

2001 年合肥上空大气臭氧的分布特征分析

胡顺星, 葛战旗, 阎顺生, 胡欢陵

(中国科学院安徽光学精密机械研究所大气光学中心, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 对 L625 差分吸收激光雷达 2001 年的臭氧观测数据进行了处理和分析, 观测结果表明: 合肥上空高度 5~45 km 区间, 臭氧厚度 0.264×10^{-5} km, 峰值高度海拔 24.9 km, 峰值大小 4.3677×10^{12} cm^{-3} 。不同高度的臭氧数密度具有明显的季节特征, 35 km、30 km 和 25 km 高度的臭氧数密度变化特征表现为夏季数密度高, 冬季数密度低。20 km、15 km 和 10 km 高度的臭氧数密度的变化特征表现为冬春季数密度高, 秋季数密度低。臭氧层峰值高度夏秋季高, 冬春季低。

关键词: 大气光学; 大气臭氧; 季节特征

中图分类号: P427

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2007)02-0110-04

Analysis on Atmospheric Ozone over Hefei in 2001

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

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

Abstract: Ozone data observed by L625 differential absorption lidar in 2001 were processed and analyzed. Observation results show that ozone thickness is 0.264×10^{-5} km from 5 km to 45 km altitude over Hefei. Peak height is 24.9 km and peak value is 4.3677×10^{12} cm^{-3} . Ozone number density at different altitude shows distinct seasonal characteristics. Ozone density at 35 km, 30 km and 25 km altitude was high in summer and autumn, and low in winter. Ozone density at 20 km, 15 km and 10 km altitude was high in winter and spring, and low in autumn. Peak height of ozone layer is higher in summer and autumn than that in winter and spring.

Key words: atmospheric optics; atmospheric ozone; seasonal characteristics

1 引 言

臭氧是大气中的微量气体成分, 起着重要的作用。平流层臭氧吸收大部分对生命(包括人类)有伤害作用的太阳紫外辐射, 同时, 它也是中层大气重要的热源, 对流层臭氧起着温室气体的作用, 作为强氧化剂, 积极参与对流层的许多化学过程, 是光化学烟雾的发起者, 影响大气环境质量。臭氧垂直廓

线的变化和对它的监测, 对地球环境、气候模型和大气光学很重要。臭氧是大气中的微量气体成分, 与人类的生存休戚相关, 对大气中的臭氧进行长期监测具有重要意义。在国内许多学者对我国上空的大气臭氧进行了研究。周秀骥等^[1]研究美国 TOMS 资料发现青藏高原臭氧常年维持一低值中心。史久恩等^[2]对中国地区大气臭氧总量的研究表明, 中国南部地区臭氧变化表现出显著的准两年振荡。

激光雷达是探测大气参数重要的手段, 差分吸收激光雷达为大气臭氧分布的获得提供了一种有效的测量方法, 安徽光机所的差分吸收激光雷达坐落在合肥 N31°54', E117°9'36"。臭氧的分布随地理纬度变化。本文给出 L265 差分吸收激光雷达在 2001 年观测的结果。激光雷达观测需要晴朗无云的天气条件, 分析臭氧分布需要较多的数据量, 该年度我们一共得到了 60 个夜晚的观测结果, 文中分析了在该年度合肥上空的臭氧分布特征和季节特征。

2 L625 差分吸收激光雷达和测量方法

L625 差分吸收激光雷达系统的原理、结构和技术参数在文献 [3-4] 中已有详细描述, 这里只简单地描述测量方法。L625 差分吸收激光雷达的发射系统是基于 ND: YAG 固体激光器和 XeCl 准分子气体激光器, 测量平流层臭氧使用 XeCl 准分子激光器输出的 308 nm 波长激光和 Nd: YAG 三倍频输出 355 nm 波长激光, 臭氧对前者激光吸收较强, 对后者激光吸收很弱; 测量对流层臭氧使用 XeCl 准分子激光器输出的 308 nm 波长激光和 Nd: YAG 四倍频泵浦 D₂ 气输出的 289 nm 波长激光, 臭氧对前者激光吸收较弱, 对后者激光吸收较强。测量对流层臭氧的分辨率为 75 m, 测量平流层臭氧的分辨率为 150 m。考虑到探测器的动态范围, 平流层臭氧探测的起始高度一般在 12 km 以上, 对流层臭氧探测的起始高度一般在 5 km 以上。测量的对流层臭氧廓线和平流层臭氧廓线一般在 10~20 km 区间有一段重叠区域, 在重叠区域, 臭氧数密度取它们的平均值。最后, 得到 5~40 km 范围的臭氧数密度廓线。

