

用于 LED 照明的反射型复眼设计方法

沈 默 李海峰 陆 巍 刘 旭

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要 设计了一个高亮度 LED 光源照明的反射型复眼照明系统. 通过软件模拟, 整个复眼系统长度小于 20 mm, 物面的光照均匀度达到 80% 以上, 光源照明输出光能利用率为 75%. 应用高亮度 LED 的反射型复眼具有体积小, 光强分布均匀, 像差小等特点. 在小型便携式投影仪中有广阔的应用前景.

关键词 投影显示; 反射型复眼; 照明系统; LED

中图分类号 O439; TN946 **文献标识码** A

0 引言

以 LED 为光源的照明系统是便携式投影系统的主要组成部分并且直接影响到系统的最终性能^[1]. 因此实现高亮度、高均匀性、高效率、小体积的照明系统的设计是便携式投影系统设计的关键.

LED 光源直接投射的光强分布不均匀, 发散角大, 无法达到投影系统所要求的矩形(4:3 或 16:9)均匀光斑, 所以在照明系统中需使用光学积分系统——复眼. 复眼照明系统能将光能的圆光斑输出转化为光强分布均匀的矩形光斑照明^[2].

本文结合微型投影系统的特点和 LED 发光特性, 提出一种新型复眼——反射型复眼的设计方法^[3], 并进行光线追击模拟. 目前广泛使用的是双排透射型复眼, 为了得到双排复眼能够利用的平行光线, 必须使用反光碗, 而反射型复眼可以直接利用 LED 光源发出的光, 从而将整个照明系统的体积减小到 20 mm 以下; 此系统基于反射原理, 所以没有色散. 通过软件模拟, 物面的光照均匀度达到 80% 以上, 光源照明输出光能利用率为 75%.

1 反射型复眼设计

1.1 反射型复眼原理

反射型复眼的作用是均匀光源发出的光, 将圆形光斑转化为矩形光斑, 均匀照明物面, 其设计原理和透射型复眼相似^[5]. 反射型复眼结构原理如图 1, 基准面为两个对称的椭球面, 两个基准面上贴有一系列反射透镜阵列. 光源与物面分别置于基准面 1 与基准面 2 的一个焦点上. 由光源发出的光经过基准面 1 上的反射透镜阵列反射, 在基准面 2 上的反射透镜阵列上形成光源像阵列. 基准面 1 上的反射透镜的大小和最后照明的物面大小一致, 并通过基

准面 2 上的反射透镜阵列成像于物面. 多个反射透镜的像叠加后, 均匀照射在物面上. 由于光源发出的整个宽光束被分为多个细光束照明并相互叠加, 使细光束的不均匀性获得补偿, 从而使整个孔径内的光能更均匀更有效地利用.

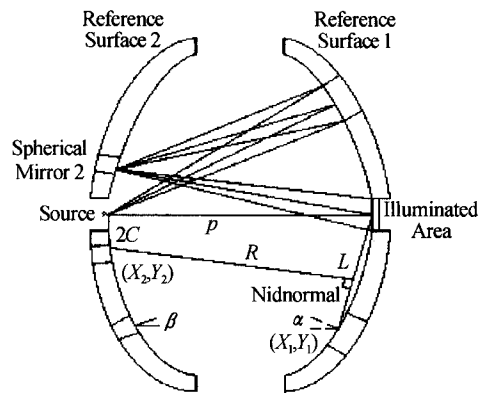


图 1 系统结构
Fig. 1 System configuration diagram

1.2 基准面设计

基准面由两个对称椭球面组成, 椭球面的光学性质是从椭球的一个焦点发出的光线, 经过椭球反射后集中在另一个焦点上. 椭球基准面首先决定了反射透镜阵列的位置, 起到了参考轨迹的作用; 其次具有引导、会聚光线的作用; 同时对称结构可以消球差与慧差.

