

## 应用光学

谭峭峰

tanqf@mail.tsinghua.edu.cn

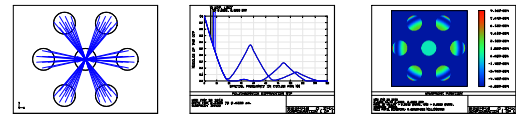
清华大学 精密仪器系 光电工程研究所

## Zemax光学设计

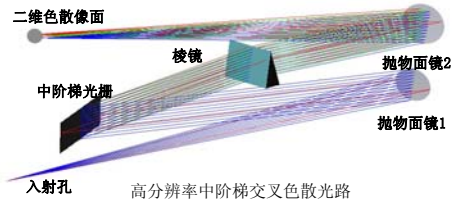
**商用光学软件: Zemax, Oslo, Code V (成像)  
TracePro, ASAP, LightTools (照明)  
FRED, Virtual Lab等**

Zemax 是一套综合性的光学设计仿真软件, 它将实际光学系统的设计概念、优化、分析、公差以及报表整合在一起。Zemax 不只是透镜设计软件而已, 更是全功能的光学设计分析软件, 具有直观、功能强大、灵活、快速、容易使用等优点。可仿真 Sequential 和 Non-Sequential 的成像系统和非成像系统。

Zemax的界面设计得比较容易被使用, 稍加练习就能很快地进行交互设计。大部分Zemax的功能都用选择弹出或下拉式菜单来实现。



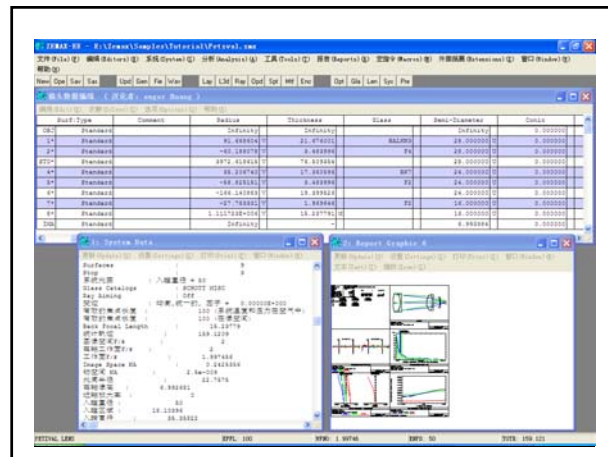
拼接主镜成像分析



**Zemax不能教你如何去进行镜头或光学系统的设计。**

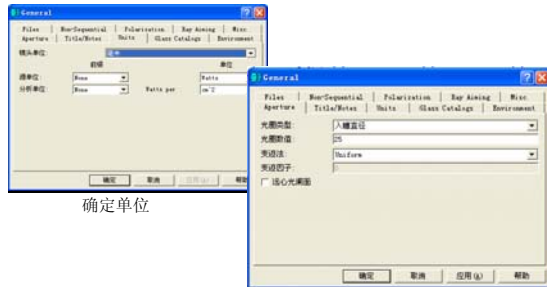
Zemax程序在进行光学系统的设计和分析的时候, 可以做许多事情, 但是设计者仍然是你。

