

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO ₂ 的来源	刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)
广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映	廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)
北京雾霾天气期间气溶胶光学特性	于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)
白马泉风景区夏季大气 PM _{2.5} 中二次有机物的初步研究	代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)
机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性	乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)
法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究	王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)
胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨	薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)
基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价	郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)
流域水质时空分布特征及其影响因素初析	黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)
潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究	崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)
春季盘溪水质日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)
西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究	肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)
三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价	郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)
淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究	徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)
三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验	王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)
沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征	李振伟, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)
合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性	李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)
鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析	张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)
三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价	敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)
黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价	刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)
竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算	姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)
雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析	赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)
中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究	潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)
三江平原典型灌区井灌地下水中的随水迁移特征	邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)
海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究	田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)
新生态铁的混凝作用探索	杨雪, 张景成, 关小红 (1221)
饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究	岳婵媛, 缪恒峰, 任洪艳, 阮文权 (1227)
核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究	王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)
络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究	秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯玺 (1241)
赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物	张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)
掺氮 Ta ₂ O ₅ 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究	赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)
O ₃ /H ₂ O ₂ 降解水中扑灭通效能研究	李绍峰, 孙楚 (1260)
Pr-N 共掺杂 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿动力学	沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)
铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究	张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)
聚合铝铁对 A ² /O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响	温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)
温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响	张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)
温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响	李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)
好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究	王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)
除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析	李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)
利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌	王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)
紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究	于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)
1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究	陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)
氨氮对稀有鮟鮓胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究	王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)
多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响	孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)
生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响	王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)
水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C连续标记法	聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)
油田污染土壤残油组成与特征参数分析	王坚, 张旭, 李广贺 (1352)
挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究	孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)
田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究	黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)
中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响	马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)
基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究	袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)
填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式	兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)
生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化	方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)
岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析	杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)
《环境科学》征订启事 (1062) 《环境科学》征稿简则 (1107) 信息 (1135, 1215, 1396)	

新生态铁的混凝作用探索

杨雪, 张景成, 关小红*

(哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

摘要: 利用双氧水和亚铁瞬时反应制备新生态铁作为混凝剂, 采用杯罐试验确定了最优制备条件老化时间、酸的添加量、 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$, 并且通过对比新生态铁、硫酸铁、聚合硫酸铁分别对浊度、 UV_{254} 吸光度的去除效果、沉后水 Zeta 电位来衡量新生态铁的混凝效果并推测其可能的反应机制. 结果表明, 老化时间对新生态铁的除浊效果影响极小, 可忽略不计; 添加酸浓度为 $[\text{H}^+] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时制备出的新生态铁混凝效能最佳; 提高 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 可显著增强新生态铁的混凝效果, 最为经济有效的摩尔比值为 0.55. 新生态铁对浊度的去除效果与硫酸铁、聚合硫酸铁相近; 对 UV_{254} 吸光度有机物的去除率比 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 高 20% ~ 44%; 沉后水 Zeta 电位随新生态铁投量增加逐渐趋近于 0 mV, 电中和作用较强. 新生态铁是一种具有开发价值的新型混凝剂, 老化时间极短, 过程简化, 原料价格低廉, 对浊度、 UV_{254} 吸光度去除效果较好.

关键词: 新生态铁; 双氧水; 成本; 老化; UV_{254}

中图分类号: X506; TU991.22 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1221-06

Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant

YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong

(Department of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: A new coagulant was synthesized by oxidizing Fe^{II} with H_2O_2 instantaneously. Key parameters in the preparation of the coagulant including aging time, acid volume, and $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ were investigated through jar tests. The optimized coagulant was then compared with $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and PFS (poly-ferric sulphate) in residual turbidity, UV_{254} , Zeta potential to evaluate its coagulation efficiency and infer the reaction mechanism. Aging time has a little effect on coagulation efficiency. The optimized acid concentration was $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Coagulation efficiency increased with $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$. 0.55 is the most economical and efficient molar ratio. The removal efficiency of turbidity of the newly-formed ferric is similar to $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ or PFS. The removal efficiency of UV_{254} by newly-formed ferric is higher than that by $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ by 20% - 44%. The Zeta potential of supernatant after being treated by newly-formed ferric gradually increased to 0 mV with the increasing coagulant dosage, indicating a strong effect of charge neutralization. The newly-formed ferric is a promising new coagulant with an extremely short aging time, a simple synthesis process, a lower cost than $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ or PFS by more than 50%, and a high removal efficiency of UV_{254} absorbance.

