

我們現在將定義優化限制式，換句話說，哪一像差將被最小化，和哪一操作條件將被保留。首先我們定義每一變焦位置的焦距 (EFL)，因為我們已經定義三個變焦位置，三個焦距限制式必須在變數/目標對話視窗的文字方塊來輸入，輸入的設定如圖 6.15 所示。



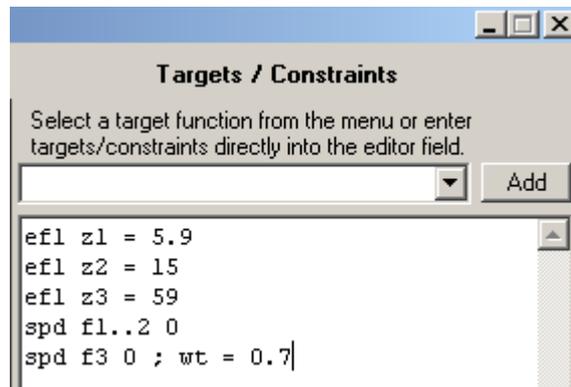
(圖 6.15) 定義三個變焦位置的焦距限制式

當然，優化透鏡系統的主要目標之一是要達到好的成像品質，因此，我們加入準則來最小化光點直徑，在 *OpTaliX* 所使用到的指令是 **SPD**，我們將在下面加入一項限制式：

*spd f1..2 0*

*spd f3 0 ; wt = 0.7*

其中，對在視場 1 和 2 的光點直徑定義一個 0 目標值，以及視場 3 以較低權重 (0.7) 來定義光點直徑，因為我們允許在視場 3 邊緣的表現稍微比視場一半和中心處為差，這些限制式/目標設定現在應該看起來跟圖 6.16 一樣。



(圖 6.16) 在限制式/目標定義中，增加光點直徑的最小化

我們現在已經到了可以執行優化的步驟了，然而，對這個結果可能並不滿足，一般來說，變焦透鏡在變焦中應該維持其焦距，因此也需要額外的限制式來保持第一和最後透鏡組固定不動，這些需求可以透過一通過第一和最後透鏡組間的全長 (OAL) 的常數來實現：

$$oal\ s1..16 = 99.5$$

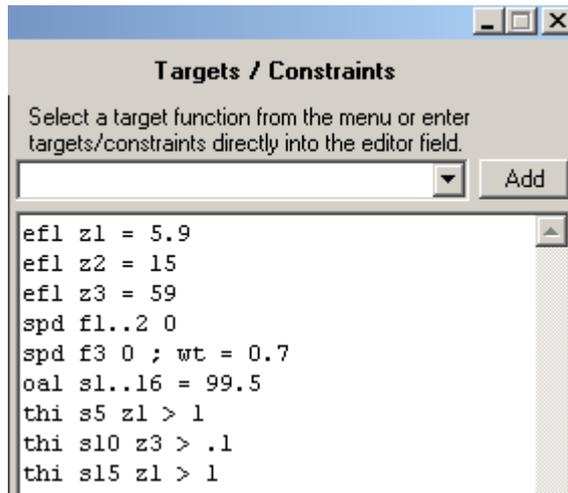
我們加入上述限制式，也比較圖 6.12，其指出此厚度的限制式，最後，我們需要在介於兩個可移動透鏡組間有非負數的厚度：

$$thi\ s5\ z1 > 1$$

$$thi\ s10\ z3 > .1$$

$$thi\ s15\ z1 > 1$$

最終的限制式/目標定義將如圖 6.17 所示：



(圖 6.17) 完成的限制式/目標定義

需注意固定的焦距位置必須保持不變，這是因為後焦距距離 (THI s24) 不可變動，並且開始的範例已經以 "PIM no" 來記錄，這是適當的讓 THI s24 為可變化的，以便非變焦參數在隨後優化中精化（這給我們額外的自由度來達到更好的修正），但在我們目前的優化設定不去執行，以免影響本案例的複雜度。

現在關閉對話視窗，我們現在將列出優化條件（使用指令 LIS OPT），或從功能表選擇 **List>Optimization>All**。

```
Optimization setup :           File = Zoom-Lens_0.OTX
Variables :
  1  CUY
  2  CUY
  3  CUY
  4  CUY
  5  CUY
  6  CUY
  7  CUY
  8  CUY
  9  CUY
 10  CUY
 11  CUY
 12  CUY
 13  CUY
 14  CUY
 15  CUY
 17  CUY
 18  CUY
 19  CUY
 20  CUY
 21  CUY
 22  CUY
 23  CUY
 24  CUY
```

Zoom Variables :

5 THI  
10 THI  
15 THI

Targets and constraints :

efl z1 = 5.9  
efl z2 = 15  
efl z3 = 59  
spd f1..2 0  
spd f3 0 ; wt = 0.7  
oal s1..16 = 99.5  
thi s5 z1 > 1  
thi s10 z3 > .1  
thi s15 z1 > 1

