

# 石油污染土壤微生物联合修复技术的实际应用

曲曼宁

广西博世科环保科技股份有限公司 广西南宁 530007

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13226

**[摘要]** 石油是当今全球重要的能源之一,随着工业、交通、农业技术的不断发展,石油污染的问题愈加严重,尤其是石油对土壤的污染,会破坏土壤成分,使得土壤清洁处理极为困难,而且污染土壤不进行治理,严重的会造成环境污染以及人体危害。当前世界主流的土壤修复技术中,最有应用前景的技术之一是微生物联合修复技术,其修复效果较好而且成本相对较低,该技术对石油污染土壤的修复有着重要意义。本文将基于对微生物联合修复技术实际应用情况的分析,为选择修复技术提供科学参考,并深入探讨石油污染土壤修复技术的研究重难点。

**[关键词]** 石油污染土壤;微生物联合修复;实际应用

## 一、绪论

社会经济的不断发展会造成许多环境问题的产生,特别是能源的使用所造成的环境污染问题,石油目前是世界主要的能源,石油的开采量不断增加。2019年,我国原油产量达到1.91亿吨。石油的加工过程会持续污染土壤,特别是在石油的炼制、运输和使用的过程中不断导致石油对土壤造成的污染愈发严重,截至2020年底,全国已探明油气田共计1060个,每口油井污染的土地面积为 $200\sim 500\text{m}^2$ 。全国共有油井20万口,由此造成的土壤污染可达8000万 $\text{m}^2$ 。这一数值每年还在增长中。这些被污染的土壤的处理清洁费用高,而且会随着污染物在地下流动造成大面积的石油污染。

生物修复技术早在1989年就有人开始进行研究,在1991年的国际环保会议上,生物修复技术被确定为最有发展意义和前景的土壤污染修复技术,在1992年,阿根廷就采用配制营养液来大量培育微生物,在将近800多吨的石油泄露的土壤上培育土著菌治理土壤污染,取得了很好的修复效果。1994年,美国举办的环境生物可持续发展会议,确定微生物培育优化技术是环保修复的新型研究技术。2000年,在东京的生物技术国际研讨会上,全世界有20多个国家已经确定治理石油污染土壤的首要选择是生物修复技术。

生物修复技术利用微生物或植物降解转化石油污染物,该修复技术的成本低廉,但其能够取得很好的土壤修复成效,当然,生物修复技术研究历史较早,并且已经成为土壤修复技术的关键技术和主流技术。但是生物单独修复技术修复效果往往不稳定,虽然效果好,但是单独的微生物在存活时间上有缺陷,难以长期存活,因此不利于大规模的使用。

## 二、石油污染土壤概述

石油主要由多种多样的烃和其他微量含氮、硫化物等组成。其主要是以烷烃组分为主,分子量差别非常大,有固体、气体等存在形式。石油是当今最重要的化石能源,是工业发展的根本,也是目前任何能源都无法替代的能源。从20世纪50年代的调查中就发现石油储量是世界能源之首,其占有比例远高于煤炭。石油的广泛应用使人类社会取得了巨大的进步,但是由于毫无节制的开采,使人类的生存环境也遭受了很大的威胁。石油的开采、提炼、储运和生产等过程中产生的工艺废气、废水及污泥,对环境的污染日益加重。

随着石油的开采与使用量的增加,大量的石油及其产品不可避免地进入环境,对环境造成了污染,给生物带来了严重危害。近年来在石油开采区、石化生产区、加油站等地,由于石油开采、油气集输管道及含油污水的泄漏,使大量的

石油污染物进入土壤或地下水。辽河平原等地的石油污染较为普遍,大庆油田和华北油田井区土壤石油污染严重,含油量在1.8%~4.7%之间。中原油田的污染土壤中石油烃的含量高达2.3%,尽管尚未污染到地下水,但对地下水的安全造成了极大威胁。除此之外,根据对新疆克拉玛依油田的污染现场进行调研和取样分析,总结油田污染土壤有以下特点:

(1) 石油污染的面积大,污染程度严重,含油量为1%~12%,且为稠油,与砂石黏在一起,深度为1~3m。

(2) 由于污染地块长期搁置,导致石油污染物吸附在土壤颗粒表面,与土壤颗粒黏结紧密。

(3) 污染地块分布广、差异大,部分区域位置偏远,因此亟需技术可行且操作简便的治理方法。土壤被石油污染后,大部分难挥发性污染物会残留其中,而石油含有的多环芳烃在光照与暗反应中会产生一种自由基,这种自由基具有极大的毒性和杀伤力。

