文章编号：1007-2780(2026)08-1111-07

环境光对液晶显示器显示效果的影响

刘海鹏*，肖俊莹，汪建明，曲莹莹，陈东川，周　双，王闰企，邵喜斌
（北京京东方显示技术有限公司，北京 100176）

摘要：环境光是导致液晶显示器实际观看体验下降的关键因素。为克服传统对比度（Contrast Ratio，CR）评价指标的局限性，本研究从环境光对比度（Ambient Contrast Ratio，ACR）出发，旨在更准确评估显示器在真实环境中的性能，并厘清其核心影响因素及优化路径。在标准环境光条件下，对 6 款不同技术类型的显示面板进行 ACR 测量，结合其原生 CR、反射率（Reflectance，R）等参数，系统分析各因素对 ACR 的影响机制，并通过测试 3 款具有局部调光（Local Dimming，LD）功能的显示面板进一步探讨 LD 技术对 ACR 的提升效果与适用局限。实验结果表明，在 100 lx 环境光照下，反射率（R）是影响 ACR 的主导因素。LD 技术的应用使暗态亮度（L_0）大幅降低并趋近于零，导致 CR 对 ACR 的贡献显著减弱。ACR 转而主要取决于峰值亮度（L_{255}）和反射率，提升 ACR 需重点关注提高峰值亮度和降低反射率。ACR 是较 CR 更全面、科学的综合性能评价指标。改善环境光下显示效果的关键在于优化 ACR，而非单一追求高 CR 值。应优先将屏幕反射率降至 1.5% 以下，并协同优化 LD 算法与提升峰值亮度，从而有效增强用户在真实环境中的视觉体验。

关　键　词：环境光对比度；液晶显示器；显示性能；反射率；局部调光；峰值亮度
中图分类号：TN27　**文献标识码：**A　**doi：**10.3724/CJLCD.2026-0094　**CSTR：**32172.14.CJLCD.2026-0094

Analysis of ambient light effects on liquid crystal display visual performance

LIU Haipeng*, XIAO Junying, WANG Jianming, QU Yingying, CHEN Dongchuan, ZHOU Shuang, WANG Runqi, SHAO Xibin

(*Beijing BOE Display Technology Co. Ltd.*, *Beijing* 100176, *China*)

Abstract: Ambient light is a key factor leading to the degradation of the actual viewing experience of liquid crystal displays(LCDs). To overcome the limitations of the traditional Contrast Ratio(CR) evaluation metric, this study introduces the Ambient Contrast Ratio(ACR), aiming to more accurately assess display performance in real-world environments and to clarify its core influencing factors and optimization pathways. Under standard ambient light conditions, the ACR of six display panels utilizing different technologies was measured. By combining parameters such as native CR and reflectance(R), the influence mechanisms of various factors on ACR were systematically analyzed. Furthermore, the enhancement effect and practical limitations of Local Dimming technology on ACR were investigated through testing on three display panels equipped with this feature. Experimental results demonstrate that under 100 lx ambient illumination, reflectance (R) is the dominant factor affecting ACR. The application of Local Dimming technology significantly reduces the black-level luminance (L_0) to near zero, markedly diminishing

收稿日期：2026-05-26；**修订日期：**2026-07-08.
*通信联系人，E-mail：liuhaipeng@boe.com.cn

the contribution of CR to ACR. Consequently, ACR becomes primarily determined by peak brightness (L_{255}) and reflectance, indicating that improving ACR requires a focused effort on increasing peak brightness and reducing reflectance. ACR is a more comprehensive and scientific performance evaluation metric than CR. The key to enhancing display quality under ambient light lies in optimizing ACR, rather than solely pursuing a high CR value. Priority should be given to reducing screen reflectance to below 1.5%, coupled with the synergistic optimization of Local Dimming algorithms and an increase in peak brightness, to effectively enhance the user's visual experience in real-world settings.

