

环境光及 iPad 背光源亮度设置对 iPad 呈色的影响

张建青¹, 沈晓莹², 田全慧¹, 刘真¹

(1.上海理工大学, 上海 200093; 2.海洋环境保障中心, 北京 100046)

摘要: **目的** 研究环境光以及 iPad 的亮度设置对 iPad 颜色特性的影响。**方法** 测量 3 种常规光照环境下, 14 个不同的设备亮度设置下 iPad 屏幕上显示色块的绝对色度值, 分析不同环境光下不同设备亮度设置下 iPad 的色温、对比度、通道可加性、色品恒定性以及色域等颜色特性。**结果** 当 iPad 的设备亮度小于 175 cd/m^2 时, 环境光对色温、对比度、通道可加性、色品恒定性以及色域等颜色特性有较大影响; 当 iPad 的设备亮度大于 175 cd/m^2 时, 环境光对 iPad 的显色性能的影响较小; 相同环境下, 设备亮度的变化对 iPad 色域以及色温产生较大影响, 对其他颜色特性影响较小, 设备亮度较大时, 暗调部分的颜色被压缩。**结论** 在一般环境光下, 当背光源亮度设置大于 175 cd/m^2 范围时, iPad 的显色性能较好较稳定, 但部分暗调颜色被压缩。

关键词: 显色特性; 环境光; 亮度设置

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0159-06

Effect of Settings of iPad Backlight Brightness and ambient light on Coloring Characteristics of iPad

ZHANG Jian-qing¹, SHEN Xiao-ying², TIAN Quan-hui¹, LIU Zhen¹

(1.Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2.Marine Environmental Ensuring Center, Beijing 100046, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of settings of iPad brightness and environment illumination on color characteristics of iPad. The absolute chromatic value of color blocks displayed on iPad with the brightness of fourteen different equipment set under three kinds of conventional lighting environments was measured. Color characteristics of iPad, such as color temperature, contrast, channel additivity, constant channel chromaticity and color gamut, with the brightness of various kinds of equipment set under different environment illuminations were analyzed. When the brightness of iPad was lower than 175 cd/m^2 , the environment illumination had greater impact on such color characteristics as color temperature, contrast, channel additivity, constant channel chromaticity and color gamut. When the brightness of iPad was greater than 175 cd/m^2 , the environment illumination had smaller impact on the coloring rendering of iPad. Under the same environment, the change in equipment brightness had greater effect on the color gamut and color temperature of iPad and had smaller effect on other color characteristics. When the equipment brightness was larger, the color of shaded area was compressed. Under general environment illumination, when the backlight brightness set is larger than 175 cd/m^2 , the color rendering of iPad is better and more stable, but part of shaded colors are compressed.

KEY WORDS: coloring characteristics; environment illumination; brightness settings

收稿日期: 2016-05-12

基金项目: 国家自然科学基金 (61301231); 上海理工大学科技发展项目 (16KJFZ017)

作者简介: 张建青 (1972—), 女, 内蒙古乌兰察布人, 博士, 曲阜师范大学副教授, 主要研究方向为跨媒体颜色复制、色彩管理等。

通讯作者: 刘真 (1953—), 女, 江苏泰州人, 上海理工大学教授、博导, 主要研究方向为色彩管理、数字化工作流程等。

随着各种智能移动终端的普及,移动通信网络的快速发展,操作系统平台的日趋完善,智能移动电话、平板电脑等设备已经成为人们工作与生活的中不可或缺或便携式的显示设备。作为一种新型的数字图像显示设备,在享受智能移动终端各种优越性的同时,人们对其图像显示质量的要求也越来越高^[1-2],智能移动终端显示屏具有优良的显色特性是其高质量显示彩色图像的前提和基础。

