

2016—2020年常州市温室气体浓度及相关因素分析

赵亚芳, 余益军

(江苏省常州环境监测中心, 江苏 常州 213001)

摘要:基于2016—2020年常州市主要温室气体的监测数据,采用长时间序列分析和相关性分析等方法,研究了二氧化碳(CO_2)和甲烷(CH_4)浓度的变化趋势,分析了 CO_2 和 CH_4 与污染物和气象要素的相关性,初步探讨了生物源和人为源的影响。结果表明:常州市大气 CO_2 和 CH_4 年平均浓度分别为416.4 ppm和1635.7 ppb,上升速率均高于青海瓦里关全球大气本底站同期水平。 CO_2 和 CH_4 浓度整体表现为夏季低、冬季高的季节变化, CO_2 浓度在8月和12月分别达到最小和最大值, CH_4 浓度7月和10月分别达到最小和最大值。夏季光合作用、植物生长等生物源对 CO_2 和 CH_4 浓度影响较大,冬季人类活动、工业生产等影响增加。 CO_2 浓度日变化呈现为早晚高、午后低的双峰结构,春季受光合作用影响有更明显的日变化规律。 CH_4 浓度表现单峰的日变化特征,秋季 CH_4 浓度最高,且日变化最明显,表明秋季生物源对 CH_4 影响更明显。 CO_2 和 CH_4 与 NO_2 、 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 均有较强的正相关性,两者与 NO_2 和 NO_x 相关性最强,表明受机动车影响较大;与气象参数的相关性则明显减弱,在风速增大时,扩散条件有利于 CO_2 和 CH_4 浓度降低。

关键词:温室气体;二氧化碳;甲烷;浓度特征;相关性分析

中图分类号:X51

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2022)01-0007-05

Concentrations and Affecting Factors of Greenhouse Gases in Changzhou from 2016 to 2020

ZHAO Ya-fang, YU Yi-jun

(Jiangsu Changzhou Environmental Monitoring Center, Changzhou, Jiangsu 213001, China)

Abstract: Based on the monitoring data of main greenhouse gases, variation characteristics of carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) in Changzhou from 2016 to 2020 were studied by using such methods as long-term sequence analysis and correlation analysis. A correlation between the concentration of CO_2 and CH_4 and pollutants and meteorological parameters was analyzed, and the effects of biological sources and human activities were discussed preliminary. The results showed that the annual average concentrations of CO_2 and CH_4 were 416.4 ppm and 1635.7 ppb in Changzhou respectively, and the increasing rates were both higher than that in Waliguan during the same period. The CO_2 and CH_4 concentrations were lower and the biological sources such as photosynthesis and plant growth had a greater impact in summer. While the concentrations and impacts of human activities and industrial production increased in winter. The diurnal variation of CO_2 concentration showed two peaks in the morning and evening. The diurnal variation of CH_4 exhibited one peak and it was highest in autumn which indicated the greater impact of biological sources on CH_4 . CO_2 and CH_4 were significantly correlated with NO_2 , NO_x , $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} . The correlation with meteorological parameters was obviously weakened. When the wind speed increased, the diffusion conditions were conducive to the reduction of CO_2 and CH_4 concentrations.

Key words: Greenhouse gases; CO_2 ; CH_4 ; Concentration characteristics; Correlation analysis

0 前言

大气中温室气体及其对气候变化和生态环境的影响已成为当前重要的研究问题^[1-2],二氧化碳(CO_2)和甲烷(CH_4)是大气对流层中浓度较高、寿

命较长且受人类活动影响较明显的温室气体^[3]。大气中 CO_2 的主要源有化石燃料燃烧、水泥生产、土地利用变化、生物呼吸和海洋释放等^[4]。大气中 CH_4 的自然源包括湿地、白蚁、海洋和植被等;人

收稿日期:2021-11-25;修订日期:2021-12-31

基金项目:常州市科技局基金资助项目(CJ20180039);江苏省常州环境监测中心培优、培新科研基金资助项目(201808-PX,201809-PX)

