

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201604017



大型 LED 双面广告灯箱矢量设计方法

郭震宁, 林木川, 颜稳萍, 廖炫, 甘汝婷, 潘诗发

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 针对发光二极管(LED)广告灯箱近距离、大面积、非对称照明的特点,提出一种基于配光曲线的 LED 广告灯箱反射面矢量设计方法.根据目标面照度分布要求,对比添加反射面前的目标面照度变化,得到满足均匀照明的广告灯箱配光曲线.使用剪裁法确定反射面的斜率,建立直射光线和反射光线的有效叠加和补偿,实现均匀照明的要求.运用 LightTools 软件对设计进行模拟仿真,结果表明:目标照度均匀度达到 85%,能量利用率超过 80%.

关键词: 发光二极管;非对称照明;大角度;均匀照明;自由曲面

中图分类号: O 439 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2016)04-0475-06

Vector Design Method for LED Advertisement Lamp Box of Double-Sided

GUO Zhenning, LIN Muchuan, YAN Wenping,
LIAO Xuan, GAN Ruting, PAN Shifa

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In consideration of the properties of asymmetric large-area illustration at a short distance, a vector design method based on distribution curve for light emitting diode (LED) advertisement lamp boxes is proposed. According to the illumination requirement of the illumination distribution without reflector in target surface, the distribution curve of advertising light that satisfies the uniform illumination is calculated. Using the tailored to determine the slope of the reflector, and then establish effective superposition and compensation of direct light and reflected light, thus achieving designed uniform illumination on the surface. The simulation result by LightTools shows that the uniformity of illumination reaches 85% and the energy efficiency exceeds 80%.

Keywords: light emitting diode; asymmetric lighting; large view angle; uniform illumination; freeform surface

户外广告灯箱通常由构架及面罩、印刷载体、辅助光装置三部分组成^[1].传统的户外广告灯箱多采用荧光灯管作为光源,但是,荧光灯在安装维护和使用寿命方面存在一定的缺陷.发光二极管(LED)光源具有使用寿命长、光效高、耗能低、安装维护简单等特点,是荧光灯照明的理想替代品^[2-4].双面广告灯箱被广泛地使用于公交车站、商场橱窗等场合^[5-6],市面上常用的双面广告灯箱有两种解决方案.第一种是采用特殊的 LED 透镜封装,实现 LED 光源的光强呈现大角度非均匀分布.目前,欧司朗、飞利浦等公司都

收稿日期: 2014-12-30

通信作者: 郭震宁(1958-),男,教授,博士,主要从事半导体发光器件及光学设计与应用的研究. E-mail: znguo@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省科技计划重点项目(2013I0004);福建省科技计划引导性重点项目(2016H0022);福建省光传输与变换重点实验室开放课题(2014201)

拥有相应的产品,其缺点在于透镜生产成本较高.此外,对于大面积的广告灯箱,中部容易出现暗区.第二种解决方案是采用双出射导光板为广告灯箱的主要构件.目前,广告灯箱常用的双出射导光板有两种:一种是使用两块分立导光板,网点背靠背重叠在一起,同时为广告灯箱的两个出光面提供光源,这种广告灯箱产品的质量、功耗、成本都大大增加^[7];另一种是基于米散射理论的体散射导光板,使用一块导光板即可实现双面出光,其缺点在于光能利用率低,大尺寸体散射导光板中部容易出现暗区,均匀性受限^[8-9].本文提出一种基于配光曲线的LED广告灯箱反射面矢量设计方法.

1 设计原理

1.1 设计方案

设计一款反射罩,以实现广告灯箱单边出光均匀,再将LED光源和反光罩沿着广告灯箱的中切面对称放置,使左侧LED光源照明广告灯箱右侧为出光面,而右侧LED光源照明广告灯箱左侧为出光面,实现广告灯箱双面出光.LED双面出光广告灯箱的结构示意图,如图1所示.

