

裂缝型凝析气藏调剖剂成胶性能的影响因素

沈平平¹ 姜必武²

1. 中国石油勘探开发研究院 2. 北京大学地球与空间科学学院

沈平平等. 裂缝型凝析气藏调剖剂成胶性能的影响因素. 天然气工业, 2009, 29(11): 70-72.

摘要 针对裂缝型凝析气藏调剖剂封堵强度不够、调剖深度有限的难点, 通过试验找出了一种新型、性能更加稳定的弱凝胶调剖剂, 该调剖体系形成的弱凝胶稳定性好。在对其成胶性能的研究后认为聚合物浓度、交联剂浓度、温度、pH值和矿化度是影响该调剖体系成胶性能的主要因素; 聚合物浓度增加, 体系成胶时间缩短, 强度增强; 交联剂浓度增加, 成胶时间缩短, 强度增加; 随着温度升高, 成胶时间缩短, 强度增加, 当温度高到一定值时, 弱凝胶强度变弱; 该调剖剂在中性至弱碱性环境下利于成胶; 聚合物分子具有盐敏性, 但矿化度较低时, 矿化度对交联体系成胶时间和强度的影响并不大。

关键词 凝析油气田 裂缝(岩石) 调剖剂 成胶性 浓度 温度 pH值 矿化度 实验

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2009.11.022

0 引言

裂缝型凝析气藏调剖难点主要有两方面: ①调剖剂封堵强度不够。要保证强度就必须使调剖剂以段塞的方式向前推进, 调剖剂要充分占据窜流通道的空间, 并且在调剖剂段塞的前缘也需要有较强的抗稀释性, 还要具有较强的抵抗油污和黏土对封堵强度的破坏能力^[1-3]。②调剖深度有限。为了避免绕流效应和凝析气的气锁效应, 对裂缝型油气藏应该进行深部封堵, 必须解决调剖剂在油气藏中的成胶性能与封堵强度的矛盾^[4-8]。

1 调剖体系的成胶性评价

成胶性是交联聚合物凝胶体系的主要静态性能, 笔者主要研究此性能的影响因素。

1.1 实验材料

笔者提出的调剖体系组成为: YG100——缔合聚合物分子, 为白色固体颗粒; YG102-1——具有氧化性的鲜艳橙红色针状或小粒结晶; YG102-3——具有还原性的结晶粉末; 水——鄂尔多斯盆地某凝析气藏地层水为实验模拟水。

1.2 实验方法

将主剂聚丙烯酰胺(YG100)按实验要求的浓度预先配制溶解好, 交联剂(YG102-1及YG102-3)按一

定浓度预先配制好。实验时取一定量预先溶解好的HPAM溶液于烧杯中, 再按照配方要求分别将交联剂加入, 同时搅拌均匀即形成调剖剂溶液。将调剖剂溶液倒入试管并密封, 放入一恒温水浴中, 记下放入时间, 定期观察溶液的流动情况(用烧杯倒出观察), 溶液不流动时或明显形成具有一定舌长的凝胶时的时间与放入时时间差即为成胶时间。采用德国HAAKE公司生产的RS-150流变仪测定交联体系的表观黏度、黏弹性强度(主要是弹性模量)。

1.3 实验结果

调剖剂的基本组成包括聚合物、复合交联剂两部分, 基本配方优化实验中, 采用模拟水配制调剖剂, 实验优化出调剖剂形成稳定弱凝胶时各组分的最优化浓度, 聚合物浓度、交联剂浓度对调剖体系成胶性能的影响实验结果分别见图1、2、3。

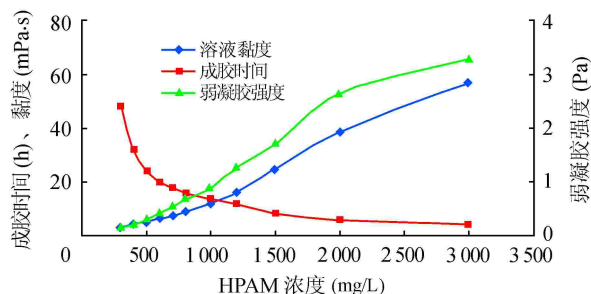


图1 HPAM浓度对调剖体系成胶性能影响图
(温度45℃, 交联剂450 mg/L)

作者简介: 沈平平, 1941年生, 教授; 从事渗流力学、油层物理和提高采收率等的研究工作。地址: (100083) 北京市海淀区学院路20号。E-mail: spp@petrochina.com.cn

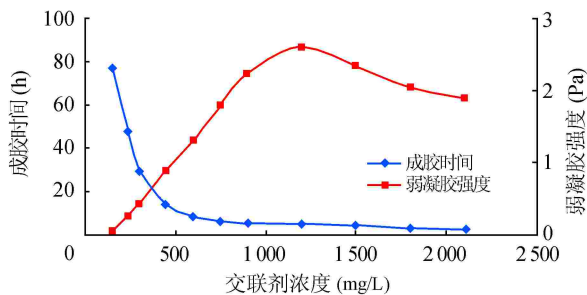


图2 交联剂浓度对调剖体系成胶性能影响图
(温度 45 °C, HPAM 1 500 mg/L)

