

文章编号:1674-2869(2014)08-0032-06

微生物采油技术在提高原油采收率中的应用

董 龙^{1,2}, 张蓓蓓³, 刘永建²

1. 东北石油大学石油工程学院, 黑龙江 大庆 163318;

2. 大庆师范学院化学化工学院, 黑龙江 大庆 163712;

3. 大庆市环境保护局, 黑龙江, 大庆, 163316

摘 要:为了使微生物采油技术在提高原油采收率中能够更广泛的得到应用,综述了分析微生物采油技术(MEOR)的发展历史、提高采收率技术(EOR)机理和主要方法,分析了常用微生物采油技术的优势和不足之处,微生物采油技术中菌种的筛选方法和筛选原则,以及进行菌种性能评价应侧重的几个方面.最后对微生物技术在提高原油采收率中的进一步应用作出展望,预计在今后的油田开采中,微生物采油技术的应用将更加广泛并会起主导作用.

关键词:微生物采油;技术机理;菌种筛选;原油采收率.

中图分类号:Q939

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2014.08.006

0 引 言

自美国科学家 Beckman^[1]于 1926 年提出细菌采油设想以来,微生物方法提高原油采收率技术(Microbial Enhanced Oil Recovery, MEOR)至今已有 80 余年的发展历史.微生物驱油技术原理是利用一些微生物能够分解石油类碳氢化合物并能生成的某些代谢产物,这些代谢产物能够与原油发生反应从而提高石油采收率的技术^[2-8]. MEOR 具有适用范围广、工艺简单、经济效益好、无污染等特点,是最具有发展前景的一项提高原油采收率的技术,此种方法对于接近枯萎、其它措施无法提高原油产量的老油田尤其是低产井的再次开发尤为适用.本研究简述了 MEOR 的作用机理、菌种评价方法和现阶段研究状况,并提出了现阶段应用所存在的问题,希望以此推动国内 MEOR 的研究及商业化进程.

1 MERO 的优势及作用机理

1.1 提高采收率方法的不足之处

人们针对如何提高石油采收率进行了多种方法的研究,至今发展了约 3 种改造油层的方法.(1)化学法,分为表面活性剂驱油法,聚合物驱油法,碱驱油法.(2)热采法,可以分为蒸汽法,火烧油层法,热水法.(3)注气法,烃类混相/非混相气

驱,CO₂ 混相驱/CO₂ 非混相驱,注 N₂ 驱.但是许多技术的应用还存在一些缺点,以下是一些常用提高石油采收率方法的不足之处:

聚合物驱是以聚合物溶液作为驱油剂的驱油方法.聚合物驱油的作用机理是聚合物可通过对水的稠化,增加水的粘度,减小孔隙介质对水的渗透率,达到减小水油流速比,增加波及系数来提高原油采收率的作用.有很多因素影响聚驱采收率,例如聚合物的老化、地层温度、聚合物产生凝胶以及高的剪切率等均能引发聚合物降解,从而降低驱油效果.聚合物在洗油能力方面也较差,会在多孔介质中发生吸附、滞留及捕集,并有可能堵塞地层孔道^[9-13].

表面活性剂驱是以表面活性剂体系作为驱油剂的驱油方法.表面活性剂能吸附于两相界面上,并能降低该界面自由表面能,通过降低界面张力提高洗油效率来提高原油采收率.但是表面活性剂溶液驱油对油层条件要求严格,例如必须是砂岩,地层温度一般要低于 120 °C,地层水的矿化度要低,渗透率要高于 $2.0 \times 10^{-3} \mu \cdot \text{m}^2$ 等,所以使用范围有很大的限制.

碱驱是指用碱液作为驱油剂的驱油方法.但碱能与岩石发生反应,损耗碱同时也能破坏地层,存在于高温、裂缝、气顶的原油、高凝区的原油以及 pH 过低的原油也不适合碱驱.因此碱驱技术

收稿日期:2014-03-27

基金项目:黑龙江省青年科学基金项目(QC2012C128)

作者简介:董 龙(1982-),男,黑龙江大庆人,讲师,硕士.研究方向:油田化学理论及工程.

