

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第8期

Vol.34 No.8

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

2006 ~ 2009 年我国超大城市霾天气特征及影响因子分析	戴永立, 陶俊, 林泽健, 谢绍东, 曹军骥, 张仁健 (2925)
南京北郊秋季 VOCs 及其光化学特征观测研究	李用宇, 朱彬, 安俊琳, 高晋微, 夏丽, 张祥志, 秦玮, 汤莉莉 (2933)
大气 PM _{2.5} 中水溶性离子在线观测技术的应用研究	程萌田, 潘月鹏, 王辉, 刘全, 王跃思 (2943)
一种纳米气溶胶发生系统的设计及性能测试	麦华俊, 蒋靖坤, 何正旭, 郝吉明 (2950)
焦炉顶和厂区环境中有机碳和元素碳的粒径分布	刘效峰, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 宋耕芳 (2955)
昼夜增温对大豆田土壤 N ₂ O 排放的影响	胡正华, 周迎平, 崔海玲, 陈书涛, 肖启涛, 刘艳 (2961)
不同土地利用方式下冬季 N ₂ O 排放及其影响因素	伍延正, 张苗苗, 秦红灵, 侯海军, 陈春兰, 魏文学 (2968)
基于支持向量回归模型的水稻田甲烷排放通量预测研究	陈强, 蒋卫国, 陈曦, 袁丽华, 王文杰, 潘英姿, 王维, 刘孝富, 刘海江 (2975)
夏季黄海和渤海微表层和次表层海水中营养盐的分布特征	王文涛, 杨桂朋, 于娟, 吴冠伟 (2983)
氮磷浓度对东海原甲藻优势种群吸附 BDE28 和 BDE47 的影响	汪芳, 葛蔚, 柴超, 孟祥霞 (2992)
基于光学分类的太湖水体叶绿素 a 浓度高光谱遥感	孙德勇, 周晓宇, 李云梅, 陈晓玲, 黄昌春, 龚绍琦 (3002)
基于浮游细菌生物完整性指数的河流生态系统健康评价——以滇池流域为例	黄艺, 舒中亚 (3010)
珠江三角洲城市非点源 COD 影响因素分析及其负荷估算	廖义善, 卓慕宁, 李定强, 郭太龙 (3019)
珠江流域河流碳输出通量及变化特征	张连凯, 覃小群, 杨慧, 黄奇波, 刘朋雨 (3025)
三峡库区兰陵溪小流域养分流失特征	曾立雄, 肖文发, 黄志霖, 王佐庆 (3035)
三峡库区消落带典型草本植物淹水浸泡后可溶性有机碳的释放特征	谭秋霞, 朱波, 花可可 (3043)
混合层深度对藻类生长的影响研究	陈洋, 杨正健, 黄钰铃, 张平, 刘德富 (3049)
伊乐藻-氮循环菌联用对太湖梅梁湾水体脱氮的研究	赵琳, 李正魁, 周涛, 吴宁梅, 叶忠香, 刘丹丹 (3057)
组合型生态浮床对上覆水和沉积物之间氮磷的影响	郑立国, 杨仁斌, 王海萍, 宋建军 (3064)
生物炭覆盖对底泥污染物释放的影响	李扬, 李锋民, 张修稳, 吴召富, 于辉 (3071)
东莞石马河流域重金属污染及生态毒性的时空差异	高磊, 陈建耀, 柯志庭, 王江, 杨雪韵, 清水裕太 (3079)
连环湖牙门气泡沉积物重金属演化 and 污染研究	肖海丰, 臧淑英, 关莹, 刘少军, 徐海凤, 孙清展, 王京京, 李苗 (3088)
人工湿地净化工业区含非污染降雨径流的效果研究	敬丹丹, 王金泉, 马邕文, 李东亚, 王艳, 黄明智 (3095)
四环素抗性基因在人工湿地中的去除及累积	郑加玉, 刘琳, 高大文, 刘超翔 (3102)
不确定节点水量下水质监测点优化选址方法	刘书明, 吴雪, 欧阳乐岩 (3108)
饮用水中含氮消毒副产物三氯硝基甲烷的形成过程和影响因素	丁春生, 邹邦文, 缪佳, 傅洋平, 沈嘉辰 (3113)
漆酶催化氧化水中雌激素的研究	夏青, 谢卫平, 刘国强, 廖云燕, 王斌楠, 孔德洋, 陆隼鹤 (3119)
碳纳米管电极电还原降解水中头孢他啶	朱宏, 胡翔, 李俊峰 (3125)
UV-vis 光照下喹类抗菌药氟康唑的光化学反应类型	葛林科, 李凯, 杨凯, 邢广水, 于春艳, 张蓬, 姚子伟 (3132)
氙灯/TiO ₂ 体系下敌草隆光催化降解动力学研究	阳海, 曾健, 黎源, 阳立平, 易兵 (3137)
羟基磷灰石对水中刚果红的吸附作用研究	詹艳慧, 林建伟 (3143)
乙醇处理对树脂基纳米水合氧化铁结构及其除砷性能的影响	万琪, 李旭春, 潘丙才 (3151)
污水中溶解性有机氮类化合物的氯化反应特性及其消毒副产物生成潜能	刘冰, 于鑫, 余国忠, 古励, 赵承美, 翟慧敏, 李清飞 (3156)
短程深度脱氮中试工艺的低温启动和维持	顾升波, 王淑莹, 彭永臻 (3164)
生物活性炭厌氧氨氧化反应器启动过程研究	赖玮毅, 周伟丽, 何圣兵 (3171)
东北三省畜禽养殖粪污固氮激素排放及其潜在污染风险	刘妹芳, 李艳霞, 张雪莲, 冯成洪, 鲁肖飞, 杨明, 李帷, 朱铁群, 黄泽春 (3180)
淮河流域土壤中全氟化合物的空间分布及组成特征	孟晶, 王铁宇, 王佩, 吕永龙 (3188)
华北平原典型区土壤氟的形态及其分布特征	易春瑶, 汪丙国, 靳孟贵 (3195)
长期施磷的产量效应及其环境风险评价	颜晓, 王德建, 张刚, 冉景, 郑继成 (3205)
污灌土壤中有机氯农药对沿渠土壤的影响	徐亮, 张彩香, 刘敏, 廖小平, 姚林林, 李佳乐, 向青清 (3211)
表面活性剂及其组合洗脱污染土壤中的硫丹	熊佰炼, 郑国灿, 张进忠, 邢贻, 徐卫红 (3216)
黄土丘陵区不同坡向对土壤微生物生物量和可溶性有机碳的影响	赵彤, 蒋跃利, 闫浩, 黄懿梅, 安韶山 (3223)
氮素添加对樟树林红壤微生物的影响	郁培义, 朱凡, 宿少锋, 王志勇, 闫文德 (3231)
医疗废物焚烧炉周边环境介质中二噁英的浓度、同系物分布与来源分析	黄文, 张素坤, 杜国勇, 张漫雯, 冯桂贤, 任明忠 (3238)
固相萃取和固相萃取评价多环芳烃降解过程中的生物有效性变化	郭美霞, 巩宗强, 李晓明, 刘丹, 王悦 (3244)
改良型固定化 <i>Pseudomonas oleovorans</i> DT4 降解四氢呋喃的研究	邵钱, 叶杰旭, 欧阳杜娟, 陈建孟, 陈东之 (3251)
PCR-DGGE 技术解析固体碳源表面生物膜的微生物群落结构	徐影, 仇天雷, 韩梅琳, 李军, 王旭明 (3257)
温度对嗜酸性硫杆菌活性和生物成因次生铁矿物形成的影响	宋永伟, 赵博文, 霍敏波, 崔春红, 周立祥 (3264)
小白菜对外源硝酸盐和亚硝酸盐动态吸收的差异及其机制研究	郭璐, 满楠, 梁东丽, 谢钧宇, 刘娟娟 (3272)
预处理对打捆麦秸贮存和厌氧生物产沼气的的影响	马慧娟, 陈广银, 杜静, 常志州, 叶小梅 (3280)
硝酸盐对淡水水生生物毒性及水质基准推导	张铃松, 王业耀, 孟凡生, 周岳溪, 于海斌 (3286)
生物毒性测试微孔板 MTOXPlate 的分析性能研究	林奕云, 张国霞, 贺丽苹, 孙国萍, 许玫英 (3294)
两种实验设计研究 DES 和 EV 对 MCF-7 细胞增殖的联合作用	刘倩, 雷炳莉, 安静, 尚羽, 钟玉芳, 康佳, 文育 (3303)
中国近海海洋环境多氯联苯 (PCBs) 污染现状及影响因素	刘敏霞, 杨玉玉, 李庆孝, 王俊 (3309)
城市污水处理厂出水中的药品和个人护理品	郑少奎, 李晓峰 (3316)
生物炭封存技术研究进展	姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (3327)
饮用水水源地严格管理水质的对策分析——对实行严格水资源管理问题上的看法和建议	傅国伟 (3334)
《环境科学》征稿简则 (2967) 《环境科学》征订启事 (3034) 信息 (3063, 3136, 3194, 3302)	

