

文章编号:0253-9985(2012)02-0321-08

特低渗透砂岩储层水敏实验及损害机理研究

——以鄂尔多斯盆地西峰油田延长组第8油层为例

廖纪佳¹,唐洪明^{2,3},朱筱敏¹,任明月⁴,孙振⁴,林丹³

(1. 中国石油大学 地球科学学院,北京 102249; 2. 西南石油大学 油气藏地质及开发工程
国家重点实验室,四川 成都 610500; 3. 西南石油大学 资源与环境学院,四川 成都 610500;
4. 中国石油 长庆油田公司 第五采气厂,内蒙古 乌审旗 017300)

摘要:以鄂尔多斯盆地西峰油田延长组第8油层砂岩为例,通过铸体薄片、扫描电镜、图像分析及全岩分析等手段详细研究储层特征,应用室内岩心流动驱替实验进行水敏实验研究。与此同时,结合扫描电镜、毛管流动孔隙结构仪分别定性和定量研究水敏实验前、后岩心内部粘土矿物产状和孔隙结构参数等微观特征的变化,以此探讨水敏损害机理。研究表明,西峰油田延长组第8油层属于特低渗透砂岩油藏,其粘土矿物主要为高岭石、绿泥石、伊利石,不含蒙脱石,伊/蒙混层矿物含量少(仅为11.4%),主要体现为伊利石的化学性质。储层水敏损害程度中等偏强,膨胀性粘土矿物引起的损害程度有限,岩心水敏损害机理主要为:次生非晶态物质缩小有效喉道半径;多种粘土矿物共生结构破坏或分散;非膨胀性粘土矿物集合体的分散和单晶碎裂;孔隙杂基结构坍塌及微粒运移加剧喉道堵塞。

关键词:水敏性;粘土矿物;有效喉道;特低渗透砂岩;西峰油田;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Water sensitivity experiment and damage mechanism of sandstone reservoirs with ultra-low permeability: a case study of the eighth oil layer in the Yanchang Formation of Xifeng oilfield, Ordos Basin

Liao Jijia¹, Tang Hongming^{2,3}, Zhu Xiaomin¹, Ren Mingyue⁴, Sun Zhen⁴ and Lin Dan³

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;
3. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;
4. No. 5 Gas Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Wushen, Inner Mongolia 017300, China)

Abstract: Taking the eighth oil layer of Yanchang Formation in Xifeng oilfield in Ordos Basin as an example, this paper investigates reservoir characteristics through cast thin section observation, SEM, image analysis and whole rock analysis, and studies water sensitivity through core flow displacement experiment. In addition, the changes of microscopic features within cores before and after water sensitivity experiment such as clay mineral occurrence and pore structure are qualitatively and quantitatively determined by using SEM and capillary flow porometer respectively, so as to investigate the mechanism of water sensitivity. The eighth oil layer of Yanchang Formation in Xifeng oilfield is a sandstone reservoir with ultra-low permeability. Its clay minerals are dominated by kaolinite, chlorite and illite, with no montmorillonite but some mixed-layer illite/smectite (only 11.4%). The degree of water sensitivity damage is moderate to strong. The damage from expanding clays is limited. The mechanisms of water sensitivity damage in cores include reduction of effective throat radius caused by secondary amorphous; damage or scattering of the paragenetic structures of clay minerals; dispersion of non-expanding clay

收稿日期:2011-10-30;修订日期:2012-03-12。

第一作者简介:廖纪佳(1983—),男,博士研究生,沉积学及储层地质学。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05001-002)。

mineral assemblage and cracking of their single crystal; collapsing of structure of matrix in pores and throat-plugging caused by migration of fine particles.

Key words: water sensitivity, clay mineral, effective throat, ultra-low permeability sandstone, Xifeng oilfield, Ordos basin

西峰油田为典型的特低渗亿吨级整装大油田^[1]。自注水开发以来,油田投注压力相对较高,平均为 13.2 MPa。白马区 7 口注水压力高(大于 16 MPa)的单井动态资料表明,注水 4 个月后,注水压力由投注时的 13.6 MPa 上升到 16.0 MPa。注水 2 年后,区块系统注水压力由初期的 14 MPa 上升到 15.9 MPa,超过 16 MPa 的注水井占总注水井的 38%。因注水困难所造成的日欠注水量已占总配注量的 14%^[2]。整体投注压力相对较高和正常注水后注水压力上升速度过快,对注水系统造成巨大压力,系统不仅已无大幅度提压可能,而且高注入压力也将给中后期油水井处理带来巨大困难^[3]。因此,查明注水压力快速升高的原因,对保持该油田长期稳定注水、实现高效开发极为重要。

