ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第5期

Vol.34 No.5

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

中国期刊方阵 双奖期刊 中华人民共和国新闻出版总署

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第 34 卷 第 5 期
2013 年 5 月 15 日

目 次

基于过氧化物的消毒技术研究进展 …… 习海玲,赵三平,周文 (1645)
环境损害评估:国际制度及对中国的启示 …… 张红振,曹东,於方,王金南,齐霁,贾倩,张天柱,骆永明 (1653)
不同国家基于健康风险的土壤环境基准比较研究与启示 …… 徐猛,颜增光,贺萌萌,张超艳,侯红,李发生 (1667)
蚯蚓堆肥及蝇蛆生物转化技术在有机废弃物处理应用中的研究进展 …… 张志剑,刘萌,朱军 (1679)
基于生态分区的我国湖泊营养盐控制目标研究 …… 刁晓君,席北斗,何连生,邓祥征,吴锋,王鹏腾 (1687)
我国东北地区地表水酸化现状 …… 徐光仪,康荣华,罗遥,段雷 (1695)
西安市对渭河水质的影响分析 …… 于婕,李怀恩 (1700)
极端干旱水文年(2011 年)夏季珠江口溶解氧的分布特征及影响因素研究 …… 叶丰,黄小平,施震,刘庆霞 (1707)
应用相平衡分配法建立湘江衡阳段沉积物重金属质量基准 …… 韩超南,秦延文,郑丙辉,张雷,曹伟 (1715)
长江口海域底栖生态环境质量评价——AMBI 和M-AMBI 法 …… 蔡文倩,孟伟,刘录三,朱延忠,周娟 (1725)
温州城市降雨径流中 BOD_5 和 COD 污染特征及其初始冲刷效应 …… 王骏,毕春娟,陈振楼,周栋 (1735)
影响悬浮颗粒物吸收系数测量的相关因素研究 …… 余小龙,沈芳,张晋芳 (1745)
香溪河库湾春季 pCO_2 与浮游植物生物量的关系 …… 袁希功,黄文敏,毕永红,胡征宇,赵玮,朱孔贤 (1754)
紊流脉动强度对藻类生长及水环境的影响研究 …… 雷雨,龙天渝,伞磊,安强,黄宁秋 (1761)
高铁酸钾对水中藻类及其次生嗅味污染物二甲基三硫醚同步去除研究 …… 马晓雁,张泽华,王红宇,胡仕斐,李青松 (1767)
纳米 Fe_3O_4-H_2O_2 非均相 Fenton 反应催化氧化邻苯二酚 …… 何洁,杨晓芳,张伟军,王东升 (1773)
水中萘普生的紫外光降解机制及其产物毒性研究 …… 马杜娟,刘国光,吕文英,姚锟,周丽华,谢成屏 (1782)
酸活化赤泥催化臭氧氧化降解水中硝基苯的效能研究 …… 康雅凝,李华楠,徐冰冰,齐飞,赵伦 (1790)
镉污染应急处置含镉絮体稳定性实验研究 …… 柳王荣,虢清伟,杨仁斌,许振成,曾东 (1797)
基于光学在线监测及形态学研究的絮凝体强度分析方法 …… 金鹏康,冯永宁,王宝宝,王晓昌 (1802)
不同电子供体下三氯苯酚的还原脱氯机制研究 …… 万金泉,胡梦蝶,马邕文,黄明智 (1808)
壳聚糖季铵盐磁性颗粒的制备及其对甲基橙的吸附效果 …… 张聪璐,胡筱敏,英诗颖,王芳 (1815)
城市污水二级出水超滤膜污染与膜特性的研究 …… 孟晓荣,张海珍,王磊,王旭东,赵亮 (1822)
倒置 A^2/O-MBR 处理城市污水的中试研究 …… 张健君,邹高龙,杨淑芳,丁星,王莉,毛乾庄,杨丹 (1828)
不同电子供体的硫自养反硝化脱氮实验研究 …… 袁莹,周伟丽,王晖,何圣兵 (1835)
短程同步硝化反硝化过程的脱氮与 N_2O 释放特性 …… 梁小玲,李平,吴锦华,王向德 (1845)
基于固相萃取的水中多种有毒有害有机污染物富集方法优化 …… 张明全,李锋民,吴乾元,胡洪营 (1851)
多环麝香污染胁迫对蚯蚓特异性蛋白基因表达的影响 …… 陈春,刘潇威,郑顺安,周启星,李松 (1857)
浙江省制药行业典型挥发性有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评价 …… 徐志荣,王浙明,许明珠,何华飞 (1864)
苯系物光催化开环降解产物低级醛类的健康效应 …… 赵伟荣,廖求文,杨亚楠,戴九松 (1871)
四川妇女血清中多溴联苯醚的浓度水平与组成特征 …… 邵敏,陈永亨,李晓宇 (1877)
咪唑类离子液体毒性的 QSAR/QSPR 研究 …… 赵继红,赵永升,张宏忠,张香平 (1882)
宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征 …… 樊新刚,米文宝,马振宁,王婷玉 (1887)
内蒙古包头白云鄂博矿区及尾矿区周围土壤稀土污染现状和分布特征 …… 郭伟,付瑞英,赵仁鑫,赵文静,郭江源,张君 (1895)
福建省重点城市路面尘负荷及化学组成研究 …… 郑桉,杨冰玉,吴水平,王新红,陈晓秋 (1901)
重金属污染场地电阻率法探测数值模拟及应用研究 …… 王玉玲,能昌信,王彦文,董路 (1908)
丛枝菌根真菌对稀土尾矿中大豆生长和稀土元素吸收的影响 …… 郭伟,赵仁鑫,赵文静,付瑞英,郭江源,张君 (1915)
海洋细菌 N3 对几种赤潮藻的溶藻效应 …… 史荣君,黄洪辉,齐占会,胡维安,田梓杨,戴明 (1922)
1 株分离自煤矿废水的铁硫氧化细菌 LY01 的鉴定及其氧化特性研究 …… 刘玉娇,杨新萍,王世梅,梁银 (1930)
1 株苯并[a]芘高效降解菌的筛选与降解特性 …… 蔡瀚,尹华,叶锦韶,常晶晶,彭辉,张娜,何宝燕 (1937)
2,2′,4,4′-四溴联苯醚的好氧微生物降解 …… 张姝,Giulio Franco,李晓豹,卢晓霞,侯珍,杨君君 (1945)
养猪废水培养微生物絮凝剂产生菌群 B-737 及发酵特性 …… 裴瑞林,信欣,张雪乔,周迎芹,姚力,羊依金 (1951)
1997 ~2011 年北京市空气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析 …… 陈圆圆,田贺忠,杨懂艳,邹本东,鹿海峰,林安国 (1958)
黄山降水酸度及电导率特征分析 …… 石春娥,邓学良,吴必文,洪杰,张苏,杨元建 (1964)
夏季黄山不同高度大气气溶胶水溶性离子特征分析 …… 文彬,银燕,秦彦硕,陈魁 (1973)
广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征 …… 谭吉华,赵金平,段菁春,马永亮,贺克斌,杨复沫 (1982)
福建省三大城市冬季 $PM_{2.5}$ 中有机碳和元素碳的污染特征 …… 陈衍婷,陈进生,胡恭任,徐玲玲,尹丽倩,张福旺 (1988)
上海市含碳大气颗粒物的粒径分布 …… 袁宁,刘卫,赵修良,王广华,姚剑,曾友石,刘邃庆 (1995)
上海市浦东城区二次气溶胶生成的估算 …… 崔虎雄,吴迓名,段玉森,伏晴艳,张懿华,王东方,王茜 (2003)
沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义 …… 钱鹏,郑祥民,周立旻 (2010)
厦门秋季近郊近地面 CO_2 浓度变化特征研究 …… 李燕丽,穆超,邓君俊,赵淑惠,杜可 (2018)
GC-MS 和 GC-ECD 同时在线观测本底大气中的 HCFC-142b …… 郭立峰,姚波,周凌晞,李培昌,许林 (2025)
城市居家环境空气真菌群落结构特征研究 …… 方治国,欧阳志云,刘芃,孙力,王小勇 (2031)
城市污水处理厂挥发性芳香烃的气味指纹及定量评价研究 …… 郭薇,王伯光,唐小东,刘舒乐,何洁,张春林 (2038)
内河多点分散码头大气污染叠加影响特征 …… 刘建昌,李兴华,徐洪磊,程金香,王忠岱,肖杨 (2044)
义马煤中铅的热稳定性及转化行为研究 …… 刘瑞卿,王钧伟 (2051)
基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究 …… 谢元博,李巍 (2057)
《环境科学》征订启事(1652) 《环境科学》征稿简则(1789) 信息(1807, 1821, 1881, 1987) 专辑征稿通知(1863)

