



移动扫码阅读

史政都,田晋平,李秉正. 2015~2018年太原市臭氧污染特征分析[J].能源环境保护,2020,34(2):99-104.
SHI Zhengdu, TIAN Jinping, LI Bingzheng. Analysis of ozone pollution characteristics in Taiyuan City from 2015 to 2018[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(2): 99-104.

2015~2018年太原市臭氧污染特征分析

史政都,田晋平,李秉正

(太原科技大学 环境与安全学院,山西 太原 030024)

摘要:基于太原市2015年1月~2019年2月的空气质量监测数据,分析了太原市近地面臭氧浓度变化特征。结果表明:2015~2018年太原市臭氧年平均浓度为78.42、82.33、95.87、103.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,臭氧浓度存在加速上升趋势;臭氧浓度逐日变化范围为5~270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,共有181 d超过GB 3095—2012《环境空气质量标准》二级标准限值(160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),超标时段主要集中于5~8月份;臭氧浓度日变化呈单峰型分布,峰值与谷值时段分别为14:00~16:00和6:00~7:00;臭氧浓度有明显的月变化规律,峰值与谷值时段分别为6~7月和1月、12月;臭氧浓度还表现出显著的季节变化规律,按浓度高低依次排序为夏季、春季、秋季和冬季;臭氧浓度与 NO_2 、CO、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈负相关性。

关键词:臭氧;太原市;变化规律;单峰型分布

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)02-0099-06

Analysis of ozone pollution characteristics in Taiyuan City from 2015 to 2018

SHI Zhengdu, TIAN Jinping, LI Bingzheng

(College of Environment and Safety, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Based on the air quality monitoring data of Taiyuan City from January, 2015 to February, 2019, the characteristics of near-surface ozone concentration were analyzed. The results showed that there was an accelerated increase in ozone concentration in Taiyuan City from 2015 to 2018, and the annual average ozone concentrations were 78.42, 82.33, 95.87, and 103.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The daily variation range of ozone concentration was 5 to 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The data of 181 days in total exceeded the secondary standard limits (160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in Ambient Air Quality Standards (GB 3095—2012), and mainly concentrated in May to August. The daily variation of ozone concentration showed a unimodal distribution, and the peak and valley periods were 14:00~16:00 and 6:00~7:00, respectively. The ozone concentration changed every month regularly. The peak value appeared in June and July. The valley value appeared in January and December. The ozone concentration variation also showed a significant seasonal rule. the order sorted from high to low is summer, spring, autumn and winter. Moreover, the ozone concentration was negatively correlated with the concentrations of NO_2 , CO, and $\text{PM}_{2.5}$.

Key Words: Ozone; Taiyuan City; Variation law; Unimodal distribution

0 引言

人类向大气排放着各种各样的废气污染物,其中具有代表性和普遍性的主要污染物有6种,即TSP、CO、飘尘、 SO_2 、 NO_x 和光化学氧化剂(O_3)。

从近几年环境监测的数据中不难看出, O_3 污染的趋势在不断加大,在某些地区已成为首要污染物。2012年新修订的《环境空气质量标准》(GB 3096—2012)中将臭氧日最大8小时平均浓度(O_3 -8 h)列为新增考核指标,这一规定的出台

收稿日期:2019-11-12

第一作者简介:史政都(1993-),男,山西忻州人,硕士研究生在读,主要研究方向为大气污染控制。Tel:18335103244, E-mail:451627209@qq.com

也说明了现在臭氧所造成污染的严重性^[1]。目前国内开展了大量的研究工作,包括臭氧反应机理、污染变化规律、相关气象及排放条件、对生物体的影响和污染控制对策等。

臭氧(O₃)又称为超氧,是氧气(O₂)的同素异形体,它是一种淡蓝色、有刺激性气味的氧化性气体。臭氧是组成天然大气中一种重要的微量气体,从空间的分布上,大气中的臭氧可以分为两部分,一部分存在于平流层中,占到臭氧总量的90%以上,它能够吸收来自太阳的紫外线短波辐射,使地球生物免受其侵害^[2];另一部分则存在于近地层中,是典型的二次污染物。近地面臭氧是光化学烟雾污染的重要指示因子,主要由人类活动排放的VOCs、NO_x、碳氧化物等经过一系列复杂的光化学反应而生成^[3]。臭氧具有很强的氧化性,低浓度的臭氧是有益的,它可以起到消毒和杀菌的作用,但是臭氧浓度太高不仅会危及植物、农作物的生长,还会刺激人的呼吸道系统和神经系统,干扰人体机能,加快衰老,诱发各种疾病等,所以超标的臭氧是个无形杀手^[4-8]。

