

碱催化脱氯技术处理氯代新 POPs 研究及示范工程

黄海^{1,2}, 蒋建国^{1,3,4*}, 肖叶¹, 宋迎春¹ (1.清华大学环境学院, 固体废物处理与环境安全教育部重点实验室, 北京 100084; 2.北京鼎实环境工程有限公司, 北京 100029; 3.清华大学固体废物处理与环境安全教育部重点实验室, 北京 100084; 4.清华大学区域环境质量协同创新中心, 北京 100084)

摘要: 以硫丹作为氯代新 POPs 的代表, 通过实验室小试研究, 探讨反应温度、NaOH 和石蜡油投加量对硫丹在 NaOH/石蜡油碱催化反应体系中的去除和脱氯效率(RE 和 DE)的影响, 并寻找出最优条件, 开展示范工程研究. 实验室小试结果表明, 反应温度、NaOH 投加量和石蜡油投加量对硫丹脱氯效率的影响要大于对其去除率的影响. 当温度为 250℃, 硫丹和 NaOH 及石蜡油的质量比为 1:3:6 和 1:3:10 时, 反应 3h 后, 硫丹去除率和脱氯效率分别达到 99.99% 和 99% 以上. 采用硫丹和得克隆两种氯代有机物开展示范工程研究, 中试设备处理能力达到 15kg/批次, 在 250~300℃ 下反应 3~10h 后, 对硫丹和得克隆的去除效率均达到 99.9% 以上, 表明硫丹和得克隆被有效分解. 示范工程的成功实施为我国履行斯德哥尔摩公约提供技术支持.

关键词: 氯代新 POPs; 碱催化脱氯技术; 脱氯效率; 脱氯动力学; 去除率; 示范工程

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2015)04-1149-07

Lab and pilot scale studies of chlorinated new POPs destruction using base-catalyzed dechlorination method.

HUANG Hai^{1,2}, JIANG Jian-guo^{1,3,4*}, XIAO Ye¹, SONG Ying-chun¹ (1.School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2.Beijing Dingshi Environmental Engineering Corporation Limited, Beijing 100029, China; 3.China Key Laboratory for Solid Waste Management and Environment Safety, Ministry of Education of China, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4.Collaborative Innovation center for Regional Environmental Quality, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2015,35(4): 1149~1155

Abstract: Base-catalyzed dechlorination (BCD) is a mature non-incineration method for the detoxification of persistent organic pollutants (POPs). However, little research has focused on the destruction of chlorinated new POPs with this method. In this study, endosulfan was used as a case compound to investigate the influences of temperature, NaOH and paraffin oil amounts on the removal and dechlorination efficiencies (RE and DE) in NaOH/paraffin oil BCD system. The optimal condition obtained from the lab-scale experiments was further verified in a pilot-study. Laboratory study results indicated that the influences of temperature, NaOH and paraffin oil amounts on DE were more obvious than RE. When the optimal mass ratio of endosulfan: NaOH: paraffin oil was 1:3:6~10 and incubated at 250℃ for 3h, the RE and DE was over 99.99% and 99.9%, respectively. The optimal condition was applied to pilot-experiment, with a treatment capacity of 15kg/batch. In addition to endosulfan, dechlorane plus was also used in the pilot-experiment. After heating at 250~300℃ for 3~10h, the RE of endosulfan and dechlorane plus was higher than 99.9%, which implied the wastes were effectively destructed. The successful performance of the pilot scale study would technically support the obligation of Stockholm Convention of country.

Key words: chlorinated new POPs; base-catalyzed dechlorination; dechlorination efficiency; dechlorination kinetic; removal efficiency; pilot scale study

碱催化脱氯技术(BCD)是一种快速高效处理氯代有机物的非焚烧技术, 目前已在欧美等发达国家已经发展成熟并实现商业化应用. 1986 年美国采用 BCD 技术处理了一个木材加工厂中 8650 加仑含 147~83923μg/L 二噁英和呋喃的轻

油, 在 150℃ 下处理 1.5h 后, 油中的二噁英和呋喃

收稿日期: 2014-09-15

基金项目: 中国博士后基金面上项目(2013M530050); 国家 863 重点项目(2009AA064001)

* 责任作者, 教授, jianguo@mail.tsinghua.edu.cn

残留量均低于检测限^[1].澳大利亚和西班牙也采用该技术处理了数千 t 的 PCBs 或六六六废物^[2].

