

文章编号: 0253-2239(2010)09-2668-06

一种用于大尺寸液晶照明的直下式导光板模块设计

张 鹤 朱 钧 赵 燕 谭 峭 峰 金 国 藩

(清华大学精密测试技术与仪器国家重点实验室, 北京 100084)

摘要 为了进一步提高大尺寸液晶照明系统的综合性能,并符合动态显示的技术要求,提出了一种直下式导光板模块化设计方法,并以其作为指导,设计了一种采用导光板的直下式照明结构模块。对模块进行了照明仿真计算,其均匀性大于 80%,满足大尺寸液晶面板的照明需求。在该模块拼接的基础上进行了动态显示的模拟,并对单个导光板模块进行了实验的验证。

关键词 液晶显示;导光板;直下式照明;发光二极管

中图分类号 TN873+.93

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS20103009.2668

A Design of Light Guide Plate for Direct Illumination of Large-Sided Liquid Crystal Panel

Zhang He Zhu Jun Zhao Yan Tan Qiaofeng Jin Guofan

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084, china)

Abstract In order to improve the performance of systems and apply the dynamic display technology, a designing method of light guide plate (LGP) module for direct illumination is presented, one LGP structure based on the method is also demonstrated, and then the simulated results of module indicates the uniformity is larger than 80%, which can satisfy the need of illumination. The simulated result of large LGP made by many modules for dynamic display is showed, and the experiment of light guide plate module is demonstrated

Key words liquid crystal display; light guide plate; direct illumination; light emitting diode(LED)

1 引 言

平板显示在显示领域占有重要的市场份额,其中液晶显示(LCD)技术凭借其低廉的价格,相对完善的性能,已经成为平板显示领域的主导^[1,2]。由于液晶本身并不能辐射光能,所以液晶显示必须配备相应的照明系统才能正常工作^[3],该系统可以为液晶面板提供亮度充分光照分布均匀的面光源^[4]。在现有的技术中,照明系统的结构一般包括光源、反射板、导光板、扩散膜和棱镜膜等若干组件^[5],通过对各个组件和组件间的参量进行光学优化设计,可

以使得整体系统达到液晶照明的技术要求。

目前在大尺寸液晶照明系统中,主要选用冷阴极荧光灯(CCFL)作为照明光源^[6],但是,随着近若干年光电子技术的发展,CCFL逐渐被越来越多的液晶电视生产厂商所淘汰,取而代之的是新型光源发光二极管(LED)^[7,8]。LED无论在光学性能、寿命、还是节能环保等多方面技术指标上都优于CCFL^[9~11],因此,采用LED作为背光系统光源。

目前的大尺寸LCD照明技术中,动态显示是最受关注的技术之一。动态显示是指在为LCD提供

收稿日期: 2009-11-16; 收到修改稿日期: 2010-01-20

基金项目: 国家 863 计划重大项目(2006AA03A150)和北京市自然科学基金(4091001)资助课题。

作者简介: 张 鹤(1985—),男,硕士研究生,主要从事光学设计方面的研究。E-mail: zhanghe03@mails.tsinghua.edu.cn

导师简介: 朱 钧(1971—),男,博士,副研究员,主要从事显示技术、微纳光学、激光技术等方面的研究。

E-mail: j_zhu@mail.tsinghua.edu.cn(通信联系人)

照明时,可以动态控制液晶屏幕上不同区域的亮度和色彩。与常见的为 LCD 提供一个恒定亮度光源的背光系统相比,采用动态显示技术的背光系统的功率是变化的,其背光源结构可以伴随图像内容变化而动态调节各区域照明亮度和色彩。该技术的应用可以降低 LCD 系统的能耗,提高 LCD 的寿命和实现较高的对比度。

传统的大尺寸 LCD 照明系统采用不包含导光板的直下式结构^[12]。但是,使用这种结构欲获得照度分布均匀的照明效果需要一定的空间厚度作为保证,而且由于该结构缺乏局部控制光照分布的能力,所以无法实现 LCD 的动态显示。为了使 LCD 系统整体结构更加轻薄,并且使用动态显示技术实现导光板模块化的照明,提出了一种应用于大尺寸 LCD 照明系统的导光板模块结构,阐述了该结构中各个功能部分的设计方法,并给出模拟仿真和实验结果,以说明其应用的可行性。

