

北京大气中主要温室气体近 10 年变化趋势

刘 强 王跃思 王明星 李 晶 刘广仁

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘 要 对 1993~2002 年 10 年间北京市大气中三种主要温室气体的监测数据进行分析, 研究二氧化碳、甲烷和氧化亚氮这三种温室气体浓度的变化趋势, 并初步探讨了造成这种变化的原因。分析结果表明 北京市大气二氧化碳浓度总体是上升趋势, 且后 5 年增长较快, 大气甲烷浓度前 5 年缓慢上升, 后 5 年转为下降, 总体已是下降趋势, 与大气二氧化碳变化趋势相似, 大气氧化亚氮总体也是上升趋势, 后 5 年增长较快。

关键词 温室气体 二氧化碳 甲烷 氧化亚氮 变化趋势

文章编号 1006-9895(2005)02-0267-05

中图分类号 P402

文献标识码 A

Trends of Greenhouse Gases in Recent 10 Years in Beijing

LIU Qiang, WANG Yue-Si, WANG Ming-Xing, LI Jing, and LIU Guang-Ren

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

Abstract Concentrations of three greenhouse gases (carbon dioxide, methane, nitrous oxide) have been measured weekly in Beijing for about ten years (1993–2002). The data are used for analyzing the trends of these three greenhouse gases. The decreasing trend of methane (CH_4) has been found. The concentrations of carbon dioxide (CO_2) and nitrous oxide (N_2O) are rising slowly. The monthly variation patterns and reasons are also discussed.

Key words greenhouse gase, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, trend

1 引言

大气中温室气体浓度变化的研究是当前大气科学和环境科学研究中最活跃的分支之一。二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O)是目前受人类活动影响较明显的三种主要温室气体, 虽然这些气体占不到大气总量的 0.04%^[1], 但它们浓度的改变却是引起全球气候变化的重要原因。

大气中某种气体的浓度及其变化趋势取决于该种气体的源汇组成及其变化趋势。大气二氧化碳的主要来源是化石燃料燃烧、水泥生产、土地利用变化、生物呼吸、海洋释放等; 主要汇包括陆地生态系统光合作用、海洋吸收、沉积在陆地和海洋中的有机和无机碳^[2, 3]。大气中甲烷的源通常被分为生物源和非生物源两大类。生物源主要有食草反刍动物, 天然湿地、稻

田、垃圾堆放场以及农业废弃物的处理场等; 大气甲烷的非生物源主要是化石燃料开采过程中的泄漏、生物质燃烧、火山喷发、海底水合甲烷释放等; 大气中甲烷的汇主要是在对流层大气中的氧化反应, 干燥土壤的吸收以及向平流层输送^[4, 5]。大气中氧化亚氮的主要源为土壤中氮的硝化和反硝化过程、化石燃料和生物质燃烧以及己二酸和硝酸生产; 目前已知的大气氧化亚氮的主要汇为平流层光化学氧化、土壤吸收和海洋吸收^[6]。

由于三种主要温室气体的源多年来总是大于汇, 因此, 它们的浓度在大气中一直呈上升趋势。温室气体在大气中浓度的增加早已引起了国内外学者和各国政府的广泛关注^[7, 8]。国内外已对农田、草原、森林等多种生态系统中土壤—植被温室气体排放进行了广泛的研究^[9~15], 但对于城市污染大气中温室气体的长期

变化规律的监测研究却相对较少。中国科学院大气物理研究所从 1985 年开始,对北京大气甲烷做每周 1 次的长期定点监测^[16],并陆续增加了对二氧化碳(1992 年)和氧化亚氮(1993 年)的监测,对北京城市大气主要温室气体浓度的长期变化规律进行追踪研究,本文报道的是近 10 年的观测研究结果。

2 研究方法

采样点设在中国科学院大气物理研究所气象观测塔 32 m 高度层,周围 1 km 范围内没有显著的局地源。采样在北京时间 14 00 ~ 15 00 时进行,这时大气混合层较高,上下混合较好,所采集的样品和自由对流层状况接近,因而观测结果对北京地区具有代表性。采样频率为每周 1 ~ 2 次,每次同时采集两个样品,以避免局地偶然小气候的影响。在仪器允许的标准偏差内,每个样品分析三次,用 6 次分析结果平均计算出每次采集的大气样品中温室气体含量^[16]。

