

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0215-03

# 用于激光雷达的多波长同时输出激光系统\*

岳古明 吴永华 胡顺星 戚福弟 金传佳 周军 胡欢陵

(中科院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

**提要** 报道了一种多波长同时输出的激光系统设计及系统所达到的性能指标。给出了该激光系统用于 L625 激光雷达, 测出合肥地区大气中气溶胶、臭氧、水汽和温度等的空间垂直分布。

**关键词** 多波长紫外激光, 倍频光, 拉曼频移器, 激光雷达

**中图分类号** TN958.98; TN248.1 **文献标识码** A

## A Multi-Wavelength Simultaneous Output Laser System for Lidar

YUE Gu-ming WU Yong-hua HU Shun-xing QI Fu-di

JIN Chua-jia ZHOU Jun HU Huan-ling

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

**Abstract** The design and performances of a multi-wavelength simultaneous output laser system are presented in this paper. The laser system has been used in the L625 lidar, and the profiles of the atmospheric aerosol, ozone, water vapor and temperature over Hefei area have been obtained by this system.

**Key words** multi-wavelength UV laser, frequency-doubled light, Raman frequency-shifter, lidar

## 1 引言

大气科学和环境监测部门需要了解空间大气中多种物质成分的分布及其变化情况, 特别是无接触三维空间范围内快速、实时测量方法的研究, 受到各国政府和科研人员的高度重视。差分吸收激光雷达系统能够较好地满足空间大气中各种物质成份分布情况的探测, 是一种较好的探测手段。但差分吸收激光雷达需要同时发射两个波长的激光, 利用了被探测成分在这两个波长的强吸收和弱吸收情况, 才能提高探测精度。如果要在几个小时内探测多种物质成分就需要同时发射多种不同波长的激光。因此要用一台激光雷达系统在短时间内探测多种物质成分的空间分布, 必须研制配备一套多种波长同时发射的激光系统。

## 2 激光系统的设计及主要指标

### 2.1 系统光路设计

考虑到 L625 差分吸收激光雷达要同时探测大

气中气溶胶、平流层和对流层臭氧、对流层中水汽及高空温度的垂直分布情况。我们研制并采用一台 XeCl 准分子激光器和一套 Nd:YAG 激光多次谐波及其抽运 D<sub>2</sub> 拉曼的多波长同时输出的激光系统。具体光路如图 1 所示。

图 1 中(1)为 1064 nm 的全反射镜,(2)为 KD\*P 普克尔盒,(3)为波长 1064 nm 偏振器,(4)为 Nd:YAG 棒,(5)为波长 1064 nm 的半反射镜,它们构成 Nd:YAG 激光振荡器,通过设计合适的元件及光腔参数,使之输出近似单横模激光束。(6)为波长 1064 nm 的扩束镜,放大倍数约为 1.5 倍,(7)为第一级 Nd:YAG 激光放大器,(8)为 45° 入射波长 1064 nm 半反半透镜片;(9)为 45° 入射波长 1064 nm 全反镜;(10)为第一路第二级 Nd:YAG 激光放大器,(11)为波长 1064 nm 二倍频器,(12)为波长 1064 nm 的三倍频器;(13)和(14)为 355 nm 全反、532 nm 和 1064 nm 高透反射镜;(15)和(16)为 532 nm 全反、1064 nm 高透反射镜;(17)为 532 nm 的偏振器,(18)为另一路第二级 Nd:YAG 激光放大器,(19)为 1064 nm 二倍频器,(20)为 1064 nm 的四倍频器,(11),(12),(19)和(20)都是偏硼酸钡(BBO)

\* 国家 863 计划激光技术主题资助课题。

晶体材料制成的。(21),(22)为 266 nm 全反、532 nm 和 1064 nm 高透反射镜,(23),(24)和(25)构成一个长 1 米,充有高压氙气(D<sub>2</sub>)的拉曼频移器,其输出剩余的 266 nm 和一阶 Stokes 光由(26)和(27)两个反射镜输出。(28)和(30)为 532 nm 全反镜,

(29)为 532 nm 的 1/2 波片。两路 532 nm 光通过(17)偏振分色片耦合同光路输出,提高了 532 nm 的输出能量。另外,(31)为 XeCl 准分子激光器,输出 308 nm 波长激光。

