

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

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

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	陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)
北京地区秋季雾霾天 PM _{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析	赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)
上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究	王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)
杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征	谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)
保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别	李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)
春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究	周变红, 张承中, 王格慧 (448)
华东区域高山背景点 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 背景值及污染特征	苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)
基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估	田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)
积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征	张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)
靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究	徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)
正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究	欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)
干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素	刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)
降尘收集方法对降尘效率的影响	张正偲, 董治宝 (499)
海河流域水生生态功能一级二级分区	孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)
长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究	时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)
内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究	黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)
溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响	邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)
自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究	张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)
淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制	周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)
高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征	崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)
城市雨水径流水质演变过程监测与分析	董雯, 李怀恩, 李家科 (561)
复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果	任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔红杰, 王为进 (570)
给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究	郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)
1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用	李三华, 张奇亚 (583)
水生植物热解生物油中对肋骨藻抗氧化酶活性的影响	姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)
TiO ₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学	张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)
皮革废水有机污染物生物降解特性研究	王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)
链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究	谢练武, 方继前, 郭亚平 (611)
一种负载型生物载体的制备及性能研究	杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)
基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (<i>Chlorella pyrenoidosa</i>) 培养研究	嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)
温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响	陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)
天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH ₄ 的影响	姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)
蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征	青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)
基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)
区域地下水污染风险评价方法研究	杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)
地下水有机污染源识别技术体系研究与示范	王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)
祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究	朱凌宇, 潘剑君, 张威 (668)
黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应	骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平 (676)
根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响	张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)
长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究	罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)
外源 Cr(Ⅲ) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究	郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)
某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征	潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)
大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析	刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)
天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征	姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)
沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定	吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)
动物饲料中砷、铜和锌调查及分析	姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)
氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究	王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)
2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性	倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)
嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究	厉阗, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)
固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响	唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)
16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性	刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗苗 (767)
氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响	刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)
筒青霉 (<i>Penicillium simplicissimum</i>) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征	沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)
石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究	杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)
土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响	王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)
生活垃圾填埋过程含水率变化研究	李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)
动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化	吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)

杭州市大气超细颗粒物数浓度谱季节性特征

谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠

(中国计量学院计量测试工程学院, 杭州 310018)

摘要: 利用快速迁移率粒径谱仪 (fast mobility particle sizer, FMPS) 对杭州市大气超细颗粒进行监测, 并对杭州市 2011 ~ 2012 年大气超细颗粒物的数浓度、粒径分布的季节变化及其与气象之间的关系进行研究。结果表明, 杭州市超细颗粒物数浓度呈对数双峰分布, 季节变化特征为冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季, 12 月值最高, 为 $3.56 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$, 10 月最低, 为 $2.51 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 。CMD(count medium diameter) 季节变化特征为春 > 冬 > 秋 > 夏, 4 月最高, 为 53.51 nm; 6 月最低, 为 16.68 nm。气象因素对超细颗粒物数浓度有一定影响。

关键词: 数浓度; 快速迁移率粒径谱仪; 超细颗粒物; 粒径分布; 杭州

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0434-07

Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou

XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, YANG Wen-jun, LIN Jian-zhong

(College of Metrology & Measurement Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Atmospheric ultrafine particles (UFPs) were measured with fast mobility particle sizer (FMPS) in Hangzhou, during March 2011 to February 2012. The number concentration and size distribution of UFPs associated with meteorology were studied. The results showed that the number concentration of UFPs was logarithmic bi-modal distribution, and the seasonal levels presented winter > summer > spring > autumn. The highest monthly average concentration was $3.56 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ in December and the lowest was $2.51 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ in October. The seasonal values of count medium diameter (CMD) were spring > winter > autumn > summer. The highest monthly average CMD was 53.51 nm in April and the lowest was 16.68 nm in June. Meteorological factors had effects on concentration of UFPs.

Key words: number concentration; fast mobility particle sizer (FMPS); ultrafine particles; size distribution; Hangzhou

随着工业化和城市化的快速发展, 环境问题日益凸显, 政府陆续出台相关政策, 很多大城市陆续开始对更小的颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 实行监测。目前, 国内有关颗粒物的研究很多, 而对颗粒物数浓度的研究, 特别是对超细颗粒物数浓度的研究却相对较少。超细颗粒物 (ultrafine particles, UFPs) 通常是指空气动力学直径 $\leq 100 \text{ nm}$ 的细微粒子。Duan 等^[1] 对北京市区、郊区和公路旁气溶胶元素分布研究表明, 积聚模态 ($0.1 \sim 1.0 \mu\text{m}$) 超细颗粒的 S、As、Se、Ag、Cd、Tl 和 Pb 等有毒重金属污染不容忽视。魏复盛等^[2] 研究表明, 来自燃煤、燃油及工业污染的元素 S、Cl、Br、Pb、As、Se、Cu、Zn 等元素在细颗粒物上的含量比在粗颗粒物中高; 范雪波等^[3] 对杭州市大气颗粒物研究表明, EC 和 OC 污染主要集中在 $< 3.0 \mu\text{m}$ 。超细微粒与人体健康呈显著相关^[4], 由于其体积比较小, 其质量占总颗粒物质量微乎其微。但由于粒径非常小, 能随呼吸空气渗透肺部深处^[5~7], 对于人体的危害远大于粗颗粒^[8]。

