

LW-1 型增效剂对聚丙烯酰胺水溶液增粘的实验研究*

刘 鹏 黄文庆 党庆功 邝 晶 郑丽娟

(大庆油田有限责任公司第二采油厂 大庆 163414)

摘 要 研究了 LW-1 型增效剂对聚丙烯酰胺水溶液的增粘效果,考察了增效剂含量、溶液中金属离子浓度、剪切强度、聚合物浓度、pH 值对增粘效果的影响.结果表明,增效剂能起到显著的增粘效果,对提高原油采收率具有重大意义.此外,初步分析了 LW-1 型增效剂对聚丙烯酰胺水溶液增粘的可能机理.

关键词 聚丙烯酰胺, 粘度, 降解, 增效剂

聚合物驱油的机理是聚合物溶液具有较高的粘度,降低了水相渗透率,有效地控制了水的流动度,扩大了驱替的波及体积及微观驱油效率,从而达到提高原油采收率的目的.

聚丙烯酰胺水溶液在很低浓度下就能达到很高的粘度,是聚合物驱油的重要成分.但聚丙烯酰胺(PAM)在剪切作用下发生分子主链断裂,导致聚合物分子量的下降和溶液粘度的减小,从而造成聚合物溶液驱油能力的下降^[1].金属离子的存在会加剧上述过程,使 PAM 溶液的粘度急剧下降.为了保证一定粘度,就得加大 PAM 浓度,从而使大量昂贵的 PAM 白白浪费,增加了采油费用,限制了原油的有效开采.

本文针对上述情况,通过实验筛选出一种价格低廉的 LW-1 型聚合物溶液增效剂,它能显著提高 PAM 水溶液的粘度.应用前景和经济性能评价结果表明,在提高 PAM 水溶液粘度过程中,以廉价的 LW-1 型增效剂取代昂贵的 PAM,能产生很大的经济效益.本文对此增效剂对 PAM 水溶液的增粘效果进行了表征,并讨论了相应机理.

1 实验部分

1.1 主要仪器

NDJ-1 型旋转粘度计,上海天平仪器厂生产;
JJ-3 型六连电动搅拌机,上海模具厂生产.

1.2 主要药品

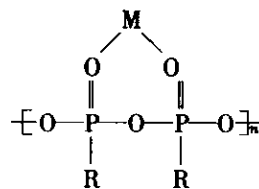
聚丙烯酰胺: $\bar{M} = 17 \times 10^6$ (北京朝阳化工厂),水解度 25% ~ 30%; $\bar{M} = 12 \times 10^6$ (大庆油田助剂厂),水解度 30% ~ 35%, LW-1 型增效剂由实验室合成;油田现场水的总硬度为 60 ~ 80mg/L.

1.3 实验

向现场水中加入一定量的 LW-1 型增效剂溶解均匀后备用.用加入增效剂的水和现场水分别溶解 0.1% (W/W) 的 PAM,在六联搅拌机低速搅拌 2 ~ 4h,溶解均匀后,用旋转粘度计测定粘度,研究 LW-1 型增效剂的增粘效果.

1.4 LW-1 型增效剂的分子结构及机理

LW-1 型增效剂是一种室内合成的具有很强络合能力的络合剂,它能大幅度的降低溶液中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的相对浓度,从而减少 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对溶液中聚丙烯酰胺分子伸展程度的影响;同时,它可以在聚丙烯酰胺分子间产生架桥作用,用以提高聚丙烯酰胺的分子量. LW-1 型增效剂中主剂的分子结构示意图如下:



2 结果与讨论

2.1 金属离子对聚合物溶液粘度的影响

当溶液中含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 等金属离子时,可改变聚丙烯酰胺分子链的聚集状态,由伸展状态转变为卷曲状态,导致其流体力学体积减小,从而引起聚合物溶液粘度的下降,甚至会造成聚合物溶液因相分离而产生沉淀并导致失效.以 Ca^{2+} 为例,用蒸馏水配置成 0.001 mg/L 浓度的聚合物溶液作为原始溶液,研究了 Ca^{2+} 浓度对其粘度的影响,结果如图 1 所示.

