

地下水原位生物修复技术*

金朝晖, 曹骥贺, 戴树桂

(南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要:对地下水原位生物修复技术的概念、实施途径和方案等进行了综述,并介绍了此种方法的优点及局限性。

关键词:地下水;原位;生物修复

中图分类号:X523 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-1264(2002)01-0010-03

In-situ Bioremediation Technology of Contaminated Groundwater

JIN Zhao-hui, CAO Ji-yun, DAI Shu-gui

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: An overview of in-situ bioremediation technology, including the concept, methods, process and so on, is provided. The advantages and limitations of this technology are pointed out.

Key words: groundwater; in-situ; bioremediation

原位生物修复技术是一种有发展潜力、效率高且投资少的环境修复技术。研究原位生物修复技术的过程、效果以及系统的利用率越来越成为人们关注的热点。

所谓原位生物修复技术就是利用微生物对污染土壤不经搅动、在原位和易残留部位之间进行现场处理^[1]。该技术应用于被石油类碳氢化合物所污染地下水治理已经有多年历史,但是直接用于治理被其它污染物污染的地下水也只是近几年的事。原位生物修复技术的研究结果一方面加深了我们对该技术使用过程中一些限制因素的理解,同时也为使用其他相关的生物、化学和水力参数等提供了帮助。以下将对地下水原位生物修复技术的实施途径、方案、应用及该技术的优缺点等做简要介绍。

1 原位生物修复技术概述

Sufita 在 1989 年提出了成功实施原位生物修复技术的现场条件,这些条件包括:(1)蓄水层渗透性好且分布均匀;(2)污染源单一;(3)地下水水位梯度变化小;(4)无游离相的污染物存在;(5)土壤无污染;(6)污染物易降解、提取和固定。很明显,能满足上述要求的场所非常少,但是,人们对理想含水层特殊的地理和微生物特性,对含水层中所存在污染物潜在的化学、物理和生化特性研究所得出的成果,同样可以用于非理想含水层生

物修复技术的发展。

含水层中的污染物有的可以溶解在水中,有的附着在土壤颗粒表面,有的是以游离相或沉淀相形式存在,被称为 NAPLS(非水相液体化合物)^[2]。通常 NAPLS 又可以细分为两类:一类密度小于水(简称为 LNAPLS),另一类密度大于水(简称为 DNAPLS)。LNAPLS 主要包括含碳氢化合物的燃料,如汽油、煤油、航空汽油、飞机燃油和热用油等。DNAPLS 主要包括碳氢化合物的氯化物如三氯乙烯、四氯化碳、氯酚、氯苯、四氯乙烯等。

污染物自污染源(比如一个地下 NAPLS 储罐)泄漏而进入地下环境的方式是非常复杂的,当污染物通过未饱和区域时,受到孔隙毛细作用和重力等作用,进行扩散,沉淀或者形成蒸气,这些污染物同地下水和它们接触时,那些可溶组分将溶入水相。

含水层的原位生物修复技术通常有两种。第一种是通过刺激现有微生物的生长来降解有机污染物,而微生物的刺激是通过向含水层中注入无机营养物质以及在必要时向其中注入适当的电子受体来实现的。另一种方法是向被污染含水层内投加具有特殊新陈代谢能力的微生物来净化含水层,那些特殊的微生物种群可以通过对该微生物进行浓缩或基因控制来得到。微生物的浓缩是通过将该微生物逐渐和污染物接触来实现。基因控制技术是将所选生物暴露于诱导基因变异物质

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(29837170)

收稿日期:2001-07-17

下,然后分离有降解能力的微生物,或利用 DNA 重组技术改变基因结构来达到目的。同时可以采用其它途径如交叉驯化,来强化微生物的降解效果。在绝大多数的受污染含水层中,就现场条件而言其水文地质条件是复杂的,因此成功的修复方案必须依靠多种处理技术,在修复时,采用系列的多种方法或平行的多种方法将地下水水质恢复到要求水平是必要的。

2 原位生物修复方案

原位生物修复方案包括以下几个方面:

