

北极楚克奇海上空臭氧垂直变化的 探测与分析^{*}

周立波 邹 捍 刘 宇

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 1999 年夏季, 中国首次组织北极地区科学考察。分析此次考察中楚克奇海海域上空获得的大气结构和臭氧探空资料, 结合臭氧总量观测光谱仪 (TOMS) 臭氧总量和 NCEP 大气环流资料, 指出: 考察期间楚克奇海海域上空臭氧总量与 13 km 以下臭氧含量关系密切, 而在 20 km 附近最大臭氧浓度处的臭氧变化与大气臭氧总量关系较差, 表明整层臭氧总量的变化主要受低层大气臭氧变化的影响。大气臭氧总量呈高-低-高变化, 对流层顶高度呈低-高-低变化, 分析 500 hPa 高度场表明: 考察期间的天气系统可能是造成局地臭氧变化的主要原因。

关键词: 北极; 臭氧探空; 对流层顶; 天气系统

1 引言

北极地区的气候与环境对全球变化是非常重要的^[1~5]。观测和模拟结果表明全球变暖在极区得到加强, 尤其是在北半球, 在 21 世纪北半球温度将升高约 3~4℃^[6~8]。如此强烈的变暖在北极地区因为其放大作用会对全球气候系统产生更加深远的影响。作为影响气候系统重要的痕量气体, 臭氧的变化越来越受到科学家的关注^[9~13]。研究北极地区臭氧的分布和变化有利于了解北极气候系统及其对全球的影响。自 20 世纪 70 年代以来, 人们利用卫星资料对北极臭氧变化进行了很多研究^[14~17]。但卫星资料因为自身的限制只能观测到对流层以上的臭氧, 对流层以下的臭氧观测一般需要臭氧探空。目前, 利用臭氧探空进行的大型实验有 1991/1992 年冬季在北欧地区开展的欧洲北极平流层臭氧实验 (EASOE)^[18]和 SOLVE/THESEO 2000 实验^[1]。研究指出对于不同的个例分析其结果相差悬殊^[19,20]。因为资料的限制, 人们几乎没有对楚克奇海域上空的臭氧垂直分布进行过研究。

1999 年 7 月 1 日至 9 月 9 日, 60 多名中国科学家乘坐“雪龙”号破冰船进行了中国首次北极科学考察^[3,21]。此次考察的研究学科涉及大气科学、地理科学、海洋学、海冰研究和生物学等多个领域, 研究重点在于水-冰-气之间相互作用及其对全球气候的影

2001-08-23 收到, 2001-11-26 收到第三次修改稿

^{*} 国家自然科学基金资助项目 40075029 和中国科学院大气物理研究所创新基金 2-200113 共同资助

1) Stroh, F., C. Schiller, B. Vogel, J.-U. Gross, P. Konopka, R. Muller, A. Engel, M. Muller, T. Deshler, J. Ovarlez, A. Adriani, J. Karhu, and G. Toon, Balloon borne measurements of ClO , H_2O , O_3 , and tracers during THESEO 2000: Modelled and observed chlorine activation and dehydration. (solicited paper)

响, 北冰洋与北太平洋之间水团交换及其气候效应和北极地区生态环境及渔业资源等^[31]。

此次北极科学考察中, 中国科学院大气物理研究所承担了“北极高空大气探测 1999”科研任务。为测量北极海域大气结构和臭氧的垂直分布, 考察中共释放 20 多个无线电探空仪, 获得了高分辨率(垂直分辨率为 30~50 m)的考察资料¹⁾, 为研究楚克奇海域上空大气结构和臭氧提供了保证。本文的目的就是利用此次考察期间获得的资料, 研究北极海域臭氧的变化规律, 为进一步了解北极臭氧变化的机理及为构建气候模式提供夏季该地区高分辨率的臭氧垂直结构。

