DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2020.06.008

秦艳红[1] 秦玮[1] 蒋自强[1] 刘笑媛[2] 杜嵩山[1] 袁琦[2]

江苏省城区 VOCs 污染特征及其关键活性物种识别

摘要

利用 2019 年 8 月 13 日—9 月 30 日江苏省 13 个设区市离线监测的 VOCs 数据,对江苏省城区 VOCs 污染特征及其关键活性组分进行分析研究.结果表明,江苏省逐日 VOCs 的体积分数范围为 8.83×10^{-9}~45.11×10^{-9},表现为烷烃>芳香烃>烯烃>炔烃.江苏省 13 个设区市 VOCs 的体积分数为 7.85×10^{-9}~30.52×10^{-9},徐州市 VOCs 最高,这与徐州市监测点位置分布及其工业结构相关.全省 13 个设区市臭氧浓度处于优、良、轻度污染和中度污染时,VOCs 总体积分数分别为 14.96×10^{-9}、17.96×10^{-9}、25.85×10^{-9}和 25.11×10^{-9},臭氧浓度处于污染状态时的 VOCs 高于优、良状态,且炔烃占比随着臭氧污染程度的加重呈升高趋势,表明现阶段臭氧生成与人类活动关系密切.通过加权的方式筛选出间/对二甲苯、乙烯、甲苯、丙烯、异戊二烯、邻二甲苯等物种,它们是目前对江苏省城区影响程度较大且影响范围较广的关键活性物种.

关键词

挥发性有机物(VOCs);污染特征;活性物种;臭氧

中图分类号 X51

文献标志码 A

收稿日期 2020-09-10

资助项目 江苏省 $PM_{2.5}$和臭氧污染协同控制重大专项(2019023);国家自然科学基金(41601193);江苏省自然科学基金(BK20160622);国家重点研发计划(2016YFC0200506);江苏省环境监测科研基金(1918)

作者简介

秦艳红,女,硕士,研究方向为环境空气质量监测及颗粒物来源解析.17625926948@163.com

蒋自强(通信作者),男,博士,研究方向为环境空气质量监测预报、数据同化和参数反演.zqjiang86@163.com

1 江苏省环境监测中心,南京,210019

2 江苏省苏力环境科技有限责任公司,南京,210036

0 引言

当前,我国大部分地区臭氧浓度呈逐年升高趋势[1-2],已成为影响全国空气质量达标率的重要污染物.挥发性有机物(Volatile Organic Compounds,VOCs)是参与臭氧生成的关键前体物,其化学组成复杂且不同组分的来源和化学活性存在显著差异[3],目前 VOCs 已成为大气化学研究的热点和难点之一.近年来,很多学者针对京津冀[4-6]、长三角[7-14]、珠三角[15-16]等经济发达区域的 VOCs 污染特征、来源、臭氧敏感性分析、关键管控物种识别及典型污染源 VOCs 排放特征等开展了大量研究.Cai 等[12]对上海中心城区 2007—2010 年 VOCs 的污染特征做了调查,结果显示上海中心城区 VOCs 的主要成分依次为烷烃(43%)、芳香烃(30%)、卤代烃(14%)和烯烃(6%),与陈长虹等[8]、崔虎雄等[13]在上海所测得结果一致,即烷烃>芳香烃>烯烃.从对臭氧贡献突出的关键物种来看,王倩[14]研究发现间/对二甲苯、乙烯、甲苯、丙烯和邻二甲苯等物种是对上海市臭氧生成存在重要贡献的关键活性物种.姚青等[6]发现天津郊区 VOCs 中生成臭氧的关键物种主要是乙烯、异戊二烯、甲苯、丙烯和间/对二甲苯等,烯烃贡献较芳香烃突出,与监测站点周边分布有多家石油化工企业和工业园有关.虞小芳等[16]在广州地区研究发现,当地甲苯、反-2-戊烯、间/对二甲苯、1,3-丁二烯、异戊二烯等对臭氧贡献突出.不同地区关键活性物种的研究结果存在一定的差异,受当地重点污染源种类、工业结构等影响显著.

江苏省位于我国人口密集、经济发达的长三角北部,是我国重要的工业、交通、经济和文化中心之一,其支柱产业如电子、电气机械及器材制造、化工、汽车、纺织、专用设备制造等 VOCs 排放问题突出.然而现有针对江苏省 VOCs 污染特征的研究相对较少,主要基于南京[9-10]、连云港[11]等单个城市研究为主.本文利用 2019 年 8 月 13 日—9 月 30 日江苏省 13 个设区市离线监测的 VOCs 数据,对江苏省 13 设区市城区 VOCs 污染特征及其关键活性物种进行分析研究,相关研究结果有利于科学认知江苏省区域大气 VOCs 污染特征,可为江苏省 VOCs 减排及臭氧污染管控措施的制定提供技术支撑.

