

文章编号:1004-2474(2014)04-0604-04

LED 均匀矩形光场一次透镜设计

刘博源,季鹏飞,卢超,何文森

(电子科技大学 物理电子学院,四川 成都 610054)

摘要:根据发光二极管(LED)设备的光学结构,建立 LED 封装的数学模型,并给出相应的方程。对于具有均匀矩形光场的 LED 封装,利用四阶龙格-库塔法,借助 Matlab 求解出最终的微分方程式,得到其在 x 、 y 方向截面曲线的有关数据。然后通过相关软件的建模与仿真,可得到所需的 LED 均匀矩形光场一次透镜三维模型。该方法实用性强,适于在实际工程应用中广泛推广。

关键词:发光二极管(LED);矩形光场;一次透镜;模型;仿真

中图分类号:TN312.8;S611 **文献标识码:**A

Design of LED Homogeneously Rectangular Light Field First Lens

LIU Boyuan,JI Pengfei,LU Chao,HE Wensen

(College of Physical University of Electronic Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: According to the optical structure of LED device, a mathematical model of LED encapsulation is established and the corresponding equations are given. Taking advantage of Matlab to solve the final differential equation, we obtained some data on the sectional curve of LED encapsulation of homogeneously rectangular irradiance at x , y directions by the fourth order Runge-Kutta method. Then after modeling and simulation by some related software, a 3D model of first lens was obtained which for LED homogeneously rectangular light field. The method has strong function and is suitable for extensive dissemination in the actual engineering applications.

Key words: LED; rectangular light field; first lens; model; simulation

0 引言

矩形光场通常应用于道路照明和隧道照明等。据了解对于真正的工业体系,发光二极管(LED)通常封装为传感器的源或近似传感器的源,其光场呈圆形分布,但不均匀,中心处光强较大。因此,为了满足城市道路照明设计要求,一般采用二次设计将圆形光场转换成矩形光场,使光路均匀。然而,这种方式增加了光学损失,包括菲涅耳损失、光吸收损失等,且增加了设计的复杂度。

本文介绍一种设计 LED 第一透镜的光学模型的方法。通过这种方式可直接得到适当的均匀矩形辐射照度。同时,用 LED 阵列来获得足够的光通量。这样,可简化对 LED 照明灯的生产过程,且有效地削减成本,以拓展对 LED 照明灯的实际应用范围。

1 LED 一次透镜光学模型

LED 设备主要由 LED 芯片、支架及封装树脂

构成。LED 一次透镜的光路图如图 1 所示。假定建立芯片是在点 A, θ 为光路 AB 与光学坐标轴 x

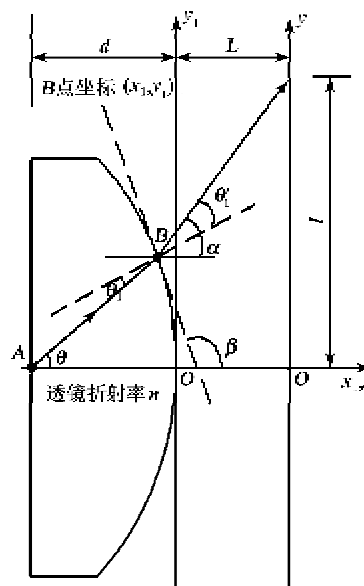


图 1 LED 光线的光路图

收稿日期:2014-03-13

作者简介:刘博源(1991-),男,河北石家庄鹿泉人,主要从事半导体及无线电的研究。E-mail:233933183@qq.com。何文森(1958-),男,四川省成都市,主要从事建模光学研究。E-mail:hewensen@uestc.edu.cn。

之间的夹角。B 点是镜头中 AB 光线的发射点。设 B 的坐标是 (x_1, y_1) 。 x, y 坐标轴是终端光场,它与镜头间的距离为 L 。透镜的厚度为 d 。透镜和空气的折射率分别为 n 和 1。

建立光照分布的目标光场强度函数。在理想情况下,这个过程无光损失,使光源的光通量立体角等于从相应的接收屏幕上测量出的角度,所以可得到光通量的守恒方程为

$$\int_0^\Omega I_n \cos \theta d\Omega = \int_0^\theta 2\pi I_n \sin \theta \cos \theta d\theta = \int_0^y E(y) 2\pi y dy \quad (1)$$

式中: $E(y)$ 为目标光场的照度分布函数; Ω 为光源在 θ 锥角对应的立体角; I_n 为一设定的理想参数,用于对某一个平面曲面做定积分。

为了得到均匀矩形辐照度,通过分析,屏幕上各处的照明配件参数 $E(y)$ 是一个固定值,因此,得到一个新的光通量守恒方程,即

$$\int_0^{\theta_{\max}} 2\pi I_n \sin \theta \cos \theta d\theta = E_0 \int_0^{r_{\max}} 2\pi y dy \quad (2)$$

