

文章编号: 1000-5013(2011)05-0502-04

# 大功率发光二极管路灯的一次光学仿真设计

黄智炜, 郭震宁, 林介本, 董菁菁

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

**摘要:** 利用反光碗对芯片出射光的角度限制,应用自由透镜曲面对光的聚光和散光作用,研究大功率发光二极管(LED)的配光曲线.设计反光碗和一次光学透镜,通过优化一次光学系统的参数,实现路灯用大功率LED配光曲线具有蝙蝠翼型,接受面上的光斑呈矩形分布的特征.仿真结果表明:设计可以达到路灯要求的光分布,可实现照度均匀度高达0.846,完全满足当前道路照明的照度要求.

**关键词:** 光学设计;发光二极管;蝙蝠翼型;路灯;配光曲线

**中图分类号:** O 436

**文献标志码:** A

近年来,随着半导体材料生长技术与器件封装工艺的进步,大功率发光二极管(LED)器件的发光效率及可靠性得到了很大的提高.国家科技部“十城万盏”计划在道路照明上的巨大投资,使得LED路灯的市场非常看好<sup>[1-5]</sup>.与传统的路灯相比,LED路灯有着节能、环保、实用寿命长、耐震性能强、占用体积小等明显优势<sup>[6]</sup>.然而,目前市场上大部分LED路灯的配光都是采用二次光学设计.二次光学设计存在以下3个主要缺点:(1)成本高,即采用二次光学透镜与不具有蝙蝠翼型的单颗大功率LED搭配,价格昂贵,不利于LED路灯的推广;(2)灯具结构设计不方便,即采取一定的措施固定二次光学透镜,增加了结构设计的复杂性;(3)出光效率降低,即二次光学透镜的材料会有一定的光吸收,且增加光学界面造成光线反射损失.本文设计了一种新型的路灯专用LED,使其经过一次光学系统就可以实现配光曲线的蝙蝠翼型分布,且具有矩形分布的光斑特征.

## 1 一次光学系统的设计思想

当光源尺寸与计算点之间的距离相比小得多时,可将光源视为点光源<sup>[7]</sup>.一般圆盘形发光体的直径不大于照射距离的1/5,线状发光体的长度不大于照射距离的1/4,按点光源进行照度计算误差均小于5%.单颗大功率LED的尺寸远小于照射距离,所以可视为点光源.点光源照射在水平面上一点产生的照度可表示为

$$E_h = I \times \cos \theta / R^2. \quad (1)$$

式(1)中: $E_h$ 为点光源照射在水平面上一点产生的照度; $I$ 为照射方向的光强; $R$ 为点光源至被照面计算点的距离; $\theta$ 为被照面的法线与入射光线的夹角.

因为是专门针对LED路灯的设计,所以从点光源发射出来的光在地面上的照度分布要越均匀越好.由式(1)可知,要提高照度均匀性,光强 $I$ 的分布必须与 $R^2/\cos \theta$ 成正比.

## 2 仿真设计与数据分析

### 2.1 大功率LED路灯的建模

大功率LED路灯的建模有如下5个主要步骤:

**收稿日期:** 2010-10-15

**通信作者:** 郭震宁(1958-),男,教授,主要从事光电子材料与器件的研究. E-mail: znguo2003@yahoo.com.cn.

**基金项目:** 福建省科技计划重点项目(2009H0034);福建省自然科学基金资助项目(2010J01338);福建省厦门市科技计划重点项目(3502Z20093033);福建省泉州市科技计划重点项目(2008G7)

- (1) 在结构设计软件中建立 LED 的三维模型, 保存为 stp 文件并导入光学软件中<sup>[8-9]</sup>;
- (2) 定义灯具模型中各种表面和材料的属性;
- (3) 进行光线追踪仿真;
- (4) 对所仿真的照度分布、光强分布等结果进行分析;
- (5) 比较仿真结果与国家标准的差距, 对不满足要求的地方进行结构的修正, 直到满足设计要求。

2.2 反光碗的设计

为限制 LED 芯片出射光的角度, 设计高度为 0.45 mm, 下底面半径为 1 mm, 上底面半径为 1.25 mm 的反光碗, 如图 1 所示。

为使仿真结果逼近真实情况, 假设反光杯内充满折射率为 1.415 的硅胶, 面属性为全投射。定义碗杯内表面属性均为全反射, 芯片表面出射的光通量为 100 lm, 芯片与荧光粉的总高度为 0.3 mm, 在距离芯片正面 316 mm 远处设一测试面, 观察坎德拉(Candela)分布图, 如图 2 所示。由图 2 可测算  $2\theta_{1/2}$  的发光角度为  $120^\circ$ 。

