

基于 CO₂ 激光器的连续可变高扩束比系统设计

姜 波 吴越豪 戴世勋 聂秋华

宁波大学高等技术研究院红外材料及器件实验室, 浙江 宁波 315211

摘要 给出了基于 CO₂ 激光器(中心波长 $\lambda_1=9.3\ \mu\text{m}$ 和 $\lambda_2=10.6\ \mu\text{m}$)的连续可变扩束比激光扩束系统的设计实例。系统镜片全部采用硫系玻璃材料 Ge₂₀Sb₁₅Se₆₅, 此材料便于模压以降低成本。以经典二组元变焦设计为出发点, 在理想光学系统的基本目标参数上加入具体的波长、入射直径和材料等光学参数, 利用 Zemax 软件优化校正像差, 设计得到了一种光束准直性好、结构简单且成本低廉的 CO₂ 激光器连续可变高扩束比激光扩束系统。此系统最大入射光束直径为 6 mm, 两中心波长带宽均设计为 100 nm, 扩束比在 2~7 之间连续可调, 最大波像差小于 1/4 中心波长。

关键词 光学设计; CO₂ 激光; 连续可变高扩束比; 硫系玻璃

中图分类号 O435 **文献标识码** A

doi: 10.3788/AOS201535.s222002

Optical Design of CO₂ Laser Beam Expanding System with High Variable Expanding Ratio

Jiang Bo Wu Yuehao Dai Shixun Nie Qiuhua

Laboratory of Infrared Materials and Devices, Research Institute of Advanced Technologies, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China

Abstract In this paper, a CO₂ laser ($\lambda_1=9.3\ \mu\text{m}$ and $\lambda_2=10.6\ \mu\text{m}$) beam expanding system with high variable expanding ratio is presented. The system lens is designed as a combination of four singlet lenses fabricated with chalcogenide glass material Ge₂₀Sb₁₅Se₆₅, the advantage of the superior property of chalcogenide glasses is molding preparation of surfaces. The laser beam expander is designed as start point of two component zoom design idea, with the specific wavelength, incident diameter, material and other optical parameters on the basic parameters of the ideal target optical system. By using Zemax optical design software, the optical structural parameters of the system are optimized. This optical design of CO₂ laser beam expanding system with high variable expanding ratio is good beam collimation, simple structure and also has low cost. The results show that this optical system has a maximum diameter of the incident beam is 6 mm, the bandwidth is 100 nm, variable beam expanding ratio is between 2 to 7 and the maximum wavefront aberration is less than 1/4 of central wavelength. Thus, it can be applied in all kinds of opto-electrical fields.

Key words optical design; CO₂ laser; high variable expanding ratio; chalcogenide glass

OCIS codes 220.4830; 080.2740; 080.3620; 080.4295

1 引 言

在激光系统中,为了将激光束的能量最大限度地传送到远距离目标上,需要有较大的光束口径和较小的发散角,所以要进行激光扩束^[1];在激光加工和激光存储领域则需要较小的聚焦光斑^[2-3]。为满足目标远近

收稿日期: 2015-01-23; **收到修改稿日期:** 2015-03-10

基金项目: 发光材料与器件国家重点实验室开放基金(2014-skllmd-01)、浙江省重中之重学科开放基金项目(XKXL1320, XKL141039)、宁波市自然科学基金(2014A610125)

作者简介: 姜 波(1990—),男,硕士研究生,主要从事红外光学系统设计方面的研究。E-mail: nbu_jiangbo@163.com

导师简介: 吴越豪(1982—),男,博士,副研究员,主要从事硫系玻璃光学设计和硫系玻璃光器件方面的研究。

E-mail: wuyuehao@nbu.edu.cn(通信联系人)

