科学通报 2011 年 第 56 卷 第 27 期：2315 ~ 2318
快 讯 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

2011 年春季北极地区臭氧低值事件的卫星遥感监测

刘年庆[①②], 黄富祥[①②*], 王维和[①②]

① 国家卫星气象中心, 北京 100081;
② 中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室, 北京 100081
* 联系人, E-mail: huangfx@cma.gov.cn

2011-05-09 收稿, 2011-06-20 接受
国家自然科学基金(40975016)和国家高技术研究发展计划(2008AA121703)资助项目

摘要 利用 FY-3B SBUS 和 NOAA SBUV/2 观测资料, 监测 2011 年 3 月 1 日~4 月 5 日北极地区臭氧低值事件发生发展全过程. 臭氧低值区臭氧总量在 200~250 DU, 局部极低值在 200 DU 左右, 达到臭氧洞水平, 比通常水平低 100~200 DU. 此次北极臭氧低值事件开始于 3 月 1 日, 结束于 4 月 5 日, 期间经历扩展-消亡、围绕极地自西向东方向旋转、由极区沿经线向中纬度扩散等多个发展变化过程. 这次非常罕见的北极地区臭氧低值事件影响范围除极区外, 还波及从欧洲到俄罗斯中部的广大人口密集地区, 导致这些地区地表紫外线强度的急剧增强, 对人类身体健康和环境造成重要影响, 应该引起高度关注.

关键词
北极
臭氧低值事件
FY-3 卫星
紫外臭氧垂直探测仪
臭氧垂直廓线

长期以来, 全球大气臭氧尤其是平流层臭氧损耗及其气候环境效应一直是大气科学和气候变化研究中的热点领域[1~5]. 1985 年南极臭氧洞的发现, 引起人们对人类活动对大气臭氧损耗灾难性后果的强烈关注[6]. 实际上, 臭氧低值现象不仅在南极发生, 在北半球不同时间、不同地点也曾多次出现[2]. 1995 年以来, 中国科学家先后发现在夏季和冬季青藏高原臭氧低值中心和微型臭氧洞的存在, 并对其分布范围、季节变化等开展了系统研究[7~10], 欧洲科学家也先后发现北半球和欧洲不同地区臭氧低值事件的观测事实[11~16].

我国新一代极地轨道气象卫星 FY-3 携带的紫外臭氧垂直探测仪(solar backscatter ultraviolet sounder, SBUS), 是我国自主研制的卫星臭氧探测仪, 在仪器结构上与美国 NOAA 卫星紫外臭氧垂直探测仪(solar backscatter ultraviolet, SBUV(/2))类似, 具有探测全球大气臭氧总量及垂直廓线的能力[17,18]. 2010 年 11 月发射的第 2 颗卫星 FY-3B SBUS 经过一段时间在轨测试, 结果表明臭氧垂直廓线产品精度得到了显著提升, 与 NOAA 卫星 SBUV/2 产品具有很好的一致性, 目前已经转入正常业务运行. 此前, FY-3A 携带的紫外臭氧总量探测仪(total ozone unit, TOU)已经实现了对全球大气臭氧总量的业务观测, 综合比较表明产品达到较高精度[19,20]. SBUS 与 TOU 的区别主要在通道设置和观测方式等方面, SBUS 设置 12 个观测通道, 采用固定天底一个观测方向, 获得从地表到大气顶的臭氧垂直廓线数据, 同时提供从地表到大气顶的臭氧总量数据, 产品空间分辨率大约 200 km[17,18]; TOU 则设置 6 个观测通道, 以垂直于卫星运行轨迹的视场扫描方式观测, 获取大气臭氧柱总量数据, 产品空间分辨率 50 km[19,20]. 在 FY-3 卫星上同时携带 SBUS 和 TOU 两种紫外臭氧探测仪, 目的在于充分利用两个载荷的垂直探测和水平覆盖的技术优势, 获得全球大气臭氧分布与变化的全面信息.

