

DOI: 10.3969/J. ISSN. 1000-3754. 2010. 03. 023

新型重复压裂暂堵剂的实验研究

赖南君^{1,2} 徐辉³ 叶仲斌² 陈洪² 贾天泽²

(1. 成都理工大学地质资源与地质工程博士后流动站, 四川 成都 610059; 2. 西南石油大学, 四川 成都 610500; 3. 中石化胜利油田分公司地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 针对重复压裂对暂堵剂封堵性能的要求, 提出了新型暂堵剂的合成方法, 即通过自由基溶液共聚的方法以丙烯酰胺为主要原料, 合成了新型的暂堵剂 CLS-1。并对合成的暂堵剂的封堵强度、承压能力、热稳定性和返排性能进行评价。实验结果显示: 与现场常用的美国暂堵剂 DJ-UN 相比, 同为 10 000 mg/L 的浓度, 在外加环压为 4 MPa 的条件下, CLS-1 与壁面的粘附能力更好, 能够承受 1.5 MPa 的突破压力, 比 DJ-UN 具有更好的封堵能力; 在 60 ℃ 条件下, 其膨胀比为 0.88, 大于 DJ-UN 的 0.6 的膨胀比, 具有更好的稳定性。CLS-1 完全溶解后黏度更小, 更易返排, 是一种性能良好的新型重复压裂暂堵剂。

关键词: 暂堵剂; 重复压裂; 性能评价

中图分类号: TE357

文献标识码: A

文章编号: 1000-3754 (2010) 03-0111-03

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF NEW-TYPE REFRACTURING TEMPORARY BLOCKING AGENT

LAI Nan-jun^{1,2}, XU Hui³, YE Zhong-bin², CHEN Hong², JIA Tian-ze²

(1. Geological Resources and Geological Engineering Post-doctoral Mobile Stations of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 3. Shengli Oilfield Geoscience Research Institute, SINOPEC, Dongying 257015, China)

Abstract: In view of the requirements of plugging performance for the temporary blocking agent applied in refracturing, this paper presents a synthesized method of new-type temporary blocking agent CLS-1, that is, it is synthesized by using the method to copolymerize the free radical solution and taking acrylamide as the main material and evaluates its block intensity, pressure bearing property, heat stability and flow back performance. The results show that CLS-1 agent possesses much better adhesive force and plugging capacity and moreover can stand 1.5 MPa breakthrough pressure by comparing with American temporary plugging agent DJ-UN used in the field under the same concentration of 10 000 mg/L and the externally added annular pressure of 4 MPa. Under the condition of 60 ℃, the expansion ratio of CLS-1 is 0.88, which is better than that of DJ-UN (0.6), so it is more stable. After dissolved completely, CLS-1 has smaller viscosity and is easy to flow back, so it is a new temporary plugging agent with very good performance used in refracturing.

Key words: temporary blocking agent; refracturing; performance evaluation

收稿日期: 2009-12-14

作者简介: 赖南君, 男, 1979年生, 博士, 主要从事低渗透储层保护与开发、油气增产及调剖堵水等研究工作。

E-mail: lainanjun@163.com

随着开发时间的延长, 剩余油分布越来越复杂, 选井选层难度越来越大, 油井压裂井层的条件逐渐变差, 压裂潜力变小^[1-3], 因此要求进一步提高压裂技术水平。水力压裂技术作为油田增产稳产的重要措施之一, 已广泛应用于低渗透砂岩油藏的开发, 产生的人工裂缝具有高导流作用^[4], 然而, 随着生产时间的推移, 支撑剂会破碎、压实及嵌入岩石, 致使裂缝导流能力降低, 甚至失效^[5,6]。近年来兴起的暂堵重复压裂技术的实质是先压开旧裂缝, 随后加入暂堵剂进入并有效封堵一定缝长的旧缝, 在未被封堵的旧裂缝面压开新裂缝以重新构建裂缝泄油体系, 实践证明其增产效果明显^[7]。重复压裂造新缝机理的研究始于 Elbel 和 Mack^[8], 而后众多学者如 Wright^[9]、James^[10]、殷有泉^[11]、刘洪^[12]做了大量研究工作, 取得了较好的成果, 促进和推动了该理论的传播和发展。

