

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

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

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究	吴起鑫, 韩贵琳	(2145)
成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建	岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊	(2151)
太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析	饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳	(2158)
环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征	徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏	(2165)
南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布	张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝	(2172)
青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征	刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺	(2180)
城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性	邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君	(2191)
基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算	陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌	(2197)
浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究	高嵩, 石晓勇, 王婷	(2204)
福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析	李雪丁	(2210)
HSPF 水文水质模型应用研究综述	李兆富, 刘红玉, 李燕	(2217)
城市降雨径流模拟的参数不确定性分析	黄金良, 林杰, 杜鹏飞	(2224)
利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度	姜广甲, 马荣华, 段洪涛	(2235)
嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定	谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园	(2244)
重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张烨	(2251)
南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究	郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红	(2259)
宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究	邱小琮, 赵红雪, 孙晓雪	(2265)
影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析	丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟	(2272)
大型底栖动物生物评价指数比较与应用	耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德	(2281)
青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征	王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郭伟	(2288)
青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征	郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康	(2295)
用物理-生态集成技术局部控制富营养化	李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆	(2303)
太湖氮素出入湖通量与自净能力研究	陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕	(2309)
富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应	袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波	(2315)
巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究	温胜芳, 单保庆, 张洪	(2322)
南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究	方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏	(2330)
东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究	林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干	(2335)
嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征	蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯	(2341)
电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源	王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟	(2347)
基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究	李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕	(2352)
渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响	秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟	(2359)
崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价	李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文	(2368)
白洋淀底泥重金属形态及竖向分布	李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民	(2376)
西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究	刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏	(2384)
氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制	刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博	(2394)
Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性	张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨	(2403)
声电氧化处理扑热息痛的研究	戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟	(2410)
粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究	白玉洁, 张爱丽, 周集体	(2419)
利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究	张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴	(2427)
Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究	王小蓉, 吴平霄	(2432)
核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究	武国正, 徐宗学	(2438)
A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究	翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松	(2444)
系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究	蒋涛, 孙培德, 徐少娟	(2451)
氧化还原介体催化强化 <i>Paracoccus versutus</i> 菌株 GW1 反硝化特性研究	李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博	(2458)
1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析	刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲	(2464)
蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化	秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康	(2470)
双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及品种筛选研究	傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛	(2475)
闽江河口短叶茳苳湿地 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对氮输入的短期响应	牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高	(2482)
青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征	彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波	(2490)
不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律	吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江	(2497)
土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响	吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯	(2503)
多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应	潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静	(2510)
不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究	梁宵, 占新华, 周立祥	(2516)
废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究	伊元荣, 韩敏芳	(2522)
中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析	卢愿清, 史军	(2528)
《环境科学》征稿简则 (2431)		
《环境科学》征订启事 (2532)		
信息 (2157, 2271, 2367, 2418)		

环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征

徐婷婷¹, 秦艳¹, 耿福海², 陈勇航^{1*}, 张华³, 刘琼¹, 马骁骏¹

(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 上海市气象局, 上海 200135; 3. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 采用2007年1月~2010年11月美国国家航空航天局(NASA)的CALIPSO星载激光雷达L1产品,通过532 nm总后向散射系数、体积退偏比和色比,分析了环上海地区干霾期间气溶胶光学和微物理属性的垂直分布特征。结果表明,干霾时各高度层中,0~2.0 km高度层的大气散射能力最强,且主要是规则气溶胶;2.0~8.0 km范围内各高度层大气散射强度、气溶胶规则性较接近;8.0~10.0 km高度层的大气散射能力最弱,且不规则气溶胶所占比例在各高度层中最大;细粒子气溶胶在各高度层均占主导地位,其中2.0~8.0 km范围内各高度层的细粒子气溶胶所占比例较大。春季大颗粒、不规则气溶胶所占比例大;夏季细粒子、规则气溶胶所占比例大。分析2007年5月7日个例发现,气溶胶粒子主要聚集在0~1.5 km范围内,在4.0~5.5 km范围内局部聚集;通过HYSPLIT轨迹模式分析表明,除本地排放的气溶胶粒子外,源于蒙古、中国西北和北部远程输送的沙尘也对霾产生了影响。

