

南堡凹陷高南地区东三段低渗储层敏感性特征的微观机制研究

邱隆伟¹, 于杰杰¹, 郝建民^{2,3}, 黄双泉¹

(1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257062; 2. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 3. 中国石油冀东油田分公司, 河北 唐山 063004)

摘要: 南堡凹陷高南地区东三段(Ed_3)储层中速敏性的产生主要是分布于孔隙中的高岭石微粒发生迁移的结果; 在粘土含量较低的样品中速敏性较弱, 由于高岭石晶粒的长度及直径均多数大于喉道直径, 因此随粘土杂基含量的增加, 速敏性会随之增加。由于方解石胶结物主要分布于粒间孔隙中, 喉道中胶结物及粘土杂基均较少, 盐酸酸化对改善储层渗透性意义不大, 只有采用土酸酸化处理才能起到应有的效果。由于喉道中石英的加大现象常见, 而其他填隙物较少见, 强碱性钻井液的浸入有助于改善储层渗透性。但因碱敏性实验测得 pH 值的临界值为 7.7, 以及大量强碱性钻井液浸入储层会造成大量碱不稳定组分的溶解, 具有形成大量二次沉淀的潜在因素, 加上钻井液难于及时返排, 在钻井过程中还是要特别注意钻井液碱度的选择。由于蒙托石及伊/蒙混层粘土在不同位置含量的差别, 导致了研究区储层的盐敏性程度相差较大。

关键词: 低渗储层; 敏感性; 微观机制; 高尚堡油田; 南堡凹陷

中图分类号: P618.130.2⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)01-0078-09

A microscopic study of the formation mechanism of low permeability reservoir sensibility of Ed_3 in Gaonan area

QIU Long-wei¹, YU Jie-jie¹, HAO Jian-min^{2,3} and HUANG Shuang-quan¹

(1. China University of Petroleum, Dongying 257062, China; 2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 3. Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan 063004, China)

Abstract: Velocity sensitivity in the Ed_3 reservoir of Gaonan area results from the migration of kaolinite distributed in pores. As the length and diameter of kaolinite are dominantly larger than the throat diameter, the velocity sensitivity becomes increasingly lower in samples with the lowering clay matrix content and gets higher and higher with the increasing clay content. Calcite cement is mainly distributed in rock pores of the reservoir, and minor cement and clay mineral matrix are distributed in the throat, indicating that earth acid rather than hydrochloric acid is more effective in acidification. Due to the extensive existence of secondary enlarged quartz in throat, strong alkali drilling fluid may somewhat help to improve the reservoir permeability. However, as the critical value of pH is about 7.7 which results in the secondary precipitation, and the flowing back of the drilling fluid is difficult, the alkalinity of drilling fluid should be taken into account during the drilling process. Montmorillonite and illite/montmorillonite are different greatly in content in different positions, which determines the difference of salt sensitivity in the reservoir.

Key words: low permeability reservoir; sensitivity; microscopic mechanism; Gaoshangpu oilfield; Nanpu sag

在油气勘探开发过程中,由于外来流体的侵入以及开采过程中油田水性质、流动状态的改变等,会引起储层的敏感性,从而不同程度损害油层产能、导致产量下降。准确分析储层中各种敏感性特征及其程度,对于保护油层、有效提高产能具有十分重要的意义。但是在实际工作中由于种种因素的制约,往往无法取得足够的柱塞样,导致样品的代表性降低,影响了对储层敏感性的正确认识。

南堡凹陷位于渤海湾盆地西北部、燕山褶皱带南麓(图1),属中、新生代北断南超的小型箕状含油气凹陷(周海民等,2000;罗群等,2006),其面积为1 932 km²,是一个中新世叠合发育、经历了多期裂陷演化、油气资源非常丰富的小型含油气凹陷(谭丽娟等,2001;郑红菊等,2007)。

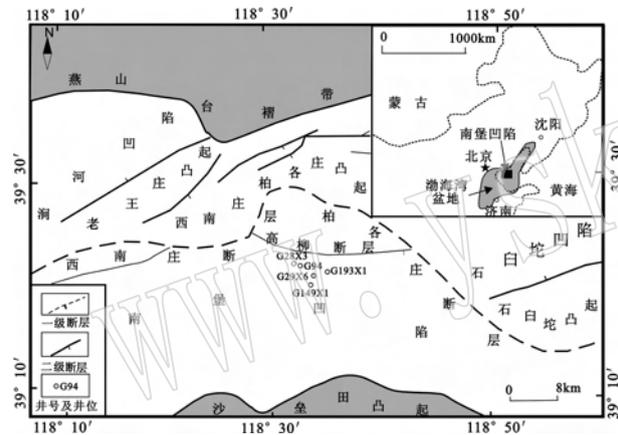


图1 南堡凹陷地质简图及工区位置示意图

[据刘士林等(2007)修改]

Fig. 1 Geological sketch map of Nanpu sag, showing the location of the working area (after Liu Shilin *et al.*, 2007)

