

多裂缝压裂技术在玛北油田 深地层油井中的应用

张舒^{1*}, 郭大立¹, 王勇², 邓家胜², 彭洋平²

(1.西南石油大学理学院, 四川成都 610500;
2.新疆油田公司百口泉采油厂, 新疆克拉玛依 834011)

摘要:以玛北油田具有代表性的乌尔禾组和百口泉组为研究对象, 针对埋藏深、致密、低孔、特低渗、非均质性的储层特征, 通过对玛北油田压裂改造历史状况及存在问题的系统分析和深入研究, 提出了以深穿透大中型压裂改造为核心、结合转向压裂改造技术的多裂缝压裂改造思路。通过对转向剂的评价及优选, 完善压裂施工工艺, 经现场压裂施工应用, 压后产油量比压前取得了明显的提升。

关键词:深穿透大中型压裂; 转向压裂; 多裂缝压裂; 转向剂

中图分类号: TE357

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2018)01-0145-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.01.034

Application and research of multi-cracks fracturing technology in deep stratum oil wells of Mabei Oilfield

ZHANG Shu^{1*}, GUO Da-li¹, WANG Yong², DENG Jia-sheng², PENG Yang-ping²

(1.School of Sciences, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2.Baikouquan Oil Production Factory, Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834011, China)

Abstract: Wuerhe oil well groups and Baikouquan oil well groups in Mabei Oilfield have characters of deep bury, compact, low porosity, super low permeability and strong heterogeneity. Through the systematic analysis and deeply research on the historical situation and existing problems of the fracturing treatments in Mabei Oilfield, a multi-crack fracturing method which combines the massive re-fracturing with steering fracturing technology is proposed. The fracture technology of this method is perfected by the evaluation and optimum selection of steering agent. Implementation results show that after using this method, the oil production of oil wells increases noticeably.

Key words: massive re-fracturing; steering fracture; multi-cracks fracturing; steering agent

玛北油田位于准噶尔盆地西北缘玛湖地区^[1], 二叠系乌尔禾组和三叠系百口泉组属于特低孔、特低渗、非均质性和水敏性较强的储集层^[2], 具有井深、压力高、压裂难度大的特点, 单一油藏通过增加缝长来提高低渗透油藏产量效果不太明显。目前, 深穿透大中型压裂、转向压裂改造技术已在部分油田展开现场试验并得到较好效果^[3-5]。为此, 可借鉴体积压裂和缝网压裂的理念^[6], 从储层客观条件出发, 在储层内形成多裂缝来提高储层的横向动用程度, 从而扩大渗流体积, 达到增产目的。

本文中通过分析玛北油田的油藏地质特征, 结合历史压裂资料, 对常规重复压裂时裂缝转向的可能性进行详细分析, 提出深穿透大中型压裂改造技术结合转向压裂改造技术的多裂缝压裂改造技术, 重点研究适用于玛北油田多裂缝压裂改造的转向

剂, 旨在通过多次压裂在油气层内制造多条人工裂缝, 来扩大油气藏的泄流体积, 弥补地层物性差、供液不足的储层客观条件, 提高单井产量。

1 油藏地质特征

玛北油田物性相对较差, 非均质性强, 属于特低渗油藏。低渗透油气藏必须采用针对性强、措施有力的压裂增产改造措施, 才具有商业性应用价值。理论研究和实践已表明^[7-8], 当低渗透油气的渗透率与支撑裂缝半长满足一定关系时, 可取得商业性应用价值。以渗透率为自变量对相关数据进行拟合得到的渗透率与支撑裂缝半长的关系如下:

$$y = 67.25x^2 - 95.48x + 146.2 \quad (1)$$

由式(1)计算得玛北油田乌尔禾组和百口泉组储层为取得商业性应用价值需通过压裂措施形成的

支撑裂缝半长长度如表 1 所示。

表 1 玛北油田平均渗透率及要求的支撑裂缝半长

参数	乌尔禾组		百口泉组	
	资料	实验	资料	实验
	显示值	测定值	显示值	测定值
平均渗透率/nm ²	2.24	0.803	1.23	0.632
支撑裂缝半长/m	121	156	138	168

由表 1 可得,玛北油田乌尔禾组和百口泉组储层只有实施深穿透大中型压裂增产改造,形成深穿透水力裂缝,沟通远井地带,增大泄流面积,才能确保增产效果,避免压裂井压后产量递减过快。

2 常规重复压裂时裂缝转向的可能性分析

常规重复压裂时裂缝是否发生转向,是实施并优化重复压裂工艺之前必须回答的关键问题。理论研究和国内外实践表明,以往压裂以及压裂后的生产将引起就地应力场产生变化,特别是裂缝附近应力场的较大变化,从而造成采用常规重复压裂也可能产生新的裂缝,如图 1^[9]所示。