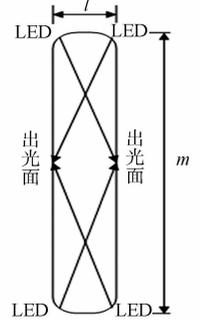


图1 广告灯箱结构图
Fig.1 Structure diagram of LED advertisement lamp box

与广告灯箱尺寸相比,LED光源极小,受到使用场地的限制,要求LED光源在近距离的条件下为大尺寸的广告灯箱表面提供照明.通过二次光学设计,实现单个LED光源光强呈现非对称、大角度分布.将数组成对的LED光源安放在广告灯箱的上下两端,经过照明的叠加实现均匀照明^[10-11].

目前,常用的LED二次光学设计方法包括网格法^[12]和剪裁法^[13-14].通过分析广告灯箱表面的照度要求,与在没有反射面的情况下LED光源在广告灯箱表面的照度进行对比,建立配光曲线.使用剪裁法,通过自由曲面反射面处的入射光矢量和反射光矢量确定曲面的斜率^[15],经过光照度的补偿叠加,实现均匀照明.

1.2 建立模型

建立单个LED芯片照射广告灯箱表面示意图,如图2所示.在XZ二维直角坐标系中,LED光源位于原点处,出光面与X轴的夹角为 α (芯片发光面正对Z轴正方向,以芯片逆时针旋转为正方向),芯片发出的光只有部分直接到达目标面.由于LED芯片尺寸远小于光源到目标面的距离,可将光源视为点光源.LED为朗伯型光源,其光强满足

$$I_{\theta} = I_0 \cos \theta. \quad (1)$$

式(1)中: I_0 为LED光源中心光强; θ 为光线与芯片法向量夹角.根据照度距离公式,直接照射到目标面上A点的光照度为

$$E = \frac{I_{\theta} \cos \theta}{s^2}. \quad (2)$$

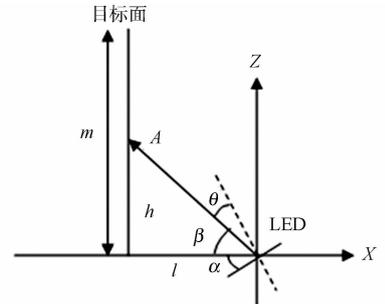


图2 LED照射广告灯箱表面示意图
Fig.2 Schematic diagram of irradiation for LED advertisement lamp box

假设目标面的距离光源的距离为 l ,A点与X轴的距离为 h ,广告灯箱高度为 m .由几何关系可得

$$\cos \theta = \sin(\beta + \alpha) = \sin \beta \cdot \cos \alpha + \cos \beta \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

$$\sin \beta = h/s, \quad (4)$$

$$\cos \beta = l/s, \quad (5)$$

$$s = \sqrt{h^2 + l^2}. \quad (6)$$

结合式(3)~(6),式(2)可化为

$$E = \frac{I_{\theta}(h \cos \alpha + l \sin \alpha)}{(h^2 + l^2)^{1.5}}. \quad (7)$$

与之对应的同组LED光源在目标面的照度为

$$E' = \frac{I_{\theta}[(m-h) \cos \alpha + l \sin \alpha]}{[(m-h)^2 + l^2]^{1.5}}. \quad (8)$$

由式(7)可知:若只考虑一个LED光源,A点越往上, h 越大,照度 E 越小.反射式LED广告灯原理

图, 如图 3 所示. 反射面需要将 LED 光源发出的光通量密度大的光反射到目标面的上方, 光通量密度小的光反射到目标面的下方. 随着发光角度 θ 的减小, 反射的光依次向目标面的上方移动^[16].

假设广告灯箱高为 1 m, 厚度为 15 cm, 将 LED 光源放置在 (0, 0), (0, 1) 两处. LED 出光面与 X 轴平行, 单颗 LED 的总光通量为 2 lm, 得到两个 LED 光源在目标面上的照度叠加曲线, 如图 4 所示. 图 4 中: E_i 为目标面照度; Z 为 Z 轴坐标值.