1 实验部分

1.1 样品采集与分析

2019 年 8 月 13 日—9 月 30 日,江苏省 13 个设区市统一使用 3.2

L 或 6 L 苏玛罐开展 VOCs 采样工作,每个城市选择一个国家环境空气质量自动监测站(以下简称"国控站")布设 VOCs 采样点位,具体监测点位如表 1 所示.各设区市每天采集一个瞬时样品,采样时间为早上 7 时,因为 7 时大气光化学反应弱,可反映江苏省各设区市环境空气 VOCs 的本底浓度.监测物种为美国 EPA 的 PAMS 清单,包括 29 种烷烃、10 种烯烃、1 种炔烃(乙炔)、17 种芳香烃,分析原理主要参照《环境空气 挥发性有机物的测定罐采样/气相色谱-质谱法》(HJ 759—2015)和 Technical Assistance Document for Sampling and Analysis of Ozone Precursors(EPA/600-R-98/161),整个采样期间共计获得 629 组有效数据.

表 1 环境空气 VOCs 监测点位

Table 1 Ambient VOCs monitoring stations in Jiangsu province

序号	城市	采样点位	监测点位属性
1	南京	草场门	国控站
2	无锡	曹张新村	国控站
3	徐州	黄河新村	国控站
4	常州	市监测站	国控站
5	苏州	彩香	国控站
6	南通	虹桥	国控站
7	连云港	市监测站	国控站
8	淮安	市监测站	国控站
9	盐城	市监测站	国控站
10	扬州	市监测站	国控站
11	镇江	职教中心	国控站
12	泰州	公园路	国控站
13	宿迁	市供电局	国控站

1.2 臭氧生成潜势计算方法

大气中 VOCs 物种的化学结构存在较大区别,使得不同物种参与大气化学反应的能力最高可以相差 3 个数量级[3].为综合衡量各 VOCs 物种的反应活性对臭氧生成潜势的影响,Carter[17] 提出增量反应活性(Incremental Reactivity,IR)的定义,即在给定气团 VOCs 的混合物中,加入或者去除单位特定的 VOCs 所产生的臭氧质量浓度的变化.通常 VOCs 物种反应越快,IR 越大,当改变 VOCs 与 NO_x 的质量浓度比值,使 IR 最大称为最大增量反应活性(Max Incremental Reactivity,MIR).本研究引用 Carter[17] 研究得到的 MIR 修正值来计算臭氧生成潜势(Ozone Formation Potentials,OFPs),具体计算公式为

$$OFP_i = MIR_i \times [VOCs]_i, \quad (1)$$

式(1)中,$[VOCs]_i$ 表示观测期间环境空气 VOCs 质量浓度,单位为 μg/m^3;MIR_i 为 Cater 研究所得的 MIR 系数[17].

2 江苏省 VOCs 时空分布特征

观测期间,江苏省逐日 VOCs 的体积分数(图 1)为 8.83×10^{-9} ~ 45.11×10^{-9},9 月 8 日和 9 月 25 日 VOCs 体积分数出现超过 30×10^{-9} 以上高值.VOCs 平均体积分数为 $(19.18\pm7.50)\times10^{-9}$,与上海[7]、贵阳[18]等市 VOCs 的体积分数水平基本一致.烷烃、烯烃、炔烃、芳香烃的平均体积分数为 $(12.28\pm4.77)\times10^{-9}$、$(2.71\pm1.10)\times10^{-9}$、$(1.33\pm0.57)\times10^{-9}$、$(3.00\pm1.47)\times10^{-9}$,表现为烷烃>芳香烃>烯烃>炔烃,烷烃是江苏省 VOCs 中最主要的物种,占比超过一半,与上海[7-8,12-13]等研究结果一致.

观测期间,江苏省 13 个设区市 VOCs 的体积分数(图 2)为 7.85×10^{-9} ~ 30.52×10^{-9},徐州市 VOCs 体积分数最高,这可能是由于一方面徐州市监测站点位于城市核心区且靠近居民区,周边机动车流量大,生活面源和移动源排放突出,另一方面徐州是江苏省典型的重工业城市,电力、电子、设备制造、金属