2 照明系统组成和结构

传统的直下式照明系统结构如图 1 所示。从图中可以看出该系统并不包含导光板,这也使得系统的厚度很难进一步缩减。

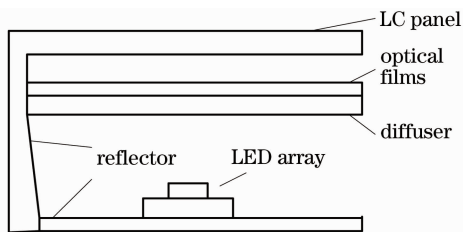


图 1 传统直下式 LED 背光照明系统示意图

Fig. 1 Scheme of traditional backlight system using LED

为了进一步减小系统尺寸,完善液晶照明系统的性能。设计的直下式照明系统由光源,导光板(LGP),光学膜系三部分构成。

照明结构选用 LED 作为光源。LED 发光特性可以近似为余弦辐射体^[12,13],其发光强度与出射光束角度的关系可以写作以下形式

$$I = I_0 \cos \theta, \quad (1)$$

式中 I 为某一方向出射光束的发光强度, I_0 为沿光源法线方向出射光束的发光强度, θ 为出射光束与光源法线的夹角。为了减少菲涅耳损失,提高能量利用率,可以在 LED 光源处加入光束准直装置^[14]。

导光板是整个照明系统的关键部分,在直下式结构中其位置通常位于光源的上方。导光板的作用是为液晶面板提供一个照度分布均匀的面光源。具

体来说,即是通过引导,将光源入射到导光板的光线按一定规律从导光板照明面出射。为了获得均匀照明的效果,需要在导光板上设计反射结构,并在导光板的上表面和下表面分布散射网点结构,通过适当选择反射结构的参数,以及合理优化散射网点结构的形貌尺寸和分布规律,达到均匀照明的效果。为了提高光能量利用率,需要在导光板下表面设置反射板,保证从导光板底部透射的光线能够再次返回导光板中。

在照明系统中,光学膜系通常由散射膜,棱镜膜构成。散射膜的主要作用是通过光学散射改变入射光束的角度分布特性;而棱镜膜^[15]是加工有微棱镜阵列的光学薄膜,通常将棱镜方向正交的两片薄膜放置在导光板上表面之上,其作用是控制光线的出射角度,从而提高照明系统的亮度。

3 导光板的设计及实验

3.1 导光板工作原理

导光板工作原理示意如图 2 所示(本部分称导光板的上表面为出射面,下底面为入射面)。导光板基本形状为长方体,在该结构的出射面上,加工凹形反射结构,比如圆锥形。在导光板的入射面上,设计散射网点结构,该结构主要的功能是使光线发生散射,通过改变某一区域内网点的分布特性,可以控制其上方照明区域的光照度。最后,在导光板的入射面下部加设反射板。这种导光板设计原理为:LED 发出的光线经入射面进入导光板内部并到达导光板的出射面,一部分光线直接到达导光板出射面后通过全内反射被反射回入射面;另一部分光线到达凹形反射结构后被反射回入射面,部分从入射面出射的光束经反射板反射后可以再次进入导光板;入射到散射网点区域的光线会发生散射,通过对散射网点的尺寸和分布进行合理设计,可以在照明面得到均匀照明。

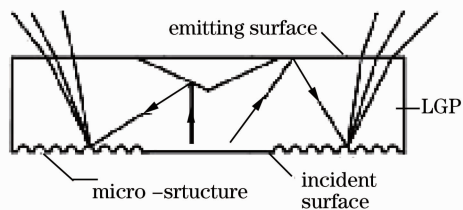


图 2 导光板工作原理示意图

Fig. 2 Scheme of LGP principle

3.2 导光板结构参数设计及仿真结果

导光板结构示意图如图 3 所示。其中,光源可

以选用高亮度白光 LED,其位置位于导光板的正下方。在导光板入射面加工有半球凹形结构,该半球的圆心位于底面中心。将 LED 放置于半球凹形结构圆心处,有利于光源辐射光线垂直半球表面入射,提高能量利用率。为了有效控制照明区域的照度分布,在导光板出射面正中设计有圆锥形结构,该结构利用全内反射的性质来反射光线,使得光线可以被充分地利用。

