

溴化亚铜激光器在远距离激光选通 投影系统中的应用*

孟志葱 张桂燕 蒋建华 宋秀冬 林福成

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 以小型溴化亚铜蒸气激光器建立了远距离激光选通投影系统, 实现了对远距离目标的激光选通投影成像, 并获得了满意的图像清晰度与信噪比。并分析了该投影系统的典型特征。

关键词 CuBr 激光器, 激光选通, 投影系统

1 引言

铜蒸气激光器, 包括卤化铜激光器, 作为一种高增益、高重复频率的可见光区域气体激光器, 在光学成像领域具有十分重要的应用价值。早在七十年代, 铜蒸气激光器就作为像亮度增强器用于显微投影系统中。采用这种结构的有源投影显微镜适用于对激光放电管附近的微小物体进行显微放大投影, 系统分辨率接近于物镜的衍射极限^[1~3]。

本文探讨卤化铜激光器在远距离有源投影系统中的应用。以小型溴化亚铜激光器为基础, 建立照明-放大同步控制系统, 实现了对远距离目标的投影成像与亮度增强。该投影系统引入了距离选通技术, 能够使远方不同距离处的目标分别投影成像, 并均获得令人满意的像亮度与清晰度。这项技术在远距离光学信息的获取与处理中将具有重要的实用价值。

2 远距离激光投影系统

传统的激光像亮度增强投影系统结构如图 1 所示。其工作原理是利用不加谐振腔的激光放电管 A 产生的超自发辐射(ASE)通过物镜 L 后照明物体, 物体的漫反射光又在放电管的激活介质中得到增益放大, 因而使投影在屏上的像亮度增强。在这一结构中, 由于无腔激光放电管的自发辐射强度有限, 距离稍远的物体便得不到足够的照明, 因此实际物距一般在 0.5 m 以内, 又由于物镜的聚焦作用, 使得物平面上的照明光场线度仅限于毫米量级。因此传统的激光像亮度增强器只适用于近距离微小物

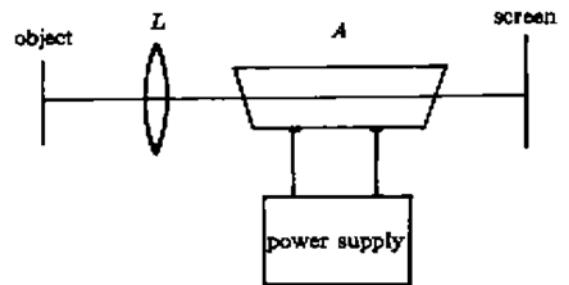


图 1 常用激光投影系统

Fig. 1 Conventional laser projection system

* 国家自然科学基金资助项目。

体的放大投影成像。

我们以小型封离式 CuBr 激光器为基础,建立了适用于观测远距离目标的激光选通投影系统,如图 2 所示。利用两台 CuBr 激光器构成照明-放大系统。照明用激光放电管 A 总长为 1000 mm,内径为 30 mm,管内电极间距为 600 mm,由曲率半径为 4 m 的凹面镜 M_1 和平板玻璃 M_2 组成稳定腔,输出激光波长为 510.6 nm(绿光)和 578.2 nm(黄光),其中绿光较强,输出平均功率约 1.5 W。放大级为无腔 CuBr 放电管 B,总长为 800 mm,内径也是 30 mm,管内电极间距为 500 mm。两放电管内均充以一定的氖气作为缓冲气体,并以两个独立的电源作为泵浦源,由一台脉冲信号发生器产生两个相对延迟时间可调的同步脉冲信号,分别触发两台放电电源,放电重复频率为 16 kHz。

