

# 内容

- ZEMAX概述
- ZEMAX用户界面
- Solves求解
- Analysis
- Optimization
- Pick Up
- Doublet design双胶合
- Tolerancing
- Coordinate Breaks离轴系统
- Multi-Configuration (Zoom lens design)变焦系统
- Non-Sequential
- Glass Catalogs
- Plate Fitting
- Gaussian Beam Analysis

CornerStone 成基應用科技

# ZEMAX概述

CornerStone 威石阿特科技

# ZEMAX简介 (I)

- ZEMAX公司产品——光学镜头设计和光学系统分析软件
- 版本有两个等级：
  - ZEMAX-SE (标准版)
  - ZEMAX-EE (专业版)
- 每年有数次版本更新，可以到ZEMAX网站或者讯技光电科技公司的网站上下载更新

# ZEMAX简介(II)

- 界面友好，容易上手：资料丰富，既可以点选，又可以自定义；
- 可建立反射、衍射及散射等光学模型；
- 可进行偏振、镀膜和温度、气压等方面得分析
- 具有强大得像质评价和分析功能
- 丰富的资料库：镜头库、玻璃库、样板数据库等；
- 大部分窗口都提供在线帮助，方便随时获取相关功能的在线解释和帮助

# 系统要求

- WIN98, NT, 2000, XP
- 200MB以上的硬盘空间
- 最小的分辨率为：1024×768
- 一个并行口或者USB接口用来接KEY
- 64MB以上内存；如果进行对象非常复杂、物理光学或散射和照明分析时，最低要求是：256MB，最好是512MB

# 什么是ZEMAX

- ZEMAX是一套光学系统设计和分析软件
- ZEMAX用序列（sequential）和非序列（non-sequential）的方法模拟折射、反射和衍射的光线追迹
- ZEMAX用“surface”为sequential ray tracing建模；用“component”或“object”为non-sequential ray tracing建模

# 3种Ray Tracing方式的应用

- Purely sequential的应用
  - 传统的镜头设计，大多数成像系统；
- Hybrid sequential/non-sequential (NSC with ports)的应用：
  - 同时有sequential组件（如prism, pipe）的系统，如望远镜
  - 用“ports”为光线进入和离开NS group的应用；
- Purely non-sequential (NSC without ports)的应用
  - 用于illumination, scattering, stray light analysis;
  - 不用“ports”



# Ray Tracing的比较

## Sequential

以surface为对象建模  
指定光线和面相交的顺序  
光线与每个面只相交一次  
光线不会分光  
镜面反射  
光线不能超过临界角  
通过孔径外的光线必须渐晕  
surface的位置由前一个面确定  
每个面都有物空间和像空间  
计算的光线少，计算速度快  
可进行优化和公差分析

## Non-sequential

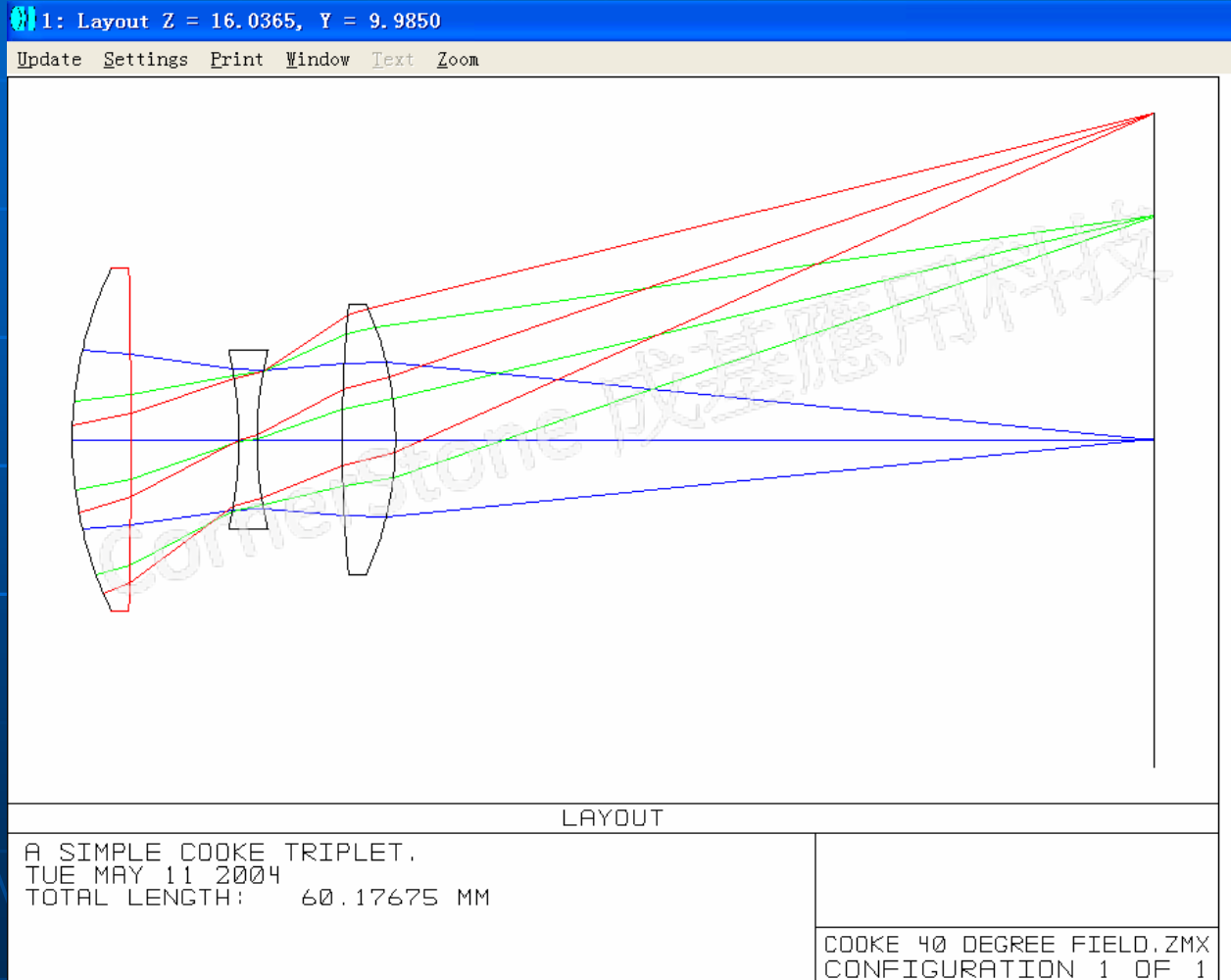
以object为对象建模  
不限制光线和相交的顺序  
光线与同一面(或物)可多次相交  
光线会分裂  
镜面反射和漫反射  
可以是全反射  
在object外的光线也进行追迹  
object的位置由全局坐标确定  
所有空间是等价的  
分析的光线多，计算速度慢  
不能做优化和公差分析



