

# $\phi 900$ 菲涅耳透镜阴影摄影系统

林玉驹 吴继宗 刘铁根  
(天津大学精密仪器系)

## 提 要

本文首次提出利用菲涅耳透镜组成的大口径阴影光学系统。实验表明,该系统能满足一般阴影摄影要求。这种尝试既扩大了菲涅耳透镜的应用范围,也为阴影光学系统向大孔径发展开辟了新途径。  
关键词:菲涅耳透镜;阴影摄影系统;大口径阴影光学系统。

阴影法是光学可视化方法之一,它所使用的装置在所有光学显示方法中是最简单的。目前国内已制成的最大口径纹影仪的反射镜直径仅为500mm<sup>[1]</sup>, (国外未见制造更大口径的报道)。若再要求增大口径,加工会有更大的困难,采用新方法、新工艺和新材料制造更大口径的透镜(或反射镜)是有发展前途的。本文首次提出由菲涅耳透镜(Fresnel Optical Lens, 简称FOL)组成的大口径阴影摄影系统。

### 1. 大口径菲涅耳透镜的参数

在设计阴影摄影系统所需的FOL时,应按球差值为最小的聚光镜型设计,我们研制的FOL是先用范成法加工硬铝模板(只需一把刀具),然后采用有机玻璃单体聚合而成,其主要参数如下:焦距 $f'=1000$ mm;环距 $\Delta H=0.3$ mm;直径 $D_0=910$ mm;通光口径 $D=900$ mm;基板厚度 $d=4.5$ mm。

上述参数是在考虑了FOL的效率、集光程度、沟槽角与焦距的关系以及衍射、散射和全反射等问题后确定的。

### 2. $\phi 900$ mm FOL 阴影光学系统

我们研制的系统装置示于图1。系统的准直镜和聚光镜均由直径900mm的FOL组成,菲涅耳面的朝向按设计的最佳要求放置,准直用的FOL的前焦点处放置光源,聚光用的FOL的后焦点放置接收装置。

### 3. FOL 阴影摄影系统的光源

选用30mW He-Ne激光器作光源,光束直径 $d_0=2$ mm。因为激光束的光强呈高斯型分布,曲线边缘光强下降很快,所以应使扩束角大于系统物方孔径角,这样,系统可以利用高斯分布光强的中央部分,使透镜孔径内的光强分布差值较小。图2中,物方孔径角为:

$$2\alpha = 2 \operatorname{tg}^{-1} \frac{R}{F} = 2 \operatorname{tg}^{-1} \frac{450}{1000} = 48.5^\circ. \quad (1)$$

取扩束角 $2\alpha$ 的照明直径的70%为FOL口径,则照明半径为:

$$H = R \cdot \frac{0.5}{0.35} = 643. \quad (2)$$

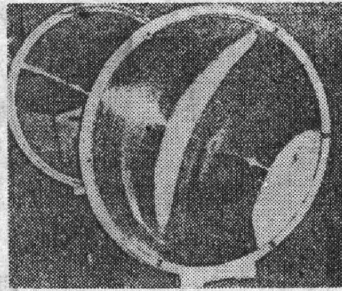


Fig. 1

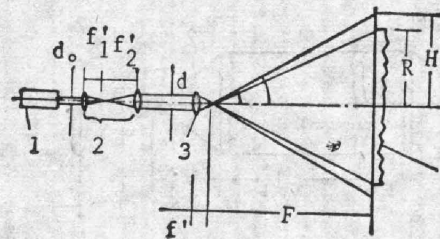


Fig. 2

由图 2 的几何关系,可求出所需扩束镜的焦距。激光束直接扩束时,由图 2 中相似三角形:

$$\frac{d/2}{f'} = \frac{H}{F'} \quad (3)$$

求得  $f' = 1.556 \text{ mm}$ 。仍不够用,用倒置望远系统,既可扩束,又可减小激光束发散角[2],参考图 2,选择两透镜焦距,使:

$$\frac{f'_1}{f'_2} = \frac{d}{d_0} \doteq \frac{5}{2} = 2.5 \quad (4)$$

可与  $100\times$  显微物镜(焦距  $f'_0 = 3.8 \text{ mm}$ )相匹配,满足扩束要求。

激光的相干性带来了背景干扰噪声,造成整个孔径内照度场的不均匀性程度较大。采用针孔滤波方法不能解决问题,作者提出了用硫酸纸消除孔径内照度不均匀的方法,取得了较好的效果。