储层的敏感性对注水状况影响明显,前人运用真实砂岩微观模型实验技术研究储层水敏及其对注水开发的影响^[4],本文通过室内岩心流动实验分析西峰油田长 8 油层的水敏性,采用储层微观分析手段研究引起水敏损害的粘土矿物类型及产状,基于定性及定量研究实验前后粘土矿物和孔隙结构参数的变化,探讨储层水敏损害机理,有助于分析注水压力快速升高的原因,为实现长期稳定注水、实现油田高效开发提供地质依据。

1 储层特征

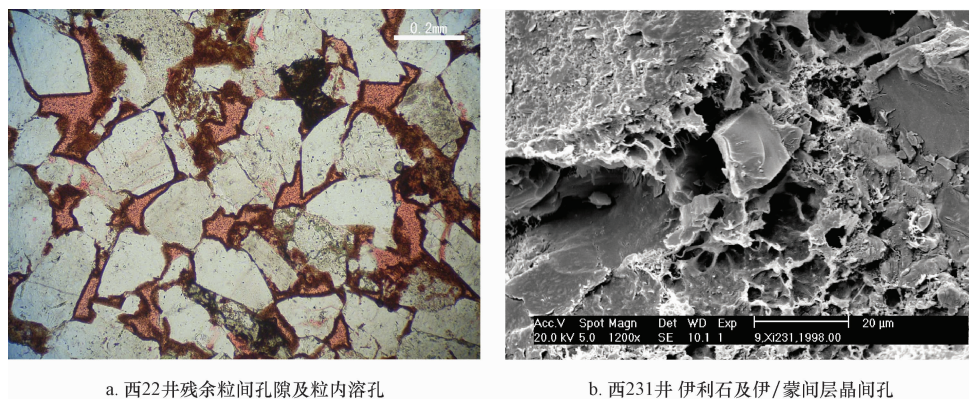
1.1 储层岩石学与孔隙结构特征

通过铸体薄片、扫描电镜、图像分析及全岩分析可知,西峰油田长 8 油层岩性以中-细粒长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩和长石砂岩为主,颗粒分选中等,中等结构成熟度,磨圆度以次棱状为主。石英含量平均 28.8%、长石含量平均 53.1%、岩屑占 8.1%、填隙物占 10%。

储层孔隙空间以残余粒间孔、长石及岩屑粒内溶孔为主(图 1a),其次是杂基孔、粘土矿物晶间微孔(图 1b),并见少量微裂缝。储层平均孔隙度为 8%,平均渗透率为 $2.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;平均喉道半径为 0.45 μm ;平均中值喉道半径为 0.36 μm ;退汞效率为 14.9%~48.5%,平均为 28.48%。根据 SY/T6169—1995 油藏分类标准,西峰油田长 8 油层属于特低渗透砂岩油藏。

1.2 自生粘土矿物特征

粘土矿物是造成储层敏感性的主要因素^[5],根据 Stokes 实验沉降原理,利用沉降法抽提砂岩中粒径小于 4 μm 的粘土矿物,通过 X-射线衍射分析得知(表 1),长 8 油层粘土矿物以伊利石、绿



a. 西22井残余粒间孔隙及粒内溶孔

b. 西231井伊利石及伊/蒙间层晶间孔

图1 西峰油田长 8 油层主要储集空间类型

Fig. 1 Main reservoir space types of Chang 8 oil layer in Xifeng oilfield

表1 长8油层粘土矿物X-射线衍射分析结果

Table 1 XRD analysis of clay minerals in Chang 8 oil layer

井号	深度/m	相对含量/%				间层比/%
		高岭石	绿泥石	伊利石	伊/蒙间层	
西232	2 097.5	12.12	48.48	25.67	13.74	<10
西231	1 998.5	7.41	22.24	54.01	16.33	<10
西210	2 037.0	35.66	11.89	40.97	11.48	<10
董84-65	2 004.5	23.08	46.16	21.91	8.84	<10
董66-63	1 969.0	67.48	16.87	9.06	6.59	<10
平均值		29.15	29.13	30.32	11.40	

泥石和高岭石为主,见少量伊/蒙混层矿物。伊利石平均百分含量为30.32%,绿泥石平均百分含量为29.13%;高岭石平均百分含量为29.15%,伊/蒙间层平均百分含量为11.4%。长8油层中,绿泥石覆盖在骨架颗粒表面呈薄膜状产出;伊利石在连接孔隙的喉道处以桥接式产出(图2),其结果是减小孔隙空间,将原有较大孔喉改造成大量的微细孔喉,使岩石致密化;高岭石充填孔隙,集合体呈蠕虫状、书页状及杂乱堆积(图2);伊/蒙混层矿物呈弯曲的薄片状产出于粒表,发育在绿泥石晶体表面。