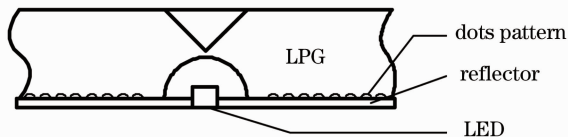


图 3 直下式导光板结构示意图

Fig. 3 Scheme of LGP structure using direct illumination

为了控制导光板的厚度,将导光板基本形状设定为 $30\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 的长方体,采用聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 制成,该材料的折射率为 $n=1.49$ 。根据以上尺寸和材料,设计导光板上各个结构的参数。图 4 为导光板参数计算的示意图,其中 h 为导光板高度; R 为导光板底面半球形结构半径, O 为半圆圆心; r 为导光板上表面圆锥结构底面半径, d 为圆锥结构的高度; A 为圆锥底面一点; OA 为一条光源出射光束; θ 为 OA 与导光板上表面法线夹角。

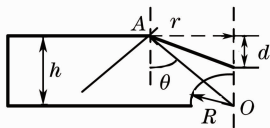


图 4 导光板参数计算示意图

Fig. 4 Scheme for calculation of parameters of LGP

为了使得尽可能多的光源出射光线反射到导光板底面的散射网点上,出射光线 OA 应满足全内反射条件,即有:

$$\theta = \arcsin n^{-1}, \quad (2)$$

将折射率 n 代入(2)式,解得 $\theta=42.2^\circ$;则圆锥面的半径 r 应该等于

$$r = h \times \tan \theta \quad (3)$$

将 θ 值代入(3)式,可得到 $r=4.5\text{ mm}$ 。在实际系统中光源是有一定空间尺寸的,为了有利于更多的光线垂直半球表面入射,导光板底部半球结构的半径应尽量取得大些,考虑到厚度的限制,在此取 $R=2.5\text{ mm}$ 。锥面的高度 d 也应尽量提高,以使得出射角度较小的光线亦能通过锥面结构的反射尽可能多的到达导光板底面,取 $d=2.0\text{ mm}$ 。

为了使得出射光束照明均匀,还需要在导光板入射面分布散射网点,图 5 说明了一种导光板网点的分布方案,由于 LED 出射光强具有空间旋转对称性,该方案采用环形分区的网点设计方法,设导光板底面一共分为 m 个环状区域,则每个区域网点的密度为 $\rho_i (i=1,2,3 \dots m)$,假设散射网点的直径为常数,则有

$$\rho_i = \frac{\pi r^2 N_i}{S_i}, \quad (4)$$

式中 r 为单个网点的半径, S_i 为第 i 个环状区域的面积, N_i 为第 i 个区域中散射网点的个数。在导光板厚度较小的情况下,可以近似认为照明面局部区域照度的变化率与其正下方导光板底面散射网点密度变化率成正比关系表示为

$$\frac{\Delta E_i}{E_i} = k_i \frac{\Delta \rho_i}{\rho_i}, \quad (5)$$

式中 E_i 表示导光板底面第 i 区域正上方照明区域的光照度, k_i 表示比例系数, Δ 算符表示其后变量的变化。对于不同的区域,即不同的 i 值, k_i 可认为近似相等。这样通过调整各个区域的网点密度 ρ_i 或者 N_i ,就可以获得均匀的照明结果。为了避免网点与液晶分子产生的干涉条纹,可以在导光板不改变各区域网点密度 ρ_i 或者 N_i 的情况下,合理设计分布结构,使得整体网点图案不呈现空间上的周期性,一种有效的方案是:在某区域选取若干个半径不等的圆弧,在每个圆弧上均匀分布网点,但是不同圆弧上,网点分布初相位不相等(如图 5 所示),其单个圆周上的分布公式如下

$$\begin{aligned} x_{i,j} &= \cos\left(\frac{2\pi}{N_j}i + \varphi_j\right), \\ y_{i,j} &= \sin\left(\frac{2\pi}{N_j}i + \varphi_j\right), \end{aligned} \quad (6)$$

