

# Studying on the Rule of Return Proppant Flowback Law after Fracturing in Mahu Oilfield

Lirong Wang<sup>1</sup>, Ning Cheng<sup>1</sup>, Congping Liu<sup>1</sup>, Jin Chen<sup>1</sup>, Yuan Pan<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Research Research Institute of Engineering and Technology, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay Xinjiang

<sup>2</sup>Branch of the Key Laboratory of CNPC for Oil and Gas Production (Yangzte University), Wuhan Hubei

<sup>3</sup>School of Petroleum Engineering, Yangzte University, Wuhan Hubei

Email: wlirong-kcscy@petrochina.com.cn

Received: Mar. 5<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jun. 12<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

To study the factor of proppant flowback after hydraulic fracturing, a laboratory test was conducted by using fracture simulation device, and orthogonal test analysis method was used to determine the main control factors of the proppant flowback in the process, its critical flow rate was obtained through the simulation of actual reservoir closing pressure. The result indicates that when grain size of the proppant becomes small, fracturing viscosity increases or the sand laying concentration increases, its critical flow rate becomes small gradually, while its closed pressure is in the opposite trend.

## Keywords

Flowback after Fracturing, Flowback of Proppant, Critical Flow Rate

---

# 玛湖油田压后返排支撑剂回流规律研究

王丽荣<sup>1</sup>, 承 宁<sup>1</sup>, 刘从平<sup>1</sup>, 陈 进<sup>1</sup>, 潘 元<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>中石油新疆油田分公司工程技术研究院, 新疆 克拉玛依

<sup>2</sup>中国石油天然气集团公司采油采气重点实验室长江大学分室, 湖北 武汉

<sup>3</sup>长江大学石油工程学院, 湖北 武汉

作者简介: 王丽荣(1968-), 女, 高级工程师, 现主要从事采油方案编制、工程技术研究应用及管理方面的工作。

Email: wlirong-kcscy@petrochina.com.cn

收稿日期: 2019年3月5日; 录用日期: 2019年6月12日; 发布日期: 2019年12月15日

## 摘 要

为研究水力压裂压后返排过程中支撑剂回流的影响因素, 利用裂缝模拟装置进行室内试验, 用正交试验分析方法确定影响支撑剂回流的主控因素, 通过模拟储层实际闭合压力得到在不同流量条件下支撑剂回流的临界流速。试验结果表明: 支撑剂粒径变小、压裂液黏度增大或铺砂浓度增大时, 支撑剂回流的临界流量会逐渐变小, 而对于闭合压力则出现相反的趋势。

## 关键词

压后返排, 支撑剂回流, 临界流速

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水力压裂压后返排过程中往往会发生支撑剂回流。支撑剂回流不仅会使支撑缝长、缝宽和导流能力下降, 影响压裂改造效果, 还会导致井底沉砂堆积掩埋油气层, 冲蚀刺坏地面管线[1] [2] [3] [4], 影响压裂和油气开采工作的顺利进行。

玛湖油田储层致密, 采用水力压裂增产技术进行开发。为确定油井合理的工作制度, 避免支撑剂回流给生产带来麻烦, 针对性地开展支撑剂回流试验研究。

## 2. 支撑剂回流试验

### 2.1. 试验装置及材料

HXDL-2C 型裂缝导流能力评价装置可以模拟 10~120 MPa 闭合压力下的裂缝导流能力, 还能够开展支撑剂回流试验。该装置配有 2 个导流室, 可同时进行 2 路试验, 导流室材料为 Hastelloy, 采用酸作为工作液。系统由导流槽、加热器、液压机、恒流柱塞泵组成, 连同位移和差压传感器、天平形成一套研究评价体系。

试验所使用的 API 导流室由标准导流室改装而成, 将标准 API 导流室出口接头卸下, 更换为回流专用出口接头并连接集砂器即可完成改装。

试验用液体为蒸馏水与胍胶压裂液(胍胶破胶后黏度小于 5 mPa·s)。支撑剂为 40~70、30~50、20~40 目新疆石英砂。

## 2.2. 试验原理

试验旨在模拟裂缝中支撑剂的流动状态, 即压差作用下克服流体摩擦的运动, 根据上述雷诺相似准则, 计算实验室与实际地层裂缝的流量比, 实验室参数与假设地层参数见表 1。

**Table 1.** The parameter table of model and prototype

**表 1.** 模型与原型参数表

类型	高/m	缝宽/m	当量直径/1	流速比/1	流量比/1
实验室模型	$4 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-3}$	0.0089	6.74	0.0015
实际地层原型	30	$30 \times 10^{-3}$	0.06		

