

# LED 太阳花散热器开缝交错设计

唐帆, 郭震宁

华侨大学信息科学与工程学院福建省光传输与变换重点实验室, 福建 厦门 361021

**摘要** 为了增强发光二极管(LED)散热器的散热能力并降低其质量,对传统 LED 太阳花散热器进行了开缝交错设计。利用 Solidworks 软件建立散热器三维模型,通过其插件 Flow Simulation 进行热仿真。以传统太阳花散热器为基础模型,通过实验得到此模型 4 个监测点的实际温度与仿真所得温度的平均误差为 4.6%,在允许范围内,证实了仿真步骤的正确性。以此为基础,对不同开缝数量和开缝宽度对 LED 芯片最高温度的影响进行了研究,结果表明开缝交错设计明显增强了 LED 散热器的对流散热性能。当输入功率为 26 W、开缝数量为 9、开缝宽度为 1 mm 时,LED 芯片的最高温度为 122.15 °C。在模型参数相同的条件下,配备开缝交错设计散热器的 LED 的最高温度比配备传统太阳花散热器的 LED 下降了 8.68 °C,且散热器质量下降了 6.85 g。在自然对流条件下,开缝交错设计有效地延缓了热边界层的形成,改善了流场分布,增强了太阳花散热器的散热性能,并降低了其质量。

**关键词** 光学设计; 散热; 太阳花散热器; 开缝交错设计; 发光二极管

中图分类号 TN312

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201838.0123001

## Slotted and Staggered Design of LED Sunflower Radiator

Tang Fan, Guo Zhenning

*Key Laboratory of Light Propagation and Transformation of Fujian Province,*

*College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen, Fujian 361021, China*

**Abstract** In order to enhance the cooling capacity of the light emitting diode (LED) radiator and reduce the weight of it, a slotted and staggered design is incorporated into the traditional LED sunflower radiator. The three-dimensional model of radiator is built by Solidworks software, and thermal simulation is carried out by Flow Simulation, which is the plug of Solidworks. Using the traditional sunflower radiator as a basic model, the average error between the actual temperature of the four monitoring points and the simulated temperature is 4.6%, which is within the allowable range. This result confirms the correctness of the simulation steps. Then, the influences of number and length of seams on the highest temperature of LED chip are studied, and the results show that the slotted and staggered design effectively enhances the convection cooling performance of the LED radiator. The highest temperature of the LED chip is 122.15 °C while the input power is 26 W, the number of seams is 9 and the length of seams is 1 mm. Under the same set of model parameters, the highest temperature of the LED with slotted and staggered radiator is reduced by 8.68 °C compared to the one with traditional sunflower radiator, and the weight of radiator is also reduced by 6.85 g. The slotted and staggered design is in favor of delaying the forming of thermal boundary layer and improving distribution of flow field, which enhances the cooling capacity and reduces the weight of sunflower radiator under the nature convection conditions.

**Key words** optical design; radiation; sunflower radiator; slotted and staggered design; light emitting diode

**OCIS codes** 230.1150; 230.2090; 230.3670; 230.5170

收稿日期: 2017-05-15; 收到修改稿日期: 2017-08-03

基金项目: 福建省科技计划引导性重点项目(2016H0022)、华侨大学研究生科研创新能力培育计划资助项目(1400201001)

作者简介: 唐帆(1990—),男,硕士研究生,主要从事 LED 散热设计方面的研究。E-mail: 304462588@qq.com

导师简介: 郭震宁(1958—),男,博士,教授,主要从事半导体发光器件及 LED 光学设计和散热设计等方面的研究。

E-mail: znguo@hqu.edu.cn(通信联系人)

# 1 引 言

作为第 4 代光源的发光二极管(LED),具有色纯度高、抗震动、低能耗、无频闪、寿命长和配光多样性等一系列优点<sup>[1-3]</sup>,在各个照明领域被广泛应用。随着对 LED 要求的提高,其功率慢慢增大,若其产生的热量不能及时发散出去,其温度会逐渐升高,从而导致可靠性降低<sup>[4]</sup>。