Key words: ambient contrast ratio; liquid crystal display; display performance; reflectance; local dimming; peak brightness

1 引 言

近年来,显示技术的快速发展使得电视的对比度(Contrast Ratio, CR)达到了前所未有的水平,部分产品甚至能够实现5 000∶1以上的高对比度[1-4]。然而,在实际使用场景中,环境光的存在对显示效果产生了显著影响。尽管高对比度在实验室条件下表现出色,但在有环境光的室内环境中,CR5 000∶1与CR2 000∶1的显示效果差异并不明显。这一现象表明,单纯依赖CR来评估显示效果在实际应用中存在局限性。

为了更准确地评估环境光下的显示效果,本文基于环境光对比度(Ambient Contrast Ratio, ACR)进行研究分析。ACR不仅考虑了显示设备本身的亮度范围,还纳入了环境光的影响,从而更全面地反映了实际观看条件下的显示质量。通过对ACR的分析,本文发现反射率和峰值亮度(L_{255})是影响ACR的关键因素。此外,局部调光(Local Dimming, LD)技术通过动态调节背光亮度,能够有效提升ACR,从而显著改善显示效果。

本文主要探讨了环境光对对比度的影响,并基于ACR进行研究,分析ACR的主要影响因子;接着,探讨LD技术对ACR的提升作用;最后,从消费者实际体验出发,分析公式变化及提升ACR的方向。结合研究结果,提出了在实际使用场景中提升电视显示效果的建议。尽管验证实验主要基于电视产品,但ACR模型中的核心参数(R、L_{255}、L_0及LD)是各类液晶显示产品(如商用显示、车载显示等)的共性要素,本研究的优化框架对液晶显示技术具有普适性参考价值。本研究可为显示技术的进一步优化提供理论支持和实践指导[5-12]。

2 环境光对比度的概念及意义

对比度(CR)是显示器核心性能指标,定义为显示设备在峰值亮度(L_{255})与暗态亮度(L_0)的比值:

$$\mathrm{CR}=\frac{L_{255}}{L_0}. \tag{1}$$

在现代显示技术中,CR是衡量显示效果的核心指标之一。在理想条件下(如暗室环境),高对比度能够显著提升图像的层次感和细节表现力,尤其在显示暗场景时,低亮度(L_0)的表现尤为重要。然而,在实际使用场景中,环境光的存在会显著影响显示效果,使得单纯依赖CR来评估显示质量的局限性逐渐显现。

当环境光照射到屏幕表面时,屏幕会反射部分环境光,导致实际观看时的最小亮度(L_0)显著增加。此时,显示设备的有效对比度会大幅降低。所以,环境光对显示效果的影响不可忽视,传统的CR指标在实际应用中无法全面反映显示设备的真实表现。

为了更准确地评估环境光下的显示效果,本文基于ACR进行分析。ACR不仅考虑了显示设备本身的亮度范围,还纳入了环境光的影响。ACR定义如式(2)所示:

$$\mathrm{ACR}=\frac{(R\times E)/\pi+L_{255}}{(R\times E)/\pi+L_0}, \tag{2}$$

其中:R为屏幕的反射率(Reflectance),E为环境光照度(Ambient Illuminance),本文采用IEC 62977-2-2:2020标准定义的环境光对比度模型7。值得指出的是,除该国际标准外,国内外多个标准化组织已针对不同应用场景制定了ACR评测规范:国内方面,中国电子视像行业协会发布的

T/CVIA 150-2024《超高清晰度电视机环境光变化条件下显示性能测试方法》及《环境光下平板电视图像质量分级技术规范》，首次将电视机对比度评价从传统暗室CR升级为ACR；国际方面，ISO 15008与SAE J1757/1等标准针对车载显示场景，明确了ACR作为环境光可读性关键指标的地位。上述标准在测试照度条件、反射率阈值等方面存在差异，反映了不同应用场景对ACR评测的差异化需求。

3　环境光对比度的影响因素分析

3.1　不同显示面板参数实测分析

基于《建筑照明设计标准》GB/T 50034-2024中住宅照度范围（100～300 lx），本研究选取100 lx作为典型环境光照度测试条件，对6款主流电视显示面板（覆盖ADS Pro、VA、IPS等技术）在100 lx环境光下进行ACR与CR测试，关键参数如表1所示。

表1　6种产品的对比度相关参数

Tab. 1　Contrast-related parameters for 6 products

产品编号	技术类型	CR	ACR	R/%	纯白画面亮度/（cd·m^{-2}）
1	ADS Pro	2 000∶1	822∶1	1.2	580
2	VA	3 000∶1	588∶1	1.7	520
3	ADS Pro	2 000∶1	489∶1	2.5	550
4	ADS	1 200∶1	308∶1	5.0	480
5	VA	5 000∶1	232∶1	5.8	610
6	IPS	1 200∶1	122∶1	6.5	430

从表1可以发现，CR的高低与ACR的高低并无明显的线性关系，因为环境光的作用，ACR相较于CR大幅下降，CR较高的产品在环境光的影响下，ACR并无优势，说明环境光对液晶电视的显示效果影响较大。

