

陈昆, 沈竞, 陈鲍发, 2019. 景德镇地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度变化特征[J]. 气象与减灾研究, 42(2): 113-118.

Chen Kun, Shen Jing, Chen Baofa, 2019. Variation characteristics of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration in Jingdezhen[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 42(2): 113-118.

## 景德镇地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度变化特征

陈 昆<sup>1</sup>, 沈 竞<sup>2</sup>, 陈鲍发<sup>1</sup>

1. 景德镇市气象局, 江西 景德镇 333000

2. 江西省气象科学研究所, 江西 南昌 330096

**摘 要:** 利用景德镇温室气体监测站 CO<sub>2</sub> 观测数据, 分析了景德镇地区 2017 年 12 月—2018 年 11 月大气 CO<sub>2</sub> 浓度变化特征, 同时对其浓度进行了筛分, 以剔除污染数据, 使其更具区域代表性。研究表明: 景德镇地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度昼降夜升, 早上最高, 傍晚最低; 春季最高, 秋季最低; 春、夏季 NNE、NE、ENE 风向, 秋季 NE、ENE 风向以及冬季 W、WSW、SW、SSW、S 风向上 CO<sub>2</sub> 浓度较高。同时, 春、夏和秋季大气 CO<sub>2</sub> 浓度大致随风速的增加而不断降低, 冬季风速对大气 CO<sub>2</sub> 浓度无明显影响。筛分后数据显示景德镇地区年均大气 CO<sub>2</sub> 浓度为  $422.1 \times 10^{-6}$ , 浓度日均值年振幅  $73.96 \times 10^{-6}$ , 夏半年 CO<sub>2</sub> 浓度低于冬半年。

**关键词:** 大气 CO<sub>2</sub> 浓度, 变化特征, 数据筛分, 景德镇

中图分类号: P401

文献标识码: A

文章编号: 1007-9033(2019)02-0113-06

doi: 10.12013/qxyjzj2019-018

## Variation Characteristics of Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentration in Jingdezhen

Chen Kun<sup>1</sup>, Shen Jing<sup>2</sup>, Chen Baofa<sup>1</sup>

1. *Jingdezhen Meteorological Bureau, Jingdezhen 333000, China*

2. *Jiangxi Meteorological Science Institute, Nanchang 330096, China*

**Abstract:** Based on the observation data of atmospheric CO<sub>2</sub> molar fractions from December 2017 to November 2018 in Jingdezhen greenhouse gas monitoring station, the variation characteristics of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration in Jingdezhen were studied, and the atmospheric CO<sub>2</sub> value in this region was screened out by studying the influence of surface wind on its concentration. Results shows that: the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration in Jingdezhen decreased during the daytime and rose at night, with the highest in the morning and the lowest in the evening. In terms of seasonal changes, the highest occurred in spring and the lowest in autumn. The higher CO<sub>2</sub> concentration appeared when the wind directions were NNE-NE-ENE in spring and summer, NE-ENE in autumn and W-WSW-SW-SSW-S in winter, while the CO<sub>2</sub> concentration decreased with the increase of wind speed (There was no significant effect in winter). According to the sifted data, the average annual atmospheric CO<sub>2</sub> concentration in Jingdezhen from December 2017 to November 2018 was  $422.1 \times 10^{-6}$ . The annual amplitude of daily mean concentration was  $73.96 \times 10^{-6}$ , and the CO<sub>2</sub> molar fractions in summer half year were lower than those in winter half year.

**Key words:** atmospheric CO<sub>2</sub> concentration; variation characteristics; data selection; Jingdezhen

收稿日期: 2019-04-15; 修订日期: 2019-06-10.

基金项目: 江西省重点研发计划项目(编号:20171BBG7005);景德镇市科技计划项目(编号:2017NYSF002);2019年景德镇市气象局项目“赣东北大气温室气体变化特征研究”。

作者简介: 陈 昆, 硕士, 助理工程师, 主要从事应用气象研究, E-mail: 905262462@qq.com.