散热器设计优劣对提高 LED 散热能力起着决定性的作用<sup>[5]</sup>。为此,国内外学者进行了大量研究。如 Dialameh 等<sup>[6]</sup>研究发现在等截面翅片直角中,翅片的高度和长度的比值及高度和宽度的比值都会影响散热器的散热性能。Culham 等<sup>[7]</sup>的研究表明随着散热器翅片数量增多,热阻会降低,但是存在上限,当达到上限时,继续增加翅片数量并不能使热阻降低。何凡等<sup>[8]</sup>设计了一种能满足 250 W 大功率 LED 散热要求的散热器,该散热器利用导热纯铝材料,采用叠片方式成型,通过增加散热面积和提高散热器材料的导热系数等方式有效降低了 LED 结温。马验宗等<sup>[9]</sup>运用控制变量的方法,探索了散热器翅片厚度、曲率及微结构对散热性能的影响规律,并进行了优化。王林习等<sup>[10]</sup>针对散热器底部的空气滞留区,对翅片进行了开缝研究,研究表明:翅片的开缝设计可以使空气的流动状态变为多向,从而增强散热效果。张薇等<sup>[11]</sup>通过对典型空冷翅片管束的流动传热性能进行数值模拟,得到了开缝翅片管束的流动阻力和传热系数随迎面风速变化规律。张建新等<sup>[12]</sup>以一款 LED 投光灯为研究对象,得出不同倾角下的散热器肋间风道内的流速分布存在很大差异,并且最佳间距附近的散热器性能对倾角的敏感度最高,散热能力的方向效应不容忽视。

为了在提高 LED 散热器散热能力的同时,降低

散热器的质量,延缓热边界层的形成,本文不仅对 LED 太阳花散热器进行了开缝设计,同时对其进行了交错处理。利用 Solidworks 软件构建散热器的三维模型,通过 Flow Simulation 插件对不同参数的模型进行热仿真,研究了开缝间距和开缝数对散热器散热能力的影响。

## 2 理论与模型建立

### 2.1 理论基础

流体在固体表面不存在流体运动,传递能量只能靠对流进行<sup>[13]</sup>。用牛顿冷却公式可以衡量外部环境和散热器表面之间的热量交换,牛顿冷却公式表示为

$$Q = Ah(T_s - T_\infty), \quad (1)$$

式中  $Q$  表示表面换热量,  $A$  为散热表面积,  $h$  表示表面换热系数,  $T_s$  表示壁面温度,  $T_\infty$  表示环境温度。由(1)式可知,增加散热表面积和表面换热系数都可以增加固体表面的换热量,减小空气与热沉之间的热阻,降低结温。表面换热系数可表示为

$$h = -\frac{k \partial T / \partial y |_{y=0}}{T_s - T_\infty}, \quad (2)$$

式中  $k$  为空气导热率。由(2)式可知,表面换热系数与固体表面的温度场有关,可以通过改变固体表面的温度场及气体流场分布来改变固体表面的换热系数大小,从而增强散热性能。

### 2.2 模型建立

本研究设计了一种开缝交错的 LED 散热器,整个散热系统由散热器、LED 光源、基板组成。5 个 LED 光源在基板上均匀分布,基板安装在散热器上。所设计 LED 散热器的结构和各部分尺寸如图 1 所示。

