

# 热管型散热器换热性能的实验研究及数值模拟

刘召军<sup>1</sup> 谢旭良<sup>1,2</sup> 李增耀<sup>1</sup> 屈治国<sup>1</sup> 陶文铨<sup>1</sup>

(1. 西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049; 2. 长安大学汽车学院, 陕西 西安 710064)

**摘要** 本文对一种可用于 LED 组灯源的热管型散热器在大空间自然对流条件下的换热性能进行了实验研究和数值模拟, 主要研究了散热器倾斜角度对其换热性能的影响。研究表明: 散热器的倾斜角度对散热器的换热性能有较大影响, 散热器换热性能随倾斜角度的增加先恶化再变好, 在倾斜角度为 30° 左右时其换热性能最差; 在相同倾斜角度下, 辐射换热热量随加热功率的增大呈近似线性增大, 但辐射换热热量占总换热量的比例较小, 在 7% 以下。

**关键词** 热管型散热器; 倾斜角度; 换热性能; 数值模拟

**中图分类号:** TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2009)07-1178-03

## EXPERIMENTAL RESEARCH AND NUMERICAL SIMULATION ON THERMAL PERFORMANCE OF A HEATPIPE-TYPE HEAT SINK

LIU Zhao-Jun<sup>1</sup> XIE Xu-Liang<sup>1,2</sup> LI Zeng-Yao<sup>1</sup> QU Zhi-Guo<sup>1</sup> TAO Wen-Quan<sup>1</sup>

(1. The State Key Lab. of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract** Experimental research and numerical simulation are conducted in this paper to investigate the influence of inclined angle on the thermal performance of heatpipe-type heat sink used for LED lamp cooling by natural convection in infinite space. It is found from the results that the inclined angle affects thermal performance significantly. The heat dissipation of the heat sink firstly deteriorates with increasing inclined angle, reaches its worst value around 30°, and then increases. In the same inclined angle condition, the radiation heat transfer increases progressively with power input. However, the ratio of radiation heat transfer over the total power input is below 7%.

**Key words** heatpipe-type heat sink; inclined angle; thermal performance; numerical simulation

## 0 前言

由于 LED 光源具有发光效率高、光色纯、性能稳定可靠、使用寿命长、环保节能及成本低等优点<sup>[1,2]</sup>, 自其问世起, 就受到世界各国的广泛关注。近年来随着高光效、高亮度的白色 LED 的开发成功, 通过将多个 LED 组装在一起设计成实用的 LED 照明系统, 从而克服了单个 LED 功率小、光亮度低的缺点, 使得 LED 在照明领域的应用成为可能。但 LED 产生的热量如不能及时散出, 会使 LED 元件温度升高, 导致发光效率降低, 加速元件老化, 甚至失效。因此, 如何对 LED 进行有效的冷却就成为了真正实现 LED 照明的关键所在。

本文针对一种用于道路照明的 LED 组灯源的热管型散热器, 采用实验研究和数值模拟的方法, 研究了大空间自然对流条件下安装倾斜角度对该热管型散热器换热性能的影响。

## 1 物理模型

本文所研究的热管型散热器的外形轮廓如图 1 所示。该散热器由 16 片各自独立的铝材翅片组成, 每片翅片内部均为填充介质为丙酮的热管型蒸汽腔, 其底部与铝制基板紧密连接。在实际应用中, 可将基板底面与 LED 组灯源照明电路相接触, 将 LED 照明电路所产生的热量通过散热器传递到周围环境中, 而翅片采用热管型蒸汽腔是为了提高翅片表面温度的均匀性, 从而提高散热器的换热性能。

