

1998~2001 年合肥地区平流层臭氧浓度 垂直廓线变化特征

葛战旗, 胡欢陵, 胡顺星, 闫顺生

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: L625 紫外差分吸收 (UV-DIAL) 激光雷达主要用于 18~45 km 高度范围内平流层臭氧浓度垂直分布的长期监测。位于合肥郊区的这一台激光雷达自 1996 年 8 月全面建成并投入正常运行以来, 进行了长期的连续观测, 积累了大量宝贵资料。通过分析 L625 紫外差分吸收激光雷达在 1998~2001 年期间的平流层臭氧观测数据, 得出了合肥上空平流层臭氧浓度垂直分布的特征: 平均垂直浓度分布的峰值点高度为 23.32 km, 峰值点的臭氧浓度为 $4.43 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$, 柱含量 $6.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$; 臭氧浓度有明显的一年周期震荡, 表现为季节变化: 平流层中上层臭氧浓度夏季高冬季低; 平流层下层臭氧浓度夏季低冬季高。平流层臭氧浓度峰值高度的变化特征为夏季高冬季低。

关键词: 大气光学; 大气臭氧; 一年周期; 季节特征

中图分类号: P427

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2007)04-0263-05

Variation of Stratospheric Ozone Profiles Over Hefei during 1998~2001

GE Zhan-qi, HU Huan-ling, HU Shun-xing, YAN Shun-sheng

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

Abstract: L625 UV-DIAL lidar acquired lots of stratospheric ozone data during 1998~2001. Through analysis of these data, some characteristics of stratospheric ozone profiles over Hefei were given. The altitude of peak density of average ozone profile is 23.32 km, and the averaged ozone peak density is $4.43 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$. The column abundance is $6.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$. The variation of ozone density is of an obvious one year cyclic vibration, shown as the seasonal variation. The ozone density in middle and upper stratosphere is larger in summer than in winter. In lower stratosphere, ozone density is larger in winter than in summer. The average altitude of peak ozone density is lower in winter than in summer.

Key words: atmospheric optics; atmospheric ozone; one year cyclic vibration; seasonal characteristic

1 引言

平流层臭氧吸收了大部分对地球生物有害的太阳紫外辐射,是包括人类在内地球生物的天然防护,也是平流层和中间层大气的重要能量来源,其浓度的变化直接影响到地球的自然生态环境。然而,人类活动造成的污染使臭氧总量和臭氧垂直分布发生了变化。1985年南极臭氧洞^[1]的发现引起了人们的普遍重视。大气臭氧的探测以及大气臭氧高度分布特征和变化规律的研究,对于大气光化学、环境变化、气候模式和大气光学研究都有十分重要的意义。

L625 紫外差分吸收激光雷达位于合肥郊区,自 1996 年 8 月全面建成并投入正常运行以来,对合肥地区上空平流层臭氧垂直分布进行了长期的连续观测,并与 HALOE 及 SAGE II 卫星资料进行了对比^[2],证明其工作稳定数据可靠。这些资料不仅对认识合肥地区上空平流层臭氧的分布特点及变化规律提供了直接可靠的根据,而且也是中纬度上空平流层臭氧研究的宝贵参考资料。

利用 L625 激光雷达所测量的数据对合肥上空平流层臭氧的分布规律和变化特征有过一些初步分析^[3],这些分析所用资料较少,时间跨度也较短,因此有必要作进一步的探讨。1998~2001 年间, L625 激光雷达所测量平流层臭氧浓度数据比较丰富,通过分析这些数据,可以得到合肥上空平流层臭氧浓度垂直廓线的某些变化特征。

2 紫外差分吸收激光雷达简介

L625 激光雷达基于差分吸收原理,即选择两束不同波长的发射激光,一个位于臭氧的强吸收区,波长记为 λ_{on} ; 另一个位于臭氧的弱吸收区,波长记为 λ_{off} 。由 λ_{on} 和 λ_{off} 的大气回波信号可计算出臭氧浓度的垂直分布^[4]。该激光雷达主要包括激光发射、回波信号接收和数据采集及控制三部分^[4]。激光发射部分选用 XeCl 准分子激光器输出 308 nm 波长作为 λ_{on} ,其脉冲能量为 200 mJ,脉冲频率为 20 Hz; 选用 Nd: YAG 激光器的三倍频 355 nm 作为 λ_{off} ,其脉冲能量为 60 mJ,脉冲重复频率为 10 Hz; 并同时使用 Nd: YAG 激光器的二倍频 532 nm 探测大气气溶胶,用以实时订正气溶胶对反演臭氧结果的影响。接收系统包括直径为 625 mm 的卡塞格林 (Cassegrain) 型望远镜、机械斩光盘、窄带干涉滤光片、光电倍增管 (PMT) 和前置放大器。光子计数器、主波同步控制器和主控计算机组成数据采集及控制部分。在 L625 激光雷达系统中,为降低低层大气强回波给 PMT 带来的信号诱导噪声及饱和效应, PMT 的门控和机械光开关分别调整接收回波信号的开门高度; 弱信号光子计数技术的采用提高了接收平流层弱回波信号的能力。信号采样的空间分辨率为 150 m,测量累计时间通常为 1~2 h。观测一般在晴朗的夜晚进行,这样可以避免较强的背景噪声,提高观测的精度和高度。

