

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第4期

Vol.37 No.4

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

2013年12月上海市重度污染期间细颗粒物化学特征与输送轨迹影响	周敏, 乔利平, 朱书慧, 李莉, 楼晟荣, 王红丽, 陶士康, 黄成, 陈长虹 (1179)
利用 SPAMS 研究华北乡村站点(曲周)夏季大气单颗粒物老化与混合状态	黄子龙, 曾立民, 董华斌, 李梅, 朱彤 (1188)
南京大气气溶胶混合态与云凝结核活化特征研究	朱麟, 马嫣, 郑军, 李时政, 王利朋 (1199)
北京地区不同天气条件下气溶胶数浓度粒径分布特征研究	苏捷, 赵普生, 陈一娜 (1208)
重庆市主城区 PM _{2.5} 时空分布特征	刘永林, 孙启民, 钟明洋, 钟部卿, 雒昆利 (1219)
大气细颗粒物中有机碳和元素碳监测方法对比	庞博, 吉东生, 刘子锐, 朱彬, 王跃思 (1230)
深圳市大气中全氟化合物的残留特征	何鹏飞, 张鸿, 李静, 何龙, 罗骥, 刘国卿, 沈金灿, 杨波, 崔晓宇 (1240)
北京上甸子站大气 CO ₂ 及 δ ¹³ C(CO ₂) 本底变化	夏玲君, 周凌晔, 刘立新, 张根 (1248)
梅雨期大学宿舍室内生物气溶胶浓度及粒径分布	刘婷, 李露, 张家泉, 占长林, 刘红霞, 郑敬茹, 姚瑞珍, 曹军骥 (1256)
城市黑臭水体空气微生物污染及健康风险	刘建福, 陈敬雄, 辜时有 (1264)
北京市典型室内外灰尘中重金属的粒径和季节变异特征及人体暴露评估	曹治国, 余刚, 吕香英, 王梦蕾, 李琦路, 冯精兰, 闫广轩, 余浩, 孙剑辉 (1272)
西安市地表灰尘中多环芳烃分布特征与来源解析	王丽, 王利军, 史兴民, 卢新卫 (1279)
PDMS 基涂层活性炭对甲苯、苯和丙酮吸附研究	刘寒冰, 姜鑫, 王新, 杨兵, 薛南冬, 张石磊 (1287)
海南东北部滨海湿地沉积物微量元素分布特征、来源及污染评价	张卫坤, 甘华阳, 闭向阳, 王家生 (1295)
曹妃甸围填海土壤重金属积累的磁化率指示研究	薛勇, 周倩, 李远, 章海波, 胡雪峰, 骆永明 (1306)
滇南蒙自地区降水稳定同位素特征及其水汽来源	李广, 章新平, 许有鹏, 宋松, 王跃峰, 季晓敏, 项捷, 杨洁 (1313)
江苏省浅水湖泊表层沉积物重金属 GIS 空间分布及生态风险评价	李莹杰, 张列宇, 吴易雯, 李曹乐, 杨天学, 唐军 (1321)
城市景观水体甲基汞的形成机制及微宇宙模拟研究	刘小红, 司友斌, 郭子薇, 杜成竹, 朱聪聪 (1330)
我国北方温排水库——周村水库季节性热分层现象及其水质响应特性	曾明正, 黄廷林, 邱晓鹏, 王亚平, 史建超, 周石磊, 刘飞 (1337)
额尔齐斯河源区融雪期积雪与河流的水化学特征	韦虹, 吴锦奎, 沈永平, 张伟, 刘世伟, 周嘉欣 (1345)
太原汾河景区浮游植物群落结构及其与环境因子关系分析	冯佳, 郭宇宁, 王飞, 吕俊平, 刘琪, 谢树莲, 程革, 张建民 (1353)
铜陵市河流沉积物中硝化和反硝化微生物分布特征	程建华, 窦智勇, 孙庆业 (1362)
基流对亚热带农业流域氮素输出的贡献研究	马秋梅, 李玮, 王毅, 刘新亮, 李勇, 吴金水 (1371)
重庆南山表层岩溶泉与地下河三氮运移及氮通量估算	张远瞩, 贺秋芳, 蒋勇军, 李勇 (1379)
山美水库沉积物氮磷和有机质污染特征及评价	邱祖凯, 胡小贞, 姚程, 张文慧, 许秋瑾, 黄天寅 (1389)
伊乐藻-固定化脱氮微生物技术对入贡河道脱氮机制的影响	韩华杨, 李正魁, 王浩, 朱倩 (1397)
环太湖不同性质河流水体磷的时空分布特征	高永霞, 宋玉芝, 于江华, 朱广伟 (1404)
藻类与扰动共存下水体中不同形态磷的数量分布规律	陈俊, 李勇, 李大鹏, 黄勇, 朱培颖 (1413)
扰动对悬浮颗粒物粒径及上覆水中磷形态分布的影响	郭俊锐, 李大鹏, 刘焱见 (1422)
铅改性高岭土覆盖对底泥与上覆水之间磷迁移转化的影响	章喆, 林建伟, 詹艳慧, 王虹 (1427)
电化学还原-氧化工艺降解 4-氯酚的毒性研究	王岩, 施钦, 王辉, 卞兆勇 (1437)
水合氧化铝负载的磁性核/壳结构 Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ 纳米颗粒对水中磷的去除及再利用	赖立, 谢强, 方文侃, 邢明超, 吴德意 (1444)
多环芳烃及其衍生物在北京典型污水处理厂中的存在及去除	乔梦, 齐维晓, 赵旭, 刘会娟, 曲久辉 (1451)
污水处理厂污泥水溶性有机物的光谱特性分析	牛天浩, 周振, 胡大龙, 魏海娟, 李晶, 窦微笑, 葛红花 (1460)
高含氟的光伏废水反硝化可行性及经济性分析	李祥, 朱亮, 黄勇, 杨朋兵, 崔剑虹, 马航 (1467)
连续流反应器短程硝化的快速启动与维持机制	吴鹏, 张诗颖, 宋吟玲, 徐乐中, 沈耀良 (1472)
反硝化颗粒污泥在纳米零价铁胁迫下的性能恢复	王翻翻, 钱飞跃, 沈耀良, 王建芳, 张月茹, 刘郭洵 (1478)
低浓度环丙沙星对曝气生物滤池生物膜硝化过程及硝化微生物的作用影响	何势, 顾超超, 魏欣, 黄圣琳, 刘振鸿, 薛罡, 高品 (1485)
低碳源条件下改良双污泥系统脱氮除磷优化研究	杨伟强, 王冬波, 李小明, 杨麒, 徐秋翔, 张志贝, 李志军, 向海弘, 王亚利, 孙剑 (1492)
短期保护性耕作措施对大豆-冬小麦轮作系统温室气体排放的影响	谢燕, 陈曦, 胡正华, 陈书涛, 张寒, 凌慧, 申双和 (1499)
不同封育年限荒漠草原土壤呼吸日、季动态变化及其影响因子	崔海, 张亚红 (1507)
塔里木盆地南缘典型绿洲土壤有机碳、无机碳与环境因子的相关性	贡璐, 朱美玲, 刘曾媛, 张雪妮, 解丽娜 (1516)
小分子有机酸对紫色土及其溶液中 Pb 的赋存影响	刘江, 江韬, 黄容, 张进忠, 陈宏 (1523)
鸢尾对石油烃污染土壤的修复以及根系代谢分析	王亚男, 程立娟, 周启星 (1531)
水锰矿氧化水溶性硫化物过程及其影响因素	罗瑶, 李珊, 谭文峰, 刘凡, 蔡崇法, 邱国红 (1539)
高温纤维素降解菌筛选及产酶特性	冯红梅, 秦永胜, 李筱帆, 周金星, 彭霞薇 (1546)
基于固相萃取及高效液相色谱-荧光检测分析的污泥中氟喹诺酮类抗生素研究方法的开发	戴晓虎, 薛勇刚, 刘华杰, 戴翎翎, 严寒, 李宁 (1553)
养殖场周边土壤-蔬菜系统磺胺类药物残留及风险评价	金彩霞, 司晓薇, 王子英, 张琴文 (1562)
4 种典型 PPCPs 对蚕豆和大蒜根尖细胞微核率的影响	王兰君, 王金花, 朱鲁生, 王军, 赵祥 (1568)
新型污染物卤代吡啉的环境行为及生态毒理效应	林坤德, 陈艳秋, 袁东星 (1576)
水源地土壤环境保护优先区划分方法与实例研究	李蕾, 王铁宇, 王晓军, 肖荣波, 李奇峰, 彭驰, 韩存亮 (1584)
《环境科学》征订启事 (1218) 《环境科学》征稿简则 (1370) 信息 (1352, 1412, 1498)	

北京地区不同天气条件下气溶胶数浓度粒径分布特征研究

苏捷^{1,2}, 赵普生^{1,2*}, 陈一娜^{1,3}

(1. 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089; 2. 京津冀环境气象预报预警中心, 北京 100089; 3. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要: 2012~2014 年, 在北京城区利用宽范围粒径谱仪 (WPS-1000XP) 对气溶胶数粒径分布特征进行观测, 进而分析了不同季节与不同天气条件下气溶胶粒径分布的变化特征。结果表明, 春季爱根核模态气溶胶日均数浓度值最高, 秋季最低; 春季和冬季积聚模态下日均数浓度较高, 夏季最低; 粗模态气溶胶日均浓度在冬季最高。爱根核模态粒子数浓度日变化特征最为显著, 受交通源及夏季中午前后的光化学作用影响明显。春、秋、冬季积聚模态状态气溶胶数浓度夜晚高于白天, 粗模态粒子没有明显的日变化特征。重污染过程中, 积聚模态气溶胶对于 $PM_{2.5}$ 质量浓度起到决定作用, 通常需通过北风的清除才能有效降低 $PM_{2.5}$ 浓度; 降雨及降雪对粗模态粒子的清除效果较为明显, 而小风和静风状态下, 降水对积聚模态的气溶胶没有明显的清除作用; 沙尘过程中, 粗模态粒子浓度显著增加, 而积聚模态气溶胶却被明显清除。