Zemax不能完全代替工程实践。在一个设计完成之前, 必须对软件所得的计算结果进行检查, 以判断结果是否合理。



## 设计实例一：单透镜

设计参数要求：F/#=4,  $f'=100\text{mm}$ , 可见光, 材料: BK7



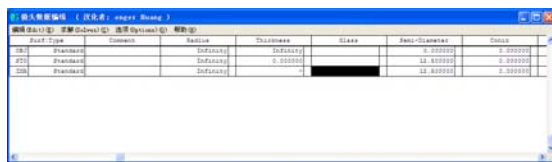
确定单位

确定口径



确定波长

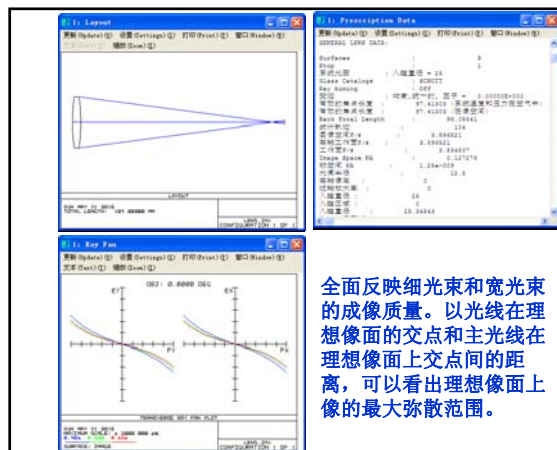
确定视场



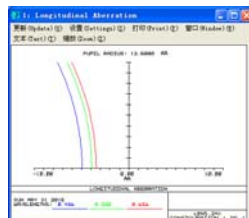
镜头数据编辑初始界面



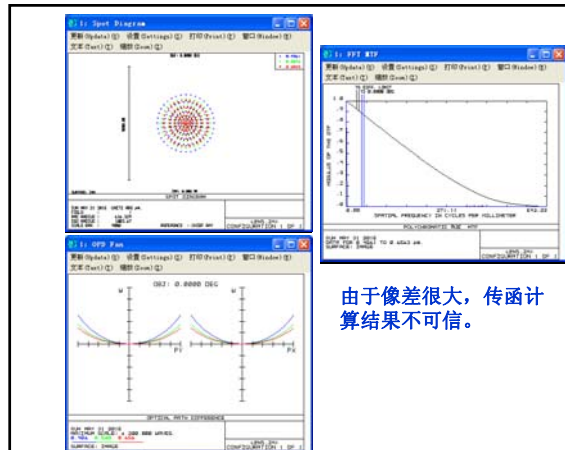
初步设计, 注意符号规则



全面反映细光束和宽光束的成像质量。以光线在理想像面的交点和主光线在理想像面上交点间的距离, 可以看出理想像面上像的最大弥散范围。



像面到光线与光轴交点之间的距离, 仅用于旋转对称系统。



由于像差很大, 传函计算结果不可信。

Curvature solve on surface 1

求解类型: Variable

☐ Fixed

☒ Variable

☐ Marginal Ray Angle

☐ Chief Ray Angle

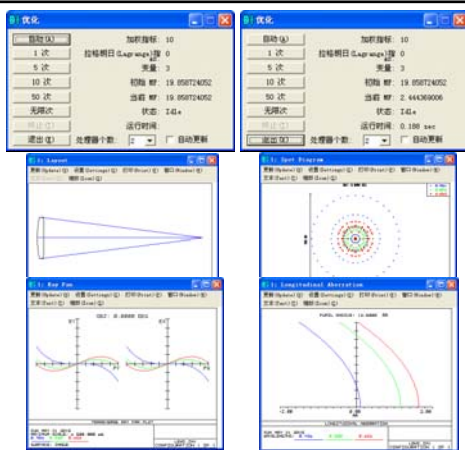
☐ Pick Up

☐ Marginal Ray Normal

☐ Chief Ray Normal

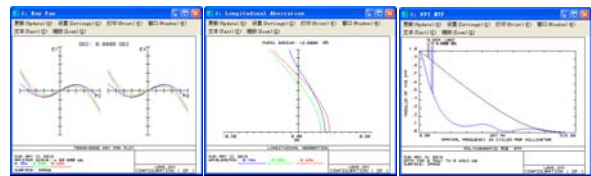
☐ Anisotropic

Port Type	Comment	Bandwidth	Throttle	Class	Anti-Throttle	Queue
ETH	Ethernet	10000000	10000000		0.000000	0.000000
ETH	Ethernet	100.000000	0.000000	801	12.000000	0.000000
4	Ethernet	100.000000	100.000000		15.000000	0.000000
ETH	Ethernet	10000000			1.000000	0.000000

[illegible]

设计参数要求:  $F/\# = 4$ ,  $f' = 100\text{mm}$ , 可见光, 材料: BK7和SF1

Port Type	Comment	Address	SubAddress	Class	Desc-Comment	Value
0	Standard	Default	Default	0	0	0.000000
1	Standard	0	4.000000	687	12.000000	0.000000
2	Standard	-0.000000	4.000000	687	12.000000	0.000000
3	Standard	Default	80.000000	0	12.000000	0.000000
4	Standard	Default	Default	0	0.000000	0.000000



