

文章编号:1673-5005(2010)02-0078-05

注聚区油井防砂层堵塞原因与解堵措施

刘 东¹, 李 丽¹, 周承诗², 宋金波², 李 琢¹, 王丛丛¹

(1. 中国石油大学 化学化工学院, 山东 东营 257061; 2. 胜利油田 采油工艺研究院, 山东 东营 257000)

摘要:针对胜利油田注聚合物区块油井防砂层的堵塞问题,通过 X 射线衍射、显微观察、激光粒度 and 氧化铝色谱等分析手段,对注聚区油井防砂层注聚前后砂样的形态和表面物种组成进行分析;分析聚丙烯酰胺(PAM)的降解机制,并进行解堵剂的优选。结果表明:造成防砂层堵塞的主要原因是聚丙烯酰胺在砂粒表面的聚集、吸附作用,此外还有地层中矿物质微粒的运移,以及聚合物、原油组分与地层微粒在防砂层共同的作用;优选出的 AY-1 型和 AY-2 型 2 种解堵剂对聚合物的降解效果良好。

关键词:防砂层; 堵塞; 聚丙烯酰胺; 解堵

中图分类号:TE 258.3

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2010.02.016

Plugging mechanism and plug removing of sand control area in polymer injection well

LIU Dong¹, LI Li¹, ZHOU Cheng-shi², SONG Jin-bo², LI Zhuo¹, WANG Cong-cong¹

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

2. Oil Production Technology Institute in Shengli Oilfield, Dongying 257000, China)

Abstract: The plugging of the sand control area in the polymer injection wells was investigated. The sand samples morphologic characteristics before and after polymer injecting and species component on the surface were analyzed by using XRD, microscopic observation, laser particle, alumina chromatographical analysis. The mechanism of the polymer degradation was studied, and the plug removing agent was optimized. The results show that the main reason for the plugging of the sand control area was adsorption, gathering and bridging of PAM on the surface of the sand. Besides, the plugging was also resulted from the migration of the mineral fine particle and the adsorption of the crude oil. Two types of plug removing agent named AY-1 and AY-2 were prepared, and the polymer degradation effects of AY-1 and AY-2 were good.

Key words: sand control area; plugging; PAM; plug removing

采油工艺中,水驱和聚合物驱是两种常用的开发手段^[1-3]。目前,聚合物驱已成为胜利油田稳产的重要支柱技术^[4-6],但科研人员很少研究注聚区油井的堵塞机理及其对防砂的影响和解堵方法等。普通的水力压裂和化学解堵措施存在注入量低、有效期短的问题^[7-11]。笔者通过室内实验和评价,优选效果较好的解堵剂,以延长解堵有效期、减缓注聚井的层间矛盾。

1 实验

1.1 实验方法

对注聚区油井采出水进行紫外-可见光谱分析

和等离子发射分析,确定采出水中的有机和无机成分,然后对注聚区砂样分别进行激光粒度、X 射线衍射(XRD)和显微照片分析,并对砂粒表面吸附物进行族组分分析。随后,在模拟地层条件下,考察所研制解堵剂对聚合物溶液及其凝胶的最佳降解条件。

1.2 实验仪器和试剂

实验仪器有紫外-可见分光光度计(SP-8001PC)、等离子体发射光谱仪(BBT5-700-ES)、激光粒度分析仪(Coulter LS230)、光学显微镜(BH-2)、色谱-质谱仪(GC-17A/QP-500)、XRD 分析仪(D/MAX- γ A 型)、毛细管黏度计、真空干燥箱(ZK-

收稿日期:2009-10-24

基金项目:中国石油科技创新基金项目(2008D-5006-04-03)

作者简介:刘东(1972-),男(汉族),山东广饶人,副教授,博士,研究方向为油田化学和石油与天然气化学及加工。

82A)和电子分析天平(AL204)。

实验试剂为PAM母液(质量分数为 5.50×10^{-3})、PAM凝胶(相对分子质量为1500万)、甲苯(AR)、石油醚(AR)、氧化铝(层析用)、 H_2O_2 (AR)和蒸馏水。

