

COB-LED 厂房灯翅片偏转角对散热性能影响研究

饶 刚, 杨东恒, 王 威

(武汉科技大学 机械传动与制造工程湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430081)

摘要: 针对圆形 LED 光源的发热特点, 初步设计直线式翅片散热器。利用 ANSYS Icepak 对其进行热仿真分析, 发现散热器中心部位有温度集聚现象。为解决散热器中心的温度聚集, 采用极坐标点拟合法建立翅片曲线, 将直线式翅片散热器改进为曲线式翅片散热器。建立 6 种不同偏转角度的曲线式翅片模型并进行热仿真。研究发现当翅片偏转角为 40° 时晶元芯片温度最低, 同时散热器均温效果最好, 且散热器质量较轻。制造厂房灯样机并进行温度测试, 发现仿真结果与实测结果温度误差小于 4%, 验证了研究的合理性。

关键词: 圆形 LED 光源; 曲线式翅片; 偏转角; 散热器; 热仿真分析

中图分类号: TN312.8

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191302

中文引用格式: 饶刚, 杨东恒, 王威. COB-LED 厂房灯翅片偏转角对散热性能影响研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(5): 102–106.

英文引用格式: Rao Gang, Yang Dongheng, Wang Wei. Effecting study of the radiator fin deflecting angle to COB-LED workshop lamp on the heat dissipation performance[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(5): 102–106.

Effecting study of the radiator fin deflecting angle to COB-LED workshop lamp on the heat dissipation performance

Rao Gang, Yang Dongheng, Wang Wei

(Hubei Key Laboratory of Mechanical Transmission and Manufacturing Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: A straight fin radiator was designed for dissipating the working heat of a circular LED lighting-source. According to thermal simulation analysis to straight fin radiator on ANSYS Icepak, it was found that there was high temperature agglomeration in the center of straight fin radiator. In order to solve the problem of temperature accumulation in the center of the radiator, the fin curve was established by the polar coordinate point fitting method, and the linear fin radiator was improved to the curve fin radiator. Six kinds of curved fin models with different deflection angles were established and simulated. The results show that when the radiator fin deflection angle is 40°, the temperature of the chip is the lowest, the effect of radiator temperature equalization is the best, and the weight of radiator is reasonable. The temperature error between simulation and measurement is less than 4%, which verifies the rationality of the research.

Key words: circular LED light source; curved fin; deflection angle; radiator; thermal simulation analysis

0 引言

COB(chip on board)-LED 是将多个 LED 晶元芯片封装在同一块基板上, 实现光源的模块化以便于生产安装。COB-LED 具有光效高、光照均匀等优点, 但是这种光源在工作时热流密度大, 如果晶元芯片产生的热量无法通过散热器有效导出到环境中, 则会造成晶元芯片的结温升高、光强下降及使用寿命缩短等问题, 从而影响灯具的性能^[1-2]。COB-LED 厂房灯主要采用自然对流散热, 该散热方式只需在光源上安装散热器, 无需添加风冷或者液冷装置, 更加节能环保^[3]。

目前对于圆形 COB-LED 光源的散热, 主要采用圆形底板散热器。散热器翅片主要为直翅片, 布局方式为

平行式布局和发散式布局, 周旭等人的研究表明发散式布局散热效果优于平行式布局^[4]。但是这种直翅片散热器翅片间气体流动均匀, 不利于强化换热。为增强自然对流散热, PARK S J 等人采用在圆形底板上添加中空圆柱, 然后在圆柱表面添加开缝翅片布局方式^[5]。对翅片进行交错式布局或改变翅片放置角度来增强自然对流散热^[6-7]。为增强圆形底板散热器中心散热效果, Schmid 等在散热器中心进行开孔设计增强散热器中心的对流换热, 对开孔直径和高度进行优化^[8]。以往的研究都是对直翅片尺寸和散热器布局进行优化解决 LED 温升问题, 并没有从翅片偏转角研究 LED 散热器的均温和散热性能。本文以初步设计的 50 W COB-LED 厂房灯直线式