镉污染应急处置含镉絮体稳定性实验研究

柳王荣[1,2],虢清伟[1*],杨仁斌[2],许振成[1],曾东[1]
(1. 环境保护部华南环境科学研究所,广州 510655; 2. 湖南农业大学资源环境学院, 农业环境保护研究所, 长沙 410128)

摘要: 以广西龙江河镉污染应急处置过程中产生的含镉絮体为研究对象,在探讨扰动及 pH 对絮体稳定性影响的基础上,考察了絮体在模拟静态水库和酸性洪水中的稳定性. 结果表明,扰动及 pH 对絮体稳定性的影响较大,扰动条件下,Cd^{2+} 浓度随河水初始 pH 变化规律为:pH 5.0 >> pH 6.0 > pH 7.0 ≈ pH 8.0 > pH 9.0,当 pH 为 5.0 时,Cd^{2+} 浓度较高,超标 19 ~ 58 倍; 当 pH 为 6.0、7.0、8.0 和 9.0 时,Cd^{2+} 浓度不超标至超标 11 倍. 含镉絮体在扰动水环境中释镉量较大,大部分样品的 Cd^{2+} 浓度高于 5.0 μg·L^{-1},最大超标 1 倍; 而在模拟静态水库中的释镉量较小,所有样品中 Cd^{2+} 浓度均低于 5.0 μg·L^{-1},未超标,可见含镉絮体在模拟静态水库中稳定性较好. 含镉絮体在模拟酸性洪水中释镉量大,Cd^{2+} 浓度超标 14 ~ 25 倍,稳定性差. 因此,在龙江河的生态环境影响后评估工作中应加强洪水期的监测.

关键词:龙江河; 镉; 絮体; 扰动; pH; 稳定性
中图分类号: X522 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2013)05-1797-05

Experimental Studies on Stability of Flocs from Cadmium Pollution Emergency Treatment

LIU Wang-rong[1,2], GUO Qing-wei[1], YANG Ren-bin[2], XU Zhen-cheng[1], ZENG Dong[1]
(1. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environment Protection, Guangzhou 510655, China; 2. Institute of Agro-Environmental Protection, College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Taking the flocs from cadmium pollution emergency treatment of Longjiang River in Guangxi province as the research object, the stability of the flocs in the simulated static reservoirs and acidic floods was investigated based on the effects of disturbance and pH on the stability of the flocs. The results indicated that disturbance and pH had great effects on the stability of the flocs, and the concentrations of Cd^{2+} followed the order of pH 5.0 >> pH 6.0 > pH 7.0 ≈ pH 8.0 > pH 9.0 with the original pH of water. When the original pH of water was 5.0, the concentrations of Cd^{2+} in samples were 19-58 times higher than the national standard limit, and when the original pH of water were 6.0, 7.0, 8.0 and 9.0, respectively, the concentrations of Cd^{2+} in samples varied from below to 11 times higher than the national standard limit. The release of cadmium from the flocs was higher in the disturbed water, with the concentrations of Cd^{2+} in most samples higher than 5.0 μg·L^{-1}, and the highest was double of the national standard limit. In contrast, there was little release in the simulated static reservoirs, with the concentrations of Cd^{2+} in all samples below 5.0 μg·L^{-1}, which was lower than the national standard limit. Therefore, the flocs had good stability in the simulated static reservoirs. But it had poor stability in the simulated acidic floods, with higher release of cadmium, and the concentrations of Cd^{2+} in samples were 14-25 times higher than the national standard limit. Therefore, the monitoring of cadmium concentrations in the floods should be strengthened in the post project analysis for eco-environmental impact of Longjiang River.

Key words: Longjiang River; cadmium; floc; disturbance; pH; stability

镉(Cd)作为“五毒”重金属之一,具有很高的稳定性、难降解性、可蓄积性和毒性[1~4],人体摄入或吸入过量的镉可引起肾、肺、肝、骨、生殖系统、神经系统病变,甚至引发癌症[5~8]. 近几年,镉及其化合物突发性地污染河流继而造成饮用水安全问题,比较典型的有 2005 年广东北江、2006 年湖南湘江和 2012 年广西龙江河的镉污染事件[9~11],都给当地的生产和生活带来了重大影响.