超细颗粒特征在国外已经引起广泛的关注^[9~12]。国内关于超细微粒数浓度和粒径分布的研

究还在起步阶段, 段菁春等^[13] 对北京市大气细粒子数浓度的主要来源、浓度和粒径分布特征进行研究; 王绪鑫等^[14] 研究了鞍山大气颗粒物数浓度谱分布及其质量浓度变化特征; 代海婷等^[15] 对广州城区和周边大气细粒子监测表明, 大气气溶胶粒子主要集中在较小粒径, 广州城区粒子数浓度谱呈三峰值分布; 付志民等^[16] 对杭州城区和城郊工业园区超细微粒进行测量研究, 获得超细微粒数浓度和粒径分布的基础数据。

本研究通过对杭州市超细颗粒物为期 1 a 的监测, 分析了其粒径分布和数浓度的变化特征。

1 材料与方法

1.1 采样点和采样时间

采样点为杭州市江干区中国计量学院, 位于杭州市东面; 北面毗邻交通干道, 其他三面为学校。监

收稿日期: 2012-05-10; 修订日期: 2012-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10972209); 国家自然科学基金重点项目 (11132008); 浙江省自然科学基金项目 (Y6090607)

作者简介: 谢小芳 (1988 ~), 女, 硕士, 主要研究方向为燃煤超细微粒生成机制, E-mail: dragonxxf@163.com

测时间为 2011 年 3 月 ~ 2012 年 2 月,期间 2011 年 8 月和 2012 年 1 月暂停监测. 每个月至少连续监测两周, 24 h 连续监测,每 30 min 获得一个观测样本. 气象信息来源于杭州气象台.

1.2 仪器与方法

分析仪器采用 TSI 公司生产的快速迁移率粒径谱仪 (fast mobility particle sizerTM Spectrometer,

FMPS),该仪器是基于 EAA 原理的细微颗粒物粒径谱仪^[17],但不是利用 CPC (condensation particle counter)进行计数,而是使用多组、低噪值的静电计来执行微粒侦测,并可在 1 s 内达成微粒尺寸分布的分析. FMPS 可测量的粒径范围为 5.6 ~ 560 nm, 32 个通道,粒径具体分级见表 1; 其可测数浓度范围为 $1 \sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$,采样流量为 $10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$.

表 1 FMPS 仪器分段粒径

Table 1 Particle section size of FMPS instrument														
分段数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D_p/nm	6.04	6.98	8.06	9.31	10.8	12.4	14.3	16.5	19.1	22.1	25.5	29.4	34	39.2
分段数	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
D_p/nm	45.3	52.3	60.4	69.8	80.6	93.1	107.5	124.1	143.3	165.5	191.1	220.7	254.8	294.3
分段数	29	30	31	32										
D_p/nm	339.8	392.4	453.2	523.3										

四季的划分标准为:以 3、4、5 月为春季, 6、7 月为夏季,9、10、11 月为秋季,12 月与次年 2 月为冬季. 采样期间天气记录情况如表 2.

表 2 采样期间的气象条件

Table 2 Weather condition during sampling period					
季节	月份	测量天数 /d	平均温度 /℃	平均风速 /km·h ⁻¹	平均相对 湿度/%
春	3	4	11.7	7.0	41.5
	4	8	17.8	7.7	57.6
	5	6	21.0	9.2	58.6
夏	6	5	23.0	5.6	84.6
	7	5	31.2	7.8	64.4
秋	9	6	24.1	7.1	72.3
	10	7	20.8	8.8	72.0
	11	7	17.5	7.0	74.8
冬	12	10	6.4	8.4	67.1
	2	7	4.5	8.5	68.7

2 结果与讨论

2.1 数浓度季节变化规律

图 1 所示为杭州超细颗粒物粒径谱分布特征. 从中可以看出,大气超细颗粒物呈明显的对数双峰分布,峰值粒径分别出现在 10 nm 左右(8 ~ 20 nm)和 100 nm 左右(80 ~ 110 nm). 夏季在 10 nm 左右的

峰值较高,说明夏季颗粒物较集中在较小粒径,主要是核模态 (Nucleation Mode, <10 nm) 和爱根核模态 (Atiken Mode, 10 ~ 100 nm). 大气细颗粒物的主要来源有家庭取暖、烹饪、交通、工厂、电厂、生物源及前体物的二次转化等^[18]. 10 nm 左右的颗粒物主要是二次新粒子生成,而 100 nm 来自于源排放和颗粒物的增长,说明夏季新粒子生成明显.

