

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM_{2.5} 郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小红 (817)

北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究 林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷 (826)

气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔 (835)

密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析 路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明 (842)

冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量 何真, 陆小兰, 杨桂朋 (849)

2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化 李绪录, 周毅频, 夏华永 (857)

渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析 周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文 (864)

青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化 王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼 (874)

漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选 徐华山, 徐宗学, 刘品 (882)

面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法 邹锐, 周环, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成 (892)

九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献 罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙 (900)

修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影 (907)

去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究 李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍 (914)

北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究 李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽 (919)

城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险 温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲 (927)

城市景观娱乐水体微生物风险评价 孙博, 沙婧, 张一帆, 刘彦华 (933)

模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究 李伟, 赵晶, 余健, 任文辉 (943)

膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究 范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军 (950)

γ -Al₂O₃负载磷钨酸催化强化电化学法处理水中酸性大红3R的研究 岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛 (955)

活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学 杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可 (962)

ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究 杨波, 钟启俊, 李方, 田晴 (968)

O₃-BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律 余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军 (974)

规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究 王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥 (979)

连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究 牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹 (986)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(I)——模型的建立 张超, 陈银广 (993)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(II)——动力学模拟 张超, 陈银广 (998)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(III)——模型的应用 张超, 陈银广 (1004)

三峡水库两条支流水-气界面CO₂、CH₄通量比较初探 李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔 (1008)

不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素 陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇 (1017)

黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素 周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利 (1026)

层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估 姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强 (1034)

海州湾滩涂重金属污染的历史记录 张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威 (1044)

草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价 张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波 (1055)

大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析 程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅 (1062)

典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估 李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶 (1067)

典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估 李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏 (1076)

城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究 陈秀端, 卢新卫, 杨光 (1086)

典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义 龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲 (1094)

生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究 张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水 (1101)

三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究 孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉 (1107)

Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素 钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西 (1114)

新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险 马子龙, 毛潇萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强 (1120)

青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源 何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花 (1129)

太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布 马召辉, 金军, 元奎奎, 王英, 姜霞, 何松浩, 李明圆 (1136)

典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析 刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍 (1142)

柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性 谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明 (1150)

机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究 牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强 (1156)

污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较 崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶 (1161)

固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响 刘敬勇, 孙水裕, 陈涛 (1166)

铸造废砂的环境毒性研究 张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰 (1174)

Cr⁶⁺生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征 侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强 (1181)

反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析 于皓, 王爱杰, 陈川 (1190)

农业废物好氧堆肥中环境因子对nirK、nirS和nosZ数量的影响 胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明 (1196)

蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应 林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲 (1204)

有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究 周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明 (1211)

新建核电站风险信息沟通实证研究 贺桂珍, 吕永龙 (1218)

《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)

铸造废砂的环境毒性研究

张海凤¹, 王玉珏^{1,2*}, 王劲麟³, 黄天佑⁴, 熊鹰⁵

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 清华大学环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 3. 昆明理工大学管理与经济学院, 昆明 650093; 4. 清华大学机械系, 北京 100084; 5. 重庆长江造型材料(集团)有限公司, 重庆 400700)

摘要: 采用毒性特性浸出程序、顶空气相色谱技术检测了 5 种铸造废砂中的重金属与有机污染物, 采用发光细菌毒性检测技术和土壤酶活性实验研究了废砂的生物效应。结果表明, 由于浇注金属与造型材料的不同, 5 种铸造废砂中的金属与有机污染物成分和浓度均有较大差异。其中, 铸铁与铸钢废砂浸出液中的铁离子, 铸铝废砂中的 As 离子超出了《地表水环境标准》规定的最大允许检出浓度。5 种废砂中的有机污染物种类十分复杂, 对发光细菌表现出不同程度的抑菌活性, 发光强度的抑制率在 30% ~ 95% 之间。此外, 土壤酶活性实验结果表明, 废砂中的金属污染物可能会抑制土壤中微生物的活性, 而有机物则对土壤微生物的活性有一定的促进作用。因此, 铸造废砂的随意排放将会对环境造成较严重的威胁。

关键词: 铸造废砂; 毒性特性浸出程序; 挥发性有机物; 发光细菌; 重金属

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-1174-07

Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand

ZHANG Hai-feng¹, WANG Yu-jue^{1,2}, WANG Jin-lin³, HUANG Tian-you⁴, XIONG Ying⁵

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Department of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 4. Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 5. Chongqing Changjiang Molding Material Group Co., Ltd., Chongqing 400700, China)

Abstract: The metal leaching characteristics and volatile organic compounds (VOCs) of five different types of waste foundry sands were analyzed with the toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) and head space-gas chromatography (HS-GC). MicrotoxTM and soil dehydrogenase activity (DHA) tests were then used to evaluate the bio-effects of these waste sands. The results showed that due to the different metals poured and casting materials used to make the sand molds, there was significant difference among the five waste foundry sands in the compositions and concentrations of metal and organic pollutants. The concentrations of Fe in the leachates of iron and steel casting waste foundry sand exceeded the maximal allowable concentrations specified in the National Standard of Drinking Water Quality, whereas the As concentration in the leachate of aluminum casting waste foundry sand exceeded the standard. The five waste foundry sands had quite different compositions and levels of VOCs, which resulted in different levels of inhibition effects on the luminescent bacteria (30% and 95%). Additionally, the soil DHA tests suggested that metal pollutants in waste foundry sands may inhibit the soil microbial activity, whereas organics in the sands may slightly promote the microbial activity. The results of this study indicated that the waste foundry sands may pose considerable threat to the environment when improperly disposed.