其中

$$E_0 = \frac{I_n \sin^2 \theta_{\max}}{r_{\max}^2} \quad (3)$$

当波束角是 θ 时,相应的光在接收屏幕的位置为 y 。因此,由式(2)、(3)联立可得另一个光通量守恒方程:

$$\int_0^\theta 2\pi I_n \sin \theta \cos \theta d\theta = \frac{I_n \sin^2 \theta_{\max}}{r_{\max}^2} \int_0^y 2\pi y dy \quad (4)$$

透镜截面的截面曲线斜率为

$$\frac{dy_1}{dx_1} = \tan \beta \quad (5)$$

结合反射定律 $\sin \theta'_1 = n \sin \theta_1$, 则有

$$\frac{dy_1}{dx_1} = \frac{n \cos \theta - \cos \alpha}{n \sin \theta - \sin \alpha} \quad (6)$$

从图 1 可知:

$$y_1 = (d + x_1) \tan \theta \quad (7)$$

对式(7)的两端进行求导:

$$\frac{dy_1}{d\theta} = \frac{d + x_1}{\cos^2 \theta} + \tan \theta \frac{dx_1}{d\theta} \quad (8)$$

联立式(6)和式(8)可得

$$\frac{dx_1}{d\theta} = f(\theta, x_1) = \frac{\frac{d + x_1}{\cos^2 \theta}}{\frac{n \cos \theta - \cos \alpha}{n \sin \theta - \sin \alpha} + \tan \theta} \quad (9)$$

同时,根据式(1)、(5)、(7)可得

$$\tan \alpha = \frac{y - y_1}{L - x_1} = \frac{\sin \theta}{L - x_1} \left[\frac{r_{\max}}{\sin \theta_{\max}} - \frac{d + x_1}{\cos \theta} \right] \quad (10)$$

式中 r_{\max} 为目标光场的圆周。把(1)、(5)和(7)代入式(9)可得 x_1 和 θ 之间的数学关系。为了获得 $x_1 = f(\theta)$, 必须用如下的四阶龙格-库塔法解决这个复杂的微分方程 $dx_1/d\theta$:

$$\begin{cases} x_{1i+1} = x_{1i} + \frac{\Delta\theta}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \\ k_1 = f(\theta_i, x_{1i}) \\ k_2 = f\left(\theta_i + \frac{\Delta\theta}{2}, x_{1i} + \frac{\Delta\theta}{2} k_1\right) \\ k_3 = f\left(\theta_i + \frac{\Delta\theta}{2}, x_{1i} + \frac{\Delta\theta}{2} k_2\right) \\ k_4 = f(\theta_i + \Delta\theta, x_{1i} + \Delta\theta k_3) \end{cases} \quad (11)$$

式中 $\Delta\theta$ 为固定步长。根据式(1)可得初始条件及边界条件:

$$\begin{cases} \theta = 0 \\ x_1 = 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} \theta = \theta_{\max} \\ x_1 = r_{\max} \end{cases} \quad (13)$$

此外还需给定 L 和 d , 我们使用 θ 作为独立的变量; 给定一个固定的步长 $\Delta\theta$, 通过式(11)计算 θ 的序列和相应的 x_1 ; 最后, 通过式(7)得到相应的 y_1 的值。

在获得已设计透镜的坐标 (x_1, y_1) 后, 使用软件 Solidworks 把分散的点拟合为连续曲线。然后, 利用上面的拟合曲线, 构建透镜的三维模型。最后通过该三维模型形成预期的光学一次透镜模型, 并将相关必要的参数(如材料、表面特性等)输入到下一个软件 Tracepro, 即可得到所需的 LED 一次透镜光学模型。

2 仿真 LED 的一次透镜

在本文中, 将对一次透镜光场进行仿真模拟, 同时, 使接收屏上的辐射照度大于 0.4。

2.1 估算透镜的截面数据

为得到该仿真数据, 设定的相关必要的参数如表 1 所示。表中 2θ 为光束角。

表 1 给定的参数

d/mm	n	L/mm	$2\theta/(\circ)$	$\Delta\theta/(\circ)$
3	1.5	1 000	90	1.5

将表 1 中的参数代入式(9)、(10)后, 在 MATLAB 上利用龙格-库塔法求解式(9)。

初始条件如式(12)、(13)所示,可分别得到两组 x_1 。分别将这两组 x_1 代入式(7),从而得到两组坐标 (x, y_1) 和 (x_1, z_1) (注意: (x_1, y_1) 中的 x_1 是不同于 (x_1, z_1) 中的 x_1)。两组坐标分别代表所设计透镜长轴和短轴半条曲线。拟合曲线如图 2 所示。将图中拟合曲线以 x 轴为中心镜像后与原曲线共同构成整个透镜模型模拟曲线,如图 3 所示。

