

基于U型导光板的特种液晶显示背光模组设计

汪 军^{1,2}, 沈 健², 屈 军^{1*}, 张 伟², 赵 松²

(1. 安徽师范大学 物理与电子信息学院, 安徽 芜湖, 241002; 2. 中航华东光电有限公司, 安徽 芜湖, 241002)

摘 要: 提出一种基于U型导光板的特种液晶显示背光模组以缩小侧入式背光模组的厚度。首先, 利用Lighttools软件对分别采用1 mm和2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组进行了设计和建模; 接着对两种不同厚度的曲型侧边背光模组与采用4 mm常规平板式导光板的侧入式背光模组进行仿真并对比分析; 最后对采用2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组进行了相对偏移的仿真, 结果表明其光学性能在强振动和宽温环境中具有较高的稳定性。文章得到一种采用2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组, 相比较常规侧入式背光模组, 在保持了光学性能一致性的前提下厚度缩小了2 mm, 对特种显示器的薄型化设计有一定的参考意义。

关键词: 特种显示; 背光模组; 薄型化; U型导光板; 偏移

中图分类号: TN873+.93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2020)01-0052-05

Design of Special Liquid Crystal Display Backlight Module Based on U-shaped Light Guide Plate

WANG Jun^{1,2}, SHEN Jian², QU Jun¹, ZHANG Wei², ZHAO Song²

(1. School of Physics and Electronic Information, Anhui Normal University, Wuhu Anhui, 241002, CHN; 2. AVIC Huadong Photoelectric CO., LTD, Wuhu Anhui, 241002, CHN)

Abstract: A special liquid crystal display backlight module based on U-shaped light guide plate was presented to reduce the thickness of side-in backlight module. Firstly, the curved side backlight module with 1 mm and 2 mm U-shaped light guide plate was designed and modeled by LightTools software. Then, two different thickness curved side backlight modules and a side-in backlight module with 4 mm conventional flat plate light guide plate were simulated and compared. Finally, the relative shifting simulation of the curved side backlight module with 2 mm U-shaped light guide plate was carried out and the results showed that the optical performance of the module had high stability in the strong vibration and wide temperature environment. Compared with the conventional side-in backlight module, the proposed curved side backlight module with 2 mm U-shaped light guide plate maintained the consistency of optical performance, which had certain reference significance for the thin design of special display.

Key words: special display; backlight module; thin design; U-shaped light guide plate; shifting

收稿日期: 2019-08-06

作者简介: 汪 军(1995—), 男, 硕士, 主要研究方向为特种显示背光设计及材料; (E-mail: 1612737041@qq.com)

沈 健(1977—), 男, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为光电显示技术; (E-mail: drjsh@163.com)

屈 军(1977—), 男, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为激光传输。 (E-mail: qujun70@mail.ahnu.edu.cn)

* 通讯作者

引 言

液晶显示(Liquid Crystal Display, LCD)经过三十年的发展,已成为显示领域的主流技术之一^[1]。虽然LCD技术已趋于成熟,但对其进行薄型化、轻型化的研究依然具有重要意义。在民用显示领域,薄型化的液晶显示器件具有极高的视觉美感和手感,产品附加值很高;在特种显示领域,装载空间和重量的受限使得整机对薄型化、轻型化的需求进一步提高,而且带来的减重效应对于机载等的续航能力也有重要意义。

占据60%厚度和重量贡献的背光模组是液晶显示器件薄型化的重点攻克对象,而侧入式又是重中之重。民用LCD显示器件没有严苛的要求,所以只要采用小型高光效LED、一体化导光板、多合一膜系等就可以实现背光模组的薄型化^[2-4],经过多年的发展,民用LCD的背光模组的薄型化已不再是难题。但是,特种LCD显示器的应用环境通常是强光照、强振动、低温、高温等严苛环境,这使得特种LCD的背光模组需具备高亮度、抗振性、宽温工作等特殊要求^[5],所以特种LCD薄型化的要求在于保持与常规背光模组光学性能的一致性。

