

文章编号:1007-2780(2009)03-0453-06

多 LED 组合照明设计的关键技术

吴海彬¹,何素梅¹,王昌铃²

(1. 福州大学 机械工程及自动化学院,福建 福州 350108, E-mail: wuhb@fzu.edu.cn;
2. 福建省苍乐电子企业有限公司,福建 福州 350007)

摘 要:多 LED 组合型光源在灯具设计中应用日益广泛。多 LED 组合型光源既可以通过把多颗 LED 芯片直接封装在一个单体内,也可以把多颗封装好的单芯片 LED 光源在 PCB 设计时进行组合,两种实现途径决定了 LED 光源在尺寸、传热性能、可维护性等方面存在较大差异。LED 串并联方式直接影响各 LED 支路的电流均衡性,为了确保各 LED 串联支路电流一致,文章给出了驱动设计中常用的几种方案。除此之外,还给出了利用普通环氧 PCB 板进行传热设计的解决方案,达到了与铝基 PCB 板相同的传热效果。

关 键 词:多 LED 组合; 灯具; 驱动; 传热
中图分类号: TN312 **文献标识码:** A

1 引 言

大功率发光二极管(LED)具有体积小、重量轻、驱动电压低和节能环保等诸多优点^[1],近年来得到大规模推广使用,并已逐步形成较完备的产业链。发光二极管的产业规模不断扩大,新产品不断出现,其性能得到进一步优化和提高^[2]:发光效率每年都有较大提升;价格不断下降;寿命有了明显提高;产品一致性进一步加强。同时,新技术、新材料和新工艺不断应用到大功率 LED 光源的设计中,为大功率 LED 灯具设计奠定了坚实的基础。我国的 LED 产品市场近年来也得到快速发展,大功率 LED 隧道灯、路灯、投光灯和护栏灯等在近二、三年内可以说从无到有,并具备一定的规模^[3]。

另一方面也应注意到,由于同为 LED 光源的应用产品差异性较大,其设计、测试等标准的出台具有一定滞后性,所以导致不同厂家生产的产品在结构、性能等方面互换性较差。更为突出的是,很多产品未经过充分的设计论证与严格测试就推向市场,导致产品在使用过程中出现了形形色色的问题,如防护性能下降、功能性失效、个别 LED 死灯、整体灯具光衰严重、亮度均匀性明显变差

等^[4]。为此,企业不得不召回产品,造成了大量人力、物力和财力的浪费,并在一定程度上打击了用户对 LED 灯具产品的信心。

在 LED 光源和灯具设计中,为了实现大功率和高光通量,必须采用多颗 LED 进行组合^[5]。组合的方式很多,不同的组合方式对光源和灯具的配光、驱动电路设计和整体可靠性都有重要影响。这就要求灯具开发 and 设计者需要针对不同的用户需求 and 产品技术要求,采用适当的 LED 光源设计、点阵分布及电路布线方法,使整灯产品综合性能达到最优。下面将就多 LED 组合型灯具设计中有关 LED 的封装与组合形式、电路与驱动以及传热设计等方面展开讨论。

2 多 LED 组合型光源的实现方法

多 LED 组合型光源的实现途径总体上有两种方法,一是把多颗蓝光 LED 芯片直接固定于一大功率底座内,经过焊线、涂敷荧光粉、固帽等工序,封装成一个光源单体^[5],如图 1(a)(图片来自山西光宇电源有限公司)所示;二是使用封装好的单颗 LED 光源在 PCB 板上进行串并联分布设计,如图 1(b)所示。前者在光源封装阶段完成,早期采用小功率芯片进行集成^[6],随着灯具光源

功率需求的不断增大,目前多采用 1 W 功率型芯片进行集成;后者一般是在灯具设计中根据配光、散热、外观等方面的要求进行具体设计,不同灯具之间的差异性较大。对于多 LED 芯片集成于一体的光源,芯片一般均采用矩阵式排列,但电路连接方法有多种,如图 2 所示为其中两种常用的串并联连接方法。图 2(a)称为先串联再并联,金线直接从一个芯片的负极连接到相邻芯片的正极,金线数量少,不足之处是在封装过程中一旦有一颗芯片出现故障需要取下换用新的芯片时,需要把相邻芯片已焊好的金线拔掉,容易造成芯片焊盘脱落或静电击穿;图 2(b)为芯片之间通过底座