在低浓度区,溶液的粘度随 Ca^{2+} 的浓度增加

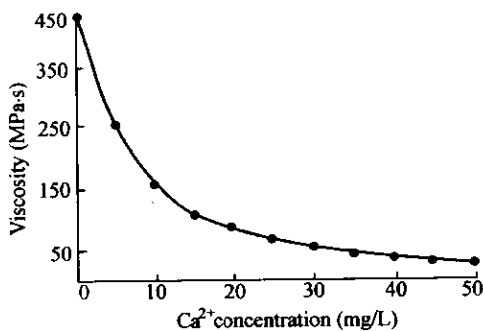


Fig.1 The effect of Ca^{2+} concentration of the viscosity of PAM aqueous solution ($\bar{M} = 17.00 \times 10^6$, $c_{\text{PAM}} = 0.001 \text{ mg/L}$)

急剧下降,这对应着 PAM 在水溶液中聚集状态的显著变化.溶液的粘度在高 Ca^{2+} 浓度内受其影响较小,这可能对应于 PAM 卷曲状态的流体力学体积受 Ca^{2+} 浓度影响不明显.

2.2 搅拌速度对聚丙烯酰胺溶液粘度的影响

聚丙烯酰胺随着 Ca^{2+} 的浓度增大,溶液粘度下降趋势逐渐变缓,分子链在剪切力作用下易发生降解,宏观上表现为粘度下降,PAM 的分子量越大,机械降解越严重^[1].考察了在 150 r/min 和 300 r/min 两个转数下进行溶解相同分子量的 PAM 溶液及增效剂对其粘度的影响,结果如图 2 所示.可见,转数为 300 r/min 配制的 PAM 溶液的粘度较小,意味着 PAM 在高剪切条件下更易降解.增效剂含量在 3~4 mg/L 时,对 PAM 水溶液的增粘效果最明显,粘度可增加近 2 倍,这对于提高聚合物驱油效率具有重要意义.随增效剂用量的进一步增大,粘度趋于一致是由于盐效应作用的结果.

2.3 pH 值对 PAM 溶液粘度的影响

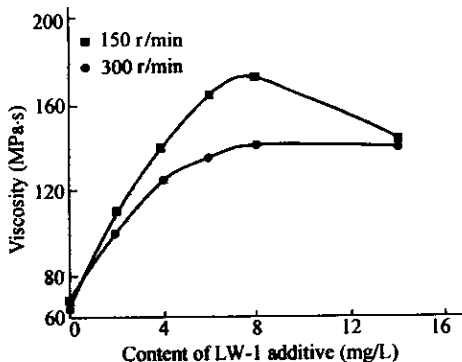


Fig.2 The effect of shear strength on the viscosity enhancement of PAM aqueous solution ($\bar{M} = 12 \times 10^6$, $c_{\text{PAM}} = 0.001 \text{ mol/L}$)

pH 值对水解聚丙烯酰胺溶液粘度影响较大. PAM 分子量越高,水解度越大,pH 值对其影响也越大^[1].考察了 pH = 7.5 和 pH = 6.7 两种情况下 PAM 水溶液的增粘效果,结果如图 3 所示.可见, pH = 7.5 时,PAM 水溶液的粘度比 pH = 6.7 时相应体系的粘度高,这与 PAM 在不同 pH 值下具有不同的聚集态有关.另外,当增粘剂含量在 4 mg/L 时,PAM 水溶液的粘度已增加到趋于恒定,这对于实际应用选择最佳的增效剂含量具有指导意义.两者粘度相差较大.因此现场配制 PAM 溶液时必须考虑配制水的 pH 值对其影响.

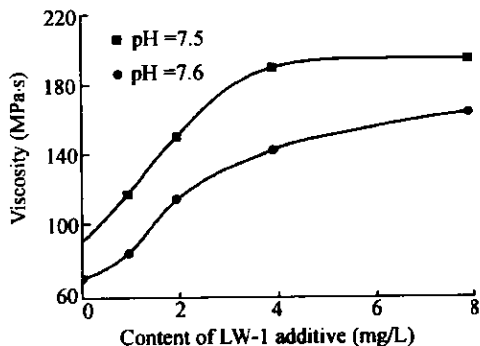


Fig.3 The effect of pH value on the viscosity enhancement of PAM aqueous solution ($\bar{M} = 17 \times 10^6$, $c_{\text{PAM}} = 0.001 \text{ mol/L}$)

2.4 LW-1 型增效剂用量的优选和效果评价

2.4.1 不同聚丙烯酰胺浓度下的增粘效果 由于该增效剂价格远远低于 PAM,因此,以增效剂取代部分 PAM,使 PAM 水溶液仍具有较高粘度,以提高石油采收率,具有极大的经济效益.

考察了增效剂对不同浓度的 PAM 水溶液的增粘效果,图 4 所给出了分子量分别为 17×10^6 和 12×10^6 的两种 PAM 水溶液中,PAM 浓度、LW-1 用量及溶液粘度的关系.