## 0 引言

二氧化碳(CO<sub>2</sub>)是温室气体的主要成分之一,其浓度变化主要受到人类活动影响。世界气象组织(2018)指出2017年全球CO<sub>2</sub>浓度达到了 $(405.5 \pm 0.1) \times 10^{-6}$ ,为工业化前水平的1.46倍。我国大气CO<sub>2</sub>平均浓度持续升高,但与全球特别是北半球趋势保持一致。《2017年中国温室气体公报》(中国气象局,2019)显示,2017年青海瓦里关站观测的大气CO<sub>2</sub>浓度上升至 $(407.0 \pm 0.2) \times 10^{-6}$ ,高于同期全球平均水平。

20世纪50年代末,国外已开展温室气体的观测研究。在对大气CO<sub>2</sub>浓度进行了长期观测研究后发现,大气CO<sub>2</sub>浓度呈不断增加的趋势。90年代,我国建立了第一个全球温室气体本底站——青海瓦里关全球大气基准站。许多学者基于观测数据,分析了温室气体浓度变化特征。例如,赵玉成等(2018)研究了1991—2016年瓦里关大气温室气体浓度变化,指出了我国大气CO<sub>2</sub>浓度同样呈逐年增加趋势,且季节变化明显。程已阳(2018)通过采样观测和模式模拟对瓦里关大气CO<sub>2</sub>浓度进行了研究,结果表明月均大气CO<sub>2</sub>浓度最大值和最小值分别出现在4月和8月。此外,张芳等(2010)进一步研究建立了瓦里关气相色谱法在线观测大气CO<sub>2</sub>数据处理和质控方法及流程。此后,我国又相继在不同地区建立了数个区域大气本底站,开展了相关观测研究。例如,徐宏辉等(2012)分析了临安区域大气本底站CO<sub>2</sub>浓度变化特征以及CO<sub>2</sub>碳源汇变化,表明该地区大气CO<sub>2</sub>浓度增速较快,且具有明显季节波动,化石燃料燃烧是主要碳源,生物圈和海洋是重要碳汇。吴艳玲等(2015)利用光腔衰荡光谱测量技术对龙凤山区域大气本底站CO<sub>2</sub>进行观测,分析其浓度的日、季、年变化特征。随着观测网络的完善,不同区域温室气体浓度变化的对比分析也受到了一些学者(刘立新等,2009;程已阳等,2018)的关注。

为了消除大气温室气体受到的局地影响,比较不同区域浓度高低,对温室气体浓度进行剔除污染数据的筛分是必要的,很多学者对大气温室气体数据进行筛分方法进行了研究,提出了不同的筛分方法,包括基于数学统计算法的筛分方法(Ruckstuhl et al, 2012)、基于地面风的筛分法(周凌晔等, 2002)、气团输送轨迹筛分法等(夏玲君等, 2017)。其中,基于地面风的筛分方法通过分析高低层大气

CO<sub>2</sub>浓度日变化的差异以及地面风向、风速与CO<sub>2</sub>浓度的对应关系来排除局地源汇的影响。

目前,关于各区域大气温室气体的研究很多,但是关于江西大气温室气体的相关研究较少且缺乏观测数据支撑,一些已有研究只能通过卫星数据进行大气CO<sub>2</sub>浓度反演(夏玲君等,2019)。由于不同区域大气温室气体浓度及变化并不完全一致,因此,对江西省大气温室气体开展研究是必要的,更是江西作为全国首批生态文明先行示范区建设试点省份、国家生态文明试验区的要求。景德镇市温室气体站的建成使用,填补了江西省在温室气体长期连续监测上的空白。文中,利用景德镇市温室气体监测站观测数据,分析景德镇地区大气CO<sub>2</sub>浓度变化特征,探讨地面风对其浓度的影响,在此基础上对大气CO<sub>2</sub>浓度进行了筛分,以期为大气环境分析研究提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 站点信息