由于我国杀虫剂类 POPs 废物分布广泛,因此国内相关领域的研究人员认为 BCD 脱氯技术可以作为我国有机氯农药处置技术的重要选择^[3].但是目前国内对 POPs 废物,特别是高浓度的废物的销毁技术研究不多.肖叶等^[4]采用了 NaOH/石蜡油体系处理六氯苯(HCB),加热到 360°C 下反应 4h 后,HCB 的去除和脱氯效率分别达到 99.97% 和 91.08%.另两篇采用 KOH/PEG 或 Na₂CO₃/甘油体系处理 HCB 的研究报道表明,HCB 能在 250°C 下 3h 即可彻底去除^[5-6].刘希涛等^[7]采用微波辅助的 BCD 技术处理含 PCB 的变压器油,几乎实现了完全脱氯.国内仅有的这些研究还处于实验室探索阶段,没有规模化的应用,对工程化应用的指导作用有限.

此外,不管是国外还是国内的研究,关注的多是“老”的 POPs 物质,如 PCBs,HCB 等,对新列入或广义的 POPs 物质的销毁技术研究很少^[5-6,8-9].因此,本研究以硫丹作为氯代新 POPs 物质的代表,采用较为成熟的 BCD 技术开展小试研究,并在此基础上开展中试,为我国销毁 POPs 提供技术支持.

1 材料与方 法

1.1 实验材料

工业品硫丹(纯度 95%, α -硫丹和 β -硫丹的比例为 7:3)和得克隆(纯度 99%,syn-得克隆和 anti-得克隆比例为 7:3)均购自江苏安邦电化有限公司.石蜡油(闪点 226°C,密度 0.9g/cm³)购自河北衡水宇跃石油科技有限公司;氢氧化钠购自天津市津宏伟邦化工有限公司;还原铁粉购自邯郸市金洋铸造有限公司;酚酞,硝酸,硝酸银,铬酸钾和正己烷均购自北京化工厂.

1.2 小试实验方法

实验室小试在本课题组自主研发的反应系统中进行(图 1).该设备主要由反应釜体、冷凝回流管和尾气净化收集瓶等单元构成.实验采用序批式反应,将约 12.0g 硫丹,72~120g 石蜡油,18~54g 碱性物质 NaOH 和 12.0g 铁粉加入到

反应釜中.向反应釜中通入氮气 5min,将设备中的空气排出,之后将进气阀门关闭.物料进行加热搅拌,搅拌速率约为 120r/min,加热开始后约 30min,物料温度升至设定值温度.反应一段时间之后,关闭加热电源,使反应釜温度降低至约 60°C,将反应釜中剩余的残渣全部取出,分别进行称重.用去离子水清洗反应釜中残留的无机氯离子,转移到容量瓶中并定容.

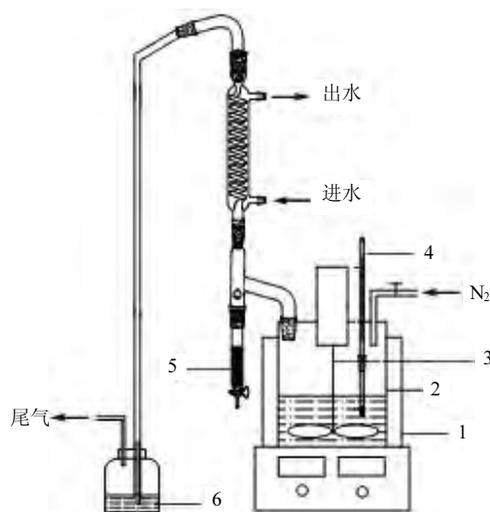


图 1 碱催化核心反应器小试装置

Fig.1 Schematic diagram of lad scale experimental apparatus for the base-catalyzed decomposition of endosulfan

