

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

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

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清端,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响

朱海凤, 周立祥, 王电站*

(南京农业大学资源与环境科学学院环境工程系, 南京 210095)

摘要: 采用嗜酸性氧化亚铁硫杆菌 *Acidithiobacillus ferrooxidans* LX5 对供试污泥进行生物沥浸处理, 并通过与化学酸化试验对比, 从 Zeta 电位、溶胞作用及污泥絮体的形态结构等方面研究了污泥生物沥浸的酸化效应对其脱水性能的影响. 结果表明, 生物酸化过程中, 随着 pH 的下降, 污泥比阻由 $1.81 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降到 $0.59 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$, 污泥沉降率不断提高, 在 pH 2.90 时达到 48%, 污泥 Zeta 电位逐渐升高, 从 -25.2 mV 升至 9.6 mV. 化学酸化试验中, 随着 pH 的下降, 污泥比阻先降低再升高, 并在 pH 3.35 时取得最小值 $2.6 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$, Zeta 电位逐渐上升, 于 pH 2.90 时趋于 0. 污泥中可溶性磷浓度随着 pH 下降不断升高, pH 调至 1.86 时, 污泥液相中总磷 (TP) 浓度超过 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 进一步通过显微镜对污泥絮体的观察发现, 强酸会导致污泥中微生物细胞分解. 在 pH 3.35 左右, 化学酸化污泥和生物酸化污泥的颗粒结构都没有发生明显变化, 但生物酸化污泥中存在一些可能是次生矿物的晶体. 污泥 Zeta 电位趋近于 0、次生矿物的形成是生物沥浸的酸化效应使城市污泥脱水性能提高的内因.

关键词: 生物沥浸; 化学酸化; 城市污泥; 脱水性能; 次生矿物

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0916-06

Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching

ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan

(Department of Environmental Engineering, College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Batch experiments were performed to exploit the effect and the mechanism of bioleaching on sludge dewaterability by the inoculation of *Acidithiobacillus ferrooxidans* LX5 in this study. Besides, chemical leaching experiments using sulphuric acid were also performed as control to study the effect of acidification on sludge dewaterability. During the processes of both biological and chemical leaching, Zeta potential, cell lyses, morphology and structure of sludge flocs were monitored. Results showed that along with the acid production and hence the decrease of pH during bioleaching, the specific resistance of bioleached sludge decreased systematically from $1.81 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $0.59 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$, whilst Zeta potential increased from -25.2 mV to 9.6 mV, and the natural sedimentation rate increased to as high as 48% at pH 2.90. In chemical leaching, the specific resistance decreased continuously to a minimum value of $2.6 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ at pH 3.35 and then started to increase. Zeta potential increased with the decrease of pH, and reached zero at pH 2.90. At strong acid condition, sludge cells could be decomposed, resulting in the increase of total dissolved phosphorus in centrifugal liquor of chemical leached sludge. However, this phenomenon was not observed in bioleaching process because that the phosphorus was utilized by the abundant microorganism in system. Observation by SEM showed that there was no obvious change in the flocs structure of both sludge at pH 3.35 except for that some secondary minerals appeared only in bioleached sludge. These results revealed that decrease of absolute value of Zeta potential and formation of secondary minerals caused by bioleaching were responsible for the improvement of sludge dewaterability.

Key words: bioleaching; chemical acidification; sewage sludge; dewaterability; secondary minerals

活性污泥法目前被广泛应用于处理城市污水以及各种工业废水,产生的剩余污泥经浓缩脱水后,泥饼的含水率很高,通常在 80% 以上^[1],给无论是填埋、焚烧还是其他的再利用等后续的处理处置都带来了很大的不便,因此进一步的深度脱水使污泥减容减重具有很大的经济价值.