2011 年春季, 北极地区发生了有史以来最严重的臭氧损耗事件. 世界气象组织(world meteorological organization, WMO)官网(http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_912_en.html)以及美国 *Science* 杂志(http://www.sciencedaily.com/releases/2011/04110405102202.html)都进行了报道. 本文介绍利用 FY-3B SBUS 结合 NOAA 卫星 SBUV/2 观测资料监测此次臭氧低值事件发生、发展、消亡的具体变化过程.

图 1 是利用 FY-3B SBUS 和 NOAA-16,17,18,19 SBUV/2 五个卫星紫外臭氧垂直探测仪 2011 年 3 月 14 日观测数据生成的臭氧总量北极极射投影图, 及与 FY-3A TOU 臭氧总量极射投影图的比较情况.

图 2 是欧洲科学家利用世界臭氧和紫外资料中心 WOUDC 提供的 2011

英文版见: Liu N Q, Huang F X, Wang W H. Monitoring of the 2011 Spring low ozone events in the Arctic region. Chinese Sci Bull, 2011, 56, doi: 10.1007/s11434-011-4636-3

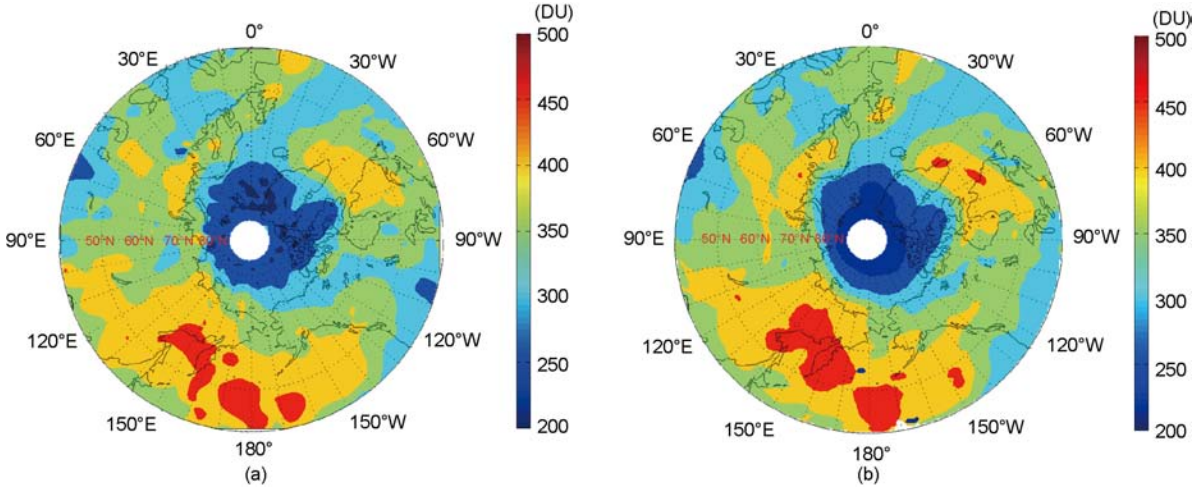


图 1　利用 FY-3B 和 NOAA 卫星紫外臭氧垂直探测仪(a)与 FY-3A 臭氧总量探测仪(b)观测数据给出 2011 年 3 月 14 日北极地区臭氧总量极射投影图

年 3 月 14 日北极地区地基臭氧观测分布图 (http://www.theozonehole.com/arctic2001loss.htm). 为了便于比较, 对原图进行了旋转, 与图 1 经度位置一致.

综合比较分析图 1 和 2, 可见利用卫星紫外臭氧垂直探测仪获得的北极地区臭氧低值分布范围与从臭氧总量探测仪以及地基观测获得的信息, 有着很好的一致性, 表明利用卫星紫外臭氧垂直探测仪监测臭氧低值事件的可靠性.

从图 1 和 2 可见, 2011 年 3 月 14 日在 72°N 以北、围绕极圈及邻近地区存在一个明显臭氧低值区, 臭氧总量在 200~250 DU 之间, 部分地区在 200 DU 左右, 达到臭氧洞水平. 根据 20 世纪 70 年代以来获得的卫星臭氧垂直廓线和臭氧总量观测资料, 该地区同期臭氧总量一般在 300~400 DU[21~23], 因此, 这是一次严重的臭氧低值事件.

