

文章编号:1007-6735(2007)01-0099-04

基于 Zemax 软件的大齿距等厚菲涅尔透镜的设计

徐欢, 李湘宁, 周果

(上海理工大学 光学与电子信息工程学院, 上海 200093)

摘要: 介绍了在 Zemax 软件中运用多重组态进行大齿距等厚菲涅尔透镜设计的方法,并结合实例进行了设计研究,提出了用 Zemax 软件设计大齿距等厚菲涅尔透镜的一种方案.通过对设计结果进行模拟,证明了其可行性.

关键词: 菲涅尔透镜; 多重组态; Zemax 软件; 大齿距; 等厚

中图分类号: O 435

文献标识码: A

Design of Fresnel lens with big grooves and equal thickness based on the software Zemax

XU Huan, LI Xiang-ning, ZHOU Guo

(College of Optics and Electronics Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The design method of Fresnel lens which has big grooves and equal thickness is introduced by application of multi-configuration function in the software Zemax. Via an example, the problem how to use many functions of Zemax to design Fresnel lens with big grooves and equal thickness is discussed and its feasibility is proved.

Key words: Fresnel lens; multi-configuration; Zemax software; big grooves; equal thickness

菲涅尔透镜是由一系列同心棱形槽构成的光学系统,每个环带都相当于一个独立的折射面,这些棱形环带均能使入射光线会聚到一个共同的焦点.因此,消球差是菲涅尔透镜固有的特点.菲涅尔透镜有时亦称环带透镜、波纹(或锯齿)透镜和螺纹透镜,它的特点是薄、轻(通常用塑料制成)及孔径大,并且可利用复制技术精确地大批生产.现代菲涅尔透镜不仅可以作聚光器、照明器和放大镜用,而且在其他成像系统中也得到了广泛应用.

传统的菲涅尔透镜的设计是通过计算确定其技术参数,如槽根半径、槽峰半径及槽宽等,这样做比较精确,但过于烦琐.采用计算机软件来完成则可避

免大量的光学计算,但对于目前使用最广泛的光学设计软件 Zemax 而言,一般的具有细小齿距(螺距小、深度浅)的菲涅尔透镜可用其序列模式下的菲涅尔面(Fresnel)来直接进行设计和模拟,并可直接对其进行优化,得到一个较好的设计结果.但对于大齿距的菲涅尔透镜,即齿距相对于透镜的孔径来说较大的时候,这种面就不能够很好地建模. Zemax 非序列模式可以对这种较大的菲涅尔透镜进行模拟,但其缺点是无法对其进行优化,因而不能直接设计.所以,针对这个问题,本文结合设计实例得出了利用 Zemax 软件中多重组态的功能来完成大齿距等厚菲涅尔透镜设计的方案.

收稿日期: 2006-02-27

作者简介: 徐欢(1980-),女,硕士研究生.

1 设计原理

菲涅尔透镜是一个大孔径、适用于小视场的光学系统,它与非球面透镜的作用相同,但其形状与非球面透镜不同.非球面透镜表面是连续的,而菲涅尔透镜是由若干个以光轴为中心的圆环组成.在 Zemax 软件中,序列模式下的 Fresnel 面就是利用这个原理模拟的,它与非球面透镜具有相同的曲面方程

$$z = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2y^2}} + \sum_{i=1}^N \frac{2iy^{2i}}{i} \quad (1)$$

式中, c 为表面中心处的曲率; y 为径向高度; k 为二次曲面系数; i 为非球面系数.其中, $k < -1$ 为双曲面, $k = -1$ 为抛物面, $-1 < k < 0$ 为椭圆, $k = 0$ 为球面, $k > 1$ 时为扁椭圆.

Zemax 用式(1)表示菲涅尔透镜时,是将其表示为一个平面上连续变化的曲率值,表面的截点通过计算入射光线与平面的交点来确定.一旦平面截点找到以后,面型就按该点的球面(或非球面)曲率来处理,光线再折射到下一介质中.因此,这种模拟只是对实际菲涅尔透镜的一种近似.因为实际的菲涅尔透镜有齿距,光线和每个环带的交点和平面有偏移,对于细小齿距的菲涅尔透镜,这种偏移的程度较小,Zemax 可以用平面来代替曲面,并且这种模拟近似性较好.而对于大齿距的菲涅尔透镜,这种偏移的程度较大,无法直接用平面来代替曲面,Zemax 这种模拟方法就失效了.因此,用 Zemax 设计大齿距的菲涅尔透镜,主要是确定好每个环带的齿形,如图 1 所示.菲涅尔透镜的每个环带相当于一非球面透镜的一个环带,设计时先设计好各非球面,然后取对应的各环带,在保证其齿高相等的同时,使其像点都位于同一点,达到共焦的目的.

