

文章编号:1007-2780(2019)12-1172-10

# TFT-LCD 画面闪烁影响因子及定量分析方法

朱海鹏\*, 吴海龙, 但 艺, 冉 敏, 周 欢, 付剑波, 周 焱, 闵泰烨

(京东方科技集团股份有限公司 重庆京东方光电科技有限公司, 重庆 400700)

**摘要:**画面闪烁(Flicker)是 TFT-LCD 画面品质评价的重要指标。文章基于  $\Delta V_p$  及闪烁发生机理,通过一系列实验,首先研究了  $V_{com}$  对闪烁的影响,结果表明  $V_{com}$  对闪烁具有显著影响;随着闪烁灰阶升高,最佳闪烁呈逐渐减小趋势,常白模式产品最佳闪烁对应  $V_{com}$  逐渐减小,而常黑模式产品最佳闪烁对应  $V_{com}$  逐渐增加。其次,研究了  $V_{GH}$ 、 $V_{GL}$  对闪烁影响,结果表明  $V_{GH}$ 、 $V_{GL}$  变化对闪烁均有显著影响;同一闪烁灰阶, $V_{GH}$  增加不会影响最佳闪烁,但对应  $V_{com}$  逐渐减小,而  $V_{GL}$  增加最佳闪烁逐渐减小,但对应  $V_{com}$  逐渐增加。最后,提出一种可以预测不同灰阶闪烁水平的定量分析方法,通过该方法计算得到的闪烁水平与 VESA 标准下 FMA 测试法所得的闪烁值趋势一致,常白模式和常黑模式产品线性相关系数均达 0.95 以上,证明该方法可以用来预测不同灰阶闪烁水平。这些研究对改善 TFT-LCD 闪烁问题提供了分析方法和解决思路。

**关键词:**液晶显示器;画面闪烁; $V_{com}$ ; $V_{GH}$ ; $V_{GL}$

**中图分类号:** TN873.93 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/JYXS20193412.1172

## TFT-LCD flicker influence factors and quantitative analysis method

ZHU Hai-peng\*, WU Hai-long, DAN Yi, RAN Min, ZHOU Huan,

FU Jian-bo, ZHOU Yan, MIN Tai-ye

(Chongqing BOE Optoelectronics Co., Ltd.,

BOE Technology Group Co., Ltd., Chongqing 400700, China)

**Abstract:** Flicker is an important index of TFT-LCD image quality evaluation. Based on the mechanism of  $\Delta V_p$  and flicker, the influence of  $V_{com}$  on flicker is studied, and the experiment results show that  $V_{com}$  has a significant impact on flicker. With the increase of flicker gray level, the optimum flicker tends to decrease gradually and its corresponding  $V_{com}$  for TN mode products decreases gradually, while ADS mode products increases gradually. Secondly, the article studied The impact of  $V_{GH}$  and  $V_{GL}$  on flicker is studied, the results indicate that  $V_{GH}$  and  $V_{GL}$  have important impact on flicker. When flicker gray level is invariable, the  $V_{GH}$  increase will not affect the optimal flicker, but the corresponding  $V_{com}$  decreases gradually. While the  $V_{GL}$  increase the optimal flicker decreases gradually, but the corresponding  $V_{com}$  increases gradually. A quantitative analysis method is proposed for predicting flicker scales of different gray level and proved that it can be used to predict the flicker scale of

收稿日期:2019-08-07;修订日期:2019-09-18.

\* 通信联系人, E-mail: zhuhaipeng@boe.com.cn

different gray level, because the calculated flicker is consistent with measurement flicker value by FMA test method under VESA standard, and the linear correlation coefficients are above 0.95 for both TN mode and ADS mode products. These studies provide analytical methods and solutions for improving TFT-LCD flicker problem.

**Key words:** TFT-LCD; flicker;  $V_{com}$ ;  $V_{GH}$ ;  $V_{GL}$

## 1 引言

随着当今社会的发展,各行各业如电视、笔记本电脑、手机等智能终端对显示屏的依赖越来越重,人们对显示产品画面品质的要求也越来越高,因此品质优异的显示屏显得尤为重要。液晶显示屏(TFT-LCD)为当今社会最主流的显示产品,画面闪烁(Flicker)是衡量其显示品质的重要指标之一,如何降低甚至消除闪烁是业界研究人员一直追求的目标<sup>[1-4]</sup>。

液晶显示屏以交流电(直流会使液晶劣化)进行工作,工作时若正负帧像素电压与参考电压  $V_{com}$  的差值不完全对称,会引起正负帧像素电压绝对值不一致,从而导致正负帧画面亮度不同,因此呈现出闪烁现象<sup>[5-7]</sup>。目前,业内多以闪烁\_G127 画面来进行评价或改善闪烁,实际工作中普遍采用调节共电极电压  $V_{com}$  来改善正负帧电压对称性,从而达到改善闪烁目的。然而,不同灰阶闪烁水平不同,仅以闪烁\_G127 调节闪烁并不能将显示器调至最佳,目前业界还没有可预测不同灰阶闪烁水平的定量分析方法。另外,研究结果表明,随着  $V_{GH}$ 、 $V_{GL}$  的变化,最佳闪烁及其对应的最佳  $V_{com}$  也会跟着变化<sup>[8-10]</sup>。

本文针对闪烁发生机理,首先研究了  $V_{com}$  对闪烁的影响,结果表明随着  $V_{com}$  增加,闪烁先减小后增大。其次研究了不同灰阶最佳闪烁及对应  $V_{com}$  关系,结果表明常白模式产品闪烁灰阶增加时,最佳闪烁及对应  $V_{com}$  均呈减小趋势,而常黑模式产品闪烁灰阶增加时,最佳闪烁逐渐减小,但最佳闪烁对应  $V_{com}$  逐渐增加。再次,研究了  $V_{GH}$  对闪烁的影响,结果表明,随着  $V_{GH}$  增加,闪烁先减小后增大,同一画面最佳闪烁几乎保持不变,但不同  $V_{GH}$  最佳闪烁对应  $V_{com}$  呈逐渐减小趋势。最后,研究了  $V_{GL}$  对闪烁影响,结果表明随着  $V_{GL}$  增加,闪烁先减小后增大,且同一画面最佳闪烁也逐渐减小,但最佳  $V_{com}$  逐渐增大。另外,提出了一种

可以预测不同灰阶闪烁水平的分析方法。结果表明,该分析方法计算所得闪烁与 CA310(色彩分析仪)测试闪烁值趋势一致,常白模式与常黑模式产品计算值与实际测试值线性相关系数均达 0.95 以上,说明了该分析方法有一定的准确性,为定量分析不同灰阶闪烁水平提供了科学依据。