在设计的初期, 优化时不需要追迹所有的视场和波长以节省计算时间。

用Solve代替Variables+Constraints。

使用边界条件控制操作数。

交换Merit Functions, 以得到更佳结果。

要知道哪些量在变化。

---

如果要校正视场像差，可以考虑移动光阑，或者采用上述方法。

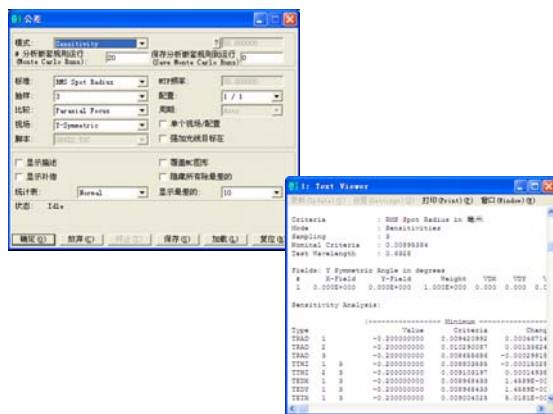
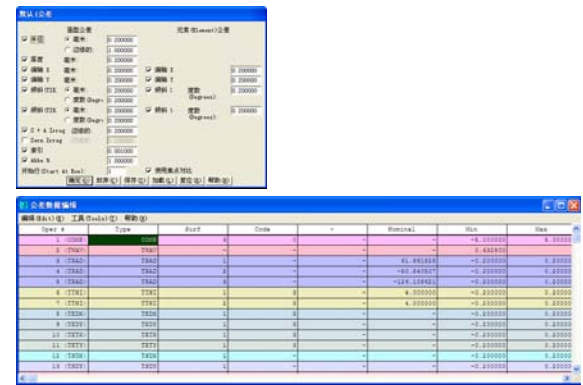
如果要校正场曲，更换玻璃。

