

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清端,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究

赵素平^{1,2}, 余晔^{1*}, 陈晋北¹, 刘娜^{1,2}, 何建军^{1,2}

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室, 兰州 730000; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 采用 APS-3321 空气动力学粒径谱仪对兰州市 2010 年 8~10 月 0.5~20 μm 大气颗粒物浓度及其谱分布进行了实时监测, 并通过聚类分析方法结合气象观测数据对体积浓度谱特征及其影响因素进行了分析. 以阐明兰州市夏秋季不同粒径段颗粒物浓度水平和粒谱分布特征及其成因. 结果表明, 0.5~20 μm 大气颗粒物小时平均数浓度、表面积浓度和体积浓度分别为 $(108.1 \pm 92.2) \text{个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $(282.9 \pm 267.9) \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $(92.2 \pm 127.3) \mu\text{m}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, 细粒子 (0.5~2.5 μm) 分别占 0.5~20 μm 大气颗粒物数浓度、表面积浓度和体积浓度的 98.7%、73.8% 和 52.9%. 观测期间数浓度谱呈单峰分布, 峰值出现在积聚模态, 表面积浓度谱和体积浓度谱呈双峰型, 峰值分别位于积聚模态和粗模态. 颗粒物体积浓度谱主要有 7 类代表不同源和气象条件影响的分布型. 受浮尘天气和局地扬尘影响的颗粒物体积谱分布在粗模态有明显的峰, 而受机动车直接燃烧排放和二次扬尘影响的颗粒物体积谱分布呈双峰型, 峰值分别位于积聚模态和粗模态.

关键词: 兰州; 大气颗粒物; 谱分布; 聚类分析; 气象条件

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0687-07

Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou

ZHAO Su-ping^{1,2}, YU Ye¹, CHEN Jin-bei¹, LIU Na^{1,2}, HE Jian-jun^{1,2}

(1. Key Laboratory of Land Surface Process and Climate Change in Cold and Arid Regions, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Atmospheric particle size distributions (size range 0.5–20 μm) were measured using aerodynamic particle sizer (APS-3321) from August 1st to October 31st in Lanzhou. Variations of particle concentrations and properties of volume concentration distributions were analyzed through cluster analysis. The main objective of this study was to identify factors affecting the particle size distributions in Lanzhou. The hourly averaged particle number, surface area and volume concentrations are $(108.1 \pm 92.2) \text{cm}^{-3}$, $(282.9 \pm 267.9) \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ and $(92.2 \pm 127.3) \mu\text{m}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, respectively. The number, surface area and volume concentrations of fine particles (0.5–2.5 μm) account for 98.7%, 73.8% and 52.9% of the total particle concentrations in 0.5–20 μm , respectively. The size distribution of number concentrations is unimodal with a peak at accumulation mode. The size distributions of surface area and volume concentrations are bimodal with peaks at accumulation mode and coarse mode, respectively. The size distributions of particle volume concentrations mainly have 7 clusters, indicating the effect of different sources and meteorological conditions. Coarse mode particles are dominant in particle volume size distributions affected by wind-borne dust and on dust days, while that affected by motor vehicle combustion emissions and traffic resuspended dust are characterized by bimodal with peaks at accumulation mode and coarse mode, respectively.

Key words: Lanzhou; atmospheric particle; size distribution; cluster analysis; meteorological condition

大气颗粒物是目前影响我国大部分城市大气环境质量的首要污染物, 对气候、环境和人体健康都有重要的影响. 气溶胶颗粒物通过散射太阳辐射、吸收太阳辐射和地面辐射直接影响地球系统辐射平衡, 它还可作为云凝结核改变云的微物理结构、寿命和光学特性而间接地影响气候^[1]. 气溶胶的浓度和谱分布是研究气溶胶气候强迫的重要物理特征量^[2]. 对气溶胶颗粒物粒径大小及其谱分布特征进行研究, 对深入理解颗粒物的性质、来源及其对气候、环境和人体健康的影响有重要的意义.

不同地区、不同类型大气环境中气溶胶的浓度和粒径分布存在着很大的差异^[3]. 国外从 20 世纪 70 年代就开始了大气颗粒物粒径分布的观测研究, 在不同环境条件气溶胶的谱分布特征及其影响因素方面取得了许多研究成果^[4–10]. 目前国内对大气颗粒物粒谱特征的研究大多集中在中东部地区及沿海

收稿日期: 2011-05-11; 修订日期: 2011-06-27

基金项目: 中国科学院百人计划项目(290827631)

作者简介: 赵素平(1986~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气物理学与大气环境, E-mail: zhaosp@lzb.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: yyu@lzb.ac.cn