存在最大的困难就是吸附、中和和离子反应对碱的消耗较大^[14]。

三元复合驱是指碱(A)+表面活性剂(S)+聚合物(P)的驱动叫三元复合驱(ASP),复合驱比单一的驱动更能提高采收率,这主要归功于复合驱中的碱、表面活性剂和聚合物之间的协同效应。复合驱的主要问题是成分太多,地层对驱油剂的色谱效应严重,从而影响驱油效率。

1.2 MEOR 驱油机理

微生物驱采油是一种新型的采油技术,微生物在地下发酵过程中涉及到复杂的生物、生化、物理和化学作用^[15-18],除微生物在生长繁殖阶段需要以石油中的正构烷烃为碳源从而可以改变原油的物理性质以外,微生物还产生大量的代谢产物^[19-23],用微生物法驱油产生的代谢产物对油层作用见表 1^[24]。

表 1 微生物代谢产物对油层作用
Table 1 Metabolites and corresponding effects

产物类型	油层作用
气 体 (CO ₂ , H ₂ ,CH ₄ ,N ₂)	提高底层压力;使原油膨胀;黏度降低;提高渗透率
酸类	与碳酸盐反应生成 CO ₂ ;提高孔隙度和渗透率
表面活性剂	降低水/油/岩石界面张力;乳化原油;改变湿润性
生物聚合物	堵塞高渗透层;增加扫油系数;并降低水油比
有机溶剂	降低原油黏度;溶解岩石孔隙中原油
生物体	菌体堵塞高渗透层,在水/岩石界面繁殖,改变湿润性,降低界面张力

1.3 MEOR 主要方法

现阶段 MEOR 的主要方法有:**a.** 单井吞吐;**b.** 微生物水驱;**c.** 微生物调剖;**d.** 洗井清蜡等方法^[25]。应用比较多的方法是单井吞吐和微生物水驱法。单井吞吐是一种间歇的生产过程,关闭油井一段时间后再投入生产,如此循环。微生物水驱法是指将含有氮、磷盐的营养液和菌种混合制成微生物处理液注入目的油层,使微生物与油层发生作用。

2 MEOR 的菌种筛选和菌种性能评价

2.1 MEOR 菌种筛选

MEOR 技术成功的关键之一是菌种的筛选,首先对菌种进行富集培养,再经划线等方法对菌

种进行纯化,将菌种分别在厌氧和好养条件下培养,记录对原油降解的情况,得到效果较好的菌种。MEOR 菌种可以是好氧、厌氧和兼性厌氧菌。所筛选出 MEOR 菌种要遵循以下 2 点:一是筛选的菌种能够适应油层环境,可以在油层环境中生存;二是筛选的菌种能够引起油层物理或化学变化,产生对驱油有利的代谢产物,如气体、酸类、醇类、聚合物和生物表面活性剂等,从而提高原油的采收率^[25]。

2.2 菌种鉴定

筛选出来的菌种鉴定主要有 2 种方法:**a.** 根据《伯杰氏细菌鉴定手册》进行鉴定;**b.** 16 SrRNA 基因技术。目前的文献对采油微生物菌种的鉴定多为从形态学方面进行鉴定,缺点是不能准确对其分类。建议加大分子生物学方法的应用,充分利用 PCR 扩增技术,通过 16 SrDNA 序列可变区域的 PCR 扩增,进一步从基因水平上对其鉴定。

2.3 菌种性能评价

菌种经过鉴定后还要对其性能进行实验,评价其菌种的生物学特性、稳定性、微生物代谢产物及对油层环境的适应性^[26]。主要从以下几个方面测定:

- a.** 测定生成气的组成和性能,用气相色谱分析。
- b.** 测定原油发酵前后组成和性能的变化,用恩氏蒸馏法和原油全烃色谱分析法。
- c.** 测定原油采收率,可用岩心模拟驱油实验和高压模拟驱油实验。
- d.** 测定发酵液的降粘作用,可用原油粘度测定法。

