

文章编号: 2095-0411 (2013) 03 - 0033 - 04

# 台兴油田乳化酸配方室内试验研究<sup>\*</sup>

黄 静, 万国赋

(常州大学 石油工程学院, 江苏 常州 213016)

**摘要:** 乳化酸是一种适用于低渗透储层的酸化液, 具有降低酸岩反应速率, 深部酸化的优点。针对台兴油田敏感性油藏, 分析其地层和岩芯特征, 研制出了适合低渗、低能油井的乳化酸配方, 并通过室内试验对该配方的配伍性、破乳性能、热稳定性、粘度、防膨性、腐蚀率和缓蚀速率进行了评价。实验结果表明: 各种添加剂和土酸无分层或沉淀; 破乳率在 4h 基本达到 85% 以上; 配制的乳化酸在 80℃ 下 2h 稳定性良好; 乳化酸对粘土的膨胀率小于土酸对粘土的膨胀率; 缓速性能良好。

**关键词:** 乳化酸; 酸化; 深部酸化; 台兴油田

中图分类号: TE 39

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095-0411.2013.03.009

## Laboratory Study of Emulsified Acid's Formula

HUANG Jing, WAN Guo-fu

(School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** Emulsified acid is acidizing fluid which is used for low permeable layer, its advantages is reducing the reaction rate between acid and rock, and deep acidification. Based on the sensitive reservoir properties of Taixing oilfield, new formula of emulsified acid was developed by analyzing its formation and core characteristics, it suits low permeable and low energy wells, its compatibility, deemulsification, thermal stability, viscosity, anti-swelling and corrosion rate were evaluated by laboratory experiments, experiment results show that all additives used in emulsified acid have no stratified or precipitation reaction with soil acid; deemulsification rate basically reached 85% at 4h; the developed emulsified acid kept good stability of 2h at 80℃; comparing with soil acid, emulsion acid has low effect on clay swelling; its retardation performance is good.

**Key words:** emulsified acid; acidification; deep acidification; Taixing oilfield

乳化酸是国外上世纪 70 年代发展起来的一种适用于低渗透油气田的酸化液, 是由乳化剂将油和酸适当乳化得到的油包酸型乳液, 这类乳化酸体系在油藏中容易沿通油孔道流动, 是实现油藏深部酸化的方法之一<sup>[1]</sup>。乳化酸进入地层之初, 油相将酸液与地层岩石隔开, 使酸液不与岩石直接接触反应。随着乳化酸进入地层深度的增加, 乳液温度不

断升高, 同时由于地层流体的稀释, 乳化剂在岩石表面的吸附, 导致乳化酸的稳定性降低, 乳液逐渐破乳释放出酸液与深部地层岩石反应, 刻蚀并沟通较深远处的孔、洞、缝, 扩大了通油孔道, 从而达到深部酸化的目的<sup>[2]</sup>。

针对台兴油田岩层的储层特点, 评价适用于该油田敏感性油藏的乳化酸, 使其具有较好的热稳定

\* 收稿日期: 2012 - 09 - 09

作者简介: 黄静 (1987-), 女, 江苏徐州人, 硕士生。

性,在地层条件下不发生组分分离,具有适宜的粘度与缓蚀性,与地层及地层流体配伍。通过考察所配制乳化酸各项性能,筛选出适用于低渗、低能油并且施工易配制、易泵注、易返排的乳化酸配方。

## 1 台兴油田的储层特点

台兴油田位于溱潼凹陷东北斜坡带,是中-低渗透狭长形层状复杂断块油藏,储集岩以细砂岩为主,其次为粉砂岩。岩石类型有长石石英细砂岩、杂细砂岩、岩屑长石细砂岩、长石细砂岩等。岩石组构由陆源碎屑和填隙物组成,碎屑成份由石英、斜长石和钾长石组成,以石英为主,其次为斜长石和钾长石。填隙物由杂基和胶结物组成,杂基多为泥质,胶结物成份以方解石为主,次为粘土,粘土矿物以高岭石为主,其次为绿泥石、伊利石和伊蒙混层矿物,具有较强的水敏性。陆屑含量高达70%~82%,杂基含量8%~15%,胶结物含量2%~30%,一般在20%左右,局部井段较高,成分以碳酸盐矿物为主(5%~17%)。孔隙度变化不大,孔隙的最大孔径范围值94~190 $\mu\text{m}$ ,最小孔径范围值3~28 $\mu\text{m}$ ,平均孔径值25~85 $\mu\text{m}$ ,以小孔隙为主,中孔隙次之,大孔隙较少。渗透率变化大,级差为3~150以上,变异系数为0.81~1.28,非均质性强<sup>[3-4]</sup>。台兴油田储层的低渗透性和强非均质性是造成吸水能力低的主要潜在因素,而水质相关的注入水与地层水不配伍是造成该地层损害的主要诱发因素。

