

# 内源菌采油技术研究

史磊,张双艳,游靖,余吉良,赵文华,王志强  
(华北油田分公司采油工艺研究院,河北任丘062552)

**摘要:**内源菌驱油技术是近2年来国内发展较快的一项提高采收率的技术。通过基础配方设计和性能评价室内实验,了解了不同营养源及浓度选择对配方体系激活效果的影响,推出适合巴48和巴38断块激活内源菌营养体系配方激活剂I。该激活剂不仅能有效激活巴48、巴38断块采出液中的内源菌,而且具有良好的乳化性能和降黏性能。

**关键词:**内源菌;采收率;乳化;降黏

**中图分类号:**TE357

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2013)03-0070-04

## Study on indigenous bacteria oil recovery technique

SHI Lei, ZHANG Shuang-yan, YOU Jing, YU Ji-liang, ZHAO Wen-hua, WANG Zhi-qiang

(Research Institute of Oil Production Technology, North China Oilfield Company, CNPC, Renqiu 062552, China)

**Abstract:** Indigenous bacterium enhancing oil recovery develops rapidly in recent two years in China. Based on the design of basic formulation and properties evaluation experiments, the influences of different nutritional resources and concentrations on the activation of formulation system are studied in this study. The results show that the activator I is suitable for activating the indigenous bacterium nutritional system of block 48 and block 38, which not only can activate the indigenous bacterium of block 48 and block 38, but also has good emulsifying property and the reduced viscosity.

**Key words:** Indigenous bacterium; recovery ratio; emulsification; viscosity reduction

内源菌驱油技术是近2年来国内发展较快的一项提高采收率技术<sup>[1]</sup>。其驱油原理是利用油田由于长期注水引入地层或地层中原有的菌群,通过注水井向油层中注入适量的营养激活剂和混气水,同时利用残余油活化内源菌群,通过内源菌自身在油藏中的代谢活动及其代谢产物与地下流体相互作用,降低界面张力,改善原油的流动性质,提高原油的采收率<sup>[2]</sup>。通过调研初步建立了内源菌采油技术激活配方筛选与优化方法,针对二连油田采出液,开展激活内源菌基础配方评价实验和配方优化研究,综合考虑经济、技术因素,从而得到高效、低成本的激活配方体系。

## 1 室内实验部分

### 1.1 实验药品及仪器

实验用油水样为巴38断块、巴48断块、蒙古林砂岩油藏采出液,宝一联污水。实验药品如表1所示。

表1 实验用主要原料

名称	TXT	纤维素	蛋白粉	酵母浸出液	葡萄糖	蔗糖	硝酸钠
规格	工业品	工业品	工业品	工业品	分析纯	分析纯	分析纯
名称	氯化铵	磷酸氢二钠	磷酸二氢钾	尿素	蛋白胨	酵母膏	
规格	分析纯	分析纯	分析纯	分析纯	分析纯	分析纯	

实验仪器包括250 mL三角瓶、恒温摇床机、恒温培养箱。

### 1.2 实验方法

**激活实验:**在断块采出液中加入不同培养基及现场原油,原油添加质量分数为0.5%,恒温摇床转速为120 r/min,培养时间为3~7 d,观察乳化效果,乳化分级标准如表2所示。同时,乳化实验后测定营养液作用后的活菌数、内源菌种类和数量。

表2 乳化分级标准(最高等级为5)

乳化等级	目测观察现象描述
0	油水分层,与空白一样
1	部分原油形成油珠,但粒径大
2	油层形成油珠,多数油珠粒径大
3	油层形成小油珠或油珠变形
4	油层形成细小的油丝、油末;摇可混相,静置后分层
5	形成油末,油水混相

**降黏实验:**按照不同油水比例加入不同配比的营养基。恒温摇床转速为120 r/min,地层温度下培养3~7 d,测定培养前后的原油黏度变化。

**物模实验:**参考SY/T 5336—1996岩心常规分析方法、SY/T 6315—2006稠油油藏高温相对渗透率及驱油效率测定方法和SY/T 5990—2004调剖剂性能评价方法,开展模拟岩心渗透率测定及驱油实验。采用常规岩芯驱替程序,先建立束缚水饱和度

