

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第1期

Vol.38 No.1

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京北郊冬季挥发性有机物来源解析及苯系物健康评估	张玉欣, 安俊琳, 林旭, 王俊秀, 师远哲, 刘静达 (1)
南京冬季重污染过程中黑碳气溶胶的混合态及粒径分布	蒋磊, 汤莉莉, 潘良宝, 刘丹彤, 花艳, 张运江, 周宏仓, 崔玉航 (13)
基于 GAM 模型分析影响因素交互作用对 PM _{2.5} 浓度变化的影响	贺祥, 林振山 (22)
模拟烹饪油烟的粒径分布与扩散	李双德, 徐俊波, 莫胜鹏, 李文辉, 高佳佳, 曹亚裙, 陈运法 (33)
基于光谱分析仪的通量-梯度法测量小型池塘水-气界面温室气体交换通量	赵佳玉, 张弥, 肖薇, 王伟, 吴红艳, 张圳, 肖启涛, 胡诚, 于洲, 曹正达, 徐敬争, 刘寿东, 李旭辉 (41)
闽江口短叶茳茅 + 芦苇沼泽湿地大、小潮日土壤间隙水溶解性 CH ₄ 与 CO ₂ 浓度日动态	谭立山, 杨平, 何露露, 黄佳芳, 胡智强, 全川 (52)
河南鸡冠洞 CO ₂ 季节和昼夜变化特征及影响因子比较	张萍, 杨琰, 孙喆, 梁沙, 张娜, 田宁, 李建仓, 凌新有, 张志钦 (60)
蠡湖表层沉积物荧光溶解性有机质 (FDOM) 荧光光谱特征	陈俊伊, 王书航, 姜霞, 黄晓峰, 赵丽 (70)
滇池沉积物有机质沉积特征与来源解析	韩秀秀, 黄晓虎, 余丽燕, 杨浩, 黄昌春, 黄涛, 余艳红, 罗玉 (78)
紫色土小流域浅层井水中胶体颗粒的季节变化	张维, 唐翔宇, 鲜青松 (87)
太湖湖滨带春季悬浮物沉降特征与水体营养盐响应	祁闯, 王国祥, 吴馨婷, 许晓光, 韩睿明, 吴松峻 (95)
基于 LDI 的土地利用类型与湿地水质的相关性: 以苏州太湖三山岛国家湿地公园为例	杨朝辉, 苏群, 陈志辉, 白俊武, 钱新强, 张志敏 (104)
基于分位数回归的洱海藻类对氮、磷及水温的响应特征	陈小华, 李小平, 钱晓雍, 胡双庆 (113)
深水型水库藻形态功能组 (MBFG) 的季节演替特征	杨毓, 卢金锁, 张颖 (121)
三峡库区水体中可溶性 C、N 变化及影响因素	范志伟, 郝庆菊, 黄哲, 柴雪思, 江长胜 (129)
三峡库区古夫河小流域氮磷排放特征	华玲玲, 李文超, 翟丽梅, 崔超, 刘宏斌, 任天志, 张富林, 雷秋良 (138)
黄土高原坝系流域干湿季交替下氮输出特征及其源解析: 以羊圈沟为例	贾璐杰, 高扬, 陈维梁, 郝卓, 汪亚峰, 陈利顶 (147)
5 种沉水植物的氮、磷吸收和水质净化能力比较	金树权, 周金波, 包薇红, 陈君, 李丹丹, 李洋 (156)
骆马湖表层水体中 32 种 PPCPs 类物质的污染水平、分布特征及风险评估	张芹, 张圣虎, 汪贞, 郭敏, 刘济宁, 石利利, 古文 (162)
大冶湖表层沉积物-水中多环芳烃的分布、来源及风险评价	张家泉, 胡天鹏, 邢新丽, 郑煌, 张丽, 占长林, 刘红霞, 肖文胜, 祁士华 (170)
pH 和络合剂对五价砷在水钠锰矿和水铁矿表面吸附行为的影响	王华伟, 李晓月, 李卫华, 孙英杰 (180)
紫外辐射对高岭土混凝过程的影响机制	王文东, 王昌鑫, 刘荟, 韩雨 (188)
水环境中溶解态腐殖酸对锌抗甲状腺激素干扰效应的影响	艾扬, 孔东东, 于畅, 沈扬, 李剑 (195)
污水中常见违禁药物分析方法优化及验证	高婷婷, 杜鹏, 徐泽琼, 杨军, 张华方, 李喜青 (201)
阴极电场增强活性炭纤维-臭氧体系去除水中硝基苯	赵纯, 张帅, 周宇, 李琨, 周炜, 黎鹏宇, 杨广, 孙志华, 郑怀礼 (212)
碳纳米管改性 PVDF 中空纤维超滤膜处理二级出水抗污染性能研究	王利颖, 石洁, 王凯伦, 关羽琪, 郭瑾 (220)
曝气生物滤池 (Fe ²⁺) -臭氧组合工艺强化处理石化二级出水	徐敏, 吴昌永, 周岳溪, 郭明昆, 王翼 (229)
4 种反应器中厌氧氨氧化菌完整梯烷脂的特异性	王晗, 方芳, 李凯, 邢晖, 郭劲松, 陈猷鹏, 曾前松 (238)
疏自养填充床反应器降解水中高浓度高氯酸盐的特性及菌群分析	张超, 陶华强, 宋圆圆, 逯彩彩, 郭延凯, 廉静, 郭建博 (247)
CANON 在 SBAF 中的快速启动及其微生物特征	刘竹寒, 岳秀, 于广平, 金腊华, 唐嘉丽, 吉世明 (253)
高浓度游离氨冲击负荷对生物硝化的影响机制	季民, 刘灵婕, 翟洪艳, 刘京, 苏晓 (260)
有机物对亚硝化颗粒污泥中功能菌活性的影响	王书永, 钱飞跃, 王建芳, 沈耀良 (269)
一种新型生物膜法除磷工艺中聚磷菌的富集培养过程	郑莹, 潘杨, 周晓华, 廖炬弘, 孟璇, 夏健伟 (276)
应用于矿山修复的高效菌株鉴定与溶岩机制: 基于增强回归树分析	吴雁雯, 张金池, 郭晓平, 刘鑫 (283)
镉对铜绿假单胞菌降解水体中壬基酚的影响	史广宇, 程媛媛, 施维林 (294)
华北平原不同农田管理措施对于土壤碳库的影响	石小霞, 赵诣, 张琳, 吴文良, 孟凡乔 (301)
缙云山柑橘林土壤微生物磷脂脂肪酸 (PLFAs) 及酶活性的季节变化特征	李南洁, 曾清苹, 何丙辉, 周飞 (309)
中条山十八河铜尾矿库微生物群落组成与环境适应性	刘晋仙, 李鑫, 景炬辉, 贾彤, 刘兴港, 王小云, 柴宝峰 (318)
安徽省部分城市土壤中全氯化物空间分布及来源解析	李法松, 倪卉, 黄涵宇, 徐志兵, 张倩, 李长霞, 黄文秀, 金陶胜 (327)
不同温度制备的生物质炭对土壤有机碳及其组分的影响: 对土壤活性有机碳的影响	赵世翔, 于小玲, 李忠徽, 杨艳, 刘丹, 王旭东, 张阿凤 (333)
水分管理模式与土壤 Eh 值对水稻 Cd 迁移与累积的影响	田桃, 曾敏, 周航, 徐璐, 杨文强, 辜娇峰, 邹佳玲, 张平, 彭佩钦, 廖柏寒 (343)
砒、镉单一及复合污染胁迫下土壤生态功能稳定性的影响机制	陈欣瑶, 杨惠子, 李敏, 牛晓丛, 苏雨轩, 张园 (352)
生物炭、蒙脱石及其混合添加对复合污染土壤中重金属形态的影响	高瑞丽, 唐茂, 付庆灵, 郭光光, 李晚, 胡红青 (361)
某电镀厂六价铬污染土壤还原稳定化试剂筛选与过程监测	李培中, 吕晓健, 王海见, 杨苏才, 魏文侠, 宋云 (368)
多孔 SBA-15 颗粒对 Cd(II) 的吸附缝合及其对土壤 Cd(II) 的修复潜力	黄辉, 宁西翠, 郭瞻宇, 郭堤, 张增强, 李荣华, 王力, Ali Amjad (374)
卤系阻燃剂在东江鱼体中的生物富集	何明靖, 杨婷, 李琦, 王登祥, 赵佳渊 (382)
广州市蔬菜中重金属污染特征研究与评价	陈志良, 黄玲, 周存宇, 钟松雄, 王欣, 戴玉, 蒋晓璐 (389)
蔬菜镉 (Cd) 富集因子变化特征及其影响因素	杨阳, 李艳玲, 陈卫平, 王美娥, 彭驰 (399)
施用污泥堆肥品对土壤和植物总汞及甲基汞的影响	余亚伟, 杨雨滢, 张成, 易建婷, 安思危, 王定勇 (405)
大气臭氧污染对冬小麦气孔吸收通量的影响机制及其时空格局	赵辉, 郑有飞, 曹嘉晨, 徐静馨, 黄积庆, 袁月 (412)
《环境科学》征稿简则 (12) 《环境科学》征订启事 (194) 信息 (21, 51)	

