

文章编号:1007-2780(2018)09-0734-09

不同屏幕贴膜对显示效果的影响比较

韩美林^{1*}, 张 林¹, 杨超普²

(1.商洛学院 电子信息与电气工程学院, 陕西 商洛 726000;

2.商洛学院 化学工程与现代材料学院, 陕西 商洛 726000)

摘要:为了定量分析屏幕贴膜前后彩色三要素的变化,分别测量不同色温(2 700~6 500 K)下液晶显示器(LCD)与有机发光二极管(OLED)屏幕的光谱分布。根据聚对苯二甲酸乙二醇酯树脂(PET)及脉冲电子束沉积(PED)贴膜透射率数据,拟合屏幕光谱分布及贴膜透射率函数表达式。计算并定量比较两种贴膜对不同色温下两种屏幕 1931 CIE XYZ 色坐标、主波长、饱和度及光通量的影响,结合人眼分辨率对计算比较结果进行分析。两种贴膜可分别使 LCD 色坐标 Z 值降低 0.001 4、0.000 6,使 OLED Z 值下降 0.000 2 左右,降幅不随色温变化;色温 5 000 K 时,两种贴膜均使 LCD 主波长降低 1 nm, OLED 主波长增加 1 nm;当色温设置低于 5 000 K 时,两种贴膜分别可使 LCD 饱和度增加约 0.37%、0.17%;两贴膜可使不同色温 LCD 及 OLED 光通量分别下降 11.9%、1.46%。PET 贴膜对光通量的影响,人眼能够明显辨别。以上结论可为屏幕贴膜的选择与使用提供依据,分析研究方法可为相关产品的研发提供借鉴。

关键词:显示器;屏幕贴膜;光谱分析;色度学

中图分类号:O432.3;TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183309.0734

Comparison of display effect for different screen protectors

HAN Mei-lin^{1*}, ZHANG lin¹, YANG chao-pu²(1.College of Electronic Information and Electrical Engineering, Shangluo University,
Shangluo 726000, China;2.College of Chemical Engineering and Modern Materials, Shangluo University,
Shangluo 726000, China)

Abstract: An exclusive quantitative analysis was performed to survey the changes of the three color components (brightness, hue and color saturation) on screen film. The spectral distributions of LCDs and OLED screens at different color temperatures (2 700 K-6 500 K) were measured by the spectral transmittance variations of polyethylene terephthalate (PET) and pulsed electron beam deposition (PED), and then the spectral distribution of the screen and the membrane transmissivity function were fitted. Calculation and quantitatively comparison on the influences of the color coordinates, main

收稿日期:2018-03-27; **修订日期:**2018-04-11.

基金项目:国家重点研发计划“战略性先进电子材料”重点专项(No.2017YFB0403700);商洛市科技计划项目(No. SK2017-42)

National key research and development program “strategic advanced electronic materials” key special projects(No.2017YFB0403700);Science and technology program in shangluo city (No.sk2017-42)

* 通信联系人, E-mail: 741894080@qq.com

wavelength, saturation and luminous flux of 1931 CIE XYZ at different color temperatures were implemented, and then the results were analyzed with human eye resolution ratio. The research from two screen protectors shows that value Z on the color coordinate of LCD can be reduced by 0.001 4 and 0.000 6 respectively, and the one of OLED decreased around 0.000 2. These results proved that the decrease was not affected by the color temperature. When the color temperature is 5 000 K, the main wavelength of LCD decreased 1 nm, whereas the value of the OLED increased 1 nm. Below 5 000 K, the saturation of LCDs and OLED affected from two screen protectors increased 0.37% and 0.17%, respectively. These two protectors can reduce the luminous flux of LCD and OLED by 11.9% and 1.46% respectively at different color temperature. The influence of PET film on luminous flux can be distinguished by human eyes. The obtained conclusions provide us the basis for the selection of the ideal screen protectors, and the analysis and research methods in this paper can provide reference for the development of related products.

