

# 液晶显示器LED背光的夜视兼容特性分析

李正荣<sup>1, 2, 3</sup> 沈健<sup>1, 2, 3</sup> 潘立豹<sup>1, 2, 3</sup> 徐立国<sup>1, 2, 3</sup> 吴丽<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>中国航空工业集团公司华东光电有限公司, <sup>2</sup>特种显示国家工程实验室,  
<sup>3</sup>国家特种显示工程技术研究中心, 安徽 芜湖 241002

**摘要** 理论分析了液晶显示器件(LCD)夜视成像系统(NVIS)的评价方法, 给出了对比橙绿蓝(OGB)彩色发光二极管(LED)灯中各单色发光芯片对夜视辐亮度贡献大小的方法。制作了具有白光LED和OGB彩色LED灯双模式背光源系统的液晶显示器, 实验测得使用白光LED灯作为背光源时, 显示器的夜视辐亮度为 $3.14 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$ , 超出国军标(GJB)规定的上限 $2.2 \times 10^{-9} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$ ; 而使用OGB彩色LED灯作为背光源时, 模块的夜视辐亮度降低到 $1.958 \times 10^{-9} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$ , 满足GJB要求; 对比了双模式背光源系统中OGB彩色LED灯中各单色芯片对夜视辐亮度的贡献比例, 其中蓝灯最大, 橙灯次之, 绿灯最小。

**关键词** 光学器件; 液晶显示; 夜视成像系统; 夜视兼容; LED背光; 夜视辐亮度; 夜视光谱响应

中图分类号 TN223; TN27; TN29 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.052303

## Analyse of Night Vision Imaging System Compatibility of LEDs Backlight of LCD

Li Zhengrong<sup>1, 2, 3</sup> Shen Jian<sup>1, 2, 3</sup> Pan Libao<sup>1, 2, 3</sup> Xu Ligu<sup>1, 2, 3</sup> Wu Li<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>Aviation Industry Corp Huadong Photoelectric Company Limited, State Special Display Engineering Laboratory,

<sup>2</sup>National Special Display Engineering Research Center, Anhui Province Key Laboratory for Modern Display Technology,

<sup>3</sup>Anhui Province Modern Key Laboratory for Imaging and Displaying Technology, Wuhu, Anhui 241002, China

**Abstract** The method of evaluating the night vision imaging system (NVIS) compatibility of LCD is analysed in theory, and a method of comparing the contributiveness for NVIS radiance of every monochromatic chip in orange, green and blue (OGB) polychrome LED is pointed out. A LCD with two backlight sources system including white LEDs and OGB polychrome LEDs is prepared to for experiment. It is proved that, when white LEDs are used as backlight source, the NVIS radiance of LCD is  $3.14 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$ , which is larger than the limit of  $2.2 \times 10^{-9} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$  in national military standard (GJB), when OGB polychrome LEDs are used as backlight source, the NVIS radiance reduces to  $1.958 \times 10^{-9} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$ , which is accordant with the requirement in GJB. The contribution for NVIS radiance of every monochromatic chip in OGB polychrome LED is compared, the results show that blue chip contributes the most NVIS radiance, red chip less, and green chip the least.

**Key words** optical devices; liquid crystal display; night vision imaging system (NVIS); NVIS compatibility; LEDs backlight; NVIS radiance; spectral response of NVIS

**OCIS codes** 230.3670; 230.3720; 230.2090

## 1 引言

夜视技术在现代战争中具有重要地位。目前的夜视成像系统(NVIS)主要使用第三代图像增强技术<sup>[1]</sup>, 其基本工作原理是利用像增强技术和光电转换技术将人眼不可见或视效较低的近红外波段的光增强或转换成人眼可视影像<sup>[1-2]</sup>。而飞机座舱内的普通照明和信息显示器件在近红外波段都有较高的辐射能量, 这些

