



DOI: 10.12086/oe.2019.180252

阵列型多波长紫外 LED 油墨固化系统设计

陈忠雨^{1,2}, 江海波¹, 孙秀辉¹, 杨若夫¹, 吴鹏¹,
杜春雷¹, 尹韶云^{1*}

¹中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714;

²中国科学院大学, 北京 100049

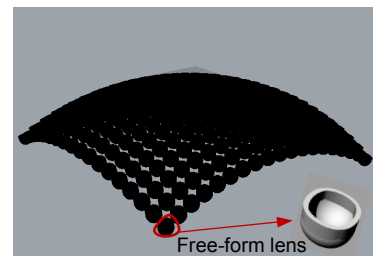
摘要: 与汞灯相比, 紫外 LED 波长单一, 不能与现有紫外油墨的光引发剂完全兼容, 难以实现汞灯的固化效果。本文给出了一种多波长均匀混合的紫外 LED 油墨固化系统设计方法。将三种波长的紫外 LED 在弧面上排成阵列, 采用光学自由曲面, 使每颗 LED 灯珠均匀照射固化区域, 结合照明角度倾斜变化, 解决了波长均匀混合与照度均匀技术难题。光线追迹仿真结果表明, 在距光源 600 mm 的目标面上得到了波长混合均匀, 平均照度为 110.7 mW/cm², 照度均匀性为 0.82 的照明光斑, 该设计有望模拟汞灯的多光谱照明效果, 促进紫外 LED 在油墨固化中的应用。

关键词: 光学设计; LED 阵列; 油墨固化; 汞灯; 均匀性

中图分类号: O439; TN312.8

文献标志码: A

引用格式: 陈忠雨, 江海波, 孙秀辉, 等. 阵列型多波长紫外 LED 油墨固化系统设计[J]. 光电工程, 2019, 46(2): 180252



Design of arrayed multi-wavelength UVLED ink curing system

Chen Zhongyu^{1,2}, Jiang Haibo¹, Sun Xiuhui¹, Yang Ruofu¹, Wu Peng¹,
Du Chunlei¹, Yin Shaoyun^{1*}

¹Integrated Optoelectronic Technology Center, Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China;

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Compared with mercury-vapor lamp, ultraviolet (UV) LED suffers from the disadvantage of having a single wavelength, which is not fully compatible with the existing photoinitiator of ultraviolet ink. It is difficult using UVLEDs to achieve the curing effect comparable to what mercury-vapor lamp can do. This article presents a design of UVLED ink curing system that provides evenly mixed light with multiple wavelengths. We put a UVLED array with three wavelengths on a cambered surface and achieved uniform illumination in ink curing area by using optical freeform surface. By adding the adjusting of the tilt angle, we solved the dilemma of uniform wavelength mixing and uniform illumination. The ray tracing simulation results show that an illumination spot with uniform wavelength mixing, an average illumination of 110.7 mW/cm², and an illuminance uniformity of 0.82 is obtained on a target surface 600 mm away from the light source. This design is expected to simulate the multi-spectral illumination effect of mercury-vapor

收稿日期: 2018-07-25; 收到修改稿日期: 2018-10-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61475199); 重庆市重点产业共性关键技术创新专项(cstc2015zdcy-ztzx70006)

作者简介: 陈忠雨(1992-), 男, 硕士研究生, 主要从事光学设计方面的研究。E-mail: chenzhongyu@cigit.ac.cn

通信作者: 尹韶云(1981-), 男, 博士, 研究员, 主要从事微纳光学理论与设计等方面的研究。E-mail: ysy@cigit.ac.cn

lamps, which can promote the application of UVLEDs in ink curing.

Keywords: optical design; LED array; ink curing; mercury lamp; uniformity

Citation: Chen Z Y, Jiang H B, Sun X H, et al. Design of arrayed multi-wavelength UVLED ink curing system[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(2): 180252

1 引言

紫外固化油墨具有抗污染、抗磨损、可快速固化、生产效率高、印刷适应性好等优点,在平印、凸印、网版、柔印等印刷方式中得到了广泛的应用。紫外油墨固化(UV 固化)是指在紫外光的照射下,由光引发剂产生自由基,引起油墨聚合和光交联反应,使油墨固化的过程。紫外油墨固化的光源通常是汞灯,其光谱覆盖范围从 300 nm 到 1000 nm;不过由于其中能够被光引发剂吸收的紫外波段约只占总能量的 20%,导致固化效率较低^[1-3]。

