文章编号:1002-2082(2012)02-0374-06

LED 灯具道路照明效果模拟与分析

阚子雄[1],王巧彬[2],任 豪[2],陈振强[1,3]

(1. 暨南大学 光电工程研究所,广东 广州 510632;2. 广州市光机电技术研究院,广东 广州 510632;
3. 广东省高等学校光电信息与传感技术重点实验室(暨南大学),广东 广州 510632)

摘 要:为适应半导体产业的迅猛发展和环保节能的迫切要求,将 LED 作为一种新的能源方式应用到照明产业中。选取几种有代表性的 LED 路灯作为研究对象,根据各自不同形状的配光曲线,利用照明仿真软件 Dialux 对这些 LED 灯具在不同的布灯方式下在道路上的光照度分布情况进行模拟和分析比较,总结出适合于道路照明的 LED 路灯应具有的配光曲线特征,为 LED 灯具设计提供参考。

关键词:道路照明; LED 路灯; 配光曲线

中图分类号:TN312.8;O432.2 **文献标志码**:A **doi**:10.5768/JAO201233.0205005

Simulation and analysis for road lighting with LED luminaries

KAN Zi-xiong[1], WAN Qiao-bin[2], REN Hao[2], CHEN Zhen-qiang[1,3]

(1. Institute of Optoelectronic Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China;
2. Guangzhou Research Institute of O-M-E Technology, Guangzhou 510632, China;
3. Key Laboratory of Optoelectronic Information and Sensing Technologies of Guangdong Higher Education Institutes, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: With the dramatic development of semiconductor industry and the pressing need of environment protection, LED has acted as a new energy source to be applied to lighting industry. This paper selected several typical kinds of LED street lamps as the research objects which have different shapes in their respective light distribution curves. By using the light designing software Dialux, this paper simulated the LED street lamps' illuminance distribution on the road and made an analytic comparison between two different street lamps' array methods, then summed up the features of LED's light distribution curve which were suitable for roadway lighting to provide reference for the design of LED luminaries.

Key words: road lighting; LED street lamps; light distribution curve

引言

随着当今传统能源的逐渐枯竭,研究和应用新的能源已成为科技与产业发展的重点[1]。路灯作为道路照明的一种重要工具,提高照明光效和照明均匀性始终是道路照明领域追求的目标[2]。路灯灯具的光源发展经历了白炽灯、荧光灯、水银灯、高压钠灯、汞灯、金属卤化物灯、冷阴极荧光灯等过程[3],它们各有优点和缺点。LED(lighting emitting diode,发光二极管)灯以其节能、环保、寿命长、响应速度快、显色指数高等特点[4],有逐渐代替上述光源的趋势。

目前,LED 路灯作为最具有潜力的光源,在实际城市道路照明应用方面存在以下问题:一是 LED 属于点光源,存在中心亮度过高和眩光问题[5-6];二是发光效率低于高压钠灯;三是 LED 路灯需要多个单颗 LED 进行串并联使用,从而带来散

收稿日期:2011-07-05; **修回日期**:2011-11-04
基金项目:广东省省部产学研项目(2010B090500022);广东省自然科学基金项目(9178922035-X000002)
作者简介:阚子雄(1986-),男,广西人,硕士,主要从事 LED 路灯照明技术研究工作。E-mail: kzxihlq@126.com

热问题[7];四是行业生产标准体系不够完整[8],芯片来源、封装工艺、电源驱动设计、散热设计、二次光学设计各不相同,最终导致LED路灯产品性能存在差异,这些差异在灯具的配光曲线中会有所体现[9-10]。

基于上述问题,本文希望通过对目前市面上销售的几种主要LED灯具模块,在不同产品配光曲线的基础上,利用灯光照明设计和模拟Dialux软件,对LED灯具在城市道路上的光分布情况进行模拟分析,评价当车辆在道路上行驶时是否会出现亮度不足、光斑或者"斑马线"现象,以便为将来灯具改进开发提供一些参考依据。

