

电动力耦合微生物处理落地油泥技术及应用

姬伟¹ 朱恒¹ 姜伟光¹ 李荣² 杨波波³

(1. 中国石油长庆油田油气工艺研究院; 2. 中国石油长庆油田第一采油厂; 3. 西安工程大学)

摘 要 电动力耦合技术通过在微生物处理落地油泥基础上施加一定的电场,以增加生物活性,通过耦合作用提高微生物对油污土壤中石油烃的降解速率。结合中试装置及高效复合降解菌种,在安塞油田首次开展了电动力耦合微生物降解落地油泥现场试验,结果表明通过在生物修复基础上施加电场,可将降油率提高 15% 以上,同时定期翻堆会进一步提高修复效果,添加表面活性剂处理,在电动力-微生物联合修复基础上将降油率再提高约 5%。

关键词 电动力; 耦合; 微生物; 落地油泥

DOI: 10. 3969/j. issn. 1005-3158. 2021. 02. 008

文章编号: 1005-3158(2021)02-0036-04

Technology and Application of Electro-dynamic Coupling Microbial Treatment to Ground Oil Sludge

Ji Wei¹ Zhu Heng¹ Jiang Weiguang¹ Li Rong² Yang Bobo³

(1. PetroChina Changqing Oilfield Oil and Gas Technology Research Institute;
2. PetroChina Changqing Oilfield No. 1 Oil Production Plant; 3. Xi'an Polytechnic University)

ABSTRACT The electrodynamic coupling technology is adding a certain electric field on the basis of microbial treatment of ground oil sludge to increase the biological activity. By the microbes through coupling, the degradation rate of the petroleum hydrocarbons in the oily soil was improved. Combining with the pilot plant and high-efficiency composite degradation bacteria, the electro-dynamic coupling microbial degradation of ground oil sludge field test was carried out in Ansai Oilfield for the first time. Results showed that by applying an electric field on the basis of bioremediation, the oil reduction rate can be increased above 15%. Meanwhile, regular stacking will further improve the repair effect. Adding surfactant treatment will increase the oil reduction rate by about 5% on the basis of electrodynamic-microbial joint repair.

KEY WORDS electrodynamic; coupling; microbial; ground sludge

0 引 言

近年来,随着对生态环境保护的加强,石油开采及泄漏导致的土壤环境污染问题更加引起相关部门的重视。针对落地油泥等石油污染土壤的修复技术主要包括物理法、化学法、生物法^[1-2],从修复成本、操作性及安全性等方面考量,3种方法各有利弊却优势互补,其中生物法因投资少、效率高得到广泛关注。

国内外开始采用生物法处理石油污染物,分别始于 20 世纪 60 年代及 90 年代^[3-4],经历修复方式、菌种优选、处理工艺等方面的探索。但微生物难以降解石油烃中难降解、不溶性污染物与土壤腐殖质结合在一起的部分,易受温度、湿度、含氧等环境因素的影

响,平均降油率仅达 65%~70% 左右,降解周期平均为 38 d,需进一步对该方法进行研究探索。

生物法处理石油污染土壤从修复方式方面分类,大体可分为通过筛选土著微生物的生物强化方式,微生物联合表面活性剂或营养盐的生物刺激方式,通过加氧进行培养降解的生物通风方式;从菌种优选方面进行分类,可分为采用芽孢杆菌属、放线菌属、微杆菌属等单一菌属,或两种及以上菌种组合的复合菌属;从处理工艺方面进行分类,可分为污染地原位修复和异位集中处置修复两种。

国内外科研人员在众多领域均尝试开展学科联合,如生物-植物联合修复治理 VOCs、铁碳微电解方

式处理措施返排液等,相对于单一处理技术效率均有明显提升。电动力学与生物学在处理落地油泥方面的联合,之前有学者开展了该技术的可行性研究,但现场试验较少,且并未进行油田范围内的推广。

