

文章编号:1007-2780(2014)06-1071-06

# 眼镜式 3D 显示设备综合性能测试方案的研究

王嘉辉<sup>1</sup>, 邓玉桃<sup>1</sup>, 黎奕宁<sup>2</sup>, 林 隽<sup>2</sup>, 何冠荣<sup>2</sup>,  
周延桂<sup>1</sup>, 范 杭<sup>1</sup>, 梁浩文<sup>1</sup>, 苏剑邦<sup>1</sup>, 周建英<sup>1\*</sup>

(1. 中山大学 光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275;  
2. 中山大学 物理科学与工程技术学院, 广东 广州 510275)

**摘要:**为了更系统、科学地评价眼镜式立体设备的显示质量, 本文对目前主流的眼镜式 3D 显示器进行串扰率、亮度、对比度、色温、色域的测量。首先, 根据眼镜式立体设备的成像原理设计相关的测试方案。测试结果表明, 色分式 3D 显示器左眼串扰为 3%, 右眼为 9%, 偏振式 3D 显示器水平方向串扰最低为 1.79%, 垂直方向串扰呈振荡分布, 时分式 3D 显示器的串扰最低, 达 0.37%; 眼镜式 3D 显示器的亮度在 3D 模式下均发生较大幅度的下降, 其中时分式 3D 显示器在 3D 模式下亮度仅为 6.97 cd/m<sup>2</sup>, 其对比度也随之发生大幅下降; 色域方面, 时分式显示器在 3D 模式下色域覆盖率为 72.7%, 相比 2D 模式存在明显下降, 而色分式 3D 显示器在 3D 模式下的色域覆盖率最小, 仅为 0.3%。上述数据可为设备的选择和产品性能的优化提供有益参考作用。

**关键词:**显示效果评价; 眼镜式 3D 显示; 串扰率; 3D 测量  
**中图分类号:** TN141.9      **文献标识码:** A      **doi:** 10.3788/YJYXS20142906.1071

## Measurement and evaluation of comprehensive performance in 3D Display with glasses

WANG Jia-hui<sup>1</sup>, DENG Yu-tao<sup>1</sup>, LI Yi-ning<sup>2</sup>, LIN Juan<sup>2</sup>, HE Guan-rong<sup>2</sup>,  
ZHOU Yan-gui<sup>1</sup>, FAN Hang<sup>1</sup>, LIANG Hao-wen<sup>1</sup>, SU Jian-bang<sup>1</sup>, ZHOU Jian-ying<sup>1\*</sup>

(1. *State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, Guangzhou 510275, China;*  
2. *School of Physics and Engineering, SUN YAT-SEN University, Guangzhou 510275, China*)

**Abstract:** Five key indicators, including crosstalk ratio, luminance, contrast, color temperature, color gamut, were measured in the three mainstream glasses 3D displays. First, a series of measuring programs were designed according to imaging principle of glasses 3D displays. Measurement results show that the crosstalk ratio of color type 3D display is highest which the left eye is 9% while the other one is 3%. On the other hand, the crosstalk ratio of polarization type 3D display is 1.79% in the horizontal direction while it appears an oscillation distribution in the vertical direction. Besides, division type 3D display has a lowest crosstalk ratio with 0.37%. A luminance decline occurred in glasses 3D displays, especially for the division type 3D display: luminance remains only 6.97 cd/m<sup>2</sup> in 3D play mode with a substantial decline in contrast. In color gamut area, compared with 2D play mode, division type 3D display still has a color gamut of 72.7% in a standard of NTSC after a significant decrease. And the smallest color gamut existed in color type 3D display with 0.3%. These results can be used to

收稿日期:2014-05-07; 修订日期:2014-06-04.  
基金项目:国家自然科学基金重点项目(No. 10934011)  
\* 通信联系人, E-mail: stszjy@mail.sysu.edu.cn

improve the properties of glasses 3D displays.

