

文章编号: 0253-9985(2001)04-0359-03

中原油田的微生物采油试验

莫冰, 孙薇, 张还恩, 杨瑞敏, 杨朝光, 谢立新, 钱思平

(中原油田勘探开发科学研究院采收率研究所, 河南濮阳 457001)

摘要: 中原油田属于典型的高温高盐油藏(温度: 60~130℃, 矿化度: $6 \times 10^4 \sim 32 \times 10^4$ mg/L)。采用 HUNGATE 厌氧技术, 从 140 个地层水样品中富集筛选到了 41 组混合菌群, 细菌形态多为杆状, 某些有芽胞。这些培养物最适宜的生长温度为 60~80℃, 其丰度随矿化度增高而减少。培养物的主要代谢产物——有机酸、醇等既可增大岩层渗透率, 又可改变油水界面。因此能大幅度提高原油采收率。中原油田文 15 块的原油室内试验结果表明, 其提高原油采收率在 6% 以上。井场现场试验亦取得了良好效果, 投入产出比达 1:4.1。

关键词: 微生物; 菌种; 采油; 中原油田

第一作者简介: 莫冰, 男, 35 岁, 工程师, 石油采收率

中图分类号: TE357.9

文献标识码: A

中原油田属于典型的高温高盐油藏(温度: 60~130℃, 矿化度: $6 \times 10^4 \sim 32 \times 10^4$ mg/L)。室内评价与现场试验表明: 中原油田目前商品化的微生物采油的菌种无法满足开展 MEOR 试验的需要, 必须开展筛选嗜温嗜盐微生物的工作, 建立相应的评价技术, 以发展本油田的微生物采油技术。菌种筛选开发是微生物采油的核心技术之一, 自主开发微生物采油技术, 可降低菌液成本, 扩大 MEOR 技术的应用范围。笔者针对中原油田的特点, 在室内及现场进行了试验。

1 试验样品

1.1 取样

水、气和油样均采用专用取样设备, 从井口取样阀收集。用于富集筛选的样品以无菌操作程序收集到已灭菌处理的容器中。

1.2 制备

培养基制备、细菌接种、稀释及富集培养全部严格采用 Hungate 厌氧操作技术^[1]。

2 试验方法

(1) 按常规方法饱和油, 建立束缚水。

(2) 驱替水质采用地层产出水(矿化度: 15×10^4 mg/L)。

(3) 用地层水恒速驱油至含水达 95% 以上。

(4) 转注微生物菌液 0.2~0.5 PV。

(5) 关闭进出口恒温 72 h。

(6) 再用地层水驱替岩芯至含水 98% 以上, 计算并分析动态试验数据。气体与有机酸分析采用气相色谱法; 原油粘度与界面张力分析测定均按常规方法完成; 厌氧菌计数采用浊度法与显微镜镜检计数法。

3 培养物(菌种)特征

3.1 形态

140 多个地层油水样取自 40 个采油区块, 遍布整个油区。取样井井深 1 800~3 300 m, 温度 80~140℃, 矿化度 $6 \times 10^4 \sim 25 \times 10^4$ mg/L。将采集到的样品用厌氧方式在 60℃和 70℃两个不同的温度条件下进行富集培养, 通过 3~5 次富集培养后, 获得了产 CH₄, H₂, CO₂ 和有机酸、醇及表面活性剂等不同温度、不同类型的富集培养物。分别将富集培养物用稠油、原油十六烷以及切片石蜡作为碳源, 观察富集培养物的生产代谢状况, 选择出能进一步纯化的富集样, 富集筛选到 41 组混合菌群, 细菌形态多为杆状, 某些有芽胞。在某些油井样品中还发现硫酸盐还原菌(SRB), 其形态为长杆状。

3.2 分布

取样油井数据分析表明, 在一定温度范围内, 微生物分布与油井深度没有明显的相关性(表 1), 在高矿化度下($> 5 \times 10^4$ mg/L), 嗜热菌生长的适宜温度为 60~80℃(图 1)。但产出水矿化度是明

显的控制因素,即油井微生物数量随矿化度增高而减少(表 2)。

表 1 油井温度与富集菌群数量关系

Table 1 Relationship between well temperature and bacterial population number		
温度/℃	样品数/个	菌群数量/个
80	35	8
90	20	6
100	32	10
110	30	10
120	26	7