• • • • •

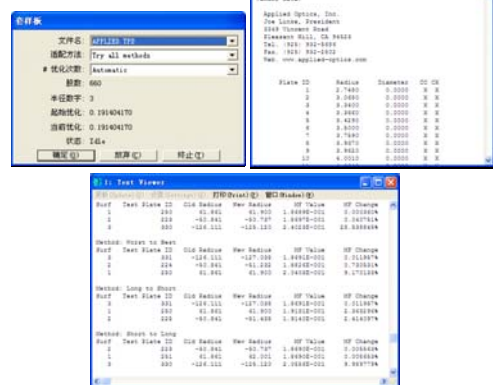
用比较好的初始结构。

- 1、书籍
- 2、软件数据库  
光学设计专利
- 3、PWC方法求解初始结构

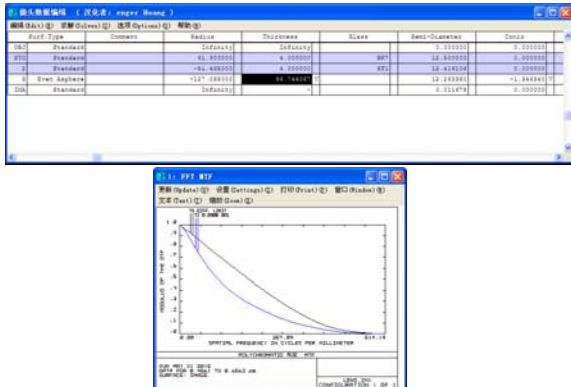
## 公差分析



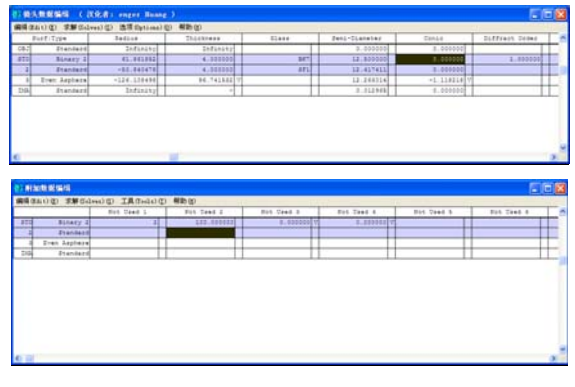
## 确定半径（套模板）



## 使用二次曲面



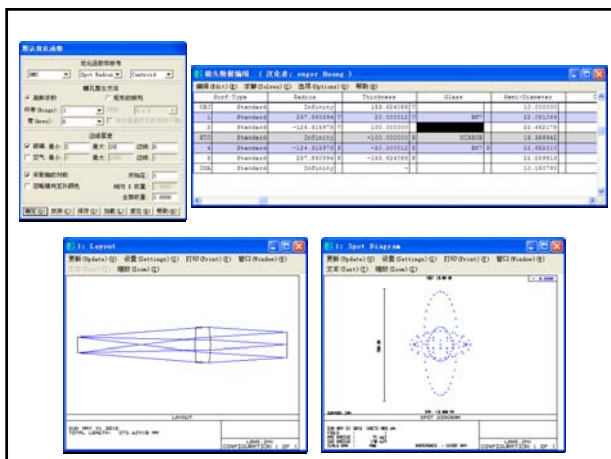
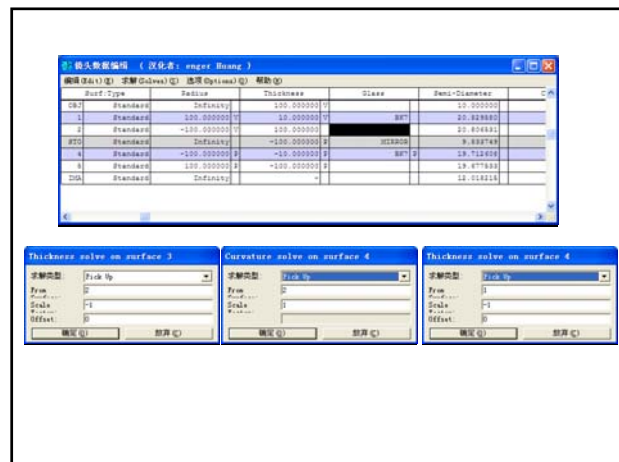
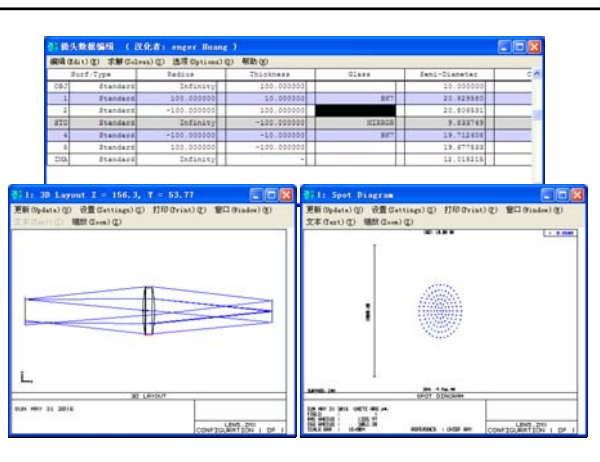
## 使用二元光学结构



### 设计实例三：学习和体会Pick up功能

光线通过一个透镜后遇到反射面，反射回来再通过该透镜。

- 要求：1、透镜焦距100mm，物点在焦点处；  
2、反射镜到透镜距离100mm，光阑在反射镜上；  
3、透镜玻璃BK7，NA=0.1；  
4、物高10mm，一个视场点；  
5、波长0.55 $\mu\text{m}$ ；  
6、对反射回通过透镜聚焦的弥散斑大小进行优化。



**Coordinate Break:** 特殊的虚拟面，定义新的坐标系替代现有坐标系，定义新的光轴。通常成对使用。

在Zemax的Lens Data Editor中，各个面的数据只用Local coordinates，每个面的位置都是通过沿z方向的距离(thickness)来定义。尽管Zemax能够计算任何面对其他面的Global coordinates，但所有面都是用Local coordinates来定义的。

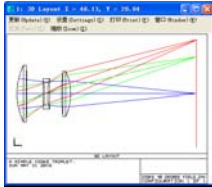
在Non-sequential Editor中，所有的物体处在Global coordinates中。