紫外辐射对高岭土混凝过程的影响机制

王文东^{1,2}, 王昌鑫¹, 刘荟¹, 韩雨¹

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 2. 浙江清华长三角研究院生态环境研究所, 嘉兴 314006)

摘要: 高岭土普遍存在于水源水体中, 对水处理过程以及污染物的迁移转化有着重要的影响. 本文以聚合氯化铝作为混凝剂, 通过烧杯实验系统考察了紫外辐射对高岭土混凝过程的影响规律. 结果表明, 在中性和偏酸性环境下, 紫外辐射对高岭土悬浊液的混凝过程具有一定的促进作用. 当溶液 pH、混凝剂投量以及辐射时间分别为 7.0、30 mg·L⁻¹ 和 2.0 h 时, 紫外辐射后高岭土在混凝出水中的去除率可由原来的 81.05% 增至 93.90%. 这可能与光辐射后高岭土结构中的—OH 伸缩振动吸收强度降低, Si—O 伸缩振动吸收峰和 Si—O 弯曲振动吸收峰有所增强有关, 使得高岭土表面的活性位点(—OH)数量下降; 宏观上表现为微粒表面所带负电性下降, 有利于在混凝过程中脱稳沉降. 然而, 在碱性条件下, 其沉降性能却略低于未经紫外辐射处理的水样.

关键词: 紫外辐射; 高岭土; 傅里叶红外光谱; 混凝; Zeta 电位

中图分类号: X131.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2017)01-0188-07 **DOI:** 10.13227/j.hjxx.201606114

Effects of UV Radiation on the Coagulation Process of Kaolin and Involved Mechanisms

WANG Wen-dong^{1,2}, WANG Chang-xin¹, LIU Hui¹, HAN Yu¹

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Department of Environmental Technology and Ecology, Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University, Jiaxing 314006, China)

Abstract: Kaolin commonly exists in water, and it has an important impact on the water treatment processes and contaminants' migration and transformation. In this study, PAC was used as flocculating agent to systematically investigate the effects of UV radiation on the coagulation process of kaolin by jar test. The results showed that under neutral and acidic conditions, UV radiation could promote the coagulation process of kaolin suspension. When the solution pH, coagulant dosage and irradiation time were 7.0, 30 mg·L⁻¹ and 2.0 h, respectively, the kaolin remove rate of effluent after coagulation increased from 81.05% to 93.90% by using UV radiation. This might be related to the decrease of —OH stretching vibration absorption peak and the enhancement of Si—O stretching vibration absorption peak and Si—O bending vibration absorption peak after UV radiation, so that the number of the active spot(—OH) on kaolin surface declined. These changes might lead to decrease of the negative charge on kaolin surface, which promoted kaolin suspension to precipitate in coagulation process. However, under alkaline conditions, its settlement performance was slightly lower than the water samples without ultraviolet radiation treatment.

Key words: ultraviolet radiation; kaolin; Fourier transform infrared; coagulation; Zeta potential

无机悬浮颗粒是造成水质浑浊及恶化的一个重要原因, 是水处理的主要去除对象^[1]. 它以形形色色的形态在各种水质中存在, 不仅使得水质受到严重的影响, 更是降低了水质的安全与可靠^[2]. 已有研究表明: 水的微粒不仅是微污染物的载体, 而且为多种化学反应提供场所. 此外, 它们可与水体污染物产生复杂的反应, 从而对水生生态系统构成危害. 在河流、湖泊和浅海环境, 微小固体颗粒是一些生物的食物来源, 导致化学污染物进入生物体内, 进而进入人体, 对身体产生危害. 在相对静止的水体中, 颗粒物会沉积在水体底部, 污染会在其上积累, 当环境条件改变或污染物发生化学变化, 污染物可能会重新释放, 造成环境的污染了. 可见, 水体沉积物积累的污染物可能成为潜在的次生污染源. 因此, 环

境质量标准中对悬浮颗粒物的限制日益严格^[3].

