

胜利油区配注污水水质对化学驱效果的影响

丁玉娟

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:胜利油区化学驱单元大多采用污水配注化学剂,配注污水水质对化学驱效果影响较大。在统计胜利油区化学驱历年配注污水水质的基础上,分析了水质对聚合物溶液粘度、表面活性剂油水界面张力的影响。结果表明,化学驱配注污水矿化度和钙、镁离子质量浓度逐年升高,Fe²⁺质量浓度最高达6.6 mg/L,S²⁻质量浓度最高达5.5 mg/L。配注污水水质不达标会导致聚合物溶液粘度降低,钙离子质量浓度为300 mg/L就会导致聚合物溶液粘度下降50%,钙离子质量浓度达到400 mg/L,表面活性剂油水界面张力升高一个数量级;当Fe²⁺质量浓度增大至1 mg/L时,聚合物溶液粘度保留率仅为55%;当S²⁻质量浓度为2 mg/L时,聚合物溶液粘度保留率仅为47.4%。对比2001—2011年胜利油区化学驱矿场应用聚合物溶液粘度与质量浓度发现,配注污水矿化度、钙、镁离子质量浓度逐年升高,水质不合格导致化学剂用量逐年增加。为了保证化学驱效果,必须通过改善配注污水水质减缓聚合物溶液粘度损失、增加表面活性剂界面活性,从而减少化学驱中化学剂用量,降低投资成本。

关键词:配注污水 水质 化学驱 井口粘度 胜利油区

中图分类号: TE357.43

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)03-0066-04

化学驱是确保胜利油区东部产量硬稳定的重要技术手段,胜利油区从20世纪90年代开始化学驱先导试验,到2013年底已经工业化推广聚合物驱29个单元、复合驱17个单元,累积增油量达2 249×10⁴ t。胜利油区淡水资源紧张,油田采出污水外排困难,矿场实施的化学驱多为利用黄河水配制聚合物母液,用处理后的采出污水作为配注污水稀释母液后再注入地层^[1],而配注污水的矿化度、钙、镁离子质量浓度及污水中所含有Fe²⁺和S²⁻等影响了聚合物溶液的粘度、表面活性剂界面活性,导致驱油体系提高采收率值降低,从而影响化学驱矿场增油效果。聚合物溶液粘度影响因素一直是中外研究的热点^[2-3],有关配注污水温度、矿化度、溶解氧含量、pH值对聚合物溶液粘度影响的研究较多^[4-8],其他涉及较少。笔者分析了近年来胜利油区化学驱矿场配注污水水质变化及其对化学驱效果的影响,以期为保证化学驱效果、降低成本提供参考。

1 配注污水矿化度对化学驱油体系性能的影响

化学驱配注污水水质直接影响聚合物溶液粘

度及表面活性剂界面活性。胜利油区实施化学驱单元的配注污水矿化度及钙、镁离子质量浓度较高,并且呈现逐年上升的趋势(图1)。东三联注水站是孤东油田实施化学驱单元配注污水的主要配注污水站,2005年东三联注水站配注污水矿化度为7 273 mg/L,钙、镁离子质量浓度为173 mg/L,到2012年矿化度上升至9 900 mg/L,上涨了36.1%;钙、镁离子质量浓度上升至295 mg/L,上涨了70.5%。孤岛油田孤一联注水站配注污水矿化度由2005年的7 917 mg/L上升至2010年的9 322 mg/L,钙、镁离子质量浓度由140 mg/L上升至193 mg/L。

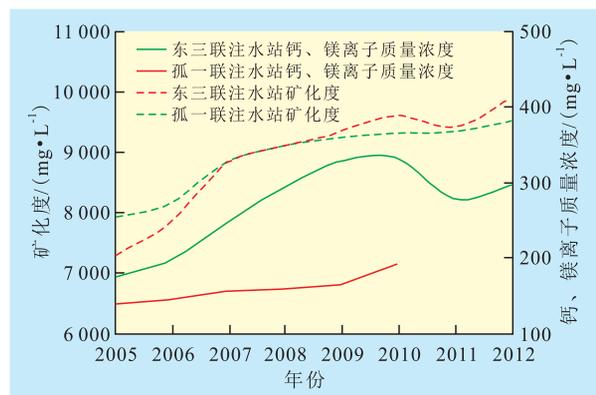


图1 胜利油区配注污水矿化度及钙、镁离子质量浓度变化

收稿日期:2014-03-26。

作者简介:丁玉娟,女,工程师,从事油田注水开发、三次采油技术研究。联系电话:(0546)8715484,E-mail:dingyujuan.slyt@sinopec.com。
基金项目:国家科技重大专项“高温高盐油田化学驱提高采收率技术”(2011ZX05011-004)。