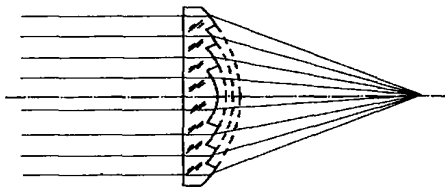


图 1 菲涅尔透镜设计原理

Fig. 1 Theory of Fresnel lens design

2 设计方法

某光电开关需要设计一透镜作为其聚光系统,使其对能量进行会聚.由于受该产品开发过程中的尺寸限制,该透镜需设计成一大齿距等厚的菲涅尔

透镜,其主要技术参数:工作距 $l = 10.45 \text{ mm}$,厚度 $d = 2 \text{ mm}$,视场 $w = 0.5^\circ$,通光孔径 $D = 12.1 \text{ mm}$,波长 $\lambda = 900 \text{ nm}$,材料为 PMMA,会聚光斑直径 1 mm .

从通光面积分布以及透镜尺寸考虑,取 4 个环带通光口径分别为 $D_1 = 5.86 \text{ mm}$, $D_2 = 8.42 \text{ mm}$, $D_3 = 10.68 \text{ mm}$, $D_4 = 12.1 \text{ mm}$.由于 Zemax 软件不能直接构建如图 1 所示的菲涅尔透镜整体,可以考虑用 Zemax 对 4 个环带逐一设计,但这样做比较复杂,而且不直观,无法形成一个整体进行分析.因此,可尝试在 Zemax 软件的序列模式中使用多重组态来进行设计.

在透镜的多重组态中,每一环带可看作一个组态,菲涅尔透镜的 4 个环带可以定义为四组态系统.如图 1 所示,把中心环带设为第一组态,即基态.第二、三、四个环带分别定义为第二、三、四组态.然后根据透镜的技术参数要求给多重组态编辑器窗口中的相应运算元赋初值,如表 1 所示.

表 1 菲涅尔透镜的初始值

Tab. 1 Original data of Fresnel

设置参数	参数设置面 序号	组态 1	组态 2	组态 3	组态 4
APMN(表面孔径最小值)	1	0	2.93	4.21	5.34
APMN(表面孔径最小值)	2	0	2.93	4.21	5.34
APMX(表面孔径最大值)	1	2.93	4.21	5.34	6.05
APMX(表面孔径最大值)	2	2.93	4.21	5.34	6.05
SDIA(半孔径)	1	2.93	4.21	5.34	6.05

由这些初始数据,Zemax 可以生成 4 个初始环带分别对应的 4 种初始组态,如图 2 所示.

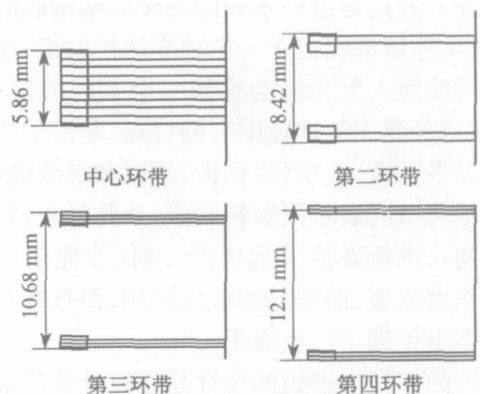


图 2 菲涅尔透镜的 4 个初始环带

Fig. 2 Four original rings of Fresnel lens

中心环带的设计与一般的非球面透镜的设计类似,通过计算给出初始结构参数,再对其进行优化得

到中心环带面型,如图 3 所示.其余环带的设计则以第一环带为基态来进行.

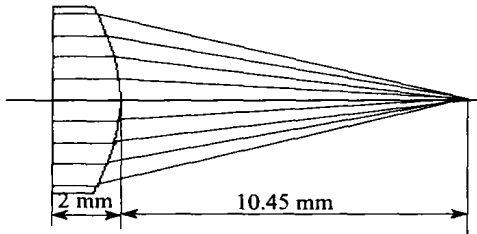


图 3 菲涅尔透镜的中心环带

Fig. 3 Central ring of Fresnel lens

由于菲涅尔透镜为等厚透镜,所以在设计第二环带以及第三、四环带时必须满足它们在起始位置时环带的厚度为 2 mm.以第二环带设计为例,假设第二环带在光轴上的厚度为 2.5 mm,则其后工作距为 9.95 mm.通过软件优化得到一个曲率为 -0.207 514 mm 的环带,如图 4 所示.将其与图 3 叠加,得到一具有两个环带的菲涅尔透镜,如图 5 所示,此时图中 $x = 0.5$ mm.