太原市作为山西省的省会城市近年来随着经济的飞速发展,能源消耗量不断增加,城市内机动车数量逐年上涨,使得工业企业、机动车等排放到大气中的NO_x、VOCs不断增加,加之太原市三面环山的地形特点(其会导致的污染物不易扩散且在中心集聚),各方面原因都加剧当地的空气污染

的发生频次和程度^[9]。目前,文献对太原市臭氧污染相关研究报道尚不多见,其已滞缓臭氧污染防治措施的探索与开发。本文对太原市臭氧污染特征进行研究和分析,以为臭氧污染防治措施提供相关科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本次研究采用的太原市臭氧及其他污染物(PM_{2.5}、NO₂和CO)监测数据来源于全国城市空气质量实时发布平台,时间范围为2015年1月1日至2019年2月28日。

1.2 评价方法

臭氧标准参照《环境空气质量标准》(GB 3095—2012),以环境保护监测部门公布的监测数据与标准中对应的浓度限值比较^[1]。根据环境功能区分类和质量要求,太原市以臭氧浓度二级标准作为判定标准:O₃-8 h 二级标准限值为160 μg/m³,O₃-1 h 二级标准限值为200 μg/m³。

2 结果分析

2.1 太原市臭氧浓度总体变化特征

对太原市2015~2018年臭氧日最大8 h滑动平均值进行数据统计,根据统计结果绘制了2015~2018年太原市各年臭氧浓度变化趋势,如图1所示。

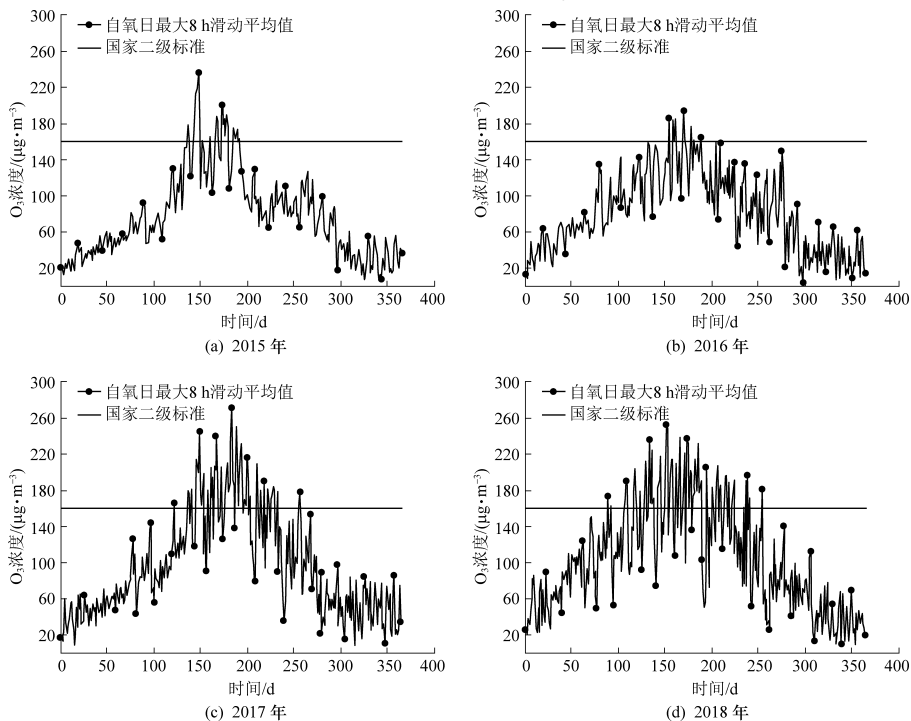


图1 2015~2018年太原市臭氧日最大8小时平均浓度全年变化趋势

2015~2018年太原市臭氧日最大8小时平均浓度逐日变化范围为5~270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,各年平均值分别为78.42、82.33、95.87和103.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,臭氧浓度平均值逐年递增;臭氧日最大8小时平均浓度主要集中在20~140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间,占81.65%;臭氧日最大8小时平均浓度>160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 共出现181天,占总天数12.39%,其中2015~2018年中每年超标天数分别为31天、15天、65天和70天,分别