景德镇温室气体监测站位于下辖的浮梁县气象局(117°13'05"E,29°21'46"N),是江西省首个建成投入使用的温室气体监测站,其观测结果代表了景德镇地区浓度水平。监测站距景德镇市7 km,周边无工矿企业,海拔约105 m。监测站CO<sub>2</sub>观测分为两层,探头距地高度分别为30 m和50 m。

### 1.2 数据处理

监测站配备了先进的温室气体监测设备Picarro 2401分析仪,采用国际领先的波长扫描光腔衰荡光谱(WS-CRDS)技术,通过长达20 km的有效路径科学地解决了传统的红外光谱仪由于痕量气体吸收而形成的峰值太低而不能检测到温室气体和灵敏度限制在PPM级的限制,这样可以在极短的时间内监测到PPB水平甚至PPT水平的气体。该系统稳定性和线性均较好,与传统的气相色谱法相比,具有精度高、分析迅速、无需载气和助燃气,以及操作维护简便等优点。系统运行时每隔6 h分析一次高浓度工作标气(WH)、低浓度工作标气(WL)或目标气(T),每次分析5 min。Picarro主机每3 s可产生一组数据,为了保证分析精度,剔除了前2 min由于系统多口阀在切换时可能导致的不稳定数据,取后3 min数据进行平均值计算,计算值代表这5 min的平均浓度。文中主要分析了2017年12月—2018年11月50 m高度浓度数据,剔除了系统故障和仪器维护期间数据(时段为2018年7月14日—22

日、10月26日—11月4日),数据有效完整率为90.1%。气象要素采用浮梁国家站数据。文中,春季、夏季、秋季、冬季分别为3—5月、6—8月、9—11月、12—次年2月。

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 不同季节大气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化

图1给出了景德镇地区不同季节大气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化。分析发现,大气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化趋势在不同季节趋于一致,即白天浓度逐渐下降,夜间逐渐上升。最高值一般出现在05—08时,春夏季一般在06时之前,秋冬季在06时之后;最低值一般出现在16—18时。白天植物光合作用逐渐增强,消耗了大量 CO<sub>2</sub>,同时大气边界层高度降低,逆温层被破坏,CO<sub>2</sub> 得以向上输送,最终导致白天大气 CO<sub>2</sub> 浓度值较低。同时,由图1还可以看出,夏季大气 CO<sub>2</sub> 浓度日振幅最大,冬季振幅最小。这是因为夏季植物有较强的光合作用和呼吸作用,白天强光合作用消耗更多的 CO<sub>2</sub>,夜间强呼吸作用则释放更多的 CO<sub>2</sub>,使得 CO<sub>2</sub> 浓度在白天比其他季节更低,夜间则更高。

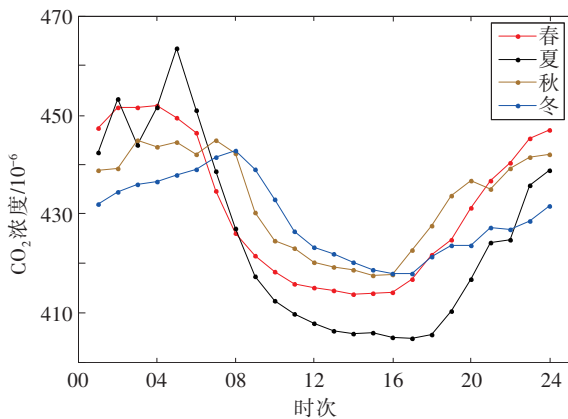


图1 景德镇地区不同季节大气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化  
Fig. 1 Diurnal variations of CO<sub>2</sub> concentrations in different seasons in Jingdezhen

### 2.2 大气 CO<sub>2</sub> 浓度月变化

图2给出了景德镇地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度的月和季度平均值的变化。可以看出,4—10月 CO<sub>2</sub> 浓度值的波动小于其余月份,且表现为逐渐下降趋势。11月—次年3月浓度值变化无明显规律且波动很大。4月 CO<sub>2</sub> 浓度为  $437.5 \times 10^{-6}$ , 达到年度最高值;9月浓度最低,为  $424.9 \times 10^{-6}$ ;年较差  $12.6 \times 10^{-6}$ 。