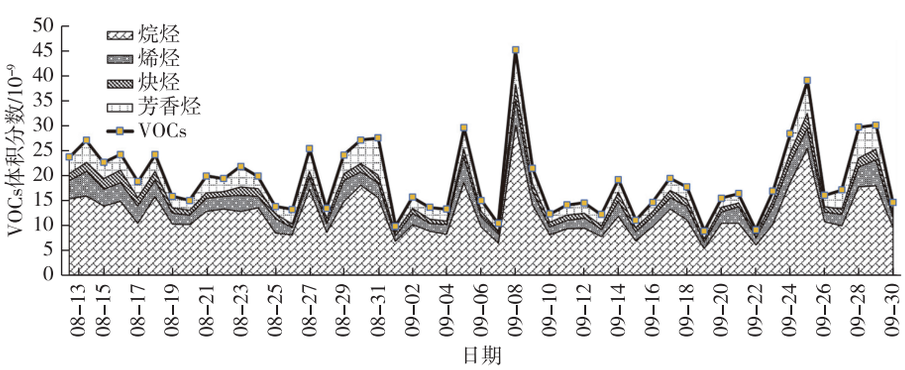


图 1 观测期间逐日 VOCs 体积分数

Fig. 1 Daily VOCs volume fraction during the sampling period in Jiangsu province

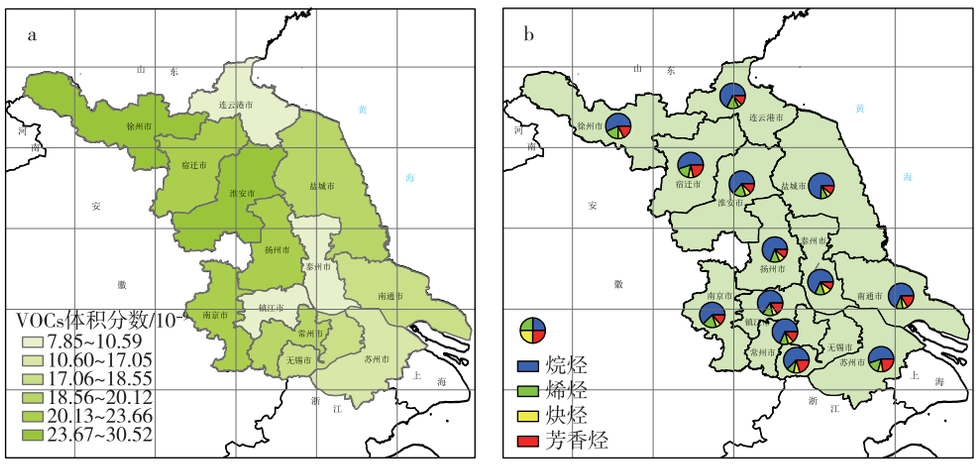


图 2　观测期间江苏省各设区市 VOCs 体积分数(a)及组分占比(b)

Fig. 2　VOCs volume fraction (a) and components (b) in Jiangsu province

冶炼、化工等工业为其支柱产业[19],工业方面 VOCs 排放量大.江苏省 13 个设区市 VOCs 占比最大的是烷烃,13 设区市占比范围在 55.1%(宿迁市)~74.5%(盐城市)之间,其次是烯烃和芳香烃,13 设区市占比范围分别是 9.0%(南通市)~18.2%(徐州市)和 9.8%(泰州市)~22.7%(苏州市),乙炔占比最低,13 设区市占比范围在 4.6%(连云港市)~10.2%(泰州市).

根据《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)统计江苏省 13 个设区市不同臭氧污染阶段 VOCs 体积分数水平及其化学组成(图 3).从结果来看臭氧处于优、良、轻度污染和中度污染时,VOCs 总体积分数分别为 14.96×10^{-9}、17.96×10^{-9}、25.85×10^{-9}和 25.11×10^{-9},轻度污染时期 VOCs 体积分数最高,臭氧处于污染状态时期(轻度和中度)的 VOCs 体积分数高于优、良状态时,主要是由于当前江苏省各市臭氧生成多属于 VOCs 控制区[9-11],臭氧的生成对 VOCs 体积分数较敏感.此外,中度污染时期 VOCs 的体积分数略低于轻度污染,这可能是由于污染时期气象条件较为接近(图 4),但中度污染时期环境空气平均温度和日最大温度高于轻度污染时期,VOCs 挥发速率更高.然而臭氧的累积是 VOCs 发生化学反应的结果,臭氧质量浓度受 VOCs 消耗量的影响更大[20],当环境温度升高时,VOCs 中部分物种的化学反应速率加快,使得中度污染时期 VOCs 消耗量略高.

