

# LED 小角度照明透镜的设计

侯 宇

(唐山师范学院 物理系, 河北 唐山 063000)

**摘 要:** 小角度照明一直是发光二极管(LED)走向通用照明需要亟待解决的问题。而透镜和反射器则是最常用的配光器件, 所以针对 LED 使用的透镜或反射器的设计是目前照明领域研究的热点。采用几何光学理论计算透镜表面的点坐标, 拟合形成表面, 旋转拉伸成透镜实体。并以能够实现  $30^\circ$  和  $45^\circ$  照明的透镜为例, 介绍了透镜的设计过程, 并对透镜的性能进行了模拟验证分析。结果显示: 这种透镜能够将光源的光汇聚到预先指定的角度内, 光能的利用率达到 80% 以上, 照度的均匀度达到了 85% 以上, 这能够很好地满足现代照明的需要。

**关键词:** 几何光学; 折射定律; LED; 照度

**中图分类号:** O439    **文献标志码:** A    **DOI:** 10.3788/IRLA201645.0518004

## Design of lens to realize small angle lighting for LED

Hou Yu

(Physics Department, Tangshan Normal University, Tangshan 063000, China)

**Abstract:** The small angle lighting is always a thorny problem in the LED lighting field. The LED lenses and reflectors were important optical devices, which was the key to solve the above problem. So the design of lens and reflectors has been a hot research topic recently. The theory of geometrical optics was used to calculate the coordinates on the lens surface in this paper. Then, the lens model can be constructed based on the coordinates. In order to facilitate understanding, the  $30^\circ$  and  $45^\circ$  lighting lens were taken as examples to introduce the design process. The research findings show that these lenses can concentrate light rays within the predetermined small angles. Furthermore, the efficiency and uniformity are more than 80% and 85% respectively, which can meet the needs of the modern lighting.

**Key words:** geometrical optics; refraction law; LED; illumination

收稿日期: 2015-10-05; 修订日期: 2015-11-15

基金项目: 唐山师范学院博士基金(2014A07)

作者简介: 侯宇(1984-), 男, 讲师, 博士, 主要从事 LED 照明器件的设计方面的研究。Email: 198468hy@163.com

## 0 引言

目前,LED 光源已经在全世界范围内得到了广泛应用<sup>[1-3]</sup>,进而取代了传统的照明光源。这是因为 LED 光源具有传统光源无法比拟的优点,比如,超长寿命、省电、绿色环保等等。然而,为了能有效地利用这种光源,像透镜<sup>[4-5]</sup>或者反射器<sup>[6-7]</sup>这样的光学器件成为现代照明的必需品。能够实现 85°~145°照明的透镜已经被设计<sup>[8]</sup>,这些元件有较高的照明均匀度和效率,但是对于其他角度,照明均匀度和效率却还很低,而这两项性能指标是照明光学中的重要评价指标。为了在小角度范围内实现高效地照明,文中利用几何光学理论设计了一种新型的 LED 透镜。

## 1 设计

设计思路如图 1 所示,图中 LED 光源位于原点  $O$ 。为了能在小角度内有效地利用光能量并减小能量损失,该透镜将 LED 的光能分成两部分。边缘部分的光线(例如①和②)通过一个准直曲面  $b$  变成准直光,然后入射到曲面  $d$  上。中间的光线(例如③和④)通过曲面  $c$  入射到指定的目标面上。传统透镜大部分只能汇聚 120°锥角范围内的光线,而该透镜能够汇聚 180°范围内的光线,从而大大提高了光能利用率。曲面  $c$  和  $d$  是通过曲线旋转得到,而曲线是由大量的点拟合而成。

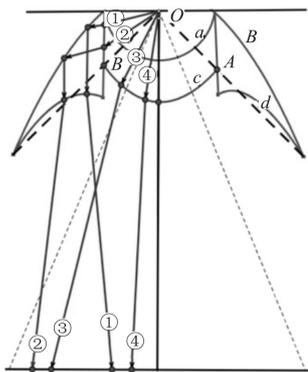


图 1 透镜的设计

Fig.1 Design of the lens

## 2 验证

具体计算过程如图 2 所示,计算曲线上的点坐标时,如果曲线上的点足够多,可以认为两个相邻的点处在同一条切线上。首先,对 LED 的光通量进行

等立体角划分,并把此部分光通量投射到被照表面的指定区域。划分越精细,计算的结果也越准确,这样,被照表面上的对应坐标就可以根据折射定律和光通量守恒计算出来。光通量守恒可以用方程(1)表示:

$$I \int d\Omega = E \int ds \quad (1)$$

式中: $I$  为光源的强度分布; $d\Omega$  为划分的立体角元; $E$  为被照表面的照度; $ds$  为被照表面的表面元。LED 发出的光线(用  $\vec{i}$  表示)经过透镜表面上的点  $P1$  折射后变成矢量  $\vec{r}$ ,若初始点  $P1$  的坐标已知,光源位置  $O$  和目标面的位置  $T1$  的坐标已知,那么就可以根据折射定律(2)得到点  $P1$  对应的法矢量  $N1$ 。

$$n_2 \vec{r}' - n_1 \vec{i}' = \vec{N} [n_2^2 + n_1^2 - 2n_1 n_2 (\vec{r}' \cdot \vec{i}')]^{1/2} \quad (2)$$

