

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第11期

Vol.34 No.11

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

北京不同污染事件期间气溶胶光学特性	施禅臻, 于兴娜, 周斌, 项磊, 聂皓浩 (4139)
秋季渤海、北黄海大气气溶胶中水溶性离子组成特性与来源分析	张岩, 张洪海, 杨桂朋 (4146)
中国北部湾地区夏季大气碳气溶胶的空间分布特征	杨毅红, 陶俊, 高健, 李雄, 施展, 韩保新, 谢文彰, 曹军骥 (4152)
改进的大气 CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、CO 在线观测 FTIR 系统	夏玲君, 刘立新, 周凌晔, 方双喜, 王红阳, 张振波 (4159)
长沙市郊大气 CH ₄ 浓度变化特征	刘鲁宁, 王迎红, 徐小娟, 王卫东, 王跃思 (4165)
麦草及其烟尘中正构烷烃的组成	刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹 (4171)
过二硫酸盐降解碱液吸收的甲硫醇恶臭	杨世迎, 王雷雷, 冯琳玉, 赵腊娟, 石超 (4178)
污泥堆肥及其土地利用全过程的温室气体与氨气排放特征	钟佳, 魏源送, 赵振凤, 应梅娟, 周国胜, 熊建军, 刘培财, 葛振, 丁刚强 (4186)
长江口沿岸及近海水体中胶体的分布和理化性质研究	顾丽军, 杨毅, 刘敏, 聂明华, 李涛, 侯立军 (4195)
海河流域主要河口区域沉积物中重金属空间分异及生态风险评价	吕书丛, 张洪, 单保庆, 李立青 (4204)
汾河流域太原段河水及沉积物中 PFOS 和 PFOA 的浓度分布特征	东口朋宽, 史江红, 张晖, 刘晓薇 (4211)
基于 L-THIA 模型的市桥河流域非点源氮磷负荷分析	李凯, 曾凡棠, 房怀阳, 林澍 (4218)
合流制排水系统雨天溢流污染 CMB 法源解析	戴梅红, 李田, 张伟 (4226)
微藻脂肪酸在中国近海缺氧海水-沉积物界面中的降解模拟研究	随伟伟, 丁海兵, 杨桂朋, 陆小兰, 李文娟, 孙立群 (4231)
太湖两种水生植物群落对沉积物中氮素的影响	马久远, 王国祥, 李振国, 许宽, 周峰, 张佳 (4240)
表面流人工湿地中硫丹的去除规律研究	秦晶, 高甫威, 谢慧君 (4251)
带菌盐藻对不同形态砷的富集和转化研究	王亚, 张春华, 王淑, 申连玉, 葛滢 (4257)
铜改性沸石活性覆盖控制重污染河道底泥溶解性磷酸盐和铵释放研究	李佳, 林建伟, 詹艳慧 (4266)
底栖动物扰动对河床渗透性的影响研究	任朝亮, 宋进喜, 杨小刚, 薛健 (4275)
铜绿微囊藻胞内物消毒副产物生成: 氯化化和溴化比较	田川, 郭婷婷, 刘锐平, William Jefferson, 刘会娟, 曲久辉 (4282)
天然有机物对混凝效果影响机制及絮体特性分析	徐磊, 俞文正, 梁亮, 王彤 (4290)
DOM 纳滤膜污染及对膜截留卡马西平性能的影响	丰桂珍, 董秉直 (4295)
零价铁去除废水中的汞	周欣, 张进忠, 邱昕凯, 王定勇 (4304)
Fe ₃ O ₄ 稳定化纳米 Pd/Fe 对水中 2,4-D 的催化还原脱氯研究	周红艺, 梁思, 曾思思, 雷双健 (4311)
不同粒径粉末活性炭对水中天然有机物吸附性能的比较研究	李政剑, 石宝友, 王东升 (4319)
氯化十六烷基吡啶改性活性炭对水中硝酸盐的吸附作用	郑雯婧, 林建伟, 詹艳慧, 方巧, 杨孟娟, 王虹 (4325)
改性石墨烯对水中亚甲基蓝的吸附性能研究	吴艳, 罗汉金, 王侯, 张子龙, 王灿, 王雨微 (4333)
经典等温吸附模型在重金属离子/硅藻土体系中的应用及存在问题	朱健, 吴庆定, 王平, 李科林, 雷明婧, 张伟丽 (4341)
硝酸盐对矿化垃圾中兼/厌氧甲烷氧化的影响	刘妍妍, 龙焰, 尹华, 叶锦韶, 何宝燕, 张娜 (4349)
硫酸盐/氨的厌氧生物转化试验研究	张丽, 黄勇, 袁怡, 李祥, 刘福鑫 (4356)
硫酸盐还原-氨氧化反应的特性研究	袁怡, 黄勇, 李祥, 张春蕾, 张丽, 潘杨, 刘福鑫 (4362)
UASB 系统低 pH 运行时对产氢性能的分析	赵健慧, 张百惠, 李宁, 王兵, 李永峰 (4370)
响应面法优化赤泥负载 Co 催化剂制备及活性评价	李华楠, 徐冰冰, 齐飞, 孙德智 (4376)
高浓度氨氮胁迫对纤细裸藻的毒性效应	刘炎, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (4386)
NAPLs 污染物垂向指流迁移分形表征中图像处理的影响研究	李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4392)
近 50 年浙江省耕作土壤有机质和酸碱度的变化特征	章明奎, 常跃畅 (4399)
浙中典型富硒土壤区土壤硒含量的影响因素探讨	黄春雷, 宋明义, 魏迎春 (4405)
黄河口新生湿地土壤 Fe 和 Mn 元素的空间分布特征	孙文广, 甘卓亭, 孙志高, 李丽丽, 孙景宽, 孙万龙, 牟晓杰, 王玲玲 (4411)
崇明岛土壤中 MCCPs 的污染水平、组成与来源研究	孙阳昭, 王学彤, 张媛, 孙延枫, 李梅, 马中 (4420)
福建戴云山土壤有机氯农药残留及空间分布特征	瞿程凯, 祁士华, 张莉, 黄焕芳, 张家泉, 张原, 杨丹, 刘红霞, 陈伟 (4427)
电子垃圾拆解地周边土壤中二噁英和二噁英类多氯联苯的浓度水平	邵科, 尹文华, 朱国华, 巩宏平, 周欣, 王玲, 刘劲松 (4434)
外源水溶性氟在茶园土壤中赋存形态的转化及其生物有效性	蔡荟梅, 彭传燧, 陈静, 侯如燕, 宛晓春 (4440)
丛枝菌根真菌在不同类型煤矸石山植被恢复中的作用	赵仁鑫, 郭伟, 付瑞英, 赵文静, 郭江源, 毕娜, 张君 (4447)
丛枝菌根真菌在矿区生态环境修复中应用及其作用效果	李少朋, 毕银丽, 孔维平, 王瑾, 余海洋 (4455)
超积累植物垂序商陆 (<i>Phytolacca americana</i> L.) 吸收锰机制的初步探讨	徐向华, 李仁英, 刘翠英, 施积炎, 林佳 (4460)
<i>Shewanella oneidensis</i> MR-1 对硫化汞的生物利用性研究	陈艳, 王卉, 司友斌 (4466)
基于我国西南地区儿童行为模式的 IEUBK 模型本地化研究	蒋宝, 崔晓勇 (4473)
不同结构有机磷在 (氢) 氧化铝表面的吸附与解吸特征	柳飞, 张延一, 严玉鹏, 刘凡, 谭文峰, 刘名茗, 冯雄汉 (4482)
煤中铁元素赋存状态的超声逐级化学提取研究	熊金钰, 李寒旭, 董众兵, 张颂, 钱宁波, 武成利 (4490)
植物对纳米颗粒的吸收、转运及毒性效应	杨新萍, 赵方杰 (4495)
《环境科学》征订启事 (4239)	
《环境科学》征稿简则 (4369)	
信息 (4225, 4265, 4303, 4375)	

