

LED 照明的杂散光分析与散热研究

赵 宁

(深圳职业技术学院,广东 深圳 518055)

摘 要:针对 LED 照明杂散光的形成原因和解决方法,以及 LED 照明系统散热问题的产生和结温对灯具寿命和发光率的影响,完善 LED 照明灯具的设计,利用照明灯具的特点,以目前 LED 照明灯具采用的散热方式和杂散光的处理形式为基准,采用对比测试的方法对灯具样品进行检验测试。通过对检测结果的分析,解决了 LED 照明的散热设计中涉及到的关键问题。

关键词:LED 照明;杂散光;散热设计;结温

中图分类号:J914;O436.3;TM923.34;TN364⁺.2

文献标志码:A

文章编号:1674-5124(2013)06-0032-04

Stray light analysis and thermal design for LED lighting

ZHAO Ning

(Shenzhen Vocational and Technical College, Shenzhen 518055, China)

Abstract: According to the causes and treatment of stray light, dissipation problem and junction temperature influence on the lamp lifetime and emission rate for LED lighting system, the author improved the design of LED lighting. Using the characteristic of lighting lamps and taking the heat and stray light treatments of current LED lighting as basis, lamp samples were tested by the comparison test method. Through analyzing the test results, the author solved the key problems involved in the thermal design of LED lighting.

Key words: LED lighting; stray light; thermal design; junction temperature

0 引 言

随着 LED 的功率、发光强度和发光效率的大幅提高(2011 年量产的 LED 最高发光效率达到了 161 lm/W, 实验室研发成果更高达 231 lm/W), LED 照明灯具作为替代传统光源最主要的新一代光源之一,在结构和性能上都比传统的光源有很多的改进,节能、环保、寿命长等优点显著。在我国建设资源节约型战略的指引下,作为一种高效节能的新型光源,LED 照明将会成为城市公共照明的主宰。人们对照明灯具,尤其是室外的照明灯具对其亮度要求较高,发热量较大,如果灯具散热不良,就会引起 LED 的老化,稳定性和可靠性下降^[1-2]。因此对 LED 照明灯具的散热设计进行分析是极其重要的。

收稿日期:2013-05-08;收到修改稿日期:2013-06-25

作者简介:赵 宁(1976-),男,陕西汉中人,讲师,硕士,研究方向为油漆涂料、新材料和化工。

1 LED 照明的杂散光分析

1.1 LED 照明的杂散光

我国从 2003 年正式启动“国家半导体照明过程”以后,“十一五”计划又成立了半导体照明专项,从而更好地推动 LED 照明的开发与应用。LED 照明的快速发展,带动了 LED 光辐射量的研究,对 LED 各参数的准确测量是对 LED 进行科学研究和质量管理的键。

光谱仪是光谱分析的重要仪器。现阶段应用最广泛的是采用光栅单色仪的光谱仪,而这种光谱仪都带有杂散光的问题。杂散光是某个波长点上的其他光谱成分,是由光栅不正常衍射、光学元件上存在灰尘或者是某种缺陷造成的散射,又或者是由于仪器内部的多种反射造成的^[3]。由于 LED 是一种准单色光源,光谱功率分布比较集中,所以光谱仪的杂散光对光谱测量具有重要的影响。

1.2 漏光杂散光的分析与处理

1.2.1 漏光杂散光分析

漏光杂散光是指光源发射出来的部分光,没有按照光学系统预定的光束限制范围直接进入光学系统,这在折射光学中较为常见。通过研究典型的卡塞格林系统(如图 1 所示)可以发现,在未对特殊光阑进行处理的情况下,光线经过主反射镜中间的通光孔,会存在部分光不通过主次镜的反射而直接进入光学系统,到达像面后最终形成“鬼像”^[4]。

