

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2022.02.013

驱动频率变动光学校正方法及设计验证

杨克明*, 许益祯, 陈政鸿, 康志聪, 朴艺琳, 任春晖

(惠科光电科技有限公司 研发中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 提出了一种应用于驱动频率变动的 TFT LCD 面板光学校正方法。首先基于时序、电压 ($V_{GH}/V_{GL}/V_{COM}$) 对驱动频率变动的 TFT LCD 面板光学性能的影响, 进行时序和电压的优化, 然后通过 T-Con ACC 光学补偿功能, 对最小与最大驱动频率下的光学数据差异进行补偿, 降低频率变化时面板的光学波动。对比了校正前后驱动频率变动状态下的 TFT LCD 面板的光学稳定性。实验结果表明: 光学校正后的 TFT LCD 面板在驱动频率变动时, 可表现出更高的光学稳定性。

关键词: 液晶面板; 驱动频率变动; 光学补偿

中图分类号: TN94 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)02-0148-06

Optical Correction Method and Design Verification of VRR Panel

YANG Keming, XU Yizhen, CHEN Zhenghong, KANG Zhicong, PIAO Yilin, REN Chunhui
(HKC Optoelectronics Technology Co., Ltd., R&D Centre, Mianyang Sichuan, 621000, CHN)

Abstract: An optical correction method applied to VRR TFT LCD panel was proposed. Based on the influence of timing and voltages ($V_{GH}/V_{GL}/V_{COM}$) on the VRR TFT LCD panel optics, the two parameters were optimized. T-Con ACC optical compensation function could be used to correct the optical data differences between minimum rate and maximum rate, thus reducing the optical fluctuation of the panel during the refresh rate. The experimental results showed that the VRR TFT LCD panel showed better optical performance after optical correction.

Key words: TFT LCD panel; Variable Refresh Rate (VRR); brightness compensation algorithm

引 言

TFT LCD 面板的驱动频率变动技术 (VRR) 是以原有固定驱动频率为基础, 增加刷新率变动范

围, 提升 TFT LCD 面板的刷新率变化的追随度, 从而在画面迅速变动时呈现优势。但是, 由于 TFT LCD 驱动频率变动技术的加入, 原有的固定驱动频率中的光学校正方法无法直接应用于驱动频率变

收稿日期: 2022-01-17

作者简介: 杨克明 (1994—), 男, 工程师, 主要从事 TFT LCD 光学调试相关领域的研究; (E-mail: keming.yang@szhk.com.cn)

许益祯 (1970—), 男, 高级工程师, 主要从事 TFT LCD 驱动相关的研究; (E-mail: William.hsu@szhk.com.cn)

陈政鸿 (1981—), 男, 高级研究员, 主要从事 TFT LCD 驱动相关的研究。 (E-mail: wade@szhk.com.cn)

*通讯作者

动技术之中。

TFT LCD 面板的光学校正技术是以光学为基础,融合计算机图像图形学、信息处理、光电子等科学为一体的多学科技术。随着 TFT LCD 面板的高分辨率趋势化以及其多媒体应用化,对 TFT LCD 面板光学调试精准度以及检测精确性的要求也越来越高。光学测量标准逐渐从固定频率 60 Hz 下的 $\Gamma=2.2\pm 0.2^{[1]}$,向变频 48 Hz (min)~120 Hz (max) 范围内 $\Gamma=2.2\pm 0.2$ 过渡,同时需要满足画质过渡的稳定。

文中对 TFT LCD 面板的驱动频率变动技术光学校正系统进行研究,建立应用于 UHD(3 820×2 160 分辨率)140 cm 工业大尺寸 TFT LCD 面板的光学校正系统,提出误差补偿以及光学校正系统算法,通过对驱动频率变动技术的面板进行光学校正,验证该光学校正法的有效性,并证明文中所建立的变频光学校正法能够应用于 VRR 面板光学调试领域。

1 驱动频率变动技术面板的光学校正原理

1.1 VRR 面板光学校正硬件系统

VRR 面板的光学校正硬件系统原理图如图 1 所示。其主要由光学量测系统、图像初步处理系统(SOC)以及计算机(PC)等组成。光学量测系统——色彩分析仪(通常使用 CA-410),用于测量并采集不同刷新率下面板的光学特性数据,并传递给计算机系统^[2];图像初步处理系统主要负责图形信号转化,将显卡输出的 HDMI,DP 等信号转化成面板