1　实验方案

实验选用了4个厂家的具有不同典型配光曲线的灯具产品。首先在实验室内通过分布式光度计对LED灯具进行测量,得出相关的灯具IES文件,IES文件里包含了LED灯具的配光曲线以及相关的光学数据,然后将这个IES文件导入到照明仿真软件Dialux中,建立好模型后进行仿真分析。

所测量的四盏LED灯具的配光曲线如图1所示,分别标记为A、B、C、D。在Dialux软件中所构造的模型为:在道路宽为12 m,两侧人行道和草皮宽度分别为2 m和3 m的街道模型上装上要进行道路照明模拟的LED路灯,LED路灯的安装高度为10 m,安装仰角为15°,且灯与灯之间的间距为20 m。在这种情况下对灯具的相对排列和交叉排列两种排列方式进行模拟仿真。

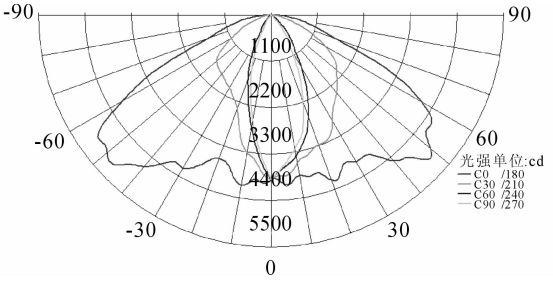

图1　A厂灯具配光曲线图

(曲线由外到内分别代表灯具在C0/180面、C30/210面、C60/240面、C90/270面上的配光曲线)

Fig. 1　Distribution curve flux of the luminaire from A factory

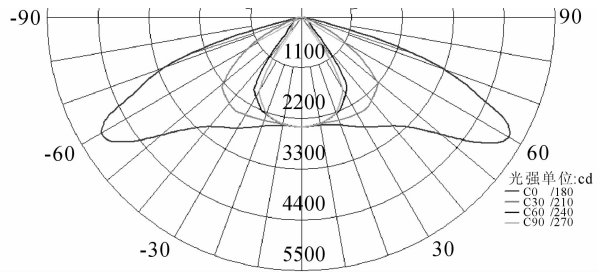

图2　B厂灯具配光曲线图

(曲线由外到内分别代表灯具在C0/180面、C30/210面、C60/240面、C90/270面上的配光曲线)

Fig. 2　Distribution curve flux of the luminaire from B factory

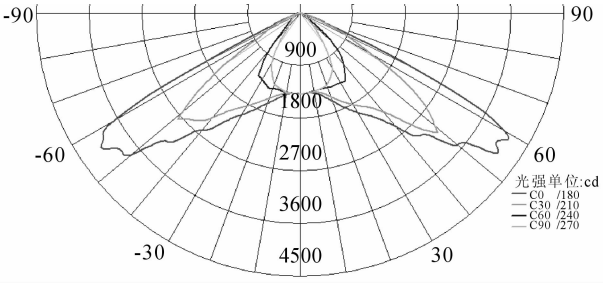

图3　C厂灯具配光曲线图

(曲线由外到内分别代表灯具在C0/180面、C30/210面、C60/240面、C90/270面上的配光曲线)

Fig. 3　Distribution curve flux of the luminaire from C factory

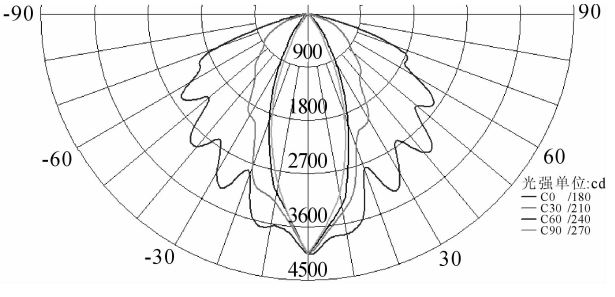

图4　D厂灯具配光曲线图

(曲线由外到内分别代表灯具在C0/180面、C30/210面、C60/240面、C90/270面上的配光曲线)

