

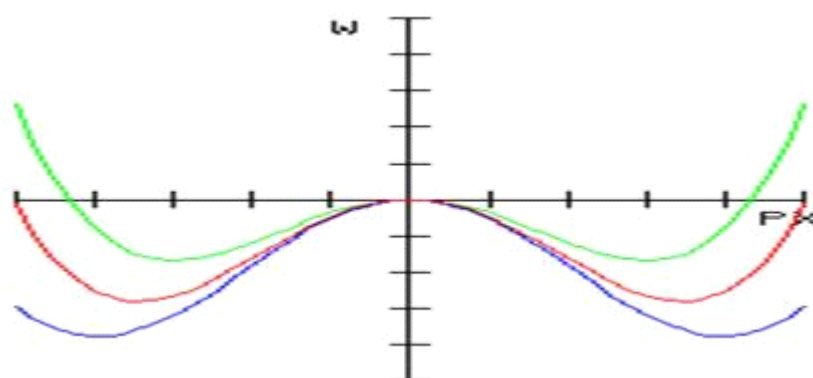
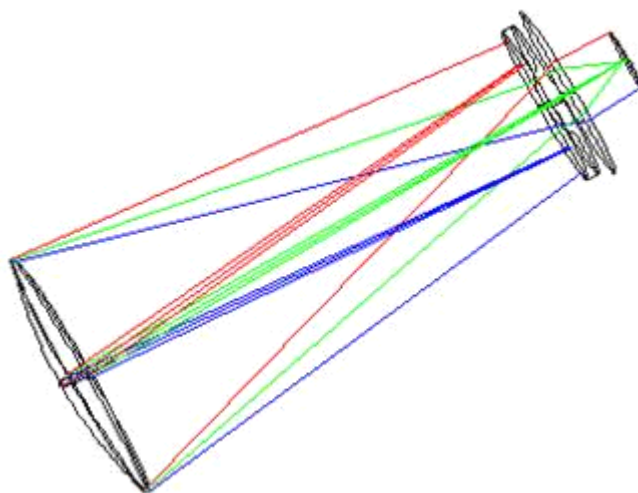
ZEMAX 光学辅助设计简明教程

沈常宇

标题：封面

ZEMAX 光学辅助设计简明教程

沈常宇



中国计量学院光电子技术研究所



标题：目 录

第一章 引言.....	3
第二章 ZEMAX 的基本界面及文件菜单.....	4
第三章 编辑菜单.....	6
第四章 系统菜单.....	12
第五章 分析菜单.....	17
第六章 工具菜单.....	29
第七章 报告菜单.....	36
第八章 宏指令菜单.....	38
第九章 扩展命令菜单.....	39
第十章 表面类型简介.....	40
第十一章 设计优化实例.....	46



标题：第一章 引言

对于实际的光学系统来说，它的成像往往是非完善成像，对于怎样来判断一个光学系统的性能的优劣，是光学设计中遇到的一个重要问题。在当前计算机辅助科研、教学的迅猛发展过程中，计算机辅助光学系统设计已成为光学设计不可缺少的一种重要手段。其中，由美国焦点软件公司所发展出的光学设计软件 ZEMAX，可做光学组件设计与照明系统的照度分析，也可建立反射，折射，绕射等光学模型，并结合优化，公差等分析功能，是套可以运算 Sequential 及 Non-Sequential 的软件。其主要特色有分析：提供多功能的分析图形，对话框式的参数选择，方便分析，且可将分析图形存成图文件，例如：*.BMP，*.JPG. . . 等，也可存成文字文件*.txt；优化：表栏式 merit function 参数输入，对话框式预设 merit function 参数，方便使用者定义，且多种优化方式供使用者使用；公差分析：表栏式 Tolerance 参数输入和对话框式预设 Tolerance 参数，方便使用者定义；报表输出：多种图形报表输出，可将结果存成图文件及文字文件。

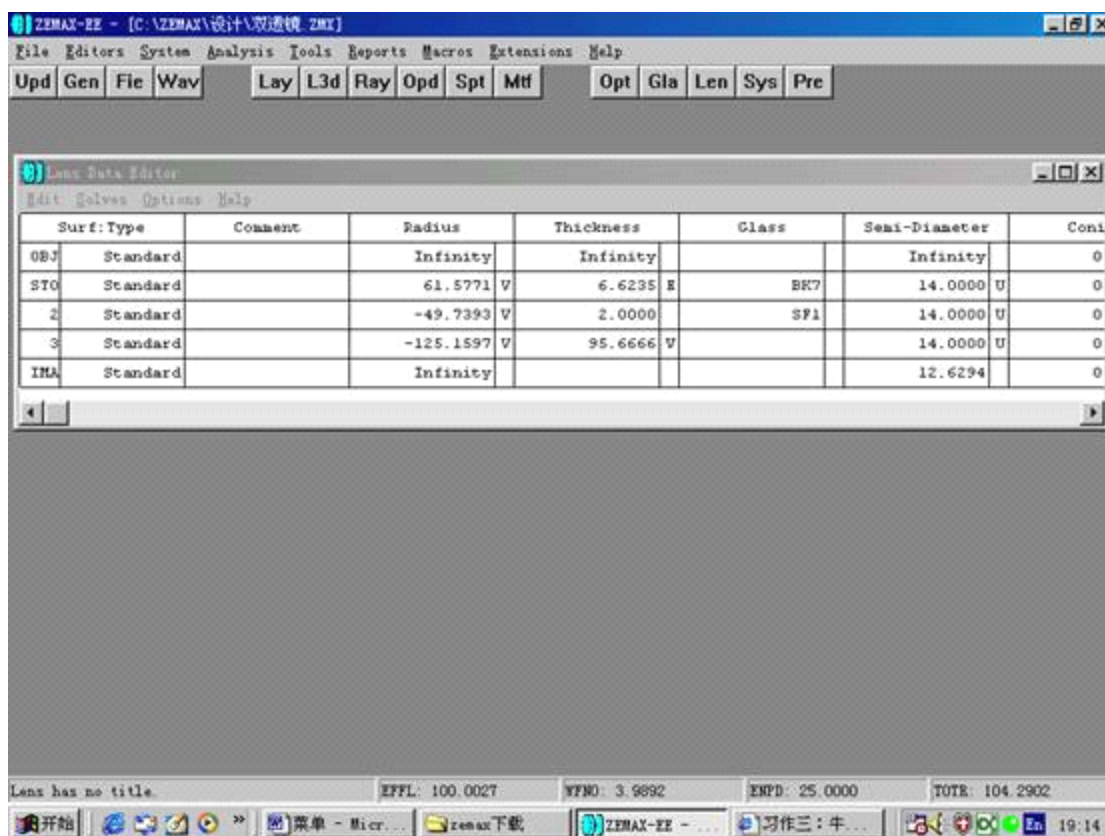
但是，这里必须强调一点的是，ZEMAX 软件只是一个光学设计辅助软件，也就是说，该软件不能教你怎么去进行光学设计，而只是能对你设计的光学系统进行性能的优化以达最佳成像质量。所以，在应用本教程进行光学辅助设计之前，您最好先学习一下光学设计的有关知识：首先是几何光学基础，几何光学是光学设计的基础。要做光学设计必须懂得各种光学仪器成像原理，外形尺寸计算方法，了解各种典型光学系统的设计方法和设计过程。实际光学系统大多由球面和平面构成。记住共轴球面系统光轴截面内光路计算的三角公式，了解公式中各参数的几何意义是必要的，具体公式可参考有关光学书籍，在此就不一一介绍了。对于平面零件有平面反射镜和棱镜，它们的主要作用多为改变光路方向，使倒像成为正像，或把白光分解为各种波长的单色光。在光学系统中造成光能损失的原因有三点：透射面的反射损失、反射面的吸收损失和光学材料内部的吸收损失。其次是像差理论知识，对于一个光学系统，一般存在 7 种几何像差，他们分别是球差、彗差、像散、场曲、畸变和位置色差以及倍率色差。另外，还必须了解一点材料的选择和公差的分配方面的知识，以及一些光学工艺的知识，包括切割，粗磨，精磨，抛光和磨边，最后还有镀膜和胶合等。

标题：第二章 ZEMAX 的基本界面及文件菜单

2010 年 01 月 13 日 13:51 -1 学习时间：20 分钟 评论 1 条

§ 2.1 ZEMAX 的基本界面

ZEMAX 的基本界面比较简单，如下图所示。
包括一系列文件菜单和工具按钮，以及一个镜头数据编辑对话框。



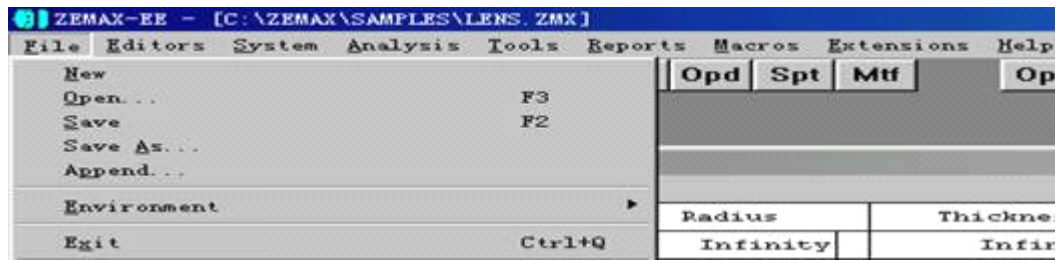
Zemax 基本界面中有不同的窗口，各窗口有不同的用途，主要有：

- (1) 主窗口：这个窗口有一个工作区和一个标题栏、一个菜单栏、一个工具栏。
- (2) 编辑窗口：主要由透镜数据编辑窗口（LDE），优化函数编辑窗口，复合构造编辑窗口等组成。
- (3) 图表窗口：用于显示数据、图表等，如设计布局图、扇型光线图等。
- (4) 文本窗口：显示文本数据，如边缘厚度、像差系数等。

下面将详细介绍各菜单及其子项的使用方法和功能：

§ 2.2 文件菜单的各子项

文件菜单的各子项如图所示。



1. 新建 (New)

目的: 清除当前的镜头数据. 说明: 此选项使 ZEMAX 恢复到起始状态. 当前打开的窗口仍然打开, 如果当前的镜头未保存, 在退出前 ZEMAX 将警告你要保存镜头数据.

2. 打开 (Open)

目的: 打开一个已存在的镜头文件. 说明: 此选项打开一个新的镜头文件. 当前打开的窗口仍然打开, 如果当前的镜头未保存, 在退出前 ZEMAX 将警告你要保存镜头.

3. 保存 (Save)

目的: 保存镜头文件. 说明: 此选项用于保存镜头文件, 当将文件保存为另一名称或保存在另一路径下时, 用“另存为”选项.

4. 另存为 (Save as)

目的: 将镜头保存为另一名称. 说明: 此选项将文件保存为另一名称或保存在另一路径下.

5. 附加 (Append)

目的: 将以前保存的镜头数据附加到当前镜头文件中. 说明: 这一选项同“打开”选项类似, 但当前镜头数据并未覆盖. 当选择文件附加后, ZEMAX 会提示新镜头插入面的数字, 并为新数据让出空间. 对话框中也有“Ignore Object”检验栏, 缺省时将忽略新镜头的厚度. 这样, 新镜头数据将被附加在表面 1 而不是表面 0. 虽然这一特性能保存许多键入的镜头, 但是结果镜头包含一些特殊的表面, 需稍加手工编辑达到希望的结果.

6. 环境 (Environment)

ZEMAX 允许使用一些能被设置和保存的选项, 当 ZEMAX 运行时, 这些选项可被自动选择. 主要配置文件是 ZEMAX.CFG, 这一文件能被删除, 缺省时退回到启动配置. 环境选项分为以下几组.

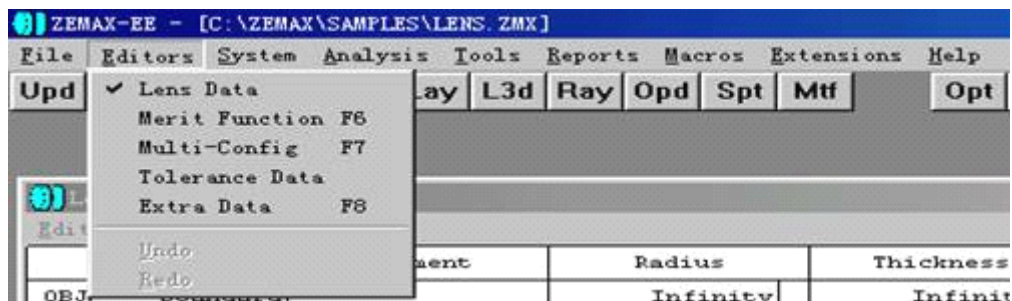
7. 退出 (Exit)

目的: 退出 ZEMAX. 说明: 如果镜头已被更改, ZEMAX 会提醒你保存镜头, 否则, 将终止程序.

标题：第三章 编辑菜单

2010 年 01 月 13 日 15:46 -1 学习时间：20 分钟 评论 1 条

编辑菜单（Editors）如下图所示：包括 Lens Data, Merit Function, Multi-Config, Tolerance Data, Extra Data 等。



§ 3.1 镜头数据 (Lens Data)

镜头数据编辑器是一个主要的电子表格，将镜头的主要数据填入就形成了镜头数据. 这些数据包括系统中每一个面的曲率半径、厚度、玻璃材料. 单透镜由两个面组成 (前面和后面)，物平面和像平面各需要一个面，这些数据可以直接输入到电子表格中. 当镜头数据编辑器显示在显示屏时，可以将光标移至需要改动的地方并将所需的数值由键盘输入到电子表格中形成数据. 每一列代表具有不同特性的数据，每一行表示一个光学面 (或一个). 如图所示.

Surf: Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Coni
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		0.0000	0
STO	Standard	Infinity	0.0000		0.0000	0
IMA	Standard	Infinity			0.0000	0

移动光标可以到需要的任意行或列，向左和向右连续移动光标会使屏幕滚动，这时屏幕显示其他列的数据，如半口径，二次曲线系数，以及与所在的面的面型有关的参数. 屏幕显示可以从左到右或从与右到左滚动. ”Page Up” 和 ”Page Down” 键可以移动光标到所在列的头部或尾部. 当镜头面数足够大时，屏幕显示也可以根据需要上下滚动.

3.1.1 插入或删除面数据 (Inserting and deleting surfaces)

在初始状态 (除非镜头已给定) 通常显示三个面：即物面、光栏面、像面. 物面与像面是永有的，不能删除. 其它面可以用 ”Insert” 和 ”Delete” 键插入或删除. 物平面前和像平面后不能插入任何面. 这里的 ”前面” 表示一个序号较小的面，而 ”后面” 表示一个序号大的面. 光线顺序地通过各个表面，ZEMAX 中的面序号是从物面，即第 0 面，到最后一个面 (即像面) 排列的. 若想在电子表格中输入数据，移动光标到正确的方格，然后从键盘输入. 可以用 ”BackSpace” 键编辑修改当前的数据，一旦你要编辑方格中的内容，可以用 ”Left”， ”Right”， ”Home”， ”End” 键浏览整个文件. 当数据已改好时，按任意光标键或点击屏

幕的任意位置或按“Enter”键可结束当前编辑.在数据编辑器中还有一些快捷方法:若要增加当前的值,在数字前写一个加号,例如如果显示的数据是10,键入“+5”按“Enter”键,数字会变为15.符号“*”和“/”也同样有效.要减少数字,可用负号和一个空格.如输入“-5”可以将17变为12.注意这里“-”和“5”之间必须有一个空格,如果不输入一个空格,程序会认为是你输入的是一个负的新数值.输入“*-1”可以改变数值的正负号.

3.1.2 输入面注释(Entering surface comments)

每个面都有一个注释栏,通过它可以输入最大到32个用户文本字符,这些注释能增强镜头特性的可读性,且不影响光线追迹.在某些分析功能中也会显示这些面的注释.整个注释内容都可以被隐藏.参见下面“OPTIONS”菜单中的说明.

3.1.3 输入半径数据(Entering radii data)

为输入或改变一个面的曲率半径,移动光标到所要的方格中,将新的数据键入.半径数据通常用透镜的计量单位输入和显示,这些计量单位是表示长度的.输入厚度(Entering thickness data)为输入或改变面的厚度,移动光标到所要的方格中,将新的数据键入,厚度数据通常用透镜的计量单位输入和显示.面厚度表示一个面到另一个面的距离.像平面的厚度是唯一不被使用的数据.通常在一个反射镜后改变厚度符号.奇数次反射后,所有的厚度都是负的,这种符号规定与反射镜的序号和当前的坐标转折无关.这种基本规定不能通过将坐标旋转180度来代替.

3.1.4 输入玻璃数据(Entering glass data)

每个面所用的玻璃材料是通过将玻璃名写入镜头数据编辑器的“Glass”中来的确定的.玻璃名字必须是当前已被装载的玻璃库中的玻璃名称之一,缺省的玻璃目录是“Schott”,其它目录也是可选用的.要使用多个玻璃库或查阅、编辑、添加玻璃目录,参见“使用玻璃库”这一章.如要把某一个表面定为反射面,这一面的玻璃应命名为“Mirror”.当输入新玻璃时,可在玻璃名称上添加“/P”选择项,这个选项可以使ZEMAX通过改变前后面的曲率半径来维持该面前后顶点间的光焦度保持不变.例如,如果玻璃已选择为BK7,输入一个新玻璃“SF1/P”将使玻璃变为SF1,同时调整前后面半径使光焦度保持不变.ZEMAX能保持顶点间的光焦度保持不变,但是由于玻璃的光学厚度的改变,整个光焦度将会有微小的改变,这种影响对薄透镜是很小的.

3.1.5 输入半口径数据(Entering semi-diameter)

半口径的缺省值是由通过追迹各个视场的所有光线沿径向所需的通光半径自动计算获得的.如果半口径值已给定,那么这个给定的数据旁将有一个“U”,这说明此半口径是用户定义的,这个半口径只影响外形图中各面的绘图,不反映面的渐晕.

3.1.6 输入二次曲面数据(Entering conic data)

许多不同的曲面面型中都允许有二次曲面数据.输入或改变一个面的二次曲面系数时,移动光标到所需的方格,键入新数值即可.二次曲面系数不是长度度量.参见面型关于二次曲面的定义.

3.1.7 确定光阑面(Defining the stop surface)

光阑面可以是系统中除去物面和像面的任意一面.要改变光阑面,可双击将成为光阑面的这一行最左边的一列(即有数字的一列),把面型对话框打开,单击“Make Surface Stop”标签,对话框消失,这个面显示“ST0”,而不是面序数.确定光阑面时保证如下前提是很重要的:即使入射光瞳与物面同轴,假定此系统有坐标转折,偏心,全息,光栅以及其它能改变光轴的组件,应将光阑放在这些面之前.如果系统是关于光轴旋转对称的,那么这种限制

就不需要了. 只有使用了使光轴产生偏心或倾斜的面的系统, 才要求将光阑放在这些面之前. 如果坐标发生转折, 对只是由反射镜组成的另一种共轴系统, 那么即使光阑面放在这些反射镜后, 光瞳位置也可以正确地计算出来. 在某些系统中是不可能将孔径光阑放在坐标转折前的, 因此, 必须对光线进行定位, 光线定位将在系统菜单 (System Menu) 一章中讲解.

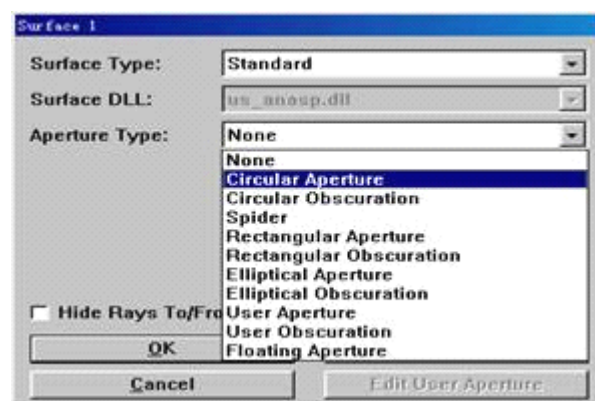
3.1.8 选择面型 (Selecting surface types)

ZEMAX 中的面有平面, 球面, 二次曲面. 所有这些面型都是在标准面型的基础上组合而成的. 双击镜头数据编辑器最左一列, 显示面型数据对话框. 对话框里有一行是面型, 从下拉菜单中选择适当的面型. ZEMAX 提供了包括标准型的多种面型. 许多光学设计只使用标准面型.

3.1.9 各面通光口径的确定 (Specifying surface apertures)

各面的通光口径用来考虑渐晕的影响. ZEMAX 中有 11 种通光口径类型: 无口径, 环形口径, 环形挡光, 长方形口径, 长方形挡光, 椭圆口径, 椭圆挡光, 星型挡光, 用户自定义口径, 用户自定义挡光和浮动口径. 口径和挡光是用通过和阻拦光线的面积来分别定义的. 当通光口径被定义在一个面时, ZEMAX 将在面序号前显示 “*”, 或

在数据编辑器中说明. 可以在需要的位置插入一个厚度为 0 的虚拟面, 然后在此面上设定附加口径, 从而在某一个光学元件中设定一个以上的口径, 这对结构复杂的口径是很有用的. 多重口径或挡光也可以由用户自定义其特性而同时放在一个单独的面上. 可以在面数据对话框中为每个面设置通光口径. 双击镜头数据编辑器最左边一列可产生面数据对话框. 当口径类型为 “无口径” (缺省值) 时, 所有反射和折射的光线都允许通过该面. 通过一个面的光线完全与镜头数据编辑器中的半口径值无关. 这些设置的半口径数据只在绘制镜片元件图时起作用, 不决定渐晕. 为把口径变成缺省值或改变当前口径的类型, 可以在面数据对话框中选择其它的口径类型. 如图所示.



下面分别讲述各个口径类型.

(1) 环形口径/挡光: 环形口径是由环形面积定义的, 到达该面时小于最小半径和大于最大半径的光线被拦掉. 最小与最大半径之间的光线允许通过. 环形挡光与环形口径互补.

(2) 长方形口径/挡光: 如光线与该面的交点在由长方形的半宽度 x , y 决定的长方形面积以外, 光线被阻止通过该面. 长方形挡光与长方形口径互补.

(3) 椭圆口径/挡光: 如光线与该面的交点在由椭圆的半宽度 x , y 决定的椭圆面积以外, 光线被阻止通过该面. 椭圆挡光与椭圆口径互补.

(4) 星形：星形是由每臂的宽度和臂数定义的. ZEMAX 中假定取相同臂长，相同转角分布. 第一个臂取沿 x 轴正向角度为零的位置. 具有不同臂长和不同转角分布的复杂星形可以用相邻的多个虚拟面上的几个星形构成. 坐标转折面可以将星形旋转至任何想要的角度.

(5) 用户自定义口径/挡光：参见下一节中的详述.

(6) 浮动口径：除了最小半径一直为零外，它与环形口径是相似的. 最大半径与该面的半口径相同，由于半口径值可以用 ZEMAX 调整

(在自动模式下)，因而口径值随半口径值浮动. 当宏指令或外部程序追迹缺省半口径以外的光线时，浮动口径是很有用的，它可以将这些光线拦掉. 上述的所有口径都是由顶点的子午面向光学面投影模拟的. 实际光线与表面交点的坐标 x , y 用来决定渐晕， z 坐标被忽略. 如果口径被放在当作光学面前面的虚构面而不是直接放在曲面上，那么对陡峭的光学面来说，会有不同的计算结果. 只有在入射角很陡时这种情况才会发生. 除非虚构面能更精确地代表你的现状，通常最好将口径直接放在光学面上. 用输入 X 偏离量或 Y 偏离量或 X 、 Y 偏离量的方法，所有类型的口径都可以偏离当前光轴，. 这种偏离量以透镜计量单位给定. 记住偏离不会改变主光线，光栏必须与物体同轴. 例如：设计一个离轴望远镜，可以将光栏放在光轴和离轴系统中.

(7) 用户自定义口径和挡光 (User defined apertures and obscurations)

通常，可以方便地使用环形，长方形，椭圆口径和挡光，它们包括了大多数情况. 但是，有时候需要一个更广义的口径. ZEMAX 允许用户用一系列有序数对 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , ..., (x_n, y_n) ，来定义口径. 这些点是多边形的顶点. 多边形可以是任何形状，且可以用简单或复杂的方式封闭. 复合多边形可以定义成嵌套或独立. 建立用户自定义口径或挡光，从口径类型列表中选择需要的类型 (口径或挡光) 然后点击 “Edit User Aperture”，将会出现一个允许编辑和滚动定义多边形的点的列表框. 这是一个简单的文本编辑器. 该面的 X 和 Y 的坐标可以直接输入，用一组 X 和 Y 都设置为 0 的数据行表示多边形的端点. 因而多边形不能用顶点为 $(0, 0)$ 的点定义. 若一个顶点必须定义为 $(0, 0)$ ，那么将用一个非常小的值代替其中的一个. 例如 $(1e-6, 0)$ ，只要至少有一个坐标不为 0，那么这个点就被认为是顶点而不是表示多边形的端点. 最后列出的顶点被认为与第一个点相连. 例如定义一个边长为 20 单位的矩形. 这些点为

```
-10, -10
-10,  10
 10,  10
 10, -10
 0,   0
```

注意，最后一个点与第一个点是被假定相联的. 因而定义了矩形的最后一条边. 复合多边形用坐标为 $(0, 0)$ 的行将其分开. 例如，由两个狭缝组成的口径，每个狭缝的宽度是 5 个单位，狭缝之间相隔 10 个单位，这些点为：

```
-10, -10
-10,  10
 -5,  10
 -5, -10
 0,   0
 10, -10
 10,  10
```

5, 10
5, -10
0, 0

复合多边形也可以被嵌套. 若一条光线的交点落在一个多边形中, 而这个多边形又位于另一个多边形里面, 那么这个点被认为是在口径外. 允许在一个口径中定义一个岛形 (Islands), 使其变为挡光, 反之亦然. 允许有多层嵌套, 每层都产生点的在内和在外的状态. 允许用户自定义口径中的点的最大数目为 100.