北京不同污染事件期间气溶胶光学特性

施禅臻^{1,2}, 于兴娜^{2*}, 周斌¹, 项磊², 聂皓浩²

(1. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433; 2. 南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044)

摘要: 利用2005~2011年的AERONET观测数据, 对北京不同污染事件期间(秸秆焚烧、烟花燃放以及沙尘天气)气溶胶光学特性进行了分析。气溶胶光学厚度受污染有显著上升, 沙尘、秸秆、烟花气溶胶的AOD_{440 nm}分别是干净背景的4.91、4.07、2.65倍。AOD与Ångström波长指数的匹配能够较好地识别污染类型, 沙尘对应高AOD和低 α , 烟花气溶胶 α (1.09)稍低于秸秆(1.21)以及背景(1.27), 表明烟花气溶胶的粗粒子更占优, 秸秆对应更高的AOD则与其中黑碳颗粒较强的消光能力有关。单次散射反照率对波长敏感性不高, 沙尘气溶胶的 ω 值(0.934)高于背景值(0.878)、秸秆气溶胶(0.921)以及烟花气溶胶(0.905), 秸秆气溶胶受烟羽老化、吸湿性增长等影响表现出偏大现象。气溶胶粒子谱分布在背景与污染期间均为双峰模态, 细模态和粗模态的峰值浓度半径分别为0.1~0.2 μm 以及2.24~3.85 μm , 粗细粒子浓度比值由小到大依次为背景(1.04)、秸秆焚烧(1.10)、烟花燃放(1.91)以及沙尘气溶胶(4.96)。

关键词: 气溶胶; 光学特性; 秸秆焚烧; 烟花; 沙尘; 北京

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)11-4139-07

Aerosol Optical Properties During Different Air-Pollution Episodes over Beijing

SHI Chan-zhen^{1,2}, YU Xing-na², ZHOU Bin¹, XIANG Lei², NIE Hao-hao²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China; 2. School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the 2005-2011 data from Aerosol Robotic Network (AERONET), this study conducted analysis on aerosol optical properties over Beijing during different air-pollution episodes (biomass burning, CNY firework, dust storm). The aerosol optical depth (AOD) showed notable increases in the air-pollution episodes while the AOD (at 440 nm) during dust storm was 4.91, 4.07 and 2.65 times higher as background, biomass burning and firework aerosols. AOD along with Ångström exponent (α) can be used to determine the aerosol types. The dust aerosol had the highest AOD and the lowest α . The α value of firework (1.09) was smaller than biomass burning (1.21) and background (1.27), indicating that coarse particles were dominant in the former type. Higher AOD of burnings (than background) can be attributed to the optical extinction capability of black carbon aerosol. The single scattering albedo (SSA) was insensitive to wavelength. The SSA value of dust (0.934) was higher than background (0.878), biomass burning (0.921) and firework (0.905). Additionally, the extremely large SSA of burnings here maybe was caused by the aging smoke, hygroscopic growth and so on. The peak radius of aerosol volume size distributions were 0.1-0.2 μm and 2.24-3.85 μm in clear and polluted conditions. The value of volume concentration ratio between coarse and fine particles was in the order of clear background (1.04), biomass burning (1.10), CNY firework (1.91) and dust storm (4.96) episode.

Key words: aerosol; optical properties; biomass burning; firework; dust; Beijing

气溶胶光学特性是研究大气辐射、气候变化的重要参数^[1~3]。地基观测可以连续地获取同一空间范围内气溶胶光学、物理特征^[4], NASA在全球范围内建立的AERONET是其中最具代表性的观测网^[5]。AERONET采用CE318光度计自动跟踪扫描太阳辐射^[6], 并通过编制的Dubovik算法^[7]反演气溶胶光学厚度等参数。不同类型的气溶胶具有相异的物理特性, 将其加以区分研究, 不但有利于改进地基观测的反演算法, 进而提升计算获得的各参数的准确度, 也是订正空基遥感(如卫星)对地面气溶胶参数的反演的主要方法^[8]。

北京作为中国首都, 近年来大气污染事件频发, 影响人民的正常生产生活, 具有不良健康效应^[9]。

李令军等^[10]通过对北京市环保及气象部门的数据进行系统分析得出: 2000~2010年间北京地区发生了各类严重大气污染事件共计151次。春季的沙尘污染、初夏的农业秸秆焚烧污染、秋天的雾霾天气以及冬季的供暖燃煤污染等均受到了研究者的关注^[11~13]。春节期间燃放烟花爆竹是我国的一项传统习俗, 相关研究表明^[14], 烟花的燃放在短时间内

收稿日期: 2013-02-23; 修订日期: 2013-05-17

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(B类)(XDB05030104); 国家自然科学基金项目(41005089, 21277029, 40975076); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201210300021); 江苏省高校“青蓝工程”项目; 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 施禅臻(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气环境, E-mail: 12210740012@fudan.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: xnyu@nuist.edu.cn