作者简介:赵亚芳(1989—),女,工程师,硕士,从事空气质量自动监测、空气质量预报和分析工作。

为源包括煤矿开采、天然气生产、垃圾填埋、牲畜、稻田和生物质燃烧等; CH_4 与大气中OH自由基反应是其主要的汇。我国 CH_4 高排放区主要集中在东北和华北地区^[5]。与周围乡村地区相比,城市消耗大量的化石燃料,温室气体浓度变化反映了自然和人为活动共同影响的程度。

20世纪50年代,国内外已对温室气体开展观测。90年代我国建立了第一个全球温室气体本底站——青海瓦里关全球基准站(WLG),后又建设了北京上甸子、浙江临安和黑龙江龙凤山3个区域大气本底站,其中临安区域大气本底站代表了我国华东经济发达地区和长三角地区温室气体的本底特征。基于观测数据,众多学者对温室气体开展了相关研究^[6-8]。如刘强等^[8]研究发现,2008年起北京大气 CH_4 呈下降趋势,同期瓦里关山观测数据则仍然保持缓慢上升趋势,非生物源的变化可能是造成城市大气 CH_4 浓度下降的重要原因。由于观测站点少,目前分析卫星遥感观测的柱浓度资料为主流研究方法^[9-11]。此外,许多学者对农田、草原、森林等生态系统的温室气体排放也进行了广泛的研究^[12-13],但基于城市站点的 CO_2 和 CH_4 长期观测研究还相对较少。

长三角地区城市因工业发展迅速,是碳排放的主要来源。常州作为长三角经济发展地区之一,经济快速发展所引起的碳排放量不容忽视,是碳减排的中坚力量。“十三五”期间,常州市开展了温室气体在线监测,通过分析常州市 CO_2 和 CH_4 长时间监测数据,掌握常州市温室气体变化特征,了解生物源和人为源的影响,以期为今后评估人类活动对温室气体的影响和作用提供参考。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

常州市地处江苏省南部,是长三角经济圈和城市群的重要组成部分,属亚热带季风气候。常州市人口密集,城市化发展迅速,能源消费以煤炭、天然气和汽油等为主,其中工业是能源消费的主体。

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。以瓦里关全球大气本底站(WLG)大气 CO_2 和 CH_4 作为背景浓度(<https://gml.noaa.gov/dv/data/index.php>),与常州大气中温室气体浓度进行对比分析。

1.2 监测项目、采集时间及频率

CO_2 数据采集时间为2016—2020年, CH_4 数据采集时间为2018—2020年,细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)、可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)、一氧化碳(CO)、臭氧(O_3)、二氧化氮(NO_2)、一氧化氮(NO)和氮氧化物(NO_x)等污染物以及气温、湿度等气象数据采集时间为2020年。数据采集频率为1 h,连续24 h自动监测。

1.3 采样点位

温室气体采样点设在江苏省常州环境监测中心东楼3楼,周围以居民源为主,1 km范围内没有显著的局地源。 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 等污染物以及气温、湿度等气象参数来自常州市“市监测站”国控点位,与温室气体采样点位一致,以分析温室气体与污染物和气象参数相关性。

1.4 监测仪器

CO_2 监测仪器为M360E型 CO_2 自动监测分析仪(美国API公司),通过比较红外光在样品中和参比气体中的吸收情况,根据朗伯-比尔定律(Beer-Lambert Law)来测量低浓度的 CO_2 。 CH_4 监测仪器为Alpha115型甲烷-非甲烷总烃在线监测仪(荷兰Synspec公司), CH_4 质量浓度由氢火焰离子化检测器(FID,荷兰Synspec公司)测得。仪器使用国家标准物质中心的标准气体定期校准,系统的测量精度高、稳定性较好。

