

文章编号: 1009-3850(2007)03-0101-04

南堡地区东营组一段储层敏感性评价及油层保护

许志刚¹, 陈代钊¹, 李胜利², 范洪军², 韩璐¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:南堡地区东营组一段辫状河三角洲前缘中孔低渗油气藏的非均质性强。本文采用实验室储层敏感性评价实验程序, 针对油田钻井和注水开发实际工作条件, 进行了多种储层敏感性测试。实验结果表明: 该地区中孔低渗储集层在钻探过程中水敏和盐敏性突出, 应针对特定井区的储层渗透性计算泥浆滤液浸入深度, 对钻井施工进度提出要求; 低渗透层泥浆伤害后, 渗透率难以恢复, 应减少泥浆浸泡时间, 选用高效射孔弹, 解除泥浆污染。

关键词:南堡; 古近系东营组; 储层; 敏感性; 冀东油田

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

储层敏感性是指当储层与外来流体接触时, 由于外来流体与地层流体不匹配, 造成储层中粘土矿物水化膨胀、微粒迁移或产生沉淀并堵塞孔道从而使渗透率降低的现象。储层敏感性一般包括速敏、水敏、酸敏、盐敏、碱敏等。储层敏感性分析的目的是研究各种敏感性对储层造成的伤害程度, 以提出预防措施, 保护油层并提高油层的最终采收率。

南堡地区位于冀东油田南堡凹陷中央构造带, 包括南堡 1 号、2 号构造, 古近系东营组一段为非均质性很强的辫状河三角洲前缘沉积^[1], 油藏为构造圈闭油气藏, 埋藏深度为 2500~3500m (大多深 3000m 左右)。东一段是南堡凹陷主力含油层系之一, 属中孔低渗油藏, 进行敏感性分析尤为重要。

1 储集层地质特征

1.1 储层岩石学

南堡地区东一段储集层岩石类型以长石岩屑砂岩为主, 岩屑平均含量达到 40%, 粒级混杂, 包括砾岩、含砾砂岩、不等粒砂岩、细砂岩和粉砂岩; 碎屑颗粒磨圆度一般为次圆一次棱角状, 分选一般为中或差, 接触关系一般为点线接触; 成分成熟度和结构

成熟度中或差; 胶结类型多为孔隙式胶结; 胶结物平均含量为 16%, 其中泥质杂基占 6%, 碳酸盐胶结物 (主要为白云石) 占 10%。

1.2 储层物性

1. 孔隙结构特征

南堡地区东一段储集层属中孔低渗储集层。孔隙度为 21.1%~30.3%, 平均 24.25%; 渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占 9.6%, $(10 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占 61.6%, $(100 \sim 500) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占 19.2%, 大于 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占 9.6%。孔隙度和渗透率相关性较差, 相关系数为 0.68。

根据铸体薄片、扫描电镜等资料分析, 该区东一段储集层孔隙较为发育, 主要储层空间包括粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔。储集层排驱压力为 0.08~1.318MPa, 饱和中值压力 0.2~19MPa, 喉道均值半径为 0.19~4.52 μm , 毛管压力曲线主要为中—细歪度, 均值系数平均为 1.55, 综合评价储集层孔隙结构为中等。该类储集层一般产能较低, 只有采取相应增产措施方可获得中等产能。

2. 粘土矿物成分及含量

粘土矿物的体积分数、形态和分布特征对储层

潜在损害性的大小起着非常重要的作用。粘土矿物含量平均为7%，以高岭石(30%~69%，平均54.5%)、蒙皂石(30%~50%，平均39.78%)和伊/蒙混层(13%~52%，平均26.16%)为主，伊利石(1.0%~19%，平均9.57%)和绿泥石(1.0%~7.0%，平均5.39%)含量较低。

1.3 储层沉积相

该区东一段为非均质很强的辫状河三角洲前缘沉积。砂体发育，从下自上呈明显增多的趋势，而泥岩厚度相对减薄。因此东一段主要呈现大套砂包泥，多层河道砂相互叠置频繁，砂体厚度大，反映河道迁移改道频繁，测井曲线多以箱型和钟型曲线为主。

1.4 储层成岩作用

东一段砂岩储层孔隙度与渗透率随深度增加逐渐减少的趋势明显，说明压实作用是主要的成岩作用。成岩研究表明：该地区早成岩与晚成岩阶段的分界深度大致在2900m左右。因此东一段成岩作用主要以早成岩“B”作用阶段为主。

