

# 生物修复法处理新疆油田老化油泥的试验

李慧敏<sup>1</sup> 张燕萍<sup>1</sup> 肖丰浦<sup>1</sup>

**摘要：**以西北荒漠地区油田长期堆放的含油污泥为研究对象，通过创造有利于微生物生长繁殖的条件，强化其降解石油类污染物的活性，测定修复效果。现场小试结果表明，采用试验优选的土壤孔隙度为55%、土壤含水率为25%、菌剂投加量为5%（质量分数）、氮磷比为10：1、生物表面活性剂投加量为5%等参数，开展油泥生物修复试验，6个月后测得其含油量为0.11%~0.29%，达到了国家规定的无害化排放标准。

**关键词：**生物修复；老化油泥；降解菌；西北荒漠地区

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.5.018

## Test of Bioremediation Method for Aging Oil Sludge Treatment in Xinjiang Oil-field

Li Huimin, Zhang Yanping, Xiao Fengpu

**Abstract:** This paper takes the long-term piled up oily sludge in the northwest desert oil-field as the research objects. The activity of degradation of petroleum contaminants is strengthened by creating conditions conducive to microbial growth and reproduction, and the repairing effect is determined. Field test uses the experimental optimization of soil porosity (55%), soil moisture content(25%), bacteria agent additive amount 5% (mass fraction), N/P Ratio(10 : 1) and additive amount of bio-surfactants5%. Oily sludge bioremediation experiment results show that oil content of oily sludge is 0.11%~0.29% after six months, which reached the harmless emissions standards prescribed by the state(less than 0.3%).

**Key words:** bioremediation; aging oil sludge; degrading bacteria; the north-west desert area

我国每年石油开采业和石油加工企业产生大量的含油污泥，含油污泥成分复杂，乳化严重，难于处理，其处理已成为难题之一<sup>[1-2]</sup>。目前对于含油污泥的修复处理总体上分为物理、化学、生物方法，由于生物处理法具有节约能源、投资少、运行费用低等优点，受到国内外环保界人士的普遍关注和重视<sup>[3-4]</sup>。

以往已有大量研究报道了利用生物菌剂、植物等处理含油污泥，但国内针对老化油泥处理的生物修复技术研究起步较晚，在西北荒漠高温干旱区，因生态环境恶劣，采用生物修复方法处理含油污泥的研究很少。本文采用生物堆肥法，工程菌选用RH-4菌剂（*Massilia Varians*）。（该菌群主要是由食烷菌（*Alcanivorax*）、解环菌属（*Cycloclasticus*）等嗜油微生物组成，具有高效、适应性强的特点，

其适应的环境温度变化范围10~50℃，可用于西北荒漠高温干旱区恶劣气候环境下的油田含油污泥生物降解），进行生物降解含油污泥的处理效果试验研究。针对西北荒漠高温干旱区老化含油污泥，通过调整优化生态修复初期影响因素，强化生物降解过程，提高土壤中微生物的活性，保证降解菌较高的降解能力，取得了较好的处理效果。

## 1 试验设计

### 1.1 含油污泥样品性质分析

采用处于西北荒漠地区油田老化含油污泥样品，化验分析油泥样品中烃类，其轻质组分含量为29.4%，胶质与蜡质等原油的重质组分含量高达70.4%；油泥样品中总氮为1.70 g/kg，总磷为0.32 g/kg，碱解氮70.7 mg/kg，速效磷2.80 mg/kg，

<sup>1</sup>新疆油田公司工程技术研究院

土壤中N、P、K含量很低,不利于微生物及植物生长;原油降解菌含量( $3.24 \times 10^3$  CFU/g)很少;且含油污泥样品为灰漠土,孔隙度44%,较低;泥样致密紧实,不利于土壤中氧气的传递和湿度的保持,不利于微生物生长繁殖。

