

微生物提高石油采收率(I)

王 修 垣

(中国科学院微生物研究所 北京 100080)

原油深藏于地下,并不呈油河的状态,而是分散于含油岩层岩石的毛细孔隙中。当钻井至油层时,分散的原油在地层原始压力的驱动下汇集起来,从采油井中喷至地表。依靠地层天然能量(自喷)采油称为一次采油。随着能量的消耗,自喷的原油逐渐减少,乃至停止。为维持地层压力,广泛采用了注水驱油和抽吸并用的技术,称为二次采油。即使如此,也只能采出油层原始储油量的 1/3 左右,大部分原油仍滞留在油岩中,或位于水驱的扫油面积之外,有待于研究开发新的采油技术去索取。微生物提高石油采收率(MEOR)就是其中引起注意的高新技术之一。

1926 年,原苏联和美国的微生物学者在不同油田的油层中发现了各种微生物的活动;J.W. Beckman 提出了利用微生物提高石油采收率的设想。直到 1946 年,C.E. ZoBell 才获得了微生物提高石油采收率的第一项专利,并推测了 MEOR 的可能机理。在本世纪五十和六十年代,该技术在原苏联和东欧各国得到发展,美国也进行了油田的现场试验。七十年代,石油危机的发生,促使 MEOR 的研究在世界更大范围内兴起,进入了开发和应用的阶段。

MEOR 的机理 主要是:1. 微生物在油层中繁殖生成生物量,密集成团或成膜,尤其是产生粘液和稠

化剂,可选择性地堵塞微细孔道,改变液流方向,扩大注水的扫油面积。菌体通常附着在岩石颗粒表面,改善了页岩表面的湿润性,将颗粒上的油膜置换下来。2.微生物将高分子的烃类降解成低分子的烃类,降低油的凝固点和粘度,提高其流动性。3.微生物代谢产生的气体(H_2 , CO_2 , CH_4)可增加地层压力,部分溶于原油中使其膨胀,降低其粘度,改善了流动性;产生的有机酸可溶解碳酸盐,增加油层的孔隙度和渗透率;酮类和醇类亦可改善油的流动性;生物表面活性剂可显著降低水-原油-岩石体系的界面张力等。应该指出,MEOR往往不是单一因素的作用,而是随其所用的菌种所产生的诸种因素综合作用的结果。

MEOR 应用的菌种和营养物 现场应用的菌种名录的资料报道很少。通常用的是天然的或人工配制的兼性或厌氧的混合菌,亦有使用好氧菌的。主要是假单胞菌(*Pseudomonas*),芽胞杆菌(*Bacillus*),微球菌(*Micrococcus*),棒杆菌(*Corynebacterium*),分枝杆菌(*Mycobacterium*),节杆菌(*Arthrobacter*),梭菌(*Clostridium*),甲烷杆菌(*Methanobacterium*),拟杆菌(*Bacteroides*),热厌氧菌(*Thermoanaerobacter*)等等。虽有应用硫酸盐还原菌的报道,由于该菌产生 H_2S ,引起设备腐蚀而不被推崇。

作为微生物生长促进剂注入油层的营养物随所用菌种和油层条件而异。通常是以糖质原料或原油作碳源,硝酸盐作氮源,磷酸盐作磷源等。

MEOR 的工艺 基本上分为两大类。第1类包括向油层注入在地面工厂生产的微生物产品,如微生物多糖、生物表面活性剂、溶剂、乳化剂等。这些方法事实上与提高石油采收率的化学法相同,都是以改善注入水的驱替效率为基础。之所以采用微生物产品,是由于被选用的产品的性能优于化学产品,易于降解而无污染环境之虞。

第2类是将油层作为巨大的生物反应器,通过活化油层内天然存在的微生物群的地球化学活动,或将异源的微生物和营养物注入油层中生产驱油剂。

MEOR依处理方式和作用对象等的不同,主要形成多种工艺主要包括:

(1)单井生物吞吐法或单井生物刺激法将微生物和营养物注入采油井近井底带,关井一段时间让微生物在油层中生长发育之后,再开井恢复采油。

(2)微生物清洗井筒法:将少量微生物和营养物注

入生产井井筒中及其周边区,短期关井,通过微生物的活动控制油井结蜡和结垢。

(3)微生物增效注水:将微生物和营养物随注水注入油层,提高注水的采油效率。

(4)提高石油采收率的生物地质工艺:注入营养物到油层中,活化油层微生物群的地球化学活动,提高石油采收率。

(5)微生物选择性堵塞法:将产生堵塞剂的微生物及其营养物注入油层,使其产生大量的生物量和粘稠剂,选择性地堵塞高渗透带,控制水窜,扩大注入水的扫油面积。

微生物在油层中发育最活跃的地区位于注水井的近井底带,在这里产生的大量菌体和代谢产物引起地层堵塞会降低注水井的吸水量,从而降低采油量。因此,解除微生物堵塞的工艺也属于提高采油工艺的范畴,在油田中广为应用。

上述各种工艺在现场试验和应用的增产效果显著。J.T.Portwood于1995年统计了美国应用MEOR技术(微生物增效注水和微生物单井吞吐)处理后从2000多口采油井得到的结果,指出,在处理头24个月,平均增产油量比未处理的高出36%。在已实施MEOR的项目中,73%为砂岩油藏,27%为碳酸盐油藏,平均增产油量均在36%以上,无明显差别。他将油层孔隙度分为0~10%、11%~15%、16%~20%、21%~25%和26%~30%五组,对比MEOR处理后的平均产油量,随着孔隙度越高,采油量有所降低,但在最高孔隙度26%~30%的范围内,平均增产油量仍可达到20%,不是重要的限制因子。在油层渗透率为0~1.0md、1.1~100md、101~500md时,平均增产油量随渗透率的提高而增加,以渗透率101~500md为最高,可达90%以上;在渗透率为501~1000md的岩层中,平均增产油量降低,仍有15%左右。当原油重度为21~30°API、31~40°API和41~50°API时,增产油量随原油重度的降低而增加,最高可达62%以上,可惜未收集到原油重度在20°以下的资料。MEOR在温度10~94℃(50~200°F)的油层中实施后,平均增产油量在大多数情况下超过50%。采出液中的含水量(0~100%)也不是MEOR技术的限制因子。从而得出结论:MEOR技术可以在广泛的油层环境条件下应用。

(下转 383 页)

(上接 385 页)

M. V. Ivanov 等从 1988 到 1996 年, 在俄罗斯的 11 个油田区的 44 个注水井组 (117 口采油井应用了生物地质采油工艺, 共增产原油 21 万吨 (1,485,440 bbl)。我们与吉林油田采油三厂合作, 应用单井吞吐工艺。到 1995 年 5 月, 据 86 口井资料的统计, 见效井 72 口, 已增

产原油 1 万 5 千多吨, 尚有 30 多口井持续有效。这几年, 我国许多油田或与有关单位合作, 或由外国公司提供技术, 相继开展了 MEOR 的研究和应用, 为 MEOR 展现了可喜的前景。