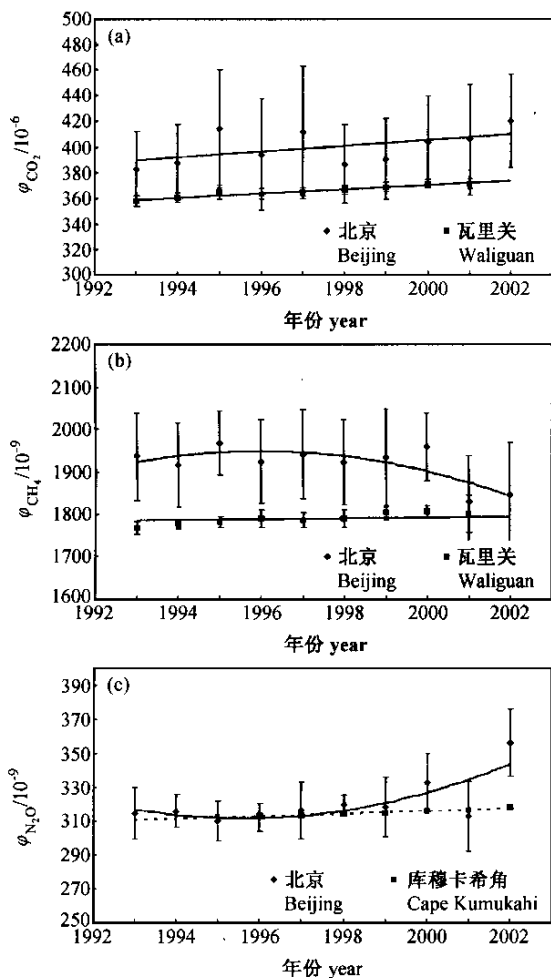


图 1 北京大气 CO₂ (a), CH₄ (b), N₂O (c) 浓度的年际变化

Fig. 1 Annual variation of atmospheric CO₂, CH₄, N₂O in Beijing

采样容器是一种特制的不锈钢瓶,内瓶壁无吸附,配有真空阀门,密封性好。实验表明收集在瓶内的空气样品中温室气体在 6 个月内监测不到明显的变化。空气样品在中国科学院大气物理研究所大气化学实验室用带有氢火焰离子检测器(FID)的气相色谱仪(GC)进行分析,所用的甲烷和二氧化碳标准气分别来自美国国家标准局(NIST)和中国国家标准物质中心,氧化亚氮标准气体分别来自美国 Athesen 公司、澳大利亚 Csico 公司和中国国家标准物质中心。

本文把每周的浓度数据按不同年份求算术平均值,得到温室气体年平均值的时间序列,通过线性或多项式拟合,研究北京大气温室气体浓度变化趋势,然后和其他数据结合起来分析其变化趋势以及造成这种变化的原因。

本文选用了瓦里关的甲烷、二氧化碳观测数据和美国夏威夷库穆卡希角(Cape Kumukahi)的氧化亚氮观测数据^[17]作为背景浓度,与我们监测的北京城市大气中这三种温室气体浓度来进行对比分析。瓦里关地处我国内陆高原山区,监测台站远离各种人为的温室气体排放源,是个较为理想的全球背景浓度监测点,但目前没有长时间序列氧化亚氮观测数据。库穆卡希角位于美国夏威夷群岛的最东端,是一个较为理想的全球背景浓度监测点。本文重点参考该站氧化亚氮观测数据。

3 结果与讨论

3.1 城市主要温室气体浓度的年际变化

3.1.1 二氧化碳

1993 ~ 2002 年间,北京城市大气中二氧化碳平均浓度(体积分数,下同)约为 $400 \pm 40 \times 10^{-6}$,比同期瓦里关山区高出 35×10^{-6} 。从图 1a 中可以看出,1993 ~ 2002 这十年间,北京大气二氧化碳浓度均处于缓慢上升趋势,但每年的变化幅度有很大不同。其年平均增长率为 0.57% (置信度 $p < 0.01$)。比同期大气二氧化碳背景浓度(瓦里关)增长率 0.46% ($p < 0.01$) 略高。城市地区大气二氧化碳源和汇受人为活动影响较大,其中化石燃料消耗的增加、绿地面积的改变是影响城市大气二氧化碳浓度的两个最重要的因素^[18]。