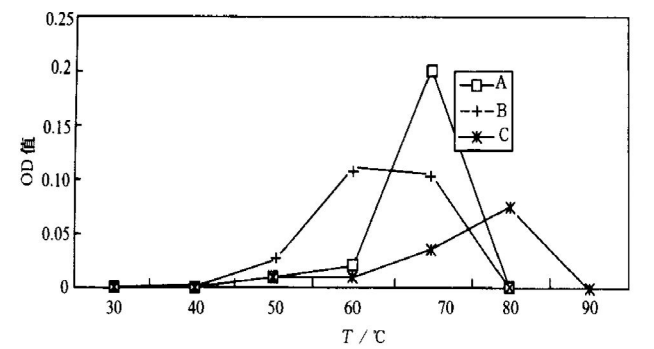


图 1 温度对菌体生长的影响

Fig. 1 Influence of temperature on bacteria growth

表 2 油井矿化度与富集菌群数量关系

Table 2 Relationship between mineralization degree and bacterial population number		
矿化度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	样品数/个	菌群数量/个
$\leq 10\times 10^4$	51	27
$> 10\times 10^4\sim \leq 16\times 10^4$	66	11
$> 16\times 10^4$	26	3

3.3 生理生化

从 41 个富集培养物中,分离到了 25 株纯菌。经多次转代培养、单种分离、纯化,优选出了 3 株菌种(表 3, 4),其细胞形态主要为杆状,部分为球状。

表 3 优选菌株的生理生化特征

Table 3 Physiological-biochemical characteristics of selected bacterial strains						
菌号	细胞形态	革兰氏染色	是否运动	好气性	是否芽胞	产气
A	杆菌	G ⁺	+	-	-	++
B	短杆菌	G ⁺	+	-	-	++
C	杆菌(端生孢子)	G ⁺	+	-	+	++

表 4 优选菌株的发酵情况

Table 4 Fermentive situation of selected bacterial strains							
菌号	利用糖类发酵情况					利用长链烃情况	
	葡萄糖	蔗糖	果糖	山梨醇	淀粉	正十六烷	原油
A	++	+	+	++	+	+	-
B	++	+	-	+	-	+	+
C	++	+	-	-	-	-	-

3.4 代谢产物

采用气相色谱对菌种部分代谢产物进行定量分析,产物成分主要为有机酸、醇等(表 5)。短链有机酸可与地层岩石反应,增大渗透率;醇类是原油的良好溶剂;长链有机酸本身具有两亲性,能够改变油水界面性质,提高水溶液的驱油效率,菌株具有产生用于驱替原油的化合物的能力。

表 5 菌株部分代谢产物定量分析

Table 5 Quantitative analysis of some metabolites of bacterial strains						mg/L
菌号	乙酸	丙酸	丁酸	异丁酸	总酸	乙醇
A	445	22.2	29.5	5.6	503.1	16.1
C	521	22.9	15.4	/	559.4	/

4 驱油效果

4.1 室内

岩芯驱油试验研究结果表明:(1)在水驱中含水达 95% 以上时注入微生物菌液,关闭阀门恒温 72 h,然后二次水驱,将微生物驱油试验与空白试验相对比,MEOR 可提高采收率 6% 以上,同时能降低产出液中的含水率(图 2,表 6,图 3)。(2)微生物产生的气体对提高油藏采收率有重要作用,注入所筛选的微生物菌液对于提高某些油藏的采收率是有效的。(3)不同的微生物菌种产生的效果不同。室内驱油试验展示了所筛选菌株在中原油田高

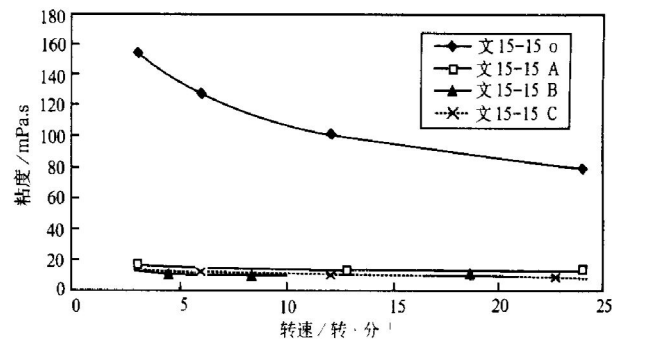


图 2 文 15-15 微生物降粘试验流变曲线

Fig. 2 Fluid variation curves of viscosity decreasing test by microbial of Wen 15-15 well