2 储集层敏感性分析

一般来说，速敏、水敏、酸敏、碱敏和盐敏是敏感性分析中最主要的内容。其中，引起水敏、速敏和酸敏的粘土矿物类型为蒙皂石(水敏)、高岭石(速敏)、伊利石(速敏、水敏)、绿泥石(酸敏)、混层(水敏等)。周厚清(1994)、王行信(1999)等通过大量的储层敏感性实验研究，查明了储层敏感性的类型与强弱与粘土矿物组成有密切的关系^[3](表1)。本文就是借助各种岩心分析，如铸体薄片、粒度、压汞、X衍射、扫描电镜、物性、敏感性流动实验等资料^[3,4]，来进行敏感性分析。

2.1 水敏性

当储集层中某些矿物与水容易作用时，因为晶格膨胀或分散破碎而堵塞孔隙和喉道，使渗透率下降，这种现象即为水敏。前人研究表明，高岭石类矿

表1 储层敏感性影响因素

引起敏感的因素	储层敏感性类型
碳酸盐胶结物	酸敏
伊利石	速敏
高岭石	速敏
绿泥石	酸敏
蒙皂石/伊利石混层	水敏
蒙皂石/绿泥石混层	水敏、酸敏

物水敏性较弱，伊利石只产生晶体表面水化，水敏性不强，而蒙皂石膨胀率很高，水敏性很强。各种粘土矿物膨胀能力顺序为：蒙皂石>含膨胀层的混层粘土>伊利石>高岭石^[5]。

研究区储层岩石颗粒主要以点-线接触、孔隙式胶结为主，喉道为缩径喉道，管束状喉道为主。储层岩石孔隙与喉道的壁矿物绝大部分由可膨胀的软碎屑岩屑提供，当这些多微孔的岩屑吸水后膨胀，使孔隙、喉道半径缩小，可导致水敏伤害表现更为严重。该区储集层中最典型的水敏性粘土矿物为蒙皂石或含蒙皂石的混层矿物。扫描电镜下观察，伊/蒙混层主要呈片状薄膜附着于碎屑颗粒表面，当低矿化度钻井液或完井液进入孔隙时，伊/蒙混层发生水敏膨胀的结果，既使孔喉半径缩小，还会在外来流体的冲击下破碎、脱落、运移，堵塞孔喉。

处于三角洲前缘不同部位储集层泥质含量不同，水敏程度有所不同(表2)，河口坝侧缘和水下分流河道由于泥质含量较多，其水敏程度要比河口坝要强。同时，靠近南堡断裂附近，受西北物源影响较大，分选差，泥质含量高，具有强水敏性；靠近林雀次凹、曹妃甸次凹颗粒变细，泥质相对减少，具有中-弱水敏性。N1-7井储集层靠近南堡断裂，离西北物源相对较近，颗粒粒度较粗，以含砾不等粒砂岩、细砂岩为主，泥质含量较多，具有较强的水敏性。实验时，在低于临界流速条件下，依次选取标准盐水，次地层水和去离子水驱替15倍孔隙体积，浸泡24h后，

表2 南堡地区东营组一段不同微相带岩性及物性和水敏、酸敏特征表

Table 2 Lithology, physical property, water and acid susceptibility in individual microfacies in the first member of the Dongying Formation, Nanpu region

微相	岩性	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	水敏指数	水敏性程度	酸敏指数	酸敏程度	代表性样品
河口坝主体	中-细砂岩	20.1~23.1	4.96~35.2	0.50~0.55	中等偏酸	0.636	强	N1-7井, 2675.61m
河口坝侧缘	细砂岩	22.2~25.1	30.9~239	0.984~0.987	极强	0.208	极强	N2-3井, 2540.141m
水下分支河道	含砾不等粒砂岩	24~27-4	8016~274	0.70~0.84	强	0.578~0.963	中等偏弱	N1-5井, 2717.12m