FOL 阴影摄影系统还配置了卤钨灯( $30 \text{ V}$ ,  $400 \text{ W}$ , 灯丝面积  $4 \times 7 \text{ mm}^2$ ),可调节电压来改变照明强度。用卤钨灯作为光源,比较方便,但系统中存在色差。

#### 4. FOL 阴影摄影系统的接收装置

我们选用 DF 相机和 Pentazet 35 高速摄影机为接收装置。相机和阴影光学系统结合使用时,应保持物像光学共轭和光瞳光学共轭<sup>[3]</sup>,即满足条件:

- 1) 被研究的目标应成像在相机的胶片上。并且这个像应当接近相机的画幅尺寸。
- 2) 阴影装置的出瞳应位于或成像于相机物镜的入瞳上。

阴影装置的出瞳位于它的出射焦点  $F'$  处,图 3 所示相机位置满足条件 2)。当观察目标到聚光镜 FOL<sub>2</sub> 的距离  $|l_1| \leq f'_1$  时,条件 1) 也得到满足。选用不同的镜头,可达到拍摄整体或局部的目的,对应关系详见表 1,此表是在  $|l_1| = f'_1$  时制成的。

若  $|l_1| > f'_1$  时,不能简单使用相机,因为在满足条件 2) 后,条件 1) 得不到满足,目标不能在底片上成像。为此,作者采取简易方法,配制负透镜安装在镜头前,可在一定观察段内满足两个条件,详见表 2。

负透镜焦距  $f'_2$  的选取是依据高斯公式求得。

观察在更远位置的目标时,可取下相机镜头,用投影屏成像。图 4 中:

$$\frac{\Delta}{f'} = \frac{B}{D} \quad (5)$$

式中:底片长度  $B = 36 \text{ mm}$ ; FOL 有效直径  $D = 900 \text{ mm}$ ; 焦距  $f' = 1000 \text{ mm}$ 。算出离焦距离  $\Delta = 40 \text{ mm}$ ,  $l' = 1040 \text{ mm}$ ,  $l = -26 \text{ m}$ 。

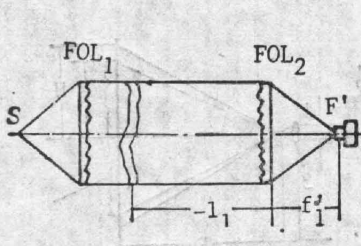


Fig. 3

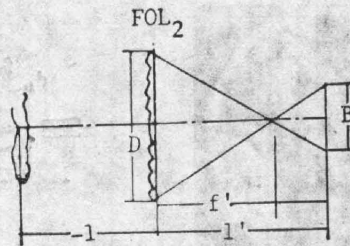


Fig. 4

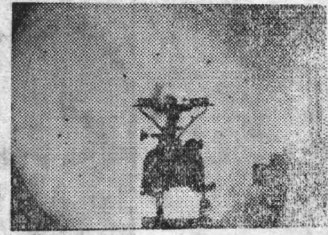


Fig. 5

Table 1

| type of lens | focus length (mm) | object size                                      |
|--------------|-------------------|--|
| wide-angle   | 35                | view field of collimated beam (mm <sup>2</sup> ) |
| standard     | 58                | 620×410  |
| medium focus | 135               | 260×170  |

Table 2

| focus length of negative lens $f'_2$ (mm) | object distance $l_1$ (m) |
|---|---------------------------|
| -267.5                                    | -1.4~4.7                  |
| -134                                      | -5.1~8.4                  |
| -79.4                                     | -10.3~13.5                |

## 5. 大口径 FOL 阴影摄影系统的实验

### 1) 燃烧热流场的记录。

图 5 为气化煤油炉燃烧时的阴影像, 热气流明显可见。照片是在卤钨灯光源照明下用 DF 相机拍摄的。

### 2) 大阴影视场的高速摄影记录。

图 6 是用反射镜补偿式高速摄影机 (Pentazet 35) 拍摄网球掉入水中的过程。图 7 为试验系统照片。

### 3) 一定交角双向阴影记录。

在某些研究工作中, 必须从两个方向观测目标, 否则会得出错误的判断。双向阴影摄影可以解决此种问题, 双路阴影光学系统的外形照片见图 8, 该系统的交角为  $90^\circ$ 。图 9 为煤气灶燃烧时的双向阴影照片。

实验结果表明, FOL 阴影摄影系统能满足一般阴影摄影要求, 其突出特点是能拍摄大尺寸目标的阴影像, 同时其造价也很低。不足之处是灵敏度略低于反射镜式阴影光学系统。

