

GOSAT 卫星数据监测中国大陆上空 CO₂ 浓度 时空变化特征

邓安健¹, 郭海波², 胡洁², 姜成桢², 刘培更², 荆海峰²

1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000;

2. 黄河勘测规划设计有限公司, 郑州 450003

摘要: 中国地区大气 CO₂ 浓度对全球气候变化有重要的影响。本文基于日本 GOSAT 卫星短波红外 CO₂ 的长期观测数据, 对 2010 年—2016 年中国大陆上空 CO₂ 浓度的分布特征和变化趋势进行分析研究。利用高精度的地基 TCCON 站点 CO₂ 观测对 GOSAT CO₂ 数据进行精度验证, 结果表明, GOSAT CO₂ 具有较高的精度, 相对 TCCON CO₂ 的偏差为 -1.04 ± 2.10 ppm, 两者的相关系数高达 0.90; 利用中国地区 7 年的 GOSAT CO₂ 观测数据分析研究显示, CO₂ 浓度高值主要分布在中国的浙江—江苏—安徽地区、京津冀地区和湖南—湖北—河南—陕西地区; 截至 2016 年, 中国大部地区 CO₂ 浓度超过 400 ppm; 中国大陆 CO₂ 平均浓度呈现明显的逐年增长趋势, 从 2010 年的 387.76 ppm 增长到 2016 年的 402.18 ppm, 年增长率约为 2.31 ppm/a, 略高于同期全球平均水平。

关键词: CO₂ 浓度, 分布模式, CO₂ 年增长率, 中国大陆, GOSAT 卫星

引用格式: 邓安健, 郭海波, 胡洁, 姜成桢, 刘培更, 荆海峰. 2020. GOSAT 卫星数据监测中国大陆上空 CO₂ 浓度时空变化特征. 遥感学报, 24(3): 319-325

Deng A J, Guo H B, Hu J, Jiang C Z, Liu P G and Jing H F. 2020. Analysis of temporal and distribution characteristic of CO₂ concentration over China based on GOSAT satellite data. Journal of Remote Sensing (Chinese), 24(3): 319-325 [DOI:10.11834/jrs.20208324]

1 引言

CO₂ 是大气中最重要的温室气体, 自工业革命以来, 由于人类活动的加剧, CO₂ 的干空气体积混合比 (XCO₂) 从 280 ppm 上升到的 2013 年的 396 ppm。CO₂ 浓度的急剧增加加剧了温室效应, 导致了地表温度增长、海平面上升、极端天气频发等社会环境问题 (IPCC, 2007, 2013)。为准确预测大气 CO₂ 对全球环境变化的影响, 需要观测全球大气 CO₂ 浓度水平及其变化趋势。

地基温室气体观测能提供准确和高频率的大气 CO₂ 观测, 然而全球地基站点分布稀疏且不均匀, 使得地基观测洲际尺度或区域尺度的 CO₂ 浓度及其通量估计存在较大不确定性 (Gurney 等, 2002; Stephens 等, 2007; Hungershoefer 等, 2010)。理论研究表明, 卫星观测大气 CO₂ 浓度有潜力减少 CO₂ 通量估计的不确定性 (Rayner 等, 2001; Houweling 等,

2004; Miller 等, 2007; Chevallier 等, 2007), 已成为一种重要的大气 CO₂ 观测手段 (陈良富等, 2015), 并发射了专门碳卫星, 监测大气中的 CO₂ 浓度。日本和美国分别于 2009 年 1 月、2014 年 7 月发射成功 GOSAT 和 OCO-2 卫星; 中国也于 2016 年 12 月发射升空碳卫星, 其 CO₂ 卫星产品有待测试后发布。

中国地区 CO₂ 排放量将对今后气候变化及国际谈判产生重大影响, 国际社会制定的温室气体排放政策也会对中国经济的快速发展造成极大冲击。为应对全球气候变化和未来的碳贸易, 利用卫星手段准确快速获取中国地区的大气 CO₂ 时空分布及其变化特征具有十分重要的意义。王庚晨等 (2002) 分析了 1991 年—2000 年中国大陆上空中 CO₂ 本底浓度的变化趋势和特征; 白文广等 (2010) 利用 AIRS 产品展示了 2003 年—2008 年中国区域对流层中层 CO₂ 浓度结果, 分析了其浓度变化趋势、季节、区域变化特征; Qu 等 (2013) 利用两个本底站