Key words: displays; screen protectors; spectroscopy analysis; colorimetry

1 引言

随着照明显示技术的发展,光生物效应已受到广大光电产品制造商及普通消费者的高度关注^[1]。各种护眼屏幕贴膜应运而生。多数人在购买电脑特别是手机后,会自己选购使用屏幕贴膜。屏幕贴膜具有一定滤蓝光效果,然而,蓝光作为三基色之一,额外增加的屏幕贴膜是否会影响显示效果,未见相关文献的定量分析。

在色度学中,任一彩色光均可利用色调、饱和度和亮度三个基本参量表示,称为彩色三要素。人眼可分辨的色调约为128种,平均饱和度区分等级约为10种,可分辨的亮度等级约有600种。彩色三要素各自变化得到不同颜色,可见人眼具有很强的颜色分辨能力。可根据贴膜透射率及屏幕光谱分布数据定量计算贴膜前后彩色三要素的变化,分析比较不同屏幕贴膜对液晶显示器(LCD)、有机发光二极管(OLED)屏幕显示效果的影响。该研究可为屏幕贴膜的选择与使用提供依据,分析研究方

法可为相关产品的研发提供借鉴。

2 实验

2.1 贴膜透射率及其拟合

在某全球大型购物网站按照销售量排名搜索屏幕贴膜,选择前两名的贴膜为研究对象。为了方便,本文对两种屏幕贴膜编号分别为A和B,相关信息见表1。由表可见两种屏幕贴膜的主要区别在于材质与厚度。贴膜A材质为透明钢化玻璃与聚对苯二甲酸乙二醇酯树脂(PET),是在钢化玻璃基板上粘贴PET薄膜,厚度为2.54 mm。贴膜B材质为一种日本生产的脉冲电子束沉积(PED)薄膜材料,厚度仅为0.33 mm。商家均声称两种贴膜具有过滤蓝光、降低蓝光危害、保护眼睛的功能。

在两种屏幕贴膜对应生产商官方网站查询可见光波段透射率的测量数据,数据的扫描步长为10 nm,见图1所示。为了下文的计算分析方便,利用OriginPro软件的Nonlinear curve fit功能,

表1 两种屏幕贴膜的主要参数

Tab.1 Main parameters of two kinds of screen protectors

Screen membrane number	Membrane materials	Thickness / mm	Functional characteristics	Price / dollars
A	高质量 PET 薄膜 99.9%透明高清钢化玻璃	2.54	过滤蓝光,防眩, 保护眼睛健康	9.95
B	100%日本 PED 材料	0.33	阻蓝光、缓解眼部疲劳	11.95

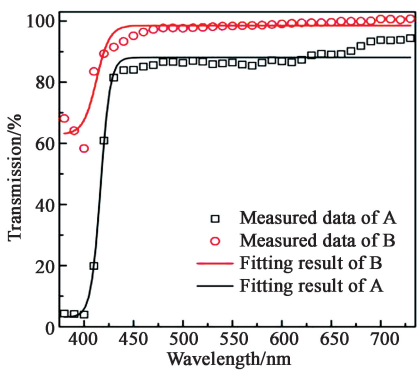


图 1 两种屏幕贴膜的透射率及其拟合
Fig.1 Transmissivity and fitting of two kinds of screen protectors

采用 Boltzmann 函数对其进行拟合,拟合公式见式 1,拟合曲线见图 1。由图可见贴膜 B 的透射率高于贴膜 A,主要是因厚度差别引起。根据拟合曲线知贴膜 A 在短波段拟合效果较好,而贴膜 B 在长波段拟合效果较好。

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp[(x - x_e)/dx]} + A_2. \quad (1)$$

两种屏幕贴膜可见光波段透射率的拟合结果见表 2,给出了表达式中各参数数值、相关系数平方(R^2)、残差平方和及剩余均方。由数据可见,两种屏幕贴膜透射率拟合质量均较高,能保证下文的计算精度。

表 2 两种屏幕贴膜的透射率拟合结果

Tab.2 Fitting results of two kinds of screen protectors transmissivity

Screen membrane number	Fitting results of each parameter				R^2	Residual sum of squares	Residual mean square
A	$A_1=3.140\ 4$	$A_2=88.096\ 3$	$x_0=416.63\ 6$	$dx=4.826\ 2$	0.986\ 85	281.019\ 05	8.781\ 85
B	$A_1=62.943\ 4$	$A_2=98.539\ 7$	$x_0=412.534$	$dx=6.60$	0.927\ 89	241.994\ 29	7.562\ 32

