

doi: 10.3788/gzxb20134203.0288

高均匀低眩光 LED 台灯配光设计及仿真分析

兰明强, 王敏, 陈雪梅

(福建师范大学大学 光电与信息工程学院 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

摘 要: 市场上的节能台灯普遍存在光效低、亮度不均匀、眩光较严重的缺点, 以改善这些缺点作为出发点, 设计了一款高均匀低眩光的 LED 护眼台灯. 设计加入非球面反光杯灯罩来收集 LED 光源发出的大角度光线, 提高了光能的利用率并改善了眩光. 加入配光透镜消除接受平面存在的中心亮斑, 解决了均匀照明问题. 通过 ProE 三维设计软件进行实体建模, 导入 TracePro 进行光线模拟和仿真分析, 结果表明这一 LED 台灯配光设计可在工作距离为 450 mm、直径为 700 mm 的接收面内实现低眩光高均匀照明, 平均照度可达 497.1 lx, 均匀度达到 0.9 左右. 这一高均匀低眩光 LED 护眼台灯的设计方案有着广阔的实际应用前景.

关键词: LED 护眼台灯; 非球面反光杯; 配光透镜; 高均匀度; 低眩光

中图分类号: O439

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2013)03-0288-5

High Evenness and Low Glare LED Lamp Light Distribution Design and Simulation Analysis

LAN Ming-qiang, WANG Min, CHEN Xue-mei

(Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine (Ministry of Education),
School of Physics and Optoelectronics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The performance of the energy-saving lamp in the market has some disadvantages generally, such as low light efficiency, uneven illumination and high-glare lighting. For this point, a high uniform and low glare LED eye protection lamp is designed. This design joined the aspheric reflector cup lampshade to collect a large angle of light emitted by the LED light source, which raised the light energy utilization and improved glare. This design added the light distribution lens to eliminate the center bright spots which exist in receiving plane and solve the illumination problem. Finally, the entity modeling was carried out by ProE 3D and imported into the TracePro light simulation software. The simulative analysis results show that the design of this LED lamp can realise low glare and can be more uniform illumination within the receiving plane, which with working distance of 450 mm and diameter of 700 mm, it allows up to 497.1 lx of average illumination, and the evenness can reach up to about 0.9. In the rapid development of LED lighting products, this kind of high uniformity and low glare LED eye protection table lamp design scheme has wide and bright practical and applicative prospect.

Key words: LED eye protection lamp; Aspheric reflector cup; Light distribution lens; High evenness; Low glare

0 引言

随着 LED 照明的飞速发展, 人们对照明的追求也由亮度和价格逐步转变为品质、环保以及舒适等

多方面^[1]. 保证工作区的良好视觉环境, 对提高学习和办公的质量, 提高工作效率以及保护身体健康都是至关重要的^[2]. 高眩光、均匀度差以及显色性不佳的灯光, 会导致阅读者视觉疲劳, 对桌面工作者的

第一作者: 兰明强 (1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光电信息处理、光学设计. Email: lmqbqy@126.com

导师 (通讯作者): 王敏 (1963-), 女, 教授级高级工程师, 主要研究方向为光学技术工艺及产品的研究开发. Email: mwang@fjnu.edu.cn

收稿日期: 2012-09-26; 录用日期: 2012-11-01

视觉神经系统造成严重的伤害^[3]。

1984 年北美照明工程学会对眩光(Glare)做了定义:在视野内由于远大于眼睛可适应的照明而引起的烦恼、不适或丧失视觉表现的感觉^[4]。LED 照明行业一般采用散射的办法来降低 LED 光线过度集中的问题。例如,用透光性很好的亚克力材料来进行散射雾化处理 LED 发出的光线,但它会损失部分光效。还有一种采用反射的办法,LED 的光效利用率则很高。相比较于“直射式”,“侧射式”LED 灯具的眩光得到较大的改善^[4-5]。