# Ray Tracing的3种方式 (I)

- Purely Sequential: 用于传统的透镜成像系统设计
  - 以光学面(surface)为对象来构建光学系统模型
  - 光线从物面开始(常为surface 0)
  - 按光学面的顺序计算(surface 0,1,2...), 对每个光学面只计算一次
  - 每个面都有物空间和像空间
  - 需要计算的光线少, 计算速度快
  - 可进行analysis, optimization及tolerancing

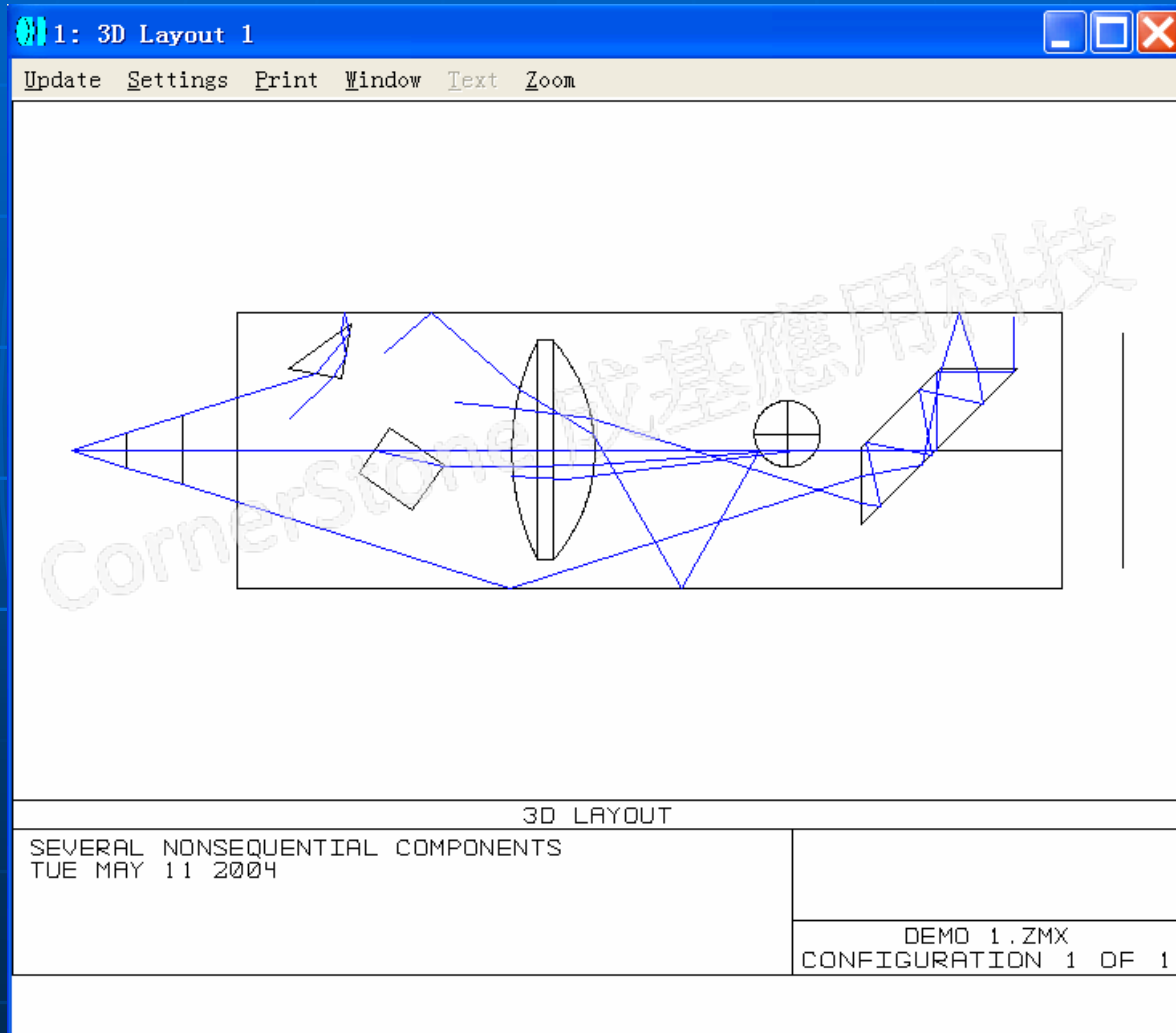
# Sequential system 例子



# Ray Tracing的三种方式(II)

- Hybrid sequential/non-sequential (aka NSC with pots)
  - 所有object都是3D shell or solids; 用空间坐标系定义其位置;
  - 光线从input port进入NS group; 从exit port离开NS group;
  - 光线在NSC中一直追迹, 直到它遇到下列情况才终止:
    - Nothing; Exit port; 能量低于定义的阈值
  - 忽略NS group内的光源和探测器;
  - 进入NS group的光线的特性, 由序列性的系统数据, 如视场位置和瞳的大小等决定。

