

文章编号:1005-5630(2006)02-0022-05

LED光源照明微投影仪系统的设计*

王 蓉,刘玉玲,余飞鸿

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室,浙江 杭州 310027)

摘要:随着 LCOS 技术的发展,投影仪趋于微型化,而投影系统的分辨力也不断提高,因此对投影仪的光源系统的要求就越来越高,希望得到高强度以及光学扩展量小的光束。采用两个 LED 面光源作为投影仪的照明光源,使用包括了与偏振光转换系统耦合的光棒以及照明透镜的 FF 光学系统,使光源发出的光得到充分的均匀,并尽量地会聚在 LCOS 上。模拟结果表明,该照明系统达到了所要求的照度,并且整个系统结构简单,非常紧凑。

关键词:LED光源;FF光学系统;光棒;偏振光转换;投影仪

中图分类号:TH741.5 **文献标识码:**A

Design of the micro-projector light source

WANG Rong, LIU Yu-ling, YU Fei-hong

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: With the advance in LCOS panel, LCOS projector is the only way to utilize a high resolution and micromation of the projector. Thus we require more intense, focused light with lower extended values. In this paper, we used two panel LEDs and a FF optical system, which includes a polarization conversion system, a light pipe and an illuminating lens. The simulation result shows that the light is uniform on the LCOS and the efficiency is high. The illumination system has a good performance, with also a simple and compact structure.

Key words: LED source; FF optical system; light pipe; polarization conversion; projector

1 引言

投影仪系统中用到的光源大多为 UHP (ultra high performance) 灯,短弧超高压汞灯。UHP 灯产生冷光,光效很大,在相同的功耗下产生很大的光通量,光学扩展量 (etendue) 效率即每单位光学扩展量的流明数也很高。由于它的发光弧很短,因此光学扩展量较小,适用于微型投影显示。然而使用 UHP 灯存在许多问题^[1],例如在一个三片式的投影仪系统中,要用分光系统将白光分为三种原色光,因此需要三片分色镜。这在一定程度上会提高成本以及增加系统的尺寸。另外 UV (Ultraviolet) 和 IR (Infra-red) 滤色片也会增加成本。由于每个光学元件亦会产生一定的损耗,因此降低了最终光学输出。将白光分为 R, G, B 三种光

* 收稿日期:2005-07-29

作者简介:王 蓉(1981-),女,湖北武汉人,硕士研究生,主要从事非成像光学系统设计方面的研究。

以后,每一个颜色的光谱还是较大,因此减少了系统色域。UHP 灯的另外一个缺点就是它的寿命很短,平均寿命为 5000h,限制了投影仪的使用时间。此外 UHP 灯的驱动电压太高,冷却灯泡体积太大,价格较高,使用汞蒸气以及有爆炸的危险等。这些都给投影系统的微型化以及便携化造成了一定的阻碍。

为了解决这些问题,越来越多的人开始关注 LED(light-emitting diode)光源。许多投影显示使用 LED 作为光源。与传统的投影仪光源相比,LED 有许多优点。已经有红色、绿色以及蓝色的 LED,所以不需要从白光中提取基本色。因此在 LED 的投影系统中不需要分光镜和冷镜。另外与 UHP 灯相比,LED 光源不会发出紫外和红外波段的光,系统中不需要 UV 和 IR 滤光片。这些都会使得系统的体积更小,成本更低,损耗更小。LED 寿命很长,可以点燃 10 万个小时,大大提高了投影仪的使用时间。LED 的体积小,驱动电压低,是廉价密集可携带的投影仪的理想光源。LED 光源的发光光谱很窄,接近于单色光,因此能产生大的色域,增加配色数目,提高图像质量。

当然 LED 也存在较大的劣势,在实际的投影应用中,LED 的强度仍然太低。并且每单位光学扩展量的效率也远低于 UHP 灯(大约为 UHP 灯的 1/50)。现在 LED 大多用作一些小的显示例如掌上电脑 PDA 和手机中。现将使用 LED 作为微型 LCOS(liquid-crystal-on-silicon)投影仪光源,设计合理的照明系统结构,使其达到所要求的照度和均匀。