大城市. 如 Shen 等^[11] 研究了我国华北平原颗粒物数浓度的季节变化, 并分析了气团源地对颗粒物数谱分布的影响. Liu 等^[12] 和 Yue 等^[13] 探究了珠江三角洲地区颗粒物粒径分布的变化. 张仁健等^[14] 初步研究了北京地区气溶胶数浓度及其谱分布特征. 胡敏等^[15] 分析了北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响. Yu 等^[16] 研究了北京沙尘和霾天气条件下气溶胶的粒径谱分布特征和差异. 康汉青等^[17] 分析了南京市冬季气溶胶粒子的谱分布特征及其影响因素. 我国西北地区大气颗粒物粒径谱分布特征的研究主要集中在典型的沙源地^[18~22], 也有一些针对兰州市大气颗粒物污染特征的研究^[23~28], 如王鑫等^[23] 利用 2002 年春季兰州市背景大气、沙尘天气状况下大气气溶胶的实测资料, 对不同天气状况下 PM₁₀ 的粒径分布做了研究. 刘吉等^[24] 利用兰州市冬季采暖期的大气气溶胶和地基遥感观测, 分析了兰州市气溶胶谱的基本特征. 但這些研究由于观测仪器的限制, 观测的颗粒物粒径分级较少, 目前对兰州市气溶胶颗粒物谱分布特征及其变化规律还不很清楚.

随着兰州市经济的发展, 城市化进程的加快和机动车保有量的增加, 大气颗粒物污染成为影响兰州市大气环境质量的首要污染物, 也是大气污染治理的关键. 为此, 本研究采用美国 TSI 公司 APS-3321 型空气动力学粒径谱仪, 对粒径为 0.5 ~ 20 μm 大气颗粒物数浓度进行了高时间分辨率 (5 min) 的测定. 通过聚类分析, 研究了 2010 年 8 ~ 10 月兰州市大气颗粒物的谱分布特征, 并结合气象观测资料, 对影响大气颗粒物谱分布特征的因素进行了分析, 以加深对兰州市大气颗粒物谱分布特征、变化规律及其影响因素的认识, 以期为进一步研究半干旱地区气溶胶的来源、物理化学特征及其气候效应提供依据.

1 研究方法

1.1 观测地点及时间

观测点设在兰州市城关区中国科学院寒区旱区环境与工程研究所科研一号楼 9 楼楼顶 (36°2'59.46"N, 103°51'28.63"E), 距地面大约 32 m. 观测点周围以居民住宅和商业活动为主, 附近有两条车流量 > 5 000 辆·h⁻¹ 的交通主干道, 一条紧邻科研一号楼, 一条位于该楼西边 150 m 外. 观测时间为 2010 年 8 月 1 日 ~ 2010 年 10 月 31 日.

1.2 观测仪器及方法

利用美国 TSI 公司生产的 APS-3321 型空气动力学粒径谱仪连续在线测量大气颗粒物数浓度谱分布. APS-3321 型粒径谱仪通过测量在加速气流中不同大小粒子通过检测区域的飞行时间 (TOF) 实时地测量粒子的空气动力学直径, 测量范围为 0.5 ~ 20 μm , 采样流量为 5 L·min⁻¹ (其中样气流量为 1 L·min⁻¹, 鞘气流量为 4 L·min⁻¹), 可同时测量 52 个粒径通道的颗粒物数浓度. 观测中设定采样分辨率为 5 min. 观测期间还在楼顶架设了芬兰 VAISALA 自动气象站同步观测每 1 min 气象要素, 包括空气温度、相对湿度、平均风速等.

1.3 分析方法

计算气溶胶颗粒物谱分布的小时平均值时, 将由于仪器故障造成缺失数据达半小时以上的相应小时数据剔除, 剔除后实有小时平均数据样本 2 082 个. 空气动力学粒径谱仪直接测得的是颗粒物的数浓度谱, 在假设粒子为球形的前提下, 利用下面的公式可以得到颗粒物的表面积谱和体积谱. 本研究利用 APS 专用软件 AIM (aerosol instrument manager) 对每个样本进行计算和分析, 得到每个样本的数浓度、表面积浓度和体积浓度及其相应的粒径分布.

$$n_s(D_p) = \pi D_p^2 n_N(D_p)$$

$$n_v(D_p) = (\pi/6) D_p^3 n_N(D_p)$$

式中, $n_N(D_p)$ 、 $n_s(D_p)$ 和 $n_v(D_p)$ 分别是颗粒物的数谱 (个·cm⁻³)、表面积谱 ($\mu\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-3}$) 和体积谱 ($\mu\text{m}^3\cdot\text{cm}^{-3}$), D_p 是粒子的直径 (μm).

利用 Kmeans 聚类分析方法将 2010 年 8 ~ 10 月的小时平均颗粒物体积浓度谱聚成几类, 使类内差异较小而类间差异较大. Kmeans 方法首先从 N 个数据对象中任意选择 K 个对象作为初始聚类中心, 对剩下的其他对象, 根据它们与这些聚类中心的相似程度, 分别将它们分配给与其最相似的由聚类中心代表的类, 然后计算每个新类的聚类中心, 即该类中所有对象的均值, 通过不断重复以上步骤直到均方差开始收敛为止. 本研究将 2010 年 8 ~ 10 月小时平均的颗粒物体积浓度谱聚为 7 类. 在聚类分析的过程中, 尝试了不同的聚类数, 发现 7 类最能代表观测时期不同类型的粒径分布, 增加聚类数不能提供更多的信息, 而减少聚类数会丢失具有代表性的粒谱分布.

