



国产高可靠高功率纳秒绿光激光器的新进展

樊仲维², 刘昊^{1,2*}, 邱基斯¹, 陈艳中¹, 王昊成¹, 王天齐¹, 刘悦亮¹, 孙凯华¹

1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094;

2. 中国科学院大学, 北京 101408

* 联系人, E-mail: liuhao@aircas.ac.cn

New advance in high-reliability high-power nanosecond green laser developed domestically

Zhongwei Fan², Hao Liu^{1,2*}, Jisi Qiu¹, Yanzhong Chen¹, Haocheng Wang¹, Tianqi Wang¹, Yue liang Liu¹ & Kaihua Sun¹

¹ Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China

* Corresponding author, E-mail: liuhao@aircas.ac.cn

doi: 10.1360/TB-2023-1356

空间碎片已对航天事业甚至国家安全构成极大威胁^[1,2]. 激光探测技术是空间碎片精密测量最直接有效的手段, 探测原理遵循雷达方程, 因而对于特定的激光测距系统, 望远镜口径、光学传输效率、探测器效率等已基本固定, 提高激光器性能成为提升探测成功率的最根本途径. 高功率纳秒激光器作为空间碎片探测系统的核心光源, 激光重复频率和峰值能量密度决定了探测距离和精度, 尺寸影响系统集成化程度. 樊仲维项目组攻克了高增益板条放大、空间光衍射抑制、高效频率变换、大型复杂激光器工程化等关键技术, 研制了功率大于250 W、脉冲宽度小于10 ns的高功率纳秒绿光激光器, 指标达到国内领先水平. 激光器光机部分尺寸仅为1200 mm×850 mm×210 mm, 重量约为280 kg, 这是目前国内已知的尺寸最小、重量最轻的同等功率水平激光器, 也是首台具备适应车载使用环境的同类激光产品. 激光器具备极高的可靠性, 平均无故障时间(mean time between failure, MTBF)超过400 h. 激光器于近期顺利通过各项试验考核, 并且投入使用.

该激光器采用“种子振荡+端泵放大+高增益小尺寸板条放大+高储能大尺寸板条能量放大+频率变换”的MOPA (master oscillator power-amplifier)技术路线, 光学原理如图1所示. 种子源为光纤激光器, μJ 量级的种子光经过两级隔离器进入第一级端泵预放大系统AMP1, 单程预放大光束经M3反射镜反射后, 再次经过预放大模块AMP1实现双通放大, 获得1 mJ能量输出; 完成第一级放大后, 进入第二级端泵预放大模块

AMP2实现单程放大, 能量输出5 mJ; 预放大的激光首先经过L3-L4进行口径变换, 再经过L5-L6的柱面镜组进行形状变换后, 进入5 mm口径板条放大模块AMP3进行四程放大, 能量放大至300 mJ, 由L8-L9进行扩束后进入7 mm口径板条放大模块AMP4和AMP5进行串接单程放大, 将能量放大至1 J; 在频率变换阶段, 基频光首先经过L10-L11进行形状变换, 将长方形光斑整形为方形光斑, 再进入L12-L13进行口径变换, 缩束准直后进入半温度半角度调控的LBO倍频晶体进行二次谐波变换, 倍频光与基频光在二向色镜处分离, 最终获得单脉冲能量520 mJ、重复频率500 Hz、脉冲宽度8.9 ns的532 nm激光输出, 倍频转换效率达到52%以上.

大型复杂激光器的工程化一直是我国激光行业难题, 项目组主要进行了两项技术创新. 在提高环境适应性方面, 激光器中使用了项目组发明的“免调镜架”^[3]技术, 光学元件与镜架黏接固化的过程中利用同光轴等效替换的方式, 达到器件秒级精度无自由度装配, 解决了传统五维微调镜架容易引发的光路失谐问题, 将光路失谐故障占比由60%降为10%, 并于2022年通过了严苛的环境适应性试验考核, MTBF达到402 h. 交付用户后至今, 在车载环境下稳定运行超过14个月. 在结构紧凑化设计方面, 省略了对激光器尺寸影响最大的空间滤波及像传递单元, 将其功能综合平衡后分配到三级放大器和光路传输等环节. 在机械结构设计和优化过程中, 加入对各部件固有频率的考量, 减小振动响应. 光机结构尺寸仅为1200 mm×850 mm×210 mm, 重量约280 kg. 传统激光空间