2 LED 光源选择

选择 LED 光源时,要考虑 LED 的尺寸、排列、功率、发光角度等问题。一般在设计中,将许多 LED 排成一个阵列,作为面光源使用。增加 LED 的排列也就增加了发光有效面积,增加了光通量。然而增加 LED 的排列同时也会增加光源的光学扩展量。投影仪系统的光学扩展量由系统投影透镜的 F 数以及 LCOS 光阀的面积决定。光源的光学扩展量不能超过系统的光学扩展量,因此一味增加 LED 的排列是没有用的。

光源的光学扩展量公式为:

$$Etendue = S \times (NA)^2 \tag{1}$$

其中 S 为光源的发光有效面积,即为单个 LED 的面积 S_0 与排列个数 N 的乘积。

$$S = S_0 \times N \tag{2}$$

NA 为光源发光光束的数值孔径,如果所选择 LED 的发光角度小,就可以在保证光源的光学扩展量不超过系统光学扩展量的同时,增加 LED 的发光有效面积,亦增加光通量。

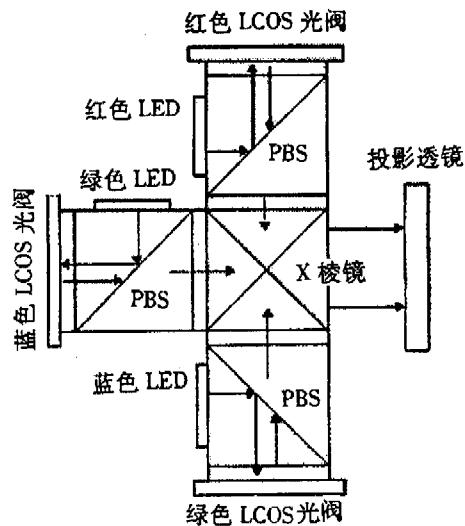


图 1 基于 LED 的三片式 LCOS 投影仪

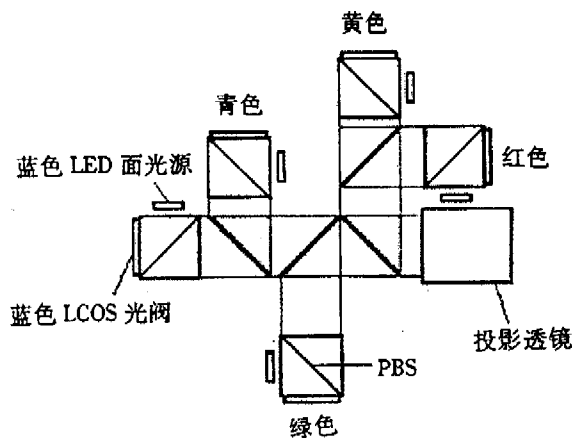


图 2 5 个 LED 面光源系统

另外一种直接提高 LED 效率的方法是在保证光学扩展量不变的情况下增加光通量。例如将不同颜色的 LED 面光源通过合光技术结合起来。在图 1 中,是一个三片式 LCOS 投影系统。系统中使用 RGB 三种

颜色的 LED 面光源,分别被对应的 LCOS 光阀调制后反射,X 棱镜将三种颜色的光结合起来,反射进投影透镜。同时有一些文章研究在投影仪中使用 RGBCA(红绿蓝青黄)五种颜色的 LED 面光源,结构如图 2 所示。使用五种颜色的 LED 面光源不但能增加光通量,而且可以得到更大的色域及更好的图像质量。在图 3 中,分别显示了 RGB 三色 LED 和 RGBCA 五色 LED 两个系统的色域。三角形为三色 LED 投影系统的色域,而五边形为五色 LED 投影系统的色域。即使在单片式 LCOS 投影系统中,也可以使用 RGB 三色面光源,以增加投影系统的流明值^[2],如图 4 所示。

