

场无损检测技术[J].现代交通技术,2015,12(03):47-50.

[4]郝挺宇,惠云玲,梅名虎,苏波.结构混凝土耐久性无损检测技术[J].东南大学学报(自然科学版),2006(S2):49-54.

[3]刘剑飞,陈维红,程朝霞.矿区构筑物耐久性影响因素分析[J].工程力学,2007(S1):129-133.

[4]郝挺宇,惠云玲,梅名虎,苏波.结构混凝土耐久性无损检测技术[J].东南大学学报(自然科学版),2006(S2):49-54.

# 低成本原油降粘辅助采油技术研究 with 试验

李巍

(辽河油田公司曙光采油厂工艺研究所 辽宁 盘锦 124010)

DOI:10.12238/jpm.v3i3.4749

**[摘要]**为解决蒸汽吞吐开采后期油汽比低井占比高等问题,研究应用了低成本原油降粘辅助采油新技术。现场应用表明,该技术能够提升油井有效生产时率,提升吞吐效果,有效降低吨油成本,降低投入产出比,并且具有施工简便、投资少、风险小、见效快、效率高的优点,应用前景广阔。具有显著的社会效益。

**[关键词]**低成本;原油降粘;辅助采油;研究

Research and test on viscosity reduction assisted oil recovery technology of low-cost crude oil

Li Wei

(Process Research Institute of Shuguang oil production plant of Liaohe Oilfield Company, Panjin 124010, Liaoning)

**[Abstract]** in order to solve the problem of low oil steam ratio and high proportion of wells in the later stage of steam huff and puff production, a new low-cost crude oil viscosity reduction auxiliary oil recovery technology is studied and applied. The field application shows that this technology can improve the effective production time rate of oil wells, improve the throughput effect, effectively reduce the cost per ton of oil and reduce the input-output ratio. It has the advantages of simple construction, less investment, low risk, quick effect and high efficiency, and has broad application prospects. It has remarkable social benefits.

**[Key words]** low cost; Viscosity reduction of crude oil; Auxiliary oil recovery; Research

## 1 存在问题分析

油田经过多年的开采,已经进入蒸汽吞吐开采后期,开采过程中主要暴露出以下问题。

### 1.1 经济吞吐油汽比低井占比高

据统计,目前每吨蒸汽需要成本约 269 元,按 60 美元油价进行计算,当投入产出比为 1:1 时,吞吐油汽比为 0.13。当吞吐油汽比小于 0.13 时,为无效注汽。统计 2017-2019 年,平均每年有 61 口井吞吐油汽比低于 0.13,占比 17.1%。

表 1 经济吞吐油汽比

油价	注汽	注汽量	投入产出比	经济吞吐
40	269.7	2000	371.3	0.19
50	269.7	2000	297	0.148
60	269.7	2000	247.5	0.124
70	269.7	2000	212.1	0.106

### 1.2 吞吐轮次高周期产量低

目前热采区块油井平均吞吐周期为 7.8 轮,最高吞吐轮次达 15 轮次以上,随着蒸汽吞吐降压开采,高轮次吞吐效果逐渐下降,高渗层反复吸汽,地下存水量大,平均单井地下存水量达到  $1.5-1.6 \times 10^4 m^3$ ,平均排水期长达 18.4 天。

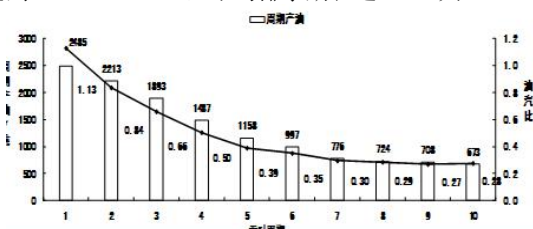


图 1 热采稠油吞吐效果随周期变化图

因此需要开展低成本原油降粘辅助采油新技术研究与试

验,降低措施成本,提升吞吐油汽比,改善吞吐效果。

## 2. 低成本原油降粘技术

### 2.1 生物降粘技术

生物降粘技术以烃类为底物的微生物在一定条件下培养后,在代谢过程中可分泌具有表面活性剂特性的代谢产物。生物表面活性剂一方面具有化学表面活性剂的共性,另一方面又具有稳定性好、抗盐性较强、受温度影响小、能被生物降解、无毒、成本低等特点。

#### 2.1.1 作用机理

(1) 改变原油的组成,降低原油粘度

微生物代谢产物以石油中正构烷烃作为碳源而生长繁殖,从而改变原油的碳链组成。微生物生长时释放出的代谢产物,可降解原油,使原油碳链断裂,高碳链原油变为低碳链原油,使重组分减少,轻质组分增加,凝固点和粘度均可降低,不仅改善原油在油层中的流动性,而且会使原油品质得到改善。