分季节来看,景德镇地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度值大小依此为春季、夏季、冬季、秋季,分别为  $435.2 \times 10^{-6}$ 、

$431.3 \times 10^{-6}$ 、 $430.6 \times 10^{-6}$  和  $427.2 \times 10^{-6}$ 。这与前人的研究结果有所差异,谭鑫等(2015)对江西千烟洲区域大气 CO<sub>2</sub> 浓度研究发现,该地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度3—8月下降,8月—次年1月逐渐上升,其大小按季节依次为冬季、春季、秋季、夏季,这可能是因为景德镇相较于千烟洲受到的人类活动影响更多。

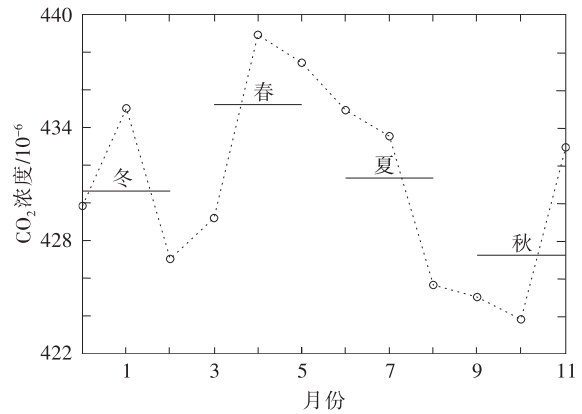


图2 景德镇地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度月变化  
Fig. 2 Monthly variation of CO<sub>2</sub> concentrations in Jingdezhen

### 2.3 各季节风向对大气 CO<sub>2</sub> 浓度影响

景德镇地处亚热带季风区,除了夏季盛行偏南风外,其他季节以偏北风为主。统计分析发现,景德镇地区主导风向为 N(占比 21.1%),其次为 NNE(13.36%)。不同季节来看,春、夏季 NNE、NE、ENE 风向,秋季 NE、ENE 风向以及冬季 W、WSW、SW、SSW、S 风向上 CO<sub>2</sub> 浓度较高(图3)。景德镇地区的东北方为长三角,该地区经济发达、人口密集,能源消耗量大而 CO<sub>2</sub> 增速快。同时,地处亚热带的景德镇,春、夏季的偏北风主要出现在凌晨,此时大气层结稳定,利于 CO<sub>2</sub> 堆积,因此春、夏、秋季偏北方向的风常带来的空气中 CO<sub>2</sub> 浓度较高。冬季,偏北风向上 CO<sub>2</sub> 浓度低的原因可能是东北方向上的长三角地区大气多为稳定性层结,使得大气湍流得不到发展,混合层厚度低,大气扩散能力差,从而降低了东北向大气输送对景德镇区域大气 CO<sub>2</sub> 的影响;另一方面,西南风向上较高的大气 CO<sub>2</sub> 浓度则可能是因为景德镇区域冬季大气扩散能力也较弱,受测站西南向城区、高新区以及乐平工业园区人为排放源影响较大。同时,由于冬季盛行偏北风,测站西南方厂矿企业的排放压力较小,可排放量增加,当出现西南风时会将较高浓度的大气 CO<sub>2</sub> 输送到测站。

