

# ZEMAX 在光学设计外形尺寸计算中的应用

唐勇, 李玉瑶

(长春理工大学 光电工程学院, 长春 130022)

**摘要:** 外形尺寸计算是光学系统设计的首要环节, 尤其对于复杂的光学系统, 外形尺寸计算是否合理直接影响像差的校正与平衡及整个系统的布局。由于光学设计软件 ZEMAX 中的近轴表面可以模拟理想薄透镜, 因此可以根据这一特性来进行光学系统的外形尺寸计算。据此, 本文介绍了十倍变焦距光学系统和激光光束整形系统两个典型光学系统的外形尺寸计算, 与设计结果相一致。该方法比传统的手工计算简单、直观, 并具有较高的精度。

**关键词:** 外形尺寸计算; 光学系统设计; ZEMAX; 近轴表面

中图分类号: O435

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2009) 02 - 0193 - 04

## ZEMAX's Application in Dimension Calculation of Optical Design

TANG Yong, LI Yuyao

(School of Optoelectronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022)

**Abstract:** The dimension calculation is the prime segment of optical system design, especially for the complicated optical system, whether the dimension calculation is reasonable will direct impact on the aberration correction and balance and the distribution of overall system. As in the optical design software ZEMAX, the paraxial surface can simulate ideal thin lens. So this feature can be carried out in dimension calculation of optical design. According to this dimension calculation of 10 x zoom optical system and laser spot's shaping system were introduced in this article, and consistent with the design results. Compared with traditional method of manual calculation, this method is more simple, more intuitive and have higher precision.

**Key words:** dimension calculation; optical system design; ZEMAX; paraxial surface

光学系统设计就是根据使用仪器所提出的使用要求, 来决定满足各种使用要求的数据, 即设计出光学系统的性能参数、外形尺寸和各光组的结构等<sup>[1, 2]</sup>。因此, 通常可以把光学设计过程分为 4 个阶段: 外形尺寸计算、初始结构计算、像差校正和平衡以及像质评价。可见外形尺寸的计算是光学系统设计的首要因素, 也为后续三个阶段奠定了基础。

光学系统的外形尺寸计算, 即由理想光组所抽象出来的光学特征公式进行光组的初始计算, 也就是以理想光组理论为基础, 根据要求寻找和确定一个能满足要求的光学系统的整体方案。一个光学仪器的工作性能好坏, 外形尺寸计算是关键, 尤其对

于复杂光学系统, 如果外形尺寸计算不合理, 严重的可致使仪器根本无法完成工作。在光学系统外形尺寸计算方面, 以往均采用手工计算的方法。本文应用 ZEMAX 中近轴表面可以模拟理想薄透镜这一功能, 将其应用到外形尺寸的优化计算中。

### 1 ZEMAX 进行外形尺寸计算的依据

光学系统的外形尺寸计算需要确定的结构内容包括系统的组成、各组元的焦距、各组元的相对位置和横向尺寸。为了简化各种类型光组的计算, 可以把光学系统看成是由一系列薄透镜组成的光学系统, 经简化后的光学系统就可以用理想光学系统的理论和公式进行计算。传统的光学系统外形尺寸是

靠手工计算完成的,既浪费时间又容易出错,采用 ZEMAX 进行外形尺寸优化计算可以避免上述问题,并能自动优化出合理的系统结构。

ZEMAX 支持大量的表面类型,如标准面、非球面、近轴面、自定义面型等,其中近轴表面用作理想薄透镜,它可以在复杂光学系统外形尺寸计算时模拟各个透镜组的光焦度,从而合理的布置光路,对外形尺寸计算的结果进行优化,确定合理的技术参数。

## 2 设计示例

### 2.1 十倍变焦距物镜设计

#### 2.1.1 技术要求

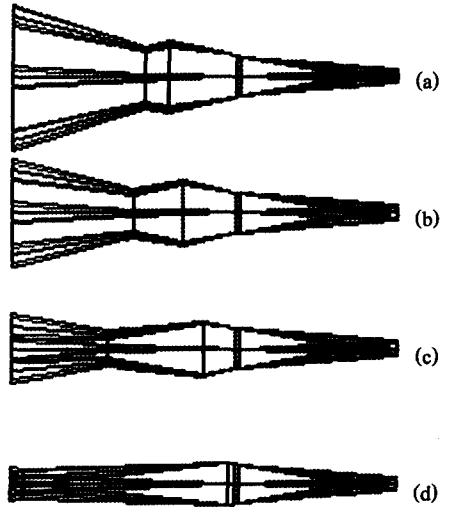
接收器件采用 1/3 英寸彩色 CCD, 焦距  $f'$  为 22~220mm, 相对孔径为 F/4, 波段选取 0.4~0.9 $\mu\text{m}$ 。

#### 2.1.2 外形尺寸计算

该变焦距物镜由前固定组、变倍组、补偿组及后固定组四部分组成,光阑置于补偿组与后固定组之间。应用 ZEMAX 中的近轴表面 Paraxial 模拟各组元结构,其焦距、间隔、口径等参数如表 1 镜头数据和表 2 多重结构所示。

