

A Pilot Test of *In-Situ* Microbial Enhanced Oil Recovery in the Post-Polymer Flooded Reservoir

Jianjun Le¹, Qing Luo¹, Fang Liu², Xuelian Liu², Yixuan Li², Keming Liu²

¹Exploration and Development Research Institute of Petro China Daqing Oilfield Company, Daqing Heilongjiang

²The Second Oil Production Plant, Petro China Daqing Oilfield Company, Daqing Heilongjiang

Email: lejj@petrochina.com.cn

Received: Sep. 3rd, 2018; accepted: Sep. 14th, 2018; published: Sep. 21st, 2018

Abstract

A pilot test has investigated the effectiveness of *in-situ* microbial enhanced oil recovery (IMEOR) in a post-polymer flooded oil reservoir located in Sanan oilfield, Northeast China. Two rounds of injection of nutrient medium were intermittently injected into the producing block and then monitored. The main results showed that the dominant bacteria and arch of 4 production wells, were directional activation, and showed a regular alternation with an increase of oil production. It contributed to production of bio-gas, leading to increasing of the injection pressure from 11.3 MPa to 13.9 MPa before the experiment which increased by more than 2.0 MPa and the drive energy of the formation increased. A total of 6243 t of incremental oil production was achieved, and an oil recovery rate increased by 3.93% (OOIP) to the end of 2015.

Keywords

Post-Polymer Flooded Reservoir, Activator, Biogas, Dynamic Change, *In-Situ* Microbial Enhanced Oil Recovery (IMEOR)

聚合物驱后油藏原位激活微生物驱油 先导试验

乐建君¹, 罗庆¹, 刘芳², 刘雪莲², 李苡萱², 刘珂铭²

¹中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

²中国石油大庆油田有限责任公司第二采油厂, 黑龙江 大庆

Email: lejj@petrochina.com.cn

收稿日期: 2018年9月3日; 录用日期: 2018年9月14日; 发布日期: 2018年9月21日

摘要

在聚合物驱后油藏1注4采的井组开展了两轮原位激活油藏微生物驱油先导现场试验。驱油动态表现为油藏中优势菌群被定向激活,与原油产量的增加保持一致。激活后的油藏微生物生成大量生物气,使得注入压力均由试验前的11.3 MPa上升到13.9 MPa,升幅2.0 MPa以上,增加了地下油藏驱动能量。截至2015年末,试验区阶段累积增油6243 t,提高采收率3.93% (OOIP)。

关键词

聚合物驱后油藏, 激活剂, 生物气, 动态变化, 原位激活微生物驱油

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

油藏微生物原位激活驱油技术 *in-situ* microbial enhanced oil recovery (IMEOR)是向地下油藏中注入各类营养剂,通过激活油藏中休眠的或惰性的微生物菌体,产生一系列复杂的具有连续传导效应的生化反应,借助油藏微生物生成的生物气增压驱动和代谢产物封堵高含水层以及原油改质降粘等综合作用,来提高驱油效率并扩大波及体积,达到提高采收率的目的。

近年来,IMEOR 技术发展迅速,在室内驱油机理[1] [2]、油藏菌群结构分析[3] [4] [5]、激活剂优选[6] [7]及现场应用方面[8] [9]均有突破,特别是现场实施效果和商业应用已引起国内外石油开采领域的重视。大庆油田自 1995 年聚合物驱油工业化推广应用以来,已进入聚合物驱后续水驱区块 83 个,采出程度 56.1%,仍有近一半地质储量残留地下,而且这部分储量仍是优质地质储量。因此,这项技术对聚合物驱后油藏进一步提高采收率的开发潜力巨大。

本项目于 2012 年至 2013 年分两轮开展了激活内源微生物驱油现场试验[10],并对试验过程进行了动态跟踪监测。在此基础上分析了聚合物驱后油藏激活内源微生物驱油过程中的动态变化特点与驱油效果之间的内在联系,为后续扩大试验规模及现场原位调控激活油藏微生物工艺提供可借鉴的经验。

2. 材料和方法

2.1. 试验区概况

试验区位于萨南开发区南二区东部 4 号注入站,由 1 口注入井南 2-2-P40 与 4 口采出井南 2-丁 2-P40、南 2-2-P140、南 2-2-P141 和南 2-丁 3-P40 构成一个 1 注 4 采试验井组,并选取 8 口观察井,见图 1。试验区面积 0.12 km²,注采井距 250 m,开采葡 I_{1,4} 油层,平均单井砂岩厚度 14.3 m 有效厚度 9.2 m,地质储量 15.9 × 10⁴ t,孔隙体积 27.26 × 10⁴ m³,平均有效渗透率 414 × 10⁻³ μm²,油层温度 44.6℃,原始地层压力 11.66 MPa,饱和压力 7.5 MPa。

