文章编号:1000-7032(2018)08-1128-08

基于果蝇优化算法的三维 LED 光源阵列优化设计

何果¹,文尚胜^{1,2},符 民^{1,2},唐浩洲¹,钟惠婷³,康丽娟^{4*}
(1.华南理工大学材料科学与工程学院,广东广州 510640;
2.华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室,广东广州 510640;
3.华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心,广东广州 510640;

4. 华南师范大学 美术学院, 广东 广州 510631)

摘要:为了在现有研究基础上使 LED 阵列光源的照度均匀度进一步提高,提出了一种新的 LED 阵列优化途径。根据 Ivan Moreno 提出的二维 LED 阵列优化设计方法,本文设计了以两种不同方式分布排列的二维优化 LED 阵列。利用果蝇优化算法对二维优化 LED 阵列芯片的位置参数进行进一步优化,实现 LED 阵列位置参数的三维空间的优化设计,使 LED 阵列光源的照度均匀度更优。使用 TracePro 对 LED 阵列的三维优化结果 进行验证。研究结果表明,基于果蝇优化算法,经三维优化后的圆形 LED 阵列的照度均匀度可达到96.0%,相较于二维优化后的圆形 LED 阵列提高了 25.3%;经三维优化后的正方形 LED 阵列的照度均匀度可达到 97.4%,相较于二维优化后的正方形 LED 阵列提高了 7.7%。该优化方法被证明是可行的,相较于传统优化 方法,该方法节约了大量人力物力成本。

关 键 词: LED 阵列; 果蝇优化算法; 照度均匀度; 优化
 中图分类号: TN312⁺.8; TN383⁺.1
 文献标识码: A
 DOI: 10.3788/fgxb20183908.1128

Optimum Design of LED Array Light Source Based on Fruit Fly Optimization Algorithm

HE Guo¹, WEN Shang-sheng^{1,2}, FU Min^{1,2}, TANG Hao-zhou¹, ZHONG Hui-ting³, KANG Li-juan^{4*}

(1. School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. State Key Laboratory of Luminescence Materials and Devices, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

3. National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing,

South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

4. School of Fine Arts, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

* Corresponding Author, E-mail: 12558995@ qq. com

Abstract: In order to improve the illumination uniformity of LED array light source, a new way to design 3D LED arrays was proposed. At first, the formulas of LED array's illuminance on the target panel were derived and a mathematical model was then deduced in order to measure LED array's illumination uniformity. Then, a 2D circular LED array and a 2D square array were designed based on the way put forward by Ivan Moreno. The spatial positional parameters of the LEDs in the arrays were further optimized by the fruit fly optimization algorithm, and the standard deviation of illuminance on target panel was set as the taste concentration decision function of fruit fly optimization algorithm. The lower value the taste concentration decision function could obtain, the higher

收稿日期: 2017-12-11;修订日期: 2018-03-12

基金项目:广东省及广州市科技项目(2015YT02C093,2015B010134001,2015B010127004,201604040004,201604016010,201704030140,2017B010114001, 2016A1009)资助

Supported by Guangdong Province and Guangzhou Science and Technology Project (2015YT02C093,2015B010134001,2015B010127004, 201604040004,201604016010,201704030140,2017B010114001,2016A1009)

illuminance uniformity the optimized 3D LED array would have. The whole simulation process was carried on by the MATLAB software. In this way, the three-dimensional optimization of LEDs' locations in the arrays was accomplished, which made the illumination uniformity of the LED arrays much higher. At last, the TracePro optical software was adopted to imitate and test the illuminating effect of the optimized 3D arrays. The results of this experiment show that, after being optimized by the fruit fly optimization algorithm, the illumination uniformity of the optimized 3D circular LED array increased to 96.0%, which is 25.3% higher than the optimized 2D one, and that the illumination uniformity of the optimized 3D square LED array increased to 97.4%, which is 7.7% higher

than the optimized 2D one. The results prove that this new optimization method is practicable, and compared to the traditional optimization methods, this new method is more efficient as the LED arrays are allowed to be optimized automatically by computer program, which greatly reduce the cost of time, material and manpower.