Coordinate Break：有六个自由度，Decenter X, Decenter Y, Tilt about X, Tilt about Y, Tilt about Z, Order flag. Order flag 确定顺序，非0数时，顺序相反。



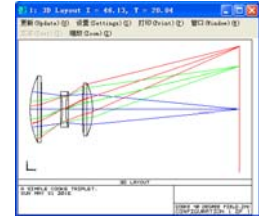
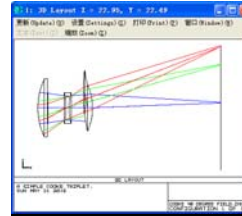
#### 设计实例四：学习和体会Coordinate Break功能

数据源别名 (只读: readonly)									
数据源名称	引擎 (Driver)	连接 (URL)	别名	引擎 (Driver)	连接 (URL)	别名	引擎 (Driver)	连接 (URL)	别名
18C	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
21C	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
42	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
43	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
44	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
45	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
46	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
47	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
48	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
49	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL
50	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL	Oracle	jdbc:oracle:thin:@192.168.1.100:1521:orcl	ORCL



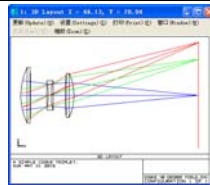
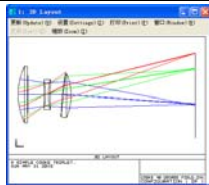
让第三个透镜往上移动5mm。

總大綱(編號) (可化字: range, Range)							
總大綱(化字): 字串(Divide) (選擇Optional): 編號(字)							
Row	Row (Text)	Row 1 (Number)	Row 2 (Number)	Row 3 (Number)	Row 4 (Number)	Row 5 (Number)	Row 6 (Number)
01	Parameters						
02	Parameters						
03	Parameters						
04	DivideRange (B)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
05	DivideRange (B)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
06	DivideRange (B)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
07	DivideRange (B)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
08	Parameters						
09	Parameters						



