

科学出版社
出版
中国地理学会环境遥感分会
中国科学院遥感与数字地球研究所
主办

JOURNAL OF REMOTE SENSING

遥感学报

2015年

Vol.19

第19卷

No.1

第1期

ISSN 1007-4619 CN11-3841 / TP CODEN YXAUAB



百种中国杰出学术期刊

遥感学报

Yaogan Xuebao

第 19 卷 第 1 期 2015 年 1 月

目 次

大气遥感专栏

- 大气 CO₂ 浓度卫星遥感进展 陈良富, 张莹, 邹铭敏, 徐谦, 李令军, 李小英, 陶金花 (1)
- 北京地区颗粒物质量消光吸湿增长模型研究
..... 陶金花, 王子峰, 徐谦, 李令军, 范萌, 陶明辉, 苏林, 陈良富 (12)
- 动态气溶胶模型的 PARASOL 多角度偏振卫星气溶胶光学厚度反演算法
..... 陈澄, 李正强, 侯伟真, 李东辉, 张玉环 (25)
- 大气 CO₂ 浓度时空变化卫星遥感监测的应用潜力分析 布然, 雷莉萍, 郭丽洁, 刘达, 曾招城 (34)
- 短波红外 CO₂ 反演过程约束研究及初步反演结果
..... 邹铭敏, 陈良富, 陶金花, 张莹, 范萌, 苏林 (46)
- 高空飞行器尾焰亚毫米波临边探测模拟与分析
..... 李小英, 陈良富, 国爱燕, 苏林, 贾松林, 陶金花, 张莹 (54)

综述

- 森林地上生物量遥感反演方法综述 刘茜, 杨乐, 柳钦火, 李静 (62)
- 关键陆表参数遥感产品真实性检验方法研究进展
..... 吴小丹, 闻建光, 肖青, 李新, 刘强, 唐勇, 窦宝成, 彭菁菁, 游冬琴, 李小文 (75)

技术方法

- 临边遥感大气辐射传输的宽光谱快速计算模型 郭晶, 杨春平, 曾丹丹, 叶玉堂, 饶长辉 (100)
- 元胞自动机最短路径算法优化 任志国, 郭健, 李爱光, 王卉, 阚映红 (108)
- 根据分形理论与五指标评价体系构建 NDVI 连续空间尺度转换模型
..... 栾海军, 田庆久, 余涛, 顾行发, 黄彦, 胡新礼, 杨闰君 (116)
- 结合多尺度几何分析和 KICA 的遥感图像变化检测 吴一全, 曹照清, 陶飞翔 (126)
- 尺度效应的叶面积指数产品真实性检验方法
..... 廖嫣然, 盖颖颖, 姚延娟, 范闻捷, 徐希孺, 闫彬彦 (143)

遥感应用

- 利用 AMSR-E 数据反演华北平原冬小麦单散射反照率 柴琳娜, 吴凤敏, 张立新, 施建成 (162)
- 基于亮温和 SVM 模型的干球温度推算方法 林奕桐, 叶骏菲, 汪嘉杨, 王永前 (172)

JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol. 19 No. 1 January, 2015)

CONTENTS

Atmospheric Remote Sensing

- Overview of atmospheric CO₂ remote sensing from space
..... CHEN Liangfu, ZHANG Ying, ZOU Mingmin, XU Qian, LI Lingjun, LI Xiaoying, TAO Jinhua (11)
- Particulate matter mass extinction hygroscopic growth model in Beijing
TAO Jinhua, WANG Zifeng, XU Qian, LI Lingjun, FAN Meng, TAO Minghui, SU Lin, CHEN Liangfu (24)
- Dynamic model in retrieving aerosol optical depth from polarimetric measurements of PARASOL
..... CHEN Cheng, LI Zhengqiang, HOU Weizhen, LI Donghui, ZHANG Yuhuan (32)
- Temporal and spatial potential applications of satellite remote sensing of atmospheric CO₂ concentration
monitoring BU Ran, LEI Liping, GUO Lijie, LIU Da, ZENG Zhaocheng (45)
- CO₂ retrieval and preliminary retrieval results from space-based observations in shortwave infrared band
..... ZOU Mingmin, CHEN Liangfu, TAO Jinhua, ZHANG Ying, FAN Meng, SU Lin (53)
- Sub-millimeter wave limb sounding simulation of the plume flow of a high-flying vehicle
..... LI Xiaoying, CHEN Liangfu, GUO Aiyun, SU Lin, JIA Songlin, TAO Jinhua, ZHANG Ying (61)

Review

- Review of forest above ground biomass inversion methods based on remote sensing technology
..... LIU Qian, YANG Le, LIU Qinhua, LI Jing (74)
- Advances in validation methods for remote sensing products of land surface parameters
..... WU Xiaodan, WEN Jianguang, XIAO Qing, LI Xin, LIU Qiang,
..... TANG Yong, DOU Baocheng, PENG Jingjing, YOU Dongqin, LI Xiaowen (92)

Technology and Methodology

- Wide spectrum and rapid calculation model for atmospheric radiative transfer in limb remote sensing
..... GUO Jing, YANG Chunping, ZENG Dandan, YE Yutang, RAO Changhui (93)
- Optimal path algorithm enhancement based on cellular automaton
..... REN Zhiguo, GUO Jian, LI Aiguang, WANG Hui, KAN Yinghong (115)
- Establishing continuous spatial scaling model of NDVI on fractal theory and five-index estimation system
..... LUAN Haijun, TIAN Qingjiu, YU Tao, GU Xingfa, HUANG Yan, HU Xinli, YANG Yanjun (125)
- Change detection of remote sensing images by multi-scale geometric analysis and KICA
..... WU Yiquan, CAO Zhaoqing, TAO Feixiang (132)
- Validation methods of LAI products on the basis of scaling effect
..... LIAO Yanran, GAI Yingying, YAO Yanjuan, FAN Wenjie, XU Xiru, YAN Binyan (134)

Remote Sensing Applications

- Estimating single scattering albedo of winter wheat over the North China Plain using AMSR-E data
..... CHAI Linna, WU Fengmin, ZHANG Lixin, SHI Jiancheng (153)
- Calculation method for dry-bulb temperature on the basis of brightness temperature and SVM model
..... LIN Yitong, YE Junfei, WANG Jiayang, WANG Yongqian (177)

大气 CO₂ 浓度时空变化卫星遥感监测的应用潜力分析

布然^{1,2}, 雷莉萍¹, 郭丽洁^{1,3}, 刘达^{1,3}, 曾招城⁴

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100094;

2. 西安科技大学, 陕西 西安 710054;

3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 香港中文大学 太空与地球信息科学研究所, 中国 香港 999077

摘要: GOSAT 卫星观测反演大气 CO₂ 浓度精度已经提高到了 1—2 ppm, 而卫星数据能否准确地揭示全球和区域大气 CO₂ 浓度变化特征还缺乏充分的评价与分析。本文针对已经连续运行观测 3 年的 GOSAT 卫星, 收集了来自美国 NASA-OCO 团队 (ACOS) 和日本环境研究所 GOSAT 团队 (NIES) 基于各自算法反演的两套大气 CO₂ 柱浓度数据, 描述并分析了全球大气 CO₂ 时空变化特征。分析结果表明, 从 XCO₂ 反演的绝对值结果来看 ACOS 总体上比 NIES 的高出约 2 ppm 左右, 但从时空的相对变化上它们揭示了相近的大气 CO₂ 浓度时空变化特征。两套数据显示出全球平均大气 CO₂ 浓度在 2010 年—2012 年的 3 年期间年增量分别为 1.8 ppm 和 2.0 ppm; 季节变化幅度, 北半球最大 4—6 ppm, 南半球最大约 2 ppm, 这与地面观测结果基本一致。进一步将 EDGAR 4.2 人为排放总量格网化数据与 GOSAT 卫星观测反演的 CO₂ 浓度进行相关统计分析, 结果指出两套数据对人为排放量有着微弱的响应。本文结果指出目前 GOSAT 卫星观测反演的 XCO₂ 可以检测出全球和区域大气 CO₂ 浓度的年变化、季节变化和区域空间变化的特征; GOSAT 卫星 10.5 km 空间分辨率的观测虽难于检测出点源的浓度变化, 但从区域上对人为排放的累积效应的监测显示了一定的应用潜力。

关键词: GOSAT, 大气 CO₂ 浓度, 时空变化, 人为排放

中图分类号: TP79

文献标志码: A

引用格式: 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

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]

1 引言

地面观测已经表明大气二氧化碳 (CO₂) 的浓度已经从工业革命之初的 280 ppm 上升到了 393 ppm ([2014-02-10] <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/bulletin/Bulletin2012/ghy-bulletin-9.pdf>), 而人为排放是导致其浓度升高的主要原因。大气 CO₂ 浓度的升高对全球大气的增温有着重要的贡献。根据世界温室气体数据中心 WDCGG