2006~2009年我国超大城市霾天气特征及影响因子分析

戴永立¹, 陶俊^{2,3*}, 林泽健², 谢绍东⁴, 曹军骥⁵, 张仁健⁶

(1. 环境保护部环境工程评估中心, 北京 100012; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655; 3. 广东省水与大气污染防治重点实验室, 广州 510655; 4. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 5. 中国科学院地球环境研究所, 西安 710075; 6. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要: 收集了2006~2009年北京、上海、广州和成都能见度等气象因子以及SO₂、NO₂和PM₁₀等环境空气质量资料, 在此基础上统计分析上述4个超大城市霾天气频率季节和年际变化特征及其主要的影响因子。结果表明, 北京、上海、广州和成都霾天气频率季节最高值分别为夏季、冬季、春季和秋季。北京和广州霾天气频率呈现逐渐下降趋势, 而上海和成都呈现逐渐上升趋势。PM₁₀和相对湿度是影响能见度或霾天气频率关键因子。北京能见度变化对相对湿度比较敏感, 而上海和广州对PM₁₀浓度变化比较敏感, 成都对相对湿度和PM₁₀浓度敏感程度相当。

关键词: 超大城市; 大气污染; 能见度; 可吸入颗粒物; 相对湿度

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)08-2925-08

Characteristics of Haze and Its Impact Factors in Four Megacities in China During 2006-2009

DAI Yong-li¹, TAO Jun^{2,3}, LIN Ze-jian², XIE Shao-dong⁴, CAO Jun-ji⁵, ZHANG Ren-jian⁶

(1. Appraisal Center for Environment & Engineering, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China; 2. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China; 3. The Key Laboratory of Water and Air Pollution Control of Guangdong Province, Guangzhou 510655, China; 4. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China; 5. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China; 6. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The meteorological and environmental data including visibility, SO₂, NO₂ and PM₁₀ were collected in four major megacities (Beijing, Shanghai, Guangzhou and Chengdu) in the years 2006-2009. Based on the data, seasonal and annual variations of the haze frequency and the key impact factors were discussed. The results indicated that the highest frequencies of haze occurred in summer, winter, spring and autumn for Beijing, Shanghai, Guangzhou and Chengdu, respectively. The trends of haze frequency decreased in Beijing and Guangzhou, while increased in Shanghai and Chengdu during the studied period. The PM₁₀ concentration and relative humidity were the key factors for visibility degradation in the four megacities. The variation of visibility was sensitive to relative humidity in Beijing, to PM₁₀ in Shanghai and Guangzhou, and to both in Chengdu.

Key words: megacity; air pollution; visibility; PM₁₀; relative humidity

中国气象局《霾的观测与预报等级》(QX/T 113-2010)中将霾定义为“大量极细微的干尘粒等均匀地浮游在空中,使水平能见度小于10.0 km的空气普遍混浊现象”^[1]。霾天气可以根据能见度和相对湿度以及相关的大气成分指标进行判别。研究表明我国城市霾天气主要是由于气溶胶的消光作用引起的,其本质就是高浓度的细粒子污染^[2~12]。

国外对霾天气或能见度下降的研究非常重视,其中以美国IMPROVE观测网(Intagency Monitoring of Protected Visual Environment)开展的相关研究最为系统全面^[13,14]。澳大利亚、英国、韩国和日本等国家也开展了相关研究^[15~18]。从20世纪80年代至今约30年来,我国也开展了大量相关的研究,为了解我国霾天气特征和制定相关的治理措

施提供了科学依据^[19~28]。但是从较长时间序列的环境空气质量角度分析我国典型城市霾天气特征及其形成机制的研究还很鲜见^[29~34]。此外,“十一五”(2006~2010年)是我国开始实行二氧化硫总量减排计划,期间我国二氧化硫减排14.3%,因此评估该期间环境空气质量与霾天气之间关系对于制定切实可行的环境管理政策具有十分重要的意义。

为此,本研究收集了2006~2009年北京、上海、广州和成都同步的SO₂、NO₂、PM₁₀和能见度等环境及气象资料,在此基础上分析上述4个超大城

收稿日期: 2012-11-27; 修订日期: 2013-01-25

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201009001)

作者简介: 戴永立(1978~),女,硕士,工程师,主要研究方向为大气环境管理, E-mail: daiyl@acee.org.cn

* 通讯联系人, E-mail: taojun@scies.org

市霾天气特征,并探讨了霾天气形成的主要影响因素,以期环保部门制定相关控制措施和政策提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 资料收集

(1)环境监测数据来源于中国环境监测总站国控点的例行环境观测资料,包括 PM_{10} 、 SO_2 与 NO_2 日均浓度,具体点位为北京万柳站、上海师大站、广州商学院站和成都草堂站.

(2)气象数据来源于中国气象局的国家站点北京站(站点编号为 54511)、上海站(站点编号为 58362)、广州站(站点编号为 59287)和成都站(站点编号为 56187)的例行观测资料,包括能见度(visibility, VIS)、温度(temperature, Temp)、大气压(Pascal, Pa)、相对湿度(relative humidity, RH)、降雨量(precipitation, PR)、总辐射(solar radiation, SR)、风向(wind direction, WD)与风速(wind speed, WS)小时平均值,其中 VIS 为北京时间 02:00、08:00、14:00 和 20:00 数据.

