

LED 蓝光泄露安全性研究

申崇渝, 徐征*, 赵谏玲, 黄清雨

北京交通大学发光与光信息技术教育部重点实验室, 北京交通大学光电子技术研究所, 北京 100044

摘要 研究了 LED 照明器件的蓝光特性。针对我国的 LED 照明现状, 通过测试 LED 照明器件的光谱成分, 根据现行国内外标准 GB/T 20145—2006/CIE S009/E:2002 和 IEC62471:2006, 以及 CTL-0744_2009-laser 决议, 分析了 LED 光生物安全性, 给 LED 照明灯具制造和相关安全性标准、法律制定提供参考。LED 中蓝光的辐亮度值低于 $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1}$ 时对人眼属于无危害类型, 正常使用情况下不会对人眼造成伤害, 但是应该注意对特殊人群(小孩)的保护, 避免长时间直视光源。灯具富蓝化也会影响人的作息规律, 因此色温 4 000 K 以下, 显色指数 80 的 LED 灯具适合在室内使用, 同时还要根据不同的使用距离选择不同的参数的灯具。

关键词 LED; 蓝光泄露; 光生物安全; 光谱辐亮度; 色温

中图分类号: O482.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2014)02-0316-06

引言

随着半导体技术及新型材料的不断发展, 特别是 GaN 基发光二极管的发展趋于成熟, 使得 LED 成为当今照明领域的最具发展前景的照明产品之一, 被认为是第四代照明光源。具有高效、节能、环保、寿命长、体积小、响应速度快、耐振动、易维护等优点。现在已普遍运用于室内外照明和车灯、信号灯等。随着 LED 光源的发光功率不断增大, LED 的光学性能的不提高, LED 市场不断扩大, 已完全进入到我们的生活当中。这让我们不得不去了解 LED 照明灯具的相关原理, 以及它的安全性如何。由于目前市场上普遍采用蓝色芯片激发黄粉混合而发白光的 LED, 而高能蓝光能对人眼视网膜产生伤害, 所以人们比较关注的是 LED 灯具高能蓝光成分会不会对人眼造成伤害。

1 理论基础

由于白光是由三基色光混合而成, 而人眼看到的白光至少需要两种及以上的颜色混合形成, 而发光二极管的发光机理决定了其不能由单一的芯片发出连续光谱的白光, 并且白

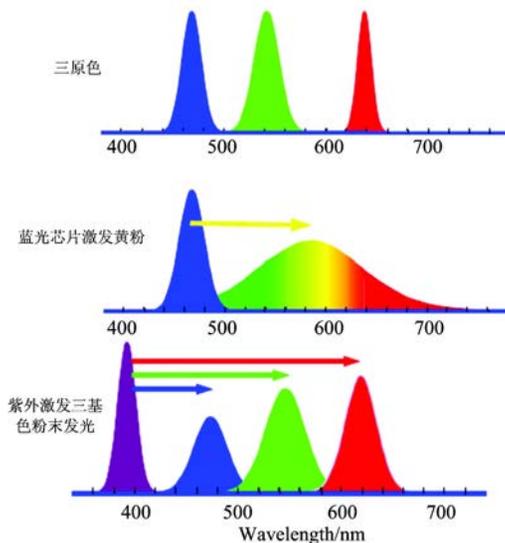


Fig. 1 Spectra of three different structure LEDs

光 LED 作为照明需要考虑光源显色指数及光效, 而两者相互矛盾, 因此只能采用混合形成白光^[6]。目前合成白光的方式有三种: 采用蓝光 LED 芯片激发黄色 YAG 粉组合成白光

收稿日期: 2013-05-13, 修订日期: 2013-07-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB327704), 国家自然科学基金项目(51272022), 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0220), 教育部博士点基金项目(20120009130005), 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2012JBZ001), 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2013AA032205), 教育部博士点基金项目(20130009130001)资助