2.3 光学透镜的设计

根据实际工程案例经验, 要实现照度均匀性好, 就必须采用光学透镜。改善图 2 所示的光分布, 达到两边聚光, 中间散光的效果, 即蝙蝠翼型分布。路灯照射的面积不是各向对称的, 其中纵向(行车道方向)的距离比较大, 横向的间距比较小, 为避免光浪费, 两个方向的角度也要求不一样。

假设 LED 路灯灯杆高度为 10 m, 要求照射的范围是 35 m×15 m, 那么它在纵向与横向两个方向的角度要求分别为  $120^\circ$  和  $60^\circ$  左右。LED 一次光学透镜的外观结构, 如图 3 所示。

2.4 仿真数据与结果

反光杯、透镜和支架组成的整体外观结构, 如图 4 所示。在光学设计软件中, 对 LED 模型进行光学模拟, 在不考虑硅胶对光吸收的情况下, 模拟图 4 的结构, 得到直角坐标系和极坐标系下的配光曲线分别如图 5(a), (b) 所示。

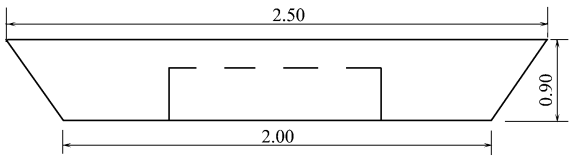


图 1 反光碗的结构(单位:mm)  
Fig. 1 Reflector's structure(unit:mm)

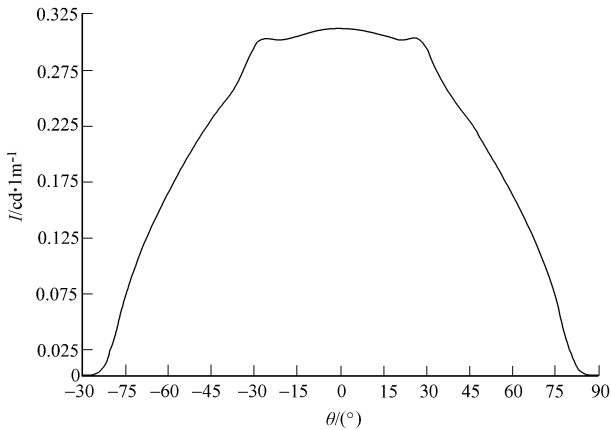


图 2 测试面的光强分布图  
Fig. 2 Receiver's intensity distribution

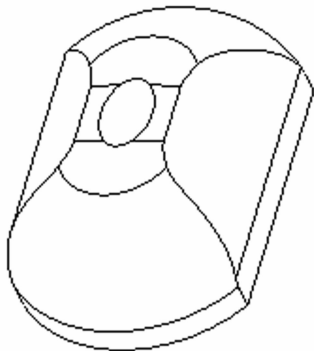


图 3 透镜的外观结构  
Fig. 3 Lens' cosmetic structure

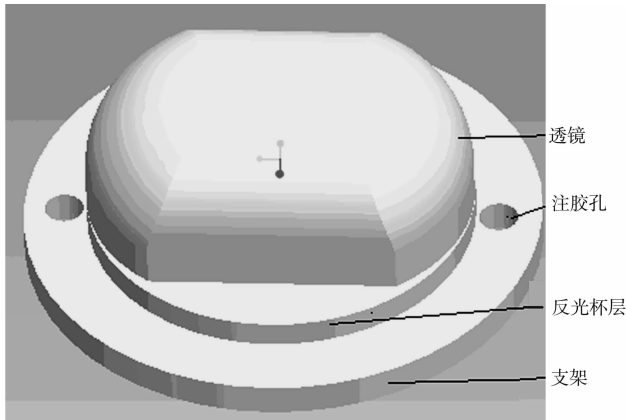


图 4 LED 的整体外观  
Fig. 4 LED's overall appearance

由图 5 可以看出, LED 路灯在纵向的角度为  $118^\circ$ , 横向的角度为  $65^\circ$ 。在纵向  $80^\circ$  和  $90^\circ$  光束角方向上, LED 发出的光强分别是  $0.025 \text{ cd} \cdot \text{lm}^{-1}$  和  $0 \text{ cd} \cdot \text{lm}^{-1}$ , 低于  $0.030 \text{ cd} \cdot \text{lm}^{-1}$  和  $0.010 \text{ cd} \cdot \text{lm}^{-1}$ , 符合道路照明 LED 路灯的要求, 且纵向方向光强最大值的连线接近为一条直线。

