



生物技术在油田地面处理系统中的应用研究进展

姜 岩^{1,2,3}, 吴 迪¹, 任南琪², 耿大军¹

(¹大庆油田工程有限公司, 黑龙江 大庆 163712; ²哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

³哈尔滨学院生命科学与化学学院, 黑龙江 哈尔滨 150016)

摘 要:回顾了油田开采中地面系统暴露的一些主要问题及相关对策。阐述了生物技术在油田地面系统中应用的优势, 并指出生物技术已经成为新的研究热点。同时, 针对我国油田生产实际中存在的部分问题和重要工艺环节, 分别对有害微生物的防控、生物破乳剂研制、生物絮凝剂研制等生物处理技术的研究现状进行了论述和展望。

关键词:生物技术; 油田地面处理系统; 有害微生物; 生物破乳剂; 生物絮凝剂

中图分类号: TQ 083⁺.4; Q 89 文献标识码: A 文章编号: 1000-6613 (2009) 09-1489-07

Advances in the application of biotechnology in oilfield ground system

JIANG Yan^{1,2,3}, WU Di¹, REN Nanqi², GENG Dajun¹

(¹Daqing Oilfield Engineering Limited Company, Daqing 163712, Heilongjiang, China; ²School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, Heilongjiang, China; ³School of Life Sciences and Chemistry, Harbin University, Harbin 150016, Heilongjiang, China)

Abstract: In oilfield, some major problems have gradually emerged with the widespread employment of exploration technology, which can not be satisfactorily coped with through traditional physical-chemical techniques. Biological techniques have been widely used in crude oil production for their specific advantages. It is a current trend to deal with the problems in the oilfield ground system by using biological techniques. The aims of this paper are to expound the present status of biological techniques as defending and controlling the deleterious microbe, and developing biodeulsifier and bioflocculant so as to tackle some practical problems in actual oil production.

Key words: biotechnology; oilfield ground system; deleterious microbe; biodeulsifier; bioflocculant

我国油田可开采量不断减少, 以大庆油田为例, 自开发建设以来, 累计生产原油突破 20 亿吨, 占全国同期陆上原油总产量的 40% 以上, 至 2002 年实现连续 27 年高产稳产 5000 万吨以上^[1]。但从 2003 年开始, 原油产量下调至 5000 万吨以下, 2007 年的产量为 4169.8 万吨, 按照大庆油田“十一五”规划, 原油产量平均每年的递减幅度将在 170 万吨左右。原油可开采量的减少, 造成原油开采难度不断加大, 推动了油田开采技术的革新与发展。利用水驱、聚驱和三元驱油的二次采油、三次采油技术相继在我国各油田中得到应用和推广。开采技术的革新有效地提高原油采出率的同时, 也因投加高分子

聚合物或表面活性剂等各种化学助剂而造成采出液成分复杂, 极大地增加了油田地面系统对采出液的处理难度。为保证成分复杂的高含水采出液的顺利处理, 应用诸如化学破乳剂、絮凝剂、杀菌剂、防垢剂、硫化物去除剂和净水剂等的各种物理化学技

收稿日期: 2009-06-15; 修改稿日期: 2009-07-02。

基金项目: 黑龙江省教育厅 2007 年科学技术研究项目 (11523063)、黑龙江省自然科学基金资助项目 (B200819)、2007 年黑龙江省普通高校毕业生学术骨干支持计划项目 (1152G068) 及第四十一批中国博士后科学基金 (20070410268)。

第一作者简介: 姜岩 (1971—), 男, 博士后, 副教授, 主要研究方向为生物处理技术。E-mail: yjiang@hit.edu.cn。联系人: 任南琪, 教授, 长江学者。E-mail: rnq@hit.edu.cn。

术得到了不断发展,并在油田地面处理系统中得以成功应用。但是,物理化学处理技术或投资运行成本高,或由于容易产生二次污染而带来诸多新生问题,增加了油田生产和运营负荷。原油地面生产中的一些重要工艺环节,如油水分离、回注污水处理等工艺有待进一步降低成本,提高处理效率;而对于所产生的某些问题,如落地原油、清罐油泥、老化油回收处理等目前尚无有效的理化处理方法,已经成为困扰油田生产的瓶颈问题。

为经济而有效地解决这些新生或已存在的问题,近些年来,新技术开发已经将视角定位在生物处理技术上,促进了生物技术在油田生产中的应用性研究。开发投资小、运行成本低、处理效果好的生物新技术逐渐成为研究热点。生物破乳剂、生物絮凝剂、生物型抑菌剂、油田污水处理、地面系统中有害微生物的防控等研究报道屡见不鲜,成为保证油田稳定生产的新的研究方向^[2-7]。但是,生物技术由于受到自身特点的限制,能否将其与油田地面系统的生产工艺结合是这一技术步入油田领域,解决油田生产中出现的实际问题的关键所在。目前,油田地面处理系统工艺成熟而稳定,很难为满足新技术需要而进行工艺改造,因此,新技术的开发必须满足或基本满足现有生产工艺要求,才有可能在油田实际生产中得以应用和推广。