与电脑控制的显示器相比,智能移动终端是在多种环境下使用的,比如室内、室外、黑暗环境、光照环境等。当其在非黑暗环境下被使用时,人眼视觉感受到的显示屏上的颜色是由 2 部分色光组成,一部分是智能移动终端显示屏本身发出的光,另一部分是其屏幕反射的环境光,也就是说,屏幕没有完全吸收照射到其上的环境光,而是反射了一部分。已有多项研究成果^[3-8]表明,环境光对显示屏显示颜色的影响不容忽视;智能移动终端显示屏的亮度设置可以随着外界环境的变化而变化,对于设备输入值固定的同一个色块,在不同设备亮度设置下,其绝对色度值完全不同。已有的研究成果^[9-14]表明,有必要针对使用目的正确设置显示设备的亮度。

国际电工委员会(IEC)定义了显示设备性能测试的相关标准。其中,IEC 62341—6—1^[15]和 IEC 61966—4^[16]分别定义了 OLED 和 LCD 显示屏性能测试的标准方法,但这些标准都是针对常规电脑控制的显示器制定的,所有测试均在暗室环境下进行,完全没有考虑环境光的影响。标准中规定的测试环境和智能移动终端的实际使用环境相差甚远,对智能移动终端而言,环境光、显示屏本身的亮度设置等因素,都会对其上显示内容的视觉感受产生影响。为了更好地分析智能移动终端显示屏的显色特性,需要在与其实际使用环境吻合的环境下进行测试。

研究以 the new pad(下文简称 iPad)为研究个案,分析了 iPad 的设备亮度设置以及环境光照度对其主要显色性能的影响,为不同环境下平板电脑的定标以及特征化提供参考依据。

2 实验

2.1 设备及软件

设备: the new pad, gfi graphic technology 公司的 cmlite 灯箱。

测量仪器及软件: 柯尼卡美能达的 CS-2000 分光辐射亮度计以及 CS-10W 软件, CF10 照度计。

2.2 数据采集

环境光照度的确定。用照度计测量了上午 10 点左右、下午 3 点左右室外非阳光直射下的照度以及室内办公环境的照度,测量值的范围是 150 ~ 850 lx,以此为参考依据设定了实验的环境光照度。为测试环境光对 iPad 显色性能的影响,实验设定了 3 种环境: cmlite 灯箱中光源为 D50 的第 5 档(以下简称阳光 5),灯箱的办公环境光(荧光灯环境)和标准暗室。实验前,对 iPad 预热 0.5 h,灯箱光源开启后,预热 10 min。测量过程中 iPad 倾斜 45° 固定放置在灯箱内,CS-2000 镜头距离测量点 43 cm,待测量色块全屏显示,测量显示屏中间点。每个环境光下,记录 2 种角度的环境照度值,即照度计水平放置和其与 iPad 倾斜同样角度的测量值,当环境光为阳光 5 时,水平和倾斜的照度值分别为 775, 486 lx;当环境光为办公环境光时,照度值分别为 1458, 850 lx。

将 iPad 固定放置在灯箱里,滑动 iPad 亮度设置滑块,选择第一个 iPad 亮度设置位置,在暗室环境下分别测量 $R(255, 0, 0)$, $G(0, 255, 0)$, $B(0, 0, 255)$, 黑点(0, 0, 0)和白点(255, 255, 255) 5 个颜色的绝对三刺激值;改变 iPad 滑块的位置,重复上述测量,在 iPad 亮度设置轴上等距离选择 14 个点(包括最大亮度,不包括最小亮度),共测量了 14 个亮度设置下的 5 个色块的三刺激值。将环境光选择为阳光 5 和“办公环境光”分别重复暗室环境下的所有测量。

2.3 iPad 屏幕显色性能实验结果及分析

研究分析了不同光照环境下不同设备亮度设置时, iPad 的色温、对比度、通道可加性、色品恒定性、以及在 LAB 色空间中的色域的特点。

1) 环境光以及不同设备亮度设置对 iPad 色温的影响。色温是评价显示器等自发光辐射体颜色特性的一个重要指标,其影响着被显示图像的整体色调。色温高,显示设备显示的图像整体偏蓝;色温低,则图像整体偏红。利用白色块的三刺激值和 McCamy^[17-18]公式计算不同环境光下不同设备亮度设置时的色温,结果见图 1。由图 1 可知,在 3 种不同的环境下,当设备亮度值变化时, iPad 色温

