

ZEMAX光学软件培训课程

讯技光电科技（上海）有限公司

<http://www.infotek.com.cn>

Outline (I)

- 软件属性
- ZEMAX简介
- 用户接口
- 序列描光
 - 建立镜头模型
 - 镜头玻璃库
 - 分析功能
 - 优化
 - 公差分析
 - 设计报告

Outline (II)

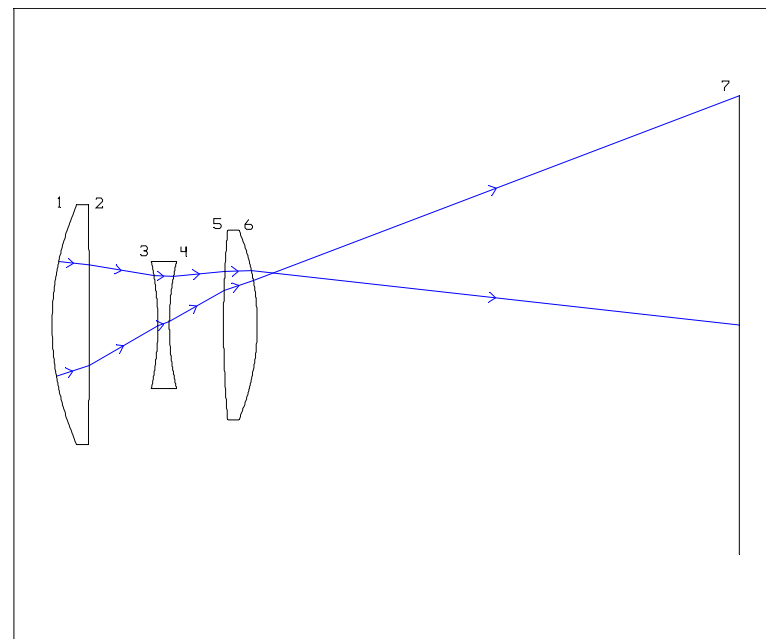
- 非序列描光
 - 建立模型
 - 建立光源
 - 描光计算
 - 分析功能

光学软件属性

- 依照计算方式不同分为Ray Tracing，BPM 及 FDTD等...
- 其中Ray Tracing分两类
 - Sequential ray trace(序列描光)
 - Non-Sequential ray trace（非序列描光）

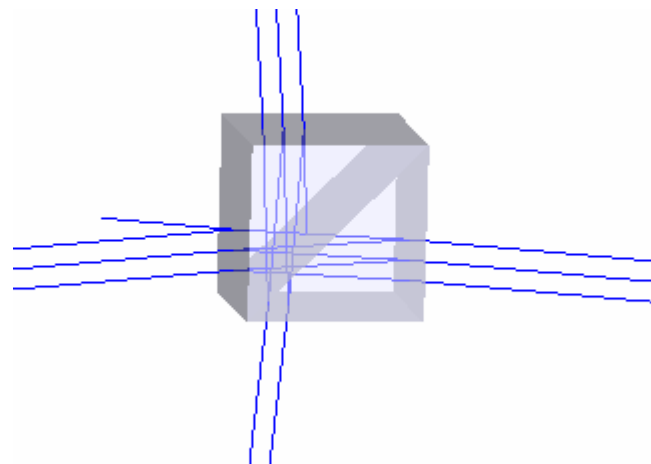
序列描光

- 有以下几个特点
 - 以光学面来建立模型，每个面有编号
 - 单一光源
 - 按照面的顺序计算光线
 - 每个面仅作一次计算，不考虑分光
 - 计算光线数少，速率快
 - 可做优化计算及公差分析



非序列描光

- 有以下几个特点
 - 以对象来建立模型
 - 多个光源
 - 不考虑对象或光线顺序
 - 同一个面可做多次计算，同时考虑部分穿透，反射，吸收，散射等情况
 - 最接近真实世界光线行为
 - 采Monde Carlo ray tracing，需计算大量光线
 - 无法做优化



ZEMAX简介

- ZEMAX公司开发（原Focus公司）
- 容易学习使用，功能完整
- 市场占有率
 - 80~85% market share in the world
 - 大陆及台湾已销售超过1000套
 - 全世界使用最普遍之光学设计软件
- 系统要求低

ZEMAX版本

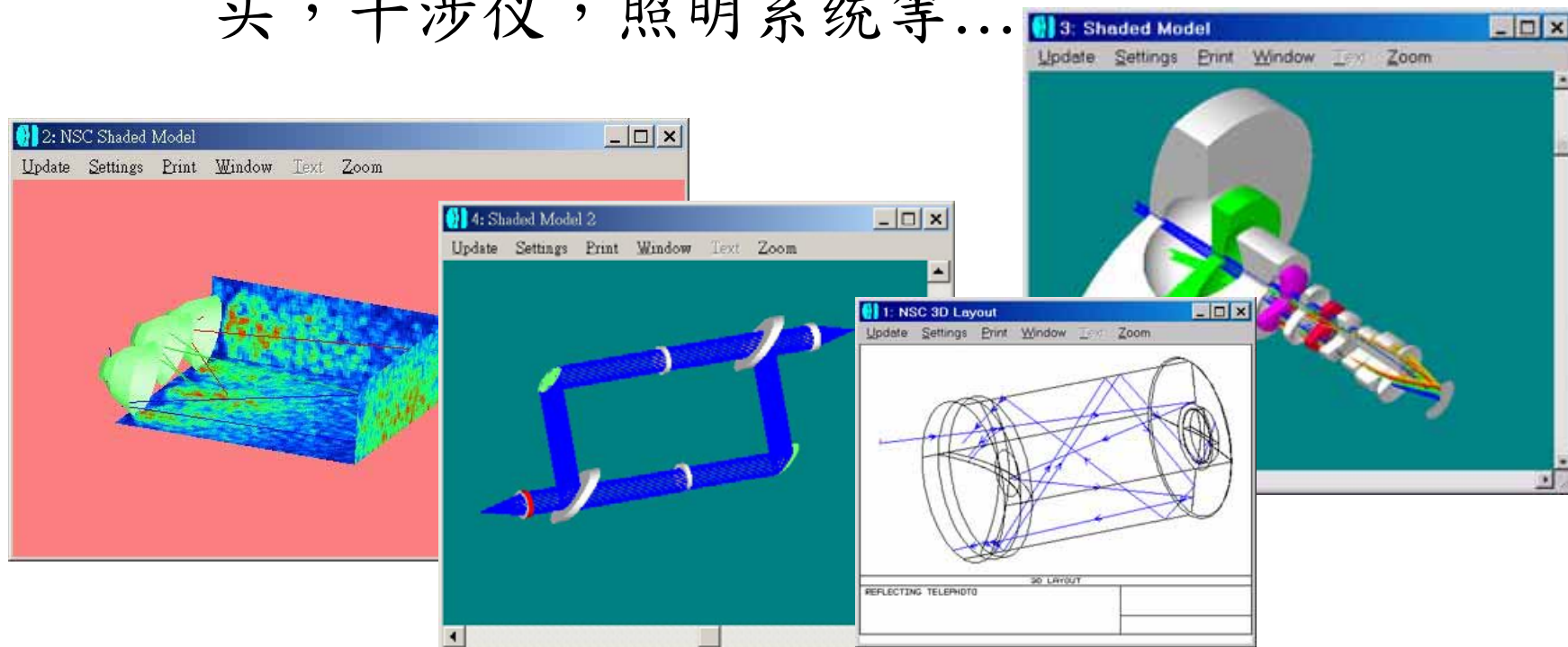
- 分为两个版本
 - ZEMAX-SE（标准版）
 - ZEMAX-EE（专业版）含Non-Sequential功能
- 最新版本为2005 May 4
 - 每年数次更新，可直接在网络上下载更新

