

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.1
第41卷 第1期

目次

近20年来中国PM _{2.5} 污染演变的时空过程	时燕, 刘瑞梅, 罗毅, 杨昆 (1)
2007~2016年上海颗粒物浓度特征与气候背景异同分析	郑庆峰, 史军, 谈建国, 段玉森, 林燕芬, 徐卫忠 (14)
夏季大气PM _{2.5} 中元素特征及源解析:以华中地区平顶山-随州-武汉为例	刘威杰, 石明明, 程敏, 黎莹, 朱戈昊, 邢新丽, 孔少飞, 张家泉, 祁士华 (23)
呼包鄂地区冬季、夏季PM _{2.5} 污染特征	李伊明, 刘佳媛, 史国良, 皇甫延琦, 张昕, 杨奕, 冯银厂 (31)
2019年元旦前后石家庄市重污染过程PM _{2.5} 污染特征及来源解析	周静博, 段青春, 王建国, 杨鹏, 刘煥武, 李梅, 靳伟 (39)
基于模型模拟的成都市PM _{2.5} 污染来源解析	许艳玲, 易爱华, 薛文博 (50)
北京市PM _{2.5} 中砷污染特征	石绍萱, 杨艳蓉, 秦娟娟, 周雪明, 段青春, 谭吉华, 陈荣志 (57)
夏秋季宁波市气态元素汞(GEM)污染特征及潜在源区贡献分析	易辉, 林佳梅, 蔡秋亮, 王克强, 陈进生, 佟磊, 李建荣, 肖航 (65)
安阳市大气PM _{2.5} 中水溶性离子季节特征及来源解析	孙有昌, 姜楠, 王申博, 段时光, 张瑞芹 (75)
新乡市夏冬季节PM _{2.5} 稳定碳同位素特征分析	闫广轩, 宋鑫, 张靖雯, 张朴真, 王力鹏, 张佳羽, 杨争, 曹治国, 樊静, 王跃思, 刘子锐 (82)
基于颗粒物化学组分粒径分布特征的源解析方法构建与评估	梁永莉, 田瑛泽, 刘童, 冯银厂 (90)
超低排放改造后燃煤电厂细颗粒物排放特征	王润芳, 马大卫, 姜少毅, 朱仁斌, 何军, 张本耀 (98)
京津冀地区城市臭氧污染趋势及原因探讨	余益军, 孟晓艳, 王振, 周崑, 于红霞 (106)
安阳市近地面臭氧污染特征及气象影响因素分析	杨健, 尹沙沙, 于世杰, 王丽娟, 张瑞芹, 郝建尤, 苏方成, 齐艳杰 (115)
长江三角洲2017年机动车IVOCs排放清单构建及其对SOA的生成影响	王倩, 黄凌, 王杨君, 殷司佳, 张琪, 易鑫, 李莉 (125)
华东典型城市非道路移动机械排气烟度	鲁君, 胡馨遥, 杨强, 唐伟, 夏阳, 井宝莉, 陈昀, 黄成 (133)
国内外储油库VOCs排放现状与标准分析	胡玮, 任碧琪, 黄玉虎, 秦建平, 卞吉玮, 吴清柱 (139)
四乙基愈创木酚液相·OH氧化SOA产率及特征分析:初始浓度的影响	庄雨, 陈彦彤, 李旭东, 马帅帅, 赵竹子, 叶招莲, 盖鑫磊 (146)
乌鞘岭南、北坡降水稳定同位素特征及水汽来源对比	徐秀婷, 贾文雄, 朱国锋, 马兴刚, 张显, 袁瑞丰, 张志远, 石阳 (155)
长江源多年冻土区地下水氢氧稳定同位素特征及其影响因素	汪少勇, 何晓波, 丁永建, 常福宣, 吴锦奎, 胡召富, 王利辉, 杨贵森, 邓明珊 (166)
巴尔喀什湖流域水化学和同位素空间分布及环境特征	沈贝贝, 吴敬禄, 吉力力·阿不都外力, A. S. Saparov, Gulnura Isanova (173)
城市湖泊水环境整治对改善水质的影响:以蠡湖近30年水质变化为例	田伟, 杨周生, 邵克强, 潘辉, 胡洋, 白承荣, 姜星宇, 高光, 汤祥明 (183)
典型药物及个人护理品在黄东海海域水体中的检测、分布规律及其风险评估	陈贤, 张彩杰, 杨桂朋, 张婧, 刘梦 (194)
长江南京段水源水中有机磷酸酯的污染特征与风险评估	李栋, 张圣虎, 张芹, 王博, 卜元卿, 赵欣, 李辉, 宋宁慧, 郭瑞昕 (205)
雄安新区-白洋淀冬季冰封期水体溶解性有机物的空间分布、光谱特征及来源解析	周石磊, 孙悦, 张艺冉, 蒋永丰, 尹璐, 黄廷林, 李再兴, 罗晓, 战江, 王函 (213)
白洋淀表层沉积物元素的空间特征、风险评价及来源分析	汪敬忠, 刘卓, 魏浩, 吴玉会, 占水娥, 朱迟, 张益森 (224)
松花江表层沉积物PAEs分布特征及生态风险评价	王欢, 杨永哲, 王海燕, 董伟丰, 闫国凯, 常洋, 李泽文, 赵远哲, 凌宇 (232)
鄱阳湖湖口-长江段沉积物中微塑料与重金属污染物的赋存关系	李文华, 简敏菲, 刘淑丽, 江玉梅, 邓艳彬, 朱琳 (242)
臭氧对生物活性炭中微生物及出水消毒副产物的影响	刘宝明, 王夕希, 张晓夏, 顾艳芳, 李雨平, 阮文权, 缪恒峰, 潘杨 (253)
兰州市西固区儿童饮水重金属暴露与健康风险精细化评估	陈月芳, 孙善伟, 段小丽, 许锦荣, 王娟, 康艺瑾, 梁为纲, 曹素珍 (262)
镁铁层状双金属氢氧化物对磷酸盐的吸附作用及对内源磷释放的控制效果及机制	吴俊麟, 林建伟, 詹艳慧, 程永前, 柏晓云, 辛慧敏, 常明玥 (273)
一硫代磷酸盐在介质上的吸附特征及机制	廖丹雪, 单慧媚, 彭三曦, 潘敖然, 黄健, 陈辉, 赵超然 (284)
酸碱复合改性海泡石亚结构特征及其对Cd(II)吸附性能	谢厦, 徐应明, 闫翠侠, 罗文文, 孙约兵 (293)
脱氮菌剂在低溶解性黑臭水体中氮代谢特征	赵志瑞, 刘硕, 李铎, 李海萍, 李方红, 张佳瑶, 白志辉 (304)
宏基因组方法分析医药化工废水厂中抗生素耐药菌及耐药基因	陈红玲, 张兴桃, 王晴, 姚沛琳 (313)
淀粉废水处理系统中活性污泥的微生物群落结构及多样性分析	赵婷婷, 乔凯, 王蕾, 张伟, 竺建荣, 唐一, 胡滨, 王香莲, 杨静, 景在涛 (321)
基于SBR-ABR实现PN-SAD耦合工艺的运行与优化调控	陈重军, 张敏, 姜滢, 郭萌蕾, 谢嘉玮, 谢军祥, 沈耀良 (330)
基于间歇饥饿的SNAD工艺运行	李冬, 刘志诚, 徐贵达, 王玉颖, 张杰 (337)
反硝化-高效部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺处理老龄垃圾渗滤液	陈小珍, 汪晓军, Karasuta Chayangkun, 周松伟, 钟中, 陈振国, 陈晓坤 (345)
硝化微颗粒污泥快速培养及其亚硝化功能快速实现	刘文如, 宋家俊, 王建芳, 沈耀良 (353)
高频曝停下曝时间对亚硝化颗粒污泥性能的影响	张杰, 劳会妹, 李冬, 魏子清 (360)
中国东北沈抚地区土壤中PBDEs的残留、来源及风险评价	向鑫鑫, 鲁垠涛, 阮起扬, 赖偲, 孙绍斌, 姚宏, 张战胜 (368)
某焦化场地非均质包气带中多环芳烃(PAHs)来源及垂向分布特征	孟祥帅, 吴萌萌, 陈鸿汉, 岳希, 陶抒远 (377)
北京蔬菜地土壤中抗生素抗性基因与可移动元件的分布特征	张汝凤, 宋渊, 高浩泽, 程首涛, 孙艳梅, 王旭明 (385)
长期施肥和耕作下紫色土坡耕地土壤C、N、P和K化学计量特征	杜映妮, 李天阳, 何丙辉, 贺小容, 付适 (394)
亚热带稻田土壤碳氮磷生态化学计量学特征	宋佳龄, 盛浩, 周萍, 段良霞, 周清, 张杨珠 (403)
宛山荡农田土壤氮迁移过程反硝化与厌氧氨氧化	陈志浩, 覃云斌, 丁帮琛, 胡优优, 陈湜, 李正魁 (412)
秸秆炭化还田对滴灌棉田土壤微生物代谢功能及细菌群落组成的影响	王晶, 马丽娟, 刘泽华, 陆伟, 侯振安 (420)
基于PMF模型的九龙江流域农田土壤重金属来源解析	黄华斌, 林承奇, 胡恭任, 于瑞莲, 郝春莉, 陈枫桦 (430)
塔里木盆地东南缘绿洲区土壤砷空间分布及农作物砷富集特征	陈云飞, 周金龙, 曾妍妍, 王松涛, 杜江岩, 孙英, 顾思博 (438)
广西典型碳酸盐岩区农田土壤-作物系统重金属生物有效性及迁移富集特征	马宏宏, 彭敏, 刘飞, 郭飞, 唐世琪, 刘秀金, 周亚龙, 杨柯, 李括, 杨峥, 成杭新 (449)
不同钝化剂对微碱性土壤镉、镍形态及小麦吸收的影响	张静静, 朱爽阁, 朱利楠, 柳海涛, 杨金康, 化党领 (460)
不同钝化剂对鸡粪堆肥重金属钝化效果及其腐熟度指标的影响	栾润宇, 高珊, 徐应明, 纪艺凝, 闫翠侠, 孙约兵 (469)
黄土丘陵区退耕草地土壤呼吸及其组分对氮磷添加的响应	周俊杰, 陈志飞, 杨全, 赖帅彬, 王智, 徐炳成 (479)
炉渣与生物炭施加对福州平原水稻田温室气体排放的后续影响	蓝兴福, 王晓彤, 周雅心, 金强, 许旭萍, 王维奇 (489)
《环境科学》征订启事(89)	
《环境科学》征稿简则(97)	
信息(303, 329, 344)	