电源管理 Power Management

翅片散热器为基础,改变传统的散热器优化方式,运用极坐标点拟合法改变翅片的偏转角度,以增强散热器均温和散热效果。对比分析不同偏转角翅片散热器的底板温度、翅片间空气流动特性。以晶元芯片工作温度、散热器热阻、散热器质量等参数作为散热器优劣的评判参数,通过对不同偏转角度散热器模型进行热仿真分析、对比,从而确定出最佳翅片偏转角度^[9]。

1 直线式翅片散热器建模及热仿真

1.1 直线式翅片散热器三维模型创建

LED 厂房灯结构形式如图 1 所示,晶元芯片工作时产生的热量主要以热传导的方式通过陶瓷基板导热胶传递到散热器,再经过散热器翅片与空气间的对流与辐射将热量传递到环境中。根据 COB-LED 的尺寸和热功耗初步设计直线式翅片散热器结构尺寸如图 2 所示,将散热器的模型设计成发散式布局,有利于周围冷空气进入翅片流道内,散热器中心立柱,壁厚为 2 mm,可以增强散热器中心的散热能力^[9]。

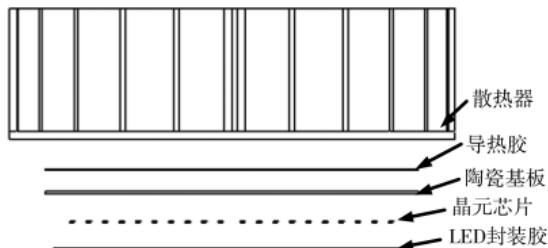


图 1 LED 厂房灯散热器和光源结构示意图

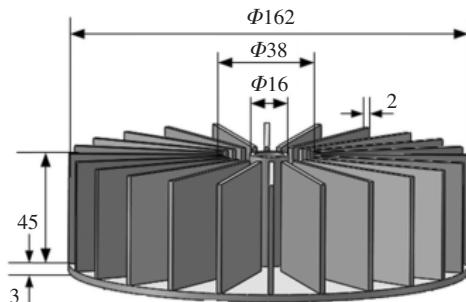


图 2 直线式翅片散热器三维模型图

1.2 直线式翅片散热器热仿真

采用 ANSYS Icepak 热分析软件对灯具散热器进行数值模拟,晶元芯片共有 832 个,由于晶元芯片尺寸较小,将其简化成 1 mm×1 mm 的面热源,50 W 厂房灯电源效率为 90%,则光源输入功率为 45 W,光源热功耗为 56%,则平均每个晶元芯片的热功耗为 0.03 W;陶瓷基板直径为 136 mm 厚度为 2 mm,导热胶厚度为 0.1 mm。求解区域为 220 mm×220 mm×320 mm 的立方体,其 6 个面设置为自由边界,顶面温度设置为变量,空气初始流速设置为 0.15 m/s,划分多级网格。50 W 厂房灯热仿真中相关材料热性能参数见表 1。

采用自然对流稳态热分析,环境温度为 25 °C。自然

表 1 50 W 厂房灯热仿真中相关材料热性能参数表

部件	材料	导热系数/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
晶元芯片	GaN	130
陶瓷基板	Al ₂ O ₃	30
导热胶	导热硅脂	2
散热器	ADC12	96
LED 封装胶	硅树脂(荧光粉)	0.2

对流计算选择布辛尼克斯近似模型。设置收敛标准压力和动量的欠松弛因子分别为 0.7 和 0.3,连续性方程解的残差标准设定为 10⁻⁴,动量方程和能量方程残差标准设定为 10⁻⁶^[10]。仿真后得到散热器底板的温度等高线图和翅片间空气流线图如图 3 所示。