3 国内外研究进展

MEOR 由于具有成本低,经济效益高,无污染,操作简单等优势。近年来我国大庆、大港、胜利、吉林和新疆等油田分别和国外公司开展微生物采油的现场试验,都取得了良好的实验效果^[27-29]。因此微生物采油技术具有十分广阔的应用前景^[30-33]。

伍晓林等^[34]采用来自大庆油田的对原油具有黏附性的菌株分析,实验结果表明菌株对原油的黏附作用能在 10min 内产生,菌株具有趋化性。在菌株的生长时期内,测得 PR-1、1507、12-J 对四种烷烃(二甲苯、十六烷、十二烷、环己烷)的平均疏水值分别为 83%、56%、21%。对非原油黏附性菌株的趋油性起到明显的促进作用。进一步的显微观察实验表明,添加适量的有机物 A 和 B 能够促进菌体向原油表面聚集,能够促进产生“趋化带”,从而达到对采油微生物激活调控的目的。

王凤兰等^[35]对朝阳沟油田进行现场试验,累计

增油 $1.36 \times 10^4 \text{ t}$, 含水质量分数下降了 30.3%, 采收率提高了 3%。该技术环保且不伤害地层, 突破国际微生物采油渗透率标准大于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 开辟了大庆外围特低渗透油田利用微生物采油技术先河, 也为国内外类似的油田开辟出了一条新的提高采收率途径。

大港孔店油田也展开了此项研究, Nzina 在地层温度高达 60°C 的孔店高温区使用本源微生物方法驱油, 进行了为期近 4 年的现场试验, 以近水井地带剩余油为碳源, 补充氮磷等矿物质, 并混以空气, 以激活油藏中有用菌。实验测得脂肪酸, 生物表面活性剂, 二氧化碳和甲烷等都有所产生^[36]。Nzina 等在现场试验中测得每天硫酸盐还原速率从 $0.002 \mu\text{g}$ 增加到 $18.94 \mu\text{g}$, 甲烷每天代谢速率从 $0.012 \mu\text{g}$ 增加到 $16.235 \mu\text{g}$ ^[37], 实验效果明显。孔店油田现场动态监测与生产动态跟踪结果表明: 大量的有活性的嗜热微生物构成了油藏中驱油微生物的主体, 这些嗜热菌在油藏中表现出了很好的物理化学、地球化学和流变力学等方面的作用。本源微生物采油技术在孔店油田的成功应用对国内处于高含水期的老油田提高采收率具有借鉴意义。

Bordoloi 在实验室测得 *P. aeruginosa* (MTCC7815) 和 *P. aeruginosa* (MTCC7812) 能够产生大量的生物表面活性剂, 在室内降解实验中, 测得原油表面张力在 96 h 后从 68 mNm^{-1} 降低到 30 mNm^{-1} , 菌种在 pH (2.5~11) 和温度在 100°C 的活性保持稳定。由于生物表面活性剂的抑制作用, 无细胞培养液的原油饱和砂土在 90°C 时比在室温下能多释放 15% 以上原油, 比在 70°C 的试验条件下多释放 10% 以上的原油。对于石油或被碳氢化合物污染的砂子和土壤研究表明, 对能够产生表面活性剂的微生物进行适当的刺激时, 这些微生物能够产生生物调节作用, 生物表面活性剂能够从石油储存罐区被污染的土壤和淤泥中降解石油^[38]。

在利用外源微生物驱油方面, Dastgheibz 等从伊朗油田分离出一株耐高温的革兰氏阳性细菌, 经形态学和 16 SrRNA 鉴定为地衣芽孢杆菌 (*Bacillus licheniformis*), 此株菌表现出了较强的产生生物表面活性剂的能力, 它虽然不能利用碳氢化合物, 但对许多种碳氢化合物均有较强的乳化能力, 其中在以酵母为唯一碳源、 NaNO_3 为唯一氮源时的效果最好, 使用此种菌可使剩余原油的采收率提高 22%^[39]。