臭氧处于优、良、轻度污染和中度污染时,VOCs 占比最高的组分都是烷烃,其占比分别为 67.4%、63.7%、61.4%和 62.4%,其次是烯烃和芳香烃,其中烯烃的占比分别为 12.2%、14.7%、14.1%和 10.8%,芳香烃的占比分别为 14.2%、14.7%、17.3%和 19.5%,炔烃的占比最低,分别为 6.2%、6.9%、7.2%和 7.3%.炔烃只有乙炔一种组分,其在燃烧源

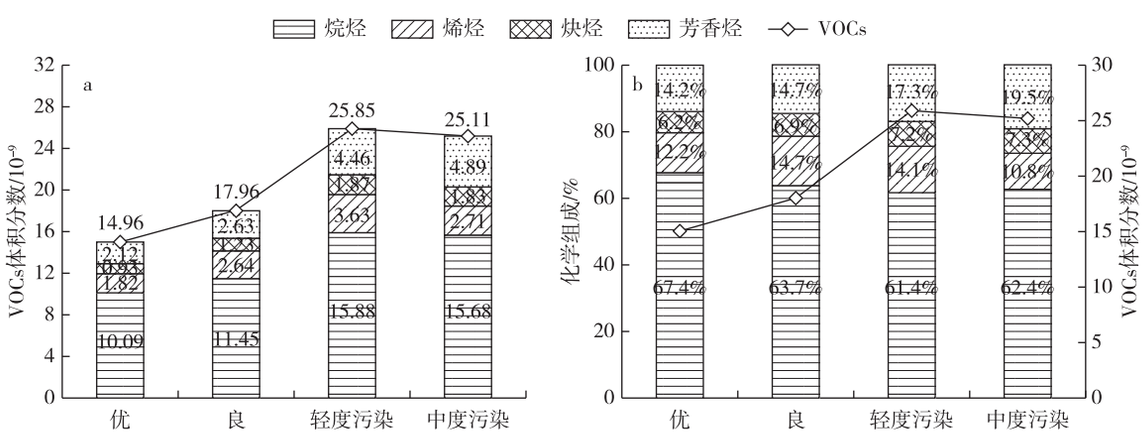


图 3　不同臭氧污染阶段 VOCs 体积分数(a)及其化学组成(b)

Fig. 3　VOCs volume fraction (a) and composition (b) in different stages of ozone pollution

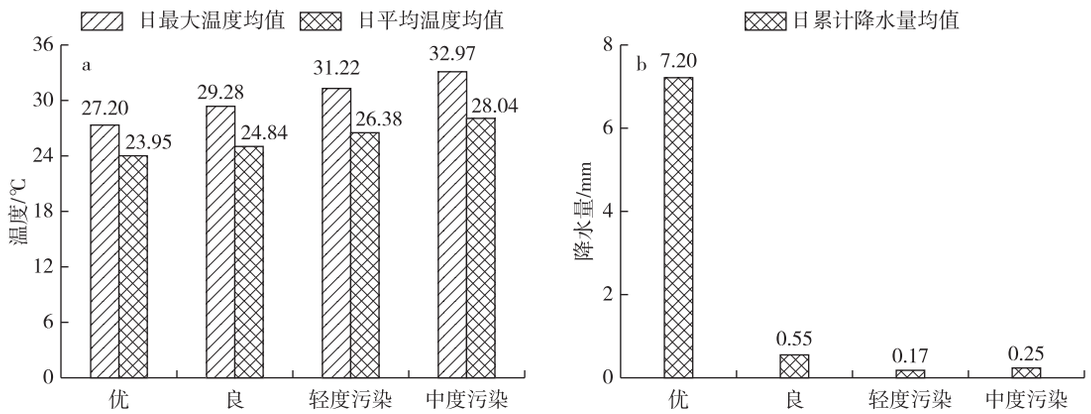


图 4　不同臭氧污染阶段气象因素

Fig. 4　Meteorological factors in different stages of ozone pollution

中含量丰富[21]且与 OH 自由基的大气反应活性低[3],在城市地区是人类活动的典型标志,不同臭氧污染阶段,炔烃占比随着臭氧污染程度的加重呈升高趋势,表明现阶段臭氧生成与人类活动关系密切.

