

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

|                                                                                     |                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究 .....                                                            | 王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)             |
| 北京城区 PM <sub>2.5</sub> 中致癌重金属季节变化特征及其来源分析 .....                                     | 陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)        |
| 北京地区冬春 PM <sub>2.5</sub> 和 PM <sub>10</sub> 污染水平时空分布及其与气象条件的关系 .....                | 赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)                  |
| 北京市 PM <sub>2.5</sub> 可吸入颗粒物反演及其时空分布分析 .....                                        | 王艳慧,肖瑶 (428)                               |
| 杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征 .....                                                           | 谢小芳,孙在,杨文俊 (436)                           |
| 春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征 .....                                                            | 王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽峰,杨洋 (442)                |
| 南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征 .....                                                        | 吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳娟 (451)                |
| 忻州市环境空气 PM <sub>10</sub> 中有机碳和元素碳污染特征分析 .....                                       | 史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)             |
| 广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征 .....                                               | 青宪,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)                     |
| 燃煤电厂锅炉 PM <sub>2.5</sub> 排放危害度评价模型建立及案例分析 .....                                     | 史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)          |
| 中国南海大气降水化学特征 .....                                                                  | 肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)                  |
| 临安本底站酸雨长期观测特征分析 .....                                                               | 李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)                        |
| 北京城区大气氮湿沉降特征研究 .....                                                                | 贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)                      |
| 烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势 .....                                                         | 贾龙,徐永福 (495)                               |
| 祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征 .....                                                      | 董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)               |
| 生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究 .....                                                             | 羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)                 |
| 生物滴滤塔处理苯酚气体研究 .....                                                                 | 何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶纪宏,罗雨薇,魏在山 (520)              |
| 国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究 .....                                                | 楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)                        |
| 翻堆频率对猪粪条堆肥过程温室气体和氨气排放的影响 .....                                                      | 赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合峰 (533)           |
| CuBr <sub>2</sub> 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究 .....                                         | 胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)               |
| 浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究 .....                                                       | 张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)               |
| 基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例 .....                                                         | 贾海峰,郭羽 (555)                               |
| 北京平原区第四系地下水污染风险评价 .....                                                             | 郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)                 |
| 不同季节辽河口营养盐的河口混合行为 .....                                                             | 张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)                       |
| 太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征 .....                                                            | 马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)             |
| 亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价 .....                                                      | 陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)                   |
| 潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究 .....                                                          | 白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)                   |
| 凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响 .....                                                      | 周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国峰 (597)                    |
| 不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响 .....                                                 | 田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)                |
| 溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用 .....                                                         | 李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)                   |
| 四环素光催化降解特性与选择性研究 .....                                                              | 宋晨怡,尹大强 (619)                              |
| 微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究 .....                                                         | 符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)                  |
| 市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全 .....                                               | 杨赛,周启星,华涛 (633)                            |
| 膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究 .....                                                        | 李彬,王志伟,安莹,吴志超 (643)                        |
| 臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究 .....                                                    | 刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)             |
| 厌氧生物法处理果胶废水的研究 .....                                                                | 陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)                   |
| 氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究 .....                                                             | 赵兴兴,于水利,王哲 (663)                           |
| 平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能 .....                                                            | 胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)                   |
| 基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征 .....                                                          | 王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)              |
| 广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价 .....                                                        | 郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳钊 (684)                |
| 中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究 .....                                                         | 张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)                       |
| 废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价 .....                                                 | 周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704) |
| 深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究 .....                                                          | 章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)                        |
| 洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策 .....                                                           | 谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)                |
| 施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响 .....                                              | 曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)                        |
| 螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征 .....                                                  | 尹雪,陈家军,吕策 (733)                            |
| <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 的锰氧化特性研究 .....                                         | 周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)          |
| $n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$ 对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响 ..... | 陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)              |
| 杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究 .....                                                             | 龚婵娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)                  |
| 鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究 .....                                                           | 赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)           |
| 黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究 .....                                                         | 朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)              |
| 3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究 .....                                                  | 王艳,马泽民,吴石金 (770)                           |
| 新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价 .....                                                       | 李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)                       |
| 黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫排放动态研究 .....                                                       | 李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)                  |
| 农田土壤 N <sub>2</sub> O 产生的关键微生物过程及减排措施 .....                                         | 朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)                   |
| 《环境科学》征订启事 (691) 《环境科学》征稿简则 (800) 信息 (489,519,591,791)                              |                                            |

# 杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征

谢小芳, 孙在\*, 杨文俊

(中国计量学院计量测试工程学院, 杭州 310018)

**摘要:** 2012 年 3~5 月, 采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物数浓度进行了连续监测和分析研究. 结果表明, 核模态 (5.6~20 nm)、爱根核模态 (20~100 nm)、积聚模态 (100~560 nm) 以及总颗粒物 (5.6~560 nm) 日均数浓度值分别为  $0.84 \times 10^4$ 、 $1.08 \times 10^4$ 、 $0.47 \times 10^4$  和  $2.38 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ . 晴天天气下, 爱根核模态颗粒物浓度较高, 且可观测到核模态和爱根核模态颗粒在早上 10:00~11:00 开始增加, 3~4 h 后结束, 这说明太阳照射强度促进了新粒子形成. 在工作日与周末, 人为活动因素使各模态颗粒物浓度分布有明显差异. 结合天气因素分析可知, 风速和风向也直接影响颗粒物浓度; 颗粒物浓度与能见度分析结果表明: 杭州地区大气能见度的高低受核模态和爱根核模态的颗粒影响较小, 与积聚模态颗粒物浓度呈负相关关系.