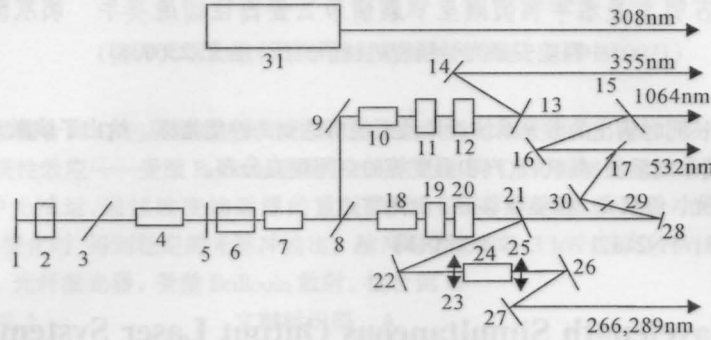


图 1 多波长激光系统简图

Fig. 1 Schematic diagram of multi-wavelength laser beams transmitting

2.2 各波长激光性能指标

各波长激光性能指标列于表 1。

表 1 各波长激光性能指标

Table 1 Specifications of multi-wavelength laser beams

Wavelength /nm	energy /mJ	pulse width /ns	divergence /mrad	repetition rate/Hz
308	200	~20	1.5×1.5	20
355	50	~15	<1	10
532	80	~20	<1	10
289	8	~15	<1	10
266	30	~15	<1	10

3 该系统用于 L625 差分吸收激光雷达的测量结果

3.1 平流层气溶胶的空间垂直分布

L625 激光雷达利用图 1 中 532 nm 激光作为发射光源,自 1991 年 6 月以来在合肥地区对平流层气溶胶进行了长期测量,获得了大量观测资料。图 2

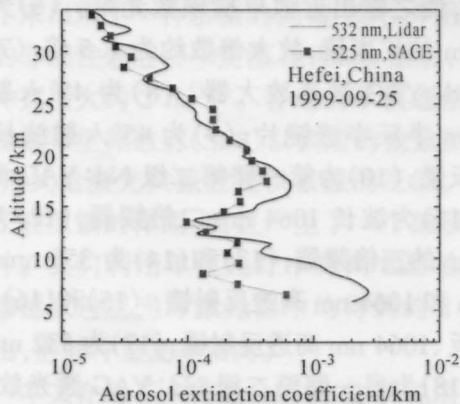


图 2 合肥地区平流层气溶胶的垂直分布

Fig. 2 Stratospheric aerosol vertical distribution

给出了合肥地区平流层气溶胶垂直分布的探测个例,其结果与 SAGE II 卫星在合肥邻近地区的观测结果表现了较好的一致性。

3.2 大气臭氧浓度的垂直分布

利用图 1 中波长对 308 nm~355 nm 激光测量平流层臭氧的分布,利用波长对 289 nm~308 nm 激光测量对流层臭氧的分布。测量结果与卫星资料及电化学臭氧探空仪的探测结果进行了对比验证,两者有较好的一致性。图 3 给出了 2001 年 4 月 12 日晚合肥地区大气臭氧的分布,图中也给出了 HALOE 卫星在合肥邻近地区的观测资料,在平流层中它们表现了较好的一致性。

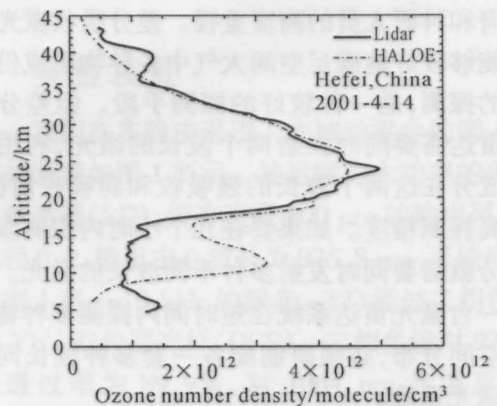


图 3 合肥地区大气臭氧浓度的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of ozone concentration

