

# 光学设计

——光学设计实例

中国科学院上海光学精密机械研究所  
2008年10月

- 通过设计实例，加深对已学几何光学、像差理论及光学设计基本知识、一般手段的理解，并能初步运用。
- 介绍光学设计软件ZEMAX的基本使用方法，设计实例通过ZEMAX来演示。

- 光学设计软件ZEMAX简介
- 单透镜
- 双胶合透镜
- 非球面单透镜
- 显微镜物镜
- 双高斯照相物镜
- 公差计算
- （具体的应用实例——视情况而定）

- 美国ZEMAX Development Corporation研发
- ZEMAX 是一套综合性的光学设计软件，集成了光学系统所有的概念、设计、优化、分析、公差分析和文件管理功能。ZEMAX所有的这些功能都有一个直观的接口，它们具有功能强大、灵活、快速、容易使用等优点。
- ZEMAX 有两种不同的版本：ZEMAX-SE和ZEMAX-EE，有些功能只在EE版本中才具有。
- ZEMAX 可以模拟序列性 (Sequential) 和非序列性 (non-sequential) 系统，分别针对成像系统和非成像系统。

- 计算机的出现，极大地促进了光学设计进程；
- 大多数光学设计程序的本质如下：
  - 每个变量发生少量改变或增减；
  - 计算每个变量对结果的影响；
  - 计算结果是一系列导数， $\partial p / \partial v_1$ ,  $\partial p / \partial v_2$ ,  $\partial p / \partial v_3, \dots$ ,  $p$ : 优化函数结果， $v$ : 变量；
  - 为了使残余结果的平方和最小，对每个变量联立方程求解；
  - 重复上述过程直至实现最优化。

1. 获得并考虑技术要求
2. 选择具有代表性的切入点
  - 前期设计、专利、建立联系、原始推导
3. 建立变量和约束
  - 变量包括：曲率半径、厚度、空气隙、玻璃特性
  - 约束可能是相关结构，如长度、半径等，或者是光线角度、F数等具体的参量
4. 使用程序对结果进行优化
5. 评价设计结果
6. 重复步骤3和4直至满足设计要求
  - 如果结果不满足条件，通过添加或分离元件、变化玻璃种类等来修改设计，然后返回步骤4
  - 另一种方法是返回步骤2
7. 进行公差分析，估计结果误差——透镜加工、机械结构与装校要求

## ■ 数据输入的一般过程

### ■ 输入光学系统结构数据

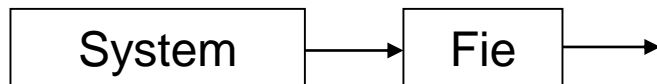
#### ● 输入孔径（有几种方式，如F#，NA，Aperture，...）

- 在屏上找到Button Gen，按出dialog box，选按Aperture，挑选Aperture type，并输入数值。
- 可以从System内选按General，按出dialog box。
- 可从File内选择按Preference(或Environment)出dialog box，将常用项目的Button选放在屏上，如 Gen，便于直接选用。

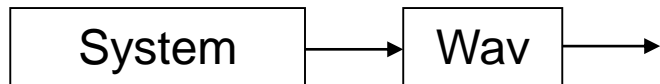
将上述过程表示为：



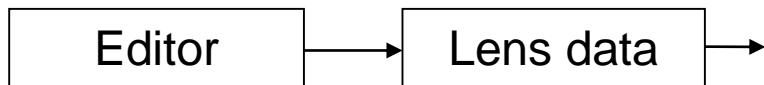
#### ● 输入视场：



## ■ 输入波长





## ■ 输入半径、厚度、玻璃



或从屏上已有的Lens data editor 改数据。

如屏上数据框内作double click 得有关dialog box, 可对现状作出修改, 例如:

- 修改Surface type, Aperture type, 改此面为光阑, 即“Make surface stop”;
- 修改Radius, 由fix改为Variable(优化过程中作为变量), 或由Solve给出;
- 修改最后一面到像面的Thickness由fix改为Marginal Ray Height, Pupil zone 0.7 为0。

■ 所选玻璃表是在  →  → 内选定, 可同时挑多个表

- 对于Surface type 和Glass Catalogs, 在User's Guide 内都有一章叙述。

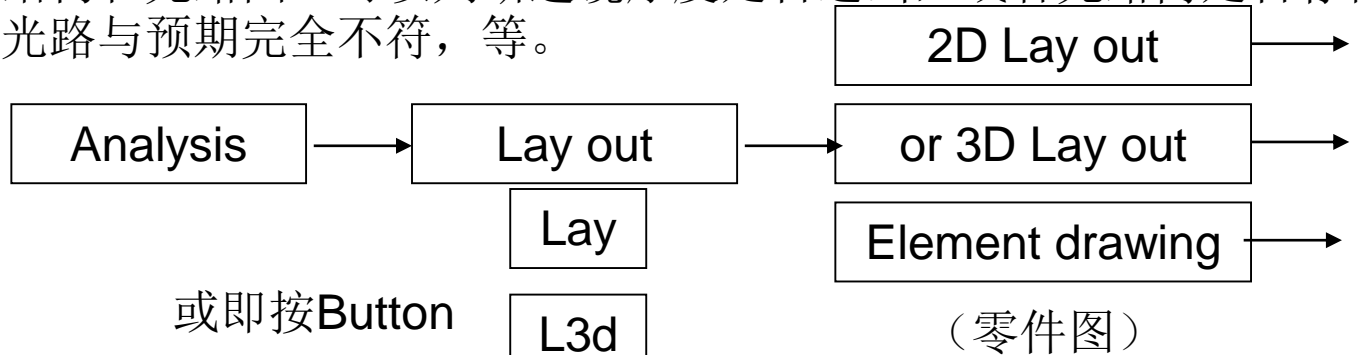


# 光学性能分析(Analysis)

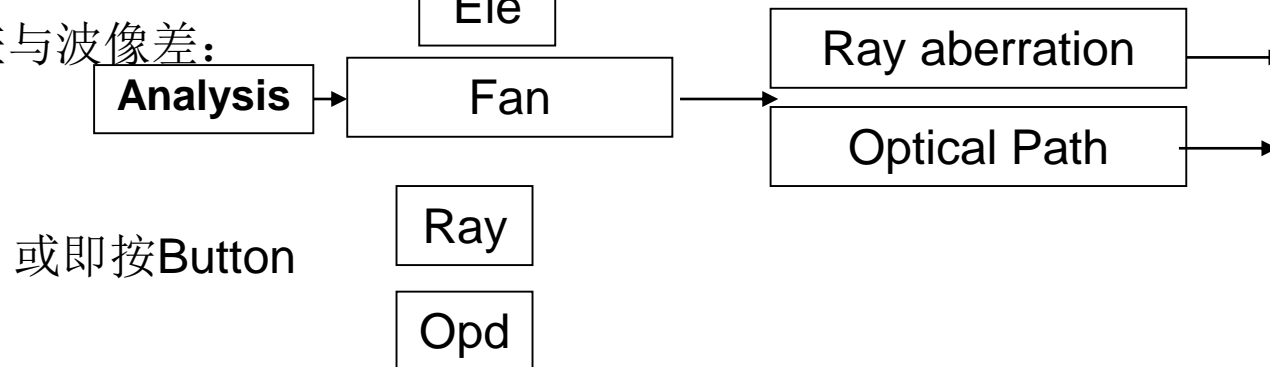


- 当已输入足够的结构数据后，程序就可以计算出像差并分析成像质量，这基本上是 **Analysis** 项目下的各种功能。

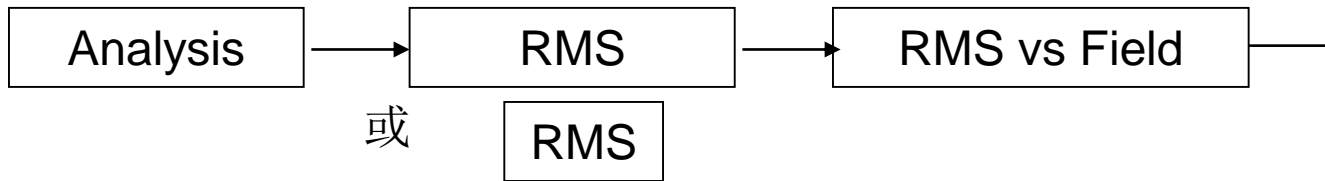
\* 系统结构和光路图：可以判断透镜厚度是否适当，或者光路内是否存在显著错误，使光路与预期完全不符，等。



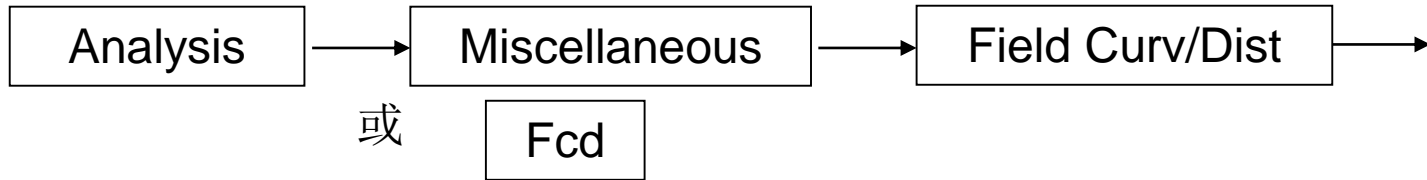
- 几何像差与波像差:



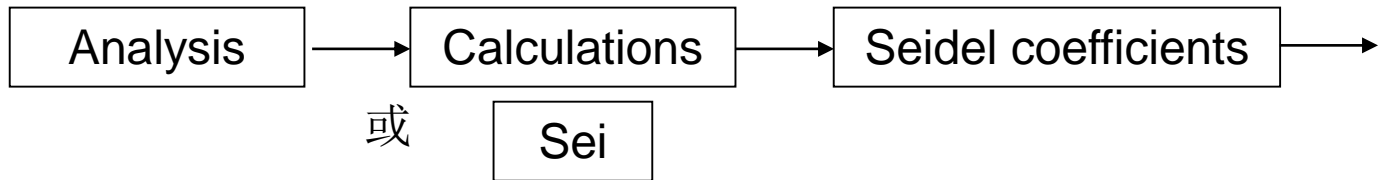
- 各个视场的波像差均方值



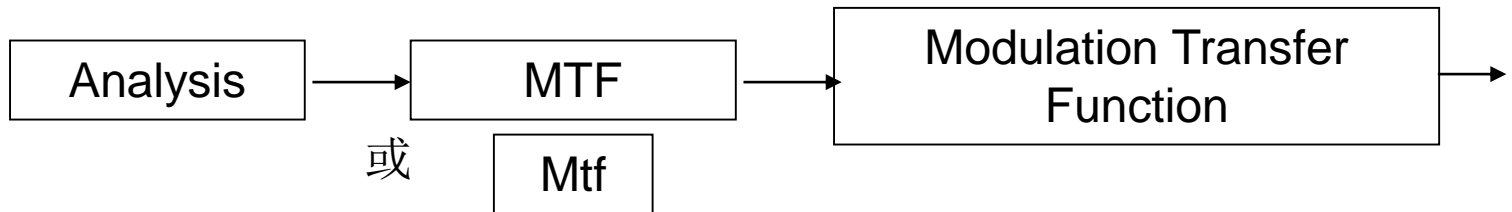
## ■ 畸变和像散像面弯曲



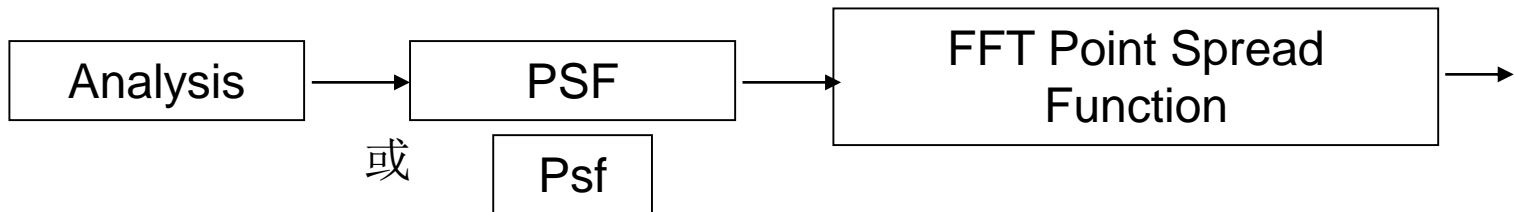
## ■ Seidel 像差系数



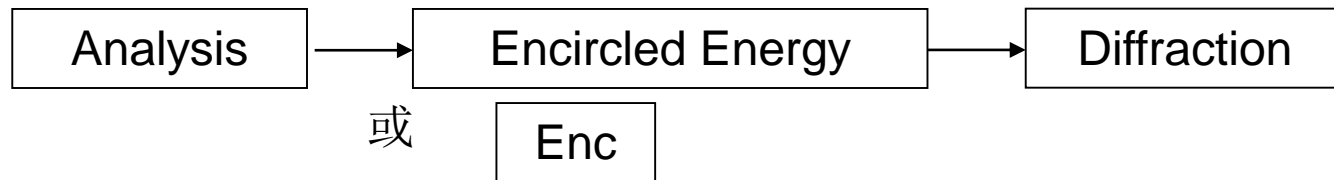
## ■ MTF



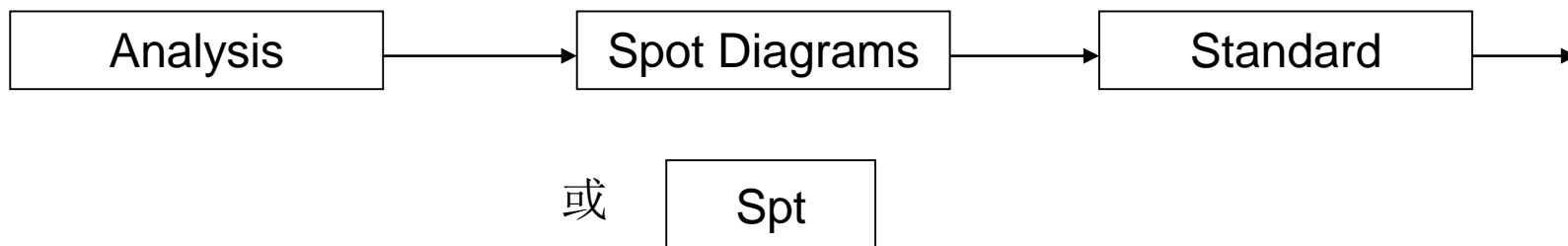
## ■ PSF



## ■ 能量集中度



## ■ 点列图



# Analysis

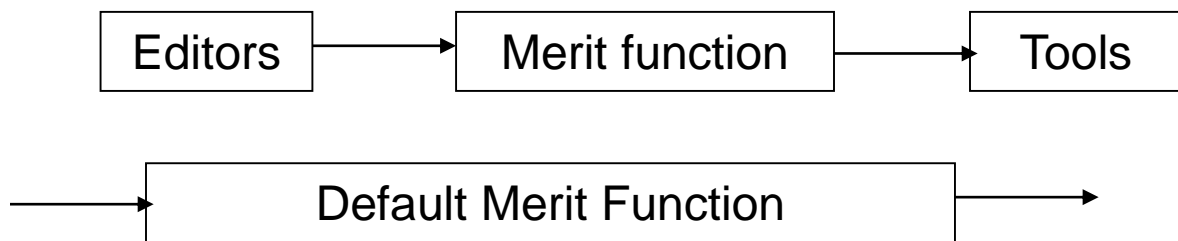
此程序所选用积分程序不好，使要求取样网格点（**Sampling**）较多，计算时间很长，使大像差系统的衍射积分不易算好。

所以这里没有算能量集中度 **Enc** 及 Huygens Point Spread function, 为能容易完成这类计算，波像差（**OPD**，不是**RMS**）宜小于一个波长，否则必须加大 **Sampling** 点数，增长时间。

计算**Seidel**像差的作用和目的是了解像差是在什么地方产生出来的，这对于将来校正或优化常会有帮助。

由于此程序不能直接计算和优化望远镜系统（如伽利略望远镜，不宜将物镜目镜分开设计），程序中在**Surface**内建立一个**Paraxial Surface**，即一个理想光学系统，把平行光束聚焦于一点，可以规定为一个任意的焦距值，从而计算望远镜系统的像差。

- 按Button **Opt** ，按出dialog box，预定优化次数，即可进行优化，但之前须规定Merit Function （优化目标函数）及变量。关于变量，将结构数据框作double click，得有关dialog box，就可以将此结构数据作为变量（variable）或改为Fixed 不变。
- 关于Merit Function，最简单的做法是用程序内的Default Merit Function，通过下列方法，即可调用适当的Default Merit Function：



按出dialog box，后按



即可，实际上此dialog box 中还有许多选项可改，这也是改变优化过程的方法之一。

■ 可以按实际情况作其他选择，改变优化过程。

● 还可以自行构造自己认为更好的Merit Function 或修改当前的Merit Function, 这就要在  框内输入适当的“Operand”，在Optimization 这一章内规定了一批Operand，所用符号如：

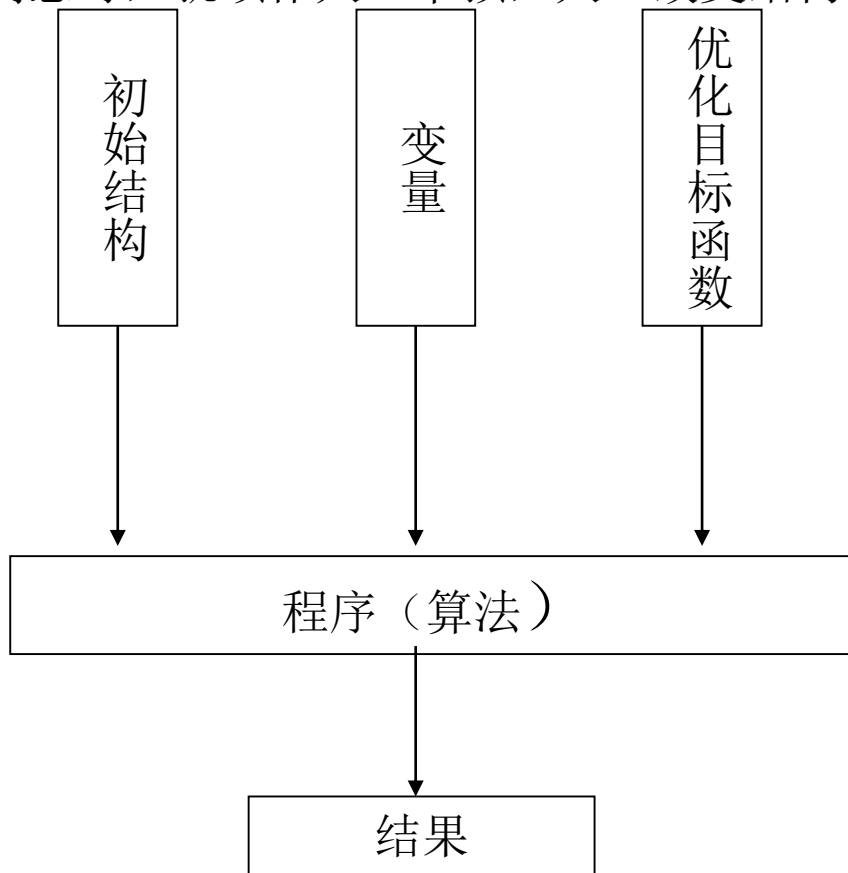
- First-order : 焦距EFFL，像高PIMH， ...
- Aberrations: 初级球差SPHA，垂轴像差TRAC， ...