Key words: waste foundry sands; toxicity characteristic leaching procedure (TCLP); volatile organic compounds (VOCs); luminescent bacteria; heavy metals

金属铸造业是汽车、机械制造等行业的基础产业, 在国民经济中具有十分重要的地位。在多种铸造方式中, 砂型铸造由于造型材料来源广泛、成本低廉、工艺简单等优点, 在世界上被普遍使用。据统计, 在我国和世界范围内, 砂型铸件约占铸件生产总量的 70% ~ 80%^[1]。然而, 砂型铸造会产生大量的铸造废砂。据统计, 我国每生产 1 t 铸件约产生 0.7 ~ 1 t 的废砂^[2], 我国铸造业每年约排放各类废砂 3 000 万 t^[3]。铸造废砂的主要成分为硅砂、黏土、煤粉、有机黏结剂等铸造原材料及其热解残余物, 其中含有多种污染物, 主要是由煤粉和有机粘合剂热解产生的有机污染物(如苯、甲苯、苯酚、多环芳

烃等)与浇注金属中带入的重金属污染物(如铜、铅、铬、砷等)。此外, 部分废砂中还可能含有呋喃、二噁英等持久性有机污染物^[4,5]。铸造废砂如不适当的处理处置, 将会严重污染土壤和水体^[6,7]。另一方面, 铸造废砂的物理与工程性质与很多行业所需原材料的性质相近, 有巨大的回用价值。因此, 铸造

收稿日期: 2012-05-24; 修订日期: 2012-09-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(51008175); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2009AA06A417-08)

作者简介: 张海凤(1981~), 女, 博士后, 主要研究方向为污染物的环境生物毒性, E-mail: zhanghaifeng@mail.tsinghua.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: wangyujue@tsinghua.edu.cn

废砂的再生与回用可产生巨大的环境和经济效益,近年来在各国日益受到重视.例如,美国环保署从 2009 年将铸造废砂资源化作为优先考虑的项目,并制定了在 2015 年铸造废砂回用率达到 50% 的目标^[8].

目前,铸造废砂再生与回用过程中的主要问题是缺乏对铸造废砂环境安全性的系统研究.由于铸造工艺和原材料的多样化,铸造废砂中的污染物种类和含量相差巨大.但目前针对铸造废砂污染物及其环境毒性的研究较少,缺乏可供参考的数据,这造成了铸造废砂再生与回用的环境安全性不明确,严重制约了铸造废砂再生与回用的实践与推广^[8-10],导致大量铸造废砂被作为固体废物随意排放和堆弃,严重污染环境并浪费了大量宝贵资源.

鉴于此,本研究的主要目的是研究我国多种典型铸造废砂的环境安全性,为铸造废砂的再生与回用提供基础数据支持.采用毒性特性浸出程序(toxicity characteristic leaching procedure, TCLP)^[11]和顶空气相色谱法分析了我国多种典型铸造废砂中重金属的浸出特性和有机污染物的种类及含量,采用 MicrotoxTM(发光细菌毒性检测)与土壤脱氢酶活性法分析了铸造废砂对水体及土壤中微生物的生物效应.

1 材料与方法

1.1 材料

本研究中使用的铸造废砂由不同铸造厂提供,共包括 5 类废砂(表 1).废砂经过破碎,过 0.6 mm 筛后,保存在 4℃ 的冰箱内待测.

表 1 供试废砂样品描述

Table 1 Description of the waste foundry sands

样品	浇注金属	说明
废砂 A	铸铁	冷芯热芯混合砂,SO ₂ 固化
废砂 B	铸铁	湿型砂,砂芯为酚醛树脂砂
废砂 C	铸铝	热塑型酚醛树脂覆膜砂
废砂 D	铸钢	酚醛树脂砂
废砂 E	铸铁	呋喃树脂砂

土壤取自北京大兴区的果园,过 2 mm 筛后保存于 4℃ 的冰箱内待测.

废砂浸出液生物毒性的检测采用明亮发光细菌冻干粉,细菌的最适生长盐度约为 3%.

1.2 实验方法

1.2.1 铸造废砂浸出液中金属的测定

TCLP 程序是美国环保署制定的用于评价固体

废弃物中有毒污染物浸出行为的方法^[11],该方法已被国外研究者用于研究铸造废砂中金属元素的浸出行为^[12, 13].称取一定量的废砂加入提取瓶内,然后加入超纯水浸出液,固液比为 1:20,盖紧后将提取瓶固定在振荡器上,在室温下(200 ± 4) r·min⁻¹振荡提取(18 ± 2) h.提取结束后,将样品 10 000 r·min⁻¹离心 5 min,上清液通过 0.45 μm 滤膜过滤.收集滤液,测量并记录滤液的 pH 值.调节滤液的 pH 值使其 < 2.0,放入 4℃ 冰箱内保存直至测定.采用 ICP-MS 测量滤液中金属的含量.

1.2.2 铸造废砂中挥发性有机物的测定

顶空气相色谱质谱法(head space-gas chromatography, HS-GC)参照 Dungan 等^[14]的报道.称取 5 g 铸造废砂放入 20 mL 玻璃顶空瓶内,加入 10 mL 甲醇后密封,静置提取废砂中的挥发性有机物,然后采用自动进样的方式直接导入气相色谱-质谱(岛津 GC-MS QP 2010)仪进行分离和检测.

1.2.3 废砂浸出液生物毒性的测定

铸造废砂浸出液的生物毒性采用 MicrotoxTM 技术检测,该方法具有灵敏、快速、成本低等优点,被广泛地应用于水体、底泥、土壤及铸造废砂的重金属、有机污染物的毒性检测^[7, 15-18].具体步骤如下.

(1) 铸造废砂浸出液的制备方法参见 1.2.1 节.为了提高浸出液中金属及有机污染物的浓度,选择固液比为 1:4^[7].

(2) 浸出液毒性测试方法:用 3% NaCl 溶液将发光细菌冻干粉悬浮并稀释至一定浓度,摇匀.取 96 孔酶标板,向板内加入 100 μL 待测样品溶液(不同废砂的浸出液,盐度采用浓 NaCl 溶液调整至 3%)及 3% NaCl 溶液(阴性对照),吸取 100 μL 稀释菌液加入各孔内.快速混匀,用仪器测定 30 min 内的发光强度.每个处理重复 2 次.测定结果以对细菌发光强度的抑制率表示.

