

文章编号 : 0258-7025(2001)01-0010-03

CO₂ 激光器支线相干性动态重建过程的实验观察

何 毅 吴 健

(电子科技大学应用物理研究所 成都 610054)

摘要 采用外场目标对腔内调频连续波进行时间延迟,并用相干探测方式获取信号。分析表明动态谐振腔连续波 CO₂ 激光器支线起振的典型时间为 20 μs,支线竞争结束并不意味着起振的支线相干性同时达到最佳状态。实验观察到相干性建立所需的最短时间比支线起振延迟 6 μs,且大多数支线相干性的建立需要更长时间。

关键词 支线,调频连续波,相干性

中图分类号 : TN 248.2+2 文献标识码 : A

Observation on the Reconstructing Process of CO₂ Laser Branch Line Coherence

HE Yi WU Jian

(Institute of Applied Physics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract The reconstructing process of the branch lines of a continuous wave CO₂ laser is observed experimentally with the help of a FMCW laser radar system. It is considered that the branch line is stabilized when the heterodyne signal of a far-field target appears. It is concluded that different branch line takes different time to reach its stability, and the typical time is about 20 μs. Especially, the end of the competition between branch lines doesn't mean the coherence reaching its best situation. The observation shows that it takes at least 6 μs to reconstruct the coherence of a branch line.

Key words branch line, FMCW, coherence

1 引 言

第一台激光器问世以后,光波段的相干探测技术就从理论探讨逐步过渡到系统研究^[1-3],其中一种重要的信号体制就是腔内调频连续波体制(FMCW)^[4,5]。早期的相干探测技术主要用于激光大气通信,双光混频是获取信号的基本手段。大气传输实验证明 CO₂ 激光相干性好,适合大气通道传输。这些开拓性工作促使 CO₂ 激光技术迅速发展^[2,6]。近年来 CO₂ 激光器又取得了巨大进展^[7]。但是,对动态谐振腔激光器支线特性的深入研究仍然未见报道。我们在开展调频连续波激光雷达关键技术研究过程中,对激光器支线相干性以及腔长调制对激光波前的影响作了实验分析^[8,9]。最近又对腔长调制时激光器支线相干性重建过程进行

了实验观察,发现支线竞争结束建立振荡后,起振支线的相干性并非立刻就建立起来,而有较长的时间延迟。

2 实验原理

2.1 实验使用的光学系统

本实验使用我们实验室研制的 FMCW 激光雷达光学天线系统。

图 1 为腔内线性调频连续波激光雷达光学系统。光路原理是:1)信号光路。激光器发射的水平线偏振光束经预扩束器 BCT 扩束后,由反射镜 M₁ 反射,完全透过布儒斯特片 BP;λ/4 波片 QWP 把线偏振变为圆偏振后,主要的部分透过分束片 BS,由反射镜 M₂ 和 M₃ 精确地反射到主天线副镜 T₁ 上,再反射到主天线主镜 T₀ 上射向目标。目标后向散射的椭圆偏振光按原路返回,再次经过 λ/4 波

片后偏振态还原成近似垂直的线偏振,布儒斯特片将约 50% 的信号光修正为完全垂直的线偏振并反射到场镜 L 上。2) 本振光路。把 $\lambda/4$ 波片与空气的第二界面所反射的光用作本振光,它返回并经布儒斯特片反射后具有与信号光完全相同的偏振态。信号光与本振光一起由场镜聚焦到 HgCdTe 探测器光敏面上混频产生外差信号。3) 稳频环路。由分束片 BS 和反射镜 M_4 共同构成的取样光路中,主要的光能进入探测器 d_1 ,对激光输出功率进行监测。 d_1 输出的信号经锁相放大器处理后送给峰值处理模块电路,调节施加在激光器谐振腔一端压电陶瓷上的直流电平,构成峰值稳频环路。