高尚堡油田南区(简称高南地区)位于河北省唐山市唐海县东南约6 km处,在构造位置上位于南堡凹陷陆地中部,高柳断层以南地区的中深层,其含油面积约10 km²,已探明石油地质储量1000余万吨。研究中深层发育古近系东营组、沙一段和沙三1亚段等含油层系,主力层系为新近系东营组三亚段(东三亚段),总体为一套中低渗储层。东三亚段油藏20世纪80年代后期投入开发以来,在近20多年的勘探开发过程中,由于地质认识不清,动、静矛盾较大,注采井网不完善,注采调控不及时等多种原因,造成油藏采油速度低、采出程度低、采收率低,开发效果不理想。如何有效动用中深层及深层储量、提高采油速度和采收率将是直接关系到南堡陆地能

否保持稳产的关键性因素之一,而要制定合理有效的开发方案及提高采收率,储层敏感性研究作为基础是必不可少的。实际上储层敏感性主要受地质因素及石油工程因素等两方面因素的制约,其中地质因素主要包括储层矿物组成、储层孔隙结构、地层水性质等储层内在特性,这是决定储层敏感性的最根本因素。因此在研究中可以通过对储层微观特征的分析来大致了解其敏感性特征,从而能在低成熟探区有选择地进行敏感性实验,避免时间和财力的浪费,在中高成熟探区也可以弥补敏感性分析样品不足的缺点,为更加客观的认识、评价和开发储层提供有效的参考资料。

在高南地区的敏感性研究方面前人做的工作很少,只对沙三段进行过研究(常学军等,2004),而且也仅仅是对敏感性实验数据的总结与分析。由于重视程度不够,对东三段钻井取心的敏感性分析数据很少,难于进行深入研究。目前随着勘探开发程度的提高以及在采油过程中面临的敏感性问题越来越突出,迫切需要弄清其敏感性的详细特点,为研究区的稳产和上产服务,在这方面储层微观特征研究恰恰提供了一个可行的切入点。本文主要从地质认识以及为数不多的实验数据出发,从储层微观特征的角度来探讨东三段中低渗储层的敏感性,为生产应用提供有益的指导。

1 储层特征

南堡凹陷东营组主要发育三角洲沉积体系和湖泊沉积体系(徐安娜等,2006;郑红菊等,2007)。高南地区东三段储层则主要发育于三角洲中,砂体类型以三角洲前缘亚相水下分流河道微相、分流河口砂坝微相等为主,局部也存在滨浅湖亚相滩坝微相储层。储层岩石类型以细粒长石岩屑砂岩及不等粒岩屑长石砂岩为主。储层中碎屑颗粒以点-线接触为主,分选中等-好、磨圆度变化较大,次棱角-次圆状等均较常见,胶结类型有孔隙式、孔隙-接触式、接触式、接触-孔隙式等。孔隙类型以次生孔隙及被溶蚀改造扩大的原生孔隙为主,孔喉半径一般1~10 μm。胶结物主要为碳酸盐矿物,以方解石为主,胶结物含量一般2%~20%,主要分布于粒间孔隙中;粘土杂基含量一般4%~18%,以高岭石为主,其次为伊/蒙混层粘土和伊利石,绿泥石含量一般0.5%~2%。对高南地区东三段316块储层岩石样

品的物性统计表明,该段孔隙度一般 < 33.5%,其中孔隙度小于或等于 10% 的样品占 10.13%,孔隙度为 10% ~ 15% 的样品占 26.9%,15% ~ 20% 的样品为 43.04%,20% ~ 25% 的样品占 17.09%,孔隙度大于 25% 的样品约 2.85%。东三段储层岩石渗透率变化范围非常大,从 $0.01 \times 10^{-3} \sim 3\,970 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 都有分布,其中小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占 36.08%, $1 \times 10^{-3} \sim 25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占 31.96%, $25 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $50 \times 10^{-3} \sim 75 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $75 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $> 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品分别占 6.96%、4.75%、2.22%、18.04%。总体而言,渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占 75% 左右,东三段储层中低孔、低渗的特征非常清楚,储层敏感性特征对储层的有效开发至关重要。

2 储层敏感性实验结果及其成因分析

研究区敏感性分析的实验样品很少,目前东三段只有 G193X1 井、G149X1 井(图 1)共 7 块样品进行过分析。

对 G193X1 井 2 块样品(全 4、全 5)进行了速敏、水敏、酸敏、碱敏以及盐敏性分析,结果(表 1)表明:

全 4 为弱速敏,全 5 无速敏效应;速敏性粘土矿物主要为高岭石,这 2 个样品中尽管高岭石相对含量较高,但是粘土总量较低,速敏性不明显和样品中粘土矿物总量含量低有关(表 2);全 4、全 5 样品的水敏指数为 0.53、0.74,分别对应于中等偏强水敏及强水敏,由于样品中不存在蒙脱石,水敏性矿物主要为伊/蒙混层;2 个样品在土酸作用下,其酸敏指数只有 0.14 和 0.17,都属于弱酸敏;临界碱度(pH)为 7.78 和 7.68,分别属于弱碱敏和中等偏弱碱敏;在盐敏性方面,全 4 的临界盐度为 6 527 mg/L,盐敏指数为 0.16,属弱盐敏,全 5 临界盐度为 9 791 mg/L,盐敏指数为 0.45,属中等偏强盐敏。

G149X1 井 2 号样品只进行了水敏性分析,其水敏指数为 14.61,属强水敏;16 号、25 号样品分析结果都为弱速敏、强水敏,在 12% HCl 作用下,酸敏指数分别为 0.22 和 0.40,分别对应于弱酸敏和中等酸敏。67 号、87 号样品只进行了水敏性分析,其水敏指数分别为 12.55、12.20,都属强水敏。

