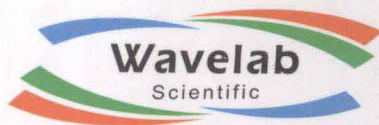
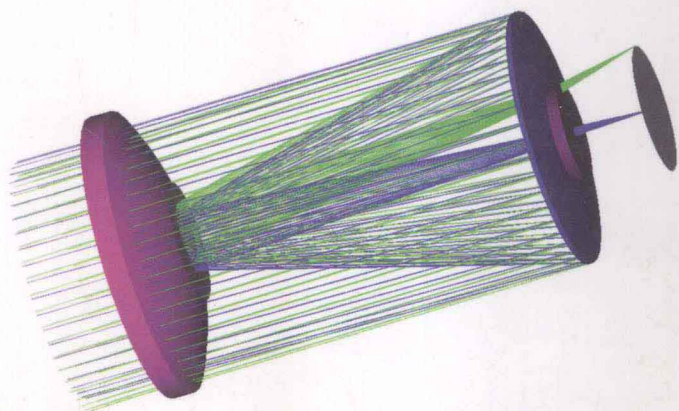


光学

设计丛书

2011最新出版

# ZEMAX序列成像设计指南



光研科学

WAVELAB SCIENTIFIC

[www.wavelab-sci.com.cn](http://www.wavelab-sci.com.cn)

荣誉出品



## 序言

首先我诚挚地感谢广大光电业，光学界，科研界和工业界同仁对光研科学的一直以来的关注和支持！

光研科学始于 2005 年，至今已经走过了五年的风雨历程。在这 5 年中，我们在各方面都取得了长足的进步与发展。如今，光研科学已经发展成为国内光学软件企业从业人数最多，年授课次数最多，软件销量最多的大中华区域实力最强的光电软件推广和培训咨询公司。我们代理的软件也高达 6 种，涵盖了光学

ZEMAX 2010 年度国际总结会议（旧金山）  
前排右二为 ZEMAX 营运总裁 Dr. Mark 马克博士

设计、热学设计、薄膜设计、激光设计、光子晶体和光通讯器件设计、LED 光源设计等众多软件。公司也积极引进和开发相关的光学测试设备，如光学传感仪、LED 色度照度检测仪、激光能量测试仪、红外热像仪等多种设备。产品无论从数量、质量以及种类上都有了显著的突破。同时，光研在全国各地每年举办 20 多场次的培训课程并提供客户定制化的企业上门培训，学员近千人，遍布世界各地。

公司于 2009 年 3 月和 2010 年 2 月陆续推出了两本光学书籍，取得了良好的市场反响和效果。今年 3 月，我们又将推出《ZEMAX 序列成像设计指南》一书。这是与《ZEMAX 非序列照明设计汇编》系列的光学设计书籍，光研科学全体团队始终充满激情，以传播知识为己任和乐趣。今年 3 月公司将全力推出这本新书。

该书着重于 zemax 序列光学设计中的技能介绍、小技巧、使用经验汇总和 zemax 使用者常见的问题解答，是针对有一定使用经历和光学设计基础的 zemax 客户。内容丰富详实，结合实例讲解，有 zemax 菜单中分析功能的详解，有几何光学的提升，有光学设计中难点光瞳瞄准的运用，有各种光学系统模拟的方法，有古典光学追迹理论的回顾等。通过参阅该书籍，能够快速指导光学设计师正确使用 zemax 软件的各种技能，提升光学设计师使用 zemax 的水平，充分发挥光学设计软件 zemax 的强大功能。

该书为从事光学、光电技术、仪器仪表、精密计量及光学检测等学术方面的研究人员、工程技术人员和在校学生参考使用。循序渐进，滴水穿石。阅读光研科学编辑的各种 zemax 辅导书籍的光学设计人员，通过读者不懈的努力，能够设计出性能优越且实用的光学系统。

由于编者水平，书中错误和不足之处也是在所难免，恳请各位专家、老师和广大读者批评指正。

黄胜弟  
光研科学董事长  
新加坡光电学会副主席  
美国 SPIE 工业展商董事



### 光研科学有限公司简介

光研科学是新加坡波长科技旗下的一间子公司。是亚太地区光学软件、光学硬件的权威级服务及供应商。

公司软件产品包括：  
ZEMAX 光学设计软件以及 GB Drawing 中文国标出图软件、PhotonDesign 光波导设计软件、LASCAD 激光腔体设计软件、TFCalc 薄膜设计软件、Prosource、Radiant Source 照明及光源设计分析软件、Gslover 光栅设计软件 以及 CYME 电力工程软件。

硬件产品包括：MTF 成像质量检测仪、LED 检查仪、激光光束测量仪、雪崩光电二极管 (APD) 与脉冲激光二极管 (PLD)、温度控制仪与激光二极管驱动器、红外热像镜头、LED 强光灯、视觉镜头、红外机芯等。

