

# 低渗油藏压裂返排制度优化研究

刘 伟, 史文奇, 曹雪莱, 张启伦, 佟 鑫

冀东油田勘探开发建设监督中心, 河北 唐山

收稿日期: 2026年1月26日; 录用日期: 2026年2月24日; 发布日期: 2026年3月9日

## 摘 要

低渗油藏由于其渗透率低, 流体流动阻力大, 通常需要通过压裂增产措施来提高油井产能。然而, 压裂液的返排问题如果处理不当, 会对油藏造成伤害, 影响压裂效果。因此, 研究低渗油藏压裂返排制度的优化具有重要的现实意义。本文针对低渗油藏压裂后返排过程中存在的问题, 收集典型区块的地质、压裂及生产资料, 通过现场数据分析与数值模拟, 分析影响压后返排效果的因素, 确定合理返排时机, 对停排参数进行合理界定, 对返排制度合理控制优化, 同时建立了适用于冀东低渗储层的合理返排制度图版, 形成了一套适合低渗油藏的压裂返排制度, 并在实际应用中取得了良好效果, 提高了油藏的开发效率和经济效益。

## 关键词

低渗油藏, 压裂, 返排制度, 返排时机, 良好效果

# Optimization of Flowback Management Strategies for Hydraulic Fracturing in Low Permeability Oil Reservoirs

Wei Liu, Wenqi Shi, Xuelai Cao, Qilun Zhang, Xin Tong

Jidong Oilfield Exploration, Development and Construction Supervision Center, Tangshan Hebei

Received: January 26, 2026; accepted: February 24, 2026; published: March 9, 2026

## Abstract

Due to their low permeability and high fluid flow resistance, low-permeability reservoirs usually require fracturing stimulation measures to improve well productivity. However, if the flowback of fracturing fluid is not properly managed, it can cause damage to the reservoir and affect fracturing effectiveness. Therefore, studying the optimization of fracturing flowback management in low-permeability

reservoirs has important practical significance. This paper addresses the problems in the flowback process after fracturing in low-permeability reservoirs. By collecting geological, fracturing, and production data from typical blocks, and through field data analysis and numerical simulation, the factors affecting post-fracturing flowback effectiveness are analyzed, reasonable flowback timing is determined, flowback stop parameters are rationally defined, and the flowback system is properly controlled and optimized. Meanwhile, a reasonable flowback management chart suitable for low-permeability reservoirs in Jidong has been established, forming a set of fracturing flowback management system suitable for low-permeability reservoirs. This system has achieved good results in practical application, improving reservoir development efficiency and economic benefits.

## Keywords

Low-Permeability Reservoir, Fracturing, Flowback Management, Flowback Timing, Good Results

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

在冀东油田低渗透油藏的开发过程中,压裂返排工作制度作为影响油井产量和储层性能的关键环节,其合理性直接决定了压裂效果的有效性。然而,当前的压裂返排工作制度存在诸多不足,主要体现在返排时机选择不合理以及返排速度控制不当等方面。首先,返排时机的选择对压裂后裂缝的导流能力和储层伤害具有显著影响。若返排时机过早,裂缝内的支撑剂尚未充分稳定,可能导致支撑剂回流,从而降低裂缝的导流能力;而返排时机过晚,则可能因储层压力下降过快而导致裂缝闭合,进一步加剧储层伤害。此外,返排速度的控制同样至关重要,返排速度过快可能导致裂缝内流体流速过高,引发湍流效应,进而加剧支撑剂的运移和沉降,影响裂缝的长期稳定性;而返排速度过慢则可能导致储层内流体滞留时间过长,增加储层伤害的风险。这些问题的存在不仅限制了油井产量的提升,还对储层的长期开发潜力造成了负面影响。因此,针对当前压裂返排工作制度中存在的问题进行深入研究,并提出针对性的优化措施,对于改善压裂措施效果和提高油井产量具有重要意义。

## 2. 压后返排现状

### 2.1. 试油井产量情况

通过对油田南堡 2 号构造 10 口井的压裂及生产资料进行分析统计,发现研究区块储层渗透率为 0.1~59.7 mD,孔隙度为 3.3%~21.5%,大部分井为低孔低渗储层,压裂层位主要为东营组(Ed3)和沙河街组(Es31)。研究区共有 9 口井获产(表 1),日均产油量大于 1 m<sup>3</sup>/d 的井有 7 口井,日均产油量大于 5 m<sup>3</sup>/d 的有 4 口井。