1.2 数据处理方法

2010 年中国气象局《霾的观测与预报等级》(QX/T 113-2010)中明确定义了霾天气现象及其判别指标,但是没有明确给出的判别指标是小时值或日均值.考虑到霾天气现象主要与细颗粒物浓度密切相关,而国内外颗粒物的环境质量标准只有日均值标准,因此本研究将霾天气时效定为 24 h,即一个霾日^[33].降雨量和总辐射为 24 h 累积之和,其它指标均基于日均值进行评价和分析.考虑到能见度与大气消光系数呈倒数关系,而大气消光系数与颗粒物浓度呈线性关系,颗粒物又是导致能见度下降直接因子,因此需要将能见度换算成大气消光系数进行平均,再将消光系数的均值换算成能见度.

为了解 4 个超大城市霾天气的现状,首先判别各个城市霾日季节和年际变化趋势.春季时间段定为 3~5 月,夏季为 6~8 月,秋季为 9~11 月,冬季为 12 月~次年 2 月.第一步筛选并剔除降雨和沙尘天气数据;第二步筛选出能见度 < 10 km,相对湿度 < 80% 的霾天气,并定义为干霾天气,第三步在相对湿度介于 80%~95% 之间,能见度 < 10 km,且 $PM_{2.5}$ 质量浓度 > $75 \mu g \cdot m^{-3}$,定义为湿霾天气^[35].考虑到 2006~2009 年没有进行例行的 $PM_{2.5}$ 观测,本研究利用 PM_{10} 浓度数据代替,研究表明城市地区 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值通常在 0.3~0.9 之间,且季节变化

明显^[36~38],且上述城市监测站均采用振荡天平法,实测值会略低于滤膜采样法^[39],因此为了保守估算霾天气天数,本研究将北京、上海、广州和成都 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值分别定为 0.6、0.7、0.8 和 0.8.

本研究将天气类型分为霾天气,降雨天气,沙尘或浮尘天气,其余为正常天气.考虑到不同城市气候特征差异较大,若直接使用全部样本量作为计算霾天气频率,会使得降雨比较频繁的地区霾天气频率低估,为了使得霾天气频率统计更加贴近当地的大气环境现状特征,本研究使用非降雨天气作为计算霾天气频率的分母.

本研究将主要分析 PM_{10} 浓度和 RH 年际变化对 4 个超大城市霾天气频率年际变化的影响,并同步分析了 VIS 和气体污染物尤其是 SO_2 年际变化特征,探讨了“十一五”期间 SO_2 减排措施对霾天气或能见度影响.

2 结果与分析

2.1 超大城市霾天气现状

表 1 为 4 个超大城市霾天气频率季节变化.从中可知,各个城市霾天气发生频率均呈现比较明显季节变化特征.北京夏季、秋季和冬季霾天气频率基本保持在 30% 左右,春季则在 20% 以下.上海冬季霾天气频率接近 30%,其它季节基本保持在 10% 左右.广州除了夏季霾天气频率低于 10% 外,其他季节基本在 30% 以上,尤其是春季霾天气频率高达 44.6%.成都除了夏季霾天气频率相对较低但接近 30%,特别是秋冬季霾天气频率更是高达 70% 以

表 1 4 个超大城市霾天气频率季节变化/%

Table 1 Seasonal variations of hazy weather frequencies in the four megacities/%

城市	季节	非降雨样本数/d	霾(湿霾+干霾)	湿霾	干霾
北京	春季	306	17.6	1.3	16.3
	夏季	228	33.3	3.1	30.3
	秋季	308	32.1	3.6	28.6
	冬季	361	28.8	2.8	26.0
上海	春季	232	10.8	0.9	9.9
	夏季	192	7.3	0.5	6.8
	秋季	248	11.7	1.6	10.1
	冬季	221	27.1	3.6	23.5
广州	春季	177	44.6	5.6	39.0
	夏季	159	7.5	0.6	6.9
	秋季	272	29.0	1.1	27.9
	冬季	284	37.7	1.1	36.6
成都	春季	222	37.8	1.8	36.0
	夏季	181	27.6	5.5	22.1
	秋季	197	72.1	28.9	43.1
	冬季	262	71.0	27.1	43.9

上. 就干霾和湿霾季节变化而言,北京和上海四季湿霾频率均低于 5%,主要以干霾为主. 广州仅春季湿霾频率高于 5%,成都除了春季低于 5%,其它季节均高于 5%,尤其是秋冬季湿霾更是高达 27% 以上.

表 2 为典型城市霾天气频率年际变化. 从中可知,北京霾天气频率呈现逐渐下降的趋势,从 2006 年的 30.6% 下降至 2009 年的 21.2%. 尽管 2008 年北京奥运会期间采取很多有效措施,霾天气频率仅是略有下降,但是持续的控制政策以及金融危机导致北京周边工业区减产可能是使北京 2009 年霾天气明显减少的主要原因. 上海霾天气频率则呈现逐年上升的趋势. 随着珠三角地区一系列的大气污染控制法规的出台^[40,41],广州霾天气从 2006 年的 36.7% 逐渐下降到 2009 年的 24.7%. 成都霾天气频率是 4 个超大城市中最高的,且呈逐年上升的趋势,从 2006 年的 45.5% 上升到 2009 年的 57.0%. 值得注意的是,2007 年成都将城区所有的工业污染源全部搬迁,但是霾天气频率不但没有减少反而增多,其主要原因是搬迁后的工业污染源位于成都城区上风向的青白江和金堂等地区,区域输送的二次粒子(如硫酸盐)和较高的 RH 是导致成都霾天气频率不减反增的主要原因. 就干霾和湿霾年际变化而言,北京、上海、广州和成都均以干霾为主,而成都湿霾频率显著高于其它 3 个超大城市. 总体来讲,4 个超大城市霾天气年均频率空间差异明显,即

表 2 4 个超大城市霾天气频率年际变化/%

Table 2 Annual variations of hazy weather frequencies in the four megacities/%

城市	年份	非降雨样本数/d	霾(湿霾+干霾)	湿霾	干霾
北京	2006	304	30.6	3.3	27.3
	2007	309	30.0	6.5	23.5
	2008	284	29.6	0.4	29.2
	2009	306	21.2	1.0	21.2
	均值	—	27.8	2.8	25.2
上海	2006	225	12.9	1.3	11.6
	2007	227	11.5	0.0	11.5
	2008	227	17.2	3.1	14.1
	2009	214	15.9	2.3	13.6
	均值	—	14.3	1.7	12.7
广州	2006	218	36.7	2.8	33.9
	2007	230	37.4	1.3	36.1
	2008	208	25.5	1.0	24.5
	2009	236	24.7	2.6	22.1
	均值	—	31.1	1.9	29.2
成都	2006	246	45.5	17.9	27.6
	2007	211	47.9	18.5	29.4
	2008	198	52.5	12.1	40.4
	2009	207	57.0	9.7	47.3
	均值	—	50.5	14.7	35.7

成都(50.5%)>广州(31.1%)>北京(27.8%)>上海(14.3%). 与 4 个超大城市的 PM₁₀ 浓度空间差异略有差异,北京(0.147 mg·m⁻³)>成都(0.134 mg·m⁻³)>上海(0.104 mg·m⁻³)>广州(0.082 mg·m⁻³),可见霾天气频率不完全与 PM₁₀ 浓度有关.