## 2 乳化酸酸液体系配方确定

### 2.1 油相的确定

#### 2.1.1 乳化酸中油的确定

乳化酸中的油可以是原油、煤油、柴油、轻质油。以原油为外相的乳化酸粘度均很高,使施工泵注摩阻和在管柱中的摩擦阻力增大,对施工不利。煤油闪点较低,不安全。用柴油(闭口闪点大于65 $^{\circ}\text{C}$ )配制乳化酸较为适宜,综合考虑,确定0#柴油为乳化酸的外相。

#### 2.1.2 乳化剂的确定

配制的乳化酸要求具有乳液粘度及稳定性适中、可调,酸化后残液粘度及残液表面张力低,其室内及现场配制工艺简单、操作方便,技术合理可靠,易配制、易泵注、易返排等特点,所以乳化剂是乳化酸配方的关键组分,对乳化酸酸化性能影响

较大。一般要求选择的乳化剂既具有较强的乳化力,又具有较强的破乳能力以及良好的化学稳定性与配伍性。综合国外选用乳化剂的成功经验以及台兴油田的砂岩油藏特性,使用复合油溶性乳化剂比较合适,通过广泛调研和比较,选择乳化剂RH-1<sup>[5]</sup>。

### 2.2 酸相的确定

#### 2.2.1 酸液类型的确定

由储层岩石矿物成分分析结果可知,地层成分以砂岩为主,选用土酸(盐酸+氢氟酸),可更好的解除地层堵塞<sup>[6]</sup>。出于酸液成本及HF浓度过高易产生二次沉淀的考虑,初步选定标准土酸(12% HCl+3% HF)为主体酸液配方体系。

#### 2.2.2 酸液添加剂的确定

苏北油田属砂岩油藏,岩矿主要成份为硅酸盐和硅铝酸盐,存在于岩矿中的粘土主要有伊利石、蒙脱石、伊/蒙混层、绿泥石混合粘土层。当岩矿中存在硅酸盐和硅铝酸盐颗粒时,易水化膨胀和分散运移,同时,粘土矿物主要成份硅铝酸盐,硅铝酸盐具有阳离子交换能力,会引起粘土运移。砂层粘土中绿泥石含量较高,绿泥石是典型的含铁粘土矿物,当与盐酸接触时,铁就会释放出来,使得粘土矿物的结构遭到破坏留下非晶状沉淀物。所以最终确定乳化酸配方如下:61%土酸+30.7%0#柴油+2.3%乳化剂RH-1+1%铁稳定剂NTS-2+1%缓蚀剂SH+2%防膨剂GF-01+2%助排剂D80。

## 3 乳化酸性能评价

### 3.1 单项配伍性评价

所选添加剂如果与酸液不配伍,会造成分层或沉淀,分层导致酸化效果不理想,沉淀则会使流动通道堵塞,造成储层伤害。因此,配制空白标准土酸溶液,分别加入各种添加剂进行单相配伍性评价,在80 $^{\circ}\text{C}$ 条件下进行试验,试验时间为4h,实验结果见表1(酸液类型为标准土酸)。从表中看出各种添加剂与标准土酸无分层和沉淀产生,配伍性良好。

### 3.2 D80助排剂单项破乳性能评价

酸压时,酸液进入储层与原油接触,在流动搅拌下酸与原油会产生乳化,不利于残酸返排。因此,酸液中需加入适量的破乳剂,以减少储层内的

乳化堵塞, 降低酸处理过程中乳化造成的储层伤害, 提高残酸液的返排效果。试验采用油田原油, 在 80℃ 条件下进行 D80 (助排剂) 表面活性剂的破乳试验评价, 酸液和油样用量都为 40mL。D80 (助排剂) 表面活性剂将酸液全部析出, 具有很好的破乳效果, 2h 破乳率 100%。