尽管芳香烃不是浓度最高的 VOCs 组分,但是其部分物种能够指示一定的污染来源,不同排放源中,苯、甲苯、乙苯三者的体积分数比(φ(B):φ(T):φ(E))存在差异,通过归纳环境样品中 φ(B):φ(T):φ(E)的值可以判断苯系物的可能来源.本研究统计了江苏省 13 个设区市 φ(B):φ(T):φ(E)的比值,并利用张洲[22]获得的不同污染源谱得到的φ(B):φ(T):φ(E)三角形源识别区进行对比分析(图 5).从结果来看,观测期间江苏省 13 个设区市采集 VOCs 样品的 φ(B):φ(T):φ(E)比值多数落在机动车排放源区域内(黄色线框圈出区域),特点是甲苯占比相对较大,其次是苯,表明机动车尾气排放源(包括汽油车尾气、柴油车尾气、汽油挥发等)对我省环境空气 VOCs 的影响作用显著;部分 φ(B):φ(T):φ(E)比值散落在机动车排放源与工业过程和溶剂使用源(黄色线框与蓝色线框交叉部分)以及机动车排放源与生物质/生物质燃料/煤燃烧源(黄色线框与绿色线框交叉部分)交叉区域,整体来看,与贵阳[18]和长沙[23]等城市的研究结果一致.此外,苏州市 φ(B):φ(T):φ(E)比值落在工业过程和溶剂使用源中的数量较多,这与苏州市经济总量为江苏省第一、规模以上工业企业数量江苏省最多[24]有关.

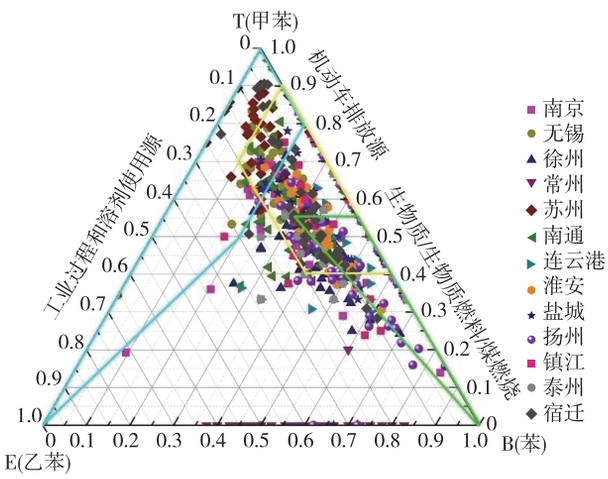


图 5　观测期间江苏各设区市 φ(B):φ(T):φ(E)比值

Fig. 5　Rations of φ(B):φ(T):φ(E) for 13 cities of Jiangsu province

3　关键活性物种识别

图 6 列举了观测期间对 VOCs 和 OFPs 贡献最高的前十物种.从 VOCs 体积分数看,排名前十的是丙烷、乙烷、乙烯、正丁烷、乙炔、甲苯、异丁烷、异戊烷、间/对二甲苯和苯,主要以烷烃为主,其物种数量占到一半.从 OFPs 值来看,排名前十的物种是间/对二甲苯、乙烯、甲苯、丙烯、异戊二烯、邻二甲苯、正丁烯、反-2-丁烯、1,2,4-三甲苯、1,3-二乙基苯,主要以芳香烃和烯烃物质为主,这主要是由于烯烃和芳香烃物质均含有不饱和的碳氢化合物,大气反应活性较强,以乙烯、间/对二甲苯和丙烷的最大增量反应活性为例[17],乙烯和间/对二甲苯分别是丙烷的 18.37 和 15.92 倍.

为更好地反映影响程度大且影响范围广的关键活性物种,本研究将 13 个设区市前十物种进行权重赋值,其中贡献最高的物种即排名第一的赋值为 10,排名第二的赋值为 9,其余依次递减,然后进行加权求和并统计物种出现次数(表 2),加权总和越大对

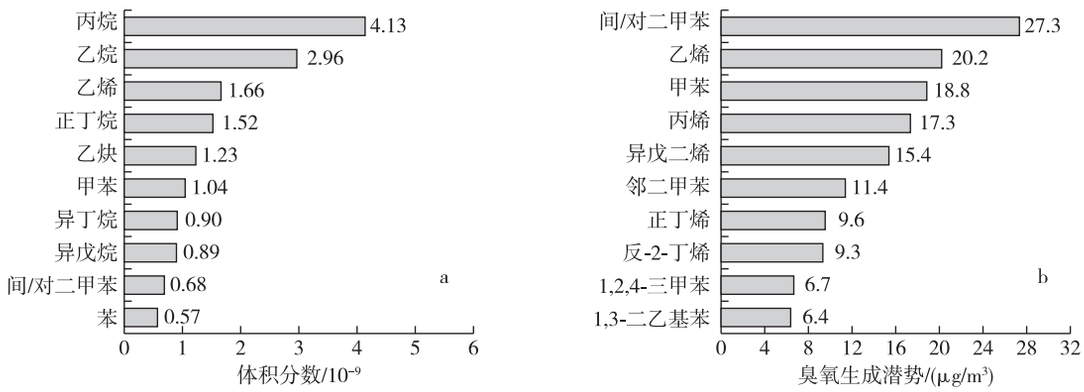


图 6　观测期间 VOCs(a)和 OFPs(b)贡献最高的前 10 物种

Fig. 6　Top 10 components of VOCs by volume fraction (a) and OFPs(b) for the sampling period