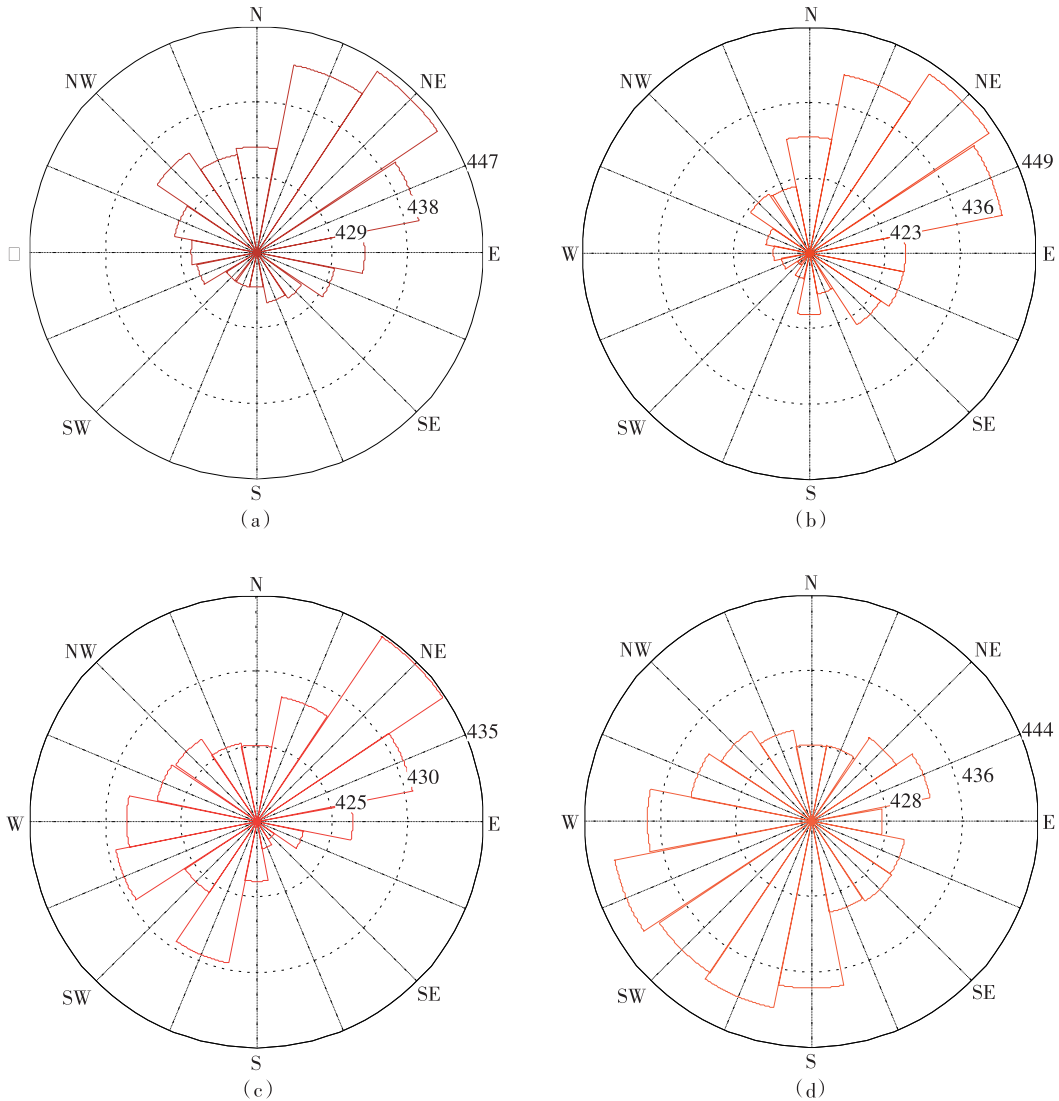


图3 景德镇地区春季(a)、夏季(b)、秋季(c)、冬季(d)不同风向的大气 CO<sub>2</sub> 浓度分布(单位:10<sup>-6</sup>)  
 Fig. 3 Hourly averaged CO<sub>2</sub> concentrations at different wind directions in Jingdezhen in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d) (units: 10<sup>-6</sup>)

2.4 各季节风速对大气 CO<sub>2</sub> 浓度影响

根据蒲式风级定义对风力进行分级。图4为不同季节各级风所对应的平均 CO<sub>2</sub> 浓度。总体来看,春、夏和秋季风速对局地 CO<sub>2</sub> 浓度的影响比较一致,大气 CO<sub>2</sub> 浓度随着风速的增加不断降低(个别微小差异忽略)。这也说明,风速越大越有利于污染物的扩散。冬季,风速对大气 CO<sub>2</sub> 浓度无明显影响,这可能是冬季盛行偏北风,但偏北风向上的 CO<sub>2</sub> 浓度值较低,且风速的影响因子小于风向。气象上,低风速代表稳定的大气层结,CO<sub>2</sub> 容易堆积,浓度值较高;风速的增加使大气扩散条件改善,利于 CO<sub>2</sub> 扩散,其浓度值随之降低。