2 结果与讨论

2.1 主要温室气体的年际变化

2016—2020年常州市和瓦里关 CO_2 和 CH_4 平均浓度见图1。由图1可见,2016—2020年常州市 CO_2 平均浓度为416.4 ppm,比瓦里关同期 CO_2 浓度高出6.9 ppm,低于张家港2016—2018年 CO_2 同期水平^[14]。2018—2020年常州市 CH_4 平均浓度为1 635.7 ppb,比瓦里关同期低295.6 ppb。这可能是由于瓦里关地处内陆高原,气温低, CH_4 与OH自由基反应相对较弱,且受放牧活动等生物源排放影响,瓦里关 CH_4 浓度整体高于常州市。瓦里关 CO_2 和 CH_4 总体变化平稳,常州市 CO_2 和 CH_4 年际波动较大,远超过瓦里关 CO_2 和 CH_4 浓度年增长率,受人类活动影响明显。2018—2020年常州市平均耗煤量和废气排放量分别为1 182.7万t和4 177.8亿 m^3 ,比2016—2017年增加10.5%和15.6%,促进了 CO_2 浓度增长,2018年起常州市

CO₂浓度高于瓦里关同期水平。

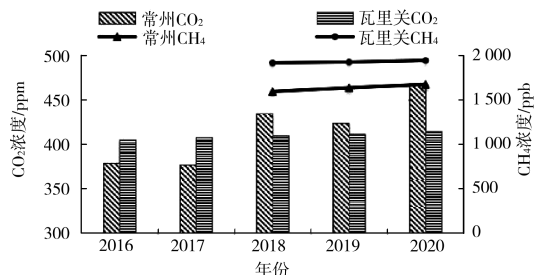


图1 2016—2020年常州市和瓦里关
CO₂和CH₄平均浓度

2.2 主要温室气体浓度的季节变化

常州市和瓦里关2016—2020年CO₂月平均变化趋势以及2018—2020年CH₄月平均变化趋势见图2(a)(b)。

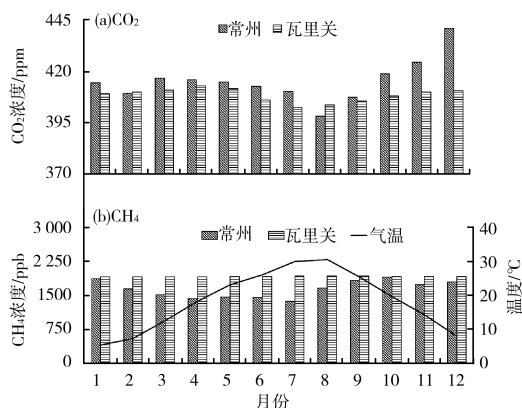


图2 常州市和瓦里关大气CO₂和CH₄
多年月平均变化趋势

从图2(a)可知,CO₂浓度整体表现为夏季低,秋冬季高的分布特征,其中12月最高,8月最低,与太湖区域情况接近^[2],瓦里关CO₂浓度最高值出现在4月份,最低值出现在8月份。与瓦里关相比,常州市CO₂浓度季节波动更大。常州地处经济发达和人口密集区,冬季能源消耗高,使得12月CO₂浓度较高,同时植被生长的季节变化也会造成大气CO₂浓度冬季高、夏季低的特征。此外,常州市夏季受海洋性气团影响,冬季受大陆性气团影响,气候条件也增强了CO₂浓度夏低冬高的特征。秋、冬季随着植物光合作用减弱,化石燃料的消耗量增加,9月起CO₂浓度开始上升,12月达到最高值(441 ppm),且显著高于瓦里关同期水平,表明

12月人类活动对CO₂的影响较为显著。

由图2(b)可见,常州CH₄于8月至次年1月高、2—7月低,与临安本底站季节变化相近^[15]。2月起随着秋、冬季结束,燃煤、化石燃料和生物质燃烧等影响减少,且气温回升,CH₄与OH自由基的光化学反应逐渐增强,CH₄浓度持续降低。8—10月湿地和水稻生长^[9]等生物源排放增加,CH₄浓度逐月上升,12月至次年1月化石燃料排放增加,同时北方正值采暖期,燃煤排放增加,常州受大陆性气团和偏北气流的输送影响,CH₄浓度升高。由此看出CH₄浓度在全年的大部分时间受生物源控制,冬季非生物源影响较大。瓦里关CH₄浓度呈7—9月高,冬、春季低的特征,主要与当地夏季放牧活动增多和主导气流输送有关^[16]。