导光板占据背光模组整体厚度和重量的50%以上,因此减小导光板的厚度能有效减小背光模组的整体厚度^[6]。现在常规背光模组使用的是4 mm导光板,进一步减小导光板厚度需要考虑到入光侧

宽度,至少要与LED等宽才能保证背光模组的光效,而特种LCD需要高光效的大封装LED,这使得常规平板式导光板薄型化受到限制,有人考虑将导光板入光侧做成如图1所示的喇叭口型,但是显示模块的横向空间余量不足以支持两个喇叭口。文章设计了一种新型的U型导光板,将入光侧的纵向厚度转移至横向,从而可以隐藏在位于显示模块边框的按键面板下方,而导光板的厚度可以进行薄型化的设计。文章设计了两种采用不同厚度(1 mm和2 mm)的U型导光板的背光模组,并与采用4 mm常规平板式导光板的背光模组进行仿真对比,以验证其光学性能的一致性,并通过灯条的偏移评估其在强振动、宽温环境下的稳定性。

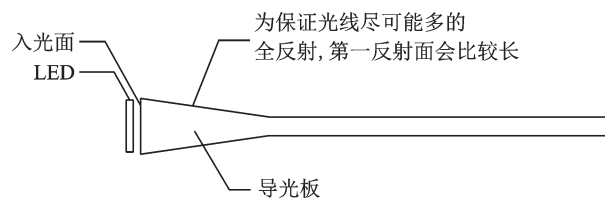


图1 喇叭口型导光板入光侧示意图

Fig.1 Diagram of the entrance side of the loudspeaker type light guide plate

1 设计和仿真

研究基于光学仿真软件Lighttools进行光学仿真^[7],基本流程如图2。

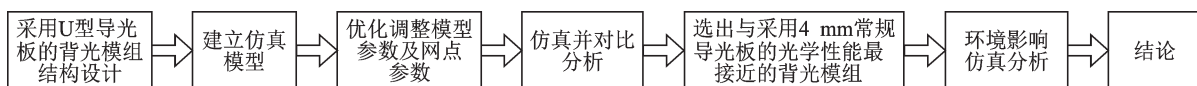


图2 仿真基本流程

Fig.2 Basic flow of simulation

1.1 结构设计

经过长期实践验证,小封装LED由于光效和亮度的限制,使用后显示模块的亮度会达不到要求,所以目前所采用最合适的LED灯封装大小为3014(3.0 mm×1.4 mm)和3528。这就使得常规侧入式背光模组中的导光板厚度受限到3 mm,低于3 mm会造成光线的逸出,降低光效,基于此,文章以保证亮度均匀性和出光效率为前提,以减小背光模组厚度为目的,提出一种曲型侧边入光的U型导光板,并配合目前使用的背光灯和薄型膜系,设计出一种薄型化的背光模组,采用U型导光板的背光模组结构和曲型侧边的光路如图3所示。

曲型侧边背光模组从下到上的架构为反射膜、U型导光板、扩散膜和两片棱镜膜,液晶屏设置在膜系之上,位于凹形显示区内,灯条设置于U型导光板端面上方水平放置,与采用4 mm常规平板式导光板的侧入式背光模组的架构基本相同。

在侧入式背光模组中,光源在入光侧的匹配度还有导光板的网点分布都影响了背光模组的亮度均匀性和出光效率^[8]。文章选用现在常用的高光效3014封装的白灯,考虑到用于夜视和配色的彩灯需具有单色高光效、夜视兼容的特性^[9],而现阶段的小封装技术还无法兼顾,所以彩灯选用3528封装彩灯。为了匹配LED光源的封装,导光板入光面宽度