作者简介: 申崇渝, 1988 年生, 北京交通大学理学院光电技术研究所硕士研究生 e-mail: 11121830@bjtu.edu.cn

通讯联系人 e-mail: zhengxu@bjtu.edu.cn

和基于紫外光 LED 激发三基色粉混合成为白光，以及采用红绿蓝三基色组成白光。光谱图如图 1 所示，结构图如图 2 所示，白色 LED 结构示意图如图 3。

蓝光对于人眼有伤害，因此我们研究的重点就是找到一个安全的统一标准，给出相应的参数阈值。

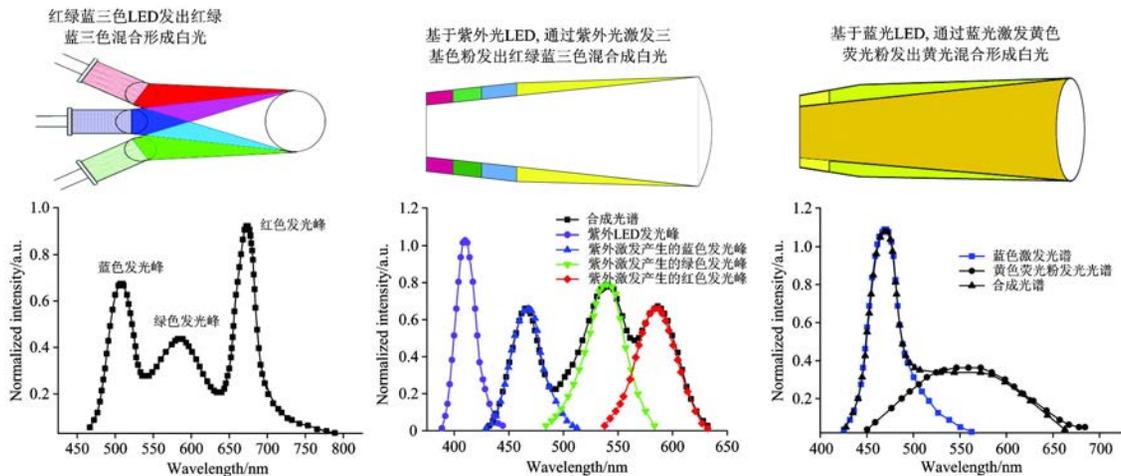


Fig. 2 Schematic diagram of the white LEDs

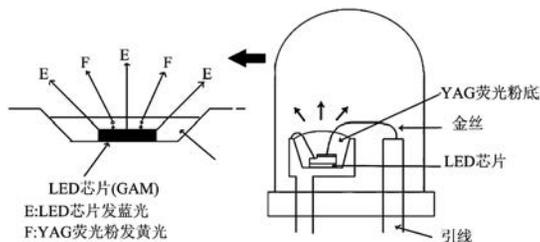


Fig. 3 Structure of white LEDs

2 蓝光对视网膜伤害

光对于人的伤害主要集中在紫外线、近紫外线和红外线加上 400~500 nm 的蓝光。光处于紫外或者近紫外时其光子能量大易引起光化学反应，致使细胞结构重组或者 DNA 损坏。光处于红外时，热效应使得体内的蛋白质变性致死。蓝光对于人眼透射率高，而人眼中感光器和视网膜外表面的细胞层在紫外区和蓝光区都存在吸收峰，如图 4 所示。白光 LED 中激发光源为蓝光，正好处在吸收峰上。蓝光危害主要波长集

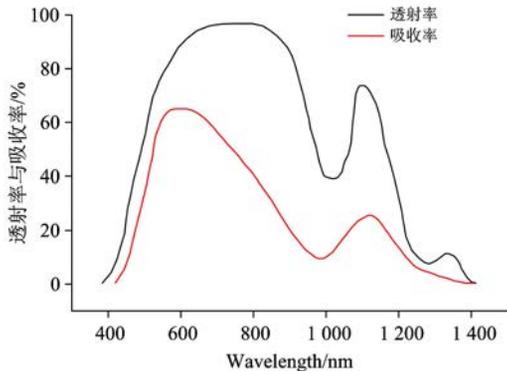


Fig. 4 Spectral transmissivity of the living human crystalline lens and the absorption rate of retinal