1.2.2 漏光杂散光的处理

预消除漏光杂散光的主要方法是加遮光罩和在主次镜上加上专门的筒形消杂光光阑等(如图 2、图 3、图 4 所示)。

据图 2、图 3、图 4 可知,对于杂散光的处理,可以通过在 LED 照明光学系统中,对镜片镀膜;视场以外的光线直接越过此镜,穿越主镜的开孔,从而以杂光的形式直接照射到焦平面上。最后在焦平面处设置遮光罩,对杂散光进行处理^[5]。

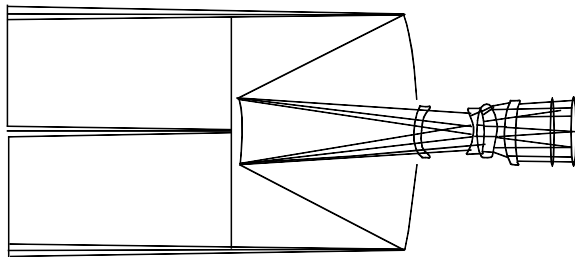


图 1 长焦卡塞格林折、反射照相物镜

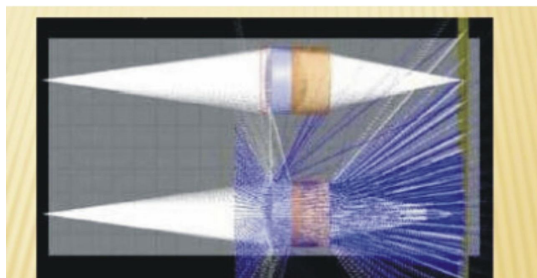


图 2 胶合透镜折射图

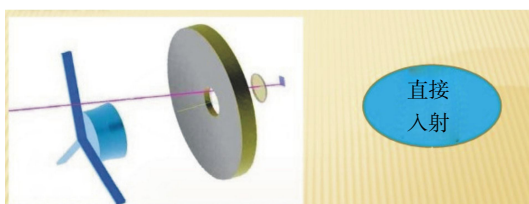


图 3 光线直接入射成像图

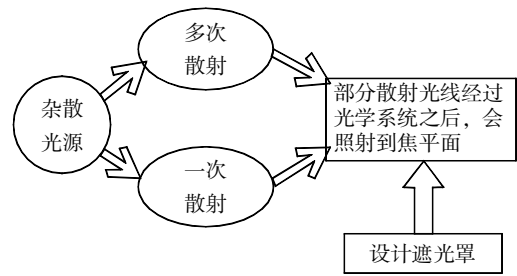


图 4 遮光罩的设计

1.3 LED 照明杂散光的校正

光谱仪在测量的过程中,光电器件在被测波长点上的信号为

$$I(\lambda_i) = \int P(\lambda) \sigma(\lambda_i - \lambda) s(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

式中: $P(\lambda)$ ——光源的光谱功率分布;

$S(\lambda)$ ——标志光电器件的光谱灵敏度;

$\Phi(\lambda_i - \lambda)$ ——光谱仪的狭缝散射函数。

如图 5 所示,以上公式中的 $P(\lambda)$ 和 $S(\lambda)$ 是真实信号 $I(\lambda)_{real}$, 因为测量的结果一般都是在某个波长范围内的离散数据,所以,式(1)可以写成如下的矩阵:

$$I_{meas} = \delta \cdot I_{real} = \begin{bmatrix} \delta_{1,1} & \cdots & \delta_{1,N} \\ \cdots & \delta_{i,j} & \cdots \\ \delta_{N,1} & \cdots & \delta_{N,N} \end{bmatrix} \cdot I_{real} \quad (2)$$

式中: i ——不同待测波长点;

j ——单色光波长;

$I_{meas}, I(\lambda)_{real}$ —— $I(\lambda_i)$ 和 $I(\lambda_j)$ 所组成的向量;

