

## 显示设备防蓝光模式和色域的关系

王贯 顾春 许立新

### Relationship between anti-blue hazard mode and color gamut of display devices

Wang Guan Gu Chun Xu Li-Xin

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 71, 104205 (2022) DOI: 10.7498/aps.71.20212356

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.71.20212356>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

面向显示应用的微米发光二极管外延和芯片关键技术综述

A review of key technologies for epitaxy and chip process of micro light-emitting diodes in display application

物理学报. 2020, 69(19): 198501 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200742>

蓝光钙钛矿发光二极管: 机遇与挑战

Blue perovskite light-emitting diodes: opportunities and challenges

物理学报. 2019, 68(15): 158503 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20190745>

基于缺陷态钝化的高效稳定蓝光钙钛矿发光二极管

Efficient and stable blue perovskite light emitting diodes based on defect passivation

物理学报. 2020, 69(13): 138502 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200566>

微腔效应对顶发射串联蓝光有机电致发光器件性能的影响

Influence of microcavity effect on the performance of top emission tandem blue organic light emitting devices

物理学报. 2020, 69(9): 096104 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20191576>

面向真彩色三维显示的分层角谱算法和Gerchberg-Saxton算法研究

Gerchberg-Saxton algorithm and angular-spectrum layer-oriented method for true color three-dimensional display

物理学报. 2018, 67(9): 094203 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20172464>

GaN基微缩化发光二极管尺寸效应和阵列显示

GaN based micro-light-emitting diode size effect and array display

物理学报. 2020, 69(17): 177301 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200305>

## 显示设备防蓝光模式和色域的关系\*

王贯<sup>1)2)3)</sup> 顾春<sup>1)2)3)†</sup> 许立新<sup>1)2)3)</sup>

1) (中国科学技术大学, 核探测与核电子学国家重点实验室, 合肥 230026)

2) (中国科学技术大学, 安徽省光电子科学与技术重点实验室, 合肥 230026)

3) (中国科学技术大学, 安徽省先进激光技术实验室, 合肥 230026)

(2021 年 12 月 21 日收到; 2022 年 1 月 26 日收到修改稿)

基于新型光源的显示设备以大色域、高亮度、高解析度等优点成为了市场主流. 蓝光作为三基色之一, 是显示系统不可或缺的部分, 它的波长、光谱宽度、亮度等参数影响着显示系统的方方面面. 同时, 过强的蓝光会损害人眼的视网膜细胞并影响生物节律. 如何减少蓝光危害是设计显示系统时需要考虑的重要问题. 以手机、电视屏幕为代表的显示设备是人机交互的重要媒介, 为了减少其中的蓝光危害, 在设备中通常都设有防蓝光模式. 这种模式会影响到显示设备的色域. 基于此, 测量显示系统中色域和蓝光危害随着防蓝光模式的变化过程是有必要的. 我们提出了一种测量显示设备特征点获得立体色域的理论. 以目前市面上几种主流手机作为实验样本测量立体色域, 结合光谱获得蓝光危害值, 出色域和蓝光危害的兑换比例这一测量标准, 以评估防蓝光模式的质量.

**关键词:** 显示, 立体色域, 蓝光危害**PACS:** 42.79.Kr, 42.79.-e, 42.62.Cf**DOI:** 10.7498/aps.71.20212356

## 1 引言

显示设备从黑白显示、彩色显示、数字显示到以激光光源为代表的新型显示经历了多次更新换代. 目前, LCD<sup>[1]</sup>、LED<sup>[2]</sup>、OLED<sup>[3]</sup>、量子点<sup>[2,4]</sup>、激光<sup>[5]</sup>等各种光源都在市场占有一席之地. 全色、高清、三维是当今显示系统的发展方向. 2012 年, 国际电联通信部门 (ITU) 提出了 Rec.2020<sup>[6]</sup> 作为 Rec.709<sup>[7]</sup> 的升级版, 提高了其中关于色域、像素数、扫描帧数等方面的要求.

随着消费电子产品种类和功能的逐渐增多, 用户体验变得更加重要. 特别是在显示类产品中, 用户观看的舒适感式显示设备质量的重要组成部分. GB/T 30117.2<sup>[8]</sup> 和 IEC 62471<sup>[9]</sup> 等行业标准均指出, 以蓝光为代表的, 过强的光辐射会对身体产生

危害. 两种标准均对照明系统的辐照度提出了限制. CIE 于 2000 年发布的《CIE 蓝光光化学和光生物学危害汇编》<sup>[10]</sup> 中将蓝光危害分为两种: 视觉危害和非视觉危害. 视觉危害指蓝光照射视网膜对视网膜视锥细胞和视杆细胞的损伤. 它由 1966 年 Noell 等<sup>[11]</sup> 针对小鼠视网膜的研究和 1978 年 Ham 等<sup>[12]</sup> 针对恒河猴视网膜的研究所发现, 这种损伤主要由 400—500 nm 的光产生. Wenzel 等<sup>[13]</sup> 进一步详细研究了蓝光对视网膜的损害机理. 这一损害在波长为 435—440 nm 达到极大值. 非视觉损害指蓝光照射视网膜后影响褪黑素的分泌, Enazi 等<sup>[14]</sup>, Brainard 等<sup>[15]</sup> 的研究表明, 蓝光波长对人褪黑素分泌抑制的曲线呈高斯分布, Baczynska 等<sup>[16]</sup> 和 Liu<sup>[17]</sup> 认为其中心波长为 488 nm, 半高全宽 (FWHM) 为 84 nm. 图 1 为归一化后的两种危害和波长之间的函数图.

\* 国家重点研发计划 (批准号: 2021YFF0307804).

† 通信作者. E-mail: guchun@ustc.edu.cn

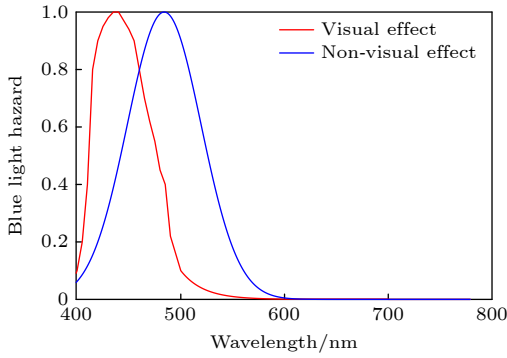


图 1 蓝光视觉危害、非视觉危害与波长之间的关系  
Fig. 1. Relationship between blue light visual hazards, non-visual hazards and wavelength.

