

# 夜视兼容的 LED 液晶显示器背光模组的研究

朱向冰, 崔海田, 钱立勇, 王元航

安徽师范大学物理与电子信息学院, 安徽 芜湖 241000

**摘要** 为了提高夜视兼容的液晶显示器(LCD)显示屏的显示效果,在使用红绿蓝三色 LED 为背光源的基础上,增加了红外 LED,将不同的 LED 搭配成在不同模式下使用的两套光源。根据 10.4 in(1 in=2.54 cm)背光源的亮度和均匀性的要求,将背光源当作朗伯发光体来计算亮度,以便于选择 LED 的类型,确定 LED 的数量和排列方式,合理选择光学膜片及设计背光模组的结构。由于红外 LED 的发光功率可调节,在夜视兼容模式下,不仅可以通过夜视仪看清 LCD 显示屏上的信息,而且用肉眼也可以轻易看清显示屏上的信息。通过 TracePro 软件进行仿真并分析,结果发现设计的背光模组同时满足了 LCD 显示屏的强光下可视和夜视兼容两项要求。

**关键词** 测量; 液晶显示器; 夜视兼容; 红外 LED; 背光模组

**中图分类号** TN219 **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/LOP54.091203

## Study on Night Vision Compatible Backlight Module of LED Liquid Crystal Display

Zhu Xiangbing, Cui Haitian, Qian Liyong, Wang Yuanhang

College of Physics and Electronic Information, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China

**Abstract** In order to improve the effect of night vision compatible liquid crystal display (LCD), infrared LED is used on top of the RGB three-color LED as the backlight source, and different LEDs are arranged to form two sets of light sources at different modes. According to the brightness and uniformity requirements of the 10.4 in (1 in=2.54 cm) backlight source, backlight is used as a Lambert luminous body to select the type of LED by calculation, to determine the number and arrangement of LED, to select the optical films reasonably, and to design the structure of the backlight module. Because the luminous power of infrared LED is adjustable, in night vision compatible mode, the information can be seen on the LCD screen not only through night vision device but also with naked eyes. Simulation and analysis by TracePro software show that the designed backlight module meets the two requirements of the LCD screen of visible features under the bright light and night vision compatibility.

**Key words** measurement; liquid crystal display; night vision compatibility; infrared LED; backlight module

**OCIS codes** 120.2040; 230.2090; 130.3060; 230.3670; 330.1720

## 1 引言

液晶显示是一种主流的信息显示技术,在各个领域都得到广泛的运用,而用于野外特殊领域的液晶显示器(LCD)的显示屏不仅需要满足功耗小、亮度高、可靠性高、强光下可直视等特点<sup>[1-5]</sup>,还需要与夜视成像系统兼容,在夜间不会发出干扰夜视仪的光和能量。夜视兼容性能比较好的 LCD,可以保证用户在任何情况下都能通过肉眼轻易获取显示屏上的信息,还能保证在进入夜视兼容模式后,夜视仪能够正常工作,用户通过夜视仪也能看清显示屏上的信息。

在夜晚工作条件下,普通的 LCD 显示屏会发射出红光和红外光,严重干扰微光夜视仪。所以夜视兼容的 LCD 显示屏过滤掉波长在 610~930 nm 之间的光<sup>[6]</sup>,但是在过滤之后,仍然难以满足用户观看的需求。

收稿日期: 2017-04-10; 收到修改稿日期: 2017-05-08

基金项目: 安徽省科技攻关项目(1301022058)、安徽省教育厅质量工程项目(2015gkx011)

作者简介: 朱向冰(1973—),男,博士,教授,主要从事照明与显示方面的研究。E-mail: 13855312793@126.com

一些学者提出一种夜视兼容的底光式 LED 背光源,该背光源在夜视模式下采用了橙色 LED 代替红色 LED 的方案<sup>[6-9]</sup>。由于背光源中没有使用红色 LED,所以在理论上背光源不会发出干扰夜视仪的红外光或者红光,导致对夜视仪敏感的光线过暗,反而夜视仪没法看清 LCD 显示屏上显示的图像。

为了达到良好的显示效果,本文所设计的夜视兼容背光系统使用红、绿、蓝(RGB)三色 LED 和红外 LED。红、绿、蓝三色 LED 以及红外 LED 的电路部分是独立的,4 种 LED 的电流可以独立调节。在正常模式下,只点亮三色 LED,用肉眼观察。当环境光很强时,增加三色 LED 的电流来提高显示屏的亮度。在夜视兼容模式下,关闭红色 LED,点亮绿色、蓝色和红外 LED,可见光透过液晶面板,用肉眼可以看清屏幕上的信息,绿色和蓝色 LED 发出的光线几乎不干扰夜视仪,红外线透过液晶面板以后,由于其强度可调节,通过夜视仪也可以看清楚显示屏上的信息,所以在裸眼和使用夜视仪时都能够看清显示屏上显示的信息。

