

# 表面活性剂洗脱污染土壤中多氯联苯 (PCBs) 的研究与应用

施 周, 何小路

湖南大学土木工程学院, 湖南 长沙 410082

**摘要:** 多氯联苯 (PCBs) 为一类在环境中广泛分布且难以降解的持久性有机污染物。利用表面活性剂亲油和亲水的两亲特性, 将多氯联苯从土壤中洗脱出来, 从而修复受污染土壤是当前环境研究的热点之一。文章综述了近年来国内外使用表面活性剂溶液修复多氯联苯污染土壤的研究进展。表面活性剂对土壤中多氯联苯的洗脱作用主要是: (1) 表面活性剂通过减小液-固之间的表面张力, 将阻塞在土壤孔隙中的多氯联苯分散到溶液中来; (2) 表面活性剂通过形成胶束, 促使多氯联苯从土壤中重新分配到疏水的胶束核中。洗脱效果与表面活性剂种类、性质、质量浓度及土壤成份有关, 通常非离子型表面活性剂效果较好, 对多氯联苯的洗脱可达 86%。含多氯联苯洗脱液可利用生物降解、紫外光照射及焚烧等方法进行后续处理。

**关键词:** 多氯联苯; 表面活性剂; 土壤污染; 洗脱; 修复

**中图分类号:** X131.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-2175 (2004) 04-0666-04

多氯联苯 (Polychlorinated Biphenyls, PCBs) 生产始于 20 世纪 20 年代, 主要是以 Aroclor、Askarel 和 Therminol 这几种商品名称出售。由于 PCBs 优良的阻燃性和绝缘性, 被广泛用作变压器油、热介质油等<sup>[1]</sup>。鉴于 PCBs 对于环境和人类的危害, 该类产品的生产已于 1979 年开始被禁止<sup>[2]</sup>。美国 EPA 还将 PCBs 列为致癌物质之一<sup>[3]</sup>。

PCBs 可通过机油的渗漏、工业废水以及有害污染物的排放进入环境, 从而造成土壤、地下水及地表水严重污染, 进而通过饮用水或通过土壤-植物系统, 经由食物链进入人体。因此, 它们在环境中的大量存在威胁着人类健康和生态环境<sup>[4, 5, 6]</sup>。PCBs 具有难生物降解性和难水溶性, 往往与受污染的土壤底泥结合紧密而难以洗脱, 使得对于含 PCBs 土壤的处理十分困难<sup>[7, 8]</sup>。其中 PCB 的氯含量越高, 污染的范围越广, 处理难度就越大。因此, 修复被 PCBs 污染的土壤, 保障人类健康, 以实现社会的可持续性发展, 已引起各国政府的关注。在我国, PCBs 约有 10 年的生产历史 (1965 - 1975 年), 累计生产近万吨, 其中 90% 用作电力电容器的泡剂。由于电力电容器广泛分布在我国各地, 因此造成变电站内以及附近土壤被 PCBs 严重污染。在未直接受污染的土壤中 PCBs 的质量分数一般在若干  $10^{-8}$ ~ $10^{-6}$ , 工业污染区可高达几十  $10^{-6}$ 。在沈阳市检测出的土壤中 PCBs 质量分数在 6~15  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; 第二松花江底泥中 PCBs 的质量分数为 (25.4~70.3)  $\times 10^{-9}$ ; 华北地区的白洋淀区域由于周围的小规模工厂的废水排放, 使得一部分地区的底泥 PCBs 含量过高<sup>[9]</sup>。另外, 大批农户随意倒卖和拆卸含 PCBs 的电力容器造成大量 PCBs 的污染事件。由此可见, 我国也面临着治理含 PCBs 污染土壤的艰巨任务。

“Pump-and-Treat” 为国外土壤修复的传统方法<sup>[5]</sup>, 但若单纯用水作为介质来清洗含有有机物的污染土, 其效率不高; 而采用有机溶剂处理, 由于其潜在的二次污染使得该方法有很大的局限性。目前土壤修复的技术主要是通过表面活性剂

