

文章编号:1671-6833(2016)03-0088-04

针-网式离子风发生器的散热研究

王 静, 蔡忆昔, 包伟伟, 李慧霞

(江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘 要: 基于电晕放电原理, 设计了一种“针-网”结构的离子风发生器, 成功实现了离子风的激发, 并用于大功率 LED 芯片散热. 通过实验研究了放电间距、电压极性、电极布置形式不同时, 发生器的电学特性变化及其对大功率 LED 芯片散热性能的影响, 并比较了离子风发生器与风扇的散热效果. 结果表明: 相同条件下负电晕放电时的散热性能要优于正电晕放电, 放电间距较小时, 芯片引脚温度更低; 1×11 阵列形式对应的散热效果最好, 当放电功率超过 2 W 时, 芯片引脚最低温度为 52.3 °C; 离子风发生器能实现与风扇较为接近的散热效果, 适用于大功率 LED 芯片的散热.

关键词: 电晕放电; 离子风; 大功率 LED; 强化传热; 结温

中图分类号: U463.65+1; O539 **文献标志码:** A **doi:** 10.13705/j.issn.1671-6833.2016.03.020

0 引言

近年来, 电晕放电在除尘、灭菌、干燥、材料表面改性、散热和气体流动控制等方面都有广泛的应用, 成为了研究热点^[1-3]. 离子风产生于不均匀电场的电晕放电过程中. 通常, 在相对曲率半径较小的电极附近, 由于电子雪崩引起高速离子射流运动, 离子射流对周围流体产生强烈的扰动, 引发了由曲率半径较小电极向曲率半径较大电极间的气体流动, 这就是离子风产生的原理^[4-8]. 利用离子风进行强化散热, 具有能耗低、无运动部件、可集成度高等优点. 李庆等^[9]采用实验分析和数值模拟相结合的方法建立了放电电压与离子风速之间的关系, 分析了放电空间的流体分布状态. Huang 等^[10]设计了 4 种结构的“针-板”式离子风发生器, 并通过实验研究了传热系数、电晕电流及传热强化因子的变化规律. 赵鑫等^[11]建立了“线-板”式离子风发生器的二维数值模型, 并研究了放电空间内的流场和温度场分布.

笔者基于电晕放电原理, 设计了一种可在大气压环境下稳定工作的、具有电极不对称结构的“针-网”式离子风发生器, 用于大功率 LED 芯片散热, 并通过实验分析离子风发生器的电学特性, 测试不同条件下的温度变化并作定量分析.

1 离子风散热系统

图 1 所示为研究中设计的离子风散热系统, 主要由“针-网”式离子风发生器、热沉和大功率 LED 芯片三部分组成. 离子发生器的高压电极为针状电极, 电极材质为钨钢, 接地极为不锈钢网状电极. 实验时, 放电产生的离子风流经热沉, 把散热翅片传导过来的热量带走, 以实现散热降温的目的. 产生离子风的驱动力越大, 离子风速度越高, LED 芯片散热效果越显著, 其关系可由公式 (1) 说明^[12-13]:

$$\frac{1}{2}\rho |v|^2 = F_e = \int q_e E dV. \quad (1)$$

式中: ρ 为流体密度; v 为离子风速度; F_e 为产生离子风的驱动力; q_e 为电荷密度; E 为电场强度.

2 测试系统及误差分析

选用 PHILIPS LUXEON Altilon 系列大功率 LED 芯片, 型号为 LAFL-C4S-0850, 作为实验光源. 实验系统连接如图 2 所示. 实验所使用的仪器有: TC-4080 型直流高压电源, 最大可输出 ± 20 kV 高压; WYJ-20A60V 型双路直流稳压电源, 用于为 LED 芯片供电; 恒温箱, 精度为 ± 0.1 °C, 用于模拟环境温度的变化; DL-700C 红

收稿日期: 2015-10-25; 修订日期: 2015-12-18

基金项目: 江苏大学高级人才科研启动基金资助项目 (5503000025)

通信作者: 王静 (1982—), 男, 江苏泰兴人, 江苏大学讲师, 博士, 主要从事 LED 汽车灯具散热研究, E-mail: jacky-wang03@163.com.

