

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第8期

Vol.37 No.8

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

中国地区二次有机气溶胶的时空分布特征和来源分析 陈卓,刘峻峰,陶玮,陶澍 (2815)

中国民用煤燃烧排放细颗粒物中重金属的清单 刘海彪,孔少飞,王伟,严沁 (2823)

基于长时间序列的北京 PM_{2.5}浓度日变化及气象条件影响分析 苗蕾,廖晓农,王迎春 (2836)

2004~2015年北京市清洁点臭氧浓度变化特征 程念亮,李云婷,张大伟,陈添,魏强,孙彤卉,王步英,富佳明,何乐为,程兵芬,皮帅,马立光,崔继宪,孟凡 (2847)

抗战胜利70周年大阅兵期间石家庄大气细颗粒物在线来源解析 周静博,李治国,路娜,徐曼,杨鹏,高康宁,王建国,靳伟 (2855)

成都平原大气颗粒物中无机水溶性离子污染特征 蒋燕,贺光艳,罗彬,陈建文,王斌,杜云松,杜明 (2863)

嘉兴市春季一次持续雾霾过程中气象条件与污染物变化特征分析 沈利娟,王红磊,李莉,吕升,袁婧,张孝寒,章国骏,王翡 (2871)

泉州市大气降尘中金属元素污染特征及来源解析 张棕巍,胡恭任,于瑞莲,刘贤荣,胡起超,王晓明 (2881)

城市室内灰尘重金属水平、影响因素及健康风险:以贵阳市为例 李晓燕,汪浪,张舒婷 (2889)

桂林市酸雨变化特征及来源分析 郭雅思,于爽,黎泳珊,孙平安,何若雪 (2897)

农田土壤施用系列新型氮肥后气态氮(NH₃和N₂O)减排效果比较:以夏玉米季为例 范会,姜姗姗,魏茨,蒋静艳 (2906)

青海南部高原积雪期与生长季高寒草甸土壤CO₂、CH₄和N₂O通量的观测 吴建国,周巧富 (2914)

三峡库区香溪河秋末至中冬CO₂和CH₄分压特征分析 张军伟,雷丹,肖尚斌,张成,穆晓辉,刘佳,李迎晨 (2924)

气候变化对于桥水库总磷与溶解氧的潜在影响分析 张晨,刘汉安,高学平,张文娜 (2932)

三峡库区小流域土地利用结构变化及其氮素输出控制效应:以兰陵溪小流域为例 吴东,黄志霖,肖文发,曾立雄,韩黎阳 (2940)

入湖河流水质对土地利用时空格局的响应研究:以洱海北部流域为例 项颂,庞燕,储昭升,胡小贞,孙莉,薛力强 (2947)

库湾营养盐循环对三峡库区营养盐运输的影响:以草堂河为例 王晓彤,罗光富,操满,王雨春,汪福顺,邓兵 (2957)

农田溪流人工深潭地貌格局暂态存储特征分析 李如忠,黄青飞,钱靖,殷晓曦,韦林 (2964)

农田排水沟渠水体-底泥中溶质氮分布特征试验研究 李强坤,胡亚伟,宋常吉,彭聪 (2973)

三峡库区典型消落带土壤微生物生物量碳、氮的变化特征及其影响因素探讨 柴雪思,雷利国,江长胜,黄哲,范志伟,郝庆菊 (2979)

重金属在河口区潮汐界面与盐度界面响应规律研究 刘静,郑丙辉,刘录三,马迎群,林岗璇,汪星,夏阳 (2989)

深圳地区全氟辛酸磺酸的环境多介质迁移和归趋行为研究 崔晓宇,张鸿,罗骥,张若冰 (3001)

柘林湾表层沉积物中有机氯农药的分布特征及生态风险评价 卫亚宁,潘佳钊,宋玉梅,郭鹏然,王毅 (3007)

北运河水体中荧光溶解性有机物空间分布特征及来源分析 陈永娟,胡玮璇,庞树江,王晓燕 (3017)

昌邑滨海湿地沉积物的放射性核素水平与环境指示意义 王启栋,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁,曹磊 (3026)

甬醇对南山老龙洞地下水粪便污染的指示 廖昱,孙玉川,王尊波,梁作兵,张远瞩 (3034)

漳沱河冲洪积扇地下水中酞酸酯的污染现状与分布特征 昌盛,赵兴茹,刘琰,耿梦娇,乔翠琴 (3041)

雨季不同土地利用下表层岩溶泉中脂肪酸来源分析 张媚,孙玉川,谢正兰,余琴,赵瑞一,梁作兵 (3049)

Zn系LDHs覆膜改性人工湿地沸石基质除磷机制 张翔凌,黄华玲,郭露,陈巧珍,阮聪颖,冷玉洁 (3058)

Ce³⁺与Cu²⁺协同强化芬顿体系氧化苯酚的效能与机制研究 张剑桥,迟惠中,宋阳,罗从伟,江进,马军 (3067)

Pt/生物炭电极反应器处理水中腐殖酸的研究 丁文川,向星光,曾晓岚,厉晓宇,梁国强, M. M. Mian (3073)

石墨烯-TiO₂光催化剂复合板制备及其对五氯酚的催化降解 徐琪,周泽宇,王洪涛 (3079)

单偶氮染料AY17的光催化降解动力学及机制 阳海,魏宏庆,胡乐天,胡倩,阳立平,刘华杰,易翔,易兵 (3086)

硫自养反硝化处理高含氟光伏废水可行性 马航,朱强,朱亮,李祥,黄勇,魏凡凯,杨朋兵 (3094)

膜曝气-生物膜反应器生物强化处理阿特拉津废水运行性能 刘春,于长富,张静,陈晓轩,张磊,杨景亮 (3101)

ABR工艺ANAMMOX耦合短程硝化协同脱氮处理城市污水 吴鹏,张诗颖,宋吟玲,徐乐中,沈耀良,张婷 (3108)

活性污泥厌氧Fe(III)还原氨氧化现象初探 李祥,林兴,杨朋兵,黄勇,刘恒蔚 (3114)

低浓度氨氮废水单级自养脱氮EGSB反应器的快速启动 顾书军,方芳,李凯,刘勇,郭劲松,陈猷鹏,蒋甫阳 (3120)

超低溶解氧条件下的EBPR系统除磷性能 马娟,宋璐,俞小军,李璐,孙雷军,孙洪伟,李光银 (3128)

活性污泥表面性质对絮凝沉降性能与出水悬浮物的影响 何志江,赵媛,张源凯,王洪臣,齐鲁,尹训飞,张晓军 (3135)

山东省典型金矿区土壤重金属空间特征分析与环境风险评估 王菲,吴泉源,吕建树,董玉龙,曹文涛,康日斐,曹见飞 (3144)

电子垃圾拆解区土壤重金属空间异质性及分布特征 赵科理,傅伟军,叶正钱,戴巍 (3151)

我国18种不同理化性质的土壤对硒酸盐的吸附解吸作用研究 冯璞阳,李哲,者渝芸,黄杰,梁东丽 (3160)

流动搅动法研究针铁矿对亚砷酸盐的吸附特征 李鑫,杨军,饶伟,王代长,杜光辉,化党领,刘世亮,刘红恩 (3169)

聚羧基铝柱撑硅藻土的制备及其对水溶液中Cu²⁺、Zn²⁺的吸附特性 朱健,雷明婧,王平,张伟丽,陈仰 (3177)

新型污泥基吸附材料制备及其氨氮去除性能评价 王文东,刘荟,张银婷,杨生炯 (3186)

纳米复合水凝胶的制备及其对重金属离子的吸附 朱倩,李正魁,张一品,韩华杨,王浩 (3192)

鼠李糖脂与β-环糊精复合提取预测污染土壤中PAHs的生物有效性 张亚楠,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,王芳,王代长,蒋新 (3201)

不同磷水平下丛枝菌根真菌对纳米氧化锌生物效应的影响 景新新,苏志忠,邢红恩,王发园,石兆勇,刘雪琴 (3208)

中美水生生物基准受试物种敏感性差异研究 王晓南,闫振广,余若祯,王婉华,陈丽红,刘征涛 (3216)

贫营养和痕量抗生素对质粒抗生素抗性适应度代价的影响 林文芳,陈胜,万堃,王春明,林惠荣,于鑫 (3224)