不同的测量要求,则需设计激光扩束比可调^[4-5]。CO₂ 激光器在军事、医疗、工业等领域应用广泛,它有着一些非常突出的优点如高功率、高质量等。

硫系玻璃在红外系统中的应用备受关注。对比于常规红外材料,硫系玻璃材料不仅制备工艺较为经济,而且可采用高精度模压的方式制备镜片,从而有效降低制作高品质红外光学系统的时间和经济成本^[6]。

本文展示了一种光束准直性好、结构简单、成本低廉且可满足两个人射光束中心波长的 CO₂ 激光器连续可变高扩束比激光扩束系统。系统镜片全部采用新型硫系玻璃材料 Ge₂₀Sb₁₅Se₆₅,最大入射光束直径为 6 mm,扩束比在 2~7 之间连续可调,最大波像差小于 1/4 中心波长的设计要求。

2 主要研究内容

激光扩束系统可分为开普勒式和伽利略式,为了防止开普勒式扩束镜在激光聚焦时产生的能量高度集中问题,本设计选择伽利略式扩束镜结构。如图 1 所示为用于激光扩束的伽利略式变焦结构,伽利略式扩束镜通常包括一个输入的凹透镜 L₁ 和一个输出的凸透镜 L₃,输入镜 L₁ 将一个虚焦距光束传送给输出镜 L₃。为了满足连续可变扩束比的设计要求,在伽利略扩束镜基本结构中加入变倍组凹透镜 L₂。如图 2 所示,通过补偿组 L₁ 和变倍组 L₂ 的非线性相对移动,可实现连续可变扩束比的要求。L₂ 的物点为 A,像点为 B,只有当 L₂ 为低扩束比和高扩束比两个位置时,物点和像点在 A 和 B,当 L₂ 由低扩束比向高扩束比移动过程中,为保持像点 B 不变,物点 A 必须作曲线运动,为了补偿 A 的曲线运动,补偿组 L₁ 也要作相应的补偿运动。

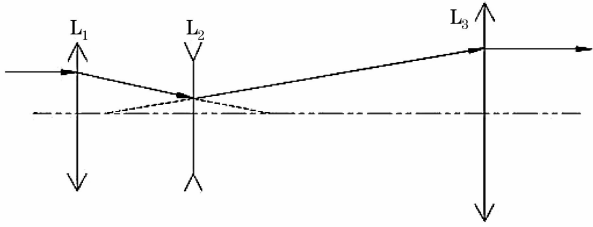


图 1 用于激光扩束的变焦结构图

Fig. 1 Optical zoom system used for laser beam expansion

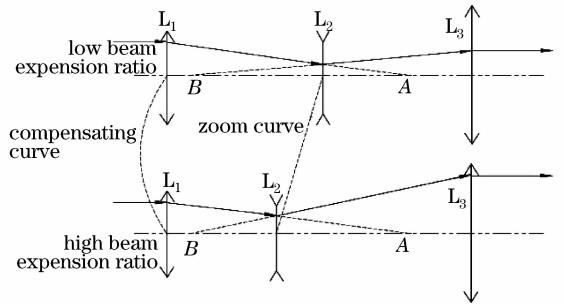


图 2 变倍组与补偿组运动轨迹图

Fig. 2 Curve of zoom group and compensating group

3 系统设计方案

为使系统的结构简单,对于变倍组、补偿组和固定组,都选用 Ge₂₀Sb₁₅Se₆₅ 材料,并都采用球面透镜的形式。运用 Zemax 软件进行光学设计,分别进行单个透镜的优化设计,然后组合给出一个可以进行光线追迹的合理光学系统,结合多重结构进行优化,得出该扩束光学系统的结构如图 3 所示。

