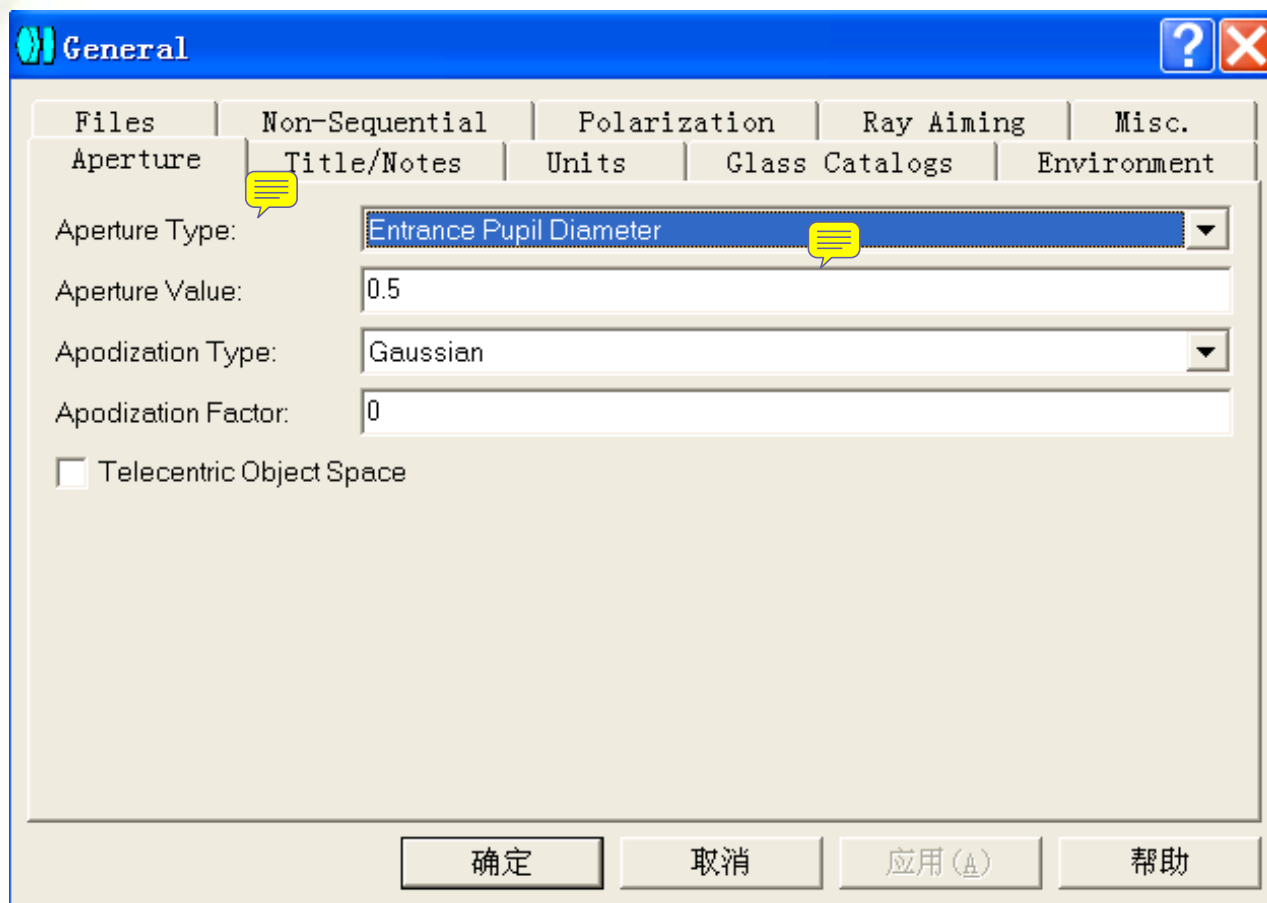




# Lens data

# The system aperture

- ❖ 它是一个很重要的参数，一般是系统入瞳的大小，它决定逆光光学系统在物空间收集多少光线



# System aperture types

- ❖ Entrance Pupil Diameter (EPD): 直接指定入瞳的大小；
- ❖ Image Space  $F/\#$  : 无限共轭像空间近轴F数( $f/D$  , 物距为无穷大)；
- ❖ Object Space Numerical Aperture: 物空间边缘光线的数值孔径  $n\sin\alpha$  (物距为有限远)
- ❖ Float by Size: EPD的大小由系统光阑的半径决定；
- ❖ Paraxial working  $F/\#$  : 像空间中定义的共轭近轴F数 ( $1/2n\tan\alpha$ ) , 忽略像差；
- ❖ Object Cone Angle : 物空间边缘光线的半角 , 最大可以达到90度 (物距为有限远)。

