

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第10期

Vol.34 No.10

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

南京地区大气气溶胶 PM<sub>2.5</sub> 中稳定碳同位素组成研究 ..... 吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 孙德玲, 卢霞, 姜文娟 (3727)

太原市空气颗粒物中正构烷烃分布特征及来源解析 ..... 胡冬梅, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 韩锋, 刘效峰, 冀豪栋, 张鹏九 (3733)

交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究 ..... 罗娜娜, 赵文吉, 晏星, 官兆宁, 熊秋林 (3741)

公交车燃用生物柴油的颗粒物排放特性 ..... 楼狄明, 陈峰, 胡志远, 谭丕强, 胡炜 (3749)

兰州及其周边区域大气降水 δ<sup>18</sup>O 特征及其水汽来源 ..... 陈粉丽, 张明军, 马潜, 李小飞, 王圣杰, 李菲 (3755)

天山乌鲁木齐河源 1 号冰川区气溶胶水溶性离子变化特征及来源分析 ..... 岳晓英, 李忠勤, 张明军, 周平, 樊晋 (3764)

O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 氧化苯乙烯气体性能及机制 ..... 何觉聪, 黄倩茹, 叶杞宏, 罗雨薇, 张再利, 樊青娟, 魏在山 (3772)

马尾松针叶组织稳定硫同位素地球化学特征及来源示踪 ..... 关晖, 肖化云, 朱仁果, 郑能建, 瞿玲露 (3777)

江西省表层土壤和苔藓硫含量及硫同位素组成对比研究 ..... 李男, 肖化云, 陈永忠, 周丹, 罗笠, 吴代敏 (3782)

辽河流域非点源污染空间特征遥感解析 ..... 王雪蕾, 蔡明勇, 钟部卿, 姚延娟, 殷守敬, 吴迪 (3788)

景观带尺度高寒区水文特征时空变化规律研究 ..... 杨永刚, 胡晋飞, 肖洪浪, 邹松兵, 尹振良 (3797)

金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征 ..... 游丽丽, 宗海波, 张淑芳, 尹国宇, 李涛, 侯立军 (3804)

崇明东滩湿地干湿交替过程脲酶活性变化初探 ..... 韩建刚, 曹雪 (3810)

FDA 水解酶分析法表征近海泥滩微生物活性 ..... 刘叶, 邹立, 刘陆, 高冬梅 (3818)

中国东北主要河流沉积物中多溴二苯醚的含量状况及生态风险分析 ..... 袁海峰, 成杭新, 赵传冬, 刘应汉, 杨柯, 李括, 彭敏, 刘飞 (3825)

深圳大鹏湾海域表层沉积物和生物体中多环芳烃残留及其风险评价 ..... 孙闰霞, 柯常亮, 谷阳光, 卢腾腾, 杜飞雁, 马胜伟, 林钦 (3832)

PMF 和 PCA/MLR 法解析上海市高架道路地表径流中多环芳烃的来源 ..... 边璐, 李田, 侯娟 (3840)

三峡库区蓄水初期大宁河重金属食物链放大特征研究 ..... 余杨, 王雨春, 周怀东, 高博, 赵高峰 (3847)

小型封闭水体环境因子与叶绿素 a 的时空分布及相关性研究 ..... 李飞鹏, 张海平, 陈玲 (3854)

太湖氮、磷自净能力的实验与模型模拟 ..... 韩涛, 翟淑华, 胡维平, 张红举, 李钦钦 (3862)

湖泊疏浚方式对内源释放影响的模拟研究 ..... 陈超, 钟继承, 范成新, 孔明, 余居华 (3872)

水体/底泥生物基城市河道富营养化水体修复试验研究 ..... 周慧华, 宋晓光, 吴革, 谢鑫源 (3879)

底泥调控剂对感潮河涌沉积物中重金属的影响 ..... 区凤荏, 孙国萍, 许玫英 (3888)

区域水化学条件对淮南采煤沉陷区水域沉积物磷吸附特征的影响研究 ..... 易齐涛, 孙鹏飞, 谢凯, 曲喜杰, 王婷婷 (3894)

4 种人工湿地填料的 f2 噬菌体吸附特性 ..... 陈迪, 郑祥, 魏源送, 杨勇 (3904)

稻壳灰对抗生素磺胺的吸附特性研究 ..... 纪菅雪, 王凤贺, 张帆, 张艳红, 王国祥, 顾中铸 (3912)

紫外辐射对腐殖酸化学稳定性影响机制研究 ..... 王文东, 周礼川, 丁真真, 王洪平, 孙学军 (3921)

基于石墨烯载体的铁基材料制备及除砷性能比较 ..... 朝木尔乐格, 冯流, 霍艳霞 (3927)

nTiO<sub>2</sub> 在水中的分散沉降行为研究 ..... 陈金媛, 方金凤, 魏秀珍 (3933)

微生物-铁氧化物交互作用对黄土中砷活化迁移的影响 ..... 谢芸芸, 陈天虎, 周跃飞, 谢巧勤 (3940)

两性离子在聚偏氟乙烯 (PVDF) 膜表面接枝改性的研究 ..... 周桂花, 肖峰, 肖萍, 王东升, 段晋明, 石健, 臧莉 (3945)

化粪池排口处土壤对典型农户生活污水氮素污染物的消减测算研究 ..... 周锋, 王文林, 王国祥, 马久远, 万寅婧, 唐晓燕, 梁斌, 季斌 (3954)

珠江三角洲典型集约化猪场废水污染特征及风险评价 ..... 李文英, 彭智平, 于俊红, 黄继川, 徐培智, 杨少海 (3963)

污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响 ..... 金树权, 周金波, 陈若霞, 林斌, 王德耀 (3969)

活性污泥絮体粒径分布与分形维数的影响因素 ..... 李振亮, 张代钧, 卢培利, 曾善文, 杨永浩 (3975)

不同恢复方式对硝化颗粒污泥活性的影响 ..... 郭秀丽, 高大文, 卢健聪 (3981)

生物陶粒反应器的氨自养反硝化研究 ..... 陈丹, 王弘宇, 宋敏, 杨开, 刘晨 (3986)

亚高山草甸土壤呼吸的空间异质性研究 ..... 严俊霞, 李君剑, 王洪建, 张义辉 (3992)

SiB3 模式对作物区 CO<sub>2</sub> 通量的模拟研究 ..... 张庚军, 卢立新, 蒋玲梅, 蒋磊, Ian Baker (4000)

缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响 ..... 徐鹏, 江长胜, 郝庆菊, 祝滔 (4009)

典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价: 以许昌市为例 ..... 闫慧, 陈杰, 肖军 (4017)

苏州、无锡和南通道路灰尘中的多溴联苯醚和多氯联苯 ..... 史双昕, 董亮, 李玲玲, 张辉, 李斯明, 张天野, 黄业茹 (4024)

废旧汽车拆解区土壤中多环芳烃垂向分布特性 ..... 吴彦瑜, 胡小英, 洪鸿加, 彭晓春 (4031)

铬污染土壤的稳定化处理及其长期稳定性研究 ..... 王旌, 罗启仕, 张长波, 谈亮, 李旭 (4036)

典型磺胺类抗生素在土柱中的淋溶规律研究 ..... 李曼, 陈卫平, 魏福祥, 焦文涛 (4042)

3 种金属氧化物纳米材料在不同土壤中迁移行为研究 ..... 方婧, 余博阳 (4050)

多孔介质中 NAPLs 流体毛细管指进形态及分形表征 ..... 李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4058)

毛竹入侵对常绿阔叶林主要树种的化感作用研究 ..... 白尚斌, 周国模, 王懿祥, 梁倩倩, 陈娟, 程艳艳, 沈蕊 (4066)