LED 作为直流无闪频、高光效的新一代照明光源,在桌面照明应用上具有广阔的应用前景。但是,LED 高度窄角集中的光学特性导致了光斑呈现中间极亮,随半径增大方向急速衰减的不均匀现象。这种极度不均匀照明将引起瞳孔频繁调焦,容易导致眼睛疲劳和不适^[6]。采用自由曲面透镜是有效改善光线分布状况的重要途径。配光结构一般有反射面、透镜两种,目前 LED 的二次配光结构大部分采用的是透镜结构^[6-11]。

本文的 LED 台灯配光设计中加入非球面反光杯来收集 LED 光源发出的大角度光线,提高了光能的利用率并改善了眩光。加入配光透镜解决了均匀照明问题,设计了一款高均匀低眩光的 LED 护眼台灯。

1 光源的主要性能参量选取

1.1 色温的确定

光源发射光的颜色与黑体在某一温度下辐射光色相同时,黑体的温度称为该光源的色温。经查阅国家照度标准——室内照明光源的色表可确定本设计光源的色温可定在 5 000 K。

1.2 显色指数的确定

光源的显色性是由显色指数来表明,它表示物体在光下颜色比基准光(太阳光)照明时颜色的偏离,能较全面反映光源的颜色特性。根据国家照度标准室内照明光源的一般显色指数按表 1 分为四组。

表 1 光源的显色指数

Table 1 Color rendering index of light sources

Subgroup of color index	Color index (Ra)	Applicable place
I	$R_a \geq 80$	Very high color defense
II	$60 \leq R_a < 80$	High color defense
III	$40 \leq R_a < 60$	Usual color defense
IV	$R_a < 40$	Low color defense

护眼台灯的显色指数也需大于 80,本设计选取

显色指数大于 85 的光源。

1.3 封装方式的选择

直插式 LED 大多采用圆柱或圆球封装,由于凸透镜的作用,都有很强指向性,光线方向的过于集中容易造成光照度的局部太亮,产生不适型眩光。贴片 LED 配合铝基板,能将大部分热量导出。因此,本设计选择贴片式封装的光源。光源参照深圳源磊科技的 0.5 W5050LED 光源,其主要参量是发光效率 47 lm/W,放光角度 120° ,色温选择 5 000 K 左右,显色指数大于 85 的小功率光源。

2 初始设计方案

市场上的 LED 台灯产品,光源基本是裸露的,只有少部分灯具有反光杯,使用反射的办法不仅可以降低 LED 光线过度集中的问题,使得眩光得到较大的改善,还可以提高 LED 的光效利用率。因此初始方案选择是贴片 LED 光源加反光杯。目标是在直径为 700 mm 的接收面内达到均匀照明。

2.1 反光杯设计

反光杯的主要作用就是将光线控制在接收面直径为 700 mm 的范围内,且实现在这个范围内照度均匀。反光杯的结构如图 1。

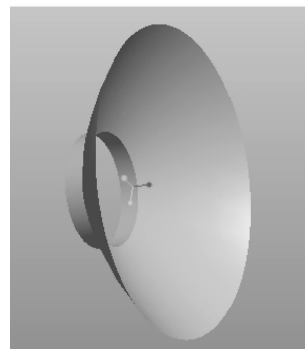


图 1 反光杯结构图

Fig. 1 Reflecting cup structure

2.2 反光杯的仿真

反光杯用 ProE 建模后导入 TracePro 进行仿真模拟:1)创建直径为 700 mm、距离光源为 450 mm 的平面,面属性设置为全吸收,做为接收桌面以观察照度分布;2)每个 LED 的光线数量设置为 1 000 000 条,光通量为 47 lm。进行光线追击,观察桌面的仿真效果。图 2 为反光杯辐照度图,其中(a)图为观察平面上照度分布的俯视图,纵横坐标分别为 X、Y 轴的坐标值;(b)图为观察平面上照度分布沿 Y=0 方向的截面图,横坐标为 X 轴的值,纵坐标为照度值。