2007~2016 年上海颗粒物浓度特征与气候背景异同分析

郑庆锋¹, 史军², 谈建国¹, 段玉森³, 林燕芬³, 徐卫忠¹

(1. 上海市气候中心上海城市气候变化应对重点开放实验室, 上海 200030; 2. 上海市生态气象和卫星遥感中心, 上海 200030; 3. 上海市环境监测中心, 上海 200030)

摘要: 基于上海地区 2006~2016 年逐日 PM_{10} 浓度数据以及同期气象要素(风、气温等)、大气稳定度、逆温数据和高空大气环流数据, 分析了 2007~2016 年上海地区颗粒物浓度变化特征和冬季气候背景的异同, 并建立多元线性逐步回归方程, 同时选取颗粒物高浓度年份和低浓度年份, 对比分析高空大气环流形势的差异. 结果表明, 上海地区颗粒物年平均浓度呈现波动式下降趋势, 而冬季呈现出两头高、中间低形态. PM_{10} 与平均风速、20:00 混合层高度负相关, 与偏西北风、20:00 稳定类、20:00 逆温的出现频率及平均气温正相关. 当冬季我国北部 500 hPa 高度场合成为正距平, 容易形成暖冬, 从而引起高浓度颗粒物污染; 而当 500 hPa 高度场为负距平, 容易引起冷空气频繁南下, 导致气温偏低, 容易造成 PM_{10} 浓度相对偏低. 850 hPa 风场异常为偏东风, 且风速偏大, 容易造成 PM_{10} 浓度相对偏低.

关键词: 高浓度污染; 气候背景; 异同; 大气环流; 上海

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)01-0014-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.201904219

Characteristics of Aerosol Particulate Concentrations and Their Climate Background in Shanghai During 2007-2016

ZHENG Qing-feng¹, SHI Jun², TAN Jian-guo¹, DUAN Yu-sen³, LIN Yan-fen³, XU Wei-zhong¹

(1. Key Laboratory of Cities Mitigation and Adaptation to Climate Change in Shanghai, Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China; 2. Shanghai Ecological Forecasting and Remote Sensing Center, Shanghai 200030, China; 3. Shanghai Environmental Monitoring Center, Shanghai 200030, China)

Abstract: We use daily aerosol particulate matter $< 10 \mu m$ (PM_{10}) concentration data from 2006 to 2016 in Shanghai along with meteorological elements (wind and temperature), atmospheric stability, temperature inversion, and upper atmosphere circulation data, to analyze the variation characteristics of the PM_{10} concentrations and differences of the winter climate background. We establish a multivariate linear stepwise regression equation, and also compare and analyze differences in the upper atmospheric circulation by selecting the years with the highest and lowest PM_{10} concentrations. The results showed an oscillating downward trend in the annual average concentrations of PM_{10} in Shanghai, whereas seasonally, PM_{10} concentrations were relatively high in winter and showed two peaks with a low in between. PM_{10} concentrations were negatively correlated with the daily average wind speed and the daily mixing layer height at 20:00, and positively correlated with the frequency of northwest wind, the mean daily temperature, and the frequency of stable weathers and thermal inversion at 20:00. When the 500 hPa height field in the northern part of China was a positive anomaly in winter, a warm winter prevailed and led to high PM_{10} concentrations. When the 500 hPa height field was a negative anomaly, cold air frequently moved southward to result in relatively low temperatures, which caused relatively low PM_{10} concentrations. When the wind field at 850 hPa was easterly, the wind speed was relatively large and resulted in relatively low PM_{10} concentrations.

Key words: high concentration pollution; climatic background; similarities and differences; atmospheric circulation; Shanghai

伴随着城市化快速发展,我国城市环境污染问题日益严重,特别是大气环境污染,与极端高温、城市热岛效应叠加对城市居民生产、生活以及人体健康造成很大的影响^[1,2].近年来,颗粒物污染已成为中国大部分城市面临的主要大气污染问题^[3].各地极端大气污染事件频繁发生,对颗粒物的相关研究已经成为热点问题之一^[4~8].

针对京津冀地区、长三角地区和四川盆地,围绕大气颗粒物污染和气象要素的关系已开展了一系列研究,文献[9~14]分别对北京、天津、南京、上海和成都的颗粒物污染特征及与气象条件的关系进行了研究,结果表明颗粒物浓度与气温、相对湿度呈正相关,与风速呈负相关,当冬季气压场均匀时,

长三角地区的大气污染最为严重^[15];Ma等^[6]分析了2014~2016年长三角地区大气污染特征及其与排放和气象的关系,结果表明气象条件主要影响污染物浓度的日变化, $PM_{2.5}$ 浓度与风速呈负相关, O_3 浓度与温度呈正相关,与相对湿度呈负相关;He等^[16]分析了2014~2015年中国31个省会城市的空气污染特征及其与多尺度气象条件的关系,表明气象条件是决定污染物浓度日变化的主要因素,占

收稿日期: 2019-04-24; 修订日期: 2019-08-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0502702); 中国气象局气候变化专项(CCSF201922); 上海市气象局科技研发项目(YJ201804); 河北省气象与生态环境重点实验室开放研究基金项目(Z201606Y)

作者简介: 郑庆锋(1978~),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为应用气象和环境评价, E-mail: zqf_23@126.com

全国污染物日平均浓度变化的 70% 以上。

从天气学方面进行颗粒物污染气象特征研究, 也有研究表明 500 hPa 环流形势中两槽一脊型和槽脊同位相型控制下的空气质量最差^[17,18]; 文献[19~23]则基于 WRF/Chem 模式, 对颗粒物进行数值模拟研究。然而, 以上研究大多是一次污染过程或较短时间序列污染过程, 利用较长时间序列的颗粒物浓度数据和气象数据对颗粒物污染的气候背景研究较少。He 等^[24]分析了 1980~2017 年北京 38 个冬季的冬季环流类型及其对当地气象条件和雾、霾污染的影响, 表明北京冬季雾、霾污染受到气候变化的影响, 1980~2017 年 38 个冬季霾日数呈下降趋势, 部分与冷空气频率呈上升趋势有关。苗蕾等^[25]分析了北京 2005~2014 年 PM_{2.5} 浓度日变化特征及气象条件影响。

本文利用上海 2006~2016 年上海逐日 PM₁₀ 浓度数据, 以及同期地面观测的气象资料和探空资料, 研究影响颗粒物浓度的气候背景, 以期科学评价天气、气候条件变化对颗粒物污染发生的影响、提高污染性天气预报的准确率和合理控制、减少大气污染的危害提供科学依据和理论支撑。

1 材料与方法

1.1 数据资料

本文 PM₁₀ 浓度数据资料来自上海市环境监测中心提供的资料, 资料时间序列为 2006~2016 年逐日数据。气象资料(包括地面资料及探空资料)来自于上海市气象信息与技术支撑中心的宝山国家基本气象站(站号 58362, 121°27'E, 31°24'N)逐日观测资料, 其中探空资料取自逐日北京时 08:00 和 20:00 探测资料, 统计时间段都为 2006~2016 年, 统计要素有地面层风速、风向、气温、规定层和特征层的气压、高度和气温等。此外, 文中还利用大气环流资料, 来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA, <https://www.esrl.noaa.gov/>)。

1.2 分析方法

时间序列分析方法采用 ARMA(p, q) 模型, 其全称为自回归移动平均模型(auto-regressive moving average model, ARMA), 其中 p 为自回归项, q 为移动平均项数。ARMA(p, q) 由自回归模型 AR 和移动平均模型 MA 模型组成, 计算公式如下:

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i}$$

式中, y_t 表示当前值, μ 表示常数项, p 表示自回归阶数, q 表示移动平均阶数, φ_i 、 θ_i 表示相关系数, ε_t 表示误差。

数据的平稳性单位根检验用增广迪基-福勒检验(augmented dickey-fuller test, ADF)。

线性相关系数用 r 表示, 计算公式如下:

$$r(X, Y) = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}[X] \text{Var}[Y]}}$$