Key words: LED array; fruit fly optimization algorithm; illumination uniformity; optimization

1引言

对比传统光源,LED 有着安全环保、寿命长、 污染低、耗电量少且体积小等显著优点,如今已广 泛地应用于植物照明^[1]、可见光通信^[2]、太阳光 模拟^[3]、汽车前照灯^[4]、隧道照明^[5]等领域,在现 代生活中起到重要作用。单个 LED 芯片的功率 不足以满足照明光源的要求,因此许多照明系统 是由多芯片 LED 阵列集成的,以满足照明要 求^[6]。作为半导体照明器件,LED 芯片具有显著 的发光指向性,其发出的光强近似朗伯分布^[7]。 传统光学设计包括一次光学设计[8] 与二次光学 设计^[9]。一次光学设计一般在 LED 芯片封装时 进行,使灯具满足一定照明效果。二次光学设计 主要是 LED 阵列设计,未经优化的 LED 阵列发 出的光直接入射到接收平面上,难以得到均匀的 光照效果,因此对多芯片 LED 阵列出光的光强均 匀化设计具有极大的研究价值。现有的关于 LED 阵列优化大多为对平面 LED 阵列或曲面阵 列的优化。如王加文在文献[10]提出的利用模 拟退火算法对平面 LED 阵的照度均匀度进行优 化,以及陈浩伟在文献[11]中设计的一款应用自 由曲面底板的红蓝 LED 植物照明用灯具。果蝇 优化算法作为一种全局优化的算法,广泛应用于 如气化参数优化^[12]、交通运输定位^[13]、供应链网 络配置[14]等领域,具有原理易懂、调节方便等优 势,本文拟使用果蝇优化算法对 LED 阵列芯片位 置参数进行三维空间内的优化。

本文采用 Ivan Moreno 提出的一种 LED 阵列二 维设计与优化方法^[15],对初始的多芯片 LED 阵列进 行二维优化,并在此基础上利用果蝇优化算法对阵 列中芯片的位置进行三维空间的优化,使 LED 阵列 照度均匀度进一步提高。三维空间的优化过程将采 用 MATLAB 软件编程仿真模拟,得到的最佳结果将 采用 TracePro 光学软件进行验证,从而得到照度均 匀度最优的芯片阵列位置参数。

2 实验模型

2.1 光学模型

如图 1 所示,LED 按要求分布在以面板 E(其 z 坐标为 0)为底面的一个三维空间内,并将接收面板 F 均匀地分为 10 000 份。在此先对 LED 芯片作出如 下假设:LED 芯片所发射出的光满足朗伯特分布,并 且无损耗,其光强可以由如下余弦公式表示:

$$(\theta) = I_0 \cos^m \theta, \qquad (1)$$

其中, θ 为光线与光轴夹角, I_0 为轴线上的光 强^[16-17],m为光源辐射模式,与半功率角 $\theta_{1/2}$ 处光 照强度有关^[18-19]:

$$m = \frac{-\ln 2}{\ln\cos\theta_{1/2}},\tag{2}$$

位于三维空间内点 A(X, Y, Z)上放置的 LED 芯 片在接收平面上点 B(x, y, z)处产生的光强照 度为^[20-21]:

$$E(x,y,z) = (z-Z)^{m+1} I_0$$

$$[(x-X)^2 + (y-Y)^2 + (z-Z)^2]^{(m+3)/2},$$
(3)

在三维空间内分布的 LED 芯片阵列在接收平面 上点 B(x,y,z)处产生的总光照强度为:

$$E(x, y, z) =$$

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{(z - Z_i)^{m+1} I_0}{\left[(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2\right]^{(m+3)/2}},$$
(4)

接收平面 F 可近似视为被均匀地分为 N 份,其中 N=1000,接收平面 F 上光照强度的平均值为 E:

$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} E_i, \qquad (5)$$

三维 LED 阵列的光照效果可以以接收平面 F上的照度均匀度为衡量标准,利用标准差公式(6),通过 MATLAB 软件计算出各组实验的标准差 σ 。 σ 值越小,说明离散程度越小,接受平面上照度均匀度越高^[19]:





2.2 算法模型

如图 2、3 所示,本实验设计了一种改进的果蝇 优化算法,可以用于多芯片三维 LED 阵列的迭代寻 优,改进的果蝇优化算法主要步骤及原理^[22]如下:

(a)选取多个果蝇群落,设置它们的种群大 小与迭代数目等参数,并赋予果蝇群落随机的初 始位置、位移方向与位移大小。

(b)计算果蝇离原点的距离的值,该值的倒 数即味道浓度判定值,即

$$r = \sqrt{x + y}, \qquad (7)$$

$$S = 1/r.$$
 (8)

(c) 令式(6) LED 阵列照度均匀度的标准差 公式为果蝇优化算法的味道浓度判定函数。将各 果蝇群体的味道浓度判定值(*S*₁, *S*₂, *S*₃, ……)代 入味道浓度判定函数,得到所有果蝇群体的气味 浓度,从而得到使味道浓最小的各果蝇群体位置 分布。



图 2 果蝇优化算法图解

Fig. 2 Diagram of fruit fly optimization algorithm



图 3 果蝇优化算法程序结构

Fig. 3 Flow chart of the procedure structure of fruit fly optimization algorithm

Smell = Function
$$(S_1, S_2, S_3, \cdots)$$
. (9)

(d)各果蝇群体按照该位置分布排列向新的 位置飞去。

(e)多次迭代,重复(b)(c)过程,判断新一轮 迭代所得的综合味道浓度是否更小,若是,则重复 (d)过程。

3 实验设计及结果分析

本实验所选用的 LED 芯片尺寸为1 mm × 1 mm × 0.1 mm,每个芯片的轴线方向光照强度为

2 800 mcd,发光面出射光线数为1 000 条。在离 原点距离 z = 100 mm 处放置一个接收面板 F,面 板 F 被均匀分为了 10 000 份,面朝 LED 阵列的一 面设为对光线完全吸收。本实验设计了如图 4 排 布的两个初始 LED 阵列,在二维优化的基础上再 进一步对其进行三维空间内的优化。



- 图 4 LED 阵列二维排布方式。(a) 圆形 LED 阵列;(b) 方形 LED 阵列。
- Fig. 4 Two-dimensional arrangements of chips. (a) Circular LED array. (b) Square LED array.

3.1 圆形 LED 阵列设计及分析

设置一个包含 8 个 LED 芯片的圆形二维 LED 芯片阵列,取半径为 *R*,其排布如图 4(a)所示。令

$$X = R\cos\frac{2\pi n}{N},\tag{10}$$

$$Y = R\sin\frac{2\pi n}{N},\tag{11}$$

代入式(4),并令 Z = 0,则可以得到二维圆形 LED 阵列的光照强度表达式

$$E(x, y, z) = \sum_{i=1}^{N} \cdot \frac{z^{m+1} I_0}{\left[\left(x - R\cos\frac{2\pi n}{N}\right)^2 + \left(y - R\sin\frac{2\pi n}{N}\right)^2 + z^2\right]^{(m+3)/2}},$$
(12)

LED 芯片。取圆形 LED 阵列的初始半径为 120 mm,目标平面大小为 300 mm × 300 mm,测得初始 圆形 LED 阵列在接收平面上的照度分布效果如 图 6 所示,照度均匀度为 49.7%。

参考 Ivan Moreno 提出的圆形 LED 阵列二维 平面优化方法^[12],根据斯派罗法则,在 x = 0, y = 0时,令($\partial^2 E$)/(∂x^2) = 0,可以得到照度的最大平 坦条件

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{2}{m+2}} \cdot z, \qquad (13)$$

即圆形 LED 阵列二维优化半径取值应不大于 81 mm,则本实验取圆形 LED 阵列半径值为 16 mm,并 配合半径选取接收平面大小为 80 mm×80 mm。

接着采用 MATLAB 软件进行圆形 LED 阵列 的三维优化。对于三维圆形 LED 阵列,其光照强 度表达式为式(4)。令式(6)为味道浓度判定函 数,迭代求得最小的味道浓度。此时优化后的 LED 芯片位置组合如表1 所示。图5 所示为味道 浓度判定函数的收敛情况,可以看到圆形阵列对 应的味道浓度判定函数逐渐收敛于2.509E-4。