2 实验结果分析

2.1 注聚区采出水

(1)注聚区采出水的紫外-可见光谱分析。将GD6-29-2475井口含油水样过滤得到的采出水,进行紫外吸收表征,考察了 $\pi-\pi^*$ 、 $n-\pi^*$ 跃迁的吸收状况,结果见图1。由图1可以看出,采出水溶液在204 nm处有强的吸收峰,为PAM $n-\pi^*$ 跃迁的吸收带,证明采出水中含有一定的PAM。将采出水溶液用蒸馏水稀释1倍,吸收谱带稍有位移至198 nm,其强度约减小为原来的1/2。采出水的紫外-可见吸收光谱中,没有发现明显的其他有机基团的 $\pi-\pi^*$ 和 $n-\pi^*$ 跃迁的吸收峰。因此,不存在有机物酚、醛与PAM发生交联产生凝胶而堵塞地层的可能性。

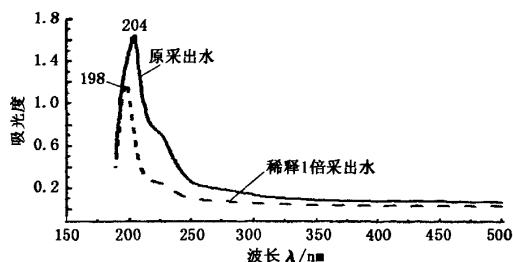


图1 GD6-29-2475井采出水紫外光谱图

Fig. 1 Results of produced water ultraviolet spectral analysis in GD6-29-2475 well

(2)注聚区采出水的等离子体发射光谱(ICP)分析。对GD6-29-2475采出水进行ICP分析,水样中所含的离子为 Ca^{2+} 、 K^+ + Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cr^{3+} 、 Al^{3+} 、 PO_4^{3-} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} ,对应的离子质量浓度分别为159.53, 3 006.64, 25.49, 6.86, 4.02, 2.51, 0.14, 0.76, 2.50, 392.56, 7.83 mg/L。

由此可看出:水样中 Fe^{3+} 质量浓度大于1.0 mg/L,接近引起聚合物絮凝的质量浓度范围,有可能引起聚合物絮凝,形成聚合物胶团在防砂层滞留而堵塞防砂层; Ca^{2+} 质量浓度小于200 mg/L, Mg^{2+} 质量浓度小于100 mg/L,采出水中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+}

不会引起聚合物的絮凝;采出水中的 HCO_3^- 质量浓度较高;硫主要以 SO_4^{2-} 的形式存在,在一定条件下可能与地层中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 形成无机盐沉淀,作为聚合物及有机物的胶核,导致聚合物絮凝或有机物沉积,从而造成防砂层堵塞。

2.2 注聚井砂样的激光粒度分析

图2、3分别为注聚井填充砂和返排沉降砂(返排油水混合物进行分离并对水中悬浮分散的砂粒进行沉降)的激光粒度分布。从图2可以看出,填充砂的粒度在400~1 100 μm ,平均粒径约700 μm ,呈正态分布。从图2和图3的对比分析中可以发现,返排沉降砂中细砂所占比例上升,小于400 μm 的颗粒约占反排砂总体积的10%。由于填充砂不可能在防砂管被粉碎,因此初步分析推断地层中的细砂在PAM的表面作用以及PAM和原油的共同携带作用下,随原油、水以及PAM一起运移到防砂层,并在防砂层中填充砂之间的缝隙里沉积,从而引起防砂层的堵塞。

