

富含伊利石的低渗透砂岩酸化微观实验

——以川中某气田须家河组为例

王 滢¹, 唐洪明^{2,3}, 杨海博³, 耿 亭³, 赵 玲³

(1. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司 地质勘探开发研究院, 四川 成都 610051; 2. “油气藏地质及开发工程”
国家重点实验室 西南石油大学, 四川 成都 610500; 3. 西南石油大学 资源与环境学院, 四川 成都 610500)

摘要:利用扫描电镜和常规酸敏实验等岩矿测试手段,分析了川中某气田须家河组富含伊利石的低渗透砂岩储层的酸化效果,系统对比了酸化流动实验前后伊利石微观结构特征的变化。常规酸敏实验结果表明,盐酸酸敏程度为中等偏强,土酸酸敏程度为强。伊利石经过盐酸酸化后,晶形基本无变化。伊利石经过土酸酸化后,出现了不同程度的溶蚀;半充填孔隙的片状伊利石被溶蚀后倒塌,附着在岩石颗粒上,增大了储层孔隙体积;晶体遭受部分溶蚀,晶形模糊;酸化后产生的微粒物质附着于伊利石表面。土酸酸化破坏了岩心的原生结构。通过毛管流动孔隙结构仪测试酸化前后孔隙结构参数,表明酸化后储层有效喉道大小没有得到明显改善。

关键词:低渗透砂岩;酸化;伊利石;微观结构;孔隙结构

中图分类号:TE353.3

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2010)01-0105-03

根据储层岩石敏感性与岩性的对比分析,通常认为伊利石胶结物同储层岩石的速敏、水敏及酸敏都有关系:伊利石的丝缕状结构可能在水动力作用下解体而引起速敏;伊利石氧层中吸附的钾离子可在酸性地层水中脱出成为膨胀性矿物而引起水敏;伊利石酸蚀后生成水合二氧化硅沉淀及矿物碎屑会堵塞地层而引起酸敏^[1]。在常规酸化体系中(土酸、盐酸),目前还没有伊利石与酸反应的基本特征和变化规律方面的系统研究。为此,笔者选取川中某气田须家河组代表性岩心进行了岩石学特征、物性特征等测试分析,结合酸化流动实验结果,着重从微观角度分析了与酸反应前后伊利石特征和储层孔隙结构参数的变化,以此来探讨伊利石的酸敏程度和机理,为改进现有酸化液体系提供依据。

1 地质特征

川中某气田须家河组储层岩石类型为中—细粒长石石英砂岩,颗粒呈次棱—次圆状,分选中等。岩心有效孔隙度为5%~18.6%,平均为9.5%;渗透率为 $0.05 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,裂缝发育程度不同。石英相对含量平均为

69%;长石相对含量平均为29%,以钾长石和斜长石为主;白云石相对含量平均为2.72%;岩屑相对含量平均为11%。粘土矿物以伊利石和绿泥石为主,见少量伊蒙间层,不含高岭石。绿泥石相对含量平均为50.8%。伊利石相对含量平均为47.0%。伊蒙间层相对含量平均为1.9%。粘土矿物平均绝对含量为4.2%。具有储渗意义的孔隙类型主要有残余粒间孔和粒内溶孔,其次是微裂缝。储层喉道直径为 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ 。地层水矿化度为115 096~235 125 mg/L,平均为175 811 mg/L,为CaCl₂水型。

2 伊利石特征及产状

须家河组伊利石发育,广泛分布于粒表和粒间,晶形完好,产状有片状、丝带状、毛发状和鳞片状等(图1)。片状伊利石晶片长轴一般为 $4 \sim 20 \mu\text{m}$,叶片状晶体导致孔喉表面粗糙度增大,油水渗流阻力增加,并且利于沉淀物和胶体颗粒赋存在其表面上;毛发状或丝状伊利石晶片长轴一般为 $15 \sim 20 \mu\text{m}$,在孔隙中呈杂乱堆积或桥接状分布,在高速流体作用下可能会进一步分散,造成微粒运移,堵塞孔喉。伊利石集合体形态呈蜂窝状、丝缕状和丝带状。伊

收稿日期:2009-10-20;改回日期:2009-12-29。

作者简介:王滢,女,硕士,从事储层微观分析及保护技术方面的研究。联系电话:13882281602,E-mail:shoushouwy@yahoo.com.cn。

基金项目:中国石油天然气集团公司中青年科技创新基金项目(06E1019)和四川省教育厅青年基金项目(2006B061)

利石往往在孔隙中形成搭桥式生长或构成丝缕状、发丝状网络。这些产状的伊利石将储层中的大孔道分割成小孔道,形成大量晶间微孔,这些晶间微孔内吸附大量水分子,形成水膜,使储层有效喉道半径和孔喉尺寸缩小,引起喉道堵塞,形成水锁,造成储层含水饱和度高,使气相渗透率降低^[2]。伊利石最主要的损害机理为微粒运移及水锁损害。