珠江口典型水产养殖区抗生素抗性基因污染的初步研究 ..... 梁惜梅, 袁湘平, 施震 (4073)

江苏盐城地区水产品重金属含量与安全评价 ..... 刘洋, 付强, 高军, 徐网谷, 殷波, 曹亚乔, 秦卫华 (4081)

铜胁迫对不同基因型谷子幼苗基因组 DNA 多态性的影响 ..... 张义贤, 付亚萍, 肖志华, 张喜文, 李萍 (4090)

利用高通量测序对封存 CO<sub>2</sub> 泄漏情景下土壤细菌的研究 ..... 田地, 马欣, 李玉娥, 查良松, 伍洋, 邹晓霞, 刘爽 (4096)

酸性矿山水区域废矿石中真核生物多样性分析 ..... 李思远, 郝春博, 王丽华, 吕铮, 张丽娜, 刘莹, 冯传平 (4105)

十溴联苯醚降解菌的特性及功能蛋白初步分析 ..... 常晶晶, 尹华, 秦华明, 叶锦韶, 彭辉, 宋小飞 (4112)

硒对水稻吸收积累和转运锰、铁、磷和硒的影响 ..... 胡莹, 黄益宗, 黄艳超, 刘云霞, 梁建宏 (4119)

外源铁对不同番茄品种生理特性、镉积累及化学形态的影响 ..... 刘俊, 周坤, 徐卫红, 陈惠, 张明中, 江玲, 杨芸, 王崇力, 熊治庭 (4126)

电子废物排放持久性有毒污染物的控制政策分析 ..... 李力, 吕永龙, 王铁宇 (4132)

《环境科学》征稿简则 (3926) 《环境科学》征订启事 (4057) 信息 (3878, 3953, 3999, 4041)

# 交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究

罗娜娜<sup>1,2,3</sup>, 赵文吉<sup>1,2,3\*</sup>, 晏星<sup>4</sup>, 宫兆宁<sup>1,2,3</sup>, 熊秋林<sup>1,2,3</sup>

(1. 首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100048; 2. 首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100048; 3. 首都师范大学城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地, 北京 100048; 4. 香港理工大学土地测量及地理资讯学系, 香港)

**摘要:** 为了研究北京市气象因子与车流量、车速等交通因子对  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度水平的影响, 在市区三环主路及居民区选取了 28 个采样点, 采集滞尘量,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度、车速、车流量、温度、湿度、风速等数据. 通过 3 个月的滞尘质量分析, 得出交通源对空气质量的影响是显著的, 其中三环主道路两侧采样点和远离交通源对照点滞尘均值分别为 0.284 g 和 0.016 g. 再由道路口与居民区对比实验(局部实验)得出, 居民区采样点测得的  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  浓度均低于道路口颗粒物浓度, 差值均值分别为  $101\ 074\ n\cdot(cf)^{-1}$  和  $15\ 386\ n\cdot(cf)^{-1}$ , 同时  $PM_{2.5}$  白天浓度一般低于夜间. 最后结合最佳子集预测模型分析得出,  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  受到湿度和温度的影响最大, 车速、车流量、风速次之, 其中车速、车流量、低风速对颗粒物  $PM_{2.5}$  的影响比对  $PM_{10}$  的影响更为显著.

**关键词:**  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ; 最佳子集分析; 交通因子; 气象因子

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)10-3741-08

## Study on Influence of Traffic and Meteorological Factors on Inhalable Particle Matters of Different Size

LUO Na-na<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Wen-ji<sup>1,2,3\*</sup>, YAN Xing<sup>4</sup>, GONG Zhao-ning<sup>1,2,3</sup>, XIONG Qiu-lin<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application of Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. Resources, Environment and Geographic Information System Key Laboratory of Beijing, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 3. Urban Environmental Process and Digital Modeling Laboratory, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 4. The Department of Land Surveying and Geo-Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong)

**Abstract:** To study the effects of meteorological and traffic factors on the  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  concentrations, 28 samples were taken in the Third Ring Road of Beijing, and dust fall weight, velocity of vehicle, traffic volume, temperature, humidity, wind speed,  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  concentration data were collected for these samples. Analysis of the collected data on dust fall weight indicated that the traffic had a significant impact on the air quality. The average dust fall weights in the road and away from the traffic source were 0.284g and 0.016 g, respectively. The results of the partial experiment indicated that concentrations of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  in residential areas were lower than those in road, furthermore, the  $PM_{2.5}$  at night was often higher than that during daytime, and the mean values of the difference in  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  were  $101\ 074\ n\cdot(cf)^{-1}$  and  $15\ 386\ n\cdot(cf)^{-1}$ , respectively. Through analysis using the best subset prediction model, it was indicated that  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  were both most significantly influenced by temperature and humidity, followed by wind speed, velocity of vehicle and traffic volume. Comparing with  $PM_{10}$ , the velocity of vehicle, traffic volume and wind speed had a more significant influence on  $PM_{2.5}$ .

**Key words:**  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ; best subset analysis; traffic factors; meteorological factors

随着我国经济的飞速发展, 高密度城市化进程使得交通状况日益紧张, 大气污染日益严重. 由于大气颗粒物成分复杂, 其所携带的重金属元素、环烃有机物等成分随呼吸道进入人体内环境, 对人们的身体健康危害极大, 其中  $PM_{2.5}$  的危害尤为突出, 因其粒径小、比表面积大, 更易富集有毒物质<sup>[1~5]</sup>. 吴国平等<sup>[6]</sup>研究发现,  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  污染与成人呼吸系统的病症率呈正相关. 由于北京是中国的首都, 也是同世界进行文化交流的窗口, 而近年来随着北京市雾霾天气的持续出现, 空气污染问题受到人们前所未有的关注. 北京环境保护局研究发现, 北京

冬季出现低风速、高湿度天气, 形成极度不利扩散条件, 致使地表闭合低压控制下逆温层及大气污染持续积累现象的出现. 同时根据北京市环境保护局估算, 机动车尾气排放, 是北京大气颗粒物的主要来源(约占 22.2%). 所以, 交通与气象因子对颗粒物

收稿日期: 2013-03-26; 修订日期: 2013-05-13

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41101404); 北京市教委科技计划项目(KM20110028013); 国家基础测绘项目(2011A2001); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20111102110004)

作者简介: 罗娜娜(1988~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为 GIS 应用, E-mail: luonana0331@aliyun.cn

\* 通讯联系人, E-mail: zhaowenji1215@163.com

影响的研究刻不容缓。

在近几年交通和气象源对颗粒物污染影响的研究中,大多以交通系统为背景,通过结合机动车排放因子的计算,分析不同空间、时间、季节及气候等条件对颗粒物浓度、成分的影响<sup>[7-18]</sup>. 陈建华等<sup>[19]</sup>通过测定北京市崇文门路口颗粒物样品质量浓度、元素与离子浓度并结合机动车流量数据,基于富集因子模型分析得出颗粒物污染水平主要受柴油车排放影响. 刘大锰等<sup>[20]</sup>在北京市成府路口东、前门等地设立 2 个采样监测点,用于分析春季交通系统颗粒物污染水平及环境影响因素,研究表明颗粒物浓度日变化出现了 3 个峰值,并与风速呈负相关. Ali 等<sup>[21]</sup>在巴基斯坦 N-5 国道选取了 3 个研究区,共计 9 个采样点,通过分析 PM<sub>10</sub> 浓度、车流量、CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 等主要参数及温度、风向、风速等环境参数得出,研究 1 区(Lahore-Gujranwala Section)颗粒物污染最严重,可能受车流量、人口影响. Yuval 等<sup>[22]</sup>以以色列城市海法为研究对象,测定了 NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>、车流量等数据用以研究空气污染与车流量的关系,结果表明车流量减少 40%,将导致 NO<sub>2</sub> 减少 18%,PM<sub>10</sub> 减少 13%.