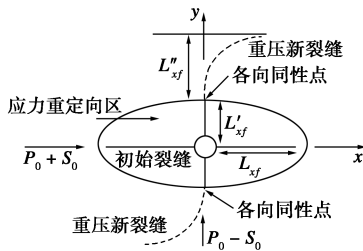


图 1 重复压裂裂缝转向示意图

重复压裂时,裂缝重新取向的可能性与以往裂缝形态、最大主应力与最小主应力的差值有关。国内外现场施工经验表明,当最大主应力与最小主应力差值在 7 MPa 以内时,裂缝最可能发生转向。

通过对井层进行岩石力学参数分析后,计算地层最小水平主应力, Eaton 公式如下:

$$\sigma_{H\min} = [v/(1-v)](\sigma_v - \alpha P_s) + \alpha P_s \quad (2)$$

$$\alpha = 1 - C_s/C_b \quad (3)$$

式中, $\sigma_{H\min}$ 为地层最小水平主应力, MPa; σ_v 为上覆压力, MPa; α 为 Biot 弹性系数; P_s 为孔隙压力, MPa; v 为泊松比; C_s 为颗粒压缩系数, MPa; C_b 为体积压缩系数, MPa⁻¹。

根据现场压裂施工资料,由井口破裂压力计算井底破裂压力,井底破裂压力 P_F 的计算公式为:

$$P_F = 3\sigma_{H\min} - \sigma_{H\max} - \alpha P_s + S_1 \quad (4)$$

通过式 (4) 可计算最大水平主应力,其中抗张

强度 S_1 取经验值 5 MPa。

对于玛北油田,通过岩石力学试验结果及压后评估,得出乌尔禾组最大水平主应力值比最小水平主应力值平均大 4.30 MPa,百口泉组最大水平主应力值要比最小水平主应力值平均大 2.86 MPa。由此可见,常规重复压裂产生新缝的可能性不大,而是张开以往形成的水力裂缝,在以往水力裂缝的基础上扩展延伸。这一结论也符合玛北油田以往压裂情况及压裂过程中压力的变化情况。

因此,在深穿透中大型压裂沟通远井地带、增大泄流面积的基础上,采用裂缝转向压裂技术是实现玛北油田多裂缝压裂改造的关键。

3 转向剂评价及优选

转向剂的选取是研究和应用转向压裂改造技术的关键问题之一。转向剂一般分为 2 种^[10],一种是在老缝内进行缝内转向的堵剂,一种是封堵旧炮眼的堵剂。为优选出适用于玛北油田多裂缝压裂技术的转向剂,对代号为 A、B、C 的 3 种转向剂进行了室内抗压性实验评价和初步的筛选研究。

3.1 转向剂 A

该转向剂属于第一种类型,即堵老缝压新缝的转向剂,其性质主要通过以下实验进行测定。

(1) 岩心流动实验

用常规岩心进行了实验。实验结果表明,当岩心渗透率为 0.115 μm^2 时,突破压力为 3.8 MPa,强度为 50 MPa/m,堵水率为 99%。同时,也用裂缝岩心进行了实验,测得突破压力为 0.45 MPa,强度为 60 MPa/m。

(2) 耐冲刷性实验

堵液突破后,测流量和压差的关系,并计算残余阻力系数,得出注入孔隙体积和残余阻力系数 (FRR) 的关系曲线,如图 2 所示。

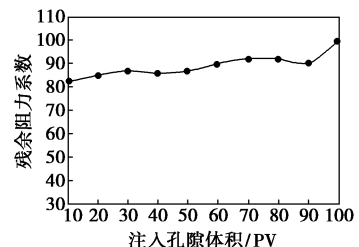


图 2 注入孔隙体积与残余阻力系数的 F_{RR} 关系曲线

从图 2 可以看出,胶体突破后继续水冲,残余阻力系数在注入 100 PV 后略有增加,所以胶体在岩心

裂缝中黏附力较强。

3.2 转向剂 B

该转向剂为由多种水溶性强、胶结强度大的高分子材料组成的棕黑色不规则长方体固体颗粒,其性质如下。

(1) 滤饼突破压力

用岩心在岩心流动实验仪上进行滤饼耐压实验。首先用地层水处理岩心,用地层水驱替岩心至压力稳定,记录压力值 P_1 ;将润湿后的转向剂 B 涂在岩心一侧,放入岩心夹持器,等待胶结;胶结好后,再次用地层水驱替岩心至压力稳定,记录压力值 P_2 ,根据封堵前后 2 次水驱压力稳定值,求得突破压力与封堵率。