2.2 显示器光谱测量与拟合

目前各种光电显示器中,液晶显示器(LCD)占据绝对优势地位,其中 LED 背光的 LCD 最为广泛。有机发光二极管(OLED)作为 LCD 的主

要竞争者,应用前景广阔^[2-9]。因此,本文以 LED 背光 LCD 与 OLED 为研究对象,选择全球知名品牌产品,主要参数见表 3。

安装显示器色温调节软件,利用美国海洋光

表 3 两种显示器的主要参数

Tab.3 Main parameters of two kinds of displays

Display type	Home screen materials	Screen sizes / inch	Resolution / pixels	Pixel density / ppi	Dot pitch / mm
LED LCD	TN	13.3	1 440×900	128	0.248
OLED	HD Super AMOLED	4.8	1 280×720	306	0.279

学公司的 Ocean Optics UBS2000+型光谱仪,分别测量 LED 背光 LCD 与 OLED 设置色温为 2 700 K、3 400 K、4 100 K、5 000 K、6 500 K 的光谱分布数据。对其进行归一化处理,结果分别见图 2(a)、图 3(a)。

不同色温下两种显示器光谱扫描步长为 0.37 nm,下文中光谱计算分析过程对扫描步长要求为 1 nm,故需知光谱分布的函数表达式。利用 OriginPro 软件的 Multi-peaks Fit 功能,采用 5 个 Gauss 函数叠加,拟合不同色温下两种显示器的光谱分布,拟合公式见式 2。图 2(b)与图 3(b)分别给出了色温设置为 5 000 K LED 背光 LCD

及 OLED 光谱分布的测量数据、拟合结果,以及拟合过程中的高斯分峰^[8-10]。

$$y = y_0 + \frac{A_1}{w_1 \sqrt{\pi/2}} \exp\{-2 [(x - x_{c1})/w_1]^2\} + \frac{A_2}{w_2 \sqrt{\pi/2}} \exp\{-2 [(x - x_{c2})/w_2]^2\} + \frac{A_3}{w_3 \sqrt{\pi/2}} \exp\{-2 [(x - x_{c3})/w_3]^2\} + \frac{A_4}{w_4 \sqrt{\pi/2}} \exp\{-2 [(x - x_{c4})/w_4]^2\} + \frac{A_5}{w_5 \sqrt{\pi/2}} \exp\{-2 [(x - x_{c5})/w_5]^2\}. \quad (2)$$

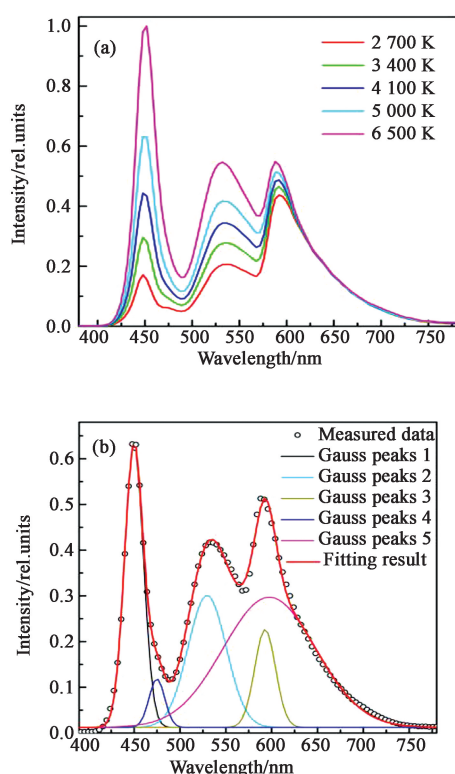


图2 不同色温 LED 背光 LCD 的归一化光谱(a)及 5 000 K 的测量数据与拟合结果(b)

Fig.2 Normalized spectral of LED backlight LCD under different color temperature (a), the measured data and fitting results under 5 000 K (b)