**Key words:** display evaluation; glasses 3D display; crosstalk; 3D measurement

1 引言

近年来,眼镜式 3D 显示技术发展成熟,并得到较为广泛的应用<sup>[1-4]</sup>。目前眼镜式 3D 显示技术根据其成像原理不同可分为色分、偏振、时分三类。

随着眼镜式 3D 显示技术的普及,其显示性能也日益受到重视,目前由企业提出针对眼镜式立体显示器件光学参数的测量标准已发布<sup>[5]</sup>,但针对三大类眼镜式立体显示技术的显示性能未有综合的评价方法,为此,本文通过对影响 3D 显示效果的关键指标进行深入研究,并对串扰率、亮度、对比度、色温、色域五个关键指标制定相应的测试方案,根据既定的测试方案对现有的眼镜式 3D 显示设备进行测试,并形成综合的评价体系。

2 实验

2.1 眼镜式 3D 显示设备的关键指标

2.1.1 串扰率

眼镜式 3D 显示设备的串扰率指的是在观看 3D 影像时,本该进入右(左)眼的光线错误进入左(右)眼,其比例成为串扰率<sup>[6]</sup>。串扰率是决定立体显示设备图像质量的首要因素,串扰率过大,导致立体图像出现严重重影,从而为观看者带来极大的视觉疲劳,更有甚者,将出现立体图像难以融合的情况。

2.1.2 亮度

亮度是指发光体(反光体)表面发光(反光)强弱的物理量,定义为该单位投影面积上的发光强度,单位是坎德拉/平方米( $\text{cd}/\text{m}^2$ )<sup>[7]</sup>。它是一个评价 3D 显示设备的硬件指标,显示设备的亮度并无最佳值,但提高亮度在某种程度来讲,会改变图像对比度,从而影响显示设备对细节的还原能力,对于一般的室内播放的平板显示器来说,亮度在  $250\sim 300\text{ cd}/\text{m}^2$  较佳,部分室外播放的广告机的亮度则在  $400\sim 500\text{ cd}/\text{m}^2$  为宜。

2.1.3 对比度

对比度定义为屏幕显示最大亮度(全白屏)与

最小亮度(全黑屏)时亮度的比值<sup>[8]</sup>。对比度对视觉效果的影响非常关键,一般来说对比度越大,图像越清晰细腻,色彩也越鲜明艳丽;而对比度越小,容易丢失图像细节而使整体画面偏灰。另外,高对比度对于图像的清晰度、细节表现、灰度层次表现都有十分大的帮助。

2.1.4 色温

色温是表示光源光谱质量最通用的指标。一般用  $T_c$  表示。光源的色温是通过对比它的色彩和理论的热黑体辐射来确定的,光源的辐射在可见区和绝对黑体的辐射完全相同时,此时黑体的温度就称此光源的色温。

色温是人眼对发光体或白色反光体的感觉,这是物理学、生理学与心理学的综合复杂因素的一种感觉,也是因人而异的。标准的日光色温大约在  $5\ 200\sim 5\ 500\text{ K}$ ,人眼在大自然中对这个区域的色温值反应是最舒适的也是最自然的,因此,这也可作为评价显示设备的色温提供参考依据。

2.1.5 色域

色域体现显示设备对图像色彩的还原能力,是对一种颜色进行编码的方法或技术系统能够产生的颜色的总和。色域覆盖率是描述一种显示设备的彩色表现能力。通常地,显示设备的色域覆盖率越大,其色彩表现能力便越强,色彩表现范围越宽广。使用白光 LED 背光的平板显示器的色域覆盖率普遍在  $64\%\sim 84\%$  以内<sup>[9]</sup>。本文采用国际常用的 NTSC 色域空间对显示设备的显色性能进行评价。

2.2 测试仪器与测量对象

仪器:光谱辐射度计 PR655。

对象:LG-D2341P 显示器及 Samsung-2233RZ 显示器,其 3D 显示适用模式如表 1 所示。

表 1 待测设备及其显示适用格式  
Tab.1 Testing device and its applicable format

| 待测设备型号         | 3D 显示格式 |
|----------------|---------|
| LG-D2341P      | 色分式     |
|                | 偏振式     |
| Samsung-2233RZ | 时分式     |

2.3 串扰率的测量

从双目立体视觉原理来分析,无论是色分式、偏振式还是时分式 3D 显示技术都是通过眼镜的滤光功能,使具有视差的左右子图像的光线分离,使之分别进入人所对应的眼睛,若这些光线错误地进入另一只眼,便产生串扰<sup>[10-11]</sup>。因此可将串扰率的数学表达式<sup>[6]</sup>写成:

$$\text{crosstalk ratio} = \frac{I_{\text{leakage}}}{I_{\text{right}}} \times 100\%, \quad (1)$$

其中: $I_{\text{leakage}}$ 是指不该进入该眼的光亮度, $I_{\text{right}}$ 是指本该进入该眼的光亮度。上述两个光亮度需扣除环境光亮度  $I_{\text{B}}$ 。