Fig. 4　Distribution curve flux of the luminaire from D factory

2　模型仿真与分析

将四盏LED灯具的IES文件导入软件所建立好的模型中,得到了两种排列方式即相对排列和交叉排列的实际道路照明的光分布情况。为方便进行比较,现将在这两种方式下4盏灯的最大照

度、最小照度、照度均匀度以及最大照度与最小照度之比以表格的形式列出来,如表1和表2所示。

表1　LED路灯在交叉排列方式下的道路照度情况

Table 1　LED street lamp's illumination situation on road for staggered pattern　lx

灯具号码	最小照度	最大照度	平均照度	照度均匀度	
				U_1	U_2
A	11.7	39	22.3	0.300	0.525
B	14.94	33	20.9	0.453	0.715
C	13.38	29	19.2	0.461	0.697
D	10.65	36	20.2	0.296	0.527

备注:U_1 代表最小照度/最大照度,U_2 代表最小照度/平均照度

表2　LED路灯在相对排列方式下的道路照度情况

Table 2　LED street lamp's illumination situation on road for opposite pattern　lx

灯具号码	最小照度	最大照度	平均照度	照度均匀度	
				U_1	U_2
A	6.60	31	17.2	0.212	0.384
B	8.28	29	16.5	0.286	0.502
C	8.21	27	17.0	0.304	0.483
D	7.17	32	18.3	0.224	0.392

备注:U_1 代表最小照度/最大照度,U_2 代表最小照度/平均照度

2.1　各个LED灯具光分布情况分析

通过分析图1和图2的LED灯具配光曲线可以发现,这2个灯具都有着中心光强与侧边光强存在差异的特点。对于A厂灯具来说,在它中心处的光强可达约3 900 cd,同时侧边两端的最大光强为5 167 cd,配光曲线所展开的角度为96.8°;相比之下,B厂灯具的中心光强则要显得弱了一些,只有2 420 cd,同时侧边两端的最大光强是5 190 cd。而且曲线在中心两侧的走向也比较平滑,因此从这里我们可以推断出B厂LED灯具在光源的两侧有较好的光分布,在中心底下形成光斑的可能性低。

对于图3的C厂LED灯具配光曲线,我们可以发现C厂灯具的光分布有一个约100.8°的展开角度,此图比较突出的特点是中心光强要比侧边两端的光强低得多,中心光强约为1 400 cd,而侧边最大光强为4 370 cd,几乎是中心光强的3倍。从这种分布我们可以估计出具有这种配光曲线的灯具的下方的中心光强会不足,特别是当灯具采用相对方式排列时可能会无法达到道路照明所需要的照度要求。相对于图4中的D厂灯具,它和C厂灯具刚好相反,该灯具的中心光强表现力特别高,中心处光强就是最大光强,同时侧边两端的展开角度相对上述的A、B、C厂灯具比较小,于是我们可以推断出这种型号的灯具比较注重灯具正下方的表现,但由于路灯之间是有一定间距限制的,不能太宽,因此有可能导致光斑的现象出现。

表3　各个灯具光束角,中心光强,侧边最大光强对照表

Table 3　Reference table for every luminaire's beam angle, central light intensity and side maximal light intensity

灯具号码	光束角/(°)	中心光强/cd	侧边最大光强/cd
A	96.8	3 900	5 167
B	102.4	2 420	5 190
C	100.8	1 400	4 370
D	111.7	4 050	4 059

2.2　交叉排列道路照度分布情况模拟分析

从上面表格和图示可以知道,不同灯具的配光曲线有着明显的差别。这些LED灯具不仅在各个方向上的光强分布上有差异,而且它们对于路面的照度也存在着不同。配光曲线上光强度分布的不同便会导致在道路上的实际照度不同。另一方面,配光曲线上灯具中心发光情况和侧边两端发光情况的差异也会使得在道路照明的均匀度上受到影响。