3.2　ACR随环境光照度的动态响应

为了更直观地展示环境光对显示效果的影响，本文将表1中6种电视面板在不同环境光照度下的ACR变化绘制成曲线图，如图1所示。

从图中可以观察到，6种不同显示面板的ACR值在环境光为零时，ACR值与CR相同；随着环境光逐渐增大，各产品的ACR迅速下降。在环境光0～100 lx之间，曲线交叉之后，后续各产品的

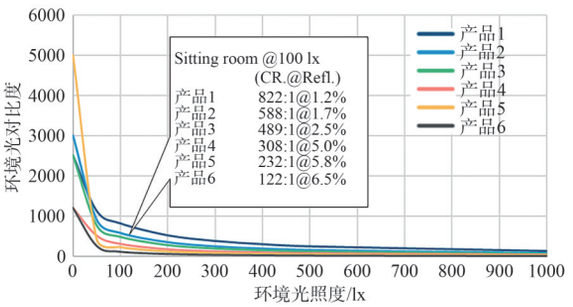


图1　6种产品在不同环境光照度下的ACR变化曲线

Fig. 1　ACR curves of 6 products under different ambient light illuminance

ACR高低排序不再随环境光光照增强而发生变化，说明在常见的100 lx以上照度下，不同产品的ACR优劣排序不会因照度变化而发生变化，各照度点下的结论与100 lx处定性一致，故以100 lx为典型照度的测试结论可合理推广至较宽的环境光照度范围（如80～1 000 lx）。图1中可以发现，产品1～3在多数环境光照度下表现出较高的ACR值，这意味着它们在环境光干扰下能够保持相对较好的对比度性能，显示效果受环境光照度变化的影响较小。相比之下，产品4～6的ACR值较低，表明它们在相同环境光条件下对比度劣化更为严重，显示效果更容易受到环境光的影响。此外，图中还标注了各显示技术的CR信息，结合ACR数据可以看出，单纯的高CR并不能保证在环境光下有良好的显示效果，进一步强调了ACR作为评估环境光下显示性能指标的重要性。总体而言，图1为深入理解不同显示技术在环境光下的性能表现提供了直观的数据支持，有助于指导显示技术的优化和实际应用中显示效果的提升。

3.3　CR与反射率对ACR的耦合效应

由环境光对比度公式（2）可发现，影响ACR大小的因素除了环境光照度外，面板的R、L_{255}及L_0均是影响因素。为探究环境光照条件下各显示参数对实际显示效果的影响，本研究基于6款不同反射率产品的实测数据，绘制了在100 lx环境光照下ACR随CR变化的关系曲线（图2）。通过系统分析，揭示了R与CR对ACR的不同影响机制。

如图2显示，不同反射率产品的ACR-CR曲线呈现明显分层特征：R越低，曲线位置越高。具体而言，反射率为1.2%的产品1（CR=2 000∶1）的ACR达到822∶1，而反射率为6.5%的产品

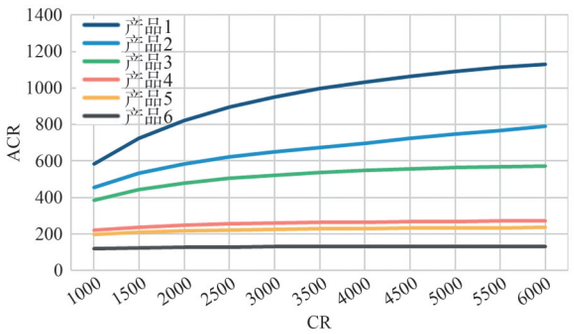


图 2 6种面板CR与ACR的关系曲线

Fig. 2 Relationship curves between CR and ACR for 6 panel types

6(CR=1 200∶1)的ACR仅为122∶1。值得注意的是,尽管产品5具有高达5 000∶1的CR,因其反射率较高(5.8%),其ACR仅为232∶1,远低于低反射率产品。