3.1.10. 到达表面和从表面射出的光线的隐藏 (Hiding rays to and from surfaces)

面对话框中有一个 “hiding” 选项, 可把到达表面和从表面射出的光线隐藏起来. 若此选项被选中, 在输出的各种外形图中被选中的面上将不绘制到达或从面上射出的光线.

3.1.11. 设置和撤销求解 (Setting and removing solves)

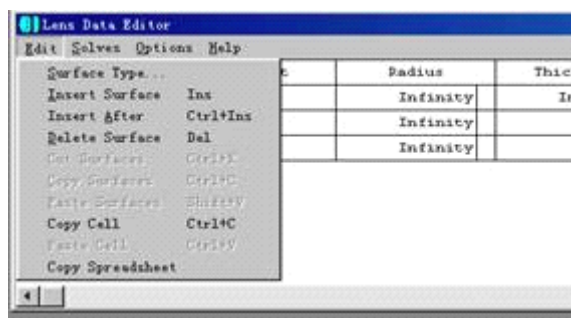
大多数数据列 (如半径和厚度) 会有一种或多种求解的方法. 在一个方格中设定解, 在该位置处双击鼠标左键, 单击鼠标右键或者在镜头数据编辑器中选择菜单都可实现上述功能.

3.1.12. LDE 窗口的选项菜单 (Menu options)

镜头数据编辑器中的选项栏用来插入和删除面数据, 选择面型, 和设置解和变量.

1. 编辑 (Edit): 编辑菜单中提供以下选项, 如图所示:

面型 (Surface Type): 这个选项可以改变面型.



插入面 (Insert Surface): 在电子表格的当前行中插入新面. 快捷方式: Insert.

后插入 (Insert After): 在电子表格的当前行后中插入新面. 快捷方式: Ctrl-Insert.

删除面 (Delete Surface): 删除电子表格的当前行. 快捷方式: Delete.

剪切面 (Cut Surface): 将单面或多个面数据复制到 Windows 剪切板上, 然后删除这些面. 单面或多面必须用以下的任一种方式选中. 用鼠标: 单击所要选中的第一面. 按住左键拖动鼠标将所选的面覆盖. 被选中的面会用当前显示色的反色显示. 若只选一个面, 从所要的面处上下拖动鼠标至两行被选中, 然后将鼠标拖回到所要的行.

用键盘: 将光标移至所要面的任意方格. 按住 Shift 键, 上下移动光标直到所需的面被选中, 被选中的面用当前显示色的反色显示. 若只选一个面, 从所要的面处上下移动光标至两行被选中, 然后将光标移回到所要的行.

复制面 (Copy Surface): 将单面或多个面数据复制到 Windows 剪切板上. 选中单面或多面, 参见 “Cut Surface” 中的介绍.

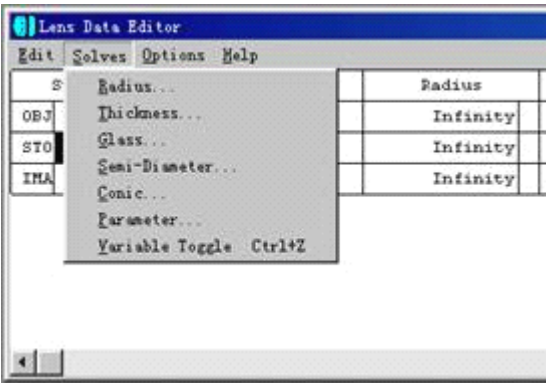
粘贴面 (Paste Surface): 从 Windows 剪切板上复制单面或多个面数据到镜头数据编辑器中当前光标的位置. 面数据必须先用上面讲的 “Cut Surface” 或 “Copy Surface” 复制到 Windows 剪切板上.

复制方格 (Copy Cell): 复制单个方格数据到 Windows 剪切板上.

粘贴方格(Paste Cell): 将 Windows 剪切板上的单个方格复制到当前方格. 数据必须先
用“Copy Cell”将其复制到 Windows 剪切板上.

复制电子表格(Copy Spreadsheet): 用适合于粘帖到另外的 Windows 应用程序的文本格式将高亮显示的面或整个表格(如果没有面被选中) 复制到 Windows 剪切板上.

3.2 求解(Solves):解和变量可以设置在镜头数据编辑器中的许多数据上. 如图所示



半径(Radius): 设置曲率半径求解.

厚度(Thickness): 设置厚度求解.

玻璃(Glass): 设置玻璃求解.

半口径(Semi-Diameter): 设置半口径求解.

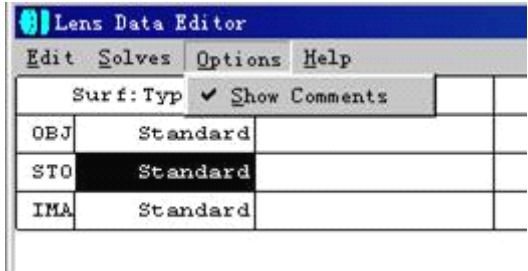
二次曲线(Conic): 设置二次曲线系数求解.

参数(Parameter): 设置参数列的求解.

变量附加标识(Variable Toggle): 把当前所选方格的状态变为可变. 此操作的快捷方式为 Ctrl-Z.

3.3 选项(Options)

显示注释(Show Comments): 若该菜单被选取, 将显示注释列. 若未被选取, 注释列将隐藏. 如图所示. 注释的显示与隐藏, 只是用于当前对话期间.



3.4 帮助(Help)

使用 LDE(Using LDE): 产生使用镜头数据编辑器的联机帮助.

3.5. 价函数(Merit Function):评价函数编辑器用来定义, 修改, 和检查系统的评价函数. 系统的评价函数用于优化. 如下图所示.

Merit Function Editor: 0.000000E+000

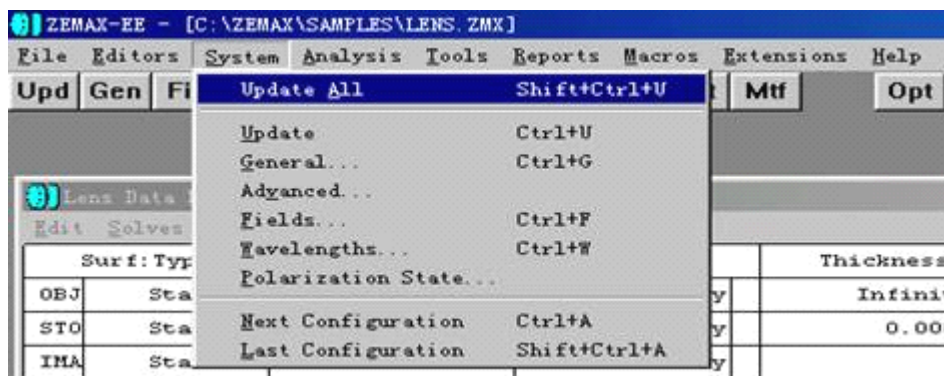
Edit Tools Help

Oper #	Type	Target
1 (BLNK)	BLNK	

标题：第四章 系统菜单

2010 年 01 月 13 日 16:38 -1 学习时间: 20 分钟 评论 1 条

系统菜单包括以下各子项: Update All, Update, General, Advanced, Fields, Wavelengths, Polarization State, 等.



4.1 全部更新 (Update All)

这个选项更新全部窗口以反映最新镜头数据. ZEMAX 不能在图形和文件窗口自动改变最后形成的镜头数据. 这是由于新数据在镜头数据编辑器中被键入时, ZEMAX 如果不断地计算 MTF, 光线特性曲线, 点列图和其它数据, 那么程序反应会变得很慢. 对镜头做所有需要的改变, 然后选择“Update All”来更新和重新计算所有的数据窗口. 单个曲线和文本窗口 (非编辑器) 也可以双击窗口内的任意位置更新.

4.2 更新 (Update)

这个选项只更新镜头数据编辑器和附加数据编辑器中的数据. 更新功能用来重新计算一阶特性, 如光瞳位置, 半口径, 折射率和求解值. 只影响镜头数据编辑器和附加数据编辑器中的当前数据. 参见本章中 § 1 全部更新 “Update All” 的内容.

4.3 通用数据 (General)

这个选项产生通用系统数据对话框, 它用来定义作为整个系统的镜头的公共数据, 而不是与单个面有关的数据. 参见 “Advanced” 部分.

1) 镜头标题 (Lens Title)

2) 镜头标题出现在曲线和文本输出中. 标题是通过将题目输入到所需位置得到的. 附加的文本数据可以放在大多数图形输出中, 参见本章后面 “Configuring the environment” 的说明.

3) 光圈类型 (Aperture Type)

4) 系统光圈表示在光轴上通过系统的光束大小. 要建立系统光圈, 需要定义系统光圈类型和系统光圈值. 用光标在下拉列表中选择所需的类型. 系统光圈类型有如下几种:

5) 入瞳直径 (Entrance Pupil Diameter): 用透镜计量单位表示的物空间光瞳直径

6) 像空间 F/# (Image Space F/#): 与无穷远共轭的像空间近轴 F/#

7) 物空间数值孔径 (Object Space Numerical Aperture) 物空间边

8) 缘光线的数值孔径 ($n \sin \theta_m$)

9)通过光栏尺寸浮动 (Float by Stop Size) : 用光栏面的半口径定义

10)近轴工作 F/# (Paraxial Working F/#) : 共轭像空间近轴 F/#

11)物方锥形角 (Object Cone Angle) : 物空间边缘光线的半角度, 它可以超过 90 度. 这些术语在第三章“约定和定义”中进一步定义. 若选择了“ObjectSpace N.A”或“Object cone angle”作为系统光圈类型, 物方厚度必须小于无穷远. 上述类型中只有一种系统光圈类型可以被定义. 例如, 一旦入瞳直径确定, 以上说明的所有其它光圈都由镜头规格决定.

12)光圈值 (Aperture Value) : 系统光圈值与所选的系统光圈类型有关. 例如, 如果选择“Entrance Pupil Diameter”作为系统光圈类型, 系统光圈值是用透镜计量单位表示的入瞳直径. ZEMAX 采用光圈类型和光圈数值一起来决定系统的某些基本量的大小, 如入瞳尺寸和各个元件的清晰口径. 选择“Float by Stop Size”为系统光圈类型是上述规律的唯一例外. 如果选择“Float by Stop Size”作为系统光圈类型, 光栏面 (镜头数据编辑器中设置) 的半口径用来定义系统光圈.

13)镜头单位 (Lens Units) : 镜头单位有四种选择: 毫米, 厘米, 英尺, 或米. 这些单位用来表示数据, 如半径, 厚度, 和入瞳直径. 许多图形 (光学特性曲线, 点列图) 使用微米做单位, 波长也是用微米表示.

14)玻璃库 (Glass Catalogs) 本控件组有一个列出当前被使用的玻璃库 (无扩展名) 名称的可编辑栏. 栏的缺省值是“schott”, 它表示镜头可以从库中使用玻璃. 如果需要不同玻璃类别, 可以用按钮或键入玻璃类名来选择. 若要使用不在按钮列表中的玻璃库, 可以在在编辑栏键入类名. 多个玻璃库之间可以用空格来分隔. 关于改变玻璃库的内容参见“使用玻璃目录”一章.

15)注解 (Notes) : 注解部分允许输入几行文本, 它们与镜头文件一起被存储.

4.4 高级数据 (Advanced)

这个选项产生 Advanced System Data 对话框, 它不是定义与单个面有关的数据, 而是用来定义作为整个系统的镜头的少数公共数据. 参见“通用”部分.

1)光线定位 (Ray Aiming) : 光线定位选择框由三种状态: 无 (None), 近轴光线参考 (Paraxial Reference) 和实际光线参考 (Real Reference). 如果光线定位状态为“None”, ZEMAX 用近轴入瞳尺寸和位置来决定从物面发出的主波长光线, 而入瞳由光圈设置确定并用主波长在轴上计算. 这表示 ZEMAX 忽略入瞳像差. 对于有中等视场的小孔径系统, 这是完全可以接受的. 但是, 那些有小 F 数或大视场角的系统, 具有很大的入瞳像差. 光瞳像差的两个主要影响是光瞳位置随视场角的漂移和光瞳边缘的变形. 如果光线定位被选定, ZEMAX 则考虑像差. 光线定位后, 每根光线在追迹时被迭代, 同时, 在程序运行时校正光线定位以便使光线准确通过光栏面. 光栏面的正确位置是首先由计算的光栏面半径决定的. 正确的光栏面坐标是用光瞳坐标线性缩放计算得到. 例如, 边缘光线的归一化的光瞳坐标为 $P_y = 1.0$. 光栏面的正确坐标是光栏面半径乘以 P_y . 可以用近轴光线或实际光线计算光栏面半径. 若选择“RealReference”那么主波长边缘光线从物面中心向光栏面追迹. 光栏面上的光线高度就是光栏半径. 若选择“Paraxial Reference”, 那么使用近轴光线追迹. 当选择“Real Reference”时, 所有的实际光线被调整以便在以实际光栏半径为基准的光栏面上正确定位, 相应地, 近轴光线以近轴光栏半径为基准. 当使用光线定位时, 光栏面 (而不是入瞳) 是被均匀照明的面. 这会产生意外的结果. 例如, 当使用物方数值孔径作为系统光圈类型时, ZEMAX 用正确的数值孔

径追迹近轴入瞳的位置和尺寸. 如果光线定位随后被设置为“Paraxial Reference”, 实际光线追迹将影响近轴光阑尺寸. 这会产生一个与系统光圈值的不同的数值孔径. 这是由于为消除光瞳像差而调整了光线角度之故. 解决这个问题的办法是使用实际光线参考 (Real Reference). 通常, 首选设置为近轴光线参考“Paraxial reference”. 虽然光线定位比近轴入瞳定位更精确, 但在运行的时候, 大多数的光线追迹将使用 2 到 8 倍的时间. (参见后面“Tolerance”选项的说明). 因此, 只有需要时才使用光线定位. 为确定系统中的入瞳像差量, 关闭光线定位, 然后查看光瞳像差曲线 (参见分析菜单“Analysis menu”这一章中的这一功能的说明). 小于一定百分比的光瞳像差通常忽略不计. 若系统中有较大的光瞳像差, 选择光线定位打开, 反复计算. 像差将减少到零或接近零.

2) 使用光线定位贮藏器 (Use Ray Aiming Cache): 若选取光线定位贮藏器, ZEMAX 贮藏光线定位坐标以便新光线追迹能利用先前光线定位结果进行迭代运算. 使用贮藏器能明显加速光线追迹. 但是, 使用贮藏器需要精确追迹主光线. 对于主光线不能被追迹的许多系统, 贮藏器应被关闭.

3) 加强型光线定位 (慢) (Robust Ray Aiming (slow)): 若选取本功能, ZEMAX 使用一种更可靠但较慢的运算来定位光线. 只有在即使贮藏器打开, 光线定位也失败时, 此选项才被设置. 除非光线定位贮藏器打开, 否则此开关不起作用. 加强模式执行一个附加检查来确定现存的同一光阑面是否有多重光路, 只有正确的一条被选择. 这在大孔径, 广角系统中特别成问题, 在这种系统的轴外视场中也许会发现一条通过光阑的实际光线会混淆光线定位迭代.

4) 光瞳漂移: X, Y, Z (Pupil Shift: X, Y, and Z): 对于多数系统, 单纯选择光线定位时, 尽可能少地追迹正确通过系统的光线就可以消除光瞳像差的影响. 当然, 它并不是实际消除像差, 仅仅是考虑它. 对于广角或大的倾斜或偏心的系统, 若不帮助的话, 光线定位功能将失效. 因为是把近轴入瞳作为第一个估计值来追迹光线. 如果光瞳像差很严重, 可能连第一个估计值都无法被追迹, 更无法得到第二个更好的估算值, 从而使算法中断. 本方法为光瞳关于近轴光瞳偏移量提供粗略的推测. 这称为“光瞳漂移”, 由三个分量: x , y , 和 z 组成. 三个量的缺省值为 0, 可以通过修改三个缺省值来帮助算法寻找光线成功定位的第一估算值. 漂移量 z 的正值表示实际光瞳在近轴光瞳的后面 (即在通用光学坐标系统右面), 漂移量的负值表示光瞳向前漂移. 多数的广角系统有向前漂移的光瞳. 所提供的光瞳漂移量 z 与所追迹光线的视场角成线性比例, 因此光瞳漂移指的是全视场光瞳的偏移量. 漂移量 x , y 说明物平面倾斜或光阑偏心时光瞳位置的改变. 若选择了“视场光瞳偏移比例因子” (Scale pupil shift factors by field), 光瞳漂移量 x , y 也随视场缩放, 否则, 漂移量未经缩放地用于所有视场. 所有漂移量用镜头计量单位表示. 需要理解的是: 知道光瞳漂移的精确值并非重要. 一旦第一条估算光线可以被追迹, 光线定位算法将粗略地找到精确的光瞳位置. 光瞳漂移值只是光线定位的开始. 通常, 推测光瞳偏移量是决定其适合值的可用方法.

5) 变迹法 (Apodization Type): 缺省时, 光瞳是均匀照射的. 但是, 有时光瞳必须使用非均匀照射. 由于这个原因, ZEMAX 支持光瞳变迹, 这种变迹是光瞳上振幅的变化. 有三种光瞳变迹类型: 均匀、高斯和正切. 均匀表示光线均匀地分布在入瞳上, 模拟均匀照射. 高斯变迹是在光瞳上振幅以高斯曲线形式变化. 变迹因子表示径 2) 向的光瞳坐标函数的光束振幅递减率. 光束振幅在光瞳中心归一化为 1 个单位, 入瞳其它点的振幅由下式给出: 这里 G 是变迹因子, p 是归一化的光瞳坐标. 如果变迹因子是 0, 那么光

瞳照射是均匀的. 如果变迹因子是 1.0, 那么光束振幅在入瞳边缘的 $1/e$. (它表示光强度为 e 的平方分之 1, 大约是峰值的 13%). 变迹因子可以是大于或等于 0.0 的任意值. 不建议采用大于 4.0 的值. 因为如果光束振幅离轴下降很快, 在许多计算中取样的光线太少, 以至于不能产生有意义的结果. 正切变迹恰当地模拟了点光源照在平面上的强度衰退特点 (如入瞳通常是平面). 对于一个点光源, 偏离点光源距离为 Z 的面上的强度为: 这里 r 是平面上一点到光源的距离, 强度在轴上已经归一化为一个单位. 如 r 用归一化的光瞳坐标来表示, 振幅变迹可用平方根产生: 这里 $\tan \theta$ 是入瞳顶部的光线与 z 轴的夹角的正切. 对于正切变迹, $\tan \theta$ 是变迹因子. 特殊情况下变迹因子为 0, 当计算变迹时, ZEMAX 用入瞳位置和尺寸会自动计算出 $\tan \theta$. 除了在入瞳面一外, ZEMAX 也支持用户在任意面上自定义的变迹, 用户自定义变迹用在“表面类型”这一章所讲的用户自定义面型来完成.

6) 光程差参数 (Referece OPD): 光程差或 OPD, 在光学设计计算中很有意义, 因为光程差表示成像的波前位相误差. 对零光程的任意偏离都会在光学系统中形成衍射图像时产生误差. 因为出瞳是光阑在像空间的像, 出瞳表示像空间光束有清晰边界的位置. 出瞳处的照度, 其振幅和位相通常是平滑变化的, 零振幅和非零振幅区域有明显的界限. 换句话讲, 在出瞳处观察, 可以合理地假定波前没有明显的衍射影响. 如果光学系统中的所有面的通光孔径比受光阑限制入射到每一面上的光束尺寸大, 这一假定基本上是事实. 甚至如果出瞳是虚拟的 (这是常有的), 出瞳仍然定义了像空间光束无衍射影响的唯一位置. 关于衍射像形成的其它信息和出瞳的重要性. 当波前从出瞳传播到像平面时, 光束外形在振幅和位相上变得很复杂, 由于衍射的影响, 波前扩展到整个空间. 因此, 为了精确地描述了波前和像的质量, 在出瞳上测量位相误差是唯一有效和非常重要的. ZEMAX 缺省时, 使用出瞳作为计算 OPD 的参考面. 因此, 对一条给定的光线进行 OPD 计算时, 光线通过光学系统追迹, 自始至终到达像平面, 然后反向追迹到位于出瞳处的参考球面. 这个面后得到的 OPD 是有物理意义的位相误差, 它对于如 MTF, PSF 和环带能量等衍射计算是很重要的. 由光线向后追迹到出瞳而得的附加路程, 从参考球面的半径中减去, 得到 OPD 的微小调整, 称之为“校正项”. 这种计算对于所有实际应用是正确和需要的. 但是, ZEMAX 也允许选择两种其他参考方法. 无限远参考面: “Infinity”参考面假定出瞳在很远的地方 (即使它也许不太远), OPD 校正项用光线中的角误差严格给定. 只在一种可能时使用这个设置: 即 ZEMAX 不能正确计算出瞳位置. 这发生在一些在光阑面不能成像 (实像或虚像) 的不常见的光学中. 在这种情况下发生时, ZEMAX 用特殊程序代码处理所有已知的可能发生这种情况的场合, 因此, 除非 Focus Software 技术支持时特殊推荐它, 否则这个设置不使用. 当前尚没有已知的场合需要推荐这种设置. 绝对参考面: “Absolute”参考面表示 ZEMAX 根本不能在 OPD 计算中加上任何校正项, 只加上光线的总光程并从主光线中减去它. 这种方式并不是实际有效的, 它的目的是用来调试和检查 FocusSoftware 公司的 OPD 算法.

7) 半口径的快速算法 (Fast Semi-Diameters): ZEMAX 能“自动”计算半口径. 它估算为让所有视场点和波长的光线通过, 各面所需要的明确的口径. 对于共轴系统, 可以通过追迹每个视场和波长的两条光线而精确计算. 这两条光线是上下两条边缘光线. 对于非共轴系统, 除了沿渐晕光瞳周边追迹大量的光线外, 没有通用的方法来精确计算半口径. 虽然这种算法很精确, 但速度很慢, 因为 ZEMAX 需要不断的更新半口径数据, 尤其在优化时. 速度和精确之间是要折衷的. 对于非共轴系统, 缺省时, ZEMAX 追迹每个视场和波长渐晕光瞳的实际子午面上的两条光线, 然后用每条光线在每个面上的径向坐

标估算所需的半口径. 对于许多系统, 估算结果不够精确. 这主要包括具有较小边缘和明显口径限制的系统或具有偏心元件和只有少数视场点的系统. 如果 “Fast Semi-Diameter” 选项被选择 “off”, 那么对这些非共轴系统, ZEMAX 将反复追迹所需的光线来决定半口径, 其精度为 0.01% (5 个有效数字). 将 “Fast Semi-Diameter” 关闭可以明显减慢优化速度, 但对于具有复杂评价函数的系统, 上述间接操作相对较小.

4.5 视场 (Fields)

视场对话框允许确定视场点. 视场可以用角度, 物高 (有限共轭系统), 或像高来确定. 可通过用来启动或停止按钮来选择视场位置, 也可以捡取数据. 关于视场的规定, 参见第三章 “约定和定义” (Conventions and Definition). ZEMAX 也提供定义渐晕系数的数据栏. 4 个渐晕因子为: VDX, VDY, VCX, 和 VCY. 如果系统中没有渐晕, 这些渐晕因子被设为 0. 这些因子在第三章 “约定和定义” (Conventions and Definition)

的 “渐晕系数” 中有说明. 在视场对话框中也有一个标为 “Set Vig” 的按钮. 点击此按钮将重新计算当前数据下每个视场的渐晕因子. 用设置渐晕的算法估算渐晕偏心和压缩因子以便光瞳边缘的上, 下, 左, 右四条边缘光线能通过每个面的用户自定义半口径. 计算时只使用主波长. 若要使渐晕因子成为缺省值 0, 单击: “Clr Vig”. 该算法通过从光瞳发出一网格光线来开始运算. 在使用用户自定义半口径的每一个面, 光线被测试是否在确定的口径内通过. 通过所有面的所有光线用于计算无渐晕的光瞳中心. 注意只有用户自定义 (非自动) 半口径被使用时, 面孔径 (如长方形或环形口径) 被忽略. 无渐晕的光瞳边缘用迭代方式精确计算到 0.001%. 这种算法不是在所有场合中都能起作用. 对于设置渐晕失败的系统, 渐晕因子需要手工调整. 设置渐晕运算的精度可以用追迹少数边缘光线检测.

4.6 波长 (Wavelength)

波长对话框用于设置波长, 权因子, 和主波长. 按钮可以用来启动或停止输入波长和捡取数据. 包括常用的波长列表. 要使用列表中的项目, 选择所需的波长, 点击 “Select” 按钮. 其它信息参见第三章 “约定和定义” (Conventions and Definition).