表 1 酸液与添加剂单项配伍性试验数据表

Table 1 The data of acidizing fluid and additive single compatibility test

配方	温度/℃	颜色	透明度	分层	沉淀
2%SH (缓蚀剂)	25	淡黄色	透明	无	无
	80	淡黄色	透明	无	无
1%D80 (助排剂)	25	无色	透明	无	无
	80	无色	透明	无	无
1%NTS-2 (铁稳定剂)	25	无色	透明	无	无
	80	无色	透明	无	无
1%GF-01 (粘土稳定剂)	25	无色	透明	无	无
	80	无色	透明	无	无

### 3.3 乳化酸热稳定性评价

乳化酸未达到酸化目的层之前, 要保持乳化酸有较低的破乳率, 以减少与地层表面的接触, 延缓酸岩反应速率。到达目的层之后, 此时的乳化酸要求有较高的破乳率, 以起到深部酸化的目的。基于以上分析, 对不同比例的乳化剂在不同温度条件下破乳率随时间变化的情况进行分析, 找出适合深部酸化的最佳乳化剂比例。实验结果见表 2。从表中可以看出, 破乳率随温度的升高而增大, 这是由于

表 2 乳化酸热稳定性测试 (乳化剂 RH-1)

Table 2 The stability test of emulsified acid (emulsifier RH-1)

油相中乳化剂 比例/%	时间/h	破乳率/%		
		25℃	60℃	80℃
0.5	2	20	100	100
	4	90	100	100
	6	100	100	100
1.0	2	0	100	100
	4	50	100	100
	6	80	100	100
1.6	2	0	20	25
	4	20	100	100
	6	50	100	100
2.3	2	0	8	9
	4	0	86	90
	6	0	100	100
3.0	2	0	0	0
	4	0	60	65
	6	0	100	100

乳化酸的热不稳定性, 体系内分子运动加快, 导致破乳率增大; 2h 时, 比例为 0.5%、1%、1.6% 的乳化剂破乳率较高, 不满足深部酸化的要求。

4h 时, 比例为 3% 的乳化剂破乳率较低, 不能使酸液与岩石充分的接触反应, 酸化效果不好。综合分析, 乳化剂比例为 2.3% 时, 2h 的破乳率较低, 而破乳率在 4h 达到 85%, 满足现场深部酸化的施工要求。

### 3.4 粘度测定

配制乳化酸时乳化强度过强, 会增大乳化酸的粘度, 粘度的增高会增大施工泵注摩阻; 乳化强度小, 会影响乳化酸的稳定性能。在 25℃ 温度下, 使用 6 速旋转粘度计对配制好的乳化酸样品和土酸进行粘度测定, 实验测得乳化酸的表观粘度为 73.5mPa·s, 土酸的表观粘度为 2.8mPa·s, 由此可见, 与土酸相比, 乳化酸的粘度较大, 这是由乳化液的乳化增粘作用引起的。

### 3.5 粘土防膨性测定

称 5.0g 膨润土分别放入两个相同的有刻度试管中, 墩实后测得初始体积, 各加蒸馏水 2mL, 水化 15min 后, 分别加入 10mL 乳化酸和 7.5mL 土酸, 室温下定时观察体积变化情况。由表 3 可以看出, 乳化酸对粘土的膨胀率要小于土酸对粘土的膨胀率, 说明乳化酸对粘土的水化膨胀影响更弱, 符合现场施工要求。

表 3 粘土膨胀率对比

Table 3 The contrast of clay swelling ratio

酸类型	粘土初始 体积/mL	酸处理一定时间后粘土体积/mL			体积 膨胀率
		4 h	8 h	12 h	
乳化酸	4.6	4.7	5.0	5.0	8.7
土酸	4.6	5.5	5.9	6.2	28.0