Nzina 等在大港油田港西区开展了现场实验, 分别向油藏中注入含有氮盐和磷盐的含氧混合物 (H_2O_2 溶液或空气与水的混合物), 通过注入空气

来调节油藏中微生物的活性。试验结果表明好氧菌和厌氧菌的数量都有所增加并产生了大量的生物表面活性剂。试验证明向油藏中注入氧气可以激活大量的微生物种群, 生物表面活性剂伴随烃氧化菌大量产生并能有效降低界面张力, 因此石油的生物降解作用的增强, 能够提高原油采收率^[40]。

4 MEOR 存在的问题

国内外在微生物驱油领域已经进行了大量的研究, 积累了大量的室内和现场经验。尽管微生物采油技术比其它的采油方法有着大量的优点, 但是, 从目前来看也存在着一些不足, 需进一步探索加以改进。

a. 从微生物的生长角度来讲, 微生物在高温、高盐度、高浓度的金属离子环境中容易遭受破坏, 易变性。因此采用 MEOR 方法时必须选择适宜的油藏环境, 应对油藏环境具体分析, 对油藏的地层温度、地层水矿化度、储层岩石性质、储层原油性质进行系统调研分析, 确定是否适用于微生物驱油的方法以及适用于何种微生物驱油的方法。

b. 用激活本源微生物的方法驱油时所使用的营养液生产成本较高, 在现场试验中, 微生物消耗完所注入的营养液后, 其新陈代谢的速率也会很快降低。因此, 实验前要研究本源微生物的组成及菌种的性能, 按照能够激活本源微生物的生长比例配置营养液^[41], 使其激活有益菌种而抑制有害菌种, 从而降低生产成本, 今后对于营养液的研究可以转移到微生物采油替代营养源的研究^[42]。

c. 微生物代谢产物不仅能够提高石油采收率, 同时也能够破坏油藏环境甚至损坏采油设备, 如微生物所产生的生物表面活性剂和生物聚合物有造成沉淀的危害性^[43], 而且微生物的代谢能够产生酸和有机溶剂, 如某些硫酸盐还原菌能够产生 H_2S ^[44], 这些都有可能腐蚀管线和采油设备, 破坏生产设施。

d. 国内室内研究 MEOR 技术一般是用人造岩心, 先水驱到残余油状态, 再注入菌种, 测定提高石油采收率数据。这种方法的不足之处是所选用的岩心体积小, 无法模拟油层无氧条件下的内源环境, 菌种在岩心中还没有适应环境就可能被驱出。在实验室和现场实验存在很多问题, 因此室内岩心实验还需要改进。

5 结 语

微生物采油技术是利用微生物本身或者微生

物的代谢产物,来进行有效的驱油.微生物采油技术具有比水驱、碱驱、聚合物驱、三元复合驱(碱/表面活性剂/聚合物复合驱)等三次采油技术无可比拟的优点,该技术环保,且对油层无伤害.预计在今后的油田开采中,微生物采油技术将继续增大并会起主导作用.