本研究以高岭土作为无机悬浮颗粒的代表物质, 高岭土因其表面结构以及电荷性质决定了其颗粒粒度小而且难以沉降和脱水^[4~6], 目前, 混凝是其主要处理方式^[7,8]. 同时, 已有研究表明, 紫外辐射在水处理领域有着很广阔的前景, 紫外辐射作为一种预处理手段^[9~12], 对污染物的性能及其混凝效果有着较大影响^[13~16]. 因此本文系统考察了紫外辐射对高岭土晶体结构以及混凝去除的影响, 以期

收稿日期: 2016-06-16; 修订日期: 2016-08-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(21007050); 陕西省重大科技成果转化引导专项(2016KTCG01-17); 陕西省青年科技新星项目(2014KJXX-66)

作者简介: 王文东(1980~), 男, 副教授, 主要研究方向为水处理理论与技术, E-mail: wdwang_xauat@hotmail.com

为紫外辐射在无机物处理领域的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验用水及实验材料

实验用水采用同一纯度的蒸馏水,其浊度为 0 NTU。所用高岭土为同一厂家、同一生产批号,将其用蒸馏水配置成悬浊液。通过向悬浊液中投加适量的 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH、 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 调节混凝实验原水的 pH。投加碳酸氢钠来调节高岭土悬浊液的碱度。在混凝之前需要向高岭土悬浊液中加入碳酸氢钠和硝酸钠,用于调节溶液的离子强度,有助于其混凝的进行。实验采用聚合氯化铝(PAC, $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 30\%$)作为混凝剂。除聚合氯化铝外,本研究所用药剂均为分析纯。

1.2 实验方法

1.2.1 紫外辐射实验

本实验用紫外线辐射系统为双层柱状不锈钢结构,内层为具有石英玻璃保护套管的紫外灯,输出功率为 20 W;外层为反应腔。反应腔上、下两侧分别设有进水口和出水口。实验过程中,系统按序批式运行。原水从进水口加入反应腔,辐射处理一定时间后打开出水口取样。

1.2.2 高岭土悬浊液混凝实验

以聚合氯化铝作为混凝剂,对未经过紫外辐射和经过紫外辐射处理的高岭土悬浊液进行混凝,由于紫外辐射预处理过程会引起高岭土悬浊液 pH 的变化,进行混凝实验前需对紫外辐射预处理后的溶液 pH 进行调节,使其与未进行光照的溶液保持一致。通过混凝烧杯实验表征其混凝特性的变化,利用六联智能搅拌机(MY3000-6, 武汉梅宇, 中国)控制颗粒碰撞频率及接触时间。具体操作过程为,向溶液中投加 PAC 混凝剂后,在 $200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的搅拌强度下反应 1 min,使其在短时间内混合均匀;而后在 $50 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的搅拌强度下反应 15 min,促进脱稳胶粒的聚集沉淀;待体系静沉 2 h 后取样并观测其浊度、Zeta 电位等指标。

混凝沉淀后上清液中的浊度分别采用浊度计(HI93703-11, HANNA, 意大利)进行测定。溶液 pH 值采用玻璃电极法测定,所用仪器为美国热电公司的 Thermo 310P-01 型 pH 计。为评价紫外光照射前后高岭土荷电性质的变化规律,采用 Zeta 电位分析仪(Nano-ZS90, Malvern, 英国)测定溶液的 Zeta 电位值。

Zeta 电位可以用来表征悬浮物聚集沉降的难易

程度。对于两种不同的带电粒子体系,当其他因素相同时,Zeta 电位较高的体系,质点间排斥力较大,不易发生聚沉,处于相对稳定状态;而 Zeta 电位较低的体系,质点间排斥力较小,不稳定,容易发生聚沉。因此,胶体颗粒的稳定性与其 Zeta 电位的大小有密切关系,传统胶体化学认为 Zeta 电位是影响胶体稳定性的主要因素,在水和废水的混凝技术中 Zeta 电位被常用于研究混凝效果^[17]。

1.2.3 晶体结构探讨实验

红外光谱法已广泛应用于有机、无机官能团的定性定量分析,是研究高岭石晶体结构的有效手段,其振动谱带决定于高岭石中的基团构型和晶胞对称性,能准确反映晶体结构变化^[18]。配置 50 NTU 的高岭土悬浊液,进行紫外辐射,5 h 内按时间间隔取样,将样品进行抽滤、干燥后取其粉末,粉末放于玛瑙研钵中磨细,然后利用傅里叶红外光谱仪(Nicolet iS50, 美国热电)测定高岭土晶体结构的变化。

2 结果与讨论

2.1 不同 pH 值下的紫外辐射对高岭土悬浊液混凝过程的影响规律

实验时控制紫外辐射时间为 2 h,高岭土悬浊液中混凝剂投量为 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在此条件下改变 pH 值,考察 pH 值对高岭土悬浊液紫外辐射效果的影响,研究了紫外照射前后高岭土悬浊液的 Zeta 电位随 pH 值变化及其混凝出水水质变化规律。

比较紫外辐射前后的混凝效果(图 1 和图 2)发现,在 $\text{pH} \leq 7$ 时,经过紫外辐射的高岭土悬浊液的浊度去除率变大,其 Zeta 电位也更低。在 $\text{pH} = 5$ 时,紫外辐射后高岭土在混凝出水中的去除率可由原来的 11.45% 增至 13.13%,说明在 $\text{pH} \leq 7$ 的条件下紫外辐射对混凝有促进作用。然而,当 $\text{pH} \geq 8$ 时,紫外辐射以后混凝出水的浊度去除率反而有所下降,出水 Zeta 电位的负电性也较未光照时大。在 $\text{pH} = 9$ 时,紫外辐射后高岭土在混凝出水中的去除率可由原来的 71.60% 降至 62.10%,说明在 $\text{pH} \geq 8$ 时紫外辐射对高岭土悬浊液混凝有抑制作用。为了研究出现这种现象的原因,进一步考察了混凝前在不同 pH 值条件下光照前后高岭土悬浮胶体 Zeta 电位的变化规律(图 1),发现当 $\text{pH} \leq 7$ 时,紫外辐射后高岭土悬浊液的 Zeta 电位值较辐射前的 Zeta 电位值小,在紫外辐射过程中可能发生了光化学反应,使得高岭土悬浮颗粒表面的带电性降低,进而提升了其化学凝聚性,这就使得高岭土胶体更脱稳聚集沉

淀. 然而, 当 $\text{pH} \geq 8$ 时, 紫外辐射后高岭土悬浊液的负电性仍较辐射前小, 但此时紫外辐射并不利于混凝进行, 这是因为此时主要的混凝作用机制不是压缩双电层和吸附电中和, 而是网扫絮凝^[3,19], 因此紫外辐射造成的高岭土带电性的变化不足以引起对混凝的促进作用. 同时, 可以看到当 $\text{pH} \geq 8$ 时, 紫外辐射前后高岭土的混凝性能均出现逐渐变差的趋势, 这可能是因为碱性条件下, 水中 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ 较多, 出于高岭土本身带负电性, 不利于其混凝过程的进行.