式中, $\text{Cov}(X, Y)$ 为 X 与 Y 的协方差, $\text{Var}[X]$ 为 X 的方差, $\text{Var}[Y]$ 为 Y 的方差。

多元线性回归方程方法:

设因变量 y 与自变量 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 有线性关系, 那么建立 y 的 m 元线性回归模型:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m + \varepsilon$$

式中, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ 为回归系数; ε 是遵从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ 的随机误差。

由观测值确定回归系数 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ 的估计 $b_0, b_1, \dots, b_m$, 得到 y_t 对 $x_0, x_1, \dots, x_m$ 的线性回归方程:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_m x_m + \varepsilon$$

式中, $\hat{y}$ 表示 y 的估计; ε 是残差。

大气稳定性按照帕斯奎尔-特纳大气稳定性分类方法统计, 混合层高度按照《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T 3094-91) 规定的方法计算。

2 结果与讨论

2.1 颗粒物浓度变化特征

2.1.1 年平均浓度变化特征

2007~2016 年间, 上海 PM₁₀ 年平均浓度呈现波动式下降趋势, 2007 年最高(98.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 2016 年最低(77.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$); 冬季 PM₁₀ 平均浓度呈现两头高、中间低形态, 其中 2007 年最高(125.7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 2012 年最低(79.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 具体见图 1。

图 1 显示, 除了 2012 年, 冬季平均浓度都远高于全年平均浓度, 最多高出达 42.6%。2012 年冬季平均浓度略低于全年平均浓度, 其主要原因是 2012 年冬季气温偏低、冬北风异常偏多引起的。

尹晓梅等^[26]的研究表明, 2017 年北京地区减少的霾日和重污染日, 65% 归因于减排的贡献, 35% 归因为气象条件的改善。李颖若等^[27]的研究表明, 2014 年 APEC 控制期采取控制措施使得北京地区 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度分别降低 34.8% 和 40.6%, 气象因素使得 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度分别降低 27.5% 和 35.6%。Wang 等^[28]的研究表明, 中国在 2014 年和 2015 年减排有效地减少了 PM_{2.5} 浓度 23.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 43.5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。Ma 等^[6]的研究表明, 2014~2016 年, 长三角地区 PM_{2.5}、PM₁₀ 排放量分别下降 26.3% 和 29.2%。于燕等^[29]的研究表明, 在一般与强化两

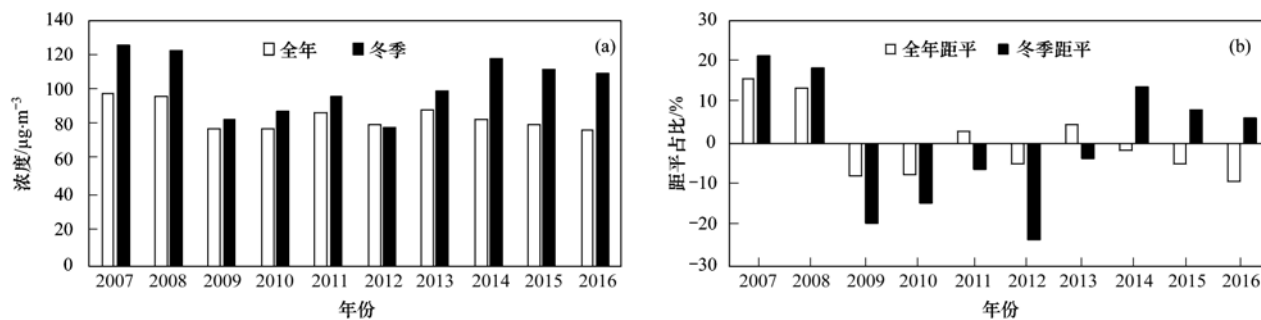


图1 2007~2016年上海地区全年和冬季PM₁₀浓度年变化及距平

Fig. 1 Annual and winter variations and anomalies of PM₁₀ concentrations in Shanghai during 2007-2016

组减排情景下,长三角地区国控点PM_{2.5}年均浓度分别下降1.4~26.7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和2.1~32.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 卢文等^[30]的研究表明,南京PM_{2.5}年平均浓度由2014年的62.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 下降到2016年的51.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 近年来空气质量的改善主要归功于减排,减排和区域联防联控有助于改善当地的空气质量,这和图1中显示2014~2016年PM₁₀年平均浓度值减小的结论是一致的.

2.1.2 月平均浓度变化特征

利用时间序列分析方法对PM₁₀月平均浓度变

化趋势进行分析,结果见图2,2007~2016年,上海PM₁₀月平均浓度具有明显的周期性,四季平均浓度高低顺序为冬季>春季>秋季>夏季. 其中滑动平均值和滑动标准差的滑动窗口值为12. ADF平稳性检验结果为: P 值(0.166)大于0.05,检测值(-2.319)大于5%置信度下的临界值(-2.889),没有通过ADF平稳性检验.

而平稳性是时间序列分析的前提条件,对原始浓度进行分解,拆分成趋势、季节和残值这3部份,如图3所示,PM₁₀月平均浓度趋势部分呈现波动式

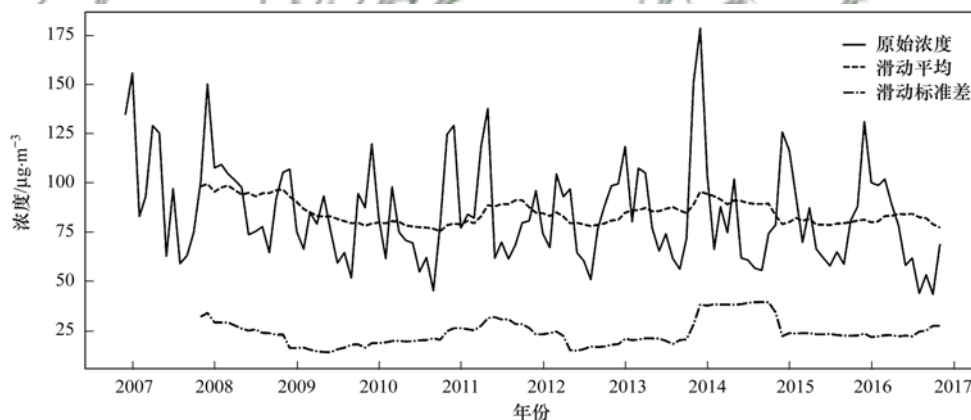


图2 2007~2016年上海地区PM₁₀月平均浓度变化趋势

Fig. 2 Monthly mean PM₁₀ concentrations in Shanghai during 2007-2016

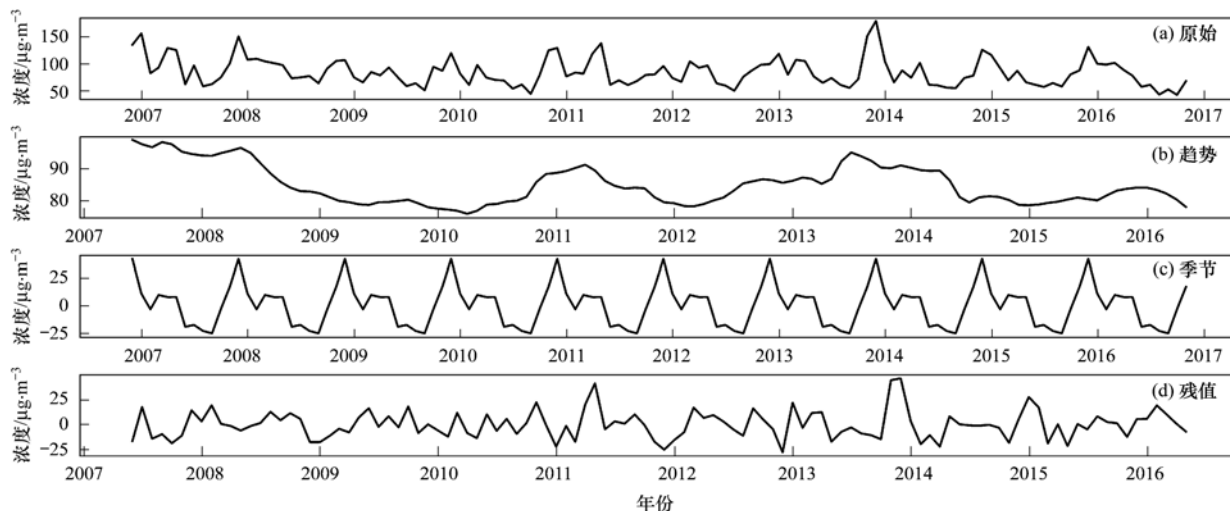


图3 2007~2016年上海地区PM₁₀月平均浓度分解后变化趋势

Fig. 3 Trend of monthly mean PM₁₀ concentration after decomposition in Shanghai during 2007-2016

下降趋势,季节部分周期性明显.对残值进行 ADF 平稳性检验,结果显示: P 值(3.457×10^{-7})远小于 0.01,检测值(-5.858)小于 1% 时置信度下的临界值(-3.500),通过 ADF 平稳性检验.在 99% 的置信度下,Residuals 数据是稳定的,其均值和方差均趋于常数(图略).