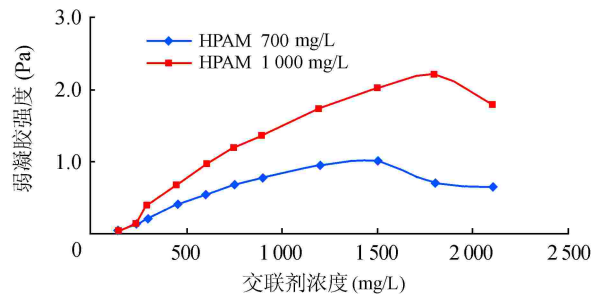


图3 不同聚合物浓度下交联剂浓度对调剖体系弱凝胶强度的影响图(温度 45 °C)

由图1可见,聚合物浓度增加,体系成胶时间缩短。同时形成的弱凝胶强度随着 HPAM 浓度的增加而增强。但当 HPAM 浓度大于 2 000 mg/L 时,虽然凝胶强度增加到 1 Pa 以上(按凝胶强弱分级为较强凝胶),但成胶时间缩短到 10 h 以下,这在大剂量深部处理时易导致前期调剖剂段塞反应太快而使后面的调剖剂注入困难。此外,HPAM 浓度越高,调剖体系溶液越黏稠,配制及注入都相对要困难些。在弱凝胶强度及性能满足作业要求条件下,低浓度可获得较低的成本。但浓度不能低于 400 mg/L,因为 HPAM 浓度在 400 mg/L 以下时弱凝胶强度很弱,稳定 1~2 周后有少量的游离水,但弱凝胶 HPAM 浓度在 500 mg/L 以上时,形成的弱凝胶性能则稳定。

由图2、图3可见,聚合物浓度一定时,交联剂浓度增加,体系成胶时间缩短,形成的弱凝胶强度增加,这是因为交联剂浓度增加,聚合物交联机会及弱凝胶分子间交联密度增加所致。但交联剂浓度过高时,体系形成的弱凝胶反而有所降低,长期放置观测发现弱凝胶不稳定,有轻微脱水现象。这是因为交联剂浓度过高,体系反应形成凝胶后,溶液内部的活性基团与交联剂之间的化学反应仍在进行,这会使凝胶的交联点增加,交联密度增大导致凝胶的分子线团发生收缩,从而出现脱水和破胶现象。同时交

联剂浓度太小时,体系交联不充分或不能有效地进行交联,形成的凝胶太弱或不能形成整体凝胶,用于调剖难以形成有效的堵塞。此外聚合物浓度越高,形成稳定弱凝胶要求的交联剂也相应增加。用于裂缝析气藏调剖作业的弱凝胶,一般要求弱凝胶强度稍高,在 1 Pa 以上。HPAM 在 1 000 mg/L 以上,调剖剂最佳交联剂浓度确定在 450~900 mg/L,该调剖体系形成的弱凝胶稳定,弱凝胶在地层中可移动,从而达到调剖目的。

2 成胶性能其他影响因素

2.1 温度

温度是交联化学反应最敏感因素之一,尤其是对成胶时间的影响。在 HPAM—YG103 弱凝胶交联反应中,过高的温度会使弱凝胶破胶水化,笔者考察了 30~50 °C 条件下调剖剂体系成胶性能的影响。实验中固定交联体系配方,将体系溶液分别置于不同温度的水浴中,定期观测交联体系的成胶时间及形成弱凝胶的强度。实验结果见图4。

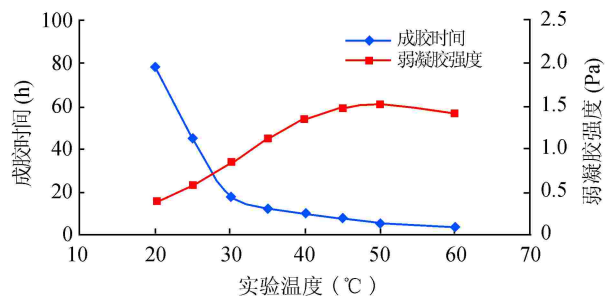


图4 温度对调剖体系成胶性能影响图
(HPAM 1 000 mg/L+交联剂 600 mg/L)

图4表明,随着温度的升高,体系成胶时间缩短,形成的弱凝胶强度增加,但当温度高到一定值时,弱凝胶强度开始变弱。较低浓度调剖剂在 30 °C 条件下,调剖剂体系能够顺利交联,则在油气藏温度条件下其成胶性能不会因温度的限制而受影响。此外该交联体系在室温下亦能形成较好的弱凝胶,因此现场注入时配制好的调剖剂不宜放置时间太长,最好在 48 h 内注入地层,否则调剖剂交联形成弱凝胶后会增加注入难度。

