

大尺度山地上空臭氧亏损及其变化趋势*

邹捍 郜永祺

(中国科学院大气物理研究所 北京 100029)

提 要 通过对卫星资料的分析,揭示了全球大尺度山地上空有大气臭氧亏损,其极大值出现在春季或初夏. 线性回归分析表明:在 1979~1991 年中,全球大尺度山地上空的臭氧总量呈下降趋势.

关键词 大尺度山地 臭氧总量 亏损 线性趋势

大气臭氧是一种温室气体,同时吸收有害的太阳短波辐射,保护地球生物圈. 大气臭氧的破坏过程主要是光化学反应和有氮、氢氧根、氯、溴参与的催化反应. 大气环流及涡旋的输送对臭氧的分布起着重要作用^[1]. 自南极臭氧洞被发现以来^[2],大量研究揭示出南极臭氧洞的特征及形成机制^[1, 3]. 全球大部分地区的臭氧总量在不断下降^[4].

在全球地气系统中,大尺度山地对大气环流及地区性气候有着重要的影响. 大尺度山地上被抬高的地表面吸收太阳辐射加热大气,在对流层中形成较周围地区高的热源. 这一“被抬高的”热源将在对流层较高的位置形成对流及涡旋,使之物质向上输送^[5]. 对流层中向上输送的贫臭氧空气将造成整层气柱中臭氧含量下降. 因此大尺度山地将直接影响大气臭氧总量的分布特征及变化规律. 科学工作者已经发现夏季青藏高原上空存在一个臭氧的低值区^[6]. 该地区全年各月臭氧总量总是低于同纬度无山地区;其臭氧亏损最大值在春季;青藏高原上空臭氧总量的亏损与地面对大气的加热密切相关^[7]. 兹对全球大尺度山地(青藏高原、落矶山脉和安第斯山脉)上空臭氧的特征进行分析,揭示出大尺度山地上空的臭氧亏损,并给出其线性变化趋势.

使用的臭氧总量资料为:美国宇航局(NASA)提供的 Nimbus-7 卫星上搭载的臭氧观测光谱仪(TOMS)得到的全球大气臭氧分布资料. 时间区间为 1979-01~1991-12. 覆盖区域为全球(除极夜区域外). 水平分辨率为纬度 1.00°和经度 1.25°. 单位为 Dobson Unit(DU). 为分析臭氧总量纬向分布不均匀性,进行了纬向偏差的计算,即:格点臭氧总量的纬向偏差=格点臭氧总量-臭氧总量的纬向平均. 定义三个区域:25.5°~40.5°N, 75.6°~105.6°E; 25.5°~40.5°N, 100.6°~115.6°W 和 25.5°~40.5°S, 60.6°~75.6°W 分别代表三个大尺度山地(即:青藏高原、落矶山脉和安第斯山脉). 在研究臭氧总量变化时,使用了面积加权[即 $\cos(\text{纬度})$ 加权平均];在研究臭氧变化趋势时,使用了线性回归方法.

* 国家自然科学基金资助项目(项目号:49775276)的部分研究成果.

中国科学院大气物理研究所叶笃正院士、高登义教授、宋正山教授等曾给予指导, TOMS 臭氧总量资料由 NASA Goddard Space Flight Center 提供,作者在此表示衷心的感谢.

本文收稿日期:1996-10-21,改回日期:1997-09-28.

1 大尺度山地上空的臭氧亏损

由图 1 可见,在南北半球纬度 30°附近,大气臭氧总量的纬向分布非常均匀,只是在三个大尺度山地上空存在着不同程度的臭氧低值扰动,其中以青藏高原上空的臭氧低值扰动为最强.落矶山脉和安第斯山脉上空的臭氧低值扰动相差不多.由图 2 可见,一个强度 $< -15\text{DU}$ 的负臭氧纬向偏差区覆盖在青藏高原上空;一较弱的负偏差区 ($< -5\text{DU}$) 在安第斯山脉上空;落矶山脉南部 (30°N 附近) 有一个较弱的负偏差区 ($0 \sim -5\text{DU}$), 其北部 (45°N 附近) 存在着一个较强的负偏差区. 这一强负偏差区是由同纬度鄂霍次克海地区的强正偏差区提高纬向平均值所造成的.