1.2.4 土壤酶活性实验

取 90 g(干重)砂土混合物(废砂的比例为 30%)放入 250 mL 试剂瓶内,调节土壤的含水量为 22%(最大含水量的 50%),松松地盖上盖子,置于 25℃ 环境中培养 4 周.每天用重量法控制土壤水分.土壤脱氢酶活性采用 VonMersi^[19]和 Dungan^[20]等报道的方法进行.具体表述为:培养期结束后,称取 0.65 g(干重为 0.5 g)砂土混合样品置于 50 mL 离心管内,加入 0.75 mL Tris 缓冲溶液(pH 7.0),1 mL 5 mg·mL⁻¹的碘硝基四唑紫(iodonitrotetrazolium violet, INT)溶

液,将离心管密封,摇匀,置于40℃暗室中培养2 h,每隔20 min 剧烈振荡一次. 培养结束后,向离心管内加入10 mL 提取液(*N,N*-二甲基甲酰胺和乙醇1:1的混合物),混合均匀后密封,然后放置于暗室中提取1 h,每隔20 min 剧烈振荡一次. 1 h后取出,过滤,取上清液采用紫外可见分光光度计(HACH DR 5000)测量464 nm 处的吸光度.

2 结果与讨论

2.1 废砂浸出实验结果

废砂浸出液中的pH值与金属含量分析结果见表2(最后一列为文献[21]规定的金属离子最大允许检出浓度). 不同铸造厂的废砂pH差异较大. 除废砂C浸出液呈弱碱性,处于地表水环境质量标准规定的pH范围内(pH 6~9),其余4种铸造废砂的pH均超过这一范围. 其中,废砂A、B、D为碱性,而废砂E为酸性. 这主要是因为废砂E是呋喃树脂砂,在造型制芯过程中使用酸性固化

剂;在浸出实验过程中,酸性基团可能进入浸出液内,导致浸出液偏酸性. 当固液比为1:20时,废砂浸出液中大多数金属离子的浓度较小,未超过地表水环境质量标准规定的浓度. 但是,除铸铝废砂C外,其余4种废砂浸出液中的Fe离子均超过文献[21]规定的阈值,这与这4种废砂的浇注金属为铸铁和铸钢有关. 此外,废砂C浸出液中的As、废砂E浸出液中的Mn离子的浓度也超过文献[21]规定的阈值.

废砂中的重金属主要来自浇注金属和造型材料中的杂质. 废砂C中As超标的原因可能与废砂C(铸铝)的浇注温度较低有关. 由于As属于挥发-冷凝型元素,在高温时容易挥发^[22, 23]. 笔者推测,当浇注金属为铸铁和铸钢时(浇注温度1450~1600℃),As易挥发排放到空气中;而当浇注金属为铸铝时,由于浇注温度较低(700~800℃),As的挥发量相对较小,残留在废砂中的量较多. 因此,铸铝废砂(废砂C)中残留的可浸出性As含量较高.

表2 铸造废砂浸出液中金属浓度¹⁾

Table 2 Concentrations of metals in the TCLP leachates of waste foundry sands

项目	废砂 A	废砂 B	废砂 C	废砂 D	废砂 E	地表水 ^[21]
pH	9.79	9.81	7.28	10.43	3.13	6~9
Mg/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	4 560.98	6 125.98	330.58	95.48	2 654.98	
Al/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	16 620	23 900	81.05	1 890	7 600	
Fe/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	9 388	10 180	36.87	611.7	23 550	300
Be/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	0.16	0.19	0.003	0.03	0.27	2
B/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	40.16	47.08	ND	21.08	2.32	500
Mn/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	24.28	31.61	4.27	9.04	126.80	100
Co/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	0.67	0.58	0.02	0.34	6.60	1 000
Ni/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	1.12	0.90	0.77	1.96	12.29	20
Ag/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	0.13	0.09	0.06	0.13	0.01	
Pb/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	1.71	2.13	0.49	1.38	5.13	100
V/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	16.16	13.3	0.31	7.16	1.11	50
Cr/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	2.97	3.909	0.46	10.63	11.68	100
Cu/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	ND	0.40	ND	7.66	17.38	1 000
Zn/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	ND	2.65	7.67	ND	152.21	2 000
As/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	16.87	17.57	236.73	4.77	1.54	100
Cd/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	0.03	0.04	0.06	0.02	0.23	10
Ba/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	24.91	28.21	6.26	1.72	26.1	700
Sum/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	30 698.15	40 354.64	705.603	2 663.1	34 168.65	

1) 黑体表示浸出液中该金属的浓度超过文献[21]规定的最大允许检出浓度

2.2 铸造废砂中挥发性有机污染物的定性检测

铸造废砂中挥发性有机污染物的定性检测结果表明,各种废砂中残留的有机污染物差别较大(表3). 这些有机污染物主要是由造型材料中的有机物(如煤粉、树脂黏结剂)热解产生的. 由于这5种铸造废砂使用的铸造原材料不同,其热解产生的有机污染物也有较大区别^[24~29]. 此外,废砂中的有机污

染物含量还与铸造过程中金属的浇注温度有关. 有研究表明,浇注温度越高,铸造过程中产生的挥发性有机污染物越多^[9, 30]. 其它因素也可能对废砂中的有机污染物含量产生较大影响,如铸件大小、砂型和砂芯的尺寸比例、废砂的处理、储存和运输条件等.

废砂A中检测到的主要挥发性有机污染物为

芳香族化合物及其衍生物,还含有少量的萘.这与文献[31]报道冷芯盒树脂砂热解产物主要是苯系物的结果一致;废砂 B(湿型砂)中检测到的挥发性有机物质的成分较少,主要是丙酮、苯与甲苯,与文献[24]报道的煤粉热解空气污染物主要成分为苯、甲苯与二甲苯相吻合.在质谱全扫描的模式下,废砂 C 中检测到的挥发性有机物较少,主要成分为二

甲胺,推测是由热塑性酚醛树脂砂所使用的硬化剂六亚甲基四胺热解产生^[32].废砂 D 中的污染物以小分子物质、甲苯、甲基萘为主.废砂 E 中检测到的挥发性有机物质的成分较为复杂,除了苯系物,还有呋喃衍生物及一些杂环组分.其中,苯系物主要是由呋喃树脂砂所使用的苯磺酸固化剂产生,而呋喃衍生物则由呋喃树脂热解产生^[29].

