

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第5期

Vol.34 No.5

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

基于过氧化物的消毒技术研究进展	习海玲, 赵三平, 周文 (1645)
环境损害评估: 国际制度及对中国的启示	张红振, 曹东, 於方, 王金南, 齐霖, 贾倩, 张天柱, 骆永明 (1653)
不同国家基于健康风险的土壤环境基准比较研究与启示	徐猛, 颜增光, 贺萌萌, 张超艳, 侯红, 李发生 (1667)
蚯蚓堆肥及蝇蛆生物转化技术在有机废弃物处理应用中的研究进展	张志剑, 刘萌, 朱军 (1679)
基于生态分区的我国湖泊营养盐控制目标研究	刁晓君, 席北斗, 何连生, 邓祥征, 吴锋, 王鹏腾 (1687)
我国东北地区地表水酸化现状	徐光仪, 康荣华, 罗遥, 段雷 (1695)
西安市对渭河水质的影响分析	于婕, 李怀恩 (1700)
极端干旱水文年(2011年)夏季珠江口溶解氧的分布特征及影响因素研究	叶丰, 黄小平, 施震, 刘庆霞 (1707)
应用相平衡分配法建立湘江衡阳段沉积物重金属质量基准	韩超南, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 曹伟 (1715)
长江口海域底栖生态环境质量评价——AMBI和M-AMBI法	蔡文倩, 孟伟, 刘录三, 朱延忠, 周娟 (1725)
温州城市降雨径流中BOD ₅ 和COD污染特征及其初始冲刷效应	王骏, 毕春娟, 陈振楼, 周栋 (1735)
影响悬浮颗粒物吸收系数测量的相关因素研究	余小龙, 沈芳, 张晋芳 (1745)
香溪河库湾春季pCO ₂ 与浮游植物生物量的关系	袁希功, 黄文敏, 毕永红, 胡征宇, 赵玮, 朱孔贤 (1754)
紊流脉动强度对藻类生长及水环境的影响研究	雷雨, 龙天渝, 伞磊, 安强, 朱芳 (1761)
高铁酸钾对水中藻类及其次生臭味污染物二甲基三硫醚同步去除研究	马晓雁, 张泽华, 王红宇, 胡仕斐, 李青松 (1767)
纳米Fe ₃ O ₄ -H ₂ O ₂ 非均相Fenton反应催化氧化邻苯二酚	何洁, 杨晓芳, 张伟军, 王东升 (1773)
水中茶普生的紫外光降解机制及其产物毒性研究	马杜娟, 刘国光, 吕文英, 姚锐, 周丽华, 谢成屏 (1782)
酸活化赤泥催化臭氧氧化降解水中硝基苯的效能研究	康雅凝, 李华楠, 徐冰冰, 齐飞, 赵伦 (1790)
镉污染应急处置含镉絮体稳定性实验研究	柳玉荣, 魏清伟, 杨仁斌, 许振成, 曾东 (1797)
基于光学在线监测及形态学研究的絮凝体强度分析方法	金鹏康, 冯永宁, 王宝宝, 王晓昌 (1802)
不同电子供体下三氯苯酚的还原脱氯机制研究	万金泉, 胡梦蝶, 马邕文, 黄明智 (1808)
壳聚糖季铵盐磁性颗粒的制备及其对甲基橙的吸附效果	张聪璐, 胡筱敏, 英诗颖, 王芳 (1815)
城市污水二级出水超滤膜污染与膜特性的研究	孟晓荣, 张海珍, 王磊, 王旭东, 赵亮 (1822)
倒置A ² /O-MBR处理城市污水的中试研究	张健君, 邹高龙, 杨淑芳, 丁星, 王莉, 毛乾庄, 杨丹 (1828)
不同电子供体的硫自养反硝化脱氮实验研究	袁莹, 周伟丽, 王晖, 何圣兵 (1835)
短程同步硝化反硝化过程的脱氮与N ₂ O释放特性	梁小玲, 李平, 吴锦华, 王向德 (1845)
基于固相萃取的水中多种有毒有害有机污染物富集方法优化	张明全, 李锋民, 吴乾元, 胡洪营 (1851)
多环麝香污染胁迫对蚯蚓特异性蛋白基因表达的影响	陈春, 刘潇威, 郑顺安, 周启星, 李松 (1857)
浙江省制药行业典型挥发性有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评价	徐志荣, 王浙明, 许明珠, 何华飞 (1864)
苯系物光催化开环降解产物低级醛类的健康效应	赵伟荣, 廖求文, 杨亚楠, 戴九松 (1871)
四川妇女血清中多溴联苯醚的浓度水平与组成特征	邵敏, 陈永亨, 李晓宇 (1877)
咪唑类离子液体毒性的QSAR/QSPR研究	赵继红, 赵永升, 张宏忠, 张香平 (1882)
宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征	樊新刚, 米文宝, 马振宁, 王婷玉 (1887)
内蒙古包头白云鄂博矿区及尾矿区周围土壤稀土污染现状和分布特征	郭伟, 付瑞英, 赵仁鑫, 赵文静, 郭江源, 张君 (1895)
福建省重点城市路面尘负荷及化学组成研究	郑桢, 杨冰玉, 吴水平, 王新红, 陈晓秋 (1901)
重金属污染场地电阻率法探测数值模拟及应用研究	王玉玲, 能昌信, 王彦文, 董路 (1908)
丛枝菌根真菌对稀土尾矿中大豆生长和稀土元素吸收的影响	郭伟, 赵仁鑫, 赵文静, 付瑞英, 郭江源, 张君 (1915)
海洋细菌N3对几种赤潮藻的溶藻效应	史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 胡维安, 田梓杨, 戴明 (1922)
1株分离自煤矿废水的铁硫氧化细菌LY01的鉴定及其氧化特性研究	刘玉娇, 杨新萍, 王世梅, 梁银 (1930)
1株苯并[a]芘高效降解菌的筛选与降解特性	蔡瀚, 尹华, 叶锦韶, 常晶晶, 彭辉, 张娜, 何宝燕 (1937)
2,2',4,4'-四溴联苯醚的好氧微生物降解	张姝, Giulio Franco, 李晓豹, 卢晓霞, 侯珍, 杨君君 (1945)
养猪废水培养微生物絮凝剂产生菌群B-737及发酵特性	裴瑞林, 信欣, 张雪乔, 周迎芹, 姚力, 羊依金 (1951)
1997~2011年北京市空气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析	陈圆圆, 田贺忠, 杨懂艳, 邹本东, 鹿海峰, 林安国 (1958)
黄山降水酸度及电导率特征分析	石春娥, 邓学良, 吴必文, 洪杰, 张苏, 杨元建 (1964)
夏季黄山不同高度大气气溶胶水溶性离子特征分析	文彬, 银燕, 秦彦硕, 陈魁 (1973)
广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征	谭吉华, 赵金平, 段菁春, 马永亮, 贺克斌, 杨复沫 (1982)
福建省三大城市冬季PM _{2.5} 中有机碳和元素碳的污染特征	陈衍婷, 陈进生, 胡恭任, 徐玲玲, 尹丽倩, 张福旺 (1988)
上海市含碳大气颗粒物的粒径分布	袁宁, 刘卫, 赵修良, 王广华, 姚剑, 曾友石, 刘遂庆 (1995)
上海市浦东城区二次气溶胶生成的估算	崔虎雄, 吴迺名, 段玉森, 伏晴艳, 张懿华, 王东方, 王茜 (2003)
沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义	钱鹏, 郑祥民, 周立旻 (2010)
厦门秋季近郊地面CO ₂ 浓度变化特征研究	李燕丽, 穆超, 邓君俊, 赵淑惠, 杜可 (2018)
GC-MS和GC-ECD同时在线观测本底大气中的HCFC-142b	郭立峰, 姚波, 周凌晔, 李培昌, 许林 (2025)
城市居家环境空气真菌群落结构特征研究	方治国, 欧阳志云, 刘芃, 孙力, 王小勇 (2031)
城市污水处理厂挥发性芳香烃的气味指纹及定量评价研究	郭薇, 王伯光, 唐小东, 刘舒乐, 何洁, 张春林 (2038)
内河多点分散码头大气污染叠加影响特征	刘建昌, 李兴华, 徐洪磊, 程金香, 王忠岱, 肖杨 (2044)
义马煤中铅的热稳定性及转化行为研究	刘瑞卿, 王钧伟 (2051)
基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究	谢元博, 李巍 (2057)
《环境科学》征订启事(1652) 《环境科学》征稿简则(1789) 信息(1807, 1821, 1881, 1987) 专辑征稿通知(1863)	

沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义

钱鹏^{1,2}, 郑祥民³, 周立旻³

(1. 南通大学地理科学学院, 南通 226007; 2. 南通大学地理工程技术研究所, 南通 226007; 3. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 采集了2009年10月~2010年10月上海市普陀、闵行、青浦这3个区的大气颗粒物(包括沙尘暴期间), 并在南通、郑州、西安、北京等沙尘暴输沙沿途城市追踪采集春季大气颗粒物样品, 运用XRF及ICP-MS分别测试了样品的主量及稀土元素含量。闵行、普陀、青浦区这3个区的大气颗粒物的化学组成非常相似, 表明样品物源相似。将主量元素数据UCC标准化显示, 沙尘暴样品主量元素含量较非沙尘暴样品更接近于黄土, 可能主要来源于西北内陆地区, 部分为局地源物质。北方各城市沙尘暴样品的稀土元素配分模式一致, 且与黄土相似, 说明沙尘暴样品物质来源与黄土接近, 以壳源物质为主, 说明非沙尘暴样品与沙尘暴样品和黄土物质来源不同, 有非壳源物质的混合。

关键词: 地球化学特征; 沙尘暴; 大气颗粒物; 物源示踪; 上海

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)05-2010-08

Geochemical Characteristics and Sources of Atmospheric Particulates in Shanghai During Dust Storm Event

QIAN Peng^{1,2}, ZHENG Xiang-min³, ZHOU Li-min³

(1. School of Geography, Nantong University, Nantong 226007, China; 2. Engineering Institute of Geography, Nantong University, Nantong 226007, China; 3. Key Laboratory of Geo-information Science of Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Atmospheric particulates were sampled from three sampling sites of Putuo, Minhang and Qingpu Districts in Shanghai between Oct. , 2009 and Oct. , 2010. In addition, particulate samples were also collected from Nantong, Zhengzhou, Xi'an, and Beijing city where dust storm dust transported along during spring. Element compositions of atmospheric particulates were determined by XRF and ICP-MS. The concentrations of major and trace elements in atmospheric particulates from Putuo, Minhang and Qingpu Districts were similar, indicating their common source. The UCC standardization distribution map showed that the major element composition of dust storm samples was similar to that of loess in northwestern China, indicating that the dust storm dust was mainly derived from Western desert and partly from local area. The REE partition patterns of dust storm dusts among different cities along dust transport route were similar to each other, as well as to those of northern loess, which indicates that the dust storm samples may have the same material source as loess, which mainly comes from crust material. However, the REE partition patterns of non-dust storm particulates were different among the studied cities, and different from those of loess, which suggests that the non-dust storm samples may be mixed with non-crust source material, which is different from dust storm dust and loess. The major element composition and REE partition pattern are effective indicators for source tracing of dust storm dust.

Key words: geochemical characteristics; dust storm; atmospheric particulate matter; material source; Shanghai

沙尘暴作为一种常见灾害性天气,对大气环境造成的污染早已引起国内外学术界的重视。中国春季是沙尘暴频发期^[1],一般3、4月暴发范围最大。冷锋过境时,源于蒙古或中国西北及内蒙古等地的沙尘可以沿西北路径输送到长江中下游地区,而使大气颗粒物浓度升高^[2]。这与晚更新世冰期阶段干冷气候条件下,强劲的西北风所携带的风尘物质,由西北地区及黄河中下游腹地向东南方向扩散,继而沉降形成风尘黄土地层堆积的现象非常相似^[3]。2010年3月19~22日,我国北方发生了一次罕见的

特大沙尘暴天气,沙尘随气团向东南方向运移,蔓延至长江三角洲地区。据上海市环境监测中心数据显示,当日可吸入颗粒物API指数值为500,达重度污染^[4]。沙尘暴沙尘的进入将对上海地区大气化学平衡和大气颗粒物理化性质产生影响^[5,6],并且沙尘样品中的元素特征值对源区具有较好的示踪效果^[7],但

收稿日期: 2012-08-10; 修订日期: 2012-10-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41202243, 41101001); 上海市科委项目(10DZ0581600, 10DZ1200703)

作者简介: 钱鹏(1977~),男,博士,讲师,主要研究方向为全球变化与环境, E-mail: tempo@ntu.edu.cn

沙尘暴对大气颗粒物地球化学特征具体有何影响,哪些指标能较好地反映沙尘暴沙尘的物质来源?这方面研究目前还较少.本研究对比分析了上海市沙尘暴和非沙尘暴期间大气颗粒物地球化学组成,探寻沙尘暴期间大气颗粒物的来源,探索指示物源的地球化学示踪指标和方法,以期探索沙尘暴沙尘的输沙路径及物质输送提供参考,也为研究长江三角洲地区风尘黄土物质来源提供新的示踪方法.

1 材料与方法

1.1 样品采集

大气颗粒物采样点分别设在上海市普陀区华东师范大学校内、闵行区华东师范大学校内、青浦区香花桥水利技术推广站(如图1),采样高度距地面约2 m,运用撞击式 YLK-1 型3通道大气颗粒物采样器(发明专利号 ZL 201010208349.6)采集大气中的 TSP、PM₁₀、PM_{2.5}样品.连续采集10 d为1个样品,自2009年10月~2010年9月共采集1 a时间.输沙沿途城市 TSP 样品采集分别设在西安市陕西省地震局、郑州市华北水利水电学院、北京市海淀区中国地质大学和南通市南通大学文峰校区,采样高度约15 m,采样频率和上海市样品相同,采样时间为2010年3~5月,主要采集了3月下旬沙尘暴样品.所采沙尘暴和部分黄土样品描述如表1所示.

采样所用滤膜为直径50 mm、孔径0.65 μm的玻璃纤维滤膜.采样前后,将滤膜在干燥皿中密封恒重48 h,用十万分之一分析天平称重,计算获得大气颗粒物含量(μg·m⁻³).