**关键词:** 数浓度; 快速迁移率粒径谱仪; 超细颗粒物; 粒径分布; 杭州市

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)02-0436-06

## Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring

XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun

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

**Abstract:** Continuous measurement and analysis of the atmospheric ultrafine particle number concentration were performed in Hangzhou from March to May, 2012 by using the fast mobility particle sizer (FMPS). The result showed that daily number concentration of nucleation mode (5.6-20 nm), Aitken mode (20-100 nm), and accumulation mode (100-560 nm) particles, and total particles were  $0.84 \times 10^4$ ,  $1.08 \times 10^4$ ,  $0.47 \times 10^4$  and  $2.38 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$  respectively. The concentration of Aitken mode particles was higher than that of other mode particles in sunny day. The nucleation mode and Aitken mode particles usually started to increase around 10:00-11:00 and ended up after 3-4 h. This indicated the solar radiation promoted the formation of new particles. Human activities caused the concentration distribution of each mode particles having an obvious difference between workdays and weekends. Combined with the meteorological factors, analysis showed that the wind speed and wind direction also directly influenced particulate concentration. The analysis of particulate concentration and visibility showed that the concentration of accumulation mode particles had a negative relationship with the atmospheric visibility, while those of nucleation mode and Aitken mode particles had a slight influence on it.

**Key words:** number concentration; fast mobility particle sizer; ultrafine particles; size distribution; Hangzhou

超细颗粒物 (ultrafine particles, UFPs) 通常是指空气动力学直径  $\leq 100 \text{ nm}$  的细微颗粒. UFPs 是一种重要的空气污染物, 与人体健康呈现很大的相关性<sup>[1]</sup>, 由于其众多的数量浓度和极其细小的粒径, 能随人体呼吸渗透到肺泡和血液<sup>[2, 3]</sup>, 对人类的呼吸系统疾病、心血管疾病及死亡率有着重要联系<sup>[4-7]</sup>; 同时, 它能够在大气环境中长时间存在, 可远距离迁移, 其表面还对光具有散射作用, 能影响大气的能见度及地球辐射<sup>[8-11]</sup>; 此外, 它还可作为云凝结核改变云的微物理结构、寿命和光学特性而间接地影响大气气候<sup>[12, 13]</sup>.

近年来, 我国空气环境质量引起各方越来越多的关注, 各地方相继实施和公布了  $\text{PM}_{2.5}$  的监测值. 目前对杭州市颗粒物的研究主要是  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$  的质量浓度分布特性、污染来源以及化学组分分析等

研究<sup>[14-17]</sup>. 但是, 对杭州市更细小的颗粒的研究, 特别是数浓度及粒径谱特征的研究, 还比较少, 目前对杭州市超细颗粒物谱分布特征和变化规律还不太清楚. 为此, 本研究采用美国 TSI 公司生产的 FMPS 仪器对大气超细颗粒物数浓度进行了测定, 研究了 2012 年 3~5 月杭州市大气颗粒物的谱分布特征, 并结合气象观测资料, 对影响大气颗粒物谱分布特征的因素进行了分析, 以期为进一步发展大气颗粒物的除尘控制技术提供理论依据.

收稿日期: 2013-05-07; 修订日期: 2013-06-21

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); 浙江省教育厅科研项目 (Y200805909)

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和控制机制, E-mail: dragonxxf@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: sunzai@cjl. edu. cn

1 材料与方法

1.1 观测地点及时间

观测点设在杭州市下沙区中国计量学院教学楼(30°19'19.31"N, 120°21'35.00"E),距地面 1.5 m. 观测点附近为教学园区及少量居民区,北面 200 m 外有一条交通主干道,平均车流量为1 095辆·h<sup>-1</sup>. 观测期为 2012 年 3 月~2012 年 5 月(表 1),总观测天数为 14 d;观测时间从 00:00~24:00 连续观测. 同时根据杭州气象网站同步记录当天天气状况.