测量时,在距离屏幕中心距离  $D$  为 3 倍显示器高度  $H$  的位置上放置立体眼镜,立体眼镜后放置光谱辐射度计,其基本的测试原理图如图 1 所示。

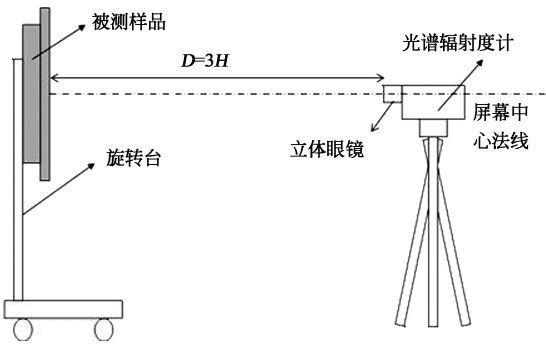


图 1 眼镜式 3D 显示器串扰率测试原理图  
Fig. 1 Schematics of crosstalk ratio in glasses 3D display

播放的左图像为全白图像,右图像为全黑图像(对于红蓝式色分 3D 显示器,播放左图像为纯红图像,右图像为纯蓝图像),其色阶分布分别为 (255,255,255)、(0,0,0)。测量时,保证光谱辐射度计在屏幕的中心法线上,左右旋转 3D 显示器下的旋转台,每隔 2°记录左、右眼镜片后的显示屏幕的亮度值,依次测量 -80°~80°内左、右镜片后的亮度分布  $I_{\text{L-eye(WK)}}$ 、 $I_{\text{R-eye(WK)}}$ 。而当播放的左右图像反转时,可用相同的测量方法测量左、右眼的亮度分布,记为  $I_{\text{L-eye(KW)}}$ 、 $I_{\text{R-eye(KW)}}$ 。根据公式(1),可计算水平方向上左右眼的串扰率分布:

$$\begin{cases} \text{crosstalk}_{\text{left}} = \frac{I_{\text{L-eye(KW)}}}{I_{\text{L-eye(WK)}}} \\ \text{crosstalk}_{\text{right}} = \frac{I_{\text{R-eye(KW)}}}{I_{\text{R-eye(WK)}}} \end{cases} \quad (2)$$

同理,垂直方向上的串扰率分布也可用同样

的测试方法进行测量。

2.4 亮度、对比度、色温的测量

与串扰率的测试不同,亮度、对比度、色温、色域的测量仅对屏幕中心处进行。实验首先在 3D 模式下进行,并播放色阶为(255,255,255)的左右纯白子图像,记录亮度值  $I_{0(3D)}$  及色温值  $T_{c(3D)}$ ,然后再加载色阶为(0,0,0)的纯黑图像,并记录亮度值  $I_{\text{min}(3D)}$ 。此时 3D 模式下的对比度值  $C_{3D}$ 为:

$$C_{3D} = \frac{I_{0(3D)} - I_{\text{B}}}{I_{\text{min}(3D)} - I_{\text{B}}} \quad (3)$$

同样地,除去立体眼镜,调整显示设备为 2D 显示模式,也可对其亮度、对比度、色温、进行测量。

2.5 色域覆盖率的测量

色域覆盖率的测量同样仅对屏幕中心处进行,并且分别在 2D 与 3D 模式下实施测量。当播放的左右图片为纯红、纯绿、纯蓝图片(色阶分别为 (255,0,0)、(0,255,0)、(0,0,255))时,在左(右)眼镜后分别记录色坐标值,并据此计算其在 NTSC 标准下两种显示模式的色域覆盖率。

3 结果与讨论

3.1 串扰率的分布

色分式、偏振式、时分式 3D 显示器的串扰率分布分别如图 2~图 4 所示。

测试结果表明,色分式 3D 显示器的双眼串扰率分布相对稳定但差异较大(左、右眼分别为 3%和 9%)。这是由于红蓝眼镜与 LCD 红蓝像素的光谱曲线不匹配所致,也是引起视觉疲劳的重要原因。