$S_{wc}$ ,用断块脱水原油驱替至不再出水为止,在恒温箱中老化油 2 d 以上;然后水驱至含水率  $f_w$  为 98%。注入一定体积的激活体系,培养 3~5 d;最后进行后续水驱至不再出油为止。同时,在驱替过程中记录压力  $p$ 、产水量、产油量,并计算采收率  $R$ 、含水率  $f_w$ ,作  $R-PV$ 、 $P-PV$ 、 $f_w-PV$  曲线。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 基础配方评价实验

考察不同碳源、作为氮源和磷源的不同无机盐 and 不同生长因子对激活效果的影响。不同培养基对原油乳化作用后,测定乳化前后营养液中活菌数。

#### 2.1.1 不同碳源对激活效果的影响

固定氮源、磷源和生长因子组分,考察不同浓度葡萄糖和蔗糖激活效果,实验结果见表 3。由表 3 可以看出,葡萄糖激活效果比蔗糖好,因蔗糖分子较大,细菌比较容易吸收葡萄糖作为生长所需营养源。因此,实验中选择葡萄糖作为碳源。

表 3 不同碳源基础配方激活效果 (cell/mL)

配方	空白	0	0.2%	0.4%	0.6%
葡萄糖	$8.8 \times 10^4$	$2.9 \times 10^5$	$7.5 \times 10^5$	$1.8 \times 10^6$	$5.3 \times 10^6$
蔗糖			$3.5 \times 10^5$	$8.8 \times 10^5$	$2.1 \times 10^6$

#### 2.1.2 不同无机盐(氮源+磷源)对激活效果的影响

固定碳源和生长因子,考察不同种类无机盐的激活效果,实验结果如表 4 所示。

表 4 不同氮、磷源基础配方激活效果

序号	$w(\text{氯化铵})/\%$	$w(\text{尿素})/\%$	$w(\text{磷酸氢二钠})/\%$	$w(\text{磷酸二氢钾})/\%$	活菌数/(cell·mL <sup>-1</sup> )
空白					$8.8 \times 10^4$
1	0.05	0	0.1	0.1	$4.5 \times 10^5$
2	0.1	0	0.1	0.1	$7.1 \times 10^6$
3	0.15	0	0.1	0.1	$9.4 \times 10^6$

表 6 优化配方设计表

配方	$w(\text{TXT})/\%$	$w(\text{葡萄糖})/\%$	$w(\text{NaNO}_3)/\%$	$w(\text{NH}_4\text{Cl})/\%$	$w(\text{Na}_2\text{HPO}_4)/\%$	$w(\text{KH}_2\text{PO}_4)/\%$	$w(\text{蛋白粉})/\%$	$w(\text{纤维素})/\%$	$w(\text{酵母浸出液})/\%$
空白	0	0	0	0	0	0	0	0	0
配方 1	0	0	0.4	0.2	0.15	0.35	1	1	0.1
配方 2	0	0.5	0.4	0.2	0.15	0.35	1	1	0.1
配方 3	0.5	0	0.4	0.2	0.15	0.35	1	1	0.1
配方 4	1	0	0.4	0.2	0.15	0.35	1	1	0.1
配方 5	1	0	0.4	0.2	0.15	0.35	1	1	0
配方 6	1	0	0.4	0.2	0.15	0.35	1	0.5	0
配方 7	1	0	0.4	0.2	0.15	0.35	0.5	0.5	0

4	0.15	0.25	0.1	0.1	$9.0 \times 10^6$
5	0.1	0	0.1	0	$1.4 \times 10^5$
6	0.1	0	0.1	0.5	$2.8 \times 10^5$
7	0.1	0	0.5	0.1	$8.9 \times 10^5$