目前显示设备中手机、平板电脑桌面显示器等都带有防蓝光模式(或称护眼模式),用户可以根据自己的喜好调节防蓝光模式的强度.评估显示系统的防蓝光模式质量的研究工作主要集中于色彩还原指数(Color rendering index, CRI)和光效率<sup>[18,19]</sup>.另一方面,显示系统的显色能力也是它的重要参数.蓝光作为三基色之一,它的参数选择会对显示系统色域产生影响<sup>[20]</sup>.通常来说,显示系统蓝光强度越大,则色温越高.王聪等<sup>[21]</sup>的研究表明,一定范围内,显示系统色温越高,则其色域越大.因此,研究防蓝光模式随着色域的影响显得相当重要.然而,在目前的行业标准中,暂时没有将蓝光危害和色域相关的报道.

目前的描述显示设备颜色的方法主要有两种:基于 CIEXYZ 色品图的平面色域和基于 CIELAB 色品图的立体色域.

平面色域方案通过测量显示系统三基色对应的三刺激值,转化成 CIEXYZ 色空间内的色坐标后,以 CIEXYZ 色品图中所围成三角形的面积作为色域.这种方案存在着若干问题:

1) CIEXYZ 色品图均匀性不好,麦克亚当椭圆在不同颜色的大小区别非常大.

2) 显示系统的亮度也会影响显示系统的色域,平面色品图并不能反映亮度对色域的影响.

据此,我们采用更均匀的 CIELAB 色空间来描述显示设备的色域.

目前,三基色激光显示是唯一能满足 Rec.2020 标准的显示技术,由于激光具有独特的窄谱特性,可以通过蓝光波长选择有效避开视觉危害和非视觉危害的极值点.本文以消费电子中使用频率和时长最高的手机作为出发点,选取 6 台不同品牌型号的手机,在不同强度的防蓝光模式下,通过测量它

们 20 个特征点的色坐标以获得其立体色域.通过测量其白光时的光谱分布,获得不同强度防蓝光模式下的两种蓝光危害值.进一步地,本文提出了一种基于色域和蓝光危害兑换比例的参数的评价体系.更进一步,我们将手机屏幕的测量结果和激光显示做比较,结果表明,由于激光光源所具备的高独立性,它在蓝光危害和色域转换方面有着较高的兑换比例,是一种具备高色域且有效减少蓝光危害的优质光源.我们相信,当其他光源能够达到理想的光学参数和颜色表现力的时候,在防蓝光模式上的规律也是一致的.

## 2 研究原理和研究过程

### 2.1 蓝光危害计算

根据《CIE 蓝光光化学和光生物学危害汇编》<sup>[10]</sup>,显示系统的视觉蓝光危害通常用辐亮度  $L_B$  和辐照度  $E_B$  来表示,当观察者视场角超过 0.011 rad(约 0.63°) 时,使用加权辐亮度来进行计算,此时

$$L_B = \int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L_\lambda \cdot B(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

式中:  $L_\lambda$  为单位角上光源的光功率分布,单位为  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ ;  $B(\lambda)$  为图 1 中的蓝光危害加权函数.

当观察者视角小于 0.011 rad 时,使用加权辐照度来进行计算,此时

$$E_B = \int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} E_\lambda \cdot B(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

式中,  $E_\lambda$  为光谱的辐照度,单位是  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$

标准<sup>[10]</sup>把蓝光危害分为无危害(IR0),低危害(IR1),中危害(IR2)和高危害(IR3)4种,  $L_B$  和  $E_B$  与蓝光危害等级的关系如表 1 所示.

对于非视觉辐照度,我们这里采用文献<sup>[16]</sup>中的结果

$$E_{CM} = \int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L_\lambda \cdot C_M(\lambda) d\lambda, \quad (3)$$

式中  $C_M(\lambda)$  为蓝光对人体节律的影响曲线.  $C_M(\lambda)$  表达式为

$$C_M(\lambda) = \exp\left[-\frac{(\lambda - \lambda_c)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (4)$$

式中,  $\lambda_c = 484 \text{ nm}$ ,  $\sigma = \frac{\text{FWHM}}{2\sqrt{2\ln 2}} = 35.67 \text{ nm}$ .

表 1  $L_B$  和  $E_B$  与蓝光危害等级的关系Table 1. The relationship between  $L_B$ ,  $E_B$  and the blue light hazard level.

危害等级	IR0	IR1	IR2	IR3
$L_B / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1})$	$\leq 100$	$100-10^4$	$10^4-4 \times 10^6$	$> 4 \times 10^6$
$E_B / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	$\leq 800$	$800-10^3$	$10^3-4 \times 10^5$	$> 4 \times 10^5$

## 2.2 色域测量

这里采用特征点法获取显示设备的立体色域, 三基色显示系统采用 RGB 信号输出颜色, 它可以表示为图 2(a) 的 RGB 立体框: 立体框的 8 个顶点, 以及 12 条棱的中点共计 20 个点为特征点, 使用图像软件生成它们对应的色块, 测量其三刺激值, 然后将三刺激值转化为 CIELAB 色空间, 如图 2(b) 所示.

计算图 2(b) 中的多面体的体积就是显示系统对应的立体色域体积. 具体算法为, 截取  $L$  从 1 到 99 上立体色域的切面, 计算每个截面的截面积  $S_L$ , 然后根据

$$V = \sum_{L=0}^{99} \frac{S_L + S_{L+1}}{2}, \quad (5)$$

得到的  $V$  就是显示系统的立体色域.

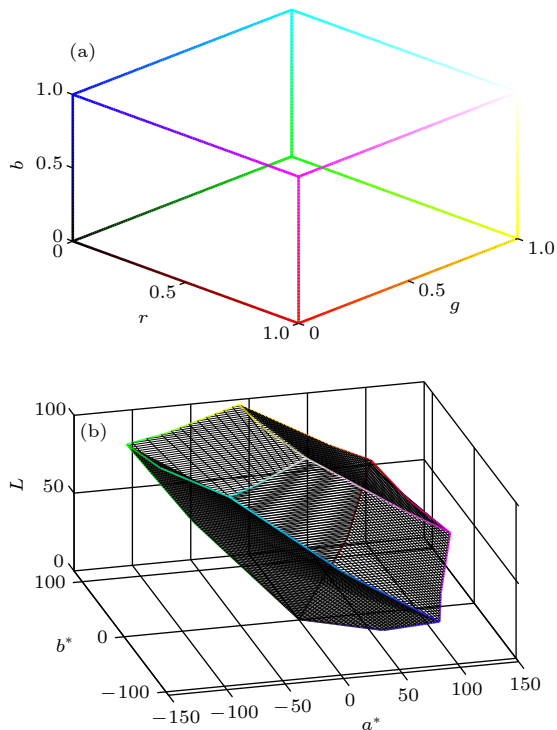


图 2 (a) RGB 立体框和 (b) RGB 立体框在 CIELAB 空间中的位置

Fig. 2. (a) RGB three-dimension frame and (b) its position in CIELAB color space.

## 2.3 实验系统

实验采用的测量设备为远方公司 SR-600 型色度计, 它可以测量屏幕光谱的强度分布并获得其三刺激值. 实验中使用的设备如表 2 所示.