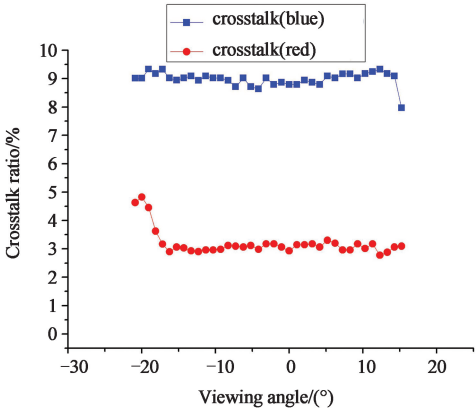
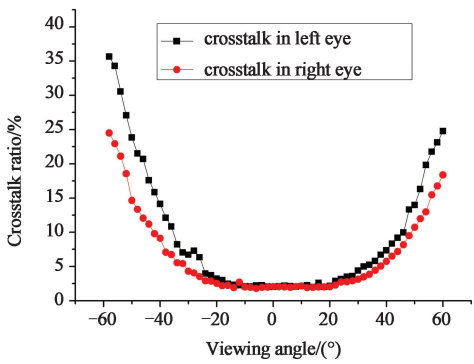
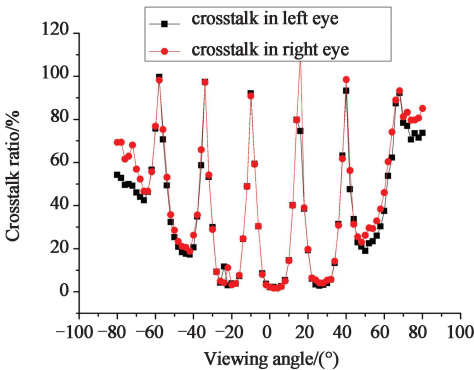


图 2 红蓝色分式 3D 显示器串扰率分布  
Fig. 2 Crosstalk distribution in color type 3D display



(a)水平方向串扰率分布

(a)Crosstalk distribution in horizontal direction



(b)垂直方向串扰率分布

(b)Crosstalk distribution in vertical direction

图 3 偏振式 3D 显示器的串扰率分布

Fig. 3 Crosstalk distribution in plorization type 3D display

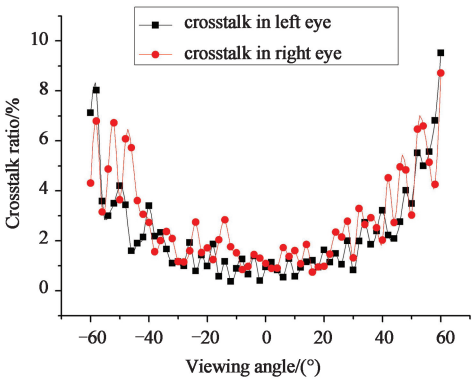


图 4 时分式 3D 显示器串扰率分布

Fig. 4 Crosstalk distribution in Division type 3D display

偏振式 3D 显示串扰产生的原因是眼镜与屏幕偏振状态的不匹配。数据表明,在水平可视角为 $[-30^{\circ}, 30^{\circ}]$ 以内,串扰率基本稳定在 5% 以内;在垂直方向上串扰率呈振荡分布,只有在

$[-2^{\circ}, 8^{\circ}]$ 内低于 5%;串扰率最小值达 1.79%;出现在中心法线处。这些数据反映了偏振式 3D 显示器在垂直的可视区域内有很强的角度敏感性,与实际观感相符。

时分式 3D 显示串扰率产生的原因是:屏幕与时分眼镜的刷新不同步。数据表明,在水平视角为 $[-50^{\circ}, 50^{\circ}]$ 区域中,串扰率维持在 5% 以内,最低可达 0.37%,可见时分式是眼镜式 3D 显示中串扰率最低而且舒适角度最大的立体显示技术。

3.2 亮度、对比度的评价

3 种眼镜式 3D 显示器的亮度、对比度在 2D 和 3D 模式下发生一定程度的改变,具体数据如表 2 所示。数据显示,各种眼镜式 3D 显示的亮度在 3D 模式下较 2D 均发生显著下降,以时分式 3D 显示最为严重,其对比度也相应下降,这一方面说明时分眼镜透光率低,另一方面也解释了为何在暗室中观看时分式 3D 显示器更显舒适;色分式 3D 显示左右眼的亮度下降程度不一致,造成双眼的对比度差异大,这由左右镜片滤光率各异所致,是色分式 3D 容易引起视觉疲劳的另一重要原因;偏振式 3D 尽管亮度有所降低,但对比度却得到提高。