关键词: 气溶胶; 数浓度; 粒径分布; 天气; 北京

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)04-1208-11 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.04.004

Characteristics of Number Concentration Size Distributions of Aerosols Under Different Weather Processes in Beijing

SU Jie^{1,2}, ZHAO Pu-sheng^{1,2*}, CHEN Yi-na^{1,3}

(1. Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089, China; 2. Environmental Meteorology Forecast Center of Beijing-Tianjin-Hebei, Beijing 100089, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: The aerosol number concentration size distributions were measured by a Wide-Range Particle Spectrometer (WPS-1000XP) at an urban site of Beijing from 2012 to 2014; and the characteristics of the size distributions in different seasons and weather conditions were discussed. The results showed that the daily average number concentration of Aitken mode aerosols was highest in the spring and lowest in the autumn; the daily average number concentration of accumulation mode aerosols was higher in the spring and winter, while lowest in summer; and the average concentration of coarse mode was highest during the winter. The Aitken mode particles had the most significant diurnal variations resulted from the traffic sources and the summer photochemical reactions. In the spring, autumn and winter, the number concentrations of accumulation mode of the nighttime was higher than that of the daytime. The coarse mode particles did not have obvious diurnal variation. During the heavy pollution process, the accumulation mode aerosols played a decisive role in $PM_{2.5}$ concentrations and was usually removed by the north wind. The precipitation could effectively eliminate the coarse mode particles, but it had no obvious effect on the accumulation mode particles under small speed wind and zero speed wind. During the dust process, the concentrations of coarse mode particles increased significantly, while the accumulation mode aerosol concentration was obviously decreased.

Key words: aerosols; number concentration; size distribution; weather; Beijing

粒径分布特征是气溶胶的最基本属性, 在大气环境中气溶胶的粒径通常可以跨越多个数量级。气溶胶通常被定义为 4 个模态: 核模态 (~ 20 nm)、爱根核模态 ($20 \sim 100$ nm)、积聚模态 (100 nm ~ 1 μ m) 和粗模态 (> 1 μ m)^[1,2]。不同粒径区间的气溶胶无论从形态还是理化特征上均有较大差异, 这与其来源及形成过程有着密切关系, 气溶胶的粒径分布及化学组成是影响大气能见度的核心因素。因此, 深入开展气溶胶分粒径理化特征的观测, 研究不同季节、不同气象或污染条件下气溶胶粒径分布的

变化特征和差异, 是开展气溶胶生成转化、雾、霾形成机制与其它相关研究的前提。

京津冀地区是当前国内气溶胶污染最严重的区域^[3]。北京自 2013 年 1 月空气污染程度飙升至创

收稿日期: 2015-10-06; 修订日期: 2015-11-23

基金项目: 北京市科技计划项目 (Z131100006113013); 北京市科技新星计划项目 (Z131109000413002, xx2013002); 北京市优秀人才培养资助项目 (2014000021223ZK49); 北京市自然科学基金项目 (8131003); 国家自然科学基金项目 (41205121)

作者简介: 苏捷 (1989 ~), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为气溶胶理化特征, E-mail: sujie131@163.com

* 通讯联系人, E-mail: pszhao@ium.cn

纪录水平后,气溶胶污染及其引发的雾、霾等大气低能见度现象引起了社会的广泛关注. 研究表明,北京城区多年平均霾日数超过 100 d,区域性霾日数也呈增加趋势^[4]. 污染源的变化和城市群的发展使得北京城区及周边地区的气溶胶,无论在浓度水平还是季节特点上均产生了明显变化,PM_{2.5}浓度水平四季差异减小,京津冀气溶胶污染的区域化特征越来越明显^[5].

近些年,在北京及周边地区开展了气溶胶数浓度分布特征的相关研究. Wu 等^[6,7]、Yue 等^[8,9]、Huang 等^[10]和 Guo 等^[11]在北京大学和榆堡等地开展了观测研究,主要研究气溶胶数浓度粒径分布,以及不同粒径范围中水溶性离子的污染特征等. 分析了大气清洁和污染条件下,气溶胶数浓度、体积浓度等的粒径分布及相关物理参数的变化特点. 并针对夏季的污染过程或新粒子生成过程,对不同粒径范围中二次离子的分布、日变化、存在形式及来源等进行了讨论. 研究发现,气溶胶较高的数浓度发生在春季,最低的数浓度发生在夏季,爱根核模态气溶胶数浓度与交通源存在着一定关系. Deng 等^[12]、Liu 等^[13]、Ma 等^[14,15]、Yang 等^[16]和 Chen 等^[17]在天津杨村对气溶胶数浓度粒径分布、云凝结核数浓度、气溶胶吸收和散射系数、气溶胶分粒径吸湿增长等方面开展了观测研究. 主要探讨了能见度、相对湿度、气溶胶吸湿增长因子和数浓度粒径分布及分粒径活化特征. 根据不同相对湿度下影响能见度的主要因素,建立消光系数的参数化模型,并对模型的实际效果进行评估. 研究发现,气溶胶数浓度谱分布和光学特性都显示出与风速和风向的显著相关性,此外,在高湿环境中,气溶胶的吸湿特性是导致能见度严重衰减的关键原因. Shen 等^[18]对上甸子区域本底站气溶胶数谱分布进行观测,分析了不同季节本底地区气溶胶数浓度分布特征并开展了有关新粒子生成事件的重点研究,发现上甸子地区气溶胶数浓度在春季有较高值,该地区新粒子生成事件发生频率较高,占有效观测天的 36%.

目前,气溶胶粒径分布的在线监测研究,多数观测时间较短,覆盖季节类型较少. 少数长期观测研究,缺乏对不同典型气象条件下气溶胶粒径分布特征的描述分析. 北京地区气溶胶浓度水平在不同天气条件下变化明显,其消光能力和化学组成也有很大的不同. 所以,针对不同季节,不同天气条件及污染特点,开展气溶胶粒径分布的变化特征分析,对于掌握其来源变化和生成转化特点也有重要意义. 本

研究以 2012 ~ 2014 年的气溶胶粒径分布资料作为基础,主要分析了北京城区不同季节下各模态气溶胶数浓度、体积浓度分布特点,并结合气象资料,重点讨论了气溶胶数浓度分布、体积浓度在特定气象条件下生成、转化、消散等过程中的变化特点及主要影响条件.

1 材料与方法

观测点位于北京市海淀区西三环外,北京城市气象研究所楼顶平台(39°56'N,116°17'E),采样位置距离地面约 35 m 左右. 采样点附近为居民住宅区,周边没有明显的工业污染源,视野较为开阔,下垫面状况与北京城区相似. 利用美国 MSP 公司生产的宽范围粒径谱仪(WPS-1000XP)在线连续监测环境气溶胶的数浓度粒径分布. 该设备将激光颗粒谱仪(LPS)、扫描电迁移率分析仪(DMA)及凝结核粒子计数器(CPC)等技术结合在一起. 设备针对不同气溶胶粒径范围的观测需求,提供了多种模式可供选择,本研究中选用了 SWS 模式(DMA 工作扫描粒径范围:10 ~ 500 nm; LPS 工作扫描粒径范围:350 nm ~ 10 μm),两者叠加得到 10 nm ~ 10 μm 范围内的粒子数浓度变化,最终输出结果的粒径区间为 67 级,样气流量为 1.0 L·min⁻¹. 每个季节连续观测之前,用标准小球进行标定. 样气进入设备前,通过装有显色 CaSO₄ 的扩散干燥管进行干燥,并利用湿度探头进行实时监控,保证载气相对湿度控制在 40% 以下.

在线观测从 2012 年 12 月开始,2014 年 5 月结束,由于设备故障,零件更换等原因,观测过程并不完全连续,具体有效观测时间如表 1 所示. 观测中,设备一个完整扫描周期为 2 min 40 s 左右,最终利用程序统一处理成 5 min 平均资料,观测期间还同步开展了 PM_{2.5} 质量浓度的在线观测(Metone 1020). 此外还收集了同步气象要素的小时数据(包括风向、风速、相对湿度和降水量等),风向和风速为 10 min 平均资料,PM_{2.5}浓度、相对湿度及降水量均为末端时刻小时值.

表 1 气溶胶数浓度粒径分布的观测时间

Table 1 Observation periods of aerosol number concentration distributions

季节	采样时间
春季	2013-03、2014-04 ~ 2014-05
夏季	2013-06 ~ 2013-08
秋季	2013-09 ~ 2013-11-15
冬季	2012-12、2013-01 ~ 2013-02、2013-12-15 ~ 2014-01

2 结果与讨论

2.1 不同季节下气溶胶粒径分布变化特征

图1为不同季节气溶胶数浓度分布平均日变化特征,图2为不同季节气溶胶体积浓度分布平均日变化特征.通过数浓度和体积浓度分布图可以明显看出气溶胶的3个模态.由于受设备所限,本研究中气溶胶从10 nm开始观测,因此核模态(<20 nm)没有完整的观测,故全文只对爱根核模态(20~100 nm)、积聚模态(100 nm~1 μm)和粗模态(>1 μm)这3种模态进行讨论.气溶胶的体积浓度分布可以间接表现质量浓度的分布特征以及更好的突出粗粒径段粒子的具体特点,由图2的不同季节的体积浓度分布情况可知,PM_{2.5}质量浓度基本都分布在积聚模态.