光研科学还负责相应的技术支持, 定期举办 ZEMAX 软件、LASCAD 软件、TFCalc 镀膜设计软件培训班, 以及光学设计相应书籍的出版及销售。光研科学将以提高用户满意为己任, 达到管理系统的连续改善, 光研科学有限公司有广泛的顾客范围, 从研发机关到工业和商业组织。

总公司位于新加坡, 这使我们可以提供一个高水平的顾客服务和顾客通信。我们的业务覆盖包括新加坡、马来西亚、泰国、中国大陆、台湾地区、印度、韩国和菲律宾。我们的公司宗旨将提高用户满意。在接下来的日子里, 我们会不断的自我提升, 以达到和超过每一位客户对我们的要求和期望。

### 联系方式:

光研科学有限公司 (新加坡总部)

Wavelab Scientific Pte .Ltd.

Tel: +65 65643659 Fax: +65 65649627

Email: info@wavelab-sci.com.cn

Http: www.wavelab-sci.com

光研科学有限公司 (南京)

Tel: +86 025-57929358 Fax: +86 025-57929359

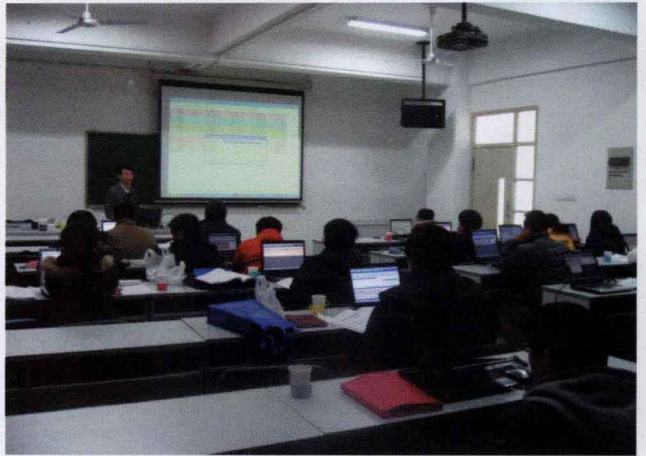
Email: sales@wavelab-sci.com.cn

Http: www.wavelab-sci.com.cn

光研科学(台湾)有限公司

Tel: +886 03-4021838 Fax: +886 03-4021172

Email: taiwan@wavelab-sci.com



## 目录

<b>第一章 分析功能</b> .....	- 5 -
1、如何在 ZEMAX 视图上绘制特定光线.....	- 5 -
2、如何倒转一个光学系统 .....	- 10 -
3、部分相干成像分析的演示 .....	- 16 -
4、在计算 MTF 时如何包含探测器分辨率 .....	- 28 -
5、快速调整工具和滑板工具的使用方法 .....	- 35 -
<b>第二章：3D 几何光学</b> .....	- 39 -
6、如何在序列光学系统中使用全局坐标 .....	- 39 -
7、如何改变光学元件的尺寸和形状 .....	- 52 -
8、为什么光线会追踪到折反镜的后面？ .....	- 55 -
9、离轴抛物反射镜揭秘 .....	- 63 -
10、如何利用坐标还原来恢复坐标系统 .....	- 77 -
11、怎样利用共轭面模拟椭圆面型 .....	- 82 -
12、如何模拟一个离轴抛物反射镜 .....	- 87 -
13、在序列的 ZEMAX 中怎么样建立一个分光镜模型 .....	- 94 -
14、如何模拟一个扫描镜 .....	- 116 -
15、如何在序列模式下使一个光学部件倾斜并且偏心.....	- 127 -
<b>第三章：光瞳成像</b> .....	- 139 -
16、如何使用渐晕因子 .....	- 139 -
17、'切趾' (Apodization) 这个术语什么意思？ .....	- 148 -
18、当使用光线瞄准时怎样指定光瞳移位因子.....	- 152 -
19、怎样使用光线瞄准 (Ray Aiming) .....	- 158 -
<b>第四章：系统模拟</b> .....	- 171 -
20、如何使用 ZEMAX 的黑箱加密功能.....	- 171 -
21、如何在有限共轭系统中模拟离轴抛物面反射镜.....	- 175 -
22、如何调试一个双通透镜文件 .....	- 181 -

23、什么是 ABCD 面？ .....	- 186 -
24、怎样使用找到最佳非球面工具？ .....	- 188 -
25、如何用泽尼克矢高表面来模拟一个全反射系统.....	- 192 -
26、如何使用 Zernike 面型来模拟未知光学元件，即“Black-Box”系统？ .....	- 196 -
27、如何模拟角隅反射器 .....	- 206 -
28、在 ZEMAX 中如何模拟人眼.....	- 223 -
29、人眼的 ZEMAX 模型.....	- 246 -
30、如何使用 ZEMAX 来帮助测量一个模压塑料透镜的内部误差 .....	- 255 -
31、如何设计一个将高斯光束转化为平顶光束的整形器.....	- 258 -
32、如何设计渐变式镜片 .....	- 265 -
33、火星漫游者相机镜头 .....	- 273 -
34、如何模拟一个自适应的光学系统 .....	- 288 -