表 3 铸造废砂中挥发性有机物(VOCs)的定性检测

Table 3 Qualitative results of volatile organic compounds in waste foundry sands

样品	出峰顺序	化合物中文名称	化合物英文名称	样品	出峰顺序	化合物中文名称	化合物英文名称	
废砂 A	1	乙醛酸	glyoxylic acid	废砂 D	6	甲苯	toluene	
	2	三氯甲烷	trichloromethane		7	苯甲酸-S-(2-甲氧基-乙基)硫酸酯	benzoic, acid, thio-, S-(2-methoxy-ethyl) ester	
	3	苯	benzene		8	L-脯氨酸,N-甲氧基羰基-辛酯	l-proline, N-methoxy carbonyl-, octyl ester	
	4	甲苯	toluene		9	2-庚基-1,3-二氧戊环	2-heptyl-1,3-dioxolane	
	5	2-氯丙基苯	(2-chloropropyl) benzene		10	2-甲基萘	2-methylnaphthalene	
	6	2-甲基-4,6-辛二炔-3-酮	2-methyl-4,6-octadiyn-3-one		废砂 E	1	2,3-环氧-1-丙醇	1-propanol, 2,3-epoxy-
	7	乙苯	ethylbenzene			2	丙酮	acetone
	8	脲基甲酸苯酯	phenyl aminocarbonylcarbamate			3	正己烷	hexane
	9	4-甲基苯戊酮	4-methyl-pentanoylbenzene			4	苯	benzene
	10	萘	naphthalene			5	四氯化碳	carbon tetrachloride
	11	2-庚基-1,3-二氧戊环	2-heptyl-1,3-dioxolane	6		甲苯	toluene	
	12	3,4-二甲基苯乙酮	3,4-dimethylacetophenone	7		1-戊烯	1-pentene	
	13	2-甲基萘	2-methylnaphthalene	8		2-乙基呋喃	2-ethylfuran	
废砂 B	1	氰基乙酰胺	cyanoacetamide,	9	4-苄氧基-3-甲氧基-2-硝基苯甲酸	4-benzyloxy-3-methoxy-2-nitrobenzoic acid		
	2	丙酮	acetone	10	5-甲基糠醛	2-formyl-5-methylfuran		
	3	2,4-二甲基戊烷	2,4-dimethylpentane	11	丙酸酐	methylacetic anhydride		
	4	苯	benzene	12	Alpha,N-二甲基-N-苯甲基苯乙胺(苄非他明)	N-benzylamphetamine		
	5	甲苯	toluene	13	2,1-苯丙异恶唑	2,1-benzisoxazole		
	6	2-(苄氧基)苯酚	2-(benzyloxy) phenol	14	7-色氨酸	alpha-amino-1H-pyrrolo(2,3-b) pyridine-3-propionic acid azatryptophan		
	7	2-庚基-1,3-二氧戊环	2-heptyl-1,3-dioxolane	15	2-乙基-6-苯基-1,3,4-噻二唑(3,2-a)(1,3,5)-三嗪-5,7-二酮	2-ethyl-6-phenyl-1,3,4-thiadiazolo(3,2-a)(1,3,5)-triazine-5,7-dione		
	8	N-乙基-2-氨基丙酰胺	N-ethyl-2-aminopropanamide	16	4-甲基苯戊酮	4-methyl-pentanoylbenzene		
废砂 C	1	二甲胺	dimethylamine	17	萘	naphthalene		
	2	偶氮甲烷	diazene, dimethyl-	18	2-甲基萘	2-methylnaphthalene		
	3	正己烷	hexane					
	4	四氯化碳	carbon tetrachloride					
废砂 D	1	环氧乙烷	ethylene oxide					
	2	甲乙酐	acetic formic anhydride					
	3	正己烷	hexane					
	4	乙酸	acetic acid					
	5	四氯化碳	carbon tetrachloride					

实验进一步对废砂中挥发性和毒性较大的苯、甲苯、二甲苯和三甲苯进行了定量检测(采用质谱选择离子扫描方式),检测结果见表 4.从中看出,废砂 A 和 B 中检测到的物质较为相似,苯、甲苯、二甲苯的含量均较高,其中苯的含量最高,其次是甲苯.废砂 C 中检测到少量苯与甲苯,这与废砂 C 的浇注温度较低有关(铸铝,浇注温度为 700 ~ 800℃).废砂 D 中只检测到少量苯,而废砂 E 没有定量检测到上述任何苯系物,这主要是因为呋喃树脂

高温下容易分解,产物主要以烯烃与烷烃为主^[33].

由于定量检测中采用的样品量较少(2.0 g),废砂中有些含量较少的挥发性有机物只能间歇性检测到,未对其进行定量;并且实验中采用的顶空气相色谱法可检测的物质种类有限,对于一些分子量较大、沸点较高的有机物质难以检测出来(如多环芳烃).所以表 3 与表 4 中显示的定性与定量得到的物质不完全相同.

表 4 铸造废砂中 BTX 的定量分析¹⁾/μg·kg⁻¹Table 4 Quantitative detection of BTX in waste foundry sands/μg·kg⁻¹

化合物	废砂 A	废砂 B	废砂 C	废砂 D	废砂 E
苯	6.90	5.25	0.15	0.15	NQ
甲苯	2.75	1.30	0.20	NQ	NQ
对(间)甲苯	0.70	0.15	NQ	NQ	NQ
邻二甲苯	0.25	0.05	NQ	NQ	NQ
1,3,5-三甲苯	0.10	NQ	NQ	0.35	NQ

1) NQ: 表示未定量; 废砂中有些物质含量较少, 间歇性检测到, 因此未对其进行定量

2.3 铸造废砂浸出液生物毒性研究

铸造废砂中的重金属与有机污染物会渗透进入地表水或地下水, 对废砂的生产场地及堆放场地的水与土壤环境产生影响. 废砂浸出液生物毒性的研究表明, 5 种铸造废砂的浸出液(固液比 1:4)对发光细菌的发光强度均有明显的抑制作用(图 1), 15 min 时的发光强度抑制率均大于 30%. 其中, 树脂废砂 C、D、E 的抑制率最为显著, 15 min 内即可使细菌的发光强度降低 90% 以上.