对气溶胶贡献显著,造成 $\text{PM}_{2.5}$ 与 PM_{10} 的比值走高,空气质量急剧下降,能见度降低,尤其是 2006 年北京解除“禁放令”后污染进一步加重^[15]. Zhang 等^[16]对上海地区烟花燃放期间的气溶胶的物理特性进行了探究,佐证了此类型污染的作用. 近些年,北京地区时常发生秸秆燃烧污染事件,研究者^[17]估测了秸秆焚烧污染对北京地区气溶胶的贡献,表明北京的生物质燃烧气溶胶由全年农家的木柴燃烧以及季节性秸秆焚烧两部分组成,该类型对北京气溶胶中 $\text{PM}_{2.5}$ 以及 PM_{10} 的贡献率达到 18% ~ 38% 与 14% ~ 32%,而季节性秸秆焚烧在其中占了相当的比例. 华北平原是我国主要的冬小麦产区,麦秸焚烧多发生在 6 ~ 7 月,并通过偏南风输送至北京,与北京近郊的秸秆污染叠加^[18]. 沙尘侵袭北京引起大气严重污染的事件屡见不鲜,在李令军等^[10]对 2000 ~ 2010 年的统计中有 53 次之多,早前研究者主要关注沙尘的理化特性,如孙业乐等^[19]对 2002 年影响北京地区的沙尘气溶胶组成、起源以及粒径特征进行了总结分析;徐敬等^[20]对北京上甸子大气本底站在清洁、污染输送及典型沙尘天气下单类气溶胶的光学特性进行解析;而目前针对不同类型气溶胶光学特性开展的研究较少. 本研究利用了 AERONET 北京站的相关数据,对比分析了在秸秆焚烧、烟花燃放以及沙尘污染影响下,气溶胶光学厚度、Ångström 波长指数、单次散射反照率以及体积数浓度谱分布等参数,以期后续修正太阳光度计针对不同污染类型气溶胶的光学、物理参数的反演算法提供一定基础.

1 研究站点和数据选取

北京地处华北平原西北部,四季分明,属于温带季风气候区. 春季的北京易受亚洲沙尘影响;夏初本地以及周围河北地区经常有秸秆焚烧,影响空气质量;2006 年鞭炮“禁放令”解除后,春节期间燃放烟花成为一大污染源. 本研究的测站位于中国科学院大气物理研究所大楼(39.97°N, 116.38°E,海拔 92 m),地处北京市海淀区东侧,三环与四环之间,与主城区和北郊距离均适当,具有观测城市大气环境的理想条件,因此该站获得的监测数据在相当程度上可以反映这些污染事件对北京地区气溶胶光学特性的影响.

美国国家航空航天局(NASA)在全球建立了一套地基观测网, AERONET (AErosol RObotic NETwork),对气溶胶光学特性进行连续观测,获取

了稳定的数据^[5],观测网中统一使用 CIMEL 公司设计的 CE318 多波段太阳直射辐射计,自动跟踪扫描太阳辐射^[21],获取直射、漫射辐射参数,进而通过多种算法反演出气溶胶光学特性^[22,23]. AERONET 目前采用的是 Dubovik 等^[7]提出的算法,算法假设垂直大气层为均质状态,首先在辐射传输模式中运用矩阵反演、变量张弛限制法处理获取气溶胶光学厚度,随之与辐射参数结合并经过平滑处理反演出粒子数浓度谱以及复折射指数;单次散射反照率则由对应波段的散射光学厚度与消光光学厚度(散射与吸收之和)比值获得,即 $\omega(\lambda) = \tau_{\text{scat}}(\lambda) / \tau_{\text{ext}}(\lambda)$. 反演数据订正在 440、675、870 以及 1020 nm 这 4 个波段上,以避免气体吸收作用对反演的干扰. 针对 CE318 自动光度计在多云、阴天情况下仍能够正常工作,Smirnov 等^[24]提出利用所有波段三重稳定度去除高频数据,再运用均方根条件剔除高频变化的光学厚度对应的数据,以消减云层对数据的影响. 基于上述方法,经过云除后的 Level 2.0 数据为本研究采用. 必须指出的是, AERONET 现有算法中并未将气溶胶类型进行分类,也未考虑天气等因子的影响,算法的改进有待开展.

如表 1 所示,本研究根据环境保护(中国环境监测总站,空气质量查询, <http://www.cnemc.cn>; 北京市环保局信息公开,大气环境质量月报, <http://www.bjepb.gov.cn>)、气象历史资料(天气在线, <http://www.t7online.com>),参考相关已发表的文献(见表 1),查阅北京地区的空气污染指数(air pollution index, API),选取了比较有代表性的污染事件时间段的数据(除烟花燃放天外,为日平均值;考虑到烟花燃放较快沉降的特点,选取白天 12:00 前的数据做平均),同时也遴选了天气状况较好时间段的各个参数,作为参考背景值.

2 结果与分析

2.1 气溶胶光学厚度与 Ångström 波长指数

气溶胶光学厚度(aerosol optical depth, AOD)是指大气中沿着辐射传输路径,单位界面上所有吸收和散射物质对光产生的总削弱,是反映辐射与气候效应的重要参数,较高的 AOD 一般与较严重的大气污染相关^[28]. 结合图 1、图 2 分析,干净背景下的 AOD 在 4 个波段均为最低值,440 nm 波段的 AOD 有 50% 小于 0.25, 75% 的值低于 0.55, 偏高于瓦里关等地的背景值(0.14)^[29]. 在农业秸秆焚烧、春节燃放烟花污染作用下的 AOD 在各波段均明显

表 1 选取的背景以及污染事件日期简介

Table 1 Background and air-pollution episodes days chosen in this study

污染事件	污染日期(年-月-日)、空气污染指数 API、查阅日期文献来源				
干净背景	2007-08-14	2008-12-13	2009-01-10	2009-01-12	2009-10-13
	API:76	API:57	API:54	API:36	API:37
	2009-10-17	2010-04-29	2010-04-30	2010-12-06	2011-07-30
	API:57	API:46	API:54	API:37	API:21
秸秆焚烧	2003-05-08 ^[17]	2003-05-09 ^[17]	2005-06-12 ^[25]	2005-06-22 ^[18]	2005-06-23 ^[18]
	2005-07-09 ¹⁾	2005-07-24 ^[12]	2005-07-25 ^[12]	2005-07-26 ^[12]	2006-06-21 ¹⁾
春节烟花燃放	2009-01-26	2009-01-27	2009-01-28	2009-01-29	2009-01-30
	API:88	API:95	API:129	API:135	API:131
	2009-02-10	2010-02-13	2010-02-16	2010-02-18	2011-02-07
	API:307	API:47	API:52	API:58	API:120
沙尘天气	2005-04-29 ^[26]	2005-04-30 ^[26]	2006-03-10 ^[19]	2006-03-19 ^[20]	2006-04-08 ^[20]
	2006-04-10 ^[20]	2006-04-16 ^[20]	2009-03-18 ^[27]	2009-04-12 ^[27]	2009-04-13 ^[27]
			API:268	API:122	API:148