(2) 改变岩石润湿性,提升驱油效果

微生物代谢产物能在油水界面上定向排列,可降低岩石一油一水之间的表面张力及界面张力,改变多孔介质的表面特性,通过降低油水界面张力可提高水对原油的运移效率,具有较好的驱油效果。

(3) 乳化-携带,启动剩余油

微生物代谢产物会使原油产生乳化,乳化过程中生成的活性物质还能使油水乳化形成 O/W 型乳状液,使分解后的原油具备流动能力。

#### 2.1.2 室内评价试验

(1) 耐温、耐盐效果评价

通过在不同矿化度及温度条件下观察生物降粘药剂其改善界面张力的能力,发现生物降粘剂在矿化度  $21 \times 10^4$  以下、温度 40-120℃ 时仍可发挥表面活性剂的作用。

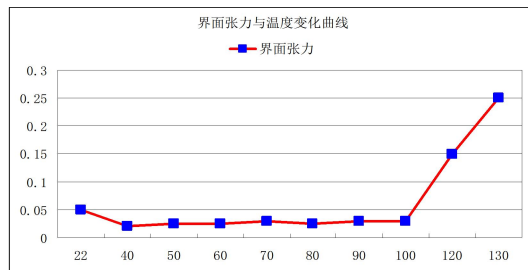


图2 界面张力与温度变化曲线

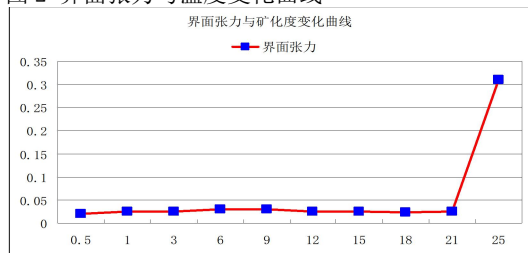


图3 界面张力与温度变化曲线

(2) 降粘效果评价

1) 乳化性能评价

在用 100ml 地层水中加入 10%原油及不同浓度的生物降粘剂，在 38°C、转速 150rpm 摇床震荡 5 天，然后利用近红外稳定分析仪，开展乳化性能评价。

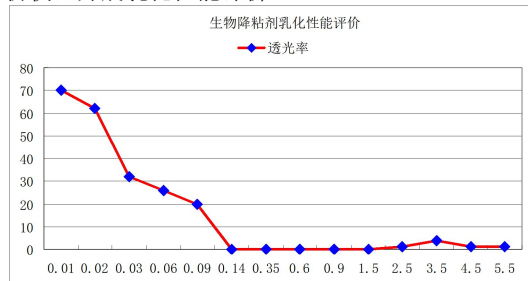


表2 不同药剂浓度降粘度效果统计

浓度%	0	0.01	0.02	0.05	0.08	0.1	0.2	0.5	0.8	1	2	3	4	5
粘度 mPa·s	6500	5700	5200	5040	4330	4300	1770	590	580	530	546	480	540	535

综上所述药剂浓度在 0.2%-0.5%之间可以很好的改变原油流动性能，降低原油粘度，现场施工过程中可根据原油粘度适当修改药剂浓度，达到最佳降粘效果。

2.1.3 技术优势

相对于常规提高采收率技术，与其它三次采油技术相比，微生物提高采收率方法有着独特的优点：

- (1) 成本低，微生物的主要营养源之一是用通常手段难以采出的石油，微生物的繁殖能力和适应性强，作用效果持续时间长这尤其对边际油田吸引大，微生物不会消耗大量能源且其使用与油价无关；
- (2) 应用范围广，可开采各种类型的原油，更适于开采重油；
- (3) 注入的微生物和培养基原料来源广，容易制取，且可根据具体油藏特点，灵活调整微生物的配方；
- (4) 易于控制，通过停止注入营养液，即可终止微生物的活动；
- (5) 微生物体积小，运移能力强，能进入其他工艺不能触及的死角和裂缝微生物细胞小且运动性强，能进入其他驱油工艺的盲区；
- (6) 微生物只在有油的地方繁殖并产生代谢产物，避免了表面活性剂注入或降粘剂段塞的盲目性；
- (7) 对地层伤害小，产物均可生物降解，不损害地层，不会造成环境污染，且可以在同一井中重复使用多次应用。

表3 温度对分子组装驱动剂降粘效果影响

指标	温度 (°C)