表 2 几种设备的相关参数

Table 2. The parameters of experimental device.

设备编号	屏幕种类	发布年份
(1)	液晶	2019
(2)	OLED	2020
(3)	OLED	2020
(4)	液晶	2019
(5)	OLED	2021
(6)	LED	2018

几种设备均使用近 3 年来市场上主流的品牌, 屏幕种类涵盖了市场上的液晶、LED、OLED 等常用技术.

测量时, 将待测屏幕放置在离色度计 1 m 远的地方并使用最大亮度. 依次播放待测图片, 将色度计测量视场角开启到  $1^\circ$ , 测量其三刺激值和光谱并记录, 记录完毕后切换下一张图片.

每台设备均在防蓝光模式关闭和以不同强度打开时分别记录结果. 我们把蓝光模式关闭时 (即普通模式) 下的防蓝光强度设置为 0, 开启以后将防蓝光模式强度滑条均分, 从弱到强依次按照正整数顺序命名. 设备蓝光模式图和测试用图片见图 3.

## 3 测量结果

我们的结果分为 3 个部分, 即立体色域值、蓝光视觉危害和蓝光非视觉危害, 各设备的结果如图 4. 结果显示, 随着防蓝光模式的增强, 色域和两种蓝光危害都显著减少.

## 4 分析与讨论

### 4.1 光谱功率分布同防蓝光模式效率的关系

图 5 显示了 6 台设备的白光功率分布随防蓝

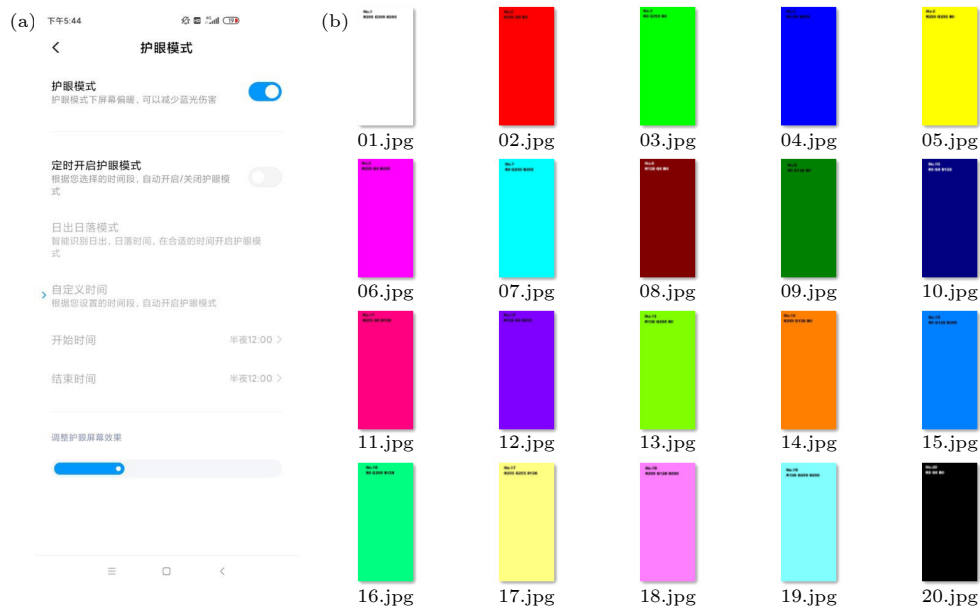


图3 (a)设备蓝光模式图和(b)20张测试用图片

Fig. 3. (a)The screenshot of anti-blue hazard mode and (b) the figure of 20 experimental pictures.

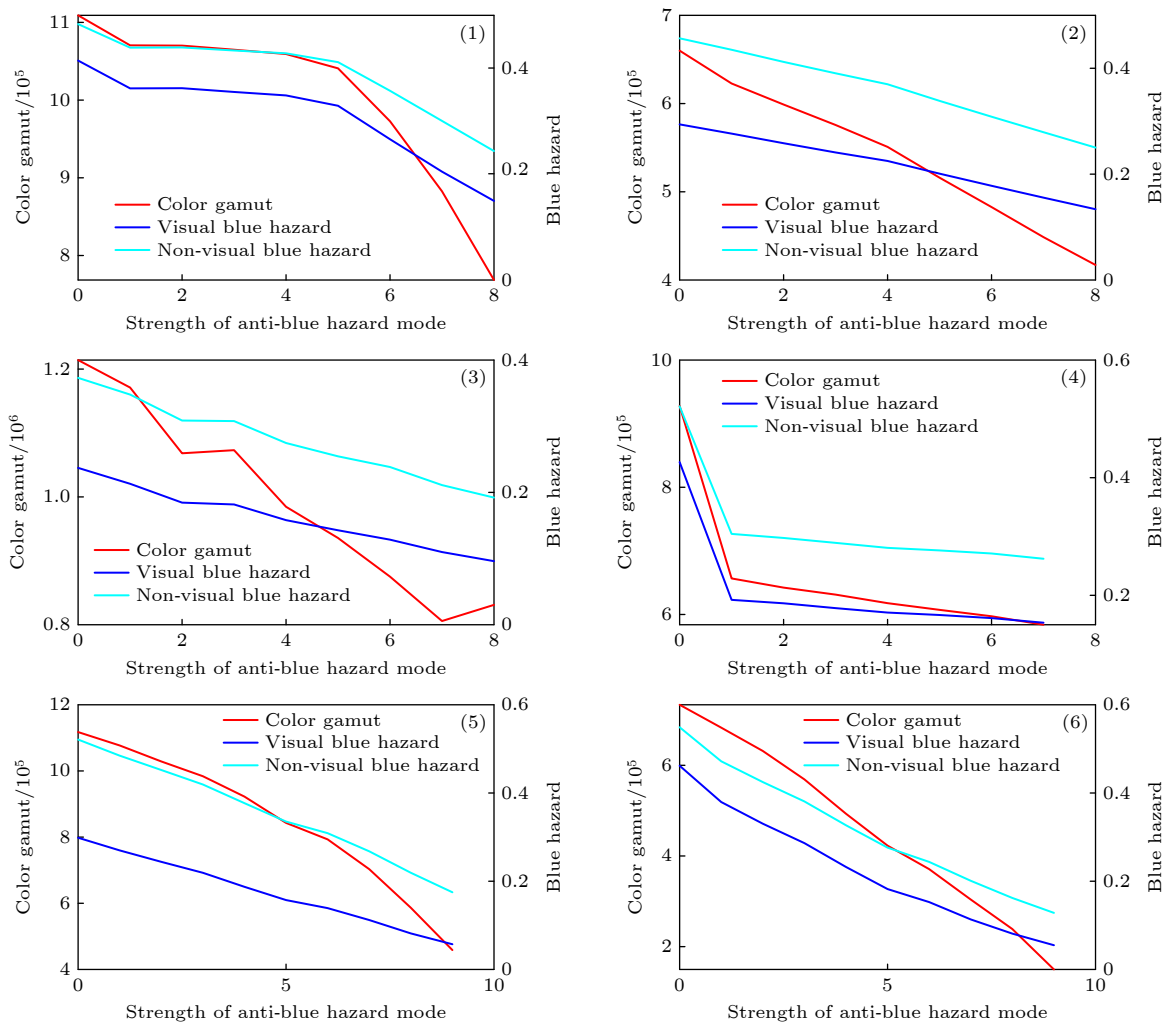


图4 6台显示设备的色域、两种蓝光危害同防蓝光模式强度的关系, 蓝光危害通过白场光谱分布计算得到

Fig. 4. The relationship between the color gamut of six display devices, two kinds of blue light hazards under the strength of anti-blue hazard mode. The blue light hazard is calculated from the white field spectral distribution.