值的变化趋势相同,首先随着设备亮度值的增大而增大,当设备亮度值增大到 300 cd/m^2 后,随着设备亮度值的增大色温值下降;当设备亮度值相同时,暗室环境中 iPad 的色温值最大,办公环境中 iPad 的色温值最小。iPad 设备亮度值固定,在其上显示的同一幅图像,刚开始观察时,若在暗室环境,图像整体色调略偏蓝,若在办公环境或阳光 5 环境,图像整体色调略偏红,当视觉系统适应环境变化之后,图像的视觉感受是相同的。设备亮度设置不同时,图像的视觉感受略有不同。

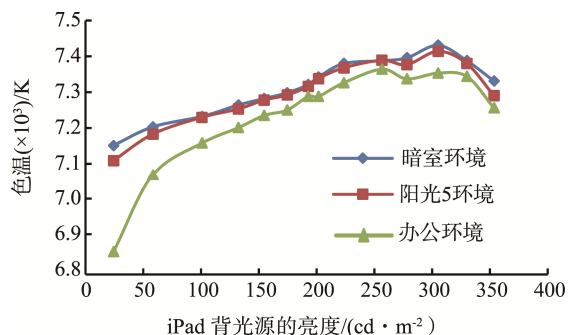


图 1 不同环境下 iPad 的色温随背光源亮度的变化
Fig.1 Curves of color temperature changing with the brightness of iPad used in different environment illumination

2) 环境光以及不同设备亮度设置对 iPad 亮度对比度的影响。亮度对比度是指屏幕上同一位置最亮(白色)与最暗(黑色)时亮度的比值,高的亮度对比度意味着显示设备再现的亮度范围广,白的更白,黑的更黑,能够呈现更艳丽的颜色。3 种环境光中 iPad 的亮度对比度随设备亮度变化曲线见图 2。由图 2 可知,对比度受设备亮度影响较小,而受环境光影响非常大。在暗室、阳光 5 和办公环境时, iPad 的平均对比度分别为 950, 200 和 120。即环境光的照度值越大, iPad 的亮度对比度越小,其能够再现的图像细节就越少,不利于阶调层次丰富图像的再现。在非暗室环境下,图像的一些细节不容易分辨。这一结果解释了日常生活中,随着环境光的增强,智能手机或平板电脑上显示的图像难以辨清这一现象的原因。

3) 环境光以及不同设备亮度设置对 iPad 通道可加性的影响。显示器满足通道可加性是显示器呈色的重要假设前提条件,因此通道可加性的色差越小越好^[4,8,10-12]。研究中以白色(255, 255, 255)通道的可加性误差来衡量环境光以及不同设备亮度设置对 iPad 通道可加性的影响。计算时,对数据进行了去黑点处理^[8]。实验结果表明,去除黑点后,背光源亮度和环境光对 iPad 通道可加性的影响都

较小,所有的通道可加性色差均小于 1 个 ΔE^*_{ab} 。

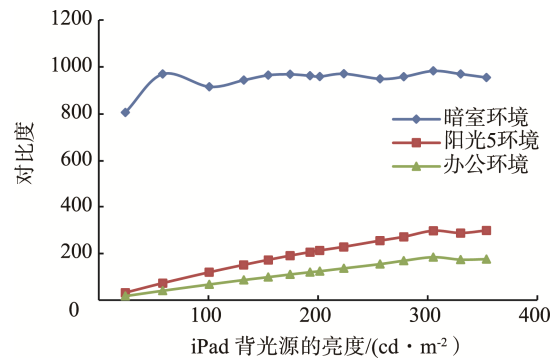


图 2 不同光照环境下 iPad 的对比度随背光源亮度的变化
Fig.2 Curves of contrast changing with the brightness of iPad used in different environment illumination