**Table 1.** Overview of oil production during well testing in the study area

**表 1.** 研究区试油期间产量概况

井号	层位	日均产油量	日均产油量(万方)	日均产水量
207X3	Ed3	0.87	0.15	17.19
2-49	Ed3	1.32	0	39.03

续表

2-62	Es31	0.15	0	27.63
2-69	Es1	4.06	0	57.56
2-71	Ed3 下	8.75	0	27.11
27-12	Ed3	21.57	2.29	16.44
203X33	Es31	2.51	0	17.92
203X34	Es31	0	0	12.46
207X10	Ed3	16.45	1.43	23.55

## 2.2. 出油井压裂概况

统计分析了南堡 2 号构造 8 口井的压裂施工情况(表 2):

**Table 2.** Fracturing operation parameters of fractured wells in the study area

**表 2.** 研究区压裂井施工参数

井号	层位	累计注入液量	累计注入砂量	施工排量	最高砂浓度
207X3	Ed3	619.69	35.28	3.93~4.91	273.18
2-49	Ed3	726.97	28.37	3.4	190
2-59	Ed3	1049.9	120.17	0.79~8.05	455.39
2-62	Es31	669.22	70.01	1.27~4.2	421.59
2-69	Es1	741.35	80.34	3.93~9.99	527.08
2-71	Ed3 下	914.47	60.04	0.1~4.9	231.21
27-12	Ed3	1735.35	160.64	8~10	632.43
203X33	Es31	548.1	50.4	0.34~6.01	116.58

## 2.3. 支撑剂回流及返排率情况

支撑剂回流是指裂缝中的支撑剂在压裂液的携带作用下,从裂缝中流出井筒的过程,压裂液返排速度越大,支撑剂越容易回流到井筒,回流到井筒的支撑剂越多,对裂缝导流能力影响越严重。研究区压裂井返排模式主要为小油嘴放喷,慢速返排,返排过程中基本不出砂。

## 2.4. 油嘴制度

以 2-49 井为例,本井于 2022 年 9 月 30 日至 2022 年 10 月 22 日进行放喷排液,排液前 9 天采用 2 mm 的油嘴放喷,油压从 23.5 MPa 降低至 10.9 MPa,10 月 9 号更换为 3 mm 的油嘴放喷 3 天,油压从 10.9 MPa 下降至 7.5 MPa,最后 10 月 12 日更换为 4 mm 的油嘴放喷 10 天,油压从 7.5 MPa 下降至 0 MPa。返排期间累计出水 858.57 m<sup>3</sup>,累计出油 29.13 m<sup>3</sup>,无产气,截止到 2022 年 10 月 22 日,最高日产油 3.96 m<sup>3</sup>/d(图 1)。

通过对区块 10 口井进行以上统计分析,发现 10 口井油井返排制度前期主要使用 2 mm 的小油嘴进行慢速排液,随后随着油井压力的降低逐步增大油嘴,多数井的停排时机为油压降低至 0 MPa 时。