占总超标天数的17.13%、8.29%、35.91%和38.67%。

2.2 太原市臭氧浓度日变化特征

通过对太原市2015~2018年臭氧1小时平均浓度(O_3-1h)进行统计计算,得到2015~2018年各月臭氧小时浓度平均值,根据统计结果绘制了2015~2018年太原市逐月臭氧小时浓度的日变化曲线,见图2所示。

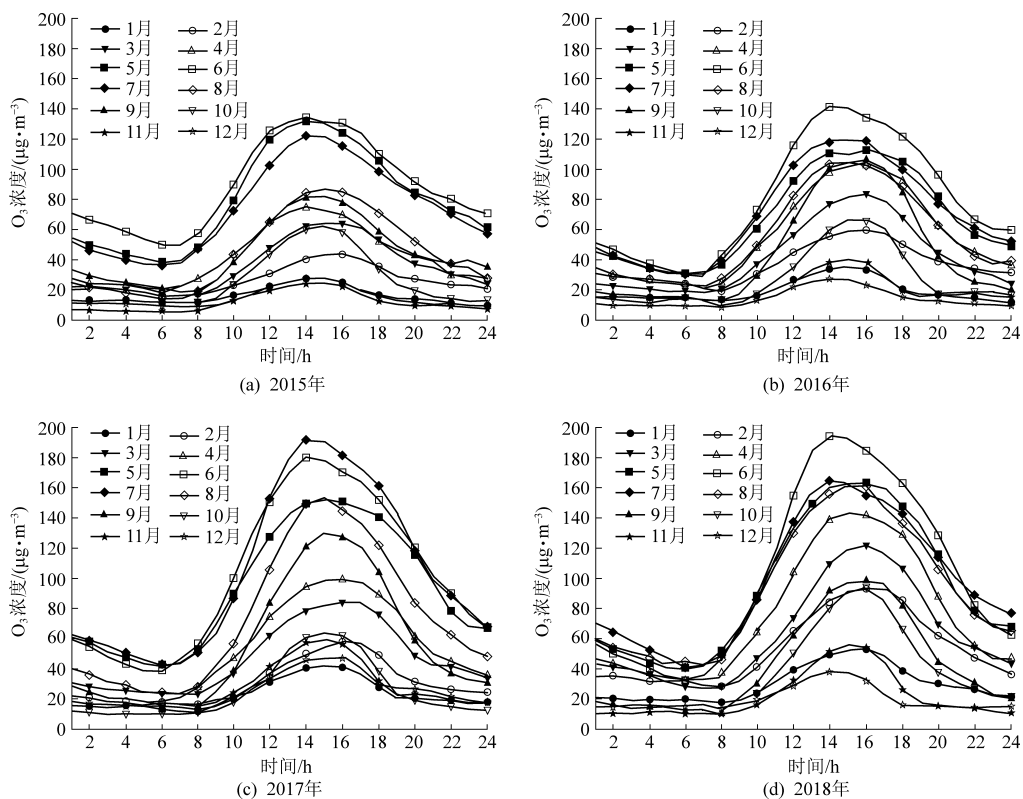


图2 2015~2018年太原市逐月臭氧小时浓度日变化

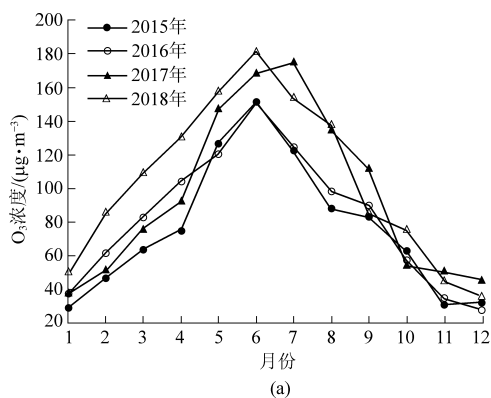
2015~2018年太原市臭氧浓度日变化均呈单峰型分布,早晨6:00~7:00出现谷值,14:00~16:00出现峰值,具有明显的日变化特征。在白天,随着人类活动的开始和太阳辐射逐步增强,光化学反应速度逐渐加快,臭氧浓度开始迅速上升,中午太阳辐射最强,温度最高,为光化学反应提供了最有利的条件,臭氧产生速率加快,12:00左右太阳辐射达到最大值,但是因为反应平衡有一定的延迟,所以地面臭氧浓度一般在14:00~16:00时达到最大值;随着太阳辐射的减弱,臭氧转化速率逐渐下降;在夜间没有太阳辐射,光化学反应速度缓慢,臭氧转化率低,并且一氧化氮等还原剂还会与臭氧反应,消耗部分臭氧,使得臭氧浓度不断降低,直到第二天太阳辐射的增强,臭氧浓度才再一次上升。说明臭氧浓度变化受太阳辐射的影响很大,与各地区城市典型臭氧浓度日变化

规律一致^[10-13]。

从峰值的平均浓度来看,2015~2016年逐月臭氧小时浓度峰值主要在20~140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间,而2017~2018年逐月臭氧小时浓度峰值则主要在40~200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间,峰值明显上升。此外臭氧小时浓度表现出明显的季节差异,4~8月份臭氧浓度较高,因为受温度、光照和太阳辐射等的影响,光化学反应在夏季较为强烈。以2018年为例,太原市臭氧浓度日变化呈明显的“单峰型”特点,臭氧浓度峰值出现在14:00~16:00,6月臭氧小时浓度峰值最高,6月(194.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>7月(164.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>5月(162.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>8月(161.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>4月(143.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>3月(121.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>9月(97.