结合图1、图2可知,四季当中,春季爱根核模态气溶胶日均数浓度值最高,秋季爱根核模态气溶胶日均数浓度值最低,分别为15 282 cm^{-3} 、10 494 cm^{-3} .春季与冬季积聚模态下的气溶胶日均数浓度

值较高,分别达到8 146 cm^{-3} 、8 103 cm^{-3} ,夏季积聚模态下的气溶胶日均数浓度值最低,浓度值为4 456 cm^{-3} .冬季积聚模态体积浓度日均值远高于其他季节,这说明积聚模态下气溶胶在北京地区冬季污染过程中扮演着重要角色.观测期间,冬季粗模态气溶胶日均数浓度值最高,体积浓度值为18 $\mu\text{m}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$,这与2013年冬季发生的几次沙尘天气有较大原因.

进一步讨论不同季节北京气溶胶数浓度分布的日变化特征,如图1(a)所示,春季和秋季爱根核模态气溶胶日变化呈现3个浓度峰值,而夏季和冬季呈现出双峰值,这一特征与郎凤玲等^[19]对北京地区的研究结果基本一致.研究表明,燃烧过程中产生的一次排放颗粒物,如汽油、柴油和天然气发动机的排放是爱根模态气溶胶的重要来源^[20~22].在四季中,爱根核模态下的气溶胶数浓度在早晨07:00~09:00期间均有所增加,18:00~20:00也有明显的峰值,21:00左右浓度逐渐降低,这一现象与人类活动、上下班高峰时间较为对应,与规律性交通排

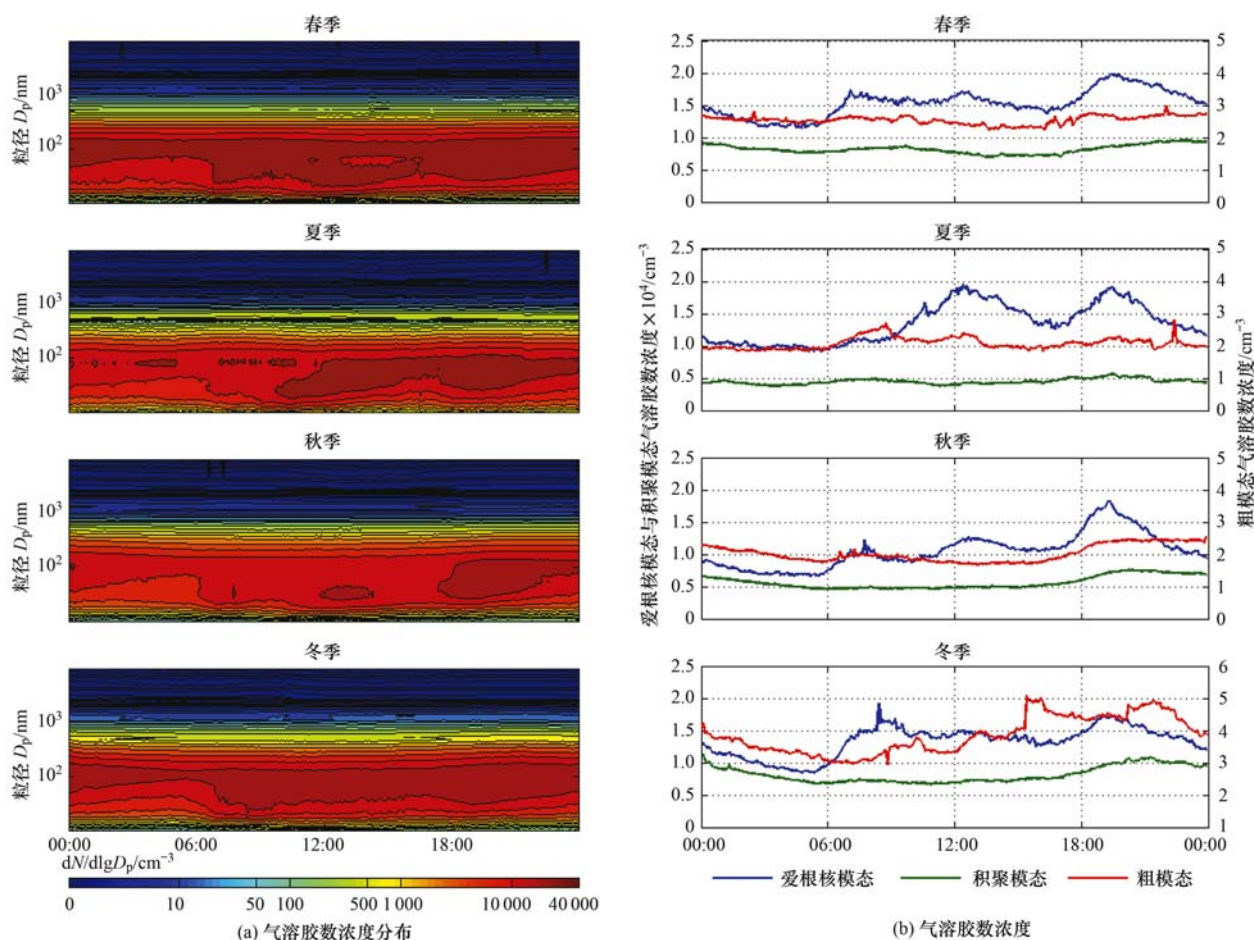


图1 不同季节北京地区气溶胶数浓度的平均日变化特征

Fig. 1 Diurnal variations of the aerosol number size distributions in Beijing over four seasons

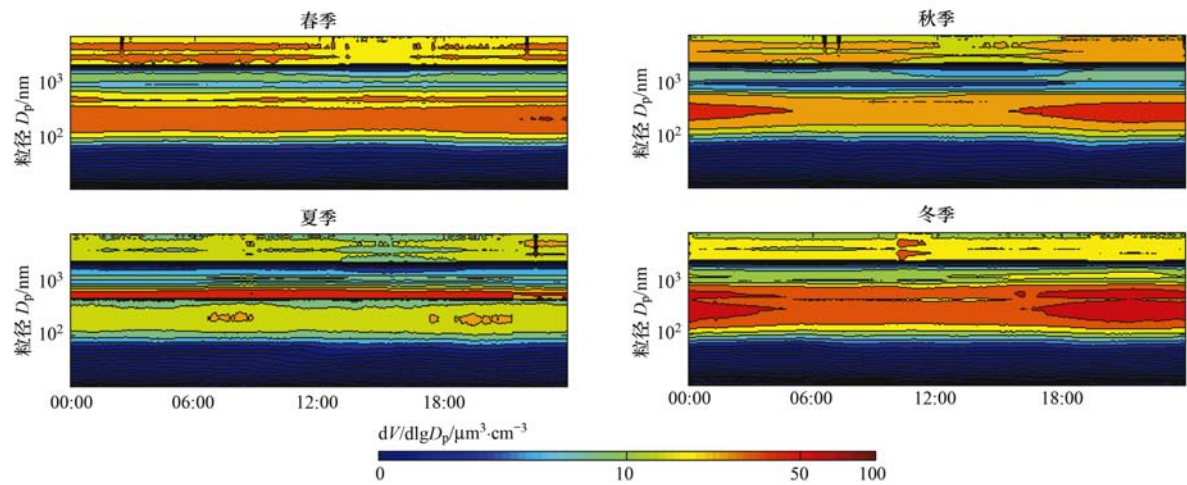


图2 不同季节下北京地区气溶胶体积浓度分布的平均日变化特征

Fig. 2 Average diurnal variations of the aerosol volume concentration size distributions in Beijing over four seasons

放变化有密切关系. 春季、夏季和秋季爱根核模态的第二个峰值均出现在午后,夏季峰值最为明显,主要由于夏季中午光照较强,光化学过程显著,反应性气体气粒转化过程较充分. 对于积聚模态气溶胶,