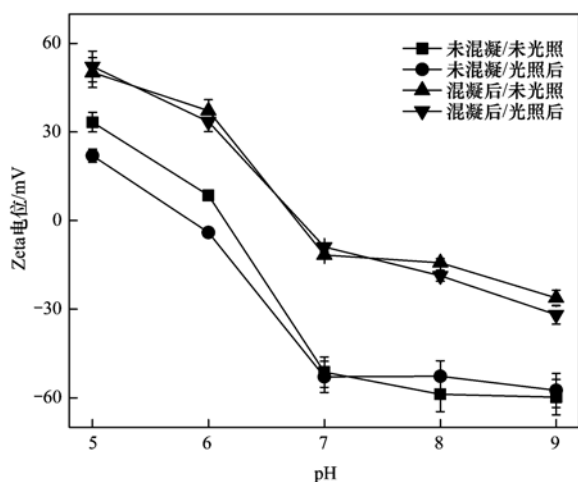


图1 紫外辐射前后高岭土悬浊液 Zeta 电位随 pH 值的变化规律

Fig. 1 Effect of UV radiation on the Zeta potential of kaolin suspension coagulated under different pH conditions

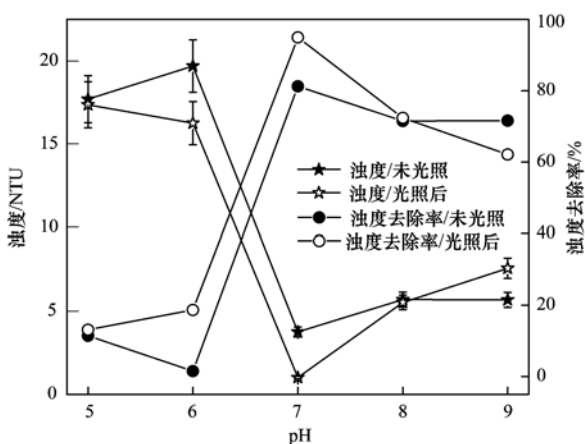


图2 紫外辐射前后高岭土悬浊液混凝出水浊度及其去除率随 pH 值的变化规律

Fig. 2 Effect of UV radiation on the turbidity of kaolin suspension coagulated under different pH conditions

2.2 紫外辐射对高岭土悬浊液混凝过程中混凝剂投加量的影响

控制原水 pH 值和紫外辐射时间分别为 7.0 和 2.0 h, 改变混凝剂 (PAC) 投加量, 考察紫外辐射前

后高岭土悬浊液在不同混凝剂投加量下的混凝效果. 结果如图 3(a), 当混凝剂投量从 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 逐渐增加到 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 混凝出水的浊度逐渐减小, 且在此范围内, 紫外辐射对高岭土混凝具有促进作用. 混凝剂投量为 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 不经紫外辐射的高岭土悬浊液混凝出水的去除率为 81.05%, 而经过紫外辐射后其混凝出水的去除率增加到 93.90%. 同时, 根据图 3(b) 可以看到, 无论是否进行紫外光照, 混凝后的 Zeta 电位随投药量的增加都呈现上升趋势, 表明带正电的 PAC 与水中带负电的悬浮胶体颗粒结合, 并且颗粒表面 Zeta 电位变到 -10 mV 以内, 使悬浮颗粒发生吸附电中和脱稳, 有效聚集成团^[20,21]. 而且, 经过紫外辐射预处理后, 其 Zeta 电位负电性较光照前带电性降低, 胶体颗粒间的斥力由于物理或化学的作用而减小, 从而胶体颗粒互相碰撞后易于聚集, 体系稳定性降低, 从而使得其在混凝过程中的去除率提高.

当混凝剂投量增加到 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 紫外预处理对高岭土混凝的促进作用并不明显, 这是因为在此混凝剂投量下, 紫外辐射前后高岭土的浊度去除率都很高, 紫外预处理对其作用并不能显现. 此外, 要达到相同混凝出水高岭土浊度残余量时, 不经紫外辐射预处理的高岭土所需的混凝剂量要高于经过紫外辐射预处理的高岭土所需的量, 这说明紫外辐射预处理可以降低混凝过程中混凝剂的投加量.

2.3 紫外光照时间对高岭土悬浊液混凝过程的影响规律

控制 PAC 投加量为 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在 $\text{pH} = 7$ 的条件下改变紫外辐射时间, 考察紫外辐射时间对高岭土悬浊液颗粒混凝去除的影响. 由图 4 可知, 在紫外辐射的 1 h 内, 混凝出水的浊度去除率会稍有增加, 从未光照时的 75.75% 升到了 76.20%. 然后, 随着紫外光照时间的增加, 浊度去除率会继续增大, 并且其增大的趋势会有所增强, 光照 2 h 时, 混凝浊度去除率达到 79.10%. 而后, 继续增加光照时间, 浊度去除率的上升趋势逐渐趋于平缓, 光照 4 h 后, 浊度去除率仅由 3 h 时的 79.35% 升高到 79.70%. 可见, 在一定条件下, 紫外辐射对高岭土悬浊液混凝具有促进作用, 这种促进在 1~2 h 时最为迅速, 2 h 后仍有促进, 只是促进作用趋于平缓, 去除率的增加效果不再特别明显, 因此结合经济因素等综合考虑, 可将 2 h 做为最优照射时间.

高岭土悬浊液混凝出水 Zeta 电位随紫外辐射时间的变化规律 (图 4) 也证实了以上结论. 在光照

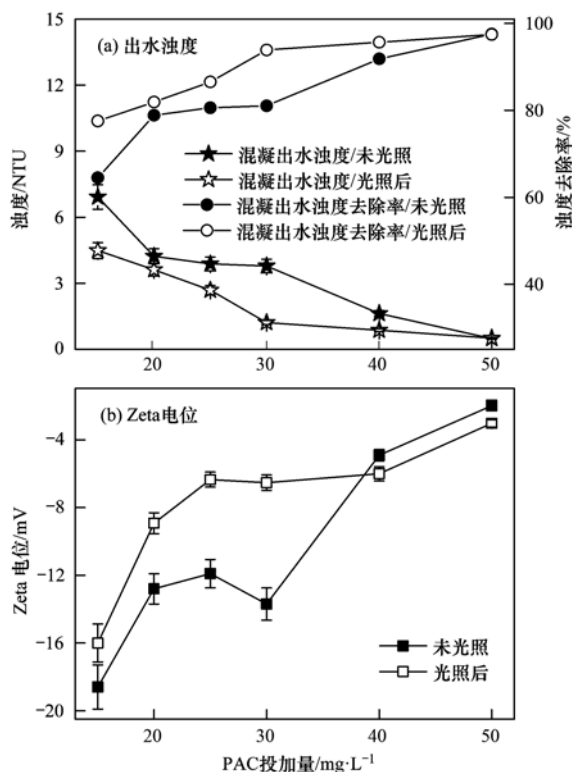


图3 紫外辐射前后高岭土悬浊液出水浊度及 Zeta 电位随混凝剂投加量的变化规律

Fig. 3 Effect of UV radiation on the turbidity and Zeta potential of kaolin suspension coagulated under different dosages of PAC

1 h 内, Zeta 电位从 -11.66 mV 变为 -10.60 mV, 这就有利于絮凝沉降的发生, 从而使浊度去除率有所上升. 在光照第 2 个小时内, Zeta 电位会明显升高到 -8.50 mV 附近, 此范围内更有利于胶体的脱稳沉降, 浊度去除率升高也较快. 随后继续增加紫外辐射时间, Zeta 电位大多徘徊在 -8.00 mV 左右. 这就验证了紫外辐射对高岭土悬浊液混凝的促进作用.