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>10月(94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>2月(93.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>11月(55.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>1月(54.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>12月(38.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。

2.3 太原市臭氧浓度月变化特征

太原市臭氧浓度月变化情况以及臭氧平均浓



度月超标情况见图3。

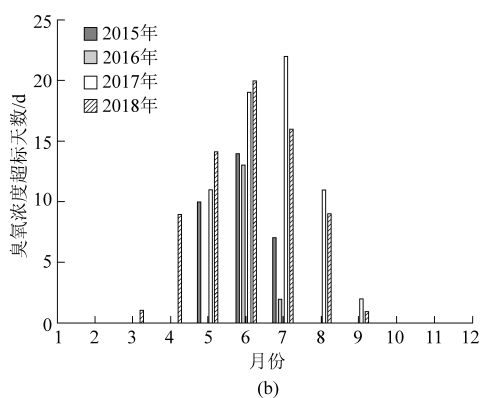


图3 太原市2015~2018年臭氧浓度月变化(a)和臭氧平均浓度月超标分布(b)

可以看出,2015、2016和2018年太原市臭氧平均浓度月变化规律为:1~6月呈上升趋势,6~12月呈下降趋势,6月份臭氧平均浓度分别达到 $151.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $151.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $180.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$;2017年臭氧平均浓度月变化规律为:1~7月呈上升趋势,7~12月呈下降趋势;6~7月份臭氧平均浓度较高,分别达到了 $168.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $175.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$,均超过了国家臭氧浓度二级标准 $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

2015~2018年太原市总超标天数为181天,臭氧平均浓度超标情况发生在3~9月份,主要集中在5~8月份,占总超标天数的92.82%。6月份超标天数为66天(2015年16天、2016年13天、2017年19天、2018年20天),占到总超标天数的36.46%;7月份超标天数为47天(2015年7天、2016年2天、2017年22天、2018年16天),占到总超标天数的25.97%;5月份超标天数为35天(2015年10天、2017年11天、2018年14天),占到总超标天数的19.34%;8月份超标天数为20天(2017年11天、2018年9天),占到总超标天数的11.05%;4月份超标天数为9天(2018年9天),占到总超标天数的4.97%;9月份超标天数为3天(2017年2天、2018年1天),占到总超标天数的1.65%;3月份超标天数为1天(2018年1天),占到总超标天数的0.55%。