1.2 元素测试

主量元素在华东师范大学资环学院用岛津 XRF-1800X 测试,测试时将活性炭细微粉末以均匀薄层分散于滤膜上,再加入定量分析元素标准溶液,经干燥后作为标准样品^[8].测试时,将滤膜样品垫在CaCO₃垫片之上,放入XRF进样装置测试.样品测试检出限<10⁻⁶,回收率控制在80%~120%之间,加测3个空白样品进行质量控制.

稀土元素测试在华东师范大学河口海岸学国家重点实验室完成.测试时将样品放入聚四氟乙烯消解罐中,经加酸(硝酸-氢氟酸-高氯酸)、放入烘箱加热、定容等步骤后,用德国 Thermo Finnigan MAT 生产的 ELEMENT 2 型 ICP-MS 测试,并用无膜空白、有膜空白样品及 GSD-9 标准沉积物样品进行质量控制.

表1 所采沙尘暴、黄土样品描述

Table 1 Description of the samples

样品号	样品类型	采样地点	样品描述
J35	TSP	上海普陀	沙尘暴样品
J38	TSP	上海闵行	
J41	TSP	上海青浦	
J85	TSP	南通	
J95	TSP	郑州	
J105	TSP	北京	
J115	TSP	西安	
J40	PM ₁₀	上海青浦	
J34	PM ₁₀	上海普陀	
J37	PM ₁₀	上海闵行	
J39	PM _{2.5}	上海青浦	
J33	PM _{2.5}	上海普陀	
J36	PM _{2.5}	上海闵行	
HNSH-190	黄土	南通	黄泥山顶190 cm深处黄土
HNSH-20	黄土	南通	黄泥山顶20 cm深处黄土
THY-L-30	黄土	郑州	桃花峪黄土层
THY-S1-110	黄土	郑州	桃花峪古土壤层
THY-S2-110	黄土	郑州	桃花峪古土壤层
CA-50	黄土	西安	长安区古土壤层
CA-220	黄土	西安	长安区黄土层

2 大气颗粒物元素浓度时空分布特征

2.1 上海市大气颗粒物元素浓度特征

各源区都有独特的元素组合关系,这些组合关系的差异为大气颗粒物源区示踪提供了可能.因此,对比分析沙尘暴与非沙尘暴期间颗粒物中所含元素浓度及浓度比值特征,可判别颗粒物的物质来源.

根据所测上海市闵行、普陀、青浦区大气颗粒物中元素平均含量(mg·kg⁻¹),3个区同一时期元素质量比浓度大小排列顺序及随时间变化曲线均基本一致,表明3个区的大气颗粒物的化学成分非常相似,指示样品物质来源相似.由于图幅较大,文中仅以3个区样品中典型元素的浓度变化曲线图(图2)为例进行说明.

图2中显示,上海市同一地区不同粒径大气颗粒物中所含元素Cu的质量比浓度存在TSP>PM₁₀>PM_{2.5}的规律,样品中其它元素如Zn、Mn、Ni、Cr、Ti、Fe、Na也存在类似规律,说明这些元素富集在粗颗粒中;图2中元素Mg的含量存在PM_{2.5}>PM₁₀>TSP的规律,其它元素如Ca、Si、Al也存在类似规律,说明这些元素富集在细颗粒中.Sr的含量在TSP、PM₁₀、PM_{2.5}中非常相似,Pb与Sr类似,说明Pb与Sr在粗细颗粒中富集程度相当.之所以出现这一现象与元素吸附规律有关,与前人在研究

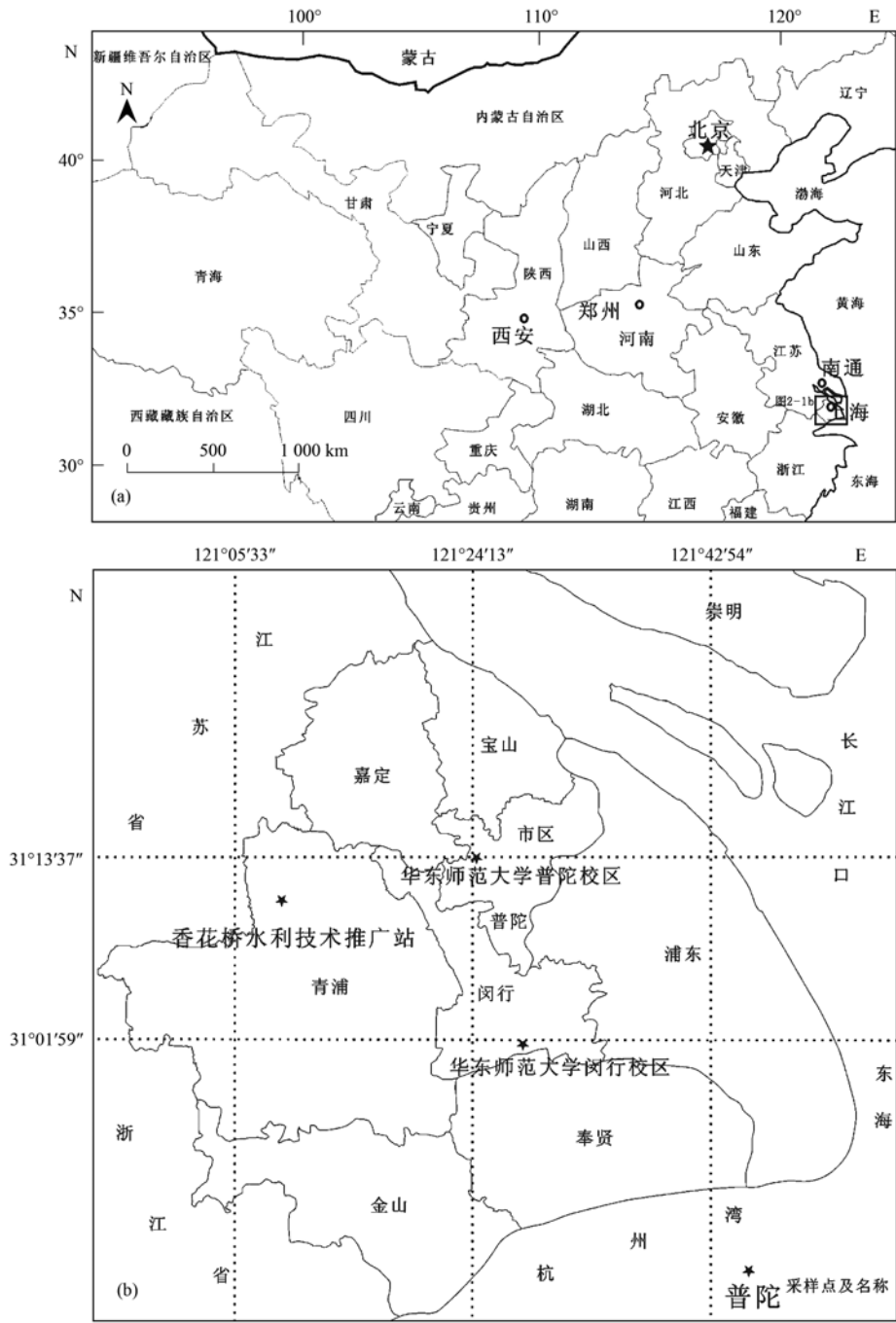


图 1 采样位置示意

Fig. 1 Locations of sampling sites

的重金属元素易吸附于较粗颗粒的大气颗粒物中的结论基本一致^[9,10].

