

# 碳酸盐岩缝洞型油藏深穿透酸化实践及认识

张世亮, 赵毓, 王培轶, 李璐, 丁磊  
(中国石化西北油田分公司采油二厂, 新疆轮台 841604)

**摘要:** 随着塔河油田缝洞型油藏的不断开发, 受多轮次注水污染、能量下降裂缝闭合、完井酸压效果差等综合影响, 远井裂缝导流能力差的井逐步增多, 生产表现为供液不足, 严重制约油井生产。前期主要依靠常规酸化、大型酸化等传统酸化理念改造, 酸液进入近井地带即快速反应, 作用距离十分有限, 有效率低。通过实施深穿透酸化工艺技术, 有效解决了远井通道导流问题, 应用前景广阔。

**关键词:** 导流能力; 深穿透酸化; 缝洞型油藏; 塔河油田

**中图分类号:** TE344

**文献标识码:** A

## Deep acidification practice in fractured-vuggy carbonate reservoirs

Zhang Shiliang, Zhao Yu, Wang Peiyi, Li Lu, Ding Lei

(No.2 Oil Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841604, China)

**Abstract:** With the deep development of the fractured-vuggy reservoirs in the Tahe oil field, due to multi-round water injection pollution, cracks closing by energy loss, and poor well completion and acidification effects, there are more and more wells in which the far shaft fractures show a poor conducting capacity. Liquid lack seriously restricts oil production. Conventional and large-scale acidifications were applied; however, acid fluids reacted rapidly when they came close to wells, showing a restricted effective range and poor efficiency. A deep acidification technique was implemented, which conducted far channels and showed a good prospect.

**Key words:** conductivity; deep acidification; fractured-vuggy carbonate reservoir; Tahe oil field

### 1 应用背景

塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏储集体受构造形成的裂缝及多期岩溶作用形成的溶洞控制, 储集体非均质性强, 溶洞间依靠裂缝连接, 裂缝主要起到渗流作用<sup>[1]</sup>。随着油田开发深入, 受多轮次注水污染、能量下降裂缝闭合、完井酸压效果差等综合影响<sup>[2]</sup>, 远井裂缝导流能力差的井逐步增多, 生产表现为供液不足、液面恢复, 严重制约油井生产。前期主要依靠常规酸化、大型酸化等传统酸化理念改造, 酸液进入近井地带即快速反应, 作用距离十分有限。前期累计实施改善通道类酸化 37 井次, 有效率仅 48%。急需优化工艺技术、完善选井原则, 通过研制新的酸化工艺和配液体系, 解决远井通道导流问题。

### 2 工艺技术改进

#### 2.1 转变挖潜理念

传统酸化理念主要是解除近井污染, 作用范围

有限。为充分挖潜缝洞型油藏远端潜力, 突破传统酸化理念, 提出了改善远端导流能力的 4 个做法: (1) 优化酸液体系 (降低反应速度, 提升酸蚀距离); (2) 较大施工排量 (减少缝口反应时间, 加强远端刻蚀); (3) 较大酸液规模 (增大作用距离); (4) 大规模过顶替 (将酸液推向远端)。

#### 2.2 优化酸液体系

通过不同酸液室内实验对比, 可以发现地面交联酸黏度较高, 有较好的造缝性能, 地面交联酸 H<sup>+</sup> 传质系数低一个数量级 (图 1), 缓速性能优, 穿透距离更长 (图 2); 自生酸与胶凝酸和 20% 的纯 HCl 相比, 同样的实验时间下, 与 30 g 岩心进行反应, 自生酸反应速率最慢, 3.5 h 仅反应掉 13.8 g, 更有利于远距离改造<sup>[3]</sup> (表 1)。

#### 2.3 优化施工参数

深穿透酸化在传统酸化施工基础上进行了各项参数优化, 改造范围由井周向远井突破, 其中重点优化了酸液类型、酸液规模、注酸排量、顶替液量 (表 2)。

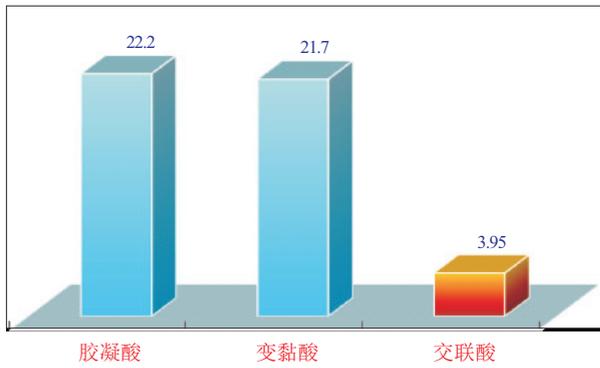


图 1 不同酸液 H<sup>+</sup>传质系数对比

Fig.1 Comparison of H<sup>+</sup> mass transfer coefficients of different acid solutions