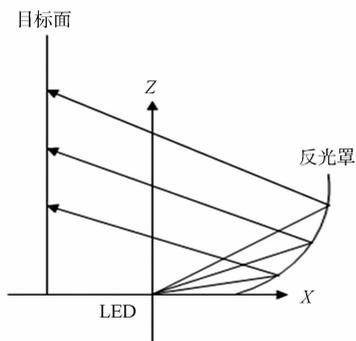


图 3 反射式 LED 广告灯原理图

Fig. 3 Principle diagram of reflective LED advertisement lamp box

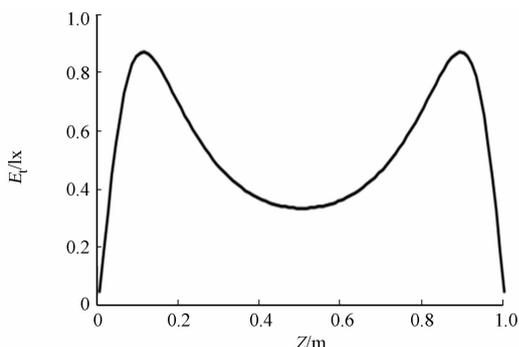


图 4 两个 LED 光源在目标面的照度叠加

Fig. 4 Superposition of two LEDs' illuminance on the target surface

由图 4 可知: 目标面上接近光源的地方照度大, 随着与光源距离的增大, 目标面上的照度减小, 两个光源的照度在目标面叠加后, 造成目标面亮度两侧亮, 中部暗, 部分 LED 光源发出的光线没有照射到目标面上. 为避免出现这种情况, 设计的反光罩要将 LED 光源能量重新分配, 把没有投射到目标面上的光线反射至目标面暗区, 使 LED 光源获得较好的出光效果, 目标面照度均匀, 提高能量利用率.

1.3 反射面设计

目标面照度均匀度的设计目标为 80%. 未进行配光时, 目标面上照度最大值为 E_{max} , 利用反射光在照度小于 80% 的区域进行光能量补偿. 上下两只 LED 光源在垂直方向对广告灯箱进行对射, 为了获得垂直方向的照度均匀, 光补偿区域内的光照度 E 应该与高度 h 呈线性关系.

考虑单颗 LED 光源, LED 光源直射和反射光通量的划分, 如图 5 所示. 图 5 中: 直线和原照度图所包围的面积为反射光投射区域. 假设需要将光反射在高度为 (h_i, h_j) 区域内, 根据式 (7), (8) 求得 h_i, h_j 两点对应的照度 E_i, E_j . 根据两点式直线公式, 得到光补偿区域内的照度 E 与高度 h 的线性关系式, 即

$$\frac{E - E_i}{E_i - E_j} = \frac{h - h_i}{h_j - h_i}. \tag{9}$$

在初始条件下, 根据反射配光曲线设计反射面. 设入射光线和反射光线的单位矢量分别为 \mathbf{I}, \mathbf{O} , 反射面法向量为 \mathbf{N} , 反射面上的点满足 Snell 公式^[17], 有

$$(2 - 2\mathbf{I} \cdot \mathbf{O})^{1/2} \mathbf{N} = \mathbf{O} - \mathbf{I}. \tag{10}$$

因此, 入射光矢量 \mathbf{a}_1 和反射光矢量 \mathbf{a}_2 满足关系式

$$(2 - 2 \frac{\mathbf{a}_1}{|\mathbf{a}_1|} \cdot \frac{\mathbf{a}_2}{|\mathbf{a}_2|})^{1/2} \cdot \mathbf{N} = \frac{\mathbf{a}_2}{|\mathbf{a}_2|} - \frac{\mathbf{a}_1}{|\mathbf{a}_1|}. \tag{11}$$

根据初始条件, 计算出 LED 反射部分每个区间所需要的投射角度, 再根据 Snell 公式逐点计算, 得到反射面上的坐标点, 由此构造出反射面的形状. 通过改变 LED 光源与水平面夹角, 可以改变反射光投射在目标面上的能量大小.