2.4 太原市臭氧浓度季节变化特征

太原市臭氧浓度季节变化情况如图4所示。

2015~2018年太原市臭氧浓度均呈现出明显的季节变化规律。夏季浓度最高,各年平均值为 120.8 、 124.4 、 159.91 、 $157.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$;春季次之,各年平均值为 88.16 、 102.49 、 105.77 、 $132.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$;然后是秋季,各年平均值为 62.39 、 60.29 、 72.33 、 $68.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$;冬季浓度最低,各年平均值为 43.54 、

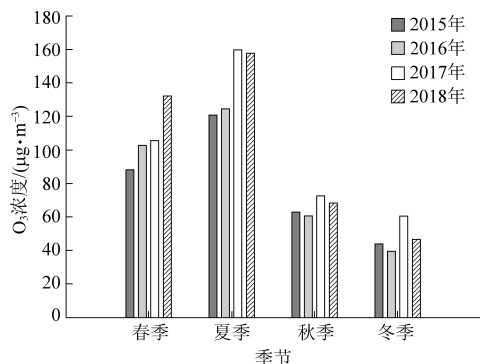


图4 2015~2018年太原市臭氧浓度季节变化

39.45 、 60.52 、 $46.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。夏季气温高、太阳紫外辐射强度大;春季风力大利于污染物扩散,但是气温略高且干燥又有利于化学反应达到平衡;秋季气温凉爽、冬季温度过低,都不利于化学反应的进行。因此,臭氧浓度变化呈现出明显的季节变化特征^[14]。

2.5 太原市臭氧与其他污染物的关系

对太原市2015~2018年各年每日每小时的 O_3 、 NO_2 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度平均值进行了统计计算,得到2015~2018年各年每小时的 O_3 、 NO_2 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度平均值,根据统计结果绘制了2015~2018年太原市各年臭氧小时平均浓度与 NO_2 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的日变化关系图,见图5所示。

NO_2 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的日变化曲线呈双峰型分布,首个峰值出现的时刻为9:00~10:00,而后浓度不断降低,在15:00~16:00降低至谷值,第二个浓度峰值出现在夜晚的21:00~23:00。可以看出 NO_2 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与 O_3 浓度呈现负相关关系。