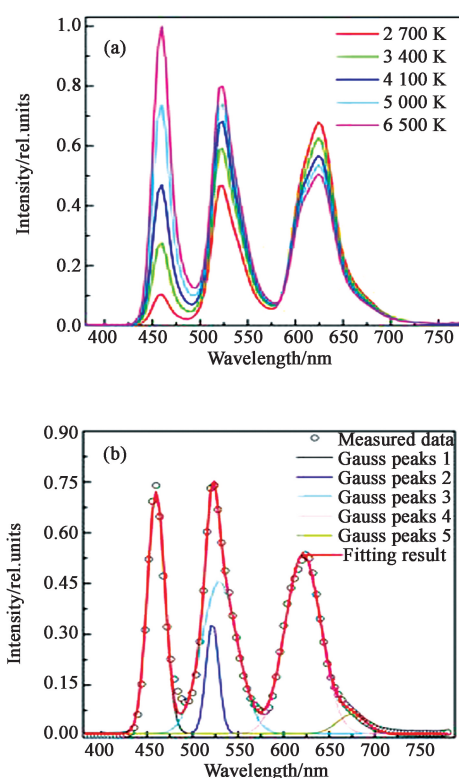


图3 不同色温 OLED 的归一化光谱(a)及 5 000 K 的测量数据与拟合结果(b)

Fig.3 Normalized spectral of OLED under different color temperature (a), the measured data and fitting results under 5 000 K (b)

不同色温设置下 LED 背光 LCD、OLED 的光谱分布函数拟合结果分别见表 4、表 5。由表可见 10 个拟合结果的 R^2 均大于 0.99, 且卡方检

验值均较小。因此, 该拟合方法能够高质量拟合两种显示器的光谱分布, 可保证下文的计算精度。

表 4 不同色温 LED 背光 LCD 光谱拟合结果

Tab.4 Fitting results of LED backlight LCD spectral under different color temperature

Spectral	LED LCD under different color temperature/K				
	2 700	3 400	4 100	5 000	6 500
R^2	0.996 94	0.996 36	0.996 55	0.997 68	0.996 81
Reduced Chi-Sqr	$1.036\ 15 \times 10^{-4}$	$9.248\ 13 \times 10^{-5}$	$8.620\ 61 \times 10^{-5}$	$8.299\ 42 \times 10^{-5}$	$2.099\ 48 \times 10^{-4}$

表 5 不同色温 OLED 光谱拟合结果

Tab.5 Fitting results of OLED spectral under different color temperature

Spectral	LED LCD under different color temperature/K				
	2 700	3 400	4 100	5 000	6 500
R^2	0.994 48	0.996 78	0.993 15	0.991 45	0.990 7
Reduced Chi-Sqr	$2.236\ 96 \times 10^{-4}$	$1.313\ 09 \times 10^{-4}$	$3.037\ 8 \times 10^{-4}$	4.672×10^{-4}	$6.652\ 52 \times 10^{-4}$

3 结果与讨论

根据上文拟合的两种屏幕贴膜透射率计算公式、10 个光谱分布函数表达式,通过透射率乘以光谱分布,得到不同屏幕贴膜下的显示器光谱分布函数,计算扫描步长为 1 nm 的光谱数据。利用光谱分析软件比较不同色温设置下 LED 背光

LCD 及 OLED 屏幕未贴膜、贴膜 A、贴膜 B 的色调、饱和度、光通量、实际色温。

3.1 色调分析

色调作为屏幕显示图像的彩色三要素之一,可反映颜色特性。1931 CIE-XYZ 计色系统能够方便的对颜色进行计量描述。利用光谱分析软件计算不同色温设置下,不同贴膜情况下,两种显示器的 1931 CIE-XYZ 色坐标,见表 6。

表 6 不同色温设置下两种显示器的 1931 CIE-XYZ 色坐标
Tab.6 1931 CIE-XYZ chromaticity coordinates of two displays under different color temperature

CCT/K	LED	LCD	LED LCD through A		LED LCD through B		OLED		OLED through A		OLED through B	
2 700	0.444	0.402 5	0.444 6	0.403 2	0.444 3	0.402 8	0.477 5	0.435	0.477 6	0.435 1	0.477 6	0.435 1
3 400	0.403 7	0.387 5	0.404 2	0.388 3	0.403 9	0.387 9	0.412 9	0.416 5	0.413	0.416 6	0.413	0.416 6
4 100	0.372 6	0.369 7	0.373 1	0.370 6	0.372 8	0.370 1	0.364 8	0.390 3	0.365	0.390 8	0.364 9	0.390 5
5 000	0.345 3	0.350 8	0.345 7	0.351 7	0.345 5	0.351 2	0.325 4	0.354 1	0.325 6	0.319 8	0.325 5	0.354 4
6 500	0.311	0.324	0.311 4	0.325	0.311 2	0.324 5	0.297 5	0.327 8	0.297 6	0.328	0.297 6	0.328