表 2 眼镜式 3D 显示器亮度、对比度值

Tab. 2 Luminance and contrast in glasses 3D display

| 测试设备及其对应播放模式       |                 | 亮度/<br>( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ) | 对比度      |
|--------------------|-----------------|--------------------------------------------|----------|
| LG-D<br>2341P      | 2D 模式           | 141.0                                      | 1 029.18 |
|                    | 色分 3D<br>模式(左眼) | 12.82                                      | 135.16   |
|                    | 色分 3D<br>模式(右眼) | 38.76                                      | 1 069.24 |
|                    | 偏振 3D 模式        | 64.08                                      | 1 685.42 |
| Samsung-<br>2233RZ | 2D 模式           | 153.3                                      | 1 229.35 |
|                    | 时分 3D 模式        | 6.97                                       | 160.77   |

3.3 色温、色域的评价

表 3 是 3 种显示器在不同播放模式下的色温、色域值的统计。图 5~图 7 分别是色分式、偏振式、时分式显示 3D 模式下的显色范围,图中紫色部分为 NTSC 标准下标准三基色的色域覆盖范围。

表 3 眼镜式 3D 显示器色温、色域值

Tab. 3 Color temperature and color gamut in glasses 3D display

| 测试设备及其对应播放模式   |          | 色温/K  | 色域覆盖率/% |
|----------------|----------|-------|---------|
| LG-D2341P      | 2D 模式    | 6 424 | 72.4    |
|                | 色分 3D 模式 |       | 0.3     |
|                | 偏振 3D 模式 | 5 902 | 72.2    |
| Samsung-2233RZ | 2D 模式    | 4 622 | 78.1    |
|                | 时分 3D 模式 | 5 277 | 72.7    |

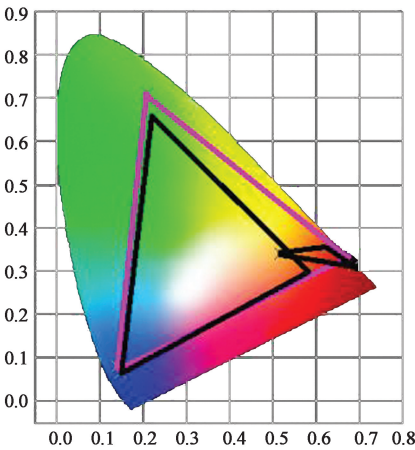


图 5 色分式 3D 显示器色域覆盖率

Fig. 5 Color gamut of color type 3D display presented in 1931CIE-Yxy

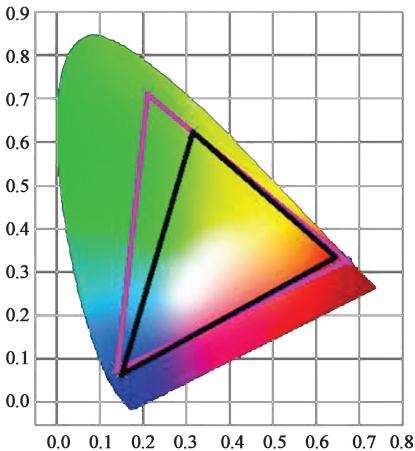


图 6 偏振式 3D 显示器的色域覆盖率

Fig. 6 Color gamut of polarization type 3D display presented in 1931CIE-Yxy

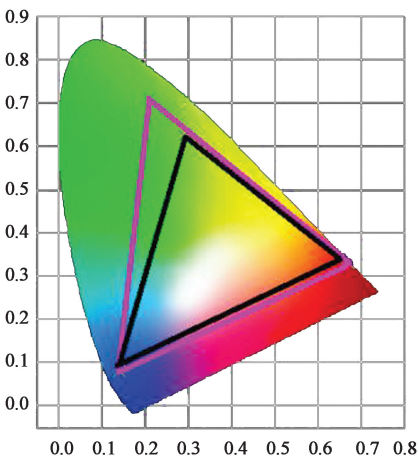


图 7 时分式 3D 显示器的色域覆盖率

Fig. 7 Color gamut of Division type 3D display presented in 1931CIE-Yxy

色分式 3D 显示色域覆盖率仅为 0.3%。另外不难发现,蓝色(右眼)镜片的显色区域远大于红色(左眼)镜片,表明蓝色镜片的滤色带宽较大,是右眼串扰明显高于左眼的根本原因。

偏振式 3D 显示由于眼镜的滤光作用,使得其在 3D 模式下的色温值有所下降,图像颜色偏黄,而色域方面则无太大变化。

时分式 3D 显示的 3D 模式色域比尽管保持在 72.7%,但对比 2D 模式的 78.1%,仍有一定下降,这也说明时分式 3D 显示在获取极低的串扰率以及广阔的舒适视角的同时,也牺牲了部分显示质量。