## 2.3. 试验方案

试验分为 2 部分, 试验 1~9 为正交试验参数, 研究各变量对支撑剂回流的影响程度排序; 试验 10~21 为现场返排模拟试验。试验参数见表 2。

**Table 2.** The design of test parameters

**表 2.** 试验参数设计

试验序号	闭合压力/MPa	粒径/目	铺砂浓度/(kg·m <sup>-2</sup> )	压裂液黏度/(mPa·s)
1	13.8	20~40	8	1
2	13.8	30~50	10	10
3	13.8	40~70	12	20
4	20.7	20~40	8	10
5	20.7	30~50	10	20
6	20.7	40~70	12	1
7	27.6	20~40	8	20
8	27.6	30~50	10	1
9	27.6	40~70	12	10
10	18	40~70	8	1
11	18	40~70	8	1
12	22	40~70	8	1
13	22	40~70	8	1
14	26	40~70	8	1
15	26	40~70	8	1
16	18	40~70	8	10
17	18	40~70	8	10
18	22	40~70	8	10
19	22	40~70	8	10
20	26	40~70	8	10
21	26	40~70	8	10

## 2.4. 试验过程

模拟试验过程中通过改变压裂液返排速度, 观察显示面板上实际压力的变化判断支撑剂是否发生回流, 具体试验过程: ① 按照压裂液配方, 配制压裂液; ② 将配制好的压裂液, 加入具塞磨口锥形瓶中, 塞紧瓶塞, 放入恒温水浴中(40℃), 测其黏度; ③ 将铺置好支撑剂的裂缝模拟试验装置装载到液压机上, 预先加载一定的压力使其稳定, 连接好管线, 关闭进液阀和出液阀, 打开抽真空阀抽真空, 加载有效应力, 开始试验; ④ 将平流泵的流量设定为 1 mL/min, 开通模型室前后的阀门, 先以小流量将模型室充满压裂液, 模拟施工停泵后压裂液和支撑剂在地层中充满裂缝的实际情况; ⑤ 等裂缝模拟试验装置进口端和出口端的流量相等, 流动稳定时(即认为模型室内已均匀充满压裂液), 拆下抽真空阀, 连上回流出口设备; ⑥ 缓慢增大流量, 观察每一阶段软件操作界面上实际压力与导流室出口集砂器中的变化, 每阶段停留 10 min, 每 30 s 记录一次数据。若两者变化不大则继续增大流量进行试验, 直到实际压力发生突变, 记录数据, 停泵; ⑦ 拆卸模型, 清洗设备, 重新铺置支撑剂, 配制液体, 装载模型室, 改变试验条件, 进行下一组试验。

## 3. 试验结果及分析

### 3.1. 正交试验结果

支撑剂回流试验结果见表 3, 可以看出, 表中各因素对支撑剂回流临界流量的影响程度排序为: 支撑剂粒径 > 铺砂浓度 > 闭合压力 > 压裂液黏度, 闭合压力与压裂液黏度对支撑剂回流的影响程度差别不大。

Table 3. The result of orthogonal test

表 3. 正交试验试验结果

试验序号	闭合压力/ (MPa)	铺砂浓度/ (kg·m <sup>-2</sup> )	支撑剂粒径/ 目数	压裂液黏度/ (mPa·s)	临界流量/ (mL·min <sup>-1</sup> )
1	13.8	8	20~40	1	29.5
2	13.8	10	30~50	10	11
3	13.8	12	40~70	20	4.5
4	20.7	10	20~40	20	12
5	20.7	12	30~50	1	9.5
6	20.7	8	40~70	10	3.5
7	27.6	12	20~40	10	14
8	27.6	8	30~50	20	17
9	27.6	10	40~70	1	8.5
极差	6.7	7.4	13	6.3	

将表 3 中各影响因素的均值绘制成效应曲线(图 1), 可以看出当支撑剂粒径变小、压裂液黏度增大或者铺砂浓度增大时, 支撑剂回流的临界流量会逐渐变小, 对于闭合压力则出现相反的趋势, 压力越高, 临界流量越大。