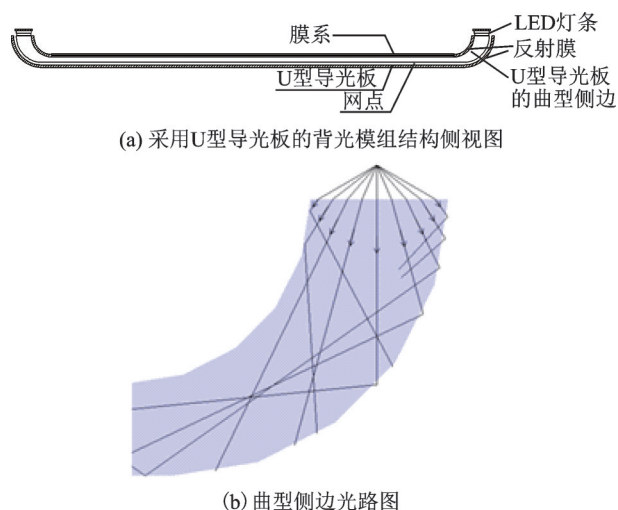


图3 采用U型导光板的背光模组侧面示意图

Fig.3 Side diagram of backlight module with U-shaped light guide plate

至少需设置为 3 mm,以适配 3528 封装 LED。

图 3(b)为 U 型导光板曲型侧边的光路图,其中导光板材料为 PMMA,折射率 1.49,全反射临界角 42.15° 。曲型结构外侧弧形中点切线与导光板底部延长线呈 45° ,通过调节曲型侧边内外圆弧的半径可以改变有效显示区内的导光板厚度,文章设计出采用 1 mm 和 2 mm 两种厚度 U 型导光板的背光模组,并与采用 4 mm 常规平板式导光板的侧入式背光模组进行对比。

1.2 建立仿真模型

现在特种显示领域常用的背光架构为:双侧 LED、底部漫反射膜、导光板、匀光增亮膜系依次设置^[10],按此建立采用 4 mm 常规平板式导光板的侧入式背光模组模型,侧视图如图 4。



图4 采用 4 mm 常规平板式导光板的侧入式背光模组侧视图

Fig.4 Structural side view of backlight module with 4 mm conventional side-in backlight module

按图 2(a)架构建立采用 U 型导光板的曲型侧边背光模组模型,侧视图如图 5,其中图 5(a)和图 5(b)分别采用了 1 mm 和 2 mm 厚的 U 型导光板。导光板的有效区尺寸为 $110\text{ mm}\times 80\text{ mm}$,材料 PMMA;漫反射膜厚度 0.5 mm,匀光增亮膜系厚度 0.9

mm,包括扩散膜、两张正交放置的棱镜膜和一张偏振型亮度增强膜,其中偏振型亮度增强膜需配合屏使用,只影响出屏亮度,在仿真模型中不便对其建模,文章中亮度为出棱镜膜后的亮度。