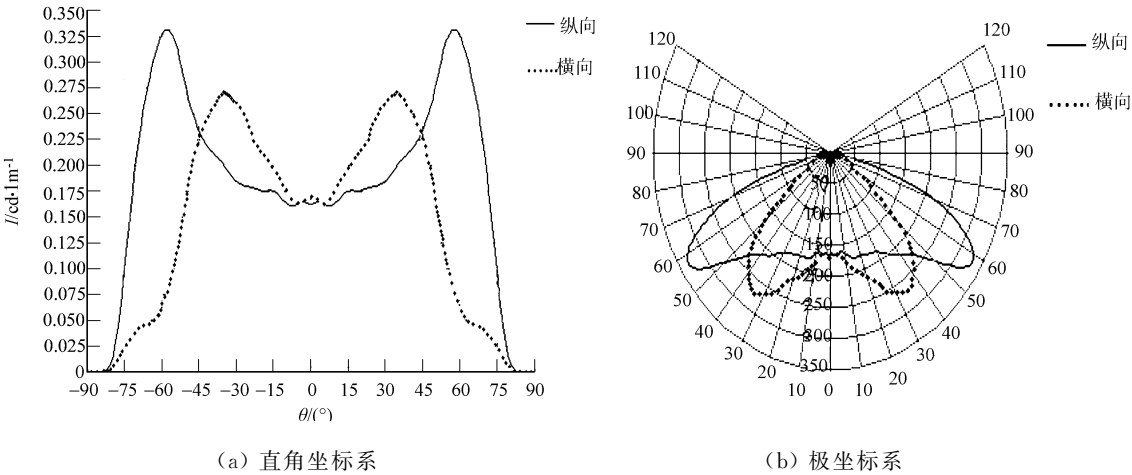


图 5 不同坐标系下单个 LED 的光强分布

Fig. 5 Single LED's intensity distribution in different coordinate systems

采用设计的 LED 组成  $10\times 10$  的模组,模拟 10 m 杆,200 W 路灯的道路照明效果.每个 LED 之间的间距为 3 cm,在距离光源 10 m 处设置一个接收面,其接收面积为  $50\text{ m}\times 30\text{ m}$ .通过光线追迹并仿真,得到配光曲线和照度如图 6,7 所示.

对比图 5(a)和图 6 可知,当多个具有蝙蝠翼型分布的 LED 组合时,其经过叠加之后的光分布与单颗 LED 的光分布基本相似.然而,通过叠加后的光强分布的效果更佳,在纵向大于  $75^\circ$  角的范围内没有多余的光.

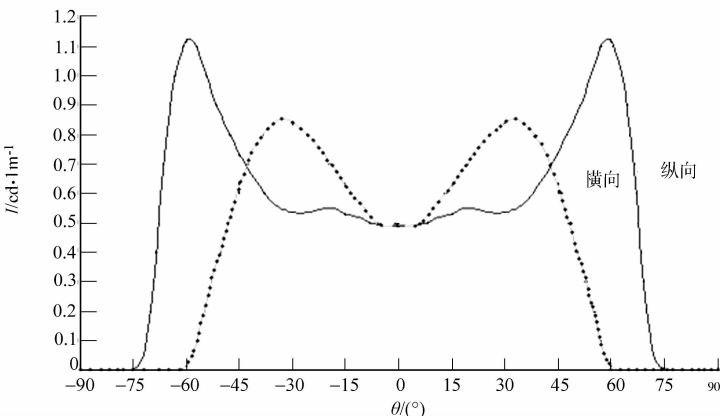


图 6  $10\times 10$  点阵的光强分布

Fig. 6 A square array of  $10\times 10$  LEDs' intensity distribution

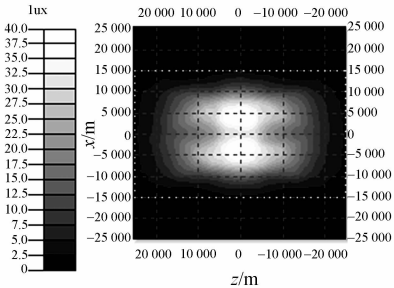


图 7  $10\times 10$  点阵的照度矩形分布

Fig. 7 A square array of  $10\times 10$  LEDs' irradiance rectangular distribution