Key words: newly-formed ferric; H_2O_2 ; cost; aging; UV_{254}

日益严重的水源污染迫使许多给水厂在给水处理时增加混凝剂投量, 使用铝盐作为混凝剂, 若运行控制不当易引发出厂水铝浓度超标. 对全国部分城市的饮用水水质调查结果表明: 所调查的全国 40 座城市中有 32.5% 的城市饮用水中铝浓度超标 ($[\text{Al}] > 0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[1]. 过量地摄入铝会导致脑病、骨病和贫血^[2]. 针对出厂水铝超标问题的解决思路总体上有 2 个: 一是设法减少出厂水中的残余铝; 二是开发毒性更小的其他新型混凝剂. 铁盐混凝剂不仅混凝效果突出, 而且在去除有机物、处理低温低浊水方面有独特的优势^[3~5]. 然而在聚合铁混凝剂的开发研究中, 表现出以下几点不足^[6~13]: ①制备混凝剂通常需要至少几小时至十几小时的老化时间, 消耗时间、增加占地、抬高成本; ②为保证混凝剂有效物质含量, 通常制备混凝剂的浓溶液或固体粉末; 浓溶液中铁化合物容易过度聚合形成大量无效成

分, 若要避免浓溶液中出现沉淀, 就需要加入各种稳定剂, 以磷酸盐类稳定剂最为有效, 但这样做会向待处理水中引入磷, 不适宜饮用水或自来水处理; 固体粉末多是由浓溶液干燥粉化而来, 需要消耗额外的机械、能量和资金; ③鉴于三价铁碱化法制得的聚合铁混凝剂稳定性差, 更多的制备方法选择二价铁氧化法. 若使用空气/氧气催化氧化法, 则需要实施加热加压充氧条件, 会耗费大量能量, 且操作有一定危险性, 使用的催化剂多为硝酸盐类, 产生有毒废气污染; 若使用强氧化剂氧化二价铁, 现行技术多使用氯酸盐、硝酸, 产生有毒废气污染, 危害操作人员及周边群众健康. 新生态铁老化时间极短; 即制

收稿日期: 2011-05-16; 修订日期: 2011-07-30

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07424-005, 2008ZX07421-002-03)

作者简介: 杨雪 (1987 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为给水处理技术, E-mail: yangxue1_ok@163.com

* 通讯联系人, E-mail: guanxh@tongji.edu.cn

即用,有效物质含量损失极微,不必添加稳定剂;强氧化剂 H_2O_2 ,完全反应条件下不产生有毒有害物污染,亦不引入杂质。

新生态三价铁对磷、砷、 UV_{254} 的去除,与硫酸铁相比,有显著优势^[14-17]。对于新生态铁应用于给水处理的可行性尚无系统的研究。且在以往新生态铁的研究中,均以高锰酸盐为氧化剂,残余锰离子对出水水质造成威胁且在较低浓度下即表现出色度。以 H_2O_2 为氧化剂不仅同样具有较高的氧化效率,且不会对出水水质带来不利影响。本试验拟探索利用 H_2O_2 和硫酸亚铁瞬时反应制备新生态铁,考察其最佳制备条件及其处理效果。

1 材料与方法

1.1 试验材料

药剂:聚合硫酸铁为工业级,其他药剂均为分析纯,包括: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、双氧水 H_2O_2 体积分数为 30%,所有溶液均使用蒸馏水配制。

原水水质:原水采用秋季松花江水,采后冷藏,试验前一天取出放置至室温(22~25℃)。因浊度变化范围较大,只保证同一考察因素的试验所用原水浊度变化在合理范围内,列于每组试验数据图注中;其他指标变化范围较小,pH 7.6~8.0,高锰酸盐指数 6.6~7.2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, UV_{254} 0.135±0.005。

1.2 试验仪器

六联程控混凝搅拌机,磁力搅拌器,pHs-3c 型 pH 计,WGZ-3 散射光浊度仪,T6-紫外可见分光光度计,Nano-Z Zeta 电位仪(Malvern 公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 新生态铁的制备

(1)将一定质量的硫酸亚铁溶解在一定浓度的硫酸中,此为酸性亚铁溶液。

(2)配制一定摩尔浓度的双氧水溶液。

(3)常温常压下启动搅拌,分别取体积相同的酸性亚铁溶液和双氧水溶液,将两者混合反应,老化时间 1 min。如无特殊说明,新生态铁的制备条件为: $[\text{Fe}] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe}) = 0.55$ (摩尔比), $[\text{H}^+] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