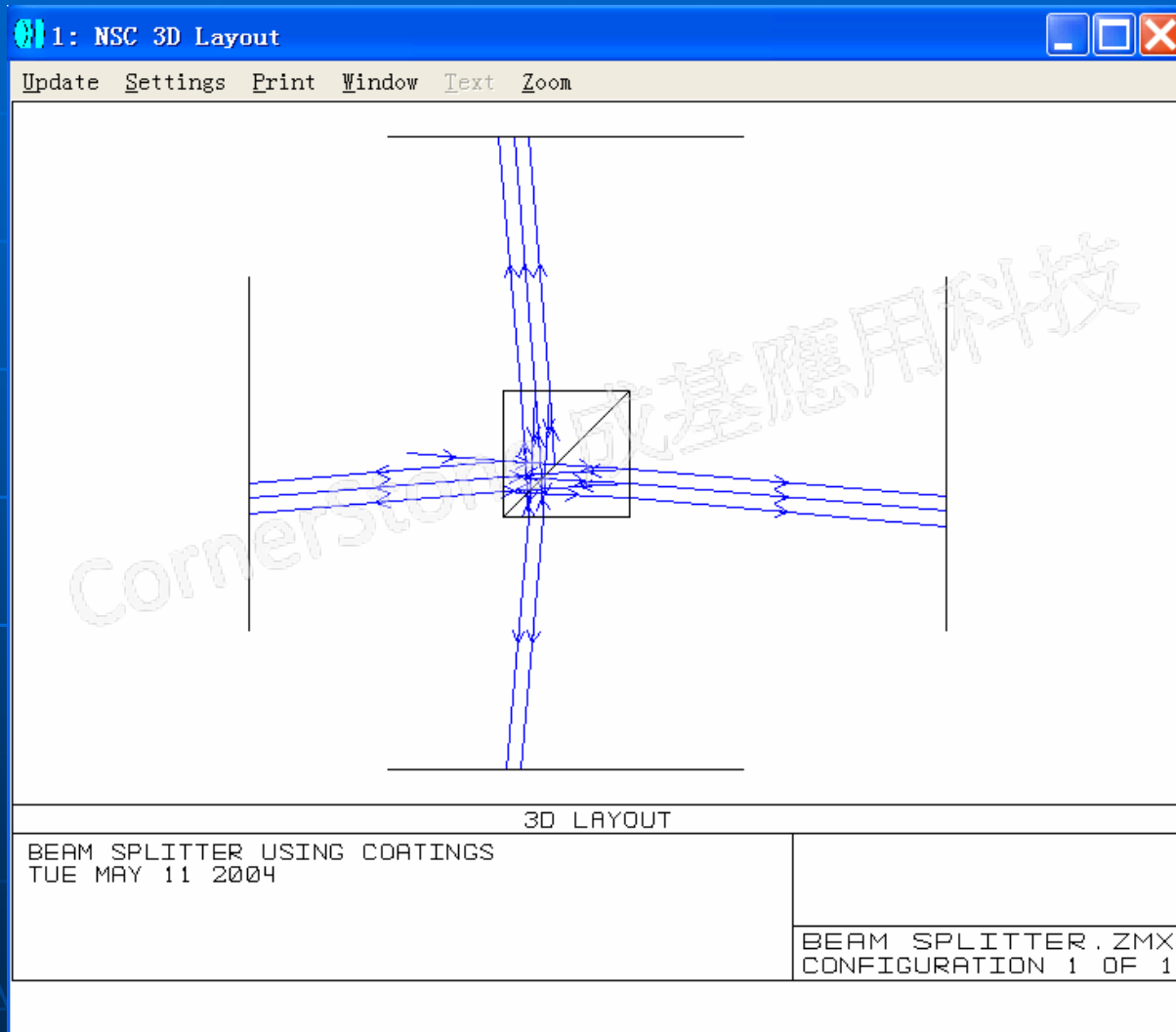
# NSC with ports system 例子



# Ray Tracing的3种方式(III)

- Purely Non-sequential (aka NSC without port)
  - 所有object都是3D shell or solids;
  - 每个object都在一个空间坐标系中定义了其特性
  - 需要定义光源的发光特性和位置, 定义detector收集光线;
  - 光线一直追迹, 直到它遇到下列情况才终止:
    - Nothing; 能量低于定义的阈值
  - 计算时光学元件的相对位置由空间坐标确定; 对同一元件, 可同时进行穿透、反射、吸收及散射的特性计算;
  - 无法作优化及公差分析
  - 这种情况下, 可以对光线进行分光, 散射, 衍射, 反射, 折射

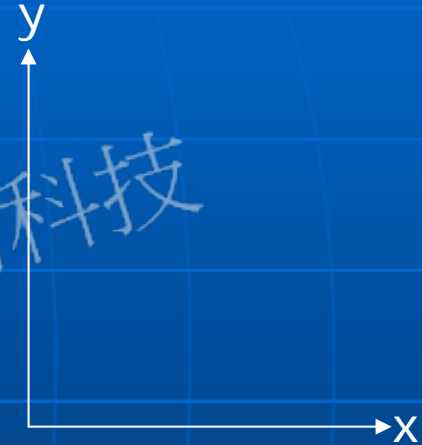
# NSC without ports system 例子



# ZEMAX的坐标系

- Local coordinate system

所有面的位置是由局域坐标确定的（右手法则）



- Global coordinate system（在NS中）

所有面或物件的位置是由空间坐标系确定的



# ZEMAX用戶界面

CornerStone

成基應用科技

# ZEMAX用户界面类型

- ZEMAX有4种主要类型的用户界面
  - Editors: 定义和编辑光学面和其他数据;
  - Graphic windows: 显示图形数据
  - Text windows: 显示文本数据;
  - Dialog boxes: 编辑和回顾其他窗口或系统的数据, 或者报告错误信息等

# ZEMAX Editors界面

- Lens data editor: lens data编辑表格，包括 surface type, radius, thickness, glass, etc.
- Merit function editor: 优化时，定义和编辑 merit function的窗口；
- Multi-Configuration editor: 为变焦镜头和其它多重结构系统定义多重结构参数；
- Tolerance Data editor: 定义和编辑公差数据
- Extra Data editor: 定义surface data的附加数据
- Non-sequential component editor: 定义和编辑NSC sources, objects

