

TM5 双向嵌套化学传输网格模式 模拟 2003 年中国区域 CO 和 NO₂ 的变化

张艳^①张鹏^①Jeroen Kuenen^②张兴赢^①李晓静^①邱红^①王维和^①

(^①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 国家卫星气象中心,北京 100081;

^② Atmospheric Composition Division, KNMI, Netherlands)

摘要:利用 TM5(双向嵌套网格模式)模式模拟结果,分析了 2003 年中国区域大气 CO 和 NO₂ 的时空分布特征。结果表明:CO 和 NO₂ 的季节变化明显,CO 总量最高值出现在中国东部地区(30~40°N),NO₂ 的年平均高值区主要在中国中东部和四川盆地附近。CO 的垂直变化随季节变化显著,不同地区的垂直特征有明显的季节变化,而 NO₂ 不同季节的垂直廓线变化不大。

关键词:TM5 化学模式;CO 和 NO₂ 柱总量;时空分布特征

中图分类号: P237.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2007)80-00-0

1 引言

大气化学成分是控制地表温度和大气温度结构的重要因子,其化学组成和浓度的变化将直接引起地表温度和大气温度结构的变化,并通过动力过程进一步引起其他气候因子的变化。目前大气中许多重要的辐射吸收气体浓度正在增加,同时还不断向大气排放新的辐射吸收气体。在未来几十年里,大气化学成分的这种变化将在很大程度上影响未来气候的变化。

CO 是大气中含碳量第三的成分,是全球碳循环中一种重要的气体。CO 是 OH 自由基主要的汇,在对流层中消耗大约 60% 的 OH 自由基;它可以间接影响大气中 CH₄ 的含量,并且是对流层 O₃ 的重要前提物。它是大气化学中一种非常重要并且值得关注的气体。方圆等^[1]用 TERRA 卫星上的 MOPITT 数据分析了 2002 年全球大气 CO 的时空分布特征,发现 CO 浓度在一年中随季节变化,东亚地区 CO 柱高值区在中国东部沿海以及东南亚、日本列岛之间,位置和强度都逐月变化,这些地区都是人口和工业密集区。张仁建等^[2]用二维大气化学模式模拟了 CO、CH₄ 和 OH 自由基的长期变化,对 20 世纪 90 年代初 CO 平均体积分数突然下降进行了研究,指出 CO 的排放源减少和平流层 O₃ 的减少是

影响 CO 体积分数突然下降的原因,CH₄ 排放源的减少对 CO 的变化影响不大。可见,如果人类有能力对 CO 的时间和空间变化有所了解,则可以有效的控制 CO 排放源问题,有利于减少大气污染。

NO₂ 的排放也是不容忽视的问题,其中氮循环中浓度最高的是 NO 和 NO₂,它们常合称为 NO_x (奇氮化合物)。它在对流层臭氧和氢氧化物的光化学过程中起着决定性的作用。奇氮化合物与碳氢化合物的化学反应是造成大气中臭氧高浓度的最主要原因^[3]。而且 NO₂、臭氧等在其浓度高到一定程度时还会危及植物生长和人体健康。Andreas 等^[4]分析 1996~2004 年的 GOME 和 SCIAMACHY 卫星反演的 NO₂ 数据,发现中国区域的 NO₂ 排放呈显著增加,NO₂ 变化引起的环境问题日益受到重视。

本文利用荷兰皇家气象学院 KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) 提供的 TM5^[5]模拟的 2003 年 CO 和 NO₂ (1 度×1 度)输出结果,分析中国区域 CO 和 NO₂ 的分布特征,一方面本结果可以与卫星数据和大气本底探测数据进行比较,另一方面可以用来分析研究大气成分的传输特征和变化原因。

2 TM5 介绍

2.1 模式历史发展

收稿日期:2006-11-10 修订日期:2007-1-9

基金项目:“国家重点基础研究发展计划”(2005CB422202)和科技部—欧洲空间局“龙计划”(ENVISAT 对地观测数据综合应用研究)共同资助

作者简介:张艳,女,1977 年生,博士,助理研究员,主要从事气候诊断模拟、大气化学成分遥感。

E-mail: yanzhang@nsmc.cma.gov.cn

TM(global chemistry Transport Model)模式最初由 Heimann 等^[6](1988)发展,现已广泛地应用于全球大气化学研究。相关的研究有:高碳氢化合物对大气化学的影响(Houweling et al., 1998^[7]),由 TM 模拟的 1978~1993 年 CH₄ 排放特征(Dentener et al., 2003^[8]),以及单位柱臭氧模拟量与卫星观测的比较(Peters et al., 2002^[9])等。

