

松辽盆地 F 油层高岭石、伊利石对储层物性、敏感性影响的实验研究

赵振铎, 闫百泉

(东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要: 松辽盆地 F 油层砂泥岩互层发育, 高岭石、伊利石为其主要粘土矿物, 对研究储层物性及该油层的有效开发具有重要意义。本文通过对 F 油层 90 块天然岩心的室内研究发现, F 油层渗透率、孔隙度随着高岭石相对含量的增加而增加, 随着伊利石相对含量的增加而减小。砂岩层渗透性较好, 高岭石相对含量较高, 次生石英很少就地沉积, 大量长石溶蚀孔隙得以保存, 泥岩层渗透性差, 伊利石相对含量较高。而且伊利石纤维状赋存和高岭石书页状赋存使砂岩层孔渗性更好, 而使泥岩层孔渗性更差。该层开发过程中, 高岭石、伊利石对储层物性的影响由室内岩心流动实验可知, F 油层为中等强度偏弱速敏、中等强度偏强碱敏, 速敏指数随着高岭石、伊利石绝对含量的增加而增加; 储层的碱敏指数随高岭石绝对含量的增加而增加, 而与伊利石含量无关。由于在所有粘土矿物中, 高岭石相对含量接近一半, 所以在 F 油层的开发过程要注重防范高岭石的碱敏、速敏损害。

关键词: 松辽盆地 F 油层; 高岭石; 伊利石; 储层物性; 敏感性

中图分类号: P578.963; P578.963

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)05-0947-08

Effects of kaolinite and illite on physical property and sensitivity damage in the F reservoir of the Songliao Basin

ZHAO Zhen-duo and YAN Bai-quan

(College of Earth Sciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: Interbedded sand-mud stones are developed widely in the F reservoir of the Songliao Basin, and kaolinite and illite are main clay minerals in the F reservoir, which are very important for the physical property and the effective development of the reservoir. The study of the 90 pieces of natural cores shows that both permeability and porosity of the F reservoir increase with the increase of kaolinite relative content and decrease with the increase of illite relative content. Sand-stone layer has good permeability and high kaolinite relative content, and in this layer secondary illite seldom deposits in-situ, resulting in the existence of large amounts of erosion pores. In contrast, the mud-shone layer has poor permeability and high relative content of illite. Moreover, the fiber-style existence of illite and book-stack-style existence of kaolinite make the sand-stone permeability much better and the mud-stone permeability much worse. The effect of kaolinite and illite on the reservoir physical properties can be detected by in-house core flow experiments. The results show that the F reservoir has a medium but slightly weak velocity sensitivity and a medium but slightly strong alkaline sensitivity, and that the velocity sensitivity of the reservoir will increase with the increase of kaolinite and illite absolute content, and the alkali sensitivity will increase with the increase of kaolinite absolute content but has no relationship with the illite content.

收稿日期: 2013-10-08; 修订日期: 2014-08-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41172135)

作者简介: 赵振铎(1992-), 男, 在读本科生; 通讯作者: 闫百泉, 副教授, 博士, 研究方向为单砂体内部建筑结构及其物模驱油实验、流动单元研究技术, E-mail: zhaominguo63@163.com。

More attention should be paid to the kaolinite-oriented velocity and alkaline sensitivity, for the relative content of kaolinite approximates half of all clay content in this reservoir.

Key words: F reservoir of Songliao Basin; kaolinite; illite; reservoir physical properties; sensitivity damage

