

大庆油田微生物采油现场试验进展

伍晓林 乐建君* 王蕊 柏璐璐

(大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 本文介绍近十几年以来大庆油田利用具有产气、降解原油、产生物表面活性剂及堵调性能的菌剂, 通过地下发酵, 开展微生物采油现场试验取得的进展。分析了该项技术适用的油藏条件和应用特点。截止到 2012 年底, 应用微生物采油技术增产原油达 12×10^4 t。其中微生物单井吞吐 518 口, 累计增油 6.3×10^4 t, 实施微生物驱和调驱项目 10 项(45 个井组), 累计增油 5.7×10^4 t, 为大庆油田稳产发挥了重要作用。

关键词: 大庆油田, 微生物吞吐, 微生物驱, 微生物调驱, 现场试验

Progress in pilot tests of microbial enhanced oil recovery in Daqing oilfield

WU Xiao-Lin LE Jian-Jun* WANG Rui BAI Lu-Lu

(Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company Limited, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

Abstract: Microbial enhanced oil recovery (MEOR) is a technology that utilizes bio-gas, bio-surfactants, bio-polymers and degradation produced by underground fermentation of bacteria for petroleum exploitation. In this study, it is introduced that progress in pilot tests of MEOR in Daqing Oilfield in recent decades, which analyzes suitable reservoir conditions and application characteristics. By the end of 2012, cumulative incremental oil production reached to 12×10^4 t, including 518 wells by single-well microbial huff-and-puff with cumulative incremental oil production of 6.3×10^4 t, and 10 projects (45 well patterns) by microbial flooding and profile modification with cumulative incremental oil of 5.7×10^4 t. The technology

基金项目: 国家 863 计划项目(No. 2009AA063504)

*通讯作者: Tel: 86-459-5508342; ✉: lej@petrochina.com.cn

收稿日期: 2012-10-27; 接受日期: 2012-12-21

plays an important role in stabilizing production of Daqing oilfield.

Keywords: Daqing oilfield, Microbial huff-and-puff, Microbial flooding, Microbial profile modification, Pilot test

微生物采油技术是一项非常有前景的三次采油新技术。近十年来,国内各大油田相继开展了微生物采油技术研究及应用^[1-2],取得令人鼓舞的突破^[3-4]。大庆油田早在20世纪60年代中期就已经开展了石油微生物的研究工作,最初采用微生物方法指导当时矿场试验水淹层的判断^[5]。20世纪80年代末率先进行了两口单井注微生物吞吐现场试验,验证了微生物地下发酵能增加原油产量^[6]。在此基础上,考虑到营养物的来源应广泛、易得等因素,微生物菌种的筛选从以碳水化合物为碳源向以烃类为唯一碳源的方向转化^[7]。特别是近十几年开展了大量的微生物吞吐和驱油现场应用,为系统总结现场试验过程中取得的经验和做法,分析微生物采油技术的特点和规律,深化对使用菌种、驱油机理与油藏之间关键技术问题的认识,为今后大规模矿场应用提供试验依据和理论基础。

1 微生物吞吐

微生物吞吐是把微生物连同一定的营养液注入采油井内,然后关井一段时间再恢复生产,让微生物在油层和井下环境进行生长繁殖,通过复杂的新陈代谢作用降解原油中的石蜡和重质组分,产生有机酸、有机溶剂分子、生物表面活性剂,减少重质成分含量,降低原油粘度和油水界面张力,增加原油的流动性,从而提高油井近井地带产量的技术。该方法在国内外应用最为普遍,大庆油田近十几年来也进行了大量的现场应用。

1.1 现场试验基本情况

1998-2012年期间,依据文献资料的不完全统计,大庆油田共进行518口井的微生物吞吐试

验,累计增油63 385.9 t。其中长垣过渡带开展微生物吞吐140口井,增油19 761 t,平均单井增油141.2 t^[8-16]。外围低渗透油田开展微生物吞吐378口井,增油43 624.9 t,平均单井增油115.4 t^[17-28],见表1。微生物吞吐试验井成功率在70%以上,有效期3-20个月不等,投入产出比大于1:5。

1.1.1 长垣过渡带:2000-2003年,在萨南东过渡带地区共应用微生物吞吐采油30口井,有25口井见效,见效比例为83.3%,措施后日增油67 t,综合含水下降4.9个百分点,阶段累积增油5 765 t,平均单井增油192 t,投入产出比达到1:8.5。此后喇嘛甸、萨中和萨北油田的过渡带相继实施了110口井的吞吐,累计增油13 996 t。