测定其渗透率(图 1a)。

2.2 酸敏性

酸敏性是指进入地层的酸化液与地层中的酸敏矿物发生反应,产生凝胶或沉淀,使地层渗透率下降。在酸敏实验中,砂岩颗粒骨架基本不与盐酸反应,主要是填隙物与盐酸反应。

该区储集层的酸敏性矿物主要为长石、高岭石、绿泥石以及蒙皂石-绿泥石混合层粘土产生氟硅酸盐、硅胶体和氢氧化铁凝胶等沉淀,堵塞细小喉道,导致酸化后渗透率降低。从南堡地区各微相中的储集层酸敏性实验结果(表 2)看出,经酸处理后,水下分流河道和河口坝侧缘储集层渗透率上升,酸敏指数分别为0.578、0.963和0.208,表明粘土矿物与酸反应后的微粒被水冲走,使孔隙结构变好;但河口坝主体(N1-7井,图 1b)储集层渗透率变化不大,酸敏

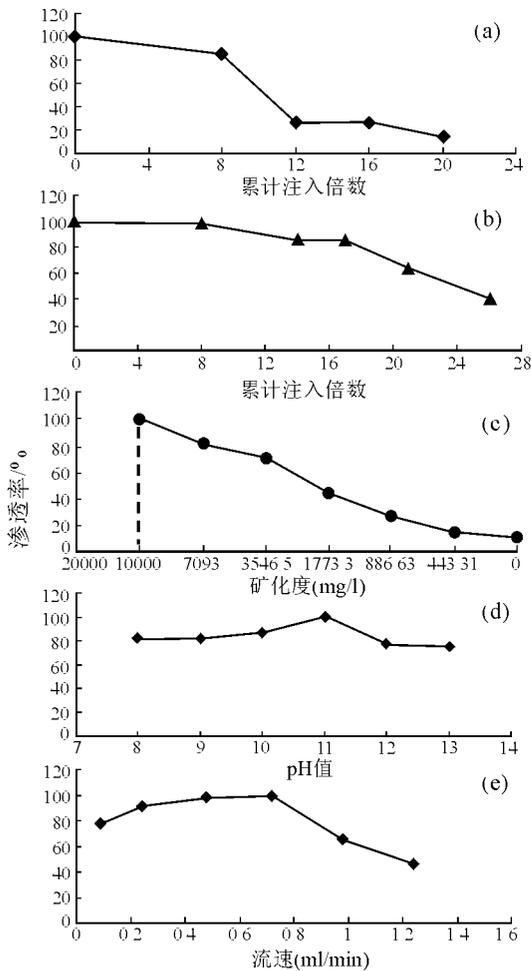


图 1 N1-7 井储集层敏感性分析实验图

(a). 水敏 (b). 酸敏; (c). 盐敏; (d). 碱敏; (e). 速敏

Fig. 1 Laboratory curves for the reservoir susceptibility in the N1-7 well

(a) water susceptibility; (b) acid susceptibility; (c) salt susceptibility; (d) alkali susceptibility; (e) velocity susceptibility

指数为0.636,说明研究区储集层中含有酸敏性矿物铁方解石和铁白云石,它们与酸反应产生沉淀而导致渗透率下降程度要比碳酸盐溶解使渗透率增加的程度要大,从而导致渗透率变得较差。

2.3 盐敏性

盐敏性是指不同矿化度的外来水与粘土矿物相互作用对储集层渗透能力的影响程度。盐敏性分析则对刚刚引起地层伤害的矿化度,即临界矿化度进行分析。

一般而言,高于地层水矿化度的外来流体进入储集层会引起粘土矿物的收缩、脱落;低于地层水矿化度的流体进入储集层后使粘土矿物膨胀、分散和运移^[9]。实验采用的盐水系列为:10、7.09、3.55、1.77、0.89、0.44g/l盐水、蒸馏水,求出临界盐度。总体而言,南堡地区储集层盐敏性很强。N1-7 井盐敏性试验结果(图 1c)表明,当矿化度降至10g/l时,渗透率明显下降,其临界矿化度为10g/l。

2.4 碱敏性

碱敏性是指碱性工作液与储集层岩石或储集层液体反应形成不溶物对储集层的伤害程度。地层水一般呈中或弱碱性,多数钻井液的pH值为8~12^[7]。高pH值钻井液进入储集层后,粘土和硅质矿物的结构被破坏,溶解后形成大量微粒,造成孔喉堵塞。研究区碱敏性矿物主要为易产生碱耗的白云石、高岭石、伊利石等。从实验曲线(图 1d)可见,随着pH值逐渐增大,达到11时,储集层渗透率呈下降趋势,但降低幅度不大,因此具有弱碱敏。