2 水敏实验

储层中的粘土矿物在地层下长期处于一定矿化度介质中,并与地层水达成平衡状态^[6],低于地层水矿化度的流体进入储层后可引起粘土矿物的膨胀、分散、脱落和孔隙结构的破坏,导致储层孔隙空间的缩小及堵塞,最终降低储层渗透率,产生水敏损害^[7]。常规的水敏性评价主要是利用岩心流动实验的方法,测定不同低矿化度的流体流过岩心后使岩石渗透率的降低程度^[8-9],从而为工作液的设计提供依据,以降低对储层的伤害。

长8油层地层水总矿化度约为49 123 mg/L,水型主要为CaCl₂型。本次采用岩心驱替实验评价岩石的水敏性,实验标准为SY/T5358—2002。试验样品为柱状岩心,样品规格为2.5 cm×5 cm。根据敏感性实验评价标准,分别测定同一块岩心在地层水、75%地层水、50%地层水、蒸馏水条件下的渗透率变化,水敏损害程度用水敏指数(I_w)来定量表征^[10],测定结果见表2和图3。

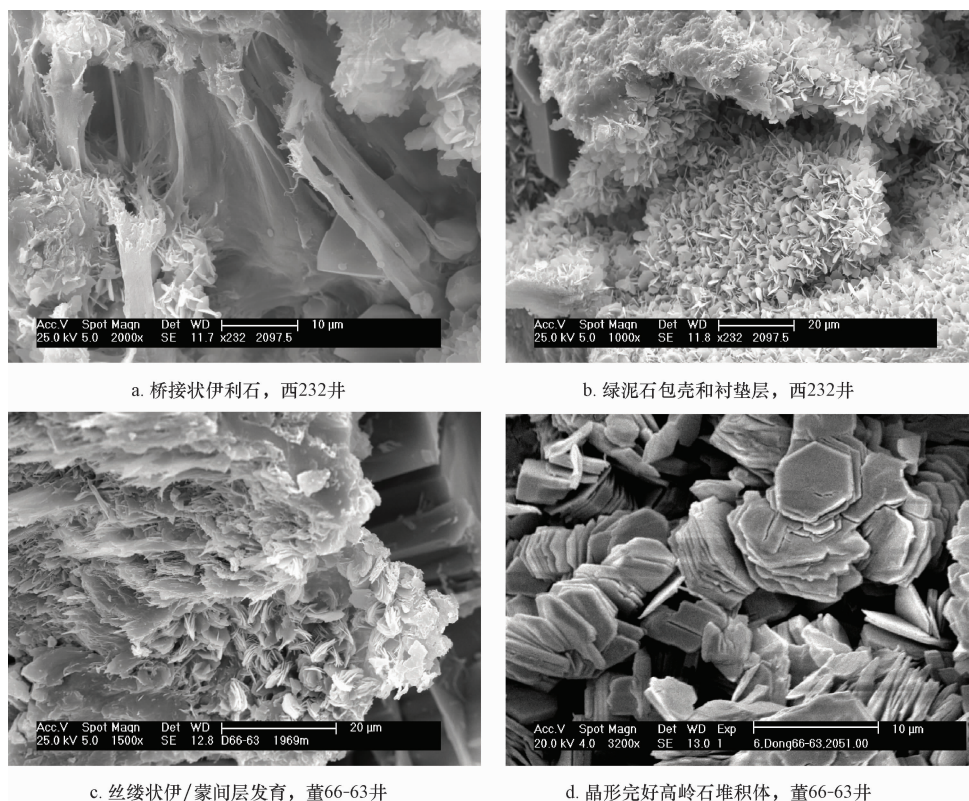


图2 西峰油田长8油层粘土矿物显微结构

Fig. 2 Microstructure of clay minerals in Chang 8 oil layer of Xifeng oilfield

表2 西峰油田水敏实验结果

Table 2 Result of water sensitivity experiment in Xifeng oilfield

井号	$K_{\text{地层水}} / (10^{-3} \mu\text{m}^2)$	$K_{75\% \text{地层水}} / (10^{-3} \mu\text{m}^2)$	$\frac{K_{75\% \text{地层水}}}{K_{\text{地层水}}}$	$K_{50\% \text{地层水}} / (10^{-3} \mu\text{m}^2)$	$\frac{K_{50\% \text{地层水}}}{K_{\text{地层水}}}$	$K_{\text{蒸馏水}} / (10^{-3} \mu\text{m}^2)$	$\frac{K_{\text{蒸馏水}}}{K_{\text{地层水}}}$	水敏指数
西39	0.129	0.063	0.488	0.053	0.411	0.032	0.248	0.75
董66-63	0.347	0.264	0.761	0.229	0.660	0.170	0.490	0.51