<http://www.infotek.com.cn>

<http://www.zemax.com>

市场应用

- 传统相机，数字相机，投影显示器，DVD读写头，干涉仪，照明系统等...



观念澄清！！

- ZEMAX可做什么？
 - 光学透镜设计, 可建立反射, 折射, 绕射等光学模型, 易于使用
- ZEMAX不能做什么？
 - 不管是软件本身, 或是手册都无法教你如何做光学设计

用户接口

- 主要有四种用户接口
 - Editors：定义编辑光学面数据或其它数据
 - Graphic windows：显示图形数据
 - Text windows：显示文字数据
 - Dialog boxes：编辑其它window的数据，或是报告错误讯息

Editors

- Lens Data Editor：输入各项透镜数据
- Merit Function Editor：优化函数设定
- Multi-Configuration Editor：多重结构参数定义
- Tolerance Data Editor：公差分析函数设定
- Extra Data Editor：附加数据
- Non-Sequential Components Editor：输入非序列
描光组件

Lens Data Editor

光学面输入

区率半径

材料

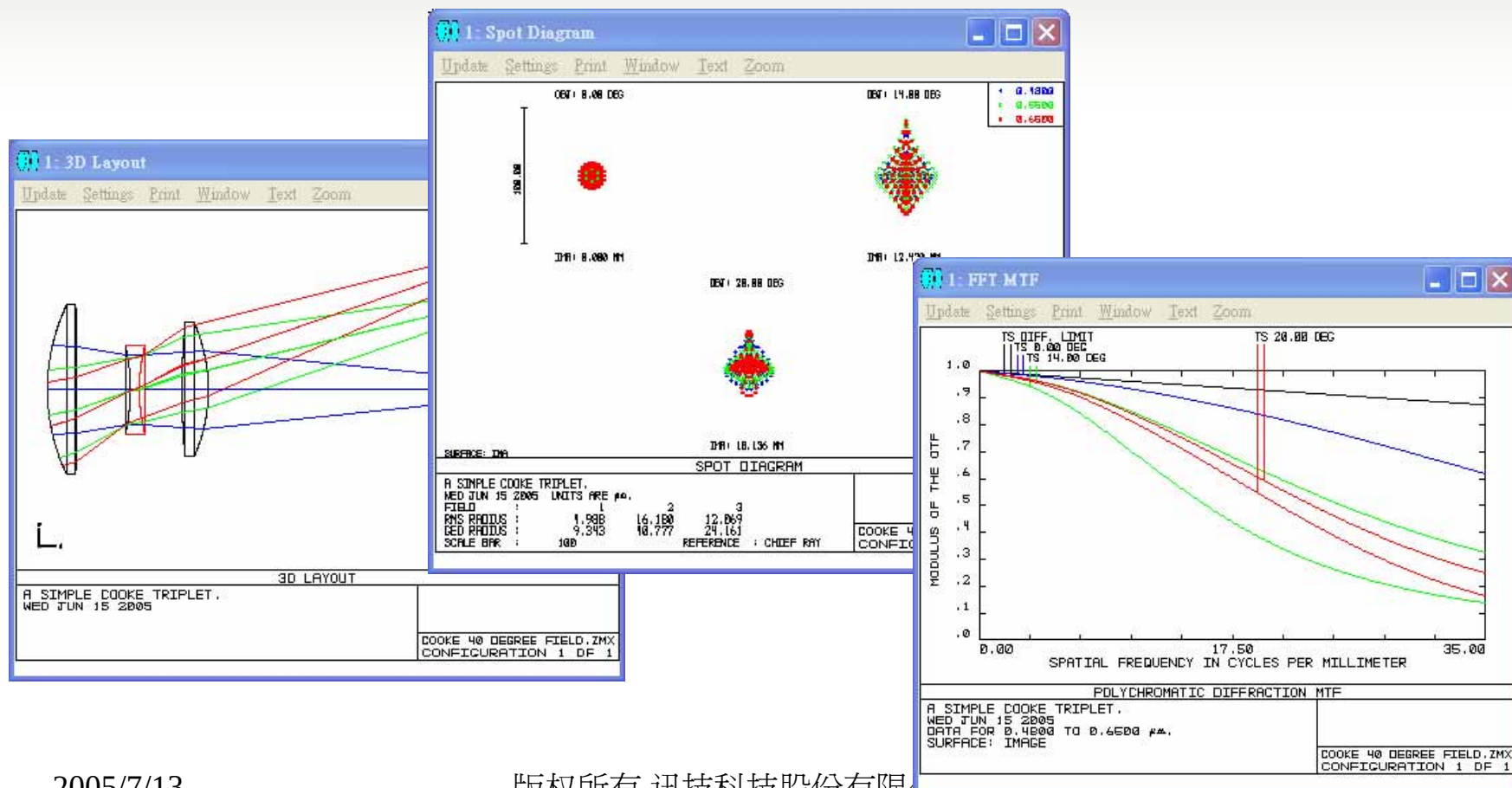
Surf:Type	Comment	Radius	Thickness	Material	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity
1*	Standard	22.013593 V	3.258956 V	SK16	9.500000 U
2*	Standard	-435.760436 V	6.007551 V		9.500000 U
3*	Standard	-22.213277 V	0.999975 V	F2	5.000000 U
STO*	Standard	20.291924 V	4.750409 V		5.000000 U
5*	Standard	79.683603 V	2.952076 V	SK16	7.500000 U
6*	Standard	-18.395333 M	42.207780 V		7.500000 U
IMA	Standard	Infinity	-		18.172658