高岭石、伊利石是油气层中最为常见的粘土矿物,对油气田勘探开发、储层敏感性损害具有重要的意义。于涛等(2002)、John等(2003)、李群等(2009)、黄翔等(2010)、邓杰等(2011)分别对不同储层进行了敏感性评价和机理研究,认为敏感性 with 高岭石、伊利石等储层粘土含量具有相关性。伏万军(2000)认为粘土矿物对砂岩储集性能的影响程度与砂岩本身的成熟度有关。徐同台等(2003)对粘土矿物和储层物性之间的关系进行了简要介绍。赵杏媛(2009)认为不同类型的粘土矿物与砂岩孔隙度、渗透率有不同的相关关系,粘土矿物是最重要的油气层损害的潜在因素。孟万斌等(2011)研究了致密砂岩储层自生伊利石的成因及其对优质储层发育的影响。黄可可等(2009)从化学热力学角度分析了长石溶解形成高岭石、伊利石的条件。可见关于高岭石、伊利石对储层敏感性影响的研究与关于高岭石、伊利石的成岩作用对储层的物性影响的研究是分离的,但正如曹剑等(2005)认为的高岭石、伊利石对储层物性的影响不是静态的,需要结合流体渗流等动态过程来研究。因此本文首先分析了松辽盆地 F 油层中高岭石、伊利石对储层物性的影响,然后又通过岩心流动性实验评价了驱替过程中高岭石、伊利石对储层物

性的影响,以期 F 油层油气田开发提供借鉴。

1 F 油层岩石学特征分析

松辽盆地 F 油层属于下白垩统泉头组泉四段,陆源碎屑主要包括石英、钾长石、钠长石、岩屑,充填物包括泥质、方解石、高岭石。根据 SY/T5368.2-1995 砂岩分类标准, F 油层为长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩或长石砂岩,如图 1a 所示,呈粉砂质细砂状结构或含细砂粉砂状结构。通过铸体薄片图像分析可知, F 油层胶结物包括高岭石、方解石,胶结类型以孔隙胶结为主,偶见薄膜胶结。主要粒径区间为 $0.06\sim 0.10\ \mu\text{m}$,分选性较好,颗粒磨圆度为次圆,呈点线接触。孔隙为粒间孔,其次为粒内溶蚀孔和粘土矿物晶间孔,孔隙分布不均。长石风化程度为中等。根据 X 射线衍射实验结果, F 油层粘土矿物包括伊利石、高岭石、绿泥石以及伊/蒙混层 4 类,主要为高岭石和伊利石,其平均相对含量分别为 43.6% 和 28.9% (图 1b)。由 SM-5600LV 扫描电子显微镜观察发现伊利石呈发丝状充填粒间孔隙或以薄膜状贴附颗粒表面(图 2c),高岭石呈书页状且多以集质点形式填充孔隙中(图 2b)。