虽然我国有关交通与气象因子对大气颗粒物的影响已开展了一定的研究,但交通与气象因子对于不同粒径大气颗粒物的影响机制研究较少. 因此,本文以北京市三环主道路为研究对象,基于最佳子集模型对交通主道路与居民区 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、交

通、环境因子等数据进行分析,系统地阐述了它们对不同粒径大气颗粒物的影响机制,以期为城市大气污染防治提供理论依据.

### 1 野外数据采集

北京位于华北平原边缘,占地约 16 411 km<sup>2</sup>,交通便利. 其中三环路作为北京市中心区的主干道,是北京城区的一条环形城市快速路,承担着较重的交通负荷.

研究初期为了从宏观上验证交通源对空气质量确实存在影响,在北京三环主路两侧、玉渊潭、紫竹院等地设立了 21 个空气尘埃监测点(花园桥、丽泽桥、草桥、万寿寺、四通桥、蓟门桥、北太平桥、马甸桥、安贞桥、三元桥、亮马桥、双井、潘家园、八一湖、玉渊潭、紫竹院等地),其中在玉渊潭、紫竹院等地设立 6 个点作为对比点,监测过程中使用的是空塑料瓶来盛放空气滞尘,挂瓶时间为 2012 年 9~11 月,监测过程历时 3 个月.

随后进行局部实验,在北京市西三环设立了 7 个采样点,其中居民区 3 个采样点,道路 4 个采样点,于 2012 年 8 月进行样本数据采集,以分析气象、交通因子对颗粒物浓度的协同影响,采样过程历时 3 个月,图 1 为 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 数据采样点和空气尘埃监测点分布.

实验中主要用到的是苏州贝昂科技有限公司生产的 Dyllos DC1700 空气质量监测仪、北京同德公司

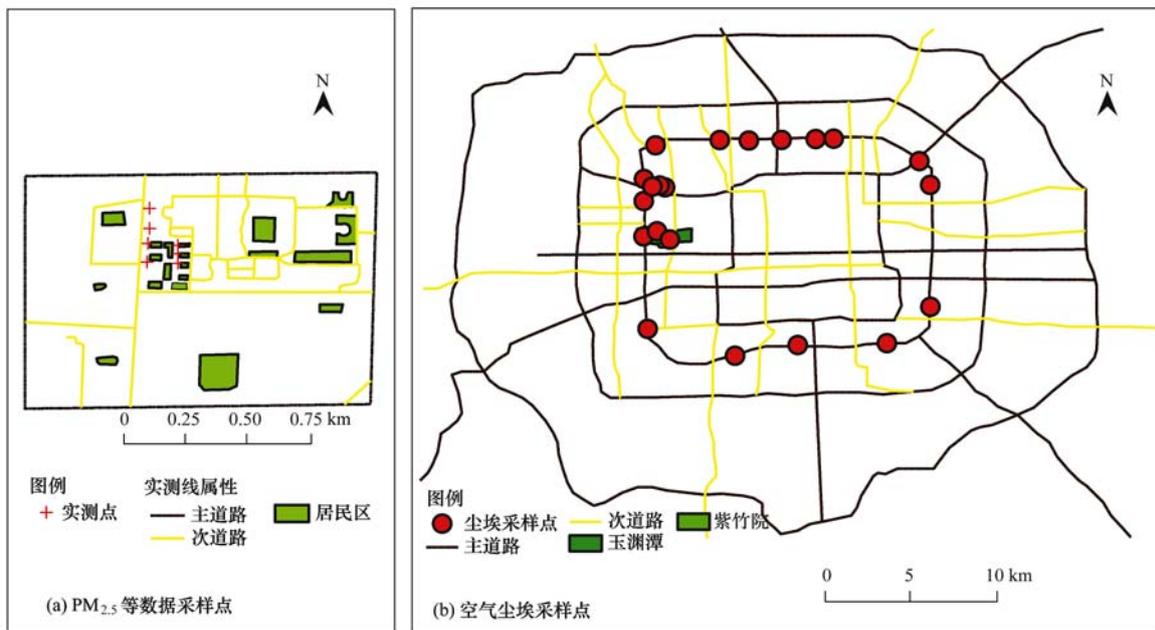


图 1 研究区采样点分布示意  
Fig. 1 Distribution of sampling locations

生产的 Kestrel 便携式气候测量仪、新泽西 JAMAR 公司生产的 JAMAR 车流量交通检测设备等等仪器, 测定交通道路、居民区 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、温度、湿度、风速及道路车速、车流量。

### 2 分析方法与原理

由于引起大气污染的影响机制错综复杂, 现阶段大多采用统计学方法, 如回归模型、相关分析等。前者是以拟合为目的, 以现有残差平方和最小为原则, 获取关系曲线方程; 后者只能简单地量化作用机制, 但关系方程不可知<sup>[23]</sup>。李晓霞等<sup>[24]</sup>基于逐步回归模型分析兰州地区秋冬季呼吸道疾病与气象条件关系, 复相关系数为 27.2% 左右, 预报精度较低。蔡左花等<sup>[25]</sup>在新场气田沙溪庙组气藏单井产能预测研究中指出, 预测最佳子集模型能够较好地降低变量维度, 以提高储层产能预测的精度。梁文骐<sup>[26]</sup>指出, 一次预报最佳回归模型是以预测为目的, 以预测残差平方和最小为原则。此模型能够实现以交通、环境因素预测大气污染状况并求解作用机制曲线方程为目的, 显示了同回归分析、相关分析的差异与优势, 其原理如下。

假设响应量  $y$  与  $n$  个自由预测变量  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$  之间存在如下的线性关系式 ( $n$  为影响因子个数), 研究中  $y$  为颗粒物浓度,  $x_i$  为交通、气象因子:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

根据普通逐步回归法思想, 主要依据最小二乘法原理求解参数向量估计值  $A'$ , 结果取下:

$$A' = (a_1, a_2, a_3 \dots a_n) = (X'X)^{-1}X'Y \quad (2)$$

根据姚棣荣等<sup>[23]</sup>的最佳子集分析模型思想, 假设  $m$  个自由预测变量  $x_1, x_2, x_3 \dots x_m$  组成预测向量子集  $M$ , 其中  $m \leq n$ , 则求出参数向量估计值子集  $a'$ :

$$a' = (a_1, a_2, a_3 \dots a_m) = (M'M)^{-1}M'M \quad (3)$$

最后根据公式(4)、(5)计算响应量预测值, 以 RSS 值评估回归模型精度:

$$Y' = a'M \quad (4)$$

$$RSS = \sum (y - y')^2 \quad (5)$$

### 3 结果与讨论

#### 3.1 交通源对颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 的影响验证

已有较多研究指出, 气象条件, 如相对湿度、风速、温度等, 是颗粒物浓度的主要影响因素<sup>[27]</sup>。所以本研究首先要验证交通源对空气质量也存在显著影响, 结果如图 2, 其中沿路监测点尘埃质量明显大于紫竹院、玉渊潭等距交通源较远的采样点。环路、对照采样点(紫竹院、玉渊潭 6 个监测点)滞尘

