

2003年12月青藏高原上空出现微型臭氧洞

卞建春 王庚辰 陈洪滨 祁栋林 吕达仁 周秀骥

①中国科学院大气物理研究所LAGEO, 北京 100029; 青海省气象局, 西宁 810001; 中国气象科学研究院, 北京 100081.
E-mail: bjc@mail.iap.ac.cn

摘要 通过分析 TOMS 和地基观测提供的臭氧总量资料, 发现 2003 年 12 月 14~17 日青藏高原上空出现了大面积臭氧极低值区域. 根据地基观测订正 TOMS 资料的偏差之后, 发现臭氧总量小于 220 DU 的面积超过 250 万平方公里, 中心极低值仅为 190 DU. 这是首次报道在青藏高原上空出现微型臭氧洞或臭氧极低值事件.

关键词 青藏高原 微型臭氧洞 臭氧极低值事件

自从 1985 年 Farman 等发现南极臭氧洞以来^[1], 南极臭氧洞、平流层臭氧损耗及其气候环境效应成为全球关注的热点^[2-6]. 在中国, 周秀骥等^[7]及 Zou^[8]发现青藏高原夏季存在臭氧低值中心, 中国科学家一直十分关注青藏高原上空臭氧变化, 开展了一系列研究工作^[9-11]. 根据地基观测资料, 祁栋林(2005, 个人通信)发现中国瓦里关山站 2003 年 12 月中旬 Brewer 臭氧仪臭氧总量观测结果异常偏低, 并引起王庚辰(2005, 个人通信)的关注和重视. 在此基础上, 我们利用美国宇航局 TOMS 和地基观测提供的臭氧总量资料, 分析了冬季臭氧总量的天气变化过程, 发现在 2003 年 12 月 14~17 日, 青藏高原上空出现了有观测记录以来大面积的极低臭氧总量值, 这次过程中臭氧总量低于 220DU 的面积超过了 250 万平方公里, 可以称作微型臭氧洞^[12-14]或臭氧极低值事件^[15]. 尽管国际上在微型臭氧洞或臭氧极低值事件的观测和成因方面有很多的分析研究^[12-18], 但主要关心中纬度地区(纬度大于 35°), 而很少注意低纬度地区, 尤其在青藏高原上空没有这方面的研究. 目前, 对于微型臭氧洞的形成, 大家比较一致地认为是动力作用重新分配臭氧的结果: 上对流层平流作用把副热带低臭氧浓度空气输送到较高纬度上空, 从而引起当地臭氧总量很快减少^[13-15].

本文采用的卫星资料是由 TOMS 主页提供(<http://toms.gsfc.nasa.gov>)的版本 8 资料^[19]. 这里需要说明的是, TOMS 提供的臭氧总量资料目前存在一定的校准误差. 2004 年 11 月 8 日 TOMS 主页发布新闻, 说明对于 2000 年开始的臭氧总量资料已经根据 NOAA-16 SBUV/2 赤道地区臭氧校准(<http://toms.gsfc.nasa.gov/news/news.html#aug01>). 但由于前向扫描镜光学特性

不断改变, 所以现在通过上述简单校准得到的产品仍存在依赖于纬度的误差. 通过比较分析 TOMS 资料与地面观测资料的差异, 卞建春等^[20]发现 2002~2003 年北半球中纬度地区各站点臭氧总量卫星观测与地面观测之间有显著的差异. 为了克服 TOMS 臭氧总量资料中可能稍高的偏差, 我们利用青藏高原及附近站点地基观测结果来进行订正. 我们选取了四个站点分别是, 中国的 Mt. Waliguan (36.29°N, 100.90°E, Brewer) 和 Kunming (25.03°N, 102.68°E, Dobson)^[21], 以及印度的 Varanasi (25.32°N, 83.03°E, Dobson) 和 New Delhi (28.65°N, 77.22°E, Dobson), 在图 1 中以红点标出它们的位置. 这些站点的资料由世界臭氧和紫外资料中心(WOUDC)网站(<http://www.msc-smc.ec.gc.ca/woudc>)提供.