散热器的开缝交错过程如图 2 所示,图 2 中模型 A 是未经开缝交错设计的太阳花散热器,将其每

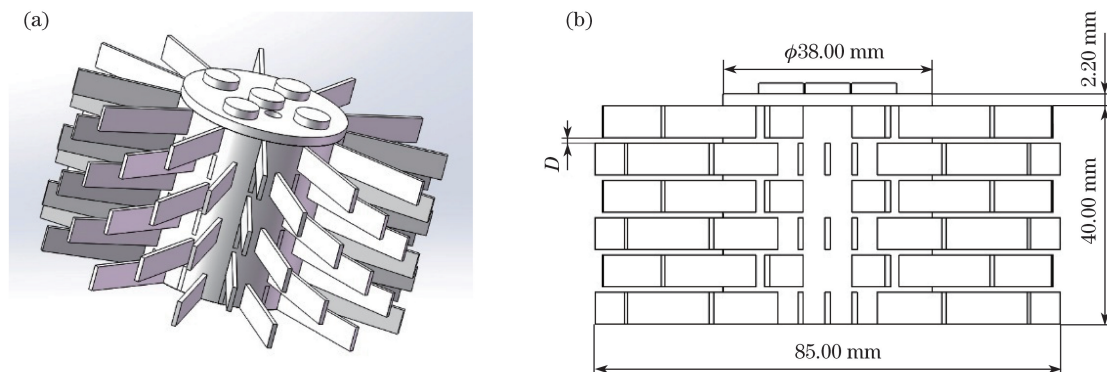


图 1 散热器示意图。(a)结构图;(b)剖面图

Fig. 1 Schematic diagram of radiator. (a) Structure drawing; (b) cutaway view

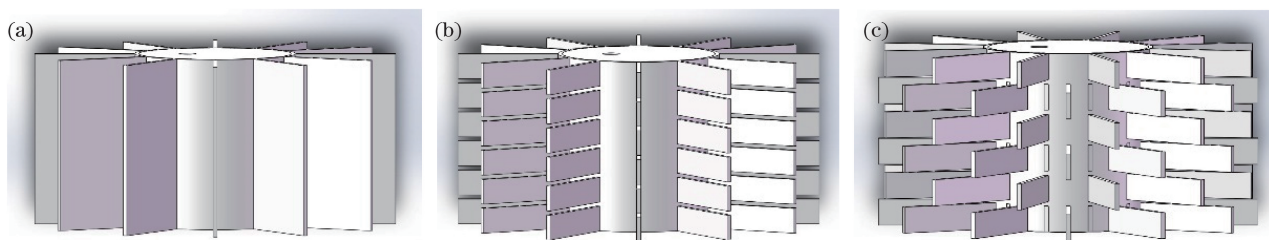


图 2 散热器开缝交错过程。(a)模型 A;(b)模型 B;(c)模型 C

Fig. 2 Slot and stagger processing of radiator. (a) Model A; (b) model B; (c) model C

个翅片进行开缝处理,即得到模型 B,模型 B 的单个翅片分为若干个小翅片,将其单个翅片中的半数旋转  $15^\circ$ ,可得到最终的模型 C。

### 3 热仿真

利用软件对所构建三维模型进行热仿真。散热器采用挤压铝 6061,热导率为  $236 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。基板采用铝基板,横向热导率为  $100 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,纵向热导率为  $2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。为了使热仿真更快速地进行,将 LED 光源设置为底面半径为  $4 \text{ mm}$ 、高为  $2 \text{ mm}$  的圆柱体,在基板上均匀分布。并将 LED 光源设置为体积热源,输入功率为  $8 \text{ W}$ ,光电转换效率为  $20\%$ 。模拟的环境温度设置为  $20^\circ\text{C}$ ,初始网格精度设置为 4,将散热器系统整体设置为精度为 8 的局部初始网格,并进行网格独立性验证,保证仿真结果的正确性。

以图 2(a)中的传统太阳花散热器模型 A 为基础,进行深入研究和优化。未经开缝交错设计优化的散热器模型,经软件热仿真得出其 LED 最高温度为  $58.91^\circ\text{C}$ ,如图 3 所示。散热器质量  $M=183.81 \text{ g}$ 。

### 4 实 验

通过对芯片输入功率为  $8 \text{ W}$  的模型 A 进行实物实验检测,来验证以上热仿真的正确性。实物样品由机械加工制得的铝制散热器和芯片及基板组成,其中基板和散热器之间由导热硅胶连接。