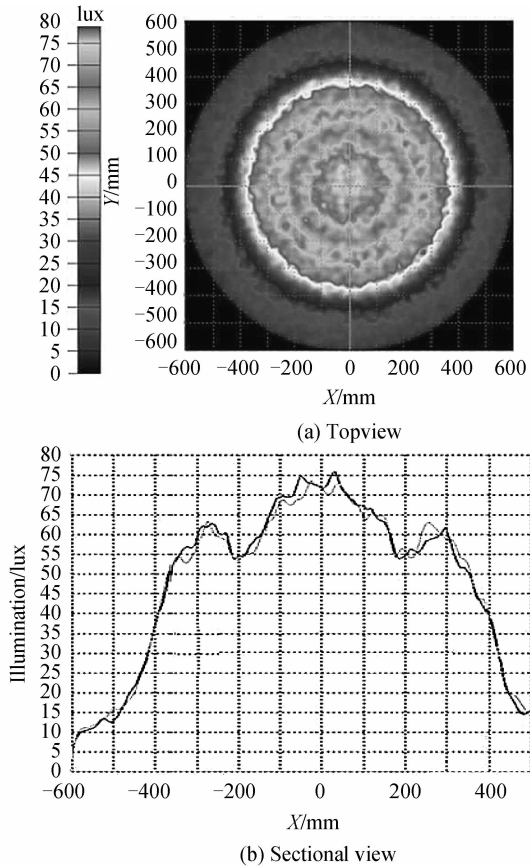


图 2 反光杯辐照度分析
Fig. 2 Amplitude illumination analysis of reflecting cup

图 3 的其极坐标配光曲线,是指在测光平面上测出的灯具在不同角度的光强值.由反光杯辐照度分析图可知光线集中于直径为 800 mm 的接收面范围内,照度相对比较均匀,但接收面的中心存在亮斑,并且无论怎样改变反光杯的形状尺寸,中心亮斑都无法消除.

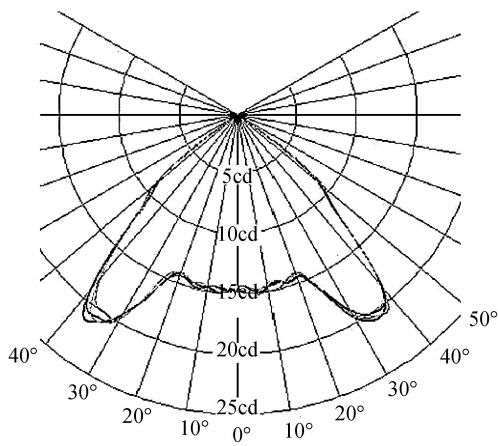


图 3 配光曲线
Fig. 3 Light distribution curve

3 改进方案

单纯采用反光杯无法消除中心亮斑,因此考虑加入配光透镜,透镜采用 PMMA 为材料. PMMA

(聚甲基丙烯酸甲酯),俗称有机玻璃,是目前最优良的高分子透明材料透光率达到 92%.

3.1 配光透镜的设计

加入透镜的主要作用就是将光线控制在接收面直径为 700 mm 的范围内,消除中心亮斑,实现均匀照明.配光透镜的结构如图 4.