4.7 偏振状态 (Polarization State)

偏振状态对话框用于设置使用偏振光线追迹的许多分析计算的缺省输入状态. 许多分析功能 “Use Polarization” 开关来使用偏振光线追迹和变迹, 如点列图和作为视场函数的均方根 RMS. 本对话框是设置初始偏振状态的唯一工具. 对于这些功能, 当考虑菲涅尔衍射, 薄膜和内部吸收影响时, 偏振光线追迹只被用来决定光线的透过强度. 在这里电磁场的矢量方向被忽略, 而假定只有标量理论可适用. 光线只是在强度上衰减, 加权计算被应用. 偏振是由 4 个数值定义的: 表示电磁场 X 和 Y 方向模值的 E_x 和 E_y , 用度表示的 X-位相和 Y-位相的相位角. ZEMAX 将电磁场向量归一化为 1 个强度单位.

有一个标签为 “Unpolarized” 检查框. 若选取, 那么偏振值 E_x , E_y , X-位相, Y-位相被忽略. 这时使用非偏振计算. 非偏振计算用正交偏振的两条光线追迹并计算最终透过率的平均值. 注意, 非偏振计算比偏振计算所需的时间长, 而偏振计算也比完全忽略偏振的计算所需的时间长.

4.8 下一重结构 (Next Configuration)

当要更新所有的图表以便反映下一个结构 (或变焦位置) 时, 本菜单选项提供了快

捷方式. 若选中, 所有的电子表格, 文本和图解数据都将被更新.

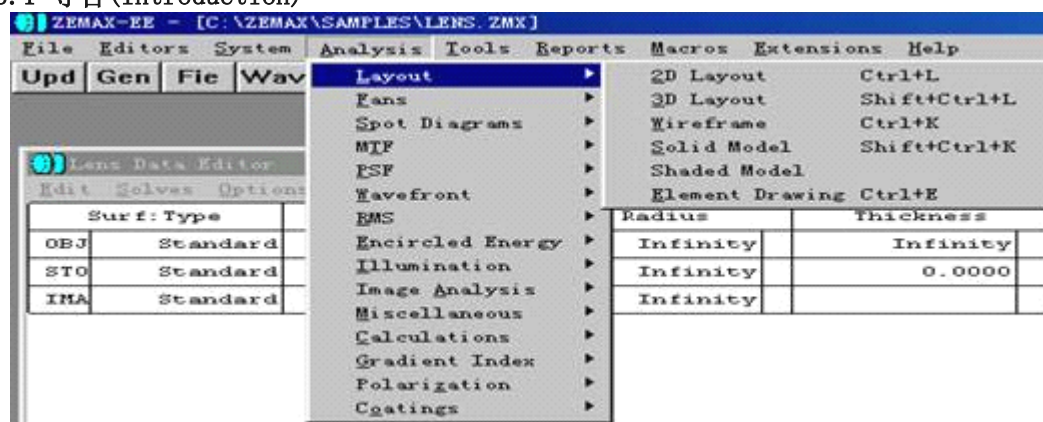
4.9 最后结构 (Last Configuration)

当要更新所有的图表以便反映最后一个结构 (或变焦位置) 时, 本菜单选项提供了快捷方式. 若选中, 所有的电子表格, 文本和图解数据都将被更新.

标题：第五章 分析菜单

2010 年 01 月 13 日 15:54 -1 学习时间：20 分钟 评论 1 条

5.1 导言(Introduction)

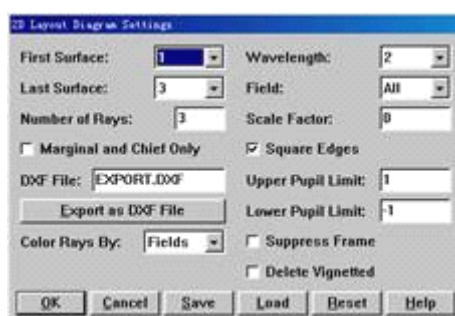


这一章将详细介绍 ZEMAX 种的所有分析功能. 如下图所示. 分析镜头数据的曲线和文本通常包括像差、MTF、点列图、以及其他的计算结果.

程序修改镜头数据和处理其它数据(如玻璃数据库)的特性将在工具菜单“Tools Menu”一章中讲述. 选择了一个菜单选项立刻执行一个需要的计算. 一旦曲线和文本窗口被显示, 可以用选择设置菜单选项来修改缺省设置. 一旦你已经作了适当的改变, 敲击“OK”, 程序将重新计算和显示当前窗口种的数据. 如果你要在曲线和文本数据显示前改变设置, 在 File: Environment: Graphics 中使用“Show Options First”选项框. 在设置窗口中的“OK”, “Cancel”, “Save”, “Load”, “Reset”和“Help”的功能参见用户界面一章. 每个分析窗口都有一个“Updata ”菜单项. 更新功能会强迫 ZEMAX 重新计算和重新显示当前窗口中的数据. 当镜头数据改变和当前显示的曲线不能用时, 这个功能是很有用的. 在窗口双击会执行与选择更新选项相同的功能. 敲击鼠标右键与敲击“Setting”相等. 还有许多信息参见用户界面一章.

5.2 外形图(Layout)

二维外形图(2D Layout): 通过镜头 YZ 截面的外形曲线. 如图所示:



各选项说明:

First surface 绘图的第一个面

Last surface 绘图的最后一个面

Wavelength 显示的任意或所有波长

Field 显示的任意或所有视场

Number of Rays 光线数目确定了每一个被定义的视场中画出的子午光线数目. 除非变迹

已被确定, 否则光线沿着光瞳均匀分布. 这个参数可以设置为 0Scale Factor 若比例因子设置为零, 那么“Fill Frame”将被选取, “Fill Frame”将缩放各面来充满画页. 若输入数值, 则图形将按实际尺寸乘以比例因子画出. 例如, 比例因子为 1.0 将打印 (不是在屏幕上) 出镜头的实际尺寸. 比例因子为 0.5 将按尺寸的一半画图. Upper Pupil Limit 画出光线通过的最大光瞳坐标 Lower Pupil Limit 画出光线通过的最小光瞳坐标

Marginal and ChiefOnly 只画出边缘光线和主光线

Square Edges 若选中则画出平面和边缘, 否则用半口径值画镜头的边缘

DXF File 在这个文本地址中输入使用 DXF 格式的文件名. 只有当以后把

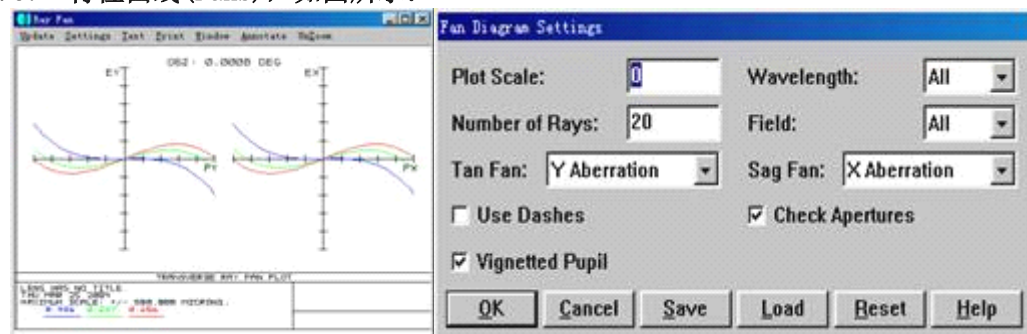
“Export As DXF File”按钮按下时, 这个选项才使用. 在输出时, 文件被存储在缺省目录下

Export As DXF File 若按下此按钮, 则产生一个与当前显示的图解窗口有相同数据的 DXF 格式文件. 文件名在“DXF 文件”选项中给定. 产生的 DXF 文件是一个能与输入到 CAD 程序中的文件相匹配的 2 维模型系统.

Color Rays By 选择“Field”用每个视场来区分, 选择“wave”用每个波长来区分 Suppress Frame 隐藏屏幕下端的绘图框, 这可以为外形图留出更多的空间. 比例尺, 地址, 或其它数据都不显示 Delete Vignetted 若选取, 被任意面拦住的光线不画出

3D 外形图(3D Layout): 绘制镜头系统的三维外形图. 运算绘制镜头的网格表示.

5.3. 特性曲线(Fans), 如图所示:



1) 光线像差(Ray Aberration): 显示作为光瞳坐标函数的光线像差.

2) Maximum Scale 设置图形中最大的垂直比例. 对于光线特性曲线, 最大比率利用微米表示, 对于 OPD 用波长表示, 对于入瞳像差用百分比表示. 本设置将复盖自动选择的绘图比例. 输入 0 时自动设置比例 Number of Rays 图形原点两边所追迹的光线数量 Wavelength 执行计算所需的波长数目

3) Field 执行计算所需的视场数目

4) Tan Fan 选择像差的哪个分量画在子午曲线上. 由于子午曲线是关于入瞳坐标的 y 值的函数, 缺省是绘制像差的 y 分量图形 Sag Fan 选择像差的哪个分量画在弧矢曲线上. 由于弧矢曲线是关于入瞳坐标的 x 值的函数, 缺省是绘制像差的 x 分量图形 Use Dashes 画图时选择颜色(对彩色屏幕和绘图仪而言)或虚线(对单色屏幕和绘图仪而言) Check Aperture 确定是否检查光线能不能通过所有的面口径. 若选取, 没有通过面口径的光线不被画出. 面口径与半口径是不同的, Vignetted Pupil 若选取, 光瞳坐标轴将按无渐晕缩放, 此时所得数据将反映系统的渐晕; 若不选取, 光瞳坐标轴将按渐晕光瞳缩放

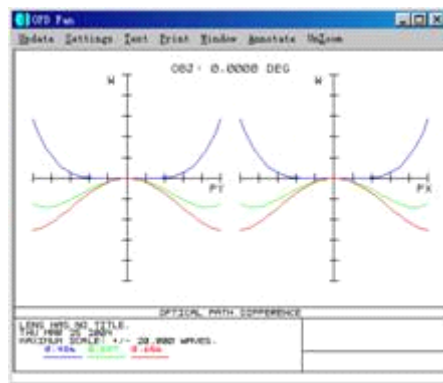
5)说明:

横向特性曲线是用光线的光瞳的 y 坐标的函数表示的横向光线像差的 x 或 y 分量. 缺省选项是画出像差的 y 分量曲线. 但是由于横向像差是矢量, 它不能完整的描述像差. 当 ZEMAX 绘制 y 分量时, 曲线标称为 EY, 当绘制 x 分量时, 曲线标称为 EX. 垂轴刻度在图形的下端给出. 绘图的数据是光线坐标和主光线坐标之差. 横向特性曲线是以光瞳的 y 坐标作为函数, 绘制光线和像平面的交点的 x 或 y 坐标和主波长的主光线 x 或 y 坐标的差. 弧矢特性曲线是以光瞳的 x 坐标作为函数, 绘制光线和像平面的交点的 x 或 y 坐标和主波长的主光线 x 或 y 坐标的差. 每个曲线图的横向刻度是归一化的入瞳坐标 PX 或 PY. 若显示所有波长, 那么图形参考主波长的主光线. 若选择单色光那么被选择的波长的主光线被参照. 由于这个原因, 在单色光和多色光切换显示时, 非主波长的数据通常被改变. 因为像差是有 x 和 y 分量的矢量, 光线像差曲线不能完全描述像差, 特别是像平面倾斜或者系统是非旋转对称时. 另外, 像差曲线仅仅表示了通过光瞳的两个切面的状况, 而不是整个光瞳. 像差曲线图的主要目的是判断系统中有哪种像差, 它并不是系统性能的全面描述, 尤其系统是非旋转对称时.

(5) 光程 (Optical Path): 显示用光瞳坐标函数表示的光程差.

除了由于 OPD 是标量, “Tan Fan” 和 “Sag Fan” 选项只能是 OPD 之外, 本选项与光线像差曲线是相同的.

说明: 垂轴刻度在图形的下端给出. 绘图的数据是光程差 (OPD), 它是光线的光程和主光线的光程的差, 通常, 计算以返回到系统出瞳上的光程差为参考. 每个曲线的横向刻度是归一化的入瞳坐标. 若显示所有波长, 那么图形以主波长的参考球面和主光线为参照基准的, 如图.



若选择单色光那么被选择的波长的参考球面和主光线被参照. 由于这个原因, 在单色光和多色光切换显示时, 非主波长的数据通常被改变.

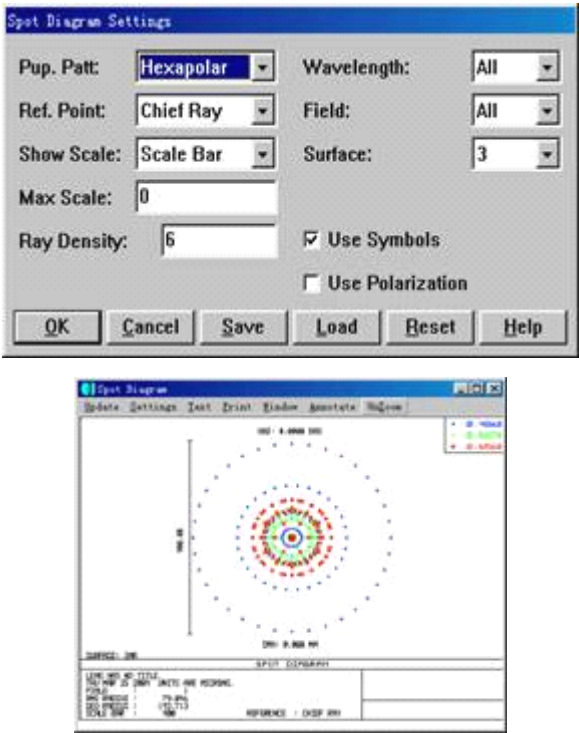
(6) 光瞳像差 (Pupil Abberation): 显示用光瞳坐标函数表示的入瞳变形.

除了由于光瞳像差是标量, “Tan Fan” 和 “Sag Fan” 选项只能是 OPD 之外, 本选项与光线像差曲线是相同的.

说明:

入瞳像差是实际光线在光栏面的交点和主波长近轴光线交点的差在近轴光栏半径所占的百分比来定义的. 若最大像差超过一定的百分比, 就得用光线定位 (参见 “系统菜单” 一章), 以便在校正物空间的光线使它正确地充满光栏面. 若光线定位选择被打开, 入瞳像差将为零 (或剩下很小的值), 因为变形被光线追迹算法补偿了. 可以利用

这一点来检查光线定位是否正确. 这里所用的光瞳像差的定义并不是追求其完整性和与其它定义的一致性. 本功能的唯一目的是为是否需要光线定位提供依据.



5.4 各选项说明

Pup. Patt

光瞳模式可以是六角形, 方形或高频脉冲. 这些方式与出现在光瞳面的光线的分布模式有关. 当镜头大离焦时来研究光瞳分布模式. 高频脉冲点列图是在长方形或六角形模式的点列图中删去对称因素的伪随机光线产生的. 如果光瞳变迹给定, 那么用光瞳分布变形来给出正确的光线分布. 没有最好的模式, 每一种模式都只能表示点列图的不同特性.

Reference Point

缺省点列图是以实际主光线为参考的. 列在图形尾部的 RMS 和 GEO (在说明部分定义) 点尺寸是假定主光线是零像差点计算的. 但是, 本选项允许选择其他两个参考点: 重心和中点. 重心是用被追迹的光线分布定义的. 中点定义使其最大光线误差在 x 和 y 方向相等.

ShowScale

比例条目是缺省的. 选择艾利圆斑 “Airy Disk”, 将在图 “的每个点的周围画椭圆环表示艾利椭圆. 空心环的半径是 1.22 乘以主波长乘以系统的 F#; 它通常依赖于视场的位置和光瞳的方向. 如果空心环比点大, 空心环将设置为放大尺, 否则点尺寸将设置比例尺. 选择 “Square” 将画方形, 其中心是参考点, 宽度是从参考点到最外光线的距离的 2 倍. 选择 “Cross” 将通过参考点画一个十字. 设置为 “Circle” 将以参考点为中心画圆.

Wavelength

执行计算所需的波长数目

Field

执行计算所需的视场数目

Surface Number

选择点列图将被计算的面. 它在计算中间像或渐晕时很有用.

Max Scale

设置用毫米表示的最大比例尺. 零设置将产生一个适合的比例

Delta Focus

离焦增量选项只有在离焦点列图被选择时才使用. 它是在点列图平面上 Z 方向的间隔. 每个视场角显示 5 个点列图. 离焦量是给定的离焦增量分别乘以 -2, -1, 0, 1, 2. 离焦量单位是 mm. 某些系统中, 缺省的离焦增量太小以至于不能使点列图的结构发生改变.

Ray density

若选择六角形或高频脉冲光瞳模式, 光线密度决定了六角环形的数目, 若选择长方形模式, 光线密度决定了光线数目的均方根. 被追迹的光线越多, 虽然计算时间会增加, 但点列图的 RMS 越精确. 第一个六角环中有 6 条光线, 第二个有 12 条, 第三个有 18 条, 依此类推.

Use Symbols

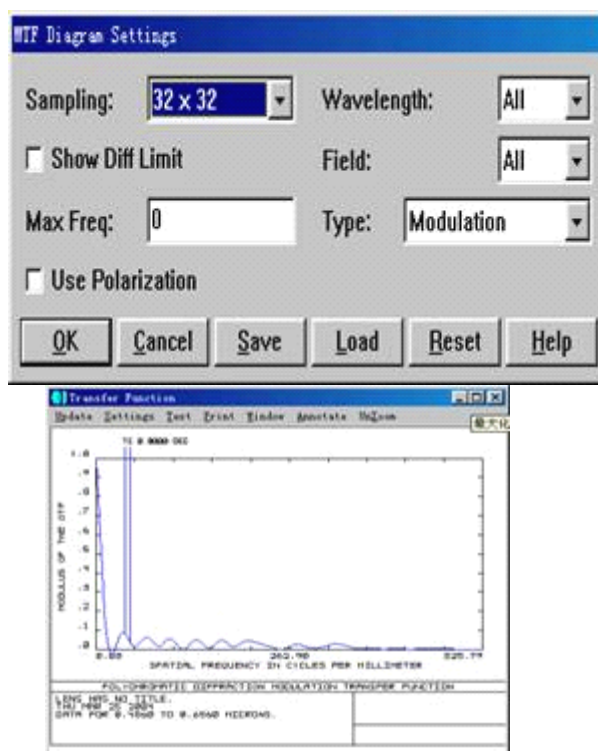
若选中, 每种波长将画不同的符号, 而不是点. 它可以帮助区分不同的波长

说明:

光线密度有一个依据视场数目, 规定的波长数目和可利用的内存的最大值. 离焦点列图将追迹标准点列图最大值光线数目的一半光线. 列在曲线上的每个视场点的 GEO 点尺寸是参考点(参考点可以是主波长的主光线, 所有被追迹的光线的重心, 或点集的中点)到距离参考点最远的光线的距离. 换言之将, GEO 点尺寸是由包围了所有光线交点的以参考点为中心的圆的半径. RMS 点尺寸是径向尺寸的均方根. 先把每条光线和参考点之间的距离的平方, 求出所有光线的平均值, 然后取平方根. 点列图的 RMS 尺寸取决于每一根光线, 因而它给出光线扩散的粗略概念. GEO 点尺寸只给出距离参考点最远的光线的信息. 艾利圆环的半径是 $1.22 \times \text{主波长} \times \text{系统的 } F\#$, 它通常依赖于视场的位置和光瞳的方向. 对于均匀照射的环形入瞳, 这是艾利圆环的第一个暗环的半径. 艾利圆环可以被随意的绘制来给出图形比例. 例如, 如果所有的光线都在艾利圆环内, 那么系统被认为处于衍射极限状态. 若 RMS 尺寸大于空心环尺寸, 那么系统不是衍射极限. 衍射极限特性的域值依赖于判别式的使用. 系统是否成为衍射极限并没有绝对的界限. 若系统没有均匀照射或用渐晕来除去一些光线, 艾利圆不能精确地表示衍射环的形状或大小. 在点列图中, ZEMAX 不能画出拦住的光线, 它们也不能被用来计算 RMS 或 GEO 点尺寸. ZEMAX 根据波长权因子和光瞳变迹产生网格光线(如果有的话). 有最大权因子的波长使用由“Ray Density”选项设置的最多光线的网格尺寸. 有最小权因子的波长在图形中设置用来维持正确表达较少光线的网格. 如果变迹被给定, 光线网格也被变形来维持正确的光线分布. 位于点列图上的 RMS 点尺寸考虑波长权因子和变迹因子. 但是, 它只是基于光线精确追迹基础上的 RMS 点尺寸的估算. 在某些系统中它不是很精确.

像平面上参考点的交点坐标在每个点列图下被显示. 如果是一个面被确定而不是像平面, 那么该坐标是参考点在那个面上的交点坐标. 既然参考点可以选择重心, 这为重心坐标的确定提供了便利的途径.

5.5 调制传递函数 MTF



计算所有视场位置的衍射调制传递函数. 本功能包括衍射调制传递函数 (DMTF), 衍射实部传递函数 (DRTF), 衍射虚部传递函数 (DITF), 衍射相位传递函数 (DPTF), 方波传递函数 (DSWM). 如图.

各选项说明

Sampling 在光瞳上对 OPD 采样的网格尺寸, 采样可以是 32×32 , 64×64 等等. 虽然采样数目越高产生的数据越精确, 但计算时间会增加. Show Diff Limit 选择是否需要显示衍射极限的 MTF 数据.

Max Frequency 确定绘图的最大空间频率 (每 mm 的线对数)

Wavelength 计算中所使用的波长序号

Field 计算中所使用的视场序号

Type 可选择模数, 实部, 虚部, 相位或方波

DMTF, DRTF, DITF, DPTF 和 DSWM 函数分别表示模数 (实部和虚部的模), 实部, 虚部, 相位或方波响应曲线. 与正弦波目标响应的其它曲线相反, 方波 MTF 是特定空间频率下方波目标的模数响应, 方波响应是用下面的公式由 DMTF 数据计算的:

这里 $S(v)$ 表示方波响应, $M(v)$ 表示正弦目标响应的模数, v 表示空间频率. 当采样点增加或 OPD 的峰谷值减小时, 衍射计算更精确. 如果光瞳处的峰谷值很大, 那么波前采样是很粗糙的, 会有伪计算产生. 伪计算会产生不精确的数据. 当伪计算发生时, ZEMAX 会试图检测出来, 并发出适当的出错信息. 但是, ZEMAX 不能在所有情况下自动检测出何时采样太小, 尤其是在出现很陡的波前相位时. 当 OPD (以波长为单位) 很大时, 如大于 10 个波长, 这时最好用计算几何 MTF 来代替衍射 MTF. 对于这些大像差系统, 几何

MTF 是很精确的, 尤其是在低的空间频率下. 任一波长的截止频率用波长乘以工作 $F/\#$ 分之一所得的值表示. ZEMAX 分别计算每个波长, 每个视场的子午和弧矢的工作 $F/\#$. 这样可以得出精确的 MTF 数据, 即使是那些有失真和色畸变的系统, 如有混合柱面和光栅的系统也是如此. 因为 ZEMAX 不考虑矢量衍射, MTF 数据对大于 $F/1.5$ 的系统是不精确的 (精度的衰退变化是逐步的). 这些系统中, OPD 特性曲线数据是更重要的, 因而是更可靠的性能指

标. 如果系统不接近衍射极限, 几何 MTF 可以证实是有用的. 若显示, 衍射极限曲线是在轴上计算的与像差无关 MTF 值. 在轴上光线不能被追迹的情况下 (如当一个系统只有在轴外视场才能工作时), 那么第一个视场位置被用来计算 “衍射极限” MTF. MTF 曲线的空间频率刻度用像空间每毫米的线对数表示, 它只是一个对正弦目标响应 MTF 曲线的确切术语. 但术语 “每毫米的线对数” 经常被使用, 与正弦目标曲线相反, 严格地说 “每毫米的线对数” 应使用黑白条纹, 因为在工业上是通用的, ZEMAX 在使用这些术语时不加区别. MTF 通常是在像空间测量的, 当决定物空间的空间频率响应时, 需要考虑系统的放大率.

离焦的 MTF

在确定的空间频率下, 计算所有视场位置的离焦衍射传递函数. 此功能包括离焦衍射传递函数, 离焦衍射传递函数的实部, 离焦衍射传递函数的虚部, 离焦衍射传递函数的相位, 离焦衍射方波传递函数.

5.6 点扩散函数 (PSF)

(1) FFT 点扩散函数

目的:

用快速傅立叶变换方法计算衍射的点扩散函数.

Sampling 详见 MTF 的描述

Display: 显示尺寸表示计算所用数据的哪一部分将在图上表示, 显示网格可以为 32×32 到两倍抽样网格尺寸. 显示尺寸小, 所表示的数据也少, 但由于放大, 可视性较好.

Rotation 本设置规定了表面图观察时旋转角度, 可以为 0, 90, 180 或 270 度. Wavelength 用于计算的波长序号

Field 用于计算的视场序号

Type 可选择线性 (强度), 对数 (强度) 或相位.

Show As 可选择曲面图, 等高线图, 灰度图或伪彩色图作为显示方式.

Use polarization: 若选中, 对每一条所要求的光线进行偏振光追迹, 由此可得出通过系统的最后的光强. 在 “系统菜单” 一章的 “偏振状态” 一节, 可找到定义偏振状态和其他信息的细节, 只有 ZEMAX-EE 才有本功能.