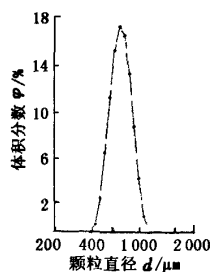


图2 注聚井填充砂的激光粒度图

Fig 2 Results of backfill sand laser particle analysis in polymer injection well

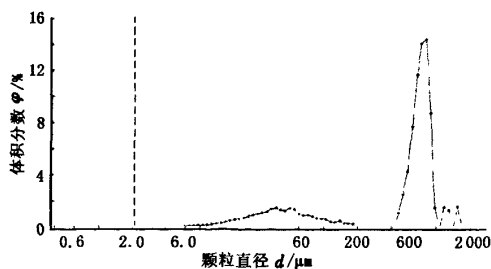


图3 注聚井返排沉降砂的激光粒度图

Fig 3 Results of flowback subsidence sand laser particle analysis in polymer injection well

2.3 注聚井砂样的XRD分析

图4、5分别为注聚井填充砂和返排砂的XRD谱图。注聚井填充砂和返排砂的物料组成见表1。

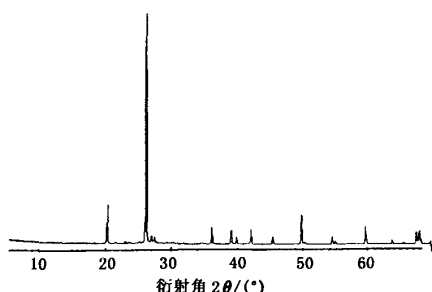


图 4 注聚井填充砂的 XRD 谱图

Fig. 4 Results of backing sand XRD analysis in polymer injection well

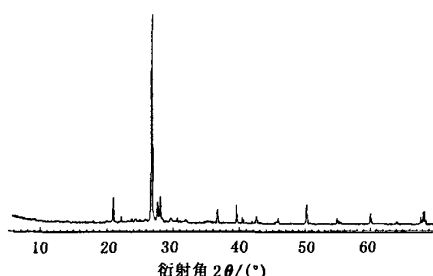


图 5 注聚井返排砂的 XRD 谱图

Fig. 5 Results of flowback sand XRD analysis in polymer injection well

对比填充砂和返排砂的组成可以看出,返排砂

多出了方解石、铁白云石和黏土成分,且多出组分中黏土含量最大,方解石次之,铁白云石最小。说明注聚合物驱的过程中,地层中存在地层微粒由地层向井筒运移的现象。微粒的运移量与地层矿物质对 PAM 的吸附特性有关,微粒可以作为聚合物絮凝的胶核被包裹和缠绕,随地层流体被拖曳到近井地带和防砂层,从而形成堵塞。

表 1 注聚井填充砂与返排砂的物料组成

Table 1 Composition of backing sand and flowback sand in polymer injection well %

成分	石英	钾长石	斜长石	方解石	铁白云石	黏土
填充砂	82	9	9	—	—	—
返排砂	52	16	22	3	1	6

2.4 注聚井砂样的显微分析

对注聚井填充砂、返排冲出砂(冲出成堆砂)、返排沉降砂(在油水混合物中自然沉降)在 80 ℃ 真空干燥后,分别进行了放大 100 倍和放大 400 倍的显微观察,结果见图 6。由图 6(a)可以看出:注聚井填充砂原始砂粒表面光滑,无覆聚物;注聚井冲出砂砂粒表面有少量覆聚物黏附,这些覆聚物或呈胶冻状或成黑色块状黏附在砂粒的表面;注聚井返排沉降砂表面吸附了大量的胶冻状或块状大分子聚合物。