## 第五章：光线追迹理论 .....

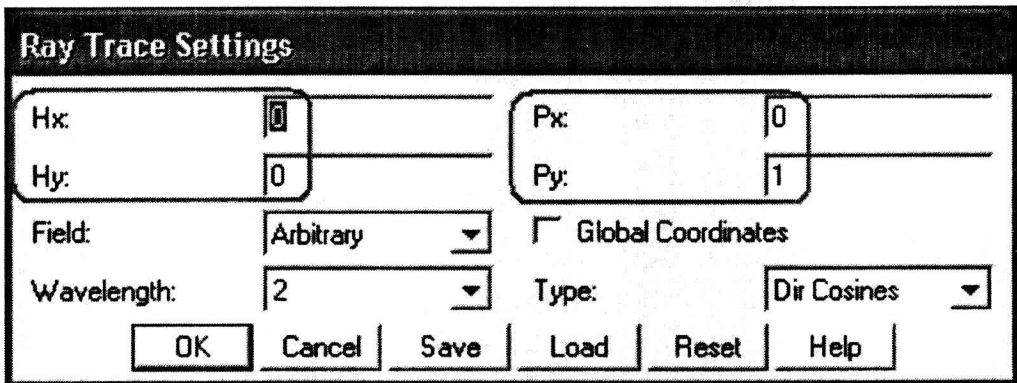
35、如何优化 MTF .....	- 321 -
36、什么是虚传播（Virtual Propagation）？ .....	- 329 -
37、什么是有效 F 数？ .....	- 331 -
38、什么是光线 .....	- 338 -
39、什么是点扩散函数？ .....	- 343 -
40、理解近轴光线-追迹 .....	- 357 -

# 第一章 分析功能

## 1、如何在 ZEMAX 视图上绘制特定光线

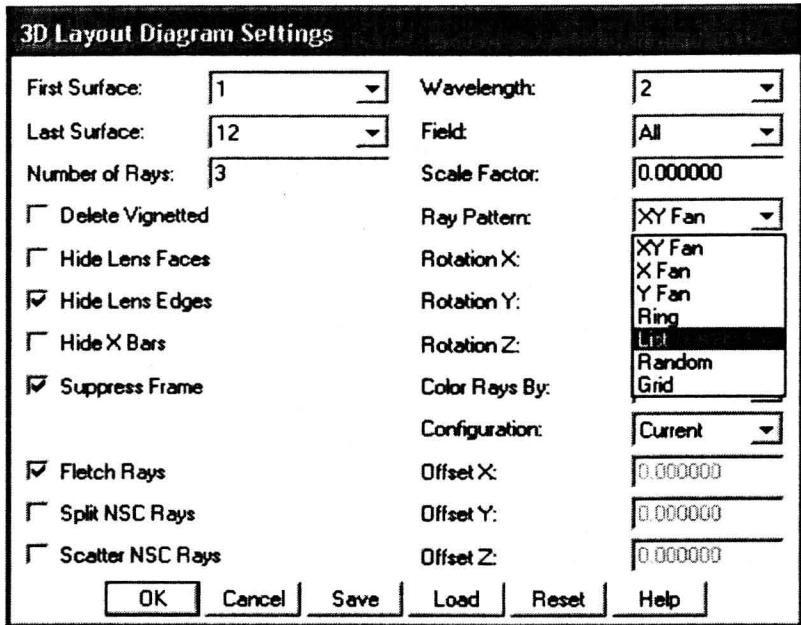
什么是光线列表？

光线的归一化视场和光瞳坐标（分别是 Hx, Hy, Px 和 Py）经常被用来准确的指明在 ZEMAX 中所需要分析的光线。例如，光线追迹（通过分析、计算得到光线轨迹）需要对 Hx, Hy, Px 和 Py 详细说明，其他的许多评价函数的操作数也是如此。



虽然光线追迹和评价函数操作数能够提供关于所给光线非常有价值的信息，但是能够定量分析一束特定光线在你的光学系统中传递的方式也非常有用。我们可以在 ZEMAX 中通过光线列表把这种特有的概念应用到各种输出图形设计中去。

在 ZEMAX 中的设计（不包括二维的设计）支持许多不同类型的光线模式，包括 XY Fan, X Fan, Y Fan, 环形, 随机, 网格和列表方式。我们通过选择列表作为“光线模式”，可以根据一个简单的文本文件追迹所有在设计平面上的光线。



这个文本文件名为“RAYLIST.TXT”，存放于 ZEMAX 的主目录中。注意文件名和目录必须一致。任何对文件名或者保存文件的目录的改变，会导致 ZEMAX 不能识别该文件。

RAYLIST.TXT 这个文件只是 ASCII 的格式，支持两种截然不同的方式来定义光线，本文接下来将详细地讨论这两种方式：

FOR MAT	SUMMARY	PA GE #
IMPLICIT	Rays are defined by the normalized pupil coordinates	<u>2</u>
EXPLICIT	Rays are defined by their starting coordinates, direction cosines, and wavelength.	<u>3</u>

