

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第6期

Vol.33 No.6

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

我国湖泊富营养化效应区域差异性分析	曹金玲, 许其功, 席北斗, 李小平, 杨柳燕, 江立文, 魏自民, 吴献花 (1777)
基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价	孙然好, 陈利顶, 王伟, 王赵明 (1784)
云蒙湖流域土地利用变化对非点源氮污染负荷的影响	孟晓云, 于兴修, 泮雪芹 (1789)
深圳市沿岸表层海水中全氟化合物的残留特征及其分布规律	陈清武, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波 (1795)
典型电器工业区河涌沉积物中多环芳烃的分布、来源和潜在生态风险	邓代永, 邱孟德, 孙国萍, 郭俊, 张宏涛, 张琴, 许玫英 (1801)
珠江下游河段沉积物中重金属含量及污染评价	谢文平, 王少冰, 朱新平, 陈昆慈, 潘德博, 洪孝友, 尹怡 (1808)
扎龙湿地南山湖沉积岩芯重金属污染特征及来源判别	苏丹, 臧淑英, 叶华香, 孙丽, 贾晓丹, 李苗 (1816)
汕头湾沉积物磷的形态分布与季节变化特征研究	赵建刚, 乔永民 (1823)
氮磷比对东海浮游植物群落生长影响的微宇宙实验	黄伟, 朱旭宇, 曾江宁, 寿鹿, 陈全震, 江志兵 (1832)
春季福建北部海域浙闽沿岸流消亡期浮游桡足类种类组成及其分布	王彦国, 林景宏, 王春光, 林茂 (1839)
滩涂红树林种植-养殖耦合系统中多环芳烃含量水平分析	陈冠秋, 李耀初, 黄晋沐, 南燕, 林茂宏 (1846)
四溴双酚 A 在 5 种巢湖鱼类体内的组织分布与生物浓缩因子研究	杨苏文, 王圣瑞, 闫振广, 张普青 (1852)
五氯酚对稀有鮑姆卵黄蛋白原及 p53 的诱导效应	熊力, 马永鹏, 张晓峰, 金帮明, 李伟, 苏永良, 毛思予, 刘堰 (1858)
全氟辛烷磺酸 (PFOS) 对斑马鱼卵黄蛋白原 mRNA 水平的影响	程艳, 崔媛, 党志超, 谢文平, 李海山, 殷缓缓, 陈会明 (1865)
水溶性有机物电子转移能力与荧光峰强度的关系研究	陶亚, 袁田, 周顺桂, 袁勇, 庄莉, 王辉亮 (1871)
MIEX 中试实验对二级出水中有机物去除的 3DEEM 解析	杨建, 高金华, 常江 (1878)
XDLVO 理论解析钙离子对腐殖酸反渗透膜污染的影响机制	姚淑娣, 高欣玉, 郭本华, 包南, 谢慧君, 梁爽 (1884)
栅藻 LX1 在水产养殖废水中的生长、脱氮除磷和油脂积累特性	马红芳, 李鑫, 胡洪管, 于茵, 巫寅虎 (1891)
氯化铁用于反硝化同步化学生物絮凝工艺研究	王宏杰, 董文艺, 刘莉莎, 韩贵超 (1897)
合成氨废水短程反硝化特性研究	李妍, 李泽兵, 马家轩, 王晓毅, 赵白航, 李军 (1902)
基于新型反应器的好氧颗粒污泥的稳定性控制	李志华, 杨帆, 李胜, 谢磊, 王晓昌 (1907)
采用非生长能量代谢参数表征颗粒污泥稳定性	李志华, 吴军, 李胜, 谢磊, 王晓昌 (1913)
酸-碱预处理促进剩余污泥厌氧消化的研究	袁光环, 周兴求, 伍健东 (1918)
小回流比条件下污泥浓度分区试验研究	史思, 王素兰, 李瑞, 邢传宏 (1923)
非离子表面活性剂对污泥调理脱水效果的影响	侯海攀, 濮文虹, 时亚飞, 于文华, 樊明明, 刘欢, 杨昌柱, 李野, 杨家宽 (1930)
中国空气污染指数变化特征及影响因素分析	李小飞, 张明军, 王圣杰, 赵爱芳, 马潜 (1936)
南京 3 类不同大气污染过程下气溶胶水溶性无机离子的特征研究	张秋晨, 朱彬, 苏继峰, 王红磊 (1944)
深圳市郊区大气中 PM _{2.5} 的特征分析	戴伟, 高佳琪, 曹罡, 欧阳峰 (1952)
餐饮业油烟的颗粒物分析	谭德生, 邝元成, 刘欣, 戴飞鸿 (1958)
Fe-MnO _x -CeO ₂ /ZrO ₂ 低温催化还原 NO 性能研究	刘荣, 杨志琴 (1964)
自然型氨基酸及其钾盐的 CO ₂ 吸收和再生特性	晏水平, 陈竞翱, 徐明亮, 艾平, 张衍林 (1971)
耕作方式对紫色水稻土农田生态系统 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	张军科, 江长胜, 郝庆菊, 唐其文, 程炳红, 李辉, 陈璐豪 (1979)
垄作覆膜条件下田间氨挥发及影响因素	上官宇先, 师日鹏, 李娜, 韩坤, 李会科, 王林权 (1987)
添加不同 N 源条件下典型除草剂对土壤呼吸和 N ₂ O 排放的影响	孙青, 史淳星, 石坤, 言儒斌, 蒋静艳, 吴以中 (1994)
某石墨阳极法氯碱生产场地二噁英污染特征分析	余立凤, 魏文侠, 田亚静, 吴广龙, 李培中, 赵丹 (2000)
脱硫石膏对酸化森林土壤短期修复效果的研究	罗遥, 康荣华, 余德祥, 谭炳全, 段雷 (2006)
岩溶山地土壤氧化铁形态及其与成土环境的关系	张治伟, 朱章雄, 傅瓦利, 文志林 (2013)
废弃尾矿库 15 种植物对重金属 Pb、Zn 的积累和养分吸收	施翔, 陈益泰, 王树凤, 李江川 (2021)
铬胁迫对 3 种草本植物生长及铬积累的影响	王爱云, 黄姗姗, 钟国锋, 徐刚标, 刘志祥, 申响保 (2028)
湘西花垣矿区主要植物种类及优势植物重金属蓄积特征	杨胜香, 田启建, 梁士楚, 周耀渝, 邹慧成 (2038)
增施 CO ₂ 对 C3 和 C4 植物根际氯氰菊酯残留浓度的影响	慕楠, 刁晓君, 王曙光, 王鹏腾, 李攀峰 (2046)
生物强化去除吡啶的特性及微生物种群动态变化分析	乔琳, 赵宏, 王建龙 (2052)
A/O MBR 处理生活污水效率与菌群多样性的关系	邝斌宇, 史青, Montcho Leon Monthero, 丁嫚, 温东辉 (2061)
石油污染土壤生物修复过程中氮循环功能基因的动态检测	吴彬彬, 卢滇楠, 刘铮 (2068)
武汉市儿童多途径铅暴露风险评估	郝汉舟, 陈同斌, 吴基良, 雷梅, 田辉, 祖文普, 钟学斌 (2075)
电子鼻预处理装置的开发及适用性研究	卜凡阳, 文晓刚, 万梅, 刘锐, 陈吕军, 张永明 (2083)
ToxTell 生物传感器在 Cu ²⁺ 、Cd ²⁺ 冲击活性污泥系统分析中的应用	王学江, 王鑫, 刘免, 吴真, 杨连珍, 夏四清 (2090)
环境样品免疫检测基质效应分析与控制	盛建武, 何苗, 施汉昌 (2095)
热等离子体熔融固化模拟医疗废物的研究	张璐, 严建华, 杜长明, 陆胜勇, 李晓东 (2104)
城市生活垃圾组分低温干燥特性及模型研究	吴亚娟, 刘红梅, 陆胜勇, 严建华, 李晓东 (2110)
厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场产气规律的研究	韩智勇, 刘丹, 李启彬 (2118)
处理垃圾渗滤液的 Fe/C 空气阴极 MFC 性能研究	唐玉兰, 彭漫, 于燕, 何亚婷, 傅金祥, 赵玉华 (2125)
基于冗余分析的典型喀斯特山区土壤-石漠化关系研究	龙健, 廖洪凯, 李娟, 陈彩云 (2131)
北京市能源消费与经济增长关系的协整检验分析	陈操操, 张妍, 刘春兰, 王海华, 李铮 (2139)
《环境科学》征稿简则 (1877)	《环境科学》征订启事 (1890)
信息 (1822, 1857, 1896, 2138)	