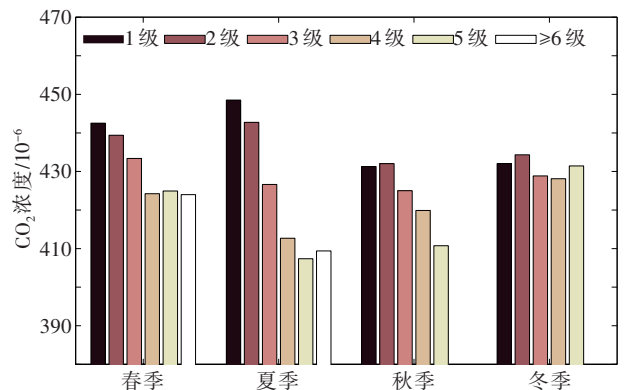


图4 不同季节不同等级风力对应的 CO<sub>2</sub> 浓度  
 Fig. 4 Mean CO<sub>2</sub> concentrations affect by wind speed in different seasons

## 2.5 筛分后大气 CO<sub>2</sub> 浓度变化

为了剔除污染数据的影响,使观测数据具有区域代表性,需要对温室气体监测数据进行筛分,这是研究区域大气温室气体特征,进行不同区域浓度横向对比的基础。风向、风速作为影响地面温室气体浓度的重要影响因子之一已成广泛共识。本研究参照栾天等(2014)对大气 CO<sub>2</sub> 筛分方法,即利用风向、风速对景德镇区域大气 CO<sub>2</sub> 浓度进行了数据筛分。具体筛分条件:1)高低层大气 CO<sub>2</sub> 浓度差值在  $1.5 \times 10^{-6}$  以内;2)风速在 2 级以上;3)滤除各季节高大气 CO<sub>2</sub> 浓度风向上的值,即春、夏季 NNE、NE、ENE 风向,秋季 NE、ENE 风向,冬季 W、WSW、SW、SSW、S 风向。筛分结果(图 5)显示,筛分后的景德镇区域大气 CO<sub>2</sub> 浓度明显低于筛分前,说明该区域大气 CO<sub>2</sub> 受源汇以及大气输送影响较大。同时,筛分后变化趋势较筛分前明显,表现为夏半年 CO<sub>2</sub> 浓度低于冬半年,2—9 月浓度逐渐下降,9 月一次年 2 月逐渐上升,浓度值在 8 月达到最低,1 月达到最高。这也是受北半球陆地生物圈的影响,即夏季植被生长茂盛,光合作用强于呼吸作用,表现为碳汇;而冬季相反,表现为碳源。筛分后,景德镇地区 2017 年 12 月—2018 年 11 月年均大气 CO<sub>2</sub> 浓度为  $422.1 \times 10^{-6}$ ,浓度日均值年振幅  $73.96 \times 10^{-6}$ ,大气 CO<sub>2</sub> 浓度值大小按季节依次为冬季 ( $425.4 \times 10^{-6}$ )、春季 ( $424.4 \times 10^{-6}$ )、秋季 ( $419.8 \times 10^{-6}$ )、夏季 ( $413.9 \times 10^{-6}$ ),这也验证了景德镇地区大气 CO<sub>2</sub> 浓度受人类污染活动影响较大。