以 CuBr 激光器 A 对距离投影系统约 8 m 处直径为 40 mm 的字母“H”照明,反射回来的光由焦距为 2.5 m 的聚光透镜 L 收集,经过放大级

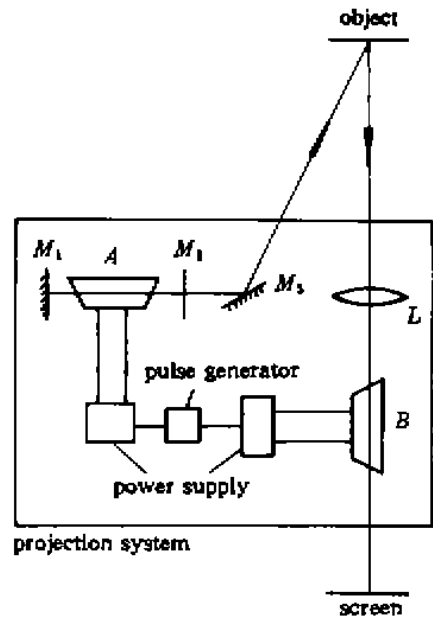


图 2 远距离激光选通系统

Fig. 2 Remote laser gated projection system

CuBr 放电管 B 中的增益介质,在屏上投影。通过调节两放电管的相对触发延迟时间来补偿触发电源的放电相对延迟及光路延迟,使得反射回来的成像信息在放电管 B 中得到增益放大。在室内正常光线照明条件下,屏上得到直径约 15 mm 的清晰的“H”字图像,如图 3 所示。屏上成像的光功率密度约为 3 W/m^2 。扣除由放电管 B 的自发辐射在屏上形成的背景噪声,测得像亮度增强约 120 倍。

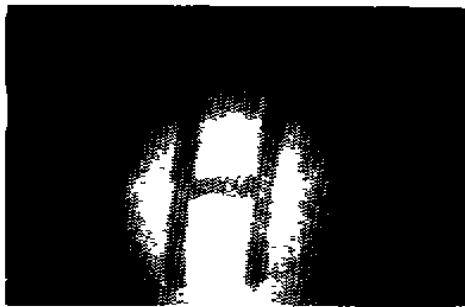


图 3 远距离物体的图像

Fig. 3 Image of a remote object

考察这种远距离投影系统的优越性。对远方物体照明时,设照明光能量为 E_0 ,光源与目标间距离为 r ,环境衰减系数为 α ,则入射到目标上的能量

$$E_i = E_0 e^{-\alpha r}$$

设物体平均反射系数为 ρ ,光学系统的调制传递函数为 τ ,聚光透镜孔径为 D ,物体的漫反射光在 2π 立体角内发散,能被投影系统收集到的光能量

$$E' = \rho \tau E_i e^{-\alpha r} \frac{D^2}{2\pi r^2} = \rho \tau e^{-2\alpha r} \frac{D^2}{2\pi r^2} E_0$$

在 $\alpha = 0, \tau = 1$ 的理想情况下,假定 $\rho = 50\%$,实验中 $r = 8 \text{ m}$, $D = 150 \text{ mm}$,计算得

$$E' = 2.8 \times 10^{-5} E_0$$

即对远方物体的照明光能量至少应为屏上成像光能量的 3.6×10^4 倍。显然,传统的像亮度增强器利用自发辐射照明无法达到此要求。我们采用 CuBr 激光器的高功率激光输出代替自发辐射,使远方目标靶得以有足够的照明。同时,放大级对像的亮度增强,不仅相应降低了对照明光源的强度要求,而且其放大带宽与照明光源相匹配,宽度接近原子线宽,使得照明光以外的其它波长的杂散光均得不到亮度增强,从而大大提高了成像信噪比。增大聚光透镜的孔径,并适当调整透镜位置,使其收集到的光信息能够完全通过增益介质,则将更有利于提高成像光束

