

文章编号: 1007-2780(2024)01-0025-07

基于前光模组的反射式液晶显示视角

李可敬¹, 李香君¹, 俞良², 许启民², 吕国强¹, 王梓³, 冯奇斌^{3*}

(1. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 安徽 合肥 230009;

2. 芜湖长信科技有限公司, 安徽 芜湖 241007;

3. 合肥工业大学 光电技术研究院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 反射式液晶显示具有功耗低、绿色环保的优点。但由于没有增亮膜等光学膜系对视角进行调控, 常见的网点形貌下视角曲线存在跳变、不均匀等问题。为了改善反射式液晶显示的视角问题, 本文建立了反射式液晶模组仿真模型进行探究。首先, 分析了前光模组存在的视角问题。接着, 以圆锥形和圆台形网点为例分析了网点形貌对视角的影响, 并提出棱柱形网点以改善视角。仿真结果表明, 棱柱形网点可以有效解决垂直于入射光方向 $\pm 35^\circ$ 视角的曲线跳变及不均匀问题, 且将视角中心亮度相比于圆锥形网点提升了 52.3%。本研究对反射式液晶显示设备的视角设计具有重要参考意义。

关键词: 前光模组; 网点形貌; 导光板; 视角

中图分类号: TP141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2023-0376

Viewing angle of reflective liquid crystal display based on front light module

LI Kejing¹, LI Xiangjun¹, YU Liang², XU Qimin², LÜ Guoqiang¹, WANG Zi³, FENG Qibin^{3*}

(1. School of Instrument Science and Optoelectronic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Wuhu Token Science Co., Ltd., Wuhu 241007, China;

3. Academy of Photoelectric Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Reflective liquid crystal display (LCD) has the advantages of low power consumption and green environmental protection. However, due to the lack of optical films such as brightness enhancement film to modulate the viewing angle, the viewing angle curve under the common dot morphology has problems such as jump and unevenness. In order to improve the viewing angle of reflective liquid crystal display, a simulation model of reflective liquid crystal module is established to explore. Firstly, the viewing angle problems of the front light module are analyzed. Then, the influence of the dot morphology of the dots on the viewing angle is analyzed by taking the conical and truncated cone dots as examples. The prismatic dots are proposed to improve the viewing angle. The simulation results show that the prismatic dots can effectively solve the problem of $\pm 35^\circ$ angle curve jumping and unevenness perpendicular to the direction of

收稿日期: 2023-11-27; 修订日期: 2023-12-15.

基金项目: 安徽省科技重大专项 (No. 202203A05020028)

Supported by Anhui Provincial Science and Technology Major Special Project (No. 202203A05020028)

*通信联系人, E-mail: fengqibin@hfut.edu.cn

incident light, and the brightness of the center of the viewing angle is increased by 52.3% compared with the conical dot. This study has important reference significance for the perspective design of reflective liquid crystal display devices.

Key words: front light module; dot morphology; light guide plate; viewing angle

1 引言

液晶显示(Liquid Crystal Display, LCD)已经成为主流的平板显示技术,目前主流的LCD是透射式的。透射式LCD需要背光源提供照明,强光环境下需要消耗较大的功耗以满足显示亮度要求^[1-2]。反射式LCD则通过反射环境光照亮显示器,在明亮的户外环境中具有良好的性能。随着绿色发展理念的不断深入,反射式液晶显示获得了越来越多的应用。但当环境光较弱时,反射式液晶需要搭配前光模组以弥补环境光不足时显示亮度较暗的问题^[3]。

