

大情字井油田 A 区块重复压裂增产技术

孟祥灿

中国石油吉林油田公司勘探开发研究院 吉林松原 138000

通讯作者:Email:mengxiangcan@163.com

引用:孟祥灿. 大情字井油田 A 区块重复压裂增产技术[J]. 油气井测试,2020,29(5):44-49.

Cite: MENG Xiangcan. Repeated fracturing stimulation to Block A in Daqingzijing Oilfield [J]. Well Testing, 2020,29(5):44-49.

摘要 为进一步提高大情字井油田特低渗油藏开发效果,对 A 区块进行了重复压裂增产技术现场试验。地质上,结合区块油藏特性以及邻井的补压效果,建立了重复压裂选井原则和选层原则,优选出 H1 井 11 号层和 12 号层进行重复压裂试验;工程上,提高加砂强度,通过缝网压裂和树脂砂封堵形成复杂多裂缝,有效增加缝控储量。类比邻井的压裂效果,预测 H1 井压裂有效期在 32 个月左右,累增油可达 533.2 t。大情字井油田 2014-2015 年重复压裂效果较好井的初期单井日增油 1.0~1.4 t,有效期 20-35 个月,单井累增油 210~736 t,重复压裂实施 14 井次,成功率 78.6%。重复压裂技术在该区块具有较好的适应性,可在其他油藏条件相似的特低渗油藏推广应用。

关键词 大情字井油田;特低渗油藏;重复压裂;适应性;缝网压裂;选井选层;增产

中图分类号:TE355 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.05.008

Repeated fracturing stimulation to Block A in Daqingzijing Oilfield

MENG Xiangcan

Exploration and Development Research Institute, PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan, Jilin 138000, China

Abstract: Field test on repeated fracturing stimulation was carried out to improve the development of the ultra-low-permeability reservoir in Block A of the Daqingzijing Oilfield. Geologically, according to the reservoir features and pressure compensation in adjacent wells, the principles of selecting wells and layers for repeated fracturing stimulation were established, and layers 11 and 12 in Well H1 were selected for test targets. In terms of engineering, measures were taken such as improving proppant concentration, inducing complex and multiple fractures and network with resin sand to increase fracture-controlled reserves. According to the fracturing effect of adjacent wells, it is predicted that the effective post-fracturing period of Well H1 will be about 32 months, and the cumulative oil increase will be 533.2 tons. In the Daqingzijing Oilfield, from 2014 to 2015, the initial oil production was increased by 1.0-1.4 tons/d from the well showing the best repeated fracturing effect, and the effective period was 20 to 35 months, and the cumulative increase of oil was 210 to 736 tons per well. Repeated fracturing stimulation was carried out 14 times, and the success rate was 78.6%. Repeated fracturing stimulation is adaptable for Block A and worthy to be introduced and applied in similar reservoirs with ultra-low permeability.

Keywords: Daqingzijing Oilfield; ultra-low-permeability reservoir; repeated fracturing stimulation; adaptability; inducing fracture network; selecting wells and layers; stimulation

重复压裂技术是指油井在初次压裂后生产一段时间因各种原因产量下降,然后在相同层段进行第二次(或二次以上)压裂。该技术作为油井增产、水井增注的主要措施在低渗油田中具有见效快、增产效果显著、有效期长等特点^[1-3]。

在重复压裂井中,由于存在初始支撑裂缝和天然裂缝的应力场分布,以及生产活动引起的孔隙压力变化,导致井眼附近应力的变化,产生了诱导应力场,这种应力场分布状况决定了重复压裂新裂缝的起裂和延伸^[4-6]。初次压裂支撑剂支撑裂缝和由

于孔隙压力衰减导致的应力场变化是引起重复压裂裂缝转向的重要原因。不仅应力场的变化会引发裂缝转向,采用合理的压裂技术和压裂方法,也可能诱导裂缝转向^[7-9]。

从 50 年代开始,美国各油田就开始应用重复压裂技术。1953 年美国重复压裂实施了 2 000 口井,75%的井较原产量有所提高,大幅度提高了油田产量。截止到 1973 年,超过 50 万口井进行了压裂改造,其中 35%以上的井属于重复压裂井。国内 60 年代在玉门、新疆克拉玛依油田进行了重复压裂实