2.2 双向嵌套的放大算法

TM5 与 TM3 模式一样,传输、排放、沉降和痕迹化学过程可通过算子分裂算法实现, TM3 和 TM5 都是离线模式,它的强迫场由欧洲中心 ECMWF 数值预报产品输入。Berkvens 等^[10](1999)介绍了放大算法的质量守恒传输的数学原理。

嵌套算法的主要思想是对于特定的区域,化学传输模式可在不同分辨率下连续积分。粗分辨率区域代表了全球范围,它提供一个或多个嵌套区域的边界条件。即使在嵌套区域内,还可以有更细的嵌套网格。一个区域可以是被嵌套区域也可以是嵌套区域,一个被嵌套区域提供给嵌套区域边界条件,而嵌套区域则被用于更新被嵌套区域的信息,这使得嵌套算法是双向的。

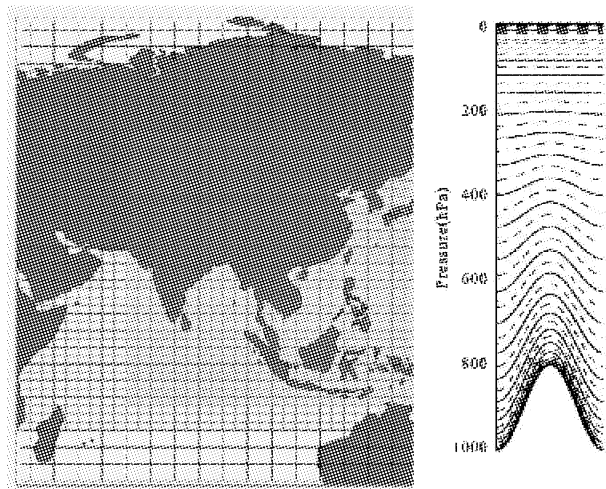


图 1 TM5 在中国区域的嵌套模式的网格示意图(a); TM5 的 25 层垂直坐标(b)

图 1a 是 TM5 在中国区域的嵌套模式的网格示意图。全球的水平分辨率是 6×4 (经度 \times 纬度),中国区域的分辨率是 1×1 。为满足这两个区域间的平滑转换,模式还加上了中国范围 3×2 水平分辨率的网格。TM5 模式的垂直层与 ECMWF 模式中所使用的混合 SIGMA 坐标系统一致。TM5 模式主要关心对流层,所以边界层和自由对流层的垂直分辨率较高。模式也考虑了平流层的影响,所以保留了 200hPa 以上的垂直层, TM5 的垂直层为 25 层

(如图 1b 所示)。

嵌套算法用在算子分裂(operator splitting)计算中,模式的 X、Y 是水平平流,Z 是垂直方向。它由深对流、垂直扩散以及化学参数化的次网格尺度混合,化学参数化过程包括化学粒子的排放、干湿和沉降等。

2.3 源排放清单

TM5 模式的排放输入来自不同的源排放数据集。NO_x 大部分排放源由 2001 年发布的 EDGAR3.2^[11](Global Atmospheric Research)排放数据集估计。CO、CH₄ 和 NMHC 的人为排放也来自 EDGAR3.2 数据集,EDGAR 完整的排放目录清单见 <http://www.mnp.nl/edgar>。SO₂ 人为排放来自于 IASA&GEIA。

3 模拟结果分析

3.1 2003 年中国区域 CO 和 NO₂ 的对流层平均柱总量的分布特征

彩色插页图 2 是利用 TM5 模拟得到的 2003 年中国区域 CO 和 NO₂ 对流层柱总量年平均的分布特征。从彩色插页图 2a 可见,CO 总量最高值出现在 $30 \sim 40^\circ\text{N}$ 的华东、华中地区及四川盆地附近,青藏高原地区是 CO 的相对低值区,CO 的两个主要高、低值区基本以同一纬度带呈东西向分布。NO₂ 的年平均高值区主要在中国中东部和四川盆地附近(图 2b)。为了解 CO 和 NO₂ 浓度的季节变化,将对不同月份的分布特征进一步分析。