## 2 闪烁产生机理分析

### 2.1 $\Delta V_p$ 产生机理

决定 TFT 开关品质的一个重要因素是 TFT 栅极金属和源极金属之间的寄生电容  $C_{gs}$ ,一般把 TFT 连接像素电极的一侧设定为源极。由于 TFT 的开关接近瞬态,当栅极电压  $V_{gs}$  从高水平  $V_{GH}$  瞬间下降到低水平的  $V_{GL}$  时,  $V_{gs}$  的变化量  $\Delta V_{gs}$  被 TFT 寄生电容  $C_{gs}$  耦合到像素电极上,导致像素电压  $V_p$  跳变,跳变量为  $\Delta V_p$ ,由于  $\Delta V_p$  的存在,像素电压变为  $(V_p - \Delta V_p)$ 。

图 1(a)与图 1(b)分别为 TFT 关断前后瞬间的像素电极相关电压和电量的关系,其中,  $V_{g1}$  和  $V_{g2}$  分别对应像素上下相连的两根扫描线电压,  $V_{d1}$  和  $V_{d2}$  分别对应像素左右相连的两根数据线电压,  $C_{dp1}$  和  $C_{dp2}$  分别表示像素电极和左右相连两根数据线之间的耦合电容,  $C_{st}$  和  $C_{lc}$  分别表示存储电容和液晶电容<sup>[11-12]</sup>。由于 TFT 关断后,像素电极与周边是独立的,像素电极在充放电时间内接收的总电荷被保存起来。

TFT 关断瞬间的像素总电荷守恒,所以图 1(a)所示的总电荷和图 1(b)所示的总电荷相等:

$$Q_{st} + Q_{lc} + Q_{dp1} + Q_{dp2}, \quad (1)$$

$$Q'_{st} + Q'_{lc} + Q'_{dp1} + Q'_{dp2}. \quad (2)$$

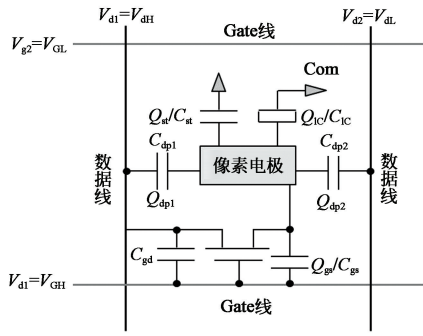
TFT 开启时, Gate 电压为  $V_{GH}$ , 各电容的电荷分布分别表示为:

$$Q_{st} = C_{st} (V_p - V_{GL}), \quad (3)$$

$$Q_{lc} = C_{lc} (V_p - V_{com}), \quad (4)$$

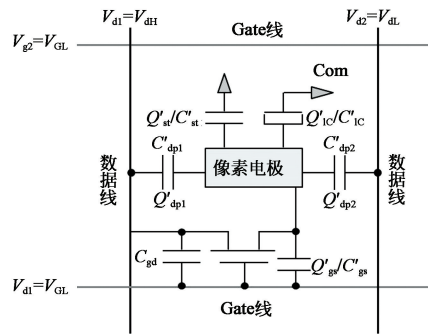
$$Q_{dp1} = C_{dp1} (V_p - V_{dH}), \quad (5)$$

$$Q_{dp2} = C_{dp2} (V_p - V_{dL}), \quad (6)$$



(a) TFT 关断前瞬间

(a) Moment before TFT turn-off



(b) TFT 关断后瞬间

(b) Moment after TFT turn-off

图 1 TFT 关断前后瞬间的像素电极相关电压和电量的关系

Fig.1 Relation ship between the voltage and power of pixel electrode before and after TFT turn-off

$$Q_{gs} = C_{gs} (V_p - V_{GH}) . \quad (7)$$

TFT 关闭时, Gate 电压为  $V_{GL}$ , 各电容电压分布分别表示为:

$$Q'_{st} = C_{st} (V'_p - V_{GL}) , \quad (8)$$

$$Q'_{lc} = C_{lc} (V'_p - V_{com}) , \quad (9)$$

$$Q'_{dp1} = C_{dp1} (V'_p - V_{dH}) , \quad (10)$$

$$Q'_{dp2} = C_{dp2} (V'_p - V_{dL}) , \quad (11)$$

$$Q'_{gs} = C_{gs} (V'_p - V_{GL}) . \quad (12)$$

将公式 (3) ~ (12) 带入公式 (1) 和公式 (2), 得:

$$\Delta V_p = \frac{C_{gs} (V_{GH} - V_{GL})}{C_{st} + C_{lc} + C_{dp1} + C_{dp2} + C_{gs}} , \quad (13)$$

上式中:  $C_{dp1} + C_{dp2}$  远小于  $C_{st} + C_{lc}$ , 实际计算时可忽略, 一旦产品设计生产完成  $C_{st}$  也为定值, 则变化量为  $C_{gs}$ 、 $C_{lc}$ 、 $V_{GH}$ 、 $V_{GL}$ , 本文后续研究工作基于  $C_{lc}$ 、 $V_{GH}$ 、 $V_{GL}$  以及  $V_{com}$  展开。

## 2.2 闪烁产生机理

LCD 以电压大小来控制液晶站起角度从而

来控制亮度, 且液晶以交流方式驱动, 如图 2 所示, 若  $V_{com}$  值未调好, 由于  $\Delta V_p$  的存在, 相当于在液晶层内施加直流电压, 则  $V_{p+} \neq V_{p-}$ , 导致正负帧亮度存在差异, 从而发生闪烁等现象, 进而缩短液晶寿命, 因此, 有抵消突变电压  $\Delta V_p$  的必要。为了抵消突变电压  $\Delta V_p$  那一部分, 把公共电压  $V_{com}$  变成变量 (可以调节)。

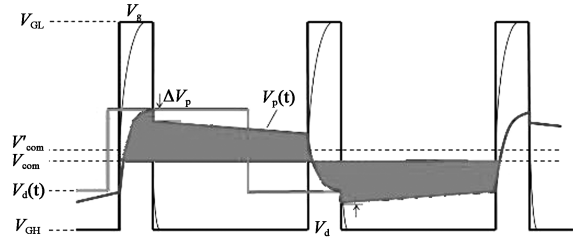


图 2 像素电压变化示意图

Fig.2 Diagram of pixel voltage change

## 2.3 闪烁评价方法

TFT-LCD 闪烁评价首先要根据产品驱动模式选择相应的闪烁画面, 如采用 1 Dot 或者 1+2 Dot, 显示画面同一帧只显示同一极性的像素, 这样可以保证正负帧像素极性相反, 使正负帧亮度差异最大。研究人员通常会选择人眼比较敏感的绿色画面和亮度变化较敏感的 L127 灰阶进行闪烁评价。

