[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.011

LED 路灯新型热管散热器散热研究

王林习，虞　斌，沈中将，王佩顺

（南京工业大学 机械与动力工程学院，江苏 南京　211816）

摘　要：LED(light emitting diode)结温过高不仅会使光波波长漂移，还会使发光效率和寿命下降，为此设计了一种热管翅片散热结构，并运用 ANSYS Icepak 热分析软件对该结构进行了参数化分析设计，得到了 LED 最高结温小于 70 ℃时的最优结构参数。同时建立了翅顶为恒温的数学方程，计算验证翅片温度分布，结果显示翅片温度分布相近，散热器整体温度分布均匀，整体温差小于 5 ℃。表明设计的热管翅片散热结构满足大功率 LED 路灯的使用要求。

关　键　词：LED 路灯；散热；热管；模拟；翅片方程

中图分类号：Th172.4　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005-2895(2015)05-0047-04

Heat Dissipation Research on New Type Heat Pipe Radiator of LED Street Lamp

WANG Linxi, YU Bin, SHEN Zhongjiang, WANG Peishun

(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: Excessive junction temperature of LED (light emitting diode) not only drifts the light wavelength, but also decreases luminous efficiency and lifetime. A heat pipe cooling fin structure was designed by thermal analysis software ANSYS Icepak to analyze the structure, and the optimal structure parameters were obtained when maximum junction temperature of LED was less than 70℃. In addition, the thermostat mathematical equation of a winged top was established to verify the fin temperature distribution. The results show that the temperature distribution of the fin is similar, and the overall temperature distribution of radiator is uniform. It is found that the overall temperature difference is less than 5℃. It indicates that the heat dissipation structure is satisfied the use requirements of high-power LED street lamp.

Key words: LED street lamp; heat dissipation; heat pipe; simulation; fin equation

LED 作为继白炽灯、荧光灯、高强度放电灯(HID)以来的第4代新型固态照明光源，以半导体中的载流子发生复合而引起光子发射，直接发光[1]。LED 光源能耗仅为白炽灯的 10%，荧光灯的 50%；采用固体封装，寿命是荧光灯的 10 倍、白炽灯的 100 倍，且无紫外光、红外光等辐射，还能避免灯管破裂溢出汞的二次污染[2]。LED 光源具有广阔的应用前景，众多国家和地区都相继发布了各自的“半导体照明计划”。当前 LED 光电转换效率较低，加之 LED 芯片面积小，灯具空间狭窄，使得 LED 热流密度急剧增大。LED 结温每升高 10 ℃，发光效率就下降 6% ~8%，寿命缩短 50%[3]。为解决 LED 散热问题，结合热管技术与翅片散热，设计了一种新型散热结构，并对该结构进行了参数化分析设计，研究了对流换热系数与表面积对散热的影响，得到了散热器最优尺寸参数。

1　模型建立

1.1　计算模型与空间

在热管散热器上、下平板热管之间设置散热翅片，散热器结合了热管的高导热性、良好的均温性与散热翅片增大散热面积的优点。热管散热器的底部是热管的蒸发段，竖直立板可以看成绝热段，上部则为冷却段，上、下平板热管之间的翅片不但增大了散热面积，而且增加了结构的可靠性，结构如图1(a)所示。

在自然对流开放环境中，计算区域应设定的足够

收稿日期：2015-05-20；**修回日期**：2015-06-01

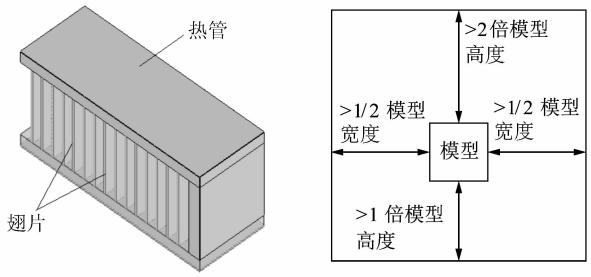
作者简介：王林习(1987)，男，河北邯郸人，硕士研究生，主要研究方向为高效传热传质设备。E-mail：lxw993@163.com

大,尽量减小对结果准确性的影响,计算空间如图 1(b)所示[4]。根据经验一般设置为:

1) 模型到上方的距离取大于 2 倍模型高度;

2) 模型到下方的距离取大于 1 倍模型高度;