2.4 紫外辐射对高岭土混凝过程影响的机制分析

高岭土类矿物属于 1:1 型层状硅酸盐, 晶体主要由硅氧四面体和铝氧八面体组成, 其中硅氧四面体中 4 个氧原子位于 4 个顶点, 一个硅原子位于四面体的中心, 硅氧四面体通过与相邻四面体共享 3 个氧原子在沿着二维方向连结形成六方排列的网格层, 各个硅氧四面体未公用的尖顶氧均朝向一边; 由硅氧四面体层和铝氧八面体层公用硅氧四面体层的尖顶氧组成了 1:1 型的单位层 (如图 5). 在八面体晶片的暴露表面含有一 OH 基, 各单元晶层通过八面体片的一 OH 基和四面体片的底部氧之间形成的氢键紧密地连结在一起^[3,22~25].

为了研究紫外辐射对高岭土混凝性能影响的机

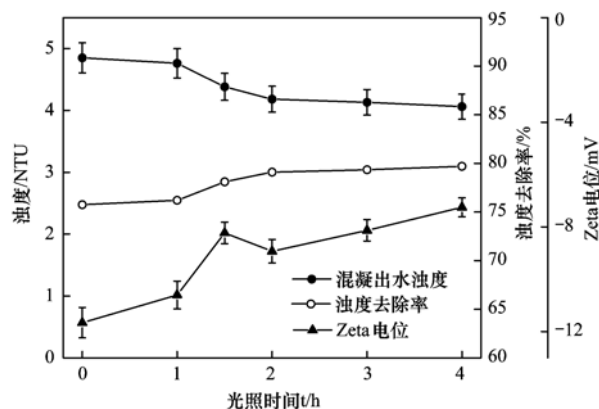
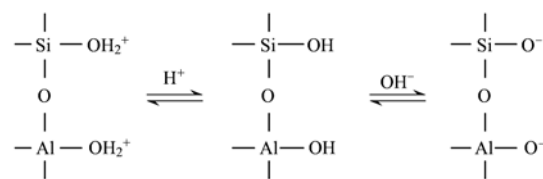


图4 高岭土悬浊液混凝出水浊度和 Zeta 电位随紫外辐射时间的变化规律

Fig. 4 Variation of the turbidity and Zeta potential of kaolin suspension coagulated with radiation time

制, 利用红外分光光谱法考察了紫外辐射前后高岭土结构的变化, 通过图 5 可以看出, 紫外辐射后高岭土的红外光谱 3612.40 cm^{-1} 处的一 OH 伸缩振动吸收在辐射后强度降低, 并且辐射时间越长, 强度减小得越明显. 该处是高岭土结构单元层四面体片与八面体片结合面上一 OH 振动引起的, 也就是内部一 OH 基吸收峰^[26]. 它的减弱表明紫外辐射使高岭土分子中的一 OH 基结构可能受到一定破坏. 同时, 紫外辐射还引起了 1092.27 cm^{-1} 处 Si—O 伸缩振动吸收峰的增加和 635.56 cm^{-1} 处 Si—O 弯曲振动吸收峰的增强. 紫外辐射前后的红外谱图相比, 并没有新的吸收峰出现, 说明紫外辐射并没有新的化学键形成. 前人研究已证明, 悬浮液中高岭土颗粒表面 Si—O、Al—O、Al—OH 基团的变化是其颗粒表面电位变化的内在原因^[27]. 因此, 紫外辐射后高岭土结构的变化可能是导致高岭土表面带电性的改变, 进而影响到对其的混凝去除的原因.

通过之前的紫外辐射实验 (图 1), 发现在任何 pH 值条件下, 紫外辐射后高岭土悬浊液的 Zeta 电位的带电性都会有所降低, 并且由图 6 可知, 随着辐射时间的增加, 高岭土悬浊液的负电性逐渐降低. 已有前人研究表明, 高岭土在不同 pH 值下发生如下反应^[22]:



可以发现, 在酸性介质中 H^+ 与颗粒表面一 OH 发生反应, 使高岭土颗粒表面趋向于带正电, 而在碱

性介质中颗粒表面络合大量的 OH^- , 使颗粒表面负电性较酸性时大^[27]. 紫外辐射之后高岭土表面—OH减少, 使得高岭土在酸性条件下结合 H^+ 的能力减弱, 在碱性条件下络合 OH^- 的作用减弱, 从而使高岭土悬浊液在进行紫外辐射后带电性降低. 并且随着辐射时间的增加, 高岭土表面的—OH 会继续减少, 这也就造成了图 6 中高岭土悬浊液负电性逐渐降低. Zeta 电位是胶体或悬浮体质稳定性的主要标志^[28,29], 它的降低表明体系的稳定性被破坏. 这就是紫外辐射影响高岭土混凝性能的原因.

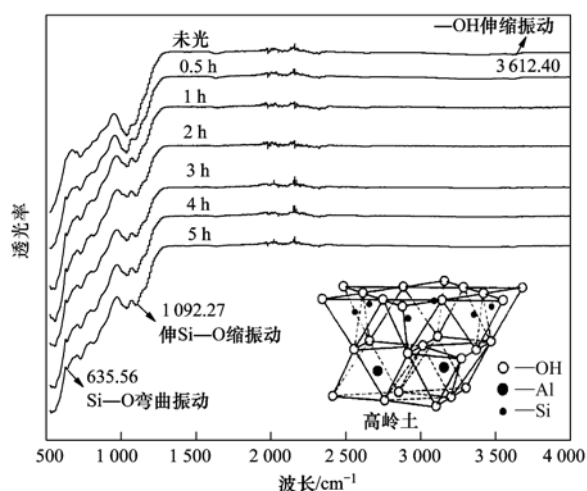


图5 高岭土结构示意图^[23]和紫外辐射对高岭土傅里叶红外光谱的影响

Fig. 5 Structure schematic drawing of kaolin and the effect of UV radiation on the FT-IR spectrum of kaolin

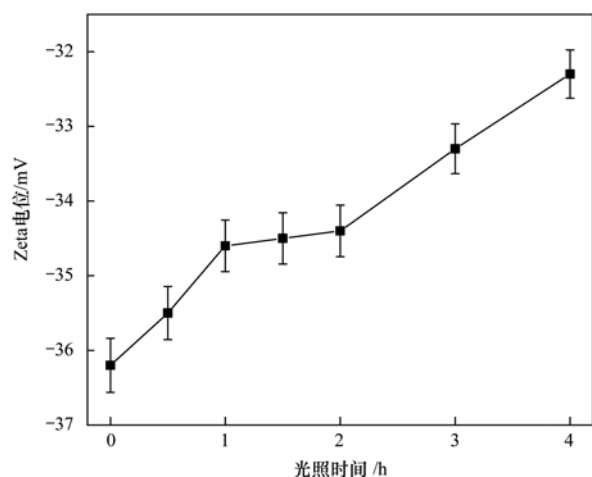


图6 紫外辐射时间对高岭土悬浊液 Zeta 电位的影响

Fig. 6 Effect of UV irradiation time on the Zeta potential of kaolin

3 结论

(1) 紫外辐射后高岭土红外光谱在 3612.40 cm^{-1} 处的—OH 伸缩振动强度降低, 并且辐射时间

越长, 强度减小得越明显. 表明高岭土分子中的羟基结构可能受到一定破坏. 这是导致紫外辐射后 Zeta 电位带电性降低的原因. 在 1092.27 cm^{-1} 处有 Si—O 伸缩振动吸收峰的增加, Si—O 弯曲振动还引起了 635.56 cm^{-1} 处吸收峰的增强.