视频电子标准协会 VESA (Video Electronics Standards Association) 标准中闪烁测试方法一般有两种: JEITA 测试法和 FMA 测试法<sup>[13]</sup>。

JEITA 测试法是将显示屏的刷新频率调整到工作状态时的频率, 采用频谱仪和光电转换设备, 测试一帧内亮度随时间的变化曲线  $F(t)$ , 通过快速傅里叶变换, 将其转换为亮度随频率的变化曲线  $F(\omega)$ 。接着, 取与被测样品相同频率下的  $F(\omega)$ , 如取  $F_{60\text{Hz}}$  和直流下的  $F_{0\text{Hz}}$ , 再对  $F(\omega)/F_{0\text{Hz}}$  取对数, 结果即为闪烁值, 公式表达为

$$F(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k \Delta t) - j \omega k \Delta t \times \Delta t , \quad (14)$$

$$K_{\text{Flicker}} = 10 \lg \left[ \frac{F_{60\text{Hz}}}{F_{0\text{Hz}}} \right] (\text{dB}) . \quad (15)$$

FMA (Flicker Modulation Amplitude, FMA) 测试法的测试条件同 JEITA 法一样, 通过光电转换器将亮度转换为调幅的电信号, 读取电压波形最大值  $V_{\max}$  和最小值  $V_{\min}$ , 并定性认为 ( $V_{\max} -$

$V_{\min}$ )为交流成分,  $(V_{\max} + V_{\min})/2$  为直流成分, 则闪烁的表达式为

$$N_{\text{Flicker}}(\%) = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{(V_{\max} + V_{\min})/2} \times 100\% . \quad (16)$$

本文实验研究需要外灌  $V_{\text{com}}$ 、 $V_{\text{GH}}$ 、 $V_{\text{GL}}$ , 为方便操作, 本文采用 CA310 用 FMA 法测试闪烁值。

### 3 实 验

#### 3.1 样品与设备

试验样品: 14.0FHD TN(常白模式) 1 pcs、32HD ADS(常黑模式) 1 pcs;

实验设备: 台式电脑、精测点灯机、CA310、直流电源、数字万用表、电烙铁、导线若干。

#### 3.2 实验过程

本文所选样品包括常白模式和常黑模式产品。由于低灰阶时(如 Flicker\_G0、Flicker\_G4)亮度太低, CA310 无法采集到闪烁值, 本文实验研究均从 32 灰阶开始。

不同  $V_{\text{com}}$  对闪烁影响实验需要根据电路图将  $V_{\text{com}}$  外接直流电源, 利用电脑自动控制  $V_{\text{com}}$  值变化(Step 为 0.01 V), 并实时采集每个  $V_{\text{com}}$  对应的闪烁值, 根据测试结果可以找到闪烁与  $V_{\text{com}}$  对应关系, 通过测试不同灰阶闪烁与  $V_{\text{com}}$  关系曲线, 可以得到各灰阶最佳闪烁与对应  $V_{\text{com}}$  的关系。不同  $V_{\text{GH}}$ 、 $V_{\text{GL}}$  对闪烁影响实验, 需要将  $V_{\text{GH}}$ 、 $V_{\text{GL}}$  (Step 为 0.01 V) 分别外接直流电源, 进行单因子实验分析, 根据结果, 可以分别得出闪烁与  $V_{\text{GH}}$ 、 $V_{\text{GL}}$  对应关系。另外,  $V_{\text{GH}}$ 、 $V_{\text{GL}}$  调整时, 通过调节  $V_{\text{com}}$  使闪烁达到最佳, 可以得到不同  $V_{\text{GH}}$ 、 $V_{\text{GL}}$  对应最佳闪烁与  $V_{\text{com}}$  关系。

不同灰阶闪烁水平分析方法需要结合产品 V-T(电压-透过率)曲线及不同灰阶实际  $\Delta V_p$  进行计算, 计算结果与 CA310 实测闪烁值线性相关性分析结果可以验证分析方法的准确性。

### 4 实验结果与讨论

#### 4.1 $V_{\text{com}}$ 对闪烁影响

实验分别基于 14.0FHD TN 与 32HD ADS 两种不同显示模式产品, 分别将  $V_{\text{com}}$  外灌连接至

直流电源, 通过软件控制  $V_{\text{com}}$  变化并实时采集每个  $V_{\text{com}}$  下的闪烁值, 实验结果如图 3 所示。

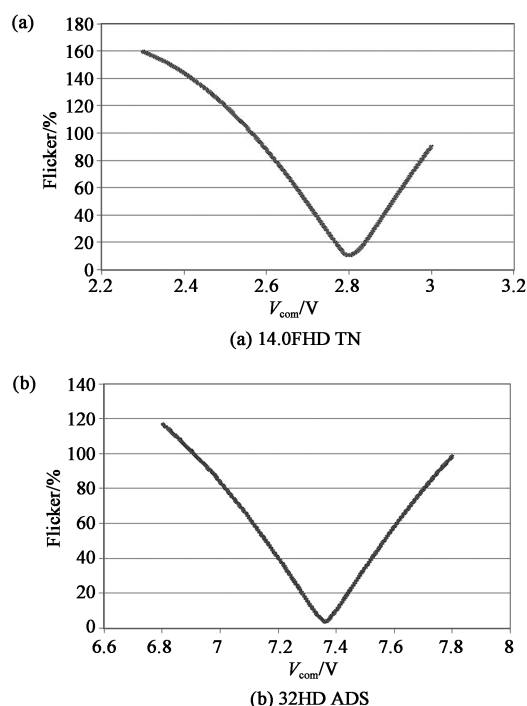


图 3 闪烁与  $V_{\text{com}}$  关系曲线

Fig.3 Flicker vs.  $V_{\text{com}}$

实验结果表明, 随着  $V_{\text{com}}$  的增加, 闪烁先减小后增大(呈“V”型关系)。这是因为随着  $V_{\text{com}}$  增加, 正负帧电压中心与  $V_{\text{com}}$  差值先减小后增大, 当正负帧电压中心与  $V_{\text{com}}$  差值最小时闪烁达到最佳(曲线最低点)。