收稿日期: 2013-11-07; 收到修改稿日期: 2014-01-14; 网络出版日期: 2014-04-30

作者简介: 李正荣(1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事加固型显示器件方面的研究。E-mail: lzrong1987@126.com

辐射进入夜视成像设备,会激活其自动增益控制系统,导致夜视仪的灵敏度降低,不能看清舱外的景物,从而丧失了夜视功能<sup>[3-4]</sup>。夜视兼容功能就是指降低座舱内照明、信息显示等发光器件在近红外波段的辐射,降低舱内的夜视辐亮度,减少对夜视成像系统的干扰。

目前飞机座舱内主要使用液晶显示器件来实现图像、信息的显示。而普通的液晶显示器在近红外波段有较强的光谱辐射,是夜视辐亮度的重要来源<sup>[5-6]</sup>。为降低液晶显示器的夜视辐亮度,目前主要采用滤光片技术和双模式背光源技术<sup>[7-8]</sup>。滤光片技术是指通过截止或吸收背光中近红外部分的能量从而降低液晶显示器的夜视辐亮度,但由于滤光片的使用存在明显的角度依赖性,并且影响正常的红色画面的显示,因此使用较少<sup>[9-10]</sup>。目前国内的液晶显示器件主要通过双模式背光源系统来实现夜视兼容功能<sup>[11]</sup>,在非夜视环境下使用高光效白光发光二极管(LED)灯作为背光源,可以用较小的功耗实现较高的显示亮度;在夜视环境下,使用橙绿蓝(OGB)彩色LED灯作为背光源,以实现夜视兼容功能。OGB彩色LED灯是由蓝色、绿色和主波长在590~610 nm范围内的橙色发光芯片组成的多芯片复合型彩色LED灯,能够有效减少背光中近红外波段的辐射,降低显示器的夜视辐亮度<sup>[12-13]</sup>。

本文分析了双模式背光源系统夜视辐亮度的计算方法,通过实验比较了OGB彩色LED灯中各单色LED芯片对夜视辐亮度的贡献大小和作用方式,为提高液晶显示器件的夜视兼容性能提供了指导。

## 2 理论分析

彩色液晶显示器夜视兼容性能的优劣一般通过测量国军标(GJB)中定义的夜视辐亮度来衡量。测量时,使用满足GJB要求的光谱辐射计测量显示器的辐射光谱,再通过GJB 1394给出的方法计算出显示器的夜视辐亮度( $R_N$ )。对于彩色液晶显示器, $R_N$ 越小则与夜视成像设备的兼容性越好<sup>[14]</sup>。GJB中夜视辐亮度的计算方法如下:

$$R_N^{A/B} = G(\lambda)_{\max} \int_{450}^{930} G_{A/B}(\lambda) SN(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

式中  $G_{A/B}(\lambda)$  为A类或B类设备的NVIS相对光谱响应,其数值如图1所示;  $N(\lambda)$  为发光设备辐射光谱亮度,其单位为  $W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)$ ;  $1G(\lambda)_{\max} = 1 \text{ mA/W}$ ;  $d\lambda$  取  $5 \text{ nm}$ ;  $S$  为比例系数,  $S = L_r/L_m$ ,  $L_r$  为GJB中规定的NVIS辐亮度要求所对应的亮度(彩色显示器的亮度要求为  $1.713 \text{ cd/m}^2$ ),  $L_m$  为光谱辐射计实际测量到的亮度,可以表示为

$$L_m = 10000K(\lambda)_{\max} \int_{380}^{780} V(\lambda)N(\lambda)d\lambda, \quad (2)$$

式中  $L_m$  为亮度,单位为  $cd/m^2$ ;  $V(\lambda)$  为CIE1931标准色度观察者的归一化视觉特性曲线,其数值如图2所示;  $K(\lambda)_{\max} = 683 \text{ lm/W}$ ;  $N(\lambda)$  为发光设备的辐射光谱亮度,单位为  $W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)$ ;  $d\lambda$  取为  $5 \text{ nm}$ 。