在制备过程中采用室温、连续搅拌方式。由于 H_2O_2 在中性条件下氧化性降低,且反应速率慢,故不采用在线投加方式,而是令 $\text{Fe}(\text{II})$ 与 H_2O_2 先行反应,因为 $\text{Fe}(\text{II})$ 溶液本身显酸性,在酸性条件下 H_2O_2 可以快速把 $\text{Fe}(\text{II})$ 氧化为 $\text{Fe}(\text{III})$ 。为了提高所制备的混凝剂的性能,必要时需要向 $\text{Fe}(\text{II})$ 溶液

中加入适量的硫酸。

1.3.2 混凝试验及其检测方法

向 6 只烧杯中各加入 1 L 原水,首先以 300 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度快速搅拌 10 s,使水样搅拌均匀。启动快速搅拌后立即加入定量混凝剂,快速搅拌速率为 120 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$,搅拌时间为 1 min,使药剂与水样充分混合;然后依次以 40 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度搅拌 10 min,20 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度搅拌 10 min。静置沉淀 30 min 后,用注射器取液面下 2~3 cm 处水样测定其浊度、高锰酸盐指数、 UV_{254} 、Zeta 电位。高锰酸盐指数的检测采用酸性高锰酸盐法。

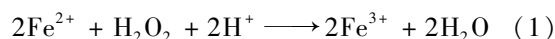
2 结果与分析

2.1 新生态铁制备最佳条件

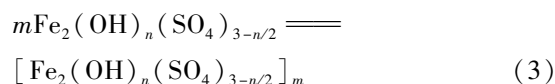
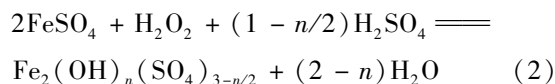
2.1.1 老化时间对新生态铁的影响

聚合硫酸铁必须经过老化过程才能达到聚合状态并形成稳定的结构,但应避免在形成稳定结构的同时过度聚合导致沉淀,且应保证在药剂存放期内维持这一稳定结构;通常的做法是加入某种稳定剂,多数稳定剂不适合添加至给水处理中甚至对人体有毒害作用,绿色高效稳定剂仍需继续研究。若能缩短老化时间,采用即制即用的投药方式,不仅可以避免混凝剂的长期存放,消除药剂在存放期内变质的隐患,还可避免加入有害的稳定剂。

亚铁被氧化需要消耗 H^+ ,如式(1):



被氧化后形成的三价铁强烈地水解、聚合,形成单核、双核及其他低聚合度的水解产物,随着反应的深入进行,低聚合度的水解产物之间通过—OH—或—O—桥联生成聚合度更高的水解产物,这一系列过程都会产生 H^+ ,保证氧化反应的进一步发生。在 SO_4^{2-} 存在的情况下,水解、聚合总反应方程如式(2)和(3)^[18]:



亚铁与 H_2O_2 按化学计量比在蒸馏水中反应,可得到如图 1 的结果,从中可见,pH 逐渐下降,这是由于新生成的三价铁离子水解强烈, H^+ 迅速产生。在反应开始的前 20 min 内,pH 下降速度较快,说明新生态三价铁快速生成且迅速发生水解;20 min 后 pH 变化趋于平缓,说明生成的新生态三价铁水解速

度逐渐变慢.

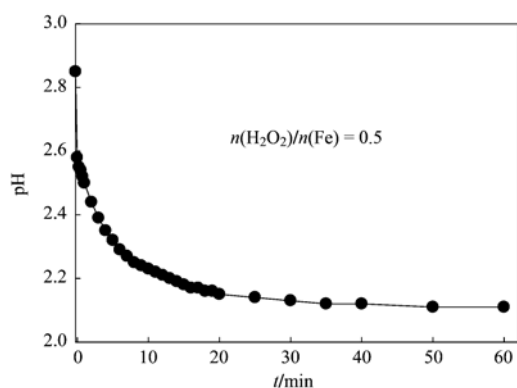
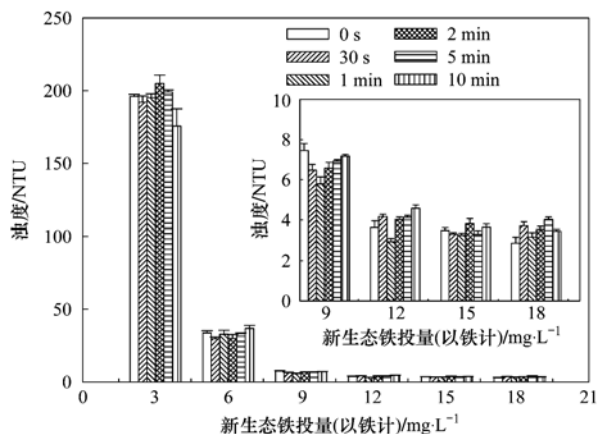


图1 H_2O_2 与亚铁反应过程中 pH 随时间的变化

Fig. 1 pH change in the reaction process of ferrous and H_2O_2

根据图1的结果,考察了0 s、30 s、1 min、2 min、5 min、10 min共6个不同的老化时间对新生态铁混凝处理松花江水,沉后剩余浊度的影响,结果如图2所示.从中可知,不同的老化时间对新生态铁的除浊效果影响极小,其中老化时间1 min的除浊效果有微小的优势.