3) 模型到 2 个侧面的距离取大于 1/2 倍模型宽度。



(a) 散热器模型　(b) 计算空间

图 1　散热器模型与计算空间

Figure 1　Radiator model and computing space

计算区域外边界设定为开孔条件(opening),用来模拟模型放置在开放环境中,opening 表示空气能够流入、流出,计算空间设定为 1 m^3。热管散热器在大空间内主要散热方式为自然对流换热,考虑重力因素的影响,应用有限体积方法对控制方程组进行离散。对大多数电子器件散热模型而言,零方程模型具有较高的计算精度,可以满足计算要求。连续性方程与动量方程的收敛标准为 10^{-3},能量方程的收敛标准为 10^{-7}。散热器散热方式主要是导热和对流换热,采用 Bousinessq 假设:

1) 散热器的翅片、基板与热管内部的传热过程均为为三维、稳态导热;

2) 空气属性设置成常数;

3) 连续性方程和能量方程中都将密度设为常数,动量方程浮力项除外;

4) 能量方程中不考虑黏性耗散的影响。

那么,自然对流的微分方程组为:[5]

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}=0, \tag{1}$$

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=v\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+g\beta(T-T_\infty), \tag{2}$$

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\alpha\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}。 \tag{3}$$

式中:u,v —分别为 x,y 方向上的速度/($m\cdot s^{-1}$);β —空气的膨胀系数/(K^{-1});T —散热器温度/K;T_∞ —主流空气温度/K;g —重力加速度/($m\cdot s^{-2}$);α —热扩散率/($m^2\cdot s^{-1}$)。

2　结构参数设计与分析

利用 ANSYS Icepak 电子热分析软件研究了翅片间距、翅片高度、LED 芯片间距对散热性能的影响,将上述变量做正交试验设计,分析散热原理并得到各参数最优值。

2.1　翅片间距对散热性能的影响

计算翅片最佳间距的数学方程,主要有以下 2 种[6]:

1) 温度恒定的竖直平板最佳间距

$$S_1=2.71(R_a/L^4)^{-1/4}; \tag{4}$$

2) 热流密度均匀的竖直翅片最佳间距

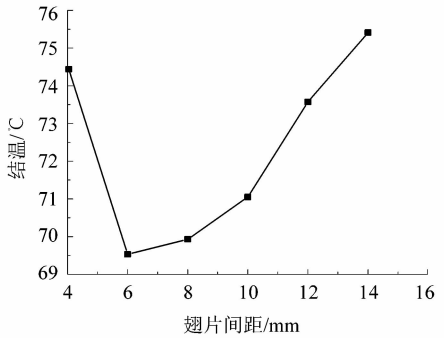
$$S_2=2.12(R_a/L^5)^{-1/5}。 \tag{5}$$

式中:R_a 为雷利数,L 为翅片长度。

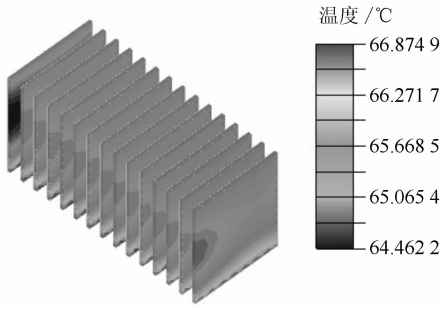
将翅片间距设置为变量,其余参数不变,通过改变翅片间距来研究 LED 结温的变化规律。翅片间距变化范围为 4 ~ 14 mm,LED 结温随翅片间距变化如图 2(a)所示。翅片间距为 4 ~ 6 mm 时,结温从高到低变化,6 mm 时温度最低,8 mm 次之;在间距 8 ~ 14 mm 时,LED 结温逐渐上升。在开始阶段,翅片间距过小,空气流动过程中阻力较大,使得空气进入翅片间参与自然对流换热的流量减少,翅片壁面附近形成的温度边界层难以发展和分离,翅片与空气之间的换热效果下降[7]。此时,对流换热系数大于散热表面积对散热性能的影响;之后翅片间距继续增大,各个翅片壁面的温度边界层能够得到发展并形成分离,此时散热表面积有着较重要的作用,因为散热表面积的不断减小使散热能力下降,芯片的结温开始上升。翅片间距为 8 mm 时翅片温度分布如图 2(b)所示。虽然间距为 8 mm 时结温比 6 mm 高 0.8 ℃,但翅片质量减少了近 20%,故间距选定为 8 mm,与式(5)的计算结果相近。