1.1.2 低-特低渗透油田:大庆外围油田七厂、八厂、九厂、十厂和头台油田共进行378口井的微生物吞吐试验。其中2002年油田研究院在朝阳沟低渗透油田开展了13口井试验,有效8口井。措施前后对比,日产液由23.8 t升至33.1 t,增加9.3 t;日产油由13.4 t升至27.1 t,增加13.7 t;综合含水由43.7%降至19.6%,平均单井增油125.1 t。2003年完成微生物单井吞吐47口,有效井32口,占总井数的72.7%。平均日增油1.0 t,平均单井增油80 t,有效期6个月,阶段累积增油3 866.8 t。

1.1.3 高凝油、稠油微生物降粘:自2001年开始相继在龙南、葡西、他拉哈等油田的11口高凝油井上进行了微生物吞吐降粘采油现场试验。11口井在未采取其他降粘措施的情况下平均连续正常生产280 d,已累计产油17 691 t,其中单采黑帝庙油层的5口井平均单井日产油2.7 t,累计产油5 826 t。

表 1 大庆油田微生物单井吞吐试验井数统计
Table 1 Statistics of single-well microbial huff-and-puff test wells in Daqing oilfield

应用区块 Applied block		井数 Well number (well)	增油量 Incremental oil production (t)	平均单井增油 Average incre- mental oil per well (t/well)	有效率 Effective rate (%)	有效期 Validity period (month)	参考文献 Reference
Placanticline	Sazhong transitional zone	30	4 500.0	150		3-10	[8-9]
	Sanan transitional zone	69	10 124.0	147	73.5	3-18	[10-11]
	Sabei transitional zone	12	1 642.0	136		3-7	[12]
	Xingnan ultralow permeability reservoir	25	3 032.0	121	72.0	4-12	[13-14]
	Lamadian transitional zone	4	463.0	116		4-8	[15-16]
	Pubei fault block	67	9 240.8	138	73.3	6-16	[17-19]
Peripheral	Songfangtun low permeability reservoir	16	1 479.0	92	75.0	6-20	[20-21]
	Low permeability+heavy oil reservoir	84	15 441.4	184		12	[22]
	Chaoyanggou ultralow permeability reservoir	123	13 437.4	109	71.7	8-12	[23-27]
	Toutai ultralow permeability reservoir	88	4 026.3	46	61.5	3-8	[28]
Total		518	63 385.9	124	70.2		

1.1.4 聚驱后油井解堵: 2002 年 7 月, 在喇嘛甸北东块选择了聚驱后 6 口油井进行微生物吞吐试验。试验前后采出液中活菌数量、原油粘度、烃组分均有明显变化, 与室内研究结果基本一致。从油井动态变化来看, 试验见到一定效果。分析认为微生物主要注入到原来聚驱的高渗层, 油层内含水高, 剩余油少, 虽然改善了原油性质, 但增油降水效果不明显。

1.1.5 压裂井微生物增产增注: 由于压裂过程中, 压裂液中的胶凝剂反排不彻底, 造成地层损害, 达不到压裂增产措施的实际效果。利用微生物可以清除压裂液带来的伤害, 延长压裂有效期。采油九厂应用微生物破胶技术处理压裂井 43 口井, 共 45 井次, 已累计增油 9 441 t。另外, 采油一厂在北 1-51-80 和北 1-42-77 两口井压裂后

1.5 个月和 3.5 个月注入微生物, 使两口井的注水强度保持在压裂初期水平, 有效期长达 14.5 个月以上, 延长了压裂有效期。

1.2 微生物吞吐应用特点

从微生物吞吐前后菌数的检测结果看, 采出液中检测出注入的活菌, 表明注入菌适应地下油层的生长环境。开井 7 d 后平均菌数由 3.0×10^6 个/mL 下降到 1.3×10^5 个/mL, 15-30 d 后稳定在 6.2×10^3 个/mL, 60 d 后稳定在 2.0×10^2 个/mL。