(World Data Centre for Greenhouse Gases) 2013 年发布的最新报告, 由全球大气观测网 GAW (Global Atmosphere Watch) 进行的温室气体连续观测结果表明, 全球大气中 CO₂ 平均摩尔分数在 2012 年创出新高, 为 393.1 ± 0.1 ppm, 为工业革命前 (1750 年前) 的 141%, 同时 2012 年比 2011 年大气 CO₂ 浓度增加 2.2 ppm, 较 2011 年相对增长 0.56%, 高于过去十年增速的平均值 0.18 ppm ([2014-02-10] <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/prod->

收稿日期: 2014-02-10; 修订日期: 2014-06-30; 优先数字出版日期: 2014-07-07

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) (编号: 2012AA12A301); 中国科学院战略性先导科技专项 (编号: XDA050401)

第一作者简介: 布然 (1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为 GOSAT 卫星大气 CO₂ 浓度变化监测。E-mail: buran19871223@Hotmail.com

通信作者简介: 雷莉萍 (1962—), 女, 研究员。主要从事光学遥感观测机理与应用、遥感数据处理与信息提取的研究。E-mail: lplei@ceode.ac.cn

ucts/bulletin/Bulletin 2012/ghy-butletin-9. pdf)。

GAW 的观测站点分布在没有或受人为排放源影响很小的地方,该站网提供的观测数据揭示了全球尺度上大气 CO₂ 本底浓度的年变化和季节变化趋势,但不能把握区域特别是对于有着大型排放源区域的 CO₂ 浓度变化特征,为此需要大量的全球分布的大气 CO₂ 浓度时空观测数据。在 GAW 观测网络中,总碳柱观测网 TCCON (Total Carbon Column Observing Network) 建立于 2004 年,并于 2009 年作为贡献网络参加 GAW。TCCON 站点选址要求更为苛刻,条件限定在 100 km 以内无明显人类活动影响、且站点区域几十年内土地利用状况不会有明显改变的地方,因此这些站点的观测数据已被作为揭示地球大气本底浓度的分析依据之一。TCCON 利用 FTS (Fourier transform Sensor) 由地对空获取直接太阳辐射中 4000—9000 cm⁻¹ 范围的近红外部分的光谱数据,采用非线性的最小二乘光谱匹配算法反演大气中 CO₂、CH₄、N₂O、HF、CO、H₂O 和 HDO 等大气成分的柱浓度。TCCON 分发的大气 CO₂ 分子在大气层中占空气柱总量的比率 (XCO₂) 数据是经过不同站点间标准化流程处理后的数据,该观测数据具有良好的稳定性,在晴天或有少量云的条件下,FTS 仪器的测量精度可达 0.25%。TCCON 观测数据已成为验证和系统校正卫星观测反演的大气 CO₂ 浓度数据的主要地面数据源。目前全球已有 15 个站点的在线数据可以使用 ([2014-02-10] <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/bulletin/Bulletin 2012/ghy-butletin-9. pdf>; 雷莉萍等,2014)。

利用卫星遥感技术,通过星上传感器观测获取大气 CO₂ 特有的光谱吸收特征反演得到大气 CO₂ 浓度已成为获取全球大气 CO₂ 浓度数据的重要手段之一 (Buchwitz 等,2013)。卫星遥感观测数据具有观测方法统一、周期性、覆盖范围广的优势;较地面观测可以覆盖全球各种区域。目前在轨运行观测大气 CO₂ 的卫星有 AIRS (Atmospheric InfraRed Sounder)、IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer)、GOSAT (Greenhouse Gases Observing Satellite) 等。其中 GOSAT 卫星是全球首颗以温室气体为观测目标的遥感观测卫星 (Yoshida 等,2011)。未来还将有多颗以监测 CO₂ 净排放为目标的卫星如美国 OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory)、欧洲 CarboSat、中国 TanSat、日本 GOSAT-2 等计划发射 (Buchwitz 等,2013;刘毅等,2011)。随着算法的改

进,基于 GOSAT 卫星观测反演的大气 CO₂ 浓度的精度已可以达到 1 ppm 左右 (Cogan 等,2012)。GOSAT 卫星自 2009 年发射后已经积累了 3 年以上的观测数据。目前美国航空航天局 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 的 ACOS 团队 (Atmospheric CO₂ Observations from Space) 和日本环境研究所的 NIES 团队 (National Institute for Environmental Studies) 分别利用 GOSAT 卫星传感器 FTS 观测的短波红外 SWIR (ShortWave InfraRed) 数据,基于各自研发建立的 CO₂ 浓度反演算法的数据处理,分别公开发布了 L2 级大气 CO₂ 柱浓度数据产品 ([2014-02-10] http://data.gosat.nies.go.jp/Gosat-UserInterfaceGateway/guig/doc/documents/ReleaseNote_FTSSWIRL2_V02.xx_RA_en.pdf; NASA, 2013), 以下本文将其简称为 ACOS-XCO₂ 和 NIES-XCO₂。这两套数据的反演都使用的是 GOSAT FTS L1B 数据,但两个团队各自研发的反演算法在 FTS-SWIR 数据的波长和谱段的选取、光路中气溶胶的反演、云检测算法以及后期的数据筛选处理等都有所不同,使得二者的数据产品存在着一定的差异。经地面 TCCON 观测站点的验证,两套数据的平均偏差均在 2 ppm 以下 ([2014-02-10] http://data.gosat.nies.go.jp/GosatUserInterfaceGateway/guig/doc/documents/ATBD_FTSSWIRL2_V1.1_en.pdf; Crisp 等,2012; Wunch 等,2011)。

大气 CO₂ 的卫星观测数据一方面可以为地球表面碳源/碳汇的研究提供良好的约束 (Feng 等,2011); 另一方面通过 CO₂ 浓度的变化梯度可以推断碳源/碳汇的分布 (Dufour 和 Bréon,2003; Keppel-Alek 等,2013)。为了从相对较大的本底信号 (约 395 ppm) 中提取出那些相对较小的变化梯度值 (1—3 ppm),对卫星观测 CO₂ 浓度提出了更高精度要求。以往研究已经表明为揭示大气 CO₂ 浓度的时空变化特征,要求 CO₂ 浓度观测数据的偏差在 2 ppm 以下 (Bovensmann 等,2010)。Slim 等人 (2013) 利用 ACOS-XCO₂ 的 Version 2.9 数据研究指出亚洲区域的 XCO₂ 显示了 10 ppm 以上最大与最小的季节变化幅度,而经过系统偏差校正的 ACOS-XCO₂ 数据显示出包含亚洲的同纬度带区域其季节变化幅度在 8 ppm 左右。目前为止针对基于 GOSAT 观测数据反演的不同 XCO₂ 数据所揭示的全球和区域大气 CO₂ 浓度时空变化特征还缺乏深入的评价和分析。本研究利用基于 GOSAT 卫星观测数据反演的大气 CO₂ 浓度数据产品,以及 ACOS 与 NIES

两个团队利用不同反演方法得到的 ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 产品,结合全球区域 CO₂ 人为排放源 EDGAR (Emission Database for Global Atmospheric Research) 数据,评价分析了两套 XCO₂ 数据所揭示的全球和区域大气 CO₂ 浓度变化特征及其不确定性,对 CO₂ 观测卫星在监测人为排放引起的 CO₂ 浓度变化方面的遥感应应用潜力进行了初步分析和探索。