表 1 采样期间的气象条件

| Table 1 Weather conditions during the sampling period |            |            |                            |          |
|-------------------------------------------------------|------------|------------|----------------------------|----------|
| 月份                                                    | 测量天数<br>/d | 平均温度<br>/℃ | 平均风速<br>/m·s <sup>-1</sup> | 平均相对湿度/% |
| 3                                                     | 4          | 10         | 10                         | 69       |
| 4                                                     | 3          | 21.3       | 7                          | 53       |
| 5                                                     | 7          | 20.9       | 7.1                        | 61.6     |

1.2 实验仪器与方法

采用 FMPS 连续在线测量大气超细颗粒物数浓度谱分布,其可测量的粒径范围为 5.6~560 nm,可测数浓度范围为 1~10<sup>7</sup> cm<sup>-3</sup>,采样流量为 10 L·min<sup>-1</sup>,同时测量 32 个粒径通道的颗粒物数浓度. 观测期间设定采样分辨率为 60 min,即每小时输出一次数据.

2 结果与讨论

2.1 不同模态颗粒物数浓度分布

如图 1 所示,杭州市春季颗粒物数浓度呈明显双峰分布. 数值分析表明,第一峰值出现在 10~20 nm,第二峰值浓度出现在 80~100 nm. 与 2011 年春季颗粒物平均数浓度粒径谱<sup>[18]</sup>进行对比,结果显示,监测期间,2012 年杭州市春季颗粒物数浓度比 2011 年的低. 监测期间的平均温度和湿度比 2011 年的高,但由于平均风速也较 2011 年的大,这对污染扩散比较有利,但颗粒物浓度影响因素是复杂的,其不仅受气象因素和扩散条件的影响,而且与人为活动也有重要关系. 通过两年数据对比,杭州市春季颗粒物浓度分布均有呈双峰分布趋势,具有明显的季节特性. 不同粒径段的颗粒物数浓度分布如表 2,此研究将可测量程 5.6~560 nm 的颗粒定义为 3 个模态:核模态(5.6~20 nm)、爱根核模态(20~100 nm)和积聚模态(100~560 nm). 如表 2 所示,杭州市春季总颗粒物(5.6~560 nm)日均数浓度变化范围为 0.85×10<sup>4</sup>~3.53×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>,平均浓度值为 2.38×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>;核模态颗粒物日均数浓度范围为

0.22×10<sup>4</sup>~1.53×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>,平均浓度值为 0.84×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>;爱根核模态颗粒物日均数浓度范围为 0.30×10<sup>4</sup>~2.13×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>,平均浓度值为 1.08×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>;积聚模态颗粒物日均数浓度范围为 0.22×10<sup>4</sup>~0.91×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>,平均浓度值为 0.47×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>. 由此可见,杭州市春季大气超细颗粒物占主要地位,约占总颗粒物(5.6~560 nm)80%以上.

表 2 为杭州市春季各模态颗粒物浓度值与国内外一些地区的颗粒物浓度值对比. 不同的仪器的测量范围对不同模态的浓度值有一些影响,杭州市春季粒径≤100 nm 的颗粒物平均数浓度为 1.92×10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>,低于北京和南京的浓度值,高于西班牙马德里和芬兰赫尔辛基城市的浓度值,与美国匹兹堡和意大利米兰城市浓度值相近. 可此可知,杭州市春季超细颗粒物浓度值处于中下水平.

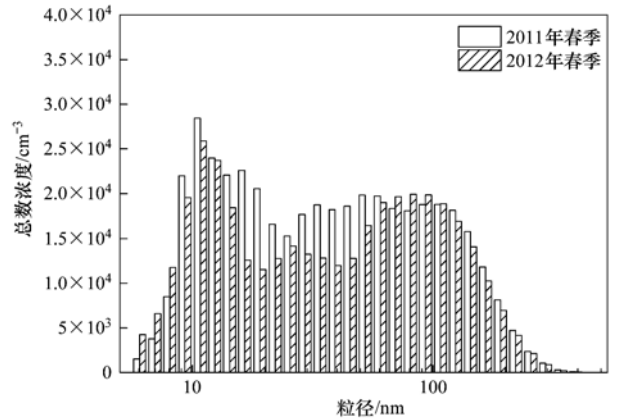


图 1 春季颗粒物粒径谱分布  
Fig. 1 Particle size distribution in Spring

由表 3 数据可以看出,雨天时各模态颗粒物浓度值均较低,说明下雨对颗粒物起到了冲刷和沉降作用. 晴天和雨天天气时,核模态颗粒物数浓度变化不大,而在云雾天气下,核模态和爱根核模态颗粒物浓度均较大,经分析发现,云雾天气时,风向均为东北或东南方向的风,且风速较大,说明较快的风速并没有对颗粒物浓度起到扩散和飘移作用,因此,云雾天气下超细颗粒物数浓度值较高可能与风向和监测点周边颗粒污染物排放有关. 晴天时爱根核模态颗粒数浓度较大,这是因为晴天阳光充裕,太阳辐射较强,光化学作用导致的颗粒成核现象明显,产生更多的核模态粒子,随着新颗粒不断地碰撞凝并及吸湿膨胀等过程迅速成长到爱根核模态,使爱根核模态颗粒物的浓度在晴天天气下浓度较高. 这进一步说明光化学作用能促进颗粒物成核作用,形成新粒子,使爱根核模态颗粒物浓度增加.