在侧入式透射式液晶显示器中,背光模组中位于侧边的光源发出的光经过导光板(Light Guide Plate, LGP)调制后向上出射,经扩散膜、增亮膜(Brightness Enhancement Film, BEF)等光学膜系进入液晶层^[4]。在反射式液晶显示器中,光源发出的光线经过LGP上表面的网点后,一部分光线向下出射,经过液晶层调制后向上进入人眼,还有一部分光线直接出射形成杂散光,影响显示对比度及视角等。与背光模组相比,前光模组没有背光模组中的光学膜系对光线进行二次调制^[5-7],出射的光线直接进入人眼,故前光模组的视角在很大程度上决定了反射式液晶显示的视角。目前针对前光模组的研究主要是对对比度的探究。Hsin-Tao Huang^[8]等人通过简化前光模组,研究了框贴、胶贴等不同粘接方式对亮度、对比度的

影响。Jyh-Cheng Yu^[9]等人针对导光板的圆柱形网点形貌,通过仿真对比,提出对网点的高度、倾角等参数加以限制,使LGP具有良好的透明度、低干扰和均匀的照明。但这些研究中对于前光模组的视角问题却极少涉及。在前光模组中,出射光线的角度通过导光板进行调控,常见的网点形貌下视角曲线存在跳变、不均匀等问题。本文针对前光模组视角问题,提出一种针对前光模组的网点形貌及其分布设计,能够有效保证反射式液晶显示的最终显示质量,降低开发风险。

2 光线走向分析及建模

导光板是侧入式光学模组中的核心部件,起着将点光源或者线光源转变为面光源的作用。通常侧入式液晶显示器模组的光源由LED灯条提供。图1(a)为背光模组的光线走向示意图,导光板中网点位于下表面,光线入射到网点上时,全反射被破坏而向上出射,经扩散膜、增亮膜完成对光线的二次调制,达到匀光及收缩光线角度的效果。图1(b)为前光模组的光线走向示意图,网点在导光板上表面,将光线向下反射经过反射液晶层调制后再向上出射。由于没有背光模组中的BEF等光学膜系,反射式液晶显示模组的视角依赖于网点形貌的调控,存在跳变、不均匀等问题。

反射式液晶显示仿真模型如图2所示,包含LED光源、导光板、光学胶绑定层、反射液晶层及

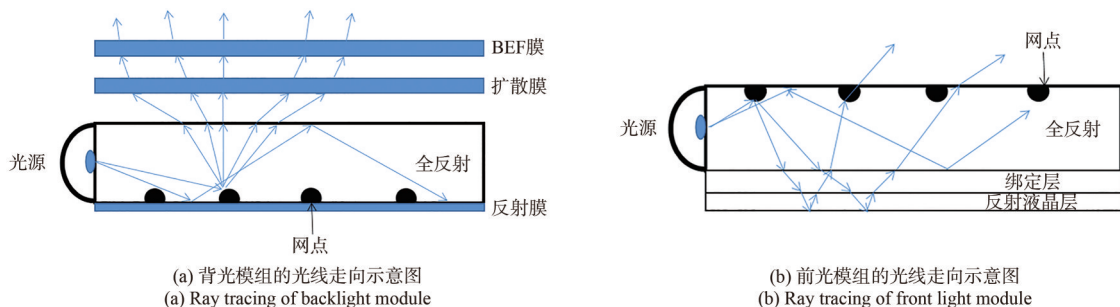


图1 光线走向示意图

Fig. 1 Schematic diagram of ray tracing

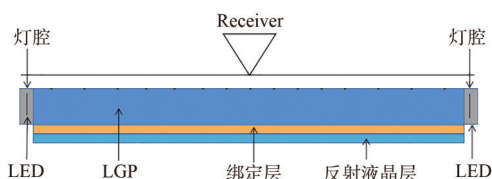


图2 反射式液晶模组的仿真模型

Fig. 2 Simulation model of reflective liquid crystal module

灯腔。考虑到反射式液晶主要应用于户外,本文中导光板采用具有更好的化学耐久性、热稳定性和机械性能的玻璃,避免有机透明材料在环境中会受到阳光、潮湿等环境因素影响发生形变^[10-11]。LED发出的光线进入导光板后,大部分发生全反射在LGP中传播,这部分光线入射到导光板上表面的网点时,全反射被破坏,或经反射式液晶调制后向上出射或继续在导光板内传播^[12-13]。绑定层则通常用高透过率的光学透明胶(Optically Clear Adhesive,OCA)将导光板和反射液晶层紧密绑定在一起。