由表 4 可知,氮源和磷源不同的无机盐中只要氮元素和磷元素的量足够,就可以保证体系的激活效果。

#### 2.1.3 不同生长因子对激活效果的影响

固定碳源、氮源和磷源组分,考察不同质量分数的酵母膏和蛋白胨的激活效果,实验结果见表 5。由表 5 可知,配方体系中应适量添加生长因子,因生长因子中含有氨基酸类、肽类、水溶性维生素及多糖等营养物质,可提供氮源和生长所需微量元素。但基础配方所用酵母膏和蛋白胨成本均较高,效果并不理想,因此,配方优化实验中应考虑利用其他低成本生长因子作为替代品。

表 5 不同生长因子基础配方激活效果

序号	$w(\text{酵母膏})/\%$	$w(\text{蛋白胨})/\%$	活菌数/(cell·mL <sup>-1</sup> )
空白			$8.8 \times 10^4$
1	0	0	$1.0 \times 10^5$
2	0.05	0	$2.1 \times 10^5$
3	0	0.08	$7.6 \times 10^5$
4	0.05	0.08	$3.5 \times 10^6$

就目前实验结果看,室内实验研究设计的基础培养基激活效果并不理想(仅提高 1~2 个数量级),可得到如下结论:①激活体系配方应同时考虑碳源、氮源、磷源和生长因子几种营养源;②组分质量分数增加,激活效果越好。

## 2.2 配方优化实验

### 2.2.1 优化配方设计

参考基础配方实验结果及新疆、大港等油田现场应用情况,对配方组分和质量分数进行优化设计,设计 7 种优化配方开展性能评价实验,如表 6 所示。

2.1.2 性能评价实验

(1) 乳化实验

乳化实验结果见表 7。

表 7 乳化实验结果

序号	井号	空白	配方	配方	配方	配方	配方	配方	配方
			1	2	3	4	5	6	7
1	B48	0	3	4	4	4	4	4	4
2	B38-1	0	3	4	4	4	5	4	4
3	B48-24	0	2	3	2	3	3	3	3
4	M18-17	0	2	3	3	2	3	3	3

表 8 活菌数测定结果

(cell/mL)

序号	井号	空白	配方 1	配方 2	配方 3	配方 4	配方 5	配方 6	配方 7
1	B48	$3.2 \times 10^4$	$5.3 \times 10^7$	$8.4 \times 10^7$	$2.9 \times 10^8$	$1.3 \times 10^8$	$5.8 \times 10^8$	$1.4 \times 10^8$	$5.1 \times 10^8$
2	B38-1	$7.0 \times 10^6$	$1.5 \times 10^8$	$6.6 \times 10^8$	$5.4 \times 10^8$	$9.1 \times 10^8$	$8.1 \times 10^9$	$9.0 \times 10^8$	$8.3 \times 10^8$
3	B48-24	$2.4 \times 10^4$	$7.1 \times 10^7$	$7.3 \times 10^7$	$3.0 \times 10^7$	$5.1 \times 10^7$	$2.9 \times 10^8$	$1.2 \times 10^8$	$3.2 \times 10^8$
4	M18-17	$1.5 \times 10^4$	$2.3 \times 10^7$	$6.7 \times 10^7$	$5.3 \times 10^7$	$8.9 \times 10^7$	$2.0 \times 10^8$	$1.8 \times 10^8$	$3.5 \times 10^8$

由表 8 可知,优化配方后,活菌数增至  $10^7 \sim 10^9$ ,提高 2~4 个数量级,配方体系激活效果好;添加碳源的配方 3~配方 7 效果好于未添加碳源的配方 1。

(3) 激活内源菌实验

对乳化效果较好的巴 48 和巴 38-1 井,测定优化配方乳化作用后的内源菌种类和数量,并与未添加优化配方的空白试样作对比,结果见表 9。

表 9 激活内源菌实验结果

(cell/mL)

