

川南香溪群四段低渗裂缝性砂岩储层保护

陈 忠 唐洪明 沈明道
(西南石油学院, 四川南充 637001)

李 涛 李其荣 杨茂康
(川南矿区, 四川泸州 620000)

川南香溪群四段为Ⅰ套致密砂岩储层,物性较差,地层水矿化度较高,微裂缝为其主要的运移通道。地层微粒运移、粘土矿物的水化膨胀、泥浆滤液同地层水作用产生的沉淀物等是储层伤害的主要方式。速敏和碱敏实验显示,地层水临界流速最好取 1.0 ml/min ,工作液的临界 pH 值以 10 为好。储层岩石与泥浆滤液的长期静态分析表明没有新的物质出现。

关键词 储层 致密砂岩 配伍性 碱敏 速敏
第一作者简介 陈忠 男 28 岁 博士 石油开发地质

1 储层特征概述

1.1 敏感性矿物

粘土矿物是引起储层伤害的主要敏感性矿物,在储层伤害的研究中占有极为重要的地位^[1]。扫描电镜观察表明,本套储层中主要发育有高岭石、伊利石、绿泥石、伊/蒙混层等粘土矿物。高岭石以书页状发育于孔隙与溶蚀缝隙中,伊利石以毛发状和弯曲片状发育于孔隙中,绿泥石以竹叶片状发育于孔隙和裂缝中,伊/蒙混层粘土矿物以包膜形式发育于颗粒表面和裂缝、孔隙壁上。总体来说粘土矿物发育于孔隙中和溶蚀缝隙中,属于次生成因。粒间孔隙中还发育有自形晶体发育得特别好的黄铁矿、次生石英。

1.2 物性

铸体薄片、气测孔渗和压汞分析都表明此套储层物性较差,孔隙度为 $1.33\% \sim 3.95\%$,渗透率多小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。强烈的构造运动使石英、长石颗粒普遍发生破裂,后经孔隙水溶蚀,裂缝介质发生溶蚀蚀变,形成了次生的粘土矿物及全部或部分充填的裂缝。微裂缝起着储集和决定渗透能力的作用。在钻井、完井及储层的后期改造过程中,工作液以此为运移通道,在不配伍的情况下储层很容易受到严重伤害^[2]。

1.3 地层水

纳7井和纳14井的地层水资料(表1)表明,区内地层水总矿化度很高,分别达 35 g/l 和

表 1 川南香溪群四段地层水分析资料*

井号	水 化 学 成 分 含 量/ $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$											水 型	总矿 化度/ $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ba^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	OH^-	I, Br	B		
纳 7 井	11 386	1 356	323	371	20 769	0	0	537	0	212	微	NaCl	35
纳 14 井	9 955	739	323	371	17 512	0	0	216	0	184	微	CaCl ₂	29

* 据川南矿区地质研究所杨茂康,李其荣等资料. 1990

29 g/l, 并且二价阳离子 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} 的总含量较高达1 000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 以上。

2 速敏实验评价

因本套储层岩芯较为致密, 孔隙度和渗透率都很低, 因此在作敏感性评价时只有采取人工造裂。人工裂缝与天然裂缝的最大差异在于, 在天然裂缝中发育有次生的粘土矿物高岭石、绿泥石、伊利石等和非粘土矿物如碳酸盐胶结物、次生石英、黄铁矿等, 对外来流体很敏感; 而人工裂缝虽然可能也是原始裂缝发生再次破裂而成, 但总体而言其对流体的敏感性要弱于天然裂缝。

在碱敏实验中为排除流体注入速率的影响, 必须通过速率敏感实验评价研究找到临界流体注入速率, 在碱敏实验评价中流体注入速率始终控制在临界流速以下, 并且越小越好。

2.1 目的

储层速率敏感性是指在试油、采油、采气和注水等作业过程中, 当流体在储层中流动时, 因流体流速过高引起储层中的微粒运移并堵塞喉道, 造成储层渗透率下降的现象。速敏实验的目的就是研究储层中流体流动速率的变化与其渗透率损害的关系, 找出导致渗透率开始发生明显降低的临界流速。地层水携带地层微粒的能力强于气体的携带能力, 在实验研究中以地层水作为研究速敏的流体, 可以提供最低的采气速率和流体的注入速率, 也为随后进行的所有各类流动实验提供一个合理的临界流速。在其他敏感性研究和实际注采中流体流速应低于临界流速。