为简化起见, 考虑二维的情况. 由图 1 可见, 光源和物面分别在基准面 1 和基准面 2 的一个焦点上, 设定两个椭圆之间的距离为 p , 焦距为 C_0 , 则椭球面长轴 $A_0 = C_0 + p$, 短轴 $B_0 = \sqrt{p^2 + 2pC_0}$, 以光源为坐标系原点, 得到两椭圆方程分别为: $\frac{(x+C_0)^2}{A_0^2} + \frac{y^2}{B_0^2} = 1$, $\frac{(x-p-C_0)^2}{A_0^2} + \frac{y^2}{B_0^2} = 1$. 通过调整 p , 可以调整整个反射型复眼的体积.

1.3 反射透镜设计

反射透镜阵列设计如图 1, 图中 LED 光源可近

似为点光源,以光源为坐标系原点,以Y轴上一对应反射透镜组为例.光源经过反射透镜1成像在反射透镜2上,反射透镜1通过反射透镜2成像在物面上.为将光源准确成像于反射透镜2的顶点,把光源与反射透镜2分别作为反射透镜1的两个焦点,以减少球差的影响,为此选择反射透镜1为椭球面反射透镜,椭圆的中心为光源与反射透镜2之间连线的中点.设椭圆透镜的焦距为C,长短轴值分别为A、B,透镜1、2的定点坐标分别为 X_1 、 Y_1 和 X_2 、 Y_2 ,透镜2与Y轴的夹角为 α ,根据椭圆的几何特性,可得椭圆反射透镜的参量方程

$$C = \sqrt{X_2^2 + Y_2^2} / 2 \quad (1)$$

$$A = (\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} + \sqrt{(X_1^2 + Y_1^2)}) / 2 \quad (2)$$

$$B = \sqrt{A^2 - C^2} \quad (3)$$

$$\alpha = X_2 / Y_2 \quad (4)$$

为了能够将反射透镜1准确地成像于物面上,把反射透镜1与物面放置于和反射透镜2成轴对称的位置,即反射透镜2在反射透镜1与物面的垂直平分线上.可得

$$(4 - X_1) / Y_1 \times [x_2 - (4 + x_1) / 2] = Y_2 - Y_1 / 2$$

设计反射透镜2为球面反射透镜,并以垂足为圆心,垂足到反射透镜2顶点的距离为球面反射透镜2的半径.得到球面反射透镜的参量方程

$$R = \sqrt{(X_2 - (X_1 + p))^2 + (Y_2 - Y_1 / 2)^2} \quad (5)$$

$$\beta = (p - X_1) / Y_1 \quad (6)$$

式中R为透镜2的球面半径, β 为透镜2与Y轴的夹角.

此外,反射透镜1与反射透镜2的顶点位置分别满足基准面1、2的轨迹方程

$$\frac{(x + C_0)^2}{A_0^2} + \frac{y^2}{B_0^2} = 1 \quad (7)$$

$$\frac{(x - p - C_0)^2}{A_0^2} + \frac{y^2}{B_0^2} = 1 \quad (8)$$

设计时首先设定基准面1和2的方程以及它们之间的距离P,根据照明物体的大小确定反射透镜1的大小,并可由公式(7)确定 X_1 、 Y_1 的值.由式(1)~(6)及(8)可求出透镜1的椭球方程及与Y轴的倾角,透镜2的半径、坐标以及与Y轴的夹角.

2 设计结果与分析

2.1 设计结果

根据以上设计理论,设计了一个照明面积为对角线0.5英寸4:3格式的LED照明系统.在此设计中选取两个复眼的基准面方程为: $\frac{(x+8)^2}{784} + \frac{y^2}{720} = 1$,基准面之间的距离为20 mm,

设计结果如图2.设计得到的复眼1大小为 $10.16 \times 7.62 \text{ mm}^2$,复眼2大小为半径为1 mm的圆形,整个照明系统的体积在 14 cm^3 左右.