井号	配方	FMB	TGB	HDB	NRB	SRB
巴 48	空白	$1.3 \times 10^4$	$1.3 \times 10^4$	$1.3 \times 10^3$	$2.5 \times 10^1$	$7.0 \times 10^2$
	配方 1	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$7.0 \times 10^7$	$1.3 \times 10^2$
	配方 2	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$7.0 \times 10^7$	$1.1 \times 10^3$
	配方 3	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$2.0 \times 10^5$	$1.1 \times 10^3$
	配方 4	$7.0 \times 10^7$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$2.5 \times 10^2$	$1.1 \times 10^3$
	配方 5	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$1.3 \times 10^5$	$1.3 \times 10^2$
	配方 6	$7.0 \times 10^7$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$1.3 \times 10^5$	$1.1 \times 10^3$
	配方 7	$7.0 \times 10^7$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$1.3 \times 10^5$	$1.1 \times 10^3$
巴 38-1	空白	$2.5 \times 10^1$	$0.6 \times 10^1$	$2.5 \times 10^6$	$2.5 \times 10^1$	$7.0 \times 10^2$
	配方 1	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^3$	$7.0 \times 10^2$
	配方 2	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$7.0 \times 10^6$	$1.1 \times 10^3$
	配方 3	$2.5 \times 10^7$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$7.0 \times 10^6$	$1.1 \times 10^3$
	配方 4	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^3$
	配方 5	$1.1 \times 10^8$	$2.0 \times 10^4$	$1.1 \times 10^8$	$7.0 \times 10^6$	$1.1 \times 10^3$
	配方 6	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^4$	$1.1 \times 10^3$
	配方 7	$7.0 \times 10^7$	$1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^8$	$1.3 \times 10^5$	$1.1 \times 10^3$

由表 7 可以看出,优化配方整体乳化效果好于基础配方,实验 1、实验 2 的乳化效果整体好于实验 3、实验 4。说明:①单纯以原油为碳源乳化效果差于外加糖作为碳源的配方体系;②作为碳源,同等质量分数的 TXT 和葡萄糖对乳化效果贡献相当;③TXT 和生长因子蛋白粉、纤维素的添加质量分数在 0.5%~1% 范围内,配方的乳化效果较好。

(2) 活菌数测定

测定不同配方体系乳化前后的产出液的活菌数,实验结果见表 8。

由表 9 可知,与空白试样相比,优化配方可有效激活有益菌(FMB、TGB、HDB、NRB),数量提高 2 个数量级以上,同时有害菌(SRB)基本没有增长。

(4) 降黏实验

对乳化效果较好的配方 5 和配方 7 进行降黏评价实验,结果见表 10。

表 10 降黏实验结果

井号	$m(\text{营养液}):$ $m(\text{原油})$	配方 5		配方 7	
		黏度/ (mPa·s)	降黏 率/%	黏度/ (mPa·s)	降黏 率/%
B48	3:1	292.9	69.8	366.6	62.3
	2:1	224.2	76.9	269.6	72.2
	1:1	352.0	63.8	661.0	31.9
	空白油样	黏度 971.3 mPa·s			
B38-1	3:1	311.8	41.7	87.04	83.7
	2:1	430.8	19.5	156.8	70.7
	1:1	446.7	16.5	280.1	47.6
	空白油样	黏度 534.9 mPa·s			

由表 10 可知,优化配方在不同水油比例下,针对巴 48 和巴 38 断块原油,降黏效果良好; $m(\text{营养液}):m(\text{原油})$  比例在 3:1 和 2:1 时,降黏效果差别不大。