# ZEMAX Editors

**Lens Data Editor**

Surf:Type	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ Standard	Infinity	50.000000		0.000000	0.00
STO Standard	Infinity	0.000000		21.821789	0.00
2 Non-Sequent..	Infinity	-		21.821789	0.00

---

**Merit Function Editor: 0.0000...**

Oper #	Type
1 BLNK	BLNK

**Multi-Configuration Editor**

Active	Config 1*
1: MOFF	0

---

**Tolerance Data Editor**

Oper #	Type
1 (TOFF)	TOFF

**Extra Data Editor**

	Not Used 1	Not Used
STO Standard		

---

**Non-Sequential Component Editor: Component Group on Surface 2**

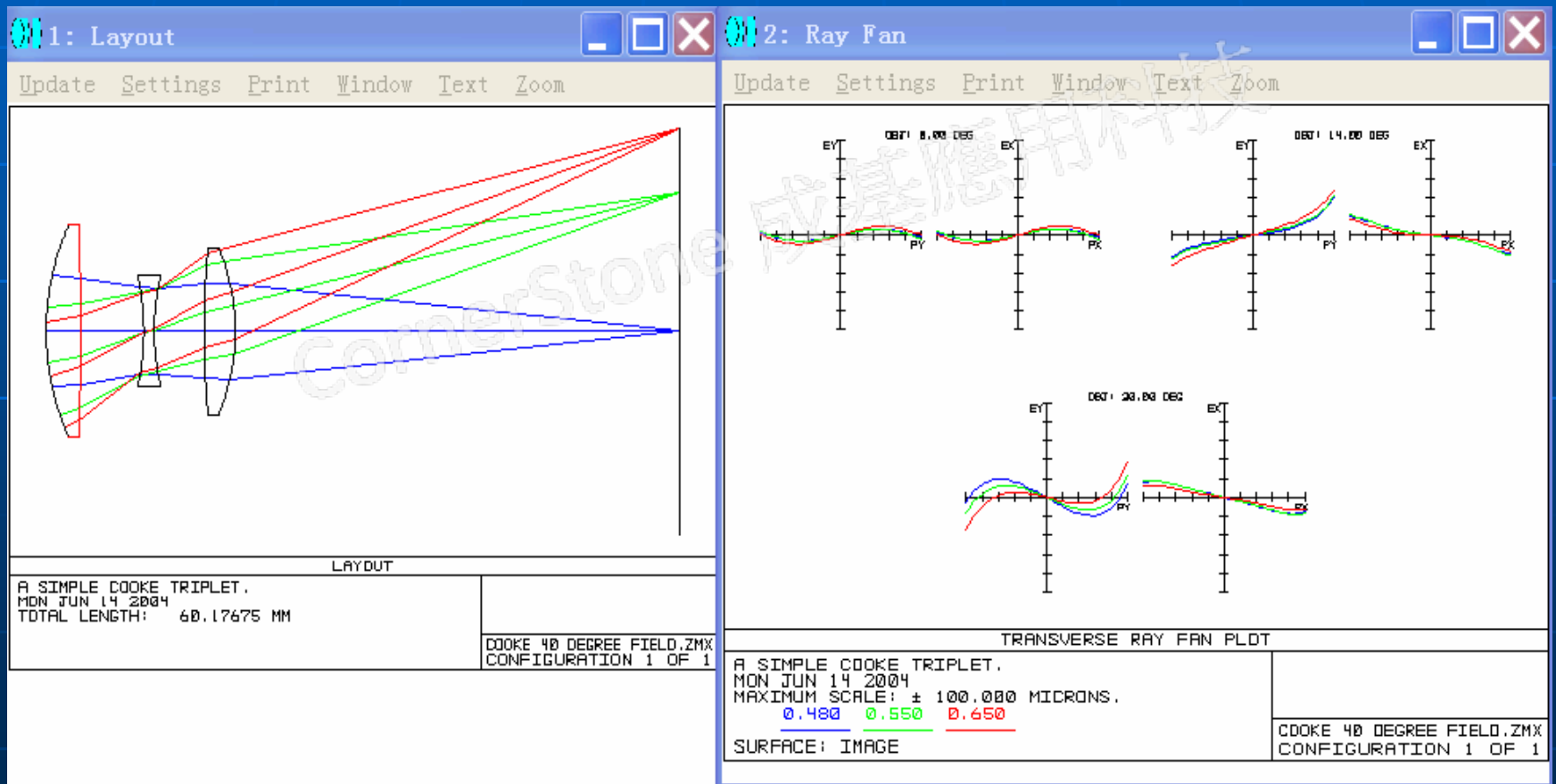
Object Type	Comment	Ref Object	Inside Of	X Position	Y Posit
1 Rectangular..		0	0	0.000000	0.00
2 Standard Lens		0	0	0.000000	0.00

# Graphic and Text 界面

- 有些功能(如layout)只支持图形, 有些只支持文本(如Seidel像差系数), 有的都支持(如fan plot);
- 如果二者都支持, 一般先给出图形输出, 如果需要显示text的内容, 需要点一下菜单栏中的“Text”

# Graphic and Text windows例子

- 大部分图形窗口都同时提供文本信息。



# Graphic and Text windows例子

- 点Text菜单栏，可以看到图形窗口中的文本信息。

3: Spot Diagram 1

Update Settings Print Window Text Zoom

DEF: 0.00 DEG      DEF: 14.00 DEG      DEF: 28.00 DEG

IMA: 0.008 MM      IMA: 12.428 MM      IMA: 18.136 MM

SURFACE: DMR

SPOT DIAGRAM

A SIMPLE COOKE TRIPLET,  
MON JUN 14 2004 UNITS ARE MICRONS.