而临近  $P1$  的点  $P2$ ,可以认为位于  $P1$  点对应的表面切线上。若把 LED 放在球面坐标系中,则根据能量守恒, $P1, P2$  夹角内的光通量应该等于入射到目标面  $T1, T2$  上的光通量,所以,如果对 LED 发光的整个立体角进行等量划分,就可以根据公式(2)得到  $T2$  点的坐标。然后令第二条光线射向  $P2$  点,经过表面上  $P2$  点折射后射向被照表面上的  $T2$  点,因为  $P1, P2$  是临近点,所以,可以近似地认为经过  $P1$  的法线也是经过  $P2$  的法线,所以根据  $N1, P1$  又可以得到  $P2$  点坐标,进而根据折射定理和  $T2$  即可得  $N2$ 。如此循环下去,得到  $P3, N3, P4, N4, Pn \dots$  进而得到所有点的坐标。

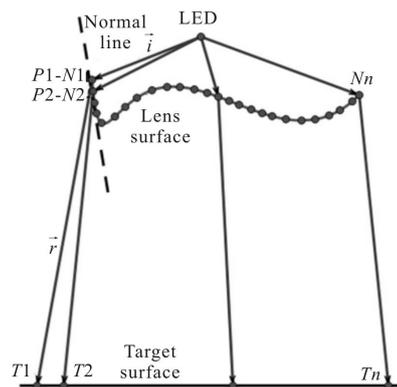


图 2 透镜表面的坐标计算

Fig.2 Calculation for coordinates of the surface of lens

图 3 是一个能够产生 45°出光角的透镜尺寸,这样的透镜是计算出的表面经过旋转拉伸后形成的实体(如图 4 所示)。其中,透镜底部的半球空间用来安装 LED 芯片。

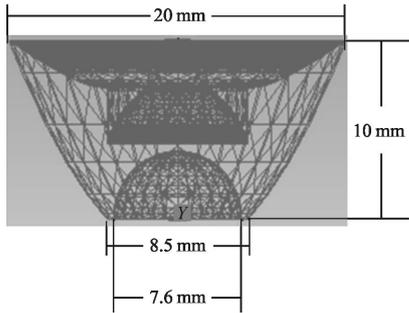


图 3 旋转得到的尺寸构架  
Fig.3 Size of the lens

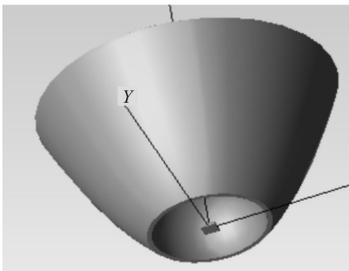


图 4 旋转得到的透镜实体  
Fig.4 Lens entity obtained by rotation

### 3 结果及验证

以能够产生 45°出广角的透镜为例进行模拟,透镜的最大长度和宽度是 20 mm×10 mm(如图 3 所示)。透镜的材料为 PMMA,光波长为 0.55 μm。与成像系统不同,非成像系统并不着重评价它的成像质量,而是关注它的效率和照度均匀度。模拟结果如图 5 和图 6 所示。其中在图 5 中,被照表面距离透镜 100 m,照度均匀度为 87%。从图 6 可以看到,透镜可以将 180°内的光能量汇聚在 45°的范围内,这个透镜的光能利用率是 83%。

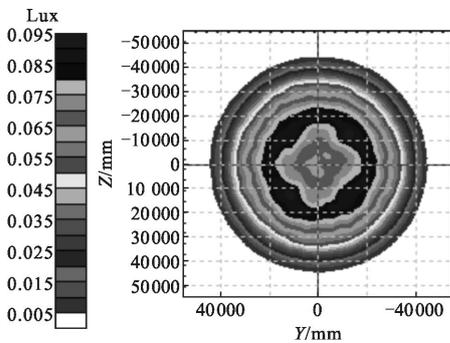
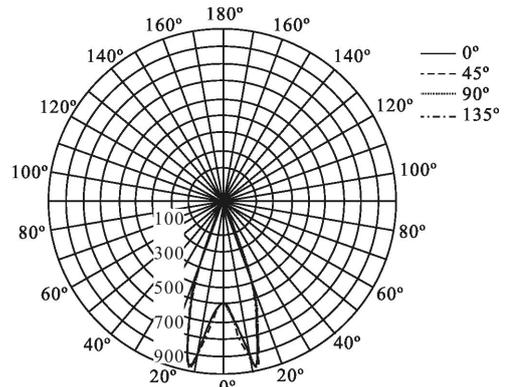


图 5 45°透镜的被照表面上的照度分布  
Fig.5 Illuminance distribution for 45° lens



Efficiency:0.82647-1099378 Rays  
Min:2.2099e-005 cd, Max:983.78 cd, Total flux:330.59 lm

