

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0179-03

# 小型 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的自动快速调谐系统研究\*

曲彦臣 任德明 胡孝勇 刘逢梅

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨 150001)

**提要** 报道了小型 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的自动调谐系统。采用单片机作为调谐触发控制系统的核心, 通过软件编程实现了激光自动快速调谐输出。调谐触发控制器检测红外光电传感器, 精确定位衍射光栅的初始位置。实现了在  $\leq 10$  ms 时间内快速调谐输出两种不同波长激光。激光波长再现性达到 0.1 nm~0.5 nm。

**关键词** 调谐控制器, CO<sub>2</sub> 激光器, 光电传感器

**中图分类号** TN248.2<sup>+</sup>2 **文献标识码** A

## Study on Rapid Automatic Tuning System of Miniature TEA CO<sub>2</sub> Laser

QU Yan-chen REN De-ming HU Xiao-yong LIU Feng-mei

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract** In this paper an experimental study of automatic tuning system of miniature TEA CO<sub>2</sub> laser is presented. By controlling of monolithic microprocessor and programming the laser system is realized to rapid tuning. By monitoring infrared photoelectric transducers, system can fix initial position of grating accurately. Single-branch emission at two different wavelengths with time interval  $\leq 10$  ms has been obtained. Reappearance of laser wavelength is within 0.1 nm~0.5 nm.

**Key words** tuning controller, CO<sub>2</sub> laser, photoelectric transducers

随着现代化工业的发展, 大气环境日益恶化。遥测大气污染的有效工具当属激光差分吸收雷达(differential absorption lidar, DIAL)<sup>[1]</sup>。CO<sub>2</sub> 分子振转能级间有一百余条谱线跃迁, 可利用光栅等色散元件选择激光振荡。大多数污染气体的分子吸收谱线位于 9~11  $\mu\text{m}$  波段内, 快速调谐的小型 TEA CO<sub>2</sub> 激光器, 成为车载 CO<sub>2</sub> 激光差分吸收雷达的理想光源。差分吸收雷达要求其发射机必须在大气“冻结”时间内(约 10 ms)向探测区域发射两束波长不同的激光。使用一台激光器与使用两台激光器作发射机相比, 在系统成本、体积和控制等方面占有绝对优势。在一台 CO<sub>2</sub> 激光器上实现快速调谐, 国外采取的方法主要有旋转多面光栅法、扫描振镜+光栅法、旋转多面棱镜+固定光栅法等<sup>[2]</sup>。虽然这些方法都可实现快调谐, 但在设备成本、工作稳定性、电磁兼容、自动控制等诸多方面存在着不足。

本文报道了利用单片机控制高频步进电机旋转光栅的快调谐系统<sup>[3]</sup>。实验表明, 该系统工作稳定,

控制简便, 能够快速调谐。

## 1 实验装置

激光快速调谐系统由调谐触发控制器、定位传感器和可控的光栅转动机构组成, 如图 1 所示。其中, 转动机构包括高频步进电机、精密减速装置和可对光栅进行三维精确调整的光栅平台。步进电机采用 70BF001 型五相十拍反应式高频步进电机, 其最大运行频率为 16000 Hz(空载), 即每秒可行进 16000 步, 步距角为 1.5°/步。精密减速装置的减速比为 1:200, 即光栅转台的分辨率为 27"/步。理论上, 以光栅常数为 135 条/mm 来计算, CO<sub>2</sub> 分子振转能级跃迁相邻谱线的角度间隔约为 5', 相当于步进电机运行 11 步。因此, 这一减速比完全满足分辨开所有激光谱线。在 10 ms 时间内光栅可转过 72', 满足在某一谱区任意选取两支谱线输出。调谐触发控制器是快速调谐系统的控制中心, 它能够检测光栅初始位置, 控制步进电机的运行状态, 在光栅转到所需角度位置同步触发激光器进行主放电输出激

光,其工作原理如图 2 所示。控制器的核心采用 AT89C52 型单片机,它是功耗低、性能高的 8 位微处理器。由于单片器输出的信号功率较低,需要外加驱动器驱动步进电机。单片机可向步进电机驱动器输出频率可调的步进脉冲信号 CP,正/反转信号 M 和启动/停止信号 R。调谐控制器的外部数据存储单元为 64kB 的 RAM,由电池供电,用以存储各波长对应的步数及运行中所需的各种参数。LED 显示器和键盘作为人机交互界面可以随时显示运行状态和修改各参数。