FIELD	1	2	3
RMS RADIUS :	4.988	16.180	12.067
GED RADIUS :	9.343	48.777	24.161

SCALE BAR : 100      REFERENCE : CHIEF RAY      COOKE 40 DEGREE FIELD.ZMX  
CONFIGURATION 1 OF 1

4: Spot Diagram 2

Update Settings Print Window

Listing of Spot Diagram Data

File : C:\ZEMAX\Samples\Sequential\Objectives\Cooke 40 d  
Title: A SIMPLE COOKE TRIPLET.  
Date : MON JUN 14 2004

Field Type : Angle in degrees  
Image units: Millimeters  
Reference : Chief Ray  
Data : Ray Coordinates

Wavelengths:

Value	Weight
0.480000	0.80
0.550000	1.00
0.650000	0.80

Field coordinate : 0.00000000E+000      X      Y  
Image coordinate : 0.00000000E+000      0.00000000E+000

RMS Spot Radius : 4.98787434E+000 microns  
RMS Spot X Size : 3.52695977E+000 microns  
RMS Spot Y Size : 3.52695977E+000 microns  
Max Spot Radius : 9.34323737E+000 microns



# Graphics windows菜单功能

Update: 更新窗口中的数据（鼠标点两下）；

Setting: 设置窗口的属性；

Windows:

- Annotate: 往图形上加lines, boxes, text(加注释)；
- Copy clipboard: 将内容拷贝到剪切板中；
- Export: 将内容转换为Metafile, JPG, BMP文件保存
- Lock: 锁定窗口；
- Clone: 克隆窗口
- Aspect ratio: 设置窗口的长宽比；
- Active cursor: 对图形窗口显示鼠标所指位置的数据；
- Configuration: 选择要宣誓哪个组态的数据；
- Overlay: 不同图形重叠显示。

# Text windows菜单功能

Text: 产生图形所对应的文本数据;

Zoom: 对图形放大和缩小控制;

Update: 更新窗口中的数据;

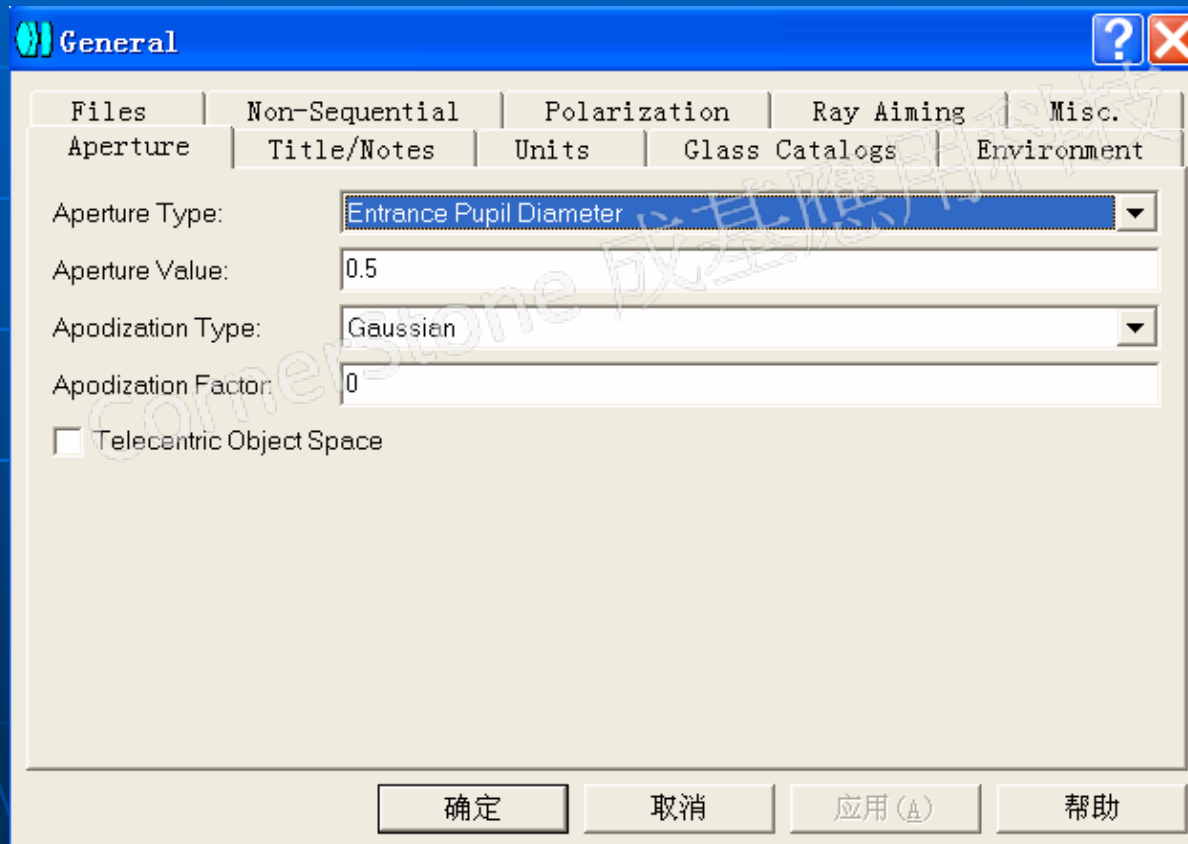
Setting: 设置窗口的属性;

Windows:

- Copy clipboard: 将内容拷贝到剪切板中;
- Lock: 锁定窗口;
- Clone: 克隆窗口;
- Configuration: 由多重组态时, 选择组态

# Dialog boxes

- ZEMAX的大部分图形和文本窗口都包含有设置对话框



# 数据输出

- 输出到剪切板,可以供其它windows应用程序使用,如Excel等;
- 输出到CAD程序:支持DXF, IGES, STEP, SAT, STL格式
- DFX:
  - 因为不是标准合适,对其支持比较差一些;
  - 只有在wireframe的设定中才支持.
- IGES,STEP,SAT,STL:
  - 真正的CAD标准;
  - 可以输出3D solids;
  - 可以输出为lines;
  - 在Tool菜单栏中

# Session file的概念

- Session file: 在保存文件时，如果选择 Session file，则它包括 lens file，及所有的图形和文本窗口， editors，他们在屏幕上的大小和位置，及每个窗口的设置。此时，除了一个 ZEX 文件以外，还有一个 SES 文件。

# 光学系统模型的建立

- 第一步: System data specification:
  - System aperture
  - Fied point
  - Wavelength
- 第二步: Lens data editor:
  - Surface data
  - Thickness
  - Glass
  - Other parameters