1 油田地面系统中有害微生物的监测

油藏在被开采之后,原有封闭体系被破坏,形成开放体系,直接导致油藏中的微生物数量增加,菌相构成也由古菌类为主趋向复杂化。尤其在油藏开采后期,随着各种辅助技术的不断介入,以硫酸盐还原菌(SRB)为代表的部分属种微生物广泛存在于采出液和部分工艺设备中^[8-11]。这些微生物在地面生产系统中繁殖迅速,对原油生产系统造成的危害呈现出愈演愈烈的趋势。为保证地面生产系统的稳定运行,对采出液、回注水、老化油等工艺环节中的有害微生物进行监测,已经成为近年来国内很多油田的工作重点之一。

目前,对各油田产生危害的微生物主要有SRB、腐生菌(TGB)和铁细菌(IB)三大类^[9]。此外,硫细菌(SB)也被证实在地面系统中存在,其部分属种通过产酸对注水系统产生一定腐蚀。但是,目前各油田对其研究和针对性的防控很少,更多的研究都是针对三大类有害微生物。其中,SRB对地面系统所造成的危害最为突出,由此而产生的

危害已经成为困扰油田生产的瓶颈问题^[12-13]。基于此,企业对有害微生物已经开始了严格控制。对这部分有害微生物进行监测,针对性地指导防控,已经成为各油田保证稳定生产的基础性工作,提出了对SRB、TGB、IB的指标控制要求。表1中以大庆油田回注水为例对三类菌提出了指标要求,事实上,只有对地面系统中各工艺环节的有害微生物进行严格防控,才能提高杀菌剂使用效率、降低成本,进而保证油田污水达标回注。当前,各油田对这三类有害微生物进行检测的常用方法是测试瓶绝迹稀释法。这种方法是利用无菌注射器,将待测水样定量注入到测试瓶中进行梯度接种稀释,所采用的测试瓶是分别针对SRB、TGB和IB的选择性培养基,用待测水样接种后的测试瓶进行恒温培养,根据细菌瓶阳性反应,即由细菌产生的代谢产物而引起的铁钉或培养基颜色变化作为检测结果,最终计算出水样中的细菌数量。这种常用的检测方法操作简单,不易产生操作误差,平行性较好,但其从取样到检测的环节要求较为严格,且检测时间长,不利于及时地跟踪、反馈SRB生长情况。此外,这种方法虽然较为稳定,但是具有一定的检测误差,其检测结果只能是一组间断的实验点,不易得到介于相邻两个实验点中间的生物量情况。

表1 大庆油田回注水微生物控制标准

指 标	空气渗透率/ μm^2				
	水驱注水			聚驱注水	
	<0.02	0.02~0.1	>0.6	<0.1	>0.6
SRB/个· mL^{-1}	≤ 25	≤ 25	≤ 25	$\leq 10^2$	$\leq 10^2$
TGB/个· mL^{-1}	$n \times 10^2$	$n \times 10^2$	$n \times 10^4$	$n \times 10^2$	$n \times 10^4$
IB/个· mL^{-1}	$n \times 10^2$	$n \times 10^2$	$n \times 10^4$	$n \times 10^2$	$n \times 10^4$

注: 1. 大庆油田注水标准 Q/SY DQ0605—2006; 2. 表中 $0 \leq n < 10$ 。

针对常规方法检测时间长的弊端,近几年来出现了利用分子生物学技术对地面系统中的SRB进行快速检测的研究^[14],这将成为今后油田检测SRB的替代技术。这一技术是利用荧光原位杂交(FISH)法对待测样品中的SRB实现快速检测。目前,已经认识到的能够进行硫酸盐还原反应的菌种有一百三十多种,其中的部分菌种已经获得了其16S rD(R)NA的序列。基于这些认知,将待测样品经分级离心处理后得到含有目的菌群的浓缩样品,利用多聚甲醛对样品中的微生物细胞进行固定,同时,对SRB保守序列进行比对分析,构建针对硫酸盐还

