

文章编号:1007-2780(2015)05-0888-06

裸眼 3D 显示设备关键指标测试方案的研究

谢雨桐¹, 苏晓煌¹, 郑集文¹, 何杰勇¹, 梁浩文¹, 张 洁², 周建英^{1,2}, 王嘉辉^{1,2*}

- (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;
3. 广州计量检测技术研究院, 广东 广州 510030)

摘要:为了制定裸眼 3D 关键指标的标准化测试方案, 本文根据目前主流的自由立体显示和指向性背光技术的不同显示原理及其甜点的不同排列情况, 分别设计了不同的测试方法, 并对其进行串扰率、亮度、对比度、色温、色域等关键指标的完整测量与评价。测试结果表明, 指向性背光式裸眼 3D 显示器的串扰率低至 2.64%, 远低于柱镜式(80.91%)和液晶光栅式(3.3%)裸眼 3D 显示器; 亮度、色域、色温等指标上, 指向性背光式显示也胜于柱镜式和液晶光栅式技术; 而在对比度上, 柱镜式裸眼 3D 显示凭借较佳的亮度, 取得最优秀数值, 明显强于液晶光栅式和指向性背光技术。

关键词:裸眼 3D 显示; 评价; 串扰率

中图分类号: TN141.90436.3 **文献标识码:** A **doi:**10.3788/YJYXS20153005.0888

Key properties of autostereoscopic display

XIE Yu-tong¹, SU Xiao-huang¹, ZHENG Ji-wen¹, HE Jie-yong¹,
LIANG Hao-wen¹, ZHANG Jie², ZHOU Jian-ying^{1,2}, WANG Jia-hui^{1,2*}

- (1. *State Key Laboratory of Optoelectronics Materials and Technologies, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;*
2. *School of Physics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;*
3. *Guangzhou Institute of Measurement and Testing Technology, Guangzhou 510030, China)*

Abstract: In order to set up a standard for evaluating key properties of autostereoscopic display, crosstalk ratio, luminance, contrast, color temperature and color gamut are measured according to different displaying principles. As the measurement result shows, in terms of crosstalk ratio, directional-backlight autostereoscopic display is superior to lenticular-lens (80.91%) and barrier (3.3%) autostereoscopic display with the lowest crosstalk ratio of 2.64%. Besides, directional-backlight autostereoscopic display outclasses the other two kinds of displays in luminance, color gamut and color temperature. However, in the aspect of contrast, lenticular-lens autostereoscopic display surpasses the other two types of displays with the best value.

Key words: autostereoscopic display; evaluation; crosstalk ratio

收稿日期:2015-05-06; 修订日期:2015-06-12.
基金项目:国家 973 项目(No. 2012CB921904); 广州市科技计划项目(No. 2014J4100115)
* 通信联系人, E-mail: wangjh@mail.sysu.edu.cn

1 引 言

裸眼 3D 技术指的是无需佩戴任何辅助式视具即可让观众获得前所未有的“高真实度”3D 视觉体验。与裸眼 3D 技术百花齐放的发展态势相比,裸眼 3D 显示关键参数的标准化测量的研究相对滞后。特别是在国内,业界并没有确立各项光、电学指标的测试标准,这导致了现阶段裸眼 3D 产品品质监管的滞后,造成产品视觉效果良莠不齐,打击了消费者对裸眼 3D 显示产品的信心与期望。

为了更好地规范裸眼 3D 显示产品质量,促进其技术发展,制定裸眼 3D 关键指标的标准化测试方案显得尤为重要。目前,国际电工委员会虽已颁布了 IEC 62629-22-1 国际标准^[1],但此标准仅仅是侧重于柱镜式和光栅式等自由立体显示技术,且其对部分参数的测量方法缺乏可操作性,同时,它并未说明指向式背光等新兴裸眼 3D 技术的实际测量方法。有见及此,本文针对自由立体和指向性背光等主要裸眼 3D 显示技术的成像特性,提出一套更完整、可行、本土化的标准化测试方案,以完成对串扰率、亮度、对比度、色温、色域等关键指标的准确测量。

