

专论与综述

内源微生物采油技术的历史与现状*

邹少兰** 刘如林

(南开大学生命科学学院 天津 300071)

摘要:内源微生物采油技术的研究已有多年的历史,因其工艺简单、成本低而具有较好的发展前景。综述了国内外在该领域的基础研究进展和矿场试验情况。

关键词:油藏微生物生态学,内源微生物,微生物采油

中图分类号: Q93 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-2654 (2002) 05-0070-04

内源微生物采油是激活油藏中原有微生物的一种微生物采油技术。与将从自然界中分离、筛选的微生物注入地层的外源微生物采油技术相比,内源微生物采油不存在菌种适应性问题,减少了菌种注入操作,工艺简单、投资少、成本低;但因油藏内微生物种类有限,且有利用价值的细菌和有害的细菌(如硫酸盐还原菌)并存,在一定程度上限制了该技术的发展和应用。

内源微生物是指存在于油藏中较为稳定的微生物群落,多半是在油田开发过程中慢慢形成的。进行内源微生物采油,需首先深入调查分析地层中微生物群落以及限制微生物活跃增殖的环境因素,即对油藏微生物生态学有深入研究;其次应选择合适的营养剂以促进有用微生物群落的生长繁殖,激发其生物活性。本文对国内外尤其是前苏联、俄罗斯和美国几十年来在内源微生物采油技术方面的油藏微生物生态学基础研究和矿场试验进行了简要的综述。

1 国外研究进展

1.1 前苏联和俄罗斯 前苏联对内源微生物采油技术的研究,起步早,理论研究深入,矿场应用广泛,效果显著。Gingsburg-karagicheva 早在 1926 年就开始了油藏微生物区系的研究^[1],并首先在地层中发现了多种细菌。50 年代,库兹涅佐夫、伊万诺夫等收集整理了大量文献资料,进行了多种矿藏的微生物群落分析研究,从而奠定了地质微生物学的基础^[2]。AH PEEBUKUI 研究了亚列格油藏的微生物区系对原油性质的影响,建议向油藏中加入硫酸盐和磷酸盐以促进内源微生物的繁殖,提高原油采收率^[3]。

从 1977 年开始 Ivanov 等研究了 Bondyuzhskoe 油田 15 口井中的微生物区系及其地球化学活动^[4-5],证实了注入水中的微生物为地层中微生物群落的主要来源;含油地层中微生物的作用非常强烈,其食物链起于烃类和富集于注水井近井底地带的烃氧化菌;在含氧地带氧化产生的有机物质被注入水推进到无氧地带而成为各种厌氧菌利用的基质,被进一步转化为 CH_4 、 H_2 、 CO_2 和 H_2S 等气体。经进一步的微生物生理学研究 and 石

* 国家科技攻关计划资助项目 (No. 2001BA605A-11)

** 现在天津大学

收稿日期: 2001-04-11, 修回日期: 2002-02-13

油降解的模拟实验,他们提出了注水油层中石油微生物活动的基本途径^[6],并以其为基础,拟定了有目的地调整油藏发生的微生物过程以利于增采的微生物学方法:第一阶段促进好氧细菌的活动,以形成更多的 CO_2 和有机化合物,第二阶段则是厌氧微生物利用第一阶段的产物,进一步形成甲烷等气体。这种方法在前苏联的许多油田进行了应用,具体应用时则因所使用的营养剂及配套措施不同而不同。此法在 Bondyuzhskoe 油田应用时使用的营养剂是加有氮、磷矿物盐的充气淡水,1983 年进行了周期性注入,以强化注水井近井地带的微生物活动,然后按常规开采^[4-5]。在注入后 3 年中,采油量增加了 20%~100%,产出水降低 20%~30%,共增产原油 47000 吨。1987 年又应用于 Romashkin 油田的 3 个试验区^[7],至 1994 年 7 月,共增原油 60214 吨,增产率 18.5%~43.2%。