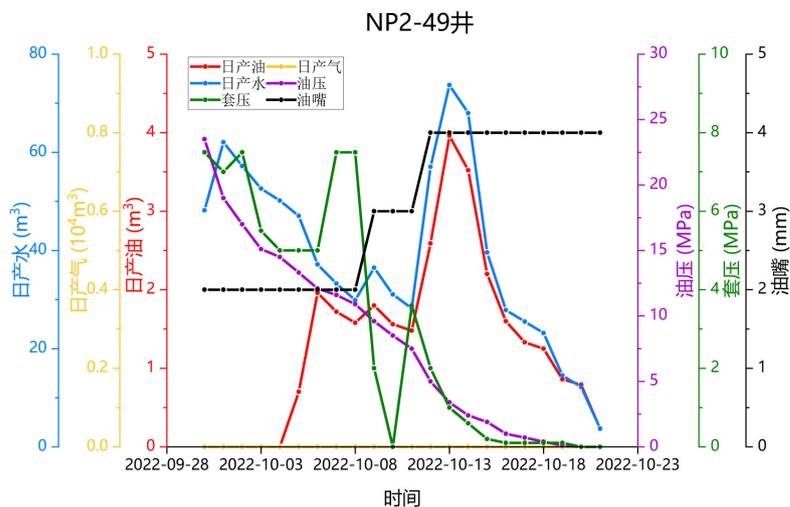


Figure 1. Well testing curve of Nanpu 2-49 well

图 1. 2-49 井试油曲线

### 3. 返排制度对压后效果影响分析

#### 3.1. 油嘴制度对压后效果的影响

##### 3.1.1. 油嘴制度对压后效果影响分析

油嘴的主要作用是调节井口的流体流量和压力，从而影响井筒和储层中的流动状态。油嘴过大可能导致裂缝内流体流速过快，使得裂缝中的支撑剂大量回流至井口，减小了裂缝的有效长度与宽度，甚至导致裂缝闭合，从而影响储层改造的效果。油嘴过小可能导致压裂液返排效率低下，压裂液滞留在地层中造成污染，同时可能导致井底压力降落梯度过小，裂缝远端的流体由于压差过小，不能及时从储层中流出，从而影响后期油气产量。因此根据返排数据分析油嘴制度对返排效果的影响，能够对现场油嘴工作制度调整提供理论依据。Agarwal-Gardner 特征曲线分析是一种用于快速评估气藏或油藏储量、渗透率、表皮和裂缝半长(对于水力压裂井)的方法，其分析的准确性已通过数值模拟证实，且计算相对简便，适合现场应用。

##### 3.1.2. Agarwal-Gardner 典型曲线构成

将无量纲压力的倒数( $1/p_{wD}$ )与无量纲时间( $tD$ )的关系作成无量纲产量递减曲线;无量纲压力导数的倒数 $[1/(dp_{wD}/dlntD)]$ 与无量纲时间( $tD$ )的关系曲线用做类似于不稳定试井中的导数诊断曲线来区分或诊断拟稳态时期和不稳态时期，并求取地层参数。

由于常产量生产条件下的解其实就是不稳定试井的理论基础，因此，Agarwal 和 Gardner 等人的典型曲线没有采用 Fetkovich 的无量纲定义，而是沿用了不稳定试井中的无量纲定义，即：

$$p_{wD} = \frac{Kh(p_i - p_{wf})}{141.2q\mu\mu} \text{ 或 } q_D = \frac{1}{p_{wD}}, \quad t_D = \frac{0.00634Kt}{\Phi\mu c_t r_{wa}^2}, \quad t_{DA} = \frac{0.00634Kt}{\Phi\mu c_t A} \text{ 或 } t_{DA} = t_D (r_{wa}^2/A)。$$

在实际应用中，Agarwal 和 Gardner 等人通过论证和利用单相油气藏模拟，分别将单相油的常流压生产和常产量生产条件下的解作成典型曲线。在不稳态时期，两种生产条件下的解没有很大的区别，但在拟稳态期，差别就很大。常产量条件下解的两组导数曲线在拟稳态期和不稳态期有明显的区别特征，而常流压条件下的解则不然。

流动在不稳态时期和拟稳态时期具有非常明显的区别特征，即：① 在不稳态时期，压力导数特征为

斜率等于-1 的直线，而压力对数导数的倒数则为值等于 2.0 的水平直线；② 在拟稳态时期，则正好相反，压力导数特征为斜率等于 0 的水平直线，而压力对数导数的倒数则为斜率等于-1 的直线；③ 压力导数在拟稳态时期的斜率为 0 的水平直线，其值反映油气藏地质储量的大小。

对于单相的气井，单相油一样，在不稳态期，两种生产条件下解的区别不大，但在拟稳态阶段，两种解的差别比单相油要大得多。这是由于单相气的物性随压力的变化要比油来得大。

然而，当引入拟有效时间  $t_a$  后，由于考虑了气体物性随压力变化的因素，两种生产条件下的解同样可转化成单相油在常产量生产条件下的解。拟有效时间的定义如下：

$$t_a - \frac{1}{q_g(t)} (\mu\mu_g)_i \int_0^t \frac{q_g(t)}{\mu(\bar{p})c_g(\bar{p})} dt = \frac{1}{q_g(t)} (\mu\mu_g)_i \frac{z_i G_i}{2p_i} [\Delta m(\bar{p})] \text{ 其中 } \Delta m(\bar{p}) = m(p_i) - m(\bar{p})。$$