2 结果与讨论

2.1 大气颗粒物浓度

为方便研究不同粒径颗粒物浓度的特征, 将

0.5~20 μm 的颗粒物分为 0.5~1.0 μm、1.0~2.5 μm、2.5~20 μm 这 3 个粒径段. 表 1 给出了观测期间 0.5~20 μm 以及各粒径段小时平均大气颗粒物的数浓度、表面积浓度和体积浓度的统计特征. 由表 1 可见, 观测期间 0.5~20 μm 颗粒物总数浓度、表面积浓度和体积浓度的小时平均值变化范围分别为 4.1~627.4 个·cm⁻³、7.0~2 621.5 μm²·cm⁻³ 和 1.0~1 646.8 μm³·cm⁻³, 平均值分别为 (108.1±92.2) 个·cm⁻³、(282.9±267.9) μm²·cm⁻³ 和 (92.2±127.3) μm³·cm⁻³. 粒径为 0.5~1.0 μm、1.0~2.5 μm 和 2.5~20 μm 颗粒物的平均数浓度分别占总数浓度的 90.8%、7.9% 和 1.4%. 细粒子(0.5~2.5 μm) 的数浓度大约占 0.5~20 μm 大气颗粒物数浓度的 98.7%, 而其表面积浓度和

体积浓度分别占 73.8% 和 52.9%. 观测期间兰州 0.5~1.0 μm 粒径段的数浓度与春季广州地区^[29] 和夏季济南^[30] 的观测值接近; 1.0~2.5 μm 粒径段的数浓度与春季广州地区的观测值接近; 2.5~20 μm 粒径段的数浓度明显高于广州地区观测值, 但低于北京冬季(3.4 个·cm⁻³)^[31] 和沈阳冬夏(4.4 个·cm⁻³)^[32] 的观测值. 王振海等^[27] 通过对兰州以东 48 km 兰州大学半干旱气候与环境观测站 APS-3321 粒径谱仪观测资料的分析, 得到 2008 年夏季和秋季榆中 0.5~20 μm 颗粒物数浓度和质量浓度平均值分别为 84 个·cm⁻³、54 μg·m⁻³ 和 92 个·cm⁻³、37 μg·m⁻³, 本研究得到的数浓度和体积浓度平均值明显高于受人类活动影响较小的榆中地区.

表 1 观测期间不同粒径范围小时平均颗粒物浓度的统计值

Table 1 Statistics of hourly averaged particle concentration for different size ranges during 1 st August-31 st October 2010						
浓度	粒径范围/ μm	平均值	最大值	最小值	标准偏差	平均值占总数的 百分比/%
数浓度/个·cm ⁻³	0.5~1.0 μm	98.1	586.8	4.0	86.6	90.8
	1.0~2.5 μm	8.5	97.2	0.1	10.1	7.9
	2.5~20 μm	1.5	32.2	0.002	2.7	1.4
	0.5~20 μm	108.1	627.4	4.1	92.2	100
表面积浓度/μm ² ·cm ⁻³	0.5~1.0 μm	148.9	907.0	6.1	135.8	52.6
	1.0~2.5 μm	59.9	786.7	0.6	77.0	21.2
	2.5~20 μm	74.1	1 703.1	0.1	135.0	26.2
	0.5~20 μm	282.9	2 621.5	7.0	267.9	100
体积浓度/μm ³ ·cm ⁻³	0.5~1.0 μm	18.2	111.3	0.7	16.9	31.6
	1.0~2.5 μm	16.4	230.2	0.1	22.1	21.3
	2.5~20 μm	57.6	1 397.4	0.03	103.9	47.1
	0.5~20 μm	92.2	1 646.8	1.0	127.3	100

2.2 颗粒物的粒径谱特征

2.2.1 总体特征

图 1 给出了观测期间平均的颗粒物数浓度、表面积浓度和体积浓度的谱分布. 由图 1 可以看出, 观测期间 0.5~20 μm 颗粒物的数浓度谱呈明显的单峰分布, 峰值出现在 0.54~0.58 μm 左右, 表面积浓度谱和体积浓度谱为双峰型, 表面积浓度谱主峰位于 0.63~0.67 μm 附近, 次峰位于 3.79~4.07 μm 附近; 体积浓度谱主峰出现在 4.70~5.05 μm 左右, 次峰值出现在 0.67~0.72 μm 左右. 细粒子(0.5~2.5 μm) 占总数浓度的 98.7%, 占总体积浓度的 52.9%. Morawska 等^[3] 研究表明城市气溶胶质量浓度谱呈双峰型, 分别在 0.3 μm 和 4 μm 左右存在峰值, 本研究得到的体积浓度谱的峰值粒径较 Morawska 等的大, 可能与兰州市干旱的气候背景有关.