2.2　翅片高度对散热性能的影响

将翅片高度设置为变量,其余参数不变,通过改变翅片高度来研究结温的变化规律,得到 LED 结温随翅片高度变化如图 3(a)所示,翅片高度为 80 mm 时散热器温度场分布如图 3(b)所示。随着高度的增加,LED 结温在开始阶段下降很快,之后趋势变得缓慢。在自然对流换热中,翅片间温度边界层从底板上部形成随翅片高度逐渐发展,至上板下部结束。随着高度的增加,温度边界层也不断发展,由厚到薄,最后在上板下部达到最厚。翅片高度增大,散热器与周围空气自然对流换热的面积和空间增加,使得自然对流换热热阻大幅度降低,边界层厚度减小,自然对流换热效果得到



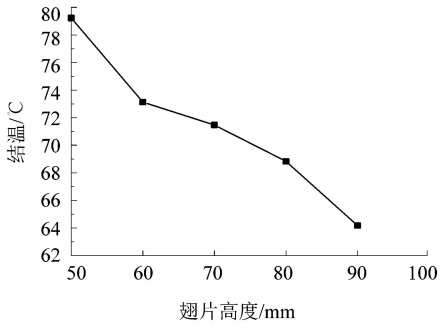
(a) 间距变化曲线



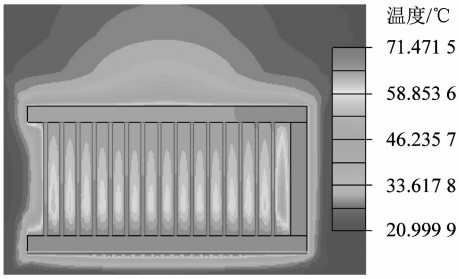
(b) 温度场

图 2　温度随翅片间距变化曲线与温度分布

Figure 2　Curves of temperature change with fin spacing and temperature distribution



(a) 高度变化曲线



(b) 温度场

图 3　散热器温度随翅片高度变化曲线与温度场

Figure 3　Curve of radiator temperature change with fin height and temperature field

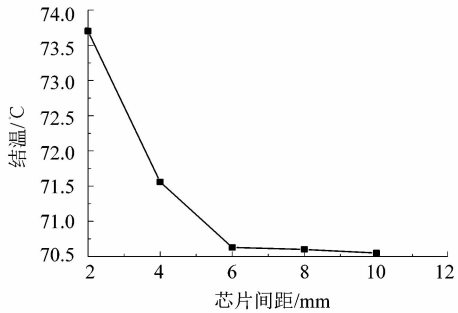
加强,散热器的散热能力得到提高[8];翅片高度进一步增加,增加换热面积和提高对流换热系数的效果逐渐减弱,最后结温曲线趋于平缓,再进一步增加高度对散热性能的影响有限。此外考虑到散热器高度受路灯顶部空间限制以及成本消耗,因此高度优先选定为 80 mm。

2.3　LED 芯片间距对散热性能的影响

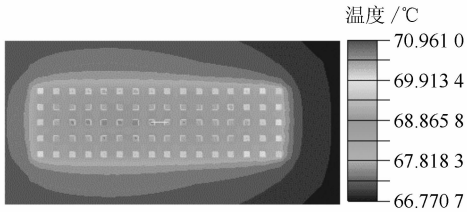
将芯片间距设置为变量,其余参数不变,研究 LED 芯片间距变化对散热性能的影响。芯片功率为 1 W,共 80 颗,LED 结温随芯片间距变化如图 4(a)所示。LED 芯片温度场显示:当芯片全部集中在一起(间距 2 mm)时 LED 结温最高,散热效果最差,随着间距增大,结温逐渐降低,芯片间距为 6 mm 时,温度场分布如图 4(b)所示;之后随着间距增加,温度有所下降,但下降的趋势逐渐变得缓慢,进一步增加间距对芯片温度的影响有限。所以,LED 芯片间距应取 5 mm 以上,可以有效地防止"热点"的出现[9],以防结温过高,导致芯片失效。

2.4　正交试验设计

将上述参数变量进行正交试验[10],对散热器尺寸



(a) 温度随芯片间距变化曲线



(b) 温度场

图 4　散热器温度随芯片间距变化曲线与温度场

Figure 4　Curve of radiator temperature change with chip interval and temperature field