上海市闵行、普陀、青浦区大气颗粒物中元素 Zn、Cu、Pb、Mn、Ni、Cr、Ti、Fe、Na 的含量与颗粒物浓度随时间的变化趋势^[11]基本一致,即秋、冬季和春季沙尘暴期间上海市大气颗粒物浓度增加,这些元素的质量比浓度也相应增加,这说明上海市大气颗粒物浓度受含这些化学元素的气溶胶颗粒控

制. 冬季大气稳定度增加,出现逆温层,局地排放的城市污染无法扩散,导致大气颗粒物浓度和颗粒物中元素浓度增加^[12,13]. 沙尘暴期间,来自西伯利亚的气团携带沙尘向东南方向输送,导致上海市大气颗粒物浓度增加,其运移过程中携带的污染物质,可能是使大气颗粒物中的元素浓度增加的原因之一.

来自地壳的元素 Si、Ca、Mg、Al 含量与颗粒物质量浓度($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)随时间变化趋势相反,即随颗粒

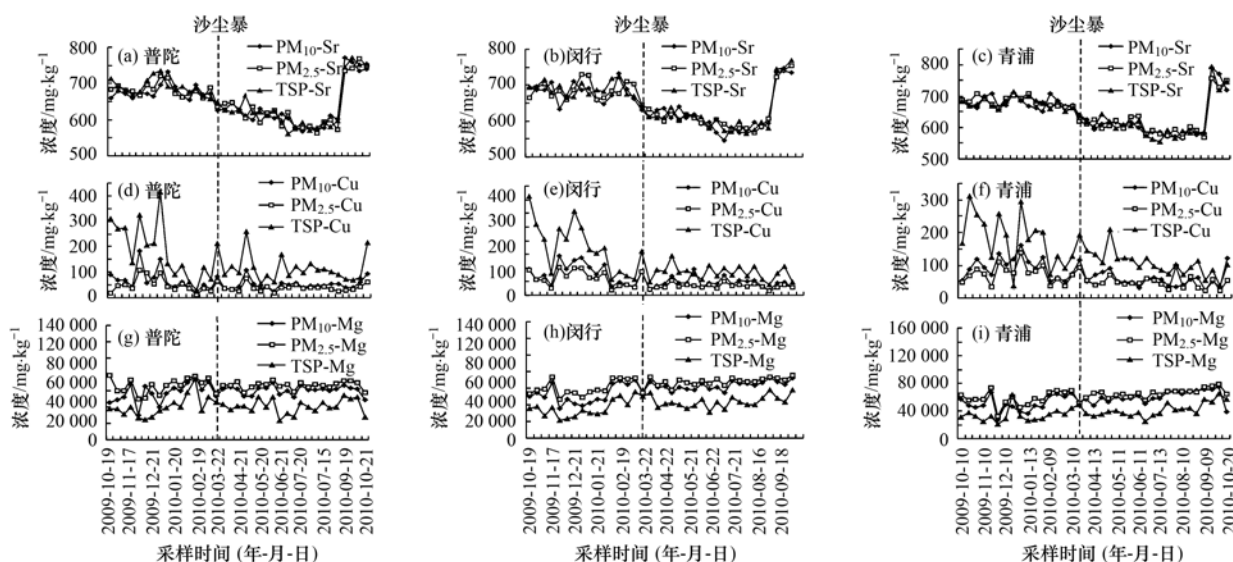


图2 大气颗粒物中元素浓度变化曲线

Fig. 2 Volume concentrations of elements in atmospheric particulate matters

物质质量浓度减少,这些元素的含量呈现总体增加的趋势,这与其中所含其他元素的颗粒物含量减少,而使含 Si、Ca、Mg、Al 的地壳物质含量相对增加有关. 与非沙尘暴沙尘物质组成相比,沙尘暴期间颗粒物中 Si、Mg、Al 含量在 TSP 中增加,在 PM₁₀、PM_{2.5} 中减小;沙尘暴期间颗粒物中 Ca 元素含量在 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 中均减小,这一现象和前人所研究的沙尘暴期间来自北方的含钙矿物在长途运输过程中被分解^[14],致使大气颗粒物质 Ca 元素浓度相对减小基本一致.

沙尘暴还输送有害物质,它不仅危害人体健康,也危害土壤和农作物,并对生态环境造成潜在和长期的影响^[15]. 图 2 中,沙尘暴期间大气颗粒物中所含污染元素 Zn、Cu、Mn、Ni、Cr、Fe 的含量较非沙尘暴时期增加,推测其可能原因是沙尘暴沙尘将输沙沿途污染物质携带到上海地区,沙尘暴时期大气颗粒物中所含易淋失元素 Na、Mg 含量相对增高,不易淋失元素 Si、Al 含量相对减少,这可能与来自北方地区的沙尘风化强度较弱,易淋失元素仍存在于北方沙尘中有关.

2.2 输沙沿途城市大气颗粒物元素浓度特征

经测试,获得输沙沿途城市(北京、西安、郑州、南通)TSP 中元素含量与质量浓度值,并作其随时间变化曲线. 由于图幅较大,本研究选取北京、郑州这 2 个典型地区浓度变化曲线说明,如图 3 所示.

图 3 中,北方城市 TSP 的元素 Pb、Zn、Cu、Sr、

Fe、Cr、Ti、Mn、K、Na 的含量在沙尘暴期间相对较高,这与沙尘暴期间颗粒物浓度增加有关,且这些元素的含量与质量浓度相关性明显,说明输沙沿途城市春季大气颗粒物中主要为含这些元素的无机物质. 这一元素组成与本研究的上海市沙尘暴期间大气颗粒物中元素组成非常相似.

3 大气颗粒物主量元素特征对比分析

3.1 元素比值特征的对比

源区矿物气溶胶经过长距离的输送,中途吸附了大量的人为活动排放的污染元素,虽然其微量元素已发生了很大变化,但同一样来源的物质中地壳元素与 Al 的比值能够保持一定比例关系,常量元素与 Al 比值与源区物质比值接近^[16].

由于化学风化作用,上地壳岩石或者土壤中的 K、Na、Ca、Mg 等元素形成易溶盐类淋失^[17],使这些元素在岩石或土壤中的含量变低,因此风化程度越高,该元素析出越多. 将所测沙尘暴和非沙尘暴样品 Mg/Al 和质量浓度做散点图(图 4). 由图 4 可知,上海市非沙尘暴期间的大气颗粒物浓度越高, Mg/Al 值呈明显($R^2=0.3014$)降低趋势,这是因为上海地区冬季大气颗粒物浓度较高时样品主要来自经过一定程度的脱 Mg 风化过程的壳源物质及人为污染;沙尘暴期间大气颗粒物浓度越高, Mg/Al 值在上海地区明显增加($R^2=0.5901$),这是由于沙尘暴所带来的颗粒物中 Mg 含量较高,这些 Mg 含量高的颗粒物主要为来自远处西北内陆地区的壳源物

