

文章编号:1001-6112(2004)01-0084-05

高尚堡沙三段油藏储层 敏感性实验研究及其形成机理

常学军^{1,2}, 尹志军³

(1. 中国矿业大学, 北京 100083; 2. 中国石油 冀东油田, 河北 唐山 063004; 3 石油大学, 北京 102249)

摘要:高尚堡沙三段储层为扇三角洲沉积, 储层物性差, 粘土矿物含量高, 油田注水开发效果很差。论文应用岩心流动实验对高尚堡沙三段储层进行了敏感性研究, 结果表明储层具有较强的速敏性、水敏性和碱敏性, 盐敏性较弱。储层敏感性是影响高尚堡沙三段油藏开发效果的重要因素。通过对储层岩石成分和孔隙结构的分析, 深入剖析了各类储层敏感性形成的机理, 针对不同储层的敏感性提出了在注水开发和钻完井过程中应采取的相应对策。论文的研究成果有助于油田开发方案的调整, 并在实验区块中取得了较好的开发效果。

关键词:储层敏感性; 流动试验; 形成机理; 高尚堡油田

中图分类号: T22.2

文献标识码: B

在油气勘探开发过程中, 储层会与外来流体以及它所携带的固体微粒接触。由于这些流体与储层中的流体和储层矿物如粘土、碳酸盐岩等性质不相匹配, 往往会发生物理、化学反应, 导致储层渗流能力的下降, 从而在不同程度上导致储层受到伤害, 使得注水效果下降, 这就是储层的敏感性^[1-4]。储层的敏感性一般包括速敏、盐敏、水敏、酸敏和碱敏。

高尚堡油田位于河北省唐山市唐海县东南约 60 km 处, 构造位置上属于渤海湾含油气盆地黄骅拗陷南堡凹陷北部。高尚堡深层沙三段油藏探明含油面积 17.4 km², 石油地质储量达 2 895 × 10⁸ m³。油田 1984 年投入开发, 目前日产油 284.8 t, 采油速度 0.49%, 采出程度 7.71%, 产量递减快, 开发效果很差。本文在储层岩石成分、物性特征和孔隙结构分析的基础上, 应用岩心流动实验, 对高尚堡沙三段油藏储层敏感性进行了深入研究, 分析了储层敏感性的形成机理, 并针对各类敏感性提出了在注水开发和钻完井过程中应采取的相应对策, 为油田开发方案的调整和改善开发效果提供地质依据。

1 储层基本特征

高尚堡沙三段地层为扇三角洲近岸快速堆积沉积, 埋深 3 300 m 左右^[5]。储层以中—粗砂和中—细砂岩为主, 含砾砂岩和砂砾岩为次。通过对取心井的岩石薄片、铸体薄片鉴定资料统计分析, 结合岩心观察资料, 高尚堡沙三段储层岩石类型以岩屑石英砂岩为主, 占 67.13%; 长石岩屑砂岩次之, 占 25.17%; 还有少量长石砂岩 (3.50%) 和岩屑砂岩 (4.20%)。储层物性较差, 孔隙度主要分布在 13% ~ 20% 之间, 渗透率一般小于 10 × 10⁻³ ~ 100 × 10⁻³ μm², 平均为 46 × 10⁻³ μm², 基本属于低渗透储层的范畴。

孔隙结构以次生孔隙为主, 包括溶解孔、粒内溶孔、铸模孔等, 另有少量裂缝和颗粒内裂隙。喉道类型以缩颈型喉道为主, 孔缩型及片状喉道为次, 喉道宽度平均为 5.73 ~ 19.97 μm。孔隙连通性较差。

粘土矿物以绿泥石、高岭石、伊利石、伊/蒙混层为主, 未见单纯的蒙脱石, 多呈伊/蒙混层出现。其中绿泥石含量最高, 平均为 57.86%, 分布于粒间及

收稿日期: 2003-06-16; 修订日期: 2003-11-15.