编号

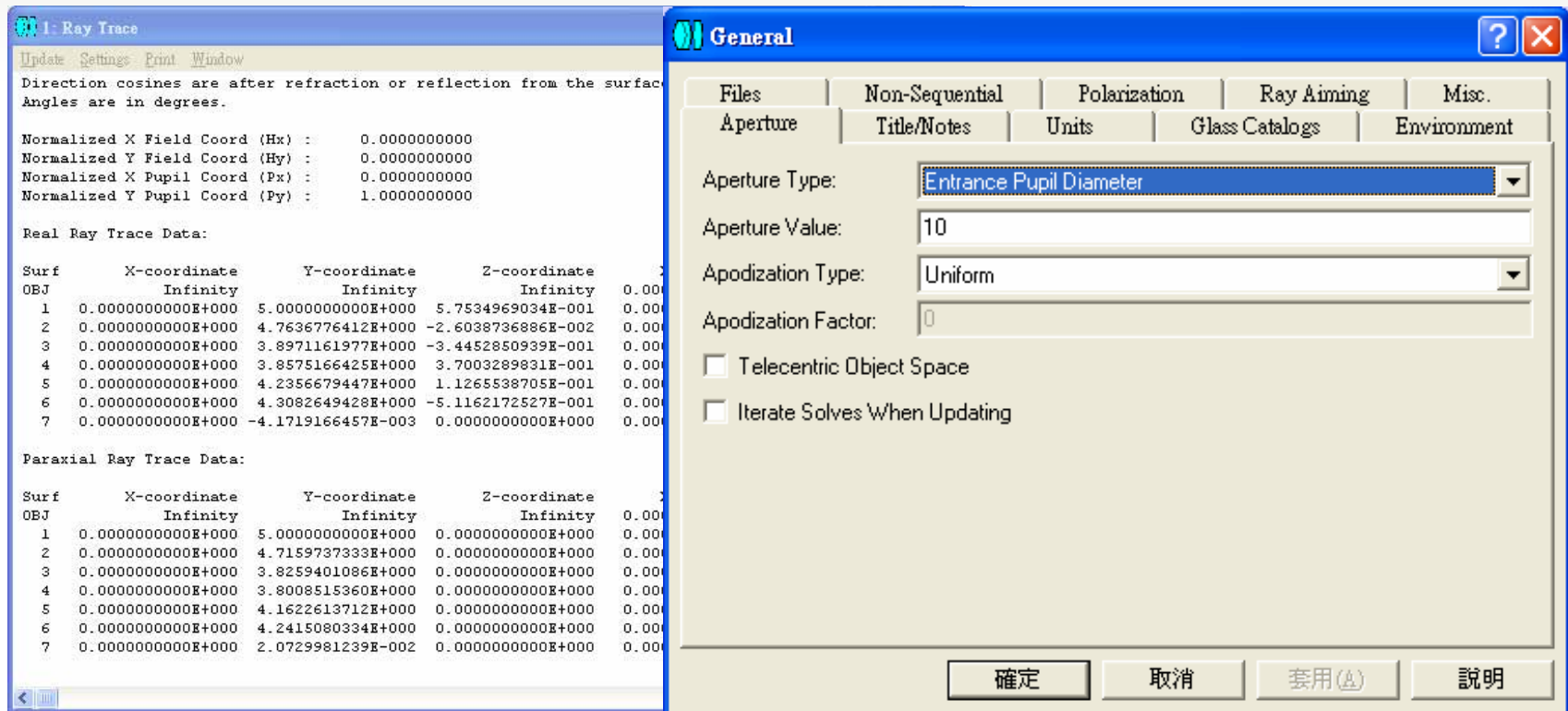
透镜厚度

孔径

Graphic windows



Text windows and Dialog boxes

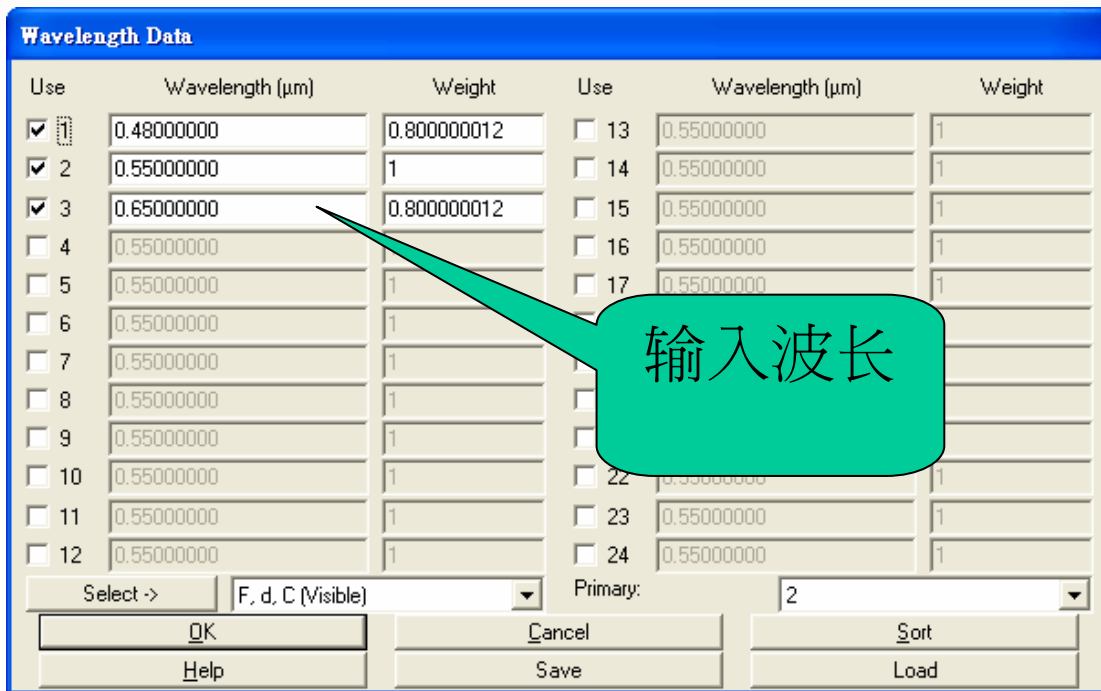


序列描光模式

- 在此模式下仿真设计可依下列步骤
 - 输入系统数据
 - 输入透镜数据
 - 分析模型
 - 优化
 - 公差分析
 - 产出报告

输入系统数据

- General
 - 孔径型态
 - 系统尺寸
 - 材料库选择等环境设定
- Field
 - 视角设定
- Wavelength
 - 波长设定



The image shows a software dialog box titled "Wavelength Data". It contains two columns of data entry fields, each with a "Use" checkbox, a "Wavelength (μm)" text box, and a "Weight" text box. The first column has entries 1 through 12, and the second column has entries 13 through 24. Entry 3 in the first column is highlighted with a green callout bubble containing the text "输入波长" (Input Wavelength). At the bottom of the dialog, there is a "Select ->" dropdown menu set to "F, d, C (Visible)", a "Primary:" dropdown menu set to "2", and four buttons: "OK", "Cancel", "Sort", and "Load".

Use	Wavelength (μm)	Weight	Use	Wavelength (μm)	Weight
☒ 1	0.48000000	0.800000012	☐ 13	0.55000000	1
☒ 2	0.55000000	1	☐ 14	0.55000000	1
☒ 3	0.65000000	0.800000012	☐ 15	0.55000000	1
☐ 4	0.55000000	1	☐ 16	0.55000000	1
☐ 5	0.55000000	1	☐ 17	0.55000000	1
☐ 6	0.55000000	1			
☐ 7	0.55000000	1			
☐ 8	0.55000000	1			
☐ 9	0.55000000	1			
☐ 10	0.55000000	1	☐ 22	0.55000000	1
☐ 11	0.55000000	1	☐ 23	0.55000000	1
☐ 12	0.55000000	1	☐ 24	0.55000000	1

Select -> F, d, C (Visible) Primary: 2

OK Cancel Sort Load

Help Save

孔径型态

- 系统的入瞳大小，可决定入光量