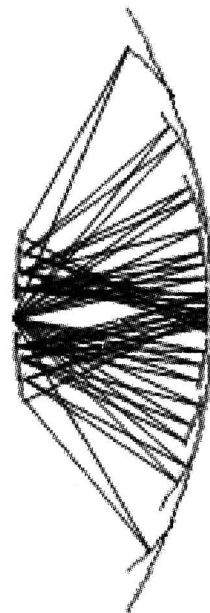


图2 反射透镜排列

Fig. 2 Arrangement of reflector

2.2 结果光线追击模拟分析

对设计结果进行了计算机模拟计算光线追迹.其中LED光源选取Luxen的LXHL-PW03系列的白色LED,发光模式为朗伯体^[5],光通量为120流明,发散角为 150° .模拟得到的物面上的照明光强分布如图3.从图中可以计算得到所设计的系统其光能利用率达到75%左右,光强均匀性大于80%,照明物面的光线发散角为 37° .

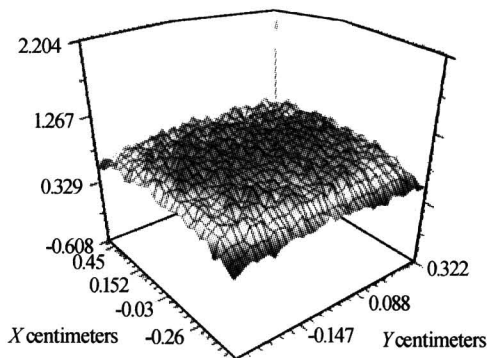


图3 物面光强分布

Fig. 3 The illumination uniformity at target

经过对系统的分析,进一步优化设计以提高系统光能利用率是可能的.在本设计中,由于没有考虑复眼中小反射透镜之间的连接优化问题,使得相邻二个小反射镜之间的高度差过大,间隙较宽,从而导致一部分光进入到间隙中无法利用.选择合适的

基准面参量可以减小间隙,避免这部分的光能损失,相关研究将另文发表.

3 结论

通过理论设计和计算机光线追迹模拟,实现了 LED 反射型复眼照明系统的设计. LED 反射型复眼照明具有透射型复眼所没有的特点:首先利用光线反射缩短光学系统的机械长度,减小了体积;其次反射可以克服透射中产生的色散和透射损失. 通过合理的结构设计,可以得到较高的光效率和照明均匀性,减小光出射角度. 此外该系统亦可用于发光面积较小的其他光源照明中.

参考文献

- 1 李炳乾,布良基,甘雄文,等. LED 正向压降随温度的变化关系研究. 光子学报,2003,32(11):1349~1351
- 2 Li B Q,Bu L J,Gan X W, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003,32(11):1349~1351
- 3 John Bortz, Narkis Shatz,David Pitou. Optimal Design of a nonimaging projection lens for use with an LED source and a rectangular target. *SPIE*,2000,4092:131~136
- 4 Crowther B G. A fly's eye condenser system for uniform illumination. *SPIE*,2002,4832:302~310
- 5 郑臻荣. 液晶投影显示复眼照明的容差模拟分析. 光子学报,2004,33(5):593~597
- Zheng Z R. *Acta Photonica Sinica*, 2004,33(5):593~597
- 5 杨树人,杜国同,殷宗友,等. 高亮度高通量蓝光 LED 的封装技术. 光子学报,2002,31(Z2):99~102
- Yang S R, Du G T, Yin Z Y, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2002,31(Z2):99~102

The Method of Reflective Fly Eye Lens Design for LED Illuminating Projection System

Shen Mo, Li Haifeng, Lu Wei, Liu Xu

State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date:2004-11-08

Abstract A pair of reflective fly eye lens with a high brightness LED as light source is put forward for micro-display projector. Because of reflective system, the embodiment is shorter than 20 mm. The uniformity is above 80% and the efficiency of the illuminator is better than 75%. The design method with induced equations for calculating the lens surface is given. Computer simulated results are also presented.

Keywords Projection display; Illumination system; LED; Reflective fly's eye



Shen Mo was born in 1980, in Hangzhou, Zhejiang Province, P. R. China. She received bachelor degree from Department of Optical engineering, Zhejiang University in 2003. Now, she is a graduate student in Zhejiang University. Her research fields include the application of high brightness LED in projection display, measurement and correction of color uniformity of liquid crystal projection display.