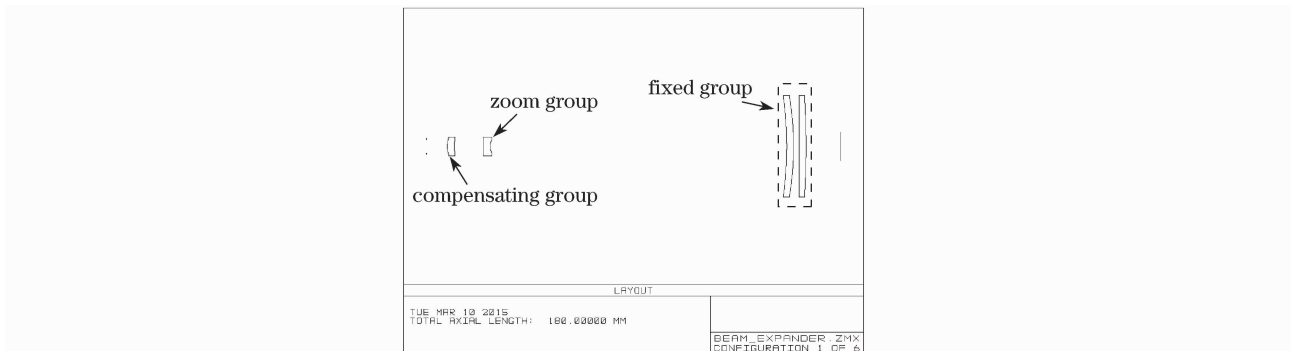


图 3 激光扩束系统结构图

Fig. 3 Laser beam expanding system

表 1 激光扩束系统设计参数

Table 1 Laser beam expander design parameters

Parameter	Value
Wavelength/ μm	9.3 and 10.6
Material	$\text{Ge}_{20}\text{Sb}_{15}\text{Se}_{65}$
Lens number	4
Maximum diameter of the incident beam/mm	6
Expanding ratio	2~7
System length/mm	180

4 系统设计结果和评价

此系统最大入射光束直径为 6 mm, 扩束比在 2~7 之间连续可调。系统主要技术指标如表 1 所示。图 4~9 所示分别为系统在 2 \times 、3 \times 、4 \times 、5 \times 、6 \times 和 7 \times 时的激光扩束系统图, 变倍组、补偿组相对于整个光学