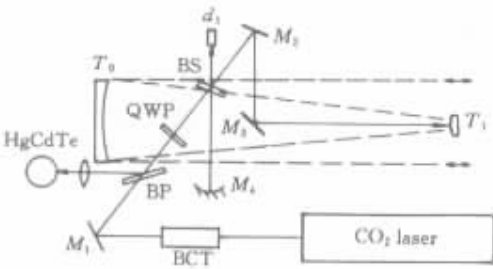


图 1 线性调频连续波激光雷达光学系统
Fig.1 Optical system of the FMCW laser radar

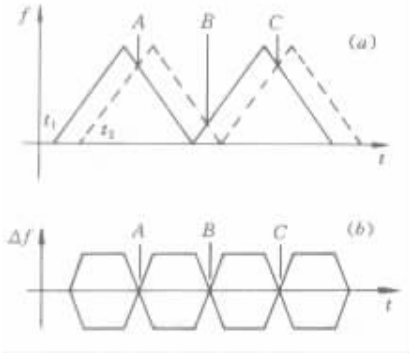


图 2 调频连续波信号原理

(a) 激光器调频输出 (b) 外差频带

Fig.2 Signal principle of the FMCW laser radar

(a) Frequency-modulated output (b) heterodyne signal band

2.2 信号原理

腔内调频是通过在贴有谐振腔一端镜片的压电陶瓷上加电压,周期性微调谐振腔长度来实现的。以 1 kHz 的频率线性调制激光器腔长,则发射的激光频率是单频,并且随时间线性变化,如图 2(a) 中实线所示。 t_1 时刻发射的线性调频激光照射到目标上,经过 Δt 时间后在 t_2 时刻散射光返回到探测器,它与此时激光器发出的本振光混频,产

生差频信号,频差如图 2(b) 所示。若激光支线稳定,本振光空间相位恒定,则探测器输出信号经电路滤波后的信号带类似图 2(b) 所示。图 2 中 A, B 和 C 是零频差点。

实验时选择位于 1.048 km 处的某建筑物墙面上一点为外场目标,用于对调频连续波产生约 7 μ s 的时间延迟。实验采用进口 HgCdTe 探测器,响应频率可达 300 MHz。与之配套的前放等电路的通频频率下限为 5 kHz。实际操作时,激光器腔长调制驱动信号不采用三角波形式,而采用人工合成的驱动信号,把三角波的拐点部分修正为正弦波,这样可以避免压电陶瓷产生共振。实验所用激光器压电陶瓷的共振频率为 3 kHz,调频斜率为 50 GHz/s,因而 1.048 km 远的目标回波外差信号频率为 350 kHz 左右。

为了观察支线相干性建立过程,实验时使稳频环路处于开环状态。由于激光器采用恒温水冷却,水温起伏不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$,激光器动态工作状态可以维持相对稳定,以便于实验观察。

3 信号观察与分析

3.1 支线竞争

在激光器压电陶瓷上施加一直流高电平,调整这一直流电平可以对激光器工作点进行选择,达到选择支线的目的。由于直流电平上同时叠加有调制腔长的驱动电压,因此激光器支线竞争通常发生在腔长调制信号的拐点附近。激光器稳定输出的功率约 5 W,激光雷达天线分光获得的本振光功率为 1 mW。激光器支线竞争会引起激光输出功率的快速变化。如果挡住信号光,那么 HgCdTe 探测器就直接输出支线竞争的信号,如图 3 所示。

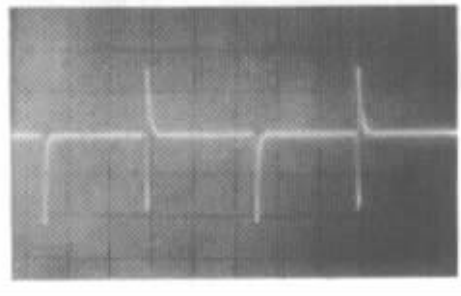


图 3 激光器支线竞争信号

Fig.3 Signal showing the competition of laser branch lines
 $x : 0.2 \text{ ms/cm}, y : 0.2 \text{ V/cm}$

图中脉冲状信号是由于不同支线之间快速跃变引起的。由于探测器和电路的响应频率都很高,可以认为信号较好地反映了支线跃变过程中激光输出功率的变化情况。显然,脉冲状信号的时间宽度就是支线起振所需的时间,而支线稳定时的信号对应于图中占主要的直流部分。我们对实验用的石英玻璃激光器各支线分别进行了观察分析,把信号展开后读出各条支线建立的耗时,每条支线的起振所需的时间不同,但比较接近,观测所得的典型值为 $20 \mu\text{s}$ 。