3.3 对流层中水汽的垂直分布

利用图 1 中 355 nm 激光作为发射光束,通过同时接收水汽和氮分子的拉曼后向散射信号,测量得到对流层中 6 km 以下水汽质量混合比的空间分

布。观测结果与无线电探空仪的结果基本一致。图 4 给出了激光雷达获得的合肥地区对流层中水汽混合比

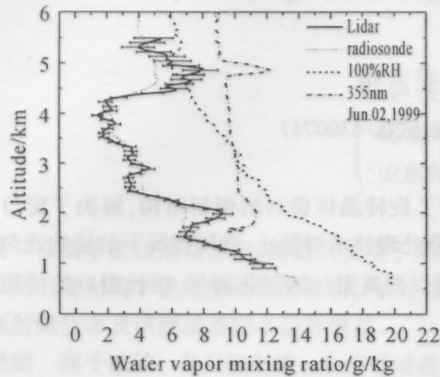


图 4 对流层水汽混合比的垂直分布

Fig. 4 Tropospheric water vapor mixing ratio

### 3.4 平流层温度的垂直分布

通过接收 532 nm 或 355 nm 激光束的高空回波，能得到平流层 22km~65km 高空温度的垂直

分布,空间采样分辨率为 150 m。图 5 给出了 2001 年 4 月 12 日晚该激光雷达的探测结果。

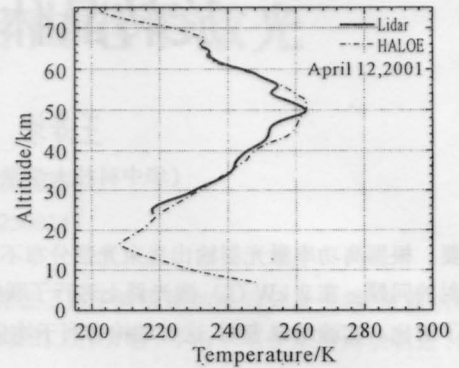


图 5 平流层温度的垂直分布

Fig. 5 Vertical profile of stratospheric temperature

上述大气成分的测量,能在同一晚上几个小时內完成,这是一般的单波长激光雷达或其它探测手段所不能替代的。因此,研制性能较好的多波长激光系统,用于激光雷达中快速测量多种大气微量成分分布情况是比较经济,具有发展前途的。



Department of Physics, Nanjing Normal University, Jiangsu 210014

Abstract: According to the experimental results of the simultaneous output laser system, the vertical profile of the stratospheric temperature is measured. The results show that the temperature in the stratosphere is about 200 K at 22 km altitude and increases to about 260 K at 65 km altitude. The vertical profile of the temperature is compared with the results of the HALOE satellite. The comparison shows that the vertical profile of the temperature measured by the laser radar is in good agreement with the results of the HALOE satellite.

关键词: 激光雷达; 平流层; 温度; 垂直分布

1 引言

平流层是地球大气层的重要组成部分,其温度随高度的增加而升高。平流层温度的垂直分布对于研究大气环流、气候变化以及高空探测具有重要意义。传统的无线电探空仪只能提供点状的温度数据,而激光雷达则可以实现对平流层温度的连续、快速测量。本文介绍了用于激光雷达的多波长同时输出激光系统,并给出了该系统的探测结果。结果表明,该系统的测量结果与无线电探空仪的结果基本一致。图 4 给出了激光雷达获得的合肥地区对流层中水汽混合比的垂直分布,空间采样分辨率为 150 m。图 5 给出了 2001 年 4 月 12 日晚该激光雷达的探测结果。

1.1 激光雷达原理

激光雷达(LiDAR)是一种主动遥感探测技术,通过发射激光束并接收其返回信号,实现对大气成分的测量。在平流层温度探测中,激光雷达利用后向散射原理,通过接收 532 nm 或 355 nm 激光束的高空回波,得到平流层 22 km~65 km 高空温度的垂直分布。激光雷达具有探测精度高、测量速度快、不受天气条件限制等优点,广泛应用于大气科学研究、环境监测等领域。

1.2 多波长同时输出激光系统

为了实现对多种大气微量成分的同步测量,研制性能较好的多波长激光系统具有重要意义。本文介绍的多波长同时输出激光系统,采用非线性光学技术,能够实现 532 nm 和 355 nm 激光束的同时输出。该系统结构简单、体积小、重量轻,非常适合用于高空探测。实验结果表明,该系统的输出功率稳定,光束质量好,能够满足激光雷达的探测需求。

1.3 探测结果分析

图 4 展示了激光雷达获得的合肥地区对流层中水汽混合比的垂直分布。从图中可以看出,水汽混合比在 0~2 km 高度范围内随高度增加而迅速增加,在 2~5 km 高度范围内达到最大值,约为 18 g/kg。在 5~6 km 高度范围内,水汽混合比随高度增加而略有下降。图 5 展示了 2001 年 4 月 12 日晚激光雷达探测到的平流层温度的垂直分布。从图中可以看出,平流层温度在 22 km 高度处最低,约为 200 K。随着高度增加,温度逐渐升高,在 45 km 高度处达到最小值,约为 180 K。在 65 km 高度处,温度达到最大值,约为 260 K。图 5 的结果与 HALOE 卫星的探测结果进行了对比,两者结果在误差范围内基本一致,验证了激光雷达探测结果的可靠性。