1 电动力耦合微生物技术

1.1 技术原理

微生物在弱碱性土壤条件下会带负电荷,通过外加静电场,可使土壤内部发生水解产生 $[H^+]$ 和 $[O^-]$,其中 $[H^+]$ 可以作为能量离子用于激活及促进污染物自由基的清除, $[O^-]$ 因带有负电荷,可对细小颗粒污染物有凝聚沉降效果,并为芽孢杆菌、放线菌等好氧菌种提供氧气;两种离子协同作用达到对石油烃的降解、去除、分离效果。

1.2 技术参数

通过室内实验,开展了电极材料、电动传输方式、电场强度的筛选^[5-7]。一是通过对石墨、铁、铍铜3种材料电极的降油率对比,发现3种材料的降解效果相当,但考虑到石墨材质的安全性更高、导电好、耐腐蚀等特点,选用石墨电极;二是针对板式、网格式、斜插式、直插式4种电动传输方式降油率进行对比发现,油污土壤含油率均有不同程度下降,但直插式下降速率最快;三是针对2,1,0.5,0 V/cm 4种电场强度下的实验效果对比,发现一定的电场强度可以增加降解速率,但2 V/cm较1 V/cm降解速率有所下降,说明强电场对微生物降解有一定的抑制作用,故选用1 V/cm的电场强度。

1.3 高效菌种筛选

实验室通过从落地油泥土样中筛选出土著菌种H-1(邻单胞菌属)、H-2(芽孢杆菌属),经活化培养-发酵-扩培3个环节,培植高效复合菌种。

1)活化培养:将A-1(邻单胞菌属)、A-2(芽孢杆菌属)两种菌种接种到适量大小的固定器皿中,同时装入200 mL牛肉膏蛋白胨,在恒温振荡培养箱中于35℃、140 r/min的条件下活化培养48 h;

2)发酵:配制约5 L和10 L的培养基在高温下(>100℃)灭菌20 min,继续用75%酒精对罐体润洗消毒,后将灭菌过的液体培养基倒入发酵罐中;

3)扩培:将A-1、A-2菌液按照1:1的比例混合接入两个发酵罐内,发酵48 h后取出倒入20 L已消毒的塑料桶内,再加入0.6 g硝酸铵、0.1 g磷酸二氢钾氮磷营养物质后即得到配制菌种。

1.4 中试装置研发

1)箱体构成

整套装置由4个单箱体组成,单箱体底部铺垫竹

胶板,周围用竹胶板作为挡板,同时在长边上沿用15 cm长钢管加固竹胶板。

2)装置模块

装置电气控制系统由电极供电、传感器、PLC柜3个模块构成。第一个模块是为电极提供电力,主要控制电压大小、供断电及供电时间;第二个模块是为传感器提供电力,以完成传感器工作状态、数据采集及储存功能;第三个模块是电气控制系统的操作平台,用于对该系统的启停及程序设置。

3)关键参数

现场试验装置相关参数见表1。

表1 现场试验装置相关参数

项目	数值	项目	数值
箱体容量/ m^3	0.7	电极材料	石墨
样高/cm	45	电极排列	阴-阳-阴
电场强度/ $(V \cdot cm^{-1})$	1	电极间距/cm	30
电动传输方式	直流	电压/V	36
	直插式	作用时长/ $(h \cdot d^{-1})$	2.5

4)自动化组态软件

本装置自动化组态软件采用MCGS工程组态软件,结合现场试验方案,软件能实现对现场试验数据的收集、监控及检测。

2 油田现场修复试验

2.1 落地油泥检测

选择某油田开展电动力联合生物修复技术试验。首先对原有土壤及落地油泥的理化性质进行室内检测^[8-9]。落地油泥与洁净土壤(油田附近未受石油烃及其他物质污染的土壤)各项理化性质比较见表2。

表2 落地油泥与洁净土壤理化性质比较

项目	洁净土壤	落地油泥
含水率/%	10	20
含油率/%	0	13.7
pH值	7.5	7.7
有机质/%	2	13
电导率/ $(mS \cdot cm^{-1})$	1.2	0.84
总氮/ $(mg \cdot kg^{-1})$	129.4	114.4
总磷/ $(mg \cdot kg^{-1})$	7.8	4.2
总钾/ $(mg \cdot kg^{-1})$	109.4	95