图 2 所示为超细颗粒月平均浓度分布特征,可以看出,数浓度变化特征为冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季,成明显的季节性变化. 冬季明显大于其他季节,这是因为冬季处于冷空气控制,下沉的气流较强,大气比较稳定,对流作用较弱,不利于颗粒物扩散;此外,杭州夏季高温高湿的独特天气,有利新粒子的生成,故夏季平均数浓度较高. 月平均数浓度变化范围为 $2.04 \times 10^4 \sim 3.56 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$,最大值出现在 12 月,最小值出现在 7 月. Wu 等^[19]对北京市颗粒物数浓度分布研究表明,总颗粒数浓度最大值出现在春季,这是因为北京的沙尘暴带来的细小扬尘比其他季节更多. 表 3 统计了采样期间超细颗粒物总的数浓度和 CMD.

表 3 2011 ~ 2012 年数浓度和 CMD 统计

Table 3 Number concentrations and CMD statistics in 2011-2012										
季节	月份	测量天数 /d	数浓度 $\times 10^4/\text{cm}^{-3}$				CMD/nm			
			月平均	季节平均	最大值	最小值	月平均	季节平均	最大值	最小值
春	3	4	2.69	2.81	3.60	2.04	41.33	47.6	53.51	16.68
	4	8	2.84				53.51			
	5	6	2.90				49.97			
夏	6	5	3.04	2.54			16.68	21.66		
	7	5	2.04				26.64			
秋	9	6	2.94	2.80			29.47	36.67		
	10	7	2.51				37.82			
	11	7	2.94				42.74			
冬	12	10	3.60	3.10			37.11	42.36		
	2	7	2.64				47.62			