## 2 背光模组的设计

### 2.1 LCD 的基本结构

目前 LCD 普遍采用的是薄膜晶体管(TFT)-LCD, TFT-LCD 包含背光模组和液晶面板<sup>[10]</sup>,背光模组发出的光透过液晶面板形成图像。背光模组指提供一个充足亮度和均匀照度分布的背面光源组件。背光模组的性能在一定程度上直接决定了 LCD 显示屏的亮度、均匀度、色阶等重要参数,从而决定了显示屏的发光效果<sup>[11]</sup>。背光模组可分为侧光式和直下式两种。本研究所设计 LCD 的背光模组为夜视兼容的直下式背光模组。

### 2.2 LED 光源的选择和排列

本研究设计的是一个对角线长度为 10.4 in(1 in=2.54 cm)、长宽比为 4:3 的背光模组实例,设计亮度白天可以达到 680 cd/m<sup>2</sup>,在强太阳光照射的情况下也能有效看清,夜晚时最低亮度小于 0.17 cd/m<sup>2</sup>,具有夜视兼容能力。将背光源看作朗伯发光体并通过对显示屏、液晶材料、扩散板光学膜及结构等影响因素的研究分析,选择了合适的 LED,计算出了 LED 的数量,并设计出了 LED 的排布方式。

#### 1) 背光模组的几何尺寸

通常情况下,LCD 面板和背光模组大小相当。本研究针对的是一个长宽比为 4:3 的 10.4 in 的 LCD 显示屏,其有效显示部分的宽度为 215 mm,高度为 160 mm,所以背光模组光学部分的尺寸是宽度为 217 mm,高度为 162 mm,比 LCD 显示屏的有效显示部分稍微大一些。

#### 2) LED 的选择和排列

选用的 RGB 三色 LED 为 CLX6D-FKB 系列的产品,红色 LED 的发光强度可达到 1400 mcd,绿色 LED 的发光强度可达到 2800 mcd,蓝色 LED 的发光强度可达到 710 mcd。红外 LED 型号为 L9725-01 型。

推导阵列均匀照度分布条件并利用 TracePro 软件进行优化,确定阵列排布<sup>[12]</sup>。研究中采用 96 颗 LED 芯片,选用红、绿、蓝、红外 4 种单色 LED,每种 LED 24 颗。LED 的具体分布如图 1(R、G、B、I 分别代表红、绿、蓝、红外 LED)所示,图中按照屏幕长宽比 4:3 的比例排布,以红、绿、蓝、红外的顺序将 4 种单色 LED 放置在矩形的 4 个角,这样就可以形成一个矩形发光单元。因此每行放置 6 个矩形发光单元,每列放置 4 个矩形发光单元,这样基本保证了 4 色 LED 芯片排布的均匀性,每种 LED 分为若干组,每组内的 LED 先串联在

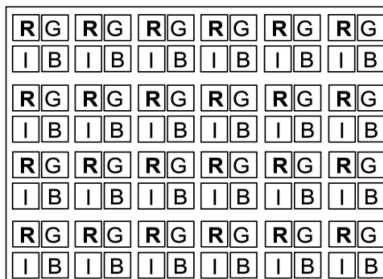


图 1 LED 分布图

Fig. 1 LED distribution

一起,再把各组 LED 并联在一起,不同颜色 LED 之间电路分开,以便于控制。LED 在工作时会发出大量的热能,用脉宽调制(PWM)波调节 LED 的发光时间和功率。将背光源的功耗分散到众多的 LED 上,可以缓解部分散热问题,同时也可以增加光照的均匀性。

在正常模式下,只点亮三色 LED,经过计算得出 LCD 屏的亮度是  $690.52 \text{ cd/m}^2$ ,在夜视兼容模式下,关闭红色 LED,点亮红外 LED,用脉宽调制波调节绿色 LED 和蓝色 LED 的发光时间,且占空比为  $0.03\%$ ,经过计算得出 LCD 屏的亮度是  $0.16 \text{ cd/m}^2$ 。

### 2.3 光学膜片

合理使用光学膜片对 LED 光源的光线进行处理,可以减小光源与目标面的距离,由此可以减小背光模组的厚度。光学膜片与 LED 光源在很大程度上决定了背光模组的亮度、均匀性、对比度等核心参数性能。