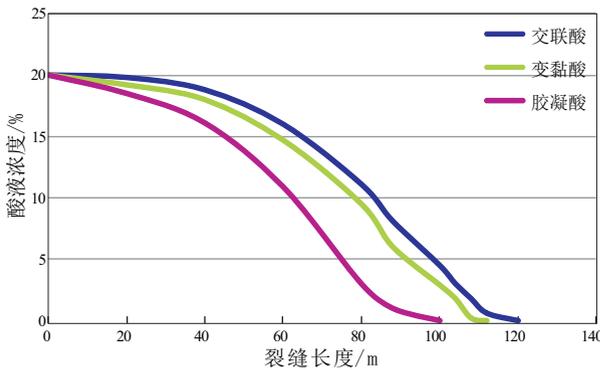


图 2 不同酸液作用距离模拟对比

Fig.2 Simulation contrast of action range of different acidizing fluid

表 1 不同酸液室内实验对比

Table 1 Laboratory comparison of different acidizing fluid

酸体系	实验岩心/g	反应时间	岩心反应情况
自生酸	30	3.5 h	只反应掉 13.8 g
胶凝酸	30	3.5 h	反应完全
20%的纯 HCl	30	20 min	反应完全

表 2 不同酸化类型参数对比

Table 2 Comparison of parameters of different acidizing types

类型	传统酸化	深穿透酸化
酸化作用	改造近井	改造远端通道
酸液类型	胶凝酸、变黏酸	地面交联酸、自生酸
作用范围	井周 2~3 m	>20 m
井底压力	<破裂压力	<破裂压力
酸液规模	较小规模 (<80 m <sup>3</sup> )	较大规模 (>200 m <sup>3</sup> )
注酸排量	<2 m <sup>3</sup> /min	>5 m <sup>3</sup> /min
顶替液量	小液量	大规模或注水顶替

### 3 选井原则完善

酸化的最终目的是改善供液通道,因此正确判断远端供液通道的通畅程度是深穿透酸化改造的重要依据。矿场实践过程中,主要通过 RTM、分频、波阻抗反演三大地震资料对比,同时结合注水指示曲线、能量指示曲线、压恢压降曲线和液面恢复霍纳曲线等 4 条曲线,对井洞关系、生产特征、能量特征及导流能力 4 个主要特征进行综合分析。重点结合近远井能量差异、启动压差 ( $\Delta P > 13$  MPa) 以及液面恢复霍纳曲线(两段斜率比值  $\beta > 2$ , 反应远近两段通道流动系数(通常大于 2 出现裂缝渗流屏蔽),判断远端导流能力<sup>[4-6]</sup>,针对性实施深穿透酸化(图 3)。

### 4 应用效果分析

2014 年开展矿场实践以来,已累计实施深穿透酸化 17 井次,有效 14 井次,无效 2 井次,低无效井主要受沟通底水、远端能量弱影响,导致增油效果差,整体有效率 82.4%,平均单井增油 3 783 t,