微生物吞吐后原油物性发生了较大变化。从实施前后原油粘度、凝固点、含蜡量的检测结果看, 原油粘度平均下降 30.6 个百分点, 凝固点平均下降 1.8 个百分点, 原油含蜡量平均下降 7.1 个百分点, 产出液中油水界面张力、有机酸含量及 pH 值等检测指标变化均反映出微生物地下发酵

后产生的作用效果。

微生物吞吐后, 试验井的油压、泵效和沉没度均明显提高。葡北 10 口井经微生物吞吐作用后, 油压平均值由试验前的 0.35 MPa 上升到试验后的 0.39 MPa; 泵效平均值由试验前的 33.89% 上升到试验后的 46.96%; 沉没度平均值由试验前的 413.12 m 上升到试验后的 551.62 m。试验井的热洗周期延长, 节电效果明显。

微生物吞吐增油效果与试验井的油层地质条件及开采状况相关。在统计的 518 口试验井中, 平均成功率在 70% 以上, 增油有效期在 2–20 个月不等。不同试验区块增油量差别明显, 特低渗、低渗及长垣过渡带的试验井增油量分别为 40–50 t、80–100 t 和 120–200 t; 含水小于 10% 或大于 90% 的试验井增油效果明显低于 50%–80% 的试验井; 油层有效厚度大、连通方向数多比有效厚度小、单向连通的试验井增油显著。

微生物单井吞吐施工简便, 在无需动管柱和修建地面设施的情况下即可完成施工。菌剂产品易于加工生产, 且对油层无伤害。吨微生物菌剂的增油量及成本核算好于现有的压裂、酸化等常规增产措施。

2 微生物驱油

微生物驱油是指利用特殊微生物或者微生物的代谢产物作用于原油或地层, 改善原油的流动性、改善油水界面特性、扩大驱油剂在油藏中的波及体积, 提高微观驱油效率和宏观波及效率的一类采油技术。从应用的工艺角度讲, 可分为地面发酵法和地下发酵法相关的两类驱油技术; 从使用的菌种来源和类型上又分为内源微生物和外源微生物相关的两类驱油技术。大庆油田微生物驱油采用的工艺是地下发酵法, 筛选菌种来自水驱和聚驱油藏采出液中可培养的微生物^[29–30], 经定向强化后, 开发出具有产气、降解原油、产

生物表面活性剂和堵调性能的驱油菌剂^[31–35]。

2.1 现场试验基本情况

1998–2012 年期间, 依据文献资料的不完全统计, 大庆油田共开展 10 项(45 个井组)微生物驱油试验, 累计增油 56 837.1 t。其中长垣过渡带开展微生物驱 6 项^[36–41], 累计增油 19 507.8 t, 平均单井组增油 1 083.8 t(统计 18 个井组)。外围低渗透油田开展微生物驱 4 项^[42–47], 增油 37 329.3 t, 平均单井组增油 1 382.6 t(统计 27 个井组), 应用效果明显好于长垣过渡带, 见表 2。微生物驱有效期为 0.5–3 年不等, 投入产出比大于 1:3。

2.1.1 萨北油田^[39–40]: 在北二西西块选择北 2-4-P26、北 2-丁 5-P16 井作为微生物调剖试验井, 平均单井射开砂岩厚度 14.9 m, 有效厚度 10.4 m, 有效渗透率 $0.570 \mu\text{m}^2$ 。注入压力 10.1 MPa, 日实注 230 m^3 。周围 6 口油井平均单井射开砂岩厚度 17.1 m, 有效厚度 12.6 m, 有效渗透率 $0.569 \mu\text{m}^2$ 。试验效果为: ①注调剖菌后, 北 2-4-P26 井和北 2-丁 5-P16 井注入压力由 8.9 Mpa 和 8.2 MPa 分别上升到 9.5 MPa 和 9.4 MPa。渗透率分别下降 45.18% 和 43.70%, 视吸水指数分别下降 27.60% 和 6.55%, 注入剖面得到改善。②调剖前后含水由 91.2% 下降到最低 87.3%, 日产油由 26 t 增加到 42 t, 阶段累计增油 1 300 t, 含水保持 10 个月不升。