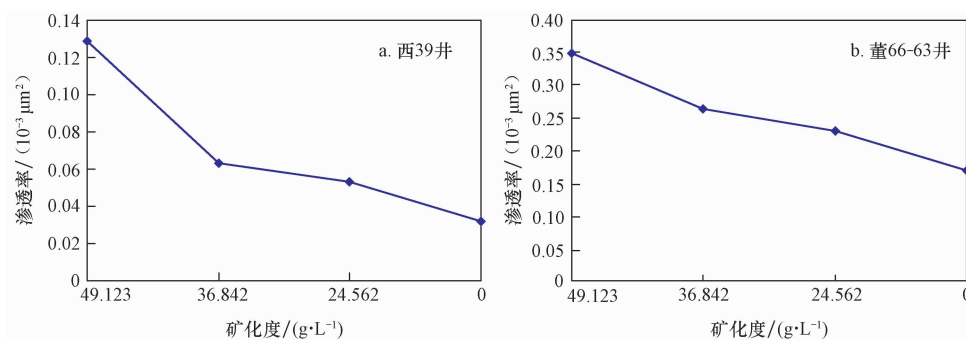


图3 西峰油田长8油层水敏实验曲线

Fig. 3 Curves of water sensitivity experiment in Chang 8 oil layer of Xifeng oilfield

$$I_w = \frac{K_i - K_w}{K_i} \quad (1)$$

式中: I_w 为水敏指数,无量纲; K_i 为注入地层水后测得的渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; K_w 为注入蒸馏水后测得的渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

西39井和董66-63井两块岩心的液测渗透率分别为 $0.129 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $0.347 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据矿物分析结果,西39井岩心富含原生沉积粘土杂基和自生粘土矿物,花朵状和绒球状的绿泥石以及伊利石发育,有一定的伊/蒙间层;董66-63井高岭石发育,同时含有一定的绿泥石、伊利石和伊/蒙间层。实验评价结果表明(表2;图3),75%地层水驱替后渗透率降低24%~51%,50%地层水驱替后渗透率降低34%~59%,蒸馏水驱替后渗透率降低51%~75%,属中等偏强水敏损害。西39井的水敏损害强于董66-63井。

3 实验前、后储层微观特征

影响水敏性的因素较多,一般认为地层水敏性损害与膨胀性蒙脱石的水化膨胀有关^[11-12],但不同的油层有不同的水敏机理。对特低渗油层而言,研究岩低浓度盐水进入储层后对粘土矿物和孔隙结构产生的影响有助于探讨水敏损害机制。

3.1 粘土矿物变化

注入水对粘土矿物存在两种影响,一是水化作用,另一个是机械搬运-聚集作用^[5]。油藏水驱后,储层中水敏性矿物吸水膨胀使结构破坏^[13],破坏后的粘土矿物颗粒发生迁移,在孔隙的其他部位堆积或从油井采出。这种作用使大孔道更加通畅,小孔道更加细小,甚至可能被颗粒架桥堵塞,使大、小孔隙的差异加剧^[14-15]。本文采用扫描电镜研究粘土矿物的类型及定性描述矿物的产状,与未经处理的原始岩心进行对比,结果表明西峰长8油层岩石微观结构在进行充分的水-岩反应后具有以下特征。

1) 几乎没有观察到伊/蒙间层矿物。以董66-63井岩心为例,水-岩反应前,在绿泥石衬垫层表面和孔隙中有丝缕状伊/蒙间层矿物发育(图2c);水-岩反应后,几乎没有观察到伊/蒙间层矿物存在。注入水引起粘土矿物水化膨胀造成储层损害是注水过程中存在的损害机理之一^[16]。

2) 在与蒸馏水充分反应后,孔隙中出现了非结晶形态的絮状沉淀物质。絮状物质多分布于绿泥石衬垫层表面对其形成一定程度的覆盖(图4a),或者碳酸盐岩胶结物或其他自生矿物表面形成覆盖。

3) 绿泥石单晶形态没有发生明显变化,但是在水-岩反应后,部分绿泥石集合体变得较为分散,对颗粒的附着有所减弱(图4b)。

4) 伊利石晶片尺寸减小。伊利石属于水敏性较弱的粘土矿物,但是在遇低矿化度流体后其结构力减弱,加上外来流体的搅动作用,使得原本极薄的伊利石片断裂,形成更为细小的伊利石碎片(图4c)。架桥的短柱状伊利石未发生明显变化。

5) 孔隙粘土矿物和杂基的原生微观结构遭受不同程度的破坏。水-岩反应后,由于粘土(如

绿泥石)形成的包壳以及多种粘土共生结构,尤其是含有易水化的伊/蒙间层矿物的共生结构遭受破坏,强度减弱,在孔隙流体的搅动下,使得原有微观结构坍塌(图4d)。杂基的结构也由于搅动和水化作用遭受破坏(图4e,f)。

3.2 孔隙结构参数

外来流体对储层的影响,宏观上表现为孔隙度、渗透率的变化,其实质是储层孔隙结构发生变化。前人通过CT及核磁共振技术研究水敏前、后储层孔隙结构变化^[17],本文表征岩心有效喉道大