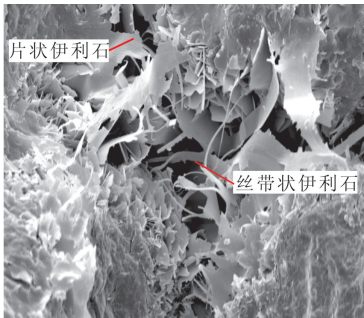


图1 伊利石微观特征

3 实验评价

3.1 实验方法及结果

酸敏实验包括一定浓度的盐酸(15% HCl)和土酸(12% HCl+3% HF)的敏感实验。盐酸酸敏实验流程为:①岩心烘干,测定岩心的气测渗透率(K_g)。抽空饱和与地层水相同矿化度的 KCl 溶液 20h 以上,用氮气驱建立初始含水饱和度(S_{w1}),测气测渗透率,作为岩心初始渗透率(K_i)。②砂岩样品反向注入 0.5~1 倍孔隙体积的 15% HCl。③停驱替泵,包括注酸在内的酸反应时间为 1h。④开驱替泵,正向用氮气驱,建立相同初始含水饱和度(S_{w2})后,再气测渗透率(K_a)。

土酸酸敏实验流程为:①岩心烘干,测定岩心的气测渗透率。抽空饱和与地层水相同矿化度的 KCl 溶液 20h 以上,用氮气驱建立初始含水饱和度,测气测渗透率,作为岩心初始渗透率。②反向注入 1 倍孔隙体积的 15% HCl 前置液,接着反向注入 0.5~1.0 倍孔隙体积的常规土酸(12% HCl+3% HF)。③停驱替泵,包括注酸在内的酸反应时间为 1h。④

开驱替泵,正向用氮气驱,建立相同初始含水饱和度后,再气测渗透率。

用实验所测的 2 个渗透率 K_i 和 K_a , 计算酸敏指数,即

$$I_a = \frac{K_i - K_a}{K_i} \times 100\% \tag{1}$$

式中: I_a 为酸敏指数,%; K_i 为酸处理前初始含水饱和度条件下岩样的初始气测渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; K_a 为酸处理后建立相同初始含水饱和度后的气测渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

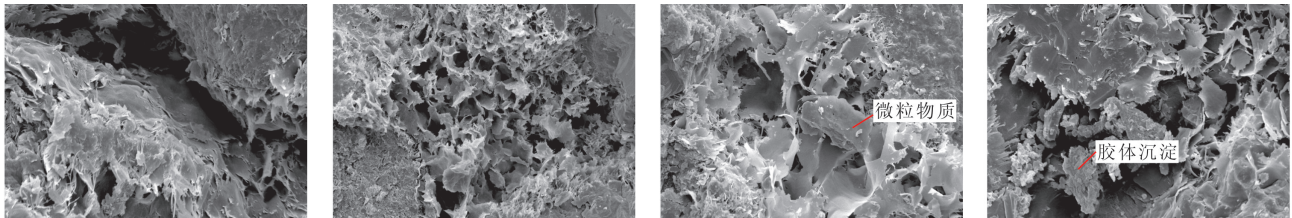
由酸敏实验结果可以看出(表 1),盐酸酸敏指数为 10.6%~59.0%,平均为 27.2%,酸敏程度为中等偏强;土酸酸敏指数为 28.6%~62.9%,平均为 47.6%,酸敏程度为强。

表 1 酸敏实验结果								
岩心号	酸液	$K_g / 10^{-3} \mu\text{m}^2$	$S_{w1}, \%$	$K_i / 10^{-3} \mu\text{m}^2$	$S_{w2}, \%$	$K_a / 10^{-3} \mu\text{m}^2$	$I_a, \%$	酸敏程度
1	盐酸	0.195	46.2	0.094	46.2	0.084	10.6	中等偏弱
2		0.157	52.4	0.075	52.8	0.066	12.0	中等偏弱
3		1.665	34.0	1.368	33.94	0.561	59.0	极强
4	土酸	0.121	47.0	0.098	46.9	0.070	28.6	中等偏强
5		0.219	46.3	0.113	46.1	0.055	51.3	极强
6		1.267	37.0	0.722	37.1	0.268	62.9	极强

3.2 伊利石微观结构的变化

岩心经过盐酸酸化后,通过扫描电镜观察伊利石特征发现,盐酸与伊利石反应弱,伊利石晶形基本无变化。Simon 等^[3]研究粘土矿物在酸中的稳定性时,将伊利石分别置于 3% 和 15% 的盐酸中,在 85℃ 的条件下对流 24h,发现伊利石仍然稳定。