輸入指令 OPT 或從功能表選擇 Optimization>Optimize 開始執行優化。當優化逐漸進行時，優質函數應該會減少。

KT Optimization:

Number of Zoom variables : 9  
Number of variables : 32  
Number of functions : 2430  
Number of equality constraints : 6  
Number of inequality constraints : 3

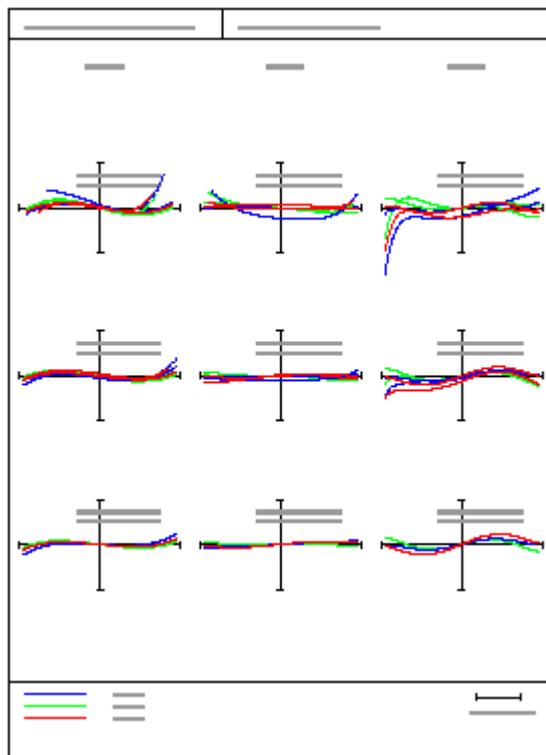
| Targets/Constraints | Target    | Function  | Error     |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| efl z1 = 5.9        | 5.900000  | 5.840701  | -0.059299 |
| efl z2 = 15         | 15.000000 | 14.760537 | -0.239463 |
| efl z3 = 59         | 59.000000 | 57.560921 | -1.439079 |
| spd f1..2 0         | 0.000000  | 0.016804  | 0.016804  |
| spd f3 0 ; wt = 0.7 | 0.000000  | 0.026450  | 0.026450  |
| oal s1..16 = 99.5   | 99.500000 | 98.805174 | 1.229824  |
| thi s5 z1 > 1       | 1.000000  | 1.330000  | 0.330000  |
| thi s10 z3 > .1     | 0.100000  | 0.100000  | 0.000000  |
| thi s15 z1 > 1      | 1.000000  | 0.430000  | -0.570000 |

| Iter | Min.     | Equal.   | Inequal. | DumpingF.     | Improv. |
|------|----------|----------|----------|---------------|---------|
| 0    | 0.660490 | 1.974295 | 0.754983 | 1.000000      |         |
| 1    | 0.235616 | 0.938567 | 0.574456 | 0.1000000E-01 | 0.64327 |
| 2    | 0.128306 | 0.041125 | 0.000000 | 0.1000000E-02 | 0.45545 |
| 3    | 0.096400 | 0.037822 | 0.000000 | 0.1000000E-03 | 0.24867 |
| 4    | 0.086081 | 0.021050 | 0.000000 | 0.3148169E-03 | 0.10705 |
| 5    | 0.083836 | 0.008540 | 0.000000 | 0.3148169E-03 | 0.02607 |
| 6    | 0.082402 | 0.008073 | 0.000000 | 0.3148169E-03 | 0.01711 |
| 7    | 0.081426 | 0.008142 | 0.000000 | 0.3148169E-03 | 0.01184 |
| 8    | 0.079383 | 0.008972 | 0.000000 | 0.3148169E-03 | 0.02510 |
| 9    | 0.078511 | 0.007531 | 0.053472 | 0.3148169E-03 | 0.01097 |
| 10   | 0.077906 | 0.007452 | 0.000000 | 0.3148169E-03 | 0.00771 |

Optimization stopped. Improvement is less than 0.01000 (1.00%)

| Targets/Constraints | Target    | Function  | Error     |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| efl z1 = 5.9        | 5.900000  | 5.900001  | 0.000001  |
| efl z2 = 15         | 15.000000 | 14.999983 | -0.000017 |
| efl z3 = 59         | 59.000000 | 58.999880 | -0.000120 |
| spd f1..2 0         | 0.000000  | 0.001808  | 0.001808  |
| spd f3 0 ; wt = 0.7 | 0.000000  | 0.003582  | 0.003582  |
| oal s1..16 = 99.5   | 99.500000 | 99.500000 | 0.000000  |
| thi s5 z1 > 1       | 1.000000  | 1.000000  | 0.000000  |
| thi s10 z3 > .1     | 0.100000  | 0.100000  | 0.000000  |
| thi s15 z1 > 1      | 1.000000  | 1.000000  | 0.000000  |

從結果來看，品質改善（像差的減少）非常明顯，從圖 6.18 顯示的橫向像差圖中，我們已經完成此案例的優化設計。



(圖 6.18) 十次優化循環後的橫向像差，可與圖 6.13 來比較