综上所述,在50cm以上的表层土壤截留了绝大部分落地原油,污染物逐渐积累导致土壤结构破坏,从而影响土壤的通透性,对农作物的生长及发育造成非常大的负面影响。同时,石油类污染物还可以被植物根系吸收后残留在植物体内,经过食物链进入到人畜体内,将危害人畜的健康。如果石油进入土壤后长期堆放,随着雨水的冲刷、微生物的降解,在土壤颗粒中进行迁移,石油污染物与气、水等环境要素构成多相流系统,最终导致地下水污染。

## 三、微生物联合修复技术的实际应用

微生物修复作为一种生物修复方法,因其在环境修复、土壤修复和水体修复等领域的广泛应用而备受关注。在此基础上产生了一系列生物修复技术,如生物反应器、预制床法、土耕法、堆肥法、生物通气法等。微生物修复技术是从污染土壤中接种选育的高效降解菌或是将土壤中的土著菌,在适宜的环境条件下,从而加速石油污染物的降解。

相对于单一的生物修复技术,微生物联合修复技术对土壤的治理有更好的治理效果,而且修复的时间更短,目前常见的生物联合修复技术为:电动-微生物、植物-微生物、表面活性剂强化微生物和氧化-微生物。

(1) 植物-微生物联合修复技术是生物修复研究的新领域,由于其具有高效、低耗、可安全用于大范围污染治理等优点而受到广泛关注<sup>[1]</sup>。其基本原理是利用植物本身就可以降解石油污染物,而且植物还能为土壤内的微生物提供一个很好的生存环境,保证微生物能够长时间存活以及繁殖。从而能够对修复微生物起到很好的作用。

在实际使用中,刘鑫等<sup>[2]</sup>利用紫花苜蓿与 PAHs 降解菌株 *Rhizobium petralearium* SL-1 联合修复土壤中 PAHs, 利用能够促进紫花苜蓿生长的菌落来培育紫花苜蓿, 从而提高土壤修复效果, 还分别利用苜蓿+菌、苜蓿、菌、CK 对 PAHs 污染土壤进行处理, 结果显示微生物与植物联合降解 PAHs 效果最好。焦海华等<sup>[3]</sup>研究了棉花及其根际微生物的联合与石油烃降解的关系, 发现栽种棉花的污染土壤中石油烃的降解率与未栽种棉花的对照相比, 在整个生育期提高了 44.0%, 而棉花根际微生物的种类和生物量在棉花各生育期都有显著增加。邓振山等<sup>[4]</sup>选择多种根际微生物如石油烃降解菌、根瘤菌、根际促生菌与扁豆组合为联合体系对土壤石油污染物的降解进行初步研究。发现扁豆与根际微生物联合体系降解率达到 83.05%, 比单独加入微生物的降解率高出 10% 以上, 也比单独种植扁豆的降解率高出一倍左右。

(2) 电动-微生物联合修复技术主要是利用化学反应以及电场力等原理使土壤中微生物进行代谢活动, 利用石油污染物的附着性强从而导致的污染物基本不移动这个特点, 对微生物进行营养物质传输以及迁移微生物, 提高土壤中污染物的降解效率。这种技术主要利用的是电能对微生物的促进作用, 比如直流电或者是低强度的电流不会伤害微生物, 反而能够促进微生物的移动和代谢效果, 从而提高了土壤的修复效果。

(3) 氧化-微生物耦合修复技术是一种高效、环保的污染土壤修复方法, 它结合了化学氧化技术和微生物降解技术的优点, 实现对污染物的快速、彻底降解, 在有机污染场地土壤修复中具有良好的应用潜力<sup>[8]</sup>。该技术能够将复杂的有机质在特定的环境下, 将大分子有机物通过氧化反应分解为小分子有机物, 再将小分子有机物通过微生物的生理代谢进一步降解为毒性较低或是没有毒性的物质, 将难以处理的污染物变成能够简单快速处理且低毒的物质, 如水或者二氧化碳。

(4) 表面活性剂通过多种机制强化微生物修复过程。首先, 它们能够降低污染物与土壤颗粒之间的相互作用, 使得污染物更容易从土壤中解脱出来, 增加其在水相中的浓度, 从而提高微生物接触污染物的机会。其次, 表面活性剂能够通过改善微生物细胞膜性质, 改善微生物活性, 增强其对污染物的吸附能力; 增加微生物细胞膜通透性, 推动污染物跨膜; 调控微生物降解基因, 增强酶活性及微生物的胞内降解, 以此提高污染物的修复效果。