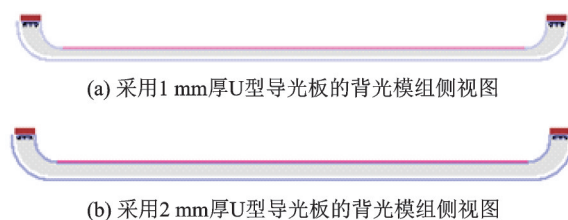


图5 采用U型导光板的背光模组模型示意图

Fig.5 Model diagram of backlight module with U-shaped light guide plate

作为光源的 LED 灯有两种,3528 彩灯和 3014 白灯。3528 封装的彩灯供配色和夜视使用。在实际应用中 3014 白灯长边 (3 mm 边) 和 3528 彩灯短边 (2.8 mm 边) 都垂直于导光板长边交错放置,目的是为了排布下更多的灯以减小单灯电流提升光效,由于彩灯 2.8 mm 宽的发光面小于白灯的 3 mm 发光面,仿真中无需设置彩灯光源,设置白灯即可评价导光板光学指标。两侧灯条共设置 32 颗白灯,发光特性设置为朗伯体发光,即半亮度角为 120° ^[11],单颗灯光通量为 20 lm。模型中所有反射设置为高斯反射,透射面设置为分光和非涅尔损耗。扩散膜调用库中模型“Dupont Melinex238.2”,棱镜膜调用库中的模型“VIKUITI_BEF III_10T”。同时,需在棱镜膜上方设置一个虚拟面,添加接收器以接收光线数据,接收器网格划分为 16×12 。此外,由于需要知道亮度的具体数值,还需在接收器上添加亮度计。导光板有效区底部的网点采取激光打点的方式,在仿真中采取三维凹形孔洞模拟,散射类型为高斯散射,基于激光打点的特性,各网点大小一致,具体密度根据亮度均匀性进行即时调整,优化调整后的密度分布如图 6。