表 2 不同城市不同粒径范围内颗粒物数浓度对比

| Table 2 Comparison of different size particle number concentrations at different cities |                  |                         |           |              |              |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|-----------|--------------|--------------|------|
| 地区                                                                                      | 监测时间             | 颗粒物数浓度/cm <sup>-3</sup> |           |              |              | 文献   |
| 模态                                                                                      |                  | 核模态                     | 爱根核模态     | 积聚模态         | 总数浓度         |      |
| 粒径分布                                                                                    | —                | 5.6~20 nm               | 20~100 nm | 100~560 nm   | 5.6~560 nm   |      |
| 杭州                                                                                      | 2012-03~2012-05  | 8 400                   | 10 800    | 4 700        | 23 800       | 本研究  |
| 北京                                                                                      | 2005-02~2005-03  | 17 500                  | 32 000    | 4 000        | 53 500       | [19] |
| 粒径分布                                                                                    | —                | 3~20 nm                 | 20~100 nm | 100~1 000 nm | 3~10 μm      |      |
| 北京                                                                                      | 2004-03~2006-03  | 9 000                   | 15 900    | 7 800        | 32 800       | [20] |
| 北京                                                                                      | 2007-07~2007-08  | 7 500                   | 15 000    | 7 100        | 30 000       | [21] |
| 匹兹堡,美国                                                                                  | 2001-07-20002-07 | 9 700                   | 10 100    | 2 170        | 21 988       | [22] |
| 粒径分布                                                                                    | —                | 10~20 nm                | 20~100 nm | 100~1 000 nm | 10~1 000 nm  |      |
| 南京                                                                                      | 2006-07~2006-12  | 9 686                   | 26 232    | 3 326        | 26 435       | [23] |
| 粒径分布                                                                                    | —                | <30 nm                  | 20~100 nm | >90 nm       | —            |      |
| 马德里,西班牙                                                                                 | 2006-10~2007-10  | 7 257                   | 2 848     | 1 930        | —            | [24] |
|                                                                                         | 2007-10~2008-10  | 5 336                   | 2 019     | 1 449        | —            |      |
| 赫尔辛基,芬兰                                                                                 | 1997-05~2001-03  | 7 000                   | 6 500     | 1 000        | —            | [25] |
|                                                                                         | 2001-06~2003-02  | 5 500                   | 4 000     | 1 000        | —            |      |
| 粒径分布                                                                                    | —                | —                       | 10~100 nm | 100~1 000 nm | 10 nm~2.0 μm |      |
| 米兰,意大利                                                                                  | 2003-11~2004-03  | —                       | 19 700    | 55 200       | 25 300       | [26] |
|                                                                                         | 2004-04~2004-08  | —                       | 10 100    | 26 500       | 12 800       |      |

表 3 颗粒物平均数浓度 × 10<sup>4</sup>/cm<sup>-3</sup>

| Table 3 Average number concentration of particles × 10 <sup>4</sup> /cm <sup>-3</sup> |           |         |         |         |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|---------|---------|------|------|
| 模态                                                                                    | 总平均(14 d) | 晴天(3 d) | 雨天(7 d) | 多云(4 d) | 最小值  | 最大值  |
| 核模态 (5.6~20 nm)                                                                       | 0.84      | 0.62    | 0.74    | 1.17    | 0.22 | 1.53 |
| 爱根核模态 (20~100 nm)                                                                     | 1.08      | 1.26    | 0.96    | 1.16    | 0.30 | 2.13 |
| 积聚模态 (100~560 nm)                                                                     | 0.47      | 0.49    | 0.45    | 0.47    | 0.22 | 0.91 |
| 总颗粒物 (5.6~560 nm)                                                                     | 2.38      | 2.36    | 2.15    | 2.80    | 0.85 | 3.53 |

2.2 杭州市颗粒物粒径谱数浓度日变化特征分析

图 2 所示为从 00:00~24:00 时间粒径谱分布,从中可以看出,在 00:00~02:00、11:00~13:00 以及 17:00~19:00 时段,核模态和爱根核模态颗粒物数浓度出现峰值.在早上 02:00~06:00 时段,各模态的颗粒物浓度值均为一天最低.受人为活动的影响,在 06:00 开始,粒径在 20 nm 附近的颗粒浓度开

始增长,至 10:00~11:00,随着太阳辐射及大气光化学反应的不断增强,新粒子生成越来越明显,并在随后的 3~4 h 后结束,这也直接导致了核模态和爱根核模态颗粒浓度在这段时间的明显增加.但在 17:00~19:00 时段,20 nm 附近段的颗粒物浓度骤升,这可能是由于下班高峰时段,人为活动明显增加,使得汽车尾气排放的一次颗粒物浓度骤升.而在