讨论:

用快速傅立叶变换 (FFT) 来计算点扩散函数的速度很快, 但必须有几个假设, 这些假设并不是永远成立的. 速度慢但更通用的办法是惠更斯法, 它并不要求这些假定, 详见下节. 用 FFT 计算的 PSF (点扩散函数) 可以计算由物方某一点光源发出由一个光学系统所成的衍射像的强度分布. 强度是在垂直于参考波长入射主光线的成像平面上计算得出的, 参考波长在多色光计算中指的是主波长, 而在单色光计算中指的是所计算的波长. 因为成像平面是与主光线垂直的, 所以它不是像平面. 因此当入射主光线的角度

不为零时, 由 FFT 计算 PSF 的结果一般总是过于乐观的 (即 PSF 较小), 尤其是对倾斜像平面系统, 广角系统, 含有出瞳像差系统和离远心条件较大的系统, 更是如此. 对于那些主光线与像平面接近于垂直 (小于 20 度) 和出瞳像差可以忽略的系统而言, 用 FFT 计算 PSF 是精确的, 并且总是比惠更斯方法更快, 如果对计算结果有怀疑, 可使用两种方法进行计算比较. 用 FFT 计算 PSF 的算法基于下列事实: 即衍射的点扩散函数和光学系统的出瞳上的波前的复数振幅的傅立叶变换有关. 先计算出瞳上的光线网格的振幅和位相, 然后进行快速傅立叶变换, 从而可以计算出衍射像的强度. 在出瞳的抽样网格尺寸和衍射像的抽样周期之间存在着一个折衷, 如为了减少衍射像的抽样周期, 瞳面上的抽样周期必须增加, 这可以

通过“扩大”入瞳抽样网格使它充满入瞳来达到. 这一过程意味着真正处在入瞳中间的点子的减少. 当抽样网格尺寸增加时, ZEMAX 按比例增加瞳面上的网格数, 以增加处于瞳面上的点的数量, 与此同时, 可以得到衍射像的更接近

的抽样. 每当网格尺寸加倍, 瞳面的抽样周期(瞳面上各点之间的距离)在每一维上以 2 的平方根的比例增加, 像平面上的抽样周期也以 2 的平方根的因子增加(因为在每维上的点子数增加了 2 倍), 所有比例是近似的, 对大的网格是渐近式地正确的. 网格延伸是以 16×16 的网格尺寸为参考基准的. 16×16 个网格点在整个瞳面上分布, 处于光瞳内的各点被真正追迹, 衍射像平面上的各点之间距离由下式给出: 式中 F 是工作 $F/\#$ (与像空间 $F/\#$ 不同), λ 是所定义的最短波长, n 是通过网格的点数, 在本例中 n 为 16 (抽样网格尺寸为 16×16), 式中 -2 是由于瞳面和网格不是同心的(因为 n 是偶数), 有一个 $n/2+1$ 的偏离, 分母中的 $2n$ 是由于零位添调整而产生的, 详见以后论述. 对一个大于 16×16 的网格, 每当抽样密度加倍时, 网格在瞳空间以. 的比例增大. 像空间抽样的一般公式为: 像方网格的总宽度为: 因为瞳面网格的扩展会减少瞳面上抽样点的数目, 有效的网格尺寸(即实际代表所追光线的网格尺寸)比抽样网格为小. 随着抽样增加, 有效网格尺寸也增加, 但增加速度并没有那样快. 下表所列的是近似的有效网格抽样尺寸随各种抽样密度值变化:

点扩散函数计算中有效网格尺寸

抽样网格尺寸近似的有效网格尺寸

32×32 23×23

64×64 32×32

128×128 45×45

256×256 64×64

512×512 90×90

1024×1024 128×128

2048×2048 181×181

抽样还是波长的函数, 上述讨论只是对计算中最短波长有效, 如果用多色光计算, 那么对长波必须按比例缩小网格, 这里的比例因子是波长之比. 对波长范围较宽的系统选择抽样网格时, 必须考虑到这一点. 对多色光计算而言, 短波长的数据比长波长的数据来得精确. 一旦抽样确定以后, ZEMAX 在一个被称为“零位添加”的过程中, 将阵列尺寸加倍, 这意味着对抽样密度为 32×32 的网格, ZEMAX 在中间部分用 64×64 的网格. 因此衍射点扩散函数将在 64×64 的网格中分布. 像空间中的抽样总是瞳面抽样的两倍, “零位添加”是为了减少伪运算.

(2) 惠更斯点扩散函数: 用惠更斯子波直接积分法计算衍射点扩散函数.

Pupil Sampling: 选择光线网格尺寸进行光追计算, 高的抽样密度得到的结果精确, 但耗费时间较长.

Image Sampling: 计算衍射像密度的点的网格的大小, 该数字和像的 δ 值一起决定了所显示的面积大小.

Image Delta: 像方网格点之间的距离(用微米表示).

Rotation 本设置规定了表面图观察时旋转角度, 可以为 0, 90, 180 或 270 度.

Wavelength: 用于计算的波长序号.

Field : 用于计算的视场序号.

Type: 可选择线性(强度), 对数(强度)

Scale by Strel: 如果本设置被选中, 则所显示的峰值乘以所计算出来的斯特列尔因子,

因而图形可直接与其他 PSF 图相比较, 否则, 峰值永远归化为一个单位.

Show As 可选择曲面图, 等高线图, 灰度图或伪彩色图作为显示方式.

Use Polarization: 若选中, 对每一条所要求的光线进行偏振光追迹, 由此可得出通过系统的最后的光强. 在“系统菜单”一章的“偏振状态”一节, 可找到定义偏振状态和其他信息的细节, 只有 ZEMAX-EE 才有本功能.

讨论:

考虑衍射效应的一种方法是将波阵面上的每一个点想象成为具有一定振幅和位相的完整点光源, 每一个这样的点都会发出球面的“子波”, 有时人们也称它为“惠更斯子波”, 这是因为惠更斯首先提出了这一模型. 当波阵面在空中传播时, 波面的衍射是由各个点发出的球面子波干涉或复数和. 为了计算惠更斯点扩散函数, 一个网格的光线将通过光学系统, 每一条光线代表一个特殊的振幅和相位的子波, 像面上任何一点的衍

射强度是所有子波的复数求和再平方. 和 FFT 的 PSF 计算中不一样, ZEMAX 在主光线交点处与像平面相切的想像平面上计算惠更斯的点扩散函数. 请注意, 这个想像平面垂直于表面的法线而不是主光线, 因此, 惠更斯的点扩散函数计算中考虑了像平面上的任何倾斜, 这些倾斜可以是像平面的倾斜引起的, 或主光线的入射角引起的, 或者同时由两者引起的. 更进一步, 惠更斯的 PSF 计算方法中, 考虑到了光束沿像面传播时衍射像的演变形状. 如果像平面和入射光束之间是非常倾斜的话, 这是一个很重要的效应. 用惠更斯 PSF 计算中心方法的另一个好处的使用者可任意选择网格大小和网格间隙, 这样可以对两个不同镜头的 PSF 值之间进行直接比较, 即使它们的 F/#或波长不同. 用惠更斯 PSF 计算的唯一缺点是计算速度与 FFT 方法相比, 直接积分法并不是很有效(详见上节), 因此它所耗费的时间很长, 计算时间大致上与瞳面网格尺寸平方、像面网格尺寸平方、波长的个数成正比.

用 FFT 计算 PSF 横截面: 本功能画出点扩散函数的横截面图形.

Sampling 详见 MTF 的描述.

Row/Col: 显示的行或列. 对一个 32×32 的抽样系统, 有 64 行 64 列(见上节讨论), 用行或列取决于类型设置.

Wavelength 用于计算的波长序号.

Field 用于计算的视场序号.

Type 可选择 X 方向或 Y 方向的横切面, 用线性或对数表示都可以. X 切面称为行, Y 切面称为列, 但这是任意的.

Use Polarization 若选中, 对每一条所要求的光线进行偏振光追迹, 由此可得出通过系统的最后的光强.

讨论:

切面是直接从 PSF 数据中取得的. 因为 PSF 是直接由瞳面的位相计算出来的坐标系统的定位并不是在所有场合都是正确的. X 或 Y 轴正方向的指定也许会和像空间坐标(如点列图)中所提供的数据不相符合.

5.7. 其他

5.7.1 场曲和畸变: 显示场曲和畸变曲线

设置:

1) Max Curvature: 用透镜长度单位表示的场曲曲线的最大场曲值, 输入零代表自动设置.

2) Max Distortion: 用百分比表示的畸变曲线的最大值, 输入零代表自动设置.

3) Wavelength: 用于计算的波长数目.

- 4) UseDashes: 画图时选择颜色(对彩色屏幕和绘图仪而言) 或虚线(对单色屏幕和绘图仪而言)
- 5) Ignore Vignetting Factors: 见讨论部分
- 6) Distortion 可选择标准, F-? 或刻度值, 详见讨论部分
- 7) Do X-Scan: 若选中, 则计算沿着 X 视场的正方向计算, 否则, 沿着 Y 视场正方向计算.

讨论:

场曲曲线显示作为视场坐标函数的当前的焦平面或像平面到近轴焦面的距离, 子午场曲数据是沿着 Z 轴测量的从当前所确定的聚焦面到近轴焦面的距离, 并且是在子午 (YZ 面) 上测量的. 弧矢场曲数据测量的是在与子午面垂直的平面上测量的距离, 示意图中的基线是在光轴上, 曲线顶部代表最大视场(角度或高度), 在纵轴上不设置单位, 这是因为曲线总是用最大的径向视场来归一化的. 子午光线和弧矢光线的场曲是以用该光线的确定的像平面到近轴焦点之间的距离定义的. 在非旋转对称系统, 实际光线和主光线从不相交, 因此所得出的数据是在最接近处理的点上得出的. 在缺省时视场扫描是沿 Y 轴的正方向进行的, 如果选择 “DoX_Scan”, 那么最大视场是沿着 X 的正方向, 在这种情况下, 子午场曲代表 XZ 平面, 弧矢场曲代表 YZ 平面. 初学者常问为什么零视场的场曲图并不总是从零开始的呢? 这是因为图中所显示的距离是从当前定义的像平面到近轴焦面的距离, 而当前定义的像平面并不需要与近轴像平面重合. 如果存在着任何离焦量, 那么这两个平面之间是有位移的, 由此可以解释场曲的数据为什么会是那样.

“标准”的畸变大小定义为实际主光线高度减去近轴主光线高度值, 然后被近轴主光线相除, 再乘以 100. 无论像平面如何定义(该数据不再以近轴像平面为参照系), 近轴像高是用一条视场高度很小的实际光线求得的, 然后按要求将结果按比例缩放. 这一规则允许即使对不能用近轴光线很好描述的系统也能计算合理的畸变. “F-?” 畸变并不用近轴主光线高度, 而是用由焦距乘以物方主光线的夹角决定的高度. 这种称为 “F-?” 高度的系统只有物在无穷远时才有意义, 此时视场高度用角度来代替. 一般来讲 “F-?” 只适用于扫描系统, 这些系统像高与扫描角需要成线性关系. “刻度标定” 畸变与 “F-?” 畸变类似, 只是使用的是 “最适焦距”, 而不是系统焦距, 标定畸变用像高和视场角之间的非线性程度来衡量, 不限制由 F-? 条件定义的线性. 选择一个最适合该数据的焦距而不是系统焦距进行计算, 尽管一般来说, 最适焦距与系统焦距是非常接近的. 在本功能中, 标定焦距在列出本功能的文本 (“Text”) 中给出. 对于非旋转对称系统和只有弯曲的像平面的系统, 畸变很难确定, 并且所得到的数据也可能是无意义的. 对非旋转对称的系统而言, 没有一个单一的数字可以在单一的视场点适当地描述畸变, 作为替代

可用 “网格图” 表示. 严格地说场曲和畸变图只对旋转对称并且具有平的像面的系统

有效. 然而 ZEMAX 采用了场曲和畸变的推广概念去描述某些(并非全部)非旋转对称系统的合理结果, 在理解非旋转对称系统的相应图示时, 必须注意. 在画场曲和畸变时, 缺省情况下不考虑渐晕. 渐晕系数可以改变主光线在光阑面上的位置, 以致使主光线不再通过光阑中心.

5.7.2 网格畸变: 显示主光线交点的网格以表示畸变.

项目描述

1) Display 可选择 “Cross” 用交叉线表达交点, 或 “Vector” 画出从理想像点到实际主光线像点的矢量.

2) Grid Size 网格大小

3)Wavelength 用于计算的波长序号

4)Field 参考视场位置（见讨论部分）。

5)Scale 若比例选定不为 1，那么畸变网格上的“X”点将以所选定的比例因子扩大。

6)Aspect 若采用 1，那么将选择正方形的视场，若系统是非对称的，那么输出的像可能不是正方形，但像方视场是正方形。若长宽比大于 1，那么“Y”方向的视场将以所给定的因子被压缩。若长宽比小于 1，那么“X”方向的视场将以所给定因子的倒数被压缩，最后得到的长宽比为 X 视场的尺寸被 Y 视场的尺寸所除，长宽比仅仅影响输入视场。像平面上的长宽比由光学系统的成像特征所决定。

7)Symmetric Magnification:若采用，X 方向的放大率必须等于 Y 方向的放大率。这引起畸变以预定的对称网格而不是变形网格为参考点。

讨论：

本功能显示或计算主光线网格的坐标，在一个无畸变的系统中，像平面的主光线坐标值和视场坐标之间遵守线性关系：式中 x_p 和 y_p 是以参考像点为基准的像方坐标， f_x 和 f_y 是以参考物点为基准的物方线性坐标，对于以“角度”来定义视场的光学系统， f_x 和 f_y 为视场角的正切（视场坐标必须是线性的，因此用角度的正切而不是角度本身）。为了计算 ABCD 矩阵，ZEMAX 在以参考视场点为中心的很小区域中追迹光线。通常，这是视场中心，ZEMAX 允许选择任何一个视场位置用作参考点。ZEMAX 将物空间视场网格的角落设置成为最大径向视场距离。由于物高与视场角的正切而不是角度本身成正比，当用角度来定义视场时，全视场宽度为：式中， θ_r 是视场角落的最大径向视场角。在计算 ABCD 矩阵的分量时，采用像空间的很小视场的光线坐标，使用 ABCD 矩阵允许坐标旋转。如果像平面旋转使得物方 Y 坐标的物体成像为像方的 X 和 Y 坐标，那么 ABCD 矩阵将自动地考虑旋转，网格畸变图会显示线性网格，然后对具有相同线性视场坐标的网格上各点的实际主光线的交点作上记号“×”。

6. 3 光线痕迹图：显示任何面上叠加的光束的痕迹，通常用于显示畸变效果和表面孔径。

项目描述

1)Ray Density:决定通过入瞳一半的光线数量，设置为 10 将追迹 21×21 的网格的光线。

2)Surface 要显示光束痕迹的表面。

3)Wavelength 用于计算的波长序号

4)Field 用于计算的视场序号

5>DeleteVignetted 若采用，被以后的面拦去的光线将不再显示。被以前的面拦去的光线则从来不显示。

讨论：

本设置将画出所研究面的形状，然后在该面上复盖光线网格。如果该面不设置孔径，那么带有清晰的半直径值的径向孔径的园形将显示出来。否则，孔径将显示出来。面孔径在显示时是以外形框架定中心的，即使在实际面上孔径是偏心的。如果说在该面上有遮拦，那么遮拦将沿着由半直径决定的园孔径画出。光线网格将由光线密度参数规定，光线可以采用任何或所有视场，任何或所有波长。若选定了“Delete Vignetted”选项，那么被该面及该面以后的面拦去的光线将不被显示出来。否则，它们将显示。

5. 7. 3 纵向像差：显示每个波长的以入瞳高度为函数的纵向像差。

项目描述

- 1)Scale 用透镜单位表示的最大刻度,输入“零”为自动设置.
- 2)Wavelength 用于计算的波长数目.
- 3)Use Dashes 选择颜色(对彩色显示屏和打印机)或虚线(黑白显示屏或打印机)来显示图形.

讨论:

本设置计算从像平面到一条区域边缘光线聚焦点的距离.本计算只对轴上点进行,并且仅当区域子午边缘光线是光瞳高度函数时适用.图形的基点在光轴上,它代表像平面到光线与光轴交点的距离.因为纵向像差用像平面到光线与光轴的交点距离来表示,所以对非旋转对称系统而言,本功能也许会产生一个无意义的结果.在非旋转对称系统中解释本图时,必须特别引起注意.

5.7.4 横向色差:显示作为视场高度函数的横向色差.

项目描述

- 1)Scale 定义图中的最大刻度(用透镜单位表示),输入0代表自动设置.
- 2)Use RealRays 可采用实际或近轴光线,缺省设置为近轴光线.若要采用实际光线则选中本设置.

讨论:

本设置计算横向色差.它是像平面上最短波长的主光线交点到最长波长的主光线交点之间的距离.图形的基点在光轴上,图形的顶点代表最大的视场半径,只使用正的视场角或Y方向的高度.垂直刻度经常用最大视场角或高度归一化,子午刻度用透镜单位表示,实际光线和近轴光线都可采用.对非旋转对称的系统而言,本功能会得出一个无意义的结果.因此,在这种系统中解释本图形时,必须引起特别注意.

6.5 Y-Y bar 图:Y-Y bar 图显示.

项目描述

- 1)Start Surface 用于图示的第一个面.
- 2)Step Surface 用于图示的最后一个面.
- 3)Wavelength 用于计算的波长数
- 4)Max Scale 设置最大的用于图示的刻度,图形总是在一个矩形中显示,缺省值是最大光线的横向坐标,输入0可以自动设置.

讨论:

对镜头中每一面的近轴斜光线来说,Y-Y bar 图表示边缘光线高度与主光线高度之间的函数关系.

5.7.6 焦点色位移:显示焦点的色位移图.

项目描述

- 1)Maximum Shift 用透镜单位表示的水平轴线的最大范围,垂直轴线刻度用所定义的波长范围来设定.
- 2)Pupil Zone 用于计算后焦点的光瞳上的径向区域.缺省设置为0,它代表利用近轴光线,设置成0到1之间的值代表采用入瞳面上相应高度的实际边缘光线来计算后焦点,1代表光瞳边缘,即全孔径.

讨论:

本图代表与主波长有关的后焦距的色位移.在每一个图示的波长,为使该种颜色的边缘光线到达近轴焦点所需要的像平面的位移被计算出来.对非旋转对称的系统本图示也许会失

去意义. 最大偏离的设置将复盖缺省的设置. 整个图形总是以主波长的近轴焦点为参考基准. 所列的衍射极限的焦深由公式 $4\lambda F^2$ 求出, 这里的 F 是工作 $F/\#$, λ 是主波长值.

5.7.7 色散图: 对玻璃目录中任何一种材料画出作为波长函数的折射率图.

项目描述

- 1)Min Wavelength 决定色散图中的 X 轴线的左边坐标.
- 2)Max Wavelength 决定色散图中的 X 轴线的右边坐标.
- 3)Minimum Index 决定色散图中 Y 轴线的底部坐标, 输入 0 代表自动设置.
- 4)Maximum Index 决定色散图中 Y 轴线的顶部坐标, 输入 0 代表自动设置.
- 5)Glass 所用材料的名称.
- 6)Use Temp, Pres. 如果选中, 那么由于温度压力所产生的折射率的变化将被考虑.

讨论:

本功能在检查色散常数或其他色散公式数据在输入时是否正确是很有用的.

5.7.8 波长和内透过率的关系: 对玻璃库中任何一种材料画出波长和内透过率的函数关系.

项目描述

- 1)Min Wavelength 决定图中的 X 轴线的左边坐标.
- 2)Max Wavelength 决定图中的 X 轴线的右边坐标.
- 3)MinimumTransmission 决定图中 Y 轴线的底部坐标.
- 4)MaximumTransmission 决定图中 Y 轴线的顶部坐标, 输入 0 代表自动设置.
- 5)Glass 所用材料的名称.
- 6)Thickness 用毫米表示的玻璃厚度.

5.7.9 玻璃图: 在玻璃图上按照折射率和阿贝数画出玻璃名称. 折射率和阿贝数是直接从玻璃库的入口中得到的, 而并不是根据波长数据或色散系数计算出来的. 在下表所决定的边界范围内, 对当前所装载的玻璃库进行搜寻, 以找到所需要的玻璃.

项目描述

- 1)Min Abbe 决定图中的 X 轴线的左边坐标.
- 2)Max Abbe 决定图中的 X 轴线的右边坐标.
- 3)Minimum Index 决定图中 Y 轴线的底部坐标, 输入 0 代表自动设置.
- 4)Maximum Index 决定图中 Y 轴线的顶部坐标, 输入 0 代表自动设置.

讨论:

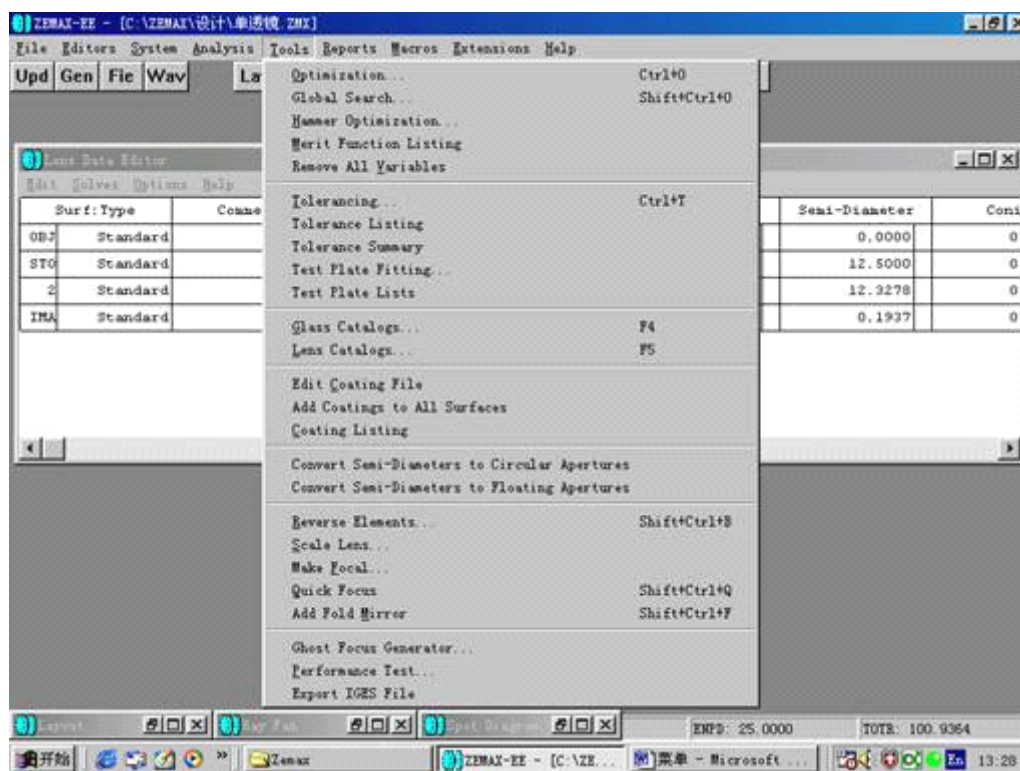
本功能对具有特定折射率和色散特性的玻璃定位是很有用的. 通常, 玻璃图的阿贝数从左到右是逐渐下降的, 这可以解释为什么最大和最小的阿贝数看上去是相反的.

5.7.10 系统总结图: 在图形框内显示和系统数据报表的文本类似的系统总结图.

标题：第六章 工具菜单

2010 年 01 月 13 日 20:30 -1 学习时间：20 分钟 评论 1 条

工具菜单是 zemax 软件的一个最为重要的模块，它包括以下选项：优化、全局优化、锤形优化(Hammer Optimization)、消除所有的变量(Remove All Variable)、评价函数列表(Merit Function Listing)、公差(Tolerancing)等选项. 如图所示.



6.1 优化(Optimization): 优化的目的是提高或改进设计使它满足设计要求.

6.2 全局优化(Global Search): 本功能启动一个全局优化, 对于给定的评价函数和变量, 利用本功能最有可能得到好设计.

6.3 锤形优化(Hammer Optimization)此功能只在 ZEMAX-EE 或 XE 版本中才能使用在评价函数处于局部最小值时, 本功能自动重复一个优化过程, 来脱离局部极值区.

6.4 消除所有的变量(Remove All Variable)

本工具可快速清除设置在当前数据中的所有变量标识. 通过将当前数据之中的所有量设置为“Fixed”而消除所有的变量设置.

6.5 评价函数列表(Merit Function Listing)

此操作可产生一个可以被保存或打印的评价函数文本列表.

6.6 公差(Tolerancing):容许的误差.

6.7 公差列表(Tolerance Listing)

此操作可产生一个可以被保存或打印的公差文本列表.

6.8 公差汇总表(Tolerance Summary)

此操作可产生一个可以被保存或打印的公差文本列表. 此表的格式比文本公差列表易读, 不需要使用专门的变量记忆符, 可以使制造者和其它对 ZEMAX 术语不熟悉的人容易理解.

6.9 套样板(Test Plate Fitting)

此功能只在 ZEMAX-EE 或 XE 版本中才能使用. 按厂家提供的样板表自动套半径样板.

各选项说明

1)File Name 选择不同的样板列表

2)Method of Fit 根据套样板后对系统质量的影响大小, 选择套样板的顺序

3)说明:

4)此功能自动为镜头元件的半径套样板, 使它与厂家现有的加工相匹配. 当前的评价函数用来作为拟合过程的数字指标. 要给一个半径套样板, 先使它在镜头数据编辑器中为变量. 可以用任意多的半径同时去套样板. 选择套样板工具, 选择使用哪一个样板文件(样板文件在“ZEMAX”支持的文件中详细叙述). 可供选择的套样板方式:

5)Try All Method: 尝试以下的方法, 用其中的能产生最小的评价函数的方法.

6)Best to Worst: 首先用最接近的半径(用光圈来衡量)套样板.

7)Worst to Best: 首先用最不接近的半径来套样板.

8)Long to Short: 首先用最大的半径来套样板.