试验区注入水与地层产出液矿化度分别为 6130 mg/L 和 4540 mg/L, pH 分别为 8.35 和 8.30;原油含蜡量 30.7%,地面原油密度 0.8491 g/cm³,地面原油粘度 21.0 mPa·s,原始油气比 45.3 m³/t,体积系数 1.118;天然气相对比重 0.6606, CH₄ 含量 85.6%, CO₂ 含量 0.78%等。试验前该区块已后续水驱 6 年半,综合含

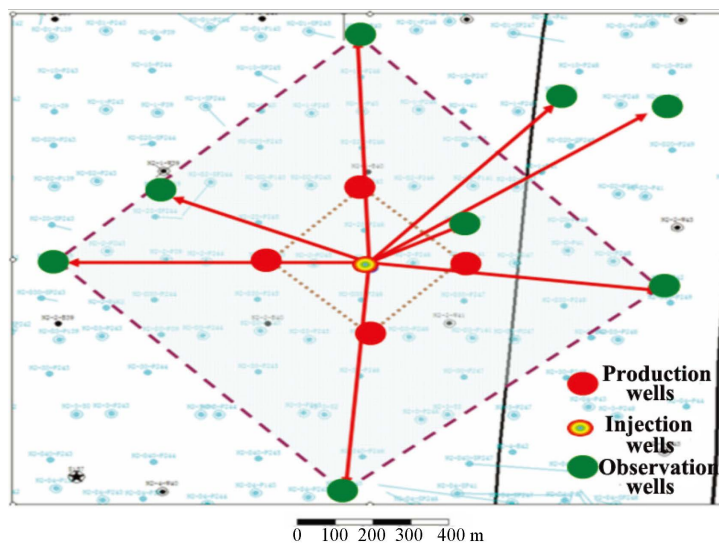


Figure 1. Test wells and observation wells
图 1. 试验井与观察井井位图

水率 96.1%，采出程度达 61.89%，剩余油主要集中在葡 I₃ 和葡 I₄ 油层，为典型的“双高”（特高含水和特高采出程度）开采阶段。

2.2. 实施工艺

根据试验方案设计，第一轮施工时间为 2011 年 8 月 5 日~2012 年 4 月 30 日，期间共注激活剂溶液 5588 m³，浓度为 1.34%，注入速度 80~130 m³/d/井。为保证激活剂发挥作用功效，现场实施过程中，在注激活剂前加入了聚合物（部分水解聚丙烯酰胺）保护段塞，采用分子量为 1600~1900 万，浓度 2000 mg/L 的中分聚合物溶液 2418 m³，与激活剂连续交替注入，并使激活剂与地层水隔离，保证激活剂浓度在油层流动过程中不受损失。首轮药剂注入量为 8006 m³，折算为 0.0293 PV。

第二轮施工时间为 2012 年 12 月 23 日~2013 年 4 月 26 日，期间共注激活剂溶液 10,023 m³，激活剂浓度 1.34%，注入速度 80~130 m³/d/井，并与浓度为 2000 mg/l 聚合物 3390 m³ 溶液连续交替注入，次轮药剂注入量为 13,413 m³，折算为 0.0492 PV。两轮激活剂总量 15,605 m³，保护剂总量 5808 m³，合计液量 21,413 m³，折算为 0.0785 PV。

2.3. 油藏微生物数据提取

原位激活油藏微生物分析结果 GenBank 保存在 The National Center for Biotechnology Information (BioProject ID: PRJNA 349240, <https://submit.ncbi.nlm.nih.gov/subs/bioproject/SUB2027000/overview>)。

3. 结果与讨论

3.1. 原位激活前后油藏微生物菌群的变化

采用分子生物学方法[11]监测了两轮激活过程中微生物菌群动态变化。随着激活剂的依次注入，在注水井中优势微生物菌群变化没有规律，但在 4 口采油井中 β -变形菌纲 Beta-proteobacteria 中的索氏菌属 *Thauera* 和氢噬胞菌属 *Hydrogenophaga* 及 γ -变形菌纲 Gamma-proteobacteria 中的假单胞菌属 *Pseudomonas* 和不动杆菌属 *Acinetobacter* 的丰度明显增大，成为主要优势微生物菌群，表现出有规律性的交替演变，与采油井增油相关性较高[8] [10]，见图 2。其中假单胞菌属 *Pseudomonas* 和不动杆菌属 *Acinetobacter* 能