生物沥浸是利用嗜酸性硫杆菌氧化污泥中还原性硫和铁,去除污泥固相中重金属的一种无害化新技术^[2,3],本课题组通过多年研究发现,该方法不仅能够有效去除污泥中的重金属,而且还能明显改善污泥的沉降性能和机械脱水性能,并且 pH 的降低

是重要原因之一^[4]. 已有很多研究表明化学酸化处理能提高污泥的脱水性能. Neyens 等^[5]证明热酸水解技术能较好地改善污泥脱水性,且最适 pH 在 3 左右. Chen 等^[6]认为 pH 的降低可能导致 EPS 的溶解而提高城市污泥脱水性能. 郑蕾等^[7]发现强酸条件下活性污泥中生物细胞易于破碎而释放出胞内物

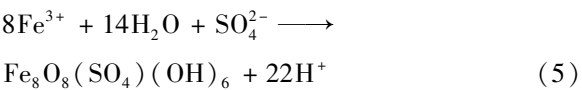
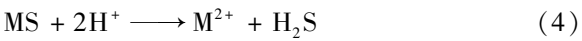
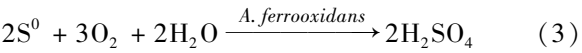
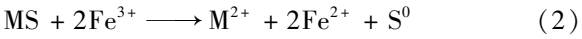
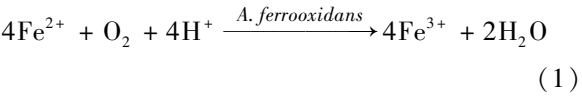
收稿日期: 2011-05-06; 修订日期: 2011-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(20977048); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2009AA06Z317)

作者简介: 朱海凤(1987~),女,硕士研究生,主要研究方向为固体废物处理与处置, E-mail: zhuhaifenghong@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: dzwang@njau.edu.cn

质和水.生物沥浸过程中 H^+ 主要来源于污泥中还原性硫的氧化和三价铁离子的水解成矿^[8],反应方程式如下:



然而由于微生物的参与,生物沥浸中的酸化过程比单纯的化学酸化更为复杂,为研究生物酸化效应对

污泥脱水性能的影响,本研究采用嗜酸性氧化亚铁硫杆菌对供试污泥进行生物沥浸处理,并通过与化学酸化过程比较,重点从 Zeta 电位、溶胞作用以及污泥形态与结构等多方面深入研究生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响,以期对生物沥浸处理城市污泥的工程化应用提供必要的理论基础.

1 材料与方法

1.1 供试污泥

供试污泥取自无锡市太湖新城污水处理厂的污泥浓缩池,其中包括来自一沉池和二沉池的污泥,由于取样时间段里该厂污泥中混入了较多量泥沙,污泥有机质含量相对较低.污泥的基本理化性质如表 1.

表 1 污泥的理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of sludge

pH	$E_{\text{Zeta}}/\text{mV}$	含固率/%	有机质含量/%	自然沉降率/%	比阻 R $\times 10^{13}/\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$	Fe^{3+} 浓度 $/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
7.23	-22.2	5.2	27.5	25	1.03	0

1.2 化学酸化试验

分别在一系列 500 mL 三角瓶中,加入 250 mL 供试污泥,将三角瓶置于 28℃ 摇床(180 r·min⁻¹)中培养,随后按如下设计:在 2 h 内,分 8 次等时间间隔分别加入 14.08 mol·L⁻¹ 的硫酸溶液 0、0.30、0.65、0.90、1.20、1.75、2.25、3.40 mL,然后继续振荡 30 min,使其 pH 稳定后,每个处理设 3 个重复,取样测定其 pH、R、自然沉降率、Zeta 电位和污泥中可溶性磷和 Fe³⁺ 的浓度,并拍摄部分样品的显微照片和 SEM 照片.

1.3 生物沥浸试验

1.3.1 接种物的制备

将本研究组以前分离的氧化亚铁硫杆菌 *Acidithiobacillus ferrooxidans* LX5 纯菌株接种到 150 mL 的改进型 9K 培养基中,添加营养物质 Fe²⁺,置于 28℃ 摇床(180 r·min⁻¹)中扩大培养,直至菌体细胞数量达约 10⁸ 个·mL⁻¹,如此反复两次后吸取 15 mL 此培养基到 135 mL 新鲜污泥中并添加 2 g·L⁻¹ 的能源物质,直至菌体细胞数量达约 10⁸ 个·mL⁻¹,再吸取 15 mL 此污泥到 135 mL 新鲜污泥中,如此重复 2 次,所得驯化污泥即为接种物^[9].