致 谢

本实验的顺利完成,得益于大庆师范学院化学化工学院表面活性剂课题组全体成员,在此,一并表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] LI J, LIU J S, TREFRY M G, et al. Interactions of microbial enhanced oil recovery process [J]. *Transport in Porous Media*, 2011, 87(1):77-104.
- [2] BROWN L R. Microbial enhanced oil recovery [J]. *Current Opinion in Microbiology*, 2010, 13(3):316-320.
- [3] 王霞,潘成松,范舟,等.微生物采油技术的发展现状[J]. *石油地质与工程*, 2007, 21(5):65-68
WANG Xia, PAN Cheng-song, FAN Zhou, et al. Development situation of microbe oil recovery technology [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2007, 21(5):65-68. (in Chinese)
- [4] 李青,吴刚,谢刚,等.低温稠油油藏微生物采油菌的筛选评价研究[J]. *石油钻采工艺*, 2011, 33(2):114-116.
LI Qing, WU Gang, XIE gang, et al. Research on evaluation of microbe oil recovery bacterium of low-temperature inspected pool [J]. *Drilling & Production Technology*, 2011, 33(2):114-116. (in Chinese)
- [5] 许建红.低渗透油藏产能主要影响因素分析与评价[J]. *西南石油大学学报:自然科学版*, 2012, 34(2):144-147.
XU Jian-hong. Main influence factor analysis and evaluation of the productivity in low permeability oil reservoirs [J]. *Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition*, 2012, 34(2):144-147. (in Chinese)
- [6] 夏小雪,朱维耀,李娟,等.油藏内源微生物生长代谢及驱油特性研究[J]. *石油天然气学报*, 2014, 36(1):122-126.
XIA Xiao-xue, ZHU Wei-yao, LI Juan, et al. Reservoir indigenous microorganisms growth metabolism and its oil displacement characteristics [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2014, 36(1):122-126. (in Chinese)
- [7] 李文宏,王闪,张永强,等.高盐低渗油藏内源微生物驱油潜力实验[J]. *化学与生物工程*, 2014, 31(1):55-60.
- [8] LI Wen-hong, WANG Shan, ZHANG Yong-qiang, et al. Experimental study of potential of indigenous microbial flooding in high salt and low permeability oilfield [J]. *Chemistry & Bioengineering*, 2014, 31(1):55-60. (in Chinese)
- [9] VAN H J D, SINGH A, WARD O P, et al. Recent advances in petroleum microbiology [J]. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 2003, 67(4):503-549.
- [10] REDDY L V A, WEE Y J, YUN J S, et al. Optimization of alkaline protease production by batch culture of *Bacillus* sp. RKY3 through plackett-burman and response surface methodological approaches [J]. *Bio-resource Technology*, 2008, 99(7):2242-2249.
- [11] ISLAM M R. Emerging technologies in EOR [J]. *Energy Sources*, 1999, 21(1):97-111.
- [12] WANG Xiu-yuan. Advances about researches of microbial enhanced oil recovery [J]. *Russia Microbiology*, 1995, 22(6):383-384.
- [13] SUN S S, ZHANG Z Z, LUO Y J, et al. Exopolysaccharide production by a genetically engineered enterobacter cloacae strain for microbial enhanced oil recovery [J]. *Bioresource Technology*, 2011, 10(2):6153-6158.
- [14] 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, 16(4):382-386.
BAO Mu-tai, WANG Wei-dong, WANG Xiu-lin, et al. Microbial enhanced oil recovery by activation of strata micro flora: a review [J]. *Oilfield Chemistry*, 2002, 16(4):382-386. (in Chinese)
- [15] ARIMA K, KAKINUMA A, TAMURA G. Surfactant, a crystal line peptide lipid surfactant produced by *Bacillus* subtitles: Isolation, characterization and its inhibition of fibrin clot formation [J]. *Biochemist Biophysics Res Common*, 1968, 31(3):488-494.
- [16] AMANI H, SARRAFZADEN M H, HAGHIGHI M, et al. Comparative study of bio-surfactant producing bacteria in MEOR application [J]. *J Petro Sci Eng*, 2010, 75(2):209-214.
- [17] SONG Z Y, GUO L Y, QU Y Y, et al. Microbial surfactant-enhanced mineral oil recovery under laboratory conditions [J]. *Colloid Surface Bio-interf*, 2008, 63(1):73-82.
- [18] PRONSUNTHORNTAWEE. Laboratory study on activating indigenous microorganisms to enhance oil