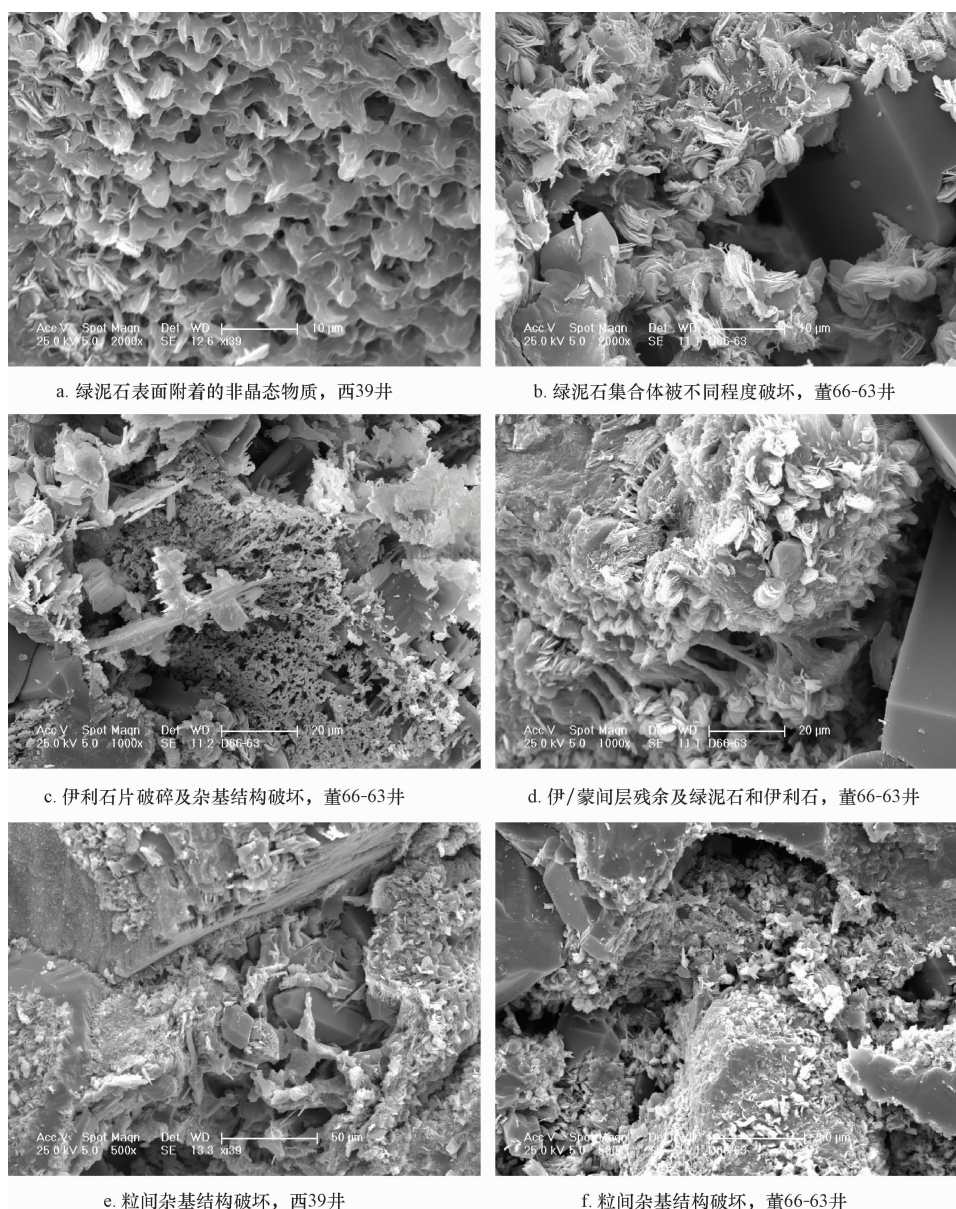


图4 西峰油田长8油层水敏损害后的显微结构特征

Fig. 4 Characters of microstructure after water sensitivity damage in Chang 8 oil layer of Xifeng oilfield

小及分布状况采用毛管流动孔隙结构仪 (capillary flow porometer, 以下简称 CFP), 该仪器是以水相作为非润湿相, 根据气、水两相流动原理, 可对同一岩心样品的孔径分布进行多次测试^[18]。

表3和图5表明, 长8油层在水敏损害后岩石微观孔隙结构变化明显, 最大孔径变小, 减小幅度为21.8%~43.5%; 泡点压力 (即气体流过充水岩石连通孔隙的最小压力) 变大, 增大幅度为27.9%~77.2%, 说明水敏损害后液体流动的启动压力增加; 平均孔径的变化没有一定规律, 但最大分布孔径变小, 孔隙中液体流动阻力增加, 表现为岩心渗透率降低。同时在CFP测定过程中发现驱替压力的曲线光滑程度变差, 出现锯齿状, 有时甚至得不到孔隙结构数据, 说明微粒运移和堵塞的程度增加。