关键词: 干霾; 气溶胶; CALIPSO卫星; 光学特征; 微物理

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2165-07

Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai

XU Ting-ting¹, QING Yan¹, GENG Fu-hai², CHEN Yong-hang¹, ZHANG Hua³, LIU Qiong¹, MA Xiao-jun¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Shanghai Meteorological Bureau, Shanghai 200135, China; 3. National Climate Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the onboard lidar data from CALIPSO satellite of National Aeronautics and Space Administration (NASA) from January 2007 to November 2010, the vertical distribution of optical and micro-physical properties of aerosols around Shanghai during the haze periods when relative humidity less than 80% were revealed by analyzing the parameters of 532 nm total attenuated backscatter coefficient, volume depolarization ratio and total attenuated color ratio. The results showed that during dry haze periods, the scattering ability of lower troposphere (0-2 km) was the highest and the main constituents were regular aerosols. The scattering ability of the upper troposphere (8-10 km) was the lowest and the proportion of irregular aerosols was the highest among the five altitude layers. In addition, the scattering ability of the altitude range (2-8 km) was lower than that of the lower troposphere, and the scattering ability and irregularity of aerosols at different altitude levels within the range were close to each other. Fine particle aerosols were the dominant aerosols in altitude range of 0-10 km. To be noted, the proportion of fine particles decreased with increasing altitude within the altitude range of 2-8 km. The proportion of large and irregular aerosols were higher in spring, whereas the proportion of fine and regular aerosols were higher in summer. According to the analysis of a dry haze episode on May 7th, 2007, it was found that a mass of aerosols mainly distributed within the altitude range of 0-1.5 km and partially within the altitude range of 4.0-5.5 km. The HYSPLIT model was applied to analyze the sources of aerosols in the episode, and the results indicated that the dry haze was mainly caused not only by local emissions but also by the dust aerosols transported from Mongolia, the northwest and north of China by the airflow.

Key words: dry haze; aerosols; CALIPSO satellite; optical properties; micro physical properties

霾除了造成低能见度的危害外,其复杂的化学成分和沉降过程还对人体健康和生态环境带来不利影响^[1],因此近年来霾的研究受到普遍关注。国内外对霾的研究主要集中在霾的源解析^[2]、影响因素^[3]、以及气溶胶化学^[4,5]、物理^[6,7]和光学属性^[8]等方面。但大多数的研究都是基于单点地面观测资料 and 整层大气卫星观测的反演结果,对区域范围的气溶胶粒子垂直分布特征的研究还很缺乏。

上海作为经济快速发展、人口车辆密集的超大

型城市,据2010年上海环境公报^[9]报道,近年环境空气质量优良率总体虽呈上升趋势,但可吸入颗粒物仍然是上海大气的首要污染物。2001~2009年上海每年霾发生的天数超过150 d^[10],因此上海关于

收稿日期: 2011-09-26; 修订日期: 2011-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40975012); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2011CB403405); 重庆市气象局开放式研究基金项目(Kfj-201203)

作者简介: 徐婷婷(1981~),女,硕士研究生,主要研究方向为城市大气环境和遥感, E-mail: tracy_tt_xu@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: yonghangchen@dhu.edu.cn

霾和颗粒物的研究已成为热点. 张懿华等^[11]认为上海市的空气污染受本地排放和区域输送的共同影响; Ye 等^[12]认为上海 $PM_{2.5}$ 的质量浓度变化存在季节变化特征, $PM_{2.5}$ 的主要组分是有机碳; 范雪波等^[13]分析了上海市灰霾天大气颗粒物浓度及富集元素的粒径分布; 殷永文等^[14]认为上海市霾期间 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 污染对医院呼吸科、儿呼吸科日均门诊人数具有一定影响.

但有关上海霾的研究中, 对气溶胶垂直分布特征的研究尚罕见, 而气溶胶的垂直分布特征是评估气溶胶辐射效应的关键因素之一^[15]. Liao 等^[16]认为气溶胶粒子在不同垂直高度上, 长波和短波辐射强迫有所不同; Meloni 等^[17]发现在大气层顶气溶胶短波辐射强迫主要受气溶胶垂直分布的影响. 潘鹄等^[18]利用单站地面激光雷达数据分析了一次上海霾过程气溶胶消光系数及其廓线特征, 但利用星载激光雷达监测上海及周边区域霾期间气溶胶的光学和微物理属性的垂直分布情况的研究仍很缺乏. 因此, 本研究将应用“云-气溶胶激光雷达红外开拓者卫星观测”(cloud aerosol lidar and infrared pathfinder satellite observation, CALIPSO) 的反演资料分析上海干霾期间气溶胶的散射、粒子大小和规则性的垂直分布情况和季节变化特征, 以期对上海霾的研究、预警预报和有效控制提供科学依据.

1 数据与方法

本研究卫星资料来源为 CALIPSO 卫星搭载的正交极化云-气溶胶激光雷达 (CALIOP) L1 产品. CALIPSO 由美国的 NASA、Ball 公司和法国国家空间研究中心 (CNES) 等联合研制, 于 2006 年 4 月 28 日成功发射升空. CALIOP 是 CALIPSO 卫星的主要有效载荷之一, 具备识别气溶胶、沙尘、烟尘以及卷云的能力. CALIPSO 采用了偏振检测技术, 探测范围广, 具有较高垂直分辨率和测量精度, 能在包括海洋和陆地上空等全球范围内快速、连续、实时和长期地进行大气气溶胶光学属性和形态特征的探测^[19].

