

工程型人眼“安全”CO₂激光测距机

封 巍 封鸿渊 贾世宏 蔡国芳 张晓东 李清国
(西南技术物理研究所, 成都, 610041)

摘要: 已研制成功了一台由微机控制、采用小型金属陶瓷 TEA CO₂ 激光器作光源、以分置式闭合循环 Stirling 机致冷 CMT 探测器的工程型人眼“安全”CO₂ 激光测距机。该机采用模块化结构, 具有故障自动诊断能力、数据存贮及数据传输的 RS422 接口电路。其运行性能稳定可靠、维修使用方便, 经过全面严格的环境适应性检测和野外试验, 其性能完全满足设计要求并已正式提供用户使用。简要介绍了 CO₂ 激光测距机的设计、结构及其主要性能。

关键词: CO₂ 激光 测距机

Engineering “eye safe” CO₂ laser rangefinder

Feng Wei, Feng Hongyuan, Jia Shihong, Cai Guofang, Zhang Xiaodong, Li Qingguo
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

Abstract: We have developed an engineering “eye safe” CO₂ laser rangefinder (LRF). It is based on a miniature metal ceramic TEA CO₂ laser operating at 10.6 micrometers and CMT detector cooled by splitting close-cycle Stirling. The CO₂ LRF has modular construction and diagnosing failures automatically, data storage and RS422 transmitt interface. Its operation is stable and reliable, easily maintain and use. It have been succeeded in seriously checkout for enviromental suitability, examine of specifications and field test. The all specifications have sufficed requirements to usage and have been turned over to a consumer. The article describes the TEA CO₂ LRF design configuration and its main specifications.

Key words: CO₂ laser rangefinder

引 言

CO₂ 激光测距机以小型封离式 TEA CO₂ 激光器为光源, 波长为 10.6 μ m, 激光脉宽 (FWHM) 约为 50ns, 由于它具有穿透烟雾能力强, 对人眼“安全”, 以及与 8~12 μ m 波段红外热像仪性能兼容等优点, 是当今世界上几种实用波长的军用激光测距机之一。

我们经过多年努力^[1], 研制出了一台实用的工程型 CO₂ 激光测距机, 该机经过了严格的性能和环境适应能力检测与用户使用试验, 现已正式移交用户使用。

本机作为工程型 CO₂ 激光测距机, 其主要的特点是: (1) 全模块化结构, 模块可以拆卸, 维修方便, 具有优良的抗震动、抗冲击能力; (2) 收发光学系统采用特种装调工艺, 适合在温度变化范围较大或严酷的温度冲击环境下使用; (3) 整机采用导电密封结构, 具有优良的抗电磁辐射与防水、防潮性能; (4) CMT 探测器采用分置式闭合循环 Stirling 机致冷, 解决了 Stirling 机引起的强电磁脉冲对接收弱信号干扰的技术难题, 具有使用方便, 运行稳定的优点; (5) 本台 CO₂ 激光测距机采用专用微机遥控操作, 具有测距机故障自动诊断、报警及测距数据显示与输出功能^[2]。

1 CO₂激光测距机的主要特点

1.1 10.6μm 波长 CO₂ 激光穿透烟雾能力较强

在不良气候及战场烟尘的环境条件下,工作于 10.6μm 波长的 CO₂ 激光测距机的激光束有较强的穿透能力,因此,其最大测程下降不多。在能见度为 1.5km 的薄雾环境条件下,CO₂ 激光测距机对典型战术目标(涂橄榄色油漆的车辆)其最大测程仍可达 3km 左右,相比之下,1.06μm 波长的 Nd:YAG 激光测距机与 1.54μm 波长的喇曼激光测距机的最大测程只能达到约 1.5km^[3]。

1.2 10.6μm 波长 CO₂ 激光使用安全

在一般使用的 CO₂ 激光测距机输出能量水平条件下,根据北约组织(NATO)“激光安全标准 3603”文件的规定,CO₂ 激光测距机的输出激光能量水平对人眼是“零距离安全”的。也就是说,即使在很近的距离内,由于偶尔意外,人眼或可见光观察镜(如望远镜)直接对准了 CO₂ 激光测距机发射的激光束,都不会对人眼造成损伤。因此,在平时训练或战时的观测使用可以不受限制,这对激光测距机的使用极为重要。

1.3 10.6μm 波长 CO₂ 激光与热像仪性能完全兼容

当前普遍采用的红外夜视仪工作波段为 8~12μm,因此,工作于 10.6μm 的 CO₂ 激光测距机的性能自然与红外夜视仪相匹配,这两者的搭配是最佳的组合。但是,CO₂ 激光测距机成本较高,体积尺寸与重量较其它测距机大些。