图 3 给出 2011 年 3 月 14 日北极臭氧低值区一个像元臭氧垂直廓线, 与此前 3 月 1 日及此后 4 月 8 日臭氧垂直廓线的比较情况. 该像元地理位置为 71.11°N, 77.09°E.

该地点 3 月 14 日, 3 月 1 日和 4 月 8 日臭氧总量值分别为 277, 396 和 528.3 DU, 其中 3 月 14 日代表臭氧低值期臭氧廓线, 3 月 1 日代表臭氧总量正常水平臭氧廓线, 而 4 月 8 日则为臭氧值偏

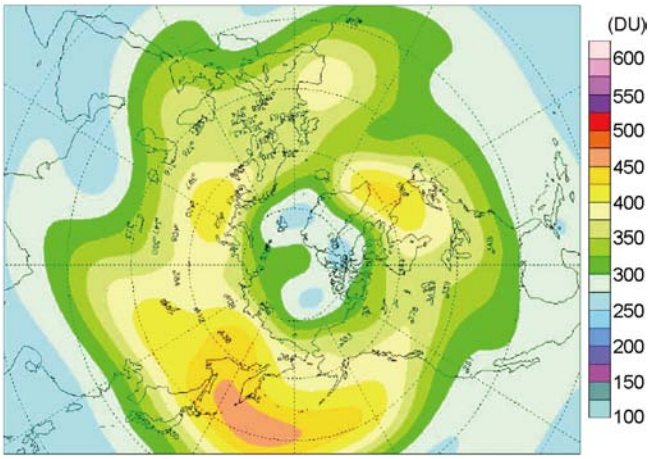


图 2　WOUDC 2011 年 3 月 14 日北极地区臭氧分布图

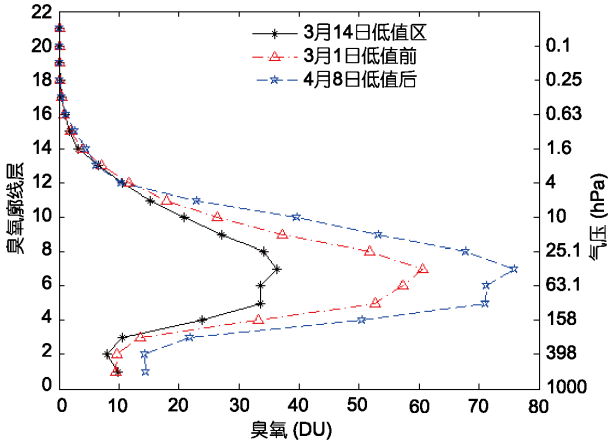


图 3　2011 年 3 月 14 日北极极圈附近一个像元臭氧垂直廓线及与邻近地区前后臭氧垂直廓线比较情况

高时臭氧廓线.

从图3可见, 与臭氧低值期前后相比, 3月14日臭氧垂直廓线的变化主要发生在从第 5~10 层, 高度大约在100~10 hPa, 对应从对流层上部到平流层. 分析表明, 在臭氧低值期, 对流层上部到平流层臭氧值比正常值低大约 100 DU, 比高值低大约 193 DU, 分别占到臭氧总量值变化的 83%和 77%. 说明臭氧低值事件的发生, 主要由于对流上部到平流层臭氧含量急剧减少造成.