本研究依据 2010 年 6 月 1 日实施的国家气象行业标准^[20], 当研究时段内平均能见度 < 10 km, 平均相对湿度 $< 95\%$, 无降水、沙尘暴、扬沙、浮尘、烟幕、吹雪、雪暴等可造成视程障碍的天气现象出现时, 判识为霾. 参照有关研究^[21], 把平均相对湿度 $< 80\%$ 的霾定义为干霾. 采用上海市浦东、徐家汇、宝山和金山这 4 个气象站点 2007 年 1 月 ~ 2010 年 11 月地面观测数据, 当至少 2 个站点在同一研究时

段出现干霾时, 排除 CALIPSO 卫星 L1 产品中探测点过少以及云层过厚而使激光无法穿过云层探测低层大气的资料, 筛选出白天环上海地区对应时段 99 个 CALIPSO 过境时的干霾个例, 分析其气溶胶的光学和微物理属性的总体分布特征和季节分布特征, 并结合个例初步讨论气溶胶可能来源.

2 结果与分析

2.1 总体分布特征

2.1.1 散射强度的垂直分布

气溶胶颗粒物对太阳辐射的消光 (一般由颗粒物散射为主导) 被认为是限制对流层能见度的主要因素^[22]. CALIOP 可获得轨道白天和晚上的 2 个波长 (532 nm 和 1 064 nm) 的后向散射系数, 包括 532 nm 总后向散射系数、532 nm 垂直后向散射系数和 1 064 nm 后向散射系数, 计算公式如下:

$$\beta'_{532, \text{Total}}(z) = [\beta_{//}(z) + \beta_{\perp}(z)] \cdot T^2_{532}(z) \quad (1)$$

$$\beta'_{532, \perp}(z) = \beta_{\perp}(z) \cdot T^2_{532}(z) \quad (2)$$

$$\beta'_{1064}(z) = \beta_{1064}(z) \cdot T^2_{1064}(z) \quad (3)$$

式中, $\beta(z)$ 表示不同高度范围的后向散射系数, 激光脉冲输出波长为 532 nm 和 1 064 nm. 下标 $\perp$ 和 $//$ 分别表示偏振光 532 nm 平行光和 532 nm 垂直光, $T^2(z)$ 表示双向大气透射率:

$$T^2(z) = \exp \left\{ -2 \int_z^{z_{\text{sat}}} [\delta_m(z') + \delta_a(z') + \delta_{O_3}(z')] dz' \right\} \quad (4)$$

式中, δ_m 、 δ_a 和 δ_{O_3} 分别表示气体分子、气溶胶和臭氧的消光系数, z_{sat} 代表卫星的高度.

如图 1 所示, 干霾期间 532 nm 总后向散射系数出现的频率随着散射系数的增大而减少. 不同高度的大气散射情况亦有不同, 高度层 (0 ~ 2.0 km、2.0 ~ 4.0 km、4.0 ~ 6.0 km、6.0 ~ 8.0 km 和 8.0 ~ 10.0 km) 532 nm 总后向散射系数的频率分布如图 2 所示. 532 nm 总后向散射系数为 0 ~ 0.002 4 $\text{km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 范围的累积频率随着高度的增加而增大, 在 8.0 ~ 10.0 km 高度层上达最大, 为 70.176%, 0 ~ 2.0 km 高度层的散射系数累积频率最小, 为 42.360%; 2.0 ~ 4.0 km、4.0 ~ 6.0 km 和 6.0 ~ 8.0 km 散射系数累积频率接近, 分别为 46.485%、47.859% 和 47.873%. 0 ~ 8.0 km 范围内各高度在散射系数为 0.002 4 ~ 0.003 0 $\text{km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 的累积频率较接近, 在 8.0 ~ 10.0 km 高度上该散射系数范围内的累积频率最小, 为 8.053%. 散射系数在 0.003 0

$\sim 0.0100 \text{ km}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 范围的累积频率随着高度的增加而减少, 在高度 $8.0 \sim 10.0 \text{ km}$ 上散射系数累积频率最小, 为 21.771% , 并且该散射系数范围的累积频率在高度 $2.0 \sim 4.0 \text{ km}$ 、 $4.0 \sim 6.0 \text{ km}$ 和 $6.0 \sim 8.0 \text{ km}$ 上接近, 分别为 44.631% 、 43.427% 和 43.427% 。可见, 干霾时, 随着高度的增加, 大气的散射能力减弱, 其中 $2.0 \sim 8.0 \text{ km}$ 范围内各高度层的大气散射能力较接近, $0 \sim 2.0 \text{ km}$ 的大气散射能力在各高度层中最强。这主要由于受大气扩散条件和本地排放的影响, 使近地面气溶胶粒子增多, 从而使大气散射能力增强。

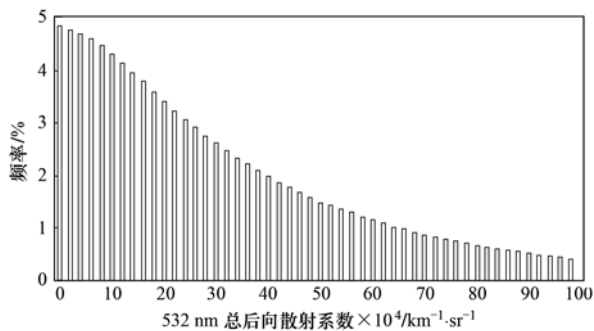


图1 高度 $0 \sim 10 \text{ km}$ 干霾时 532 nm 总后向散射频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of 532 nm total attenuated backscatter coefficient at $0 \sim 10 \text{ km}$ heights during dry haze periods

