

# 单片机控制下的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器快速调谐系统研究

于志伟 曲彦臣 刘逢梅 胡孝勇 赵景山 任德明

(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)

**摘要:** 提出了一种新型的单片机控制下的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器快速光栅调谐系统, 介绍了调谐触发系统的设计、红外零位光电传感器的原理、步进电机的控制、控制软件的设计及实验研究。这是一种简单、实用的开环控制系统。

**关键词:** 单片机 步进电机 零位光电传感器

## Study on TEA CO<sub>2</sub> laser rapidly tuning system under the control of monolithic microprocessor

Yu Zhiwei, Qu Yanchen, Liu Fengmei, Hu Xiaoyong, Zhao Jingshan, Ren Deming  
(Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

**Abstract:** A new apparatus for TEA CO<sub>2</sub> laser grate rapidly tuning system under the control of monolithic microprocessor is proposed. Some important techniques will be introduced in this paper, such as the design of triggering and tuning system, the principle of zero infra-red photoelectricity transducer, the control of stepping motor, the control software design and experimental research. This is a simple and usable open loop control system.

**Key words:** monolithic microprocessor stepping motor zero infra-red photoelectricity transducer

### 引 言

众所周知, 由于激光的单色性好、相干性好、方向性高、高亮度和大功率等特点, 使得激光差分吸收雷达(differential absorption lidar-DIAL)成为遥测大气污染物的有力工具<sup>[1]</sup>。它的工作原理是: 每种污染物都具有特定吸收光谱, 利用可调谐激光器向空间发射两束波长十分相近的激光。一束称作测量光束, 其波长恰好与待测污染物分子中心吸收谱线相重合; 另一束称作参考光束, 波长则偏离污染物分子的吸收谱线。它们几乎同时(时间间隔  $\leq 10\text{ms}$ )沿同一大气路径发射并传输, 以消除大气条件局部变化引起的误差。根据激光被吸收的程度便可确定待测污染气体的浓度。CO<sub>2</sub> 激光器因为具有良好的波长可调谐性, 波长在  $9\sim 11\mu\text{m}$  范围的谱线多达 100 多条, 所以, 可调谐 TEA CO<sub>2</sub> 激光器是激光差分吸收雷达的理想光源。但是, 为了能够在大气“冻结”时间内( $\leq 10\text{ms}$ )发射两束不同波长的激光, 得到精确的测量结果, 这就要求 TEA CO<sub>2</sub> 激光器能重复频率工作和快速调谐。目前, 国外采用的快速调谐方法有旋转多面体光栅法<sup>[2]</sup>、电流计控制光栅法<sup>[3]</sup>、多面体旋转棱镜+固定光栅法<sup>[4]</sup>等。但这些方法在调谐速度、设备费用、工作稳定性方面都有这样或那样的缺点。

我们介绍一种简单、实用的单片机控制的快速调谐系统。实验表明, 该系统调谐速度快、工作稳定、费用低。

### 1 快速调谐触发系统

激光调谐触发系统如图 1 所示,它由可控的转动组件和调谐触发控制器组成。其中,转动组件包括高频步进电机、减速比为 1/200 的蜗轮蜗杆传动机构、以及能够对光栅进行精确调整的光栅座。当光栅转动时,激光束就会以不同的角度入射到光栅上,从而可以实现若干支激光波长单调有序的输出。

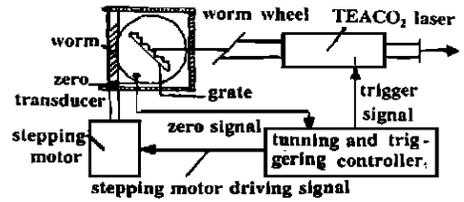


Fig. 1 Schematic diagram of the laser tuning and triggering system

相应的自准光栅方程是:  $2d \sin \alpha = \lambda$  其中,  $d$  是光栅常数,  $\lambda$  是激光波长,  $\alpha$  是光栅闪耀角。根据自准光栅方程,可求出当闪耀波长  $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$  时,选取光栅常数  $d$  为  $135/\text{mm}$ 。我们采用的步进电机是 70BF001 型五相混合式步进电机。步进电机的转动频率是可以调整的,最高可达  $16000\text{Hz}$ ,步距角为  $1.5^\circ/\text{步}$ 。通过计算得到蜗轮转动速度:  $120^\circ/\text{s} = 4320''/10\text{ms}$ ;蜗轮转动精度:  $0.45'/\text{步} = 27''/\text{步}$ 。理论计算可知,CO<sub>2</sub> 分子振转相邻谱线间隔大约为  $6'$ ,相当于步进电机大约要走 13 步,蜗轮则要转过  $35''$ 。由此可见,  $27''/\text{步}$  的蜗轮转动精度能够达到分辨相邻两支谱线的分辨率。同时,从角度范围看,  $4320''/10\text{ms}$  蜗轮转动速度,  $10\text{ms}$  时间内