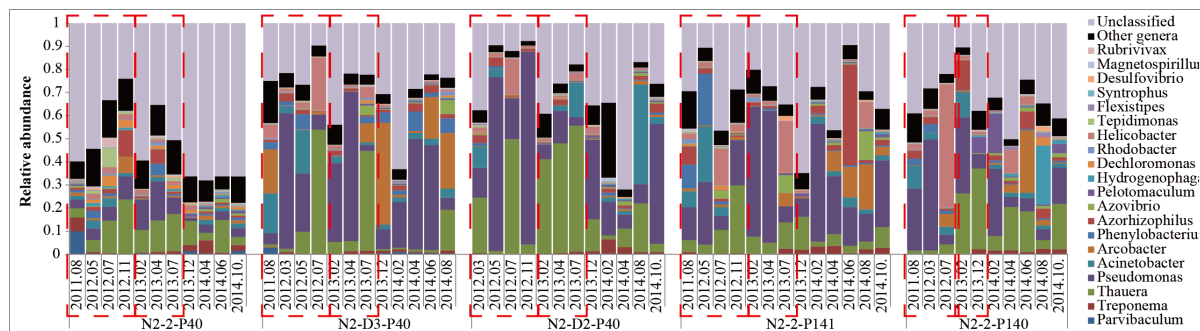


Figure 2. Dynamic changes of microbial flora and relative abundance in test area

图 2. 试验区细菌类群及其相对丰度的动态变化

够以烷烃类碳氢化合物为底物生长产生表面活性剂，索氏菌属 *Thauera* 以原油中的苯和短链烷烃为电子受体，产生大量生物气 ($C_7H_8 + 7.2NO_3^- + 7.2H^+ \rightarrow 7CO_2 + 3.6N_2 + 7.6H_2O$)，这几类菌群是定向激活目标功能菌[12] [13] [14]。

对比注入井中加入激活剂前后细菌群落变化，可以看出主要分布在 Proteobacteria、Firmicutes、Bacteroidetes、Other Bacteria 和 Spirochaetes 纲中，细菌群落分布与变化没有规律。而在 4 口采油井中细菌群落变化较大，激活前 Alpha, Beta 和 Epsilon-变形菌纲的细菌具有优势，激活后 Gamma-变形菌纲的细菌逐步占据优势，部分样品丰度大于 90%，随后 Gamma-变形菌纲的细菌丰度逐渐降低，Beta-变形菌纲占据优势，第二轮也与第一轮监测结果具有相同的变化特点。

监测过程中还发现，采油井与注入井中加入激活剂之前古菌群落分布非常相近[15] [16]。优势古菌主要由甲烷丝状菌 *Methanosaeta* 和甲烷绳菌 *Methanolinea* 组成，并含有丰度较低的甲烷杆菌 *Methanobacterium*、甲烷球菌属 *Methanococcus*、甲烷囊菌属 *Methanoculleus*、甲烷叶菌属 *Methanolobus*、Crenarchaeota 以及一些未培养古菌[17] [18]。其中甲烷丝状菌 *Methanosaeta* 的最适生长温度均在 33°C ~50°C 之间，只能以乙酸盐为底物发酵产甲烷，甲烷绳菌 *Methanolinea* 专以 $H_2 + CO_2$ 为底物发酵产甲烷[19] [20]在注水井和采油井中均有分布，是定向激活的目标功能菌。未培养古菌也占一定比例，如果能在实验室条件下对其进行纯培养，这对于微生物驱油将会有非常重要意义[17] [18]。

3.2. 生物气组分及同位素 $\delta^{13}C$ (PDB, ‰)含量变化

试验中监测到 CO_2 和 CH_4 之间的含量变化存在交替增减，与每轮激活剂注入的次序对应并保持一致，见图 3 和图 4。在激活油藏微生物产气的组分构成中，包含有 C_1 ~ C_6 的混合烷烃气和非烃类气(CO_2 、 H_2 和 N_2)，没有检测到 H_2S 。其中 H_2 气在首轮激活过程即将结束时被监测到，而在试验区 250 m 井距外的 8 口观察井中次轮也全部监测到油层伴生气中未有的 H_2 ，最远距离近 1000 m (见图 1)，表明激活后的油藏微生物作用范围及其代谢产物生物气传导波及区域在不断向试验区外延深[19] [20]。

生产井中监测的 CH_4 和 CO_2 含量的变化范围分别在 83.8%~94.7%和 1.5%~8.5%，与试验前监测的 CH_4 和 CO_2 空白基值偏差较大。在激活剂作用期结束后， CH_4 含量变化曲线的尾部明显上翘，而 CO_2 含量变化曲线的尾部出现向下衰减的态势，表明处于厌氧生物链的最末端产甲烷菌仍持续不断地将各类代谢产物厌氧发酵转化成 CH_4 ，只是结尾过程在没有激活剂供给条件下变得缓慢了，逐步回归到试验前的原始状态[21]。