2.2 过程及要求

(1) 岩芯抽成近真空, 饱和地层水并在地层水中浸泡20 h, 然后再进行不同注入速率下的地层水驱替, 测定岩芯渗透率。

(2) 实验流速依次为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 ml/min 。

(3) 在每一个流速下, 测定岩芯渗透率时, 要求每 10 min 测量一个点, 直到连续 3 点的渗透率相对误差小于 10%, 再改换下一流速进行测定。在实验过程中需要连续驱替。

(4) 速敏性用某一注入速率下测得的岩芯渗透率值 K_i 与所有注入速率测得的最大岩芯渗透率值 K_{max} 的比值表示, 此比值越接近于零则速敏程度和伤害程度越大。当此比值突降时的注入速率则为此种注入流体的临界速率。最大速敏程度用最小的渗透率值 K_{min} 与最大渗透率值 K_{max} 之比即 $K_{\text{min}}/K_{\text{max}}$ 表示。

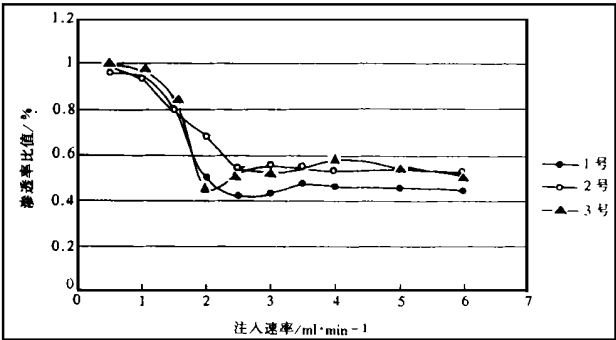


图1 速敏实验结果

从图1和表2可知, 香溪群的地层水临界流速最好取 1.0 ml/min , 其速敏性中等, $K_{\text{min}}/K_{\text{max}} = 0.40\sim 0.54$ 。

表2 香溪群地层水速敏实验结果

样号	$K_{\text{max}}/10^{-3}\mu\text{m}^2$	$K_{\text{min}}/10^{-3}\mu\text{m}^2$	临界流速/ $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$	$K_{\text{min}}/K_{\text{max}}$	速敏程度
1	1 246.10	498.50	1.50	0.40	中等
2	10.32	4.54	1.00	0.44	中等
3	22.90	12.40	1.50	0.54	中等

3 碱敏实验评价

在油田钻井、完井过程中，与地层接触的流体有些具有碱性，如钻井液的 pH 值一般为 8~ 10，固井水泥浆的 pH 值为 11 左右，蒸汽驱油时蒸汽的 pH 值为 11~ 12，而碱驱油时碱液的 pH 值为 11~ 13。研究表明，地下储层中的矿物绝大部分在碱性条件下都不稳定，因此，碱性工作液进入储层后对渗透率会产生一定的影响^[3]。

3.1 实验目的

当高 pH 值流体进入地层后，造成地层中粘土矿物及硅酸盐矿物如石英、长石等的溶解-沉淀，以及破坏粘土矿物的晶体结构，造成微粒运移而损害地层。此外，高 pH 值流体进入储层后，大量的 OH⁻ 与某些阳离子反应生成不溶性沉淀物，亦造成地层的堵塞。碱敏实验的目的就是评价高 pH 值流体进入储层后，储层渗透率的损害程度，并为现场提供合理的流体 pH 值。

3.2 实验程序

- (1) 岩芯抽成近真空后饱和地层水，并在地层水中浸泡 40 h;
- (2) 在临界流速下测定地层水驱替岩芯时岩芯的渗透率 K_f 作为初始渗透率;
- (3) 用 pH= 10.0 的碱液驱替 10 倍岩芯孔隙体积，并浸泡反应 20 h，再测该 pH 值下的稳定渗透率 K_w ;
- (4) 分别用更高一级 pH 值 (pH= 11.0, 12.0, 13.0, 14.0) 的碱液驱替 10 倍岩芯孔隙体积，并浸泡反应 20 h，再测该 pH 值下的稳定渗透率;
- (5) 重复 (4) 步骤，直到做完所有不同 pH 值的碱液。
- 实验中流体注入速率控制在 0.50 ml/min。