1.3.2 生物沥浸试验

在一系列 500 mL 三角瓶中,加入 225 mL 供试污泥,按 2 g·L⁻¹ 添加能源物质,接种物按污泥量

10% 加入,三角瓶置于 28℃ 摇床(180 r·min⁻¹)中振荡培养,培养过程中 pH 在 48 h 内不断下降,分别于 0、4、10、24、30、36 h 取样,每次取三瓶污泥样品,测定其 pH、R、自然沉降率、Zeta 电位和污泥中可溶性磷和 Fe³⁺ 的浓度,并拍摄部分样品的显微照片和 SEM 照片.每次取样后采取称重法补充蒸发的水分.

1.4 分析方法

采用 pHS-3C 精密 pH 计(上海雷磁厂)测定污泥的 pH 值;Zeta 电位值 E_{Zeta} 通过 Colloidal Dynamics Zeta 电位测定仪测得;污泥的比阻 R 采用采用布氏滤斗-真空抽滤法^[10]测定;污泥沉降试验如下:取 100 mL 污泥样品于 100 mL 的量筒中,自然沉降 24 h 后,记录污泥固相高度.为了直观地观察到污泥絮体的形态,通过 Nikon 显微摄影仪 DS-Fi1 对样品在 10×10 放大倍数下进行拍照.另外,由于污泥中的可溶性磷大部分来自于细胞内的物质,根据污泥中可溶性磷浓度的变化能判断微生物细胞的溶胞程度^[11].污泥中可溶性磷和 Fe³⁺ 的测量方法如下:取 10 mL 污泥于离心管中,经 8 000 r·min⁻¹ 离心 10 min 后过 0.45 μm 滤膜,取滤液用钼酸铵分光光度法测定可溶性磷的浓度,邻菲罗琳比色法测定上清液中 Fe³⁺ 的浓度.电镜扫描仪 (SEM-505, PHILIPS) 观测化学酸化污泥和生物沥浸污泥的形态差异.

2 结果与讨论

2.1 不同 pH 下生物酸化污泥和化学酸化污泥比阻的变化

原始污泥加入 $14.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸溶液的化学酸化过程中,不同 pH 处理下污泥比阻的变化以及生物酸化过程中比阻随 pH 的变化如图 1 所示。

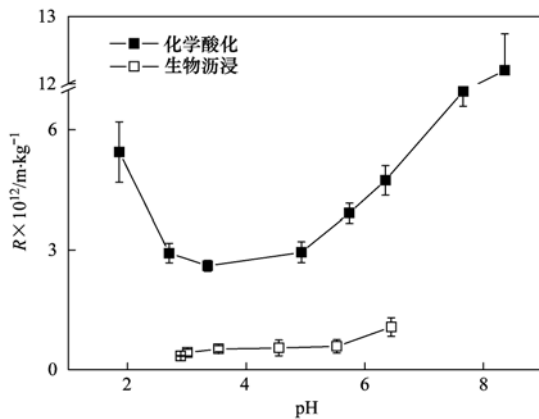


图 1 不同 pH 处理对化学酸化污泥和生物酸化污泥比阻的影响

Fig. 1 Influence of pH on specific resistant of chemical acidified sludge and bioleached sludge

由图 1 可以看出,生物沥浸过程中,随着 pH 的下降,污泥脱水性能明显提高,污泥比阻由 $1.81 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降到 $0.59 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$,下降了 $2/3$,化学酸化污泥比阻在该 pH 范围内总的来说也是随 pH 下降而下降的,由 $4.73 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降到 $2.6 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$,下降了不到 $1/2$,当 pH 低于 3.35 后,污泥比阻出现上升的趋势.生物沥浸污泥的比阻始终比化学酸化污泥比阻低很多,分析较高浓度三价铁及其聚合物的存在是主要原因之一^[7],因为生物沥浸微生物能氧化污泥中的铁为三价铁.为证明这一结论,试验中对污泥液相中三价铁离子浓度同时进行了测定,结果显示化学酸化污泥液相中 Fe^{3+} 浓度随 pH 下降由 $12.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 降至 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,而生物酸化污泥液相中 Fe^{3+} 浓度最终仍为 $12.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,始终高于化学酸化污泥,从而一定程度上为上述解释提供了佐证,但最大原因仍然是如下文所述的污泥颗粒表面电荷密度的降低所致。