践,70-80 年代我国主要注水开发油田正处于产量上升或稳产的开发阶段,同时,对水力压裂的转向机理及影响因素缺乏深入的研究,成功率较低,增油机理也说不清楚,因此始终没有把重复压裂作为一项重要技术来深入研究^[10-12]。到了 80 年代中、后期,随着压裂技术的发展,以及油气价格的上涨,国内外开始重视重复压裂这门技术。国内外从重复压裂机理的初步探讨到模拟,以及针对裂缝的转向问题,提出用地面倾斜仪测到裂缝的重新转向,以及对孔隙压力变化引起的就地应力场的变化进行了模拟研究,同时也对选井选层进行了针对性研究。基于此,重复压裂技术有了重大发展^[13-14]。目前,我国主要油田,特别是低渗油藏为主的油田已将重复压裂作为老油田增产的一项重要技术。近年来,我国在长庆、大庆、胜利、华北、西南、吉林等油田进行了大量的研究和试验,从理论和实践都进行了一定的探索,也取得了良好的效果^[15]。例如,2002 年,四川盆地某气田进行了一系列的重复压裂工作,改造后气井较改造前产能提高了 4~15 倍。2006 年,长庆油田在鄂尔多斯盆地有针对性的对重复压裂裂缝转向进行了实践探索,通过暂堵重复压裂技术成功的将一口井的日产量从 1.45 t 提高至 3.97 t^[16-17]。

据统计,油气井采取重复压裂的原因主要分为以下三类:第一类,初次压裂时受当时压裂工艺、材料、设备工具的限制,导致裂缝导流能力快速降低;第二类,由于初次压裂时,选层不当导致增产效果差;第三类,对于高含水期开采阶段的井,由于老裂缝控制的储量已经基本完全采出,必须重复压裂压开新缝,才能提高产量^[18-20]。另外,在重复压裂井中,85%的无效井是由于选井选层不当所致,只有 15%是工艺措施不合适。因此,在现有的技术和工艺设备的前提下,选井选层应该放在首位。

重复压裂选井选层一直是一个比较重要的部分,最初主要是依据生产动态和技术人员的经验。一直以来,也没有通用于任何油藏的方法准则。早在 1972 年,在 Clinton 油藏就利用生产递减曲线进行选井选层研究,然而效果比较差。1978 年,在德克萨斯的 Escondido 气藏结合生产动态曲线、压裂效果改造后计算机处理分析并对结果进行逻辑对比,效果有了很大提高。1994 年,GRI 在研究过程中,加入了经济因素的影响,提供了更强的理论指导。90 年代后期,人工神经网络、基因算法和模糊评判

等方法应用于选井选层的过程中,重复压裂的成功率得到了很大提高。2006 年,斯伦贝谢公司提出,单纯靠生产数据难以合理选井,还应充分考虑剩余油藏能量、可采储量,以及初次压裂各参数等的影响,并对世界各大油田进行了实际数据分析^[21-23]。总体来说,选井选层时应同时考虑油藏的静态基础参数和动态开发参数,以及很好的预测重复压裂后产生裂缝的效果,对于不同的油藏,每种方法的适用性也是不同的。

本文以大情字井油田 A 区块为例,介绍重复压裂技术的适应性评价以及推广研究。本文首先明确了该区块开发过程中存在的问题,在此基础上,阐述了重复压裂的试验目的,实施过程中的选井原则,通过与邻井补压效果对比,认为 H1 井压裂的加砂量不足,储层改造效果差,得出该井重复压裂的必要性,并进行了重复压裂的选层和效果预测,得出重复压裂在该区块有较好的适应性,并可以向类似区块进行推广。

1 区块基本情况

在压裂试验方案部署之前,首先对 A 区块的地质、开发状况进行了解,在此基础上明确该区块存在的一些问题,有针对性的进行方案部署。

1.1 地质概况

A 区块区域构造位于大情字油田向斜构造的东翼,整体构造面貌为一受近南北向正断层控制下不完整的鼻状构造。油藏类型为岩性油藏,主要含油层系为高台子油层,主要发育青一段 6、7、9、12 号小层。