综上所述,研究区储层总体具有弱速敏性、强水敏性,酸敏性、碱敏性均为弱或中等偏弱的特点,盐敏性变化较大,弱到中等偏强(表 1)。

表 1 高南地区东三段储层敏感性分析结果数据表

Table 1 Sensibility analytical data of 3rd segment of Ed₃ in Gaonan area

井号	样号	井深/m	速敏性		水敏性		酸敏性		碱敏性		盐敏性	
			临界流量 /mL·m ⁻¹	速敏 程度	水敏 指数	水敏 程度	酸敏 指数	酸敏 程度	临界碱 度(pH)	碱敏 程度	临界盐度 /mg·L ⁻¹	盐敏 程度
G193X1	全 4	3 068.14	0.25	弱	0.53	中等偏强	0.14(土酸)	弱	7.78	弱	6 527	0.16,弱
	全 5	3 071.02			0.74	强	0.17(土酸)	弱	7.68	中等偏弱	9 791	0.45,中等偏强
	2	3 537.26			14.61	强						
	16	3 539.51	5.00	弱	15.16	强	0.22(12% HCl)	弱	7.00	中等偏弱		
G149X1	25	3 540.40	0.50	弱	12.40	强	0.40(12% HCl)	中等	7.00	中等偏弱		
	67	3 596.35			12.55	强						
	87	3 600.20			12.20	强						

3 储层敏感性与微观结构

3.1 速敏性

速敏性的产生是由于储层中的流体发生流动时,储层中的某些组分,如注入水中的机械杂质和悬浮物,膨胀性粘土的分散及晶片结合力弱的高岭石

等,在流体的作用下发生运移,堵塞喉道,导致渗透率的下降的。

速敏性的形成主要和几个方面的因素有关,如储层中粘土矿物及其他微粒的含量、储层的压实及胶结强度、喉道大小、流体的流动状态及流速等。当流速较低时,只能启动易分散的细微的粘土矿物,其呈分散状态运移,一般不会对渗透率造成明显的影

响;随着流速的增加,能启动的颗粒粒度随之增大,当流速增至临界流速时,与喉道直径较匹配的微粒开始移动,可以在喉道处形成稳定的桥堵。不过储层中究竟能不能形成速敏性还是取决于在较高流速环境中能够发生迁移的矿物,其颗粒粒径和喉道之间的匹配关系。

研究区储层中发育的填隙物主要有方解石和粘土矿物(图 2a),此外也出现少量自生石英(图 2b)、自生长石、黄铁矿(图 2a)等。其中方解石主要呈胶结物的形式出现,晶粒较大,并且和孔隙边部的碎屑

颗粒之间常结合较为紧密,难于受地层水流速的影响而发生迁移。自生矿物,如石英和长石在多数情况下是作为碎屑颗粒加大边的形式出现(图 2a、2c),有时也能够呈现单个的自生石英小晶体出现(图 2b),前者不会发生迁移,后者含量极少,且颗粒粒径均显著大于喉道的直径,也难于发生迁移。黄铁矿总体含量很少,在研究区储层中一般呈草莓状出现,粒径显著大于喉道直径,且构成草莓状集合体的微粒之间连接紧密,难于破碎成微粒。因此上述几种矿物都不会导致储层的速敏性。

