

塔河油田超大规模复合酸压技术

贾光亮, 张飞洲, 梁护站

(中国石化华北石油局井下作业公司, 河南郑州 450042)

摘 要:塔河油田碳酸盐岩储层孔喉配合度低、连通性差、非均质性强,造成常规酸压滤失量大、酸蚀裂缝穿透距离有限、不能沟通井筒远处的有利储集体或定容体。根据不同区块储层的地质、物性特征,曾经先后试验应用了复合酸压和大前置液水力扩容技术。复合酸压技术在一定程度上提高了有效裂缝的长度,但对于距离井筒较远储集体的沟通具有一定的局限;水力扩容技术加大前置液泵入量,进一步增加了水力裂缝的长度,但压裂施工结束后,裂缝迅速闭合,没有形成有效的沟通裂缝。结合以往压裂施工的经验,塔河油田试验应用了“大前置液+变黏酸体系+胶凝酸+支撑剂单级或多级泵注体系”超大规模复合酸压技术,以有效提高酸蚀裂缝穿透距离和有效裂缝缝长,确保有效沟通井筒周围的有利储集体和压后裂缝的导流能力。塔河油田已在 31 口井应用了超大规模复合酸压技术,其中 11 口井在酸压后初期平均产油量 98.1 t/d,增产效果较好。

关键词:酸化压裂 奥陶系 碳酸盐岩油气藏 塔河油田

中图分类号:TE357.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)06-0078-04

Application and Analysis of Large Scale Composite Acid Fracturing Technology in Tahe Oilfield

Jia Guangliang, Zhang Feizhou, Liang Huzhan

(Downhole Operation Company, Sinopec North China Petroleum Bureau, Zhengzhou, Henan, 450042, China)

Abstract: In order to solve the problem of poor pore-throat ratio and connection, strong heterogeneity, large fracturing fluid loss, the limited length of the acid etching fracture, difficulty in the communication between wellbore and far field region, Tahe Oilfield conducted experiments of compounding acid fracturing and hydraulic expansion in large amount of pad fluids in last few years according to its geological and physical characteristics in different areas. Compound acid fracturing technology has further improved the effective crack length, but it has limitations to communicate the wellbore and far field region. The hydraulic expansion technology, which increases the amount of pad fluids, increases the length of hydraulic fractures further. While after the fracturing is completed, the cracks closed quickly, and there is not enough effective communication cracks left. Combined with previous experience in fracturing, a complex pumping system that uses single-stage or multi-stage acid fracturing technology has been adopted by adding large amount of pad fluid, variable viscous and gelled acids. The technology can effectively improve the etched distance and the crack length, ensure communicating between the wellbore and around region, improve the conductivity of fractures after the pressure was released.

Key words: acid fracturing; Ordovician system; carbonate reservoir; Tahe Oilfield

塔河油田奥陶系缝洞型油藏是以缝洞为储集体、受构造-岩溶旋回作用控制、由多个缝洞单元在空间上叠合形成的复合油气藏^[1-2],埋深 5 400~6 900 m,压力系数约 1.1,地层温度 120~140 ℃,具有埋藏超深、高温、高压和非均质性极强的特点^[3-5]。

收稿日期:2011-05-12; **改回日期:**2011-10-14。

作者简介:贾光亮(1983—),男,河南洛宁人,2007年毕业于西安石油大学信息工程专业,2010年获西安石油大学油气井工程专业硕士学位,助理工程师,目前主要从事油气井酸化压裂方面的研究。

联系方式:jgllly@126.com。

塔河油田 70% 的新井要通过酸压完井才能投产^[6-7], 81% 的碳酸盐岩储层通过酸压才能实现储量动用^[8], 一般酸压的液体用量为 400~800 m³^[9], 裂缝长度一般小于 120 m, 一部分油气井压后投产不久便停喷, 地层能量供给不足, 没有明显的稳产期。普通酸压可以部分解除钻井、完井、修井以及前期注水施工等造成的近井地带污染, 沟通井筒附近的定容体和小规模有利储集空间, 但是奥陶系储层的复式成藏模式和酸压液体用量的限制阻碍了裂缝的延伸和井筒远处有利储集体的沟通^[10-11]。为此, 塔河油田曾经做过大前置液水力扩容试验, 加大前置液泵入量, 增加了水力裂缝的长度, 但是当压裂施工结束后, 裂缝迅速闭合, 没有形成有效的沟通裂缝。为了解决这一问题, 塔河油田从储层的地质特征出发, 采用“大前置液+变黏酸体系+胶凝酸+支撑剂单级或多级泵注体系”的超大规模复合酸压技术对储层进行改造。

1 选井条件及技术要求

1.1 选井条件

1) 目标井在钻井期间目的层段无放空及漏失情况, 区块水体不发育; 对于储层有底水的井一般不采用大规模酸压技术进行储层改造, 前期进行过上返酸压的井应严格控制缝高。