1.1 矿化度对驱油体系的影响

1.1.1 对聚合物溶液粘度的影响

室内实验结果表明:随着配注污水矿化度的增大,聚合物溶液粘度下降;矿化度低于10 000 mg/L时,随着矿化度的增大,聚合物溶液粘度快速下降,粘度保留率仅为61.8%;矿化度高于10 000 mg/L之后,聚合物溶液粘度下降趋势减缓,当矿化度达到40 000 mg/L时,聚合物溶液粘度保留率仅为41.5%。这是由于溶液中的盐中和了部分水解聚丙烯酰胺基团上的电性,随着电性中和程度的增加,基团间的斥力减弱,分子恢复卷曲构象,与溶液接触面积小,故分子间内摩擦力下降,导致溶液粘度下降。

1.1.2 对表面活性剂油水界面张力的影响

目前表面活性剂—聚合物驱被认为是可以较大幅度提高采收率、适用范围广、最具发展前景的技术,在胜利油区得到了广泛应用。表面活性剂具有降低油水界面张力、提高毛管数的特性。目前应用最多的驱油用表面活性剂主要是阴离子表面活性剂(石油磺酸盐、烷基苯磺酸盐等)和非离子表面活性剂。对于复合驱,超低油水界面张力是一项重要的指标^[9-11],而表面活性剂达到超低油水界面张力都有最佳含盐量(矿化度)范围,所以适宜的含盐量对表面活性剂降低油水界面张力是有利的。

从矿化度对磺酸盐表面活性剂油水界面张力的影响(图2)可以看出:矿化度为5 000~30 000 mg/L时,表面活性剂具有较好的界面活性;而当配注污水矿化度低于5 000 mg/L或高于30 000 mg/L时,表面活性剂的界面活性都将降低。目前孤岛油田、孤岛油田、胜坨油田配注污水的矿化度对于表面活性剂降低界面张力都是有利的。

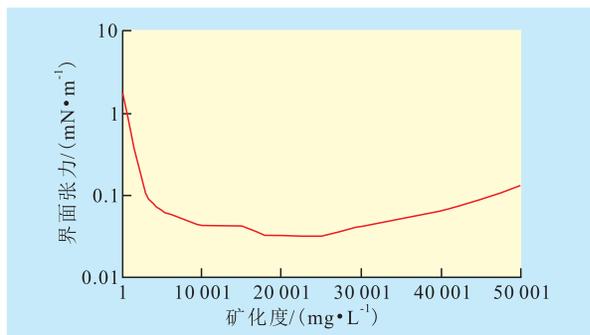


图2 矿化度对磺酸盐表面活性剂油水界面张力的影响

1.2 钙、镁离子对驱油体系的影响

1.2.1 对聚合物溶液粘度的影响

胜利油区配注污水中的钙、镁离子质量浓度较高,且呈逐年上升的趋势,油田应用的聚合物是部

分水解聚丙烯酰胺,其中的酰胺基团在高温下水解成羧基,钙、镁离子与之相互作用会导致聚合物溶液粘度迅速下降^[8]。室内实验研究发现,钙、镁离子对聚合物溶液降粘作用远大于一价阳离子(Na^+),钙离子质量浓度为300 mg/L就会导致聚合物溶液的粘度下降50%。而胜坨油田配注污水中钙、镁离子质量浓度较高,导致目前的化学驱技术难以实现工业化推广应用。