2.2 pH 值

在 HPAM/Cr³⁺ 交联体系中,pH 值对体系溶液是否成胶有着决定性的影响,对 HPAM—YG102-3 交联体系成胶性能影响实验结果见表1、图5。

由表1、图5可见,调剖剂在中性至弱碱性环境

下更利于成胶。随着交联体系 pH 值的增大,成胶时间缩短,形成的弱凝胶强度也有所降低,当 pH 值增加到一定值时弱凝胶开始不稳定。

表1 pH值对调剖体系成胶性能影响表¹⁾

pH 值	成胶时间 (h)	弱凝胶强度 (Pa)	弱凝胶强度描述
10	2	0.098	胶很弱,基本上未形成本体胶
9	4	0.105	弱凝胶很弱
8	14	0.300	标准弱凝胶
7.5	15	0.490	标准弱凝胶
7	15	0.584	标准弱凝胶
6.5	17	0.608	标准弱凝胶
6	18	0.527	标准弱凝胶
5.5	24	0.334	标准弱凝胶
5.0	未胶	—	—
4	未胶	—	—

注:1)温度为45℃;HPAM 700 mg/L+交联剂 450 mg/L。

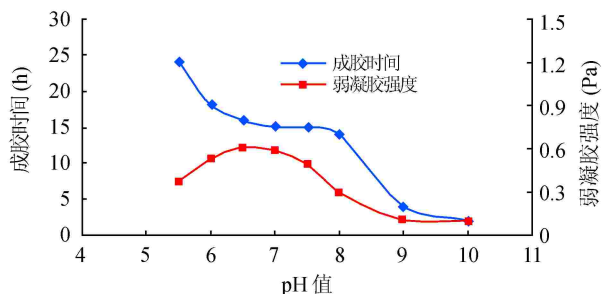


图5 pH值对调剖体系成胶性能影响图
(温度30℃,HPAM 700 mg/L+交联剂 450 mg/L)

pH 值大于9时,体系很快成胶,但弱凝胶又很快破胶失去封堵能力;pH 值小于5时,体系不能形成胶凝;pH 值在6~8范围时,体系形成的弱凝胶稳定,强度及成胶时间都处于理想区域。由于酸碱度对调剖剂成胶时间及强度影响较大,现场施工时需对配制用水进行针对性实验,并对配制用水提出水质要求。必要时需对水质进行处理,以保证体系的有效配伍。

2.3 矿化度

考虑到 HPAM 溶液存在盐敏性,在 HPAM 的交联实验中考察了不同矿化度水质对 HPAM—YG102-3 交联体系成胶性能的影响,实验结果见表2。

由表2可见,当配制水矿化度低于100 000 mg/L时,矿化度对交联体系成胶时间、弱凝胶强度等影响不大;但配制水矿化度大于100 000 mg/L时,矿

化度对调剖剂的成胶性能有较大影响,随着矿化度的增加,交联体系成胶时间延长,弱凝胶强度减低。当矿化度大于100 000 mg/L时,形成的弱凝胶较弱,这是因为 HPAM 分子具有盐敏感性。

表2 矿化度对交联体系成胶性能的影响¹⁾

配制水样	溶液黏度 (mPa·s)	成胶时间 (h)	凝胶强度 (Pa)	弱凝胶描述
某凝析气藏地层水	7.54	15	0.375	标准弱凝胶
6 000 mg/L 矿化水	7.04	15	0.284	标准弱凝胶
10 000 mg/L 矿化水	6.19	16	0.215	标准弱凝胶
100 000 mg/L 矿化水	4.80	19	0.116	弱凝胶较弱

注:1)温度为45℃;交联体系 700 mg/L。

3 结论

1)裂缝发育、注采矛盾突出的凝析气藏具有实施调剖作业的必要性,需结合综合强度、成胶时间等指标,对此类气藏进行深部调剖。

2)聚合物浓度、交联剂浓度、温度、pH 值和地层水矿化度是影响调剖剂成胶性能的主要因素。现场实施调剖施工时需对各因素进行针对性实验,以期达到最佳调剖效果。

参考文献

- [1] 沈平平,袁士义,韩冬,等.中国陆上油田提高采收率潜力评价及发展战略研究[J].石油学报,2001,22(1):45-48.
- [2] 赵福麟.EOR 原理[M].东营:石油大学出版社,2001.
- [3] 白宝君,唐孝芬,李宇乡.区块整体调剖优化设计技术研究[J].石油勘探与开发,2000,27(3):60-63.
- [4] 孔柏岭,孔昭柯,王正欣,等.聚合物驱全过程调剖技术的矿场应用[J].石油学报,2008,29(2):262-265.
- [5] 林梅钦,赵志海,李明远,等.多孔介质表面润湿性对交联聚合物溶液封堵性能的影响[J].石油学报:石油加工,2009,25(1):91-95.
- [6] 胡世强,刘建仪,车朝山,等.气井泡沫排水采气的动态实验分析[J].天然气工业,2008,28(12):83-85.
- [7] 李克华,王任芳,赵福麟.油田堵剂最佳注入时间的研究[J].石油勘探与开发,2001,28(3):75-76.
- [8] 刘翔鸷.我国油田堵水调剖技术的发展与思考[J].石油科技论坛,2004,28(1):41-47.

(收稿日期 2009-10-09 编辑 韩晓渝)