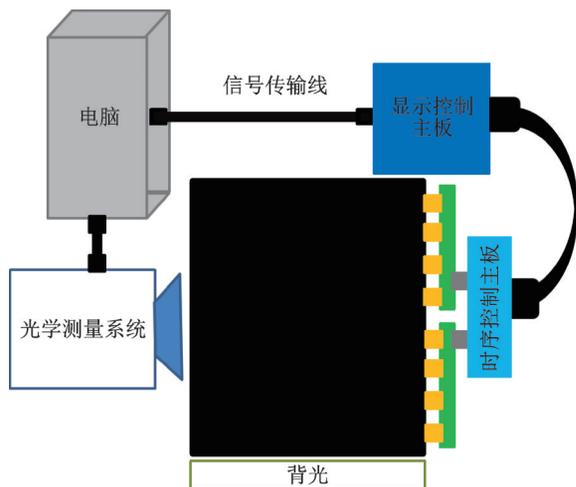


图1 VRR 面板光学校正硬件系统

Fig.1 The diagram of optical correction hardware system

T-Con可接收和解码的信号;计算机中装有包含光学测量系统所需的数据采集软件、固定刷新率输出软件、变频图像输出软件等,主要用于向面板输出不同的刷新率画面以及进行各项光学数据采集分析并处理。

1.2 VRR 光学校正系统的工作原理

VRR 光学校正系统的基本工作原理为:显卡控制刷新率,并输出标准待测图形画面,通过图形初步处理系统转化成 VRR 面板可以识别的数据,最终在面板端显示不同刷新率的画面。通过光学测量系统,抓取不同刷新率下的光学数据,计算机处理对比不同刷新率下的光学数据差异,以光学补偿的方式修正,最终实现 48~120 Hz 下的画面平稳过渡。具体步骤如下:

1)优化 VRR 面板的时序(有效显示时间调试)以及基础电压($V_{GH}/V_{GL}/V_{COM}$),根据不同刷新率下光学特性的变化,定出最佳的时序和基础电压。

2)关闭 VRR 面板中光学补偿的功能,测量 48/120 Hz 面板的基础 R/G/B/W 光学数据,并在 120 Hz 进行 W Gamma 2.2 电压修正。

3)对比不同刷新率下的光学测量数据,随着刷新率的变化,整个面板会出现不同程度的 Gamma 亮度偏移。其中最大刷新率与最小刷新率的光学差异最大(如图 2~3 所示),文中选取 48 Hz(min)以及 120 Hz(max)两个固定刷新率,进行 W Gamma 2.2 光学数据补偿,其它刷新率则通过时序控制器(T-Con)自动调用数据的方式进行补偿,提高面板变频工作时的光学稳定性。

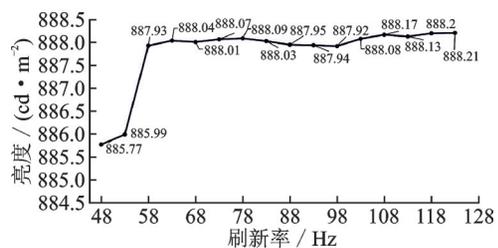


图2 L255亮度随刷新率变化趋势曲线

Fig.2 Brightness curve of L255 with refresh rate

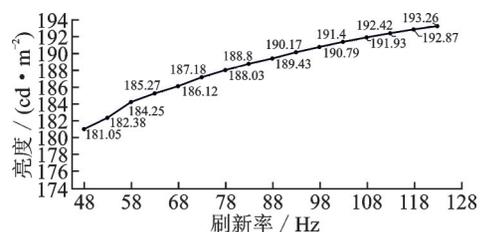


图3 L127亮度随刷新率变化趋势曲线

Fig.3 Brightness curve of L127 varying with refresh rate

4)对 VRR 光学补偿前后的面板进行不同刷新率的光学数据以及闪烁值数据采集,作数据对照,表征面板变频状态下的光学稳定性。

2 VRR 技术面板光学校正关键影响因素分析

2.1 不同刷新率下有效显示时间需保持一致

在 VRR 技术中,为实现刷新率的变化,通常使时序中的水平方向 HTT(Horizontal Total)不变,同时虚拟地增加垂直方向 VTT(Vertical Total)的数量,从而使其可以在不改变物理层面电路架构的条件下得以实现^[3-6]。