2 观测数据

此次北极考察使用的是大气臭氧探空系统, 该系统包括 GPS 测风系统、臭氧探空仪及全方位接收系统。该设备可探测自地面至 30 km 左右高度的大气参数(包括风速、温度、气压、相对湿度和臭氧含量), 其垂直分辨率为 30~50 m。

按照航行计划, 1999 年 8 月 18~25 日, “雪龙”号破冰船在楚克奇海海域作业。在卫星和直升机指引下, 我们在(75°N, 160°W)处找到一块相对稳定的大面积浮冰建立了联合冰站, 进行海洋、冰雪和大气的同步观测。在该联合冰站附近从 8 月 18 日到 8 月 25 日共施放臭氧探空气球 8 次, 其中 22 日由于地面风大(11 m s⁻¹ 以上), 探空气球施放不成功, 其他 7 天中获得了很好的大气结构和臭氧探空资料。采用线性内插的方法, 我们获得了 22 日的探空资料。

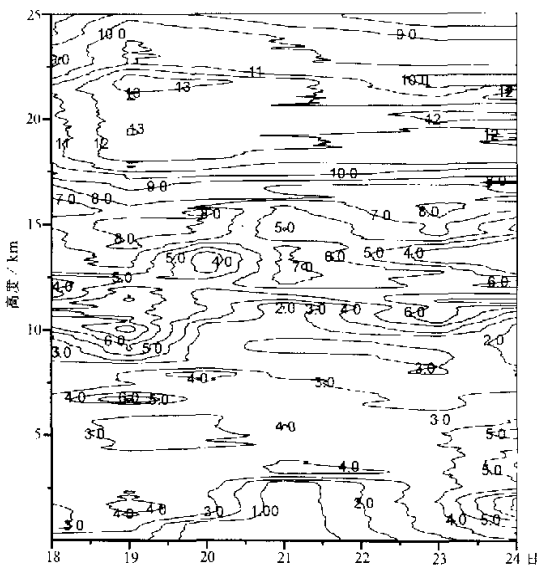
3 臭氧变化

图 1 给出了 1999 年 8 月 18~24 日在(75°N, 160°W)处臭氧浓度的观测结果。可以看出臭氧浓度的垂直分布呈双峰型: 主峰值出现在 20~22 km 附近, 臭氧浓度为 12~14 mPa; 次峰值出现在 10~12.5 km, 臭氧浓度为 4~8 mPa。8 月 18~21 日主峰值出现在 20~21 km 高度, 22 日以后降低到约 20 km 高度。8 月 19~21 日臭氧浓度大于 12 mPa 的区域出现在 18~22 km 处(最大值超过 13 mPa), 8 月 22 日以后该极大值区域出现在 19~21 km 之内, 高度被平均压缩了近 2 km。8 月 18~19 日臭氧浓度第二极大值的高度大约为 10 km(臭氧最大浓度为 7 mPa 左右), 21 日上升到 13 km, 23~24 日又降低到 11~12 km, 即臭氧次峰值高度呈现低—高一低分布。因此, 臭氧浓度第二极大值以下的气柱从 8 月 18 日到 19 日受到压缩, 19 日到 21 日得到扩张, 而 21~24 日又受到压缩。

图 2 给出了考察期间观测到的臭氧总量和臭氧总量观测光谱仪(TOMS)所观测到的臭氧总量在联合冰站(75°N, 160°W)附近的变化规律, 其中包括 TOMS 臭氧总量、0~25 km、0~13 km 和 13~25 km 等各个层次臭氧变化曲线。由图可见, TOMS

1) Zou Han, Wang Wei, and Zhou Libo, Project summary of Arctic upper-air observation 1999, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 1999.