1) 表示来自媒体报道

高于背景值, 秸秆焚烧天的 $AOD_{440\text{ nm}}$ 最大为 1.62, 且 75% 的值在 1.3 以上, 烟花燃放天的 $AOD(440\text{ nm})$ 有 3/4 小于 1.0. 这两种污染类型的 $AOD(440\text{ nm})$ 值分别是干净背景值的 4.07 和 2.65 倍, 秸秆焚烧的 AOD 高于韩国 Gwangju 焚烧秸秆污染下的 1.4 ~ 1.8 倍^[30], 这与秸秆中黑碳气溶胶本身较强的光学吸收性^[31] 以及北京夏季环境气溶胶具有较高的光学厚度有关^[32]. 结合表 1 可知, 由于秸秆污染多发生在水汽充沛的夏初, 图 1 中对应的水汽含量 (2.6 cm) 远高于其他类型气溶胶对应的值, 为气溶胶湿增长^[33] 提供了条件. 烟花燃放天的 AOD 偏差稍高于秸秆焚烧天, 这可能是烟花颗粒的瞬时集中污染以及颗粒沉降作用造成, 污染浓度在 (次日) 白天不断下降. 沙尘气溶胶各个波段的 AOD 均远高于背景值, 440 nm 波段的最高值为 3.2, 最低是 1.3, 有 75% 的值高于 1.5, 大大超过了谢晨波等^[34] 的研究结果.

Ångström 波长指数 (α) 可以反映粒子的大小, 较高的波长指数对应细粒子的主导状况, 反之则为粗粒子在模态中占优^[35]. 图 1 中指数的平均状况显示, 背景的波长指数 (1.27) 为最高, 与干净状况下北京市冬季气溶胶粒子谱的研究结果^[36] 接近. 秸秆焚烧与烟花燃放两种污染均使得波长指数较背景值下降, 两者 75% 分位点之值均小于 1.35, 与背景相差并不大, 表明两者产生的粗细模态的气溶胶分布可能相当, 该结果在 2.3 节里有印证. 沙尘污染气溶胶的 α 仅为背景值的 50%, 而 $\alpha < 0.8$ 的值占到了 75% 以上, 体现其粗粒子占主导的模态分布, 研究中的值低于敦煌沙尘天气 (0.05)^[37], 可能

是由沙尘在长程传输中的较大粒子沉降作用造成.

图 3 给出了各污染类型气溶胶的日平均 $AOD_{440\text{ nm}}$ 、 $\alpha_{440-870\text{ nm}}$ 散点分布图, 从中可以清晰地区别污染类型. 沙尘气溶胶多对应较高的 AOD 、低 α ; 而秸秆焚烧和烟花燃放产生的气溶胶 AOD 总体低于沙尘而高于背景值, 波长指数方面后两者基本持平. 秸秆气溶胶的 AOD 值大于烟花污染值, 除了生物质气溶胶^[31] 本身的消光特性外, 也可能与其发生在夏季水汽充沛导致的湿增长作用有关.

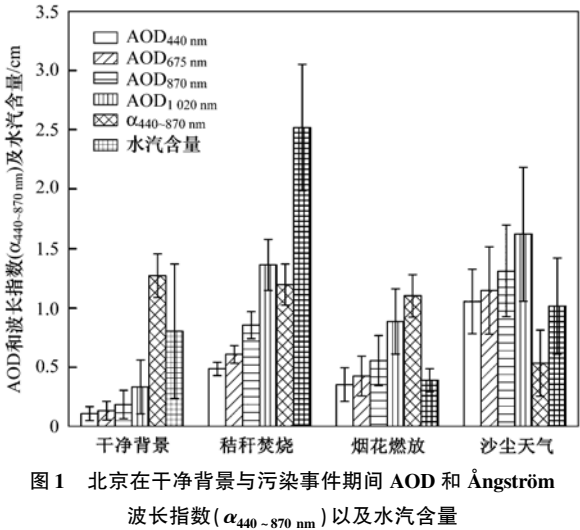
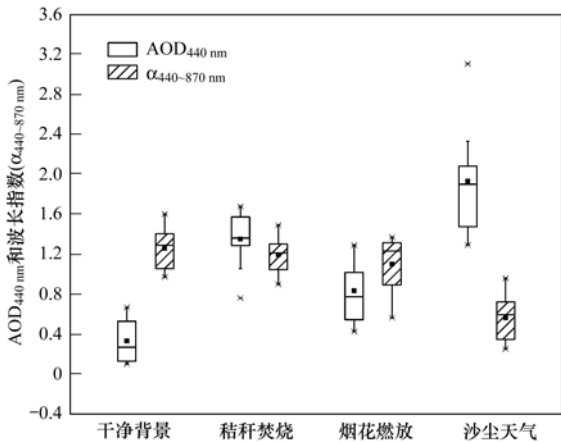


图 1 北京在干净背景与污染事件期间 AOD 和 Ångström 波长指数 ($\alpha_{440-870\text{ nm}}$) 以及水汽含量

Fig. 1 AOD at 440, 675, 870 and 1 020 nm, Ångström exponent ($\alpha_{440-870\text{ nm}}$) and water content in background and different pollution episodes over Beijing

2.2 单次散射反照率

气溶胶的单次散射反照率 (single scattering albedo, ω) 是衡量气溶胶吸收、散射能力的参数, ω 越趋近于 1, 表明其气溶胶的散射作用越大, 吸收作



箱体顶和底分别对应 75%、25% 分位线,中间线对应中数,实心点为平均值,上下星号为最大最小值

图 2 北京在干净背景与污染事件期间日平均 AOD_{440 nm} 和 Ångström 波长指数 ($\alpha_{440-870 nm}$) 箱线图

Fig. 2 Box-chart plot of AOD at 440 nm and Ångström exponent in background and different pollution episodes over Beijing

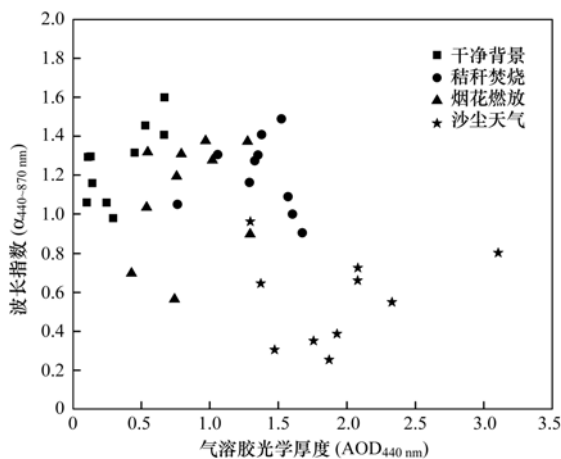


图 3 北京在干净背景与污染事件期间日平均 AOD_{440 nm} 和 Ångström 波长指数 ($\alpha_{440-870 nm}$) 散点图

Fig. 3 Scatterplot of AOD at 440 nm and Ångström exponent in background and different pollution episodes over Beijing