让第三个透镜绕X转动6度。

最大数据块编号 (只读型: super block)						
Run Time	Pass 1 (seconds)	Pass 2 (seconds)	Pass 3 (seconds)	Pass 4 (seconds)	Pass 5 (seconds)	Pass 6 (seconds)
0 Standard						
10 Standard						
20 Standard						
30 Standard						
40 Standard						
50 Standard						
60 Standard						
70 Standard						
80 Standard						
90 Standard						
100 Standard						
110 Standard						
120 Standard						
130 Standard						
140 Standard						
150 Standard						
160 Standard						
170 Standard						
180 Standard						
190 Standard						
200 Standard						
210 Standard						
220 Standard						
230 Standard						
240 Standard						
250 Standard						
260 Standard						
270 Standard						
280 Standard						
290 Standard						
300 Standard						
310 Standard						
320 Standard						
330 Standard						
340 Standard						
350 Standard						
360 Standard						
370 Standard						
380 Standard						
390 Standard						
400 Standard						
410 Standard						
420 Standard						
430 Standard						
440 Standard						
450 Standard						
460 Standard						
470 Standard						
480 Standard						
490 Standard						
500 Standard						
510 Standard						
520 Standard						
530 Standard						
540 Standard						
550 Standard						
560 Standard						
570 Standard						
580 Standard						
590 Standard						
600 Standard						
610 Standard						
620 Standard						
630 Standard						
640 Standard						
650 Standard						
660 Standard						
670 Standard						
680 Standard						
690 Standard						
700 Standard						
710 Standard						
720 Standard						
730 Standard						
740 Standard						
750 Standard						
760 Standard						
770 Standard						
780 Standard						
790 Standard						
800 Standard						
810 Standard						
820 Standard						
830 Standard						
840 Standard						
850 Standard						
860 Standard						
870 Standard						
880 Standard						
890 Standard						
900 Standard						
910 Standard						
920 Standard						
930 Standard						
940 Standard						
950 Standard						
960 Standard						
970 Standard						
980 Standard						
990 Standard						
1000 Standard						
1010 Standard						
1020 Standard						
1030 Standard						
1040 Standard						
1050 Standard						
1060 Standard						
1070 Standard						
1080 Standard						
1090 Standard						
1100 Standard						
1110 Standard						
1120 Standard						
1130 Standard						
1140 Standard						
1150 Standard						
1160 Standard						
1170 Standard						
1180 Standard						
1190 Standard						
1200 Standard						
1210 Standard						
1220 Standard						
1230 Standard						
1240 Standard						
1250 Standard						
1260 Standard						
1270 Standard						
1280 Standard						
1290 Standard						
1300 Standard						
1310 Standard						
1320 Standard						
1330 Standard						
1340 Standard						
1350 Standard						
1360 Standard						
1370 Standard						
1380 Standard						
1390 Standard						
1400 Standard						
1410 Standard						
1420 Standard						
1430 Standard						
1440 Standard						
1450 Standard						
1460 Standard						
1470 Standard						
1480 Standard						
1490 Standard						
1500 Standard						
1510 Standard						
1520 Standard						
1530 Standard						
1540 Standard						
1550 Standard						
1560 Standard						
1570 Standard						
1580 Standard						
1590 Standard						
1600 Standard						
1610 Standard						
1620 Standard						
1630 Standard						
1640 Standard						
1650 Standard						
1660 Standard						
1670 Standard						
1680 Standard						
1690 Standard						
1700 Standard						
1710 Standard						
1720 Standard						
1730 Standard						
1740 Standard						
1750 Standard						
1760 Standard						
1770 Standard						
1780 Standard						
1790 Standard						
1800 Standard						
1810 Standard						
1820 Standard						
1830 Standard						
1840 Standard						
1850 Standard						
1860 Standard						
1870 Standard						
1880 Standard						
1890 Standard						
1900 Standard						
1910 Standard						
1920 Standard						
1930 Standard						
1940 Standard						
1950 Standard						
1960 Standard						
1970 Standard						
1980 Standard						
1990 Standard						
2000 Standard						
2010 Standard						
2020 Standard						
2030 Standard						
2040 Standard						
2050 Standard						
2060 Standard						
2070 Standard						
2080 Standard						
2090 Standard						
2100 Standard						
2110 Standard						
2120 Standard						
2130 Standard						
2140 Standard						
2150 Standard						
2160 Standard						
2170 Standard						
2180 Standard						
2190 Standard						
2200 Standard						
2210 Standard						
2220 Standard						
2230 Standard						
2240 Standard						
2250 Standard						
2260 Standard						
2270 Standard						
2280 Standard						
2290 Standard						
2300 Standard						
2310 Standard						
2320 Standard						
2330 Standard						
2340 Standard						
2350 Standard						
2360 Standard						
2370 Standard						
2380 Standard						
2390 Standard						
2400 Standard						
2410 Standard						
2420 Standard						
2430 Standard						
2440 Standard						
2450 Standard						
2460 Standard						
2470 Standard						
2480 Standard						
2490 Standard						
2500 Standard						
2510 Standard						
2520 Standard						
2530 Standard						
2540 Standard						
2550 Standard						
2560 Standard						
2570 Standard						
2580 Standard						
2590 Standard						
2600 Standard						
2610 Standard						
2620 Standard						
2630 Standard						
2640 Standard						
2650 Standard						
2660 Standard						
2670 Standard						
2680 Standard						
2690 Standard						
2700 Standard						
2710 Standard						
2720 Standard						
2730 Standard						
2740 Standard						
2750 Standard						
2760 Standard						
2770 Standard						
2780 Standard						
2790 Standard						
2800 Standard						
2810 Standard						
2820 Standard						
2830 Standard						
2840 Standard						
2850 Standard						
2860 Standard						
2870 Standard						
2880 Standard						
2890 Standard						
2900 Standard						
2910 Standard						
2920 Standard						
2930 Standard						
2940 Standard						
2950 Standard						
2960 Standard						
2970 Standard						
2980 Standard						
2990 Standard						
3000 Standard						
3010 Standard						
3020 Standard						
3030 Standard						
3040 Standard						
3050 Standard						
3060 Standard						
3070 Standard						
3080 Standard						
3090 Standard						
3100 Standard						
3110 Standard						
3120 Standard						
3130 Standard						
3140 Standard						
3150 Standard						
3160 Standard						
3170 Standard						
3180 Standard						
3190 Standard						
3200 Standard						
3210 Standard						
3220 Standard						
3230 Standard						
3240 Standard						
3250 Standard						
3260 Standard						