2 CO₂激光测距机的设计

脉冲 CO₂ 激光测距机的设计中最重要的是必须了解大气对 10.6μm 波长激光的衰减特性以及各种目标对 10.6μm 波长激光的反射特性,有关 10.6μm 波长激光的大气传输特性,国内外文献报道较多,但有关的目标特性数据却少有公开报道,在对 CO₂ 激光测距机的性能进行理论分析时,我们采用文献[4]所提出的大气模型及目标反射特性数据。

2.1 10.6μm CO₂ 激光的大气衰减模型

根据 W. R. Kamiski 提供的 10.6μm 波长大气衰减数据^[4],把大气条件分成五种大气标准模型,即亚寒带冬天、中纬度冬天、亚寒带夏天、中纬度夏天和热带,同时,在计算中还考虑到了能见度的影响。

2.2 10.6μm CO₂ 激光的目标反射率

文献[4]给出了几种不同目标对三种波长激光的反射率,其中 10.6μm 波长的平均反射率约为 6%。此外,实验表明,激光在目标上的反射沿入射面的法线方向有一定分布,这取决于不同目标的特性。

2.3 直探式 CO₂ 激光测距机的测距方程

直探式 CO₂ 激光测距机的简化测距方程为:
$$W_p / \sqrt{t_p} = CR^2 \exp 2\delta R_T \quad (1)$$

式中, W_p 为每个激光脉冲能量(J), t_p 为激光脉冲持续时间(FWHM)(ns),系数 $C = (\pi K_1 K_2 K_3 \times 10^{10}) / (\rho \cos \theta)$,其中, K_1 为系统要求的最小信噪比, $K_2 = (NEI) / \sqrt{\Delta f}$ 为接收系统总噪声系数, $K_3 = \sqrt{\Delta f} \cdot \sqrt{t_p}$, R_T 为最大测程(km), ρ 为目标有效反射率, δ 为大气对 CO₂ 激光的衰减系数(1/km), θ 为激光束轴线与目标反射面法线夹角(deg), Δf 为接收系统带宽

(Hz), $NEI = NEP / (A_R \tau_R)$ 为噪声等效辐照度 (W/cm^2)。

2.4 CO₂ 激光测距机接收机噪声的计算

接收机的噪声 K_2 由三部分组成, 即 (1) 探测器噪声 $(K)_{R, det}$, (2) 放大器噪声 $(K)_{R, amp}$, (3) 背景噪声 $(K)_{R, B}$ 。 K_2 可表示成:

$$K_2 = (NEI) / \sqrt{\Delta f} = \sqrt{(K)_{R, det}^2 + (K)_{R, amp}^2 + (K)_{R, B}^2} \quad (2)$$

式中, 探测器噪声 $(K)_{R, det} = 2[(f/no)/(D^* \cdot \tau_R)] \sqrt{FOV/(\pi A_R)}$ (3)

放大器噪声 $(K)_{R, amp} = (i_{amp} / \sqrt{\Delta f}) / (S A_R \tau_R)$ (4)

背景噪声 $(K)_{R, B} = \sqrt{\{2hc(1/n)[FOV/(A_R \tau_R)](\Delta N_b / \lambda)\} \times 10^4}$ (5)

式中, f/no 为接收光学系统 F 数, FOV 为接收视场 (mrad), D^* 为探测器探测度 ($cmHz^{1/2}/W$), $S = q(\eta \lambda) / (h \cdot c)$ 探测器电流响应度 (A/W), q 为电子电荷, c 为光速, h 普朗克常数, η 为探测器量子效率, N_b 为 $10.6\mu m$ 波长本底辐照度 ($W/cm^2 \cdot Sr \cdot \mu m$), $\Delta \lambda$ 为接收光学系统滤光片通带宽度, τ_R 为接收光学系统光学透过率, A_R 为接收物镜有效通光面积 (cm^2)。

2.5 对 CO₂ 激光测距机接收系统信噪比(S/N)的要求

根据对测距机探测概率 P_D 和平均误警率 FRA 的具体要求来确定 CO₂ 激光测距机应达到的信噪比 (S/N)。即公式 (1) 中系数 K_1 。

其中: 系统探测概率 $P_D \cong (1/2) \{1 + \text{erf}[(I_s - I_t) / (\sqrt{2} I_n)]\}$ (6)

