



文章编号 0253-2468(2002)03-0405-03

中图分类号 X53

文献标识码 A

油污土壤堆制处理实验研究

金文标¹, 王宝贞¹, 宋莉晖² (1. 哈尔滨工业大学市政与环境工程学院, 哈尔滨 150006; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院)

摘要 堆制处理工艺是处理油污土壤的一种强化的生物处理工艺. 通过实验室实验, 结果表明: 原油降解菌剂投加量 6×10^{12} 个(CFU)/kg(土壤), 营养物投加量为使土壤中 C:N:P = 100:2.5:0.25、土壤含水量为饱和含水量的 30%—70%、通风量 140 mL/s 为适宜处理条件. 此时, 处理 2 个月, 油去除率在 50% 以上. 在油污土壤中添加的降解菌和营养物种类、数量完全相同时, 堆制处理效率明显高于生物耕翻处理效率. 在相同处理时间内, 堆制处理时油去除率可比生物耕翻处理时提高 10% 以上. 在处理过程中, 原油中大部分饱和烃和芳香烃组份被降解.

关键词 堆制; 生物处理; 强制通风; 油污土壤

Experimental study of composting treatment for crude-oil contaminated soil

JIN Wenbiao¹, WANG Baozhen¹, SONG Lihui² (1. Municipal & Environmental Engineering College, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006; 2. China Petroleum Prospecting & Development Research Institute Langfang Branch)

Abstract Composting treatment technology is an enhanced biological treatment technology. By laboratory testing, the results show that the adding amount of crude-oil degrading-bacteria is 6 mL/kg, of nutriment is making C:N:P = 100:2.5:0.25 in the soil, water content is 30%—70% of saturation water content, and appropriate ventilation amount is 140 mL/s, at this condition, oil removed rate is up to 50%. Adding totally identical nutriments and degrading-bacteria either on kind or on amount, efficiency of composting treatment is obviously higher than one of tilling treatment. During the same treatment time, oil removed rate of composting treatment is higher over 10% than one of tilling treatment. During the treatment, most saturation-hydrocarbon and aromatic hydrocarbon was degraded.

Keywords composting; bioremediation; ventilation intensity; oily soil

在石油开发、运输、加工及储存过程中, 不可避免地会使一些石油洒落地面, 造成土壤污染. 修复油污土壤最有效和经济的方法是微生物法, 即利用微生物降解石油类污染物. 关于污染土壤的生物修复研究与实施国外已有数十年的历史^[1], 常用的修复工艺有: 就地(in situ)修复、易地(off situ)修复、堆制(composting)处理(是易地修复的一种类型)和反应器处理. 国内在这方面近几年也时有报道^[2-4].

堆制处理工艺特点是将油污土壤堆存起来, 通过通风管线向被处理的油污土壤中强制通风. 在处理过程中配合投加高效原油降解菌和优良营养物, 促进原油的去除. 当土地资源有限时, 堆制处理是一种实用的选择, 而且堆制处理比土地处理速度快, 处理效果好^[5]. 本文在实验室对油污土壤堆制处理技术进行了研究.

1 材料与方法

1.1 材料

(1) 油污土样 实验用油污土壤为胜利油田一采油井场受原油污染且经过长期风化的土壤. 该土壤 pH 值为 7.55; 有效氮 67.09 mg/kg; 有效磷 4.86 mg/kg; 油含量 22980 mg/kg, 其中饱和烃含量 11090 mg/kg, 芳香烃含量 5840 mg/kg, 非烃含量 4650 mg/kg, 沥青质含量 1400 mg/kg; 细菌量 11.5×10^7 个(CFU)/kg, 以黄杆菌属、假单胞菌属、黄单胞菌属、不动细菌属为主. (2) 原油降解菌 通过对油污土壤中的菌种富集、驯化、分离、纯化, 获得原油降解菌, 其菌属分别为: *Flavobacterium*、*Bacillus*、*Xanthomonas* 1、*Xanthomonas* 2. 经单独培养后, 混合组成

菌组,以菌剂的形式施用.(3)营养物:市售化肥(氮源营养物为尿素,磷源营养物为磷酸氢二钾).

1.2 处理方法

(1)堆制工艺:将油污土壤研磨成20目以下颗粒,添加营养物质,添加原油降解菌剂,搅拌均匀,调节湿度,装入一带有通风管线的模型中,通风处理.定期调节湿度.定期取样分析.处理60 d.