2.2 冬季颗粒物污染的总体气候背景

对冬季 PM_{10} 浓度偏高年份(2007 ~ 2008 年和 2014 ~ 2016 年)、偏低年份(2009 ~ 2013 年)、最高年份(2007 年)和最低年份(2012 年)的气象条件分析结果见表 1,总体上,浓度偏高年份伴随着污染日

数明显偏多,同期平均风速偏小、小风日数偏多、静风出现频率偏高,20:00 稳定类日数和逆温日数偏多而混合层高度偏低,平均气温偏高.

2.2.1 风

风是影响大气污染物扩散、稀释的最重要的一个因子,风速的大小决定着大气污染物的扩散速率,而风向则决定着大气污染物的落区.图 4 显示,2007 ~ 2016 年冬季平均风速呈现减少趋势,尤其是近 3 年(2014 ~ 2016 年)减少比较明显,各年冬季 PM_{10} 浓度和风速去趋势项后呈现负相关($r = -0.62$),这与许文轩等^[31]和贾梦唯等^[32]的研究结论一致.

表 1 颗粒物浓度偏高、偏低、最高、最低年份气象条件对比

气象要素	偏高年份(2007 ~ 2008 年 和 2014 ~ 2016 年)	偏低年份 (2009 ~ 2013 年)	最高年份 (2007 年)	最低年份 (2012 年)	10 a 平均
平均浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	117.6	89.5	125.7	79.2	103.6
污染日数/d	21.8	12.2	23	5	17.0
平均风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	2.58	2.73	2.69	2.66	2.65
$\leq 1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 小风日数/d	13.4	7.2	9	7	10.3
20:00 稳定类日数/d	63.6	57.4	58	57	60.5
20:00 混合层高度/m	284.2	322.5	322.3	320.0	303.4
20:00 逆温日数/d	16.4	10.4	13	4	13.4
平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	6.47	5.85	7.67	5.22	6.16

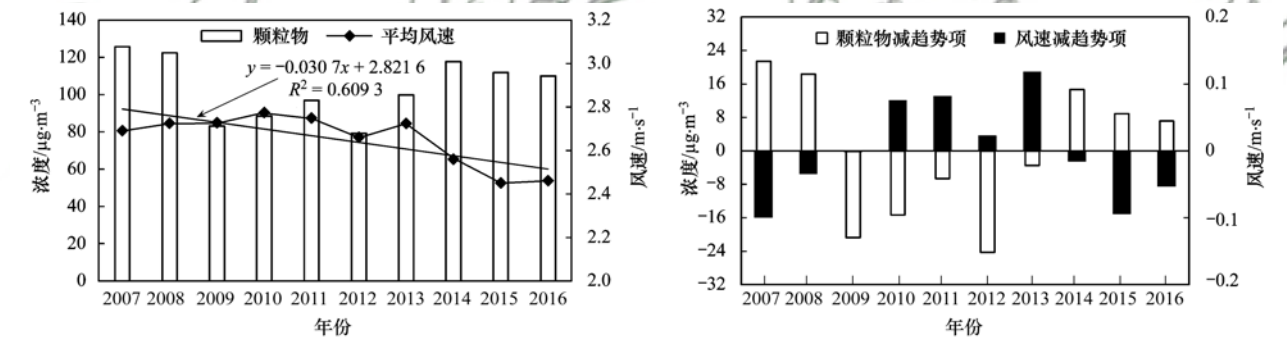


图 4 2007 ~ 2016 年上海地区冬季风速年变化

Fig. 4 Variations of winter wind speed in Shanghai during 2007-2016

图 5 显示, PM_{10} 浓度偏高年份,偏西北风(NW、NNW、WNW)或静风(C)出现频率明显偏大,偏西北风、静风出现频率和 PM_{10} 浓度呈现正相关(r 分

别为 0.629 和 0.474). 2012 年冬季东北风异常偏多,风速偏大是造成当年冬季平均浓度略低于全年平均浓度的主要原因之一(图 6).

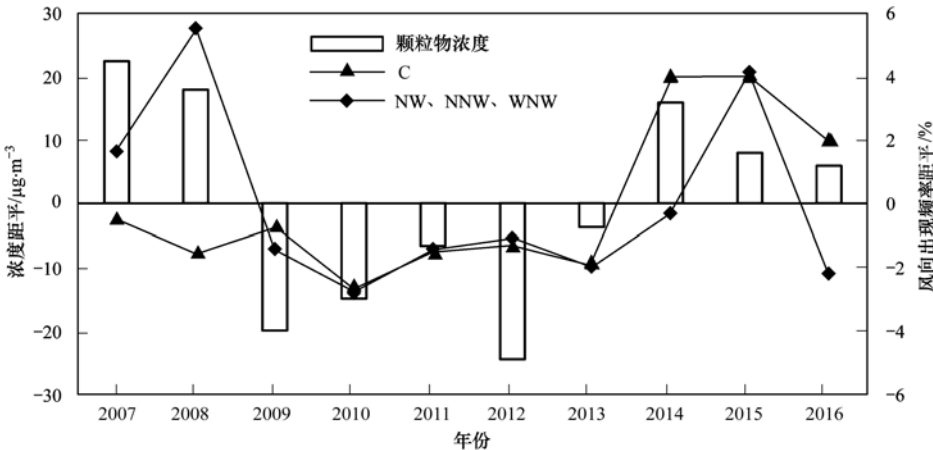


图 5 2007 ~ 2016 年上海地区冬季风向出现频率距平年变化

Fig. 5 Variations and anomalies of winter wind direction in Shanghai during 2007-2016