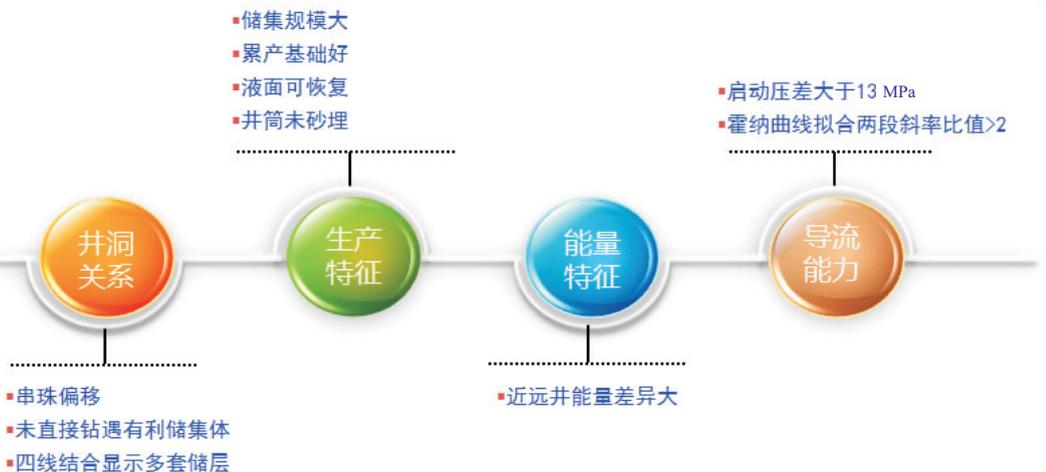


图 3 深穿透酸化选井标准

Fig.3 Well selection standard for deep acidification

累计增油 64 313 t(表 3)。

典型井(XX3):酸压完井,配合多轮次注水替油生产,注水曲线显示初期 2 000 m<sup>3</sup> 不起压,井筒正常,注水后期散点,远端通道不畅,拟合启动压差 16.5 MPa。深抽后最低液面 2 620 m,有效闭合应

力达 49.9 MPa,裂缝长期导流能力下降 75%,该井前期累计产液 19 972 t,产油 17 354 t。

后决定采用地面交联酸进行深穿透酸化(图 4),并配合高压注水协同挖潜,2015 年 12 月实施深穿透酸化,累计注入 930 m<sup>3</sup>,其中地面交联酸 280 m<sup>3</sup>,酸化

表 3 塔河油田深穿透酸化效果统计

Table 3 Statistics of deep acidification effect in Tahe oil field

类型	序号	井号	完工日期	前期累 产油/t	启动 压差/ MPa	斜率 比β	施工 总规 模/m <sup>3</sup>	酸液 规模/ m <sup>3</sup>	酸液 类型	累增 油/t	评价 结果	备注
多轮次 注水 通道 污染	1	XX1	2015-11-03	4 794	15.5		560	350	地面交联酸	3 257	有效	
	2	XX2	2016-01-01	14 390	16.0		960	360	自生酸	1 582	有效	沟通底水
	3	XX3	2016-01-05	20 369	16.5		930	280	地面交联酸	8 366	有效	
	4	XX4	2016-01-14	9 278	18.0	2.14	788	260	自生酸	123	无效	能量弱
	5	XX5	2016-01-26	4 785	13.5		830	350	地面交联酸	8 212	有效	
	6	XX6	2016-06-11	8 403	15.0		760	200	地面交联酸	2 751	有效	
小计:6口		平均值		10 337	16		805	300		4 049		
能量 下降 引起 裂缝 闭合	7	XX7	2014-06-22	8 691	13.5		460	200	地面交联酸	7 200	有效	
	8	XX8	2015-08-28	72 971	14.0		855	420	自生酸	16 541	有效	
	9	XX9	2017-02-16	11 895	15.0		470	150	地面交联酸	1 947	有效	
	10	XX10	2017-05-06	68 949	13.0		500	200	地面交联酸	1 222	有效	
小计:4口		平均值		40 626	14		571	243		6 727		
完井 沟通 效果差	11	XX11	2014-07-25	4 930	15.5		424	190	自生酸	0	无效	沟通底水
	12	XX12	2015-07-20	0	13.5		570	220	地面交联酸	8 308	有效	
	13	XX13	2016-11-19	3 902	13.0	3.16	800	300	地面交联酸	1 150	有效	
	14	XX14	2017-02-15	9 022	14.0	2.0	830	260	地面交联酸	2 023	有效	
	15	XX15	2017-03-12	9 597	22.0	3.4	670	330	地面交联酸	104	评价期	注水变差
	16	XX16	2017-04-16	11 936	13.0	3.3	650	350	地面交联酸	566	有效	
	17	XX17	2017-06-16	5 518	15.0		650	300	地面交联酸	961	有效	
小计:7口		平均值		6 415	15		656	279		1 873		
合 计:17口		平均值		15 849	15		689	278		3 783		