臭氧主要由 NO_x 、 CO 和VOCs等前体物在合适的气象条件下反应生成,早晨7:00开始,人类

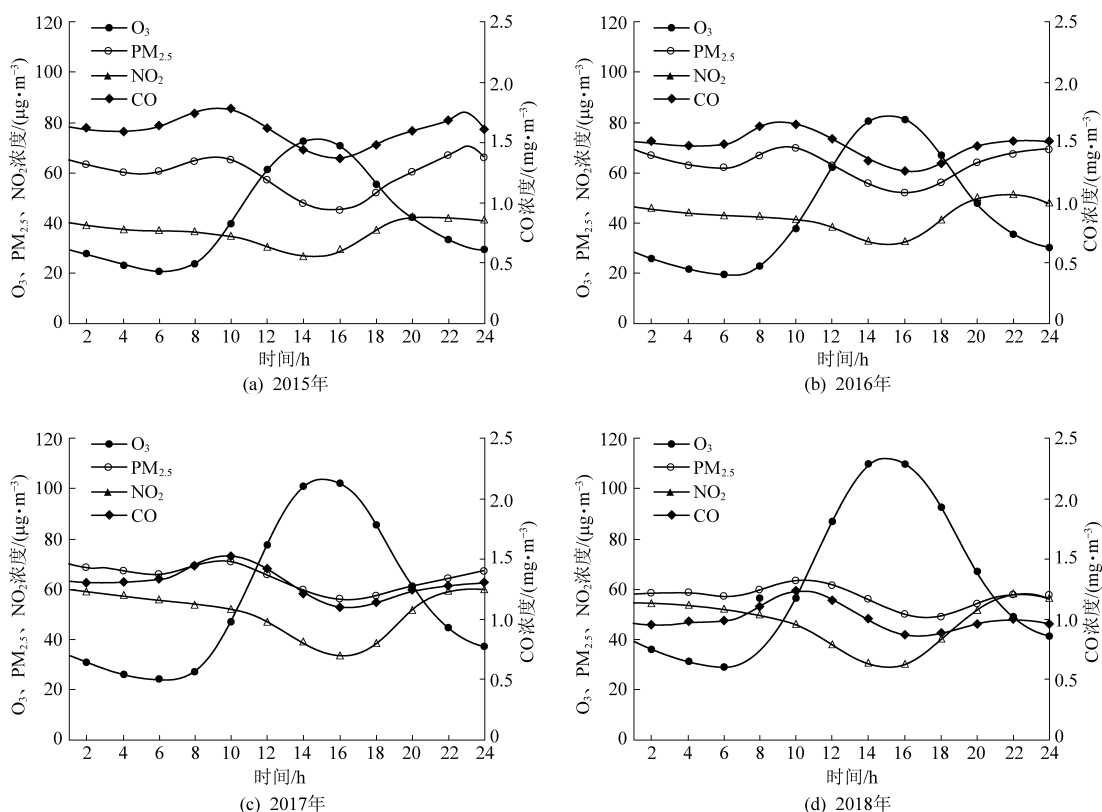


图 5 2015~2018 年太原市臭氧浓度与 NO_2 、CO、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的日变化关系

活动开始增强,汽车排放的 NO_x 、CO 等的浓度开始增加,随着太阳辐射的增强,光化学反应不断进行,使得臭氧浓度不断上升,而 NO_x 、CO 等被不断消耗。傍晚下班后 NO_x 、CO 等前体物再次不断累积,同时还会消耗臭氧。另外有研究分析表明,高浓度的臭氧可以促进细颗粒物的二次生成,但是 $\text{PM}_{2.5}$ 有消光的作用,可以吸收和散射太阳辐射,而紫外线辐射是产生臭氧的关键因素,所以当 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度高时臭氧浓度会下降^[15]。

3 太原市臭氧污染防治措施

太原市是国家能源重化工基地,以焦化、钢铁、电力等行业为主导行业,近年来城市规模不断扩大,机动车保有量大幅提升,造成臭氧污染逐年加重,因此,制定科学有效的臭氧污染防治策略成为首要工作。针对太原市臭氧污染防治,建议采取以下措施:

(1)持续优化产业结构,加大整治力度。以太原市综改区、不锈钢园区为重点,加快推进重点企业去产能和淘汰落后的工作,对装备制造、家具制造、溶剂涂料生产等涉及 VOCs 排放的企业进行严格监管,未安装 VOCs 治理设施或安装未运行的企业依法整治。

(2)建立太原市 VOCs 人为源排放清单,在

春、夏季臭氧污染较高时对太原市内焦化、钢铁、水泥、铸造等重点行业进行限产减排、错峰生产等措施,对机动车进行限号限行等措施,以此减少大气污染物的排放。

(3)进一步加大对机动车尾气治理和检测力度,未达标的车辆安装净化装置或淘汰,加速完成太原市公交车、出租车全部纯电动化进程,鼓励市民购买使用新能源汽车。

(4)鼓励市民绿色出行,太原市已完成公共自行车的租赁系统,自行车网点遍布全城,使用极为方便,在短途出行时可以选择乘坐公交车和自行车出行。

(5)以太原市臭氧污染特征为基础,联合各大高校、科研机构等技术力量,建立全市分区域、分行业的污染治理技术和体系,提出差异化污染防治策略。

4 结论

本文通过对太原市 2015 年 1 月到 2019 年 2 月的空气质量监测数据进行分析对比,得出结论:

(1)2015~2018 年太原市臭氧浓度逐日变化范围为 $5 \sim 270 \mu\text{g}/\text{m}^3$,各年平均浓度为 78.42、82.33、95.87 和 $103.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$,呈逐年递增状态,

超过国家臭氧浓度二级标准限制 $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 共 181 d, 占总天数 12.39%, 主要集中在 5~8 月份;