2.3 主要温室气体浓度的日变化

2020年常州市CO₂和CH₄浓度日变化见图3(a)(b)。由图3(a)可见,常州市CO₂浓度日变化呈现为双峰结构,第1个峰值出现在07:00,早上受工业生产、交通运输和餐饮等人类活动影响,CO₂排放增强;午后边界层高度抬升,扩散条件有利,且植物光合作用增强,CO₂浓度降低,于15:00—16:00达到谷值;随着夜晚边界层高度降低,加上植物呼吸作用影响,CO₂浓度逐渐升高,第2个峰值出现在20:00—21:00。从日变幅上看,常州市CO₂日变幅冬季最小(16.1 ppm),夏季最大(25.9 ppm),春、秋季节约为18.0 ppm;与长三角区域大气本底站(临安站)相比^[17],冬季常州市CO₂日变幅比临安站大6.6 ppm,夏季比临安站小18.4 ppm。这可能是由于临安站植被覆盖率较高,夏季受植物光合作用和呼吸作用影响较大,日变幅相对较大;冬季受人为排放影响少,日变幅相对较小。从季节上看,春季夜间的CO₂浓度高于秋季,而日间浓度低于秋季,这可能是由于春季植物光合作用强于秋季,使得CO₂有更明显的日变化规律。

由图3(b)可见,CH₄浓度整体表现单峰の日变化特征,峰值出现在06:00,秋季峰值提前1 h,冬季峰值延后1 h,谷值出现时间为15:00—16:00,与CO₂一致。从日变幅上看,常州市CH₄日变幅春季最小(131.0 ppb),秋季最大(205.7 ppb),夏、冬季节约为144.0 ppb,临安站各季节CH₄日变幅为19.0~74.7 ppb^[18],常州市CH₄日变幅显著高于临安站。这可能是临安区域水网稠密,大面积

自然湿地及稻田是该地区大气 CH₄ 的主要源,受到人为源排放的影响相对较小;同时临安站的空气污染相对较轻,大气中 OH 自由基较少,CH₄ 与 OH 自由基的光化学反应较弱,CH₄ 消耗少,因此日变幅相对较小。从季节上看,秋季 CH₄ 浓度最高,且日变化最明显,表明秋季生物源对 CH₄ 影响明显。

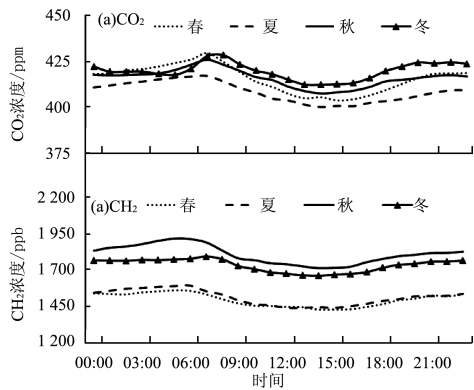


图 3 2020 年常州市 CO₂ 和 CH₄ 浓度日变化

2.4 相关性分析

2020 年常州市 CO₂ 和 CH₄ 小时浓度值与污染物和气象参数的相关系数见表 1。由表 1 可见,CO₂ 与 O₃ 呈显著负相关关系 (−0.355), 与其余污染物均有较显著的正相关关系;CH₄ 同样与 NO₂、NO_x、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 有较强的正相关性。两者与 NO₂ 和 NO_x 相关性最高,表明常州市温室气体受到交通污染排放影响较大,此结果与上海研究一致^[19]。

CO₂ 和 CH₄ 与气象参数的相关性明显减弱,CO₂ 与气温呈负相关性,与气压呈正相关性,两者均与风速呈显著的负相关性,表明风速增大时扩散条件有利,对应 CO₂ 和 CH₄ 浓度降低。