中在 400~500 nm，从图 5 中可以看出在蓝光波段危害加权函数急速上升^[11]。

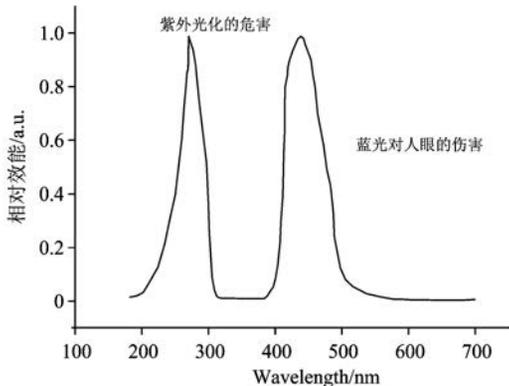


Fig. 5 Weighting function relationship of optical radiation hazards

蓝光危害目前认为有两种机理，一种是视网膜的感光细胞吸收蓝光使得其能不断接受光子，造成细胞氧化损伤。并使得具有光毒性的褐脂质增加，造成细胞死亡。另一种是褐脂质的基团与褐脂质都具有光毒性吸收蓝光产生氧自由基，是细胞内溶酶体失活，造成细胞死亡。由于有抗坏血酸，能保护免受绿光伤害。

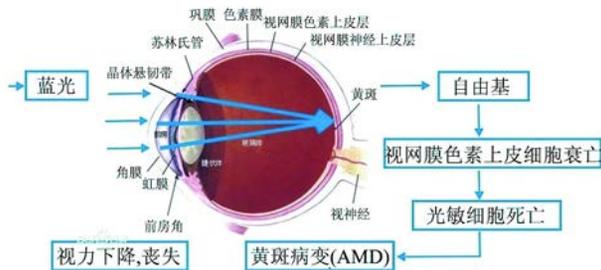


Fig. 6 Schematic diagram of the blue-light hazard

3 国内外光生物安全规定

国际上各国是结合 IEC62471:2006“灯和灯系统的光生物安全性”和 EN 62471:2008 来评定 LED 灯的安全性问题。IEC62471:2006 和 EN62471:2008 中详述了光辐射可能给人眼或皮肤带来的六种危害类型、各种危害的曝辐限值、灯或灯系统安全等级的划分方法和光生物安全的测量等内容,提供了综合测量和评估照明产品光辐射安全性的准则^[10]。

当前主要通过测皮肤和眼睛前表面的辐照度(被照表面单位面积上接收到的辐射通量)和对于视网膜的危害则需要考虑眼睛的成像特性进行转换而测量 LED 光源的辐亮度(单位面积源在给定的方向上、单位立体角内所发出的辐射通量)。

$$\text{辐照度 } E = \frac{d\Phi}{dA} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (1)$$

是通过测量在 1.4 rad 接收角内的辐照能量作为辐照度,这样测得的辐照度没有任何关于进入到眼睛视网膜上成像的信息,所以需要测量辐亮度。

$$\text{辐亮度 } L = \frac{d\Phi}{dA \cos \theta d\Omega} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1}) \quad (2)$$

3.1 辐照度测量

辐照度的测量是指从整个 LED 灯出射的光到被照面上的辐射能量,测试系统必须具有一个直径为 D 的圆形平面探测器,且要达到需要的信噪比。考虑到人眼的生理特征,对于较大角度的来自光源的辐射只需要在 80° 全角内测量。测试系统如图 7 所示。

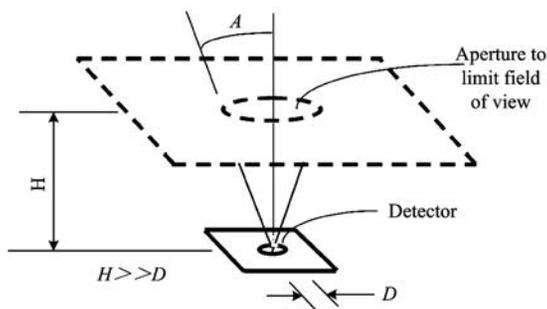


Fig. 7 Schematic-irradiance measurements

3.2 辐亮度测量

用辐亮度值来换算成相关的辐照度的值,由于人眼接受到的是 LED 光源一定立体角发出的光,而眼睛接受到的光能量又会随瞳孔的收缩、扩展而减小或增加。实际视网膜上的辐照度主要取决于光源的辐亮度和瞳孔对视网膜所张开的立体角。根据能量守恒原理,光到达视网膜上的能量不可能大于光到达眼睛晶体的能量,因此可以通过测量辐亮度再结合瞳孔的大小和瞳孔到视网膜的距离反过来测量辐照度。其测量方法有两种:一种是标准的成像测量技术;一种是间接测量技术,但是两种方法都需要在特定的立体角范围内测量,其设想测试系统如图 8 和图 9 所示。成像测试法是通过模仿人眼用透镜把光源成像到直径可变的平面上来选择视

