

# 潜山水井降压增注技术优化调整

金明波

兴隆台采油厂工艺研究所

DOI: 10.12238/jpm.v5i12.7516

**[摘要]** 随着油田注水开发不断深入进行,注水井实施了多次作业,部分井由于作业时入井液污染或酸化后返排不彻底,对地层造成二次污染,近井地带受到一定的损害,随着注入水推进,堵塞污染也越来越深入地层,造成地层深部污染。为提高马古6块水井注水效果,应对该区块解堵剂配方进行优化改进,进而提高化学解堵措施效果。现场应用表明,该技术具有缓速、耐高温、增强吸水能力的特点;具有优越的阻垢性能,可有效防止二次沉淀生成,避免了二次伤害,提高解堵效果;通过解堵剂的优化有效解决了马古6块注水井堵塞问题。

**[关键词]** 降压增注;油田注水;优化调整;马古6块

## Optimization and adjustment of antihypertensive and injection technology in Qianshan well

Jin Mingbo

Xinglongtai Oil Production Plant Technology Research Institute

**[Abstract]** with the oilfield water injection development, water injection Wells for many times, because part of the well into the fluid pollution or back after acidification is not thorough, cause secondary pollution to the formation, near well zone by certain damage, with the injection water, blocking pollution is more and more deep formation, causing deep formation pollution. In order to improve the water injection effect of 6 Wells, the formula of plugging agent in this block should be optimized and improved, so as to improve the effect of chemical plugging measures. Field application shows that the technology has the characteristics of slow speed, high temperature resistance and enhanced water absorption capacity; it has superior scale resistance, which can effectively prevent secondary precipitation formation, avoid secondary damage and improve the effect of plugging through the optimization of plugging agent.

**[Key words]** antihypertensive and injection; oilfield water injection; optimization and adjustment; Magu 6

### 前言

马古6块油田位于辽宁省盘锦市大洼县田家镇,属于马圈子低潜山。马古6块储层以角砾岩为主,内部发育网状高角度裂缝,油层分布受储层物性及裂缝发育程度控制,发育一套较为单一的储层,含油井段相对集中,具有统一温度、压力系统。马古6块油井初期以天然能量开采,地层能量下降较快,转注水开发后,由于该区块渗透率低,注入水配伍性较差,水并结垢情况严重,造成注水井近井地带堵塞,注水压力升高,吸水能力下降,导致部分油井低产。

### 1 堵塞因素确定研究

(1)马古6块配伍性实验需取地层水、滤前注水+地层水、滤后注水以及自来水+地层水四个水样,经过80℃烘烤24小时后观察发现地层水、自来水+地层水无明显变化;滤前注水+地

层水、滤后注水有明显沉淀。



图1 马古6块配伍性实验

实验表明注入水滤前滤后与地层水高温混合均结垢,本层产出水、自来水与地层水配伍性没问题。

(2)注入水中含有的细菌在注水系统和油层中的繁殖将

引起储层空隙的堵塞，使吸水能力降低。这些细菌的繁殖除了菌体本身会造成地层堵塞外，还会作用生成 FeS 及 Fe(OH)<sub>3</sub>

沉淀而堵塞地层。特别是代谢产物中的黏胶与铁离子结合后，会形成一种刚性颗粒并吸附在岩石孔道表面而堵塞地层。

表1 注入水水质检测

分析项目	含量 mg/L	分析项目	含量 个/mL
悬浮固体	49.13	腐生菌	10-10 <sup>3</sup>
含油	1.79	还原菌	10-10 <sup>2</sup>
pH 值	9.12	铁细菌	10-10 <sup>2</sup>

表2 低渗透油藏注入水水质标准

指标	悬浮固体 mg/L	含油量 mg/L	粒径中值 μm	SRB 菌 个/L	铁细菌 个/L	腐生菌 个/L	总铁 mg/L	平均腐蚀率 mm/a
水质要求	≤3	≤8	≤0.8	≤10	≤10 <sup>2</sup>	≤10 <sup>2</sup>	≤0.5	≤0.08

2 水井解堵剂优化

2.1 常规解堵技术

近年来，水井解堵技术主要针对砂岩油藏，解堵剂主要采取氢氟酸、不同种类添加剂等为主。该技术措施后取得较好效果，鉴于该技术的成功应用，针对马古6块的堵塞因素，从最难解决也是影响解堵效果关键的两个问题入手，我们开展了解堵剂配方优化。