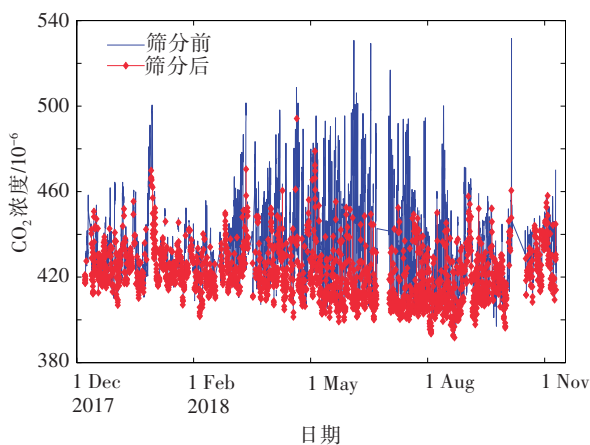


图 5 景德镇地区 50 m 高度大气 CO<sub>2</sub> 筛分前后小时浓度变化  
Fig. 5 Hourly changes before and after atmospheric CO<sub>2</sub> concentration screened in Jingdezhen area at 50 m altitude

## 3 结论

文中基于温室气体监测站 CO<sub>2</sub> 观测数据,分析了景德镇 2017 年 12 月—2018 年 11 月大气 CO<sub>2</sub> 浓度变化特征,并对 CO<sub>2</sub> 浓度进行了筛分,得到:

1) 大气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化趋势一致,即白天浓度逐渐下降,夜间逐渐上升。最高值一般出现在 05—08 时,最低值一般出现在 16—18 时。

2) 总体来看,4—10 月 CO<sub>2</sub> 浓度值逐渐下降,振幅小于其余月份;11 月一次年 3 月浓度变化无明显规律且波动很大。景德镇大气 CO<sub>2</sub> 浓度受人类影响大,不经筛分时不同季度浓度值大小依次为春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、冬季(12—2 月)、秋季(9—11 月),但经过筛分后则呈现出冬季、春季、秋季、夏季。经过筛分剔除污染数据后,景德镇地区年均大气 CO<sub>2</sub> 浓度为  $422.1 \times 10^{-6}$ ,且夏半年 CO<sub>2</sub> 浓度低于冬半年,2—9 月浓度逐渐下降,9 月一次年 2 月逐渐上升,浓度值在 8 月达到最低,1 月达到最高,浓度日均值年振幅  $73.96 \times 10^{-6}$ 。

3) 景德镇地区主导风向为 N(占比 21.1%),其次为 NNE(13.36%)。春、夏季 NNE、NE、ENE 风向,秋季 NE、ENE 风向以及冬季 W、WSW、SW、SSW、S 风向上 CO<sub>2</sub> 浓度较高。春、夏和秋季风速对局地 CO<sub>2</sub> 浓度的影响比较一致,大气 CO<sub>2</sub> 浓度随着风速的增加不断降低(个别微小差异忽略)。冬季,风速对大气 CO<sub>2</sub> 浓度无明显影响。

## 参考文献(References)

- 程已阳, 2018. 我国 4 个 WMO/GAW 本底站大气 CO<sub>2</sub> 浓度以及源汇特征[C]//中国气象学会. 第 35 届中国气象学会年会论文集. 北京:中国气象学会. Cheng Y Y, 2018. CO<sub>2</sub> Concentrations and the variation characteristics at the four WMO/GAW background stations in China [C]//Chinese Meteorological Society. Proceedings of the 35th annual meeting of the Chinese Meteorological Society. Beijing: Chinese Meteorological Society. (in Chinese)
- 刘立新,周凌晞,张晓春,等, 2009. 我国 4 个国家级本底站大气 CO<sub>2</sub> 浓度变化特征[J]. 中国科学(D:地球科学), 39(2):222-228. Liu L X, Zhou L X, Zhang X C, et al, 2009. CO<sub>2</sub> concentrations and the variation characteristics at the four background stations in China[J]. Sci China Ser D, 39(2):222-228. (in Chinese)
- 栾天,周凌晞,方双喜,等, 2014. 龙凤山本底站大气 CO<sub>2</sub> 数据筛分及浓度特征研究[J]. 环境科学, 35(8):2864-2870. Luan T, Zhou L X, Fang S X, et al, 2014. Atmospheric CO<sub>2</sub> data filtering method and characteristics of the molar fractions at the Longfengshan WMO/GAW regional station in China[J]. Envi-