图5和图6分别给出了当LED灯具的排列方式为交叉排列时,在软件Dialux中得到的照度分布图。

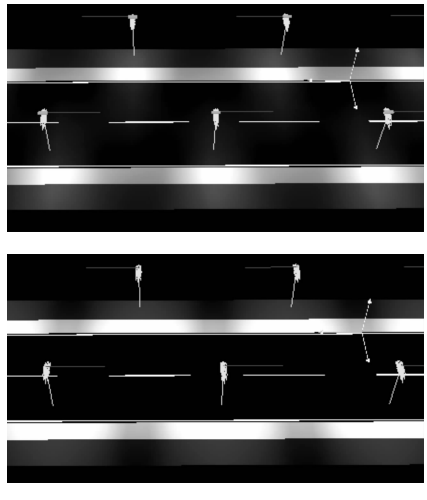

图5　A厂和B厂LED灯具交叉排列下道路照明模拟图

Fig. 5　Mimic diagrams of road lighting with staggered pattern for luminaires from factories A and B

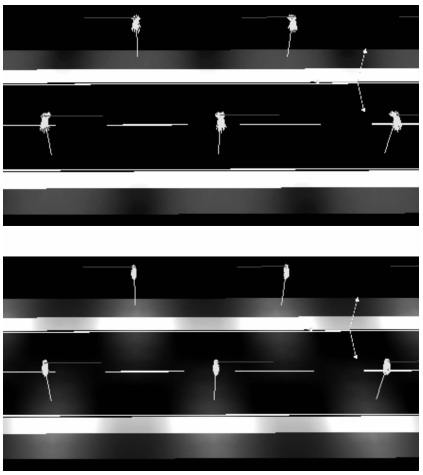

图6　C厂和D厂LED灯具交叉排列下道路照明模拟图

Fig. 6　Mimic diagrams of road lighting with staggered pattern for luminaires from factories C and D

现在我们通过上述图例来分析这几种LED灯具在交叉排列下于道路照明上的表现情况。从图5可以看出,A厂LED灯具所照射的道路明显出现了灯具下方较亮的情况,也就是形成了所谓的光斑现象。而对于B厂LED灯具的道路照明模拟图而言,在灯具正下方的亮度不会像A厂灯具明显,不会形成光斑,因为其配光曲线在侧边两端有较好的表现,使得在灯具与灯具间的地方得到了必要的照度分布,所以在道路照度的均匀度上要明显好于其他LED灯具,达到了0.715。相比之下,A厂LED灯具的道路照度均匀度只有0.525。对于C厂LED灯具,由于受到灯具中心发光强度不足的影响,造成了远离灯具下方的路面照度反而较高的情形出现,虽然此时道路的均匀度还可以达到0.697,而且不会出现光斑现象,但也会使得行人无法获得均匀的路面照度。同时,需要注意的是,由于侧边两端的最大光强比中心的要高得多,于是使得行人刚刚走进路灯的照射范围时,眼睛会受到眩光的刺激,造成对路上行人和驾驶员的危险。对于图6所示的D厂LED灯具,它和A厂LED灯具一样,也会在路面上有光斑现象出现,所不同的是,由于这种灯具的配光曲线侧边两端展开的角度相对较小,所以即使整个灯具的发光强度足够,也会因为灯具下方的发光强度过高使得产生的光斑现象比A厂LED灯具明显。

2.3　相对排列道路照度分布情况模拟分析

图7和图8给出了这4个LED灯具于相对排列方式下得到的道路照度模拟图。之所以给出这种排列方式的仿真情况,是因为平时一般的排列方式不会仅局限于交叉方式,对于很多特殊场合下也会用到相对排列这种方式。