由于地基(GB)和卫星观测(TOMS)都可能存在偏差, 我们可以假设() 2002 年前 TOMS 提供的臭氧总量是准确的, () 地基观测一直保持相同的偏差 ($B_c = (GB - TOMS) / TOMS$), () 2002 年开始出现不同于 B_c 的偏差 B_i 是由于 TOMS 存在校准误差引起的. 这样, 2002 年起 TOMS 臭氧总量资料可以得到订正, 即 $TOMS_{corrected} = TOMS \times (1 + \Delta)$, 这里校准偏差 $\Delta = B_i - B_c$. 表 1 给出了 1998~2004 年 12 月份四个站点月平均偏差, B_c 可以估计为 1998~2001 年四年的平均, 则校准偏差 Δ 为 2003 年的偏差减去 B_c . 从表 1 给出的结果, 校准偏差 Δ 似乎在低纬度地区小一些, 这与上述 TOMS 采用的简化校准一致. 根据上面的分析, 校准偏差 Δ 确定为 4% 最适合于青藏高原地区. 在下文所有卫星资料分析中, 我们都采用以 4% 为校准偏差进行订正的 TOMS 臭氧总量资料.

图 1 给出了 2003 年 12 月 14~17 日 TOMS 臭氧

表 1 四站点 1998~2004 年 12 月份月平均偏差(%)

站名	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Δ
Mt. Waliguan	-0.19	-1.00	-1.39	-1.38	4.03	4.63	7.33	5.62
New Delhi	0.21	2.10	1.75	1.05	3.84	4.90	5.62	3.62
Varanasi	-0.93	-2.29	-2.79	-2.50	-0.14	1.39	1.80	3.52
Kunming	3.65	3.11	-1.34	4.31	4.20	4.71	5.96	2.28