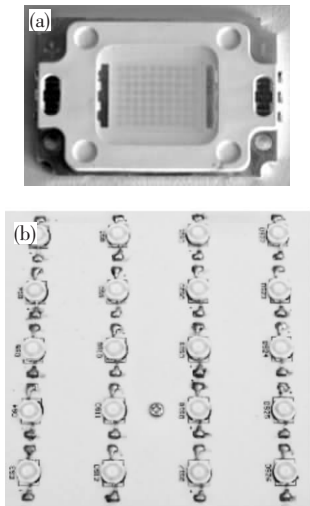


图 1 大功率 LED 光源组合方法 (a) 多芯片集成封装 LED 光源; (b) 多 LED 单体在 PCB 上组合。
Fig. 1 Design of power LED lamp. (a) LED package based on multi-chip; (b) Multi-LED packages assembled on PCB.

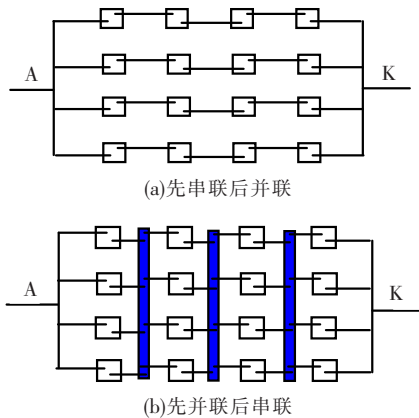


图 2 多芯片集成的不同电路连接方法
Fig. 2 Different LED chips connection method for multi-LED integrated

焊盘进行电路连接,这里称为先并联再串联的连接方式,使用的金线数量较多,但可以避免前者在封装过程中出现的问题。

不论采用先串联再并联或者先并联再串联的方法,均要求集成在一个封装内的所有 LED 芯片正向压降一致。如果 LED 芯片之间的正向压降不一致,会造成不同 LED 芯片上的电流不均衡,导致亮度不均匀并加速光源的老化。为了确认正向压降的差异对电流不均衡性的影响,实验中对 3 颗同类 1 W 白光 LED 的安伏特性进行了测试,如图 3 所示。在 350 mA 电流下,三者正向压降分别为 3.24 V (样品 1)、3.35 V (样品 2)、3.45 V (样品 3),相差 0.1 V 左右。当把样品 1 和样品 3 直接并联,在总电流 700 mA 不变的情况下,样品 1 的电流为 440 mA,而样品 3 的电流为 260 mA,两者之间的电流差竟达到 180 mA,如此大的电流差仅用肉眼即可看出亮度的不一致性,同时也导致了 LED 光衰过程的严重差异。如果把样品 1 和样品 2 直接并联,在总电流 700 mA 下,样品 1 的电流为 400 mA,样品 2 的电流为 300 mA,两者之间的电流差仍有 100 mA。因此,多颗 LED 并联必须严格保证 LED 正向压降的一致性要求,这在一定程度上会增加系统的成本。

不同的串并联方法,LED 相同的失效模式对光源的影响也不同。对于单颗 LED 而言,不论什么原因造成的失效,失效模式无非有两种:短路和开路。短路情况多发生在静电等因素导致 pn 结击穿;而开路模式多是由于电流(功率)过大烧毁、焊线工艺不良等因素造成。这些失效多发生在封装制程或由于使用不当而造成。对于先串联再并联的设计方式,当有一颗 LED 芯片出现开路故障

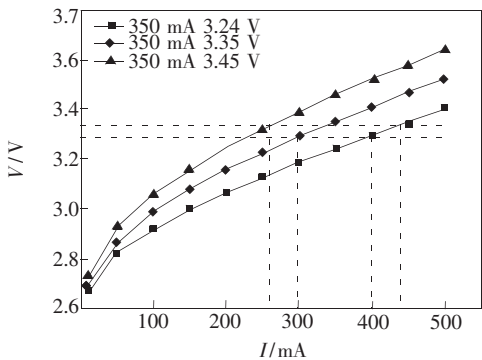


图 3 不同正向压降 1 W LED 的安伏特性曲线
Fig. 3 I-V curve for different forward voltage 1 W LED