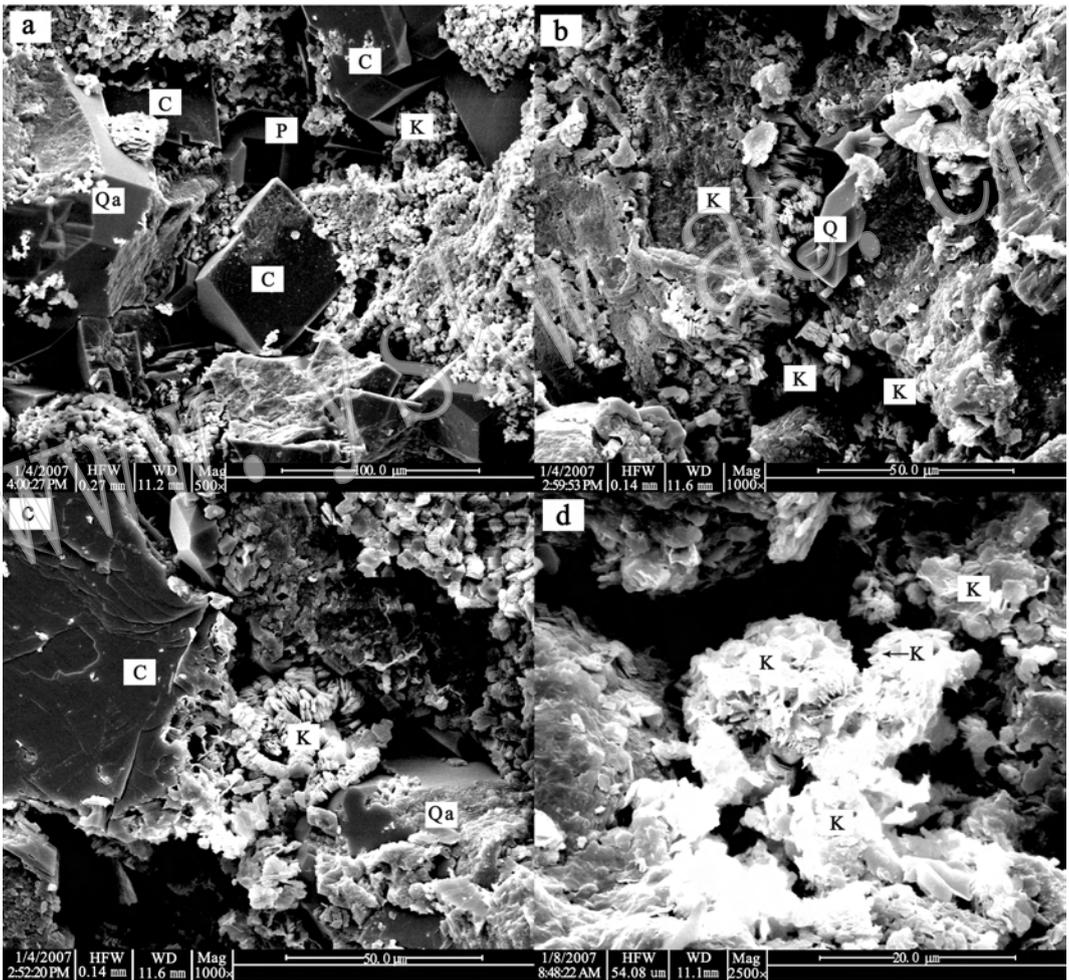


图 2 高南地区东三段储层微观孔隙结构特征

Fig. 2 Microporous structure of Ed_3 reservoir in Gaonan area

a—高 28X3, 2 980.48 m, 粒间的方解石(C)胶结物、自生黄铁矿(P)、石英加大边(Qa)及大量微粒状高岭石(K); b—高 193X3, 2 935.05 m, 孔隙中的蠕虫状及分散状高岭石微粒, 接触缝喉道中见自生石英(Q); c—高 193X1, 2 937.0 m 孔隙中充填的蠕虫状高岭石上部接触缝喉道边部见明显的石英加大(Qa); d—高 94, 2 938.36 m, 孔隙中团块状分布的高岭石

a—G28X3, 2 980.48 m, calcite cement(C), self-generation pyrite(P), quartz secondary growth edge(Qa) and large amounts of kaolinite(K) in intergranular space; b—G193X3, 2 935.05 m, vermiform and dispersed kaolinite in pore throat, and self-generation quartz(Q) in contact edge throat; c—G193X1, 2 937.0 m, vermiform kaolinite in pore, and self-secondary growth quartz in the upper part of the pore; d—G94, 2 938.36 m, lumpy kaolinite in pore

粘土矿物是研究区储层中最普遍出现的填隙物类型,其含量一般可以达到5%~15%。粘土矿物种类以高岭石、伊利石、伊/蒙混层、绿泥石、蒙脱石等为主,其中高岭石在含量上占有较大优势。从其特征上看,高岭石一般呈蠕虫状(图2b)、团块状(图2d)及晶片状出现,由于高岭石晶片之间为分子键连接,连接力较弱,在流体动力的作用下很容易破碎和迁移;伊利石、伊/蒙混层粘土、绿泥石、蒙脱石等主要分布于颗粒表面,和碎屑颗粒之间联结较强,不易发生迁移。

纵上所述,研究区如果存在速敏性,则导致速敏性的矿物为高岭石。高岭石导致速敏性有2种方式:一种是陷入式桥堵,即高岭石直接充填喉道中,这要求高岭石的晶粒大小总体和喉道直径相近;一种是喇叭形桥堵,高岭石通过分布于孔喉连接处的喇叭形区域内,在这种情况下,高岭石总体大于喉道直径,但显著小于孔隙大小。研究区储层中绝大多数高岭石晶粒都大于孔喉平均值,第2种速敏性方式应当是主要的。

已有几个实验数据表明,高尚堡地区储层的速敏性较弱,这是粘土杂基含量相对较低的结果(表1)。不过从扫描电镜下对孔隙中高岭石晶粒大小及平均孔喉半径的对比(图3,孔隙编号为扫描电镜下孔隙点的观察序号,按高岭石晶粒长度从大到小的顺序排列)可以看出,由于多数高岭石的晶粒长度和直径大于孔喉,无论是高岭石晶片还是断裂的晶体碎片均难于顺利迁移,这显著增大了发生喇叭型桥堵的可能性,因此储层在微观结构上显示其存在较大速敏性的可能性,而且这种可能性随粘土杂基含量的增加而增加。正因为如此,在施工过程中,仍要注意将流体的速度控制在合适的范围内,此外,由于储层平均孔喉半径值多数小于 $2.5\ \mu\text{m}$,作业液中悬

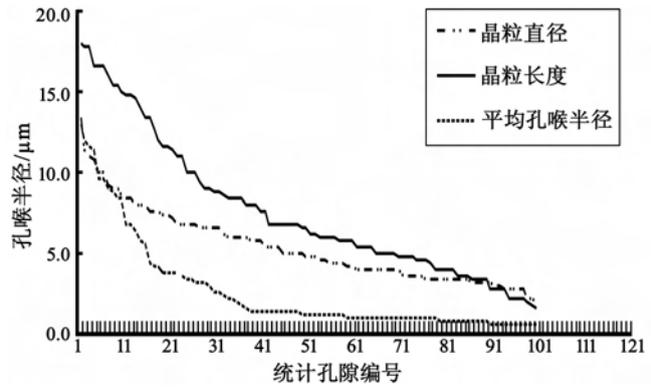


图3 孔隙中高岭石晶粒大小和平均孔喉半径对比图
Fig. 3 Diagram illustrating the relationship between grain size and average pore diameter of kaolinite in Ed_3 reservoir of Gaonan area