其中显示像素时钟、HTT、VTT 以及刷新率满足以下关系:

$$\text{Pixel clock} = \text{HTT} \times \text{VTT} \times \text{Hz} \quad (1)$$

为了确保刷新率变化时的显示稳定性,不同刷新率下的有效显示时间需保持一致,即如图 4 所示: $T1=T2$; 同时改变信号空白区域的时间,即 $T3 < T4$ 。

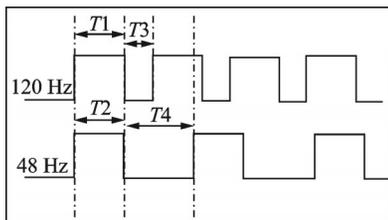


图 4 VRR 面板时序示意图

Fig.4 Diagram of VRR Timing

2.2 面内 TFT 开态电压对 VRR 技术面板光学的影响

根据图 5 TFT $I-V$ 特性曲线,可以确定合适的 V_{GH} 以及 V_{GL} 电压范围。结合宏观样品的光学数据结果,可以确定目前最优的电压设定值。

TFT 开态电压 (V_{GH}) 会影响整个 TFT 开启时的开态电流。在液晶面板中,横向的 TFT 开关开启后,纵向的电路会对面板进行充电,形成像素电场^[5-6]。

从图 6 中可以明显看出,刷新率为 48 Hz 时的面板随 V_{GH} 变化波动较 120 Hz 时更大,为了提高变频时面板的亮度稳定性,在确定 V_{GH} 电压时要选择亮度差异最小的电压值范围。如图 7 所示,在 28 V~36 V 的范围内,面板亮度差异较小,其中 29 V 时,面

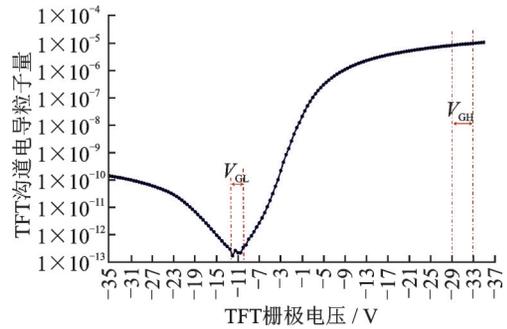


图 5 面内 TFT $I-V$ 特性曲线

Fig.5 The $I-V$ curve of TFT characteristics

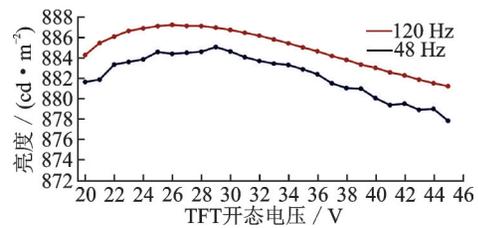


图 6 48 Hz 与 120 Hz 下面板亮度随 V_{GH} 电压变化的趋势

Fig.6 Brightness curves between 48 Hz and 120 Hz of L255 varying with V_{GH}

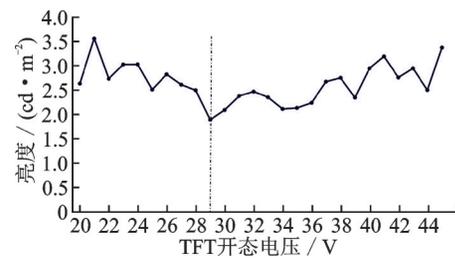


图 7 48 Hz 与 120 Hz 面板亮度差异随 V_{GH} 电压变化的趋势

Fig.7 Brightness difference curves between 48 Hz and 120 Hz of L255 varying with V_{GH}

板亮度差异最小。

2.3 TFT 关态电压对 VRR 技术面板光学的影响

TFT 关态电压 (V_{GL}) 影响 TFT 关闭时的电流状况,决定像素电场在充电完毕之后的保持状况,进而影响整个画面的光学特性^[5-6]。同样地,通过验证不同刷新率光学特性随 V_{GL} 电压的变化差异,可以确定出 VRR 面板的最佳 V_{GL} 。