不同氨水平下间作对玉米土壤硝化势和氨氧化微生物数量的影响 吕玉,周龙,龙光强,汤利 (3229)

《环境科学》征订启事(3025) 《环境科学》征稿简则(3057) 信息(3072, 3085, 3143)

2004 ~ 2015 年北京市清洁点臭氧浓度变化特征

程念亮^{1,2,3}, 李云婷¹, 张大伟^{1*}, 陈添⁴, 魏强¹, 孙彤卉¹, 王步英¹, 富佳明¹, 何乐为¹, 程兵芬^{2,3}, 皮帅¹, 马立光¹, 崔继宪¹, 孟凡^{2,3*}

(1. 北京市环境保护监测中心, 大气颗粒物监测技术北京市重点实验室, 北京 100048; 2. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 4. 北京市环境保护局, 北京 100048)

摘要: 利用 2004 ~ 2015 年北京市自动监测网络 O₃ 浓度数据, 综合探讨了北京市清洁点定陵站 O₃ 浓度的变化特征, 结果表明, 定陵站 2004 ~ 2015 年 O₃1h 浓度整体呈上升的趋势, 年均浓度增长率为 4.40 μg·m⁻³, 定陵站 O₃8h 浓度整体呈下降的趋势, 年均浓度增长率为 -1.0 μg·m⁻³, 5 ~ 9 月 O₃8h 平均浓度增长率为 -1.5 μg·m⁻³. 近 3 年来定陵站 O₃8h 重度污染天数增加明显, O₃ 污染形势严峻. 定陵站每年 6 月左右 O₃ 浓度达到一年中的峰值, 日变化上 15:00 ~ 18:00 左右出现小时浓度峰值且 O₃ 日峰值浓度是中心城区的 1.01 ~ 1.56 倍; 不同年份 5 ~ 9 月定陵站 O₃ 日峰值浓度与城区站明显存在 1 h 滞后的现象, 定陵站峰值浓度与城区峰值浓度之差近年来明显缩小, 这可能一方面与 O₃ 区域污染输送有关, 另一方面可能与北京市城镇化扩张有关.

关键词: O₃8h; 变化趋势; 光化学污染; 北京; 区域输送

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)08-2847-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.08.004

Characteristics of Ozone Background Concentration in Beijing from 2004 to 2015

CHENG Nian-liang^{1,2,3}, LI Yun-ting¹, ZHANG Da-wei^{1*}, CHEN Tian⁴, WEI Qiang¹, SUN Tong-hui¹, WANG Bu-ying¹, FU Jia-ming¹, HE Le-wei¹, CHENG Bing-fen^{2,3}, PI Shuai¹, MA Li-guang¹, CUI Ji-xian¹, MENG Fan^{2,3*}

(1. Beijing Key Laboratory of Airborne Particulate Matter Monitoring Technology, Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China; 2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 4. Beijing Environmental Protection Bureau, Beijing 100048, China)

Abstract: Based on the hourly O₃ monitoring data from 2004 to 2015 of Beijing, a comprehensive discussion on the characteristics of O₃ concentration at a background station Dingling in Beijing was conducted. The results showed that the annual concentration of O₃1h was increasing with a growth rate of 4.40 μg·m⁻³ while the annual concentration of O₃8h was decreasing with annual average rates of -1.0 μg·m⁻³ and -1.5 μg·m⁻³ from May to October in 2004 and 2015. Over the past 3 years, number of O₃8h severe pollution days increased significantly and the situation of O₃ pollution in Beijing became more serious. O₃ concentration reached its peak in June in a year and its diurnal peak concentration occurred at about 15:00-18:00 at Dingling station which was 1.01-1.56 times larger than that in the urban center of Beijing. In different years, the ozone peak concentration at Dingling Station was 1h later than that in the urban center from May to October in diurnal variation and the difference of peak concentration was significantly reduced in recent years, which on the one hand may be related to regional ozone pollution, on the other hand may be related to the expansion of Beijing's urbanization.

Key words: O₃8h; trend; photochemical pollution; Beijing; regional transport

近年来, 区域臭氧(O₃)浓度升高及大气氧化性增强现象引起越来越多的关注^[1~3]. Vingarzan^[4]指出 O₃ 的背景浓度在过去的 30 年以每年 0.5% ~ 2% 的速率增长; Zhang 等^[5]发现中国已经成了 O₃ 重灾区, 我国东部地区特别是京津冀地区的区域性光化学污染呈加重态势; 邵敏等^[6]指出 2005 ~ 2010 年北京市 O₃ 白天体积分数在 40 × 10⁻⁹ ~ 60 × 10⁻⁹ 之间, 年增长率 6%. 国内外学者对北京及周边地区 O₃ 浓度变化特征做了大量研究. 有学者对北京及周边地区 O₃ 浓度变化特征做了大量分析^[7~14], 研

究均基于北京市几个观测站点或数值模式对特定时间段内 O₃ 浓度及其影响因素进行讨论, 且侧重于 O₃ 化学特征分析, 对长时间序列的 O₃ 浓度变化趋势及影响因素的讨论较少, 对不同地区 O₃ 背景浓度

收稿日期: 2016-02-02; 修订日期: 2016-03-06

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201409005); 国家科技支撑计划项目(2014BAC23B03); 北京市共青团优秀人才培养项目

作者简介: 程念亮(1987~), 男, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向为大气环境监测、模拟、预报、评估, E-mail: 15001195306@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhangdawei@bjmemc.com.cn; mengfan@craes.org.cn

的研究更少。

我国 O₃ 浓度监测起步较晚,2008 年中国环境监测总站组织并启动了由北京、天津、上海、重庆、沈阳、青岛和广东省参加的臭氧污染监测试点^[15];2013 年新修订的《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)^[16]才增加了 O₃ 日最大 8h 浓度限值(O₃8h)和细颗粒物(PM_{2.5})浓度限值;新标准发布以来,我国大气污染物背景浓度的研究主要集中在浙江临安、海南五指山、山东泰山、吉林长白山、山西庞泉沟、北京上甸子等监测点位上,且多侧重在颗粒物及其组分研究上^[17],对 O₃ 浓度研究较少且研究数据时空跨度较短。北京市作为我国首都,空气质量监测网络建设国内领先,对城市清洁对照点定陵站 O₃ 浓度已经开展了 10 年以上的监测,国内外研究部门由于缺乏长时间序列的观测数据,对北京市背景、清洁点定陵站 O₃ 浓度的变化趋势的研究几乎是空白^[18,19]。

新标准实施后,北京市 O₃ 浓度高低直接影响到北京市整体空气质量的排名,研究北京市清洁点 O₃ 长期浓度水平及变化趋势,有助于认清北京市大气环境中 O₃ 浓度现状,可为北京市 O₃ 的污染控制及治理提供科学依据。本研究利用 2004~2015 年北京市环境保护监测中心自动监测网络监测的定陵站 O₃ 监测数据,综合、系统分析了北京市清洁点 O₃ 的浓度水平、变化趋势。

1 材料与方 法

1.1 站点分布

北京市位于东经 115.7°~117.4°E,北纬 39.4°~41.6°N,地处华北平原西北端,地形为簸箕型,三

面环山,平均海拔 43.5 m,总面积 16 410.54 km²,62% 为山区,全市森林覆盖率为 37.6%。位于北纬 40°地区,属温带大陆性季风气候,四季分明,夏季高温多雨、盛行偏南风,冬季寒冷干燥、盛行偏北风,年平均风速 1.8~3 m·s⁻¹。近 10 年年降水量平均不足 450 mm,年均降水的 80% 集中在夏季 6、7、8 这 3 个月^[20]。

目前,北京市的空气质量地面自动监测网络由 35 个站点组成(站点位置见图 1),包括 1 个城市清洁对照点,23 个城市环境评价点,6 个区域背景传输点,5 个交通污染监控点。35 个站点分布在城六区(东城、西城、朝阳、海淀、丰台、石景山);西北部(昌平、延庆);东北部(怀柔、密云、平谷、顺义);东南部(通州、大兴、亦庄);西南部(房山、门头沟),覆盖所有区县,包括区域背景、郊区、城镇、交通干道、居住区等不同的环境类型;在 35 个站点中,分布在城六区(城区,下同)也共计 12 站点,包括北部新区、香山(植物园)、东四、官园、天坛、万寿西宫、奥体中心、农展馆、万柳、古城、丰台花园、云岗,12 站点臭氧浓度平均值代表城区臭氧浓度水平。本研究主要分析城市清洁对照点(定陵监测点) O₃ 浓度多年来的特征。