收稿日期: 2018-08-08; 预印本: 2019-01-09

基金项目: 河南省自然科学基金 (编号: 182300410113); 河南理工大学博士基金 (编号: B2017-08)

第一作者简介: 邓安健, 1980 年生, 男, 讲师, 研究方向为大气环境遥感。E-mail: anjie1030@126.com

点的观测数据分析了2009年—2011年中国地区大气CO₂的分布特征及变化趋势。

为应对全球气候变化,需要准确快速掌握中国地区的大气CO₂时空分布及源汇情况,特别是近期CO₂浓度的时空变化特征。在这样的背景下,本文利用日本GOSAT卫星多年的CO₂观测数据,展示中国地区2010年—2016年的大气CO₂浓度的研究结果,分析和讨论中国大陆上空近10年的大气CO₂浓度分布模式、区域差异和变化趋势等特征。本研究成果对国家低碳经济发展和城市大气环境治理有一定的理论依据和指导价值。

2 数据与研究方法

为研究中国地区多年的大气CO₂时空分布变化特征,选取2010-01至2016-12期间GOSAT卫星短波红外波段V02.xx版的CO₂二级产品作为研究数据。此外,为保证使用的GOSAT XCO₂数据集的质量,先采用地基TCCON站点观测的CO₂数据验证了GOSAT产品的精度。

2.1 GOSAT XCO₂数据集

日本GOSAT是世界上第一颗专门用于探测大气CO₂的超光谱卫星。GOSAT的轨道高度为666 km,每天绕地球14圈,回归周期为3 d,其上搭载的TANSO-FST传感器是一台迈克尔逊干涉仪,可获得3个短波红外范围的窄波段(0.76 μm、1.6 μm和2.0 μm)和一个热红外宽波段(5.5—14.3 μm)的吸收超光谱。TANSO-FST的瞬时视场为15.8 mrad,对应地表水平面高度上的天底“脚印”直径10.5 km。TANSO-FST获得的超光谱波谱数据经处理可获得XCO₂产品(Kuze等,2009)。

GOSAT短波红外CO₂二级产品是GOSAT单点观测的大气整层的XCO₂,它由GOSAT获取的3个短波红外吸收光谱采用最优估计(Rodgers等,2000)的方法反演得到。GOSAT短波红外波谱经云滤除及其他预处理,获得可用于反演的无云吸收光谱,在获取先验知识基础上,采用最优估计方法反演大气XCO₂,最后经质量滤除,得到整层大气的XCO₂产品(Yoshida等,2011,2013)。经过算法改进,V02.xx版的XCO₂产品的精度有了极大提高,经地基TCCON站点XCO₂数据验证,GOSAT短波红外V02.xx版的XCO₂产品的偏差和标准差分别为-1.48 ppm和2.09 ppm(Morino等,2011)。

2.2 研究方法

利用地基TCCON XCO₂数据验证GOSAT XCO₂产品时,采用卫星XCO₂产品相对于地基观测的平均偏差*d*及其标准差*s*用来衡量卫星产品的质量,其中,偏差是卫星产品相对于地基观测的差的均值,计算公式如式(1),标准差采用标准的标准差公式。

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (GX_i - TX_i)}{n} \quad (1)$$

式中,GX是GOSAT XCO₂值,TX是地基TCCON XCO₂观测,*n*为卫星与地基数据匹配的个数。为获得XCO₂季节的变化,将一年分为4季:3—5月划分为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月—下一年的2月划分为冬季,XCO₂季节波动*SF*如下计算

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |SM_i - SM_{i+1}|}{(n-1)} \quad (2)$$

式中,*SM*是XCO₂季节均值,*n*是总的季节数。

GOSAT XCO₂的空间分辨率约为10.5 km,在计算大气CO₂浓度分布时,考虑大气中CO₂的物理化学性质,中国大陆地区CO₂浓度分布采用大小为2.5°×2.5°的空间格网分辨率。当计算XCO₂格网数据时,根据XCO₂观测点经纬度将其划分到相应的格网。