图 8 显示的是在 48 Hz 与 120 Hz 时,不同 V_{GL} 下亮度变化曲线。可以很明显地看出 48 Hz 下的面板亮度波动随 V_{GL} 电压变化的影响较大,因此不同 V_{GL} 下的 120 Hz 与 48 Hz 亮度差异表现不同,如图 9 所示,结合之前的 TFT $I-V$ 特性(见图 5),可以得出目前 V_{GL} 的最佳电压值为 -10 V,此时面板亮度差异最小,且不会存在漏电流的问题。

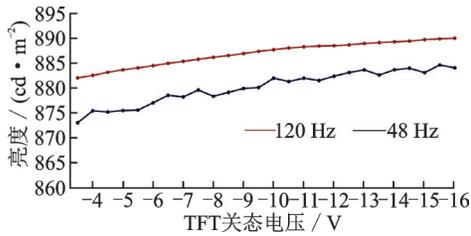


图8 48 Hz与120 Hz下面板亮度随 V_{GL} 电压变化的趋势
 Fig.8 Brightness curves between 48 Hz and 120 Hz of L255 varying with V_{GL} .

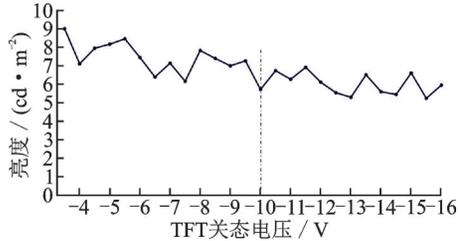


图9 48 Hz与120 Hz面板亮度差异随 V_{GL} 电压变化的趋势
 Fig.9 Brightness difference curve between 48 Hz and 120 Hz of L255 varying with V_{GL} .

2.4 公共电极电压对VRR面板光学的影响

像素电场公共电极电压(V_{COM})决定整个像素电场电压,对面板本身的光学特性具有决定性作用^[6]。依据不同 V_{COM} 电压在变频状态下的光学特性表现,决定最终电压值的设定。

图10为48 Hz和120 Hz刷新率下面板亮度随 V_{COM} 变化的曲线。可以看出48 Hz时面板亮度曲线随 V_{COM} 变化的亮度波动较大。48 Hz与120 Hz下面

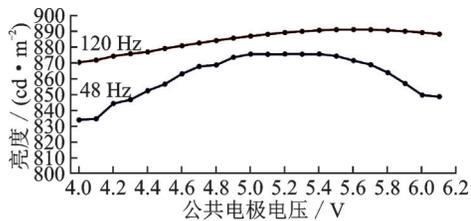


图10 48 Hz与120 Hz下面板亮度随 V_{COM} 变化的趋势
 Fig.10 Brightness curves between 48 Hz and 120 Hz of L255 varying with V_{COM} .

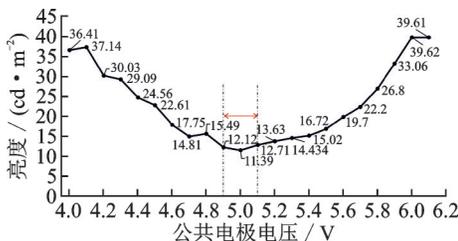


图11 48 Hz与120 Hz下面板亮度差异随 V_{COM} 电压变化的趋势
 Fig.11 Brightness difference curve between 48 Hz and 120 Hz of L255 varying with V_{COM} .

板亮度差异随 V_{COM} 电压变化趋势如图11所示,从图中可以明显看出 V_{COM} 电压为4.9 V~5.1 V的范围时,VRR状态下的光学波动最小。

通过基础电压优化的过程可以看出,低刷新率时面板的光学波动随电压变化更严重,这是因为刷新率较低时,一帧的周期较长,其中信号空白的区域宽,在时间积累效应的作用下导致光学波动较大。