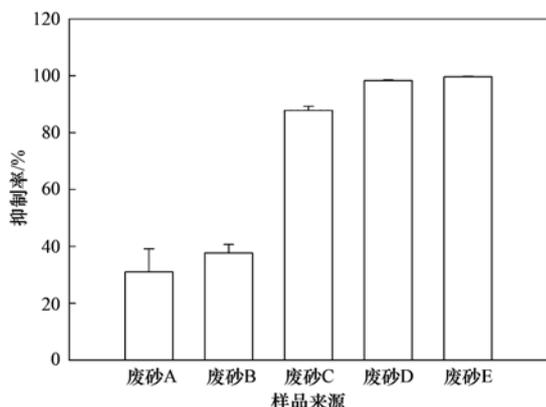


图 1 铸造废砂浸出液(固液比 1:4)对发光细菌发光强度的影响

Fig. 1 Inhibition effects of waste foundry sand leachates on the luminous intensity of luminescent bacteria

废砂浸出液生物毒性与浸出液的 pH、浸出液中重金属与有机物含量有关. 有报道显示, 测试体系 pH 在 5.0~9.0 的范围内, 发光细菌的发光强度不会受到明显的影响, 而当超出这个范围, 发光强度会迅速降低^[34]. 结合表 2 结果, 废砂 A 和废砂 B 浸出液的 pH 均大于 9.0 (分别为 9.79 和 9.81), 对发光细菌的影响不可忽略. 并且废砂 A 与 B 浸出液中的金属含量除 Fe 的含量超出文献[21]中规定的浓度, 其余金属的含量均未超出规定范围, 因此浸出液中金属离子对发光细菌的发光强度影响较小. 然而, 废砂 A、B 中均含有较多的苯与甲苯等有毒有机污染物(表 4), 对发光细菌有一定的抑制作用. 因此, 推测废砂 A、B 浸出液的 pH 值与挥发性有机

污染物含量过高是发光细菌发光强度下降的主要原因.

废砂 C 浸出液的 pH 为 7.28, 接近中性; 因此, 浸出液中 pH 值对细菌的发光强度影响较小. 然而, 废砂 C 浸出液中 As 的含量远远超出国家地表水规定的 As 的浓度范围(表 2), 并且表 4 显示废砂 C 中可检测到的有毒挥发性有机污染物含量较少, 说明浸出液的毒性可能主要来自于废砂中可溶性 As 的浸出, 这对环境中生物的影响不可忽略.

废砂 D 浸出液的 pH 10.43, 远超过发光细菌的最适生长 pH, 对细菌的发光强度具有显著的影响. 浸出液中除了 Fe 离子外, 其余金属离子的浓度均未超出国家规定的范围, 而且挥发性有毒物质苯的含量较低, 甲苯与二甲苯均未检出. 由此推测浸出液的 pH 是影响细菌发光强度的主要因素.

废砂 E 浸出液的 pH 3.13, 浸出液中 Fe、Mn 的浓度均超出地表水规定的浓度范围, 对细菌的发光强度具有一定的影响; 并且废砂 E 中含有呋喃衍生物等难降解有机污染物, 这可能是其浸出液毒性的其它来源.

废砂 C、废砂 D 与废砂 E 均为有机树脂砂, 在浇注过程中, 型砂或芯砂中的有机黏结剂部分热解, 未热解部分仍残留在铸造废砂中, 这些黏结剂对环境生物的影响不可忽略. 有报道显示多环芳烃能够明显抑制发光细菌的发光强度^[35].

2.4 铸造废砂对土壤脱氢酶活性的影响

为检测铸造废砂堆放对生产场地和废弃场地的环境影响, 笔者将废砂与土壤以一定比例混合一段时间后测定土壤脱氢酶的活性研究. 脱氢酶是土壤中的主要酶类之一, 其活性被用于表征土壤中微生物活性和功能多样性, 同时也可用于简单的毒性检测及作为重金属和有机物污染检测的指示物^[36~40]. 图 2 显示的是废砂与土壤混合 4 周后土壤脱氢酶的检测结果. 结果显示, 当废砂的掺杂量为 30% 时, 废砂 A 和废砂 B 对土壤脱氢酶活性具有明显的抑制作用; 与没有废砂掺杂的土壤脱氢酶活性相比, 抑

制率分别为 41.29% 和 43.12%。而废砂 C 和废砂 D 则对土壤脱氢酶活性具有不同程度的促进作用, 与对照组相比脱氢酶活性分别升高了约 32% 和 13%。废砂 E 对土壤酶活性的影响较小, 与对照组相比无显著性差异。

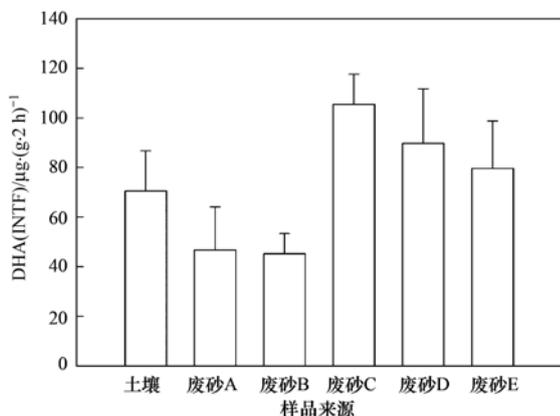


图 2 铸造废砂掺杂对土壤脱氢酶活性的影响

Fig. 2 Effects of foundry sand blending (blending ratio of 30%) on the soil dehydrogenase activity