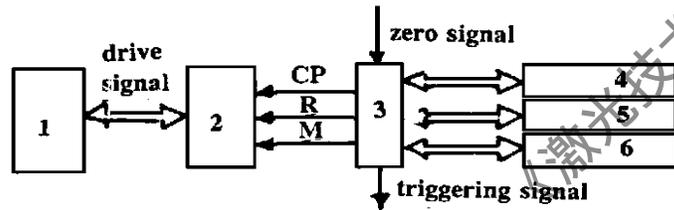


Fig. 2 Schematic diagram of circuit principle in the tuning and triggering control apparatus

- 1- stepping motor, 2- stepping motor drivers, 3- monolithic micro-processor, 4- data memory, 5- LED display, 6- keyboard

也能够顺序在若干支谱线中选出任意两支谱线。可见所选技术参数完全能达到调谐速度和精度两方面要求。调谐触发控制器的作用是用来实现当光栅转到所需激光波长对应的转角时,实现激光器的同步触发放电。它是调谐系统的核心。它具有接受零位信号、驱动步进电机的运转,并在光栅转到所需位置时触发激光器输出所需波长激光的功能。调谐触发控制器的电路原理示意图如图 2 所示。我们采用的单片机为 AT89C52 芯片,它是低功耗,高性能的 8 位微控制器。由于单片机发出的步进电机控制信号功率很低,因此还需要外加步进电机驱动器。步进电机驱动器由恒电流斩波功率放大电路和环形分配器构成,实现功率放大,并对五相混合式步进电机进行二三相序激励。外部数据存储单元由 64kB 的 RAM 构成,由电池供电,掉电后不丢失,用以存储各波长所对应的步数以及运行中所需的参数。LED 显示器和键盘作为方便的人机交互界面可以随时显示运行位置及修改参数。

单片机向步进电机驱动器发出脉宽可调的步进脉冲 CP,所说的运行频率就是由这个脉宽决定的,脉宽越窄频率越高。经过实验,我们所用的电机能够稳定运行在  $10000\text{Hz}$ 。正/反转和启/停分别由 M 和 R 信号控制。

也能够顺序在若干支谱线中选出任意两支谱线。可见所选技术参数完全能达到调谐速度和精度两方面要求。

调谐触发控制器的作用是用来实现当光栅转到所需激光波长对应的转角时,实现激光器的同步触发放电。它是调谐系统的核心。它具有接受零位信号、驱动步进电机的运转,并在

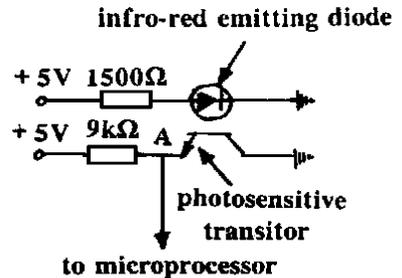


Fig. 3 Schematic diagram of zero infra-red photoelectricity transducer

激光器调谐输出的波长再现性的好坏,取决于光栅零位的再现性。这里,我们利用红外零位传感器对光栅进行精确定位。红外零位传感器的结构如图3所示,光敏三极管能接受红外发光二极管所发出的光线。由电路原理可知,有光时光敏三极管相当于电阻为0,A点对地电平为0V。光线被切断时光敏三极管相当于电阻为无穷大,A点电平为+5V。这样当单片机开始执行步进电机正转归零程序时,步进电机每走一步都要查询A点电平,一旦A点电平由0V变为+5V,就认为找到零点并开始执行程序的下一步工作。需要指出的是,我们在蜗轮和蜗杆上分别装有一个红外零位传感器,如图1所示。当单片机执行正转归零程序时,首先查询的是蜗轮上的零位,利用它进行初步定位,然后查询的是蜗杆上的零位。零位的定位精度实际上是由蜗杆上的红外零位传感器决定的。

## 2 调谐触发控制器的软件设计

控制程序是由PLM语言及相应的调试开发工具完成的。它具有控制高频步进电机启/停、正/反转、接受零位脉冲并给出激光器放电触发脉冲等功能。我们所编写的程序只需通过简单的修改就可以实现单个或连续输出不同波长的激光。

在程序设计中,我们考虑的主要问题是使激光器输出波长稳定。除了采用红外零位传感器进行精确定位外,我们还采用步进电机正转归零方案以提高定位精度。因为由有关资料和我们自己的运行经验知道,传动机构蜗轮和蜗杆的齿轮之间总存在有一定的齿隙,而且随着运行时间的加长,相互磨擦也会使齿隙加大。但当步进电机始终沿一个方向运转时,齿隙误差可以基本不计,从而提高了光栅的定位精度。

单片机是通过发出步进脉冲序列来控制步进电机行进。但是要注意的是,为防止失步发生,任意两步的频率之差即突跳频率一定要小于步进电机的启动频率。不同子程序之间的频率衔接也要按照这一原则加以充分考虑。