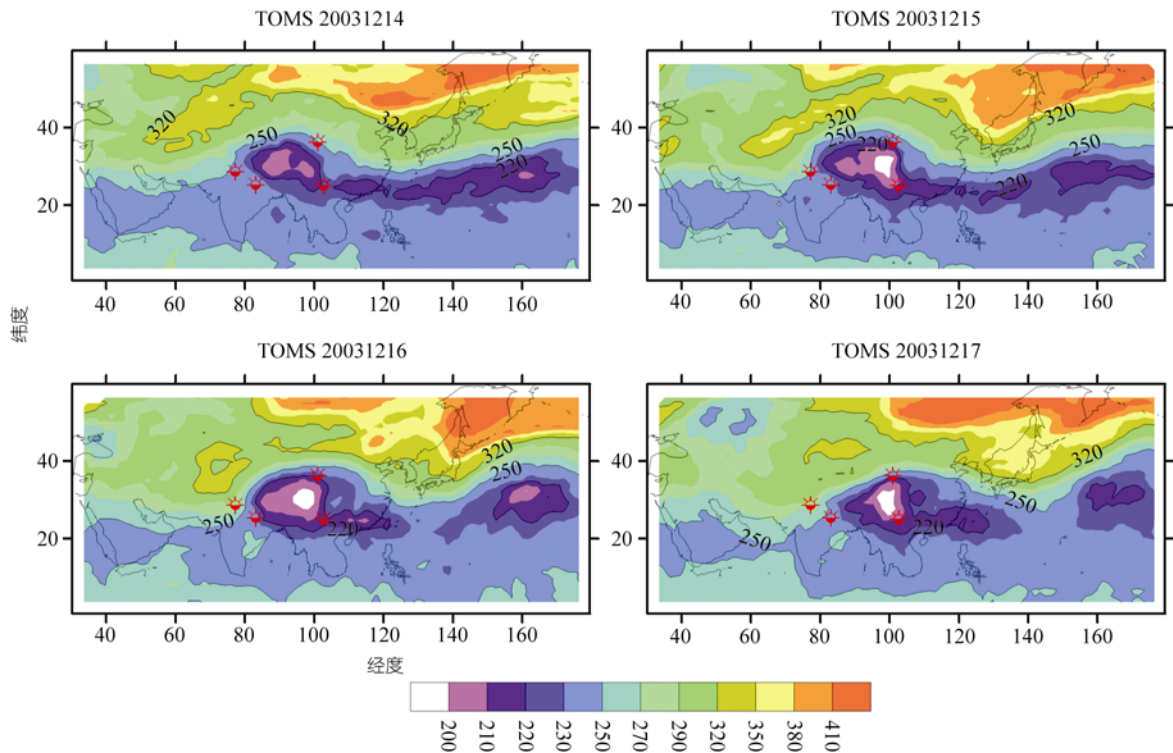


图 1 2003 年 12 月 14~17 日 TOMS 臭氧总量逐日分布

总量在区域(30°E~180°E, 0~60°N)内逐日分布. 可见在 12 月 14~17 日, 青藏高原上空存在很大一片面积臭氧总量低于 220 DU, 该面积分别为 1700000, 2550000, 2610000 和 1660000 km², 最低值分别为 201, 193, 190 和 191 DU(见表 2), 位于(29.5°N, 98°E)附近. 值得注意的是, 在 12 月 15~17 日臭氧总量小于 200 DU 的面积(即图 1 中白色区域)占到上述面积的 10% 以上; 考虑到卫星观测的水平空间平均效应, 则此次臭氧洞“中心”的值比 190 DU 还要低一点.

图 2(a)是瓦里关山站(位于青藏高原东北边缘)利用 Brewer 臭氧仪观测得到的 2003 年 12 月 6~26 日逐日臭氧总量, 图中还给出了 TOMS 提供的过顶臭氧总量资料. 可以看到, 这两个资料非常一致, 且可以非常清晰地看到 12 月 14~17 日当地出现臭氧总量极

低值. 其中 16 日的值仅为 219 DU, 远低于 1996~2001 年 12 月份月平均值(289 DU). 图 2(b)是同期昆明(位于青藏高原东南侧)Dobson 仪的观测结果, 可以看到有非常相似的特征, 虽然距最低值中心较远, 但 12 月 15 日臭氧总量仍低到 216 DU.

图 3(a)是瓦里关山站 TOMS 提供的 12 月份臭氧总量逐日多年(1978~1992, 以及 1996~2001 年)平均值、方差($\pm\sigma$)和极值包络的变化曲线, 可以发现 2003 年 12 月 14~17 日臭氧总量远远低于历史同期平均值, 甚至也非常显著地低于历史极低值. 2003 年 12 月 16 日臭氧总量比历史同期平均值偏低 80 DU. 图 3(b)是根据瓦里关山站 Brewer 臭氧仪观测结果做同样分析得到的变化曲线(1997~2004 年, 2003 年除外), 同样可以发现相似的结果.

表 2 2003 年 12 月 14~17 日青藏高原上空臭氧总量小于 220 DU 和 200 DU 面积及最低值

日期	<220 DU 面积/km ²	<200DU 面积/km ²	最低值
12 月 14 日	1700000 (128*)	0 (0)	201 DU
12 月 15 日	2550000 (192)	250000 (19)	193 DU
12 月 16 日	2610000 (196)	280000 (21)	190 DU
12 月 17 日	1660000 (125)	230000 (17)	191 DU