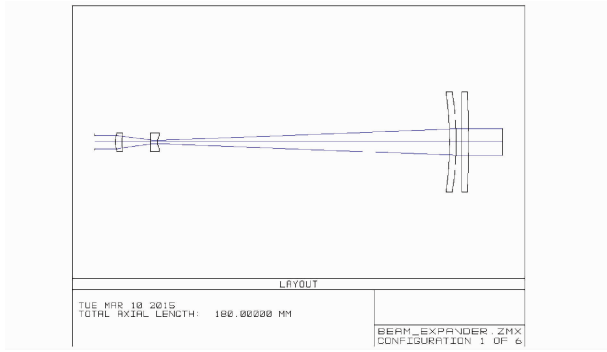


图 4 2 \times 时的激光扩束系统图

Fig. 4 Laser beam expander of 2 \times

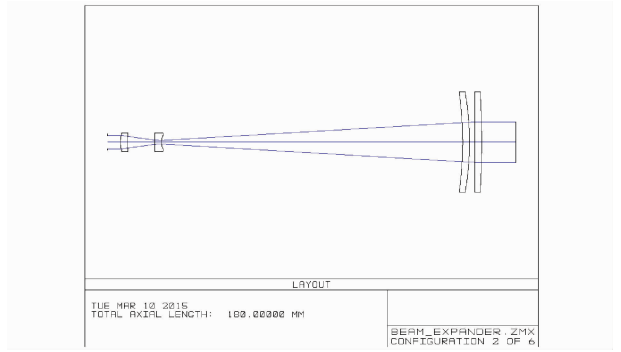


图 5 3 \times 时的激光扩束系统图

Fig. 5 Laser beam expander of 3 \times

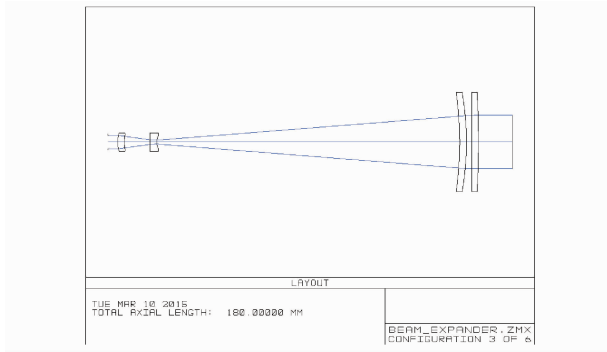


图 6 4 \times 时的激光扩束系统图

Fig. 6 Laser beam expander of 4 \times

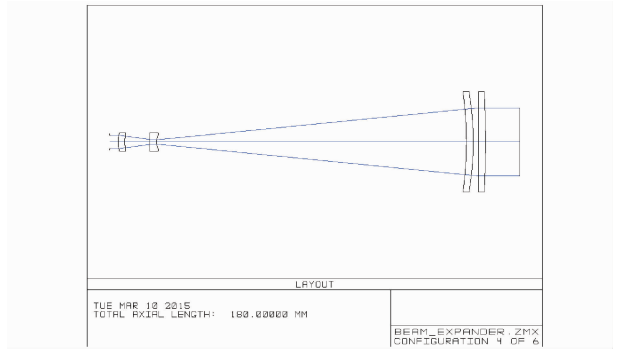


图 7 5 \times 时的激光扩束系统图

Fig. 7 Laser beam expander of 5 \times

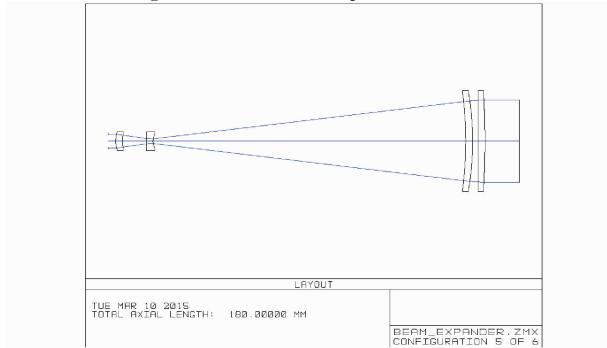


图 8 6 \times 时的激光扩束系统图

Fig. 8 Laser beam expander of 6 \times

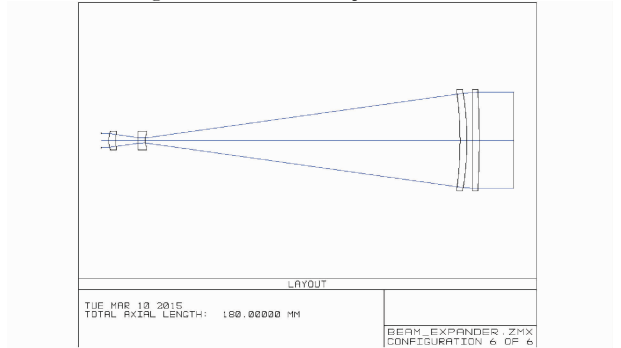


图 9 7 \times 时的激光扩束系统图

Fig. 9 Laser beam expander of 7 \times

系统来说运动轻微,此设计便于系统凸轮的组装和轨迹优化。另外,光路通过透镜的偏折状况,各透镜弯曲不大,整体布局合理,符合设计要求。

图 10~12 所示为系统入射光束中心波长为 $9.3 \mu\text{m}$,带宽为 100 nm 时,扩束比分别为 $2\times$ 、 $4\times$ 和 $7\times$ 时的激光扩束系统点列图,由图看出系统在中心波长带宽范围内,各扩束比出射激光准直性较好。图 13~15 所示为系统入射光束中心波长为 $10.6 \mu\text{m}$,带宽为 100 nm 时,扩束比分别为 $2\times$ 、 $4\times$ 和 $7\times$ 时的激光扩束系统点列图,由图看出系统在中心波长带宽范围内,各扩束比出射激光准直性较好。

