纳米表面活性剂在致密油藏开采中的应用

于春涛[1] 张 宇[2] 周春来[3]

(1. 中国石油吉林油田公司油气工程研究院;2. 中国石油管道公司管道工程建设项目经理部;
3. 中国石油吉林油田公司 HSE 监督站)

摘 要 吉林油田针对致密油藏的储层特点,通过 TY 纳米表面活性剂体系与原油发生乳化降黏作用,提高原油的流动性,降低乳化堵的风险。TY 纳米表面活性剂分子尺寸小,在油藏环境下可降解,界面张力低,乳化粒径小(50~100 nm),乳化后 60~120 min 析水率大于 90%,岩心驱替驱油效率达到 39.7%。先导试验措施后增产效果明显,投入产出比大于 1.5,经济效益较好,为致密油藏后续提高采收率提供了技术支持。

关键词 纳米表面活性剂; 致密油藏; 增产措施

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2020.03.008 **文章编号:** 1005-3158(2020)03-0024-03

0 引 言

致密油藏的效益开发是现阶段石油行业的主流方向,常规技术已无法满足开发需求,需要研发新技术以适应油田的发展趋势[1]。致密油藏初期以水平井大规模压裂投产为主,通过压裂改造成缝,形成渗流通道。由于储层致密,后续无法进行能量补充,产量递减快,无法实现稳产,需攻关后期提产、提高采收率技术。针对低渗、特低渗储层微观孔隙结构小的难题[2],可通过注入不同性能的表面活性剂溶液实现吞吐增产。目前现场应用的表面活性剂种类繁多,增产机理各不相同。本文针对致密油藏的储层特征,在油藏条件下,通过纳米表面活性剂体系与原油发生乳化降黏作用,乳化后的液滴粒径处于纳米级[3],使原油具有较好的流动性,降低了乳化堵的风险,对后续原油生产具有一定的优势。

1 地质特征及开发简况

1.1 地质特征

吉林油田致密油藏位于松辽盆地南部,整体为西南倾鼻状构造,主要发育扶余油层,油层顶面埋深为 1 640~2 300 m,地层厚度为 110~130 m,纵向Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ砂组均有油层分布。含油井段长度一般为 40~90 m,区块含油面积为 100 km^2,地质储量为 3 146 万 t,油层埋深为 1 750~2 650 m,储层物性孔隙度为 5%~12%,渗透率 $K<1$ mD,含油饱和度为 35%~55%,油层厚度为 6~20 m。

1.2 开发简况

吉林致密油藏以水平井枯竭式开发为主,平均单井控制储量为 20 万 t,采出程度为 0.47%,剩余油资源丰富,措施挖潜空间大[4]。区块以压裂投产为主,初期依靠天然弹性能量自喷生产,新井初产量高,递减快,液面持续下降,产液能力降低,累产水平未达到效益开发需求。前期开展了不同规模的 CO_2 吞吐技术研究,措施效果未达到预期。

2 材料与实验

2.1 材 料

1)药品及样品:浓度为 0.1%~0.3%的 TY 纳米表面活性剂(以下简称 TY 活性剂);试验区块原油、采出水。

2)仪器:界面张力仪、旋转式油水乳化机、高倍显微镜(200 倍)、恒温水浴、玻璃器皿(配制溶液使用的量筒、烧杯、磨口瓶等)、LA-950 激光散射粒度分析仪、动态驱油装置[5]。

2.2 实 验

2.2.1 乳化实验

1)分别取 100 mL TY 活性剂体系溶液和原油,在 90℃水浴恒温 30 min 后,将 TY 活性剂体系溶液倒入原油中,用搅拌机以 4 000 r/min 高速搅拌 5 min。

于春涛,2004 年毕业于西南石油大学应用化学专业,高级工程师,现在中国石油吉林油田公司油气工程研究院从事油田化学以及气驱吞吐等相关技术研究工作。通信地址:吉林省松原市长宁北街 618 号油气工程研究院油化所,138000。E-mail:yucht@petrochina.com.cn。

2)将搅拌后的原油倒入 60 mL 具塞量筒中[6-7]，放入 90℃水浴，定时观察乳化液/水界面读数，并计算其析水率。同时用显微镜观察乳化液滴。

2.2.2 驱油效率评价

1)制作长度为 22 cm，截面直径为 2.5 cm 的填砂管岩心。

2)岩心用模拟水浸泡后抽空饱和 4 h，取出，用干净的滤纸吸取表面水后称重，并计算其孔隙度。将抽空并饱和的岩心放入岩心夹持器中，接好管线，用手动泵加围压。检查岩心夹持器密封性完好后，用模拟水进行驱替，测其岩心渗透率。