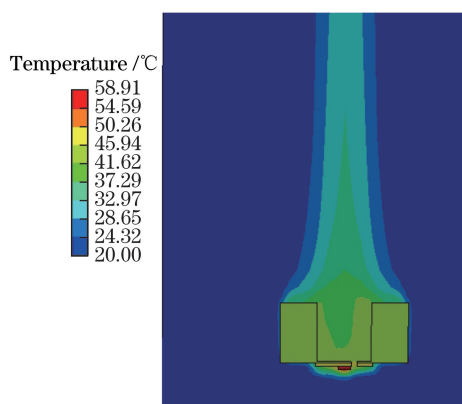


图 3 基础模型温度

Fig. 3 Temperature of basic model

本实验选用设备 DC-source Konstanter SSP1000-52 提供电压,选用设备 Agilent 34970A 进行温度监测,选用设备 Oven UNE400 为实验样品提供  $20^\circ\text{C}$  的恒定工作温度环境。测试样品、监测点、实验测试平台如图 4 所示。实验在封闭温控箱内进行,将工作温度控制在  $20^\circ\text{C}$ ,然后将芯片在额定工作电压下不间断点亮  $90 \text{ min}$  后,测取各监测点温度读数。

从表 1 各测量点的对比结果可以看到:基板表面两个点实测与仿真得到的温度相差在  $2.4^\circ\text{C}$  之内,误差不超过  $4.8\%$ ,散热器表面两个点实测与仿真得到的温度相差在  $2.0^\circ\text{C}$  之内,其中最大误差为  $5.1\%$ 。监测点实际测量的温度与仿真得到的温度基本一致,平均误差为  $4.6\%$ ,在允许范围内,验证了仿真结果的准确性<sup>[14]</sup>。

表 1 各测量点温度对比

Table 1 Temperature comparison of each test point

Test point	Measured temperature / $^\circ\text{C}$	Simulated temperature / $^\circ\text{C}$	Difference / $^\circ\text{C}$	Relative difference /%
Point 1 of substrate surface	51.17	48.86	2.31	4.8
Point 2 of substrate surface	50.42	48.38	2.04	4.2
Point 1 of radiator surface	43.18	41.44	1.74	4.2
Point 2 of radiator surface	40.49	38.54	1.95	5.1

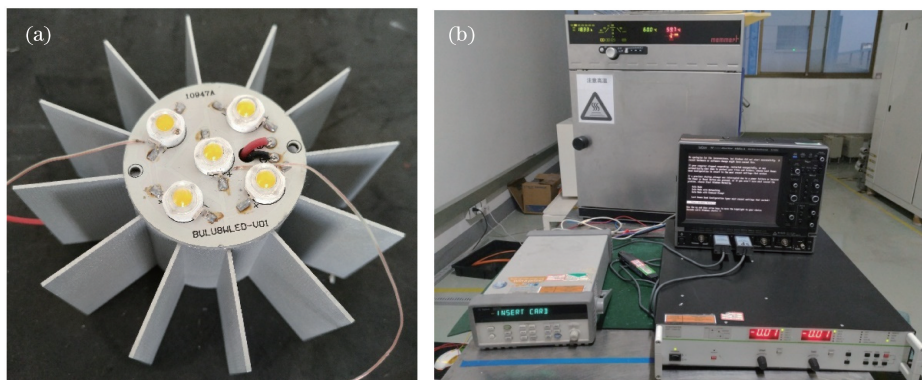


图 4 (a) 测试样品及(b)实验测试平台

Fig. 4 (a) Test sample and (b) experimental test platform

## 5 实验结果和讨论

### 5.1 开缝数对散热效果的影响

首先,通过调整翅片开缝数量,来探究开缝数对散热器散热能力的影响。保持开缝宽度  $D=1\text{ mm}$  不变,利用软件模拟出了不同开缝数量下 LED 最高温度的变化。因开缝数量过多会增大散热器加工难度,故开缝数量的范围取 3~9 个,实验结果如图 5 所示。

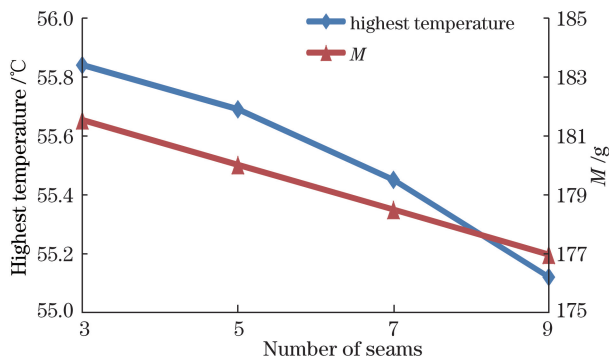


图 5 LED 最高温度随开缝数的变化

Fig. 5 Relationship between the highest temperature of LED and the number of seams