X、Y 值分别表示红基色、绿基色比例,由 $X+Y+Z=1$ 可计算蓝基色比例。由表 6 可见 6 组色坐标数据的 X、Y 均随色温设置的升高而减小,即蓝基色比例随色温升高而增大。根据色坐标,在色度图中标出不同色温未贴膜的 LCD 与 OLED 对应点,可直观看出色坐标随色温的变化情况,见图 4 所示。整体分析表 6 数据可见,两种屏幕贴膜均会使 LCD、OLED 色坐标

的 X、Y 值略有增加,即蓝基色比例略有降低,可见两种屏幕贴膜在过滤蓝光方面具有一定效果。相对而言,两种屏幕贴膜对 LCD 色坐标影响大于 OLED;对于五种色温下 LED 背光 LCD,贴膜 A 使 Z 值降低 0.001 4,贴膜 B 使 Z 值降低 0.000 6,且不随色温变化,贴膜 A 的蓝光过滤效果约为贴膜 B 的 2.3 倍。两种屏幕贴膜均使 OLED Z 值下降 0.000 2 左右,对蓝光的过滤效果远差于 LED 背光 LCD。

人眼对屏幕发出的复色光颜色感知可用主波长描述,根据色坐标计算不同色温设置下,不同贴膜情况下,两种显示器的主波长,见表 7。整体分析表 7 数据可见,两种屏幕贴膜对 LCD、OLED 主波长影响不大,在色温小于 4 100 K 时,几乎无影响;相对而言,两种屏幕贴膜对 LCD 主波长影响大于 OLED;对于 LED 背光 LCD,贴膜 A 对屏幕主波长的影响大于贴膜 B。两种显示器色温设置为 5 000 K 时,贴膜 A 与 B 均使 LED 背光 LCD 主波长降低 1 nm,OLED 主波长增加 1 nm。

人眼的色调分辨能力约为 128 种,屏幕贴膜引起显示器主波长的漂移,人眼能否辨别,需要根据人眼对不同波长的辨别能力曲线判断。图 5 给

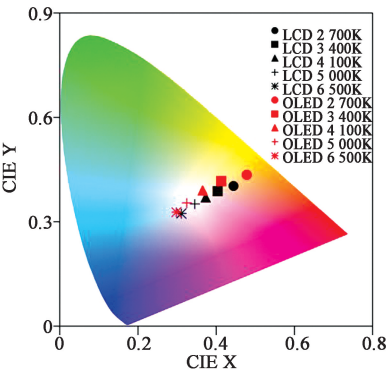


图 4 不同色温下两种未贴膜显示器 1931 CIE-XYZ 色度图

Fig.4 1931 CIE-XYZ chromaticity diagram of two displays no membrane under different color temperature

出了人眼对可见光的波长分辨力^[11-12]。574 nm、2 nm、1.2 nm,可见两种显示器在相应色温下,贴膜引起主波长的漂移,人眼无响应。

表 7 不同色温设置下两种显示器的主波长
Tab.7 Dominant wavelength two displays under different color temperature (nm)

Color temperature / K	LED LCD	LED LCD through A	LED LCD through B	OLED	OLED through A	OLED through B
2 700	584	584	584	582	582	582
3 400	581	581	581	578	578	578
4 100	579	579	579	571	571	571
5 000	574	573	573	530	531	531
6 500	486	487	486	490	490	490