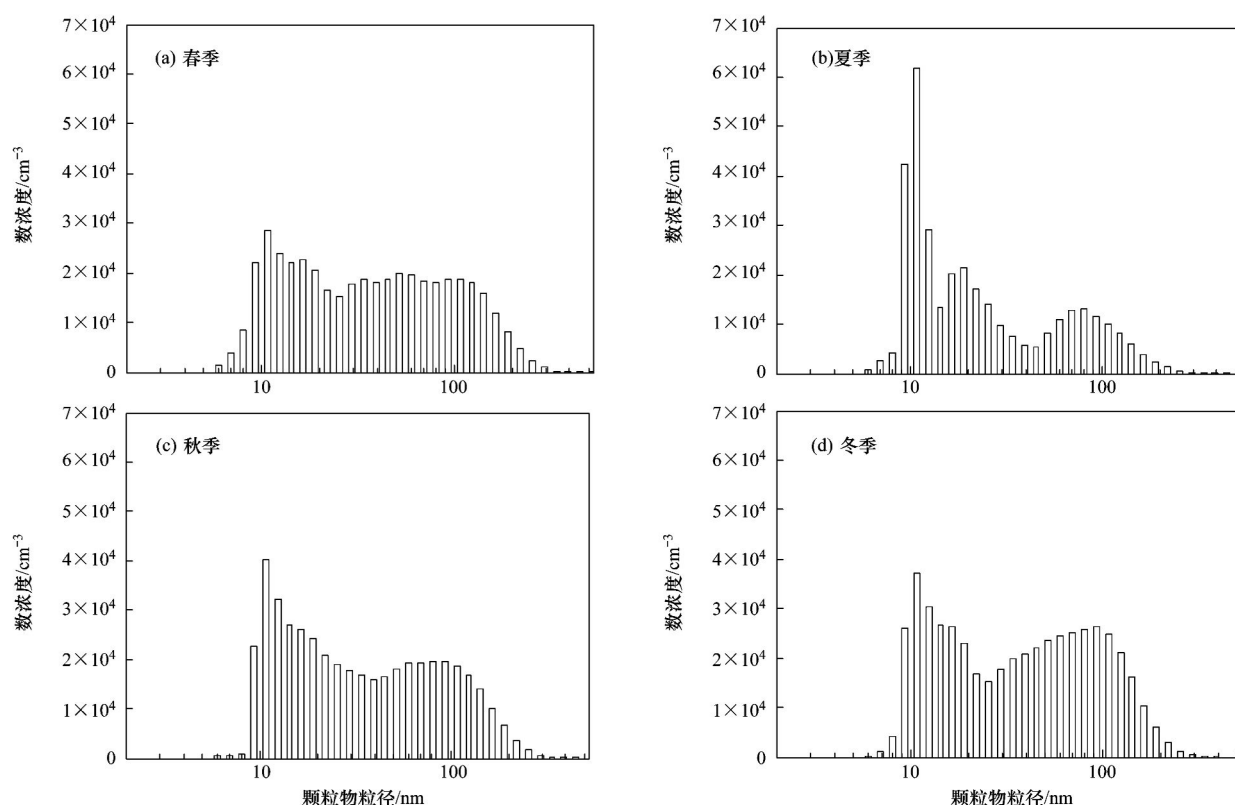


图 1 2011 年四季粒径谱分布

Fig. 1 Changes of particle size distribution in 2011

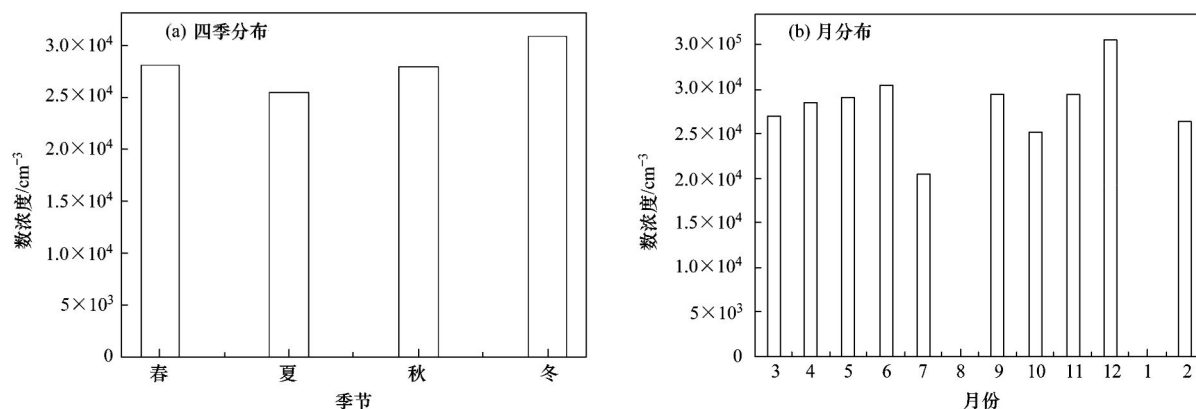


图 2 2011 年数浓度分布情况

Fig. 2 Distribution of particle number concentration in 2011

目前,我国还没有对超细颗粒数浓度进行大规模的系统研究,只有少数地区对其进行测量,而国外早在 20 世纪末就有对超细颗粒数浓度的研究. 表 4 为总结部分地区数浓度值对比,国外监测的超细颗粒数浓度范围为 $0.2 \times 10^4 \sim 3.2 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$; 北京监测范围是 $2.0 \times 10^4 \sim 5.35 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$. 公路及街道的超细颗粒物污染比较严重,一般达到 10^6 数量级. 杭州年均数浓度为 $2.81 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$. 由此可知,杭州市作为著名的旅游城市,超细颗粒物污染较轻.

2.2 数浓度粒径谱日变化规律

图 3 为取 12 月 20 日典型的 $5.6 \sim 560 \text{ nm}$ 超细颗粒数浓度日变化及其粒径谱在早上 08:00、中午 12:00、下午 18:00 和夜间 22:00、02:00 的分布. 超细颗粒数浓度变化主要因素是源排放和新粒子的产生. 由此可以看出,08:00 和 18:00 时出现数浓度峰值,原因是上下班高峰期人为活动为一天最大,致使数浓度均呈上升趋势;随着一天的气温逐渐升高,新粒子产生逐渐增加,故在 12:00 ~ 15:00 数浓度值

表 4 部分城市数浓度监测对比			
Table 4 Parts of the city number concentration contrast			
地区	监测时间	超细颗粒数浓度/cm ⁻³	文献
布里斯班,澳大利亚	1999-03 ~ 1999-07	室内有活动: $(18.3 \pm 3.9) \times 10^3$ 室内无活动: $(12.4 \pm 2.7) \times 10^3$	[20]
	1995-07 ~ 1997-04	7.4×10^3	[21]
阿尔克马尔,荷兰		2.58×10^4	
爱尔福特,德国	1996-11-30 ~ 1997-03-13	2.59×10^4	[22]
赫尔辛基,芬兰首都		2.03×10^4	
曼切斯特,英国	2001-02 ~ 2001-04	街道峡谷: 2.7×10^4	[23]
洛杉矶 710 州际公路,美国	2001-08-30 ~ 2001-10-27	距公路 17 m 处, $(1.8 \sim 3.5) \times 10^5$	[24]
那格浦尔和迈索尔,印度	2002	$(2.53 \sim 3.23) \times 10^4$	[25]
北京	2004-07-13 ~ 2004-08-23	$(2.0 \sim 3.0) \times 10^4$	[26]
北京	2005-02-18 ~ 2005-02-27	5.35×10^4	[27]
	2005-03-03 ~ 2005-03-10		
北京	2004-03 ~ 2006-03	$(2.8 \sim 3.6) \times 10^4$	[19]
上海	2005-05-30 ~ 2005-05-31	街道峡谷: $(8.9 \sim 14.2) \times 10^4$	[28]
	2005-11-23 ~ 2005-11-25		
杭州	2011-03 ~ 2012-02	$(2.04 \sim 3.56) \times 10^4$	本研究