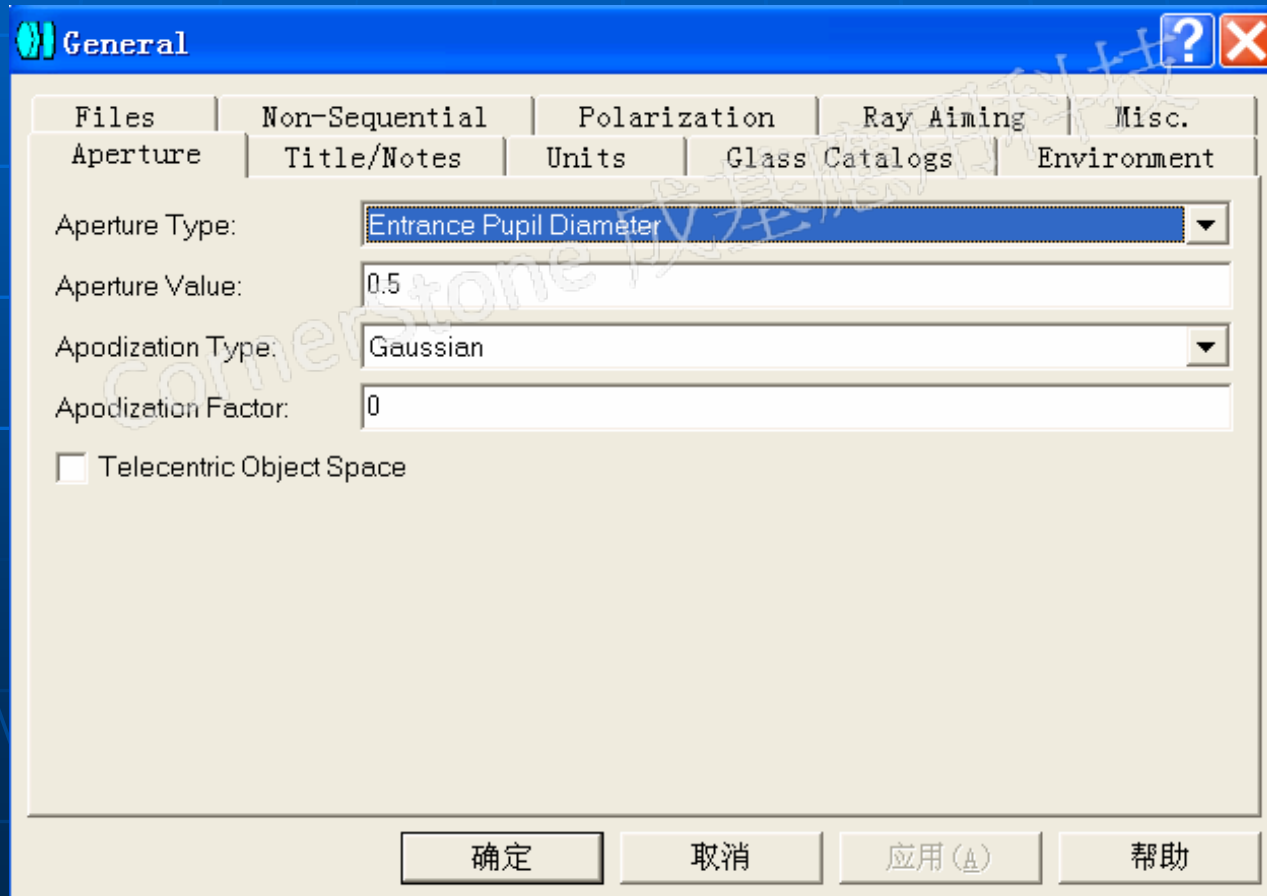
# Lens data

CornerStone 成基應用科技



# 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 $nsina$  (物距为有限远)
- Float by Size: EPD的大小由系统光栏的半径决定;
- 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 Vig      Clr Vig      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。

Wavelength Data

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"/>

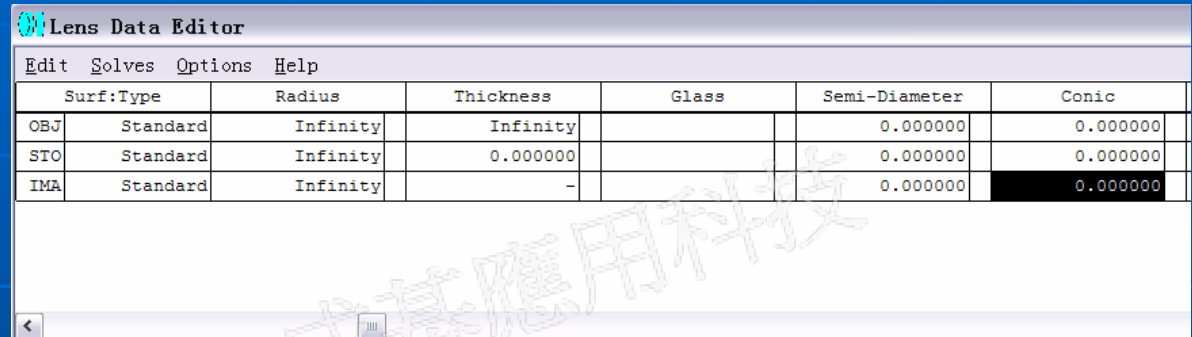
Select-> F, d, C (Visible) ▼

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 lens 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