1.2.2 对表面活性剂油水界面张力的影响

胜利油区目前应用最广泛的表面活性剂为石油磺酸盐,它是一种阴离子表面活性剂,容易与配注污水中的钙、镁离子生成沉淀。室内实验证明:随着钙离子质量浓度的增大,石油磺酸盐与原油间的界面张力呈上升趋势,钙离子质量浓度达到400 mg/L界面张力就上升一个数量级,而且溶液中观察到白色絮状沉淀;表明石油磺酸盐与钙离子形成石油磺酸钙沉淀,因电性作用产生聚集形成大颗粒沉淀,从而影响石油磺酸盐的界面活性^[12]。胜坨油田胜二区二元复合驱采用了清水配制母液清水稀释的注入方式,以减少配注污水中钙、镁离子的影响。

2 配注污水水质变化对化学驱体系性能的影响

2.1 配注污水水质变化

胜利油区化学驱配注污水中通常含有较高的 Fe^{2+} 、溶解氧、 S^{2-} 及悬浮物等,化学需氧量(COD)高。由2008—2013年胜利油区配注污水中 Fe^{2+} 、 S^{2-} 变化(图3)可知,不同油田配注污水中 Fe^{2+} 和 S^{2-} 质量浓度差别较大。

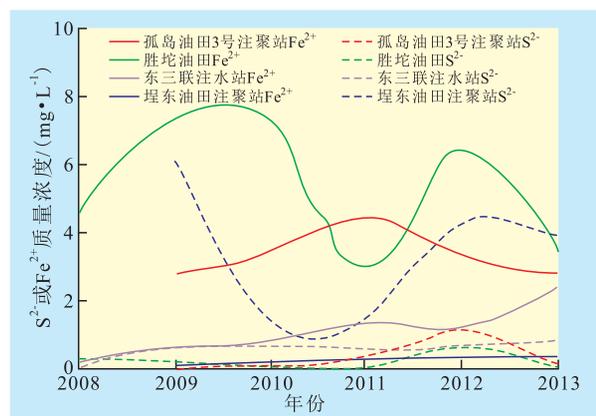


图3 胜利油区配注污水中 Fe^{2+} 和 S^{2-} 质量浓度变化

胜坨油田配注污水中 Fe^{2+} 质量浓度最高,为2.4~6.6 mg/L;其次是孤岛油田3号注聚站配注污水, Fe^{2+} 质量浓度为0~4.08 mg/L;孤岛油田东三联注

水站配注污水中 Fe^{2+} 质量浓度为0.15~2.2 mg/L;埕东油田注聚站 Fe^{2+} 质量浓度较小,但其 S^{2-} 质量浓度高,为1.5~5.5 mg/L,其他3个油田的配注污水中均含有不同量的 S^{2-} ,但质量浓度相对较低。从COD值(图4)看,孤岛油田3号注聚站COD值最高,已超过1 000 mg/L,孤岛油田东三联注水站和胜坨油田COD值超过了500 mg/L,埕东油田注聚站COD值较低。而胜利油区注聚区污水水质标准中要求 Fe^{2+} , S^{2-} 和溶解氧含量都是0,COD值小于500 mg/L^[13-14],因此以上油田大部分时间达不到注水水质标准。

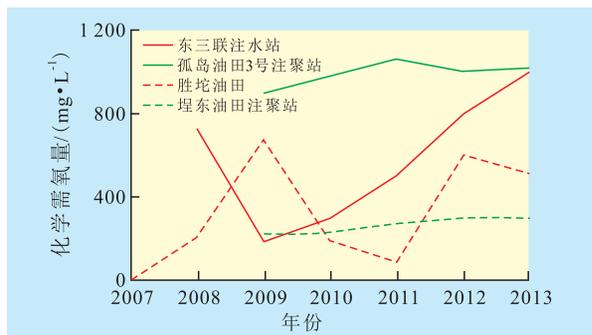


图4 胜利油区配注污水中化学需氧量变化

2.2 配注污水水质对驱油体系的影响

2.2.1 Fe^{2+} 质量浓度对聚合物溶液粘度的影响

通过室内实验研究了 Fe^{2+} 质量浓度对聚合物溶液粘度的影响。结果表明: Fe^{2+} 质量浓度对聚合物溶液粘度的影响较大,随着 Fe^{2+} 质量浓度的增加,聚合物溶液粘度的保留率显著降低;当 Fe^{2+} 质量浓度为0.5 mg/L时,粘度保留率为87%,当质量浓度增大至1 mg/L时,粘度保留率迅速下降,仅为55%。这是由于 Fe^{2+} 能削弱聚合物分子间的排斥力,从而改变聚合物分子的排列构型,在宏观上表现为聚合物溶液粘度的下降。