基金项目: 国际科技合作重点项目基金 (2002 增刊 13906). (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

作者简介: 常学军 (1962—), 男 (汉族), 河北蔚县人, 博士生、高级工程师, 主要从事油气田开发研究及管理工作。

粒表;高岭石占 27.46%, 充填于粒间孔中, 分布不均匀;伊/蒙混层平均为 21.22%, 相对含量较高岭石略低;伊利石相对含量较绿泥石和高岭石低, 分布于粒表或粒间。

2 储层敏感性流动实验

岩样的流动实验是储层敏感性评价的重要手段^[6,7]。通过岩样与各种流体接触时发生的渗透率变化, 结合测试的储层岩石的基本性质, 可以评价储层的敏感程度。流动实验过程中, 渗透率变化越大, 表明储层的敏感性越强;反之, 如果渗透率在流动试验过程中变化很小甚至没有变化, 说明储层的敏感性很弱。

对于高尚堡沙三段油藏储层的敏感性流动实验, 我们从位于不同构造部位的井共取岩样 20 块, 分别作速敏、盐敏、水敏和碱敏流动实验, 基本能反映沙三段储层的敏感性特征。

2.1 速敏性

速敏性是指因流体流动速度变化引起储层岩石中微粒运移堵塞喉道, 造成渗透率降低的现象^[2]。通过速敏性流动试验, 研究渗透率变化与流体流动速度的关系, 从而评价储层的速敏性并确定临界流速的大小。

图 1 所示为高尚堡沙三段油藏储层岩样的速敏性曲线。从图中可以看出, 高尚堡沙三段储层均存在速敏性。当注入水达到一定的流速时, 渗透率都会不同程度地下降一定幅度。并且岩石物性越好, 渗透率下降越大, 但是其临界流速也较大。

反映储层的速敏性强弱的定量指标为速敏指数, 其表达式为:

$$K_{s} = \frac{K_{0} - K_{min}}{K_{0} v_{c}}$$

式中: K_{s} 为速敏指数;

K_{0} 为储层损害之前的渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

K_{min} 为储层损害后渗透率的最小值, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

v_{c} 为临界流速, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

速敏指数与渗透率损害成正比, 与临界流速成反比, 即渗透率损害越大, 临界流速越小, 储层的速敏性越强。表 1 所示为高尚堡储层岩样速敏指数即速敏性评价表。从表中可以看出, 渗透率大于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的 72-2 和 71-1 岩样储层速敏性为中等偏弱, 而渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的 73-3 和 81-3 岩样的储层速敏性为强或中等偏强。

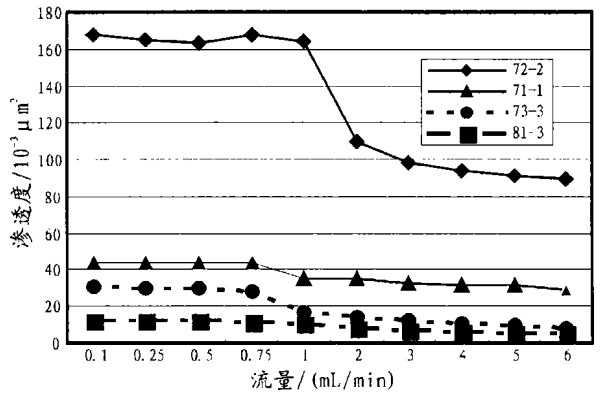


图 1 高尚堡沙三段储层速敏实验曲线

物性越好, 渗透率下降越大, 但是其临界流速也较大。

表 1 高尚堡沙三段储层速敏性评价表

物性越好, 渗透率下降越大, 但是其临界流速也较大。

样品号	孔隙度/ %	气侧渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	速敏指数	评价结果
72-2	15.9	259.9	0.47	中等偏弱
71-1	14.18	80.26	0.33	中等偏弱
73-3	14.03	40.10	0.74	强
81-3	12.8	27.168	0.57	中等偏强