随着紫外光发光二极管(UV-LED)的发展成熟,采用 UV-LED 作为固化光源具有节电、寿命长、固化效率高等优势,替代传统的汞灯固化光源指日可待^[4-6]。目前已有许多相关研究,许文海等人设计了一种基于弧面基板排列的 LED 阵列作为固化光源,使用波长为 365 nm 的 LED,通过光斑的拼接,获得了光强分布较为均匀、能量密度为 200 mW/cm² 的光带^[7]。刘海等人设计了用于小工作距离、较大固化面积的 LED 面光源阵列,该光源分别单独使用了波长为 380 nm ~ 385 nm、400 nm ~ 405 nm 的 LED 灯珠,通过光斑拼接得到所需固化面积^[8]。向昌明等人使用自由曲面将单颗 LED 灯珠的发散角变小,再将其排成阵列,通过理论设计 LED 的排列间距及数目得到均匀固化光斑^[9]。

上述相关研究都是针对单一波长的 UV-LED 光源,通过光斑拼接的方式得到满足需求的固化光斑。由于传统 UV 固化所用油墨均与汞灯光谱相匹配,波长单一的窄光谱的 UV-LED 固化效果往往与汞灯差异较大,人眼对颜色又较为敏感,导致 UV-LED 油墨固化效果不理想,阻碍了 UV-LED 在油墨固化领域的推广应用^[10-12]。目前,UV-LED 光源的中心波长覆盖了汞灯的主要紫外光谱波段,从 250 nm 左右到 435 nm 都有,而光引发剂的吸收带宽较大,理论上采用多个波长的 UV-LED 组合是解决单一波长 UV-LED 固化效果不理想问题的可行途径^[13]。基于这一思想,本文提出了一种阵列型多波长紫外 LED 油墨固化系统的设计方法,采用自由曲面透镜对 LED 进行匀光,通过透

镜设计,并结合角度倾斜变化,解决了波长混合均匀和照度均匀技术难题。

2 多波长 LED 均匀混合照明原理

使用多个 LED 照明同一目标面时,为了同时实现波长混合均匀和照度均匀,即照明面上每一点能量相等,且所含各个波长光的能量比例相同,使用光斑拼接的方式显然不再有效^[14-15]。如图 1 所示,波长为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 的 LED 垂直照明目标面, L 为需要的照明区域。如果采用光斑拼接的方式,三种波长的光分别照明 L_1 、 L_2 、 L_3 区域,则不能保证 L 上每一点都能接收三种波长的光。所以,为了保证波长混合均匀,需要使阵列上每颗灯珠都能照明整个目标区域 L ,即每颗灯珠照明的实际面积为 L_4 ,这样只要通过配光设计,使三种波长的光都均匀照明面积大小为 L_4 的区域,就可以保证 L 上照明光斑的波长混合均匀和照度均匀。

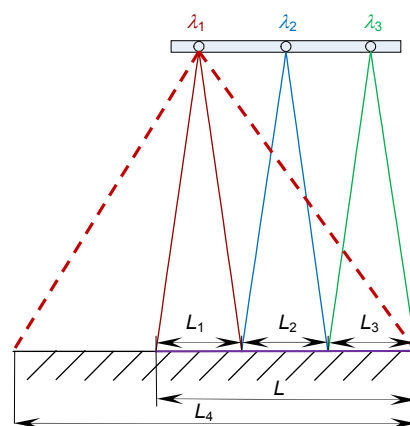


图 1 多个波长的 LED 垂直照明示意图

Fig. 1 Vertical illumination schematic of LED with different wavelengths

但是采用上述方法会存在另外一个问题:有很多光在目标区域外,没有被利用,导致能量利用率(目标面接收的能量与光源总辐射能量之比)很低。如果在其基础上进行改进,每颗灯珠都刚好且能均匀照明 L ,不同的是采用倾斜照明方式:在以目标面中心与光源中心连线上的 O 点为球心,半径为 R 的圆弧面上排列光源阵列。处于阵列中心的灯珠垂直照明,阵列边缘