溶液对土壤洗脱来去除有机污染物<sup>[10-17]</sup>。本文综述采用表面活性剂溶液对 PCBs 污染土壤进行洗脱的研究应用的进展。

## 1 洗脱机理

表面活性剂都是由亲水疏油的极性基团和疏水亲油的非极性基团组成, 这两部分分别处于表面活性剂分子的两端<sup>[18]</sup>。因此表面活性剂分子结构的特征是一种既亲油又亲水的两亲分子。根据表面活性剂亲水基团的电离特性, 表面活性剂分为阴离子表面活性剂 (如 Sodium Dodecyl Sulfate, AES 等), 阳离子表面活性剂 (如溴化十六烷基三甲铵等), 非离子表面活性剂 (如 Brij35, alcohol ethoxylate, TritonX-100 等), 以及阴-阳两性离子混合表面活性剂。表面活性剂修复土壤的效率与表面活性剂本身的物理化学性质 (如表面张力, 亲水/亲油平衡值, 临界胶束质量浓度等), 土壤的物理化学性质及其对有机物和表面活性剂的吸附作用等有关。在质量浓度较低时, 表面活性剂以单体形式存在, 这些单体会聚集在液-固界面, 能够减小液-固界面能<sup>[19]</sup>; 当表面活性剂质量浓度增加到一定程度时, 这些单体就会形成胶束。该质量浓度被称为临界胶束质量浓度。

表面活性剂对于含 PCBs 土壤洗脱的增强效果主要包含下面几方面的机理: 第一, 由于表面活性剂减小了液-固之间的表面张力, 因此可以将阻塞在土壤孔隙中的油类物质分散并通过溶液本身将其洗脱出来<sup>[20]</sup>; 第二, 当质量浓度增加到临界胶束质量浓度以上时, 表面活性剂在溶剂中会形成胶束, 胶束的内部具有憎水性, 而外部则具有亲水性, 因此 PCBs 的憎水性使得其很容易分配到胶束核, 从而使得 PCBs 在表面活性剂溶液中的溶解度大大提高, 因而能更好地将其从土壤中洗脱出来<sup>[20, 21]</sup>。

## 2 洗脱效果

美国 EPA 报告了采用两种表面活性剂对含 PCBs (Aroclor1260,  $100 \times 10^{-6}$ ) 的沙质土进行了一系列小试和土柱的洗脱实验, 表面活性剂选用的是 Adsee799 (非离子表面

基金项目: 国家自然科学基金项目 (20177005)

作者简介: 施周 (1960 - ), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事纳米技术在水处理中的应用和 PCBs 处理的研究。

收稿日期: 2004-05-27

活性剂)和 Hyonic PE90。在该实验中,表面活性剂溶液质量浓度均为 2%,两种溶液对于土壤中 PCBs 的去除率均超过了 85%<sup>[22]</sup>。Abdul and Gibson 通过土柱洗脱实验研究比较了 10 种表面活性剂对于含 PCBs 土壤的洗脱效果。其中 alcohol ethoxylate 表面活性剂对被 PCBs 污染的土壤进行清洗的结果表明,PCBs 能得到有效的去除。经过 20 次清洗后,表面活性剂质量浓度分别为 5 000 mg/L, 10 000 mg/L, 20 000 mg/L 的溶液洗脱了 66%、86% 和 56% 的 PCBs<sup>[23]</sup>。Abdul 等<sup>[24]</sup>还通过现场实验,将污染土壤经过 70 d 的洗脱,共得到 1.6 kg 的 PCBs,其中洗脱液中 PCBs 的最高质量浓度达到 65 mg/L; Ellis 等<sup>[10]</sup>于 1989 年采用质量浓度均为 2% 的两种非离子表面活性剂混合而成的溶液对含 PCBs 的土壤进行洗脱,结果 70% 的 PCBs 被表面活性剂溶液从土壤中洗脱出来。近些年来,出现了一种新型的表面活性剂——生物表面活性剂。该种表面活性剂通常比一般表面活性剂的化学结构更为复杂,单个分子占据更大空间,因而临界胶束质量浓度低,去除土壤有机物效果好,且容易降解,不会产生二次土壤污染。生物表面活性剂通过促进 PCBs 进入其憎水基团,能增强 PCBs 对土壤的解吸附作用,对去除土壤中的疏水有机污染物有增强作用<sup>[25, 26]</sup>。而另一种混合表面活性剂阴-非离子混合表面活性剂,由于具有协同增溶作用,与单一表面活性剂相比,其吸附作用和沉淀作用均降低,从而作用于油类等有机物的有效质量浓度也相应提高,用于清除土壤中有有机污染物的效果更好。