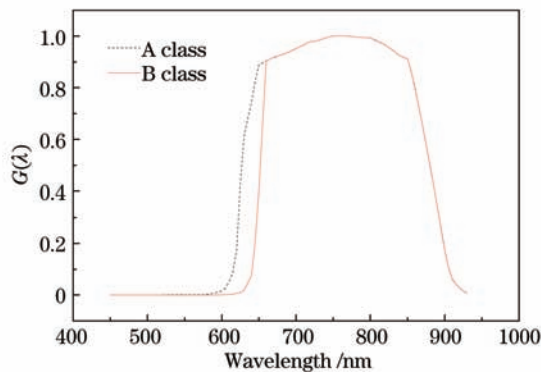


图1 A类、B类NVIS相对光谱响应特性曲线

Fig.1 Relative spectral response characteristics of Classes A, B NVIS

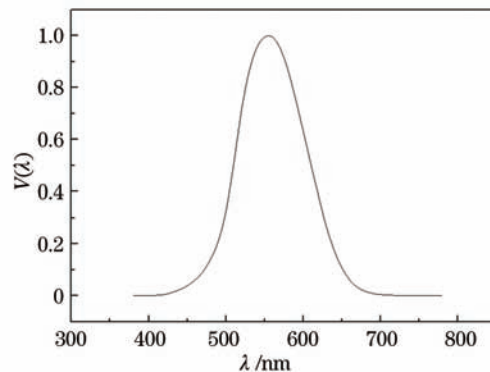


图2 人眼视觉相对光谱响应特性曲线

Fig.2 Relative spectral response characteristics of eyes

由(1),(2)式可知,只需测量得到液晶显示器发出的辐射亮度光谱  $N(\lambda)$ ,即可计算得出其NVIS辐亮度  $R_N^B$  (以B类夜视兼容设备为例)。

$$R_N^B = G(\lambda)_{\max} \int_{450}^{930} G_B(\lambda) \frac{L_r}{L_m} N(\lambda) d\lambda = G(\lambda)_{\max} \int_{450}^{930} G_B(\lambda) \frac{L_r}{10000K(\lambda) \int_{380}^{780} V(\lambda) N(\lambda) d\lambda} N(\lambda) d\lambda = \frac{G(\lambda)_{\max} L_r \int_{450}^{930} G_B(\lambda) N(\lambda) d\lambda}{10000K(\lambda)_{\max} \int_{380}^{780} V(\lambda) N(\lambda) d\lambda}, \quad (3)$$

在夜视环境下,当使用OGB彩色LED灯作为背光源时,液晶显示器的辐射光谱等于橙、绿、蓝三色芯片单独作为背光源时液晶显示器的辐射光谱之和,即  $N(\lambda) = N_o(\lambda) + N_g(\lambda) + N_b(\lambda)$ ,代入(3)式中可得

$$R_N^B = \frac{G(\lambda)_{\max} L_r \int_{450}^{930} G_B(\lambda) [N_o(\lambda) + N_g(\lambda) + N_b(\lambda)] d\lambda}{10000K(\lambda)_{\max} \int_{380}^{780} V(\lambda) [N_o(\lambda) + N_g(\lambda) + N_b(\lambda)] d\lambda} = \frac{G(\lambda)_{\max} L_r \left[ \int_{450}^{930} G_B(\lambda) N_o(\lambda) d\lambda + \int_{450}^{930} G_B(\lambda) N_g(\lambda) d\lambda + \int_{450}^{930} G_B(\lambda) N_b(\lambda) d\lambda \right]}{10000K(\lambda)_{\max} \left[ \int_{380}^{780} V(\lambda) N_o(\lambda) d\lambda + \int_{380}^{780} V(\lambda) N_g(\lambda) d\lambda + \int_{380}^{780} V(\lambda) N_b(\lambda) d\lambda \right]} = \frac{L_{m(o)} * R_{N(o)}^B + L_{m(g)} * R_{N(g)}^B + L_{m(b)} * R_{N(b)}^B}{L_{m(o)} + L_{m(g)} + L_{m(b)}}, \quad (4)$$