非离子表面活性剂对污泥调理脱水效果的影响

侯海攀¹, 濮文虹¹, 时亚飞¹, 于文华¹, 樊明明¹, 刘欢¹, 杨昌柱¹, 李野², 杨家宽^{1*}

(1. 华中科技大学环境科学与工程学院, 武汉 430074; 2. 宇星科技发展(深圳)有限公司, 深圳 518057)

摘要: 现有污泥脱水技术仅使污泥含水率降到 80% 左右, 难以满足日益严格的污泥处置要求. 以污泥比阻(SRF)、脱水率为考察指标, 比较了两大类非离子型表面活性剂(辛基酚聚氧乙烯醚 OPEO 型和烷基糖苷 APG)对剩余污泥的脱水效果, 并对原泥及调理后污泥进行了显微观察. 结果表明, 非离子表面活性剂可使污泥絮体粒径变小, 不规则程度降低, 改善了污泥的脱水性能, 而且烷基糖苷 APG 脱水效果优于 OPEO 型. APG 投加量为 0.05% 干固体时, 污泥比阻即可降低到原泥的 42%, 脱水率可达到 93%. 以烷基糖苷 APG 为调理剂进行板框脱水实验, 结果表明, 当 APG 投加量为 0.05% 干固体时, 脱水泥饼含水率比原泥脱水泥饼含水率低约 10%, 脱水率可达到 97%. 本研究为 APG 应用于污泥脱水, 改善污泥脱水性能提供一些参考.

关键词: 非离子型表面活性剂; 污泥脱水; 污泥比阻; 脱水率; 含水率

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)06-1930-06

Influence of Non-ionic Surfactants on Sludge Dewaterability

HOU Hai-pan¹, PU Wen-hong¹, SHI Ya-fei¹, YU Wen-hua¹, FAN Ming-ming¹, LIU Huan¹, YANG Chang-zhu¹, LI Ye², YANG Jia-kuan¹

(1. School of Environmental Science and Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China; 2. Universtar Science & Technology (Shenzhen) Co. Ltd., Shenzhen 518057, China)

Abstract: The water content of dewatered sludge cake decreases to about 80% by current sludge dewatering technologies, which hardly satisfies the stricter standards of sludge disposal. In order to evaluate the effects of non-ionic surfactants on sludge dewaterability, two kinds of non-ionic surfactants (OPEO and APG) were studied by using two evaluation indexes, i. e., specific resistance to filtration (SRF) and dewatering efficiency. Moreover, morphologies of conditioned sewage sludge and raw sludge were comparatively investigated. Results showed that non-ionic surfactants can decrease the particle size of sewage sludge floc and generate more homogenous and regular shape, and then improve the dewatering efficiency. APG has better effect on sewage sludge dewatering than OPEO. SRF of conditioned sludge with APG dosage of 0.05% DS decreased to 42% of SRF of raw sludge, and its dewatering efficiency was as high as 93%. Plate-frame pressure filter experiment demonstrated that, the water content of dewatered cake conditioned with APG dosage of 0.05% DS was lower by about 10% than that of dewatered cake without APG, and its dewatering efficiency reached 97%. Therefore, this research provides some reference for the application of APG in sludge dewatering.

Key words: non-ionic surfactants; sludge dewatering; specific resistance to filtration (SRF); dewatering efficiency; water content

市政剩余污泥含水率在 98% 左右, 由于污泥的特殊胶羽结构^[1], 造成污泥处理处置困难. 现有的污泥调理脱水技术只能将含水率降到 80% 左右, 不符合污泥填埋对其含水率控制在 60%^[2] 或者焚烧含水率需在 50%^[3] 以下的要求. 如何将污泥中的结合水转化成自由水, 提高其脱水程度一直是学者们研究污泥减量化的焦点^[4,5]. 据报道^[6-11], 胞外聚合物(extracellular polymeric substances, EPS)的组成决定污泥的表面性质, 进而影响污泥脱水性能. 因此, 研究如何改变污泥表面性质(包括絮体大小及亲疏水性)对污泥脱水有着重要意义^[12,13].