2.2 超大城市霾天气影响因子识别

由于霾天气的本质问题就是排除降雨和雾以及沙尘等自然源的影响以外的 VIS 下降的现象,因此本研究就从 VIS 季节变化和年际变化角度探讨霾天气影响因子. 现有的研究表明导致 VIS 下降的主要因子是颗粒物尤其是细颗粒物^[2~12],此外 RH 也可通过颗粒物中的无机盐的吸湿增长影响 VIS^[14],因此选择 PM₁₀ 和 RH 作为参与分析的主要因子. 另外,SR 和 WS 某种程度上能体现大气垂直和水平扩散能力,PR 能有效清除颗粒物,体现了大气污染物清除能力.

由图 1(a)可知,北京 VIS 季节特征为春季>冬季>秋季>夏季. 但是 PM₁₀ 季节特征为春季>冬季>秋季>夏季,RH 季节特征为夏季>秋季>冬季>春季. 春季 PM₁₀ 浓度最高,但 VIS 最高,一方面是由于春季沙尘或浮尘天气较多,PM₁₀ 中主要以粗粒子为主,另一方面春季 RH 最低,不利于颗粒物吸湿增长. 春季对应的霾天气频率也是最低. 虽然夏季 PM₁₀ 浓度最低,但是夏季 RH 最高,有利于颗粒物吸湿增长^[42,43],从而导致夏季 VIS 最低,霾天气频率也最高. 值得注意的是,夏季 SR 较强,PR 最大,说明夏季大气垂直扩散能力强,有利于污染物的清除,但是夏季霾天气频率最高,可见夏季较高的 RH 是导致霾天气最为重要的因子之一^[43].

由图 1(b)可知,上海 VIS 季节特征为夏季>秋季>春季>冬季. PM₁₀ 季节特征为春季>冬季>秋季>夏季,春季 RH 相对较低均值为 65%,其它季节较高为 70% 左右. 尽管春季 PM₁₀ 浓度最高,但 VIS 不是最低,主要原因是春季 RH 最低,不利于颗粒物吸湿增长,霾天气频率仅为 10.8%. 夏季 SR、WS 和 PR 均最大,从而使得 PM₁₀ 浓度最低,VIS 最高,霾天气频率也最低,仅为 7.3%. 与此相反,冬季 PM₁₀ 浓度较高,SR、WS 和 PR 均最小,加之较高的 RH 使得冬季 VIS 最低,霾天气频率也最大,达到 27.1%.

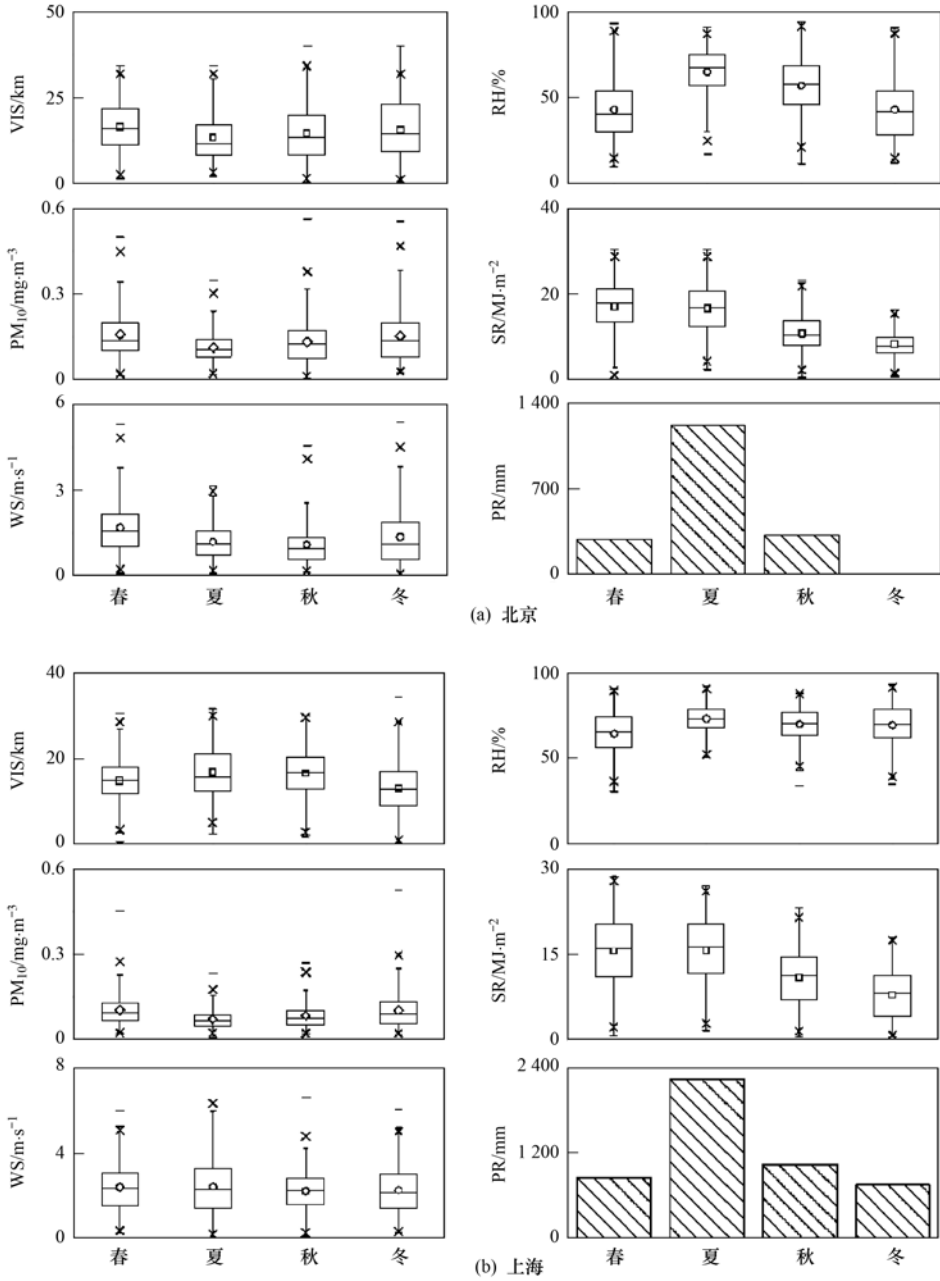
由图 1(c)可知,广州 VIS 季节特征为夏季>秋季>冬季>春季. PM₁₀ 季节特征为冬季>春季>秋季>夏季,RH 春季和夏季较高均值在 75% 左右,秋