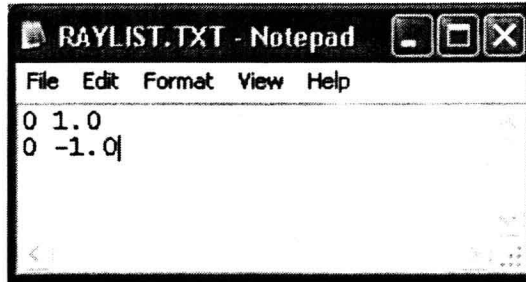
### 默认隐含的格式

IMPLICIT: RAYLIST.TXT 文件在默认隐含方式下，其每一行由两个数组成：Px 和 Py，它们归一化了光瞳坐标。形式如下：



Px Py

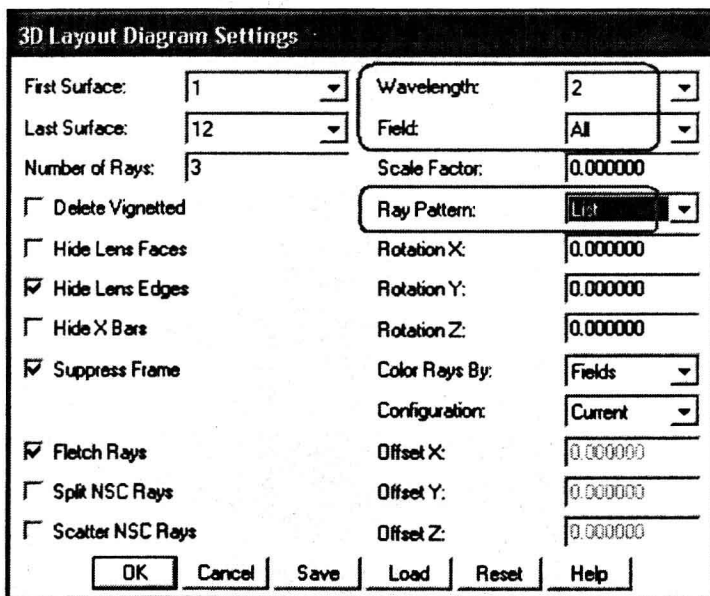
例如，在一个旋转对称系统中，我们在 RAYLIST.TXT 文件中用如下方法定义两条子午边缘光线：



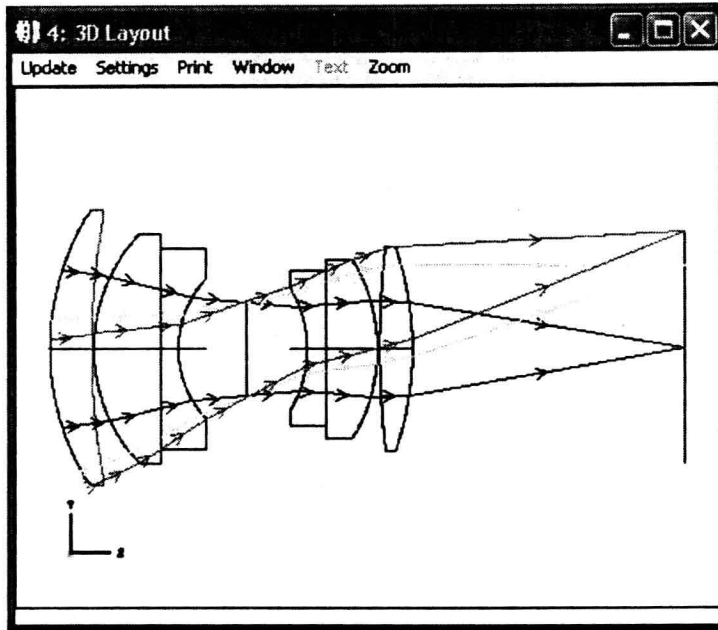
在设定单独的设计布局时，我们在所定义的视场和波长上追迹这些特别的光线。

我们举“Double Gauss 28 degree field.ZMX”样例文件 (ZEMAX/Samples/Sequential/Objectives directory) 为例。双高斯透镜系统的设计包括 3 个视场(0,10 和 14 度)以及 3 个波长(代表可见光谱的 F, d 和 C 波长)。

如果我们选择在基准波长(波长 2)和整个视场显示子午光线，ZEMAX 总共会画出 6 条光线。也就是说，一种波长情况下分别有 3 个视场，每个视场有两条子午光线。注意记得在“光线模式”选择“列表”模式。







明确的格式

EXPLICIT: 它包括 RAYLIST.TXT 中第一行中的 EXPLICIT 这个词，后面紧接着有  $x, y, z, l, m, n$  这些数值以及波数；其中  $x, y, z$  是光线的初始坐标， $l, m, n$  是光线的方向余弦，wavenumber 是用来指明波长的序数。