(2) 2015~2018 年太原市臭氧浓度日变化呈单峰型分布, 峰值出现在 14:00~16:00, 各年逐月臭氧小时浓度峰值变化范围为 $22.9\sim 194.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 谷值出现在早晨的 6:00~7:00, 各年逐月臭氧小时浓度谷值变化范围为 $5.6\sim 49.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$;

(3) 2015~2018 年太原市臭氧浓度有明显的月变化规律, 在 6~7 月达到最大, 平均浓度变化范围为 $122.19\sim 180.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1 月、12 月降到最低, 平均浓度变化范围为 $27.74\sim 50.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$;

(4) 2015~2018 年太原市臭氧浓度表现出显著的季节变化规律, 大小依次为夏季、春季、秋季、冬季, 其中春季臭氧浓度最高值出现在 2018 年, 为 $132.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 夏季、秋季、冬季臭氧浓度最高值都出现在 2017 年, 分别为 159.91 、 72.33 、 $60.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$;

(5) 2015~2018 年太原市臭氧浓度与 NO_2 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈现负相关关系, 在 14:00~16:00, 臭氧浓度达到最大值, 浓度变化范围为 $70.35\sim 112.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 此时 NO_2 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度为最低值, 浓度变化范围分别为 $26.68\sim 37.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.87\sim 1.44 \text{mg}/\text{m}^3$ 、 $45.3\sim 59.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

参考文献

[1] 环境保护部科技标准司. 环境空气质量标准: GB3095-2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.

[2] 佟霁坤, 陈海婴, 张越. 保定市臭氧污染时空变化特征研究分析 [J]. 环境科学与管理, 2016, 41 (4): 30-32.

[3] 梁碧玲, 张丽, 赖鑫, 等. 深圳市臭氧污染特征及其与气象

条件的关系 [J]. 气象与环境学报, 2017, 33 (1): 66-71.

[4] 张红星, 孙旭, 姚余辉, 等. 北京夏季地表臭氧污染分布特征及其对植物的伤害效应 [J]. 生态学报, 2014, 34 (16): 4756-4765.

[5] Francis Mary, Groves Angela M, Sun Richard, et al. CCR2 regulates inflammatory cell accumulation in the lung and tissue injury following ozone exposure [J]. Toxicol Sciences, 2017, 155 (2): 474-484.

[6] Yusef Omid Khaniabadi, Philip K. Hopke, Gholamreza Goudarzi, et al. Cardiopulmonary mortality and COPD attributed to ambient ozone [J]. Environ Research, 2017, 152: 336-341.

[7] Tao Wang, Likun Xue, Peter Brimblecombe, et al. Ozone pollution in China: A review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects [J]. Science of the Total Environment, 2017, 575: 1582-1596.

[8] Mumaw Christen L, Levesque Shannon, McGraw Constance, et al. Microglial priming through the lung-brain axis: the role of air pollution-induced circulating factors [J]. FASEB Journal, 2016, 30 (5): 1880-1891.

[9] 张云芳. 太原市空气质量状况分析报告 [J]. 山西科技, 2015, 30 (1): 82-84.

[10] 黄秋霞. 新疆典型区域近地面臭氧浓度特征分析 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2014: 38-39.

[11] 王建滨. 苏州市吴江区环境空气中臭氧污染特征及其影响因素研究 [J]. 黑龙江科学, 2018, 9 (10): 1-3.

[12] 朱志锋. 2017 年南京市臭氧污染现状分析 [J]. 科技风, 2018 (20): 129.

[13] 费金岩. 抚顺市臭氧污染特征及原因分析 [J]. 黑龙江环境通报, 2015, 39 (4): 67-69.

[14] 王爱琴, 刘梦杰, 王俊, 等. 许昌市近地面臭氧变化特征分析 [J]. 许昌学院学报, 2015, 34 (5): 105-108.

[15] 郑冬, 李丹, 纪德钰, 等. 大连市近地面臭氧污染规律研究及与 $\text{PM}_{2.5}$ 等污染物的相关性分析 [J]. 环境与可持续发展, 2014, 39 (6): 177-180.