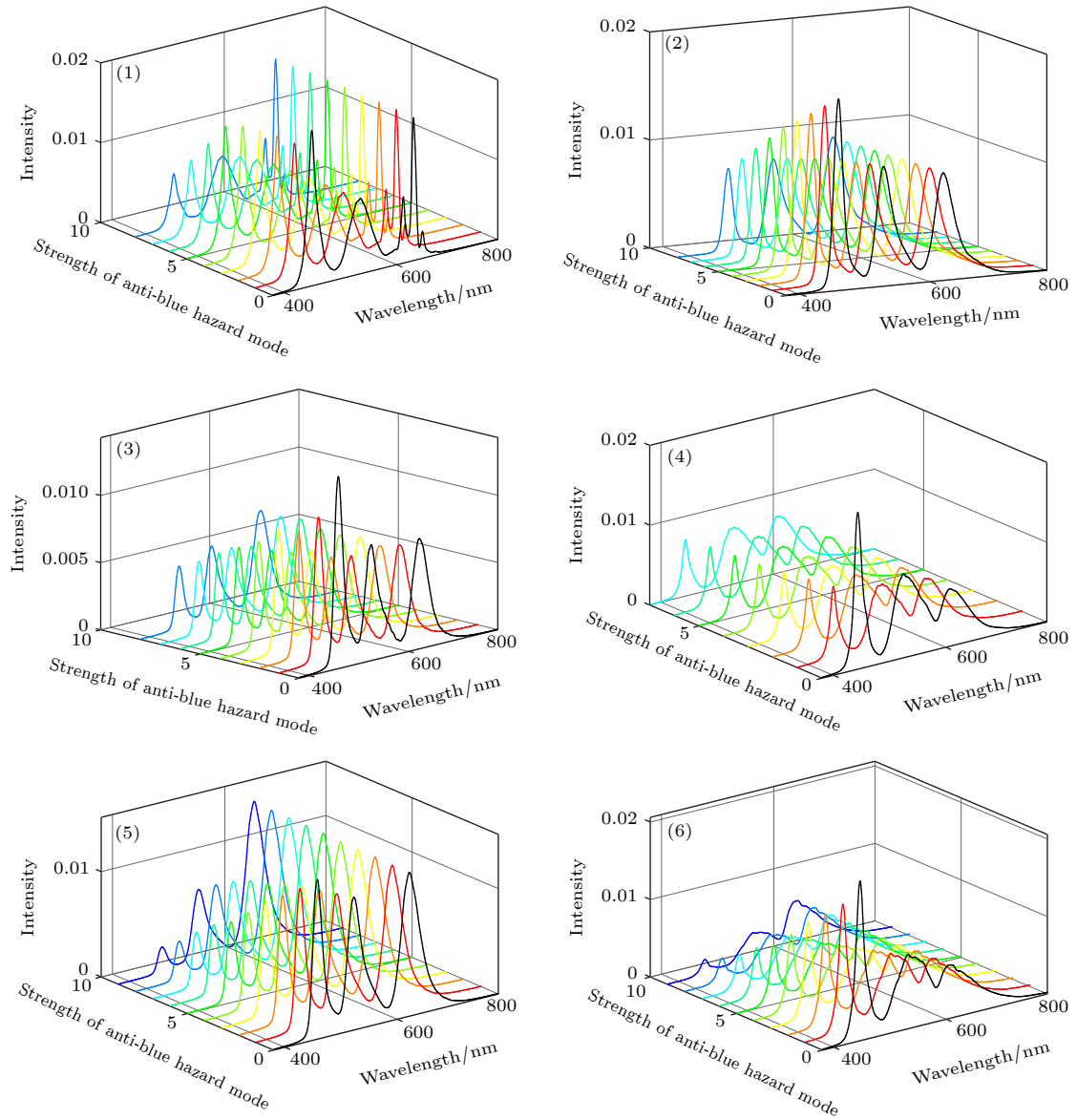


图 5 6 台显示设备的光谱功率分布同防蓝光模式强度的关系

Fig. 5. The relationship between the spectral power distribution of six display devices and the strength of anti-blue hazard mode.

光模式强度的变化, 波长从小到大排序, 3 个波峰分别为蓝光、绿光和红光. 随着防蓝光模式强度逐渐增加, 蓝光部分的强度显著减少, 绿光部分的强度有些许减少, 而红光部分的强度几乎不变. 防蓝光模式之所以如此设计, 主要原因和图 1 相关. 红基色对蓝光危害无关. 而根据文献 [20], 在传统显示技术中, 3 种基色对显示设备色域的影响权重不同, 绿光最强, 红光次之, 蓝光最弱. 据此, 我们认为, 要降低防蓝光模式对色域的影响, 就要降低绿光强度受防蓝光模式的扰动.

## 4.2 色域兑换比例

6 台设备中, 随着防蓝光模式强度的增加, 色

域随之减少, 对应的 2 种蓝光危害也跟着减少. 然而, 不同显示设备的光强互不相同, 根据 (1) 式, 显示设备光强和蓝光危害成正比, 却不影响设备的色域. 据此, 不能直接通过蓝光危害的绝对值来比较防蓝光模式的优劣.

为了排除显示设备光强带来的干扰, 我们定义参数

$$\begin{cases} R_V = V_i/V_0, \\ R_B = B_i/B_0, \\ R_N = N_i/N_0, \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $V_0, B_0, N_0$  分别代表普通模式下对应设备的色域, 视觉蓝光危害和非视觉蓝光危害;  $V_i, B_i, N_i$  分别代表防蓝光模式强度为  $i$  时, 对应屏幕的色域,

视觉蓝光危害和非视觉蓝光危害;  $R_V, R_B, R_N$  定义为色域与视觉蓝光危害非视觉危害分别在防蓝光模式和普通模式两种模式下的比值. 当防蓝光模式关闭的时候,  $i = 0$ , 其他的时候,  $i$  等于防蓝光模式的等级.

$i = 0$  的时候, 这 3 个值都为 1,  $i > 0$  的时候,  $R_V, R_B, R_N$  均小于 1. 它们的取值范围是  $(0, 1]$ .

