

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

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

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放	何吉成(1)
北京上甸子站气相色谱法大气 CH ₄ 和 CO 在线观测方法研究	汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)
2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子	朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)
广东东江流域多氯萘的大气沉降研究	王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)
塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征	段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)
紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究	王灿,席劲瑛,胡洪营,姚远(32)
春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征	丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)
春季胶州湾海水汞的形态研究	许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)
丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素	蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)
塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化	陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)
某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟	马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)
北京市城市降雨径流水质评价研究	侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)
重庆市路面降雨径流特征及污染源解析	张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)
沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究	陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)
Pd/TiO ₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究	张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)
pH值对纳米零价铁吸附降解2,4-二氯苯酚的影响	冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)
给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究	陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)
安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价	宋大平,庄大方,陈巍(110)
染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析	曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)
间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究	谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)
pH及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响	庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)
硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究	吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)
农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用	徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)
高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究	廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)
活性污泥对四环素的吸附性能研究	陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)
加油站油类污染物自然衰减现场试验研究	贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)
生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法	宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)
利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数	王晓玲,尹军,高尚(175)
数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响	董峰,张捍民,杨凤林(181)
不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响	刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)
间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究	曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)
鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究	陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)
北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估	陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)
外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究	杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)
赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建	朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究	别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)
纳米 TiO ₂ 对短裸甲藻的毒性效应	李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)
苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险	李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)
电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析	王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)
洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险	刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)
湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价	刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)
广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律	项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)
缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究	吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)
可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复	付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)
胡敏酸对汞还原能力的测定和表征	江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)
Zn(II)对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响	黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)
油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究	张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)
利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地微生物群落结构	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)
黄土高原六道沟流域8种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究	封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)
鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析	张健,关连珠,颜丽(323)
杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响	赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子

朱李华¹, 陶俊^{1*}, 陈忠明², 赵岳², 张仁健³, 曹军骥⁴

(1. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655; 2. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 3. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 4. 中国科学院地球环境研究所, 西安 710075)

摘要: 于2010年1月1~31日在北京城区每天采集PM_{2.5}样品。利用热光碳分析仪、离子色谱和X荧光光谱仪分别分析样品中有机碳/元素碳、水溶性离子和土壤元素,同步收集了大气散射系数(b_{sp})、吸收系数(b_{ap})和气象数据。利用IMPROVE方程重建大气消光系数,并与实测大气消光系数进行对比。结果发现,PM_{2.5}日均值质量浓度为 $(144.3 \pm 89.1) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,实测值 b_{ap} 、 b_{sp} 和消光系数(b_{ext})分别为 (67.4 ± 54.3) 、 (328.5 ± 353.8) 和 $(395.9 \pm 405.2) \text{Mm}^{-1}$ 。IMPROVE方程适用于观测期间北京大气消光系数的解析。观测期间计算值 b'_{ext} 均值为 $(611 \pm 503) \text{Mm}^{-1}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 、OM、EC和FS对 b'_{ext} 的贡献分别为24.6%、11.6%、45.5%、11.9%和6.4%。

关键词: PM_{2.5}; 化学组分; 消光系数; 重建; 贡献因子

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0013-07

Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010

ZHU Li-hua¹, TAO Jun¹, CHEN Zhong-ming², ZHAO Yue², ZHANG Ren-jian³, CAO Jun-ji⁴

(1. South China Institute of Environmental Sciences, MEP, Guangzhou 510655, China; 2. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 4. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China)

Abstract: Aerosol samples for PM_{2.5} were collected from 1st January to 31st January 2010, in Beijing. The concentrations of organic carbon, elemental carbon, water-soluble ions and soil elements of all particle samples were determined by thermal/optical carbon analyzer, ion chromatography and X-ray fluorescence spectrometer, respectively. The scattering coefficients (b_{sp}), absorbing coefficients (b_{ap}) and meteorological parameters for this period were also measured. Ambient light extinction coefficients were reconstructed by IMPROVE formula and were compared with measured light extinction coefficients. The results showed that the average mass concentration of PM_{2.5} was $(144.3 \pm 89.1) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ during campaigning period. The average values of measured b_{ap} , b_{sp} and extinction coefficient (b_{ext}) were (67.4 ± 54.3) , (328.5 ± 353.8) and $(395.9 \pm 405.2) \text{Mm}^{-1}$, respectively. IMPROVE formula is suitable for source apportionment of light extinction coefficient in campaign period. The average value of calculated b'_{ext} was $(611 \pm 503) \text{Mm}^{-1}$ in January, 2010. The major contributors to ambient light extinction coefficients included $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (24.6%), NH_4NO_3 (11.6%), OM (45.5%), EC (11.9%) and FS (6.4%), respectively.