用越弱,反之亦然。其值的大小与气溶胶谱分布、浓度、形状等特征密切相关。图 4 为北京市气溶胶单散射反照率在背景与污染天的各波段对应值。一般认为,秸秆气溶胶主要成分为具有较强光学吸收性的黑碳,本研究中秸秆污染的 ω 总体高于背景 10% 左右,最大(0.931)出现在 870 nm,且在 440 nm 波段(0.906)大于沙尘天的 ω 值(0.892),结果高于韩国 Gosan 地区同波段值(0.89)^[38],低于森林火灾烟羽的 SSA(0.92)^[39],675 nm 波段则高于 Cuiaba 地区的生物质燃烧的烟羽(0.87)^[40]。这可能是由于焚烧秸秆产生的污染气溶胶经过长距离输送存在

老化过程,导致其散射特性会有所变化,细粒子的散射特性相应加强^[39],也与北京夏季较高的湿度导致的湿增长^[38](图 1 中也表现出该污染天的水汽含量为最高)以及 Dubovik 算法对 SSA 在红外波段反演的准确度不高等原因相关^[7]; Eck 等^[41]对马里兰地区生物质气溶胶光学特性的研究中,SSA 的变化趋势与本研究基本一致,作者分析是人为非明火焚烧以及硫酸盐的湿增长的共同作用;针对北京地区气溶胶光学特性的季节研究也表明,夏季的 SSA(以 440 nm 为例)分别偏高于春、秋、冬约 0.03、0.04 和 0.07^[32],在一定程度上抬高了秸秆气溶胶表现出的 ω 值。烟花燃放污染天的 ω 在 440 ~ 675 nm 随波长递增,在 675 ~ 1 020 nm 呈线性递减,675 nm 波段对应的 ω 值最大(0.928),说明该污染产生的粒子在短波段散射作用较大,这与其对应的粒径段气溶胶浓度处于峰值有关。沙尘气溶胶的 ω 表现出随波长增大而上升的趋势,且平均 ω 值(0.934)高于背景值(0.878)、秸秆气溶胶(0.921)以及烟花气溶胶(0.905),表现出强散射性。440 nm 以上的波长处 ω 介于 0.94 ~ 0.95 之间,结果稍小于 Yu 等^[26]对北京沙尘天气在 AOD > 2 条件下对应的 ω 值(接近 1),这与后者选取的极端污染沙尘天气相关,而本研究与 Dubovik 等^[40]测得的结果比较吻合。但由于 Dubovik 的算法中的 SSA 是基于均质大气条件下,由(默认)准确的 AOD 直接反演得到的,缺乏考虑不同类型气溶胶在其中的贡献,因此有必要结合粒子谱分布判别类型并展开分层订正。

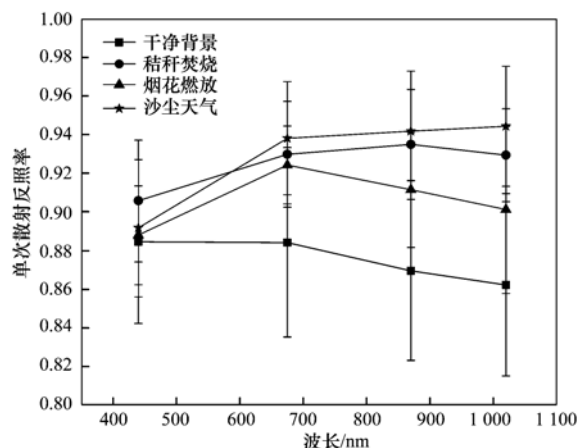


图 4 北京在干净背景与污染事件期间气溶胶单散射反照率随波段的变化

Fig. 4 Aerosol single scattering albedo at 440, 675, 870 and 1 020 nm in background and different pollution episodes over Beijing

2.3 体积数浓度谱分布

气溶胶体积谱分布是指不同粒径段的气溶胶体

积数浓度值变化,一般采用 Junge 分布、Gamma 分布、对数正态分布和对数二次曲线分布来描述气溶胶体积谱. AERONET 的算法采用对数正态分布假设:

$$\frac{dV}{d \ln r} = \frac{c_v}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(r/r_v)}{\sigma} \right)^2 \right]$$

式中, $\frac{dV}{d \ln r}$ ($\mu\text{m}^3 \cdot \mu\text{m}^{-2}$) 为气溶胶体积谱分布, c_v 是气柱单位体积浓度, r 为半径, r_v 是粒子群体积平均半径, σ 为标准差. AERONET 提供的数据粒径范围为 0.05 ~ 15 μm , 细分为 22 个粒径段.

图 5 中干净背景与污染期间气溶胶谱均呈现双峰分布. 秸秆焚烧、烟花燃放污染气溶胶的细粒子峰值半径位于 0.15 ~ 0.2 μm 区间, 沙尘气溶胶的细粒子峰值半径在 0.1 μm ; 粗模态上, 3 类污染气溶胶峰值半径则在 2.24 μm 和 2.94 μm 左右. 秸秆焚烧气溶胶在 0.1 ~ 1 μm 粒径段的数浓度是烟花污染粒子的 2 倍左右, 这主要是由于生物质气溶胶的主要成分(黑碳气溶胶)的半径多为 0.1 ~ 1 μm ^[39]. 而在 1 ~ 3 μm 处前者浓度低于具有短时集中污染特征的烟花气溶胶约 20%, 这可能是由于秸秆焚烧产生的颗粒物经过长距离输送, 大粒径颗粒物沉降作用. 沙尘污染作用下的气溶胶数浓度在谱范围内均高于背景值, 在 0.086 ~ 0.194 μm 粒径段, 其值低于焚烧秸秆、燃放烟花污染期间值, 与沙尘气溶胶粗模态主导的特征吻合. 研究发现, 沙尘的峰值半径低于秸秆气溶胶, 与烟花污染近似, 这可能是因为沙尘的大粒径颗粒经过重力作用自然沉降^[42], 在传输过程中就清除殆尽; 而秸秆气溶胶群经过湿增长^[38], 粒径小幅跃升. 由于 AERONET 现

有算法中对光谱的折射率进行了平滑处理(产生 10% 左右的偏差)^[7], 具有限制因子效应, 导致数浓度谱的反演结果在细模态以及粗模态部分粒径段产生较大的偏差, 其原因与未对气溶胶进行分类有一定相关性.

表 2 为背景与各污染期间粗粒子浓度比细粒子浓度数值, 秸秆焚烧污染气溶胶的比值接近 1, 显示粗细粒子浓度相当, 虽然其与背景的粗细浓度比值极为接近, 但前者的数浓度在粗细模态均为背景值的 3 倍以上. 烟花污染类型气溶胶的粗粒子浓度约为细粒子的 2 倍, 不排除和北京冬季环境空气中粗粒子占优相关^[43](诸如来自供暖的排放). 沙尘污染气溶胶粗细粒子浓度比接近 5, 与体积浓度谱表明的结果相一致.