3.4 三种眼镜式 3D 显示设备综合评价

三种眼镜式 3D 显示设备中,色分式显示器的串扰率不仅高,且左右眼分布不平衡,亮度、对比度低,色域范围小且有严重的偏色,因此其显示效果最差;其次,偏振式 3D 显示水平方向上的串扰率较低,但在垂直方向上串扰率呈振荡分布,图像显示上除了亮度降低之外,其他性能与 2D 模式相比无太大变化,因此偏振式 3D 显示的显示效果明显优于色分式;最后,时分式 3D 串扰率最低,舒适角最大,其他性能也较为优秀,因此总体显示效果最好。

4 结 论

为了更科学、更系统地评价现有的眼镜式 3D 显示设备的显示质量,本文对影响眼镜式 3D 显

示器显示质量的串扰率、亮度、对比度、色温、色域 5 项显示指标进行测量,测试结果发现,色分式 3D 串扰率最高,左右眼分布不平衡(分别为 3%、9%),色域覆盖率仅为 0.3%;偏振式 3D 水平方向串扰率相对较低,为 1.79%,垂直方向串扰率呈振荡分布;时分式 3D 串扰率最低,为 0.37%,

3D 模式下的色域覆盖率为 72.7%,相比 2D 下降 5.4%,但仍处于较为优秀的水平。

目前偏振式和时分式已成为家用 3D 显示设备的主流技术。本文的研究,可有助于眼镜式 3D 显示设备生产商综合、准确地评价产品显示效果,从而为产品的优化提供有益的参考。

# 参 考 文 献:

- [1] 张兴,郑成武,李宁,等.液晶材料与 3D 显示[J].液晶与显示,2012,27(4):448-455.  
Zhang X, Zheng C W, Li N. Liquidcrystal materials and 3D display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(4): 448-455. (in Chinese)
- [2] 田丰,夏雪,王鹤.真三维显示在医学教育与仿真中的应用[J].液晶与显示,2012,27(4):535-538.  
Tian F, Xia X, Wang H. Application of volumetric three-dimensional display in medical simulation and education [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(4): 535-538. (in Chinese)
- [3] 张博.眼镜式立体成像方法的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.  
Zhang B. Research on the method of glasses display stereo imaging [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008. (in Chinese)
- [4] 王琼华.3D 显示技术与器件[M].北京:科学出版社,2011:210-214.  
Wang Q H. *3D display Technology and Devices* [M]. Beijing: Science Press, 2011:210-214. (in Chinese)
- [5] 工信部平板显示技术标准工作组立体显示分组.GT005-2012.立体显示器件 眼镜式立体显示器件光学参数测量方法(I)[S].  
GT005-2012. Stereoscopic display devices;Measuring methods of optical parameters for stereoscopic display devices using glasses(D)[S]. (in Chinese)
- [6] 王嘉辉,邓玉桃,苏剑邦,等.全高清裸眼 3D 显示效果的评价与测量[J].液晶与显示,2013,28(5):805-809.  
Wang J H, Deng Y T, Su J B. Evaluation and Measurement of the Display Effect in Full High Resolution Autostereoscopic Display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(5): 805-809. (in Chinese)
- [7] 郝允祥,陈遐举,张保洲.光度学[M].北京:中国计量出版社,2010.  
Hao Y X, Chen X J, Zhang B Z. *Photometry* [M]. Beijing:China Metrology Publishing House, 2010. (in Chinese)
- [8] Bradley A, Ohzawa I. A comparison of contrast detection and discrimination [J]. *Vision Research*, 1986, 26(6): 991-997.
- [9] 倪孟麟,倪泽成.彩色显示器的色域覆盖率[J].世界广播电视,2010(1):90-93.  
Ni M L, Ni Z C. Color gamut coverage of color display [J]. *World Radio and TV*, 2010(1): 90-93. (in Chinese)
- [10] Woods A J. Crosstalk in stereoscopic displays: a review [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2012, 21(4): 040902-040902.
- [11] Pala S, Stevens R, Surman P. Optical cross-talk and visual comfort of a stereoscopic display used in a real-time application [C]. *Electronic Imaging 2007. International Society for Optics and Photonics*, 2007: 649011(1-12).

作者简介:王嘉辉(1979—),男,广东广州人,博士,实验师,主要从事 3D 显示技术、光电测量方面的研究。E-mail: wangjh@mail.sysu.edu.cn