2 资料与方法

2.1 XCO₂ 数据

本文收集了 ACOS 与 NIES 两个团队分发的 ACOS v3.3 和 GOSAT v02.xx 大气 CO₂ 柱浓度数据。

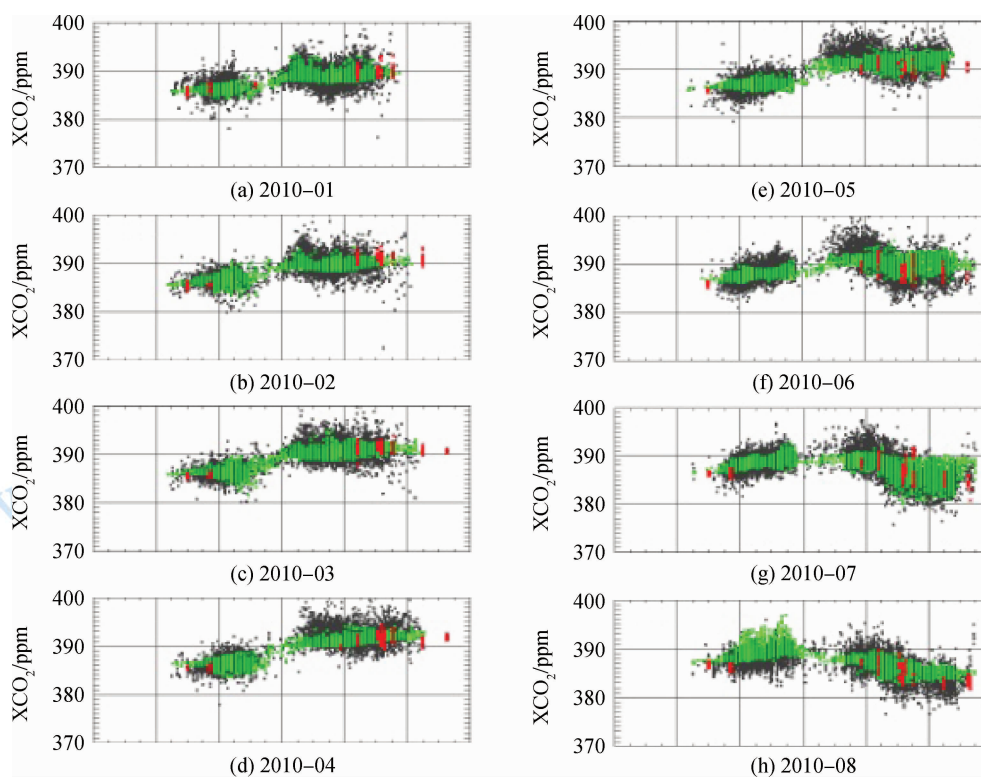
ACOS 研究团队在对 ACOS-XCO₂ 陆地区域数据的精度评价分析时发现由地表反照率、大气压力以及气团参数引起的系统偏差可以由多元线性关系进行校正(Wunch 等,2011)。为提高使用数据精度,本文首先按 ACOS 发布的数据筛选条件阈值进行过滤,再对筛选后的数据进行了系统偏差校正(NASA,2013),由此处理生成出满足于科学分析的 ACOS-XCO₂ 数据集。

ACOS-XCO₂ 的系统偏差校正公式仅适用于陆地地区,因此本文以全球陆地区域为对象进行了数

据处理和分析。

2.2 原始 XCO₂ 数据集的验证对比

本文利用 TCCON 观测站数据和 GEOS-Chem 大气传输模型模拟数据,对偏差校正处理后的 2010 年的 ACOS-XCO₂ 数据进行了精度验证分析。GEOS-Chem 模型模拟数据为利用 GEOS-Chem 模型以 2° × 2.5° 格网、GOSAT 卫星过境时间(地方时 13:00 左右)前后两小时为单元,模拟的 47 层大气 CO₂ 浓度数据,并基于平均核函数将 47 层数据换算为柱浓度。图 1 显示了 2010 年每月的偏差校正后 ACOS-XCO₂ 值、TCCON 观测的 XCO₂ 值,以及对应 ACOS-XCO₂ 数据点提取出的模型模拟 XCO₂ 值沿纬度的变化。总体上,偏差校正后 ACOS-XCO₂ 值与 TCCON 观测值的偏差在 1.40 ppm;与模型模拟对比全球平均差值为 1.78 ppm,除 4 月—7 月期间外,ACOS-XCO₂ 沿纬度的变化趋势与模型模拟相近。对于 NIES-XCO₂ 数据集,也进行了同样的对比分析,结果显示 NIES-XCO₂ 值与 TCCON 观测和模型模拟 XCO₂ 值除高纬度区域显示较大偏差外,标准偏差均在 2 ppm 左右(雷莉萍 等,2014)。进一步对 ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 进行比较(图 2),结果显示,ACOS-XCO₂ 值总体较 NIES-XCO₂ 值大 2 ppm,并且 ACOS 数据的离散度要低于 NIES 数据产品。



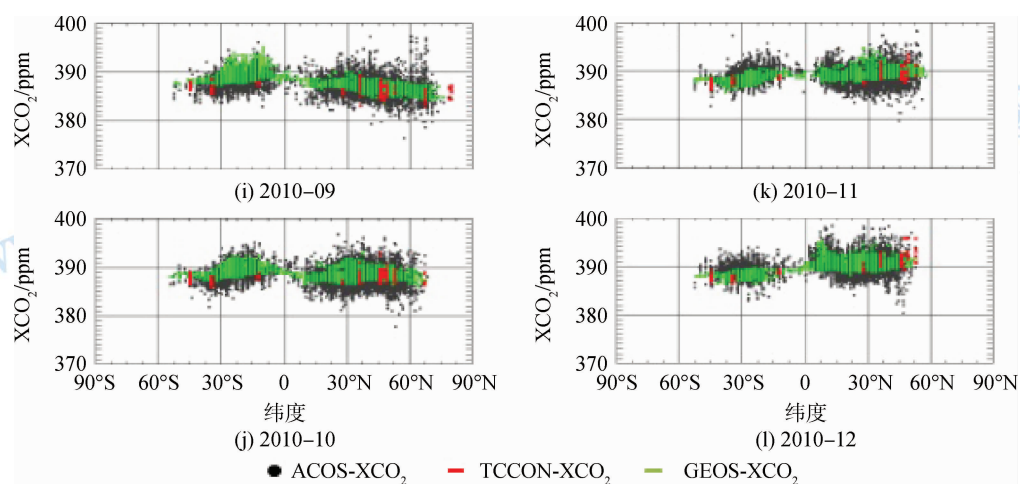
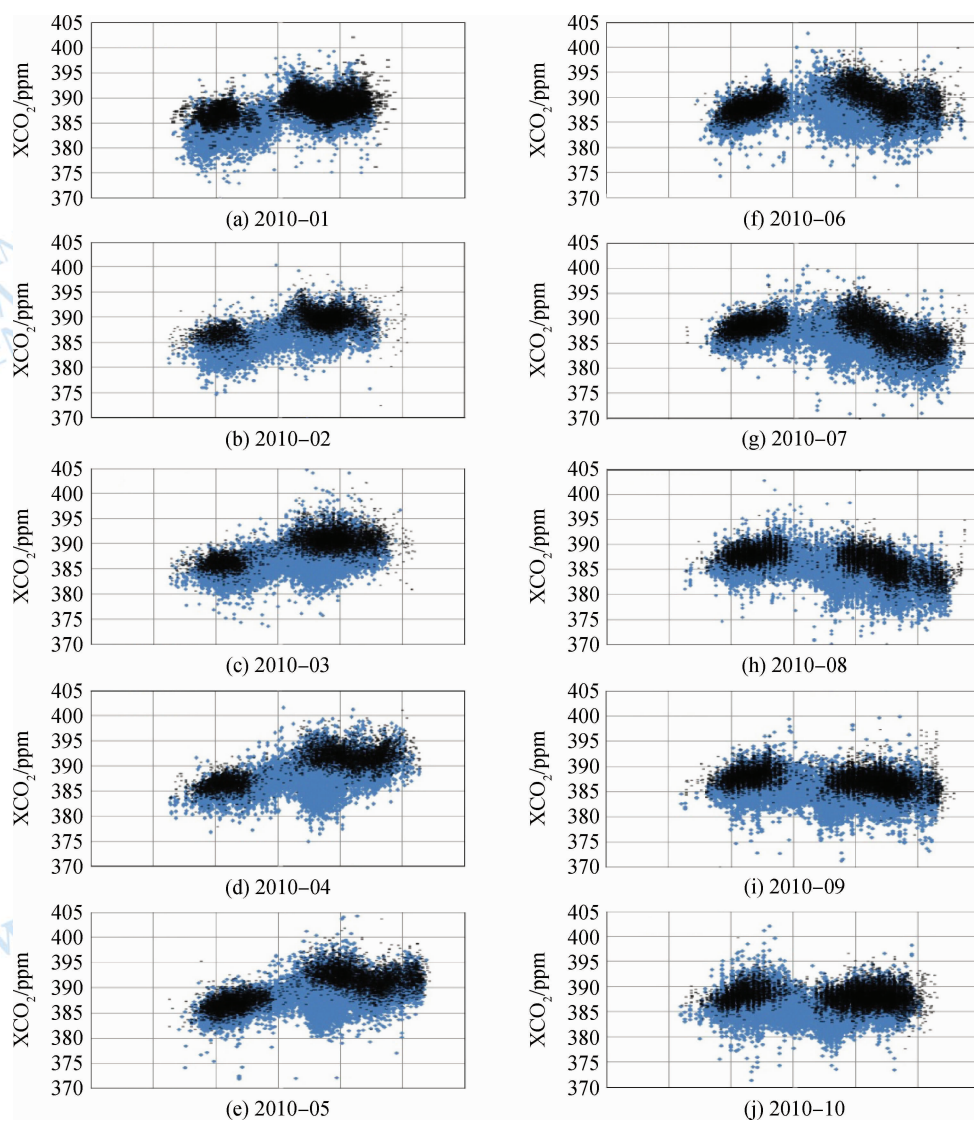