图3 生物降粘剂乳化性能评价

试验结果显示，当生物降粘剂浓度大于 0.1%时，原油乳化能力显著提升，油水能够完全混相，无油水分界线。

2) 表界面特性评价

当生物降粘剂的浓度在 0.2%以上时，对油水界面张力和表面张力降低能力显著增强，表面张力最低下降 51.3%、界面张力最低可降低 99.5%。

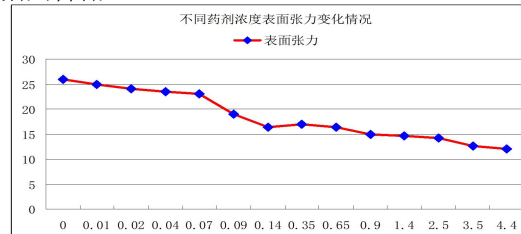


图4 不同药剂浓度表面张力变化情况

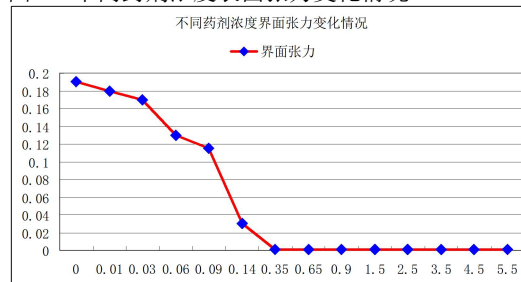


图5 不同药剂浓度表面张力变化情况

3) 降粘特性评价

将不同浓度稠油降粘剂加入 100ml 产出水中，搅拌均匀，加入在 38°C 的恒温摇床中，以 150rpm 震荡 7 天结束后，在 50°C 下测定原油粘度。

不同浓度的生物降粘剂与原油作用后均起到一定的降粘作用，当生物降粘剂浓度在 0.5%以上时，对原油粘度降粘能力显著提高，最高降粘率可达到 92.6%。

2.2 分子组装驱动采油技术研究

2.2.1 作用机理

在原油中存在多种纳米级分子簇集体结构，其中原油中沥青、胶质等成分的分子结构对原油簇集体的形成起着关键作用，而原油簇集体源自于原油分子内部的相互作用力，从原油簇集体各成分的分子结构可以推断出，维系簇集体的作用力应该为分子间的非共价键。

分子组装驱动采油技术是将药剂的客体分子通过油水界面嵌合到原油聚集体上，然后药剂的主体分子与嵌合到原油聚集体的客体分子进行重新组装，借助于这种自组合作用力逐渐将原油切割分散成小油滴，油层内主要表现为两种作用：游离于水中的药剂分子将吸附于油层孔隙内表面的原油切割成小油珠，并驱替；吸附于油层内表面的药剂分子将孔隙内的大油珠切割分散成更小的油珠，并驱替至井口。

2.2.2 室内评价试验

(1) 耐温、耐盐效果评价

将配制好的1%分子组装驱动药剂溶液，按照油水比7:3，在不同温度下恒温48h，测试在不同温度条件下的降粘率。所用油样为50°C脱水粘度为68700mPa·s原油。

随着老化温度的升高，驱油助排剂性能呈下降趋势。当温度达到350°C时，药剂剂在高温下降解、失效，但是在300°C仍具有较好的性能，可满足驱油需求。

	室温	50	100	150	200	250	300	350
实验结果 (mPa·s)	852	920	1273	1886	2736	4736	5580	36520
降粘率 (%)	98.8	98.7	98.1	97.3	96	93.1	91.9	46.8

50℃温度下,不同矿化度对分子驱动采油体系降粘性能的影响不大,降粘率均能达到98%

表4 矿化度对驱动采油体系的降粘效果统计

矿化度 mg/L	温度℃	体系用量 mg/L	油样粘度, mPa·S		降粘率 %
			加药前	加药后	
8125	50	600	74240	452	99.39
13200	50	400	6747	172	98.45
6328	50	600	74300	398	99.46
220000	50	800	82000	402	99.51
187500	50	800	98000	516	99.47

(2) 降粘效果评价

表5 不同浓度下分子组装驱动剂的降粘效果

体系浓度 (%)	油样粘度 /mPa·s			
	油样1	油样2	油样3	油样4
0	9280	12000	62572	74240
0.9	195	186	436	298
1.1	176	175	281	290
1.3	-	172	264	240
1.5	160	167	243	235
1.7	-	157	231	-
2	-	-	209	198
2.2	-	-	200	-
2.5	-	-	205	195
3	-	-	195	180

