

大功率 LED 灯的热分析与热设计

赵 敏, 陈志平*, 张巨勇

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为解决制约大功率 LED 发展的散热问题, 针对一款大功率 LED 灯具进行了热仿真分析, 结果显示芯片结温高达 76.23 °C, 而实际允许的最大结温为 80 °C。为改善散热效果, 提出了如下改进思路: 首先对散热片尺寸进行优化设计, 并研究了界面材料对 LED 结温的影响, 然后在散热片上加装了热管、风扇以及均温板等装置。研究结果显示, 通过采用适当的改进方案能够有效降低灯具结温。

关键词: 大功率 LED 灯; ICEPAK; 热分析

中图分类号: TN305.94; TM923

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)02-0220-04

Thermal analysis TMP thermal design based on high-power LED

ZHAO Min, CHEN Zhi-ping, ZHANG Ju-yong

(College of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the heat dissipation problems of high-power LED lamp, a high-power LED lamp without any optimization was simulated with ICEPAK software. The result shows that the temperature of the chip is 76.23 °C while it is limited at 80 °C. Some improved thoughts were proposed aimed at solving this problem. At first, the heat sink size was designed and optimized, and the influence of the interfacial materials on chip temperature was researched. Then some improved structures such as heat pipe, fans and vapor chamber on heat sink were designed. The result shows that, by using appropriate improvement methods, the lamps junction temperature can be reduced significantly.

Key words: high-power LED; ICEPAK; thermal simulation

0 引 言

LED 是一种直接把电转化成光的固态半导体器件。它作为新型光源, 很大程度上改善了传统灯具的缺点和不足, 但仍然存在制约其发展的难点问题, 其中散热是根本性的问题。对于大功率 LED 灯, 即功率大于 1 W 的 LED, 芯片能量利用率还比较低, 目前的电光转换效率约为 20%, 其余均转化为热能, 而芯片尺寸仅为 $1 \times 1 \text{ mm}^2 \sim 2.5 \times 2.5 \text{ mm}^2$, 导致芯片的功率密度很大(达 1 W/mm^2 量级), 属于高热流密度器件。但是 LED 器件的散热性比较差, 首先因为白光 LED 的发光光谱中不包含红外部分, 即其热量不能依靠辐射释放; 其次, LED 灯具的扩散热阻及接触热阻都很大。而散热性差会导致很严重的后果, 如减少 LED 的光输出、缩短器件的寿命、偏移 LED 所发光的主波长等^[1]。

因此如何提高 LED 灯具散热能力是大功率 LED 灯具实现产业化亟待解决的关键技术之一。

LED 的热管理主要包括 3 个方面: 芯片级、封装级和系统集成散热级^[2]。其中, 芯片是主要的发热部件, 其量子效率决定发热效率, 衬底材料决定芯片向外传热效率; 对封装而言, 封装结构、材料以及工艺直接影响散热效率; 系统集成散热级也就是所谓的外部散热器, 主要包括散热片、热管、风扇、均温板等^[3]。近年来, LED 散热问题逐渐被国内外学术界关注, 相应地开展了各种研究, 然而由于 LED 灯具散热多为经验化设计, 散热系统专业性比较差, 以至于目前 LED 灯具的散热问题仍然很严重。因而, 对大功率 LED 灯具进行热分析和热设计具有重要的现实意义。

在众多解决热问题的方法中, 运用热分析软件对传热体进行实体建模与仿真分析是解决器件散热问

收稿日期: 2011-10-09

作者简介: 赵 敏(1986-), 女, 山西吕梁人, 主要从事热分析与热设计方面的研究。E-mail: wgzhaomin@163.com

通信联系人: 陈志平, 男, 教授, 硕士生导师。E-mail: chen_zp@hdu.edu.cn

题的最有效方法之一^[4],当前用于热分析的软件主要有 ICEPAK、ANSYS、EFD 及 FLOTHERM 等^[5]。其中,ICEPAK 软件以操作简单、能够处理复杂曲面、自动计算流态、可以处理复杂网格、计算速度快、精度高等优点而备受青睐。