3.1.2 甲烷

1993 ~ 2002 年间,北京大气甲烷平均浓度为 $1917 \pm 110 \times 10^{-9}$,比同期观测到的瓦里关大气甲烷平均浓度高 128×10^{-9} ,说明对于大气甲烷来说,城市仍是比较强的源。如图 1b 所示,北京大气甲烷年平均浓度在前 5 年(1993 ~ 1997)略有上升,后 5 年(1998 ~ 2002)则呈

现出明显下降趋势。特别是 2000 年以后,下降趋势更明显。每年平均下降 1.33% ($p < 0.01$),而同期瓦里关山观测数据则仍然保持缓慢上升趋势,增长率为 0.23% ($p < 0.01$)。据分析,非生物源的变化可能是造成城市大气甲烷浓度下降的重要原因。

3.1.3 氧化亚氮

1993 ~ 2002 年,北京大气氧化亚氮平均浓度为 $320 \pm 18 \times 10^{-9}$,比同期库穆卡希角观测到的高出 5×10^{-9} 。从图 1c 中可以看出,北京大气氧化亚氮浓度前 5 年变化不大,且与大气氧化亚氮背景浓度较为接近,说明北京人为活动引起的氧化亚氮浓度增加幅度不大,源和汇的变化处于相对平衡的状态。但从 1998 年开始,上升趋势明显加大,平均年增长率为 2.4% ($p < 0.01$)。虽然同时期大气氧化亚氮背景浓度也处于缓慢上升趋势,但平均增长率仅为 0.24% ($p < 0.01$)。造成这种现象的原因是北京城市地区氧化亚氮源的增加,1998 年北京对排放超标车强制安装尾气净化装置(三元催化转化器),而国内外研究资料均证实备有助燃器的新型小汽车每公里氧化亚氮的排放量是未备有此装置的 8 ~ 16 倍^[19],同时北京市的汽车保有量不断增加,是造成北京大气氧化亚氮浓度上升的最主要原因。图 1c 还显示出 2001 年浓度显著低于其他年份,出现这种变化的原因尚不清楚,需要进一步的研究。

3.2 城市主要温室气体浓度的季变化

3.2.1 二氧化碳

图 2a 是北京与瓦里关大气二氧化碳多年月平均浓度的季节变化趋势,以及它们与气温的关系,从图中可以看到,大气二氧化碳浓度有较明显的季节变化现象,这是由二氧化碳源和汇的性质决定的。与瓦里关山区相比,北京大气二氧化碳浓度冬夏季的差别较大。在冬季,由于采暖,化石燃料的消耗量大幅增加,植物光合作用对二氧化碳的吸收降到最低,使二氧化碳的浓度在 2 月份达到年度最高值 438×10^{-6} 。随着供暖季结束,二氧化碳源减少,同时光合作用开始增强,使得大气中二氧化碳浓度在春季下降。在夏季,植物的光合作用最强,大气中二氧化碳的浓度也在 8 月份到达年度最低值 375×10^{-6} 。进入秋季,植物的光合作用开始减弱,大气中二氧化碳的浓度开始回升。

3.2.2 甲烷

图 2b 显示了北京与瓦里关大气甲烷多年月平均浓度的变化,以及和气温的关系。北京大气甲烷浓度的月际变化充分体现了生物源和非生物源对北京大气甲烷浓度交替影响,使之呈现出明显的周期性变化。在冬季(12、1、2 月),由于化石燃料的废气排放,大气

