

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0408-04

TEA-CO₂ 差分吸收激光雷达回光探测

李国会, 陈天江, 叶一东, 向汝建, 郑为民, 锥仲祥, 季云松, 何忠武

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 介绍了 TEA-CO₂ 差分吸收激光雷达(DIAL)在大气回光探测中所采用的相干探测外差接收的探测原理, 详细介绍了光路的实现。利用该探测原理进行了大气回光探测, 探测距离达 15 km 以上, 探测高度达 7 km, 与采用短波差分吸收激光雷达进行直接探测(探测距离为 3~4 km)相比探测能力有了明显的提高。

关键词 测量; 差分吸收激光雷达; 相干探测; 灵敏度

中图分类号 TN958.98 **文献标识码** A

Atmosphere Backscattering Experiment of TEA-CO₂ Difference Absorption Lidar

LI Guo-hui, CHEN Tian-jiang, YE Yi-dong, XIANG Ru-jian, ZHENG Wei-min,
LUO Zhong-xiang, JI Yun-song, HE Zhong-wu

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract The theory of optical heterodyne of coherent detection is introduced, which is used in TEA-CO₂ differential absorption lidar (DIAL) technique to detect backscattering light of atmosphere. And the correlative optical setup is emphasised. The atmosphere backscattering experiment is carried out based on the theory. The result shows that the distance of detection of the lidar reaches over 15 km with 7 km altitude of detection. Compared with short-wavelength lidar (detection range is 3~4 km), the long-wavelength lidar has more powerful detection capability.

Key words measurement; difference absorption lidar (DIAL); coherent detection; sensitivity

1 引 言

随着 1972 年 Bridges 等^[1] 研制出波导激光器以及近年来激光技术的迅速发展, TEA-CO₂ 差分吸收激光雷达技术及其应用取得了较大进展。它是一种集光机电于一体的复杂主动式现代光学遥感设备^[2]。由于它具有探测灵敏度高、空间和时间分辨能力强等独特的优点, 被广泛地应用在大气、海洋、陆地及其目标的遥感探测中^[2~6]。在本实验中, 我们选择了 TEA-CO₂ 激光器 10.3035 μm 和 9.22 μm 两组波长进行了大气回光探测实验, 获得了直观的有参考价值的实验数据。

2 探测原理

差分吸收激光雷达的探测机理是被探测气体对

激光束能量的选择性吸收。气体组分对某些波长激光的选择性吸收是由原子、分子内部能级的固有特性所决定的, 借助这种选择性吸收可以确认被探测气体的组分及浓度^[2,5]。采用 TEA-CO₂ 差分吸收激光雷达进行探测, 其难点关键在于种子源连续波导激光器频率稳定性的实现, 也即是外差信号的高稳频技术。因为激光的频率稳定度将影响相干探测的混频效率, 并在混频时产生相位噪声, 降低系统的信噪比, 直接影响探测灵敏度, 因此激光雷达在信号发出到返回的时间内的频率稳定度至关重要^[5]。图 1 为 TEA-CO₂ 差分吸收激光雷达光路图。

该差分吸收激光雷达系统由两个通道组成, 每个通道中光路的摆放及元器件的功能基本相同。收发系统为 φ500 mm 的共孔径收发系统。波导激光

基金项目: 934 工程资助课题。

作者简介: 李国会(1977—), 男, 中国工程物理研究院应用电子学研究所助理工程师, 主要从事激光技术研究。

E-mail: guohui-1@163.net

器的本振光和注入光(种子光)是从封装在同一壳体中的间距为 100 mm,同轴精度为 2×10^{-3} rad 的两台连续 CO₂ 激光器中输出出来的。He-Ne 光用作引导光。以左边为例,本振光经过镜子 16,20,25,18 以及斩光器 4 后进入光学鉴频器 7 中;另一束光经过镜子 16,20,40,18,24,41,18 后通过扩束器 11 及其反射镜 35 后进入 25 单元碲镉汞探测器阵列 2