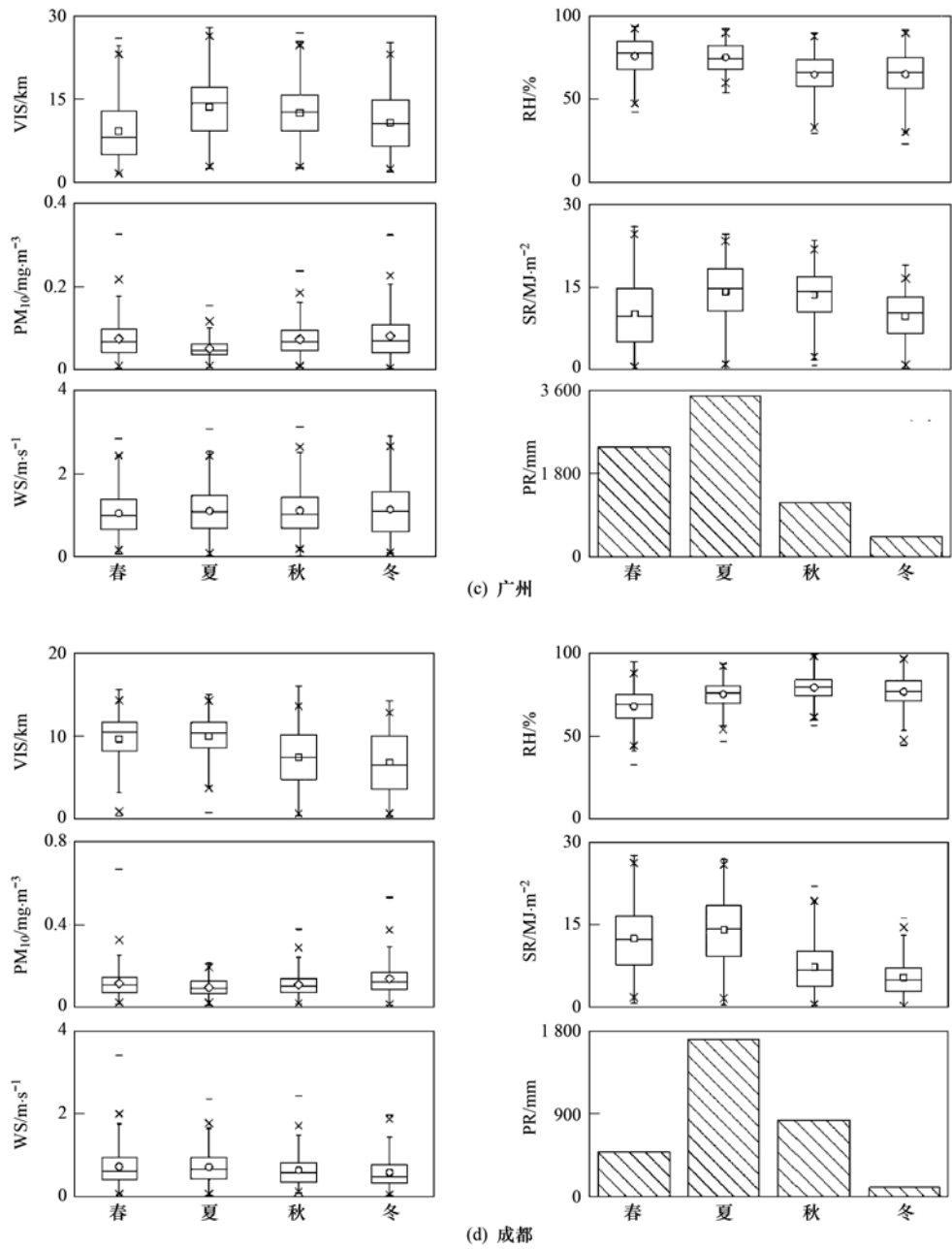
冬季相对较低均值在 65% 左右. 尽管春季 PM_{10} 浓度略低于冬季,但是 VIS 却是春季最低,其主要原因是春季 RH 显著高于冬季,较高的 RH 利于颗粒物吸湿增长,其霾天气频率最高,达到 44.6%. 夏季 VIS 最好,其原因与上海一致.

由图 1(d)可知,成都 VIS 季节特征为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季. PM_{10} 季节特征为冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季, RH 季节特征为秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季. 尽管春季和冬季 PM_{10} 浓度略高于秋季,但秋季 RH 最高,有利于颗粒物吸湿增长,其霾天气频率最高,达到 72.1%. 冬季 VIS 最低, PM_{10} 最高, RH 仅次于秋季,其霾天气频率达到 71.0%. 秋冬季 SR 和 WS 均非常低,加之 PR 也较小,可见不利的气象条

件是导致秋冬季 VIS 较低且霾天气频率高的主要原因. 夏季 VIS 最高,霾天气频率最低,仅为 27.6%,其原因与上海和广州一致.

通过分析霾天气频率的季节变化的影响因子,可知 4 个超大城市霾天气发生的主要影响因子略有不同,但很明显 PM_{10} 和 RH 是关键因子,而 SR、WS 和 PR 是影响颗粒物浓度关键的气象因子. 因此分析 4 个超大城市霾天气年际变化趋势,可主要关注 PM_{10} 和 RH 两个因子,即 PM_{10} 浓度和 RH 升高均会导致能见度下降或霾天气频率增加. 由表 3 可知,北京霾天气频率逐年下降主要原因是 PM_{10} 年均值逐年降低,此外 2008 年和 2009 年 RH 略微低于 2006 年和 2007 年. 上海 2008 年霾天气频率明显升





方框从下至上分别为最小值、1%、25%、50%、75%、99%和最大值

图 1 北京、上海、广州和成都能见度 (VIS)、相对湿度 (RH)、PM₁₀、总辐射 (SR)、风速 (WS) 和降雨量 (RR) 季节分布

Fig. 1 Seasonal average of VIS (visibility), RH (relative humidity), PM₁₀, SR (solar radiation), WS (wind speed) and PR (precipitation) in Beijing, Shanghai, Guangzhou and Chengdu

高,但 PM₁₀ 年均值无明显变化,2008 年 RH 相对较高是可能是导致霾天气频率明显升高的主要因素. 广州霾天气频率逐年降低,其主要原因是 PM₁₀ 浓度基本逐年下降. 成都霾天气频率逐年上升,但是 PM₁₀ 基本呈下降趋势且 RH 年际变化不明显,其可能的原因是成都 PM_{2.5} 浓度较高,且很可能呈逐年上升趋势. 2007 年成都将城区所有的工业污染源全部迁出,但遗憾的是新建的工业区正好位于城市上风向,成都城区 PM₁₀ 仍保持在较

高的浓度水平,也表明 PM_{2.5}/PM₁₀ 比例较高^[44]. 此外,2006 年全国开始的 SO₂ 减排措施,但是 2006 年有 4 个超大城市 SO₂ 浓度并没有显著降低,直至 2008 年 SO₂ 浓度才明显降低,其中广州霾天气频率明显下降,北京略微下降,而上海和成都霾天气频率不降反升. 尽管 NO₂ 也有一定吸光作用,对能见度下降的贡献相对较小^[8],但是对于 NO₂ 浓度相对较高的北京和成都需要进一步控制以缓解霾天气.