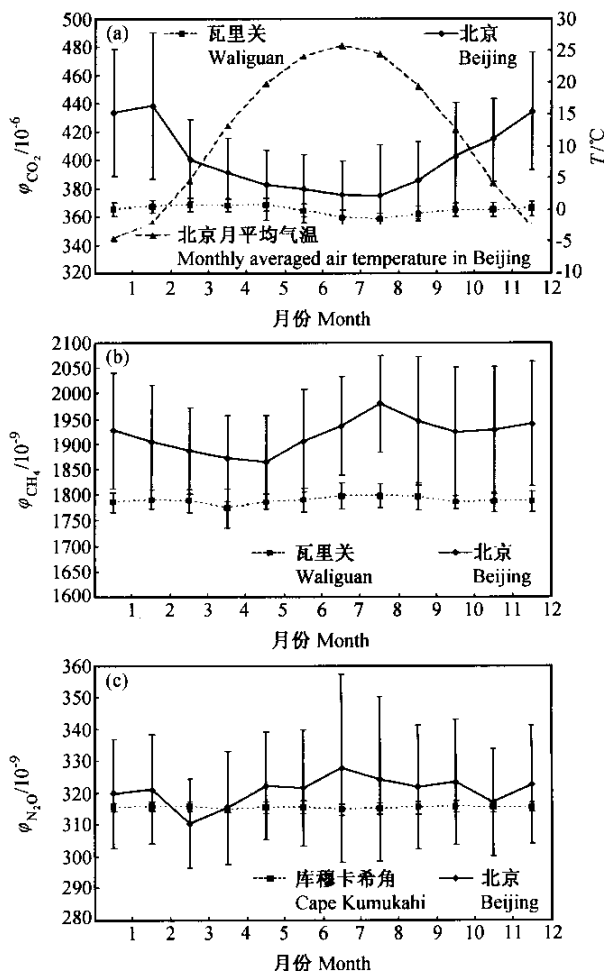


图2 北京大气 CO₂ (a), CH₄ (b), N₂O (c) 浓度和气温的季变化

Fig. 2 Seasonal variation of atmospheric CO₂, CH₄, N₂O and air temperature in Beijing

甲烷浓度维持在比较高的水平,在 12 月份达到一个峰值 $1941 \pm 122 \times 10^{-9}$;在春季(3、4、5 月),由于供暖停止,大气甲烷的非生物源变小,浓度在持续降低,并在 5 月间达到年度最低值 $1865 \pm 93 \times 10^{-9}$ 。在夏季(6、7、8 月),随着天气持续变暖,生物源的强度不断加强,大气中甲烷浓度也不断增加,并于 8 月达到另一个峰值 $1980 \pm 95 \times 10^{-9}$ 。在秋季(9、10、11 月),气温不断下降,生物源的强度也随之降低,其结果是大气中甲烷浓度不断降低,在 10 月达到第二个最低点 1925×10^{-9} 。随着供暖季的开始,11、12 月份的甲烷浓度开始上升,进入下一个周期。从图 2b 可以发现春、夏、秋季气温对甲烷产生的影响,这种影响一般滞后一个月,如 4 月份气温回升到 10 $^\circ C$ 以上,但甲烷浓度从 5 月份才开始上升;气温在 7 月份达到最高,而甲烷浓度 8 月份出现最高值。

从 1993 ~ 2002 年的总体统计情况来看,甲烷浓度变化在全年的大部分时间受生物源控制,且在 4、5 月间和 8 月间分别达到最小和最大值。这一事实说明生物源是控制大气甲烷浓度的基本要素,它决定了甲烷浓度变化的基本趋势,而在冬季的反常表现说明非生物源是影响大气甲烷浓度的强烈扰动因素,它改变了大气甲烷浓度原有的变化趋势,使原本的下降趋势变为上升。

3.2.3 氧化亚氮

图 2c 是北京与库穆卡希角大气氧化亚氮的多年月平均浓度,以及与气温的关系,从图中可以看出,城市大气中氧化亚氮浓度没有非常明显的季节变化。在城市中,大气氧化亚氮的主要源包括土壤中硝化作用和反硝化作用、化石燃料的燃烧(包括交通工具和冬季取暖)等。其中交通工具造成的氧化亚氮排放是不具有季节变化特征的,在非供暖季,土壤中排放的氧化亚氮是主要源,而在供暖季,虽然土壤中微生物活动受到抑制,但冬季取暖排放成为阻止大气氧化亚氮浓度下降的因素。因此,土壤、冬季取暖排放虽然都具有季节变化特征,但由于相互叠加、抵消,大气氧化亚氮浓度变化在总体上没有非常明显的季节变化特征。