Coordinate Break在使用时容易混淆，在使用前需要规划好。使用好Coordinate Break可以使复杂的设计简化。

在使用多重Coordinate Break时，要注意嵌套。

成对使用Coordinate Break时，尽量使用Pick up，可以减少输入和可能的错误。

如果同时有Decenter和Tilt，可以用Order flag控制顺序。

如果因为Tilt使得厚度的方向发生改变时，要注意符号的变化。

**Multi-configurations**(多重组态、多重结构): 对于多重结构进行建模, 给同一个参数不同的值。

设计变焦镜头，各组元的位置不同；

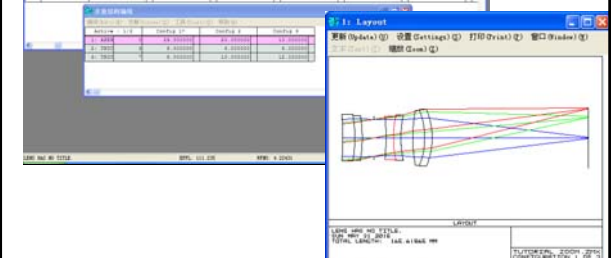
设计消热差系统，温度不同：

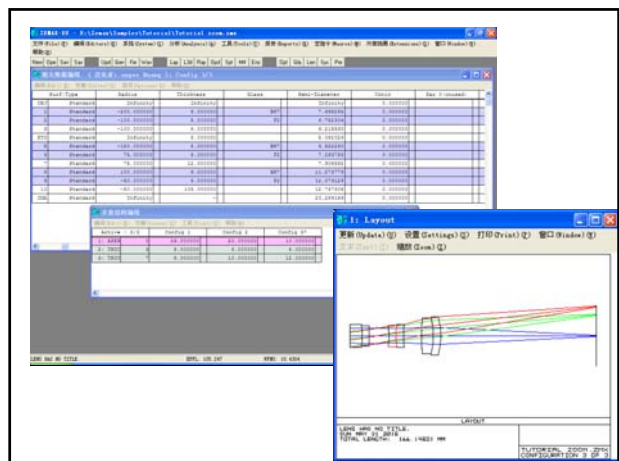
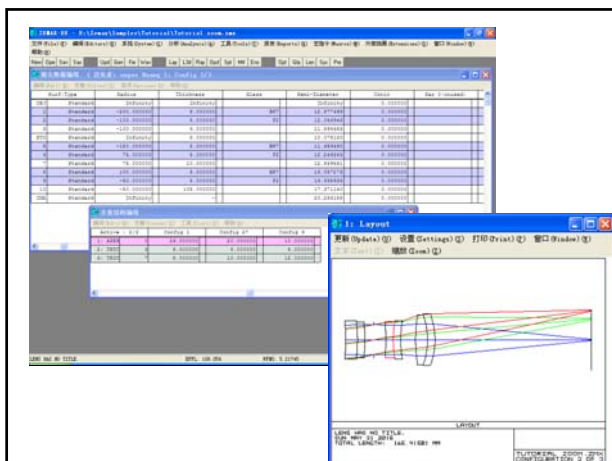
多光路系统, 透镜阵列、干涉仪、分光镜等;

扫描系统, 各组元位置不同;

非连续变焦系统等。

emp_id	emp_name	emp_salary	emp_dept	emp_mgr	emp_start_date	emp_end_date	emp_status
101	John Doe	120000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
102	Jane Smith	110000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
103	Mike Johnson	95000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
104	Sarah Lee	85000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
105	David Kim	75000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
106	Emily White	65000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
107	Robert Brown	55000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
108	Lisa Green	45000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
109	James Black	35000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active
110	Maria Garcia	25000	Sales	100	2018-01-01	2018-12-31	Active