表 1 平流层臭氧测量的次数

Table 1 The measurement numbers of stratospheric ozone

Year	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1998	4	3	缺	缺	缺	2	3	6	5	9	11	13
1999	6	4	2	3	缺	缺	5	6	7	2	10	15
2000	4	5	7	4	7	3	6	1	1	4	6	4
2001	3	3	2	6	4	1	5	缺	9	3	10	4

3 数据分析与讨论

L625 紫外差分吸收激光雷达自建成并投入运行以来积累了大量的数据。但是, 由于天气或激光器等各种外界因素的影响, 测量不可能每天都进行。表 1 列出了臭氧数据的测量时间和测量次数。

3.1 臭氧浓度垂直廓线四年平均特征

对 1998~2001 年期间测量的总共 218 条平流层臭氧浓度的垂直廓线进行平均, 得到如图 1 所示四年平均的平流层臭氧浓度垂直廓线。从图 1 可以看出合肥上空平流层臭氧浓度的垂直分布廓线近似高斯函数形状, 峰值浓度的高度在 23.32 km, 峰值点的臭氧浓度为 $4.43 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 。对高度 19~36 km 范围内大气柱内的臭氧浓度进行积分, 可得到这一高度内臭氧分子数的总含量为 $6.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ 。

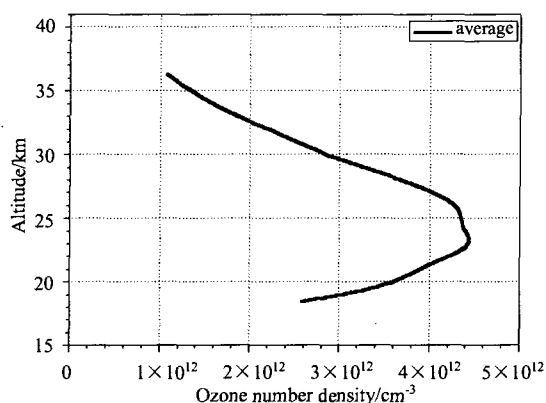


图 1 1998~2001 平均臭氧浓度垂直廓线

Fig.1 Average vertical profile of the ozone density during 1998~2001.

3.2 不同高度臭氧浓度随季节的变化

图 2 是 1998~2001 年期间不同高度处臭氧浓度的时间序列。图中 (a)、(b)、(c)、(d) 分别为 20 km、25 km、30 km、35 km 高度处的臭氧浓度。从图 2 可以看出合肥地区平流层臭氧存在明显的一年周期震荡。(a) 表明 20 km 处臭氧浓度有显著的一年周期震荡, 表现为夏季浓度低冬季浓度高, 代表了合肥地区平流层下层臭氧浓度的变化特征; (b)、(c)、(d) 显示 25 km、30 km、35 km 处臭氧浓度同样具有明显的一年周期震荡, 表现为夏

