

# 扩角镜的光学设计问题

王书泽 李元康

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

文本用伽利略望远镜作扩角镜, 给出一个 $1.67\times$ 扩角镜的设计实例, 经加工测试证明, 结果是满意的, 有一定的实用价值。

关键词: 扩角镜; 透镜系统设计。

## 一、引 言

扩角镜是一种摄影物镜附件, 用于扩大物镜视场。比如一个 $1.67\times$ 扩角镜挂到定焦摄影物镜上, 可使视场角从 $50^\circ$ 扩大到 $76^\circ$ 或从 $60^\circ$ 扩大到 $88^\circ$ ; 挂到变焦物镜上, 可使各个变焦位置的视场角都相应扩大 $1.67$ 倍。

扩角镜的这种功能, 以及扩角镜与广角镜相比具有体积小, 重量轻和价格低廉等优点, 使得它在电视录像机和普通照相机中都有广泛的应用前景。

下面介绍扩角镜的扩角原理, 以及一个 $1.67\times$ 扩角镜的具体设计过程。

## 二、伽利略望远镜用作扩角镜

一个照相物镜的焦距 $f'$ 、视场角 $2\times W$ 和像面画幅尺寸 $2\times \eta'$ 之间的关系用下式表示:

$$2\times \eta' = 2\times \operatorname{tg} W \times f' \quad (1)$$

(1)式表明: 既然一个照相机的画幅尺寸 $2\times \eta'$ 是不变的, 扩角镜在扩角( $W\uparrow$ )的同时必使焦距变短( $f'\downarrow$ )。另一方面, 按照拉格朗日不变量(忽略光在系统传播时的吸收和散射、反射损失):

$$j = n\eta u = n'\eta' u' = -nh \operatorname{tg} W = -n'h' \operatorname{tg} W' \quad (2)$$

(2)式中 $j$ 是拉格朗日不变量。式中后两个等号表示: 对于一个复杂光学系统中任一均匀媒质空间而言, 平行于系统轴的光束高度 $h$ , 对应视场角(有时称为光束发散角)的正切 $\operatorname{tg} W$ 与该空间媒质折射率 $n$ 的乘积恒等于拉格朗日不变量。即是说, 如果两个空间的媒质相同, 则光管瞳高的放大率( $h/h'$ )必与视角的放大率( $\operatorname{tg} W/\operatorname{tg} W'$ )成倒数关系。

显然, 一个倒装的望远系统就符合这个关系, 就可以当作一个扩角镜来使用。将它挂在普通摄影物镜的前面, 组合系统的物空间平行光束瞳高 $h$ 比原物镜物方的瞳高 $h_0$ 缩小的倍率, 恰好就是视场角放大的倍率, 即 $h_0/h = \operatorname{tg} W/\operatorname{tg} W_0$ 。因(1)式中 $\eta'$ 不变, 故组合系统的