表 2 北京在干净背景与污染事件期间气溶胶体积数浓度比

Table 2 Concentration ratio of volume size between coarse and fine

particulates in background and different pollution episodes over Beijing

污染事件	干净背景	秸秆焚烧	烟花燃放	沙尘天气
粗细粒子浓度比	1.036	1.095	1.911	4.961

3 结论

(1) 北京地区污染事件期间各波段气溶胶光学厚度显著上升. 沙尘、秸秆、烟花气溶胶的 $\text{AOD}_{440 \text{ nm}}$ 分别是干净背景的 4.91、4.07、2.65 倍. 沙尘气溶胶对应高 AOD、低 Ångström 波长指数分布; 秸秆天的 $\text{AOD}_{440 \text{ nm}}$ 值有 75% 大于 1.3, 其波长指数则有 75% 低于 1.22; 烟花燃放天的光学厚度(440 nm)有 75% 小于 1.05, 波长指数大多低于 1.24.

(2) 总体上单次散射反照率随波长的变化不大, 沙尘气溶胶的散射特性最强, 对应的 ω 值(0.934)高于背景值(0.878)、秸秆气溶胶(0.921)以及烟花气溶胶(0.905); 秸秆气溶胶的 SSA 由于烟羽老化、吸湿性增长以及环境因子等的作用而偏高于其他研究结果; 烟花气溶胶在短波段(440 ~ 675 nm)表现出较强的散射特性.

(3) 3 类污染气溶胶体积数浓度均呈现双峰态分布; 细模态、粗模态峰值半径分别位于 0.1 ~ 0.2 μm 以及 2.24 ~ 3.85 μm 区间, 污染期间粒子体积浓度明显上升, 粗细粒子浓度比从小到依次表现为背景(1.04)、秸秆焚烧(1.10)、燃放烟花(1.91)以及沙尘气溶胶(4.96).

致谢: 感谢 Chen 和 Goloub 等对于 AERONET 北京站建设、维护所做的贡献.

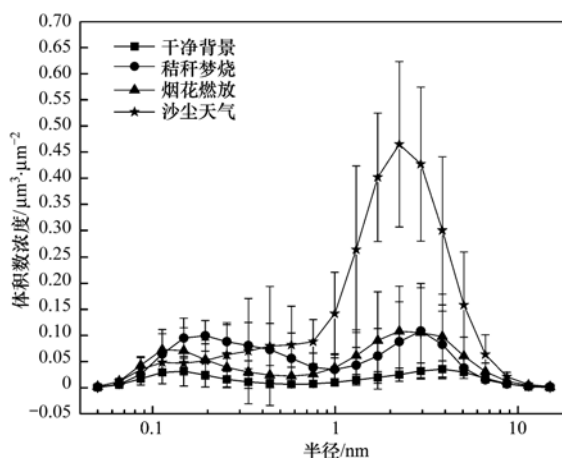


图 5 北京在干净背景与污染事件期间气溶胶体积浓度谱分布

Fig. 5 Aerosol volume size distributions in background and different pollution episodes over Beijing

参考文献:

- [1] 石广玉, 王标, 张华, 等. 大气气溶胶的辐射与气候效应[J]. 大气科学, 2008, **32**(4): 826-840.
- [2] 宋磊, 吕达仁. 上海地区大气气溶胶光学特性的初步研究[J]. 气候与环境研究, 2006, **11**(2): 203-208.
- [3] Hansen J E, Lacis A A. Sun and dust versus greenhouse gases: An assessment of their relative roles in global climate change[J]. Nature, 1990, **346**(6286): 713-719.
- [4] Murayama T, Sugimoto N, Uno I, *et al.* Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in east Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, **106**(D16): 18345-18359.
- [5] Holben B N, Eck T F, Slutsker I, *et al.* AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, **66**(1): 1-16.
- [6] 任宜勇, 李霞, 吕鸣, 等. CE318 太阳光度计观测资料应用前景及其解读[J]. 气象科技, 2006, **34**(3): 349-352.
- [7] Dubovik O, King M D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from sun and sky radiance measurements[J]. Journal of Geophysical Research, 2000, **105**(20): 673-696.
- [8] Chu D A, Kaufman Y J, Zibordi G, *et al.* Global monitoring of air pollution over land from the Earth Observing System-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, **108**(D21), doi: 10.1029/2002JD003179.
- [9] Beeson W L, Abbey D E, Knutsen S F, *et al.* Long-term concentrations of ambient air pollutants and incident lung cancer in California adults: results from the AHSMOG study[J]. Environmental Health Perspectives, 1998, **106**(12): 813-822.
- [10] 李令军, 王英, 李金香, 等. 2000~2010 北京大气重污染研究[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(1): 23-30.
- [11] Ge J M, Su J, Ackerman T P, *et al.* Dust aerosol optical properties retrieval and radiative forcing over northwestern China during the 2008 China-U. S. joint field experiment[J]. Journal of Geophysical Research, 2009, **115**(D7), doi: 10.1029/2009JD013263.
- [12] Wang Q Q, Shao M, Liu Y, *et al.* Impact of biomass burning on urban air quality estimated by organic tracers: Guangzhou and Beijing as cases[J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(37): 8380-8390.
- [13] 于兴娜, 李新妹, 登增然登, 等. 北京雾霾天气期间气溶胶光学特性[J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1057-1062.
- [14] Ravindra K, Mor S, Kaushik C P. Short-term variation in air quality associated with firework events: a case study[J]. Journal of Environmental Monitoring, 2003, **5**(2): 260-264.
- [15] 金军, 王英, 李令军, 等. 北京春节期间大气颗粒物污染及影响[J]. 环境污染与防治, 2007, **29**(3): 229-232.
- [16] Zhang M, Wang X M, Chen J M, *et al.* Physical characterization of aerosol particles during the Chinese New Year's firework events[J]. Atmospheric Environment, 2010, **44**(39): 5191-5198.
- [17] Zhang T, Claeys M, Cachier H, *et al.* Identification and estimation of the biomass burning contribution to Beijing aerosol using levoglucosan as a molecular marker[J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(29): 7013-7021.
- [18] 李令军, 王英, 张强, 等. 麦秸焚烧对北京市空气质量影响探讨[J]. 中国科学 D 辑, 2008, **38**(2): 232-242.
- [19] 孙业乐, 庄国顺, 袁蕙, 等. 2002 年北京特大沙尘暴的理化特性及其组分来源分析[J]. 科学通报, 2004, **49**(4): 340-346.
- [20] 徐敬, 张小玲, 颜鹏, 等. 2006 年春季沙尘天气下背景地区大气气溶胶光学特性的观测研究[J]. 气象科技, 2008, **36**(6): 679-685.
- [21] Che H, Shi G, Uchiyama A, *et al.* Intercomparison between aerosol optical properties by a PREDE skyradiometer and CIMEL sunphotometer over Beijing, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008, **8**: 3199-3214.
- [22] Li Z Q, Goloub P, Dubovik O, *et al.* Improvements for ground-based remote sensing of atmospheric aerosol properties by additional polarimetric measurements[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2009, **110**(17): 1954-1961.
- [23] He Q S, Li C C, Geng F H, *et al.* Aerosol optical properties retrieved from sun photometer measurements over Shanghai, China[J]. Journal of Geophysical Research, 2012, **117**(D16), doi: 10.1029/2011JD017220.
- [24] Smirnov A, Holben B N, Eck T F, *et al.* Cloud-screening and quality control algorithms for the AERONET database[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, **73**(3): 337-349.
- [25] 李金香, 赵越, 李令军, 等. 麦秸焚烧导致的北京市大气污染时空分布和化学组成特征分析[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(9): 1904-1909.
- [26] 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.
- [27] 曾令建, 缪启龙, 高庆先, 等. 沙尘天气对北京大气环境质量及太阳辐射的影响[J]. 环境科学研究, 2011, **24**(4): 433-439.
- [28] 李放, 吕达仁. 北京地区气溶胶光学厚度中长期变化特征[J]. 大气科学, 1996, **20**(4): 385-394.
- [29] Wang P, Che H Z, Zhang X C, *et al.* Aerosol optical properties of regional background atmosphere in Northeast China[J]. Atmospheric Environment, 2010, **44**(35): 4404-4412.
- [30] Kim J E, Ryu S Y, He Z S, *et al.* Spectral aerosol optical depth variation with different types of aerosol at Gwangju, Korea[J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2006, **68**(14): 1609-1621.
- [31] Martins J V, Artaxo P, Lioussé C, *et al.* Effects of black carbon content, particle size, and mixing on light absorption by aerosols from biomass burning in Brazil[J]. Journal of Geophysical Research, 1998, **103**(D24): 32041-32050.
- [32] Yu X N, Zhu B, Zhang M G, *et al.* Seasonal variability of aerosol optical properties over Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2009, **43**(26): 4095-4101.