为方便进行探究,本文使用LightTools作为仿真软件,以12.5 in(1 in=2.54 cm)显示器为例建立了反射式液晶模组仿真模型,设置模组材料属性、导光板的表面属性等,具体参数设置如表1所示。

表1 仿真模型参数

Tab. 1 Simulation model parameters

名称	长/mm	宽/mm	厚度/mm	折射率
LGP	260	180	1.1	1.51
绑定层	260	180	0.3	1.41
反射液晶层	260	180	0.006	1.50

3 仿真分析及讨论

在前光模组中,无论是否经过液晶调制的光都要从导光板出射直接进入人眼,出射光线的角度将直接影响显示器视角的优劣,因此,网点不仅起着匀光的作用,也要兼顾视角的调控。本文以如图3所示的圆锥形和圆台形网点为例,分析亮度视角的变化,其优劣以在离开液晶面板的法线方向观看,亮度是否呈平滑下降、亮度值大小、光线角度收缩程度等为判定标准。视角曲线出现跳变、不均匀等会对正常观看图像造成影响^[14]。在侧入式导光板设计中,网点披覆率决定着导光

板出光面的整体亮度和均匀性,局部网点的大小变化可以调整导光板局部出光的亮度,进而实现出光均匀性的调整^[15]。本文在改变网点形貌的同时调整网点密度以达到均匀显示的目的,并根据九点测试法,使其均匀性达到85%以上,再对其视角进行分析。

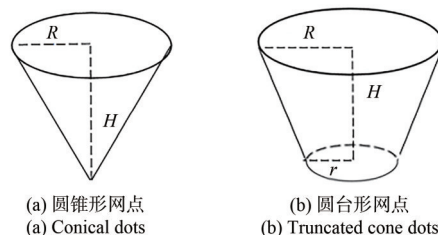


图3 网点形貌

Fig. 3 Dots morphology

3.1 圆锥形网点对视角的影响及分析

以圆锥形网点为例,将网点底面半径 R 固定为 $25\ \mu\text{m}$,圆锥形网点高度 H 设置为变量,分别为 $4/5R$ 、 R 、 $6/5R$ 和 $7/5R$ 探究视角变化规律,调整网点密度分布,使其均匀性满足要求,记录角亮度数据如图4所示。

对于圆锥形网点,保持底部半径不变,逐渐增加高度,中心视角有逐渐升高的趋势,但出现了在 $\pm 35^\circ$ 左右视角曲线不平滑、有明显跳变的问题。虽然随着网点高度增加跳变逐渐变小,但大角度 $40^\circ\sim 80^\circ$ 和 $-40^\circ\sim -80^\circ$ 的光线较多,光线出射角度较为分散。此外, 0° 视角亮度值的提升也受到限制,不能满足使用要求。

3.2 圆台形网点对视角的影响及分析

改变圆锥形网点的高度,其视角曲线仍然存在缺陷,不能满足显示器的使用要求,因此采用圆台形网点做进一步仿真分析。圆台形网点设置为底面半径 $R=25\ \mu\text{m}$,顶部半径 r 分别为 $14\ \mu\text{m}$ 、 $17\ \mu\text{m}$ 、 $20\ \mu\text{m}$,高度 H 设置为 $10\ \mu\text{m}$,其仿真结果如图5所示。

保持圆台形网点底面半径、高度不变,增大顶部半径,圆台形网点仍不能避免 $\pm 35^\circ$ 时的视角曲线跳变问题,且中心视角亮度在升高后又发生陡变,当顶部半径 $r=20\ \mu\text{m}$ 时反转为“U”型。通过视角曲线可以看出,在 $40^\circ\sim 80^\circ$ 和 $-40^\circ\sim -80^\circ$ 区间仍然分布了较多的光线,且 0° 视角亮度值相对下降,不满足视角要求。