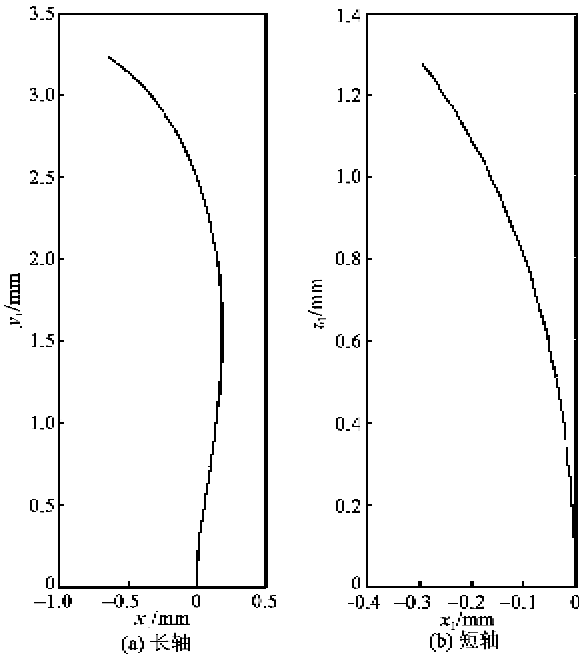


图 2 长轴和短轴的方向上,曲线的 xoy 和 xoz 平面的截面设计尺寸

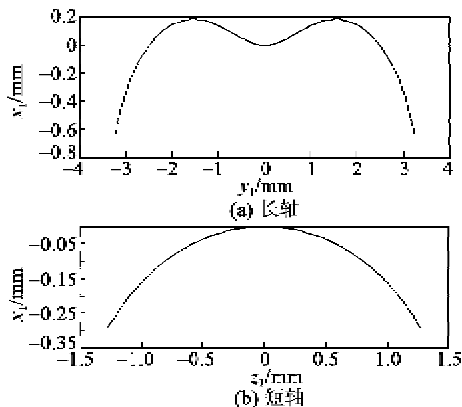


图 3 长轴和短轴的方向上,曲线的完整曲线的完整内截面设计尺寸

2.2 仿真三维模型

因为是矩形广场,两条轴线是等同的。因此,只需要一个轴的曲线节,如图 3 所示。将图 2、3 的曲线导入 Solidworks,我们适当修复了两条曲线,以满足所设计的透镜的 4 个边缘点与光源处在同一个平面。然后,我们建立了对应的透镜表面结构。表

面结构的三维图片如图 4 所示。

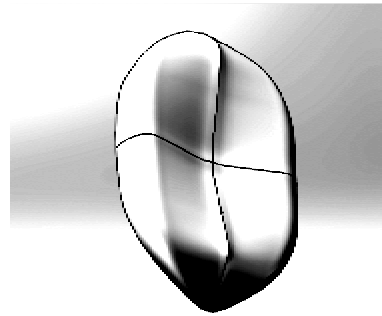


图 4 透镜三维模型

透镜的三维坐标数据如表 2 所示。

表 2 透镜三维坐标数据

x_1/mm	y_1/mm	z_1/mm	x_2/mm	y_2/mm	z_2/mm
0	0.043 6	-0.000 3	0	0.087 3	-0.001 1
0	0.130 9	-0.002 5	0	0.174 5	-0.004 4
0	0.218 1	-0.006 8	0	0.261 7	-0.009 6
0	0.305 4	-0.012 9	0	0.349 0	-0.016 4
0	0.392 7	-0.020 3	0	0.436 5	-0.024 5
0	0.480 4	-0.028 8	0	0.524 3	-0.033 2
0	0.568 5	-0.037 6	0	0.612 9	-0.042 0
0	0.657 5	-0.046 3	0	0.702 4	-0.050 4
0	0.747 8	-0.054 2	0	0.793 5	-0.057 7
0	0.839 9	-0.060 9	0	0.886 8	-0.063 6
0	0.934 4	-0.065 7	0	0.982 9	-0.067 3
0	1.032 3	-0.068 1	0	1.082 7	-0.068 3
0	1.134 2	-0.067 6	0	1.187 1	-0.066 1
0	1.241 4	-0.063 7	0	1.297 3	-0.060 2
0	1.354 9	-0.055 6	0	1.414 6	-0.049 9
0	1.476 3	-0.043 0	0	1.540 5	-0.034 7
0	1.607 2	-0.025 1	0	1.676 9	-0.013 9
0	1.749 6	-0.001 2	0	1.825 9	0.013 1
0	1.905 9	0.029 3	0	1.990 2	0.047 3
0	2.079 0	0.067 3	0	2.172 9	0.088 5
0	2.272 2	0.113 9	0	2.377 7	0.140 7
0	2.489 9	0.170 1	0	2.609 5	0.202 2
0	2.737 3	0.237 3	0	2.874 1	0.275 4
0	3.020 8	0.317 0	0	3.178 7	0.362 1
0	3.348 9	0.411 1	0	3.532 7	0.464 3
0	3.731 9	0.522 0	0	3.948 0	0.584 5
0	4.183 3	0.652 3	0	4.440 0	0.725 8
0	4.720 8	0.805 5	0	5.028 8	0.892 0
0	5.367 7	0.985 8	0	5.741 6	1.087 8
0	6.155 5	1.198 6	0	6.615 0	1.319 2
0	7.1271	1.450 6			