式中 $x_{i,j}, y_{i,j}$ 为第 j 圈第 i 个网点的 x, y 坐标, N_j 为第 j 圈包含的网点数, φ_j 为该圈网点的初相位。通过调节初相位的大小,可以消弱整体网点图像的

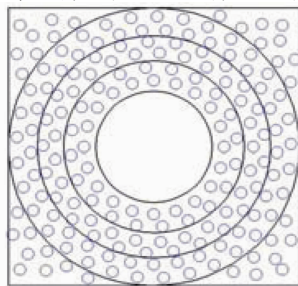


图 5 导光板散射网点分布示意图

Fig. 5 Scheme of scattering dots distribution on bottom surface of LGP

空间规律性,使得导光板便于实际系统的应用。最后,出于提高能量利用率的考虑,可以在导光板的四周增设反射板。

图 6 是导光板模块的模型图。图 7 是该结构合理分布散射网点后用 Light Tools 照度仿真结果,该结果的均匀性为 83.9%。

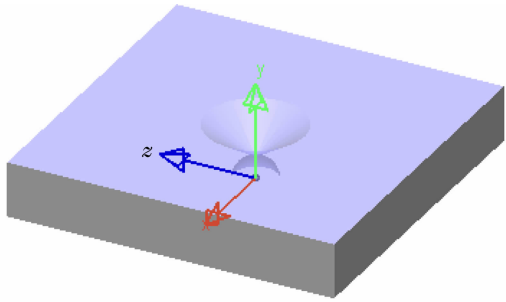


图 6 导光板模块的模型

Fig. 6 Model of a single LGP module

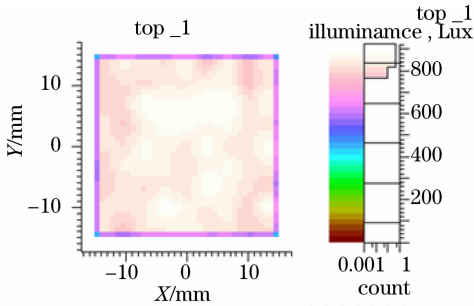


图 7 导光板的照明模拟结果

Fig. 7 Simulated result of LGP

将 2×2 个上述结构模块拼接成较大的结构(如图 8 所示),并进行了照明仿真计算。图 9 为模拟照

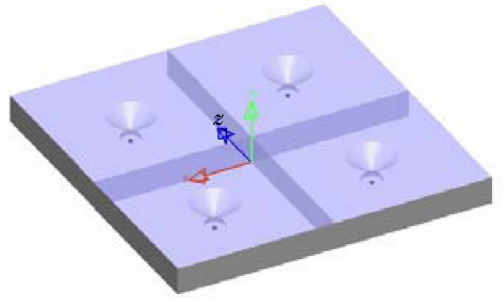


图 8 4 块导光板模块拼接模型

Fig. 8 Model of 4 assembled LGP modules

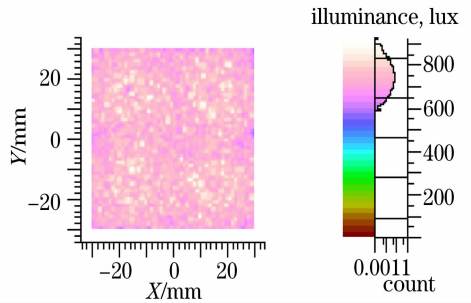


图 9 拼接 4 块导光板模块的照明模拟结果

Fig. 9 Simulated result of 4 assembled LGP modules

明的结果,接收面照度分布均匀性为 74%。

将 24×13 个导光板模块进行拼接,模拟 32 inch (1 inch=25.4 mm)液晶照明面板结构,并将其中部分导光板单元的 LED 关闭(图 10(a)中灰度较低处代表光源关闭的导光板模块),图 10(b)为该背光系统在出射面的照明模拟结果,从结果中可以看出该结构可以实现 LCD 动态显示。