式中分母是橙、绿、蓝三色彩灯分别点亮时液晶显示器的亮度之和,也就是三色彩灯同时点亮时液晶显示器的亮度,可用  $L_{m(w)}$  表示,其对应的夜视辐亮度可表示为  $R_{N(w)}^B$ ,分子为三色彩灯对液晶显示器夜视辐亮度的贡献之和。因此(4)式可以表示为

$$L_{m(w)} * R_{N(w)}^B = L_{m(o)} * R_{N(o)}^B + L_{m(g)} * R_{N(g)}^B + L_{m(b)} * R_{N(b)}^B. \quad (5)$$

因此只要测试出单独点亮橙灯、绿灯、蓝灯时的NVIS辐亮度和亮度,以及三色彩灯同时点亮时的NVIS辐亮度和亮度,即可计算得出各色彩灯对夜视辐亮度的贡献比例(以橙灯的贡献比例为例):

$$r_o = \frac{L_{m(o)} * R_{N(o)}^B}{L_{m(w)} * R_{N(w)}^B}, \quad (6)$$

式中  $L_{m(o)}$  和  $R_{N(o)}^B$  表示只点亮橙灯时对应的亮度和夜视辐亮度,  $L_{m(w)}$  和  $R_{N(w)}^B$  表示三色灯全部点亮时的亮度和夜视辐亮度。

### 3 实验

#### 3.1 试验仪器

实验制作了一款具有双模式背光系统的液晶显示器,该液晶显示器结构如图3所示,由液晶屏、光学膜、背光灯板及外围的结构件组成。其中背光灯板如图4所示,由焊接在印刷电路板(PCB)上的白光LED灯(图4中11所示)和OGB彩色LED灯(图4中12所示)组成。该背光源可在昼模式和夜模式两种模式下工作,昼模式下只点亮白光LED灯,该灯通过蓝光芯片发光激发黄色荧光粉从而出射白光,其光效较高,可达120 lm/W,可以较小的功耗实现较高亮度的要求;夜模式下只点亮OGB彩色LED灯进行工作,该OGB彩色LED灯由橙、绿、

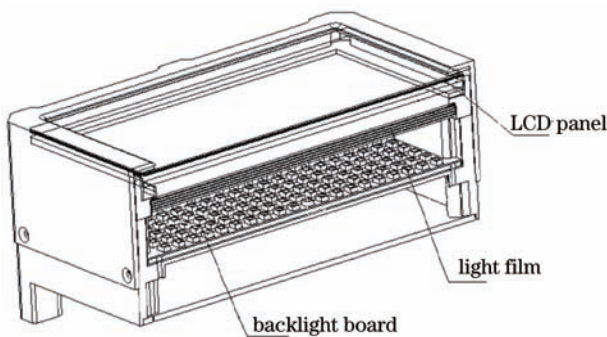


图3 液晶显示器的结构示意图

Fig.3 Sketch for the structure of liquid crystal display

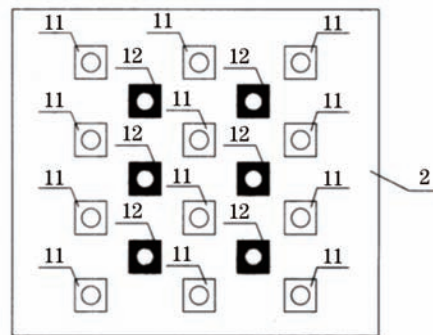


图4 双模式LED背光灯板示意图

Fig.4 Sketch for LED backlight board with two modes

蓝三色发光芯片组成,三种芯片都可通过驱动电路单独点亮和调节亮度,通过调节三色彩灯的亮度配比,可以混合出所需白色背光;在LED灯之间的空隙上贴有白色漫反射膜以减少背光腔中PCB板对光线的吸收,提高背光利用率。