$$\text{上式中，拟压力定义为： } m(p) = 2 \int_0^p \frac{pdp}{\mu(p)z(p)}。$$

$$\text{此时，无量纲压力定义为： } p_w D = \frac{Kh\Delta h\Delta m(p)}{1422Tq_g(t)}。$$

$$\text{而 } \Delta m(p) = m(p_i) - m(p_{wf})，\text{无量纲时间定义为： } t_{aD} = \frac{0.00634Kt_a}{\Phi(\mu c_i)_i r_{wa}^2}。$$

$$\text{无量纲累积产量为： } Q_{aD} = q_D t_{aD} = t_{aD} / p_{wD}。$$

$$\text{或 } Q_{aD} = \frac{4.50Tz_i G_i}{\Phi h r_{wa}^2 p_i} \times \frac{\Delta m(\bar{p})}{\Delta m(p)}，\text{ } Q_{DA} = Q_{aD} (r_{wa}^2 / A)。$$

上述式中，A 为油气井控制的油气藏面积，ft<sup>2</sup>。

### 3.1.3. 计算裂缝半长

将井的返排数据处理后与 Agarwal-Gardner 特征曲线拟合，计算出裂缝半长，判断返排油嘴制度对后期产量的影响，具体参数见表 3。

**Table 3.** Calculated effective fracture half-length in the study block  
**表 3.** 研究区块计算有效裂缝半长表

井号	有效裂缝长度(m)
2-49	90.3
2-59	132.9
2-69	138
2-71	70.5
27-12	100.2
203X33	72.9
207X10	18.3
27-17	75.3
207X4	79.5
207X17-1	54.6

以 2-49 井为例，本井先采用的油嘴制度 2 mm-3 mm-4 mm，将 2-49 井的返排数据处理后在 Agarwal-

Gardner 图版上进行拟合, 拟合结果显示, 当使用 2 mm 的油嘴进行返排时, 曲线斜率较小, 井筒到油藏边界的距离与裂缝半长的比值  $re/xf$  为 50, 当油嘴增大至 4 mm 时, 曲线斜率增大,  $re/xf$  减小至 1.0, 说明裂缝半长增加。运用此方法分析了 2-49、2-59 等 10 口井油嘴制度对裂缝半长和产量的影响。通过 Agarwal-Gardner 特征曲线分析, 发现油嘴直径的变化对裂缝半长有显著影响。在过渡流阶段, 逐步增大油嘴直径可以有效增加有效裂缝长度, 从而提高油井的产量。然而, 当返排进入拟稳态流阶段后, 增大油嘴直径对裂缝长度的贡献逐渐减小。同时从计算结果看, 该区控制裂缝普遍偏短。

### 3.2. 返排时机对压后效果的影响

返排时机的选择直接影响压裂施工的效果及储层的长期生产能力。过早进行返排会导致支撑剂回流, 从而影响裂缝导流能力, 并可能引发裂缝闭合不完全。此外, 过早返排还可能导致裂缝壁面应力集中, 增加裂缝扩展方向的不确定性, 进一步削弱裂缝的导流能力。相反, 返排过晚则会造成压裂液在储层中滞留时间过长, 从而引发储层伤害。压裂液中的化学物质可能与储层岩石发生化学反应, 生成沉淀物或改变孔隙结构, 导致储层渗透率下降。

### 3.3. 停排参数与产量关系分析

停排参数(如停排时间、停排压力等)对油井产量具有重要影响, 其合理设置对于稳定产量和提高压裂效果至关重要。停排时间是指返排过程中暂停流体流动的时间间隔, 其主要作用是使支撑剂在裂缝内充分沉降和稳定分布, 从而提高裂缝的导流能力。然而, 停排时间过长可能导致压裂液在储层中滞留, 增加储层伤害的风险; 而停排时间过短则无法保证支撑剂的充分沉降, 影响裂缝的长期稳定性。停排压力则是另一个关键参数, 其大小直接影响裂缝的闭合程度和流体流动状态。通过对冀东油田实际生产数据的统计分析发现, 停排时间与油井初期产量之间存在显著的正相关性, 但超过一定阈值后, 停排时间的延长对产量的提升作用逐渐减弱。类似地, 停排压力的优化设置能够在保证裂缝导流能力的同时, 最大限度地减少储层伤害, 从而实现产量的稳定增长。