2.2 水敏性

储层中的粘土矿物在地层条件下是处在一定矿化度介质条件下的, 并与地层水处于平衡状态。当低盐度流体进入地层后, 地层中的某些粘土矿物有可能产生水化膨胀, 导致渗透率降低。水敏性就是外来流体进入储层后导致渗透率下降的现象^[2]。水敏性评价的目的是评价注入剂对储层的损害程度, 从而为工作液的设计提供依据, 以减少储层伤害。

在水敏性流动实验中, 分别选用地层水、次地层水(矿化度为地层水的一半)和蒸馏水在不同的注入速度下注入岩心, 并让其达到平衡, 分别测定其相应的渗透率。本次试验中, 地层水为取自高尚堡深层油藏的实际地下水, 水型为 CaCl_2 型, 总矿化度为 2729 g/L。比较分别注入 3 种矿化度的水后岩样渗透率的变化大小, 便可得到储层水敏性的强弱。图 2 所示为高尚堡沙三段油藏储层岩样的水敏性曲线。从注入不同矿化度的水后渗透率的变化看, 储层的水敏性还是较强的。

水敏程度可用水敏指数来定量表征:

$$K_{w} = \frac{K_{0} - K_{w}}{K_{0}}$$

式中: K_{w} 为水敏指数;

K_{w} 为注入地层水后测得的渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

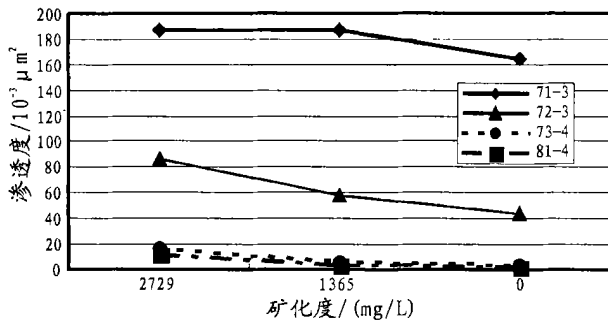


图 2 高尚堡沙三段储层水敏实验曲线

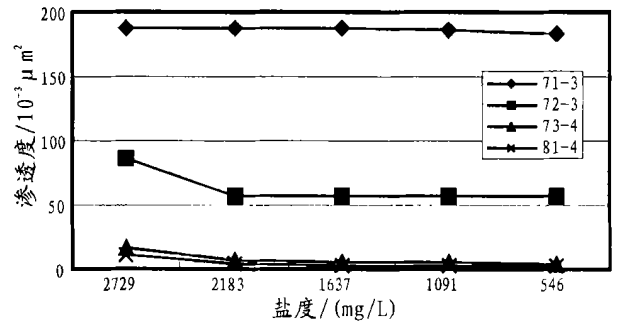


图 3 高尚堡沙三段储层盐敏实验曲线

表 2 高尚堡沙三段储层水敏性评价表

样品号	孔隙度/ %	气侧渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	水敏指数	评价结果
71-3	14.87	319.82	0.12	弱水敏
72-3	15.69	246.07	0.50	中等偏弱
73-4	14.24	32.26	0.82	强水敏
81-4	12.31	38.445	0.77	强水敏

表 3 高尚堡沙三段储层盐敏性评价表

样品号	孔隙度/ %	气侧渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	临界盐度	评价结果
71-3	14.87	319.82	< 1 000	弱盐敏
72-3	15.69	246.07	2 300	中等偏弱盐敏
73-4	14.24	32.26	2 100	中等偏弱盐敏
81-4	12.31	38.445	2 170	中等偏弱盐敏

物 为注入蒸馏水后测得的渗透率, 10⁻³ μm²。

水敏指数反映了在注入低矿化度水后储层渗透率下降的程度, 水敏指数越大, 储层的水敏性越强。表 2 所示为高尚堡储层岩样水敏性评价表。与速敏性一样, 对于高渗储层, 由于粘土矿物含量低, 水敏性弱甚至无水敏性, 而低渗储层存在强水敏性。