(2)生物耕翻工艺:将油污土壤研磨成20目以下颗粒,添加营养物质,添加原油降解菌剂,搅拌均匀,调节湿度,装入模型中,土层厚度为20cm.每3天翻耕一次.定期调节湿度.定期取样分析.处理60 d.

分析指标及分析方法列于表1.

表1 分析指标及分析方法

Table 1 Analysis indexes and methods

物理化学指标	分析方法	生物学指标	分析方法
含水量	重量法 ^[7]	细菌量	平板计数法 ^[10]
油含量	重量法 ^[7]	原油降解菌	驯化培养法 ^[10]
土壤呼吸作用强度	中和法 ^[8]		
原油族组份	棒薄层分析方法 ^[9]		

表2 投加原油降解菌和营养物对油污土壤中原油去除率的影响

Table 2 Effects of the addition of crude-oil-degrading-bacteria and nutriments on the removal of crude-oil from polluted soil

投加原菌			去除率, %	
实验号	数量, $\times 10^{12}$ 个(CFU)/kg	投加营养物数量	试验组 1	试验组 2
1	0	不加	5.4	6.0
2	0	控制 C:N:P=100:2.5:0.25	25.5	24.5
3	4	控制 C:N:P=100:2.5:0.25	42.9	40.2
4	6	不加	28.2	30.5
5	6	控制 C:N:P=100:1.25:0.25	46.8	50.1
6	6	控制 C:N:P=100:2.5:0.25	52.9	53.2
7	6	控制 C:N:P=100:5:0.25	41.8	39.0
8	12	控制 C:N:P=100:2.5:0.25	53.2	54.0

解菌更少,向油污土壤中投加原油降解菌显著增加了这类细菌的种群和数量,使之成为了优势种,加速了原油的降解.在油污土壤中,石油类污染物为可被细菌利用的有机碳源,因而有机碳含量较高,而氮、磷含量相对缺乏.要提高原油降解效率,必须向土壤中投加N、P等营养物质,使土壤中碳、氮、磷比例达到了有利于细菌代谢的比例.土壤中C:N比不同处理效果不同,投加量太大,对微生物会产生毒害作用^[1];投加量太小,不能满足微生物代谢所需的营养,抑制微生物繁殖,当C:N=40:1时,处理效果最好.

2.2 土壤含水量的影响

本试验控制供气量为140 mL/s,菌剂投加量为 6×10^{12} 个(CFU)/kg和营养物投加量为使土壤中C:N:P=100:2.5:0.25时,土壤含水量影响实验结果列于表3.表3结果表明,含水量为饱和含水量的30%—70%均为最佳范围.土壤类型不同,最佳湿度也不同.

2.3 供气量的影响

固定菌剂投加量(6×10^{12} 个(CFU)/kg)和营养物投加量(使土壤中C:N:P=100:2.5:0.25),考察对供气量原油去除的影响,结果示于表4.表4结果表明,随着供

2 结果与讨论

2.1 投加原油降解菌和营养物数量对处理效率的影响

本试验固定供气量为140 mL/s,考察了不加原油降解菌和营养物、加原油降解菌不加营养物、不加原油降解菌加营养物、加原油降解菌加营养物4种处理方式对原油去除的影响,结果列于表2.由表可知投加原油降解菌可以明显提高原油的去除率.同时,菌剂投加量不同处理效果不同,从经济和效果两方面考虑,认为 6×10^{12} 个(CFU)/kg最适宜.投加营养物质调整试验土壤的碳、氮、磷的比例亦可明显提高原油去除率.

本试验的处理对象为难于被细菌利用的重质风化的原油污染土壤,其细菌总数(11.5×10^7 个(CFU)/kg)低于一般耕作层土壤中的细菌数量(10^7 — 10^9 个(CFU)/g土壤)^[6],能利用石油烃的降

表3 含水量对原油去除率的影响

Table 3 Effects of water content on the removal of crude oil from polluted soil

实验号	土壤含水量占饱和含水量比例, %	油去除率, %	
		试验组 1	试验组 2
1	1	12.6	10.3
2	10	20.4	18.1
3	30	51.1	49.7
4	50	52.9	53.2
5	70	53.0	50.3
6	90	38.1	40.2
7	100	24.1	22.5

气量的提高,氧供应充分,油去除率提高,但若供气量过大,导致土壤水份过度挥发,土壤含水率降低,细菌活动受到抑制,油去除率反而下降.根据模拟实验结果认为,供气量以 140mL/s 为宜.