时,该串 LED 均不亮。如果光源整体采用恒流方式驱动,那么该串 LED 上的电流就被分配到其他 LED 串联支路,导致其它 LED 电流超出设计指标,光衰加速;如果采用恒压方式驱动,则由于多颗 LED 不亮导致整体光通量会按比例下降。对于先并联再串联的方法,如果其中一颗 LED 芯片出现开路情况,则其它 LED 仍能正常点亮,短期内对其它 LED 芯片的影响相对较小,但会造成通过其它 LED 芯片上的电流出现某种程度的不均匀;如果其中一颗 LED 芯片出现短路情况,则与之并联的所有 LED 芯片均被短路而不亮,并对驱动电路造成较大影响。因此,对于多芯片组合型 LED 光源,若其中一颗芯片出现短路或开路故障,会对该光源内其它芯片的电流造成不同程度的影响,导致每颗 LED 芯片亮度一致性变差、光衰不一致性明显,缩短 LED 光源的使用寿命。

对于多芯片集成型 LED 光源,由于单位体积的电功率较大,LED 光源电流、电压等指标可以针对驱动电源而设计,有助于缩小灯具的体积、增加美感、降低电路成本等,在大功率灯具设计中经常被采用。但另一方面,多芯片集成型 LED 光源由于对芯片一致性要求较苛刻、封装材料及工艺技术相对不成熟、可靠性较低、尺寸构型等未标准化,特别是 LED 光源与 LED 灯具的设计制造往往在不同单位完成,衔接性差,所以,多芯片集成型 LED 光源目前并未成为 LED 灯具设计的主流光源。

3 多 LED 组合的驱动设计

多 LED 组合灯具的驱动设计已成为影响灯具可靠性的关键因素。灯具的功率、功率因数、输入电压范围、总谐波失真、成本等要求不同,驱动器设计方案也有较大区别。

更多的灯具设计仍然是在 PCB 板上对单颗 LED 光源进行点阵布局,通过 PCB 布线实现多颗 LED 光源之间的串并联连接。具体串并联方法与多芯片集成型 LED 光源基本相同,对 LED 芯片也有同样的一致性要求。但若个别 LED 光源出现死灯现象,可以直接更换,不受其它 LED 光源的影响,而多芯片集成型 LED 光源却只能整个光源进行更换。另外,在 PCB 板上进行 LED 光源的分布和布线设计,更具有灵活性,可以更好地满足灯具配光、结构造型等要求。由于单体

LED 光源可靠性的不断提高,死灯率越来越低,在电路设计上可以采用更多的 LED 串联,减少串联支路数量。不同支路并联之前可加入均衡电阻,如图 4(a)所示;甚至采用各串联支路独立驱动的设计方案,如图 4(b)所示。一个串联支路中,LED 颗数越多,整体驱动效率就越高。串联支路数量减少就意味着驱动电路输出电流减小,这对 PCB 布线设计、降低电路成本都有很多好处。不同串联支路之间采用均衡电阻的目的是减小 LED 正向压降不一致性对电流均衡性造成的不利影响,但会降低电路效率,电阻阻值的选择需要综合考虑 LED 串联颗数、电流大小等因素。各 LED 串联支路采用独立驱动可以彻底解决 LED 正向压降不一致性造成的不利影响,通过电路合理设计也不会使成本增加很多,如图 4(c)所示的一种低成本驱动设计方案。一个回路内 LED 串联的颗数因 LED 的可靠性、驱动器电参数等多种因素而定。经过分析,认为 14 颗白光 LED 串联是一个较好的选择,这是由于 14 颗白光 LED 串联后的总电压约为 45 V,用 48 V 的直流电源为一恒流源电路供电,恒流源直接驱动 14 颗串联 LED,恒流源上的压降约为 3 V,这样既保证了