2 结果与分析

2.1 对比分析

经过光线追迹后得到三种背光模组的亮度分布如图 7,亮度统计如表 1。

如图 7(a)所示,采用 4 mm 常规平板式导光板的侧入式背光模组的亮度分布相对比较均匀,但随着

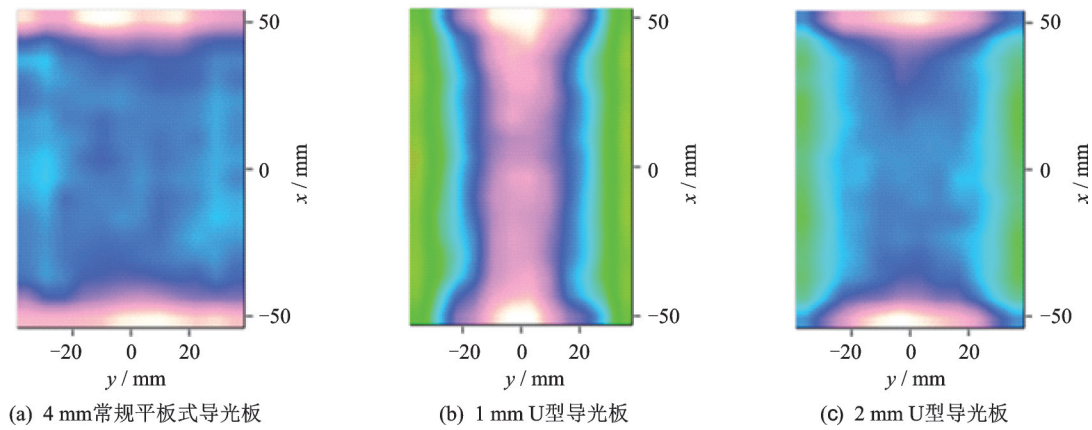


图6 三种背光模组的密度分布图

Fig.6 Diagram of density distribution of three kinds of backlight modules

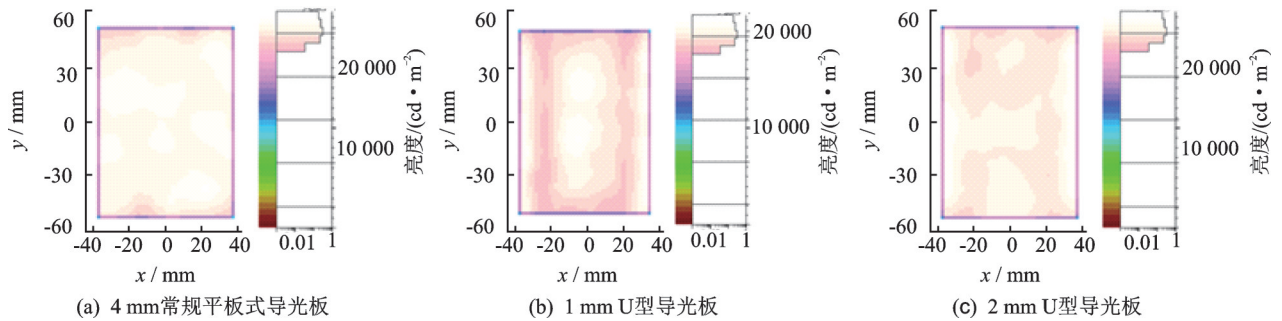


图7 三种背光模组的亮度图

Fig.7 Brightness diagram of three kinds of backlight modules

光线不断的反射,传输至中心的光线会叠加,所以中心亮度会比四周偏高一点;如图7(b)所示,采用1 mm U型导光板的曲型侧边背光模组的亮度分布中出现了两条明显的暗带,分布不均;如图7(c)所示,采用2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组的亮度分布相对较为均匀。

按GJB 8267-2014《液晶显示模块测试方法》中的均匀性计算公式计算亮度均匀性^[12]:

$$L_u = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \times 100\%$$

上式中: L_u 表示亮度均匀性, L_{\min} 表示亮度最小值, L_{\max} 表示亮度最大值。在该军标中,测试点为九宫格,文章按接收器 16×12 的网格中最大和最小亮度值计算。

文章采用出棱镜膜的亮度与光源总光通量的比值来评估背光模组的出光效率,单位 $(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})/\text{lm}$,即能直观地表示光源发出一定量的光最后能带来多大的出膜亮度,其中光源总光通量为 $20 \times 32 = 640 \text{ lm}$ 。

结合接收器的数据可以得到表1。

表1 三种背光模组的光学性能对比表

Tab.1 Comparison of optical performance of three kinds of backlight modules

背光模组类型	最大亮度 $/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	最小亮度 $/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	平均亮度 $/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	亮度均匀性/ (%)	出光效率 $/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lm}^{-1})$
采用4 mm 常规平板式导光板	27 861	23 715	25 648	85.1	40
采用1 mm U型导光板	21 630	18 204	19 852	84.2	31
采用2 mm U型导光板	26 644	23 487	25 016	88.2	39

结合亮度分布图来看,两种新设计的方案中,采用2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组亮度均匀性最好,相比较采用4 mm 常规平板式导光板的侧入式背光模组,亮度均匀性反而提升了3%左右。在出光效率上,采用2 mm U型导光板的曲型侧边

背光模组相比于采用4 mm 常规平板式导光板的侧入式背光模组略低一点,但基本可以看作持平。

从上述仿真结果来看,采用2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组的光学性能最接近于采用4 mm 常规平板式导光板的侧入式背光模组。

2.2 环境影响

在军用显示领域中,强振动环境还有高低温时的收缩膨胀都会导致显示器件各部件之间的相对偏移,而在背光模组上由环境影响带来的偏移表现为背光灯条与导光板入光侧相对位置的移动。基于前文的优选结果,文章对采用 2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组在不同偏移量下的亮度均匀性及出光效率、亮度分布进行了仿真分析,以评估其在强振动及宽温环境中光学性能的稳定性的稳定性。

在仿真中将两灯条同时向一侧偏移,示意图如图 8。在显示器件中,偏移主要来源于两个方面,一是 U型导光板的位移,二是背光灯条随背光框架的位移,两个位移大小受限于导光板和背光框架的设计公差,累积最大不超过 0.5 mm,所以可以将偏移设为 0.1 mm、0.2 mm、0.3 mm、0.4 mm、0.5 mm,仿真过程与正常入光时相同,绘出各偏移量与亮度均匀性和出光效率的关系图如图 9;列出偏移量为 0.1 mm、0.3 mm、0.5 mm 下的亮度分布如图 10。