根据图 4, 我们画出 6 台设备  $R_V, R_B, R_N$  随着防蓝光模式变化的曲线, 结果如图 6 所示.

我们在平面直角坐标系上画出每台显示器的  $R_V - R_B$  和  $R_V - R_N$  曲线, 它表示了随着蓝光模式强度增加, 两种蓝光危害和色域的减少比例. 结果如图 7 所示.

图 7 表示了随着两种蓝光危害下降时, 不同显示系统的色域下降比例. 可以看出, 6 台显示设备  $R_V - R_B$  及  $R_V - R_N$  均呈近似的线性相关. 而斜率的

物理意义即为色域比和蓝光危害比的“兑换比例”. 换言之, 斜率越大, 同样的色域比能换算到的蓝光危害比越高, 显示设备也更加优秀.

定量评价 6 台显示设备的防蓝光模式质量, 即通过最小二乘法计算图 6 中每条线的线性拟合, 显然这些线都是经过定点  $(1, 1)$  的, 拟合直线方程为

$$y - 1 = k(x - 1). \quad (7)$$

每台设备的  $R_V - R_B$  及  $R_V - R_N$  的线性拟合斜率如表 3 所示.

可以看出, 6 台设备的线性拟合相关系数都超过了 0.9, 这充分表明了  $R_V - R_B$  及  $R_V - R_N$  以线性关系为主, 可以用来衡量显示设备防蓝光模式的效能. 我们可以得出结论, 在全部的待测设备中, 设备 (1) 的防蓝光模式最优秀, 根据图 5 可知, 设备 (1) 的绿光强度随着防蓝光模式的变化是最小的, 这和我们所假设的内容相吻合.

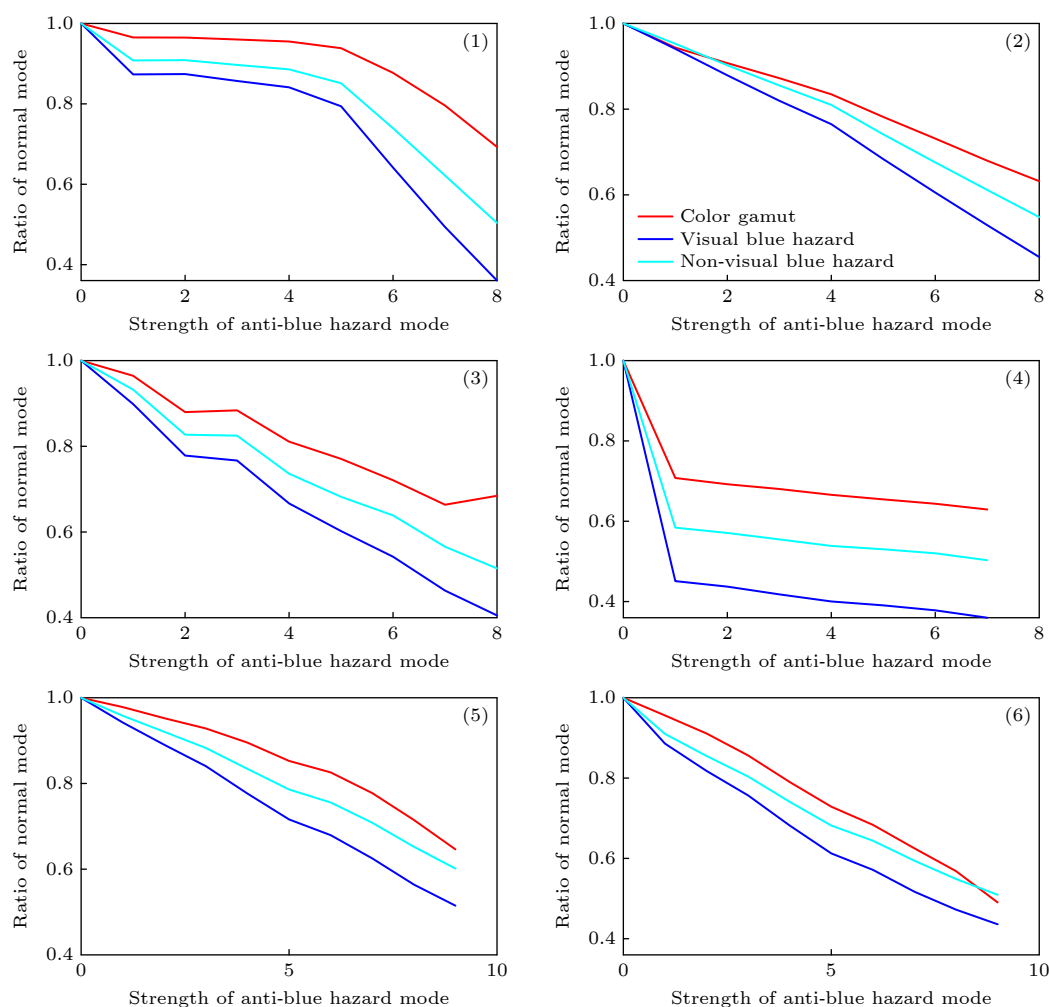


图 6 6 台显示设备的色域, 两种蓝光危害比例同防蓝光模式强度的关系

Fig. 6. The relationship between the ratio of the color gamut of six display devices, the ratio of two kinds of blue light hazards under the strength of anti-blue hazard mode.

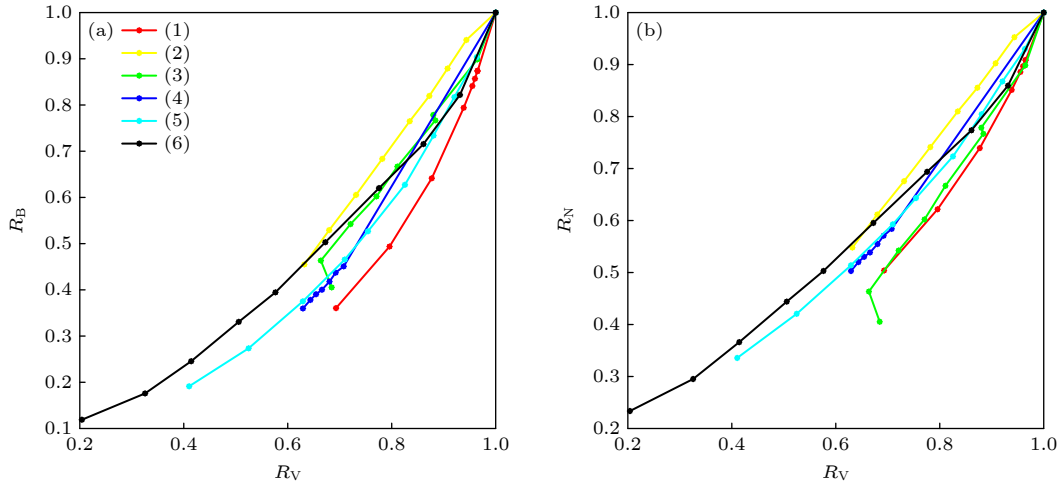
图 7 不同显示设备的  $R_V - R_B$  以及  $R_V - R_N$  曲线Fig. 7.  $R_V - R_B$  and  $R_V - R_N$  curves of different display devices.