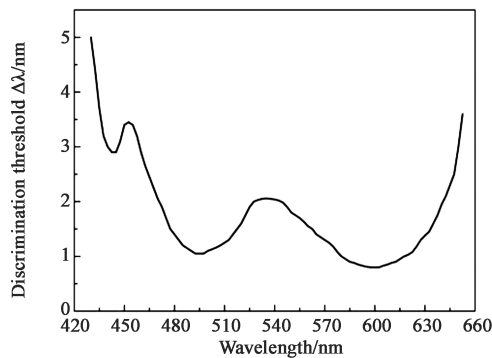


图 5 人眼对可见光的波长分辨力
Fig.5 Wavelength resolution of the human eye to visible light

3.2 饱和度分析

饱和度表示颜色的纯洁度或浓淡程度,为彩色三要素之一。由光谱分布数据计算两种显示器不同色温设置、不同贴膜情况下的色饱和度,结果见表 8。整体分析表 8 数据可见,当色温设置低于 5 000 K 时,贴膜 A 和 B 均可使两种显示器饱和度略有提高,贴膜 A 和 B 分别可使 LED 背光 LCD 饱和度增加约 0.37%、0.17%,不随色温变化,且较为稳定;贴膜 A 和 B 使 OLED 饱和度相对不稳定。总体分析:LED 背光 LCD 饱和度的增加大于 OLED,贴膜 A 大于 B。然而,当色温设置为 6 500 K 时,贴膜 A 与 B 均使两种显示器饱和度稍有下降,其中 LED 背光 LCD 下降较为明显。

表 8 不同色温设置下两种显示器的饱和度
Tab.8 Saturation two displays under different color temperature (%)

Color temperature / K	LED LCD	LED LCD through A	LED LCD through B	OLED	OLED through A	OLED through B
2 700	54.06	54.43	54.24	74.15	74.21	74.21
3 400	37.53	37.91	37.70	48.98	49.04	49.04
4 100	22.77	23.19	22.95	26.62	26.83	26.71
5 000	8.91	9.24	9.03	4.40	4.55	4.52
6 500	8.27	8.08	8.14	12.47	12.43	12.43

屏幕贴膜引起饱和度的变化,是否影响显示效果,人眼能否辨别,需要根据人眼对饱和度的辨别能力曲线判断。图 6 给出了人眼对饱和度的辨别能力谱,纵坐标为从白光起等级数目。纯白光的色彩饱和度为 0,单色光饱和度为 100%。

由图可见,对于 570 nm 黄色人眼只能区别 6 级饱和度,而对 670 nm 红光分辨力最高,可区别约 23 级饱和度。即使最高分辨力,也要饱和度变化大于 4.5%左右人眼才能辨别。故 5 种色温下两种屏幕贴膜对 LED 背光 LCD 及 OLED 的饱

和度影响,人眼无法辨别。

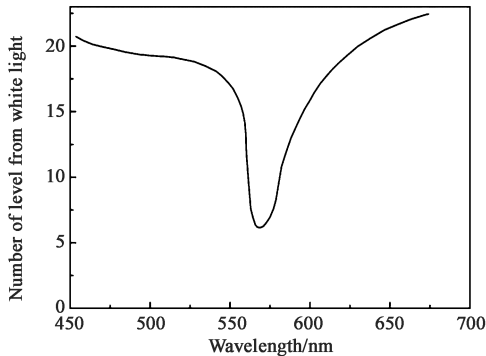


图 6 人眼对饱和度的分辨力
Fig.6 Saturation resolution of the human eye

3.3 光通量分析

亮度为单位立体角、单位投影面积上的光通量,为彩色三要素之一^[13]。此处为了计算分析方便,仅比较研究光通量。光通量计算公式见式(3), $P(\lambda)$ 为单位时间内光源的辐射能量分布曲线, $V(\lambda)$ 为明视觉光谱光效函数, $K_m=683\text{ lm/W}$,为明视觉最大光谱光效能。利用式(3)计算两种显示器不同色温设置、不同贴膜情况下的光通量,结果见表 9。

$$\Phi_V=K_m\int_{380}^{780}P(\lambda)V(\lambda)d\lambda.$$

(3)

表 9 不同色温设置下两种显示器在明视觉下的光通量
Tab.9 Luminous flux of two displays under different color temperature (lm)

Color temperature / K	LED LCD	LED LCD through A	LED LCD through B	OLED	OLED through A	OLED through B
2 700	149.62	131.78	147.40	108.96	95.99	107.37
3 400	178.39	157.17	175.80	121.96	107.44	120.17
4 100	204.86	180.46	201.85	129.87	114.42	127.98
5 000	234.02	206.10	230.54	136.37	120.13	134.37
6 500	278.88	245.68	274.81	142.90	125.88	140.81