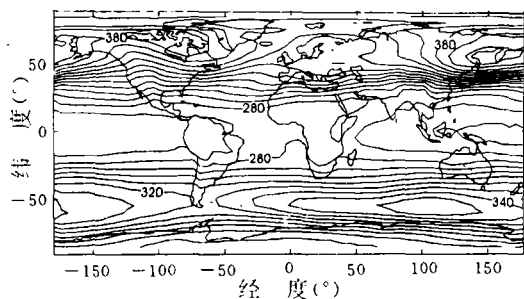


图 1 1979~1991 年全球臭氧平均分布 (单位: DU, 等值线间距 10)

Fig. 1 Ozone distribution (DU) with 10 DU interval

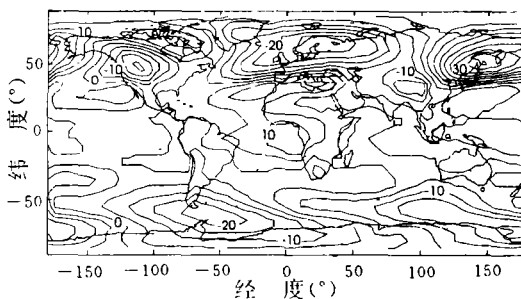


图 2 1979~1991 年全球臭氧平均纬向偏差 (单位: DU, 等值线间距 5)

Fig. 2 Zonal ozone deviation (DU) with 5 DU interval

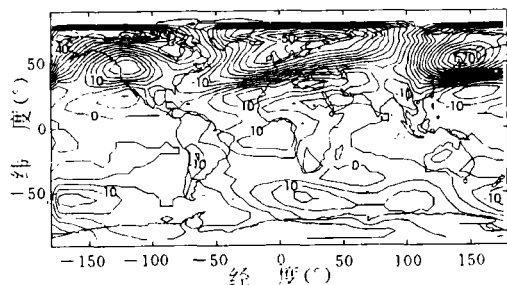


图 3 1979~1991 年全球冬季 (12, 1, 2 月) 臭氧平均纬向偏差 (单位: DU, 等值线间距 5)

Fig. 3 Zonal ozone deviation (DU) in winter (DJF) with 5 DU interval

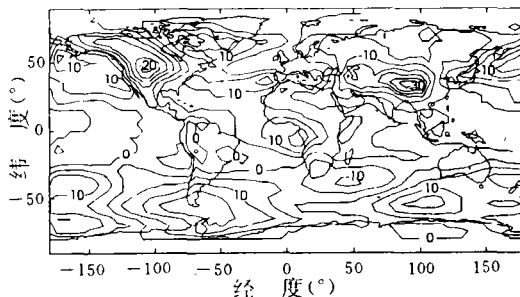


图 4 1979~1991 年全球夏季 (6, 7, 8 月) 臭氧平均纬向偏差 (单位: DU, 等值线间距 5)

Fig. 4 Zonal ozone deviation (DU) in summer (JJA) with 5 DU interval

由图 3, 4 可以看到,青藏高原和落矶山脉上空的臭氧低值扰动在北半球夏季明显高于冬季. 夏季在青藏高原上空有一个封闭的低值区 ($< -30\text{DU}$), 冬季只在高原东南部有一个微弱的低值区 ($< -10\text{DU}$). 夏季落矶山脉臭氧纬向偏差也有所增强. 安第斯山脉夏季臭氧低值扰动也大于冬季, 夏季的纬向偏差 $< -10\text{DU}$, 而冬季 $> -10\text{DU}$ (南半球冬夏季与北半球正好相反). 由此可见: 在大尺度山地上空存在臭氧总量的亏损. 这一亏损在夏季表现得比冬季明显. 青藏高原上空的臭氧亏损最为明显.