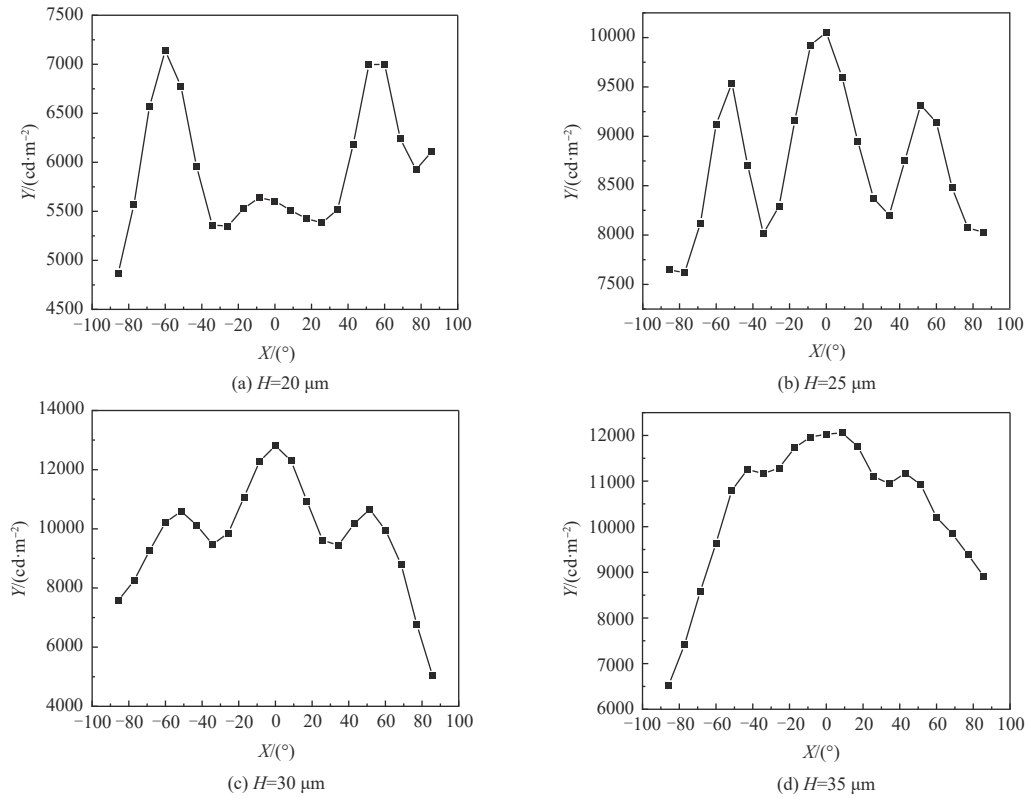


图 4 不同高度的圆锥形网点仿真

Fig. 4 Simulation of conical dots with different heights

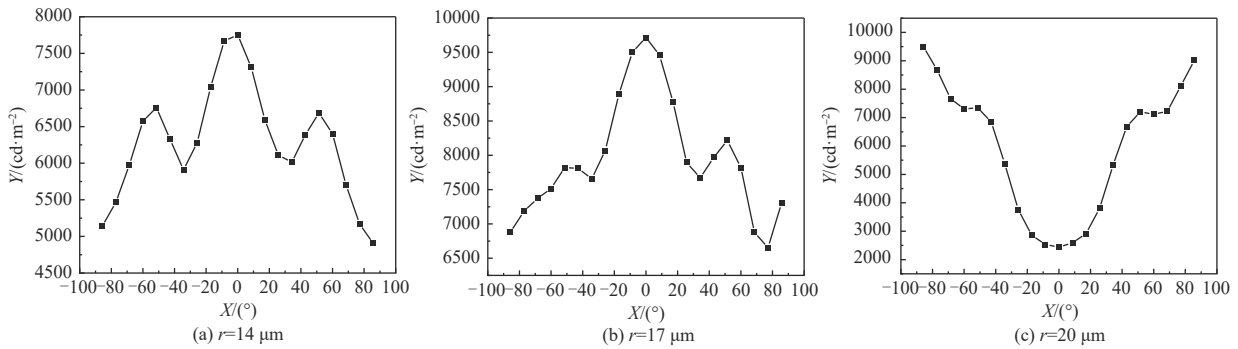


图 5 不同顶部半径的圆台网点仿真

Fig. 5 Simulation of truncated cone dots with different top radii

3.3 网点形貌及分布的优化设计

上述仿真结果表明,在背光模组中常用的网点形貌在前光模组中的视角曲线存在跳变和不均匀问题。本文针对双侧入光前光模组导光板,提出一种不对称网点形貌及网点对称分布方式以改善视角问题。

在前光模组中,导光板中的网点不仅需要破坏光线的全反射,还需要对出光角度进行调控。图 4(c)、图 5(b)的仿真结果表明,圆锥形与圆台形网点在倾角为 50° 时,视角曲线的 0° 视角亮度

在上述仿真中最高,但从 $40^\circ/-40^\circ$ 开始,亮度出现突然增高,导致视角曲线出现跳变。分析其原因如图 6(a)所示,圆锥形网点的不同截面 S_1 、 S_2 形状不一致,对相同角度光线走向调控也不一致。