## 4. 返排制度的优化策略

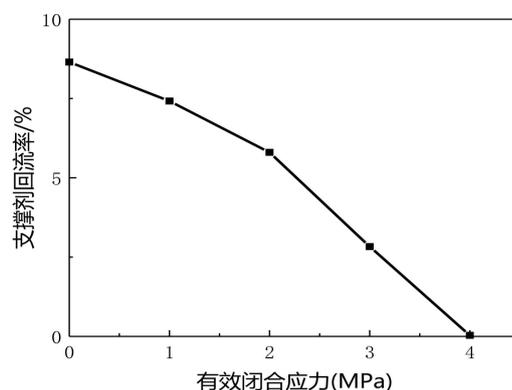
### 4.1. 合理返排策略制定

#### 4.1.1. 合理返排时机的确定

合理返排时机的确定是压裂返排制度优化的核心环节之一, 其关键在于综合考虑储层特性与压裂施工参数的影响。返排时机过早可能导致支撑剂回流加剧, 从而降低裂缝导流能力; 而返排时机过晚则可能引发储层伤害, 影响油井长期产量[1]。支撑剂回流实验表明(图 2), 随着作用于支撑剂的有效闭合应力增大, 支撑剂的回流量逐渐减少, 有效闭合应力增加, 支撑剂颗粒间的摩擦力增大, 支撑剂排列趋于稳定, 在相同压裂液返排速度下支撑剂回流量得到有所减少。当闭合压力等于 4 MPa 的时候, 导流槽基本不出砂。

因此, 在制定返排时机判断准则时, 需结合储层的渗透率、孔隙度以及压裂液的性质进行系统分析。对于低渗透油藏, 由于储层基质渗透性较差, 压裂液滤失速度较慢, 应适当延迟返排时间以确保裂缝内流体充分排出[2]。此外, 压裂施工参数如注入排量、施工压力等也对返排时机具有重要影响。高注入排量条件下形成的裂缝宽度较大, 流体分布更为均匀, 因此可适当提前返排以避免裂缝闭合过早。在实际应用中, 返排时机的选择还需考虑储层流体性质及压裂液的破胶性能。压裂液的破胶程度直接影响返排效果, 若破胶不完全, 则可能导致流体粘度过高, 增加返排难度[1]。因此, 建议在施工后通过实时监测压裂液的破胶状态, 结合储层压力恢复曲线, 综合判断最佳返排时机。同时, 针对不同储层条件, 可采用分级返排的方式, 即根据裂缝内流体分布特征, 分阶段调整返排时机, 以实现最优的返排效果[3]。通

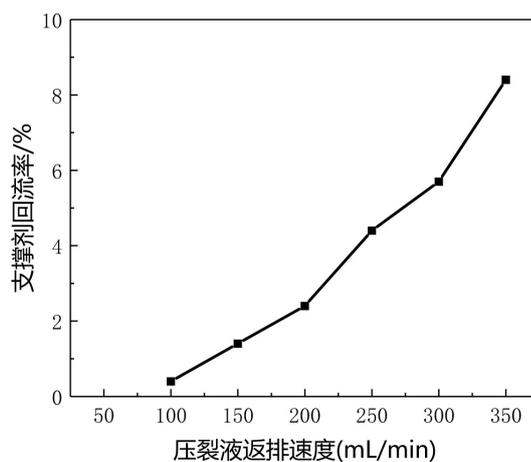
过上述方法,不仅可以有效减少支撑剂回流,还能最大程度地保护储层,为油井长期稳产奠定基础。



**Figure 2.** Total proppant flowback volume under different effective closure stresses  
**图 2.** 不同有效闭合应力下支撑剂总回流量

#### 4.1.2. 返排速度控制策略

返排速度的控制是压裂返排制度优化中的另一重要环节,其合理范围取决于裂缝形态、储层流体性质以及施工参数等多方面因素。研究表明,返排速度过快可能导致裂缝内流体压力骤降,进而引发裂缝闭合过早,影响裂缝导流能力;而返排速度过慢则可能导致压裂液滞留时间过长,增加储层伤害风险[2]。因此掌握压裂液返排速度对支撑剂回流量的影响规律对于设计返排参数、提高压后效果有着重要指导意义。支撑剂回流实验结果表明,随着返排流速的逐渐增加,支撑剂的回流量逐渐增加(图 3)。压裂液返排速度以 300 ml/min 为界限,返排速度低于 300 ml/min 时支撑剂回流量随压裂液返排速度增加较慢;而当返排速度高于 300 ml/min 后,支撑剂回流量增加明显加快。