图 2c 还显示 4 月、11 月的平均浓度接近本文参考的背景浓度,而 3 月份浓度还低于该背景浓度,夏季(6、7、8 月)大气中氧化亚氮的浓度是一年中的高值。本文作为背景浓度的是库穆卡希角站的观测值,该站地处热带海岛,海洋是其重要的源和汇,气温变化很小,土壤排放应该没有季节性变化,由于没有取暖季和非取暖季之分,化石燃料燃烧对其浓度影响较小。这与北京大气氧化亚氮的源和汇组成有很大差异,因为北京是内陆城市,海洋对其的影响较小,气候四季分明,一年内气温有明显的变化,土壤排放有着明显的季节特征,取暖季化石燃料的大量燃烧,使得化石燃料排放也有明显的季节特征。因此,库穆卡希角站的浓度只能作为北京城市大气氧化亚氮的参考。对于北京大气氧化亚氮 3 月份出现的低值,目前我们可以作出以下解释:化石燃料燃烧是城市大气的氧化亚氮排放重要的源,3 月份正值取暖季的结束,而土壤排放依然受到抑制,因此应该会比 1、2 月份有更低的浓度。浓度下降比较剧烈的原因还有气象条件的影响,3、4 月份正是北京大风天气盛行的季节,排放的氧化亚氮在较短时间得到了充分的稀释和扩散,也正是这个原因使得这些月份的大气氧化亚氮浓度相应比较低。对于北京城市大气中夏季氧化亚氮的高峰值,应该是和这几个月北京比较集中的降雨有关。由于氧化亚氮的产

生、转化过程十分复杂,目前对其源、汇的研究还不是很清楚,对于北京大气氧化亚氮出现这种高低变化的更加确定的原因,还需要进一步的试验观测和机理研究。

4 结论

(1) 1993 ~ 2002 年十年间,北京大气二氧化碳浓度均处于缓慢上升趋势,年平均增长率为 0.57%。比同时期大气二氧化碳背景浓度(瓦里关)增长率 0.46% 略高。城市地区化石燃料消耗的增加、绿地面积的改变是影响北京大气二氧化碳浓度的两个重要因素。

(2) 1993 ~ 2002 年间,北京大气甲烷平均浓度为 1917×10^{-9} ,前 5 年甲烷年平均浓度略有上升,后 5 年则呈现出明显下降趋势,平均年下降 1.33%。非生物源变化可能是大气甲烷浓度下降的重要原因。

(3) 北京大气氧化亚氮浓度前 5 年变化不大,但从 1998 年开始,上升趋势明显加大,平均年增长率为 2.4%。北京市对排放超标车强制安装尾气净化装置(三元催化转化器)和汽车保有量不断增加,是造成北京大气氧化亚氮浓度上升的最主要原因。

(4) 受源、汇变化驱动,北京大气二氧化碳和甲烷浓度有明显的季节变化,这是由它们的源、汇性质决定的。

(5) 北京大气氧化亚氮浓度在总体上没有明显的季节变化,其原因可能是土壤排放和冬季取暖这两个重要的源相互影响所致。

致谢 张文、孙扬、徐新等参与了部分实验工作,赵翼俊、李爱国、冯克宏、齐振东等在架设自动观测系统过程中给予了大量技术支持。

参考文献

- [1] 王明星. 大气化学(第二版). 北京:气象出版社,1999,144 ~ 147
Wang M X. *Atmospheric Chemistry* (Version 2, in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999, 144 ~ 147
- [2] Houghton J. 全球变暖. 北京:气象出版社,1998,15 ~ 51
Houghton J. *Global Warming* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1998, 15 ~ 51
- [3] Gunter W D, Wong S, Cheel D B, et al. Large CO₂ sinks: Their role in the mitigation of greenhouse gases from an international, national (Canadian) and provincial (Alberta) perspective. *Applied Energy*, 1998, 61: 209 ~ 227
- [4] Wang Ming-Xing. Source of methane in China. *Journal of Environmental Sciences*, 1993, 5: 183 ~ 399
- [5] Crutzen P J. On the role of CH₄ in atmospheric chemistry: Sources, sinks and possible reductions in anthropogenic sources. *Ambio*, 1995, 24(1): 52 ~ 55