1.2 监测仪器

北京市 O₃ 监测数据为北京市大气环境空气自动监测网络监测的数据,O₃ 的监测仪器均为美国热电环境仪器公司 Thermo Fisher 生产的 49C O₃ 分析仪,检测方法为紫外光度法,根据 254 nm 的紫外光经过检测样品后紫外光被吸收的程度计算出 O₃ 的浓度。定陵站 O₃ 仪器分析仪最低检测限 1×10⁻⁹ (体积分数),精度 1×10⁻⁹ (体积分数),零漂

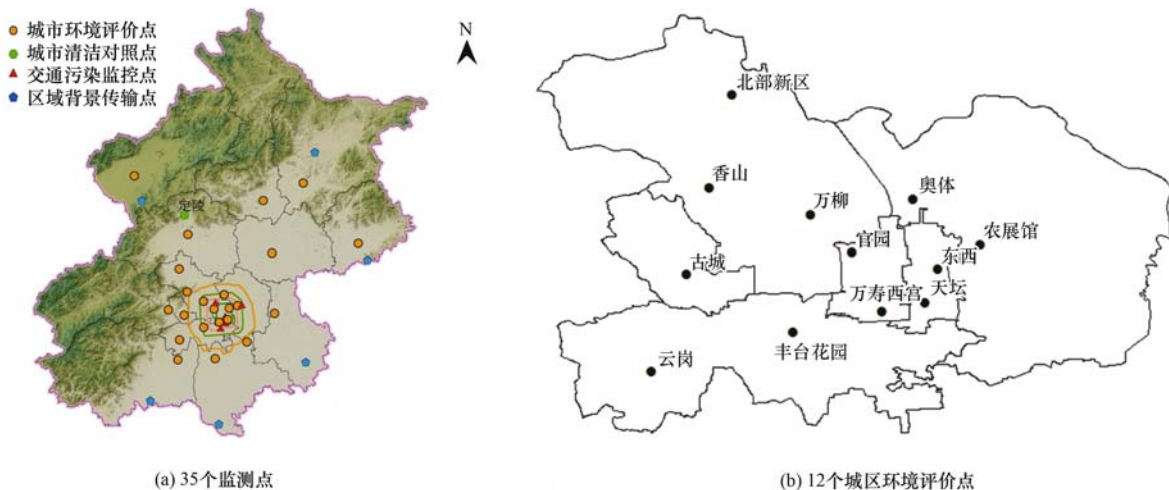


图 1 观测站点分布和分类

Fig. 1 Distribution and classification of observation sites

0.4%/24 h, 跨漂 $\pm 1\%/24\text{ h}$ 、 $\pm 2\%/7\text{ d}$ 。根据 O_3 监测标准的质保要求, O_3 标准每年与中国计量科学研究院 O_3 一级标准 NIST SRP41 进行比对, 溯源后的 O_3 监测仪将作为 O_3 实验室标准, 对定陵站的 O_3 标准进行传递。定陵站 O_3 监测仪器每 3 d 进行 1 次零跨校准、每 3 个月进行 1 次精密度审核、每 6 个月进行 1 次准确度检查以确保 O_3 监测工作的质量。操作流程严格按照《环境空气质量自动监测技术规范》(HJ/T 193-2005)^[21] 进行, 设备由技术人员定期标定并及时维护保养。

2 结果与讨论

2.1 O_3 时间分布

2.1.1 O_3 浓度年际变化

图 2 为北京市定陵站 O_3 1h、 O_3 8h 浓度年际变化箱式图, 从年际浓度变化趋势上看, 定陵站 O_3 1h 呈现较为明显的年际波动, 整体呈上升的趋势, 从拟合直线上看, 定陵站 O_3 1h 年均浓度增长率为 $4.40\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 5~9 月定陵站 O_3 1h 平均浓度增长率为 $0.31\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, O_3 1h 5~9 月拟合直线的相关系数 (0.1) 明显低于 O_3 1h 年均浓度相关系数 (0.81), 这可能与 5~9 月特殊的气象条件造成的区域 O_3 污染突出有关 (城镇近郊区 O_3 浓度差异缩小)^[22]。而定

陵站 O_3 8h 整体呈下降的趋势, 从拟合直线上看, 定陵站 O_3 8h 年均浓度增长率为 $-1.0\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 5~9 月定陵站 O_3 8h 浓度增长率为 $-1.5\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 拟合直线的相关系数均在 0.4 左右, 处于较高的水平, 表明拟合效果较好, 定陵站 O_3 8h 年均浓度下降可能与近年来北京市定陵站附近机动车保有量的增长相关, 较高的 NO 滴定了 O_3 8h 浓度^[23]。

2.1.2 O_3 浓度年变化

图 3 为不同年份北京市定陵站 O_3 浓度年变化曲线, 从中可知, 4 月开始定陵站 O_3 浓度明显上升, 5 月 O_3 月均浓度进一步增大, 6 月达到一年中的峰值, 7~8 月维持较高的浓度, 9 月 O_3 浓度开始下降; 11 月至次年的 1 月 O_3 平均浓度最低。 O_3 在大气中发生复杂的光化学反应, 包括自由基的生成、传递、终止反应等^[24], 反应速率受温度、光照和太阳辐射等气象条件影响, 其中近地面臭氧浓度与温度有较大的线性相关性; 夏季紫外强度与平均温度较高, 光化学反应速率较高, O_3 二次生成浓度相对较高; 冬季光化学反应较弱; 且在一定条件下, 高浓度颗粒物导致气溶胶光学厚度增大, 削弱 O_3 光化学生成率^[25], 两者相互作用故冬季 O_3 最低。

研究表明北方城市 O_3 浓度月变化规律呈现倒“V”字形^[15], O_3 浓度主要在 6 月左右达到最高值;

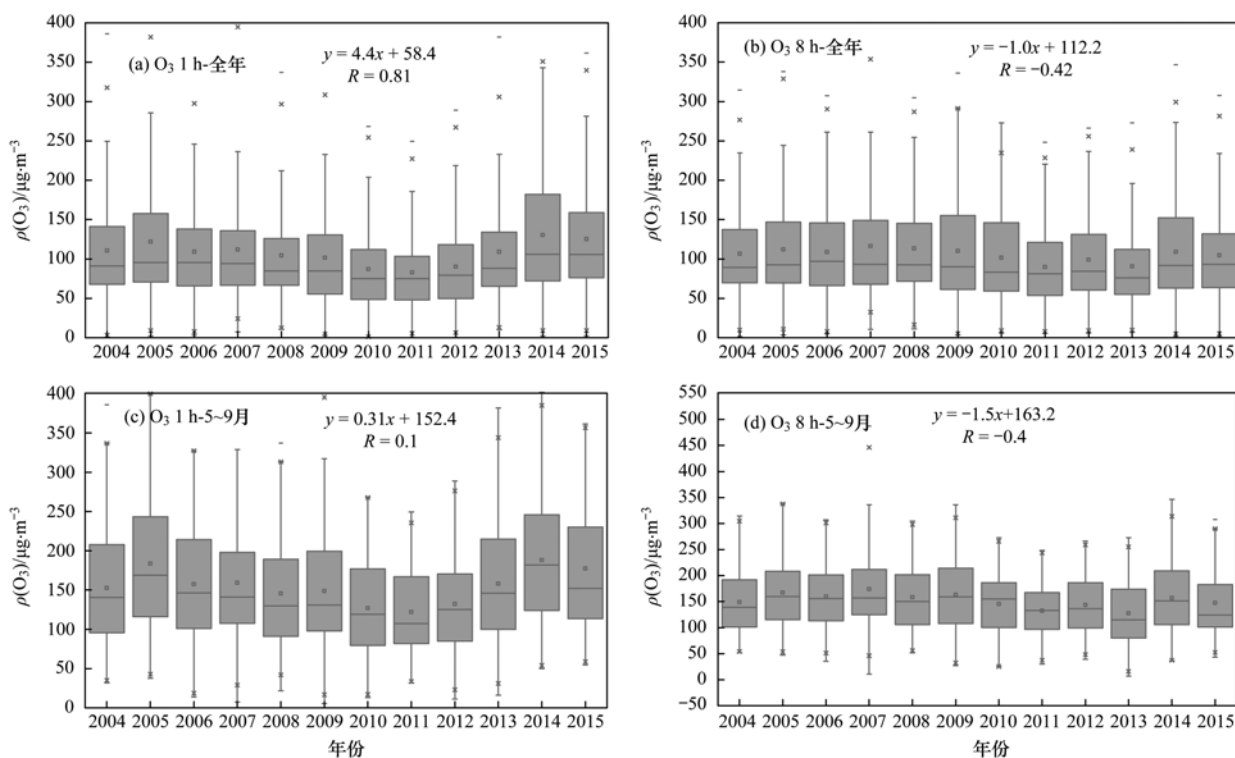
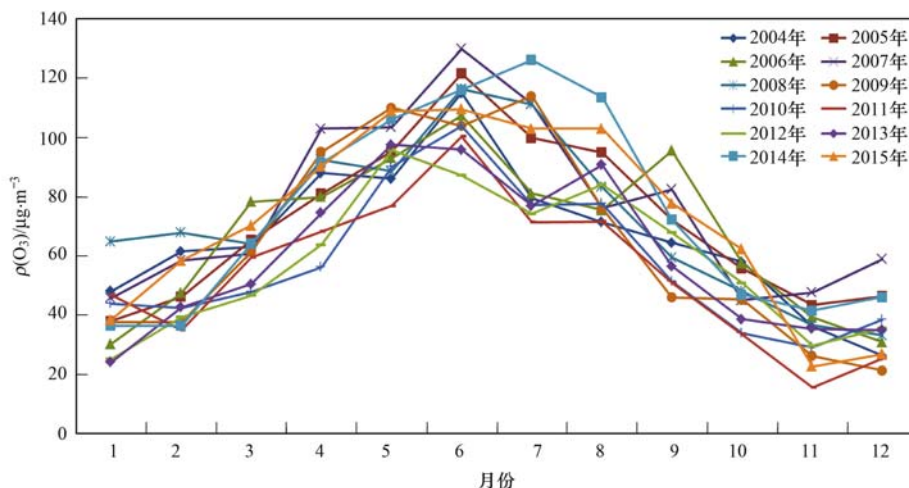