2.1.2 萨南油田: 试验区位于东部过渡带, 目的层为萨、葡油层, 发育状况差, 渗透率为 $(20–200) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。原油含蜡、胶量分别比纯油区高 5.6 和 3.6 个百分点, 地面原油粘度 40 mPa·s 以上。有注入井 3 口, 采油井 7 口, 井距 185 m–214 m。现场试验方案设计的菌剂注入周期为 90 d, 浓度为 2%, 采用 2 个段塞注入。2002 年开始, 先后完成第一段塞和第二段塞注入, 共注溶液 $18\ 344 \text{ m}^3$ (0.06 PV), 其中微生物菌液 399.7 m^3 。试验历时 3 年, 试验区注微生物后产液能力上升, 日增液 26 t, 日增油 6 t, 综合含水下降 2 个百分点, 累积增油 5 904 t, 提高采收率 4.45%。

表2 大庆油田微生物驱油项目统计
Table 2 Statistics of microbial flooding projects in Daqing oilfield

试验区块 Applied block	水井+油井 Injection wells and production wells	实施日期 Implementation date	菌液用量/浓度 Bacterial dosage/Concentration	增油量/采收率 Incremental oil production (t)/ MEOR (%)
Lamadian transi- tional zone	1+5	2002.1.27-9.15	5个段塞, 累积注入 2 271.98 m ³ , 菌液 23.9 m ³	2 318.0/1.76
Chaoyanggou- Block Chao 80	2+12	1998.12	第一轮注菌液 57 m ³ ; 第二轮注菌液 97 m ³	1 811.5
Songfangtun-Block Fang 6	14+35	2000.11-2002.9	3级段塞: 前缘段塞(菌浓 8.0%), 主体 段塞(菌浓 6.0%), 后尾段塞(菌浓 8.0%), 菌液用量 700 m ³	5 447.0
Lamadian-reservoir after polymer flood- ing	6+18	2002.9-11 2003.5-6	第一轮注菌液 116.5 m ³ , 浓度为 1.19%; 第二轮注菌液 60 m ³ , 浓度为 1.96%	5 347.0
Sabei transitional zone	3+17	2002.9.25-12.5	菌液 26 m ³ , 累计注入 6 000 m ³ , 段塞 大小 0.006 PV	1 895.0
Sanan eastern transi- tional zone	3+7	2002.9.25-10.29; 2003.6.24	菌液 399.7 m ³ , 浓度为 2%, 段塞大小 0.06 PV, 采用 2 个段塞, 累计注入 18 344 m ³	5 904.0/4.45
Chaoyanggou-Block Chao 50	2+10	2004.6-2005.9	菌液 250.4 m ³ , 浓度为 5%, 段塞大小 0.005 PV	14 500.0/3
Sabei-reservoir after polymer flooding	2+6	2004.8	菌液 200 m ³ , 营养剂 100 t, 段塞大小 0.015 PV	1 300.0
Sabei eastern transi- tional zone	3+7	2006.8-2007.12	外源菌 100 m ³ , 累计注入 9 600 m ³ , 段 塞大小 0.05 PV	2 743.8/2.7
Chaoyanggou multi-pattern pilot test	9+27	2009-2012	菌液 2 100 m ³ , 营养液 2 100 m ³ , 浓度 为 2%, 分 3 个周期注入, 段塞大小 0.03 PV	16 453.0
Total	45+144			56 837.1

2.1.3 喇嘛甸油田^[41]: 试验区为 1 注 5 采。2002 年对 11-丙 103 井进行了 5 个微生物段塞的注入, 累积注入 2 271.98 m³, 其中微生物原液 23.9 t。试验效果为: ① 增油降水效果明显, 采油速度大幅度提高。在注入微生物 45 d 后, 5 口油井陆续开始见效, 平均月含水由见效前的 25%最低下降到 7.5%, 下降了 17.5 个百分点; 日产液由见效前的 24 t 最高上升 40 t, 日增液 16 t; 日产油由见效前的 18 t 最高上升到 37 t, 日增油 19 t。② 投入产出比的效益明显, 阶段累积增油 4 178 t, 吨微生物增油量为 175 t, 提高采收率 4.24%, 投入产出比大于 1:10。

2.2 微生物驱应用特点

在已开展的 10 项(45 个井组)微生物驱现场试验中, 方案设计的注入参数包括: ① 段塞大小为 0.006-0.060 PV; ② 菌剂浓度为 0.3%-5.0%; ③ 每个段塞菌剂原液用量为 10-200 t; ④ 段塞数为至少 1 个, 多则 3-5 个; ⑤ 每个段塞注入周期为 30-90 d。