Key words: PM_{2.5} aerosol; chemical compositions; extinction coefficient; reconstruction; contribution factors

霾天气现象已经成为我国主要城市十分显著的大气环境问题。2010年中国气象局颁布实施了《霾的观测和预报等级》(QX/T 113-2010),将能见度低于10 km,相对湿度<80%或相对湿度介于80%~95%,PM_{2.5}质量浓度>75 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 的天气定义为霾天气^[1]。霾天气本质上是由气溶胶散射和吸收的消光特性引起的。高浓度细粒子污染是导致霾天气最直接的因子^[2]。霾天气形成时,不仅使能见度下降人们视觉感受变差,还能引起呼吸道系统疾病^[3]。可见开展能见度下降机制方面研究具有十分重要的现实意义。

美国于1988年就开展了大气能见度下降机制方面的研究,并建立了IMPROVE(interagency

monitoring of PROtected visual environment)观测网^[4],随后澳大利亚、英国、韩国等随后开始这方面的研究^[5~7]。近年来,我国在大气能见度和霾天气形成机制方面也开展了一系列的研究工作,并取得很多的成果^[8~19]。北京作为华北地区最大的城市,近几年采取了很多措施来改善环境空气质量,但污染物的区域输送和机动车保有量快速增长,尤其在不利气象条件下,高浓度的颗粒物污染导致了北京地

收稿日期: 2011-02-28; 修订日期: 2011-05-20

基金项目: 国家环境保护公益性行业科研专项(200809143, 201009001); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB428503)

作者简介: 朱李华(1977~),男,高级工程师,主要研究方向为大气化学, E-mail: zhulihua@scies.org

* 通讯联系人, E-mail: taojun@scies.org

区能见度下降^[9]. 随后很多学者开展了北京地区能见度下降机制方面的研究^[20~22]. 这些研究成果对进一步认识北京能见度下降成因起到了较大的作用, 但没有具体解析出导致北京能见度降低来源及其贡献率.

本研究利用北京大学理科楼作为观测点, 于2010年1月1~31日进行了31 d的连续观测, 获得了PM_{2.5}水溶性离子、有机碳、元素碳和土壤元素等第一手观测数据, 同步收集了中国科学院大气物理所大气散射系数和吸收系数, 利用IMPROVE方程重建大气消光系数, 在此基础上评估PM_{2.5}中主要的化学成分对大气消光系数的贡献率, 以期在北京地区进一步开展霾天气防治工作提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 采样地点

采样地点设在北京大学理科楼顶(39°59'N, 116°18'E), 距离地面约25 m, 采样点周围是校园和商住区, 5 km范围内无明显大气污染源, 周围无建筑物遮挡, 视野比较开阔, 监测数据在一定程度上代表了北京城区大气污染水平.

1.2 样品采集

于2010年1月1~31日利用两台frmOMNI™(BGI Co., USA)颗粒物采样器每天同步采集一张PM_{2.5}石英膜(Whatman QM/A, England)和一张Teflon膜(Whatman PTFE, England)样品. 采样时间为当日的10:00到次日的10:00, 采样器流量为5.0 L·min⁻¹, 石英膜在采样前用800℃高温灼烧3 h(去除可能的碳污染), 冷却后放在恒温恒湿箱(温度20~23℃, 相对湿度35%~45%)平衡24 h, 再用精度为1 μg电子天平(Sartorius, Göttingen, Germany)进行称量, 采样完成后样品放入冰箱冷冻柜中-18℃保存待进行化学分析.

1.3 其他数据采集

收集北京市气象台(编号54511, 39°48'N, 116°28'E)风速风向、温度、相对湿度、大气压和降雨量等气象因子. 收集中国科学院大气物理研究所(39°58'N, 116°22'E)浊度仪(AURORA 1000, ECHOTECH)每5 min散射系数(波长520 nm, TSP切割头)和黑碳仪(AE-31, MAGEE)每5 min黑碳浓度(波长880 nm, PM_{2.5}切割头). 浊度仪测的是干气溶胶散射系数(相对湿度<40%). 由于黑碳仪测得的是黑碳浓度, 本研究利用吴兑等^[23]在广州观测得的黑碳浓度(波长880 nm)与实测的大气吸收系数

之间的换算系数8.28来估算北京的大气吸收系数, 该换算系数已经在北京地区得到应用^[22], 因此某种程度上也适用于本研究.

1.4 样品化学分析

1.4.1 水溶性离子分析

剪取四分之一的石英膜加入10 mL去离子水($R > 18.2 \text{ M}\Omega$), 超声萃取1 h, 采用0.45 μm针孔过滤器过滤, 用中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室的Dionex-600型离子色谱仪对水溶性离子进行分析. Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺和Ca²⁺这5种阳离子使用CS12A分析柱和CG12A保护柱及CSRS抑制器进行检测分析, 淋洗液使用浓度为20 mmol·L⁻¹的MSA, 流速为1 mL·min⁻¹. 4种阴离子F⁻、Cl⁻、NO₃⁻和SO₄²⁻使用AS11-HC分析柱和AG11-HC保护柱及ASRS抑制器进行检测分析, 淋洗液是20 mmol·L⁻¹的KOH, 流速为1 mL·min⁻¹. 数据质量控制采用美国沙漠所(DRI)质量控制标准, 每测定10个样品复检1个, 样品质量浓度在0.030~0.100 g·L⁻¹范围时, 允许的标准偏差为±30%; 质量浓度在0.100~0.150 g·L⁻¹之间时, 要求标准偏差为<20%; 样品质量浓度>0.150 g·L⁻¹时, 允许的标准偏差为10%.