# Field points

- ❖ ZEMAX用点光源定义视场或物的大小：
  - ☞ 定义了点光源以后，可以建立扩展光源的模型；
  - ☞ 对每个系统最多可以定义12个视场点。
- ❖ ZEMAX支持4种不同的视场形式：
  - ☞ Field angle：投影到入瞳上XZ和YZ平面上时，柱光线与Z轴的夹角。大多用在无限共轭系统。
  - ☞ Object height: 物面上X，Y高度。大多用在有限共轭系统。
  - ☞ Paraxial Image height：像面上的近轴像高。用于需要固定像的大小的设计中。(只用于近轴光学系统中)
  - ☞ Real image height：像面上实际像高。用于需要固定实际象的大小的设计中(如camera lens)。

# Field points 示例

**Field Data**

Angle (Deg)                       Paraxial Image Height  
 Object Height                          Real Image Height

Use	X-Field	Y-Field	Weight	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
<input checked="" type="checkbox"/> 1	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/> 2	0	7	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/> 3	0	10	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 4	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 5	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 6	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 7	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 8	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 9	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 10	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 11	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<input type="checkbox"/> 12	0	0	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

OK                      Cancel                      Sort                      Help  
Set Yig                      Clr Yig                      Save                      Load

# Wavelengths

- ❖ ZEMAX对每个系统最多允许定义12个波长。并且必须指定主波长，根据不同波长的重要性，权重可以不同(权重只影响点列图的计算)。
- ❖ 波长的单位为微米。

Use	Wavelength (microns)	Weight	Primary
<input checked="" type="checkbox"/>	0.48613270	1	<input type="radio"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	0.58756180	1	<input checked="" type="radio"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	0.65627250	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	0.55000000	1	<input type="radio"/>

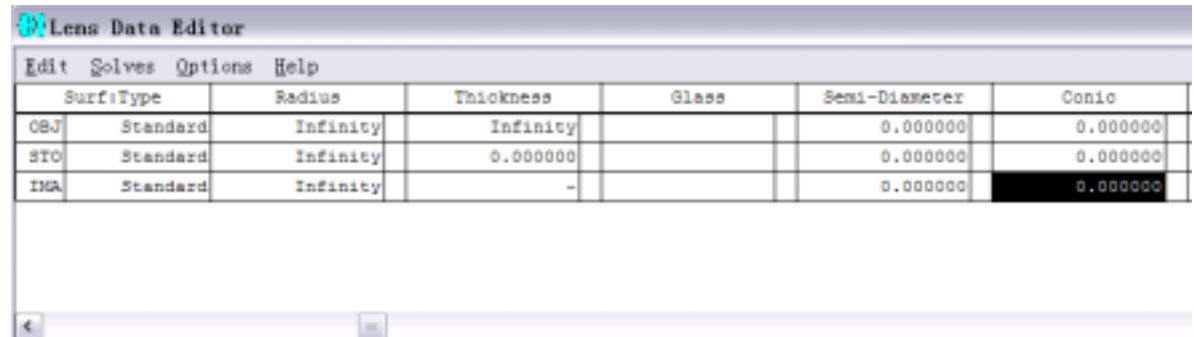
Select-> F, d, C (Visible) ▼

OK Cancel Sort  
Help Save Load

# Lens data的组成

## ❖ Sequential lens data-Surface data:

- ☞ 面的序号；
- ☞ 面的结构数据；
- ☞ 透镜的孔径
- ☞ 波长；
- ☞ 视场。



The screenshot shows the 'Lens Data Editor' window with a menu bar (Edit, Solves, Options, Help) and a table of surface data. The table has columns for Surf, Type, Radius, Thickness, Glass, Semi-Diameter, and Conic. The data rows are:

Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		0.000000	0.000000
STO	Standard	Infinity	0.000000		0.000000	0.000000
IMA	Standard	Infinity	-		0.000000	0.000000