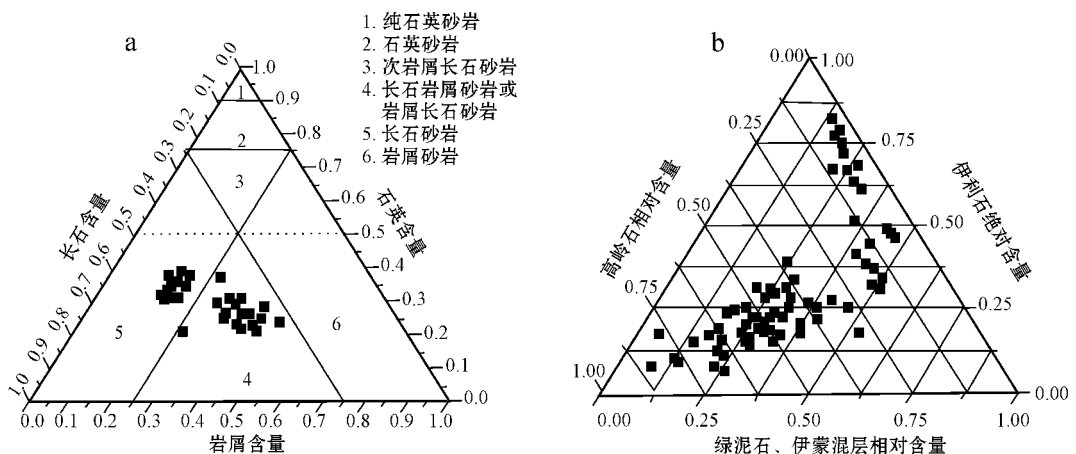


图 1 F 油层矿物组成图

Fig. 1 Mineral composition in the F reservoir

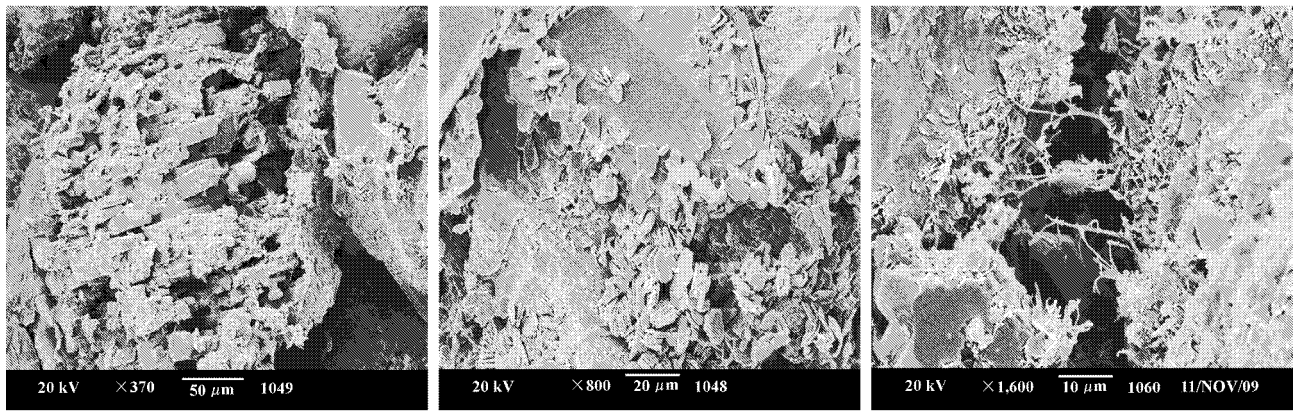


图 2 F 油层中长石溶蚀、高岭石、次生石英和伊利石产状扫描电镜图片

Fig. 2 Scanning electron microscope image of albite erosion and modes of occurrence of kaolinite, secondary quartzite and illite in the F reservoir formation

a—砂岩层长石溶蚀, 形成大量的溶蚀孔隙; b—照片 a 局部放大 800 倍, 可见书页状堆积的自生高岭石和次生石英在长石溶蚀孔隙中共生, 部分孔隙被填充; c—泥质夹层中薄膜状、发丝状伊利石填充孔隙, 且伴随次生石英填充孔隙

a—the erosion of albite in sandstone, leaving numerous erosion pores; b—part of Fig. a enlarged to 800 times and showing coexistence of book-stack authigenic kaolinite and secondary quartzite in the albite erosion pores, resulting in filling part of the pores; c—film-style or hair-style illite filling pores of the core, which are simultaneously filled with secondary quartzite

2 研究方法

2.1 实验条件

岩心采自松辽盆地 F 油层 5 口井 90 块天然岩心。速敏实验采用松辽盆地 F 油层的过滤地层水; 碱敏实验通过在与地层水矿化度相同的 KCl 盐水中加入 NaOH 配置不同 pH 值的 KCl 盐水进行测试。测试仪器为 D/max-2200 X 射线衍射仪, SM-5600LV 扫描电子显微镜, 空气渗透率测定仪, 孔隙度测定仪, 岩心夹持器, 压力传感器, 高压恒速计量泵。

2.2 实验过程

(1) 将岩心在甲苯中抽提洗净、烘干, 然后将每块岩心加工为两段岩心柱塞(分别记为 A、B)和两块岩心薄片。岩心柱塞分别用于速敏、碱敏流动实验测试, 岩心薄片用于测定粘土矿物含量和进行扫描电镜实验。

(2) 分别测定岩心柱塞外观尺寸、气体孔隙度、气体渗透率。

(3) 速敏实验用高压恒速计量泵将地层水分别以恒定速度 0.1、0.25、0.5、0.75、1、1.5、2、3、4、5 cm^3/min 注入岩心柱塞 A, 待渗流达到稳定状态后, 记录相应的入口压力。根据达西定律分别计算各个速度下的渗透率。其中最小注入速度 0.1 cm^3/min 对应的