9)Short to Long: 首先用最小的半径来套样板.

按“OK”, 则开始套样板. ZEMAX 通过搜索样板列表来在所有的半径和样板之间寻找最接近(用光圈来衡量)的匹配. 样板必须有正确的形状(凸的, 凹的或两者)和充足的直径来检验镜面的最大口径(如在主电子表格中由半口径决定的值). 若样板直径至少是镜片面最大口径的 3/4, 则样板就可以被认为有足够的直径. 与某一个半径最匹配的样板半径代替该实际半径后, 该半径的可变性被清除, 镜头将再次被优化. 由于这个原因, 在优化中为了补偿套样板带来的改变, 将间隔厚度以及未套样板的半径作为变量是很重

要的. 再优化将调整包括未套样板的半径的所有剩余的变量. 注意优化将使用当前的评价函数. 优化后, 如果还有许多未套样板的半径, 上述过程将重复. 注意半径通常不按其在镜头数据编辑器中的顺序套样板. 套样板过程中, 将显示未套样板的半径的序号和当前的评价函数. 所有的半径都被套样板后, 屏幕将显示报告. 报告显示厂家身份信息,

和列出被改变的半径列表及可以提供该半径的厂商的 ID 信息. 没有办法知道所选的样板是否为最佳的. 如果样板列表中有许多样板, 各样板半径之间互相连续, 间隔很小, 则认为这个样板匹配是相当好的. 如果在套样板的过程中评价函数的增加是不可接受的, 即使使用了不同厂家的样板表也无济于事, 则需要修改设计或者一些镜片需要定做样板. 通常, 最后套样板的剩下的那个半径用定做样板. 报告中显示半径套样板的顺序. 使用“Try All Method”选项将产生总的评价函数最小值, 这是因为此时考虑了所有的四种方法, 并把能得到最小的评价函数的方法保留下来. 但是, 除了列出的 4 种算法, 应该有许多方式能产生更高的匹配. 也有用本算法不能为给定的半径找到合适的样板的特殊情况. 这种情况发生在样板没有足够大的直径与所要的接近. 若这种情况发

生, 报告文件中将打印“NO MATCH FOUND”信息, 该半径随后不再考虑. 通常这意味着这个半径的样板将定做. 所有的样板数据由各自的厂家分别提供, 没有保证提供精度和完整的数据. 为了得到最新的样板目录, 请与供应商联系. 新的样板将被添加到 ZEMAX 中, 各种样板生产厂家应直接与 Focus Software 公司联系.

6.10 样板列表(Test Plate Lists)

在文本窗口中显示特定厂家的样板表.

各选项说明

File Name 样板文件名. 文件必须在\TESTPLAT 目录下

说明：报告中所有的单位用 mm 表示. CC 和 CX 列分别表示凹面和凸面样板.

6.11 玻璃库(Catalogs)

提供玻璃库.

6.12 镜头库(Lens Catalogs)

从镜头库中搜索或浏览特定的镜头.

各选项说明

1) Vendor 列出可利用的镜头库厂家. 每个厂家的名字作为文件名, 该文件中包括该厂家可利用的库存镜头. 厂家文件必须放在库存镜头缺省目录下, 该目录在环境对话框中设置.

2) Use Focal length 若选取, 将使用确定的焦距范围作为部分搜索标准, 否则, 将接受任意值.

3) Focal length Min/Max 用 mm 定义可接受的焦距范围

4) Use Diameter 若选取, 将使用给定的入瞳直径范围作为部分搜索标准, 否则, 将接受任意值.

5) Diameter Min/Max 用 mm 定义可接受的入瞳直径范围 Equi-, Bi-, Plano-,

6) Meniscus 如果该选框中任何控件被选取, 那么镜头在搜索时, 将限制在至少符合其中一个条件的范围. 例如, 当选 Equi- 和 Bi- 时将包括等双凸/ 等双凹 (equiconvex/euiconcave) 和双凸/ 双凹 (biconvex/biconcave). Spherical, GRIN,

7) Aspheric, Toridal 如果该选框中任何被选取, 那么镜头在搜索时, 将限制在至少符合其中一个条件的范围. 球面类系统被认为是不含有梯度折射率, 非球面和环形元件的“其它”镜头.

8) Max elements 在搜索时, 选择满足条件但镜片数又不超过所给定的最大数目的镜头. 若选择 “Any#” 则在搜索中对镜片数没有限制.

9) Search Results 列出与当前搜索标准匹配的给定目录下的所有镜头文件.

10) Search 按当前搜索标准, 对某供货商产品目录下文件中的镜头进行搜索.

11) Load 将当前所选镜头文件装载到镜头数据编辑器中, 更新装载镜头后的所有窗口和显示数据.

12) Append 把当前所选镜头文件添加到镜头数据编辑器去, 此时会出现添加文件提示行, 如指定在镜头的哪一个面添加.

13) Data 显示当前所选数据文件的性能报告.

14) Layout 显示当前所选镜头文件的外形图(或非轴对称系统的 3D 图)

15) Exit 关闭对话框

说明:

“Search Results” 表将列出符合搜索标准的指定供货商镜头的部件名称, 焦距, 和直径. 直径后, 列出 3 个部件代码, 如 (P, S, 1). 第一项是形状代码, 它可以是 E, B, P, M 或 “?”, 分别表示 Equi-, Bi-, Plano-, Meniscus, 或其它 (other). 如果镜头是复合元件则使用 other. 第二项是 S, G, A, T, 分别表示球形, 梯度, 非球形, 或环形. 第三项是元件的序号. 在安装时, ZEMAX 在 ZEMAX 目录下建立一个名为 STOCKCAT 的子目录. 在 STOCKCAT 目录下许多独立的文件用. ZMF 扩展名保存. 每个 ZMF 文件都包含大量独立的 ZEMAX 镜头文件. 每个镜头文件包含的文件表示从各种供货商取得的库存文件.

例如, 若 ZEMAX 目录名为 C:\ZEMAX, 那么 Melles Griot 厂家的镜头存储在 C:\ZEMAX\STOCKCAT\MGRIOT.ZMF. 为寻找与镜头数据编辑器中的一个或多个面的性质相匹配

的镜头文件，将鼠标放在镜头数据编辑器中的第一个面上，然后选择 Tools, Lens Catalogs. 搜索时，将缺省焦距和直径范围设定得与要搜索的镜头相一致. ZEMAX 按焦距和直径的 5%误差定义缺省搜索范围. 镜头搜索工具为从可得到的镜头中寻找合适的镜头提供了帮助. 一旦选定，镜头文件可以被装载或添加到现有设计中. 参见“支持文件(Support Files)”一章中批发供货商库存可利用的镜头列表.

6.13 编辑镀膜文件(Edit Coating File)

产生 WINDOWS 下用 NOTEPAD 编辑器来编辑 COATING.DAT 文件. 这个文件包括材料和镀膜说明.

说明：如果 COATING.DAT 文件被编辑，ZEMAX 必须关闭或重新启动来更新新的镀膜数据.

6.14 给所有的面添加膜层参数(Add Coating to All Surface)

为所有的空气-玻璃界限面加镀膜参数.

说明：当被选择时，这个工具将提示所用的膜层名称. 缺省膜是”AR”，它代表 1/4 波长的 MgF2 膜. 可以确定任意定义的镀膜名称. 所有从玻璃到空气界面都将使用镀膜，因此这个功能对于应用防反射膜是很重要的.

6.15 镀膜列表(Coating Listing)此功能只在 ZEMAX-EE 版本中才能使用

本操作产生一个文本，它列出了包含在 COATING.DAT 文件中的材料和膜系.

6.16 变换半口径为环形口径(Convert Semi-Diameter to CircularApertures)

将所有未给出表面通光口径的面转化成具有固定的半口径的面，其通光口径是与半口径相应的圆孔.

说明：本功能的主要目的是使渐晕影响的分析简单化. 对于多数的光学设计，在优化期间使用渐晕因子(参见“系统菜单”中渐晕因子的说明)是比较简单和快速的. 然而，渐晕因子是近似的. 本功能变换所有的半口径为面口径. 然后渐晕因子被删除(该功能不会对此自动操作)，光瞳被溢出，以便发现何处使光线能真正地通过系统.

6.17 变换半口径为浮动口径(Convert Semi-Diameter to FloatingApertures)

将所有未给出表面孔径的面转为按半口径值渐晕的浮动口径.

说明：

除了使用浮动口径而不是使用固定的环形口径外，本功能与”Convert Semi-Diameters to Circular Apertures”很相似. 浮动口径将面的半口径值定为”自动”模式，动态地调整渐晕口径来匹配半口径值，注意如果半口径是”固定”，则它们保持固定，渐晕将在每个面的确定半口径上产生.

6.18 将零件反向排列(Reverse Elements)

将镜头元件或镜头组反向排列.

各选项说明

First Surface 被倒置的镜头组的第一面

Last Surface 被倒置的镜头组的最后一面

说明：如果系统中包括镜面，坐标转折，或其他非标准面，本功能不能正确工作.

6.19 镜头缩放(Scale Lens)

用确定的因子缩放整个镜头. 例如，将现有的设计缩放成一个新的焦距时，本功能很有用. 波长不缩放. 缩放镜头功能也可以用来将单位从毫米变为英尺，或其它组合单位类型.

各选项说明

Scale by factor 若选取，则直接输入缩放因子

Scale by units 若选取，则镜头用所选单位变换

6.20 生成焦距(Make Focal)

除了所要的焦距是直接输入的，生成焦距与缩放镜头是相同的。整个镜头被缩放成焦距为给定值的镜头。

6.21 快速调焦(Quick Focus)

通过调整后截距对光学系统快速调焦。

各选项说明

1)Size Radial Focus 调焦时使像平面上的点列图的 RMS 为最佳

2)Spot Size X 调焦时使像平面 X 方向上的点列图的 RMS 为最佳

3)Spot Size Y 调焦时使像平面 Y 方向上的点列图的 RMS 为最佳

4)Wavefront Error 调焦时使像平面波前误差均方根最佳

5)Use Centroid 使所有的计算都以像平面上光线的重心为参照系（而不是以主光线为参照系），本选项的计算很慢，但对于慧差占主导作用的系统是很适合的。

说明：本功能调整像平面前面的厚度。厚度是依照 RMS 像差最小化的原则选择的。如上表所列有多种不同的 RMS 计算方法。最佳调焦位置与标准的选择有关。RMS 用定义的视场，波长和权因子计算整个视场的多色光的平均值。

6.22 添加折叠反射镜 (Add Fold Mirror)

为弯曲光束，包括坐标转折，插入一个转折镜。

各选项说明

1)Fold surface 选择将成为转折镜的面。被选择的面是已定位在需要转折的位置的虚拟面。

2)Reflect angle 入射和反射光线间的夹角。

3)Tilt Type 选择局部的 x 或 y 轴倾斜作为倾斜基准

说明：本功能在转折面前后插入两个虚拟面。转折面成为反射镜面，两个被插入的相邻的新面被设置成与倾斜角相适合的坐标转折。第二个倾斜角设置为从前一个倾斜角拾取。最后，由于新的反射镜，随后的所有面的厚度和曲率都改变符号。如果被选择的转折面不是平面与空气中的标准型的虚拟面，本功能不能提供有用的或正确的结果。使用本功能前，虚拟面应当被放在需要转折镜的位置。例如，在相距 100mm 的两个透镜中间插入一个转折镜，虚拟面应当放在两个透镜之间，虚拟面前后的厚度被设为 50mm。虚拟面随后被用作转折面。在多重结构数据镜头中，从转折面以后的任一面的厚度和玻璃种类如果发生改变，则本功不能使用。

6.23 幻像发生器(Ghost Focus generator)

幻像分析。

各选项说明

1)Bounces 选择一次反射或二次反射分析

2)First Surface 被考虑反射的镜头组的第一面

3)Last Surface 被考虑反射的镜头组的最后一面

4)Save Files 若选取，用来计算幻像光线追迹的文件被保存

5)Image PlaneOnly 若选取，当计算两次反射幻像时只显示像面数据

说明：

对于包括坐标转折，非标准面或多重结构数据的系统，本功能不能正确工作。本功能产生从当前镜头性能数据中获得的镜头文件。产生的文件在给定的面设置反射光线而不是折

射光线. 在新反射面之后的部分光学系统被复制以便使光线能反向追迹. 本分析的目的在于检查是否有从光学面反射的光线会在其它元件或靠近焦平面形成幻像. 这些影响在高功率的激光系统中是很重要的, 反射聚焦会损坏光学系统性能. 幻像也会减小对比度. 本功能支持单个和两个反射. 对于每一个幻像系统, 边缘光线高度, 近轴光线 F#, 和轴上 RMS 点尺寸都被列出. 同时也列出了具有内部聚焦的玻璃面. 对于像面, 当做二次反射幻影分析时, 提供从像面到幻像面的距离和幻像系统的等效焦距. 所产生镜头文件存储在 GHfffsss.ZMX 文件中, 这些文件可以被打开来进行分析. fff 是第一个幻像面的序号, sss 是第二个幻像面的序号. 例如 GH007002.ZMX 是表示第七个面和第二个面的二次反射幻像聚焦文件, fff 是非零值. 含有非标准面或坐标转折的系统, 或镜头在多重结构下, 本功能不能正确工作. 对多重结构系统进行幻像分析功能时, 首先要选中系统中感兴趣的那一重结构, 然后把其余的多重结构删除. 不是所有的幻像反射形式都能被追迹, 也有在整体内部全反射或光线溢出的偶然情况. 为详细分析, GHfffsss.ZMX 文件可以根据需要打开和修改. 若第一个反射面在光栏前, 那么入瞳位置不能正确计算. 在开始幻像聚焦前, 使用下面的操作可以很容易的解决这个问题(只是为了分析幻像):

- 1) 记录入瞳位置和直径
- 2) 在第一面设定一个虚拟面
- 3) 这个新的虚拟面的厚度是所记录的入瞳位置的负值
- 4) 将虚拟面作为光栏, 让入瞳直径与所记录的入瞳直径相等
- 5) 对有限的共轭距, 用与虚拟面厚度相等的值增加物面厚度这些步骤将在物空间给你一个实际的入瞳, 当反射面在光栏前, 光线可以正确追迹. 在较复杂的系统中幻像聚焦很复杂, 在解释分析结果时要小心.

6.24 系统复杂性测试(Performance Test)

系统光线追迹复杂性测试.

说明:

将你的电脑的硬件的速度和镜头的复杂性一起考虑, 得出你所能承受的每秒钟光线转面计算的次数, 然后以此来对镜头的复杂性进行测试. 该数目是用通过当前光学系统追迹大量随机光线计算出来的, 然后用计算持续时间(用秒表示) 内所追迹的面数相除. 速度依赖于系统的处理器、协处理器、时钟频率和镜头的复杂程度.

6.25 输出 IGES 文件(Export IGES File)

用多种选项, 以 IGES 文件格式输出当前镜头数据.

各选项说明

- 1) First/Last Surface 输出数据所包含的面范围
- 2) Wavelength 被输出的光线追迹使用的波长数目
- 3) Field 被输出的光线追迹使用的视场序号
- 4) Number of Rays 被追迹的光线数目; 确切的含义依赖于 “ Ray Pattern”
- 5) Ray Pattern 选择输出的光线类型. 本控制与 3D 外形图的定义相同;
- 6) Lens/Ray Layer 选择被放置镜头和光线数据的输出文件的层次
- 7) IGES File 输出文件的路径和文件名. 如果文件已经存在不给出警告. 缺省文件是当前输出目录下的 EXPORT.IGS.
- 8) #Spline Segment 当样条曲线输出时使用的线段的数目

说明:

IGES 是美国国家标准, 它的意图是便于与 CAD 程序间传输数据. ZEMAX 目前支持 IGES

标准 5.2 版本. 关于 IGES 的更多信息, 与 U. S. Product Data Association, P. O. Box 3310, Gaithersburg, MD 20885-3310 联系. ZEMAX 输出线, 球弧, 和样条曲线来表示每个面的形状和位置. ZEMAX 不输出透镜的“边缘”, 虚拟面、玻璃面和镜面没有差别. 被输出的每个给定面的 IGES 入口的类型和数目依赖于该面的通光口径(如果有的话) 和对称性(如果有的话). 以下的表格列出 ZEMAX 是如何决定面的最佳表达. ZEMAX 用一个 3D 坐标系统报告所有的面和光线, 该坐标系统的参考面是由“系统菜单”这一章中所描述的全局坐标参考面决定. 用表面孔径和形状输出的 IGES 文件入口表面口径表面形状所使用的入口平面 (Plano) 沿 X 轴的一条线, 沿 Y 轴的一条线, 在半口径半径上 XY 平面的一个圆球面 (Sphercial) XZ 平面上的一段圆弧, YZ 平面上的一段圆弧, 在半口径半径上 XY 平面的一个圆 None, CircularAperture orObscuration

其它 (Other) XZ 平面上的一段样条曲线, YZ 平面上的一段样条曲线, 在半口径半径上 XY 平面的一个圆平面 (Plano) 平行 X 轴的三条线, 平行 Y 轴的三条线, 它们分布在给定面的中心和边缘从而形成方格 RectangularAperture orobscuration 其它

(Other) 平行 X 轴的三条样条曲线, 平行 Y 轴的三条样条曲线, 当投影到 XY 平面时, 它们分布在给定的中心和边缘从而形成方格平面 (Plano) 沿 X 轴的一条线, 沿 Y 轴的一条线, 在 XY 平面上定义面边缘的一条样条曲线. EllipticalAperture orObscuration

其它 (Other) 沿 X 轴的一条样条曲线, 沿 Y 轴的一条样条曲线, 定义面边缘的一条样条曲线.

UserDefined Aperture orObscuration

任意不支持线入口是 IGES 入口 110. 圆弧入口是 IGES 入口 100. 样条曲线入口是 IGES 入口 112. 光线作为线入口被输出. 在 GRIN 媒体中, 光线作为一系列的线入口被输出, 如果不是在确定范围内的所有面都被输出, 将显示警告信息. 对于挡光和其它形状两者都需要被输出的面使用配置有该面的第二个口径的虚拟面. 例如, 要输出一个面是长方形挡光的长方形镜头, 使用两个面, 一个面用于设定通光口径, 一个面用于挡光, 两个面之间厚度为零. 通过设置相同的面型并在合适的位置利用求解方法使这两个面面具有相同的形状.

标题：第七章 报告菜单

2010 年 01 月 13 日 13:54 -1 学习时间：20 分钟 评论 1 条

7.1 介绍

本章提供了每个 ZEMAX 支持的文本报告功能的详细说明. 报告菜单包括以下选项：表面数据（Surface Data）、系统数据（System Data）、规格数据（Prescription Data）、Report Graphics 4/6 等，如图所示.



其中窗口的内容可以通过选择窗口菜单中“Print”选项将其打印出来. 打印机可通过选择在 Windows 控制版面图标中“Printers”工具框所设置的当前打印机. 设置菜单选项允许计算时的默认参数值被改变. 选择此选项会在屏幕上出现特性对话框, 此对话框有五个按钮:

- 1) 确定（OK）：使窗口在当前的选项下重新计算并显示数据；
- 2) 取消（Cancel）：使所有选项恢复到对话框使用前的状态，并且不会更新窗口中的数据；
- 3) 保存（Save）：将当前的选项保存为默认值，然后在窗口中重新计算并显示数据；
- 4) 装载（Loads）：装载最近保存的默认选项，但不退出对话框；
- 5) 复位（Reset）：将选项恢复到软件出厂时的缺省状态，但不退出对话框. 在报告窗口中双击鼠标左键可以更新窗口，单击鼠标右键可以打开特性对话框.

7.2 表面数据（Surface Data）

显示表面数据.

项目描述

Surface 所要显示的面的序号.

讨论:

此特性是产生一个显示表面特性数据的文本框, 这些数据包括表面和单元光焦度、焦距、边厚、折射率和其它一些表面数据. 如果表面的玻璃材料是典型玻璃, 则 ZEMAX 将列出由典型玻璃参数计算出的每个定义波长的折射率, 还列出了最适合的玻璃名称, 此玻璃是在当前装载的目录下, 折射率最接近典型玻璃的那种玻璃. 特别地, ZEMAX 用方差公式计算出典型玻璃与实际玻璃的折射率均方差, 此数值是在波长下定义的. 对当前目录下的每一种玻璃都算出折射率误差, 偏离 RMS 值最小的玻璃被认为是最适合的玻璃. 注意最适合的玻璃与典型玻璃有不同的 V 值, 这是因为在模拟玻璃色散时的近似. 由于折射率是物理意义上的重要参数, 因此折射率是选择玻璃的依据. 当从典型玻璃转变为实际玻璃时, 同样的运算法则用来选择玻璃.

7.3 系统数据 (System Data)：显示系统数据.此设置是产生一个可列出与系统有关参数的文本框，如光瞳位置与大小、倍率、F/# 等.

7.4 规格数据 (Prescription Data)：它的功能是产生一系列所有的表面和整个镜头系统数据.它可用来打印镜头数据编辑器中的内容.

项目描述

- 1)General Data 包括 F 数、光瞳位置、倍率等等.
- 2)Surface Data 表面类型、半径、厚度、玻璃材料、半口径、表面的圆锥曲线等.
- 3)Surface Detail 参数.
- 4)Edge Thickness 每个表面的 x 与 y 边厚.
- 5)Multi-Config Data 一个多重结构操作数表格.
- 6)Solves/Variables 解的类型和数值、变量.
- 7)Index Data 每个表面的各波长的折射率数据.
- 8)Global Vertex 每个面顶点的全局坐标和该面系统旋转矩阵.
- 9)Element Volume 球面光学的体积、密度和.
- 10)F/Numbers 每一个视场和波长 F 的 F# 列表.
- 11)Cardinal Points 主点、节点、焦点和反主点的位置列表.

讨论：这是一个包罗万象的文本产生功能.文件产生了镜头的许多详细资料，如光学特性、折射率、全局坐标、镜头体积等等.它适合描述一个镜头.当 ZEMAX 计算出镜头体积时，假设表面是标准球形或平面，边缘是最接近半口径的圆形.直径较小表面的边缘为大面半径的平方.当计算出镜头的密度，则目录中玻璃的密度（单位：克/立方厘米）可从玻璃目录中得到.对梯度折射率表面，ZEMAX 假定玻璃的密度是 3.6 克/立方厘米，这种假定有可能正确也可能不正确.

7.5 Report Graphics 4/6：此设置产生一个可同时显示 4~6 幅分析图形的图形窗口.此特性的主要优点是在一张纸上可打印多幅分析图形，设置：报告图形窗口工作时同其它分析窗口有些不同.如果从窗口菜单条中选择“Setting”选项，则将显示一个对话框，此对话框允许选择显示在窗口每个位置的图形类型，被选中的图形可以象其它窗口一样被保存为缺省值.为在窗口中改变个别图形的设置，可用鼠标右键.首先，显示“Unzoom”（如果图形已被缩放），然后在所需改变设置的窗口中任何地方上单击鼠标右键.

标题：第八章 宏指令菜单

2010 年 01 月 13 日 13:55 -1 学习时间：20 分钟 评论 1 条

1. 编辑/运行 ZPL 宏指令. 此特性只用于 ZEMAX 中 XE 和 EE 编辑器. 目的: 运行 ZPL 宏指令, 此选项调用一个允许编辑、查看和执行宏指令的对话框.

讨论: 参见“ZEMAX 编程语言”这章中的 ZPL 宏指令语言. 此对话框对发展和调试新的宏指令十分有用, 它也显示一个允许宏指令执行停止的按钮.

2. 更新宏指令列表: 更新宏指令列表.

讨论: 此特性是更新宏指令列表. 自从宏指令列表上次更新后, 如果加入或删除一些宏指令, 更新宏指令是很必须的.

3. 宏指令名: 列出在默认的宏指令目录下所有的 ZPL 宏指令. 单击宏指令名, 它会立即执行.

讨论: 从宏指令列表中执行宏指令比从 ZPL 对话框中执行宏指令要快. 若要停止一个 ZPL 宏指令, 按下 Esc 键即可.

标题：第九章 扩展命令菜单

2010 年 01 月 13 日 13:56 -1 学习时间：20 分钟 评论 1 条

1 .扩展命令 (Extensions)：运行 ZEMAX 扩展命令.

讨论：参见“扩展和动态数据交换”这章中的生成 ZEMAX 扩展命令. 下表描述了 ZEMAX 提供的扩展命令.

扩展命令名称描述

1) ARR-DEMO 产生一个当前镜头的光线追迹表, 这个实例程序包括源代码和用于光线追迹命令的用法解释.

2) DDE-DEMO 产生一个光线和系统数据的文本列表, 这个实例包括源代码和用于 DDE 特性的解释.

3) ISO-DRAW 为单透镜和胶合透镜产生符合 10110 标准兼容镜头图.

4) PHASPLOT 产生一个表示二元光学零件的位相和位相倒数示意图, 该示意图表示该面半径上的相位分布.

5) SAGCALC 为非共轴系统表面产生一个矢高数据列表.

6) TRANPLOT 计算各波长的透过率.

2. 更新扩展命令列表：更新扩展命令列表.

讨论：此特性是更新扩展命令列表, 自从扩展命令列表上次更新后, 如果加入或删除一些扩展命令, 更新扩展命令是很必须的. 任何新的扩展必须放在\ Extend 目录下.

3. 扩展命令名：列出在\ ZEMAX \ Extend 目录下所有的 ZEMAX 扩展命令.

单击扩展命令名, 它会立即执行.