进行优化,采用方差分析方法进行 F 检验,根据 F 值大小,分析各参数对结温的影响,详见表 1。

表 1 散热器正交试验安排

Table 1 Radiator orthogonal test arrangement

序号	翅片间距/mm	翅高/mm	芯片间距/mm	最高温度/℃
1	6	60	4	76.94
2	6	70	6	70.48
3	6	80	8	63.84
4	8	60	6	72.66
5	8	70	8	69.35
6	8	80	4	64.66
7	10	60	8	76.52
8	10	70	6	72.09
9	10	80	4	68.79
F 值	7.33	52.53	2.66	

正交试验表中显示第 3 组结温最低,第 6 组结果次之。从 9 组试验参数的 F 值可以得到,各参数对结温影响大小依次为:翅高、翅片间距、芯片间距。

公式(4)中 $S = 5.52$ mm,公式(5)中 $S = 8.46$ mm,表 1 中第 6 组仅比第 3 组高 0.8 ℃,但翅片质量减轻 20% 以上,所以翅片间距选 8 mm。所以,优化后的散热器尺寸为翅片高度 80 mm,翅片间距 8 mm,芯片间距 6 mm。

3 翅顶为恒定温度的数学方程

从前面得到最优结构参数值,建立翅片为恒温的数学方程。热管散热器上、下均为平板热管,上、下边界条件可视作为恒定温度,那么边界条件可以表述如下[6]:

$$T(l=0)=T_b;T(l=H)=T_H。\tag{6}$$

式中:T_b 为翅基温度,T_H 为翅顶温度,T_∞ 为周围环境温度,翅片高度为 H,l 为翅片上距翅基的距离,是变量,取值为 10,20,30,40,50 和 60 mm。

A_c 为翅片横截面积,p 为截面周长,h 为对流换热系数,k 为导热系数,将边界条件代入方程:

$$\frac{d^2T}{dx^2}-\frac{hp}{kA_c}(T-T_\infty)=0。\tag{7}$$

得到翅顶为恒定温度的翅片温度方程的解为:

$$T-T_\infty=\frac{(T_b-T_\infty)\sinh\alpha(H-l)+(T_H-T_\infty)\sinh\alpha x}{\sinh\alpha H}。\tag{8}$$

在散热器立板上设置温度监测点,对比计算与模拟得到的温度值,结果如图 5 所示,两者结果相近。

4 结语

本文利用电子热分析软件Icepak,对LED路灯热管翅片散热器在大空间自然对流散热条件下进行了数值模拟研究,通过正交试验设计的方法得到了最佳结构尺寸参数,各参数对结温影响大小依次为:翅片高度、翅片间距、芯片间距。此外,散热器翅顶为恒温的温度分布方程表明,模拟温度与计算温度相近。与相同结构的其他散热器相比,新型热管散热器整体温度分布均匀,散热器整体温差在 5 ℃之内,最高 LED 结温小于 70 ℃,对大功率 LED 路灯散热器的设计具有参考价值。

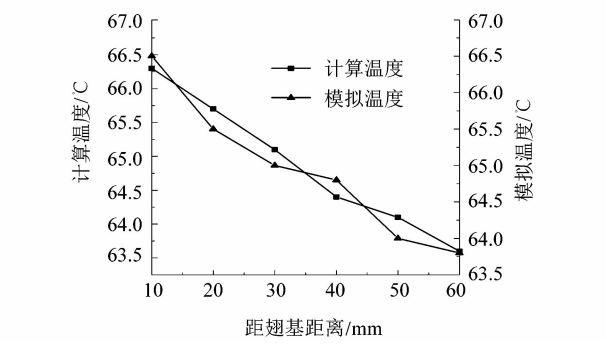


图 5 翅片温度分布对比

Figure 5 Comparison of fin temperature distribution

参考文献:

[1] 沈忠良,卢冰,李思文,等. 大功率 LED 强化散热技术进展[J]. 轻工机械,2013,31(2):107 - 112.

[2] 王亦伟,张建新,岑继文,等. 大功率 LED 热管散热器的模块化设计与研究[J]. 半导体光电,2012,33(4):494 - 497.

[3] 陈启勇,何川,高园园. 大功率 LED 路灯散热器自然对流的数值研究[J]. 半导体光电,2011,32(4):498 - 501.

[4] 许智. 新型 LED 热管散热器性能研究及其结构优化[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012:12 - 16.

[5] 王超. 电子元器件自然对流散热器的设计探讨[C]//2005 FLUENT 中国用户大会论文集. 上海:飞昂软件技术(上海)有限公司,2005:344 - 348.