2 实 验

裸眼 3D 与眼镜式 3D 观看时的最大区别是:裸眼 3D 显示存在推荐观看距离 (designed viewing distance, DVD) 及甜点 (sweet spot, 即串扰率最低的位置)。由于甜点是最佳观看点,因此目前裸眼 3D 显示设备光色参数的测试均应在甜点上进行。另外,根据成像原理,裸眼 3D 显示的甜点呈弧形^[2]和直线^[3]两种排列方式。因此,在测量时需根据不同的排列方式,分别设计对应的测量方案。

2.1 裸眼 3D 显示设备重要指标的测试方案

2.1.1 串扰率的测量

3D 显示将左右眼图像分离,分别匹配送往观众双眼。当匹配性被破坏时即会造成左右眼图像的错送,产生串扰。就裸眼 3D 而言,一般存在多个视区,所以串扰指的是其某个视区中从其他视

区错送来的光线。因此裸眼 3D 显示串扰率 η 的数学表达式为:

$$\eta = \frac{\sum_i^N I_{\text{wrong}(i)}}{I_{\text{right}}} \times 100\%, \quad (1)$$

式中 $\sum_i^N I_{\text{wrong}(i)}$ 指错误进入该视区的光的亮度之和(双视点时 $\sum_i^N I_{\text{wrong}(i)} = I_{\text{wrong}}$), I_{right} 是指本该进入该视区的光的亮度。上述两个亮度均需扣除背景光亮度。

串扰率作为 3D 显示技术最重要的评价指标,达到 5% 就足够使一半以上的观众产生视觉不舒服^[4],而串扰率超过 10%,将出现立体图像在观众大脑中难以融合的情况。

实验中,我们将测量仪器放置在待测设备的推荐观看距离后,根据待测设备的视区排列规则,相应地设计了不同的测量方式,如图 1 所示:对于自由立体等甜点呈弧线排列的设备,采取旋转显示器的方式测量串扰率分布;对于甜点呈直线排列的部分指向性背光式显示器^[3],采取平移测量仪器的方式进行测量。

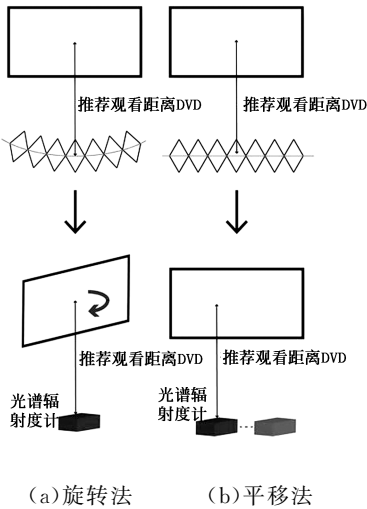


图 1 裸眼 3D 测量串扰率原理图

Fig. 1 Schematics of crosstalk ratio in autostereoscopic display

测量时,待测视区播放的图像为全白图像,色阶为(255,255,255),其他视区播放的图像为全黑图像,色阶为(0,0,0)。对于双视点裸眼 3D 显示器,左图像全白、右图像全黑时,测得左视区内的光强分布为 I_{right} ;当左右图像反转时,测得左视区

内的光强分布为 I_{wrong} 。对于多视点,以 9 视点裸眼 3D 显示器为例,当播放第 1 视区的图像为全白、其余视区为全黑时,测得第 1 视区的亮度为 I_{right} ;当播放第 1 视区的图像为全黑、其他任一视区的图像轮流播放全白时,8 次测得的光强分布之和为 $\sum_i^8 I_{\text{wrong}(i)}$ 。利用公式(1)即可得串扰率分布。

2.1.2 亮度、对比度、色温的测量

亮度指发光体(反光体)表面发光(反光)强弱的物理量(单位 cd/m^2),即从某一方向观察任一单位投影面积上的发光强度,能表示人对光的强度的视觉感受^[5]。对于一般的室内播放的平板显示器来说,亮度在 $250\sim 300\text{ cd}/\text{m}^2$ 较为舒适,部分室外播放的广告机亮度则在 $400\sim 500\text{ cd}/\text{m}^2$ 为宜^[6]。