- [33] Mochida M, Kawamura K. Hygroscopic properties of levoglucosan and related organic compounds characteristic to biomass burning aerosol particles [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, **109**(D21), doi: 10.1029/2004JD004962.
- [34] Xie C, Nishizawa T, Sugimoto N, *et al.* Characteristics of aerosol optical properties in pollution and Asian dust episodes over Beijing, China[J]. *Applied Optics*, 2008, **47**(27): 4945-4951.
- [35] Ångström A. On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air[J]. *Geographiska Annaler*, 1929, **11**: 156-166.
- [36] Keshtkar H, Ashbaugh L L. Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon particulate emission factors from agricultural burning[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(13): 2729-2739.
- [37] Yu X N, Cheng T T, Chen J M, *et al.* A comparison of dust properties between China continent and Korea, Japan in East Asia[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(30): 5787-5797.
- [38] Kim J, Yoon S C, Jefferson A, *et al.* Aerosol hygroscopic properties during Asian dust, pollution, and biomass burning episodes at Gosan, Korea in April 2001 [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(8): 1550-1560.
- [39] Reid J S, Koppmann R, Eck T F, *et al.* A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2005, **5**(3): 799-825.
- [40] Dubovik O, Holben B N, Eck T F, *et al.* Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations[J]. *Journal of Atmosphere Science*, 2002, **59**(3): 590-608.
- [41] Eck T F, Holben B N, Reid J S, *et al.* High aerosol optical depth biomass burning events: A comparison of optical properties for different source regions[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, **30**(20), doi: 10.1029/2003GL017861.
- [42] Xue M, Ma J Z, Yan P, *et al.* Impacts of pollution and dust aerosols on the atmospheric optical properties over a polluted rural area near Beijing city[J]. *Atmospheric Research*, 2011, **101**(4): 835-843.
- [43] 于令达, 王广甫, 朱光, 等. 2008 年北京采暖开始前后大气颗粒物化学成分及来源研究[J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(1): 204-210.