在灯杆高度为 10 m,两盏路灯相距为 30 m 的条件下,采用 120 颗瓦级白光 LED 光源组成一盏 LED 路灯,且两排错开排列,通过 Dialux 软件进行仿真,路面的照度分布如表 1 所示.表 1 中: $d_1$  为纵向间距; $d_2$  为横向间距.

表 1 路面的照度分布

Tab. 1 Road's irradiance distribution

$d_1/\text{m}$	$d_2/\text{m}$									
	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708
6.417	15	14	14	14	14	13	13	14	14	14
5.250	16	15	14	14	14	14	14	14	14	14
4.083	19	16	14	14	15	15	15	15	14	14
2.917	21	17	15	15	15	15	15	15	15	15
1.750	23	19	15	15	15	16	16	15	15	15
1.750	23	20	15	15	16	16	16	16	15	15

由表 1 可知,采用设计新型一次成型 LED 路灯透镜,可实现照度均匀度高达 0.846,完全满足当前道路照明的照度要求.

### 3 结束语

采用软件设计并研究了反光碗和一次光学透镜,通过优化一次光学系统的参数,实现了路灯用大功率 LED 配光曲线具有蝙蝠翼型、接受面上的光斑呈矩形分布的特征. 研究表明,采用一次光学系统的点阵 LED 路灯模组,具有良好的路面照明均匀性,并且提高了 LED 路灯的出光效率,其安装方式简单、体积小,有良好的实际应用和推广前景.

#### 参考文献:

[1] SU Hong-dong, WANG Ya-jun, DONG Ji-yang, et al. Computer modeling and simulation evaluation of high power LED sources for secondary optical design[J]. Semiconductor Photonics and Technology, 2007, 13(3): 186-191.

[2] SCHUBERT E F, KIM J K. Solid-state light sources getting smart[J]. Science, 2005, 308(5726): 1274-1278.

[3] JONES E D. Light emitting diodes (LEDs) for general illumination[M]. Washington D C: Optoelectronics Industry Development Association, 2001.

[4] 徐瑞麟, 俞伟民, 屠其非. 高效率 LED 交通信号灯的二次光学设计[J]. 中国照明电器, 2007(2): 11-13.

[5] 陈波, 李伟平, 黄杨程, 等. 一款 LED 后位灯的光学设计与仿真[J]. 光学仪器, 2006(5): 37-41.

[6] 高铁成, 艾艳锦, 杨广华, 等. LED 路灯的二次光学设计[J]. 光机电信息, 2008(10): 41-44.

[7] 屈恩世, 张恒金, 曹剑中. 对光学设计中照度计算公式的讨论[J]. 光学学报, 2008, 28(7): 1364-1368.

[8] 张鉴, 杨明武, 胡智文. LED 环氧树脂封装的光学设计与模拟[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2008, 31(10): 1695-1698.

[9] TIAN Da-lei, GUAN Rong-feng, WANG Xing. Optimized design of LED daylight lamp lighting system[J]. Semiconductor Photonics and Technology, 2008, 14(2): 121-123.

## High-Power Light-Emitting Diode's First Optical Design and Simulation for Road Light

HUANG Zhi-wei, GUO Zhen-ning,  
LIN Jie-ben, DONG Jing-jing

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** Base on the CMOS chip's emission angle limited by the reflector, and applying the effect of the light's convergence and divergence by free-surface lens, the high-power light-emitting diode's intensity distribution was studied. The paper designs a reflector by through optimizing the first optical system's parameters to realizes light-emitting diode's intensity distribution as bat-wing, and receiver's irradiance distribution as rectangle. The simulation results show this design meets the requirement of the road light and the irradiance uniformity up to 0.846.

**Keywords:** optical design; light-emitting diode; bat-wing pattern; road light; intensity distribution

(责任编辑: 陈志贤      英文审校: 吴逢铁)