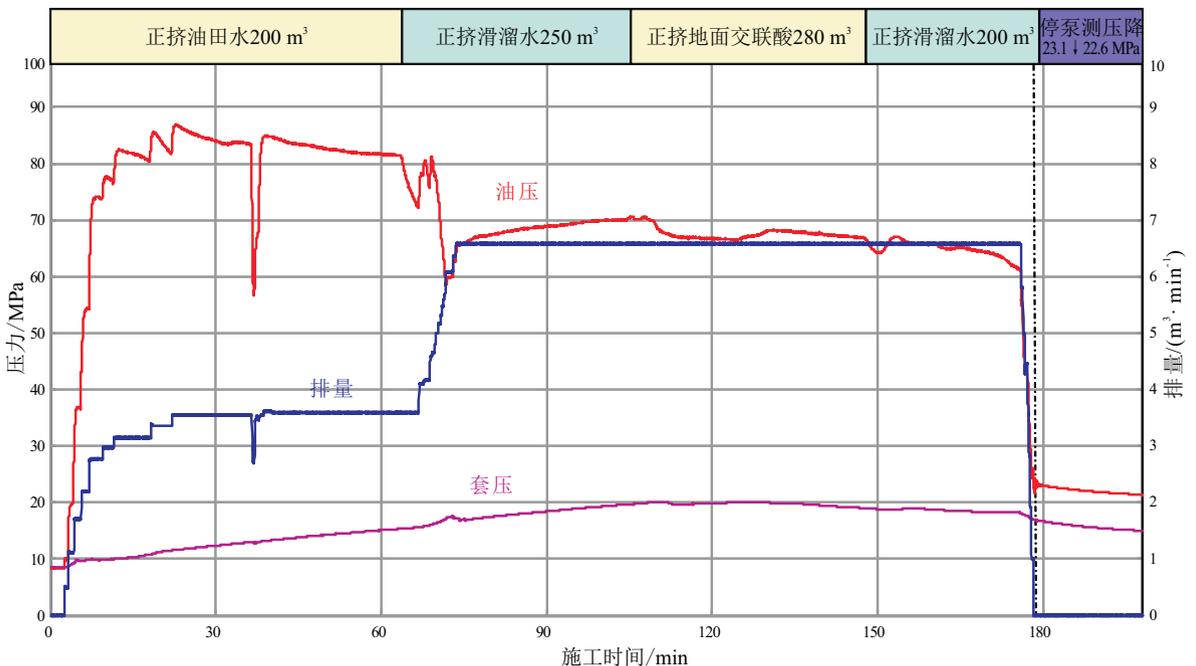


图 4 XX3 井深穿透酸化曲线

Fig.4 Deep acidification curve of well XX3

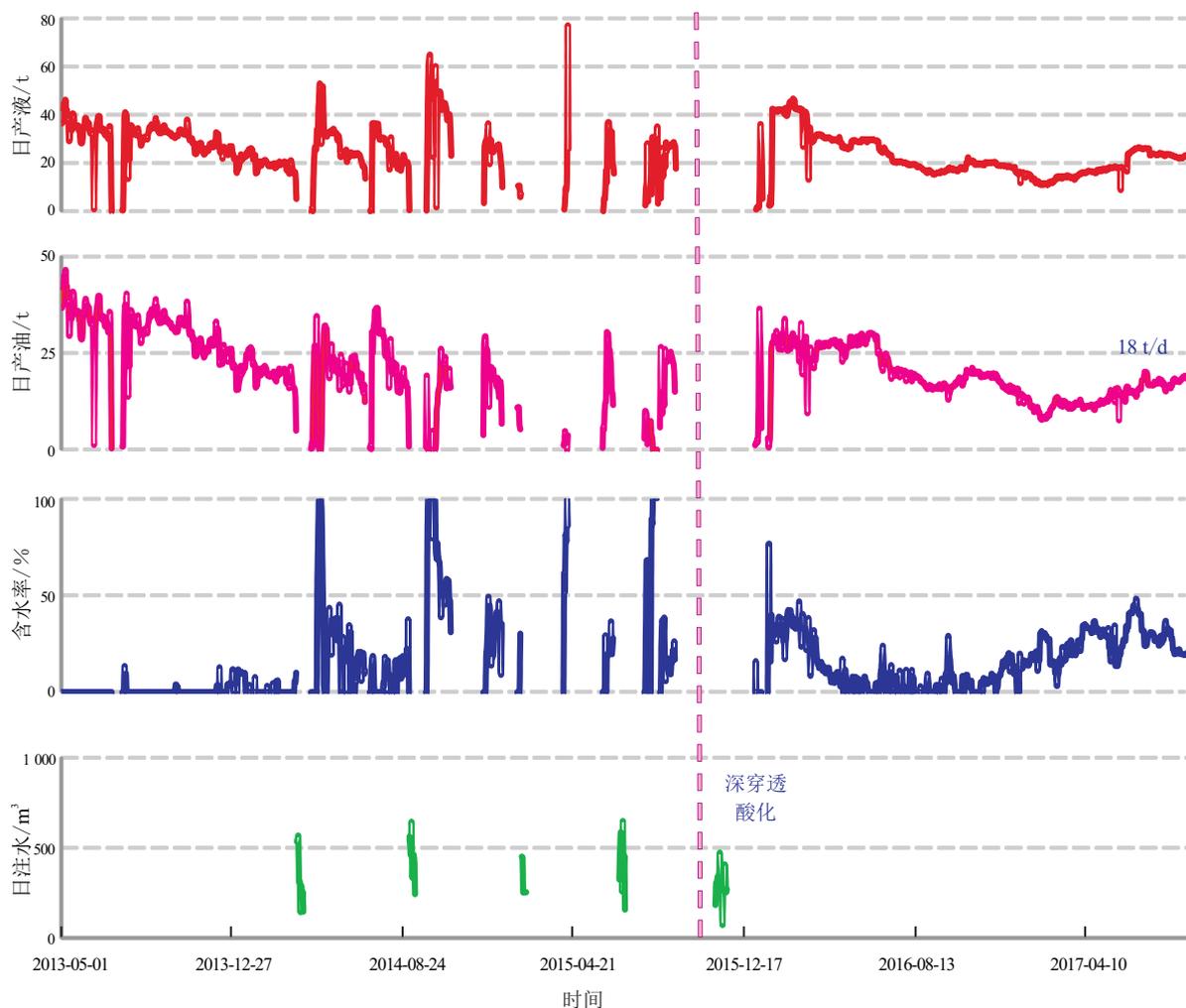


图 5 XX3 井日度生产曲线

Fig.5 Daily production curve of well XX3

后配合高压注水  $4\ 500\ \text{m}^3$  顶替。措施后该井日增油  $20\ \text{t}$ , 已累计增油  $8\ 366\ \text{t}$  (图 5)。

## 5 结论与建议

(1) 传统酸化仅针对近井实施改造, 而地面交联酸、自生酸具有酸蚀速度慢、穿透距离远的优势, 可重点改造远端裂缝通道, 现场试验效果较好, 后期可继续在同类型油藏推广应用。

(2) 部分低效井主要受沟通底水影响, 后期针对区域底水活跃的油井, 施工时应考虑控缝高。

(3) 远端能量低会引起裂缝应力敏感, 建议深穿透酸化施工后配合高压注水复合挖潜, 提高增油效果。

(4) 深穿透酸化处于试验推广阶段, 酸液体系、改造距离、施工参数仍有完善空间, 下步可探

索不同酸液体系、不同酸液浓度非均匀组合。

### 参考文献:

- [1] 罗娟, 陈小凡, 涂兴万, 等. 塔河缝洞型油藏单井注水替油机理研究[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(2): 52-55.
- [2] 丁磊, 张世亮, 海涛, 等. 注水指示曲线在塔河碳酸盐岩油藏深抽中的应用实践及认识[J]. 石油实验地质, 2014, 36(S1): 77-80.
- [3] 关海杰, 胡文庭, 罗攀登. 塔河油田深穿透酸液体系性能研究[J]. 精细石油化工进展, 2014, 15(6): 15-18.
- [4] 李传亮. 裂缝性油藏的应力敏感性及产能特征[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(1): 72-75.
- [5] 马国建, 蒋林, 程洪, 等. 塔河油田托普台区块碳酸盐岩油藏裂缝闭合认识与探索[J]. 石油实验地质, 2014, 36(S1): 61-63.
- [6] 张军, 徐福华. 有效应力下裂缝性岩石物性特征分析[J]. 太原理工大学学报, 2005, 36(5): 27-28.

(编辑 叶德燎)