外热像仪,测温范围 $-20 \sim 220\text{ }^{\circ}\text{C}$,测温精度 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;ZJ-16A 多路温度巡检仪,精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,采用 T 型热电偶进行温度采集,可以与计算机之间进行串口 RS485 通讯,温度值可自动存储。

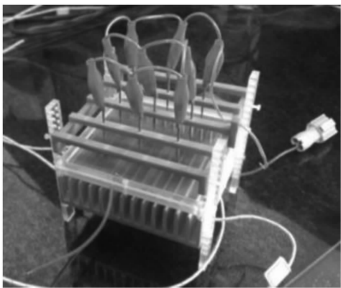


图 1 离子风散热系统结构
Fig.1 Ionic wind heat dissipation system

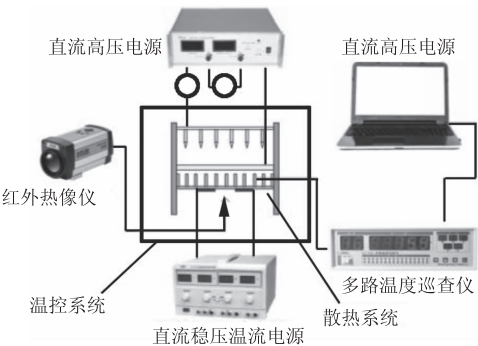


图 2 实验系统布置图
Fig.2 Schematic of test system

图 3 所示为 LED 芯片及测温点布置,LED 芯片通过螺栓固定于热沉表面,接触面涂覆导热硅胶.根据 PHILIPS LUXEON Altilon 系列芯片技术说明,采用热电偶测量 LED 芯片引脚温度,选取 T_{c1} 、 T_{c2} 、 T_{c3} 、 T_{c4} 中最大值作为芯片引脚温度 T_c 。

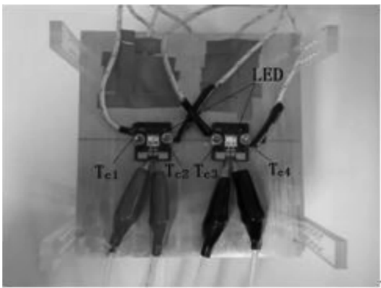


图 3 热电偶测温点布置
Fig.3 Test point arrangement of thermocouples

分析图 2 所示的实验系统可知,温度测试误差主要来源于热电偶的测量误差、温度巡检仪的显示误差以及测试过程中的随机误差。

T 型热电偶的精确度为 0.2 级,测量范围为 $-50 \sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此,最大绝对误差为

$$\delta_1 = \pm (450 \times 0.2\%)^{\circ}\text{C} = \pm 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

(2)

ZJ-16A 型多路温度巡检仪的仪表显示误差为

$$\delta_2 = \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

(3)

为研究温度测试过程中的随机误差,对 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度进行 20 次重复测量,得到样本标准偏差为 $S = 0.012\text{ }^{\circ}\text{C}$. 因此,根据随机误差与标准偏差的关系,可得

$$\delta_3 = \pm 3S = 0.036\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

(4)

所以,该实验系统的温度测试误差极限值为

$$\Delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = \pm 1.436\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

(5)

3 实验结果与分析

根据产生电晕的电源性质,电晕放电可分为直流电晕和交流电晕,其中直流电晕又可分为正电晕和负电晕.当曲率半径较小的电极为正电位,发生的直流电晕称为正电晕,反之称为负电晕。

前期笔者的研究工作中比较了正、负电晕放电现象,探讨了放电间距对启动电压、场强以及系统散热性能的作用规律^[16].在此基础上笔者深入分析了电极布置形式对系统散热性能的影响,对比了离子风发生器与冷却风扇的散热性能。