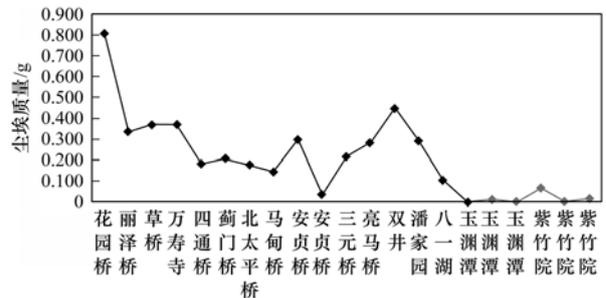


图 2 空气滞尘监测结果

Fig. 2 Dustfall monitoring results

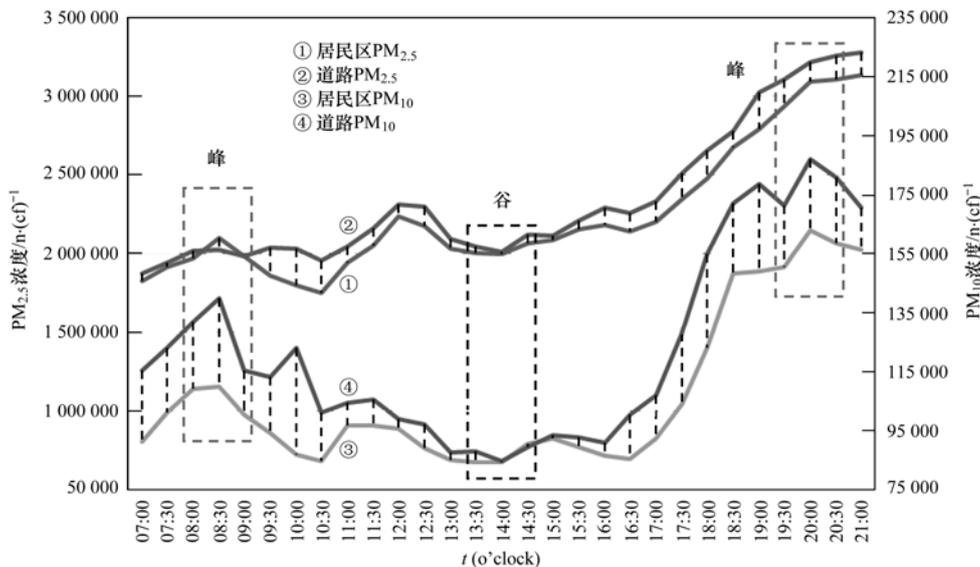


图 3 居民区与道路口 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 平均时变化

Fig. 3 Diurnal variation of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in road and residential areas

质量均值分别为 0.284 g、0.016 g,即交通源对大气悬浮物的影响是显著的。

随后在局部实验的结果中,居民区、道路  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  浓度日变化特征如图 3 所示. 采样周期内每一时刻,居民区  $PM_{2.5}$  (个数/Cubic Feet)、 $PM_{10}$  (个数/Cubic Feet) 平均浓度皆低于道路口颗粒物浓度, 差值均值分别为  $101\,074\ n\cdot(cf)^{-1}$ 、 $15\,386\ n\cdot(cf)^{-1}$ . 其中 08:00 ~ 09:00 时段除外,这可能与研究期间人们的日常活动有关. 由于道路口颗粒物污染是受到交通、气象因子的共同影响,同时居民区采样点与道路口采样点相距较近,可认为气象因子(温度、湿度、风速)对采样点颗粒物浓度的影响是一致的,唯一不同的是交通因子,由此推断出,道路颗粒物浓度高于居民区可能是交通源导致,同时也再次验证了交通源对大气悬浮物可产生显著

影响.

### 3.2 不同粒径颗粒物与交通和气象因子的关联分析

由局部实验得出,颗粒物  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、车流量、车速、风速、温度、湿度等参数的平均值分别为:  $1\,425\,722\ n\cdot(cf)^{-1}$ 、 $74\,293\ n\cdot(cf)^{-1}$ 、 $425\ 辆\cdot(0.5\ h)^{-1}$ 、 $35\ km\cdot h^{-1}$ 、0.6 级、 $23\ ^\circ C$ 、40%. 由变异系数和偏度可以分别表征统计数据的离散程度和对称性得到样本数据统计参数,结果如表 1. 其中风速变异系数最大,约为温度、湿度的 3.5 倍,颗粒物  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  的 1.5 倍,车速、车流量的 7 倍;同时温度、湿度、 $PM_{2.5}$  的偏度值最接近 0. 由此可知,研究期间风速变化最剧烈,颗粒物  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、湿度、温度次之,车流量、车速数据变化相对稳定;而温度、湿度、 $PM_{2.5}$  浓度数据的对称性最好,统计特征最接近正态分布.

表 1 样本点数据统计参数

Table 1 Statistic result of the data collected

变量	均值	变异系数	最小值	最大值	极差	偏度
风速(级)	0.6	100.4	0	3.7	3.7	1.1
温度/ $^\circ C$	23	28.0	10	34	24	-0.1
湿度/%	0.4	29.4	0.2	0.9	0.7	0.6
$PM_{2.5}/n\cdot(cf)^{-1}$	1 425 722	80.0	32 800	3 827 643	3 794 843	0.6
$PM_{10}/n\cdot(cf)^{-1}$	74 293	65.0	3 200	260 027	256 827	1.0
车流量/辆 $\cdot(0.5\ h)^{-1}$	425	12.0	260	590	330	-0.9
车速/ $km\cdot h^{-1}$	35	14.0	26	55	29	0.9

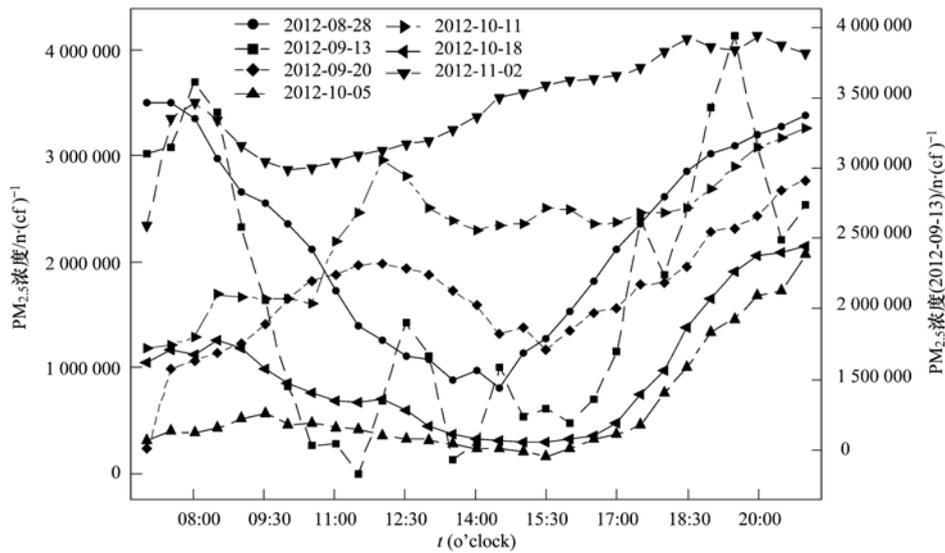
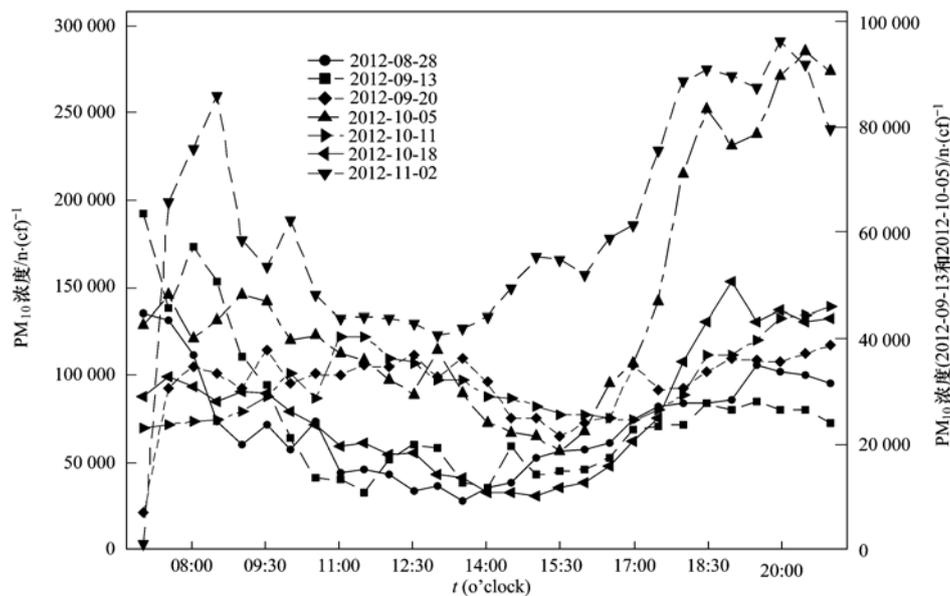
同时由局部实验获得交通路口  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、车流量、车速与气象因子平均时变化曲线,结果如图 4~7 所示. 将图 4、5 中同一时期  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  颗粒物浓度曲线横向对比可知,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  曲线趋势基本一致,其中前者较后者光滑. 总体上,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  曲线呈“U”型走势,且  $PM_{2.5}$  重叠度较  $PM_{10}$  差,“U”型特征较  $PM_{10}$  明显,即  $PM_{2.5}$  曲线尾部持续上升,而  $PM_{10}$  尾部出现“晚间峰值”特征.