焦距  $f'$  一定比原物镜焦距  $f'_0$  缩短了, 且缩短的倍率正好等于视角放大的倍率。

同时, 考虑到要保持原来摄影物镜, 特别是电视摄影物镜的正像关系不变, 能作扩角附件使用的望远系统就只能是伽利略式的。

### 三、1.67×扩角镜设计实例

说扩角镜是一个倒装的伽利略式望远系统, 但还有所不同: 目视伽利略望远系统是以人的

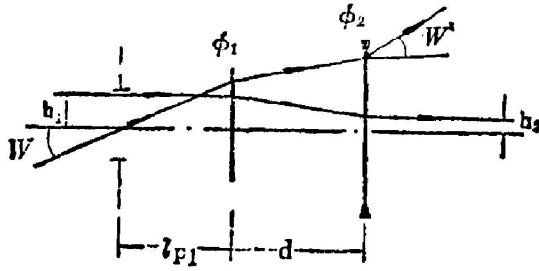


Fig. 1

的眼瞳作为系统孔阑的, 即孔阑位于系统外端且是在视场角放大的一端; 而扩角镜作为附件, 它应以原来摄影物镜的入瞳为孔阑, 即孔阑也在扩角镜外端, 但是在视场角缩小的一端。情况如图 1 所示。图中设:  $f'_1 = \frac{1}{\varphi_1} = 100$ ,  $f'_2 = \frac{1}{\varphi_2} = -60$ ,  $d = 40$ ,  $h_1 = 13.4$ ,  $h_2 = 8.0$ ,  $l_{P1} = -33.7$ ,  $\text{tg } W = -0.577$ ,  $h_{P1} = 19.5$ ,  $h_{P2} = 34.8$ ,  $j = 7.7$ , 角倍率  $\nu = 13.4/8.0 \approx 1.67 \times$ 。

由这些数据 and 初级像差要求, 运用薄透镜的初级像差理论<sup>[1]</sup>, 我们不难从如下联立方程, 解得薄透镜的  $PW$  值。即:

由这些数据 and 初级像差要求, 运用薄透镜的初级像差理论<sup>[1]</sup>, 我们不难从如下联立方程, 解得薄透镜的  $PW$  值。即:

$$\begin{cases} S_1 = h_1^2 \varphi_1^3 P_1 + h_2^2 \varphi_2^3 P_2, \\ S_2 = h_1^3 h_{P1} \varphi_1^3 P_1 + h_2^3 h_{P2} \varphi_2^3 P_2 + j h_1^2 \varphi_1^2 W_1 - j h_2^2 \varphi_2^2 W_2, \\ S_3 = h_1^2 h_{P1}^2 \varphi_1^3 P_1 + h_2^2 h_{P2}^2 \varphi_2^3 P_2 + 2j h_1 h_{P1} \varphi_1^2 W_1 - 2j h_2 h_{P2} \varphi_2^2 W_2 + j^2 (\varphi_1 + \varphi_2), \\ S_4 = j^2 \mu (\varphi_1 + \varphi_2), \\ S_5 = h_1 h_{P1}^3 \varphi_1^3 P_1 + h_2 h_{P2}^3 \varphi_2^3 P_2 + 3j h_{P1}^2 \varphi_1^2 W_1 - 3j h_{P2}^2 \varphi_2^2 W_2 + j^2 \frac{h_{P1}}{h_1} (3 + \mu) \varphi_1 + j^2 \frac{h_{P2}}{h_2} (3 + \mu) \varphi_2. \end{cases} \quad (3)$$

注意: 式中  $P_1$  和  $W_1$  分别是  $\overrightarrow{P_1}$  和  $\overrightarrow{W_1}$  的缩写,  $P_2$  和  $W_2$  分别是  $\overleftarrow{P_2}$  和  $\overleftarrow{W_2}$  的缩写。这里  $\overrightarrow{P_1}$  表示光线自左至右平行入射第一组透镜时, 它具有的归化  $P$  值;  $\overleftarrow{P_2}$  表示光线自右至左平行入射第二组透镜时, 它具有的归化  $P$  值;  $\overrightarrow{W_1}$  和  $\overleftarrow{W_2}$  的意义照此类推。

现将六组不同像差要求, 及其对应解的  $PW$  值列于表 1。

从表 1 可见:

(1) 若希望  $W$  有较合适的值, 因而使透镜不致过份弯曲, 系统必定有较大的初级像差, 尤其  $S_5$  要有较大负值;

(2) 不论是第一组还是第二组透镜, 其  $P$  和  $W$  的数值关系表明, 用单片球面薄透镜是不容易实现的;

(3) 第一组的  $PW$  值对  $S_1$ 、 $S_2$  比较敏感, 而第二组的  $PW$  值则对  $S_5$  比较敏感;

(4)  $PW$  值较小的解不易找到的理由是方程组 (3) 中, 关于  $S_3$  和  $S_5$  (尤其  $S_5$ ) 的方程式中常数项的值都很大。