有固定激光输出时间要求时,如在CO<sub>2</sub>激光差分吸收雷达中就要求在≤10ms的时间内快速输出波长不同的两束激光。我们可以在加速子程序中加入变频功能,通过调用运行参数计算子程序,根据两束波长所对应的步数之差来产生相应的运行频率。这里说的波长所对应的步数是要通过另外编写的单步静态扫描程序得到。因为我们预先并不清楚光栅在什么位置会调谐出什么样波长的激光,这就要通过运行单步静态扫描程序,对光栅整个有效工作范围进行全波扫描。所谓单步静态扫描,就是降低运行频率每走一步触发一次激光器,激光器的输出能量用能量计进行测量,当能量计探测有激光输出时,同时对调谐触发控制器LED显示器上的显示数值加以纪录,这样就得到了波长与步数的对应关系。

## 3 实验结果与讨论

实验中,使用TEA CO<sub>2</sub>激光器的谐振腔是由Ge球面输出镜和光栅组成,光栅处于自准直状态。Ge球面镜的曲率半径为10m,布儒斯特窗用ZnSe片。当激光器充入混合气体CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He=1:1:3,气压为 $5.3 \times 10^4$ Pa,放电电压26kV时,用ED-500能量计和Tek684A存贮示波器测量输出激光能量。激光器可以在100Hz重复频率下工作。

我们利用该调谐触发系统进行的实验有:(1)零位复位精度的测试:通过实验发现红外零位传感器装在蜗杆上比装在蜗轮上定位精度高。光栅处于零位时,利用内调焦望远镜对返回十字线进行观察,发现利用蜗轮上的红外零位传感器进行定位时,返回十字线偏差较大,而利

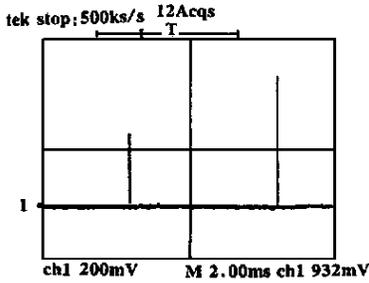


Fig. 4 The output of two different TEA CO<sub>2</sub> laser wavelengths

用蜗杆上的红外零位传感器进行定位时,返回十字线偏差极小,反复多次测量基本重合。产生这种效果的原因是由于金属片切断光束的步进角越小,零位传感器出现定位误差的几率也就越大。这一点可以从光敏三极管接受信号的物理特性加以解释。(2) 单步静态扫描输出实验:运行单步静态扫描程序,降低运行频率每走一步触发一次激光器,对光栅整个有效工作范围进行全波扫描,在 9~11 $\mu$ m 光谱区内,我们能选出~20 支谱线,最强支的输出能量为 30mJ。(3) 动态触发输出实验:整个系统在时间  $\leq 10$ ms 的动态快速触发情况下,工作稳定,相邻两束激光输出波

长重现性好。利用单步扫描程序所得到的波长对应的步数值,完全可以不加任何修正地用于动态触发中,说明整个系统在高频情况下运行也不会出现丢步问题,触发同步性好。图 4 为以 10ms 间隔快速触发时,两支不同波长激光的输出情况。

## 4 结 论

通过实验可以得出,在良好的屏蔽情况下,快速调谐触发系统具有如下几方面优点:工作稳定,抗高频电磁干扰能力强;零位复位精度高;波长切换速度快,可以在  $\leq 10$ ms 的时间内实现两束不同波长激光的输出;结构简单,使用方便,系统体积小,重量轻,集成化程度高。可以看出,只要把我们的这种快速调谐系统用于 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中,并与已趋于成熟的光学发射天线技术和数据处理技术相结合,就可以制成 CO<sub>2</sub> 激光差分吸收雷达,用来遥测大气中有毒或污染气体,对提高城市环境监测的能力,具有重大的意义。

## 参 考 文 献

- 1 孙景群. 激光探测大气污染. 北京:科学技术出版社,1992:104
- 2 Faxvog F R, M ocker H W. Appl Opt, 1982; 21(22): 3986~ 3987
- 3 Crocker A, Jenkins R M, Johnson M. J Phys E, 1985; 18: 133
- 4 Fox J, At J L. Appl Opt, 1986; 25(1): 3830~ 3834
- 5 王鸿钰. 步进电机控制技术入门. 上海:同济大学出版社,1990:96~ 114

作者简介:于志伟,男,1974年1月出生。硕士研究生。现从事可调谐 TEA CO<sub>2</sub> 激光器及其相关技术的研究工作。

收稿日期:1999-03-23 收到修改稿日期:1999-06-01

## 《激光技术》将增加页码

经中国兵器工业集团公司期刊管理办公室批准,并报“四川省新闻出版局”备案,同意《激光技术》增加页码,从原来的 64 页增加到 80 页,增大了信息量,欢迎来稿,欢迎订阅。

《激光技术》国内刊号:CN51-1125/TN,邮发代号:62-74