使用K10色度计测试液晶显示器白场色坐标和亮度,并通过驱动电路调节背光源中三色彩灯的配比,使白场色坐标满足GJB对夜视白(0.190,0.490)的要求;使用OL750-NVG系统测试液晶显示器的辐射亮度光谱和夜视辐亮度。

### 3.2 实验

#### 3.2.1 双模式背光源系统辐亮度测试

液晶屏显示白色画面(即红、绿、蓝三色子像素均为完全透过状态),背光源在昼模式下工作,只亮白光LED灯,测试并记录液晶显示器的辐射亮度光谱、亮度和夜视辐亮度;背光源在夜模式下工作,白光LED灯保持关闭,通过背光驱动电路调节橙、绿、蓝三色彩灯的亮度配比,使液晶显示器白色画面的色坐标为(0.190,0.490),测试液晶显示器的辐射亮度光谱、亮度和夜视辐亮度;上述亮度配比对应的驱动电流不变,单独点亮橙灯、绿灯、蓝灯,测试并记录其对应的辐射亮度光谱、亮度和夜视辐亮度。

#### 3.2.2 遮挡白光LED灯后双模式背光源系统辐亮度测试

实验中对原先贴覆在PCB板上的漫反射膜进行了改进,改进后的漫反射膜将白光LED灯全部遮挡,只漏出彩色LED灯(如图5所示)。按照3.2.1节的实验方法测试并记录背光中三色彩灯全亮和单独点亮各彩灯时液晶显示器的辐射亮度光谱、亮度和夜视辐亮度。

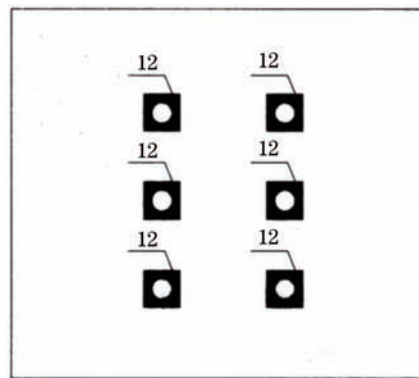


图5 遮挡白灯后的LED背光灯板示意图

Fig.5 LED backlight board with white LEDs covered up

## 4 结果分析与讨论

表1为3.2.1节和3.2.2节中测试得到的各色LED灯对应的B类夜视辐亮度、亮度、以及对模块总体夜视辐亮度的贡献比例。

图6为3.2.1节中昼模式下只开白灯和夜模式下OGB彩灯全开时测得的辐射亮度光谱归一化后的曲线,其中D代表昼模式下只开LED白灯时的辐射光谱曲线,N代表夜模式下三色彩灯全开时的辐射亮度曲线,class B为B类夜视设备的相对光谱响应曲线。

图7为3.2.1节中测得的只开橙灯(O)、或绿灯(G)、或蓝灯(B)时对应的辐射亮度光谱,图8为3.2.2节中测得的只开橙灯(O)、或绿灯(G)、或蓝灯(B)时对应的辐射亮度光谱。

表1中,无论是遮挡白灯还是未遮挡白灯的情况下橙、绿、蓝各单色光芯片对夜视辐亮度的贡献比例之和大致等于100%,少许偏差可视为仪器测试和计算过程中的误差。

比较昼模式白灯与夜模式三色彩灯全亮时的夜视辐亮度,可见昼模式下测得的夜视辐亮度为 $3.14 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$ ,约是夜模式下夜视辐亮度 $[1.958 \times 10^{-9} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})]$ 的15倍,这一现象可以通过比较图6中昼模式和夜模式下液晶显示器的辐射光谱与B类夜视成像系统的相对光谱响应曲线的交叠区域大小来解释:夜模式下通过三种单色光LED芯片发光,其辐射光谱的波形较窄,半峰全宽约为20 nm,与NVIS相对光谱响应曲线的交叠区域较小,夜视设备对该光谱响应较小,夜视辐亮度也相对较小;而昼模式下白光LED灯发光原理