的能量。此外,该系统中照明与放大分别由两个激光放电管完成,可以自由控制其各自的工作状态,因而避免了传统的激光像亮度增强器中同一放电管照明与放大作用的相互制约。

投影光路中引入放大级 CuBr 放电管后,该管的后窗口充当了系统的出射光瞳,视场线度 S 由下式计算

$$S = \frac{dl}{l_1 + l_2}$$

式中 d 为放电管内径, l 为物距, l_1 为透镜到放大级注入端窗口的距离, l_2 为放大级放电管总长。计算得 S 约 64 mm。可见,与传统的像亮度增强器相比,观测视场显著增大。在照明光功率足够大条件下,增加物距还将进一步扩大视场。采用大孔径和尽可能短的 CuBr 放电管作为放大级也有助于增大视场,但目前这种管子难以获得稳定的高增益。当聚光透镜的孔径大于放大级放电管内径时, l_1 不宜太小,否则所收集到的成像光信息就无法充分通过增益介质。实际应用中应尽量使光源照明面积与投影系统的视场大小相符,这样就能充分利用照明光能量,又不缩小观测范围。

3 距离选通成像

这种远距离激光投影系统同时具有距离选通功能。

实验装置如图 4 所示。照明光分束后,使两光路间达到一定距离的相对延迟,其中一束光照明物平面上的字母“F”,在屏上得到直径约 10 mm 的像;另一束光照明物平面前的平板玻璃,在屏上形成明显的干涉条纹。当成像光束不通过放大级时,像平面上字母“F”与干涉条纹叠加在一起,如图 5(a) 所示。加入像亮度放大,调节放大级与照明光源的相对触发延迟时间,使得字母“F”反射回来的光在激活介质中得到增益放大,而干涉条纹反射的光到达放大级 CuBr 放电管时恰被完全吸收,从而在屏上得到清晰的字母像,图像亮度也大大增强,如图 5(b); 同样,适当调节两放电管的相对触发延迟,即可得到清晰的干涉条纹像,如图 5(c)。屏上成像光功率密度约为 30 W/m^2 , 在相同的电功率输入条件下,加入由曲率半径为 4 m 的全反凹面镜和平板玻璃(输出镜)组成的谐振腔时,测得放大级 CuBr 放电管输出的激光平均功率为 1.4 W。由于这一实验中提高了放大级 CuBr 放电管的输入功率,扣除放大级自发辐射引起的背景噪声后,测得像亮度放大倍数可达 500。

CuBr 激光器的输出脉宽决定了系统的距离分辨本领。在脉冲时间内,激活介质粒子数反转 ($N_2 > N_1$), 使注入信号得到增益放大。如果成像信息注入

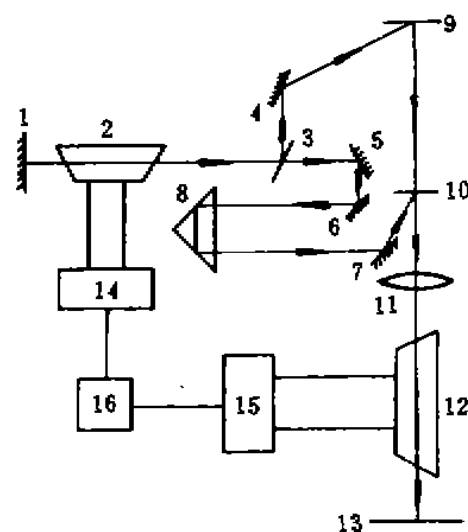


图 4 实验布置示意图

1: 反射镜; 2: 照明用的 CuBr 放电管; 3: 分束板; 4~7: 反射镜; 8: 延迟器; 9: 物平面; 10: 玻璃板; 11: 物镜; 12: 放大图像亮度用的 CuBr 放电管; 13: 像平面; 14, 15: 电源; 16: 脉冲发生器

Fig. 4 Schematic diagram of the experimental arrangement

1: mirror; 2: CuBr discharge tube for illumination; 3: beam splitter; 4, 5, 6, 7: mirrors; 8: delayer; 9: object plane; 10: glass plate; 11: objective; 12: CuBr discharge tube for image-brightness amplification; 13: image plane; 14, 15: power supply; 16: pulse generator