2.2 技术的研究与改进

为实现有效的清除马古6块储层污染，达到解堵增注的目的，我们对多氢酸的配方进行改进，改进主要包括主体酸、缓蚀剂、稳定剂。研究的主要内容如下：

2.2.1 酸液体系的筛选

岩心溶蚀率是反应酸与岩石反应多少的重要指标，本实验用的药品为马古6块岩心、氢氟酸、复合酸（FHS），计算不同酸液的岩心溶蚀率。

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_2 - m_0} \times 100\%$$

ω—岩心溶蚀率，%；

m<sub>0</sub>—滤纸重量，g；

m<sub>1</sub>—放入岩心粉的重量，g；

m<sub>2</sub>—与酸反应一段时间后岩心粉的重量，g；

表3 岩心在不同酸液中的溶蚀率

序号	酸液配方	不同反应时间下的溶蚀率/%			
		30min	60min	90min	120min
1	氢氟酸 0.5	8.01	8.42	8.90	8.94
2	氢氟酸 1.0	10.29	11.15	12.39	12.66
3	氢氟酸 2.0	13.35	14.41	14.85	15.22
4	氢氟酸 3.0	18.46	19.91	20.06	20.83
5	土酸 0.5	12.20	16.35	18.61	20.01
6	土酸 1.0	14.77	22.13	23.79	23.88
7	土酸 2.0	17.42	22.65	24.11	24.39
8	土酸 3.0	21.68	23.31	24.86	24.92
9	复合酸	9.76	13.81	16.34	20.13

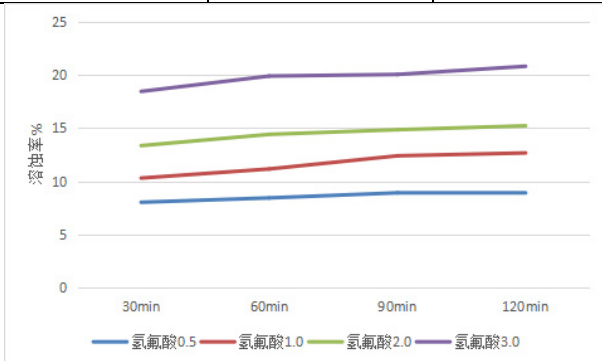


图2 不同浓度氢氟酸的溶蚀率

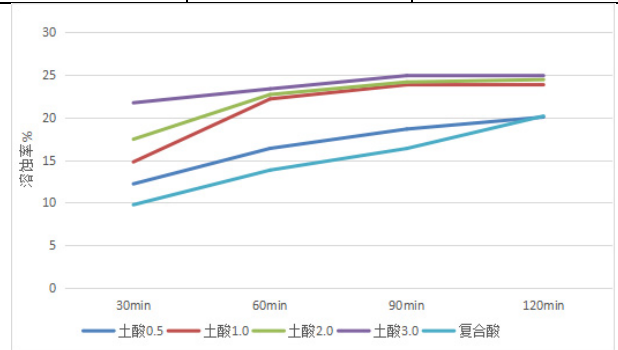


图3 不同浓度土酸及复合酸的溶蚀率

由图2可看出，在25℃的反应温度下，古潜山油田岩心与0.5%、1.0%、2.0%、3.0%的氢氟酸反应后，岩心的溶蚀率均随反应时间的延长而升高，且氢氟酸的浓度越高，溶蚀率越高，反应时间相同时，随着酸浓度的增加溶蚀率明显提高，当氢氟酸浓度由0.5%升高至3.0%时，30min时的溶蚀率由8.01%提高至18.46%，120min时溶蚀率则由8.94%提高至20.83%。

由图3可看出浓度12%的盐酸与四种浓度的氢氟酸组成土酸体系，浓度12%的盐酸加入相应的提高了每种浓度氢氟酸在相同条件下的溶蚀率最终均在20%以上。

相对上述两种酸，复合酸开始反应速率较慢，超过60min后反应速率加快，表明该酸液体系能在储层的深部进行溶蚀反应。

2.2.2 高温(150℃)岩心的溶蚀率

实验温度选用表4为储层温度150℃下，在12%HCl+3.0%HF的土酸及复合酸的体系中，在不同的反应时间下的溶蚀率。

表4 150℃下岩心在不同酸液中的溶蚀率

序号	酸液配方	不同反应时间下的溶蚀率			
		3h	6h	12h	24h
1	土酸	19.60	25.92	27.67	29.40
2	复合酸	13.07	19.04	21.00	28.13