高台子油层区域沉积环境为三角洲前缘沉积,主要沉积微相为水下分流河道、河口坝及河口坝外缘。油层顶部埋深 2 183 m,原始地层压力 21.0 MPa,地面原油密度 0.843~0.865 g/cm³,原油黏度 11 mPa·s,凝固点 26~40 ℃;地层原油密度 0.787 7~0.829 5 g/cm³,地层原油黏度 1.853 mPa·s,饱和压力 6.5 MPa,体积系数 1.068 8,地层水矿化度 10 000~23 000 mg/L,水型以 NaHCO₃ 型为主。

1.2 开发概况

A 区块于 2001 年 11 月份投入开发,在 2004-2006 年主体采用 140 m×440 m 菱形反九点井网正式规模建产;2006-2009 年主体区块井网完善,注水受效,产量稳定;2009 年北部井区扩边,区块二次上产,2010 年北部井区井网完善,区块达到稳产;2011

年后东部小井区扩边,区块产量短暂上升后,由于新井产量递减及注水井井况问题导致产量持续下降(图 1)。A 区块水驱优势方向为北东向,与砂体展布方向基本一致,次优势方向为东西向,弱势方向为北西向,区块整体受相带及储层物性影响,平面矛盾突出,弱势方向注水受效较差。

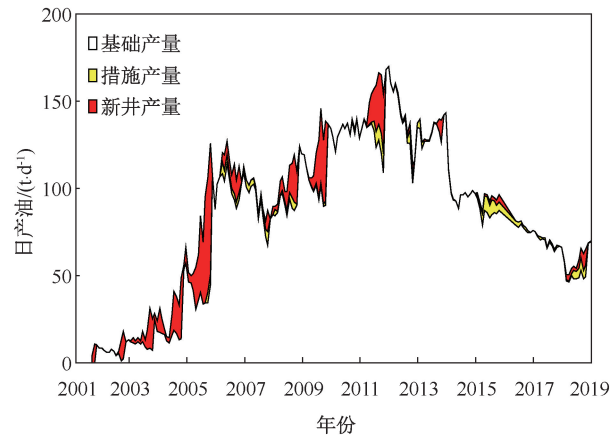


图 1 A 区块产油量构成曲线

Fig. 1 Oil production composition curve of A block

1.3 存在的主要问题

该区块储层平均孔隙度 13%,平均渗透率 $5.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于低孔特低渗储层。储层微观特征复杂,常规射孔投产效果非常差,普遍采用压裂投产方式,然而由于之前压裂工艺落后,选井选层不当,导致压裂井加砂量不足,储层改造程度低。比如 2015 年区块共补压青一段油井 7 井次,加砂强度 $2.0 \text{ m}^3/\text{m}$,远小于设计的 $3.0 \text{ m}^3/\text{m}$ 的加砂强度;补压青二段油井 5 井次,加砂强度 $1.2 \text{ m}^3/\text{m}$,也远小于 $2.5 \text{ m}^3/\text{m}$ 的加砂强度。由于加砂难度大,导致储层改造程度较差,增油效果不明显,但是针对这种特低渗油藏,压裂技术是公认的最有效的增产方法,因此需要从压裂工艺以及选井选层的方法上进行改进,从而改善压裂效果。基于此,本文针对该区块初次压裂效果不好的井重新选层,采用先进的压裂工艺进行重复压裂,推动重复压裂技术在该区块的应用。

2 试验方案部署

在试验方案部署方面,最关键的是如何选取合适的井以及针对该井如何选取合适的层位,下面主要针对选井选层的原则和依据进行阐述。

2.1 试验目的

大情字井油田 A 区块新井产能工作量逐年萎缩,老井措施潜力大,但老井压裂施工难度大,常规

压裂技术不适应,措施有效率及单井增油量逐年下降,为进一步提高区块单井产量及稳产水平,开展老井重复压裂试验,油藏上通过精细选井选层,工程上通过缝网压裂及树脂砂封堵形成复杂多裂缝,有效增加缝控储量,探索重复压裂对低渗特低渗油藏的适应性,发挥现有井网作用提高单井产量,进一步提高采收率。

2.2 选井原则

- (1)平面上储层连片发育,采出程度低,处于非注水优势方向上,剩余油富集;
- (2)油井初次压裂后,由于压裂规模较小,不能形成有效地支撑裂缝,或者生产过程中造成由于油层污染引起井筒附近堵塞导致产量下降;
- (3)目前单井产量较差,但还有一定的上升空间,介于 $0.5 \sim 1.0 \text{ t}$,综合含水低于 90%;
- (4)井况良好,具备压裂作业条件;
- (5)井网完善,注水正常,地层能量充足,不低于区块平均地层压力。