 - EPD：直接设定入瞳大小
 - Image space $F/\#$ ：无限共轭像空间F数（物距为无穷大）
 - Object Space N.A.：物空间边缘光线数值孔径 $n\sin\theta$ （有限物距）
 - Float by Stop Size：由孔径光阑来决定入瞳大小
 - Paraxial Working $F/\#$ ：像空间中定义的共轭近轴 $F/\#$ ，忽略像差
 - Object Cone Angle：物空间边缘光线的半角（ <90 度）（有限物距）

Field设置

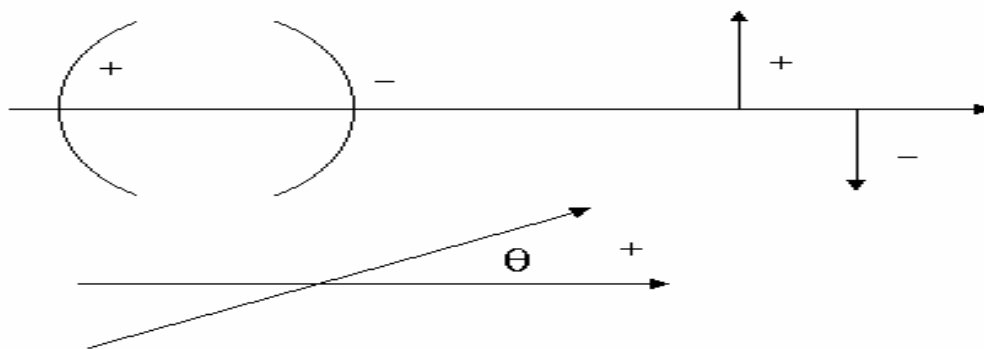
- ZEMAX以点光源来定义视场或是物的大小
- 四种不同模式
 - Field Angle：投影至入瞳XY或YZ平面时，主光线与Z轴夹角
 - Object Height：物面上的XY高度（有限共轭系统）
 - Paraxial Image Height：像面上的近轴像高（用于近轴光学系统）
 - Real Image Height：像面上的实际像高（用于需固定像面大小的系统，如像机镜头）

透镜数据输入

- Lens Data Editor
 - 选择光学面
 - 输入曲率半径，
 - 输入透镜厚度或是距离
 - 输入玻璃材料

符号规则

- Radius of curvature：曲率中心在面顶点的右边为正，反之为负。以双凸透镜为例，R1为正值，R2为负值
- Ray Angle：自光轴开始逆时针为正，顺时针为负
- Thickness：+Z轴方向为正，反之为负



Surface type

- 双击Surf:Type字段即可设定
- 提供近70种光学面，包含有球面，非球面，光栅面，Grin，双折射等…
- 可自订光学面，只要以C编写DLL文件，放入ZEMAX数据夹中即可使用

单透镜建立练习

- 试建立一单透镜规格如下
 - 入瞳 (EPD) 20mm
 - 曲率半径100mm，-100mm
 - 厚度4mm
 - 材质BK7
 - 使用可见光波长
 - 视场0，7，10度
- 试着在透镜前放一Stop看看不同位置对像差的影响 (Slider如何使用?)

Curvature Solve I

- 可调整曲率来主动控制某些特定参数
 - Marginal ray angle：可调整任一面的曲率半径，以保持F/#不变
 - Chief ray angle：控制主光线的角度
 - Marginal ray normal：使光学面与近轴边缘之光线垂直，可产生不具球差或慧差的光学面
 - Chief ray normal：使光学面与近轴主光线垂直，可产生不具慧差，像散或畸变的光线
 - Alplanatic：可产生没有球差，慧差，像散的等光程光学面
 - Pick up：使光学面的曲率随者所指定面的曲率而改变

Curvature Solve II

- Element power：可控制指定镜片的光焦度，也可控制有效焦距，通常设于第二个面
- Concentric with surface：控制曲率使的曲率中心落于指定面上
- Concentric with radius：控制曲率使的曲率中心与指定面的曲率中心在同一点
- F/#：控制曲率使的边缘光线的出射角为 $-1/(2F/\#)$ ，可控制有效焦距