本研究选用 ICEPAK 软件对所选定灯具先建模,后仿真计算,求得温度分布,最后在实体模型的基础上对散热片进行优化,并尝试其他的散热技术及散热材料,对比提出更好的散热方案。

1 灯具散热分析

本研究选用浙江某 LED 公司研制的一款大功率 LED 隧道灯作为研究模型,如图 1 所示,该灯具由 LED 灯珠、灯盖、皮垫、反光镜、电路板、散热片及电源等组成。其中,灯珠如图 2 所示,属于集成式封装结构。每个灯珠封装 9 个芯片,三串三并连接起来,封装步骤为:首先用银胶将芯片固定在铜底座上,用金线连接电极,然后将荧光粉和硅胶按一定比例配制并涂覆在芯片的表面上,最后注入封装胶并加装透镜。

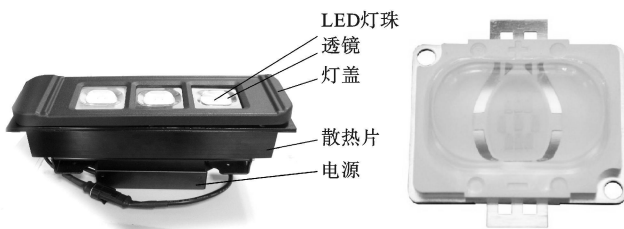


图1 灯具结构



图2 LED灯珠外形

由灯具结构可分析该灯具的散热途径为:

- (1) 芯片—荧光粉层—硅胶—透镜—外部空气;
- (2) 芯片—金线—支架—线路板—散热片—外部空气;
- (3) 芯片—银胶—铜底座—导热硅胶—散热片—外部空气。

由于封装用的环氧树脂热导率只有 $0.2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$,几乎为绝热的,途径(1)的散热可以忽略不计。另外金线的面积很小,其传热效果微乎其微,途径(2)的散热作用也不考虑。所以主要的散热途径为(3),即芯片发出的热量经由银胶、铜底座、导热硅胶,再传导到散热片上,再以对流散热方式将热量散发到空气中。

在灯具的散热途径确定后,本研究运用 ICEPAK 软件对该灯具进行热仿真分析,分析步骤为:建立简化模型、设置边界条件、划分网格并计算。

本研究首先依据上述分析的主要散热途径来对模型进行简化:将 LED 灯珠透镜简化为长方体以减小计算量;将芯片与热沉间的银胶简化为 0.1 mm 的薄板;灯珠与散热片之间的导热硅胶简化为 0.3 mm 的薄板。

然后根据灯具的运用场合和实际工作情况来确定边界条件如下:

(1) 每个芯片功率为 1.5 W ,发光效率为 20% ,所以每个芯片发热功率为 1.2 W ,即将每个 source 的 total heat 定义为 1.2 W 。

(2) 该灯具为隧道灯,且最高温度不会超过 $100 \text{ }^\circ\text{C}$,故不考虑太阳辐射。

(3) 在实际使用过程中,该灯具直接安装在外界空气中,属于自然对流情况,故定义箱体 6 个面均为 opening,并假设环境温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

本研究参考实验结果及相关材料手册,确定各材料特性如表 1 所示。

表1 材料导热系数表(单位: $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$)

材料	银胶	铜	线路板	导热硅胶	散热片	皮垫	透镜
导热系数	5	340	10	5	230	1	1

最后对该灯具划分网格并进行稳态计算后得到整体温度分布结果如图 3 所示。

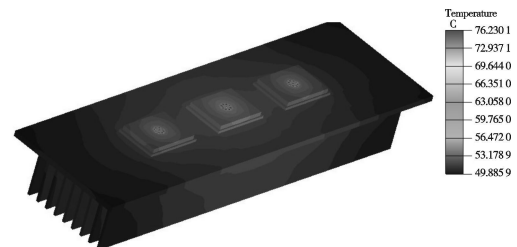


图3 整体温度

图 3 表明灯具最高温度集中在芯片处,且最高温度高达 $76.23 \text{ }^\circ\text{C}$,考虑一定的误差,极有可能超过最大允许结温 $80 \text{ }^\circ\text{C}$,可见,该 LED 灯具目前的散热情况非常差,有必要对目前散热系统进行改善。