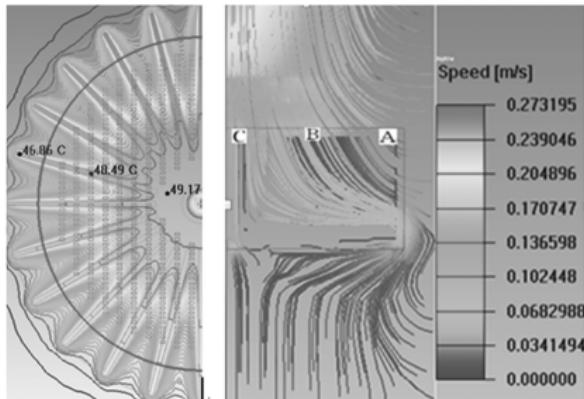


图 3 直线式翅片散热器底板温度等高线图(左)
及翅片间空气流线图(右)

通过对图 3 分析可知散热器底板中心温度接近 50 °C,中心温度与边缘温度相差 2.31 °C,中心温度等高线所围成的区域半径为 18 mm。在空气流线图中从翅片入口到散热器中心依次标定 A、B、C 三点,周围空气进入翅片流道内,在 B 点流出的气流密度较大。表明从 A 点翅片根部进入的冷空气很大一部分在 A 点与 B 点之间的流道内受热膨胀从翅片顶部流出,导致进入散热器中心冷空气减少,从而使散热器中心温度较高。因此对于圆形底板散热器直线式翅片结构,容易出现中心区域高温集聚现象。

2 散热器翅片结构优化

为解决直线式翅片散热器中心区域高温集聚的问题,本文采用极坐标点拟合法设计曲线式翅片优化散热器结构,达到均温和散热的目的。散热器的底板半径为 81 mm,用 7 个点就可以拟合出翅片形状,拟合点的坐标方程如式(1)所示。

$$\begin{cases} r_n = 13.5n \\ \theta_n = \frac{n\alpha}{6} \end{cases} \quad (1)$$

式中 n 表示拟合点的编号,α 表示拟合点的最大偏转角度,r_n 表示拟合点与圆心的距离,θ_n 表示拟合点的偏转角度。

翅片曲线极坐标系下拟合示意图如图 4 所示,运用 SolidWorks 对散热器进行建模,通过设置不同的偏转角度建立不同的散热器。图 2 所示的直线式翅片散热器偏转角为 0°。

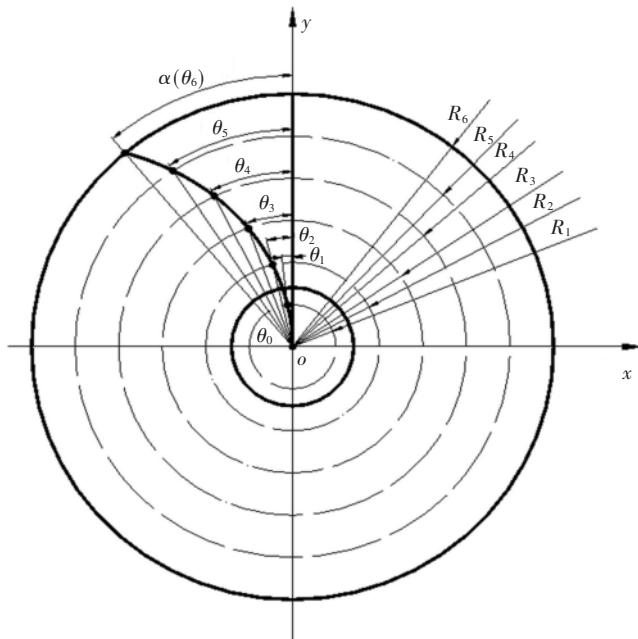


图 4 翅片曲线极坐标系下拟合示意图

3 曲线式翅片散热器热仿真

建立偏转角分别为 20°、40°、60°、80°、100° 的 5 种曲线式翅片散热器模型并进行热仿真,仿真分析的热载荷、边界条件和收敛标准与直线式翅片散热器热仿真相同。通过热分析后提取 6 种不同偏转角度散热器中心截面的温度等高线图和速度流线图如图 5 所示。