原菌的特异性基因探针, 使用荧光标记试剂盒对合成的基因探针进行荧光标记, 构建出能够与硫酸盐还原菌实现原位杂交的荧光基因探针, 再利用 FISH 技术与目的菌群进行原位杂交, 最后利用荧光显微镜观察, 获得菌群存在、分布等信息。国外对此技术的研究和应用较早, Amann 等^[15]在 1995 年就利用基因探针技术对混合微生物菌群进行了分析; Okabe^[16]、Kleikemper^[17]和 Tsai^[14]等先后利用基因探针技术研究了污染样品中 SRB 菌群的活性、菌相的多样性以及分布等情况。在国内, 以清华大学为代表的一些科研机构均先后进行了基因探针原位杂交技术检测 SRB 的实验研究^[18-19], 证实该方法具有快速、准确、灵敏度高等优点, 可以用来监测地面系统中的 SRB 数量和种群分布。不仅如此, 清华大学国家重点实验室^[20]还利用这种方法对胜利油田外排水中的 IB 进行了检测研究, 成功地对胜利油田外排水中的 IB 进行了全面检测, 定量分析了样品中的 IB 数量、群落结构和多样性, 分析了利用 FISH 技术检测油田外排水中 IB 的可行性, 这一工作具有很高的指导和借鉴价值。

可见, 在不需要对样本中的目的菌种进行分离、纯化、培养的前提下, 利用分子原位杂交技术实现对油田有害微生物的快速检测具有很高的研究价值和广阔的应用前景。不过, 对这一技术进行必要的完善和优化, 继而在油田中推广和应用需要建立在两个前提下: 第一, 必须对样本中的目标微生物种群有清楚地认识; 第二, 必须掌握这些种群微生物的 16S rD(R)NA 保守序列。显然, 这种方法检测的准确性依赖于人们对于油田 SRB 的认知程度。在水驱、聚驱和三元驱油介质中, 以 SRB 为典型有害微生物的种群构成存在差别。在本文作者所在课题组前期工作中, 从不同介质中分离出不同属种的微生物, 经中科院微生物研究所鉴定, 证实其中的部分属种极其罕见, 不仅如此, 在研究中还发现同样是三元体系, 由于介质的酸碱度不同, 即三元强碱和三元弱碱介质中的微生物种类存在差别, 这些微生物是否属于 SRB 种群尚待进一步研究。但在实验过程中发现, 这些微生物在厌氧或兼性厌氧条件下都可以代谢产生 H_2S , 继而腐蚀管线产生硫化物, 给地面系统的平稳运行带来危害。因此, 利用原位杂交技术对油田地面生产系统中有害微生物进行快速、准确地定量检测尚需进一步提高对待测介质中有害微生物种群构成的认知。不过, 正如吴晓磊等^[18, 20]研究, 利用该方法可以快速地检测在地面系

统中所分布的主要的管道腐蚀微生物, 其优势在于可以及时反馈生产过程。本文作者认为, 在众多将生物技术服务于油田的研究中, 利用荧光探针油田中部分有害微生物进行快速监测技术, 是室内研究成果与生产实际之间最为接近的技术之一, 其大范围应用和推广的可行性最大。

2 生物破乳剂的研究现状及其在油田中的应用前景

油水分离工艺是油田生产的一个重要工艺环节, 原油破乳剂因此成为重要的化学助剂广泛应用于油田中。尤其随着二次、三次采油技术的不断发展, 采出液成分趋于复杂化, 采出液中含水量高, 增加了油水分离处理难度, 原油破乳剂也因此得到了快速发展。目前, 国内外油田所用破乳剂都是离子型或非离子型的化学破乳剂, 这种类型的破乳剂对原油具有较强的选择性, 油品、水质、溶质、乳化状态及功能剂等都会对化学破乳剂产生影响, 因此, 不存在普适性的破乳剂, 且破乳剂的应用范围非常窄^[21]。在我国, 很多油田都经历了水驱、聚驱和三元复合驱的开采工艺, 即便是同一油田不同区块油品性质的差异, 或者同一联合站所处的不同开采期, 都需要针对性地使用不同的破乳剂, 给现场破乳剂的选择带来较大困难^[22], 这也是国内外化学破乳剂拥有数千种的重要原因之一^[23-26]。对于成分复杂、油水乳化严重的油品, 在用化学破乳剂很难达到令人满意的油水分离效果, 增加生产成本的同时, 化学破乳剂不可避免地对环境造成污染并且对人体造成伤害。

为解决化学破乳剂存在的弊端, 生物型破乳剂的开发研制在国内外悄然兴起, 逐渐成为研究热点。原油生物破乳剂是一种经筛选、驯化、发酵等生化过程处理后而得到天然微生物菌体或细胞代谢物, 其破乳机理复杂尚不十分清楚。一般认为破乳活性是依赖于微生物细胞表面的独特结构, 在细胞膜上有一 COO^- 、 $-NH_2$ 、 $-SH$ 和 $-OH$ 等活性基团, 细胞表面在被原油乳状液的非连续相充分但不完全润湿后, 细胞最终会在连续相和非连续相之间占据一个平衡位点, 乳状液液滴在细胞表面润湿、铺展, 降低了油水界面膜强度, 使界面张力下降, 乳状液稳定性被破坏, 最终聚结^[27-28]。此外, 生物破乳剂产生菌在代谢过程中产生的次生代谢产物也具有破乳特性已经被证实^[29-30]。冯志强等^[27]利用原油破乳剂产生菌富集培养后, 离心分离, 利用细胞全液、