2 设计实例及仿真

根据以上设计思路, 用 Matlab 编程计算反射面坐标, 再用 SolidWorks 软件构建反射面模型, 设计

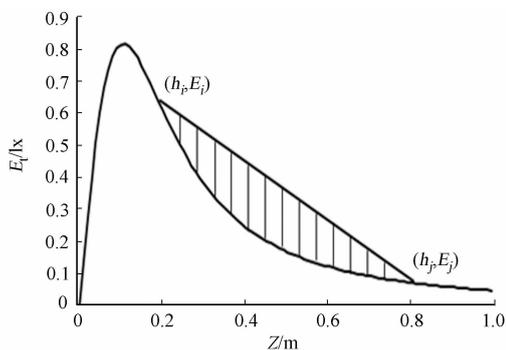


图 5 LED 光源直射光和反射光的光通量划分

Fig. 5 Luminous flux division of direct light and reflected light of LED source

一款双面出光的广告灯箱,并用 LightTools 软件进行模拟仿真。

广告灯箱尺寸为 $2.00\text{ m} \times 1.00\text{ m} \times 0.15\text{ m}$,LED 光源的安放位置与广告灯箱表面的垂直距离为 0.15 m , 2 m 长的入光面安放了 200 颗 LED 贴片灯珠,贴片灯珠尺寸为 $1.6\text{ mm} \times 0.8\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$,单颗 LED 光源的光通量为 15 lm 。

首先,仅考虑位于 $(0,0,0)$ 和 $(0,0,1\ 000)$ 处的单组 LED 光源,选取不同的 α 值,考察目标面照度。从现有的双面出光 LED 广告灯箱产品可以看出,大面积灯箱的主要问题是中部容易出现暗区。因此,在保证亮度均匀性的前提下,为了将更多的能量集中到广告灯箱出光面的中部,需要减小直射部分的光强,增大反射部分的光强。为了达到此目的,将 LED 光源出光面向着反射面,与水平面的呈一定角度(即 α 为负值)。

令 α 分别为 $0^\circ, -10^\circ, -20^\circ, -30^\circ, -40^\circ$, 带入编好的 Matlab 程序,得到不同的反射面自由曲线,构建照射罩仿真模拟得到的照度结果,如图 6 所示。图 6 中: E_t 为目标面照度; Z_r 为与 Z 轴中线的相对位置。由图 6 可知:当 α 角过小时,照度图中部出现明显的下凹,造成中部暗区;随着 α 的增大,下凹渐渐平复,目标面均匀性提高;当 α 过大时,照度图中间凸起,容易造成中部过亮。经过多次试验,当 $\alpha = -20^\circ$ 时,效果最佳。将计算得出的反射面曲线沿着 Y 轴方向拉伸一定长度,得到反射罩,如图 7 所示。