#### 4.2 不同灰阶最佳闪烁与 $V_{\text{com}}$ 关系

实验分别测试了两种显示模式产品不同灰阶最佳闪烁随  $V_{\text{com}}$  变化关系, 结果如图 4 所示。实验结果表明, 常白模式产品随着灰阶升高最佳闪烁及对应  $V_{\text{com}}$  均逐渐减小, 而常黑模式产品最佳闪烁逐渐减小, 但对应  $V_{\text{com}}$  逐渐增加。

常白模式产品  $\Delta V_p$  随着灰阶增大逐渐增大( $V_{\text{com}}$  负移), 从而引起正负帧亮度差增大, 但画面平均亮度随灰阶增加也呈增加趋势(主要因素), 综合导致最佳闪烁减小; 而常黑模式产品灰阶增加时  $\Delta V_p$  逐渐减小( $V_{\text{com}}$  正移), 从而引起正负帧亮度差逐渐减小, 且由于画面平均亮度也呈增加趋势, 故最佳闪烁逐渐减小。

#### 4.3 $V_{\text{GH}}$ 对闪烁影响

实验中将  $V_{\text{GH}}$  电压外接至直流电源,  $V_{\text{GL}}$  与  $V_{\text{com}}$  保持不变, 分别测试常白模式及常黑模式产

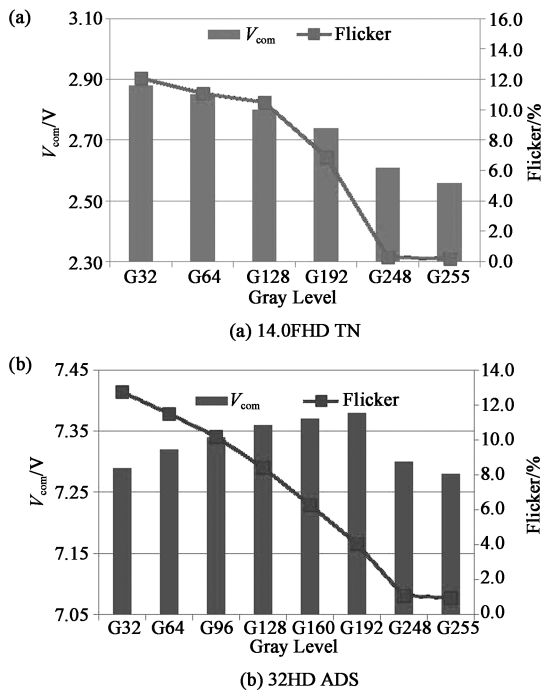


图 4 不同灰阶最佳闪烁及对应  $V_{com}$   
Fig.4 Optimum flicker and corresponding  $V_{com}$  with different gray level

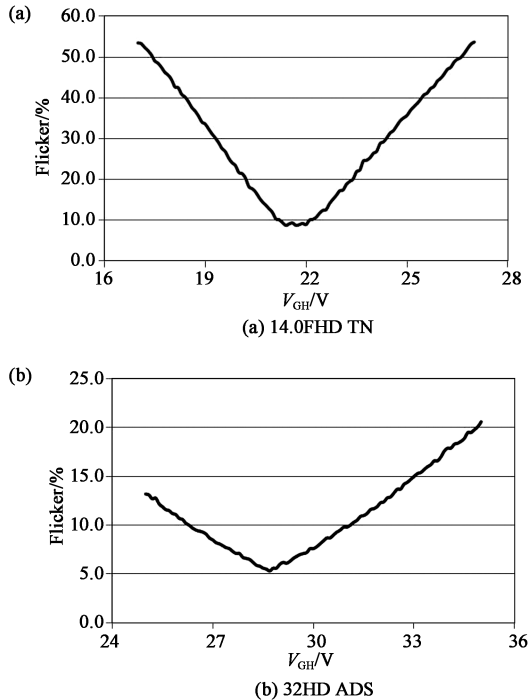


图 5 闪烁与  $V_{GH}$  关系曲线  
Fig.5 Flicker vs.  $V_{GH}$

品不同  $V_{GH}$  电压下的闪烁值,结果如图 5 所示,表明  $V_{GH}$  对闪烁有显著影响。分析原因为:第一阶

段,  $V_{GH}$  较低时,一方面  $\Delta V_p$  随  $V_{GH}$  增加而增大,另一方面  $V_{GH}$  较低时,像素未完全充满,正负帧亮度差较大(主要因素),随着  $V_{GH}$  增加,像素逐渐充满,正负帧亮度差减小,此阶段闪烁随  $V_{GH}$  增加而减小;第二阶段,  $V_{GH}$  增大到一定程度,像素已完全充满,此时  $\Delta V_p$  随着  $V_{GH}$  增加而增大,从而引起正负帧亮度差增大,即闪烁增大。

实验还研究了两种模式产品不同  $V_{GH}$  电压最佳闪烁及对应  $V_{com}$  关系,图 6 所示实验结果表明  $V_{GH}$  增加,最佳闪烁几乎不变,但对应  $V_{com}$  逐渐减小,故  $V_{GH}$  电压变化时,可以通过调节  $V_{com}$  使闪烁达到最佳。

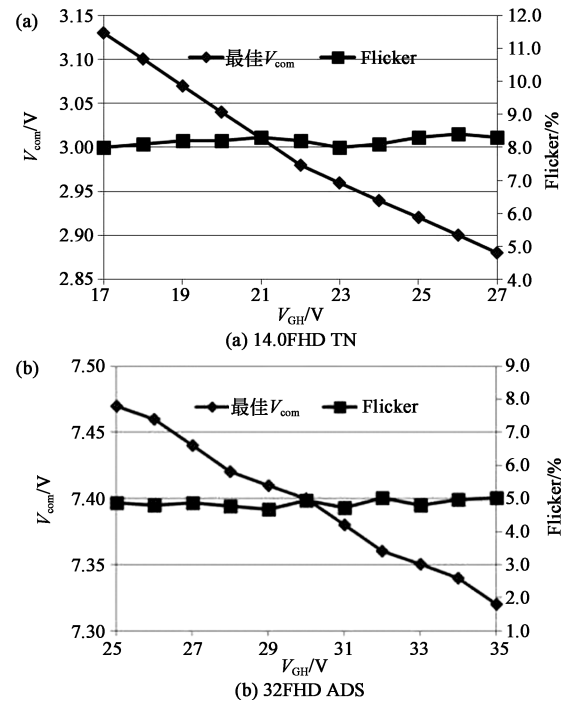


图 6 不同  $V_{GH}$  最佳闪烁及对应  $V_{com}$   
Fig.6 Optimum flicker and corresponding  $V_{com}$  with different  $V_{GH}$