为说明大尺度山地上空臭氧总量的季节变化特征和进行比较,对青藏高原、落矶山和安第斯山地区臭氧总量进行区域加权平均,并对各月值进行气候平均(在 13 年中),得到该地区臭氧总量的气候月平均值. 另外对同纬度除上述山地以外地区进行了相同处理,得到“同纬度无山区”的气候月平均值.

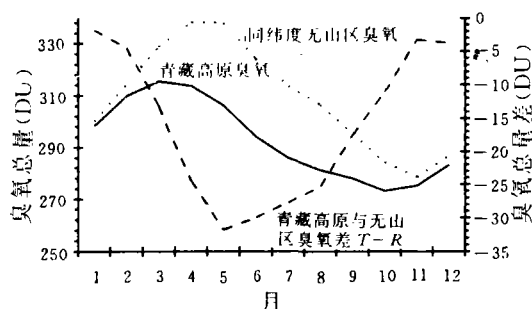


图 5 青藏高原臭氧总量季节变化

Fig. 5 Seasonal variation of TMOS ozone over the Qinghai-Xizang Plateau

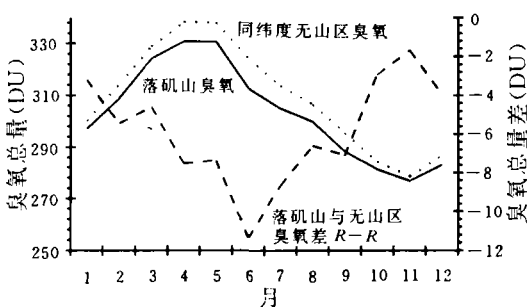


图 6 落矶山脉臭氧总量季节变化

Fig. 6 Same as Fig. 5 except for the Rocky Mountains

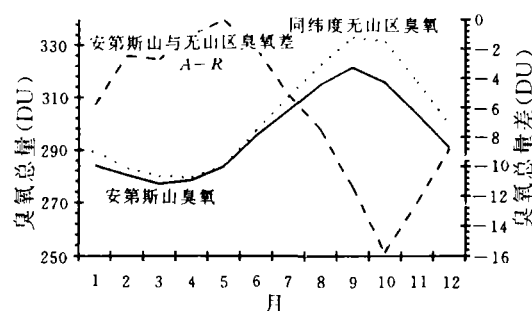


图 7 安第斯山脉臭氧总量季节变化

Fig. 7 Same as Fig. 5 except for the Andes Mountains

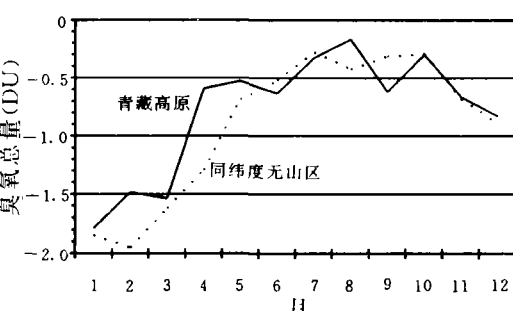


图 8 青藏高原上空臭氧季节变化趋势

Fig. 8 Seasonal trends of TMOS ozone over the Qinghai-Xizang Plateau

由图 5 可见,青藏高原上空臭氧总量的季节变化为一正弦曲线,其最小值在 10 月 (273.4DU),最大值在 3 月 (315.4DU),振幅为 42DU. 除去青藏高原和落矶山脉的同纬度无山区的季节变化为:11 月为最小值 (278.4DU),4 月为最大值 (338.3DU),振幅为 60DU. 青藏高原引起的臭氧总量亏损由上述两值之差 $T-R$ 表示. 这可看出:青藏高原的作用使其上空的臭氧总量在各月总是低于同纬度无山区. 青藏高原上空臭氧总量的亏损在 5 月最强 (-31.8DU),1 月最弱 (-1.9DU),变化幅度为 29.9DU. 如图 6 所示,落矶山脉上空的臭氧总量在 11 月达到极小值 (276.7DU),在 4 月达到极大值 (330.7DU),振幅为 54.0DU. 