2 散热结构改进设计

传统散热技术分为主动式散热和被动式散热,散热片属于被动式散热,即依靠空气自然对流散发热量,而主动式散热包括热管、热电制冷技术、纳米传热技术、微喷散热技术、微通道散热技术、风扇、均温板、冷板等^[6]。对灯具散热结构进行改进的思路为:首先对散热片的尺寸进行优化选择,然后研究了界面材料对散热过程的影响,并设计了其他 3 种方案:在散热片上加装热管、加装风扇、将散热片改用均温板材质。本研究对以上这些方案的仿真结果进行对比与分析后,提出了可行的建议。

2.1 散热片优化方案

目前,大功率 LED 灯使用最多的散热技术是散热片,散热片是利用较大的散热面积来对流散热。对于散热片而言,形状、加工工艺、尺寸及材料是决定散热性能的几个重要因素^[7]。下面主要对散热片的尺寸进

行优化。

散热片主要尺寸包括翅片厚度 A 、翅片间距 B 、翅片高度 H 及散热片底板厚度 C ,如图 4 所示。本例中 $A=2\text{ mm}$, $B=6\text{ mm}$, $H=40\text{ mm}$, $C=4\text{ mm}$ 。

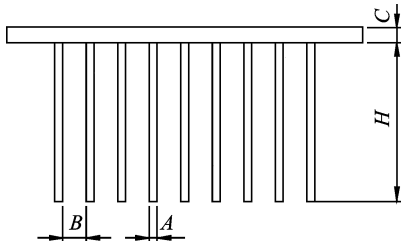


图 4 翅片尺寸

本研究运用 ICEPAK 参数化设计功能来对该隧道灯的散热片进行尺寸优化,优化流程如下:

(1) 首先当 $H=40, C=4$ 时, 分别取 A 为 1.5, 2, 2.5, 3, B 为 4.5, 5, 5.5, 6, 对 A, B 进行组合以得到 16 组值, 仿真计算后得到 16 种情况下的结温, 并将同一 A 值下结温与 B 值的关系绘制成曲线, 如图 5 所示。

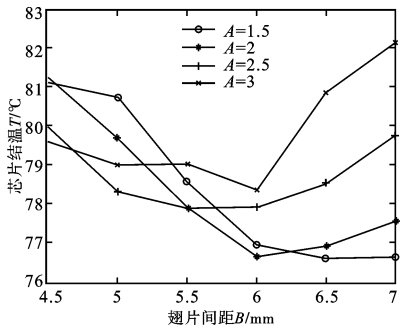


图 5 不同翅片厚度下结温随翅片间距的变化关系

由图 5 可以看出, 对于同一个 A 值, 4 条曲线有类似的变化趋势, 都是随着翅片间距的增大结温先降低后升高, 另外从图中还可以看出, 当 $A=2, B=6$ 时结温最低。

(2) 当 $A=2, B=6, H=40$ 的情况下, 取 C 为 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 得到 C 值与结温的关系, 绘制成曲线, 如图 6 所示。

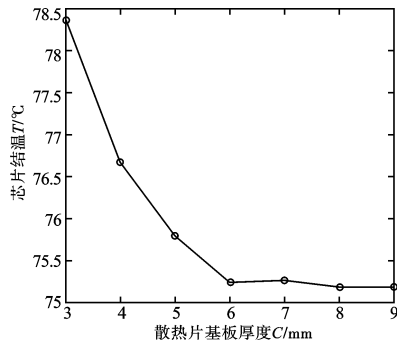


图 6 散热片基板厚度与结温的变化关系

从图 6 可以看出, 随着基板厚度的升高, 结温先快速降低, 随之变得平缓甚至有略微的升高, 且在 C 为 6 时, 取得结温的最小值。

(3) 当 $A=2, B=6, C=6$ 的情况下, 分别取 H 值为 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 得到 H 值与结温的变化关系, 如图 7 所示。