Thickness Solve I

- 调整厚度以控制特定参数
 - Marginal ray height：控制近轴边缘光线在像面上的高度，Pupil zone在 ± 1 之间
 - Chief ray height：控制近轴主光线高度
 - Edge thickness：控制镜片边缘厚度，以避免优化之后过厚或过薄
 - Pick up：控制厚度随着指定面的厚度变化

Thickness Solve II

- Optical path difference：控制厚度使的指定光瞳坐标处之光程差维持一定值
- Position：控制这个面至指定光学面之间的距离保持一定
- Compensator：控制这面之厚度与参考面之厚度之和保持定值
- Center of curvature：控制厚度使的后一光学面的位置在指定面的曲率中心上

Glass Solve

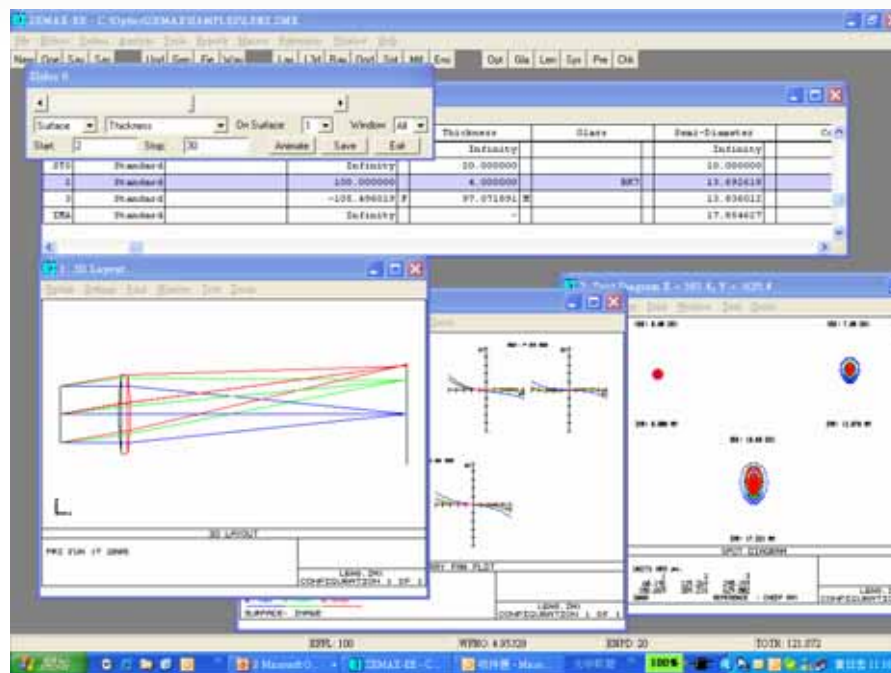
- 控制玻璃参数
 - Model：可用于玻璃优化
 - Pick up：控制材料随指定面而变化
 - Substitute：可在优化时指定玻璃库进行玻璃优化
 - Offset：在折射率及Abbe数上增一偏移量，用于公差计算

Solve使用建议

- Solve的计算是从第一个面按顺序计算至像面，
参数顺序则是curvature=>thickness=>glass
- 设计过程中尽可能以Solve来代替优化

Solve使用练习

- 利用前面单透镜例子，将透镜的焦距控制为100mm
- 将成像面移至焦平面上

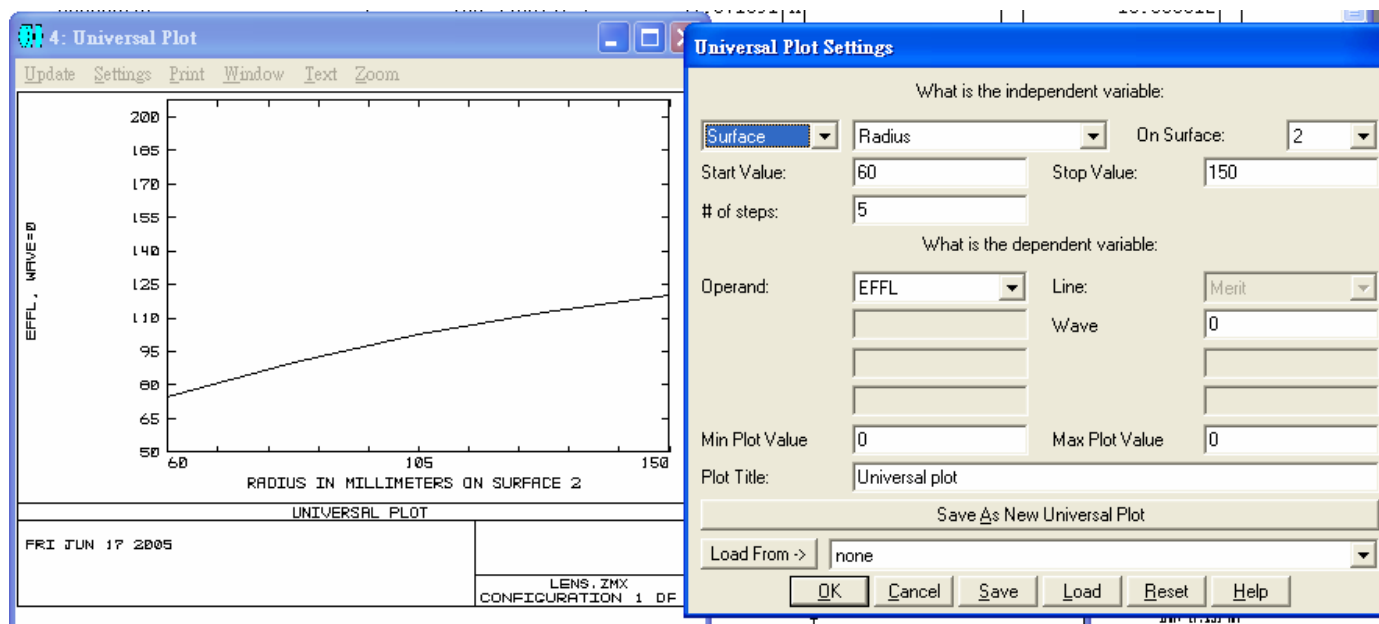


分析功能

- ZEMAX提供完整的分析图表，可作各种像质评鉴
 - Layout：系统2D及3D图形
 - Fans：扇形图，垂轴几何像差
 - MTF：调制传递函数
 - PSF：点扩展函数
 - Wavefront：波像差
 - Illumination：照度分析
 - Image analysis：面光源分析
 - Miscellaneous：场曲，畸变，色差等分析
 - Coatings：镀膜分析