图1 ACOS-XCO₂ (原始 footprints 的 XCO₂)、GEOS-XCO₂ 日均值与 TCCON-XCO₂ 数据的全球比较

Fig. 1 Comparison of ACOS-XCO₂, GEOS-XCO₂ and TCCON data



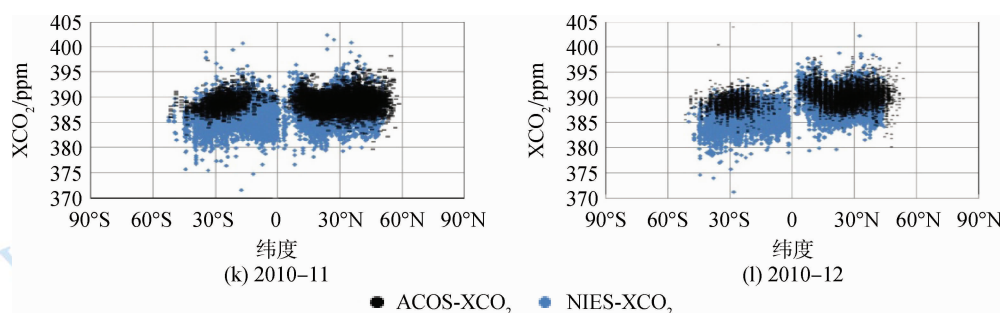


图2 ACOS-XCO₂ 的原始 footprints 点与 NIES-XCO₂ 的原始 footprints 点的全球比较

Fig. 2 In the same latitudinal band, the variation of NIES-XCO₂ is larger than ACOS-XCO₂

虽然 NIES-XCO₂ 与 ACOS-XCO₂ 来源于同样的 GOSAT 观测点,但由于算法中其筛选条件有所差异,因此两套数据点的空间和时间分布不尽相同。为使两套数据有可比性,将全球按 $2^\circ \times 2.5^\circ$ 格网划分,分别对 ACOS-XCO₂ 和 NIES-XCO₂ 两套数据进行了格网计算处理。首先以月为单位,计算落入格网内观测点的均值,由此处理生成 ACOS-XCO₂ 和 NIES-XCO₂ 月均值数据集。利用月均值数据分析了全球和区域大气 CO₂ 浓度时空变化特征。

2.3 EDGAR 数据

为探讨卫星观测对于监测人为排放所引起的大气 CO₂ 浓度变化的应用,本文收集了 2008 年 EDGAR 4.2 数据。该数据是由欧盟联合研究中心 JRC (European Commission, Joint Research Centre) 和荷兰环保局 (Netherlands Environmental Assessment Agency) 联合开发的全球 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 温室气体排放空间网格数据库。EDGAR 数据主要来源于国际能源署 IEA (International Energy Agency) 的排放点源数据库和全球能源统计数据,通过按照国家区域对全球进行划分,结合每个国家公布的 CO₂ 排放数据(包含直接或间接)、全球人口分布、土地利用/覆盖、道路网络等数据并进行空间网格化计算得到年排放值,是 IEA 每年全球 CO₂ 排放统计公告的重要数据来源(蔡博峰,2012)。数据库中温室气体排放源分类完全依照 IPCC 分类体系,其中 CO₂ 排放源包括能源燃烧排放、逃逸排放、工业过程排放和生物源排放等。

球分布情况。由于观测时的云覆盖、气溶胶等观测条件的影响,导致 GOSAT 观测数据覆盖在季节上和空间上分布不均,加之 ACOS 与 NIES 各自数据的筛选条件不一,使得 ACOS 数据和 NIES 数据的空间分布有所差异。由图 2 可以看到,GOSAT 在 30°S 和 30°N 左右地区观测数据点最多,在 20°S — 40°S 和 30°N — 50°N 两个纬度带区域内集中了 40% 以上的数据量,而高纬度和赤道附近地区观测数据少,且由于太阳高度角和地球表面雪覆盖强反照率的影响北半球高纬度区域,冬季没有观测数据,夏季观测数据空间分布非常不均。

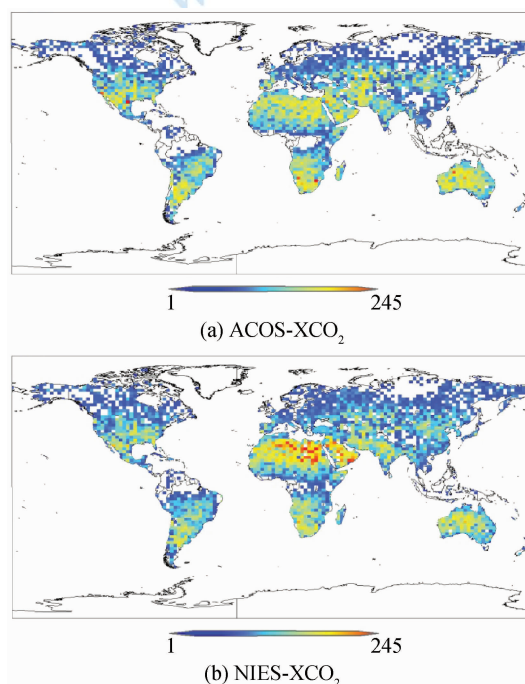


图3 2010 年 ACOS—XCO₂ 与 NIES—XCO₂ 全球分布情况

Fig. 3 The Global frequency distribution of ACOS-XCO₂ and NIES-XCO₂ in 2010

3 结果与讨论

3.1 XCO₂ 数据空间覆盖特征

图3 为 2010 年 ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 全

3.2 XCO₂ 的季节变化特征

利用图2所示 ACOS 和 NIES 在 30°N—50°N 和 20°S—40°S 两个纬度带区域内集中了 40% 以上的反演结果数据,统计分析了这两个纬度带的季节变化特征。以往的地面观测分析报告指出这两个纬度带有着南北半球典型的大气 CO₂ 变化特征,在 30°N—50°N 区域集中了人类活动也就是很强的人为排放区同时也是草原和森林植被密集区域,有着

明显的 CO₂ 浓度季节变化;而 20°S—40°S 区域由于人为排放和植被活动均比较弱,CO₂ 浓度的季节变化很小([2014-02-10] [http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products_bulletin/Bulletin 2012/ghybutletin-9. pdf](http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products_bulletin/Bulletin%2012/ghybutletin-9.pdf);Wunch 等,2011)。

图4分别给出了 30°N—50°N 和 20°S—40°S 纬度带内 ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 随季节变化的散点图及其月均值、以及 ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 的差值。

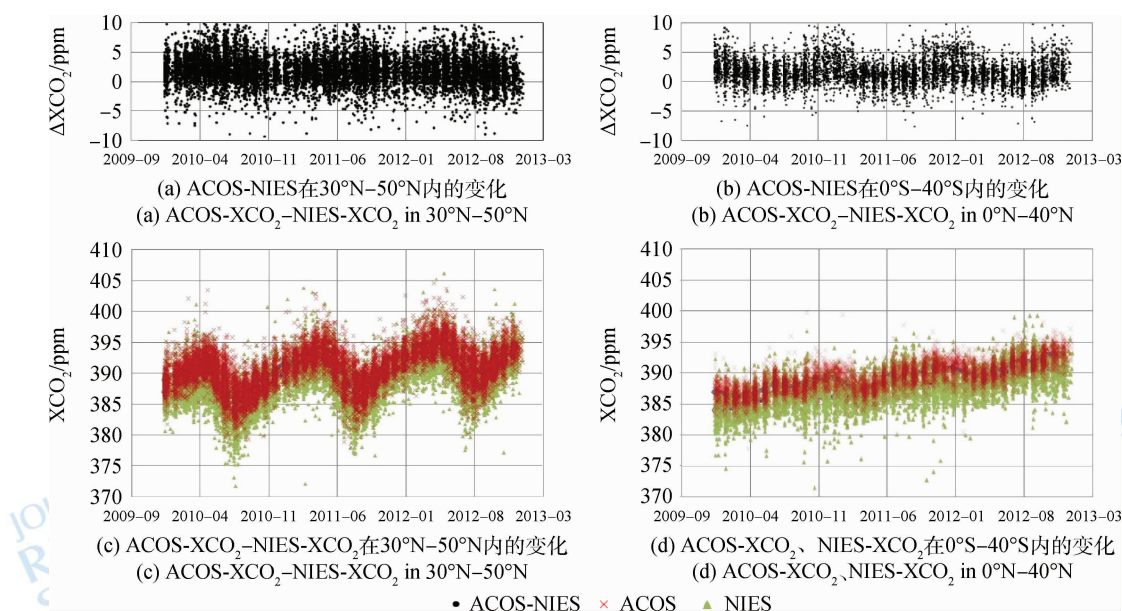


图4 在 ACOS-XCO₂ 和 NIES-XCO₂ 北半球和南半球的变化

Fig.4 The difference between ACOS-XCO₂ and NIES-XCO₂ is about 2 ppm

引起大气 CO₂ 浓度时空变化的主要原因在人为碳排放导致浓度的升高和地球陆地海洋生态系统的 CO₂ 吸收导致浓度的下降;夏季植被光合作用的 CO₂ 吸收将导致大气 CO₂ 浓度下降,而冬季光合作用的减弱导致 CO₂ 浓度的升高,从而使得大气 CO₂ 浓度有规律的季节性变化。以往以地面观测为主的大气 CO₂ 浓度变化分析结果已经表明,北半球集中了北美、欧洲和东南亚 3 个全球 CO₂ 人为排放高强度区,虽然较南半球,陆地面积比率大,但由于植被吸收作用具有明显的季节性,因此北半球的人为排放和植被生态系统吸收导致了大气 CO₂ 浓度随季节发生很大的变化,季节变化幅度在 5 ppm 左右(Kuai 等,2013);相比较,位于南半球的中南美洲、非洲中南部及大洋洲的人为排放量则较小,加之南半球的南美洲和非洲中南部还分布着热带雨林,是地球重要的碳汇,它们每年平均可以吸收固定 12 亿吨二氧化碳气体(Lewis 等,2009)。南半球