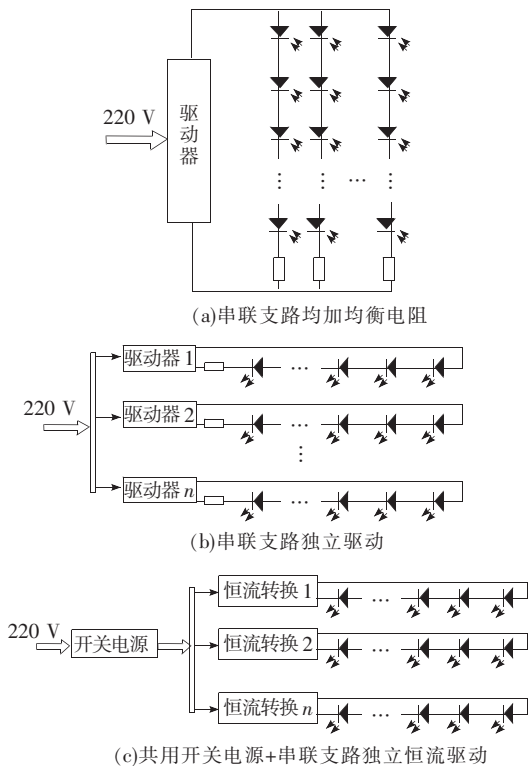


图 4 多支路串联不同驱动方式对比
Fig. 4 Different driving method for more LED loops

电流稳定性,又兼顾了电路效率和成本。另外,对于电源外置的灯具,若灯具本身的供电电压低于 50 V 的话,可以按照三类电器标准进行安全测试,有助于降低设计难度与灯具成本。

4 大功率多 LED 组合型灯具的传热设计

对于大功率 LED 灯具,传热和散热问题在灯具设计中必须引起足够重视。LED 的 pn 结如果长期在高温条件下工作,不仅输出的光通量会有较大幅度降低,而且寿命也会急剧减小,对 LED

灯具影响严重^[7]。使 pn 结发出的热量尽快散失是灯具传热和散热设计的最终目标和出发点,采用的具体技术手段有很多,诸如采用风扇进行主动散热、采用半导体制冷片加速传热、热管技术等,这些技术在带来良好的散热效果的同时,也往往会导致系统成本大幅增加、系统效率大幅降低以及可靠性下降。因此,灯具设计中较少采用主动散热方式,目前主要的传热和散热手段仍然是基于降低传热通道的热阻、增加散热面积等被动散热方法。

多 LED 组合型灯具,一般均是光源固定于

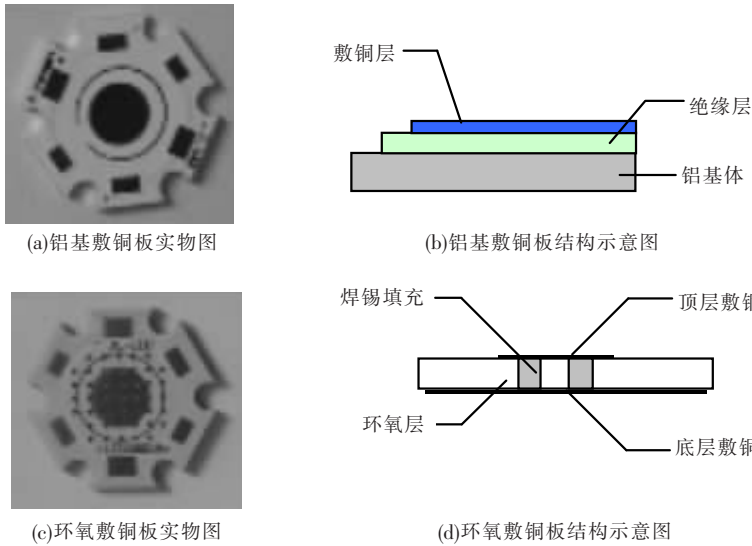


图 5 铝基 PCB 和环氧 PCB 对比
Fig. 5 Contrast between aluminum PCB and epoxy PCB

PCB 板上,PCB 板直接与灯具的金属壳体紧密连接,这样 pn 结热量就通过 PCB 板传到灯具的壳体上。PCB 板主要起传热作用,壳体外表面起散热作用,通常以热辐射和对流等散热方式为主^[8]。如果 PCB 板传热效果好,就可以降低 pn 结至壳体的温差,整体灯具的散热效果也好,可以有效降低 pn 结温度。对于同样发热量的光源,同样的壳体,在环境条件相同的情况下,壳体热辐射流量与热力学温度的 4 次方成正比,有:

$$\phi = \epsilon A \sigma T^4$$

式中, ϵ 为壳体的发射率(亦称黑度); A 为辐射表面积(m^2); σ 为黑体辐射常数 $5.67 \times 10^{-8} (\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-4})$; T 为热力学温度(K)。