$n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe}) = 0.5$, 初始浊度为 (342 ± 2) NTU

图2 老化时间对新生态铁除浊效果的影响

Fig. 2 Influence of aging time on turbidity removal efficiency of the newly-formed ferric coagulant

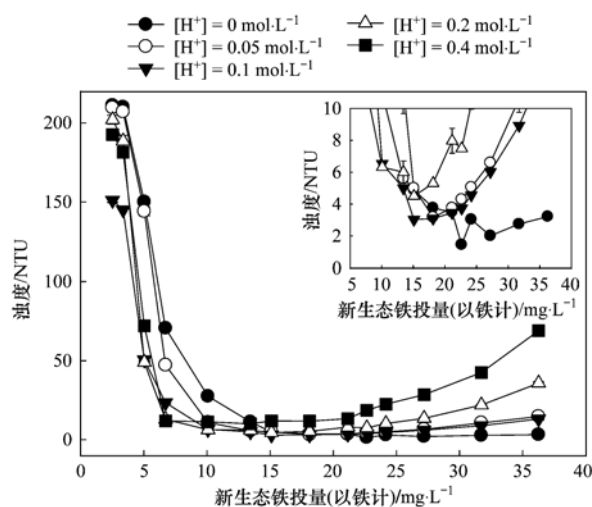
在实际应用中,药剂投加大,搅拌混合及将药液运输至混凝池的时间应该在1 min以上,因此在实际应用或反应器设计时可不考虑老化时间.本试验原水浊度较高,而老化时间为1 min的新生态铁在浓度(以铁计)达到 $12.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上时,可使沉后水浊度稳定降至3 NTU以下,可以进入滤池,亦可满足一般工业给水处理要求;一般地表水浊度比本次试验所用原水低,例如松花江水除了洪水季以

外一般维持在30~50 NTU.老化时间对新生态铁的影响甚微,主要有以下2个原因:① H_2O_2 与亚铁在 $\text{pH} < 3.0$ 的条件下反应迅速^[19].② H_2O_2 与亚铁反应生成的新生态三价铁水解速率较快;杨敏等^[20]发现,与类Fenton体系相比,Fenton体系中的 $\text{Fe}(\text{III})$ 有较快的水解速率.

2.1.2 酸的添加量对新生态铁的影响

由于三价铁水解会产生 H^+ ,在混凝剂制备过程中加入一定量的酸会抑制三价铁的水解,进而影响水解聚合物的结构和性质.Cheng^[21]发现 $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Fe}]$ 比例对于聚合硫酸铁的粘度有深刻的影响;粘度是水解聚合状态的一种表征,较低的粘度往往表示 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀比例较大,混凝效能较差.Jiang等^[22]也发现 $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Fe}]$ 比值较小时制备的聚合硫酸铁含有较高比例的高聚和沉淀成分,降低了混凝剂的稳定性.

不同酸浓度制备的新生态铁处理松花江水的剩余浊度对比如图3.从中可知,不同酸浓度制备的新生态铁随投量增加处理后的水浊度变化趋势相似,随着投量的逐渐增大,剩余浊度逐渐降低,达到平台,平台后又缓慢升高.当新生态铁投量(以铁计) $< 22.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,加入 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 酸制备的新生态铁对浊度的去除效果最好,有效投量范围较宽.加酸制备的新生态铁较不加酸制备的新生态铁能够在更低的投量下使浊度降到一定水平,节省药剂,降低成本;不加酸制备的新生态铁对浊度的去除效果较好时需要的投药量较高.