使用合适的表面活性剂对污泥脱水有一定的作用. 一方面, 其增溶作用和分散作用可使某些大分子的亲水性基团如 EPS 转移至上清液中, 从而改变了污泥絮体的大小和亲疏水性, 使部分结合水转化成

自由水^[14-19]; 另一方面, 其疏水结构的缔合作用破坏污泥絮体的胶体状松散结构, 使污泥表面疏水化, 毛细结合水和表面吸附水都得以脱除^[15,20], 从而提高污泥脱水程度. 研究表明, 当两性表面活性剂甜菜碱的加入量为污泥干重的 0.08% 时, 脱水污泥的含水率比不加表面活性剂的降低约 6%^[16]; 当阳离子表面活性剂十六烷基三甲基氯化铵 CTAC 投加量为 0.738 g·(100 mL)⁻¹ 污泥时, 污泥滤饼含水率从 88.36% 降至 68.73%^[20], 而投加 15% 干固体的阳离子表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵 CTAB^[19] 可

收稿日期: 2011-08-03; 修订日期: 2011-10-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078162); 教育部新世纪人才支持计划项目(NCET-09-0392); 中央高校基本科研业务费专项(2011TS123)

作者简介: 侯海攀(1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为污泥的处理与处置, E-mail: houhaipan@163.com

* 通讯联系人, E-mail: jkyang@mail.hust.edu.cn

使污泥比阻由原来的 $5.91 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降到 $6.86 \times 10^{10} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

目前关于非离子表面活性剂用于市政污泥调理的研究鲜见报道。本研究通过比较 2 类非离子表面活性剂辛基酚聚氧乙烯醚 OPEO 和烷基糖苷 APG 对剩余污泥的脱水效果,分析不同投加量对剩余污泥的调理效果的影响,同时结合板框隔膜压滤脱水实验,以期为非离子表面活性剂在剩余污泥脱水中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 活性污泥样品

表 1 污泥的基本性质

Table 1 Characteristics of raw sludge studied

密度/ $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	pH	含水率/%	COD/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	SCOD/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	SS/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	有机物含量/%	比阻/ $\text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$
0.998	7	97.0	14 487	255.5	28	32.0	0.5169×10^{13}

1.3 污泥调理

取 300 mL 污泥于 500 mL 的烧杯中,按照不同比例投加表面活性剂,然后使用六联搅拌机 (MY3000-6,潜江梅宇仪器有限公司)进行搅拌。第一阶段搅拌速度 $300 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,时间 5 min;第二阶段搅速 $150 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,时间 25 min。

调理结束后,测定比阻,并对调理后污泥样品进行观察并拍照。为保证实验数据的代表性,单组实验重复 3 次并计算相应的标准差。

1.4 实验指标

本实验中,以污泥比阻和脱水率来衡量污泥脱水性能。

1.4.1 污泥比阻

用比阻 (specific resistance to filtration, SRF) 表征污泥的过滤性能,SRF 越小,污泥脱水性能越好^[21]。SRF 测定采用图 1 所示的自制装置^[22]。

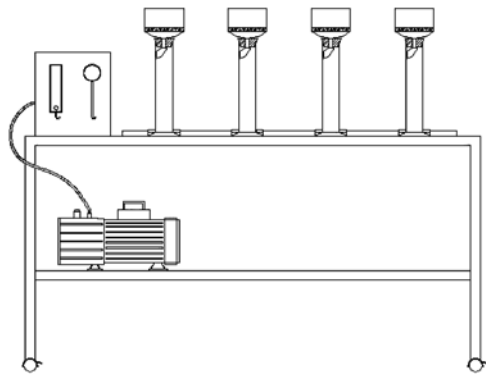


图 1 多联式污泥比阻测定装置示意

Fig. 1 Multi-coupled measuring device of sludge SRF

实验所用污泥为武汉市龙王嘴污水处理厂的剩余污泥,为减小污泥特性的变化对实验结果的影响,污泥取回后立即放入 4℃ 冰柜中冷藏,全部实验于 5 d 内完成。污泥的基本性质测定采用城市污水处理厂污泥检验方法 (CJ/T 221-2005),具体见表 1。

1.2 非离子表面活性剂

辛基酚聚氧乙烯醚 OPEO 型:A-1、A-2、A-3,纯度为 99%,亲水基:聚氧乙烯醚基;邢台科王助剂公司提供。使用前配制成质量分数为 1% 的水溶液。

烷基糖苷 APG:纯度 50%,疏水基:多糖环上的羟基;石家庄金莫尔化学品有限公司提供。使用前配制成质量分数为 1% 的水溶液。

1.4.2 脱水率

脱水率采用公式(1)计算^[23]。

脱水率_(t) (%) = $\left(\frac{m_{F(t)} - m_w}{m_s - m_{ss}} \right) \times 100$ (1)

式中, $m_{F(t)}$ 表示 t 时间的滤液质量,kg; m_w 表示调理剂所含水分质量,kg; m_s 表示污泥质量,kg; m_{ss} 表示污泥中干固体的质量,kg。

1.4.3 蛋白质及多糖测定

蛋白质测定采用 Folin-酚法^[24],多糖的测定采用蒽酮-硫酸法^[25](注:测定多糖时,烷基糖苷不产生干扰作用)。

1.4.4 固体损失率

固体损失率采用公式(2)计算。

固体损失率 (%) = $\left(1 - \frac{m_{FCS}}{m_{ss} + m_{cs}} \right) \times 100$ (2)

式中, m_{ss} 表示污泥中干固体质量,kg; m_{cs} 表示调理剂中干固体质量,kg; m_{FCS} 表示脱水泥饼干固体质量,kg。

1.4.4 浊度

使用 GDS-3A 浊度仪(上海悦丰仪器仪表有限公司提供)测定滤液浊度。

1.5 板框压滤脱水实验

在烧杯实验基础上,选择脱水效果较好的表面活性剂研究板框压滤脱水效果。板框压滤实验流程如图 2 所示。

实验采用过滤面积为 2 m^2 (250 mm × 250 mm) 的隔膜板框压滤机。污泥由泵导入搅拌罐中,

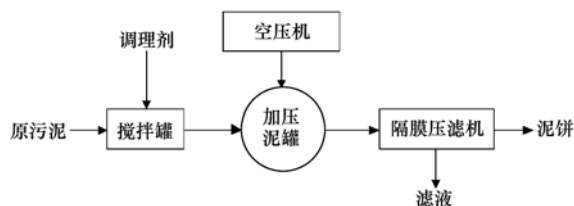


图2 隔膜压滤脱水工艺流程示意

Fig. 2 Process of plate-frame pressure filter

调理剂在低速搅拌下($50 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$)加入。调理污泥先 $300 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 搅拌 5 min, 再改为 $150 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 搅拌 25 min。搅拌结束后由螺杆泵输送至加压泥罐, 进泥过程采用阶梯加压, 压力每 2 min 升压 0.05 MPa, 压力升至 0.85 MPa 后保压, 进泥时间为 90 min。保压结束后进行隔膜压榨 10 min, 压榨压力