图 2 北京市定陵站 O_3 1h、 O_3 8h 浓度年际变化

Fig. 2 Variations of O_3 1h, O_3 8h in Beijing at Dingling Station in different years

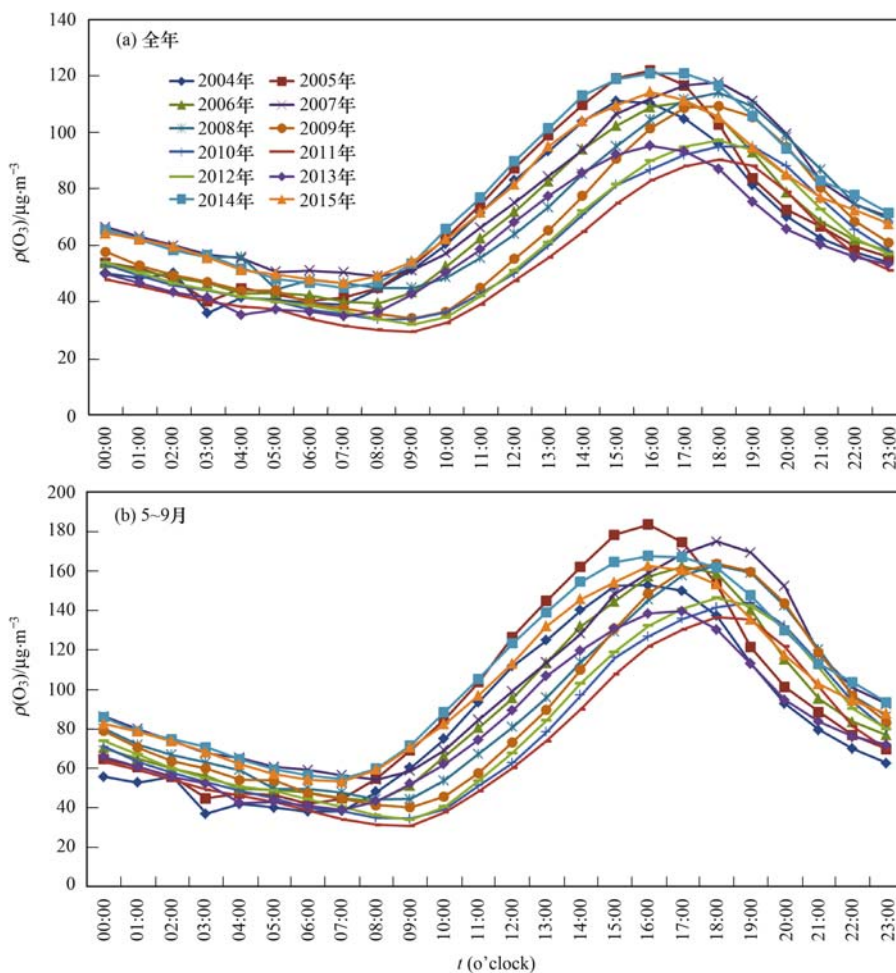
图3 不同年份北京市定陵站 O₃ 浓度年变化曲线Fig. 3 Monthly average concentration of O₃ in Beijing at Dingling Station in different months

南方城市 O₃ 浓度月变化基本呈现“M”形, 臭氧浓度在 5~6 月达到最高值后逐渐降低, 在 10 月左右出现第 2 个浓度高值; 我国南方城市臭氧浓度要高于北方, 东西部城市臭氧最高浓度出现时间有所

差异; 定陵站多年来 O₃ 浓度月变化规律与我国北方城市 O₃ 浓度月变化规律基本一致。

2.1.3 O₃ 浓度日变化

图 4 为年均及 5~9 月定陵站 O₃ 小时浓度的日

图4 不同年份北京市定陵站 O₃ 浓度日变化曲线Fig. 4 Diurnal variation of O₃ in Beijing at Dingling Station in different years

变化曲线,从中可知, O_3 日分布呈现“单峰型”特点,早上 09:00 开始受太阳辐射影响, O_3 浓度缓慢上升,午后太阳辐射最强,在 O_3 二次光化学反应作用下,下午 15:00 ~ 18:00 左右达到最大浓度,之后随着太阳辐射强度的减弱又继续降低. 对于全年平均浓度而言,在夜晚至清晨(22:00 ~ 翌日 08:00) O_3 维持较低浓度,约在 $10 \sim 90 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间;峰值浓度主要集中在 16:00 或 17:00,浓度在 $90.41 \sim 122.02 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间. 对于 5 ~ 9 月平均浓度而言,各个时段浓度明显上升, O_3 小时浓度是全年均值的 1.1 ~ 1.5 倍,峰值浓度主要集中在 17:00 或 18:00,浓度在 $136.66 \sim 183.76 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间. 各个年份 5 ~ 9 月 O_3 小时平均浓度呈现规律的单峰型变化,没有出现多峰型分布,但峰值浓度有所延后,且在 09:00 ~ 23:00 明显高于全年平均,这可能与 5 ~ 9 月特殊的气象条件(高温、低湿)及污染输送有

关^[26].

2.2 超标情况分析

根据 2013 年新标准及《环境空气质量指数(AQI)技术规定》(HJ 633-2012)^[27] 分级方法,本研究对近 3 年定陵站 O_3 8h 出现超标的天数及级别进行统计分析(见图 5). 由图 5 可知,2013 年 ~ 2015 年 O_3 8h 对应的超标天数分别为 49、77 以及 62 d,2013 ~ 2015 年 O_3 8h 轻度污染占总污染天数的比例依次为 73%、49% 以及 51%;中度污染占总污染天数的比例逐年为 25%、42% 以及 31%;而重度污染天数占总污染的比例逐年为 2%、9% 以及 18%. 轻度污染所占比例被中度及重度污染代替,这就意味着 O_3 的累积速度相对提高, O_3 污染问题由简单的浓度变化转化为高浓度污染程度的加深,造成这一结果的原因与臭氧的前体物及其他污染物变化情况息息相关.