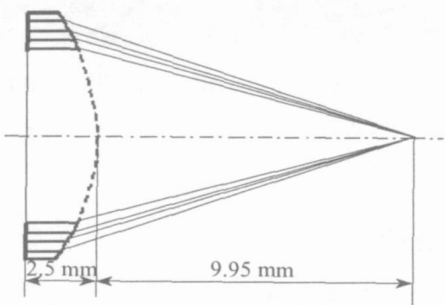


图 4 菲涅尔透镜的第二个环带

Fig. 4 The second ring of Fresnel lens

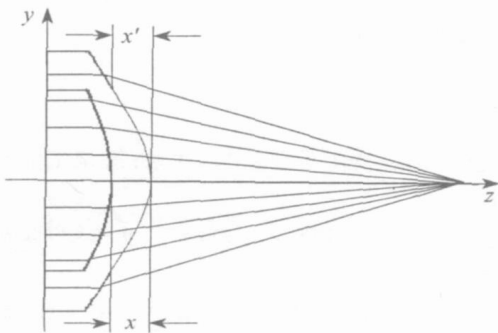


图 5 两个环的菲涅尔透镜

Fig. 5 Fresnel lens with two rings

由图 5 可知两个环带的菲涅尔透镜实现了光束的共焦要求,但没有满足菲涅尔透镜等厚的要求,因为根据二次曲面方程

$$z = 2.5 + \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2y^2}}$$

可计算出当 $y = 2.93$ mm 时, $z = 1.690\ 96$ mm (小于 2 mm). 设 x 为 $y = 2.93$ mm 时透镜相对于其二次曲面顶点的距离,如图 5 所示,此时 $x = -0.809\ 04$ mm. 要满足透镜的厚度要求,则需要使 $x = x$. 经过实践分析可知, x 随 x 的增大而增大,但其增大的速度较 x 要小,最后两者达到相等. 所以每次取 $x = |x|$, 对其优化,求出新的 x , 如此循环,直到两者相等 ($x = x - |x| \leq 0.01$ mm), 如表 2 所示, c 为曲面的曲率.

表 2 第二环带中心厚度求解

Tab. 2 Resolves of the second ring's center thickness

x / mm	c / mm ⁻¹	$ x $ / mm
0.500 000	-0.207 514	0.809 043
0.809 043	-0.214 165	0.830 425
0.830 425	-0.214 641	0.831 971
0.831 971	-0.214 676	0.832 083
0.832 083	-0.214 678	0.832 089
0.832 089	-0.214 679	0.832 093
0.832 093	-0.214 679	0.832 093

表 2 中的二次曲面的曲率 c 是通过第二组态的透镜进行优化得到的. 而 x 的值可以从 Zemax 中直接读取数据, 用计算机语言编写一个计算程序求得. 即当 $x = 0.832\ 093$ mm 时得到一个新的满足设计要求的两环菲涅尔透镜, 此时, 第二环的曲率为 $c = -0.214\ 679$, 二次曲面系数 $k = -2.203\ 200$. 如图 6 所示.

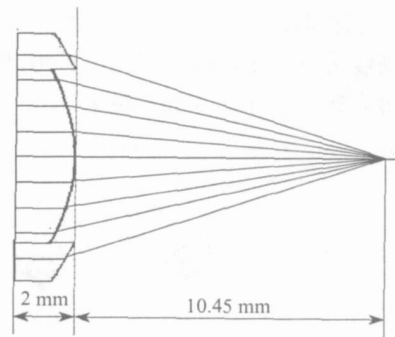


图 6 两环的等厚菲涅尔透镜

Fig. 6 Fresnel lens with two ring's and equal thickness

第三、四环带的设计过程与第二环带类似, 先取一个 x 值, 然后对第三、四组态的数据进行循环优化, 求出相应的 x 值, 直到 $x = |x|$ ($x = x - |x| \leq 0.01$ mm) 时为止. 最后得到菲涅尔透镜的 4 个环

带,如图 7 所示. 将这些环带再叠加起来,就形成了一个具有 4 个沟槽的等厚菲涅尔透镜,如图 8 所示.