**Figure 3.** Sand production effect diagram under different flowback rates  
**图 3.** 不同返排流速下的出砂效果图

在具体实施过程中,返排速度的控制可采用分段调控的方式,即根据裂缝内流体分布特征及储层压力变化,分阶段调整返排速度。初期返排阶段,由于裂缝内流体压力较高,可采用较低的返排速度,以减少流体压力骤降对裂缝稳定性的影响;中期返排阶段,随着裂缝内流体逐渐排出,可适当提高返排速度,以加快压裂液的排出效率;后期返排阶段,则应进一步降低返排速度,以确保裂缝内流体的完全排

出，避免残留液体对储层造成二次伤害[2]。此外，还需结合储层流体性质进行调整，例如对于高粘度原油储层，返排速度应适当降低，以防止流体携带支撑剂回流至井筒，影响油井生产[4]。通过上述策略，可有效避免返排速度不当对油井产量造成的负面影响，同时提高压裂改造效果。

### 4.1.3. 停排参数界定标准

停排参数的合理界定是保障油井长期稳产的关键因素之一，其核心在于综合考虑裂缝闭合压力、储层压力以及流体分布特征等多方面因素。对于低渗透油藏，由于储层压力恢复速度较慢，应适当延长停排时间，以确保裂缝内流体压力与储层压力达到平衡状态，从而减少裂缝闭合过程中的应力集中现象[5]。

此外，停排压力的确定同样至关重要。停排压力过高可能导致裂缝内流体无法完全排出，增加储层伤害风险；而停排压力过低则可能引发裂缝过早闭合，影响裂缝导流能力[5]。因此，建议通过实时监测裂缝内流体压力变化，结合储层压力恢复曲线，综合判断最佳停排压力。在实际应用中，可采用分级停排的方式，即根据裂缝内流体分布特征，分阶段调整停排压力，以实现最优的停排效果。例如，在初期停排阶段，可适当提高停排压力，以减少裂缝内流体压力骤降对裂缝稳定性的影响；在后期停排阶段，则应逐步降低停排压力，以确保裂缝内流体完全排出，避免残留液体对储层造成二次伤害。通过上述方法，可有效保障油井长期稳产，同时提高压裂改造效果。

### 4.1.4. 返排工作制度控制决策流程图建立

根据返排控制研究，获得了以下返排工作制度控制决策流程图(图 4)。其流程包括记录井口数据，分析流量、缝长、出砂等情况，进一步根据研究图版调控返排流速。最终根据实际返排情况判定停排时机。

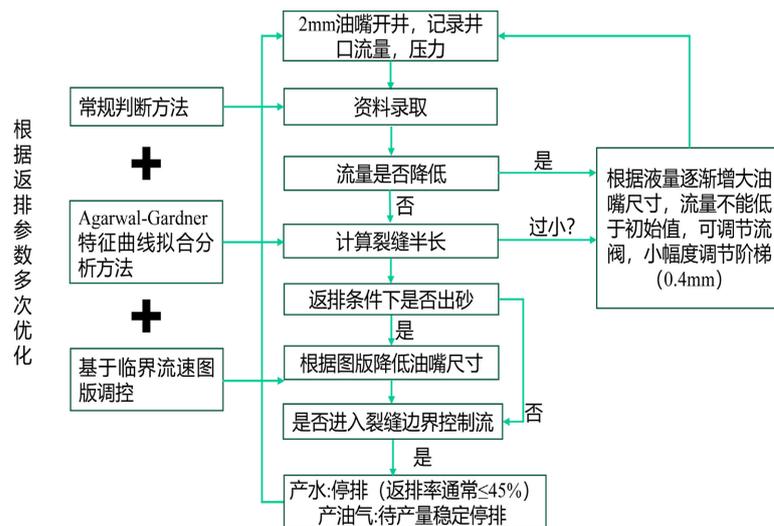


Figure 4. Decision flowchart for flowback operation regime control  
图 4. 返排工作制度控制决策流程图