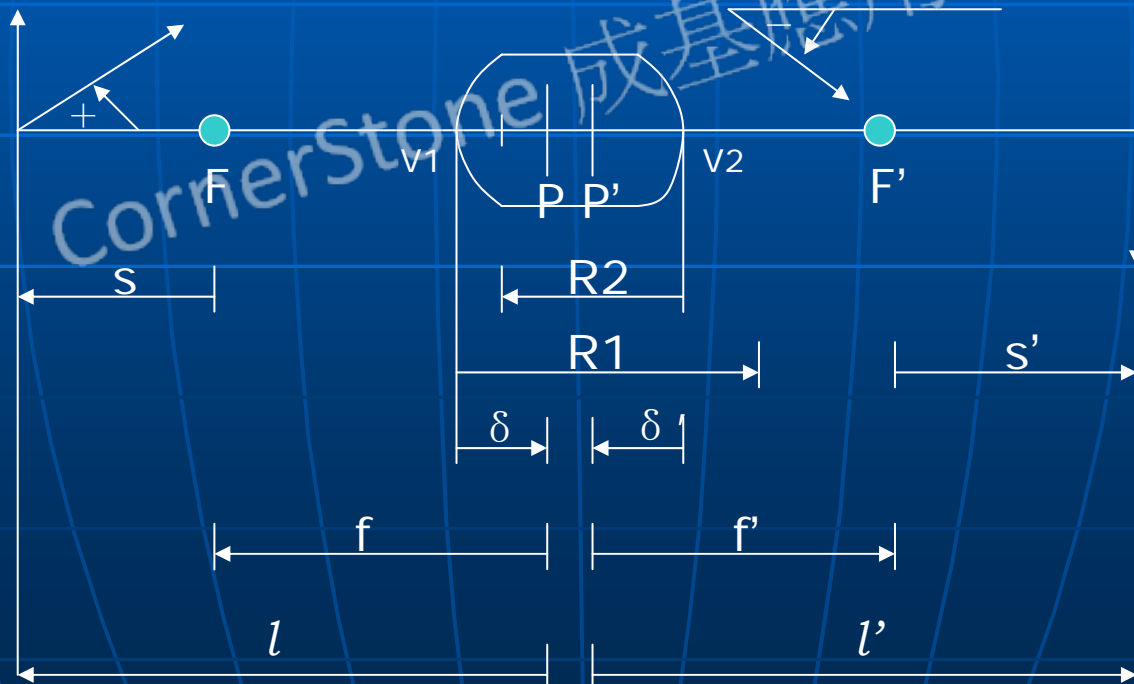
- The radius of curvature: 面的曲率半径, 根据符号规则确定符号;
- The thickness of the surface: 到下个面的相对距离, 满足符号规则(用local坐标系);
- The glass type of the surface: 玻璃牌号, 或折射率和色散系数(如果为空气, 则为空格; 如果为反射镜, 则为Mirror);
- The semi-diameter of the surface: 面的孔径
- Other data (parameter or extra data): 描述面型的参数。



# 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)

- 球面的球心在左半轴上，顶点在右半轴上。矢高坐标为：

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

- 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。

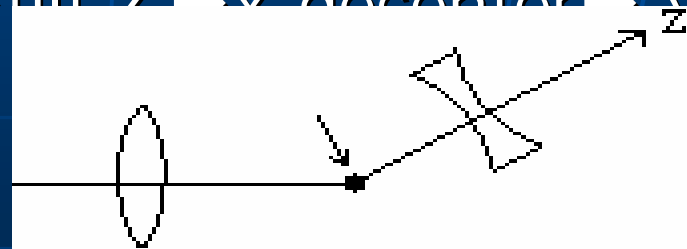
$$\begin{bmatrix} x' \\ \omega_x' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_x & B_x \\ C_x & D_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \omega_x \end{bmatrix}$$

- 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  $\rightarrow$  y-decenter  $\rightarrow$  local z tilt  $\rightarrow$  local y tilt  $\rightarrow$  local x tilt
  - order非0: tilt x  $\rightarrow$  tilt y  $\rightarrow$  tilt z  $\rightarrow$  x-decenter  $\rightarrow$  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。

CornerStone 成基應用科技

# 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)

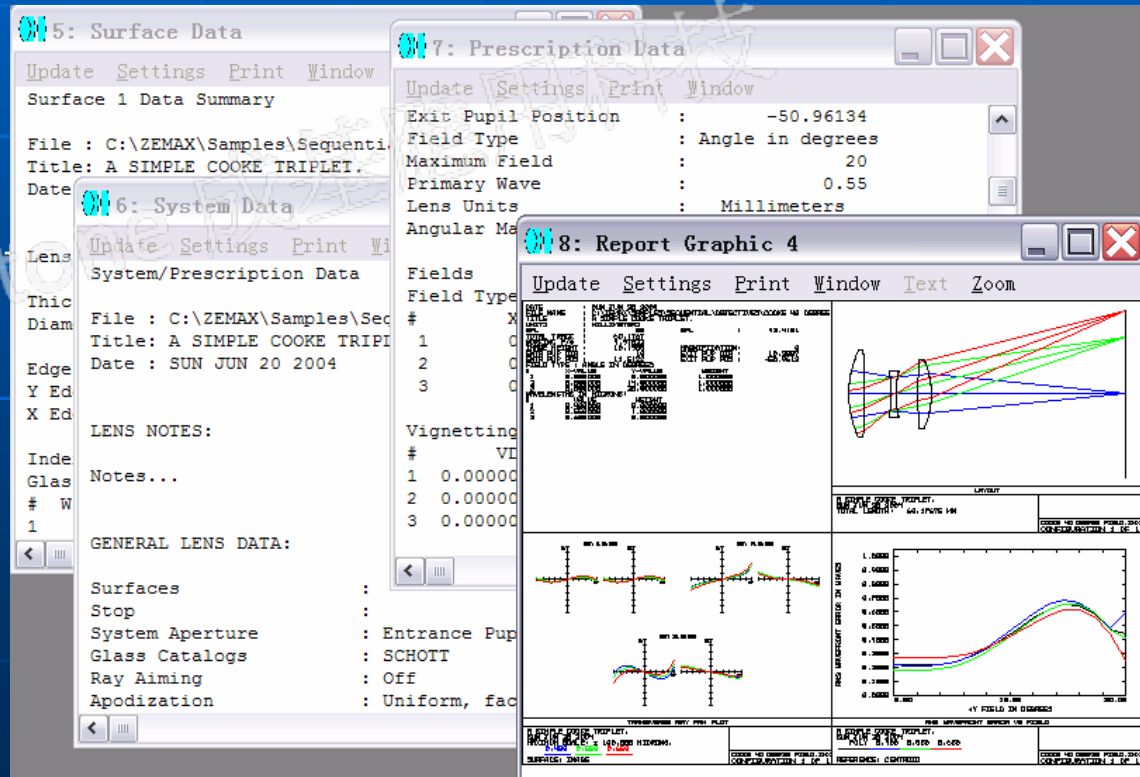
- 优化函数是用来定义优化控制目标项目。它包括设计目标，边界条件和计算结果的总结。
- 在优化过程中，用merit function的值来评价一个系统的优劣。
- Merit function由optimization operands组成，ZEMAX提供了200多个这样的操作数，涵盖了各种目标控制条件。