2.4 与生物耕翻工艺比较

生物耕翻工艺是向污染土壤或分散在处理区域的废物中,添加营养物,降解菌和水,翻耕混合供氧,促进污染物的生物降解.本文对堆制工艺和生物耕翻工艺进行了比较.两种工艺添加降解菌和营养物种类、数量完全相同,堆制工艺供气量为 140 mL/s,生物耕翻工艺的翻耕频率为每 3 天 1 次,处理 60 d,结果列于表 5.由表 5 可见,堆制处理油去除率明显高.这是因为堆制处理采用强制通风方式,供氧更充分,使细菌繁殖更快,细菌活动能力更强.但由于堆制需将被处理的污染土壤运至堆场,又需通风设备,提高了处理成本,所以有其不足之处.统言之,两种方法各有利弊.

表 5 堆制工艺与生物耕翻工艺比较

Table 5 Comparison of composting treatment and biofarming treatment				
处理方式	堆制工艺		生物耕翻工艺	
处理时间	初始	2 个月	初始	2 个月
细菌总数, $\times 10^{12}$ 个(CFU)/kg	8	150	8	41
呼吸作用强度, $\mu\text{g}(\text{CO}_2)/(\text{kg}\cdot\text{d})$	0.022	0.051	0.022	0.024
油去除率, %		52.9		34.1

表 6 细菌对原油组份的降解作用

Table 6 Degradation of crude-oil components by bacteria					
原油及其组成成分	原油	饱和烃	芳香烃	非烃	沥青质
初始含量, $\mu\text{mg}/\text{kg}$	22980	11090	5840	4650	1400
处理后含量, $\mu\text{mg}/\text{kg}$	10820	2290	1650	4250	2620
降解率, %	52.9	79.4	71.7	8.6	- 87.1

则十分难降解,将在土壤中持留相当长时期.

参考文献:

[1] Scherrer P. Biodegration of crude-oil in experimentally polluted clayey and sandy mangrove soils[J]. Oil & Chemical Pollution , 1990 (6) : 163—171

[2] 王洪君,等.生物技术处理冀东油田含油土壤[J].环境科学研究, 2000, 13(5) 20—23

[3] 张旭,等.石油烃污染土层生物修复模拟实验研究[J].清华大学学报(自然科学版) 2000, 40(11) :106—108

[4] 林力,等.石油污染土壤的生物整治研究[J].上海环境科学, 2000, 19(7) 325—329

[5] 姜昌亮,等.石油污染土壤长料异位生物修复技术研究[J].应用生态学报, 2001, 12(2) 279—282

[6] 阿特拉斯 R M. 石油微生物[M]. 北京:石油工业出版社, 1991. 368—382

[7] 城乡建设环境保护部环境保护局.环境监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社, 1983. 328—332

[8] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社, 1985. 216—220

[9] 钱志浩,等. SY-T5119-1995 岩石可溶性有机物和原油族组份柱层析分析方法[M].北京:石油工业出版社, 1996

[10] 杜连祥,等.工业微生物学实验技术[M].天津:天津科学技术出版社, 1992. 79—100

[11] Dibble J T, et al. Effect of environmental parameters on the biodegradation of oil sludge[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1979, 37(4) :729—739

表 4 供气量优化实验结果

Table 4 Experimental results of amount of ventilation for supplying oxygen

处理组	供气量, mL/s	油去除率, %	
		试验组 1	试验组 2
1	0	18.8	17.0
2	70	31.4	28.2
3	140	52.9	53.2
4	210	36.4	40.2

2.5 处理后原油被降解情况

油污土壤经堆制处理之后,原油族组成发生了变化,结果列于表 6.经处理后,原油中的饱和烃、芳香烃大部分被降解,非烃类降解较少,沥青质有所增加.沥青质残留浓度由两部分组成:沥青质类烃以及各类烃降解过程中产生的含氮、磷、氧等的非烃类中间产物与沥青质类的化合物^[11].因此,净结果表现为沥青质类组份有所增加.随着降解作用的继续,非烃类中间产物将进一步被降解,而沥青质化合物