上清液和细胞对比研究了生物破乳特性,证实细胞上清液,即细胞次生代谢产物具有一定的破乳特性。基于这一理论的实验研究很多。

国内在生物破乳剂方面做了大量研究。其中,同济大学^[6]以原油污染土壤等 6 种不同的样本为起始材料,利用显色法、溶血细胞测试法、表面张力测定法和排油圈法分别进行了功能性菌种的开发,优化菌种筛选方法的同时,成功地分离出 4 株具有较高破乳特性的功能性菌种,并经 16S rDNA 和生理生化特性实验鉴定为产碱杆菌属,继而利用这些菌种分别对油包水型和水包油型的乳化液进行了实验研究,获得了很好的室内实验效果,即便对于难处理的油包水型乳状液,在其研究体系中也收到了 50%左右的破乳率。国外也较早地证实了利用生物破乳剂进行原油破乳处理的可行性^[31-34]。Park 等^[32]从南极洲和韩国海岸线的海水和沉积物中分离出一组具有破乳活性的放线菌类,经过筛选和鉴定最终得到一株链霉菌 (*Streptomyces* sp.) AA8321,并证实其在比较低廉的培养条件下具有很高的生物破乳潜能。

上述研究都是利用分离得到的纯培养微生物进行的生物破乳研究。国外的一项研究值得注意,Nadarajah 等^[34]在 2002 年从原油污染场地中分离得到了一组混菌,继而研究了混合培养微生物处理油包水型原油乳状液。结果表明,这种混合培养的细菌能够有效地实现对多种类型油包水型原油乳状液的生物破乳,这种具有广泛适用性的原油破乳剂的研究报道极少,多菌种培养联合发挥功效在微生物技术领域容易实现,此项研究预示着生物破乳剂存在着相对广谱的破乳功效的潜能,具有极高的深入研究价值。另外,胜利油田在 2004 年利用中国石油大学开发研制的生物破乳剂和其它来源生物破乳剂在 7 个不同区块开展了生物破乳剂现场试验研究,报道称取得了较好的现场实验效果^[35]。中国石油化工股份有限公司武汉分公司也利用 SW-903 型生物破乳剂在电脱盐装置上开展了现场试验研究,脱后原油含盐小于 3 $\mu\text{g/g}$,含水小于 0.2%,证实了 SW-903 型生物破乳剂适合在电脱盐装置上使用^[36]。这是目前为止文献报道的为数不多的现场试验研究。

生物破乳剂的开发研制报道很多,个别研究也开展了现场放大试验,这些研究为生物破乳剂真正走进油田奠定了实验和理论基础。不过,生物破乳剂不同于化学破乳剂的最大区别在于要保持微生物细胞的活性,而细胞活力受到生长介质的温度、pH

值、溶氧、营养盐等诸多条件制约,因此,具有生物活性的生物破乳剂对介质的适应性,尤其在实施工矿条件下参数条件的波动,将对破乳剂的生物破乳特性产生极大影响。不仅如此,生物破乳剂的破乳能力又在极大程度上取决于其在处理工艺中与介质的作用时间。破乳剂在工业应用中理想的投加环节是在游离水分离器或电脱水器入口处,投加后其在介质中的动态作用时间为 0.5~1.5 h,即便在井口附近进行投加,在厌氧、动态环境中如何保证破乳功效都有待做慎重和深入研究。固然,细胞上清液的破乳特性可以有效地回避上述部分问题,但是,如果依靠细胞上清液或单纯依靠在投加前就将细胞培养至破乳所需用量,毫无疑问将极大地增加破乳剂活化和富集培养的成本,从而增加油田生产企业的运行负荷,也失去了生物破乳剂的重要优势。本文作者认为,生物破乳剂在油田生产企业的工业化推广和应用尚需做大量的细致研究。

3 生物絮凝剂的研究现状及其在油田的应用前景

生物絮凝剂在印染、发酵、食品、电镀等工业废水以及城市污水处理领域得到了较为广泛的研究^[37-41]。它是利用微生物细胞、细胞提取物以及细胞代谢产生的次生代谢产物作为絮凝体,利用桥联、基团反应、电中和、网捕等作用将重金属离子及其它悬浮粒子絮凝沉降。不同的微生物絮凝剂的絮凝机理存在差别,絮凝机理的阐释尚待进一步研究。