3 臭氧测量结果和特征分布

3.1 平均分布

L625 差分吸收激光雷达坚持常规观测, 2001 年观测的合肥上空臭氧分布的有效数据为 60 个夜晚, 每个夜晚给出一条臭氧分布廓线, 将测量结果进行平均, 得到合肥上空臭氧的 2001 年 5~45 km 区间的平均分布的特征, 如图 1 所示。大气中臭氧分子主要集中在 20~30 km, 臭氧厚度 0.264×10^{-5} km, 峰值高度海拔 24.9 km, 峰值大小 $4.3677 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$, 15 km 以下臭氧数密度小于 $1.0 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 。

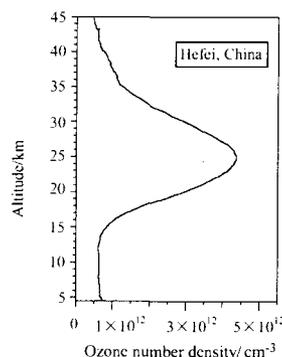


图 1 2001 年合肥上空臭氧年平均垂直分布

Fig.1 Yearly profile of ozone over Hefei in 2001

3.2 不同高度的臭氧变化特征

不同高度臭氧的数密度变化与对流层天气系统、臭氧光化学变化机制、平流层大气环流以及大气环境因素相关。图 2 分别给出了激光雷达测量的 5 km、10 km、15 km、20 km、25 km、30 km 和 35 km 臭氧数密度随日期的变化, “■”符号表示为观测值, 曲线表示多项式拟合结果。先看 35 km、30 km 和 25 km 高度的臭氧数密度变化趋势, 表现为夏季数密度高, 冬季数密度低, 30 km 的季节特征尤其明显。这一变化特点是与臭氧光化作用机制起主导作用引起的物理机制是一致的。臭氧的光化作用机制认为, 平流层中部由于太阳紫外辐射和臭氧吸收的作用, 大气温度较高, 臭氧光化作用剧烈, 臭氧浓度很容易恢复到稳定状态, 臭氧的生命周期短。夏季太阳辐射强烈, 臭氧分子电离, 生成一个氧分子和一个氧离子。反过来, 游离氧离子与氧分子结合生成臭氧分子, 这两个过程达到平衡。对于 20 km、15 km 和 10 km 高度的臭氧数密度变化, 冬春季数密度高, 秋季数密度低。这一变化特点与臭氧运输机制起主导作用的物理机制是一致的。臭氧的运输机制认为, 由于冬春季平流层大气动力的作用, 20 km 以上臭氧浓度高的大气向下运动(从低纬度向高纬度运动)。在对流层, 臭氧的生命周期长, 臭氧不容易恢复到平衡态, 从冬季开始到春季, 臭氧浓度在平流层底部和对流层中上部不断增加, 表现为臭氧浓度冬春较高, 夏秋季较低。平流层底部和对流层中上部大气, 由于受到对流层天气系统的影响, 有时对流层的大气向上输送, 有时平流层大气向下输送, 使臭氧浓度发生变化。在 20 km 高度附近, 受到平流层 - 对流层大气

交换的影响, 臭氧浓度变化幅度较大。当平流层大气向这一区域输送时, 这一区域的臭氧浓度提高, 由于臭氧生命期长, 高浓度臭氧能够维持数天。当对流层大气向这一区域输运时, 这一区域的臭氧浓度下降。对于对流层 5 km 高度的臭氧数密度, 它的变化特点与 10 km、15 km 和 20 km 臭氧变化特点不一样, 表现为夏季数密度大、冬春季数密度小的特点。在这一区域, 对臭氧数密度变化特点起

