

文章编号:1007-2780(2015)02-0369-05

激光与 LED 混合投影光源色度学特性分析

吕伟振^{1,2*}, 刘伟奇¹, 张大亮¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:以色度学理论为基础,分析和测试了激光与 LED 混合新型投影光源的亮度和色域覆盖范围,并与传统的超高压水银弧光灯进行比较。新型投影光源不仅亮度很高,在使用较长时间后亮度无明显衰减,而且色域覆盖范围更加接近与人眼,色彩表现更加丰富、有层次感,真正符合高亮度、高色彩还原能力的投影显示效果的需求。采用激光与 LED 相结合的方式作为照明光源,既解决了单独使用 LED 光源时亮度始终不够的问题,又能有效地减少环境污染。因此,激光和 LED 混合投影光源凭借无法比拟的优势可以替代传统光源以满足投影显示色度学的要求。

关键词:色度学特性;投影显示;投影光源;激光;LED

中图分类号:O432.3 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20153002.0369

Colorimetric analysis of laser and LED hybrid projection sources

LV Wei-zhen^{1,2*}, LIU Wei-qi¹, ZHANG Da-liang¹(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,**Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Based on the theory of colorimetry, brightness and coverage of color gamut of laser and LED hybrid projection sources were measured and analyzed. Compared with the traditional ultra-high-pressure mercury arc lamp, the new projection sources possessed higher brightness. The brightness had no obvious attenuation after using for a long time. The coverage of color gamut was more colser to the human's eye. Meanwhile, the color performace was still further abundant, which met the projection display requirements of high brightness and high color reproduction capability.

Key words: colorimetric properties; projection display; projection light source; laser; LED

1 引言

近年来,大画面投影显示技术在这方面都趋于成熟化,LCD、DLP 和 LCoS 等家用型投影投影

电视逐渐渗入到家庭领域。但在这些大画面投影机中,无论系统结构如何复杂,光源照明系统是整个投影显示光学系统设计的前提,很大程度上决定了投影画面的亮度和色度学特性。现如今的超高压水银弧光灯(UHP)等传统光源受制于发热

收稿日期:2014-06-05;修订日期:2014-08-20.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2009AA032701)

* 通信联系人,E-mail:lwz1011@163.com

量高、寿命短、体积大等条件的限制,严重制约着投影显示技术的发展。LED 光源在很大程度上突破了低流明显示的瓶颈,但不可否认的是,其亮度依然只满足小空间使用,场景使用非常有限。也正是如此,集合 LED 及激光光源的混合光源技术的开始出现,两者的完美结合很好地解决了投影机亮度不足致命性问题。激光和 LED 作为投影光源,解决了在使用传统光源时遇到的束缚,为投影光源技术的发展开辟了新的道路。然而在使用 LED 和激光这一新型混合投影光源时不仅要考虑投影画面的输出光通量,其显示颜色的丰富程度和色彩还原能力的准确程度也是衡量投影显示技术指标之一。因此,本文采用卡西欧 XJ-H175 投影机光源对色度学特性进行研究,并与传统超高压水银弧光灯投影光源进行比较和分析。

2 色度学理论基础

通常情况下,投影光源发出的是几种单色光混合而成的“复色光”,不同波长的光可以引起不同的颜色感觉,如 0.47 μm 的短波光能够产生蓝色感觉,而 0.70 μm 的长波光能够产生红色感觉,通过各种不同比例的波长混合再加上不同光源的色温,使得光源可以呈现不同的颜色,从而使我们的生活变得更加五彩斑斓。为了能够说明投影光源的色度学特性并定量标定各种颜色,需要用数学方法来计算各种颜色的混合结果,从而测定光源颜色显示的覆盖范围。在实际应用中,光源都是带有一定波谱范围的,不可能都用单色的三基色来配出各种彩色,这需要重新定义光谱的三刺激值^[1-3]。根据色度学公式,红绿蓝三基色的色量计算公式为:

$$\begin{cases} R=\int \bar{r}(\lambda)P(\lambda)d\lambda \\ G=\int \bar{g}(\lambda)P(\lambda)d\lambda \\ B=\int \bar{b}(\lambda)P(\lambda)d\lambda \end{cases}, \tag{1}$$

其中: $P(\lambda)$ 为非单色基色光辐射功率按波长的分布函数, $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$ 为三基色的分布系数, R 、 G 、 B 为光谱三刺激值。