1) 扩散膜的主要功能是将 LED 光源发出的光线和反射膜反射的光线混合均匀,对穿过去的光线折射和散射,达到光线均匀化处理的目的<sup>[13]</sup>。一般背光源中都使用两层扩散膜,在增亮膜下方使用的为下扩散膜,在增亮膜上方使用的为上扩散膜,两层扩散膜在仿真过程中选用的材质为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),在扩散膜模型中,其表面属性定义为 ABg 散射模型。ABg 散射模型是对材料表面双向表面散射分布函数(BSDF)的数学模拟。

2) 增亮膜中的棱镜结构可以修正光线的发散方向,光线通过增亮膜后,原先分散的光线在折射和全反射作用下集聚在特定的角度范围内出射,因此提高了其从扩散板射出后的使用效率,增加了正前方的亮度<sup>[14]</sup>。常见的增亮膜有棱镜片增亮膜、偏光反射片双亮度增强膜等。本研究中一个背光模块中使用两片增亮膜(3M 公司 Crossed BEF III 90/50),彼此方向垂直正交,将光线尽量集中以增加正前方的亮度。

## 3 光学模拟与分析

在夜视兼容模式时,点亮红外、蓝色和绿色 LED,可以通过裸眼看清显示屏上的信息。红外 LED 发出的红外光透过液晶面板,通过调节红外 LED 的功率,可以调节通过夜视仪看到图像的亮度,避免了夜视条件下红色 LED 对夜视仪的干扰。研究过程中使用的夜视仪为 31-1124 型 Apresys 单目微光红外夜视仪。根据以上分析和计算,将 LED 与光学结构导入 TracePro 软件中进行光线追迹模拟,其中光学膜的设定是设置其材料和表面属性,仿真照度如图 2 和图 3 所示。

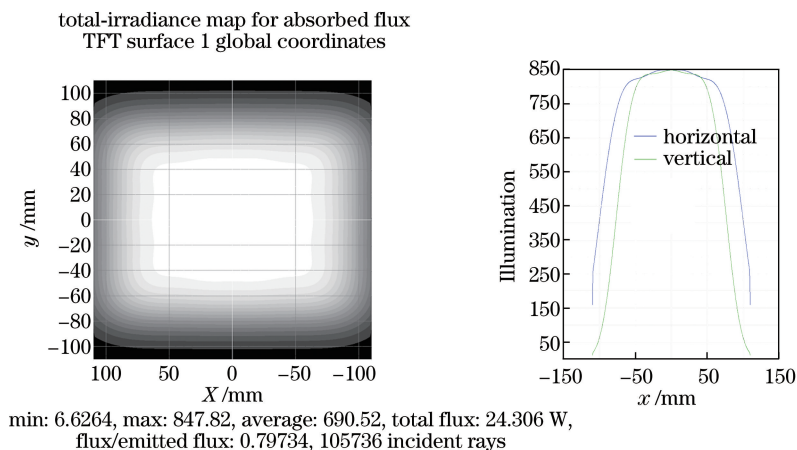


图 2 正常模式下 LCD 屏照度图

Fig. 2 Illumination diagram of LCD screen in normal mode

经过计算得到在正常模式下 LED 背光模组的色域范围高于系统正常模式设计指标,色度均匀性也优于系统正常模式设计指标。夜视模式下的色域范围也达到系统的夜视模式设计指标,低亮度下的色度均匀性优于系统的夜视模式设计指标。夜视模式下 LED 背光模组的色域范围和色度均匀性的实际指标均低于正常模式下的实际指标,但是都能达到并优于系统夜间模式的设计指标。