#### 4.4 $V_{GL}$ 对 Flicker 影响

实验中将  $V_{GL}$  电压外接至直流电源,  $V_{GH}$  与  $V_{com}$  保持不变,分别测试常白模式及常黑模式产品不同  $V_{GL}$  电压下的闪烁值,结果如图 7 所示,表明  $V_{GL}$  对闪烁有显著影响。分析原因为:第一阶段,  $V_{GL}$  从  $-2$  V 逐渐减小至最低点(约  $-8$  V)时,虽然  $\Delta V_p$  逐渐增大,但此时 TFT 的  $I_{off}$  逐渐减小(主要因素),像素电压具有更好的保持特性,从而引起正负帧亮度差逐渐减小,即闪烁逐渐减小;第二阶段,  $V_{GL}$  继续减小,  $\Delta V_p$  及 TFT 的  $I_{off}$  均逐渐

增大,两者共同作用使正负帧亮度差逐渐增大,即闪烁逐渐增大。

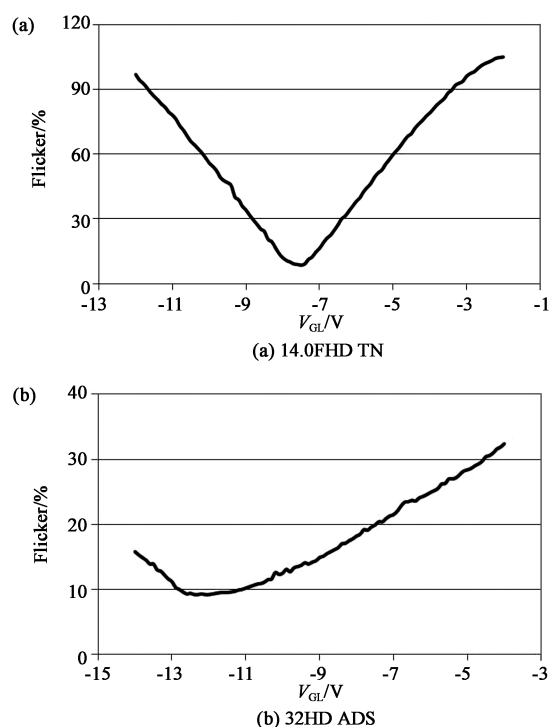


图 7 闪烁与  $V_{GL}$  关系曲线

Fig.7 Flicker vs.  $V_{GL}$  Curve

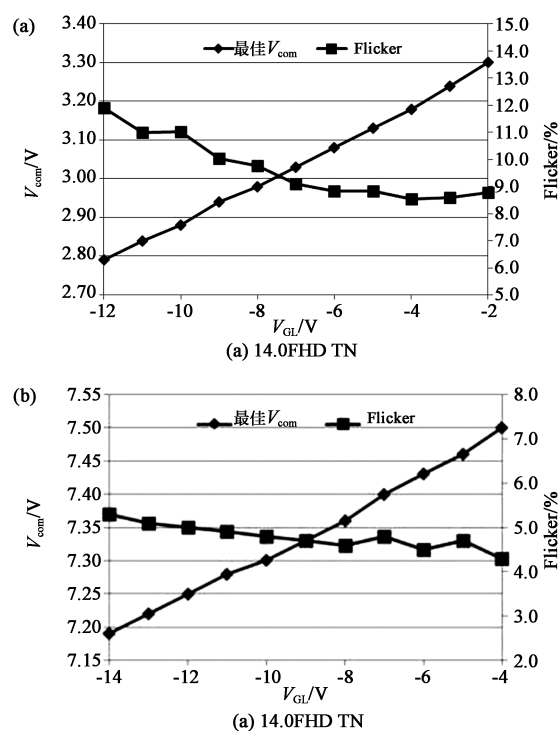


图 8 不同  $V_{GL}$  最佳闪烁及对应  $V_{com}$

Fig.8 Optimum flicker and corresponding  $V_{com}$  with different  $V_{GL}$

另外,本文还研究了两种模式产品不同  $V_{GL}$  电压最佳闪烁及对应  $V_{com}$  关系,实验结果如图 8 所示,表明随着  $V_{GL}$  的减小,两种显示模式产品最佳闪烁均呈逐渐增大趋势,但最佳闪烁对应  $V_{com}$  逐渐减小。分析原因为  $V_{GL}$  减小引起  $\Delta V_p$  增大,从而使最佳  $V_{com}$  负移;另外  $V_{GL}$  减小像素漏电流先减小后增加,漏电流的存在会使像素电压保持特性变差,从而使正负帧亮度差逐渐增大,即最佳闪烁逐渐增大。

## 5 闪烁分析方法

对单独的一个像素而言,理想的光学波形应该是一个 60 Hz 的波动形状,但实际的 TFT-LCD 存在  $V_{com}$  漂移、漏电流、电容耦合等原因的影响,引起两帧的像素电压不同,画面亮度明暗交替,导致实际的亮度波形为 30 Hz 的波形(对人眼而言,50 Hz 以下的波动容易识别),如图 9(a)所示,实线表示理想亮度波形,虚线表示实际亮度波形。为方便分析,可以用亮度均值表示正负帧亮度,示意图如图 9(b)所示,其亮度变化周期为 30 Hz。

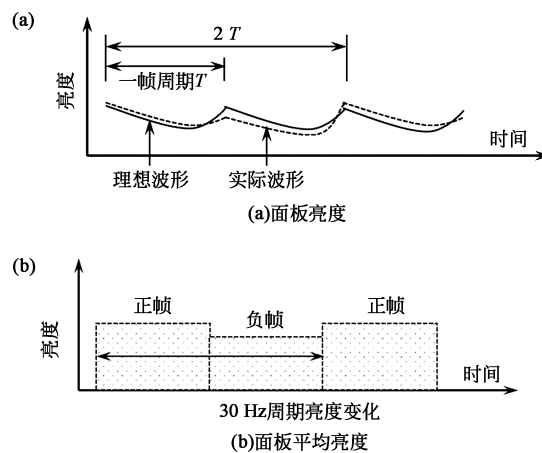


图 9 面板亮度波形

Fig.9 Brightness waveform of panel

如前所述,VESA 标准 FMA 测试法是用光电探测器采集到的电压波形最大值  $V_{max}$  和最小值  $V_{min}$  的差值与二者的均值作为闪烁值。电压波形最大值与最小值可以简单地理解为亮度最大值与最小值,即正帧与负帧亮度,则正负帧亮度差与正负帧亮度的平均值的比值即为该显示屏的闪烁,表达式如公式(17)所示。

$$\text{闪烁} = \frac{\text{ABS}(\text{Lum.}^+ - \text{Lum.}^-)}{(\text{Lum.}^+ + \text{Lum.}^-)/2} \times 100\% \quad (17)$$