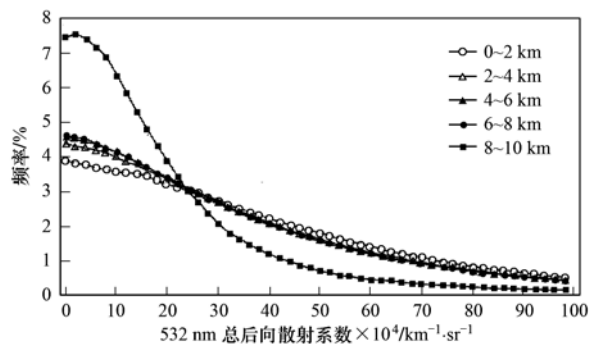


图2 干霾时不同高度 532 nm 总后向散射系数频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of 532 nm total attenuated backscatter coefficient at different heights during dry haze periods

2.1.2 体积退偏比的垂直分布

体积退偏比是 532 nm 垂直后向散射系数与 532 nm 平行后向散射系数之比, 反映了被测颗粒物的不规则程度, 公式如下:

$$\text{VDR}(z) = \frac{\beta'_{532, \perp}(z)}{\beta'_{532, \parallel}(z)} \quad (5)$$

退偏比越大, 说明颗粒物越不规则, 通过退偏比可区分球形和非球形气溶胶粒子。不同种类气溶胶, 体积退偏比亦有不同^[23, 24]。Liu 等^[25] 研究指出沙尘气溶

胶粒径大且不规则, 体积退偏比较大; 海洋气溶胶和大陆气溶胶主要由规则颗粒物组成, 体积退偏比为 $0 \sim 3\%$; 煤烟体积退偏比范围略大于海洋气溶胶和大陆气溶胶, 体积退偏比为 $0 \sim 5\%$ 。干霾时, $0 \sim 10 \text{ km}$ 高度范围内体积退偏比的分布频率随体积退偏比增大而减少(如图3)。

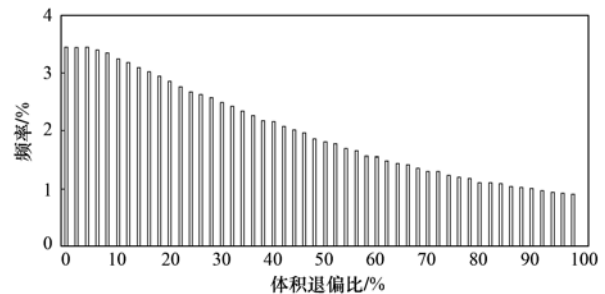


图3 高度 $0 \sim 10 \text{ km}$ 干霾时体积退偏比频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of volume depolarization ratio at $0 \sim 10 \text{ km}$ heights during dry haze periods

此外, 不同高度体积退偏比的频率分布如图4所示。可以看出, $0 \sim 2.0 \text{ km}$ 时体积退偏比为 $0 \sim 22\%$ 的累积频率在各高度层中最大, 为 37.093% ; $8.0 \sim 10.0 \text{ km}$ 时体积退偏比累积频率最小, 为 32.371% ; $2.0 \sim 4.0 \text{ km}$ 、 $4.0 \sim 6.0 \text{ km}$ 和 $6.0 \sim 8.0 \text{ km}$ 在该体积退偏比范围内的累积频率分别为 34.884% 、 36.282% 和 36.017% 。体积退偏比为 $22\% \sim 64\%$ 时高度 $8.0 \sim 10.0 \text{ km}$ 累积频率最大, 而其他高度层的累积频率较接近。 $64\% \sim 100\%$ 的体积退偏比在各高度层上的频率分布接近, 其中 $2.0 \sim 4.0 \text{ km}$ 体积退偏比累积频率最大为 21.285% , $0 \sim 2.0 \text{ km}$ 体积退偏比累积频率最小为 19.727% 。可见, 干霾时各高度层均以规则气溶胶为主; 与其它高度层相比, $0 \sim 2.0 \text{ km}$ 规则气溶胶所占比例最大, $8.0 \sim 10.0 \text{ km}$ 不规则气溶胶所占比例最大。

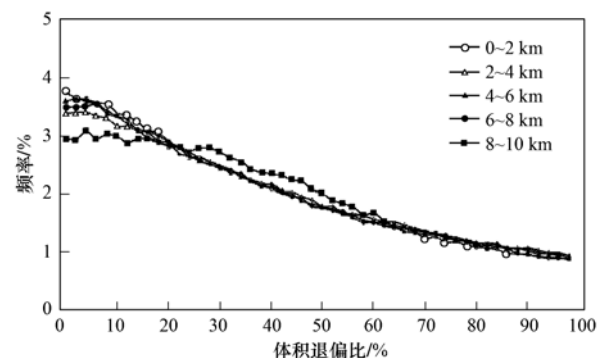


图4 干霾时不同高度体积退偏比频率分布

Fig. 4 Frequency distribution of volume depolarization ratio at different heights during dry haze periods