的灯珠以一定角度倾斜照明,如图 2 所示,图中 θ 和 θ_1 为光源的发散角。只要保证 L 的端点 A, B 两点与三颗灯珠在同一个球面上,就可以保证 θ_1 和 θ 相等,即可以调节灯珠倾斜角使每颗灯珠都能刚好照明 L 。这样, L 上每一个点的照度都相同,且每个点三种波长成分的光能量所占比例也相同。理想情况下,当单颗灯珠的光全部均匀照明 L 时,整体能量利用率接近 100%(L 为正方形时为 100%)。虽然倾斜照明会使单颗灯珠照明光斑均匀性降低,但是这可以由左右灯珠的相互补偿得以抵消,最终形成所要求的混合均匀光斑。只需确定球心 O , 以及半径 R 就可以确定阵列的排列方式, R 可以由几何关系得到:

$$R^2 = (d - R)^2 + (L/2)^2. \quad (1)$$

实际设计中,目标面 L 和光源中心距 L 的距离 d 是已知量,代入式(1)即可求得 R , O 点的位置与每颗灯珠倾斜的角度也随之确定。建立如图 3 所示的直角坐标系,图中 P 为灯珠所处位置, h 为灯珠距 L 的距离,则 P 的坐标 (x, y) 和 h 可以表示为

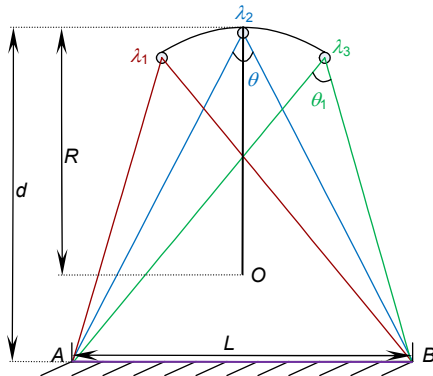


图 2 多个波长的 LED 倾斜照明示意图
Fig. 2 Oblique illumination schematic of LED with different wavelengths

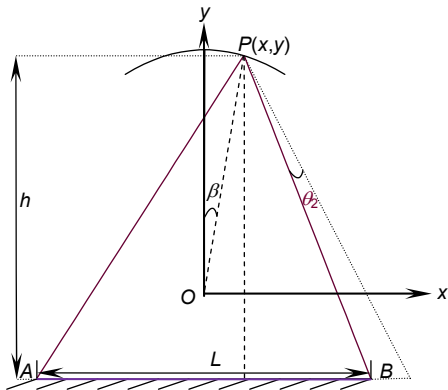


图 3 光线几何关系示意图
Fig. 3 Light geometry diagram

$$x = R \sin \beta, \quad (2)$$

$$y = R \cos \beta, \quad (3)$$

$$h = y + d - R, \quad (4)$$

式中 β 为灯珠的排列间隔,可以根据实际情况确定,倾斜角 θ_2 即可求得:

$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{1}{d} \cdot \frac{L}{2}\right) - \arctan\left(\frac{1}{h} \cdot \left(\frac{L}{2} - x\right)\right). \quad (5)$$

所以整个系统的设计步骤可以概括为:先根据所需照明面积要求对 LED 灯珠进行匀光设计,然后根据光照强度要求确定灯珠的数量,最后将每颗灯珠及其匀光透镜按图 2 所示的排列方式排成阵列。

3 LED 匀光设计与系统仿真

3.1 LED 匀光设计

根据实际要求,光源需采用三种波长的 LED 组合,LED 灯珠为 LG Innotek 公司的 6060 1in1 系列灯珠,三种波长分别为 365 nm、385 nm、405 nm,各个波长的 LED 依次排列,目标面照明面积为 750 mm×650 mm, d 为 600 mm,在保证照度均匀性的情况下,尽可能提高能量利用率。照度均匀性定义为目标面最小照度值与最大照度值之比,即:

$$U = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}, \quad (6)$$

式中: U 为照度均匀性, E_{\min} 为最小照度值, E_{\max} 为最大照度值。目标面的平均照明功率密度要求不低于 100 mW/cm²,照度均匀性不低于 0.8。根据文章第二部分的设计步骤,首先对 LED 进行匀光设计。由于所需照明面积较大,而工作距离较小,要求出射光发散角较大,本文采用自由曲面透镜对 LED 进行匀光。

自由曲面面型的建立采用基于点光源的数值求解偏微分方程组法^[16],根据折射定律建立面型方程,然后结合能量守恒定律,通过编程求解该方程获得自由曲面离散点数据。将离散点数据导入 3D 建模软件进行建模,得到自由曲面透镜实体模型。由于已有相关软件,可以直接通过其进行上述步骤设计自由曲面,得到的透镜模型如图 4 所示,最后将该模型导入光线追迹仿真软件进行仿真。分别以理想点光源和实际 LED 光源进行仿真,在距离光源 600 mm 的位置添加接收器,光斑如图 5 所示。