暂堵剂是将以前压裂或天然的老裂缝封堵, 再通过重复压裂在不同的方位上压出新裂缝, 以便增加产量, 当新裂缝压裂成功后, 再将老裂缝中的暂堵剂返排(施工后 4 h)出来, 这样新、老裂缝可以同时作业, 增加产量。按照施工要求在注入地层后的 0.5 h, 就要开始实施压裂。因此, 要求暂堵剂在溶解的 0.5 h 后就要产生一定的抗压强度(大于新裂缝的破裂压力), 同时暂堵剂应具有良好的粘附性、良好的抗剪切稀释性(有利于泵入和流动)。通过研究要求堵剂应具有以下基本性能: ① 能有效封堵裂缝; ② 不渗入地层孔隙, 从而不会堵塞岩石孔隙。且要求堵剂有高的强度、良好的黏弹性。

1 暂堵剂的合成

1.1 实验药品

功能单体: AM, 引发剂: BF、CF、DF, 催化剂: EF。

1.2 合成步骤

取 AM 10 g, H₂O 30 g, 尿素 0.4 g, 碳 0.2 g, 加入 1.0% 引发剂 DF 0.2 mL, 在冰箱内冷冻 0.5 h, 取出后迅速加入浓度为 1.0% 的催化剂 EF 0.8 mL, 2.0% 的引发剂 BF 0.8 mL, 0.4% 的引发剂 CF 1 mL, 常温下放置 12 h 后剪碎, 就酒精浸泡 12 h 至其表面成白色。放置真空烘箱内烘干(50 ℃)。

2 性能评价

暂堵剂的性能主要考察其粘附能力、封堵强

度、抗温稳定性及返排性能, 并与美国暂堵剂相比较, 得出其性能特点, 技术指标为:

- (1) 堵剂与裂缝壁面的粘附性强;
- (2) 堵剂强度高, 过 3 mm 左右缝宽可承受强度大于 50 MPa/m, 承压能力和幅度时间可调;
- (3) 具有较好的抗剪切稳定性和热稳定性;
- (4) 在压裂液中具有溶解性, 利于压裂施工作业;
- (5) 返排性能良好。

2.1 粘附能力

实验方法:

- (1) 把人工造缝后岩心缝面清洗干净;
- (2) 取出配制了 2 h 后的暂堵剂颗粒, 将其与砂粒混配均匀;
- (3) 将混配好的暂堵剂与砂粒混合物均匀地覆盖在缝面, 将两半岩心复合起来, 并用胶带缠好;
- (4) 对复合后的岩心放入岩心夹持器中施加一定大小的环压, 在 0.5 h 之后, 取出并分开两半岩心, 观察暂堵剂与岩心的分离过程; 并用掉片法, 测试其分开时的外力大小;
- (5) 记录粘附与剥离情况并分析结论(表 1)。

表 1 承压状态下新型暂堵剂 CLS-1 和美国 DJ-UN 暂堵剂与壁面的粘附性能对比
Table 1 Performance comparison of adhesion to the fracture walls between new-type CLS-1 and American DJ-UN temporary blocking agents under pressure state

样品	浓度 /(mg · L ⁻¹)	环压 /MPa	外力 /N	断裂情况	强度
DJ-UN	10 000	4	3.4	沿缝断裂	外力小于环压
CLS-1	10 000	4	9.7	自身断裂	外力大于环压

由表 1 可以看出, CLS-1 样品在在较大的外力条件下沿自身断裂, 而 DJ-UN 在较小的外力条件下沿缝断裂, 所以新型暂堵剂 CLS-1 粘附能力较好。

2.2 封堵强度

实验方法:

- (1) 将溶胀后的暂堵剂与砂粒按一定配比(2.5: 4)置于所造的人工裂缝中, 并测量裂缝平均宽度后, 装入岩心夹持器中, 加围压 5 MPa;
- (2) 岩心夹持器于 60 ℃ 恒温箱中放置 30 min, 以 60 mL/h 的速度注入清水溶液, 记录注水过程中的压力读数, 观察其压力变化情况;
- (3) 根据压力变化计算暂堵剂的相应强度,

取出岩心并测量裂缝宽度并计算突破压力强度(图1)。

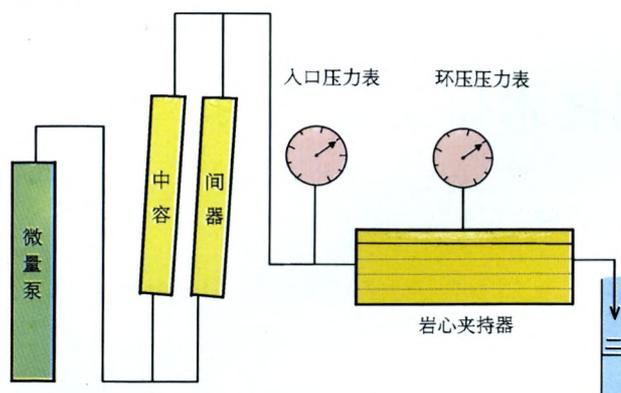


图1 封堵强度评价流程图

Fig.1 Flow chart of blocking intensity evaluation

实验结果:

在 DJ-UN 和 CLS-1 同为 10 000 mg/L 的浓度条件下, DJ-UN 在 0.9 MPa 的压力条件下就已经开始突破, 而 CLS-1 在 1.5 MPa 的压力条件下才开始突破, 因此 CLS-1 具有更好的封堵强度。

2.3 稳定性

实验方法:

- (1) 测量暂堵剂颗粒的原始长度;
- (2) 将与水配好的暂堵剂置于分别置于室温条件下和 60 °C 烘箱中, 间隔一定时间, 测量溶胀后的长度;
- (3) 计算最大膨胀比(表2)。

表2 新型暂堵剂与 DJ-UN 暂堵剂稳定性对比

Table 2 Comparison of stable performances between new-type and DJ-UN temporary blocking agents

样品	长度 /mm					膨胀 倍比
	原始	h 后	2h 后	3h 后	4h 后	
DJ-UN	10	15	16	16	16	0.6
CLS-1	9	13	15	16	17	0.88

实验结果:

从表2中可以看出, 温度对 DJ-UN 样品的膨胀比影响大, 稳定性不如新型暂堵剂 CLS-1。

2.4 返排性能

实验方法:

- (1) 配制暂堵剂溶液: 把 2.5 g 暂堵剂放于 250 mL 水中;
- (2) 将暂堵剂放置于搅拌器中, 搅拌 30 min 后停止, 并开始加温至 60 °C, 从开始搅拌起, 观察其溶解过程, 直至完全溶解;

(3) 用布氏黏度计测量 60 °C 下暂堵剂溶液的黏度。

实验结果:

在 DJ-UN 和 CLS-1 同为 10 000 mg/L 的浓度条件下, DJ-UN 完全溶解后, 其黏度为 95 mPa · s, 而 CLS-1 完全溶解后, 其黏度为 18 mPa · s, 因此 CLS-1 更易于返排。

3 结论

(1) 合成的新型暂堵剂 CLS-1 与裂缝壁面的粘附性强; 堵剂强度高, 承压能力强, 具有较好的热稳定性。

(2) 由于评价工艺的不完善, 需要针对暂堵剂的性能评价进行深入研究, 进一步优化暂堵剂的暂堵方式和暂堵类型, 以达到完善暂堵剂性能要求, 使其成为成熟的暂堵技术。

参考文献:

- [1] 刘端奇, 董伟宏, 王天智. 预测油井压裂潜力的一种新方法 [J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23 (2): 45-46.
- [2] 刘庆荣, 郑晓虎. 提高中含水期油井压裂经济效益的方法 [J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22 (4): 40-42.
- [3] 周学民, 华方奇. 油田老井压裂潜力确定方法研究 [J]. 大庆石油地质与开发, 1998, 17 (4): 27-28.
- [4] Diego R. The optimization of the productivity index and the fracture geometry of a stimulated well with fracture face and choke skins [R]. SPE 73758, 2002: 30-32.
- [5] 吉德利. 水力压裂技术新发展 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 18-20.
- [6] 程远方, 王桂华, 王瑞和, 等. 水平井水力压裂增产技术中的岩石力学问题 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (14): 2463-2467.
- [7] 王永昌. 安塞油田低渗透砂岩油藏重复压裂技术研究 [J]. 石油钻采工艺, 2005, 27 (5): 35-40.
- [8] Elbel J L, Mack M G. Refracturing: observations and theories [R]. SPE 25464, 1993: 20-22.
- [9] Wright C A, Weijers L. Hydraulic fracture reorientation [R]. The Leading Edge, 2001, 20 (10): 1185-1189.
- [10] James R. Hydraulic fracture reorientation: theory, prediction, and application [R]. Austin: University of Texas, 1997: 66-69.
- [11] 殷有泉, 吴向军, 蒋阔, 等. 水力压裂支撑裂缝对储层应力场的影响和重复压裂产生新缝的可能性 [C] // 中国岩石力学与工程学会第五次学术大会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1998: 76-80.
- [12] 刘洪, 赵金洲, 胡永全, 等. 重复压裂气井造新缝机理研究 [J]. 天然气工业, 2004, 24 (12): 102-104.