表 2　观测期间江苏省 OFPs 前十物种加权结果

Table 2　Weighted results of the top 10 OFPs for the sampling period

序号	物种名称	加权总和	物种出现次数	臭氧生成潜势总和/(μg/m³)
1	间/对二甲苯	111	13	352.26
2	乙烯	87	11	235.38
3	甲苯	82	12	225.68
4	丙烯	77	11	195.13
5	异戊二烯	65	11	166.01
6	邻二甲苯	39	11	118.48
7	正丁烯	39	8	92.79
8	反-2-丁烯	32	5	126.37
9	反 2-戊烯	32	4	133.07
10	顺-2-丁烯	21	3	84.53
11	1,2,4-三甲苯	17	4	64.61
12	1,2,3-三甲苯	16	3	59.73
13	异戊烷	15	6	35.20
14	2-甲基庚烷	11	2	22.77
15	顺-2-戊烯	11	2	34.26
16	乙苯	10	4	24.23
17	1,3,5-三甲苯	7	2	27.32
18	1,3-二乙基苯	6	2	25.91
19	1-乙基-3-甲基苯	5	2	24.43
20	正丁烷	5	2	10.85
21	正己烷	5	2	8.12
22	丙烷	4	2	9.92
23	对二乙苯	4	1	9.03
24	环戊烷	4	2	12.03
25	1-戊烯	3	1	15.80
26	1-己烯	2	1	5.36
27	苯乙烯	2	1	6.43
28	环己烷	2	1	2.82
29	正戊烷	1	1	10.29

全省臭氧影响程度越突出,出现次数越高则影响范围越广.从表 2 的结果来看,间/对二甲苯、乙烯、甲苯、丙烯、异戊二烯、邻二甲苯等物种的加权总和居前六位,且 13 设区市中共有 11 个城市出现上述物种,是目前对江苏省影响程度较大且范围较广的关键物种.其中除异戊二烯外,其余物种主要来源于溶剂涂料使用、石油化工及机动车尾气等人类生产活动,是现阶段江苏省环境空气 VOCs 中优先控制的典型物种.此外,异戊二烯臭氧生成潜势在全省前十物种中排名第五,其主要来源于植物生命活动排放[25],因而植物源是现阶段不可避免但又无法忽视的重要 VOCs 来源.

4　结束语

通过对江苏省城区 VOCs 污染特征及其关键活性物种进行分析发现,江苏省城区 VOCs 具有以下特征:

1)观测期间,江苏省逐日 VOCs 的体积分数范围为 $8.83\times10^{-9}\sim45.11\times10^{-9}$,VOCs 平均体积分数为$(19.18\pm7.50)\times10^{-9}$,表现为烷烃>芳香烃>烯烃>炔烃.江苏省 13 个设区市 VOCs 的体积分数范围为 $7.85\times10^{-9}\sim30.52\times10^{-9}$,徐州市 VOCs 体积分数最高,这与徐州市监测点位位置分布及其工业结构相关.

2)全省 13 个设区市臭氧浓度处于优、良、轻度污染和中度污染时,VOCs 总体积分数分别为 14.96×10^{-9}、17.96×10^{-9}、25.85×10^{-9}和 25.11×10^{-9},轻度污染时期 VOCs 体积分数最高,臭氧处于污染状态时期(轻度和中度)的 VOCs 体积分数高于优、良状态时,主要是由于当前江苏省各设区市臭氧生成多属于 VOCs 控制,臭氧的生成对 VOCs 体积分数较敏

感.不同臭氧污染阶段,炔烃占比随着臭氧污染程度的加重呈升高趋势,表明现阶段臭氧生成与人类活动关系密切.

3)通过加权的方式筛选出对江苏省臭氧生成贡献突出的关键活性物种,间/对二甲苯、乙烯、甲苯、丙烯、异戊二烯、邻二甲苯等物种的加权总和居前六位,且13个设区市中共有11个城市出现上述物种,是目前对江苏省影响程度较大且影响范围较广的关键物种.此外,异戊二烯臭氧生成潜势在全省前十物种中排名第五,植物源是现阶段不可避免但又无法忽视的重要VOCs来源.