(1)深入的现场调查;(2)可处理性研究;(3)消除污染源和回收游离相污染物;(4)设计和实施生物修复工艺;(5)通过监测项目来评价工艺的运行情况。

对现场污染物的可生化性进行深入细致的调查对于生物修复系统的成功实施是必要的。对污染物特征的评价将为确定原位生物修复技术是否可行提供依据。存在于特定区域的污染物的其它的特性也应当被充分考虑,其中包括决定污染物反应及移动的物理和化学特性等。关于污染物在含水层的固相和水之间进行渗透的资料尤其重要,因为它是确定污染物渗入地下水的速率和程度,评价污染物在水中的移动性以及确定原修复所必须投加电子受体和无机盐数量的依据。

查明污染源是修复工作的基本任务,要查明污染源的位置和污染的深度、污染地区污染物的种类、要处理的污染物的数量以及采用合理的修复技术进行修复所需的费用和时间等。进行原位修复时,注入和提取井的位置、最佳提升速率及辅助物(如营养物和可替代电子受体等)浓度及有关污染物数量、分布的资料和现场水文条件应当被考虑进来。

而含水层的特征则是判断该环境是否适合生物降解的必要条件,同时也为水力条件的设计和系统的运作提供依据。现场调查应当充分考虑含水层的一些重要的地理特性,它们包括含水层物质的组成和异同点、特殊物质,和其它含水层的水力联系、地下水水位的升降情况、地下水的流动速率和方向、水力传导、渗透性、总体密度和空隙率等^[3]。含水层特性是决定原位生物修复技术效率的关键因素,因为它直接影响经过驯化的特殊微生物的生物活性和对污染物的生化降解作用。目前,为了发现、计量和评价地下微生物的生物量和

新陈代谢特性,人们采用了大量的方法,这些方法包括采用光学显微镜、可行计数方法、采用以 ATP、GTP、磷脂、脂肪酸等作为生化指示剂来反映微生物的新陈代谢活动等^[4]。

3 原位生物修复系统的设计实施和应用

在原位修复系统运行之前,应当尽可能地除去土壤和地下水中的污染源。比如在一个液体石油的泄露现场,由于含水层和污染物特性的不同,物理修复技术(例如用泵抽取污染地下水到地面)在现场被用于游离相化合物的去除,大约可以回收 30% ~ 60% 的泄露污染物。如果泄露物中含有 DNAPLs 类物质,它们可以沉降到含水层的底部,物理修复将非常困难,采用原位生物修复技术才是可行的办法。如果采用生物修复技术涉及到注入营养物质,外加氧源或投加电子受体等措施时,那么将需要采用水力控制措施来尽可能地减小污染物的迁徙。通常水力控制措施具有耗时短而且费用低的优点。

现在大部分的原位生物处理技术都是由 Suntech 的研究人员在修复汽油污染水体时所采用的技术的基础上发展起来的。Suntech 处理过程是一项命名为碳氢化合物污染的地下水的再生的专利^[5],这个处理过程使用注入和生产井系统使氧和营养物质在污染水体中循环,井的布置由该地区的污染情况和孔隙性质决定,但通常距离不会超过 30 m,补充的营养物质包括氮、磷和其它无机盐。好氧地下水生物修复图例见图 1。

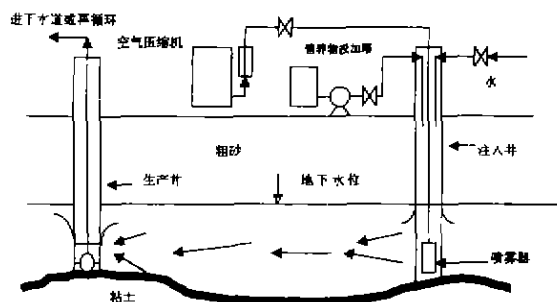


图 1 典型的好氧地下水原位生物修复示意图

向污染含水层所投加的物质是顺次注入的,通常先注入无机盐类,然后是氧。同时投加这两种物质会引起微生物的过分生长,造成含水层的堵塞,致使后期的营养物无法而注入。高浓度的过氧化氢可被用来消除生物堵塞,恢复系统效率。

系统的运行情况和运行效果都应当受到监

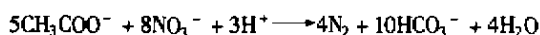
控。重要的运行因素包括:无机盐营养物和电子受体的投加,同含水层污染区域相关的投加点,对污染带的控制等。

