

# 离轴椭球面反射系统的设计

万国贤

(长春光学精密机械学院基础科学系, 长春 130022)

**摘要** 阐述了离轴椭球面反射系统的设计方法, 并提出改进设计的意见。

**关键词:** 离轴椭球面; 反射系统

## 1 引言

离轴反射光学系统, 由于其结构简单, 不产生色差, 从红外到紫外宽波段范围内均适用, 因此离轴反射光学系统越来越被人们所重视, 并广泛地应用于空间光学仪器、光谱仪器和各种检测仪器。由于计算技术和计算机软件的不完善和加工技术的提高, 设计、制造此类仪器已成为可能。下面介绍一种以离轴椭球面反射镜制成的红外小光点光机扫描仪光学系统的设计。

## 2 光学系统设计

假设有一个红外光学系统, 各种参数如下:

物距 500mm, 像距 50mm, 且物距与像距相互垂直;

物点 0.3mm, 像点缩小 10 倍;

通光孔径  $D=50\text{mm}$ 。

这是大孔径、小视场的红外系统, 采用离轴椭球反射面系统恰好能满足上述各种要求, 只要将物点和像点分别置于椭球面的两个焦点上即可, 且适当截取椭球面的成像位置, 可以使物距和像距相互成任意夹角。

今设有一个对于  $x$  轴旋转对称的椭球面, 其方程式为:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

用  $xy$  平面截取该曲面, 就得到椭圆方程:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2)$$

其中  $a$  与  $b$  分别是椭圆的长轴半径与短轴半径。下面将根据光学系统的各种参数要求分别确定  $a$  和  $b$  以及反射面的位置。如图 1 所示。

图中  $OA$  的长度等于  $a$ ,  $OB$  的长度等于  $b$ .  $C'$  和  $C$  分别是椭球面的两个焦点, 物点在  $C'$  点位置, 像点在  $C$  点位置,  $C'C$  的长度用  $2C$  表示.  $MN$  表示所截取的反射面,  $P$  点是反射中心, 且  $PC' \perp PC$ ,  $PC' = 500\text{mm}$ ,  $PC = 50\text{mm}$ .

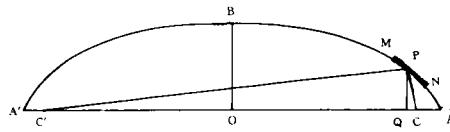


图 1 椭球反射面示意图

对于椭圆方程(2), 根据椭圆的性质有:

$$2a = 500 + 50 = 550 \quad \therefore a = 275$$

$$(2C)^2 = 500^2 + 50^2 = 252500$$

$$2C = 502.49378 \quad \therefore C = 251.24689$$

$$b^2 = a^2 - c^2 = 75625 - 63125 = 12500$$

$$\therefore b = 111.8304$$

现在求  $P$  点的坐标  $(x, y)$

在三角形  $C'PC$  中, 根据直角三角形的性质:

$$y = PQ = PC' \times PC / C'C = 50 \times 50 / 502.49378 = 49.75186$$

$$QC = PC^2 / C'C = 50^2 / 502.49378 = 4.975186$$

$$\therefore x = OC - QC = 251.24689 - 4.975186 = 246.2727$$

今求过  $P$  点的椭圆切线的斜率:

由方程(2)得到:

$$y^2 = b^2 \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)$$

$$\therefore 2yy' = -2b^2x/a^2$$

$$\text{即 } y' = -b^2x/a^2y \quad (3)$$

将  $x, y$  与  $a, b$  的值代入(3)式

$$y' = -111.8034^2 \times 246.2717 / (275^2 \times 49.75186) = -0.8181818$$

设过  $P$  点的切线与  $x$  轴的夹角为  $\theta$

$$\text{则有 } \text{tg}\theta = -0.8181818$$

$$\therefore \theta = -39.289406^\circ$$

在图 1 中, 设  $PC$  与  $x$  轴的夹角为  $u$ , 则  $-\text{tg}u = PQ/QC = 49.75186/4.975186 = 10.0$

$$\therefore u = -84.289407^\circ$$

即像方光轴与反射面过中心点  $P$  在  $xy$  平面内的切线的夹角

$$\varphi = \theta - u = -39.289406^\circ - (-84.289407^\circ) = 45^\circ$$

也就是像方光轴与反射面法线的夹角

$$\varphi = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$$

若取  $D$  为  $50\text{mm}$ , 则图 1 中弦  $MN$  的长度

$$MN = 50 / \cos 45^\circ = 70.71068\text{mm}$$

因此实际透光截面为: 长轴直径是  $70.71\text{mm}$ , 短轴直径为  $50\text{mm}$  的椭球面。

从上述讨论可以看出, 从物距和像距的长度及相互所成的夹角, 可以确定椭球面方程和反射面中心点的位置, 从相对孔径的要求, 可以确定反射面的面积和形状。

### 3 改进设计的意见

离轴椭球面反射系统对于小视场物点而言,虽然具有成像质量高、结构简单的优点,但是也存在一些值得重视的问题:

(1)加工难度大:目前加工玻璃材料的非球面系统主要靠手修,倍率越大加工越困难。对于成像质量要求很高的离轴反射系统而言,微小的加工误差都会严重地降低成像质量,因此提高加工工艺水平是一个亟待解决的问题。

(2)系统装调的困难:由于离轴椭球面反射系统是一个非对称系统,首先找准中心反射点的位置就是十分困难的事,其次俯仰角的微小变化对于像点的位置和成像质量的影响也十分严重。由于影响成像质量的因素较多,每次找准影响成像质量的主要因素并使各种因素处于最佳位置是相当困难的。

(3)严格地说,对于一个确定的椭球反射面,其各个环带对物点的放大倍率是各不相同的,因此加大通光孔径与提高成像质量是相互制约的。

针对上述提出的问题,一个有效的解决方法是在保证通过同样光能的前提下将椭圆形光孔改为等效的矩形光孔。加长旋转对称方向的长度,缩短焦距方向的长度,这样可以减小加工的难度,提高成像质量,也可以减小倍率误差,同时,对于矩形光孔的切割与装调也较椭圆形光孔容易些。

上述讨论也适用离轴抛物面和离轴双曲面。

#### 参 考 文 献

- [1] 王友民等,红外小光点光机扫描仪. 光学精密工程,1993,1(4):58-59

### Design of Non-coaxial Ellipsoid Reflective System

Wan Guoxian

*(Dept. of Foundational Sciences, Changchun Institute of Optics  
and Fine Mechanics, Changchun 130022)*

#### Abstract

This paper explicates the designing method of a non-coaxial ellipsoid reflective system, and presents opinion of improvement design.

**Key words:** Non-Coaxial ellipsoid, Reflective system