为 1.2 MPa。

板框压滤脱水实验主要考察过滤速度、脱水率以及固体损失率, 同时进行固液衡算, 以全面衡量调理剂的脱水效果。

2 结果与讨论

2.1 非离子表面活性剂对污泥絮体形貌的影响

用 OLYMPUS BX60 显微镜对原泥及调理后污泥进行观察。原泥及非离子表面活性剂调理后污泥的絮体形貌见图 3(放大 4 倍), 其中图 3(a) 为原泥絮体图, 图 3(b)、3(c)、3(d) 分别为用投加量为 0.1% 干固体的 A-1、A-2、A-3 调理的污泥絮体图, 图 3(e) 为用投加量为 0.05% 干固体的 APG 调理的污泥絮体图。

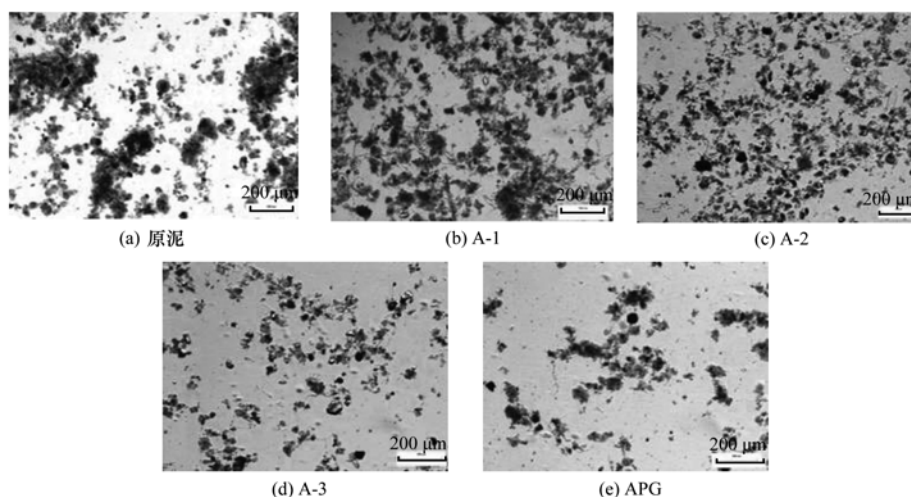


图3 原泥及调理后污泥的絮体形貌(×4)

Fig. 3 Microscopic image of raw sludge and conditioned sludge(×4)

采用 Image-Pro Plus 6.0 软件对上述的絮体照片进行处理和分析, 原泥及 A-1、A-2、A-3、APG 调理的污泥平均直径分别是 45、34、27、28、30 μm , 说明表面活性剂使污泥絮体变小, 其中使用 A-1 和 APG 调理的污泥絮体比使用 A-2 和 A-3 调理的污泥絮体直径偏大。分形维数可作为描述絮体颗粒不规则特征的参数, 分形维数越接近 1, 污泥颗粒不规则程度越小, 上述 5 种污泥的分形维数分别是 1.20、1.17、1.18、1.17、1.15, 可以看出 APG 调理的污泥絮体分形维数最接近 1, 因此不规则程度最小。

非离子表面活性剂主要通过界面吸附或胶束行为等物理过程达到相应功能。A-1、A-2 和 A-3 三者的疏水链相同, 但亲水基聚氧乙烯醚链长不同, 其中 A-1 的亲水基最短, 故其通过疏水缔合作用吸附在

污泥-水界面的能力最强, 这一吸附能力的差异在图 3(b)~3(d) 得到体现, 添加 A-1 调理后污泥絮体粒径最大。APG 的疏水基碳链数 12~14, 而 A-1 的疏水基碳链数为 8, 因此 APG 的疏水能力比 A-1 强, 但同时 APG 的亲水基——羟基亲水能力亦强于 A-1 的聚氧乙烯醚基, 结合 Image-Pro Plus 6.0 软件得出的直径数据, 发现用 APG 调理的污泥絮体比用 A-1 调理的污泥絮体小, 说明 APG 这种物质的亲水能力大于其疏水能力, 从而使得吸附在污泥-水界面的量少, 导致其絮体粒径较小。

由图 3 可知, OPEO 及 APG 两大类非离子表面活性剂都使调理污泥絮体粒径变小, 絮体不规则程度降低。但是对污泥脱水来说, 并非调理后的絮体粒径越小越好。从后面的真空抽滤实验结果来看, A-1 和 APG 调理的污泥有利于过滤脱水, 说明调理后污

泥絮体粒径要适中。

2.2 表面活性剂投加量对污泥脱水效果的影响

图4为4种非离子表面活性剂对调理污泥SRF、含水率及脱水率的影响。如图4(a)所示,随A-1、A-2及A-3投加量的增大,3种调理污泥SRF都呈现出先降后升再降的趋势,且在投加量(以干固体计,下同)为0.7%时,一致地表现出SRF最大。实验选取的OPEO型表面活性剂里,只有A-1在低投加量下调理污泥SRF比原泥SRF低,即在污泥过滤性能方面产生了正作用,而A-2及A-3对污泥过滤脱水没有产生积极作用。从图4(a)可以看出,A-1在投加量为7%时,SRF降到最低,为 $0.14 \times 10^{13} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$;投加量为0.1%时,SRF约为 $0.3 \times 10^{13} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$,比原泥SRF下降了42%。A-1在投加量为7%时,液体(1%的水溶液)投加太多,成本很高,且从图4(c)得知,此时脱水率低,因此不能算是它的最经济投加量。图4(a)显示,在投加量为0.05%~1%范围内,APG调理的污泥SRF低于OPEO型调理的污泥SRF。APG在投加量为0.05%时,其调理污泥SRF为 $0.20 \times 10^{13} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$,比原泥SRF低58%;且在低投加量范围(0.05%~0.1%),改变APG投加量对污泥SRF影响不大,但是当投加量 $>0.4\%$ 时,污泥SRF增大,过滤性能变差。