- recovery in Shengli oilfield [J]. *J Petro Sci Eng*, 2009, 66(1):42-46.
- [19] MAC G D B, SURDAM R C. Definitional carboxylic acid anions in oilfield waters [J]. *Organ Geochemical*, 1988, 12(3):245-259
- [20] 游靖,李青,刘洋,等.一株高效驱油菌株 HB-2 降解原油活性的研究[J]. *生物技术通报*, 2013, 11(2):170-174.
YOU Jing, LI Qing, LIU Yang, et al. Activities of an oil degrading bacterial strain HB-2[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2013, 11(2):170-174. (in Chinese)
- [21] 刘涛,宋智勇,曹功泽,等.微生物驱油过程中模拟地层条件对微生物生长的影响[J]. *油田化学*, 2013, 30(1):92-95.
- [22] 柯从玉,吴刚,游靖,等.微生物采油技术在宝力格油田规模化应用研究[J]. *油田化学*, 2013, 30(2):246-250.
KE Cong-yu, WU Gang, You Jing, et al. The large scale application research on over-all microbial flooding technology in baolige oilfield[J]. *Oilfield Chemistry*, 2013, 30(2):246-250. (in Chinese)
- [23] 伍锐东,黄旭平,张华军.微生物采油技术的研究进展[J]. *内蒙古石油化工*, 2008, 32(10):9-10.
WU Yue-dong, HUANG Xu-ping, ZHANG Hua-jun. Developmnet of microbial enhanced oil recovery research [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2008, 32(10):9-10. (in Chinese)
- [24] PEYPOUX F, BONMATIN J M, WALLACH J. Recent trends in the biochemistry of surfactant [J]. *Apply Microbial Biotech*, 1999, 51(5):553-563.
- [25] 王大威,张健,吕鑫,等.一株铜绿假单胞菌及其产生的鼠李糖脂特性研究[J]. *生物技术通报*, 2012(7):163-169.
WANG Da-wei, ZHANG Jian, LV Xin, et al. Study on characteristics of a rhamnolipid bio-surfactant producing bacterium and rhamnolipid bio-surfactant [J]. *Biotechnology Bulletin*, 2012(7):163-169. (in Chinese)
- [26] 窦启龙,陈践发,王杰,等.微生物采油技术的研究进展及展望[J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(5):559-563.
DOU Qi-long, CHEN Jian-fa, WANG Jie, et al. Advances in researches and outlook for microbial enhanced oil recovery [J]. *Natural Gas Geo-science*, 2004, 15(5):559-563. (in Chinese)
- [27] 刘保磊,常毓文,杨玲,等.油层法微生物采油代谢产物生产量的理论分析[J]. *中国石油大学学报*, 2014, 38(2):165-170.
LIU Bao-lei, CHANG Yu-wen, YANG Ling, et al. Theoretical production of metabolites for microbial enhanced oil recovery in reservoirs [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014, 38(2):165-170. (in Chinese)
- [28] DANIEL R M, COWAN D A. Bio-molecular stability and life at high temperature [J]. *Cell. Mol. Life Sci*, 2000, 57:250-264.
- [29] 申坤,李斌,黄战卫,等.复合本源微生物驱油技术在低渗透油藏的应用研究[J]. *西安石油大学学报*, 2013, 28(3):63-69.
SHEN Kun, LI Bin, HUANG Zhan-wei, et al. Application of composite indigenous microorganism oil displacement technology in low-permeability reservoirs [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2013, 28(3):63-69. (in Chinese)
- [30] BOCK M, BOSECKER K. Occurrence of biosurfactant producing bacteria in oil reservoirs, contaminated soils, and surface waters in Northern Germany[J]. *Geol Jahrbuch*, 1997, 5(103):147-1571.
- [31] BECKMAN J W. Action of bacteria on mineral oil [J]. *Ind Eng New*, 1926, 4(10):3.
- [32] STEWART T L, KIM D S. Modeling of biomass-plug development and propagation in porous-media [J]. *Biochem Eng J*, 2004, 17(1):107-119.
- [33] MEYER J, CLAY M D, JOHNSON M K, et al. A hyperthermophilic plant-type foredooming form aquifer aeolicus is stabilized by a dissuade bond [J]. *Biochemistry*, 2002, 41(10):3096-3108.
- [34] 伍晓林,侯兆伟,李尉,等.原油黏附性细菌的运动及其调控研究[J]. *油田化学*, 2013, 30(1):87-91.
WU Xiao-lin, HOU Zhao-wei, LI Wei, et al. The Study on migration of adhesive bacteria to crude oil [J]. *Oilfield Chemistry*, 2013, 30(1):87-91. (in Chinese)
- [35] 王凤兰,王志瑶,王晓东.朝 50 区块微生物驱先导性试验效果及认识[J]. *大庆石油地质与开发*, 2008, 12(03):102-105, 135.
WANG Feng-lan, WANG Zhi-yao, WANG Xiao-dong. Meor pilot effect and pretension on block 50 of Chao yang gou oil field [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2008, 12(3):102-105, 135. (in Chinese)
- [36] NZINA T N, GRIRORYAN A A, FENG Y, et al. Microbiological and production characteristics of the high-temperature Kongdian petroleum reservoir revealed during field trial of biotechnology for the enhancement of oil recovery[J]. *Microbiology*, 2007, 76(5):340-353.
- [37] NZINA T N, GRIRORYAN A A, SHESTAKOVA N M, et al. Microbiological investigations of