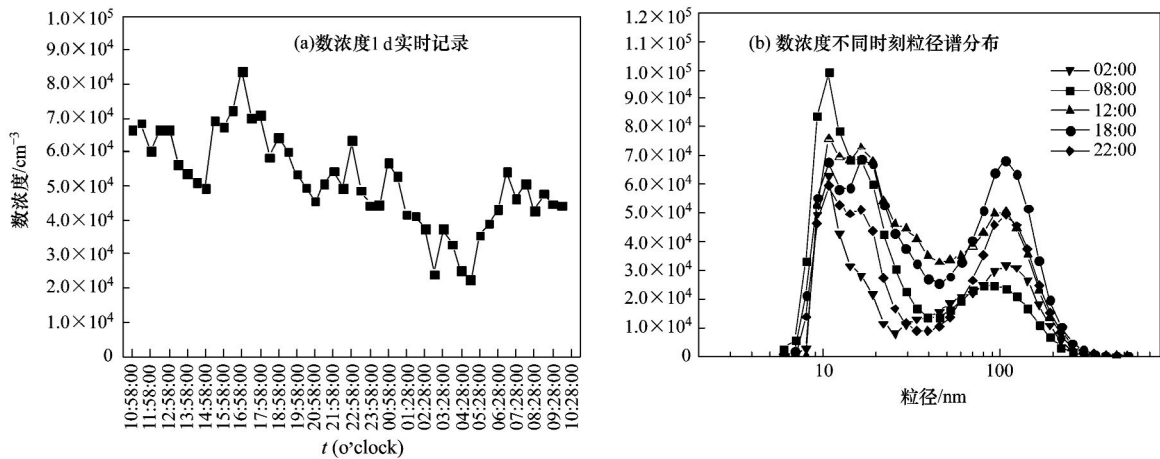


图 3 粒径谱日变化

Fig. 3 Diurnal variation of the particle size distributions

比较高,这种现象在夏季表现得更为明显;而在 00:00~07:00 源排放减少,气温较低,数浓度在一天中最低且趋于稳定.

2.3 CMD 变化规律

颗粒尺寸是气溶胶行为最重要的参数,颗粒物几乎所有的物化特性都与其粒径尺度有关^[29]. 超细颗粒物的尺寸非常小,但对人体的伤害不容忽视^[30],因此,仅用质量来衡量其物化特性远远不够^[31]. 数量中位径 (CMD) 的定义是一个直径,颗粒总数的一半直径比它大,另一半直径比它小.

由图 4 可以看出,CMD 呈明显的季节变化特征,为春季>冬季>秋季>夏季. 这表明,夏季超细颗粒总体更小,其数量百分比占颗粒物的较大,其质量百分比占总颗粒物的较小,所以夏季超细颗粒物的

质量浓度较小. 洪盛茂等^[32]对杭州 PM_{2.5} 的研究也得到相同的结果,细颗粒物 PM_{2.5} 质量浓度夏季最低,为浓度为 0.054 mg·m⁻³ 冬季最高,浓度为 0.082 mg·m⁻³.

月平均 CMD 变化范围为 16.68~53.51 nm,最大值出现在 4 月,最小值出现在 6 月. 春秋冬三季的 CMD 明显大于夏季. 王荟等^[33]的研究证明秋季颗粒物中细粒子质量百分比较夏季的多,说明 CMD 与季节变化密切相关.

2.4 超细颗粒物数浓度与风速的关系

由图 5 可以看出,超细颗粒数浓度及其粒谱分布受气象因素的影响明显,12 月 8 日风速最大,数浓度明显较低,平均为 $2.45 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$; 18、23、31 日数浓度谱分布复杂,结合温度、湿度及气候变化,