某种意义上,泥饼含水率可以表征污泥的可脱水程度,泥饼含水率越低,则污泥脱水程度越高。由图4(b)可以看出,A-1、A-2、A-3调理的污泥抽滤后泥饼含水率在投加量为0.7%时含水率最高,APG调理的污泥抽滤后泥饼含水率在投加量为0.05%时含水率最低,而且整体来看,A-1和APG调理的污泥可将含水率降至约67%,而未经调理的污泥抽滤后泥饼含水率为76%,说明A-1和APG的加入提高了污泥的脱水程度。滤饼含水率虽然是污泥脱水效果的一个非常重要的指标,但是布氏抽滤实验得到的最直观的指标是SRF,污泥含水率是SRF公式里的一个变量,故不再单独将滤饼含水率作为考察指标。综合SRF及脱水率2个考察指标来看,APG的脱水性能要好于其余3个,且APG在投加量为0.05%时调理污泥的SRF最低,脱水效果最好。

对APG调理的污泥抽滤后的滤液进行蛋白质与多糖的测定,从图5看出,随着APG投加量的增大,滤液中蛋白质与多糖的浓度变大。蛋白质和多糖主要来自胞外聚合物EPS,说明APG的加入对EPS有增溶作用。结合污泥絮体图和文献[14,16,20],认为APG首先发挥分散作用,破坏依靠EPS架桥作

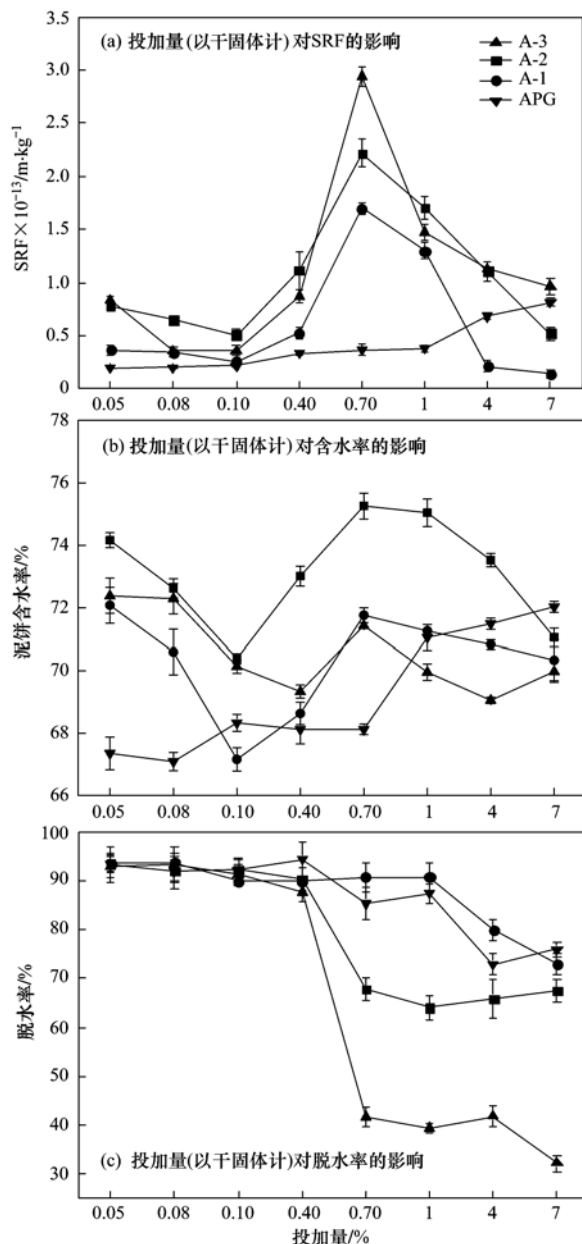


图4 4种非离子表面活性剂投加量对各评价指标的影响

Fig. 4 Dosages effects of four non-ionic surfactants on various evaluation indexes

用形成的污泥絮体结构,由此导致EPS结构破坏^[26,27],LB-EPS(loosely-bound EPS)脱离污泥絮体,APG的增溶作用(即蛋白质和多糖)则是将不溶态的LB-EPS(主要为蛋白质和多糖)变成可溶态^[28,29],从而滤液中蛋白质和多糖浓度变大。

由图4(a)和图5可看出APG在投加量为0.05%时污泥脱水效果最好。投加量增大,滤液中蛋白质和多糖含量变大,导致滤液黏度变大;同时APG投加量变大,其长疏水链(含碳数:12~14)会发挥再絮凝作用,重新包裹水分^[16]。致使在相同的过滤压力下,投加量变大而水分不易脱除,脱水效果变坏。

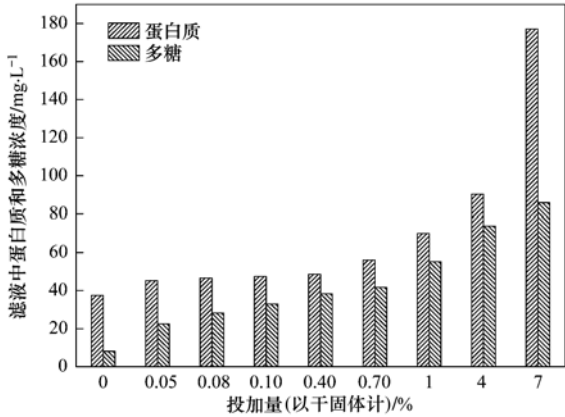
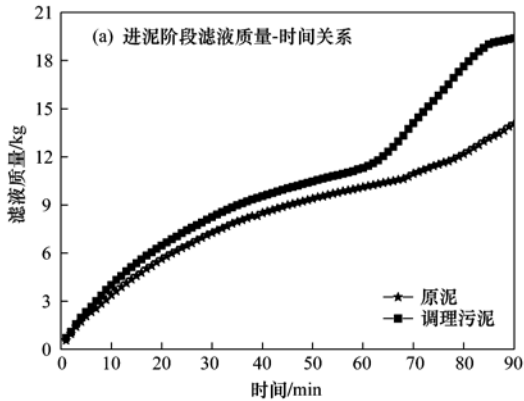


图5 滤液中蛋白质与多糖浓度与 APG 投加量关系
Fig. 5 Dosages effects of APG on proteins and polysaccharides in filtrate



2.3 板框脱水效果

根据烧杯实验结果,选择 APG 按照 0.05% 的投加量进行板框隔膜压滤脱水实验,脱水过程中滤液质量-时间关系和污泥脱水率-时间关系见图 6,板框脱水结果见表 3.