Universal Plot

- 可自行定义优化函数对系统，面或是多重结构的参数曲线



Optimization

- ZEMAX的优化分两种
 - Local optimization
 - Global optimization
- 必须先设定变量及优化函数

Damped Least Squares (DLS)

- DLS算法是所有光学软件的基本优化法
- 假设Merit function定义如下 $MF^2 = \frac{\sum W_i (V_i - T_i)^2}{\sum W_i}$,
- W为权重值，V为变量目前数值，T为目标值
- 找出最小的MF值

预设优化函数 I

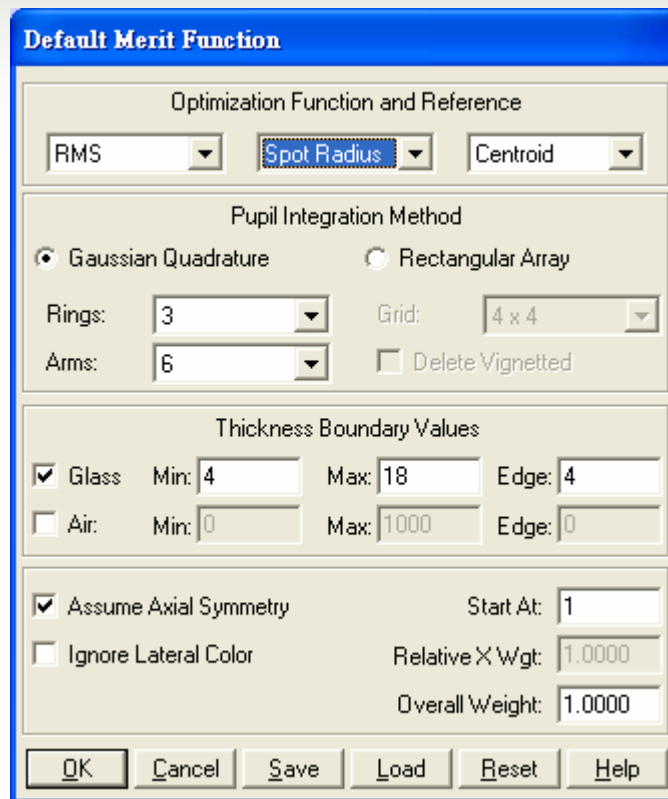
- Optimization type
 - RMS：使像差的RMS最小，最常使用
 - PTV：若要使所有光线落在某圆形小范围内，PTV较适合，如光线落入光纤中
- Data type
 - Wavefront：一般用于wavefront error小于2 waves以下
 - Spot radius：wavefront error大于2 waves时使用
 - Spot X，Spot Y：X或Y方向光斑大小

预设优化函数 II

- Reference point优化型态的参考点
 - Centroid：最常使用，尤其是针对wavefront error优化时，或是出现慧差使得质心偏移主光线时
 - Chief ray：参考主波长的主光线
 - Mean：仅用于wavefront data为wavefront时
- 参考光线选取
 - GQ：较准确，常用，但不能有渐晕系数
 - RA：可精确计算优化函数中的渐晕效应

Boundary值

- Thickness boundary value
 - 透镜中心厚度
 - 透镜边缘厚度
 - 透镜距离



The image shows a software dialog box titled "Default Merit Function". It contains several sections for configuring optimization parameters:

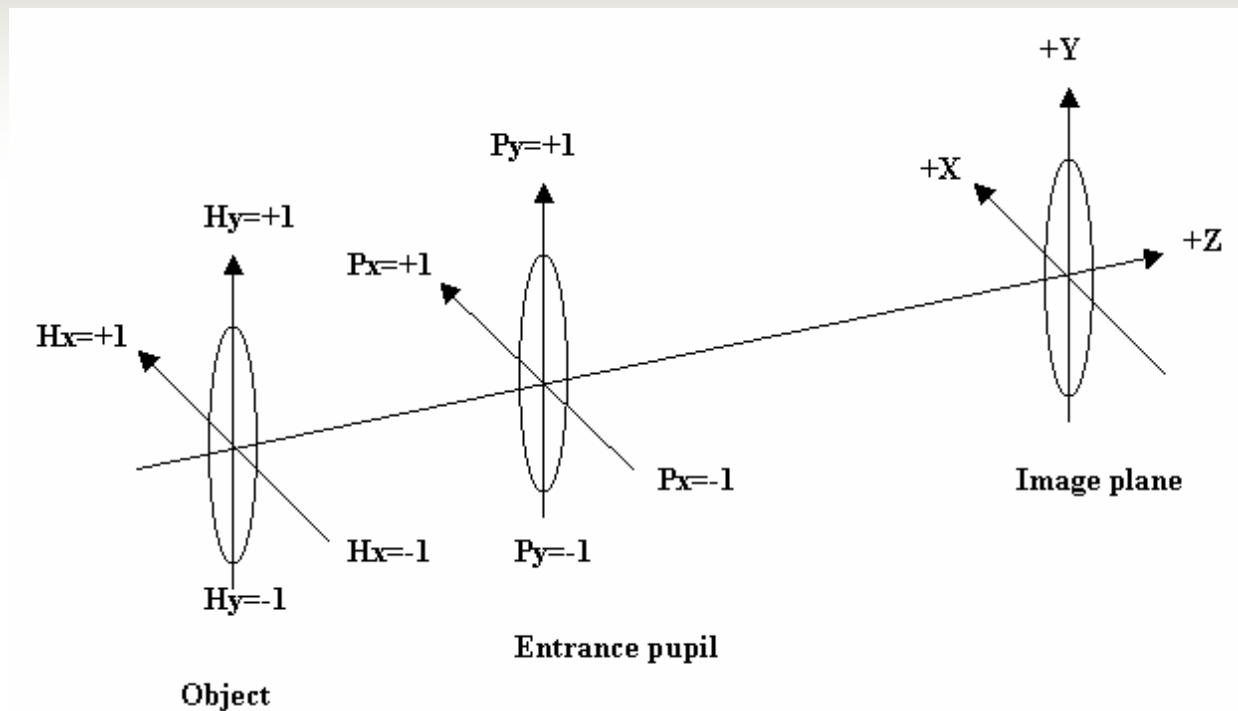
- Optimization Function and Reference:** Includes three dropdown menus: "RMS", "Spot Radius" (highlighted), and "Centroid".
- Pupil Integration Method:** Includes two radio buttons: "Gaussian Quadrature" (selected) and "Rectangular Array". Below them are input fields for "Rings" (3), "Grid" (4 x 4), "Arms" (6), and a checkbox for "Delete Vignetted".
- Thickness Boundary Values:** Includes two rows of input fields. The first row is for "Glass" (checked) with Min: 4, Max: 18, and Edge: 4. The second row is for "Air" (unchecked) with Min: 0, Max: 1000, and Edge: 0.
- Assume Axial Symmetry:** Includes a checked checkbox and a "Start At:" input field set to 1.
- Ignore Lateral Color:** Includes an unchecked checkbox, a "Relative X Wgt:" input field set to 1.0000, and an "Overall Weight:" input field set to 1.0000.