该落地油泥样品含油率为 13.7%，含水率为 20%，氮磷钾总含量低于洁净土壤，pH 值 7.7，与洁净土壤接近，无显著改变。研究发现，落地油泥的有机质明显增加，电导率有所降低。

采用扫描电镜对落地油泥样品的微观结构进行观察，并进行了样品的能谱分析，结果见图 1、图 2。

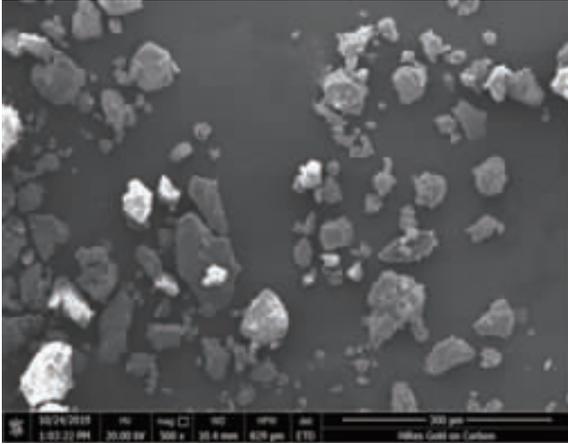


图 1 落地油泥扫描电镜照片

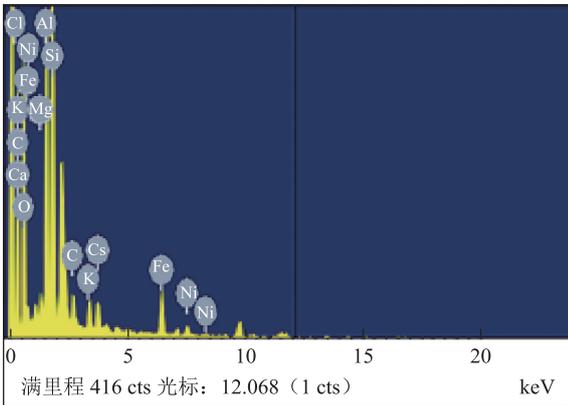


图 2 油泥样品能谱分析

通过扫描电镜及能谱分析可以看出，油泥样品表面粗糙且颗粒物较多，碳源均在 50% 以上，且含有少量的氧元素和微量元素，这为菌种降解含油土壤提供了足够的营养，同时也可供土著微生物和接种菌种的生长和繁殖。

2.2 现场对比试验

针对落地油泥土样分两轮开展现场试验。第一轮主要对菌剂、电场与翻堆等参数进行对比研究，第二轮对生物表面活性剂、脉冲电场等参数进行对比。现场两轮对比试验安排见表 3。

表 3 现场两轮对比试验安排

轮次	编号	分组	试验安排
第一轮	A1	电动力法	仅采用电动力
	B1	菌种不加电	仅采用微生物法
	C1	菌种加电	电动力耦合微生物
	D1	菌种翻堆	电动力耦合微生物，每周翻堆一次
	E1	菌种加变化电场	电动力耦合微生物，每周翻堆一次；每天改变一次电场方向
第二轮	A2	对照组 a	待处理含油 13.7% 土壤，仅采用微生物法
	B2	菌种加电	电动力耦合微生物
	C2	生物表面活性剂	电动力耦合微生物，0.05% 鼠李糖脂
	D2	脉冲电场	微生物法，0.05% 鼠李糖脂，加 25 Hz 脉冲电场