表中给出了 22mm、80mm、150mm 及 220mm 四种焦距下数据,在多重结构表中可以看出,整个系统焦距的变化是通过改变前固定组与变倍组之间的间隔及光阑前、后空气间隔三个数值实现的。

图 1 为通过采用 ZEMAX 中近轴表面模拟四个组元结构后的光路图,由图可见,四种焦距下共轭距保持恒定,即可以实现在变倍过程中像面稳定。



(a) $f'$ =22mm (b) $f'$ =80mm (c) $f'$ =150mm (d) $f'$ =220mm

图 1 十倍变焦系统的光学系统近轴计算结构图

Fig.1 Paraxial calculation of 10x zoom optical system

#### 2.1.3 设计结果

根据以上的外形尺寸计算结果,再经过初始结构计算、像差校正和平衡以及像质评价后的最终设计结果如图 2 所示,可见设计结果能够很好的吻合外形尺寸计算的光路结构。

对于变焦距物镜这种成像光学系统,合理的外形尺寸优化计算能够保证优良的成像质量,从而达到较高的分辨率要求。

### 2.2 激光光束整形光学系统设计

#### 2.2.1 技术要求

光源采用波长为 488nm 的蓝光激光器,其光斑尺寸为  $\phi 700\mu\text{m}$ ,要求通过整形系统后得到 285 $\mu\text{m} \times 8.5\mu\text{m}$  的光斑。

表 1 十倍变焦系统的镜头数据

Tab.1 Lens data of 10x zoom optical system

Surf:Type		Radius	Thickness	Semi-Diameter	Focal Length
OBJ	Standard	Infinity	Infinity	Infinity	
1	Paraxial		5.130000	7.278747	104.780000
2	Paraxial		90.260000	6.222996	-25.650000
3	Paraxial		2.260000	T	35.910000
STO	Standard	Infinity	2.000000	9.028130	
5	Paraxial		69.225466	M	-138.510000
IMA	Standard	Infinity		3.000000	

表 2 十倍变焦系统的多重结构

Tab.2 Multi-Configuration of 10 x zoom optical system

Active:1/3		Config 1	Config 2	Config 3	Config 4
1:THIC	1	5.130000	42.140000	52.720000	57.760000
2:THIC	2	90.260000	41.380000	21.880000	10.260000
3:THIC	3	97.650000	97.650000	97.650000	97.650000

表3 激光光束整形系统近轴计算数据

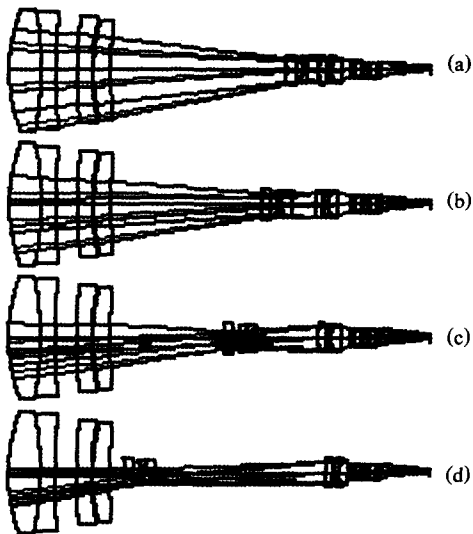
Tab.3 Paraxial calculation data of laser spot's shaping system

Surf.Type	Thickness	Semi-Diameter	Focal Length	Y-Power
OBJ	Standard	Infinity	0.000000	
STO	Paraxial	29.120000	0.350000	49.120000
2	Paraxial	10.000000	0.142508	-20.000000
3	Paraxial XY	9.701771	0.142508	0.000000
IMA	Standard	4.250000E-003		0.100000

表4 激光光束整形系统设计结果镜头数据

Tab.4 Result of laser spot's shaping system

Surf.Type	Thickness	Semi-Diameter	Focal Length	Y-Power
OBJ	Standard	Infinity	Infinity	0.000000
STO	Standard	25.640000	1.500000	K9
2	Standard	Infinity	27.630000	0.342990
3	Standard	-49.000000	1.000000	K9
4	Standard	13.350000	20.000000	0.142502
5	Toroidal	5.200000	3.000000	K9
6	Standard	Infinity	7.700000	0.114382
IMA	Standard	Infinity		4.207798E-003



(a)f=22mm (b)f=80mm (c)f=150mm (d)f=220mm

图2 十倍变焦系统的光学系统设计结果图

Fig.2 Result of 10<sup>x</sup> zoom optical system

2.2.2 外形尺寸计算

要得到椭圆形光斑需要应用柱面镜使两个相互垂直的 X 与 Y 方向的光焦度不同,从而实现不同的放大倍率。采用 ZEMAX 中的近轴表面 Paraxial 及近轴 XY 表面 Paraxial XY 进行外形尺寸计算如表 3、点列图如图 3 所示。