2.5 基于VRR面板48 Hz和120 Hz光学差异的补偿算法

由于48 Hz的信号空白区域远大于120 Hz,所以120 Hz时的面板亮度高于48 Hz时的面板亮度。在进行基础电压优化之后,这种差异依然存在,而且亮度差异过大会导致频率切换时出现闪烁(Flicker)现象。按照国际通用规格:(1)L255灰阶亮度随频率变化均值小于0.03 nit;(2)L127灰阶亮度随频率变化均值小于0.04 nit。同时文中新提出了一种更加严格的评判方式,通过测试各灰阶下48 Hz/120 Hz切换时面板幕的9点区域的闪烁值状况,以评价最高/最低刷新率切换时画面的稳定性,如图12所示。

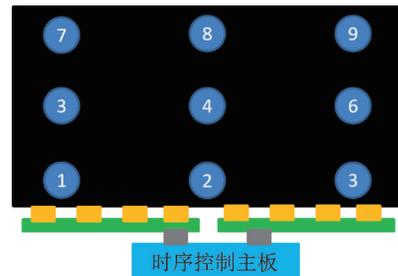


图12 闪烁值测试9点示意图
 Fig.12 9 point flicker test map

文中提出的补偿办法是依据 Gamma 2.2 标准曲线算法,采用时序控制芯片(T-Con) ACC Function 自动修正48 Hz与120 Hz各灰阶亮度差异部分。

各灰阶 Gamma 2.2标准曲线亮度算法如下:

$$Lv=L/255 \times (L255-L0) + L0$$

根据上述公式,只需保证48 Hz和120 Hz下L255亮度与L0亮度分别相同,即可以实现不同刷新率下各灰阶亮度相同。因L0数值较小,且只与面板内部漏光特性(V_{GL})强相关,因此只需保证L255(48 Hz)与L255(120 Hz)亮度相同。

文中利用T-Con ACC Function 修正48 Hz和120 Hz的L255亮度差异,计算公式为:

$$L255(120 \text{ Hz}) \times \text{ACC} \times (R+G+B) = L255(48 \text{ Hz}) \times \text{ACC} \times (R'+G'+B')$$

式中:ACC为T-Con内部算法因子,只与T-Con算法相关,R/G/B为T-Con ACC Table的赋值。

通过以上方式修正VRR模式下的光学差异。

3 实验测量与结果分析

利用上述VRR技术面板光学校正方法对55UHD液晶面板进行光学校正,并对基础电压优化后的Gamma曲线以及9点闪烁测试结果进行分析。

进行基础 $V_{GH}/V_{GL}/V_{COM}$ 电压以及时序优化之后,48 Hz和120 Hz的ACC off Gamma曲线以及48 Hz/120 Hz的面板亮度差异如图13~14所示:

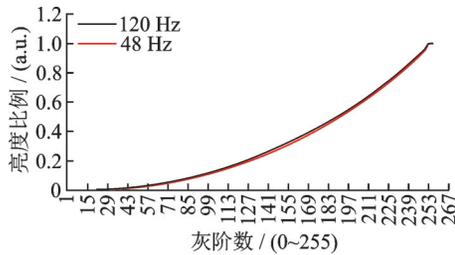


图 13 光学修正前的48 Hz与120 Hz W Gamma曲线
Fig.13 W Gamma curves of 48 Hz and 120 Hz before optical correction

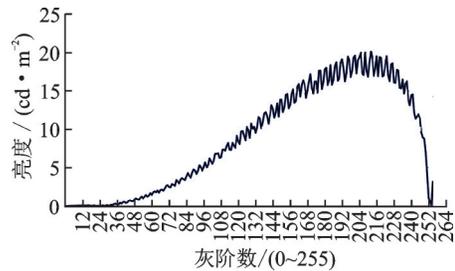


图 14 光学修正前的48 Hz与120 Hz亮度差异曲线
Fig.14 Brightness difference curve between 48 Hz and 120 Hz before optical correction

由图13~14可以看出,经过电压以及时序的初步优化,48 Hz和120 Hz的Gamma曲线存在明显的差异,刷新率切换时会出现较大的光学波动,这些波动会导致VRR变频时的光学突变,使画面出现撕裂感。同时,9点闪烁值测试结果显示,48 Hz与120 Hz变频时的面板光学稳定性较差,见图15。