3.2 相干性建立

对相干探测系统来说,激光的相干性显得尤其重要,超过相干长度后,外差信号就会迅速变差^[9]。由于激光谐振腔内的各种调制过程(包括调腔长、调 Q 等)都可能对激光支线产生影响,有必要了解支线竞争结束是否意味着支线的相干性同时达到最佳化。直接探测不能获得相干性的信息,双管外差方式必须使本振管的支线频谱特性完全已知,所以我们采用单管外差方式来获取信号。

作者对实验用激光器的 10 余条支线进行了观测,除 1 条支线外,其余支线起振后都没有在腔长调制信号的半周期(0.5 ms)内产生外差信号。这种现象说明这些支线尽管已经起振,但其频谱纯度较差,以至于不能产生外差信号。

实验中观察到 1 条支线在竞争结束后较快地建立了良好的相干性。获得的信号如图 4 所示。支线竞争结束后,本振光功率很快趋于稳定,同时激光相干性逐步增强。在支线竞争结束后约 $13 \mu\text{s}$ 时间时

获得了目标的外差信号。扣除目标距离引起的 $7 \mu\text{s}$ 延迟时间后,得出该支线相干性重建时间为约 $6 \mu\text{s}$ 。

4 结 论

实验观察表明, CO_2 激光器受腔长调制影响出现支线竞争后,各支线起振的典型时间为 $20 \mu\text{s}$ 。支线成功起振后,其相干性并非立即就达到最佳状态。在对腔长施加周期性干扰的情况下,大多数支线需要较长的时间才能建立良好的相干性,只有个别支线能在约 $6 \mu\text{s}$ 时间内实现频谱高纯化。

致谢 作者衷心感谢朱大勇教授、曾昭信教授和余学才博士对实验工作的支持和帮助。

参 考 文 献

- 1 S. Jacobs. The optical heterodyne. *Electron.*, 1963, **36** (28) 29 ~ 31
- 2 S. E. Harris. Stabilization and modulation of laser oscillators by internal time-varying perturbation. *Proc. IEEE*, 1966, **54** (10) 1401 ~ 1413
- 3 M. C. Teich. Homodyne detection of infrared radiation from a moving diffuse target. *Proc. IEEE*, 1969, **57** (5) 786 ~ 792
- 4 D. Letalick, I. Renhorn, O. Steinvall. Measured signal amplitude distributions for a coherent FM-CW CO_2 laser radar. *Appl. Opt.*, 1986, **25** (21) 3927 ~ 3938
- 5 J. L. Meyzonnette, G. Saccomani. Imaging CO_2 laser radar, a comparison of three techniques: LFM pulse compression, FMCW, CW. *SPIE*, 1988, **999** 91 ~ 99
- 6 A. J. Demaria. Review of CW high-power CO_2 lasers. *Proc. IEEE*, 1973, **61** (6) 731 ~ 748
- 7 D. J. Biswas, J. P. Nilaya, U. K. Chatterjee. Dual band multi-branch lasing from a hybrid CO_2 laser. *Opt. Quantum Electron.*, 1997, **29** (4) 501 ~ 505
- 8 He Yi, Wu Jian. Experimental studies of influence of resonant cavity length modulation on the laser coherence. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **A25** (11): 985 ~ 988 (in Chinese)
- 9 He Yi, Yu Chengbo. Phenomenon of laser wavefront intermittently distortion induced by adjustment of the resonant cavity length. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1998, **18** (4) 412 ~ 415 (in Chinese)

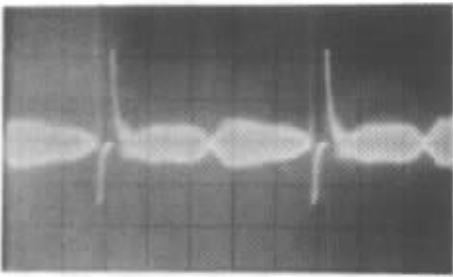


图 4 激光支线相干性重建信号

Fig.4 Signal showing the reconstruction of the coherence of a laser branch lines

$x: 0.2 \text{ ms/cm}, y: 20 \text{ mV/cm}$