场,而间接测量法则通过孔径光阑在光源面上限制视场,然后换算得到。在评价一个 LED 灯的质量好坏还应该考虑光谱的影响。因为人眼的光感灵敏度与光波长有很大的关系,因此我们应该注意到不同颜色的光对人的危害程度不一样,所以要在 LED 的灯光测试中加入各种光的危害权重进行计算考量^[12,13]。即是求得光源的加权辐亮度值不能超过下面的限值

$$L_{Bt} = \sum_{300}^{700} \sum_T L_\lambda(\lambda, t) B_\lambda \Delta t \Delta \lambda \leq 10^5$$

$$(\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1}) \quad (t \leq 10^4 \text{ S})$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda B_\lambda \Delta \lambda \leq 100$$

$$(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1}) \quad (t > 10^4 \text{ S})$$

式中, B_λ 为蓝光危害加权函数,其曲线如图 10 B_λ 所示。图 10 是蓝光危害和视网膜热随波长变化的加权函数曲线,测试的时候应该把光源的生理辐照度对图 10 中的对应波长范围做积分处理,将其结果再与公布的辐亮度限值做比较^[3,4]。

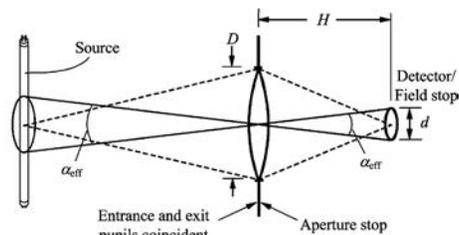


Fig. 8 Example of an imaging device for radiance measurements

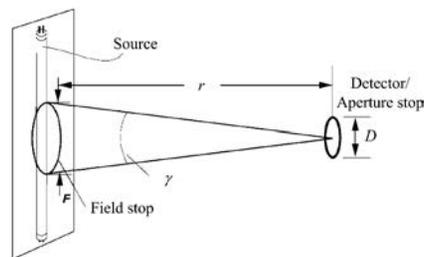


Fig. 9 Alternative radiance technique

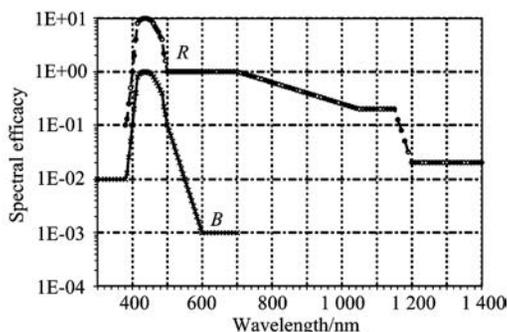


Fig. 10 Spectral weighting functions for retinal hazards B_λ and R_λ

CIE S009/E: 2002, 其把蓝光对于视网膜的危害分为 4 个类别(如表 1 中所示)。但是标准中还未涉及光源的色温问题, 我们在实际的运用中必须考虑 LED 灯色温的影响, 光源光谱和使用距离的影响^[3-5]。

Table 1 Blue-light hazard classification of GB/T 20145—2006/CIE S009/E: 2002

危险等级	辐亮度范围 ($W \cdot m^{-2} \cdot Sr^{-1}$)	危害
无危险	≤ 100	灯在这种条件下曝光时间 1 000 s 内不造成危害
低危险	$\leq 10^4$	灯在正常的曝光时间 100 s 下不产生任何危害
中度危险	$\leq 4 \times 10^6$	灯不产生对强光和温度的不适反应的危害, 但曝光时间 10 s 下不产生危害
高度危险	$> 4 \times 10^6$	灯能在短时间内瞬间造成危害

4 LED 灯危害分析

在自然界的太阳光中也存在蓝光成分, 只是蓝光成分在整个光谱中有适当的比例。需要把 LED 中蓝光能量控制在一个适当的比例。并且蓝光危害的问题并不是 LED 灯特有的, 之前的一些灯具都存在这个问题(如图 11 所示), 荧光灯光谱都是分立的发光光谱, 如果辐照度控制不好危害相对于 LED 灯具更大^[12,13]。