3 结果与讨论

3.1 GOSAT XCO₂的精度验证

GOSAT XCO₂产品的精度验证不仅对反演算法的改进很关键,对XCO₂产品的应用也很重要。为保证本文中使用的卫星XCO₂产品的质量,本文采用地基TCCON站点观测的XCO₂数据对GOSAT XCO₂产品进行验证。TCCON地基站点的傅里叶变换光谱仪(FTS)获取短波红外波段的太阳直射吸收光谱,避免了大气和地表的复杂过程,且具有更高的光谱分辨率(0.02 cm⁻¹)。TCCON地基站点采用GGG软件基于非线性最小二乘的方法反演获得大气柱的XCO₂,具有非常高的反演精度,GGG2014版的XCO₂精度高达0.2%(Wunch等,2010,2011),常被用来验证卫星反演精度。

为获得在空间和时间上匹配的卫星反演和地基观测XCO₂,以地基站点中心3°经纬度范围作为空间匹配条件,选取卫星反演数据;同时,以卫

星过境前后半小时作为时间标准, 选取地基观测 XCO₂ 的均值作为验证数据。GOSAT XCO₂ 的验证结果见表 1, 共列举了南北半球范围数据量较多的 14 个 TCCON 站点的验证结果。从表 1 可以看到, 卫星反演与地基观测 XCO₂ 具有很好的一致性, 两者的相关系数高达 0.90。卫星反演的 XCO₂ 的偏差总体偏低, 14 个站点中有 11 站点的偏差为负值,

最大偏差 (−2.43 ppm) 位于 JPL 站点 (34.20°N, 118.18°W), 最小偏差 (0.02 ppm) 位于 Tsukuba 站点 (36.05°N, 140.12°E), 所有站点的平均偏差为 −1.04 ppm, 标准差为 2.13 ppm。基于表 1 的验证结果表明, GOSAT 短波红外 XCO₂ 反演数据具有较高的精度, 具备反映大气 CO₂ 浓度分布与变化特征的能力。这也与布然等(2015)的研究结果一致。

表 1 GOSAT XCO₂ 的 TCCON 地基验证

Table 1 Validate of GOSAT XCO₂ with TCCON site observations

TCCON 站点	GOSAT - TCCON			
	点数 <i>n</i>	偏差 <i>d</i> /ppm	标准差 <i>s</i> /ppm	相关系数 <i>r</i>
Sodankyla (67.37°N, 26.63°E)	92	−0.42	2.04	0.92
Bialystok (53.23°N, 23.02°E)	73	0.08	2.36	0.84
Bremen (53.10°N, 8.85°E)	23	−0.54	1.92	0.94
Karlsruhe (49.10°N, 8.44°E)	40	−0.73	1.95	0.94
Orleans (47.97°N, 2.11°E)	92	−0.41	1.74	0.95
Park Falls (45.94°N, 90.27°W)	169	0.15	2.11	0.90
Rikubetsu (43.46°N, 143.766°E)	27	−1.72	1.74	0.96
Indianapolis (39.86°N, 86.00°W)	64	−0.35	1.77	0.61
Lamont, OK (36.60°N, 97.49°W)	446	−2.25	1.78	0.86
Tsukuba (36.05°N, 140.12°E)	126	0.02	2.21	0.71
JPL (34.20°N, 118.18°W)	111	−2.43	2.41	0.70
Darwin (12.43°S, 130.89°E)	215	−0.76	1.32	0.88
Wollongong (34.41°S, 150.88°E)	145	−0.85	2.01	0.76
Lauder (45.04°S, 169.68°E)	161	−0.93	1.78	0.88
所有站点	1784	−1.04	2.10	0.90

注: *n* 为卫星与地基匹配的点数, *d* 为卫星反演 XCO₂ 与地基观测的差值的均值, *s* 为 *d* 的标准差, *r* 为卫星反演与地基观测的相关系数。

3.2 中国大陆地区 CO₂ 浓度的时空分布特征

图 1 展示了 2010 年—2016 年的中国大陆地区整层大气柱 XCO₂ 的多年均值, 数据格网大小为 2.5°×2.5°。结果显示, 中国地区 CO₂ 浓度高值主要分布在中国东南部地区, 尤其是浙江—江苏—安徽地区、京津冀地区和湖南—湖北—河南—陕西地区, CO₂ 浓度高值明显, XCO₂ 平均水平达到 400 ppm, 这与当地的人类活动水平和工农业化进程有很大关系。这些地区人口密度大, 工农业化水平较高, 重工业密集, 能源燃烧 CO₂ 排放强度大, 工业能源燃烧 CO₂ 排放占全国 CO₂ 总量排放的 85% (王金南等, 2014), 释放了大量的 CO₂ 气体进入大气。与此相反, 中国西部和东北地区, 人口相对稀少, 工业化水平相对较低, CO₂ 浓度较低。这些观测结果与 Schneising 等 (2011) 的 SCIAMACHY、