1.4.2 有机碳和元素碳分析

所有样品的OC(organiics carbon)和EC(element carbon)分析采用美国沙漠研究所研制、中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室的DRI Model 2001热光碳分析仪(Thermal/Optical Carbon Analyzer). 应用IMPROVE热光反射的实验方法^[24]. 该方法的主要测试原理是: 在无氧的纯He环境中, 分别在140℃(OC1)、280℃(OC2)、480℃(OC3)和580℃(OC4)温度下, 对0.526 cm²的滤膜片进行加热, 将滤纸上的颗粒态碳转化为CO₂; 然后再将样品在含2%氧气的氦气环境下, 分别于580℃(EC1)、740℃(EC2)和840℃(EC3)逐步加热, 此时样品中的元素碳释放出来. 上述各个温度梯度下产生的CO₂, 经MnO₂催化, 于还原环境下转化为可通过火焰离子检测器(FID)检测的CH₄. 样品在加热过程中, 部分有机碳可发生碳化现象而形成黑碳, 使滤膜变黑, 因此, 在测量过程中, 采用633 nm的氦-氖激光监测滤纸的透射光强, 利用光强的变化明确指示出元素碳氧化的起始点. 有机碳碳化过程中形成的碳化物称之为光学检测裂解碳(OP). IMPROVE协议将有机碳定义为OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + OP, 元素碳定义为EC1 + EC2 + EC3 - OP.

1.4.3 元素分析

用中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室能
量色散型 X 荧光光谱仪 (Epsilon5, PANalytical
Company, Netherlands) 对 Teflon 样品中的土壤元素
进行分析,土壤元素种类如下: 铝 (Al)、硅 (Si)、钙
(Ca)、钛 (Ti) 和铁 (Fe),具体方法见文献[25].

2 结果与分析

2.1 PM_{2.5} 浓度和消光系数水平

表 1 为 2010 年 1 月北京 PM_{2.5} 中主要化学组分
质量浓度和实测消光系数水平. PM_{2.5} 日均值质量浓
度为 (144.3 ± 89.1) μg·m⁻³, 变化范围为 48.4 ~
354.8 μg·m⁻³. OC 和 EC 质量浓度分别为 (25.5 ±
15.6) 和 (7.9 ± 7.7) μg·m⁻³, 占 PM_{2.5} 质量浓度的
(17.8 ± 4.5)% 和 (4.6 ± 2.0)%. 水溶性离子中
SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 浓度最高, 分别为 (16.6 ± 11.2) 和
(11.1 ± 12.4) μg·m⁻³. 值得注意的是, Cl⁻ 浓度均
值达到 (6.3 ± 3.9) μg·m⁻³, 且最大值达到 14.8
μg·m⁻³, 初步判断生物质燃烧可能对北京城区大
气环境质量有一定的影响^[26~28]. 土壤元素 Al、Si、
Ti、Fe 和 Ca 浓度也处于相对较高的水平, 可见道路
扬尘或浮尘对北京大气环境质量有一定的影响. 实
测吸收系数 (*b_{ap}*)、散射系数 (*b_{sp}*) 和消光系数 (*b_{ext}*)
均值分别为 (67.4 ± 54.3)、(328.5 ± 353.8) 和
(395.9 ± 405.2) Mm⁻¹.

图 1 为 2010 年 1 月北京 PM_{2.5} 中主要化学组分
逐日变化趋势. 图 2 为 2010 年 1 月北京主要气象
因子逐日变化趋势. 由图 1 可知, 观测期间有 3 次明
显的高浓度 PM_{2.5} 污染过程, 分别出现在 1 月 4 ~ 8
日、11 ~ 18 日和 24 ~ 26 日, PM_{2.5} 最大浓度分别为
252.8、354.8 和 272.8 μg·m⁻³. 3 次过程 PM_{2.5} 化
学成分有一定的差异, 1 月 4 ~ 8 日 OC、EC 和水溶
性离子浓度较高. 11 ~ 18 日除了 OC、EC 和水溶性
离子浓度较高外, 土壤元素略有升高. 24 ~ 26 日土
壤元素则有明显的升高. 由此可见, 2010 年 1 月北
京高浓度的 PM_{2.5} 不仅与人为排放源有关, 还与自然
土壤尘有关. 结合图 2 可知, 3 次明显的高浓度
PM_{2.5} 污染过程中均出现连续的静小风天气, 可见静
小风天气是导致高浓度 PM_{2.5} 的主要气象因子. 图 3
为 2010 年 1 月北京实测大气消光系数逐日变化趋
势. 对比图 1 和图 3 可知, 实测 *b_{ext}* 与 PM_{2.5} 浓度变化
趋势基本一致, 且实测 *b_{ext}* 与 PM_{2.5} 浓度相关性很好
(见图 4), 相关性系数达到 0.96, 且 PM_{2.5} 平均消光

效率达到 4.4 m²·g⁻¹, 由此可知高浓度 PM_{2.5} 污染是
导致北京能见度下降或霾天气的最主要也是最直接
的原因.