浮固体颗粒直径中值最好控制在该数值以内。

3.2 水敏性

水敏性是储层不配伍的外来流体进入储层后,引起粘土矿物的膨胀、分散、运移而导致渗透率下降的现象。储层一旦发生水敏,渗透率会急剧下降,严重影响油气产量。从储层岩样敏感性流动实验结果可以看出,储层的渗透率越低,粘土矿物含量越高,敏感性越强(常学军等,2004)。水敏实验结果表明,不同砂岩样品中的水敏性强弱相差较大,这和储层中水敏性粘土矿物的含量有密切关系。

研究区储层中的粘土矿物是由微小的片状或棒状铝硅酸盐矿物组成,如高岭石、绿泥石、伊/蒙混层粘土等(表2)。这些矿物沉积后经压实、重结晶等作用,虽然比较紧密,但经液体浸泡后,水分子进入粘土矿物晶格,可使粘土矿物发生体积膨胀。不同种类的粘土矿物结构特征不尽相同,其膨胀性也相差较大,其中蒙脱石的膨胀性最强,绿泥石则不明显(表3),因此可知研究区储层中的绿泥石含量对储层水敏性损害影响应当较低。由于蒙脱石膨胀性最强,

表2 敏感性分析样品的填隙物成分

Table 2 Matrix content of samples for sensitivity analysis

井号	井深/m	样品编号	K	C	I	S	I/S	S	粘土总量	碳酸盐含量
G193X1	3 068.14	全4	65	19	12		4	25	4.81	3
	3 071.02	全5	63	20	13		4	20	5.39	2
	3 537.26	2	21.4	21.4	8		49.2	30	6.33	9.6
	3 539.51	16							4.90	0
G149X1	3 540.40	25							6.08	1.8
	3 596.35	67	31	31	5.8		32.2	30	6.33	4.9
	3 600.20	87	31.6	38.2	6		24.2	30	4.14	4.7

注:K—高岭石;C—绿泥石;I—伊利石;S—蒙脱石;I/S—伊/蒙混层;其含量为相对百分含量。

因此尽管研究区储层中蒙脱石含量不明显,但是由于伊/蒙混层粘土的大量存在(表2),蒙脱石的膨胀性还是不能忽视的,它可以通过伊/蒙混层粘土中蒙脱石层的膨胀对储层造成影响;而对于高岭石、伊利石等粘土矿物来说,尽管它们的遇水膨胀性比蒙脱石低得很多,其膨胀率也可以达到10%以上(表3)。正因为如此,高岭石、蒙脱石、伊/蒙混层粘土等是导致研究区储层水敏的主要粘土矿物,考虑到蒙脱石含量及其膨胀性,研究区储层的水敏性还受到泥质杂基总量以及粘土矿物中蒙脱石含量的双重制约。

根据粘土矿物分析数据,由表2可以计算出各样品因粘土矿物水敏而导致的储层孔隙度损害的程度,进而推断储层的水敏性,各层位的计算结果如图4。由图4中可以看出,东三亚段储层水敏性孔隙损害率相差较大,数值范围大都在10%~20%之间,表明储层具有强水敏性特点,计算结果和水敏性实验分析结论(表1)相一致。

表3 砂岩储层中主要粘土矿物的遇水膨胀率
(据裴悻楠等,1994)

Table 3 Water swelling rate of main clay minerals in sandstone reservoir (after Qiu Yanan *et al.*, 1994)

矿物名称	矿物含量/%				膨胀率/%
	S	I/S	I	K	
蒙脱石	90	-	-	-	98.2
伊利石	-	-	96	-	18.9
高岭土	5	-	-	93	16.4
绿泥石	-	-	-	-	-

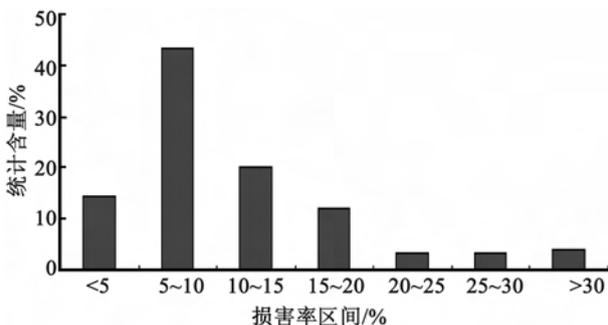


图4 高南东三段水敏损害率估算图

Fig. 4 Damage degree evaluation of water sensitivity in Ed₃ reservoir of Gaonan area

3.3 酸敏性

酸敏性能否产生及敏感性程度和储层的造岩矿物组成有非常密切的关系。酸性流体进入储层后有可能与储层中的造岩矿物发生反应,在改善储层孔隙性的同时,也可能因为在该过程中产生凝胶、沉淀

或释放出微粒而损害储层。一般情况下,在酸处理过程中被溶解的矿物组分越多,随酸处理中矿物的溶解和pH值升高,原先所释放出的组分将结合并沉淀下来,酸敏性产生的可能性也就越大。