2020 年常州市 CO₂ 和 CH₄ 小时浓度与气温和相对湿度散点分布见图 4、5。由图 4、5 可以看出,气温低于 0℃ 和高于 35℃ 时,CO₂ 浓度较低,气温在 0~10℃ 和 25~35℃ 时,CO₂ 浓度分布较广,高、低值均有出现,CH₄ 浓度则在 20~30℃ 区间分

表 1 2020 年 CO₂ 和 CH₄ 与污染物及气象参数的相关系数^①

参数	CO ₂	CH ₄	参数	CO ₂	CH ₄	参数	CO ₂	CH ₄
PM _{2.5}	0.458 **	0.306 **	O ₃	−0.355 **	−0.176 **	湿度	0.123 **	0.023
PM ₁₀	0.437 **	0.320 **	NO ₂	0.489 **	0.391 **	风速	−0.200 **	−0.325 **
SO ₂	0.140 **	0.033	NO	0.341 **	0.255 **	气温	−0.383 **	−0.080
CO	0.396 **	0.167 **	NO _x	0.489 **	0.376 **	气压	0.341 **	0.182 **

① ** 表示相关系数通过 0.01 显著性检验, * 表示通过 0.05 显著性检验。

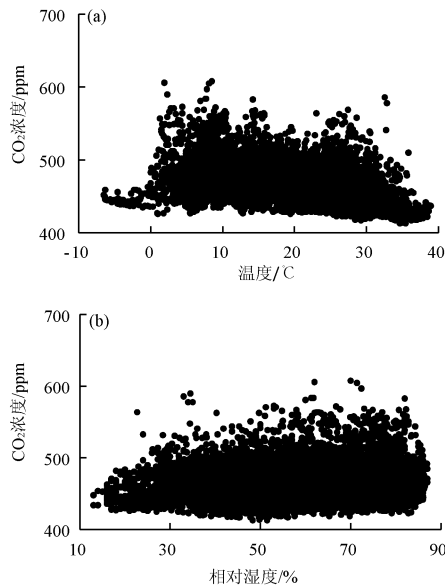


图 4 2020 年常州市 CO₂ 小时浓度与气温和相对湿度散点分布

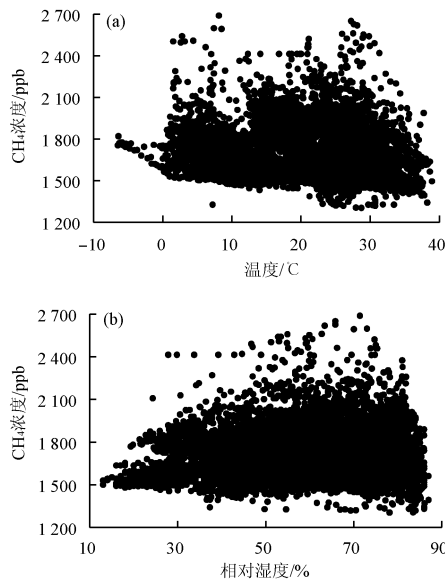


图 5 2020 年常州市 CH₄ 小时浓度与气温和相对湿度散点分布

布较广。相对湿度低于30%时,CO₂和CH₄浓度均较低,由于CO₂化学活性低,相对湿度对其影响很小,且相对湿度低值主要出现在午后。这可能是由于午后边界层高度抬升,对流输送强,使得CO₂和CH₄浓度降低;同时午后CO₂的光合作用以及CH₄与OH自由基的光化学反应增强,进一步降低了CO₂和CH₄浓度。

3 结论

(1) 2016—2020年常州市CO₂和CH₄浓度呈升高趋势,受人类活动影响,常州市CO₂和CH₄年增长率远超过瓦里关同期水平。CO₂和CH₄均有较明显的季节变化,整体上为夏季低、秋冬季高。CO₂浓度在8月和12月分别达到最小和最大值,夏季植物光合作用对CO₂影响大,秋冬季化石燃料燃烧等人类活动对其影响最为显著。CH₄浓度7月和10月分别达到最小和最大值,生物源决定了甲烷浓度变化的基本趋势;而在冬季非生物源是影响大气甲烷浓度的强烈扰动因素,使原本的下降趋势变为上升。