### 3.6 腐蚀率测定

在 45℃ 下采用 SY5405-91 盐酸酸化缓蚀剂性能的实验方法及评价指标<sup>[7-8]</sup>对岩心进行溶蚀实验, 测得乳化酸、土酸静态腐蚀速度分别为 1.18、21.4g/(m<sup>2</sup>·h)。乳化酸与土酸相比, 缓蚀性能比较明显, 而且腐蚀程度更均匀。这是由于乳化酸流入岩心时, 乳化酸中的油相吸附在岩心表面形成一层保护膜, 减少了酸液对岩心的腐蚀, 起到了很好的深部酸化效果。

### 3.7 乳化酸缓速性能测定

用静态试验方法 (岩样失重法) 测乳化酸的缓速性能。在常压, 温度不高于 90℃ 条件下, 比较岩样 (台兴油田台 8 井储集层岩心) 在乳化酸与土

酸中的失重率,用于评价乳化酸的静态缓速性能及最终溶蚀能力。

测定结果见图 1,由图 1 知土酸对岩心的溶蚀速率开始较大,随反应时间的延长而明显下降,乳化酸 RH-1 对砂岩岩心的溶蚀速率一直比土酸低,且溶蚀速率呈现平稳变化的趋势,说明乳化酸 RH-1 对岩心缓速效果明显,而且乳化酸 RH-1 与土酸相比较,平均缓速率小于 40%,具有较好的缓蚀性。

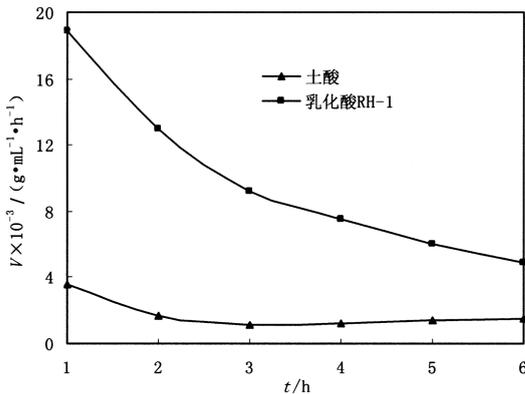


图 1 乳化酸 RH-1 与土酸对岩心溶蚀速率曲线

Fig. 1 Dissolution rate curve of emulsified acid RH-1 and soil acid on core

### 4 结 论

(1) 结合储层特性,分析出了适合台兴油田的乳化酸,其配方为:61%土酸+30.7%0#柴油+2.3%乳化剂 RH-1+1%铁稳定剂 NTS-2+1%缓蚀剂 SH+2%防膨剂 GF-01+2%助排剂 D80。

(2) 经热稳定性评价,在乳化剂 RH-1 比例为 2.3%时,所配制的乳化酸稳定,80℃下 2h 稳定性良好,4h 破乳率基本达到 85%以上,满足现场施工要求。

(3) 配制的乳化酸对粘土的膨胀率要小于土酸对粘土的膨胀率,对粘土的水化膨胀影响更弱,减小了施工泵注摩阻,提高了乳化酸的稳定性能。

(4) 静态缓速性能评价结果表明,对于所提供的台 8 井岩心样品,乳化酸的缓速率能小于 40%,缓速效果明显,达到了较好的酸化效果。

### 参考文献:

[1] 熊春明,周福建,马金绪,等. 新型乳化酸选择性酸化技术 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34 (6): 740 - 744.

[2] 刘炜,熊楠,吴志鹏,等. 缓速酸种类及乳化酸应用研究进展 [J]. 精细石油化工进展, 2010, 11 (9): 12 - 18.

[3] 刘斌,杨琦,谈士海. 台兴油田注水水质对储层的伤害和对策 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24 (1): 87 - 96.

[4] 朱宏绶. 台兴油田综合调整研究及效果分析 [J]. 油气藏评价与开发, 2011, 1 (3): 36 - 40.

[5] 张谦,陈大钧,熊颖,等. 抗高温乳化酸酸化技术的研究与应用 [J]. 钻井液与完井液, 2008, 25 (2): 51 - 53.

[6] 伦增琨,李生华,房会春,等. 现河庄油田牛 872 块油井酸化液体系优选实验 [J]. 油气地质与采收率, 2005, 12 (5): 59 - 61.

[7] 张天胜. 缓蚀剂 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.

[8] 张平,刘建伟,谢璞,等. 注水井深部酸化技术在吐哈油田的应用 [J]. 断块油气田, 2009, 16 (1): 102 - 104.