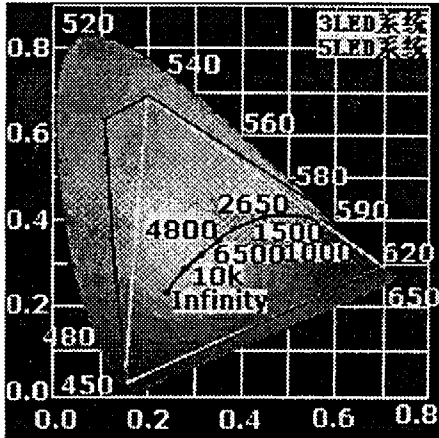


图 3 用三色 LED 和五色 LED 的系统色域

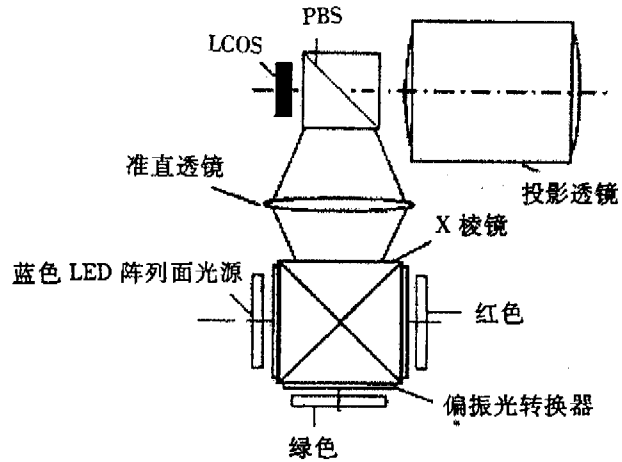


图 4 基于 LED 的单片式 LCOS 投影仪

3 LED 照明系统设计

在传统的投影仪中,使用椭球反光碗或者抛物面反光碗提高点光源照明光阀的效率。而在 LED 投影仪中,LED 光源为面光源而非点光源,因此无法使用反光罩。在 Hiroki Kaneko 的文章中提到为了提高对面光源的光能利用率,可以采用“FF 双焦距光学系统”。图 5 显示了 FF 光学系统的结构,其中 FF 光学系统被简化为透过型光学系统,以示说明。面光源以及 LCOS 分别置于照明透镜的前焦面以及后焦面上。由于面光源被置于前焦面,面光源上任意一点发出的光线都被照明透镜准直;这些被准直的光线经过照明透镜并没有展开,而是大部分进入投影透镜;它们在照明透镜的后焦面会聚,将 LCOS 置于后焦面上,因此 LCOS 被有效的照明。所以可以通过 FF 光学系统实现一个高效率的投影仪。

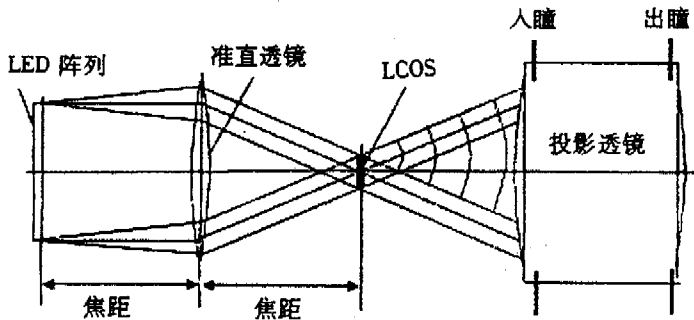


图 5 FF 光学系统

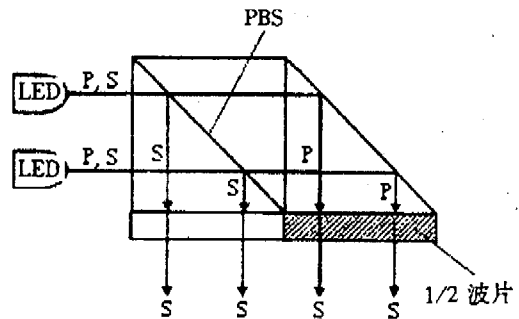


图 6 偏振光转换系统示意图

为了提高光能利用率,还可以在系统中加入与偏振光转换系统,使得输出光为单一偏振态。LED 投射出来的非偏振光经过偏振光转换系统变成偏振光。图 6 显示了 LED 阵列的偏振光转换系统的原理图。偏振光转换系统包括一个 PBS(polarization beam splitter),一个三角棱镜以及 1/2 波片。通过这个结构,p 偏振光被三角棱镜的斜面反射,经过 1/2 波片被转换为 s 偏振光。同时,s 偏振光经过 PBS 被反射仍然为 s 偏振光。偏振光转换系统通过增加 s 偏振光将光效提高了 1.4 倍。