2.2 不同 pH 下生物酸化污泥和化学酸化污泥沉降性能的变化

自然沉降率能较好地反应污泥的沉降脱水性能,图 2 反应了化学酸化和生物酸化污泥到达不同 pH 时的 24 h 自然沉降率。

由图 2,化学酸化和生物酸化污泥的 24 h 自然

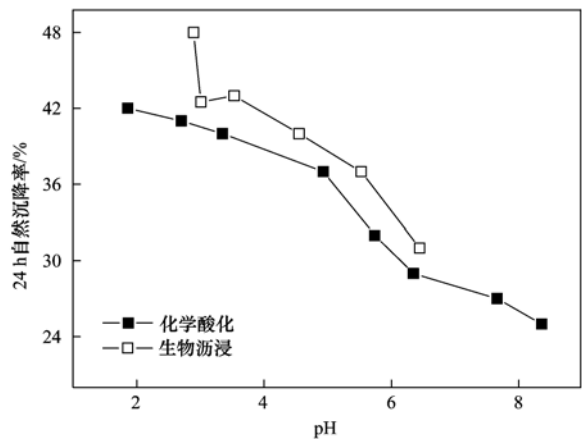


图 2 不同 pH 处理对化学酸化污泥和生物沥浸污泥沉降率的影响

Fig. 2 Effect of different pH on the natural sedimentation rate of chemical acidified sludge and bioleached sludge

沉降率都随着 pH 的下降而升高.沥浸刚开始时,由于加入了 10% 的接种物,沥浸污泥的沉降率由原始污泥的 25% 升高到 32%,随着 pH 的下降,最终达到 48%,污泥体积几乎下降了原体积的 $1/2$,而化学酸化污泥沉降率在 pH 达到 1.86 时最高,为 42%.姚毅^[12]认为:影响活性污泥沉降脱水性能的因素可能主要有 EPS、污泥形态结构、颗粒大小、污泥密度和硬度等.本试验中污泥沉降性能随着 pH 的下降不断提高,主要有 2 个原因:一是由于根据 DLVO 理论^[13],表面电位的绝对值减小导致静电斥力下降,胶粒之间双电层排斥作用降低,从而使胶粒脱稳、胶体粒子相互碰撞形成较紧实凝聚体,进而使污泥絮凝能力增加;二是对于化学酸化污泥,随着 pH 的下降,细胞破裂、细胞液的释放越来越严重^[14],污泥固相的密度增加,导致污泥压缩系数增加,固相更容易压实沉降。

2.3 不同 pH 下生物酸化污泥和化学酸化污泥 Zeta 电位的变化

Zeta 电位是反映胶体和悬浮物稳定性的重要指标,在胶体脱稳的过程中,最常用的方法是压缩双电层,降低胶体颗粒表面的 Zeta 电位^[15,16].图 3 是不同 pH 下生物酸化污泥和化学酸化污泥 Zeta 电位。

随着 pH 下降,化学酸化和生物酸化污泥 Zeta 电位的变化趋势大致相同,都是逐渐上升的.生物沥浸污泥起始 Zeta 电位为 -25.2 mV ,pH 降至 2.90 时 Zeta 电位升至 9.6 mV ,且 pH 下降过程中,生物酸化污泥优先化学酸化污泥取得零点,相对应的 pH 分别是约为 3.20 和 2.90.在 EPS 中,蛋白质和多糖