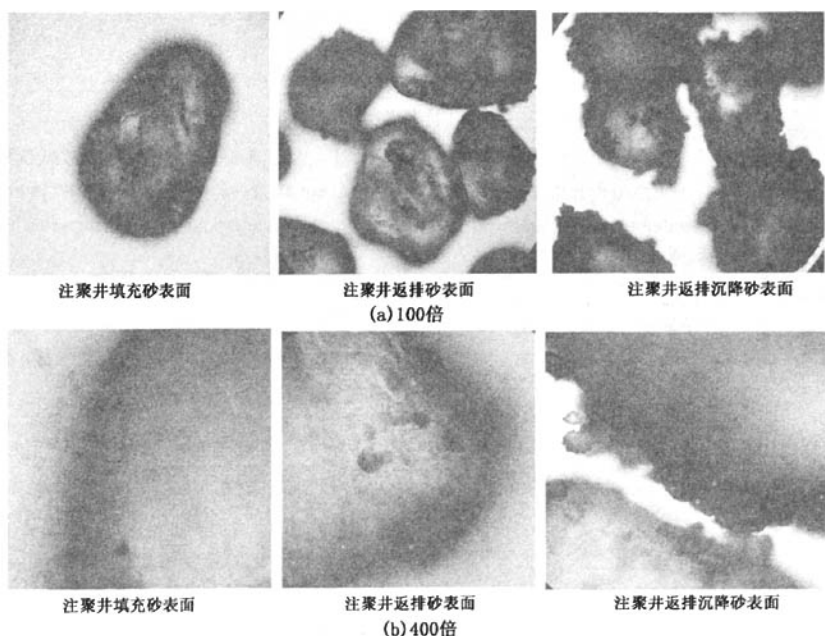


图 6 注聚井填充砂、返排砂、返排沉降砂表面的显微照片

Fig. 6 Microscope photos of surface of backing sand, flowback sand and flowbacksubside sand

由图 6(b)可以看出,返排砂和返排沉降砂的表面都吸附了胶状物质,并且在冲砂过程中不易脱落。

由于胶状物质的吸附使得颗粒之间的孔隙变小,易造成地层或防砂层堵塞。

2.5 注聚井砂样表面覆聚物组成分析

砂粒表面的覆聚物经氧化铝色谱柱进行族组分分离,分析结果表明,饱和分的质量分数为 30.21%,芳香分占 17.32%,胶质占 9.87%,沥青质占 0.49%,柱残余的质量分数为 42.11%。砂粒表面吸附有 PAM,而分离的组分中却未检出 PAM。因此,推测 PAM 可能由于其极性与溶剂的极性不相吻合而残留在色谱柱中。为此,进行了 PAM 在氧化铝色谱柱中分离的空白实验,将 0.1 g 纯的 PAM 在相同条件下进行氧化铝色谱柱分离,采用分离饱和分、芳香分、胶质、沥青质的相同溶剂、相同条件,发现 PAM 由于具有较强的极性几乎完全滞留在氧化铝色谱柱中。因此,可以确定柱残余组分为 PAM。

从实验的分析结果可见,砂粒表面覆聚物(吸附物)中含有大部分 PAM 聚合物以及饱和烃和芳香烃,尤其是 PAM 所占的比例很大,占吸附物总量的 42.1%。由此可以推断,注入聚合物溶液中的 PAM 在与砂粒的相互作用方面起着非常重要的作用,是引起防砂层堵塞的主要原因。

2.6 防砂层解堵剂效果评价

目前广泛采用的解堵剂中,过氧化氢对聚合物的降解效果最好,但由于其稳定性较差,在实际应用中易与地层环境中的弱还原剂(如亚铁离子、硫化氢等)发生反应而失活,从而达不到有效的氧化、降解聚合物及其衍生物的目的。如果遇到酸,还会发生强烈的分解反应迅速放出氧气,造成火灾或爆炸,质量分数超过 10%的 H₂O₂ 运输难度较大。为此,笔者优选和研制出 AY-1、AY-2 两种类型的解堵剂,在实验室模拟地层温度(58 ℃)条件下,对聚合物进行降解,将其降解效果与过氧化氢的降解效果进行了对比。

2.6.1 解堵剂浓度对聚合物溶液降解效果的影响

不同质量分数的解堵剂对 PAM 溶液降黏率的影响见表 2。由表 2 看出:当解堵剂的质量分数为 5% 时,AY-1 与 AY-2 型解堵剂对 PAM 溶液的降黏率几乎相同,均在 90% 以上;当解堵剂浓度为 10% 时,AY-1 比 AY-2 型解堵剂对 PAM 溶液的降解率要大一些,AY-1 型解堵剂的降解率与过氧化氢的相近,且都与 5% 时的降黏率没有明显差别,但此浓度下的 AY-2 型解堵剂降黏率较 5% 时明显下降。