2) 初期投产后压力、产液量下降迅速, 产能较低, 供液能力不足, 储层储集体规模有限, 虽然经过初期酸压改造, 但酸压裂缝沟通的储集体规模有限, 自喷期短, 供液量下降较快, 没有明显稳产期的井。

3) 井筒周围具有有利储集体分布的井, 为降低钻新井的成本、突破现有井底缝洞体范围、沟通井筒较远处的储集体、达到增油的目的, 可作为目标井。

1.2 技术要求

1) 实施超大规模酸压的井多为前期投产过的井, 为填补地层前期亏空, 提高地层压力, 施工前期对目标井实施注水作业, 要求注水后井口压力稳定在 20 MPa; 施工过程中, 尽可能提高施工压力和排量, 以突破原来的裂缝系统, 沟通新的储集体; 施工后期采用过顶替工艺, 使用滑溜水尽可能将酸液顶入人工裂缝远端, 提高远井地带的裂缝导流能力。

2) 由于大型酸压改造酸液滤失量大、液体效率较低, 为降低酸液滤失量, 增加有效人工裂缝长度, 一般采用加入 100 目小粒径陶粒的工艺, 降低近井酸液滤失。

3) 对于储层埋藏深、邻井施工压力较高的井, 酸压施工采用“油管浅下”技术, 减小施工摩阻, 保证酸压顺利进行。

2 施工参数优选

2.1 施工排量优选

室内 Fracpro PT 模拟计算结果表明, 随着排量的增加, 缝长及缝高均随之增加, 当排量达到 7 m³/min 后, 缝长增加幅度变小, 而缝高随排量的增加仍然呈线性变化, 因此为最大程度增加人工裂缝缝长, 施工设计排量一般为 7 m³/min 以上。现场施工时, 在泵压允许的情况下尽量提高施工排量。

室内试验表明, 增加酸液排量可以提高酸岩反应速率, 但酸岩反应速率增加的幅度小于酸液流速增加的幅度, 酸液来不及与岩石完全反应, 已经沿着裂缝窜入地层深处, 因此提高注酸排量可以增加活性酸深入地层的距离。随着排量的增大, 酸岩反应速率增大; 随着反应的进行, 反应速率逐渐减小, 并在一定时间内趋于稳定(见图 1)。

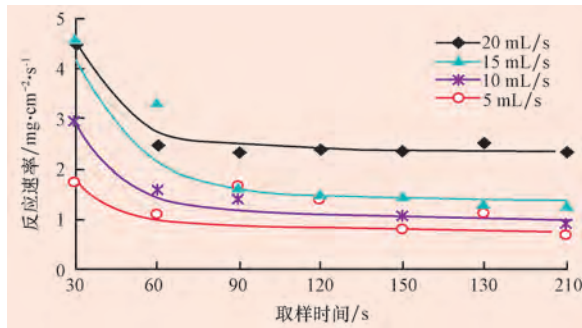


图 1 排量对酸岩反应速率的影响

Fig. 1 The effect of displacement on the acid-rock reaction rate

2.2 前置液液量优选

即将投产的油气井, 井筒周围都存在一定的油气富集带。结合地质研究成果, 根据振幅变化率、地震时间剖面等资料确定有利储集体展布的范围及井筒与储集体分布边界的距离, 由此确定酸压需要形成的缝长。根据测井解释、录井解释及地层划分结果, 确定需要的人工裂缝缝高。以此为依据, 根据施工液量与人工裂缝缝长和缝高之间的关系(见图

2),确定前置液液量。

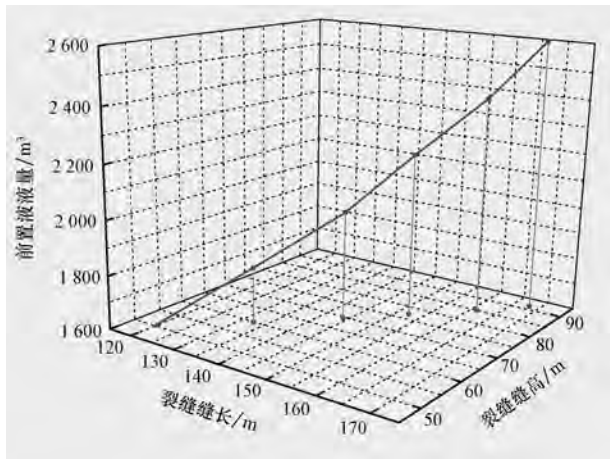


图 2 前置液液量与缝长、缝高的关系

Fig.2 The change of pad fluids with the fracture length and height

2.3 加砂质量浓度优化

碳酸盐岩储层加砂压裂研究与现场试验表明,储层对加砂质量浓度极其敏感,在 360 kg/m³ 时出现明显反应,滑溜水携砂性能大幅下降,对加砂质量浓度及砂径将更加敏感。对于塔河油田奥陶系缝洞型储层,加砂量要结合储层具体类型进行优化,推荐加砂质量浓度为 80~100 kg/m³。支撑剂选取主要有 3 个指标:粒度分选(形状及粒径)、密度以及破碎