目前市场上的 LED 灯都是采用蓝光的芯片发出蓝光激发黄色 YAG 粉来调和成白光。其质量的好坏基本上能从 LED 灯具的光谱上、灯的蓝光辐照度值和色温中看出。根据俞安琪对目前市场上一些 LED 灯具的测试结果, 可以看出总体上目前市场的灯在正常使用情况下是在无危险和低危险档的, 低危害类正常是 100 s 曝光时间内不会对人眼造成伤害, 这个曝光时间对于人来说安全, 但是在拆卸下防护罩之后测量结果显示辐亮度增加了一个数量级, 因此只要我们在不拆卸灯的防护罩的情况下使用时不会造成危害, 对于 LED 灯的危害还应该考虑在合适的场合使用相适应色温的 LED 灯具, 目前市场上的 LED 灯具在正常使用情况下都在安全范围以内^[11]。

光源的色温是通过对比它的色彩和理论的热黑体辐射体来确定的。热黑体辐射体与光源的色彩相匹配时的开尔文温度就是那个光源的色温, 它直接和普朗克黑体辐射定律相联系。色温低则光谱中红色成分多, 相反则蓝色光偏多。也即是平常说的暖色光是色温在 3 300 K 以下, 暖色光与白炽灯相近, 红光成分较多, 能给人以温暖, 健康, 舒适, 比较想睡的感受。适用与家庭, 住宅, 宿舍, 宾馆等场所或温度比较低的地方。冷色光则是色温在 5300 K 以上, 其中蓝色成分偏多。

日常的生活中早晨和傍晚的光偏暖色光, 中午光偏冷白光。所以根据“中国科协第 249 次青年科学家论坛”会议及国际新的研究, 灯具富蓝化会影响人的作息规律^[9]。因此高色

温的 LED 灯具不适合用于室内照明, 应该尽量用色温偏低的灯具。目前市场上的 LED 灯具质量参差不齐, 质量好的产品色温低, 蓝光能量偏低, 质量差的 LED 产品色温高, 蓝色成分多(如图 12 和图 13), 因此在选择照明 LED 时, 应该根据不同的用途选择不同规格的灯具。选用 LED 灯具时还应考虑照明距离的影响, 不同距离其灯具的辐照度不同, 即根据照明距离选择合适的 LED 灯具, 因为测试 LED 灯具的主要指标是辐照度, 而辐亮度与人眼离光源的距离和所张开的

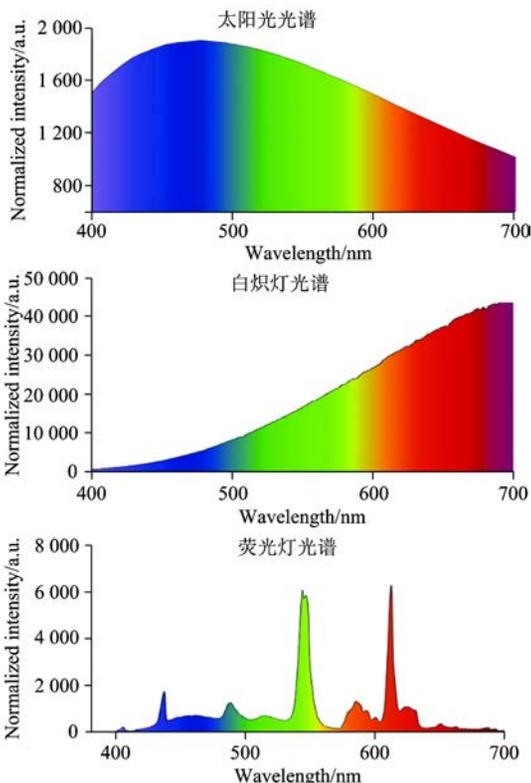


Fig. 11 Contrast of sunlight spectrum, incandescent lamp spectrum and fluorescent lamp spectrum