石英、长石是砂岩储层中含量最高、最常见的造岩矿物。不同储层中存在的酸敏性特征不同,因此可见储层的酸敏性并不是由石英和长石所决定的,岩屑种类以及钙质、粘土、硅质、铁质等填隙物组成等才是其主要决定因素。研究区储层中岩屑成分以酸性火山岩为主,其次为花岗岩、动力变质岩、石英岩、硅质岩等,岩屑组分总体以在盐酸作用下能较稳定存在为特征;在土酸作用下这些岩屑尽管有可能发生微弱反应,但是由于研究区储层中碎屑颗粒的粒径相对较粗(岩屑相对更粗),加上结构致密,岩屑和土酸间的反应速度与晶内微孔发育、比表面极大的粘土矿物以及酸极不稳定的碳酸盐胶结物而言,可以说是微不足道的,因此在酸性作业液的影响下真正具有较明显敏感性的矿物是分布于粒间孔隙及喉道中的粘土矿物及碳酸盐胶结物。由于粘土矿物基本上都和土酸有较明显的反应,在这种情况下,填隙物含量实际上决定了储层酸敏性的强弱。

研究区样品分析结果以弱酸敏为主,仅1个样品接近或达到中等酸敏(表1)。究其原因,和所选样品填隙物含量较低有密切的关系(表2),也就是说,泥质含量4%~7%、碳酸盐胶结物含量0~3%左右时,储层的酸敏性相对较弱。统计结果表明,多数物性分析样品泥质杂基含量一般介于7%~18%之间,碳酸盐胶结物含量在5%以上者则占80%以上;储层中粘土膨胀所导致的孔隙损害率的计算结果表明,当粘土含量在6%以上时,孔隙损害率达到10%以上的概率较大。这表明较高的填隙物含量增加了储层酸敏性的可能性,因此在很多情况下,研究区储层的酸敏性是不能忽略的。

从微观孔隙结构图(图2)可知,储层中方解石胶结物主要分布于粒间孔隙中,对喉道大小不起明显作用,但是由于方解石具有强烈的酸不稳定特性,在酸化作业过程中,大量的酸性流体被其消耗,而没有起到实效。对于粘土杂基而言,一方面以溶解粘土为目的的土酸酸化可以使喉道两侧长石及石英颗粒发生微弱部分溶解而暂时改善喉道结构,由于粘土矿物的溶解速度高于长石和石英,孔隙中粘土矿物的溶解也能在一定程度上改善储层的渗流条件;另一方面,研究区储层多数具有小喉道特点(图3),喉

道类型以压实缩小的片状及弯片状喉道为主,喉道边部为粒间接触缝及长英质加大边,喉道中的粘土矿物含量也较少,如果采用盐酸酸化作业,只能使位于孔隙中的填隙物发生溶解,而喉道被溶解扩大的程度是非常有限的。而且由于碳酸盐矿物的快速溶解,酸尚未耗尽很快就会有沉淀物的形成(王勇毅等,2003),这种沉淀趋向于受粘土杂基的吸附而富集,反而容易造成储层损害。如果采用土酸酸化,由于能使喉道中的长英质颗粒和粘土矿物同时发生溶解,这样,无论是孔隙还是喉道都在一定程度上得到了扩张,因此对于如研究区的低渗储层来说,这种酸化应当是较为有效的。

综上所述,尽管样品分析结果表明储层具有酸敏较弱的特性,由于多数样品中酸敏性矿物含量较高,还是存在一定的酸敏性,因此在施工时应当采取措施及时返排,以防止酸敏性的反弹。如果从改善储层渗透性的角度考虑,酸化时采用土酸酸化的效果可能较好。

3.4 碱敏性

碱敏发生的主要原因是储层中碱不稳定矿物(如石英、长英质岩屑、部分粘土矿物等)与强碱性作业液发生反应后,溶解下来的硅以胶体或颗粒形式发生沉淀的结果。此外,高pH值的钻井液进入储层后,溶液中的 OH^- 依附于粘土表面,使高岭石晶层间斥力增大,也增大了粘土水化分散、堵塞储层孔道的可能性。

研究区储层中的喉道相当一部分是石英和长石颗粒间的接触缝喉道,而且喉道还常因石英加大而遭受一定程度的损害(图2c)。由于碱性作业液对储层中矿物溶解的选择性较强(主要是对石英质成分的颗粒产生溶解),在钻井液进入储层的过程中会由于石英边缘及加大边的溶解而增加储层的渗透性。尽管如此,考虑到G193X1井Ed₃的临界碱度(pH)为7.7左右(表1),而由于多数钻井液和水泥浆的pH值则在8~12之间(许建华等,2003),大量强碱性钻井液浸入储层会造成大量储层碱不稳定组分的溶解,并随浸入液的消耗及碱性程度的降低,具有形成大量二次沉淀的潜在因素。加上钻井液难于及时返排,因此尽管实验结果显示储层弱或中等偏弱的碱敏性,但在钻井过程中还是要特别注意钻井液碱度的选择。

3.5 盐敏性

当高于地层水矿化度的工作液进入地层后,可

能引起粘土矿物的收缩、失稳并产生脱落堵塞渗流通道;若低于地层水矿化度的工作液进入地层,又可引起粘土矿物的膨胀和分散,同样损害油气储层(黎华继,2002)。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(常学军等,2004)。