经过电压和时序初步优化后,48 Hz和120 Hz之间的各灰阶亮度差异在中高灰阶尤为明显。对比48 Hz与120 Hz的L255亮度差异,依据2.5所述方式修正48 Hz与120 Hz的ACC LUT R/G/B数值,使 $L255(48\text{ Hz})=L255(120\text{ Hz})$,并利用ACC function再同步修正所有灰阶亮度差异。结果如图16所示:

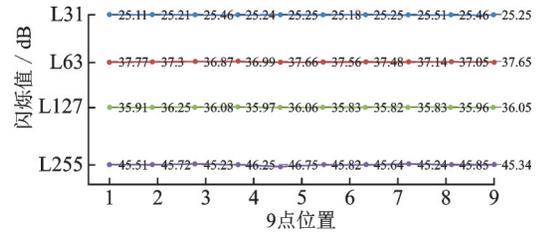


图 15 光学修正前48 Hz/120 Hz切换时的闪烁值
Fig.15 Flickers during 48 Hz and 120 Hz switching before optical correction

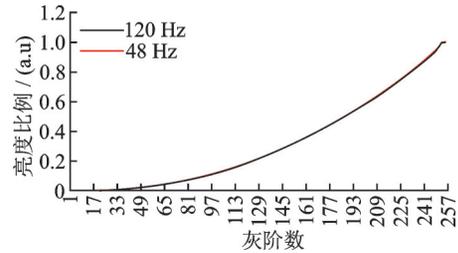


图 16 光学修正后120 Hz与48 Hz W Gamma曲线
Fig.16 W Gamma curves of 48 Hz and 120 Hz after optical correction

可以很明显的看出,修正后的光学Gamma曲线在48 Hz与120 Hz下几乎是重合的,对比48 Hz与120 Hz的光学数据差异(见图17),可以看出,光学补偿后的各灰阶光学数据差异远小于光学补偿前,这说明通过这样的方式可以有效改善因刷新率变化导致的光学波动,另外9点的闪烁测试结果(见图18)也表明,光学补偿后的VRR技术面板光学稳定性大大提高。最后采用Free Sync测试软件自动测试面板的VRR效果(见

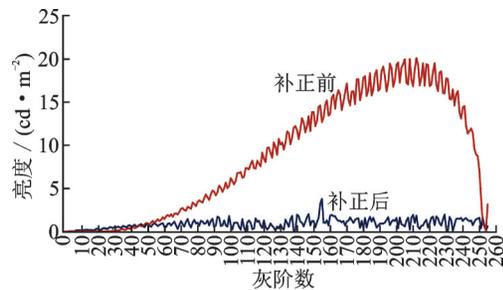


图 17 光学修正前后的48 Hz与120 Hz亮度差异对比
Fig.17 Brightness difference(48 Hz/120 Hz) before and after optical correction

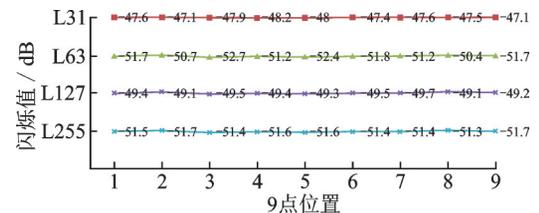


图 18 光学修正后48 Hz/120 Hz切换时的闪烁值
Fig.18 Flickers during 48 Hz and 120 Hz switching after optical correction

图19),结果显示可满足国际规格要求。

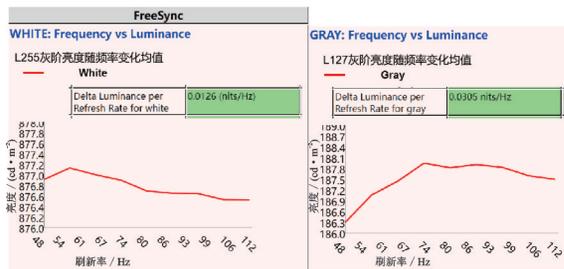


图19 VRR面板Free Sync测试软件测试结果

Fig.19 Free Sync test results of VRR panel

4 结 论

文中针对VRR技术面板对动态刷新率下的光学稳定性的新需求,提出了固定刷新率光学校正方法,并介绍了光学补偿原理以及光学标准。基于不同刷新率的光学差异对光学补偿方案研究,首先依据最大-最小刷新率下的光学数据差异,进行基础时