(2) 在酸性和中性条件下, 紫外辐射能够促进高岭土悬浊液混凝过程的进行, 这是因为在紫外辐射过程中可能发生了光化学反应, 使得高岭土结构中—OH 伸缩振动吸收在辐射后强度降低, 颗粒表面的带电性降低, 进而提升了其化学凝聚性, 便于脱稳聚集沉淀. 在碱性条件下, 紫外辐射对高岭土悬浊液混凝过程有抑制作用, 此时主要的混凝作用机制是网扫絮凝. 此外, 随着照射时间的增加, 紫外辐射对高岭土悬浊液混凝的促进作用也有所提高, 而且 2 h 为最优辐射时间.

(3) 当混凝剂 (PAC) 投量从 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 逐渐增加到 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 紫外辐射预处理对高岭土混凝具有促进作用. 继续增加混凝剂投加量, 紫外辐射对其混凝的促进作用不再明显. 这种促进作用使得紫外辐射预处理可以降低混凝过程中混凝剂的投加量.

参考文献:

- [1] 罗岳平, 李宁, 李建国, 等. 自来水中悬浮颗粒物的检测和控制[J]. 给水排水, 2000, 26(3): 26-31.
Luo Y P, Li N, Li J G, et al. Measurement and control of suspended substances in drinking water[J]. Water & Wastewater Engineering, 2000, 26(3): 26-31.
- [2] 左钱发. 自来水中悬浮颗粒物的检测和控制[J]. 科技与企业, 2013, (18): 343.
- [3] 王广华. 无机悬浮颗粒的混凝特性及絮凝体形态学研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2003. 6-33.
Wang G H. A study on the mechanism of coagulation of inorganic suspended particles and there morphological characteristics[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2003. 6-33.
- [4] 徐世平, 许春华, 高宝玉, 等. 水体中悬浮颗粒物浓度对混凝效果的影响及机理探讨[J]. 山东大学学报(工学版), 2006, 36(5): 89-93.
Xu S P, Xu C H, Gao B Y, et al. Influence of different suspended solid concentration on the coagulation and its mechanism studies [J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2006, 36(5): 89-93.
- [5] Taylor M L, Morris G E, Self P G, et al. Kinetics of adsorption of high molecular weight anionic polyacrylamide onto kaolinite: the flocculation process [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2002, 250(1): 28-36.
- [6] 余伟鸣. 含高岭土原水处理的混凝剂选择[J]. 中国给水排水, 2000, 16(3): 47-48.
She W M. Selection of coagulants for the treatment of kaolin-containing raw water[J]. China Water & Wastewater, 2000, 16

- (3): 47-48.
- [7] 张剑, 吴锐彬. 聚合氯化铝对高岭土混凝的特性研究[J]. 净水技术, 2006, **25**(6): 38-42.
Zhang J, Wu R B. Study on coagulation characteristics to kaolin by PAC[J]. Water Purification Technology, 2006, **25**(6): 38-42.
- [8] 徐慧, 肖峰, 王东升. 不同高岭土体系混凝过程中絮体形态的变化[J]. 环境工程学报, 2015, **9**(7): 3121-3126.
Xu H, Xiao F, Wang D S. Changes in morphology of flocs formed in different kaolin systems [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, **9**(7): 3121-3126.
- [9] 阎宁, 夏四清, 朱骏, 等. 紫外辐射下的生物降解及微生物群落的变化[J]. 环境科学, 2011, **32**(10): 3059-3066.
Yan N, Xia S Q, Zhu J, *et al.* Biodegradation under UV irradiation and microbial community changes[J]. Environmental Science, 2011, **32**(10): 3059-3066.
- [10] 徐冰冰, 陈忠林, 齐飞, 等. 紫外光降解水中痕量 NDMA 的效能研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(7): 1908-1913.
Xu B B, Chen Z L, Qi F, *et al.* Efficiency of photodecomposition of trace NDMA in water by UV irradiation [J]. Environmental Science, 2008, **29**(7): 1908-1913.
- [11] 刘翠英, 樊建凌, 徐向华. UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响[J]. 环境科学, 2014, **35**(3): 1164-1168.
Liu C Y, Fan J L, Xu X H. Combined stress of enhance UV-B radiation and 1,2,4-trichlorobenzene contamination on the growth of green vegetable[J]. Environmental Science, 2014, **35**(3): 1164-1168.
- [12] 李梦凯, 强志民, 史彦伟, 等. 紫外消毒系统有效辐射剂量测试方法研究进展[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(3): 513-520.
Li M K, Qiang Z M, Shi Y W, *et al.* Research progress on the effective dose measurement methods for UV disinfection facilities [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, **32**(3): 513-520.
- [13] 王文东, 周礼川, 丁真真, 等. 紫外辐射对腐殖酸化学稳定性影响机制研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(10): 3921-3926.
Wang W D, Zhou L C, Ding Z Z, *et al.* Study on the stability variation mechanism of humic acid water solution after radiated by the UV light[J]. Environmental Science, 2013, **34**(10): 3921-3926.
- [14] 王文东, 张轲, 范庆海, 等. 紫外辐射对腐殖酸溶液理化性质及其混凝性能的影响[J]. 环境科学, 2016, **37**(3): 994-999.
Wang W D, Zhang K, Fan Q H, *et al.* Effects of UV radiation on the physicochemical properties and coagulation properties of humic acid solution[J]. Environmental Science, 2016, **37**(3): 994-999.
- [15] 王文东, 王亚博, 范庆海, 等. 紫外辐射对小分子有机酸化学凝聚性作用途径探讨[J]. 环境科学, 2014, **35**(10): 3789-3793.
Wang W D, Wang Y B, Fan Q H, *et al.* Effects of UV radiation on the aggregation performance of small molecular organic acids [J]. Environmental Science, 2014, **35**(10): 3789-3793.
- [16] 李华, 王文东, 王晓昌, 等. 臭氧-紫外预处理对高有机物原水混凝效果的影响[J]. 环境科学, 2010, **31**(8): 1807-1812.
Li H, Wang W D, Wang X C, *et al.* Effect of ozone-UV pretreatment on coagulation of raw water with high organic matter [J]. Environmental Science, 2010, **31**(8): 1807-1812.
- [17] 李敏, 宗栋良. 混凝中 Zeta 电位的影响因素[J]. 环境科技, 2010, **23**(3): 9-11, 16.
Li M, Zong D L. Influence factors on Zeta potential in coagulation[J]. Environmental Science and Technology, 2010, **23**(3): 9-11, 16.
- [18] 许乃岑, 沈加林, 骆宏玉. X 射线衍射和红外光谱法分析高岭石结晶度[J]. 资源调查与环境, 2014, **35**(2): 152-156.
Xu N C, Shen J L, Luo H Y. Analysis for crystallinity of kaolinites by X-ray diffractometer and infrared spectroscopy [J]. Resources and Environment, 2014, **35**(2): 152-156.
- [19] 乔子霞. 紫外辐射对腐殖酸分子结构及其混凝过程的影响规律研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
Qiao Z X. Effects of UV light radiation on the molecular structure of humic acid and its coagulation in drinking water treatment process [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.
- [20] 湛含辉, 张晓琪, 胡岳华. 混凝机理及其试验研究[J]. 矿冶工程, 2003, **23**(5): 27-30.
Zhan H H, Zhang X Q, Hu Y H. Coagu-flocculation mechanism and its experiments and investigation [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2003, **23**(5): 27-30.
- [21] 王利平, 杨炳武, 金伟如. 水中胶粒 Zeta 电位及影响混凝效果的研究[J]. 包头钢铁学院学报, 1999, **18**(4): 484-486.
Wang L P, Yang B W, Jin W R. A research on colloids Zeta potential in water and affection on coagulation result[J]. Journal of Baotou University of Iron and Steel Technology, 1999, **18**(4): 484-486.
- [22] 魏克武. 高岭石晶体结构和表面性质[J]. 非金属矿, 1992, (1): 48-53.
- [23] 王浩. 砂质高岭土的工艺矿物学及选矿试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013. 1-8.
Wang H. Experimental research on process mineralogy and beneficiation of sandy kaolin[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2013. 1-8.
- [24] 张永明, 唐荣荣, 郑叔琴, 等. 高岭土晶体结构与裂化催化剂性能关系研究[J]. 石油炼制与化工, 1997, **28**(5): 51-56.
Zhang Y M, Tang R R, Zheng S Q, *et al.* Relation between crystalline structure of kaolin and the performance of its in-situ crystallization cracking catalyst [J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 1997, **28**(5): 51-56.
- [25] 姜三营. 高岭土/纳米 TiO₂ 复合光催化材料的制备及性能研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013. 1-4.
Jiang S Y. Preparation of kaolin/nano-TiO₂ composite photocatalytic materials and its performance [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2013. 1-4.
- [26] 李小红, 江向平, 陈超, 等. 几种不同产地高岭土的漫反射傅里叶红外光谱分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, **31**(1): 114-118.
Li X H, Jiang X P, Chen C, *et al.* Research on diffuse reflectance infrared fourier transform spectroscopy of kaolin in various areas[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, **31**(1): 114-118.
- [27] 闵凡飞, 赵晴, 李宏亮, 等. 煤泥水中高岭土颗粒表面荷电特性研究[J]. 中国矿业大学学报, 2013, **42**(2): 284-290.