在用100ml地层水中加入不同浓度药剂与不同粘度油样进行混合,观察其降粘效果,发现分子组装驱动采油剂浓度为0.9%-2%时,可使粘度为9280~74240mPa·s的不同区块原油降至为176~290mPa·s,降粘率达到98%以上,当大于2%以上时整体降粘效果变化不大。

2.2.3 技术优势

分子组装驱动采油工艺,施工简单、周期短、成本低,可以有效地降低稠油、特超稠油的粘度,推动稠油油藏的高效经济开发,同时其具有较高的耐温性能可与蒸汽同注,实现降粘吞吐。

2.3 施工参数优化

单井所用量按油井油层有效厚度的处理半径1.5-5m来确定,其计算公式为:

$$Q = \pi R^2 h \Phi$$

公式中:Q-药剂体积, m<sup>3</sup>; R-处理半径, m;

h-油层厚度, m; Φ-孔隙度, %。

通过常规降粘辅助蒸汽吞吐的技术调研及各厂实施效果统计分析,最终确定药剂作用半径一般控制在2-5m之间,实施过程中根据吞吐轮次、原油粘度、开采程度、地下存水情况进行优化调整。

表5 吞吐轮次及药剂处理半径统计表

周期	药剂设计处理半径(m)	措施井次	措施有效率 (%)	单井平均增油(t)
5-10	2-3	10	90	145
11-15	3-4	23	87	175
≥15	4-5	8	75	122

2.4 技术创新点

(1) 通过室内试验对药剂的耐温、耐盐、降粘效果分析,优选药剂配方体系,合理优化药剂浓度:生物霉降粘技术药剂浓度为0.2%-0.5%;分子组装驱动剂浓度为1%-2%,提高设计准确度,实现降本增效。

(2) 通过技术调研分析,合理优化施工半径,最终确定药剂作用半径为2-5m之间,并据吞吐轮次调整作用半径,进一步提升技术适应性,改善吞吐效果。

(3) 形成一套完善的低成本原油降粘辅助采油新技术,为稠油油藏的高效开发提供了技术支持。

3. 现场实施情况及效果

现场实施低成本降粘技术2井次,其中生物降粘技术1井次高3-70-105;分子组装驱动采油技术1井次高3-5-083C。与注汽相比,上轮2口井累计注汽3784t,使用资金101.8×10<sup>4</sup>元,累计生产原油434.5吨,吨油成本2342元/吨,创造经济效益87.8×10<sup>4</sup>元,投入产出比1:0.9,有效降低了吨油成本,降低了投入产出比。

(1) 生物降粘技术

该井原油粘度8437mpa·s,胶质沥青含量45.9%,油层有效厚度53.7m,含油饱和度16.4-50%,有效孔隙度9.5-19.6%,累计吞吐5轮,近一轮空白注汽效果变差,吞吐产能下降快、稳产期短,排水期延长至12d。现场施工半径2.5m、药剂浓度0.2%,累计泵注3.96t生物酶制剂和216t热污水,施工最高压力5MPa,施工初期采用低排量、匀速注入,将药剂与原油更好的融合,末期起压后提升注入速度更好的扩大波及体积,措施后周期产油304.7t,对比上轮注汽周期增油69.2t。

(2) 分子组装驱动采油技术

该井油层有效厚度94.7m,含油饱和度35-56%,有效孔隙度13.6-23.1%,周期产能相对稳定,但排水期较长,上轮注汽后措施停产28天,累计吞吐12轮,本轮设计药剂浓度2%、处理半径为4m,累计泵注20t药剂和950t污水,措施停产时间11天,缩短17天,措施后周期产油527.7t,对比上轮注汽周期增油335t。

4. 结论

(1) 该技术通过室内试验对药剂耐温、耐盐、降粘效果分析评价,总结出了药剂的最佳浓度,提高了设计准确度,实现了降本增效。

(2) 通过技术调研分析总结,最终确定药剂作用半径一般控制在2-5m之间,并据吞吐轮次调整作用半径,进一步提升技术适应性,改善吞吐效果

(3) 形成一套完善的低成本原油降粘辅助采油新技术,为稠油油藏的高效稳产及高效开发提供了技术支持;同时也为其它稠油区块的开发提供可借鉴的经验。

参考文献

[1]梁发书,李建波,任洪明,等.稠油降粘剂的室内研究[J].石油与天然气化工.2001,(2).87-88,99.  
 [2]燕玉峰,于世虎,郑云香,等.高胶质沥青质超稠油降粘剂YZ-31的研究[J].化学研究与应用.2015,(5).760-763.  
 [3]刘旭超,杜江,王秋霞,等.油溶性降粘剂的制备及性能评价[J].油田化学.2018,(3).512-516.