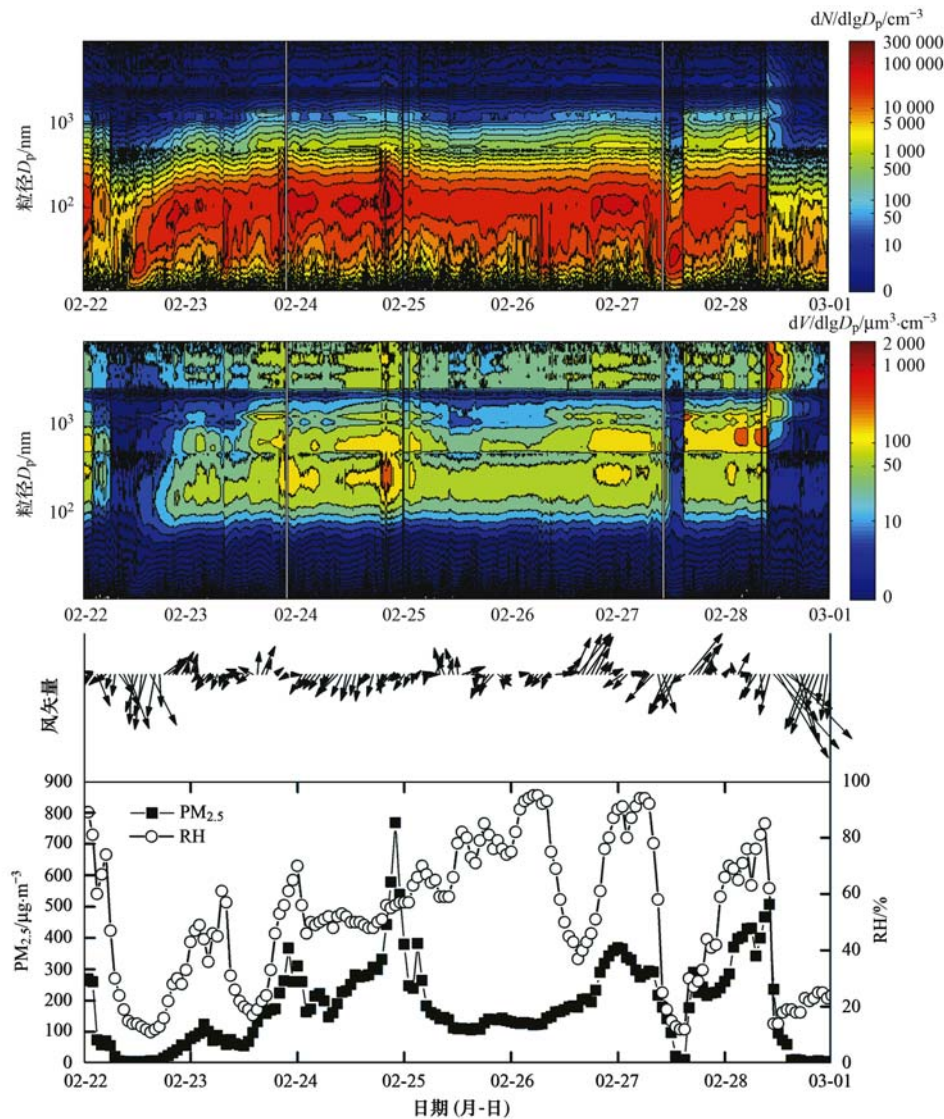


图3 重污染时段内大气气溶胶粒径分布及相关要素的日变化特征

Fig. 3 Diurnal variation characteristics of the aerosol number size distributions and some related factors during the period of heavy pollution

四季当中,除夏季数浓度变化幅度较小以外,春、秋、冬季数浓度夜晚明显高于白天,这一结论与 Wu 等^[7]2004 年在北京地区观测的气溶胶数浓度分布结果较为一致。

2.2 不同天气条件下气溶胶粒径分布的变化特征

2.2.1 重污染过程

2013 年 2 月 22 ~ 28 日,观测到一次较为典型的气溶胶从生成、转化,进而导致重污染,并最终消散的天气过程(图 3)。2 月 22 日 08:00 由于北风的清除 $\text{PM}_{2.5}$ 小时浓度均值下降至 $7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,大气环境在此时较为洁净。10:00 开始,爱根核模态粒子激增,随后粒子数浓度高值区逐渐向较大粒径区间移动,数浓度分布呈现出明显的“香蕉型”特征,即一次典型的新粒子生成事件。此后随着粒子通过碰并增大,以及表面反应等过程,致使积聚模态粒子也明显增加, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度随之逐渐升高。2 月 23 日后,风

速较低,扩散条件较差,相对湿度和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度也一直处于较高的水平。2 月 27 日 07:00 ~ 15:00 后,出现一次短暂的北风过程,使得 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均值从 07:00 的 $294 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 逐渐降低至 15:00 的 $11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,16:00 风向反转至南风, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度迅速回升,激增至 $176 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2 月 28 日 10:00 起,北风明显增强,粗模态下的气溶胶浓度明显增加,10:15 体积浓度达到 $729 \mu\text{m}^3\cdot\text{cm}^{-3}$,爱根核模态和积聚模态下的气溶胶数浓度均明显下降, $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度也随之降低,从 10:00 的 $507 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 降至 13:00 的 $73 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,即出现了一个短暂的沙尘过程,此后随着风速降低,粗模态粒子浓度也逐渐降低,17:00 $\text{PM}_{2.5}$ 小时浓度下降至 $21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,重污染天气过程结束。

2.2.2 降雨过程

图 4 和图 5 描述的是观测期间两次降雨过程,

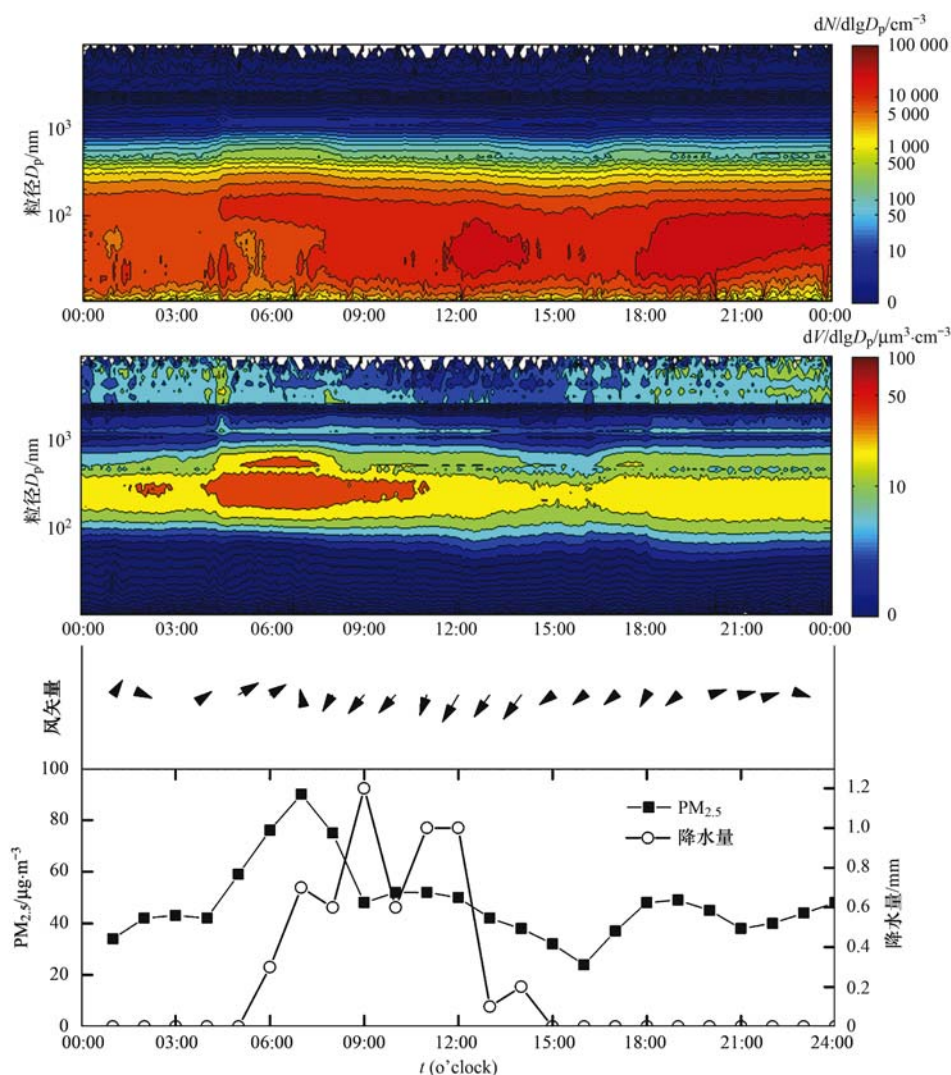


图 4 降雨过程中大气气溶胶粒径分布及相关要素的日变化特征(事例 1)

Fig. 4 Diurnal variation characteristics of the aerosol number size distributions and some related factors during the rainfall process(case 1)