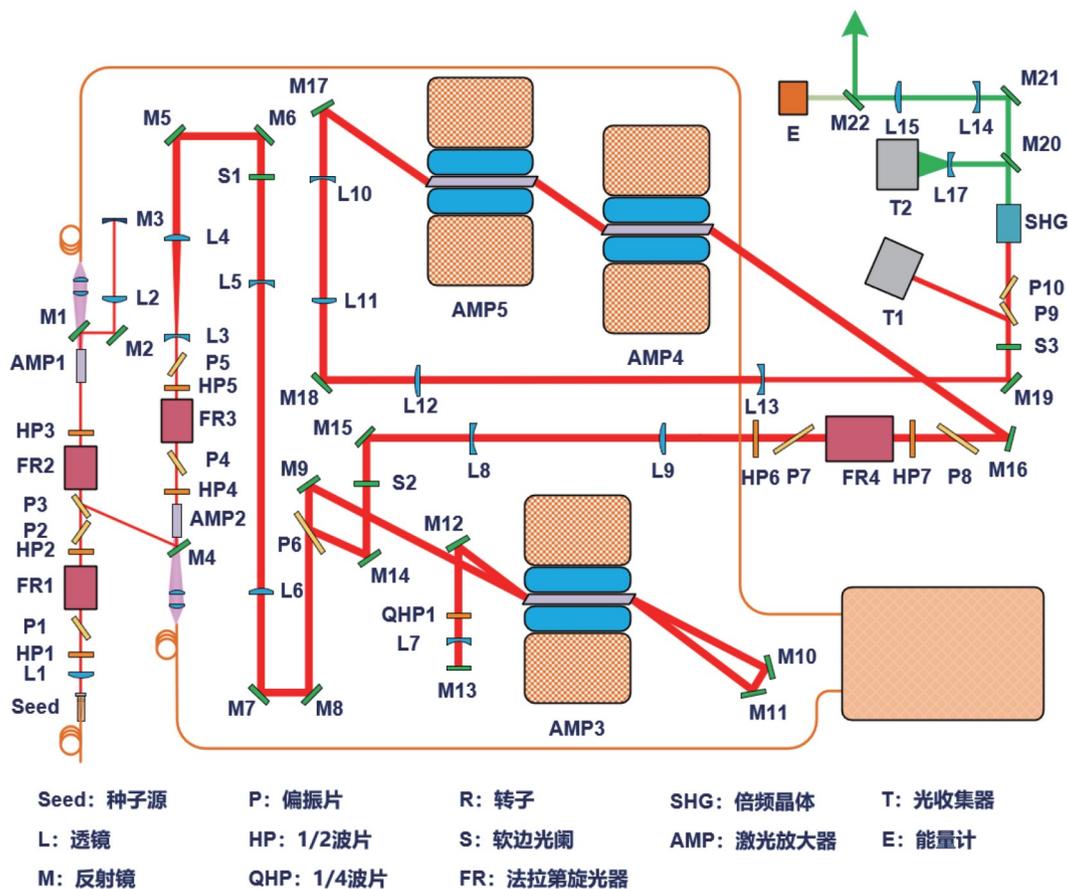


图1 激光器装置光学原理图
Figure 1 Optical schematic diagram of the laser setup

碎片探测系统为地基，对激光器的尺寸、重量以及使用环境要求比较友好，但探测效果受当地天气和大气环境严重制约。车载探测系统灵活机动摆脱了地域限制，增加了探测窗口时长。然而，车载环境不可避免地会带来冲击、振动、温度变化和空间狭小等对激光器运行不利因素，极大地影响其性能。

课题组研制的激光器有效解决了该难题，大幅增加了系统集成的灵活性。

该激光器是我国首台工程化小型化的高功率纳秒激光光源，并已成功应用到车载空间碎片探测系统中，为我国激光空间碎片探测技术发展提供了有力支撑。

参考文献

- 1 Dong J H, Hu Q Q. Space debris detection with space-based avalanched photodiode laser radar. *Chin Opt Lett*, 2007, 5: S176-S179
- 2 Fan Z-W, Qiu J-S, Tang X-X, et al. A 100 Hz 3.31 J all-solid-state high beam quality Nd:YAG laser for space debris detecting (in Chinese). *Acta Phys Sin*, 2017, 66: 054205 [樊仲维, 邱基斯, 唐熊忻, 等. 用于空间碎片探测的百赫兹3.31 J高光束质量全固态Nd:YAG激光器. 物理学报, 2017, 66: 054205]
- 3 Bai Z A, Fan Z W, Lian F Q, et al. Manufacturing method of an integrated device for offline optical component alignment and curing (in Chinese). PRC Patent, CN105301731B, 2017-11-14 [白振岍, 樊仲维, 连富强, 等. 一种离线光学器件装调固化一体化设备的制造方法. 中国专利, CN105301731B, 2017-11-14]