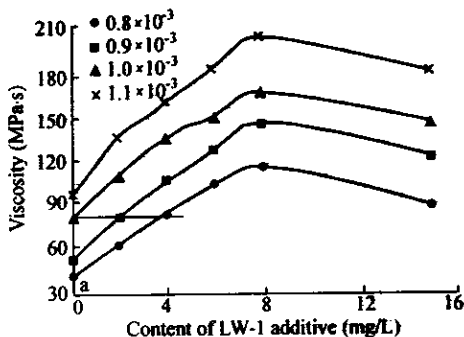


Fig.4a The PAM concentration on the viscosity enhancement of PAM aqueous solution ($\bar{M} = 17 \times 10^6$)

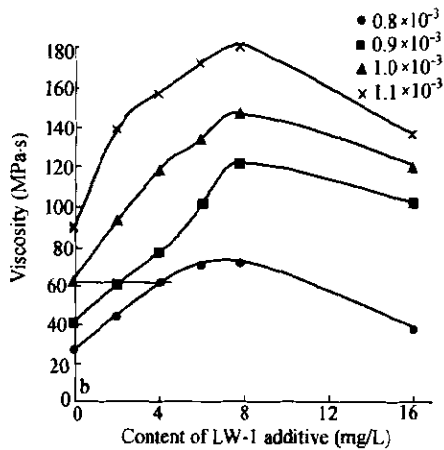


Fig. 4b The PAM concentration on the viscosity enhancement of PAM aqueous solution($\bar{M}_v = 12 \times 10^6$)

由图 4 可以看出,当增效剂用量为 2 mg/L 时, 0.009 mg/L 的 PAM 溶液粘度就与未加增效剂的 0.01 mg/L 的聚合物溶液粘度相当;当增效剂用

量为 4 mg/L 时,0.008 mg/L 的 PAM 溶液粘度与未加增效剂的 0.01 mg/L 的聚合物溶液粘度相当.由此可以得出,当本处理剂用量为 2 mg/L 时,可节省 10% 的聚丙烯酰胺干粉投入量;当增效剂用量为 4 mg/L 时,可节省 20% 的聚丙烯酰胺干粉投入量.

随着增效剂用量增大,PAM 溶液粘度也不断增大.在增效剂用量为 2 ~ 8 mg/L 时,PAM 溶液粘度一直上升,溶液粘度最高可增大三倍.但当增效剂用量超过 8 mg/L 时,溶液粘度开始下降,这主要归于同离子效应.因为大量的增效剂溶于水会释放大量的钠离子,抑制了聚丙烯酰胺分子链上羧基的解离,使伸展的大分子线团收缩,流体力学体积降低,宏观表现为粘度下降.

LW-1 型增效剂对 PAM 水溶液具有优异的增粘效果,能部分取代昂贵的 PAM,降低 PAM 的用量,同时保证 PAM 水溶液具有较高粘度以提高聚合物驱油的采收率.将在实际生产中产生巨大的经济效益.

REFERENCES

1 Yan Ruixuan(严瑞宣). Water-Soluble Polymer(水溶性高分子). Beijing(北京): Chemical Industry Press(化学工业出版社), 1998
2 Davidson R L. Hand Book of Water-Soluble Gums and Resins. New York: McGraw-Hill Book Co, 1980. 2 ~ 7
3 Encyclopedia of Polymer Science and Engineering 2nd. New York: John Wiley & Sons Inc. 1987. 169 ~ 204
4 Hand Book of Chemical Analysis. Beijing: Science Press, 1997

EXPERIMENTAL STUDY ON THE VISCOSITY ENHANCEMENT OF PAM AQUEOUS SOLUTION WITH LW-1 TYPE ADDITIVE

LIU Peng, HUANG Wenqing, DANG Qinggong, KUANG Jing, ZHENG Lijuan
(Oil Production Headquarter , Daqing Petroleum Administrative Bureau , Daqing 163414)

Abstract The viscosity enhancement of PAM aqueous solution with LW-1 type additive was studied. The effect of some variables such as the content of the additive, ion concentration, shear strength, PAM concentration and pH value on the increase in viscosity of the solution was discussed systematically. It was shown that the viscosity could be increased by 2 ~ 3 times when the content of the additive was up to 8 mg/L. Moreover, a probable mechanism of the viscosity enhancement was suggested.

Key words Polyacrylamide, Viscosity, Degradation, Viscosity enhancer