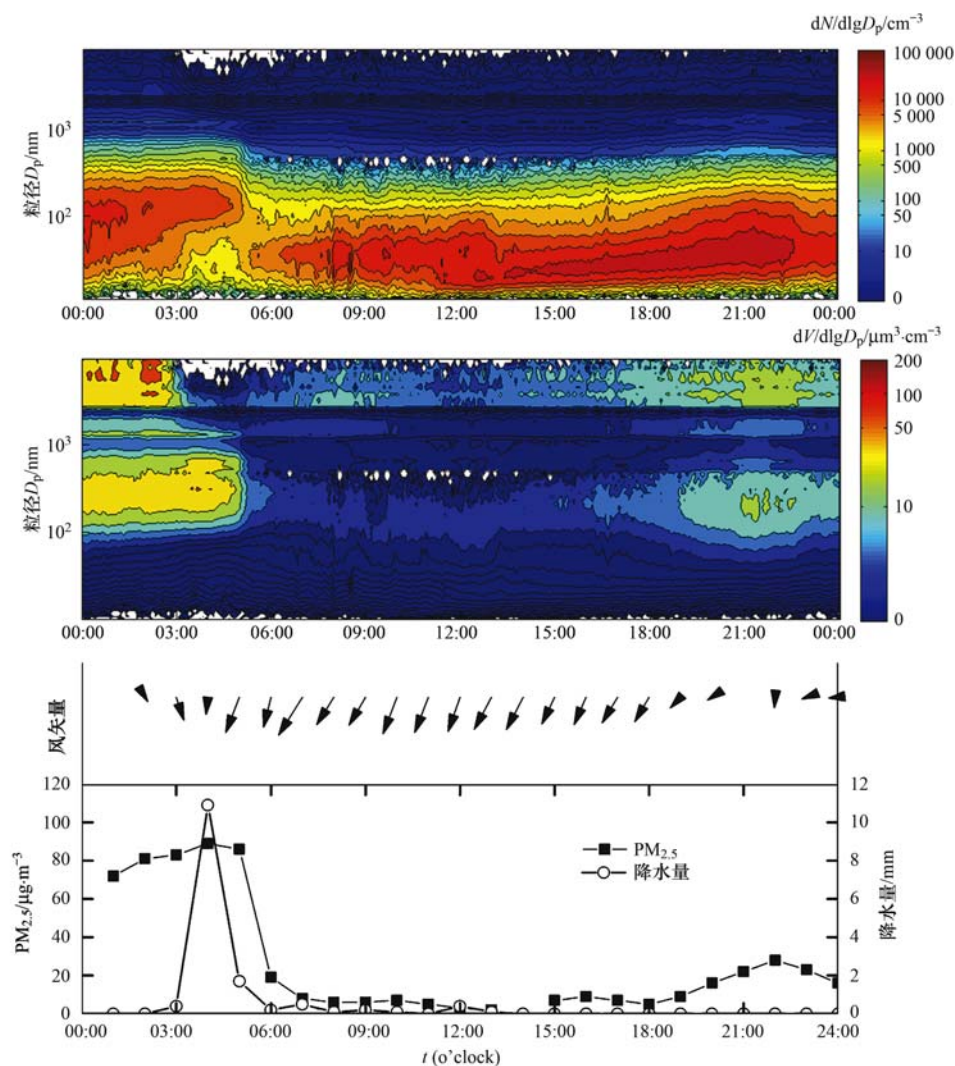


图 5 降雨过程中大气气溶胶粒径分布及相关要素的日变化特征(事例 2)

Fig. 5 Diurnal variation characteristics of the aerosol number size distributions and some related factors during the rainfall process(case 2)

两次降雨分别发生在 2013 年 6 月 22 日和 9 月 23 日。第一次降雨发生在 6 月 22 日 05:00 后,该次降水共持续 9 h,小时降水量均值为 0.6 mm,降水量偏小。在 05:00~07:00 的降水初期,基本处于静风状态,积聚模式下的气溶胶数浓度和体积浓度有明显的增加,PM_{2.5}小时浓度从 05:00 的 59 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 增长至 07:00 的 90 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,而粗模式气溶胶体积浓度有所下降。07:00 后,随着东北风的持续影响,积聚模式粒子数浓度和体积浓度明显降低,直至 16:00,PM_{2.5}小时浓度降低至 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。整个降水过程中,粗粒子数浓度都处于很低的状态。

第二次降水过程开始于 9 月 23 日 02:00,整个过程持续 11 h,降水量小时均值为 1.3 mm,雨量大于事例 1。

整个降水过程中,在 02:00~04:00 降水初期,降水量较大,03:00~04:00 小时降水量达到 10.9

mm。如图 5 所示,在此过程中,爱根核模式下气溶胶数浓度明显下降,但积聚模式下粒子数浓度变化不明显,与第一次降雨过程类似,PM_{2.5}浓度均值有小幅增长,从 03:00 的 81 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 增长至 04:00 的 89 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,降雨过程对粗模式粒子的去除作用较为明显。05:00 开始,随着东北风的持续作用,积聚模式气溶胶的体积浓度明显下降,PM_{2.5}浓度也随之迅速降低,在 07:00 降低至 8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。随着风速的逐渐减小,扩散条件较差,爱根核模式粒子数浓度逐渐增大,随着粒子的不断碰并和增长过程,导致积聚模式下的气溶胶数浓度也随之增加,PM_{2.5}浓度均值在 22:00 增加到 28 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

上述两次典型降雨过程中,降水对粗模式粒子的清除效果较为明显;北风对积聚模式下气溶胶有十分显著的稀释和去除作用;而小风和静风状态下,降水对积聚模式的气溶胶没有明显的清除作用,

反而促使 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度有所升高,这可能与降水环境下,湿度增加促进了气溶胶的吸湿增长以及促进二次反应有一定关系.研究表明,降雨对粗粒子有明显的清除作用,而由于 Greenfield gap 的存在,对于 $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ 气溶胶的碰并清除作用很弱^[23,24],而 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度绝大部分分布在此粒径区间内,即降雨对 $\text{PM}_{2.5}$ 的清除很有限,这也与观测数据一致.

2.2.3 降雪过程

图 6 为观测期间一次降雪过程,本次降雪过程开始于 2012 年 12 月 13 日 21:00,结束于次日 13:00,平均降水量为 0.37 mm. 整个降雪过程中,风向风速较为稳定,维持在小风状态.

12 月 13 日 21:00 至次日 05:00,随着降雪量明显增加,粗模态粒子的体积浓度值在过程中明显下降,降雪过程对粗模态粒子的去除效果十分显著;其他两个模态的数浓度值均有所下降,爱根核模态

数浓度值从 12 月 13 日 21:00 的 $43\,048 \text{ cm}^{-3}$ 下降至次日 05:00 的 $21\,366 \text{ cm}^{-3}$,积聚模态数浓度从 $24\,803 \text{ cm}^{-3}$ 下降至 $16\,890 \text{ cm}^{-3}$,但从体积浓度可知(图 6),积聚模态只有小粒径部分浓度降低明显,所以 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均值的变化并不明显.

2.2.4 沙尘过程

图 7 描述的是 2013 年 3 月 9 日观测到一次较为明显的沙尘天气过程. 由体积浓度分布图可看到,00:00~09:00 一直处于轻、中度污染状态,在上午 10:00 左右粗模态气溶胶体积浓度激增,体积浓度在 10:00 增至 $113 \mu\text{m}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$,此时的风速为 $3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,积聚模态数浓度有所降低,但由于粗模态中一部分为 $2.5 \mu\text{m}$ 以下,所以 $\text{PM}_{2.5}$ 在 10:00 有所增加. 从 11:00 开始,随着较强的西北风,爱根核模态与积聚模态下的气溶胶数浓度也随之明显的降低,11:05 爱根核模态和积聚模态气溶胶数浓度分别降至

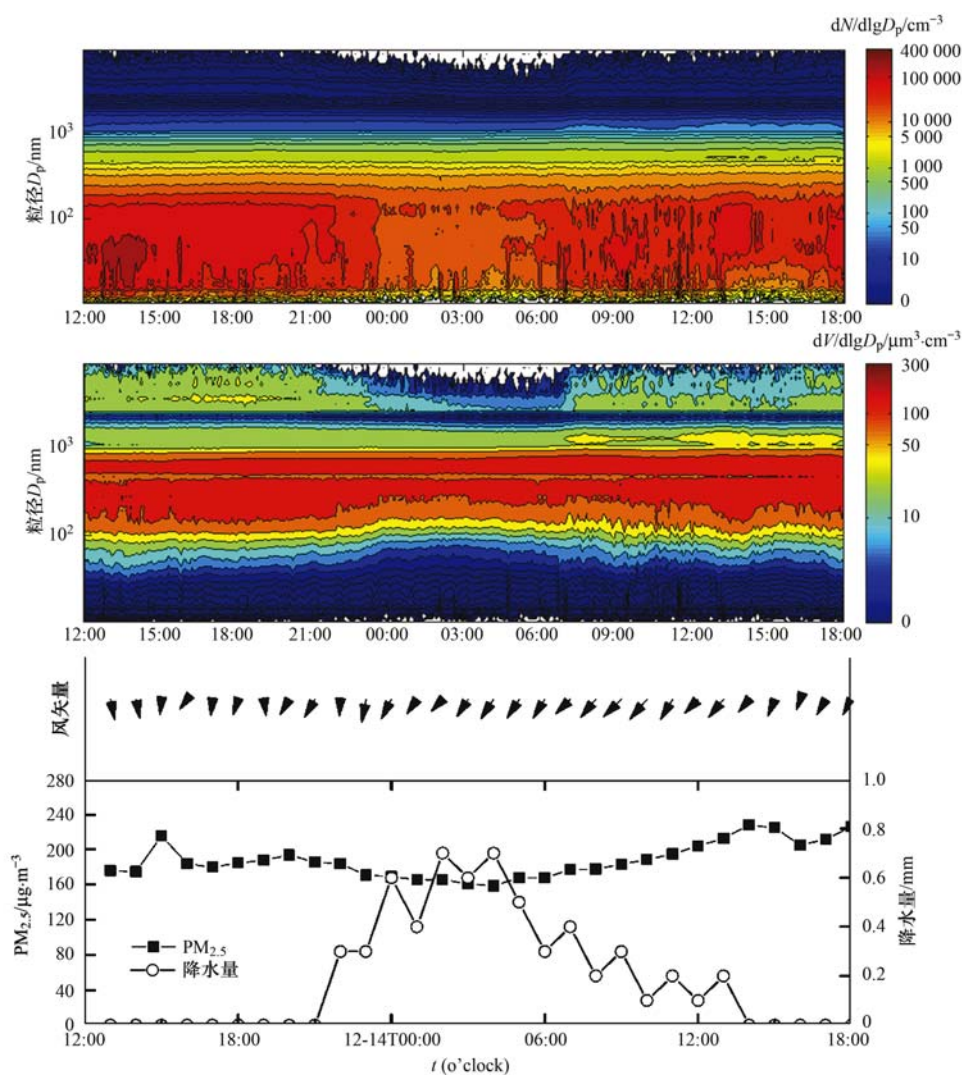


图 6 降雪过程中大气气溶胶粒径分布及相关要素的日变化特征

Fig. 6 Diurnal variation characteristics of the aerosol number size distributions and some related factors during the snowfall process