人眼能感受的亮度范围约为 $10^{-3} \sim 10^6\text{ cd/m}^2$,能分辨的最大和最小亮度比为 $1\,000:1$,当亮度为 $1\,000\text{ cd/m}^2$ 时,最小可识别黑度差 $\Delta D_{\min} \approx 0.08^{[14]}$ 。光通量与亮度相互对应,人眼对亮度有较高灵敏度,即对光通量变化也有较大分辨力。整体分析表 9 数据可见,两种显示器无论贴膜情况,在 5 个色温设置下,光通量均随色温的升高而增大。不同贴膜对光通量的影响,直接由透射率决定。由于贴膜 A 的透射率小于贴膜 B,故前者对光通量影响更大,两贴膜可分别使光通量下降 11.9%、1.46%。贴膜 A 对光通量的影

响,人眼能够明显辨别。

3.4 色温分析

色温的变化直接影响光谱分布特征,进而影响人眼的视觉感受。本文在采集两种显示器光谱分布数据过程中,利用色温调节软件设置了不同色温。究竟色温设置是否准确,两种显示器不同贴膜情况对色温有何影响?可根据光谱分布数据,利用相关分析软件进行计算,结果见表 10 所示。可见该软件在设置调节 LED 背光 LCD 色温时,总体精度高于 OLED,特别是当色温设置大于 $5\,000\text{ K}$ 时,差距明显。

表 10 不同色温设置下两种显示器的实际色温
Tab.10 Actual color temperature of two displays set different color temperature (K)

Color temperature / K	LED LCD	LED LCD through A	LED LCD through B	OLED	OLED through A	OLED through B
2 700	2 883	2 879	2 881	2 662	2 662	2 662
3 400	3 523	3 518	3 521	3 544	3 543	3 543

续 表

Color temperature / K	LED LCD	LED LCD through A	LED LCD through B	OLED	OLED through A	OLED through B
4 100	4 179	4 171	4 176	4 512	4 509	4 510
5 000	4 990	4 977	4 983	5 790	5 781	5 786
6 500	6 640	6 608	6 624	7 396	7 387	7 387

比较分析表 10 数据,贴膜 A 和 B 可使两种屏幕色温下降,且随着色温的增加下降幅度增大。对于不同屏幕,两种贴膜对 LED 背光 LCD 色温的影响大于 OLED;对于不同贴膜,贴膜 A 对色温的影响大于 B。例如:当 LED 背光 LCD 实际色温为 6 608 K 时,贴膜 A 可使色温降低 32 K。人眼受色觉守恒和视觉心理特性的作用,对色温较小幅度的变化,引起视觉效果差异不敏感。因此,两种屏幕贴膜对色温的改变,不影响显示效果。

4 结 论

为了全面定量研究当前销量最大的两种屏幕贴膜,对不同色温 LED 背光 LCD 及 OLED 彩色显示效果的影响。本文测量了两种屏幕在色温设置为 2 700~6 500 K 下的光谱分布数据,结合屏幕贴膜透射率与人眼分辨率,通过 OriginPro 拟合、光谱分析软件计算。比较研究了不同色温下两种屏幕在不同贴膜状态下的色调、饱和度以及光通量,得到以下结论:

(1)PET 贴膜与钢化玻璃+PED 贴膜均具有一定的过滤蓝光效果,2 700~6 500 K 下两种贴膜可分别使 LED 背光 LCD 1931 CIE-XYZ 色坐

标 Z 值降低 0.001 4、0.000 6,且降幅不随色温变化,前者的蓝光过滤效果约为后者的 2.3 倍。两种屏幕贴膜均使 OLED Z 值下降 0.000 2 左右,对蓝光的过滤效果远小于 LED 背光 LCD。

(2)在色温小于 4 100 K 时,两种贴膜对两种屏幕主波长无影响;色温大于 5 000 K 时,两种贴膜对 LCD 主波长影响大于 OLED,对于 LED 背光 LCD,PET 贴膜对屏幕主波长的影响大于钢化玻璃+PED 贴膜。两种显示器色温设置为 5 000 K 时,两种贴膜均使 LED 背光 LCD 主波长降低 1 nm,OLED 主波长增加 1 nm。贴膜引起主波长的漂移,人眼无响应。

(3)当色温设置低于 5 000 K 时,两种贴膜分别可使 LED 背光 LCD 饱和度增加约 0.37%、0.17%,增加值不随色温变化;当色温设置为 6 500 K 时,两种贴膜均使显示器饱和度稍有下降,其中 LED 背光 LCD 下降较为明显,分别为 0.19%、0.13%。