所有的坐标都在物空间。如果系统始终处于不断地变化当中，我们通常把空间坐标与平面 1 关联起来。如果物体处在一个有限空间，我们则把空间坐标与平面 0（物平面）关联起来。

明确格式的形式如下：

$x\ y\ z\ l\ m\ n\ \text{wavenumber}$

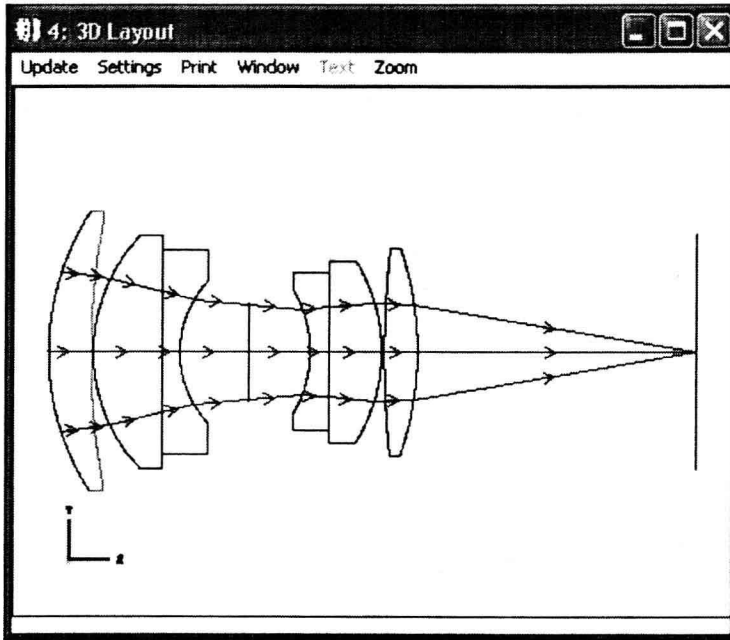
再次以“Double Gauss 28 degree field.ZMX”样例文件为例，编辑 RAYLIST.TXT 来追迹用如下初始坐标，方向余弦和波长所定义的光线：

```

RAYLIST.TXT - Notepad
File Edit Format View Help
EXPLICIT
0 0 -5 0 0 1 2
0 16.665 -5 0 0 1 2
0 -16.665 -5 0 0 1 2

```

当我们定义了一个明确的轨迹时，我们可以忽略对视场和波长的设定，只追迹那些在文件中被列出在表中的光线。在当前的样例中，上面所列出的三条光线的追迹如下：



### 总结和参考

光线列表是 ZEMAX 软件的特点，它提供了简单的方式来使任何数量的光线在 ZEMAX 设计版面上传播方式可视化（包括 2 维空间）。在 RAYLIST.TXT 文件中光线可能以两种方式来定义：

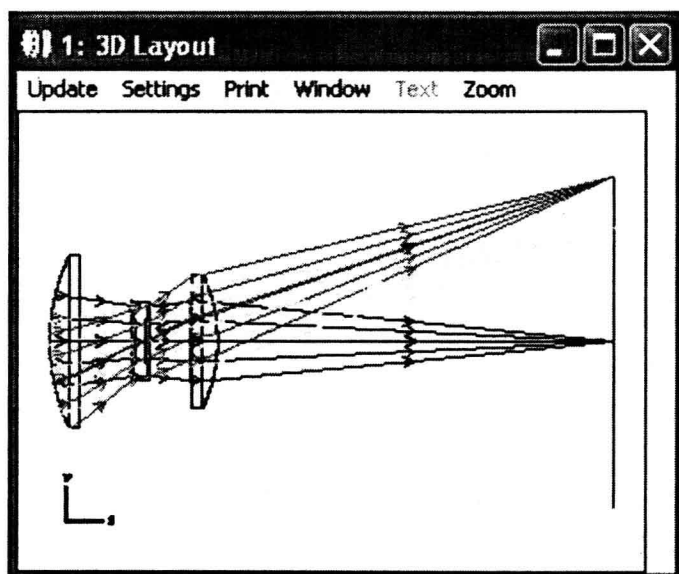
**IMPLICITLY:** 通过光线的标准光瞳坐标， $P_x$  和  $P_y$  来定义光线。

**EXPLICITLY:** 通过光线的初始坐标，方向余弦和波数来定义光线。

## 2、如何倒转一个光学系统

### 介绍

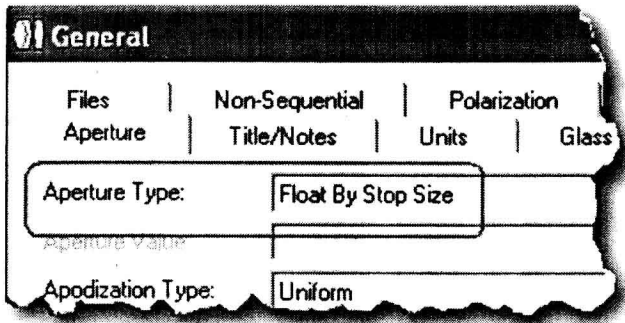
“Reverse Elements”工具是用来倒转一个光学系统中的一个单独的元件或是一系列的元件。尽管这并不是为了倒转一个完整的光学系统这样一个目的而设计的工具，但是通过一些简单的其他的步骤，它还是毫无疑问地可以适用于这个目的。