1. 电加热器,2. 反应釜,3. 搅拌桨,4. 温度探头,5. 冷凝回流管,
6. 尾气净化收集瓶

1.3 中试实验方法

在小试确定的反应条件的基础上,开展中试研究.中试设备的主体主要包括 3 个单元,分别为碱催化反应系统、尾气净化系统以及油渣冷却和分离系统;此外还有氮气发生系统、阀门控制气动系统等(图 2).碱催化反应釜为该项工艺的核心,总容积 510L,采用红外加热,加热功率为 25~35kW,加热温度为 250~350°C 之间.试验时,固体物料(氯代 POPs、碱性物质、催化剂)和液体物料(石蜡油)分别通过斗式提升机和计量泵加入至碱催化反应釜中,采用红外加热模块将反应物料加热到 250~300°C 左右,氯代 POPs 发生

BCD 反应.定期取样,测定样品中的氯代 POPs 残留量.

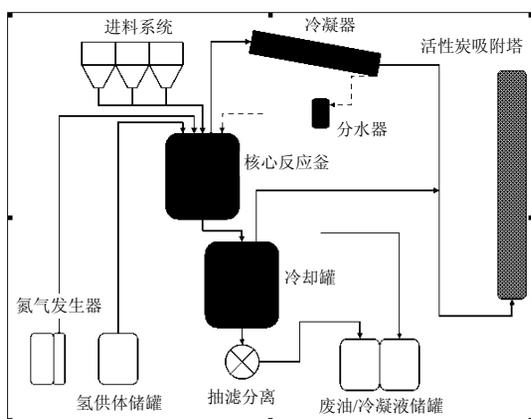


图 2 中试工艺

Fig.2 The technical process of the pilot scale experiment

1.4 样品制备与分析

对于残余的硫丹分析,称取约 2.5g 左右的残渣置于干净的磨口三角瓶中,加入 10mL 正己烷萃取后,盖上盖,超声 10min,以充分萃取其中的硫丹.取 1mL 萃取液稀释 10~50 倍后即可上机测定.对于油相中硫丹的浓度可直接用正己烷稀释反应结束的石蜡油 100 倍后即可上机测定油相中的残余硫丹含量.采用 GC/ECD 对待测液中的硫丹进行分析测试.载气为高纯氮气;色谱柱为 HP-5(30m×320μm×0.25μm).色谱柱升温程序:起始温度 120℃,保持 2min;以 12℃/min 升至 180℃,保持 5min;以 7℃/min 升至 240℃,保持 1min;以 8℃/min 升至 280℃,保持 8min.高纯氮气流速 1.5mL/min;进样量 1μL.该方法检查限为 1μg/L.

对于无机氯的分析,称取 2.0g 残渣,用去离子水溶解并定容到 100mL.量取 5.0mL 该残渣溶液于干净的烧杯中,滴加两滴酚酞试剂,用硝酸调节溶液呈中性,然后滴加五滴铬酸钾溶液,用硝酸银滴定法测定溶液中的氯离子浓度.同时采用水等体积萃取石蜡油中含有的无机氯离子,然后再用硝酸银滴定法测定水相中的氯离子浓度.

1.5 评价指标与方法

研究过程中主要考虑实验因素对硫丹的去除率和脱氯效率的影响,计算公式如下所示:

$$RE = \left(1 - \frac{M_0 + M_r}{M_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$DE = \frac{M_{Cl,0} + M_{Cl,r}}{M_0 \cdot \eta} \times 100\% \quad (2)$$

式中:RE 为硫丹的去除效率;DE 为硫丹的脱氯效率; M_0, M_r 为反应时间 t 时刻油相和残渣中剩余的硫丹的质量; M_0 为初始投加的硫丹质量; $M_{Cl,0}, M_{Cl,r}$ 为反应时间 t 时刻油相和残渣中产生的氯离子质量;为硫丹中氯元素的质量分数,取值 52.35%.