● 另外还有各种边界条件Operand。

● 也可以将MTF值或Encircled energy作为Merit Function，原则上这与实际使用目标有更直接联系，应更好。但是实际上由于必须用更多时间去算，作为优化的开始是不可取的。

整个优化过程可以表示为以下框图，即优化结果是由初始结构、变量及优化目标函数所决定，（已确定了算法程序）三者不变时，结果是唯一的。

对此结果不满意时，就须作人工干预，人工改变结构初值，变量或改变优化函数。



下面，通过一些具体的例子来看优化的做法和问题

- 单透镜 ①  $f'=100$ 、 $D/f'=1:4$ 、 $2W=\pm 3^\circ$ ，平行光入射，取 Entrance Pupil Diameter=25，Field data: Y-field =  $0^\circ$ 、 $3^\circ$ ， $\lambda=0.55\mu\text{m}$

采用 Default merit function，加一行 EFL=100，Weight=1。

也并不是用任意的初始结构都能得实用的解，例如取  $r_1 = -60$ ， $r_2 = \infty$ ，玻璃为 BK7，此时所得“局部极小解”，焦距、像差都与预期差很远。

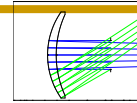
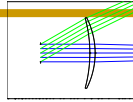
初始结构取  $r_1 = r_2 = \infty$  就已可得到好的解： $r_1 = 61.2$ ， $r_2 = -350$  ( $d=5$ )，这是处于球差极小位置，彗差近于零的解，光阑最佳位置在透镜前数毫米。

透镜到像面的距离 (Back focal length) 可以作为优化变量，也可以取 Solve，Marginal ray height=0 而计算出；也可以由 Tools，Quick Focus 定。

- ②  $f'=100$ ， $1:10$ ， $\pm 30^\circ$  取 Entrance Pupil Diameter=10，Field data: Y-field =  $0^\circ$ ， $30^\circ$ ，用同一 Merit function，可以得校正彗差和子午弯曲的两种解（光阑位置作为变量），当入瞳直径由 10 减到 5 时，所得解与 Kinslake 书中的 Landscape lens 解一致，即：

| $r$      | $d$ |                 | $r$      | $d$ |                 |
|----------|-----|-----------------|----------|-----|-----------------|
| $\infty$ | 14  |                 | 13       | 1.5 |                 |
| -35.7    | 1.5 | Bk <sub>7</sub> | 16.7     | 8.6 | Bk <sub>7</sub> |
| -21.5    | 100 |                 | $\infty$ | 85  |                 |





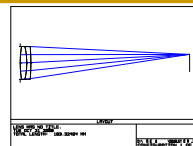
## 两种结构的比较：

这二个解的透镜弯曲方向相反（都朝向光阑），前者略优，但要程序将后者自动变为前者，则几乎是不可能的，必须人工强烈修改（倾向）才行。

这三组解都可以从像差理论算出来，但优化的结果则略好于初级像差理论的解，这里都没有把透镜厚度作为变量。

优化程序可以使焦距与预定相符，在大像差系统中，为使像差变小，程序倾向于使焦距变长，不能完全保证预定焦距。

为保证焦距相符，还可以采用“Solves”定半径从而使焦距与预期一致，在Radius的dialog box中取Solve type为Element power即透镜焦距倒数 $1/f$ （可在保持单透镜焦距的条件下弯曲透镜），也可以用Marginal Ray angle使本组的组合焦距保持不变，“Solve”这个工具，时常有利于设计方便，如Edge thickness有利于优化过程中保持透镜厚度合理。



## □ 双胶合物镜

取  $f = 100$      $1:5$      $\pm 3^\circ$

取各种玻璃组合（可以查“光学设计手册”）如：

$BK_7 / SF_2, SF_5, SF_1, SF_{10}, SF_4.$

都可以用程序得到对  $0^\circ$  校正良好的能（取波长为F, d, c），但  $3^\circ$  视场一般有较大彗差，不能校正。将光阑位置作为变量时，一般仍然如此。（初始半径可取（60, -60,  $\infty$ ）。

将Merit Function 中视场  $0^\circ$  的Operand完全除去，即仅考虑  $3^\circ$  视场的像差，可以得到校正子午彗差的解（理论上  $3^\circ$  视场的像质与球差、彗差都有关，而  $0^\circ$  仅与球差有关，原则上可以随  $3^\circ$  视场的校正而同时校正），此时再回复原来二个视场的Merit Function，此解所保持最优，如所附。

这里玻璃组合为BK7/SF5，本可取Glass,Model,Vary，将玻璃作为变数优化，但得不到真正好的解，不如一一改玻璃，反而容易得到优化的解。

File : C:\Documents and Settings\Administrator\My Documents\zemax files\LENS.ZMX  
 Title: Lens has no title.  
 Date : THU MAR 4 2004

## LENS NOTES:

Notes...

## GENERAL LENS DATA:

```
Surfaces      :      5
Stop          :      1
System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 20
Glass Catalogs : Schott
Ray Aiming    : Off
Apodization   : Uniform, factor = 0.000000E+000
Effective Focal Length : 100 (in air)
Effective Focal Length : 100 (in image space)
Back Focal Length : 97.42768
Total Track   : 222.2101
Image Space F/# : 5
Paraxial Working F/# : 5
Working F/#   : 5.001821
Image Space NA : 0.09950372
Object Space NA : 1e-009
Stop Radius   : 10
Paraxial Image Height : 5.240778
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 20
Entrance Pupil Position : 0
Exit Pupil Diameter : 99.11103
Exit Pupil Position : 495.7483
Field Type    : Angle in degrees
Maximum Field : 3
Primary Wave  : 0.5875618
Lens Units    : Millimeters
Angular Magnification : -0.2017939
```

```
Fields       : 2
Field Type: Angle in degrees
# X-Value Y-Value Weight
1 0.000000 3.000000 1.000000
2 0.000000 0.000000 1.000000
```

```
Vignetting Factors VDX VDY VCX VCY VAN
# 1 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
```

```
Wavelengths      : 3
Units: Microns
# Value Weight
1 0.486133 1.000000
2 0.587562 1.000000
3 0.656273 1.000000
```

## SURFACE DATA SUMMARY:

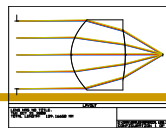
| Surf | Type     | Comment   | Radius    | Thickness | Glass | Diameter |
|------|----------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|
| OBJ  | STANDARD | Infinity  | Infinity  | Infinity  |       | 0        |
| STO  | STANDARD | Infinity  | Infinity  | 118.4755  |       | 20       |
| 2    | STANDARD | 77.95179  | 77.95179  | 5.5       | BK7   | 32.59868 |
| 3    | STANDARD | -39.89261 | -39.89261 | 1         | SF5   | 32.57579 |
| 4    | STANDARD | -91.22653 | -91.22653 | 97.23454  |       | 32.62844 |
| IMA  | STANDARD | Infinity  | Infinity  |           |       | 10.55183 |

## SURFACE DATA DETAIL:

```
Surface OBJ : STANDARD
Surface STO : STANDARD
Surface 2 : STANDARD
```

# 优化实例 (2) : 优化结果





## □ 非球面单透镜

$$f'=60, \quad 1: 1, \quad \pm 1^\circ$$

用非球面可以准确校正球差，透镜弯曲可校正彗差，形成大孔径小视场光学系统。

简单采用Default merit Function做优化，一般得不到结果，为此先通过 sei 初级像差计算得到适当的校正 $S_2$ 的半径初值为出发点，另外Merit Function 中取带 (Ring)改为15-20，自动优化可以得到好的结果（文件Asph6）。

实际上，非球面高次项并非必须，如文件Asph3，只取6次项和8次项，残余像差也小些，这个结果是采用下列逐步接近的过程作出，①校正 $S_1$ ， $S_2$ 决定半径和Conic系数，仍用Default merit function (Ring=3)但将孔径取很小值；② 半径和Conic系数固定不变，孔径增大，用6次方系数校正；③ 孔径增至1: 1，优化6次、8次系数，所得结果存在高级彗差，再改初值（半径和Conic）产生反向初级彗差与之平衡，再重复上述过程。

# 优化实例（3）：优化结果



```

Surfaces      :      4
Stop          :      1
System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 57.6
Glass Catalogs : schott
Ray Aiming    : Off
Apodization   : Uniform, factor = 0.000000E+000
Effective Focal Length : 60.10296 (in air)
Effective Focal Length : 60.10296 (in image space)
Back Focal Length : 45.64496
Total Track   : 117.6321
Image Space F/# : 1.043454
Paraxial Working F/# : 1.043454
Working F/#   : 1.032869
Image Space NA : 0.4321283
Object Space NA : 2.88e-009
Stop Radius   : 28.8
Paraxial Image Height : 1.049101
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 57.6
Entrance Pupil Position : 0
Exit Pupil Diameter : 340.0274
Exit Pupil Position : -354.7901
Field Type    : Angle in degrees
Maximum Field : 1
Primary Wave  : 0.98
Lens Units    : Millimeters
Angular Magnification : 0.1693981
    
```

```

Fields      : 4
Field Type: Angle in degrees
# X-Value Y-Value Weight
1 0.000000 0.000000 1.000000
2 0.000000 1.000000 1.000000
3 0.000000 0.500000 1.000000
4 0.000000 0.300000 1.000000

Vignetting Factors
# VDX VDY VCX VCY VAN
1 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
3 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
4 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
    
```

```

Wavelengths : 1
Units: Microns
# Value Weight
1 0.980000 1.000000
    
```

## SURFACE DATA SUMMARY:

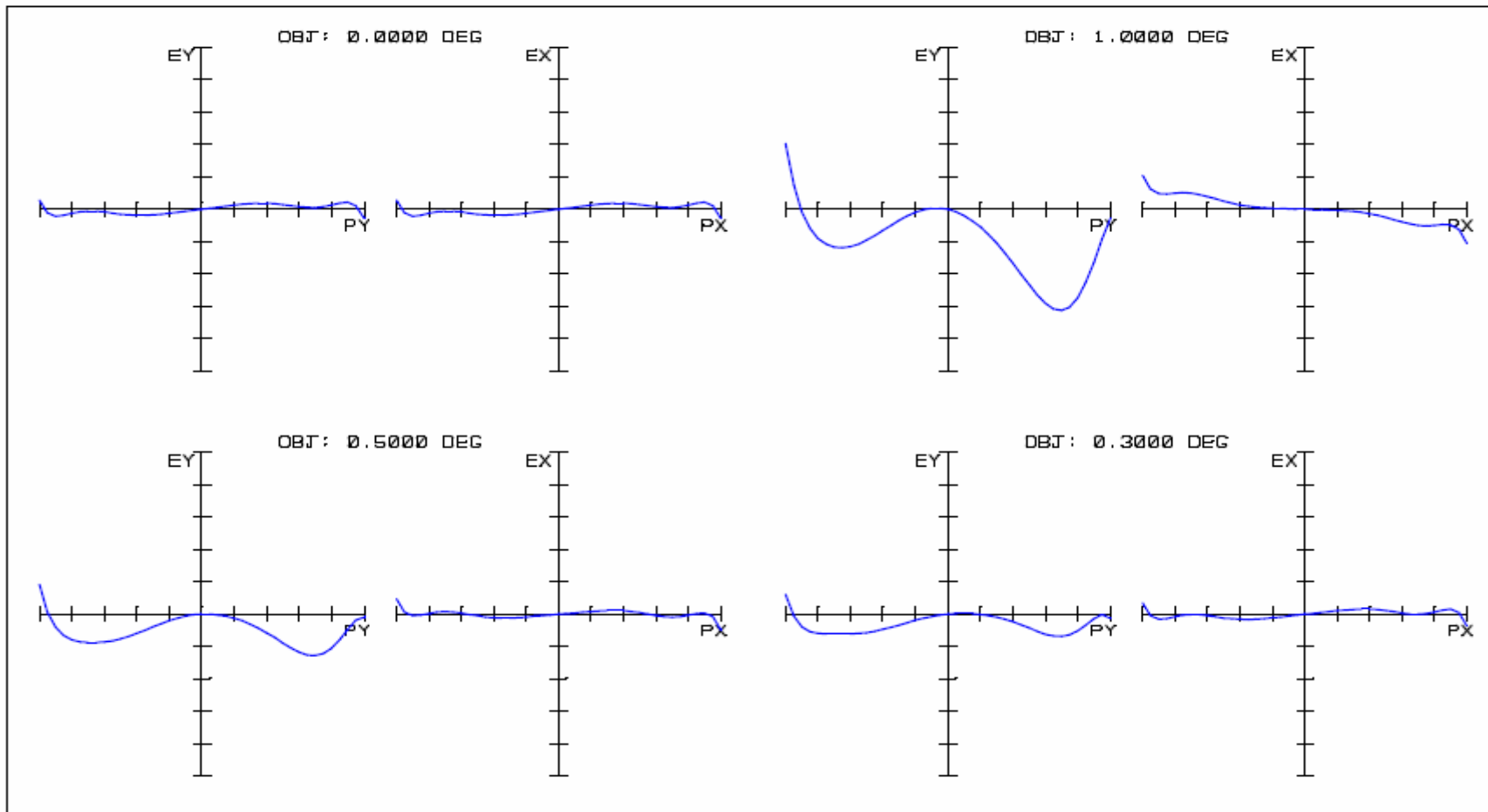
| Surf | Type     | Comment | Radius   | Thickness | Glass | Diameter | Conic  |
|------|----------|---------|----------|-----------|-------|----------|--------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity | Infinity  |       | 0        | 0      |
| STO  | STANDARD |         | Infinity | 48        |       | 57.6     | 0      |
| 2    | EVENASPH |         | 33.6     | 24        | BK7   | 62       | -0.659 |
| 3    | STANDARD |         | -252.8   | 45.63207  |       | 62       | 0      |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity |           |       | 2.137888 | 0      |

## SURFACE DATA DETAIL:

```

Surface OBJ : STANDARD
Surface STO : STANDARD
Surface 2 : EVENASPH
Coeff on 1 : 2 : 0
Coeff on 1 : 4 : 0
Coeff on 1 : 6 : -1.39e-010
Coeff on 1 : 8 : -1.68e-013
Coeff on 1 : 10 : 0
Coeff on 1 : 12 : 0
Coeff on 1 : 14 : 0
Coeff on 1 : 16 : 0
Aperture : Floating Aperture
Maximum Radius : 31
Surface 3 : STANDARD
Aperture : Floating Aperture
Maximum Radius : 31
Surface IMA : STANDARD
    
```