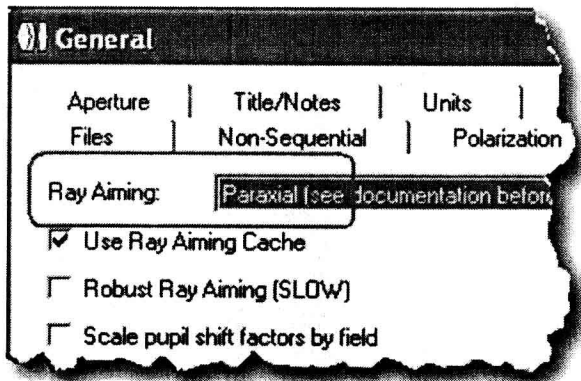
### 倒转系统的准备工作

为了论证如何在 ZEMAX 中倒转一个完整的光学系统，请下载本篇文章最后一页的附件中所续的 ZEMAX 文件。这是一个典型的在无限共轭的 Cooke 三片式照相物镜系统。

在倒转一个系统的时候，我们需要采取的第一步，就是考虑在倒转后的系统中，需要使用什么样的系统孔径值。如果是可行的话，在“Float By Stop Size”中改变系统孔径值。由于相同的系统孔径值能够同时用于原来的和倒转后的系统，所以这个值是优先的。如果这个是不可行的，我们将需要考虑如何来把我们的系统孔径值从像空间转化到物空间（即，将入瞳直径和出瞳直径交换）。在这个实例的情况中，“Float By Stop Size”将会运作良好。这些可以通过“menu”选项来设置，“System-General-Aperture”：



下一步，打开近轴光线瞄准是个好办法。即使原来的系统并没有光瞳的像差，但是这不一定在系统倒转后同样没有像差。光线瞄准的功能可以通过“menu”选项来实现，“System-General-Ray Aiming”。让我们继续前进，为这个实例进行这一步操作：



关于在 ZEMAX 中如何使用光线瞄准，我们可以查阅手册以得到更多的信息。

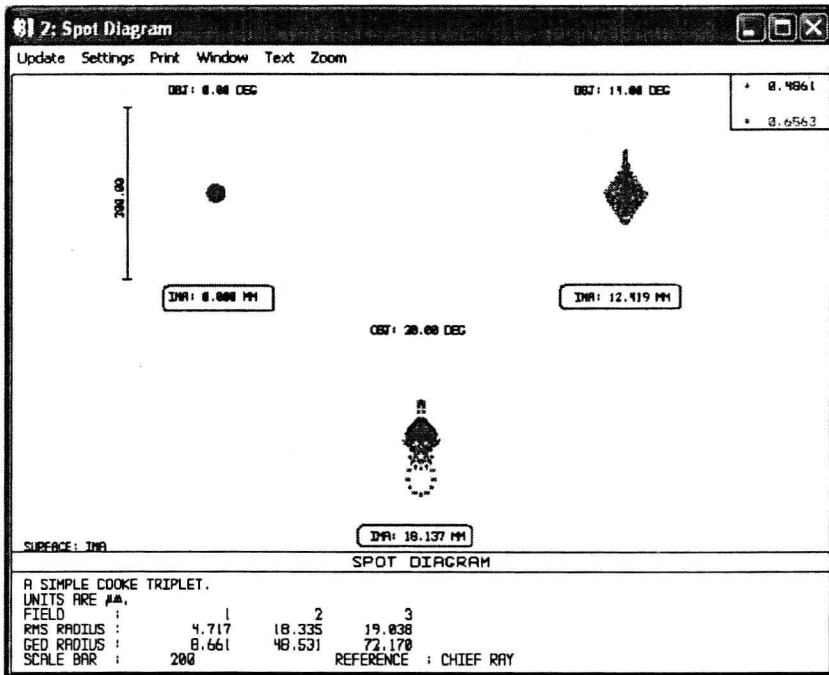
当我们倒转光学系统的时候，为了使我们光学元件的尺寸和光学参数的大小不发生变化，我们将会使每个面上口径的值确定。通过使用“menu”选项“Tools-Apertures-Convert Semi-Diameters to Circular Apertures”，这个步骤可以轻而易举地完成。

在继续进行操作之前，我们也需要考虑一下这个问题：在倒转后的系统中，我们将要怎样来定义视场。为了完成这一点，我们将会需要知道它打在像面上的位置，或是它在像面处的角度，从而得出原来的系统中像平面上每一个视场点所对应的主光线。如果倒转后的系统在物空间是聚焦到一个点上的话，那么，通过光线落下的位置或是下落的角度数据就可以得出角度值或是物方的高度