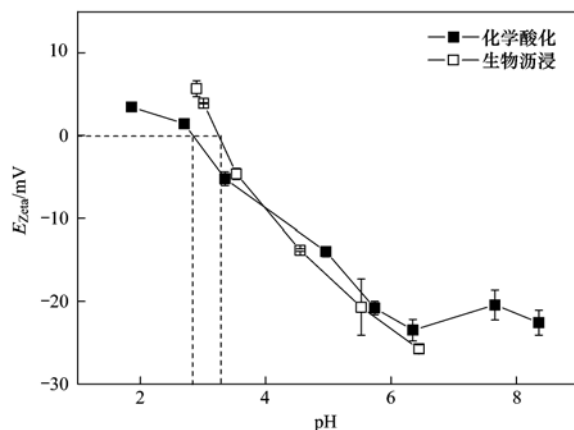


图3 不同 pH 处理对化学酸化污泥和生物沥浸污泥 Zeta 电位的影响

Fig. 3 Effect of different pH on Zeta potential of chemical acidified sludge and bioleached sludge

分别是负电荷和正电荷的提供者,另外,由于污泥胞外 EPS 含有较多的硫酸根、磷酸根和羧基等带有负电的官能团及少量带正电的官能团,所以几乎所有的污泥表面电位都是呈负电性^[17]. 笔者分析随着生物沥浸的进行,嗜酸性硫杆菌不断产生 H^+ , 与污泥表面的带负电的官能团中和,甚至进一步破坏污泥 EPS 中的蛋白质,最终导致污泥 Zeta 电位的上升. Wu 等^[18]发现当污泥的 Zeta 电位趋于 0 时,污泥颗粒中的结合水分子会更容易被脱除掉,也就是说更易于脱水. 而生产实践中却发现带少量正电荷更有利于污泥脱水^[19]. 有人已经证实了泥絮体的絮凝能力、表面电位、疏水性、黏性等这些物理参数对污泥絮体和水结合能力影响最大^[20]. 因此,生物酸化导致污泥 Zeta 电位提高是生物沥浸污泥的脱水性能提高的主要原因之一,这和宋兴伟等^[4]的研究是一致的.

2.4 不同 pH 下生物酸化污泥和化学酸化污泥液相中总磷浓度的变化

污泥中的可溶性磷大部分来自于细胞内的物质,因而根据污泥中可溶性磷浓度的变化能判断微生物细胞的胞溶程度^[11]. 生物酸化与化学酸化过程中污泥中可溶性磷随 pH 的变化情况如图 4 所示.

由图 4 可以看出,生物沥浸污泥液相中几乎没有检测到可溶性磷的存在,可能是由于生物沥浸污泥中磷始终被系统中丰富的微生物利用所致. 而化学酸化污泥在 pH 从 8.36 ~ 5.74 的变化过程中,污泥中可溶性磷的浓度几乎为零. 随着 pH 的继续下降,污泥液相中总磷的浓度开始缓慢升高,当 pH 降

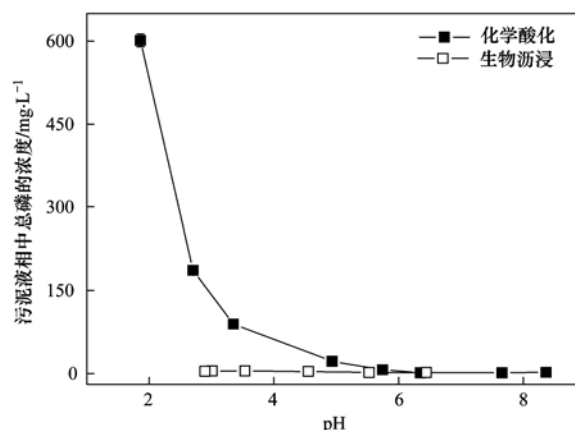


图4 不同 pH 处理下化学酸化污泥和生物沥浸污泥液相中总磷浓度的变化

Fig. 4 Effect of different pH on the TP in solution of chemical acidified sludge and bioleached sludge

到 3.35 以下时,总磷浓度急剧升高,最大达到 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,胞溶作用明显. 进一步通过污泥絮体形态的观察发现,用硫酸将污泥 pH 调至 1.86 时,污泥絮体遭到了破坏,污泥颗粒明显减小,说明强酸可以使细胞易于破碎,释放出胞内物质,这和郑蕾等^[7]的研究是一致的.