参考文献

References

[1] 程麟钧,王帅,宫正宇,等.中国臭氧浓度的时空变化特征及分区[J].中国环境科学,2017,37(11):4003-4012
CHENG Linjun, WANG Shuai, GONG Zhengyu, et al. Spatial and seasonal variation and regionalization of ozone concentrations in China [J]. China Environmental Science,2017,37(11):4003-4012

[2] 赵辉,郑有飞,吴晓云,等.江苏省大气复合污染特征与相关气象驱动[J].中国环境科学,2018,38(8):2830-2839
ZHAO Hui, ZHENG Youfei, WU Xiaoyun, et al. Atmospheric compound pollution characteristics and the effects of meteorological factors in Jiangsu province[J]. China Environmental Science,2018,38(8):2830-2839

[3] Parrish D D, Trainer M, Young V, et al. Internal consistency tests for evaluation of measurements of anthropogenic hydrocarbons in the troposphere [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres,1998,103(D17):22339-22359

[4] 王鸣,陈文泰,陆思华,等.我国典型城市环境大气挥发性有机物特征比值[J].环境科学,2018,39(10):4393-4399
WANG Ming, CHEN Wentai, LU Sihua, et al. Ratios of volatile organic compounds in ambient air of various cities of China[J]. Chinese Journal of Environmental Science,2018,39(10):4393-4399

[5] 张利慧,毋振海,李斌,等.北京市城区春季大气挥发性有机物污染特征[J].环境科学研究,2020,33(3):526-535
ZHANG Lihui, WU Zhenhai, LI Bin, et al. Pollution characterizations of atmospheric volatile organic compounds in spring of Beijing urban area [J]. Research of Environmental Sciences,2020,33(3):526-535

[6] 姚青,韩素芹,张裕芬,等.天津夏季郊区VOCs对臭氧生成的影响[J].环境科学,2020,41(4):1573-1581
YAO Qing, HAN Suqin, ZHANG Yufen, et al. Effects of VOCs on ozone formation in the Tianjin suburbs in summer[J]. Environmental Science,2020,41(4):1573-1581

[7] 王红丽.上海市大气挥发性有机物化学消耗与臭氧生成的关系[J].环境科学,2015,36(9):3159-3167
WANG Hongli. Chemical loss of volatile organic compounds and its impact on the formation of ozone in Shanghai[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2015,36(9):3159-3167

[8] 陈长虹,苏雷燕,王红丽,等.上海市城区VOCs的年变化特征及其关键活性组分[J].环境科学学报,2012,32(2):367-376
CHEN Changhong, SU Leiyan, WANG Hongli, et al. Variation and key reactive species of ambient VOCs in the urban area of Shanghai, China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2012,32(2):367-376

[9] 杨笑笑,汤莉莉,张运江,等.南京夏季市区VOCs特征及O_3生成潜势的相关性分析[J].环境科学,2016,37(2):443-451
YANG Xiaoxiao, TANG Lili, ZHANG Yunjiang, et al. Correlation analysis between characteristics of VOCs and ozone formation potential in summer in Nanjing urban district[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2016,37(2):443-451

[10] 张璘,孟晓艳,秦玮,等.南京市臭氧、VOCs和PANs污染特征及变化趋势[J].中国环境监测,2017,33(4):68-76
ZHANG Lin, MENG Xiaoyan, QIN Wei, et al. Characteristics and variation tendency of O_3, VOCs and PANs pollutant in Nanjing[J]. Environmental Monitoring in China, 2017,33(4):68-76

[11] 崔金梦,王体健,李秋潼,等.连云港市挥发性有机化合物的组分特征及来源解析[J].环境科学,2020,41(9):3941-3950
CUI Jinmeng, WANG Tijian, LI Qiutong, et al. Component characteristics and source appointment of volatile organic compounds in Lianyungang city[J]. Environmental Science,2020,41(9):3941-3950

[12] Cai C J, Geng F H, Tie X X, et al. Characteristics and source apportionment of VOCs measured in Shanghai, China[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(38): 5005-5014

[13] 崔虎雄,吴迓名,段玉森,等.上海城区典型臭氧污染VOCs特征及潜势分析[J].环境监测管理与技术,2011,23(B12):18-23
CUI Huxiong, WU Yaming, DUAN Yusen, et al. VOCs characteristics of ozone pollution and its potential in Shanghai urban area [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring,2011,23(B12):18-23

[14] 王倩.2019年5月上海复合污染过程中挥发性有机物的污染特征及来源[J].环境科学,2020,41(6):2555-2564
WANG Qian. Chemical characteristics and sources of volatile organic compounds in Shanghai during an ozone and particulate pollution episode in May 2019[J]. Environmental Science,2020,41(6):2555-2564

[15] 古颖纲,虞小芳,杨闻达,等.广州市天河区2016年雨季挥发性有机物污染特征及来源解析[J].环境科学,2018,39(6):2528-2537
GU Yinggang, YU Xiaofang, YANG Wenda, et al. Characteristics and source apportionment of volatile organic

compounds in the rainy season of Guangzhou city[J]. Chinese Journal of Environmental Science,2018,39(6):2528-2537