值，从而用来明确地指定视场。另一方面，如果倒转后的系统在物空间不是聚焦在一个点上，也就是聚焦在无限远处的平行光的话，我们将需要来通过主光线下落的角度数据以角度的方式来明确地指定视场。光线落下的位置和下落的角度数据可以由光线的追迹计算来得出（“menu”选项“Analysis-Calculation-Ray Trace”）。光线落下的位置数据也可以通过对点列图的分析来得出（通过一个主光线的参照）。

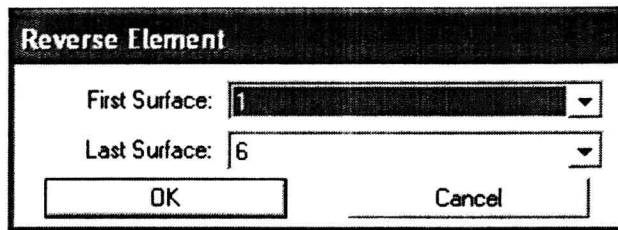
在这个实例中，倒转后的系统将会被聚焦在物空间，所以，我们可以利用主光线的位置得出像平面上的每个点。单击按钮栏中的“Spt”按钮，打开一个点列图的窗口。然后，对每一个场点的图像坐标作记录：



在这个实例中，图像坐标是 0，12.419，和 18.137mm。这些将会被用于倒转后的系统中物方高度的视场点定义。

### 倒转系统

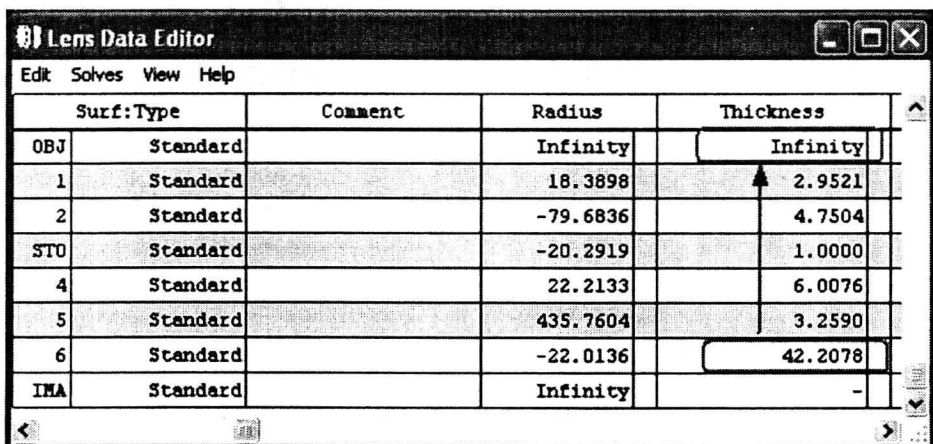
接下来，倒转系统中所有的光学平面。通过使用“Reverse Elements”工具（“menu”选项“Tools-Miscellaneous-Reverse Elements”），这一步很容易完成。当我们明确地指定了需要倒转的平面的范围的时候，包括除了物平面和像平面以外的全部的平面：



在下一步需要完成的任务取决于原来的系统的一些性质：

物空间	像空间	如何转变厚度
聚焦	聚焦	用像平面之前的平面的厚度和物平面的厚度交换
不聚焦	聚焦	把像平面之前的平面的厚度拷贝到物平面
聚焦	不聚焦	把物平面的厚度拷贝到像平面之前的平面, 将物平面的厚度设置为无限大
不聚焦	不聚焦	不必作任何变化