目前,针对镉污染突发事件采取的应急措施主要有化学沉淀法和吸附法等[12],其中化学沉淀法具有除镉效果好、药剂来源广泛等优点,已成功应用于广东北江的镉污染事件[13]. 在 2012 年广西龙江河的镉污染事件中,也采用了化学沉淀法,即利用龙江河上各梯级电站,使用烧碱或石灰将河水 pH 调整至 8.0 ~ 9.0 后,通过投加聚合氯化铝等絮凝剂将河水中大部分溶解态镉沉积在河底,确保了河水中 Cd^{2+} 浓度达标,保障了下游柳州市的供水安全[14]. 但是应急处置后,伴随上游来水的补给,沉积絮体上覆水的理化性质变化势必对沉积在河底的含镉絮体产生影响,其稳定性继而成为各界关注的焦点.

收稿日期: 2012-08-09; **修订日期**: 2012-09-28
基金项目: 龙江河环境突发事件环境损害与生态环境影响后评估项目(PM-ZX019-201207-018)
作者简介: 柳王荣 (1988 ~),男,硕士研究生,主要研究方向为水污染控制技术,E-mail:lwr179@126.com
* 通讯联系人, E-mail:qwguo16@163.com

本研究以龙江河镉污染应急处置过程中产生的含镉絮体为调查对象,在探讨扰动及 pH 对絮体稳定性影响的基础上,考察了絮体在模拟静态水库和酸性洪水中的稳定性,以期为龙江河生态环境影响后评估中洪水期的后续监测及含镉絮体的进一步处置提供参考.

1 材料与方法

1.1 实验仪器和试剂

AAnalyst 800 原子吸收分光光度计(美国 Perkin Elmer 公司); SG2 便携式 pH 计(瑞士 Mettler Toledo 公司); AR224CN 电子天平(上海 奥豪斯仪器有限公司); GZX-GF101-1BS-Ⅱ电热恒温鼓风干燥箱(上海跃进医疗器械有限公司); JJ-4B 数显六联电动升降搅拌器(苏州威尔实验用品有限公司); CHA-SA 数显气浴恒温振荡器(金坛市朗博仪器制造有限公司); 25ZB-32-0.37 单相自吸泵(乐清市华河电机厂); 塑料软管; 常规玻璃仪器等. 0.1 mol·L^{-1} HCl, 0.1 mol·L^{-1} NaOH 等.

1.2 实验材料

含镉絮体:采自龙江河镉污染河段中游.

实验用水:采自龙江河的上游(pH 7.6,镉未检出).

泥、沙、石:采自龙江河上游岸边(均未受镉污染). 泥、沙分两份,一份于 105℃烘干,冷却,用研钵研细,按 1∶1的比例混合均匀,用于模拟酸性洪水实验; 另一份不作任何处理,用于模拟静态水库河床底质.

1.3 实验装置

模拟静态水库所用实验装置如图 1 所示,有机玻璃沉淀柱尺寸为 Φ = 150 mm, ϕ = 142 mm, H = 2 000 mm,每根柱自上而下依次设编号为 1 ~ 6 共 6 个取样口,其中 1 号取样口距沉淀柱顶部 200 mm,相邻取样口间距为 350 mm,实验时从 1、3、5 号取样口取样. 3 根沉淀柱内分别装入泥、沙、石,高度均为 200 mm.

1.4 实验方法

1.4.1 不同搅速对絮体稳定性的影响实验

取 6 个 1 000 mL 烧杯,分别加入龙江河上游河水 989 mL,再分别加入含镉絮体 11 mL,采用六联搅拌器搅动,搅拌深度为水深的一半,搅速分别为 0、80、120、180、240、360 r·min^{-1},在实验开始时及第 1、2、4、7、11、16、22、29、37、46 h 各取样 12 mL,实验设置 3 次重复,水样经 0.45 μm 有机系滤膜过滤后,待测.

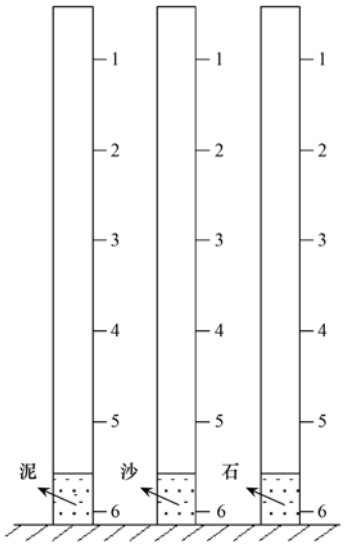

图 1 有机玻璃沉淀柱结构示意

Fig. 1 Structure of plexiglass sedimentation columns

1.4.2 扰动条件下不同 pH 对絮体稳定性的影响实验

取 1 000 mL 龙江河上游河水 5 份,采用 0.1 mol·L^{-1} HCl 或 0.1 mol·L^{-1} NaOH 溶液分别调节河水 pH 至 5.0、6.0、7.0、8.0 和 9.0,分别取 980 mL 加入 5 个1 000 mL具塞三角瓶中,再分别加入含镉絮体 20 mL,盖上瓶塞,将三角瓶放在振荡器中,设置摇速为 360 r·min^{-1},在实验开始及第 1、2、3、5、7、10、14 h 取样 12 mL,水样经 0.45 μm 有机系滤膜过滤后,待测.

1.4.3 含镉絮体在模拟水环境中的稳定性实验

(1)模拟静态水库中 在图 1 所示实验装置中加入含镉絮体 300 mL,沿沉淀柱内壁缓慢注入龙江河上游河水 27.7 L(柱顶空余 50 mm 高度),静置,在实验开始及第 1、2、3、4、5、6、7、8 d 从沉淀柱的 1、3、5 号取样口取样 20 mL,水样经 0.45 μm 有机系滤膜过滤后,待测.