- ron Sci,35(8):2864-2870. (in Chinese)
- Ruckstuhl A, Henne S, Reimann S, et al, 2012. Robust extraction of baseline signal of atmospheric trace species using local regression[J]. Atmos Meas Techn,5(11):2613-2624.
- 世界气象组织, 2018. 2017年温室气体公报[R]. 日内瓦:世界气象组织. WMO Greenhouse Gas Bulletin, 2018. The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2017[R]. Geneva:World Meteorological Organization. (in Chinese)
- 谭鑫,朱新胜,谢旻,等, 2015. 江西千烟洲区域大气二氧化碳浓度观测研究[J]. 生态与农村环境学报,31(6):859-865. Tan X, Zhu X S, Xie M, et al, 2015. Monitoring of CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere over Qianyanzhou area, Jiangxi[J]. J Ecol Rural Environ,31(6):859-865. (in Chinese)
- 吴艳玲,宁尚军,于大江,等, 2015. 龙凤山区域大气本底站大气二氧化碳(CO<sub>2</sub>)浓度变化特征[J]. 环境化学,34(9):1627-1632. Wu Y L, Ning S J, Yu D J, et al, 2015. Characteristics of CO<sub>2</sub> concentrations and its variations at Longfengshan regional atmospheric background station in Northeast China[J]. Environ Chem,34(9):1627-1632. (in Chinese)
- 夏玲君,刘立新, 2017. 北京上甸子站大气 CH<sub>4</sub> 数据筛分及变化特征[J]. 中国环境科学,37(11):4044-4051. Xia L J, Liu L X, 2017. Data selection and variation characteristics of atmospheric CH<sub>4</sub> observed at Shangdianzi station in Beijing[J]. China Environ Sci,37(11):4044-4051. (in Chinese)
- 夏玲君,巩志宇,李柏贞, 2019. 基于 GOSAT 卫星遥感的我国中部地区大气 CH<sub>4</sub> 时空分布[J]. 气象与减灾研究,42(1):1-8. Xia L J, Gong Z Y, Li B Z, 2019. Spatial and temporal distribution of atmospheric CH<sub>4</sub> in central China based on satellite observations[J]. Meteor Disaster Reduction Res,42(1):1-8. (in Chinese)
- 徐宏辉,浦静姣,顾骏强,等, 2012. 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,21(2):204-208. Xu H H, Pu J J, Gu J Q, et al, 2012. Variation characteristics of atmospheric CH<sub>4</sub> concentration at Lin'An regional station [J]. Res Environ Yangtze Basin,21(2):204-208. (in Chinese)
- 张芳,周凌晞,刘立新,等, 2010. 瓦里关气相色谱法大气 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 在线观测数据处理分析[J]. 环境科学,31(10):2267-2272. Zhang F, Zhou L X, Liu L X, et al, 2010. Data processing and QA/QC of atmosphere CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> concentrations by a method of GC-FID in-situ measurement at Waliguan station [J]. Environ Sci,31(10):2267-2272. (in Chinese)
- 赵玉成,李宝鑫,黄建青, 2018. 瓦里关大气本底浓度的长期连续监测及变化特征[J]. 青海环境,28(1):36-38. Zhao Y C, Li B X, Huang J Q, 2018. Long-term continuous monitoring and variation characteristics of atmospheric background concentrations at Waliguan[J]. J Qinghai Environ,28(1):36-38. (in Chinese)
- 中国气象局, 2019. 2017年中国温室气体公报[R]. 北京:气象出版社. China Meteorological Administration, 2019. Greenhouse gas bulletin in China 2017[R]. Beijing:China Meteorological Press. (in Chinese)
- 周凌晞,汤洁,温玉璞,等, 2002. 地面风对瓦里关山大气 CO<sub>2</sub> 本底浓度的影响分析[J]. 环境科学学报,22(2):135-139. Zhou L X, Tang J, Wen Y P, et al, 2004. Impact of local surface winds on atmospheric carbon dioxide background concentrations at MT. Waliguan [J]. Acta Scien Circum,22(2):135-139. (in Chinese)