2.2.2 S^{2-} 质量浓度对聚合物溶液粘度的影响

实验结果表明,当 S^{2-} 质量浓度低于0.5 mg/L时,聚合物溶液的粘度变化不明显;但当 S^{2-} 质量浓度继续增大时,聚合物溶液粘度显著降低,当质量浓度为2 mg/L时,聚合物溶液粘度从初始值29.0 mPa·s下降为13.7 mPa·s,粘度保留率仅为47.4%。这是由于 S^{2-} 具有还原性,与氧作用使聚合物产生了过氧化聚合物,分解导致了自由基链式反应,产生了带有C—C的断链或小分子^[4]。

3 矿场配注污水水质对化学驱井口粘度的影响

孤岛油田孤东七区中Ng4—6、孤东六区西北

Ng5—6和孤东六区Ng3—5这三个单元配注污水均为东三联注水站污水,油层均为馆陶组,油藏条件相似,但化学驱矿场实施时期不同,分别为2001年、2006年和2011年。从孤岛油田不同化学驱单元矿场监测井口粘度(图5)看,化学驱投注时间越晚,井口粘度越小。

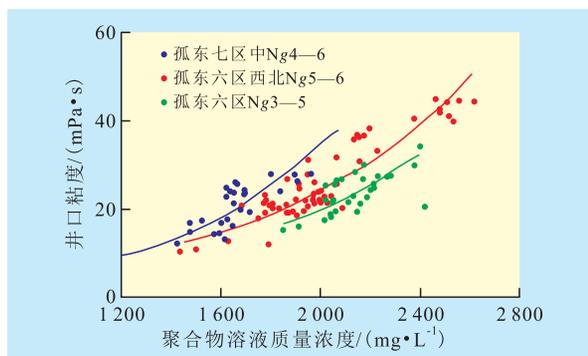


图5 孤岛油田不同化学驱单元井口粘度

聚合物驱合理粘度比为0.06~0.6^[7]。对于孤岛油田化学驱单元,一般要求前置注入段塞井口粘度须达到35 mPa·s,主段塞井口粘度须达到25 mPa·s。孤岛油田化学驱配注污水矿化度逐年升高,对井口粘度造成了较大影响。2001年化学驱单元井口粘度达到35 mPa·s时,聚合物溶液质量浓度只需2 000 mg/L即可,井口粘度达到25 mPa·s则聚合物溶液质量浓度只需1 800 mg/L即可;但是到了2011年,要达到相同井口粘度,聚合物溶液质量浓度则分别上升至2 400和2 200 mg/L。聚合物溶液质量浓度的增加造成了化学驱成本增加20%左右。

配注污水对化学驱油体系的影响大,影响机理也很复杂。对比矿场监测粘度与室内实验结果(图6)发现,矿场实际井口粘度均低于室内实验测试结果,室内配制质量浓度为1 600 mg/L的聚合物溶液其粘度为25 mPa·s,而矿场需要质量浓度为2 000~2 200 mg/L才能达到相同粘度,在同质量浓度下,粘度损失达50%以上,反映了矿场配注污水水质较差,对注入聚合物溶液的粘度产生不利影响。