- high-temperature horizons of the Kongdian petroleum reservoir in connection with field trial of a biotechnology for enhancement of oil recovery[J]. Microbiology, 2007, 76(5):329-339.
- [38] BORDOLOI N K, KONWAR B K. Microbial surfactant-enhanced mineral oil recovery under laboratory conditions. Colloids and Surfaces [J]. Bio-interface, 2008, 6(3):73-82
- [39] DASTGHEIBZ S M M, AMOOZEGARMA, ELAHI E, Asad S and Banat IM. Bio-emulsifier production by a halothermophilic Bacillus strain with potential applications in microbial enhanced oil recovery[J]. Biotechnology Letters, 2008, 30(6):263-270
- [40] DASTGHEIBZ SMM, AMOOZEGARMA, ELAHI E, et al. Bio-emulsifier production by a halothermophilic Bacillus strain with potential applications in microbial enhanced oil recovery[J]. Biotechnology Letters, 2008, 30(6):263-270.
- [41] BRYANT S L, LOCKHART T P. Reservoir engineering analysis of microbial enhanced oil recovery [J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2005, 5(5):365-374.
- [42] NAMIA I A, Wang J I, MU BO-ZHONG. Isolation and characterization of a bio-surfactant producing strain, Brevibacillus brevis Hobl[J]. J Ind Microbial Biotechnology, 2008, 35(2):1597-1604
- [43] 柯从玉,吴刚,游靖,等. 采油微生物在微驱过程中的生长、运移及分布规律. 微生物学通报, 2013, 40(5):849-856.
- KE Cong-yu, WU Gang, You Jing, et al. The growth, migration and distribution law of microbes during microbial displacement oil[J]. Microbiology China, 2013, 40(5):849-856. (in Chinese)
- [44] 汪卫东. 微生物采油技术研究及试验[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(1):107-113.
- WANG Wei-dong. Laboratory research and field trials of microbial oil recovery technique [J]. Drilling & Production Technology, 2012, 34(1):107-113. (in Chinese)

Application of microbial enhanced oil recovery technology

DONG Long^{1,2}, ZHANG Bei-bei³, LIU Yong-jian¹

1. Petroleum Engineering Institute, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China;
2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Daqing Normal University, Daqing 163712, China;
3. Daqing Municipal Environmental Protection Bureau, Daqing 163316, China

Abstract: For widely use of microbial enhanced oil recovery technology (MEOR) in reinforcing production of oil field, the development and the main mechanism of MEOR were reviewed. The advantages and disadvantages of the main methods of MEOR in process of oil production were analyzed, and the selected methods and principles, and several aspects that should be placed emphasis were proposed. The application of microbial oil recovery technology will be more widely used and will play a leading role in the future of oil field exploitation.

Key words: MEOR; technical mechanism; strain screening; oil recovery

本文编辑:张 瑞