3)饱和原油在储层温度下老化 48 h，先用模拟水进行驱替，测水驱采收率，再注入 TY 活性剂体系溶液 0.5 PV，封闭所有出口端和入口端，在储层温度下放置 4 h 后进行水驱，计算采收率。

3　结果与讨论

3.1 体系原理

TY 活性剂是一种单剂，单剂率达 95%以上，解决了表面活性剂复配使用造成的“色谱分离”问题，可降解，可将岩石表面润湿性变为强亲水且不反转。界面张力达到 10^{-3}～10^{-2} mN/m，与原油接触形成的乳状液可在短时间内破乳，即可通过乳化作用将岩石表面黏附的原油剥离下来，陆续破乳，降低乳化堵的风险，使原油具有较好的流动性。

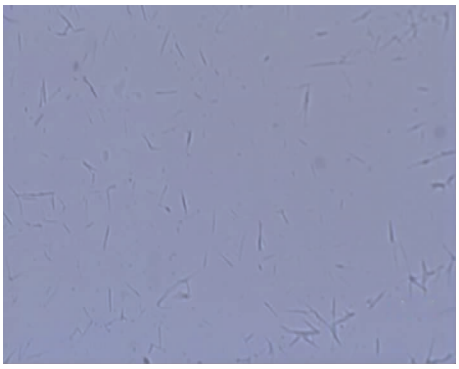
3.2 界面张力

选取试验区原油和采出水，利用超低界面张力仪开展实验。TY 活性剂浓度为 0.1%～0.3%时，界面张力为(0.02～0.03)×10^{-3} mN/m。

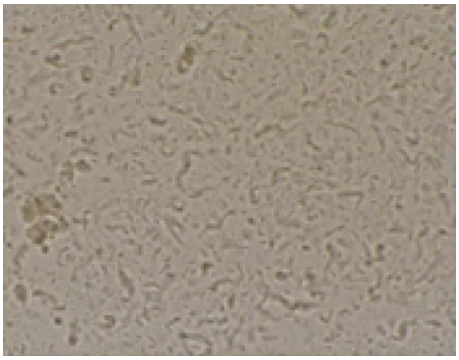
3.3 乳化性能

用 LA-950 激光散射粒度分析仪测试原始 TY 活性剂溶液的粒径为 3～10 nm，原油分子尺寸为 30～50 nm。TY 活性剂体系溶液按一定浓度与原油充分溶解、乳化，用显微镜测其粒径，乳化后直径在 50～100 nm 的液滴占比达 90%以上。粒径微观图像见图 1。

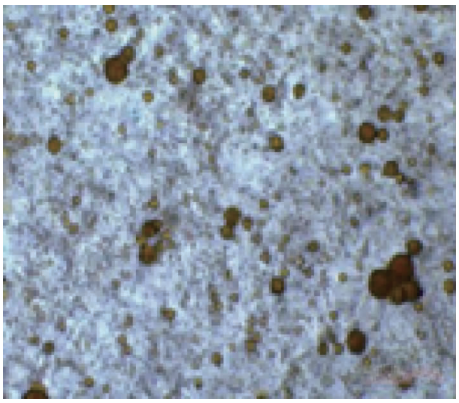
通过观察乳液的析水率评价其乳化及破乳性能。析水率评价实验结果如表 1 所示，乳化后 20～30 min 析水率在 70%以上，60～120 min 析水率大于 90%，说明 TY 活性剂体系与原油接触能够实现乳化，且在短时间内破乳，该体系适合在低渗储层(微观孔喉半径在纳米级别)应用。



(a)TY活性剂溶液



(b)采出原油



(c)微乳状液

图 1　粒径微观图像

表 1　析水率评价实验结果

体系浓度/%	析水率/%				
	10 min	20 min	30 min	60 min	2 h
0.10	48	80	90	95	98
0.20	44	80	90	95	97
0.30	45	70	82	90	90