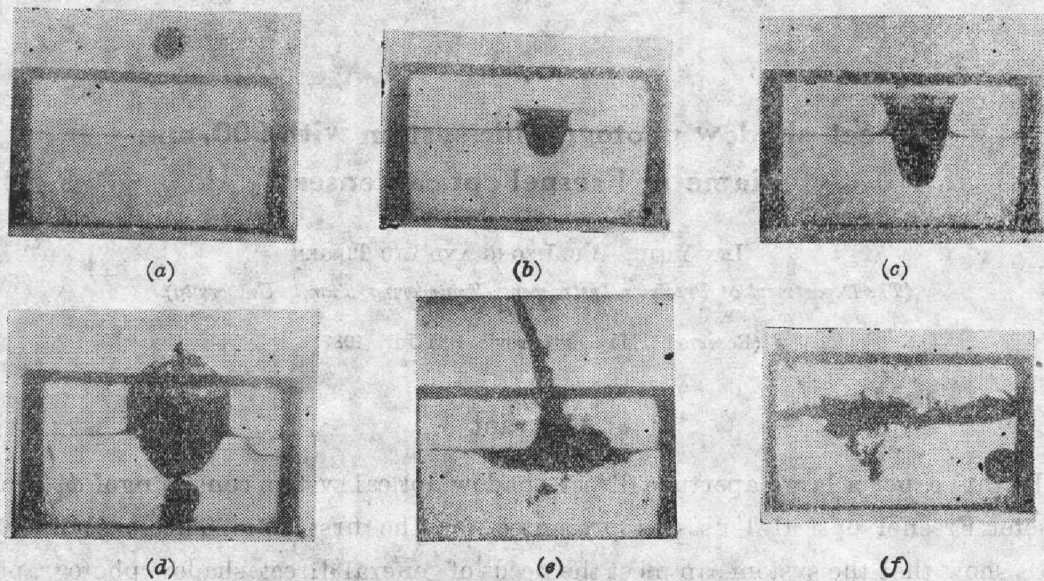


Fig. 6

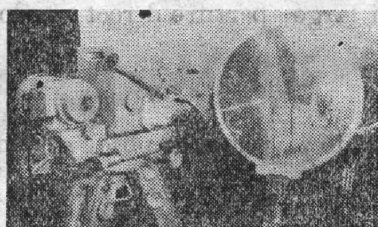


Fig. 7

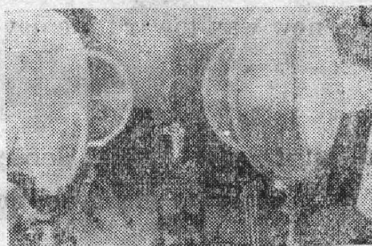
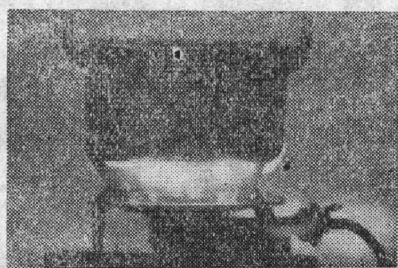
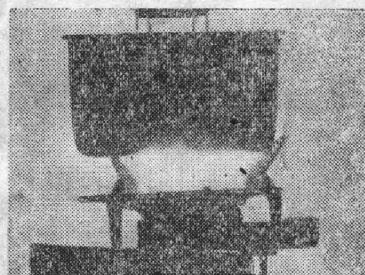


Fig. 8



(a)



(b)

Fig. 9

由 FOL 组成的阴影光学系统既扩大了 FOL 的应用范围, 也为阴影光学系统向大孔径发展开辟了新途径, 具有一定的实用价值和经济效益。

## Direct-shadow photographic system with 900-mm diameter Fresnel optical lenses

LIN YUJU, WU JIZONG AND LIU TIEGEN

*(The Department of Precision Instruments Engineering, Tianjin University)*

(Received 7 May 1987, revised 31 July 1987)

### Abstract

In this paper a large aperture direct-shadow optical system consisting of  $\phi 900$  mm diameter Fresnel optical lenses is presented for the first time. The experimental results show that the system can meet the needs of general direct-shadow photography. The effort not only enlarges the application scope of Fresnel Optical Lenses but also opens up a new way toward the development of large aperture direct-shadow optical system.

**Key words:** fresnel optical lenses; direct-shadow photographic system; large aperture shadow optical system.