2 结果与讨论

2.1 反应温度对硫丹去除和脱氯效率的影响

为了确定示范工程的最佳反应温度,在实验室开展了小试实验.小试实验设置了 4 个温度梯度,分别为 150,200,250 和 300℃.研究在这 4 个温度下,硫丹的去除和脱氯效率的变化规律,实验结果见图 3.

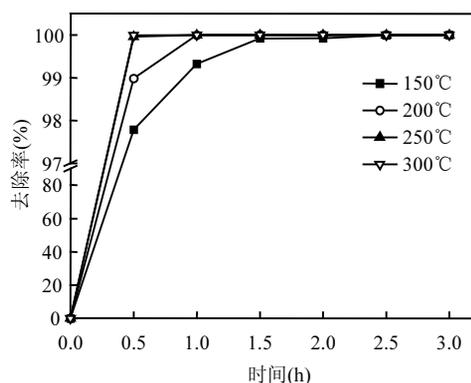


图 3 不同反应温度对硫丹的去除率的影响

Fig.3 Effect of temperature on the removal efficiencies of endosulfan

从图 3 可以看出,不同反应温度下,加热 0.5h 后硫丹的去除率均达到 97% 以上,反应 3h 后,不同温度下的硫丹去除率 99.99% 以上,表明硫丹在反应体系中能迅速的被分解去除.随着反应温度的升高,硫丹的去除速率也逐渐升高,当反应温度达到 250~300℃ 时,体系加热 0.5h 后,硫丹去除率达到 99.99% 以上.

在研究硫丹去除率的同时,还对硫丹的脱氯

效率进行了研究,结果见图 4.由图 4 可以看出,尽管在较低温度下(150℃)硫丹的最终去除率能够得到 99.99%以上,但是其脱氯效率却只有约 42%.表明在此温度下,硫丹的分解并不彻底,大部分只是分解成为含有氯离子的有机中间产物.硫丹的脱氯效率随着反应温度的升高而升高,当反应温度达到 200~300℃之间时,反应 3h 后,各实验处理的硫丹的脱氯效率均达到 99%以上,表明绝大部分的硫丹彻底分解.

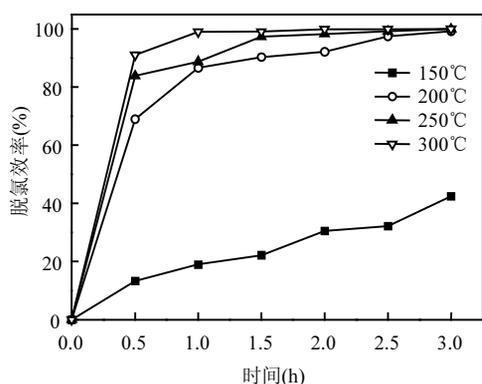


图 4 不同反应温度对硫丹脱氯效率的影响
Fig.4 Effect of temperature on the dechlorination efficiencies of endosulfan

通过对硫丹在不同温度下的脱氯过程研究发现,硫丹的脱氯过程符合伪一级反应动力学模型(图 5,表 1).

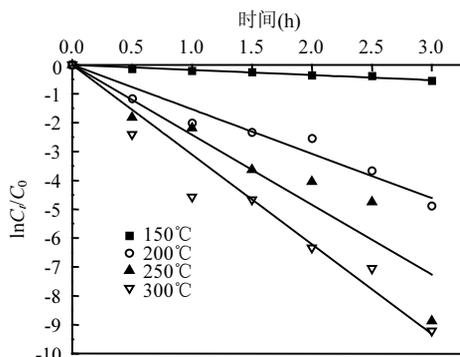


图 5 不同温度下硫丹脱氯动力学模型
Fig.5 Effect of temperature on the dechlorination efficiencies of endosulfan

从表 1 可以看出,反应温度对硫丹的脱氯速率

存在显著影响,将反应温度从 150℃提高至 300℃,脱氯速率提高了约 17 倍.脱氯速率常数与反应温度之间的关系可以通过 Arrhenius 公式表示,Arrhenius 图中速率常数的自然对数值随热力学温度的倒数变化率被定义为反应的活化能,通常在较窄的温度范围内,活化能随温度的变化不明显,一般近似为线性模型^[10].根据 Arrhenius 公式计算硫丹脱氯反应的活化能为 37.87kJ/mol.该表观活化能较六氯苯的脱氯活化能(43.19kJ/mol)低^[11],表明硫丹的脱氯过程受温度的影响相对较小.