率。支撑剂粒度分选越好,形成的填砂裂缝的导流能力越强;支撑剂密度越低,越利于泵送;支撑剂的破碎率越低,在裂缝中被地层闭合应力压碎的量越小,形成裂缝的导流能力越大。对于储层裂缝溶洞较发育的井可以减小加砂量,而裂缝欠发育的井则考虑适当增加砂量。

3 应用效果分析

在塔河油田储层改造中,常规酸压技术效果较差,因此采用超大规模复合酸压将酸压液体用量加大到 2 000 m³ 以上,施工多采用“压裂液+酸液”的酸压施工工艺^[12]。2010 年以来,塔河油田先后在 31 口井进行了超大规模复合酸压深度改造(部分统计结果见表 1),其中,TK1078 井、TH12338 井(生产曲线如图 3 所示)、TH10411 井、TH10347 井、TH12227H 井等 11 口井取得了较好效果。11 口井酸压后平均产油量 98.1 t/d,截至 2011 年 4 月 27 日,累计增产 15.2×10⁴ t。TH10105 井、TH10336 井、TH10348 井、TP21 井等 10 口井压后初期见产,不久由于高含水关井。其中,部分井初期产能低,产水量波动性较大,含水生产一段时间后含水率降至较低水平甚至不含水,一定阶段后含水率又上升。分析认为,此类井产出水多为封存水(如 TP21 井)。另外一部分井生产初期含水率较低且上升较慢,但是大型酸压

表 1 部分超大规模酸压井施工结果

Table 1 Statistics on the part of the wells with large scale acid fracturing

井号	施工井段/m	测井解释储层分类	地震解释储集体距离/m	滑溜水/m ³	变黏酸/m ³	胶凝酸/m ³	支撑剂用量/t	压后一个月生产情况
S115-1	5 927.00~6 060.00	Ⅱ类储层 2.5 m/1 层,Ⅲ类储层 67.3 m/4 层	149~363	2 700	400	300	28(100 目)	41.5 t/d, 连续生产
T709	5 930.00~5 960.00	Ⅱ类储层 21.0 m/1 层	122~195	2 400	400	200		3.0~22.2 t/d
TH10336	5 966.61~6 121.00	Ⅱ类储层 6.0 m/1 层,Ⅲ类储层 35.0 m/3 层	53~269	2 100	400	200		注水焖井后,间歇注稀油进行机采
TH12137	5 842.62~5 932.00	Ⅱ类储层 9.5 m/1 层,Ⅲ类储层 14.0 m/4 层	42~200	3 100	400	300	36(100 目)	41.8 t/d, 连续生产
TH12138	5 867.00~5 949.00	Ⅱ类储层 3.5 m/1 层,Ⅲ类储层 33.0 m/4 层	107~442	1 480	400	100	20(100 目)	高含水关井
TH12338	6 263.84~6 357.00	Ⅱ类储层 8.0 m/1 层,Ⅲ类储层 24.0 m/3 层	44~144	1 500	500	300	30(100 目)	60.8 t/d, 连续生产
TK1078	6 143.80~6 225.37	Ⅱ类储层 5.0 m/1 层,Ⅲ类储层 18.0 m/4 层	88~162	2 000	430		24(100 目), 30(40/60 目)	60.0 t/d, 连续生产
TP21	6 268.00~6 382.00	Ⅱ类储层 4.0 m/2 层,Ⅲ类储层 20.5 m/4 层	360~420	3 100	400	300	36(100 目)	供液不足,改为机采,高含水关井

后含水率迅速上升,导致压后不久由于含水率过高而长期关井。分析认为,此类井多是地层中存在夹层,初期生产由于夹层的遮挡,对底水的锥进起到抑制作用,生产曲线上表现为含水率较低且增长较慢;由于超大规模酸压对地层进行改造压开了隔层,沟通了夹层下部的水体,造成油井迅速水淹。此类油井原则上不建议采用超大规模酸压对储层进行改造(如 TH10345 井)。TH12213 井和 TH12331 井(生产曲线如图 3 所示)等 5 口井超大规模酸压后,地层供液能力仍然不足,长期关井。