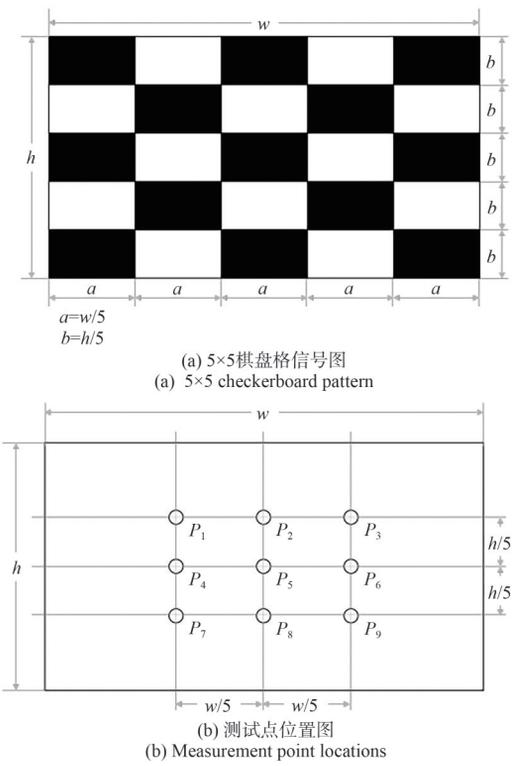
分析结果表明,CR提升对ACR改善的贡献存在明显的边际效应递减现象。当反射率较高(R>3%)时,即使大幅提升CR(如从1 200∶1增至5 000∶1),ACR增益很小;而反射率较低(R<2%)时,相同的CR提升可大幅改善ACR。

以上数据结果揭示了传统显示参数评价体系在环境光场景下的局限性,显示技术的发展方向应从追求实验室理想条件下的高参数,转向优化实际使用环境下的视觉体验。提升环境光下显示效果的关键在于降低反射率,应通过抗反射涂层、表面微结构优化等手段将其控制在2%以下。相比之下,在有环境光的情况下继续追求极高的CR对改善实际观看体验的贡献较为有限,反射率成为影响ACR的主导因素。

3.4 LD对ACR的影响

局部调光(LD)技术[13-15]通过动态控制Mini LED背光分区亮度,将显示黑场区域的背光近乎完全关闭,从而显著抑制了背光亮度泄漏,降低了实际黑场亮度(L_0)。为量化其效果,本研究选取3款不同分区数的Mini LED背光产品(分区数分别为1 008、2 880及4 224区)进行测试,测试采用标准5×5棋盘格信号,测量点位于黑白相间的中心区域,如图3所示,测试结果如表2所示。

其中,整机①为1 008分区,整机②为2 880分区,整机③为4 224分区。结果表明,开启LD功能后,由于背光分区关闭效应,棋盘格黑块中心的L_0亮度可降低50%左右,部分高端机型在特定区域甚至可实现接近0 cd/m²的极黑显示,L_0的大幅降低直接导致ACR值的显著提升。本研究中,开启LD后,产品ACR普遍提升1.5~2.5倍,充分验证了该技术对于改善环境光下对比度的有效性。



(a) 5×5棋盘格信号图
(a) 5×5 checkerboard pattern

(b) 测试点位置图
(b) Measurement point locations

图 3 测试方法示意图

Fig. 3 Schematic of the measurement method

表 2 3款Mini LED背光产品LD开启前后的ACR相关参数

Tab. 2 ACR-related parameters of three Mini LED backlight products with and without LD

	ITEM	LD Off	LD低档	LD中档	LD高档
整机①	L_{255}/(cd·m^{-2})	752.02	831.32	843.46	885.4
	L_0/(cd·m^{-2})	0.396	0.181	0.195	0.209
	LD比例	100%	45.7%	49.2%	52.8%
整机②	L_{255}/(cd·m^{-2})	354.2	353.77	348.29	348.74
	L_0/(cd·m^{-2})	0.229 2	0.110 4	0.105	0.103 8
	LD比例	100%	48.2%	45.8%	45.3%
整机③	L_{255}/(cd·m^{-2})	614.67	765.85	768.5	772.86
	L_0/(cd·m^{-2})	0.375	0.237 1	0.235 7	0.236 6
	LD比例	100%	63.2%	62.9%	63.1%

3.5 从标准化测试到实际观看体验:LD的局限与再认识

尽管标准化测试方法(如棋盘格信号)证明

了LD在降低L_0方面的卓越性能，但测试结果与消费者的实际观影体验之间存在差距：首先，棋盘格测试模式与真实观看内容存在显著差异，消费者观看画面为丰富多彩的多元画面，而非单一标准的黑白相间画面；其次，消费者实际体验注重整体画面质量而非局部参数指标。