2.3 盐敏性

当小于某一盐度的流体进入储层后引起储层渗透率降低的现象称为储层的盐敏性^[2]。在进行盐敏性流动试验时, 通过按盐度递减的顺序向储层注入系列盐溶液, 观察渗透率的变化规律, 确定导致渗透率明显下降的临界盐度。图 3 所示为高尚堡沙三段储层盐敏实验曲线。从图中可以看出, 储层的盐敏性不强。总的趋势是随着储层渗透率的降低, 储层的盐敏性逐渐变强。表 3 所示为岩样盐敏性评价结果。其中样品 71-3 临界盐度小于 1 000 (g/L), 为弱盐敏; 其余 3 块岩样的临界盐度稍大, 为中等偏弱盐敏。

2.4 碱敏性

碱敏性是指碱性工作液进入储层后导致储层渗透率降低的现象^[2]。由于钻井液和完井液中常含有纯碱等物质, 而呈现出碱性, 当它们进入储层后, 会与储层中的 Ca²⁺、Mg²⁺ 离子等作用产生沉淀, 堵塞孔隙喉道, 导致渗透率降低^[8-10]。

碱敏流动试验的目的就是通过向岩样注入不同碱浓度 (pH 值) 的溶液, 测得岩样渗透率的变化及

其损害程度。图 4 所示为高尚堡沙三段储层碱敏实验曲线。4 块岩样均存在不同程度的碱敏性, 其临界 pH 值为 9.5。

表 4 为高尚堡沙三段储层岩样盐敏性评价结果。其中 73-6 岩样为强碱敏, 其余 3 块为中等碱敏。

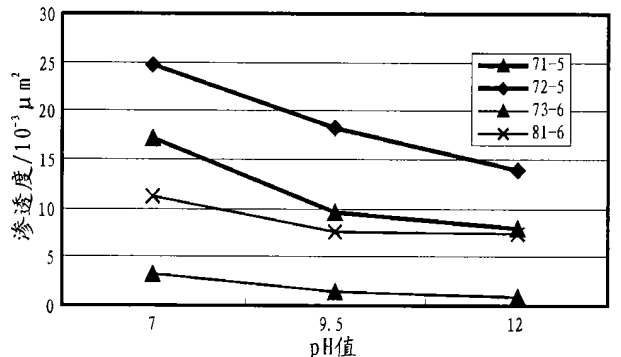


图 4 高尚堡沙三段储层碱敏实验曲线

表 4 高尚堡沙三段储层盐敏性评价表

样品号	孔隙度/ %	气侧渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	碱敏指数	评价结果
71-5	10.17	74.24	0.53	中等碱敏
72-5	15.49	92.30	0.44	中等碱敏
73-6	14.13	21.76	0.75	强碱敏
81-6	12.42	49.35	0.33	中等碱敏

3 储层敏感性形成机理分析及相应开发对策

前已述及,高尚堡深层沙三段储层为扇三角洲沉积,储层的成分成熟度和结构成熟度低,储层物性差,大部分储层的渗透率为 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右,粘土矿物含量高,这是形成储层敏感性的内在因素。从储层岩样敏感性流动试验结果可以看出,储层的渗透率越低,粘土矿物含量越高,敏感性越强。

高尚堡沙三段储层的速敏性主要是由于储层中的高岭石和伊利石形成的。岩心分析表明,高尚堡沙三段储层的高岭石含量平均为 27.46%,在低渗透储层中最高可达 57%,分布于粒间,呈孔隙式充填。外来流体注入速度超过临界流速时,这些高岭石颗粒就会被冲走,在孔喉颈缩处沉积下来,阻塞喉道,导致渗透率显著下降。因此在注水开发过程中,注水速度不能超过各种储层的临界流速,以减少速敏性对储层的伤害。