微生物驱注入方式采用: ① 配水间注入泵注入比井口水泥车注入效果好, 可保持注入压力稳定, 有利于菌液平稳注入; ② 采用稳定的段塞式注入, 效果较好。短时期注入高浓度的微生物菌液, 不利于微生物在地下扩散繁殖, 从而影响微

生物驱油效果;③在药剂费用一定的情况下,单一段塞低浓度连续注入效果比多段塞大浓度注入效果好。④大段塞中分小段塞注入比连续注入效果好。

微生物驱后见效特点:①试验井见效时间2-5个月;②连通状况好的采出井见效明显,试验井见效时间与注采井距及油层连通状况相关;③注微生物后,注入井吸水剖面发生了变化,吸水层数增加,吸水砂岩厚度增加,注入压力下降趋势明显;④采出井与同区块油井相比,微生物试验井含水上升幅度减缓。

微生物驱地下发酵反应特点(萨北过渡带7口试验井样品分析)^[38]:①微生物菌种能够在油层中生长、繁衍,菌种在油层发酵过程中数量增加,采出液菌浓达到 10^{3-5} 个/mL;②采出液酸值有不同程度的下降,中心井pH值由8.38降至7.71,下降了0.67;③采出液的界面张力都有所下降,最低降到24.37,下降了22.9%;④原油中烃组分 $\sum_n C_{21} / \sum_n C_{22}$ 由1.34上升到1.61,上升了0.27, $C_{23}-C_{42}$ 减少60.6%, $C_{11}-C_{23}$ 增加48.31%;⑤原油粘度下降21.12%,含蜡量下降7.56%,含胶量下降11.39%。

微生物驱增产效果对比:①增油量差别较大,长垣过渡带单井组对比北4-3-丙水62井组增油663 t,而喇11-丙103井组增油4 178 t;多井组对比萨中东过渡带(4注9采井组)增油645 t,而萨南东过渡带(3注7采井组)增油5 904 t;②提高采收率幅度差别大,北4-3-丙水62井组提高采收率仅0.13%,而萨南东过渡带(3注7采井组)提高采收率达4.45%。

3 存在的问题及研究方向

3.1 存在的问题

微生物驱现场试验设计的段塞用量仅为0.006-0.060 PV之间,与化学驱(ASP驱)段塞用

量0.60-0.75 PV之间差距在10-100倍;由于微生物的注入量太小,在地下难以形成更大的“生物场”,导致微生物驱油的作用发挥有限,难以产生质的变化。

现有的微生物驱菌剂产品种类不多,均为人工筛选,定向驯化的菌种。由于菌种没有相关的检验方法,菌剂效能参差不齐,致使相关同类产品没有可操作的统一的技术规范 and 产品质量标准,市场价格差异较大。

现场试验井见效差的原因,除了微生物用量和菌剂产品质量是决定微生物提高采收率的关键因素外,不能忽视的是微生物菌剂自身的效能。在现场应用的菌剂产品中,尽管评价的降粘率、降蜡率、降胶率、降低界面张力等指标均符合要求,但降低凝固点表现很差,一定程度影响举升工艺的效率 and 原油流动性的改善。

从现场微生物菌群数量及结构方面的监测结果来看,注入的目的菌和营养剂在地下油层中引起菌群结构(可培养菌与不可培养菌之间)变化^[30],数量增加,一些具有采油功能的可培养菌丰度增加,地下油、气和水的物性产生变化,但由于监测数据的全过程受连续性和完整性条件限制,分析结果有待于进一步验证。

根据对大庆油田各区块统计的地层温度范围45℃-89℃,矿化度小于15 000 mg/L,渗透率、微量元素、pH值等参数符合美国能源部提出的微生物油藏筛选标准^[48],表明大庆油田多数地区非常适合微生物采油技术应用,但现场的科研投入和应用规模仍较小,缺乏长远规划。

3.2 研究方向

现阶段已开展的微生物驱油现场试验能提高采收率3%左右,但实验室普遍可以做到10%,这说明微生物采油技术提高采收率10%是可行的。由于微生物驱油机理的复杂性和难度远远高于化学驱,是当前制约该项技术发展的瓶颈问题^[1]。