图5显示, 水敏实验前, 董66-63井岩心的有效喉道分布呈“三峰”特征, 即分布于0.1~0.25 μm , 0.35~0.55 μm 和 0.95~1.005 3 μm ;

水敏实验后, 该岩心的有效喉道分布主要在小于0.095 μm 和 0.1~0.25 μm 。总体表现为, 在水敏实验后, 有效喉道半径明显减小, “大”喉道半径 (0.95~1.005 3 μm) 消失。以上分析结果与水敏实验后岩心的渗透率降低相吻合。

4 水敏损害机理

前人认为, 储层水敏程度取决于储层内粘土矿物的类型、含量以及外来流体的矿化度^[5], 常将储层的水敏现象归因于低矿化度条件下粘土矿物的膨胀。在常见粘土矿物中, 蒙脱石的膨胀能力最强, 其次是伊/蒙混层和绿/蒙混层矿物, 而绿泥石和伊利石膨胀能力相对较弱, 高岭石无膨胀性。X-射线衍射分析可知, 长8油层粘土矿物以高岭石、绿泥石、伊利石为主 (图2), 不含蒙脱石, 伊/蒙混层矿物含量少 (仅为11.4%), 间层比小于10%, 说明混层矿物主要体现为伊利石的化学性

表3 西峰油田长8油层水敏损害前、后孔隙结构参数

Table 3 Pore structural parameters before and after water sensitivity damage in Chang 8 oil layer of Xifeng oilfield

井号	处理类型	地层水渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	平均孔径/ μm	最大孔径/ μm	泡点压力/MPa	平均孔径 标准偏差	最大分布 孔径/ μm
董66-63	原始	0.347	0.339 9	1.005 3	0.287	0.226 3	0.989 1
	水敏后	0.170	0.439 0	0.786 0	0.367	0.254 2	0.424 2
西39	原始	0.129	0.990 4	0.996 4	0.289	0.044 1	0.982 8
	水敏后	0.032	0.371 2	0.562 7	0.512	0.210 7	—

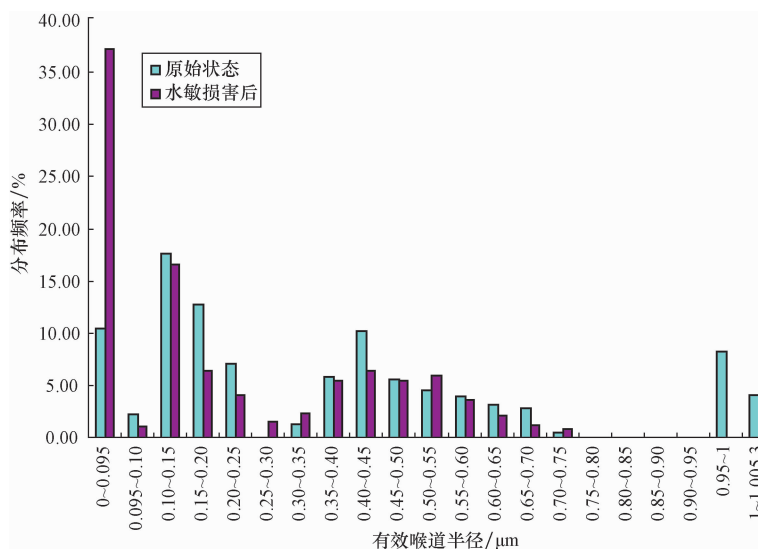


图5 西峰油田董66-63井岩心水敏前、后有效喉道半径分布

Fig. 5 Effective throat radius distribution before and after water sensitivity damage of core from the Dong 66-63 well in Xifeng oilfield

质,结合储层的水敏损害程度为中等偏强,因此,认为造成该区储层水敏损害的主要因素不是膨胀性粘土矿物的影响。

结合水敏实验前后岩心微观特征变化分析,认为西峰油田长8油层水敏损害机理为:

1) 低矿化度外来流体与矿物反应后形成的非晶态物质附着于骨架颗粒表面,缩小有效喉道半径,增加渗流阻力;

2) 在流体搅动下,绿泥石、伊利石等粘土矿物以及杂基发生破碎、结构坍塌,形成大量细小的碎片,此类碎片聚集于喉道处,堵塞渗流通道;

3) 储层孔隙和喉道本来细小,即使在少量粘土矿物膨胀后(如伊/蒙混层矿物)也容易引起有效喉道减小,对岩心渗透率的降低有一定贡献。

5 结论

1) 西峰油田长8油层属于特低渗透砂岩油藏,粘土矿物以高岭石、绿泥石、伊利石为主,不含蒙脱石,伊/蒙混层矿物含量少(仅为11.4%),间层比小于10%,混层矿物主要体现为伊利石的化学性质。