季浓度高冬季浓度低, 代表了合肥地区平流层中上层臭氧浓度的变化特征, 即合肥地区平流层中上层和下层的臭氧浓度有着反相的变化特征。平流层臭氧浓度的这些变化特征是由决定臭氧空间分布及其随时间变化的光化机制和大气动力输送机制所共同作用形成的。平流层臭氧的光化理论表明, 平流层臭氧由 Chapman^[5] 机制产生, 并决定了臭氧浓度垂直分布的主要特征。平流层臭氧的 Chapman 机制为: 氧气分子吸收能量光解为氧原子, 氧原子在第三体作用下, 可以联合一个氧分子生成一个臭氧分子, 臭氧分子也可吸收能量光解为一个氧分子和一个氧原子, 在一定的条件下反应达到平衡。动力输送机制包括盛行风、剩余环流和湍流混合(扩散)等作用。盛行风主要是纬向输送, 作用结果使得大气成分的纬向分布比较均匀。而对于大气成分的径向分布和垂直分布, 剩余环流对它们的输送作用较大。平流层臭氧的生命周期随高度的增加而减少, 在平流层上层其生命周期较短, 在下层较长。平流层中上层臭氧的生命周期较短, 而动力输送使臭氧浓度达到均匀分布的时间相对较长, 因此一般认为平流层中上层由光化学反应控制, 与此相反, 平流层下层, 动力输送起主要作用。数值模拟结果表明合肥地区 24 km 以下为动力输送的主作用区^[6]。25 km、30 km 和 35 km 皆处于光化作用的控制高度, 冬季太阳处在赤道以南, 北半球太阳入射角变大, 平流层大气所接受的太阳辐射较少, 光化作用较弱, 臭氧浓度较低; 与此相反, 在夏季太阳辐射增至最强, 平流层中上层臭氧浓度也增至最高。20 km 处于动力输送作用的控制高度, 陈文等^[7-8]利用剩余环流的概念来研究行星波对平流层臭氧的输送, 其研究表明: 由于平流层行星波活动有明显的季节差异, 在夏季合肥地区有对流层向平流层的明显输送过程, 而在冬季从平流层向对流层的输送过程相对很微弱。较之平流层, 对流层的臭氧浓度很低, 且对流层和平流层下层臭氧的生命周期较长, 在这种输送机制的作用下, 使得 20 km 处的臭氧浓度表现为夏季低冬季高, 有明显的季节变化。

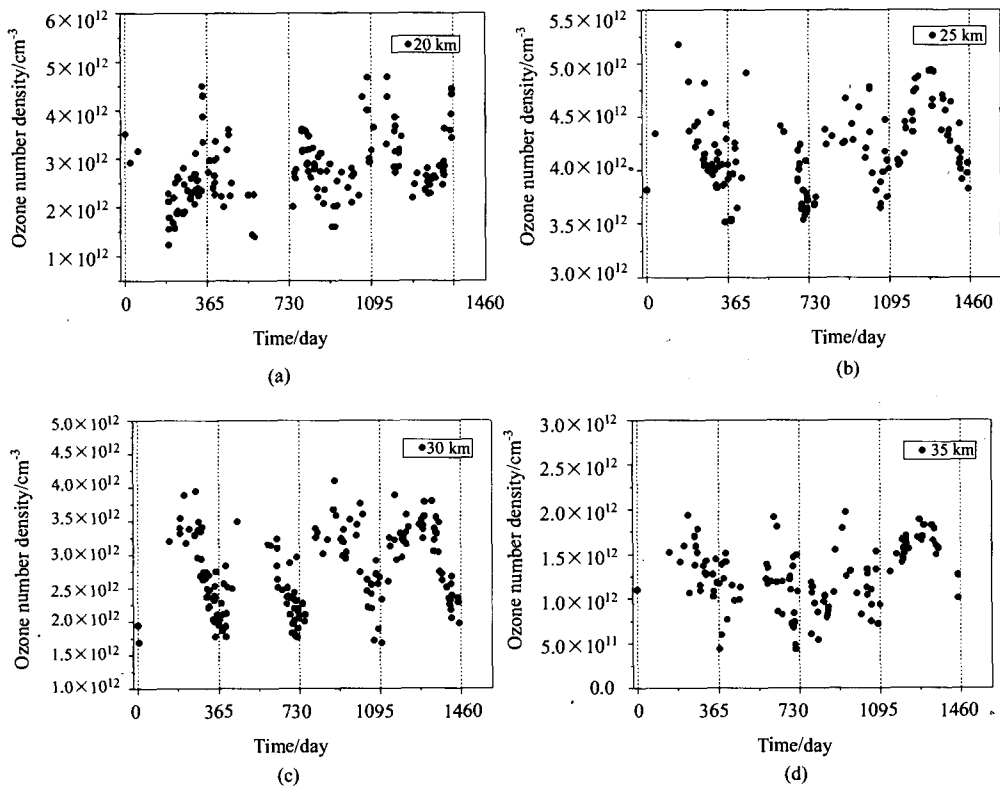


图 2 不同高度处的臭氧浓度随时间的变化

Fig.2 The variation of ozone density with time at different altitudes

3.3 臭氧浓度峰值的高度变化

图 3 给出了 1998~2001 年合肥上空平流层臭氧峰值高度的观测结果。图 3 表明, 臭氧浓度峰值高度夏季高, 冬季低。观测数据的平均高度为 23.32 km。据 3.2 中的分析, 平流层下部的臭氧寿命较