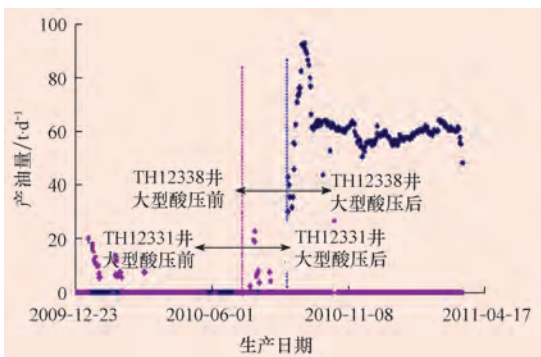


图 3 TH12338 井、TH12331 井大型酸压前后生产曲线对比

Fig. 3 Well TH12338 and TH12331 production rate comparison before and after the large scale acid fracturing

4 结论和认识

1) 对于塔河油田多个缝洞单元空间上叠合形成的复合油气藏进行超大规模酸压是可行的。大前置液的泵注和粉陶的加入,降低了滤失,提高了滑溜水的造缝能力。同时,泵注大量前置液,使地层不断降温冷却,裂缝内温度降低,减缓了酸液与储层的反应速度,延长了酸液作用时间,减小了酸液的滤失。大排量注酸,也提高了酸液有效作用距离,从而沟通更远处的储集体。

2) 施工结果统计表明,11 口井超大规模酸压后增产明显,如 TK1078 井和 TH12138 井,但还有部分井施工后因高含水长期关井,或者仍然出现供液不足的现象。因此,需要进一步加强储层地质研究,做好超大规模酸压选井的工作。

参 考 文 献

References

[1] 于学忠. 乳化酸压工艺技术在塔河油田的应用[J]. 石油钻探技术, 2002, 30(3): 69-71.
Yu Xuezhong. Applications of emulsified acid fracturing tech-

nology in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2002, 30(3): 69-71.

[2] 陈凌, 胡国亮. 从酸压机理探讨塔河油田酸压工艺发展方向[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(4): 69-71.
Chen Ling, Hu Guoliang. The developing tread of acid fracturing technique in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32(4): 69-71.

[3] 艾昆, 李谦定, 袁志平, 等. 清洁转向酸压技术在塔河油田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(4): 71-74.
Ai Kun, Li Qinding, Yuan Zhiping, et al. Application of acid fracturing technology with visco-elastic surfactant acid in Tahe Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(4): 71-74.

[4] 韩忠艳, 耿宇迪, 赵文娜. 塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏水平井酸压技术[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(6): 94-97.
Han Zhongyan, Geng Yudi, Zhao Wenna. Fractured vuggy carbonate reservoirs in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 94-97.

[5] 敬路敏, 复辉, 潘勇. 塔河油田酸压工艺及酸压效果分析[J]. 油气井测试, 2006, 15(6): 48-50.
Jing Lumin, Xia Hui, Pan Yong. Analysis for acidizing and fracture tech in Tahe Oilfield and its effect[J]. Well Testing, 2006, 15(6): 48-50.

[6] 李翔. 复合酸压技术在塔河油田碳酸盐岩油藏中的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(2): 72-73.
Li Xiang. Application of compounding acid fracturing in carbonate reservoir of Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(2): 72-73.

[7] 吴月先, 马发明, 赵业荣, 等. 酸化与加砂压裂协同作业技术及其优势[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(1): 69-72.
Wu Yuexian, Ma Faming, Zhao Yerong, et al. Acidizing and sand fracturing technique and its advantages[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(1): 69-72.

[8] 张烨, 赵文娜. 塔河油田缝洞型碳酸盐岩储层重复酸压实践[J]. 新疆石油科技, 2009, 19(2): 34-36.
Zhang Ye, Zhao Wenna. Practice of acid-refracturing feasibility in fractures and vuggy carbonate reservoirs of Tahe Oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Science & Technology, 2009, 19(2): 34-36.

[9] 李培廉, 张希明, 陈志海. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 115.
Li Peilian, Zhang Ximing, Chen Zhihai. Development of Tahe Oilfield Ordovician carbonate reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 115.

[10] 何新明, 陈冀崙, 吴安林. 油气藏酸压工艺技术现状与发展[J]. 断块油气田, 2009, 16(2): 95-98.
He Xinming, Chen Jimei, Wu Anlin. Present situation and development of oil and gas reservoir acid fracturing technology[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009, 16(2): 95-98.

[11] 云露, 蒋华山. 塔河油田成藏条件与富集规律[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 768-775.
Yun Lu, Jiang Huashan. Hydrocarbon accumulation conditions and enrichment rules in Tahe Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 768-775.

[12] 刘来宝, 梁尚斌, 赵普春, 等. 塔河奥陶系 6 000 m³ 超大规模酸压实践[J]. 中外能源, 2010, 15(11): 60-63.
Liu Laibao, Liang Shangbin, Zhao Puchun, et al. Acid fracturing practice at 6 000 m³ very large scale in Ordovician system of Tahe Oilfield[J]. Sino-Global Energy, 2010, 15(11): 60-63.