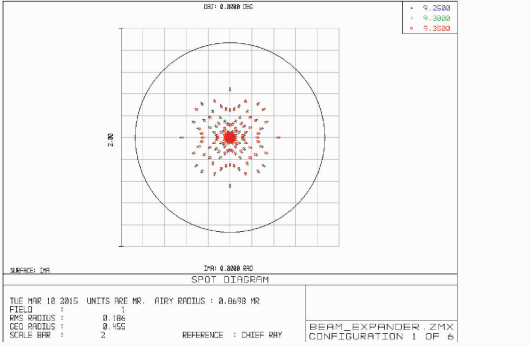


图 10 $2\times$ 时系统点列图($\lambda_1=9.3 \mu\text{m}$)
Fig. 10 System spot of $2\times$ ($\lambda_1=9.3 \mu\text{m}$)

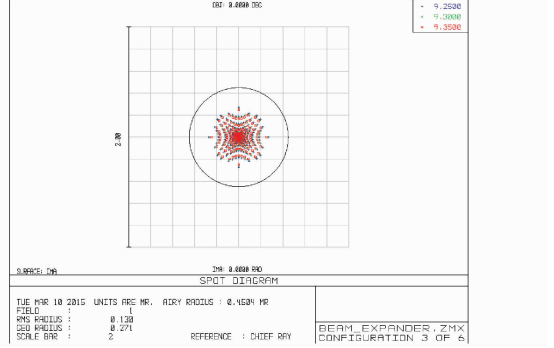


图 11 $4\times$ 时系统点列图($\lambda_1=9.3 \mu\text{m}$)
Fig. 11 System spot of $4\times$ ($\lambda_1=9.3 \mu\text{m}$)

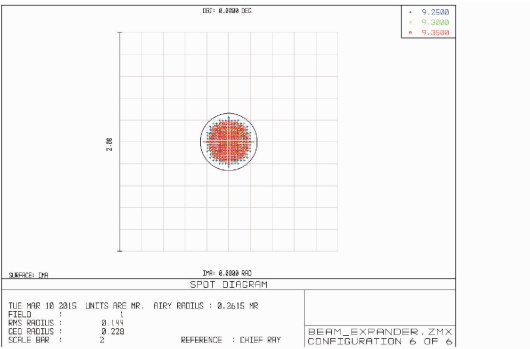


图 12 $7\times$ 时系统点列图($\lambda_1=9.3 \mu\text{m}$)
Fig. 12 System spot of $7\times$ ($\lambda_1=9.3 \mu\text{m}$)

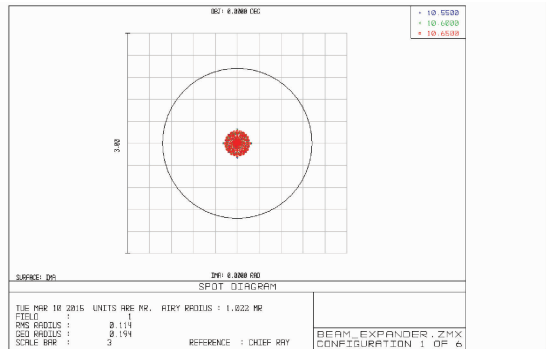


图 13 $2\times$ 时系统点列图($\lambda_2=10.6 \mu\text{m}$)
Fig. 13 System spot of $2\times$ ($\lambda_2=10.6 \mu\text{m}$)

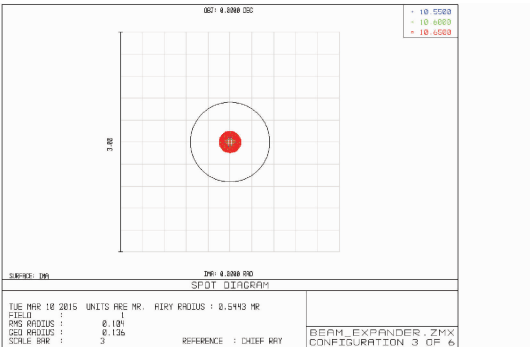


图 14 $4\times$ 时系统点列图($\lambda_2=10.6 \mu\text{m}$)
Fig. 14 System spot of $4\times$ ($\lambda_2=10.6 \mu\text{m}$)