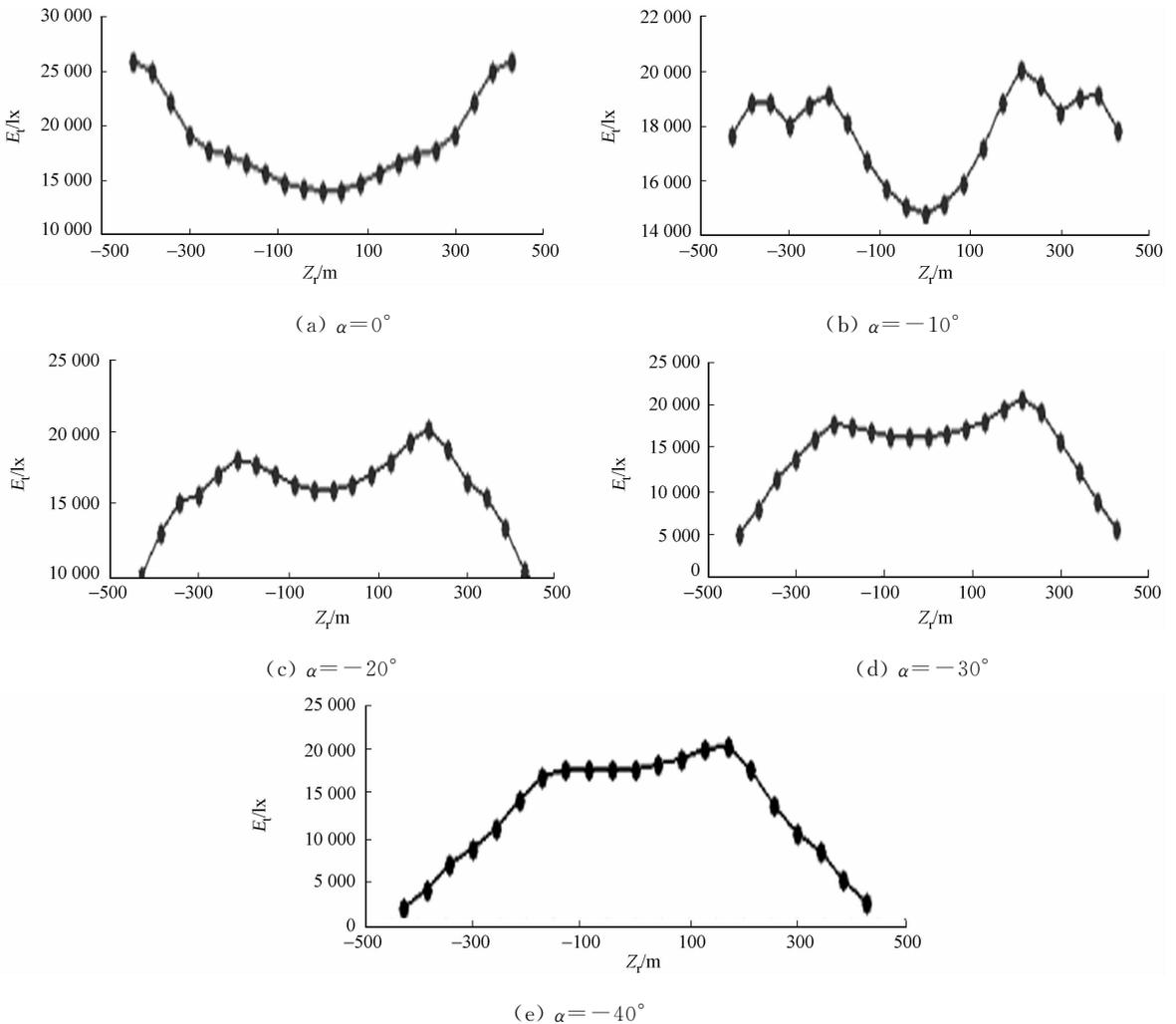


图 6 不同 α 的照度

Fig. 6 Illumination of different α

单颗 LED 光源在目标面照明区域内垂直方向的照度均匀度达到 75%。在实际运用中,由于 LED 是扩展光源,根据边缘光线原理^[18-19],扩展光源在相邻反射点形成的反射在受照面上会形成部分叠加照明,从而使照度更加均匀。而在水平方向上,只要对 LED 间距进行调整,选取适当的值,即可实现均匀照明。一般情况下,市面上现有的 LED 灯带密度规格即可满足水平方向均匀照明的要求。考虑线光源情况

下的目标面照度. 两组 LED 线光源在垂直和水平两个方向上的照度曲线, 如图 8 所示. 图 8 中: Y_r 为与 Y 轴中线的相对位置. 由图 8 可知: 在照射区域内, 垂直照度均匀度为 85%, 能量利用率为 81%. 将 LED 光源和反光罩沿着广告灯箱中切面对称放置, 即可得到 LED 双面出光广告灯箱. LED 双面出光广告灯箱光强分布及照明效果光栅示意图, 如图 9, 10 所示. 由图 9, 10 可知: 两个出光面照明效果对称.