利用 FY-3B SBUS 和 NOAA SBUV/2 的连续观测资料, 给出 2011 年 3~4 月北极地区臭氧低值事件发生发展过程的概貌. 此次低值事件从2011 年 3 月 1 日开始在极圈附近出现臭氧低值分布区, 1~3 日臭氧低值区位置相对固定在 80°N 以北, 沿 90°E 和90°W 对称分布. 从 4 日开始低值区范围有所扩大, 围绕极地自西向东旋转. 10 日开始沿 90°W 经线向 40°N 地区扩散, 形成连续的大范围臭氧低值区. 11~13 日, 臭氧低值区从极圈延续到40°N 附近, 自西向东旋转, 13 日到达30°~50°W 区域. 14 日臭氧低值区范围开始回缩至极圈周围, 但向 70°N 以北、90°W~0°区域延展. 15 日臭氧低值区聚集在极圈附近, 范围沿经线方向对称扩展, 并沿着极圈自西向东缓慢旋转. 22 日臭氧低值区呈现自 54°N, 120°E 向北跨越北极到 60°N, 60°W 左右的条带状分布, 条带宽度大约 20°经度. 23~25 日, 带状区域呈现逆时针自西向东旋转, 并逐渐破碎成块. 从 25 日开始, 臭氧低值区从极圈沿经度向一个方向延展, 26 日臭氧低值区主要分布在从极圈到 45°N, 10°W~25°E 左右的区域. 3 月 26 日~4 月 4 日, 该臭氧低值区主要分布在从极圈到 50°N 和10°W~75°E 左右的区域, 低值区以极圈为中心自西向东缓慢旋转. 从 3 月26 日开始臭氧低值区范围逐渐扩大, 28日达到最大, 然后缓慢下降, 到4月5 日达到最小, 低值区逐渐离开极区, 呈小块分布在中纬度地区, 北极臭氧低值事件就此结束.

图4给出3月28~31日臭氧低值区范围达到最大, 并延展到欧洲、俄罗斯中部等地区的情景. 图 4(a)~(d)分别对应于 3 月 28, 29, 30 和 31 日.