4) 光照环境以及不同设备亮度设置对 iPad 色品恒定性的影响。计算不同环境光中不同设备亮度下的红(255, 0, 0)、绿(0, 255, 0)及蓝(0, 0, 255)色块的色度值 u 值和 v 值,随着设备亮度值由暗到亮的变化,在不同环境下,红绿蓝三色的色品值的变化趋势见图 3,图 3 中横坐标代表设备背光源亮度的位置,位置数字越大,背光源亮度值越大,由图 3 可知暗室环境下红、绿、蓝三色的色品恒定性都很好,不同设备亮度下,其色品值基本保持在一条直线上;阳光 5 和办公环境下,绿色的色品恒定性很好,几乎和暗室下绿色的色品坐标重合。背光源的亮度大于 150 cd/m^2 (位于第 4 个位置点)时,不同环境下红、绿、蓝三色的色品坐标基本稳定。随着背光源亮度的降低,红色和蓝色的色品坐标值偏离暗室下的相应的坐标值的趋势越大,说明背光源亮度值越低,其红、蓝色品恒定性受环境光影响越大,因此,当背光源的亮度设置大于 150 cd/m^2 时较为适宜,显示的颜色较稳定和准确。

5) 环境光以及不同设备亮度设置对 iPad 色域的影响。为了比较环境光以及设备亮度设置对 iPad 色域的影响,制作了包括 1331 个色块的样本集(色块的 R, G, B 驱动值分别以 0, 16, 32, 64, 96, 128, 160, 192, 224, 240, 255 变化)。iPad 亮度设置为 175 cd/m^2 ,分别测量暗室、阳光 5 和办公环境光下 1331 色块的三刺激值; iPad 亮度设置为 320 cd/m^2 时,测试阳光 5 环境下的 1331 个色块。以背光源亮度为 320 cd/m^2 时测的白色块的三刺激值作为参考白,将色块的三刺激值转换为 $L^*a^*b^*$ 值,在 ICC3D 软件中画出色域图,见图 4。图 4a 中红色、绿色和蓝色的图,分别代表暗室、楼房和阳光 5 环境下 iPad 的色域图。图 4b 中散点代表阳光 5 环境下设

备亮度为 175 cd/m^2 时 iPad 的色域范围, 实体图代表设备亮度设置为 320 cd/m^2 时 iPad 的色域范围。
图 4c 中散点代表 sRGB 色空间的色域范围, 实体