中。注入光经过镜子 25,19,31 进入 CO₂ 激光器中作为种子源;另一束光经过镜子 25,18 以及斩光器 4 后进入光学鉴频器 7 中。CO₂ 激光器输出光束经过镜子 31,32,33,36,34,37 后通过望远镜发射出去;另一束光经过镜子 22,19 进入探测器 71 中。信号回光通过镜子 34,35 后进入探测器阵列 2 中。

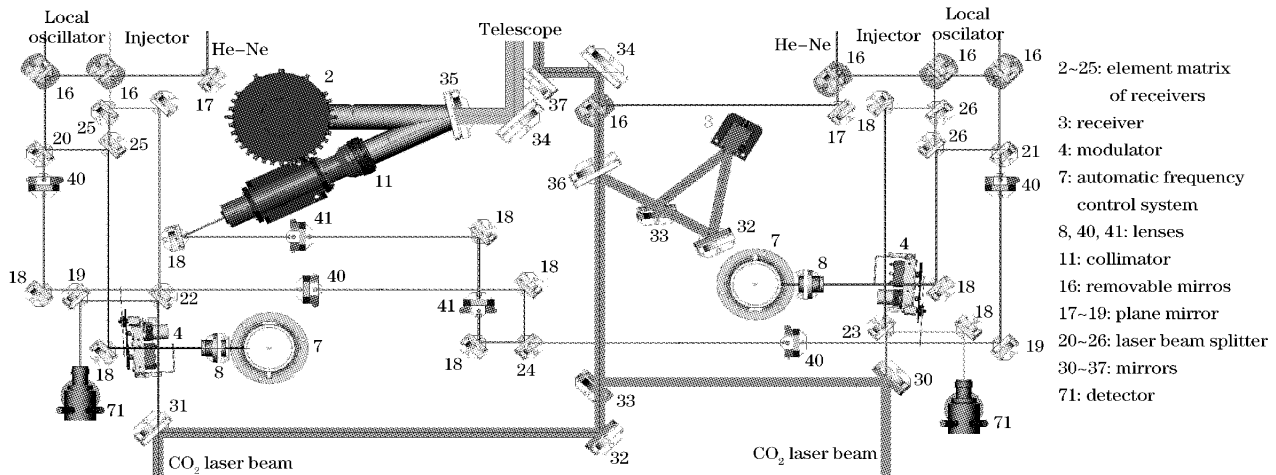


图 1 TEA-CO₂ 差分吸收激光雷达光路图

Fig. 1 Optical setup of TEA-CO₂ DIAL

CO₂ 激光器的频率由探测器 71 进行监测,并根据该频率信息由控制系统发出指令调节波导激光器中注入器通道的压电晶体,使激光波长调节到需要的水平。光学鉴频器 7 以注入激光束为基准,由自动频率微调系统将本振光和注入光的频率差锁定在 20 MHz。探测器 3 用来监测两个通道 TEA 激光器出光的时间延迟,为数据采集和控制系统同步工作提供时间信息,同时还可以控制 TEA 激光器的功率和波形。25 单元碲镉汞阵列是对本振光和回光信号进行相干探测的关键部件,其光敏面尺寸为 $200 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$,阵列全尺寸近似为 $1 \mu\text{m} \times 1 \text{mm}$ 。CO₂ 激光器的脉冲重复频率为 10 Hz。两个通道的工作时序由同步系统进行控制。

本振光和回光信号在 25 单元碲镉汞探测器中进行混频,混频信号经过 25 个单元的前置放大器后依次进入声表面波滤波器、补偿放大器、线性传感器和加法器中,在加法器中将 25 路信号进行累加,其结果是加法器输出端的信号振幅与阵列接收信号的振幅成比例。