2.1.3 色比的垂直分布

大城市区域由于人类活动形成的霾天气本质主要是细粒子气溶胶污染^[21]. 色比可识别颗粒物的大小,色比越大,颗粒物越大. 色比是1 064 nm 总后向散射系数 $\beta'_{1\,064}$ 与532 nm 总后向散射系数 $\beta'_{532,\text{Total}}$ 之比^[25]:

$$\text{ACR}(z) = \frac{\beta'_{1\,064}(z)}{\beta'_{532,\text{Total}}(z)} \quad (6)$$

如图5所示,在0~10 km高度范围内,干霾时色比出现的频率随色比的增大而减少. 从不同高度上来看(如图6),8.0~10.0 km高度上色比为0~0.6范围内的频率均最小,累积频率为42.840%;而在色比为0.6~1.8范围内在8.0~10.0 km高度上的频率最大,累积频率为53.538%. 在高度2.0~8.0 km范围内,色比为0~0.2的累计频率随着高度的增加而减少,在2.0~4.0 km高度上该色比范围的累积频率达最大,为20.388%. 当色比为1.8~2.0时,各高度层的频率较接近. 可见,细粒子气溶胶在各高度层中均占主导地位,其中细粒子气溶胶在2.0~8.0 km高度范围内所占比例较大. 各高度层中,大颗粒气溶胶在8.0~10.0 km高度范围内所占比例最大,其次为高度0~2.0 km. 由于在8.0~10.0 km范围内可能存在卷云和远程输送的沙尘,从而造成色比有所增大;而0~2.0 km范围内,主要受到本地建筑活动、扬尘的影响,从而使大颗粒气溶胶在近地面大气中所占比重增加.

2.2 季节分布特征

将所筛选的CALIPSO卫星数据按季节分类:春

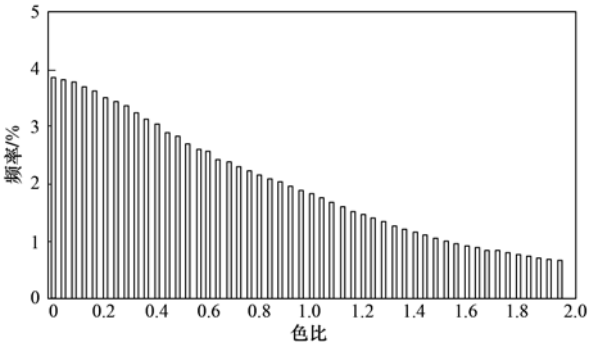


图5 高度0~10 km干霾时色比频率分布
Fig. 5 Frequency distribution of total attenuated color ratio at 0-10 km heights during dry haze periods

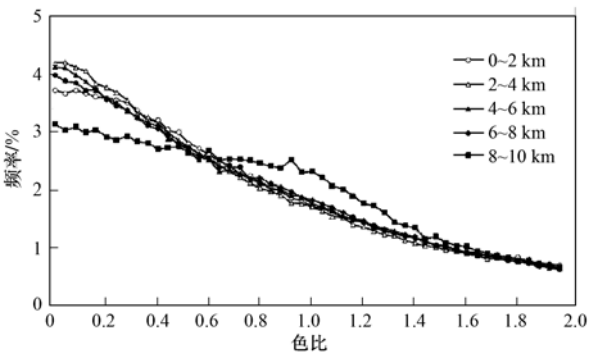


图6 干霾时不同高度色比频率分布
Fig. 6 Frequency distribution of total attenuated color ratio at different heights during dry haze periods

季(3、4、5月),夏季(6、7、8月),秋季(9、10、11月),冬季(1、2、12月). 其中春季29个个例,夏季26个个例,秋季23个个例,冬季21个个例. 表1、表2和表3分别列出了干霾时气溶胶粒子散射系数、体积退偏比和色比的季节频率分布.

表1 干霾时532 nm 总后向散射的季节频率分布/%

Table 1 Seasonal frequency distribution of 532 nm total attenuated backscatter coefficient during dry haze periods/%

季节	532 nm 总后向散射系数 $\times 10^4/\text{km}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$									
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
春季	22.542	19.478	15.347	11.783	9.018	6.947	5.311	4.056	3.124	2.393
夏季	22.325	19.199	15.290	11.841	9.104	6.945	5.381	4.176	3.204	2.534
秋季	23.702	19.898	15.519	11.743	8.888	6.650	4.989	3.747	2.797	2.068
冬季	24.997	20.390	15.118	11.187	8.423	6.391	4.830	3.702	2.826	2.136

表2 干霾时体积退偏比的季节频率分布/%

Table 2 Seasonal frequency distribution of volume depolarization ratio during dry haze periods/%

季节	体积退偏比/%									
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
春季	16.543	15.343	13.524	11.795	10.226	8.562	7.424	6.283	5.446	4.853
夏季	17.002	15.402	13.250	11.540	9.923	8.525	7.383	6.362	5.634	4.978
秋季	17.807	15.659	13.448	11.647	9.932	8.421	7.075	6.124	5.254	4.633
冬季	17.209	15.659	13.762	11.832	10.286	8.414	7.099	6.086	5.126	4.528