臭氧总量经历了高一低一高的过程, 即从 18 日的 292 DU 和 19 日的 291 DU 降低到 21 日的 249 DU (下降了 42 DU), 随后又增加到 24 日的 274 DU (上升了 25 DU)。观测到的 0~25 km 臭氧从 1999 年 8 月 19 日到 21 日减少了 40 DU, 23 日增加了 9 DU, 表明探测到的 0~25 km 臭氧总量约占 TOMS 臭氧总量的 2/3, 除了 8 月 18 日和 19 日增加以外, 两者还有相同的变化相位和振幅。考察平流层中低层臭氧 (13~25 km 内臭氧总量) 的变化规律, 发现从 1999 年 8 月 18 日到 19 日臭氧增加,



4 大气结构

图 3 给出了北极探测期间温度的垂直分布与变化。从图中可以明显的看出热力对流层顶, 即从 -55°C 到 -45°C 的逆温层。对流层的高度从 1999 年 8 月 18 日和 19 日的 10 km 增加到 21 日的 12.5 km 附近, 24 日又降低到 10.5 km, 经历了一个低—高一低过程。这种变化与 TOMS 臭氧总量、0~25 km 臭氧总量变化相吻合, 除 18 日和 19 日以外, 与 0~13 km 的臭氧变化也比较一致。在对流层低层, 温度呈暖—冷—暖变化, 而在对流层大部分包括对流层顶, 温度均呈冷—暖—冷变化。从温度的这一变化可以看出, 测站经历了一次暖波过境, 暖波使得该区域对流层顶抬升。对比分析该区域对流层

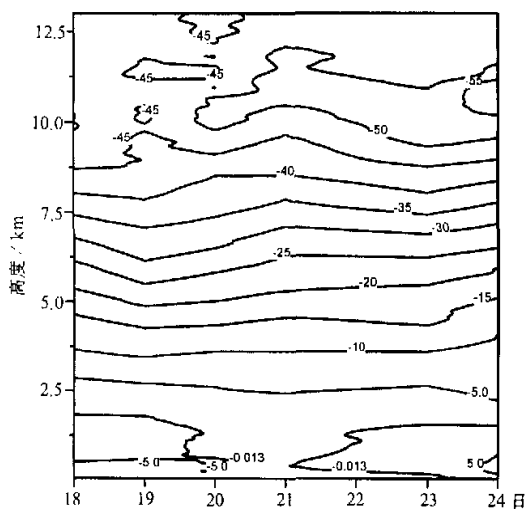


图 3 考察区域内的大气温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

期间测站上空风速较小。8 月 21 日 (图 5) 低压 A 向东南移至 (60°N , 15°W), 东南方向的暖高压加强, 此时位于低压 A 东北方向的高压脊将暖空气不断从东南向测站上空输送, 造成 21 日大气温度升高。从图 6 中可以看到, 8 月 24 日, 测站北部有一明显冷空气, 使得低压 A 北侧的高压脊减弱, 造成测站上空出现平稳气流。

由天气形势的讨论, 显而易见, 探测期间东南方向的空气输送导致测站上空对流层温度升高, 其

顶高度和臭氧总量变化规律, 可见高对流层顶与上层低臭氧浓度相一致, 反之亦然。这一现象也曾为其他研究所发现^[22]。

图 4~6 给出的是探测区域上空 500 hPa 天气形势。测站位于 (75°N , 0°) 处 (图中标记为五角星, 其经度为相对经度, 下同)。由图 4 可见, 1999 年 8 月 19 日, 测站东西各有一个低压, 分别位于 (64°N , 20°W) 处 (图中标记为 A, 高度为 5250 位势什米) 和 (76°N , 25°E) 处 (图中标记为 B, 高度为 5350 位势什米), 同时有一高压脊从南部逼近该地。因此, 在这