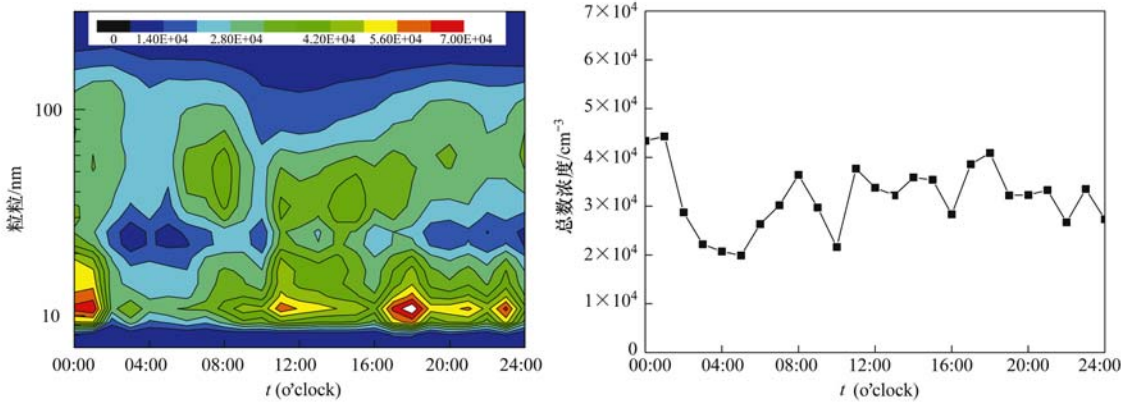


图 2 颗粒物粒径谱日变化

Fig. 2 Diurnal variation of particle size distribution

00:00~02:00 时段核模态浓度也较高,这是因为距离监测点北面 200 m 外有一绕城高速,此道路是一条物流主干道,目测夜晚 00:00~02:00 车辆增加,原因是该时段内工业区物流货运车辆增多,因而汽车污染排放也使该时段核模态颗粒物浓度较高.相对而言,颗粒物在 100 nm 左右的浓度粒径谱分布较稳定,无明显日变化特征.

2.3 工作日与非工作日颗粒粒径谱分布差异

表 4 所示为工作日与周末不同粒径段颗粒物数浓度情况.由此可以看出,工作日里各模态颗粒物浓度均高于周末,其中核模态颗粒物浓度差异较明显.这与工作日内人为活动增强有关.在工作日,机动车尾气排放、工厂废气排放增多,由排放源排放的一次颗粒物浓度较高,核模态颗粒物浓度变化明显.因此,在工作日内,人为活动的增强使各模态颗粒物浓度比周末高.

表 4 工作日和非工作日颗粒物数浓度对比  $\times 10^4/\text{cm}^{-3}$

Table 4 Comparison of particulate number concentration in weekdays and weekends  $\times 10^4/\text{cm}^{-3}$

| 模态                | 工作日 (10 d) | 周末 (4 d) |
|-------------------|------------|----------|
| 核模态 (5.6~20 nm)   | 0.95       | 0.57     |
| 爱根核模态 (20~100 nm) | 1.09       | 1.06     |
| 积聚模态 (100~560 nm) | 0.48       | 0.43     |
| 总颗粒 (5.6~560 nm)  | 2.51       | 2.06     |

由图 3 可以看出,工作日在 06:00~09:00、17:00~19:00 时段的总浓度值高于周末值,而这两个时段正是城市上下班高峰期,说明交通是颗粒物数浓度主要影响因素之一.段菁春等<sup>[27, 28]</sup>对北京市交通道路边、生活区和远郊背景点大气细粒子数浓

度的监测表明,交通源是城市大气细粒子数浓度的主要来源.