比较图 5(a)和 5(b)可以发现,使用理想点光源仿真时,目标照明面光斑照度均匀性很好,可以达到 90% 以上。而将光源换成 LED 光源后,光斑均匀性显著降低,呈现中心区域照度弱,边缘区域照度强的分布趋

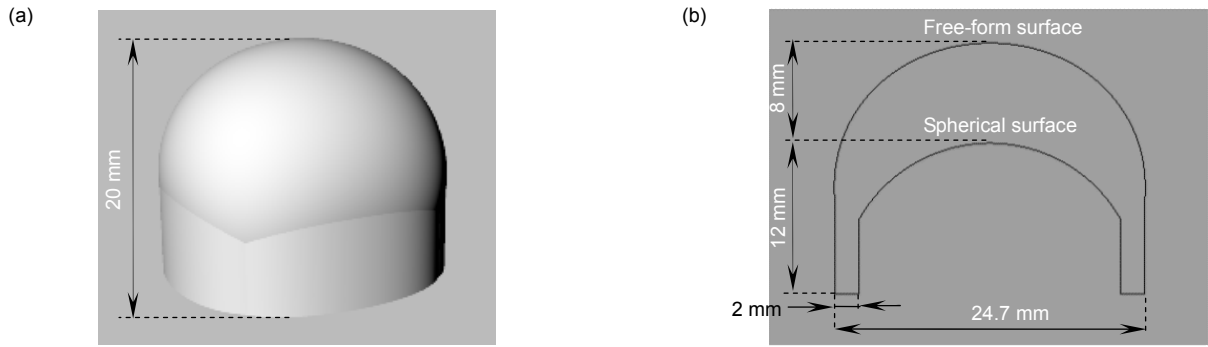


图4 (a) 自由曲面透镜模型; (b) x 和 y 方向剖面图
Fig. 4 (a) Model of free-form lens ; (b) Sections in x and y directions

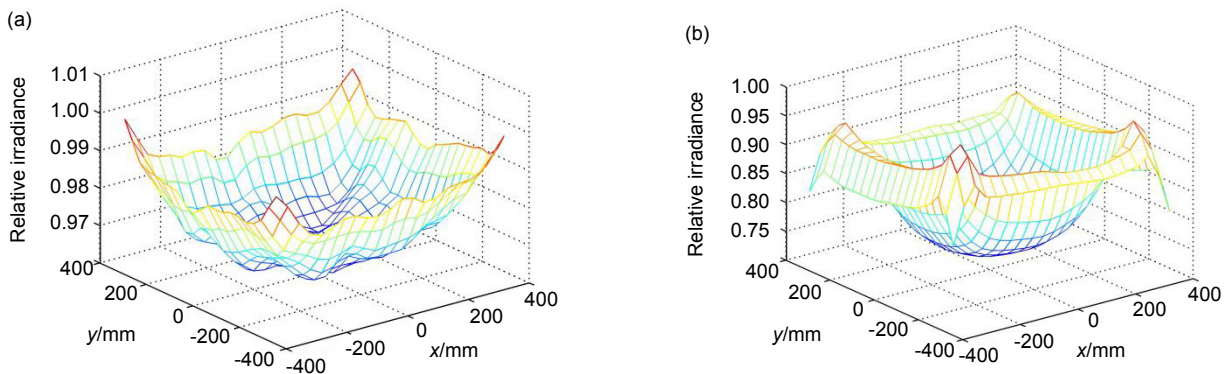


图5 目标面照明光斑照度分布。(a) 点光源; (b) LED 光源
Fig. 5 Irradiance distribution of target surface lighting spot. (a) Point source ; (b) LED source

势, 照度均匀性低于 80%, 不能满足要求。这是由于自由曲面面型是以点光源模型计算得到, 而实际 LED 灯珠是芯片 $1.6\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$ 的面光源, 所以还需要对自由曲面面型进行优化。

采用软件优化的方法对自由曲面面型进行优化, 首先将图 5(b)所示的照度分布取倒数并作归一化处理, 作为优化目标; 然后将自由曲面上各点设置为优化变量, 以理想点光源作为光源, 通过改变优化变量, 使目标面光斑照度分布满足上述规律。重复以上优化过程, 直到以 LED 光源仿真时, 目标面光斑均匀性满