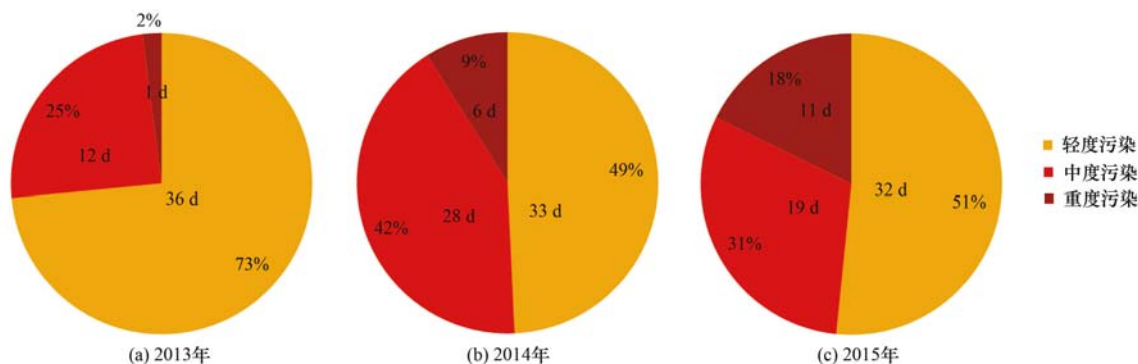


图 5 2013 ~ 2015 年定陵站 O_3 8h 浓度超标天数统计

Fig. 5 Statistical number of O_3 8h exceeding the standard days from 2013 to 2015 at Dingling Station

2.3 与城区 O_3 浓度对比

图 6 为不同年份 5 ~ 9 月定陵站与城区站 O_3 浓度日变化对比,表 1 统计了不同年份 5 ~ 9 月定陵站及城区站 O_3 峰值浓度. 总体来看,定陵站 O_3 浓度整体高于城区站平均,不同年份 5 ~ 9 月定陵站 O_3 峰值浓度是中心城区的 1.01 ~ 1.56 倍,中心城区附近站点 O_3 浓度水平较低可能与机动车 NO_2 排放对 O_3 的消耗有关(受机动车影响,北京市城中心 NO_2 浓度较高),而定陵站点 O_3 浓度较高可能与区域 O_3 传输、主导风向及植物 VOCs 排放促进 O_3 生成有关, O_3 浓度空间分布与其前体物 NO_x 与 VOCs 空间分布有着密切的联系^[28]. 在北京, NO_x 中心城区浓度水平较高,消耗滴定了一定量的 O_3 ,存在由市中心的 NMHC 控制区向城郊、乡村 NO_x 控制区移动的特征;安俊琳等^[25] 发现受上游污染源的影响,当北京盛行东南、偏南和偏西气流时,容易造成高 O_3

体积分数;徐敬等^[29] 研究发现当北京地区受西南气流影响时,往往会导致下风向清洁地区出现极高的 O_3 浓度;Meng 等^[30] 发现城市地区的气团在向风向传输的过程中,经过“老化”,导致下风向的 O_3 浓度水平往往高于市区;Wang 等^[31] 发现北京周边地形复杂,山谷风气流引起的南北风昼夜更替 O_3 及其前体物分布及传输产生很大的影响.

不同年份 5 ~ 9 月定陵站 O_3 峰值浓度与城区站明显存在 1 h 滞后的现象,这与区域 O_3 传输密切相关;而 2010 年以后,定陵站峰值浓度与城区峰值浓度之差与 2004 ~ 2009 年相比明显缩小,城区及郊区 O_3 浓度差异缩小,一方面说明 O_3 区域问题凸显,另一方面可能与北京市城镇化扩张有关,谢高地等^[32] 研究表明北京市城市建成区面积以每年 109 km^2 的速度扩张,在北京城市空间扩张过程中,中心城与卫星城在同时扩张;在市建成区扩张和经济发展发展

过程中,机动车数量逐年增加并排放着大量的污染物;在高温、强光照、低湿度、低风速气象条件下,产生高浓度臭氧,容易发生光化学污染. 图7显示了不同时间段定陵站 O_3 、 NO_2 浓度频率分布,可以看出2011~2015年与2008~2010年 O_3 日均浓度相比, O_3 日均浓度小于 $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 频率有所增加,而大于 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 频率也有所增加,对比 NO_2 日均浓度频率分布也可以发现, NO_2 日均浓度频率也有类似的分布现象,只不过 NO_2 日均浓度较高区域增幅不明显,这是由于 NO_2 日均浓度多集中在 $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下. 由于研究缺乏2004~2007年 NO_2 浓度数据及2004~2015年 NO 浓度,研究进一步分析

了 O_3 日均浓度大于 $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 对应的 NO_2 日均浓度分布,由图8可知, NO_2 日均浓度多集中在 $10 \sim 30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间,且 O_3 日均浓度与 NO_2 日均浓度的拟合曲线的斜率为0.08(正); O_3 日均浓度小于 $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, O_3 浓度随着 NO_2 浓度的增加而降低;说明 NO_2 发生光化学反应生成了高浓度 O_3 ($> 160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),降低了 NO_2 浓度并导致 NO_2 低值浓度频率有所增加. 由此可见 O_3 日均浓度低值更低、高值更高的现象与定陵周边近年来机动车氮氧化物排放量增加可能存在一定的关系,此外不同年份气象条件的差异也会导致 O_3 浓度的变化. 本研究由于缺乏长时间序列的气象数据及受各种因素的制约,

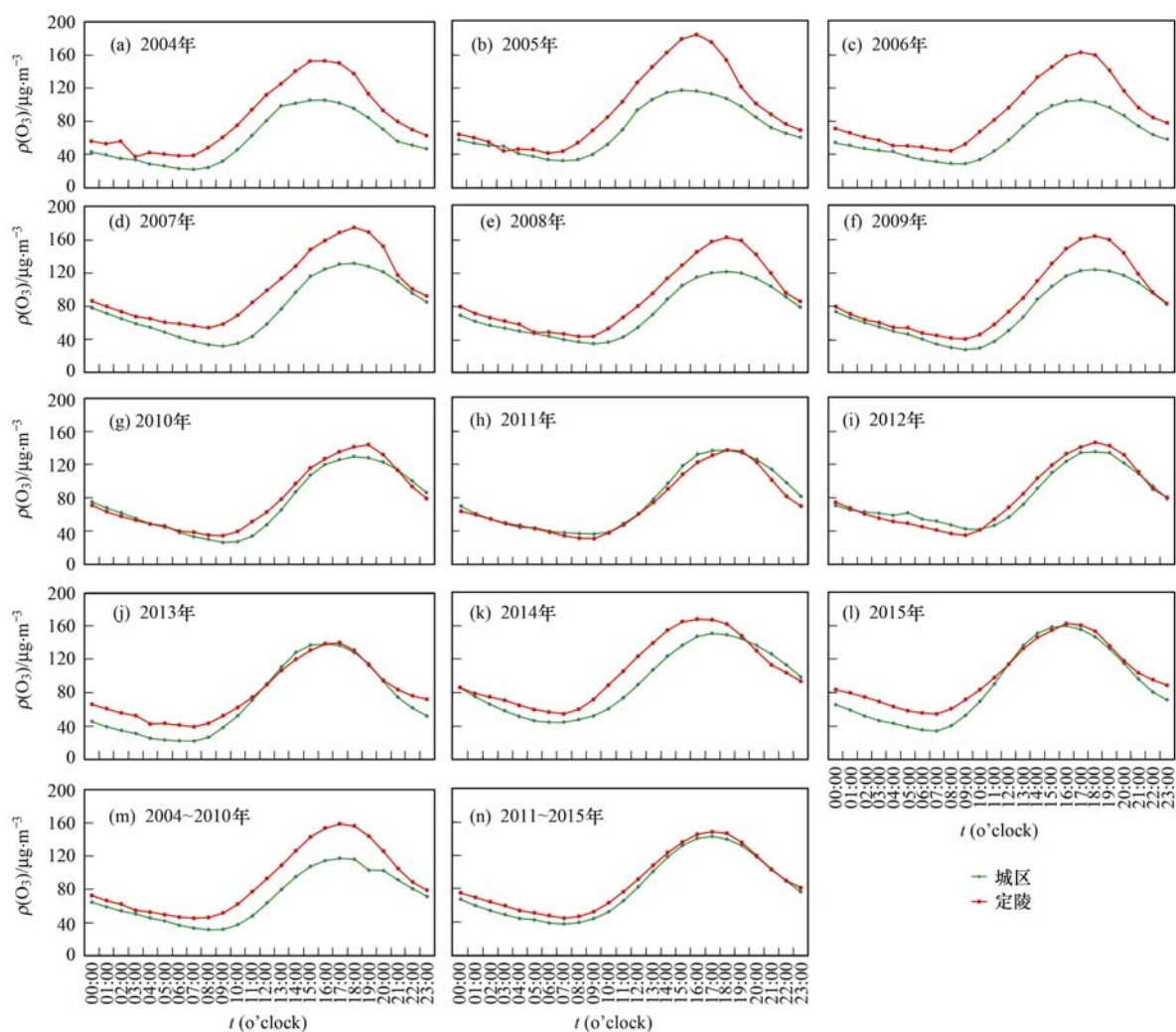


图6 不同年份5~9月定陵站与城区站 O_3 浓度日变化对比

Fig. 6 Diurnal variation of O_3 in Beijing urban city and at Dingling Station from May to September in different years