Qu (2013) 和 Zhang 等 (2015) 的 GOSAT 的观测结果一致。

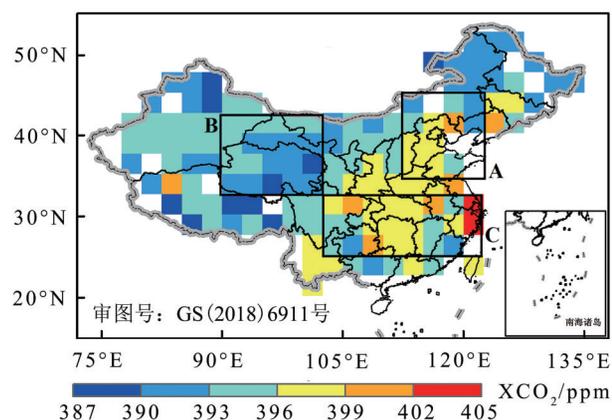


图 1 2010 年—2016 年中国大陆地区大气 CO₂ 平均浓度 (格网大小 2.5°×2.5°, 空白区域无数据)

Fig.1 Multi-year mean of CO₂ concentration from 2010—2016 over China (gridded in 2.5°×2.5°, the blank was no data)

根据图1中XCO₂分布特征, 选取3个典型地区: A区(35°N—45°N, 112°—122°E)、B区(32.5°N—42.5°N, 89.5°E—102.5°E)和C区(25°N—32.5°N, 102.5°E—122°E)(位置见图1), 进行不同区域XCO₂时空分布研究。图2显示了这3个地区CO₂浓度的月均值序列, 从图2中可以看出, 3个地区的XCO₂月均值以一年为周期进行季节性波动, CO₂浓度月均值在每年的1—3月份达到最大, 在7—9月份降到最低, 这主要受地表植被生态系统的影响。在北半球夏季, 植被生长茂盛, 光合作用大于呼吸作用, 吸收了大量的大气CO₂; 而在冬季, 植被枯萎, 光合作用达到最小, 大气中的CO₂浓度达到最大。从图中还可得到, 3个地区XCO₂月均值拟合直线斜率均为0.18 ppm/月, 均呈现显著的逐年上升趋势。

表2列出了A、B、C共3个区域CO₂浓度变化统计数据。2010年—2016年, C区的CO₂浓度均值最大, 达396 ppm, B区的最小, 为393 ppm, 这与图1中的CO₂浓度分布模式是一致的。3个地区的CO₂浓度年均增长率相当, 约为2.20 ppm/a。研究期间, A区的CO₂浓度季节波动最大(4.01 ppm),

B区的最小(2.49 ppm), 主要受地表陆地生态系统吸收和排放CO₂的影响。

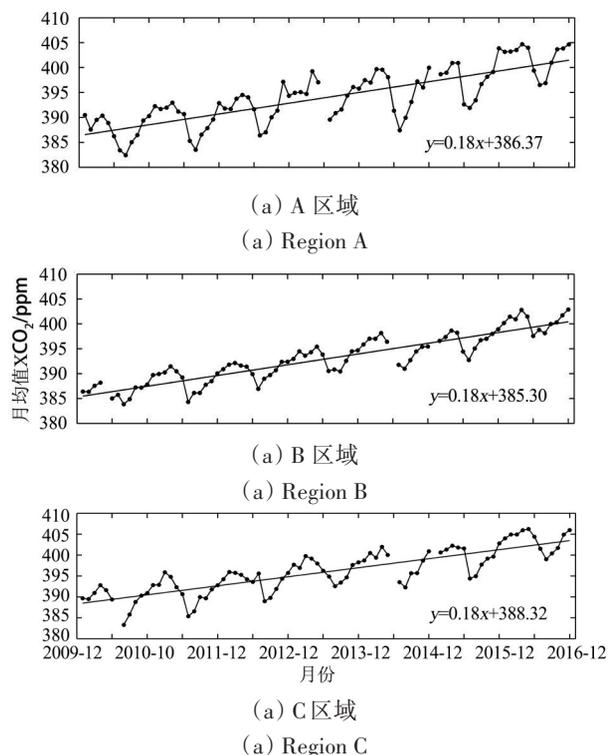


图2 中国3个地区CO₂月均值序列
Fig.2 CO₂ monthly mean over three regions in China

表2 2010年—2016年中国典型地区CO₂浓度变化统计

Table 2 Statistics of CO₂ concentration variations over 3 typical regions in China for 2010—2016