渗透率为 K , 其余各个速度对应的渗透率为 K_i 。

(4) 碱敏实验首先用纯 KCl 盐水以低于临界流速的恒定速度 0.5 mL/min 测定岩心渗透率 K , 然后用高压恒速计量泵分别将不同 pH 值(分别为 7、8.1、9.3、11.4、12.9)的 KCl 盐水以同样速度注入岩心柱塞 B, 驱替 15 PV 后, 在地层温度(65 $^{\circ}\text{C}$)下静置 48 h。然后以恒定速度 0.5 mL/min 驱替岩心柱塞至稳定状态, 记录相应的入口压力。根据达西定律分别计算各 pH 值下的渗透率 K_i 。

(5) 利用公式 $D = |(K - K_i)/K| \times 100\%$ 分别计算储层的速敏指数、碱敏指数。式中: D 为敏感性指数(%), K 为储层初始渗透率($10^{-3} \mu\text{m}^2$), K_i 为储层伤害后的渗透率($10^{-3} \mu\text{m}^2$)。

(6) 利用 D/max-2200 X 射线衍射仪测定各岩心薄片粘土矿物的含量(包括绝对含量和相对含量), 利用 SM-5600LV 扫描电子显微镜观察粘土矿物赋存状态和对孔隙结构的影响。

3 结果及讨论

由表 1 可知, F 油层渗透率为 $0.014 \times 10^{-3} \sim 684.661 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度为 5.840%~29.910%, 渗透率级差大、非均质性强。粘土矿物以高岭石和伊利石为主, 还包括绿泥石和伊/蒙混层。F 油层速

敏指数范围为 15.8% ~ 76.14% , 平均值为 40.27% , 中等强度偏弱速敏。碱敏指数范围为 25.5% ~ 81.4% , 平均值为 56.3% , 总体为中等偏强碱敏。F 油层为砂泥岩互层 , 本文主要研究了砂岩和泥岩在物性特征、粘土矿物含量、敏感性特征之间的差异及成因。孔隙度、渗透率、粘土矿物相对含量、粘土矿物绝对含量、敏感性指数、岩性特征的详

细实验数据见表 1。

3.1 高岭石、伊利石对储层物性的影响

由图 3 可知 , 从总体上看 , F 油层渗透率、孔隙度随高岭石相对含量的增加而增加 , 随着伊利石相对含量的增加而减小。说明高岭石的大量出现往往指示中、高渗透的储层 , 而伊利石大量出现则指示低渗、特低渗储层。

表 1 F 油层储层物性、粘土矿物含量、敏感性指数数据

%

Table 1 Data of formation properties , clay content , sensitivity indexes in the F reservoir