有研究表明,废砂中的金属污染物对土壤酶活性有抑制作用,而废砂中的有机物质对微生物生长有一定的促进作用^[20]。这主要是因为废砂中的有机物质可以为微生物的生长提供碳源,因此能够促进微生物的生长。结合表 2 废砂中可浸出金属浓度结果可以看出,废砂 A 和废砂 B 浸出液中的金属含量较高,导致土壤脱氢酶活性显著下降;废砂 E 浸出液中金属含量介于废砂 A 与废砂 B 之间,但废砂 E(呋喃树脂砂)中可能残留较多的未热解的有机黏结剂(表 3),这些黏结剂可以作为微生物生长的碳源^[20],因此能够削弱废砂中金属对酶活性的毒性影响。而废砂 C 与废砂 D 中金属含量较少,并且这两种砂均为树脂砂,废砂中残留的有机黏结剂较多,尤以废砂 C(铸铝砂)中残留的有机物质最多,因此废砂 C 和废砂 D 添加对土壤脱氢酶活性没有观察到抑制作用,而有明显的促进土壤酶活性的作用。

除湿型砂和树脂砂外,水玻璃砂是我国广泛使用的型砂之一,在三大型砂中居末位^[41],主要用于铸钢生产。本研究受采样等条件限制,未对水玻璃砂的环境生物毒性进行检测。由于水玻璃砂的主要成分为硅砂与硅酸盐,基本不含有有机物,因此造型、制芯与浇注过程中不产生有毒有害气体,可以推测其对环境的污染程度小于湿型砂和树脂砂。

3 结论

5 种铸造废砂中的特征污染物种类和含量差异

较大,对环境生物的影响也不同。5 种废砂浸出液均具有较为明显的抑菌活性,废砂 C、D 和 E 浸出液对发光细菌活性的抑制率超过 90%。与土壤混合 4 周后,废砂 D 与 E 对土壤脱氢酶的活性影响较小,废砂 C 对土壤脱氢酶活性具有促进作用,而废砂 A 与废砂 B 对土壤脱氢酶活性具有明显的抑制作用。这表明铸造废砂直接排放将会对环境中的生物造成较大的影响。因此,铸造废砂的处理,特别是铸造废砂的再生与回用具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 黄天佑, 金仲信. 粘土湿型砂及其质量控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 鲁永杰. 铸造废砂再生处理与节能技术的应用[J]. 铸造, 2008, 57(8): 830-833.
- [3] 熊鹰, 吴长松. 我国铸造旧砂再生技术的进展及其影响[A]. 见: 2010 年中国铸造活动周论文集[C]. 今日铸造, 2010. 1-6.
- [4] Ji S, Wan L, Fan Z. The toxic compounds and leaching characteristics of spent foundry sands[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, 132(3): 347-364.
- [5] Dungan R S, Huwe J, Chaney R L. Concentrations of PCDD/PCDFs and PCBs in spent foundry sands[J]. Chemosphere, 2009, 75(9): 1232-1235.
- [6] Stanforth R, Nichols D, Kunes T. Foundry waste landfills and ground water quality [J]. Transactions of the American Foundrymen's Society, 1988, 96: 873-880.
- [7] Bastian K C, Alleman J E. Microtox (TM) characterization of foundry sand residuals[J]. Waste Management, 1998, 18(4): 227-234.
- [8] US EPA. Actions aimed at increasing the beneficial use of foundry sand [EB/OL]. <http://www.epa.gov/sectors/sectorinfo/sectorprofiles/casting/map.pdf>, 2009-09-17.
- [9] Owens G. Development of policies for the handling, disposal and/or beneficial reuse of used foundry sands-a literature review [A]. In: CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment[C]. CRC CARE-Publications, 2008. Technical Report no. 7.
- [10] Partridge B K, Alleman J E, Huber B W. Perspectives on liability for constructive reuse of high-volume waste streams[J]. Transportation Research Record, 1997, (1577): 109-117.
- [11] US EPA. Toxicity Characteristic Leaching Procedure; Method 1311 [EB/OL]. http://www.epa.gov/waste/hazard/testmethods/sw846/online/1_series.htm, 1992.
- [12] Siddique R, Kaur G, Rajor A. Waste foundry sand and its leachate characteristics [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(12): 1027-1036.
- [13] Kendall D S. Toxicity characteristic leaching procedure and iron treatment of brass foundry waste[J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37(2): 367-371.
- [14] Dungan R S. Headspace Solid-Phase Microextraction (HS-