生物絮凝剂在原油生产中处理污水的研究与报道很少。Bratskaya 等^[2]利用经疏水改性处理的壳聚糖作为絮凝剂,对含有 SDS 表面活性的水包油型乳状液在很宽的 pH 值范围内 (pH 4~9) 进行了絮凝特性研究,比较了疏水改性壳聚糖同未经改性处理的壳聚糖絮凝剂以及商业用阳离子聚丙烯酰胺絮凝剂的处理效果,证实这种生物絮凝剂的絮凝效果受油水乳状液界面间的电荷密度影响较大,而酸碱度对其影响较小,在优化的条件下,较低的添加量即可获得较好的絮凝效果。在国内,中国石油大学赵朝成教授^[41]研究了微生物絮凝剂产生菌的筛选方法,对传统筛选方法、DEHP 筛选方法和吡啶筛选方法进行了对比研究,证实利用吡啶法可以筛选获得更多的目的菌株,利用该法从含油废水、土壤和活性污泥中筛选出一株肠杆菌属菌株,并对野生型菌株实施了紫外诱变育种处理,获得的正变株对含油废水的处理效果优于化学絮凝剂聚铝,形成的絮

体体积较大，沉降速度快。

生物絮凝剂因絮凝体产生菌的多样性以及无二次污染，安全可靠等优势必将得到进一步深入研究。这一技术能否在油田中应用主要取决于两大前提。第一，成本。生物絮凝剂菌种的培养或者细胞代谢产物的分离均需较高成本，因此，廉价且有效的培养条件开发以及菌种的絮凝剂产量或细胞本身的絮凝功效是决定这一技术能否进入油田地面生产领域的关键所在。第二，条件。仅有低廉高产的生物絮凝剂产生菌还不足以使这一技术步入油田，与生物破乳剂一样，生物絮凝剂也面临着一系列的制约性因素，其活力受到温度、pH 值、溶氧等实际工况条件的制约，微生物细胞，即便是其中间代谢产物，对于现场工况条件的适应性是决定这一技术能否最终在油田中应用的决定性因素。除此之外，油田污水与其它工业废水的处理目的不同。油田污水的处理目的是为了二次回注（外排量小），而对回注水的指标要求偏重于回注水中悬浮固体颗粒的浓度以及对粒径中值的要求上，而其它很多行业的工业废水处理则偏重于对重金属或者有毒害大分子有机污染

物的去除，我国对于外排污水中悬浮固体的要求也较油田回注水指标宽松，因此，油田污水的絮凝处理难度更大（见表 2）。另外，活性污泥技术一直作为传统而经典的生物处理技术在很多行业的工业废水和城市污水处理中得到广泛应用，活性污泥除了具有降解作用外，其本身就是一种生物絮凝体，但长期以来极少见将活性污泥技术应用于油田污水的处理，油田污水处理对悬浮固体指标的苛刻要求是油田排斥这一技术的重要原因之一。生物絮凝剂在油田污水处理方面的应用面临着重重困难，但是，考虑到油田含油污水产量大，仅大庆油田 2007 年一年污水产量就达到 221.13 万立方米，这部分污水必须经处理后达标回注，最大限度减少外排。污水的处理，尤其是特低渗透油藏用回注水指标要求苛刻，需对污水进行深度处理后才能达标回注，致使在各油田回注水的处理成本成为油田生产运行的重要开支，因此，开发新的处理方法具有重大意义。就理化领域而言，在此技术上的再突破难度太大，生物处理技术具有巨大的潜能，将成为新的研究热点，并最终成为油田水处理技术的新的突破口。

表 2 油田回注水及工业废水处理指标比较

指 标	空气渗透率/ μm^2					排放标准		
	水驱注水			聚驱、三元注水				
	<0.02	0.02~0.1	>0.6	<0.1	>0.6	一级	二级	三级
悬浮固体含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	≤ 1.0	≤ 3.0	≤ 10.0	≤ 5.0	≤ 20.0	70	200	400
粒径中值/ μm	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 3.0	≤ 2.0	≤ 5.0	—	—	—
含油量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	≤ 5.0	≤ 8.0	≤ 20.0	≤ 5.0	≤ 20.0	10	10	30

注：1. 大庆油田注水标准 Q/SY DQ0605—2006；2. 工业废水排放标准 GB 8978—1996。

4 生物处理技术在油田其它方面的应用

对有害微生物进行监控、提高油水分离效率、净化污水是油田地面生产中的重要工作，除此之外，以油田地面系统为切入点而开展的研究工作还有很多，如原油污染土壤的生物修复、含油污泥的处理、油田外排污水的生物处理等。