两台 TEA-CO₂ 激光器交替发射脉冲激光束,时间间隔为 10 ms,此过程由同步系统和探测器 3

来实现。探测器分别获得两个通道的混频信号,并最终通过差分的方式来表征被探测物质的相关信息(成份、浓度等)。

在波导激光器的调节范围 $9.2 \sim 10.8 \mu\text{m}$ 内其辐射谱线数量达 60 多条,这为差分吸收激光雷达进行物质测量提供了很多可选择的波长组合(λ_{on} 和 λ_{off})。

下面列出系统中主要设备的基本参量。

表 1 波导 CO₂ 激光器参量

Table 1 Characteristics of waveguide CO₂ lasers

Position of lasers	Horizontal
Operational mode	Continuous
Wave band of radiation / μm	9.2~10.8
Quantity of radiation lines	≥ 60
Output power / W	≥ 0.8
Diameter of an output beam of radiation (on a level e^{-2}) / mm	1.5
Divergence of an output beam (on a level e^{-2}) / mrad	≤ 10
Cooling	Water

表2 碲镉汞光电探测器

Table 2 Cadmium-mercury-tellurium photodetector parameters

Quantity of color cells	5×5
Step /μm	200
Gap /μm	20
Spectral range /μm	9.4~10.8
Relative sensitivity in the field of a spectrum 9.4~10.8 /μm	≥0.7
Range of high frequencies /MHz	≥30
Range of low frequencies /MHz	≤20
Equivalent noise power /(W/Hz)	≤10 ⁻¹⁹
Cooling	Liquid nitrogen

3 探测结果

2004年11,12月份我们在绵阳利用车载激光雷达系统进行了TEA-CO₂差分吸收激光雷达大气

回光探测实验。实验中,波导激光器的输出功率大于0.8 W,TEA-CO₂激光器的工作频率为10 Hz,外差频率为20 MHz,脉冲时间为1 μs。在相干探测外差接收方式下探测大气气溶胶后向散射的距离达15 km以上,探测高度达7 km。在图2~4中给出了实验中采集到的回光信号曲线。

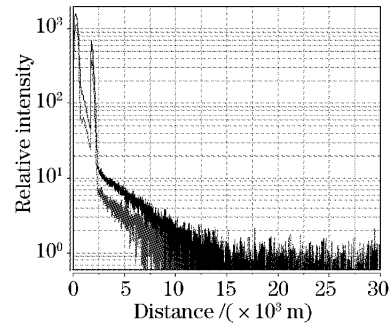


图2 回光信号

Fig.2 Return signal

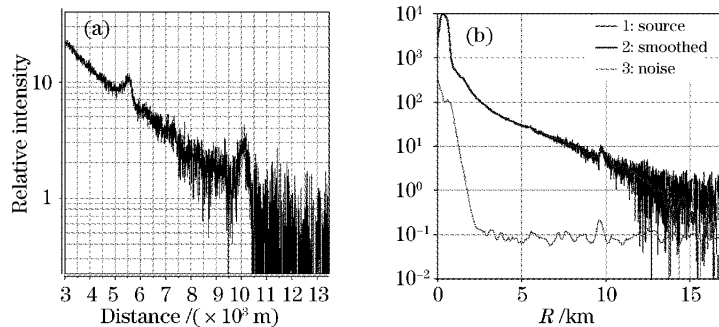


图3 回光信号

Fig.3 Return signal

图2中,深色和浅色曲线分别代表1,2通道的回光信号。1通道的波长为10.3035 μm,2通道的波长为9.22 μm。扫描器的位置为:AZ: 274°15'45'',EL: 0°58'40''。数据采集时间为:2004-12-07,14:34:13。