## 4.2. 压裂返排参数资料录取建议

### 4.2.1. 返排过程资料录取

在压裂返排过程中，准确录取关键资料是评估返排效果和优化返排策略的基础。在录取项目方面，建议重点监测裂缝内流体压力、温度、粘度以及支撑剂分布等关键参数，以全面掌握返排过程中的流体动态变化[2]。例如，通过安装井下压力计与温度计，可实时获取裂缝内流体压力与温度数据，为返排时机与速度的调整提供科学依据；通过取样分析压裂液的粘度与破胶状态，则可评估返排效果并优化返排

策略[4]。具体而言,返排压力的监测应采用高精度传感器,并以每分钟一次的频率记录数据,以便捕捉压力变化的细微特征。流量数据的录取则需使用经过校准的流量计,每10分钟记录一次,以确保数据的准确性。此外,流体性质的检测应重点关注压裂液的破胶程度、含砂量及化学成分变化,这些信息可通过现场取样并结合实验室分析获得。为了进一步提高资料录取的质量,建议在返排初期采用较高的录取频率,随着返排过程的推进逐渐降低频率,但仍需保持足够的精度以满足分析需求。通过系统化的资料录取,可以为后续数值模型的构建和返排策略的优化提供坚实的数据支持。

#### 4.2.2. 后期生产资料跟踪

后期生产资料的持续跟踪是评估压裂返排效果和优化开发方案的重要环节,其主要内容包括产量、含水率、地层压力等关键指标的监测[5]。产量的变化能够直观反映返排策略对储层改造效果的影响,因此需每日记录油井的日产油量和日产液量,并结合累积产量数据进行趋势分析。含水率的监测同样至关重要,其变化趋势不仅能够揭示储层的动用情况,还可为后续调整开发方案提供依据。此外,地层压力的定期测量有助于评估储层的能量恢复状况,建议每季度进行一次压力测试,并结合数值模拟结果进行对比分析。通过系统化的后期生产资料跟踪,可以及时发现潜在问题并采取措​​施加以解决,从而为油田的高效开发提供有力保障。

### 5. 结论及建议

(1) 通过引用 Agarwal-Gardner 特征曲线,分析了南堡 2-49、南堡 2-59 等 12 口井油嘴制度对裂缝半长和产量的影响。通过 Agarwal-Gardner 特征曲线分析,发现油嘴直径的变化对裂缝半长有显著影响。在过渡流阶段,逐步增大油嘴直径可以有效增加有效裂缝长度,从而提高油井的产量,然而,当返排进入拟稳态流阶段后,增大油嘴直径对裂缝长度的贡献逐渐减小。

(2) 目前油田压后返排过程中通常采用 2 mm 油嘴长时间控压返排,返排控制裂缝短,部分井压力落 0,控制裂缝变短,研究区压裂井裂缝普遍偏短。

(3) 油嘴逐级增加,控制裂缝逐级变长,更有利于清井,建议采用更平缓的油嘴增加模式,如国外的 1/64 英寸的逐级增加。

(4) 由于地层条件和压裂本身影响,控制裂缝长度增加的油嘴尺寸不一样,建议采用逐步增加的模式,避免压裂液长期滞留增加储层伤害。

(5) 建立了采用常规判断、Agarwal-Gardner 特征曲线结合临界流速图版调控的决策流程图,以获得最大控制裂缝长度为目标,建议采用可调节流阀,小幅度多次调节油嘴。

(6) 建议重点井开展返排精细管理,采用高精度压力和产量记录设备,开展实时评价,实时调整油嘴,强化返排效果。

### 参考文献

- [1] 王海考,王淼,于忠良,余成林,尹艳树.游荡型辫状河沉积特征及沉积相模式[J].西南石油大学学报(自然科学版),2024,46(1):35-52.
- [2] 肖国华,王玲玲,王芳,邱贻旺.双向坐封插入密封封隔器的研制与应用[J].石油机械,2018,46(4):94-97.
- [3] 毕永斌,耿文爽,张雪娜,罗福全,盖长城.高含水油藏全生命周期剩余油挖潜三参数研究[J].断块油气田,2021,28(1):109-114.
- [4] 崔传智,伊吉庆,宗然,李国强,赵景铭,蒋明洁,马晓丽.基于核磁共振技术储层物性变化规律[J].科学技术与工程,2024,24(14):5790-5796.
- [5] 朱礼同,贾玲玲,刘中良,任利斌.开发生产智能管理系统的研究与应用[J].化工管理,2021(9):102-103.