$n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe}) = 0.5$, 初始浊度为 (320 ± 2) NTU

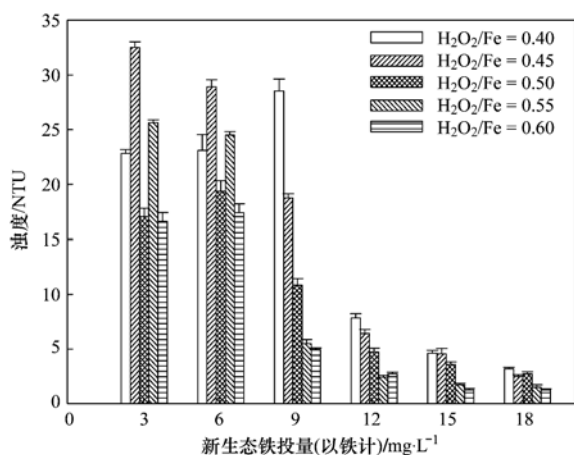
图3 酸投量对新生态铁除浊效果的影响

Fig. 3 Influence of acid dosage on turbidity removal efficiency of the newly-formed ferric coagulant

肉眼可见添加酸制备的新生态铁在形态上更加稳定,不会迅速水解产生沉淀.在不添加酸的条件下,被氧化形成的新生态三价铁在中性条件下剧烈水解,极易水解聚合不均匀,局部形成高聚物甚至 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀; $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 不具有电中和作用,吸附性能也较差,因此通常 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的凝胶或沉淀被视为混凝剂的无效成分.加入少量酸可在一定程度上抑制三价铁的水解,从而形成碱化度和聚合度更利于混凝吸附作用的物质形态[通常 $n(\text{OH})/n(\text{Fe}) < 2$ 的混凝剂成分为有效成分].而加入过多的酸,会导致三价铁的电离,投入原水后尽管会继续水解,但也许只能形成较多的单核或聚合度极低的水解产物,架桥吸附及网捕性能较差.

2.1.3 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 对新生态铁的影响

根据公式(1), H_2O_2 与亚铁完全反应时 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe}) = 0.5$.试验考察了 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 为0.4、0.45、0.5、0.55、0.6时, $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 对新生态铁去除浊度和还原性有机物的性能影响,结果分别如图4与图5所示.结果表明: $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 摩尔比适当高于理论计量比,有助于除浊及降低高锰酸盐指数.

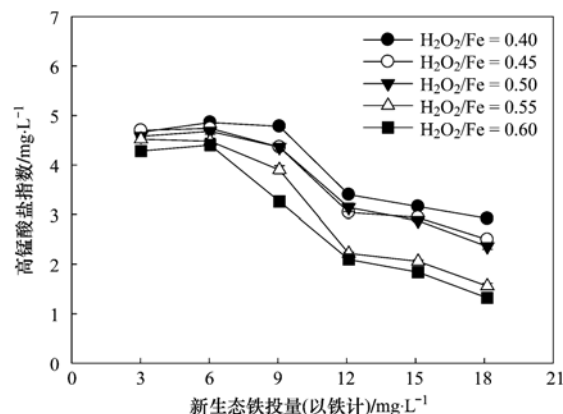


初始浊度为 (105 ± 5) NTU

图4 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 对新生态铁除浊效果的影响

Fig. 4 Influence of $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ on turbidity removal efficiency of the newly-formed ferric coagulant

新生态铁除浊效能随 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 增大而提高,这可能是因为短时期内,亚铁不易被彻底氧化,增加 H_2O_2 有助于提高亚铁被氧化的程度即有助于新生三价铁含量增加,还可能提高新生态三价铁的生成速度,使水解聚合加快.由于 H_2O_2 投量的增加会增加新生态铁制备的成本,因此确定最经济有效的氧化剂投量为 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe}) = 0.55$.在此



初始高锰酸盐指数为 (6.9 ± 0.3) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

图5 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 对新生态铁去除高锰酸盐指数的影响

Fig. 5 Influence of $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ on permanganate index removal efficiency of the newly-formed ferric coagulant

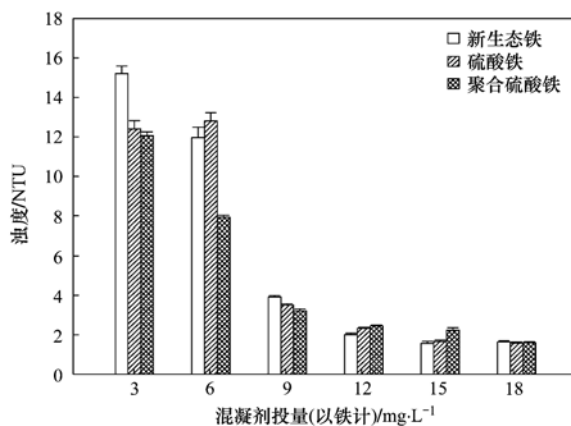
比例下,当混凝剂投量(以铁计)为 $9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,新生态铁对浊度的去除效率较高且对双氧水的消耗量较小,剩余浊度可满足一般工业用水要求及饮用水处理进入滤池要求.