与上述方法不同,阿塞拜疆石油科学院和微生物研究所共同推荐的则是往油层中注入乳酸生产废液来活化油藏中微生物群落^[8]。模拟实验表明,该工作剂激活内源微生物的效果显著。此法于 1986 年 8 月首先应用于法季曼油田,在 1988 年的 11 个月内该试验区因微生物作用而增产原油 2640t,证明了其工艺上的可行性。90 年代,他们在 Vyangapour 油田使用添加了氮、磷源的当地牛奶工业废水;在 Solkinskoye 油田和 Sovetskoye 油田使用一种含表面活性剂和氨的缓冲液系统,该系统因含表面活性剂而具有高驱油性能,并为内源微生物提供了氮素营养而刺激其生长繁殖,是一种生物和理化方法结合的驱油技术。以上矿场试验均取得了成功。这些技术至今仍在俄罗斯推广和应用。

1.2 美国 与前苏联不同,美国多注重通过激活内源微生物来调整剖面、改善渗透率而提高石油采收率。在 Brown(1984)的专利 US4475590 中,即提出通过与水一起注入硝酸酯和磷酸酯来活化油田微生物区系,并证实,在几周内,微生物的数量增加几十倍,原油组分发生了改变。菲利浦石油公司在激活和保持内源微生物活性方面申请了多项专利,这些专利都是关于如何顺序注入地层缺乏而微生物又需要的营养成分(主要是 N、P)的^[9]。该公司于 1993 年在俄克拉荷马州 North Burbank 油田进行了顺序注入和同时注入营养素的矿场试验^[10],目的是通过刺激内源微生物的生长而封堵高渗透层,使注入液流入低渗、高油饱和度地带。顺序注入的营养素指磷源(乙酸磷酸盐)、碳源(可溶性谷物淀粉即麦芽糊精)等,同时注入的营养素则是二者的混合。注入并关井两周后,经检测证实,由于内源微生物的局地活动,有效渗透率下降了 33%,形成了一个深部地层段塞,这一生物段塞对于连续盐水注入是不稳定的。

俄克拉荷马州大学在 Vassar Vertz 砂岩矿区亦进行了激活内源微生物调整剖面的研究和矿场试验^[11-12]。室内产出液样分析和岩芯模拟证明:在油藏温度和压力下,糖浆和硝酸铵可以促使原生细菌大量生长,改变岩芯渗透率并开采残余油。1991 年分批注入糖浆和硝酸铵的混合液,关井,1992 年 2 月恢复作业。结果表明,内源微生物的生长和活动使地层中碱和硫化物浓度发生变化,并选择性降低了高渗透区的渗透率,扩大了注水波及面积,并在一、二次采收率非常高的情况下仍采出了一定量的原油。

由美国能源部负责的一项一级现场示范项目在 North Blowhorn Creek 油田进行^[13],目的在于通过注入营养液激活内源微生物,选择性封堵多孔地带,使高渗透区的注入水能流向低渗透区,从而提高水驱效率。本项目计划历时五年半。在第一阶段(1994.01~09),分析了新鲜岩芯并进行了水驱模拟试验,证实加入硝酸盐和磷酸盐能促进内源微生物生长,使岩芯中液体流速下降;进行了油藏初步的地质和岩石物理鉴定,获得了第一试

验方案中所有试验井的化学和生物学资料,还进行了示踪研究。第二阶段(1994年9月始)进行了矿场示范,将营养物分别注入到四口注水井中,其中一口注水井仅注入 KNO_3 和 NaH_2PO_4 ,而其余注水井还加注糖蜜。岩芯分析表明,注入的营养物已广泛分布于整个油藏,且有大量细菌存在;产出液分析显示,硫化物含量的下降是由于硝酸盐注入到油藏中和(或)硝酸盐还原菌的活动抑制了硫酸盐还原菌。结果15口生产井中有8口见到了效果,水油比下降,油产量上升。

Brown L R、Sperl C T等人则分别报道了实验室的研究结果,他们都证实:添加不同的营养成分到注入水中能促进有助于释放原油的内源微生物的生长。

1.3 其它国家 法国的 Bernard F P、印尼的 Sugihardjo、马来西亚的 Illias R M 等进行了油田地层水的微生物学调查及特性研究;加拿大的 Abdel-Waly, 委内瑞拉的 Gabriela Trebbau 等研究了内源微生物及其适合的营养物,探讨了内源微生物采油机理。Groudeva V I 等^[14]在详细研究了保加利亚油藏内源微生物基础上,将含溶解氧、铵及磷酸根离子的水注入到石油氧化菌多的油藏,而将糖蜜和一些矿物质注到能发酵蔗糖生成 CO_2 的厌氧菌多的油藏,都使采收率大大提高;挪威的 Torsvik T, Gilje E 等也进行了矿场试验。