10.1 简介

ZEMAX 模拟了许多种类型的光学元件. 包括常规的球面玻璃表面, 正非球面, 环带, 柱面等. ZEMAX 还可以模拟诸如衍射光栅、“薄”透镜、二元光学、菲涅耳透镜、全息元件之类的元件. 因为 ZEMAX 支持大量的表面类型, 用常用的电子表格形式安排用户界面就比较困难. 例如, 对于一个没有发生衍射的表面, 开辟“衍射阶数”一列就没什么必要. 为了使用户界面尽可能不显得乱, ZEMAX 使用了不同的类型界面以便指出定义某一种类型的表面时, 需要哪一些数据.

10.2 参数数据

一个标准的表面可以是一个紧随着一均匀介质(如空气, 反射镜或玻璃)的平面、球面或圆锥非球面. 所要求的参数仅仅是半径(半径也可以是无穷大, 使之成为一个平面), 厚度, 圆锥系数(缺省值为 0, 表示是球面), 和玻璃类型的名字. 其他的表面类型除使用一些其他值外, 同样使用这些基本数据. 例如, “偶次非球面”表面就是使用所有的“标准”列数据再加上八个附加值, 这些附加值是用来描述多项式的系数的. 这八个附加值被称为参数, 且被称为参数 1, 参数 2, 等等. 要理解的参数值的最重要特性是它们的意思会随着所选择的表面类型的不同而改变意思. 例如, “偶次非球面”表面类型用参数 1 来指定非球面近轴抛物线项的系数, 而“近轴”面则用参数 1 来指定表面焦距. 两个表面同样使用参数 1, 但用途却不同, 因为这两个表面类型永远不会同时在同一个面上使用. 数据存储的共享性简化了 ZEMAX 界面, 也减少了运行程序时所要求的总内存. 但由于你必须去记每一个参数的作用, 是否这样的共享反而会使 ZEMAX 用起来变得麻烦呢? 回答是否定的, 因为 ZEMAX 始终掌握着你所定义的每一面上的每一个参数代表什么的记录.

当你将一个表面从“标准的”改成其他的表面类型后, ZEMAX 会自动改变参数列的列头以使你你知道你对表面上的每一个参数作了什么改动. 所有需要你做的只是在正确的格子中键入适当的数据. 当你将光标从一个格子移动到另一个时, 列头会一直显示该格是用来作什么的. 如果当前的面并没有使用参数列, 列头会显示“Unused”和列序数. 要获得更多的有关镜片数据编辑的信息, 参考“编辑菜单”一章.

10.3 特别数据

ZEMAX-EE 支持无法只用八个参数值来描述的表面. 例如, 二元光学 1 (“binary optic 1”) 表面类型除了要求具有八个参数外, 还要有 200 个附加的数字才能表示. 这将要求一张很大的电子表格, 因此对于特别数据, 采用的是一种独立的编辑. 但是, 在概念上并没有区别. 特别数据值也是各种表面类型所共享的, 并且也随着所选表面类型的不同而改变其含义. 在“特别数据编辑 (Extra Data Editor)”中的列头同样也随着光标的一格格地移动而改变. 参考“编辑”一章可得到有关特别数据编辑的详细信息.

10.4 表面类型概要

ZEMAX 模拟平面, 球面和圆锥面, 所有这些表面类型都集中在标准面形目录下. 双击“Surface Type”列, 可选择其他的表面模型. 一个弹出式屏幕会将所有可用的表面类型全部列出. 除了标准表面以外, ZEMAX 还支持多种不同类型的表面.

10.4.1 用户自定义表面

不管 ZEMAX 加入了多少表面,总是会有那么一些时候需要另外一种表面类型来解决一个特殊的设计,造型或兼容问题.如果一个问题所需要的表面类型 ZEMAX 中还没有,用“用户自定义”表面加进新的表面类型是相当简单的,这在本章的最后会有描述.用户自定义表面的方法是:编写定义形状、光路追迹和其他有关表面特性的软件,然后将此软件动态地链接到 ZEMAX 中.

10.5 标准面

最常用的光学表面是球面.球面的中心落在当前的光轴上,顶点也在当前的轴上位置.ZEMAX 将平面看作是球面的一种情形(半径为无穷大的球面),圆锥面也是一种特殊的球面.标准面的子午或者说 z 坐标,由下式给出:其中, c 为曲率(半径所对应的), r 是以透镜长度单位为单位的径向坐标, k 为圆锥系数.圆锥系数对于双曲线小于 -1 ,对于抛物线为 -1 ,对于椭圆为 -1 到 0 之间,对于球面为 0 .可参考“简介”一章所提供的任何一本参考书.标准面不用任何的参数值.几个简便的公式可将椭圆面的长半轴和短半轴长度转化为半径和圆锥系数,如果 a 是长半轴长度, b 是短半轴长度.

10.6 近轴表面

近轴面用作理想薄透镜.近轴表面在分析和优化那些输出为平行光的系统时非常有用.模拟无焦点系统可通过在像平面前放置一个近轴面来实现,并将近轴面的厚度(到像平面的距离)设为与焦距相同.如果焦距定为 1 米,那么所有的以微米为单位的像差数据(如光线图)可被看成是以微弧度为单位.在模拟近轴面时有一个必须的参数为:焦距.尽管近轴模型面支持系统在折射率不为 1 的介质内成像,此焦距也应该是在空气中(折射率为 1)测量所得.近轴表面形状为平面.

10.7 近轴 XY 表面

近轴 XY 表面类型与近轴表面类似,不同点是其光学光焦度可在 X , Y 方向独立指定.因此这种表面可被用作近轴圆柱形或环形镜片.定义近轴 XY 表面时需要提供两个参数: X 屈光度, Y 屈光度.近轴 XY 表面形状为平面.近轴面的参数定义:参数 1 参数 2 参数 3-8

X 屈光度 Y 屈光度未被使用

10.8 环形表面

环形表面的形成是通过定义一个 $Y-Z$ 平面的曲率,然后将此曲率绕一条平行于 Y 轴并与 Z 轴相交的轴线旋转.环形的定义用到一个 $Y-Z$ 平面的基本曲率半径,以及一个圆锥系数和多项式非球面系数. $Y-Z$ 平面的曲线由下式得到:此曲线与偶次非球面矢高公式很接近,只不过省略了十六阶的那一项,而且坐标表达式为 y ,而不是 r .然后曲率绕一个离顶点为 R 的轴线轴旋转.距离 R 指的是旋转半径,可以是正的,也可以是负的.在 $Y-Z$ 面上的曲率半径由与标准面相同的电子表格编辑中的同一列指定.旋转半径在第 1 列参数设定.模拟一个 X 方向上为平面的柱形镜片,可输入一个很大的旋转半径,也可只输入 0 ,ZEMAX 会把它当作无穷大半径.注意如果 $Y-Z$ 半径被设为无穷大,可以用来描述一个只在 X 方向上有光焦度,而 Y 方向上没有光焦度的表面,因此,柱面可按任何一个方向定位.其他的列用来输入如下表所指定的可选非球面系数,如果 X 方向上要求有非球面系数,则先将带有两个坐标断点面绕环面旋转,再绕 Z 轴旋转.

10.9 坐标断点表面

坐标断点表面根据当前的系统用来定义一个新的坐标系统,对于光线追迹目的来说,一般都将它认为是一个虚拟的面.描述这个新的坐标系统的参数有六个: x -偏心,

y-偏心, 绕 x 轴的倾斜, 绕 y 轴的倾斜, 绕 z 轴的倾斜, 此外还有一个表示倾斜和偏心次序的标记. 坐标断点只与当前坐标系有关, 而与极坐标无关. 这种非常普通而有用的表面有着许多理想特性, 但在使用时需要一点实践经验.

使一个或一组表面倾斜或偏心的唯一方法, 是用坐标断点表面. 在使用坐标断点时, 有一个非常重要的事必须考虑到: 偏心 and 倾斜的次序! 如果将“次序”标志设为 0, ZEMAX 先在 X 方向偏心, 然后是 Y (因为这两个坐标是正交的, 所以它们的顺序无关紧要). 然后 ZEMAX 绕当前的局部 X 轴倾斜. 注意, 绕 X 轴旋转会改变 Y 和 Z 轴的方向. 然后绕新的 Y 轴旋转, 改变 X 和 Z 轴的方向. 最后, 再绕所得的 Z 轴旋转. 如果“次序”标志为其不为 0 的值 (比如说 1), 那么先以 Z, Y, X 的顺序进行倾斜, 然后再进行偏心. “次序”标志是非常有用的, 因为单个的坐标断点可撤消原先的坐标断点, 即使对倾斜和偏心的组合也是一样. 坐标断点起到的作用相当于经过了偏心 and 倾斜后, 以新的坐标系定向的平面. 但是, 此表面并不画出来, 且不能用来定义两个介质的边界, 其玻璃类型一定要跟前面一个面相同. ZEMAX 会显示一个“-”标记作为玻璃名字, 意思是指出此处不能输入玻璃类型. 坐标断点本身永远不可能是反射镜面, 一个物面也不可能是坐标断点.

坐标旋转用一系列的三维旋转矩阵来描述 (如果“次序”标志为 0): 坐标断点表面的参数定义:

参数 1 参数 2 参数 3 参数 4 参数 5 参数 6 参数 7-8

偏心 X 偏心 Y 绕 X 的倾斜绕 Y 的倾斜绕 Z 的倾斜次序未被使用.

10.10 菲涅耳表面

菲涅耳表面模型用来模拟那些为了得到球面 (或可选非球面) 轮廓而被小范围 (对于非平面的菲涅耳表面, 可参考扩展菲涅耳面类型的描述) 蚀刻的平直面. 所截取的表面由计算入射光和平面的交点得到. 一旦平面的交点被确定, 对于折射到下一个介质时的目的来说, 表面就可被看作是球面 (或非球面). 但这只是一个真正的菲涅耳透镜的近似值. 真正的菲涅耳透镜有凹槽, 它有可能会改变实际的交点. 这里所使用的模型可足够模拟有很小的凹槽的菲涅耳透镜 (即与孔径相比, 凹槽非常浅). 但对某些特别的菲涅耳透镜, 如那些用于照明灯塔上的菲涅耳透镜, 模拟得并不好. 菲涅耳面的曲率半径和圆锥系数, 如果有的话, 是以和标准表面一样的方式指定的. 其他参数值实际上也与偶次非球面模型是一样的. 非球面多项式中可以有 16 次方.

菲涅耳表面的参数定义

参数 1 参数 2 参数 3 参数 4 参数 5 参数 6 参数 7 参数 8

α_1 α_2 α_3 α_4 α_5 α_6 α_7 α_8

10.11 ABCD 矩阵

ABCD 矩阵为“黑匣子”光学系统提供了一种有力的模拟方式. 如果你有一个透镜 (或一个完整的光学系统), 它只是你所要模拟的一小部分, 而且你没有此单独元件的有效数据, 你仍然可以将它的性能模拟到一阶. 你只需要知道主面的位置和其一阶特性, 如焦距和有效的透射距离. ABCD 矩阵接受八个参数: A_x , B_x , C_x , D_x , A_y , B_y , C_y , 和

D_y . 这些参数用来组成两个 2 乘 2 矩阵 (一个是在 X 方向上的, 另一个是在 Y 方向上的), 使得当光线穿过表面时改变方向. 出射光与入射光有关, 其关系为: Y 方向上与此式相似. 参考 Hecht, 《Optics》可得到有关矩阵光学的细节. 用这种方式可以模拟大量的光学元件, 其中包括薄透镜, 厚透镜, 柱面, 甚至是梯度折射率介质. 但是, 因为用没有一种可信的方法可以计算光线经过一个 ABCD 表面的相位, 如果在镜头中存在

一个 ABCD 表面，则任何计算，只要涉及光程差数据，如 OPD 图，MTF，和泽尼克系数等，都是不被支持的。

ABCD 表面的参数定义

参数 1 参数 2 参数 3 参数 4 参数 5 参数 6 参数 7 参数 8

Ax Bx Cx Dx Ay By Cy Dy

10.12 另类面

在追迹一条光线到下一个球形光学表面时求解该光线和表面的交点问题上存在着两个解，ZEMAX 在大多数情况下能选择正确的解决方案。但是，在某些特定的系统，也就是所谓的“奇异”光线实际与该球面的交点采用的是另一个解，即“变异”解。奇异光线常常会在擦边反射后出现，光线依旧沿着它自己的方向前进（Z 方向的光线矢量不改变符号）。变异表面模型与标准表面模型除了使用变异的解决方法外，是完全一样的。当使用了变异表面后，ZEMAX 可能不能正确地计算光程差。

10.13 衍射光栅表面

衍射光栅表面可用来模拟直线形的光栅。光栅的线条与局部 X 轴平行。通过使用一个在光栅表面前后坐标断点表面，可以模拟其他方向的情形。对于一个平面光栅，到光栅上的光线产生折射，并遵循以下的等式：其中 d 是光栅间隔（一般都以微米为单位）， M 是衍射级数， λ 是波长（一般都以微米为单位）， n_1 和 n_2 是光栅前和光栅后的折射率， T 是以每微米线对数为单位的光栅周期。注意所提到的 M 的符号，是完全任意的。ZEMAX 一般用周期 T 的方式来定义（线对/微米），而不用间距 d （微米/线对）来表示。光栅表面可以是平面、球面或圆锥面；光栅前的介质，和光栅本身一样，可以是空气，玻璃，“MIRROR”或任何其他可用的玻璃类型。光栅用以线对/微米（与系统单位无关）为单位的光栅刻条 Y 方向的间隔和衍射级次来描述。ZEMAX 只将光栅模拟为光程偏离的扩展。其他的特性，如效率和相对透过率，是不被支持的。如果光栅间隔太小（或 T 太大）以致于不能符合光栅条件，则会显示“Ray missed surface”衍射光栅表面的参数定义：

参数 1 参数 2 参数 3-8

10.14 共轭面

共轭面是由两个用户指定的点定义的。ZEMAX 总是用表面顶点作为参考点，这两个定义共轭面的点被规定为要以该顶点作为参考点。共轭面上，一个点对另一个点的成像永远是理想的，就象假定这个面是一个反射镜面。虽然共轭面可以是任何介质类型的，将它假想成是由其反射特性定义出来的是较有用的。如果两个点的 Z 坐标都为正或都为负，那么从一个点到另一个点所成的像是实像。这种情况下，其中一个点到面上的任意一点的距离，加上从面上该任意点到第二个点的距离，对于面上的所有点都是常量。一个附加的条件是这个面必须唯一：此面必须通过局部坐标系统的顶点。如果表面是反射的，则其中的一个点是另一个点的共轭点，因此叫共轭。如果 Z_1 和 Z_2 同号，则共轭面是由两个满足下式条件的点产生的：注意此面必须与点 $(0, 0, 0)$ 相交。用这种模型，可得到好几种表面类型。比如，将 X, Y 方向的值设为 0，两个 Z 方向的值都设为球面的半径，就可以得到一个球面；为 X 或 Y 值指定非 0 值可以得到任意方向的椭圆。如果 Z_1 和 Z_2 不同号，则一个点对另一个点所成的像是虚的。这种情况下，一点到面上的任意一点的距离，减去该任意点到另一点的距离，对于该面上的任何一点都是常量。和成实像时一样，此面必须穿过局部坐标系统的顶点。如果 Z_1 和 Z_2 异号，则共轭面是由两个满足下式条件的点产生的：注意此面必须与点 $(0, 0, 0)$ 相交。用这种模型，可得

到好几种表面类型. 比如, 设定 X 和 Y 方向的值为 0, 两个 Z 方向的值为正值, 可得到双曲线; 如果 Z 值相等但不同号, 则得到一个平面. 在参数列中指定了两个结构点的坐标, 如下表所示. Z1 和 Z2 的

值都不能为 0.

共轭面的参数定义:

参数 1 参数 2 参数 3 参数 4 参数 5 参数 6 参数 7

x1 y1 z1 x2 y2 z2 未被使用

14 菲涅尔透镜

该对象是一个一般的放射状的相对称菲涅尔透镜, 或是一个圆柱实体菲涅尔透镜. 基础外形是平碟形 (如果为放射状) 或矩形 (如果为柱形). 由放射状和矩形小平面组成其基面的一个面, 定义了产生光功率的菲涅尔透镜的外形. 由放射状小平面对成的面形, 它的端点垂度表达式, 和偶次非球面相同: 要生成一个菲涅尔透镜, 每一个小平面对沿着 Z 轴有一个恰当的偏移, 所以, 所有的小平面的起始于有相同的 Z 坐标的中心顶点. 这样, 生成的透镜有相关的最小体积. ZEMAX 使用下列 15 个参数自动生成菲涅尔小平面对:

1: 放射高: 如果是放射对称, 这是透镜的最大放射孔径. 如果是柱状对称, 那么这是 Y 半高.

2: X 半宽: 如果是柱状对称, 这是透镜的半宽. 如果该参数设为零, 那么生成一个旋转对称透镜.

3: +深度/-频率: 如果该参数是正的, 那么它对应每个使用透镜单位的凹槽的深度. 如果为正值, 那么它对应于凹槽的周期. 举例说明, 值-0.5 产生 2 个凹槽/放射透镜单位. 如果凹槽深度是一个常量, 那么凹槽的半径位置一般会改变. 如果凹槽的密度是常数; 那么凹槽的深度一般会改变. 对于凹槽深度是常数的情况, ZEMAX 自动计算精确的半径坐标, 该坐标的垂度随指定的深度而改变. 完成这个过程需要使用反复搜索.

4: 倾斜 (度): 倾斜是指静止面和 Z 轴有关的角度. (这些静止面通常是平行于 Z 轴的.) 倾斜可以是正值或是负值. 倾斜角是一个很小的角, 典型地被附加到菲涅尔模型内, 作简单模型部分的开方.

5: 厚度: 使用透镜单位的菲涅尔厚度. 该值可以是正值或是负值. 但选定值的绝对值必须大于凹槽深度; 否则, 会生成一个不符合物理规则的非涅尔对象, 没有警告和出错信息.

6: 半径: 基本曲率半径. 这是上面的垂度表达式里的 “C” 的一个附加值.

7: 二次曲线: 上面垂度表达式中的二次曲线常数 “K” .

8-15: 偶次半径 r 的幂的系数. 这些系数的单位和 r 相同, 没有规范化. 因为该对象是一个封闭的体, 它可以反射, 折射, 和吸收光线. 参考坐标是非涅尔小平面对透镜的边的中心顶点. 如果半径和非球面项生成负垂度值, 弥补菲涅尔对象的位置是很重要的, 这样整个体将位于非连续组内. 如果, 入射端口放置在透镜外; 将导致错误的光线追迹. 无效对象这是一个不存在的对象. 被使用成放置支架, 或成为别的对象的参考点. 参考坐标是 (0, 0, 0) 面. 光线在这样一个面里要么是反射要么是吸收, 折射是不允许的.

假如 “是体吗?” 参数为非零值, 那么 ZEMAX 认为 POB 文件定义的是一个封闭的体. 光线将在体里的面与面之间反射, 折射, 或吸收. 请参看 “带小面对象的特殊考虑事项” 一节, 以得到光线追迹通过带小面对象的局限性信息.

10.15 球体

球体通过一个参数来定义.

1) 球的半径.

该对象通常被模拟成泡状, 通过在玻璃体里面放置一个球体, 并把材料类型设置成为空气或一个定义的玻璃名称, 该玻璃描述成一种气体. 参考点为球体的中心.

标准透镜

标准透镜是一个复合的对象, 它意味着在 3D 中模拟一个透镜是由 ZEMAX 的标准面组成的. 标准面可以是平面、球面、二次曲线非球面, 或是圆弧面. 标准透镜实际上是由五个分离的部分

组成:

- 1) 前表面标准外形.
- 2) 后表面标准外形.
- 3) 前表面透光孔径和前表面边缘之间的一个环带.
- 4) 后表面透光孔径和后表面边缘之间的一个环带.
- 5) 连接前表面边缘和后表面边缘的圆柱面, 该圆柱面可能略带锥形.

标准透镜通过 9 个参数来描述:

- 1) 前表面的曲率半径. 使用零时为无穷大, 即平面.
- 2) 前表面的二次曲线常数.
- 3) 前表面的透光面的直径. 使用负值产生圆弧面的垂度点.
- 4) 放射孔到透镜的前一个面的边缘的距离.
- 5) 透镜的中心厚度.
- 6) 后表面的曲率半径. 使用零时为无穷大, 即平面.
- 7) 后表面的二次曲线常数.
- 8) 后表面的透光面直径. 使用负值会产生圆弧面的垂度点.
- 9) 放射孔到透镜的后一个面的边缘的距离.

这五个面都可能使光线折射, 反射, 或吸收. 它取决于材料的属性. 参考点是透镜前一个面的中心.



标题：第十一章 设计优化实例

2010 年 01 月 13 日 14:20 -1 学习时间: 20 分钟 评论 1 条

本章主要介绍一些简单的例子供大家熟悉和了解 ZEMAX 的使用和光学设计优化的思想, 以及一些光学设计优化常识和技巧及读图技巧等.

§ 11.1 实例一：单透镜的设计及优化

1. 学习内容: 启用 Zemax, 如何键入 wavelength, lens data, 产生 ray fan, OPD, spot diagrams, 定义 thickness solve 以及 variables, 执行简单光学设计最佳化.

2. 设计目标: 设想你要设计一个 F/4 单镜片在光轴上使用, 其 focal length 为 100mm, 在可见光谱下, 用 BK7 镜片来作.

3. 设计步骤:

(1) 首先调出 ZEMAX 的 lens data editor (LDE), 它是你要的工作场所, 譬如你决定要用何种镜片, 几个镜片, 镜片的 radius, thickness, 大小, 位置……等.

(2) 然后选取你要使用光并给出波长, 在主选单 system 下, 选中 wavelengths, 键入你要的波长, 同时可选用不同的波长等. 现在在第一列键入 0.486, 以 microns 为单位, 在第二、三列键入 0.587 及 0.656, 然后在 primary wavelength (主波长) 上点在 0.486 的位置, primary wavelength 主要是用来计算光学系统在近轴光学近似 (paraxial optics, 即 first-order optics) 下的几个主要参数, 如 focal length, magnification, pupil sizes 等.

(3) 我们要决定透镜的孔径有多大. 既然指定要 F/4 的透镜, 所谓的 F/# 是什么呢? F/# 就是光由无限远入射所形成的 effective focal length (有效焦距) F 跟 paraxial entrance pupil (近轴入瞳) 的直径的比值. 所以现在我们需要的 aperture 就是 $100/4=25(\text{mm})$. 于是从 system menu 上选 general data, 在 aper value 上键入 25, 而 aperture type 被 default 为 Entrance Pupil diameter. 也就是说, entrance pupil 的大小就是 aperture 的大小.

(4) 回到 LDE, 可以看到 3 个不同的 surface, 该设计都是以几何光学里边的面的思想进行设计的, 对于 LDE 的原始界面, 他提供了三个基本的面, 依次为 OBJ, ST0 及 IMA. OBJ 就是发光物, 即光源, ST0 即 aperture stop 的意思 (一般指的是入瞳), ST0 不一定是光照过来所遇到的第一个透镜, 你在设计一组光学系统时, ST0 可选在任一透镜上, 通常默认第一面镜就是 ST0, 若想改变 ST0 的位置, 可在 ST0 这一栏上按鼠标, 可前后加入你要的镜片, 于是 ST0 就不是落在第一个透镜上了. 而 IMA 就是 imagine plane, 即成像平面. 对于我们的单透镜设计, 我们需要 4 个面 (surface), 于是在 ST0 栏上, 选取 insert cifter, 就在 ST0 后面再插入一个镜片, 编号为 2, 通常 OBJ 为 0, ST0 为 1, 而 IMA 为 3.

(5) 输入镜片的材料为 BK7. 在 ST0 列中的 glass 栏上, 直接打上 BK7 即可. 又孔径的大小为 25mm, 则第一面镜合理的 thickness 为 4mm, 也是直接键入. 再来决定第 1 及第 2 面镜的曲率半径, 在此分别选为 100 及 -100, 凡是圆心在镜面之右边为正值, 反之为负值. 而再令第 2 面镜的 thickness 为 100mm.

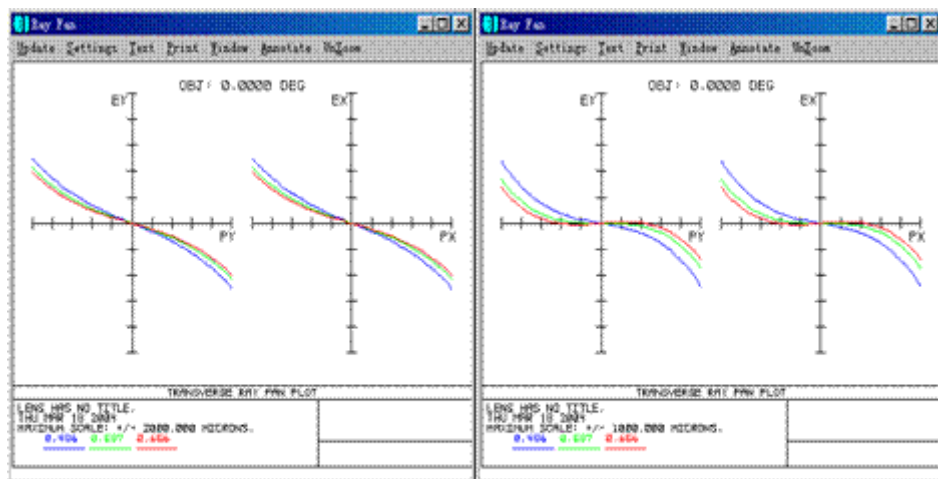


图 1 原始图

图 2 修正了离焦

(6) 检验及优化：现在你的输入数据已大致完毕. 你怎么检验你的设计是否达到要求呢？选 analysis 中的 fans，其中的 Ray Aberration，将会把 transverse（横向的）的 ray aberration（光线像差）对 pupil coordinate（光瞳坐标）作图，如图 1 所示. 其中 ray aberration 是以 chief ray 为参考点计算的. 纵轴为 EY 的，即是在 Y 方个的 aberration，称作 tangential 或者 YZ plane. 同理 X 方向的 aberration 称为 XZ plane 或 sagittal.