人为排放与植被吸收作用保持相对平衡,使得大气 CO₂ 浓度随季节变化很小。由图4可以看出,在北半球无论是哪种算法均显示了卫星观测结果与地面观测一致的季节性变化规律,而南半球却有所不同。

统计南北纬度带的 XCO₂ 值(表1),发现在北半球 ACOS-XCO₂ 虽然总体趋势高于 NIES-XCO₂,但两者均显示了相近的季节变化特征,均在 8 月显示了最小值,5 月显示了最大值,季节变化幅度在 4.7—6.3 ppm。与北半球相比,南半球的 ACOS 与 NIES 均显示出微弱的季节变化(图4),但这微弱的季节变化规律却不完全相同。南半球的 ACOS-XCO₂ 显示了与北半球相反的季节变化,最大值在 11 月,最小值在 2 月,季节差异在 2.7—3.4 ppm。而对于南半球的 NIES-XCO₂ 数据,与北半球并没有形成相反的峰值,3 年中最大值在 10 月或 11 月,最小值在 1 月,季节差异值在 2.7—3.4 ppm。

表1 南北纬度带 XCO₂ 浓度的季节变化Table 1 The seasonal variation of XCO₂ for different latitude band

XCO ₂ /ppm		纬度带					
		30°N—50°N			20°S—40°S		
		ACOS	NIES	ACOS-NIES	ACOS	NIES	ACOS-NIES
2010 年	年均值	389.2	387.1	2.1	387.6	385.6	1.9
	标准偏差	1.8	1.9		1	1.2	
	最大值	391.8(5 月)	389.3(5 月)	2.5	389.0(11 月)	386.8(11 月)	2.2
	最小值	386.2(8 月)	383.6(8 月)	2.7	386.3(2 月)	383.8(1 月)	2.6
	季节变化幅度	5.6	6.7	-1.1	2.7	3	-0.3
2011 年	年均值	391.1	389.2	1.9	389.1	387.5	1.6
	标准偏差	2.1	2.3		1.2	1.2	
	最大值	393.6(5 月)	391.9(5 月)	1.7	390.9(11 月)	388.4(11 月)	2.5
	最小值	388.0(8 月)	385.5(8 月)	2.4	387.5(4 月)	385.7(1 月)	1.8
	季节变化幅度	5.6	6.4	-0.8	3.4	2.7	0.7
20102	年均值	393.1	391.4	1.7	391.3	389.6	1.7
	标准偏差	1.8	1.9		1.3	1.3	
	最大值	395.1(5 月)	393.2(5 月)	1.9	393.2(11 月)	391.0(10 月)	2.2
	最小值	390.4(8 月)	388.5(8 月)	1.8	389.8(2 月)	387.6(1 月)	2.3
	季节变化幅度	4.7	4.7	0	3.5	3.4	0.1

注:最大值、最小值下标注的月份即一年中最值对应出现的月份。

GOSAT 观测 XCO₂ 的年增量来看,从 2010 年—2011 年和 2011 年—2012 年, ACOS-XCO₂ 均为 1.8 ppm, NIES-XCO₂ 分别为 2.0 ppm、2.2 ppm; NIES-XCO₂ 与 WMO 报告中地面观测的 2010 年—2011 年和 2011 年—2012 年年增量一致,分别为 2.0 ppm、2.2 ppm ([2014-02-10] [http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/bulletin/Bulletin 2010/ghy-bulletin-7.pdf](http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/bulletin/Bulletin%2010/ghy-bulletin-7.pdf); [2014-02-10] [http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/bulletin/Bulletin 2011/ghy-bulletin-8.pdf](http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/bulletin/Bulletin%2011/ghy-bulletin-8.pdf))。

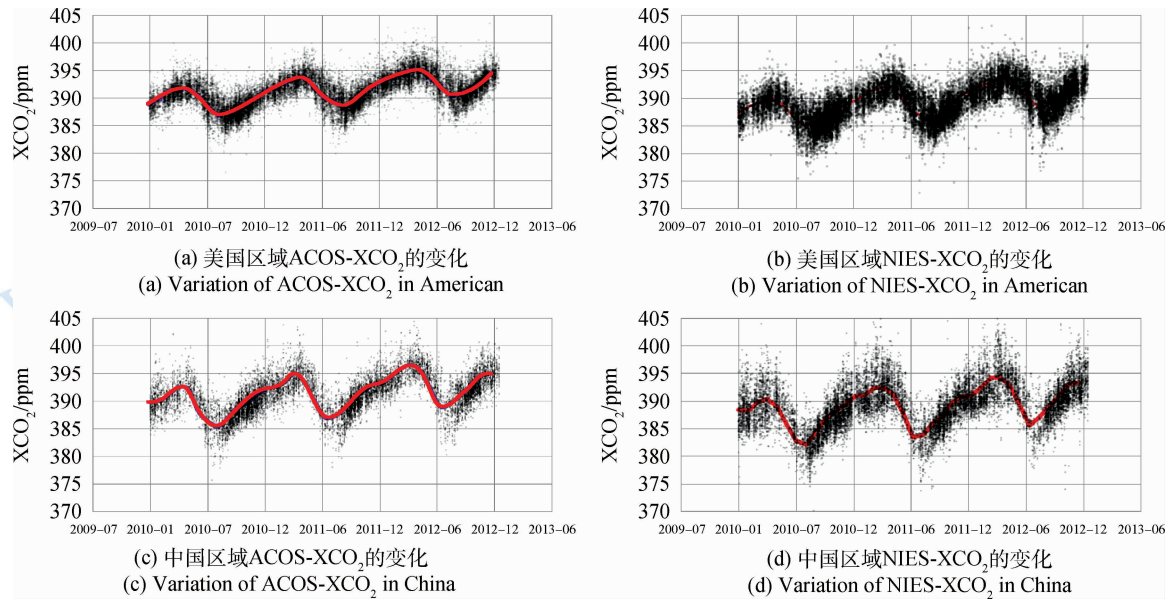
3.3 XCO₂ 的区域变化特征

以上的结果显示了卫星观测反演的 CO₂ 柱浓度在全球尺度上为揭示的大气 CO₂ 浓度的季节变化,本节针对区域尺度上卫星观测的 CO₂ 浓度的变化特征进行分析。本文选择人为 CO₂ 集中排放量比较大且基本地处同一纬度带 20°N—50°N 上的美国与中国区域进行对比分析。图 5 分别给出了美国和中国区域 ACOS-XCO₂ 和 NIES-XCO₂ 数据以及区域月均值的变化;表 2 对应图 5 的数据统计了 2010 年—2012 年的季节和年变化。

由图 5 可以看到, ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 在

两个区域均显示了明显的季节变化特征。进一步由表 2 的统计结果可得出,从两个算法反演产生的两套数据的差异来看,无论 XCO₂ 的均值、最大值、最小值还是季节变化幅度,美国区域的 ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 的差值均明显小于中国区域,在最小值与最大值的季节变化幅度上,两套数据均显示了中国区域 XCO₂ (7—8 ppm) 明显大于美国区域 XCO₂ (4.6—5.4 ppm)。这与 GOSAT 观测数据的空间分布有关,在中国区域 GOSAT 观测主要在北部地区(主要分布有草原和森林植被且人为排放活动不强)有反演数据可用(图 3),而美国区域从南到北 GOSAT 观测数据分布较为均匀,因此中国区域较美国区域突出反应了植被 CO₂ 吸收的季节变化,在植被覆盖较好的区域,不同算法的差异较大。

另一方面,表 2 说明两个区域均显示了在 7—8 月(最小值)时期 ACOS-CO₂ 与 NIES-CO₂ 的差(2.2—3.4 ppm)要大于 4—5 月(最大值)时期的差(1.3—2.5 ppm),表明在植被吸收强季节 CO₂ 浓度反演算法的影响要大于植被活动弱时期的反演。以上区域比较和季节比较的结果,均表明了植被活动的 XCO₂ 数据显示了较大的不确定性。