表 1 2010 年 1 月北京 PM_{2.5} 中主要化学成分
浓度和实测消光系数水平

Table 1 Chemical component concentrations in PM_{2.5} and
measured extinction coefficient in Beijing in January, 2010

项目	单位	均值	最大值	最小值
PM _{2.5}	μg·m ⁻³	144.3 ± 89.1	354.8	48.4
OC	μg·m ⁻³	25.5 ± 15.6	58.6	8.5
EC	μg·m ⁻³	7.9 ± 7.7	28.1	1.2
F ⁻	μg·m ⁻³	0.4 ± 0.5	1.5	0.0
Cl ⁻	μg·m ⁻³	6.3 ± 3.9	14.8	1.8
NO ₃ ⁻	μg·m ⁻³	11.1 ± 12.4	46.7	1.7
SO ₄ ²⁻	μg·m ⁻³	16.6 ± 11.2	43.6	5.3
Na ⁺	μg·m ⁻³	0.3 ± 0.5	1.8	0.0
NH ₄ ⁺	μg·m ⁻³	4.9 ± 6.3	21.0	0.1
K ⁺	μg·m ⁻³	0.9 ± 1.0	3.5	0.0
Mg ²⁺	μg·m ⁻³	0.3 ± 0.4	1.3	0.0
Ca ²⁺	μg·m ⁻³	0.3 ± 0.5	1.8	0.0
Al	μg·m ⁻³	2.3 ± 1.7	8.0	0.5
Si	μg·m ⁻³	1.9 ± 1.4	6.8	0.6
Ti	μg·m ⁻³	0.2 ± 0.1	0.6	0.1
Ca	μg·m ⁻³	3.1 ± 1.8	8.0	1.1
Fe	μg·m ⁻³	2.5 ± 1.3	6.9	1.0
<i>b_{ap}</i>	Mm ⁻¹	67.4 ± 54.3	199.2	11.0
<i>b_{sp}</i>	Mm ⁻¹	328.5 ± 353.8	1 307.6	45.9
<i>b_{ext}</i>	Mm ⁻¹	395.9 ± 405.2	1 483.7	59.0

2.2 重建大气消光系数

由于我国缺乏对大气消光系数比较系统的研
究, 因此利用 IMPROVE 方程计算 2010 年 1 月北京
消光系数, 并与实测消光系数进行比较, 评估
IMPROVE 方程的适用性. IMPROVE 方程如下:

$$b'_{ext} = b'_{ap} + b'_{sp} \tag{1}$$

$$b'_{ap} = 10 \times [EC] \tag{2}$$

$$b'_{sp} = 2.2 \times f_s(RH) \times [Small (NH_4)_2SO_4] +$$

$$4.8 \times f_L(RH) \times [Large (NH_4)_2SO_4] +$$

$$2.4 \times f_s(RH) \times [Small NH_4NO_3] + 5.1 \times$$

$$f_L(RH) \times [Large NH_4NO_3] + 2.8 \times$$

$$[Small OM] + 6.1 \times [Large OM] + 1.7 \times$$

$$f_{ss}(RH) \times [SS] + 1 \times [FS] + 0.6[CM] \tag{3}$$

$$[Large X] = [Total X]^2 / (20 \mu g \cdot m^{-3}),$$

$$\text{for } [Total X] < 20 \mu g \cdot m^{-3}$$

$$[Large X] = [Total X],$$

$$\text{for } [Total X] \geq 20 \mu g \cdot m^{-3}$$

$$[Small X] = [Total X] - [Large X]$$

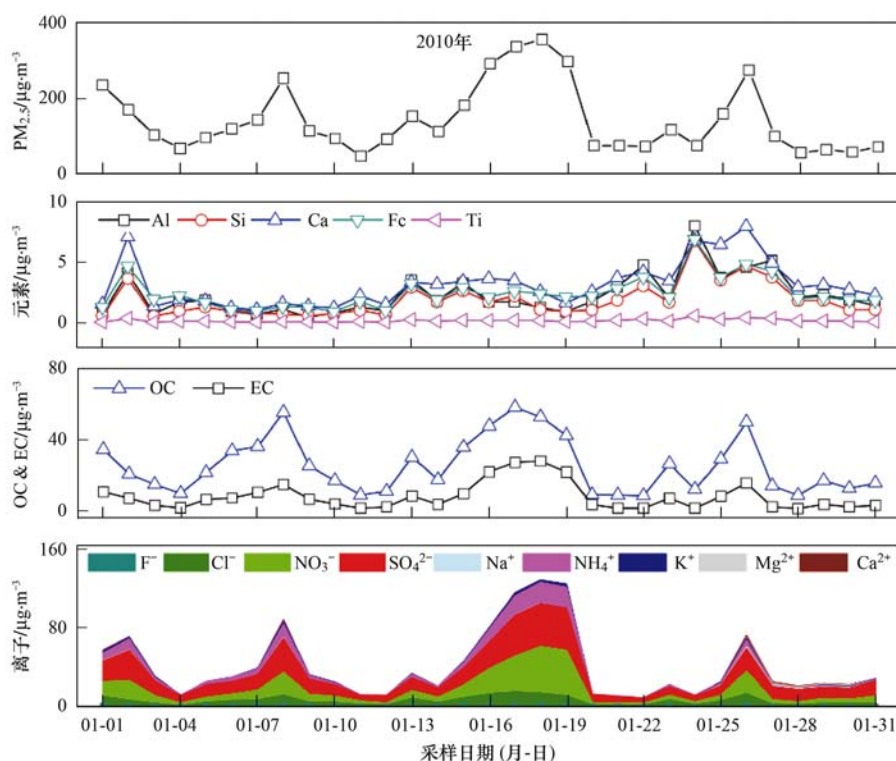


图1 2010年1月北京PM_{2.5}中主要化学组分逐日变化趋势

Fig. 1 Diurnal variation of the major components in PM_{2.5} in Beijing in January, 2010

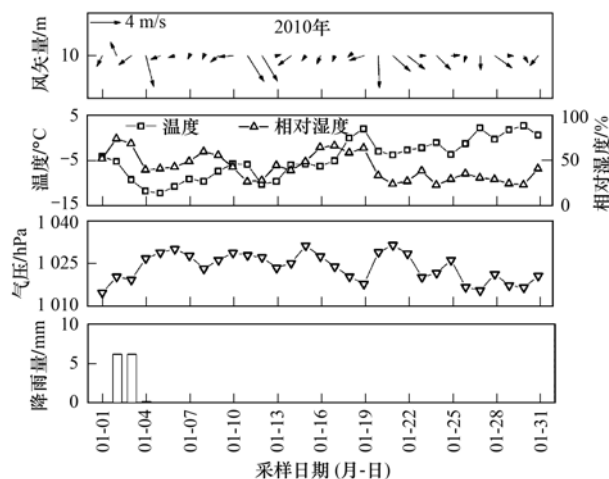


图2 2010年1月北京主要气象因子逐日变化趋势

Fig. 2 Diurnal variation of meteorological parameters in Beijing in January, 2010

式中, X 分别为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 和 OM.

公式(3)中: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 1.375 [\text{SO}_4^{2-}]$; $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.29 [\text{NO}_3^-]$; $\text{OM}(\text{organic matter}) = 1.6 [\text{OC}]^{[29]}$; $\text{SS}(\text{sea salt}) = 1.8 [\text{Cl}^-]$; $\text{FS}(\text{fine soil}) = 2.20 [\text{Al}] + 2.49 [\text{Si}] + 1.94 [\text{Ti}] + 1.63 [\text{Ca}] + 2.42 [\text{Fe}]$; $\text{CM}(\text{coarse mass}) = [\text{PM}_{10}] - [\text{PM}_{2.5}]$;

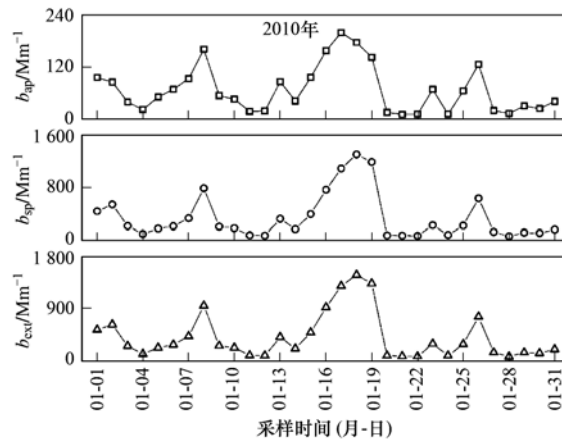
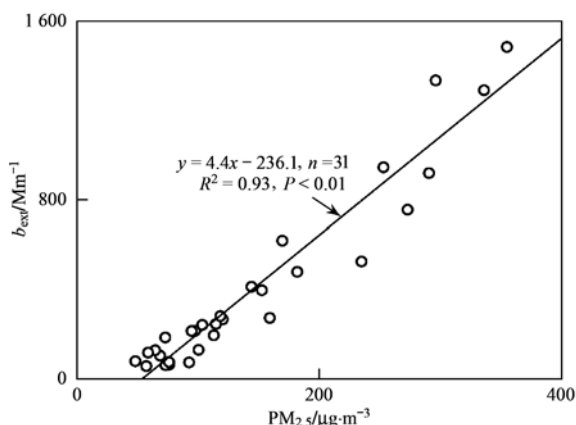