2.2.2 体积浓度谱的聚类分析

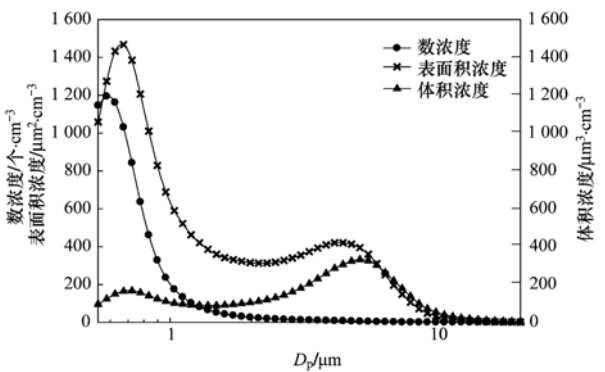


图 1 观测期间颗粒物平均数浓度、表面积浓度和体积浓度的谱分布

Fig. 1 Size distribution of mean particle number concentration, surface area concentration and volume concentration during 1st August-31st October 2010

为了研究颗粒物谱分布特征及其影响因素, 利用 Kmeans 聚类方法, 对 2010 年 8~10 月的体积浓

度谱进行了聚类分析,得到了 7 类有代表性的谱分布型. 图 2 给出了每类的谱分布. 每类谱分布在观测期间的出现的频率、对应的平均体积浓度示于表 2 中. 表 2 还给出了每类所对应的平均气温、风速和相对湿度.

由图 2 可以看出,聚类 A 为明显的单峰型,体积浓度峰值在 $4.70 \sim 5.05 \mu\text{m}$ 左右,该类在总小时样本中只占 2.9% (见表 2). 但由图 3 可以看出聚类 A 全部出现在 8 月,占该月小时平均样本数的

9.3%,而且其对应的 $0.5 \sim 20 \mu\text{m}$ 颗粒物平均体积浓度、数浓度和表面积浓度都高于其他类,粗粒子 ($2.5 \sim 20 \mu\text{m}$) 占该类平均体积浓度的 78%. 这一方面与 8 月 12 日 12:00 ~ 13 日 18:00 出现的一次浮尘天气有关,另一方面也与午后局地扬尘有关,这可从表 3 给出的观测期间不同聚类 $0.5 \sim 20 \mu\text{m}$ 颗粒物平均体积浓度与气象要素的相关关系看出. 聚类 A 的体积浓度与气温呈正相关,与相对湿度呈负相关,表明聚类 A 易出现在气温较高和相对干燥的环