## ❖ 进行优化时，还需要：

- ☞ 变量；
- ☞ 优化函数。

## ❖ For NSC without port system,还需要：

- ☞ 所有object的结构参数和位置参数；
- ☞ 所有source和detector的特性参数和位置参数；
- ☞ 波长。

# Surface Data的组成

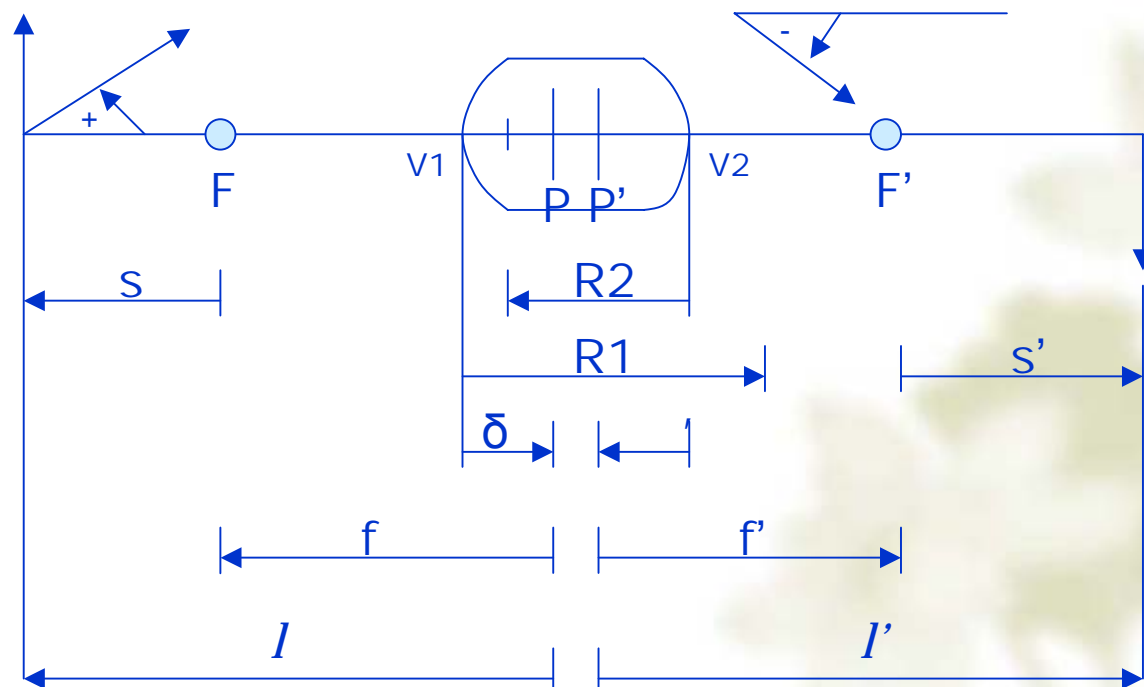
- ❖ The radius of curvature:面的曲率半径，根据符号规则确定符号；
- ❖ The thickness of the surface:到下个面的相对距离，满足符号规则(用local坐标系)；
- ❖ The glass type of the surface:玻璃牌号，或折射率和色散系数(如果为空气，则为空格；如果为反射镜，则为Mirror)；
- ❖ The semi-diameter of the surface:面的孔径
- ❖ Other data ( parameter or extra data ) : 描述面型的参数。



# Surface data的符号规则

- ❖ 镜头数据 ( Lens Data ) : 曲率半径、厚度、材质和其他参数。

各量符号规定：



# 符号规则

- ❖ Thickness : 沿 $+z$ 方向（从左到右）为正，反之为负
- ❖ Ray angle : 从光轴开始逆时针为正，反之为负
- ❖ Radius of curvature (R): 如果曲率中心在面的定点右边，则曲率半径为正；反之为负

# Surface Type

- ❖ 提供了近60种的光学曲面面型。主要类型有：平面、球面、标准二次曲面、非球面、光锥面、轮胎面、折射率简便面、二元光学面、光栅(固定周期和变周期)、全息衍射元件、Fresnel透镜、波带片等。
- ❖ 还提供了User Defined Surface。用户需要按照语法规则，用C++语言编写DLL文件与ZEMAX相连接就可以建立自己需要的面型。