首先应用伽利略望远系统将  $\phi 700\mu\text{m}$  的圆形光斑整形为  $\phi 285\mu\text{m}$  的圆形光斑,然后在该整形系统后 10mm 处放置一个柱面镜。从表 3 中可以看出,该柱面镜 X 方向的光焦度为零, Y 方向的光焦度为 0.1,得到 Y 方向光斑的半尺寸为  $4.25\mu\text{m}$ ,从近轴

计算的点列图中可以看出 X 方向光斑的半尺寸为  $142.508\mu\text{m}$ ,实现了  $285\mu\text{m}\times 8.5\mu\text{m}$  的椭圆形光斑。其中柱面镜与接收面之间距离是通过采用 ZEMAX 中操作数控制光斑尺寸来自动追迹实现的。

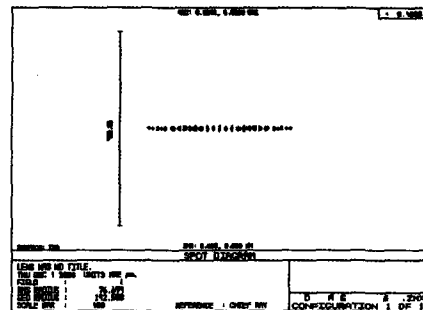


图3 激光光束整形系统近轴计算的点列图

Fig.3 Paraxial calculation spot diagram of laser spot's shaping system

2.2.3 设计结果

表 4 为根据上述外型尺寸优化计算后,采用 ZEMAX 设计该整形系统的最终结果,其像面的 Y 方向光斑的半尺寸为  $4.207798\mu\text{m}$ ;图 4 为设计结果的点列图,其像面的 X 方向光斑的半尺寸为  $142.600\mu\text{m}$ 。设计结果与外形尺寸吻合,并实现了  $285\mu\text{m}\times 8.5\mu\text{m}$  的椭圆形光斑。

对于激光光斑整形系统这种能量系统,外形尺寸的优化计算比成像系统更为重要,因为它不需要过多的注重像差的校正与平衡,只要将其外形尺寸优化合理,设计结果就可以满足使用要求。

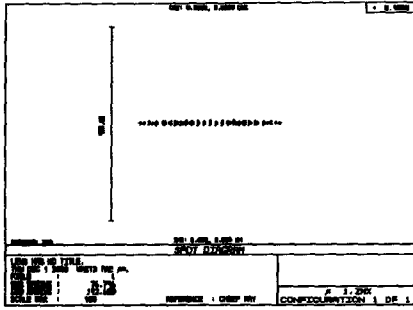


图4 激光光束整形系统设计结果点列图

Fig.4 Result spot's diagram of laser spot's shaping system

### 3 结论

通过对以上两种光学系统应用光学设计软件

ZEMAX 进行外形尺寸的优化计算与实际设计结果相比较,证明该方法正确、可靠,且较传统手工计算方便、简单、准确性更高,能够得到光学系统较合理的初始布局。

#### 参考文献

- [1] 刘钧,高明.光学设计[M].西安电子科技大学出版社,2006.
- [2] 李林,安连生.计算机辅助光学设计的理论和应用[M].北京:国防工业出版社,2002.
- [3] 曹红曲,金宁.基于ZEMAX软件的二组元变焦系统凸轮曲线设计程序[J].红外技术,2004,26(1):38-43.
- [4] 徐光华.ZEMAX 程序功能的扩展[J].光学技术,2005,31:124-127.

(上接第 206 页)

由图 4 可见,旋转轴转角速度为恒值;工件轴速度与时间  $t$  呈非线性关系;磨轮轴速度与时间  $t$  也呈非线性关系;工件轴的速度—时间曲线始终在磨轮轴的速度—时间曲线之上;工件轴的速度—时间曲线和磨轮轴的速度—时间曲线在起始阶段接近重合,在曲线终止阶段出现较大偏差,且随时间的增长偏差逐渐增大,即工件轴和磨轮轴速度时间关系曲线与位移时间关系曲线相似,从而才能够保证任意非球面面型的形成。

### 4 结束语

基于 UMAC 运动控制卡采用切线回转法加工非球面光学零件 PVT 控制轨迹分析可知,在使用 UMAC 运动控制卡实现非球面光学零件加工过程中,必须给出加工曲线上各节点上的位置、速度和

相邻两节点之间的加工时间,并采用电子凸轮法,以转角或时间做基轴,来保证回转轴、工件轴、磨轮轴的三轴联动,从而保证零件加工后的面型精度。

#### 参考文献

- [1] 李国.新型非球面超精密加工装置数控系统的研究[D].哈尔滨工业大学,2006.
- [2] 宋德儒,吴玉厚.基于 PMAC 控制的直线电机精确定位[J].机械制造,2005,43(491):21-22
- [3] 潘君骅.光学非球面的设计,加工与检验[M].北京:科学出版社,1994:4-9.
- [4] 朴承镐.轨迹成形法加工非球面光学零件新原理的报告[R].长春理工大学,2003.
- [5] 王鹤岩.数控回转切线法加工高次非球面光学零件新技术的研究[D].长春理工大学,2008.