

知识介绍

微生物采油技术及其应用

伍晓林 陈 坚 伦世仪

(江南大学生物工程学院, 江苏 无锡 214036)

摘要: 介绍了微生物采油技术方法、菌种和营养液选择、油藏筛选标准、作用机理及矿场应用。

关键词: 微生物; 采收率; 应用

中图分类号: TE132.14

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)06-0063-03

Microbially enhanced oil recovery technology and its application

WU Xiao-lin, CHEN Jian, LUN Shi-yi

(School of biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214036, China)

Abstract: The methods, microorganisms and cultures used, criteria for reservoir selection, mechanism and its application in oil field of microbially enhanced oil recovery technology are reviewed.

Key words: microorganism; crude yield; application

微生物提高石油采收率(Microbial Enhanced Oil Recovery, MEOR)技术是目前国内外发展迅速的一项提高原油采收率的技术,是 21 世纪一项高新生物技术。与其他三次采油技术相比,微生物采油技术具有适用范围广、工艺简单、经济效益好、无污染等特点,因而越来越受到人们的重视。MEOR 是一项具有良好发展前景的三次采油技术。

1 微生物提高石油采收率方法

MEOR 是指利用微生物提高石油采收率的各种技术总称,凡是与微生物有关的采油技术均属于 MEOR。广义地说,MEOR 的基本方法主要包括两大类^[1]:地面发酵(地面法)和微生物地下发酵(油层法);狭义地说,MEOR 主要是指微生物地下发酵。

微生物地下发酵(油层法)是把油层作为巨大的生物反应器,将经过筛选的配伍性较好的微生物注入其中,利用微生物及其代谢产物的综合作用提高石油采收率。对于含油饱和度极低的油层,用其他方法无能为力时采用地下发酵法采油效果较为显著。

微生物提高石油采收率并不是一种单一的方法。在不同的地区仅可以使用其中的某一种方法,每种方法都可以采用不同的微生物培养基,这些培养基对于将其引入油层和在油层中生长繁殖具有不

同的要求。应用微生物采油法的地区、采油条件以及微生物培养基的不同,所增加的采油量也不同。

2 菌种和营养液的选择

2.1 菌种

常用于 MEOR 的微生物及其代谢产物见表 1。

表 1 常用于 MEOR 的微生物及其代谢产物

菌种名称	好氧/厌氧	代谢产物
梭状芽胞杆菌 (<i>Clostridium</i> sp.) ^①	厌氧	气体、酸类、醇类和生物表面活性剂
芽孢杆菌(<i>Bacillus</i> sp.) ^①	兼性	酸类和生物表面活性剂
假单胞菌(<i>Pseudomonas</i> sp.)	好氧	生物表面活性剂和聚合物
黄单胞杆菌(<i>Xanthomonas</i> sp.)	好氧	聚合物
明串珠菌(<i>Leuconostoc</i> sp.)	兼性	聚合物
脱硫弧菌(<i>Desulfotribrio</i> sp.)	厌氧	气体、酸类和还原硫酸盐
节细菌(<i>Arthrobacter</i> sp.)	兼性	生物表面活性剂和醇类
棒状杆菌(<i>Corynebacterium</i> sp.)	好氧	生物表面活性剂
肠杆菌(<i>Enterobacter</i> sp.)	兼性	气体和有机酸类
诺卡氏菌(<i>Nocardia</i> sp.) ^②	厌氧,兼性	生物表面活性剂
不动杆菌(<i>Acinetobacter</i> sp.) ^②	厌氧,兼性	生物表面活性剂
分枝杆菌(<i>Mycobacteria</i> sp.) ^②	好氧	生物表面活性剂

注:①是在 MEOR 技术中应用最为广泛的微生物;②是准备用于 MEOR 技术中的微生物。

收稿日期:2004-03-05

作者简介:伍晓林(1966-),男,博士生,高级工程师,主要从事三次采油方面的研究,0459-5508652,013089052396, wuxiaolin@yjy.daqing.com;伦世仪(1928-),男,中国工程院院士,博士生导师,研究领域为发酵工程和环境生物技术,0510-5805990-485, sylun@wxuli.edu.cn。

从表 1 可以看出,用于 MEOR 的微生物可以是好氧菌、厌氧菌,也可以是兼性厌氧菌,在 MEOR 实施的过程中,可以单独使用某一菌种,但为了发挥微生物的协同作用,更多的是使用配伍性较好的混合菌种。在选择的过程中应遵循的原则就是微生物必须适应油藏的环境条件。