长为9.22 μm。扫描器的位置为:AZ: 275°17'43'',EL: 5°48'42''。数据采集时间为:2004-11-29,15:21:30。

图3(a)表示2通道的回光信号,图3(b)表示经平均处理后的形式,其中的噪声为背景噪声。工作波

图4(a)表示1,2通道的回光信号,图4(b),(c)分别表示1,2通道的回光信号经平均处理后的形式,其中噪声为背景噪声。1通道的波长为

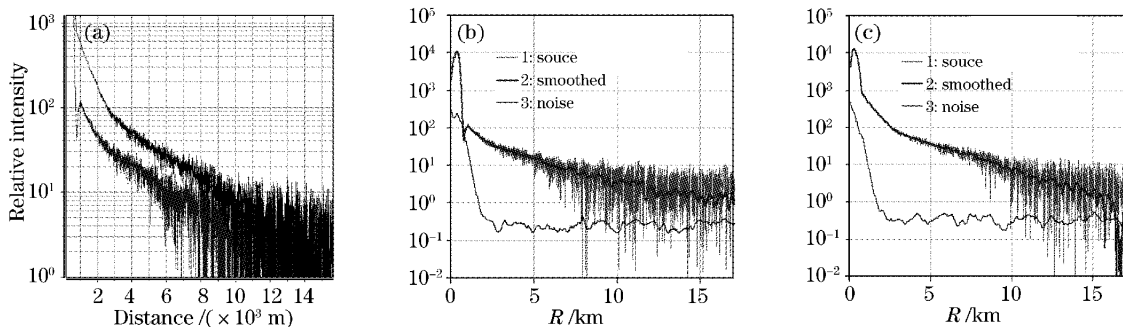


图4 回光信号

Fig.4 Return signal

10.3035 μm , 2 通道的波长为 9.22 μm 。扫描器的位置为: AZ: 276°50'40", EL: 6°20'40"。数据采集时间为: 2004-12-4, 14:23:37。

4 结 论

从回光信号曲线可以看出, 采用相干探测外差接收的方式进行回光探测, 具有很强的优势, 其探测距离达 15 km 以上, 探测高度达 7 km, 与短波差分吸收激光雷达(3~4 km)相比探测能力有了很大的提高, 这在军民两用技术方面都有较大的发展前景。如果提高光路的传输效率以及 25 单元碲镉汞探测器的灵敏度或者激光器的发射功率, 其探测能力可以进一步提高。

在探测路径上, 随着距离的增加, 回光信号越来越弱, 所以信号曲线呈下降趋势, 同时曲线起伏不定, 这主要是由于探测路径上大气物质分布存在差异, 同时与探测器本身的噪声以及背景噪声等也有一定的关系。测量结果表明, 可以利用 TEA-CO₂ 差分激光雷达系统对大气中的物质成分及浓度进行

有效的测量。

参 考 文 献

- 1 Xu Qiyang, Wang Xinbing. Continuous-Wave High Power CO₂ Lasers [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2000
徐啟阳, 王新兵. 高功率连续 CO₂ 激光器 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000
- 2 Yan Jixiang, Gong Shunsheng, Liu Zhishen. Lidar for Monitoring Environmental [M]. Beijing: Science Press, 2001
阎吉祥, 龚顺生, 刘智深. 环境监测激光雷达 [M]. 北京: 科学出版社, 2001
- 3 Hu Shunxing, Hu Huanling, Zhang Yinchao *et al.*. Differential absorption lidar for environmental SO₂ measurements [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, 31(9): 1121~1126
胡顺星, 胡欢陵, 张寅超等. 差分吸收激光雷达测量环境 SO₂ [J]. 中国激光, 2004, 31(9): 1121~1126
- 4 Hu Shunxing, Hu Huanling, Zhou Jun *et al.*. DIAL lidar measurement for tropospheric ozone [J]. *Laser Technology*, 2001, 25(6): 406~408
胡顺星, 胡欢陵, 周 军等. 差分吸收激光雷达测量对流层臭氧 [J]. 激光技术, 2001, 25(6): 406~408
- 5 Dai Yongjiang. The Principle of Lidar [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002
戴永江. 激光雷达原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002
- 6 Ding Lufei. The Principle of Radar [M]. Shaanxi: Northwest College of Telecommunication Engineering Press, 1984
丁鹭飞. 雷达原理 [M]. 陕西: 西北电信工程学院出版社, 1984