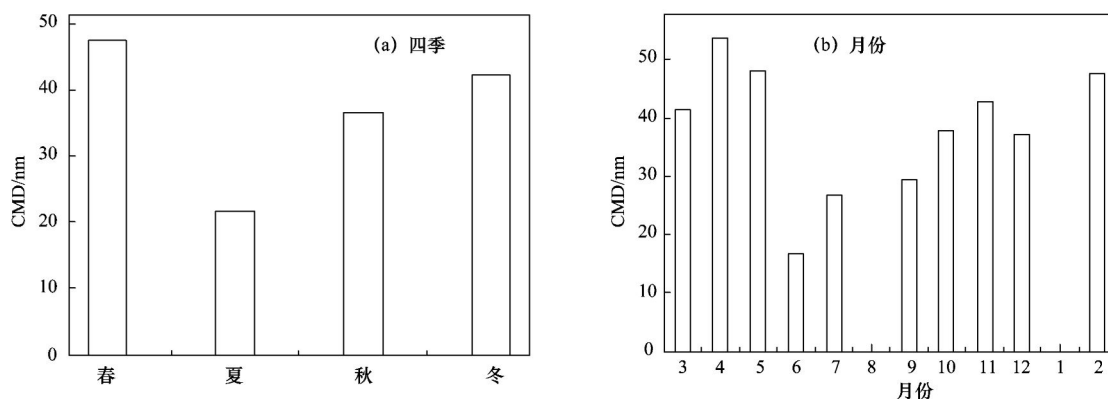


图4 CMD分布情况

Fig. 4 Distribution of CMD in 2011

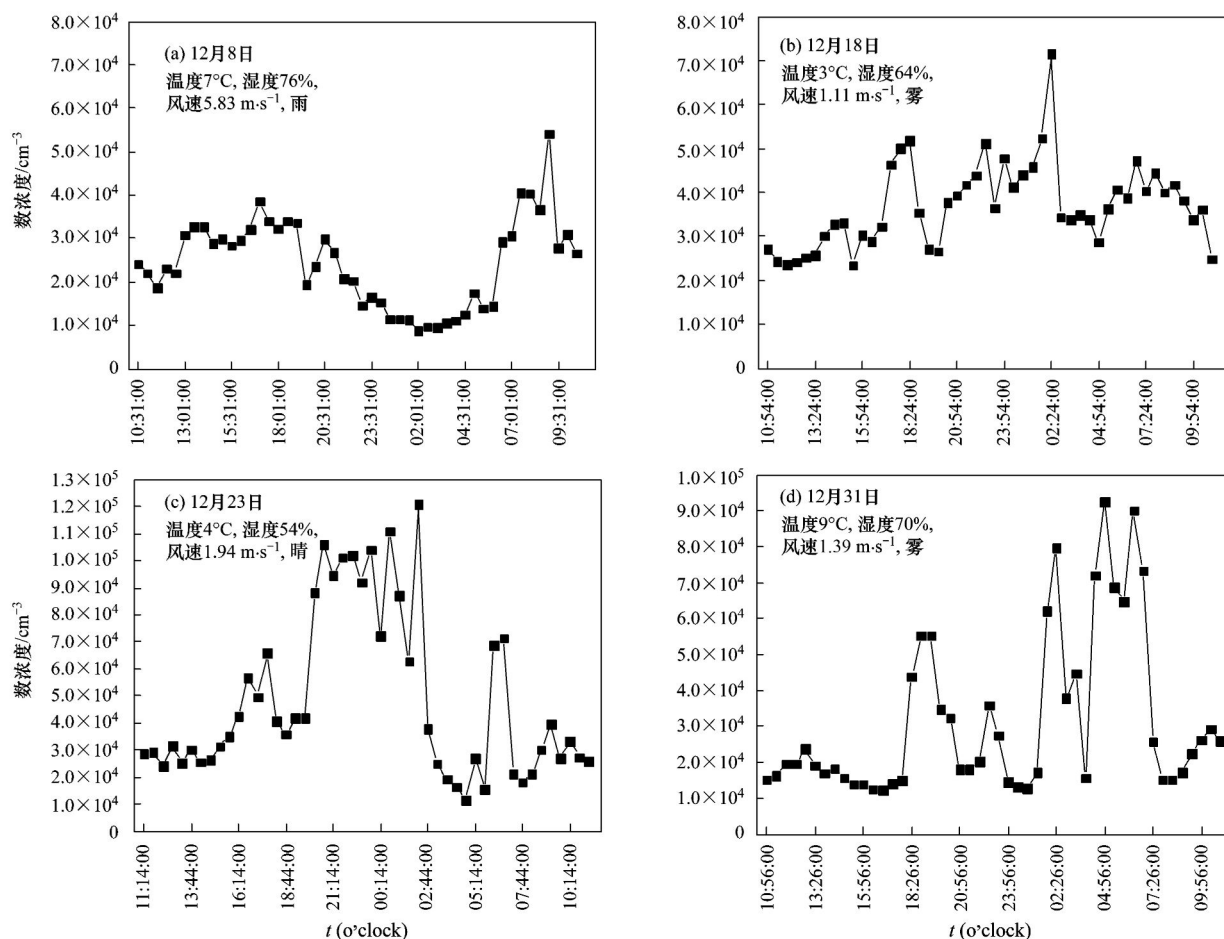


图5 不同天气下数浓度监测对比

Fig. 5 Number concentration contrast under different weather conditions

尚未确定这些因素对超细颗粒数浓度的影响. 风速和降雨, 均有利于颗粒物的扩散和沉降. 胡敏等^[34]对北京降水前后颗粒的浓度监测表明, 降雨对颗粒有明显的去除作用. 黄书华等^[35]对北京气溶胶颗粒物粒谱变化研究说明, 在高湿度条件下颗粒物粒径明显吸湿增长; 严文莲等^[36]对颗粒物浓度变化与

气象因素关系研究表明, 颗粒物数浓度与温度、风速负相关, 与湿度正相关, 降雨、降雪过程使得颗粒物浓度明显降低.