如图 5 所示,随着开缝数量的增加,LED 最高温度呈直线下降趋势。分析其原因在于,随着开缝数的增多,单个翅片被分为更多的小翅片。LED 芯片工作时产生的热量传递到附近的空气中,附近的空气吸收热量后密度下降,与上方的空气形成密度差,产生浮力,使空气沿着翅片上升。小翅片数量和小翅片间缝隙的增加使上升的空气可以绕过各个翅片,经由翅片间的缝隙继续上升,与各个小翅片进行对流换热,从而带走热量。从图 5 还可以看出,随着开缝数的增加,散热器的质量也逐渐降低,当开缝数从 3 增加到 9 时,散热器的质量下降了 4.57 g,但散

热性能反而上升。由此可见,对散热器翅片进行开缝设计,可以有效提高其散热性能,并降低其质量。综上,取开缝数为 9,此时 LED 芯片的最高温度为  $55.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,散热器的质量  $M=176.96\text{ g}$ 。

### 5.2 开缝宽度 $D$ 对散热效果的影响

在 5.1 节的研究前提下,进一步对开缝宽度  $D$  的大小进行优化。保持开缝数量不变,调整开缝宽度  $D$ ,通过实验得到了  $D$  在  $1\sim 1.7\text{ mm}$  变化范围内,相应的 LED 芯片的最高温度及散热器质量  $M$ ,其结果如图 6 所示。

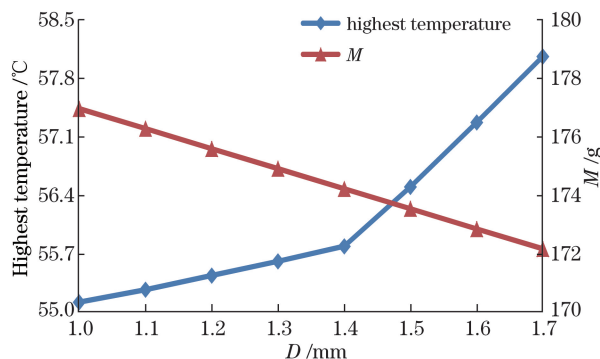


图 6 LED 最高温度随  $D$  的变化

Fig. 6 Relationship between the highest temperature of LED and  $D$

由图 6 可以得出, $D$  从  $1\text{ mm}$  增加到  $1.4\text{ mm}$  的过程中,LED 芯片的最高温度由  $55.12\text{ }^{\circ}\text{C}$  升高到  $55.79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,上升了  $0.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当  $D$  从  $1.4\text{ mm}$  继续增加到  $1.7\text{ mm}$ ,LED 芯片的最高温度急速上升,依次上升了  $0.71, 0.77, 0.79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。出现此现象的原因为:随着开缝宽度的增加,散热面积逐渐变小,当散热器的散热面积由于开缝减小到低于其所需要的散热面积时,散热面积不足以满足散热需求,故温度快速上升。牛顿冷却定律为

$$\phi = \lambda S \Delta T, \quad (3)$$

式中  $\phi$  为热功率,  $\lambda$  为物体表面的对流换热系数,  $S$  为物体散热表面积,  $\Delta T$  为物体表面温度与环境温度差值。由(3)式可以看出, 散热面积的减少, 会减少对流传热带走的热量, 从而使 LED 芯片的最高温度上升。当开缝宽度  $D$  增加到 1.4 mm 以上时, 散热器的散热面积已不足以满足散热需求, 故温度快速上升。从图 6 还可以看出, 随着开缝宽度的增加, 散热器质量  $M$  直线下降, 但伴随而来的是其散热能力的降低。为了使 LED 芯片的最高温度尽可能低, 取  $D = 1$  mm, 此时 LED 芯片的最高温度为  $55.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 散热器质量  $M = 176.96\text{ g}$ 。