2.3 方案部署

依据以上选取原则,优选 H1 井开展重复压裂试验,该井为直井,具体见表 1。

表 1 H1 井青一段段重复压裂明细表

Table 1 Details of repeated fracturing stimulation to Qing 1 member in Well H1

解释层号	小层号	井段/ m	射孔 厚度/m	深侧向/ ($\Omega \cdot \text{m}$)	深感应/ ($\Omega \cdot \text{m}$)	声波时差/ ($\mu\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)
49	11	2 328.0~2 329.2	1.2	85	31	230
50	12	2 331.0~2 339.2	8.2	35	43	245

2.4 H1 井选层依据

选层主要依据该井本身的储层发育情况,包括目的层的砂体发育以及电性指标情况,同时要结合该井之前压裂效果以及邻井同一层位的压裂效果,另外要保证地层能量充足,在此基础上进行选层。

2.4.1 储层发育状况

该井发育青一段 7、8、11、12、14、15 号小层,其中青一段 7、8 号小层物性及电性均好于其它层,为初期动用目的层;青一段 14 和青一段 15 号小层电性指标较低;主力油层青一段 11、12 号小层平面砂体连片发育,连通性良好。

2.4.2 层位概况

- (1)本次重压青一段 11、12 号小层,重压目的层沉积微相为河口坝主体,储层发育较好,根据电性指标,具备重压条件。
- (2)本井于 2015 年 11 月分两段补压青一段

11、12、14、15 号小层。第一段合压青一段 14、15 号小层,动用厚度 4.8 m,实际加砂 6 m³,加砂强度 1.25 m³/m;第二段合压青一段 11、12 号小层,动用厚度 10.0 m,实际加砂 8 m³,加砂强度 0.80 m³/m。补压前日产液 3.0 t,日产油 1.1 t,综合含水 61.4%;补压后日产液 3.4 t,日产油 1.2 t,综合含水 65.4%。年内累增油 24 t(图 2),补压效果较差。分析主要原因为青一段 11、12 号层压裂动用加砂量不足,储层改造差。

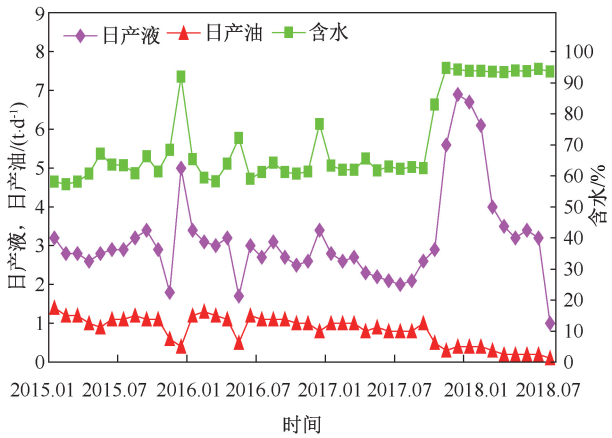


图 2 H1 井生产曲线

Fig. 2 Production performance curve of H1 Well

并且邻近油井 H2 并于 2015 年 4 月补压青一段 11、12、14、15 号小层。补压前日产液 3.3 t,综合含水 100%;补压后日产液 12.2 t,日产油 0.4 t,综合含水 96.8%,年内累增油 188.6 t,目前累增油 603.0 t,有效期长达 44 个月,常规补压效果较好(图 3)。对比分析,这两口井深侧向电阻率、声波时差等电性指标相近,分析青一段 H1 井青一段 11、12 号小层具有重压潜力。