2.2 新生态铁与硫酸铁及聚合硫酸铁的混凝效果比较

新生态铁的制备条件,包括老化时间、酸的添加量、以及 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$,采用2.1节得到的最佳条件.

2.2.1 除浊效果与药剂使用成本对应比较

新生态铁、硫酸铁、聚合硫酸铁对浊度的去除效果对比如图6.从中可知,当混凝剂投量(以铁计) $\geq 9.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,新生态铁、硫酸铁、聚合硫酸铁三者除浊效果相当,处理后的原水均可作为一般工业给水



原水浊度为 (50 ± 1) NTU

图6 新生态铁、硫酸铁、聚合硫酸铁除浊效果比较

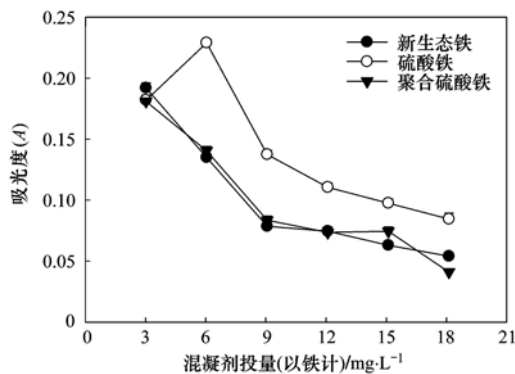
Fig. 6 Turbidity removal comparison among the newly-formed iron, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and PFS

或进入饮用水处理的过滤环节;由此可见,虽然新生态铁的老化时间短,但除浊效果不劣于硫酸铁或聚合硫酸铁。

由于主要原料常见易得、价格低廉,新生态铁用于水处理的药剂成本较低,而且新生态铁的制备简单、快捷;其老化时间极短,可大大减少反应器容积,减少设备投资;无需投加催化剂、稳定剂,避免引入新的杂质;无需加热加压条件,常温常压下可采用管式混合方式快速合成,方便简单,且反应温和,无危险,不需要过多人力、设备或复杂的技术支持;省去浓缩干燥粉化等诸多繁杂步骤,消除大量冗杂的药剂与配套设备开支;混凝剂制备与使用一体化,省掉运输成本;无需溶解池设备,既节省投资、占地,又避免了“制备时浓缩干燥,使用时重新溶解”的能量重叠浪费。经计算显示新生态铁与聚合硫酸铁相比,成本较低,在保证处理后水浊度相同的情况下,新生态铁的药耗仅为聚合硫酸铁的 50% 左右。若能在生产中使用染料和钢铁工业产生的含铁废酸^[23],还可以进一步降低原料成本。新生态铁是绿色环保药剂,氧化剂 H_2O_2 无残留,也不生成有毒有害副产物,无“三废”污染,是一种可保障操作人员及周围居民健康安全的环境友好型药剂。

2.2.2 UV_{254} 吸光度比较

新生态铁、硫酸铁、聚合硫酸铁处理松花江水,沉后水的 UV_{254} 吸光度对比如图 7。从中可见,新生态铁对松花江水 UV_{254} 吸光度有机物的去除效果与聚合硫酸铁相似,新生态铁的 UV_{254} 去除率比硫酸铁高 20% ~ 44%。这可能是因为新生态铁的水解聚合物对 UV_{254} 吸光度有机物具有更高的吸附活性。Yoon 等^[24] 以 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe}) = 0.8$ 的比例,首先在 pH 3



原水 UV_{254} 为 0.135 ± 0.005

图 7 新生态铁、硫酸铁、聚合硫酸铁对 UV_{254} 的去除效果比较

Fig. 7 Comparison of supernatant adsorption at 254 nm among the newly-formed iron, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and PFS

进行氧化,然后在 pH 7 ~ 8 进行混凝,结果这种“两步 Fenton 法”的有机物去除率明显高于单纯混凝。杨敏等^[20]的研究表明:相同时间间隔内, Fenton 体系比类 Fenton 体系生成更多的 Fe_0 类水解聚合物;虽然所采用的 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe}) = 25$, 与本试验中 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 比值有较大差别,但可能暗示,通过双氧水即时氧化形成的新生态三价铁比普通三价铁水解生成含量更高的 Fe_0 类聚合物,因此对有机物的吸附能力更强,关于这一点可在以后的试验中寻求证实。