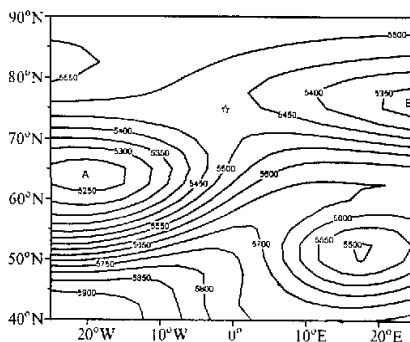


图 4 1999 年 8 月 19 日 500 hPa 天气图

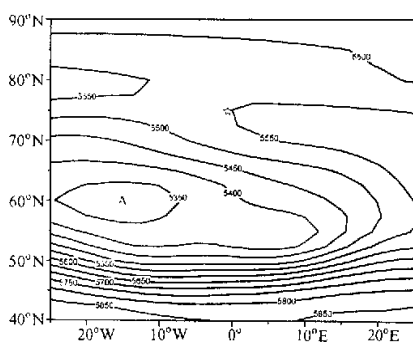


图5 1999年8月21日500 hPa天气图

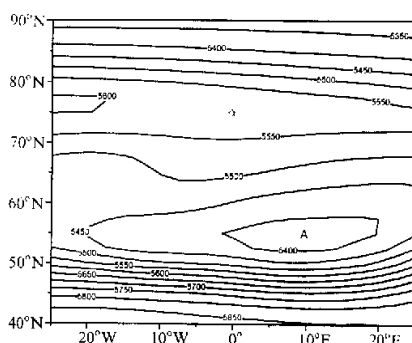


图6 1999年8月24日500 hPa天气图

集中表现为对流层顶高度的抬升。天气形势的变化与8月19日到21日的臭氧亏损和21日到24日的臭氧浓度回升关系密切。

5 结论与讨论

通过对探测期间不同层次臭氧总量的变化, 大气结构和天气形势的分析讨论, 得出以下结论:

(1) 在1999年8月19~24日, TOMS 臭氧总量与0~25 km 臭氧总量关系密切, 而0~25 km 臭氧主要取决于低层大气(0~13 km) 臭氧的高一低一高变化。也就是说, 探测期间0~13 km 大气中臭氧的变化可以部分决定整层臭氧总量的改变;

(2) 对流层扩张(即对流层顶抬升)使得低臭氧浓度气柱在整个空气柱中扩大, 从而导致整个空气柱中臭氧亏损;

(3) 500 hPa 等压面上一次暖高压影响本站, 引起低层大气柱扩张。

因此, 我们认为探测期间大气臭氧总量的高一低一高变化主要是由低层大气的平流作用引起的。

致谢 衷心感谢美国 TOMS/NASA、NCEP/NCAR 数据中心和参加“中国北极科学探测1999”的中国国家海洋局等部门提供资料, 同时也非常感谢此次探测中资料采集者中国科学院大气物理研究所工程师王维同志。

参 考 文 献

- 1 WMO/UNEP, *Climate Change*, the IPCC scientific assessment, Cambridge University Press, 1990.
- 2 WMO, Scientific Concept of the Arctic Climate System Study (ACSYS), Report of the JSC Study Group on ACSYS, Bremerhaven, Germany, 10–20 June 1991 and London, U. K., 18–19 Nov., 1991.
- 3 中国首次北极科学考察队编, 中国首次北极科学考察报告, 北京: 海洋出版社, 1999.
- 4 周立波、邹捍、李荣萍等, 斯堪的纳维亚臭氧亏损和地面加热, 气候与环境研究, 5(3), 242~248.