Φ ——由 $\Phi(\lambda_i - \lambda_j)$ 所组成的矩阵。

把 Φ 中位于光谱仪带宽内的 $\Phi(\lambda_i - \lambda_j)$ 设置为零,带宽之外的分别以带宽内的值累加,可以形成一

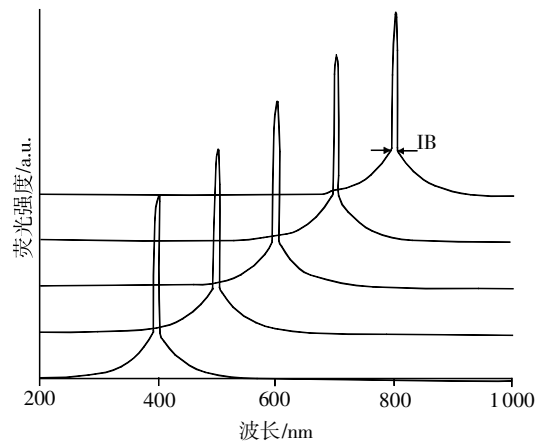


图 5 表示光谱仪的狭缝散射函数

一个新的矩阵,这就是撒散光分布函数矩阵 D 。由杂散光造成的信号可以表示为

$$I_{\text{stray}} = D * I_{\text{IB}} \quad (3)$$

其中 I_{IB} 表示宽带内卷积信号,并没有杂散光的影响,所以被测波长点的举证可以形成:

$$I_{\text{meas}} = I_{\text{IB}} + I_{\text{stray}} = (E + D) I_{\text{IB}} \quad (4)$$

因此可以得到:

$$I_{\text{IB}} = (E + D)^{-1} I_{\text{meas}} = C \cdot I_{\text{meas}} \quad (5)$$

(C 表示杂散光校正矩阵)

光谱仪在定标和测试待测光源时,采用以上杂散光校正矩阵对测试信号进行校正得到无杂散光的宽带内卷积信号^[6]。

2 散热设计

2.1 LED 照明散热问题的产生

近几年由于固态光源技术的不断发展,使得 LED 的发光效率提升,逐渐取代了传统的光源,其发光效率已经超过白炽灯和卤素灯且不断发展,发展趋势如图 6 所示。随着突破 100 lm/W 的高效率 LED 元件的开发,LED 照明的应用不仅仅局限于室内,逐渐向户外照明、手机背光模组及汽车方向灯等方面延伸。鉴于 LED 省电、环保以及寿命长等优点,以 LED 为光源的照明灯具成为了我国照明领域的新趋势。

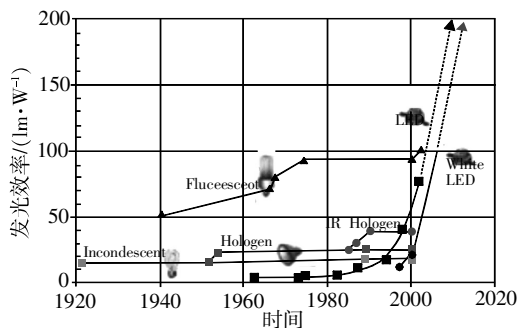


图 6 LED 发光效率趋势比较^[7]

为了使 LED 的发光效率更高,需要输入更高的功率,而目前高功率的 LED 光电转换效率值仅为 15%~25%的输出功率转化为光能,其他都转换成热能。LED 本身晶片体积小,散热效果差,导致使用功率 LED 单位面积的发热量较高,甚至比一般的 IC 元件还要高,LED 晶片的接面温度会大幅度提升,从而造成过热现象。晶片接面温度过高会使 LED 的发光亮度降低,导致 LED 的波长发生偏移,一定程度上降低了 LED 的可靠性^[8],如图 7 所示。散热技术已经成为我国 LED 照明技术的瓶颈。