表 3 6 台显示器色域和两种蓝光危害比例的线性拟合及相关系数

Table 3. Linear fitting and correlation coefficients of 6 display devices, between the ratio of color gamut and the ratio of two kinds of blue light hazards.

设备编号	$R_V - R_B$ 斜率	相关系数	$R_V - R_N$ 斜率	相关系数
(1)	2.3497	0.9265	1.7796	0.9511
(2)	1.4591	0.9969	1.2003	0.9955
(3)	1.7335	0.9748	1.3875	0.9788
(4)	1.7865	0.9943	1.3726	0.9970
(5)	1.5859	0.9242	1.2532	0.9598
(6)	1.2695	0.9223	1.0724	0.9513

### 4.3 设备色温和色域的关系

防蓝光模式的改变也伴随着设备色温的改变, 图 8 显示了几台设备色温随着其防蓝光模式强度改变的关系, 为了方便比较, 我们将色域体积的变化趋势放在同一图中进行对比, 结果显示, 色温变化和色域变化是成正相关的, 这些结果同文献 [21] 中的结果一致. 我们认为, 为了保持观看者具有良好的观看体验, 在兼顾蓝光危害的同时也要保持较高的色域体积, 显示设备的色温不应该设置的过低. 5000—6500 K 之间是色温的理想选择范围.

### 4.4 三基色激光显示的防蓝光模式

三色激光显示技术目前被认为是新一代的新型显示技术, 由于激光光源本身光谱宽度窄且亮度高, 具有大色域、高亮度、高独立性等优点. 2018 年 9 月, 中国电子技术标准化研究院赛西实验室联合北京协和医院眼科专家以 80 寸 4 K 激光

电视和 80 寸 4 K 液晶电视为样本进行人眼观看舒适度对比测试, 他们在显示方面做了一定的探索, 认为在同等条件下, 激光电视对人体的蓝光危害小于液晶电视 [22]. 这种测试基于主观的人眼测试, 具体的量化指标还有待进一步的研究.

我们在这里以自制的三基色激光显示系统为测试对象, 在两种光源的蓝光危害一致的假设前提下, 利用前面的方法获得其光谱分布、立体色域、视觉和非视觉蓝光危害、 $R_V$ ,  $R_B$ ,  $R_N$  和色温等参数随防蓝光模式强度变化的关系, 结果如图 9 所示.

我们仿照 4.2 节, 根据 (7) 式来计算激光电视的  $R_V - R_B$  及  $R_V - R_N$  的拟合斜率. 得到  $k_{R_V - R_B} = 2.1145$ ,  $k_{R_V - R_N} = 1.3931$ . 蓝光的中心波长刚好位于视觉危害峰值 (435—440 nm) 和非视觉危害峰值 (484 nm) 之间. 此外, 绿光由于其窄谱特性, 它的波长远离蓝光危害区域的峰值, 其强度不需要随着蓝光的减少而减少, 这使得激光显示设备的防蓝光方式对色域的影响降低.

接下来我们分析该设备的蓝光危害等级, 研究表明, 根据 (1) 式, 有

$$L_B = \int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} \frac{P(\lambda) \cdot B(\lambda)}{S \cdot \Omega} d\lambda, \quad (8)$$

式中:  $\Omega$  为发光屏幕的散射立体角, 实验中使用的屏幕为硫酸钡屏, 其散射立体角为  $\Omega = 2\pi \text{ sr}$ ;  $S$  为测试的投影面积, 实验中的视场角为  $1^\circ$ , 其对应的立体角为

$$\Omega' = 2\pi (1 - \cos^2 0.5^\circ) = 4.785 \times 10^{-4} \text{ sr}. \quad (9)$$



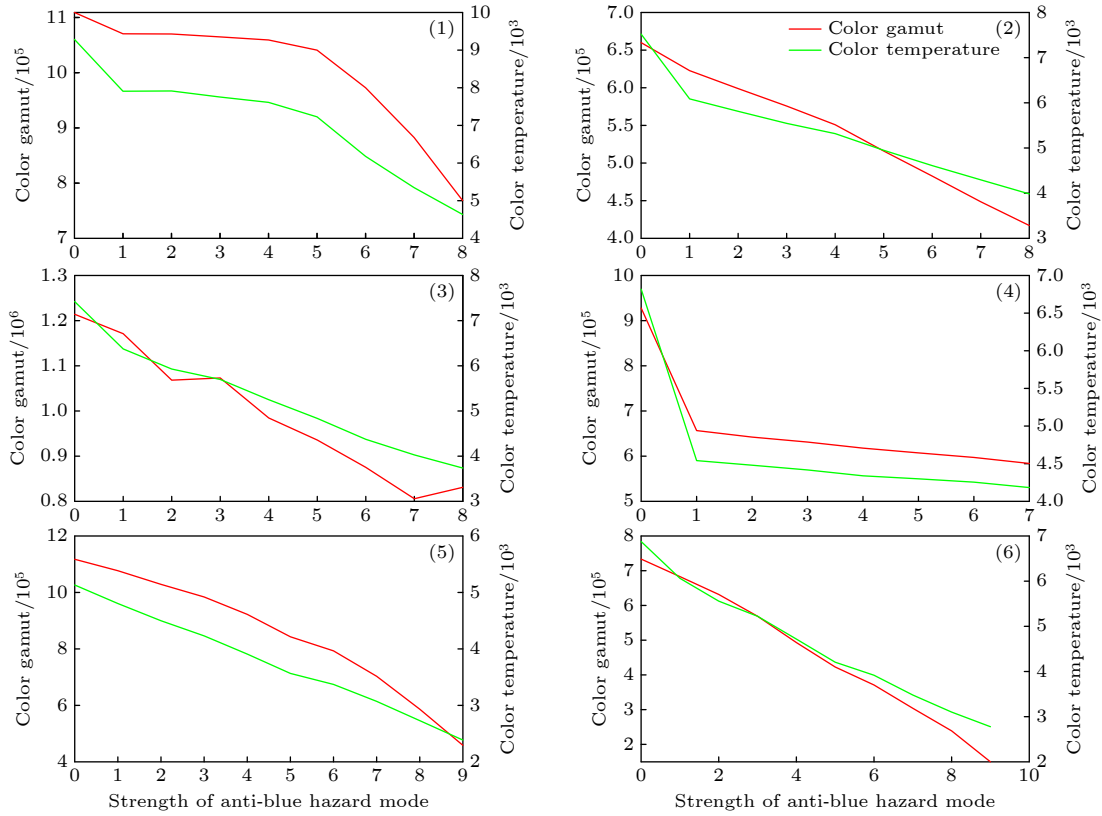


图 8 显示设备的色域, 色温同防蓝光模式强度的关系

Fig. 8. The relationship among the color gamut, color temperature of the display device and the intensity of the anti-blue light mode..