### 1.2 生物修复条件

将含油污泥样品过2 mm筛后,与一定量的木质素(膨松剂,即长3~5 mm的干草屑)混合均匀(统称为土壤样品)。

### 1.3 现场小试修复试验

选择180 m<sup>2</sup>被原油污染的试验场地,预制床修复场地底部采用防渗材料复合土工膜(厚0.5 mm)作防渗层护底。降解物的厚度为0.3 m。强化生物修复条件,并均匀施洒原油降解菌剂,采用堆肥法。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 土壤孔隙度影响

调节土壤孔隙度为50%、55%、60%、65%,接种5%的(质量分数)RH-4原油降解菌剂,同时做同等条件下土壤孔隙度为原始值的对照试验,定期补充水分以保持土壤含水率在20%左右,每隔10天翻动一次土壤,同时取样测定土壤中的含油量,试验结果见图1。

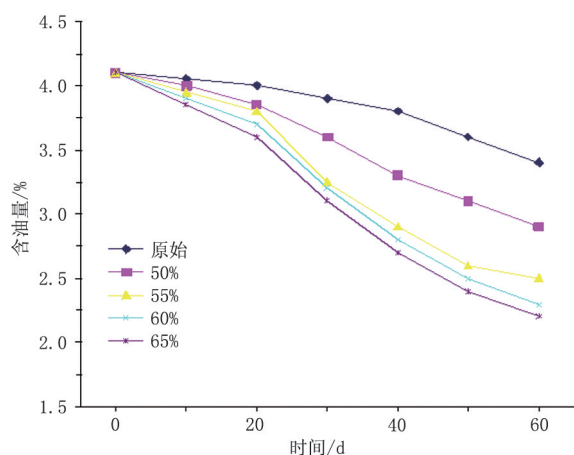


图1 土壤孔隙度对修复效果的影响

由图1可看出,当土壤孔隙度为原始值,即不添加疏松剂时,土壤中的石油类降解不明显,60天修复后土壤含油量仅降0.58%;添加疏松剂改变土壤孔隙度后,石油类降解明显,孔隙度为55%、60%和65%的土壤经过60天修复,土壤含油量变化明显,降解率均达到40%以上。但随着疏松剂投加量增多,孔隙度进一步变大,导致土壤持水性变差,水分补充频率变高,可选择孔隙度为55%左右作为适合土壤修复的条件。

### 2.2 土壤含水率影响

调节土壤孔隙度为55%,接种5%的RH-4原油降解菌剂,定期补充水分以保持土壤含水率为15%、20%、25%、30%、35%,每隔10天翻动一次土壤,同时取样测定土壤中含油量,试验结果见图2。

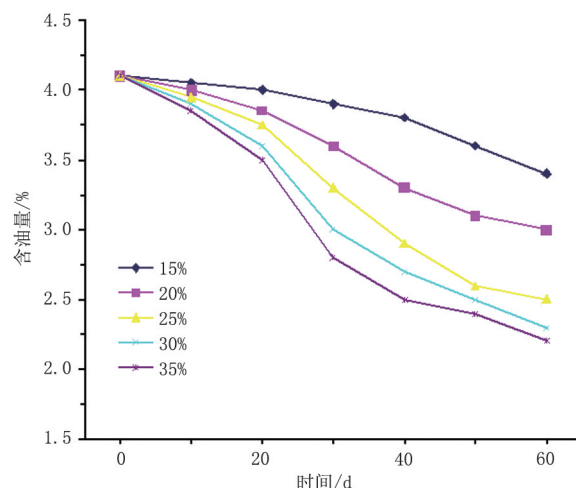


图2 土壤含水率对修复效果的影响

由图2可看出,随着土壤含水率的提高,土壤中石油类的降解速率逐渐升高,当含水率为25%时,经过60天的生物修复,土壤含油量由4.05%降为2.42%,降解率达40.25%,而含水率继续提高,石油类降解率提高不明显。考虑新疆干旱少雨,水资源短缺,保持土壤中较高的含水率很难实现,可选择含水率25%左右作为适合土壤修复的条件。