### 5.1 电压-透过率曲线分析

由于闪烁是灰阶正负帧亮度差的直接反映,而正负帧亮度差与正负帧像素电压有关,故可通过分析电压-透过率(V-T)曲线,得到正负帧亮度与电压的关系,进而得到正负帧亮度差与电压的关系。

图 10 为常白模式与常黑模式 V-T 曲线,其中横轴为源极数据线电压(亦可看做像素电压),由外接直流电源提供给面板,纵轴为各电压下的归一化亮度(亮度最大值为 100%)。

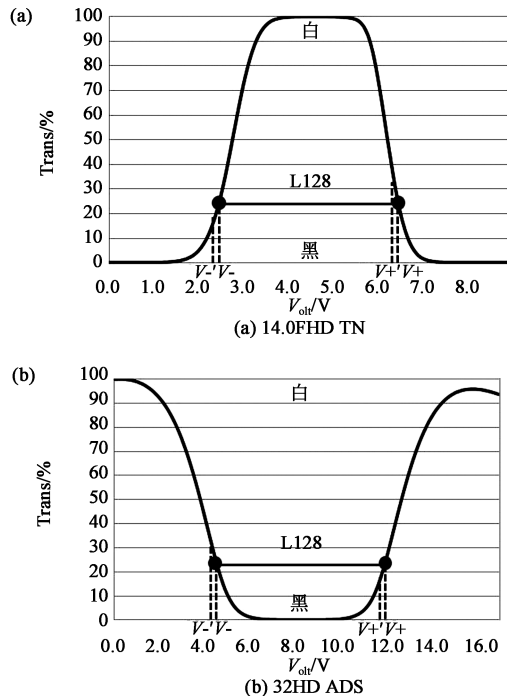


图 10 不同显示模式 V-T 曲线  
Fig.10 V-T curve with different display mode

分析各灰阶闪烁水平,需要从 Gamma 曲线上找出灰阶对应亮度百分比,根据亮度百分比在 V-T 曲线上找出正负帧对应电压  $V^+$  与  $V^-$ 。以 TN 模式产品为例,由于  $\Delta V_p$  的存在,实际的正负帧电压会负移,从而使正帧亮度增大负帧亮度减小,即正负帧亮度不再一致,亮度差的变化率即可表征闪烁水平。

### 5.2 不同灰阶 $\Delta V_p$ 分析

根据  $\Delta V_p$  计算公式,由于不同灰阶液晶翻转程度不一样,即不同灰阶液晶电容( $C_{lc}$ )不一样,故不

同灰阶  $\Delta V_p$  并不是一个定值。图 11 为常白模式和常黑模式透过率- $C_{lc}$  曲线。图中,横坐标均为源极电压,主要纵坐标轴表示归一化亮度,次要纵坐标轴表示各电压下的  $C_{lc}$ ,即各灰阶的  $C_{lc}$ 。由于常白模式的  $C_{lc}$  变化量远大于常黑模式  $C_{lc}$  变化量,故常白模式  $\Delta V_p$  变化量大于长黑模式  $\Delta V_p$  变化量。

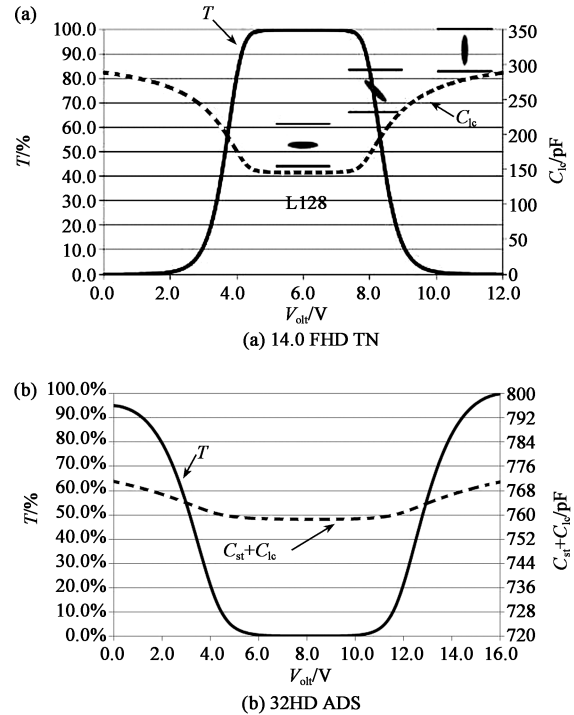


图 11 不同显示模式透过率与  $C_{lc}$  关系  
Fig.11 Relation between  $T$  and  $C_{lc}$  in different display mode

对于 TN 型产品,根据电容计算公式  $C = \epsilon_0 \epsilon S/d$ ,因为考虑的是同一个液晶电容体,  $\epsilon_0 S/d$  不变,可以看为常数。当  $\epsilon = \epsilon_{\perp}$  时液晶电容最小,此时显示亮态(L255);当  $\epsilon = \epsilon_{\parallel}$  时液晶电容最大,显示暗态(L0),即 TN 产品低灰阶到高灰阶变化时,液晶电容逐渐减小,结合  $\Delta V_p$  计算公式,可得  $\Delta V_p$  逐渐增大。而对于 ADS 型产品,  $C_{lc}$  是像素 ITO 与  $V_{com}$  ITO 之间的耦合电容,无法通过交叠面积计算直接得到,需要模拟获得(模拟得出  $C_{lc} + C_{st}$ ,减去  $C_{st}$  可以得到  $C_{lc}$ ),当液晶处于 ON (L255) 时,液晶电容最大  $C_{lcmax}$  ( $\epsilon = \epsilon_{\parallel}$ ),此时  $\Delta V_p$  最小;当液晶处于 OFF (L0) 时,液晶电容最小  $C_{lcmin}$  ( $\epsilon = \epsilon_{\perp}$ ),此时  $\Delta V_p$  最大,即常黑模式低灰阶到高灰阶变化时  $\Delta V_p$  逐渐减小。

### 5.3 闪烁分析方法

根据前述分析结果,由于  $\Delta V_p$  的存在,实际工作

时会对  $V_{\text{com}}$  进行补偿,为方便后续计算,假设补偿量为  $\Delta V_{\text{p min}}$ ,则闪烁可用公式(18)表征:

$$N_{\text{Flicker}}(\%) = \alpha \Delta L(\%) = \alpha \frac{(\Delta L^- + \Delta L^+)}{L} 100\% . \quad (18)$$