对比图 3 和图 5(a)、图 5(b)、图 5(c)温度等高线图发现偏转角从 0° 增加到 40° 中心温度下降 2.37 °C, 中心等高线区域半径增加 14.19 mm, 边缘温度上升 2.59 °C, 散热器底板的整体温度下降。对比其速度流线图发现, 翅片顶端的速度流线的最密区域有向散热器中心偏移的趋势, 并且 A 点与 B 点之间的速度流线密度在降低, 表明散热器周围的低温空气进入散热器中心的流量在增大。增大偏转角增加了散热器 B 区域散热面积, 散热能力得到提高, 使得空气进入翅片流道内, 不会像直线式翅片散热器那样在 A 点与 B 点之间就被加热膨胀从翅片的 B 区域流出。

对比图 5(d)、图 5(e)、图 5(f)发现 40° 到 100° 时底板中心温度上升 2.12 °C, 边缘温度上升 1.65 °C, 中心等高线区域半径增加 9.18 mm。虽然温度得到均化, 但整体温度上升明显。对比其速度流线图发现速度流线在翅片流道和翅片顶端分布比较稀疏, 并且在散热器中心(C 点)所在翅片的根部的速度流线密度逐渐降低。说明散热器周围的冷气流进入散热器中心的量逐渐减少导致散热器中心温度不断升高。

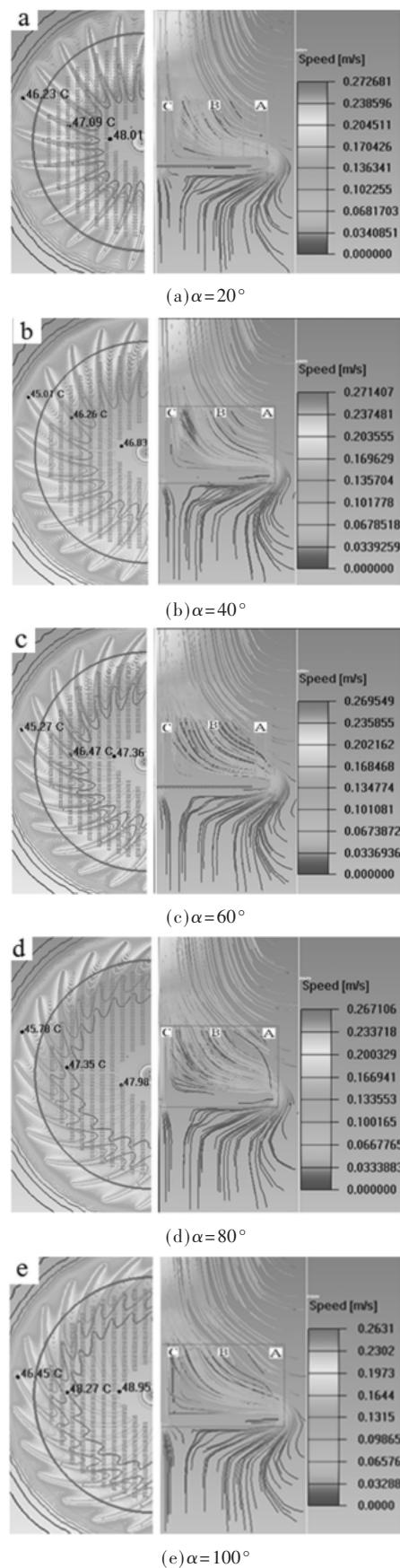


图 5 曲线式翅片散热器底板温度等高图(左)
及翅片间速度流线图(右)