表 1 不同反应温度下硫丹反应速率常数

Table 1 The pseudo-first order reaction constants of different temperatures

反应温度(℃)	硫丹脱氯速率常数(h ⁻¹)	R ²
150	0.1765	0.9871
200	1.5391	0.9836
250	2.4225	0.9550
300	3.1081	0.9822

2.2 不同碱投加量对硫丹去除和脱氯效率的影响

实验考查不同碱性物质的投加量对 NaOH/石蜡油体系中的硫丹的去除和脱氯效率的影响.实验设置 3 个梯度的碱性物质投加量,分别投加 18,36 和 54g NaOH,即硫丹与 NaOH 的质量比为 1:1.5,1:3 和 1:4.5,各处理均在 250℃下反应 3h,实验结果见图 6.

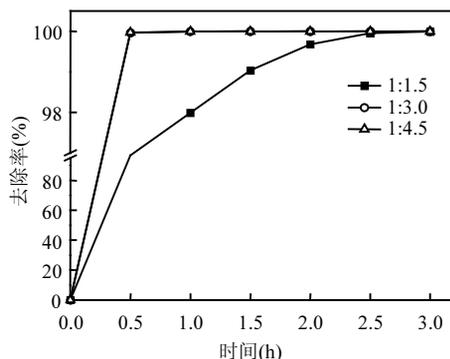


图 6 不同碱性物质投加量对硫丹去除效率的影响
Fig.6 Effect of the amount of base on the removal efficiencies of endosulfan

从图 6 可以看出,碱性物质的投加量对硫丹的去除效率有较大影响,当硫丹与 NaOH 的质量比为 1:1.5 时,反应 3h 后,硫丹的去除率达到 99.99%;而当硫丹与 NaOH 的质量比为 1:3、1:4.5 时,在体系加热 1h 后硫丹的去除率就已经达到 99.99%以上,表明硫丹已经基本去除。

不同碱性物质投加量对硫丹脱氯效率的影响见图 7 所示.从图 7 可以看出,当硫丹与 NaOH 的质量比为 1:1.5 时,反应 3h 后,硫丹的脱氯效率达到 59.3%,而当硫丹与 NaOH 质量比为 1:3~4.5 时,反应 2.5h 后,硫丹的脱氯效率均达到 99.9% 以上。

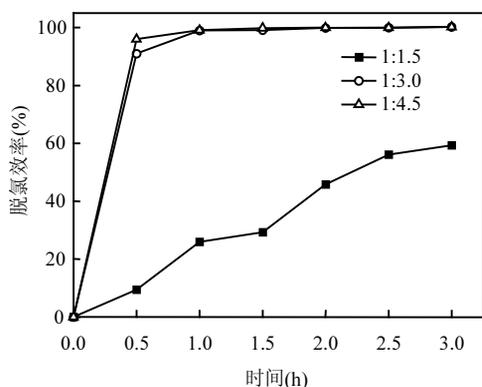


图 7 不同碱性物质投加量对硫丹脱氯效率的影响
Fig.7 Effect of the amount of base on the dechlorination efficiencies of endosulfan

2.3 不同石蜡油投加量对硫丹去除和脱氯效率的影响

设置石蜡油投加量为 30,40,50,60 和 100g,即硫丹与石蜡油的质量比为 1:3,1:4,1:5,1:6 和 1:10 五个实验处理.各处理均在 250℃ 下反应 3h,实验结果见图 8。

研究发现,不同石蜡油投加量对硫丹的去除率的影响不大,均能实现 99.99% 以上的去除率.但是对硫丹的脱氯效率的影响较为明显:当石蜡油的投加量为硫丹的 3 倍时,250℃ 反应 3h 后,硫丹的脱氯效率只有 82.5%.随着石蜡油的投加量逐渐增加到硫丹的 6 倍时,反应结束后,硫丹脱氯效率达到 99% 以上.继续增加石蜡油的投加量到硫丹的 10 倍时,结果与投加量为硫丹 6 倍时的结

果相当(图 8).