计算步骤为:

(1) 求出不同灰阶实际  $\Delta V_{\text{pl}}$  相对  $\Delta V_{\text{p min}}$  变化量  $\Omega_1$ ;

(2) 根据  $V$ - $T$  曲线找出正负帧灰阶电压  $V^+$ 、 $V^-$ ;

(3) 根据  $\Omega_1$  在  $V$ - $T$  曲线上找出  $V^{-'}$ 、 $V^{+'}$ ;

(4) 在  $V$ - $T$  上找出  $\Delta L^+$ 、 $\Delta L^-$ ,并求出  $\Delta L(\%)$ 。

其中: $\Delta V_{\text{pl}}$  为某灰阶实际  $\Delta V_{\text{p}}$ ,  $\Delta V_{\text{p min}}$  为  $\Delta V_{\text{p}}$  最小值,  $\Omega_1 = \Delta V_{\text{pl}} - \Delta V_{\text{p min}}$ ;  $V^+$ 、 $V^-$  分别为灰阶对应  $V$ - $T$  曲线上正负帧电压;  $V^{+'} = V^+ - \Omega_1$ ,  $V^{-'} = V^- - \Omega_1$ , 分别为正负帧实际电压;  $\Delta L^+$ 、 $\Delta L^-$  分别为  $V$ - $T$  曲线上透过率变化量;  $L$  为灰阶对应  $V$ - $T$  曲线上透过率;  $\alpha$  为修正因子。

根据上述分析步骤,得到 TN 型产品亮度变化量计算结果如表 1 所示。从表 1 可知,低灰阶到高灰阶变化时,  $\Delta L(\%)$  逐渐减小,实测闪烁值也逐渐减小,二者规律一致。

表 1 常白模式正负帧亮度变化量计算结果

Tab.1 Calculate results of brightness variation of positive and negative frames of TN mode

| Item                     | L64    | L128   | L160   | L192   | L248  |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| $V^-/V$                  | 1.785  | 2.275  | 2.462  | 2.689  | 3.473 |
| $V^+/V$                  | 6.736  | 6.340  | 6.198  | 6.028  | 5.499 |
| $\Delta V_{\text{pl}}/V$ | 1.822  | 1.967  | 2.024  | 2.075  | 2.155 |
| $\Omega_1/V$             | 0.392  | 0.537  | 0.594  | 0.645  | 0.725 |
| $V^{-'}/V$               | 1.394  | 1.739  | 1.868  | 2.044  | 2.748 |
| $V^{+'}/V$               | 6.345  | 5.803  | 5.604  | 5.383  | 4.774 |
| $\Delta L^-/\%$          | 4.14   | 19.31  | 30.53  | 45.66  | 34.28 |
| $\Delta L^+/\%$          | 18.48  | 57.82  | 56.69  | 41.81  | 2.19  |
| $\Delta L/\%$            | 321.04 | 275.42 | 194.15 | 135.90 | 23.34 |
| 实测值/ $\%$                | 11.1   | 10.5   | 8.4    | 6.2    | 0.3   |

将计算结果  $\Delta L(\%)$  与实测闪烁值进行相关性分析,结果如图 12 所示。计算结果实测值变化趋势一致,且线性相关系数达 0.95 以上,说明了该分析方法具有较高的准确性。

同理,得到 ADS 型产品亮度变化量结果如表 2 所示,  $\Delta L(\%)$  计算结果与测试闪烁值均随灰阶

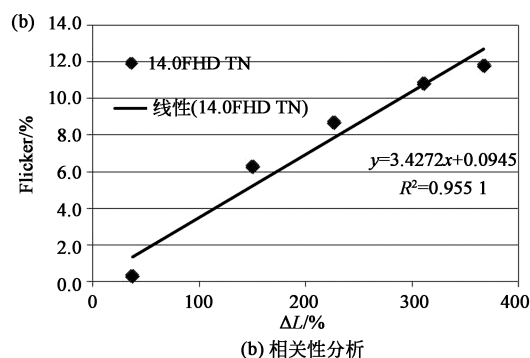
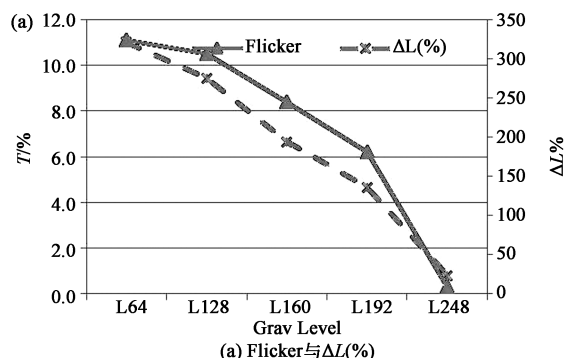


图 12 常白模式计算结果与实测值分析

Fig.12 Analysis of calculation results and measured values of TN mode

增加而减小。

将  $\Delta L(\%)$  计算结果与实测闪烁值进行相

表 2 常黑模式正负帧亮度变化量计算结果

Tab.2 Calculate results of brightness variation of positive and negative frames of ADS mode

| Item              | L32     | L64     | L128    | L160    | L192    | L248    |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $V^-/V$           | 5.627   | 4.986   | 4.210   | 3.810   | 3.306   | 1.265   |
| $V^+/V$           | 10.029  | 10.653  | 11.422  | 11.822  | 12.326  | 14.495  |
| $\Delta V_{pl}/V$ | 1.004   | 1.003   | 0.997   | 0.995   | 0.993   | 0.989   |
| $\Omega_l/V$      | 0.014 9 | 0.014 0 | 0.008 5 | 0.006 3 | 0.004 2 | 0.000 5 |
| $V^{-\prime}/V$   | 5.612   | 4.972   | 4.202   | 3.804   | 3.301   | 1.264   |
| $V^{+\prime}/V$   | 10.014  | 10.639  | 11.413  | 11.816  | 12.322  | 14.495  |
| $\Delta L^-/\%$   | 0.05    | 0.18    | 0.47    | 0.45    | 0.28    | 0.08    |
| $\Delta L^+/\%$   | 0.05    | 0.18    | 0.49    | 0.43    | 0.28    | 0.09    |
| $\Delta L/\%$     | 7.98    | 6.74    | 4.07    | 2.26    | 0.96    | 0.18    |
| 实测值/%             | 12.7    | 11.5    | 8.4     | 6.3     | 4.1     | 0.8     |