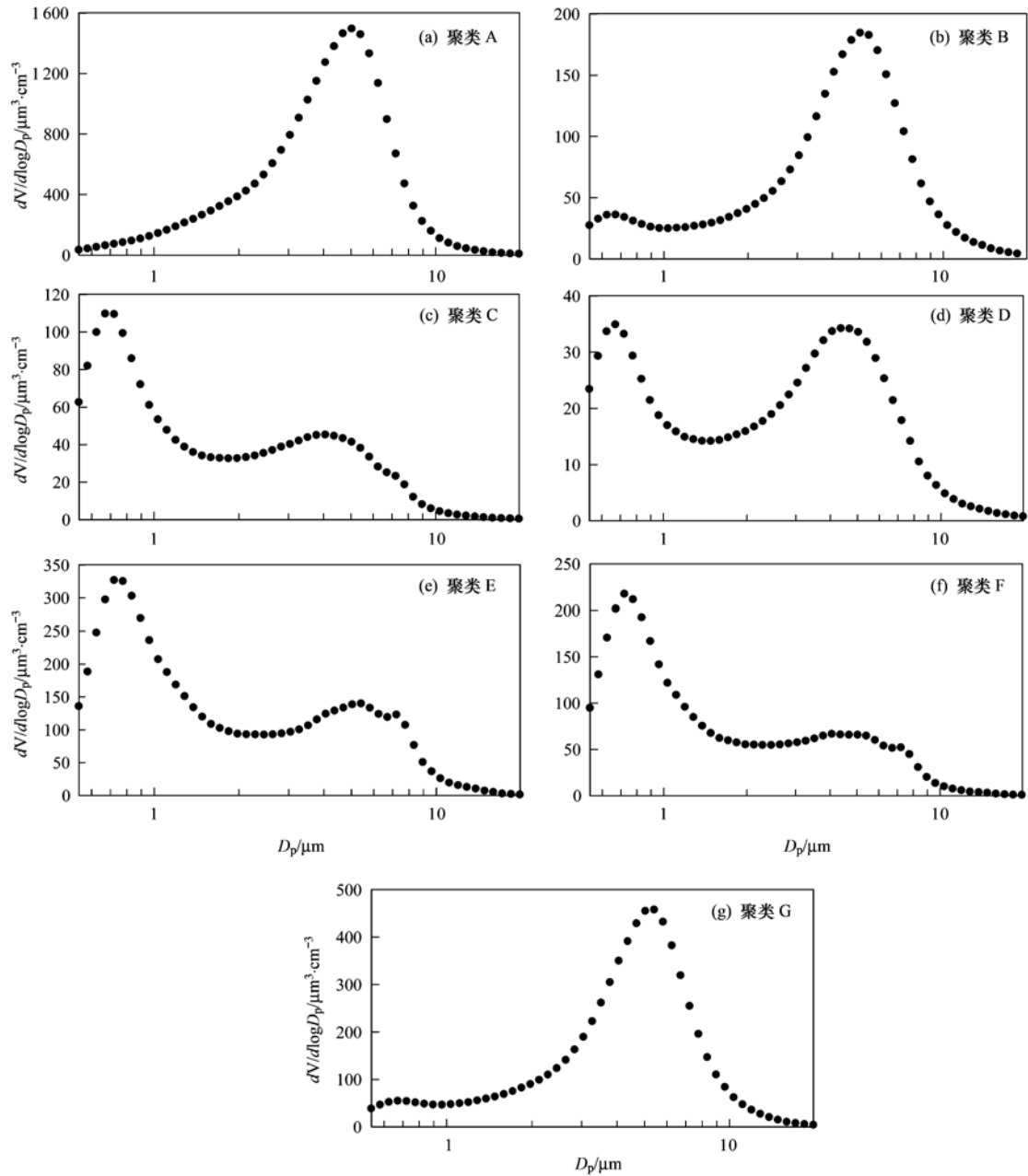


图 2 聚类 A ~ G 的体积浓度谱分布

Fig. 2 Volume size distributions for clusters A to G

境,Alfaro 等^[33]研究也表明干旱区风蚀对于颗粒物的粒径分布有重要影响。

聚类 B 和 G 谱型相似,都在粗模态有一个明显的峰,在积聚模态有一个很弱的峰,主峰值分别出现在 4.70~5.05 μm 和 5.05~5.42 μm。聚类 B 和 G 在总小时样本中分别占 17.9% 和 8.3%,全部出现在 8、9 月,分别占 8 和 9 月小时平均样本数的 36.1%、18.8% 和 16.8%、8.6%。聚类 B 和 G 的体积浓度谱都以粗粒子为主,粗粒子(2.5~20 μm)分

别占了 0.5~20 μm 小时平均体积浓度的 75% 和 78%,与聚类 B 相比,聚类 G 中粗粒子所占比例略高。聚类 G 的平均体积浓度、数浓度和表面积浓度分别是聚类 B 的 2.3、2.2 和 2.1 倍。聚类 G 的小时平均体积浓度与气温呈显著负相关(表 3),其对应的平均风速较聚类 B 低,对应的相对湿度较聚类 B 高(表 2),因此可以推断聚类 B 和 G 的差异主要是由气象条件的差异引起的,聚类 G 更易出现在大气层结相对稳定的气象条件下。

表 2 聚类 A~G 的发生频率、平均体积浓度和相应的气象要素特征¹⁾

Table 2 Frequency of occurrence of clusters A to G and their corresponding mean volume concentration and meteorological parameters							
项目	聚类 A	聚类 B	聚类 C	聚类 D	聚类 E	聚类 F	聚类 G
发生频率/%	2.9	17.9	21.5	40.1	2.8	6.4	8.3
平均体积浓度 ²⁾	0.5~1.0 μm	38.0	11.1	28.7	9.3	85.1	55.4
	1.0~2.5 μm	119.7	13.3	13.5	5.8	44.9	25.9
	2.5~20 μm	556.8	72.7	19.6	15.0	66.6	32.5
	0.5~20 μm	714.6	97.2	61.8	30.1	196.6	113.7
平均气温/℃	22.24	21.67	14.10	18.79	8.72	10.09	20.76
平均风速/m·s ⁻¹	—	1.97	1.54	2.06	1.28	1.40	1.62
平均相对湿度/%	66.60	48.60	58.03	52.23	65.84	61.46	60.17

1) 黑体数字表示不同类在同一粒径范围内平均体积浓度的相对较大的值; 2) 平均体积浓度的单位为 μm³·cm⁻³

聚类 D 为明显的双峰型,在积聚模态和粗模态各有一个峰,且浓度相当。其积聚模态和粗模态体积浓度峰值粒径分别位于 0.63~0.67 μm 和 4.07~4.37 μm。与其他几类相比,聚类 D 在观测期间出现的比例最大,为 40.1%,且在 8、9 和 10 月都有出现,分别占 8、9 和 10 月小时平均样本数的 35.3%、56.6% 和 30% (图 3)。聚类 D 所包含体积浓度谱的小时平均体积浓度、数浓度和表面积浓度为所有类中最低。聚类 D 出现时的平均风速比其他几类大(见表 2),而且降水日的体积浓度谱大部分都属于