- 5 邹捍、周立波、季崇萍等, 斯堪的纳维亚臭氧亏损和物质输送, 气候与环境研究, 6(4), 409~415.
- 6 Manabe, S., and R. J. Stouffer, Century-scale effects of increased atmospheric CO₂ on the ocean-atmosphere system, *Nature*, 1993, **362**, 215~217.
- 7 Mitchell, J., T. Johns, J. Gregory, and S. Tett, Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols, *Nature*, 1995, **376**, 501~504.
- 8 Dickson, B., All change in the Arctic, *Nature*, 1999, **397**, 389~391.
- 9 WMO, Atmosphere Ozone 1985, Assessment of Our Understanding of Process Controlling Its Distribution and Change, Global Ozone Research and Monitoring Project. Rept. 16, Geneva, 1985.
- 10 WMO, Scientific Assessment of Ozone Depletion, Geneva, 1999.
- 11 邹捍、邵永祺、周立波, 大尺度山地上空的臭氧低值及地面加热, 气候与环境研究, 3(3), 209~217.
- 12 邹捍、季崇萍、周立波等, 青藏高原臭氧的ENSO, 气候与环境研究, 6(3), 267~272.
- 13 季崇萍、邹捍、周立波, 青藏高原臭氧的准两年振荡, 气候与环境研究, 6(4), 416~424.
- 14 Bojkov, R., L. Bishop, W. J. Hill, G. C. Reinsel, and G. C. Tiao, A statistical trend analysis of revised Dobson total ozone data over the Northern Hemisphere, *J. Geophys. Res.*, 1990, **95**(D7), 9785~9807.
- 15 Stolarski, R. S., R. Bojkov, L. Bishop, C. Zerefos, J. Staehelin, and J. Zawodny, Measured trends in stratospheric ozone, *Science*, 1992, **256**, 342~349.
- 16 Manney, G. L., L. Froidevaux, J. W. Waters et al., Chemical depletion of ozone in the Arctic lower stratosphere during winter 1992-93, *Nature*, 1994, **370**, 429~434.
- 17 Waibel, A. E., Th. Peter, K. S. Carslaw, H. Oelhaf, G. Wetzel, P. J. Crutzen, U. Pöschl, A. Tsias, E. Reimer, and H. Fischer, Arctic ozone loss due to denitrification, *Science*, 1999, **283**, 2064~2069.
- 18 Orsolini, Y., D. Cariolle, and M. Deque, Ridge formation in the lower stratosphere and its influence on ozone transport: A general circulation model study during late January 1992, *J. Geophys. Res.*, 1995, **100**(D6), 11113~11135.
- 19 Hollandsworth S. M., R. D. McPeters, L. E. Flynn, W. Planet, A. J. Miller, and S. Chandra, Ozone trends deduced from combined Nimbus 7 SBUV and NOAA 11 SBUV/2 data, *Geophys. Res. Lett.*, 1995, **22**(8), 905~908.
- 20 Miller, A. J., G. C. Tiao, G. C. Reinsel, D. Wuebbles, L. Bishop, J. Kerr, R. M. Nagatani, J. J. Deluisi, and C. L. Mateer, Comparisons of observed ozone trends in the stratosphere through examination of Umkehr and balloon ozonesonde data, *J. Geophys. Res.*, 1995, **100**(D6), 11209~11217.
- 21 Chinese Academy of Sciences, *Scientific Report 2000*, Beijing: Science Press, 2000.
- 22 Steinbrecht, W., H. Claude, U. Kohler, and K. P. Hoinka, Correlations between tropopause height and total ozone: Implications for long-term changes, *J. Geophys. Res.*, 1998, **3**(D15), 19183~19192.

Observation and Analysis of Vertical Ozone Variation over the Arctic Chukchi Sea

Zhou Libo, Zou Han, and Liu Yu

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

Abstract Chinese first scientific research expedition was carried out in the summer of 1999. Analysis on the observation data, TOMS total ozone, and NCEP circulation shows a close relationship between total ozone and ozone below 13 km over the Chukchi Sea, while the variation in the maximum concentration at about 20 km does not show any relation to the TOMS total ozone. Results show that the total ozone variation is mainly dependent on the lower ozone variation. The atmospheric ozone amount experienced a high-low-high variation, with low-high-low tropopause altitude in the observation. The synoptic system in 500 hPa maybe responsible to the local ozone variation.

Key words: the Arctic; ozone sounding; tropopause; synoptic system