2) 西峰油田长8油层存在中等偏强的水敏损害,伊/蒙混层矿物水化膨胀所起的影响有限,水敏损害机理主要为:次生非晶态物质缩小了有效喉道半径;多种粘土矿物共生结构的破坏或分散;弱水敏性粘土矿物集合体的分散和单晶碎裂;孔隙杂基结构破坏和堵塞;微粒运移堵塞喉道综合作用的结果。

3) 对于长8油层水敏损害的预防和减轻措施必须避免对油层的过度搅动,粘土防膨剂的使用必须结合其他多种粘土稳定措施才能起到良好的储层保护效果。

参 考 文 献

- [1] 王新民,郭彦如,付金华,等. 鄂尔多斯盆地延长组长8段相对高孔渗砂岩储集层的控制因素分析[J]. 石油勘探与开发,2005,32(2):35-38.
Wang Xinmin, Guo Yanru, Fu Jinhua, et al. Control factors for forming higher porosity and permeability sandstone reservoirs in Chang8 member of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 35-38.
- [2] 王小琳,武平仓,韩亚萍,等. 西峰油田长8层注水现状及投注措施效果[J]. 石油勘探与开发,2008,35(3):344-348.
Wang Xiaolin, Wu Pingcang, Han Yaping, et al. Current situation and measures of water injection in Chang 8 Layer, Xifeng Oilfield, Changqing [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3): 344-348.
- [3] 李天太,刘小静,董悦,等. 安塞油田注水开发中后期复合解堵酸液配方实验[J]. 石油勘探与开发,2005,32(6):101-104.
Li Tiantai, Liu Xiaojing, Dong Yue, et al. Experiments on complex blockage removing acid for Ansai Oilfield in the middle-late waterflooding stage [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 101-104.
- [4] 章雄冬,朱玉双,曹海虹,等. 苏北盆地草舍油田泰州组储层水敏伤害及其对注水开发的影响[J]. 石油与天然气地质,2010,31(4):504-510.
Zhang Xiongdon, Zhu Yushuang, Cao Haihong, et al. Water-sensitive damage and its impacts on the waterflood development of the Taizhou Formation reservoirs in Caoshe oilfield, the Subei Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(4): 504-510.
- [5] 王行信,周书欣. 砂岩储层粘土矿物与油层保护[M]. 北京:地质出版社,1992:56-60.
Wang Xingxin, Zhou Shuxin. Clays of sandstone reservoirs and reservoir protection [M]. Beijing: Geology Press. 1992: 56-60.
- [6] Hatcher G B, Chen H. Evaluating formation damage risks in a Glauconitic sandstone reservoir: a case history from the offshore north west shelf of Australia [R]. SPE37014, 1996.
- [7] 常学军,尹志军. 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,2004,21(1):84-87.
Chang Xuejun, Yin Zhijun. Sensitivity experimental study and its mechanism analysis of reservoirs in the third member of the shahejie formation, Gaoshangpu oilfield [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 21(1): 84-87.
- [8] 沈平平. 油层物理实验技术[M]. 北京:石油工业出版社,1995:198-217.
Shen Pingping. Experimental technology of petrophysics [M]. Beijing: Petroleum Industry Press. 1995: 198-217.
- [9] 李树芳,潘懋. 胜利油区辉绿岩储层的伤害机理研究[J]. 石油实验地质,2002,24(5):423-425.
Li Shufang, Pan Ma. Study on the injuring mechanism of diabase reservoirs in Shengli Oil district [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(5): 423-425.
- [10] 孙黎娟,乔国安,邹兴,等. 水敏指数变化规律研究[J]. 石油实验地质,2001,23(4):429-432.
Sun Lijuan, Qiao Guoan, Zou Xing, et al. A study of water sensitive indexes during oil field development [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(4): 429-432.
- [11] 彭仕宓,尹旭,张继春,等. 注水开发中粘土矿物及其岩石敏感性的演化模式[J]. 石油学报,2006,27(4):95-96.
Peng Shimi, Yin Xu, Zhang Jichun, et al. Evolutionary pattern of clay mineral and rock sensitivity in water-flooding reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 95-96.
- [12] 李伟忠,孙伟峰. 王庄油田强水敏油藏粘土矿物危害研究[J]. 西北地质,2005,38(4):86-93.