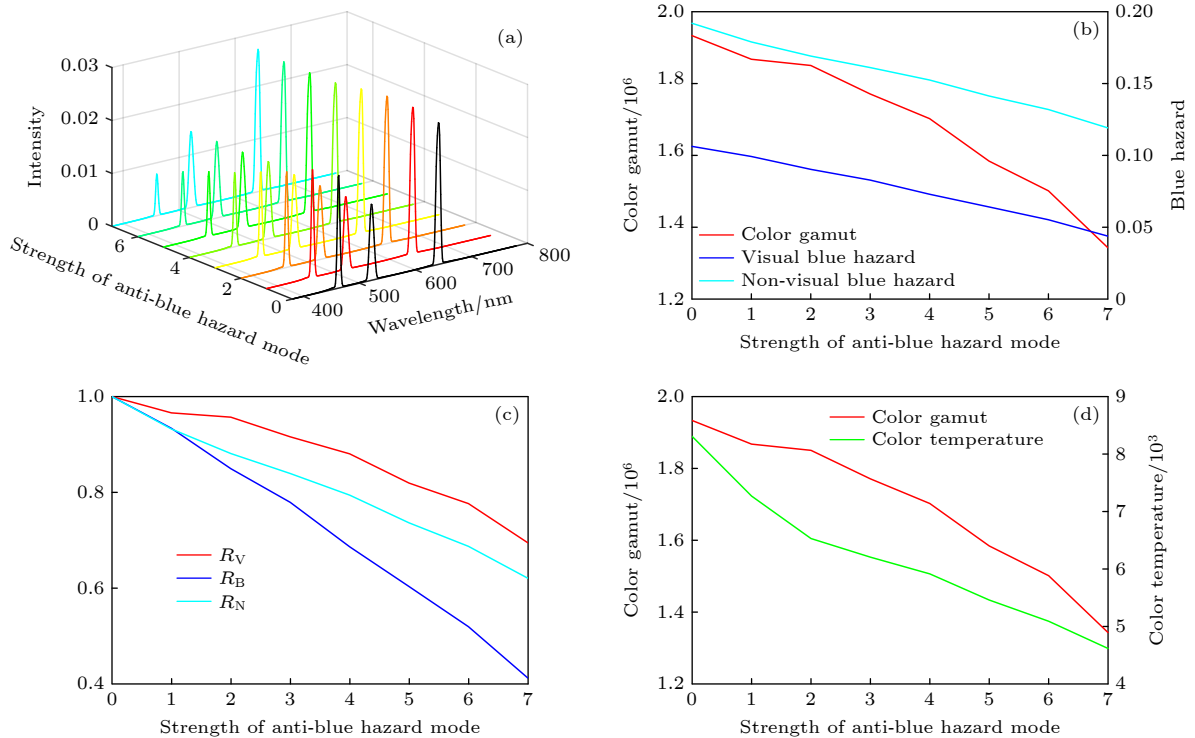


图 9 防蓝光模式强度的变化对激光电视参数的影响 (a) 光谱强度分布, 三基色中心波长分别为 464 nm, 520 nm, 660 nm; (b) 色域及两种蓝光危害, 蓝光危害通过白场光谱强度分布计算得到; (c)  $R_V$ ,  $R_B$ ,  $R_N$  参数; (d) 色域-色温曲线

Fig. 9. The influence of the strength of the anti-blue hazard mode on the parameters of laser TV: (a) Spectral power distribution, the peak wavelength of three primaries are 464 nm, 520 nm and 660 nm; (b) color gamut and two kinds of blue hazard, the blue light hazard is calculated from the white field spectral distribution; (c)  $R_V$ ,  $R_B$ ,  $R_N$  parameter; (d) color gamut-color temperature curve.

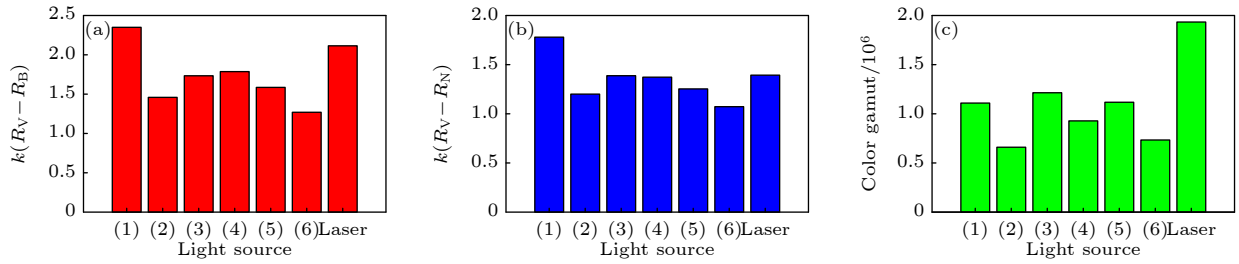


图 10 激光电视和实验设备的对比图 (a) 色域与视觉蓝光危害的兑换比例; (b) 色域与非视觉蓝光危害的兑换比例; (c) 设备色域

Fig. 10. The comparison of laser TV and experimental device: (a) Conversion ratio between color gamut and visual blue light hazard; (b) conversion ratio between color gamut and non-visual blue light hazard; (c) color gamut.

色度计距离屏幕距离为  $d = 1$  m, 其在屏幕上投影的面积为

$$S = \Omega' d^2 = 4.785 \times 10^{-4} \text{ m}^2. \quad (10)$$

$P(\lambda)$  分布如图 9(a) 所示,  $B(\lambda)$  如图 1 所示, 其对应的蓝光危害强度为

$$L_B = 35.36 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr}), \quad (11)$$

根据表 1, 它属于 IR0(无危害) 层级。

为了使结果更加明晰, 我们将激光光源的  $R_V - R_B$  及  $R_V - R_N$  拟合斜率、立体色域体积与前 6 台设备光源进行对比, 结果如图 10 所示。

图 10 的结果显示, 在 7 台实验设备中, 激光电视的蓝光危害和立体色域的兑换比例排名第二, 和最高值相比, 色域-视觉危害转化率低 10%, 色域-非视觉危害转化率低 22%, 而激光光源的立体色域领先于其他 6 台设备, 是 6 台设备最大者的 159%。

目前, 诸如 LCD、OLED、量子点等光源也在通过优化光源中心波长, 缩窄光谱宽度等方案来尽可能接近 Rec.2020 标准 [23]。每种光源都存在着自身的限制, 而显示用激光光源的发展也需要理论和实践的双重指导去优化光源的波长和谱宽。因此, 我们希望在此研究的基础上提供各种新型光源的中心波长、光谱宽度等参数的选择, 用以在提升色域体积和抑制蓝光危害之间寻找平衡点, 为未来显示技术发展方向提供理论依据。