通过控制 LED 的数量及其排列方式和光学膜片的配合可得到最佳的混光距离,达到尽可能薄的效果,

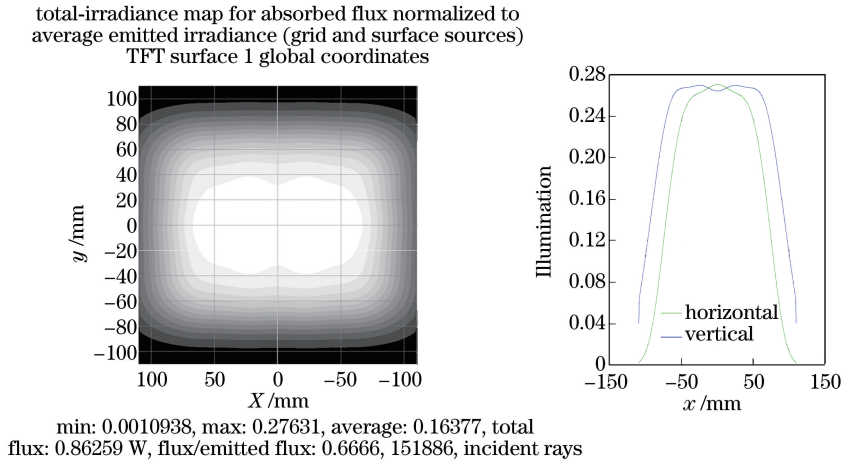


图 3 夜视兼容模式下 LCD 屏照度图

Fig. 3 Illumination diagram of LCD screen in night vision compatible mode

本研究设计的背光模组厚度约为 25 mm,同时该设计大大加强了光能的利用率,从而使得背光模组的体积变得更小,重量更轻,厚度较薄。

## 4 结 论

本研究设计的夜视兼容 LED 背光模组,采用正常和夜视兼容双模式,在夜视兼容模式时用红外 LED 替代红色 LED 的方法,克服了传统夜视兼容显示屏无法准确调节红光强度而导致的图像模糊问题。采用降低背光源亮度的方法使用户在夜晚的环境下也能够舒服地用裸眼看清显示的内容。采用脉宽调制的方式调节每种颜色 LED 的平均发光强度,进一步改善显示效果,可同时满足强光下可视和夜视兼容两项要求,保证用户在不同条件下都能清楚地看清显示屏上的信息。

## 参 考 文 献

- [1] Fan Manning, Zhang Guoyi, Hao Maosheng, *et al.* A high light direct-type backlight design for LCD module[J]. *Optoelectronic Technology*, 2011, 31(3): 162-165.  
范曼宁, 张国义, 郝茂盛, 等. 一种高亮度直下式背光液晶模组设计[J]. *光电子技术*, 2011, 31(3): 162-165.
- [2] Yu Weihua. TFT-LCD liquid crystal display technology and its application[J]. *Process Automation Instrumentation*, 2001, 22(12): 25-28.  
俞伟华. TFT-LCD 液晶显示技术及其应用[J]. *自动化仪表*, 2001, 22(12): 25-28.
- [3] Harbers G, Timmers W, Sillevs-Smitt W. LED Backlighting for LCD-HDTV [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2012, 10(4): 347-350.
- [4] Xu Minghui, Hu Yuangang. The theory of NVIS compatible and the implement in cockpit LCD[J]. *Advanced Display*, 2006(1): 48-50.  
许明辉, 胡元刚. 夜视兼容原理及在机载液晶显示器上的实现[J]. *现代显示*, 2006(1): 48-50.
- [5] Men Jinfeng, Cheng Haifeng, Chen Zhaohui, *et al.* Development of ANVIS compatible lighting technology[J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, 29(3): 354-359.  
门金凤, 程海峰, 陈朝辉, 等. 飞机夜视兼容照明技术[J]. *应用光学*, 2008, 29(3): 354-359.
- [6] Chang Yunfei. A night-vision-compaton LED backlight for liquid crystal display [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.  
常云飞. 夜视兼容液晶显示器 LED 背光研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- [7] 罗力凡, 李 鹏, 魏天锋. 一种具备夜视兼容功能的智能背光模组: 201420611805.5 [P]. 2014-10-22.
- [8] 李 昀, 陈 琳, 朱大可, 等. 一种夜视兼容的底光式 LED 背光源: 201420117897.1 [P]. 2014-08-27.
- [9] Li Zhengrong, Shen Jian, Pan Libao, *et al.* Analyse of night vision imaging system compatibility of LEDs backlight of LCD[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2014, 51(5): 052303.

- 李正荣, 沈 健, 潘立豹, 等. 液晶显示器 LED 背光的夜视兼容特性分析[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(5): 052303.
- [10] Zhou Xijun, Feng Shimeng. Design of high uniformity LED backlight [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2012, 27(6): 774-779.  
周羲君, 冯仕猛. 均匀照明 LED 背光板设计[J]. 液晶与显示, 2012, 27(6): 774-779.
- [11] Sakai S, Mori A, Ishiguchi K, *et al.* 41.1: A thin LED backlight system with high efficiency for backlighting 22-in. TFT-LCDs[J]. Sid Symposium Digest of Technical Papers, 2004, 35(1): 1218-1221.
- [12] Wang Yao, Jing Lei, Dang Boshi, *et al.* Design of LED source with large aperture and small view angle used in the LCD detection[J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(10): 1022002.  
王 尧, 荆 雷, 党博石, 等. 用于液晶显示屏幕检测的大口径小角度 LED 光源设计[J]. 光学学报, 2015, 35(10): 1022002.
- [13] Xiao Chongyi. The impact of LED packaging on direct type backlight module design [D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2015.  
肖充伊. 光源封装对直下式背光模组设计的影响[D]. 深圳: 深圳大学, 2015.
- [14] Zheng X T, Gao X L, Li S B, *et al.* Effect of the light diffuser plate of micro V-cut prism structure on the optical property of LED daylight lamp[J]. Advanced Materials Research, 2013, 715: 1279-1283.