由图 4、5 可知,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  曲线在 07:00 ~ 13:30 时段下降,在 13:30 ~ 15:30 时段出现“谷值”域,随后上升. 其可能是由于早晨过后地表温度升高、空气湿度降低、风速增大(如图 7),进而导致分子布朗运动加快,大气对流作用越加剧烈,迫使颗粒物  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  粒子扩散稀释、浓度降低<sup>[28]</sup>. 午后 13:30 ~ 15:30 时段(为当天温度最高、风速最大、湿度最低时段),此期间大气上下对流扰动最为剧烈,空气处于极度不稳定状态,从而导致  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度为当天最低点. “谷值”域过后,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  颗粒物浓度升高,这可能与机动车流量相关性不大(由图 6 可知“谷值”域过后 机动车车流量减

小),而受到气象因子的影响显著. 这与关共湊<sup>[29]</sup>在佛山禅城区颗粒物污染特征及影响因素的研究中提出的,晚间颗粒物浓度较高主要由于地表温度下降相符.

另外,  $PM_{2.5}$  中 20% ~ 60% 为大气有机气溶胶,其中的有机气溶胶主要包含正构烷烃、异烷烃、反异烷烃等 80 多种有机物<sup>[30]</sup>. 而这些有机物在光的作用下会逐步氧化成低分子中间产物,最终生成  $CO_2$ 、 $H_2O$  及其他离子,如  $NO_3^-$ 、 $PO_4^{3-}$ 、 $Cl^-$  等,同时空气中的氧气、热量、湿度等条件会提高光降解的速率<sup>[31]</sup>. 研究期间,一般在 18:00 以后,大气温度、光照强度都会比白天低,尤其晚间没有阳光,这些大气条件可能会导致有机物光降解过程减弱甚至停滞,从而使大量  $PM_{2.5}$  颗粒物停留在空气中,浓度升高. 由上推断,  $PM_{2.5}$  曲线尾部持续上升,“U”型特征较  $PM_{10}$  明显,其可能与光降解作用有关.

将图 4 和图 5 中不同时期  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  颗粒物浓度曲线各自纵向对比可以发现,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  曲线 2012-08-28 期间呈“U 型”特征,谷值分别为 14:30、13:30. 而其它期间  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  曲线呈“双峰”走

图4 交通路口  $PM_{2.5}$  浓度Fig. 4  $PM_{2.5}$  in road图5 交通路口  $PM_{10}$  浓度Fig. 5  $PM_{10}$  in road

势,且  $PM_{10}$ “双峰”特征较  $PM_{2.5}$ 明显,峰值大多为早 07:30、晚 20:00,谷值不一,其中 2012-09-20、2012-10-11 期间曲线“双峰”特征前置。 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  曲线在“早晚峰值”时段,浓度显著提高,可能是由于该阶段空气温度低、风速小、湿度大,近地表大气对流作用弱,形成高湿度逆温层,极其不利于颗粒物扩散。同时由图 6 可知,“早晚峰值期”为机动车排放量明显增加时期,也可导致颗粒物浓度升高<sup>[32]</sup>。

再结合图 6 和图 7 曲线对比可得,颗粒物浓度

谷值区为温度、风速高值区、湿度、车流量低值区,即高温流通干燥环境有利于颗粒物的扩散;同时  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 浓度与温度、风速呈负相关、与湿度、车流量呈正相关。这与 Gokhale<sup>[33]</sup>在交通与气象因素对空气质量影响的研究中提出的结果相符。

综上所述,道路颗粒物  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  污染同时受到气象与交通因子的影响。另外,研究期间,多数实验大气污染水平先降低后增加,晚间污染较早晨严重,午后污染较轻,并与湿度、车流量呈正相关、与温度、风速呈负相关。

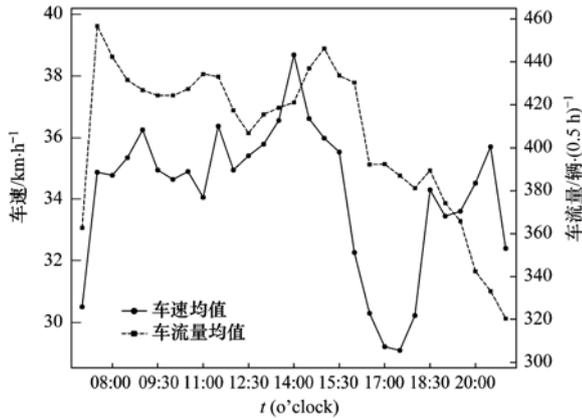


图 6 交通源平均时变化

Fig. 6 Diurnal variation of traffic factor

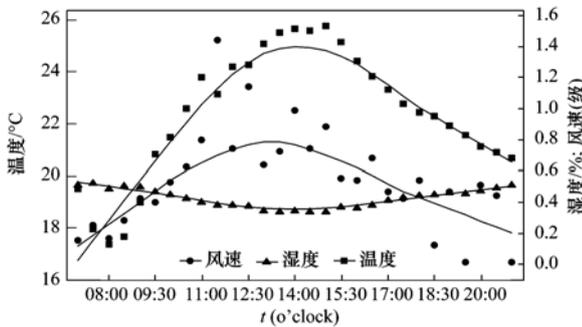


图 7 气象因子平均时变化

Fig. 7 Diurnal variation of meteorological factors

3.3 交通与气象因子对不同粒径颗粒物的影响分析

由于实验中北京秋季晚间颗粒物浓度持续升高,可能与机动车排放量相关性不大,所以回归数据选取早 07:00 ~ 晚 16:00 这 7 d 的颗粒物浓度、交通、气象因子数据,共计 133 个样本点,则对 133 个采样点进行最佳子集分析结果如表 2。

由表 2  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  一元最佳子集分析结果得出,排在前两位的因子都为湿度和温度,说明它们对  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  的影响最大。已有研究表明,在一定范围内 ( $<60\%$ ),湿度越高越利于气体转换为粒子,同时形成的干扰雾膜,阻止分子扩散,导致颗粒物浓度上升。当湿度超出 60% 时,随着湿度的增加,颗粒物凝结成大粒子而沉降,从而导致颗粒物浓度降低<sup>[34,35]</sup>。而温度升高是分子布朗运动增强的主要原因,进而提高了粒子的扩散能力;同时高温也易造成空气上下对流扰动,空气中的颗粒物稀释扩散,从而使其浓度降低。