3.1 电晕放电现象

图 4 为实验中的正、负电晕放电现象.在电晕放电初始阶段,正电晕放电与负电晕放电均在针电极尖端产生蓝紫色点状光晕,并伴随有细微的电晕气流.但随着电压的逐渐升高,负高压光晕逐渐转变为点状光斑,气流速度逐渐增加,但整个过程较为均匀稳定;而正高压点状光晕则逐渐发展为从针尖指向网状接地极的枝状电晕,亮度增加,最终变为圆锥状光晕,气体流速也逐渐增大,并且伴有明显的“嘶嘶”声,电晕声也会随着电压升高逐渐变大。

笔者前期的研究结果表明^[16]:①启动电压的高低在一定程度上决定了电晕放电装置产生离子风的难易程度并且不同的电极结构以及负载,对应着不同的启动电压.启动电压随放电间距的增加而升高,对应的电场强度则随着放电间距的增加而减小;且放电间距较小时,场强变化幅度较大,而随着放电间距的增加,场强的变化幅度逐渐减小;此外,负电晕的启动电压低于正电晕.②放电初始阶段,不同放电间距下的芯片引脚温度随着放电电压的升高而有小幅上升;随着放电电压进一步加大,引脚温度迅速降低并最终趋于稳定.相同条件下负电晕放电时的散热性能要优于正电晕放电.采用负电晕放电,放电电压为 10 kV 时,

LED 芯片引脚温度最低为 64.7 ℃.

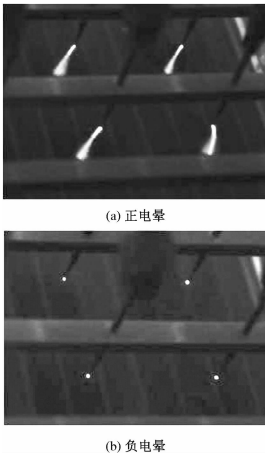


图 4 电晕放电现象

Fig. 4 Photos of corona discharge

3.2 电极布置形式对散热性能的影响

研究中的离子风发生器针状电极分别采用 4×4、3×7、3×11、1×11 阵列结构,如图 5 所示.