4.1 原油污染土壤和含油污泥的生物修复

利用土著微生物的代谢活性，通过补加微生物生长所需的氮、磷等营养盐，乃至强化外源微生物，对原油污染土壤中的有机成分进行降解，使土壤无害化的研究是最早涉足油田地面生产领域的生物处理技术，相关研究报道很多。目前，在胜利油田、

冀东油田、辽河油田、大庆油田等都已经开展了生物修复处理原油污染土壤的现场试验研究^[42-45]。在此基础上，利用生物修复技术对油田含油污泥进行修复的研究也越来越多^[46-47]。其中，胜利油田以滨一污水站长期堆放的含油污泥为研究对象，开展了含油污泥的工业试验研究，经 230 天生物处理后含油量下降了 42.8%^[48]。含油污泥在油田生产中广泛存在，尚无经济而有效的处理方法，生物修复技术能够成为一种行之有效的油田含油污泥处理方法。

降解作用是微生物最基本的特性，易于对微生物实现受控代谢，因此，以微生物的降解作用为切入点所开展的应用性研究，必将优于生物破乳、生物絮凝等技术手段而优先步入油田，为油田生产服务。

4.2 油田外排污水的生物处理

油田产生的污水经处理后大部分要达标回注, 剩余外排^[49]。外排污水种类多(稠油污水、含聚污水等)、水质成分复杂、COD 含量高。生物技术处理污水的方法很多, 氧化塘法、生物膜法、生物滤纸法、厌氧-好氧耦合处理以及新型的生物反应器技术等, 可以根据外排污水水质特点进行选择。这些方法都是利用微生物的代谢作用将污水中的油、挥发酚、硫化物等污染成分降解去除, 降低污水中的 COD 含量; 同时, 也可以絮凝沉降部分悬浮固体, 最终达标外排。利用生物技术进行外排污水处理的研究报道很多^[50-51], 大港油田、辽河油田、吉林油田、胜利油田等都开展了外排污水生物处理技术的研究^[52-56]。其中, 大港油田在 2000 年就建立了工业化规模的生物处理系统, 利用氧化塘法对外排污水进行处理, 连续几年都收到了很好的处理效果^[54]。生物处理技术处理含油污水技术成熟而稳定, 是油田外排污水处理技术的方向。

4.3 污油的生物净化处理

油田每年都会产生大量污油, 污油内含有较多易裂解的烃类, 再加工利用价值很高。这部分污油中包括硫化物在内的机械杂质含量非常高, 难于处理, 当前所采用的热沉降工艺处理效果不好, 污油回收处理时经常出现电脱水器跳闸、跨电场等问题^[57-58]。与生物絮凝剂相类似, 利用某些微生物的特有功能, 可以将处于油相(油水界面层)中的机械杂质润湿、反转进入到水相, 再从水相中絮凝沉降, 从而部分去除污油中的机械杂质, 保证联合站系统平稳运行。在前期的工作中, 已经从不同的分离源中分离得到这种功能性菌种, 并进行了室内中试研究, 结果表明, 在控制好细胞生长条件的前提下利用微生物细胞可以实现除杂净化污油的目的。

5 结 语

生物技术已经广泛地触及到油田地面生产领域。地面系统有害微生物的监测与防控是油田企业不可回避的问题, 在此领域开展的研究不可避免涉猎到生物技术领域; 生物破乳剂、生物絮凝剂等一些油田地面生产中的核心环节技术受到重视, 已经得到不同程度的研究, 但受到生物技术固有特点和实际工矿的限制, 使现有室内研究成果很难应用到实际生产中, 在此方面尚待大量细致和深入的研究; 原油污染土壤、含油污泥、油田外排污水处理等以微生物细胞降解能力为切入点开发的生物处理技术