对应一组的三原色就可以求得相应的光谱三刺激值。由于三原色的选取并不是唯一的,不同的三原色,将构成不同的色度学系统。为了能够在同一色品图中观察不同光源的色度学特性,通

过不同色度系统之间的坐标变换,可以将 1931CIE- RGB 系统的三刺激值转化到 1931CIE- XYZ 色度系统中,人为地选取 3 个自然界不存在的基色,(X)代表红基色,(Y)代表绿基色,(Z)代表蓝基色。这 3 种颜色是无法通过颜色匹配实验直接得到的,而是以 1931CIE- RGB 系统光谱色品坐标值换算得到的,其换算矩阵方程为:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \tag{2}$$

再仿照 RGB 系统的 r 、 g 、 b 可以得到:

$$\begin{cases} x=\frac{X}{X+Y+Z} \\ y=\frac{Y}{X+Y+Z} \\ z=\frac{Z}{X+Y+Z} \end{cases}, \tag{3}$$

显然,有

$$x+y+z=1 \tag{4}$$

这样就把 $r-g$ 色度图转换为 $x-y$ 色度图,利用色度学中的颜色叠加原理,可以得到混合白场时的色度坐标。同时,当黑体温度升高时,其颜色变化时红、黄、白、蓝,在色度图上形成一条普朗克弧形轨迹,也可以计算相应的白场得到相关色温。

通常,CIE 规定系统用红(R): $\lambda=700\text{ nm}$,绿(G): $\lambda=546.1\text{ nm}$,蓝(B): $\lambda=435.8\text{ nm}$ 三种光谱色为三原色,用此三原色来匹配同等能量下白光的三刺激值。由此构成的色域覆盖范围为一条马蹄形曲线,光谱色的饱和度是最高的,实际存在的颜色的色品点均在光谱色品轨迹所包围的范围之内,没有比光谱色饱和度更高的颜色。

3 投影光源

3.1 传统投影光源

自 20 世纪 90 年代以来,超高压水银弧光灯(UHP)一直占据着绝对的统治地位。如图 1 所示,它使用金属卤化物作为电极,灯泡内充满了高压水银蒸汽,电极间超高压弧光可以产生约 1 mm 大小的光源。光源产生白光经过照明匀化系统后,均匀照射在由红绿蓝三色组成的色轮分光系统上,将光束分解成红绿蓝三种基色,然后对每一种基色分别进行调制,再在空间上合成彩色图像^[4-6]。



图 1 超高压水银投影灯泡
Fig. 1 Ultra-high pressure mercury lamp

它的弧间距极短,可以看作是一个点光源,使得聚光系统如反光碗、聚光透镜等更加容易设计,实现更高的光能收集率,并且能够激发出很高的可见光光谱能量,但 UHP 通常需要在点亮一段时间后才能稳定工作,熄灭时也需要冷却系统。随着光束发散角的增大,椭球面反光碗口径较大,导致光源体积也随之增大,不利于光学引擎小型化、轻型化的发展,空间复杂的分色和合色系统使得光源能量有较大的损失。另外,光源寿命较短、污染环境也成为发展投影显示技术亟待解决的问题。

3.2 激光与 LED 混合新型投影光源

随着激光和 LED 半导体技术的发展,新型投影光源的产生解决了传统光源发热量高、寿命短、体积大的瓶颈,为投影显示技术的发展开辟了新的道路,彻底告别了水银光源时代。LED 和激光单色性较好,由此发出的光集中在较小的波带范围内,色彩纯度高,不像超高压水银汞灯那样拥有全光谱。在应用于投影电源时,不需要通过色轮进行分色,在一定程度上可以使减小了光源系统的体积,有效减少投影显示设备的体积和重量,更加便于投影机的设计,使得小型轻量化投影产品的出现成为可能。另外,新型光源的发光指向性非常好,与传统光源相比,亮度衰减程度非常缓慢。数据显示,在持续发光 2 000 h 后,亮度衰退率不超过 5%。正是基于上述优点,激光和 LED 投影光源技术逐渐应用到投影显示设备中。

投影显示技术已进入大尺寸、高清、数字化、大色域时代,LED 和激光光源技术在色彩表现力和对比度方面都堪称完美。但 LED 光源技术始终没有突破高亮度显示的瓶颈,只是在微型投影显示光源技术中应用比较广泛,对于大屏幕高清投影显示设备,LED 因为亮度太低没有得到市场