聚类 D,因此聚类 D 代表了观测期间观测点附近大气扩散条件好和空气相对清洁时的谱特征。

聚类 C、E 和 F 对应的体积浓度谱呈双峰型,主峰位于粒径 0.6~0.7 μm 的积聚模态。其中聚类 C 积聚模态和粗模态对应的峰值粒径分别位于 0.63~0.67 μm 和 3.79~4.07 μm。聚类 C 在总小时平均样本中占 21.5%,主要出现在 9 月和 10 月,分别占 9 月和 10 月小时平均样本数的 13.9% 和 46%。聚类 E 和 F 粗模态(2.5~20 μm)对应的峰值粒径分别为 5.05~5.43 μm 和 3.79~4.07 μm,这两类在观测期间出现较少,分别占总小时平均样本数的 2.8% 和 6.4%,主要出现在 10 月,分别占 10 月小时平均样本数的 7.7% 和 16.4%。这三类谱都以细粒子为主,聚类 C、E 和 F 中细粒子分别占了相应类 0.5~20 μm 小时平均体积浓度的 68%、66% 和 72%。聚类 C、E 和 F 的主要差异在于平均体积浓度,聚类 C 对应的小时平均体积浓度在这三类中最低,聚类 E 对应的小时平均体积浓度分别是聚类 C 和 F 的 3.18 倍和 1.73 倍。由图 4 可以看到,聚类 C 出现的比例从凌晨 04:00 开始增加,早上 08:00 达到峰值后逐渐减小,下午 15:00 出现一个次峰值,受白天人类活动(主要是机动车尾气排放)影响明显,该类对应的风速和气温是这三类中最高的(表 3),代表了边界层扩散条件较好时,受交通源直接燃烧

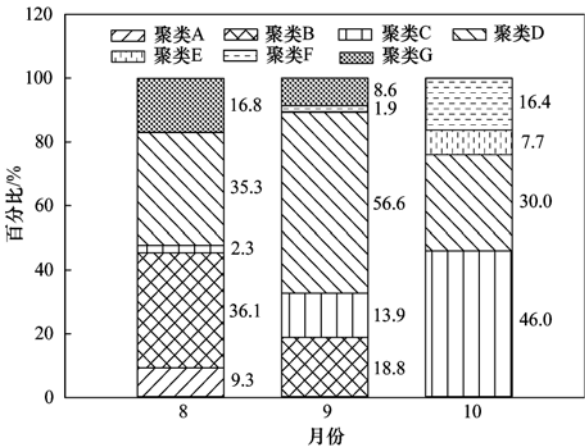


图 3 聚类 A~G 分别在 8、9 和 10 月所占比例
Fig. 3 Percentage of clusters A to G in August, September and October, 2010

排放和道路扬尘影响的谱特征. 由图 4 还可看出, 聚类 E 和 F 出现的比例在 11:00 ~ 14:00 的交通高峰期最高, 且这两类对应的气温和风速为所有聚类中最低, 因此污染物不易扩散, 容易在边界层中聚集, 代表了观测点附近大气扩散条件不好时, 受交通源直接燃烧排放和道路扬尘影响的谱特征. 高继东等^[34]对汽油机动车尾气中的颗粒物进行了研究, 发现机动车燃烧排放颗粒物粒径主要分布在 1 μm 左右的积聚模态. Nicolás 等^[9]研究表明机动车引起的道路扬尘颗粒物的粒径 $>4 \mu\text{m}$. 王玮等^[35]研究了交通来源颗粒物的谱分布, 结果表明质量浓度谱呈双峰分布, 第 1 个峰值粒径约为 0.7 μm , 可能来源于道路扬尘贡献的第 2 个峰值粒径在 4 ~ 7 μm 附近, 聚类 C、E 和 F 对应的体积浓度谱的峰值粒径与上述研究结果较一致. 因此, 聚类 C、E 和 F 可能表征了不同边界层扩散条件下, 受交通源直接燃烧排放和道路扬尘影响的谱特征.

由于缺少 2010 年 8 月份风向、风速的观测资料, 所以在分析中没有考虑风向的影响. 随着数据的积累, 在后续的工作中, 将结合风向、混合层高度、天气现象和气团轨迹等方法对气溶胶的来源及其形成机理进行深入的研究, 以期更好的确定不同粒谱分布的成因.