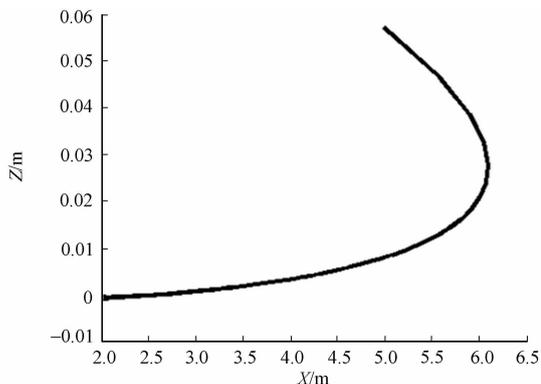


图 7 反射面曲线

Fig. 7 Reflective surface curve

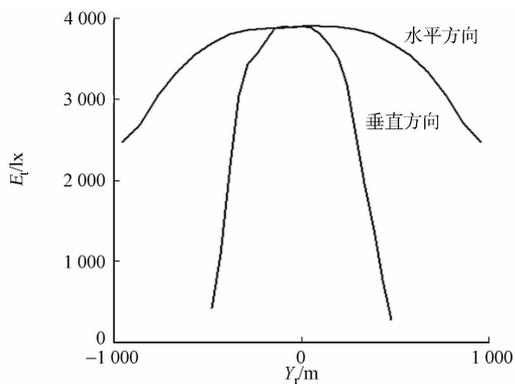
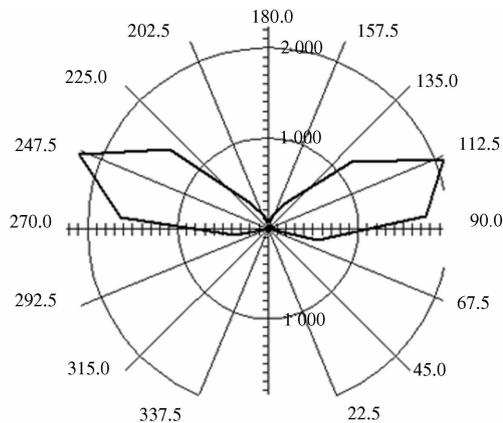
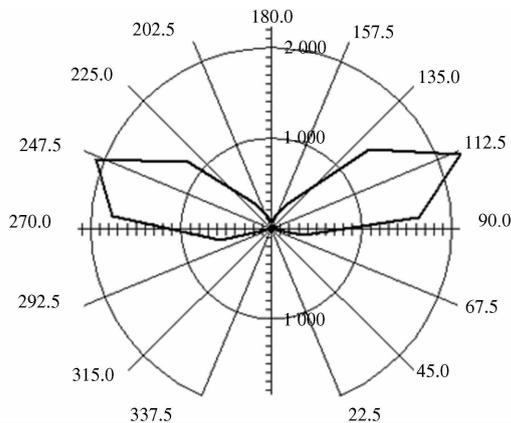