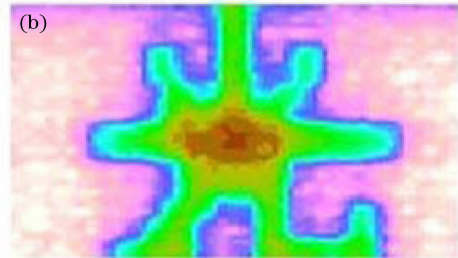
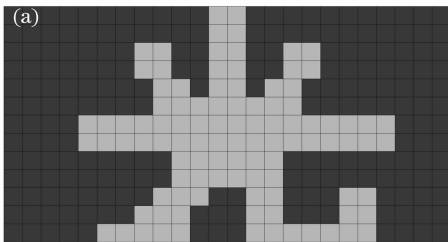


图 10 24×13 导光板模块拼接动态显示照明模拟结果。(a)导光板发光示意图; (b)32inch(1 inch=25.4 mm)背光模拟照明面分布图。

Fig. 10 Dynamic display and illuminative simulation result of 24×13 assembled LGP modules. (a) Display of LGP ; (b) Illuminative simulation result of 32 inch backlight system

3.3 导光板实验

在导光板理论设计结果的基础上,进行了相应导光板背光照明的实验。根据设计的导光板结构,加工了单个导光板模块。该模块选用 PMMA 为材料,其具体尺寸结构与设计导光板模型完全一致(基

本尺寸为 30 mm×30 mm×5 mm,圆锥面的半径 4.5 mm,高 2 mm;半球面的球半径是 2.5 m)。导光板的尺寸公差为±0.02 mm,导光板表面的平整度公差约为±0.005 mm,导光板表面的粗糙度(光洁度)在 20 nm 以内,锥面的粗糙度在 100 nm 以

内。光源为白光 LED, 发光区域面积小于 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 。该模块结构以及照明结果如图 11 所示。从图 11(a) 中, 可以看到导光板底面散射网点图像, 该网点的材料选用二氧化硅 (SiO_2) 和氧化钛 (TiO_2) 的混合物, 采用丝网印刷的方法加工在导光板的底部。网点直径为 0.53 mm , 加工尺寸误差为 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。为

了消除网点影像, 在背光模块的照明面上放置一层散射膜, 安置散射膜后的照明效果如图 11(b) 所示。需要指出的是, 加上散射膜仅仅改变出射光线的角度分布, 对其照度影响并不大。文中采用 9 点测试法检测了导光板的均匀性, 经测算该导光板模块的均匀性为 79.0% , 与仿真结果基本吻合。



图 11 背光模块照明实验。(a) 导光板模块; (b) 照明结果

Fig. 11 Experiment of illumination of backlight system. (a) LGP module; (b) Illumination result

从文中仿真结果可以看出, 当 4 块导光板模块拼接在一起时, 其仿真结果中照度均匀性比单个导光板模块略微降低了, 这类现象是由于导光板网点的设计是针对该单个块结构进行的, 设计的目的是使得单个模块达到较优的照明效果, 但是, 这种设计结果对于拼接结构不一定为最优解。改进导光板整体拼接性能的措施是通过考虑整体拼接效果和照明特点对导光板模块网点进行重新设计, 如果设计能够符合导光板拼接的光学性能需要, 则可以提高拼接后导光板的整体照明性能。

4 结 论

提出了一种用于大尺寸液晶照明的直下式导光板模块结构, 从设计参数中可以看出, 该导光板厚度较小, 有助于实现照明系统的轻薄化。从仿真结果也可以看出, 设计结构无论是单个模块还是整体动态照明都可以达到一定的照明均匀性 (大于 80%), 还给出了应用该导光板模块作为背光系统模块的相关实验结果, 也进一步表明了该设计在实际系统应用中的可行性。

致谢 感谢天津大学的房丰洲教授和北京理工大学的王琳老师在器件加工上给予的帮助。感谢清华大学富士康纳米科技研究中心在导光板制作方面提供的支持和帮助。

参 考 文 献

1 Yan Zelin, Xu Ping, Wan Lili *et al.*. Light guide plate of backlight system[J]. *Laser Journal*, 2006, **27**(3): 5~7

鄢泽林, 徐平, 万丽丽等. 背光明系统导光板[J]. *激光杂志*, 2006, **27**(3): 5~7

2 Zhang Xiandou, Xu Haisong. Piecewise partition model for accurate colorimetric characterization of liquid crystal displays [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(9): 1719~1724