实验结果表明,转向剂 B 对岩心封堵率达 99.8%,突破压力梯度达 135 MPa/m,可以满足要求。

(2) 水不溶物含量

称取一定量的转向剂 B,在水中充分溶解,离心烘干,称重,最终水不溶物含量(质量分数,下同)为 4.85%。实验数据表明,转向剂 B 中水不溶物含量较低,低于目前压裂液水不溶物残渣含量,不会影响施工效果。

(3) 溶解性与配伍性

在不同温度、介质条件下,测定转向剂在地层水中达到均一溶解状况时的溶解时间,结果见表 2。

表 2 转向剂在各种溶解介质中的溶解时间

温度/ ℃	地层水/ h	0.5% 原胶液/h	含水原油 (含水 50%)/h	胶结后的滤饼 在地层水中/h
30	7.0	8.5	8.0	13.5
40	5.0	7.0	6.0	10.5
50	3.0	5.0	3.5	6.5
90	1.5	2.5	2.0	3.5

实验结果表明,转向剂 B 在高速搅拌下有较低的溶解速度,可以满足压裂初期的泵送要求;50~90℃下,在地层水、原胶液、含水原油中有较合适的溶解时间(1.5~2.5 h),可以满足压后的返排要求。该转向剂在储层形成滤饼后,50~90℃下,可以较快地溶于地层水,解除暂堵作用。

3.3 转向剂 C

该转向剂也是一种具有较强封堵性同时又对地层污染较小的水溶性转向剂,其性质如下。

(1) 封堵性及承压强度

使用岩心流动实验仪测定突破压力,确定转向

剂的强度。采用预胶结后制成厚度为 0.9 cm 和 0.5 cm 的滤饼,并分别进行突破压力的测试。结果表明,形成滤饼后,突破压力高,滤饼厚度 ≥ 0.9 cm 时突破压力达 21 MPa 以上,滤饼难以突破。

(2) 溶解性

在 50℃ 和 90℃ 条件下,分别测试 2.0 g 暂堵剂在清水和压裂液中的平均溶解时间。结果表明,50℃ 时,3 h 内完全溶解,90℃ 时,1.2 h 内完全溶解。

(3) 水不溶物

称取 2.0 g 暂堵剂,在压裂液中,50℃ 恒温溶解 3 h,测得水不溶物含量为 0.9%。水不溶物含量很低,能够符合返排要求。

根据上述转向剂评价结果,结合货源、成本等因素,优选转向剂 B 作为玛北油田乌尔禾组和百口泉组储层转向压裂的转向剂。

4 现场应用

针对玛北油田 X 井下层和上层分别进行多裂缝压裂施工,2 次压裂施工均顺利,加砂过程中压力下降 10 MPa 左右,但后期压力回升,施工曲线见图 3、图 4。

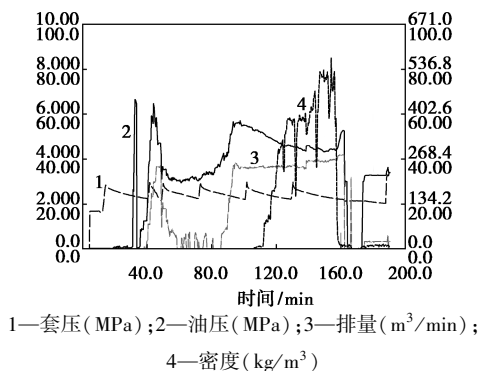


图 3 X 井下层施工曲线

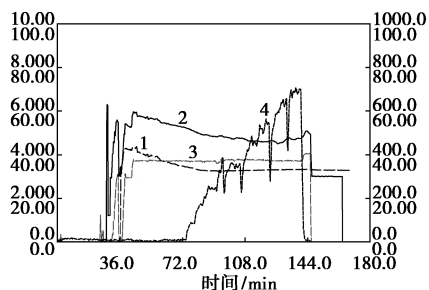
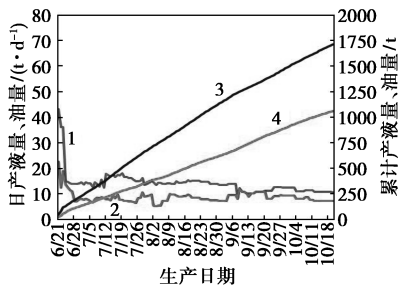


图 4 X 井上层施工曲线

从图 3 可以看出,井下层实施转向压裂是成功

的,施工压力在打入转向剂之后明显上升;需要特别指出的是,该井层的转向压裂施工创造了新疆油田公司转向压裂的最深纪录,转向剂用量达到 800 kg。此外,X 井下层压裂施工实时监测及解释软件的解释表明:①缝中净压力总体平稳,裂缝正常延伸,没有见到裂缝高度失控的现象;施工过程前期净压力有不稳定现象,分析是由于暂堵剂导致裂缝转向,使其重新沿着最大主应力方向延伸,说明暂堵剂的作用。②裂缝高度虽然较大,但没有失控;井底附加压力平稳,滤失系数持续降低。③支撑裂缝半长为 106.3 m,达到了压前设计和模拟的支撑裂缝半长(97.9 m)的要求。