At the bottom are buttons for "OK", "Cancel", "Save", "Load", "Reset", and "Help".

Operand

- ZEMAX提供超过200种优化操作数包含有
 - 控制系统参数
 - 控制像差
 - 控制MTF
 - 控制材料
 - 控制光线
 - 边界条件
 - ：

场(Field)或光瞳(Pupil)坐标的 归一化意义



归一化坐标的范围介于-1~+1间，且依循

$$H_x^2 + H_y^2 \leq 1, \quad P_x^2 + P_y^2 \leq 1$$

使用较好的初始结构

- 一般来说，新设计都是基于原来已有的结构，因此好的初始结构就显得重要
- 以下是一些好的光学设计数据
 - ZEBASE：600多个设计，附有一本Lens design参考书
 - Lensview:超过30000个光学设计专利，有美国及日本等专利

Doublet双胶合透镜设计

- 双胶合透镜是个不错的练习，因为几乎所有的光学透镜都有双胶合透镜，其中正透镜常用冕（Crown）玻璃，负透镜用火石（Flint）玻璃
- 透过正确的选择玻璃，可以校正球差，慧差，横向色差
- 有些设计可以将单透镜分裂成双胶合透镜而得到改善
- 双胶合透镜的结构参数有
 - 3个曲率半径，3个厚度，两个材质，光字段置

设计规格

- 光源：F，d，C
- EPD：50mm
- F/8
- 视场0，7，10度
- 最小边缘及中心厚度4mm，最大中心厚度18mm

建立初始模型

- 建立模型并输入要求规格
- 假定初始玻璃为常用的BK7及F2
- 建立优化函数，用RMS，Spot radius优化
- 设订变数
- 增加边界约束条件
- 优化

分析

- 哪些像差已经校正，哪些还未校正
- 将光栏的位置移动，会改变横向色差，但也会引入像散，慧差，Spot radius扩大等
- 预设的优化函数对纵向色差有比较好的校正
- 校正球差可以增加conic constant或是增加透镜
- 优化玻璃后可以改善横向色差