# 优化实例 (3)



TRANSVERSE RAY FAN PLOT

ASPHERICAL LENS  
THU APR 15 2004  
MAXIMUM SCALE:  $\pm 50.000$  MICRONS.  
0.980

J:\ZEMAX(SAMPLE)\DIODASPH3.ZMX  
CONFIGURATION 1 OF 1

# 优化实例 (3)



## GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces          : 4
Stop              : 1
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 57.6
Glass Catalogs   : schott
Ray Aiming       : Off
Apodization      : Uniform, factor = 0.00000E+000
Effective Focal Length : 60.34664 (in air)
Effective Focal Length : 60.34664 (in image space)
Back Focal Length : 47.42428
Total Track      : 119.4087
Image Space F/#  : 1.047685
Paraxial Working F/# : 1.047685
Working F/#      : 1.067901
Image Space NA   : 0.4307076
Object Space NA  : 2.68e-009
Stop Radius      : 28.8
Paraxial Image Height : 1.053354
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 57.6
Entrance Pupil Position : 0
Exit Pupil Diameter : 407.2359
Exit Pupil Position : -426.6392
Field Type       : Angle in degrees
Maximum Field    : 1
Primary Wave     : 0.98
Lens Units       : Millimeters
Angular Magnification : 0.1414414
    
```

```

Fields          : 4
Field Type: Angle in degrees
# X-Value Y-Value Weight
1 0.000000 0.000000 1.000000
2 0.000000 1.000000 1.000000
3 0.000000 0.500000 1.000000
4 0.000000 0.300000 1.000000
    
```

## Vignetting Factors

```

# VDX VDY VCX VCY VAN
1 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
3 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
4 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
    
```

Wavelengths : 1

```

Units: Microns
# Value Weight
1 0.980000 1.000000
    
```

## SURFACE DATA SUMMARY:

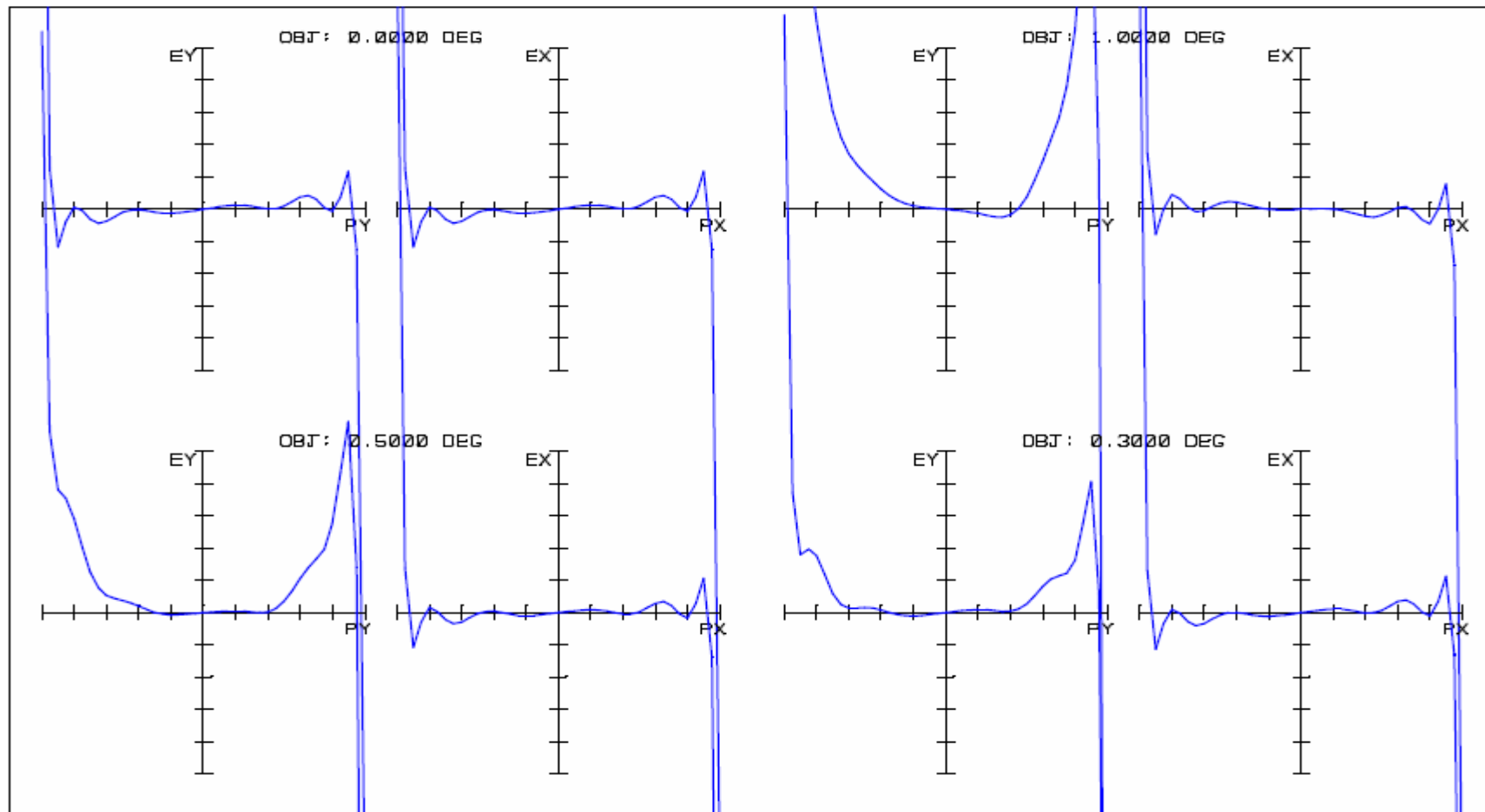
| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness | Glass | Diameter | Conic      |
|------|----------|---------|-----------|-----------|-------|----------|------------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity  |       | 0        | 0          |
| STO  | STANDARD |         | Infinity  | 48        |       | 57.6     | 0          |
| 2    | EVENASPH |         | 37.74533  | 24        | BK7   | 62       | -0.8972387 |
| 3    | STANDARD |         | -127.9828 | 47.40867  |       | 62       | 0          |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  |           |       | 2.493324 | 0          |

## SURFACE DATA DETAIL:

```

Surface OBJ : STANDARD
Surface STO : STANDARD
Surface 2 : EVENASPH
Coef on r 2 :
Coef on r 4 :
Coef on r 6 : -3.7363581e-011
Coef on r 8 : -1.9742923e-012
Coef on r 10 : 4.0497709e-015
Coef on r 12 : -2.8996846e-018
Coef on r 14 : -1.0780369e-021
Coef on r 16 : 1.5918527e-024
Aperture : Floating Aperture
Maximum Radius : 31
Surface 3 : STANDARD
Aperture : Floating Aperture
Maximum Radius : 31
Surface IMA : STANDARD
    
```

# 优化实例 (3)



TRANSVERSE RAY FAN PLOT

ASPHERICAL LENS  
THU APR 15 2004  
MAXIMUM SCALE:  $\pm 50.000$  MICRONS.  
0.980

J:\ZEMAX(SAMPLE)\DIODASPH6.ZMX  
CONFIGURATION 1 OF 1

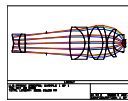


# 光学设计

——光学设计实例

中国科学院上海光学精密机械研究所  
2008年10月

- 光学设计软件ZEMAX简介
- 单透镜
- 双胶合透镜
- 非球面单透镜
- 显微镜物镜
- 双高斯照相物镜
- 公差计算
- （具体的应用实例——视情况而定）



## □ 高倍显微物镜

从专利USP3902793A开始，从结构看它有一组分离的负透镜组，故应属平场显微物镜，视场是  $\pm 3.75^\circ$ ， $NA=1.21$ ，平行光束入射(无穷远共轭距)，最后通过油层及盖玻片聚在标本上，保证焦点位于盖玻片下方。

关于NA，ZEMAX程序给出的是：Image space  $NA=0.938$  也是错的，所取值1.21是从“Working F/#” 0.4135，从其定义  $= 1 / (2n \sin\theta)$ ，而且是“based upon real ray data”，算出的计算结果像差一般都不太好。(也可从Ray Trace中找到正确的NA值)

优化仍取Default merit function，但加上一行WFNO，目标值0.4，权重1，结果不好，不仅像差不好，NA也不好，NA也不能保持。

将波长取单色（d线）取Default merit function, dialog box,改Rings=9(原预定默认值为3)，按  ，  ，  ，得到新的对九带提要求的Merit function，再将WFNO的权重改为10，这样可以得到单色像差小于 $\lambda/4$ 的解，NA虽并不能完全保持，但变小不大。

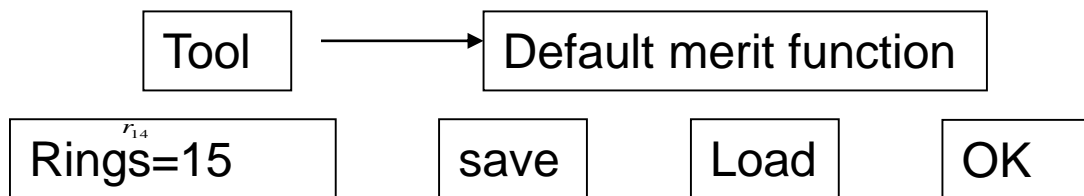
# 优化实例（4）



另外，检查光路图，发现 $r_{14}$ 变得太小，工作距离太短，已经是油层不能纠正的负值，所以还必须在边界条件限制下重新做，选择的边界条件是DMVA，即光束在透镜上的直径值，取DMVA=2.6，权重1，重复上述过程，得到校正单色像差而且工作距离为正的解。

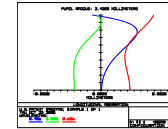
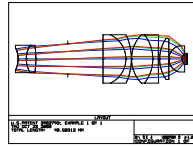
从此出发，看剩余色差 **sei**，从轴向色差剩余量要求正透镜色散更小，负透镜色散更大，而实际上，所选玻璃已在玻璃表上的极限，所以换玻璃余地很小，另外，剩余色差与各透镜产生的值比较，并非很大，所以，可以从此出发直接做多波长优化。

将波长改回到Fdc三线，重新通过：



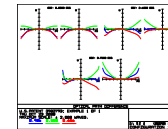
再加上WFNO，DMVA二行，得所需Merit Function。平衡结果如所附3902793A4，单色像差加上色差，实际上最大值超过 $\lambda/2$ ，计算 **Enc**，结果如所附，比Diff. Limit 要差，分辨能力在 $0.5\mu\text{m}$ 左右。

# 3902793A.ZMX(设计结果)



## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 18  
 Stop : 4  
 System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 4.84  
 Glass Catalogs : Schott  
 Ray Aiming : Paraxial Reference, Cache On  
 X Pupil shift : 0  
 Y Pupil shift : 0  
 Z Pupil shift : 0  
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000  
 Effective Focal Length : 2.019793 (in air)  
 Effective Focal Length : 3.070085 (in image space)  
 Back Focal Length : -0.0007927487  
 Total Track : 40.50312  
 Image Space F/# : 0.4173126  
 Paraxial Working F/# : 0.4173126  
 Working F/# : 0.4217851  
 Image Space NA : 0.9409604  
 Object Space NA : 2.42e-010  
 Stop Radius : 3.589024  
 Paraxial Image Height : 0.1323842  
 Paraxial Magnification : 0  
 Entrance Pupil Diameter : 4.84  
 Entrance Pupil Position : 6.283975  
 Exit Pupil Diameter : 2.211132  
 Exit Pupil Position : 1.401762  
 Field Type : Angle in degrees  
 Maximum Field : 3.75  
 Primary Wave : 0.5876  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : -1.440081



Wavelengths : 3  
 Units: Microns  

| # | Value    | Weight   |
|---|----------|----------|
| 1 | 0.486100 | 1.000000 |
| 2 | 0.587600 | 1.000000 |
| 3 | 0.656300 | 1.000000 |

## SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness    | Class               | Diameter | Conic |
|------|----------|---------|-----------|--------------|---------------------|----------|-------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity     |                     | 0        | 0     |
| 1    | STANDARD |         | -6.234311 | 1.966245     | 1.613280, 44.280100 | 5.461791 | 0     |
| 2    | STANDARD |         | 6.119043  | 2.293952     | 1.740540, 27.590000 | 6.55415  | 0     |
| 3    | STANDARD |         | -22.27198 | 7.646508     |                     | 6.55415  | 0     |
| STO  | STANDARD |         | Infinity  | 8.424267     |                     | 7.356155 | 0     |
| 5    | STANDARD |         | -3006.798 | 5.461791     | 1.486510, 84.460600 | 11.579   | 0     |
| 6    | STANDARD |         | -6.364286 | 1.31083      | 1.804910, 25.420000 | 11.579   | 0     |
| 7    | STANDARD |         | -13.94011 | 0.05461791   |                     | 11.579   | 0     |
| 8    | STANDARD |         | 8.319427  | 5.079466     | 1.486510, 84.460600 | 11.579   | 0     |
| 9    | STANDARD |         | -9.392001 | 1.31083      | 1.804910, 25.420000 | 11.579   | 0     |
| 10   | STANDARD |         | 211.4339  | 0.3277075    |                     | 11.579   | 0     |
| 11   | STANDARD |         | 8.575437  | 2.184717     | 1.788330, 50.469900 | 9.831225 | 0     |
| 12   | STANDARD |         | 648.9634  | 0.02184717   |                     | 9.831225 | 0     |
| 13   | STANDARD |         | 3.207073  | 3.189686     | 1.960280, 34.920000 | 6.237366 | 0     |
| 14   | STANDARD |         | 1.764782  | 0.6827239    | 1.517000, 64.540300 | 2.62166  | 0     |
| 15   | STANDARD |         | Infinity  | 0.362226     | 1.520000, 44.999800 | 2.62166  | 0     |
| 16   | STANDARD |         | Infinity  | 0.1857009    | 1.520000, 58.000100 | 2.62166  | 0     |
| 17   | STANDARD |         | Infinity  | -0.003330242 | 1.520000, 57.971000 | 2.62166  | 0     |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  |              | 1.520000, 57.971000 | 0.274463 | 0     |

# 3902793A4.ZMX(实例数据)



## GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces      :      18
Stop          :      4
System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 5
Glass Catalogs : Schott
Ray Aiming    : Paraxial Reference, Cache On
X Pupil shift : 0
Y Pupil shift : 0
Z Pupil shift : 0
Apodization   :Uniform, factor = 0.00000E+000
Effective Focal Length : 2.145282 (in air)
Effective Focal Length : 3.260833 (in image space)
Back Focal Length : -6.526904e-013
Total Track  : 40.87475
Image Space F/# : 0.4290564
Paraxial Working F/# : 0.4290564
Working F/#   : 0.4333827
Image Space NA : 0.9248236
Object Space NA : 2.5e-010
Stop Radius   : 3.706843
Paraxial Image Height : 0.11406092
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 5
Entrance Pupil Position : 6.351111
Exit Pupil Diameter : 2.620377
Exit Pupil Position : 1.708922
Field Type    : Angle in degrees
Maximum Field : 3.75
Primary Wave  : 0.5875618
Lens Units    : Millimeters
Angular Magnification : -1.255342
    
```

## Fields : 3

```

Field Type: Angle in degrees
# X-Value Y-Value Weight
1 0.000000 0.000000 1.000000
2 0.000000 2.625000 1.000000
3 0.000000 3.750000 1.000000

Vignetting Factors VDX VDY VCX VCY VAN
1 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
3 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
    
```