足要求。优化完成后分别使用理想点光源和 LED 光源进行仿真, 仿真结果如图 6 所示。

显然, 图 6(a)所示光斑照度变化规律与图 5(b)相反, 而图 6(b)所示的光斑均匀性较图 5(b)有了明显的提升, 说明通过优化自由曲面透镜面型, 可以在目标面得到面积为 $750\text{ mm} \times 650\text{ mm}$ 的均匀照明光斑。其中单颗灯珠照明光斑最大功率密度 0.326 mW/cm^2 , 最小功率密度 0.287 mW/cm^2 , 均匀性约为 0.88; 灯珠辐射功率为 2 W, 目标照明区域接收功率为 1.524 W, 能量利用率约为 0.76。

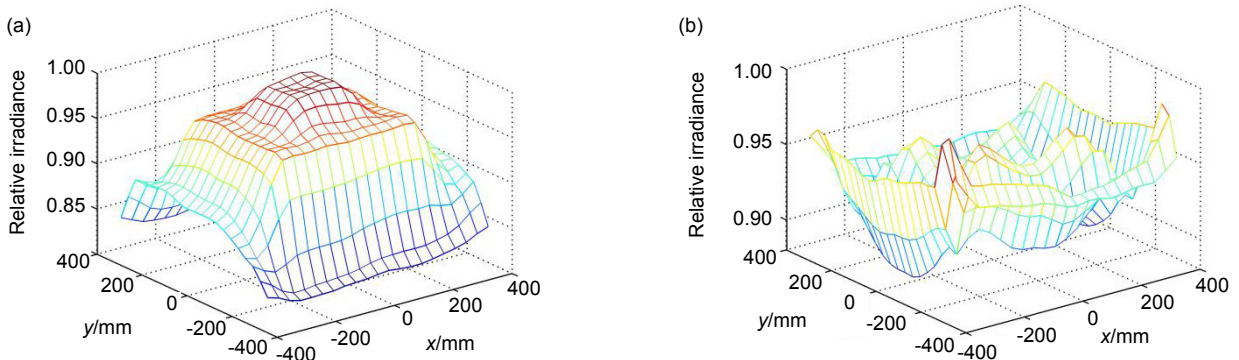


图6 优化后的目标面照明光斑照度分布。(a) 点光源; (b) LED 光源
Fig. 6 Irradiance distribution of optimized target surface lighting spot. (a) Point source ; (b) LED source

3.2 系统仿真

由于单颗灯珠能量利用率为 0.76, 为满足功率密度要求, LED 个数最少为 322, 本文选择使用 376 颗灯珠, 即 19×19 的阵列。为了确定阵列的排列方式, 根据式(1)计算得到 R 有两个值 388 mm 和 417 mm, 较大的 417 mm 即为所需, 然后分别计算每颗灯珠的倾斜角度, 采用图 2 所示的排列方式将灯珠排成阵列。每个阵列单元都是 LED 与自由曲面透镜的组合, 由于三种波长相差不大, 所以不需要分别对不同波长的 LED 优化自由曲面面型。光源阵列实体模型如图 7(a) 所示。将其进行光线追迹仿真, 距离光源 600 mm 处的目标面上的照明光斑如图 7(b) 所示, 其照度分布如图 7(c) 所示。其中, 目标照明区域总接收功率 538.9 W, 能量利用率为 0.75; 最大功率密度 115.3 mW/cm^2 , 最小功率密度 94.8 mW/cm^2 , 平均功率密度 110.7 mW/cm^2 , 照度均匀性为 0.82。

通过以上仿真结果可以发现, 采用倾斜照明的方式, LED 阵列光源光斑照度均匀性虽然较单颗灯珠有所降低, 但仍然满足要求, 而能量利用率基本相同,

符合预期结果, 且平均功率密度满足设计要求。对于图 1 所示的垂直照明, 根据 3.1 小节中的照明要求, 可以计算在保证波长均匀性的情况下能量利用率会远低于 0.8; 可见倾斜照明方式能在保证波长均匀性的情况下显著提高能量利用率。实际上, 光源光线经自由曲面透镜之后, 在整个目标平面上形成的是中间照度强且强度分布较均匀, 边缘照度弱的光斑。我们实际需要和利用的是分布较为均匀的中间部分, 如图 7(a) 中黑色方框所围部分, 损失的能量主要是目标平面上所需照明区域之外的部分。考虑到实际应用中的装调误差, 分别将目标面距光源的距离 d 调整为 580 mm、600 mm 和 620 mm, 仿真光斑如图 8 所示。