关性分析,结果如图 13 所示。计算结果与实测值变化趋势一致,且线性相关系数达 0.95 以上,再次验证了该分析方法的准确性。说明此方法可以用来表征不同灰阶闪烁水平。

6 结 论

本文结合  $\Delta V_p$  及闪烁产生机理,首先研究了  $V_{com}$  对闪烁影响,结果如下:闪烁随  $V_{com}$  增加先减小后增大,且常黑模式产品随着闪烁灰阶增加最佳闪烁逐渐减小,但对应  $V_{com}$  逐渐增加,而常白模式产品随着闪烁灰阶增加最佳闪烁及其对应  $V_{com}$  均呈下降趋势;其次,实验研究了  $V_{GH}$  对闪烁影响,结果如下:闪烁随  $V_{GH}$  增加先减小后增大,且最佳闪烁不随  $V_{GH}$  增加而变化,但对应  $V_{com}$  随  $V_{GH}$  增加呈减小趋势;再次,研究了  $V_{GL}$  对闪烁影响,实验结果如下:闪烁随  $V_{GL}$  增加先减小后增大,且最佳闪烁随  $V_{GL}$  增加逐渐减小,但其对应  $V_{com}$  逐渐增大;最后,提出了一种可以预测不同灰阶闪烁水平的定量分析方法,分别对常白模式和常黑模式产品进行了分析计算,并将计算结果与 VESA 标准下 FMA 测试法闪烁实测值进行相关性分析,结果表明计算所得闪烁值与实测闪烁值相关性系数均达 0.95 以上,证明了分析方法的可行性与正确性,为预测产品不同灰阶闪烁水平提供了分析思路。

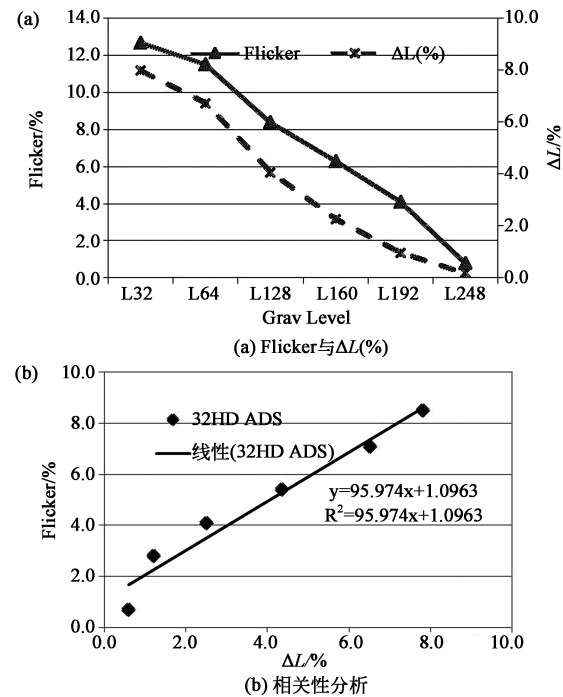


图 13 常黑模式计算结果与实测值分析  
Fig.13 Analysis of calculation results and measured values of ADS mode

## 参 考 文 献:

- [1] 邵喜斌.TFT-LCD产业与技术进展[J].新材料产业,2009(1):32-35.  
SHAO X B. TFT-LCD industry and technology progress [J]. *Advanced Materials Industry*, 2009(1): 32-35. (in Chinese)
- [2] SONM S, YOO K H, JANG J. Electrical simulation of the flicker in poly-Si TFT-LCD pixels for the large-area and high-quality TFT-LCD development and manufacturing [J]. *Solid-State Electronics*, 2004, 48(12): 2307-2313.
- [3] 田民波,叶锋.TFT液晶显示原理与技术[M].北京:科学出版社,2010:34-37.  
TIAN M B, YE F. *The Principle and Technology of TFT Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: The Science Publishing Company, 2010: 34-37. (in Chinese)
- [4] LI C, YAN T, WANG L L. Investigation of flicker visibility in impulse type display [J]. *Proceedings of Asia Display*, 2007(1): 264-267.
- [5] TAE H K, SOON S J, JAE W P, *et al.* Simulations of crosstalk and flicker in TFT-LCDs [J]. *Journal of the Korean Physical Society*, 2001, 39(1): 67-71.
- [6] 林鸿涛,王明超,姚之晓,等.TFT-LCD中画面闪烁的机理研究[J].液晶与显示,2013,28(4):567-571.  
LIN H T, WANG M C, YAO Z X, *et al.* Mechanism research about flicker in TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(4): 567-571. (in Chinese)
- [7] 张怀平.LCD液晶显示器画面闪烁解决方法探讨[J].电子技术与软件工程,2016(8):119.  
ZHANG H P. Discussion about flicker on the solution of LCD Screen [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2016(8): 119. (in Chinese)
- [8] 王明超,姚之晓,刘家荣,等.TFT-LCD中 $I_{\text{off-p}}$ 与画面闪烁关系的研究[J].液晶与显示,2013,28(2):215-219.  
WANG M C, YAO Z X, LIU J R, *et al.* Relationship between flicker and  $I_{\text{off-p}}$  in TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(2): 215-219. (in Chinese)
- [9] 冯兰,侯清娜,王峥,等.影响ADS面板闪烁漂移的因素研究[J].液晶与显示,2015,30(5):807-812.  
FENG L, HOU Q N, WANG Z, *et al.* Influence factors on flicker shift for ADS LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(5): 807-812. (in Chinese)
- [10] 姚之晓,王超明,林鸿涛,等.TFT漏电流对闪烁影响及测试方法研究[J].现代显示,2012(10):32-36.  
YAO Z X, WANG C M, LIN H T, *et al.* Experiments of TFT photo-leakage current impact on flicker [J]. *Advanced Display*, 2012(10): 32-36. (in Chinese)
- [11] 马群刚.TFT-LCD原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011.  
MA Q G. *The Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [12] 戴亚翔.TFT-LCD面板的驱动与设计[M].台北:五南图书出版股份有限公司,2006.  
DAI Y X. *Design and Operation of TFT-LCD Panels* [M]. Taipei, China: Wunan Book Publishing House, 2006. (in Chinese)
- [13] 廖燕平,宋勇志,邵喜斌,等.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.  
LIAO Y P, SONG Y Z, SHAO X B, *et al.* *Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016. (in Chinese)

## 作者简介:



朱海鹏(1989—),男,河南新乡人,硕士,高级工程师,2015年于重庆大学获得硕士学位,主要从事TFT-LCD面板产品评价相关工作。E-mail:zhuhaipeng@boe.com.cn