从图 6(a)可以看出,用 APG 调理的污泥过滤速度明显比原泥快,随着时间的加长,调理污泥与原泥之间的差距在不断增大,且调理污泥的脱水率高于原泥.说明用投加量为 0.05% 干固体的 APG 调理污泥,真空抽滤脱水和板框隔膜压滤脱水都可以取得很好的过滤效果.

从表 3 的板框脱水实验结果可以看出,用 APG 调理的污泥总的脱水率高达 97%,且脱水后有机质

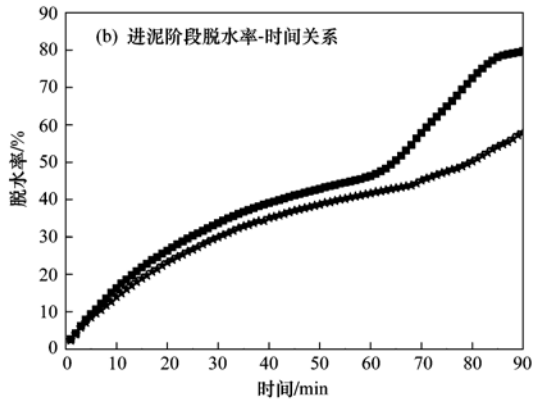


图 6 进泥阶段滤液质量和脱水率的历时曲线

Fig. 6 Duration curves of filtrate mass and water removal efficiency during feeding sludge

表 3 板框实验结果

Table 3 Sewage sludge dewatering results in the plate-frame pressure filter								
污泥	滤液量 /kg	浊度 /NTU	泥饼 /kg	泥饼含水率 /%	泥饼有机物 /%	污泥比阻 / $\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$	总的脱水率 /%	固体损失率 /%
原泥(25 kg)	14.16	36.2	0.94	65	32	0.4519×10^{13}	89	29
原泥(25 kg) + APG(0.035 kg)	19.56	48.3	0.88	55	30	0.2667×10^{13}	97	36

含量只比原泥的有机质含量下降 2%,但是脱水泥饼含水率却比原泥脱水泥饼含水率下降了 10%. 调理污泥的固体损失率 36% 比原泥稍高,且泥饼较原泥少,由表 3 的浊度数据和图 5,认为是由于 APG 使得污泥絮体的部分组成物质或者少量的小粒径的污泥转移至滤液里所致.

3 结论

(1)非离子表面活性剂可改变污泥絮体形貌,使其粒径变小,不规则程度降低,改善了污泥的脱水性能.用投加量为 0.1% 的 A-1、A-2、A-3 和投加量为 0.05% 的 APG 调理的污泥絮体平均直径分别为 34、27、28、30 μm ,均比原泥絮体粒径(45 μm)要小.

(2)真空抽滤实验表明,A-2 和 A-3 在投加量 < 1% 时使调理污泥的过滤性能变差; A-1 在投加量为 0.1% 时能使污泥 SRF 下降 42%,而 APG 在投加量为 0.05% 时调理的污泥能使污泥 SRF 降低 58%.

(3)板框隔膜压滤实验表明,APG 在投加量为 0.05% 时调理的污泥过滤速度明显快于原泥,且脱水率高达 97%,脱水泥饼含水率可降低到 55%,而有机物含量基本没降低,保持在 30%.

参考文献:

[1] 李笃中,何晶晶. 污泥性质、胶羽结构与处置[J]. 科技导报, 2009, (9): 26-29.
[2] GB/T 23485-2009, 城镇污水处理厂污泥处置混合填埋用泥质[S].

- [3] CJ/T 290-2008, 城镇污水处理厂污泥处置单独焚烧用泥质 [S].
- [4] 田禹, 方琳, 黄君礼. 微波辐射预处理对污泥结构及脱水性能的影响 [J]. 中国环境科学, 2006, **26**(4): 459-463.
- [5] 卢宁, 文一波, 魏婧娟. 污泥的电渗透脱水技术研究进展 [J]. 环境科学与管理, 2010, **35**(3): 85-95.
- [6] 倪丙杰, 徐得潜, 刘绍根. 污泥性质的重要影响物质-胞外聚合物 (EPS) [J]. 环境科学与技术, 2006, **29**(3): 108-111.
- [7] Yang S F, Li X Y. Influences of extracellular polymeric substances (EPS) on the characteristics of activated sludge under non-steady-state conditions [J]. Process Biochemistry, 2009, **44**(1): 91-96.
- [8] Li X Y, Yang S F. Influence of loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) on the flocculation, sedimentation and dewaterability of activated sludge [J]. Water Research, 2007, **41**(5): 1022-1030.
- [9] Sponza D T. Investigation of extracellular polymer substances (EPS) and physicochemical properties of different activated sludge flocs under steady-state conditions [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2003, **32**(3-4): 375-385.
- [10] 何培培, 余光辉, 邵立明, 等. 污泥中蛋白质和多糖的分布对脱水性能的影响 [J]. 环境科学, 2008, **29**(12): 3457-3461.
- [11] 郑蕾, 田禹, 孙德智. pH 值对活性污泥胞外聚合物分子结构和表面特征影响研究 [J]. 环境科学, 2007, **28**(7): 1507-1511.
- [12] Keiding K, Nielsen P H. Desorption of organic macromolecules from activated sludge: effect of ionic composition [J]. Water Research, 1997, **31**(7): 1665-1672.
- [13] Liao B Q, Allen D G, Droppo I G, *et al.* Surface properties of sludge and their role in bioflocculation and settleability [J]. Water Research, 2001, **35**(2): 339-350.
- [14] 蒋波. 阳离子型表面活性剂对活性污泥脱水性能的影响及作用机理研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [15] 李欣. 阳离子调理剂与阳离子聚电解质联合作用对活性污泥脱水及其机理研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [16] 陈银广, 杨海真, 吴桂标, 等. 表面活性剂改进活性污泥的脱水性能及其作用机理 [J]. 环境科学, 2000, **21**(5): 97-100.
- [17] 吴桂标, 杨海真, 陈银广, 等. 表面活性剂对污泥沉降及脱水性能的影响 [J]. 中国给水排水, 2001, **17**(1): 68-70.
- [18] Jin B, Wilén B M, Lant P. A comprehensive insight into floc characteristics and their impact on compressibility and settleability of activated sludge [J]. Chemical Engineering Journal, 2003, **95**(1-3): 221-234.
- [19] 鹿雯, 张登峰, 胡开林, 等. 阳离子表面活性剂对污泥脱水性能的影响和作用机理 [J]. 环境化学, 2008, **27**(4): 444-448.
- [20] 李恺, 叶志平, 李焕文, 等. 表面活性剂 CTAC 对活性污泥的脱水性能及其机理研究 [J]. 华南师范大学学报 (自然科学版), 2010, (2): 76-81.
- [21] 赵丽敏. 自来水厂污泥脱水比阻调理及处置的试验研究 [D]. 郑州: 华北水利水电学院, 2006. 22-53.
- [22] 杨家宽, 何姝, 王荣, 等. 多联式污泥比阻测定装置 [P]. 中国: 201020573496.9, 2010-10-22.
- [23] Qi Y, Thapa K B, Hoadley A F A. Benefit of lignite as a filter aid for dewatering of digested sewage sludge demonstrated in pilot scale trials [J]. Chemical Engineering Journal, 2011, **166**(2): 504-510.
- [24] 罗芳. Folin-酚试剂法蛋白质定量测定 [J]. 黔南民族师范学院学报, 2005, (3): 46-47, 72.
- [25] Gaudy A F. Colorimetric determination of protein and carbohydrate [J]. Industrial Water and Wastewater, 1962, **7**(1): 17-22.
- [26] Zita A, Hermansson M. Effects of ionic strength on bacterial adhesion and stability of flocs in a wastewater activated sludge system [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1994, **60**(9): 3041-3048.
- [27] Yu G H, He P J, Shao L M, *et al.* Stratification structure of sludge flocs with implications to dewaterability [J]. Environmental Science and Technology, 2008, **42**(21): 7944-7949.
- [28] Ramesh A, Lee D J, Hong S G. Soluble microbial products (SMP) and soluble extracellular polymeric substances (EPS) from wastewater sludge [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2006, **73**(1): 219-225.
- [29] Laspidou C S, Rittmann B E. A unified theory for extracellular polymeric substances, soluble microbial products, and active and inert biomass [J]. Water Research, 2002, **36**(11): 2711-2720.