水敏性和盐敏性则主要是由于混层矿物和蒙脱石水化膨胀所致。高尚堡沙三段储层岩石中虽然无独立的蒙脱石出现,但伊蒙混层的相对含量为 21.22%,最高可达 43%,分布于粒表或粒间。当低盐度水尤其是清水进入储层后,蒙脱石发生水化膨胀作用,堵塞其所在位置的喉道,使得渗透率显著下降。由于存在强水敏性,所以在对低渗透储层进行钻井和完井作业时,应当避免清水和低矿化度液体进入储层。

高尚堡沙三段储层表现出的强碱敏性既与粘土矿物有关,也受岩石成分的影响。岩石成分中的石英、硅酸盐(长石)、硫酸盐、碳酸盐以及粘土矿物中的绿泥石、高岭石和蒙脱石等,与外来碱性溶液发生表面离子交换等多种化学反应形成沉淀,堆积在喉道中,导致渗透率降低。针对储层的强碱敏性,在配制注入剂时,应控制适当的酸碱度,不应超过临界 pH 值,即 pH 值不能大于 9.5,一般以中性为宜。

这些开发措施在在实验区块中取得了明显的效果,将在油田进一步推广实施。

4 结论

通过岩石特征分析和岩心流动试验,对高尚堡

沙三段储层的敏感性有如下认识:

1) 高尚堡沙三段储层成分成熟度和结构成熟度低,物性差,粘土矿物含量高,这是导致储层敏感性的物质基础和内在因素。

2) 岩心流动试验表明,不同物性的储层敏感性是不一样的。对于渗透率大于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层,其敏感性较弱;而渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层,由于粘土矿物含量高,储层具有较强的水敏性、速敏性和碱敏性。同时流动试验还表明,高尚堡沙三段储层的碱敏性较弱。

3) 由于高尚堡沙三段储层以低渗透储层为主,其渗透率大多接近 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,因此在注水开发和钻井作业过程中必须重视储层敏感性的影响。在配制工作液的时候,应有针对性地控制注入水的流速、盐度和 pH 值,尽量避免储层敏感性对储层造成的伤害,从而达到改善油田开发效果的目的。

参考文献:

- [1] 张绍槐,罗平亚,等. 保护储集层技术 [M]. 北京:石油工业出版社,1991. 63 - 91.
- [2] 裴亦楠,薛叔浩,等. 油气储层评价技术 [M]. 北京:石油工业出版社,1997. 284 - 342.
- [3] 彭仕宓,黄述旺. 油藏开发地质学 [M]. 北京:石油工业出版社,1998. 130 - 138.
- [4] 曹瑞林,张振刚,等. 储层敏感性实验研究 [M]. 北京:石油工业出版社,1996. 37014.
- [5] 冉启佑,游秀玲,杨勇. 高尚堡油田沙三段储层沉积学特征 [J]. 石油实验地质,1998,20(3): 234 - 238.
- [6] 沈平平,等. 油层物理实验技术 [M]. 北京:石油工业出版社,1995. 198 - 217.
- [7] 李树芳,潘懋. 胜利油田辉绿岩储层的伤害机理研究 [J]. 石油实验地质,2002,24(5): 423 - 425.
- [8] 闫建萍,刘立,等. 大庆油田齐家-古龙地区扶余油层储层敏感性分析和预测 [J]. 吉林大学学报(地球科学版),2002,32(3): 243 - 247.
- [9] 薛芸,袁萍,等. 江苏盐城地区气层损害及保护技术研究 [J]. 天然气工业,2002,22(1): 14 - 17.
- [10] 沈明道,唐洪明,等. 塔里木盆地东河塘构造石炭系东河砂岩储层碱敏损害机理 [J]. 西南石油学院学报,1998,20(1): 1 - 5.
- [11] 曹瑞林,张振刚,等. 储层敏感性实验研究 [M]. 北京:石油工业出版社,1997. 38156.