位置	多年均值/ppm	月均方差/ppm	年增长率/(ppm/a)	季节波动/ppm
A(35°N—45°N, 112°E—122°E)	394.10	5.61	2.20	4.01
B(32.5°N—42.5°N, 89.5°E—102.5°E)	393.04	4.87	2.19	2.49
C(25°N—32.5°N, 102.5°E—122°E)	396.05	5.30	2.19	3.15

3.3 中国大陆地区CO₂浓度的年际变化

图3展示了中国大陆地区2010年、2012年、2014年和2016年的4年的CO₂浓度的年均值, 从图中可以明显发现, CO₂浓度年均值的色调从2010年开始逐年由“冷”变“暖”, CO₂浓度呈现明显逐年升高的趋势, 尤其是2016年, 中国大部CO₂年均浓度均超过400 ppm, 有些地区甚至接近410 ppm。

图4展示了中国地区(22°N—42°N, 90°E—120°E)的2010年—2016年的CO₂浓度年均值和年度增长, 可以发现, 中国大陆地区CO₂浓度年均值从2010年的387.76 ppm升高到2016年的

402.18 ppm, 研究期间, CO₂浓度线性拟合的年增长率为2.31 ppm/a, 略高于全球过去十年的2.1 ppm/a的平均增长水平。从图4的右图可以看到, 中国地区CO₂浓度年增长表现出较大的年际变化。2012年—2013年观测到的高年增长(2.84 ppm)和2013年—2014年偏低的年增长(1.23 ppm)很有可能与大气/陆表生态圈间CO₂通量的变化有关(WMO, 2015); 在2015年—2016年观测到最高的年增长(接近4 ppm), 这可能由于期间中国南方发生超强厄尔尼诺事件, 产生的超热条件, 再叠加长期气候变化所致。