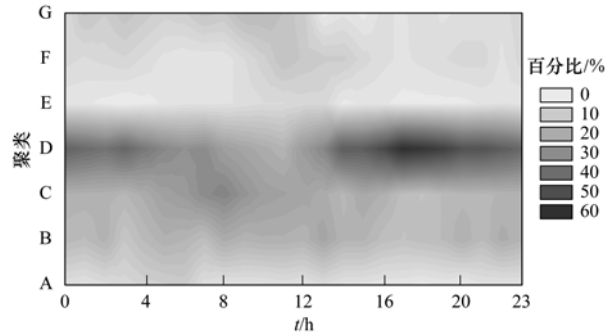


图 4 观测期间不同时段聚类 A ~ G 占总谱数的百分比
Fig. 4 Diurnal variation of occurrence of clusters A-G during 1st August-31st October 2010

表 3 观测期间聚类 A ~ G 对应颗粒物谱平均体积浓度与对应气象要素的相关关系¹⁾

Table 3 Correlation coefficients of particle mean volume concentration and corresponding meteorological parameters for clusters A-G during 1st August-31st October 2010

气象要素	平均体积浓度/ $\mu\text{m}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$						
	聚类 A (47, 0)	聚类 B (335, 122)	聚类 C (448, 432)	聚类 D (834, 589)	聚类 E (59, 58)	聚类 F (134, 134)	聚类 G (153, 56)
平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	0.55	-0.18	-0.53	-0.76	-0.70	-0.67	-0.73
平均相对湿度/%	-0.62	0.28	-0.03	0.39	0.48	0.38	-0.02
平均风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	—	-0.12	0.18	-0.18	-0.10	0.11	-0.25

1) 括号内第一个数表示平均气温和平均相对湿度的样本数, 第二个数为平均风速的样本数, 黑体数字表示通过了 0.01 的显著性水平

3 结论

- (1) 兰州市夏秋季 0.5 ~ 20 μm 大气颗粒物小时平均数浓度、表面积浓度和体积浓度分别为 $(108.1 \pm 92.2) \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $(282.9 \pm 267.9) \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $(92.2 \pm 127.3) \mu\text{m}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.
- (2) 观测期间颗粒物数浓度谱呈单峰型, 峰值出现在 0.54 ~ 0.58 μm 之间; 表面积浓度谱和体积浓度谱呈双峰型, 表面积浓度谱主、次峰值分别位于 0.63 ~ 0.67 μm 和 3.79 ~ 4.07 μm 附近; 体积浓度谱主、次峰值分别出现在 4.70 ~ 5.05 μm 和 0.67 ~ 0.72 μm 左右.
- (3) 兰州市夏秋季颗粒物体积浓度谱主要有 7 类代表不同污染源和气象条件影响的分布型. 受浮尘天气、局地扬尘影响的粒子体积谱分布在粗模态 (4.70 ~ 5.05 μm) 有明显的峰值, 而受交通源影响的粒子体积谱呈双峰型, 峰值分别出现在积聚模态

- (0.63 ~ 0.72 μm) 和粗模态 (3.79 ~ 4.07 μm 或 5.05 ~ 5.43 μm), 分别对应交通源直接燃烧排放和道路扬尘影响.
- (4) 气温、相对湿度和风速都会对颗粒物体积谱分布产生影响. 除了聚类 A, 与颗粒物体积浓度显著相关的气象要素中, 颗粒物体积浓度与气温呈负相关, 与相对湿度呈正相关.

参考文献:

[1] Rosenfeld D, Lohmann U, Raga G B, *et al.* Flood or drought: how do aerosols affect precipitation? [J]. Science, 2008, **321** (5894): 1309-1313.

[2] Sokolik I N, Winker D M, Bergametti G, *et al.* Introduction to special section: outstanding problems in quantifying the radiative impacts of mineral dust [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, **106** (D16): 18015-18027.

[3] Morawska L, Thomas S, Jamriska M, *et al.* The modality of particle size distributions of environmental aerosols [J]. Atmosphere Environment, 1999, **33** (27): 4401-4411.