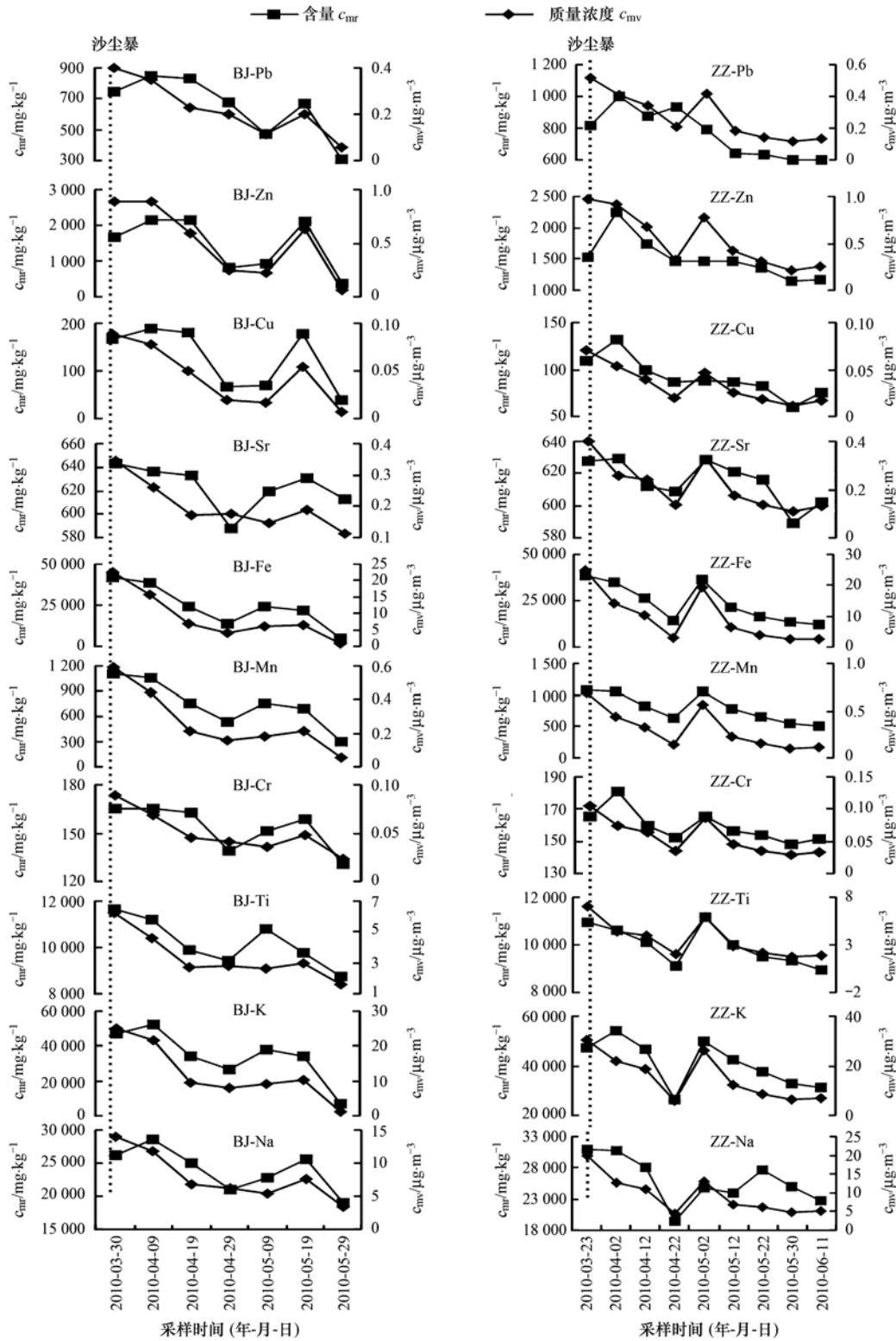


图 3 2010 年春季北京、郑州 TSP 元素浓度变化曲线

Fig. 3 Concentration curve of TSP elements in Beijing and Zhengzhou during spring, 2010

质,它们风化程度比较弱。刘昌岭等^[16]研究我国不同矿物气溶胶源区物质物理化学特征时发现,来自壳源物质的内蒙黄土、民勤沙尘 Mg/Al 值分别为 0.21、0.29,与上海市沙尘暴样品 Mg/Al 值(0.23 ~

0.29)接近;来自人为源污染的抚顺煤灰、呼和浩特煤灰 Mg/Al 值较低,分别为 0.10、0.04,与上海市冬季大气颗粒物浓度较高时样品 Mg/Al 值接近。因此,Mg/Al 比值是大气颗粒物中较好的远源物质

示踪指标. 据分析数据, 样品中 K、Na、Ca 元素与 Al 元素比值未能呈现较好的线性关系, 在本研究中不能作为良好的物源示踪指标, 关于这一问题有待进一步研究.

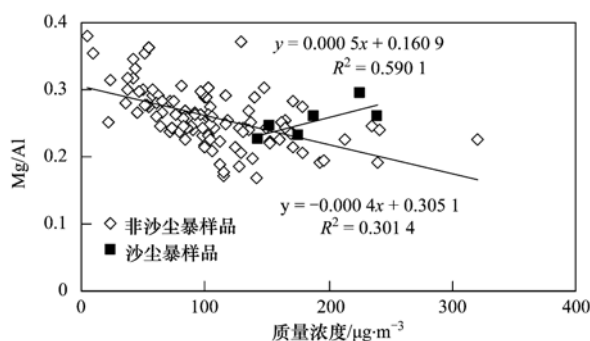


图4 上海市大气颗粒物元素比值-颗粒物浓度散点图

Fig. 4 Scatter diagram of element ratio-mass concentration of atmospheric particulate matters in Shanghai

3.2 UCC 标准化特征对比

徐志伟等^[18]运用了主量元素 UCC 标准化图分析库姆塔格沙漠地表物质来源, 取得了良好效果. 本文选取上海市沙尘暴 (J35、J38、J41)、非沙尘暴期间典型大气颗粒物样品 (J87、J88、J90、J91、J102、J111、J121、J122) 以及黄土样品 (HNSH-20、HNSH-190、CA-50、CA-220、THY-30、THY-110) 的主量元素, 经 Taylor 等^[19]的上陆壳元素平均值 (upper continental crust, UCC) 标准化后作出主量元素 UCC 标准化分布图, 如图 5 所示.

由图 5 可以看出, 上海市地区非沙尘暴、沙尘暴期间大气颗粒物主量元素分布比较相似, 呈富 CaO、MgO, 贫 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 的特征, 所测黄土样品主量元素分布呈现富 CaO、MgO、 SiO_2 , 贫 K_2O 、 Na_2O 的特征, 分布模式与沙尘暴期间大气颗粒物样品相似. 此三者间存在的差异有: 黄土中

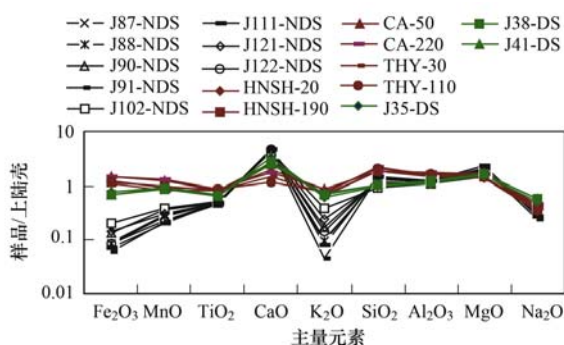


图5 上海市沙尘暴、非沙尘暴样品和黄土主量元素 UCC 标准化分布

Fig. 5 Profile of UCC normalization elements of DS, NDS and Loess samples

Fe_2O_3 、 MnO 、 TiO_2 、 K_2O 、 SiO_2 、 Al_2O_3 含量均高于沙尘样品, 但 CaO 含量低于沙尘样品, MgO 、 Na_2O 和沙尘样品相当; 沙尘暴样品主量元素含量均比非沙尘暴样品更接近于黄土的主量元素含量. 这一现象表明, 与非沙尘暴样品相比, 沙尘暴样品主要物质来源与黄土相似, 可能与黄土物质具有同源性, 即可能来源于西部内陆沙漠, 部分物质来源于局地.