以上这些研究结果都表明,采用表面活性剂溶液对 PCBs 污染土壤进行洗脱具有非常好的效果。

### 3 影响洗脱效果的因素

#### 3.1 表面活性剂的种类

在土壤洗脱的实验中,表面活性剂的选择非常重要。选择表面活性剂主要依据下面几个方面:(1)实验所使用的表面活性剂应当不具有毒性或者危害性,保证其使用后不会对环境造成二次污染;(2)实验所使用的表面活性剂应该容易购买,具有一定的普遍性;(3)实验所使用的表面活性剂应该具有较好的可降解性,应该可以很容易地通过人为的方法或者自然降解过程得到去除;(4)由于使用表面活性剂溶液质量浓度在大于临界胶束质量浓度时才能对土壤中的 PCBs 进行有效的洗脱,因而实验所使用的表面活性剂临界胶束质量浓度不能过高。在 Abdul 等<sup>[23]</sup>的试验中,当表面活性剂质量浓度增加到 20 000 mg/L 时,对 PCBs 的洗脱率反而只有 56%。有研究表明,表面活性剂溶液质量浓度过高时,会在水溶液中形成絮凝物,然后与有机污染物结合形成粘性乳状液,这种乳状液会堵塞土壤中的缝隙,从而导致溶液在土壤中的流速大大减慢,影响洗脱效果<sup>[27-29]</sup>。Abdul 等的实验结果表明,在他们选用的 10 种表面活性剂当中,ethoxylate 类表面活性剂使土壤胶体的分散程度最低,并且临界胶束质量浓度低;难溶于水的油类物质在 ethoxylate 类表面活性剂溶液中有很高的溶解度,在实验过程中,80% 的油类物质被洗脱出来<sup>[23]</sup>。

由于每个污染所在点土壤的物理、化学以及生物条件都

不相同,因此土壤吸附、降解等的影响因素也会不一样,只有通过现场的实验才能确定选用哪一种表面活性剂作为洗脱溶液较为合适。

#### 3.2 表面活性剂溶液的质量浓度

表面活性剂溶液质量浓度的选择非常重要,一般情况下以最大程度去除 PCBs 污染物为主要目的,表面活性剂溶液的质量浓度应高于临界胶束质量浓度,同时要兼顾土壤对于表面活性剂的吸附因素。表面活性剂溶液质量浓度越高,则吸附到土壤中的表面活性剂越多,使得表面活性剂的购买费用及土壤的后续处理费用大大增加;另一方面,如果表面活性剂溶液质量浓度过低,则需要增加洗脱的次数以达到有效洗脱土壤中 PCBs 的程度,同样会增加处理费用。在实验过程中,表面活性剂溶液质量浓度的选择主要根据洗脱土壤中 PCBs 的需要来确定。

#### 3.3 表面活性剂在土壤中的吸附

表面活性剂溶液在洗脱土壤中 PCBs 的同时,其一部分会被土壤吸附,从而会对 PCBs 洗脱产生负面影响。另据一些研究表明,表面活性剂溶液在土壤中的吸附曲线呈 S 型曲线,其开始的两个阶段可以用 Langmuir 等温曲线来描述<sup>[29]</sup>,而 Narikis 等曾经通过非离子表面活性剂在土壤中的吸附得到 Langmuir 等温曲线和 S 型等温曲线<sup>[30, 31]</sup>。以上这些实验说明表面活性剂吸附到土壤中的质量浓度与表面活性剂本身的质量浓度有关。表面活性剂溶液的初始质量浓度越高,则其吸附到土壤中的量越多。另外,土壤对表面活性剂的吸附与土壤本身的有机碳含量也有关,土壤中有有机碳含量越高,则吸附的表面活性剂越多。施周等的实验选用生物表面活性剂对 PCBs 污染土壤进行洗脱时,当土壤的有机碳含量为 0.74 时,土壤对表面活性剂的吸附率为 32.4%;而有机碳含量为 0.32 时,土壤对表面活性剂吸附率为 29%<sup>[26]</sup>。因此,我们在表面活性剂洗脱方法应用的时候,必须根据污染土壤的物理化学性质来选择表面活性剂的种类,然后根据所选定的表面活性剂的临界胶束质量浓度来确定洗脱溶液的质量浓度。