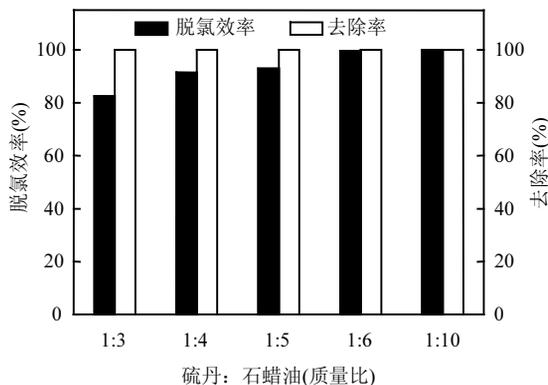


图 8 石蜡油物质投加量对硫丹去除和脱氯效率的影响
Fig.8 Effect of the amount of paraffin oil on the dechlorination and removal efficiencies of endosulfan

3 示范工程研究

3.1 碱催化示范工程程序批式实验典型工况

表 2 碱催化示范工程典型工况

Table 2 The typical BCD condition of the pilot scale experiment

指标	数值	备注
氯代有机物(kg)	15	硫丹/得克隆
石蜡油(L)	150	
氢氧化钠(kg)	50	纯度 99%
铁粉(kg)	15	一次还原铁粉
反应温度(℃)	250~300	
加热反应时间(h)	6~11	系统加热 2~3h,反应 3~9h

从小试实验可以看出,温度对硫丹的去除率的影响较小,但是对硫丹的脱氯效率影响相对较大,当温度达到 250~300℃ 之间反应 3h 后,硫丹的脱氯效率达到 99% 以上.NaOH 的投加量对硫丹的去除和脱氯效率均有影响,当 NaOH 的投加量为硫丹投加量的 3~4.5 倍时(质量比),硫丹能够迅速的去和脱氯,其效率分别达到 99.99% 和 99.9% 以上.不同石蜡油投加量对硫丹的去除率的影响不大,但是对硫丹的脱氯效率影响较大,当石蜡油投加量为硫丹的 6~10 倍时,在 NaOH/石蜡油体系中 250℃ 下反应 3h,硫丹的脱氯效率

达到 99.99%以上.因此,基于小试结果,确定氯代 POPs 碱催化示范工程程序批式实验典型的工况条件如表 2 所示.中试实验时,除了采用硫丹来做实验外,还采用了另一种氯代有机物“得克隆”进行实验.

3.2 示范工程实验与结果

3.2.1 示范工程中硫丹的去除率 中试设备加热至预定温度(250~300℃)过程中(耗时约 3h),体系中硫丹的去除率就达到 99%,但是此时体系中硫丹的浓度约为 574.57mg/kg,相对较高;加热开始后 6h,体系中硫丹的浓度为 2.66mg/kg,硫丹的去除率达到 99.99%.体系对 α 和 β 硫丹的去除能力相当,没有选择性(图 9).