菌种是微生物地下发酵的关键。目前,在室内研究方面,菌种筛选基本上以烃类为碳源,所筛选的菌种为厌氧菌或兼性厌氧菌。室内评价实验表明,筛选出的菌种应具有如下性能:①降解原油重质组分,使原油密度、原油黏度、含蜡量、含胶量等降低;②产气、产酸、产表面活性剂、降黏;③微生物发酵液使油水发生乳化,分散原油、蜡、胶。

2.2 营养液

在 MEOR 中,需要对注入地层的微生物提供营养物质,通常也叫培养基。营养液的配制主要根据选用的菌种、地层条件和工程的目的来确定。菌种不同,通常所需要的营养物质也不一样,微生物一般都需要含磷化合物(如各种有机和无机磷酸盐)、含氮化合物(如氯化铵等含铵化合物、硝酸钾等硝酸盐以及氨基酸、肽等有机氮)、含碳化合物(如脂肪、蛋白质、简单和复杂的碳水化合物)、硫、各种微量元素(如镁、铁、钙等)、氢等地层中可能缺乏的这些营养物质中的一种或几种。通过原子吸收光谱法、离子层析法、电感耦合等离子体等技术对地层中的岩芯样进行分析,就可以确定出地层中缺乏的营养物质,从而确定营养液的组成。

3 油藏筛选

油藏是由固、液、气三相构成的,其物理化学性质对微生物的生存、繁殖和代谢活动都有决定性的影响。根据大量的研究,地层的深度、压力、温度、地层水化学组分、矿化度、pH 值、原油密度等参数对微生物的生存和代谢活动都有限制作用。只有当这些参数值在适当的范围内时,应用微生物采油技术才能够获得增产效果。一般来说,对微生物生长不利的地层,其主要障碍是高温、高压、高矿化度、pH 值不适宜、缺氧、缺营养物质。还有一些物理因素如地层太致密,微生物不易穿透等也影响 MEOR 技术的实施效果。

(1) 温度

各种地层条件中,首先需要考虑的因素是地层温度。因为不同的微生物耐温能力不同,其生长、繁殖都有一定的温度范围(见表 2)^[2-4]。

表 2 微生物生长的温度范围

微生物	生长温度/℃			举 例
	最低	最适	最高	
低温微生物	-5 ~ 10	10 ~ 20	25 ~ 30	活性淤泥
中温微生物	5 ~ 10	15 ~ 40	45 ~ 50	梭状芽胞杆菌
高温微生物	25 ~ 45	45 ~ 65	70 ~ 100	黄单孢杆菌

油层温度以 30 ~ 50℃ 最为合适,但利用嗜热菌可以在 80 ~ 90℃ 的油层条件下进行 MEOR 研究。匈牙利的研究人员曾用微生物处理过 1 口油层温度为 97℃ 的油井^[4]。嗜热微生物是 MEOR 研究比较活跃的课题,旨在扩大 MEOR 的应用范围。

(2) 压力

10 ~ 20 MPa 的压力一般不影响微生物生长。高压不是主要问题,压力在 30 MPa 时,微生物生存很好,当压力达到 50 MPa 时对微生物生存有害,单厌氧菌在 140 MPa 下能培养成活,在 180 MPa 时能催活。

(3) pH 值

pH 值为 7 的环境最适合微生物生长,pH 值一般在 4 ~ 9,一般油层都具备这一条件。很多微生物能在很大程度上耐酸碱性。

(4) 矿化度

油层的矿化度应在合适的范围内,矿化度过高对微生物生长不利。波兰科学家 Karaskiewicz 认为,水中氧化钠或镁离子的浓度过高,会对大部分微生物有毒性,只有少数微生物能承受高盐浓度。因此,当油田含水矿化度高时,在进行微生物采油前应注意使油层淡化。另外,地层缺氮、磷也不利于微生物生长。

(5) 渗透率

油层渗透率应不低于 $0.1 \mu\text{m}^2$,孔隙度应大于 15%,否则会影响微生物在油层的运移。

(6) 原油相对密度

原油相对密度应高于 0.946。

(7) 残余油饱和度

残余油饱和度应大于 30%。

其他需要考虑的地层条件还有地层水化学组分等。通常,做一项有关地层流体和所用的微生物之间的配伍性试验(配伍优化)即能检验出微生物是否能适应这些条件^[3]。

4 作用机理

用于 MEOR 的微生物作用机理主要是:

(1) 微生物在地下发酵过程中能产生各种气体,

如 CH_4 、 CO_2 、 N_2 、 H_2 等,这些气体可增加油层压力,降低原油黏度。

(2)微生物在地下发酵过程中能产生有机酸类、醇类、酮类等有机溶剂。其中有机酸类能使碳酸盐地层溶蚀而增加其渗透性,醇类、酮类可降低表面张力和油水界面张力,促进原油的乳化。

(3)微生物在地下发酵过程中能产生生物聚合物,这些生物聚合物能调整注水油层的吸水剖面,控制高渗地带的流度比,改善地层渗透率。

(4)微生物在地下发酵过程中能降解重质烃类和石蜡组分,从而降低原油黏度,改善原油在地层中的流动性能;石蜡组分降解后,可减少石蜡在井眼附近的沉积,从而降低地层原油的流动阻力。

(5)微生物在地下发酵过程中产生生物表面活性剂,它能降低油水界面张力并乳化原油,从而提高石油采收率。微生物代谢可产生多种表面活性剂,包括阴离子表面活性剂(如羧酸)及某些中性脂类表面活性剂等。表面活性剂除了能降低油水界面张力和乳化原油以外,还能通过改变油层岩石界面的润湿性来改变岩石对原油的相对渗透性,有些表面活性剂还能降低重油的黏度。所有这些作用都有利于提高石油采收率^[2-5]。

表3列出了微生物代谢产物及其对油层的作用。

表3 微生物代谢产物对油层的作用

微生物代谢产物	对油层的作用
有机酸、无机酸、低分子量酸	提高孔隙度和渗透率;与碳酸岩石反应产生 CO_2
气体(H_2 , CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2S)	提高地层压力;溶解在原油中使原油黏度下降;溶解矿物中的硫,提高渗透率;使原油膨胀
生物表面活性剂和乳化剂	降低岩石-油-水系统中的表面张力,形成石油-水乳状液
生物聚合物	封堵高渗透层,提高水驱油效率并降低水油比
醇类、酮类、醛类	溶解岩石孔隙中的原油,降低原油黏度

5 矿场应用

(1)微生物水驱

该技术是将菌种和营养液混合而成的微生物处理液注入目的层,使微生物作用于油层,当处理液被注入水推进并通过油层时,微生物通过代谢作用产生生物表面活性剂、气体、酸、醇等代谢产物的同时,还不断繁殖。代谢产物通过物理、化学作用将岩石表面粘附的原油和岩石空隙中的原油释放出来,使原来不能流动的原油以油水乳状液的形式被注入到水驱生产井中,在生产井中被采出。

(2)周期性微生物处理(微生物吞吐法)

该技术是将微生物发酵液及营养液注入生产井内,关井一段时间(从数天到数周不等),让微生物进行发酵,然后再开井生产,周而复始。

(3)微生物选择性封堵地层(微生物调剖法)

该技术是把能够生产聚合物的微生物注入地层,使其在高渗透层内大量繁殖,从而可以起到封堵高渗透带的作用。该方法比注入人工合成的有机聚合物或凝胶更为有效,而且不会造成地层的永久性破坏。

(4)微生物清蜡和降低重油黏度

微生物清蜡技术可以取代溶剂和分散剂的使用,并能基本上取代热油处理法。微生物清蜡和降黏机理在于微生物对石蜡和重油的代谢作用。通常,大多数微生物对蜡类芳香烃的代谢速度大于对芳香烃的代谢速度。微生物代谢产生的溶剂等对近井区域能起到很好的清洗作用。

参考文献

- [1] 大港油田科技丛书编委会. 提高采收率技术[M]. 北京:石油工业出版社, 1999. 207-230.
- [2] Bryant R S, Burchfield T E. [J]. SPE Reservoir Engineering, 1989, (5): 151-154.
- [3] 赵寿增. [J]. 油气采收率技术, 1996, 3(1): 14-22.
- [4] 易绍金. [J]. 石油与天然气化工, 1994, 23(3): 149-153.
- [5] 冯世功. [J]. 石油勘探与开发, 1987, 14(5): 89-92. ■

《现代化工》网站介绍

《现代化工》网站网址为: [http://www. xd hg. cn](http://www.xd hg. cn), <http://xd hg. periodicals. net. cn> 和 <http://xd hg. chinajournal. net. cn>, 欢迎广大读者访问。从网上,您可以查到近年《现代化工》文章目录,了解对稿件的要求及投稿注意事项,也可以在网了解我们的广告联系办法、期刊订阅方法以及近期授权和申请的中国化工专利。另外,如果您对本刊有什么建议和意见,也可以在网上留言。