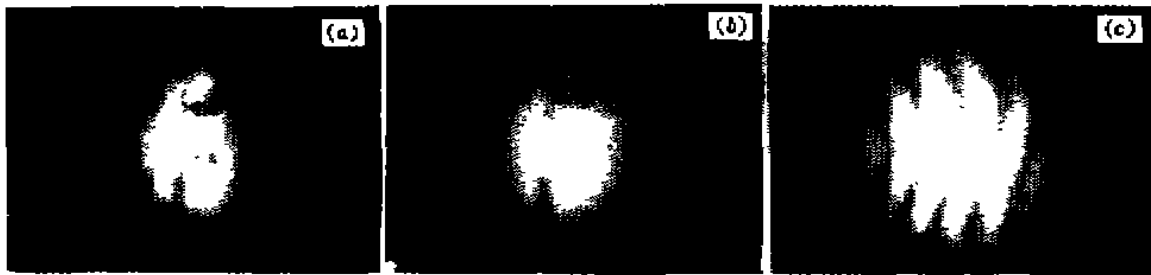


图 5 激光选通图像。(a) 叠加图像;(b)、(c) 分离图像

Fig. 5 Laser gated imaging. (a) overlapping image; (b), (c) separated image

时, $N_2 < N_1$, 则注入信号将被吸收。实验中所用 CuBr 激光器的输出脉宽为 30 ns, 因此在大气环境下该系统的距离分辨率为 9 m。实验测得, 若要使被选择的成像信号得到增益放大, 同时非选择成像信息被完全吸收, 则相对光路延迟需要约 27 m, 对应于 90 ns 的相对延迟时间。这是由于放大级增益介质在增益放大区 ($N_2 > N_1$) 之后, 需经过一段时间使下能级粒子数达到一定数值, 才能将注入信号完全吸收。缩短 CuBr 激光器的输出脉宽可以提高系统的距离分辨本领。

系统所采用 CuBr 激光器的脉冲间隔为 62.5 μ s, 因此, 理论上距离间隔为 18.75 km 的目标所反射回来的光恰好赶上下一个放电脉冲, 像亮度增强和选通作用将再次出现, 系统的选通效应与距离之间呈现出周期性。然而, 实际上我们所使用的是小型溴化亚铜器件, 其照明功率还远远不足以使十几千米以外的目标在屏上成像。

像平面上的背景噪声主要由放大级 CuBr 放电管的自发辐射引起。随着放大级电源输入功率的提高, 其自发辐射功率逐渐增强, 使屏上的像反差减小; 其次, 系统中光学元件表面反射的杂散光经过放大级的高增益激活介质后, 也将在屏上形成背景噪声而影响成像质量。当聚光透镜接近放大级注入端时, 这一影响比较明显, 故应尽量减少系统中的光学元件, 并合理设计光学系统, 以使成像质量最佳。

致谢 感谢中国科学院上海光机所耿纪宏副研究员在实验工作中的帮助与指导。

参 考 文 献

- 1 K. I. Zemskov, A. A. Isaev, M. A. Kazaryan *et al.*. Investigation of principal characteristics of a laser projection microscope. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1976, 6(1): 17~22
- 2 K. I. Zemskov, M. A. Kazaryan, T. I. Pekhoshkina *et al.*. Projection system with a copper chloride vapor image amplifier. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1979, 9(2): 235~237
- 3 Xiao Zuren, Zhang Guiyan, Lin Fucheng. Application of the CuBr vapor laser as an image-brightness amplifier in high-speed photography and photomicrography. *Appl. Opt.*, 1992, 31(18): 3395~3397

CuBr Laser Applied in a Remote Laser Gated Projection System

Meng Zhicong Zhang Guiyan Jiang Jianhua Song Xiudong Lin Fucheng
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract Basing on the small CuBr vapor lasers, a remote laser gated projection system is developed. Gated projection imaging of a remote object has been achieved. The brightness and clearness of the image are satisfactory. The typical characteristics of such a system are presented.

Key words CuBr laser, laser gating, projection system