的广泛认可。而激光光源的亮度是普通光源亮度的 1 000 倍以上,成为目前世界上亮度最高的光源,色域覆盖率可以得到人眼色域范围的 90% 以上。许多商家一直都在开展高效率、小体积、高可靠、低成本、高功率激光光源模组的研制,实现光源一体化和小型化的研究。但直接使用激光作为投影光源时画面产生散斑现象一直未能成功解决,只能通过工程漫射体等消干涉装置进行散斑抑制,使得激光投影光源技术未能在市场中得到广泛的应用。

伴随着激光与 LED 光源相结合的照明光源的出现,既满足了现行高亮度投影显示的要求,又使得图像显示的彩色表现力更加丰富,色彩饱和程度更高,显示的画面看起来更加真实,更有层次感,很有必要从色度学方面对激光与 LED 相结合的照明光源的优越性进行分析^[7]。

如图 2 所示,LED 与激光相结合的照明光源技术是由中心波长为 630 nm 的高亮度红色 LED、中心波长为 430 nm 高亮度蓝色 LED 以及高功率的蓝色激光器组成,通过最大限度的发挥各自的优点,使其在投影屏幕上能够输出高亮度投影画面。因为 LED 作为投影光源时,最大的缺点是亮度不够,这是由 LED 本身的特点所决定的,蓝色激光激发荧光粉的技术的加入主要是为了提升光源整体的亮度和饱和度。还有人眼对各个波长辐射的响应程度是不等的,通过蓝色激光器激发旋转的绿色荧光粉,使高功率的激光转变为荧光粉发出波长为 555 nm 的黄绿光对人眼的刺激最强。此光源能够产生 4000 lm 的高亮度光,在亮度方面毫不逊色于传统光源,即使在宽阔明亮的室内也能够产生鲜艳明亮的画面。它既解决了 LED 亮度偏低的问题,又消除了直接使用激光时画面产生散斑的现象、还解决了荧光粉静止时发光瞬间淬灭等一系列问题。目前,市面上仅

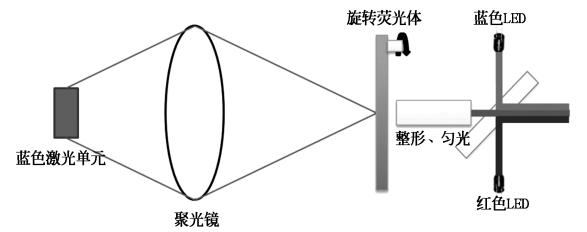


图 2 新型光源照明示意图
Fig. 2 Schematic of new illumination lighting sources

有卡西欧、丽讯、明基等几家品牌将此种光源技术应用到投影显示技术中^[8]。

4 色度学特性分析

实验室现有 Spectra Scan PR715 型光度色度计,它不仅可以对光源进行测量标定,自动显示被测光源颜色的色度坐标,还能够对光源的亮度进行测量,利用此仪器可以对不同的投影光源发出的光进行色度分析,并通过色度转换公式将不同光源放在同一色度学坐标系中进行比较^[9-10]。如图 3 所示,通过计算机对投影光源输出的颜色进行调制,分别对 Benq 7763PA 中传统超高压水银汞灯和 Casio XJ-H175 中新型 LED 和激光混合投影光源进行红、绿、蓝三基色的色度学坐标的测定。



图 3 色坐标测试装置

Fig. 3 Test device of color coordinates

通过测定得到不同光源投影系统的色度坐标如表 1 所示。

表 1 不同投影光源的色度学特性
Tab. 1 Colorimetric properties of different projection sources

型号	三基色	色坐标(x,y)
Benq 7763PA	红(R)	(0.673 4,0.349 9)
	绿(G)	(0.285 7,0.584 7)
	蓝(B)	(0.153 7,0.072 8)
Casio XJ-H175	红(R)	(0.664 9,0.323 5)
	绿(G)	(0.187 8,0.763 6)
	蓝(B)	(0.150 4,0.020 1)

表 1 反映的是不同光源的色彩表现能力,可以很好地用来评价系统的颜色还原能力。为了更好地对两种投影光源的色度学特性进行对比,将所测的数值在 CIE1931 色度图中用色三角表示,比较结果如图 4 所示,LED 和激光混合投影方式的光源色度学显示面积明显大于传统投影光源的三角形面积,这说明使用新型光源比传统光源相比色彩表现能力强,其颜色饱和度更高,能够混合出更多的颜色。