图 6(b)中,多束相同角度的光线分别入射到 S_1 、 S_2 截面,其中蓝色光线 $l_1 \sim l_6$ 表示入射到 S_2 截面后出射的光线,红色光线 $l_3' \sim l_6'$ 表示入射到 S_1 截面后出射的光线,绿色光线 $l_1' \sim l_2'$ 则由于截面大小差异,未入射到网点上而继续在导光板中传播。在圆锥中 S_1 截面为双曲线,其切线与水平面的最

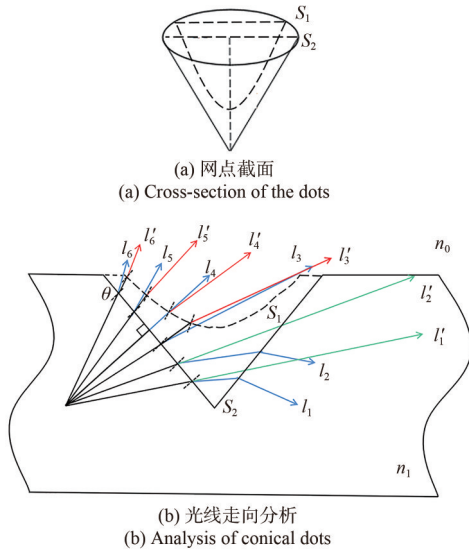


图 6 圆锥形网点分析
Fig. 6 Conical dots analysis

大夹角在曲线起始点处,且 S_1 截面均小于 S_2 截面,则在 S_1 曲线上的不同位置法线与水平面的夹角均大于 S_2 截面法线与水平面的夹角, $l'_3 \sim l'_6$ 的

经截面 S_1 后与水平方向的夹角比 $l_3 \sim l_6$ 小,造成 $40^\circ \sim 80^\circ$ 的区间光线增多,导致视角曲线出现跳变。因此,本文提出一种棱柱形网点用于改善视角问题,如图 7(a)所示,将图 6 中 S_2 截面拉伸,保持各截面形状一致,能更好地调控相同角度的出射光。设置单个网点长 $30 \mu\text{m}$ 、宽 $20 \mu\text{m}$ 、倾角 50° ,其仿真结果如图 7(b)所示。