- [6] Sharma C, Gupta P K, Parashar D C. Atmospheric nitrous oxide : sources and sinks. *Tropical Ecology*, 1996, **37**(2) : 153 ~ 166
- [7] IPCC. *Climate Change 2001 : Synthesis Report*. Cambridge, NY, USA : Cambridge University Press, 2001, 5
- [8] IPCC. *Climate Change 1995 : The Science of Climate Change*. Cambridge, NY, USA : Cambridge University Press, 1996, 21 ~ 24
- [9] 王明星, 刘卫卫, 吕国涛, 等. 我国西北部沙漠地区大气 CH_4 的季节变化趋势. *科学通报*, 1989, **34** : 684 ~ 687
Wang M X, Liu W W, Lu G T, et al. Seasonal trend of atmospheric methane in Chinese north-west desert area. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1989, **34** : 684 ~ 687
- [10] 王少彬, 宋文质, 苏维翰. 中国大气中氧化亚氮浓度及土壤排放通量的测定. *中国科学(B 辑)*, 1994, **24**(2) : 1275 ~ 1280
Wang S B, Song W Z, Su W H. Measurement of the atmospheric concentration and flux rate of N_2O from soil in China. *Science in China* (Series B, in Chinese), 1994, **24**(2) : 1275 ~ 1280
- [11] 曾江海, 王智平, 张玉铭, 等. 小麦—玉米轮作期土壤排放 N_2O 通量及总量估算. *环境科学*, 1995, **16**(1) : 32 ~ 35
Zeng J H, Wang Z P, Zhang Y M, et al. Flux of N_2O emission from the wheat and maize rotation system. *Chinese Journal of Environmental Sciences* (in Chinese), 1995, **16**(1) : 32 ~ 35
- [12] 郑循华, 王明星, 王跃思, 等. 华东稻麦轮作生态系统的 N_2O 排放研究. *应用生态学报*, 1997, **8**(5) : 495 ~ 499.
Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, et al. N_2O emission from rice-wheat ecosystem in Southeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (in Chinese), 1997, **8**(5) : 495 ~ 499
- [13] Zheng Xun-Hua, Wang Ming-Xing, Wang Yue-Si, et al. Characters of greenhouse gas (N_2O , NO , CH_4) emissions from croplands of Southeast China. *World Resource Review*, 1999, **11**(2) : 229 ~ 246
- [14] 王跃思, 纪宝明, 王艳芬, 等. 半干旱草原地—气温室气体交换速率测定. *环境科学*, 2000, **21**(3) : 6 ~ 10
Wang Y S, Ji B M, Wang Y F, et al. Measurement of the exchange rate of greenhouse gases between field and atmosphere in semi-arid grassland. *Chinese Journal of Environmental Science* (in Chinese), 2000, **21**(3) : 6 ~ 10
- [15] Zheng Xun-Hua, Wang Ming-Xing, Wang Yue-Si, et al. Impacts of soil moisture on nitrous oxide emission from croplands : a case study on the rice-based agro-ecosystem in Southeast China. *Chemosphere-Global Change Science*, 2000, **2** : 207 ~ 224
- [16] Wang Yue-Si, Li Zhou, Wang Ming-Xing, et al. Trends of atmospheric methane in Beijing. *Chemosphere-Global Change Science*, 2001, **3** : 65 ~ 71
- [17] <http://gaw.kishou.go.jp/wdceg.html>
- [18] 北京统计局. 北京统计年鉴 (1993 ~ 2001). 北京 : 中国统计出版社.
Beijing Municipal Bureau of Statistics. *Beijing Statistical Yearbook* (1993 ~ 2001) (in Chinese). Beijing : China Statistic Press
- [19] Khalil M A K, Rasmussen R A. The global sources of nitrous oxide. *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97**(13) : 14651 ~ 14660