主要作用的是臭氧光化学作用机制, 受平流层臭氧运输的影响是次要的。

3.3 臭氧层的峰值高度

图 3 给出了 2001 年合肥上空臭氧层峰值高度的观测结果。“■”符号表示为观测值, 曲线表示多项式拟合结果。由图可见, 臭氧层峰值高度夏秋季高、冬春季低。观测数据的平均高度为 24.5 km。

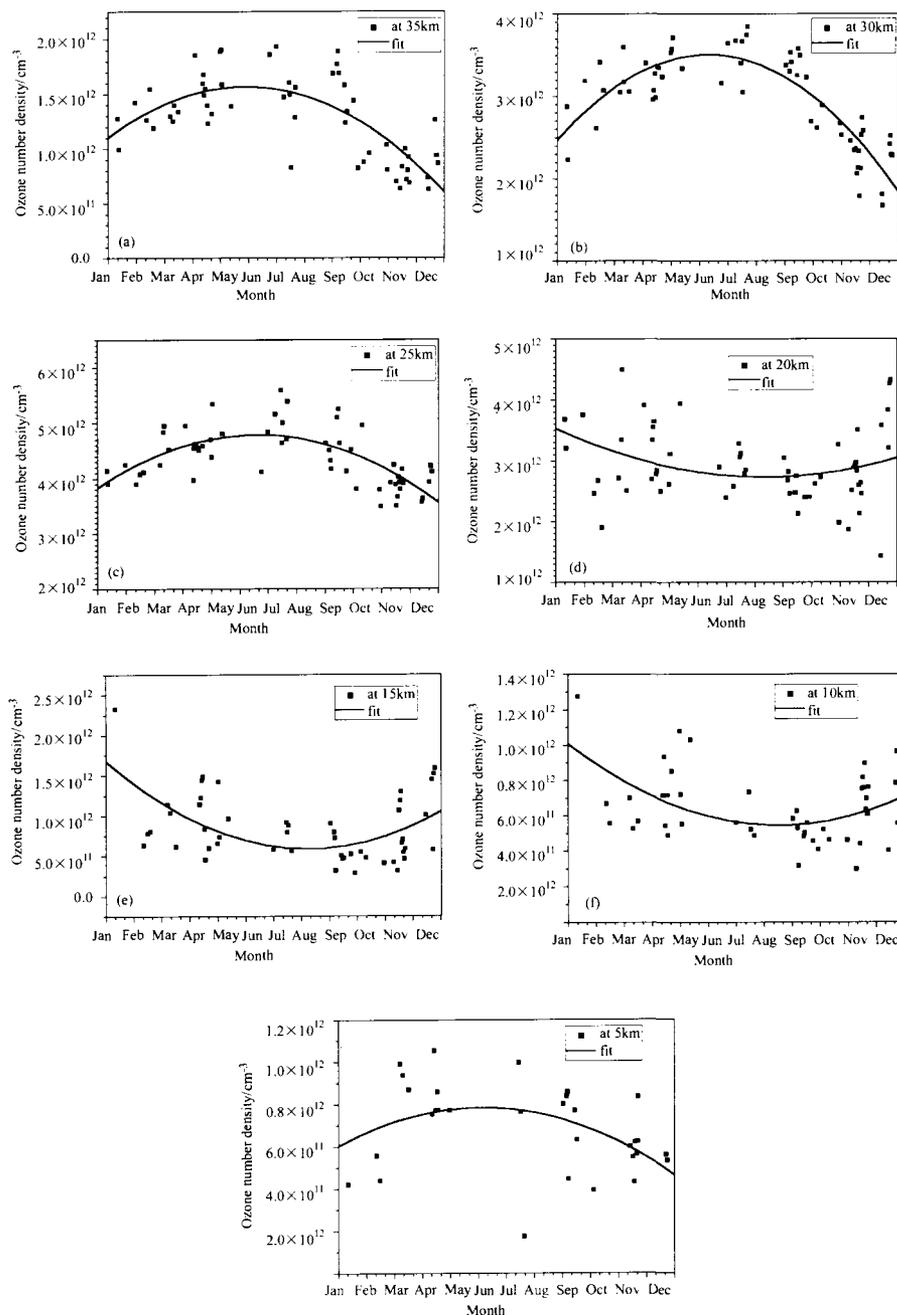


图 2 合肥上空不同高度的臭氧数密度变化特征

Fig.2 Ozone number density variation at different altitude over Hefei

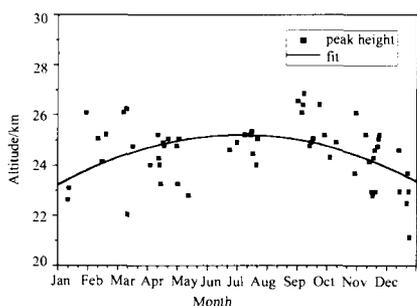


图 3 2001 年合肥上空臭氧层峰值高度的变化特征
Fig.3 Variation of ozone layer peak height over Hefei in 2001

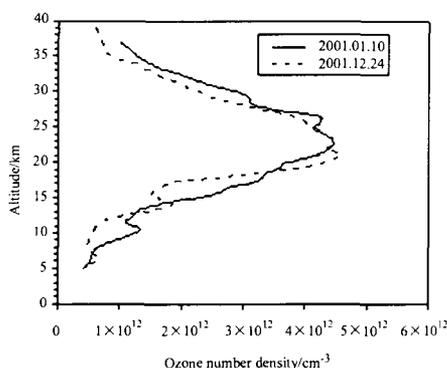


图 4 2001 年 1 月 10 日和 12 月 24 日观测到的合肥上空多峰结构的臭氧分布

Fig.4 Multi-peaked ozone profiles observed at night on 12, October and 24, December in 2001 over Hefei

3.4 臭氧廓线的多峰结构

在实际测量中, 还可能观测到臭氧廓线的多峰特征, 图 4 给出了 2001 年 1 月 10 日和 12 月 24 日夜合肥上空的臭氧双峰分布, 除了在 20~30 km 区域的臭氧层主峰外, 在对流层中上部出现一个高数密度次峰。对流层大气中臭氧数密度一般较低, 次峰中的高含量臭氧来源于平流层, 是平流层和对流层交换作用的结果。

4 结 论

差分吸收激光雷达基于晴天夜晚的观测结果表明, 在 2001 年, 合肥上空 5~45 km 区间, 臭氧

厚度 0.264×10^{-5} km, 峰值高度海拔 24.9 km, 峰值大小 $4.3677 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 。不同高度的臭氧数密度具有明显的季节特征, 臭氧层峰值高度夏秋季高、冬春季低。合肥上空臭氧变化特征与臭氧的光化学机制以及输运机制是一致的。除了在 20~30 km 区域的臭氧层主峰外, 在对流层中上部也可能出现一个高数密度次峰。

参考文献:

- [1] Zhou Xiuji, Luocho, Li Weiliang, et al. Ozone content change in China region and ozone valley over Tibetan Plateau[J], *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(15): 1396-1398 (in Chinese).
周秀骥, 罗超, 李维亮, 等. 中国地区臭氧总量变化与青藏高原低值中心 [J]. 科学通报, 1995, 40(15): 1396-1398.
- [2] Shi Jiuen, Zhou Xiuji, Ren Fumin. Some characteristics of ozone change over China region[C]// Zhou Xiuji. *Atmospheric Ozone Change over China Region and Its Effects on Climate Environment*(1) [M], Beijing: Meteorologic Press, 1996: 273 (in Chinese).
史久恩, 周秀骥, 任福民. 中国地区臭氧变化的若干特征 [C]// 周秀骥, 中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响 (1)[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 273.
- [3] Hu Huanling, Wang Zhien, Wu Yonghua, et al. An UV-DIAL system for measurements of stratospheric ozone[J]. *Chinese Atmospheric Science*, 1998, 22(5): 293-301 (in Chinese).
胡欢陵, 王志恩, 吴永华, 等. 紫外差分吸收激光雷达测量平流层臭氧 [J]. 大气科学, 1998, 22(5): 701-708.
- [4] Hu shunxing, Hu Huanling, Wu Yonghua, et al. L265 differential absorption lidar system for tropospheric ozone measurements[J]. *ACTA Optica Sinica*, 2004, 24(5): 597-601 (in Chinese).
胡顺星, 胡欢陵, 吴永华, 等. L265 差分吸收激光雷达探测对流层臭氧 [J]. 光学学报, 2004, 24(5): 597-601.