(2)模拟酸性洪水中 取龙江河上游河水 980 mL 于具塞三角瓶中,采用 0.1 mol·L^{-1} HCl 溶液调节河水 pH 至 5.0 后,加入含镉絮体 20 mL,再加入一定量的泥沙使得河水中的泥沙含量为 0.7 g·L^{-1}(龙江河三岔水文站 2011 年 5 月的最大泥沙含量),搅拌均匀,盖上瓶塞,将三角瓶放在振荡器中,设置摇速为 360 r·min^{-1},在实验开始及第 1、3、5、8、14 h 取样 12 mL,水样经 0.45 μm 有机系滤膜过滤后,待测.

1.5 分析方法

水样 pH 的测定:直接采用 SG2 便携式 pH 计测定; 水样 Cd^{2+} 浓度的测定:水样经 0.45 μm 有机系滤膜过滤后,采用 AAnalyst 800 原子吸收分光光度计(石墨炉法)测定,并以《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)中规定的 Cd^{2+} 浓度不超过 5.0 $\mu g \cdot L^{-1}$ 为水质评价标准[15].

2　结果与讨论

2.1　不同搅速对絮体稳定性的影响

通过设置不同的搅速,考察了扰动对含镉絮体稳定性的影响,3 次重复实验所得结果取平均值,实验结果如图 2 所示.

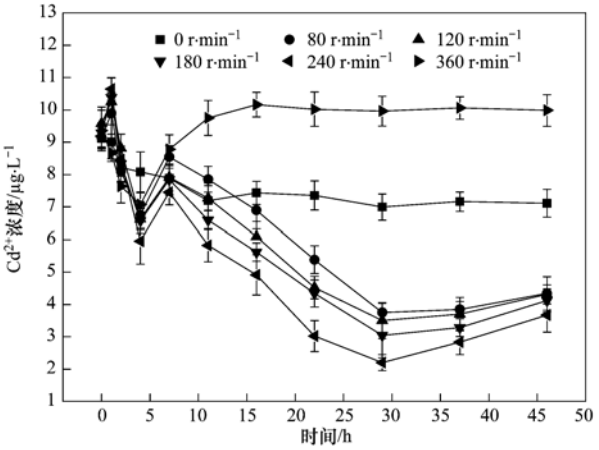

图 2　含镉絮体在不同搅速水体中的 Cd^{2+} 浓度变化

Fig. 2　Cd^{2+} concentration variations of flocs in waters with different stirring speed

由图 2 可知,扰动对含镉絮体的稳定性影响较大. 在搅速为 0 $r \cdot min^{-1}$ 时,Cd^{2+} 浓度缓慢下降继而趋于基本稳定; 在搅速为 80、120、180、240 $r \cdot min^{-1}$ 时,Cd^{2+} 浓度经历了先升高后降低的几个循环过程,整体呈折线形缓慢下降趋势,并且高搅速下的 Cd^{2+} 浓度下降幅度更大; 在搅速为 360 $r \cdot min^{-1}$ 时,镉浓度先迅速降低再逐渐升高继而趋于基本稳定,出现这种变化趋势的原因是由于絮体在扰动作用下发生了破碎与恢复的反复过程.

Solomentseva 等[16]的研究认为絮体的形成、破碎、再絮凝过程能重复若干次,但重新形成的絮体将逐渐变小. 低速搅拌使絮体破碎后,吸附于絮体中的镉被解吸出来,导致 Cd^{2+} 浓度升高; 絮体再絮凝过程中会发生电中和、卷扫、吸附和共沉淀等作用[17~19],导致 Cd^{2+} 浓度逐渐降低; 絮体的破碎与恢复反复发生,但重新形成的絮体逐渐变小,导致 Cd^{2+} 浓度整体呈折线形缓慢下降趋势.

絮体的破碎一般分为破损与破裂两种情况[20],这与搅拌强度、搅拌时间以及絮体强度等密切相关[17],搅拌引起的涡旋小于絮体易使絮体发生破损,而大于絮体则易导致絮体破裂[21]. 在搅速为 360 $r \cdot min^{-1}$ 时,前 4 h,破碎的絮体再絮凝,发生电中和、卷扫、吸附和共沉淀等作用,导致 Cd^{2+} 浓度迅速降低; 但在持续高搅速作用下,越来越多的絮体发生破裂且难以恢复,吸附于絮体中的镉被不断解吸出来,导致 Cd^{2+} 浓度逐渐升高; 继而趋于基本稳定,说明絮体吸附、解吸 Cd^{2+} 已基本达到动态平衡.

2.2　扰动条件下不同 pH 对絮体稳定性的影响

在转速设置为 360 $r \cdot min^{-1}$ 的扰动水环境中,考察了当河水初始 pH 分别为 5.0、6.0、7.0、8.0 和 9.0 时含镉絮体的稳定性,实验结果如图 3 所示.

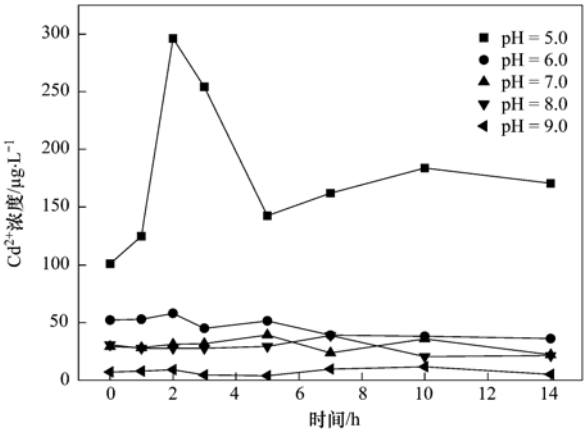

图 3　含镉絮体在不同 pH 动态水环境中的 Cd^{2+} 浓度变化

Fig. 3　Cd^{2+} concentration variations of flocs in dynamic water environment with different pH

由图 3 可知,不同河水初始 pH 对含镉絮体稳定性的影响具有较大差异. 扰动条件下,Cd^{2+} 浓度随河水初始 pH 变化规律为:pH 5.0 > > pH 6.0 > pH 7.0 ≈ pH 8.0 > pH 9.0. 当 pH 为 5.0 时,Cd^{2+} 浓度较高,超标 19 ~ 58 倍,先迅速升高、后迅速降低,再缓慢升高继而缓慢降低; 当 pH 为 6.0、7.0、8.0 和 9.0 时,Cd^{2+} 浓度不超标至超标 11 倍,基本保持稳定. 裘祖楠等[22]发现构成镉释放的形态为水可溶态、阳离子可交换态、碳酸盐结合态及铁锰水合氧化物结合态(在 40℃时除外). 镉在絮体的主要存在形式为 $Cd(OH)_2$、$CdCO_3$[13],为阳离子可交换态及碳酸盐结合态. 河水初始 pH 降低,溶液中 H^+ 浓度增大,势必会增加 H^+ 对 Cd^{2+} 的竞争吸附力,使吸附于絮体中阳离子可交换态的 Cd^{2+} 解吸出来[23]; 随着 pH 值上升,碳酸盐结合态和难溶残余态镉增加[22]. 因此,河水中的 Cd^{2+} 浓度:弱酸性 >

中性 > 弱碱性,pH 呈弱酸性时,Cd^{2+} 浓度较高且呈折线形变化,是河水 pH 值及絮体的破碎与恢复共同作用的结果; pH 呈中性至弱碱性时,体系趋于稳定,Cd^{2+} 浓度较低且变化不大,说明絮体吸附、解吸 Cd^{2+} 基本达到动态平衡.