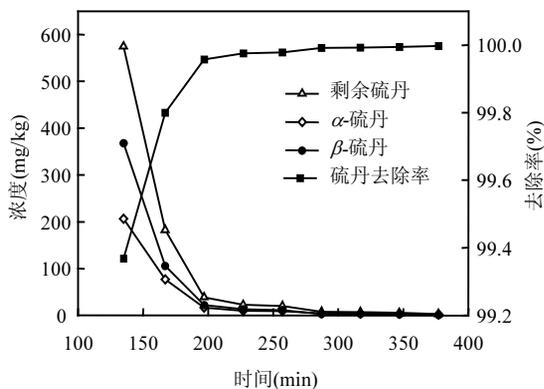


图 9 示范工程中硫丹的浓度和去除率

Fig.9 The concentration and removal efficiency of endosulfan during pilot scale experiment

3.2.2 示范工程中得克隆的去除率 从图 10 可以看出,在加热至预定温度(250~300℃)过程中,体系中得克隆的去除率就达到了 94.7%,此时体系中得克隆的浓度为 4784mg/kg;加热开始后 10h,体系中得克隆的浓度为 38.3mg/kg,得克隆的去除率达到 99.96%.顺式(syn-)和反式(anti-)得克隆均被有效去除.

中试实验表明,硫丹在 NaOH/石蜡油体系及所中试设备中 250~300℃反应 3h 后,能够有效的去除,去除率达到 99.99%.这一结果与实验室小试结果基本吻合.另一种氯代有机物得克隆在反应体系中 250~300℃反应 9h 后的去除率也能达到 99.9%以上.相比较而言,本实验采用的反应条

件对得克隆的去除效率较低,其原因可能是得克隆分子中氯元素所占的比例(65.1%)要高于硫丹(52.3%),所需碱性物质相对较高所致.实验室研究表明,提高碱性物质(氢氧化钠)的投加量可以有效的提高氯代有机物的去除率^[4,6].

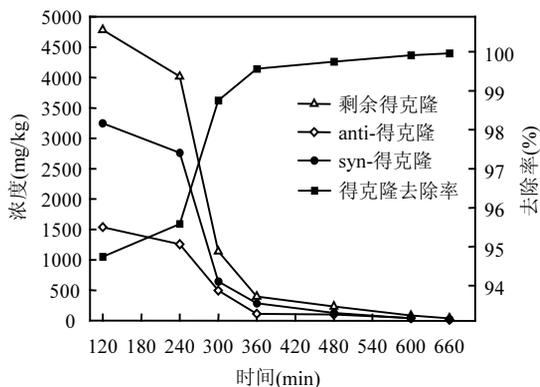


图 10 示范工程中得克隆的浓度和去除率

Fig.10 The concentration and removal efficiency of dechlorane plus during pilot scale experiment

4 结论

4.1 反应温度对硫丹去除的影响较小,在实验选取的 4 个温度条件下反应 3h 后,去除率达到 99.99%以上;硫丹的脱氯过程遵循伪一级反应动力学模型,反应活化能为 37.87kJ/mol,将反应温度从 150℃提高至 300℃,脱氯速率提高了约 17 倍,脱氯效率达到 99%以上.

4.2 碱性物质投加量对硫丹的脱氯效率影响较大,当硫丹和 NaOH 的质量比为 1:1.5 时,反应结束后硫丹的去除率达到 99.99%,而脱氯效率只有 59.3%;而当硫丹和 NaOH 的质量比 1:3~4.5 时,脱氯效率达到 99.9%以上.

4.3 石蜡油的投加量对硫丹的去除率影响不大,但是对脱氯效率影响较为明显.当硫丹和石蜡油的质量比从 1:3 提高到 1:6~10 时,硫丹的脱氯效率从 82.5%提高到 99%以上.

4.4 中试结果表明,本研究所用的中试设备和 BCD 技术能有效地处理高浓度的氯代新 POPs 硫丹和得克隆,去除效率均达到 99.9%以上.由于示范工程所用设备小巧且便于移动,因此可以方