电源管理 Power Management

4 曲线式翅片最优偏转角确定

以散热器的均温能力、散热能力、散热器质量为评判标准确定散热器的最佳翅片偏转角度。均温的目的是将散热器底板中心的热量向周围扩散，从而降低中心的温度。散热的目的是降低散热器热阻和晶元芯片的工作温度。减小质量的目的是在满足散热要求的情况下降低生产成本。不同偏转角曲线翅片散热器评判数据见表 2，其中 ξ 为散热器底板中心温度区域占底板总面积的百分比， T_c 为散热器底板中心温度， T_{\max} 为晶元芯片最高温度， M 为散热器质量。散热器热阻采用式(2)进行计算。

$$R_s = \frac{T_b - T_a}{Q} \quad (2)$$

式中 Q 为光源热功耗，单位 W； T_b 、 T_a 分别为散热器翅片平均温度及环境温度，单位 °C。

表 2 曲线翅片散热器评判数据表

模型编号	$\alpha/(^\circ)$	$T_c/^\circ C$	$\xi/\%$	$T_{\max}/^\circ C$	$T_b/^\circ C$	M/g
1	0	49.17	5.13	49.35	48.41	526.55
2	20	48.01	9.31	48.25	47.16	532.23
4	40	46.83	16.13	47.17	45.53	554.68
5	60	47.36	19.05	47.54	46.32	590.39
6	80	47.98	24.25	48.13	46.88	537.73
7	100	48.95	26.54	49.12	47.81	687.73

为更加直观表示不同翅片偏转角度对曲线式翅片散热器性能的影响，绘制不同参数随翅片偏转角度的变化图如图 6~图 8 所示。

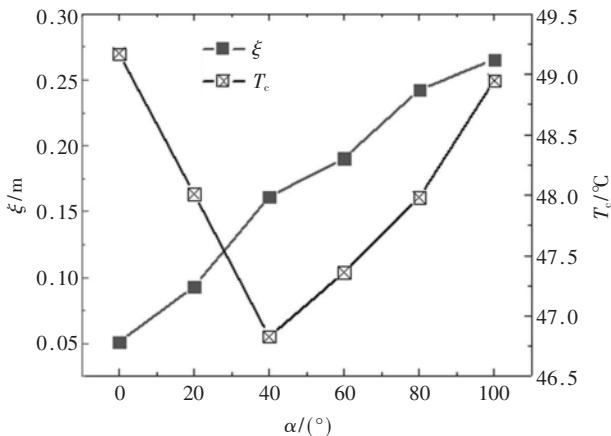


图 6 ξ 与 T_c 随翅片偏转角变化图

如图 6 所示散热器底板中心温度在偏转角为 40° 时出现拐点，此时底板中心温度最低。翅片偏转角从 0° 增加到 40°，底板中心温度从 49.17 °C 降低到 46.83 °C，散热器底板中心温度区域面积占底板总面积比例从 5.13% 增加到 16.13%，表明均温效果随翅片偏转角增大而不断增强。翅片偏转角从 40° 增加到 100° 时中心温度区域温度增加 2.12 °C，散热器底板中心温度区域面积占底板总面积比例从 16.13% 增加到 26.54%，导致底板温升明显，不符合均温的目的。