2.3 含镉絮体在模拟水环境中的稳定性

2.3.1 含镉絮体在模拟静态水库中的稳定性

通过在有机玻璃柱底填充泥、沙、石,模拟龙江河水库环境(水流量小时,近似静态),考察了含镉絮体在泥质、沙质及石质等 3 种典型河床下的稳定性,实验结果如图 4 所示.

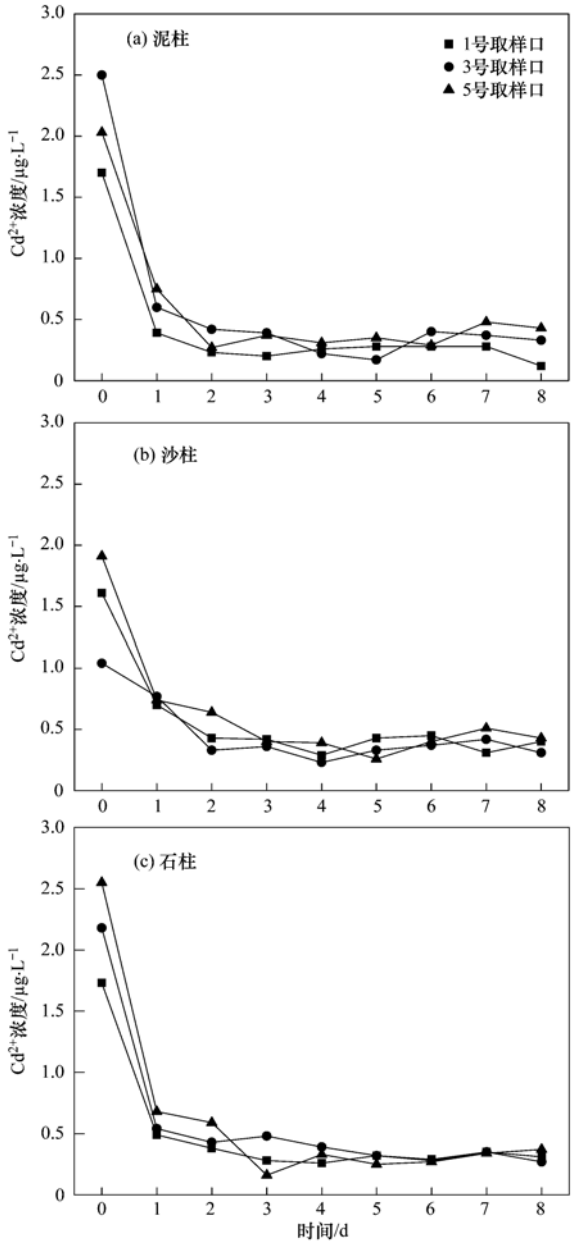

图 4 含镉絮体在泥、沙和石河床沉淀柱中的 Cd^{2+} 浓度变化

Fig. 4 Cd^{2+} concentration variations of flocs in settling columns with mud, sand and cobblestone

由图 4 可知,在泥、沙、石这 3 种河床类型的模拟静态水库中,河床类型对含镉絮体稳定性的影响没有显著性差异,Cd^{2+} 浓度的变化趋势均为先逐渐降低,后基本保持稳定. 在沉淀柱中加入絮体及注入河水过程中的扰动造成部分絮体破碎,从而使吸附于絮体中的镉部分解吸出来[24]; 静置过程中,破碎的絮体逐渐恢复,会发生一定的电中和、卷扫、吸附和共沉淀等作用,从而使模拟静态水库中的 Cd^{2+} 浓度逐渐降低; 待体系达到动态平衡之后,模拟静态水库中的 Cd^{2+} 浓度基本保持稳定.

将此实验结果与 2.1 节的实验结果作对比可以发现:含镉絮体在扰动水环境中释镉量较大,大部分样品的 Cd^{2+} 浓度高于 5.0 $\mu g \cdot L^{-1}$,最大超标 1 倍; 而含镉絮体在模拟静态水库中释镉量较小,所有样品的 Cd^{2+} 浓度均低于 5.0 $\mu g \cdot L^{-1}$,未超标. 因此,扰动对含镉絮体的稳定性影响较大,含镉絮体在静态水环境中稳定性较好.

2.3.2 含镉絮体在模拟酸性洪水中的稳定性

通过降低河水初始 pH 至 5.0、设置扰动摇速为 360 $r \cdot min^{-1}$ 及添加 0.70 $g \cdot L^{-1}$ 的泥沙来模拟酸性洪水,考察了含镉絮体在模拟酸性洪水中的稳定性,实验结果如图 5 所示.