为蓝光芯片发蓝光激发黄色荧光粉发出黄光,从而混合成白光,虽然黄光的峰值不高,但是黄光的光谱谱型很宽,可以延伸到850 nm左右,与NVIS相对光谱响应曲线交叠区域较大,因此夜视设备对该光谱响应较大,夜视辐亮度较大。

表1 模块的夜视辐亮度、亮度测试结果

Table 1 Results of NVIS radiance and luminance of the display device

	Experiment 3.2.1 (without white LEDs covered up)			Experiment 3.2.2 (with white LEDs covered up)		
	$R_N^b / [W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)]$	Luminance / $(cd/m^2)$	Ratio / %	$R_N^b / [W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)]$	Luminance / $(cd/m^2)$	Ratio / %
Requirement in GJB	$2.2 \times 10^{-9}$					
White LEDs turned on	$3.14 \times 10^{-8}$	20				
OGB LEDs turned on	$1.958 \times 10^{-9}$	2.6	100	$1.012 \times 10^{-9}$	2.44	100
O LEDs turned on only	$2.057 \times 10^{-9}$	0.87	35.15	$2.056 \times 10^{-9}$	0.75	62.45
G LEDs turned on only	$4.855 \times 10^{-10}$	1.48	14.11	$3.070 \times 10^{-10}$	1.46	18.15
B LEDs turned on only	$1.057 \times 10^{-8}$	0.25	51.91	$1.986 \times 10^{-9}$	0.21	16.89