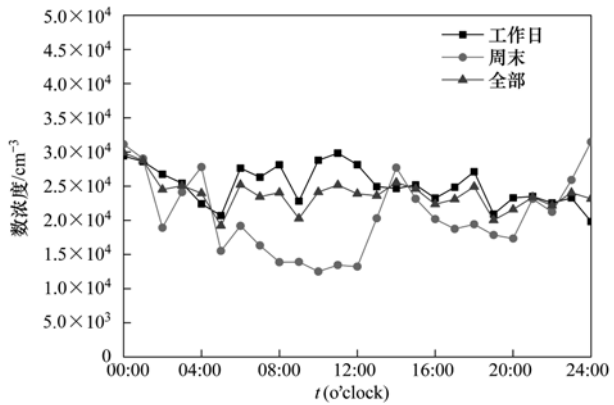


图 3 工作日与周末总浓度日分布

Fig. 3 Diurnal distribution of total concentration in workdays and weekends

2.4 天气条件与颗粒日均浓度变化关系

颗粒物浓度受天气情况影响,各模态颗粒物浓度也会稍有变化.表 5 所示为不同风速和风向,各模态颗粒物浓度变化情况.由此可以看到,风速越大,爱根核模态和积聚模态的颗粒数浓度越小.此外,风向对颗粒物数浓度也有影响,尤其是核模态颗粒,当吹西北风时,核模态颗粒物浓度较高;当吹西南风向风时,爱根核模态、积聚模态以及总的颗粒物数浓度相对较小.分析推测是由于监测点西北方向是市中心和杭州市主要居民区,人口密集,机动车尾气和生活废气排放较多,因此,由西北方向吹过来的是受污染的空气;而西南方向郊区及轻工业园区,污染较少,从该方向吹过来的是较为干净的空气,其颗粒物浓度较小.

表 5 风速和风向对不同模态颗粒物日均浓度的影响  $\times 10^4/\text{cm}^{-3}$

Table 5 Influences of wind speed and wind direction on daily average concentration of particles in different modes  $\times 10^4/\text{cm}^{-3}$

| 模态                | 风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ |         |         | 风向 <sup>1)</sup> / $(^\circ)$ |      |        |         |
|-------------------|----------------------------------|---------|---------|-------------------------------|------|--------|---------|
|                   | 范围                               | 1.0~2.0 | 2.0~3.0 | >3.0                          | 0~90 | 90~180 | 180~270 |
|                   | 测量天数/d                           | 4       | 7       | 3                             | 5    | 4      | 3       |
| 核模态 (5.6~20 nm)   |                                  | 0.72    | 0.72    | 1.28                          | 1.03 | 0.75   | 0.41    |
| 爱根核模态 (20~100 nm) |                                  | 1.37    | 0.92    | 1.08                          | 1.14 | 1.18   | 1.00    |
| 积聚模态 (100~560 nm) |                                  | 0.51    | 0.50    | 0.37                          | 0.48 | 0.47   | 0.43    |
| 总颗粒 (5.6~560 nm)  |                                  | 2.60    | 2.13    | 2.69                          | 2.62 | 2.40   | 1.83    |

1) 0°是正北方向, 180°是正南方向

大气颗粒物的消光作用是影响大气的能见度的主要因素之一<sup>—[29~31]</sup>.图 4 给出了杭州市地区 2012 年 3 月 9 日一天内的大气能见度和颗粒物数浓度的日变化情况.由可见度和超细颗粒物数浓度对比分析可知:杭州市大气能见度受核模态和爱根核模态

颗粒数浓度影响较小;积聚模态颗粒浓度  $y$  与能见度  $x$  呈负相关关系,相关关系为  $y = -0.0015x + 12.374$ ,相关系数  $R^2 = 0.7099$ ,即可见度越低,积聚模态颗粒物浓度越大,可见度越大,积聚模态颗粒物数浓度越小.这与黄祖照等<sup>[32]</sup>的研究相符.

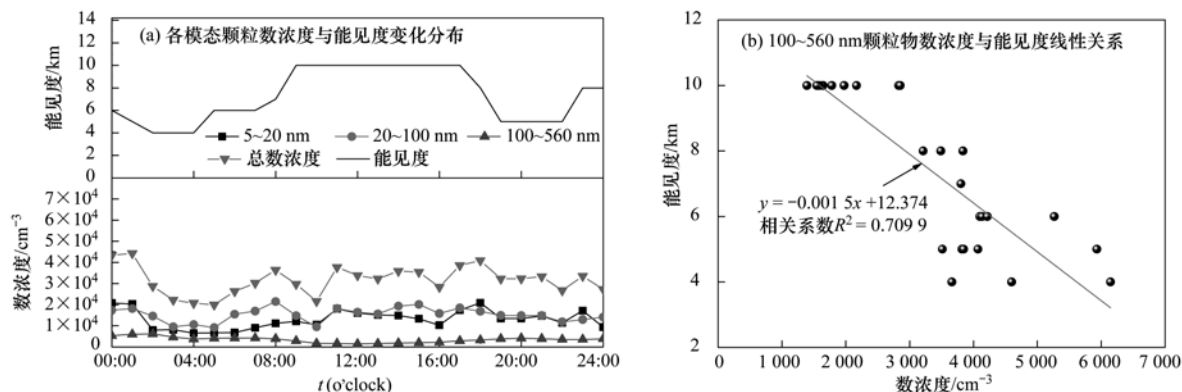


图4 大气能见度与颗粒物数浓度日变化特征分析

Fig. 4 Diurnal variation of atmospheric visibility and particle number concentration