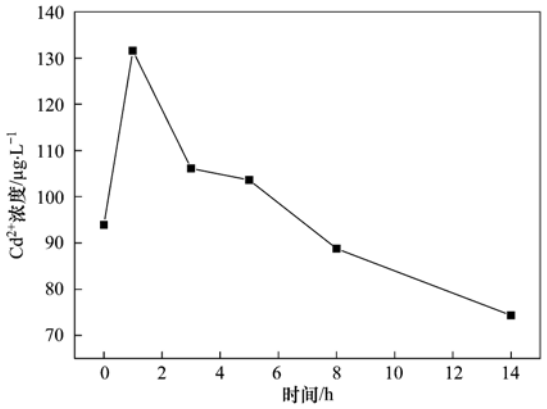

图 5 含镉絮体在模拟酸性洪水中的 Cd^{2+} 浓度变化

Fig. 5 Cd^{2+} concentration variations of flocs in the simulated acidic floods

由图 5 可知,在模拟酸性洪水中,河水 Cd^{2+} 浓度较高,超标 14 ~ 25 倍,呈先迅速升高,后逐渐降低的趋势. 出现此变化趋势可以从如下两方面分析: 一是此实验条件下存在絮体的破碎与恢复过程; 二是人为加入的泥沙能够吸附一定量的 Cd^{2+}[25~27]. 絮体在扰动及弱酸性条件下破碎,吸附于絮体中阳离子可交换态的 Cd^{2+} 不断解吸出来,Cd^{2+} 浓度迅速升高; 在絮体再絮凝及泥沙吸附的共同作用下,Cd^{2+} 浓度不断降低. 因此,含镉絮体在酸性模拟洪

水中，释镉量较大，稳定性较差.

将此实验结果与 2.2 节中 pH 为 5.0 时的实验结果作对比可以发现：在同样的实验条件下，加入泥沙，河水中 Cd^{2+} 浓度的变化范围为 74.4 ~ 131.6 $\mu g \cdot L^{-1}$；不加入泥沙，河水中 Cd^{2+} 浓度的变化范围为 101.0 ~ 296.2 $\mu g \cdot L^{-1}$，说明泥沙能够起到一定的混凝和吸附作用. 因此，泥沙的加入有助于降低含镉絮体在酸性扰动水环境中的释镉量，增强含镉絮体的稳定性.

3　结论

(1)扰动及 pH 对含镉絮体的稳定性影响较大. 扰动条件下，Cd^{2+} 浓度随河水初始 pH 变化规律为：pH 5.0 > > pH 6.0 > pH 7.0 ≈ pH 8.0 > pH 9.0，当 pH 为 5.0 时，Cd^{2+} 浓度较高，超标 19 ~ 58 倍，呈折线形变化；当 pH 为 6.0、7.0、8.0 和 9.0 时，Cd^{2+} 浓度不超标至超标 11 倍，基本保持稳定.

(2)含镉絮体在扰动水环境中释镉量较大，大部分样品的 Cd^{2+} 浓度高于 5.0 $\mu g \cdot L^{-1}$，最大超标 1 倍；而含镉絮体在模拟静态水库中释镉量较小，所有样品的 Cd^{2+} 浓度均低于 5.0 $\mu g \cdot L^{-1}$，未超标，稳定性较好.

(3)含镉絮体在模拟酸性洪水中释镉量大，Cd^{2+} 浓度高，超标 14 ~ 25 倍，稳定性差. 因此，在龙江河的生态环境影响后评估工作中应加强洪水期的监测.

参考文献：

[1] 吴曼，徐明岗，张文菊，等. 土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响[J]. 环境科学，2012，**33**(7)：2503-2509.

[2] Mebane C A，Dillon F S，Hennessy D P. Acute toxicity of cadmium，lead，zinc，and their mixtures to stream-resident fish and invertebrates[J]. Environmental Toxicology and Chemistry，2012，**31**(6)：1334-1348.

[3] Zhang H，Cao H B，Meng Y B，*et al*. The toxicity of cadmium (Cd^{2+}) towards embryos and pro-larva of soldatov's catfish (*Silurus soldatovi*)[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety，2012，**80**(1)：258-265.

[4] 何文杰，李荣光，韩宏大，等. 饮用水中镉污染的应急处理技术中试研究[J]. 中国给水排水，2011，**27**(17)：62-67.

[5] 魏筱红，魏泽义. 镉的毒性及其危害[J]. 公共卫生与预防医学，2007，**18**(4)：44-46.

[6] 焦健，张照斌，胡建英，等. hVDR 原核表达及其与重金属镉、铅的结合活性[J]. 环境科学，2010，**31**(10)：2469-2474.

[7] Ohtani-Kaneko R，Tazawa H，Yokosuka M，*et al*. Suppressive effects of cadmium on neurons and affected proteins in cultured developing cortical cells[J]. Toxicology，2008，**253**(1-3)：110-116.

[8] Huff J，Lunn R M，Waalkes M P，*et al*. Cadmium-induced cancers in animals and in humans[J]. International Journal of Occupational and Environmental Health，2007，**13**(2)：202-212.

[9] 黄晓东，张金松，尤作亮，等. 广东北江镉污染应急处理技术与工程实践[J]. 供水技术，2007，**1**(2)：25-27.

[10] 陈定仪，林希建. 湘江株洲段镉污染对长沙市水源水镉浓度的影响及其应急处理措施的探讨[J]. 实用预防医学，2011，**18**(5)：848-851.

[11] 张周来，王军伟，夏军，等. 龙江镉污染阻击战[J]. 瞭望，2012，**31**(6)：8-10.

[12] 王新刚，刘学卿，陈芳艳，等. 粉末活性炭应急处理原水中镉突发污染的研究[J]. 水处理技术，2011，**37**(7)：73-77.

[13] 张晓健. 松花江和北江水污染事件中的城市供水应急处理技术[J]. 给水排水，2006，**32**(6)：6-12.

[14] 郎庆成，张玲，赵斌，等. 重金属污染事件应急处理技术探讨——以广西龙江镉污染事件为例[J]. 再生资源与循环经济，2012，**5**(3)：39-40.

[15] GB 5749-2006. 生活饮用水卫生标准[S].

[16] Solomentseva I，Barany S，Gregory J. The effect of mixing on stability and break-up of aggregates formed from aluminum sulfate hydrolysis products [J]. Colloids and Surfaces A：Physicochemical and Engineering Aspects，2007，**298**(1-2)：34-41.

[17] 张忠国，栾兆坤，赵颖，等. 聚合氯化铝(PACl)混凝絮体的破碎与恢复[J]. 环境科学，2007，**28**(2)：346-351.

[18] 王亚芝，曹培锋，任毅斌. 聚合氯化铝(PAC)混凝剂研究的进展[J]. 内蒙古石油化工，2009，**18**(10)：13-16.

[19] 唐婉莹，翟宇峰，王连军，等. 聚合氯化铝絮凝机理探讨[J]. 南京理工大学学报，1997，**21**(4)：325-328.

[20] Jarvis P，Jeffrson B，Gregory J，*et al*. A review of floc strength and breakage[J]. Water Research，2005，**39**(14)：3121-3137.