同样监测的 CH_4 和 CO_2 的 $\delta^{13}C$ (PDB)碳同位素含量变化范围分别在-54.5‰~-45.2‰和 6.4‰~13.3‰之间波动，与试验前的空白基值偏差也较大，见图 5 和图 6。由于试验井和观察井中均监测的原始伴生气中均不含 H_2 气存在，根据 CH_4 和 CO_2 的 $\delta^{13}C$ (PDB)碳同位素含量变化的分析，推断生物气中的 CH_4

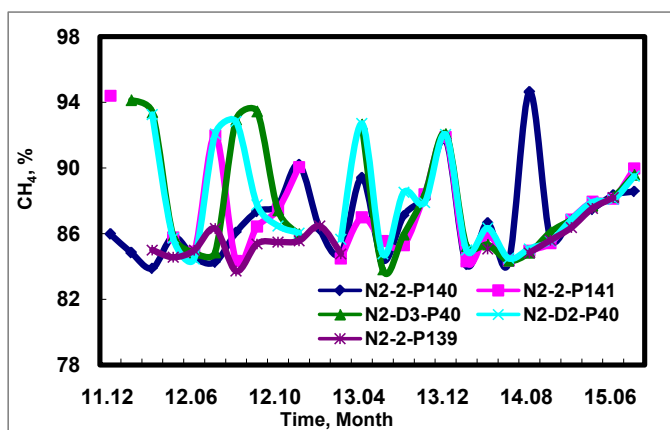


Figure 3. The dynamic change of CH₄

图 3. CH₄ 含量的动态变化

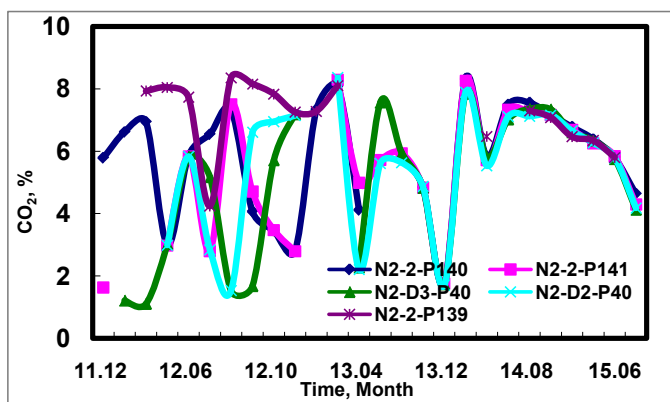


Figure 4. The dynamic change of CO₂

图 4. CO₂ 含量的动态变化

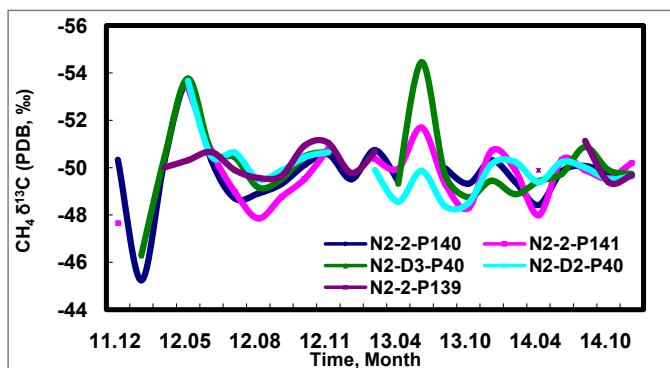


Figure 5. The content change of isotope $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) of CH₄

图 5. CH₄ $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 同位素含量变化

一部分是经激活剂中有机物分解产生的乙酸，乙酸经甲烷菌的还原作用转化为甲烷，而另一部分是由降解原油生成的 CO₂ + H₂ 经甲烷菌的还原作用转化为甲烷这两条途径产生的，同时也表明油藏微生物在激活过程中选择降解激活剂中有机物和地下原油途径不同步产生的差异，导致各井中气体组分含量和 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 碳同位素含量的异常变化[22]。

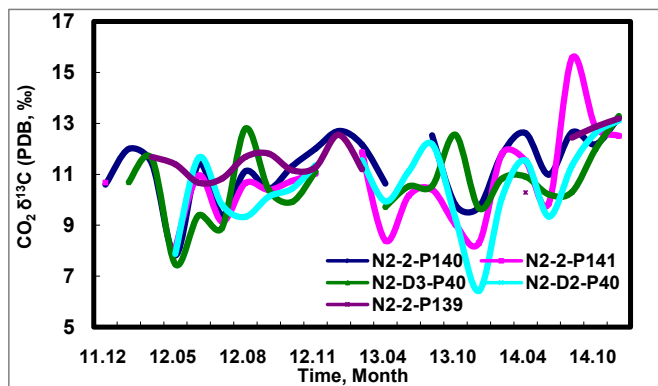


Figure 6. The content change of isotope $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) of CO_2