图 8 目标面在水平和垂直两个方向上的照度曲线

Fig. 8 Illumination curves in horizontal and vertical on target surface



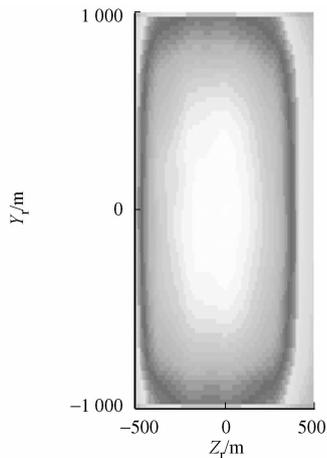
(a) 广告灯箱 A



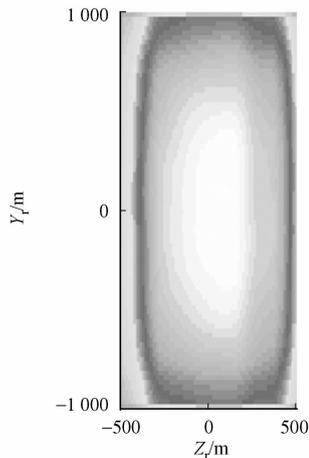
(b) 广告灯箱 B

图 9 LED 双面出光广告灯箱光强分布

Fig. 9 Intensity distributions of LED advertisement lamp box of double-sided



(a) 广告灯箱 A



(b) 广告灯箱 B

图 10 目标面光栅

Fig. 10 Raster of the target surfaces

3 结束语

通过对比目标面的照度要求及未添加反射器的情况下的照度分布,构造出目标面的配光曲线.通过剪裁法设计反射曲面,实现了单个LED光源非对称、大角度照明,并使用多个LED光源叠加,实现了目标面整体的均匀照明.该方法直接明了、简单易行,能够获得较高的照度均匀度和能量利用率.在实际运用中,需要调整LED灯条与水平面的夹角,以达到最佳的照明效果.

参考文献:

- [1] 杨清德. LED照明工程与施工[M]. 北京:金盾出版社,2009:128-133.
- [2] 尹杰,邱云峰,刘桥,等. 大尺寸LED超薄灯箱的导光板设计[J]. 激光与光电子学进展,2010,47(12):38-42.
- [3] 曾海,郭震宁,陈俄振,等. 矩形基板上LED芯片阵列热分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2013,34(3):267-273.
- [4] CHANG J G, SU M H, LEE C T, et al. Generating random and nonoverlapping dot patterns for liquid-crystal display backlight light guides using molecular-dynamics method[J]. Journal of Applied Physics, 2005, 98(11):114910(1-8).
- [5] HIGASHIYAMA H. Surface light source for emitting light from two surfaces and double-sided display device using the same: US,10/461768[P]. 2006-03-01.
- [6] CHANG Jeegong, FANG Yubin, LIN Chifeng. Photometric quantity analysis of backlight for a dual-panel display [J]. Optical Engineering, 2006, 45(5):625-631.
- [7] 黄明波. 基于双出射导光板设计及成型方法的研究[D]. 厦门:华侨大学,2011:9.
- [8] 张楠,唐振方,栗万里,等. 光散射聚合物导光板的材料参数设计[J]. 光散射学报,2007,19(1):55-69.
- [9] 栗万里,叶勤,唐振方,等. 光散射聚合物导光板的模拟分析[J]. 液晶与显示,2007,22(3):325-330.
- [10] YANG Kai, SONG Jidong, CHEN Yuqing, et al. Secondary light distribution design for LED street light[C]//International Conference on Electronics and Optoelectronics. [s. l.]:IEEE Press,2011:378-381.
- [11] 刘晓东,李湘宁,汪宇青. LED天幕灯的光学设计[J]. 光学技术,2014,40(4):331-334.
- [12] 王洪,张奇辉,张小凡,等. 实现道路均匀照明的自由曲面反射器设计[J]. 光电工程,2009,36(12):143-146.
- [13] RIES H, MUSCHAWECK J. Tailored freeform optical surfaces[J]. Journal of the Optical Society of America A, 2002, 19(3):590-595.
- [14] ZAIBEL R, DAGAN E, KARNI J, et al. An astigmatic corrected target-aligned heliostat for high concentration[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1995, 37(2):191-202.
- [15] 丁毅,顾培夫. 实现均匀照明的自由曲面反射器[J]. 光学学报,2007,27(3):540-544.
- [16] 孙惠,李湘宁,刘晓东. 反射式大功率LED舞台灯的设计[J]. 激光与光电子学进展,2013,50(4):152-157.
- [17] 王洪,张小凡,王海宏,等. 自由曲面LED路灯反射器设计[J]. 红外与激光工程,2010,39(4):727-731.
- [18] 余桂英,金骥,倪晓武,等. 基于光学扩展量的LED均匀照明反射器的设计[J]. 光学学报,2009,29(8):2297-2301.
- [19] WINSTON R, RIES H. Nonimaging reflectors as functionals of the desired irradiance[J]. Journal of the Optical Society of America A, 1993, 20(9):1902-1908.

(责任编辑:钱筠 英文审校:吴逢铁)