经优化后, LED 散热器附近的温度场分布如图 7 所示。

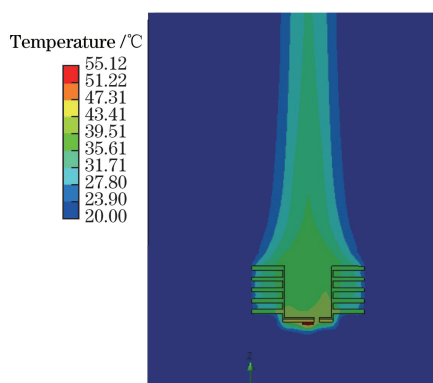


图 7 LED 温度场分布图

Fig. 7 Distribution diagram of the temperature field of LED

如图 7 所示, LED 工作时的最高温度出现在 LED 芯片处, 热量从 LED 芯片传导到铝基板上, 并向上继续传递给散热器, 再由散热器传递到空气中。

## 6 与传统太阳花散热器对比

根据上述研究得出当开缝数为 9、开缝宽度  $D = 1$  mm 时, 散热器的散热性能最优。以上述研

究为基础, 对输入功率为 8~16 W 的开缝交错散热器和传统散热器进行对比, 得到了相应的 LED 芯片的最高温度, 其结果如图 8 所示。

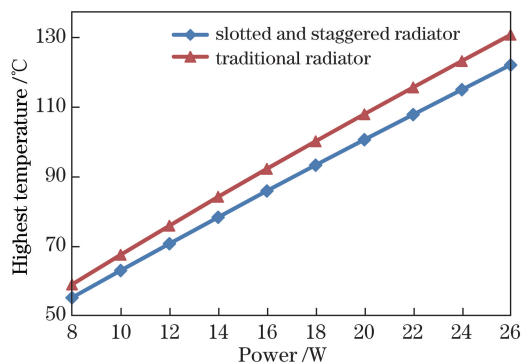


图 8 不同功率下开缝交错散热器与传统散热器对比

Fig. 8 Comparison of slotted and staggered radiator and traditional radiator with different powers

从图 8 可以看出, 经过开缝交错设计的散热器的散热性能明显优于传统散热器, 并且随着输入功率的增加, 二者 LED 芯片的温度差逐渐增大。在输入功率为 26 W 时, 经过开缝交错设计的散热器的 LED 芯片的最高温度为  $122.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 仍可满足最大温度低于  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  的 LED 安全工作温度上限, 而后者 LED 芯片的最高温度为  $130.83\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。可见, 开缝交错设计使 LED 芯片的最高温度降低了  $8.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 并且使散热器的质量下降了  $6.85\text{ g}$ 。二者附近的温度场分布和空气速度流动迹线分布对比分别如图 9 和图 10 所示。

从图 10 可以看出, 在自然对流状态下, 采用开缝交错方式对翅片进行改进后, 整个散热器结构周围的空气流动状态发生了显著变化。进入传统散热器翅片之间的空气粒子呈近直线上升状态, 而进入开缝交错设计后的散热器翅片间的空气会在上浮过程中受到交错翅片的分流, 开缝交错减小了翅片间

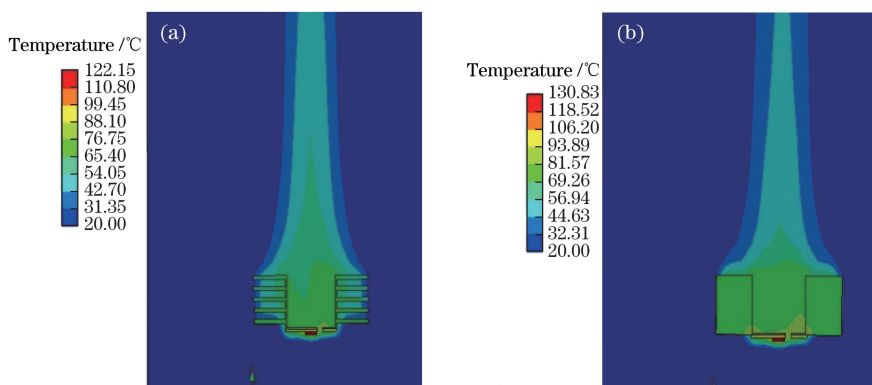


图 9 (a) 开缝交错散热器和 (b) 传统散热器的温度场分布

Fig. 9 Distribution diagram of the temperature field of (a) slotted and staggered radiator and (b) traditional radiator