由表4可以看出，两种酸的溶蚀率最终都能达到28%以上，只是反应速率上有较明显的差异，其中复合酸前3h反应速率较低，具有好的溶蚀效果。

2.2.3 高温缓蚀剂的确定

缓蚀剂采用挂片失重法，酸液与钢片的面容比为20ml酸/cm<sup>2</sup>，钢片腐蚀时间4h。在150℃的温度下，将称重后的试片分别放入未加缓蚀剂和加入缓蚀剂的恒温酸溶液中，测量腐蚀速率。

分别向土酸和复合酸加入缓蚀剂A，缓蚀剂B，将试片浸入未加缓蚀剂和加入缓蚀剂的上述酸液中反应4h，计算腐蚀速率，实验结果见表5。腐蚀速率的计算公式如下：

$$V_i = \frac{10^6 \Delta m_i}{A_i \Delta t}$$

式中 V<sub>i</sub>—单片钢片的腐蚀速率，g/(m<sup>2</sup>·h)；

Δm<sub>i</sub>—试片腐蚀式中，g；

Δt—反应时间，h；

A<sub>i</sub>—试片表面积，mm<sup>2</sup>。

表5 反应4h后钢片的腐蚀速率

钢片编号	酸液	腐蚀速率	钢片编号	酸液	腐蚀速率
1	土酸	126.71	4	复合酸	87.18
2	土酸+A	9.63	5	复合酸+A	8.54
3	土酸+B	1.08	6	复合酸+B	0.61

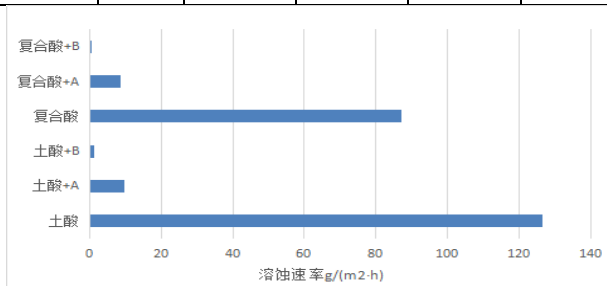


图4 反应4h后钢片的腐蚀速率

图4可看出，几种酸液中加入缓蚀剂A和B后，腐蚀速率都有大幅度降低，而B的缓释效果更佳，因此选用B作为酸化用缓蚀剂。

2.2.4 铁离子稳定剂的确定

实验在150℃下，将50mL质量浓度为40g/L的铁离子稳定剂加入到烧杯中，然后加入20mL质量浓度为5g/L的铁离子标准液，用质量分数为5%碳酸钠调节溶液pH值至6，加热至沸腾后即可停止加入，观察溶液的澄清情况，若澄清再加入铁离子标准液，重复此步骤，直到溶液出现沉淀停止实验。计算铁离子稳定能力：

$$N = \frac{aV_1}{bV_2}$$

式中 N—稳定铁离子的能力，mg/g；

V<sub>1</sub>—铁离子标准溶液的体积用量，mL；

V<sub>2</sub>—试样体积用量，mL；

a—氯化铁标准溶液铁离子的含量，mg/mL；

b—铁离子稳定剂样品的含量，g/mL。

表6 铁离子稳定剂稳定能力检测结果

序号	铁离子稳定剂	铁标准溶液用量/mL	稳定能力 mg/g
1	EDTA	25.92	64.8
2	NTA	44.08	110.2

由表6可看出，NTA的稳定能力大110.2mg/g，选择NTA作为古潜山油藏酸化用铁离子稳定剂。

2.2.5 实验结论

通过室内试验选用复合酸+缓蚀剂B+NTA铁离子稳定剂作为马古6块解堵剂的主要配方。

该解堵剂还对溶液中多价金属离子具有络合能力，并且可以在很低的浓度下将金属离子“螯合”于溶液中，从而使一些容易生成沉淀的金属离子保持溶液状态。同时，对Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>等离子有很强的吸附能力，使之很难有机会与F<sup>-</sup>、SiF<sub>6</sub><sup>2-</sup>形成氟盐沉淀和氟硅酸盐沉淀，从而抑制二次沉淀生成。也就避免了二次污染发生。