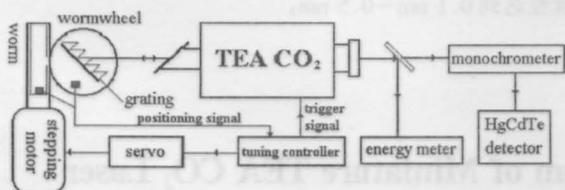


图 1 快速调谐激光系统

Fig. 1 Laser tuning and triggering system

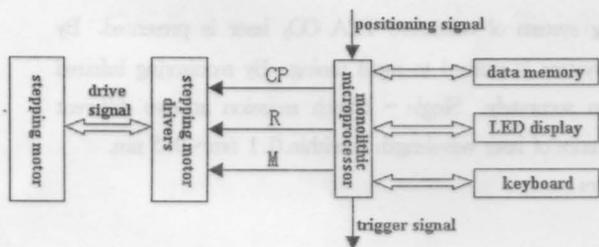


图 2 调谐触发控制器

Fig. 2 Schematic diagram of the tuning and triggering

为了提高光栅定位精度,采用双红外传感器确定光栅的初始位置。在减速装置上安装两个挡光片和两个光电耦合器,光耦由发光二极管和光敏三极管组成,其结构如图 3 所示。当光敏三极管接收到光照时,A 点对地电位为低电平(0 V)。但光被挡住后,A 点对地电位为高电平(+5 V)。电机加电后正转复位,检测到复位信号(A 点电平由低到高跳变)

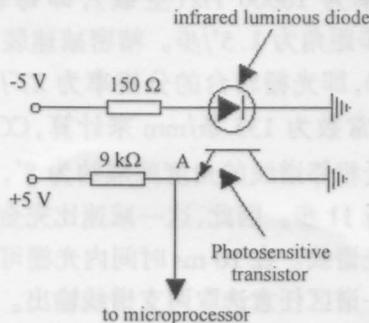


图 3 红外光电传感器

Fig. 3 Infrared photoelectric transducer

后,步进电机减速,以减小惯性误差。然后检测第二个复位信号,完成初始定位。实验得到定位精度  $\pm 3''$ ,实现良好的激光波长再现性。

## 2 软件设计

单片机内的控制程序由 C 语言及相应的调试开发工具完成。程序模块主要包括初始定位子程序、定时器中断子程序、变频函数计算子程序、键盘处理子程序、初始化子程序等。所编写的程序只需通过简单的组合、修改即可实现激光器以不同的方式工作。

为了进一步提高激光输出稳定性,设计中采取步进电机单向工作方式,消除机械齿轮的间隙误差。差分吸收雷达要求激光器能够在 10 ms 时间内快速调谐输出波长不同的激光。因此,程序设计中加入变频子程序,通过调用运行参数,根据两波长对应的步数差来计算产生相应的运行频率。也就是不同波长差对应于不同的电机运行频率。只有这样,才能保证任意两波长激光的组合,其输出的时间间隔均为 10 ms。所需的波长数据由键盘输入,存储在 RAM 中,程序执行时直接读取该数据。

## 3 实验结果与分析

激光器内充入混合气体  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 1 : 3$ ,最佳工作气压通过实验确定为  $5.32 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。以 ED-500 能量计和 Tek380 示波器记录激光器输出能量,并以红外光栅单色仪和 HgCdTe 探测器测量激光波长。

为了得到激光器输出的所有谱线,编程电机单步程序进行实验。单步运行程序指步进电机以 1Hz 行进,触发控制器也以 1Hz 频率输出触发脉冲触发激光器放电。当能量计测量到有激光输出时,对 LED 的显示值记录。得到激光波长与步数间的对应关系,其作为调谐的基本数据。供调谐输出 50 余条谱线,器波长分布如图 4 所示。

在快调谐实验中得到在 10 ms 时间内输出两波长激光如图 5 所示,分别为 10P(14)和 10P(20)谱线。我们利用单色仪和探测器,对激光波长的再现性进行实验研究。程序执行每周期输出指定的激光谱线,经反复测量,得到波长波动范围为 0.1~0.5 nm,如图 6 所示。为了实现良好的电磁兼容,对调谐触发控制器和激光放电腔分别进行了屏蔽,外壳可靠接地,保证系统稳定工作。