X 井压后生产情况如图 5 所示,压后产油量比压前有了大幅度的增加,同时压后平均日产油量基本保持稳产状态,且目前套压仍保持为 15.5 MPa。



1—日产液量;2—日产油量;3—累计产液量;4—累计产油量

图 5 X 井压后产液量和产油量情况

5 结论

(1)通过对比 X 井过去压后产量与实施多裂缝压裂后的增产效果,可以看出增产效果显著。压裂后第 1 月的日产液量提高了 65.03%,日产油量提高了 25.51%;压裂后第 6 月的日产液量提高了 79.62%,日产油量提高了 70.63%。

(2)基本解决了玛北油田之前压裂后产量递减快的难题,过去压裂井压裂后产量递减了 55.33%;而 X 井重复压裂后产量递减了 13.12%。

X 井压裂后生产情况表明,此重复压裂施工基本解决了玛北油田之前压裂后产量递减快的难题,证明了多裂缝压裂技术在玛北油田的适用性和压裂技术对策的正确性以及转向剂 B 在此多裂缝压裂技术中的适用性,是玛北油田乌尔禾组和百口泉组储层改造的最佳方法。

参考文献

- [1] 王晓平,尚建林,王林生,等.地质统计反演在准噶尔盆地玛北油田的应用[J].新疆石油地质,2013,34(3):320-323.
- [2] 吴涛,张顺存,周尚龙,等.玛北油田三叠系百口泉组储层四性关系研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(6):47-52.
- [3] Wang J, Zhuang X, Chen S, et al. Massive Re-fracturing modeling study to optimize water injection strategy for Zhou-6 tight oil in daqing field, Northeast China[R].SPE 186056, 2017.
- [4] 王萌萌,王威振,侯斯滕,等.转向压裂技术在准东油田的应用与研究[J].现代化工,2015,35(10):190-193.
- [5] 杜宗和,李佳琦,聂洪力.缝内二次转向压裂技术探索[J].新疆石油地质,2013,34(3):349-353.
- [6] Mayerhofer M, Lolon E, Youngblood J, et al. Integration of microseismic fracture mapping results with numerical fracture network production modeling in the barnett shale[C].Society of Petroleum Engineers, 2006.
- [7] 章敬,李佳琦,史晓川,等.吉木萨尔凹陷致密油层压裂工艺探索与实践[J].新疆石油地质,2013,34(6):710-712.
- [8] 耿宇迪,张焯,韩忠艳,等.塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏水平井酸压技术[J].新疆石油地质,2011,32(1):89-91.
- [9] Siebrits E, Elbel J L, Hoover R S, et al. Refracture reorientation enhances gas production in barnett shale tight gas wells[J]. Gas Well, 2000;63030.
- [10] 杜宗和,李佳琦,聂洪力.缝内二次转向压裂技术探索[J].新疆石油地质,2013,34(3):349-353. ■

印度对华 TDI 作出反倾销肯定性终裁

2017 年 12 月 14 日,印度商工部反倾销局发布公告称,决定对原产于或进口自中国、日本和韩国的甲苯二异氰酸酯(Toluene Di-Isocyanate)做出反倾销肯定性终裁,裁定对中国涉案企业征收 0.26 美元/kg 的反倾销税,对日本涉案企业征收 0.15 美元/kg 的反倾销税,对韩国涉案企业征收 0.22~0.44 美元/kg 的反倾销税。

2016 年 10 月 5 日,应印度企业 Gujarat Narmada Valley Fertilizers & Chemicals Limited 的申请,印度商工部对原产于或进口自中国、日本和韩国的甲苯二异氰酸酯进行反倾销立案调查。倾销调查期为 2015 年 4 月 1 日—2016 年 3

月 31 日,损害分析期为 2012—2013 年、2013—2014 年、2014—2015 年以及该倾销调查期。2017 年 3 月 28 日,印度商工部对此案作出反倾销初裁,建议对中国、日本和韩国的涉案产品分别征收 0.26 美元/kg、0.14 美元/kg、0.17~0.40 美元/kg 的临时反倾销税。

数据显示,2016 年我国 TDI 出口量首次超越进口量,达到 13.6 万 t,与 2015 年相比大幅增加 85.99%;2017 年前 5 个月国内 TDI 出口量接近 5 万 t,同比增长 16.68%。2012—2016 年,我国 TDI 出口至印度的量在逐年增长后小幅下滑,其占我国出口总量比例依次为:2%、3%、9%、10%、8%。(中化新网)