对比度指屏幕显示最大亮度(全白屏)与最小亮度(全黑屏)时亮度的比值^[7]。对比度对视觉效果影响很大。在一定亮度的范围内,对比度越大,图像越清晰,色彩越鲜明,视觉效果越好。

色温是 3D 显示器中衡量背光源质量的重要指标,体现其对白色的还原能力。如果一个光源发射光的颜色(即光色,又称色品)与某一温度下的黑体发射光颜色相同,此黑体的绝对温度值就叫做该光源的颜色温度 T_c (简称色温),单位 K ^[8]。纯白的色温为 $5\,603\text{ K}$ 。标准的日光色温大约在 $5\,200\sim 5\,500\text{ K}$,人眼对这个区域的色温值反应是最舒适的也是最自然的。色温过高时图像偏蓝,过低则图像偏红。由于裸眼 3D 显示器需要额外的光学元件来实现,所以色温与普通 2D 或眼镜式 3D 显示器不同。

通过串扰率的测试后,可找到每个视区的甜点 SW_i , i 代表视区序号。亮度、色温的测量便在这些位置上进行。当每个视区都播放色阶分布为 $(255,255,255)$ 的全白图像时,在各视区甜点测得的光亮度记为 $I_{w_i}(i=1,2,\dots N)$,色温值 T_c 。当播放色阶为 $(0,0,0)$ 的全黑图像时,测得的光亮度为 $I_{k_i}(i=1,2,\dots N)$ 。最后利用公式(2)计算各视区对比度 C_i :

$$C_i=\frac{I_{w_i}}{I_{k_i}},\tag{2}$$

取它们的平均值作为该显示器的对比度。接着用 3D 模式播放原图像,重复上述测量步骤。

2.1.3 色域覆盖率的测量

色域是对一种颜色进行编码的方法,也指一个技术系统能够产生的颜色的总和。色温与色域共同体现显示设备的色彩表现能力。平板显示器的色域覆盖率普遍在 $64\%\sim 84\%$ 以内^[9]。色域越大,设备所能表现的颜色范围越大,从而减小了图像显示时的颜色失真,使图像更加生动。本文采用的色域标准是 NTSC 国际标准。

色域的测量也在视区甜点进行。当播放所有视区图像均为纯红、纯绿、纯蓝(色阶分别为 $(255,0,0)$ 、 $(0,255,0)$ 、 $(0,0,255)$)时,分别记录色坐标值。接着根据色坐标计算出它们在 CIE1931-Yxy 色度图中所围成三角形的面积,并根据 NTSC 标准计算出色域覆盖率。

2.2 测试仪器与测试对象

仪器:光谱辐射度计 PR655。
对象:R 品牌裸眼 3D 显示器、F 品牌裸眼 3D 相框及时空式混合控制裸眼 3D 显示原型机^[10],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	3D 显示格式
R 品牌 3D 显示器	柱镜式(9 视点)
F 品牌 3D 相框	液晶光栅式(双视点)
实验室原型机	指向性背光式(双视点)