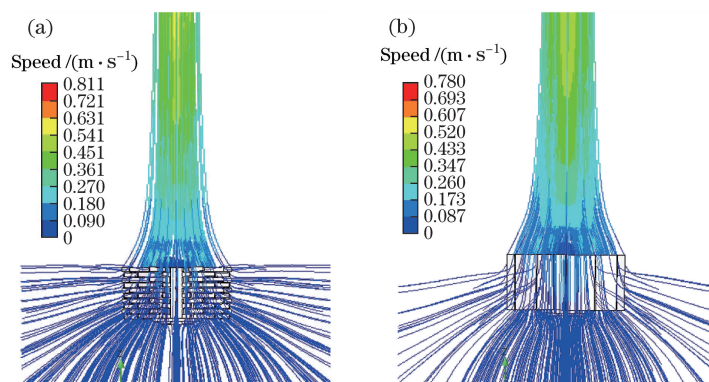


图 10 (a)开缝交错散热器和(b)传统散热器的空气速度流动迹线分布

Fig. 10 Distribution diagram of the air speed flow trace of (a) slotted and staggered radiator and (b) traditional radiator

的流动阻力,使自下而上运动的空气可以从开缝处或翅片间隙进入翅片内部,然后在浮力的作用下继续向上运动。翅片的分流作用延缓了热边界层的形成,增加了流动空气扰动,流动状态由单向变为多向,使翅片间空气流速提高<sup>[15]</sup>,并改善了通常存在于散热器底部位置的空气停滞区域中的空气流动困难问题,使散热能力得以增强。

## 7 结 论

为了提高 LED 散热器的散热性能,并降低其质量,对传统 LED 太阳花散热器进行开缝交错设计。先进行实物实验,证实了模型仿真步骤的正确性。然后对开缝数量和开缝宽度进行了优化,得到的最佳参数设计为:开缝数为 9,开缝宽度  $D = 1$  mm。此时,LED 芯片的最高温度为  $55.12$  °C,质量为  $176.96$  g。另外,随着功率的增大,开缝交错设计使散热器散热性能得到了显著的提升。在输入功率为  $26$  W 时,二者 LED 的最高温度差为  $8.68$  °C,而且开缝交错使散热器的质量降低了  $6.85$  g。由此可见,散热器的开缝交错设计有效延缓了热边界层的形成,改善了翅片周围流场的流动特性,充分发挥了各个翅片的散热能力。