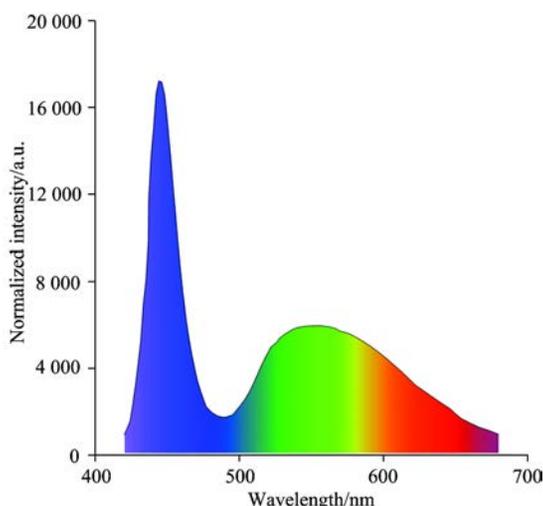


Fig. 12 Spectrum of poor quality LEDs with high color temperature

立体角有关系,如台灯、用 LED 作为背光的手机屏幕等使用时离人眼很近(光谱如图 14,图 15 所示),因此这些灯的标准与安装在天花板上的 LED 灯具标准不一样,应该更加严格。

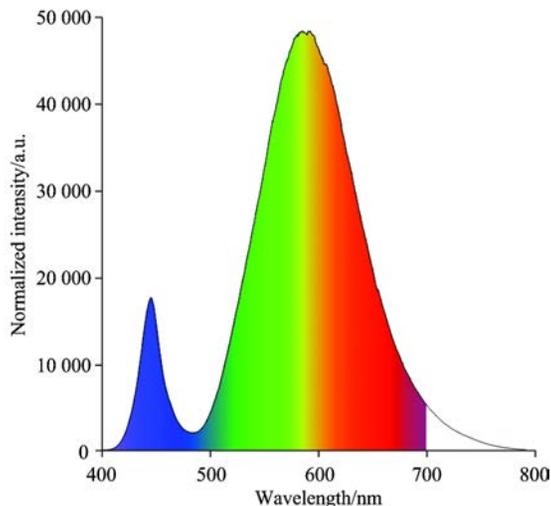


Fig. 13 Spectrum of better quality LEDs with low color temperature

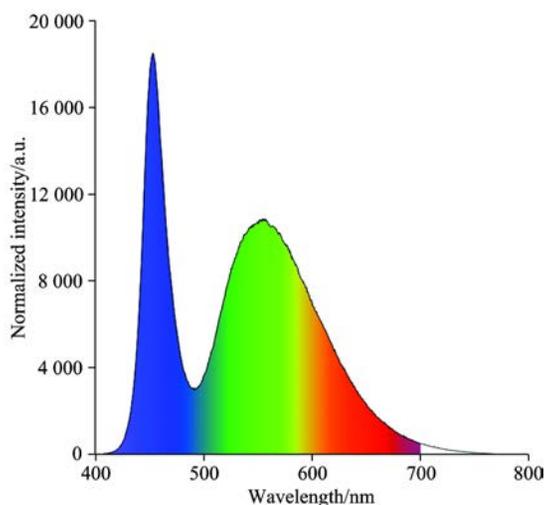


Fig. 14 Spectrum of LED table lamp

5 结论

总体上目前国内的 LED 灯具都是在安全许可范围内,在正常使用情况下不会对人眼造成伤害,并且 LED 灯具相

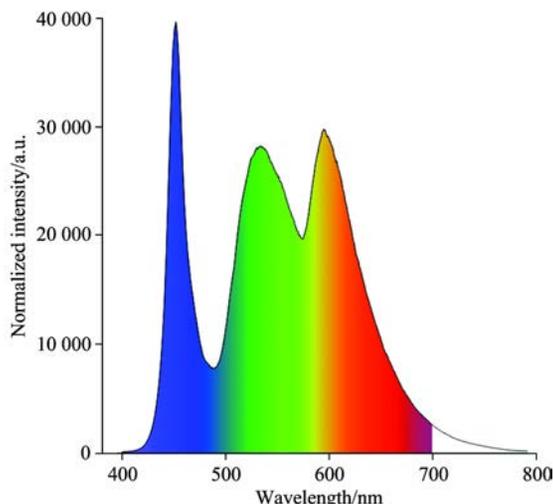


Fig. 15 Spectrum of the LED as a backlight phone screen

比于传统的照明光源在某些方面还表现出了很大的优势:

(1)LED 灯具已经能做到显色指数 80 以上,并且光效达到 $100 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ 以上,色温在 3 000 K,表现出了比普通白炽灯和荧光灯更好的照明和节能效果。

(2)LED 灯具有低功耗节能、光效高、寿命长的特点,使得其使用成本相对减小。

(3)搭配灵活可以选择不同的瓦数,同时 LED 灯具抗震,所需电压、电流小,且为直流驱动,发热小,安全适合于危险场合和偏远山区电力资源紧缺地方照明。

(4)在路灯方面采用一二次混合配光技术可以使点光源扩展成面光源,能有效的消除眩光现象,让出行驾车更安全,且寿命长便于维护。

要正确理解所谓蓝光泄露问题,由于蓝光是白光的一部分,每天阳光中的蓝光比例也是在变化中的,因此单纯的想消除蓝光是不现实的,只需要把蓝光能量控制在安全的范围内。室内应该选择在蓝光危害分类为低危害和无危害,色温在 4 000 K 以下,显色指数 80 以上的 LED 灯作为室内照明灯具。并注意特殊人群(如小孩)的保护,避免长时间直视 LED 灯。光化学反应过程与光辐射剂量有很大关系,即低剂量、长时间辐照和高剂量、短时间辐照效果是否相同还需要做进一步的研究,同时制定相关的安全标准。同时还应该增加 LED 灯具距离影响的研究,根据几种实际使用距离情况对 LED 灯具进行安全性研究及制定相关标准。最后应该模拟自然光进行 LED 灯具的配光设计,在不同场合配备不同的灯具。

References

- [1] GB/T 20145—2006/CIE S009/E; 2002 灯和灯系统的光生物安全性.
- [2] CEI/IEC 62471; 2006.
- [3] Lyons L. LEDs Magazine. Oct. 2011, 46; 31.
- [4] Lyons L. LEDs Magazine. Nov. /Dec. 2011, 47; 65.
- [5] Lyons L. LEDs Magazine. Feb. 2012, 49; 63.
- [6] Gu Xiaoling, Guo Xia, Lin Qiaoming. Research & Progress of See, 2008, 28(4); 532.

- [7] Xu Xueji . Lamps & Lighting , 2011 , (4) : 29 .
- [8] Xu Xueji . Lamps & Lighting , 2012 , (1) : 36 .
- [9] Xu Xueji . Lamps & Lighting , 2012 , (2) : 29 .
- [10] IEC TR 62471-2 2009 .
- [11] Zheng Haotun , Liu Weikai , Ni Jiyu . Electrical Appliances , 2012 , (6) : 52 .
- [12] Lin Weiguo . Research and Application of LED Parameter Measurement and Quality Control , 2012 .
- [13] Li Weijun , Chen Chaozhong . China Light & Lighting , 2011 , (3) : 9 .
- [14] Hu Changqi , Zhang Fanghui , Zhang Jing . Chinese Journal of Luminescence , 2012 , 33 (9) : 941 .

Study on the Safety of Blue Light Leak of LED

SHEN Chong-yu , XU Zheng* , ZHAO Su-ling , HUANG Qing-yu

Key Laboratory of Luminescence and Optical Information of Ministry of Education , Beijing Jiaotong University , Beijing 100044 , China

Abstract In this paper, the blue light properties of LED illumination devices have been investigated . Against the status quo of China's LED lighting , we measured the spectrum component of LED lamps and analyzed the photobiological safety under the current domestic and international standards GB/T 20145-2006/CIE S009/E : 2002 and IEC62471 : 2006 standards as well as CTL-0744_2009-laser resolution , which provides the reference to the manufacture of LED lighting lamps as well as related safety standards and laws . If the radiance intensity of blue light in LED is lower than $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1}$, there is no harm to human eyes . LEDs will not cause harm to human eyes under normal use , but we should pay attention to the protection of special populations (children) , and make sure that they avoid looking at a light source for a long time . The research has found that the blue-rich lamps can affect the human rule of work and rest , and therefore , the LED lamps with color temperature below 4 000 K and color rendering index of 80 are suitable for indoor use . At the same time , the lamps with different parameters should be selected according to the different distances .

Keywords LED ; Blue light leak ; Photobiological safety ; Spectral irradiance ; Colour temperature

(Received May 13 , 2013 ; accepted Jul . 18 , 2013)

* Corresponding author