## 5 结 论

本文提出了一种基于测量显示系统特征点三刺激值来获得立体色域的方法, 根据这种方法我们测量了 7 台显示设备的防蓝光模式对其色域的影响。提出了换算比例系数这一参数来评价防蓝光模

式的质量, 结果拥有较高的线性相关系数。另一方面, 我们的实验也验证了色温和显示系统色域的正相关。根据结果我们认为, 想要优化防蓝光模式的质量, 需要调整显示系统的峰值波长, 并且保持绿光强度在防蓝光模式下的稳定, 激光是一种能够满足这些条件的优秀光源。

## 参考文献

- [1] Sun Y, Zhang C, Yang Y L, Ma H M, Sun Y B 2019 *Curr. Opt. Photonics* **3** 590
- [2] Wu T Z, Sher C W, Lin Y, Lee C F, Liang S J, Lu Y J, Huang C S W, Guo W J, Kuo H C, Chen Z 2018 *Appl. Sci.* **8** 1557
- [3] Hosoumi S, Yamaguchi T, Inoue H, Nomura S, Yamaoka R, Sasaki T, Seo S 2017 *SID Symposium, Seminar, and Exhibition 2017, Display Week 2017* Los Angeles U.S.A. May 21–26, 2017 p13
- [4] Lin S Y, Tan G J, Yu J H, Chen E G, Weng Y L, Zhou X T, Xu S, Yan F Q, Guo T L 2019 *Opt. Express* **27** 28480
- [5] Zhao J Y, Yan Y L, Gao Z H, Du Y X, Dong H Y, Yao J N, Zhao Y S 2019 *Nat. Commun.* **10** 870
- [6] ITU-R Recommendation BT-2020 2012 *Parameter Values for Ultra-high Definition Television Systems for Production and International Programme Exchange*
- [7] ITU-R Recommendation BT-709 1990 *Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange*
- [8] GB/T 30117.2—2013 2013 *Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems—Part 2: Guidance on Manufacturing Requirements Relating to Non-laser Optical Radiation Safety* (in Chinese) [灯和灯系统的光生物安全 第2部分: 非激光光辐射安全相关的制造要求指南]
- [9] BSI Standards Publication, PD IEC-TR 62741-2-2009 2009 *Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems—Part 2: Guidance on Manufacturing Requirements Relating to Non-laser Optical Radiation Safety*
- [10] CIE 2000 *CIE Collection in Photobiology and Photochemistry 2000 138/1 CIE TC 6-14 report: Blue-light Photochemical Retinal Hazard*
- [11] Noell W K, Walker V S, Kang B S, Berman S 1966 *Invest. Ophthalm.* **5** 450
- [12] Ham W T, Mueller H A, Ruffolo J J, Clarke A M 1979

- Photochem. Photobiol.* **29** 735
- [13] Wenzel A, Grimm C, Samardzija M, Reme C E 2005 *Prog. Retin. Eye Res.* **24** 275
- [14] Enezi J A, Revell V, Brown T, Wynne J, Schlangen L, Lucas R 2011 *J. Biol. Rhythms* **26** 314
- [15] Brainard G C, Hanifin J P, Greeson J M, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag M D 2001 *J. Neurosci.* **21** 6405
- [16] Baczynska K, Price L 2013 *Lighting Res. Technol.* **45** 40
- [17] Liu J 2014 *M. S. Thesis* (Shanghai: Fudan University) (in Chinese) [刘婕 2014 硕士学位论文 (上海: 复旦大学)]
- [18] Nie J X, Chen Z Z, Jiao F, Zhan J L, Chen Y F, Chen Y Y, Pan Z J, Kang X N, Wang Y Z, Wang Q, Zhou T H, Dang W M, Dong W T, Zhou S Z, Yu X, Zhang G Y, Shen B 2021 *Opt. Laser Technol.* **135** 106709
- [19] Zhang J J, Guo W H, Xie B, Yu X J, Luo X B, Zhang T, Yu Z H, Wang H, Jin X 2017 *Opt. Laser Technol.* **94** 193
- [20] Wang G, Yang Y H, Dong T H, Gu C, Xu L C 2018 *Fifth International Symposium on Laser Interaction with Matter* (Changsha, China) November 11–13, 2018
- [21] Wang C 2020 *M. S. Thesis* (Hefei: University of Science and Technology of China) (in Chinese) [王聪 2020 硕士学位论文 (合肥: 中国科学技术大学)]
- [22] CESI Laboratory 2018 *Testing Certificate of laser TV vision health* TC(2018)016 (in Chinese) [中国电子技术标准化研究赛西实验室 2018 激光电视视觉健康测试证书TC(2018)016]
- [23] Chen H W, Lee J H, Lin B Y, Chen S, Wu S T 2018 *Light Sci. Appl.* **7** 17168

## Relationship between anti-blue hazard mode and color gamut of display devices\*

Wang Guan<sup>1)2)3)</sup> Gu Chun<sup>1)2)3)†</sup> Xu Li-Xin<sup>1)2)3)</sup>

1) (State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

2) (Anhui Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

3) (Advanced Laser Technology Laboratory of Anhui Province, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

( Received 21 December 2021; revised manuscript received 26 January 2022 )

### Abstract

Display devices based on new generation of light source have become the mainstream of the market due to the advantages of large color gamut, high brightness, and high resolution. Blue light, as one of the three primary colors, is an indispensable part of the display system. Its parameters, such as wavelength, spectral width, brightness affect the color gamut of the display system from different aspects. Strong blue light can damage the retinal cells of the human eye and affect the biological rhythm. Therefore, it is needed to consider how to reduce the blue light hazard when designing the display system. Display devices, represented by mobile phones and TV are an important part for human-computer interaction. In order to reduce the blue light hazard, anti-blue hazard mode is usually used and this mode will affect the color gamut of display device. To measure the color gamut and blue light hazards in a display system with the blue light protection mode is necessary. We propose a theory of measuring the characteristic points of display devices to obtain the stereoscopic color gamut. Several mainstream mobile phones currently on the market are used as experimental samples to measure the stereoscopic color gamut and blue light hazard value. Based on the results, we propose the measurement standard of the conversion ratio between the color gamut and the blue light hazard to evaluate the quality of the anti-blue hazard mode.

**Keywords:** display, stereoscopic color gamut, blue light hazard

**PACS:** 42.79.Kr, 42.79.-e, 42.62.Cf

**DOI:** 10.7498/aps.71.20212356

\* Project supported by the National Key Research and Development Program of China (Grant No. 2021YFF0307804).

† Corresponding author. E-mail: [guchun@ustc.edu.cn](mailto:guchun@ustc.edu.cn)