图6表明, 数浓度 y 与风速 x 呈负线性关系, 线性方程为 $y = -3193x + 35026$, 相关系数 $R^2 = 0.0974$. 相关系数 R^2 较小, y 与 x 线性关系不显

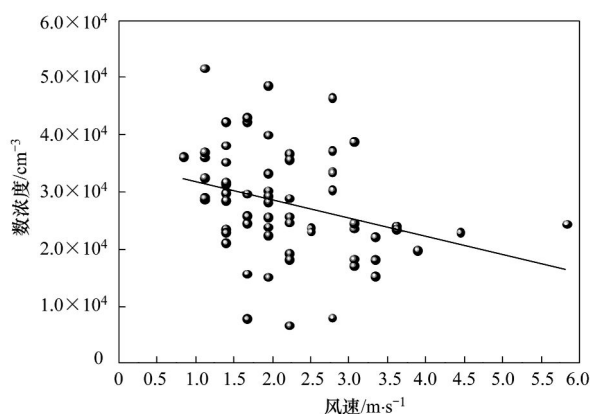


图6 数浓度与风速的线性关系

Fig. 6 Linear relationship between number concentration and wind speed

著,初步认为是与监测点周边环境颗粒物排放和风向有关。若吹过来的大气比监测点颗粒物污染轻,则大气对超细颗粒物数浓度有稀释作用,风速越大,越有利于颗粒物浓度扩散和漂移。除风速外,还记录了温度和湿度气象条件,研究发现,温度和湿度与数浓度相关性不明显,因此,它们之间的关系还需以后进一步的研究。

3 结论

(1) 杭州市 2011 ~ 2012 年期间超细颗粒物季节变化特征为冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季; 月平均数浓度变化范围为 $2.04 \times 10^4 \sim 3.60 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$; 12 月值最高, 7 月最低。超细颗粒 CMD 季节变化特征为春 > 冬 > 秋 > 夏, 4 月最高, 为 53.51 nm; 6 月最低, 为 16.68 nm。

(2) 超细颗粒数浓度在上午 08:00 和下午 18:00 时的上下班高峰期出现峰值, 在 00:00 ~ 07:00 期间数浓度相对较低。

(3) 结合气象因素研究表明, 超细颗粒数浓度受风速和周边环境的影响, 受温度和湿度的影响还待确认。

参考文献:

- [1] Duan J C, Tan J H, Wang S L, *et al.* Size distributions and sources of elements in particulate matter at cubsize, urban and rural sites in Beijing[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, **24**(1): 87-94.
- [2] 魏复盛, 滕恩江, 吴国平, 等. 我国 4 个大城市空气 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 污染及其化学组成[J]. *中国环境监测*, 2001, **17**(7): 1-6.
- [3] 范雪波, 刘卫, 王广华, 等. 杭州市大气颗粒物浓度及组分的粒径分布[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(1): 13-18.
- [4] Schlesinger R B. Toxicological evidence for health effects from

inhaled particulate pollution: Does it support the human experience? [J]. *Inhalation Toxicology*, 1995, **7**(1): 99-109.