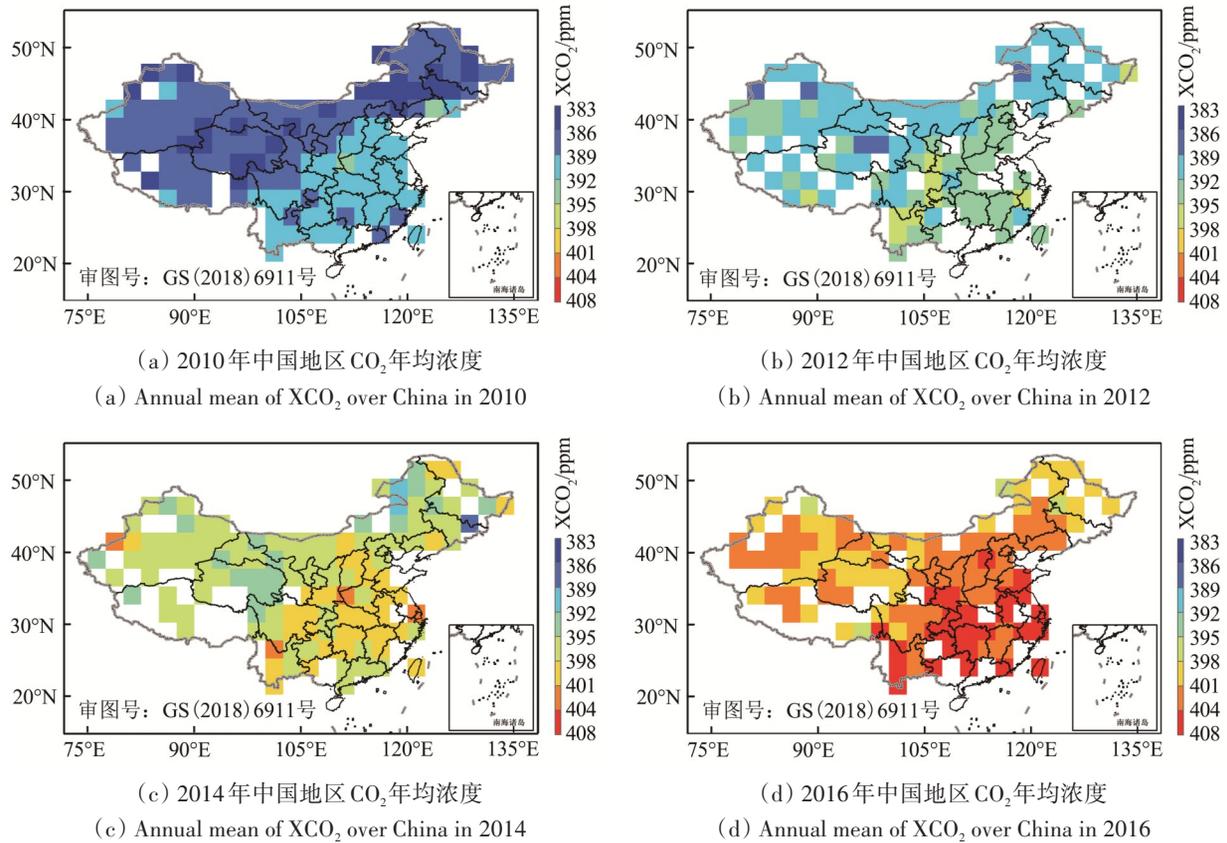


图3 中国大陆地区大气 CO₂ 浓度年均值(格网大小 2.5°×2.5°, 空白区域无数据)

Fig.3 Annual average of CO₂ concentration over China (gridded in 2.5°×2.5°, the blank area was no data)

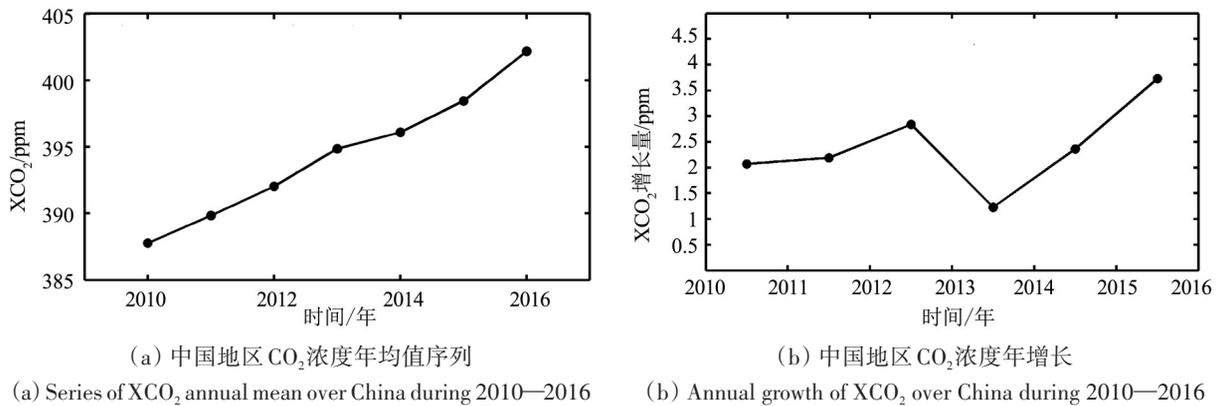


图4 中国地区(22°N—42°N, 90°E—120°E)2010年—2016年 CO₂ 浓度年均值和年增长

Fig.4 Annual average and increase of XCO₂ concentration over China (22°N—42°N, 90°E—120°E) during 2010—2016

4 结论

本文利用地基 TCCON 的 14 个站点观测 XCO₂ 数据验证了 GOSAT 短波红外 XCO₂ 产品的精度, 并利用 2010 年—2016 年 GOSAT XCO₂ 对中国地区 CO₂ 浓度空间分布特征和长时间变化规律进行了研究, 得到如下结论:

(1) GOSAT 卫星反演与地基 TCCON 观测的

XCO₂ 具有很好的一致性, 两者相关系数高达 0.90, GOSAT XCO₂ 产品相对于 TCCON 观测的偏差为 -1.04 ppm, 标准差为 2.10 ppm, 表明 GOSAT XCO₂ 具有较高的精度, 能够反映大气 CO₂ 浓度分布与变化特征; (2) 中国地区 CO₂ 浓度高值主要位于浙江—江苏—安徽地区、京津冀地区和湖南—湖北—河南—陕西地区, 2016 年中国大部地区 CO₂ 平均浓度超过 400 ppm, 表明这些地区人类活动和工农业

化进程水平较高, 释放了大量的 CO₂ 进入大气; (3) 2010年—2016年, 中国大陆地区 CO₂ 平均浓度呈现逐年增长趋势, 从2010年的 387.76 ppm 增长到2016年的 402.18 ppm, 年增长率约为 2.3 ppm/a, 略高于全球过去十年 2.1 ppm/a 的平均增长水平。本文的研究结果可为中国全球气候变化应对策略和大气环境治理提供一定的参考依据。

志 谢 感谢日本 GOSAT 团队提供的 XCO₂ 观测数据; TCCON 数据来自 Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) -tcccon.onrl.gov.