代表环境光是阳光 5 设备亮度设置为 320 cd/m^2 时, iPad 的色域范围。

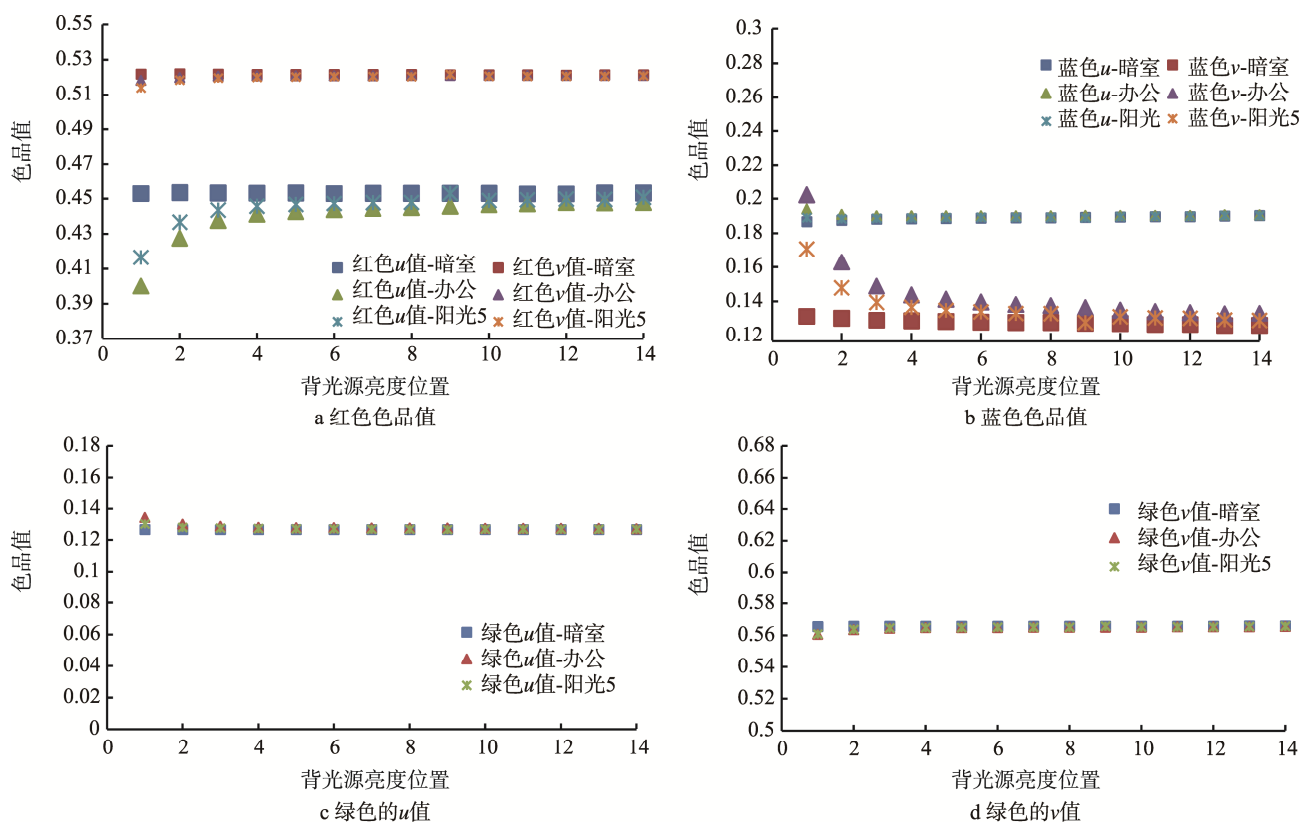


图 3 3 种光照环境下不同背光源亮度设置时 iPad 的红色、绿色和蓝色色品坐标

Fig.3 Chroma coordinates changing with the brightness of iPad used in 3 different environment illumination

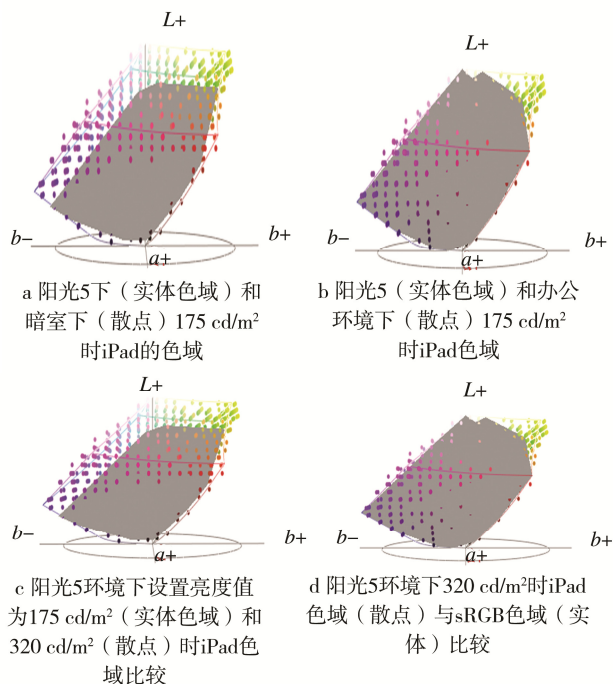


图 4 环境光及背光源亮度对 iPad 色域的影响

Fig.4 Color gamut of iPad with different brightness used at different environment illuminations

由图 4 a 可知, 在暗调部分尤其是 L 接近 0 的位置, 暗室环境下 iPad 的色域大于环境光下 iPad 的色域, 其黑点的 $L^*a^*b^*$ 值差别较大, 暗室、阳光 5 和楼房环境光下, iPad 黑点的 $L^*a^*b^*$ 值分别是 $(0.19, 0.01, 0.11)$, $(2.09, 0.3, -0.08)$ 和 $(3.21, 1.63, 0.52)$, 黑点附近的 $L^*a^*b^*$ 与黑点情况类似, 暗调部分明显被压缩, 色域的其他部位, 不同环境下同一色块的色度值有较小的差异, 压缩现象不明显。图 4b 中, 阳光 5 环境和办公环境下, 设备的色域大部分重叠, 个别区域, 办公环境下设备色域较大, 表现为部分散点明显的位于实体色域之外。图 4c 中, 明显可以看出, 在高亮调部分, 设备亮度为 320 cd/m^2 时, 其色域范围更广一些, 完全将设备亮度为 175 cd/m^2 时的设备色域包含在内, 比如设备亮度为 320 cd/m^2 和 175 cd/m^2 时, iPad 白点的 $L^*a^*b^*$ 值分别是 $(100, 0, 0)$ 和 $(81.8, 7.3, -3.4)$, 在暗调部分, 设备亮度为 175 cd/m^2 时色域中的一些颜色点在设备亮度为 320 cd/m^2 的设备色域之外, 设备亮度值分别为 175 cd/m^2 和 320 cd/m^2 时,