3.2 中国区域 1、4、7、10 月不同季节 CO 和 NO₂ 的分布特征

图 3 给出 CO 对流层柱总量在 1、4、7、10 月的空间分布,由图可见,CO 浓度随季节变化明显。1 月,高值区在华北、华中、华东及东北局部地区;4 月 CO 的特征与 1 月的分布相似,东北地区的 CO 浓度及范围有所增加;7 月,华北、东北地区 CO 浓度减小,CO 高值区主要位于四川盆地和华中。10 月,CO 高值区向西、向南扩展,发展到 30°N 以南区域,覆盖了华中。比较而言,夏季(7 月)的 CO 浓度最小,秋季(10 月)的浓度最大 CO 浓度低值出现在夏季,与方圆等^[1]利用卫星数据得到的结论一致,这种空间分布特征主要是由于 CO 源的空间分布特征所决定。2001 年 IPCC 报告指出,生物质燃烧产生的 CO 浓度大约为每年 700Tg,是 CO 源的重要组成部分之一。而 7 月出现低谷,主要是由于夏季温度和湿度较大,有利于 OH 自由基的生成,而 OH 自由

基与 CO 反应是 CO 的一个重要源汇,导致 CO 浓度在夏季显著降低。

3.3 中国区域 1、4、7、10 月不同季节 NO₂ 的变化特征

彩色插页图 4 是 NO₂ 柱总量在 1、4、7、10 月的空间分布,由图可见,中国区域 NO₂ 浓度大值区在华中和华东地区,长江上游的四川附近也为 NO₂ 污染区。1 月 NO₂ 浓度和覆盖面积最大,尤其在北京、上海、香港等大城市。4 月 NO₂ 浓度略有减少,到 7 月 NO₂ 的覆盖面积和浓度更加减小,直至 10 月 NO₂ 的浓度逐渐增加且覆盖面积增大。上述 NO₂ 的分布特征表现了明显的季节变化,表明 NO₂ 浓度随着季节的不同,不论在强度还是位置都有变化,这与气象场的季节变化有关。

3.4 关键区域 CO、NO₂ 的垂直变化

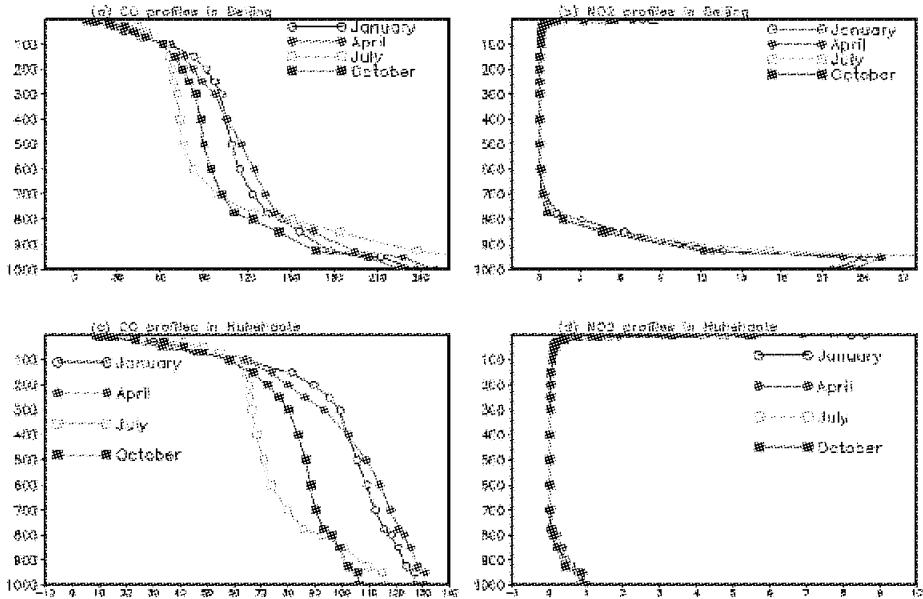


图 5 关键区不同季节的 CO 和 NO₂ 的垂直廓线(a)CO 北京站(b)NO₂ 北京(c)CO 呼和浩特(d)NO₂ 呼和浩特(ppbv)

4 小结

本文用 TM5 模式模拟结果分析了 2003 年 CO 和 NO₂ 的时间和空间分布特征,主要结论如下:

(1) CO 总量最高值出现在中国(30~40°N)华东、华中地区及四川盆地附近,青藏高原主要是 CO 的相对低值区,CO 的两个主要高、低值区以同一纬度带呈东西向分布。

(2) CO 浓度随季节变化明显,1、4、7 月的高值区基本在中国东部地区,而 10 月的高值区向西、向南扩展,发展到 30°N 以南区域。比较而言,夏季(7 月)的 CO 浓度最小,秋季(10 月)的浓度最大。

(3)中国区域 NO₂ 浓度高值区在华中和华东地

区,长江上游的四川附近也为 NO₂ 污染区。1 月 NO₂ 浓度和覆盖面积最大,尤其在北京、上海、香港等大城市。4 月的 NO₂ 浓度略有减少,到 7 月 NO₂ 的覆盖面积和浓度更加减小,直至 10 月 NO₂ 的浓度逐渐增加且覆盖面积增大。