参考文献 (References)

- Bai W G, Zhang X Y, Zhang P. 2010. Temporal and distribution of tropospheric CO₂ over China based on satellite observation. *Chinese Science Bulletin*, 55(30): 2953-2960 (白文广, 张兴赢, 张鹏). 2010. 卫星遥感监测中国地区对流层二氧化碳时空变化特征分析. *科学通报*, 55(30): 2953-2960)
- Bu R, Lei L P, Guo L J, Liu D and Zeng Z C. 2015. Analysis of temporal and spatial potential applications of satellite remote sensing of atmospheric CO₂ concentration monitoring. *Journal of Remote Sensing*, 19 (1) : 34-45 [DOI: 10.11834/jrs.20154031] (布然, 雷莉萍, 郭丽洁, 刘达, 曾招城). 2015. 大气 CO₂ 浓度时空变化卫星遥感监测的应用潜力分析. *遥感学报*, 19 (1) : 34-45)
- Chevallier F. 2007. Impact of correlated observation errors on inverted CO₂ surface fluxes from OCO measurements. *Geophysical Research Letters*, 34(24), L24804.
- Chen L F, Zhang Y, Zou M M, Xu Q, Li L J, Li X Y and Tao J H. 2015. Overview of atmospheric CO₂ remote sensing from space. *Journal of Remote Sensing*, 19 (1) : 1-11 [DOI: 10.11834/jrs.20153331] (陈良富, 张莹, 邹铭敏, 徐谦, 李令军, 李小英, 陶金花). 2015. 大气 CO₂ 浓度卫星遥感进展. *遥感学报*, 19 (1) : 1-11)
- Gurney K.R., Law R.M., Denning A.S., et al. 2002. Towards robust regional estimates of CO₂ sources and sinks using atmospheric transport models. *Nature*, 415, 626-629.
- Houweling S., Breon F.M., Aben I., et al. 2004. Inverse modeling of CO₂ sources and sinks using satellite data: A synthetic inter-comparison of measurement techniques and their performance as a function of space and time. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 523-538.
- Hungerschofer K., Breon F.-M., Peylin P., et al. 2010. Evaluation of various observing systems for the global monitoring of CO₂ surface fluxes. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 503-520.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Solomon S., Qin D., Manning M., et al. 2007. *Climate change 2007: The physical science basis, contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge (UK), New York (USA).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- Kuze A., Suto H., Nakajima M., et al. 2009. Thermal and near infrared sensor for carbon observation Fourier-transform spectrometer on Greenhouse Gases Observing Satellite for greenhouse gases monitoring. *Applied Optics*, 48(35), 6716-6733.
- Miller C.E., Crisp D., DeCola P.L., et al. 2007. Precision requirements for space-based XCO₂ data. *Journal of Geophysical Research-atmospheres*, 112, D10314.
- Morino I., Uchino O., Inoue M., et al. 2011. Preliminary validation of column-averaged volume mixing ratios of carbon dioxide and methane retrieved from GOSAT short-wavelength infrared spectra. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4, 1061-1076.
- Qu Yan, Zhang Chunmin, Wang Dingyi, et al. 2013. Comparison of atmospheric CO₂ observed by GOSAT and two ground stations in China. *International Journal of Remote Sensing*, 34(11): 3938-3946.
- Rayner P.J., and O'Brien D.M. 2001. The utility of remotely sensed CO₂ concentration data in surface source inversions. *Geophysical Research Letters*. 28(1), 175-178.
- Rodgers C.D. 2000. *Inverse Methods for Atmospheric Sounding: Theory and Practice*. World Scientific, Singapore, 81-99.
- Schneising O., Buchwitz M., Reuter M. et al. 2011. Long-term analysis of carbon dioxide and methane column-averaged mole fractions retrieved from SCIAMACHY. *Atmosphere Chemistry and Physics*, 11: 2863-2880.
- Stephens B.B., Gurney K.R., Tans P.P., et al. 2007. Weak northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO₂. *Science*, 316, 1732-1735.
- Wang G C, Wen Y P, Kong Q L, et al. 2002. The background concentration and variation of CO₂ over Chinese mainland. *Chinese Science Bulletin*, 47(10): 780-783 (王庚辰, 温玉璞, 孔琴心, 等). 2002. 中国大陆上空 CO₂ 的本底浓度及其变化. *科学通报*, 47 (10): 780-783)
- Wang J N, Cai B F, Cao D, et al. 2014. China 10 km carbon dioxide emissions grid dataset and spatial characteristic analysis. *China Environmental Science*, 34(1): 1~6 (王金南, 蔡博峰, 曹东等). 2014. 中国 10km 二氧化碳排放网格及空间特征分析. *中国环境科学*, 34(1): 1~6)
- C. Le Quere, M. Moriarty, R. M. Andrew, et al., WMO (World Meteorological Organization), 2015. *Global Carbon budget 2015*. *Earth System Science Data*, 7, 349-396, 2015.
- Wunch D., Toon G.C., Wennberg P.O., et al. 2010. Calibration of the Total Carbon Column Observing Network using aircraft profile data. *Atmospheric Measurement Techniques*, 3, 1351-1362.
- Wunch D., Toon G.C., Blavier J.F.L., et al. 2011. The Total Carbon Column Observing Network. *Philosophical Transactions Of The Society A-Mathematical Physical And Engineering Sciences*, 369,