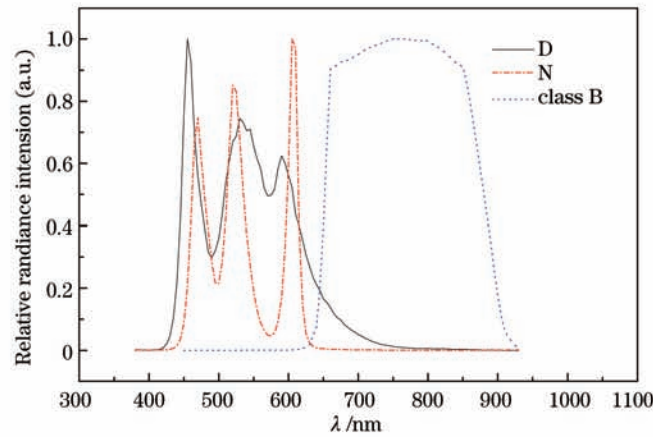


图6 实验3.2.1中昼、夜模式下测得辐射光谱

Fig.6 Radiance spectra of LCD under day, night model in experiment 3.2.1

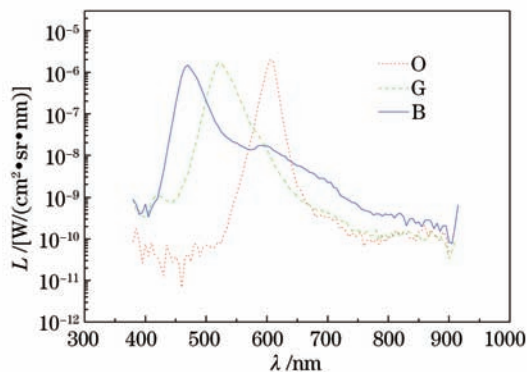


图7 实验3.2.1中只开各单色LED灯时对应的辐射亮度光谱

Fig.7 Radiance spectra when monochromatic chip lighted only in experiment 3.2.1

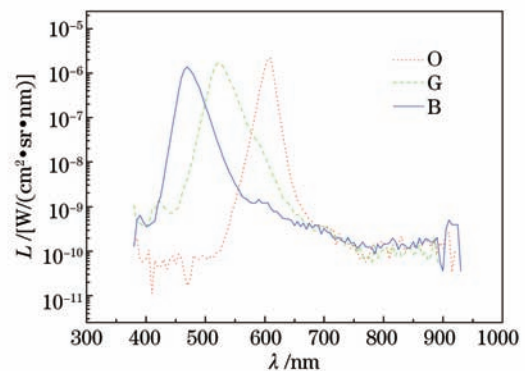


图8 实验3.2.2中只开各单色LED灯时对应的辐射亮度光谱

Fig.8 Radiance spectra when monochromatic chip lighted only in experiment 3.2.2

比较表1中夜模式下未遮挡白灯和遮挡白灯的夜视辐亮度和亮度,可见遮挡白灯时的夜视辐亮度[ $1.958 \times 10^{-9} W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)$ ]约是遮挡白灯后[ $1.012 \times 10^{-9} W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)$ ]的两倍,而亮度变化却很小。通过比较两种状态下三色光芯片对夜视辐亮度的贡献比例可知,在未遮挡白灯时,对夜视辐亮度贡献最大的是蓝光芯片,贡献比例为52.16%,而在遮挡白灯后,对夜视辐亮度贡献最大的却是橙光芯片,贡献比例为62.62%。由此可见在夜模式下,尽管白灯并不点亮,其对亮度的影响很小,但其对模块的夜视辐亮度的影响却很大。这一现象可以

从图7和图8的比较中得到很好的解释:两幅图中只亮绿灯和只亮橙灯时的辐射谱线大致相同,而只亮蓝灯时对应的谱线却存在明显差异,没有遮挡白灯的图7中蓝灯对应的辐射谱线在590 nm左右有一明显的波峰,这与图6中昼模式下只亮白灯时的模块在590 nm处的波峰重合;且该波形较宽,一直延伸到850 nm左右,这是由于蓝光芯片发出的蓝光,有少量被液晶显示器中的光学膜组反射回来,激发了白光LED灯上的黄色荧光粉,发射出少许黄光,这些黄光的亮度相对于三色彩灯发光的亮度来说很小,但是它与NVIS响应曲线的高响应区域交叠较多,对夜视成像设备的光谱响应较大,其对夜视辐亮度的贡献较大。

但是在真实的双模式背光系统中不可能将白灯遮盖起来,而未遮盖白灯的状态下,蓝光芯片对模块的夜视辐亮度影响最大,其次为橙光芯片,绿光芯片的影响最小,其中蓝光芯片主要通过蓝光激发黄色荧光粉来影响夜视辐亮度,因此可以通过减少OGB彩色LED灯中蓝光对白光LED上黄色荧光粉的激发来降低液晶显示模块的夜视辐亮度。例如:通过改变背光结构中光学膜的设计,减少蓝光在光学膜上的反射,或者通过其他途径减少OGB彩色LED灯的蓝光激发白光LED灯荧光粉的概率,从而降低液晶显示器的夜视辐亮度,提高其夜视兼容性能。

## 5 结 论

通过理论计算和实验测试对军用液晶显示器LED背光的夜视兼容特性进行了分析。实验证实,使用白光LED灯作为背光源时,液晶显示器的夜视辐亮度大大超出GJB的要求,而使用OGB彩色LED灯作背光源时,液晶显示器的夜视辐亮度显著降低,能够满足GJB的要求。在OGB彩色LED灯中,蓝光芯片对显示器夜视辐亮度的贡献最大,其次为橙光芯片,绿光芯片的影响最小,这是因为OGB彩色LED灯发出的蓝光会激发白光LED灯上的黄色荧光粉,从而发射少量的黄光,这些黄光对显示器亮度的贡献很小,但对显示器夜视辐亮度的贡献却很大。