从消费者的角度出发，搭载LD的产品，可以认为$L_0 \approx 0$。诚然，LD在显示复杂内容（如星空、字幕等）时，可能产生光晕（Halo Effect）[16-20]，反而影响整体体验。光晕效应源于背光分区的空间分辨率限制：在明暗交界处，相邻亮区背光通过点扩散函数（Point Spread Function，PSF）泄漏至暗区，形成亮度梯度。光晕的感知程度与分区数（越高则光晕越小）、屏幕尺寸（越大则光晕越明显）、观看距离（越远则光晕越不敏感）及调光算法密切相关。因此，提升分区数并优化算法是抑制光晕的有效途径[21-23]。从ACR公式的角度出发，当加入LD功能后，公式会发生变化：

$$\mathrm{ACR}=\frac{(R\times E)/\pi+L_{255}}{(R\times E)/\pi+L_0}=1+\frac{\pi\times L_{255}}{R\times E}. \quad (3)$$

此时，在环境光一定的情况下，从消费者的实际体验出发，ACR的影响因素完全由R和L_{255}决定，CR失去对ACR的贡献，此时提升ACR变为降低R和提升L_{255}。

4　与已有研究的对比分析

4.1　与Mini-LED/OLED对比度研究的对比

朋朝明等人[24]发现，环境对比度与人眼感知对比度并不完全相符，主观感知实验表明，Mini LED电视在等环境对比度条件下被认为效果更好，这可能与更高亮度有关。该研究揭示了亮度对主观体验的加成效应。而本研究聚焦于ACR的参数化分析，从R、L_{255}和L_0等物理层面量化环境光的干扰机制，揭示了反射率的支配性作用。两项研究相互补充，共同构成“客观参数＋主观感知”相结合的评价框架。

4.2　与低反射ACR显示技术研究的对比

Kawahira等人[25]通过实验证实，抑制反射率是提升环境光下显示能见度的最有效途径，并通过工艺优化将反射率降至0.53%。本研究从模型推导角度为此提供了定量解释：当LD将L_0抑制至趋近于零时，ACR公式变化为公式（3），R直接决定分母大小，其变化对ACR产生显著影响。理论模型与工程实践相互印证，为超低反射技术的必要性提供了数学层面的理论支撑。

5　结　　论

本研究通过理论推导与实验验证，系统分析了ACR的主要影响因素的权重。在使用LD技术的情况下，R和L_{255}共同决定了ACR的大小。这为将来的液晶显示技术持续优化提供了理论指导。为实现更高的ACR，首要应持续开发超低反射率、高透过率的先进光学膜层与涂层技术，即从根源上减弱环境光的影响，又不增加功耗；其次需要适度提升屏幕的L_{255}输出能力，平衡功耗与显示效果；同时优化LD算法，提升背光分区的控制精度与响应速度，以抑制光晕、改善动态画面表现。

综上，本研究为显示行业的技术发展提供了清晰方向：应从追求实验室理想条件下的高参数（CR），转向优化真实使用环境下的用户体验（ACR）。通过降低R、提升L_{255}与优化LD技术协同发展，实质性地提升消费者在环境光下的观看体验。

参　考　文　献：

[1] CHEN H W, ZHU R D, LI M C, *et al*. Pixel-by-pixel local dimming for high-dynamic-range liquid crystal displays [J]. *Optics Express*, 2017, 25(3): 1973-1984.

[2] TAKEDA A, KATAOKA S, SASAKI T, *et al*. A super-high image quality multi-domain vertical alignment LCD by new rubbing-less technology [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 1998, 29(1): 1077-1080.

[3] LEE S H, LEE S L, KIM H Y. Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching [J]. *Applied Physics Letters*, 1998, 73(20): 2881-2883.

[4] SCHADT M, HELFRICH W. Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal [J]. *Applied*

Physics Letters, 1971, 18(4): 127-128.

[5] GE Z B, WU S T. *Transflective Liquid Crystal Displays* [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2010.

[6] YU H N, AKITA T, KOGA T, *et al*. Effect of character contrast ratio of tablet PC and ambient device luminance ratio on readability in low ambient illuminance [J]. *Displays*, 2018, 52: 46-54.

[7] KELLEY E F, LINDFORS M, PENCZEK J. Display daylight ambient contrast measurement methods and daylight readability [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2006, 14(11): 1019-1030.

[8] CHEN H W, TAN G J, WU S T. Ambient contrast ratio of LCDs and OLED displays [J]. *Optics Express*, 2017, 25(26): 33643-33656.

[9] FAN Z B, CHENG Y F, CHEN Z M, *et al*. Integral imaging near-eye 3D display using a nanoimprint metalens array [J]. *eLight*, 2024, 4(1): 3.