碱敏性用 K_w/K_f 表示，碱敏程度或伤害程度用 $(K_f - K_w)/K_f$ 表示。 K_w/K_f 越接近于零则碱敏程度和伤害程度越大。临界 pH 值为在 K_w/K_f -pH 图上伤害程度或渗透率 K_w 发生突降时的 pH 值。

3.3 结果及分析

从表 3 和图 2 可知，南井香溪群四段地层临界 pH 值为 10.0，储层的碱敏性强。当 pH 值

表 3 南井香溪群四段 K_w/K_f 实验结果

样号	$K_f/10^{-3}\mu\text{m}^2$	不同 pH 值的实测值			
		10	11	12	13
JM1	74.01	1.000	0.180	0.187	0.150
JM2	21.75	0.714	0.073	0.055	0.175
JM3	185.76	0.830	0.574	0.726	0.126

超过此值为 11.0 时，JM1，JM2 号岩芯渗透率伤害分别为 82%，93%。岩芯渗透率遇碱液下降的原因为，碱液进入地层中造成敏感性矿物，特别是粘土矿物的溶解、沉淀以及破坏粘土微粒结构造成微粒的分散运移，从而堵塞了喉道。大量研究表明，碎屑岩中储层矿物绝大部分在碱性介质中不稳定，其顺序为蒙脱石> 高岭石> 伊利石> 绿泥石> 斜长石> 钾长石> 石英> 白云岩^[4]。其次，地层水中含有一定的 Ca²⁺，Mg²⁺，Ba²⁺ 离子，当这些离子遇到高

pH 值溶液时, 容易生成大量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 而沉淀, 这些沉淀物的浓度是随 pH 值和 Ca^{2+} , Mg^{2+} 离子浓度而变化, 当沉淀足够多时, 就会堵塞孔隙或喉道, 造成渗透率下降。因此, 地层临界 pH 值不能大于 10, 否则将会导致严重的碱敏伤害。

通过对南井香溪群四段储层的敏感性实验评价表明, 储层的速敏性中等, 碱敏性强, 储层的临界 pH 值为 10。

对于香溪群四段这种裂缝性致密砂岩实施油层保护措施尤为重要, 因为这种微缝、微孔、微喉极易受到伤害, 造成渗透率下降。

4 储层岩石与钻井泥浆滤液的长期静态反应结果分析

把储层敏感性评价的 4 个储层岩芯样品研磨成 50~ 154 μm 的粉末样, 各称取重 5.000 0 g 与 20.00 ml 泥浆钻井过滤液充分混合于惰性反应器中, 在 75℃ 下反应 60 d, 共计 1 440 h, 对反应前后的样品进行 X 射线衍射分析, 以确定有无新物质产生 (图 3, 4)。对