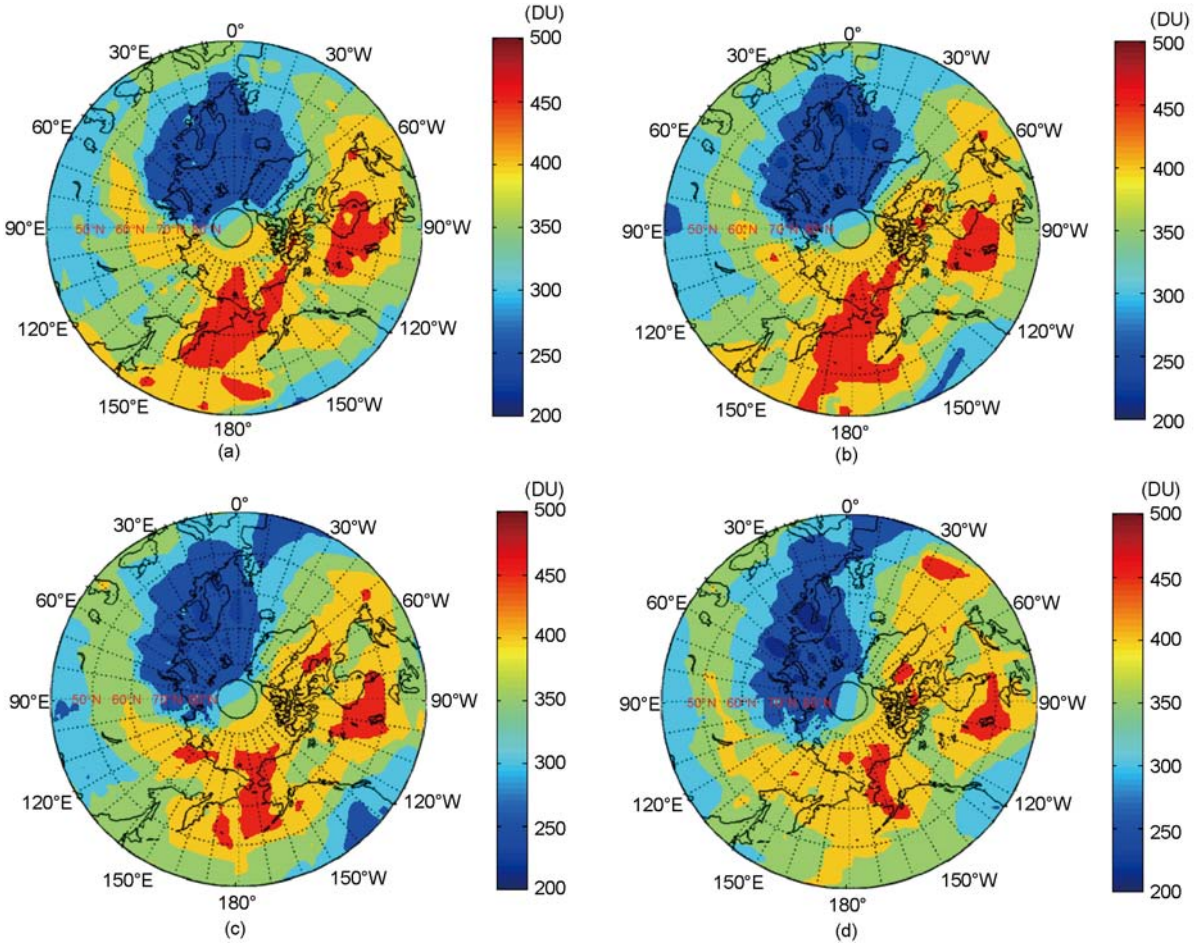


图 4　从 2011 年 3 月 28 日开始北极臭氧低值区向北半球中纬度地区迁移

(a) 3 月 28 日; (b) 3 月 29 日; (c) 3 月 30 日; (d) 3 月 31 日

从图 4 可见, 3 月 28~31 日, 臭氧低值区范围覆盖了从极区到几乎整个欧洲西北部、向东延伸到俄罗斯中部的广大区域. 该区域臭氧总量大多在 230~250 DU, 局地在 220 DU 以下, 达到臭氧洞水平.

本次北极地区臭氧低值事件从 3 月 1 日开始到 4 月 5 日结束, 持续 1 个多月时间, 并从极区延伸到中纬度地区, 特别是一度覆盖了从欧洲到俄罗斯中部广大人口密集地区, 必然对人类健康和自然环境造成严重影响. 1985 年首次观测南极臭氧洞曾经引起人们对南极臭氧低值的长期监测, 而 2011 年春季在北极及邻近地区出现如此大范围、长时间的臭氧低值事件, 将对北半球人口密集地区造成怎样的影响, 更应该引起人们的高度关注.

参考文献

1 WMO/UNEP. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998, World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project Report No144, 1998
2 WMO/UNEP. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, the Scientific Assessment Panel of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer Report, 2002
3 WMO/UNEP. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006, the Scientific Assessment Panel of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer Report, 2006
4 WMO/UNEP. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010, Executive Summary, the Scientific Assessment Panel of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer Report, 2010
5 Bojkov R D, Fioletov V F. J Geophys Res, 1995, 100: 16537–16551
6 Farman J C, Gardiner B J, Shanklin M R. Nature, 1985, 315: 207–210
7 周秀骥, 罗超, 李维亮, 等. 科学通报, 1995, 40: 1396–1398
8 Zou H. Geophys Res Lett, 1996, 23: 1029–1032
9 卞建春, 王庚辰, 陈洪滨, 等. 科学通报, 2006, 51: 606–609
10 Bian J C. Adv Atmos Sci, 2009, 26: 305–311
11 Janusz W K. Int J Climatol, 2002, 22: 1425–1439
12 Marc A, Pieter V, Ronald V D, et al. Geophys Res Lett, 2000, 27: 4089–4092
13 Anoop S M, Marvin S, Hilke O, et al. J Geophys Res, 2010, 115: D20303, doi: 10.1029/2009JD013665
14 McCormack J P, Hood L L. Geophys Res Lett, 1997, 24: 2647–2650
15 Bojkov R D, Balis D S. Annal Geophys, 2001, 19: 797–807
16 Orsolini Y J, Limpasuvan V. Geophys Res Lett, 2001, 20: 4099–4102
17 黄富祥, 刘年庆, 赵明现, 等. 科学通报, 2009, 54: 2556–2561
18 黄富祥, 刘年庆, 张鹏, 等. 光学精密工程, 2010, 18: 1568–1576
19 王维和, 张兴赢, 安兴琴, 等. 科学通报, 2010, 55: 1726–1733
20 王咏梅, 王英鉴, 王维和, 等. 科学通报, 2009, 54: 3778–3783
21 Goddard Space Flight Center/NASA. Version 8 TOMS V1-data. V2-Images Report. 2004
22 NOAA/NASA Ozone processing team. SBUV Version 8 Data Report. 2004
23 Flynn L E, McNamara D, Beck C T, et al. Int J Remot Sens, 2009, 30: 4259–4272