表 6 文 15 块室内微生物驱油试验数据表

Table 6 Data of microbial oil displacement laboratory test in Wen - 15 block

编号	岩芯孔隙体积	原始含油饱和度 / %	渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙度 / %	一次水驱采收率 / %	微生物段塞体积	二次水驱采收率 / %	MEOR / %
105	5.60	78.51	217	19.64	69.32	空白	75.00	5.68
115	6.04	76.16	155	20.50	65.22	0.5PV	80.43	15.21
11	8.38	74.58	198	25.24	60.80	0.5PV	74.40	13.60

注: 试验温度为 90℃; 矿化度为 $15 \times 10^4 \text{ mg/L}$; 原油粘度为 $2.7 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

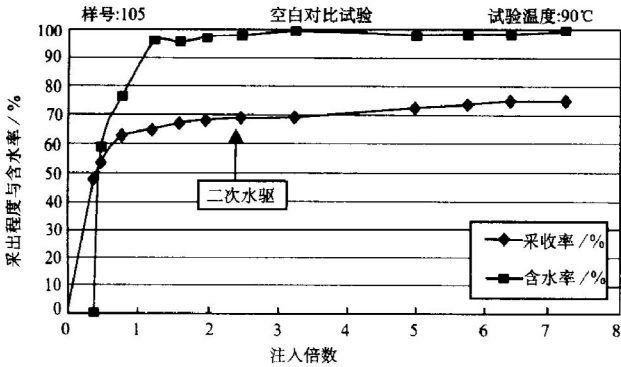


图 3 文 15 块微生物驱油试验曲线

Fig. 3 Curves of microbial oil displacement test of Wenr 15 block
高温高盐油藏中良好的应用潜力。

4.2 采油现场

高温高盐(油藏温度: 90℃、产出水矿化度: $15 \times 10^4 \text{ mg/L}$)油藏的微生物采油现场试验表明,微生物单井吞吐试验取得明显的增油增气效果,投

入产出比达 1: 4.1(图 4), 此项技术的开发对油田增储上产、降低采油成本有着重要意义。

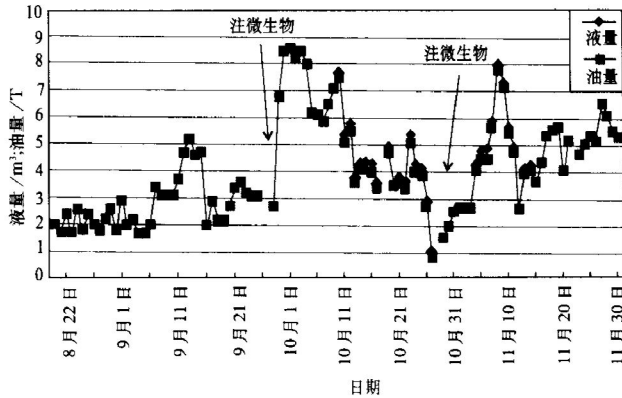


图 4 文 56- 7 井采油生产曲线

Fig. 4 Prodacing curves of enhanced oil in Wen56- 7 well

参考文献

1 周德庆. 微生物学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993

TEST OF MICROBIAL ENHANCED OIL RECOVERY
IN ZHONGYUAN OILFIELD

Mo Bing Sun Wei Zhang Huan'en Yang Ruimin Yang Chaoguang Xie Lixin Qian Siping
(Oil Recovery Rate Branch of Research Institnte of Petroleum Exploration and Development, Zhongyuan Oilfields, Puyang, Henan)

Abstract: Oil pools in Zhongyuan Oilfields are typical high temperature and high salinity (temperature: 60℃~ 130℃; brine salinity $6 \times 10^4 \sim 32 \times 10^4 \text{ mg/L}$) pools. 41 bacterial populations were selected from 140 formation water samples by using HUNGATE technique. Most of the bacteria are bacilli-form, some of them have gemmae. The most favourable temperature for the cultured bacteria is within 60℃~ 80℃, the abundance of the bacteria decreases with the increasing of salinity. The main metabolic products are organic acid and alcoho which could increase reservoir permeability, improve oil-water boundary and considerably increase recovery percent. The result of laboratory test of Wen- 15 block in Zhongyuan Oilfields indicates that the oil recovery factor could be increased by 6% or more. The test made in well site had also got fine result, input-ouput ratio is 1: 4. 1.

Key words: microbia; genus of bacteria; oil recovery; Zhongyuan Oilfield