岩心经过土酸酸化后,通过扫描电镜观察伊利石特征发现,伊利石均呈现了不同程度的溶蚀(图 2):①半充填孔隙的片状伊利石被土酸溶蚀后倒塌,附着在岩石颗粒上,释放了孔隙空间,使储层孔隙体积增大(图 2a,图 2b)。②晶体被土酸部分溶蚀,晶片遭受不同程度的损害,晶形模糊(图 2c,图 2d);伊利石酸蚀后生成水合二氧化硅沉淀及矿物碎屑会堵塞地层而引起酸敏。土酸一次反应溶解了铝硅矿物,



a—片状伊利石被溶蚀后倒塌 b—晶体遭受部分溶蚀 c—微粒物质附着于伊利石表面 d—胶体沉淀

图2 土酸酸化后伊利石微观特征

二次反应是一次反应次生的氟硅酸进一步与伊利石反应,在其表面形成硅凝胶沉淀,三次反应为当氟硅酸完全反应生成硅凝胶后,氟铝化合物继续与铝硅酸盐反应^[4-6]。③酸化后产生的微粒物质附着于伊利石表面。土酸酸化后除了生成沉淀外,还会破坏岩石的原生结构,使矿物易失稳、脱落、分散、运移。释放出的地层微粒可被伊利石捕集,堵塞孔喉,使岩心渗透率降低^[7-8]。

3.3 岩心孔隙结构的变化

采用毛管流动孔隙结构仪测试酸化前后 3 号与 6 号岩心孔隙结构参数的变化,研究酸反应对岩心渗流能力的影响。由实验结果可知(表 2):①酸化后岩心泡点压力普遍呈上升趋势,说明酸蚀后最大孔径普遍减小。3 号岩心盐酸酸化后泡点压力上升

了 4.67%,最大孔径减小了 4.66%。6 号岩心土酸酸化后泡点压力上升了 23.85%,最大孔径减小了 26.87%。②岩心酸化后孔径变小,大孔径消失,小孔径分布变大;3 号和 6 号岩心酸化后气测渗透率分别下降了 58.98%和 62.9%。③酸处理后岩心的原生结构发生了变化,稳定性变弱,释放了一些地层微粒,并发生了微粒运移。④结合有效喉道直径分布、渗透率贡献、最大孔径以及泡点压力变化可以看出,酸化后岩心的孔径发生了明显变化,大孔径被沉淀、微粒堵塞后分隔成小孔径,渗流通道变小,岩心渗透率降低。⑤由于单一酸体系中没有加入防垢、排垢的添加剂,因此酸化效果不佳,在以后实际现场施工中可以优选酸液配方,添加有效的添加剂,寻求更好的酸化处理方法。

表 2 岩心酸化处理后的微观孔隙结构参数

岩心号	酸液	有效喉道直径/ μm	有效吼道所占比例,%		有效吼道对渗透率的贡献,%		最大孔径/ μm		泡点压力/MPa	
			驱替前	驱替后	驱替前	驱替后	驱替前	驱替后	驱替前	驱替后
3	盐酸	0.3~0.4	32.12	0.77	47.42	34.51	0.815	0.777	0.257	0.269
		0.2~0.3	37.26	16.90	33.31	27.31				
		0.1~0.2	30.63	74.58	19.27	36.84				
		<0.1	0	7.76	0	1.34				
		>0.4	1.18	0.01	60.10	55.53				
		0.15~0.3	0	0.16	0	25.01				
6	土酸	0.13~0.15	25.46	0	16.89	0	0.748	0.547	0.291	0.383
		0.1~0.13	8.27	99.84	2.80	19.46				
		<0.1	65.09	0	20.22	0				

4 结论

川中某气田须家河组伊利石发育,广泛分布于粒表和粒间,晶形完好,产状有片状、丝带状、毛发状和鳞片状等。伊利石经过土酸酸化后,呈现了不同程度的溶蚀,主要有 3 种形态:半充填孔隙的片状伊利石被溶蚀后倒塌,附着在岩石颗粒上,增大了储层孔隙;晶体遭受部分溶蚀,晶形模糊;酸化后产生的微粒物质附着于伊利石表面。伊利石经过盐酸酸化后,晶形基本无变化。可以通过优选各种降表面张力剂、助排剂、铁离子稳定剂、粘土稳定剂和防酸渣剂等添加剂来减小酸敏损害程度,达到在现场进行有效酸化的目的。

参考文献:

[1] 钟孚勋,贺伟,贺承祖,等.砂岩酸化反应的微观机理研究[J].天

然气工业,2000,20(2):64-66.
[2] 万仁溥.现代完井工程[M].北京:石油工业出版社,2000.
[3] Simon D E,Anderson M S. Stability of clay minerals in acid[J]. SPE 19422,1990.
[4] 邢希金,唐洪明,赵峰,等.伊利石与土酸/氟硼酸反应实验研究[J].西南石油大学学报,2007,29(3):29-31.
[5] 程晓玲,何将启,梁世友.粘土矿物在储层定量评价及预测中的应用——以苏北盆地台兴油田阜三段储层为例[J].油气地质与采收率,2006,13(1):17-19.
[6] 王正波,岳湘安,韩冬.粘土矿物及流体对低渗岩心渗流特性的影响[J].油气地质与采收率,2007,14(2):89-92,95.
[7] 程晓玲.粘土矿物成岩作用对油气储集性和产能的影响——以苏北盆地台兴油田阜三段储层为例[J].石油实验地质,2003,25(2):164-168.
[8] 贾统权.粘土矿物与油藏演化的对应关系对储层敏感性的影响——以正理庄油田樊 131 区块沙四段滩坝砂油藏为例[J].油气地质与采收率,2007,14(5):12-15.