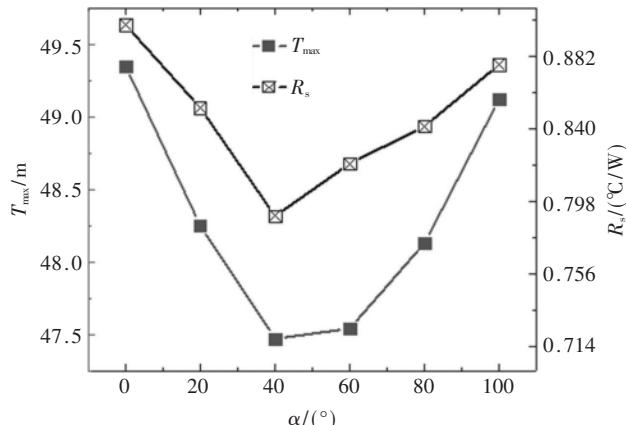


图 7 T_{\max} 与 R_s 随翅片偏转角变化图

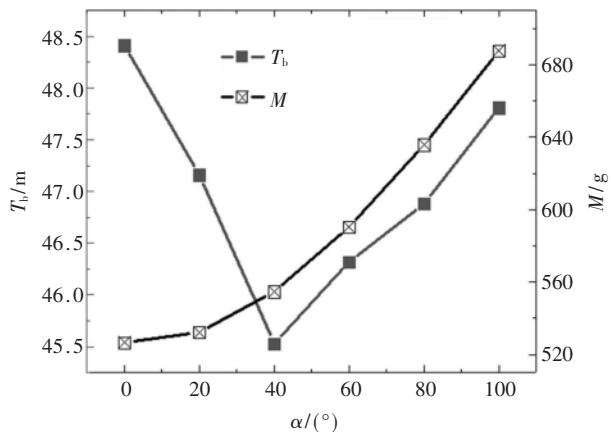


图 8 T_b 与 M 随翅片偏转角变化图

如图 7 所示芯片最高温度和散热器热阻在翅片偏转角为 40° 时出现拐点取得最小值。偏转角大于 40° 时虽然增大了散热面积但是散热器与空气之间的热阻增加，导致芯片温度升高。因此设计圆形底板散热器只考虑增大散热面积并不能达到最好的散热效果。

对比图 8 翅片偏转角为 40° 和 60° 时芯片最高温度和散热器热阻发现 T_{\max} 相差 0.51 °C， R_s 相差 0.03 ($^\circ C \cdot W^{-1}$)，两者散热效果相似，散热器翅片偏转角小于 40° 时散热器质量增加缓慢，翅片偏转角大于 40° 时散热器质量增加迅速。散热器在散热效果相似的情况下要尽量使质量最小，同等热功耗下平均温度最低。

通过以上对比分析发现曲线式翅片偏转角在 40° 时均温效果和散热效果最好，并且在散热效果相似的情况下散热器质量最低，因此曲线式翅片的最佳偏转角为 40°。

5 曲线式翅片散热器样机温度测试

为验证采用热仿真研究 LED 散热的准确性，采用 ADC12 铸造偏转角为 40° 的曲线式翅片散热器样品并完成光源安装。采用铝型材支架支撑实验样品，避免实验模型与其他导热物体接触产生误差。将热电偶与测温点固定，实验温度监测点位置与仿真温度监测点位置相

电源管理 Power Management

同,选择翅片的四个角点为监测点,温度检测点布置示意图如图9所示。恒流电源供电,室内封闭,用空调调节室内温度为25℃,测试前对测试仪器和热电偶调零,通电测试35 min后,温度达到稳定^[10]。样机温度实测如图10所示。