表1 不同年份5~9月定陵站 O_3 峰值浓度与城区站对比

Table 1 Peak ozone concentration from May to September in different years at Dingling Station compared to the city of Beijing

项目	年份														
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2004~2010	2011~2015	2004~2015
滞后时间/h	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0
浓度差/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	47.53	66.32	57.86	43.09	40.91	40.00	14.23	0.70	11.32	1.68	18.93	0.52	39.01	5.83	26.52

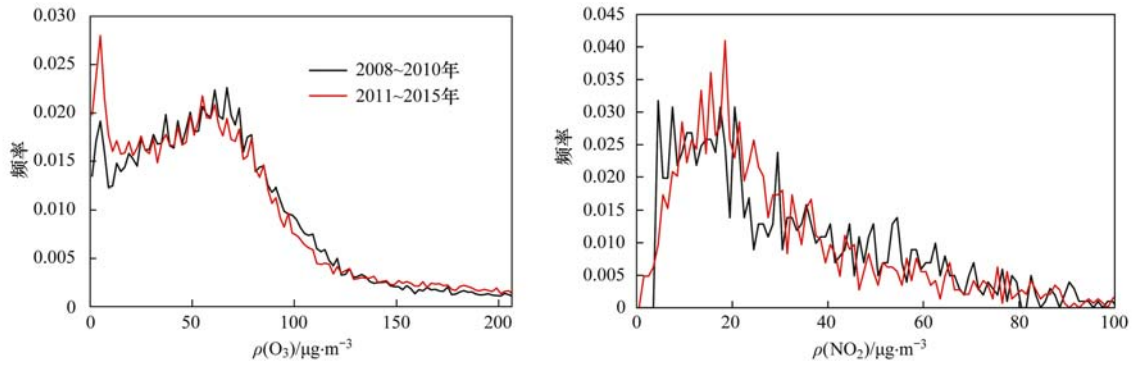


图 7 不同时间段定陵站 O₃、NO₂ 浓度频率分布

Fig. 7 Frequencies distributions of the daily mean concentrations of O₃ and NO₂ at Dingling Station for the periods 2008-2010 and 2011-2015

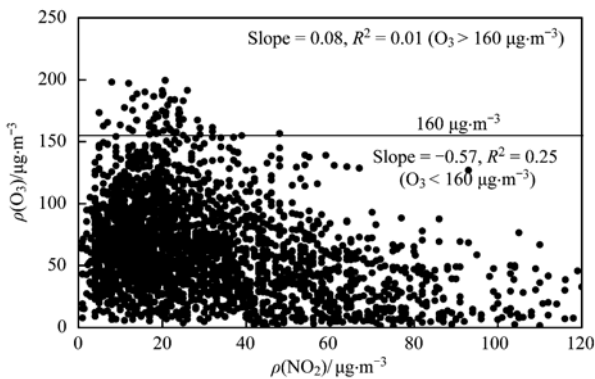


图 8 2008 ~ 2015 年定陵站 O₃ 与 NO₂ 日均浓度散点分布

Fig. 8 Distributions of the daily mean concentrations of NO₂ and O₃ at Dingling Station from 2008 to 2015

没有深入研究 O₃ 浓度与气象要素的关系,在此不过多讨论.

有研究表明城近郊区排放的大量 O₃ 前体物在风场的传输作用下向下风向输送并通过光化学反应不断地产生和累积^[33],造成下风向地区 O₃ 峰值浓度滞后. 图 9 为 O₃ 区域传输与局地污染示意图, Zhang 等^[34]发现珠三角(特别是中南部) O₃ 生成总体上处于 VOCs 控制区,控制 VOCs 排在近期可以在很大程度降低大气 O₃ 浓度水平;在多数城区和珠三角南部 O₃ 生成还可能处于 NO_x 滴定区,即如果不能大幅度控制 NO_x 排放则在近期就不能有效控制 O₃ 污染,还有可能使 O₃ 浓度呈现上升的趋势. 聂滕等^[14]指出从北京市城近郊区到远郊区,夏季 O₃ 生成由 VOCs 控制逐渐转变为 VOCs 和 NO_x 共同控制. 王雪松等^[35]发现位于下风向的定陵地区则受到城市烟羽的严重影响,城近郊区排放贡献比例高达 55%. 易睿等^[36]指出长三角地区 O₃ 污染呈现较为明显的连片分布特征,上海及周边城市 O₃ 污染较重,机动车数量影响城市 O₃ 污染.

北京市大气环境中的 O₃ 污染问题受到国务院、北京市政府以及社会大众的广泛关注. 2012 年 2 月,国务院常务会议专题审议并通过了《北京市 2012-2020 年大气污染防治措施》^[37]. 要求至 2020 年,北京市臭氧超标小时数比 2010 年减少 30%,全年控制在 200 h 左右; O₃ 浓度水平是大气氧化状态的一个重要表征,大气 O₃ 的控制具有 O₃ 和 PM_{2.5} 改善的双重环境效果. 理论上控制 NO_x 和 VOCs 等的排放量可以大大降低 O₃ 的浓度,但实际上 O₃ 的生成与前体物浓度之间并不是简单的线性关系,且不同方式贡献的 O₃,其生成机制不同. 在研究北京市 O₃ 多个站点较长时间序列观测研究的基础上,还应结合数值模型全面解释区域 O₃ 形成的复杂问题,以制定切实有效的 O₃ 污染防治对策.

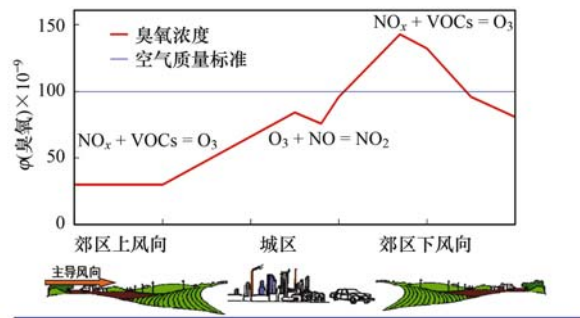


图 9 O₃ 区域传输与局地污染示意^[34]

Fig. 9 Schematic diagram of O₃ regional transport and local pollution

3 结论

(1)北京市城市清洁点定陵站 2004 ~ 2015 年 O₃1h 浓度整体呈上升的趋势,年均浓度增长率为 4.40 μg·m⁻³,定陵站 O₃8h 浓度整体呈下降的趋势,年均浓度增长率为 -1.0 μg·m⁻³,5 ~ 9 月 O₃8h 平均浓度增长率为 -1.5 μg·m⁻³. 近 3 年来定陵站 O₃8h 重度污染天数增加明显,O₃ 污染形势严峻.