2.2.3 沉后 Zeta 电位比较

不同铁盐混凝剂随着投量增大,混凝沉后水上清液 Zeta 电位的变化如图 8 所示。从中可见,硫酸铁、聚合硫酸铁处理后的水样 Zeta 电位分别从 -17.7 mV 、 -18.9 mV 随混凝剂投量增大而升高至 -12.3 mV 、 -12.5 mV ; 而新生态铁处理后的水样 Zeta 电位在试验的所有混凝剂投量下都高于硫酸铁或聚合硫酸铁处理后的水样,且新生态铁处理后的水样 Zeta 电位随混凝剂投量增大逐渐升高至零,达到电中和状态。同一投量下(以铁计),新生态铁与硫酸铁或聚合硫酸铁在沉后水 Zeta 电位上的差距为 5 ~ 15 mV。

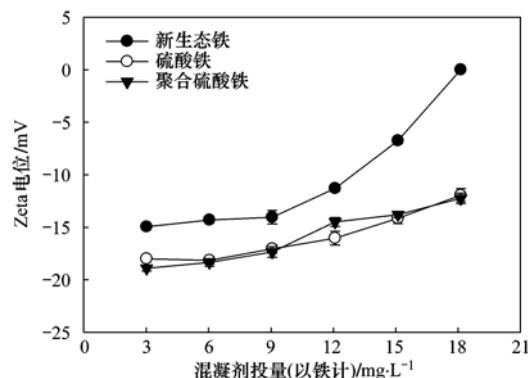


图 8 分别以新生态铁、硫酸铁、聚合硫酸铁为混凝剂的沉后水 Zeta 电位比较

Fig. 8 Comparison of Zeta potential of supernatant treated respectively by the newly-formed iron, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and PFS

3 新生态铁絮凝机制探讨

新生态对老化时间的要求较宽泛,只要是即时生成三价铁,老化时间为 1 min 或 10 min 对絮凝效果的影响极小,可忽略不计。在新生态铁的制备过程中,若不添加酸,在一定投量下可以产生较好的絮凝效果,但若添加 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的酸,可将最佳投量降低 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (以铁计)。 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe})$ 摩尔比适当高于理论计量比,有助于新生态铁发挥除浊及降低

高锰酸盐指数的效能,氧化剂对改善新生态铁的微观结构与性质起着微妙而重要的作用.由于新生态铁处理过的水样 Zeta 电位随投量增大而大幅升高,推测随着投量的增大,新生态铁对浊度去除的大幅提高,可能是因为随着投量的增大,新生态铁的电中和作用得到了更充分地发挥.聚合硫酸铁被投入原水后,水解缓慢,主要靠架桥吸附去除有机物^[25],而新生态铁可能携有更高的正电荷. Jiang 等^[26]在研究聚合硫酸铁时认为,带有较高正电荷将提高电中和能力,可在比传统混凝剂(单体铁盐混凝剂)更低的剂量下发挥更大的除污效力.可能因为新生态铁水解产物比硫酸铁水解产物带有更多正电荷,所以新生态铁对 UV₂₅₄ 吸光度有机物的中和吸附能力强于硫酸铁;然而新生态铁与聚合硫酸铁对 UV₂₅₄ 的去除率相似,这可能是因为新生态的水解聚合程度较聚合硫酸铁低,架桥吸附能力不如聚合硫酸铁.

4 结论

(1)新生态铁只需极短的老化时间就能实现优良的混凝效能,本研究测定的最佳制备条件为:当 $[\text{Fe}] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,老化时间为 1 min, $[\text{H}^+] = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Fe}) = 0.55$.

(2)新生态铁性价比高:在保证处理后水浊度相同的情况下,新生态铁的药耗仅为聚合硫酸铁的 50% 左右,并且可在制备全过程中节省大量设备与占地投资,其他药品与运输开支,减少耗能.制备过程温和迅速,操作安全,使用简单,不添加有毒有害的氧化剂、稳定剂、催化成分,不产生三废污染,是绿色环保型药剂.

(3)新生态铁对 UV₂₅₄ 吸光度有机物有显著的去除效果,其 UV₂₅₄ 去除率比使用硫酸铁高 20% ~ 44%;其去除机制与聚合硫酸铁不同,主要表现为电中和作用.