表 1 圆形三维 LED 阵列优化坐标参数 Tab. 1 Optimized coordinates of 3D circular LED array

	1							
LED 芯片	1	2	3	4	5	6	7	8
x	11.31	0	-11.31	16	- 16	11.31	0	- 11. 31
у	11.31	16	11.31	0	0	-11.31	- 16	-11.31
z	0.002 9	0.123 0	0.053 3	0.073 0	0.036 6	0.1176	0.1721	0.055 2

经二维优化的圆形 LED 阵列与经三维优化 的圆形 LED 阵列在接收平面上的照度分布效果 如图 7、8 所示,照度均匀度分别为 70.7%、 96.0%。相较于初始圆形 LED 阵列 49.7% 的照 度均匀度,经二维优化后,圆形 LED 阵列照度均 匀度提升了 21%;二维优化的圆形 LED 阵列再经 三维优化,照度均匀度又再提升了 25.3%。

















3.2 正方形 LED 阵列

如图 4(b)设置一个包含 9 个芯片的正方 形 LED 阵列,芯片呈 3 × 3 排布,相邻的芯片间 距 d 恒相等,中心的 LED 芯片位于坐标系原点 位置。该正方形 LED 芯片阵列的光照强度表 达式为

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{E(x,y,z) =}{\left[(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + z^2 \right]^{(m+3)/2}},$$
(14)

其中,N=9。令正方形 LED 阵列的初始间距为

120 mm,取接收平面为360 mm×360 mm,初始正 方形 LED 阵列在接收平面上的照度分布效果如 图 10 所示,测得照度均匀度为83.0%。

参考 Ivan Moreno 同时提出的正方形 LED 阵 列二维平面的优化方法^[12],根据斯派罗法则,在 x = 0, y = 0 时,令($\partial^2 E$)/(∂x^2) = 0,可以得到照度 的最大平坦条件

$$d_{\max} = \sqrt{\frac{4}{m+2}} \cdot z, \qquad (15)$$

即正方形 LED 阵列间隔的二维优化取值应不大于 115 mm,则本实验取方形阵列的芯片间距为

30 mm,并选取接收平面大小为 50 mm × 50 mm。

对于正方形三维 LED 阵列,其光照强度表达 式同样为式(4)。设定式(6)为味道浓度判定函 数,经算法寻优后,正方形三维 LED 阵列坐标参 数如表 2 所示。如图 9 所示,味道浓度判定函数 收敛于 2.42E - 4。

使用 TracePro 对未经优化的方形 LED 阵列以 及优化后的方形 LED 阵列进行仿真,仿真得到的 照度分布效果图如图 11、12 所示。对比图 10、11、 12 的照度均匀度,未经优化的正方形 LED 阵列照 度均匀度为83.0%,经二维优化后照度均匀度提高 了 6.7%,为 89.7%;二维优化的正方形 LED 阵列 再经三维优化后提升了7.7%,为97.4%。



图 9 正方形三维 LED 阵列迭代寻优过程

Fig. 9 Optimization process of 3D square LED array

TID

Tab. 2 Optimized coordinates of 3D square LED array													
LED 芯片	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
x	30	0	- 30	30	0	- 30	30	0	- 30				
У	30	30	30	0	0	0	- 30	- 30	- 30				
z	0.148 0	0.0967	0.105 5	0.062 6	0.223 0	0.0907	0.1039	0.074 1	0.0969				













Fig. 11 Illumination distribution of the optimized 2D square LED array



Fig. 12 Illumination distribution of the optimized 3D square LED array

4 结 论

本文根据 Ivan Moreno 提出的方法对初始圆 形 LED 阵列与正方形 LED 阵列进行二维优化, 采用 MATLAB 软件,结合果蝇优化算法,对两个 二维平面阵列进一步进行三维空间上的优化,得 到照度均匀度最优的 LED 芯片空间位置参数。 使用 TracePro 对 MATLAB 的仿真结果进行验证, 得到两种阵列的照度图与照度均匀度:三维优化 后的圆形 LED 阵列的照度均匀度为96.0%,相较 于二维优化后的圆形 LED 阵列提高了 25.3%; 方 形阵列的照度均匀度为 97.4%, 相较于二维优化后 的圆形 LED 阵列提高了 7.7%。综上, 根据 Ivan Moreno 所提出的方法对初始 LED 阵列进行二维 优化, 再通过果蝇优化算法对其进一步进行三维 曲面优化, 使用 MATLAB 软件仿真, 可以快速、有 效地得到具有高照度均匀度的 LED 光源阵列, 这 不仅为 LED 阵列的优化设计提供了新的思路与 理论依据, 还实现了三维 LED 阵列的计算机智能 优化设计, 节约了大量的生产成本。