图3 2010年1月北京实测大气消光系数逐日变化趋势

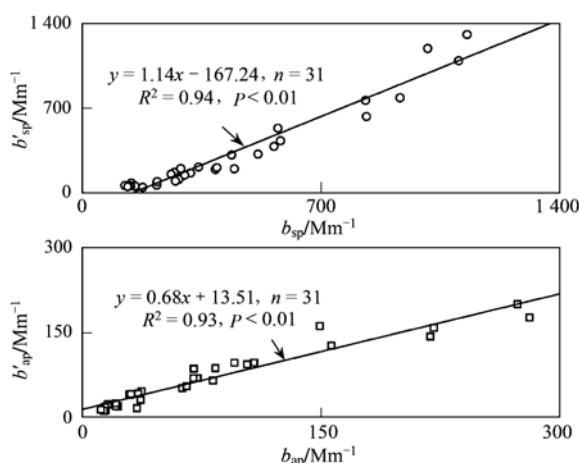
Fig. 3 Diurnal variation of measured extinction coefficient in Beijing in January, 2010

b'_{ext} 、 b'_{ap} 和 b'_{sp} 单位为 Mm^{-1} . $[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{NO}_3^-]$ 、 $[\text{OC}]$ 、 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{Al}]$ 、 $[\text{Si}]$ 、 $[\text{Ti}]$ 、 $[\text{Ca}]$ 、 $[\text{Fe}]$ 、 $[\text{PM}_{10}]$ 和 $[\text{PM}_{2.5}]$ 质量浓度单位为 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. 相对湿度增长曲线 $f_s(\text{RH})$ 、 $f_L(\text{RH})$ 和 $f_{ss}(\text{RH})$ 参见文献[30]. 用于验证 IMPROVE 方程适用性的相对湿度数据来源于 AURORA 1000 浊度仪内部温湿度传感器的实测数据. 本研究未同步测量 PM_{10} 浓度, 且

图 4 $PM_{2.5}$ 与 b_{ext} 之间相关关系Fig. 4 Relationship between $PM_{2.5}$ mass concentration and b_{ext}

已有的研究表明粗粒子 CM 对 b_{sp} 的贡献很小^[31,32], 因此忽略 CM 对 b_{sp} 的贡献. 但值得注意的是, 冬季北京盛行北风, 海盐对北京城区 $PM_{2.5}$ 基本可以忽略, 但实际测得 Cl^- 浓度却比较高, 可判断 Cl^- 来源生物质燃烧或工业直接排放而非海盐, 因此也忽略 SS 对 b_{sp} 的贡献.

由图 5 可知, 尽管忽略了 CM 和 SS, 计算值 b'_{sp} 和实测值 b_{sp} 相关性系数达到 0.97, 且斜率 1.14, 计算值 b'_{ap} 和实测值 b_{ap} 相关性系数达到 0.96, 斜率仅为 0.68, 其主要原因是实测值 b_{ap} 安装了 $PM_{2.5}$ 切割头, 因此实测值 b_{ap} 要小于实际大气 b_{ap} . 由此可见, IMPROVE 方程可以较好地反映出观测期间北京城区实际的大气消光系数.

图 5 b'_{sp} 与 b_{sp} 和 b'_{ap} 与 b_{ap} 之间相关关系Fig. 5 Relationships between b'_{sp} vs b_{sp} and b'_{ap} vs b_{ap}

2.3 大气消光系数贡献因子解析

利用环境实际相对湿度和 $f_s(RH)$ 、 $f_L(RH)$ 增

长曲线计算得到实际大气环境消光系数, 实测值 b_{ext} 和计算值 b'_{ext} 相关关系见图 6. 由图 6 可知, 实测值 b_{ext} 和计算值 b'_{ext} 相关性系数为 0.99, 斜率仅为 0.80, 由此可知利用 IMPROVE 方程及其 $f_s(RH)$ 和 $f_L(RH)$ 增长曲线计算得到的 b'_{ext} 能很好地反映实际大气消光系数变化趋势, 但计算值 b'_{ext} 略大于实测值 b_{ext} , 其原因是实测值 b_{ext} 为干气溶胶的消光系数, 而计算值 b'_{ext} 则考虑气溶胶吸湿增长因素, 因此 IMPROVE 方程可以用于解析观测期间北京大气消光系数的贡献因子及其贡献率.