表 3 干霾时色比的季节频率分布/%

季节	色比									
	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0	1.0~1.2	1.2~1.4	1.4~1.6	1.6~1.8	1.8~2.0
春季	18.011	16.139	13.894	11.987	10.509	8.850	7.015	5.563	4.429	3.602
夏季	19.955	17.416	14.460	11.763	9.605	7.835	6.296	5.044	4.118	3.508
秋季	18.829	16.745	14.108	11.867	10.173	8.384	6.654	5.295	4.350	3.595
冬季	18.507	16.582	14.186	11.974	10.228	8.552	6.761	5.301	4.347	3.562

532 nm 总后向散射系数为 0 ~ 0.001 0 km⁻¹·sr⁻¹时,夏季的累积频率最小,其次是春季(如表 1). 体积退偏比为 0 ~ 20% 时,春季的累积频率最小,其次是冬季、秋季和夏季(如表 2). 与其它季节相比,春季不规则性气溶胶粒子所占比例最大,而夏季的规则气溶胶所占比例最大. 色比在 0 ~ 0.6 范围时,夏季的频率值均为最大. 相比其它季节,色比为 0.6 ~ 2.0 范围时,春季频率值均最大(如表 3). 可见,春季大颗粒气溶胶所占比例最大,而夏季细粒子气溶胶所占比例最大. 综上所述,与其它季节相比,春季不规则、大颗粒气溶胶所占比例最大,主要是由于我国春季西北部或其它地区频繁出现强沙尘天气,上海受到沙尘远程输送的影响. 此外,上海夏季降水丰沛,6 月西太平洋副热带高压静止锋稳定在长江下游及上海附近时,形成多雨闷热潮湿的梅雨天气,虽然频繁的湿沉降对颗粒物有冲刷作用,使细粒子和大颗粒气溶胶均有所减少,但夏季白天中午气温较高,大气中的光化学反应异常活跃,生成了更多以细粒子为主的二次气溶胶^[26],同时来自东海

的东南风给上海带来海洋气溶胶^[10],因而使得夏季细粒子、规则气溶胶的比重增加.

2.3 个例分析

为进一步说明霾对 2007 年 5 月 7 日 12:51(北京时间)CALIPSO 卫星经过上海监测到的一次干霾进行分析. 根据地面气象资料,该日 12:00 浦东、徐家汇和宝山站点的小时平均能见度分别为:7 816、7 082和1 948 km,小时平均相对湿度分别为:30%、29%和 24%,且均无降水、沙尘暴和浮尘等天气现象出现,因此判识这 3 个站点均发生干霾. 如图 7 所示 0 ~ 1.5 km 高度范围内聚集了大量气溶胶粒子;4.0 ~ 5.5 km 高度上,气溶胶粒子在经纬度(30.60° ~ 31.79°N,121.14° ~ 120.83°E)范围内局部聚集,而其它区域相对清洁. 图 7(b)是与图 7(a)同一时刻 CALIPSO 卫星经上海青浦区(31.19°N,120.99°E)上空时获得的 532 nm 总后向散射和体积退偏比廓线情况. 在 0 ~ 1.0 km 高度范围内,散射系数值在0.000 8 ~ 0.002 5 km⁻¹·sr⁻¹之间变动,体积退偏比变化幅度大. 可见,0 ~ 1.0 km 高度范围内

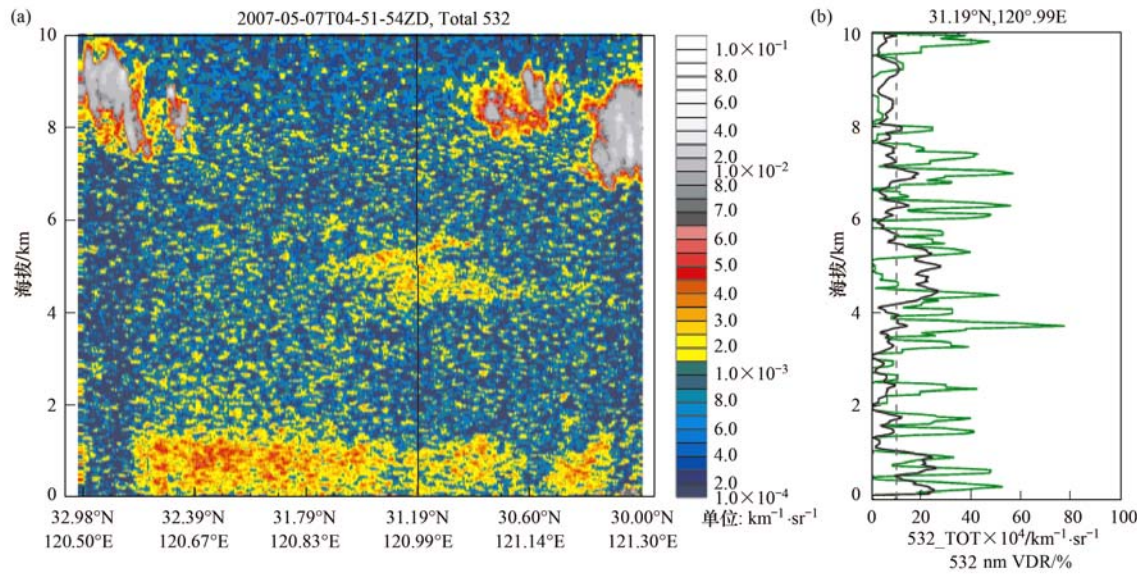


图 7 2007 年 5 月 7 日 12:51(北京时间)532 nm 总后向散射系数垂直剖面图和 31.19°N,120.99°E 体积退偏比(绿线)与 532 nm 总后向散射系数垂直(黑线)廓线图