- SPME) for the determination of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX) in foundry molding sand [J]. *Analytical Letters*, 2005, **38**(14): 2393-2405.
- [15] 吴向华. 发光细菌法测定有机污染土壤的生物毒性[J]. *江苏农业科学*, 2008, (5): 285-287.
- [16] 张金丽, 郑天凌. 利用发光菌评价多环芳烃及其降解产物的生物毒性[J]. *集美大学学报(自然科学版)*, 2004, **9**(4): 294-299.
- [17] 韦东普, 马义兵, 陈世宝. 应用淡水发光细菌测定土壤 Cu 急性毒性的影响因素研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, **8**(7): 1386-1391.
- [18] 吴留松, 顾宗濂, 谢思琴. 应用发光细菌监测重金属污染土壤和底泥的总体生物毒性[J]. *土壤*, 1987, (3): 145-147, 155.
- [19] Von Mersi W, Schinner F. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodonitrotetrazolium chloride[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1991, **11**(3): 216-220.
- [20] Dungan R S, Kukier U, Lee B. Blending foundry sands with soil: Effect on dehydrogenase activity[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **357**(1-3): 221-230.
- [21] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [22] Kaakinen J W, Jorden R M, Lawasani M H, *et al.* Trace element behavior in coal-fired power plant [J]. *Environmental Science and Technology*, 1975, **9**(9): 862-869.
- [23] 詹靖, 徐明厚, 韩军, 等. 燃煤过程中 As, Se 的挥发行为的研究[J]. *工程热物理学报*, 2004, **25**(S1): 201-204.
- [24] Wang Y J, Huang H, Cannon F S, *et al.* Evaluation of volatile hydrocarbon emission characteristics of carbonaceous additives in green sand foundries [J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, **41**(8): 2957-2963.
- [25] Wang Y J, Cannon F S, Salama M, *et al.* Characterization of hydrocarbon emissions from green sand foundry core binders by analytical pyrolysis [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, **41**(22): 7922-7927.
- [26] Dungan R, Reeves J III. Pyrolysis of foundry sand resins: a determination of organic products by mass spectrometry [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 2005, **40**(8): 1557-1567.
- [27] Lytle C A, Bertsch W, McKinley M D. Determination of thermal decomposition products from a phenolic urethane resin by Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass spectrometry [J]. *Journal of High Resolution Chromatography*, 1998, **21**(2): 128-132.
- [28] Wang Y J, Cannon F S, Salama M, *et al.* Characterization of pyrolysis products from a biodiesel phenolic urethane binder [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, **43**(5): 1559-1564.
- [29] Wang Y J, Zhang Y, Su L, *et al.* Hazardous air pollutant formation from pyrolysis of typical Chinese casting materials [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, **45**(15): 6539-6544.
- [30] Crandell G R, Knight S M, Schifo J F, *et al.* An examination of effects of process variables on air emission from metal casting [J]. *American Foundry Society Transaction*, 2002, **110**: 1311-1334.
- [31] Tiedje N, Crepaz R, Eggert T, *et al.* Emission of organic compounds from mould and core binders used for casting iron, aluminium and bronze in sand moulds [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2010, **45**(14): 1866-1876.
- [32] 冯胜山, 黄志光. 砂型铸造生产技术 500 问(下册)——造型材料与铸件缺陷防止[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [33] O'Neill H J, Putscher R E, Dynako A, *et al.* Pyrolysis studies of furfuryl alcohol resins by gas chromatography [J]. *Journal of Chromatographic Science*, 1963, **1**(2): 28-35.
- [34] 王丽莎, 魏东斌, 胡洪营. 发光细菌毒性测试条件的优化与毒性参照物的应用[J]. *环境科学研究*, 2004, **17**(4): 61-66.
- [35] 张金丽, 袁建军, 郑天凌, 等. Microtox 技术检测多环芳烃生物毒性的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2004, **12**(4): 68-71.
- [36] 和文祥, 陈会明, 冯贵颖, 等. 汞砷元素污染土壤的酶监测研究[J]. *环境科学学报*, 2000, **20**(3): 338-343.
- [37] 蔡少华, 和文祥, 呼蕾, 等. 六价铬对土壤脱氢酶活性的影响[J]. *西北农业学报*, 2008, **17**(5): 208-214.
- [38] Brookes P C, Mc Grath S P. Effect of metal toxicity on the size of the soil microbial biomass [J]. *Journal of Soil Science*, 1984, **35**(2): 341-346.
- [39] 郭明, 陈红军, 王春蕾. 4 种农药对土壤脱氢酶活性的影响 [J]. *环境化学*, 2000, **19**(6): 523-527.
- [40] 秦华, 林先贵, 陈瑞蕊, 尹睿. DEHP 对土壤脱氢酶活性及微生物功能多样性的影响 [J]. *土壤学报*, 2005, **42**(5): 829-834.
- [41] 朱纯熙, 卢晨. 我看铸造型砂的发展——与肖波等商榷 [J]. *中国机械工程*, 1998, **9**(6): 79-81.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} over Eastern China from MODIS Aerosol Optical Depth Using the Back Propagation Neural Network	GUO Jian-ping, WU Ye-rong, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (817)
Comparison of Atmospheric Particulate Matter and Aerosol Optical Depth in Beijing City	LIN Hai-feng, XIN Jin-yuan, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i> (826)
Impacts of Meteorological Factors on Atmospheric Methane Mole Fractions in the Background Area of Yangtze River Delta	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, GU Jun-qiang, <i>et al.</i> (835)
Dispersion and Analysis of Odor Pollution in Landfill Area Under the Enclosed Operation Condition	LU Peng, WU Shi-xing, DAI Zhi-feng, <i>et al.</i> (842)
Distribution Characteristics and Sea-Air Fluxes of Volatile Halocarbons in the East China Sea in Winter	HE Zhen, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng (849)
Intra- and Inter-annual Variabilities of Particulate Organic Matter in the Mires Bay from 2000 to 2010	LI Xu-lu, ZHOU Yi-pin, XIA Hua-yong (857)
Phytoplankton Assemblages and Their Relation to Environmental Factors by Multivariate Statistic Analysis in Bohai Bay	ZHOU Ran, PENG Shi-tao, QIN Xue-bo, <i>et al.</i> (864)
Characteristics and Evolution of Hydrochemical Compositions of Freshwater Lake in Tibetan Plateau	WANG Peng, SHANG Ying-nan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (874)
Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads and Optimization of the Best Management Practices (BMPs) in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, LIU Pin (882)
An Object-Oriented Intelligent Engineering Design Approach for Lake Pollution Control	ZOU Rui, ZHOU Jing, LIU Yong, <i>et al.</i> (892)
Contribution of Plant Litters to Sediments Organic Matter in Julong River Estuary Wetland	LUO Zhuan-xi, QIU Zhao-zheng, WANG Zhen-ye, <i>et al.</i> (900)
Application of Tiered Approach to Assess the Impact of Backfilling Remediated Soil on Groundwater	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (907)
Removal of Nitrate from Groundwater Using Permeable Reactive Barrier	LI Xiu-li, YANG Jun-jun, LU Xiao-xia, <i>et al.</i> (914)
Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District	LI Hai-yan, XU Bo-ping, XU Shang-ling, <i>et al.</i> (919)
Occurrence and Risk Assessment of Five Selected PPCPs in Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water	WEN Zhi-hao, DUAN Yan-ping, MENG Xiang-zhou, <i>et al.</i> (927)