# 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， $-100\text{mm}$ ，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)

CornerStone 成基德因科技

# 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/#

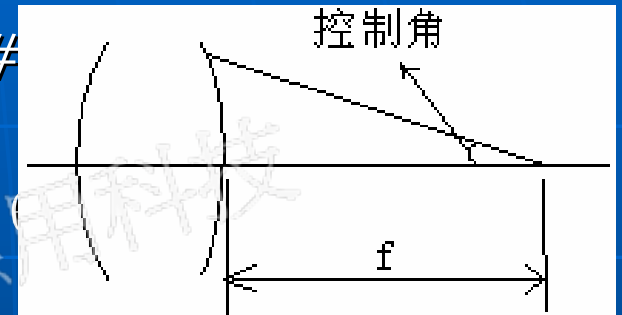
- Marginal ray angle  $\theta_m(r/f)$  决定 F/#

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

如果系统为慢系统（即 F/# 大）时：

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

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

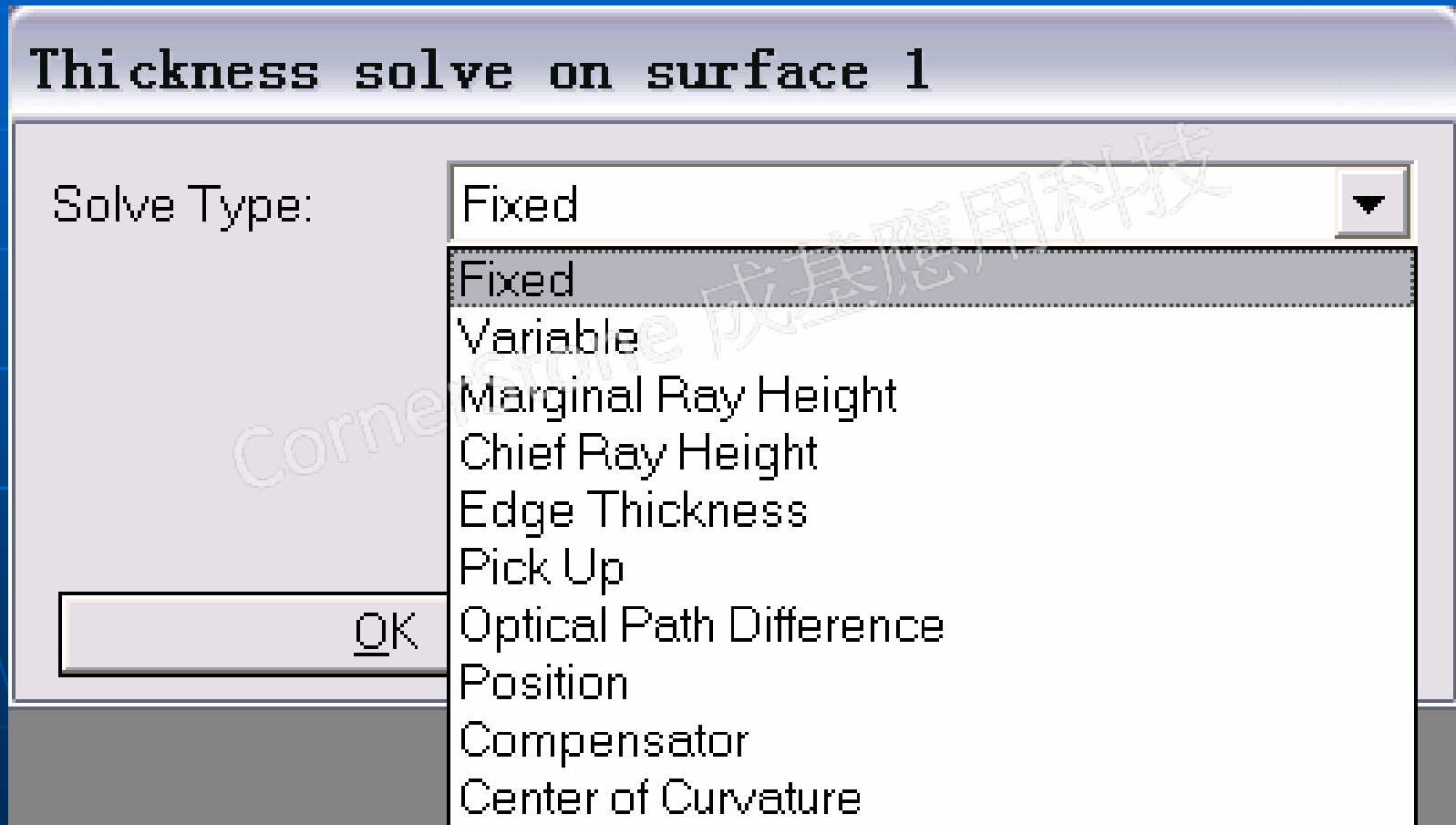
- **Chief ray angle:** 控制主光线的角度
- **Pick up:** 指定前面某个面，使当前面的曲率半径和指定的面保持确定的关系。
- **Marginal ray normal:** 使光学面与近轴边缘光线垂直，也叫 **image-centered surface**。产生没有球差或慧差的光学面。
- **Chief ray normal:** 使光学面与近轴主光线垂直，也叫 **pupil-centered surface**。产生没有慧差、象散或畸变的光学面。
- **Aplanatic (齐明的):** 使光学面对近轴边缘光线齐明的(消球差)。产生没有球差、慧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