[16] 虞小芳,程鹏,古颖纲,等.广州市夏季 VOCs 对臭氧及 SOA 生成潜势的研究[J].中国环境科学,2018,38(3):830-837
YU Xiaofang, CHENG Peng, GU Yinggang, et al. Formation potential of ozone and secondary organic aerosol from VOCs oxidation in summer in Guangzhou, China[J]. China Environmental Science,2018,38(3):830-837

[17] Carter W P L.Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds[J]. Air & Waste, 1994, 44(7):881-899

[18] 黄海梅,郭佳,王章玮,等.贵阳市大气挥发性有机物的初步分析[J].环境化学,2018,37(11):2387-2396
HUANG Haimei, GUO Jia, WANG Zhangwei, et al. Preliminary analysis of ambient volatile organic compounds in Guiyang, China[J]. Environmental Chemistry,2018,37(11):2387-2396

[19] 徐州市统计局.徐州统计年鉴:2019[M].徐州:中国统计出版社,2019
Xuzhou Bureau of Statistics. Xuzhou statistical yearbook: 2019[M]. Xuzhou: China Statistics Press,2019

[20] Wang H L, Chen C H, Wang Q, et al. Chemical loss of volatile organic compounds and its impact on the source analysis through a two-year continuous measurement[J]. Atmospheric Environment,2013,80:488-498

[21] Liu Y, Shao M, Fu L L, et al. Source profiles of volatile organic compounds (VOCs) measured in China: part I[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(25):6247-6260

[22] 张洲.中国大气非甲烷碳氢化合物时空分布特征初步研究[D].北京:中国科学院大学,2016.
ZHANG Zhou. Spatiotemporal patterns of ambient non-methane hydrocarbons in China[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences,2016

[23] 黄海梅,戴春皓,王章玮,等.长沙市大气挥发性有机物的组成与来源[J].环境化学,2019,38(3):539-547
HUANG Haimei, DAI Chunhao, WANG Zhangwei, et al. Composition and source apportionment of ambient volatile organic compounds in Changsha, China[J]. Environmental Chemistry,2019,38(3):539-547

[24] 江苏省统计局.江苏省统计年鉴:2019[M].江苏:中国统计出版社,2019
Jiangsu Provincial Bureau of Satatistics. Jiangsu statistical yearbook:2019[M]. Jiangsu: China Statistics Press,2019

[25] 李俊仪,田梁宇,伦小秀,等.北京地区植物源挥发性有机物(BVOCs)排放清单[J].环境化学,2017,36(4):776-786
LI Junyi, TIAN Liangyu, LUN Xiaoxiu, et al. Emission inventory of botanical volatile organic compounds (BVOCs) in Beijing[J]. Environmental Chemistry, 2017,36(4):776-786

Characteristics and reactive species of volatile organic compounds in Jiangsu province

QIN Yanhong[1] QIN Wei[1] JIANG Ziqiang[1] LIU Xiaoyuan[2] DU Songshan[1] YUAN Qi[2]

1 Jiangsu Provincial Environmental Monitoring Center, Nanjing 210019

2 Jiangsu Suli Environmental Science and Technology Company Limited, Nanjing 210036

Abstract We analyzed the characteristics of volatile organic compounds (VOCs) and their key active components in Jiangsu province using the VOCs data monitored in urban areas of Jiangsu's 13 cities from August 13th to September 30th, 2019. The results showed that the daily concentration of VOCs in Jiangsu ranged from 8.83×10^{-9} to 45.11×10^{-9}, with alkanes being dominant and followed by aromatics, alkenes, and alkynes. The concentration of VOCs in 13 cities ranged from 7.85×10^{-9} to 30.52×10^{-9}, which was highest in Xuzhou due to the location of its monitoring station as well as its industrial structure. When the ambient ozone concentration was excellent, good, light pollution, and moderate pollution, the total VOCs were 14.96×10^{-9}, 17.96×10^{-9}, 25.85×10^{-9}, and 25.11×10^{-9}, respectively. On the whole, the VOCs concentration was higher when the ozone was in pollution level, and the proportion of alkyne in VOCs increased with the aggravation of ozone pollution, indicating the close relation between ozone generation and human activities. Species including m/p-xylene, ethylene, toluene, propylene, isoprene and o-xylene, were screened out by weighting, which were the key species that had large and extensive impact on ambient VOCs of Jiangsu province.

Key words volatile organic compounds(VOCs); pollution characteristics; active species; ozone