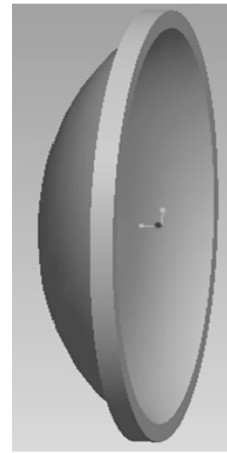


图 4 透镜结构图
Fig. 4 The lens structure

3.2 配光透镜的仿真

用 ProE 建立配光透镜实体模型之后导入 TracePro 进行仿真模拟.得到桌面的仿真效果如图 5 和图 6,其中图 5 为加入透镜后的辐照度图,图 6

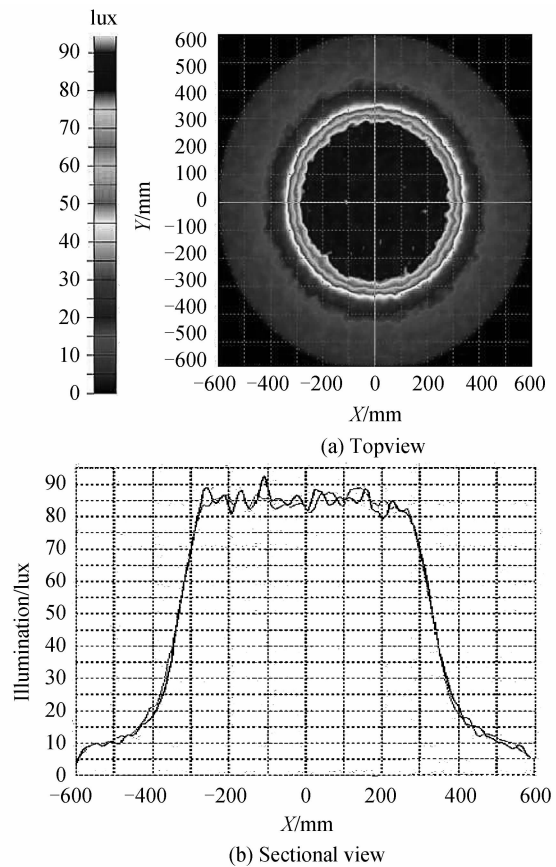


图 5 加入透镜后的辐照度分析
Fig. 5 Amplitude illumination analysis(with lens)

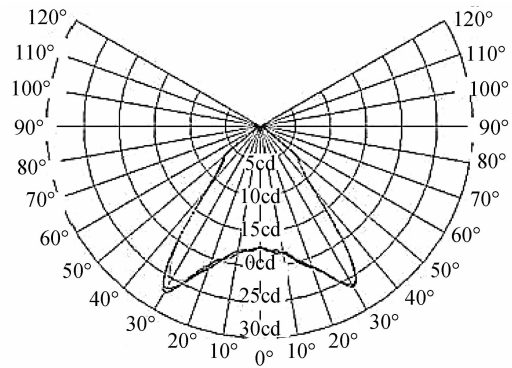


图 6 加入透镜后的配光曲线

Fig. 6 Light distribution curve(with lens)

为其配光曲线.由辐照度可以看出接受面中心亮斑消失,实现了在直径 700 mm 接收面范围内的均匀照明.

4 整体结构的模拟仿真与计算

由 CNS 照度标准可知,台灯的照度应选在 500 lx 至 750 lx 之间.本次设计的台灯光源的额定功率是 3.5 W,因此需要 0.5 W 的光源 7 颗.

4.1 光源的装配

为了生产和装配的方便将一盏台灯所需的反光杯和透镜进行模块化设计(将每个反光杯,与配光透镜组通过定位销连接在一起).将设计好的反光杯和透镜进行装配,装配如图 7.

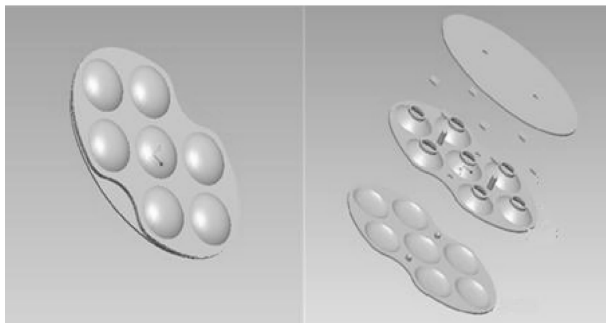


图 7 光源装配图

Fig. 7 Light source assembly drawing

4.2 整体结构的仿真

用 ProE 建立装配结构实体模型之后导入 TracePro 进行仿真模拟.辐照度如图 8,配光曲线如图 9.观察图 8、图 9 可知整体配光结构可在直径为 700 mm 的范围内实现了较均匀的照明.