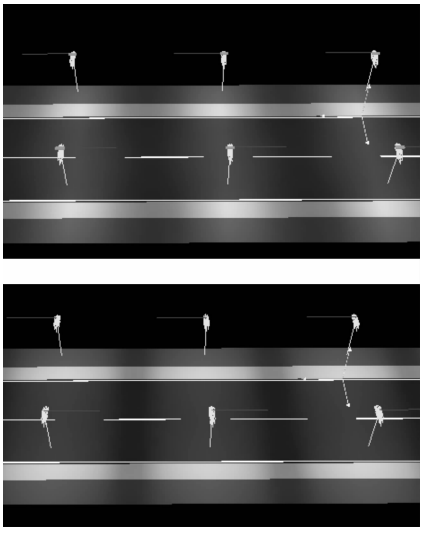

图7　A厂和B厂LED灯具相对排列下道路照明模拟图

Fig. 7　Mimic diagrams of road lighting with opposite pattern for luminaires from factories A and B

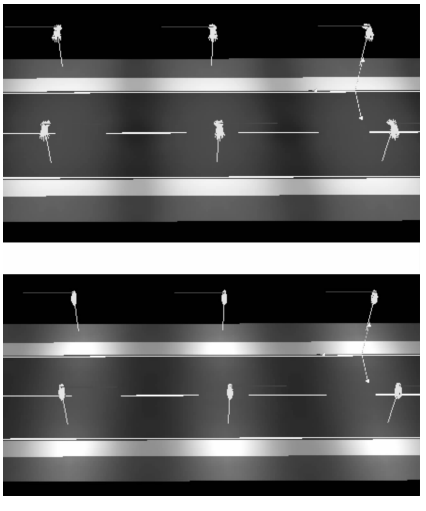

图8　C厂和D厂LED灯具相对排列下道路照明模拟图

Fig. 8　Mimic diagrams of road lighting with opposite pattern for luminaires from factories C and D

从图7和图8中我们可以看到,在相对排列的道路照明方式下道路的光分布基本上都存在着斑马线现象,导致照度均匀度与交叉排列的方式相比没那么好,这就会使得行人或司机在短时间内完成视觉切换的次数增多,会增加司机眼睛的疲劳感。通过数据表格2对比可以发现,B厂和C

厂灯具无论是照度均匀度还是最小照度与最大照度的比值都要比另外两个类型的灯具要高,这是因为B厂和C厂LED灯具的中心光强和侧边两端的最大光强都保持一个合理的差值范围,A厂灯具中心和侧边两端的光强接近,而D厂灯具则是过分强调中心部分的光强。所以整体而言,B厂LED灯具和C厂LED灯具无论在交叉排列方式上还是在相对排列方式上都要比另外两盏有较好的道路均匀度表现。

3 结论

实验中所选的四款灯具在道路上的平均照度均达到了18 lx到22 lx左右,同时照度均匀度处在0.38和0.71之间。根据国家道路照明设计标准CJJ45-2006文件相关内容要求,在次干路以及次干路以上的级别(包含快速路、主干路)在平均照度上要达到10 lx到30 lx之间,而照度均匀度方面则要在0.35以上,因此所选的灯具在道路上的照明表现均达到了国标要求,故这4款有代表性的LED灯具可以在文中设定的普遍情况下(路灯安装高度,安装仰角以及路灯间距)的次干道路上使用。

通过模拟仿真分析可以发现,决定道路照明均匀性的一个关键条件是LED灯具的配光曲线,而灯具的配光曲线主要是和灯具开发过程中的二次光学设计相关,不同的二次光学设计会使得灯具间的效率和配光曲线存在差异,这种差异便会直接反应在道路照明的照度分布上。通过上面的模拟分析结果可以发现,当灯具的中心光强与侧边两端的最大光强间的比例在1:3到1:2之间、配光曲线中侧边两端展开的角度大约为100°时,无论是交叉还是相对方式排列,得到的道路均匀度要比其他种类灯具要好。