图5 美国区域和中国区域 XCO₂ 的季节变化Fig.5 The seasonal variation of XCO₂ in China and USA表2 区域 XCO₂ 浓度变化的比较Table 2 The comparison about XCO₂ seasonal variation between USA and China

XCO ₂ /ppm		区域					
		美国区域			中国区域		
		ACOS	NIES	ACOS-NIES	ACOS	NIES	ACOS-NIES
2010 年	年均值	389.5	387.7	1.8	389.4	387.1	2.2
	标准偏差	1.6	1.7		2.3	2.8	
	最大值	391.8(5月)	390.1(5月)	1.7	392.5(4月)	390.5(4月)	2.1
	最小值	387.1(8月)	384.9(8月)	2.2	385.4(8月)	382.1(8月)	3.3
	季节变化幅度	4.7	5.2	-0.5	7.1	8.4	-1.3
2011 年	年均值	391.4	389.5	1.9	391.3	388.9	2.4
	标准偏差	1.7	2		2.6	3.2	
	最大值	393.8(5月)	392.2(5月)	1.6	395.1(4月)	392.6(4月)	2.5
	最小值	388.5(9月)	386.3(9月)	2.2	387.1(7月)	383.5(7月)	3.7
	季节变化幅度	5.4	5.9	-0.5	7.9	9.1	-1.2
2012 年	年均值	393.1	391.5	1.6	393.3	391.1	2.2
	标准偏差	1.6	1.8		2.5	2.8	
	最大值	395.1(4月)	393.8(4月)	1.3	396.5(4月)	394.2(4月)	2.3
	最小值	390.6(8月)	388.2(8月)	2.4	389(7月)	385.6(7月)	3.4
	季节变化幅度	4.6	5.6	-1.0	7.5	8.6	-1.1

注：表中最大值、最小值下标注的月份即一年中最值对应出现的月份。

3.4 人为排放引起的 CO₂ 浓度变化

人为排放是引起全球大气 CO₂ 浓度升高的主要原因。目前有着 2 ppm 反演误差的 GOSAT 观测

能否对区域排放所引起的大气 CO₂ 浓度的变化有敏感响应还不明确。在此本文利用人为排放数据探讨了 GOSAT 观测数据对人为排放量的响应关系。

本文使用的人为排放 CO_2 (EDGAR 4.2 格网数据) 的排放源包括能源燃烧排放、逃逸排放、工业过程排放和生物源排放等 1970 年—2008 年连续 39 年的数据通过对连续 39 年的 EDGAR 数据进行回归分析发现,数据呈现线性增加的趋势(图 6),相关系数为 0.95,显著性水平为 0.05,由此可以说明,EDGAR 4.2 数据中人为排放量随年份时间变化而呈近似线性增长趋势。本文利用连续 39 年 EDGAR 4.2 数据(单位为 $\text{t}/\text{m}^{-2} \cdot \text{a}$)建立的 CO_2 人为排放量年变化线性关系式推算出 2010 年全球 CO_2 人为排放量(图 7)。图 7 中排放数据是 EDGAR 4.2 原始数据取自然对数后结果,置信水平 $p = 0.95$ 。

对比 EDGAR 4.2 人为排放数据(图 7)与 2010 年 GOSAT- XCO_2 均值(图 8)全球空间分布特征可以看到,除高纬度和沙漠地区外,GOSAT- XCO_2 均值的空间分布特征与人为排放量数据的空间分布可以基本对应,对于人为活动密集,排放量大的区域, XCO_2 均值也显示出了相应的高值,由此可以看出,GOSAT 卫星在监测大气 CO_2 高排放区域是具有一定潜力的。

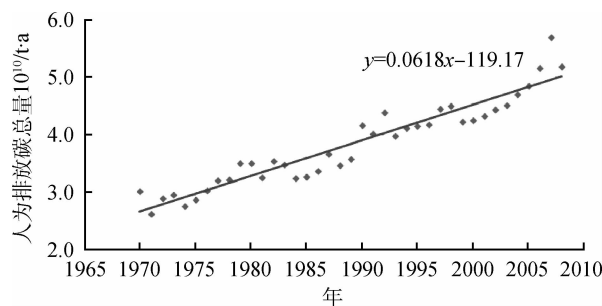


图 6 1970 年—2008 年人为排放总量变化情况

Fig. 6 The Annual variation of anthropogenic emissions from 1970 to 2008

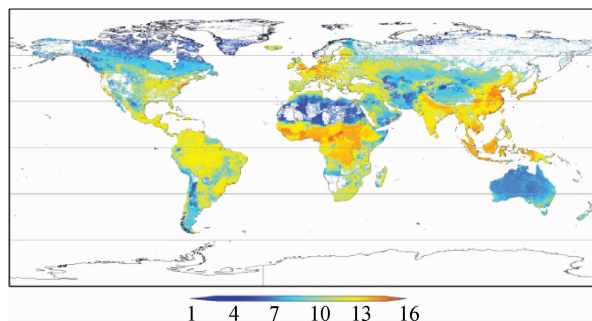


图 7 EDGAR 4.2 Global 2010

Fig. 7 Global anthropogenic emissions calculated based on the relationship between EDGAR data from 1970 to 2008

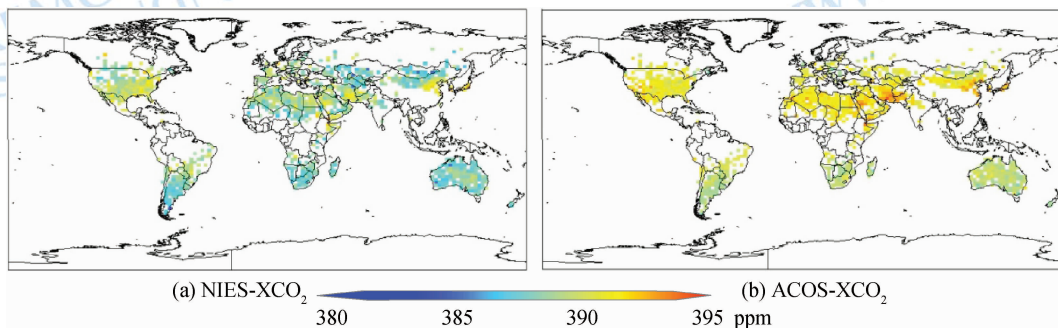
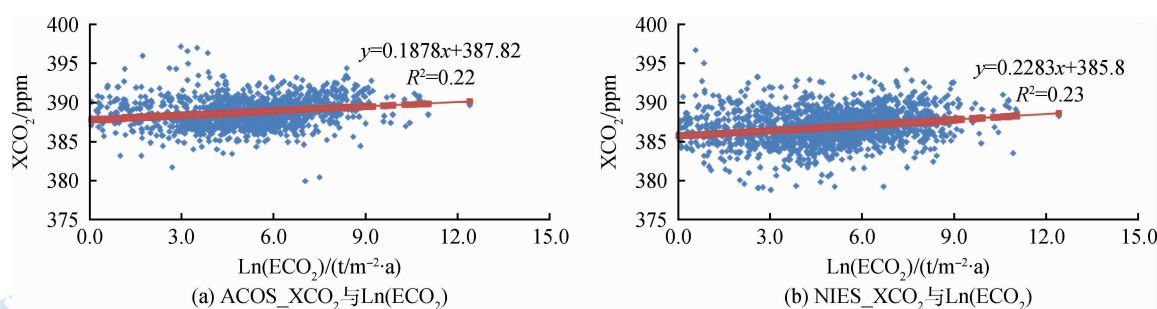


图 8 2010 年 XCO_2 均值

Fig. 8 The average value of XCO_2 in 2010

剔除沙漠和高纬度区域的 GOSAT 观测数据,提取出对应 GOSAT 观测位置的 EDGAR 4.2 数据,进一步分析 XCO_2 数据与人为排放数据的关系。图 9 分别给出了 2010 年 $2^\circ \times 2.5^\circ$ 格网内,ACOS 和 NIES 对于 GOSAT 卫星观测的不同反演结果的 XCO_2 年均值与之前推算出的 2010 年人为排放数据 ECO_2 的响应关系。结果显示,无论是 ACOS- XCO_2 还是 NIES- XCO_2 数据与推算出的 2010 年人为排放数据均有随人为排放值的增加 XCO_2 值增加的趋势,从斜率上看 NIES- XCO_2 的变化较敏感,但两者线性拟合系数均较小。导致线性拟合系数较小的原因是

卫星观测数据与实际排放数据的物理含义的差异。卫星观测大气 CO_2 反演结果是大气 CO_2 状态的客观瞬时的观测值,该观测值除了包含排放源的 CO_2 排放量外,在整个大气活动中,还受到生态吸收、大气传输作用等大气物质成分迁移和清洗等作用的影响,因此卫星观测反演结果是一个多方面因素影响后的综合结果;而人为排放 CO_2 的数据是一个人为排放 CO_2 分子的累积值,因此卫星观测虽然一定程度上反映了人为排放的影响,但仅用年均值还难以有效地揭示出人为排放,这有待进一步的研究。