Fig. 7 Altitude-orbit cross-section of total 532 nm total attenuated backscattering intensity and the vertical profiles of volume depolarization ratio (green curve) and total 532 nm total attenuated backscattering intensity (black curve) at 31.19°N,120.99°E at 12:51, May 7th, 2007

存在大量气溶胶,且同时存在规则气溶胶和不规则气溶胶.高度 1.0~4.0 km,散射系数小于或略大于 $0.0010\text{ km}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$,体积退偏比的变化仍有波动,说明该高度范围内大气气溶胶散射能力弱,存在少量不规则气溶胶.在高度 4.5 km 和 5.0 km 处散射系数略大于 $0.0025\text{ km}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$,而 4.5~5.1 km 高度范围内体积退偏比较小.可见 4.0~5.5 km 高度范围内大气气溶胶散射能力强,包括规则和不规则气溶胶,其中 4.5~5.1 km 高度范围内聚集的气溶胶主要为规则气溶胶.高度 5.5~10.0 km,散射系数在 $0.0010\text{ km}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$ 附近波动,体积退偏比在 0~60% 之间变动,说明该高度范围内大气气溶胶散射能力弱,存在少量规则和不规则气溶胶.

采用美国 NOAA 资源实验室的 HYSPLIT 轨迹模式对本例气溶胶粒子来源进行分析.以 31.19°N , 120.99°E 为参考点,选取 500、5 000 和 8 000 m 这 3 个高度,分别计算北京时间 2007 年 5 月 7 日 13:00 的后向轨迹,追踪抵达上海的气流过去 72 h 所经过的轨迹(如图 8).图 8 中一支气流途经新疆、宁夏、郑州和南京等地,从 1 500 m 开始随时间推移逐渐抬升,到达上海时,气流高度为 8 000 m.另一支气流途径河北、济南和南京等地,气流到达上海时高度 500 m,是近地面不规则气溶胶的重要输送来源.还有一支气流途经外蒙古、内蒙古和河北等地,气流在垂直高度上变化幅动不大,到达上海时气流高度 5 000 km,其远程输送的规则和不规则气溶胶在 4.0~5.5

km 范围内局部聚集.因此,该次干霾除本地排放的气溶胶粒子,还主要受到源于外蒙古、中国西北和北部远程输送的沙尘影响.

3 结 论

(1)干霾期间,各高度层中 0~2.0 km 的大气散射能力最强,以规则气溶胶为主;高度 2.0~8.0 km 大气散射强度、气溶胶规则性较接近;8.0~10.0 km 高度层大气散射强度最低,规则气溶胶所占比例最小.大于 64% 的体积退偏比在各高度层上的频率分布接近.

(2)细粒子气溶胶在各高度层中均占主导地位,其中 2.0~8.0 km 高度范围内细粒子气溶胶所占比例大.大颗粒气溶胶在 8.0~10.0 km 高度范围内所占比例最大,其次为 0~2.0 km 高度层.

(3)春季大颗粒、不规则气溶胶所占比例大;夏季细粒子、规则气溶胶所占比例较其它季节大.

(4)个例分析表明,该次干霾有大量的气溶胶聚集在 0~1.5 km 高度范围内,在 4.0~5.5 km 范围内气溶胶局部聚集,包括规则气溶胶和不规则气溶胶.采用 HYSPLIT 轨迹模式分析表明除本地排放的气溶胶粒子外,源于外蒙古、中国西北和北部远程输送的沙尘也对霾产生了影响.

致谢:本研究卫星资料来自美国 NASA Langley Distributed Active Archive Center,以及 HYSPLIT 轨迹模式由美国 NOAA 资源实验室提供,在此表示感谢.