2.3 试验结果

通过电动力-微生物法处理，25 d 后即可将含油率降至 2% 以下。相比单一技术，该工艺在降解效率方面表现出明显的优势。

现场试验降油曲线见图 3。3 种方法对石油类降解效果统计见图 4。

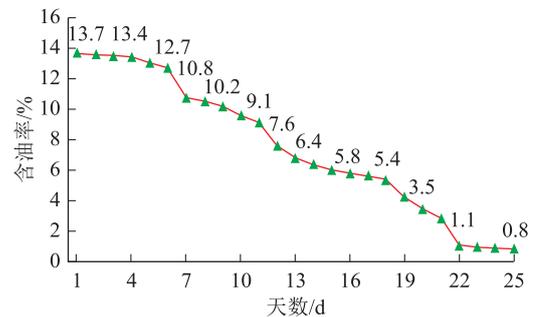


图 3 现场试验降油曲线

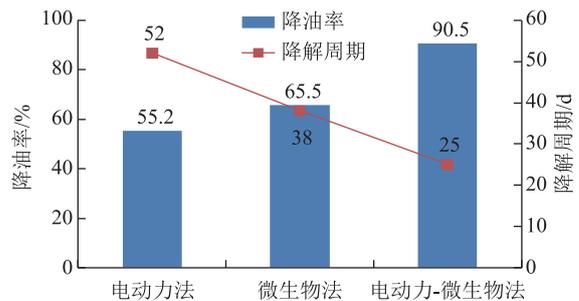


图 4 3 种方法对石油类降解效果统计

对落地油泥的含油率进行连续检测,得到修复后土壤的最终降油率改变情况,统计结果见表4。

表4 两处理组降油率统计

编号	降油率/%	编号	降油率/%
A1	14.55	A2	65.44
B1	65.73	B2	81.07
C1	82.04	C2	85.88
D1	89.55	D2	84.21
E1	83.42		

试验结果表明,电场耦合微生物技术的修复效果优势明显,处理效果较单纯微生物方式优越15%以上,添加生物表面活性剂后,其效果在耦合基础上再提升约5%,定期翻堆也会提高修复效果,而改用脉冲电场则无明显改善效果。

3 结论与建议

3.1 结论

1)采用开发出的耦合中试试验装置与制备出的高效复合菌剂体系,开展了电场耦合微生物降解处理现场试验。电动力耦合微生物处理技术对落地油泥修复效果为最佳,微生物法次之,电动力法效果最差,印证了电动力耦合微生物处理落地油泥技术的优越性。

2)通过开展添加生物表面活性剂及脉冲电场试验,耦合处理比单纯微生物处理效果提升15%以上,表面活性剂添加会在耦合基础上再提高约5%,定期翻堆也会提高修复效果,但脉冲电场提高效果不显著。

3.2 建议

1)电场耦合微生物技术处理落地油泥相对于

单一处理方式有一定的优越性,但要取得最佳处理效果,还需在菌种组合、土壤环境等方面进一步探索。

2)中试装置采取电动串联结构,在提高土壤湿度时将装置产生电极干扰,需进一步研究添加方式及适宜添加量对降解效率提升的影响。

参考文献

- [1] 梁宏宝,张全娟,陈洪涛,等.含油污泥联合处理技术的应用现状与展望[J].环境工程技术学报,2020,10(1):118-123.
- [2] 张闻,陈贯虹,高永超,等.石油和重金属污染土壤的微生物修复研究进展[J].环境科学与技术,2012,35(12):174-181.
- [3] 毛怀新,张海玲,杨琴,等.陇东油田井场油泥微生物处理应用[J].油气田环境保护,2012,22(5):8-10.
- [4] 任鹏,赵敏,范婧,等.化学/生物联合处理含油污泥技术研究[J].油气田环境保护,2019,29(5):50-53.
- [5] 杨波波.油泥污染土壤电动力耦合微生物修复技术研究[D].西安:西安工程大学,2016:25-27.
- [6] 金芬.电场强化复合微生物菌种修复油污土壤的研究[D].西安:西安工程大学,2015:37-39.
- [7] 李婷婷,张玲妍,郭书海,等.完全对称电场对电动-微生物修复石油污染土壤的影响[J].环境科学研究,2010,10(23):1262-1267.
- [8] 张旺.安塞油田含油污泥处理工艺的探索与实践[J].天然气与石油,2018(8):42-46.
- [9] 李斌,张随望,黎成,等.安塞油田含油污泥井场微生物降解处理技术研究[J].石油天然气学报,2009,31(3):354-357.

(收稿日期 2020-03-27)

(编辑 王薇)

广告索引

“环境监测·环境评价”主题征文活动通知

封 二

“石油与环保”摄影作品征集

封 三

投稿要求

封 底