总体来讲,PM₁₀ 尤其是 PM_{2.5} 和 RH 是导致北京、上海、广州和成都霾天气主要因子,“十一五”期间的 SO₂ 减排对城市霾天气改善效果不显著. 其可能的原因是“十一五”期间的 SO₂ 减排主要针对火电厂,而火电厂基本位于非城区,其减排对城市能

见度的改善效果不明显. 另外随着城市机动车保有量逐年升高,大量机动车污染物排放使得城市 NO₂ 有逐年上升的趋势,大气氧化性有增强,可见机动车排放量的增加某种程度上可能抵消了 SO₂ 减排对城市能见度改善.

表 3 4 个超大城市霾天气主要影响因子年际变化¹⁾

Table 3 Annual variations of key factors influencing hazy weather in the four megacities						
城市	年份	PM ₁₀ /mg·m ⁻³	RH/%	VIS/km	SO ₂ /mg·m ⁻³	NO ₂ /mg·m ⁻³
北京	2006	0.178	49	7.0	0.063	0.063
	2007	0.147	51	7.7	0.051	0.057
	2008	0.134	47	11.5	0.048	0.053
	2009	0.130	47	13.4	0.041	0.057
上海	2006	0.118	65	11.0	0.079	0.071
	2007	0.099	64	13.3	0.080	0.067
	2008	0.098	65	10.5	0.054	0.062
	2009	0.099	64	12.8	0.042	0.056
广州	2006	0.092	65	8.6	0.058	0.069
	2007	0.079	64	8.7	0.062	0.059
	2008	0.084	63	10.3	0.046	0.057
	2009	0.071	64	11.2	0.039	0.054
成都	2006	0.154	73	5.1	0.068	0.065
	2007	0.121	72	7.0	0.081	0.063
	2008	0.135	72	5.8	0.053	0.058
	2009	0.126	70	5.5	0.043	0.060

1) 2006 年上海夏季 PM₁₀ 缺测 38 d 数据,可能导致 PM₁₀ 年均值偏高

2.3 超大城市霾天气主要影响因子权重分析

通过前述分析可知,VIS 主要影响因子为 PM₁₀ 和 RH. 尽管 VIS 倒数(消光系数)与颗粒物浓度呈现线性关系,而 RH 则应以吸湿增长因子通过影响颗粒物散射效率影响消光系数,但是考虑到 4 个超大城市颗粒物中吸湿成分(如硫酸盐和硝酸盐)浓度不论是空间还是时间上均有差异,此外 PM₁₀ 中粗粒态的粒子对能见度影响较小,因此较难仅通过 PM₁₀ 和 RH 获得较为精确的 VIS 回归方程. 因此本研究仅初步探讨 4 个超大城市 PM₁₀ 及 RH 对能见度影响权重,期望通过较为简单的线性回归方程间接的分析其对霾天气影响.

4 个超大城市 VIS 回归方程如下:

北京 [VIS] = - 38.9 [PM₁₀] - 25.5 [RH] + 33.8
(R² = 0.68)

上海 [VIS] = - 74.1 [PM₁₀] - 21.9 [RH] + 37.5
(R² = 0.55)

广州 [VIS] = - 61.1 [PM₁₀] - 21.3 [RH] + 31.1
(R² = 0.52)

成都 [VIS] = - 16.7 [PM₁₀] - 21.0 [RH] + 25.8
(R² = 0.50)

其中 VIS、PM₁₀ 和 RH 的单位分别为 km、mg·m⁻³

和%.

由上述线性回归方程可知,上海、广州和成都 RH 权重因子系数比较接近,而北京 RH 权重因子系数绝对值最大,表明 RH 因子对北京 VIS 的影响较其它 3 个城市显著. 相对于 RH,4 个超大城市 PM₁₀ 权重因子系数则差异较大,上海和广州 PM₁₀ 因子对 VIS 的影响最为显著,权重因子系数分别达到 -74.1 和 -61.1,其次是北京为 -38.9,成都最小仅为 -16.7. 结果表明,上海和广州 VIS 随 PM₁₀ 浓度升高快速下降,而成都 VIS 下降程度最低. 这主要是由于 VIS 与颗粒物尤其是 PM_{2.5} 呈幂指数关系,即 VIS 下降速率随颗粒物浓度升高逐渐降低. 上海和广州 PM₁₀ 浓度相对较低,VIS 随 PM₁₀ 升高降低比较明显,而成都则 PM₁₀ 浓度较高,即使 PM₁₀ 显著升高其 VIS 下降速率较为平缓.

3 结论

(1) 我国 4 个超大城市霾天气年均频率空间差异明显,即成都(50.5%) > 广州(31.1%) > 北京(27.8%) > 上海(14.3%),其中北京和广州霾天气频率呈逐年下降趋势,而上海和成都呈逐年上升趋势.

(2) PM_{10} 和 RH 是影响能见度下降或霾天气频率的关键因子,而“十一五”期间 SO_2 减排对改善城市霾天气效果不显著。

(3) RH 对北京 VIS 影响最为显著,而对上海、广州和成都的影响相当。 PM_{10} 对上海 VIS 影响最为显著,其次为广州、北京和成都。

参考文献:

- [1] QX/T 113-2010, 霾的观测和预报等级[S].
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Cheng Y F, Wiedensohler A, Eichler H, *et al.* Aerosol optical properties and related chemical apportionment at Xinken in Pearl River Delta of China[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(25): 6351-6372.
- [8] 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.
- [9] Tao J, Ho K F, Chen L G, *et al.* Effect of chemical composition of $PM_{2.5}$ on visibility in Guangzhou, China, 2007 spring [J]. *China Particuology*, 2009, **7**(1): 68-75.
- [10] 朱李华, 陶俊, 陈忠明, 等. 2010 年 1 月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(1): 13-19.
- [11] 岳建华, 陶俊, 林泽健, 等. 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 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(7): 2151-2157.
- [12] Tao J, Cao J J, Zhang R J, *et al.* Reconstructed light extinction coefficients using chemical compositions of $PM_{2.5}$ in winter in Urban Guangzhou, China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, **29**(2): 359-368.
- [13] Sisler J F, Malm W C. Interpretation of trends of $PM_{2.5}$ and reconstructed visibility from the IMPROVE network [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2000, **50**(5): 775-789.
- [14] Pitchford M L, Malm W C, Schichtel B A, *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.
- [15] 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.
- [16] Doyle M, Stephen D. Visibility trends in the UK 1950-1997 [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(19): 3161-3172.
- [17] Kim Y J, Kim K W, Kim S D, *et al.* Fine particulate matter characteristics and its impact on visibility impairment at two urban sites in Korea: Seoul and Incheon [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(S2): S593-S605.
- [18] Kurashige Y, Miyashita A. How many days in a year can Mt. Fuji and the Tokyo Tower be seen from the Tokyo Suburban Area? [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 1998, **48**(8): 763-765.
- [19] 苏维瀚, 张秋彭, 宋文质, 等. 京津地区大气污染对大气能见度的影响 [J]. *中国环境科学*, 1986, **6**(3): 24-28.
- [20] 彭中贵, 陈军. 能见度的降低与大气污染的关系 [J]. *重庆环境科学*, 1992, **14**(3): 16-21.
- [21] 仇财兴, 左利芳. 城市发展对能见度影响的初步分析 [J]. *气象科学*, 1995, **15**(1): 89-96.
- [22] 段玉森, 束炯, 张弛, 等. 上海市大气能见度指数指标体系的研究 [J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(4): 460-464.
- [23] 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.
- [24] 徐鹏炜, 谭湘萍, 蔡菊珍, 等. 杭州城市大气消光系数和能见度的影响因子研究 [J]. *环境污染与防治*, 2005, **27**(6): 410-413.
- [25] 吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究 [J]. *气象学报*, 2006, **64**(4): 510-517.
- [26] 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.
- [27] Tan J H, Duan J C, Chen D H, *et al.* Chemical characteristics of haze during summer and winter in Guangzhou [J]. *Atmospheric Research*, 2009, **94**(2): 238-245.
- [28] 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): 1574-1579.
- [29] 范引琪, 李二杰, 范增禄. 河北省 1960~2002 年城市大气能见度的变化趋势 [J]. *大气科学*, 2005, **29**(4): 526-535.
- [30] Che H Z, Zhang X Y, Li Y, *et al.* Horizontal visibility trends in China 1981-2005 [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, **34**(24): L24706.
- [31] Chang D, Song Y, Liu B. Visibility trends in six megacities in China 1973-2007 [J]. *Atmospheric Research*, 2009, **94**(2): 161-167.
- [32] Che H Z, Zhang X Y, Li Y, *et al.* Haze trends over the capital cities of 31 provinces in China, 1981-2005 [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2009, **97**(3-4): 235-242.
- [33] 吴兑, 吴晓京, 李菲, 等. 1951-2005 年中国大陆霾的时空变化 [J]. *气象学报*, 2010, **68**(5): 680-688.
- [34] Lin M, Tao J, Chan C, *et al.* Regression analyses between