# Standard (标准面)

- ❖ 球面的球心在光轴上，顶点在当前轴上。矢高坐标为：

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2 r^2}}$$

↪ 参数：曲率 $c$ ，二次曲面系数

↪ 二次曲面系数 $k$ ：

- ❖  $k < -1$  双曲面（两个焦点）
- ❖  $k = -1$  抛物面（无球差）
- ❖  $-1 < k < 0$  椭圆
- ❖  $k > 1$  扁椭圆

# Asphere (球面)

## ❖ Even Asphere (偶次非球面)

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^8 + \dots$$

☞ 参数：标准面参数，偶次非球面参数。

## ❖ Odd Asphere (奇次非球面)

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \beta_1 r^1 + \beta_2 r^3 + \beta_3 r^5 + \beta_4 r^7 + \dots$$

☞ 参数：标准面参数，奇次非球面系数。

# Paraxial (近轴面)

- ❖ Paraxial是理想的薄透镜，它的形状是一个平面(不显示)。用于需要输出准直光的系统的分析和优化。
- ❖ 参数：focal length , OPD mode
  - ↪ ( 1 ) mode = 0 : 小像差系统(wave<5 wave)
  - ↪ ( 2 ) mode = 1 : 光束有像差且F/#低 ( 即fast beam ) , 或者系统是非共轴的
  - ↪ Paraxial XY : 类似Paraxial , 只是X , Y方向的光角度不同。它用的OPD mode = 1。
- ❖ Mode = 1的计算速度要比mode = 0慢得多

# ABCD Surface

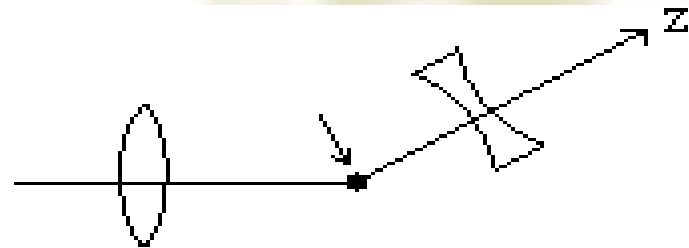
- ❖ 是光学系统“black box”建模的方法，如果有一个透镜或者一个光学系统，不知道它的每一个元件的参数，用这个仍然可以指导模型的行为。

$$\begin{bmatrix} x' \\ \omega_x' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_x & B_x \\ C_x & D_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \omega_x \end{bmatrix}$$

- ❖ 8个参数： $A_x$ 、 $B_x$ 、 $C_x$ 、 $D_x$ 、 $A_y$ 、 $B_y$ 、 $C_y$ 、 $D_y$
- ❖ 可以用来建立两个（x、y）方向的二阶矩阵对穿过surface的光线进行变换。因为没有可靠的方法来计算经过ABCD的位相，所以如果透镜中存在ABCD面，则不支持任何需要对OPD fans，MFT和Zernike系数的计算

# Coordinate Break

- ❖ 是一个虚拟的平面，根据当前的系统定义一个新的坐标系。
- ❖ 需要六个参数来描述：x-decenter, y-decenter (单位：lens units)，tilt about x,y,z (单位：度)，order (0或非0)  
order=0: x-decenter → y-dcenter → local z tilt → local y tilt → local x tilt  
order≠0: tilt x → tilt y → tilt z → x-decenter → y-decenter。





# Non-Sequential Component

- ❖ 非序列性光线追迹面。主要用于混合光线追迹模式。
- ❖ 用Non-Sequential Component Editor编辑这个面的组成。

# Variable parameters (可变参数)

- ❖ 进行优化设计时，需要设置变量，ZEMAX会调整这些变量，以找到最佳设计结果。
- ❖ 变量可以是任何光学即结构参量，包括radii, thicknesses, index, conic constants, tilt angles, 甚至fields 和 wavelengths