从微生物驱现场试验应用情况来看, 菌剂用量大于 0.05 PV, 浓度为 2% 的设计方案, 提高采收率 4.45% 是一个质的飞跃, 有利于目的菌在地下油藏中形成竞争优势, 并建立地下“生物场”。今后应加大菌剂和营养剂用量设计, 应采用多周期注入的方式, 以提升微生物驱油的潜力。

现场试验应加强微生物驱油与其他技术复配研究。由于大庆油田长期注水开发和油层的非均质性, 易造成微生物菌剂沿着低含油饱和度的高孔渗层突进, 为使注入的微生物菌剂发挥最大效能, 应进行化学调剖与微生物驱联作^[49], 优势互补, 进一步提高油层的采收率。

近十几年来, 大庆油田针对开发生产现状, 已发展了微生物单井吞吐、微生物驱油和调驱等技术, 实现累计增油超过 12×10^4 t 目标。其中微生物吞吐为成熟技术, 进入推广应用, 微生物驱从单井组向多井组、试验区块转化, 规模逐渐扩大, 推动了微生物提高采收率技术的发展。“十二五”期间将进一步加大微生物吞吐和微生物驱的试验规模, 尽快使微生物采油技术成为油田开发后期的有效接替技术。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 郭英. 国内外源微生物驱矿场试验状况分析[J]. 科技导报, 2011, 29(22): 51-54.
- [3] 黄辛. 我国微生物采油调控技术获重大突破[N]. 科学时报, 2011-02-10.
- [4] 汪亚萍. 大港油田科研项目首获河北省技术发明奖[N]. 中国石油报, 2012-12-10.
- [5] 陈异谱, 张春英, 王传柱, 等. 用微生物方法判断检查井水淹层的研究[J]. 石油勘探与开发, 1980, 7(5): 38-47.
- [6] 张春英, 孟凡儒, 石梅, 等. 大庆油田微生物提高采收率的矿场试验[J]. 石油学报, 1995, 27(1): 88-95.
- [7] 隋军, 石梅, 孙凤荣, 等. 以石油烃类为唯一碳源提高采收率菌种的研究[J]. 石油学报, 2001, 22(5): 53-57, 3.
- [8] 钟平, 马会宁. 微生物解堵技术[J]. 油气田地面工程, 2007, 26(2): 22-23.
- [9] 白林海. 北一区东部过渡带微生物吞吐现场试验效果分析[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(20): 5012-5016.
- [10] 刘瑞堂. 微生物吞吐采油技术应用效果探讨[J]. 中国科技信息, 2008(4): 16-17, 19.
- [11] 乐建君, 蔡巍, 刘小波, 等. 萨南油水过渡带微生物解堵现场试验[J]. 石油天然气学报: 江汉石油学院学报, 2005, 27(S2): 399-400.
- [12] 林秀萍, 陈卫东. 萨北过渡带微生物驱油适应性研究[C]//三次采油技术研讨会论文集, 2003.
- [13] 盖立学, 柏璐璐, 窦绪谋, 等. 微生物采油技术在大庆油田低渗透油藏的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2011, 30(2): 145-149.
- [14] 吴艳海, 乐建君, 任长青, 等. 超小微生物在低渗透油田中的现场应用试验[J]. 精细石油化工进展, 2008, 9(12): 6-9.
- [15] 侯维虹, 纪平, 张义江, 等. 稠油段油层近井微生物吞吐试验[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(2): 133-134, 141.
- [16] Zhang YJ, Xu ZS, Ping J, et al. Microbial EOR laboratory studies and application results in Daqing Oilfield[C]//SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Jakarta, April 1999: 20-22.
- [17] 安晓康. 微生物吞吐采油技术在大庆油田葡北地区应用[J]. 长江大学学报: 自然科学版理工卷, 2010, 7(2): 227-230.
- [18] 孙建国. 低渗透窄薄砂体油藏微生物吞吐采油研究与应用[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(1): 322-326.