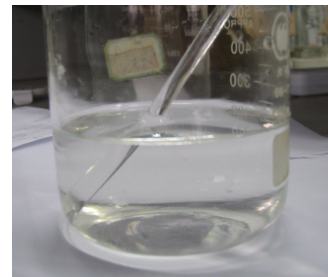


图5 复合酸解堵剂、CaCl<sub>2</sub>和NaHCO<sub>3</sub>

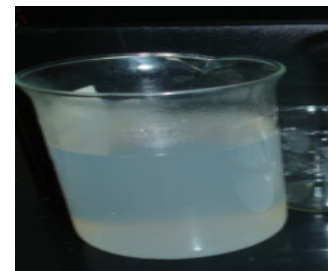


图6 加碱调至中性CaCl<sub>2</sub>、NaHCO<sub>3</sub>80℃加热2h

从图中二种溶液的颜色对比可以看出,复合酸对Ca<sup>2+</sup>有较好的螯合能力。所以能一定程度的减少金属离子沉淀的产生,从而改善解堵效果。

### 3 现场应用

#### 3.1 实施情况

在确定马古6块堵塞因素后,在细致油藏分析的基础上,

表7 措施情况统计表

井号	施工日期	开井日期	措施前			目前注水情况			配注 (m <sup>3</sup> )	累增注 (m <sup>3</sup> )
			油压 (Mpa)	套压 (Mpa)	日注 (m <sup>3</sup> )	油压 (Mpa)	套压 (Mpa)	日注 (m <sup>3</sup> )		
马古6	2016.6.1	6.18	15	14	注不进	10	10	45	50	8258
马古6-4C	2016.11.02	12.13	15	14.5	注不进	13.5	13	44	50	3976
马古6-6-8	2017.4.13	2017.4.17	13	13	注不进	11.5	11.4	31	30	4892

典型井例分析: 马古6

表8 马古6井生产情况

注水时间	注水井段、层位、厚度/层数	注水情况			备注
		油压 (MPa)	套压 (MPa)	日注 (m <sup>3</sup> )	
2014.8.01	4349.0—4373.0m MZ (23.0m/3层)	11	11	24	2014.8.1转注, 现累注水 10066 m <sup>3</sup>
2014.9.14		15	15	注不进	
2014.12.4		13.5	13.5	注不进关	

该井2014.8.1转注。初期注水油压11MPa,日注水24m<sup>3</sup>,初期注水压力较高,14~16年期间注水压力在11~16MPa之间,注水一个月后注不进,日注25m<sup>3</sup>。2014.12.4注不进关井。通过地质资料分析,该井主要存在以下问题:储层物性差,渗透率低,后期油井转注水,存在垢堵、细菌堵塞等。

2016.6.1日该井解堵,措施后效果明显,压力平均下降5MPa以上,日注水能力由措施前的注不进提高到3040 m<sup>3</sup>,截止到2017年3月19日,累增注8258m<sup>3</sup>,对应受效油井马古6-8-16累计增油1228t,累计增气283852m<sup>3</sup>。

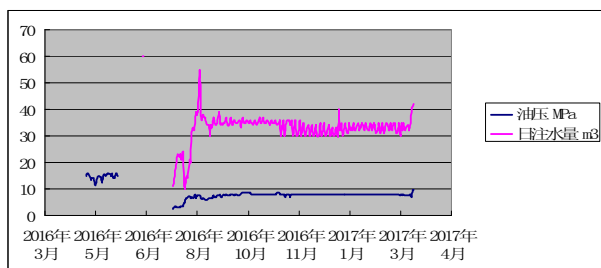


图7 马古6油压、日注水量关系曲线

#### 3.2 经济效益分析

现场3口井的应用表明,该技术具有较强的解堵能力,实施后降压增注效果明显。对解除垢堵以及细菌堵塞等具有明显

研究针对性解堵剂,经过室内实验的反复筛选、常用解堵酸液体系的实验数据对比,确定酸液解堵体系的组成,在马古6块油田进行现场应用。

于2016年5月25日开始投入现场实施,共施工了2口井:马古6,马古6-4C,施工后降压增注效果明显,达到配注要求。

的解堵效果。共实施解堵措施3井次,投入资金30万元,截止目前对应受效油井马古6-8-16、马古6-6-16井累计增油1552t,累增气353852m<sup>3</sup>。

### 4、结论及建议

(1) 该技术对改善马古6块储层物性、解除垢堵、细菌堵塞等效果明显,是马古6块油田水井降压增注的有效手段。

(2) 对兴马古潜山的油水井进行筛查分析,推广该项解堵技术,对兴隆台采油厂兴马古潜山油水井堵塞进行有效治理。

#### [参考文献]

[1]胡阳阳;注水井降压增注工艺技术研究及推广[J];化工管理;2015(19).

[2]王虎;注水井降压增注工艺的研究与应用探讨[J];清洗世界;2023(10).

[3]孙鹏飞;杜勋;荣新明;刘洋;吴广;王冠华;注水井连续液动解堵效果及对多轮次酸化影响[J];石油化工应用;2022(3).

[4]高阳;何诚;方茹佳;蒋圆圆;注水井降压增注工艺的研究与应用[J];化工设计通讯;2019(4).