(2) 受人类活动、工业生产、边界层日变化和植物光合作用影响,CO₂浓度呈现为早晚高、午后低的双峰结构,春季受光合作用影响有更明显的日变化规律。CH₄浓度整体表现单峰的日变化特征,秋季CH₄浓度最高,且日变化最明显,表明秋季生物源对CH₄影响更明显。

(3) CO₂和CH₄与NO₂、NO_x、PM_{2.5}和PM₁₀均有较强的正相关性,两者与NO₂和NO_x相关性最强,表明常州市温室气体受机动车影响较大。两者与气象参数的相关性则明显减弱,在风速增大时,扩散条件有利于CO₂和CH₄浓度降低。

[参考文献]

- [1] 秦大河. 进入21世纪的气候变化科学——气候变化的事实、影响与对策[J]. 科技导报, 2004(7):4-7.
- [2] 嵇晓燕, 杨龙元, 王跃思, 等. 太湖流域近地表主要温室气体本底浓度特征[J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(3): 11-15.
- [3] FU FEIXUE, WARNER M E, ZHANG Y, et al. Effects of increased temperature and CO₂ on photosynthesis, growth, and elemental ratios in marine *Synechococcus* and *Prochlorococcus* (Cyanobacteria)[J]. Journal of Phycology, 2007, 43(3):485-496.
- [4] 张仁健, 王明星, 郑循华, 等. 中国二氧化碳排放源现状分析[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(3):321-327.
- [5] 乐群, 张国君, 王铮. 中国各省甲烷排放量初步估算及空间分布[J]. 地理研究, 2012, 31(9):1559-1570.
- [6] 方双喜, 周凌晞, 许林, 等. 我国4个WMO/GAW本底站大气CH₄浓度及变化特征[J]. 环境科学, 2012(9):2917-2923.
- [7] 刘立新, 周凌晞, 张晓春, 等. 我国4个国家级本底站大气CO₂浓度变化特征[J]. 中国科学:地球科学, 2009(2):222-228.
- [8] 刘强, 王跃思, 王明星, 等. 北京大气中主要温室气体近10年变化趋势[J]. 大气科学, 2005, 29(2):267-271.
- [9] 冯敏玉, 张根, 夏玲君, 等. 长江中下游六省大气甲烷柱浓度时空分布[J]. 地球化学, 2021, 50(1):121-132.
- [10] 杨东旭, 刘毅, 蔡兆男, 等. 基于GOSAT反演的中国地区二氧化碳浓度时空分布研究[J]. 大气科学, 2016(3):541-550.
- [11] 刘毅, 王婧, 车轲, 等. 温室气体的卫星遥感——进展与趋势[J]. 遥感学报, 2021, 25(1):53-64.
- [12] 何江浩, 蔡玉林, 秦鹏. 二氧化碳的时空变化规律与影响因素分析[J]. 科学通报, 2020, 65(2-3):194-202.
- [13] 胡安永, 孙星, 刘勤. 太湖地区不同轮作模式对稻田温室气体(CH₄和N₂O)排放的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1):99-106.
- [14] 韦芬芬, 林惠娟, 曹舒娅, 等. 苏南地区CO₂本底浓度及源汇特征[J]. 中国环境科学, 2020, 40(3):975-982.
- [15] 徐宏辉, 浦静姣, 顾骏强, 等. 临安区域本底站大气甲烷浓度变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2):204-208.
- [16] 周凌晞, 张芳, 许林. 瓦里关大气CH₄浓度变化及其潜在源区分析[J]. 中国科学:地球科学, 2013, 43(4):536-546.
- [17] 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 等. 长江三角洲背景地区CO₂浓度变化特征研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(6):973-979.
- [18] 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 等. 气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析[J]. 环境科学, 2013, 34(3):835-841.
- [19] 高松. 夏季上海城区大气中二氧化碳浓度特征及相关因素分析[J]. 中国环境监测, 2011, 7(2):70-75.

栏目编辑 王 湜 谭 艳