因此,壳体温度越高,说明热量更容易从 pn 结传到壳体,pn 结至壳体的传热性能就越好,pn

结温度反而相对较低。基于此可以准确比较传热元件的性能。在大功率 LED 光源灯具设计中,PCB 板是主要的传热元件,PCB 板有多种类型,如铝基 PCB 板、铜基 PCB 板及通常的环氧 PCB 板等。在 LED 灯具实际设计中较多使用铝基 PCB 板,如图 5(a)所示。铝基板由 3 层组成,分别是铝基体、绝缘层和敷铜层,如图 5(b)所示,封装好的 LED 光源热沉一般直接固定于铝基 PCB 板的敷铜层。由此可知,由于敷铜层到铝基底之间隔着绝缘层,虽然该绝缘层通常具有较好的导热性,但与铝等金属相比,仍相差很多,其总体导热性能受到较大影响。同时,本文也用环氧 PCB 板做了对比试验,环氧 PCB 的大小和形状与铝基 PCB 板接近,如图 5(c)所示,但在设计上做了如下处理:采用双面 PCB 板;底层整面敷铜;顶层固

定LED光源热沉的区域敷铜并通过适当大小的过孔与底层敷铜相连,光源热沉通过回流焊接工艺直接焊接在顶层敷铜处,并控制焊锡的量使热沉底部的过孔均填满焊锡,如图5(d)所示。这样,LED光源热沉的热量就通过金属化的过孔及填充的焊锡直接传递到底层敷铜区域,如果底层敷铜区域直接与金属壳体压固定,那么热量就直接传导到壳体外表面。在MR16射灯上针对铝基PCB板和环氧PCB板做了对比试验,采用单颗3W LED光源,组装方法、测试环境均相同。点亮至热平衡后,测得用铝基PCB板的MR16射灯外壳温度为62℃,而用环氧PCB板的MR16射灯外壳温度为65℃。实验结果表明,环氧PCB板的传热性能相对更好。这也说明:在LED灯具设计中,铝基PCB板并不是LED光源固定

与传热的唯一选择,通过适当的设计和处理,环氧PCB板也可以达到和铝基PCB板相同的传热效果,而且选择环氧PCB板在材料成本方面也比铝基PCB板低很多。

5 结 论

LED组合型灯具应用越来越广泛,但很多LED灯具设计者并不能准确、客观地评估多LED组合型光源在封装、PCB设计、失效模式以及传热性能等方面的实际效果,导致LED灯具在使用过程中达不到预期目的。本文从多LED组合的实际应用出发,针对多LED组合光源的实现方法、不同实现方法涉及的具体问题以及多LED光源组合下的电路驱动技术、多LED的传热设计等多方面展开讨论,为LED灯具设计者提供了参考依据。

参 考 文 献:

- [1] 郑代顺,钱可元. 功率型白光LED研究进展[J]. 中国照明电器,2006,(3):1-7.
- [2] 杨光. 照明灯具中白光LED阵列的排列及配光[J]. 灯与照明,2008,32(1):1-4.
- [3] Kovac J, Peternai L, Lengyel O. Advanced light emitting diodes structures for optoelectronic applications[J]. *Thin Solid Film*, 2003,433:22-26.
- [4] 吴海彬,王昌铃. 白光LED封装材料对其光衰影响的实验研究[J]. 光学学报,2005,25(8):1091-1094.
- [5] 张哲娟,杨介信,张燕萍,等. 白光发光二极管及其集成光源模块的研究[J]. 半导体光电,2007,28(4):482-486.
- [6] 吴海彬,叶光,王昌铃. 多芯片集成大功率白光LED照明光源[J]. 液晶与显示,2005,20(3):250-253.
- [7] 马洪霞,钱可元,韩彦军,等. 大功率氮化镓基白光LED模组的散热设计[J]. 半导体光电,2007,28(5):623-626.
- [8] Huang Bin-Juine, Hsu Po-Chien, Wu Min-Sheng, *et al.* Study of system dynamics model and control of a high-power LED lighting luminaire[J]. *Energy*, 2007, (32):2187-2198.