# Merit functions(优化函数)

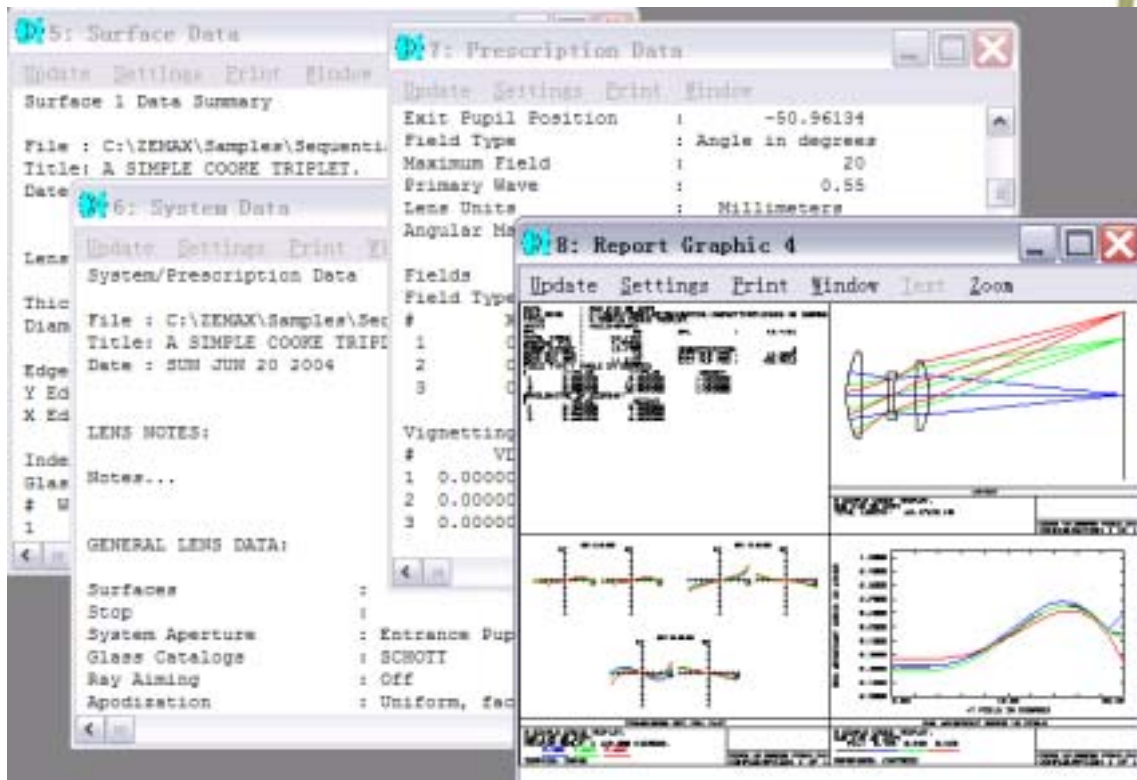
- ❖ 优化函数是用来定义优化控制目标项目。它包括设计目标，边界条件和计算结果的总结。
- ❖ 在优化过程中，用merit function的值来评价一个系统的优劣。
- ❖ Merit function由optimization operands组成，ZEMAX提供了200多个这样的操作数，涵盖了各种目标控制条件。

# Tolerancing(公差分析)

- ❖ ZEMAX可以对光学面的参数和群组的参数进行公差分析。它提供了两种公差分析模式：
- ❖ (1) sensitivity：给定结构参数的公差范围，计算公差对评价标准的影像。
- ❖ (2) inverse sensitivity：给出评价标准量的允许变化范围，反算出各个光学面结构参数的允许公差容限。

# 结果报告

- ❖ 可以给出各种数据的结果报告，可以是图形、曲线或表格的形式：
  - 🔗 (1) surface data
  - 🔗 (2) system data
  - 🔗 (3) prescription data
  - 🔗 (4) report graphic
- ❖ 可以输出零件图、固体图或网格图。
- ❖ 可以输出SAT/STEP/IGES等文件格式。



# 其他

- ❖ 包含很多公司的玻璃材料库
- ❖ 可以进行镀膜分析
- ❖ 可以进行热分析
- ❖ 可以进行偏振光计算
- ❖ 可以进行部分物理光学分析和计算
- ❖ 可以进行样板比对

# 建立一个单透镜的例子

- ❖ 目的：演示如何建立初始结构，设定视场和工作波长。
- ❖ 题目：建立一个单透镜，入瞳直径为20mm，两个面的曲率半径分别为100mm， - 100mm，中心厚度为4mm
- ❖ 视场0， 7， 10度
- ❖ 波长：可见光
- ❖ 玻璃材料：BK7



Solves ( 求解 )