## Wavelengths : 3

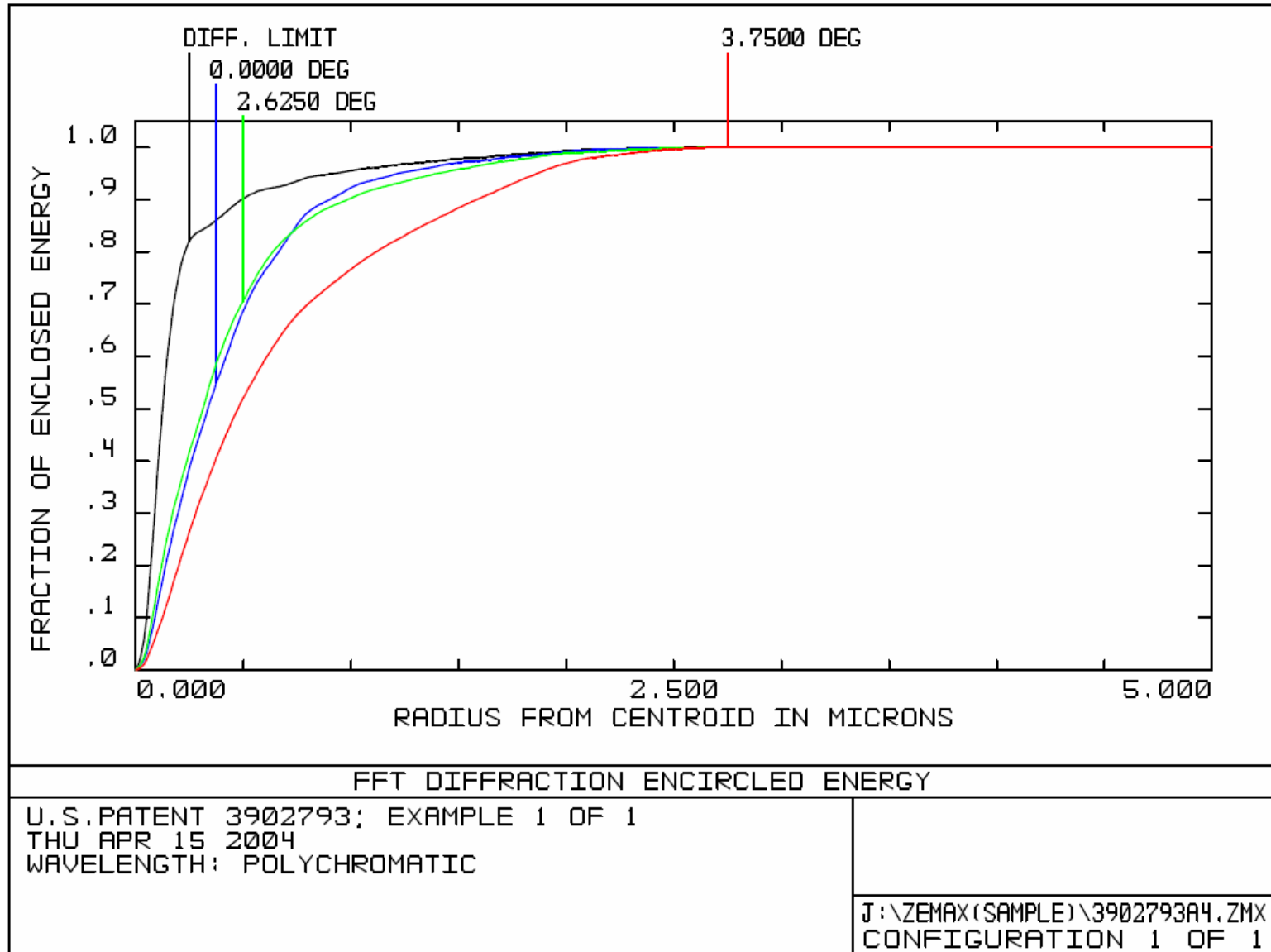
```

Units: Microns
# Value Weight
1 0.486133 1.000000
2 0.587562 1.000000
3 0.656273 1.000000
    
```

## SURFACE DATA SUMMARY:

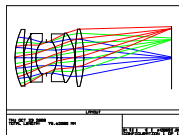
| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness           | Glass   | Diameter  |
|------|----------|---------|-----------|---------------------|---------|-----------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity            |         | 0         |
| 1    | STANDARD |         | -6.583165 | 1.966245            | KZFSN4  | 5.722703  |
| 2    | STANDARD |         | 6.19315   | 2.293953            | SF13    | 6.752961  |
| 3    | STANDARD |         | -26.19784 | 7.64651             |         | 6.913319  |
| STO  | STANDARD |         | Infinity  | 8.424269            |         | 7.413685  |
| 5    | STANDARD |         | 320.1393  | 5.461793            | FK51    | 9.540999  |
| 6    | STANDARD |         | -6.17421  | 1.31083             | SF6     | 9.997528  |
| 7    | STANDARD |         | -17.32472 | 0.05461793          |         | 11.54638  |
| 8    | STANDARD |         | 10.35841  | 5.079467            | FK51    | 12.90065  |
| 9    | STANDARD |         | -9.060659 | 1.31083             | SF6     | 12.86227  |
| 10   | STANDARD |         | -19.05642 | 0.3277076           |         | 13.29905  |
| 11   | STANDARD |         | 8.298918  | 2.184717            | LAFN28  | 12.01504  |
| 12   | STANDARD |         | 46.66602  | 0.02184717          |         | 12.01542  |
| 13   | STANDARD |         | 3.422041  | 3.189687            | LASFN31 | 6.822702  |
| 14   | STANDARD |         | 1.340242  | 1                   | UBK7    | 2.5763    |
| 15   | STANDARD |         | Infinity  | 0.3622261           | LLF1    | 2.62166   |
| 16   | STANDARD |         | Infinity  | 0.1857009           |         | 2.62166   |
| 17   | STANDARD |         | Infinity  | 0.054935309         |         | 2.62166   |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  | 1.520000, 57.971000 |         | 0.3362545 |

# 3902793A4.ZEX(实例数据)



## ■ 结构要求

- 入瞳直径 ————— 25.4mm
- 焦 距 ————— 50.8mm (F/2)
- 视 场 —————  $\pm 16^\circ$  (35mm相机模式)
- 光谱范围 ————— 可见光 (d, F, c)
- 畸 变 —————  $\leq 2.5\%$
- 渐 晕 ————— 最大50%，在视场边缘
- 封 装 ————— back clearance 大于25.4mm





# 实例：双高斯物镜(结构要求的推导)

## 像质要求估算：

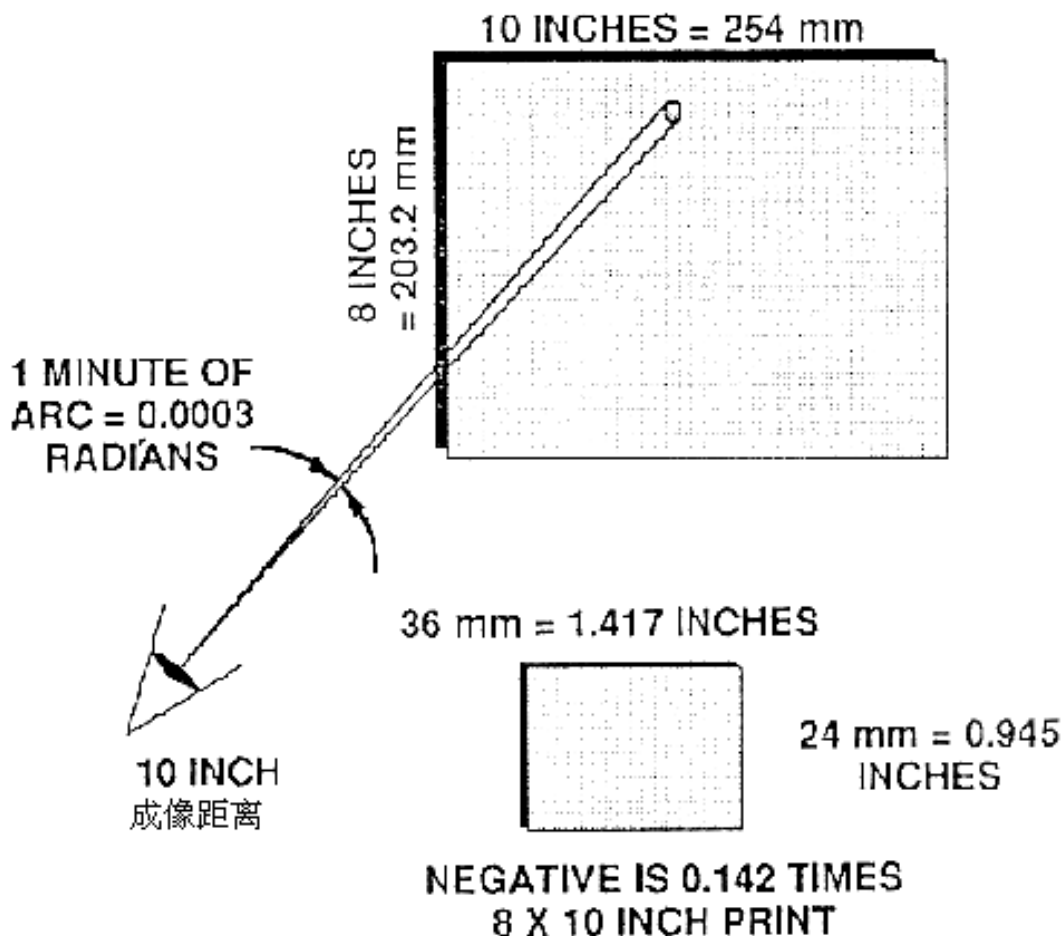
以离开10英寸（254mm）远的距离、观察8英寸×10英寸（即203.2mm×254mm）打印纸、估算最小可分辨的弥散斑为例。

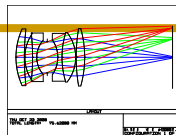
离开10英寸距离，眼睛的最小分辨角为1弧分=0.0003rad，则弥散斑直径=0.003英寸；

底片尺寸（36mm×24mm）是打印纸的1/7.06倍，则底片上成像弥散斑直径为

$0.003/7.06=0.00042$ 英寸= $0.0107$ mm；

对于一个真正的照相系统，通常对MTF有更复杂的技术要求。





## 双高斯物镜

双高斯物镜是一个对称型结构，借以校正垂轴像差——彗差、畸变和垂轴色差，因此其每一半应能校正轴向像差——球差、像散、场曲和轴向色差；保持其对称性很重要。

为校正场曲，必须有两个正负光焦度且分离的薄透镜组，最简单的就是弯月厚透镜；高斯结构的特点是凸面靠外，这有利于其提高相对孔径，但它不能校正球差和轴向色差，为此把弯月厚透镜变成双胶合透镜，但双胶合透镜内的光焦度分配主要考虑的是校正场曲，轴向色差可能得不到很好校正，为此又加了一个分离的正透镜，它也分担了双胶合正透镜的一部分光焦度。

用正负光焦度分配校正场曲；有了正负光焦度的透镜，选择折射率并弯曲透镜，可使球差校正，选择色散可以使轴向色差校正。光阑的恰当位置可以使像散校正。

## 双高斯物镜

一般用到1:2.8,  $\pm 20^\circ$ , 为增大孔径或视场或提高成像质量, 形成大量的各种复杂化的专利, 下面将Fischer提供的USP217252(1938)作为优化的例子, 如所附, 实例提供的初始结构存在很大像差, 为1mm量级, 最后的结果剩余像差在20 $\mu$ m量级, 并涉及大致的过程(数年内多次的略有不同的历程)。

下面的做法略有不同

1, 只用d线(先校单色像差, 不校正色差), 在solve  $r_{11}$ , 保持Marginal ray angle = -0.25, 以保持焦距不变及 $d_{11}$ 由Marginal ray height=0的条件下, 用Default merit function, 可以使用MF由初始的24.9—>1.0。变数是所有半径及光阑二方的二个间距( $d_5, d_6$ )由于 $d_6$ 趋于负值, 及早停止作为变量, 令 $d_6=2$ 到4都可以, 此时像差残余在100 $\mu$ m量级, 如所附文件Double Gauss 40,41

2, 开始将所有折射率都作为变量, 继续优化单色像差, 结果 $n_1, n_7, n_{16}$ 都趋于1.9、2.0之类, 将它们固定在1.8左右, 继续优化, MF可由0.6降到0.4以下, (最后要除去 $d_{11}$ 的Solve, 固定以使焦平面达到最佳)。

此时拦去大视场边缘光束后，残余像差在20  $\mu\text{m}$ 量级，文件42,43,44。

3. 代换实际玻璃，由于 $n_1, n_7, n_8, n_{10}$ 在优化过程中常趋于极高折射率，所以都用了最高的值，如所附文件45，考虑消色差以及胶合面折射率差别对高级像差的效应，实际上对 $n_7$ 用 $\text{SF}_{59}, \text{SF}_{58}, \text{SF}_6, \text{SF}_8, \text{SF}_2$ 与 $n_8$ 用 $\text{LaSFN}_{31}, \text{LaSFN}_{30}$ ，组合都对单色像差作过优化。所得结果相差很少，同一量级，略有大小。

4. 从此开始，取Fdc三色光重新优化，文件46，47。

文件47采用 $\text{SF}_6/\text{LaSFN}_{31}$ ，比文件46略好，但不能从46换玻璃得到，要从文件45换 $\text{SF}_{59}$ 为 $\text{SF}_6$ ，优化单色像差后，再优化而得，这结果也比Fischer的解略好。（文件50）

物镜第一面和最后一面的直径都已缩小，对最大视场子午光束拦去边缘部分，这部分像差太大，另外，保留这部分光束进透镜直径也太大，不实际。

# 双高斯物镜设计实例(原始数据)



System/Prescription Data

File : J:\ZEMAX(SAMPLE)\Double Gauss 40.zmx  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : THU APR 15 2004

LENS NOTES:

Notes...

GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces      :      12
Stop          :      6
System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 25
Glass Catalogs : schott HIKARI OLD_HOYA
Ray Aiming    : Off
Apodization   : Uniform, factor = 0.00000E+000
Effective Focal Length : 50 (in air)
Effective Focal Length : 50 (in image space)
Back Focal Length : 42.4208
Total Track   : 75.6208
Image Space F/# : 2
Paraxial Working F/# : 2
Working F/#   : 2.170483
Image Space NA : 0.2425356
Object Space NA : 1.28e-009
Stop Radius   : 9.610365
Paraxial Image Height : 14.33727
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 25
Entrance Pupil Position : 15.93091
Exit Pupil Diameter : 32.85704
Exit Pupil Position : -65.71407
Field Type    : Angle in degrees
Maximum Field : 16
Primary Wave  : 0.5876
Lens Units    : Millimeters
Angular Magnification : 0.760872
  
```

Fields : 3

```

Field Type: Angle in degrees
# X-Value Y-Value Weight
1 0.000000 0.000000 1.000000
2 0.000000 10.000000 1.000000
3 0.000000 16.000000 1.000000
  
```

Vignetting Factors

```

# VDX VDY VCX VCY VAN
1 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
3 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
  
```

Wavelengths : 1

```

Units: Microns
# Value Weight
1 0.587600 1.000000
  
```

SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness | Glass | Diameter |
|------|----------|---------|-----------|-----------|-------|----------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity  |       | 0        |
| 1    | STANDARD |         | 32.715    | 4.06      | SSK51 | 31.77526 |
| 2    | STANDARD |         | 122.987   | 0.25      |       | 31.06449 |
| 3    | STANDARD |         | 20.218    | 3.71      | SK10  | 26.35425 |
| 4    | STANDARD |         | -112.78   | 2.03      | F8    | 29.20393 |
| 5    | STANDARD |         | 12.548    | 5.08      |       | 19.02321 |
| STO  | STANDARD |         | Infinity  | 5.08      |       | 18.5309  |
| 7    | STANDARD |         | -14.681   | 2.03      | F15   | 19.53174 |
| 8    | STANDARD |         | 40.335    | 6.6       | SSK2  | 30.25208 |
| 9    | STANDARD |         | -19.406   | 0.25      |       | 27.68394 |
| 10   | STANDARD |         | 82.855    | 4.11      | SK10  | 33.7609  |
| 11   | STANDARD |         | -51.64628 | 42.4208   |       | 33.63813 |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  |           |       | 34.64998 |

# 双高斯物镜设计实例(设计结果1)



File : J:\ZEMAX(SAMPLE)\Double Gauss 4l.zmx  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : THU APR 15 2004

## LENS NOTES:

Notes...

## GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces      :      12
Stop          :      6
System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 25
Glass Catalogs : schott HIKARI OLD_HOYA
Ray Aiming    : Off
Apodization   :Uniform, factor = 0.00000E+000
Effective Focal Length :      50 (in air)
Effective Focal Length :      50 (in image space)
Back Focal Length :      32.71
Total Track   :      73.62441
Image Space F/# :      2
Paraxial Working F/# :      2
Working F/#   :      2.017386
Image Space NA :      0.2425356
Object Space NA :      1.25e-009
Stop Radius   :      7.820425
Paraxial Image Height :      14.33727
Paraxial Magnification :      0
Entrance Pupil Diameter :      25
Entrance Pupil Position :      36.51223
Exit Pupil Diameter :      26.65234
Exit Pupil Position :      -53.30467
Field Type    : Angle in degrees
Maximum Field :      16
Primary Wave  :      0.5876
Lens Units    : Millimeters
Angular Magnification :      0.9380041
  
```

Fields : 3

Field Type: Angle in degrees

| # | X-Value  | Y-Value   | Weight   |
|---|----------|-----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000  | 1.000000 |
| 2 | 0.000000 | 10.000000 | 1.000000 |
| 3 | 0.000000 | 16.000000 | 1.000000 |

Vignetting Factors

| # | VDX      | VDY      | VCX      | VCY      | VAN      |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 3 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |

Wavelengths : 1

| Units: Microns | Value    | Weight   |
|----------------|----------|----------|
| # 1            | 0.587600 | 1.000000 |

## SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness | Glass               | Diameter |
|------|----------|---------|-----------|-----------|---------------------|----------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity  |                     | 0        |
| 1    | STANDARD |         | 30.19872  | 4.06      | 1.603610, 53.630001 | 34       |
| 2    | STANDARD |         | 77.99771  | 0.25      |                     | 34       |
| 3    | STANDARD |         | 17.68433  | 6         | 1.622800, 56.900002 | 30       |
| 4    | STANDARD |         | 440.691   | 2.03      | 1.595510, 39.200000 | 30       |
| 5    | STANDARD |         | 11.22227  | 11.78974  |                     | 21.10015 |
| STO  | STANDARD |         | Infinity  | 3.794663  |                     | 16.07989 |
| 7    | STANDARD |         | -15.15197 | 2.03      | 1.605650, 37.900002 | 17.02373 |
| 8    | STANDARD |         | -56.55968 | 6.6       | 1.622300, 53.150002 | 20.70853 |
| 9    | STANDARD |         | -19.31314 | 0.25      |                     | 24.03841 |
| 10   | STANDARD |         | 91.99908  | 4.11      | 1.622800, 56.900002 | 27.72901 |
| 11   | STANDARD |         | -42.45346 | 32.71     |                     | 27.91813 |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  |           |                     | 28.33154 |

# 双高斯物镜设计实例(设计结果2)



File : J:\ZEMAX(SAMPLE)\Double Gauss 42.zmx  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : THU APR 15 2004

LENS NOTES:

Notes....

GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces          :          12
Stop              :          6
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 25
Glass Catalogs   : schott HIKARI_OLD_HOYA
Ray Aiming       : Off
Apodization      : Uniform, factor = 0.000000E+000
Effective Focal Length :          50 (in air)
Effective Focal Length :          50 (in image space)
Back Focal Length :          29.21758
Total Track      :          72.39406
Image Space F/#  :          2
Paraxial Working F/# :          2
Working F/#      :          2.007169
Image Space NA   :          0.2425356
Object Space NA  :          1.25e-009
Stop Radius      :          7.449011
Paraxial Image Height :          14.33727
Paraxial Magnification :          0
Entrance Pupil Diameter :          25
Entrance Pupil Position :          38.94976
Exit Pupil Diameter :          26.65946
Exit Pupil Position :          -53.31891
Exit Pupil Position : Angle in degrees
Field Type       :          16
Maximum Field    :          0.5876
Primary Wave     :          Millimeters
Lens Units       :          0.9377536
Angular Magnification :
  
```

Fields : 3

Field Type: Angle in degrees

| # | X-Value  | Y-Value   | Weight   |
|---|----------|-----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000  | 1.000000 |
| 2 | 0.000000 | 10.000000 | 1.000000 |
| 3 | 0.000000 | 16.000000 | 1.000000 |

Vignetting Factors

| # | VDX      | VDY      | VCX      | VCY      | VAN      |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 3 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |

Wavelengths : 1

| Units: Microns | Value    | Weight   |
|----------------|----------|----------|
| 1              | 0.587600 | 1.000000 |

SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness | Glass               | Diameter |
|------|----------|---------|-----------|-----------|---------------------|----------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity  |                     | 0        |
| 1    | STANDARD |         | 32.47949  | 4.06      | 1.800000, 53.630001 | 34       |
| 2    | STANDARD |         | 73.86176  | 0.25      |                     | 34       |
| 3    | STANDARD |         | 18.74418  | 6         | 1.617104, 56.900002 | 30       |
| 4    | STANDARD |         | -53.3522  | 2.03      | 1.616390, 39.200000 | 30       |
| 5    | STANDARD |         | 12.35861  | 12.32325  |                     | 22.31004 |
| STO  | STANDARD |         | Infinity  | 5.523221  |                     | 15.28673 |
| 7    | STANDARD |         | -16.88771 | 2.03      | 1.808503, 37.900002 | 17.61741 |
| 8    | STANDARD |         | -16.97658 | 6.6       | 1.759867, 53.150002 | 19.12595 |
| 9    | STANDARD |         | -21.69666 | 0.25      |                     | 24.60495 |
| 10   | STANDARD |         | 81.73164  | 4.11      | 1.800000, 56.900002 | 28.17473 |
| 11   | STANDARD |         | -65.93495 | 29.21758  |                     | 28.43058 |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  |           |                     | 29.01656 |

# 双高斯物镜设计实例(Zemax数据4)



File : J:\ZEMAX (SAMPLE)\Double Gauss 43.zmx  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : THU APR 15 2004

## LENS NOTES:

Notes...

## GENERAL LENS DATA:

```
Surfaces          : 12
Stop              : 6
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 25
Glass Catalogs   : schott HIKARI OLD_HOYA
Ray Aiming       : Off
Apodization      : Uniform, factor = 0.000000E+000
Effective Focal Length : 50 (in air)
Effective Focal Length : 50 (in image space)
Back Focal Length : 29.3396
Total Track      : 72.40017
Image Space F/#  : 2
Paraxial Working F/# : 2
Working F/#      : 1.997755
Image Space NA   : 0.2425356
Object Space NA  : 1.25e-009
Stop Radius      : 7.464876
Paraxial Image Height : 14.33727
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 25
Entrance Pupil Position : 38.61793
Exit Pupil Diameter : 26.5879
Exit Pupil Position : -53.05989
Exit Pupil Position : Angle in degrees
Field Type       : 16
Maximum Field    : 0.5876
Primary Wave     : Millimeters
Lens Units       :
Angular Magnification : 0.9402775
```

Fields : 3

Field Type: Angle in degrees

| # | X-Value  | Y-Value   | Weight   |
|---|----------|-----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000  | 1.000000 |
| 2 | 0.000000 | 10.000000 | 1.000000 |
| 3 | 0.000000 | 16.000000 | 1.000000 |

Vignetting Factors

| # | VDX      | VDY      | VCX      | VCY      | VAN      |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 3 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |

Wavelengths : 1

| Units: Microns | Value    | Weight   |
|----------------|----------|----------|
| 1              | 0.587600 | 1.000000 |

## SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness | Glass               | Diameter |
|------|----------|---------|-----------|-----------|---------------------|----------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity  |                     | 0        |
| 1    | STANDARD |         | 33.11456  | 4.06      | 1.800000, 53.630001 | 42.67821 |
| 2    | STANDARD |         | 75.9381   | 0.25      |                     | 43.27388 |
| 3    | STANDARD |         | 19.16961  | 6         | 1.616159, 56.900002 | 26       |
| 4    | STANDARD |         | -140.484  | 2.03      | 1.614094, 39.200000 | 26       |
| 5    | STANDARD |         | 12.79656  | 12.32325  |                     |          |
| STO  | STANDARD |         | Infinity  | 5.523221  |                     |          |
| 7    | STANDARD |         | -16.76478 | 2.03      | 1.808503, 37.900002 | 15.30963 |
| 8    | STANDARD |         | -28.35359 | 6.6       | 1.817917, 53.150002 | 17.54981 |
| 9    | STANDARD |         | -21.57618 | 0.25      |                     | 20.11281 |
| 10   | STANDARD |         | 79.33625  | 4.11      | 1.800000, 56.900002 | 24.54252 |
| 11   | STANDARD |         | -71.04653 | 29.2237   |                     | 28.02534 |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  |           |                     | 28.28187 |
|      |          |         |           |           |                     | 28.1916  |



# 双高斯物镜设计实例(Zemax数据5)



File : J:\ZEMAX(SAMPLE)\Double Gauss 44.zmx  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : THU APR 15 2004

## LENS NOTES:

Notes....

## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 12  
 Stop : 6  
 System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 25  
 Glass Catalogs : schott HIKARI OLD\_HOYA  
 Ray Aiming : Off  
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000  
 Effective Focal Length : 50 (in air)  
 Effective Focal Length : 50 (in image space)  
 Back Focal Length : 29.34688  
 Total Track : 72.40017  
 Image Space F/# : 2  
 Paraxial Working F/# : 2  
 Working F/# : 1.997397  
 Image Space NA : 0.2425356  
 Object Space NA : 1.25e-009  
 Stop Radius : 7.512906  
 Paraxial Image Height : 14.33727  
 Paraxial Magnification : 0  
 Entrance Pupil Diameter : 25  
 Entrance Pupil Position : 38.1462  
 Exit Pupil Diameter : 26.09102  
 Exit Pupil Position : -52.05885  
 Field Type : Angle in degrees  
 Maximum Field : 16  
 Primary Wave : 0.5876  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : 0.9581842

Fields : 3

Field Type: Angle in degrees

| # | X-Value  | Y-Value   | Weight   |
|---|----------|-----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000  | 1.000000 |
| 2 | 0.000000 | 10.000000 | 1.000000 |
| 3 | 0.000000 | 16.000000 | 1.000000 |

## Vignetting Factors

| # | VDX      | VDY      | VCX      | VCY      | VAN      |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 3 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |

Wavelengths : 1

Units: Microns

| # | Value    | Weight   |
|---|----------|----------|
| 1 | 0.587600 | 1.000000 |

## SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment   | Radius    | Thickness | Glass               | Diameter |
|------|----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|----------|
| OBJ  | STANDARD | Infinity  | Infinity  | Infinity  |                     | 0        |
| 1    | STANDARD | 33.72787  | 33.72787  | 4.06      | 1.800000, 53.630001 | 42.54428 |
| 2    | STANDARD | 76.80375  | 76.80375  | 0.25      |                     | 42.97095 |
| 3    | STANDARD | 19.53829  | 19.53829  | 6         | 1.615004, 56.900002 | 26       |
| 4    | STANDARD | -64.76144 | -64.76144 | 2.03      | 1.613601, 39.200000 | 26       |
| 5    | STANDARD | 13.35278  | 13.35278  | 12.32325  |                     | 23.19432 |
| STO  | STANDARD | Infinity  | Infinity  | 5.523221  |                     | 15.53575 |
| 7    | STANDARD | -17.14503 | -17.14503 | 2.03      | 1.808503, 37.900002 | 17.58266 |
| 8    | STANDARD | -90.36763 | -90.36763 | 6.6       | 1.944285, 53.150002 | 21.18039 |
| 9    | STANDARD | -24.47273 | -24.47273 | 0.25      |                     | 24.62933 |
| 10   | STANDARD | 94.70716  | 94.70716  | 4.11      | 1.800000, 56.900002 | 27.54791 |
| 11   | STANDARD | -64.14967 | -64.14967 | 29.2237   |                     | 27.66554 |
| IMA  | STANDARD | Infinity  | Infinity  |           |                     | 28.17615 |

# 双高斯物镜设计实例(Zemax数据6)



File : J:\ZEMAX(SAMPLE)\Double Gauss 45.zmx  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : THU APR 15 2004

## LENS NOTES:

Notes...

## GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces          :          12
Stop              :          6
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 25
Glass Catalogs   : schott HIKARI OLD_HOYA OLD_SCHO
Ray Aiming       : Off
Apodization      :Uniform, factor = 0.00000E+000
Effective Focal Length :          50 (in air)
Effective Focal Length :          50 (in image space)
Back Focal Length : 21.19558
Total Track      : 64.35742
Image Space F/#  : 2
Paraxial Working F/# : 2
Working F/#      : 1.996455
Image Space NA   : 0.2425356
Object Space NA  : 1.25e-009
Stop Radius      : 7.316035
Paraxial Image Height : 14.33727
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 25
Entrance Pupil Position : 26.28408
Exit Pupil Diameter : 39.77144
Exit Pupil Position : -79.44562
Field Type       : Angle in degrees
Maximum Field    : 16
Primary Wave     : 0.5876
Lens Units       : Millimeters
Angular Magnification : 0.6285918
  
```

## Fields : 3

| Field Type: Angle in degrees | X-Value  | Y-Value   | Weight   |
|------------------------------|----------|-----------|----------|
| 1                            | 0.000000 | 0.000000  | 1.000000 |
| 2                            | 0.000000 | 10.000000 | 1.000000 |
| 3                            | 0.000000 | 16.000000 | 1.000000 |

## Vignetting Factors

| # | VDX      | VDY      | VCX      | VCY      | VAN      |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 3 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |

## Wavelengths : 1

| Units: Microns | Value    | Weight   |
|----------------|----------|----------|
| 1              | 0.587600 | 1.000000 |

## SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness | Glass   | Diameter |
|------|----------|---------|-----------|-----------|---------|----------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity  |         | 0        |
| 1    | STANDARD |         | 34.96319  | 4.06      | LASFN31 | 37.0312  |
| 2    | STANDARD |         | 85.08261  | 0.25      |         | 36.39964 |
| 3    | STANDARD |         | 16.63462  | 6         | SKL6    | 26       |
| 4    | STANDARD |         | Infinity  | 2.03      | F4      | 26       |
| 5    | STANDARD |         | 12.4402   | 6.515095  |         | 19.21552 |
| STO  | STANDARD |         | Infinity  | 11.414    |         | 16.00467 |
| 7    | STANDARD |         | -13.83499 | 2.03      | SF59    | 18.73695 |
| 8    | STANDARD |         | 31.88436  | 6.6       | LASFN31 | 29.31833 |
| 9    | STANDARD |         | -21.84733 | 0.25      |         | 27.10718 |
| 10   | STANDARD |         | 57.14661  | 4.11      | LASFN31 | 35.73344 |
| 11   | STANDARD |         | -54.11309 | 21.09833  |         | 35.44765 |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  |           |         | 27.97879 |

# 双高斯物镜设计实例(Zemax数据7)



File : J:\ZEMAX(SAMPLE)\Double Gauss 46.zmx  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : THU APR 15 2004

## LENS NOTES:

Notes....

## GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces      :      12
Stop          :      6
System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 25
Glass Catalogs : schott HIKARI OLD_HOYA OLD_SCHO
Ray Aiming    : Off
Apodization   : Uniform, factor = 0.00000E+000
Effective Focal Length : 50 (in air)
Effective Focal Length : 50 (in image space)
Back Focal Length : 30.7705
Total Track   : 77.41414
Image Space F/# : 2
Paraxial Working F/# : 2
Working F/#   : 1.997027
Image Space NA : 0.2425356
Object Space NA : 1.25e-009
Stop Radius   : 7.975382
Paraxial Image Height : 14.33727
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 25
Entrance Pupil Position : 36.05262
Exit Pupil Diameter : 33.09316
Exit Pupil Position : -66.06459
Field Type    : Angle in degrees
Maximum Field : 16
Primary Wave  : 0.5875618
Lens Units    : Millimeters
Angular Magnification : 0.7554432
  
```

## Fields : 3

| # | X-Value  | Y-Value   | Weight   |
|---|----------|-----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000  | 1.000000 |
| 2 | 0.000000 | 10.000000 | 1.000000 |
| 3 | 0.000000 | 16.000000 | 1.000000 |

## Vignetting Factors

| # | VDX      | VDY      | V CX     | V CY     | V AN     |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 3 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |

## Wavelengths : 3

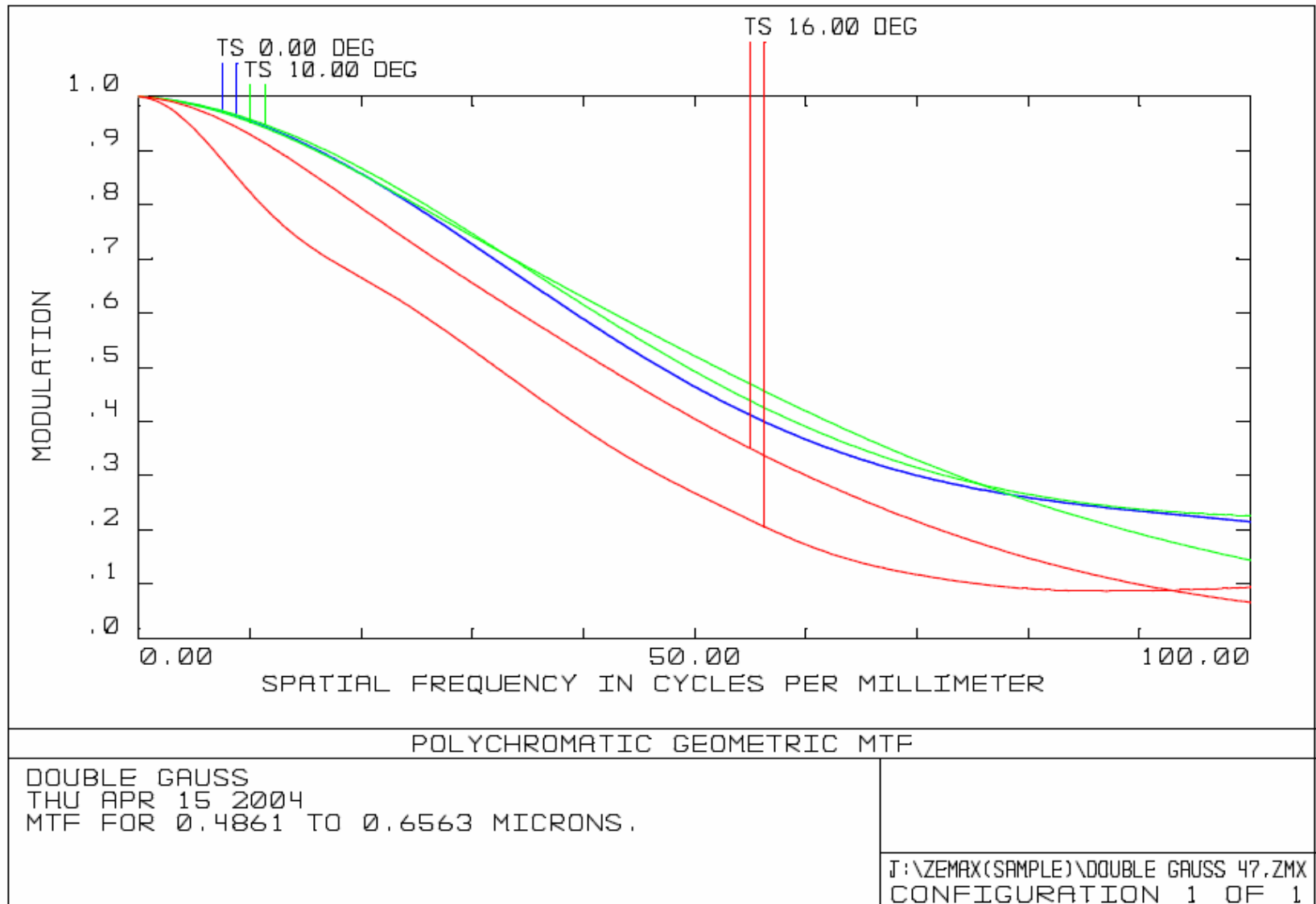
| # | Value    | Weight   |
|---|----------|----------|
| 1 | 0.486133 | 1.000000 |
| 2 | 0.587562 | 1.000000 |
| 3 | 0.656273 | 1.000000 |

## SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment | Radius    | Thickness | Glass    | Diameter |
|------|----------|---------|-----------|-----------|----------|----------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity  | Infinity  |          | 0        |
| 1    | STANDARD |         | 35.59224  | 4.06      | LASEFN31 | 41.7885  |
| 2    | STANDARD |         | 68.81744  | 0.25      |          | 41.34978 |
| 3    | STANDARD |         | 19.15678  | 6         | SKL6     | 28       |
| 4    | STANDARD |         | 72.29117  | 2.03      | F4       | 28       |
| 5    | STANDARD |         | 12.60546  | 12.23198  |          | 22.54339 |
| SIC  | STANDARD |         | Infinity  | 9.203381  |          | 16.48904 |
| 7    | STANDARD |         | -19.83433 | 2.03      | SF59     | 21.1033  |
| 8    | STANDARD |         | -69.51711 | 6.6       |          | 25.05944 |
| 9    | STANDARD |         | -21.18166 | 0.25      | LASEFN31 | 27.73456 |
| 10   | STANDARD |         | 56.04947  | 4.11      |          | 30       |
| 11   | STANDARD |         | -333.8189 | 30.64878  | LASEFN31 | 30       |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity  |           |          | 27.98866 |



# MTF (47)



# 双高斯物镜设计实例(Zemax数据)



File : J:\ZEMAX(SAMPLE)\Double Gauss 50.zmx  
 Title: DOUBLE GAUSS  
 Date : THU APR 15 2004

LENS NOTES:

Notes...

GENERAL LENS DATA:

```

Surfaces          :          12
Stop              :          6
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 25
Glass Catalogs   : schott HIKARI OLD_HOYA OLD_SCHO
Ray Aiming       : Off
Apodization      : Uniform, factor = 0.00000E+000
Effective Focal Length : 49.9983 (in air)
Effective Focal Length : 49.9983 (in image space)
Back Focal Length : 25.49137
Total Track      : 67.911
Image Space F/#  : 1.999932
Paraxial Working F/# : 1.999932
Working F/#      : 1.993677
Image Space NA   : 0.2425434
Object Space NA  : 1.25e-009
Stop Radius      : 7.972134
Paraxial Image Height : 14.33678
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 25
Entrance Pupil Position : 19.09789
Exit Pupil Diameter : 36.66172
Exit Pupil Position : -73.22757
Exit Pupil Position : Angle in degrees
Field Type       :          16
Maximum Field    :          0.5875618
Primary Wave     :          Millimeters
Lens Units       :          0.6819102
Angular Magnification :
  
```

Fields : 3

```

Field Type: Angle in degrees
# X-Value Y-Value Weight
1 0.000000 0.000000 1.000000
2 0.000000 10.000000 1.000000
3 0.000000 16.000000 1.000000
  
```

Vignetting Factors

```

# VDX VDY VCX VCY VAN
1 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
3 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
  
```

Wavelengths : 3

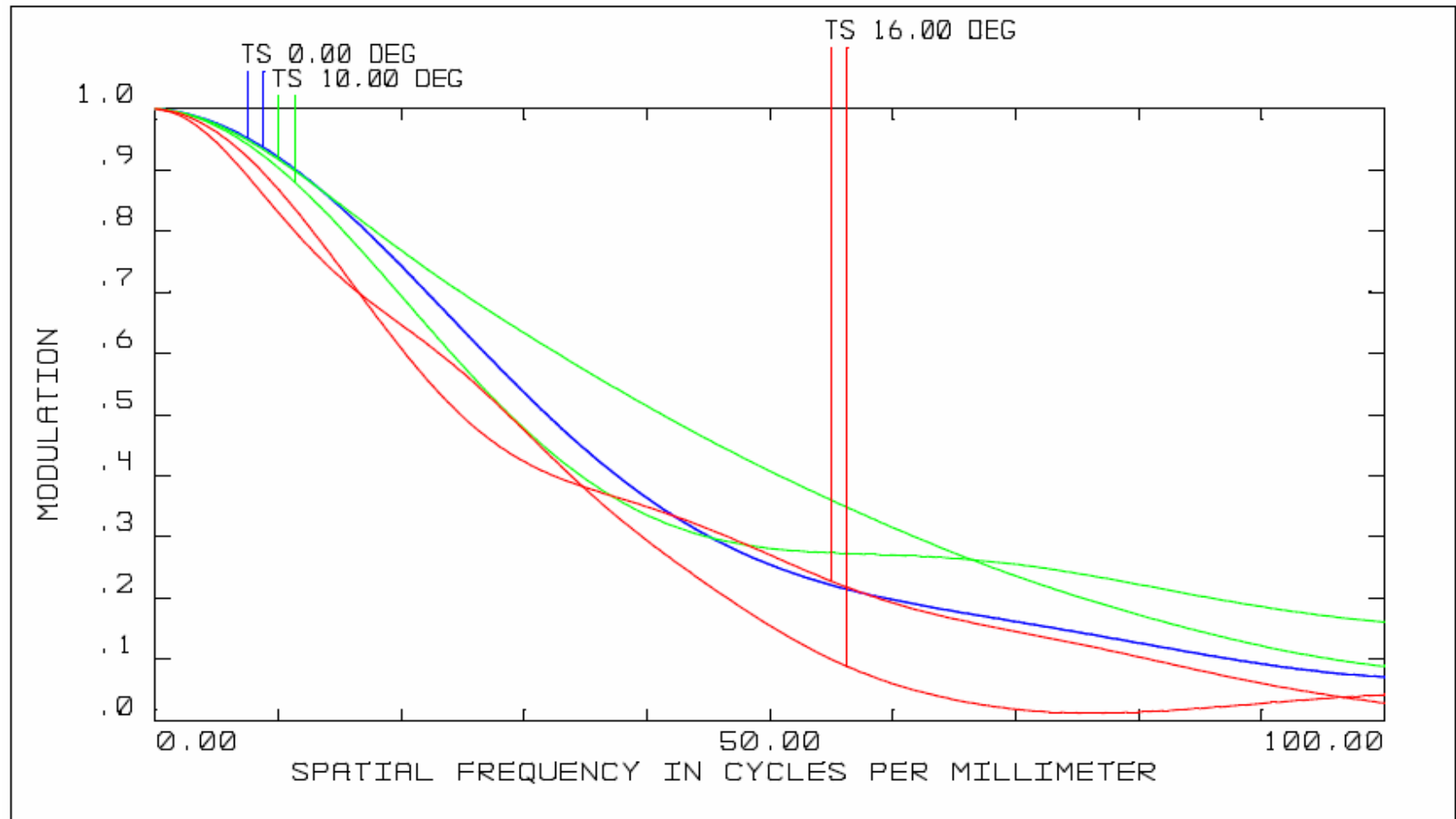
```

