

流体 pH 值对致密砂岩储层渗透率的影响

杨建¹ 康毅力¹ 兰林¹ 胡永东² 陈家明²

(1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院 2.中国石油西南油气田分公司川中油气矿)

杨建等.流体 pH 值对致密砂岩储层渗透率的影响.天然气工业,2005;25(10):33~35

摘 要 地层流体 pH 值一般分布在 4~9 范围,一旦侵入储层的流体 pH 值过高或过低,将引发外来流体与储层流体、储层矿物不配伍的问题,必然造成储层损害。文章以川中香溪群致密砂岩气层为例,开展流体 pH 值逐级升高和 pH 值逐级降低对储层渗透率改变的综合评价实验。实验表明,储层具有强碱敏、强的 HCl 酸敏感性。研究指出,高 pH 值流体条件诱发粘土矿物微结构的破坏,导致伊利石、绿泥石等粘土矿物溶解、脱落、分散(运移),渗透率大幅度下降;低 pH 值流体破坏绿泥石的晶体结构,使结构中的 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 等离子析出,产生 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 以及 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀,堵塞喉道。

主题词 pH 值 致密砂岩 储集层 保护 粘土矿物 四川盆地 中部

一、引 言

地层流体 pH 值一般分布在 4~9 范围,一旦侵入储层的流体 pH 值过高或过低,就会引发外来流体与储层流体不配伍、外来流体与储层矿物不配伍的问题,必将对储层造成损害。目前国内外学者关于流体 pH 值不断升高对储层渗透率的影响研究较多^[1~3],Mungan、Browning 等人早在 20 世纪 80 年代初就指出高的流体 pH 值将对储层造成损害^[1],然而关于流体 pH 值不断降低对储层的影响研究较少。特别是在致密砂岩气藏开发过程中,靠储层本身的产能很难达到理想的采气量,常规的做法均采用酸化、水力压裂等改造措施。但酸化处理也并非总可以增加产量,甚至还能造成减产^[4]。川中致密砂岩气层开发同样面临这些难题,八角场及其它相似区块酸化作业失败的例子,使我们认识到应该加强研究流体 pH 值变化对致密砂岩气层的影响。

二、致密砂岩气层的基本特征

川中地区香溪群岩性主要为灰色、灰白色中粒长石石英砂岩、中粒岩屑长石石英砂岩,见少量暗色矿物,颗粒呈次棱角—次圆状,分选中等,该砂岩气层平均孔隙度为 4.2%,平均渗透率为 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,压汞资料分析最大喉道半径为 $2.42 \mu\text{m}$,饱和中值喉道半径为 $0.06 \sim 0.39 \mu\text{m}$,其中 50% 的喉道

半径在 $0.25 \mu\text{m}$ 以下,属于典型的低孔致密砂岩气层。

储层粘土矿物(粒径小于 $4 \mu\text{m}$)平均含量为 15.3%。SEM、XRD、能谱等分析表明,粘土矿物为绿泥石、伊利石、伊/蒙间层矿物。粘土矿物普遍含铁,绿泥石中 FeO 含量为 27.8%~32.1%,伊利石中 FeO 含量高达 15.2%。

三、实验方法

将编号的柱塞岩心两端切平,量取长度、直径,然后烘干保存。在 SCMS—I 型高温高压岩心多参数测量系统上测定常规物性(ϕ 、 K)后,置于干燥箱内待用。根据该区地层水资料配制模拟地层水,实验流体以地层水为基础,分别添加 NaOH 或 HCl 调整流体 pH 值。实验以评价基块为主,对其中气测渗透率低于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的岩样进行人工造缝。

流体 pH 值变化评价实验流程:①岩心抽真空饱和和地层水,浸泡 40 h;②测地层水正向渗透率;③用高一级或低一级 pH 值的地层水驱 10~15 倍岩心孔隙体积,浸泡 20 h;④用改变 pH 值后的地层水测岩心正向渗透率;⑤重复③、④,直至做完所有不同 pH 值的流体;⑥用地层水正向驱替 10~15 倍岩心孔隙体积,浸泡 20 h;⑦测地层水正向渗透率,然后测地层水反向渗透率;⑧确定流体损害程度,其评

作者简介:杨建,1978 年生,博士研究生,现主要从事粘土矿物及油气层保护理论与技术研究。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油学院博 2005 级。电话:(028)83033042。E-mail:y2000w@sina.com

价标准采用石油天然气行业标准 SY/T5358—2002。

四、实验结果

1. 流体 pH 值逐级升高评价实验结果

实验结果如表 1, 典型实验结果曲线见图 1。随着 pH 值升高, 岩心渗透率持续下降, 损害程度最高达 89.69%, 损害程度强。曲线图反映出, 反向地层水测岩心渗透率很难恢复到初始地层水测渗透率, 说明储层碱敏损害是很难恢复的。

表 1 实验流体 pH 值逐级升高评价结果

岩心 编号	pH 值	地层 水	8	9	10	13	损害 程度
1	$K(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	0.13	0.11	0.07	0.05	0.03	强
	损害程度(%)	—	13.39	46.12	63.95	75.44	
2	$K(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	0.27	0.09	0.04	0.03	0.03	强
	损害程度(%)	—	65.39	85.46	87.81	89.69	
3	$K(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	0.22	0.13	0.06	0.04	0.05	强
	损害程度(%)	—	42.19	70.96	80.19	78.70	