图 6. $\text{CO}_2\delta^{13}\text{C}$ (PDB)同位素含量变化

3.3. 注入压力的变化

首轮在注水量不变的情况下,观察到激活剂注入后发生了强烈的产气作用,致使井口注入端压力迅速升高。在注入激活剂第 1 个小段塞时,注入压力由 11.3 MPa 升到 12.5 MPa,特别是当激活剂营养液注入 15~20 d 时,内源微生物的产气增压效果明显。同样注入激活剂第 2 个小段塞时,注入压力由 12.5 MPa 升到 13.5 MPa,累计升幅度达 2.0 MPa 以上。改为后续水驱 140 d 后,压力降至注激活剂前的初始压力 11.0 MPa,后续注水至 280 d 时,压力逐渐回升到 12.5 MPa,至第一轮驱替结束时,压力又降为低于试验前的 10.5 MPa,见图 7。

从现场首轮注入压力变化可以看出,在激活油藏内源微生物过程中,随地下培养时间的延续,其中 CO_2 和 CH_4 等气体含量变化具有明显的两个不同阶段特征,前一阶段产气 CO_2 增压幅度高,周期短;后一阶段厌氧产气 CH_4 周期长,产气增压缓慢,压力升高需有一个较长时间的积聚过程,这一特点在两轮注激活剂驱油试验中得到验证[2] [9]。

参照首轮注激活剂的作用特点,对第二轮注入方式和用量进行了调整,在加大激活剂用量的同时,分别加入一个激活剂的后置保护段塞及在厌氧产气升压后,将注水量提高,这样更有利于提高驱油效果。现场第二轮经改变注入方式和提液措施后,产气增压效果明显好于首轮。注入压力在后续水驱期间稳定在 14 MPa 近 15 个月,为提高产油量,延长增产期创造了有利条件。试验结束后,注水量回调到试验前的基数,但注入压力没有明显下降,4 个月后仍保持在 13.5 MPa 以上。

3.4. 采出原油的烃组分含量变化

现场监测结果表明,采出原油中的全烃组分含量变化在首轮激活周期和次轮激活周期之间存在明显差异。经两轮激活油藏微生物作用后,油层中的残余油被生物气溶解驱替采出。4 口采油井同时监测到原油中烷烃轻组分 $\Sigma n\text{C}_{21-}/\Sigma n\text{C}_{22+}$ 比值大幅度增大,主碳峰由 $\text{C}_{19}\text{-C}_{23}$ 区间向 $\text{C}_8\text{-C}_{14}$ 区间转移,碳数范围由试验前的 $\text{C}_4\text{-C}_{39}$ 变为试验后期的 $\text{C}_3\text{-C}_{38}$,原油中烷烃组成结构和含量均产生明显变化,见图 8(a)-(d)。

分析原因在于首轮激活剂注入期间,注入量仅为 0.0293 PV,还不到试验区总孔隙体积的 1/30,油藏微生物激活后产生的生物气及浓度相对较低,以溶解状态随原油被驱替采出,采出流体组分中烷烃组分与初始原油样品组分接近。随着第二轮激活剂注入的跟进,激活剂总量增大到 0.0492 PV,激活后产生的生物气大量富集,并与上轮积聚的生物气形成叠加,浓度增高,导致地层驱动能量增大。大量富集的生物气在注入压力 13 MPa (高于原始地层饱和压力 7.5 MPa)驱动下,与地层原油产生溶解与萃取相叠加的混相作用[23] [24],将油层中的残余油携带采出。