王凌文<sup>[11]</sup>在研究中提出了表面活性剂增溶洗脱-强化微生物降解联合异位修复 OCPs 污染土壤的新方法, 即用表面活性剂增溶洗脱土壤上的 OCPs, 残留在土壤上的表面活性剂可促进微生物降解 OCPs, 从而进一步提高土壤 OCPs 的修复。利用表面活性剂对土壤的增溶洗脱作用, 去除土壤中 85% 以上的有机氯农药 (OCPs); 经清洗后的土壤在工棚通风处直接堆放, 利用残留的表面活性剂改善土著微生物的群落结构和活性, 强化土著微生物降解土壤中残留的 OCPs, 最终使土壤达到环境安全标准。

#### 四、总结

微生物联合修复技术实际用于价值极高并且修复土壤的污染效率高, 不用花费巨大的成本, 可以实现经济效益和治理效果都能达到最好的期望。目前, 生物联合修复技术是主流的土壤污染修复技术, 该技术利用土壤中的植物、微生物、

动物等生物进行联合修复, 其中利用植物的生长及植物的根系来降解石油污染物, 但是植物生长对环境有要求, 有时候植物的成长规律会在一定程度上限制石油污染物的降解。微生物修复石油污染物的能力强, 但是微生物生存条件较为苛刻, 因此修复土壤的效率会受到环境因素的限制; 动物自身并没有很强的修复土壤污染能力, 但是它能够给微生物和植物提供良好的生长环境, 能够提高土壤修复的效果, 因此对于这种微生物联合修复技术的特点, 应该尽快的实现大面积的推广应用, 同时也需要继续加强微生物联合修复的最优选择, 为微生物联合修复技术的实际应用做更好的推广。

#### [参考文献]

[1]傅婉秋, 谢星光, 戴传超, 等植物微生物联合对环境有机污染物降解的研究进展. 微生物学通报 2017, 44 (4): 929-939.

[2]刘鑫, 黄兴如, 张晓霞等. 高浓度多环芳烃污染土壤的微生物-植物联合修复技术[J]. 南京农业大学学报 2017. 40 (4): 632-640.

[3]焦海华, 边高鹏, 崔丙健, 等, 石油污染盐碱土壤棉花根际微生物与石油降解关系[J]. 微生物学通报, 2015, 42 (8): 1501-1511.

[4]邓振山, 王阿芝, 孙志宏, 等. 利用植物-根际菌协同作用修复石油污染土壤]. 西北大学学报: 自然科学版, 2014, 44 (2): 241-247.

[5]Pawlik Małgorzata, Cania Barbara, Thijs Sofie, Vangronsveld Jaco, Piotrowska-Seget Zofia. Hydrocarbon degradation potential and plant growth-promoting activity of culturable endophytic bacteria of *Lotus corniculatus* and *Oenothera biennis* from a long-term polluted site. [J]. Environmental science and pollution research international, 2017, 24 (24).

[6]王冰, 贾广民, 李凤梅, 等. 电动-微生物修复胶质污染土壤微生物活性[J]. 生态学杂志, 2019 (1): 136-144.

[7]张静. 电动-微生物技术修复石油污染盐碱: 土壤的研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2016: 1-58.

[8]陈斌, 徐江, 周文军, 赵甲亭, 朱利中. 有机污染场地土壤化学氧化耦合微生物修复技术[J]. 中国环境科学: 2024 (6).

[9]Rafin, C., Veignie, E., Fayeulle, A., Surpateanu, G., Benzo[a]pyrene degradation using simultaneously combined chemical oxidation, biotreatment with *Fusarium solani* and cyclodextrins. Bioresource Technology 2009, 100 (12), 3157-3160.

[10]徐申. 化学氧化-微生物耦合修复 BaP 污染土壤初探[D]. 杭州: 浙江大学, 2019, 1-72

[11]王凌文. 表面活性剂强化微生物修复典型有机物污染场地/土壤[D]. 杭州: 浙江大学, 2016: 1-63.

[12]荣璐阁, 孙丽娜, 刘春跃, 等. 表面活性剂强化甲基营养型芽孢杆菌修复柴油污染土壤[J]. 环境工程学报 2018, 12 (3): 885-892.

作者简介: 曲曼宁, (出生年月 1987 年 06 月 27 日), 女, 民族: 汉, 籍贯: 吉林省梅河口市, 学历: 硕士研究生, 职称: 中级工程师, 专业: 生态环境保护工程。