参考文献:

- [1] 符民,文尚胜, 钟惠婷, 等. 基于 Taguchi 方法的 LED 植物光源优化设计 [J]. 发光学报, 2017, 38(7):953-959.
 MIN F, WEN S S, ZHONG H T, et al.. Optimum design of LED plant light source based on Taguchi method [J]. Chin. J. Lumin., 2017, 35(1):122-127. (in Chinese)
- [2] 陈新睿,韩裁华,李洪儒,等. 基于近场均匀照明的 LED 阵列的优化设计 [J]. 应用光学, 2014, 35(1):122-127. CHEN X R, HAN J H, LI H R, *et al.*. Optimal design of LED arrays for near-field uniform illumination [J]. *J. Appl. Opt.*, 2014, 35(1):122-127. (in Chinese)
- [3] 迟楠, 卢星宇, 王灿, 等. 基于 LED 的高速可见光通信 [J]. 中国激光, 2017(3):1-12. CHI N, LU X Y, WANG C, et al. High-speed visible light communication based on LED [J]. Chin. J. Lasers, 2017(3):1-12. (in Chinese)
- [4]徐广强,于慧媛,张竞辉,等. 基于单色 LED 补偿白光 LED 技术的模拟太阳光谱研究 [J]. 发光学报, 2017, 38(8): 1117-1124.
 XU G Q, YU H Y, ZHANG J H, et al. Solar spectrum matching based on white LED compensated with monochromatic LEDs

[J]. *Chin. J. Lumin.*, 2017, 38(8):1117-1124. (in Chinese) [5]何素梅,傅锦良,吴海彬. LED 隧道照明自动调光系统的设计 [J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(4):622-629.

- HE S M, FU J L, WU H B. Design of automatic dimming system for tunnel LED lighting [J]. J. Electron. Meas. Instrum., 2015, 29(4):622-629. (in Chinese)
- [6] 李海涛, 王永春, 魏飞雄, 等. 紧凑型 LED 汽车前照灯的开发 [J]. 照明工程学报, 2015(2):134-136. LI H T, WANG Y C, WEI F X, *et al.*. Development of compact LED headlamps [J]. *China Illuminat. Eng. J.*, 2015(2): 134-136. (in Chinese)
- [7] 钱可元. LED 近场光学模型与直下式背光源透镜的设计优化 [J]. 光学学报, 2015, 35(5):298-305. QIAN K Y. Near field optical modeling of LED and design optimization for direct-type backlight optical system [J]. *Acta Opt. Sinica*, 2015, 35(5):298-305. (in Chinese)