从反应机制上分析,这是由于 AY-1 型解堵剂与引发剂的反应较平缓,活性组分缓慢释放而使 PAM 降解,而 AY-2 型解堵剂浓度较大时与引发剂的反应较剧烈,开始阶段单位时间内产生的活性组分量过大,来不及降解 PAM 而损失,从而导致降解

率下降。

表 2 解堵剂含量对 PAM 溶液降黏率的影响
Table 2 Effects of plug removing agent on viscosity reduction ratio of PAM

解堵剂	降黏率 $\eta/\%$			
	30 min	60 min	90 min	14 h
5% H ₂ O ₂	90.95	94.23	94.78	95.36
5% AY-1	90.40	90.74	91.11	91.72
5% AY-2	90.37	90.58	90.63	90.85
10% H ₂ O ₂	90.25	91.42	93.01	93.65
10% AY-1	90.04	91.03	91.61	92.24
10% AY-2	84.77	86.17	88.36	89.54

注:PAM 质量浓度为 5500 mg/L。

2.6.2 解堵剂浓度对聚合物凝胶降解效果的影响

由于在防砂层中造成堵塞的聚合物浓度较大,甚至是以胶连体的形式存在,为了更好地模拟地层中聚合物造成的堵塞,采用优选出的解堵剂来降解具有相同相对分子质量的聚合物凝胶。将约 1.5 g 的聚合物凝胶(相对分子质量为 1500 万)分别用不同质量分数的各种解堵剂 20 mL 来溶解,置于 58 ℃ 的恒温加热磁力搅拌器中,观察各自的溶解时间,结果见表 3。

表 3 不同质量分数的解堵剂溶解聚合物凝胶的溶解时间

Table 3 Dissolving time of polymer gel with different water block remover mass fraction

解堵剂	溶解时间 t/h		
	5%	10%	15%
过氧化氢	2.5	2.0	2.0
AY-1	4.0	3.5	3.0
AY-2	3.0	2.0	2.0

由表 3 可见:自行研制的 2 种解堵剂均能在 4 h 内将聚合物凝胶完全降解;AY-2 型解堵剂对凝胶的降解效果稍优于 AY-1 型解堵剂,且其降解效果与过氧化氢基本接近。应当说明,由于条件限制,实验选用的凝胶相对分子质量为 1500 万,固体含量为 25%,而在地层中实际造成堵塞的凝胶中 PAM 相对分子质量约为 1500 万左右,而其固含量约为 0.5%,所以本实验所采用的凝胶中 PAM 含量远大于地层中 PAM 的含量。由此可以推断,在大致相同的实验条件下,AY 型解堵剂用于现场防砂层造成堵塞的聚合物的降解时间会更短,降解效果更加理想。

3 结 论

(1) 通过对返排冲出砂和返排沉降砂表面形态和表面吸附物质组成的分析,确定了造成堵塞的主要物质是聚合物,此外还有少量的原油组分。

(2)地层中的矿物方解石、铁白云石和黏土颗粒,在含聚合物溶液的地层流体作用下运移到了防砂层,并在防砂层沉积造成堵塞。

(3)5%的AY-1和AY-2解堵剂对5.500 g/L的聚丙烯酰胺溶液的降黏率均可超过90%,对相对分子质量为1500万的聚丙烯酰胺凝胶降解效果好,明显优于过氧化氢对聚合物的降解效果。

参考文献:

- [1] 张岩,岳峰,汪正勇,等. 聚合物驱解堵增注技术与应用[J]. 海洋石油,2005,25(4):44-50.
ZHANG Yan, YUE Feng, WANG Zheng-yong, et al. Preparation and application of polymer broken down and water injectivity technology[J]. Offshore Oil, 2005, 25(4):44-50.
- [2] 张绍东. 孤岛油田聚合物驱油技术应用研究[M]. 2版. 北京:中国石化出版社,2005:118.
- [3] 郭兰磊,李振泉,李树荣,等. 一次和二次聚合物驱驱替液与原油黏度比优化研究[J]. 石油学报,2008,29(5):738-741.
GUO Lan-lei, LI Zhen-quan, LI Shu-long, et al. Optimization of oil-to-polymer viscosity ratios in the primary and secondary polymer flooding[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(5):738-741.
- [4] 侯健,郭兰磊,元福卿,等. 胜利油田不同类型油藏聚合物驱生产动态的定量表征[J]. 石油学报,2008,29(4):577-581.
HOU Jian, GUO Lan-lei, YUAN Fu-qing, et al. Quantitative characterization of polymer flooding production performance in different reservoirs of Shengli Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(4):577-581.
- [5] 孙焕泉. 胜利油田三次采油技术的实践与认识[J]. 石油勘探与开发,2006,33(3):262-266.
- [6] 李振泉. 胜利油田胜坨一区聚合物驱油的试验进展[J]. 石油炼制与化工,2006,33(3):262-266.
LI Zhen-quan. The progress on polymer flooding test in Shengtuo Oilfield[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2006, 33(3):262-266.
- [7] HOUCHE L R, HUDSON L M. The prediction, evaluation treatment of formation damage caused by organic deposition[R]. SPE 14818,1986.
- [8] VAIDYS R N, FOGLER H S. Fines migration and formation damage:influence of pH and ion exchange[R]. SPE 19413,1992.
- [9] PHILLIP C. Harris and anupom sabhapondit, halliburtonl. Chemistry applied to fracture stimulation of petroleum wells[R]. SPE 120029,2009.
- [10] 王志刚,李爱芬,张红玲,等. 砾石充填防砂井砾石层堵塞机理实验研究[J]. 石油大学学报:自然科学版,2000,24(5):49-51.
WANG Zhi-gang, LI Ai-fen, ZHANG Hong-ling, et al. Experimental study on pore-blocking mechanism in gravel packs of sand control well[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, 24(5):49-51.
- [11] 王建国,吴超. LS生物酶油水井解堵技术及应用[J]. 大庆石油学院学报,2009,33(5):82-85.
WANG Jian-Guo, WU Chao. Research and application on LS biological enzyme blocking removal technique[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2009, 33(5):82-85.

(编辑 刘为清)

(上接第77页)

- [3] 董长银,贾碧霞,张迎春,等. 大斜度井砾石充填机理[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(5):72-76.
DONG Chang-yin, JIA Bi-xia, ZHANG Ying-chun, et al. Mechanism of gravel-packing in highly deviated wells[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2008, 32(5):72-76.
- [4] GRUESBECK C, SALATHIEL W M, ECHOLS E E. Design of gravel packs in deviated wellbores[J]. Journal of Petroleum Technology, 1979,31(1):109-115.
- [5] SHAYOCK S G. Gravel packing studies in a full-scale deviated wellbore[J]. JPT, 1983,35(2):603-609.
- [6] PENBERTHY W L. Gravel placement in horizontal wells[R]. SPE 31147,1995.
- [7] 胥锐一,魏斌,韩德民. 水平井砾石充填防砂模拟研究[J]. 油气采收率技术,1998,5(2):64-68.
XU Rui-yi, WEI Bin, HAN De-min. Simulation of gravel packing in horizontal well for sand control[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 1998, 5(2):64-68.
- [8] 董长银,武龙,王爱萍,等. 基于平衡流速的水平井砾石充填 α 波砂床平衡高度预测与试验[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(5):80-83.
DONG Chang-yin, WU Long, WANG Ai-ping, et al. Prediction and experiment for α wave bed height in horizontal well gravel-packing based on equilibrium velocity[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2009, 33(5):80-83.

(编辑 李志芬)