由表 2 也可推断出,温度、湿度两个气象因子除外,车速、车流量分别排在  $PM_{2.5}$  的二、三元最佳结果首位,车速排在  $PM_{10}$  的三元最佳结果首位。将  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  一、二元最佳  $R^2$  对比可知,车速使  $PM_{2.5}$  回归精度提高了 13.2%,而  $PM_{10}$  一、二元最佳  $R^2$  不包含车流量或车速;二、三元最佳  $R^2$  对比可

表 2  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  最佳子集分析结果

Table 2 Best subset analysis of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$

变量	$PM_{2.5}$						$PM_{10}$					
	$R^2$	风速	温度	湿度	车流量	车速	$R^2$	风速	温度	湿度	车流量	车速
一元	29.8			√			31.8		√			
	13.9		√				25.1			√		
	12.3				√		10.1				√	
	7.7					√	6.6					√
	2.4	√					0	√				
二元	43.0			√		√	49.8		√	√		
	38.7		√	√			36.8		√		√	
	38.1			√	√		36.4			√		√
	35.2	√		√			33.2		√			√
	22.4		√		√		32.0	√	√			
三元	48.0			√	√	√	53.9		√	√		√
	47.2		√	√		√	53.2		√	√	√	
	45.5	√		√		√	50.9	√	√	√		
	44.9	√	√	√			40.3			√	√	√
	44.6		√	√	√	√	37.6		√		√	√
四元	51.2		√	√	√	√	56.3		√	√	√	√
	50.6	√	√	√		√	54.3	√	√	√		√
	50.5	√	√	√	√	√	54.1	√	√	√	√	√
	50.3	√	√	√	√	√	40.3	√	√	√	√	√
	26.7	√	√	√	√	√	37.6	√	√		√	√
五元	54.6	√	√	√	√	√	56.6	√	√	√	√	√

知,车流量使  $PM_{2.5}$  回归精度提高了 5.0%, 而  $PM_{10}$  并没有明显提高. 由此推出,  $PM_{2.5}$  受车流量、车速影响较  $PM_{10}$  明显, 而  $PM_{10}$  更易受气象因素影响, 这可能与机动车尾气组分有关. 阳红等<sup>[36]</sup> 指出, 机动车尾气排放物主要由碳微粒(90% 以上粒径  $< 1 \mu m$ )、光化学烟雾 ( $< 2.5 \mu m$ )、铅化物 ( $< 0.2 \mu m$ ) 等 3 种物质组成, 粒径皆小于  $2.5 \mu m$ , 属于  $PM_{2.5}$  的组成部分. 其中碳微粒是车体燃料燃烧不充分的产物, 而车速直接影响燃料燃烧的充分性. 所以, 车流量、车速对  $PM_{2.5}$  的影响较  $PM_{10}$  明显.

同理可知, 由  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  四、五元最佳子集结果得出, 温度、风速分别使  $PM_{2.5}$  回归精度提高 3.2%、3.4%, 车流量、风速分别使  $PM_{10}$  回归精度提高 2.4%、0.3%. 由此推断出, 风速对  $PM_{2.5}$  的影响比  $PM_{10}$  大, 可能是因为研究期间风速较小(平均值为 0.6). 在风速较小的情况下, 低风速对质量较轻的颗粒物  $PM_{2.5}$  浓度影响更大. 这与 Kim 等<sup>[37]</sup> 在  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  和 TSP 浓度与风速关系的研究中, 当风速小于 1.2 级(I 级)时, I 级风与  $PM_{2.5}$  的相关性比  $PM_{10}$  大的结论一致.

综上所述, 除温度、湿度以外, 车流量、车速、低风速等因子对  $PM_{2.5}$  的影响较  $PM_{10}$  显著, 又由于光照条件下  $PM_{2.5}$  光解作用的可能存在, 使得受较多因素干扰的  $PM_{2.5}$  曲线重叠度差(图 4), 即不同时期的时变化特征有较大差异.

#### 4 结论

(1) 在宏观挂瓶实验中, 环路与对照点(紫竹院、玉渊潭 6 个监测点)滞尘质量均值分别为 0.284 g、0.016 g. 道路口与居民区对比实验中, 前者采样点测得的  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  浓度均高于后者, 差值均值分别为  $101\ 074 \text{ n} \cdot (\text{cf})^{-1}$ 、 $15\ 386 \text{ n} \cdot (\text{cf})^{-1}$ , 同时  $PM_{2.5}$  白天浓度一般低于夜间. 由此可知, 交通源对大气悬浮物的影响是显著的.

(2) 在局部实验期间, 风速变化最为剧烈,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、湿度、温度次之, 车流量、车速较稳定, 其均值分别为 0.6 级、 $1\ 425\ 722 \text{ n} \cdot (\text{cf})^{-1}$ 、 $74\ 293 \text{ n} \cdot (\text{cf})^{-1}$ 、0.4%、 $23^\circ\text{C}$ 、 $425 \text{ 辆} \cdot (0.5 \text{ h})^{-1}$ 、 $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . 研究全天大气污染水平先降低后增加, 晚间污染较早晨严重, 午后最轻. 同时与气象、交通等数据对比可知, 颗粒物  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度与湿度、交通因子呈正相关、与温度、风速呈负相关.

(3) 通过最佳子集分析得出, 湿度和温度对  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  的影响最大, 最佳  $R^2$  分别为 29.8 和

13.9、25.1 和 31.8, 车速、车流量、风速次之. 相比于  $PM_{10}$ , 车速、车流量、低风速更易作用于  $PM_{2.5}$  的浓度变化, 从而使得受较多因素干扰的  $PM_{2.5}$  曲线重叠度差, 即不同时期的时变化特征有较大差异.

#### 参考文献:

- [1] 向丽, 李迎霞, 史江红, 等. 北京城区道路灰尘重金属和多环芳烃污染状况探析[J]. 环境科学, 2010, 31(1): 159-167.
- [2] 钱枫, 杨仪方, 张慧峰. 北京交通环境  $PM_{10}$  分布特征及重金属形态分析[J]. 环境科学研究, 2011, 24(6): 608-614.
- [3] 樊守彬, 杨力鹏, 程水源. 道路环境颗粒物浓度空间分布研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(7): 56-58, 101.
- [4] 郑大威, 方方, 郑菁英, 等. 北京市区交通干线路口大气中 PAHs 污染情况测定[J]. 北京工业大学学报, 1997, 23(1): 30-34.
- [5] Tolosa I, de Mora S, Sheikholeslami M R, et al. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments [J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 48(1-2): 44-60.
- [6] 吴国平, 胡伟, 滕恩江, 等. 室外空气污染对成人呼吸系统健康影响的分析[J]. 中国环境监测, 2001, 17(S1): 33-38.
- [7] 王芬娟, 方栋, Ketzler M. 机动车颗粒物数排放因子和特征[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012, 48(6): 1023-1029.
- [8] 郑春霞, 王文全, 钱翌, 等. 新疆乌鲁木齐市公路两侧大气总悬浮物、 $Pb^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$  含量测定及分析[J]. 新疆农业大学学报, 2007, 30(1): 57-60.
- [9] 孟昭阳, 张怀德, 蒋晓明, 等. 太原地区冬春季  $PM_{2.5}$  污染特征及影响因素[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 648-656.
- [10] 齐童, 乔晓红, 王安娜. 北京市可吸入颗粒物污染分析——基于不同时间段的比较分析[J]. 城市问题, 2008, 12(5): 93-97.
- [11] 韩力慧, 庄国顺, 程水源, 等. 北京地面扬尘的理化特性及其对大气颗粒物污染的影响[J]. 环境科学, 2009, 30(1): 1-8.
- [12] 李凯, 张承中, 周变红. 西安市采暖期  $PM_{2.5}$  污染状况及其与气象因子的相关分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9603-9605.
- [13] 魏玉香, 银燕, 杨卫芬, 等. 南京地区  $PM_{2.5}$  污染特征及其影响因素分析[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(9): 29-34.
- [14] 刘随心, 曹军骥, 安芷生. 西安大气细粒子  $PM_{2.5}$  质量浓度变化特征及其影响因素[J]. 过程工程学报, 2009, 9(S2): 231-236.
- [15] 朱春, 张旭. 机动车排放细微/超细颗粒物消光特性的 Mie 理论研究[J]. 环境科学研究, 2011, 24(6): 601-607.
- [16] 杨柳, 吴烨, 宋少洁, 等. 不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征[J]. 环境科学, 2012, 33(3): 694-700.
- [17] 邵莉, 肖化云. 公路两侧大气颗粒物中的重金属污染特征及其影响因素[J]. 环境化学, 2012, 31(3): 315-323.
- [18] Ye B M, Ji X L, Yang H Z, et al. Concentration and chemical composition of  $PM_{2.5}$  in Shanghai for a 1-year period [J].