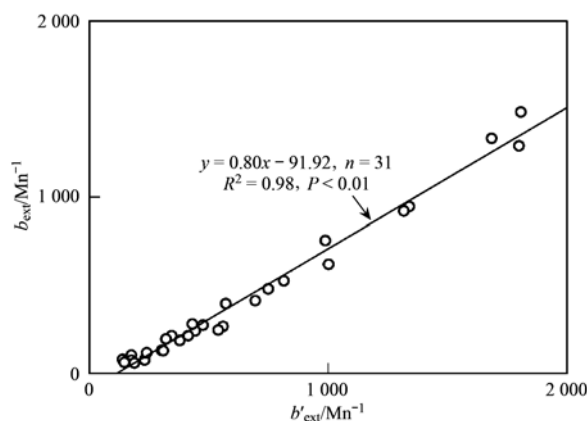
图 6 b'_{ext} 与 b_{ext} 之间相关关系Fig. 6 Relationship between b'_{ext} and b_{ext}

图 7 为利用 IMPROVE 方程估算得到的逐日大气消光系数及其主要贡献因子的贡献率. 由图 7 可知, 观测期间北京计算值 b'_{ext} 为 $(611 \pm 503) Mm^{-1}$, 范围为 $140 \sim 1808 Mm^{-1}$. 3 次高浓度 $PM_{2.5}$ 污染过程, 计算值 b'_{ext} 最大值分别为 1341、1808 和 989

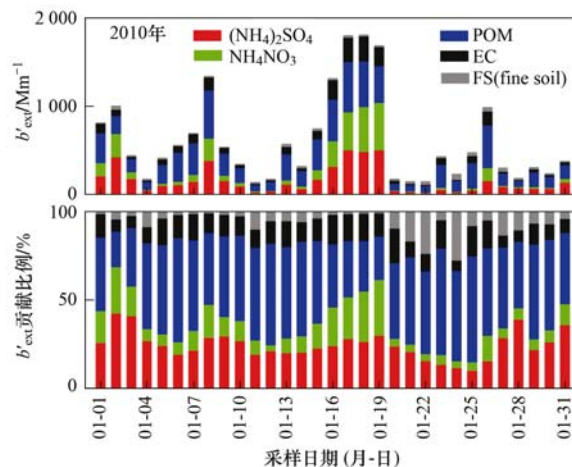


图 7 2010 年 1 月北京计算值消光系数的逐日变化趋势

Fig. 7 Diurnal variation of calculated extinction efficiencies of chemical compositions in $PM_{2.5}$ in Beijing in January, 2010

Mm^{-1} . 观测期间北京城区计算值 b'_{ext} 主要贡献者为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 、OM、EC 和 FS, 其贡献率分别为 24.6%、11.6%、45.5%、11.9% 和 6.4%, 其中 OM 对消光系数的贡献高达 45.5%, 明显高于济南和广州^[14,17].

3 结论

(1) 2010 年 1 月北京 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值质量浓度为 $(144.3 \pm 89.1) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 变化范围为 $48.4 \sim 354.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. 实测吸收系数 (b_{ap})、散射系数 (b_{sp}) 和消光系数 (b_{ext}) 分别为 (67.4 ± 54.3) 、 (328.5 ± 353.8) 和 $(395.9 \pm 405.2) \text{Mm}^{-1}$.

(2) 利用 IMPROVE 方程重建了大气消光系数, 计算值 b'_{sp} 和实测值 b_{sp} 相关性系数达到 0.97, 斜率为 1.14, 计算值 b'_{ap} 和实测值 b_{ap} 相关性系数达到 0.96, 斜率为 0.68, 计算值 b'_{ext} 和实测值 b_{ext} 相关性系数为 0.99, 斜率为 0.80, 表明 IMPROVE 方程适用于 2010 年 1 月北京大气消光系数的解析.

(3) 2010 年 1 月北京计算值 b'_{ext} 为 $(611 \pm 503) \text{Mm}^{-1}$, 范围为 $140 \sim 1808 \text{Mm}^{-1}$. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 、OM、EC 和 FS 对计算值 b'_{ext} 的贡献分别为 24.6%、11.6%、45.5%、11.9% 和 6.4%.

参考文献:

- [1] QX/T 113-2010, 霾的观测和预报等级[S].
- [2] Watson J G. Visibility: science and regulation [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 2002, **52**(6): 628-713.
- [3] Pope C A, Dockery D W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 2006, **56**(6): 709-742.
- [4] Sisler J F, Malm W C. Interpretation of trends of $\text{PM}_{2.5}$ and reconstructed visibility from the IMPROVE network [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 2000, **50**: 775-789.
- [5] Chan Y C, Simpson R W, McTainsh G H, *et al.* Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques [J]. Atmospheric Environment, 1999, **33**(19): 3237-3250.
- [6] Doyle M, Stephen D. Visibility trends in the UK 1950-1997 [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(19): 3161-3172.
- [7] Kim K W. Physico-chemical characteristics of visibility impairment by airborne pollen in an urban area [J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(17): 3565-3576.
- [8] 宋宇, 唐孝炎, 张远航, 等. 北京市大气能见度规律及下降原因 [J]. 环境科学研究, 2003, **16**(2): 10-12.
- [9] 宋宇, 唐孝炎, 方晨, 等. 北京市能见度下降与颗粒物污染的关系 [J]. 环境科学学报, 2003, **23**(4): 468-471.
- [10] 马雁军, 左洪超, 张云海, 等. 辽宁中部城市群大气能见度变化趋势及影响因子分析 [J]. 高原气象, 2005, **24**(4): 623-628.
- [11] 姜淑娟, 毛节泰, 王美华. 北京地区不同尺度气溶胶中黑碳含量的观测研究 [J]. 环境科学学报, 2005, **25**(1): 17-22.
- [12] Wu D, Tie X X, Li C C, *et al.* An extremely low visibility event over the Guangzhou region: A case study [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(35): 6568-6577.
- [13] 刘新罡, 张远航, 曾立民, 等. 广州市大气能见度影响因子的贡献研究 [J]. 气候与环境研究, 2006, **11**(6): 733-738.
- [14] Yang L X, Wang D C, Cheng S H, *et al.* Influence of meteorological conditions and particulate matter on visual range impairment in Jinan, China [J]. Science of the Total Environment, 2007, **383**(1-3): 164-173.
- [15] 秦世广, 汤洁, 石广玉, 等. 四川温江黑碳气溶胶浓度观测研究 [J]. 环境科学学报, 2007, **27**(8): 1370-1376.
- [16] 张剑鸣, 陶俊, 张仁健, 等. 2008 年 1 月广州大气污染特征及能见度观测研究 [J]. 环境科学研究, 2008, **21**(6): 161-165.
- [17] 陶俊, 张仁健, 许振成, 等. 广州冬季大气消光系数的贡献因子研究 [J]. 气候与环境研究, 2009, **14**(5): 484-490.
- [18] 潘小乐, 王自发, 王喜全, 等. 2008 北京奥运会前后城区黑碳气溶胶浓度的变化特征 [J]. 气候与环境研究, 2010, **15**(5): 616-623.
- [19] 汤莉莉, 祝愿, 牛生杰, 等. 南京北郊大气细粒子中黑碳气溶胶的观测研究 [J]. 环境科学学报, 2011, **31**(4): 709-716.
- [20] Chang D, Song Y, Liu B. Visibility trends in six megacities in China 1973-2007 [J]. Atmospheric Research, 2009, **94**(2): 161-167.
- [21] Zhang Q H, Zhang J P, Xue H W. The challenge of improving visibility in Beijing [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, **10**(16): 7821-7827.
- [22] Yan P, Tang J, Huang J, *et al.* The measurement of aerosol optical properties at a rural site in Northern China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008, **8**(8): 2229-2242.
- [23] 吴兑, 毛节泰, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲黑碳气溶胶及其辐射特性的观测研究 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, **39**(11): 1542-1553.
- [24] Chow J C, Watson J G, Pritchett L C, *et al.* The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in US air quality studies [J]. Atmospheric Environment, 1993, **27A**(8): 1185-1201.
- [25] Watson J G, Chow J C, Frazier C A. X-ray fluorescence analysis of ambient air samples [A]. In: Creatchman M, (ed.). Elemental analysis of airborne particles [M]. Newark: Gordon and Breach, 1996. 1-31.
- [26] Andreae M O, Andreae T W, Annegarn H, *et al.* Airborne studies of aerosol emissions from savanna fires in southern Africa: 2. Aerosol chemical composition [J]. Journal of Geophysical Research, 1998, **103**(D24): 32119-32128.
- [27] Maenhaut W, Salma I, Cafmeyer J, *et al.* Regional atmospheric

- aerosol composition and sources in the eastern Transvaal, South Africa, and Impact of biomass burning [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(D19): 23631-23650.
- [28] Ryu S Y, Kim J E, He Z S, *et al.* Chemical composition of post-harvest biomass burning aerosols in Gwangju, Korea [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2004, **54**(9): 1124-1137.
- [29] Cao J J, Lee S C, Chow J C, *et al.* Spatial and seasonal distributions of carbonaceous aerosols over China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**: D22S11, 10. 1029/2006JD008205.
- [30] Pitchford M, Malm W, Schichtel B, *et al.* Revised algorithm for estimating light extinction from IMPROVE particle speciation data [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2007, **57**(11): 1326-1336.
- [31] Cheung H C, Wang T, Baumann K, *et al.* Influence of regional pollution outflow on the concentrations of fine particulate matter and visibility in the coastal area of southern China [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(34): 6463-6474.
- [32] Jung J S, Lee H L, Kim Y J, *et al.* Aerosol chemistry and the effect of aerosol water content on visibility impairment and radiative forcing in Guangzhou during the 2006 Pearl River Delta campaign [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, **90**(11): 3231-3244.

欢迎订阅 2012 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行人,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2012 年为大 16 开本,70 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjks@rcees.ac.cn;网址:www.hjks.ac.cn

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert ...	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene ...	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, JIN Yun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《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1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 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