参考文献:

- [1] 汪晓军,肖锦. 化学平衡理论在废水处理中的应用[J]. 工业水处理, 1990, **10**(4): 3-8.
- [2] 胡克武,曾锦明,冯兆敏. 聚合氯化铝铁对降低水中铝含量的作用[J]. 净水技术, 2002, **21**(4): 28.
- [3] 周玲玲,张永吉,孙丽华,等. 铁盐和铝盐混凝对水中天然有机物的去除特性研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(5): 1187-1191.
- [4] 李晓波,吴水波,顾平. 铁盐和铝盐混凝微滤工艺除 As(V) 的比较研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(10): 2198-2202.
- [5] 楚文海,高乃云,姚娟娟,等. 重金属 Pb(II) 污染原水的应急处理工艺研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(10): 2841-2845.
- [6] 陈辅君,李凤亭. 聚合硫酸铁的合成研究[J]. 中国给水排水, 1995, **11**(1): 42-44.
- [7] 莫炳禄,公国庆,阮复昌,等. 多元共聚铁系净水剂的生产方法[P]. CN 1156127A, 1996-05-29.
- [8] 王红宇. 高浓度聚合氯化铁絮凝剂的应用基础研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [9] Zouboulis A I, Moussas P A, Vasilakou F. Polyferric sulphate: preparation, characterisation and application in coagulation experiments[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, **155**(3): 459-468.
- [10] Lei G Y, Ma J, Guan X H, et al. Effect of basicity on coagulation performance of polyferric chloride applied in eutrophicated raw water[J]. Desalination, 2009, **247**(1-3): 518-529.
- [11] Wang Y L, Feng J, Dentel S K, et al. Effect of polyferric chloride (PFC) doses and pH on the fractal characteristics of PFC-HA flocs[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2011, **379**(1-3): 51-61.
- [12] Gao B Y, Liu B, Chen T, et al. Effect of aging period on the characteristics and coagulation behavior of polyferric chloride and polyferric chloride-polyamine composite coagulant for synthetic dyeing wastewater treatment[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, **187**(1-3): 413-420.
- [13] Fu Y, Yu S L, Han C W. Morphology and coagulation performance during preparation of poly-silicic-ferric (PSF) coagulant[J]. Chemical Engineering Journal, 2009, **149**(1-3): 1-10.
- [14] 张立珠,马军,陈忠林,等. 新生态铁锰氧化物的混凝及强化混凝效能分析[J]. 中国给水排水, 2008, **24**(5): 94-97.
- [15] 刘可,马军,关小红,等. 新生态铁锰氧化物混凝除磷效果研究[J]. 中国给水排水, 2009, **25**(21): 89-94.
- [16] Guan X H, Ma J, Dong H R, et al. Removal of arsenic from water: Effect of calcium ions on As(III) removal in the KMnO_4 -Fe(II) process[J]. Water Research, 2009, **43**(20): 5119-5128.
- [17] Guan X H, Dong H R, Ma J, et al. Removal of arsenic from water: Effects of competing anions on As(III) removal in KMnO_4 -Fe(II) process[J]. Water Research, 2009, **43**(15): 3891-3899.
- [18] 唐剑,邱运仁. 聚合硫酸铁的制备及改性研究进展[J]. 化学工程师, 2009, **161**(2): 34-37.
- [19] Neyens E, Baeyens J. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, **98**(1-3): 33-50.
- [20] 杨敏,高迎新,王东升,等. Fe(III, II)/H₂O₂ 体系中 Fe(III) 水解特征的对比[J]. 环境科学学报, 2003, **23**(2): 174-177.
- [21] Cheng W P. Hydrolysis characteristic of polyferric sulfate coagulant and its optimal condition of preparation[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2001, **182**(1-3): 57-63.
- [22] Jiang J Q, Graham N J Q. Observations of the comparative hydrolysis/precipitation behaviour of polyferric sulphate and ferric sulphate[J]. Water Research, 1998, **32**(3): 930-935.
- [23] Matsubayashi K. A New preparation method for PFS[P]. Japan, 61-215222, 1986.
- [24] Yoon J, Lee Y, Kim S. Investigation of the reaction pathway of OH radicals produced by Fenton oxidation in the conditions of wastewater treatment[J]. Water Science & Technology, 2001, **44**(5): 15-21.
- [25] Cheng W P. Comparison of hydrolysis/coagulation behavior of polymeric and monomeric iron coagulants in humic acid solution[J]. Chemosphere, 2002, **47**(9): 963-969.
- [26] Jiang J Q, Graham N J D. Coagulation of upland coloured water with polyferric sulphate compared to conventional coagulants[J]. Water Supply Research & Technology, 1996, **45**(3): 143-154.

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ by Carbon Isotope Composition	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM _{2.5} Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ ¹⁵ N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River	 CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period	 GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area	 WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta	 LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment	 WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ Photocatalyst	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A ² /O System	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene (<i>nosZ</i>)	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow	WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

《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)

2012年4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行