Units: Microns
# Value Weight
1 0.486133 1.000000
2 0.587562 1.000000
3 0.656273 1.000000
  
```

SURFACE DATA SUMMARY:

| Surf | Type     | Comment | Radius   | Thickness | Glass | Diameter |
|------|----------|---------|----------|-----------|-------|----------|
| OBJ  | STANDARD |         | Infinity | Infinity  |       | 0        |
| 1    | STANDARD |         | 31.229   | 4.965     | LAF2  | 28       |
| 2    | STANDARD |         | 75.977   | 0.25      |       | 28       |
| 3    | STANDARD |         | 19.242   | 6.579     | LAF2  | 26.78164 |
| 4    | STANDARD |         | 150.45   | 2.03      | SF18  | 24.32167 |
| 5    | STANDARD |         | 12.653   | 3.412     |       | 16.99369 |
| STO  | STANDARD |         | Infinity | 10.594    |       | 16.81389 |
| 7    | STANDARD |         | -16.877  | 2.03      | F4    | 19.97235 |
| 8    | STANDARD |         | 26.682   | 7.671     | SSK2  | 29.50381 |
| 9    | STANDARD |         | -24.206  | 0.25      |       | 28.22241 |
| 10   | STANDARD |         | 51.798   | 4.732     | LAF2  | 28       |
| 11   | STANDARD |         | -81.608  | 25.398    |       | 28       |
| IMA  | STANDARD |         | Infinity |           |       | 28.18673 |

# MTF (50)



POLYCHROMATIC GEOMETRIC MTF

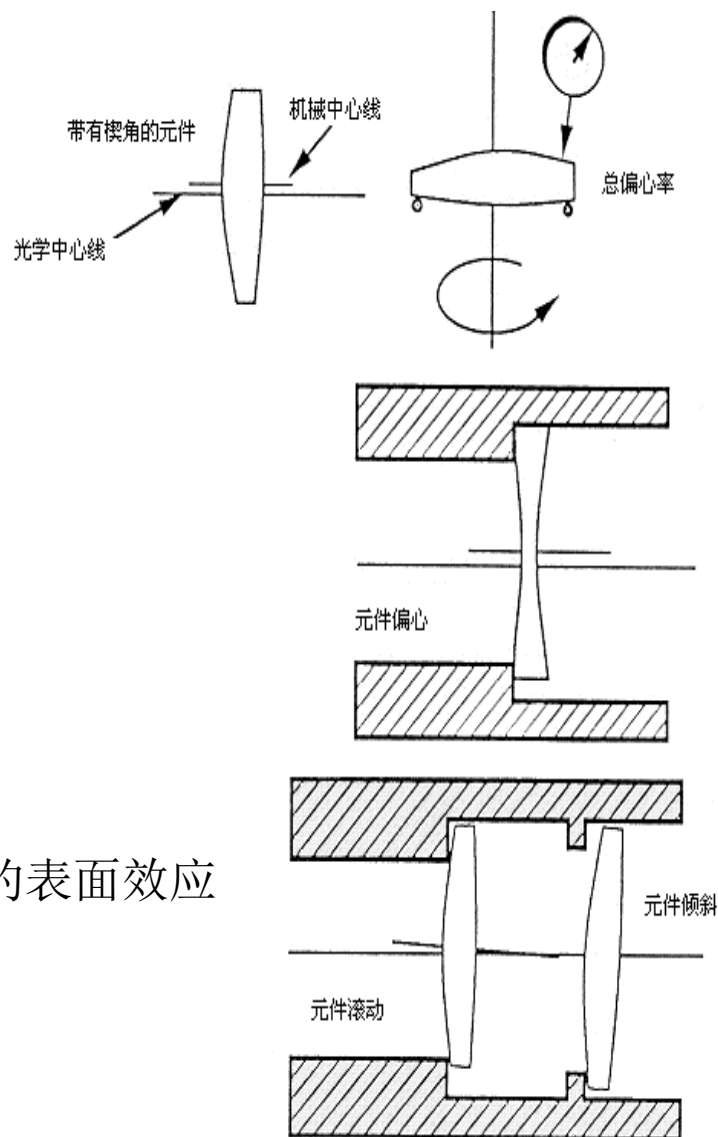
DOUBLE GAUSS  
THU APR 15 2004  
MTF FOR 0.4861 TO 0.6563 MICRONS.

J:\ZEMAX(SAMPLE)\DOUBLE GAUSS 50.ZMX  
CONFIGURATION 1 OF 1

- ◆ 分配所有光学和机械元件的公差
  - 公差——包括光学元件（透镜和反射镜）及支撑光学元件的机械装置
- ◆ 系统加工目标
  - 满足系统性能需要
  - 尽可能减少元件成本
  - 尽可能减少装配，调整和测试成本
  - 实现大视场
- ◆ 建立系统结果误差估计
  - 结果估计



- 同制造、装配、材料相关的对称误差
  - 半径
  - 相对于样板的光圈
  - 厚度
  - 空气隙
  - 折射率
- 装配和调整中的非对称误差
  - 表面不规则性
  - 折射率不均匀性
  - 元件楔角（总的倾斜）
- 其它
  - 环境影响
    - 由于点坑、擦痕、气泡等产生的表面效应
    - 玻璃色散
    - 以上的综合效应



# 公差在降低成本方面的影响

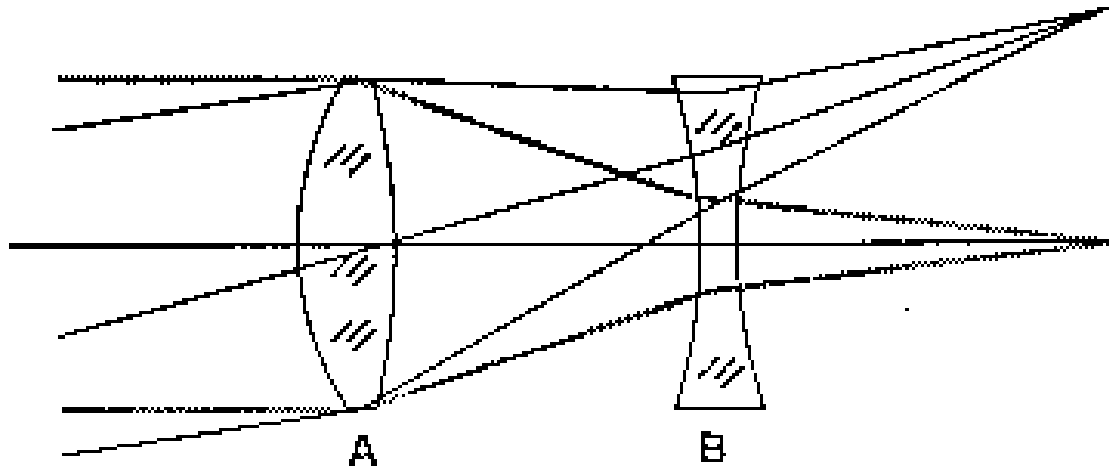


|                                             |               |                |                  |                      |                |                |                 |
|---------------------------------------------|---------------|----------------|------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Diameter toler.<br>in millimeters           | ±0.1<br>100   | ±0.05<br>100   | ±0.025<br>103    | ±0.0125<br>115       | ±0.0075<br>150 |                |                 |
| center thickness<br>tolerance in mm         | ±0.2<br>100   | ±0.1<br>105    | ±0.05<br>115     | ±0.025<br>150        | ±0.0125<br>300 |                |                 |
| stain charac.<br>of the glass               | 0<br>100      | 1<br>100       | 2<br>103         | 3<br>110             | 4<br>150       | 5<br>250       | 5+<br>500       |
| # of lenses<br>per block                    | 25<br>100     | 18<br>105      | 11<br>115        | 6<br>130             | 3<br>175       | 1<br>300       |                 |
| eccen. toler.<br>in light dev.              | 6 min.<br>100 | 3 min.<br>103  | 2 min.<br>108    | 1 min.<br>115        | 30 sec.<br>140 | 15 sec.<br>200 |                 |
| Figure toler.<br>in $\lambda$ (pow./irreg.) | 10-5<br>100   | 5-2<br>105     | 3-1<br>120       | 2-1/2<br>140         | 2-1/4<br>175   | 1-1/8<br>300   |                 |
| Dia. to thick.<br>ratio (figure 3-1)        | 9-1<br>100    | 15-1<br>120    | 20-1<br>150      | 30-1<br>200          | 40-1<br>300    | 50-1<br>500    |                 |
| Beauty defects<br>(MIL-C-13830A)            | 80-50<br>100  | 60-4<br>110    | 40-30<br>125     | 20-10<br>175         | 10-5<br>350    |                |                 |
| Raw glass cost<br>in 1000 lb. lots          | \$3.00<br>100 | \$5.00<br>108  | \$8.00<br>115    | \$15.00<br>125       | \$25.00<br>135 | \$50.00<br>200 | \$100.00<br>350 |
| Coating specifi-<br>cations                 | Unctd.<br>100 | Mg. Fl.<br>115 | 3-4 layer<br>150 | >4 layers<br>200-500 |                |                |                 |

• LISTED IS THE AVERAGE COST EFFECT FOR VARIOUS TOLERANCES ON TYPICAL LENSES 25-50 mm DIAMETER

• THE FIGURE 100 REPRESENTS THE BASE COST

- 在传统透镜加工过程中，主要存在缓慢变化的不规则面型
  - 它通常使球面产生一个柱形的偏离
  - 大的非球面会具有更多的随机不规则性和区域
- 金刚石车削非球面时，会产生高频毛刺和低频丝杠误差效应
- 在确定具体的不规则程度之前，考虑成像系统表面的通光孔径的大小是非常重要的
  - 如下图所示：如果表面不规则性为柱形，且元件B的通光孔径是全孔径的0.2倍，则从原理上讲，对于元件B的不规则性要求比元件A要松25倍，此时，它们将产生相等的波前误差。



1. 对所有公差参量产生性能下降敏感度
  - 参量：包括元件的半径、厚度、楔角、倾斜、偏心、空气隙、折射率
2. 产生公差等级的尺度，如果必要，需降低。
3. 合成可估计的随机误差（表面不规则性和其他随即误差效应）
4. 估计系统结果
5. 在条件许可或满足需要的情况下，放松不敏感的参量，加强对敏感参量的限制
6. 预测系统结果
  - 重复步骤5和6，直至以最小成本满足性能

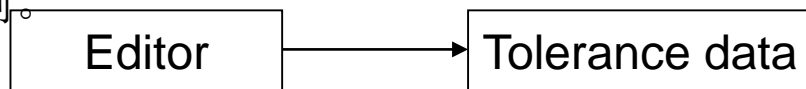
- ◆ 如需要，在最后装调时，调节系统的空气隙
  - 这种参量调节方法可以减小整个系统的其他公差
  - 在公差分析过程中，这一步骤必须经过充分考虑
- ◆ 在设计阶段，通过放松公差，使对于元件装调的敏感度最小化
- ◆ 在有些情况下，需要对系统进行重新设计
- ◆ 对于像质要求极高的光学系统，可以地第一、或最后一个元件预留修正量，必要时通过改变其几何尺寸，来修正或补偿整个系统的像质。

- ◆ **RSS 假设**-----公差结果相对于名义值的变化平方和的平方根
  - 假设下降是线性无关的
  - 得到约**95%**的可信度
  - 对于在一个真正系统中的最大像差，通常没有进行恰当的处理
  - 如果一个元件的厚度是 $T \pm 0.01$ 英寸，**100**个元件将会产生 $(100T) \pm 1$ 英寸这一极端很差的结果，对于**95%**可信度的RSS假设来说，将得到 $(100T) \pm 0.10$ 这一结果
- ◆ **Monte Carlo (蒙特卡罗)** ---- 在高质量的生产环境下，对透镜系统的统计结果进行模拟的方法
  - 规定所有公差参量的公差值
  - 依照可能性分布，不依赖于系统内每个参数的扰动
  - 计算结果
    - 上述步骤重复**1000**次或更多
    - 输出是可能发生的统计相关程度

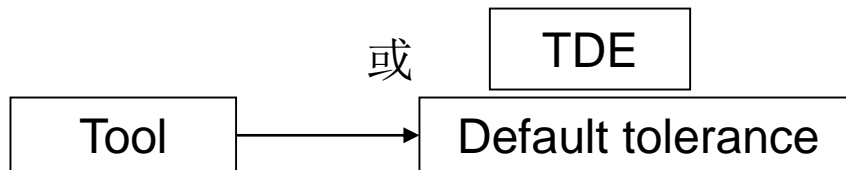
虽然现在的光学设计软件可以方便地计算公差，但一般光学系统的公差并不必须计算，类似性能的光学系统可以用统一的公差（[经验值](#)，[参考设计手册](#)）；

对特殊的情况（NA或视场很大，而且像质要求高），则必须计算公差，以形成加工与装校方案，现以高倍显微镜为例。

首先是产生一个公差数值表：按





就出来一个空的表格，按



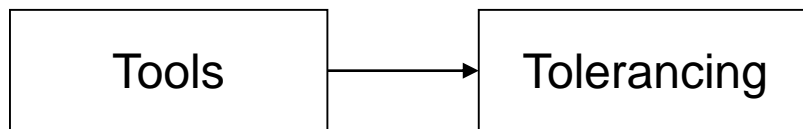
弹出Dialog Box，其中已内定各种公差值，这个内定公差是针对一般光学系统而定，对显微镜完全不适用，先改为：

|           |             |
|-----------|-------------|
| radius    | 0.05        |
| Thickness | 0.1         |
| Decenter  | 0.05        |
| Tilt      | 0.05° (~3') |

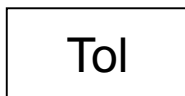
按  , 

就产生一个初步公差表，用以计算各种误差的影响。

然后按



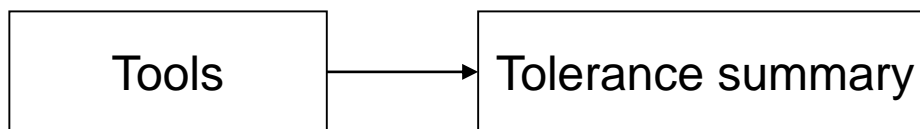
或



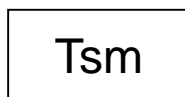
出现Dialog Box，当不改动时，按  即可算出Analysis of Tolerances的分析表格，表中列出了每项误差使Merit Function发生的变化（Sensitivity Analysis）、最坏的误差（Worst offenders）、及统计分析，如所附。

根据Worst offenders修改初步公差表中相应项目的允许公差值（一般降低十倍，五倍或二倍，视MF变化量与MF目标值之比而定）。重复这个过程，使误差对MF的影响可接受为止。

最后可以打印出公差表



或



如所附



按统计分析，这组公差已使原来RMS Spot radius由0.0007扩大到0.0026（90%）或0.0012(10%)以下，即像质有所下降，可以看到，多处要求厚度公差是0.02，要求偏心0.01mm及 $0.01^\circ$ ，而且这种偏心误差还对MF产生最坏的影响（由打印出的Worst offenders或Sensitivity analysis）；而且 $n_g \pm 0.001$ 也影响很大，按Schott玻璃表，折射率误差可能做到 $\pm 0.0002$ （对 $n_d > 1.83$ 者 $\pm 0.0004$ ）其它过严的要求宜由装校方案解决，即须有适当的compensator。

一般而言，过于灵敏的厚度可用邻近的空气隙变化来补偿，过于灵敏的偏心则宜用一个结构可调的偏心来保证，并用以补偿其他零件的偏心。

# Zemax 公差计算



Mode : Sensitivities  
 Sampling : 3  
 Optimization Cycles : Automatic mode  
 Merit: RMS Spot Radius in Millimeters  
 Nominal Merit Function (MF) is 0.00068819  
 Test wavelength: 0.6328

Fields: Y Symmetric Angle in degrees  
 # X-Field Y-Field Weight VDX VDY VCX VCY  
 1 0.000E+000 0.000E+000 2.000E+000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 2 0.000E+000 2.625E+000 1.000E+000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 3 0.000E+000 -2.625E+000 1.000E+000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 4 0.000E+000 3.750E+000 1.000E+000 0.000 0.000 0.000 0.000  
 5 0.000E+000 -3.750E+000 1.000E+000 0.000 0.000 0.000 0.000

## Sensitivity Analysis:

| Type    | Value     | Minimum  | Maximum   | Change    | Value    | MF       | Change   | Value    | MF       | Change   |
|---------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| TRAD 1  | -0.200000 | 0.002288 | 0.001600  | 0.001600  | 0.200000 | 0.003146 | 0.002457 | 0.200000 | 0.003146 | 0.002457 |
| TRAD 2  | -0.200000 | 0.002308 | 0.001620  | 0.001620  | 0.200000 | 0.001477 | 0.000789 | 0.200000 | 0.001477 | 0.000789 |
| TRAD 3  | -0.200000 | 0.000746 | 0.000058  | 0.000058  | 0.200000 | 0.000758 | 0.000070 | 0.200000 | 0.000758 | 0.000070 |
| TRAD 5  | -0.200000 | 0.000688 | -0.000000 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000688 | 0.000000 | 0.200000 | 0.000688 | 0.000000 |
| TRAD 6  | -0.200000 | 0.007160 | 0.006472  | 0.006472  | 0.200000 | 0.007268 | 0.006580 | 0.200000 | 0.007268 | 0.006580 |
| TRAD 7  | -0.200000 | 0.002336 | 0.001648  | 0.001648  | 0.200000 | 0.002255 | 0.001567 | 0.200000 | 0.002255 | 0.001567 |
| TRAD 8  | -0.200000 | 0.007915 | 0.007227  | 0.007227  | 0.200000 | 0.006928 | 0.006240 | 0.200000 | 0.006928 | 0.006240 |
| TRAD 9  | -0.200000 | 0.012073 | 0.011385  | 0.011385  | 0.200000 | 0.012941 | 0.012253 | 0.200000 | 0.012941 | 0.012253 |
| TRAD 10 | -0.200000 | 0.002669 | 0.001981  | 0.001981  | 0.200000 | 0.002902 | 0.002213 | 0.200000 | 0.002902 | 0.002213 |
| TRAD 11 | -0.200000 | 0.011028 | 0.010340  | 0.010340  | 0.200000 | 0.008967 | 0.008279 | 0.200000 | 0.008967 | 0.008279 |
| TRAD 12 | -0.200000 | 0.000801 | 0.000113  | 0.000113  | 0.200000 | 0.000827 | 0.000139 | 0.200000 | 0.000827 | 0.000139 |
| TRAD 13 | -0.200000 | 0.014417 | 0.013729  | 0.013729  | 0.200000 | 0.013894 | 0.013206 | 0.200000 | 0.013894 | 0.013206 |
| TRAD 14 | -0.200000 | 0.008189 | 0.007501  | 0.007501  | 0.200000 | 0.003940 | 0.003252 | 0.200000 | 0.003940 | 0.003252 |
| TRAD 15 | -1.000000 | 0.000688 | 0.000000  | 0.000000  | 1.000000 | 0.000688 | 0.000000 | 1.000000 | 0.000688 | 0.000000 |
| TRAD 16 | -1.000000 | 0.000688 | -0.000000 | -0.000000 | 1.000000 | 0.000688 | 0.000000 | 1.000000 | 0.000688 | 0.000000 |
| TRAD 17 | -1.000000 | 0.000688 | -0.000000 | -0.000000 | 1.000000 | 0.000688 | 0.000000 | 1.000000 | 0.000688 | 0.000000 |
| TTI 1   | -0.200000 | 0.000707 | 0.000019  | 0.000019  | 0.200000 | 0.000917 | 0.000229 | 0.200000 | 0.000917 | 0.000229 |
| TTI 2   | -0.200000 | 0.000801 | 0.000113  | 0.000113  | 0.200000 | 0.000754 | 0.000066 | 0.200000 | 0.000754 | 0.000066 |
| TTI 3   | -0.200000 | 0.000689 | 0.000001  | 0.000001  | 0.200000 | 0.000689 | 0.000001 | 0.200000 | 0.000689 | 0.000001 |
| TTI 4   | -0.200000 | 0.002584 | 0.001896  | 0.001896  | 0.200000 | 0.002546 | 0.001858 | 0.200000 | 0.002546 | 0.001858 |
| TTI 5   | -0.200000 | 0.002297 | 0.001609  | 0.001609  | 0.200000 | 0.002330 | 0.001541 | 0.200000 | 0.002330 | 0.001541 |
| TTI 6   | -0.200000 | 0.000948 | 0.000260  | 0.000260  | 0.200000 | 0.001047 | 0.000359 | 0.200000 | 0.001047 | 0.000359 |
| TTI 7   | -0.200000 | 0.003188 | 0.002500  | 0.002500  | 0.200000 | 0.003435 | 0.002747 | 0.200000 | 0.003435 | 0.002747 |
| TTI 8   | -0.200000 | 0.002282 | 0.001594  | 0.001594  | 0.200000 | 0.002322 | 0.001634 | 0.200000 | 0.002322 | 0.001634 |
| TTI 9   | -0.200000 | 0.002275 | 0.001587  | 0.001587  | 0.200000 | 0.002443 | 0.001755 | 0.200000 | 0.002443 | 0.001755 |
| TTI 10  | -0.200000 | 0.006934 | 0.006246  | 0.006246  | 0.200000 | 0.006429 | 0.005741 | 0.200000 | 0.006429 | 0.005741 |
| TTI 11  | -0.200000 | 0.002408 | 0.001720  | 0.001720  | 0.200000 | 0.002478 | 0.001790 | 0.200000 | 0.002478 | 0.001790 |
| TTI 12  | -0.200000 | 0.005101 | 0.004412  | 0.004412  | 0.200000 | 0.005298 | 0.004609 | 0.200000 | 0.005298 | 0.004609 |
| TTI 13  | -0.200000 | 0.006385 | 0.005697  | 0.005697  | 0.200000 | 0.003511 | 0.002823 | 0.200000 | 0.003511 | 0.002823 |
| TTI 14  | -0.200000 | 0.000751 | 0.000063  | 0.000063  | 0.200000 | 0.000798 | 0.000110 | 0.200000 | 0.000798 | 0.000110 |
| TTI 15  | -0.200000 | 0.002768 | 0.002079  | 0.002079  | 0.200000 | 0.002712 | 0.002024 | 0.200000 | 0.002712 | 0.002024 |
| TTI 16  | -0.200000 | 0.000755 | 0.000067  | 0.000067  | 0.200000 | 0.000747 | 0.000059 | 0.200000 | 0.000747 | 0.000059 |
| TEDX 1  | -0.200000 | 0.002265 | 0.001576  | 0.001576  | 0.200000 | 0.002265 | 0.001576 | 0.200000 | 0.002265 | 0.001576 |
| TEDY 1  | -0.200000 | 0.002280 | 0.001592  | 0.001592  | 0.200000 | 0.002280 | 0.001592 | 0.200000 | 0.002280 | 0.001592 |
| TEXT 1  | -0.200000 | 0.000861 | 0.000172  | 0.000172  | 0.200000 | 0.000861 | 0.000172 | 0.200000 | 0.000861 | 0.000172 |
| TEY 1   | -0.200000 | 0.000833 | 0.000145  | 0.000145  | 0.200000 | 0.000833 | 0.000145 | 0.200000 | 0.000833 | 0.000145 |
| TEDX 5  | -0.200000 | 0.009275 | 0.008587  | 0.008587  | 0.200000 | 0.009275 | 0.008587 | 0.200000 | 0.009275 | 0.008587 |
| TEDY 5  | -0.200000 | 0.009550 | 0.008862  | 0.008862  | 0.200000 | 0.009550 | 0.008862 | 0.200000 | 0.009550 | 0.008862 |
| TEY 5   | -0.200000 | 0.000706 | 0.000017  | 0.000017  | 0.200000 | 0.000706 | 0.000017 | 0.200000 | 0.000706 | 0.000017 |
| TEY 5   | -0.200000 | 0.000706 | 0.000018  | 0.000018  | 0.200000 | 0.000706 | 0.000018 | 0.200000 | 0.000706 | 0.000018 |
| TEDX 8  | -0.200000 | 0.006350 | 0.005661  | 0.005661  | 0.200000 | 0.006350 | 0.005661 | 0.200000 | 0.006350 | 0.005661 |
| TEDX 8  | -0.200000 | 0.006404 | 0.005716  | 0.005716  | 0.200000 | 0.006404 | 0.005716 | 0.200000 | 0.006404 | 0.005716 |
| TEIX 8  | -0.200000 | 0.001848 | 0.001160  | 0.001160  | 0.200000 | 0.001848 | 0.001160 | 0.200000 | 0.001848 | 0.001160 |
| TEY 8   | -0.200000 | 0.001584 | 0.000896  | 0.000896  | 0.200000 | 0.001584 | 0.000896 | 0.200000 | 0.001584 | 0.000896 |
| TEDX 11 | -0.200000 | 0.009198 | 0.008510  | 0.008510  | 0.200000 | 0.009198 | 0.008510 | 0.200000 | 0.009198 | 0.008510 |
| TEDY 11 | -0.200000 | 0.010720 | 0.010031  | 0.010031  | 0.200000 | 0.010720 | 0.010031 | 0.200000 | 0.010720 | 0.010031 |
| TEXT 11 | -0.200000 | 0.001529 | 0.000841  | 0.000841  | 0.200000 | 0.001529 | 0.000841 | 0.200000 | 0.001529 | 0.000841 |
| TEY 11  | -0.200000 | 0.001395 | 0.000707  | 0.000707  | 0.200000 | 0.001395 | 0.000707 | 0.200000 | 0.001395 | 0.000707 |
| TEDX 13 | -0.200000 | 0.008478 | 0.007790  | 0.007790  | 0.200000 | 0.008478 | 0.007790 | 0.200000 | 0.008478 | 0.007790 |
| TEDY 13 | -0.200000 | 0.010106 | 0.009418  | 0.009418  | 0.200000 | 0.010106 | 0.009418 | 0.200000 | 0.010106 | 0.009418 |
| TEXT 13 | -0.200000 | 0.000814 | 0.000126  | 0.000126  | 0.200000 | 0.000814 | 0.000126 | 0.200000 | 0.000814 | 0.000126 |
| TEY 13  | -0.200000 | 0.000785 | 0.000097  | 0.000097  | 0.200000 | 0.000785 | 0.000097 | 0.200000 | 0.000785 | 0.000097 |
| TSDX 1  | -0.200000 | 0.002016 | 0.001328  | 0.001328  | 0.200000 | 0.002016 | 0.001328 | 0.200000 | 0.002016 | 0.001328 |

# Zemax 公差计算



|         |           |          |           |          |          |           |
|---------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| TSDY 1  | -0.200000 | 0.002805 | 0.002117  | 0.200000 | 0.002805 | 0.002117  |
| TIRX 1  | -0.200000 | 0.002250 | 0.001592  | 0.200000 | 0.002250 | 0.001592  |
| TIRY 1  | -0.200000 | 0.003203 | 0.002514  | 0.200000 | 0.003203 | 0.002514  |
| TSDX 2  | -0.200000 | 0.003454 | 0.002796  | 0.200000 | 0.003454 | 0.002796  |
| TSDY 2  | -0.200000 | 0.003744 | 0.003055  | 0.200000 | 0.003744 | 0.003055  |
| TIRX 2  | -0.200000 | 0.003155 | 0.002497  | 0.200000 | 0.003155 | 0.002497  |
| TIRY 2  | -0.200000 | 0.003422 | 0.002734  | 0.200000 | 0.003422 | 0.002734  |
| TSDX 3  | -0.200000 | 0.003016 | 0.002318  | 0.200000 | 0.003016 | 0.002318  |
| TSDY 3  | -0.200000 | 0.001040 | 0.000352  | 0.200000 | 0.001040 | 0.000352  |
| TIRX 3  | -0.200000 | 0.002495 | 0.001807  | 0.200000 | 0.002495 | 0.001807  |
| TIRY 3  | -0.200000 | 0.003196 | 0.002507  | 0.200000 | 0.003196 | 0.002507  |
| TSDX 4  | -0.200000 | 0.000659 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000659 | 0.000000  |
| TSDY 4  | -0.200000 | 0.000659 | 0.000001  | 0.200000 | 0.000659 | 0.000001  |
| TIRX 5  | -0.200000 | 0.001027 | 0.000835  | 0.200000 | 0.001027 | 0.000835  |
| TIRY 5  | -0.200000 | 0.001419 | 0.000731  | 0.200000 | 0.001419 | 0.000731  |
| TSDX 6  | -0.200000 | 0.010112 | 0.009424  | 0.200000 | 0.010112 | 0.009424  |
| TSDY 6  | -0.200000 | 0.010265 | 0.009597  | 0.200000 | 0.010265 | 0.009597  |
| TIRX 6  | -0.200000 | 0.006250 | 0.005551  | 0.200000 | 0.006250 | 0.005551  |
| TIRY 6  | -0.200000 | 0.006350 | 0.005661  | 0.200000 | 0.006350 | 0.005661  |
| TSDX 7  | -0.200000 | 0.001221 | 0.000533  | 0.200000 | 0.001221 | 0.000533  |
| TSDY 7  | -0.200000 | 0.001527 | 0.000839  | 0.200000 | 0.001527 | 0.000839  |
| TIRX 7  | -0.200000 | 0.001745 | 0.001057  | 0.200000 | 0.001745 | 0.001057  |
| TIRY 7  | -0.200000 | 0.002221 | 0.001532  | 0.200000 | 0.002221 | 0.001532  |
| TSDX 8  | -0.200000 | 0.012509 | 0.011521  | 0.200000 | 0.012509 | 0.011521  |
| TSDY 8  | -0.200000 | 0.014025 | 0.013137  | 0.200000 | 0.014025 | 0.013137  |
| TIRX 8  | -0.200000 | 0.010036 | 0.009347  | 0.200000 | 0.010036 | 0.009347  |
| TIRY 8  | -0.200000 | 0.011250 | 0.010562  | 0.200000 | 0.011250 | 0.010562  |
| TSDX 9  | -0.200000 | 0.014655 | 0.013957  | 0.200000 | 0.014655 | 0.013957  |
| TSDY 9  | -0.200000 | 0.017068 | 0.016380  | 0.200000 | 0.017068 | 0.016380  |
| TIRX 9  | -0.200000 | 0.010345 | 0.009586  | 0.200000 | 0.010345 | 0.009586  |
| TIRY 9  | -0.200000 | 0.012011 | 0.011322  | 0.200000 | 0.012011 | 0.011322  |
| TSDX 10 | -0.200000 | 0.008401 | 0.007713  | 0.200000 | 0.008401 | 0.007713  |
| TSDY 10 | -0.200000 | 0.009139 | 0.008451  | 0.200000 | 0.009139 | 0.008451  |
| TIRX 10 | -0.200000 | 0.012047 | 0.011359  | 0.200000 | 0.012047 | 0.011359  |
| TIRY 10 | -0.200000 | 0.013107 | 0.012418  | 0.200000 | 0.013107 | 0.012418  |
| TSDX 11 | -0.200000 | 0.012815 | 0.012127  | 0.200000 | 0.012815 | 0.012127  |
| TSDY 11 | -0.200000 | 0.014870 | 0.014182  | 0.200000 | 0.014870 | 0.014182  |
| TIRX 11 | -0.200000 | 0.008543 | 0.007854  | 0.200000 | 0.008543 | 0.007854  |
| TIRY 11 | -0.200000 | 0.010251 | 0.009563  | 0.200000 | 0.010251 | 0.009563  |
| TSDX 12 | -0.200000 | 0.003640 | 0.002952  | 0.200000 | 0.003640 | 0.002952  |
| TSDY 12 | -0.200000 | 0.004157 | 0.003468  | 0.200000 | 0.004157 | 0.003468  |
| TIRX 12 | -0.200000 | 0.013568 | 0.012880  | 0.200000 | 0.013568 | 0.012880  |
| TIRY 12 | -0.200000 | 0.016006 | 0.015317  | 0.200000 | 0.016006 | 0.015317  |
| TSDX 13 | -0.200000 | 0.012539 | 0.011851  | 0.200000 | 0.012539 | 0.011851  |
| TSDY 13 | -0.200000 | 0.015299 | 0.014611  | 0.200000 | 0.015299 | 0.014611  |
| TIRX 13 | -0.200000 | 0.006314 | 0.005626  | 0.200000 | 0.006314 | 0.005626  |
| TIRY 13 | -0.200000 | 0.007643 | 0.006955  | 0.200000 | 0.007643 | 0.006955  |
| TSDX 14 | -0.200000 | 0.005541 | 0.004853  | 0.200000 | 0.005541 | 0.004853  |
| TSDY 14 | -0.200000 | 0.006444 | 0.005756  | 0.200000 | 0.006444 | 0.005756  |
| TIRX 14 | -0.200000 | 0.002476 | 0.001787  | 0.200000 | 0.002476 | 0.001787  |
| TIRY 14 | -0.200000 | 0.002990 | 0.002302  | 0.200000 | 0.002990 | 0.002302  |
| TSDX 15 | -0.200000 | 0.000658 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000658 | -0.000000 |
| TSDY 15 | -0.200000 | 0.000658 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000658 | -0.000000 |
| TIRX 15 | -0.200000 | 0.001915 | 0.001227  | 0.200000 | 0.001915 | 0.001227  |
| TIRY 15 | -0.200000 | 0.002651 | 0.001963  | 0.200000 | 0.002651 | 0.001963  |
| TSDX 16 | -0.200000 | 0.000658 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000658 | -0.000000 |
| TSDY 16 | -0.200000 | 0.000658 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000658 | -0.000000 |
| TIRX 16 | -0.200000 | 0.000925 | 0.000236  | 0.200000 | 0.000925 | 0.000236  |
| TIRY 16 | -0.200000 | 0.001149 | 0.000460  | 0.200000 | 0.001149 | 0.000460  |
| TSDX 17 | -0.200000 | 0.000658 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000658 | 0.000000  |
| TSDY 17 | -0.200000 | 0.000658 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000658 | 0.000000  |
| TIRX 17 | -0.200000 | 0.000659 | 0.000001  | 0.200000 | 0.000659 | 0.000001  |
| TIRY 17 | -0.200000 | 0.000658 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000658 | 0.000000  |
| TIRR 1  | -0.200000 | 0.000658 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000658 | 0.000000  |
| TIRR 2  | -0.200000 | 0.000657 | -0.000001 | 0.200000 | 0.000659 | 0.000001  |
| TIRR 3  | -0.200000 | 0.000693 | 0.000005  | 0.200000 | 0.000655 | -0.000003 |
| TIRR 5  | -0.200000 | 0.000658 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000650 | -0.000001 |
| TIRR 6  | -0.200000 | 0.000658 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000659 | 0.000001  |
| TIRR 7  | -0.200000 | 0.000690 | 0.000002  | 0.200000 | 0.000658 | 0.000000  |
| TIRR 8  | -0.200000 | 0.000659 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000659 | 0.000000  |
| TIRR 9  | -0.200000 | 0.000658 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000658 | 0.000000  |
| TIRR 10 | -0.200000 | 0.000659 | 0.000001  | 0.200000 | 0.000650 | 0.000002  |
| TIRR 11 | -0.200000 | 0.000659 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000659 | 0.000001  |
| TIRR 12 | -0.200000 | 0.000658 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000659 | 0.000002  |
| TIRR 13 | -0.200000 | 0.000658 | -0.000001 | 0.200000 | 0.000659 | 0.000001  |
| TIRR 14 | -0.200000 | 0.000659 | 0.000001  | 0.200000 | 0.000658 | -0.000001 |
| TIRR 15 | -0.200000 | 0.000658 | 0.000000  | 0.200000 | 0.000658 | -0.000000 |
| TIRR 16 | -0.200000 | 0.000658 | -0.000000 | 0.200000 | 0.000658 | 0.000000  |
| TIRR 17 | -0.200000 | 0.000755 | 0.000067  | 0.001000 | 0.000651 | 0.000003  |
| TIND 1  | -0.001000 | 0.000755 | -0.000067 | 0.001000 | 0.000741 | 0.000003  |
| TIND 2  | -0.001000 | 0.000662 | -0.000026 | 0.001000 | 0.000741 | 0.000053  |
| TIND 3  | -0.001000 | 0.000901 | 0.000013  | 0.001000 | 0.000875 | 0.000187  |
| TIND 6  | -0.001000 | 0.000736 | 0.000048  | 0.001000 | 0.000728 | 0.000040  |
| TIND 9  | -0.001000 | 0.001051 | 0.0000363 | 0.001000 | 0.001109 | 0.000421  |
| TIND 11 | -0.001000 | 0.000831 | 0.000143  | 0.001000 | 0.000799 | 0.000111  |
| TIND 12 | -0.001000 | 0.000771 | 0.0000583 | 0.001000 | 0.000801 | 0.000013  |
| TIND 13 | -0.001000 | 0.000694 | 0.000006  | 0.001000 | 0.000653 | 0.000005  |
| TIND 14 | -0.001000 | 0.000728 | 0.000040  | 0.001000 | 0.000740 | 0.000052  |
| TIND 15 | -0.001000 | 0.000709 | 0.000020  | 0.001000 | 0.000701 | 0.000013  |
| TABB 1  | -0.500000 | 0.000658 | -0.000020 | 0.500000 | 0.000727 | 0.000039  |
| TABB 2  | -0.500000 | 0.000607 | 0.000018  | 0.500000 | 0.000671 | -0.000017 |

# Zemax 公差计算