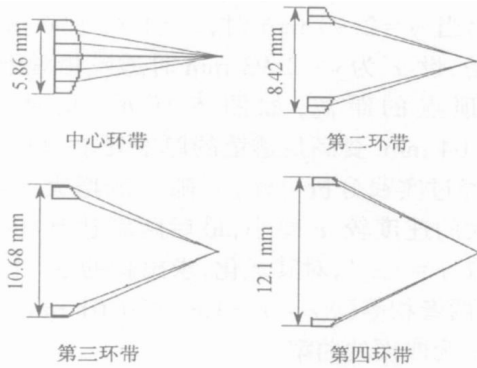


图 7 菲涅尔透镜的 4 个环带

Fig. 7 Four rings of Fresnel lens

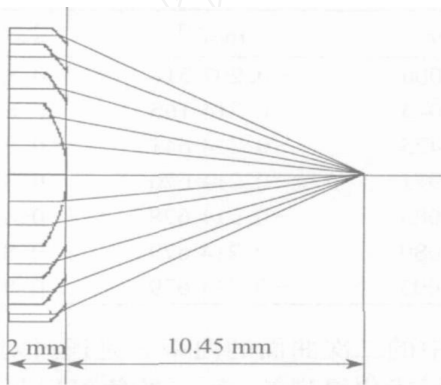


图 8 四环的等厚菲涅尔透镜

Fig. 8 Fresnel lens with four grooves and equal thickness

3 设计结果及分析

图 9 分别给出了视场角 $w = 0^\circ$, $w = 0.3^\circ$ 及 $w = 0.5^\circ$ 的点列图. 从图 9 中可以看出, 该菲涅尔透镜的零视场像差基本为零, 当 $w = 0.5^\circ$ 时, 主光线在像面上的高度为 0.068 mm, 光斑半径为 0.142 mm, 即满足会聚光斑直径小于 1 mm 的要求.

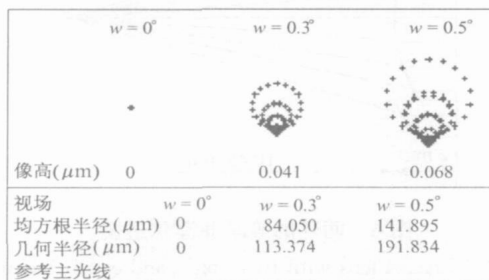


图 9 点列图

Fig. 9 Spot diagram

4 光路模拟

透镜的结构尺寸设计完成后, 可以在 Zemax 非序列模式下对菲涅尔透镜作整体建模进行光路模拟, 从而观察其实际效果. 建模方式是由序列模式下所得到的参数算出菲涅尔透镜表面不同半径环上的点相对于基面的高度, 即每一个 y 值对应一个 z 值 (如图 6 所示). 这些 y 、 z 值可以组成一个 n 行两列 (行数可任取) 的矩阵, 组成一个 TOB 格式的数据文件. Zemax 通过读取这些数据, 构建相应的菲涅尔透镜模型, 如图 10 所示. 在运行前, 按工作要求设置好参数, 即可进行光路模拟, 如图 11 所示.

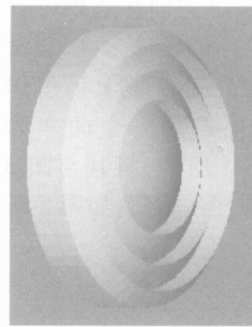


图 10 菲涅尔透镜模型图

Fig. 10 Model of Fresnel lens

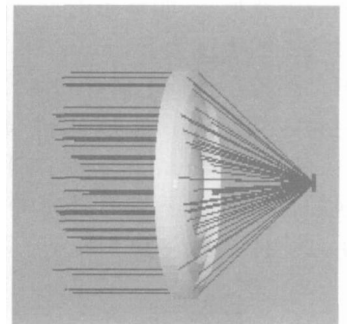


图 11 菲涅尔透镜光路图

Fig. 11 Fresnel lens' optical road

5 结束语

本文在实际的设计过程中, 通过结合使用 Zemax 的两种模式, 很好地设计、优化并模拟了一个大沟槽等厚的菲涅尔透镜. 既解决了 Zemax 不能对这种透镜直接建模进行设计的难题, 又避免了传统设计所需的烦琐计算.

参考文献:

- [1] 王之江. 光学技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [2] 王之江. 光学设计理论基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [3] Zemax Development Corporation. Zemax 光学设计程式使用手册 [M]. 上海: 讯技光电有限公司, 2003.
- [4] 王成良, 李湘宁, 贺莉清. 应用 Zemax 软件构造特殊面型 [J]. 光学仪器, 2001, 23(3): 23 - 26.
- [5] 杨力, 阴旭, 陈强, 等. 大型菲涅尔透镜的设计和制造 [J]. 光学技术, 2001, 27(6): 499 - 502.