- [8] 卓宁泽,张寅,赵宝洲,等. LED 集成封装的一次光学设计与优化 [J]. 光电工程, 2013, 40(3):129-134.
 ZHUO N Z, ZHANG Y, ZHAO B Z, et al.. First optical design and optimization of LED integrated package [J]. Opto-Electron. Eng., 2013, 40(3):129-134. (in Chinese)
- [9] 周士康, 陈春根, 许礼, 等. 光通量线方法用于 LED 二次光学设计 [J]. 照明工程学报, 2016, 27(1):101-111. ZHOU S K, CHEN C G, XU L, *et al.*. Optical design of led lens using light flux ray method [J]. *China Illuminat. Eng. J.*, 2016, 27(1):101-111. (in Chinese)
- [10] 王加文,苏宙平,袁志军,等. LED 阵列模组化中的照度均匀性问题 [J]. 光子学报, 2014, 43(8):22-28.
 WANG J W, SU Z P, YUAN Z J, et al.. Study on uniformity of LED array illumination distribution on target plane [J]. Acta Photon. Sinica, 2014, 43(8):22-28. (in Chinese)
- [11] 陈浩伟, 文尚胜, 马丙戌, 等. 光量子学下适用于植物照明的自由曲面 LED 光源设计 [J]. 光学学报, 2017, 37(2):1-13.
 CHEN H W, WEN S S, MA B X, *et al.*. Design of plant lighting LED lamp with freeform surface substrate based on light quantum theory [J]. *Acta Opt. Sinica*, 2017, 37(2):1-13. (in Chinese)
- [12] 钟伟民,牛进伟,梁毅,等. 多策略果蝇优化算法及其应用 [J]. 化工学报, 2015, 66(12):4888-4894.
 ZHONG W M, NIU J W, LIANG Y, *et al.*. Multi-strategy fruit fly optimization algorithm and its application [J]. *CIESC J.*, 2015, 66(12):4888-4894. (in Chinese)
- [13] 唐铁斌, 龚中良. 基于修正型果蝇优化算法改进地铁运行定位系统研究[J]. 现代电子技术, 2016, 39(15):176-178.
 TANG T B, GONG Z L. Improvement of subway running positioning system based on modified fruit fly optimization algorithm
 [J]. Modern Electron. Tech., 2016, 39(15):176-178. (in Chinese)
- [14] MOUSAVI S M, ALIKAR N, NIAKI S A, et al. Optimizing a location allocation-inventory problem in a two-echelon supply chain network [J]. Comput. Ind. Eng., 2015, 87(C):543-560.
- [15] MORENO I, TZONCHEV R I. Effects on illumination uniformity due dilution on arrays of LEDs [J]. SPIE, 2004, 5529: 268-275.
- [16] WHANG J W, CHEN Y Y, TENG Y T. Designing uniform illumination systems by surface-tailored lens and configurations of LED arrays [J]. J. Disp. Technol., 2009, 5(3):94-103.
- [17] QIN Z, WANG K, CHEN F, et al. Analysis of condition for uniform lighting generated by array of light emitting diodes with large view angle [J]. Opt. Express, 2010, 18(16):17460-17476.
- [18] MORENO I, AVENDAÑOALEJO M, TZONCHEV R I. Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance [J]. Appl. Opt., 2006, 45(10):2265.
- [19] SU Z, XUE D, JI Z. Designing LED array for uniform illumination distribution by simulated annealing algorithm [J]. Opt. Express, 2012, 20(106):A843-A855. (in Chinese)
- [20] 赵芝璞,季凌燕,沈艳霞,等. 基于 PSO 粒子群算法的 LED 照明系统光照均匀性研究 [J]. 发光学报, 2013, 34(12): 1677-1682.
 ZHAO Z P. ILL Y. SHEN Y X. et al. Besearch of illumination uniformity for LED arrays based on PSO algorithm [I]. Chin.

ZHAO Z P, JI L Y, SHEN Y X, *et al.*. Research of illumination uniformity for LED arrays based on PSO algorithm [J]. *Chin. J. Lumin.*, 2013, 34(12):1677-1682. (in Chinese)

- [21] 史晨阳,文尚胜,陈颖聪. 基于 Taguchi 方法的曲面 LED 阵列照度问题研究 [J]. 发光学报, 2015, 36(3):348-354.
 SHI C Y, WEN S S, CHEN Y C. Study on curved surface LED array illumination problem based on Taguchi method [J]. *Chin. J. Lumin.*, 2015, 36(3):348-354. (in Chinese)
- [22]黄伟明, 文尚胜, 傅轶. 基于果蝇算法优化径向基神经网络模型的白光发光二极管可靠性 [J]. 光子学报, 2016, 45(4):30-34.

HUANG W M, WEN S S, FU Y. Study on the reliability of white LED using RBF neural network optimization by FOA algorithm [J]. *Acta Photon. Sinica*, 2016, 45(4):30-34. (in Chinese)



何果(1997 -),女,广东广州人,本科 生,主要从事 LED 光源的研究。 E-mail: 1534440223@qq.com



康丽娟(1977 -)女,河南漯河人,硕士, 副教授,2003 年于湖北美术学院获得硕 士学位,主要从事光学设计方面的研究。 E-mail: 12558995@qq.com