### 3 结论

(1) 观测期内杭州地区颗粒物数浓度谱呈双峰分布,总颗粒物数浓度为  $0.85 \times 10^4 \sim 3.53 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ,平均浓度值为  $2.38 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ,核模态、爱根核模态和积聚模态颗粒物日均数浓度范围分别为  $0.22 \times 10^4 \sim 1.53 \times 10^4$ 、 $0.30 \times 10^4 \sim 2.13 \times 10^4$  和  $0.22 \times 10^4 \sim 0.91 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ ,平均浓度为  $0.84 \times 10^4$ 、 $1.08 \times 10^4$  和  $0.47 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 。相对而言,杭州市2013年春季颗粒物浓度值处于中下水平。

(2) 受太阳辐射强度影响,核模态和爱根核模态颗粒物在10:00~16:00时间内数浓度较大,说明光化学作用促进颗粒物成核现象,产生新粒子。

(3) 由于人为排放影响,工作日内颗粒物浓度更高,核模态颗粒物浓度增长更明显;而在早晚06:00~09:00、17:00~19:00时段,工作日颗粒物浓度明显高于周末同一时段的颗粒物浓度。

(4) 杭州地区颗粒物数浓度受风速和风向影响;大气能见度受核模态和爱根核模态的颗粒影响较小,与积聚模态颗粒物浓度呈负相关关系。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Donaldson K, Li X Y, MacNee W. Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury [J]. *Journal of Aerosol Science*, 1998, **29**(5-6): 553-560.
- [3] 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.
- [4] Lai Alvin C K, Thatcher Tracy L, *et al.* Inhalation transfer factors for air pollution health risk assessment [J]. *Air & Waste Management Association*, 2000, **50**(9): 1688-1699.
- [5] 董雪玲. 大气可吸入颗粒物对环境对人体健康的危害 [J]. *资源与产业*, 2004, **6**(5): 50-53.
- [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] 赵金镛, 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.
- [8] Cheng M T, Tsai Y I. Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas [J]. *Science of the Total Environment*, 2000, **263**(1-3): 101-114.
- [9] 刘新民, 邵敏. 北京市夏季大气消光系数的来源分析 [J]. *环境科学学报*, 2004, **24**(2): 185-189.
- [10] Xie X M, Huang Z, Wang J S, *et al.* The impact of solar radiation and street layout on pollutant dispersion in street canyon [J]. *Building and Environment*, 2005, **40**(2): 201-212.
- [11] Glucas S N, Dyer C S, Lei F. The radiation in the atmosphere during major solar particle events [J]. *Advances in Space Research*, 2005, **36**(9): 1657-1664.
- [12] Lohmann U, Feichter J. Global indirect aerosol effects: a review [J]. *Atmospheric, Chemistry and Physics*, 2005, **5**(3): 715-737.
- [13] Shantz N C, Pierce J R, Chang R Y W, *et al.* Cloud condensation nuclei droplet growth kinetics of ultrafine particles during anthropogenic nucleation events [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **47**: 389-398.
- [14] 黄金星, 张林, 陈欢林, 等. 杭州市区空气中PM<sub>2.5</sub>吸微粒监测及污染状况分析 [J]. *现代科学与技术*, 2006, **29**(9): 49-51.
- [15] 俞新华, 焦荔, 包贞, 等. 杭州市区大气能见度变化趋势及其与主要污染物相关性分析 [J]. *环境污染与防治*, 2008, **30**(12): 106-108.
- [16] 包贞, 冯银厂, 焦荔, 等. 杭州市大气PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>污染特征及来源解析 [J]. *中国环境监测*, 2010, **26**(2): 44-48.
- [17] 洪盛茂, 焦荔, 何曦, 等. 杭州主城区悬浮细颗粒PM<sub>2.5</sub>浓度变化及其组分分析 [J]. *中国粉体技术*, 2010, **16**(1): 14-17.
- [18] 谢小芳, 孙在, 付志民, 等. 杭州市大气超细颗粒数浓度谱

- 季节性特征[J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 434-440.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Stanier C O, Khlystov A Y, Pandis S N. Ambient aerosol size distributions and number concentrations measured during the Pittsburgh Air Quality Study (PAQS) [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(20): 3275-3284.
- [23] 钱凌, 银燕, 童尧青, 等. 南京北郊大气细颗粒物的粒径分布特征[J]. 中国环境科学, 2008, **28**(1): 18-22.
- [24] Gómez-Moreno F J, Pujadas M, Plaza J, *et al.* Influence of seasonal factors on the atmospheric particle number concentration and size distribution in Madrid[J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(18): 3169-3180.
- [25] Hussein T, Puustinen A, Aalto P P, *et al.* Urban aerosol number size distributions [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2004, **4**(2): 391-411.
- [26] Lonati G, Crippa M, Gianelle V, *et al.* Daily patterns of the multi-modal structure of the particle number size distribution in Milan, Italy [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(14): 2434-2442.
- [27] 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): 54-59.
- [28] 段青春, 李兴华, 谭吉华, 等. 北京冬季大气颗粒物数浓度的粒径分布特征及来源[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(10): 1134-1140.
- [29] 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.
- [30] 张涛, 陶俊, 王伯光, 等. 2008 年 1 月广州颗粒物数浓度污染特征[J]. 中国环境监测, 2009, **25**(2): 31-34.
- [31] 陈义珍, 赵丹, 柴发合, 等. 广州市与北京市大气能见度与颗粒物质量浓度的关系[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(7): 967-971.
- [32] 黄祖照, 王杰, 刘建国, 等. 广州城区大气细颗粒物粒径分布特征分析[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(7): 1177-1181.