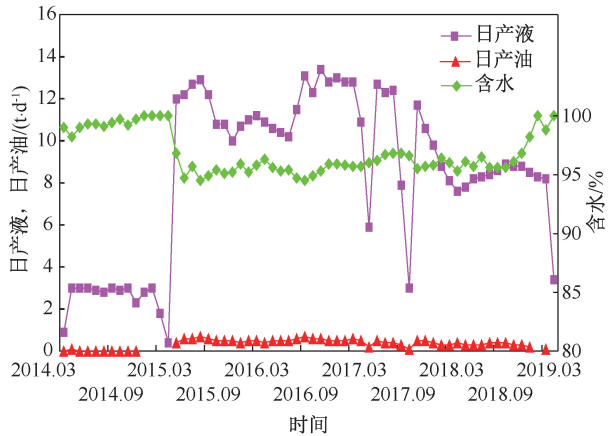


图 3 H2 井生产曲线

Fig. 3 Production performance curve of H2 Well

(3) 该井地层原始能量充足。本井无测压资

料,邻井 H3 井 2015 年 5 月液面法测压地层压力 22.98 MPa。周围有一口水井 H4 井动用青二段 17、19 号小层;青一段 7、12 号小层,目前混注补充能量,该水井青一段 11、12 号小层与周围油井 H1 井、H2 井均连通。

2.4.3 选层依据

- (1) 该层平面砂体连片发育,达到出油标准,与邻井连通性好;
- (2) 该层初次压裂加砂强度未达到设计值,小于目前平均加砂强度,改造效果差;
- (3) 邻井同层位投产效果好,与该层的岩电性质类似;
- (4) 该层地层能量充足,地层压力不低于目前平均地层压力;
- (5) 该层固井质量合格,且目前井况良好,具备压裂作业条件。

2.5 效果预测及适应性探讨

本次针对 H1 井的重复压裂试验,重压厚度为 9.4 m,设计加砂量 35.0 m³,实际加砂量 33.0 m³,滑溜水 570 m³,携砂液 608 m³,后置液 30 m³,实际携砂液排量在 6.2 ~ 7.0 m³/min 之间,加砂强度由之前的 1.25 m³/m 提高到 3.50 m³/m,平均砂比 5.56,最高砂比 10.07,滑溜水压力为 34 ~ 36 MPa,携砂液压力为 33 ~ 36 MPa,停泵压力为 31 MPa。

此次通过缝网压裂及树脂砂封堵形成复杂多裂缝,将有效增加缝控储量。结合邻井 H2 井的压裂效果,对初始增油量进行类比,通过指数递减法进行预测,预测有效期在 32 个月左右,有效期内累增油 533.2 t(图 4)。

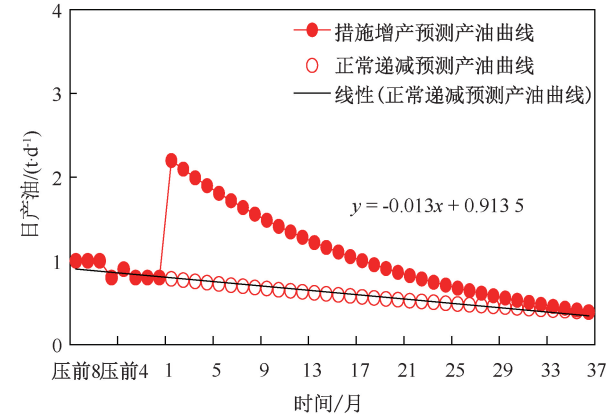


图 4 H1 井重复压裂效果预测图

Fig. 4 Predicted effect of repeated fracturing stimulation of H1 Well

根据大情字井油田 2014–2015 年重复压裂效果统计(表 2),在常规重复压裂方式下,效果较好井的初期单井日增油 1.0~1.4 t,有效期 20~35 个月,单井

累增油 210~736 t,重复压裂实施了 14 井次,11 井次有效,成功率 78.6%。总体来看,重复压裂这项措施在大情字井油田这种特低渗透油藏的适应性是较好。