(4)CO 的垂直变化随季节变化显著,不同地区的垂直特征表现出明显的季节差异。NO₂ 不同季节的垂直廓线变化不大。在边界层和对流层,北京地区的 CO 浓度大于呼和浩特地区,而在对流层以上,两者的浓度相近。北京地区近地面和边界层的 NO₂ 浓度很高,随着高度的增加,它很快递减,在对流层中高层,NO₂ 的浓度基本为零。呼和浩特地区的 NO₂ 浓度较小,垂直变化不显著。

区,长江上游的四川附近也为 NO₂ 污染区。1 月 NO₂ 浓度和覆盖面积最大,尤其在北京、上海、香港等大城市。4 月的 NO₂ 浓度略有减少,到 7 月 NO₂ 的覆盖面积和浓度更加减小,直至 10 月 NO₂ 的浓度逐渐增加且覆盖面积增大。

(4)CO 的垂直变化随季节变化显著,不同地区的垂直特征表现出明显的季节差异。NO₂ 不同季节的垂直廓线变化不大。在边界层和对流层,北京地区的 CO 浓度大于呼和浩特地区,而在对流层以上,两者的浓度相近。北京地区近地面和边界层的 NO₂ 浓度很高,随着高度的增加,它很快递减,在对流层中高层,NO₂ 的浓度基本为零。

参考文献

- 1 方圆圆,赵春生,李成才. 利用对流层污染测量仪研究 2002 年东亚地区 CO 总量分布特征东亚地区 CO 总量分布特征[J]. 大气科学,2005,29(3):363~371.
- 2 张仁健,王明星. 大气中一氧化碳浓度变化的模拟研究[J]. 大气科学,2001,25(6):847~855.
- 3 王明星,郑循华. 大气化学概论[M]. 气象出版社,2005,pp184.
- 4 Andreas Richter, John P. Burrows, et al. Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space [J]. Nature, 2005,437,129~132.
- 5 Krol, M. Houweling, S. and Bregman, B., et al. The two-way nested global chemistry-transport zoom model TM5: algorithm and applications[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2005,5,417~432.
- 6 Heimann, M., Monfray, P., and Polian, G. Long-range transport of ^{222}Rn - a test for 3D tracer models [J]. Chemical Geology, 1988,70,98~98.
- 7 Houweling, S., Dentener, F., and Lelieveld, J. The impact of nonmethane hydrocarbon compounds on tropospheric photochemistry[J], Journal of Geophysical Research, 1998,103,10637~10696.
- 8 Dentener, F., Weele, M., Krol, M., Houweling, S., and Velthoven, P. Trends and inter-annual variability of methane emissions derived from 1979-1993 global CTM simulations[J], Atmospheric Chemistry and Physics, 2003,3,73~88.
- 9 Peters, W., Krol, M., Dentener, F., Thompson, A., and Lelieveld, J. Chemistry-transport modeling of the satellite observed distribution of tropical tropospheric ozone [J], Atmospheric Chemistry and Physics, 2002,2,103~120.
- 10 Berkvens, P., Botchev, M., Lionen, W., and Verwer, J. A zooming technique for wind transport of air pollution [C]. MASR9921, 1999, 31, CWI, Amsterdam.
- 11 Olivier, J., and Berdowski, J. Global emission sources and sinks[M], in The Climate System, Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse, 2001, pp. 33~77.

Variations of Carbon Monoxide and Nitrogen Dioxide column concentrations of China in 2003 using the TM5 simulation results

Zhang Yan^① Zhang Peng^① Jeroen Kuenen^② Zhang Xingying^① Li Xiaojing^① Qiu Hong^① Wang Weihe^①

(^①Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, China Meteorological Administration (LRCVCS/CMA), NSMC, Beijing 100081;

^② Atmospheric Composition Division, KNMI, Netherlands)

The spatial and temporal characteristics of CO and NO₂ simulations of China in 2003 are analyzed by using TM5 results (The two-way nested global chemistry-transport zoom model). It is showed that the seasonal variations of CO and NO₂ are obvious in China, and there are the high CO concentration in the eastern China (30-40°N) and the high NO₂ concentration in the eastern China and about the Sichuan basin. It is also found that the CO vertical variations are significant changed with different seasons, while the NO₂ vertical profile variations of different seasons are very little.

Key words: TM5 chemical transport model; CO and NO₂ column concentration; spatial and temporal characteristics