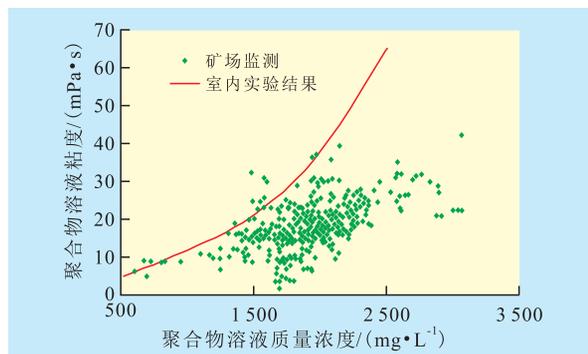


图6 矿场监测粘度与室内实验结果对比

聚合物驱提高原油采收率的主要作用体现在改善流度比和扩大波及体积,因此要保证化学驱矿场实施效果,注入聚合物溶液的粘度达到方案要求是基础。在配注污水水质较差的情况下,若要确保注入聚合物溶液粘度达到方案要求,则须提高聚合物溶液质量浓度,从而造成投资增大,经济效益相对减小;若不增加聚合物溶液质量浓度,则井口粘度达不到方案设计的要求,驱替液与原油的粘度比较小,流度比的改善力度较小,从而影响化学驱的最终驱油效果。

4 结束语

胜利油区化学驱注入水水质逐年变差,矿化度和钙、镁离子质量浓度升高,注入水高矿化度对聚合物溶液有降解作用,钙离子质量浓度为300 mg/L就会导致聚合物溶液粘度下降50%,钙离子质量浓度为400 mg/L表面活性剂界面活性降低,油水界面张力升高一个数量级。配注污水中 Fe^{2+} 和 S^{2-} 质量浓度远远大于标准要求,水质不达标导致聚合物溶液粘度降低,当 Fe^{2+} 质量浓度增大至1 mg/L时,粘度保留率仅为55%,当 S^{2-} 质量浓度为2 mg/L时,聚合物溶液粘度保留率仅为47.4%。

目前胜利油区化学驱单元井口粘度远低于室内实验结果,造成了化学剂的浪费,增大了投资,影响化学驱矿场增油效果。为了保证化学驱效果,必须通过改善配注污水水质减缓聚合物溶液粘度损失、增加表面活性剂界面活性,从而减少化学驱中化学剂用量,降低投资成本,确保化学驱的经济效益。

参考文献:

- [1] 王其伟,陈晓彦,马宝东,等.国内外聚合物驱水质研究概述[J].油气地质与采收率,2002,9(5):54-56.
- [2] 刘雨文.矿化度对疏水缔合聚合物溶液粘度的影响[J].油气地质与采收率,2003,10(3):62-63.
- [3] 袁斌,韩霞.泡沫复合驱污水配注聚合物溶液粘度损失原因及对策[J].油气地质与采收率,2013,20(2):83-86.
- [4] 王其伟. S^{2-} 对聚合物粘度的影响[J].中国石油大学学报:自然科学版,2011,35(2):157-161.
- [5] Shupe Russell. Chemical stability of polyacrylamide polymers [C]. SPE 9299, 2001:934-946.
- [6] 薛新生,周薇,向问陶,等.螯合剂GX对疏水缔合聚合物溶液粘度保留率的影响[J].油气地质与采收率,2011,18(4):50-53.
- [7] 戴涛,朱维耀,王小峰,等.炮眼剪切对注入聚合物溶液粘度影响的数学模型[J].油气地质与采收率,2012,19(2):29-32,36.
- [8] 韩玉贵.解决污水配制聚合物溶液粘度问题的方法探讨[J].油气地质与采收率,2008,15(6):66-70.
- [9] 孙焕泉.二元复合驱油技术[M].北京:中国科学技术出版社,2007.
- [10] Wang Hongyan, Cao Xulong, Zhang Jichao, et al. Development and application of dilute surfactant-polymer flooding system for Shengli Oilfield [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009, 65: 45-50.
- [11] 宋新旺.化学驱中的界面问题[M].东营:中国石油大学出版社,2009.
- [12] 严兰.胜利石油磺酸盐及其复配体系抗盐性能研究[J].精细石油化工进展,2012,13(11):17-20.
- [13] 唐涤,张鉴,王兰生,等.SY/T 5523—2006油田水分析方法[S].北京:中国工业出版社,2006.
- [14] 林永红,张继超,张本艳,等.SY/T 5329—2012碎屑岩油藏注水水质指标及分析方法[S].北京:中国工业出版社,2012.

编辑 经雅丽

欢迎广大科技人员踊跃投稿