CONTENTS

Regional Heterogeneity of Lake Eutrophication Effects in China	CAO Jin-ling, XU Qi-gong, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (1777)
Correlating Landscape Pattern with Total Nitrogen Concentration Using a Location-weighted Sink-source Landscape Index in the Haihe River Basin, China	SUN Ran-hao, CHEN Li-ding, WANG Wei, <i>et al.</i> (1784)
Impact of the Land-use Change on the Non-point Source Nitrogen Load in Yunneng Lake Watershed	MENG Xiao-yun, YU Xing-xiu, PAN Xue-qin (1789)
Residue Characteristics and Distributions of Perfluorinated Compounds in Surface Seawater Along Shenzhen Coastline	CHEN Qing-wu, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (1795)
Distribution and Potential Ecological Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments from Typical Electronics Industrial Zone	DENG Dai-yong, QIU Meng-de, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (1801)
Residues and Potential Ecological Risk Assessment of Metal in Sediments from Lower Reaches and Estuary of Pearl River	XIE Wen-ping, WANG Shao-bing, ZHU Xin-ping, <i>et al.</i> (1808)
Character and Sources Identification of Heavy Metals Contamination in Sediment from the Core Sediment in Nanshan Lake, the Zhalong Wetland	SU Dan, ZANG Shu-ying, YE Hua-xiang, <i>et al.</i> (1816)
Distribution Characteristics of Phosphorus Forms in Surface Sediments of the Shantou Bay in China	ZHAO Jian-gang, QIAO Yong-min (1823)
Microcosm Experiments on the Influence of Different N/P Ratios on Phytoplankton Community Growth in the East China Sea	HUANG Wei, ZHU Xu-yu, ZENG Jiang-ning, <i>et al.</i> (1832)
Species Composition and Distribution Characteristics of Pelagic Copepods in the Northern Sea of Fujian During Withdraw of Zhe-Min Coastal Current	WANG Yan-guo, LIN Jing-hong, WANG Chun-guang, <i>et al.</i> (1839)
PAHs Concentrations in Aquatic Products and Food Safety Evaluation in the Coupled Mangrove Planting-Aquaculture Ecological System	CHEN Guan-qiu, LI Yao-chu, HUANG Jin-mu, <i>et al.</i> (1846)
Tissue Distribution and Bioconcentration Factors of Tetrabromobisphenol A in Five Fishes in Lake Chaohu	YANG Su-wen, WANG Sheng-rui, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (1852)
Induction Effects of Pentachlorophenol on Vitellogenin and p53 in Chinese Rare Minnow (<i>Gobiocypris rarus</i>)	XIONG Li, MA Yong-peng, ZHANG Xiao-zheng, <i>et al.</i> (1858)
Effects of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Exposure on Vitellogenin mRNA Level in Zebrafish (<i>Brachydanio rerio</i>)	CHENG Yan, CUI Yuan, DANG Zhi-chao, <i>et al.</i> (1865)
Relationship Between Electron Transfer Capacity and <i>Fluorescence Characteristics</i> of Dissolved Organic Matter	TAO Ya, YUAN Tian, ZHOU Shun-gui, <i>et al.</i> (1871)
Characterization of the Change in DOM During Municipal Secondary Effluent Treatment with Magnetic Ion Exchange Resin by 3DEEM	YANG Jian, GAO Jin-hua, CHANG Jiang (1878)
Reverse Osmosis Membrane Fouling by Humic Acid Using XDLVO Approach; Effect of Calcium Ions	YAO Shu-di, GAO Xin-yu, GUO Ben-hua, <i>et al.</i> (1884)
Growth, Removal of Nitrogen and Phosphorus, and Lipid Accumulation Property of <i>Scenedesmus</i> sp. LX1 in Aquaculture Wastewater	MA Hong-fang, LI Xin, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (1891)
Iron Chloride for Simultaneous Denitrification and Chemical-Biological Flocculation Process	WANG Hong-jie, DONG Wen-yi, LIU Li-sha, <i>et al.</i> (1897)
Characteristic Research of Shortcut Denitrification in Synthetic Ammonia Industrial Wastewater Treatment Process	LI Yan, LI Ze-bing, MA Jia-xuan, <i>et al.</i> (1902)
Stability Control of Aerobic Granules Using an Innovative Reactor	LI Zhi-hua, YANG Fan, LI Sheng, <i>et al.</i> (1907)
Description of the Stability of Granules Using Nongrowth-related Parameters	LI Zhi-hua, WU Jun, LI Sheng, <i>et al.</i> (1913)
Enhancement of Anaerobic Digestion of Excess Sludge by Acid-Alkali Pretreatment	YUAN Guang-huan, ZHOU Xing-qiu, WU Jian-dong (1918)
Pilot Validation of Sludge Concentration Partition at Small Reflux Ratio Condition	SHI Si, WANG Su-lan, LI Rui, <i>et al.</i> (1923)
Influence of Non-ionic Surfactants on Sludge Dewaterability	HOU Hai-pan, PU Wen-hong, SHI Ya-fei, <i>et al.</i> (1930)
Variation Characteristics and Influencing Factors of Air Pollution Index in China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i> (1936)