其臭氧总量亏损 ($R-R$ 曲线,落矶山臭氧总量减去同纬度无山区臭氧总量)在 6 月最强 (-11.3DU),11 月最弱 (-1.7DU),变化幅度为 9.6DU. 图 7 显示的安第斯山脉上空臭氧总量季节变化为:3 月为极小值 (277.0DU),9 月为极大值 (321.5DU),振幅为 44.5DU. 同纬度无山区为:4 月达到极小值 (277.4DU),9 月达到极大值 (332.9DU),振幅为 55.5DU. 由上述两者差值 $A-R$ 表示的安第斯山脉上空臭氧亏损,在 10 月最大

(-15.8DU), 5 月最小 (-0.1DU), 振幅为 15.7DU . 落矶山和安第斯山上空的臭氧总量与青藏高原一样, 在全年各月总是低于同纬度无山地区.

上述分析表明, 由于大尺度山地对大气的动力和热力作用, 山地上空的臭氧总量在各个季节都低于同纬度无山地区, 存在着明显的臭氧总量亏损. 其亏损最大的季节是春季 (青藏高原和安第斯山脉) 或初夏 (落矶山脉), 即该季节臭氧总量与同纬度其他地区的差异达到最大. 在所选的三个大尺度山地中, 青藏高原臭氧总量亏损最大, 远远超过其他两个山区.

2 大尺度山地上空臭氧的变化趋势

为分析大尺度山地上空臭氧总量的变化趋势, 对青藏高原、落矶山脉和安第斯山脉上空臭氧总量的年度及各月的长期变化进行线性回归分析. 臭氧总量变化趋势为: 青藏高原 $-0.79 \pm 0.82\text{DU/a}$ 、落矶山脉 $-0.83 \pm 0.84\text{DU/a}$ 、安第斯山脉 $-0.84 \pm 0.95\text{DU/a}$; 在 $20.5^\circ \sim 40.5^\circ\text{N}$ 和 $20.5^\circ \sim 40.5^\circ\text{S}$ 无山区上空臭氧总量变化趋势分别为 $-0.90 \pm 0.86\text{DU/a}$ 和 $-0.79 \pm 0.90\text{DU/a}$. 由此可见, 大尺度山地上空的臭氧总量在 1979~1991 年中呈减少趋势, 臭氧总量不断下降. 这种减少趋势似乎与上述山地的海拔有关, 即海拔增加, 臭氧总量的减小趋势减弱. 另外南半球无山地区臭氧总量减小趋势小于北半球.