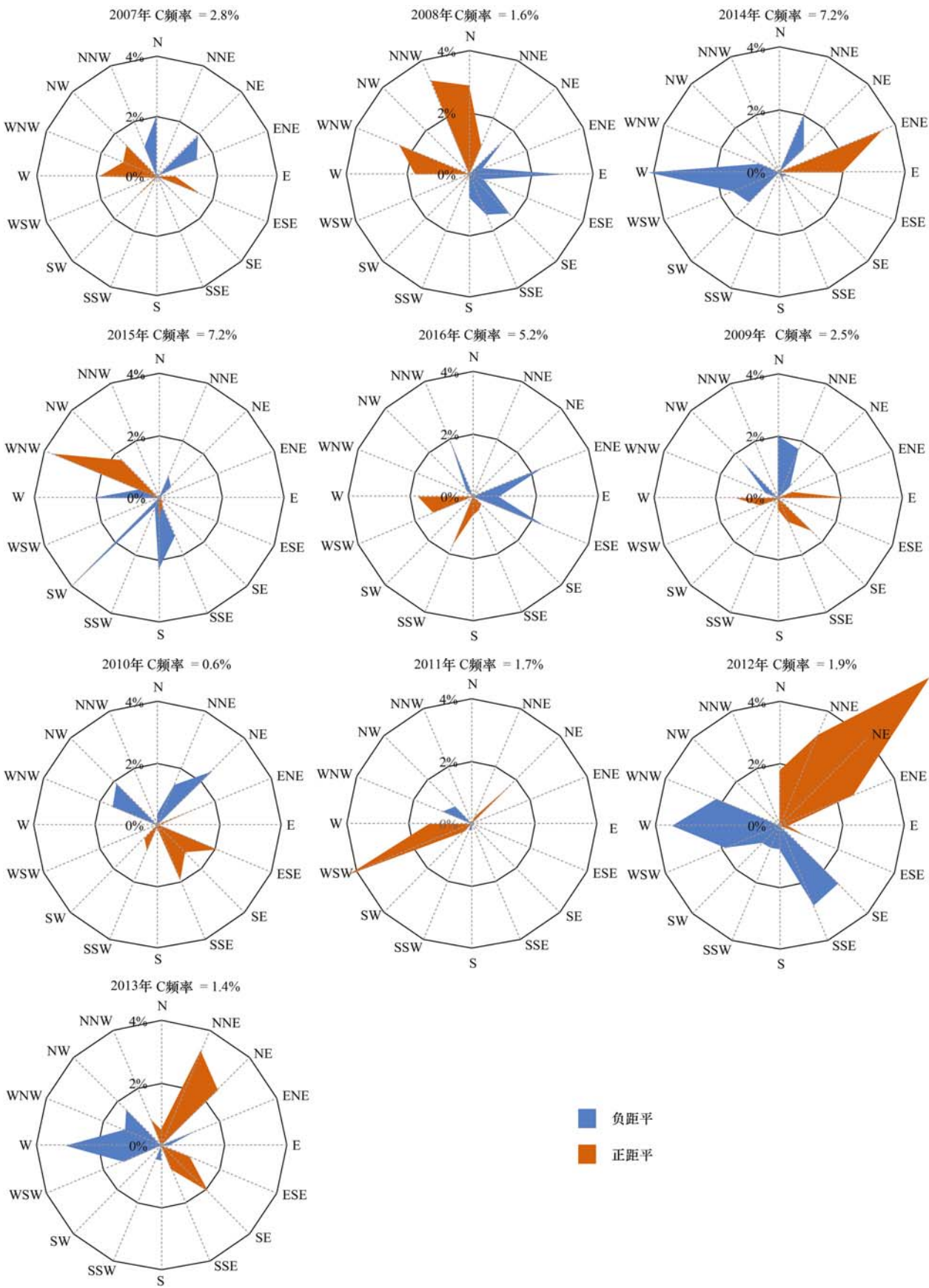


图 6 2007 ~ 2016 年上海地区冬季风玫瑰图

Fig. 6 Wind rose map in winter in Shanghai during 2007-2016

2.2.2 气温和逆温

2007 ~ 2016 年, 冬季平均气温呈现波动式下降趋

势[图 7(a)], 20:00 逆温出现日数呈波动式增加趋势 [图 7(b)]. 去趋势项后平均气温和 PM_{10} 浓度呈正相关

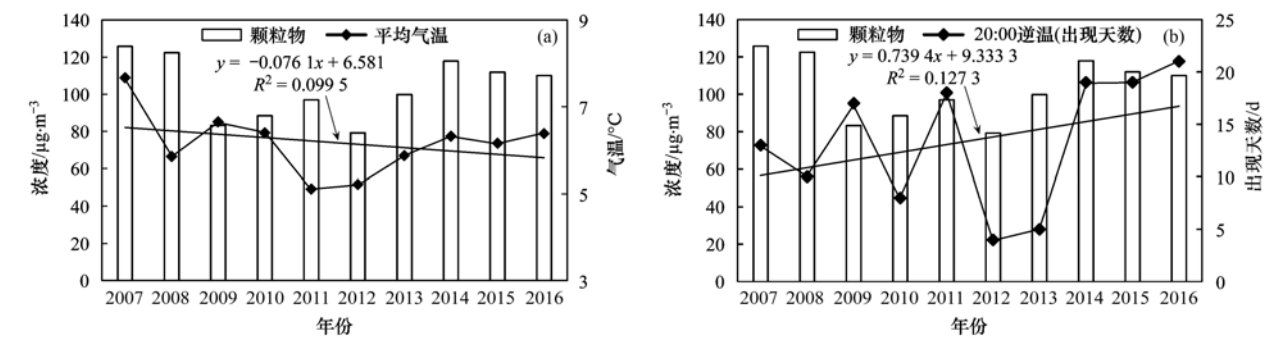


图 7 2007 ~ 2016 年冬季平均气温和 20:00 逆温年变化

Fig. 7 Variations of mean daily air temperatures and mean daily 20:00 temperature inversions in winter in Shanghai during 2007-2016

($r=0.461$),这与赵晨曦^[9]等研究结论一致. 去趋势项后 20:00 逆温和 PM_{10} 浓度呈正相关($r=0.402$).

2.2.3 大气稳定性和混合层高度

对 2007 ~ 2016 年冬季 02:00、08:00、14:00 和 20:00 大气稳定度、混合层高度与 PM_{10} 浓度相关性分析表明, 20:00 大气稳定度、混合层高度和 PM_{10} 浓度关系最密切(图 8), 冬季 20:00 大气稳定度都

以稳定类为主(61.1%~75.6%), 中性次多, 不稳定类没有出现. 20:00 稳定类出现频率呈增长趋势, 和 PM_{10} 浓度去趋势项后呈正相关($r=0.647$), 20:00 混合层高度呈波动式下降趋势, 和 PM_{10} 浓度去趋势项后呈负相关($r=-0.462$).

去趋势项后 PM_{10} 和各气象要素的相关系数见表 2.

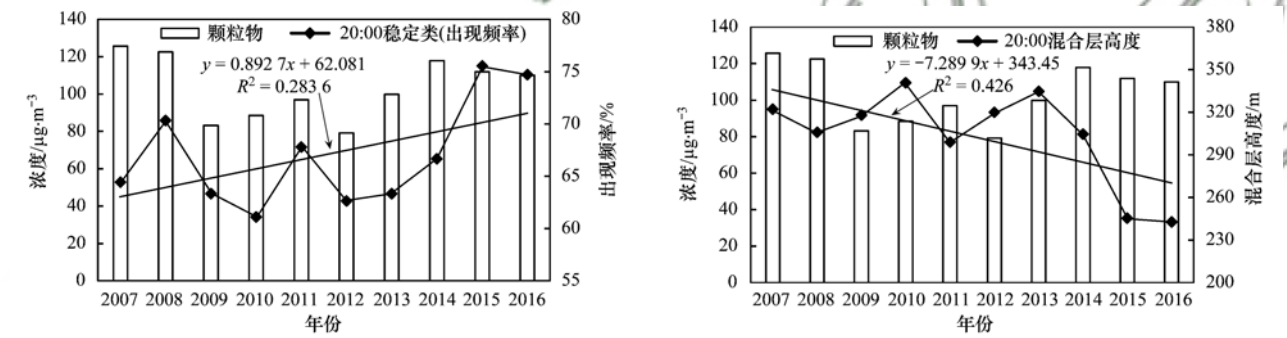


图 8 2007 ~ 2016 年冬季 20:00 大气稳定度和混合层高度年变化

Fig. 8 Variations of atmospheric stability and mean daily 20:00 mixing layer heights in winter in Shanghai during 2007-2016

表 2 去趋势项后 PM_{10} 和各气象要素相关系数汇总

Table 2 Correlation coefficient between PM_{10} and meteorological elements after decreasing trend

项目	风速	偏西北风	气温	20:00 稳定类	20:00 混合层高度	20:00 逆温
r	-0.620	0.629	0.461	0.647	-0.462	0.402

2.2.4 与气象要素的拟合关系

选取冬季地面气象要素(风速和气温等), 08:00 和 20:00 的高空气象要素(1 000、925、850、700 和 500 hPa 高度的温度、露点温度和风速风向)以及 20:00 混合层高度等共 66 个因子和 PM_{10} 日均浓度利用 matlab2014 软件进行多元线性逐步回归分析, 样本数共 842 个, 得出回归方程如下:

$$y = 100.116 + 0.4462y_1 - 0.03631x_1 - 0.3418x_2 + 1.6378x_3 - 5.1369x_4 + 1.5170x_5 - 4.0402x_6 - 1.1098x_7 + 5.3347x_8$$

式中, y 表示 PM_{10} 的日平均浓度, $\mu g \cdot m^{-3}$; y_1 表示前一天 PM_{10} 的日平均浓度, $\mu g \cdot m^{-3}$; x_1 表示 20:00 混合层高度, m; x_2 表示日最高气温, $^{\circ}C$; x_3 和 x_4 表

示 925 hPa 08:00 风速和 1 000 hPa 20:00 风速的垂直方向矢量, $m \cdot s^{-1}$; x_5 和 x_6 表示 925 hPa 和 1 000 hPa 20:00 风速的水平方向矢量, $m \cdot s^{-1}$; x_7 表示 700 hPa 与 500 hPa 20:00 温度差, $^{\circ}C$; x_8 表示 1 000 hPa 20:00 温度, $^{\circ}C$.

根据回归方程, 计算 PM_{10} 日均浓度和 PM_{10} 实测值进行相关分析(图 9), 结果显示 $r=0.696$, 满足显著性水平($\alpha=0.01$), 拟合效果较好.

2.3 冬季大气环流形势

对 2007 ~ 2016 年冬季 PM_{10} 浓度偏高年份、偏低年份、最高年份和最低年份的 500 hPa 高度场和 850 hPa 风场分析表明, PM_{10} 浓度偏高年份冬季, 我国北部 500 hPa 高度场为正距平[图 10(a)], 上海

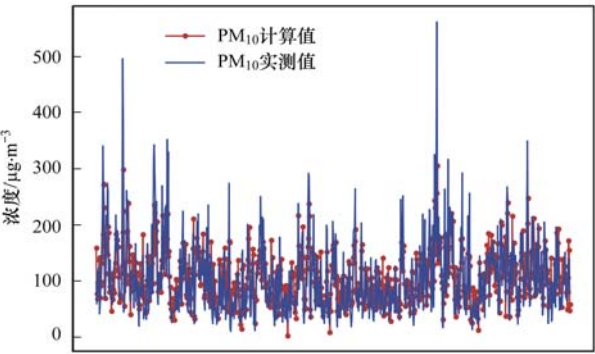


图 9 冬季 PM_{10} 日平均浓度逐步回归方程回代检验分析
Fig. 9 Regression test analysis of the concentration of PM_{10} in winter by a stepwise regression equation

地区容易形成暖冬,从而引起高浓度 PM_{10} 污染;而 PM_{10} 浓度偏低年份冬季,我国北部 500 hPa 高度场为负距平[图 10(b)],容易引起冷空气频繁南下,造成上海地区温度偏低,导致 PM_{10} 浓度相对偏低.

图 11 显示, PM_{10} 浓度偏高年份,上海地区冬季 850 hPa 风场异常为东风, PM_{10} 浓度偏低年份风场异常为南风,偏低年份风速相比偏高年份偏大,这和前文风速和 PM_{10} 浓度负相关的结论是一致的.