仿真结果表明,棱柱形网点消除了视角曲线的跳变, 0° 视角亮度明显升高,但在视角曲线 50° 附近出现了平台,分析其原因为 l_3 光线较多。为了减少类似 l_3 角度的光线出射,借鉴 l_1 、 l_2 光线走向,将棱柱改变形貌,其截面及光线走向如图 8(a)所示。可以将光线 l_3 照射到网点的直角面 p 使其再次进入导光板被调制,减少大角度出光,改善视角曲线的跳变,同时,直角面 p 也可以对另一侧光线 l_7 起到收缩角度改善视角的作用。结合模型的双侧入光,为了分别对两侧的光线进行调控,设置网点为沿中心对称分布,截取中心部分如图 8(b)所示,设置直角棱柱单个网点长 $30 \mu\text{m}$ 、宽 $10 \mu\text{m}$ 、

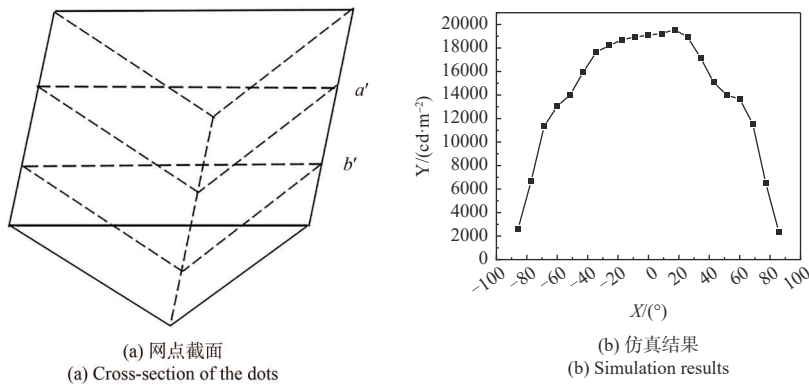


图 7 棱柱形网点
Fig. 7 Prismatic dots

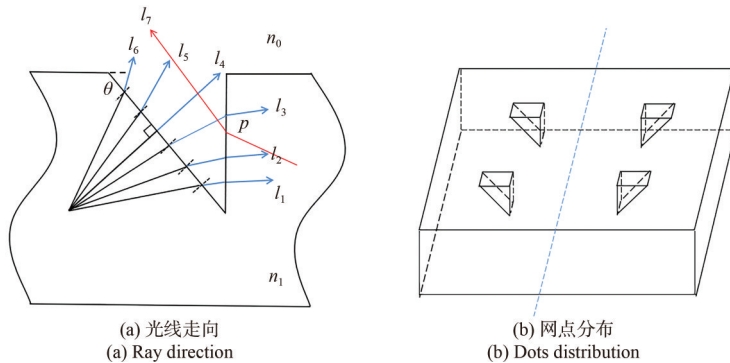


图 8 直角棱柱形网点
Fig. 8 Right-angled prismatic dots

倾角 50° , 其截面如图 9(a) 所示。仿真结果表明, 对称分布的直角棱柱形网点可以有效改善视角, 消除了 $\pm 50^\circ$ 时的平台, 大角度光线进一步收缩, 视角曲线有明显改善, 但是棱柱形网点面与面之间过渡不够平滑, 使得 0° 视角凹陷明显。本文对上述棱柱形网点进行改进, 将横截面变为弧形,