# 关于求解

- ❖ Solves是ZEMAX中可以主动调整特定值的功能。可以为curvature, thicknesses, glasses, semi-diameters, conics, 和parameters等参数指定solve。
- ❖ Solves的设置：在希望放置Solve功能的栏中点右键或双击左键
- ❖ Solves的应用：
  - ☞ 控制 F/#: 用MRA(边缘光线角)或F/# curvature solve;
  - ☞ 控制近轴焦距：用MRH(边缘光线高度)；
  - ☞ 控制边缘厚度(edge thickness);
  - ☞ 连接各个值(Linking values together): pickup solve;
  - ☞ 保持面的距离：position solve

# Curvature solves



# Marginal ray angle or F/#

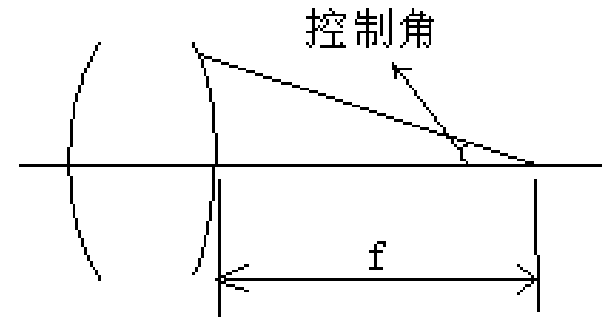
- ❖ Marginal ray angle  $\theta_m(r/f)$  决定 F/#

$$F/\# = 1/2NA = 1/2n\sin(\theta_m)$$

如果系统为慢系统（即 F/# 大）时：

$$F/\# = 1/2n\sin(\theta_m) = 1/2n \theta_m$$

MRA solve 可以调整任何面（一般是最后一个 glass-air 面）的曲率半径，在优化时，保持 F/# 不变。  $\Theta_m(r/f)$ ，负号表示是汇聚光，正号表示发散光，可以控制透镜的有效焦距  $f$  - EFL