图9 XCO₂ 与 EDGAR 4.2 响应关系Fig. 9 The XCO₂-Ln(ECO₂) relationship

按 2009 年全球人为 CO₂ 排放总量为 4.99×10^{10} t/a, 2010 年的全球 CO₂ 排放总量在 5.05×10^{10} t/a 时, 如果按照图 9 所示关系式推算, 从 2009 年到 2010 年 CO₂ 排放量的增加量 (6×10^8 t/a) 将会引起 XCO₂ 值的 3.8 ppm (来自 ACOS-XCO₂)、4.6 ppm (来自 NIES-XCO₂) 的增量, 大于 2009 年到 2010 年地面实际观测的全球 2.3 ppm 的 CO₂ 浓度增量值 ([2014-02-10] http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/bulletin/Bulletin_2011/ghy-bulletin-8.pdf)。按照理论计算, 瞬间实时的 CO₂ 排放源, 如大型火电厂在 3 km 范围内平均气象风场下将会引起大气 CO₂ 浓度约 4 ppm 的增加 (Bovensmann 等, 2010), 而 GOSAT 卫星的空间观测范围在 10.5 km, 因此 GOSAT 观测难以检测出在小尺度点源上人为排放所引起的 CO₂ 浓度变化。

4 结 论

本文利用基于 GOSAT 卫星观测数据的不同反演算法生成的 ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 两套大气 CO₂ 柱浓度数据, 分析评价了卫星观测所揭示的全球 CO₂ 的时空变化特征, 并结合 JRC 发布的 EDGAR 4.2 人为区域排放数据, 探索卫星观测对于人为排放所引起的大气浓度变化的响应关系。ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 两套数据的不同之处, 除在反演算法方面, ACOS 在选取的光谱范围、气溶胶和云分层有所不同外; 主要的不同是 ACOS-XCO₂ 在反演结果的基础上进行了系统偏差校正。

GOSAT 观测反演的 XCO₂ 时空变化分析结果表明, 无论是 ACOS-XCO₂ 还是 NIES-XCO₂ 均能揭示全球和区域的季节变化特征, 虽然从绝对值上 ACOS-XCO₂ 比 NIES-XCO₂ 总体高 2 ppm, 但两者揭示的季节变化幅度 (时间的相对变化) 相近; 从年增量上的统计, 在 2010—2012 年 3 年均值的变化中,

ACOS-XCO₂ 年增量均为 1.8 ppm, NIES-XCO₂ 年增量分别为 2.0 ppm、2.2 ppm, 较 ACOS-XCO₂ 更接近于地面观测的年增量。

综合 ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 两套数据的对比分析结果, ACOS-XCO₂ 虽经过系统偏差校正, 与地面 TCCON 比较仍然有 1—2 ppm 偏差, 并且 ACOS-XCO₂ 数据的离散度小于 NIES-XCO₂, 从刻画空间上多变的大气 CO₂ 浓度来看, 效果不及数据值域变化较大的 NIES-XCO₂。

另外, ACOS-XCO₂ 与 NIES-XCO₂ 在植被吸收活跃的季节 (7—8 月) 显示了较大的差值, 表明基于 GOSAT-SWIR 的 XCO₂ 反演在植被区域有着较大的不确定性, 将来在反演算法的改进中, 应该进一步研究植被区域参数的改进。对于人为排放源的排放对当地大气 CO₂ 浓度直接影响的监测, GOSAT 卫星 10.5 km 的空间分辨率观测虽难于检测出点源的浓度变化, 但从区域上对人为排放的累积效应的监测显示了一定的应用潜力。

地面观测研究已经表明 CO₂ 的人为排放可以引起大气 CO₂ 浓度的梯度变化到 3 ppm 左右 (Kepel-Alek 等, 2013); 而目前卫星观测精度为 1—2 ppm。因此, 如何从 CO₂ 时空变化梯度特征信息识别由区域 CO₂ 排放 (人为排放和自然排放) 引起的变化特征量以估算区域 CO₂ 排放将是卫星观测应用需要解决的科学问题之一。随着首颗 CO₂ 观测卫星 GOSAT 反演精度的提高, 以及未来规划的多颗 CO₂ 观测卫星的发射, 卫星观测有望从区域尺度上监测大气 CO₂ 浓度的变化来定量评价人为 CO₂ 排放对大气 CO₂ 浓度变化的影响。

志 谢 由衷感谢美国加州大学喷气推进实验室 (JPL) 提供了 ACOS-XCO₂ v3.3 卫星数据, 日本国立环境研究所 (NIES) 提供了 GOSAT 卫星 NIES-XCO₂ 数据, 以及加州大学提供了 TCCON-XCO₂ 地面 CO₂ 本底观测数据。

参考文献 (References)

- Bovensmann H, Buchwitz M, Burrows J P, Reuter M, Krings T, Gerilowski K, Schneising O, Heymann J, Tretner A and Erzinger J. 2010. A remote sensing technique for global monitoring of power plant CO₂ emissions from space and related applications. *Atmospheric Measurement Techniques*, 3: 781 – 811
- Buchwitz M, Reuter M, Schneising O, Boesch H, Guerlet S, Dils B, Aben I, Armante R, Bergamaschi P, Blumenstock T, Bovensmann H, Brunner D, Buchmann B, Burrows J P, Butz A, Chédin A, Chevallier F, Crevoisier C D, Deutscher N M, Frankenberg C, Hase F, Hasekamp O P, Heymann J, Kaminski T, Laeng A, Lichtenberg G, De Mazière M, Noël S, Notholt J, Orphal J, Popp C, Parker R, Scholze M, Sussmann R, Stiller G P, Warneke T, Zehner C, Bril A and Crisp D. 2013. The Greenhouse Gas Climate Change Initiative (GHG-CCI): Comparison and quality assessment of near-surface-sensitive satellite-derived CO₂ and CH₄ global data sets[J/OL]. *Remote Sensing of Environment* [DOI: 10.1016/j.rse.2013.04.024]
- Cai B F. 2012. China's carbon dioxide emissions characteristics of urban space and collaborative governance analysis and sulfur dioxide. *Energy of China*, 34(7): 33 – 37 (蔡博峰. 2012. 中国城市二氧化碳碳排放空间特征及与二氧化硫协同治理分析. *中国能源*, 34(7): 33 – 37)
- Cogan A J, Boesch H, Parker R J, Feng L, Palmer P I, Blavier J F L, Deutscher N M, Macatangay R, Notholt J, Roehl C, Warneke T and Wunch D. 2012. Atmospheric carbon dioxide retrieved from the Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT): Comparison with ground-based TCCON observations and GEOS-Chem model calculations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(21): D21301 [DOI: 10.1029/2012JD018087]
- Crisp D, Fisher B M, O'Dell C, Frankenberg C, Basilio R, Bösch H, Brown L R, Castano R, Connor B, Deutscher N M, Eldering A, Griffith D, Gunson M, Kuze A, Mandrake L, McDuffie J, Messerschmidt J, Miller C E, Morino I, Natraj V, Notholt J, O'Brien D M, Oyafuso F, Polonsky I, Robinson J, Salawitch R, Sherlock V, Smyth M, Suto H, Taylor T E, Thompson D R, Wennberg P O, Wunch D and Yung Y L. 2012. The ACOS CO₂ retrieval algorithm-Part II: Global XCO₂ data characterization. *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(4): 687 – 707 [DOI: 10.5194/amt-5-687-2012]
- Dufour E and Bréon F M. 2003. Spaceborne estimate of atmospheric CO₂ column by use of the differential absorption method: error analysis. *Applied Optics*, 42(18): 3595 – 3609 [DOI: 10.1364/AO.42.003595]
- Feng L, Palmer P I, Yang Y, Yantosca R M, Kawa S R, Paris J D, Matsueda H and Machida T. 2011. Evaluating a 3-D transport model of atmospheric CO₂ using ground-based, aircraft, and space-borne data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11: 2789 – 2803 [DOI: 10.5194/acp-11-2789-2011]
- Keppel-Aleks G, Wennberg P O, O'Dell C W and Wunch D. 2013. Towards constraints on fossil fuel emissions from total column carbon dioxide. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13: 4349 – 4357 [DOI: 10.5194/acp-13-4349-2013]
- Kuai L, Worden J, Kulawik S, Bowman K, Lee M, Biraud S C, Abshire J B, Wofsy S C, Natraj V, Frankenberg C, Wunch D, Connor B, Miller C, Roehl C, Shia R-L and Yung L Y. 2013. Profiling tropospheric CO₂ using Aura TES and TCCON instruments. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(1): 63 – 79 [DOI: 10.5194/amt-6-63-2013]
- Lei L P, Guan X H, Zeng Z C, Zhang B, Ru F and Bu R. 2014. A comparison of atmospheric CO₂ concentration GOSAT-based observations and model simulations. *Science China Earth Sciences*, 57(6): 1393 – 1402 (雷莉萍, 关贤华, 曾招城, 张兵, 茹菲, 布然. 2014. 基于 GOSAT 卫星观测的大气 CO₂ 浓度与模型模拟的比较. *中国科学 地球科学*, 44(1): 61 – 71) [DOI: 10.1007/s11430-013-4807-y]
- Lewis S L, Lopez-Gonzalez G, Sonké B, Affum-Baffoe K, Baker T R, Ojo L O, Phillips O L, Reitsma J M, White L, Comiskey J A, Djuikouo K M N, Ewango C E N, Feldpausch T R, Hamilton A C, Gloor M, Hart T, Hladik A, Lloyd J, Lovett J C, Makana J R, Malhi Y, Mbago F M, Ndangalasi H J, Peacock J, Peh K S H, Sheil D, Sunderland T, Swaine M D, Taplin J, Taylor D, Thomas S C, Votere R and Wöll H. 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*, 457(7232): 1003 – 1006 [DOI: 10.1038/nature07771]
- Liu Y, Lü D R, Chen H B, Yang D X and Min M. 2011. Advances in technologies and methods for satellite remote sensing of atmospheric CO₂. *Remote Sensing Technology and Application*, 26(2): 247 – 254 (刘毅, 吕达仁, 陈洪滨, 杨东旭, 闵敏. 2011. 卫星遥感大气 CO₂ 的技术与方法进展综述. *遥感技术与应用*, 26(2): 247 – 254)
- NASA. 2013. ACOS Level 2 Standard Product Data User's Guide, v 3. 3
- Shim C, Lee J and Wang Y X. 2013. Effect of continental sources and sinks on the seasonal and latitudinal gradient of atmospheric carbon dioxide over East Asia. *Atmospheric Environment*, 79: 853 – 860 [DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.07.055]
- Wunch D, Wennberg P O, Toon G C, Connor B J, Fisher B, Osterman G B, Frankenberg C, Mandrake L, O'Dell C, Ahonen P, Biraud S C, Castano R, Cressie N, Crisp D, Deutscher N M, Eldering A, Fisher M L, Griffith D W T, Gunson M, Heikkinen P, Keppel-Aleks G, Kyrö E, Lindenmaier R, Macatangay R, Mendonca J, Messerschmidt J, Miller C E, Morino I, Notholt J, Oyafuso F A, Rettinger M, Robinson J, Roehl C M, Salawitch R J, Sherlock V, Strong K, Sussmann R, Tanaka T, Thompson D R, Uchino O, Warneke T and Wofsy S C. 2011. A method for evaluating bias in global measurements of CO₂ total columns from space. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11: 12317 – 12337 [DOI: 10.5194/acp-11-12317-2011]
- Yoshida Y, Ota Y, Eguchi N, Kikuchi N, Nobuta K, Tran H, Morino I and Yokota T. 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 [DOI: 10.5194/amt-4-717-2011]