- Li Weizhong, Sun Weifeng. Damage study of clay mineral in high water sensitivity Wangzhuang oil field [J]. *Northwestern Geology*, 2005, 38(4): 86–93.
- [13] 李健, 李红南. 油藏开发流体动力地质作用对储层的改造[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(1): 86–89.
- Li Jian, Li Hongnan. Reconstruction of hydrodynamic geology effect of reservoir development on reservoir [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(1): 86–89.
- [14] 徐守余, 李红南. 储集层孔喉网络场演化规律和剩余油分布[J]. *石油学报*, 2003, 24(1): 48–53.
- Xu Shouyu, Li Hongnan. Evolvement of reservoir pore-throat-net and remaining oil distribution [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(1): 48–53.
- [15] 王红光, 蒋明, 张继春, 等. 高含水期油藏储层物性变化特征模拟研究[J]. *石油学报*, 2004, 25(1): 53–58.
- Wang Hongguang, Jiang Ming, Zhang Ji chun, et al. Simulation on variation of physical properties in high water-cut reservoir [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(1): 53–58.
- [16] 刘斌, 杨琦, 谈士海. 苏北盆地台兴油田注水水质对储层的伤害和对策[J]. *石油实验地质*, 2002, 24(6): 568–572.
- Liu Bin, Yang Qi, Tan Shihai, et al. Damages of injection water quality to reservoirs in TaiXing oilfield and their countermeasures [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2002, 24(6): 568–572.
- [17] 时佃海. 王庄油田强水敏性稠油油藏热采开发研究[J]. *地层学杂志*, 2007, 31(增刊II): 605–624.
- Shi Dianhai. Research on thermal recovery of strong water sensitive heavy oil reservoir in the Wang Zhuang oil field [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2007, 31(Supp. II): 605–624.
- [18] 谢晓永, 唐洪明, 孟英峰, 等. 气体泡压法在测试储集层孔隙结构中的应用[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2009, 31(5): 17–20.
- Xie Xiaoyong, Tang Hongming, Meng Yingfeng, et al. The application of gas bubble-pressure method in the study on reservoir pore structures [J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2009, 31(5): 17–20.

(编辑 董立)

(上接第320页)

- Fang Wei, Zhang Juhe, Feng Zihui, et al. The Application of the Test Technique on Reservoir-Geochemistry in Daqing Oilfield [J]. *Acta Sedimentological Sinica*, 2004, 22(S1): 118–123.
- [8] 张居和, 方伟, 冯子辉, 等. 多层混采原油分层产能贡献监测色谱技术[J]. *石油学报*, 2004, 25(4): 75–79.
- Zhang Juhe, Fang Wei, Feng Zihui, et al. Gas chromatogram technique for dynamic monitor of productivity contribution in single zone of multiple-zone production [J]. *Acta Petrol Ei Sinica*, 2004, 25(4): 75–79.
- [9] 金晓辉, 朱丹, 林壬子, 等. 原油气相色谱指纹可配比性实验研究[J]. *石油实验地质*, 2003, 25(1): 53–57.
- Jin Xiaohui, Zhu Dan, Lin Renzi, et al. Partition experiment of GC fingerprint of crude oil [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(1): 53–57.
- [10] 陈建平, 邓春萍, 梁狄刚, 等. 叠合盆地多烃源层混源油定量判析——以准格尔盆地东部彩南油田为例[J]. *地质学报*, 2004, 78(2): 279–288.
- Chen Jianping, Deng Chenping, Liang Digang, et al. Quantification of mixed oil derived from multiple source rocks: a typical case study of the Cainan oilfield in the east Junggar basin, Northwest China [J]. *Acta Geological Sinica*, 2004, 78(2): 279–288.
- [11] 金晓辉, 刚文哲, 林壬子, 等. 油藏流体动态色谱指纹监测技术与应用[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(5): 657–667.
- Jin Xiaohui, Gang Wenzhe, Lin Renzi, et al. Dynamic monitoring of chromatographic fingerprint of reservoir fluid and its application [J]. *Oil & Gas Geology* 2009, 30(5): 657–667.
- [12] 金晓辉, 朱丹, 林壬子, 等. 油藏色谱指纹非均质性形成机理及其稳定性实验模拟[J]. *地质评论*, 2003, 49(2): 217–221.
- Jin Xiaohui, Zhu Dan, Lin Renzi, et al. Mechanization of the heterogeneity of petroleum chromatographic fingerprint compounds and its stabilization [J]. *Geological Review*, 2003, 49(2): 217–221.
- [13] 姜华, 王华, 李俊良, 等. 珠江口盆地珠三坳陷油气成藏模式与分布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(3): 275–286.
- Jiang Hua, Wang Hua, Li Junliang, et al. Research on hydrocarbon pooling and distribution patterns in the Zhu-3 depression, the Pearl River Mouth basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(3): 275–286.
- [14] 陈庆春. 油藏开发中应用原油气相色谱指纹技术的可行性研究[J]. *石油天然气学报*, 2008, 30(3): 68–70.
- Chen Qingchun. Feasibility study on application of gas chromatographic fingerprint technique in reservoir development [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(3): 68–70.
- [15] 刘春, 刘宾, 柴永波, 等. 应用地球化学方法判别混采稠油井主产层[J]. *断块油气田*, 2008, 15(6): 80–82.
- Liu Chun, Liu Bin, Chai Yongbo, et al. Identification of main producing layer of commingling heavy oil by geochemistry way [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2008, 15(6): 80–82.

(编辑 董立)