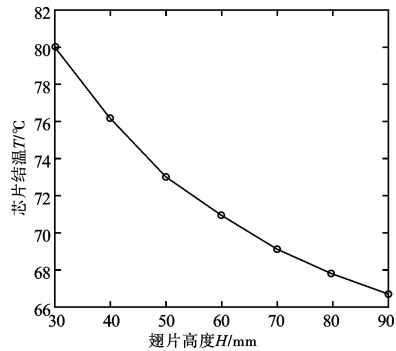


图 7 翅片高度与结温的变化关系

从图 7 可以看出, 随着翅片高度的增大, 结温先大幅降低随后变得缓慢, 可见适当升高翅片高度对于结温的降低作用很大, 另外当 $H=60$ 时为翅片高度和结温的最佳值。

则当 $A=2, B=6, C=6, H=60$ 时散热片的散热效率为最佳, 此时结温为 $70.97\text{ }^{\circ}\text{C}$, 比优化之前大约降低了 $5.35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 可见, 对散热片进行优化的效果很明显。

2.2 加装热管方案

热管是一种优良的导热元件, 外部为铜壁, 内部有吸液芯和冷凝液, 通过液气两相的循环变化, 将 LED 发出的热量导出并散发掉。热管在 LED 上的应用有多种形式, 可以将 LED 芯片直接安装在热管吸热端的顶部, 也可将其加工成平板式、回路式。热管的特点是能够将热量传输到较远的、容易散热的位置, 在实际应用中方便、灵活^[8]。

下面设计了散热片加装热管的散热方案, 加装热管后结构如图 8 所示, 本研究将 2 mm 平板式热管蒸发端穿过芯片底部的热沉, 并以工字型弯折, 冷端垂直穿插在翅片中, 每个芯片底部加装 1 根热管。设置热管的轴向热导率 $30\ 000\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$, 另外两个方向为 $450\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ 。

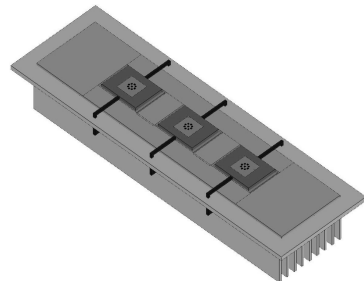


图 8 加装热管后结构

仿真结果显示, 加装热管后芯片结温降低了 $2.24\text{ }^{\circ}\text{C}$, 可见, 加装热管有利于结温的降低, 在以后的研究工作中还可以尝试改变热管安装位置或者尺寸

来得到更好的散热效果。

2.3 界面材料优化方案

热阻是反映阻止热量传递能力的综合参量,等于热流通道上的温度差与耗散功率之比,单位为 K/W。当热量在物体内部以热传导的方式传递时,遇到的热阻称为导热热阻;当热量流过两个接触固体的交界面时,由于缝隙产生的热阻为接触热阻^[9],在灯具的制造过程中,导热硅胶或银胶等界面材料就是用来降低接触热阻的,但是这些界面材料本身的导热率不高,造成了热传导过程中的瓶颈。针对这一热现象,本研究对芯片与铜底座之间的界面材料进行研究,选择了几种不同导热率的界面材料来模拟热分布,其结果如表2所示。

表2 不同界面材料下的芯片温度

界面材料热导率 $\lambda/(W/(m \cdot K))$	芯片最高温度 $t/^\circ C$	芯片最高温度 $t/^\circ C$
2	101.93	69.66
5	49.87	68.26
8	76.23	67.47
10	74.54	66.05