长, 臭氧达到光化平衡的时间较长, 在夏季从对流层向平流层的输运过程较强, 对流层臭氧浓度相对很小, 这就使得平流层下部的臭氧浓度变低。平流层上部的臭氧寿命较短, 它的浓度取决于光化作用的强弱。夏季北半球光化作用强, 平流层中部的臭氧浓度增加。两者的共同作用使得夏季臭氧浓度的峰值高度升高, 冬季则与之相反。

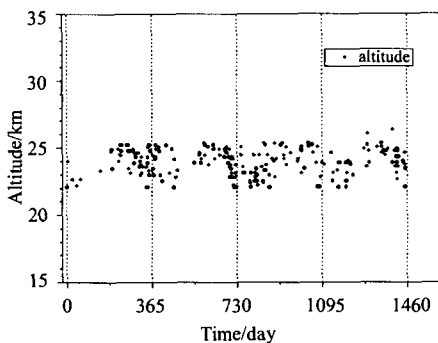


图 3 平流层臭氧峰值高度随时间的变化

Fig.3 The variation of altitudes of peak ozone density with time

4 结 论

差分吸收激光雷达基于晴天夜晚观测的结果表明, 在 1998~2001 年间, 合肥上空 19~36 km 高度内的臭氧四年平均含量为 $6.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$, 臭氧浓度峰值平均高度为 23.32 km, 平均臭氧垂直分布的峰值浓度为 $4.43 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 。不同高度的臭氧数密度具有显著的季节特征: 平流层中上层臭氧浓度夏季高冬季低; 平流层下层臭氧浓度夏季低冬季高。平流层臭氧层浓度峰值高度夏季高, 冬季低。

参考文献:

- [1] Farman C, Gardiner B G, Shanklin J D. Large losses in total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction [J]. *Nature*, 1985, **315**: 207-210.
- [2] Wu Yonghua, Hu Huanling, Hu Shunxing, et al. Comparison of stratospheric ozone measurements made by lidar, SAGE II and HALOE satellites over Hefei area [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2000, **17**(3): 282-288(in Chinese).
吴永华, 胡欢陵, 胡顺星, 等. 激光雷达与 SAGEII 及 HALOE 卫星观测合肥地区平流层臭氧对比 [J]. *量子电子学报*, 2000, **17**(3): 282-288.
- [3] Hu Shunxing, Ge Zhanqi, Yan Shunsheng, et al. Analysis on atmospheric ozone over Hefei in 2001 [J]. *Journal of Atmosphere and Environmental Optics*, 2007, **2**(2): 110-113(in Chinese).
胡顺星, 葛战旗, 闫顺生, 等. 2001 年合肥上空大气臭氧的分布特征分析 [J]. *大气与环境光学学报*, 2007, **2**(2): 110-113.
- [4] Hu Huanling, Wang Zhi-en, Wu Yonghua, et al. UV-DIAL system for measurements of stratospheric ozone [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1998, **22**(5): 701-708(in Chinese).
胡欢陵, 王志恩, 吴永华, 等. 紫外差分吸收激光雷达探测平流层臭氧 [J]. *大气科学*, 1998, **22**(5): 701-708.
- [5] Chapman S. A theory of upper atmospheric ozone [J]. *Mem. Meteorol Soc.*, 1930, **3**: 103-125.
- [6] Shi Chunhua. Study on the trends and chemical process of trace gases in stratosphere [D]. Hefei: Doctorial Dissertation of USTC, 2006(in Chinese).
施春华. 平流层微量气体变化趋势及其变化过程的研究 [D], 合肥: 中国科学技术大学博士论文, 2006.
- [7] Chen Wen, Huang Ronghui. The numerical study of seasonal and interannual variabilities of ozone due to planetary wave transport in the middle atmosphere part I: the case of steady mean flow [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1996, **20**: 513-523(in Chinese).
陈文, 黄荣辉. 中层大气行星波在臭氧的季节和年际变化中的输运作用数值模拟研究 I: 恒定流情况 [J]. *大气科学*, 1996, **20**: 513-523.
- [8] Chen Wen, Huang Ronghui. The numerical study of seasonal and interannual variabilities of ozone due to planetary wave transport in the middle atmosphere part II: the case of wave-flow interaction [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1996, **20**: 703-712(in Chinese).
陈文, 黄荣辉. 中层大气行星波在臭氧的季节和年际变化中的输运作用数值模拟研究 II: 波流相互作用情况 [J]. *大气科学*, 1996, **20**: 703-712.

作者简介: 葛战旗 (1983-), 男, 硕士研究生, 从事激光雷达探测大气成分和参数的研究。