序以及基础电压的优化,改善VRR技术面板的稳定性;最后采用T-Con ACC function的光学修正功能,对不同刷新率下的光学数据进行补偿。结果表明:文中提出的在固定驱动频率的基础上进行驱动频率变动状况下的光学调试方法,可满足VRR技术面板的光学稳定性校正的要求。

参 考 文 献

- [1] 戴亚翔. TFT-LCD面板的驱动与设计[M].北京:清华大学出版社出版,2006,4.
- [2] Konica Minolta. 显示器色彩分析仪CA-310使用说明书[Z]. 2010,9.
- [3] 刘永智,杨开恩. 液晶显示技术[M].成都:电子科技大学出版社,2000.
- [4] 廖燕平. 薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2016.
- [5] 田民波,叶 锋. TFT液晶显示原理与技术[M].北京:科学出版社,2010.
- [6] 马群刚. TFT-LCD原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011.



(上接第142页)

的验证:对盒工艺机械臂运行降速;选择上下材质一致的偏光片、液态光学贴合胶、低光弹性系数玻璃及低温各向异性导电胶;在OCR0.4 mm、盖板1.1 mm、液晶屏1.0 mm的基础上进行厚度优化。验证结果如图12,黑态均匀性均值由58.1%提升至71.9%。

择上下材质一致的偏光片、液态光学贴合胶、低光弹性系数玻璃及低温各向异性导电胶,模组设计采用减薄至0.4 mm的液晶屏搭配1.3 mm厚的盖板,最终可将车载液晶显示器模组黑态均匀性提升到70%。

参 考 文 献

- [1] 杨 勋. 车载显示产业的现状及发展研究[J].中国集成电路, 2020,29(Z1):17-22+55.
- [2] Guo Yuanhui, Shi Xia, Hu Yang, et al. Mechanism and optical solution of light leakage in ADS mode[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2021, 52(1):1395-1398.
- [3] 李兴华,暴军萍,徐 兵,等. 液晶显示器模组黑态均匀性改善研究[J].液晶与显示,2018,33(4):271-276.
- [4] 廖红波,王 婷,何琛娟,等. 液晶盒双折射效应的测量与应用[J].大学物理,2016,35(8):44-47.
- [5] 冯 伟,张 然,梁恒镇. ADS TFT-LCD漏光敏感性影响因素研究与改善[J].液晶与显示,2018,33(12):899-995.
- [6] 储周硕,薛彦鹏,王清娟,等. 液晶面板暗态大视角漏光改善[J].光电子技术,2021,41(1):61-64+77.
- [7] You Jaegwon, Jia Qian, Yang Yafeng, et al. Improvement of dark state light leakage in ADS mode LCDs[J]. SID Symposium Digest of Technology Papers, 2015, 46(1):1544-1547.
- [8] 李红芳,王玉合,杨 钟. TFT-LCD用偏光片的研究与进展[J].合成技术及应用,2013,28(3):18-23.
- [9] 荆建新,邱旭蒙,陈云昌. 光学胶稠度对LCD全贴合显示质量的影响[J].光电子技术,2019,39(4):265-268.
- [10] 王艳艳,何 为,王守绪,等. 平板显示器中应用ACF的驱动IC封装技术[J].印制电路信息,2010,8:60-62+70.

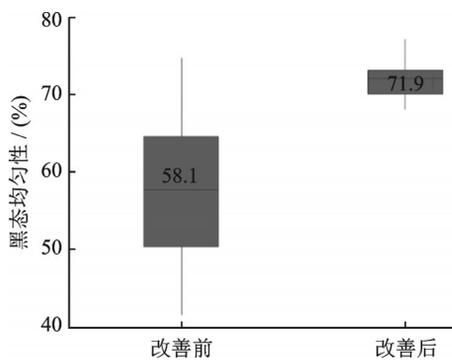


图12 黑态均匀性改善效果

Fig.12 Result of black uniformity improvement

4 结 论

文章根据L0漏光原理,通过优化模组应力减小玻璃相位差和液晶相位差,从工艺优化、材料选择、模组设计三个方面进行研究,改善车载液晶显示器模组黑态均匀性,对相关因素提出了改善方案及管控建议。总体而言,通过降低对盒工艺机械臂运行速度,材料选