参考文献:

- [1] 谭吉华. 广州灰霾期间气溶胶物化特性及其对能见度影响的初步研究[D]. 广州:中国科学院广州地球化学研究所, 2007. 3-12.
- [2] 杨卫芬,银燕,魏玉香,等. 霾天气下南京 $\text{PM}_{2.5}$ 中金属元素污染特征及来源分析[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(1): 12-17.
- [3] 胡荣章,刘红年,张美根,等. 南京地区大气灰霾的数值模拟[J]. 环境科学学报, 2009, **29**(4): 808-814.
- [4] 段青春,谭吉华,盛国英,等. 广州灰霾期间颗粒态 PAHs 的污染特征及来源[J]. 环境科学, 2009, **30**(6): 1575-1579.
- [5] 傅家谟. 傅家谟:二次气溶胶对灰霾贡献大[J]. 环境, 2008, (7): 28-29.
- [6] 杨军,牛忠清,石春娥,等. 南京冬季雾霾过程中气溶胶粒子的微物理特征[J]. 环境科学, 2010, **31**(7): 1425-1431.
- [7] 吴兑,邓雪娇,毕雪岩,等. 细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降[J]. 热带气象学报, 2007, **23**(1): 1-6.
- [8] 徐政,李卫军,于阳春,等. 济南秋季霾与非霾天气下气溶胶光学性质的观测[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(4): 546-

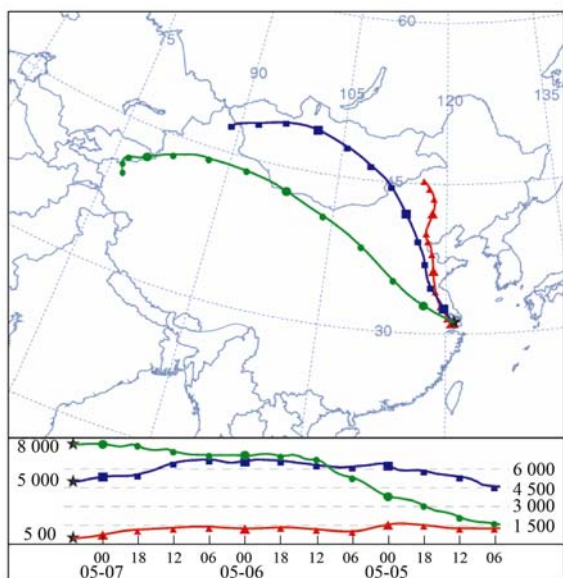


图 8 北京时间 2007 年 5 月 7 日 13:00 时 (31.19°N , 120.99°E) 72 h 后向轨迹

Fig. 8 72 h backward trajectories at 13:00 (Beijing time) on May 7th, 2007

- 552.
- [9] 上海市环境保护局. 2010 年上海市环境状况公报[EB/OL]. <http://www.envir.gov.cn/law/bulletin.asp>, 2011.
- [10] 徐昶. 中国特大城市气溶胶的理化特性、来源及其形成机制[D]. 上海: 复旦大学, 2010. 34-37.
- [11] 张懿华, 段玉森, 高松, 等. 上海城区典型空气污染过程中细颗粒污染特征研究[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(7): 1115-1121.
- [12] 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.
- [13] 范雪波, 吴伟伟, 王广华, 等. 上海市灰霾天大气颗粒物浓度及富集元素的粒径分布[J]. 科学通报, 2010, **55**(13): 1221-1226.
- [14] 殷永文, 程金平, 段玉森, 等. 上海市霾期间 PM_{2.5}、PM₁₀ 污染与呼吸科、儿呼吸科门诊人数的相关分析[J]. 环境科学, 2011, **32**(7): 1894-1898.
- [15] Claquin T, Schulz M, Balkanski Y J, *et al.* Uncertainties in assessing radiative forcing by mineral dust[J]. *Tellus Series B-chemical and physical Meteorology*, 1998, **50**(5): 491-505.
- [16] Liao H, Seinfeld J H. Radiative forcing by mineral dust aerosols: sensitivity to key variables[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998, **103**(D24): 31637-31645.
- [17] Meloni D, Sarra A D, Iorio T D, *et al.* Influence of the vertical profile of Saharan dust on the visible direct radiative forcing[J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2005, **93**(4): 397-413.
- [18] 潘鹄, 耿福海, 陈勇航, 等. 利用微脉冲激光雷达分析上海地区一次灰霾过程[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(11): 2164-2173.
- [19] 刘刚, 史伟哲, 尤睿. 美国云和气溶胶星载激光雷达综述[J]. 航天器工程, 2008, **17**(1): 78-84.
- [20] QX/T 113-2010, 中华人民共和国气象行业标准[S].
- [21] 吴兑, 吴晓京, 朱小祥. 雾和霾[M]. 北京: 气象出版社, 2009. 15-29.
- [22] 程雅芳, 张远航, 胡敏. 珠江三角洲大气气溶胶辐射特性——基于观测的模型方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008. 2-16.
- [23] Huang J P, Minnis P, Yi Y H, *et al.* Summer dust aerosols detected from CALIPSO over the Tibetan Plateau [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, **34**: L18805.
- [24] Huang J P, Minnis P, Chen B, *et al.* Long-range transport and vertical structure of Asian dust from CALIPSO and surface measurements during PACDEX [J]. *Journal Geophysical Research*, 2008, **113**: D23212.
- [25] Liu Z, Liu D, Huang J, *et al.* Airborne dust distributions over the Tibetan Plateau and surrounding areas derived from the first year of CALIPSO lidar observations[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(16): 5045-5060.
- [26] 宋宇, 唐孝炎, 张远航, 等. 夏季持续高温天气对北京市大气细粒子(PM_{2.5})的影响[J]. 环境科学, 2002, **23**(4): 33-36.

CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jianshan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《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7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 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