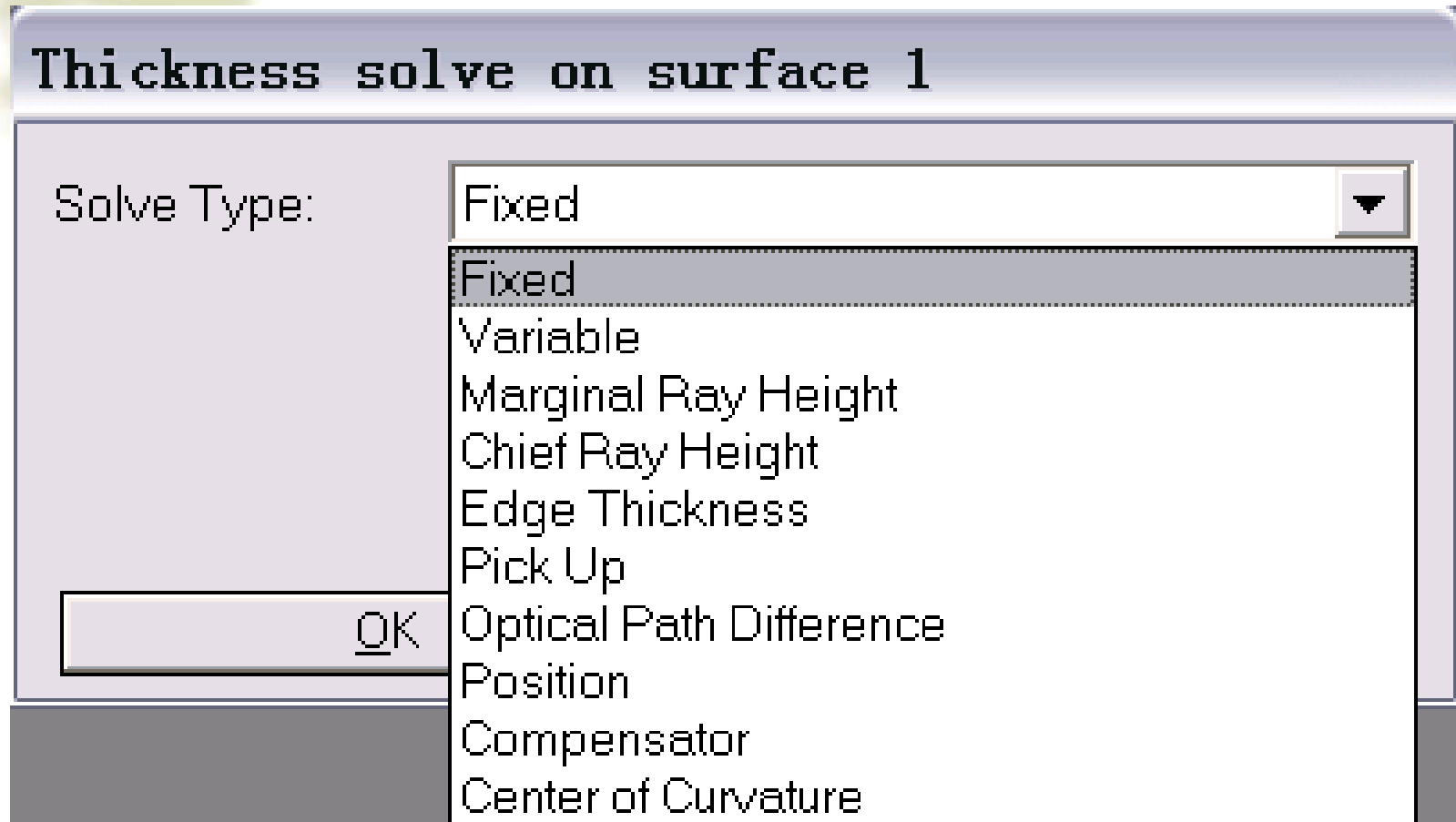
# Curvature solves

- ❖ **Chief ray angle**:控制主光线的角度
- ❖ **Pick up**:指定前面某个面，使当前面的曲率半径和指定的面保持确定的关系。
- ❖ **Marginal ray normal**:使光学面与近轴边缘光线垂直，也叫**image-centered surface**。产生没有球差或慧差的光学面。
- ❖ **Chief ray normal**:使光学面与近轴主光线垂直，也叫**pupil-centered surface**。产生没有慧差、象散或畸变的光学面。
- ❖ **Aplanatic (齐明的)**:使光学面对近轴边缘光线齐明的(消球差)。产生没有球差、慧差或象散的等光程光学面。

# Curvature solves

- ❖ **Element power**: 光学系统的光焦度( $n/f$ )。控制指定的透镜的光焦度，可以控制有效焦距；需放在透镜的第二个面上；
- ❖ **Concentric with surface**: 控制面的曲率，使这个面的曲率中心落在前面的某个面上；
- ❖ **Concentric with radius**: 控制面的曲率，使此面的中心与指定的面(前面)的中心为同一点；
- ❖ **F/#(F number)**: 控制面的曲率，使从这个面出射的边缘光线角为 $-1/2F$  ( $F$ 即为 $D/f$ ， $D$ 为入瞳直径， $f$ 为有效焦距)。可以控制系统的有效焦距。

# Thickness solves



# Thickness solves

- ❖ **Marginal ray height**: 常用控制近轴边缘光线在像面上的高度，使像面处在近轴焦点上；可以定位象平面，或得到后节距；
- ❖ **Chief ray height**: 近轴主光线高度。可以定位 **pupil plane**，也可以将光学面移到光瞳面上；(应用：1、可以将参考面固定在pupil上，2、定位入出瞳)；
- ❖ **Edge thickness**: 控制两个面之间的距离，可以对应某个口径处为指定的值。可以避免边缘厚度为负或边缘太尖锐；
- ❖ **Pick up**: 使这个面的**thickness**值随指定的面按一定规律变化；(主要用于**double pass system, endoscopes, relay lens**等包含多个相同元件的系统中)。

# Thickness solves

- ❖ **Optical path difference:** 调整thickness，使指定光瞳坐标处的光程差维持一个指定的值；例如在焦点上，边缘光线和主光线的光程差相等，可以在像面前面的一个面的厚度处设置 OPD Solve
- ❖ **Position:** 使这个面到指定参考面的距离(厚度的总和)保持为定值。在变焦镜头设计中，可以控制它的某一部分保持固定的长度。也可以约束整个透镜的长度。
- ❖ **Compensator:** 与position非常类似，显示的是所要控制的厚度与参考面厚度之差。表达式为： $T=S-R$ 。S为两个面的厚度之和，R为参考面的厚度。参考面必须在前。
- ❖ **Center of Curvature:** 调整thickness的值，使后面一个面处在前面某一个面的曲率中心上。