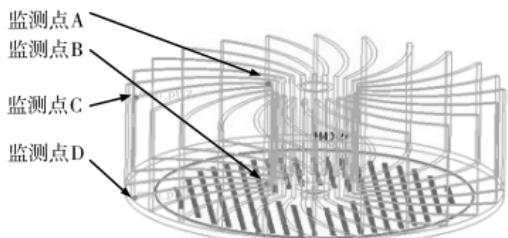


图9 偏转角为40°的曲线式翅片散热器温度监测点布置示意图

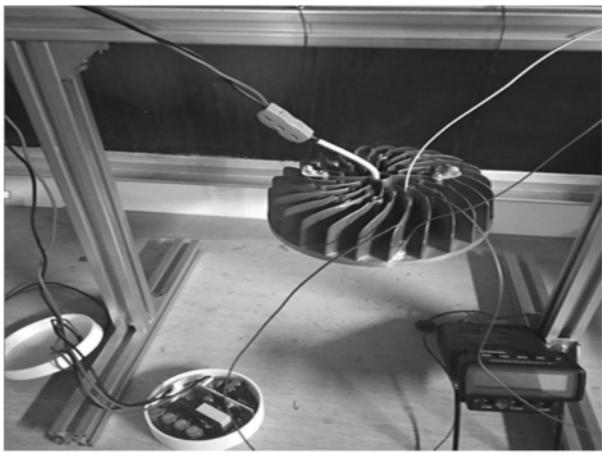


图10 偏转角为40°的曲线式翅片散热器温度实测照片

对比表3热仿真和实验的结果可知各测温点的误差小于4%,表明散热器优化模型的热仿真结果可靠。

表3 偏转角为40°的曲线式翅片散热器仿真与实测温度对比表

测温点	模拟温度/℃	实测温度/℃	误差百分比/%
A	45.52	46.89	2.43
B	46.56	48.48	2.92
C	44.58	45.69	3.56
D	45.37	46.28	1.97

6 结论

本文运用极坐标点拟合法优化直线式翅片散热器模型并进行热仿真分析,对比不同散热器的均温效果、散热性能、散热器质量,得到如下结论。

(1) 散热器底板中心温度、晶元芯片最高温度、散热器热阻在翅片偏转角为40°时出现拐点取得最小值。此时均温和散热效果最好。

(2) 曲线式翅片偏转角为40°和60°时,散热效果近似,但是偏转角为40°时散热器质量较小,更加节省成本。

(3) 偏转角为40°的曲线式散热器比最初的直线式散热器底板中心温度降低2.37℃,中心温度区域面积占底板总面积的比例增加11%,晶元芯片最高温度降低2.21℃。均温和散热效果明显增强。

参考文献

- [1] 李思琪,张善端.大功率LED散热技术研究现状[J].光源与照明,2017(3):13-16.
- [2] 龚美.功率型LED阵列热仿真及散热结构优化[D].广州:广东工业大学,2018.
- [3] 章方军.LED散热器自然对流散热数值模拟与结构优化[D].镇江:江苏大学,2016.
- [4] 周旭,杨平,毛卫平,等.基于正交试验法的COB-LED散热器优化设计[J].轻工机械,2018,36(4):76-80.
- [5] PARK S J,JANG D,LEE K S.Thermal performance and orientation effect of an inclined cross-cut cylindrical heat sink for LED light bulbs[J].International Journal of Heat and Mass Transfer,2016,103:1371-1377.
- [6] 唐帆,郭震宁.LED太阳花散热器开缝交错设计[J].光学学报,2018,38(1):0123001.
- [7] 吕北轩,熊峰.LED灯具散热结构温度分布计算模型及验证[J].半导体光电,2018(2):229-233.
- [8] SCHMID G,VALLADARES-RENDON L G,YANG T H,et al.Numerical analysis of the effect of a central cylindrical opening on the heat transfer of radial heat sinks for different orientations[J].Applied Thermal Engineering,2017,125:575-583.
- [9] 郭健忠,吴佳锦,张麒麟,等.变角度翅片结构对散热器性能的影响分析[J].现代制造工程,2019(3):1-5.
- [10] 刘东静,王浩洁,樊亚松,等.LED汽车前照灯散热结构设计与分析[J].电子元件与材料,2019,38(7):63-68.
- [11] JENG T M.Combined convection and radiation heat transfer of the radially finned heat sink with a built-in motor fan and multiple vertical passages[J].International Journal of Heat and Mass Transfer,2015,80:411-423.
- [12] 唐帆,王丹,郭震宁,等.LED异形灯的散热设计与实验[J].发光学报,2017,38(3):365-371.

(收稿日期:2019-11-29)

作者简介:

饶刚(1973-),男,硕士,副教授,主要研究方向:电子电路与散热。

杨东恒(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向:电子产品散热。

王威(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向:开关电源。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所