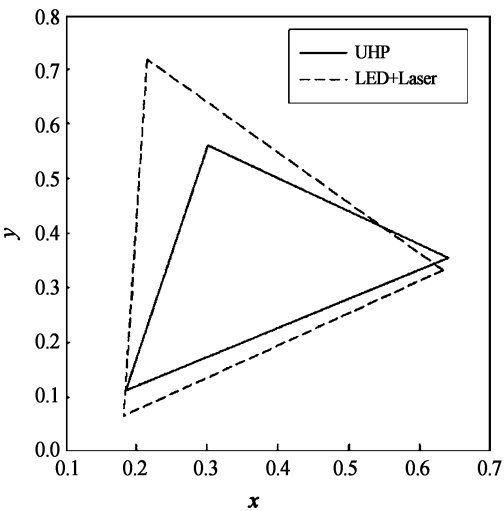


图 4 两种光源的色度学特性比较

Fig. 4 Comparison of colorimetric properties of two sources

5 结 论

作为一种新型投影光源,LED 和激光都具有较窄的光谱范围,单色性好,用于投影时会有较高的光谱能量利用率。通过两种实例光源的对比和分析可知,新型光源在许多方面的优势明显,不仅在亮度上实现了单独使用 LED 光源时无法达到高亮度投影的现实,并且与传统光源相比具有更丰富的色彩表现能力。并且,LED 和激光驱动都比较简单,光源功耗低,发热量小,在很短时间内就能达到高亮度投影。随着激光和 LED 混合光源技术的不断发展,投影亮度将越来越高,成像画面质量会不断提升,同时会欣赏到更加生动地影像画面。

参 考 文 献:

- [1] 田志辉,刘伟奇,魏忠伦,等. 激光显示中的色度学研究[J]. 微计算机信息,2008,24(3):241-243.
Tian Z H, Liu W Q, Wei Z L, *et al.* The colorimetry in laser display [J]. *Microcomputer Information*, 2008, 24(3): 241-243. (in Chinese)
- [2] 吴庆,黄先,刘丽,等. 色坐标对白光LED光通量的影响[J]. 发光学报,2007,28(5):736-740.
Wu Q, Huang X, Liu L, *et al.* The corresponding relation between the color coordinate and luminous flux[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2007, 28(5): 736-740. (in Chinese)
- [3] 许祖彦. 大色域显示——新一代显示技术[J]. 物理,2010,39(4):227-231.
Xu Z Y. Large colour gamut display——the new generation of display technique [J]. *Physics*, 2010, 39(4): 227-231. (in Chinese)
- [4] 逢浩辰,朱明,郭立强. 彩色图像融合客观评价指标[J]. 光学精密工程,2013,21(9):2348-2353.
Pang H C, Zhu M, Guo L Objective color image fusion performance index [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(9): 2348-2353. (in Chinese)
- [5] 徐美芳,王维彪,高文宏,等. 激光投影显示中静态复合散斑的表征与建模[J]. 光学精密工程,2013,21(12):3021-3028.
Xu M F, Wang W B, Gao W H, *et al.* Characterization and modeling of static compound speckle in laser projection display[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(12): 3021-3028. (in Chinese)
- [6] 荆其诚. 色度学[M]. 北京:科学出版社,1979:303.
Jing Q C. *Colourometry* [M]. Beijing: Science Press, 1979:303. (in Chinese)
- [7] Schanda J. CIE colorimetry and colour displays[C]//*Proceedings of the Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications*, Scottsdale, Arizona: Society for Imaging Science and Technology, 1997:230-233.
- [8] 田志辉,刘伟奇,柳华,等. 激光显示中的色域转换系统[J]. 液晶与显示,2007,22(4):423-427.
Tian Z H, Liu W Q, Liu H, *et al.* Color gamut conversion system in laser display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2007, 22(4): 423-427. (in Chinese)
- [9] 赵星,方志良,母国光. LED投影光源的色度学特性研究[J]. 物理学报,2007,56(5):2537-2540.
Zhao X, Fang Z L, Mu G G. Study on the colorimetric properties of the LED projection sources [J]. *Acta physica Sinica*, 2007, 56(5): 2537-2540. (in Chinese)
- [10] 张雪静,徐英莹,曹峰梅. 两种不同类型的滤光片式彩色亮度计性能比较[J]. 液晶与显示,2013,28(1):146-151.
Zhang X J, Xu Y Y, Cao F M. Performance contrast of two different types of optical filter color luminance meter [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(1): 146-151. (in Chinese)

作者简介:吕伟振(1984—),男,山东莱芜人,博士研究生,主要从事成像光学系统设计与测试方面的研究。E-mail: lwz1011@163.com