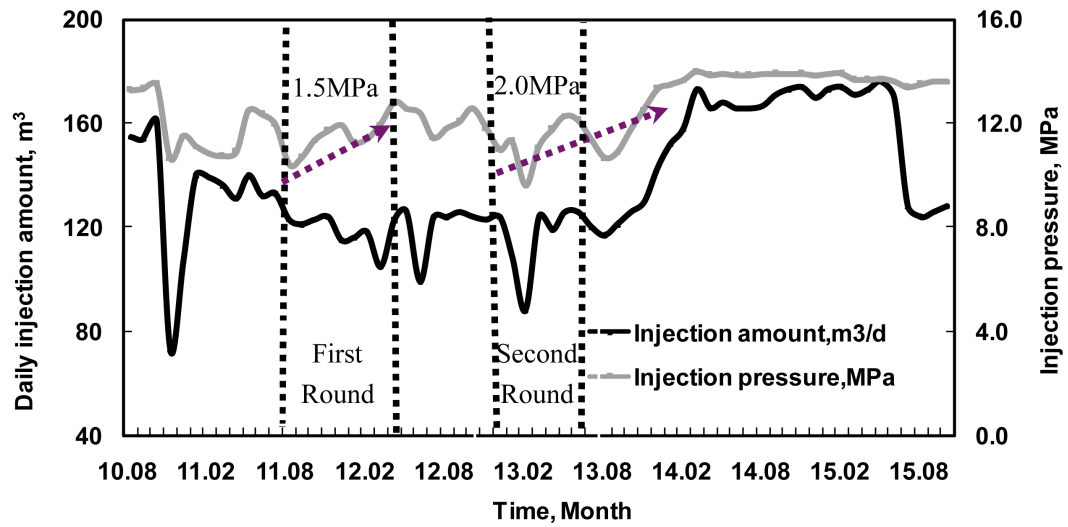


Figure 7. The change of amount and pressure of water injection before and after test
 图 7. 试验前后注水量与注入压力变化曲线

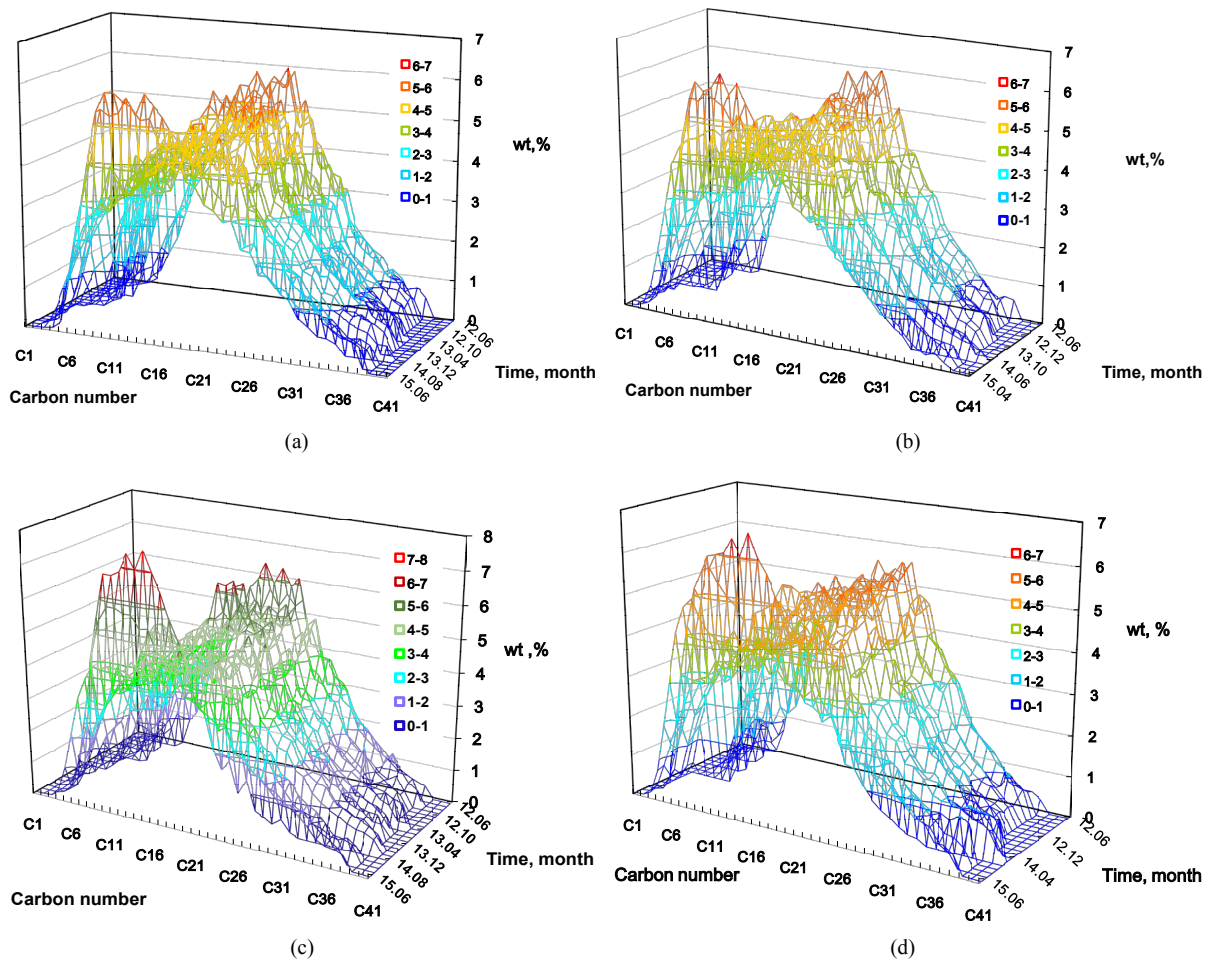


Figure 8. The content of the hydrocarbon components in crude oil before and after a pilot test. (a) N2-2-P141, (b) N2-2-P140, (c) N2-D3-P40, (d) N2-D2-P40