- Min F F, Zhao Q, Li H L, *et al.* Study of electrokinetic properties of kaolinite in coal slime [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2013, **42**(2): 284-290.
- [28] 刘惠君. ζ 电位作为无机混凝剂水处理性能评价指标的可行性实验研究[J]. 水处理技术, 2002, **28**(2): 78-81.
- Liu H J. Study of ζ potential as evaluating index of coagulants treatment capacity[J]. Technology of Water Treatment, 2002, **28**(2): 78-81.
- [29] 王慧云, 张波, 翟小兵, 等. 表面活性剂及阳离子对水中悬浮颗粒 ζ 电位的影响[J]. 济宁医学院学报, 2006, **29**(2): 1-3.
- Wang H Y, Zhang B, Di X B, *et al.* The influence of surfactants and cationic ions on the ζ potential of colloids in water[J]. Journal of Jining Medical College, 2006, **29**(2): 1-3.

欢迎订阅 2017 年《环境科学》

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

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

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

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2017 年为大 16 开本,全年 12 期。

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

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

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

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

CONTENTS

Source Apportionment of Volatile Organic Compounds and Health Assessment of Benzene Series in Northern Suburb of Nanjing in Winter	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, LIN Xu, <i>et al.</i> (1)
Size Distribution and Mixing State of Black Carbon Aerosol in Nanjing During a Heavy Winter Pollution Event	JIANG Lei, TANG Li-li, PAN Liang-bao, <i>et al.</i> (13)
Interactive Effects of the Influencing Factors on the Changes of PM _{2.5} Concentration Based on GAM Model	HE Xiang, LIN Zhen-shan (22)
Particle Size Distribution and Diffusion for Simulated Cooking Fume	LI Shuang-de, XU Jun-bo, MO Sheng-peng, <i>et al.</i> (33)
Greenhouse Gas Fluxes at Water-Air Interface in Small Pond Using Flux-Gradient Method Based on Spectrum Analyzer	ZHAO Jia-yu, ZHANG Mi, XIAO Wei, <i>et al.</i> (41)
Diurnal Variations of Concentration of Porewater Dissolved CH ₄ and CO ₂ in a Brackish Marsh Dominated by <i>Cyperus malaccensis</i> and <i>Phragmites australis</i> During Neap and Spring Tidal Days in the Minjiang River Estuary	TAN Li-shan, YANG Ping, HE Lu-lu, <i>et al.</i> (52)
Comparisons Between Seasonal and Diurnal Patterns of Cave Air CO ₂ and Control Factors in Jiguan Cave, Henan Province, China	ZHANG Ping, YANG Yan, SUN Zhe, <i>et al.</i> (60)
Fluorescence Spectral Characteristics of Fluorescent Dissolved Organic Matter (FDOM) in the Surface Sediments from Lihu Lake	CHEN Jun-yi, WANG Shu-hang, JIANG Xia, <i>et al.</i> (70)
Sedimentary Characteristics and Sources of Organic Matter in Sediments of Dianchi Lake	HAN Xiu-xiu, HUANG Xiao-hu, YU Li-yan, <i>et al.</i> (78)
Seasonal Variation of Colloid Particles in the Shallow Well Water of a Small Watershed of Purple Soil	ZHANG Wei, TANG Xiang-yu, XIAN Qing-song (87)
Deposition Characteristics of Suspended Solids and the Response of Dissolved Nutrients in Spring in the Western Lakeside of Taihu Lake	QI Chuang, WANG Guo-xiang, WU Xin-ting, <i>et al.</i> (95)
Correlation Between LDI-based Land Use Types and Water Quality in Sanshan Island of Taihu Lake National Wetland Park, Suzhou	YANG Zhao-hui, SU Qun, CHEN Zhi-hui, <i>et al.</i> (104)
Response Characteristics of Algal Chlorophyll-a to Nitrogen, Phosphorus and Water Temperature in Lake Erhai Based on Quantile Regression	CHEN Xiao-hua, LI Xiao-ping, QIAN Xiao-yong, <i>et al.</i> (113)
Seasonal Succession Characteristics of the Morphologically-based Functional Groups (MBFG) in Deep-water Reservoir	YANG Yu, LU Jin-suo, ZHANG Ying (121)
Change and Influencing Factors of Dissolved Carbon and Dissolved Nitrogen in Water of the Three Gorges Reservoir	FAN Zhi-wei, HAO Qing-ju, HUANG Zhe, <i>et al.</i> (129)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Emissions in the Gufu River Small Watershed of the Three Georges Reservoir Area	HUA Ling-ling, LI Wen-chao, ZHAI Li-mei, <i>et al.</i> (138)
Characteristics of Nitrogen Transport and Its Source Trace in Loess Plateau's Dam Watershed in Alternating Wet and Dry Seasons: A Case Study of Yangjuangou Watershed	JIA Jun-jie, GAO Yang, CHEN Wei-liang, <i>et al.</i> (147)
Comparison of Nitrogen and Phosphorus Uptake and Water Purification Ability of Five Submerged Macrophytes	JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, BAO Wei-hong, <i>et al.</i> (156)
Pollution Level, Distribution Characteristics and Risk Assessment of 32 PPCPs in Surface Water of Luomahu Lake	ZHANG Qin, ZHANG Sheng-hu, WANG Zhen, <i>et al.</i> (162)
Distribution, Sources and Risk Assessment of the PAHs in the Surface Sediments and Water from the Daye Lake	ZHANG Jia-quan, HU Tian-peng, XING Xin-li, <i>et al.</i> (170)
Effects of pH and Complexing Agents on Sb(V) Adsorption onto Birnessite and Ferrihydrite Surface	WANG Hua-wei, LI Xiao-yue, LI Wei-hua, <i>et al.</i> (180)
Effects of UV Radiation on the Coagulation Process of Kaolin and Involved Mechanisms	WANG Wen-dong, WANG Chang-xin, LIU Hui, <i>et al.</i> (188)
Effect of Dissolved Humic Acid on Thyroid Receptor Antagonistic Activity of Zinc in Aquatic Environment	AI Yang, KONG Dong-dong, YU Chang, <i>et al.</i> (195)