*表示格点数, 30°N 附近每个格点(1°纬度×1.25°经度)代表面积约等于 13300 km²

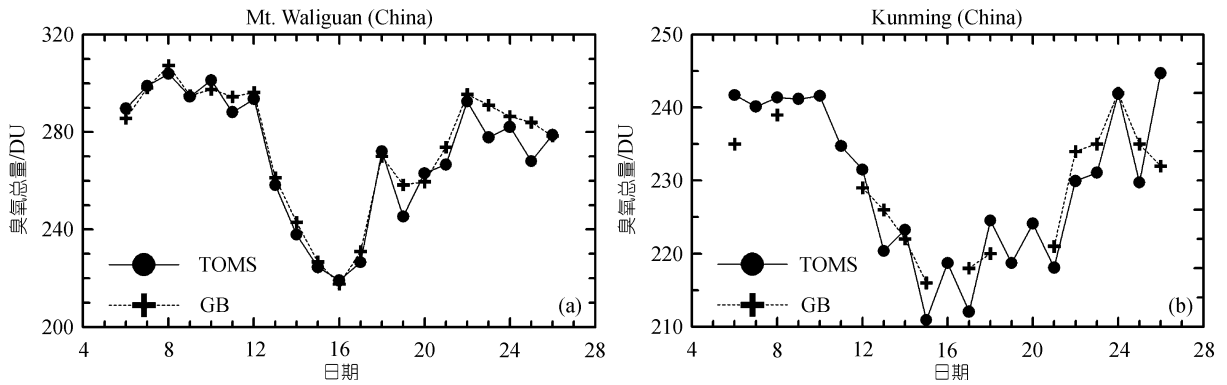


图 2 2003 年 12 月 6~26 日瓦里关山站(a)和昆明站(b)逐日臭氧总量

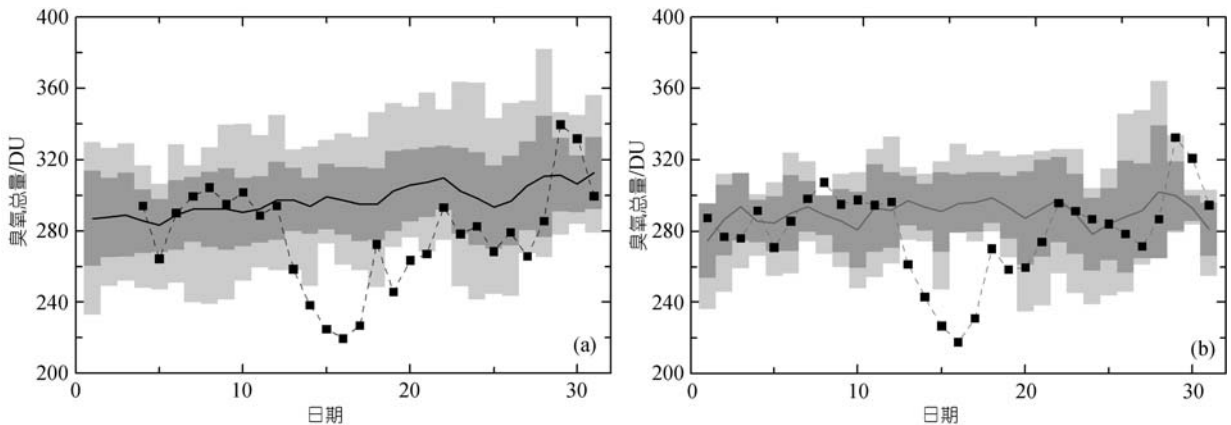


图 3 瓦里关山站 12 月份臭氧总量逐日多年平均值(实线)、 $\pm\sigma$ (深色阴影)和极值(浅色阴影) (a) TOMS, (b) 地基观测)和 2003 年 12 月逐日臭氧总量(加方块虚线)

对于 2003 年 12 月中旬青藏高原这次臭氧极低值事件, 同样可以发现上对流层的动力作用. 根据 2003 年 12 月 16 日世界时 06 时 200 hPa 风矢量场和对流层顶气压分布 [22] 可以看到, 青藏高原上空, 急流向东北方向移动, 从高原西南部逐渐向东北部增强, 然后转向东南方向移动. 急流北抬比较强, 几乎到达 40°N, 相应地青藏高原上空对流层顶被抬高, 绝大部分在 120 hPa 高度以上. 这样, 急流把亚热带对流层低臭

氧浓度空气向北输送到青藏高原上空下平流层, 从而导致那里臭氧总量显著减少.

这是首次报道在青藏高原上空出现有如此大面积区域臭氧总量特别低, 臭氧总量小于 220 DU 的区域面积超过 2500000 km², 且最低值仅为 190 DU, 值得进一步关注和研究.

致谢 本工作受中国科学院知识创新重要方向性项目(批准号: KZCX3-SW-217)和国家自然科学基金项目(批准号:

40333034, 40205004 和 40375013)资助.