[21] Serra T，Colomer J，Casamitjana X. Aggregation and breakup of particles in a shear flow[J]. Journal of Colloid and Interface Science，1997，**187**(2)：466-473.

[22] 裘祖楠，方宇翘，张仲燕，等. 城市河流底泥中镉的形态分布及其向水相释放的关系[J]. 中国环境科学，1989，**9**(6)：401-407.

[23] 刘广深，许中坚，周根娣，等. 模拟酸雨作用下红壤镉释放的研究[J]. 中国环境科学，2004，**24**(4)：419-423.

[24] Atkinson C A，Jolley D F，Simpson S L. Effect of overlying water pH，dissolved oxygen，salinity and sediment disturbances on metal release and sequestration from metal contaminated marine sediments[J]. Chemosphere，2007，**69**(9)：1428-1437.

[25] Chaves L H G，Tito G A. Cadmium and copper adsorption on bentonite：effects of pH and particle size[J]. Revista Ciência Agronômica，2011，**42**(2)：278-284.

[26] Lacin O，Bayrak B，Korkut O，*et al*. Modeling of adsorption and ultrasonic desorption of cadmium (Ⅱ) and zinc (Ⅱ) on local bentonite[J]. Journal of Colloid and Interface Science，2005，**292**(2)：330-335.

[27] Soares M R，Casagrande J C，Mouta E R. Effect of ionic strength and pH on cadmium adsorption by brazilian variable-charge soils[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis，2009，**40**(13-14)：2132-2151.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 34 No. 5

May 15, 2013

CONTENTS

Advances in Peroxide-Based Decontaminating Technologies ····· XI Hai-ling, ZHAO San-ping, ZHOU Wen (1645)

Environmental Damage Assessment: International Regulations and Revelation to China ····· ZHANG Hong-zhen, CAO Dong, YU Fang, *et al.* (1653)

Human Health Risk-Based Environmental Criteria for Soil: A Comparative Study Between Countries and Implication for China ····· XU Meng, YAN Zeng-guang, HE Meng-meng, *et al.* (1667)

Organic Waste Treatment by Earthworm Vermicomposting and Larvae Bioconversion: Review and Perspective ····· ZHANG Zhi-jian, LIU Meng, ZHU Jun (1679)

Strategies of Nutrients Control in Lakes Based on Ecoregions of Lakes in China ····· DIAO Xiao-jun, XI Bei-dou, HE Lian-sheng, *et al.* (1687)

Current Status of Surface Water Acidification in Northeast China ····· XU Guang-yi, KANG Rong-hua, LUO Yao, *et al.* (1695)

Impact Analysis of Xi'an to the Water Quality of Weihe River ····· YU Jie, LI Huai-en (1700)

Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Its Affecting Factors in the Pearl River Estuary During the Summer of the Extremely Drought Hydrological Year 2011 ····· YE Feng, HUANG Xiao-ping, SHI Zhen, *et al.* (1707)

Application of Equilibrium Partitioning Approach to Establish Sediment Quality Criteria for Heavy Metals in Hengyang Section of Xiangjiang River ····· HAN Chao-nan, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, *et al.* (1715)

Assessing the Benthic Ecological Status in Yangtze River Estuary Using AMBI and M-AMBI ····· CAI Wen-qian, MENG Wei, LIU Lu-san, *et al.* (1725)

Pollution Load and the First Flush Effect of BOD_5 and COD in Urban Runoff of Wenzhou City ····· WANG Jun, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, *et al.* (1735)

Influencing Factors in Measuring Absorption Coefficient of Suspended Particulate Matters ····· YU Xiao-long, SHEN Fang, ZHANG Jin-fang (1745)

Relationship Between pCO_2 and Algal Biomass in Xiangxi Bay in Spring ····· YUAN Xi-gong, HUANG Wen-min, BI Yong-hong, *et al.* (1754)

Effects of Turbulent Fluctuation Intensity on the Growth of Algae and Water Environment ····· LEI Yu, LONG Tian-yu, SAN Lei, *et al.* (1761)

Simultaneous Removal of Algae and Its Odorous Metabolite Dimethyl Trisulfide in Water by Potassium Ferrate ····· MA Xiao-yan, ZHANG Ze-hua, WANG Hong-yu, *et al.* (1767)

Catalyzed Oxidation of Catechol by the Heterogeneous Fenton-like Reaction of Nano-Fe_3O_4-H_2O_2 System ····· HE Jie, YANG Xiao-fang, ZHANG Wei-jun, *et al.* (1773)

Photodegradation of Naproxen in Aqueous Systems by UV Irradiation: Mechanism and Toxicity of Photolysis Products ····· MA Du-juan, LIU Guo-guang, LÜ Wen-ying, *et al.* (1782)

Catalytic Ozonation of Nitrobenzene in Water by Acidification-activated Red Mud ····· KANG Ya-ning, LI Hua-nan, XU Bing-bing, *et al.* (1790)

Experimental Studies on Stability of Flocs from Cadmium Pollution Emergency Treatment ····· LIU Wang-rong, GUO Qing-wei, YANG Ren-bin, *et al.* (1797)

Evaluation of Floc Strength Based on Morphological Analysis and Optical Online Monitoring ····· JIN Peng-kang, FENG Yong-ning, WANG Bao-bao, *et al.* (1802)

Mechanism of Reductive Dechlorination of Trichlorophenol with Different Electron Donors ····· WAN Jin-quan, HU Meng-die, MA Yong-wen, *et al.* (1808)

Preparation of Magnetic Quaternary Chitosan Salt and Its Adsorption of Methyl Orange from Water ····· ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, YING Shi-ying, *et al.* (1815)

Membrane Fouling by Secondary Effluent of Urban Sewage and the Membrane Properties ····· MENG Xiao-rong, ZHANG Hai-zhen, WANG Lei, *et al.* (1822)

Treatment of Municipal Wastewater Using the Combined Reversed A^2/O-MBR Process ····· ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, YANG Shu-fang, *et al.* (1828)

Study on Sulfur-based Autotrophic Denitrification with Different Electron Donors ····· YUAN Ying, ZHOU Wei-li, WANG Hui, *et al.* (1835)

Nitrogen Removal and N_2O Emission Characteristics During the Shortcut Simultaneous Nitrification and Denitrification Process ····· LIANG Xiao-ling, LI Ping, WU Jin-hua, *et al.* (1845)