I_s 为接收系统检测阈值, I_t 为信号瞬时值, I_n 为噪声电流, $\text{erf}[(I_s - I_t) / (\sqrt{2} I_n)]$ 为概率积分函数

数 $I_t / I_n = \sqrt{-2 \ln[2\sqrt{3} P_p(\text{FAR})]}$ (7)

由标准曲线即可得出系统在给定 P_D 及 FAR 值时应达到的信噪比数值: $S/N = I_s / I_n$ 。

按照所要求的探测概率 P_D 及虚警率 FAR, 联系 CO₂ 激光测距机的各有关参数, 在中等能见度条件下, 对标准漫反射率的小目标 ($2m \times 2m$), 其最大测程的设计值约为 6.7km。

3 CO₂ 激光测距机的原理、结构、基本参数与试验结果

图 1 示出了脉冲 CO₂ 激光测距机的测距工作原理, 图 2 示出了此台脉冲 CO₂ 激光测距的原理框图。

3.1 CO₂ 激光测距机的基本参数

工作波长: $10.59\mu m$; 每个激光脉冲输出能量: 30mJ; 激光脉宽 (FWHM): 50ns; 激光束散角: 0.72mrad; 接收视场: $\sim 1mrad$; CMT 探测器制冷方式: 分置式闭合循环 Stirling 机致冷, $\sim 80K$; 工作方式: 单次或 1Hz; 多目标数据存取功能: 每次可存取三个目标数据, 任意选择三个目标距离值。

3.2 CO₂ 激光测距机达到的主要性能指标

实际达到的测程范围: 150m ~ 7.4km (7.4km 为设定的距离门限值), 其中对单人徒手实测距离达到 4.985km 以上。对 CA141 解放牌卡车正面实测距离 $> 6.4km$ 。测距误差: $\pm 5m$, 纵向分辨率: $\leq 20m$ 。图 3 示出了 CO₂ 激光测距机在进行外场实验时, 对约 5.6km 处的通讯铁塔测距时的回波波形, 从图可以看出, 此时的信噪比 $S/N \sim 7$, 与设计计算符合一致。图 4 示出了 CO₂ 激光测距机的外观。

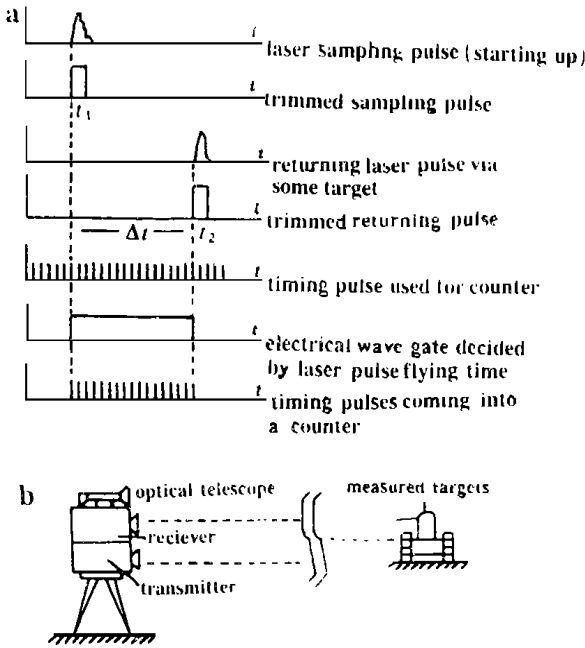


Fig. 1 a—principle schematic of the CO₂ LRF b—operating schematic of the CO₂ LRF

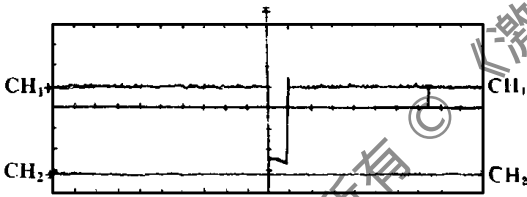


Fig. 3 The CO₂ LRF oscillogram to Rangefinde a MW transmitting tower away from 5.6km (measured by TEK 2430A oscilloscope, vertical ordinate, 500mV/div, horizontal ordinate: 5μs/div, the first is starting up pulse, the second is returning pulse)