分别计算三种情况下光斑的照度均匀性和能量利用率, 结果如表 1 所示。

通过比较图 8 所示光斑与表 1 所示光斑均匀性与能量利用率变化情况可以发现: 当目标面距光源距离 d 变小时, 光斑照度均匀性降低, 而能量利用率提高。这是由于出射光发散角一定时, d 越大, 光斑均匀部分面积越大; 而目标面面积一定时, d 越小, 接收到

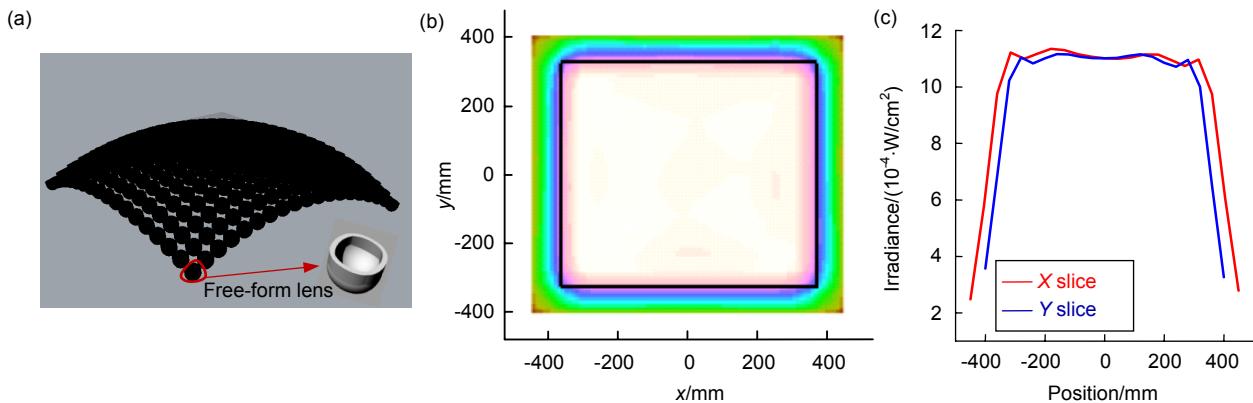


图 7 (a) LED 光源阵列模型; (b) 目标面光斑; (c) 照度分布
Fig. 7 (a) Model of LED source array; (b) Target surface lighting spot; (c) Illuminance distribution

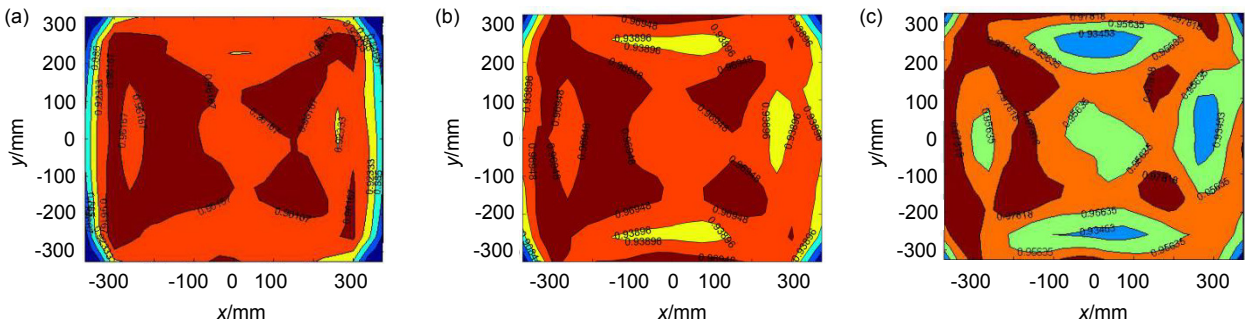


图 8 d 变化时的目标面光斑。(a) 580 mm; (b) 600 mm; (c) 620 mm
Fig. 8 The target surface lighting spot when d changes. (a) 580 mm; (b) 600 mm; (c) 620 mm

表 1 d 变化时, 目标面光斑均匀性和能量利用率变化

Table 1 The uniformity and energy efficiency of the spot on target surface as a function of d