Optimization of Solid-Phase Extraction for Enrichment of Toxic Organic Compounds in Water Samples ····· ZHANG Ming-quan, LI Feng-min, WU Qian-yuan, *et al.* (1851)

Polycyclic Musks Exposure Affects Gene Expression of Specific Proteins in Earthworm *Eisenia fetida* ····· CHEN Chun, LIU Xiao-wei, ZHENG Shun-an, *et al.* (1857)

Health Risk Assessment and Ozone Formation Potentials of Volatile Organic Compounds from Pharmaceutical Industry in Zhejiang Province ····· XU Zhi-rong, WANG Zhe-ming, XU Ming-zhu, *et al.* (1864)

Health Effect of Volatile Aldehyde Compounds in Photocatalytic Oxidation of Aromatics Compounds ····· ZHAO Wei-rong, LIAO Qiu-wen, YANG Ya-nan, *et al.* (1871)

Compositions and Distribution Characteristics of Polybrominatd Diphenyl Ethers in Serum of Women from Sichuan Province ····· SHAO Min, CHEN Yong-heng, LI Xiao-yu (1877)

QSAR/QSPR for Predicting the Toxicity of Imidazolium Ionic Liquids ····· ZHAO Ji-hong, ZHAO Yong-sheng, ZHANG Hong-zhong, *et al.* (1882)

Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Metal Concentration of Surface Soil in Hebin Industrial Park in Shizuishan Northwest China ····· FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning, *et al.* (1887)

Distribution Characteristic and Current Situation of Soil Rare Earth Contamination in the Bayan Obo Mining Area and Baotou Tailing Reservoir in Inner Mongolia ····· GUO Wei, FU Rui-ying, ZHAO Ren-xin, *et al.* (1895)

Road Dust Loading and Chemical Composition at Major Cities in Fujian Province ····· ZHENG An, YANG Bing-yu, WU Shui-ping, *et al.* (1901)

Numerical Simulation and Application of Electrical Resistivity Survey in Heavy Metal Contaminated Sites ····· WANG Yu-ling, NAI Chang-xin, WANG Yan-wen, *et al.* (1908)

Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Rare Earth Elements Uptake of Soybean Grown in Rare Earth Mine Tailings ····· GUO Wei, ZHAO Ren-xin, ZHAO Wen-jing, *et al.* (1915)

Algicidal Activity Against Red-tide Algaes by Marine Bacterial Strain N3 Isolated from a HABs Area, Southern China ····· SHI Rong-jun, HUANG Hong-hui, QI Zhan-hui, *et al.* (1922)

Isolation, Identification and Oxidizing Characterization of an Iron-Sulfur Oxidizing Bacterium LY01 from Acid Mine Drainage ····· LIU Yu-jiao, YANG Xin-ping, WANG Shi-mei, *et al.* (1930)

Isolation of an Effective Benzo[a]pyrene Degrading Strain and Its Degradation Characteristics ····· CAI Han, YIN Hua, YE Jin-shao, *et al.* (1937)

Aerobic Microbial Degradation of 2,2′,4,4′-Tetrabrominated Diphenyl Ether ····· ZHANG Shu, Franco Giulio, LI Xiao-bao, *et al.* (1945)

Piggery Wastewater Cultivating Bioflocculant-Producing Flora B-737 and the Fermentation Characteristics ····· PEI Rui-lin, XIN Xin, ZHANG Xue-qiao, *et al.* (1951)

Correlation Between Acidic Materials and Acid Deposition in Beijing During 1997-2011 ····· CHEN Yuan-yuan, TIAN He-zhong, YANG Dong-yan, *et al.* (1958)

Characteristics of Precipitation pH and Conductivity at Mt. Huang ····· SHI Chun-e, DENG Xue-liang, WU Bi-wen, *et al.* (1964)

Chemical Characteristics of Water-Soluble Components of Aerosol Particles at Different Altitudes of the Mount Huang in the Summer ····· WEN Bin, YIN Yan, QING Yan-shuo, *et al.* (1973)

Pollution Characteristics of Organic Acids in Atmospheric Particles During Haze Periods in Autumn in Guangzhou ····· TAN Ji-hua, ZHAO Jing-ping, DUAN Jing-chun, *et al.* (1982)

Characterization of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in $PM_{2.5}$ During the Winter in Three Major Cities in Fujian Province, China ····· CHEN Yan-ting, CHEN Jin-sheng, HU Gong-ren, *et al.* (1988)

Size Distribution of Carbonaceous Particulate Matter in Atmosphere of Shanghai, China ····· YUAN Ning, LIU Wei, ZHAO Xiu-liang, *et al.* (1995)

Secondary Aerosol Formation Through Photochemical Reactions Estimated by Using Air Quality Monitoring Data in the Downtown of Pudong, Shanghai ····· CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, DUAN Yu-sen, *et al.* (2003)

Geochemical Characteristics and Sources of Atmospheric Particulates in Shanghai During Dust Storm Event ····· QIAN Peng, ZHENG Xiang-min, ZHOU Li-min (2010)

Near Surface Atmospheric CO_2 Variations in Autumn at Suburban Xiamen, China ····· LI Yan-li, MU Chao, DENG Jun-jun, *et al.* (2018)

In-situ Measurement of Background Atmospheric HCFC-142b Using GC-MS and GC-ECD Method ····· GUO Li-feng, YAO Bo, ZHOU Ling-xi, *et al.* (2025)

Airborne Fungal Community Composition in Indoor Environments in Beijing ····· FANG Zhi-guo, OUYANG Zhi-yun, LIU Peng, *et al.* (2031)

Study on Quantification Assessment and Odor Fingerprint of Volatile Aromatic Hydrocarbons from Sewage Treatment Plant ····· GUO Wei, WANG Bo-guang, TANG Xiao-dong, *et al.* (2038)

Superposition Impact Character of Air Pollution from Decentralization Docks in a Freshwater Port ····· LIU Jian-chang, LI Xing-hua, XU Hong-lei, *et al.* (2044)

Thermal Stability and Transformation Behaviors of Pb in Yima Coal ····· LIU Rui-qing, WANG Jun-wei (2051)

Synergistic Emission Reduction of Chief Air Pollutants and Greenhouse Gases Based on Scenario Simulations of Energy Consumptions in Beijing ····· XIE Yuan-bo, LI Wei (2057)

《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 5 月 15 日　34 卷　第 5 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 34　No. 5　May 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