(4)两贴膜可使不同色温 LED 背光 LCD 及 OLED 光通量分别下降 11.9%、1.46%。PET 贴膜对光通量的影响,人眼能够明显辨别。

以上结论可为屏幕贴膜的选择与使用提供依据,分析研究方法可为相关产品的研发提供借鉴。

参 考 文 献:

- [1] 申崇渝,徐征,赵璐玲,等.LED 蓝光泄露安全性研究[J].光谱学与光谱分析,2014,34(2):317-321.
SHEN C Y, XU Z, ZHAO S L, et al. Study on the safety of blue light leak of LED[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2014, 34(2): 317-321. (in Chinese)
- [2] GHODRATI M, MORRIS A P, PRICE N S C. The (un)suitability of modern liquid crystal displays (LCDs) for vision research [J]. *Frontiers in Psychology*, 2015, 6: 303.
- [3] LAGROIX H E P, YANKO M R, SPALEK T M. LCDs are better: psychophysical and photometric estimates of the temporal characteristics of CRT and LCD monitors [J]. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2012, 74(5): 1033-1041.
- [4] KIHARA K, KAWAHARA J I, TAKEDA Y. Usability of liquid crystal displays for research in the temporal characteristics of perception and attention [J]. *Behavior Research Methods*, 2010, 42(4): 1105-1113.

- [5] 周忠伟, 孟长军, 王磊, 等. 液晶显示器广色域技术的研究[J]. 发光学报, 2015, 36(9): 1071-1075.
ZHOU Z W, MENG C J, WANG L, *et al.* Research of wide color gamut technology for liquid crystal display [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2015, 36(9): 1071-1075. (in Chinese)
- [6] ELZE T, TANNER T. Dangerous liquids: temporal properties of modern LCD monitors and implications for vision science experiments [J]. *Perception*, 2011, 40(40): 175-181.
- [7] COOPER E A, JIANG H M, VILDAVSKI V, *et al.* Assessment of OLED displays for vision research [J]. *Journal of Vision*, 2013, 13(12): 16.
- [8] 罗秉, 詹长安. CRT 与 LCD 技术的视觉刺激显示性能评价[J]. 液晶与显示, 2017, 32(11): 934-942.
LUO S, ZHAN C A. Assessment of CRT and LCD technologies for the presentation of visual stimuli[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(11): 934-942. (in Chinese)
- [9] 麻祥才, 王晓红, 朱明, 等. 基于 LCD 显示器光谱特性的图像颜色一致性研究[J]. 发光学报, 2017, 35(5): 670-674.
MA X C, WANG X H, ZHU M, *et al.* Image color consistency based on spectral characteristics of LCD monitor [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2017, 35(5): 670-674. (in Chinese)
- [10] 杨超普, 方文卿, 刘明宝, 等. 不同色温 LED 背光屏的蓝光危害和非视觉生物效应[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(10): 101701.
YANG C P, FANG W Q, LIU M B, *et al.* Blue light hazard and non-visual biological effect of LED backlight display at different color temperatures [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(10): 101701. (in Chinese)
- [11] 杨超普, 方文卿, 王昭, 等. 不同显示器的蓝光危害及节律效应比较[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(12): 121701.
YANG C P, FANG W Q, WANG Z, *et al.* Comparison on blue light hazard and circadian effect of different displays [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(12): 101701. (in Chinese)
- [12] 胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
HU W J, TANG S Q, ZHU Z F. Modern color science and application [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007. (in Chinese)
- [13] 姚其, 胡艳鹏, 衡涛, 等. 光源蓝光波长效应的综合分析[J]. 光源与照明, 2013(1): 10-11, 20.
YAO Q, HU Y P, HENG T, *et al.* Comprehensive analysis of the effect of blue-light wavelength [J]. *Lamps & Lighting*, 2013(1): 10-11, 20. (in Chinese)
- [14] 杨勇, 关丽, 朱传征, 等. 中间视觉条件下光源光谱对人眼视亮度的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(10): 2628-2631.
YANG Y, GUAN L, ZHU C Z, *et al.* Influence of lighting sources spectra on the human visual brightness identification under the mesopic vision [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2012, 32(10): 2628-2631. (in Chinese)

作者简介: 韩美林(1989—), 女, 硕士, 助教, 2014 年于西安邮电大学获得硕士学位, 主要从显示与照明研究。E-mail: 741894080@qq.com