2.5 不同 pH 下生物酸化污泥和化学酸化污泥絮体形态的变化

为了直观地观察到污泥絮体的形态,拍摄了部分污泥样品的显微照片,如图 5 所示.

根据图 5(b)和 5(d),pH 3.35 左右时,生物沥浸污泥和化学酸化污泥的显微照片看不出明显区别,但相比较原始污泥污泥颗粒分布相对更均匀. 而由图 5(a)与 5(c)的比较可看出,用硫酸将 pH 调到 1.86 时,污泥絮体遭到了破坏,污泥颗粒明显减小,这与图 4 反应的胞溶作用一致. 污泥的絮体性质,尤其是尺寸分布,小颗粒数对污泥脱水性能的影响较大^[21]. Dulin 等^[22]报道污泥脱水性能的恶化是由于污泥中有机质的分解,污泥尺寸及密度的下降. 因此分析污泥絮体遭到破坏,污泥颗粒变小是化学酸化污泥在 pH 低于 3.35 后污泥比阻上升的原因之一.

2.6 原始污泥及 pH 3.35 时生物酸化污泥和化学酸化污泥的扫描电镜照片 (SEM)

污泥体系非常复杂,污泥颗粒的形态结构对污泥脱水性能有一定影响. 本课题组曾拍摄到制革污泥经生物沥浸后污泥颗粒的结构发生了明显变化,由疏松的絮状体变成紧实的块状体^[23],因此试验中拍摄了原始污泥及 pH 约为 3.35 条件下化学酸化

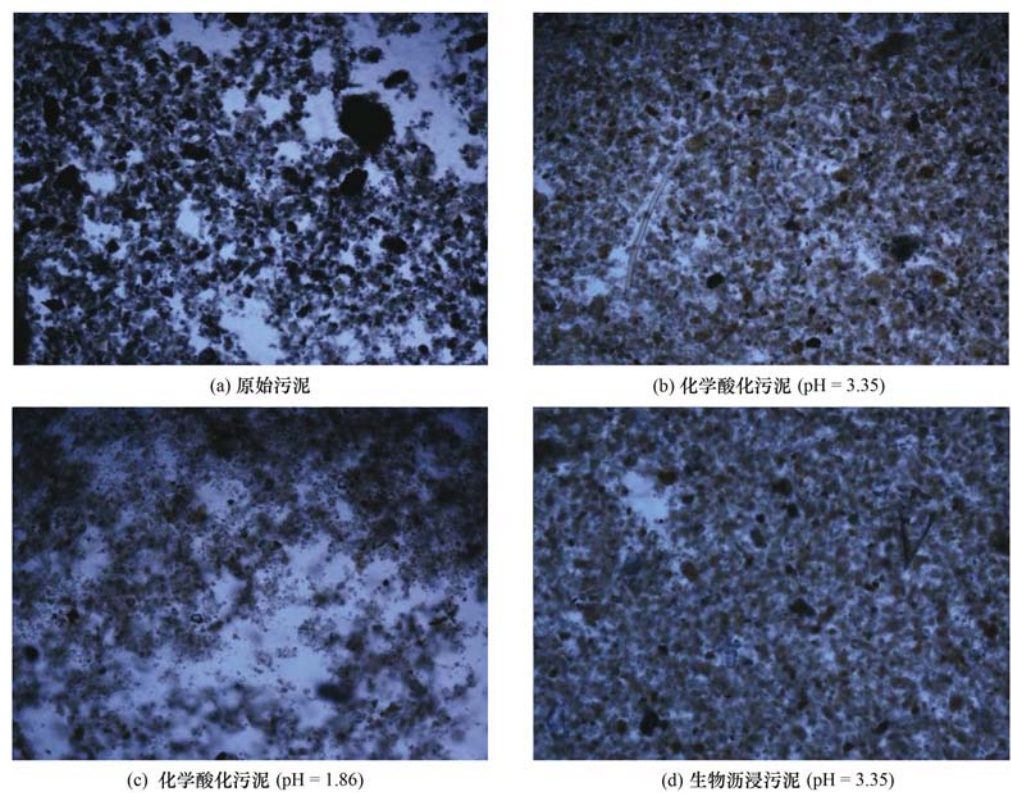


图5 显微照片(10×10)