(2)定陵站每年6月左右O₃浓度达到一年中的峰值,日变化上15:00~18:00左右出现小时浓度峰值;不同年份O₃日峰值浓度是中心城区的1.01~1.56倍且不同年份5~9月定陵站O₃日峰值浓度与城区站明显存在1h滞后的现象,定陵站峰值浓度与城区峰值浓度之差近年来明显缩小,这可能一方面与O₃区域污染输送有关,另一方面可能与北京市城镇化扩张有关。

致谢:感谢监测中心子站维护工作人员的辛苦和努力工作,感谢中心领导的指导和关怀。

参考文献:

- [1] Hu X M, Doughty D C, Sanchez K J, *et al.* Ozone variability in the atmospheric boundary layer in Maryland and its implications for vertical transport model [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **46**: 354-364.
- [2] Akimoto H. Global air quality and pollution [J]. *Science*, 2003, **302**(5651): 1716-1719.
- [3] Geng F H, Zhao C S, Tang X, *et al.* Analysis of ozone and VOCs measured in Shanghai: a case study [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(5): 989-1001.
- [4] Vingarzan R. A review of surface ozone background levels and trends [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(21): 3431-3442.
- [5] Zhang Q, Yuan B, Shao M, *et al.* Variations of ground-level O₃ and its precursors in Beijing in summertime between 2005 and 2011 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, **14**(12): 6089-6101.
- [6] 邵敏,董东.我国大气挥发性有机物污染与控制[J].*环境保护*, 2013, **41**(5): 25-28.
- [7] 马志强,王跃思,张小玲,等.北京城区与下游地区臭氧对比研究[J].*环境科学*, 2011, **32**(4): 924-929.
- [8] 程念亮,陈添,张大伟,等.2013-2014年北京市CO时空分布特征研究[J].*环境科学与技术*, 2016, **39**(3): 150-155.
- [9] 安俊琳,李昕,王跃思,等.北京气象塔夏季大气O₃, NO_x和CO浓度变化的观测实验[J].*环境科学*, 2003, **24**(6): 43-47.
- [10] 王自发,李丽娜,吴其重,等.区域输送对北京夏季臭氧浓度影响的数值模拟研究[J].*自然杂志*, 2008, **30**(4): 194-198.
- [11] Tang G, Li X, Wang Y, *et al.* Surface ozone trend details and interpretations in Beijing, 2001-2006 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(22): 8813-8823.
- [12] 程念亮,李云婷,张大伟,等.2014年北京市城区臭氧超标日浓度特征及与气象条件的关系[J].*环境科学*, 2016, **37**(6): 2041-2051.
- [13] Xu J, Ma J Z, Zhang X L, *et al.* Measurements of ozone and its precursors in Beijing during summertime: impact of urban plumes on ozone pollution in downwind rural areas [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(23): 12241-12252.
- [14] 聂滕,李璇,王雪松,等.北京市夏季臭氧前体物控制区的分布特征[J].*北京大学学报(自然科学版)*, 2014, **50**(3): 557-564.
- [15] 刘峰,朱永官,王效科.我国地面臭氧污染及其生态环境效应[J].*生态环境*, 2008, **17**(4): 1674-1679.
- [16] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [17] 程念亮,张大伟,李云婷,等.2000~2014年北京市SO₂时空分布及一次污染过程分析[J].*环境科学*, 2015, **36**(11): 3961-3971.
- [18] 刘洁,张小玲,张晓春,等.上甸子本底站地面臭氧变化特征及影响因素[J].*环境科学研究*, 2006, **19**(4): 19-25.
- [19] 刀谓,王超,张霖琳,等.我国4个大气背景点环境空气颗粒物(PM_{2.5}, PM₁₀)中水溶性离子分布特征[J].*环境化学*, 2015, **34**(6): 1095-1102.
- [20] 《中国环境年鉴》编辑委员会.中国环境年鉴[M].北京:中国环境年鉴社, 2004-2015.
- [21] HJ/T 193-2005, 环境空气质量自动监测技术规范[S].
- [22] 程念亮,李云婷,张大伟,等.2013~2014年北京市NO₂时空分布研究[J].*中国环境科学*, 2016, **36**(1): 18-26.
- [23] Lin C Y, Wang Z F, Chou C C K, *et al.* A numerical study of an autumn high ozone episode over southwestern Taiwan [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(17): 3684-3701.
- [24] 陆克定,张远航,苏杭,等.珠江三角洲夏季臭氧区域污染及其控制因素分析[J].*中国科学:化学*, 2010, **40**(4): 407-420.
- [25] 安俊琳,王跃思,孙扬.气象因素对北京臭氧的影响[J].*生态环境学报*, 2009, **18**(3): 944-951.
- [26] 严茹莎,陈敏东,高庆先,等.北京夏季典型臭氧污染分布特征及影响因子[J].*环境科学研究*, 2013, **26**(1): 43-49.
- [27] HJ 633-2012, 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)[S].
- [28] 邵敏,付琳琳,刘莹,等.北京市大气挥发性有机物的关键活性组分及其来源[J].*中国科学D辑:地球科学*, 2005, **35**(S1): 123-130.
- [29] 徐敬,张小玲,赵秀娟,等.夏季局地环流对北京下风向地区O₃输送的影响[J].*中国环境科学*, 2009, **29**(11): 1140-1146.
- [30] Meng Z Y, Xu X B, Yan P, *et al.* Characteristics of trace gaseous pollutants at a regional background station in Northern China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2008, **8**(3): 9405-9433.
- [31] Wang T, Ding A J, Gao J, *et al.* Strong ozone production in urban plumes from Beijing, China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, **33**(21): L21806.
- [32] 谢高地,张彪,鲁春霞,等.北京城市扩张的资源环境效应[J].*资源科学*, 2015, **37**(6): 1107-1114.
- [33] 北京市环境保护监测中心.北京地区大气臭氧污染特征、发展态势和控制途径研究[R].北京:北京市环境保护监测中心, 2015.
- [34] Zhang Y H, Zhu X L, Slanina S, *et al.* Aerosol pollution in some Chinese cities [J]. *Pure Applied Chemistry*, 2004, **76**(6): 1227-1239.
- [35] 王雪松,李金龙.北京地区臭氧源识别个案研究[J].*北京大学学报(自然科学版)*, 2003, **39**(2): 244-253.
- [36] 易睿,王亚林,张殷俊,等.长江三角洲地区城市臭氧污染特征与影响因素分析[J].*环境科学学报*, 2015, **35**(8): 2370-2377.
- [37] 北京市人民政府.北京市人民政府关于印发2012—2020年大气污染防治措施的通知[EB/OL]. (2012-05-02) [2016-01-02]. <http://zhengwu.beijing.gov.cn/gzdt/gggs/t1225355.htm>.