表 2 大情字井油田 2014–2015 年青一段重复压裂效果统计表

Table 2 Statistical results of repeated fracturing stimulation to Layer Qing 1 in Daqingzijing Oilfield from 2014 to 2015											
施工时间	井号	层段	厚度/m	标定(日产)			初期(日产)			累增油/t	有效期/月
				液/(t·d ⁻¹)	油/(t·d ⁻¹)	含水/%	液/(t·d ⁻¹)	油/(t·d ⁻¹)	含水/%		
2014	C1	9.12	6.2	2.4	1.3	45.8	7.1	2.20	69.0	295	35
	C2	9.12	7.0	5.1	2.0	60.8	12.4	3.10	75.0	298	13
	C3	12	4.4	3.7	0.6	83.8	4.0	0.30	92.5	/	/
	C4	4.6	5.4	4.0	0.3	92.5	8.3	1.40	83.1	695	33
	C5	1.2.5.6.7	12.4	6.5	2.1	67.7	10.0	3.50	65.0	536	20
	平均			4.3	1.3	71.0	8.4	2.10	74.9	456	25
2015	D1	1.4.5.6.9	9.8	6.2	0.4	93.5	6.7	1.41	79.1	354	32
	D2	3.9.12	13.0	2.7	1.5	44.4	8.1	4.30	46.9	435	15
	D3	9.12	7.8	4.1	1.1	73.2	14.5	0.50	96.6	/	/
	D4	4.5.7	8.8	5.0	0.8	84.0	14.3	1.00	93.0	70	12
	D5	5.7.8	11.8	3.1	1.4	54.8	6.8	2.60	61.8	1127	28
	D6	7.8.9.12	12.2	2.0	0.9	55.0	6.2	2.30	62.9	736	23
	D7	7.9	7.2	3.9	1.0	74.4	11.5	0.90	92.2	/	/
	D8	6.7	7.0	7.7	0.9	88.3	14.7	1.40	90.5	210	12
	D9	9.12	11.0	2.7	0.8	70.4	5.7	1.60	71.9	345	27
	平均			4.2	1.0	76.5	9.8	1.80	81.9	468	21

3 结论

(1)重复压裂技术在 A 区块是适合的,可以有效改善水井欠注导致地层能量不足的问题,从而提高单井产能。

(2)要把选井选层放在首位,在油层物性好、非均质性弱且储层改造程度差,采出程度低的井,这样重复压裂效果会更好。

(3)A 区块在实施重复压裂时,要适当加大加砂强度和压裂规模,通过缝网压裂和树脂砂封堵形成复杂多裂缝,有利于提高重复压裂的效果。

(4)对于大情字井油田这种特低渗油藏,重复压裂技术值得深入探索,可借鉴 A 区块的经验有效推广到其他油藏条件相似的区块。

致谢:感谢吉林油田勘探开发研究院同意本文公开发表。

参考文献

[1] 王坤,葛腾泽,曾雯婷. 低产油气井强制裂缝转向重复压裂技术[J]. 石油钻探技术,2018,46(2): 81–86.
WANG Kun, GE Tengze, ZENG Wenting. Re-fracturing technique using forced fracture re-orientation of low production oil and gas wells [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018,46(2):81–86.

[2] 刘珏瑜,杨向同,袁学芳,等. 塔中志留系储层重复改造

选井和产能预测方法[J]. 油气井测试,2018,27(1):55–61.

LIU Jiangyu, YANG Xiangtong, YUAN Xuefang, et al. Method of re-stimulation candidate selection and productivity prediction for Silurian reservoirsin Tazhong area [J]. Well Testing, 2018,27(1):55–61.

[3] 李婷婷. 油井重复压裂工艺技术探析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(6): 98–99.

LI Tingting. Discussion on the technology of oil well refracturing [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2017,37(6):98–99.

[4] 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.

LIU Hong, ZHAO Jinzhou, HU Yongquan, et al. Study on mechanism of inducing new fractures for refracturing gas wells [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(12):102–104.

[5] 孙元伟. 致密油藏重复压裂前应力场分布研究[J]. 中国石油大学胜利学院学报,2016,30(4):30–33,37.

SUN Yuanwei. Research on stress field distribution before refracturing in tight reservoir [J]. Journal of Shengli College China University of Petroleum, 2016, 30(4): 30–33,37.

[6] 李跃波. 水平井重复压裂地应力分布及参数优化设计研究[D]. 大庆:东北石油大学, 2017.