4 大气颗粒物稀土元素示踪

稀土元素作为一组特殊的元素, 不仅在工业、农业和国防方面具有重要的实用价值, 而且其地球化学特征在天体演化、成岩成矿作用的研究中, 根据它们的亏损和富集可以提供其地球化学分异的原因和氧化还原等物理化学条件信息^[20], 起到良好的地球化学指示剂作用, 因而得到了广泛的使用. 特别是在第四纪沉积的研究中, 稀土元素越来越受到重视, 自 60 年代以来, 开展了对黄土中稀土元素的含量、分布和分配特征及其所反映的地质环境研究, 并以此探讨了黄土的物质来源、黄土的成因及其有关的地质问题^[21,22].

Gallet 等^[23]根据洛川黄土-古土壤序列具有与上地壳一致的 REE 配分模式这一特征, 认为 800 ka 以来洛川黄土的源区和沙尘暴路径没有发生变化. 孙继敏^[24]通过对比黄土与粉尘稀土元素组成特征, 探讨了黄土的物质来源.

选择具代表性的沙尘暴、非沙尘暴和黄土样品测试稀土元素含量, 根据所测数据作稀土元素配分模式图 (如图 6). 由图 6 可知, 样品稀土元素组成符合 Ce 富集、Eu 亏损型配分模式, 其中不同地点的沙尘暴颗粒物稀土元素配分模式相似, 且与北方黄土相似; 不同地点的非沙尘暴颗粒物稀土元素配分模式间差异较大, 与沙尘暴及黄土的配分模式差异也较大. 因此, 根据稀土元素配分模式图推断, 沙尘暴颗粒物与北方黄土具有相同物源.

将上述样品稀土元素数据作 Ce-La-Sm 三角图 (图 7), 图 7 中 UCC 为大陆上地壳稀土元素组成^[18,25,26], 位于三角图中心位置. 黄土样品点在三角图中较集中, 且最接近于 UCC 点, Ce 含量略高于 UCC; 沙尘暴样品点在三角图中相对集中, 部分与黄土样品点重叠, 且 Ce 含量较黄土样品点和 UCC 点高; 非沙尘暴样品点在三角图中相对较分散, 且与 UCC 点较远. 稀土元素三角图指示, 沙尘暴样品与黄土 Ce-La-Sm 组成接近于 UCC, 说明沙尘暴样品物质来源与黄土接近以壳源物质为主, 但非沙尘暴

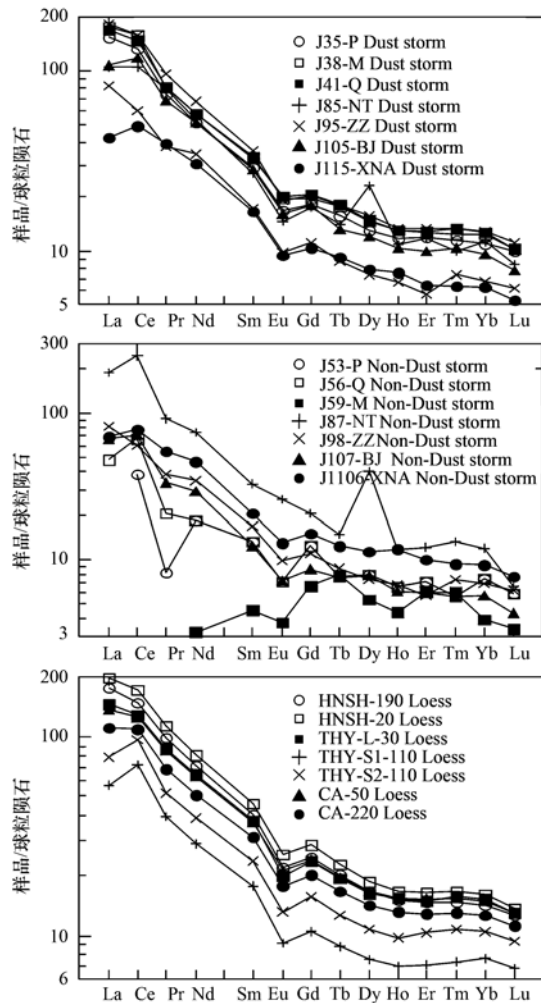


图6 大气颗粒物与黄土稀土元素配分模式

Fig. 6 REE distribution patterns of atmospheric particulate matter and loess

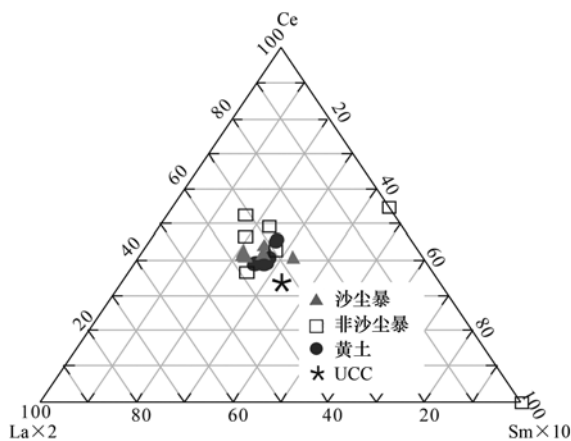


图7 稀土元素 Ce-La-Sm 三角图

Fig. 7 Three-component Ce-La-Sm plot

样品与沙尘暴样品、黄土、UCC 的 Ce-La-Sm 组成差别较大,说明非沙尘暴样品与沙尘暴样品、黄土物质来源不同,有非壳源物质的混合。

5 结论

(1) 所测上海市闵行、普陀、青浦区这 3 个区同一时期元素质量比浓度大小排列顺序及随时间变化曲线变化规律均基本一致,表明这 3 个区的大气颗粒物的元素组成相似,具有相似的物质来源。

(2) 主量元素 UCC 标准化分布显示,沙尘暴样品主量元素含量较非沙尘暴样品更接近于黄土,表明沙尘暴沙尘主要物质来源与黄土相似,可能主要来源于西北内陆地区,部分物质来自局地源。

(3) 输沙沿途各城市的沙尘暴样品稀土元素配分模式相似,且与北方黄土相似,这说明沙尘暴样品物质来源与黄土接近,以壳源物质为主。但不同地点的非沙尘暴颗粒物稀土元素配分模式差异较大,与沙尘暴及黄土的配分模式差异也较大,说明非沙尘暴样品与沙尘暴样品、黄土物质来源不同,有非壳源物质的混合。

(4) 主量元素组成(如 Mg/Al 比值)及稀土元素配分模式可作为沙尘暴沙生物源示踪方法或指标。

参考文献:

- [1] 王式功,董光荣,陈惠忠,等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349-356.
- [2] 师育新,戴雪荣,宋之光,等. 上海春季沙尘与非沙尘天气大气颗粒物粒度组成与矿物成分[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 780-785.
- [3] 郑祥民. 长江三角洲及海域风尘沉积与环境[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1999. 102-108.
- [4] 上海市环境监测中心网站[EB/OL]. <http://www.sem.gov.cn/home/index.aspx>.
- [5] Cwintny D M, Young M A, Grassian V H. Chemistry and photochemistry of mineral dust aerosol[J]. Annual Review of Physical Chemistry, 2008, 59(1): 27-51.
- [6] Ma Q X, Liu Y C, Liu C, et al. A case study of Asian dust storm particles: Chemical composition, reactivity to SO₂ and hygroscopic properties[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(1): 62-71.
- [7] Zhang X Y, Arimoto R, An Z S. Dust emission from Chinese desert sources linked to variations in atmospheric circulation[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(D23): 28041-28047.
- [8] 但德忠. 环境分析化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009. 1-429.
- [9] Hanesch M, Scholger R, Rey D. Mapping dust distribution around an industrial site by measuring magnetic parameters of tree leaves[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(36): 5125-5133.
- [10] Moreno E, Sagnotti L, Dinarès-Turell J, et al. Biomonitoring of

- traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves[J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(21): 2967-2977.
- [11] Qian P, Zhou L M, Zheng X M. Space-time distribution of atmospheric particulate matters near the ground and its effect factors in Shanghai [A]. In: Wu Y J (Ed.). *Procedia Environmental Sciences*[C]. Nanchang: ESIAT, 2011. 1370-1375.
- [12] 徐祥德, 汤绪. 城市化环境气象学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2002. 175-195.
- [13] 余晔, 夏敦胜, 陈雷华, 等. 兰州市 PM₁₀ 污染变化特征及其成因分析[J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 22-28.
- [14] Kanayama S, Yabuki S, Yanagisasa F, *et al.* The chemical and strontium isotope composition of atmospheric aerosols over Japan; the contribution of long-range-transported Asian dust (Kosa) [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(33): 5159-5175.
- [15] 张宁, 张武平, 张萌. 沙尘暴降尘对甘肃大气环境背景值的影响研究[J]. *环境科学研究*, 2005, **18**(5): 6-10.
- [16] 刘昌岭, 张经, 刘素美. 我国不同矿物气溶胶源区物质的物理化学特征[J]. *环境科学*, 2002, **23**(4): 28-32.
- [17] 宋春青, 邱维理, 张振春. 地质学基础[M]. (第四版). 北京: 高等教育出版社, 2006. 111.
- [18] 徐志伟, 鹿化煜, 赵存法, 等. 库姆塔格沙漠地表物质组成、来源和风化过程[J]. *地理学报*, 2010, **65**(1): 53-64.
- [19] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust[J]. *Reviews of Geophysics*, 1995, **33**(2): 241-265.
- [20] 郑海飞, 郝瑞霞. 普通地球化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2007. 1-258.
- [21] 文启忠. 中国黄土地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 1-285.
- [22] 曹军骥, 张小曳, 王丹, 等. 晚新生代风尘沉积的稀土元素地球化学特征及其古气候意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, **21**(1): 97-101.
- [23] Gallet S, Jahn B M, Torii M, *et al.* Geochemical characterization of the Luochuan Loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications[J]. *Chemical Geology*, 1996, **133**(1-4): 67-88.
- [24] 孙继敏. 中国黄土的物质来源及其粉尘的产生机制与搬运过程[J]. *第四纪研究*, 2004, **24**(2): 175-183.
- [25] Kemp A I S, Hawkesworth C J. Granitic perspectives on the generation and secular evolution of the continental crust[A]. In: Holland H, Turekian K (Eds.). *Treatise on Geochemistry*[M]. Amsterdam: Elsevier, 2004. 349-410.
- [26] Moreno T, Querol X, Alastuey A, *et al.* Lanthanoid geochemistry of urban atmospheric particulate matter [J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, **42**(17): 6502-6507.