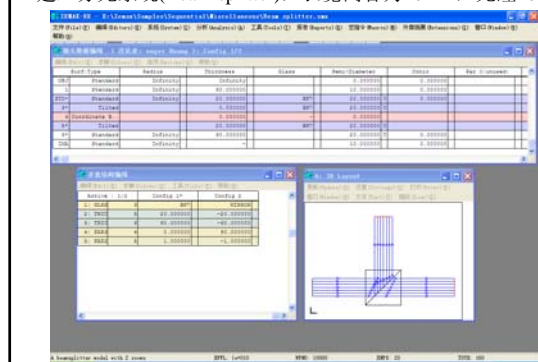


Multi-configurations的优化可以和普通结构一样，建立优化函数(建议选取缺省优化函数Default Merit Function)，Zemax会自动在各个结构下面加入优化函数。

用CONF操作数定义可以给不同的结构定义不同的优化函数，但不同结构的优化函数必须分开放在CONF规定的结构号码下面。



**设计实例五：学习和体会Multi-configurations**  
建立分光系统(Beam splitter)，长宽高各为20mm，光瞳20mm。



## Glass catalogs(玻璃库)

Zemax带有多个玻璃库，还可以不受限制地自建玻璃库；  
Zemax中的玻璃折射率用色散公式和色散系数计算得到，有多种色散公式：

玻璃库可以进行复制和移动。每个玻璃库有扩展名分别为.AGF和.BGF的两个文件，只需复制或移动.AGF文件，Zemax在需要的时候会自建.BGF文件。



**玻璃目录**

目录: ARCHER.AGF Catalog of molded glasses used by Archer Opt

玻璃: L-BAL3M  
S-BAL3M  
S-BAL4M  
S-BAL4M  
S-BAL4M  
S-BAL4M  
S-BAL4M

重命名: L-BAL3M

公式: Schott

状态: Sellmeier 1  
Herzberger  
Sellmeier 2  
Conrady  
Sellmeier 3  
Handbook 1  
Handbook 2  
Sellmeier 4  
Extended  
Sellmeier 5

忽略热  
排除热  
最小波长  
熔点

预计成本: 2.00 CR: 3.00 PR: ? SR: 52.20 AR: ? PR: 3.20

保存目录(S) 插入玻璃(I) 排序从 --> Name

保存目录到 剪切玻璃 玻璃报告(R) 目录报告(C)

重新加载目录(Q) 复制玻璃 透过率(T) 计算M/V4(C)

退出(E) 粘贴玻璃 适配索引数据(V) 适配熔点数据(V)

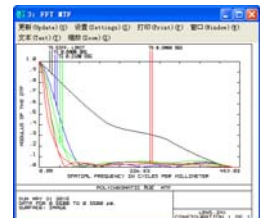
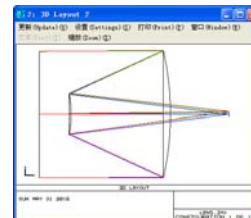
A0: 1.27586400E+000 D0: 6.7800E-006  
A1: 1.12412260E+000 D1: 0.0000E+000  
A2: 4.1579980E-001 D2: 0.0000E+000  
A3: -2.71841100E-002 D3: 0.0000E+000  
A4: -8.16978490E-003 D4: 0.0000E+000  
A5: 1.07002400E-003 D5: 0.0000E+000

TCE: 6.6  
温度: 25  
p: 2.82  
dpe: -0.0043  
波长: 0.7

**设计实例六：卡塞格林系统设计**  
入瞳200mm, F#/4, 视场角0.3度, 可见光波段。

输入数据编辑: 卡塞格林系统: Casey, Casey, Casey

Surf Type	Radius	Thickness	Glass	Envr. Thickness	Conc.	Surf. 3. Uncoated
OB	Infinity	Infinity	Infinity	Infinity	0.000000	
1	Obstacle	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
2	Obstacle	-139.3184917	139.3184917	139.3184917	0.000000	
3	Obstacle	488.3184917	-139.3184917	139.3184917	0.000000	
4	Obstacle	-139.3184917	488.3184917	139.3184917	0.000000	
5	Obstacle	Infinity	Infinity	Infinity	0.000000	



Zemax不能教你如何去进行镜头或光学系统的设计。

Zemax程序在进行光学系统的设计和分析的时候, 可以做许多事情, 但是设计者仍然是你。

Zemax不能完全代替工程实践。在一个设计完成之前, 必须对软件所得的计算结果进行检查, 以判断结果是否合理。