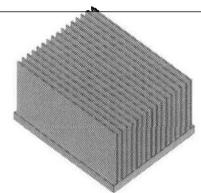


图 1 热管型散热器外形示意图

Fig.1 Schematic diagram of heatpipe-type heat sink

## 2 实验研究

实验系统如图 2 所示。在实验中, 散热器的基

收稿日期: 2008-12-31; 修订日期: 2009-06-19

基金项目: 国家重点基础研究项目 (973)(No.G2007CB206902) 资助

作者简介: 刘召军 (1983-), 男, 河北高邑人, 硕士, 主要从事强化传热与电子元器件冷却方面的研究工作。

板底面覆以电热膜, 模拟 LED 组灯源所产生的热量, 并在电热膜的外面用泡沫塑料绝热。电热膜的加热功率由交流电源提供并通过接触式调压器进行初调, 最终由三相电参数测量仪来读取实际施加的电压、电流和功率, 加热功率以 50 W 为间隔从 50 W 增加到 250 W, 并使用交流稳压器来降低电压波动。在散热器上共布置了 25 对热电偶, 其中 1~5 号热电偶布置在基板底面, 6~9 号和 22~25 号热电偶分别布置在散热器两个最外侧翅片的外表面, 其余热电偶布置在中间翅片上, 另外用 3 对热电偶测定环境温度。图 2 中的  $\alpha$  为散热器基板底面和水平面的夹角, 即为实验中的散热器底面倾斜角度, 在实验过程中, 散热器底面的倾斜角度从  $0^\circ$  变化到  $90^\circ$ , 间隔为  $15^\circ$ , 共 7 个角度。

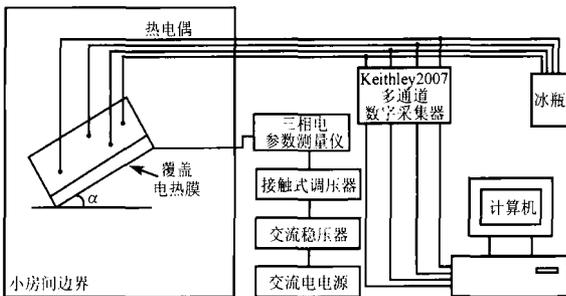


图 2 实验系统示意图  
Fig. 2 Schematic diagram of experimental system

图 3 为散热器底面的最高温度在 7 种不同倾斜角度下随加热功率的变化曲线。从图中可以看出, 在相同的倾斜角度下, 散热器底面的最高温度近似线性地随加热功率的增大而增加, 在大功率下略有变化。在加热功率相同而倾斜角度不同的条件下, 散热器底面的最高温度有  $4\sim 6^\circ\text{C}$  的差别, 而且最高温度随着倾斜角度的增大是先升高再降低, 其中倾斜角度为  $30^\circ$  左右时, 散热器底面的最高温度达到最大值, 此时的换热性能最差。

图 4 为在两种不同倾斜角度下、不同加热功率时散热器不同位置的温度变化曲线。从图中可以看出, 散热器底面的温度在各种加热功率下均比其它位置的温度高。散热器底面的温度分布很不均匀, 最大偏差在  $7^\circ\text{C}$  左右, 并且温度的不均匀性随着倾斜角度和加热功率的增大而增大。散热器两个最外侧翅片外表面上的温度在各种加热功率下均比较低, 这是由于这两个侧面的辐射换热量大, 冷却条件比较好的缘故, 同时还可以看出这两个侧面上的温度分布也不均匀, 最大偏差在  $8^\circ\text{C}$  左右。从以上的分析中可以看出, 倾斜角度和加热功率对该热管型散热器的均温性能有较大的影响, 倾斜角度太大会降低其均温作用。