### 4 土壤及土壤洗脱液的后续处理

#### 4.1 土壤的后续处理

土壤在经过表面活性剂溶液的洗脱后,仍然需要进行进一步的处理来去除吸附在土壤中的少量表面活性剂。表面活性剂具有溶水性,因此可以通过水来将土壤吸附的表面活性剂进行初步洗脱。在 Abdul 的试验中,选用水来对表面活性剂洗脱后的土壤进行清洗,洗脱水中表面活性剂的质量浓度从 10 000 mg/L 减少到 57.2 mg/L<sup>[23]</sup>,但是要将土壤吸附的表面活性剂用水完全洗脱出来是不可行也是不经济的。因此,在我们最初选用表面活性剂时,应尽可能选用可生物降解类的表面活性剂,例如 ethoxylate 等。以前的一些研究表明,在厌氧条件下,质量浓度高达 1 000 mg/L 的 ethoxylate 类表面活性剂能被完全生物降解<sup>[32]</sup>;在有氧条件下,土壤吸附的表面活性剂 90% 以上能被降解<sup>[32]</sup>。

#### 4.2 土壤洗脱液中 PCBs 的处理

表面活性剂的洗脱作为一种土壤的处理方法,只能将土

壤中的 PCBs 污染物洗脱出来,而洗脱液中含有的 PCBs 仍然要进行深度处理,才能彻底消除其对环境的污染。对于 PCBs 的处理,主要有:工业焚烧加活性炭吸附,深埋储存,紫外光与生物降解等方式。Abdul 等<sup>[23]</sup>在实验中选用厌氧生物降解和活性炭吸附的方法对含 PCBs 的洗脱液进行了处理,PCBs 的质量浓度从 65 mg/L 降到 10  $\mu$ g/L。1995 年 8 月,国家“八五”环保攻关课题“多氯联苯工业性焚烧技术研究”已经通过国家技术鉴定,该项目研制成功一套年处理量达 300 t 的焚烧装置,由于焚烧尾气中含 PCBs 质量浓度过高,配合以活性炭对尾气进行吸附,对 PCB 进行深度处理,吸附饱和后的活性炭进行焚烧处理,经实验证明不会对环境产生二次污染<sup>[33]</sup>。施周等对光降解 PCBs 的研究表明,由于氯含量高的 PCBs 难以生物降解却易于发生光化学反应,且其光降解产物不会对进一步的生物降解产生副作用,因此采用紫外光与生物降解的组合技术对 Aroclor1242 进行处理,其降解率达到 77.3%<sup>[34-36]</sup>。

### 5 表面活性剂在洗脱有机物污染土壤中的应用

表面活性剂洗脱方法除了对洗脱含 PCBs 土壤有很好的效果外,处理其他含油污染土壤也同样有效,适合于处理被各种油类有机物污染的土壤。近年来,欧美各国投入大量的人力财力开展土壤及地下水污染的修复研究。1995 年仅德国就投资 60 多亿美元进行土壤修复;美国也已投入 100 多亿美元对土壤的修复技术进行研究<sup>[41]</sup>。在国内,也已经开始使用这种方法来对被有机物或者石油污染的土壤进行修复。刘新华<sup>[37]</sup>对水力冲洗和表面活性剂冲洗修复油类污染土壤进行比较,在相同的水力负荷下,AES 表面活性剂水溶液除油率为清水的两倍。杨建涛等人<sup>[38]</sup>对表面活性剂洗脱黄土中石油污染物进行了研究,发现加入阴离子表面活性剂后,柴油的去除率达到 20%以上,而加入阳离子表面活性剂则效果不显著,为淋滤清洗法治理石油污染黄土提供了选择合适的表面活性剂种类的思路。

表面活性剂溶液对土壤进行洗脱的费用主要是表面活性剂的购买,表面活性剂的可再生性以及可修复性使得购买费用大大减少。由此可见,利用表面活性剂溶液对 PCBs 等污染土壤进行洗脱修复是一种可行的土壤治理方案,具有实际应用价值。由于表面活性剂作为一种土壤清洗的方法还处在实验室研究阶段,还没有正式投入大规模的实际应用,因此还没有对该方法进行具体成本估算。

值得一提的是,在实际应用中,在不透水的土质地带,如何解决使表面活性剂溶液渗透整个污染地带,以及如何修复土壤洗脱渗滤液,仍是两个亟待解决的问题。

### 6 结论

在土壤污染日趋严重的今天,寻找一种经济有效的方法对土壤进行修复已经迫在眉睫。采用表面活性剂溶液对含 PCBs 有机污染物的土壤进行洗脱已经成为土壤修复的一种最常见且最为有效的修复方法。与其他修复方法相比,表面活性剂溶液洗脱法具有处理效果好,经济实用,一般不会对环境造成二次污染的优点。从长远看,将表面活性剂洗脱与生物降解以及紫外光降解等处理方法结合起来对污染土壤