且为保证倾斜面对光线的调控效果, 侧重于对直角侧进行改进, 其网点形貌及仿真结果如图 9(c)、9(d) 所示。

如图 9(c) 所示, 修改后的网点在 0° 视角的凹陷得到了优化。与图 4(c) 相比, 中心视角亮度提升了 52.3%, 能有效改善前光模组视角。

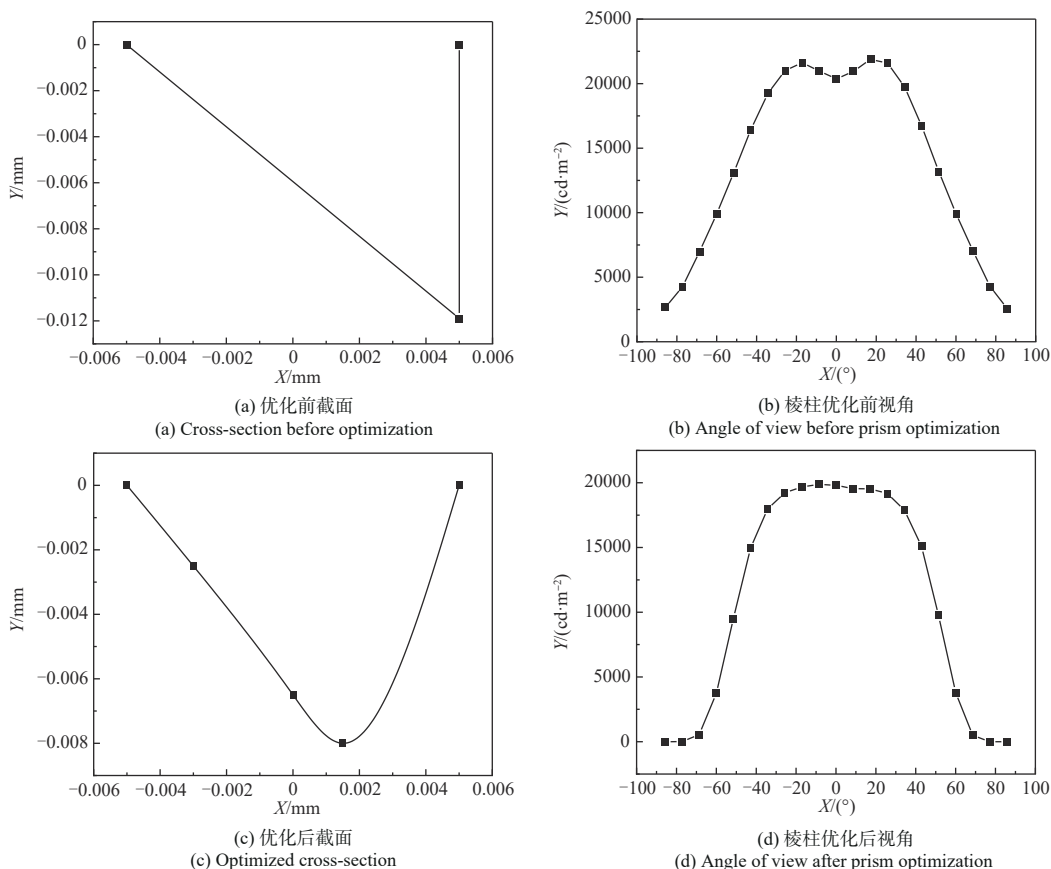


图 9 棱柱形网点仿真结果

Fig. 9 Simulation results of prismatic dots

4 结 论

本文聚焦反射式液晶显示设备, 建立了反射式液晶显示仿真模型, 着重对其前光模组视角问题进行探究。通过总结圆锥形、圆台形网点在前光模组仿真中出现的视角问题, 对网点形貌及光线走向进行分析, 提出一种结合模型双侧入光

对称分布的棱柱形网点。仿真结果表明, 该设计可以有效控制前光模组出射光线角度, 改善显示质量, 在使视角曲线平滑的同时将 0° 视角亮度相比于圆锥形网点提升了 52.3%, 有效实现了光线角度的收缩。本研究对应用前光模组的反射式液晶显示设备的视角设计具有重要参考意义。

参 考 文 献:

[1] 吕强强. 侧入式导光板微结构加工与光学性能研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2019.