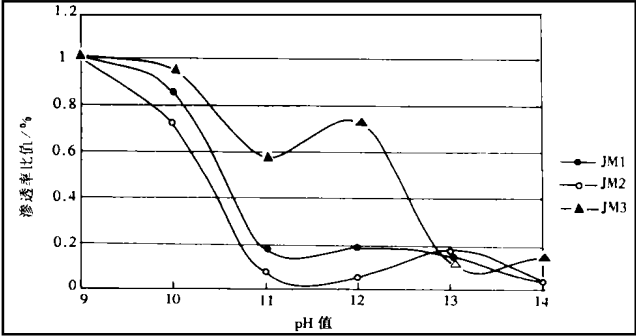


图 2 碱敏实验结果

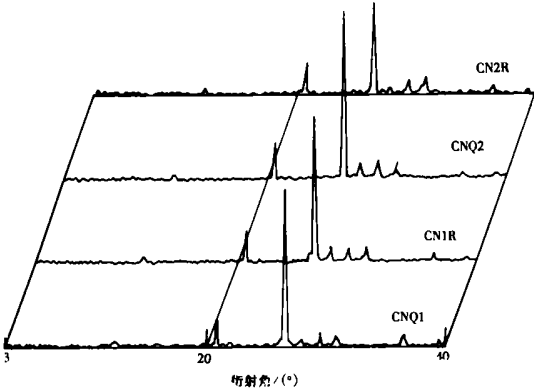


图 3 1、2 号样品反应前后衍射谱线

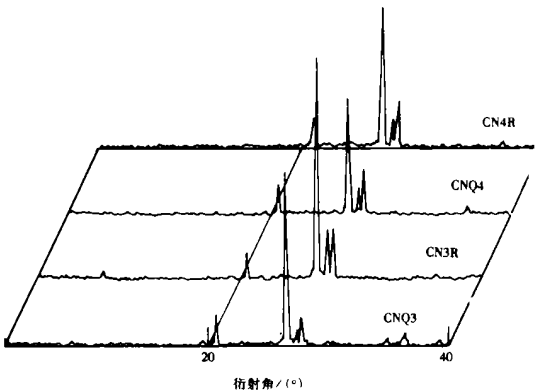


图 4 3、4 号样品反应前后衍射谱线

比分析结果表明衍射峰无明显变化, 证明没有新物质出现。这说明在钻井过程中泥浆滤液不会导致储层岩石中的原始矿物发生明显变化, 储层伤害主要是通过泥浆滤液渗透进入储层与裂隙中和较大孔喉中发育的呈薄膜生长的敏感性粘土矿物发生水化膨胀、颗粒分散与近距离运移, 堵塞孔喉伤害储层的。另外, 泥浆固相微粒还可以进行物理性的堵塞。

为进一步观测泥浆滤液在地下可能发生的化学行为, 对泥浆滤液抽取 2.00 ml, 滴入一滴甲基橙, 显黄色, 用 0.056 2 N 的 HCl 滴定耗掉酸 1.50 ml 到达中性, 算得泥浆滤液为碱性, 其 pH = 12.62, 为较强的碱性。结合本区的地层水资料 (表 2), 在这种碱性条件下泥浆滤液渗透进入地层后很容易与地层水发生反应生成含二价离子的微粒, 造成储层较深部的伤害, 这种伤害方式值得特别重视。泥浆滤液和模拟地层水的配伍性研究表明, 二者混合后在

50℃下静置 3 h 就有黑褐色雪花状固体物质出现，在常温 25℃下静置 5 h 后也观测到同样的现象。可见这种泥浆滤液一旦浸入微裂缝与地层水生成的这种固相物质可对储层造成严重伤害。并且，对砂岩储层来说其中含有大量的铝、硅酸盐矿物，孔隙中还发育有自生石英、高岭石、伊/蒙混层等矿物，在碱性介质中容易析出硅、铝元素的溶胶体物质，与二价离子可形成聚合离子，更会伤害储层^[4]。

5 结论

- (1) 地层微粒发生运移，粘土矿物的水化膨胀、泥浆滤液同地层水中的二价离子作用产生沉淀物是储层伤害的主要方式，尤以泥浆滤液同地层水的作用为最。
- (2) 速敏实验主要是研究储层中流体流动速率的变化与其渗透率损害的关系，本区香溪群四段的地层水临界流速最好取 1.0 ml/min。
- (3) 高 pH 值流体进入储层会使其渗透率造成损害，碱敏实验表明，工作液的临界 pH 以 10 为好。
- (4) 储层岩石与泥浆滤液的长期静态分析显示，衍射峰无明显变化，说明没有新的物质出现。

参 考 文 献

1 陈忠，张哨楠，沈明道．粘土矿物在油田保护中的潜在危害．成都理工学院学报，1996. 23 (2): 80~ 88
2 沈明道，陈忠，唐洪明，等．矿物在碱剂中的化学行为．见：刘树根，陆正元．油气地质进展．成都：四川科技出版社，1996. 144~ 147
3 陈忠，沈明道．碱性成岩环境利于砂岩储层次生孔隙的形成．见：刘树根，陆正元．油气地质进展．成都：四川科技出版社，1996. 149~ 152
4 格尔布洛夫 A T，布钦柯夫 Л H. 碱水驱．崔耀南，金衍泰，译．北京：石油工业出版社，1995. 29~ 47

RESERVOIR PROTECTION OF LOW PERMEABLE FRACTURED SANDSTONES FROM XIANGXI GROUP OF SOUTHERN SICHUAN

Chen Zhong Tang Hongming Shen Mingdao

(Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan)

Li Tao Li Qirong Yang Maokang

(Southwest Sichuan Mineral District, Luzhou, Sichuan)

Abstract

The fourth member of Xiangxi Group in southern Sichuan is tight packed and low permeable sandstone reservoir. Its porosity is less than 3.95%, its permeability is lower than $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Microfractures are the main passages for gas migration. Formation water minerality is high. Further research proves that formation micronites and drilling fluid precipitates resulted from mud percolate and formation water may plug passages and decrease productivity. The tests