- [19] 乐建君, 于盛鸿, 张宝忠, 等. 微生物单井处理技术在徐家围子低渗透油田应用[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(2): 56-58.
- [20] 丁东升. 微生物吞吐技术在外围油田的应用[J]. 应用科技, 2004, 31(7): 64-65, 68.
- [21] 赵丽娟. 微生物采油技术在低渗透油田的应用[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(3): 61-63.
- [22] 邢宝利, 徐启, 郭永贵. 微生物采油技术在朝阳沟油田的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2000, 19(5): 47-49, 69.
- [23] Li QX, Kang CB, Hao W, et al. Application of microbial enhanced oil recovery technique to Daqing Oilfield Biochemical Engineering Journal[J]. Biochemical Engineering Journal, 2002, 11(2/3): 197-199.
- [24] 李蔚, 刘如林, 石梅, 等. 低渗透油藏微生物采油现场试验研究[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 110-112.
- [25] Guo WK, Shi CF, Yang ZY, et al. Microbial enhanced oil recovery technology obtains huge success in low-permeability reservoirs in Daqing Oilfield[C]//SPE Eastern Regional Meeting, 11-13 October 2006, Canton, Ohio, USA
- [26] 肖淑梅. 低渗透性油田微生物采油技术研究与实践[J]. 中国科技信息, 2006(2): 98, 107.
- [27] 马金库, 陆会民, 陈军, 等. 大庆外围特低渗油藏微生物矿场试验效果[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(6): 74-75, 93.
- [28] Han PH, Sun FR, Shi M, et al. Microbial EOR laboratory studies on the microorganisms using petroleum hydrocarbon as a sole carbon[C]//SPE Asia Pacific Improved Oil Recovery Conference, 6-9 October 2001, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [29] 杨振宇, 石梅, 王大威, 等. 大庆油田本源微生物群落分布及采油机理研究[J]. 石油学报, 2006, 27(S1): 95-100, 105.
- [30] 黄永红, 袁红梅, 伍晓林, 等. 大庆油田低渗透油藏微生物群落结构解析[J]. 大庆石油学院学报, 2009, 33(4): 63-66, 75, 142.
- [31] 侯兆伟, 石梅, 杨振宇, 等. 降解石油的细菌及其应用[P]. 中国专利: 200410038053, 2006-1-11.
- [32] 侯兆伟, 石梅, 韩培慧, 等. 一株降解石油的细菌及其应用[P]. 中国专利: 200410038054, 2006-1-11.
- [33] 郭万奎, 石成方, 乐建君, 等. 一株枯草芽孢杆菌及其应用[P]. 中国专利: 200610076219, 2008-2-13.
- [34] 石梅, 侯兆伟, 李蔚, 等. 一株地衣芽孢杆菌及其应用[P]. 中国专利: 200810227858, 2010-12-22.
- [35] 石梅, 侯兆伟, 乐建君, 等. 一种聚驱后微生物采油方法[P]. 中国专利: 200810239111, 2012-1-11.
- [36] 李永伏, 袁朝晖. 大庆油田微生物驱油技术试验研究[J]. 国外油田工程, 2005, 21(6): 40-41.
- [37] 王俊英. 萨中西区过渡带微生物驱油实践与认识[J]. 今日科苑, 2006, 3(3): 72-73.
- [38] 乐建君, 李蔚, 郭盟华, 等. 萨北过渡带微生物增效水驱矿场试验[J]. 大庆石油地质与开发, 2012, 31(3): 115-119.
- [39] Sui J, Wang FL, Wang ZY, et al. Study on the pilot test with microbial profile modification after polymer flooding in Daqing Oilfield[C]//SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium, 7-8 May 2007, Dhahran, Saudi Arabia
- [40] 郭万奎, 石成方, 万新德, 等. 大庆油田聚合物驱后微生物调剖先导性现场试验研究[J]. 石油学报, 2006, 27(S1): 86-90.
- [41] 葛立忠. 微生物驱油效果分析[J]. 油气田地面工程, 2004, 23(8): 28.
- [42] 王广昫, 刘永建. 宋芳屯油田微生物驱油矿场试验[J]. 大庆石油学院学报, 2005, 29(1): 43-45, 121.
- [43] 郭万奎, 侯兆伟, 石梅, 等. 短短芽孢杆菌和蜡状芽孢杆菌采油机理及其在大庆特低渗透油藏的应用[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(1): 73-78.
- [44] Hou ZW, Han PH, Le JJ, et al. The application of hydrocarbon-degrading bacteria in Daqing's low

- permeability high paraffin content oilfields[C]// SPE/DOE Symposium on Improved Oil Recovery, 20–23 April 2008, Tulsa, Oklahoma, USA
- [45] 王凤兰, 王志瑶, 王晓冬. 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, 27(3): 102–105, 135.
- [46] Hou ZW, Dou XM, Jin R, et al. The application of MEOR in Daqing oilfields[C]//SPE Enhanced Oil Recovery Conference, 19–21 July 2011, Kuala Lumpur, Malaysia
- [47] 鄢营. A 油田微生物驱油扩大试验效果及认识[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2011, 31(8): 256.
- [48] 杨承志, 楼诸红. 微生物采油的地质基础及筛选标准[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(2): 69–72.
- [49] 陈玉军, 巨登峰, 宋义伟, 等. 弱凝胶与微生物调驱联作技术的研究[J]. 特种油气藏, 2005, 12(1): 84–86.