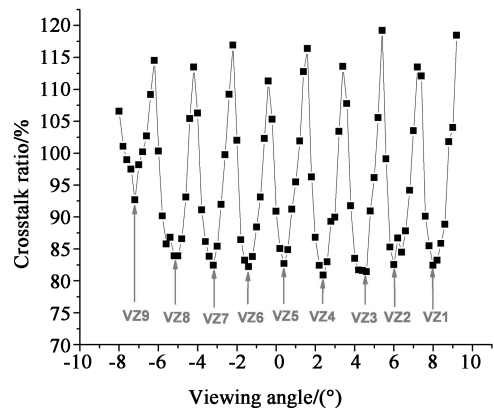
3 结果与讨论

3.1 三种裸眼 3D 显示设备串扰率的评价

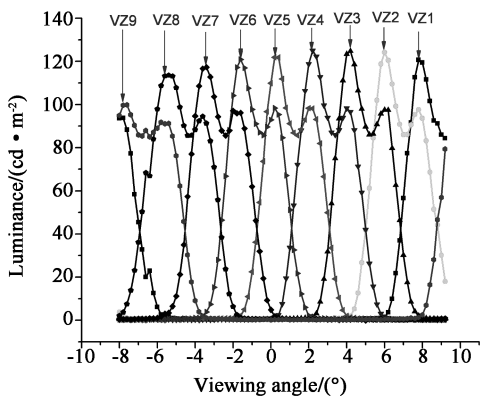
柱镜式设备的串扰率、亮度分布如图 2(a)和(b)所示,液晶光栅式、指向性背光式裸眼 3D 显示器的串扰率分布如图 3、4 所示。

对于 R 品牌 3D 显示器和 F 品牌 3D 相框,只对它们屏幕法线上的中央视区进行测量,而实验室原型机则测量 2 个视区。

测试结果表明,R 品牌显示器的串扰率相对较高(80.91%),原因是多视点柱镜式显示中每个视点的亮度分布均存在数个瓣(lobe),其中旁瓣会串扰至其他视点中,如图 2(b)所示。串扰率的测量可以反映裸眼 3D 成像光路设计和装配中缺陷的严重程度,有助于指导设计与工艺优化。例



(a) 串扰率分布图
(a) Crosstalk distribution



(b) 亮度分布图
(b) Luminance distribution

图 2 R 品牌 3D 显示器串扰率及亮度分布
Fig. 2 Crosstalk and luminance distribution in len-
ticular-lens autostereoscopic display

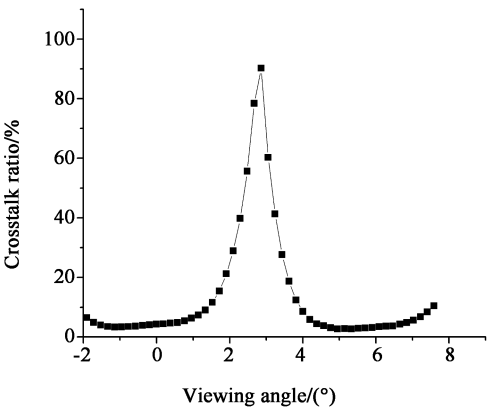


图 3 F 品牌 3D 相框串扰率分布图
Fig. 3 Crosstalk distribution in barrier autostereo-
scopic display

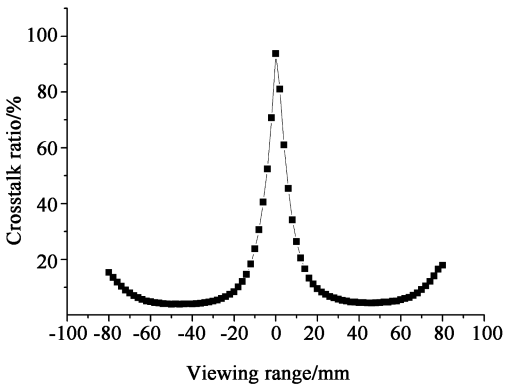


图 4 实验室原型机串扰率分布图
Fig. 4 Crosstalk distribution in directional-backlight
autostereoscopic display

如,可以通过改良成像光路设计^[11]和提高柱透镜与显示屏的贴合的对位精度^[12],减少旁瓣的亮度,降低串扰率。

F 品牌 3D 相框的串扰率为 3.3%,因其双视点的结构不存在旁瓣,所以串扰率可达较低值。

实验室原型机的串扰率在较大范围内可控制在 4% 以内,甜点处最低达 2.64%。这说明自主研发的时空式混合控制裸眼 3D 显示器除了能在视区内保持舒适的视觉体验外,其显示串扰率最低,处于业界先进水平。

3.2 三种裸眼 3D 显示设备亮度、对比度的评价

三种裸眼 3D 显示器的亮度与对比度的测试数据如表 2 所示。

表 2 裸眼 3D 显示器亮度、对比度值			
测试设备及其 对应播放模式		亮度/ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	对比度
R 品牌 3D 显示器	2D 模式	429.3	1 370
	3D 模式	435.4	1 232
F 品牌 3D 相框	2D 模式	244.9	553.1
	3D 模式	224.9	441.1
实验室 原型机	2D 模式	549.5	1 113.3
	3D 模式	587.7	746.3