- recent air quality and visibility changes in megacities at four haze regions in China[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2012, **12**(6): 1049-1061.
- [35] 吴兑. 大城市区域霾与雾的区别和灰霾天气预警信号发布[J]. *环境科学与技术*, 2008, **31**(9): 1-7.
- [36] Wei F S, Teng E J, Wu G P, *et al.* Ambient concentrations and elemental compositions of PM₁₀ and PM_{2.5} in four Chinese cities [J]. *Environmental Science & Technology*, 1999, **33**(23): 188-4193.
- [37] Wang X H, Bi X H, Sheng G Y, *et al.* Chemical composition and sources of PM₁₀ and PM_{2.5} aerosols in Guangzhou, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, **119**(1-3): 425-439.
- [38] 吴兑, 刘啟汉, 梁延刚, 等. 粤港细粒子(PM_{2.5})污染导致能见度下降与灰霾天气形成的研究[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(11): 2660-2669.
- [39] 陶俊, 柴发合, 高健, 等. 16 届亚运会期间广州城区 PM_{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响[J]. *环境科学*, 2013, **34**(2): 409-415.
- [40] 广东省人民政府. 关于印发广东省环境保护与生态建设“十一五”规划的通知[EB/OL]. http://www.gd.gov.cn/govpub/zfwj/zfxgk/gfxwj/yfb/200809/t20080910_63907.html. 2007-05-16.
- [41] 广东省人民政府. 广东省珠江三角洲大气污染防治办法[EB/OL]. http://zwgk.gd.gov.cn/006939748/200909/t20090915_11222.html. 2009-03-30.
- [42] He K B, Yang F M, Ma Y L, *et al.* The characteristics of PM_{2.5} in Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(29): 4959-4970.
- [43] 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.
- [44] Tao J, Zhang L M, Engling G, *et al.* Chemical composition of PM_{2.5} in an urban environment in Chengdu, China: Importance of springtime dust storms and biomass burning[J]. *Atmospheric Research*, 2013, **122**: 270-283.