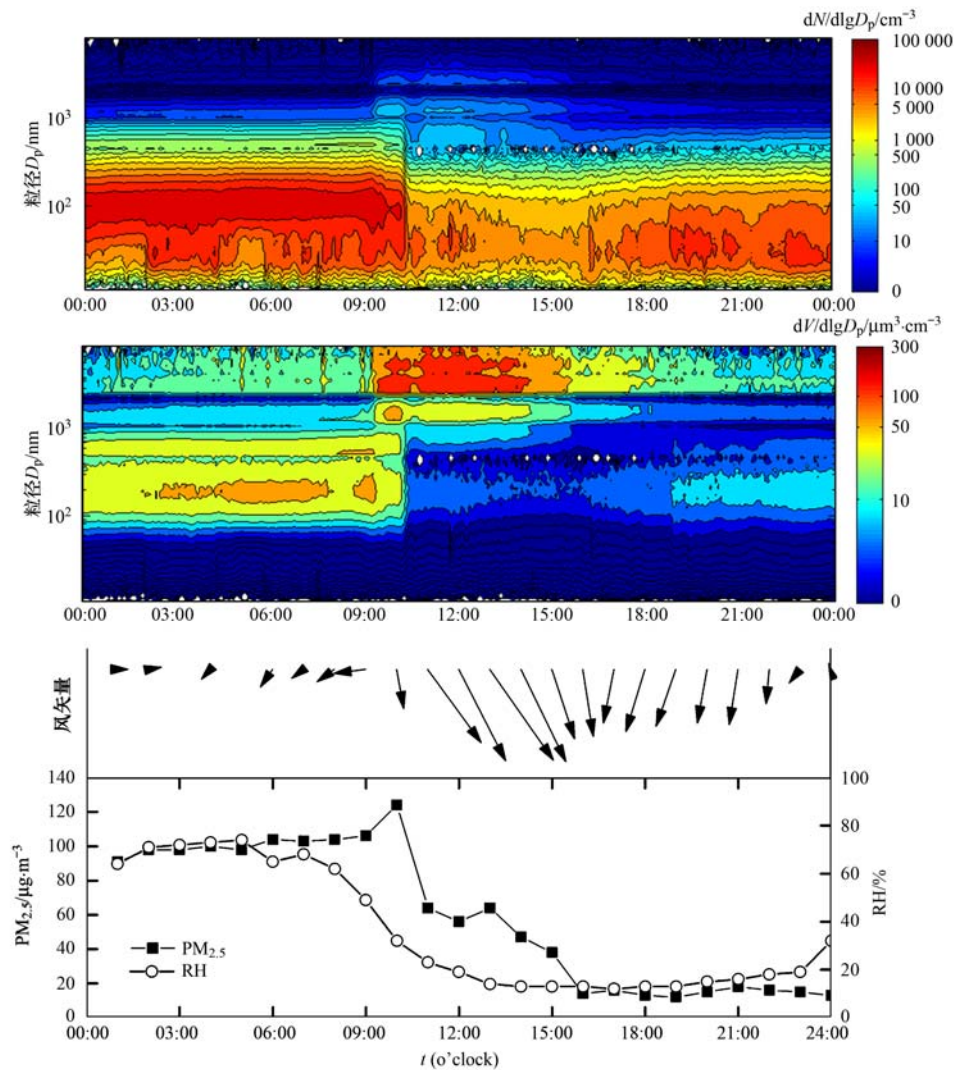


图7 沙尘天气过程下大气气溶胶粒径分布及相关要素的日变化特征

Fig. 7 Diurnal variation characteristics of the aerosol number size distributions and some related factors during the dust process

$4\,011\text{ cm}^{-3}$ 、 911 cm^{-3} . 15:00 开始,随着北风逐渐减弱,沙尘粒子沉降,粗模态粒子浓度也开始明显下降. 18:00,沙尘天气过程基本结束,此时风速降低至 $4.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值从 10:00 的 $124\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 降至 $13\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 可见,沙尘天气条件下,粗模态下气溶胶体积浓度会明显升高,即 $\text{PM}_{2.5\sim 10}$ 部分增加明显,由于受到北风影响, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度却明显下降,这也是为什么在沙尘天气下往往出现 PM_{10} 浓度激增,而 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度降低的原因.

2.2.5 新粒子生成过程

通过成核过程形成的新粒子生成事件一直在全球及区域尺度大气研究领域超细粒子的生成和云凝结核过程中扮演着至关重要的角色^[25~27]. 研究表明新粒子生成事件的发生频率与核模态下气溶胶数浓度有必然关系^[28],新粒子生成事件对气溶胶数浓

度的平均贡献往往远高于一次污染排放过程^[29~31]. 本研究中,虽未观测到 $2.5\sim 10\text{ nm}$ 范围内的气溶胶粒径分布情况,但仍能观测到小粒径段气溶胶数浓度随时间变化急剧增加的典型成核后的增长过程.

2013 年 9 月 10 日观测到一次较为典型的新粒子生成事件,整个过程中呈现出明显的“污染-清洁-新粒子生成事件”的变化特征. 由图 8 可知,此次新粒子生成事件发生的时间大概从早晨 10:00 左右开始,10:00 以前, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均值一直维持在较高水平上,北风的持续影响对所有粒径段的气溶胶有较为明显的清除作用,其中对积聚模态下的气溶胶去除作用最为显著,06:00~10:00 内,积聚模态下气溶胶体积浓度从 $38\text{ }\mu\text{m}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ 降至 $4\text{ }\mu\text{m}^3\cdot\text{cm}^{-3}$, $\text{PM}_{2.5}$ 在 10:00 的浓度降至 $24\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 10:00 以后,持续稳定的东北风使得大气维持较为清洁的状态,为本

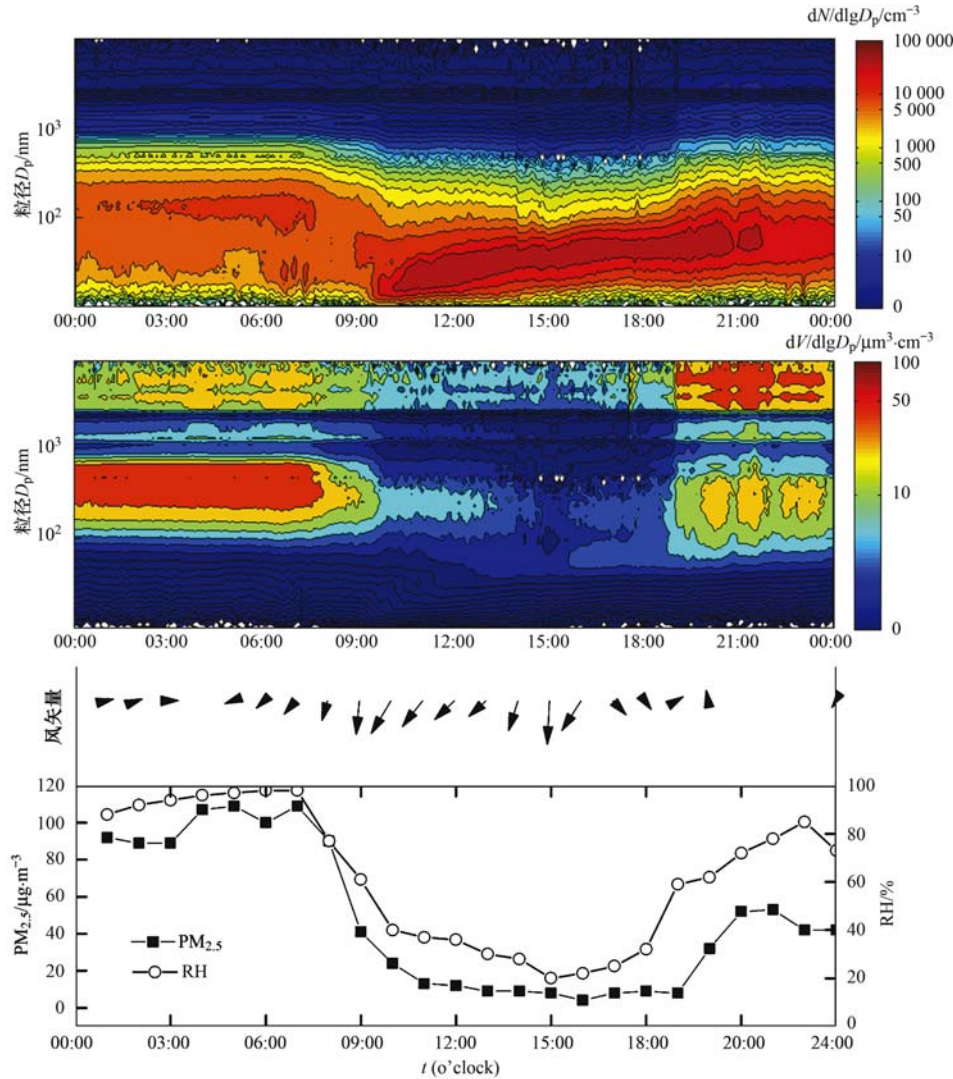


图 8 新粒子生成过程中大气气溶胶粒径分布及相关要素的日变化特征

Fig. 8 Diurnal variation characteristics of the aerosol number size distributions and some related factors during the period of new particle formation

次新粒子的生成过程提供了较好的环境条件^[32]. 新粒子生成初期,爱根核模态气溶胶数浓度出现了显著的增加,随后气溶胶数浓度高值区逐渐向较大粒径区间移动,数浓度分布呈现出明显的“香蕉型”特征. 随着风速降低,以及粒子的凝结、碰并等作用,致使积聚模态的气溶胶数浓度也对应增加,PM_{2.5}浓度均值在 21:00 增长至 52 μg·m⁻³.