优化玻璃

- Model glass：对折射率，Abbe数等进行优化，可能找到虚有的玻璃，不建议使用
- Substitute：容易使用，可选取玻璃库，速度快

设计报告

- Prescription data

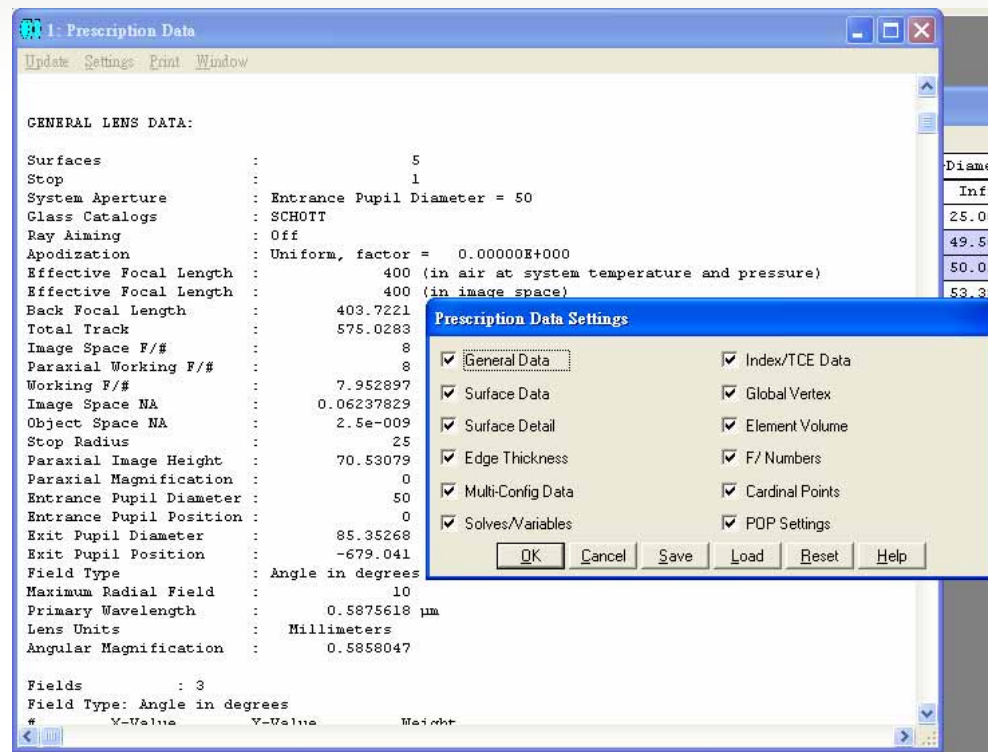
- 有效焦距EFL

- F/#

- 透镜规格

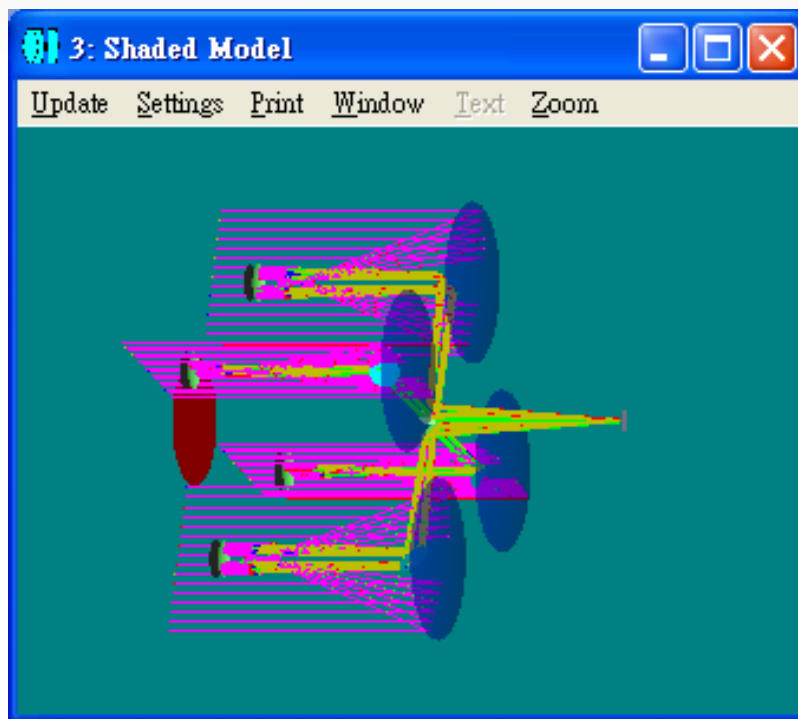
:

- Graphic report



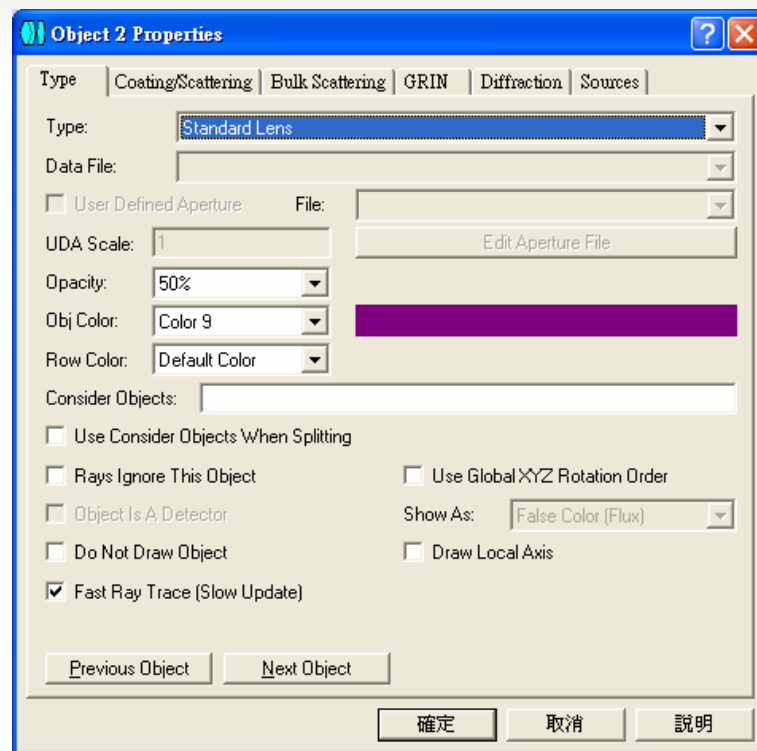
非序列描光模式

- 模拟步骤
 - 建立模型
 - 建立光源
 - 描光计算
 - 结果分析



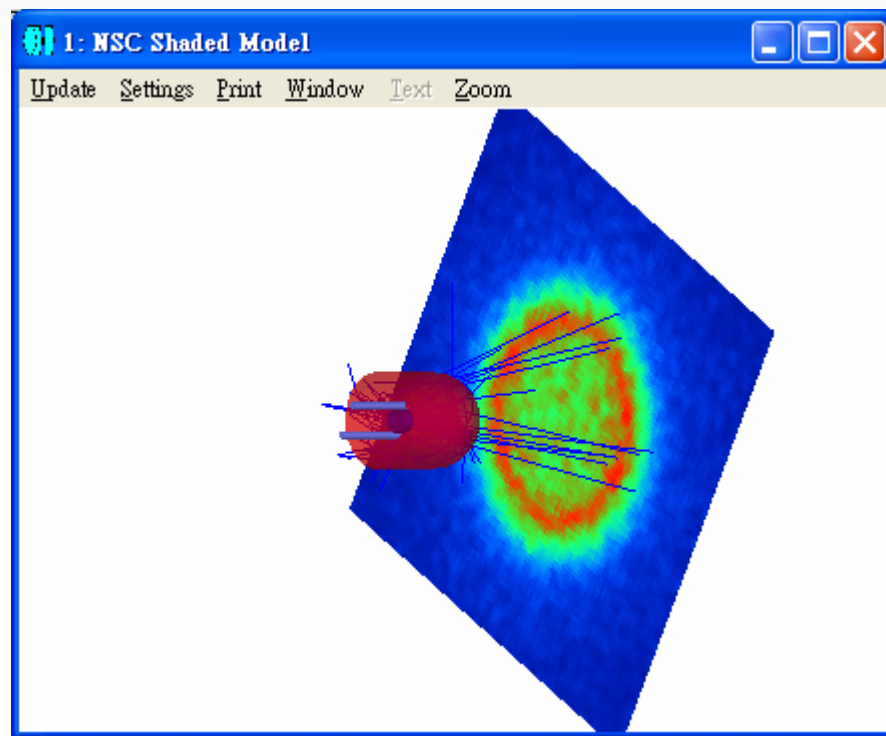
建立模型

- 选择object type
- Imported object
 - 直接读取CAD软件
（AutoCad，Pro/E，
Solidwork等）所建立的模
型
 - 可使用档案格式：iges，
step，sat



建立光源

- 光源有两种建立方式
 - ZEMAX光源
 - Radiant Sources



描光计算

- ZEMAX可设定两种光线数
 - Layout rays
 - Analysis rays
- Analysis光线数需要足够多

C:\Optics\ZEMAX\Samples\wor-sequential\source\sed_model.ZMX

Tools Reports Macros Extensions Window Help

pd Upa Gen Wav L3n L5n Dcl Dvr Rdb Gla ABg Pre

ent Editor

s Database Help

Material	# Layout Rays	# Analysis Rays	Power (Mi
PMMA	0.000000	0.000000	
MIRROR	0.000000	0.000000	
-	10	100000	
ABSORB	10.000000	10.000000	
MIRROR	0.150000	3.000000	
MIRROR	0.200000	0.050000	
MIRROR	0.050000	0.300000	
MIRROR	0.150000	3.000000	
MIRROR	0.200000	0.050000	
MIRROR	0.050000	0.300000	

结果分析

- Detector面设定

- 面大小
- 分辨率
- 输出形式