盐敏实验的目的就是了解与地层不配伍的外来流体进入地层后引起粘土膨胀、分散、运移的过程及最终使储集层渗透率下降的程度,并找出渗透率明显下降的临界矿化度。

储层盐敏性的实质是储层中所含的粘土矿物在地层水盐度降低发生膨胀,而对储层造成了损害。研究区储层中粘土矿物主要有高岭石、伊/蒙混层粘土、蒙托石、伊利石、绿泥石等。其中高岭石和绿泥石等具有速敏性,但是膨胀性很弱;伊/蒙混层粘土在储层中含量变化较大(图5),一般粘附于颗粒表面,难于在流体的流动下发生迁移,但是由于其中一般含有20%~25%的蒙托石层,使得其和蒙托石一样在流体盐度降低时易以发生膨胀;因此伊/蒙混层粘土和蒙托石是导致盐敏性的矿物学原因。从表1可知,高南地区Ed₃的盐敏性程度相差较大,推测正是因为蒙托石及伊/蒙混层粘土在不同位置存在差别的结果。

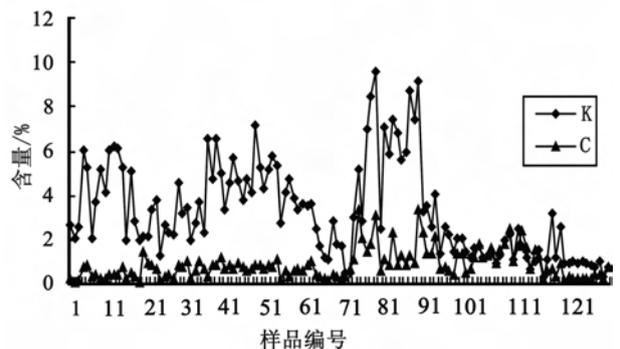


图5 高南东三段高岭石(K)及绿泥石(C)含量
Fig. 5 Kaolinite (K) and chlorite (C) content of Ed₃ reservoir in Gaonan area

4 结论及建议

研究区储层总体具有弱速敏性、强水敏性,盐敏性变化较大,具有较明显的酸敏性及碱敏性等特点。

储层在临界流速 0.25 ~ 5 mL/min 范围内的速敏性较弱,但是存在潜在的速敏性。造成研究区储层速敏性的原因主要是高岭石(及少量绿泥石)。在施工过程中除要注意控制流速外,也应考虑施工液中颗粒粒径及含量,考虑到储层平均孔喉半径值较低,作业液中固体颗粒直径应小于 2.5 μm。

高南东三段储层结构特点决定了盐酸酸化处理很可能起不到应有的效果,土酸酸化则可能显著改善储层渗流条件,考虑储层潜在的酸敏性,要进行及时返排。

强碱性钻井液能有效改善储层的渗透性,但是大量强碱性钻井液浸入储层会造成大量储层碱不稳定组分的溶解,并随浸入液的消耗及碱性程度的降低,具有形成大量二次沉淀的潜在因素;加上钻井液难于及时返排,因此尽管实验结果显示储层弱或中等偏弱的碱敏性,但在钻井过程还是要特别注意钻井液碱度的选择。

高南东三段的盐敏性程度相差较大,是蒙托石及伊/蒙混层粘土在不同位置存在差别的结果。由于盐敏性的差异,选择相对高盐度值流体对储层盐敏性损害的可能性相对较低,考虑到 G193X1 井 2 个样品的盐敏性实验结果,在研究区盐度选择 9 791 mg/L 作为临界值较为合理。

References

Chang Xuejun and Yin Zhijun. 2004. Sensitivity experimental study and its mechanism analysis of reservoirs in the third member of the Shahejie Formation, Gaoshangpu oilfield[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 26(1): 84 ~ 88 (in Chinese with English abstract).

Li Huaji. 2002. The sensitivity of the gas reservoirs in the Penglaizhen Formation of the Xinchang gas field, western Sichuan[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 22(1): 30 ~ 34 (in Chinese with English abstract).

Luo Qun, Li Fengbing, Huang Handong, *et al.* 2006. Geologic settings and pool forming models of subtle petroleum accumulations in middle-small basins—A case study of the Napu sag of the Bohai bay basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 28(6): 560 ~ 565 (in Chinese with English abstract).

Liu Shilin, Liu Yunhua, Lin Ge, *et al.* 2007. Tectonic background and provenance of the Neogene sandstones evidenced from their chemical composition, Guantao Formation of Nanpu Sag, Bohai Bay Basin, China[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 37(3):

475 ~ 505 (in Chinese with English abstract).

Qiu Yanan, Xue Shuhao, *et al.* 1994. Evaluation Technique for Oil and Gas Reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 287 ~ 300 (in Chinese).

Tan Lijuan and Tian Shicheng. 2001. Faulting and volcanism in cenozoic of Nanpu depression[J]. *Journal of the University of Petroleum, China*, 25(4): 1 ~ 4 (in Chinese with English abstract).

Xu Anna, Zheng Hongju, Dong Yuexia, *et al.* 2006. Sequence stratigraphic framework and sedimentary facies prediction in Dongying Formation of Nanpu Sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 33(4): 437 ~ 443 (in Chinese with English abstract).