由图 9 和图 10 可以看出,虽然随着偏移量的增加,亮度均匀性和出光效率有下降的趋势,但整体亮度分布还比较均匀,最低的出光效率相对于未偏

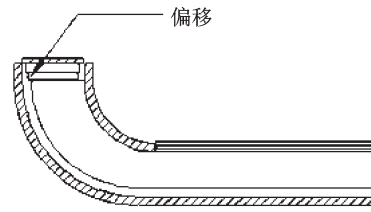


图 8 偏移示意图

Fig.8 Diagram of shifting

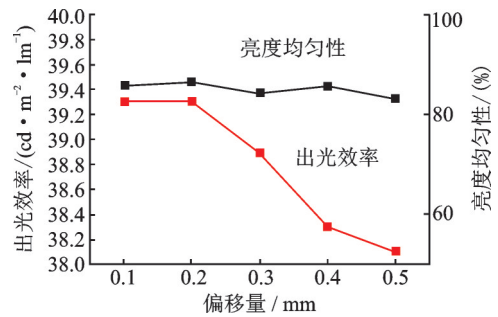


图 9 亮度均匀性和出光效率随偏移量变化

Fig.9 Variation diagram of brightness uniformity and luminous efficiency with shifting

移降低了 2%,即出液晶屏的亮度下降 2%,差距不大,这说明采用 2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组在强振动或宽温环境中光学性能依然保持着较高的稳定性。

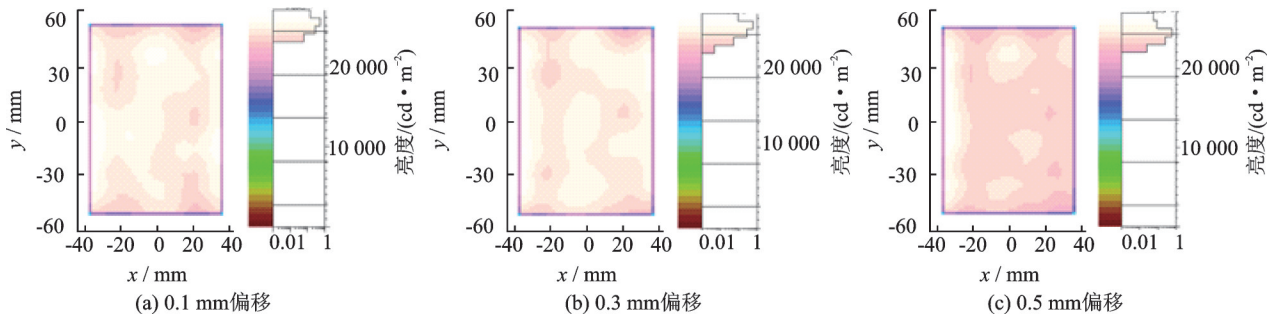


图 10 偏移量为 0.1 mm、0.3 mm、0.5 mm 时的亮度分布

Fig.10 Luminance distribution with shifting of 0.1 mm, 0.3 mm, and 0.5 mm

3 结 论

以特种显示背光模组的薄型化设计为目标,文章提出了一种采用 U型导光板的曲型侧边背光模组。该类型的背光模组导光板厚度不受 LED 封装的限制,可以进行薄型化的设计。以采用 1 mm 和 2 mm 不同厚度 U型导光板的曲型侧边背光模组为例,利用 Lighttools 软件进行仿真验证,得出采用 2 mm U型导光板的曲型侧边背光模组在亮度分布、亮度均匀性、出光效率上与采用 4 mm 常规平板式导光板的侧入式背光模组基本保持一致的结论,这

说明利用 2 mm U型导光板设计的薄型化背光模组在光学性能上具备可行性。此外,对其在强振动和宽温环境中的性能稳定性进行了评估,证实其具备较好的性能稳定性,能满足特种显示中的环境要求。

参 考 文 献

- [1] Daniel den Engelsen, 童林凤. 背光源发展趋势[J]. 光电子技术, 2006, 26(2): 74-80.
- [2] 周忠伟. 平板显示器优化设计及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [3] 余鸿昊, 贾丽丽, 李冬磊, 等. 全微结构一体化背光模组设计[J]. 液晶与显示, 2019, 34(10): 959-968. (下转第 69 页)