[6] SHABANY Y. 传热学:电力电子器件热管理[M]. 于小玲,吴伟峰,刘飞龙,译. 北京:机械工业出版社,2013.

[7] 梁融,聂宇宏,聂德云,等. LED 散热器散热特性分析及结构优化[J]. 照明工程学报,2014,25(1):94 - 97.

[8] BING Luiyi. On thermal structure optimization of a power LED lighting[J]. Procedia Engineering,2012,29:2765 - 2769.

[9] FU H K,WANG C P,CHIANG H C,et al. Evaluation of temperature distribution of LED module[J]. Microelectronics Reliability,2013,53(4):554 - 559.

[10] 刘红,梁华,蒋兰芳. 分布式大功率 LED 路灯散热器的结构设计[J]. 轻工机械,2011,29(4):97 - 100.

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.012

减压冷藏系统的真空配置方法

汪 洋,刘宝林

(上海理工大学 生物热科学研究所,上海 200093)

摘 要:针对目前实验研究中出现对真空预冷和减压冷藏2种技术的混淆,文中从真空预冷和减压贮藏的基本原理和运行时系统负荷差异产生的根本原因上对2种技术予以区分。结合不同类型真空泵的使用特点和不足,对减压冷藏系统的真空部分进行了详细的设计校核。本文提供的设计和校核方法可为减压冷藏装置真空系统的选型设计提供参考。

关 键 词:冷藏;减压冷藏;真空系统;真空泵

中图分类号:TS255.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-2895(2015)05-0051-04

Method of Vacuum Configuration in Hypobaric Storage System

WANG Yang, LIU Baolin

(Institute of Biothermal Sciense, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Basic principle and primary cause of system loading difference were analyzed to distinguish vacuum pre-cooling from hypobaric storage. With use features and shortcomings of different vacuum pumps, detailed design verification was carried out to vacuum part of hypobaric storage system. The design and verification method given can provide a reference to the design of hypobaric storage vacuum system.

Key words: refrigeration; hypobaric storage; vacuum system; vacuum pump

减压冷藏技术就是利用低压抑制果蔬的呼吸作用以及贮藏时果蔬内部的一些酶促反应的原理,通过生理活动的抑制,使食品在贮藏期间内耗减少、保持果蔬质量的一种冷藏方式。减压冷藏由于可以大大延长果蔬的保质期,近年来,不少学者研究了在减压冷藏的条件下黄金梨、番茄和莴苣等果蔬的贮藏效果,验证了这一冷藏方式的可靠性。但是,国内的减压冷藏技术还不够完善,设备管理使用方式也不够健全,造成系统在某些情况下的选择和使用不合理的现象。

1 减压冷藏技术和真空预冷的区别

1.1 原理不同

真空预冷[1]是利用抽真空使压力降低的方法,在较低的压力下,水的沸点降低而蒸发吸热,通过水分的蒸发带走食品内部的热量从而使温度降低的一种方法。而减压贮藏[2]主要是依靠系统的真空系统营造的低压环境,在低压环境中,空气中氧气和二氧化碳的体积分数减小抑制乙烯等物质的合成和释放,抑制微生物的生长,从而使果蔬得以最大限度地保持高品质的状态。

1.2 系统负荷的不同

减压冷藏系统和真空预冷系统都包括制冷系统和真空系统这两大部分,但是在真空预冷系统中制冷系统负荷主要用来凝结通过冷阱的水蒸气,而减压冷藏系统中制冷系统主要提供贮藏时需要的冷量,减压贮藏系统并不设置冷阱。采用真空系统降压时,由于真空预冷需要靠水的蒸发带走热量,因此真空系统的负荷较大[3]。而减压冷藏系统的冷负荷主要依靠制冷系统提供,不需要依靠水的蒸发带走热量,因此在两种设备设计计算时,由于真空泵的负荷不同,真空系统的设计和泵的组合是不同的。

1.3 减压冷藏系统及其装置

减压冷藏保鲜系统[4-5]包括制冷、减压、换气和加湿4大部分,是集快速降压、低压换气和贮藏保鲜等功能为一体的装置。该保鲜装置可以实现果蔬、花卉和

收稿日期:2015-01-06;**修回日期**:2015-03-13

基金项目:"十二五"国家科技支撑计划项目(2013BAD19B00)

作者简介:汪洋(1990),女,河南信阳人,硕士研究生,主要从事制冷及低温工程方面研究。E-mail:young6875@foxmail.com