Optimization and Validation of the Analytical Method to Detect Common Illicit Drugs in Wastewater	GAO Ting-ting, DU Peng, XU Ze-qiong, <i>et al.</i> (201)
Cathode Electric Field Enhanced Removal of Nitrobenzene from Aqueous Solution Based on Activated Carbon Fibers (ACF)-Ozone Technique	ZHAO Chun, ZHANG Shuai, ZHOU Yu, <i>et al.</i> (212)
Effect of PVDF Hollow Fiber Ultrafiltration Membranes Modification with Carbonnanotube on Membrane Fouling Control During Ultrafiltration of Sewage Effluent	WANG Li-ying, SHI Jie, WANG Kai-lun, <i>et al.</i> (220)
Enhanced Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Biological Aerated Filter (Fe ²⁺)-Ozonation Process	XU Min, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (229)
Specificity of Intact Ladderane Lipids in Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria from Four Reactors	WANG Han, FANG Fang, LI Kai, <i>et al.</i> (238)
Characteristics of Perchlorate Reduction and Analysis of Consortium Structure in a Sulfur-Based Reactor at a High Perchlorate Concentration	ZHANG Chao, TAO Hua-qiang, SONG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (247)
Fast Start-up of SBAF System Assisted CANON Process and the Microbial Analysis	LIU Zhu-han, YUE Xiu, YU Guang-ping, <i>et al.</i> (253)
Mechanism for Effects of High Free Ammonia Loadings on Biological Nitrification	JI Min, LIU Ling-jie, ZHAI Hong-yan, <i>et al.</i> (260)
Impact of Biodegradable Organic Matter on the Functional Microbe Activities in Partial Nitrification Granules	WANG Shu-yong, QIAN Fei-yue, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (269)
Process of Enrichment and Culture of PAOs on a Novel Biofilm Process of Dephosphorization	ZHENG Ying, PAN Yang, ZHOU Xiao-hua, <i>et al.</i> (276)
Identification of Efficient Strain Applied to Mining Rehabilitation and Its Rock Corrosion Mechanism: Based on Boosted Regression Tree Analysis	WU Yan-wen, ZHANG Jin-chi, GUO Xiao-ping, <i>et al.</i> (283)
Effect of Cadmium on Biodegradation of Nonylphenol by <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SHI Guang-yu, CHENG Yuan-yuan, SHI Wei-lin (294)
Effects of Different Agricultural Practices on Soil Carbon Pool in North China Plain	SHI Xiao-xia, ZHAO Yi, ZHANG Lin, <i>et al.</i> (301)
Seasonal Variations of Soil Microbial PLFAs and Soil Enzyme Activity Under the Citrus Plantation in Mt. Jinyun, Chongqing	LI Nan-jie, ZENG Qing-ping, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (309)
Composition and Environmental Adaptation of Microbial Community in Shibaohe Copper Tailing in Zhongtiao Mountain in Shanxi	LIU Jin-xian, LI Cui, JING Jun-hui, <i>et al.</i> (318)
Spatial Distribution and Source of Perfluorinated Compounds in Urban Soil from Part of Cities in Anhui Province, China	LI Fa-song, NI Hui, HUANG Han-yu, <i>et al.</i> (327)
Effects of Biochar Pyrolyzed at Varying Temperatures on Soil Organic Carbon and Its Components; Influence on the Soil Active Organic Carbon	ZHAO Shi-xiang, YU Xiao-ling, LI Zhong-hui, <i>et al.</i> (333)
Effects of Different Water Managements and Soil Eh on Migration and Accumulation of Cd in Rice	TIAN Tao, ZENG Min, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (343)
Mechanism of Soil Eco-Functional Stability Under Pyrene/Cadmium Simplex and Combined Pollution Stress	CHEN Xin-yao, YANG Hui-zi, LI Min, <i>et al.</i> (352)
Fractions Transformation of Heavy Metals in Compound Contaminated Soil Treated with Biochar, Montmorillonite and Mixed Addition	GAO Rui-li, TANG Mao, FU Qing-ling, <i>et al.</i> (361)
Screening of the Reduction/Stabilization Reagent for Cr(VI) Contaminated Soil in a Planting Site and Reaction Process Monitoring	LI Pei-zhong, LÜ Xiao-jian, WANG Hai-jian, <i>et al.</i> (368)
Cd(II) Ion Adsorption and Sealing onto SBA-15 Mesoporous Particles and the Related Potential on Cd(II) Polluted Soil Remediation	HUANG Hui, NING Xi-cui, GUO Zhan-yu, <i>et al.</i> (374)
Bioaccumulation of Halogenated Flame Retardants in Fish of Dongjiang River	HE Ming-jing, YANG Ting, LI Qi, <i>et al.</i> (382)
Characteristics and Evaluation of Heavy Metal Pollution in Vegetables in Guangzhou	CHEN Zhi-liang, HUANG Ling, ZHOU Cun-yu, <i>et al.</i> (389)
Variation Characteristics of Vegetables Cadmium Uptake Factors and Its Relations to Environmental Factors	YANG Yang, LI Yan-ling, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (399)
Effect of Sewage Sludge Compost Products Application on Total Mercury and Methylmercury in Soil and Plants	YU Ya-wei, YANG Yu-han, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (405)
Influencing Mechanism and Spatio-temporal Pattern of Stomatal Ozone Flux of Winter Wheat Under Ozone Pollution	ZHAO Hui, ZHENG You-fei, CAO Jia-chen, <i>et al.</i> (412)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2017年1月15日 第38卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 38 No. 1 Jan. 15, 2017

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	北京宝昌彩色印刷有限公司	Printed	by	Beijing Baochang Color Printing Co., Ltd.
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 140.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人

ISSN 0250-3301