- 2087-2112.
- Yoshida Y., Ota Y., Eguchi N., et al. 2011. Retrieval algorithm for CO₂ and CH₄ column abundances from short-wavelength infrared spectral observations by the Greenhouse gases observing satellite. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4, 717-734.
- Yoshida Y., Kikuchi N., Morino I., et al. 2013. Improvement of the retrieval algorithm for GOSAT SWIR XCO₂ and CH₄ and their validation using TCCON data. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6, 1533-1547.
- Zhang Huifang, Chen Baozhang, Xu Guang, et al. 2015. Comparing simulated atmospheric carbon dioxide concentration with GOSAT retrievals. *Science Bulletin*, 60(3): 380-386.

Temporal and distribution characteristic of CO₂ concentration over China based on GOSAT satellite data

DENG Anjian^{1,2}, GUO Haibo¹, HU Jie², JIANG Chengzhen², LIU Peigeng², JING Haifeng²

1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. Yellow River Engineering Consulting Company with Limited Liability, Zhengzhou 450003, China

Abstract: Atmospheric CO₂ concentration over China has significant effects on the global climate change. To reliably predict the impact of atmospheric CO₂ on global climate change, it is necessary to clarify the distribution and variation of atmospheric CO₂ concentration. Based on long term short-wavelength infrared CO₂ dataset observed by GOSAT, the temporal variation and spatial distribution characteristics and variation trend of atmospheric CO₂ concentration was investigated and analysed over China during 2010 to 2016. To ensure the quality of GOSAT CO₂ dataset used in this paper, the GOSAT XCO₂ dataset was validated with high precise XCO₂ from ground-based TCCON sites. Multi-year mean of XCO₂ was illustrated to show the spatial heterogeneity of CO₂ concentration over China. Interannual variation and annual growth of XCO₂ was also presented and discussed. The results showed that GOSAT XCO₂ dataset was biased by -1.04 ± 2.10 ppm with respect to TCCON XCO₂, and the correlation coefficient was 0.90 between them. Seven years (2010~2016) of GOSAT CO₂ dataset showed that high CO₂ concentrations were mainly located in Zhejiang-Jiangsu-Anhui region, Beijing-Tianjin-Hebei region, and Hunan-Hubei-Henan-Shanxi region in China. The CO₂ concentration reached 400 ppm over most regions in China until 2016. The annual average of CO₂ concentration showed an increase trend year by year over China, increasing from 387.76 in 2010 to 402.18 ppm in 2016. The annual growth rate of CO₂ concentration was evaluated to be 2.31 ppm/a during this period over China, which was slightly higher than the average in the world. This paper shows that the CO₂ concentration observations from satellites could provide some references for the climate change response strategies and atmospheric environment control.

Key words: CO₂ concentration, distribution pattern, annual growth rate of CO₂, China mainland, GOSAT

Supported by Henan Natural Science Foundation Project (No. 182300410113)