科技信息摘录

新型冠状病毒侵入宿主细胞机制研究获进展

继在流感病毒跨种传播机制研究中取得重大成果,并在《科学》和《柳叶刀》发文之后,中科院微生物研究所高福研究组又在新型冠状病毒侵入宿主细胞机制研究中取得重要进展,研究成果于7月7日在《自然》杂志在线发表。

新型冠状病毒,又称中东呼吸综合征冠状病毒(Middle East Respiratory Syndrome coronavirus, MERS-CoV),是继 SARS-CoV 之后出现的又一个高致病性冠状病毒。与 SARS 相似,MERS-CoV 感染患者可出现发烧、咳嗽和急性呼吸窘迫综合征,有时伴有肾衰竭,病死率非常高。自2012年9月首次报道以来,截至2013年7月5日,全球共向世卫组织通报79例 MERS-CoV 病毒感染实验室确诊病例,其中42例死亡。迄今,约旦、卡塔尔、沙特阿拉伯、阿拉伯联合酋长国、法国、德国、意大利、突尼斯和英国均已报告实验室确诊病例;在法国、意大利、突尼斯和英国还发生了有限的本地传播。一时间,MERS-CoV 的高病死率,人传人的能力,以及向其他国家蔓延的趋势引起各方重视和担忧。因此,了解 MERS-CoV 侵入宿主细胞的机制非常重要。

MERS-CoV 与 SARS-CoV 同属冠状病毒科, Beta 冠状病毒属,为具囊膜的正链 RNA 病毒。病毒囊膜上含有刺突蛋白(Spike, S),介导病毒对宿主特异性受体分子的结合,是起始病毒感染最重要的分子。最近的研究表明,二肽基肽酶-4(Dipeptidyl peptidase 4, DPP4/CD26)是 MERS-CoV 在宿主细胞的受体。鉴定 MERS-CoV S 蛋白与 CD26 的结合模式,对于 MERS-CoV 病毒侵入机制研究与有效药物靶点的发现具有重要意义。高福研究组长期致力于囊膜病毒跨种间传播机制与免疫分子识别研究,针对新发现的病毒受体分子,迅速开展了复合物结构及相互作用的功能研究。

研究组逯光文、胡亚伟、王奇慧、齐建勋、高峰等研究人员首先鉴定了 S 蛋白中负责与 CD26 结合的部分,即受体结合域(Receptor binding domain of MERS, MERS-RBD);然后成功制备了高纯度的 MERS-RBD 以及与 CD26 的蛋白复合物,并获得了高质量的晶体;最终解析了 MERS-RBD 单体以及配体/受体复合物的分子结构。MERS-RBD 由核心区 and 外部受体识别区组成,核心区结构与 SARS-CoV 的刺突分子同源,而外部受体识别区呈现为由 β -折叠片构成的独特的结构单元,识别 CD26 分子“ β -螺旋桨”样结构中的 IV、V 桨页片。CD26 属于 II 型跨膜蛋白,以二聚体形式存在于细胞膜上, MERS-RBD 结合在 CD26 的远膜端,形成类似 U-型的分子结构。在病毒配体识别受体的过程中,侧链基团形成的氢键与盐桥等亲水相互作用至关重要。这些分子层面上的互作细节,为设计靶向病毒侵入的小分子药物提供了重要的参考。

MERS-CoV 对公共卫生安全的潜在威胁亟需特异、高效的抗 MERS-CoV 病毒药物。阻断病毒的结合和侵入,防患于未然,是最有效的抗病毒手段之一。研究组对 MERS-RBD 和 CD26 结合模式的研究成果,对抗 MERS-CoV 病毒的药物设计具有重要的指导意义。

——摘自《中国生物技术信息网》2013/7/16
<http://www.biotech.org.cn/information/109211>