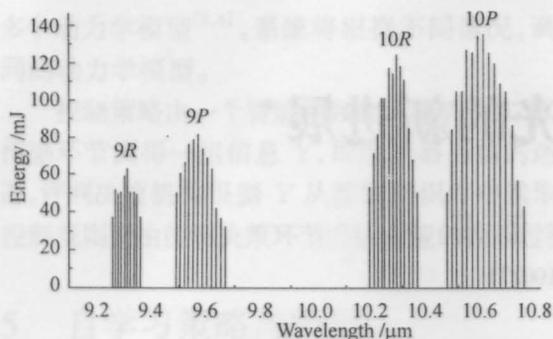


图4 CO<sub>2</sub> 激光谱线分布

Fig.4 Spectral distribution of tuning CO<sub>2</sub> laser

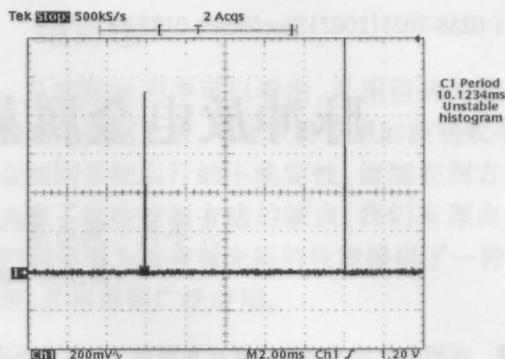


图5 10P(4)和10P(2)谱线

Fig.5 10P(4) and 10P(20) laser lines

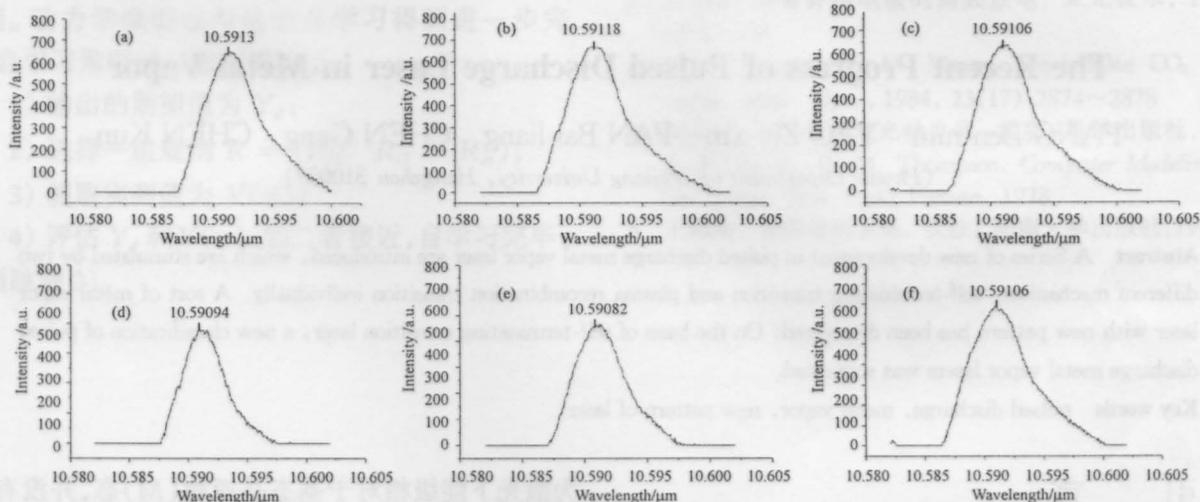


图6 激光波长再现性测量结果

Fig.6 Experimental results of reappearance of laser wavelength. (a) 10.5913 μm; (b) 10.59118 μm; (c) 10.59106 μm; (d) 10.59094 μm; (e) 10.59082 μm; (f) 10.59106 μm

参 考 文 献

1 C. B. Carlisle, J. E. van der Laan, L. W. Carr *et al.*. CO<sub>2</sub> laser-based differential absorption lidar system for range-resolved and long-range detection of chemical vapor plumes. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(27):6187~6200

2 Y. C. Qu, X. Y. Hu, F. M. Liu *et al.*. Rapidly tuning

Miniature TEA CO<sub>2</sub> laser-Rotating mirror and Grating Mechanism. *Infrared Physics & Technology*, 2000, **41**(3):143~147

3 曲彦臣,胡孝勇,刘逢梅等. 快速调谐小型 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的实验研究. *激光与红外*, 2000, **30**(3):160~163