2.2 LED 的结温和性能关系

LED 的光衰、寿命等性能指标与其结温状况有直接关系,散热效果决定结温高低以及 LED 寿命的

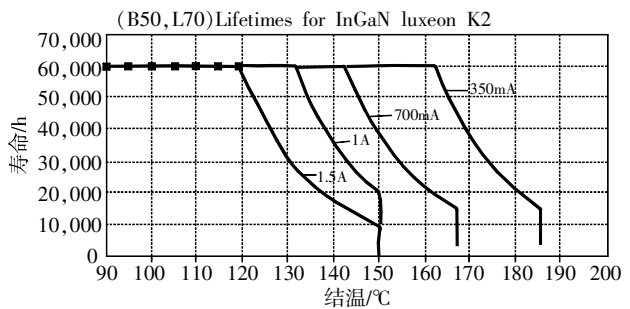


图 7 元件寿命和晶片温度的关系

长短。根据阿雷纽斯法则,LED 温度每降低 10℃,其使用寿命将会延长 2 倍。从 Cree 公司发布的光衰和结温的关系图(如图 8 所示)来分析,如果将结温控制在 65℃,其光衰至 70%的使用寿命可以高达 10⁵h。

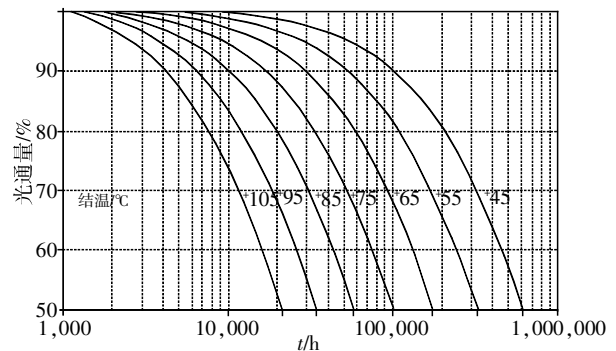


图 8 光衰和结温的关系

结温不只是会影响 LED 的使用寿命,对其短时间的发光效率产生的影响也非常明显,Cree 公司的 XLamp7090XR-E 的发光量和结温的关系如图 9 所示。

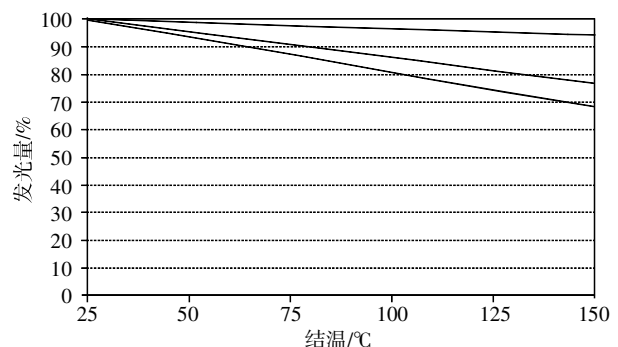


图 9 结温和发光量的关系

从图 9 可知,假设结温为 25℃时的发光为 100%,在结温至 60℃时,其发光量只有 90%;结温为 100℃时,其发光量就会下降到 80%;在达到 140℃时,发光量只有 70%。因此改善 LED 的散热,合理控制结

温,对于增加 LED 的长时间寿命和短时间发光效率具有重要作用。

2.3 LED 灯具散热片的结构设计

为了加大灯具的散热面积,一般散热片的结构设计为带翅片。由于 LED 所产生的热量是通过封闭材料传导到散热片以后,再由散热片向大气散出。通常情况下,散热片的位置是竖直状,空气上下对流,所以翅片的方向也要竖直放置。此外,由于 LED 的体积比较小,主要采用集中散热形式,热量从 LED 中流出,这时需要在 LED 的上面设置一个具有良好热导率的材料,热量经过翅片和空气之间产生对流。散热片的材料一般为铝,结构为圆柱形,这种形状的散热器的中间部分可以在不影响热传导的前提下放置电路。

2.4 LED 照明灯具散热片的大小和厚度设计

散热片的大小和厚度对散热片的性能和有效散热面积有直接的影响。采用导热效果好的散热垫片,确保散热垫片和散热片结合以后能够有良好的散热效果。

散热片的大小,主要是通过对散热片所占体积的计算决定的。发热功率越大,散热片的体积越大,所以在散热片的设计中,要对其所占的体积进行初步设计,然后再设计其他部位。

散热片底部厚度对散热片工作效率有很大影响,由于散热片的底部要有足够的厚度,才能使热量顺利的传到所有的翅片,从而使翅片发挥良好功率。但是太厚的底部,也会造成热量的积聚,而降低导热功能。所以较好的底部厚度设计是由热源部分较厚而逐渐向边缘部分变薄,以此使散热片由热源部分吸收充足的热量而向周围较薄的部分快速传递。