进行修复,是一条颇有前景的发展方向。在我国,已经开展了相关的研究,相信在不久的将来,基于表面活性剂洗脱土壤污染的整治方法将会得到广泛应用。

### 参考文献:

- [1] DENNIS W BRINGKMAN, John R Dickson Full-Scale. Hydrotreatment of Polychlorinated Biphenyls in the presence of used lubricating oils [J]. *Environ Sci Technol*, 1995, 29(1): 87-91.
- [2] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Polychlorinated Biphenyls Manufacturing Processing Distribution in Commerce and Use prohibitions[J]. *Fed Regist*, 1977, 44: 31504.
- [3] SAX N I. *Dangerous Properties of Industrial Materials*[M]. 7th edition. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989: 2815.
- [4] 崔明珍. 废弃物化学组分的毒理和处理技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993: 182-184.
- [5] PALMER C D, FISH W. Chemical Enhancements to Pump-and-Treat Remediation[J]. *Ground Water Issue*, 1992(1): 1-19.
- [6] SAWHNEY B L. Chemistry and Properties of PCBs in Relation to Environmental Effects [M]. *PCBs and Environment*. CRC press, 1986: 47-64.
- [7] WAID J S. *PCBs and Environment* [M]. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 1986: 47-64.
- [8] SHIU W Y, MACKAY D A. Critical review of aqueous solubilities, vapor pressures, Henry's law constants, and octanol-water partition coefficients of the polychlorinated biphenyls[J]. *Phs Chem Data*, 1986, 15: 911-929.
- [9] 祝心如, 王怡中. 白洋淀地区的多氯联苯污染研究[J]. *环境科学学报*, 1995, 15(1): 86-91.
- [10] ELLIS W D, J R PAYNE, A N TAFURI, *et al.* The development of chemical countermeasures for hazardous waste contaminated soil[A]. In: EDISON N J. *Proceedings From US EPA Technology Transfer Presentation/Exhibit*[M]. 1989.
- [11] WEST C C, HARWELL J H. Surfactants and subsurface remediation[J]. *Environ Sci Technol*, 1992, 26: 2 324-2 329.
- [12] VIGON B W, RUBIN A J. Practical considerations in the surfactant-aided mobilization of contaminants in aquifers[J]. *J Wat Pollut Control*, 1986, 61: 1 233-1 240.
- [13] EDWARDS D A, ADEEL Z, LUTHY R G. Distribution of nonionic surfactant and phenanthrene in a sediment/aqueous system[J]. *Environ Sci Technol*, 1994, 28: 1 550-1 560.
- [14] ROUSE J D, SABATINI D A, HARWELL J H. Minimizing surfactant losses using twin-head anionic surfactant in subsurface remediation[J]. *Environ Sci Technol*, 1993, 27: 2 072-2 078.
- [15] PENNELL K D, ABRIOLA L M, WEBBER W J. Surfactant-enhanced solubilization of residual dodecane in soil columns 1: experimental investigation[J]. *Environ Sci Technol*, 1993, 27: 2 332-2 340.
- [16] ABRIOLA L M, DEKKER T J, PENNELL K D. Surfactant-enhanced solubilization of residual dodecane in soil columns 2: mathematical modeling[J]. *Environ Sci Technol*, 1993, 27: 2 341-2 351.
- [17] SHIAU B J, SABATINI D A, HARWELL J H. Solubilization and microemulsification of chlorinated solvents using direct food additive (edible) surfactants[J]. *Ground Water*, 1994, 32: 561-569.
- [18] 徐燕莉. 表面活性剂的功能[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 5-15.
- [19] EDWARDS D A, LUTHY R G, LIU Z. Solubilization of polycyclic aromatic hydrocarbons in micellar nonionic surfactant solution[J]. *Environ Sci Technol*, 1991, 25(1): 127-133.
- [20] WERSHAW R L. New model for humic aterials and their interactions with hydrophobic organic chemicals in soil-water sediment-water systems[J]. *J Contam Hydrol*, 1986, 1(1): 29-45.
- [21] ABDUL A S, T L GIBSON, D N RAI. Use of humic acid solution to remove organic contaminants from hydrogeologic systems[J]. *Env Sci Technol*, 1990, 24(3): 328-333.