CONTENTS

Spatiotemporal Distribution and Source Attribution of SOA in China	CHEN Zhuo, LIU Jun-feng, TAO Wei, <i>et al.</i> (2815)
Emission Inventory of Heavy Metals in Fine Particles Emitted from Residential Coal Burning in China	LIU Hai-biao, KONG Shao-fei, WANG Wei, <i>et al.</i> (2823)
Diurnal Variation of PM _{2.5} Mass Concentration in Beijing and Influence of Meteorological Factors Based on Long Term Date	MIAO Lei, LIAO Xiao-nong, WANG Ying-chun (2836)
Characteristics of Ozone Background Concentration in Beijing from 2004 to 2015	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2847)
Online Sources about Atmospheric Fine Particles During the 70th Anniversary of Victory Parade in Shijiazhuang	ZHOU Jing-bo, LI Zhi-guo, LU Na, <i>et al.</i> (2855)
Pollution Characteristics of Inorganic Water-soluble Ions in Atmospheric Particulate Matter in Chengdu Plain	JIANG Yan, HE Guang-yan, LUO Bin, <i>et al.</i> (2863)
Observation Analysis on the Characteristics of Meteorological Elements and Pollutants During a Continuous Fog and Haze Episode in Spring in Jiaying City SHEN Li-juan, WANG Hong-lei, LI Li, <i>et al.</i> (2871)
Characteristics and Source Apportionment of Metals in the Dustfall of Quanzhou City	ZHANG Zong-wei, HU Gong-ren, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2881)
Level and the Courses of Heavy Metals and Its Risk Assessment in Indoor Dust of City: Take Guiyang as a Case	LI Xiao-yan, WANG Lang, ZHANG Shu-ting (2889)
Chemical Characteristics and Source of Acid Precipitation in Guilin	GUO Ya-si, YU Shi, LI Yong-shan, <i>et al.</i> (2897)
Assessment of Gaseous Nitrogen (NH ₃ and N ₂ O) Mitigation After the Application of a Range of New Nitrogen Fertilizers in Summer Maize Cultivation FAN Hui, JIANG Shan-shan, WEI Ying, <i>et al.</i> (2906)
Soil CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O Fluxes from Alpine Meadows on the Plateau of Southern Qinghai Province During Snow Cover Period and Growing Seasons	WU Jian-guo, ZHOU Qiao-fu (2914)
Partial Pressure of Carbon Dioxide and Methane from Autumn to Winter in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	ZHANG Jun-wei, LEI Dan, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (2924)
Potential Impacts of Climate Change on Phosphorus and DO in Yuqiao Reservoir	ZHANG Chen, LIU Han-an, GAO Xue-ping, <i>et al.</i> (2932)
Land Use Structure Change and Its Control Effect of Nitrogen Output in a Small Watershed of Three Gorges Reservoir Area: A Case Study of Lanlingxi Watershed WU Dong, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (2940)
Response of Inflow Water Quality to Land Use Pattern in Northern Watershed of Lake Erhai	XIANG Song, PANG Yan, CHU Zhao-sheng, <i>et al.</i> (2947)
Effect of Nutrient Cycles in Tributaries on the Transport of Nutrient in the Three Gorge Reservoirs: A Case Study of Caotang River	WANG Xiao-tong, LUO Guang-fu, CAO Man, <i>et al.</i> (2957)
Transient Storage Characteristics of Artificial Pool Geomorphic Structure in an Agricultural Headwater Stream	LI Ru-zhong, HUANG Qing-fei, QIAN Jing, <i>et al.</i> (2964)
Distribution Characteristics of Solute Nitrogen in the Water-Sediment of Farmland Drainage Ditch	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, SONG Chang-ji, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics and Influencing Factors of Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen in Drawdown Area in the Three Gorges Reservoir CHAI Xue-si, LEI Li-guo, JIANG Chang-sheng, <i>et al.</i> (2979)
Response Behaviors of Heavy Metals at Tidal Currents Interface and Salinity Interface in the Estuary Area	LIU Jing, ZHENG Bing-hui, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (2989)
Simulation of Multimedia Transfer and Fate of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) in Shenzhen Region	CUI Xiao-yu, ZHANG Hong, LUO Ji, <i>et al.</i> (3001)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Surface Sediments of Zhelin Bay in Guangdong Province, China WEI Ya-ning, PAN Jia-chuan, SONG Yu-mei, <i>et al.</i> (3007)
Spatial Distribution Characteristics and Source Analysis of Dissolved Organic Matter in Beiyun River	CHEN Yong-juan, HU Wei-xuan, PANG Shu-jiang, <i>et al.</i> (3017)
Distribution and Environmental Significances of Radionuclides in the Sediment of the Changyi Coastal Wetland	WANG Qi-dong, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (3026)
Fecal Contamination in Laolongdong Underground River as Measured by the Sterol Biomarkers	LIAO Yu, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (3034)
Distribution Characteristics and Pollution Status of Phthalate Esters in the Groundwater of Hutuo River Pluvial Fan	CHANG Sheng, ZHAO Xing-ru, LIU Yan, <i>et al.</i> (3041)
Impacts of Land Use on the Source of Dissolved Fatty Acids in Epikarst Spring During Rainy Season	ZHANG Mei, SUN Yu-chuan, XIE Zheng-lan, <i>et al.</i> (3049)
Mechanisms of Phosphorus Removal by Modified Zeolites Substrates Coated with Zn-LDHs in Laboratory-scale Vertical-flow Constructed Wetlands ZHANG Xiang-ling, HUANG Hua-ling, GUO Lu, <i>et al.</i> (3058)
Synergistic Enhancement on Oxidation of Phenol by Fenton Processes by Adding Ce ³⁺ and Cu ²⁺ Ions	ZHANG Jian-qiao, CHI Hui-zhong, SONG Yang, <i>et al.</i> (3067)
Removal of Humic Acid from Water Using Pt/biochar Electrode Reactor	DING Wen-chuan, XIANG Xing-guang, ZENG Xiao-lan, <i>et al.</i> (3073)
Generation of Graphene-titanium Dioxide Nanotubes Catalytic Board and Its Photocatalysis Capability to Degrade Pentachlorophenol	XU Qi, ZHOU Ze-yu, WANG Hong-tao (3079)
Photocatalytic Degradation Kinetics and Mechanism of Monoazo Dye Acid Yellow 17 by UV/TiO ₂ in Aqueous Solution	YANG Hai, WEI Hong-qin, HU Le-tian, <i>et al.</i> (3086)
Feasibility of Sulfur-based Autotrophic Denitrification of Photovoltaic Wastewater Containing High Fluorine	MA Hang, ZHU Qiang, ZHU Liang, <i>et al.</i> (3094)
Operation Performance of a Bioaugmented Membrane-aerated Biofilm Reactor Treating Atrazine Wastewater	LIU Chun, YU Chang-fu, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (3101)
Nitrogen Removal of Municipal Wastewater by ANAMMOX Coupled Shortcut Nitrification in Anaerobic Baffled Reactor	WU Peng, ZHANG Shi-ying, SONG Yin-ling, <i>et al.</i> (3108)
Simultaneous Ferric Reduction with Ammonia Oxidation Phenomena in Activated Sludge in Anaerobic Environment	LI Xiang, LIN Xing, YANG Peng-bing, <i>et al.</i> (3114)
Rapid Start-up of One-stage Autotrophic Nitrogen Removal Process in EGSB Reactor for Wastewater with Low Concentration of Ammonia	GU Shu-jun, FANG Fang, LI Kai, <i>et al.</i> (3120)
Phosphorus Removal Performance in EBPR System under Extra-low Dissolved Oxygen Condition	MA Juan, SONG Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (3128)
Influence of Activated Sludge Surface Properties on Flocculating Settling and Effluent Suspend Solid	HE Zhi-jiang, ZHAO Yuan, ZHANG Yuan-kai, <i>et al.</i> (3135)
Spatial Characteristics and Environmental Risk of Heavy Metals in Typical Gold Mining Area of Shandong Province	WANG Fei, WU Quan-yuan, LÜ Jian-shu, <i>et al.</i> (3144)
Spatial Variation of Soil Heavy Metals in an E-waste Dismantling Area and Their Distribution Characteristics	ZHAO Ke-li, FU Wei-jun, YE Zheng-qian, <i>et al.</i> (3151)
Selenate Adsorption and Desorption in 18 Kinds of Chinese Soil with Their Physicochemical Properties	FENG Pu-yang, LI Zhe, ZHE Yu-yun, <i>et al.</i> (3160)
Adsorption Characteristics of Arsenite on Goethite by Flow Stirring Method	LI Xin, YANG Jun, RAO Wei, <i>et al.</i> (3169)
Preparation of Poly-hydroxy-aluminum Pillared Diatomite and Characteristics of Cu ²⁺ , Zn ²⁺ Adsorption on the Pillar in Aqueous Solutions ZHU Jian, LEI Ming-jing, WANG Ping, <i>et al.</i> (3177)
Preparation and NH ₄ ⁺ -N Removal Performance of a Novel Filter Substrate Made from Sludges	WANG Wen-dong, LIU Hui, ZHANG Yin-ting, <i>et al.</i> (3186)
Preparation of Nanocomposite Hydrogel and Its Adsorption of Heavy Metal Ions	ZHU Qian, LI Zheng-kui, ZHANG Yi-pin, <i>et al.</i> (3192)
Prediction of PAHs Bioavailability in Spiked Soil by Composite Extraction with Hydroxypropyl-β-cyclodextrin and Rhamnolipid	ZHANG Ya-nan, YANG Xing-lun, BIAN Yong-rong, <i>et al.</i> (3201)
Biological Effects of ZnO Nanoparticles as Influenced by Arbuscular Mycorrhizal Inoculation and Phosphorus Fertilization	JING Xin-xin, SU Zhi-zhong, XING Hong-en, <i>et al.</i> (3208)
Difference of Species Sensitivities for Aquatic Life Criteria in China and the USA	WANG Xiao-nan, YAN Zhen-guang, YU Ruo-zhen, <i>et al.</i> (3216)
Effects of Low-level Nutrition and Trace Antibiotics on the Fitness Cost of Plasmids Bearing Antibiotic Resistance	LIN Wen-fang, CHEN Sheng, WAN Kun, <i>et al.</i> (3224)
Effect of Different Nitrogen Rates on the Nitrification Potential and Abundance of Ammonia-oxidizer in Intercropping Maize Soils	LÜ Yu, ZHOU Long, LONG Guang-qiang, <i>et al.</i> (3229)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年8月15日 第37卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 8 Aug. 15, 2016

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易集团有限公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行