## 参 考 文 献

- [1] Mueller-Mach R, Mueller G O. White-light-emitting diodes for illumination[C]. SPIE, 2000, 3938: 30-41.
  - [2] Krames M R, Shchekin O B, Mueller-Mach R, *et al.* Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting[J]. Journal of Display Technology, 2007, 3(2): 160-175.
  - [3] Yang C, Jin S Z, Shao M F, *et al.* Research on LED performance of glass substrate with COB packaging[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2015, 52(1): 012304.
  - [4] Liu C, Fu R L, Gu X G, *et al.* Structure of chip scale package for LED light sources and its thermal performance analysis based on numerical simulation[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(12): 122301.
  - [5] Li J H. Thermal design and simulation of LED lamps[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2011.
  - [6] Dialameh L, Yaghoubi M, Abouali O. Natural convection from an array of horizontal rectangular thick fins with short length[J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28(17): 2371-2379.
  - [7] Culham J R, Muzychka Y S. Optimization of plate fin heat sinks using entropy generation minimization[J]. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 2001, 24(2): 159-165.
  - [8] He F, Chen Q H, Liu J F, *et al.* Thermal analysis of high mast integrated LED lamp with new heatsink structure of laminated pure aluminum plate[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2014, 35(6): 742-747.
  - [9] Ma Y Z, Zhang Z S, Zhi Y W, *et al.* Optimization design based on the heat radiation structure of high-power LED[J]. Experiment Science and Technology, 2015, 13(6): 253-257.
- 杨初, 金尚忠, 邵茂丰, 等. 玻璃基板 COB 封装的 LED 性能研究[J]. 激光与光电子学进展, 2015, 52(1): 012304.
- 刘超, 傅仁利, 顾席光, 等. 芯片级 LED 封装光源结构散热性能的数值模拟[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(12): 122301.
- 李菊华. LED 灯具热设计与仿真[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2011.
- 李菊华. LED 灯具热设计与仿真[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2011.
- 刘超, 傅仁利, 顾席光, 等. 芯片级 LED 封装光源结构散热性能的数值模拟[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(12): 122301.
- Li J H. Thermal design and simulation of LED lamps[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2011.
- 李菊华. LED 灯具热设计与仿真[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2011.
- Dialameh L, Yaghoubi M, Abouali O. Natural convection from an array of horizontal rectangular thick fins with short length[J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28(17): 2371-2379.
- Culham J R, Muzychka Y S. Optimization of plate fin heat sinks using entropy generation minimization[J]. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 2001, 24(2): 159-165.
- He F, Chen Q H, Liu J F, *et al.* Thermal analysis of high mast integrated LED lamp with new heatsink structure of laminated pure aluminum plate[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2014, 35(6): 742-747.
- 何凡, 陈清华, 刘娟芳, 等. 集成芯片 LED 场地照明灯新型叠片散热器热分析[J]. 发光学报, 2014, 35(6): 742-747.
- Ma Y Z, Zhang Z S, Zhi Y W, *et al.* Optimization design based on the heat radiation structure of high-power LED[J]. Experiment Science and Technology, 2015, 13(6): 253-257.
- 马验宗, 张忠山, 智郁雯, 等. 大功率 LED 散热结构的优化设计[J]. 实验科学与技术, 2015, 13(6):

- 253-257.
- [10] Wang L X, Yu B, Shen Z J, *et al.* Optimization design of LED lamp with heat pipe radiator[J]. *Electronic Design Engineering*, 2016, 24(5): 108-110, 113.  
王林习, 虞斌, 沈中将, 等. LED路灯热管散热器翅片开缝优化设计[J]. *电子设计工程*, 2016, 24(5): 108-110, 113.
- [11] Zhang W, Du X Z, Yang L J. Study on characteristics of flow heat conduction outside the pipe bundle of air-cooled radiator with slotted fins[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2016, 47(3): 452-455.  
张薇, 杜小泽, 杨立军. 空冷散热器开缝翅片管束外空气流动传热特性研究[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 47(3): 452-455.
- [12] Zhang J X, Yang Q X, Niu P J, *et al.* Orientation effects on heat dissipation performance of plate-fin heat sink for LED application[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2015, 36(7): 846-853.  
张建新, 杨庆新, 牛萍娟, 等. LED板状肋片散热器性能的方向效应[J]. *发光学报*, 2015, 36(7): 846-853.
- [13] Tao W Q. Heat transfer[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2016: 179-180.  
陶文铨. 传热学[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2016: 179-180.
- [14] Tang F, Guo Z N, Lin J B, *et al.* Thermal design and experiment of LED bulb using chimney effect[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2016, 37(5): 12-18.  
唐帆, 郭震宁, 林介本, 等. LED球泡灯的烟囱效应散热设计与实验[J]. *发光学报*, 2016, 37(5): 12-18.
- [15] Wang L X, Yu B, Shen Z J, *et al.* Optimization design of LED lamp with heat pipe radiator[J]. *Electronic Design Engineering*, 2016, 24(5): 108-113.  
王林习, 虞斌, 沈中将, 等. LED路灯热管散热器翅片开缝优化设计[J]. *电子设计工程*, 2016, 24(5): 108-113.