环境温度为 25 ℃,放电间距为 5 mm,不同电极布置形式下,LED 芯片引脚温度随放电功率的

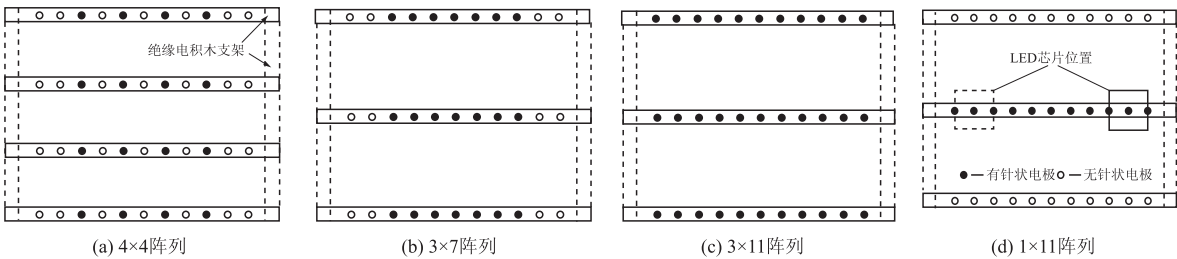


图 5 离子风发生器针状电极布置

Fig. 5 Arrangements of needle electrodes

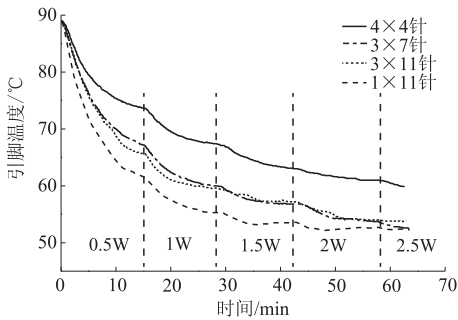


图 6 引脚温度的变化

Fig. 6 Case temperature change

3.3 离子风与风扇散热性能比较

定义自然对流状态下芯片引脚温度与施加电晕或开启风扇之后引脚温度的差值为温降,其数值越大,系统散热性能越好. 环境温度为 25 ℃,放电间距分别为 5 mm、10 mm 和 15 mm,针状电极采用如图 5(d)所示的 1×11 阵列形式,图 7 所示为分别采用离子风发生器和风扇散热时,温降随输入功率的变化关系. 由图 7 可见,离子风发生器

变化如图 6 所示. 由图 6 可见,高压电极布置形式不同时,系统的散热性能存在着较大差异,其中 1×11 阵列形式对应的散热效果最好,4×4 阵列形式对应的散热效果最差. 这是因为 LED 芯片可近似看作面状发热源,当针状电极布置在芯片周围(1×11 阵列形式)时,产生的离子风能更有效地对其进行冷却. 因此,后续研究中,应对发生器结构进行改进,将针状电极尽可能布置于 LED 芯片四周.

图 6 结果显示:离子风发生器未工作时,芯片引脚温度最高为 89 ℃,随着放电功率增加,引脚温度迅速下降;当放电功率超过 2 W 时,温度下降趋于平稳,1×11 阵列形式下的芯片引脚最低温度为 52.3 ℃. 这是因为,随着放电功率的增加,产生的电晕电流也逐渐增大,使得电极之间的离子风速度变大,强制对流加剧,散热性能得到强化;但随着电晕功率的进一步增加,电晕电流也继续增大,当电流到达一定程度之后,会逐步产生焦耳发热的现象,放电时产生的焦耳热导致系统散热效率下降,散热效果变差.

和风扇均可较大幅度地降低芯片引脚温度,随着放电间距的增加,离子风发生器的散热性能降低. 输入功率为 2 W,放电间距为 5 mm 时,两种散热方式下测得的引脚温度分别为 49.9 ℃和 45 ℃;但随着输入功率的增加,两者的变化趋势略有不同. 随着功率增加,若使用风扇散热,温降先增加后降低并趋于平缓;若使用离子风散热,温降不断增加并趋于平缓.

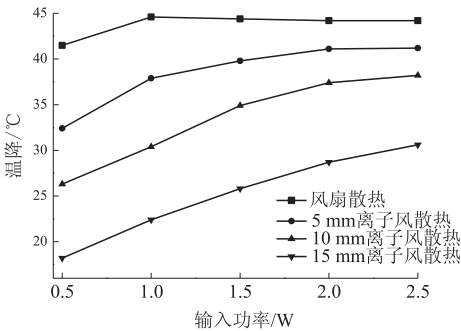


图 7 散热性能对比

Fig. 7 Comparison of cooling performance

测得 LED 芯片引脚温度后,其结温可根据公式(6)进行计算:

$$T_j = T_c + IU\eta R_{th,j-c} \quad (6)$$

式中: I 和 U 分别为芯片的正向驱动电流和正向驱动电压; η 为芯片的致热效率,假定为0.8; $R_{th,j-c}$ 为芯片结点到引脚的热阻,芯片产品说明书中给出 $R_{th,j-c} = 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$.

据此,可计算出输入功率为2 W时,分别采用离子风发生器(放电间距为5 mm)和风扇散热时的芯片结温为65.2 °C和59.3 °C,此时,两种方式下的散热效果较为接近,这与图8中红外热像仪测量的芯片结温64.3 °C和58.5 °C基本一致.