通常所用的 PBS 膜对于 45°入射的中心波长的光的偏振光分离作用比较好,而对其他角度入射的其他波长的光的分离作用较差。由于角度以及波长的影响,被偏振光转换系统反射的 s 光和被 1/2 波片转换的 p 光的强度不同,最后得到的光线并不均匀,因此把偏振光转换系统与光管耦合起来。为了提高光线的透射率,在三角棱镜以及光棒之间设置一个很小的空气间隙^[3]。这个空气间隙使得光线在器件之间发生全反射,如同一个连续的波导。对于一个由棱镜连接的光棒系统,图 7 中显示了没有空气间隙情况下,光线传播转动 90°的情况。光线 b 沿光轴传播,在三角棱镜的斜边 90°反射后继续传播,而光线 a 和光线 c 相对于光轴有一定的角度,它们在传播的过程中损失掉了。为了解决这个问题,在系统中增加了空气间隙,如图 8 所示。光线 a 被三角棱镜斜边反射并没有直接射向输出面,而是在三角棱镜对应入射光棒的面上发生全反射,两个面之间有一个小小的空气间隙。被全反射的光线传播进入出射光棒。光线 c 在棱镜与出射光棒对应的面上也产生同样的全反射。因此光线在光棒与直角棱镜系统中传播如同在笔直光棒中传播的效果。图 9 为偏振光转换系统与光棒耦合的结构。