距离 d /mm	照度均匀性	能量利用率
580	0.77	0.79
600	0.82	0.75
620	0.89	0.71

的光能越多, 同时整体均匀性会降低。所以实际应用中, 为保证照度均匀性, 应使目标面距光源的距离稍大于或等于设计距离。

4 结 论

本文给出了一种阵列型多波长紫外 LED 油墨固化系统的设计方法, 并将其应用于三波长紫外 LED 油墨固化系统设计。通过光线追迹仿真实验, 在距光源 600 mm 处的目标面上得到了照度均匀性 0.82、能量利用率 0.75、平均功率密度 110.70 mW/cm²、面积 750 mm×650 mm 的照明光斑。不同波长的光均匀混合, 证明了使用多种波长的 UV-LED 组合进行油墨固化的可行性。该方法不限于使用三种波长, 有望解决油墨固化中遇到的 UV-LED 不能与现有紫外油墨的光引发剂完全兼容导致固化效果不理想的问题, 实现汞灯的固化效果, 促进 UV-LED 在油墨固化领域的推广应用。

参考文献

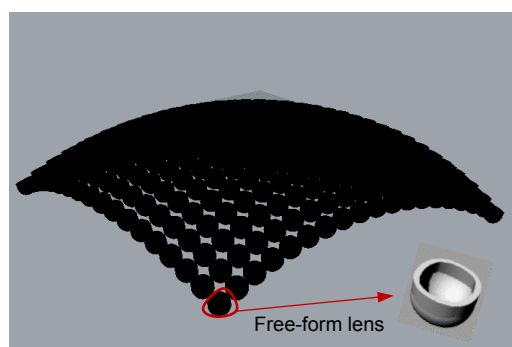
- [1] Xie J, You L D, Hou W J. Experimental research of ultraviolet LED source system in stereolithography apparatus[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2009, **36**(2): 100–104.
谢军, 游立德, 侯文杰. 光固化快速成形中的紫外 LED 光源系统实验研究[J]. *光电工程*, 2009, **36**(2): 100–104.
- [2] Han Q Y, Li S Q, Li M H, et al. High power-density UV-LED package modules and their application in curing[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2017, **28**(1): 21–29.
韩秋漪, 李思琪, 李明昊, 等. 高功率密度紫外 LED 封装模组及其光固化应用[J]. *照明工程学报*, 2017, **28**(1): 21–29.
- [3] 葛惊寰, 刘春林. UV 油墨固化光源的比较[J]. *丝网印刷*, 2013(2): 24–28.
- [4] Pelka D G, Patel K. An overview of LED applications for general illumination[J]. *Proceedings of SPIE*, 2003, **5186**: 15–26.
- [5] Hao J, Jing L, Wang Y, et al. Design of uniform illumination for array LED[J]. *Acta Optica Sinica*, 2015, **35**(10): 1022003.
郝剑, 荆雷, 王尧, 等. 阵列型紫外 LED 匀光照明系统设计[J]. *光学学报*, 2015, **35**(10): 1022003.
- [6] Huang H, Li X N, Wang Y Q. Design for LED compound elliptical concentrator[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2015, **42**(3): 89–94.
- [7] 黄慧, 李湘宁, 汪宇青. LED 复合椭球面聚光器的设计[J]. *光电工程*, 2015, **42**(3): 89–94.
- [7] Xu W H, Zhao H, Lu Y J. Design of an optical system for UV curing source with LED array[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, **15**(7): 1032–1037.
许文海, 赵欢, 芦永军. LED 阵列式紫外固化光源光学系统设计[J]. *光学精密工程*, 2007, **15**(7): 1032–1037.
- [8] Liu H, Tang Z R, Shi T L, et al. Optical and thermal modeling of ultraviolet-LED array packaging for curing application[J]. *Proceedings of SPIE*, 2009, **7279**: 7279K.
- [9] Xiang C M, Wen S S, Chen Y C, et al. Optical system design of LED area source for ultraviolet curing[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2016, **37**(12): 1507–1513.
向昌明, 文尚胜, 陈颖聪, 等. 紫外光 LED 固化面光源光学系统设计[J]. *发光学报*, 2016, **37**(12): 1507–1513.
- [10] Luo Y, Zhang X P, Wang L, et al. Non-imaging optics and its application in solid state lighting[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, **35**(7): 963–971.
罗毅, 张贤鹏, 王霖, 等. 半导体照明中的非成像光学及其应用[J]. *中国激光*, 2008, **35**(7): 963–971.
- [11] Yang Y, Qian K Y, Luo Y. A novel LED uniform illuminance system based on nonimaging optics[J]. *Optical Technique*, 2007, **33**(1): 0110.
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): 0110.
- [12] Wei B, Lin Q. Application status and trend of Ultraviolet led in the field of light curing[J]. *China High-Tech Enterprises*, 2017(11): 92–93.
魏彬, 林庆. UV-LED 在光固化领域的应用现状和趋势[J]. *中国高新技术企业*, 2017(11): 92–93.
- [13] 张蕾. UV-LED 固化技术发展趋势[J]. *电子元件与材料*, 2015, **34**(6): 99–100.
- [14] Zhao Y H, Fan C J. Design of combined reflectors used in LED street lamps[J]. *Chinese Optics*, 2012, **5**(5): 520–524.
赵亚辉, 范长江. 组合式发光二极管路灯反射器的设计[J]. *中国光学*, 2012, **5**(5): 520–524.
- [15] Su Z P, Xue D L, Ji Z C. Designing LED array for uniform illumination distribution by simulated annealing algorithm[J]. *Optics Express*, 2012, **20**(S6): A843–A855.
- [16] Ding Y, Zheng Z R, Gu P F. Freeform lens design for LED illumination [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(6): 1486–1490.
丁毅, 郑臻荣, 顾培夫. 实现 LED 照明的自由曲面透镜设计[J]. *光子学报*, 2009, **38**(6): 1486–1490.