```
Worst offenders:
Type      Value      MF      Change
TSDY 9   -0.200000  0.017068  0.016380
TSDY 9    0.200000  0.017068  0.016380
TIRY 12  -0.200000  0.016006  0.015317
TIRY 12    0.200000  0.016006  0.015317
TSDY 13  -0.200000  0.015299  0.014611
TSDY 13    0.200000  0.015299  0.014611
TSDY 11  -0.200000  0.014870  0.014182
TSDY 11    0.200000  0.014870  0.014182
TSDX 9   -0.200000  0.014685  0.013997
TSDX 9    0.200000  0.014685  0.013997
```

```
Nominal RMS Spot Radius : 0.000688
Estimated change       : 0.067510
Estimated RMS Spot Radius: 0.068198
```

```
Merit Statistics:
Mean : 0.003938
Standard Deviation : 0.004407
```

```
Compensator Statistics:
Change in back focus:
Minimum : -0.257491
Maximum : 0.277339
Mean : 0.000168
Standard Deviation : 0.041850
```

```
Monte Carlo Analysis:
Number of trials: 20
```

Initial Statistics: Normal Distribution

| Trial | Merit    | Change   |
|-------|----------|----------|
| 1     | 0.021892 | 0.021204 |
| 2     | 0.016877 | 0.016189 |
| 3     | 0.038442 | 0.037754 |
| 4     | 0.028184 | 0.027496 |
| 5     | 0.027056 | 0.026368 |
| 6     | 0.031447 | 0.030759 |
| 7     | 0.020624 | 0.019936 |
| 8     | 0.052196 | 0.051508 |
| 9     | 0.080918 | 0.080230 |
| 10    | 0.023931 | 0.023242 |
| 11    | 0.058357 | 0.057669 |
| 12    | 0.020332 | 0.019644 |
| 13    | 0.051167 | 0.050479 |
| 14    | 0.061925 | 0.061237 |
| 15    | 0.084801 | 0.084113 |
| 16    | 0.019032 | 0.018344 |
| 17    | 0.029991 | 0.029303 |
| 18    | 0.032772 | 0.032084 |
| 19    | 0.025103 | 0.024415 |
| 20    | 0.058251 | 0.057563 |

```
Nominal 0.000688
Best     0.016877
Worst   0.084801
Mean    0.039165
Std Dev 0.020213
```

Compensator Statistics:

```
Change in back focus:
Minimum : -0.638924
Maximum : 0.381474
Mean : 0.031499
Standard Deviation : 0.250715
```

```
90% of Monte Carlo lenses have a merit function below 0.061925.
50% of Monte Carlo lenses have a merit function below 0.029991.
10% of Monte Carlo lenses have a merit function below 0.019032.
```

End of Run.

# Zemax 公差计算



## SURFACE CENTERED TOLERANCES:

| Surf | Radius   | Tol Min | Tol Max | Power | Irrreg | Thickness | Tol Min | Tol Max |
|------|----------|---------|---------|-------|--------|-----------|---------|---------|
| 1    | -6.5932  | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 1.9662    | -0.2    | 0.2     |
| 2    | 6.1931   | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 2.294     | -0.2    | 0.2     |
| 3    | -26.198  | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 7.6465    | -0.2    | 0.2     |
| 4    | Infinity | -       | -       | -     | -      | 8.4243    | -0.2    | 0.2     |
| 5    | 320.14   | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 5.4618    | -0.2    | 0.2     |
| 6    | -6.1742  | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 1.3108    | -0.2    | 0.2     |
| 7    | -17.325  | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 0.054618  | -0.2    | 0.2     |
| 8    | 10.358   | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 5.0795    | -0.2    | 0.2     |
| 9    | -9.0607  | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 1.3108    | -0.2    | 0.2     |
| 10   | -19.056  | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 0.32771   | -0.2    | 0.2     |
| 11   | 8.2988   | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 2.1847    | -0.2    | 0.2     |
| 12   | 46.666   | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 0.021847  | -0.2    | 0.2     |
| 13   | 3.422    | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 3.1897    | -0.2    | 0.2     |
| 14   | 1.3402   | -0.2    | 0.2     | -     | 0.2    | 1         | -0.2    | 0.2     |
| 15   | Infinity | -       | -       | 1     | 0.2    | 0.36223   | -0.2    | 0.2     |
| 16   | Infinity | -       | -       | 1     | 0.2    | 0.1857    | -0.2    | 0.2     |
| 17   | Infinity | -       | -       | 1     | 0.2    | 0.054353  | -       | -       |
| 18   | Infinity | -       | -       | -     | -      | 0         | -       | -       |

## SURFACE DECENTER/TILT TOLERANCES:

| Surf | Decenter X | Decenter Y | Tilt X | Tilt Y | TIR X | TIR Y |
|------|------------|------------|--------|--------|-------|-------|
| 1    | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 2    | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 3    | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 4    | -          | -          | -      | -      | -     | -     |
| 5    | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 6    | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 7    | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 8    | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 9    | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 10   | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 11   | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 12   | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 13   | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 14   | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 15   | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 16   | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 17   | 0.2        | 0.2        | -      | -      | 0.2   | 0.2   |
| 18   | -          | -          | -      | -      | -     | -     |

## GLASS TOLERANCES:

| Surf | Glass    | Index Tol | Abbe Tol |
|------|----------|-----------|----------|
| 1    | KZFSN4   | 0.001     | 0.5      |
| 2    | SF13     | 0.001     | 0.5      |
| 5    | FK51     | 0.001     | 0.5      |
| 6    | SF6      | 0.001     | 0.5      |
| 8    | FK51     | 0.001     | 0.5      |
| 9    | SF6      | 0.001     | 0.5      |
| 11   | LAFN28   | 0.001     | 0.5      |
| 13   | LASTFN31 | 0.001     | 0.5      |
| 14   | UBK7     | 0.001     | 0.5      |
| 15   | LLF1     | 0.001     | 0.5      |

## ELEMENT TOLERANCES:

| El# | Srf1 | Srf2 | Decenter X | Decenter Y | Tilt X | Tilt Y |
|-----|------|------|------------|------------|--------|--------|
| 1   | 1    | 3    | 0.2        | 0.2        | 0.2    | 0.2    |
| 2   | 5    | 7    | 0.2        | 0.2        | 0.2    | 0.2    |
| 3   | 8    | 10   | 0.2        | 0.2        | 0.2    | 0.2    |
| 4   | 11   | 12   | 0.2        | 0.2        | 0.2    | 0.2    |
| 5   | 13   | 16   | 0.2        | 0.2        | 0.2    | 0.2    |

谢谢大家!