CONTENTS

Characteristics of Haze and Its Impact Factors in Four Megacities in China During 2006-2009	DAI Yong-li, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2925)
Characteristics of VOCs and Their Photochemical Reactivity in Autumn in Nanjing Northern Suburb	LI Yong-yu, ZHU Bin, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2933)
On-Line Measurement of Water-Soluble Composition of Particulate Matter in Beijing	CHENG Meng-tian, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2943)
Design and Evaluation of an Aerosol Nanoparticle Generation System	MAI Hua-jun, JIANG Jing-kun, HE Zheng-xu, <i>et al.</i> (2950)
Aerosol Size Distribution of Organic Carbon and Elemental Carbon on the Top of Coke Oven and in the Plant Area	LIU Xiao-feng, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (2955)
Effects of Diurnal Warming on Soil N ₂ O Emission in Soybean Field	HU Zheng-hua, ZHOU Ying-ping, CUI Hai-ling, <i>et al.</i> (2961)
N ₂ O Flux in Winter and Its Affecting Factors Under Different Land Use Patterns	WU Yan-zheng, ZHANG Miao-miao, QIN Hong-ling, <i>et al.</i> (2968)
Prediction of Methane Emission of Paddy Field Based on the Support Vector Regression Model	CHEN Qiang, JIANG Wei-guo, CHEN Xi, <i>et al.</i> (2975)
Distributional Characteristics of Nutrients in the Sea-surface Microlayer and Subsurface Water of the Bohai and Yellow Sea in Summer	WANG Wen-tao, YANG Gui-peng, YU Juan, <i>et al.</i> (2983)
Effect of Nitrogen and Phosphorus Concentrations on the Adsorption of BDE28 and BDE47 by <i>Prorocentrum donghaiense</i> Dominant Population	WANG Fang, GE Wei, CHAI Chao, <i>et al.</i> (2992)
Hyperspectral Remote Sensing of Chlorophyll a Concentrations in the Lake Taihu, Based on Water Optical Classification	SUN De-yong, ZHOU Xiao-yu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (3002)
Bacterioplankton Index of Biotic Integrity (BP-IBI): An Approach for Assessing River Ecosystem Health in Dianchi Watershed	HUANG Yi, SHU Zhong-ya (3010)
Estimation of Urban Non-Point Source Pollution Loading and Its Factor Analysis in the Pearl River Delta	LIAO Yi-shan, ZHUO Mu-ning, LI Ding-qiang, <i>et al.</i> (3019)
Transported Fluxes of the Riverine Carbon and Seasonal Variation in Pearl River Basin	ZHANG Lian-kai, QIN Xiao-qun, YANG Hui, <i>et al.</i> (3025)
Characteristics of Nutrient Loss of Lanlingxi Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZENG Li-xiong, XIAO Wen-fa, HUANG Zhi-lin, <i>et al.</i> (3035)
Characteristics of Dissolved Organic Carbon Release Under Inundation from Typical Grass Plants in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area	TAN Qiu-xia, ZHU Bo, HUA Ke-ke (3043)
Research on the Influence of Mixing Layer Depth on Algal Growth	CHEN Yang, YANG Zheng-jian, HUANG Yu-ling, <i>et al.</i> (3049)
Denitrification Study of <i>Elodea nuttallii</i> -Nitrogen Cycling Bacteria Restoration in Meiliang Bay, Taihu Lake	ZHAO Lin, LI Zheng-kui, ZHOU Tao, <i>et al.</i> (3057)
Influence of Combined Ecological Floating Bed on Nitrogen and Phosphorus Between Overlying Water and Sediment	ZHENG Li-guo, YANG Ren-bin, WANG Hai-ping, <i>et al.</i> (3064)
Effects of Biochar Covering on the Release of Pollutants from Sediment	LI Yang, LI Feng-min, ZHANG Xiu-wen, <i>et al.</i> (3071)
Temporal-spatial Difference of Ecotoxicity and Heavy Metals Pollution in Shima Catchment, Dongguan	GAO Lei, CHEN Jian-yao, KE Zhi-ting, <i>et al.</i> (3079)
Evolution and Pollution of Heavy Metals in Core Sediments from Yamenqi Lake in Lianhuan Lake, China	XIAO Hai-feng, ZANG Shu-ying, GUAN Ying, <i>et al.</i> (3088)
Effect of Constructed Wetland on the Purification of Industrial Zone Rainfall Runoff Contaminated with Phenanthrene	JING Dan-dan, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (3095)
Removal and Accumulation of the Tetracycline Resistance Gene in Vertical Flow Constructed Wetland	ZHENG Jia-yu, LIU Lin, GAO Da-wen, <i>et al.</i> (3102)
Method for Optimal Sensor Placement in Water Distribution Systems with Nodal Demand Uncertainties	LIU Shu-ming, WU Xue, OUYANG Le-yan (3108)
Formation Process of Nitrogenous Disinfection Byproduct Trichloronitromethane in Drinking Water and Its Influencing Factors	DING Chun-sheng, ZOU Bang-wen, MIAO Jia, <i>et al.</i> (3113)
Removal of Estrogens in Laccase Catalyzed Oxidative Processes	XIA Qing, XIE Wei-ping, LIU Guo-qiang, <i>et al.</i> (3119)
Study on Electrochemical Degradation of Cefazidime by Carbon Nanotubes Electrode	ZHU Hong, HU Xiang, LI Jun-feng (3125)
Photochemical Reaction Types of the Azole Fungicide Fluconazole Under UV-vis Irradiation	GE Lin-ke, LI Kai, YANG Kai, <i>et al.</i> (3132)
Photocatalytic Degradation Kinetics of Diuron by TiO ₂ and Simulated Sunlight	YANG Hai, ZENG Jian, LI Yuan, <i>et al.</i> (3137)
Adsorption of Congo Red from Aqueous Solution on Hydroxyapatite	ZHAN Yan-hui, LIN Jian-wei (3143)
Ethanol-Induced Influence on the Structure and Arsenate Adsorption of Resin-based Nano-hydrated Ferric Oxide	WAN Qi, LI Xu-chun, PAN Bing-cai (3151)
Chlorination Characteristic and Disinfection By-product Formation Potential of Dissolved Organic Nitrogen Compounds in Municipal Wastewater	LIU Bing, YU Xin, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (3156)
Start-up and Maintenance Method for Short-Cut Advanced Nitrogen Removal Process in a Pilot-Scale Reactor at Low Temperature	GU Sheng-bo, WANG Shu-ying, PENG Yong-zhen (3164)
Study on the Start-Up of Anaerobic Ammonium Oxidation Process in Biological Activated Carbon Reactor	LAI Wei-yi, ZHOU Wei-li, HE Sheng-bing (3171)
Excretion of Manure-Borne Steroid Hormones and Their Potential Risk in the Three Northeast Provinces of China	LIU Shu-fang, LI Yan-xia, ZHANG Xue-lian, <i>et al.</i> (3180)
Spatial Distribution and Composition of Perfluorinated Compounds in Soils Around the Huaihe River	MENG Jing, WANG Tie-yu, WANG Pei, <i>et al.</i> (3188)
Fluorine Speciation and Its Distribution Characteristics in Selected Agricultural Soils of North China Plain	YI Chun-yao, WANG Bing-guo, JIN Meng-gui (3195)
Effects of Long-Term Manure and Crop Residues Incorporation on Yield and Phosphorus Saturation in a Paddy Soil	YAN Xiao, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (3205)
Influence of Organochlorine Pesticides in Wastewater on the Soil Along the Channel	XU Liang, ZHANG Cai-xiang, LIU Min, <i>et al.</i> (3211)
Elution of Endosulfan from Contaminated Soil by Surfactants and Their Combination	XIONG Bai-lian, ZHENG Guo-can, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (3216)
Effects of Different Aspects on Soil Microbial Biomass and Dissolved Organic Carbon of the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, JIANG Yue-li, YAN Hao, <i>et al.</i> (3223)
Effects of Nitrogen Addition on Red Soil Microbes in the <i>Cinnamomum camphora</i> Plantation	YU Pei-yi, ZHU Fan, SU Shao-feng, <i>et al.</i> (3231)
Concentration, Profile Distribution and Source Identification of PCDD/Fs in Environmental Medium Around a HSWI	HUANG Wen, ZHANG Su-kun, DU Guo-yong, <i>et al.</i> (3238)
Assessment of Bioaccessibility of PAHs in Microbial Degradation Process Using Solid Phase Micro Extraction and Solid Phase Extraction	GUO Mei-xia, GONG Zong-qiang, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3244)
Biodegradation of Tetrahydrofuran by Combined Immobilized of <i>Pseudomonas oleovorans</i> DT4	SHAO Qian, YE Jie-xu, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3251)
Analysis on Microbial Community in Biofilm Coating onto Solid Carbon Source Using the PCR-DGGE Technique	XU Ying, QIU Tian-lei, HAN Mei-lin, <i>et al.</i> (3257)
Effect of Temperature on Activity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> and Formation of Biogenic Secondary Iron Minerals	SONG Yong-wei, ZHAO Bo-wen, HUO Min-bo, <i>et al.</i> (3264)
Differences of Selenium Uptake Pattern of Pakchoi and the Possible Mechanism When Amended with Selenate and Selenite	GUO Lu, MAN Nan, LIANG Dong-li, <i>et al.</i> (3272)
Effect of Pretreatment on Storage and Biogas Production of Baling Wheat Straw	MA Hui-juan, CHEN Guang-yin, DU Jing, <i>et al.</i> (3280)
Toxicity of Nitrate-N to Freshwater Aquatic Life and Its Water Quality Criteria	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3286)
Analysis Performance of Biological Toxicity Testing MTOXPlate Using Microplate	LIN Yi-yun, ZHANG Guo-xia, HE Li-ping, <i>et al.</i> (3294)
Study of Combined Effects of DES and EV on the Proliferation of MCF-7 Cells by Two Experimental Designs	LIU Qian, LEI Bing-li, AN Jing, <i>et al.</i> (3303)
Status and Influencing Factors of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Pollution in the Coastal Areas in China	LIU Min-xia, YANG Yu-yi, LI Qing-xiao, <i>et al.</i> (3309)
Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Effluent of Sewage Treatment Plants	ZHENG Shao-kui, LI Xiao-feng (3316)
Research Progress on Biochar Carbon Sequestration Technology	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (3327)
Countermeasures for Strict Water Quality Management of Drinking Water Sources: Some Thoughts and Suggestions on Implementing Strict Water Resources Management	FU Guo-wei (3334)

《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8月15日 34卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 8 Aug. 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