Key Technology of Multi-LED Lighting Design

WU Hai-bin¹, HE Su-mei¹, WANG Chang-ling²

(1. College of Mechanic Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, E-mail: wuhb@fzu.edu.cn;
2. Fujian Joinluck Electronic Enterprise Co. Ltd., Fuzhou 350007, China)

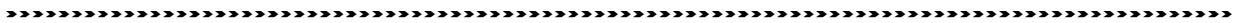
Abstract

Lamps based on multi-LED combined have being used more and more widely. Such lamps can be manufactured not only by packaging multi-LED in one unit, but also by distributing many packaged LED individual lamps on print circuit board(PCB) directly. The two approaches decide the difference in lamp structure, heat transmission capability, maintenance, and so on. The connection methods of LEDs affect directly the current balance between different LED serials. Several different driver designs are discussed in this paper in order to insure the consistency of different LED serials. Further-

more, one kind of heat transmission scheme based on epoxy print circuit board has experimented, which can achieve the same effect as PCB based on aluminium.

Key words: multi-LED combined; luminaire; driving; heat conducting

作者简介:吴海彬(1973—),男,内蒙古宁城县人,博士,副教授,主要从事光电子器件及其制备技术等方面的工作。



《光机电信息》征稿启事

本刊由中国光学学会、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办,科学出版社出版。
本刊征集光学和应用光学、光电子学和激光、微纳科技、材料科学、电磁学和电子学、机械、信息科学和技术等几大领域如下形式的文章:

1. 研究信息快报
本栏目主要报道最新研究成果、阶段新结果、片段新结果的介绍或说明,不要求是纯学术论文。目的是为那些尚未能形成正式研究论文,但希望把已有的最新研究成果、阶段或片段新结果抢先发表的科研工作者提供一个平台,保护广大科研人员的知识产权。主要内容包括研究背景简介、研究过程或实验过程简述、观察到的结果、数据及相关信息说明、评论等,附图表数据等,也可附参考文献(一般不要求)。本栏目发表的论文数据不影响在正式发表论文时使用。

本栏目出版周期:收稿日期为每月 5 日之后、25 日之前收到,下月即出版发表。如为当月 5 号之前收到,当月发表。

2. 研究快报
本栏目主要征集研究新成果的快速报道,要求同其他刊物的研究快报。要求具有如下内容:摘要、关键词、研究背景(引言)、研究过程或实验过程、研究结果、参考文献。

3. 研究评论
主要是对当前最新研究结果或研究动态的评论或展望,也可是基于他人研究结果的二次开发或更深层次的研究结果报道。

4. 综述文章
(1)综述本领域或本学科的研究成果和进展、发展动态和趋势;(2)作者本研究群体的研究工作综述。

5. 研究论文
征集研究新结果的学术论文。

6. 应用开发类论文
接受各类大学、研究所、企业自主研发的新产品性能报道和新应用报道;新型器件在系统应用结果方面的报道等。是反映企业研发创新和对自身产品的再认识的能力、并能够让用户更好地了解产品性能、拓展应用范围的手段。本栏目论文具有产品推广广告作用。

7. 成果信息和研发信息
本栏目主要为大学、研究所等研发部门发布研究成果信息或项目工程研发信息;企业需要开发或攻关的项目信息等。目的是为研发部门和企业之间架起沟通桥梁。

8. 各类形式的企业宣传、广告,具体来电来函商谈,本刊做各类宣传、广告,费用低廉。
“好酒也怕巷子深”——您的产品多一份广告就会多一份收益,低廉的费用可以节约一个推销员的出差费用,而效果和范围则要比一个销售人员大得多。

在我们这里刊登的广告哪怕只为您带来一个客户——您就收回了广告成本,同时也给您带来了久远的影响和效益。

纸版的广告+电子版的广告——更值得客户信赖,更能为您培养潜在的中、远期客户。
网上投稿:Email: gjdxxw@gmail.com xxfw@ciomp.ac.cn