3 结论

(1)四季中,春季爱根核模态气溶胶日均数浓度值最高,秋季最低. 积聚模态气溶胶是 PM_{2.5}的最重要组成部分,春季和冬季积聚模态下日均数浓度较高,夏季最低. 粗模态气溶胶日均浓度在冬季最高,与冬季观测期间的几次沙尘天气有很大关系.

(2)爱根核模态粒子数浓度日变化特征最为显

著,从日变化特征可发现,上下班高峰时交通源排放对爱根核模态气溶胶有重要贡献. 此外中午前后的光化学作用对爱根核模态气溶胶的增加也有明显作用,在夏季最为显著. 春、秋、冬季积聚模态气溶胶数浓度夜晚高于白天. 粗模态粒子主要来源于沙尘和局地扬尘,没有明显的日变化特征.

(3)重污染过程中,积聚模态气溶胶对于 PM_{2.5}质量浓度起到决定作用,须通过北风的清除才能有效降低积聚模态气溶胶浓度. 降水对粗模态粒子的清除效果较为明显,而小风和静风状态下,降水对积聚模态的气溶胶没有明显的清除作用,往往还会促使 PM_{2.5}浓度有所升高. 降雪过程对粗模态下气溶胶粒子去除效果较为显著,而对爱根核模态和积聚模态下气溶胶的去除不明显. 沙尘天气过程中,粗模态下气溶胶体积浓度激增,而积聚模态下气溶胶

浓度则显著下降, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值也随之降低, 随着风速降低, 粗粒子沉降, 沙尘过程也随之结束. 典型的新粒子生成事件通常发生在气溶胶数浓度较低、大气背景环境较为洁净的条件下, 小粒径段气溶胶数浓度出现了显著的爆发性增长, 随后爱根核模态的气溶胶颗粒物不断凝结、碰并, 逐渐累积到积聚模态, 数密度分布图呈现出典型的“香蕉型”特征.

参考文献:

- [1] Hussein T, Puustinen A, Aalto P P, *et al.* Urban aerosol number size distributions [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2004, **4**(2): 391-411.
- [2] Tarep H, Miiikka D M, Tuukka P, *et al.* Evaluation of an automatic algorithm for fitting the particle number size distributions[J]. *Boreal Environment Research*, 2005, **10**(5): 337-355.
- [3] Zhao P S, Dong F, He D, *et al.* Characteristics of concentrations and chemical compositions for $\text{PM}_{2.5}$ in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(9): 4631-4644.
- [4] Zhao P S, Zhang X L, Xu X F, *et al.* Long-term visibility trends and characteristics in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China[J]. *Atmospheric Research*, 2011, **101**(3): 711-718.
- [5] 赵普生, 徐晓峰, 孟伟, 等. 京津冀区域霾天气特征[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(1): 31-36.
- [6] Wu Z J, Hu M, Liu S, *et al.* New particle formation in Beijing, China: statistical analysis of a 1-year data set [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112** (D9): D09209, doi: 10.1029/2006JD007406.
- [7] Wu Z J, Hu M, Lin P, *et al.* Particle number size distribution in the urban atmosphere of Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(34): 7967-7980.
- [8] Yue D L, Hu M, Wu Z J, *et al.* Characteristics of aerosol size distributions and new particle formation in the summer in Beijing [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, **114** (D2): D00G12, doi: 10.1029/2008JD010894.
- [9] Yue D L, Hu M, Wu Z J, *et al.* Variation of particle number size distributions and chemical compositions at the urban and downwind regional sites in the Pearl River Delta during summertime pollution episodes [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(19): 9431-9439.
- [10] Huang X F, He L Y, Hu M, *et al.* Highly time-resolved chemical characterization of atmospheric submicron particles during 2008 Beijing Olympic Games using an Aerodyne High-Resolution Aerosol Mass Spectrometer [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(18): 8933-8945.
- [11] Guo S, Hu M, Wang Z B, *et al.* Size-resolved aerosol water-soluble ionic compositions in the summer of Beijing: implication of regional secondary formation [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(3): 947-959.
- [12] Deng Z Z, Zhao C S, Ma N, *et al.* Size-resolved and bulk activation properties of aerosols in the North China Plain [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(8): 3835-3846.
- [13] Liu P F, Zhao C S, Göbel T, *et al.* Hygroscopic properties of aerosol particles at high relative humidity and their diurnal variations in the North China Plain [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(7): 3479-3494.
- [14] Ma N, Zhao C S, Nowak A, *et al.* Aerosol optical properties in the North China Plain during HaChi campaign: an in-situ optical closure study [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11** (12): 5959-5973.
- [15] Ma N, Zhao C S, Müller T, *et al.* A new method to determine the mixing state of light absorbing carbonaceous using the measured aerosol optical properties and number size distributions [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(5): 2381-2397.
- [16] Yang F, Xue H, Deng Z, *et al.* A closure study of cloud condensation nuclei in the North China Plain using droplet kinetic condensational growth model [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(12): 5399-5411.
- [17] Chen J, Zhao C S, Ma N, *et al.* A parameterization of low visibilities for hazy days in the North China Plain [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12** (11): 4935-4950.
- [18] Shen X J, Sun J Y, Zhang Y M, *et al.* First long-term study of particle number size distributions and new particle formation events of regional aerosol in the North China Plain [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(4): 1565-1580.
- [19] 郎凤玲, 闫伟奇, 张泉, 等. 北京大气颗粒物数浓度粒径分布特征及与气象条件的相关性 [J]. *中国环境科学*, 2013, **33**(7): 1153-1159.
- [20] Harris S J, Maricq M M. Signature size distributions for diesel and gasoline engine exhaust particulate matter [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2001, **32**(6): 749-764.
- [21] Ristovski Z D, Morawska L, Hitchins J, *et al.* Particle emissions from compressed natural gas engines [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2000, **31**(4): 403-413.
- [22] Kittelson D B. Engines and nanoparticles: a review [J]. *Journal of Aerosol Science*, 1998, **29**(5-6): 575-588.
- [23] 赵海波, 郑楚光. 降雨过程中气溶胶湿沉降的数值模拟 [J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(12): 1590-1596.
- [24] 王瑛, 朱彬, 康汉青, 等. 气溶胶云下清除理论及观测研究 [J]. *中国科学院大学学报*, 2014, **31**(3): 306-313.
- [25] Yu S C. Role of organic acids (formic, acetic, pyruvic and oxalic) in the formation of cloud condensation nuclei (CCN): a review [J]. *Atmospheric Research*, 2000, **53**(4): 185-217.
- [26] Liu S, Hu M, Wu Z J, *et al.* Aerosol number size distribution and new particle formation at a rural/coastal site in Pearl River Delta (PRD) of China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42** (25): 6275-6283.
- [27] Yu F, Luo G, Liu X, *et al.* Indirect radiative forcing by ion-mediated nucleation of aerosol [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(23): 11451-11463.
- [28] Pirjola L, Lehtinen K E J, Hansson H C, *et al.* How important

- is nucleation in regional/global modelling [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, **31** (12): L12109, doi: 10.1029/2004GL019525.
- [29] 王志彬, 胡敏, 吴志军, 等. 大气新粒子生成机制的研究 [J]. *化学学报*, 2013, **71**(4): 519-527.
- [30] Merikanto J, Spracklen D V, Mann G W, *et al.* Impact of nucleation on global CCN [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(21): 8601-8616.
- [31] Yu F, Wang Z, Luo G, *et al.* Ion-mediated nucleation as an important global source of tropospheric aerosols [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(9): 2537-2554.
- [32] 胡敏, 何凌燕, 黄晓锋, 等. 北京大气细粒子和超细粒子理化特征、来源及形成机制 [M]. 北京: 科学出版社, 2009. 198-217.