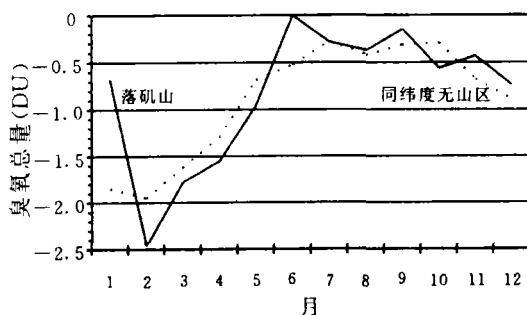


图 9 落矶山脉上空臭氧季节变化趋势

Fig. 9 Seasonal trends of TMOS ozone over the Rocky Mountains

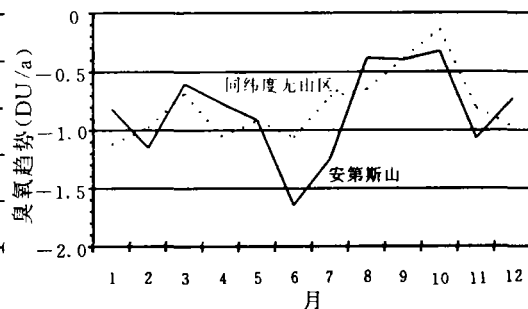


图 10 青藏高原上空臭氧季节变化趋势

Fig. 10 Seasonal trends of TMOS ozone over the Andes mountains

由图 8, 9, 10 可见: 1. 全球大尺度山地上空的臭氧总量在各月均呈下降趋势; 2. 臭氧趋势的季节变化以落矶山脉为最大 (2.46DU/a), 青藏高原次之 (1.62DU/a), 安第斯山脉最小 (1.31DU/a); 3. 全球大尺度山地上空冬季臭氧总量的减小率最大, 青藏高原臭氧的最大减小率为 1 月 (-1.70DU/a), 落矶山脉为 2 月 (-2.46DU/a), 安第斯山脉为 7 月 (-1.64DU/a); 4. 冬春季节落矶山脉和安第斯山脉臭氧减少率明显大于同纬度无山地区, 而青藏高原臭氧减少率则明显小于同纬度无山地区. 上述臭氧总量变化趋势的研究表明: 全球大尺度山地上空的臭氧总量在 1979~1991 年中呈明显的减少趋势. 其共同特征 (如 1, 3 中所述) 和不同特征 (如 4 中所述) 可能是由这些山地作用的异同所决定.

综上所述: 1. 全球三个大尺度山地 (青藏高原、落矶山脉和安第斯山脉) 上空均存在臭氧总量亏损, 各月臭氧总量总是低于同纬度其他地区, 青藏高原上空臭氧总量亏损最为明

显(5月可以低于同纬度地区10%以上);2.大尺度山地上空臭氧总量在秋季到达极小值,春季为极大值,但大尺度山地上空臭氧总量亏损在春季或初夏到达最大;3.在1979~1991年中,上述大尺度山地上空臭氧总量呈减少趋势。

参 考 文 献

- [1] WMO. Scientific assessment of ozone depletion; 1991. Global Ozone Research and Monitoring Project, Rept. 25, Geneva, 1991. 1. 1~5. 21.
- [2] Farman J G, Shaklin J D. Large losses of total ozone in Antarctic reveal seasonal CLOx/NOx interaction. *Nature*, 1985, 315: 207~210.
- [3] 邹捍. 1988年8月下旬南极平流层爆发性增温及其与臭氧的关系. *南极研究*, 1990, 2(3): 25~28.
- [4] Stolarski R, Bojkov R, Bishop L *et al.* Measured trends in stratospheric ozone. *Science*, 1992, 256: 342~349.
- [5] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979. 220~231.
- [6] Zhou Xiuji, Chao Luo. Ozone valley over Tibetan Plateau. *Acta Meteorologica Sinica*, 1994, 8(4): 505~506.
- [7] Zou Han. The seasonal variation and trends of TOMS ozone over Tibet. *Geophysical Research Letters*, 1996, 23(9): 1029~1032.

OZONE DEFICIT AND TREND OVER THE LARGE SCALE MOUNTAINS

Zou Han Gao Yongqi

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences Beijing 100029*)

Abstract

In this article, the ozone deficits over the large scale mountains (the Qinghai-Xizang Plateau, the Rocky Mountains and the Andes Mountains), were revealed using TOMS ozone data. Meanwhile, it is shown that the ozone deficits are stronger in summer than in winter, the Qinghai-Xizang Plateau has the strongest ozone deficit, and the ozone deficits have maximum in spring. The linear regression analysis shows that the total ozone over the large scale mountains has been decreasing during 1979~1991.

Key words large scale mountains, total ozone, deficit, linear trend