### 2.3 菌剂用量影响

调节土壤孔隙度为55%,分别接种3%、5%、7%、9%的RH-4原油降解菌剂,同时做同等条件下不施加原油降解菌剂的对照试验,定期补充水分以保持土壤含水率在25%,每隔10天翻动一次土壤,同时取样测定土壤中的含油量,试验结果见图3。

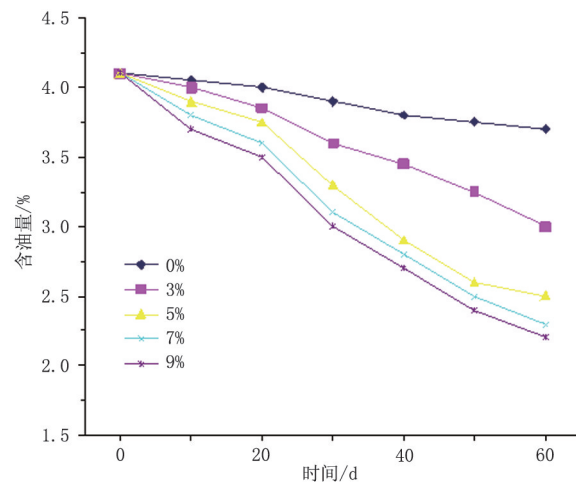


图3 降解菌剂用量对修复效果的影响

由图3可看出,随着菌剂施加量增大,土壤含油量逐渐降低,石油类的降解速率升高,当添加5%的菌剂修复石油污染土壤60天后,土壤的含油量由最初的4.05%降到2.40%,降解率为40.74%。而当菌剂施加量进一步增大,土壤含油量虽然也逐渐降低,但速率变小,考虑到菌剂施加量增大会增加成本,可选择菌剂施加量5%左右作为适合土壤修复的条件。

#### 2.4 氮磷比影响

将一定量的氮磷复合肥溶解后,喷施到过2 mm筛的土壤中,调整土壤的氮磷比分别为5:1、10:1、15:1、20:1(以速效磷含量200 mg/kg为基础),然后与一定量疏松剂混合均匀,调整土壤孔隙度为55%,接种5%固体菌剂,定期补充水分,保持土壤含水率为25%,每隔10天翻动一次土壤,同时取样测定土壤中的含油量,结果见图4。

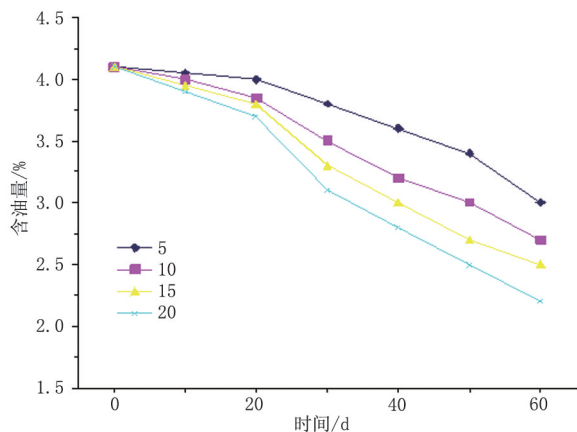


图4 氮磷比对修复效果的影响

由图4可看出,经过60天的生物修复,氮磷比为10:1的试验组土壤含油量明显减少,由初始的4.03%降为2.12%,石油类降解率为47.3%,而氮磷比过低或者过高均不利于土壤中原油的降解。这是因为氮磷比过低时,其中的氮磷营养不能达到微生物生长繁殖所需的比例,限制了微生物代谢;氮磷比过高,氮磷营养过剩会对微生物产生毒害作用,可选择氮磷比10:1作为最佳修复条件。