- [22] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Treatment of Contaminated Soils with Aqueous Surfactant. Report EPA/600/2-85/129[R]. 1985.
- [23] ABDUL A S, GIBSON T L. Laboratory studies of surfactant-enhanced washing of polychlorinated biphenyls from sandy material [J]. *Env Sci Technol*, 1991, 25(4): 665-671.
- [24] ABDUL A S, GIBSON T L. In situ surfactant washing of polychlorinated biphenyls and oils from a contaminated site[J]. *Ground Water*, 1992, 30(2): 219-231.
- [25] 朱利中. 土壤及地下水有机污染的化学与生物修复[J]. *环境科学进展*, 1999, 4(6): 65-72.
- [26] ZHOU SHI. Impact of Biosurfactant (RHAMNOLIPLD RI) on the Solubilization, Mobilization and Mineralization of PCBs (Thesis)[Z]. 1994: 25-35.
- [27] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Underground Movement of Gasoline on Groundwater and Enhanced Recovery by Surfactants[R]. API Publication No. 1979, 4317. Research Symposium. EPA/600/9-86/022.
- [28] WEBBER W J JR. Physicochemical Processes for Water Quality Control: Wiley-Interfacial Phenomena[M]. New York: Wiley-Interscience, 1978: 98.
- [29] ROSEN M J. Surfactants and Interfacial Phenomena[M]. New York: Wiley-Interscience, 1978.
- [30] NARKIS N, BEN-DAVID B. Adsorption of Non-ionic Surfactants on Activated Carbon and Mineral Clay[J]. *Water Res*, 1985, 19(7): 815-824.
- [31] WAGGENER S, SCHINK B. Anaerobic degradation of nonionic and anionic surfactants in enrichment cultures and fixed-bed reactors [J]. *Water Res*, 1987, 21: 615.
- [32] TURNER A H, ABRAM F S, BROWN V M. The biodegradability of two primary alcohol ethoxylate nonionic surfactants under practical conditions and the toxicity of the biodegradation products to rainbow trout [J]. *Water Res*, 1985, 19: 45-51.
- [33] 金重阳, 刘辉. 活性炭纤维处理含多氯联苯废水的研究[J]. *环境保护科学*, 1997, 23(3): 6-7.
- [34] 王政华, 施周. 利用紫外光降解多氯联苯的研究进展[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2001, 2(6): 10-15.
- [35] 施周, 余健. 表面活性剂溶液中四氯联苯光降解机理研究[J]. *环境科学学报*, 2000, 20: 110-114.
- [36] ZHOU SHI, MICHEAL E SIGMAN. Photoolysis of 2-chlorophenol dissolved in surfactant solutions[J]. *Environ Sci Technol*, 1997, 31(12): 3 581-3 587.
- [37] 刘新华. 土壤油类污染治理的水力冲洗和表面活性剂冲洗技术初步试验研究[J]. *环境科学学报*, 1996, 16(4): 418-424.
- [38] 杨建涛, 朱琨. 表面活性剂对黄土中石油污染物的解吸影响研究[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2003, 4(2): 6-10.

## Study and application of surfactants in washing polychlorinated biphenyls from contaminated soils

SHI Zhou, HE Xiao-lu

College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

**Abstract:** Polychlorinated biphenyls (PCBs) are ubiquitous and persistent organic pollutants in environment. It is the focus of current environmental researches that making use of surfactants' hydrophobic and hydrophilic properties to wash PCBs from contaminated soils and therefore remediate the soils. The progress in applying surfactants to remediate PCBs contaminated soils is reviewed in the paper. To wash PCBs, the surfactants functioned through: 1. inducing PCBs from pore of soil into the surfactant solutions by reducing the solid/liquid interface tension; 2. enhancing redistribution of PCB from soil into the hydrophobic core of surfactant micelles by forming micelle. Research results showed that washing efficiency depended on the type, property, and concentration of surfactants, as well as composition of soils. Nonionic surfactants usually achieved the best washing results, and their washing efficiency could be as high as 85%. The PCB in the washings can be further treated by biodegradation, UV-photolysis, and combustion.

**Key words:** PCBs; surfactant; soil contamination; soil washing; remediation