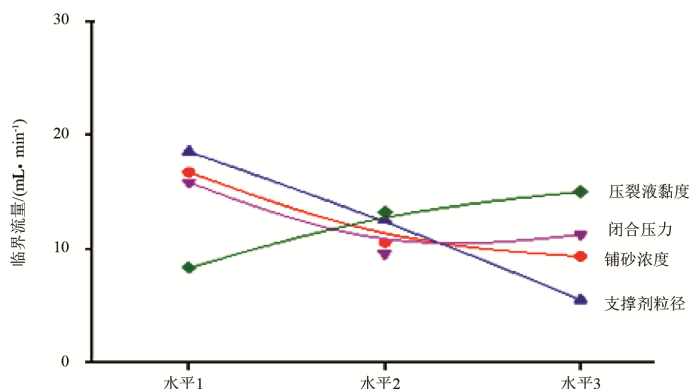


Figure 1. The effect curve  
图 1. 效应曲线图

### 3.2. 现场返排模拟试验分析

设置 2 组试验，10~15 号为黏度为 1 mPa·s 的压裂液，16~21 号为黏度为 10 mPa·s 的压裂液。在不同流量阶段实际压力的变化曲线如图 2 所示。以试验 10 为例，随着压裂液返排流量的增大，实际压力逐渐减小，支撑剂回流量越来越大。当返排流量小于 10 mL/min 时，曲线斜率变化幅度较小，较上一阶段压力减小 7%，当返排流量大于 11 mL/min 时，曲线斜率变化幅度较大，实际压力减小了 20%。由此可以确定返排流量 10 mL/min 为控制支撑剂回流的临界流量。

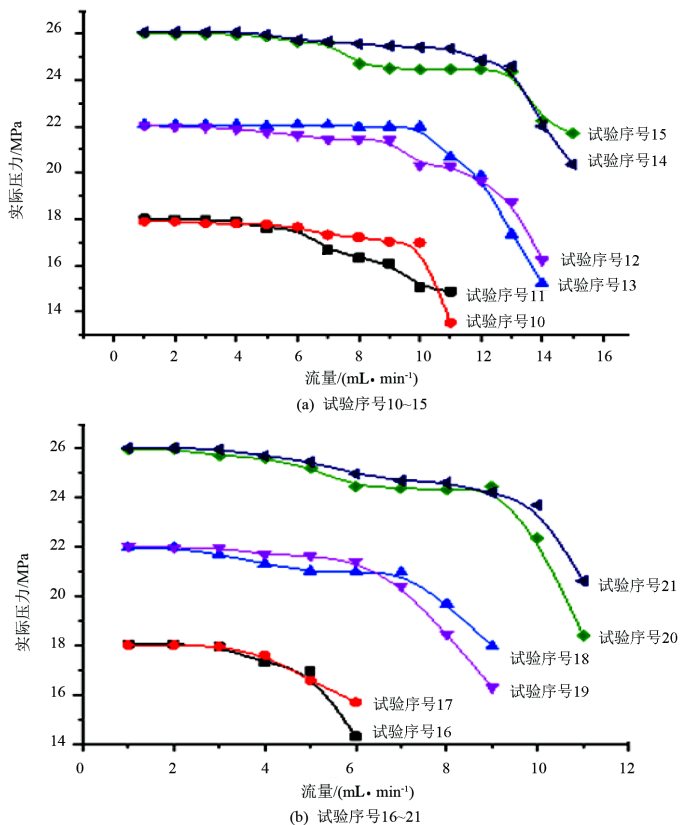


Figure 2. The curve of flow rate and actual pressure changes  
图 2. 流量与实际压力变化曲线

## 4. 结论

1) 室内模拟试验表明, 支撑剂回流临界流量随着闭合应力的增大而增加, 随着铺砂浓度的增大, 支撑剂回流的临界流速减小。

2) 通过现场返排模拟试验得出, 当压裂液破胶后在不同的闭合压力下(18、22、26 MPa)对应的支撑剂临界流速分别为 10、12、14 mL/min, 说明闭合压力变大时支撑剂临界流速随之增大。

## 基金项目

国家自然科学基金“基于 Hybrid 数据的复杂系统辨识与优化设计及在低渗透油井中的应用”项目(61572084); 国家十三五重大专项“CO<sub>2</sub> 驱油藏全生命周期举升工艺及配套技术研究”项目(2016ZX05056004-002); 国家十三五重大专项“准噶尔盆地致密油开发示范工程”项目(2017ZX05070)。

## 参考文献

- [1] 何世云, 陈琛. 加砂压裂压后排液的控砂技术[J]. 天然气工业, 2002, 22(3): 45-46.
- [2] 李勇明, 郭建春, 胡景宏, 等. 裂缝强制闭合时间预测新模型[J]. 油气井测试, 2011, 20(3): 1-3.
- [3] 敬季昀. 水平井压后排液与支撑剂回流控制研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2014.
- [4] 王雷, 文恒. 压裂液返排速度对支撑剂回流量影响实验研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(26): 200-202.

[编辑] 帅群