Zemax 主要的目的，就是帮我们矫正 defocus，用 solves 函数就可以解决这些问题. solves 是一些函数，它的输入变量为 curvatures（曲率），thickness（厚度），glasses（玻璃类型），semi-diameters（半口径），conics（圆锥率），以及相关的 parameters 等. parameters 是用来描述或补足输入变量 solves 的型式. 如 curvature 的型式有 chief ray angle, pick up, Marginal ray normal, chief ray normal, Aplanatic, Element power, concentric with surface 等. 而描述 chief ray angle solves 的 parameter 即为 angle，而补足 pick up solves 的 parameters 为 surface, scale factor 两项，所以 parameters 本身不是 solves，要调整的变量才是 solves 的对象.

(7) 优化过程：

a) 在 surface 2 栏中的 thickness 项上双击，把 solve type 从 fixed 变成 Marginal Ray height，然后 OK. 这项调整会把在透镜边缘的光在光轴上的 height 为 0，即 paraxial focus. 再次 update ray fan，你可发现 defocus 已经不见了. 如图 2 所示.

b) 但这是最佳化设计吗？再次调整 surface 1 的 radius 项从 fixed 变成 variable，依次把 surface 2 的 radius，及放弃原先的 surface 2 中 thickness 的 Marginal Ray height 也变成 variable. 再来我们定义一个 Merit function，什么是 Merit function 呢？Merit function 就是把你理想的光学要求规格定为一个标准(如此例中 focal length 为 100mm)，然后 Zemax 会连续调整你输入 solves 中的各种 variable，把计算得的值与你订的标准相减就是 Merit function 值，所以 Merit function 值愈小愈好，挑出最小值时即完成 variable 设定，理想的 Merit function 值为 0.

c) 如何设 Merit function？Zemax 已经 default 一个内建的 merit function，它的功能是把 RMS wavefront error 减至最低，所以先在 editors 中选 Merit function，进入

其中的 Tools, 再按 Default Merit Function 键, 再按 ok, 即我们选用 default Merit function, 这还不够, 我们还要规定给 merit function 一个 focal length 为 100 的限制, 因为若不给此限制则 Zemax 会发现 focal length 为时, wavefront aberration 的效果会最好, 当然就违反我们的设计要求. 所以在 Merit function editor 第 1 列中往后插入一列, 即显示出第 2 列, 代表 surface 2, 在此列中的 type 项上键入 EFFL (effective focal length), 同列中的 target 项键入 100, weight 项中定为 1. 跳出 Merit function editor, 在 Tools 中选 optimization 项, 按 Automatic 键, 完毕后跳出来, 此时你已完成设计最佳化. 重新检验 ray fan, 这时 maximum aberration 已降至 200 microns. 如图 3 所示.

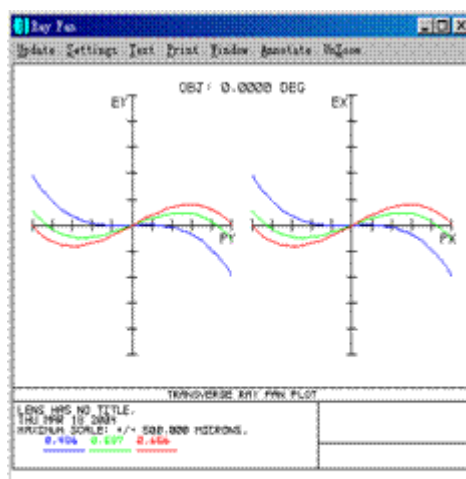


图 3 像差 $\max 200 \mu m$

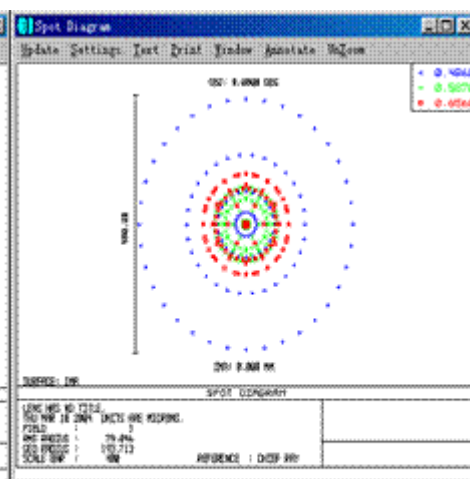


图 4 点列图斑 $\max 400 \mu m$

d) 其它检验 optical performance 还可以用 Spot Diagrams 及 OPD 等. 从 Analysis 中选 spot diagram 中的 standard, 如图 4 所示. 则该 spot 大约为 400 microns 上下左右交错, 与 Airy diffraction disk 比较而言, 后者大约为 6 microns 交错.

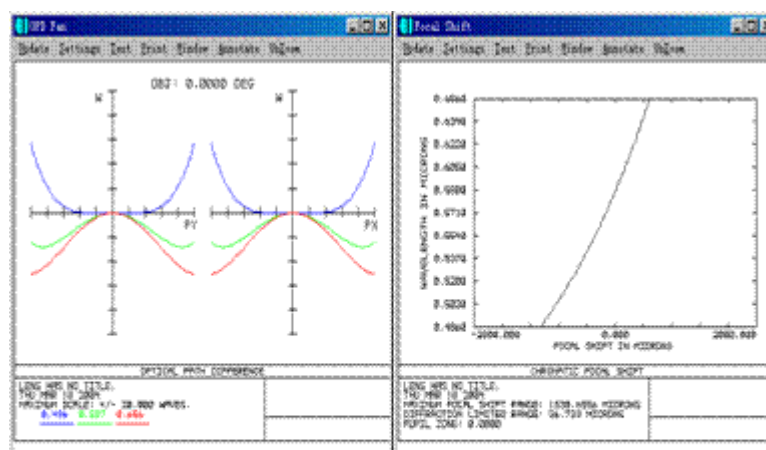


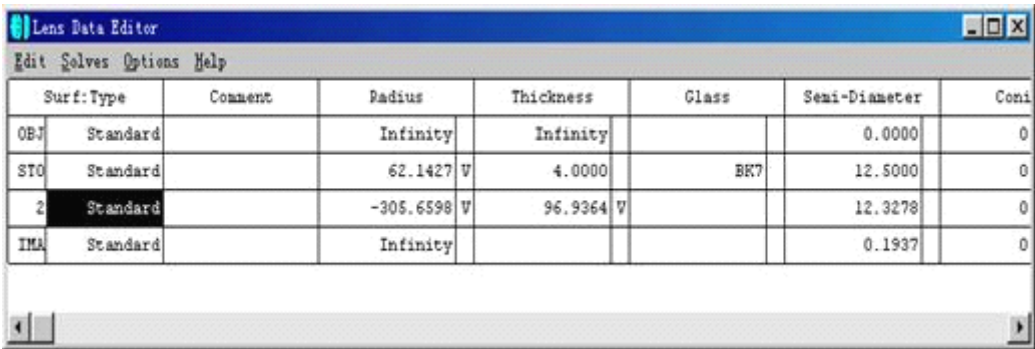
图 5 OPD 图: 20w 波

图 6 复色光焦点漂移图:
 $\max = 1538.6556 \mu m$
 波长范围: $0.486 \sim 0.656 \mu m$

e) 而 OPD 为 optical path difference (跟 chief ray 作比较), 亦从 Analysis 中挑选,

从 Fans 中的 Optical Path, 发现其中的 aberration 大约为 20 waves, 大都 focus, 并且 spherical, spherochromatism 及 axial color. 如图 5 所示. Zemax 另外提供一个决定 first order chromatic aberration 的工具, 即 the chromatic focal shift plot, 这是把各种光波的 back focal length 跟在 paraxial 上用 primary wavelength 计算出 first order 的 focal length 之间的差异对输出光波的 wavelength 作图, 图中可指出各光波在 paraxial focus 上的 variation. 从 Analysis 中 Miscellaneous 项的 Chromatic Focal Shift 即可调出, 如图 6 所示.

最后, 设计并优化出来的单透镜的数据表格如图 7 所示. 2D 图如图 8 所示.



Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Class	Semi-Diameter	Coni
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		0.0000	0
STO	Standard		62.1427 V	4.0000	BK7	12.5000	0
2	Standard		-305.6598 V	96.9364 V		12.3278	0
IMA	Standard		Infinity			0.1937	0

图 7 设计的符合要求的透镜并优化后数据

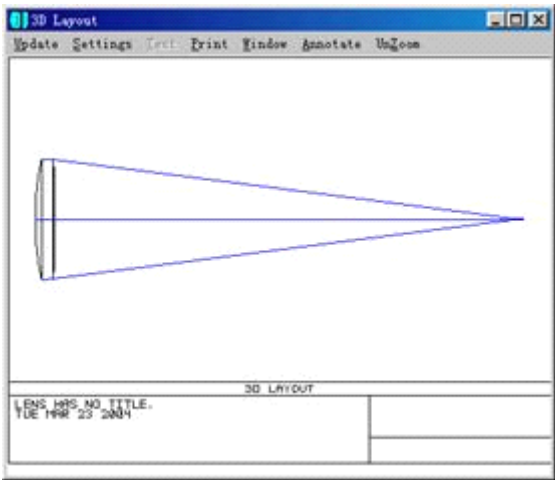


图 8 设计结束的单透镜三维图

§ 11.2 实例二 双透镜设计

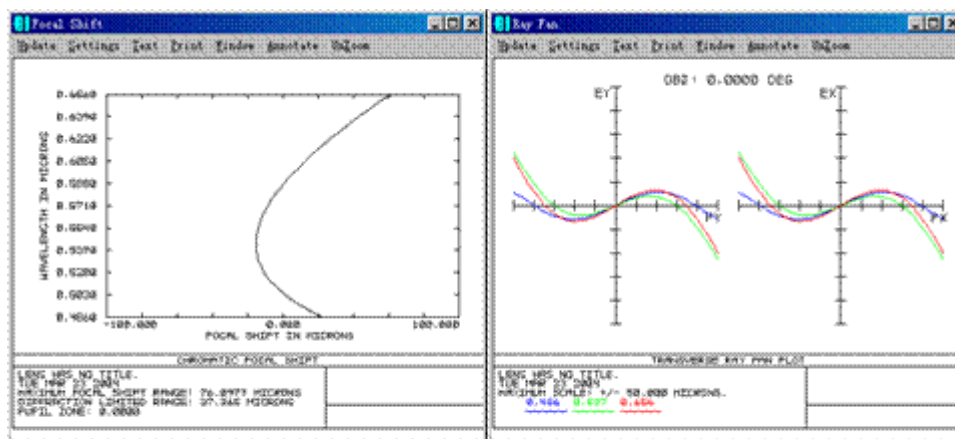
1. 学习内容: 画出 layouts 和 field curvature plots, 定义 edge thickness solves, field angles 等.
2. 说明: 一个双镜片是由两片玻璃组成, 通常粘在一起, 所以他们有相同的 curvature. 借着不同玻璃的 dispersion 性质, the chromatic aberration (色差) 可以矫正到 first order, 所以剩下的 chromatic aberration 主要的贡献为 second order, 于是我们可以期待在看 chromatic focal shift plot 图时, 应该呈现出 parabolic curve 的曲线 (因为二次函

数是一条双曲线)而非一条直线,此乃 second order effect 的结果(当然其中 variation 的 scale 跟 first order 比起来必然小很多,应该下降一个 order(数量级).并且,用一个正透镜和一个副透镜粘在一起,有利于消除整个系统的球差,正透镜产生负球差,负透镜产生正球差.

3. 跟实例一一样,我们仍然要设计一个在光轴上成像, focal length 为 100mm 的光学系统,只不过这次我们用两块玻璃来设计.

选用 BK7 和 SF1 两种镜片, wavelength 和 aperture 如同实例一所设,既然是 doublet,你只要在实例一的 LDE 上再加入一面镜片即可.所以调出实例一的 LDE,在 ST0 后再插入一个镜片,标示为 2,或者你也可以在 ST0 前在插入一面镜片标示为 1,然后在该镜片上的 surface type 上用鼠标按一下,然后选择 Make Surface Stop,则此地一面镜就变成 ST0 的位置.在第一、第二面镜片上的 Glass 项目键入 BK7 即 SF1,因为在 BK7 和 SF1 之间并没有空隙,所以此 doublet 为相黏的二镜片,如果有空隙则需 5 面镜因为在 BK7 和 SF1 间需插入另一镜片,其 glass type 为 air.现在把 ST0 和第二面镜的 thickness 都 fixed 为 3,仅第 3 面镜的 thickness 为 100 且设为 variable,既然要最佳化,还是要设 merit function,注意此时 EFL 需设在第三面镜上,因为第 3 面镜是光线在成像前穿过的最后一面镜,又 EFL 是以光学系统上的最后一块镜片上的 principle plane 的位置起算.其它的 merit function 设定就一切照旧.

既然我们只是依实例一上的设计规范,只不过再加一面 SF1 镜片而已,所以其它的 merit function 设定就一切照旧.现在执行 optimization,程序如同实例一,在 optimization 结束后,你再调出 Chromatic Focal Shift 来看看,是否发现 first order 的 chromatic aberration 已经被 reduced,剩下的是 second order chromatic aberration 在主宰,所以图形呈现出来的是一个 parabolic curve,而且现在 shift 的大小为 74 microns,先前实例一为 1540 microns.如图 1 所示.



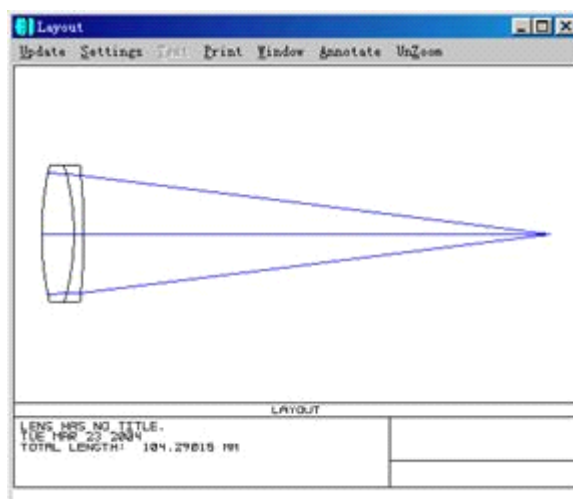


图 3 双透镜 2D 图

再看其它的 performance 效果, 调出 Ray aberration, 此时 maximum transverse ray aberration 已由实例一的 200 microns 降至 20 microns. 如图 2 所示. 而且 3 个不同波长通过原点的斜率大约一致, 这告诉我们对每个 wavelength 的 relative defocus 为很小. 再者, 此斜率不为 0, 这告诉我们什么讯息呢? 如果斜率为 0, 则在 pupil coordinate 原点附近作一些变动则并不产生 aberration 代表 defocus 并不严重, 而 aberration 产生的主要因素为 spherical aberration. 故相对于实例一(比较他们坐标的 scale 及通过原点的斜率), 现在 spherical aberration 已较不严重(因为 aberration scale 已降很多), 而允许一点点的 defocus 出现, 而出现在 rayfan curve 的 S 形状, 是典型的 spherical balanced by defocus 的情况. 现在我们已确定得到较好的 performance, 但实际上的光学系统长的什么样子呢? 选择 Analysis, Layout, 2D Layout, 如图 3 所示. 除了光学系统的摆设外, 你还会看到 3 条分别通过 entrance pupil 的 top, center, bottom 在空间被 trace 出来, 他们的波长是一样的, 就是你定的 primary wavelength(在此为 surface 1). 这是 Zemax default 的结果.

但是现在还有一个问题, 我们凭直觉定出 ST0 的 thickness 为 3, 但是真正在作镜片的时候, ST0 和 surface 2 镜面会不会互相交错穿出, 即在 edge 的 thickness 值为正数或负数, 还有是不是应该改一下设计使 lens 的 aperature 比 diameter 小, 如此我们可预留些边缘空间来磨光或架镜.

于是我们可能更改的是 diameter, ST0 的 thickness 来解决上述问题. 先在 ST0 的 diameter 上键入 14 来盖过 12.5, 此时会有一个 "U" 字出现代表 user define, 现在设想我们要 edge thickness 固定为 3mm, 可是你或许会问这样系统岂不是弄乱了吗? defocus 又会出现, 关键是再一次执行 optimization 即可. 在 ST0 的 thickness 上按一下, 选择 Edge Thickness 项目, 则会出现 "Thickness" 及 "Radial Height" 两项, 设 thickness 为 3 及 radial height 为 0(若 radial height 为 0, 则 Zemax 就使定 user define 的 semi-thickness) 按 OK 跳出, 你会发现 ST0 的 thickness 已改变, 且会出现一个 "E" 字代表 an active thickness solve 在该项的 parameter 上. 如图 4 所示.

Lens Data Editor							
Edit Solves Options Help							
Surf:Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Cont	
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		0.0000	0	
STO	Standard	61.6771 V	6.6235 E	BR7	14.0000 U	0	
2	Standard	-49.7393 V	2.0000	SP1	14.0000 U	0	
3	Standard	-125.1597 V	95.6666 V		14.0000 U	0	
IMA	Standard	Infinity			0.0224	0	

图 4 双透镜镜头数据

既然 edge thickness 已改变, 所以 focal length 也一定有些许变动, 为了维持原有的 EFFL, 现在再执行 optimization 一次即可. 现在我们想看看 off-axis 的 performance, 从 system 的 Fields 中的 Field Data, 选用 3 个 field 来作比较, 怎么选呢? 在第 2 及第 3 个列中的 "Use" 项中各按一下, 在第 2 列的 y field 行中键入 7 (即 7 degree), 在第 3 列中键入 10, 第一列则让它为 0 即持续 on-axis. 而设所有的 x field 皆为 0, 对一个 rotational 对称的系统而言, 他们的值很小, 按 OK 键跳出. 现在 Update rayfan, 你可看到如图 5 所示. 图中 T 代表 tangential, S 为 sagittal, 结果显示 off-axis 的 performance 很差, 这是因为一开始我们就设计系统在 on-axis 上来作 optimization, 这些 aberration 可以用 field curvature plot 来估计, 选 Analysis 中, Miscellaneous 的 Field Curv/Dist. 则如图 6 所示, 左图表示 shift in paraxial focus 为 field angle 的函数, 而右图为 real ray 的 distortion, 以 paraxial ray 为参考 ray. 在 field curvature plot 的讯息也可从 rayfans 中得知, 为 field curvature plot 是正比于在 rayfan plot 中通过原点的斜率.

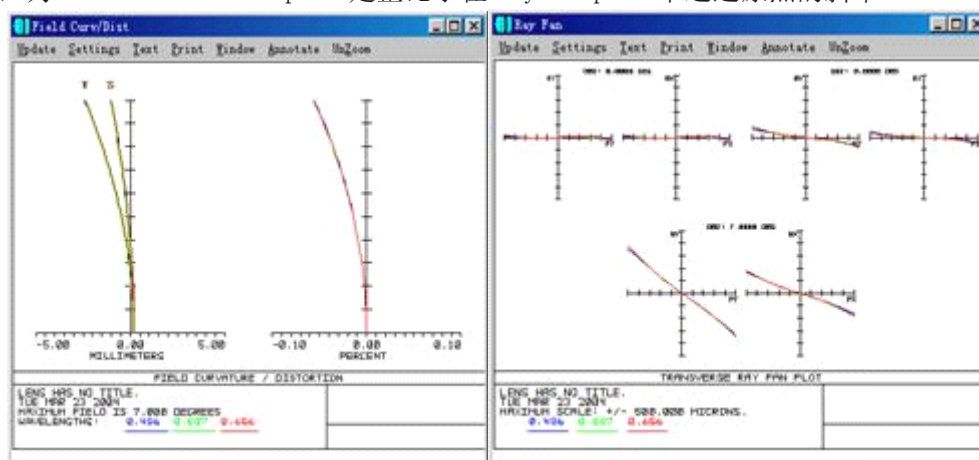


图 5 离轴与轴上 ray fan 对比

图 6 场曲图

§ 11.3 实例三 牛顿望远镜的设计和优化

1. 学习内容: 使用 mirrors (反射镜), conic constants (圆锥常数), coordinate breaks (坐标断点), three dimensional layouts (三维图), obscurations (遮挡).
2. 设计说明: 牛顿望远镜是最简单的矫正所有 on-axis aberrations (轴上像差) 的望远镜. 牛顿望远镜是利用一个简单的 parabolic mirror (抛物面镜) 完美地矫正所有 order 的 spherical aberration, 因为我们只在 optical axis 上使用, 除 spherical aberration 外并没有其它的 aberration.
3. 设计要求: 假想要设计一个 1000mm F/5 的望远镜, 我们需要一个具有曲率为 2000mm

及孔径为 200mm 的镜面. 在 surface 1 即 ST0 上的 radius 项中键入-2000 mm, 负号表示为凹面, 即曲面对发光源而言是内弯的. 在 thickness 项中键入-1000, 这个负号表示光线没有透过 mirror 而是反射回来, 在 Glass 项中键入 MIRROR, 最后在 System 的 General 项中的 aperture 中键入 200.

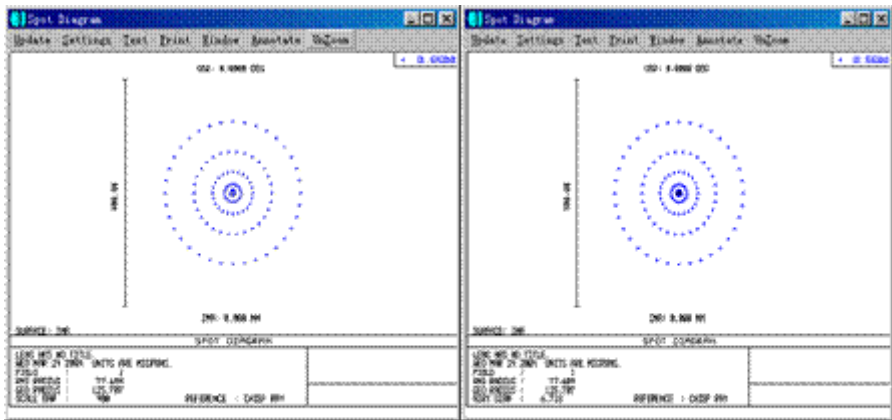


图 1

图 2

Wavelength 选用 0.550, 视场角为 0. 现在看看 spot diagram, 你会看到一个 RMS 为 77.6 microns 的 spot diagram, 如图 1 所示. (RMS 和 GEO 分别表示 spot 的均方根和几何半径. 它们的值越小, 系统的性能越好), 而一个很方便估算像质 (image quality) 的方法就是在 spot diagram 的顶端上再加一个 Airy diffraction ring (爱里斑). 从 spot diagram 的 menu bar 选择 Setting, 在 Show Scale 上选 "Airy Disk", 你会发现和选 "scale bar" 的结果是一样的. 图中所列的 RMS spot size 选 "Airy Disk" 为 77.6 microns. 光线并没有 diffraction-limited (衍射极限) 的原因是因为我们还没有设定 conic constant (圆锥常量). 先前我们设定的 curvature 的值为-2000 只是定义一个球面, 若要定义一个抛物面镜, 则在 ST0 的 Conic 项中尚需键入-1, 接下来 Update spot diagram, 你会看到 "Airy ring" 为一个黑圈, 而光线则聚集在圈内中心上, RMS 值为 0. 结果如图 2 所示.

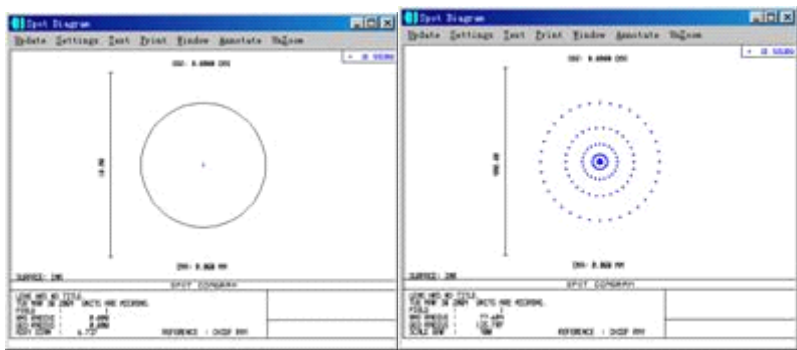


图 1

图 2

可惜的是, 虽然像质很高, 但成像的位置很不好, 所谓的不好是它位于在入射光的路径上, 若你要看这个像的话, 你的观看位置刚好挡住入射光. 改善的方法是在反射镜的后面再放一个折镜, fold mirror (后面是相对于成像点而言). 这个 fold mirror 相对于光轴的倾斜角度为 45, 把像往上提离光轴. 因为进来的光束为 200mm 宽, 因此成像平面至少在离光轴 100mm 的上方, 如此 "看" 像的时候才不会挡住入射光. 我们决定用 200mm, 而 fold mirror 离先前的反射镜面为 800mm, 因为 200+800=1000 等于原先在 ST0 上的 thickness, 即成像"

距离”不变.操作如下,先把ST0的thickness改为-800,然后在image plane前插入一个dummy surface(虚构面),并将虚构面的厚度设为-200,以保持镜面到像平面的总距离为-1000.为何要插入dummy surface呢?又dummy surface是什么呢?dummy surface的目的只是在帮助我们吧fold mirror的位置标示出来,本身并不具真实的光学镜片意义,也不参予光学系统的任何”反应”,所以称为dummy surface.怎么插入dummy surface呢?先在image plane前面插入一个surface,这个surface很快地就会被转变成fold mirror,但是你不要自己在surface type处去改变它成为fold mirror,而是选Tools中的Add Fold Mirror,并在其”fold surface”处选”2”代表定义surface 2为fold mirror,完成后你将看到如图3中LED的表.或许你会问,表中surface type处在surface 2及4中皆为Coord Break(坐标断点),这又是什么?coordinate break surface是在目前的系统内定义一个新坐标系统,它总是用dummy surface的观念用来作ray tracing的目的.而在描述此新坐标系统中,通常选用6个不同参数,即x-decenter, y-dencenter, tiltx, tilty, tiltz及一个flag来指示tilting或decentration的order.

Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	Par 1 (um)
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		0.0000	0.0000	
ST0	Standard	-2000.0000	-800.0000	MIRROR	100.0000	-1.0000	
2	Coord Break		0.0000	-	0.0000		0
3	Standard	Infinity	0.0000	MIRROR	31.5145	0.0000	
4	Coord Break		200.0000	-	0.0000		0
IMA	Standard	Infinity			1.77636e-014	0.0000	

图 3

要注意的是,coordinate break总是相对于”current”而”global”的coordinate system,即只是在一个系统内部,若要改变某样对象的位置或方向,我们即利用coordinate break来作此对象的区域调整,而不用重新改变所有的系统各部份.Coordinate break就像是一个平面指向调整后的局部系统的方位.然而coordinate break surface绝不会显示出来.而它的glass项中显示为”-“代表不能键入,而它的surface type型式一定跟它前面镜的glass type一致.现在来看看layout,不能选2D(2D只能看rotational symmetric systems),要用3D看,调出layout后,按↑↓或page down or up可以看三维效果,这个设计尚可再作改善,首先入射光打到fold mirror背后的部份可以vignetted,这在实际的系统中是一个很重要的思想.在ST0的前面插入一个surface,令这个surface的thickness为900,在surface type中的Aperture Type还为”Circular Obscuration”,在Max Radius键入40,因为fold mirror的semi-diameter为31,如此才能遮蔽.Update 3D layout,看到图4所示的图.当然,也可应用上、下、左、右键和pagedown、pageup键旋转三维图观看立体效果,如图5所示.

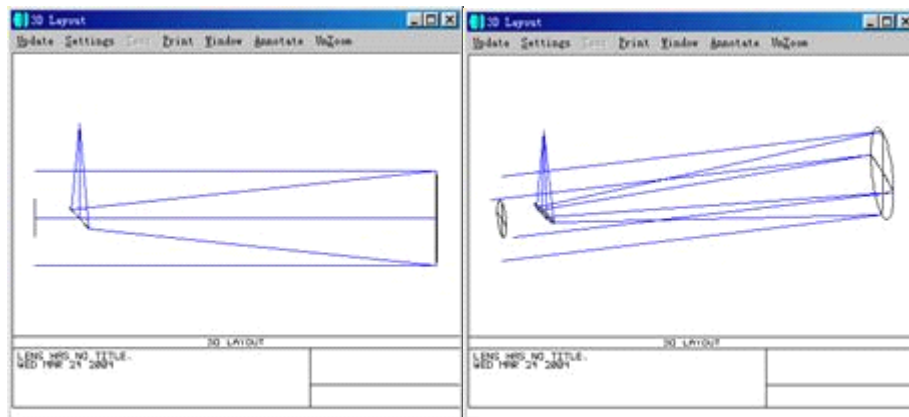


图 4

图 5

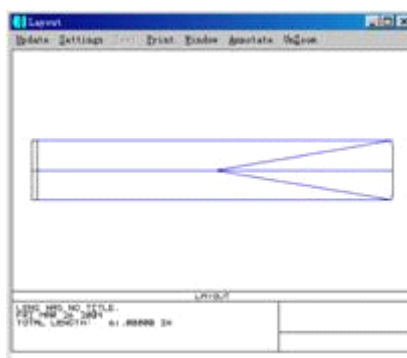
§ 11.4 实例四 具有非球面校正器的

施密特-卡萨格林 (Schmidt-Cassegrain) 系统

1. 计内容: 设计带多项式非球面校正器的 Schmidt-Cassegrain 系统, 设计是要在可见光谱中使用. 我们要一个 10inches 的 aperture 和 10inches 的 back focus.

2. 开始设计之初, 先在 aperture value 中键入 10, 同在一个 screen 把 unit "Millimeters" 改为 "Inches". 再来把 Wavelength 设为 3 个, 分别为 0.486, 0.587, 0.656, 0.587 定为 primary wavelength. 你可以在 wavelength 的 screen 中按底部的 "select" 键, 即可完成所有操作. 目前我们将使用 default 的 field angle value, 其值为 0. 依序键入如下图的 LDE 表, 此时 the primary corrector 为 MIRROR 球镜片.

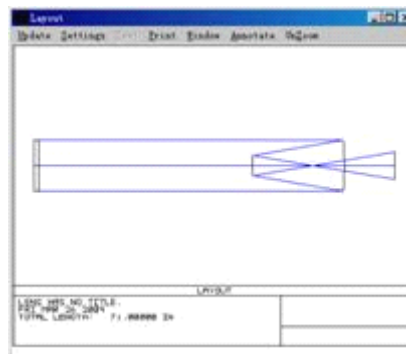
Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		0.0000
STO	Standard		Infinity	1.0000	BK7	5.0000
2	Standard		Infinity	60.0000		5.0000
3	Standard		-60.0000	-30.0000	MIRROR	5.0000
IMA	Standard		Infinity			0.0176



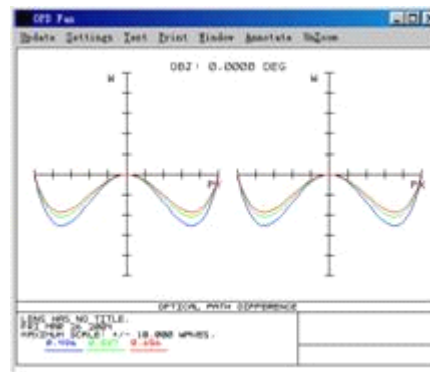
调出 2D layout, 呈现出如图所示.

Lens Data Editor						
Edit Solve Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Class	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		0.0000
STG	Standard		Infinity	1.0000	BK7	5.0000
2	Standard		Infinity	60.0000		5.0000
3	Standard		-60.0000	-18.0000	MIRROR	5.0000
4	Standard		Infinity	28.0000	MIRROR	2.0035
IMA	Standard		Infinity			2.7125

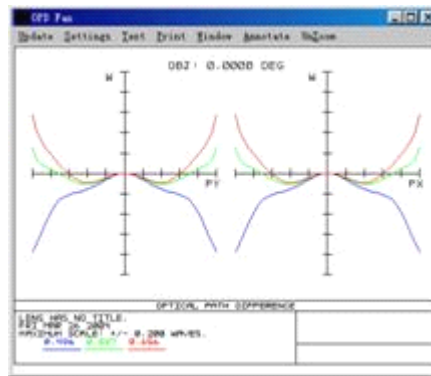
现在我们在加入第二个 corrector, 并且决定 image plane 的位置. 键入如下图的 LDE, 注意到 primary corrector 的 thickness 变为-18, 比原先的-30 小, 这是因为要放 second corrector 并考虑到其 size 大小的因素.



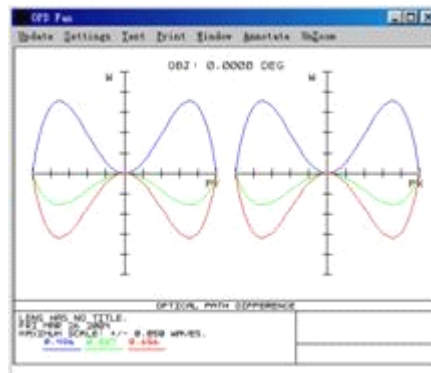
在 surface4 的 radius 设定为 variable, 通过 optimization, Zemax 可以定下他的值. 先看看他的 layout, 应如右图所示.



调出 merit function, reset 后, 改变” Rings” option 到 5. The rings option 决定光线的 sampling density, default value 为 3, 在此设计, 我们要求他为 5. 执行 optimization, 用 Automatic 即可, 你会发现 merit function 的值为 1.3, 不是很理想. 这是 residual RMS wave error 所致. 跳出 merit function, 从 system 中选 Update All, 则 secondary corrector 的 radius 已变成 41.83. 从 Analysis, fans, 中选 Optical Path, OPD plot 如右图所示, 发现其为 defocus 且为 spherical, 大概约有 4 个 wave aberration 需要矫正.

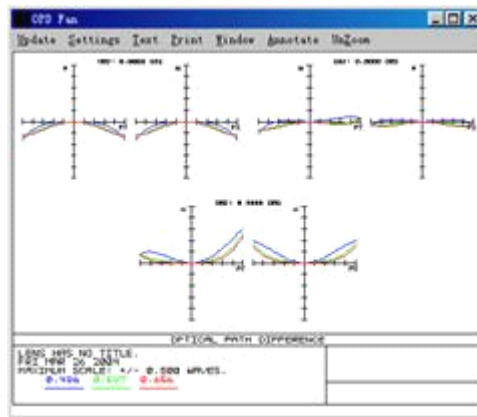


现在考虑另外一个问题，利用指定 polynomial aspheric coefficients (多项式非球面系数)来作 aspheric correction (非球面校正). 改变 surface 1 的 surface type 从 standard 改为” Even Asphere”，按 OK 后跳出，回到 surface 1 列中，往右移直到 4th Order Term, 把此项设为变量，依法炮制，6th, 8th, 后再次执行 optimization. 把 OPD plot update, 其图如右图所示，你会发现 spherical aberration 已被大大地减少.

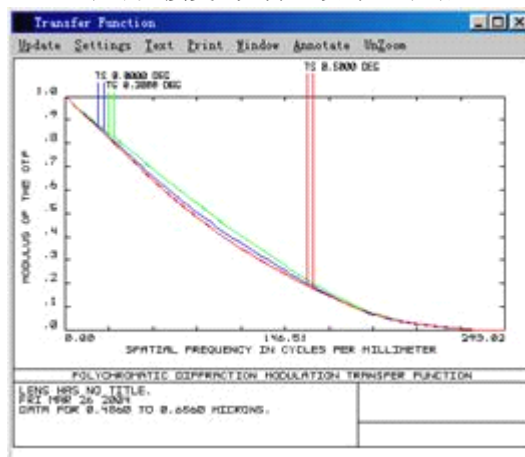


仔细观察，不同的三个波长其相对的 aberration 有不同的 spherical amount, 这就是 spherichromatism (色球差), 是下一个要矫正的目标. 依据经验所得, 我们要用 axial color 来矫正 spherichromatism, 何谓 axial color balance 呢? 而实际上 spherichromatism 是在 first order axial color (一阶轴上色差) 中被忽略的 higher order (高阶分量) 效应. 而现在 first order axial color 并不存在, 如果 first order 存在的话, 代表其效应 (首先 axial color 既是指轴而言, 他即表示 paraxial-optics, 即不同 color 在轴上的效应, 也就是 first order optics) 要远大于 higher order, 即 higher order 的 aberration 会被 balance 掉, 即 first order 会抢 higher order 的 aberration, 用 first order axial color 来消除 higher order 的 spherichromatism (即用低阶像差来平衡高阶像差) 这是在光学设计上常用的手法.

要怎么引进 axial color 呢? 我们改变 surface1 的 curvature 来达到 axial color 的效果. 把曲面 1 的 radius 设为 variable, 执行 optimization, 再看看 update 后 OPD plot 图, 如右上图所示, 这就是我们所要设计的, 残余的像差, residual aberration 小于 1/20 波长.



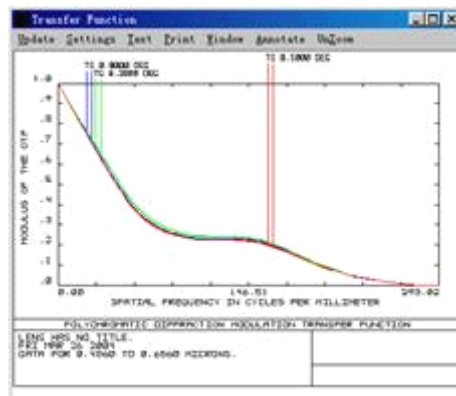
这是一个很好结果，可以让我们稍微改变 field angle, 从 system, field 中，把 field angle 的值设为 3 个，分别是 0.0, 0.3, 0.5. 现在 field angle 已改变，等于 boundary condition 已改变，所以你需要复位你的 merit function. 把 merit function 的” Rings” 改变为” 4” 后跳出执行 optimization, 则新的 OPD plot 应如右图所示，虽有不同 field angle, 但是所有的 aberrations 却可以接受. 说明此设计还不错.



假想我们要用此望远镜来照相，则这组望远镜的鉴别转换功效为何？什么是鉴别转换功效（Modulation Transfer Function—也称为调制传递函数）呢？这就是说，若是发光物 Object 的鉴别率为 M_0 ，而经过此望远镜后所得到的鉴别率是 M_i ，则 $MTF = M_i / M_0$ 即 MTF 愈大，代表此望远镜较不会降低原有的鉴别率，也就比较不会失真. 而 MTF 的横轴为 spatial frequency in cycles per millimeter, spatial 为鉴别尺 (bar target) 明暗条纹中其分隔空间宽度之意，通常以 millimeter 为单位，而 frequency in cycles 即每 millimeter 有几组明暗条纹，所以可鉴别最小刻度，即反应该光波的频率. Modulation Transfer Function，即呈现如右图所示，而 tangential（子午的）& sagittal（弧矢的）对各种入射光 field angle 的 response 也一并显示.

对一个有经验的设计者而言，此设计所呈现的 MTF 为 circular pupil autocorrelation (圆形光瞳的自相关) 的结果. 这是我们尚未考虑 the secondary corrector (第二个校正器) 所带来遮蔽效应. 既然 secondary corrector 放在 primary 的前面中心位置上，则入射光一定有部分被挡住，并且在 primary 上有个缺口把成像的光放出去，此缺口也需纳入考虑，所以我们高估了我们的 performance. 改良如下，回到 LDE，在曲面 3 的第一项中双击，从 Aperture types 中选 Circular Aperture，在 Min Radius 中键入 1.7，即入射光离光轴的半径需大于 1.7 才可进入，此操作在处理 primary 上的缺口，同时把 Max Radius

改为 6. 再来处理 secondary corrector 的 obscuration, 在 surface 3 的前面, 插入一个 surface 这个 new surface 就变成了 surface



3, 把其 thickness 改为 20, 且 surface 2 的 thickness 改为 40, 如此 $20+40=60$ 并不改变光从 BK7 后到 primary 的长度. 调整 surface 3 的 Aperture type, 设定为 Circular Obscuration. 把 Max Radius 订为 2.5, 按 OK 后跳出, 同时设定 surface 3 的 semi-diameter 也是 2.5, update 后的 MTF, 如右图所示. 你会发现 performance 已降低, 特别是在 medial spatial frequencies (中央空间频率) 部分.

§ 11.5 实例 5 具多重结构配置的激光扩束器 (Multi-configuration Laser beam expander)

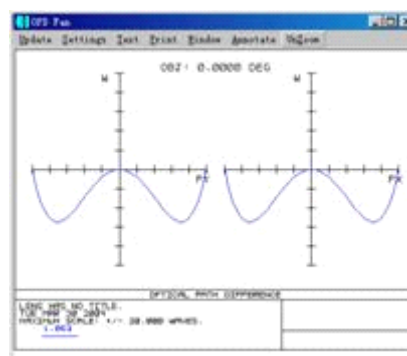
1. 学习内容: 使用 multi-configuration capability (多重结构配置的性能).
2. 设计目标: 设计一个在波长 $\lambda = 1.053 \mu$ 下操作的 laser beam expander, 输入光束直径 (Input diameter) 为 100mm, 而 output diameter 为 20mm, 且 Input 和 output 皆为 collimated. 在此设计之前, 我们必须遵守下列设计条件,

- 1) 只能使用 2 个镜片
- 2) 本设计在形式上必须是 Galilean—伽利略式 (没有 internal focus)
- 3) 只有一个 aspheric surface 可以使用
- 4) 此光学系统必须在 $\lambda = 0.6328 \mu$ 下完成测试
- 5) 镜片间隔不超过 250mm.

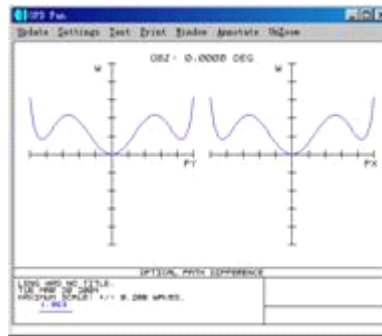
本设计任务不只是为了要矫正 aberration 而已, 而是在两个不同 wavelengths 的情况下都要做到. 先谈谈条件 2 中什么是 Galilean 呢? Galilean 就是光线从入射到离开光学系统, 在光学系统内部不能有 focus 现象, 在本例中即 beams 在两个镜片之间不能有 focus. 好在本系统不是同时在 2 个 wavelengths 下操作, 所以在操作时我们可以变动某些 conjugates (共扼面). 现在开始设计, 依据下图所示的 LDE 表中键入各 surface 的相关值. 其中 surface 5 的 surface type 从 Standard 改为 Paraxial, 这时在镜片后面的 focal length 项才会出现. 注意到使用 paraxial lens 的目的是把 collimated light (平行光) 给 focus (平行光能到焦点). 同时把 surface 5 的 thickness 及 focal length 皆设为 25, entrance pupil 的 diameter 定为 100, wavelength 只选一个 1.053 microns 即可, 记住不要在设第二个

Lens Data Editor							
Edit Solve Options Help							
Surf	Type	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	Par 1 (unused)	Par
OBJ	Standard	Infinity		0.0000	0.0000		
STO	Standard	10.0000	EK7	50.0000	0.0000		
2	Standard	200.0000		50.0000	0.0000		
3	Standard	0.0000	EK7	50.0000	0.0000		
4	Standard	10.0000		50.0000	0.0000		
5	Paraxial	25.0000		50.0000		25.0000	
IMA	Standard			2.0435e-015	0.0000		

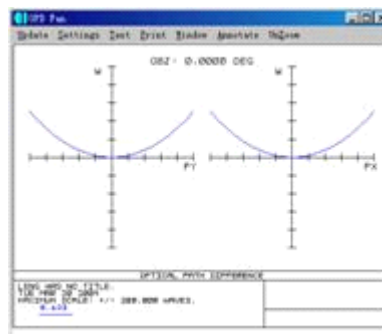
wavelength. 调出 merit function, 在第 1 列中把 operand type 改为 REAY 这表示 real ray Y 将用来作为一种 constraint(约束), 在本设计中, 我们被要求 Input diameter 为 100 而 output diameter 为 20, 其比值为 $100:20=5:1$, 即入射 beam 被压缩了 5 倍, 在 srf# 中键入 5, 表示在 surface 中我们要控制他的 ray height, 而 Py 上则键入 1.00. 把 target value 定为 10, 这个操作将会给我们一个 diameter collimated 为 20mm 的 output bem. 为什么呢? 因为 Py 是 normalized(归一化的)的 pupil coordinate, 即入射光的 semi-diameter 为 50., $Py=1$ 即现在的入射光(入射光充满整个入瞳) is aimed to the top of the entrance pupil, 把 target value 定为 10, 就是输出光的 semi-diameter 为 10, 所以 $50:10=5:1$, 光被压缩了 5 倍, 达到我们的要求. semi-diameter 的值定为 10, 现在选 Tools, Update, 你会看到在 value column 上出现 50 的值, 这就是 entrance pupil radius 即表示 coordinates 是座落在一个单位圆 (unit circle) 上, 而其半径为 50, 当 $P_x=0$, $P_y=1$ 即表示在 y 轴的 pupil 大小为 50, 而在 x 轴的则为 0.



从 edit menu bar 选 Tools, Default Merit Function, 按 Reset 后把 "Start At" field 的值改为 2, 这表示以后的 operands 会从第二列开始, 而不会影响已建立的 REAY operand. 执行 optimization 后, 把 OPD plot 调出来, 如右图所示, 你会发现 performance 很差, 大约为 7 个 waves.



这个 aberration 主要来自 spherical aberration, 所以我们要把 surface 1 改为 a spheric, 把 surface 1 列中的 conic 设为 variable, 再次执行 optimization, 你会看到较好的 OPD plot. 如右图所示.



现在把所有的 variable 都去掉, 然后将此 field 存盘, 因为你已完成 wavelength 在 1.053μ 下的 beam expander 设计. 但是 wavelength 在 0.6328μ 的情况怎么办呢? 我们进入此习作的另一个主题, 也就是 multi-configuration 可以在同一系统中同时设定不同的 configuration, 以适应不同的工作环境或要求, 先前我们已完成了 wavelength 为 1.053μ 的 configuration, 把他看做 configuration 1, 而 wavelength 0.6328 为 configuration 2.

把 wavelength 从 1.053 改为 0.6328 后看看 OPD plot, 出现非常差的 performance, 这是因为 glass dispersion 的缘故. 如右图所示. 像差明显离焦.

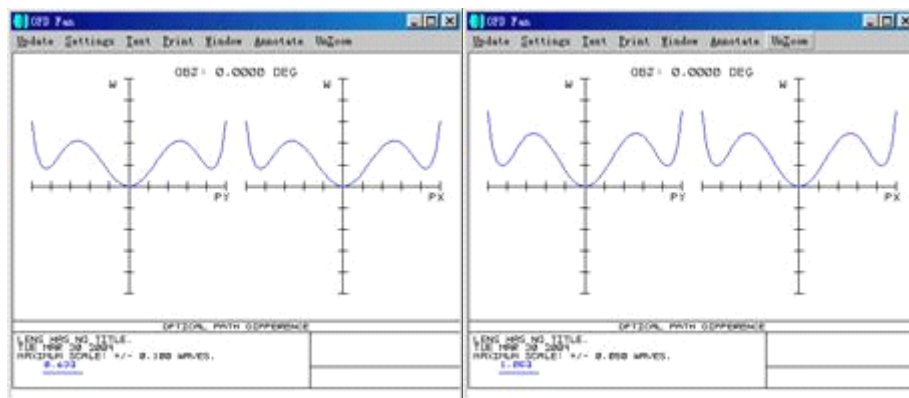
我们调整镜面间隔来消除此 defocus, 把 surface 2 的 thickness 设为 variable, 执行 optimization 后, update OPD plot, 此时的 aberration 大约为一个 wave, 接下来消掉 surface 2 thickness 的 variable.

Multi-Configuration Editor				
Edit Solves Tools Help				
Active : 1/2		Config 1*		Config 2
1: THIC	2	250.0000		250.0000 V
2: WAVE	1	1.0530		0.6328

现在我们来使用 Zemax 的 multi-configuration capability 功能, 从 main menu 上选

Editors, 后 Multi-configuration, 再选其中的 Edit, Insert Config, 如此我们就可以加入一个新的 configuration, 在第一列的第一项中按两下, 选 "wave", 同时在 "Wavelength#" 中选为 1, 这表示在不同的 configuration, 我们使用不同的 wavelengths. 在 Config 1 下键入 1.053, Config 2 下键入 0.6328, 在插入一个新的列于此列的第一项中按两下, 选 THIC 为一个 operand type, 这会让我们在各别的 configuration 中定义不同的 thickness, 从 "surface" list 中选 2 后按 OK. 在 Config 1 下键入 250, Config 2 也键入 250, 不过在 surface 中选 2 即表示在 LDE 中 surface 2 的 thickness 是当作 multi-configuration 的一项 operand value, 把 Config 2 下 surface 2 的 thickness 设为 variable. 如右图所示.

回到 merit function editor, 选 Tools, Default Merit Function, 把 "StartAt" 的值改为 1, 使 default merit function 会从第一列开始考虑. 现在先前设定的 REAY constraint 条件必须加到此新的 multi-config merit function, 在 merit function 的第一列中, 有一个 CONFoperand 且在 "Cfg#" 项中定为 1, 表示现在 configuration 1 是 active. 在此列之下尚有三个 OPDXoperands, 于 CONF 和第一个 OPDX 之间插入一个新列, 将其 operand type 改为 "REAY", "Srf#" 键入 5. 表示我们要控制的 ray height 是对 surface 5 而言, Py 键入 1.00 target value 设为 10. 如同先前的 file 让输出 beam 的 diameter 为 20mm. 在 CONF 1 的要求接设定完毕, 在 CONF 2 则不设任何 operand, 因为我们不可能在两种 wavelengths 操作下要求 exact 5: 1 的 beam. 回到 LED, 把 surface 1, 2, 4 的 curvatures 及 surface 1 的 conic 皆设为 variable, 执行 optimization (现在有 5 个 variable 为 active, 3 个 curvatures, 1 个 conic, 1 个 multi-config thickness). 调出 update 的 OPD plot, 你可以在 mulit-configuration editor 上在 "Config 1" 或 "Config 2" 上按两下, 则 OPD plot 会显示其对应的 configuration, 或者你可用热键 Ctrl-A, 在不同的 configuration 间作变换, 你会发现两者的像差都很好, 表示我们所设计的系统在 wavelength 1.053 或 0.6328 μ 的 laser 之下皆可以工作. OPD 图如下图所示.



工作在 1.053 μ 下的 OPD 图

工作在 0.6328 μ 的 OPD 图