Xu Jianhua, Hao Xinwu, Wang Jinyou, *et al.* 2003. Sensitivity of low porosity and permeability reservoir of upper Es₄ Member in Lijin area, Dongying Sag, Jiyang Depression[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 30(4): 114 ~ 116 (in Chinese with English abstract).

Wang Yongyi and Shi Lei. 2003. Identification methods of reservoir sensitivity damage and case study[J]. *Henan Petroleum*, 11(4): 47 ~ 54 (in Chinese with English abstract).

Zheng Hongju, Dong Yuexia, Wang Xudong, *et al.* 2007. The generation and characteristics of source rocks in Nanpu oil-rich depression, Bohai bay basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 18(1): 78 ~ 82 (in Chinese with English abstract).

Zhou Haimin, Wei Zhongwen, Cao Zhonghong, *et al.* 2000. Relationship between formation, evolution and hydrocarbon in Nanpu sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 21(4): 345 ~ 349 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

常学军,尹志军. 2004. 高尚堡沙三段油藏储层敏感性实验研究及其形成机理[J]. *石油实验地质*, 26(1): 84 ~ 88.

黎华继. 2002. 川西新场气田蓬莱镇组气藏储层的敏感性研究[J]. *沉积与特提斯地质*, 22(1): 30 ~ 34.

罗群, 宋锋兵, 黄捍东, 等. 2006. 中小型盆地隐蔽油气藏形成的地质背景与成藏模式——以渤海湾盆地南堡凹陷为例[J]. *石油实验地质*, 28(6): 560 ~ 565.

刘士林, 刘蕴华, 林舸, 等. 2007. 南堡凹陷新近系馆陶组砂岩地球化学、构造背景和物源探讨[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 37(3): 475 ~ 505.

裘怿楠, 薛叔浩, 等. 1994. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 287 ~ 300.

谭丽娟, 田世澄. 2001. 南堡凹陷第三纪构造特征及火山作用[J]. *大学学报(自然科学版)*, 25(4): 1 ~ 4.

徐安娜, 郑红菊, 董月霞, 等. 2006. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积相预测[J]. *石油勘探与开发*, 33(4): 437 ~ 443.

许建华, 郝新武, 王金友, 等. 2003. 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*, 30(4): 114 ~ 116.

王勇毅,石磊. 2003. 油气储层敏感性伤害机理识别方法及应用实例[J]. 河南石油,11(4):47~54.

郑红菊,董月霞,王旭东,等. 2007. 渤海湾盆地南堡富油气凹陷烩源

岩的形成及其特征[J]. 天然气地球科学,18(1):78~82.

周海民,魏忠文,曹中宏,等. 2000. 南堡凹陷的形成演化与油气的关系[J]. 石油与天然气地质,21(4):345~349.

《岩石矿物学杂志》第五届编辑委员会成立

《岩石矿物学杂志》自1982年创刊以来,在各届主编、编委以及编辑部成员的共同努力下,发表了一大批优秀的稿件。如今,本刊各方面的状况都处在稳步上升的时期,整体形象和学术质量均得到业内的认可,成为地学期刊内一本不可或缺的优秀杂志。在过去的20多年里,各届编委们为本刊的发展,做了许多卓有成效的工作,使本刊一直保持位于“核心期刊”的行列中,在此本刊全体同仁向他们致以衷心的感谢,并希望今后能继续得到大家的关心和支持。

只有在主编的倡导下,紧密依靠编委会,大力发挥编委们的学科优势,狠抓稿源质量,才能办好学术性期刊。第四届编委会成立至今已有4年的时间,任期已满,自2009年起本刊原主编沈其韩院士将担任荣誉主编,侯增谦研究员担任主编,带领期刊更上一层楼。为更好地适应学科的发展和杂志的需求,本刊在前四届编辑委员会的基础上对编委会进行了改选。经专家推荐并广泛征求意见,《岩石矿物学杂志》第五届编辑委员会正式成立了。本届编委会增补了一些近年来在新兴交叉学科有所作为、热心办刊的中青年专家学者,使其更具学术活力。成员任期仍暂定为4年。编辑部继续实行主编负责制,认真依靠编委,大力发挥编委们的学科优势,群策群力,力争进一步提高刊物的学术水平。现将《岩石矿物学杂志》第五届编辑委员会名单正式公布如下:

荣誉主编: 沈其韩

荣誉编委:(以姓氏笔画排序)

王德滋	叶大年	任纪舜	刘宝珺	刘敦一	刘嘉麒	孙枢	许志琴
张本仁	李廷栋	李曙光	肖序常	金振民			

主 编: 侯增谦

副主编:(以姓氏笔画排序)

王立本(常务)	王汝成	刘福来	张立飞	张招崇(常务)	杨经绥	郝艳丽
耿元生(常务)	莫宣学	曾令森(常务)				

编 委:(以姓氏笔画排序)

丁林	万渝生	于炳松	马永生	马昌前	尹淑苹	王涛	王京彬
王清晨	叶凯	刘建明	朱祥坤	朱筱敏	许继峰	吴才来	张宏福
张建新	张泽明	李延河	李惠民	李献华	杨天南	杨进辉	陈鸣
周美夫	林畅松	范宏瑞	郑永飞	郑建平	柳永清	赵国春	夏林圻
夏群科	徐义刚	徐夕生	徐学义	郭敬辉	高山	蒋少涌	韩宝福
鲁安怀	赖绍聪	樊祺诚					