数据表明,R 品牌 3D 显示器的对比度较另外两种裸眼 3D 显示器高,亮度也比较高,原因是

柱透镜对屏幕亮度不造成削弱作用,同时消除了像素点间的间隙^[13]。

F 品牌 3D 相框的亮度、对比度在 2D、3D 模式下均偏低。当其工作在 2D 模式下时,液晶光栅处于非工作状态,但仍会对屏幕出射光线产生吸收作用,因此亮度、对比度较低。当其在 3D 工作状态时,液晶光栅使显示屏幕的部分出射光线被阻挡,使得亮度相对于 2D 模式下进一步降低,从而对比度随之下降。

相较而言,实验室原型机在 3D 模式下采用动态同步背光技术,有效提高背光的照明效率,所以亮度能达到较高水平,而对比度因为最小亮度的增加而有所下降,但仍处于中等水平。

3.3 三种裸眼 3D 显示设备色温、色域的评价

表 3 是 3 种裸眼 3D 显示器的色温、色域测试数据。图 5 是 3 种裸眼 3D 显示器 3D 情况下的色度图。

表 3 裸眼 3D 显示器色温、色域值
Tab. 3 Color temperature and color gamut in autostereoscopic display

测试设备及其对应播放模式		色温/K	色域覆盖率/%
R 品牌 3D 显示器	2D 模式	6028	70.42
	3D 模式	6022	70.38
F 品牌 3D 相框	2D 模式	7020	55.70
	3D 模式	7799	54.30
实验室原型机	2D 模式	5686	70.80
	3D 模式	5686	70.50

对于 R 品牌 3D 显示器,色温、色域在 2D 与 3D 模式下基本保持一致。色温(2D:6 028 K; 3D:6 022 K)表示其对白色的还原能力较好,且其色域覆盖率(2D:70.42%;3D:70.38%)在行业平均水平之内。

对于 F 品牌 3D 相框,在 2D 和 3D 模式下色温(2D:7 020 K;3D:7 799 K)都明显偏高,使其图像颜色偏蓝;而色域覆盖率(2D:55.7%;3D:54.3%)偏低,因此总体观看效果有待改善。另外,在 3D 显示状态下,因液晶光栅和液晶面板之间的拍频作用,图像产生了明显的莫尔条纹,使其色温上升,同时令其色域随之产生变化^[14]。

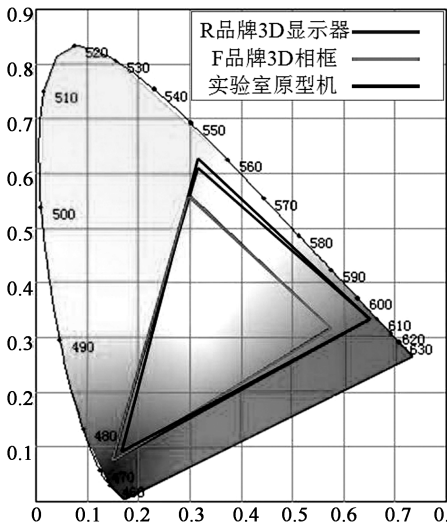


图 5 三种裸眼 3D 显示器色度图
Fig. 5 Color gamut of three types of autostereoscopic display presented in 1931CIE-Yxy

对于实验室原型机,色温 5 686 K 表示其对白色的还原能力较强,而其色域覆盖率(2D:70.8%;3D:70.5%)与前两种显示器相比都较高,说明其色彩还原能力较好。

3.3 三种裸眼 3D 显示设备综合评价

基于以上所有测试结果,三种裸眼 3D 显示设备分别在不同方面表现出优劣。柱镜式设备亮度、对比度较出色,但是总体串扰率较高且分布不均匀。液晶光栅式设备的串扰率较低,其 2D 状态下亮度、对比度低,色温高,色域范围小;在 3D 状态下,液晶光栅的开启导致上述指标进一步劣化,其总体显示效果不出色。指向式背光显示设备无论是 2D 还是 3D 模式关键指标差异不大,整体性能最优秀,串扰率最低,对比度较高,色温、色域覆盖率均能达到 2D 显示器的平均水平。