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                              |                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China .....                                                                                                                                          | WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> ( 401 )         |
| Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM <sub>2.5</sub> and Source Analysis in Beijing .....                                                                                                    | TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> ( 411 )        |
| Temporal and Spatial Distribution of PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing ..... | ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> ( 418 )         |
| Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM <sub>5.0</sub> Inhalable Particulate in Beijing .....                                                                                             | WANG Yan-hui, XIAO Yao ( 428 )                                        |
| Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring .....                                                                                                 | XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun ( 436 )                          |
| Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing .....                                                                                                                                    | WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> ( 442 )           |
| Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles .....                                                                                                                 | WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> ( 451 )     |
| Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM <sub>10</sub> in Xinzhou City .....                                                                                                                   | SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> ( 458 )          |
| Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou .....                                                                        | QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> ( 464 )                    |
| Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis .....                                                                                                      | SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> ( 470 )            |
| Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea .....                                                                                                                                           | XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> ( 475 )         |
| Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data .....                                                                                           | LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> ( 481 )             |
| Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area .....                                                                                                                           | HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> ( 490 )          |
| Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation .....                                                                                           | JIA Long, XU Yong-fu ( 495 )                                          |
| Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China .....                                                                          | DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> ( 504 )             |
| Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area .....                                                                                                                                 | QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> ( 513 )          |
| Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter .....                                                                                                                                                       | HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> ( 520 )     |
| Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends .....                                                                                              | LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> ( 526 )              |
| Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting .....                                                                                          | ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> ( 533 )     |
| Oxidation of Mercury by CuBr <sub>2</sub> Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition .....                                                                                          | HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> ( 541 )             |
| Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian .....                                                                                 | ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> ( 547 )   |
| Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study .....                                                                                     | JIA Hai-feng, GUO Yu ( 555 )                                          |
| Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain .....                                                                                                                               | GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> ( 562 )                  |
| Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary .....                                                                                                                                    | ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> ( 569 )        |
| Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary .....                                                                                                                                  | MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> ( 577 )       |
| Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area .....                                                                           | CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> ( 585 )             |
| Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands .....                                                                                               | BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> ( 592 )       |
| Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i> .....                                         | ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> ( 597 )           |
| Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water .....                                                                            | TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> ( 605 )               |
| Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite .....                                                                                                     | LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> ( 611 )             |
| Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride .....                                                                                                            | SONG Chen-yi, YIN Da-qiang ( 619 )                                    |
| Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System .....                                                                                                       | FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> ( 626 )          |
| Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety .....                                                                          | YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao ( 633 )                               |
| Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment .....                                                                                                                     | LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> ( 643 )                  |
| Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter .....                                                                                                                       | LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> ( 651 )       |
| Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process .....                                                                                                                                         | CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> ( 657 )       |
| Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes .....                                                                                                                                                    | ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe ( 663 )                          |
| Biosorption Characteristics of Cu <sup>2+</sup> by Spent Substrate of <i>Pleurotus</i> Oyster .....                                                                                                          | HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> ( 669 )      |
| Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition .....                                                                                                               | WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> ( 678 )                 |
| Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou .....                                                                                          | GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> ( 684 )      |
| Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China .....                                                                                                                      | ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> ( 692 ) |
| Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site .....                                                                                     | ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> ( 704 )      |
| Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China .....                                                                                       | ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> ( 711 )          |
| Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River .....                                                                                                       | TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> ( 719 )            |
| Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants .....                                                                   | ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> ( 727 )             |
| Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites .....                                                          | YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce ( 733 )                                  |
| Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 .....                                                                                                                                | ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> ( 740 )        |
| Effects of the Ratio of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N to NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture .....                                    | CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> ( 746 )        |
| Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou .....                                                                                                                                      | GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> ( 753 )          |
| Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhammolid Reverse Micelles .....                                                                                                                            | ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> ( 759 )    |
| Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea .....                                                                                                     | ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> ( 764 )           |
| Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i> .....                                                                                                   | WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin ( 770 )                               |
| Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System .....                                                                                         | LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> ( 780 )            |
| Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary .....                                                                  | LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> ( 786 )         |
| Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies .....                                                                                                      | ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> ( 792 )     |

# 《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)

2014年2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 15, 2014

|         |                                                                                                                                                                     |                  |    |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                               | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>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<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                             | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                | Distributed      | by | Science Press<br>Tel:010-64017032<br>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<br>(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