LV Q Q. Research on microstructure processing and optical properties of edge-lit light guide plates [D]. Qingdao:

- Qingdao University of Technology, 2019. (in Chinese)
- [2] 张泽成,王时英,吕明. 导光板散射网点的布局与出光均匀性的研究[J]. 光学技术,2020,46(2):198-203.
ZHANG Z C, WANG S Y, LV M. Study on the layout and light uniformity of the scattering dots of the light guide plate [J]. *Optical Technique*, 2020, 46(2): 198-203. (in Chinese)
- [3] 龙定华,张海辉. 一种反射式低蓝光液晶显示器:中国,CN202223354608.3[P]. 2023-06-06.
LONG D H, ZHANG H H. A kind of reflective low blue light liquid crystal display: China, CN202223354608.3 [P]. 2023-06-06.
- [4] 秦红江. 小尺寸液晶显示模组中的导光板制程研究[D]. 广州:华南理工大学,2017.
QIN H J. Light guide plate process research of small size liquid crystal module [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [5] 舒伟. 手机液晶显示器背光模组中导光板的光学设计及制程研究[D]. 上海:复旦大学,2011.
SHU W. Optical design and process study of light guide plate in backlight component of mobile phone liquid crystal display [D]. Shanghai: Fudan University, 2011.
- [6] 高雁飞,喻志农. 一体化导光板中微结构的设计与仿真[J]. 光学技术,2008,34(5):690-692.
GAO Y F, YU Z N. Design and simulation of micro-structure in the integrated light guide plate [J]. *Optical Technique*, 2008, 34(5): 690-692.
- [7] 张会均. 背光模块中导光板结构设计专利技术分析[J]. 企业技术开发,2016,35(20):31-32.
ZHANG H J. Patent technology analysis of light guide plate structure design in backlight module [J]. *Technological Development of Enterprise*, 2016, 35(20): 31-32.
- [8] HUANG H T, PAO Y N, CHEN I J. Front light for electrophoretic display applications [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, 46(1): 462-465.
- [9] YU J C, SUPRAYITNO, YANG L W. Optical design optimization of high contrast light guide plate for front light unit [J]. *Microsystem Technologies*, 2019, 25(5): 2135-2144.
- [10] 沈玉国,王保平,王平,等. 液晶显示器用导光板概述[J]. 建材世界,2020,41(4):21-23.
SHEN Y G, WANG B P, WANG P, et al. Overview of light guide plate for liquid crystal display [J]. *The World of Building Materials*, 2020, 41(4): 21-23.
- [11] KADHIM H I, FAHAD B M, HAMEED A M. The physical-mechanical properties in aggressive media of epoxy composite reinforced with waste glass materials [J]. *Materials Science Forum*, 2022, 1078: 151-160.
- [12] GUO J, JIANG Z Z, GAO F, et al. Two-dimensional local dimming by using multiple physical partitions of grooved and edge-lit light guide plate [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2021, 52(S1): 177-178.
- [13] 马志鹏,何玉婷,万巍,等. 具有扩散功能导光板的结构设计[J]. 机电工程技术,2019,48(10):155-158.
MA Z P, HE Y T, WAN W, et al. Structural design of light guide plate with diffusion function [J]. *Mechanical & Electrical Engineering Technology*, 2019, 48(10): 155-158.
- [14] 王欢,辛武根,王伟,等. 侧入式背光源视角特性研究[J]. 液晶与显示,2014,29(3):345-349.
WANG H, XIN W G, WANG W, et al. Brightness viewing angle of side-type backlight unit [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(3): 345-349.
- [15] 徐胜,徐玉珍,陈恩果,等. 背光源导光结构仿真模型及其光学特性研究[J]. 光电工程,2016,43(9):78-83.
XU S, XU Y Z, CHEN E G, et al. Simplified simulation model and optical characteristics of back light system [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, 43(9): 78-83.

作者简介:



李可敬,男,硕士研究生,2021年于河南理工大学获得学士学位,主要从事背光、前光模组显示方面的研究。
E-mail: lkj@mail.hfut.edu.cn



冯奇斌,女,博士,副教授,2006年于维也纳工业大学获得博士学位,主要从事液晶显示、微纳加工、全息光学元件研究。E-mail: fengqibin@hfut.edu.cn