Microbial Risk Assessment of Urban Water Bodies for Aesthetical and Recreational Uses	SUN Fu, SHA Jing, ZHANG Yi-fan, <i>et al.</i> (933)
Study on Removal of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate by Using of Small-Scale Biological Aerated Filter	LI Wei, ZHAO Jing, YU Jian, <i>et al.</i> (943)
Mechanism of Membrane Fouling and Filtration Characteristics in a Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment	FAN Ju-hong, YU Su-lin, ZHANG Pei-shuai, <i>et al.</i> (950)
Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al ₂ O ₃	YUE Lin, WANG Kai-hong, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (955)
Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G	YANG Mei-mei, ZHOU Shao-qi, LIU Dan, <i>et al.</i> (962)
Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-deweeding and Dyeing-printing Wastewater	YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, <i>et al.</i> (968)
Study on the Pollutants Removal Performance Along the Advanced Treatment in Tannery Wastewater by O ₃ -BAF	YU Bin, LIU Rui, CHENG Jia-di, <i>et al.</i> (974)
Effect of Pilot UASB-SFSBR-MAP Process for the Large Scale Swine Wastewater Treatment	WANG Liang, CHEN Chong-jun, CHEN Ying-xu, <i>et al.</i> (979)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Municipal Wastewater and Studies on Its Characteristics Under the Continuous Flow	NIU Shu, DUAN Bai-chuan, ZHANG Zuo-li, <i>et al.</i> (986)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (I) : Model Constitution	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (993)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (998)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (III) : Model Application	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (1004)
Comparative Study on Water-air CO ₂ , CH ₄ Flux in Two Tributaries in the Three Gorges Reservoir, China	LI Zhe, BAI Lei, GUO Jin-song, <i>et al.</i> (1008)
Factors Influencing the Spatial Variability in Soil Respiration Under Different Land Use Regimes	CHEN Shu-tao, LIU Qiao-hui, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1017)
Differences in Soil Respiration Between Cropland and Grassland Ecosystems and Factors Influencing Soil Respiration on the Loess Plateau	ZHOU Xiao-gang, ZHANG Yan-jun, NAN Ya-fang, <i>et al.</i> (1026)
Application and Benefit Evaluation of Tiered Health Risk Assessment Approach on Site Contaminated by Benzene	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, LIANG Jin, <i>et al.</i> (1034)
History of Heavy Metal Pollution from Tidal Flat in Haizhou Bay	ZHANG Rui, ZHANG Fan, LIU Fu-cheng, <i>et al.</i> (1044)
Accumulation, Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment of Caohai Plateau Wetland, Guizhou Province	ZHANG Qing-hai, LIN Chang-hu, TAN Hong, <i>et al.</i> (1055)
Assessment and Correlation Analysis of Heavy Metals Pollution in Soil of Dajinshan Island	CHENG Fang, CHENG Jin-ping, SANG Heng-chun, <i>et al.</i> (1062)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Stream Sediments from a Typical Nonferrous Metals Mining City	LI Ru-zhong, JIANG Yan-min, PAN Cheng-rong, <i>et al.</i> (1067)
Contamination and Health Risk for Heavy Metals via Consumption of Vegetables Grown in Fragmentary Vegetable Plots from a Typical Nonferrous Metals Mine City	LI Ru-zhong, PAN Cheng-rong, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1076)
Correlativity Study of the Distribution of Soil Magnetic Susceptibility and the Heavy Metal Contents in Xi'an City	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, YANG GUANG (1086)
Distribution Characteristics and Environmental Significance of Heavy Metals in Soil Particle Size Fractions from Tropical Forests in China	GONG Cang, XU Dian-dou, CHENG Hang-xin, <i>et al.</i> (1094)
Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch	ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, <i>et al.</i> (1101)
Fractions and Adsorption Characteristics of Phosphorus on Sediments and Soils in Water Level Fluctuating Zone of the Pengxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir	SUN Wen-bin, DU Bin, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1107)
Sorption Behavior of Triton X-100 on Loess and Affecting Factors	ZHONG Jin-kui, ZHAO Bao-wei, ZHU Kun, <i>et al.</i> (1114)
Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk	MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (1120)
Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake	MA Zhao-hui, JIN Jun, QI Xue-kui, <i>et al.</i> (1136)
Characteristics of Organic Pollutants in the Sediments from a Typical Electronics Industrial Zone	LIU Jin, DENG Dai-yong, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (1142)
Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Exhaust Particles from a Diesel Car	TAN Pi-qiang, ZHOU Zhou, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (1150)
Characterization of PAHs in Fly Ashes from Coke Production	MU Ling, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (1156)
Comparison of PAHs Distribution in Stabilized Sludge by Sludge Drying Bed and Reed Bed	CUI Yu-bo, SUN Hong-jie, RAN Chun-qiu, <i>et al.</i> (1161)
Effects of Adsorbents on Partitioning and Fixation of Heavy Metals in the Incineration Process of Sewage Sludge	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, CHEN Tao (1166)
Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand	ZHANG Hai-feng, WANG Yu-jue, WANG Jin-lin, <i>et al.</i> (1174)
Construction and Properties of a Microbial Whole-cell Sensor CB10 for the Bioavailability Detection of Cr ⁶⁺	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xu-liang, <i>et al.</i> (1181)
Structure and Dynamics of Microbial Community in the Denitrifying Sulfide Removal Process	YU Hao, WANG Ai-jie, CHEN Chuan (1190)
Effects of Physico-chemical Parameters on the Abundance of the Denitrification-associated Genes <i>nirK</i> , <i>nirS</i> and <i>nosZ</i> During Agricultural Waste Composting	HU Chun-xiao, CHEN Yao-ning, ZHANG Jia-chao, <i>et al.</i> (1196)
Impact of PAHs on the Expression of PRDX in Earthworm (<i>Eisenia fetida</i>)	LIN Kang-li, ZHENG Sen-lin, SONG Yu-fang, <i>et al.</i> (1204)
Preparation of OMC-Au/L-Lysine/Au Modified Glassy Carbon Electrode and the Study on Its Detection Response to Hydroquinone and Catechol	ZHOU Yao-yu, TANG Lin, LI Zhen, <i>et al.</i> (1211)
Risk Communication in Construction of New Nuclear Power Plant	HE Gui-zhen, LÜ Yong-long (1218)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行