

## 双胶合透镜的设计

### 一、实验背景

随着对光的本质认识的深入，光学对科学技术，国民经济和国防的发展起着重要的推动作用。人们在社会实践和生产实践中要不断了解和研究各种物质的现象和信息，光学就成为必不可少的手段。例如：观察远处的物体要用望远镜，研究物体微观结构要用显微镜，记录瞬时现象要用照相机，研究物质的分子和原子结构，分析其光谱，要用光谱仪，各种物理量的高精度测量，建立了光学计量技术；航空和空间科学的发展推动了航空摄影和光学遥感技术的发展，实现自动控制要用光电技术。激光出现以后，使光学学科别开生面，发展了激光原理，激光光谱学，光学全息术和光学信息处理等理论，形成了激光化学，激光生物学等边缘学科。此外在现在高科技中，如背投彩电、数码相机、数码摄相机和 DVD 等设备也都离不开光学系统的设计。

### 二、涉及课程

应用光学，物理光学，光电子学等

### 三、实验目的：

- 1、学习如何利用 Zemax 软件进行光学系统设计；
- 2、首先学会单透镜设计，双透镜设计，会分析相差，公差计算，机械制图；
- 3、设计一个双胶合透镜
  - 1) 参数的输入（波长，光阑口径，视场，透镜的边缘尺寸及中心尺寸等）
  - 2) 相差分析，优化
  - 3) 公差计算，机械制图

### 四、实验步骤

启用Zemax，如何键入wavelength, lens data, 产生ray fan（扇形光线），OPD（光程差），spot diagrams（弥散斑），定义thickness solve（厚度解）以及variables（变量），执行简单光学设计最佳化。

设想要设计一个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。

首先调出ZEMAX的lens data editor(LDE)，然后选取你要的光，在主选单system下，圈出wavelengths，依喜好键入波长，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，此为氢原子的F-line光谱。在第二、三列键入0.587及0.656，然后在primary wavelength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。

再来我们要决定透镜的孔径有多大。既然指定要F/4的透镜，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。

回到LDE，可以看到3个不同的surface，依序为OBJ，STO及IMA。OBJ就是发光物，即光源，STO即aperture stop的意思，STO不一定是光照过来所遇到的第一个透镜，在设计一组光学系统时，STO可选在任一透镜上，通常第一面镜就是STO，若不是如此，则可在STO这一栏上按滑鼠，可前后加入镜片，于是STO就不是落在第一个透镜上了。而IMA就是image plane，即成像平面。回到我们的singlet，我们需要4个面 (surface)，于是在STO栏上，选取insert after，就在STO后面再插入一个镜片，编号为2，通常OBJ为0，STO为1，而IMA为3。

再来如何输入镜片的材质为BK7。在STO列中的glass栏上，直接打上BK7即可。又孔径的大小为25mm，则第一个面合理的thickness为4，也是直接键入。再来决定第一与第二面镜的曲率半径，在此分别为100和-100，凡是圆心在镜面之右边为正值，反之为负值。而再令第二面镜的thickness为100。

现在输入信息已大致完毕。怎么检验设计是否达到要求呢？选analysis中的fans，其中的Ray Aberration，将会把transverse的ray aberration对pupil coordinate作图。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就可以解决这些问题。solves是一些函数，它的输入变数为curvatures，thickness，glasses，semi-diameters，conics，以及相关的parameters等。parameters是用来描述或补足输入变数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，要调整的变数才是solves的对象。

在surface 2栏中的thickness项上点两下，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，可发现defocus已经不见了。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， Merit function就是把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会连续调整输入solves中的各种variable，把计算得的值与制定的标准相减就是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。

现在谈谈如何设 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，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 $\infty$ 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，此时已完成设计最佳化。重新检验ray fan，这时maximum aberration已降至200 microns。

其他检验optical performance还可以用Spot Diagrams及OPD等。从Analysis中选spot diagram中的standard，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。

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。 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（多种多样）项的Chromatic Focal Shift即可叫出。

注意：

归一化视场和瞳面坐标在 ZEMAX 程序和文档中经常用到。有四个归一化坐标：Hx,Hy,Px,and Py。Hx 和 Hy 为归一化视场坐标，Px 和 Py 是归一化瞳面坐标。

归一化视场和瞳面坐标代表单位圆上的点。视场径向大小（如果视场用物高定义，则为物高）用来对归一化视场进行放大。入瞳半径用来放大归一化瞳面坐标。例如，假如最大物高是 10mm，如果定义了 3 个场域， 分别在：0、7、10mm。坐标（Hx=0,Hy=1）表示此光线始于物体最顶端（x=0mm,y=10mm）；坐标(Hx=-1,Hy=0)表示此条光线始于物面上(x=-10mm,y=0mm)。

瞳面坐标也是同样。假如入瞳半径（不是直径）是 8mm，那么（Px=0, Py=1）表示此光线通过入瞳顶端。如果光线在入瞳面上，光线坐标是（x=0, y=8）。

注意：归一化坐标总是位于-1 到+1 之间，所以

$$Hx^2 + Hy^2 \leq 1, Px^2 + Py^2 \leq 1$$

采用归一化坐标的优点是，某一些光线通常有相同的坐标，不论物体或者入瞳大小和位置如何。例如，边缘光线是从物体中心到入瞳边缘的光线，归一化坐标为（Hx=0, Hy=0, Px=0, Py=1）。主光线从视场顶端到入瞳中心，归一化坐标为（Hx=0, Hy=1, Px=0, Py=1）。

另一个优点是：即使瞳面大小和位置改变了。光线坐标仍然有用。假如在优化透镜之前，您定义了光线设置来计算系统绩效函数。如果使用归一化坐标，即使优化后入瞳大小和位置或者物体的大小和位置改变了，光线坐标仍然不变。在优化的过程中也不会改变。

当视场位置用角度来定义时，归一化坐标也起作用。例如：假定将 y-field 的角度选为 0；7；10 度，这表示角度空间中的最大视场“半径”为 10 度。则归一化视场坐标（Hx=0, Hy=1）表示 x-field 是 0 度，y-field 是 10 度。归一化视场坐标（Hx=-0.5, Hy=0.4）表示 x-field 是-5 度，y-field 是 4 度。注意：即使没有

定义 x-field, 光线追迹时也可以使用 Hx 的非零值。Hx 和 Hy 值一般指物方角度空间内圆上点, 圆的半径由最大径向视场决定。如果定义单个视场点 X 向视场角为 10 度; y-field 是 6 度, 则最大圆形区域是 11.66 度, 接着 Hx 和 Hy 将按此半径进行归一化。