具有极大的应用潜力, 其能否在油田生产中应用和推广不在于技术本身, 而是更多地取决于企业决策。

参 考 文 献

- [1] 王永春. “六个坚持” 续辉煌[J]. 求是, 2009 (2): 40-42.
- [2] Bratskaya S, Avramenko V, Schwarz S, et al. Enhanced flocculation of oil-in-water emulsions by hydrophobically modified chitosan derivatives[J]. *Colloids and Surfaces A*, 2006, 275: 168-176.
- [3] 王成芬. 生物絮凝剂在水处理中的应用[J]. 石油与天然气化工, 2007, 36(3): 259-261.
- [4] 王海峰, 包木太, 耿雪丽, 等. 油田含聚合物污水生化处理室内模拟研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2008 (1): 109-111.
- [5] 肖稳发, 刘锡建, 饶品华, 等. 生物破乳剂的应用研究进展[J]. 精细与专用化学品, 2008, 16 (10): 17-19.
- [6] Huang X F, Liu J, Lu L J, et al. Evaluation of screening methods for demulsifying bacteria and characterization of lipopeptide bio-demulsifier produced by *Alcaligenes* sp. [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 1358-1365.
- [7] Lu M, Zhang Z Z, Yu W Y, et al. Biological treatment of oilfield-produced water: A field pilot study[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2009, 63(3): 316-321.
- [8] 赫荣乔. 硫酸盐还原菌与油田金属管道腐蚀[J]. 微生物学通报, 2008(2): 248.
- [9] 何国健, 杨旭. 油田注水系统中细菌危害和控制研究[J]. 能源与环境, 2008 (1): 14-16.
- [10] Kaur G, Mandal, A K, Nihlani M C, et al. Control of sulfidogenic bacteria in produced water from the Kathloni oilfield in northeast India[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2009, 63: 151-155.
- [11] Benka-Coker M O, Metseagharun W, Ekundayo J A. Abundance of sulphate-reducing bacteria in Niger Delta oilfield waters[J]. *Bioresource Technology*, 1995, 54(2): 151-154.
- [12] Myhr S, Lillebo B L P, Sunde E, et al. Inhibition of microbial H₂S production in an oil reservoir model column by nitrate injection[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2002, 58: 400-408.
- [13] Wei L, Ma F, Wang Q, et al. Research on sulfate reducing bacteria composition and distribution in waterflooding process of Daqing oilfield[J]. *Journal of Biotechnology*, 2008, 136(1): 611-612.
- [14] Tsai J C, Kumar M, Lin J G. Anaerobic biotransformation of fluorene and phenanthrene by sulfate-reducing bacteria and identification of biotransformation pathway[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164(2-3): 847-855.
- [15] Amann R I, Ludwig W, Schleifer K H. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation [J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 1995, 59 (1): 143-169.
- [16] Okabe S, Itoh T, Satoh H, et al. Analyses of spatial distributions of sulfate-reducing bacteria and their activity in aerobic wastewater biofilms[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65: 5107-5116.
- [17] Kleikemper J, Schroth M H, Sigler W V, et al. Activity and diversity of sulfate-reducing bacteria in a petroleum hydrocarbon contaminated aquifer[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68: 1516-1523.
- [18] 曾景海, 吴晓磊, 赵桂芳, 等. 油田回注水中硫酸盐还原原核生