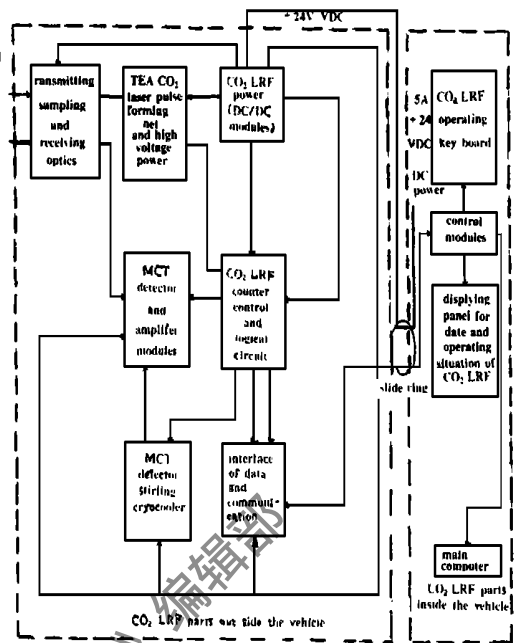


Fig. 2 The CO₂ LRF configuration block diagram

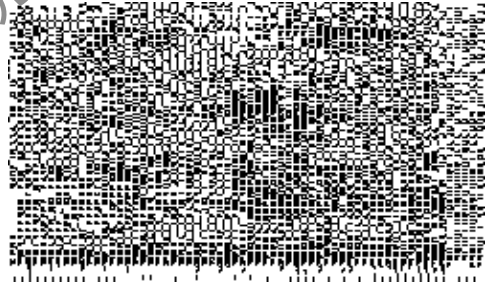


Fig. 4 Exterior view of the engineering CO₂ LRF

4 结 论

我们成功研制了一台工程型 TEA CO₂ 激光测距机, 实测所达到的技术性能, 如最大测程、测距误差、信噪比、环境适应性等与理论分析的结果符合一致。该机采用小型金属陶瓷 TEA CO₂ 激光器作光源、工作波长 10.6μm; 分置式闭合循环 Stirling 机致冷金属杜瓦瓶 CMT 探测器(80K) 及光学系统软装调 工艺; 成功地解决了抗电磁辐射脉冲干扰的技术难题; 该机具有良好环境(温度、冲击、振动与淋雨、湿热等) 适应能力; 由于采用模块化组合结构, 微机遥控操作, 故障自动诊断与显示, 操作维修方便; 此外, 该机具有标准数据输出接口(RS422), 可与主控计算机联机使用。

工程型 CO₂ 激光测距机最重要的实际应用就是与 8~ 12μm 波长的红外热像仪组合成昼夜全勤、全天候的观、瞄、测多功能一体化系统, 可为侦察、监视等应用提供新的手段。

本项工程型 CO₂ 激光测距机使用了西南技术物理所研制的小型封离式长寿命 TEA CO₂

论光动力飞行器

许德胜 郭振华 S. Messaoud* 辜建辉
(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

摘要: 分析了勿需化学燃料的光动力飞行器, 并概述了下个世纪从卫星上用太阳光泵浦的激光束推进星际飞行器的设想。

关键词: 光动力飞行器 高功率激光束 推进剂

On Lightcraft

Xu Desheng, Guo Zhenhua, S. Messaoud , Gu Jianhui*
(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: In this paper, the lightcraft vehicle without on-board chemical fuel was analyzed. Sending manned craft into space on satellite laser-beams powered by solar energy in next age was speculated.

Key words: lightcraft high-power laser beam propellant

引 言

21 世纪人类的梦想之一将是进行星际航行, 对于已在本世纪实现登月壮举和行星探测的科学家来说, 一方面雄心勃勃, 充满自信; 另一方面也感到困难重重, 举步维艰, 其中最关键的可能还是飞行器的载重和速度问题。因为按照当前的火箭技术, 使用固体、液体燃料是很难把多种大型的科研仪器和宇航员长期生活设备加速到第二、第三宇宙速度以上的。20 世纪, 人们把喷气技术发展到了相当好的水平, 在地球上洲际旅行已十分方便易行, 并使全世界向地球村演化, 用质子火箭到火星去考察已指日可待。21 世纪人们在高速飞行方面则应集中力量研

* 在激光技术国家重点实验室就读的外国研究生。

激光器及昆明物理所研制的单元 PV 型 CMT 探测器, 在此, 作者对提供上述关键元器件的侯天晋、江东、魏建华、庄继胜等人以及所有对此项工作提供过帮助和支持的同事表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 封鸿渊. 激光与红外, 1994; 20(4): 48
- 2 封 巍. 激光技术, 1993; 18(3): 190
- 3 Byren R W. Laser Rangefinders. Hughes Aircraft Company. The infrared & electro-optical systems handbook, 1993
- 4 Kaminski W R. SPIE, 1980; 227: 65

作者简介: 封 巍, 女, 1968 年 5 月出生。工程师。现从事质量管理工作。