便的搬运到废物堆放地点就地处置,避免了搬运 POPs 带来的环境风险和跨界运输管理上的障碍,具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] Tiernan T O, Wagel D J, Vanness G F, et al. Dechlorination of PCDD and PCDF sorbed on activated carbon using the KPEG reagent [J]. *Chemosphere*, 1989,19(1-6):573-578.
- [2] McDowall R, Boyle C, Graham B. Review of emerging, innovative technologies for the destruction and decontamination of POPs and the identification of promising technologies for use in developing countries [R]. The Scientific and Technical Advisory Panel of the GEF UNEP, (2004).
- [3] 郑海亮,陈 扬,彭 政,等.碱金属还原法在杀虫剂类 POPs 废物处置方面技术应用探讨 [C]. 持久性有机污染物论坛 2009 暨第四届持久性有机污染物全国学术研讨会,宁波: 2009.
- [4] 肖 叶,蒋建国,杨 勇,等.六氯苯碱催化分解脱氯效果及影响因素研究 [J]. *中国环境科学*, 2012,32(12):2213-2218.
- [5] Xiao Y, Jiang J G. Base-catalyzed decomposition of hexachlorobenzene: effect on dechlorination efficiency of different hydrogen donors, alkalis and catalysts [J]. *RSC Advances*, 2014,4(30):15713-15719.
- [6] Huang H, Jiang J G, Xiao Y, et al. A novel and efficient method for dechlorination of hexachlorobenzene using a sodium carbonate/glycerol system [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2014,256(15):205-211.
- [7] Liu X T, Zhao W, Sun K, et al. Dechlorination of PCBs in the simulative transformer oil by microwave-hydrothermal reaction with zero-valent iron involved [J]. *Chemosphere*, 2011,82(5): 773-777.
- [8] Ryoo K S, Byun S H, Choi J, et al. Destruction and removal of PCBs in waste transformer oil by a chemical dechlorination process [J]. *Bulletin of Korean Chemical Society*, 2007,28(4): 520-528.
- [9] Wu B Z, Chen H Y, Wang S F J, et al. Reductive dechlorination for remediation of polychlorinated biphenyls [J]. *Chemosphere*, 2012,88(7):757-768.
- [10] 罗渝然,俞书勤,张祖德,等.再谈什么是活化能——Arrhenius 活化能的定义、解释、以及容易混淆的物理量 [J]. *大学化学*, 2010,25(3):35-42.
- [11] 肖 叶.六氯苯碱催化分解影响因素及降解机理研究 [D]. 北京:清华大学, 2013.

作者简介: 黄海(1982-),男,瑶族,广西桂林人,博士后,主要从事持久性有机污染物处理技术研究.发表论文 11 篇。

河北 2015 年削减煤炭 500 万 t, PM_{2.5} 年均浓度下降 4% 以上

记者近日从河北省环保厅获悉,今年全省环保工作要突出大气、水、农村三大攻坚行动,建立和完善“源头严防、过程严管、后果严惩”长效机制,全力打造京津冀生态环境支撑区.其中,河北省把控煤作为大气污染防治的头等大事。

2015 年河北省环保工作主要任务目标是全面完成“十二五”减排目标任务,化学需氧量、氨氮、二氧化硫、氮氧化物 4 项主要污染物排放总量分别比上年削减 1%、2.5%、1%、5.1%.11 个设区城市和两个省直管县(市)环境空气质量较上年有较大改善,PM_{2.5} 年均浓度较上年下降 4% 以上。

今年,河北省要实现削减煤炭消费 500 万 t.抓协同治理,全面实施火电机组超低排放改造和钢铁、水泥、焦化等重点行业达标治理,对石化、制药等行业开展挥发性有机物治理,加快主城区重污染企业搬迁。

以敏感区域流域为突破改善水环境质量,河北省要综合治理白洋淀流域,全面改善水体水质,恢复和保护好白洋淀自然风貌和生态功能.推进全省 14 条重污染河流环境综合整治,年内汪洋沟、武烈河、辛集市明渠等水体水质明显改善.加快集中式饮用水水源地保护区划分工作,力争完成 50% 以上县城饮用水水源地保护区划分工作。

深化污染减排,6 月底前钢铁、水泥、电力、玻璃四大行业 606 个减排工程项目要全部完成并发挥减排效益.推进 227 家企业清洁生产审核和污染防治对标.实施“清洁家园”净村工程,河北省将以规模化养殖场(区)为重点,加大对畜禽养殖污染减排支持力度等。

摘自《中国环境报》

2015-03-31