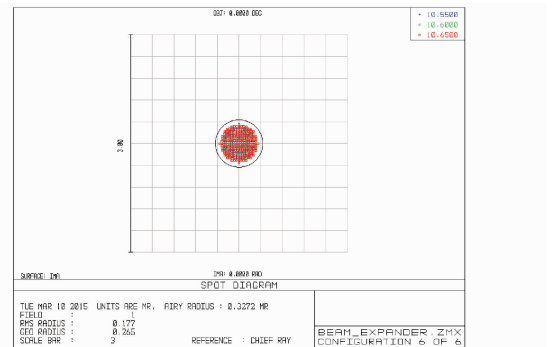


图 15 $7\times$ 时系统点列图($\lambda_2=10.6 \mu\text{m}$)
Fig. 15 System spot of $7\times$ ($\lambda_2=10.6 \mu\text{m}$)

表 2 为系统入射光束为不同中心波长时各扩束比波像差数值。由表看出,系统在各扩束比最大波像差小于 $1/4$ 中心波长的激光扩束准直性的设计要求。

表 2 系统各扩束比波像差

Table 2 Wavefront aberration of every expanding ratio

Parameter	Value					
Expanding ratio	2×	3×	4×	5×	6×	7×
Wavefront aberration(λ_1)	0.0541	0.0677	0.0953	0.1345	0.1821	0.2394
Wavefront aberration(λ_2)	0.0532	0.0693	0.0989	0.1378	0.1850	0.2401

5 结 论

从伽利略扩束系统入手,结合变焦系统原理,采用了新型硫系玻璃材料 $\text{Ge}_{20}\text{Sb}_{15}\text{Se}_{65}$ 来实现 $2\times\sim 7\times$ 基于 CO_2 激光器的连续可变高扩束比系统。该系统具有结构简单,制作难度小和成本低等优点,是一种可被广泛推广的连续可变高扩束比系统。

参 考 文 献

- 1 Li Xiaotong. Geometrical Optics and Optical Design[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1997: 185-195.
李晓彤. 几何光学和光学设计[M]. 杭州:浙江大学出版社. 1997: 185-195.
- 2 Sun Wensheng, Liu Kundi, Pan Juiwen, *et al.*. Laser expander design of highly efficient blu-ray disc pickup head [J]. Opt Express, 2009, 17(4): 2235-2246.
- 3 Georg Nadorff, Frank DeWitt IV, Sten Lindau, *et al.*. Variable xy-UV beam expander for high-power laser beam shaping[C]. SPIE, 2012, 8490: 84900I.
- 4 Liu Chongjin, Shi Guanghui. General situations of mechanical compensation zoom lens in it's three development phases and it's developing direction[J]. Appl Opt, 1992, 13(2): 1-5.
刘崇进,史光辉. 机械补偿法变焦镜头三个发展阶段的概况和发展方向[J]. 应用光学. 1992, 13(2):1-5.
- 5 Jia Yong, Gao Yunguo. A switch zoom design for reflective laser beam expander[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(10): 1022003.
贾 勇,高云国. 反射式激光扩束器的切换变倍技术[J]. 光学学报. 2012, 32(10): 1022003.
- 6 Dai Shixun, Chen Huiguang, Li Maozhong, *et al.*. Chalcogenide glasses and their infrared optical applications [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(4): 847-852.
戴世勋,陈惠广,李茂忠,等. 硫系玻璃及其在红外光学系统中的应用[J]. 红外与激光工程. 2012, 41(4):847-852.

栏目编辑: 韩 峰