2007 年冬季我国北部 500 hPa 高度场为正距平,容易形成暖冬,从而引起 PM_{10} 污染加重,而 2012 年冬季我国北部 500 hPa 高度场为负距平(图略),

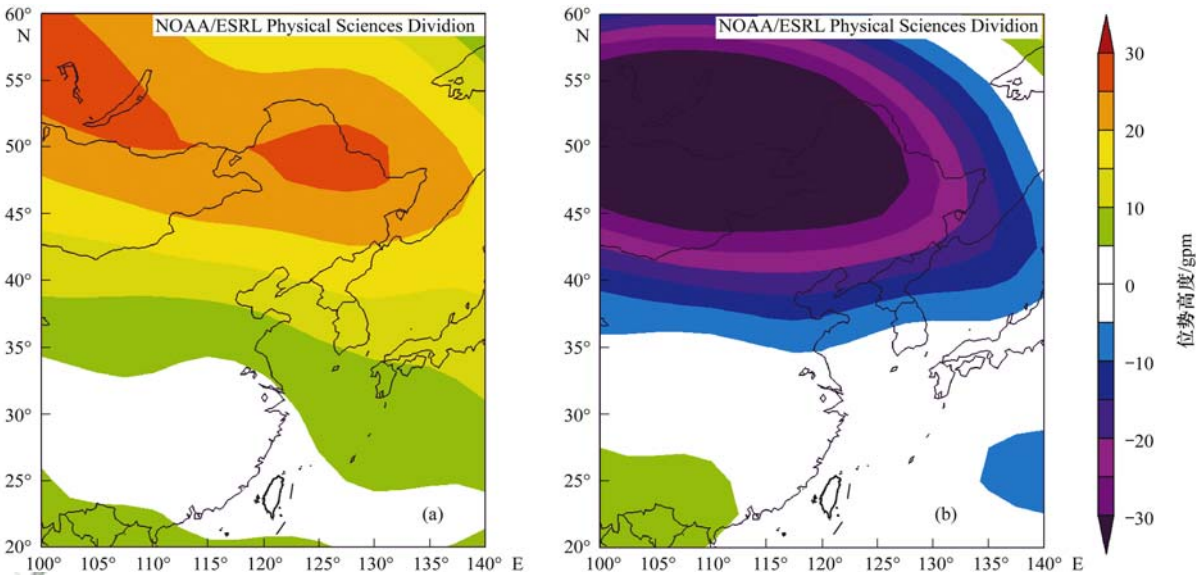


图 10 上海地区冬季 PM_{10} 浓度偏高偏低年份合成 500 hPa 高度场异常对比
Fig. 10 500 hPa geopotential height anomaly in the years with the highest and lowest PM_{10} concentrations

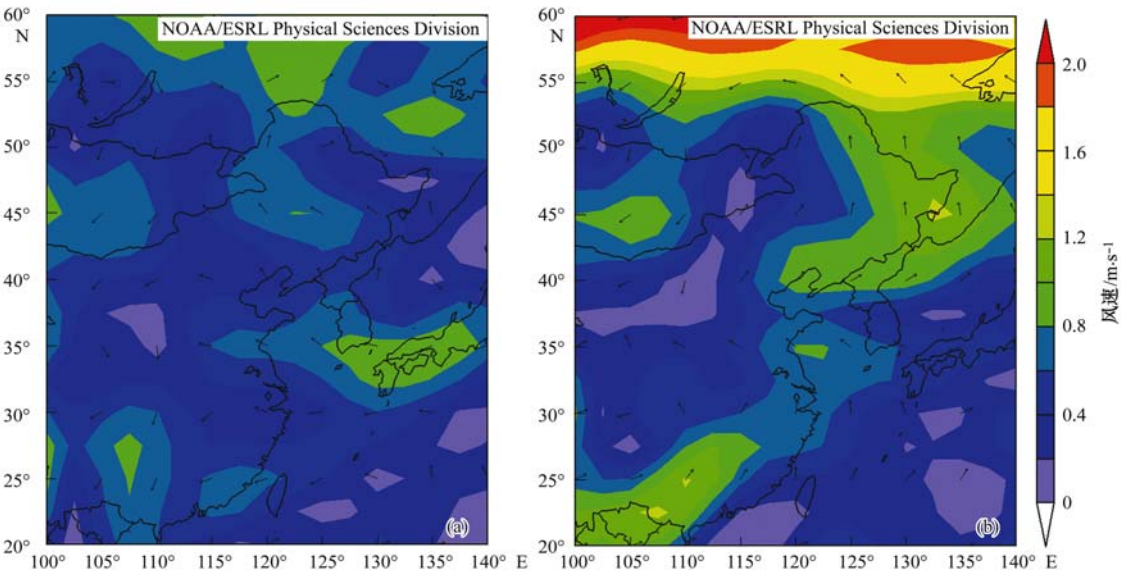


图 11 上海地区冬季 PM_{10} 浓度偏高偏低年份合成 850 hPa 风场异常对比
Fig. 11 850 hPa wind field anomaly in the years with the highest and lowest PM_{10} concentrations

容易引起冷空气频繁南下,造成上海地区温度偏低,导致 PM_{10} 浓度相对偏低. 2007 年冬季上海地区 850 hPa 风场异常为东南风, 2012 年冬季风场异常为东风, 2012 年风速明显比 2007 年大(图略), 这有利于 PM_{10} 污染物扩散, 风速偏大也是 2012 年冬季 PM_{10} 浓度相对偏低的重要原因之一.

3 结论

(1) 2007~2016 年 PM_{10} 年平均浓度呈现波动式下降趋势, 冬季 PM_{10} 平均浓度呈现两头高、中间低形态; 除了 2012 年, 冬季平均浓度都远高于全年平均浓度. PM_{10} 月平均浓度趋势部分呈现波动式下降趋势, 季节部分周期性明显, 残值通过 ADF 平稳性检验, 检测值(-5.858)小于 1% 时置信度下的临界值(-3.500).

(2) 去趋势项后 PM_{10} 与平均风速、20:00 混合层高度负相关(r 为 -0.620 和 -0.462), 与偏西北风出现频率、20:00 稳定类出现频率、20:00 逆温出现频率、平均气温正相关(r 为 0.629、0.647、0.402 和 0.461). 建立多元逐步线性回归方程并回代检验分析, $r = 0.696$, 满足显著性水平($\alpha = 0.01$).

(3) 当冬季我国北部 500 hPa 高度场为正距平, 容易引起高浓度 PM_{10} 污染; 而当冬季我国北部 500 hPa 高度场为负距平, 容易导致 PM_{10} 浓度相对偏低. 850 hPa 风场异常为偏东风, 且风速偏大, 容易造成 PM_{10} 浓度相对偏低. 2012 年冬季气温偏低、偏东风异常偏多, 风速偏大是造成当年冬季平均浓度略低于全年平均浓度的主要原因.

致谢: 感谢美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 提供的资料.

参考文献:

- [1] Tsangari H, Paschalidou A K, Kassomenos A P, *et al.* Extreme weather and air pollution effects on cardiovascular and respiratory hospital admissions in Cyprus [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **542**: 247-253.
- [2] O'Lenick C R, Wilhelmi O V, Michael R, *et al.* Urban heat and air pollution: a framework for integrating population vulnerability and indoor exposure in health risk analyses[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **660**: 715-723.
- [3] Li X Y, Song H Q, Zhai S Y, *et al.* Particulate matter pollution in Chinese cities: areal-temporal variations and their relationships with meteorological conditions (2015-2017)[J]. *Environmental Pollution*, 2019, **246**: 11-18.
- [4] Whiteman C D, Hoch S W, Horel J D, *et al.* Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **94**: 742-753.
- [5] Wang J Z, Zhang X Y, Li D, *et al.* Interdecadal changes of summer aerosol pollution in the Yangtze River Basin of China, the relative influence of meteorological conditions and the relation to climate change[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **630**: 46-52.
- [6] Ma T, Duan F K, He K B, *et al.* Air pollution characteristics and their relationship with emissions and meteorology in the Yangtze River Delta region during 2014-2016 [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2019, **83**: 8-20.
- [7] Yin F, Ma Y, Zhao X, *et al.* Analysis of the effect of PM_{10} on hand, foot and mouth disease in a basin terrain city [J]. *Scientific Reports*, 2019, **9**: 3233.
- [8] Wu X C, Chen B, Wen T X, *et al.* Concentrations and chemical compositions of PM_{10} during hazy and non-hazy days in Beijing [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2020, **87**: 1-9.
- [9] 赵晨曦, 王云琦, 王玉杰, 等. 北京地区冬春 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染水平时空分布及其与气象条件的关系[J]. *环境科学*, 2014, **35**(2): 418-427.
- Zhao C X, Wang Y Q, Wang Y J, *et al.* Temporal and spatial distribution of $PM_{2.5}$ and PM_{10} pollution status and the correlation of particulate matters and meteorological factors during winter and spring in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(2): 418-427.
- [10] 杨志文, 元洁, 吴琳, 等. 2015 年 2 月天津市大气颗粒物数浓度变化及其与气象条件的关系[J]. *环境工程学报*, 2017, **11**(7): 4125-4132.
- Yang Z W, Yuan J, Wu L, *et al.* Characteristics of particle number concentration during February in 2015 in Tianjin and their relationship with meteorological conditions [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2017, **11**(7): 4125-4132.
- [11] 花艳, 潘良宝, 汤莉莉, 等. 南京霾天颗粒物数浓度特征及其受气象条件影响分析[J]. *气象科学*, 2017, **37**(3): 385-393.
- Hua Y, Pan L B, Tang L L, *et al.* Characteristics of the particulate number concentration and association with meteorological conditions during winter haze episode in Nanjing [J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2017, **37**(3): 385-393.
- [12] 陈镭, 马井会, 甄新蓉, 等. 上海地区空气污染变化特征及其气象影响因素[J]. *气象与环境学报*, 2017, **33**(3): 59-67.
- Chen L, Ma J H, Zhen X R, *et al.* Variation characteristics and meteorological influencing factors of air pollution in Shanghai [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2017, **33**(3): 59-67.
- [13] 孙欢欢, 倪长健, 崔蕾, 等. 成都市大气颗粒物污染特征及与气象因子的关联性分析[J]. *环境防治与污染*, 2016, **38**(5): 55-60.
- Sun H H, Ni C J, Cui L, *et al.* Pollution characteristics of atmospheric particles and their correlation with meteorological factors in Chengdu City[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2016, **38**(5): 55-60.
- [14] 刘凡, 谭钦文, 江霞, 等. 成都市冬季相对湿度对颗粒物浓度和大气能见度的影响[J]. *环境科学*, 2018, **39**(4): 1466-1472.
- Liu F, Tan Q W, Jiang X, *et al.* Effect of relative humidity on particulate matter concentration and visibility during winter in Chengdu [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(4): 1466-1472.
- [15] Hou X W, Zhu B, Kumar K R, *et al.* Inter-annual variability in fine particulate matter pollution over China during 2013-2018: role of meteorology[J]. *Atmospheric Environment*, 2019, **214**:

- 116842.
- [16] He J J, Gong S L, Yu Y, *et al.* Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014-2015 in major Chinese cities[J]. *Environmental Pollution*, 2017, **223**: 484-496.
- [17] 蒋伊蓉, 朱蓉, 朱克云, 等. 京津冀地区重污染天气过程的污染气象条件数值模拟研究[J]. *环境科学学报*, 2015, **35** (9): 2681-2692.
- Jiang Y R, Zhu R, Zhu K Y, *et al.* Numerical simulation on the air pollution potential in the severe air pollution episodes in Beijing-Tianjin-Hebei Region [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(9): 2681-2692.
- [18] 曾胜兰, 王雅芳. 成都地区污染天气分型及其污染气象特征研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, **25**(S1): 59-67.
- Zeng S L, Wang Y F. Researches of weather pattern and pollution meteorological characteristics in Chengdu area [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, **25** (S1): 59-67.
- [19] 常炉予, 许建明, 周广强, 等. 上海典型持续性PM_{2.5}重度污染的数值模拟[J]. *环境科学*, 2016, **37**(3): 825-833.
- Chang L Y, Xu J M, Zhou G Q, *et al.* A numerical study of typical heavy air pollution episode of PM_{2.5} in Shanghai [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(3): 825-833.
- [20] 刘琳, 王玲玲, 白永清, 等. 应用WRF/Chem模拟河南冬季大气颗粒物的区域输送特征[J]. *环境科学学报*, 2017, **37** (5): 1843-1854.
- Liu L, Wang L L, Bai Y Q, *et al.* Simulation for the impacts of regional transport on winter particulate matter levels over Henan based on WRF/Chem model[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, **37**(5): 1843-1854.
- [21] 张晗宇, 程水源, 姚森, 等. 2016年10~11月期间北京市大气颗粒物污染特征与传输规律[J]. *环境科学*, 2019, **40** (5): 1999-2009.
- Zhang H Y, Cheng S Y, Yao S, *et al.* Pollution characteristics and regional transport of atmospheric particulate matter in Beijing from October to November, 2016 [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(5): 1999-2009.
- [22] 王涛, 李杰, 王威, 等. 北京秋冬季一次重污染过程PM_{2.5}来源数值模拟研究[J]. *环境科学学报*, 2019, **39**(4): 1025-1038.
- Wang T, Li J, Wang W, *et al.* Numerical simulation study on source apportionment of PM_{2.5} in a heavy winter pollution event over Beijing area [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39** (4): 1025-1038.
- [23] 徐冉, 张恒德, 杨孝文, 等. 北京地区秋冬季大气污染特征及成因分析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(8): 3405-3414.
- Xu R, Zhang H D, Yang X W, *et al.* Concentration characteristics of PM_{2.5} and the causes of heavy air pollution events in Beijing during autumn and winter [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(8): 3405-3414.
- [24] He J J, Gong S L, Zhou C H, *et al.* Analyses of winter circulation types and their impacts on haze pollution in Beijing [J]. *Atmospheric Environment*, 2018, **192**: 94-103.
- [25] 苗蕾, 廖晓农, 王迎春. 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[J]. *环境科学*, 2016, **37**(8): 2836-2846.
- Miao L, Liao X N, Wang Y C. Diurnal variation of PM_{2.5} mass concentration in Beijing and influence of meteorological factors based on long term date [J]. *Environmental Science*, 2016, **37** (8): 2836-2846.
- [26] 尹晓梅, 李梓铭, 熊亚军, 等. 2014~2017北京市气象条件和人为排放变化对空气质量改善的贡献评估[J]. *环境科学*, 2019, **40**(3): 1011-1023.
- Yin X M, Li Z M, Xiong Y J, *et al.* Contribution assessment of meteorology conditions and emission change for air quality improvement in Beijing during 2014-2017 [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(3): 1011-1023.
- [27] 李颖若, 汪君霞, 韩婷婷, 等. 利用多元线性回归方法评估气象条件和控制措施对APEC期间北京空气质量的影响[J]. *环境科学*, 2019, **40**(3): 1024-1034.
- Li Y R, Wang J X, Han T T, *et al.* Using multiple linear regression method to evaluate the impact of meteorological conditions and control measures on air quality in Beijing during APEC 2014 [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(3): 1024-1034.
- [28] Wang P F, Guo H, Hu J L, *et al.* Responses of PM_{2.5} and O₃ concentrations to changes of meteorology and emissions in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **662**: 297-306.
- [29] 于燕, 王泽华, 崔雪冬, 等. 长三角地区重点源减排对PM_{2.5}浓度的影响[J]. *环境科学*, 2019, **40**(1): 11-23.
- Yu Y, Wang Z H, Cui X D, *et al.* Effects of emission reductions of key sources on the PM_{2.5} concentrations in the Yangtze river delta [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(1): 11-23.
- [30] 卢文, 王红磊, 朱彬, 等. 南京江北2014—2016年PM_{2.5}质量浓度分布特征及气象和传输影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 2019, **39**(4): 1039-1048.
- Lu W, Wang H L, Zhu B, *et al.* Distribution characteristics of PM_{2.5} mass concentration and their impacting factors including meteorology and transmission in North Suburb of Nanjing during 2014 to 2016 [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39**(4): 1039-1048.
- [31] 许文轩, 田永中, 肖悦, 等. 华北地区空气质量空间分布特征及成因研究[J]. *环境科学学报*, 2017, **37**(8): 3085-3096.
- Xu W X, Tian Y Z, Xiao Y, *et al.* Study on the spatial distribution characteristics and the drivers of AQI in North China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, **37**(8): 3085-3096.
- [32] 贾梦唯, 赵天良, 张祥志, 等. 南京主要大气污染物季节变化及相关气象分析[J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(9): 2567-2577.
- Jia M W, Zhao T L, Zhang X Z, *et al.* Seasonal variations in major air pollutants in Nanjing and their meteorological correlation analyses [J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(9): 2567-2577.