CONTENTS

Advances in Peroxide-Based Decontaminating Technologies	XI Hai-ling, ZHAO San-ping, ZHOU Wen (1645)
Environmental Damage Assessment; International Regulations and Revelation to China	ZHANG Hong-zhen, CAO Dong, YU Fang, <i>et al.</i> (1653)
Human Health Risk-Based Environmental Criteria for Soil: A Comparative Study Between Countries and Implication for China	XU Meng, YAN Zeng-guang, HE Meng-meng, <i>et al.</i> (1667)
Organic Waste Treatment by Earthworm Vermicomposting and Larvae Bioconversion: Review and Perspective	ZHANG Zhi-jian, LIU Meng, ZHU Jun (1679)
Strategies of Nutrients Control in Lakes Based on Ecoregions of Lakes in China	DIAO Xiao-jun, XI Bei-dou, HE Lian-sheng, <i>et al.</i> (1687)
Current Status of Surface Water Acidification in Northeast China	XU Guang-yi, KANG Rong-hua, LUO Yao, <i>et al.</i> (1695)
Impact Analysis of Xi'an to the Water Quality of Weihe River	YU Jie, LI Huai-en (1700)
Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Its Affecting Factors in the Pearl River Estuary During the Summer of the Extremely Drought Hydrological Year 2011	YE Feng, HUANG Xiao-ping, SHI Zhen, <i>et al.</i> (1707)
Application of Equilibrium Partitioning Approach to Establish Sediment Quality Criteria for Heavy Metals in Hengyang Section of Xiangjiang River	HAN Chao-nan, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (1715)
Assessing the Benthic Ecological Status in Yangtze River Estuary Using AMBI and M-AMBI	CAI Wen-qian, MENG Wei, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (1725)
Pollution Load and the First Flush Effect of BOD ₅ and COD in Urban Runoff of Wenzhou City	WANG Jun, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1735)
Influencing Factors in Measuring Absorption Coefficient of Suspended Particulate Matters	YU Xiao-long, SHEN Fang, ZHANG Jin-fang (1745)
Relationship Between pCO ₂ and Algal Biomass in Xiangxi Bay in Spring	YUAN Xi-gong, HUANG Wen-min, BI Yong-hong, <i>et al.</i> (1754)
Effects of Turbulent Fluctuation Intensity on the Growth of Algae and Water Environment	LEI Yu, LONG Tian-yu, SAN Lei, <i>et al.</i> (1761)
Simultaneous Removal of Algae and Its Odorous Metabolite Dimethyl Trisulfide in Water by Potassium Ferrate	MA Xiao-yan, ZHANG Ze-hua, WANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1767)
Catalyzed Oxidation of Catechol by the Heterogeneous Fenton-like Reaction of Nano-Fe ₃ O ₄ -H ₂ O ₂ System	HE Jie, YANG Xiao-fang, ZHANG Wei-jun, <i>et al.</i> (1773)
Photodegradation of Naproxen in Aqueous Systems by UV Irradiation: Mechanism and Toxicity of Photolysis Products	MA Du-juan, LIU Guo-guang, LÜ Wen-ying, <i>et al.</i> (1782)
Catalytic Ozonation of Nitrobenzene in Water by Acidification-activated Red Mud	KANG Ya-ning, LI Hua-nan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1790)
Experimental Studies on Stability of Floes from Cadmium Pollution Emergency Treatment	LIU Wang-rong, GUO Qing-wei, YANG Ren-bin, <i>et al.</i> (1797)
Evaluation of Floc Strength Based on Morphological Analysis and Optical Online Monitoring	JIN Peng-kang, FENG Yong-ning, WANG Bao-bao, <i>et al.</i> (1802)
Mechanism of Reductive Dechlorination of Trichlorophenol with Different Electron Donors	WAN Jin-quan, HU Meng-die, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (1808)
Preparation of Magnetic Quaternary Chitosan Salt and Its Adsorption of Methyl Orange from Water	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, YING Shi-ying, <i>et al.</i> (1815)
Membrane Fouling by Secondary Effluent of Urban Sewage and the Membrane Properties	MENG Xiao-rong, ZHANG Hai-zhen, WANG Lei, <i>et al.</i> (1822)
Treatment of Municipal Wastewater Using the Combined Reversed A ² /O-MBR Process	ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, YANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1828)
Study on Sulfur-based Autotrophic Denitrification with Different Electron Donors	YUAN Ying, ZHOU Wei-li, WANG Hui, <i>et al.</i> (1835)
Nitrogen Removal and N ₂ O Emission Characteristics During the Shortcut Simultaneous Nitrification and Denitrification Process	LIANG Xiao-ling, LI Ping, WU Jin-hua, <i>et al.</i> (1845)
Optimization of Solid-Phase Extraction for Enrichment of Toxic Organic Compounds in Water Samples	ZHANG Ming-quan, LI Feng-min, WU Qian-yuan, <i>et al.</i> (1851)
Polycyclic Musks Exposure Affects Gene Expression of Specific Proteins in Earthworm <i>Eisenia fetida</i>	CHEN Chun, LIU Xiao-wei, ZHENG Shun-an, <i>et al.</i> (1857)
Health Risk Assessment and Ozone Formation Potentials of Volatile Organic Compounds from Pharmaceutical Industry in Zhejiang Province	XU Zhi-rong, WANG Zhe-ming, XU Ming-zhu, <i>et al.</i> (1864)
Health Effect of Volatile Aldehyde Compounds in Photocatalytic Oxidation of Aromatics Compounds	ZHAO Wei-rong, LIAO Qiu-wen, YANG Ya-nan, <i>et al.</i> (1871)
Compositions and Distribution Characteristics of Polybrominated Diphenyl Ethers in Serum of Women from Sichuan Province	SHAO Min, CHEN Yong-heng, LI Xiao-yu (1877)
QSAR/QSPR for Predicting the Toxicity of Imidazolium Ionic Liquids	ZHAO Ji-hong, ZHAO Yong-sheng, ZHANG Hong-zhong, <i>et al.</i> (1882)
Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Metal Concentration of Surface Soil in Hebin Industrial Park in Shizuishan Northwest China	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning, <i>et al.</i> (1887)
Distribution Characteristic and Current Situation of Soil Rare Earth Contamination in the Bayan Obo Mining Area and Baotou Tailing Reservoir in Inner Mongolia	GUO Wei, FU Rui-ying, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1895)
Road Dust Loading and Chemical Composition at Major Cities in Fujian Province	ZHENG An, YANG Bing-yu, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1901)
Numerical Simulation and Application of Electrical Resistivity Survey in Heavy Metal Contaminated Sites	WANG Yu-ling, NAI Chang-xin, WANG Yan-wen, <i>et al.</i> (1908)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Rare Earth Elements Uptake of Soybean Grown in Rare Earth Mine Tailings	GUO Wei, ZHAO Ren-xin, ZHAO Wen-jing, <i>et al.</i> (1915)
Algicidal Activity Against Red-tide Algae by Marine Bacterial Strain N3 Isolated from a HABs Area, Southern China	SHI Rong-jun, HUANG Hong-hui, QI Zhan-hui, <i>et al.</i> (1922)
Isolation, Identification and Oxidizing Characterization of an Iron-Sulfur Oxidizing Bacterium LY01 from Acid Mine Drainage	LIU Yu-jiao, YANG Xin-ping, WANG Shi-mei, <i>et al.</i> (1930)
Isolation of an Effective Benzo[a]pyrene Degrading Strain and Its Degradation Characteristics	CAI Han, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1937)
Aerobic Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether	ZHANG Shu, Franco Giulio, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (1945)
Piggery Wastewater Cultivating Biofloculant-Producing Flora B-737 and the Fermentation Characteristics	PEI Rui-lin, XIN Xin, ZHANG Xue-qiao, <i>et al.</i> (1951)
Correlation Between Acidic Materials and Acid Deposition in Beijing During 1997-2011	CHEN Yuan-yuan, TIAN He-zhong, YANG Dong-yan, <i>et al.</i> (1958)
Characteristics of Precipitation pH and Conductivity at Mt. Huang	SHI Chun-e, DENG Xue-liang, WU Bi-wen, <i>et al.</i> (1964)
Chemical Characteristics of Water-Soluble Components of Aerosol Particles at Different Altitudes of the Mount Huang in the Summer	WEN Bin, YIN Yan, QING Yan-shuo, <i>et al.</i> (1973)
Pollution Characteristics of Organic Acids in Atmospheric Particles During Haze Periods in Autumn in Guangzhou	TAN Ji-hua, ZHAO Jing-ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (1982)
Characterization of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM _{2.5} During the Winter in Three Major Cities in Fujian Province, China	CHEN Yan-ting, CHEN Jin-sheng, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1988)
Size Distribution of Carbonaceous Particulate Matter in Atmosphere of Shanghai, China	YUAN Ning, LIU Wei, ZHAO Xiu-liang, <i>et al.</i> (1995)
Secondary Aerosol Formation Through Photochemical Reactions Estimated by Using Air Quality Monitoring Data in the Downtown of Pudong, Shanghai	CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, DUAN Yu-sen, <i>et al.</i> (2003)
Geochemical Characteristics and Sources of Atmospheric Particulates in Shanghai During Dust Storm Event	QIAN Peng, ZHENG Xiang-min, ZHOU Li-min (2010)
Near Surface Atmospheric CO ₂ Variations in Autumn at Suburban Xiamen, China	LI Yan-li, MU Chao, DENG Jun-jun, <i>et al.</i> (2018)
<i>In-situ</i> Measurement of Background Atmospheric HCFC-142b Using GC-MS and GC-ECD Method	GUO Li-feng, YAO Bo, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (2025)
Airborne Fungal Community Composition in Indoor Environments in Beijing	FANG Zhi-guo, OUYANG Zhi-yun, LIU Peng, <i>et al.</i> (2031)
Study on Quantification Assessment and Odor Fingerprint of Volatile Aromatic Hydrocarbons from Sewage Treatment Plant	GUO Wei, WANG Bo-guang, TANG Xiao-dong, <i>et al.</i> (2038)
Superposition Impact Character of Air Pollution from Decentralization Docks in a Freshwater Port	LIU Jian-chang, LI Xing-hua, XU Hong-lei, <i>et al.</i> (2044)
Thermal Stability and Transformation Behaviors of Pb in Yima Coal	LIU Rui-qing, WANG Jun-wei (2051)
Synergistic Emission Reduction of Chief Air Pollutants and Greenhouse Gases Based on Scenario Simulations of Energy Consumptions in Beijing	XIE Yuan-bo, LI Wei (2057)

《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5月15日 34卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 5 May 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