4.3 照度与均匀度的计算

照度的计算,平均照度(E_{av})= 单个灯具光通量 Φ × 灯具数量(N) × 空间利用系数(C_U) × 维护系数(K) ÷ 地板面积 A_{m^2} (长 × 宽),即

$$E_{av} = \Phi \times N \times C_U \times K \div A = 47 \times 1 \times 0.61 \times 0.8 \div (3.14 \times 0.3^2) = 497.1$$

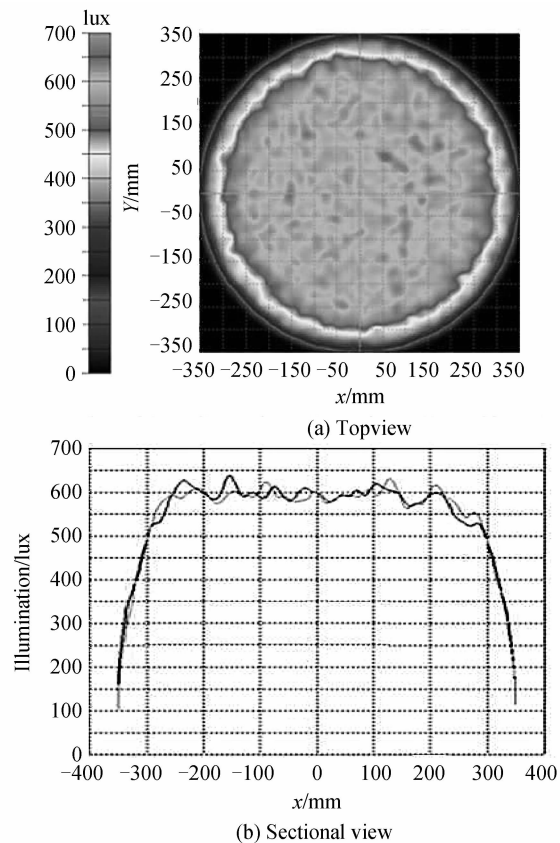


图 8 整体结构的辐照度分析

Fig. 8 Amplitude illumination analysis of overall structure

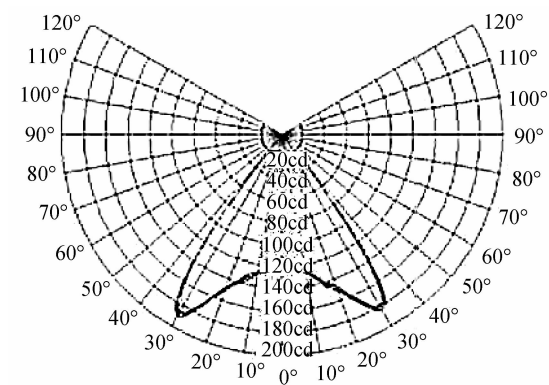


图 9 整体结构的配光曲线

Fig. 9 Light distribution curve of overall structure

式中单个灯具光通量 Φ 是指灯具内所含光源的裸光源总光通量值;空间利用系数(C_U)是指从照明灯具放射出来的光束有百分之多少到达作业台面;维护系数 K 指的是随着光源使用时间的增加灯具的老化,光的输出能力降低,或由于房间灰尘的积累,导致空间反射效率和照度的降低而乘上的系数,本设计取 0.8.

均匀度的计算,依据国家照度标准,办公室、阅览室等工作房间一般照明照度的均匀度,按最低照度与平均照度之比确定,其值不宜小于 0.7.由灰度照度图可以读出,在直径为 300 的区域内,最小照度为 450 lx,因此本设计的台灯照明均匀度为

$$E_{\min}/E_{\text{avg}} = 450/497.1 = 0.90$$

5 结论

本文参照国家照明标准选择贴片式 LED 作为台灯的光源,用 PROE 对台灯进行结构建模,设计反光杯提高光效利用率.通过二次配光透镜的设计提高均匀度,用 TracePro 对设计的光源组件进行仿真模拟,并对反光杯和透镜的结构参量进行反复的修正.完成了一款可在直径为 700 mm 照明范围内平均照度达到 497.1 lx,均匀度达到 0.9 的 LED 台灯配光设计.照度值符合办公室、阅览室等工作房间的国家标准照度范围,均匀度超过了国家标准的 0.7.随着 LED 产品在室内灯具产业的发展,这一高均匀低眩光 LED 护眼台灯的设计方案有着广泛的实际应用前景.