- Atmospheric Environment, 2003, **37**(4): 499-510.
- [19] 陈建华, 王玮, 刘红杰, 等. 北京市交通路口大气颗粒物污染特征研究( I )——大气颗粒物污染特征及其影响因素[J]. 环境科学研究, 2005, **18**(2): 34-38.
- [20] 刘大猛, 黄杰, 高少鹏, 等. 北京市区春季交通源大气颗粒物污染水平及其影响因素[J]. 地学前缘, 2006, **13**(2): 228-233.
- [21] Ali M, Athar M. Air pollution due to traffic, air quality monitoring along three sections of National Highway N-5, Pakistan [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, **136**(1-3): 219-226.
- [22] Flicstein B, Broday D M. The impact of a forced reduction in traffic volumes on urban air pollution [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(3): 428-440.
- [23] 姚棣荣, 王怡红. 一次预报最佳子集回归及其应用[J]. 科技通报, 2001, **17**(4): 11-15.
- [24] 李晓霞, 李青春, 李青燕, 等. 兰州地区秋冬季呼吸道疾病与气象条件关系分析[J]. 甘肃气象, 2002, **20**(3): 31-33, 35.
- [25] 蔡左花, 匡建超, 曾剑毅, 等. 新场气田沙溪庙组气藏单井产能预测[J]. 钻采工艺, 2009, **32**(3): 34-37.
- [26] 梁文骐. 一次预报最佳子集回归[J]. 应用数学学报, 1981, **4**(4): 356-361.
- [27] 孙俊玲, 刘大猛, 扬雪. 北京市海淀区大气颗粒物污染水平及其影响因素[J]. 资源与产业, 2009, **11**(1): 96-100.
- [28] 黄虹, 曾宝强, 曹军骥, 等. 广州大学城大气  $PM_{2.5}$  量浓度与影响因素[J]. 环境科学与技术, 2009, **32**(5): 103-106.
- [29] 关共凑. 佛山禅城区大气可吸入颗粒物污染特征及其影响因素分析[J]. 广州化工, 2005, **33**(4): 61-63.
- [30] Rogge W F, Mazurek M A, Hildeman L M, *et al.* Quantification of urban organic aerosols at a molecular level: identification, abundance and seasonal variation [J]. Atmospheric Environment. Part A. General Topics, 1993, **27**(8): 1309-1330.
- [31] Safarzadeh-Amiri A, Bolton J R, Cater S R. Ferrioxalate-mediated photodegradation of organic pollutants in contaminated water[J]. Water Research, 1997, **31**(4): 787-798.
- [32] 金维明. 主要气象因素对可吸入颗粒物浓度影响规律探讨[J]. 中国环境监测, 2009, **25**(4): 71-75.
- [33] Gokhale S. Traffic flow pattern and meteorology at two distinct urban junctions with impacts on air quality [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(10): 1830-1840.
- [34] 何平, 杨兴堂, 沈先标, 等. 上海宝山地区大气  $PM_{2.5}$  污染特征分析[J]. 环境与职业医学, 2010, **27**(12): 724-726.
- [35] 杨书申, 邵龙义, 肖正辉, 等. 中国典型城市 2004 年大气质量及颗粒物浓度与气象条件关系分析[J]. 中原工学院学报, 2005, **16**(5): 8-12.
- [36] 阳红, 孙德仕. 西安市环境颗粒物污染与道路交通颗粒物排放机理[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, **22**(5): 79-82.
- [37] Kim K H, Kim M Y, Hong S M, *et al.* The effects of wind speed on the relative relationships between different sized-fractions of airborne particles [J]. Chemosphere, 2005, **59**(7): 929-937.