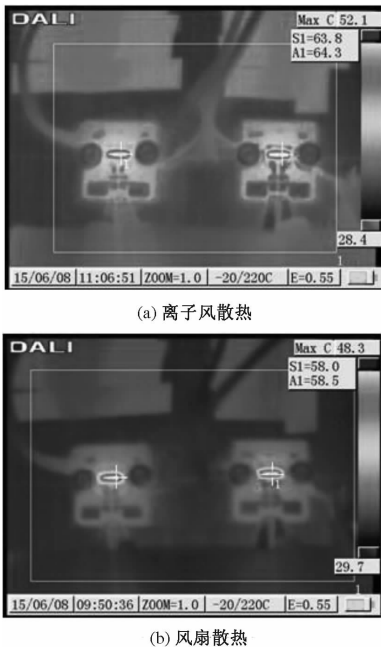


图8 红外热像仪测得的芯片温度分布

Fig.8 Temperature distribution under thermal infrared imager

4 结论

设计了一种“针-网”式的电晕放电离子风发生器,通过实验对其散热性能进行了定量研究.

(1)高压电极布置形式不同时,系统的散热性能存在着较大差异,其中 1×11 阵列形式对应的散热效果最好;随着放电功率增加,引脚温度迅速下降;当放电功率超过2 W时,温度下降趋于平稳,芯片引脚最低温度为52.3 °C.

(2)随着放电间距的增加,离子风散热系统的散热性能降低;放电间距为5 mm时,离子风发生器能实现与风扇较为接近的散热效果;采用计算法得到的LED芯片结温与红外热像仪测得的结温之间的误差较小.

参考文献:

- [1] KIM J W, PULIGUNDLA P, MOK C. Microbial decontamination of dried laver using corona discharge plasma jet (CDPJ) [J]. Journal of Food Engineering, 2015(161):24-32.
- [2] 李庆,王巧艳,孟姜山,等. 高压静电除尘器中的离子风与除尘[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2012,32(5):556-559.
- [3] 杨树,张零零,宓东,等. 多针对板电晕放电电离区微观特性分析[J]. 高电压技术,2011,37(1):203-207.
- [4] 龚涛,唐飞,王晓浩. 一种“多针一网”结构的离子风特性研究[J]. 高压电器,2012,48(5):33-36.
- [5] CHEN I Y, GUO Mei zuo, YANG Kai shing, et al. Enhanced cooling for LED lighting using ionic wind [J]. International journal of heat and mass transfer, 2013(57):285-291.
- [6] MOLKI M, BHAMIDIPATI K L. Enhancement of convective heat transfer in the developing region of circular tubes using corona wind[J]. International journal of heat and mass transfer, 2004,47:4301-4314.
- [7] SHEU W J, HSIAO J J, WANG Chi chuan. Effect of oscillatory EHD on the heat transfer performance of a flat plate[J]. International journal of heat and mass transfer, 2013,61:419-424.
- [8] 陈志静. 电场强化气体对流传热研究进展与场协同原理[J]. 石油化工设备,2010,39(5):48-52.
- [9] 李庆,李海凤,孙晓荣,等. 电晕放电电流体状态实验研究与数值模拟[J]. 高电压技术,2010,36(11):2739-2744.
- [10] HUANG R T, SHEU W J, WANG Chi chuan. Heat transfer enhancement by needle-arrayed electrodes-An EHD integrated cooling system[J]. Energy conversion and management, 2009(50):1789-1796.
- [11] 赵矗,张剑飞,何雅玲,等. 离子风强化平板对流传热的数值模拟[J]. 工程热物理学报,2014,35(3):571-575.
- [12] 钟艳,罗小平. 微细通道 EHD 两相流传热研究[J]. 石油机械,2011,39(2):7-11.
- [13] 杨侠,刘丰良,熊卉,等. EHD/脉动流混合强化传热换热器的传热与阻力特性实验研究[J]. 热能动力工程,2014,29(3):256-261.
- [14] 李小华,包伟伟,王静,等. 基于电晕放电的大功率 LED 散热研究[J]. 发光学报,2015,36(10):1195-1200.

(下转第96页)