Fig. 5 Microscopy photographs

污泥和生物沥浸污泥的电镜扫描照片,如图6所示.化学酸化污泥和生物沥浸污泥颗粒结构与原始污泥看不出明显差别.然而明显看出的是,生物沥浸污泥中有更多晶体的存在,且晶体与污泥稳定结合,而原始污泥和酸化污泥中则很少.研究表明,在利用复合硫杆菌进行生物沥浸的过程中,伴随着pH的下降,污泥中有次生矿物的生成,并初步判定生物沥浸中有施威特曼石生成^[24].因此笔者判断图6中的晶体

可能即是次生矿物.笔者分析矿物的形成可能对污泥的Zeta电位能起一定的中和作用,且矿物密度较大,利于污泥的压实沉淀,再者,矿物能够作为污泥絮体的框架支撑形成可渗透的刚性点阵,从而改变污泥在可压缩性能^[25],因此推测次生矿物的形成对污泥脱水性能的提高能起一定的积极作用.因此次生矿物的形成可能也是生物沥浸污泥脱水性能始终优于化学酸化污泥的原因之一.

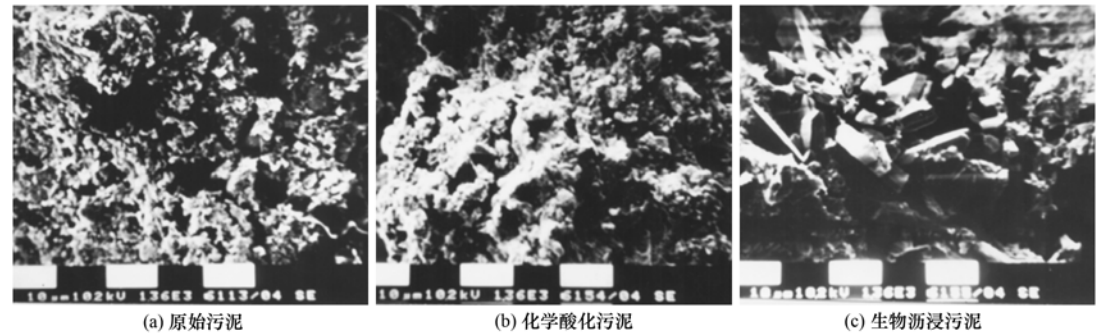


图6 原始污泥及pH 3.35左右时化学酸化污泥和生物沥浸污泥的SEM照片(×1360)

Fig. 6 SEM images of sewage sludge, chemical acidified sludge at pH 3.35 and bioleached sludge at pH 3.35

3 结论

(1)生物酸化过程中,随着pH的下降,污泥比

阻由 $1.81 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降到 $0.59 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$,下降了2/3,沉降率不断提高,pH降到2.90时污泥体积减少近50%,污泥Zeta电位逐渐升高,从-25.2

mV 升至 9.6 mV,促进了污泥脱水性能的提高。

(2) 化学酸化污泥在 pH 从 8.36 到 1.86 的范围内,比阻随着 pH 的下降先降低再上升,并在 pH 3.35 时取得最小值,约为原始污泥的 1/4,随后随着 pH 的继续下降,污泥比阻反而上升,分析主要是因为污泥絮体结构在强酸下遭到破坏,污泥絮体颗粒变小。另外,扫描电镜中看出,pH 3.35 左右,化学酸化污泥和生物酸化污泥颗粒的结构都没有发生明显变化,但生物酸化污泥中能看到一些晶体的存在。

(3) 生物酸化污泥的脱水性能在 pH 6.45 ~ 2.90 范围内始终优于化学酸化污泥,生物沥浸中产生了一些可能是次生矿物的晶体,对污泥的脱水性能提高有一定的积极作用。

参考文献:

- [1] 袁园, 杨海真. 污泥化学调理和机械脱水方面的研究进展[J]. 上海环境科学, 2003, **22**(7): 499-518.
- [2] Zhou L X, Fang D, Wang S M, *et al.* Bioleaching of Cr from tannery sludge: the effects of initial acid addition and recycling of acidified bioleached sludge [J]. Environmental Technology, 2005, **26**(3): 277-284.
- [3] 陈浩, 周立祥, 李超. 空气提升式反应器处理制革污泥的中试研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(9): 2046-2051.
- [4] 宋兴伟, 周立祥. 生物沥浸处理对城市污泥脱水性能的影响研究[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(10): 2012-2017.
- [5] Neyens E, Baeyens J, Weemaes M, *et al.* Hot acid hydrolysis as a potential treatment of thickened sewage sludge[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, **98**(1-3): 275-293.
- [6] Chen Y G, Yang H Z, Gu G W. Effect of acid and surfactant treatment on activated sludge dewatering and settling[J]. Water Research, 2001, **35**(11): 2615-2620.
- [7] 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.
- [8] 周顺桂, 周立祥. 污泥生物淋滤过程中黄铁矾对重金属离子的吸附与共沉淀作用的模拟研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, **26**(5): 966-970.
- [9] 周顺桂, 周立祥, 黄焕忠. 黄钾铁矾的生物合成与鉴定[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, **24**(9): 1140-1143.
- [10] 周立祥. 固体废物处理处置与资源化[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007. 120-130.
- [11] 程洁红, 俞清, 朱南文, 等. 高温好氧消化对不同类型污泥的脱水性能影响[J]. 中国给水排水, 2006, **22**(5): 24-29.
- [12] 姚毅. 活性污泥的表面特性与其沉降脱水性能的关系[J]. 中国给水排水, 1996, **12**(1): 22-26.
- [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] 李恺, 叶志平, 王凤英, 等. 冷融技术联合化学调理对污泥脱水性能的影响及其机理[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(3): 536-543.
- [15] Chu C P, Lee D J. Experimental analysis of centrifugal dewatering process of polyelectrolyte flocculated waste activated sludge[J]. Water Research, 2001, **35**(10): 2377-2384.
- [16] Schneider C, Hanisch M, Wedel B, *et al.* Experimental study of electrostatically stabilized colloidal particles: colloidal stability and charge reversal[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2011, **358**(1): 62-67.
- [17] 蔡春光, 刘军深, 蔡伟民. 胞外多聚物在好氧颗粒化中的作用机理[J]. 中国环境科学, 2004, **24**(5): 624-626.
- [18] Wu C C, Wu J J. Effect of charge neutralization on the dewatering performance of alum sludge by polymer conditioning [J]. Water Science and Technology, 2004, **44**(10): 315-319.
- [19] 赵庆祥. 污泥资源化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 3-12.
- [20] Jin B, Wilén B M, Lant P. Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge[J]. Chemical Engineering Journal, 2004, **98**(1-2): 115-126.
- [21] Sørensen P B, Christensen J R, Bruus J H. Effect of small scale solids migration in filter cakes during filtration of wastewater solids suspensions[J]. Water Environment Research, 1995, **67**(1): 25-32.
- [22] Dulin B E, Knocke W R. The Impact of incorporated organic matter on the dewatering characteristics of aluminum hydroxide sludges[J]. Journal American Water Works Association, 1989, **81**(5): 74-79.
- [23] 王电站, 周立祥, 何锋. 生物淋滤法提高制革污泥脱水性能的研究[J]. 中国环境科学, 2006, **26**(1): 67-71.
- [24] Liao Y H, Zhou L X, Bai S Y, *et al.* Occurrence of biogenic schwertmannite in sludge bioleaching environments and its adverse effect on solubilization of sludge-borne metals [J]. Applied Geochemistry, 2009, **24**(9): 1739-1746.
- [25] Chen C Y, Zhang P Y, Zeng G M, *et al.* Sewage sludge conditioning with coal fly ash modified by sulfuric acid [J]. Chemical Engineering Journal, 2010, **158**(3): 616-622.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-pei, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《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3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 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