由图 4 可见,在该矩形光场的长轴与短轴方向的照度均匀,但在该矩形光场的边角区域,由于长、

短轴方向曲面的共同作用,这些区域的照度均匀性无法完全保证。

2.3 光学模拟和调光器

将图4导入Tracepro。设置透镜的材料为熔融石英($n=1.460$)。与此同时,使镜头设定为全透射、无反射和散射。设置光源的光线数量设定为1 000 000条。设置接收屏距离光源为1 m。仿真后可在接收屏上得到辐照度地图,如图5所示。图6为矩形坎德拉分布图。图中 θ 为接收屏旋转 180° 的过程中光强的变化。

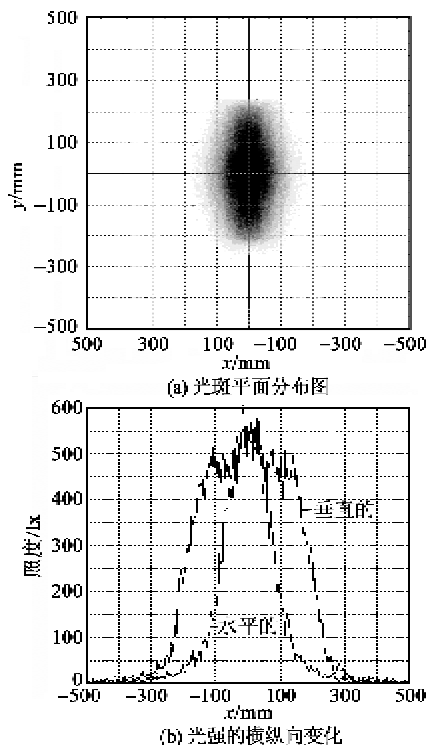


图5 接受屏上的光斑平面分布图和光强的横纵向变化

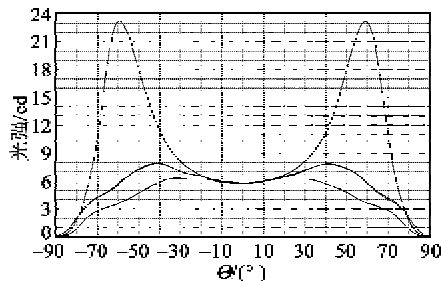


图6 矩形坎德拉分布图

3 结束语

本文中,对LED均匀矩形光场设计的过程基于光学模型,同时反映了LED在日常生活中的照明情况。

本文基于LED设备的光学模型,介绍了对LED均匀矩形光场进行设计的过程。首先介绍了LED的发展现状和趋势,利用照明和传统光学系统的基础知识,用系统软件和计算机模拟在整个系统中间创建了一次透镜的模型。同时,分析镜头的结构和光线通过镜头的光路,在后面的过程中构成了一幅可见的图形。最后,利用TracePro和Solidworks来模拟之前的理论,得到了矩形光场一次透镜的三维模型。

半导体照明是一个很有潜力的产业,同时,《国家半导体照明工程》在LED的设计领域中也发挥着至关重要的指导作用。而随着产业的发展,一次光学设计的重要性会得到更深入的认识,本文提出的LED均匀矩形光场一次透镜设计方法由于其很强的实用性,适于在实际需求中得到更广泛的推广应用。

参考文献:

- [1] 胡海蕾. LED照明光学系统的设计及其阵列光照度分布的研究[D]. 广州:华南理工大学,2005.
- [2] 李晓彤. 几何光学和光学设计[D]. 杭州:浙江大学出版社,1997.
- [3] 赵振民. 实用照明工程设计[M]. 天津:天津大学出版社,2003.
- [4] 李农. LED照明设计与应用[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [5] TAI W, SCHWARTZ R. Design of an aspherical lens to generate a homogenous irradiance for three-dimensional sensors with a light-emitting-diode source[J]. *Optics*, 2000, 39(31): 5801-5805.
- [6] 闫瑞,肖志松,邓思盛,等. LED光学设计的现状与展望[J]. *照明工程学报*, 2011, 22(2): 38-42.
- [7] GLASER I. Applications of the lens let array processor [C]//S. I. SPIE, 1983, 564: 180-185.