- [5] Donaldson K, Li X Y, Macnee W. Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury [J]. *Journal of Aerosol Science*, 1998, **29**(5-6): 553-560.
- [6] 车瑞俊, 袁杨森. 大气颗粒物致突变性及对人体健康的危害[J]. *资源与产业*, 2006, **8**(1): 105-109.
- [7] Löndahl J, Pagels J, Swietlicki E, *et al.* A set-up for field studies of respiratory tract deposition of fine and ultrafine particles in humans [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2006, **37**(9): 1152-1163.
- [8] 赵金镗, 宋锦民. 大气超细颗粒物的分布特征及其对健康的影响[J]. *环境与职业医学*, 2007, **24**(1): 76-79.
- [9] Vardoulakis S, Fisher B E A, Pericleous K, *et al.* Modelling air quality in street canyons: a review [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(2): 155-182.
- [10] Young L H, Keeler G J. Characterization of ultrafine particle number concentration and size distribution during a summer campaign in Southwest Detroit [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2004, **54**(9): 1079-1090.
- [11] Desantes J M, Bermúdez V, García J M, *et al.* Effects of current engine strategies on the exhaust aerosol particle size distribution from a heavy-duty diesel engine [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2005, **36**(10): 1251-1276.
- [12] Noemí P, Jorge P, Cusack, M, *et al.* Variability of particle number, black carbon, and PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, and PM_1 levels and speciation: influence of road traffic emissions on urban air quality [J]. *Aerosol Science and Technology*, 2010, **44**(7): 487-499.
- [13] 段青春, 李兴华, 郝吉明. 北京市冬季大气细粒子数浓度的粒径分布特征[J]. *中国环境监测*, 2008, **24**(2): 54-58.
- [14] 王绪鑫, 冀王, 向旬, 等. 鞍山大气颗粒物浓度的变化特征[J]. *环境科学研究*, 2009, **22**(6): 656-662.
- [15] 代海婷, 刘建国, 陆亦怀, 等. 广州亚运会及残运会期间大气细粒子谱特征分析[J]. *大气与环境光学学报*, 2012, **7**(1): 24-30.
- [16] 付志民, 孙在, 贾峥, 等. 杭州市超细微粒数浓度和粒径分布特征[J]. *环境科学研究*, 2012, **25**(3): 259-264.
- [17] He C R, Morawska L, Hitchins J, *et al.* Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(21): 3405-3415.
- [18] Shi J P, Evans D E, Khan A A, *et al.* Sources and concentration of nanoparticles (< 10 nm diameter) in the urban atmosphere [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(7): 1193-1202.
- [19] Wu Z J, Hu M, Lin P, *et al.* Particle number size distribution in the urban atmosphere of Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(34): 7967-7980.
- [20] Morawska L, He C R, Hitchins J, *et al.* Characteristics of particle number and mass concentrations in residential houses in Brisbane, Australia [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(30): 4195-4203.
- [21] Morawska L, Thomas S, Bofinger N, *et al.* Comprehensive

- characterization of aerosols in a subtropical urban atmosphere: particle size distribution and correlation with gaseous pollutants [J]. *Atmospheric Environment*, 1998, **32** (14- 15): 2467-2478.
- [22] Ruuskanen J, Tuch T, Ten Brink H, *et al.* Concentrations of ultrafine, fine and PM_{2.5} particles in three European cities[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(21): 3729-3738.
- [23] Longley I D, Gallagher M W, Dorsey J R, *et al.* A case study of aerosol (4.6 nm < D_p < 10 μ m) number and mass size distribution measurements in a busy street canyon in Manchester, UK [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37** (12): 1563-1571.
- [24] Zhu Y F, Hinds W C, Kim S, *et al.* Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(27): 4323-4335.
- [25] Mönkkönen P, Pai P, Maynard A, *et al.* Fine particle number and mass concentration measurements in urban Indian households [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **347**(1-3): 131-147.
- [26] 胡敏, 刘尚, 吴志军, 等. 北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响[J]. *环境科学*, 2006, **27**(11): 2293-2298.
- [27] Shi Z B, He K B, Yu X C, *et al.* Diurnal variation of number concentration and size distribution of ultrafine particles in the urban atmosphere of Beijing in winter [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, **19**(8): 933-938.
- [28] 李新令, 黄震, 王嘉松, 等. 街道峡谷内超细颗粒数浓度和粒径分布特征试验研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(4): 695-700.
- [29] Hinds W C. *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc. , 1982.
- [30] 张大年. 城市大气可吸入颗粒物的研究[J]. *上海环境科学*, 1999, **18**(4): 154-157.
- [31] 孙在, 黄震, 王嘉松. 亚微米颗粒物的沉积与凝并的模拟与实验研究[J]. *上海交通大学学报*, 2007, **41**(10): 1710-1713.
- [32] 洪盛茂, 焦荔, 何曦, 等. 杭州市主城区悬浮细颗粒 PM_{2.5} 浓度变化及其组分分析[J]. *中国粉体技术*, 2010, **16**(1): 14-17.
- [33] 王荟, 王格慧, 高士祥, 等. 南京市城区气溶胶粒度分布特征[J]. *江苏环境科学*, 2002, **15**(3): 4-5.
- [34] 胡敏, 张静, 吴志军. 北京降水化学组成特征及其对大气颗粒物的去除作用[J]. *中国科学 B 辑: 化学*, 2005, **35**(2): 169-176.
- [35] 黄书华, 刘建国, 刘文清, 等. 夏季高湿度条件下北京市气溶胶颗粒物粒谱特征研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 17-21.
- [36] 严文莲, 周德平, 王扬峰, 等. 沈阳冬夏季可吸入颗粒物浓度及尺度谱分布特征[J]. *应用气象学报*, 2008, **19**(4): 435-443.

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and $\delta^{13}\text{C}$ Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, <i>et al.</i> (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> (692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-zheng, <i>et al.</i> (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yu-wei, <i>et al.</i> (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-ben, <i>et al.</i> (810)

《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2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 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