如果所设计出的LED灯具的配光曲线过分强调中心部分或者是侧边两端的光强分布,就会产生光斑或者是灯具下的中心照度不足的可能,当行人刚走进路灯的照射范围时还可能会有眩光的可能出现,危险性增加。同时,灯具配光曲线的展开角也对照明效果有所影响,展开角过小会使得在安装灯具时必须要把灯杆之间的间距变小,路面的照明均匀性较差,在道路形成较大的"斑马线"宽度;过大则会使路人和司机的眼睛在远处还未接近路灯时就受到眩光的影响。所以,总的来说,在进行灯具开发设计时要考虑2个因素:一是灯具的中心光强与侧边两端最大光强之间的比例关系。二是通过二次光学设计后配光曲线图的展开角度。只有结合这2个因素,才能提高灯具射出的光在道路上的均匀性,降低潜在道路安全问题发生的风险。

参考文献:

[1] 夏军. 实测与分析LED路灯照度[J]. 照明工程学报,2009,20(增刊):35-38
XIA Jun. Illuminnance tests and analysis of LED road lighting lamp [J]. Illuminating Engineering Journal,2009,20(sup):35-38.

[2] 钱可元,付伟,罗毅. LED路灯特性长程测试中的误差分析[J]. 照明工程学报,2010,21(4):74-78.
QIAN Ke-yuan,FU Wei,LUO Yi. Research on the measuring accuracy of LED street[J]. Illuminating Engineering Journal,2010,21(4):74-78.

[3] 张学智,黄胜邦,胡鸿烈. 由光学角度来看LED在道路照明的应用[J]. 照明工程学报,2009,19(8):76-79.
ZHANG Xue-zhi,HUANG Sheng-bang,HU Hong-lie. LED's application on road lighting from the view of optics [J]. Illuminating Engineering Journal,2009,19(8):76-79.(in Chinese with an English abstract)

[4] 葛莉荭. 发光二极管(LED)道路照明应用的研究[J]. 光源与照明,2009(2):1-4.
GE Li-hong. The research of light-emitting diode (LED)'s application on road lighting[J]. Lamps and Lighting,2009(2):1-4.(in Chinese with an English abstract)

[5] 刘承东. LED路灯在道路照明中的应用[J]. 中国照明电器,2009(3):30-34.
LIU Cheng-dong. Application of LED street lamp in road lighting[J]. China Light & Lighting, 2009(3):30-34.(in Chinese with an English abstract)

[6] 施克孝. 灯具的配光曲线及应用[J]. 演艺设备与科技,2006,13(1):5-12.
SHI Ke-xiao. Luminaire's distribution curve flux and its application [J]. Entertainment Technology, 2006, 13(1):5-12.(in Chinese with an English abstract)

[7] 李志航,高铁成. LED道路照明光源的散热与配光应用[J]. 电器技术,2008,24(7):95-98.
LI Zhi-hang, GAO Tie-cheng. LED road lighting

source with the heat and light application[J]. Electric Appliance Technology, 2008, 24(7): 95-98. (in Chinese with an English abstract)

[8] 王春光. LED路灯的应用现状和发展[J]. 电气应用, 2009, 28(5): 4-6.
WANG Chun-guang. LED street lamp's application and development[J]. Electrotechnical Application, 2009, 28(5): 4-6. (in Chinese with an English abstract)

[9] 郗书堂, 胡培生. 路灯[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
XI Shu-tang, HU Pei-sheng. Street lamp[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008. (in Chinese)

[10] 张九红, 庄金讯. 配光曲线在照明计算中的应用[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2007, 23(6): 941-944.
ZHANG Jiu-hong, ZHUANG Jin-xun. Distribution curve flux's application on lighting calculation [J]. The Journal of Shenyang Architecture University : Science Edition, 2007, 23(6): 941-944. (in Chinese with an English abstract)