欢迎订阅 2016 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2016 年为大 16 开本,120 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjcx@rcees.ac.cn;网址:www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

Chemical Characteristics of Particulate Matters and Trajectory Influence on Air Quality in Shanghai During the Heavy Haze Episode in December, 2013	ZHOU Min, QIAO Li-ping, ZHU Shu-hui, <i>et al.</i> (1179)
Analysis of Single Particle Aging and Mixing State at an Agriculture Site (Quzhou) in the North China Plain in Summer Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer	HUANG Zi-long, ZENG Li-min, DONG Hua-bin, <i>et al.</i> (1188)
Investigation of Aerosol Mixed State and CCN Activity in Nanjing	ZHU Lin, MA Yan, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (1199)
Characteristics of Number Concentration Size Distributions of Aerosols Under Different Weather Processes in Beijing	SU Jie, ZHAO Pu-sheng, CHEN Yi-na (1208)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of PM _{2.5} in Chongqing Urban Areas	LIU Yong-lin, SUN Qi-min, ZHONG Ming-yang, <i>et al.</i> (1219)
Comparison of Monitoring Methods of Organic Carbon and Element Carbon in Atmospheric Fine Particles	PANG Bo, JI Dong-sheng, LIU Zi-rui, <i>et al.</i> (1230)
Residue Characteristics of Perfluorinated Compounds in the Atmosphere of Shenzhen	HE Peng-fei, ZHANG Hong, LI Jing, <i>et al.</i> (1240)
Monitoring Atmospheric CO ₂ and δ ¹³ C(CO ₂) Background Levels at Shangdianzi Station in Beijing, China	XIA Ling-jun, ZHOU Ling-xi, LIU Li-xin, <i>et al.</i> (1248)
Concentration and Size Distribution of Bioaerosols in Indoor Environment of University Dormitory During the Plum Rain Period	LIU Ting, LI Lu, ZHANG Jia-quan, <i>et al.</i> (1256)
Air Microbial Pollution and Health Risk of Urban Black Odorous Water	LIU Jian-fu, CHEN Jing-xiong, GU Shi-you (1264)
Particle Size Distribution, Seasonal Variation Characteristics and Human Exposure Assessment of Heavy Metals in Typical Settled Dust from Beijing	CAO Zhi-guo, YU Gang, LÜ Xiang-ying, <i>et al.</i> (1272)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Dust of Xi'an City, China	WANG Li, WANG Li-jun, SHI Xing-min, <i>et al.</i> (1279)
Toluene, Benzene and Acetone Adsorption by Activated Carbon Coated with PDMS	LIU Han-bing, JIANG Xin, WANG Xin, <i>et al.</i> (1287)
Distribution Characteristics, Sources and Pollution Assessment of Trace Elements in Surficial Sediments of the Coastal Wetlands, Northeastern Hainan Island	ZHANG Wei-kun, GAN Hua-yang, BI Xiang-yang, <i>et al.</i> (1295)
Heavy Metals Accumulation in the Caoheidian Reclamation Soils: Indicated by Soil Magnetic Susceptibility	XUE Yong, ZHOU Qian, LI Yuan, <i>et al.</i> (1306)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation and Their Moisture Sources in Mengzi Region, Southern Yunnan	LI Guang, ZHANG Xin-ping, XU You-peng, <i>et al.</i> (1313)
GIS Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Shallow Lakes in Jiangsu Province	LI Ying-jie, ZHANG Lie-yu, WU Yi-wen, <i>et al.</i> (1321)
Microcosm Simulation Study and Methylmercury Forming Mechanism at Landscape Water of City	LIU Xiao-hong, SI You-bin, GUO Zi-wei, <i>et al.</i> (1330)
Seasonal Stratification and the Response of Water Quality of a Temperate Reservoir—Zhoucun Reservoir in North of China	ZENG Ming-zheng, HUANG Ting-lin, QIU Xiao-peng, <i>et al.</i> (1337)
Hydrochemical Characteristics of Snow Meltwater and River Water During Snow-melting Period in the Headwaters of the Ertis River, Xinjiang	WEI Hong, WU Jin-kui, SHEN Yong-ping, <i>et al.</i> (1345)
Relationship Between the Phytoplankton Distribution and Environmental Factors in Fenhe Scenic Spot of Taiyuan	FENG Jia, GUO Yu-ning, WANG Fei, <i>et al.</i> (1353)
Distribution Characteristics of Nitrifiers and Denitrifiers in the River Sediments of Tongling City	CHENG Jian-hua, DOU Zhi-yong, SUN Qing-ye (1362)
Contribution of Base Flow to Total Nitrogen Loading in Subtropical Agricultural Catchments	MA Qiu-mei, LI Wei, WANG Yi, <i>et al.</i> (1371)
Characteristics and Transport Patterns of Ammonia, Nitrites, Nitrates and Inorganic Nitrogen Flux at Epikarst Springs and a Subterranean Stream in Nanshan, Chongqing	ZHANG Yuan-zhu, HE Qiu-fang, JIANG Yong-jun, <i>et al.</i> (1379)
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Sediments of Shanmei Reservoir in Fujian, China	QIU Zu-kai, HU Xiao-zhen, YAO Cheng, <i>et al.</i> (1389)
Effect of <i>Elodea nuttallii</i> -immobilized Nitrogen Cycling Bacteria on Nitrogen Removal Mechanism in an Inflow River, Gonghu Bay	HAN Hua-yang, LI Zheng-kui, WANG Hao, <i>et al.</i> (1397)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Different Forms of Phosphorus in Three Sorts of Rivers around Lake Taihu	GAO Yong-xia, SONG Yu-zhi, YU Jiang-hua, <i>et al.</i> (1404)
Distribution of Phosphorus Forms in the Overlying Water Under Disturbance with the Addition of Algae	CHEN Jun, LI Yong, LI Da-peng, <i>et al.</i> (1413)
Impacts of Sediment Disturbance on the Distribution of Suspended Particle Size and Phosphorus	GUO Jun-rui, LI Da-peng, LIU Yan-jian (1422)
Effect of Zirconium Modified Kaolin-Based Cap on Migration and Transformation of Phosphorus Between Sediment and Overlying Water	ZHANG Zhe, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (1427)
Toxicity of 4-Chlorophenol Solution Under Electrochemical Reduction-oxidation Process	WANG Yan, SHI Qin, WANG Hui, <i>et al.</i> (1437)
Removal and Recycle of Phosphor from Water Using Magnetic Core/Shell Structured Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ Nanoparticles Functionalized with Hydrous Aluminum Oxide	LAI Li, XIE Qiang, FANG Wen-kan, <i>et al.</i> (1444)
Occurrence and Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Derivatives in Typical Wastewater Treatment Plants in Beijing	QIAO Meng, QI Wei-xiao, ZHAO Xu, <i>et al.</i> (1451)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matters in Reject Water from Wastewater Treatment Plants	NIU Tian-hao, ZHOU Zhen, HU Da-long, <i>et al.</i> (1460)
Feasibility and Economic Analysis of Denitrification of Photovoltaic Wastewater Containing High Fluorine	LI Xiang, ZHU Liang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (1467)
Quick Start-up and Sustaining of Shortcut Nitrification in Continuous Flow Reactor	WU Peng, ZHANG Shi-ying, SONG Yin-ling, <i>et al.</i> (1472)
Performance Recoverability of Denitrifying Granular Sludge Under the Stressing Effect of Nanoscale Zero-valent Iron	WANG Fan-fan, QIAN Fei-yue, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (1478)
Effect of Low-concentration Ciprofloxacin on the Nitrification and Nitrifying Microorganisms of Biofilms in Biological Aerated Filter	HE Shi, GU Chao-chao, WEI Xin, <i>et al.</i> (1485)
Optimization Study on the Nitrogen and Phosphorus Removal of Modified Two-sludge System Under the Condition of Low Carbon Source	YANG Wei-qiang, WANG Dong-bo, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (1492)
Effects of Short-time Conservation Tillage Managements on Greenhouse Gases Emissions from Soybean-Winter Wheat Rotation System	XIE Yan, CHEN Xi, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1499)
Diurnal and Seasonal Dynamic Variation of Soil Respiration and Its Influencing Factors of Different Fenced Enclosure Years in Desert Steppes	CUI Hai, ZHANG Ya-hong (1507)
Correlation Among Soil Organic Carbon, Soil Inorganic Carbon and the Environmental Factors in a Typical Oasis in the Southern Edge of the Tarim Basin	GONG Lu, ZHU Mei-ling, LIU Zeng-yuan, <i>et al.</i> (1516)
Effects of Low-Molecular-Weight Organic Acids on the Speciation of Pb in Purple Soil and Soil Solution	LIU Jiang, JIANG Tao, HUANG Rong, <i>et al.</i> (1523)
Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils with <i>Iris pseudacorus</i> L. and the Metabolic Analysis in Roots	WANG Ya-nan, CHENG Li-juan, ZHOU Qi-xing (1531)
Oxidation Process of Dissolvable Sulfide by Manganite and Its Influencing Factors	LUO Yao, LI Shan, TAN Wen-feng, <i>et al.</i> (1539)
Screening and Enzyme Production Characteristics of Thermophilic Cellulase-producing Strains	FENG Hong-mei, QIN Yong-sheng, LI Xiao-fan, <i>et al.</i> (1546)
Development of Determination Method of Fluoroquinolone Antibiotics in Sludge Based on Solid Phase Extraction and HPLC-Fluorescence Detection Analysis	DAI Xiao-hu, XUE Yong-gang, LIU Hua-jie, <i>et al.</i> (1553)
Distribution and Risk Assessment of Sulfonamides Antibiotics in Soil and Vegetables from Feedlot Livestock	JIN Cai-xia, SI Xiao-wei, WANG Zi-ying, <i>et al.</i> (1562)
Influence of Four Kinds of PPCPs on Micronucleus Rate of the Root-Tip Cells of <i>Vicia-faba</i> and Garlic	WANG Lan-jun, WANG Jin-hua, ZHU Lu-sheng, <i>et al.</i> (1568)
Environmental Behaviors and Ecotoxicology of the Emerging Contaminants Polyhalogenated Carbazoles	LIN Kun-de, CHEN Yan-qiu, YUAN Dong-xing (1576)
Classification of Priority Area for Soil Environmental Protection Around Water Sources; Method Proposed and Case Demonstration	LI Lei, WANG Tie-yu, WANG Xiao-jun, <i>et al.</i> (1584)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

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
欧阳自远 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4月15日 第37卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 4 Apr. 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	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
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	中国国际图书贸易总公司 (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