CONTENTS

Spatiotemporal Variations of PM _{2.5} Pollution Evolution in China in Recent 20 Years	SHI Yan, LIU Rui-mei, LUO Yi, <i>et al.</i> (1)
Characteristics of Aerosol Particulate Concentrations and Their Climate Background in Shanghai During 2007-2016	ZHENG Qing-feng, SHI Jun, TAN Jian-guo, <i>et al.</i> (14)
Characteristics and Sources of Elements in PM _{2.5} During Summer for Three Typical Cities in Pingdingshan-Suizhou-Wuhan, Central China	LIU Wei-jie, SHI Ming-ming, CHENG Cheng, <i>et al.</i> (23)
PM _{2.5} Pollution Characteristics During Winter and Summer in the Hohhot-Baotou-Ordos Region, China	LI Yi-ming, LIU Jia-yuan, SHI Guo-liang, <i>et al.</i> (31)
Analysis of Pollution Characteristics and Sources of PM _{2.5} During Heavy Pollution in Shijiazhuang City Around New Year's Day 2019	ZHOU Jing-bo, DUAN Jing-chun, WANG Jian-guo, <i>et al.</i> (39)
Modeling Studies of Source Contributions to PM _{2.5} in Chengdu, China	XU Yan-ling, YI Ai-hua, XUE Wen-bo (50)
Chemical Characteristics of Arsenic in PM _{2.5} in Beijing	SHI Shao-xuan, YANG Yan-rong, QIN Juan-juan, <i>et al.</i> (57)
Pollution Characteristics and Potential Source Contributions of Gaseous Elemental Mercury (GEM) During Summer and Autumn in Ningbo City	YI Hui, LIN Jia-mei, CAI Qiu-liang, <i>et al.</i> (65)
Seasonal Characteristics and Source Analysis of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} of Anyang City	SUN You-chang, JIANG Nan, WANG Shen-bo, <i>et al.</i> (75)
Analysis of Stable Carbon Isotope Characteristics of PM _{2.5} in Summer and Winter Season in Xinxiang City	YAN Guang-xuan, SONG Xin, ZHANG Jing-wen, <i>et al.</i> (82)
Construction and Evaluation on Size Resolved Source Apportionment Methods Based on Particle Size Distribution of Chemical Species	LIANG Yong-li, TIAN Ying-ze, LIU Tong, <i>et al.</i> (90)
Fine Particulate Emission Characteristics of an Ultra-Low Emission Coal-Fired Power Plant	WANG Run-fang, MA Da-wei, JIANG Shao-yi, <i>et al.</i> (98)
Driving Factors of the Significant Increase in Surface Ozone in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China, During 2013-2018	YU Yi-jun, MENG Xiao-yan, WANG Zhen, <i>et al.</i> (106)
Characteristic of Surface Ozone and Meteorological Parameters Analysis in Anyang City	YANG Jian, YIN Sha-sha, YU Shi-jie, <i>et al.</i> (115)
Emission Inventory of Intermediate Volatility Organic Compounds from Vehicles in the Yangtze River Delta in 2017 and the Impact on the Formation Potential of Secondary Organic Aerosols	WANG Qian, HUANG Ling, WANG Yang-jun, <i>et al.</i> (125)
Exhaust Smoke of Non-Road Vehicles in Typical Cities of Eastern China	LU Jun, HU Qing-yao, YANG Qiang, <i>et al.</i> (133)
Emission Status and Standards of Volatile Organic Compounds from Chinese and Foreign Bulk Petroleum Terminals	HU Wei, REN Bi-qi, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i> (139)
Secondary Organic Aerosol Mass Yield and Characteristics from 4-ethylguaiaacol Aqueous ·OH Oxidation: Effects of Initial Concentration	ZHUANG Yu, CHEN Yan-tong, LI Xu-dong, <i>et al.</i> (146)
Stable Isotope Characteristics and Vapor Source of Precipitation in the South and North Slopes of Wushaoling Mountain	XU Xiu-ting, JIA Wen-xiong, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (155)
Characteristics and Influencing Factors of Stable Hydrogen and Oxygen Isotopes in Groundwater in the Permafrost Region of the Source Region of the Yangtze River	WANG Shao-yong, HE Xiao-bo, DING Yong-jian, <i>et al.</i> (166)
Hydrochemical and Isotopic Characteristics of the Lake Balkhash Catchment, Kazakhstan	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, JILILI Abuduwali, <i>et al.</i> (173)
Effect of a Comprehensive Improvement Project on Water Quality in Urban Lakes: A Case Study of Water Quality Variation in Lihu Lake Over the Past 30 Years	TIAN Wei, YANG Zhou-sheng, SHAO Ke-qiang, <i>et al.</i> (183)
Detection Method, Distribution, and Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Yellow Sea and the East China Sea	CHEN Xian, ZHANG Cai-jie, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (194)
Occurrence and Risk Assessment of Organophosphate Esters in Source Water of the Nanjing Section of the Yangtze River	LI Dong, ZHANG Sheng-hu, ZHANG Qin, <i>et al.</i> (205)
Spatial Distribution, Spectral Characteristics, and Sources Analysis of Dissolved Organic Matter from Baiyangdian Lake in Xiong'an New District During the Winter Freezing Period	ZHOU Shi-lei, SUN Yue, ZHANG Yi-ran, <i>et al.</i> (213)
Spatial Characteristics, Risk Assessment, and Source Analysis of Elements in Surface Sediments from the Baiyangdian Lake	WANG Jing-zhong, LIU Zhao, WEI Hao, <i>et al.</i> (224)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Phthalate Esters in Surface Sediments of the Songhua River	WANG Huan, YANG Yong-zhe, WANG Hai-yan, <i>et al.</i> (232)
Occurrence Relationship Between Microplastics and Heavy Metals Pollutants in the Estuarine Sediments of Poyang Lake and the Yangtze River	LI Wen-hua, JIAN Min-fei, LIU Shu-li, <i>et al.</i> (242)
Effect of Ozonation on Microorganism in the Biological Activated Carbon and Disinfection By-Products in the Effluent	LIU Bao-ming, WANG Xi-xi, ZHANG Xiao-xia, <i>et al.</i> (253)
Refined Assessment of Exposure and Health Risks of Heavy Metals in Water for the Children in Xigu District, Lanzhou	CHEN Yue-fang, SUN Shan-wei, DUAN Xiao-li, <i>et al.</i> (262)
Adsorption of Phosphate on Mg/Fe Layered Double Hydroxides (Mg/Fe-LDH) and Use of Mg/Fe-LDH as an Amendment for Controlling Phosphorus Release from Sediments	WU Jun-lin, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (273)
Characteristics and Mechanism of Monothioarsenate Adsorption on Sand, Sediment, and Goethite	LIAO Dan-xue, SHAN Hui-mei, PENG San-xi, <i>et al.</i> (284)
Substructure Characteristics of Combined Acid-Base Modified Sepiolite and Its Adsorption for Cd(II)	XIE Sha, XU Ying-ming, YAN Cui-xia, <i>et al.</i> (293)
Characteristics of Nitrogen Metabolism by Denitrifying Bacterial Agents in Low Dissolved Oxygen Black Odor Water	ZHAO Zhi-rui, LIU Shuo, LI Duo, <i>et al.</i> (304)
Metagenomic Analysis of Antibiotic Resistant Bacteria and Resistance Genes in a Pharmaceutical and Chemical Wastewater Treatment Plant	CHEN Hong-ling, ZHANG Xing-tao, WANG Qing, <i>et al.</i> (313)
Measurements of Bacterial Community and Biodiversity from Activated Sludge for a Wastewater Treatment Containing Starch	ZHAO Ting-ting, QIAO Kai, WANG Lei, <i>et al.</i> (321)
Process Control and Operation Optimization of PN-SAD Coupling Process Based on SBR-ABR	CHEN Chong-jun, ZHANG Min, JIANG Ying, <i>et al.</i> (330)
Effects of Intermittent Starvation on the Operation of the SNAD Process	LI Dong, LIU Zhi-cheng, XU Gui-da, <i>et al.</i> (337)
Nitrogen Removal from Mature Landfill Leachate via Denitrification-Partial Nitrification-ANAMMOX Based on a Zeolite Biological Aerated Filter	CHEN Xiao-zhen, WANG Xiao-jun, Karasuta Chayangkun, <i>et al.</i> (345)
Rapid Achievement of Nitrifying Micro-granular Sludge and Its Nitrification Function	LIU Wen-ru, SONG Jia-jun, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (353)
Effect of On/Off Aeration Time Ratio Under High Frequency On/Off Aeration on Performance of Nitrosated Granular Sludge	ZHANG Jie, LAO Hui-mei, LI Dong, <i>et al.</i> (360)
Occurrence, Distribution, Source, and Health Risk Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers in Surface Soil from the Shen-Fu Region, Northeast China	XIANG Xin-xin, LU Yin-tao, RUAN Qi-yang, <i>et al.</i> (368)
Vertical Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Heterogeneous Unsaturated Zone Under a Coking Plant	MENG Xiang-shuai, WU Meng-meng, CHEN Hong-han, <i>et al.</i> (377)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes and Mobile Genetic Elements in Beijing Vegetable Base Soils	ZHANG Ru-feng, SONG Yuan, GAO Hao-ze, <i>et al.</i> (385)
Stoichiometric Characteristics of Purple Sloping Cropland Under Long-term Fertilization and Cultivation	DU Ying-ni, LI Tian-yang, HE Tian-hui, <i>et al.</i> (394)
Ecological Stoichiometry of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Subtropical Paddy Soils	SONG Jia-ling, SHENG Hao, ZHOU Ping, <i>et al.</i> (403)
Denitrification and Anaerobic Ammonium Oxidation in Soil Nitrogen Migration Process in a Farmland of Wanshangang Lake	CHEN Zhi-hao, QIN Yun-bin, DING Bang-jing, <i>et al.</i> (412)
Effects of Straw Biochar on Soil Microbial Metabolism and Bacterial Community Composition in Drip-irrigated Cotton Field	WANG Jing, MA Li-juan, LONG Ze-hua, <i>et al.</i> (420)
Source Appointment of Heavy Metals in Agricultural Soils of the Jiulong River Basin Based on Positive Matrix Factorization	HUANG Hua-bin, LIN Cheng-qi, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (430)
Spatial Distribution of Soil Arsenic and Arsenic Enrichment in Crops in the Oasis Region of the Southeastern Tarim Basin	CHEN Yun-fei, ZHOU Jin-long, ZENG Yan-yan, <i>et al.</i> (438)
Bioavailability, Translocation, and Accumulation Characteristic of Heavy Metals in a Soil-Crop System from a Typical Carbonate Rock Area in Guangxi, China	MA Hong-hong, PENG Min, LIU Fei, <i>et al.</i> (449)
Effects of Different Amendments on Fractions and Uptake by Winter Wheat in Slightly Alkaline Soil Contaminated by Cadmium and Nickel	ZHANG Jing-jing, ZHU Shuang-ge, ZHU Li-nan, <i>et al.</i> (460)
Effect of Different Passivating Agents on the Stabilization of Heavy Metals in Chicken Manure Compost and Its Maturity Evaluating Indexes	LUAN Run-yu, GAO Shan, XU Ying-ming, <i>et al.</i> (469)
Response of Soil Respiration and Its Components to Nitrogen and Phosphorus Addition in Farming-Withdrawn Grassland in the Semiarid Loess Hilly-Gully Region	ZHOU Jun-jie, CHEN Zhi-fei, YANG Quan, <i>et al.</i> (479)
Subsequent Effects of Slag and Biochar Application on Greenhouse Gas Emissions from Paddy Fields in the Fuzhou Plain	LAN Xing-fu, WANG Xiao-tong, ZHOU Ya-xin, <i>et al.</i> (489)