2.5 速敏性

速敏性是指因流体流动速度变化而引起储集层中微粒运移、喉道堵塞所导致渗透率下降,造成油层损害的程度。

研究区速敏性矿物主要为高岭石,呈蠕虫状或书页状集合体充填于粒间孔内,容易沿晶层方向裂成鳞片状的微粒分散、运移,损害储层渗透性。试验中首先测出岩石的克氏渗透率,然后按照0.09、0.24、0.48、0.98、1.24ml/min的顺序依次增速,实验表明(图 1e),储层初始渗透率越低,临界速度越大,流速敏感性越强。有效渗透率为(0.297~0.380)×10⁻³μm²,临界流速为0.09~0.72ml/min时,出现无速敏;有效渗透率小于0.2×10⁻³μm²,临界流速为0.98~1.24ml/min时,出现中等偏弱速敏。

3 油层保护对策

通过以上研究表明,研究区储集层具有中一强

水(盐)敏、弱—中等速敏、中—强酸敏、弱碱敏。钻井、试油过程中水敏、盐敏、酸敏多次出现。所以,建议在钻井、试油过程中采用以下保护措施:①针对特定井区的储层渗透性,计算泥浆滤液浸入深度,对钻井施工进度提出要求;②投产初期低渗透油层改造增产时,酸化和压裂措施必须配合进行,提高酸化液返排程度;③控制工作液体盐度在10~35g/l范围内,加入防膨剂;钻井速度不宜过快,钻井液进入储集层的速度应控制在0.72ml/min以下;④低渗透层泥浆伤害后,渗透率难以恢复,应减少泥浆浸泡时间,根据浸入深度,选用高效射孔弹。

4 结 论

南堡地区东一段储集层为辫状河三角洲前缘沉积,属于近物源,其成分成熟度和结构成熟度均较低。储集层深度大多在2400m以下,储集空间以粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔为主,孔隙较好,但喉道窄,渗透率差,为中孔低渗储集层。通过敏感性研究表明,东一段储集层具有中—强水(盐)敏、弱—中等

速敏、中—强酸敏、弱碱敏,沉积相带、埋藏深度不同,储集层敏感性也有所不同针对储集层敏感性,提出了相应的保护措施。

参考文献:

- [1] 董月霞,周海民,夏文臣,等.南堡凹陷第三系层序地层与油气藏的关系[J].石油与天然气地质,2003,24(1):47-49.
- [2] 闫建萍,刘立,张革,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):245-247.
- [3] 陈丽华,姜在兴.储集层实验测试技术[M].东营:石油大学出版社,1994.
- [4] 夏位荣,张占锋,程时清.油气田开发地质学[M].北京:石油工业出版社,1999.34-39.
- [5] 蔡忠,刘中云.储集层敏感性空间分布规律研究[J].石油勘探与开发,2000,27(3):72-74.
- [6] 侯连华.曲提油田储层敏感性研究[J].石油大学学报(自然科学版),2000,24(2):51-53.
- [7] 许建华,郝新武,王金友,等.利津地区沙四段上部低孔低渗储集层敏感性特征[J].石油勘探与开发,2003,30(4):114-116.

Susceptivity evaluation and protection countermeasures for the reservoir rocks in the first member of the Dongying Formation in the Nanpu region, Hebei

XU Zhi-gang¹, CHEN Dai-zhao¹, LI Sheng-li², FAN Hong-jun², HAN Lu¹

(1. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The oil reservoirs on the braided delta front slope in the first member of the Dongying Formation in the Nanpu region have the features of moderate porosity and low permeability with strong heterogeneity. In the light of experimental procedures for susceptibility evaluation, a variety of tests are conducted in the laboratory in which the experimental conditions are similar to those in the stages of well drilling and water injection recovery in the oil fields. The results of research indicate that the studied reservoir rocks have both the water and salinity susceptibility. In these cases, the protection countermeasures for the reservoir rocks should be suggested, including the calculation of the depths for the infiltration of the drilling mud so as to arrange suitable progress of drilling construction, and the decrease of soakage periods of mud and adoption of highly effective hole-shooting bullets in order to wipe off mud contamination to the reservoir rocks.

Key words: Nanpu region; Dongying Formation; reservoir; susceptibility; East Hebei oil field