4 结 论

本文针对柱镜式、液晶光栅式、指向性背光式三种裸眼 3D 显示器不同的显示原理与视点分布,设计了不同的测试方案,分别对其串扰率、亮度、对比度、色温、色域五项关键性能指标进行了完整的测量与评价。

结果表明,柱镜式 3D 技术总体串扰率高,亮度与对比度最佳,色域和色温也能达到 2D 显示

的平均水平;液晶光栅式 3D 技术串扰率较低(3.3%),但其色温偏高($>7\,000\text{ K}$)且色域覆盖率较低(54.3%),同时 2D 和 3D 模式差异显著;而指向性背光技术在串扰率、亮度、色域、色温上取得最优值,分别达到 2.64%、587.7 cd/m²、

70.5%、5 686 K;综合显示质量在三者中最佳,其中串扰率在业内处于领先地位。

本文的测试结果准确,并对显示设备的综合评价、结构优化设计提供有效指导。同时,测试方案步骤简单易行,可进行本土化移植并在行业内推广。

参 考 文 献:

[1] IEC 62629-22-1, 3d display devices - part 22-1: measuring methods for autostereoscopic displays - optical [S].

[2] 王博. 光栅式自由立体显示系统多视点图像生成与图像分离度检测技术研究[D]. 长春:吉林大学,2014.
Wang B. Research on the generation of multi-view image and the image separation testing technology in auto-stereoscopic system [D]. Changchun: Jilin University, 2014. (in Chinese)

[3] Wang J, Liang H, Fan H, *et al.* High-quality autostereoscopic display with spatial and sequential hybrid control [J]. *Applied Optics*, 2013, 52(35):8549-8553.

[4] Kooi F L, Toet A. Visual comfort of binocular and 3D displays [J]. *Displays*, 2004, 25(2):99-108.

[5] 郝允祥,陈退举,张保洲. 光度学[M]. 北京:中国计量出版社,2010:48-52.
Hao Y X, Chen X J, Zhang B Z. *Photometry* [M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2010: 48-52. (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] Bradley A, Ohzawa I. A comparison of contrast detection and discrimination [J]. *Vision Research*, 1986, 26(6): 991-997.

[8] 代彩红,于家琳. 光源相关色温计算方法的讨论[J]. 计量学报, 2000, 21(3):183-188.
Dai C H, Yu J L. Discussion on the calculating methods for color temperature of the source [J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2000, 21(3): 183-188. (in Chinese)

[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] Fan H, Zhou Y, Liang H, *et al.* Displaying a full high-definition, high-quality 3D image without glasses [DB/OL]. SPIE Newsroom, 2014-08-04. <http://spie.org/x109248.xml?ArticleID=x109248>.

[11] Liang H, An S, Wang J, *et al.* Optimizing time-multiplexing auto-stereoscopic displays with a genetic algorithm [J]. *Journal of Display Technology*, 2014, 10(8):695-699.

[12] 李君浩,刘南洲,吴诗聪. 平板显示概论[M]. 北京:电子工业出版社,2013:18-22.
Lee J H, Liu D N, Wu S T. *Introduction to Flat Panel Displays* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013: 18-22. (in Chinese)

[13] 芮明昭. 多视点裸眼 3D 电视技术及其应用系统开发[D]. 厦门:厦门大学,2014.
Rui M Z. Multi-view naked eye 3D TV technology and its application system development [D]. Xiamen: Xiamen University, 2014. (in Chinese)

[14] 邓玉桃. 3D 显示设备关键指标的研究与测试[D]. 广州:中山大学,2014.
Deng Y T. Research of measurement of key properties in 3D Displays [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2014. (in Chinese)

作者简介:谢雨桐(1994—),女,广东深圳人,光信息科学与技术专业学生,从事 3D 显示性能评价方面研究。E-mail: xieyt1994@163.com