- [4] Tunved P, Ström J, Hansson H C. An investigation of processes controlling the evolution of the boundary layer aerosol size distribution properties at the Swedish background station Aspvreten[J]. *Atmosphere Chemistry and Physics*, 2004, **4**(11-12): 2581-2592.
- [5] Ketzel M, Wählin P, Kristensson A, *et al.* Particle size distribution and particle mass measurements at urban, near-city and rural level in the Copenhagen area and Southern Sweden[J]. *Atmosphere Chemistry and Physics*, 2004, **4**(1): 281-292.
- [6] Kim J Y, Jung C H, Choi B C, *et al.* Number size distribution of atmospheric aerosols during ACE-Asia dust and precipitation events[J]. *Atmosphere Environment*, 2007, **41**(23): 4841-4855.
- [7] Kalivitis N, Birmili W, Stock M, *et al.* Particle size distributions in the Eastern Mediterranean troposphere [J]. *Atmosphere Chemistry and Physics*, 2008, **8**(22): 6729-6738.
- [8] Buonanno G, Lall A A, Stabile L. Temporal size distribution and concentration of particles near a major highway[J]. *Atmosphere Environment*, 2009, **43**(5): 1100-1105.
- [9] Nicolás J, Yubero E, Galindo N, *et al.* Characterization of events by aerosol mass size distributions [J]. *Journal of Environment Monitoring*, 2009, **11**(2): 394-399.
- [10] Wang L, Morawska L, Jayaratne E R, *et al.* Characteristics of airborne particles and the factors affecting them at bus stations [J]. *Atmosphere Environment*, 2011, **45**(3): 611-620.
- [11] 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]. *Atmosphere Chemistry and Physics*, 2011, **11**(4): 1565-1580.
- [12] 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]. *Atmosphere Environment*, 2008, **42**(25): 6275-6283.
- [13] 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]. *Atmosphere Chemistry and Physics*, 2010, **10**(19): 9431-9439.
- [14] 张仁健, 王明星, 戴淑玲, 等. 北京地区气溶胶粒度谱分布初步研究[J]. *气候与环境研究*, 2000, **5**(1): 85-89.
- [15] 胡敏, 刘尚, 吴志军, 等. 北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响[J]. *环境科学*, 2006, **27**(11): 2293-2298.
- [16] Yu X N, Zhu B, Yin Y, *et al.* A comparative analysis of aerosol properties in dust and haze-fog days in a Chinese urban region [J]. *Atmospheric Research*, 2011, **99**(2): 241-247.
- [17] 康汉青, 朱彬, 樊曙先. 南京北郊冬季大气气溶胶及其湿清除特征研究[J]. *气候与环境研究*, 2009, **14**(5): 523-530.
- [18] 雷文方, 任丽新, 吕位秀, 等. 黑河地区沙漠气溶胶浓度和谱分布特征[J]. *高原气象*, 1993, **12**(2): 170-179.
- [19] 牛生杰, 章澄昌, 孙继明. 贺兰山地区沙尘气溶胶粒子谱分布的观测研究[J]. *大气科学*, 2001, **25**(2): 243-252.
- [20] 成天涛, 吕达仁, 陈洪滨, 等. 浑善达克沙地沙尘气溶胶的粒谱特征[J]. *大气科学*, 2005, **29**(1): 147-153.
- [21] 刘立超, 沈志宝, 王涛, 等. 敦煌地区沙尘气溶胶质量浓度的观测研究[J]. *高原气象*, 2005, **24**(5): 765-771.
- [22] 邱玉珺, 牛生杰, 岳平, 等. 半干旱区春季沙尘气溶胶谱分布的观测研究[J]. *中国环境科学*, 2009, **29**(10): 1021-1028.
- [23] 王鑫, 奚晓霞, 郭治龙, 等. 2002 年兰州市春季大气气溶胶特征分析[J]. *兰州大学学报 (自然科学版)*, 2006, **42**(3): 44-47.
- [24] 刘吉, 陈长和. 兰州城市冬季大气气溶胶特征的综合观测研究[J]. *兰州大学学报 (自然科学版)*, 2003, **39**(4): 104-108.
- [25] Wang S G, Feng X Y, Zeng X Q, *et al.* A study on variations of concentrations of particulate matter with different sizes in Lanzhou, China[J]. *Atmosphere Environment*, 2009, **43**(17): 2823-2828.
- [26] 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.
- [27] 王振海, 张武, 史晋森, 等. 半干旱地区大气颗粒物浓度及粒径谱特征的观测研究[J]. *中国沙漠*, 2010, **30**(5): 1186-1193.
- [28] 徐鑫强, 王鑫, 黄建平. 张掖及兰州榆中地区沙尘气溶胶粒子谱分布的观测研究[J]. *高原气象*, 2011, **30**(1): 208-216.
- [29] 张涛, 陶俊, 王伯光, 等. 广州市春季大气颗粒物的粒径分布及能见度研究[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2010, **27**(3): 331-337.
- [30] 高健, 王进, 程淑会, 等. 济南夏季大气颗粒物粒径分布特征及来源机理分析[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2007, **24**(5): 680-687.
- [31] 陈义珍, 柴发合, 魏强. 北京市冬季气溶胶粒子尺度谱分布研究[J]. *安全与环境学报*, 2006, **6**(1): 80-84.
- [32] 严文莲, 周德平, 王扬峰, 等. 沈阳冬夏季可吸入颗粒物浓度及尺度谱分布特征[J]. *应用气象学报*, 2008, **19**(4): 435-443.
- [33] Alfaro S C, Gaudichet A, Gomes L, *et al.* Mineral aerosol production by wind erosion: aerosol particle sizes and binding energies[J]. *Geophysical Research Letters*, 1998, **25**(7): 991-994.
- [34] 高继东, 宋崇林, 张铁臣, 等. 汽油车排气中颗粒物粒径的分布特性[J]. *燃烧科学与技术*, 2007, **13**(3): 248-252.
- [35] 王玮, 潘志, 刘红杰, 等. 交通来源颗粒物粒径谱分布及其与能见度关系[J]. *环境科学研究*, 2001, **14**(4): 17-22.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-peí, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《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)

2012年3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人