参考文献

- [1] LIU Ai, LIAO Xiao-hui. The spread and the application of the LED lamps[J]. *Energy Research and Management*, 2009(4): 64-67.
刘艾, 廖晓惠. LED 灯具—未来节能灯具的发展方向[J]. *能源研究与管理*, 2009(4): 64-67.
- [2] HUA Xing-fei, LIU Nai-tao, LIANG Bing-wen. Large power LED lamp application in writing[J]. *China Illumination*, 2009(9): 32-35.
花醒飞, 刘乃涛, 梁秉文. 大功率 LED 在书写台灯中的应用[J]. *中国照明*, 2009(9): 32-35.
- [3] JIANG Chong-zhi, QIU Xian-min. Evaluation of LED glare by optical simulations and psyscholoical experiments[J]. *Optical Engineering*, 2010, **110**: 78-83.
江重致, 邱显闵. LED 眩光评估之光学模拟与情境实验[J]. *光学工程*, 2010, **110**: 78-83.
- [4] WEN Shang-sheng. LED lamp quality analysis [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2011, **22**(5): 107-110.
文尚胜. LED 灯具的光品质分析[J]. *照明工程学报*, 2011, **22**(5): 107-110.
- [5] YU Li-hua, SHEN Ying-jiu. Study on application of glare index[J]. *Lighting Engineering Report*, 1993, **4**(1): 28.
俞丽华, 沈迎九. CIE 眩光指数(CGI)的应用研究[J]. *照明工程报*, 1993, **4**(1): 28.
- [6] ZHUO You-wang, GE Zi-ping. Simulation design of freeform lens for realizing uniform illumination of LED table lamp[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2010, **22**(6): 4-7.
卓友望, 葛子平. 实现 LED 台灯均匀照明的自由曲面透镜仿真设计[J]. *照明工程学报*, 2011, **22**(6): 4-7.
- [7] SUN Li-wei, JIN Shang-zhong, CEN Song-yuan. Free-form micro-lens design for solid state lighting[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(5): 860-865.
孙理伟, 金尚忠, 岑松原. 用于固态照明的自由曲面微透镜设计[J]. *光子学报*, 2010, **39**(5): 860-865.
- [8] DING Yi, ZHENG Zhen-rong, GU Pei-fu. Freeform lens design for LED illumination[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(6): 1480-1489.
丁毅, 郑臻荣, 顾培夫. 实现 LED 照明的自由曲面透镜设计[J]. *光子学报*, 2009, **38**(6): 1480-1489.
- [9] CHEN Qiao-yun, ZHU Xiang-bing. A LED reflector design for uniform illumination[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2011, **22**(2): 71-74.
陈巧云, 朱向冰. 一种实现均匀照明的 LED 反射器设计[J]. *照明工程学报*, 2011, **22**(2): 71-74.
- [10] WU Reng-mao, TU Da-wei. A light distribution proposal for designing LED dipped heallight[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(11): 2904-2908.
吴仍茂, 屠大维. 一种 LED 汽车前照近光灯配光设计方案[J]. *光子学报*, 2009, **38**(11): 2904-2908.
- [11] LUO Xiao-xia, LIU Hua, LU Zhen-wu. Automated optimization of free-form serface lens for LED collimation[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(9): 1351-1355.
罗晓霞, 刘华, 卢振武. 实现 LED 准直照明优化设计[J]. *光子学报*, 2011, **40**(9): 1351-1355.