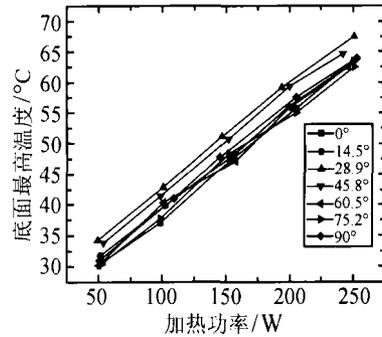
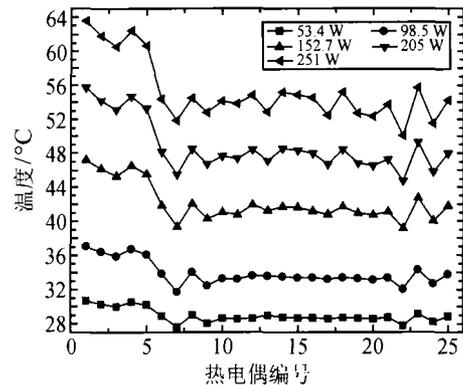
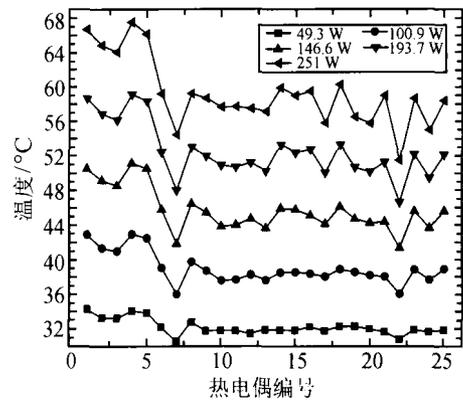


图 3 底面最高温度在不同倾斜角度下随加热功率的变化  
Fig. 3  $T_{\max}$  vs. power input in different inclined angles



(a) 倾斜角度为  $0^\circ$



(b) 倾斜角度为  $28.9^\circ$

图 4 不同倾斜角度下散热器不同位置的温度分布  
Fig. 4 Temperature distributions on heat sink in different inclined angles

### 3 数值计算

在数值计算中, 假设流动是三维不可压稳态流动, 并引入了 Boussinesq 假设<sup>[3,4]</sup>处理浮升力的作用, 采用大空间无限远处的温度  $T_\infty$  作为参考温度。

散热器的基板底面假定为等热流边界条件, 按实际加热功率给定。大空间边界均设为压力入口边界条件<sup>[5]</sup>, 环境压力为一个大气压, 环境温度取为  $20^\circ\text{C}$ 。由于实验中热管的均温作用并不明显, 所以翅片当作实心铝翅来处理。固体表面的净辐射换热量可作为位于气体与固体耦合界面两侧的两个控制容积的附加源项<sup>[6,7]</sup>来处理, 通过 UDF<sup>[5]</sup>二次开发添加到 FLUENT 计算当中。铝的发射率取为 0.05。

本文对散热器在  $45.8^\circ$  倾斜角度下, 加热功率以  $50\text{ W}$  为间隔从  $50\text{ W}$  变化到  $250\text{ W}$  的范围内进行数值计算, 由数值计算所得的散热器底面的最高温度与实验结果的对比如图 5 所示。从图中可以看出, 两者吻合较好, 只是在较大的加热功率下有些偏差。

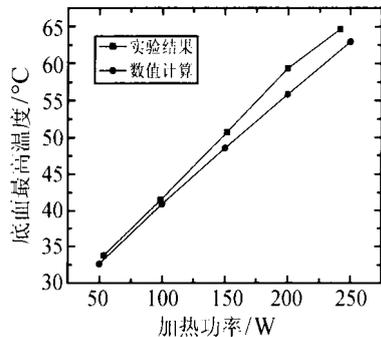


图 5 数值计算与实验结果的对比  
Fig. 5 Comparison between numerical and experimental results

图 6 为不同加热功率下计算所得的辐射换热量及其在总加热量中所占的比例。从图中可以看出, 辐射换热量随加热功率的增大几乎呈线性增大, 但辐射换热量在总加热量中所占比例并不大, 而且随加热功率的增大有所降低。这是由于随着加热功率的增大, 散热器表面温度和周围环境温度的温差增大, 从而浮升力增大, 强化了自然对流换热效果, 同时除了两个最外侧的翅片外, 其余 14 个翅片表面的角系数较小, 相比较而言, 辐射换热量的增加并不明显。

本文在加热功率为  $100\text{ W}$ , 倾斜角度从  $0^\circ$  以  $30^\circ$  为间隔增加到  $90^\circ$  的范围内, 对散热器底面的最