图 8. 四口产油井原油烃组分在试验前后的变化对比。(a) N2-2-P141, (b) N2-2-P140, (c) N2-D3-P40, (d) N2-D2-P40

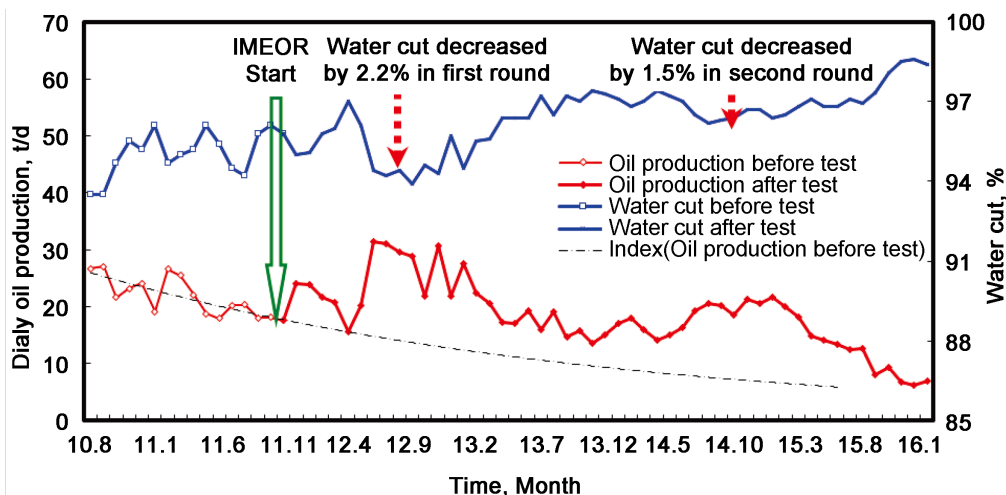


Figure 9. The curve of dynamic change of production before and after test

图9. 试验区生产动态变化曲线

3.5. 聚合物驱后采收率的变化

为评价油藏微生物原位激活后的驱油试验效果,将试验前连续16个月具有明显递减特征的生产数据作为参照依据。试验于2011年12月初开始至2015年10月结束。试验期间日产液量由第一轮482 t增加到560 t,增加了78 t/d,第二轮由480 t/d增加到593 t/d,增加了113 t/d;含水由第一轮96.1%下降到最低时的93.9%,降幅2.2%,第二轮由最高时的97.7%下降到96.2%,降幅1.5%;日产油量由第一轮的17.6 t/d最高增加到31.5 t/d,增加13.9 t/d,第二轮由13.6 t/d最高增加到21.2 t/d,增加7.6 t/d。两轮原位激活油藏微生物驱油试验全部投入经费为330.89万元,截止到2015年末,试验期间增油6243 t,提高采收率3.93% (OOIP),纯经济效益1271.94万元,投入产出比1:4.84,见图9。

4. 结论

在聚合物驱后1注4采的井组中开展了两轮原位激活油藏微生物驱油先导试验。通过每轮两组的聚合物保护剂与激活剂营养液的交替注入,监测到聚合物驱后油藏中Beta-变形菌纲的索氏菌属 *Thauera* 及Gamma-变形菌纲的假单胞菌属 *Pseudomonas* 和不动杆菌属 *Acinetobacter* 等优势菌被定向激活,表现出有规律性的交替演变,并与产油井增油相关性较高。油藏微生物原位激活后产生大量的生物气,增加了油层内的驱动能量。试验期间注入压力由11.3 MPa上升到13.9 MPa,升幅在2.0 MPa以上。监测的采出气中CH₄和CO₂含量及 $\delta^{13}\text{C(PDB)}$ 碳同位素含量变化的分析结果也支持原位激活微生物产生物气的作用与效果。大量生物气在油层内积聚,形成叠加,致使采出原油中轻组分含量大比例增加,即有利于聚合物驱后的油藏中残余油采出,又提高了波及效率,进一步验证该项技术应用的有效性,也为后续扩大试验的原位激活工艺调控与优化提供了参考经验。