LI Yuebo. Research on stress distribution and parameter

- optimization of horizontal well repeated fracturing [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2017.
- [7] 余东合. 低渗透油藏重复压裂机理研究及现场应用[J]. 油气井测试, 2008, 17(2): 45-46, 48.
- YU Donghe. Study on the mechanism of refracturing in low permeability reservoirs and its field application [J]. Well Testing, 2008, 17(2): 45-46, 48.
- [8] 李士斌, 王昶皓, 张立刚. 重复压裂裂缝转向机理及储层评价方法[J]. 断块油气田, 2014, 21(3): 364-367.
- LI Shibin, WANG Changhao, ZHANG Ligang. Fracture reorientation mechanism of refracturing and reservoir evaluation methods [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(3): 364-367.
- [9] 李龙, 蒋建方, 姚洪田, 等. 榆树林油田扶余油层重复压裂裂缝转向研究[J]. 油气井测试, 2015, 24(1): 13-16.
- LI Long, JIANG Jianfang, YAO Hongtian, et al. Study on reorientation of re-fracturing in Fuyu reservoir of Yushulin Oilfield [J]. Well Testing, 2015, 24(1): 13-16.
- [10] WHEELER R, MAYOR J, WILLIAMS V, et al. Successful re-fracturing application using temporary gelled isolation system in a vertical well in china [C]. SPE 186242, 2017.
- [11] TAO Liang, GUO Jianchun, ZENG Jie, et al. Refracturing candidate selection for multi-fractured horizontal wells using a new hybrid method in tight oil reservoirs [C]. SPE 198207, 2019.
- [12] 陶亮, 郭建春, 李凌铎, 等. 致密油藏体积压裂水平井产能评价新方法[J]. 特种油气藏, 2019, 26(3): 89-93, 127.
- TAO Liang, GUO Jianchun, LI Lingduo, et al. A new productivity evaluation of horizontal well with volume-fracturing in tight oil reservoir [J]. Special Oil and Gas Reservoir, 2019, 26(3): 89-93, 127.
- [13] WANG X J, WANG W, LI B, et al. The application of refracturing technique in horizontal wells of Daqing Oilfield [C]. SPE 192787, 2018.
- [14] SANTOS L, TALEGHANI A D, LI Guoqiang. Expandable diverting agents to improve efficiency of refracturing treatments [C]. SPE 2697493, 2017.
- [15] 汪永利, 姚飞. 重复压裂技术研究与应用[J]. 油气采收率技术, 1997, 4(3): 42-50.
- WANG Yongli, YAO Fei. Research and application of refracturing technology [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 1997, 4(3): 42-50.
- [16] 叶芳春, 李红. 重复压裂技术综述[J]. 钻采工艺, 1997, 20(6): 27-33.
- YE Fangchun, LI Hong. Overview of refracturing technology [J]. Drilling and Production Technology, 1997, 20(6): 27-33.
- [17] LI P, SONG Z Y, WU Z Z. Study on reorientation mechanism of refracturing in Ordos basin——A case study: Chang 6 formation, Yanchang group, Triassic system in Wangyao section of Ansai Oilfield [C]. SPE 104260, 2006.
- [18] 宋时权. 基于最小二乘支持向量机的重复压裂选井选层方法研究[J]. 油气井测试, 2013, 22(4): 13-14, 20.
- SONG Shiquan. Study on the method of selecting well and layer for refracturing based on least square support vector machine [J]. Well Testing, 2013, 22(4): 13-14, 20.
- [19] 姜梅枝. 低渗透重复压裂井选层研究[J]. 油气井测试, 2012, 21(2): 37-40, 43.
- JIANG Meizhi. Research on layer selection in low permeability and re-fracturing well [J]. Well Testing, 2012, 21(2): 37-40, 43.
- [20] 于凤林, 刘敏. 高含水后期油井重复压裂选井选层方法探讨[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(4): 47-48.
- YU Fenglin, LIU Min. Discussion about well and layer selection for refracturing at late period of high water cut stage [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(4): 47-48.
- [21] ELY J W, TINER R, ROTHENBERG M, et al. Restimulation program finds success in enhancing recoverable reserves [C]. SPE 63241, 2000.
- [22] ANWAR H A A, HOSEIN P, EZZAT A, et al. Hydraulic fracturing the best producer—a myth? [C]. SPE 81543, 2003.
- [23] MOORE LP, RAMAKRISHNAN H. Restimulation: Candidate selection methodologies and treatment optimization [C]. SPE 102681, 2006.

编辑 王 军

第一作者简介:孟祥灿,男,1987年出生,硕士,工程师,2013年毕业于中国石油大学(华东)油气田开发工程专业,现主要从事老油田开发调整和三次采油研究工作。电话:0438-6224009;Email:mengxiangcan@163.com。通信地址:吉林省松原市锦江大街1号吉林油田勘探开发研究院,邮政编码:138000。