2.5 LED 主要的散热方式

2.5.1 被动式散热设计

被动式散热设计主要是依靠 LED 灯具自身的外表面和空气的自然对流将 LED 产生的热量散出,通过把散热体设计成鳍片状结构起到散热作用^[9]。这种散热方式设计结构简单,考虑了灯具结构的设计风格与特点,以较低成本实现对灯具的良好防护。

为更好地对被动式散热方式的散热效率进行分析,本文选取了集中采用此种散热方式的 LED 照明灯具样品,把样品置于封闭的房间内,点燃 3 h 后,测量其结温,如表 1 和图 10 所示。

通过表 1 和图 10 分析可知,散热面积越大,器件的结温上升越小,但不存在明显的比例关系,证明各个样品散热器之间的性能和效率存在一定的差异。散热面积相近的 3 号和 4 号,其温度相差 5℃,表

表 1 不同散热方式的灯具散热效果的比较

编号	输入功率/ W	散热片高度/ mm	散热片面积/ cm ²	单位功耗面积/ (cm ² ·W ⁻¹)	温升/ K
1	5.2	30	9 434.00	780.59	25.6
2	7.2	20	9 821.00	135.57	26.5
3	8.6	15	11 375.40	131.57	37.3
4	9.0	40	11 526.00	127.57	32.5
5	6.8	30	6 604.00	96.79	34.9
6	8.4	25	5 830.00	68.87	36.2

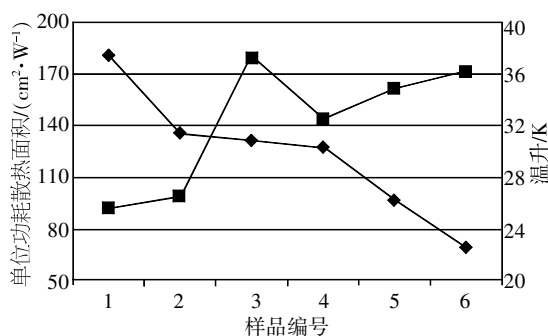


图 10 单位功耗对应的散热面积和灯具散热效果之间的关系

面 3 号散热能力相对弱。因此分析 3 号灯具样品的散热结构以及性能指标可知,其散热片高度低,片距小,导致空气难以流动,从而影响外表面的对流系数,降低了整个灯具的散热性能和效率。

2.5.2 主动式散热设计

主动式散热设计主要是通过水冷、风扇等方式增加散热器表面的空气流动速度,以便快速带走散热片上的热量,从而提高散热效率。在 LED 照明实际应用中,可以提高对流系数,以降低散热片和灯具外层空气之间的热对流内阻,达到降低 LED 内部芯片温度的目的^[10]。本文主要通过选用两个能耗密度较高的样品,分别在有风扇和无风扇的情况下测量包括了 LED 芯片结温以及散热片温度等在内的所有温度参数。试验中,把装有风扇的灯具放在一个封闭的金属腔体内,如表 2 所示。

表 2 有、无风扇时的两个样品各部分的温度

样品	结温/ ℃	灯具散热器 温度/℃	金属空腔外壳 温度/℃	室温/ ℃	相对于室温的 结温升/K
1 有风扇	69.3	59.2	46.5	29.6	39.7
1 无风扇	102.3	90.7	52.3	29.9	72.4
2 有风扇	75.3	66.4	54.3	29.5	45.8
2 无风扇	110.1	99.7	53.6	29.0	81.1

综上所述,通过分析表 2 展示的测试数据可知,两个样品灯具在增加风扇后,结温明显(下转第 49 页)