CONTENTS

Aerosol Optical Properties During Different Air-Pollution Episodes over Beijing	SHI Chan-zhen, YU Xing-na, ZHOU Bin, <i>et al.</i> (4139)
Characteristics and Source Analysis of Atmospheric Aerosol Ions over the Bohai Sea and the North Yellow Sea in Autumn	ZHANG Yan, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (4146)
Spatial Distribution Characteristics of Carbonaceous Aerosol During Summer in Beibu Gulf Zone, China	YANG Yi-hong, TAO Jun, GAO Jian, <i>et al.</i> (4152)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Greenhouse Gas by an Improved FTIR	XIA Ling-jun, LIU Li-xin, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (4159)
Distribution of CH ₄ in the Suburb of Changsha City, China	LIU Lu-ning, WANG Ying-hong, XU Xiao-juan, <i>et al.</i> (4165)
Chemical Composition of <i>n</i> -Alkanes in Wheat Straw and Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (4171)
Degradation of the Absorbed Methyl Mercaptan by Persulfate in Alkaline Solution	YANG Shi-ying, WANG Lei-lei, FENG Lin-yu, <i>et al.</i> (4178)
Emissions of Greenhouse Gas and Ammonia from the Full Process of Sewage Sludge Composting and Land Application of Compost	ZHONG Jia, WEI Yuan-song, ZHAO Zhen-feng, <i>et al.</i> (4186)
Distribution and Physicochemical Properties of Aquatic Colloids in the Yangtze Estuarine and Coastal Ecosystem	GU Li-jun, YANG Yi, LIU Min, <i>et al.</i> (4195)
Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Estuaries Surface Sediments from the Haihe River Basin	 LÜ Shu-cong, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing, <i>et al.</i> (4204)
Distribution of Perfluorooctanesulfonate and Perfluorooctanoate in Water and the Sediment in Fenhe River, Shanxi Province	Higashiguchi Tomohiro, SHI Jiang-hong, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (4211)
Analysis on Nitrogen and Phosphorus Loading of Non-point Sources in Shiqiao River Watershed Based on L-THIA Model	LI Kai, ZENG Fan-tang, FANG Huai-yang, <i>et al.</i> (4218)
Pollutant Source Apportionment of Combined Sewer Overflows Using Chemical Mass Balance Method	DAI Mei-hong, LI Tian, ZHANG Wei (4226)
Simulated Study of Algal Fatty Acid Degradation in Hypoxia Seawater-Sediment Interface Along China Coastal Area	SUI Wei-wei, DING Hai-bing, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (4231)
Influence of Two Different Species of Aquatic Plant Communities on the Concentration of Various Nitrogen Forms in Sediment of Lake Taihu	 MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (4240)
Study on Removal Rule of Endosulfan in Surface Flow Constructed Wetland	QIN Jing, GAO Fu-wei, XIE Hui-jun (4251)
Accumulation and Transformation of Different Arsenic Species in Nonaxenic <i>Dunaliella salina</i>	WANG Ya, ZHANG Chun-hua, WANG Shu, <i>et al.</i> (4257)
Evaluation of <i>in situ</i> Capping with Lanthanum-Modified Zeolite to Control Phosphate and Ammonium Release from Sediments in Heavily Polluted River	 LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui (4266)
Effects of Invertebrate Bioturbation on Vertical Hydraulic Conductivity of Streambed for a River	REN Chao-liang, SONG Jin-xi, YANG Xiao-gang, <i>et al.</i> (4275)
Formation of Disinfection By-products by <i>Microcystis aeruginosa</i> Intracellular Organic Matter; Comparison Between Chlorination and Bromination	 TIAN Chuan, GUO Ting-ting, LIU Rui-ping, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Natural Organic Matter on Coagulation Efficiency and Characterization of the Flocs Formed	XU Lei, YU Wen-zheng, LIANG Liang, <i>et al.</i> (4290)
DOM Membrane Fouling and Effects on Rejection Behaviors of NF Membranes	FENG Gui-zhen, DONG Bing-zhi (4295)
Removal of Hg in Wastewater by Zero-Valent Iron	ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, QIU Xin-kai, <i>et al.</i> (4304)
Catalytic Dechlorination of 2,4-D in Aqueous Solution by Fe ₃ O ₄ -Stabilized Nanoscale Pd/Fe	ZHOU Hong-yi, LIANG Si, ZENG Si-si, <i>et al.</i> (4311)
Comparative Study on Adsorption Behaviors of Natural Organic Matter by Powered Activated Carbons with Different Particle Sizes	LI Zheng-jian, SHI Bao-you, WANG Dong-sheng (4319)
Removal of Nitrate from Aqueous Solution Using Cetylpyridinium Chloride (CPC)-Modified Activated Carbon as the Adsorbent	ZHENG Wen-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (4325)
Adsorption Properties of Modified Graphene for Methylene Blue Removal from Wastewater	WU Yan, LUO Han-jin, WANG Hou, <i>et al.</i> (4333)
Application of Classical Isothermal Adsorption Models in Heavy Metal Ions/Diatomite System and Related Problems	ZHU Jian, WU Qing-ding, WANG Ping, <i>et al.</i> (4341)
Effects of Nitrate on Anoxic/Anaerobic Oxidation of Methane in the Aged Refuse	LIU Yan-yan, LONG Yan, YIN Hua, <i>et al.</i> (4349)
Study on the Biotransformation of Sulfate and Ammonia in Anaerobic Conditions	ZHANG Li, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4356)
Characteristics of Sulfate Reduction-Ammonia Oxidation Reaction	YUAN Yi, HUANG Yong, LI Xiang, <i>et al.</i> (4362)
Analysis of Hydrogen-production Performance in a UASB System at Low pH	ZHAO Jian-hui, ZHANG Bai-hui, LI Ning, <i>et al.</i> (4370)
Preparation of Red Mud Loaded Co Catalysts; Optimization Using Response Surface Methodology (RSM) and Activity Evaluation	LI Hua-nan, XU Bing-bing, QI Fei, <i>et al.</i> (4376)
Toxic Effects of High Concentrations of Ammonia on <i>Euglena gracilis</i>	LIU Yan, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (4386)
Influence of Image Process on Fractal Morphology Characterization of NAPLs Vertical Fingering Flow	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4392)
Changing Characteristics of Organic Matter and pH of Cultivated Soils in Zhejiang Province over the Last 50 Years	ZHANG Ming-kui, CHANG Yue-chang (4399)
Study on Selenium Contents of Typical Selenium-rich Soil in the Middle Area of Zhejiang and Its Influencing Factors	HUANG Chun-lei, SONG Ming-yi, WEI Ying-chun (4405)
Spatial Distribution Characteristics of Fe and Mn Contents in the New-born Coastal Marshes in the Yellow River Estuary	SUN Wen-guang, GAN Zhuo-ting, SUN Zhi-gao, <i>et al.</i> (4411)
Level, Composition and Sources of Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Soils from Chongming Island	SUN Yang-zhao, WANG Xue-tong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4420)
Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides in Soil from Daiyun Mountain Range in Fujian, China	QU Cheng-kai, QI Shi-hua, ZHANG Li, <i>et al.</i> (4427)
Levels of PCDD/Fs and Dioxin-Like PCBs in Soils Near E-Waste Dismantling Sites	SHAO Ke, YIN Wen-hua, ZHU Guo-hua, <i>et al.</i> (4434)
Chemical Form Changes of Exogenous Water Solution Fluoride and Bioavailability in Tea Garden Soil	CAI Hui-mei, PENG Chuan-yi, CHEN Jing, <i>et al.</i> (4440)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Vegetation Restoration of Different Types of Coal Mine Spoil Banks	ZHAO Ren-xin, GUO Wei, FU Rui-ying, <i>et al.</i> (4447)
Effects of the Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Environmental Phytoremediation in Coal Mine Areas	LI Shao-peng, BI Yin-li, KONG Wei-ping, <i>et al.</i> (4455)
Preliminary Analysis of Manganese Uptake Mechanism in the Hyperaccumulator <i>Phytolacca americana</i> L.	XU Xiang-hua, LI Ren-ying, LIU Cui-ying, <i>et al.</i> (4460)
Research on the Bioaccessibility of HgS by <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1	CHEN Yan, WANG Hui, SI You-bin (4466)
Study on IEUBK Model Localization Based on Behavior Parameters of Children from Southwestern China	JIANG Bao, CUI Xiao-yong (4473)
Sorption and Desorption Characteristics of Different Structures of Organic Phosphorus onto Aluminum (Oxyhydr) Oxides	LIU Fei, ZHANG Yan-yi, YAN Yu-peng, <i>et al.</i> (4482)
Study on the Occurrence of Ferrum in Coal by Ultrasound-assisted Sequential Chemical Extraction	XIONG Jin-yu, LI Han-xu, DONG Zhong-bing, <i>et al.</i> (4490)
A Review of Uptake, Translocation and Phytotoxicity of Engineered Nanoparticles in Plants	YANG Xin-ping, ZHAO Fang-Jie (4495)

《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11月15日 34卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 11 Nov. 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