参 考 文 献

- 1 Farman J C, Gardiner B G, Shanklin J D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. *Nature*, 1985, 315: 207~210, doi:10.1038/315207a0
- 2 Bojkov R D, Bishop L, Fioletov V E. Total ozone trends from quality controlled, ground-based data (1964~1994). *J Geophys Res*, 1995, 100(D12): 25867~25876[DOI]
- 3 Fioletov V E, Bodeker G E, Miller A J, et al. Global and zonal total ozone variations estimated from ground-based and satellite measurements: 1964-2000. *J Geophys Res*, 2002, 107(D22), 4647, doi:10.1029/2001JD001350
- 4 Kerr J B. Decreasing ozone causes health concern, *Environ. Sci Technol*, 1994, 28: 514A~518A
- 5 WMO (World Meteorological Organization). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998, WMO Ozone Rep. 44, Geneva, 1999
- 6 WMO (World Meteorological Organization). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 47, Geneva, 2003, 1~498
- 7 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. *科学通报*, 1995, 40(15): 1396~1398
- 8 Zou H. Seasonal variation and trends of TOMS ozone over Tibet. *Geophys Res Lett*, 1996, 23: 1029~1032[DOI]
- 9 Liu Y, Li W, Zhou X, et al. Mechanism of formation of the ozone valley over the Tibet Plateau in summer: Transport and chemical process of ozone. *Adv Atmos Sci*, 2003, 20: 103~109
- 10 Ye Z, Xu Y. Climate characteristics of ozone over Tibetan Plateau. *J Geophys Res*, 2003, 108(D20), 4654, doi:10.1029/2002JD003139
- 11 周秀骥, 李维亮, 陈隆勋, 等. 青藏高原地区大气臭氧变化的研究. *气象学报*, 2004, 62(6): 513~527
- 12 Newman P A, Lait L R, Schoeberl M R. The morphology and meteorology of southern hemisphere Spring total ozone mini-holes. *Geophys Res Lett*, 1988, 15: 923~926
- 13 McCormack J P, Hood L L. The frequency and size of ozone "mini-hole" events at northern midlatitudes in February. *Geophys Res Lett*, 1997, 24 (21): 2647~2650[DOI]
- 14 James P M. An interhemispheric comparison of ozone minihole climatologies. *Geophys Res Lett*, 1998, 25(3): 301~304[DOI]
- 15 Bojkov R D, Balis D S. Characteristics of episodes with extremely low ozone values in the northern middle latitudes 1957~2000. *Annal Geophys*, 2001, 19: 797~807
- 16 Orsolini Y J, Limpasuvan V. The North Atlantic Oscillation and the occurrences of ozone miniholes. *Geophys Res Lett*, 2001, 20(21): 4099~4102[DOI]
- 17 Teitelbaum H, Moustau M, Fromm M. Exploring polar stratospheric cloud and ozone minihole formation: the primary importance of synoptic-scale flow perturbations. *J Geophys Res*, 2001, 106(D22): 28173~28188[DOI]
- 18 Allaart M, Valks P, van der A, et al. Ozone mini-hole observed over Europe, influence of low stratospheric temperature on observations. *Geophys Res Lett*, 2000, 27(24): 4089~4092[DOI]
- 19 Wellemeyer C G, Bhartia P K, McPeters R D, et al. A new release of data from the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS). *SPRAC Newsletters*, 2004, 22: 37~38
- 20 卞建春, 陈洪滨, 张中波, 等. 2002~2003 年北半球中纬地区臭氧总量 TOMS 与地面观测的非常差异. *科学通报*, 2005, 50(5): 495~497
- 21 Bian J, Chen H, Zhao Y, et al. Variation features of total atmospheric ozone in Beijing and Kunming based on Dobson and TOMS data. *Adv Atmos Sci*, 2002, 19(2): 279~286
- 22 Kalnay E, Coauthors. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77: 437~471[DOI]

(2005-12-06 收稿, 2006-01-18 接受)