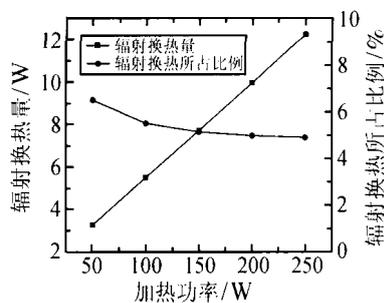


图 6 不同加热功率下的辐射换热量及其所占比例  
Fig. 6 Radiation heat transfer and its ratio vs. power input

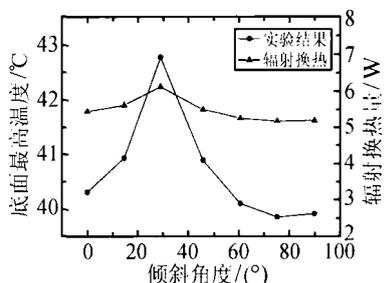


图 7 不同倾斜角度下的底面最高温度与辐射换热量  
Fig. 7  $T_{\max}$  on base bottom and radiation heat transfer vs. inclined angles

高温度和相应的辐射换热量随倾斜角度的变化进行数值计算。从图 7 中可以看到, 在倾斜角度为  $30^\circ$  左右时, 底面最高温度达到最大值, 即此时散热器的换热性能最差, 这一结果与实验结果相吻合。同时, 在相同加热功率的条件下, 辐射换热量在不同倾斜角度时变化并不大, 最大偏差仅  $1\text{ W}$  左右。

## 4 结 论

本文采用实验测试和数值计算的方法研究在大空间自然对流条件下, 散热器倾斜角度对其换热性能的影响, 得出以下结论:

(1) 在研究的范围内, 散热器换热性能随倾斜角度的增大先恶化再变好, 在倾斜角度为  $30^\circ$  左右时其换热性能最差。

(2) 在实验研究中, 散热器底面的最高温度及最外侧两个翅片的外表面温度分布的均匀性受倾斜角度影响较大, 在较大的倾斜角度下, 散热器的温度均匀性较差。

(3) 数值计算的散热器底面最高温度与实验测试结果吻合较好。在相同倾斜角度下, 辐射换热量随加热功率的增大呈近似线性增大, 但辐射换热量占总换热量的比例较小, 在 7% 以下。

## 参 考 文 献

- [1] Hewlett-Packard, Co. Benefits of Lumileds Solid State Lighting Solutions vs. Conventional Lighting. Application Note, 1998, 1149(6): 1-4
- [2] 雷玉堂, 黎慧. 未来的照明光源-白光 LED 技术及其发展. 光学与光电技术, 2003, 1(5): 33-34  
LEI Yu-Tang, LI Hui. Future Lighting Source-White LED Technology and Development. Optics & Optoelectronic Technology, 2003, 1(5): 33-34
- [3] Gray Dd, Giorgin A. The Validity of the Boussinesq Approximation for Liquids and Gases. International Journal of Heat Mass Transfer, 1976, 19: 545-551
- [4] 陶文铨. 数值传热学. 第二版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001  
TAO Wen-Quan. Numerical Heat Transfer. 2<sup>nd</sup> ed. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001
- [5] 杨世铭, 陶文铨. 传热学. 第四版. 北京: 高等教育出版社, 2006  
YANG Shi-Ming, TAO Wen-Quan. Heat Transfer. 4<sup>th</sup> ed. Beijing: High Education Press, 2006
- [6] 陶文铨, 李芜. 处理区域内部辐射导热联合作用的数值计算方法. 西安交通大学学报, 1985, 19(3): 65-76  
TAO Wen-Quan, LI Wu. A Numerical Scheme for Heat Conduction Problems involving Radiation Exchange within Solution Domains. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1985, 19(3): 65-76
- [7] ZHAO Cy, TAO Wq. Natural Convections in Conjugated Single and Double Enclosures. Heat and Mass Transfer, 1995, 30(3): 175-182