#### 2.5 生物表面活性剂影响

将一定量的氮磷复合肥溶解后,喷施到土壤中,调整土壤的氮磷比为10:1,调整土壤孔隙度为55%,接种5%的RH-4固体菌剂,添加CMC生物表面活性剂浓度分别为1%、3%、5%、7%,同时做同等条件下不添加表面活性剂的对照试验,定期补充水分以保持土壤含水率为25%,每隔10天翻动一次土壤,同时取样测定土壤中的含油量,试验结果见图5。

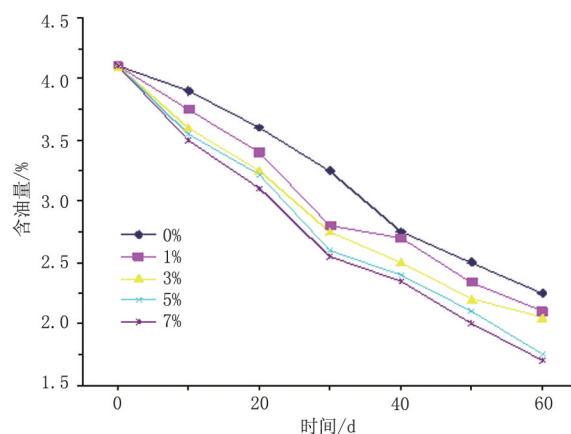


图5 生物表面活性剂对修复效果的影响

由图5可看出,生物表面活性剂的加入显著提高原油降解速率。经过60天生物修复,对比不添加表面活性剂的试验组(降解率为44.6%),添加1%生物表面活性剂的试验组原油降解率提高近6%(降解率为50.61%)。随着表面活性剂的增加,土壤中的含油量逐渐降低,当添加到5%时,土壤的含油量由4.07%降低到1.81%,降解率为55.53%,添加到7%时,原油降解率为56.79%。综合考虑,选择生物表面活性剂投加量5%作为最佳修复条件。

#### 2.6 含油污泥生物修复效果

在土壤孔隙度为55%、土壤含水率为25%、RH-4固体菌剂投加量为5%、氮磷比为10:1、生物表面活性剂投加量为5%的强化后的生物修复条件下,使用RH-4原油降解素对石油污染土壤室内生物修复60天,土壤含油量变化见图6。

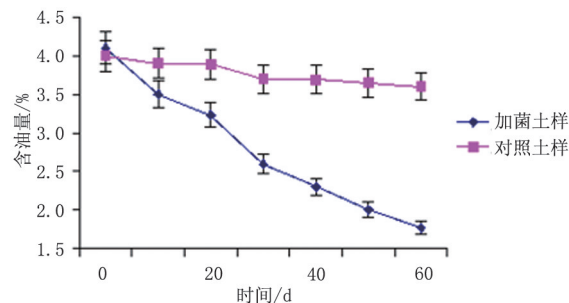


图6 土壤含油量变化

由图6可以看到,添加RH-4混合菌群的土样经过60天的生物修复,含油量由初始的4.07%下降到1.81%,降解率为55.53%。

土壤中微生物数量的变化见图7。由图7可以看到整个修复过程中,土壤中的原油降解菌由 $3.24 \times 10^3$  CFU/g增加到 $1.04 \times 10^4$  CFU/g,对应的细菌数也有增加很多,在修复50天时,原油降解菌数量增加到 $1.15 \times 10^6$  CFU/g,第60天增加到 $1.6 \times 10^6$  CFU/g,占细菌总数( $2.0 \times 10^6$  CFU/g)的80%