在这个实例中，原来的系统在物空间是无限远的平行光，聚焦在像空间。所以，把像平面之前的平面的厚度拷贝到物平面：

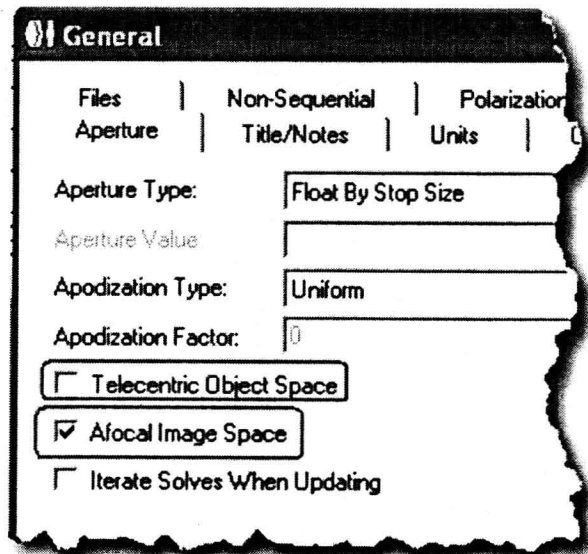


现在，我们有：

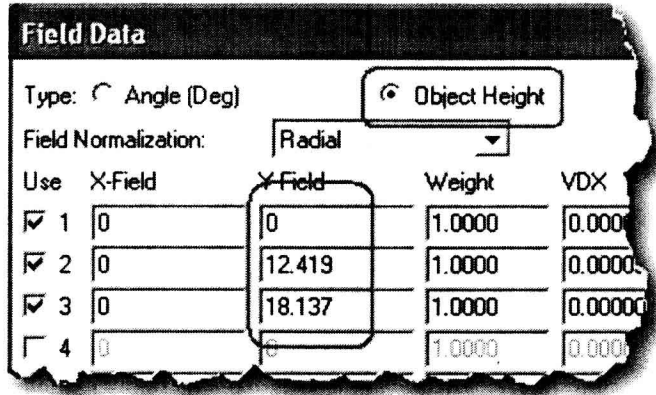
Lens Data Editor				
Edit Solves View Help				
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness
OBJ	Standard		Infinity	42.2078
1	Standard		18.3898	2.9521
2	Standard		-79.6836	4.7504
STO	Standard		-20.2919	1.0000
4	Standard		22.2133	6.0076
5	Standard		435.7604	3.2590
6	Standard		-22.0136	42.2078
IMA	Standard		Infinity	-

接下来，我们可能需要改变“General”对话框中“Aperture”标签下的“Afocal Image Space”这个选择方块。如果原来的系统在像空间是不聚焦的话，我们就不应该选中这个选项。换言之，如果原来的系统在像空间是聚焦的（就像文中这个实例的情况这样），我们就需要选中“Afocal Image Space”这个选择方块。

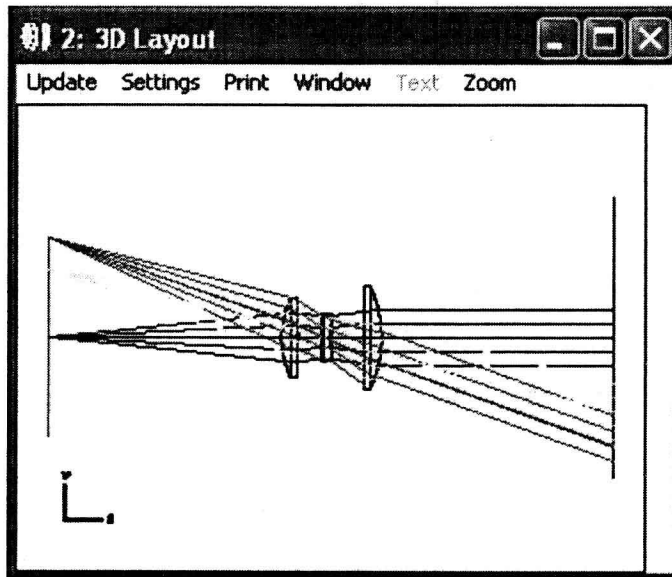
同样地，我们可能需要改变“General”对话框中“Aperture”标签下的“Telecentric Object Space”这个选择方块。如果原来的系统在像空间是远心的话，我们就应该选中这个方块。换言之，如果原来的系统在像空间不是远心的（就像文中这个实例的情况这样），我们就一点要保证“Telecentric Object Space”这个选择方块是没有被选中的：



最后，我们将需要像前面所提到的那样，转换我们的视场定义。既然我们原来的系统是在物空间不聚焦，在像空间聚焦，那么，我们就用原来的主光线的像坐标作为物方高度，来设置倒转后的系统中的场点：



现在，如果我们打开一个新的“layout”窗口，我们就可以看到，原来的光学系统已经被成功地倒转了：



## 结论

尽管这并不是它原本预期所要达到的目的，但是 ZEMAX 中的“Reverse Elements”工具对于倒转一个完整的光学系统是非常有用的。通过使用这个工具，同时还有少许其他的简单的步骤，在 ZEMAX 中，一个光学系统可以很简单地被倒转。



### 3、部分相干成像分析的演示

#### 介绍

部分相干成像分析可以使用三种传递函数中任一种来实现：非相干、相干和部分相干。当使用非相干的传递函数来生成衍射图像时，衍射的效应被考虑，然而，光源上的每个点和其它所有的点被看作是不相干的关系。同样地，空间干涉的影响被忽略不计了。当使用相干传递函数时，每个光源点和其它所有光源上的点都是相干的关系。

对于部分相干，它的情形更加复杂。当使用部分相干传递函数时，光源上的每两个点互相之间的关系都会存在一个不同的相干水平。点和点之间的相干程度依赖于一个含有参量的函数。一般而言，两个点之间的距离越近，它们的相干程度就越好。

部分相干传递函数适用于很多现实世界的光源。例如，在照片平版印刷的应用中，我们所用到的典型光源就不是完全相干的。晶片上成像时的部分相干效应是十分重要的。



请在文章结尾处下载相关的文件“Partial\_Start.zip”

一旦你下载了这个文件，可以把它解压到任何只要你愿意的目录。把“BAR.IMA”文件复制到你的{Zemaxroot}/IMAFiles 目录。然后，打开 ZEMAX 文件“Partial\_Start.ZMX”。这是一个通过轴上光线工作的 Cooke 三片式照相物镜。