- 物的快速检测和群落结构分析[J]. 环境科学, 2006, 27(5): 972-976.
- [19] 张伟, 刘丛强, 刘涛泽, 等. 荧光原位杂交在喀斯特山地土壤硫酸盐还原菌检测中的应用[J]. 微生物学通报, 2008, 35(8): 1273-1277.
- [20] 赵桂芳, 吴晓磊, 曾景海, 等. 胜利油田外排水中铁细菌主要类群的检测及群落结构分析[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(6): 828-832.
- [21] Li M Y, Zhen P. Study of crude emulsifiable liquid stability. VI. Interfacial film character and crude emulsifiable liquid stability[J]. *ACTA Petrologica Sinica: Petrol. Process*, 1998, 14 (3): 1-5.
- [22] Zhang R Q, Liang C H, Wu D, et al. Characterization and demulsification of produced liquid from weak base ASP flooding[J]. *Colloids and Surfaces A*, 2006, 290: 164-171.
- [23] Opawale F O, Diane J, et al. Influence of interfacial properties of lipophilic surfactants on water-in-oil emulsion stability[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1998, 197: 142-150.
- [24] Kang W L, Liu Y, Qi B Y, et al. Interactions between alkali surfactant/polymer and their effects on emulsion stability[J]. *Colloids and Surfaces A*, 2000, 175 (1-2): 243-247.
- [25] Stasiuk E N, Schramm L L. The influence of solvent and demulsifier additions on nascent froth formation during flotation recovery of Bitumen from Athabasca oil sands[J]. *Fuel Processing Technology*, 2001, 73: 95-110.
- [26] Kang W L, Jing G L, Zhang H Y, et al. Influence of demulsifier on interfacial film between oil and water[J]. *Colloids and Surfaces A*, 2006, 272: 27-31.
- [27] 冯志强, 杨永军, 朱成君, 等. 原油生物破乳剂的研究与应用[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(3): 93-95.
- [28] 缪永霞, 易绍金. 环保型生物破乳剂的研究及应用[J]. 油气田环境保护, 2007 (12): 44-45.
- [29] Liu J, Huang X F, Lu L J, et al. Isolation of demulsifying strains and characterization of a biodemulsifier produced by *Alcaligenes* sp.[J]. *Journal of Biotechnology*, 2008, 136: S290-S344.
- [30] Duvnjak Z, Kosaric N. Demulsification of petroleum W/O emulsions by selected bacterial and yeast cells[J]. *Biotechnology Letters*, 1987, 9: 39-42.
- [31] Janiyani K L, Purohit H J, Shanker R, et al. De-emulsification of oil-in-water emulsions by *Bacillus subtilis* [J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 1994, 10 (5): 452-456.
- [32] Park S H, Lee J H, Ko S H, et al. Demulsification of oil-in-water emulsions by aerial spores of a *Streptomyces* sp.[J]. *Biotechnology Letters*, 2000, 22(17): 1389-1395.
- [33] Das M. Characterization of de-emulsification capabilities of a micrococcus species[J]. *Bioresour. Technol.*, 2001, 79 (8): 15-22.
- [34] Nadarajah N, Singh A, Ward O P. De-emulsification of petroleum oil emulsion by a mixed bacterial[J]. *Culture Process Biochemistry*, 2002, 37: 1135-1141.
- [35] 韦良霞, 任丽, 肖英玉, 等. HRB-4 型生物破乳剂在纯梁采油厂的应用[J]. 油田化学, 2004, 21 (1): 42-44.
- [36] 张林, 吴建平, 梁劲翌. SW-903 生物破乳剂的工业应用试验[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2008, 25(2): 45-47.
- [37] 李桂娇, 尹华, 彭辉. 微生物絮凝剂在污水处理中的应用研究[J]. 中国给水排水, 2003, 19(13): 60-63.
- [38] 曾德芳. 壳聚糖复合絮凝剂在城市生活污水处理中的应用[J]. 环境化学, 2002, 13(2): 505-508.
- [39] 张育新, 康勇. 絮凝剂的研究现状及发展趋势[J]. 化工进展, 2002, 21(11): 799-804.
- [40] 袁俊红, 陈英文, 唐玉娣, 等. 改性淀粉在环境和生化工程中的应用[J]. 化工进展, 2004, 23(12): 1312-1315.
- [41] 孔英. 生物絮凝剂的合成及处理含油废水性能研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2007.
- [42] 王洪君, 吴任钢, 王嘉麟. 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.
- [43] 李培军, 台培东, 郭书海, 等. 辽河油田石油污染土壤的 2 阶段生物修复[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 74-78.
- [44] 刘晓艳, 毛国成, 刘晓东, 等. 用生物法治理大庆油田地表油污土壤[J]. 油气田环境保护, 2004, 14(1): 30-32.
- [45] 张宝良, 王宝辉, 张昌兴. 土壤石油污染的生物修复技术[J]. 油气田地面工程, 2007, 26(2): 9.
- [46] 欧阳威, 刘红, 于勇勇, 等. 生物强化处理油田含油污泥的试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 349-352.
- [47] 张建, 史德青, 桂召龙, 等. 预制床法生物修复胜利油田含油污泥的研究[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(12): 912-915.
- [48] 闫毓霞. 利用土著微生物修复胜利油田含油污泥的工业实验[J]. 石油与天然气化工, 2008, 37(3): 255-258.
- [49] 王嘉麟, 陈春茂, 左岩, 等. 高压脉冲放电/臭氧协同作用提高油田污水可生化性实验[J]. 化工进展, 2008, 27(2): 250-254.
- [50] 邹启贤, 夏元东, 陆正禹, 等. 生物絮凝处理油田外排废水试验研究[J]. 工业水处理, 2002, 22(12): 19-20.
- [51] 包木太, 骆克峻, 耿雪丽, 等. 油田含聚丙烯酰胺废水的生物降解研究[J]. 油田化学, 2007, 24(2): 188-191.
- [52] 吕志萍, 钟辉. 油田稠油污水生物处理技术研究[J]. 油气田环境保护, 2003, 13(2): 20-22.
- [53] 张伟, 王景峰, 李官贤, 等. 辽河油田稠油废水生物治理初步研究[J]. 工业水处理, 2004, 24(3): 37-39.
- [54] 胡琦. 大港油田氧化塘生物处理采油废水[J]. 油气田环境保护, 2006, 16(1): 21-22.
- [55] 彭鸽威, 阎光绪, 刘晓春, 等. 原油降解菌的分离及其降解性能[J]. 化工进展, 2008, 27(4): 531-534.
- [56] 王海峰, 包木太, 耿雪丽, 等. 油田含聚合物污水生化处理室内模拟研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2008, 30(1): 109-111.
- [57] 孙爱民. 对油田集中处理站污油回收处理的几点认识[J]. 油田建设设计, 2000 (1): 17.
- [58] 夏福军, 吴迪, 孟祥春, 等. 含硫化亚铁颗粒污油回收处理技术[J]. 石油规划设计, 2006 (9): 13-16.