基金项目

国家“863”计划(2009AA063504),中石油科技重点项目(2016B-1106)资助。

致谢

北京大学工学院的聂勇教授和赵洁玉博士,南开大学生命科学学院的马挺教授和高配科博士提供的内源微生物激活前后菌群结构变化的分析结果。

参考文献

- [1] 向廷生, 刘小波, 张敏, 等. 大庆油田本源微生物分布与定向激活机制[J]. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2008, 38(S2): 117-122.
- [2] 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.
- [3] 郭盟华, 陆原鹏, 窦绪谋, 等. 大庆聚驱后油藏微生物群落结构分析[J]. 生物技术, 2010, 20(6): 69-73.
- [4] 艾明强, 李慧, 刘晓波, 等. 大庆油田油藏采出水的细菌群落结构[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 1014-1020.
- [5] 赵玲侠, 高配科, 曹美娜, 等. 大庆聚合物驱后油藏内源微生物群落结构解析与分布特征研究[J]. 环境科学, 2012, 33(2): 625-632.
- [6] 伍晓林, 赵玲侠, 马挺, 等. 大庆油田聚合物驱后油藏内源微生物激活剂的筛选和效果评价[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2012, 45(4): 105-111.
- [7] 代学成, 王红波, 许念, 等. 内源微生物驱油激活配方筛选评价指标探讨[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(2): 37-40.
- [8] 乐建君, 刘芳, 张继元, 等. 聚合物驱后油藏激活内源微生物驱油现场试验[J]. 石油学报, 2014, 35(1): 99-106.
- [9] 乐建君, 柏璐璐, 王蕊, 等. 聚合物驱后油藏内源微生物驱油研究与试验[J]. 生物工程学报, 2015, 31(7): 1129-1138.
- [10] Gao, P.K., Li, G.Q., Le, J.J., *et al.* (2018) Succession of Microbial Communities and Changes of Incremental Oil in a Post-Polymer Flooded Reservoir with Nutrient Stimulation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **102**, 2007-2017. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8766-2>
- [11] 王蕊. 大庆油田微生物采油中的分子生物学技术及应用[J]. 中外能源, 2016, 21(8): 45-50.
- [12] Tang, Y.Q., Li, Y., Zhao, J.Y., *et al.* (2012) Microbial Communities in Long-Term, Water-Flooded Petroleum Reservoirs with Different In Situ Temperatures in the Huabei Oilfield, China. *PLoS One*, **7**, e33535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033535>
- [13] Gao, P.K., Tian, H.M., Li, G.Q., *et al.* (2015) Microbial Diversity and Abundance in the Xinjiang Lulianglong-Term Water-Flooding Petroleum Reservoir. *Microbiology Open*, **4**, 332-342. <https://doi.org/10.1002/mbo3.241>
- [14] Hendrickson, E.R., Jackson, R.E., Keeler, S.J., *et al.* Identification, Characterization, and Application of *Thauera* sp. AL9: 8 Useful in Microbially Enhanced Oil Recover. United States Patent 7708065.
- [15] 余跃惠, 张凡, 向廷生, 等. PCR-DGGE 方法分析原油储层微生物群落结构及种群多样性[J]. 生态学报, 2005, 25(2): 218-242.
- [16] You, J., Wu, G., Ren, F.P., *et al.* (2016) Microbial Community Dynamics in Baolige Oilfield during MEOR Treatment, Revealed by Illumina MiSeq Sequencing. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **100**, 1469-1478. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7073-4>
- [17] 承磊, 仇天雷, 邓宇, 等. 油藏厌氧微生物研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 740-744.
- [18] 傅霖, 辛明秀. 产甲烷菌的生态多样性及工业应用[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15 (4): 574-578.
- [19] 关德师, 戚厚发, 钱贻伯, 等. 生物气的生成演化模式[J]. 石油学报, 1997, 18(3): 31-36.
- [20] 王雪, 冯子辉, 宋兰斌. 松辽盆地北部生物气特征及其成因[J]. 天然气工业, 2006, 26(4): 5-7.
- [21] 王立影, Maurice MS, 李辉, 等. 石油烃的厌氧生物降解对油藏残余油气化开采的启示[J]. 微生物学通报, 2010, 37(1): 96-102.
- [22] 张英, 戴金星, 李剑, 等. 我国生物气的地化特征与勘探方向[J]. 天然气工业, 2009, 29(9): 20-23.
- [23] 刘保磊, 常毓文, 崔庆锋, 等. 油藏中微生物代谢 CO₂ 气体量及驱油实验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014(7): 2459-2465.
- [24] 李士伦, 张正卿, 冉新权, 等. 注气提高石油采收率技术[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2001: 11.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2327-0810，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：amb@hanspub.org