## 参 考 文 献

- 1 Men Jinfeng, Cheng Haifeng, Chen Zhaohui, *et al.*. Research progress in NIR absorbing filter for NVIS-compatible lighting [J]. *Materials Review*, 2008, 22(6): 13-16.  
门金凤,程海峰,陈朝辉,等.夜视兼容近红外吸收滤光片的研究进展[J].材料导报,2008,22(6):13-16.
- 2 Wu Jinhua, Fang Jun, Yu Lei. LED Light Source and Lighting System Compatible with Night-Vision Imaging System: China, 1936416A [P]. 2007-03-28.  
吴金华,方俊,余雷.一种与夜视成像系统兼容的LED光源及其照明系统:中国,1936416A [P].2007-03-28.
- 3 Li Mingyuan, Chen Yingjun, Xiao Jun, *et al.*. LCD Backlight System Using LED Light Source Compatible with Night-Vision Imaging System: China, 201004137Y [P]. 2008-01-09.  
李明远,陈盈君,肖俊,等.一种使用LED光源的具有夜视兼容性的LCD背光系统:中国,201004137Y [P].2008-01-09.
- 4 Ai Kecong. Development and prospect of low-light-level night vision technology [J]. *Journal of Applied Optics*, 2006, 27(4): 303-307.  
艾克聪.微光夜视技术的进展与展望[J].应用光学,2006,27(4):303-307.
- 5 Xu Minghui, Hu Yuangang. The theory of NVIS-compatible and the implement in cockpit LCD [J]. *Advanced Display*, 2006, (59-60): 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,(59-60):48-50.
- 6 Jin Weiqi, Liu Guangrong, Bai Tingzhu, *et al.*. Some technological progresses and their analysis in night vision [J]. *Optical Technique*, 2005, 31(4): 405-409.  
金伟其,刘广荣,白廷柱,等.夜视领域几个热点技术的进展及分析[J].光学技术,2005,31(4):405-409.
- 7 Xie Jianbin, Xia Xianzhong, Xia Lifeng, *et al.*. Backlight Module of Liquid Crystal Display Compacible with Infrared Night-Vision Imaging System: China 2758817 [P]. 2006-02-15.  
谢剑斌,夏显忠,夏利锋,等.可实现红外夜视兼容的液晶显示器背光模组:中国,2758817 [P].2006-02-15.
- 8 Yoshinobu Akimoto, Hiroaki Kinoshita. Infrared Absorbing Filter and its Fabrication Method: US, 6903036 [P]. 2005-06-07.
- 9 W miam T Campbell, Randy M Maner, Steven A Grossman. Dual Mode Display with a Blacklight Filter for an Unactivated Light Emitting Diode (LED): US, 7025474 [P]. 2006-04-11.

- 10 Stuppi A N, Sampica J D, Barnidge T J. NVIS filters for defense enhancement of flexible and emissive display technologies [C]. SPIE, 2006, 6225: 62251A.
- 11 Shen Jian, Lu Xiaosong, Bu Zhichao, *et al.*. Backlight Module of LED Compacible with Night-Vision Imaging System: China, 201819095U [P]. 2006-02-15.  
沈建, 陆小松, 步志超, 等. 一种与夜视兼容LED背光模组: 中国, 201819095U[P]. 2006-02-15.
- 12 Robert Herman, Pete Zagar, Ted Ulijasz, *et al.*. Improved LED backlight with unique color and intensity control and NVIS capability [C]. SPIE, 2006, 6225: 62250B.
- 13 Michael R Jones, Albert N Stuppi, Ricky J Johnson, *et al.*. Dye-Based Filter: US, 7081991[P]. 2006-07-25.
- 14 Commission of Science Technology and Industry for National Defense. Lightin, Aircraft, Night Vision Imaging System Compatible GJB1394-92 [S]. Beijing: Armament Standard Press, 1994.  
国防科学技术工业委员会. 与夜视成像设备兼容的飞机内部照明 GJB1394-92 [S]. 北京: 装备标准出版社, 1994.