图 6 45°透镜形成的光强度分布  
Fig.6 Light intensity distribution for 45° lens

利用这个方法,文中也设计和模拟了形成 30°出光角的透镜,结果如图 7 和图 8 所示。结果表明被照表面上的照度均匀度是 85%,光能利用率是 81%,从图 8 也可以看出透镜对光的汇聚作用。

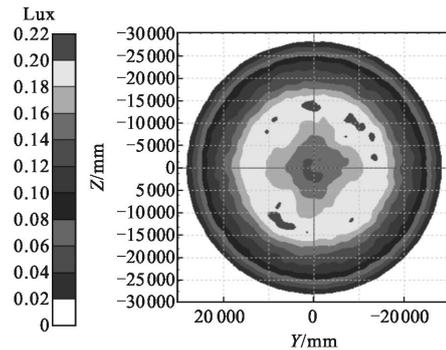
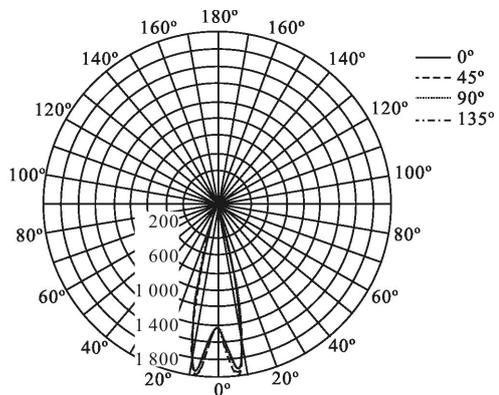


图 7 30°透镜形成的光强度分布  
Fig.7 Light intensity distribution for 30° lens



Efficiency:0.80781-1045105 Rays  
Min:6.9452e-006 cd, Max:1989.6 cd, Total flux:323.13 lm

图 8 30°透镜形成的光强度分布  
Fig.8 Light intensity distribution for 30° lens

## 4 结 论

文中利用折射定律和能量守恒原理设计了一种用于 LED 照明的小角度照明透镜。结果表明,此透镜能够在保证较好的照度均匀度和光能利用率的条件下实现小角度照明,这种透镜有如下的优点:首先,此类透镜可以收集整个半平面内的光能量,相对于大部分只收集 120° 范围内光能量的透镜来说,效率被大大地提高。其次,该透镜可以实现小出光角的均匀照明,这是普通准直照明透镜很难做到的。最后,从透镜的尺寸看,这种透镜的直径和高度是符合现在照明集成需要的。所以,此透镜将在室内外照明场所具有广泛的应用前景。

### 参考文献:

- [1] Michaelis D, Schreiber P, Bräuer A. Cartesian oval representation of freeform optics in illumination systems[J]. *Optics Letters*, 2011, 36(6): 918-920.
- [2] Tsai J Z, Chang R S, Ling T Y, et al. LED backlight module by a lightguide-diffusive component with tetrahedron reflector array [J]. *Journal of Display Technology*, 2012, 8(6): 321-328.
- [3] Andrzej Pawlak, Krzysztof Zaremba. Reflector luminaire with high power light-emitting diodes for general lighting [J]. *Chinese Optics Letters*, 2008, 47(3): 467-473.
- [4] Xia Xunli, Yu Binhai, Mai Zhenqiang. Design on approximate lambertian LED opto lens configuration [J]. *Elec Opt Tech Appli*, 2010, 25(1): 22-37. (in Chinese)  
夏勋力, 余彬海, 麦镇强. 近朗伯光型 LED 透镜的光学设计[J]. 光电技术应用, 2010, 25(1): 22-37.
- [5] Sun Liwei, Jin Shangzhong, Cen Songyuan. Free form micro lens design for solid state lighting [J]. *Acta Photo Sinica*, 2010, 39(5): 860-865. (in Chinese)  
孙理伟, 金尚忠, 岑松原. 用于固态照明的自由曲面微透镜设计[J]. 光子学报, 2010, 39(5): 860-865.
- [6] Zhao Hualong, Liang Zhiyi, Shi Xing, et al. The design of LED use in optical project [J]. *Acta Photo Sinica*, 2007, 36(2): 244-246. (in Chinese)  
赵华龙, 梁志毅, 石兴, 等. 利用 LED 的投影系统光源设计[J]. 光子学报, 2007, 36(2): 244-246.
- [7] Yang Yi, Qian Keyuan, Luo Yi. A novel LED uniform illuminance system based on nonimaging optics [J]. *Opti Tech*, 2007, 33(1): 110-115. (in Chinese)  
杨毅, 钱可元, 罗毅. 一种新型的基于非成像光学的 LED 均匀照明系统[J]. 光学技术, 2007, 33(1): 110-115.
- [8] Wang G, Wang L, Li L, et al. Secondary optical lens designed in the method of source-target mapping[J]. *Applied Optics*, 2011, 50(21): 4031-4036.