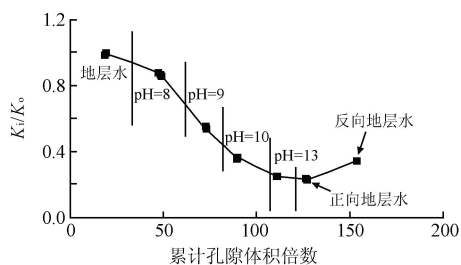


图 1 实验流体 pH 值逐级升高评价结果曲线图

2. 流体 pH 值逐级降低评价实验结果

实验结果如表 2, 典型实验曲线见图 2。损害程度 52.98%~93.86%, 属于中—强, 随着流体 pH 值的降低, 岩心渗透率持续下降, 反向地层水测渗透率仍然难以恢复到初始地层水测渗透率值。

表 2 实验流体 pH 值逐级降低评价结果

岩心 编号	pH 值	地层 水	5	4	3	1	损害 程度
4	$K(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	3.08	2.71	1.61	0.97	0.74	强
	损害程度(%)	—	11.97	47.54	68.52	75.84	
5	$K(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	66.25	3.62	0.35	1.74	4.07	强
	损害程度(%)	—	94.53	99.48	97.37	93.86	
6	$K(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	0.86	0.54	0.41	0.42	0.40	中
	损害程度(%)	—	36.49	51.58	51.23	52.98	

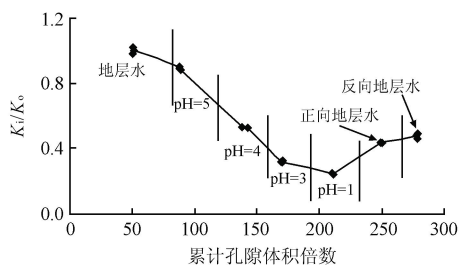


图 2 实验流体 pH 值逐级降低评价结果曲线图

五、实验分析及讨论

微粒运移是储层损害的主要原因。敏感性矿物特别是粘土矿物本身具有特殊性质, 地层被打开之前, 粘土矿物与地层流体处于物化平衡状态, 当水基工作液进入储层后, 无论是离子组成类型还是总的矿化度, 与地层流体存在显著差异, 这种平衡就可能被打破。

当高 pH 值流体进入储层后, 造成储层中粘土矿物及石英、长石等的溶解沉淀, 以及破坏粘土矿物的晶体结构, 造成微粒运移损害。碱性流体条件促进粘土矿物微结构的破坏。高 pH 工作液与地层水作用, 首先沉淀出 CaCO_3 , 甚至出现 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 实验是地层水与 NaOH 配制的模拟流体, 如果用淡水与 NaOH 配制工作液, 预计损害更为严重, 水敏性可叠加在碱敏损害基础上。

在地层酸化处理过程中, 酸可破坏绿泥石的晶体结构, 使结构中的 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 等离子出溶。在富氧条件下, Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 。当更多的绿泥石及其他矿物受酸溶蚀, 酸化剂的酸度就会被大量消耗, pH 值上升。当 $\text{pH} > 5.3$ 时, 就会出现 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体沉淀, 损害储层。同时 Mg^{2+} 离子也可与流体中的 OH^- 结合以 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的形式发生沉淀, 共同损害储层。

六、结 论

(1) 采用流体 pH 值逐级升高和 pH 值逐级降低对储层渗透率改变的综合实验方法, 对川中地区富含绿泥石的致密砂岩气层评价表明, 储层具有强碱敏、强的 HCl 酸敏感性。

(2) 高 pH 值流体条件促进粘土矿物微结构的破坏, 使伊利石、绿泥石等粘土矿物溶解、脱落、分散/运移, 渗透率大幅度下降; 低的 pH 值流体破坏绿泥石的晶体结构, 使结构中的 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 等离子析出, 产生 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 以及 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀, 堵

塞喉道。

(3) 钻井完井过程中要采取有效措施控制高 pH 值工作液侵入储层,对于强酸敏的储层,酸化会带来进一步损害,应立足于保护储层为主,酸化作业应当选择适当类型、浓度的酸以及酸化工艺。

参 考 文 献

1 Coulter Jr A W ,Frick E K ,Samuelson M L .Effect of fracturing fluid pH on formation permeability . SPE 12150 ,1983
2 吴志均 .高 pH 值工作液对油气层的损害 .钻井液与完井液 ,1997 ;14 (1) :20~21
3 Mohnot S M ,Bae J H ,Foley W L .A study of mineral/alkali reactions .SPE 13032 ,1987
4 Michael J Econamides ,Kenneth G Nolte *et al* .油藏增产

措施(增订本) .北京 :石油工业出版社 ,1991
5 王志伟,张宁生等 .低渗透天然气气层损害机理及其预防 .天然气工业 ,2003 ;23(增刊) :28~31
6 Vaidya R N *et al* 著,杨金华译 .pH 值和离子交换对微粒运移和地层损害的影响 .SPE19413 ,1990
7 Bryant S L ,Buller D C .Formation damage from acid treatment .Soc Pet Eng Prod Eng ,1990 ;(5)
8 康毅力,吴志均等 .碱敏损害是塔里木盆地东河塘构造东河 1 井减产的主因 .西南石油学院学报 ,1997 ;19 (4) :14~19
9 康毅力,罗平亚等 .川西致密含气砂岩钻井完井地层损害控制战略 .天然气工业 ,1999 ;19 (4) :46~50

(收稿日期 2005-07-13 编辑 韩晓渝)