张显斗, 徐海松. 液晶显示器颜色特征化的分段分空间模型[J]. *光学学报*, 2007, **27**(9): 1719~1724

3 Liu Jingwei, Wang Gang, Ma Li *et al.*. Design and fabrication of large size LED BLU for LCD TV[J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2006, **21**(5): 539~544

刘敬伟, 王刚, 马丽等. 大尺寸液晶电视用 LED 背光源的设计与制作[J]. *液晶与显示*, 2006, **21**(5): 539~544

4 Ye Qin, Tang Zhenfang, Zhang Jie *et al.*. Ray tracing simulation of volume scattering light guide plate for LCD[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(11): 1627~1631

叶勤, 唐振方, 张杰等. 体散射液晶导光板的光线追迹模拟[J]. *光学学报*, 2006, **26**(11): 1627~1631

5 Chen Xiangxian, Xu Ping, Wan Lili *et al.*. Novel technologies of light guide plate in backlight system [J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2007, **22**(5): 576~582

陈祥贤, 徐平, 万丽丽等. 新型背光系统导光板技术[J]. *液晶与显示*, 2007, **22**(5): 576~582

6 Zou Yuejun, Ren Ding. Structure analysis of LCD backlight and some methods for improving its luminance [J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2002, **17**(6): 465~470

邹跃军, 任丁. 背光源结构分析及几种提高亮度的途径[J]. *液晶与显示*, 2002, **17**(6): 465~470

7 Liang Meng, Wang Guohong, Fan Manning *et al.*. Optical design of direct illumination-type LED backlight for LCD-TV [J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2007, **22**(1): 42~46

梁萌, 王国宏, 范曼宁等. LCD-TV 用直下式 LED 背光源的光学设计[J]. *液晶与显示*, 2007, **22**(1): 42~46

8 Zhao Xing, Fang Zhiliang, Cui Jicheng *et al.*. Study on the optical engine of the mini-projector [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5): 914~918

赵星, 方志良, 崔继承等. 微型投影机光学引擎的研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(5): 914~918

9 Wang Weisheng, Jing Wei, Dou Xiaoming. A LED light unit for the projector [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(6): 855~859

王蔚生, 姜维, 窦晓鸣. 用于投影机的发光二极管照明单元 [J]. *光学学报*, 2005, **25**(6): 855~859

10 Sun Mengxiang, Tan Manqing, Wang Lufeng. Life time test of

- 1300 nm superluminescent diodes[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(10): 1627~1631
孙孟相, 谭满清, 王鲁峰. 1300 nm 超辐射发光二极管寿命测试[J]. *光学学报*, 2008, **28**(10): 1627~1631
- 11 Liu Shanpeng, Bai Yu, Liu Xiang *et al.*. Lifetime prolongation by graded junction for blue organic light emitting diodes[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(9): 1687~1690
刘善鹏, 白钰, 刘向等. 利用缓变结提高蓝色有机发光二极管的寿命[J]. *光学学报*, 2007, **27**(9): 1687~1690
- 12 Yu Daoying, Tan Hengying. Optical Engineering[M]. Beijing: China Machine Press, 2005: 80
郁道银, 谈恒英. 光学工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 80
- 13 Luo Yi, Zhang Xianpeng, Wang Lin *et al.*. Non-imaging optics and its application in solid state lighting[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(7): 963~971
罗毅, 张贤鹏, 王霖等. 半导体照明中的非成像光学及其应用[J]. *中国激光*, 2008, **35**(7): 963~971
- 14 Zhao Yan, Zhu Jun, Zhang He. A novel direct LED backlight system for LCD [C]. ISTAI, 2008: 2240~2243
- 15 Teng Hesong, Tian Mingjun. The flat panel backlighting system [J]. *Opt. Electron. Technol.*, 2001, **21**(3): 210~215
滕鹤松, 田明均. 平板背光照明系统[J]. *光电子技术*, 2001, **21**(3): 210~215