Temporal and spatial potential applications of satellite remote sensing of atmospheric CO₂ concentration monitoring

BU Ran^{1,2}, LEI Liping¹, GUO Lijie^{1,3}, LIU Da^{1,3}, ZENG Zhaocheng⁴

1. Key Laboratory of Digital Earth, Institute of Remote Sensing and Digital Earth,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

2. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Institute of Space and Earth Information Science, Chinese University of Hong Kong, Shatin, Hong Kong 999077, China

Abstract: The applicability of column-averaged CO₂ dry-air mixing ratio (XCO₂) data derived from Greenhouse Gases Observing Satellite (GOSAT) observations should be comprehensively analyzed. Such assessment is important to reveal spatiotemporal variations in atmospheric CO₂ concentration at the global and regional scales, as the XCO₂ retrieval bias of GOSAT has decreased to 1—2 ppm. We analyzed and evaluated the spatial and temporal variations in XCO₂ at a global and regional scale using GOSAT data from 2010 to 2012. Furthermore, we preliminarily analyzed the response of GOSAT data to anthropogenic emissions. Two data sets of XCO₂ from the OCO team of NASA (ACOS) and the Japan National Institute of Environmental Studies (NIES) GOSAT team, respectively, were used with different retrieval algorithms for GOSAT observations. ACOS-XCO₂ is generally approximately 2 ppm higher than NIES-XCO₂, whereas similar variability at space and time is shown in the two data sets. The annual increment of global averaged atmospheric XCO₂ concentration is 1.8 ppm from 2010 to 2011 and 2.0 ppm from 2011 to 2012; the seasonal variation is 4—6 ppm in the Northern Hemisphere and approximately 2 ppm in the Southern Hemisphere; this finding is generally consistent with the statistical results of CO₂ variability from ground-based measurements. In addition, GOSAT observations respond weakly to the anthropogenic emissions on the basis of correlation analysis between yearly averaged GOSAT XCO₂ and cumulative yearly anthropogenic emissions obtained from the Emissions Database for Global Atmospheric Research data. Our results demonstrate that GOSAT observations can detect the spatial and seasonal variability in CO₂ at a global and regional scale. These observations can be applied in monitoring the cumulative effects of anthropogenic emissions at the regional scale, although GOSAT encounters difficulty in detecting the variation magnitude of CO₂ induced by the point source emission because of the unrefined spatial resolution of GOSAT footprints.

Key words: GOSAT, atmospheric CO₂ concentration, temporal and spatial variation, anthropogenic emissions



封面说明

About the Cover

盐城东台大巴地球资源卫星04星影像

CBERS-04 satellite image of Dongtai, Yancheng

中巴地球资源系列卫星 (CBERS) 由中国航天科技集团公司和巴西空间研究院联合研制, 是中巴两国在航天科技领域合作的重要体现, 被誉为“南南合作的典范”, 主要应用于国土、林业、水利、农情、环境保护等领域的监测、规划和管理。CBERS-04 卫星配备有分辨率为 5 m 的全色、10 m 的多光谱相机 (PAN), 20 m 的多光谱相机 (MUX), 40 m/80 m 的红外相机 (IRS) 以及分辨率为 67 m 的宽视场相机 (WFI), 满足了获取持续稳定的中分辨率普查数据的迫切需求。封面图片由中国资源卫星应用中心提供, 为 2014 年 12 月 8 日获取的盐城东台 5 m 全色与 10 m 多光谱融合影像, 图中可清晰辨识出池塘、河流、道路以及不同作物类型的农田。

The China-Brazil Earth Resources Satellite program (CBERS) is a technological cooperation program between China and Brazil which develops and operates earth observation satellites. CBERS-04 satellite will mainly be used in land use monitoring, forestry resource survey, water conservancy planning, crop yield estimation, environmental protection and many other fields. The CBERS-04 satellite carries four instruments: panchromatic imager (PAN) with 5 m spatial resolution for the panchromatic band and 10 m spatial resolution in the other bands; multispectral camera (MUX) with 20m spatial resolution; the infrared medium resolution scanner (IRS) with 40 m and 80 m spatial resolution, and a wide-field imaging camera (WFI) with 67 m spatial resolution. The cover image is the fusion of panchromatic and multispectral images captured by CBERS-04 satellite, which shows Dongtai, Yancheng on December 8, 2014. In the image, ponds, rivers, roads and fields with different crops can be clearly identified.

遥感学报

JOURNAL OF REMOTE SENSING

YAOGAN XUEBAO (双月刊 1997年创刊)

第19卷 第1期 2015年1月25日

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol.19 No.1 January 25, 2015

主 管 中国科学院	Superintended by	Chinese Academy of Sciences
主 办 中国科学院遥感与数字地球研究所 中国地理学会环境遥感分会	Sponsored by	Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS The Associate on Environment Remote Sensing of China
主 编 顾行发	Editor-in-Chief	GU Xing-fa
编 辑 《遥感学报》编委会 北京市朝阳区大屯路中国科学院遥感与数字地球研究所 邮编: 100101 电话: 86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail: jrs@radi.ac.cn	Edited by	Editorial Board of Journal of Remote Sensing Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China Tel: 86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail: jrs@radi.ac.cn
出 版 科 学 出 版 社	Published by	Science Press
印刷装订 北京科信印刷有限公司	Printed by	Beijing Kexin Printing Co. Ltd.
总 发 行 科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 国内邮发代号: 82-324 邮政编码: 100717 电话: 86-10-64017032 E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: 86-10-64017032 E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
国外发行 中国国际图书贸易总公司 北京 399 信箱 邮政编码: 100044 国外发行代号: BM 1002	Overseas distributed by	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399, Beijing 100044, China

中国标准连续出版物号: ISSN 1007-4619

CN 11-3841/TP

CODEN YXAUAB

定价: 70.00元



官网



微站

ISSN 1007-4619



9 771007 461156

01>