Characteristics of Aerosol Water-Soluble Inorganic Ions in Three Types Air-Pollution Incidents of Nanjing City	ZHANG Qiu-chen, ZHU Bin, SU Ji-feng, <i>et al.</i> (1944)
Characterization of Atmospheric PM _{2.5} in the Suburb of Shenzhen	DAI Wei, GAO Jia-qi, CAO Gang, <i>et al.</i> (1952)
Analysis on Oil Fume Particles in Catering Industry Cooking Emission	TAN De-sheng, KUANG Yuan-cheng, LIU Xin, <i>et al.</i> (1958)
Low-Temperature Catalytic Reduction of NO over Fe-MnO _x -CeO ₂ /ZrO ₂ Catalyst	LIU Rong, YANG Zhi-qin (1964)
CO ₂ Absorption and Regeneration Performance of a Natural Amino Acid and Its Potassium Salt	YAN Shui-ping, CHEN Jing-ao, XU Ming-liang, <i>et al.</i> (1971)
Effects of Tillage-Cropping Systems on Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agro-Ecosystems in a Purple Paddy Soil	ZHANG Jun-ke, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (1979)
Factors Influencing Ammonia Volatilization in a Winter Wheat Field with Plastic Film Mulched Ridges and Unmulched Furrows	SHANGGUAN Yu-xian, SHI Ri-peng, LI Na, <i>et al.</i> (1987)
Effects of Typical Herbicides on Soil Respiration and N ₂ O Emissions from Soil Added with Different Nitrogen Fertilizers	SUN Qing, SHI Chun-xing, SHI Kun, <i>et al.</i> (1994)
Analysis of Characteristics of Dioxin Contamination in the Chlor-alkali Site that Uses Graphite Anode for Production	YU Li-feng, WEI Wen-xia, TIAN Ya-jing, <i>et al.</i> (2000)
Effect of Flue Gas Desulfurization Gypsum Application on Remediation of Acidified Forest Soil	LUO Yao, KANG Rong-hua, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2006)
Morphology of Soil Iron Oxides and Its Correlation with Soil-Forming Process and Forming Conditions in a Karst Mountain	ZHANG Zhi-wei, ZHU Zhang-xiong, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2013)
Pb, Zn Accumulation and Nutrient Uptake of 15 Plant Species Grown in Abandoned Mine Tailings	SHI Xiang, CHEN Yi-tai, WANG Shu-feng, <i>et al.</i> (2021)
Effect of Cr(VI) Stress on Growth of Three Herbaceous Plants and Their Cr Uptake	WANG Ai-yun, HUANG Shan-shan, ZHONG Guo-feng, <i>et al.</i> (2028)
Bioaccumulation of Heavy Metals by the Dominant Plants Growing in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, TIAN Qi-jian, Liang Shi-chu, <i>et al.</i> (2038)
Effect of CO ₂ Fertilization on Residual Concentration of Cypermethrin in Rhizosphere of C3 and C4 Plant	MU Nan, DIAO Xiao-jun, WANG Shu-guang, <i>et al.</i> (2046)
Bioaugmented Removal of Pyridine and the Microbial Community Dynamic Analysis	QIAO Lin, ZHAO Hong, WANG Jian-long (2052)
Relationship Between Sewage Treatment Efficiency and Bacterial Community Diversity in an A/O MBR	KUANG Bin-yu, SHI Qing, Montcho Leon Monthero, <i>et al.</i> (2061)
Dynamic Changes in Functional Genes for Nitrogen Cycle During Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil	WU Bin-bin, LU Dian-nan, LIU Zheng (2068)
Risk Assessment of Lead Exposure from Different Intake Pathways for Children in Wuhan City	HAO Han-zhou, CHEN Tong-bin, WU Ji-liang, <i>et al.</i> (2075)
Implementation of a Pretreatment Device for an Electronic Nose	BU Fan-yang, WEN Xiao-gang, WAN Mei, <i>et al.</i> (2083)
Copper and Cadmium Toxicities to Activated Sludge Investigated with ToxTell Biosensor	WANG Xue-jiang, WANG Xin, LIU Mian, <i>et al.</i> (2090)
Matrix Effect and Control of Immunoassay for Environmental Samples	SHENG Jian-wu, HE Miao, SHI Han-chang (2095)
Study on Vitrification of Simulated Medical Wastes by Thermal Plasma	ZHANG Lu, YAN Jian-hua, DU Chang-ming, <i>et al.</i> (2104)
Study on the Low Temperature Drying of Components of Municipal Solid Waste and Its Model Analysis	WU Ya-juan, LIU Hong-mei, LU Sheng-yong, <i>et al.</i> (2110)
Aerogenesis Evolution of the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin (2118)
Performance of Microbial Fuel Cells with Fe/C Catalyst Carbon Felt Air-Cathode for Treating Landfill Leachate	TANG Yu-lan, PENG Man, YU Yan, <i>et al.</i> (2125)
Relationships Between Soil and Rocky Desertification in Typical Karst Mountain Area Based on Redundancy Analysis	LONG Jian, LIAO Hong-kai, LI Juan, <i>et al.</i> (2131)
Energy Consumption and GDP Growth in Beijing: Cointegration and Causality Analysis	CHEN Cao-cao, ZHANG Yan, LIU Chun-lan, <i>et al.</i> (2139)

《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6月15日 33卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 6 Jun. 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

国内外公开发行人