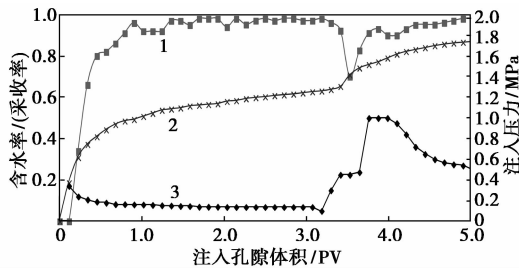
(5) 物模实验

采用不同渗透率填砂岩心,一次水驱至含水 98% 后,注入 0.5PV 激活体系,在岩心中反应 5 d,

后续水驱至含水 98%，实验结果见表 11、图 1、图 2。

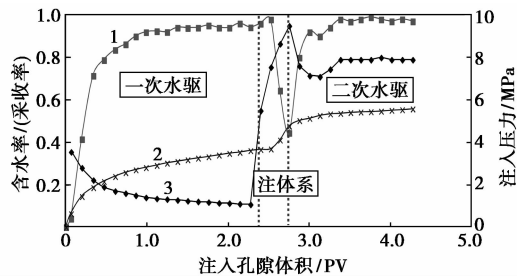
表 11 物模实验评价结果

岩心 编号	岩心 规格	水测渗 透率/ mD	一次水 驱采收 率/%	注体系期 间提高采 收率/%	二次水驱 提高采收 率/%	总采 收率/ %
A 管	2.5 cm × 50 cm	486	62.6	11.6	12.8	87.0
B 管	2.5 cm × 50 cm	259	36.1	11.5	9.0	56.6
平均					10.9	71.8



1—含水率;2—采收率;3—压力

图 1 A 岩心管物模实验曲线



1—含水率;2—采收率;3—压力

图 2 B 岩心管物模实验曲线

物模实验结果表明:

①与一次水驱相比,注入激活体系后,二次水驱可提高最终采收率 10%。

②由于渗透率较低,填砂岩心 B 管起始注入压力即高于 A 管。注入激活体系后,二次水驱时,同样具有较高的注入压力。数据分析认为,由于体系中纤维素组分属不溶颗粒,因此体系对岩心造成堵

塞,导致岩心管实验过程中压力有不同程度的增加。现场试验应视井组具体情况对配方进行相应调整。

### 2.2.3 优化配方推荐

综合实验效果和性价比等因素,推荐巴 48 断块和巴 38 断块激活内源菌营养体系激活剂 I,配比见表 12。

表 12 推荐配方

配方	$w(\text{TXT})/\%$	$w(\text{NaNO}_3)/\%$	$w(\text{NH}_4\text{Cl})/\%$
激活剂 I	0.5 ~ 1	0.4	0.2
配方	$w(\text{Na}_2\text{HPO}_4)/\%$	$w(\text{KH}_2\text{PO}_4)/\%$	$w(\text{纤维素})/\%$
激活剂 I	0.15	0.35	0.5 ~ 1

## 3 现场试验

该井于 2010 年 7 月 19 日开始施工,2010 年 8 月 7 日施工结束,注入总液量 1 840 m<sup>3</sup>,其中营养液为 1 800 m<sup>3</sup>。施工过程中压力由 9 MPa 升高到 10 MPa,累计增油量为 341 t。

## 4 结论

(1)通过基础配方设计和性能评价室内实验,了解了不同营养源及质量分数选择对配方体系激活效果的影响,优化设计配方,初步推荐出适合巴 48 和巴 38 断块激活内源菌营养体系配方激活剂 I。

(2)实验数据表明,激活剂 I 不仅能有效激活巴 48、巴 38 断块采出液中的内源菌,而且具有良好的乳化性能和降黏性能。室内填砂岩心物模实验表明,与一次水驱相比,注入激活体系后,二次水驱可提高最终采收率 10%。

### 参考文献

- [1] 包木太,汪卫东,王修林,等. 激活内源微生物提高原油采收率技术[J]. 油田化学,2002,19(4):382-386,261.
- [2] 向廷生,冯庆贤,余跃惠,等. 本源微生物驱油机理研究及现场应用[J]. 石油学报,2004,25(06):63-67. ■

## 抚顺石化大乙烯 MES 系统上线运行

2013 年 3 月 1 日,抚顺石化大乙烯公用工程管理部 MES 系统(生产执行系统)正式上线运行,标志着大乙烯生产管理迈入数字化管理时代。

MES 系统上线运行实现了管理层与生产控制的数字化连接。管理层可以通过这个系统直接指挥生产,实现了对生产组织、进度、质量等信息的实时监控。MES 系统试

运行期间,抚顺石化及时解决运行中出现的问题。

抚顺石化加大培训力度,使相关人员既能掌握 MES 系统操作技能,又可了解系统的业务模型。同时,这个公司完善 MES 系统运行管理制度和考核办法,规范 MES 系统的运行、维护和日常管理工作,确保 MES 系统单轨运行后安全、稳定、可靠。