以上。而研究表明,当土壤中的内源性石油烃降解菌数量大于 $1 \times 10^6$  CFU/g时,土壤中原油污染物降解速度较快。

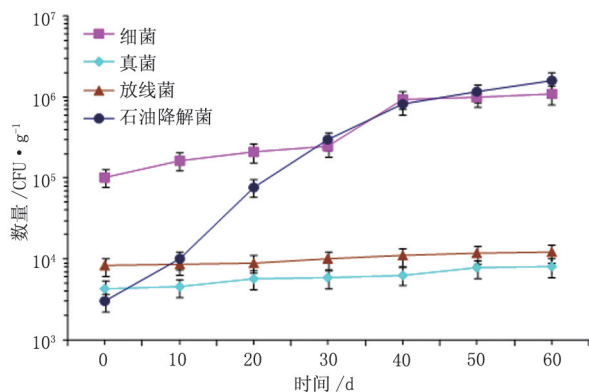


图7 土壤中微生物数量的变化

### 3 现场小试结果

选择油田合适的试验场地 $10 \text{ m} \times 8 \text{ m}$ ,油泥厚度 $30 \text{ cm}$ ,在土壤孔隙度为55%、土壤含水率为25%、RH-4固体菌剂投加量为5%、氮磷比为10:1、生物表面活性剂投加量为5%的强化后的生物修复条件下,现场小试修复6个月后,分别选取不同位置和层位的土壤进行检测,其含油率为0.11%~0.29%(表1)。

表1 生物修复后土壤特性及含油量

pH值	总N( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ )	P/%	K/%	腐殖有机质/%	含油量/%
7.2	0.33	0.03	0.05	16.84	0.12
6.9	0.38	0.23	0.29	48.96	0.17
6.5	0.27	0.13	0.37	43.67	0.26
7.2	0.35	0.16	0.35	32.75	0.31
6.5	0.19	0.09	0.76	40.07	0.11
6.7	0.22	0.15	0.44	42.92	0.24
7.3	0.11	0.00	0.02	45.29	0.29
7.0	0.19	0.05	0.01	39.45	0.25

### 4 结论

(1) 在生物修复过程中,单靠改善外在环境条

件不能够促进石油类的去除,需进一步强化生物修复条件。针对西北荒漠高温干旱区老化含油污泥,可通过添加适量的调理剂和有机肥,来改善油泥疏水性差、透气性差的结构,激发功能微生物种群的活力,有效提高老化含油污泥的生物修复效果。

(2) 对于西北荒漠含油污泥样品,可选择土壤孔隙度为55%、土壤含水率为25%、RH-4固体菌剂投加量为5%(W/W)、氮磷比为10:1、生物表面活性剂投加量为5%为最佳生物修复条件。

(3) 添加RH-4混合菌群的土样经过60天的生物修复,含油量由初始的4.07%下降到1.81%,降解率为55.53%,并且在生物修复过程中微生物数量有大幅度提高。油泥生物修复试验,6个月后测得其含油量为0.11%~0.29%,达到了国家规定的无害化排放标准( $< 0.3\%$ )。

### 参考文献

- [1] 商雪娇,李思,张金辉.生物法处理含油污泥的研究进展[J].当代化工,2014,43(4):622-624.
- [2] 关月明,张忠智,张卫木,等.生物地耕法降解含油污泥的研究[J].石油化工高等学校学报,2010,23(4):44-47.
- [3] 高晓攀,杜显元,李兴春.石油降解菌处理污染土壤的研究进展[J].当代化工,2015,44(12):2814-2817.
- [4] 宋绍富,杜雯.含油污泥微生物堆制处理研究[J].西安石油大学学报(自然科学版),2011,26(3):86-88.

### 作者简介

李慧敏:高级工程师,1990年毕业于武汉水利电力学院环境工程专业,主要从事油气田地面工程安全环保技术研究工作,0990-6869209, lhm-kl@petrochina.com.cn,新疆克拉玛依市胜利路87号工程技术研究院安全环保节能研究中心,834000。

收稿日期 2015-07-28

(栏目编辑 张秀丽)

## 大庆石化水气厂污泥干化工程项目顺利中交

4月13日,由大庆石化建设公司负责的水气厂污泥干化工程项目实现顺利中交。污泥干化项目是大庆石化公司级重点环保项目,建设费用2900余万元。项目建成投产后,每年可节约外付污泥处理费3000万元以上,具有良好的经济效益和社会效益。

中国石油新闻中心网站