[10] CHEN B Q, LI C, LI X X, *et al*. SiC diffractive waveguides for augmented reality: single-layer, full-color, rainbow-artifact-free display with vision correction [J]. *eLight*, 2025, 5(1): 21.

[11] KIM T S, RYU J E, PARK J, *et al*. Future trends of display technology: micro-LEDs toward transparent, free-form, and near-eye displays [J]. *Light: Science & Applications*, 2025, 14(1): 335.

[12] GAI M X, BIAN J, CHEN F R, *et al*. Gradient-graphene-enabled directional photothermal regulation for self-aligned laser transfer printing [J]. *Light: Science & Applications*, 2026, 15(1): 62.

[13] CHEN H F, SUNG J, HA T, *et al*. Backlight local dimming algorithm for high contrast LCD-TV [C]// *Proceedings of ASID'*06. New Delhi: ASID, 2006: 168-171.

[14] KIM S S, BERKELEY B H, KIM K H, *et al*. New technologies for advanced LCD-TV performance [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2004, 12(4): 353-359.

[15] HUANG Y G, HSIANG E L, DENG M Y, *et al*. Mini-LED, micro-LED and OLED displays: present status and future perspectives [J]. *Light: Science & Applications*, 2020, 9(1): 105.

[16] TAN G J, HUANG Y G, LI M C, *et al*. High dynamic range liquid crystal displays with a mini-LED backlight [J]. *Optics Express*, 2018, 26(13): 16572-16584.

[17] HE N L, ZHANG Y N, HU C H, *et al*. Measurement and characterization of the halo effect for mini-LED backlit LCDs [J]. *Optics Express*, 2025, 33(5): 12204-12216.

[18] 冯艳丽,黄卫东,邝国烽,等. Mini-LED背光液晶显示器光晕测量方法[J]. 信息技术与标准化,2023(11):20-24.
FENG Y L, HUANG W D, KUANG G F, *et al*. Measurement method for halo effect of the liquid crystal display with Mini-LED backlight unit [J]. *Information Technology & Standardization*, 2023(11): 20-24. (in Chinese)

[19] 李超超,夏振平,张跃渊,等. 环境光对Mini-LED背光LCD光晕感知的影响[J]. 激光与光电子学进展,2024,61(12):1211008.
LI C C, XIA Z P, ZHANG Y Y, *et al*. Effect of ambient light on halo perception of liquid crystal displays with Mini-LED backlight [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2024, 61(12): 1211008. (in Chinese)

[20] TANG X, SONG L, PAN M M, *et al*. Key technologies and algorithm of measurement for Mini-LED-backlit LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2022, 53(S1): 191-193.

[21] 张跃渊,夏振平,宋玉,等. 基于视觉感知的Mini-LED背光LCD中的光晕效应[J]. 激光与光电子学进展,2023,60(12):1211004.
ZHANG Y Y, XIA Z P, SONG Y, *et al*. Halo effect in Mini-LED backlight LCD based on visual perception [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2023, 60(12): 1211004. (in Chinese)

[22] WANG Y, LIU J L, SUN Z H, *et al*. De-halo and adaptive ratio local dimming algorithm based on display data compensation [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2024, 55(1): 755-758.

[23] 路家乐,隋纪祥,黄海波,等. 基于自适应光晕抑制算法的车载分区背光显示系统的研究及设计[J]. 液晶与显示,2025,40(10):1470-1481.
LU J L, SUI J X, HUANG H B, *et al*. Research and design of an onboard zoned backlight display system based on an adaptive halo suppression algorithm [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2025, 40(10): 1470-1481. (in Chinese)

[24] 朋朝明,江润,徐遥令,等. Mini LED和OLED电视在不同环境光强度下的对比度和人眼感知实验研究[J]. 液晶

与显示，2025，40(4)：547-554.
PENG Z M，JIANG R，XU Y L，*et al*. Display contrast effect and perception research of Mini LED and OLED TV under different ambient light [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*，2025，40(4)：547-554. (in Chinese)

[25] KAWAHIRA Y，HASEGAWA M，SAIGUSA R，*et al*. Super high ambient contrast LCDs with low power consumption [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*，2024，55(1)：670-673.

作者简介：



刘海鹏，男，硕士，高级工程师，2019年于中国石油大学(北京)获得硕士学位，主要从事显示产品新技术洞察挖掘、新产品规划立项，以及产品从量产上市到退市的全生命周期管理。E-mail：liuhaipeng@boe.com.cn