3.4 驱油效率

TY 活性剂注入体积与驱油效率关系曲线如图 2 所示，随着注入量的增加，驱油效率逐渐增加，注入体

积为 1 PV 时，驱油效率达到 39.7%，说明该体系具有较好的渗吸置换能力，能有效动用储层剩余油，实现增产的目的。

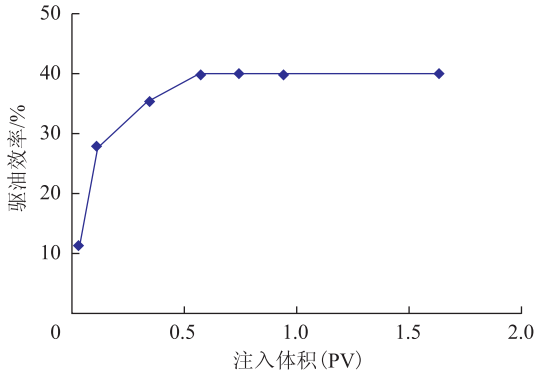


图 2 TY 活性剂注入体积与驱油效率关系曲线

4 现场试验

4.1 试验井基本情况

优选查 X 井开展先导试验。该井 2018 年投入开发，纵向油层厚度为 7.4 m，油层长度为 761 m。初期日产油量为 8 t，目前日产油 0.4 t，产量递减快；累产液量为 14 577 t，累产油量为 1 386 t，返排率为 115%；控制储量为 14.24 万 t，采出程度低，为 0.9%。

4.2 设计及效果

根据油藏厚度及查 X 井基本情况，初步设定该井注入量为 2 200 m^3，TY 活性剂浓度为 0.3%，注入压力为 12～14 MPa，注入速度为 4～5 m^3/h。

该井措施前日产液量为 6 m^3，日产油量为 0.4 t，含水 93.9%。措施后增产效果明显，日产液量大幅度增加，日产油量为 0.4～2.2 t，综合含水下降 13%，措施有效期大于 8 个月，累计增产油量为 445 t，投入产出比大于 1.5，经济效益明显。经测试，采出原油黏度下降 15%，降黏作用明显。查 X 井措施后生产情况见表 2。

表 2 查 X 井措施后生产情况

系列	产液量/t	产油量/t	含水率/%
标定	6	0.4	93.9
1 月	7.3	0.6	90.3
2 月	10.4	1.0	88.4
3 月	19.3	2.0	89.6
4 月	17.6	2.4	86.4
5 月	15.0	2.9	80.7
6 月	13.4	2.7	79.9
7 月	14.0	2.7	80.7
8 月	13.6	2.8	79.4

5 结 论

1)TY 活性剂界面张力可达到(0.02～0.03)×10^{-3} mN/m，乳化粒径为 50～100 nm，随着注入量的增加，采收率逐渐增加，注入体积为 1 PV 时，驱油效率达到 39.7%。

2)乳化后 20～30 min 析水率在 70%以上，60～120 min 析水率大于 90%，说明 TY 活性剂体系与原油接触能够实现乳化，且可在短时间内破乳。

3)TY 活性剂体系与储层微观孔隙结构匹配性能好，为致密油藏后续提高采收率提供了技术支持，具有较大的应用潜力。

参 考 文 献

[1] 胡小冬，唐善法，葛林文，等. 阴离子双子表面活性剂 GA8—4—8 油水界面张力研究[J]. 油气地质与采收率，2011，18(6)：67-69.

[2] 丁伟，李安军，于涛，等. 烷基芳基磺酸盐结构对原油-表面活性剂-碱体系油-水界面张力的影响[J]. 石油学报(石油加工)，2010，26(1)：36-40.

[3] 曹绪龙，马宝东，张继超. 特高温油藏增黏型乳液驱油体系的研制[J]. 油气地质与采收率，2016，23(1)：68-73.

[4] 张朔，蒋官澄，郭海涛，等. 表面活性剂降压增注机理及其在镇北油田的应用[J]. 特种油气藏，2013，20(2)：111-114.

[5] 曹绪龙，赵海娜，马骋，等. 阴阳离子表面活性剂混合体系对原油的乳化及增黏行为[J]. 物理化学学报，2014(7)：1297-1302.

[6] 樊成. 长庆油田超低渗透油藏开发技术研究与应用[J]. 石油化工应用，2009，28(2)：30-35.

[7] 杜玉山，杨勇，郭迎春，等. 低渗透油藏地层压力保持水平对油水渗流特征的影响[J]. 油气地质与采收率，2015，22(3)：72-76.

(收稿日期 2020-03-16)

(编辑 郎延红)