## CONTENTS

Stable Carbon Isotopic Composition in PM <sub>2.5</sub> in Nanjing Region .....	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (3727)
Distribution and Source Apportionment of <i>n</i> -Alkanes in Atmospheric Particle in Taiyuan, China .....	HU Dong-mei, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (3733)
Study on Influence of Traffic and Meteorological Factors on Inhalable Particle Matters of Different Size .....	LUO Na-na, ZHAO Wen-ji, YAN Xing, <i>et al.</i> (3741)
Particle Emission Characteristics of Diesel Bus Fueled with Bio-diesel .....	LOU Di-ming, CHEN Feng, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (3749)
Characteristics of δ <sup>18</sup> O in Precipitation and Water Vapor Sources in Lanzhou City and Its Surrounding Area .....	CHEN Fen-li, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (3755)
Characteristics and Sources of Soluble Ions in Aerosols from Glacier No. 1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan Mountains, China .....	YUE Xiao-ying, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun, <i>et al.</i> (3764)
Mechanism and Performance of Styrene Oxidation by O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, YE Qi-hong, <i>et al.</i> (3772)
Sulfur Isotopic Signatures in Leaves of <i>Pinus massoniana</i> Lamb. and Source Apportionment .....	GUAN Hui, XIAO Hua-yun, ZHU Ren-guo, <i>et al.</i> (3777)
Comparisons of Sulfur Contents and Isotopes Between Mosses and Surface Soils in Jiangxi Province .....	LI Nan, XIAO Hua-yun, CHEN Yong-zhong, <i>et al.</i> (3782)
Research on Spatial Characteristic of Non-point Source Pollution in Liaohe River Basin .....	WANG Xue-lei, CAI Ming-yong, ZHONG Bu-qing, <i>et al.</i> (3788)
Spatial and Temporal Variations of Hydrological Characteristic on the Landscape Zone Scale in Alpine Cold Region .....	YANG Yong-gang, HU Jin-fei, XIAO Hong-lang, <i>et al.</i> (3797)
Distribution of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of Jinpu Bay .....	YOU Li-li, ZONG Hai-bo, ZHANG Shu-fang, <i>et al.</i> (3804)
Effects of Drying-Rewetting Alternation on Urease Activity in Chongming East Intertidal Flat; Results of a Simulation Study .....	HAN Jian-gang, CAO Xue (3810)
Characterization of Microbial Activities in Marine Mudflat Sediment Using FDA Hydrolase Analysis .....	LIU Ye, ZOU Li, LIU Lu, <i>et al.</i> (3818)
Analysis of Ecological Risk and the Content Situation of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments from Northeast China River Basin .....	NIE Hai-feng, CHENG Hang-xin, ZHAO Chuan-dong, <i>et al.</i> (3825)
Residues and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments and Marine Organisms from Dapeng Bay, Shenzhen .....	SUN Run-xia, KE Chang-liang, GU Yang-guang, <i>et al.</i> (3832)
Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using Two Mathematical Models for Runoff of the Shanghai Elevated Inner Highway, China .....	BIAN Lu, LI Tian, HOU Juan (3840)
Biomagnification of Heavy Metals in the Aquatic Food Chain in Daning River of the Three Gorges Reservoir During Initial Impoundment .....	YU Yang, WANG Yu-chun, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3847)
Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Chlorophyll-a and Their Correlation Analysis in a Small Enclosed Lake .....	LI Fei-peng, ZHANG Hai-ping, CHEN Ling (3854)
Experiment and Model Simulation of Self-Purification Capacity of Nitrogen and Phosphorus in Lake Taihu .....	HAN Tao, ZHAI Shu-hua, HU Wei-ping, <i>et al.</i> (3862)
Simulation Research on the Release of Internal Nutrients Affected by Different Dredging Methods in Lake .....	CHEN Chao, ZHONG Ji-cheng, FAN Cheng-xin, <i>et al.</i> (3872)
Research of Urban Eutrophic Water Repair by Water/Sediment Biological Bases .....	ZHOU Hui-hua, SONG Xiao-guang, WU Ge, <i>et al.</i> (3879)
Effects of Regulatory Agent on the Heavy Metal Stability in Tidal Sediments .....	OU Feng-zhuang, SUN Guo-ping, XU Mei-ying (3888)
Impact of Regional Water Chemistry on the Phosphorus Isothermal Adsorption of the Sediments in Three Subsidence Waters of the Huainan Mine Areas .....	YI Qi-tao, SUN Peng-fei, XIE Kai, <i>et al.</i> (3894)
Adsorption Characteristics of f2 Bacteriophages by Four Substrates in Constructed Wetland .....	CHEN Di, ZHENG Xiang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3904)
Adsorption Characteristics of the Antibiotic Sulfanilamide onto Rice Husk Ash .....	Ji Ying-xue, WANG Feng-he, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (3912)
Study on the Stability Variation Mechanism of Humic Acid Water Solution After Radiated by the UV Light .....	WANG Wen-dong, ZHOU Li-chuan, DING Zhen-zhen, <i>et al.</i> (3921)
Comparison of As Removal Performance by Graphene/Iron-Based Material .....	Chaomuerlege, FENG Liu, HUO Yan-xia (3927)
Studies on the Dispersion and Deposition Behavior of Nano-TiO <sub>2</sub> in Aquatic System .....	CHEN Jun-yuan, FANG Jin-feng, WEI Xiu-zhen (3933)
Effect of the Interaction of Microorganisms and Iron Oxides on Arsenic Releasing into Groundwater in Chinese Loess .....	XIE Yun-yun, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (3940)
Surface Modification of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Membrane by Using the Zwitterionic Substance .....	ZHOU Gui-hua, XIAO Feng, XIAO Ping, <i>et al.</i> (3945)
Estimate the Abatement Rate of Septic Tank Sewage Outfall Soil on Nitrogen Pollutants of Typical Farmer Household Sewage .....	ZHOU Feng, WANG Wen-lin, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (3954)
Wastewater Pollution Characteristics from Typical Intensive Pig Farms in the Pearl River Delta and Its Ecological Risk Assessment .....	LI Wen-ying, PENG Zhi-ping, YU Jun-hong, <i>et al.</i> (3963)
Effects of Sludge Compost Used as Lawn Medium on Lawn Growth and Soil and Water Environment .....	JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, CHEN Ruo-xia, <i>et al.</i> (3969)
Influencing Factors of Floc Size Distribution and Fractal Dimension of Activated Sludge .....	LI Zhen-liang, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li, <i>et al.</i> (3975)
Influence of Different Recovery Methods on the Activity of Nitrification Granular Sludge .....	GUO Xiu-li, GAO Da-wen, LU Jian-cong (3981)
Study on Hydrogen Autotrophic Denitrification of Bio-ceramic Reactor .....	CHEN Dan, WANG Hong-yu, SONG Min, <i>et al.</i> (3986)
Studies on Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow .....	YAN Jun-xia, LI Jun-jian, LI Hong-jian, <i>et al.</i> (3992)
Modeling of CO <sub>2</sub> Fluxes at Cropland by Using SIB3 Model .....	ZHANG Geng-jun, LU Li-xin, JIANG Ling-mei, <i>et al.</i> (4000)
Effects of the Different Land Use on Soil Labile Organic Matter and Carbon Management Index in Junyun Mountain .....	XU Peng, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (4009)
Heavy Metal Content in Street Dust and Environmental Risk Assessment of Agricultural City: A Case Study of Xuchang City .....	YAN Hui, CHEN Jie, XIAO Jun (4017)
Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Road Dust from Suzhou, Wuxi and Nantong .....	SHI Shuang-xin, DONG Liang, LI Ling-ling, <i>et al.</i> (4024)
Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Abandoned Vehicles Dismantling Area Soil .....	WU Yan-yu, HU Xiao-ying, HONG Hong-jia, <i>et al.</i> (4031)
Stabilization and Long-term Effect of Chromium Contaminated Soil .....	WANG Jing, LUO Qi-shi, ZHANG Chang-bo, <i>et al.</i> (4036)
Leaching Characteristics of Sulfadiazine and Sulfamethoxazole in Soil Column .....	LI Man, CHEN Wei-ping, WEI Fu-xiang, <i>et al.</i> (4042)
Transport Behaviors of Metal Oxide Nanomaterials in Various Soils .....	FANG Jing, YU Bo-yang (4050)
Fractal Characteristics of Capillary Finger Flow for NAPLs Infiltrated in Porous Media .....	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4058)
Allelopathic Potential of <i>Phyllostachys edulis</i> on Two Dominant Tree Species of Evergreen Broad-leaved Forest in Its Invasive Process .....	BAI Shang-bin, ZHOU Guo-mo, WANG Yi-xiang, <i>et al.</i> (4066)
Preliminary Studies on the Occurrence of Antibiotic Resistance Genes in Typical Aquaculture Area of the Pearl River Estuary .....	LIANG Xi-mei, NIE Xiang-ping, SHI Zhen (4073)
Concentrations and Safety Evaluation of Heavy Metals in Aquatic Products of Yancheng, Jiangsu Province .....	LIU Yang, FU Qiang, GAO Jun, <i>et al.</i> (4081)
Effects of Cu <sup>2+</sup> Stress on DNA Polymorphism of Genome in Foxtail Millet of Different Genotypes .....	ZHANG Yi-xian, FU Ya-ping, XIAO Zhi-hua, <i>et al.</i> (4090)
Research on Soil Bacteria Under the Impact of Sealed CO <sub>2</sub> Leakage by High-throughput Sequencing Technology .....	TIAN Di, MA Xin, LI Yu-e, <i>et al.</i> (4096)
Microeukaryotic Biodiversity in the Waste Ore Samples Surrounding an Acid Mine Drainage Lake .....	LI Si-yuan, HAO Chun-bo, WANG Li-hua, <i>et al.</i> (4105)
Characteristics and Functional Protein Analysis of an Effective Decabromodiphenyl Ether-Degrading Strain .....	CHANG Jing-jing, YIN Hua, QIN Hua-ming, <i>et al.</i> (4112)
Effect of Selenium on the Uptake and Translocation of Manganese, Iron, Phosphorus and Selenium in Rice ( <i>Oryza sativa</i> L.) .....	HU Ying, HUANG Yi-zong, HUANG Yan-chao, <i>et al.</i> (4119)
Effect of Exogenous Iron on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium, and Physiological Characterization in Different Varieties of Tomato .....	LIU Jun, ZHOU Kun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4126)
Analysis of Control Policy for Persistent Toxic Substances from Electronic Wastes in China .....	LI Li, LÜ Yong-long, WANG Tie-yu (4132)

# 《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 汤鸿霄 陈吉宁 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)

2013年10月15日 34卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 10 Oct. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行