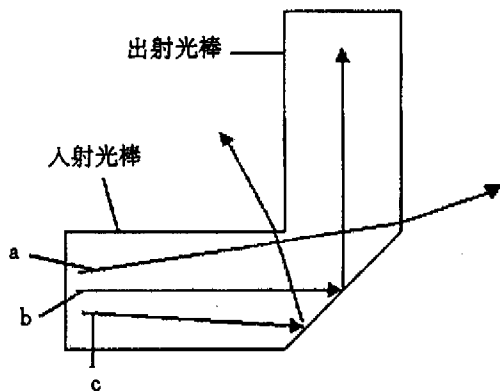


图 7 无空气间隙光线传播直角转向系统

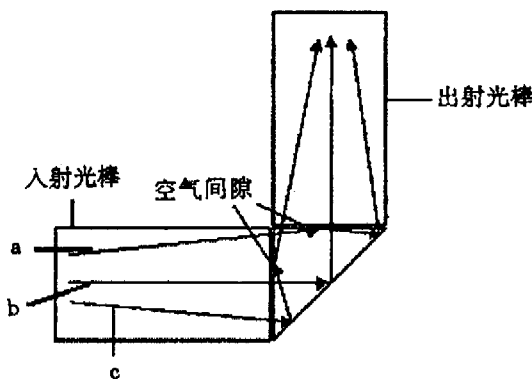


图 8 有空气间隙光线传播直角转向系统

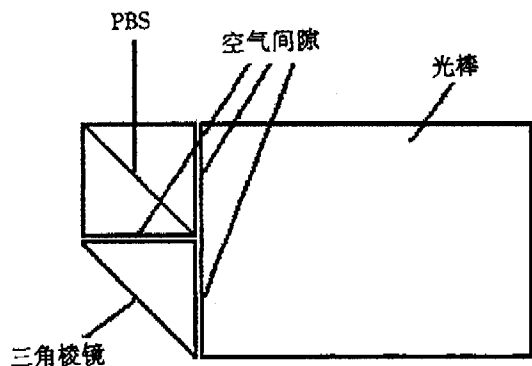


图 9 偏振光转换系统与光棒耦合结构图

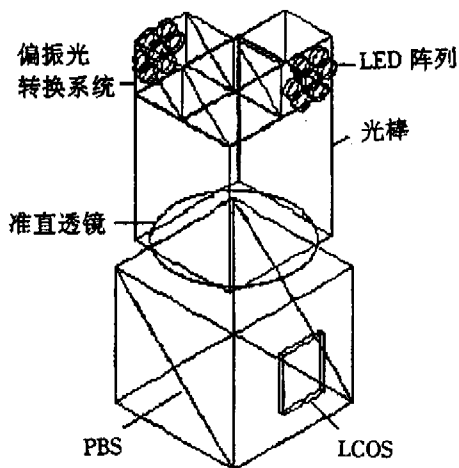


图 10 LED 投影仪的外形结构及输出面照度图

包括了与偏振光转换系统耦合的光棒以及照明透镜的复杂 FF 光学系统如图 10 所示。在系统中,使用的 LED 阵列 7 个一组的白光 LED 光源,功率为 7W,输出 140lm,发光半角为 30°。为了提高效率,使用了两个 LED 面光源。光源发出的光经过对应的偏振光转换系统,进入光棒得到充分的均匀,而照明透镜将光能尽量地会聚在 LCOS 上。图 11 为 LCOS 面板上的照度图,整个 LCOS 上的光强分布比较均匀,且到达 LCOS 光阀的效率约为 30%。可以看到使用 LED 作为投影仪光源,整个系统非常紧凑,结构也很简单。如果能够根据实际的设计要求得到 LED 面光源,将使得整个光学系统更为简单廉价,效率更高。

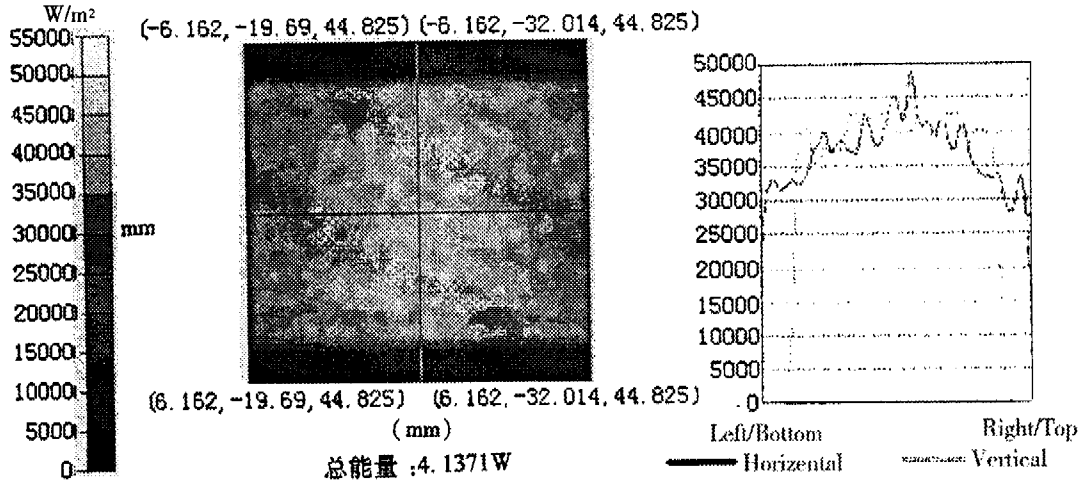


图 11 LED 投影仪的输出面照度图

4 结束语

投影仪光源部分的设计在一定程度上就是对光束的整形,以使得 LCOS 光阀上的光效最高且均匀度好。LED 光源由于其强大优势被人们越来越重视。但因其发光强度太低而大大限制了它的使用范围。基于 LED 的微型投影仪照明部分设计思路是选择一个符合设计要求的 LED 或者通过一些光学器件将发光特性与设计要求的 LED 的光束进行整形。采用 LED 阵列作为投影仪的照明光源,光源发出的光经过对应的偏振光转换系统,进入光棒得到充分的均匀,而照明透镜将光能尽量地会聚在 LCOS 光阀上。模拟结果表明,该照明系统达到了所要求的照度,并且整个系统结构简单,非常紧凑。

5 参考文献

[1] Murat H, Smet H D, Cuypers D, et al. . Increased lumens per étendue by combining pulsed LED's[J]. *SPIE*, 2005, 5740:1~12.
 [2] Kaneko H, Ohshima T, Ebina O, et al. . Desktop autostereoscopic display using compact LED projector[J]. *SPIE*, 2003, 5006:109~117.
 [3] Li K N, Sillyman S D, Inatsugu S J. Light pipe based optical train and its application[J]. *SPIE*, 2004, 5524:186~195.