由表2数据可知,界面材料导热率稍微增大,结温将会大幅降低,所以提高界面材料导热率对LED散热有着非常大的作用,应把更多的精力放在设计和选用更好的界面材料上,从而降低界面材料这一导热瓶颈的影响。

2.4 加装风扇方案

风扇属于风冷强制散热,可以较大程度地提高散热片散热效果^[10]。加装风扇方案为:在翅片垂直的端面上分别加装类型为 intake 的轴流风扇,分析结果显示:加装质量流量为 0.01 kg/s 风扇后,芯片最高温度降低了 9.76 $^\circ C$; 加装 0.02 kg/s 风扇后,降低了 16.01 $^\circ C$,可见风扇对于 LED 散热具有明显的效果。

从上述数据可以看出,在增强热传导的同时更应该更加注重热对流的影响。但是加装风扇还存在两个问题:①如何确保风扇寿命和 LED 寿命匹配的问题,一般风扇寿命多为几千小时,而 LED 寿命可长达 5 万小时;②加装风扇会使灯具显得笨重。如果能够有效地解决上述问题,将风扇很好地运用在 LED 灯具上,也不失为一种很好的选择。

2.5 均温板设计方案

均温板的原理与热管相似,但是热管的传热是一维单向的,而均温板是二维的面传热方式。均温板可以使热量分散,减小扩散热阻。该方案是将散热片用均温板材料来制造,仿真结果显示,均温板的散热效

果比较明显,结温降为 71.09 $^\circ C$,降低了 5.15 $^\circ C$,另外,散热片在平面方向上的温度非常均匀,可见均温板也是一种好的选择。

3 结束语

本研究针对一款大功率 LED 隧道灯进行了热分析与改进设计,并应用 ICEPAK 软件对改进前后的 LED 灯具进行温度仿真分析,结果显示,要增强 LED 灯具的散热性能可以采取下面 3 种方式:①加装风扇或者其他方式来增强强制对流作用;②采用均温板材料或者热管技术;③提高界面材料热导率或者选用其他导热率高的界面材料。另外,从新材料和新工艺等方面进行热设计也是目前的热门趋势,新材料如陶瓷基板等,新工艺如将芯片直接封装在特别设计的散热器上等,对此进行具体研究具有深远的意义。

参考文献(References):

- [1] 周龙早. 半导体照明封装的热量管理及失效分析研究[D]. 武汉:华中科技大学材料科学与工程学院,2010.
- [2] 张晓峰. 功率型 LED 的热学分析和研究[D]. 天津:天津大学电子信息工程学院,2010.
- [3] 邵旭敏. LED 关键应用技术研究[D]. 杭州:浙江大学控制科学与工程学系,2011:16-51.
- [4] 陈华. 8 W 白光 LED 多芯片组件的热分析[D]. 武汉:华中科技大学材料科学与化学工程学院,2007.
- [5] 杨世铭,陶文栓. 传热学[M]. 5 版. 北京:高等教育出版社,2008.
- [6] 杨传超. 大功率 LED 多芯片模块散热器设计与封装结构热阻分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学材料科学与化学工程学院,2010.
- [7] 李蓉,施浒立,陈志平. LAMOST 围挡通道采用导热管冷却的热场计算与分析[J]. 机电工程,2004,21(9):21-23.
- [8] ARIC M. Chip Scale Thermal Management of High Brightness LED Packages [C] // The Fourth International Conference on Solid State Lighting Proceedings of the SPIE, Bellingham:[s.n.],2004:214-223.
- [9] PETROSKI J. Understanding Longitudinal Fin Heat Sink Orientation Sensitivity for LED Lighting Applications [C] // Proc International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition, Hawaii:[s.n.],2003:111-117.
- [10] ACIKALIN T,GARIMELLA S V,PETROSKI J. Optimal Design of Miniature Piezoelectric Fans for Cooling Light Emitting Diodes[C] // The Ninth Intersociety Conference on Thermal and Thermo-mechanical Phenomena in Electronic Systems, USA:[s.n.],2004:663-671.

[编辑:张翔]