黑点的 $L^*a^*b^*$ 值分别是 (2.09, 0.30, -0.08) 和 (2.10, 0.67, -0.72), 由于环境光以及显示屏本身漏光现象, 导致暗调部分的色域被压缩了。由图 4d 可以看出, 在阳光 5 环境下, 设备亮度值为 320 cd/m^2 时, iPad 色域在暗调部分比 sRGB 的色域小, sRGB 色域范围中的一些颜色点在 iPad 色域范围之外。亮调部分各有优势, 在某些颜色范围是 sRGB 的色域更大些, 比如图 4d 中看不到散点的色域范围, 有较多散点明显的分布在实体色域外的部分, 表明在该颜色区域 iPad 的色域范围更大些。

图 4 以及相关数据说明, 设备亮度以及环境光发生变化都会导致 iPad 的色域发生变化, 设备亮度小于 175 cd/m^2 时, 环境光对暗调部分色域的影响较明显, 非暗室环境下, 暗调部分色域明显被压缩, 设备亮度大于 175 cd/m^2 时, 环境光对设备色域的影响较小。设备亮度值对色域的影响非常明显, 主要表现在色域亮调部分, 设备亮度值差值越大, 不同设备亮度下, 亮调区域的差异越大, 但设备亮度值较大时, 设备色域暗调部分会被压缩, 即显示的黑色不够黑, 这主要是因为黑点的三刺激值不为 0, 显示设备有一定的漏光现象, 在 Lab 色空间中不相同的色域范围被转换到某一特定的色貌空间时, 其色域范围很可能也不相同, 因此环境光和设备亮度对设备色域的影响也不容忽视。

4 结语

平板电脑会在不同环境中被使用, 平板电脑的亮度会随环境照度的改变而改变, 由文中的分析可知环境光以及不同的设备亮度设置都会对平板电脑屏幕的呈色特性的产生。环境光对视觉感受的影响, 可以通过视觉系统的视觉适应功能补偿, 但其对于显示屏显色特性的影响却无法得到补偿, 比如, 其对亮度对比度、色品恒定性、通道可加性以及色域的影响。为达到稳定地显示效果, 尽可能保持不同环境下图像的视觉感受即色貌属性值恒定。在环境光下使用时, 建议设置 iPad 设备亮度大于或等于 175 cd/m^2 ; 环境光照度较高时, 建议将 iPad 设备亮度调高, 可以提高 iPad 的亮度对比度, 有利于图像细节的再现; 环境光照度较高或设备亮度设置较高都会对设备色域的暗调部分造成明显压缩, 若显示的图像中暗调居多, 最好在暗室或环境光照度较低的环境下观看。

参考文献:

- [1] KIMMEL J. Displays Enabling Mobile Multimedia[J]. Proceedings of SPIE-IS & Telectronic Imaging, 2007, 6507: 11.
- [2] PARKKINEN J, NENONEN P. Image Enhancement System for Mobile Displays[J]. Proceedings of SPIE and IS & Telectronic Imaging, 2005, 5678: 210—218.
- [3] 徐艳芳, 刘晓宁. 环境光照对显示器呈色的影响研究(1): 显示器的特性化[J]. 北京印刷学院学报, 2012, 20(2): 1—4.
XU Yan-fang, LIU Xiao-ning. Investigation of the Impact of Surrounding Light on Monitor's Color Showing, Part I: Characterization of Monitor's Color Showing[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2012, 20(2): 1—4.
- [4] 徐艳芳, 刘晓宁. 环境光照对显示器呈色的影响研究(2): 环境光对显示色域的影响[J]. 北京印刷学院学报, 2012, 20(2): 5—8.
XU Yan-fang, LIU Xiao-ning. Investigation of the Impact of Surrounding Light on Monitor's Color Showing, Part II: Impact on Color Gamut[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2012, 20(2): 5—8.
- [5] PARK Y K, LUO M R, LI Chang-jun, et al. Correcting Veiling Glare of Refined CIECAM02 for Mobile Display[J]. Color Research and Application, 2013, 38(1): 14—21.
- [6] LIN C C, HUANG K C. Effects of Ambient Illumination and Screen Luminance Combination on Character Identification Performance of Desktop TFT-LCD Monitors[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2006, 36(3): 211—218.
- [7] LIN C C, HUANG K C. Effects of Ambient Illumination Conditions and Background Color on Visual Performance with TFT-LCD Screens[J]. Displays, 2013, 34(4): 276—282.
- [8] XU Y, LI Y, LIU H, et al. Exact Characterization of Monitor Color Showing[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 505—510.
- [9] 张显斗, 徐海松, 王勇. 彩色显示器亮度和对比度的最优化设置[J]. 光电子·激光, 2007, 18(4): 407—410.
ZHANG Xian-dou, XU Hai-song, WANG Yong. Optimal Brightness and Contrast Settings for Color Displays[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2007, 18(4): 407—410.
- [10] 张建青, 刘真, 张茜, 等. 亮度对 IPAD IPHONE 色域覆盖率的影响研究[J]. 光学学报, 2013, 33(S1): 311—318.

- ZHANG Jian-qing, LIU Zhen, ZHANG Xi, et al. The Research of Brightness Effect on the Color Gamut Coverage of iPad and iPhone[J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(S1): 311—318.
- [11] 张建青, 刘真, 卢智平, 等. IPAD IPHONE 显示性能测试研究[J]. *液晶与显示*, 2014, 29(1): 40—47.
- ZHANG Jian-qing, LIU Zhen, LU Zhi-ping, et al. Study on Display Performance Test of iPad and iPhone[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(1): 40—47.
- [12] 张茜, 刘真, 张建青, 等. iPhone 4S 手机屏幕显色特性研究[J]. *包装工程*, 2013, 34(17): 88—98.
- ZHANG Xi, LIU Zhen, ZHANG Jian-qing, et al. Color Characteristics of iPhone 4S[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(17): 88—98.
- [13] 廖宁放, 石俊生, 吴文敏, 等. 数字图文图像颜色管理系统概述[M]. 北京: 北京理工大学出版社.
- LIAO Ning-fang, SHI Jun-sheng, WU Wen-min, et al. An Introduction to Digital Color Management System[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press.
- [14] 汪军, 强俊. 面向应用的数字图像处理课程教学模式的研究[J]. *重庆工商大学学报(自然科学版)*, 2015, 32(5): 94—98.
- WANG Jun, QIANG Jun. Research on Application oriented Teaching Model of Digital Image Processing Course[J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University(Natural Science Edition)*, 2015, 32(5): 94—98.
- [15] IEC 62341—6—1, Ed.1: Organic Light Emitting Diode (OLED) Displays-Part 6-1: Measuring Methods of Optical and Electro-optical Parameters. International Electro Technical Commission[S].
- [16] IEC 61966—4, Colour Measurement and Management in Multimedia Systems and Equipment. Part 4: Equipment using Liquid Crystal Display Panels. International Electro Technical Commission[S].
- [17] 司占军, 胡媛, 张显斗. 专业显示器性能测试方法研究[J]. *包装工程*, 2012, 33(5): 102—106.
- SI Zhan-jun, HU Yuan, ZHANG Xian-dou. Study on Performance Test Method of Professional Display[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(5): 102—106.
- [18] MCCAMY C S. Correlated Color Temperature as an Explicit Function of Chromaticity Coordinates[J]. *Color Research and Application*, 1992, 17(2): 142—144.