同时, 如果考虑到视场很大, 尤其是第二组的主光线高度  $h_{P2}$  很大, 我们将第二组劈裂

Table 1 Aberration requirements and  $PW$  values of  $1.67\times$  wide conversion lens

|                    | 1  | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|--------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| $S_1$              | 0  | 0      | 0      | 0.033  | 0.02   | 0.01   |
| $S_2$              | 0  | 0      | 0      | -0.10  | -0.08  | -0.05  |
| $S_3$              | 0  | 0      | 0      | 0.10   | 0.07   | 0.05   |
| $S_4$              | -0.260   | -0.260 | -0.260 | -0.260 | -0.260 | -0.260 |
| $S_5$              | -6.0   | -3.0   | 0      | -3.0   | -3.0   | -3.0   |
| $\overline{P}_1^+$ | 5.86   | 15.09  | 24.31  | 7.00   | 8.88   | 11.05  |
| $\overline{W}_1^+$ | 1.45   | 4.52   | 7.60   | -0.35  | 0.89   | 2.256  |
| $\overline{P}_2^+$ | 9.77   | 25.14  | 40.52  | 9.82   | 13.68  | 17.85  |
| $\overline{W}_2^+$ | -2.45  | -5.53  | -6.32  | -3.11  | -3.72  | -4.37  |
| starting data      | $f_1=100, f_2=-60, d=40, h_1=13.4, W=-0.577, l_{P1}=-33.7$ |        |        |        |        |        |

为两片。(但又要避免系统过于复杂,所以第一组仍用单片)。

基于上述这些考虑,我们设计的一个  $1.67\times$  扩角镜的数据如下:

| 曲率半径   | 中心间隔(或厚度) | 玻璃材料     |
|--|-----------|----------|
| $\left\{ \begin{array}{l} 70.0 \\ -325.0 \end{array} \right.$  | 8.0       | $F_9$    |
|  | 27.3      |          |
| $\left\{ \begin{array}{l} -50.8 \\ -154.0 \end{array} \right.$ | 3.5       | $F_{11}$ |
|  | 10.0      |          |
| $\left\{ \begin{array}{l} -37.3 \\ -89.95 \end{array} \right.$ | 6.0       | $ZK_3$   |

这是一个初步的设计,它的像差并未平衡到可实际使用的程度。

读者稍仔细些,即注意到:系统中正透镜用火石玻璃而负透镜用冕玻璃。这是同时校正轴向色差和轴外色差所要求的。

由于一个扩角镜常常是多用的,它既可挂在 135 照相机镜头上,又可挂在 120 相机镜头上,还可以挂在电视录像机的变焦镜头上。因此,扩角系统本身应是独立校正像差的。

另外,既然扩角镜是一个无光焦度系统,几何像差都有很大数量,所以像差应采用角度误差表示,或直接采用波像差来评价系统质量。而对于扩角镜头实物,则可以挂在合适的摄像物镜上做光学传递函数测试,并将结果与原摄像物镜单独测得的传递函数作比较,从而评定扩角镜的质量。

#### 四、结 论

按本文(二)的思想,(三)中所介绍的方法 我们完成了一个  $1.67\times$  的扩角镜设计,经加工测试,证明结果是满意的。这个扩角镜可以用在 135 相机的 f50 镜头上,也可以用在 120 相机的 f80 镜头上,还可以用在电视录像机 f11~70, 1:1.4 的变焦镜头上,因为这些镜头都有一样的接口。

**参 考 文 献**

- [1] 王之江;《光学设计理论基础》, (北京科学出版社, 1985), 第七章, 第一节和第三节。

**Optical design problems of wide conversion lens**

WANG SHUZE AND LI YUANKANG

*(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)*

(Received 16 February 1987; revised 17 April 1987)

**Abstract**

In this paper, a reverse Galilean telescope is used as a wide conversion lens and design of the  $1.67\times$  lens system is given as a living example. Being manufactured and practised, the  $1.67\times$  wide conversion lens confirms its good quality and utility.

**Key words:** wide conversion lens.