溶解氧和营养物在地下水样品中含量的测定结果可用于评价生物修复技术的可行性,而污染物或其代谢产物含量的测定可以确定生物降解是否在进行。另外地下水中含有的二氧化碳还可以作为微生物活性的指示剂。

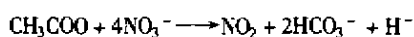
目前,地下水污染中,硝酸盐污染是重要问题,其来源主要包括过度施肥、人畜造成的垃圾和工业废物的影响。饮用硝酸盐污染的水对人类健康造成很大的危害,处理硝酸盐污染的地下水一直是人们关注的问题。原位生物修复法应该是一种高效而经济的方法。整个去除反应为^[6]:

营养物 + 细菌 + 硝酸盐 → 氮气 + 水 + 二氧化碳

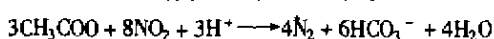
若使用醋酸盐做有机营养物,化学反应为:



在实践中,有二步速度限制反应,首先是硝酸盐转变为亚硝酸盐



第二步是亚硝酸盐转变为氮气。



地下水硝酸盐生物修复的营养物有醋酸盐、乳酸盐、葡萄糖、甲醇或乙醇。在这种情况下,生物修复既可以发生在好氧条件下,又可以发生在厌氧条件下。好氧条件下,氧作为电子受体,而在厌氧条件下,硝酸盐做电子受体。原位生物修复只需向地下水体中加入营养物质,利用微生物耗营养物的过程,把硝酸盐转变为无害的氮气,而不需把地下水提取出来再处理,提高了效率,节省了费用,产生的废物较少,而且一次处理的水量也大。

4 结语

和其它的含水层修复技术不同,生物修复技术经常被用来处理那些被含水层中的物质和孔隙所吸附的污染物。除了用于饱和区域的处理外,

还可以用于未饱和区域和毛细现象多发区域污染物的治理。

采用原位生物修复技术对地下污染物进行处理比采用将污染物提取出来然后再处理的方法耗时少。而且与其它技术相比,该技术所需费用也较低。同时该技术所能处理的区域范围要比其它方法大,因为微生物可以随着污染物的移动而移动,从而达到其它方法都无法到达的区域。

原位生物修复技术也有缺点,比如许多有机污染物在地下很难被降解,通常要驯化一些微生物,污染物的毒性有时会抑制原有的微生物的活性,注入井由于投加营养物质和氧有时会被过度生长的微生物所堵塞。原位生物修复技术对于渗透性较差的含水层实施起来有较大困难,因为无法向那些活跃的微生物群体传递足够的营养物和氧。另外,原位生物修复技术要求有持续的监控和维护。

参考文献

- [1] 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,1999,7(2):65-71.
- [2] Palmer C D, Johnson R L. Physical Processes Controlling the Transport of Non - Aqueous Phase Liquid in the Subsurface Nashington[M]. Environmental Protection Agency, 1989. 161 - 205.
- [3] Lee M D, Ward C H. Ground Water Restoration Report submitted to JACA Corporation[J]. Washington: EPA, 1986. : 86 - 96.
- [4] Ghiorse W C, Wilson J T. Microbial Ecology of the Terrestrial Subsurface[J]. Application Microbiology, 1988,33:107 - 172.
- [5] Raymond, R.L. Reclamation of Hydrocarbon Contaminated Ground Waters. U. S. Patent Office, Washington, DC. Patent No. 3, 846,290, Patented November 5, 1974.
- [6] Almeida J. S. et al. Competition between Nitrate and Nitrite in Denitrification by *Pseudomonas Fluorescens* [J]. Biotechnol. Bioeng., 1995,46(7):476 - 484.

作者简介:金朝晖(1946-),男,河北人,南开大学环科与工程学院教授,研究方向为环境科学,承担过国家重点基金,国家“六五”攻关,“七五”、“八五”及部、市级研究项目16项,发表论文46篇。

环境科技简讯

《城市环境与城市生态》杂志入选《中国期刊方阵》

《城市环境与城市生态》杂志入选“中国期刊方阵”期刊,中宣部和新闻出版总署已将入选期刊向社会公布,对进入“中国期刊方阵”的期刊由中华人民共和国新闻出版总署发给图形标识,从今年起统一在期刊的封面印制入选“中国期刊方阵”的标识。

(本刊通讯员)