Design of arrayed multi-wavelength UVLED ink curing system

Chen Zhongyu^{1,2}, Jiang Haibo¹, Shun Xiuhui¹, Yang Ruofu¹,
Wu Peng¹, Du Chunlei¹, Yin Shaoyun^{1*}

¹Integrated Optoelectronic Technology Center, Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology,
Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China;

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China



Model of LED source array

Overview: Ultraviolet light emitting diode (UV-LED) with the advantages of small volume, high luminous efficiency and long life, shows a good prospect in replacing the traditional mercury lamp for the ink curing. At present, there have been many researches on UV-LED light source array, which mainly focus on how to improve the uniformity and illuminance of the spot formed by LED array on the target surface, and use secondary light distribution design to optimize. However, these researches are all aimed at UV-LED of single wavelength, and obtain curing spot that meets demand by theoretically calculating the arrangement spacing and number of LEDs. The ink for traditional UV curing is all matched with the spectrum of mercury lamp, but the curing effect of UV-LED with single wavelength and narrow spectrum is often different from mercury lamp, so the curing effect is unsatisfactory, which block the spread of UV-LED in ink curing. In present, the central wavelength of commercial UV-LED covers the main UV spectra of mercury lamp. The wavelength range is from 250 nm to 435 nm, and the absorption bandwidth of the photoinitiator is large. In theory, combining UV-LEDs of multiple wavelengths is a feasible way to solve the problem of unsatisfactory single-wavelength UV-LED curing effect. Based on this idea, this paper presents a design method of arrayed multi-wavelength UV LED ink curing system and applies it to the design of three-wavelength UV LED ink curing system. A freeform lens is used to even the light of the LED, and the technical problems of uniform wavelength mixing and uniform illumination are solved by the design of freeform lens and its tilt. The designing steps are as follows: firstly, a freeform lens should be designed to form uniform illuminance distribution for single LED, and then the total number of demanded LEDs is determined according to the required illuminance. Finally, each LED and its homogenization lens are arrayed on the curved substrate. The final entity is shown in the figure. The ray tracing simulation results show that an average illuminance of 110.7 mW/cm² and an illuminance uniformity of 0.82 are obtained on a target surface 600 mm away from the light source. This method is not limited to the use of three wavelengths and is expected to solve the problem that UV-LED in ink curing cannot be fully compatible with existing photoinitiators of UV inks. It is also expected to promote the application of UVLEDs in ink curing by this study.

Citation: Chen Z Y, Jiang H B, Sun X H, *et al.* Design of arrayed multi-wavelength UVLED ink curing system[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(2): 180252

Supported by National Natural Science Foundation of China (61475199) and Chongqing Science and Technology Bureau (cstc2015zdcy-ztxx70006)

* E-mail: ysy@cigit.ac.cn