2 国内研究进展

60年代初,中科院微生物研究所王修垣教授等即在玉门油区开展了油层微生物区系的分布研究^[15];80年代郭宝福等调查了大庆油田某油层石油微生物区系分布。90年代以来,中科院微生物研究所和俄罗斯科学院微生物所合作,开展了辽河高温油田($60^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$)和大庆中温油田($44^\circ\text{C} \sim 46^\circ\text{C}$)本源微生物区系研究^[16]。结果表明:油田产出水或地层水中含有多微生物类型,各类细菌数量不同,硫酸盐还原菌和甲烷产生速率也有很大变化;细菌能原位产生气体、胞外多糖和表面活性剂等代谢产物,表现了高的利于增产的潜力。江汉石油学院何正国等人研究了从辽河海河油田稠油区块分离出的内源微生物的特性及其对原油的作用,并进行了室内模拟驱替实验^[17]。另外,江汉石油学院、大港油田和俄罗斯科学院微生物所正在大港油田合作开展某区块本源微生物采油机理研究和矿场试验。

内源微生物采油技术尽管工艺简单、成本低,但要取得良好效果,首先必须对油层内源微生物生态学有深入了解,在此基础上才有可能设计、筛选出有效的营养剂;并且,在注入营养剂前后应有有效的、完善的检测和分析手段来跟踪调查。因此,难度较大,周期较长。该法虽已引起国内有关部门的注意,但工作基本停留在本源微生物调查及特性研究上。故建议在大量开展外源微生物采油的同时,也充分利用内源微生物采油的技术优势,发挥其潜力,以进一步提高我国微生物采油的技术水平。

参 考 文 献

- [1] Gingsburg-Karagicheva T L. Azerb Petrol Econ, 1926, 6~7: 30~55.
- [2] Кузнецов С И, Иванов М В, Ляликова Н Н. Введение ВГеологическую Микробиологию, Москва, Изд. А.Н.СССР, 1962.
- [3] Аняревский И Л. Тр. Ин-та Микробиологии, 1961, 1X: 75~80.
- [4] 王修垣. 微生物学通报, 1995 (6): 383~384.
- [5] Ivanov M V, Belyaev S S. Proceedings of 1982 International Conference on Microbial Enhancement of Oil Recovery. 1983: 48~57.

- [6] Ivanov M V, Belyaev S S, Nazina T N, *et al.* 王修垣译. 生物工程进展, 1990, 10 (5): 53 ~ 55.
- [7] Belyaev S S. Microbiology, 1998, 67 (6): 708 ~ 714.
- [8] 张立平译. 国外油田工程, 1994 (3): 3 ~ 8.
- [9] US5327967 US5337820 US5341875 US5360064.
- [10] Jenneman G E, Minerals M, Mater S, *et al.* Biohydromet Technol INT Symp Proc, 1998 (2): 385 ~ 400.
- [11] Chisholm J L. DA9305954.
- [12] 何百平译. 油气田开发工程译丛, 1993 (9): 27 ~ 33.
- [13] DE95000177, DE96001218, DE97008691, DE98000551.
- [14] Groudeva V I, Minerals M, Mater S, *et al.* Biohydromet Technol INT Symp Proc, 1993 (2): 349 ~ 356.
- [15] 张树政, 王修垣主编. 工业微生物学成就. 北京: 科学出版社, 1988. 145 ~ 162.
- [16] Nazina T N, Xue Y F, Wang X Y, *et al.* Resource and Environmental Biotechnology, 2000 (3): 149 ~ 160; 161 ~ 172.
- [17] 何正国, 向廷生, 余跃惠, 等. 西安石油学院学报 (自然科学版), 2000 (2): 18 ~ 20.