样品号	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙度	伊利石相 对含量	高岭石相 对含量	绿泥石相 对含量	伊/蒙混层 相对含量	伊利石绝 对含量	高岭石绝 对含量	速敏指数	碱敏指数	岩性
1	0.022	6.860	76.000	0.000	14.000	10.000	8.110	0.000	—	—	泥岩
2	0.027	7.530	78.000	2.000	11.000	9.000	11.080	0.250	—	—	泥岩
3	0.025	5.900	76.000	3.000	11.000	10.000	6.668	0.410	—	—	泥岩
4	0.052	7.850	65.000	4.000	13.000	18.000	5.690	0.380	—	—	泥岩
5	0.014	7.510	71.000	4.000	12.000	13.000	10.290	0.580	—	—	泥岩
6	93.190	23.140	18.000	53.000	26.000	3.000	0.360	1.050	—	—	砂岩
7	84.270	23.960	25.000	29.000	41.000	5.000	0.350	0.420	31.200	75.200	砂岩
8	94.990	20.520	16.000	51.000	30.000	3.000	0.230	0.710	54.540	78.820	砂岩
9	104.952	23.330	9.000	78.000	10.000	3.000	0.190	1.640	34.610	57.910	砂岩
10	108.657	20.670	10.000	78.000	9.000	3.000	0.200	1.550	35.710	68.050	砂岩
11	82.708	24.230	18.000	28.000	47.000	7.000	0.300	0.460	36.280	65.390	砂岩
12	324.655	24.190	7.000	84.000	7.000	2.000	0.180	2.160	38.780	65.470	砂岩
13	269.335	23.830	18.000	63.000	14.000	5.000	0.220	0.760	37.690	63.190	砂岩
14	138.710	24.830	17.000	77.000	3.000	3.000	0.122	1.630	—	—	砂岩
15	0.078	9.908	63.000	8.000	7.000	22.000	7.500	1.010	—	—	泥岩
16	0.046	7.850	67.000	5.000	7.000	21.000	7.730	0.530	—	—	泥岩
17	0.089	6.780	62.000	6.000	8.000	24.000	6.800	0.650	—	—	泥岩
18	0.079	7.860	66.000	4.000	7.000	23.000	9.110	0.500	—	—	泥岩
19	1.230	13.397	35.000	15.000	40.000	10.000	1.180	0.520	35.550	66.870	泥岩
20	468.756	29.910	16.000	49.000	28.000	7.000	0.230	0.670	—	—	砂岩
21	287.709	23.770	6.000	70.000	18.000	6.000	0.080	1.050	62.000	81.400	砂岩
22	250.974	29.060	24.000	55.000	14.000	7.000	0.134	0.900	—	—	砂岩
23	429.311	25.320	17.000	65.000	14.000	4.000	0.140	0.520	19.700	41.100	砂岩
24	363.078	25.410	24.000	46.000	24.000	6.000	0.290	0.540	41.820	71.180	砂岩
25	684.661	28.040	16.000	58.000	19.000	7.000	0.140	0.530	—	—	砂岩
26	552.554	24.950	10.000	65.000	20.000	5.000	0.120	0.720	45.810	65.700	砂岩
27	168.847	27.170	15.000	69.000	12.000	4.000	0.260	1.210	—	—	砂岩
28	211.249	25.720	12.000	65.000	17.000	6.000	0.180	0.940	41.180	67.550	砂岩
29	0.069	8.880	67.000	7.000	12.000	14.000	7.430	0.770	—	—	泥岩
30	0.067	9.260	81.000	0.000	5.000	14.000	12.250	0.000	—	—	泥岩
31	0.037	7.970	52.000	11.000	19.000	18.000	3.300	0.860	54.900	57.500	泥岩
32	1.774	12.520	38.000	5.000	42.000	15.000	1.183	0.156	76.140	80.000	砂岩
33	2.470	17.780	45.000	10.000	40.000	5.000	0.600	0.133	61.700	60.600	砂岩
34	0.183	6.170	42.000	8.000	40.000	10.000	0.560	0.107	50.300	80.000	泥岩
35	0.064	11.630	67.000	10.000	10.000	13.000	7.030	1.030	26.000	48.270	泥岩
36	9.550	13.840	18.000	53.000	17.000	12.000	0.310	0.913	30.500	27.600	砂岩
37	3.477	13.010	22.000	46.000	18.000	14.000	0.680	1.410	43.200	57.200	砂岩
38	0.054	7.830	73.000	10.000	9.000	8.000	2.020	0.830	54.000	70.600	泥岩
39	0.041	6.480	43.000	7.000	27.000	23.000	2.070	0.540	36.900	31.950	泥岩
40	0.075	11.280	47.000	5.000	21.000	27.000	3.120	0.400	19.930	37.160	泥岩
41	0.114	11.550	20.000	41.000	33.000	6.000	2.080	0.570	20.120	39.800	泥岩

续表 1

Continued Table 1

样品号	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙度	伊利石相 对含量	高岭石相 对含量	绿泥石相 对含量	伊/蒙混层 相对含量	伊利石绝 对含量	高岭石绝 对含量	速敏指数	碱敏指数	岩性
42	5.623	11.430	18.000	42.000	34.000	6.000	0.220	0.550	47.910	58.800	砂岩
43	0.166	13.810	21.000	49.000	25.000	5.000	0.520	1.230	35.500	35.400	泥岩
44	0.147	12.710	33.000	37.000	21.000	9.000	1.500	1.640	54.200	68.010	泥岩
45	0.141	13.570	14.000	57.000	24.000	5.000	1.253	1.120	40.240	67.210	泥岩
46	0.790	11.870	16.000	57.000	22.000	5.000	0.370	1.370	33.380	65.390	砂岩
47	0.872	12.710	18.000	52.000	23.000	7.000	0.310	0.910	15.800	56.510	砂岩
48	1.585	14.580	16.000	57.000	21.000	6.000	0.700	1.260	44.000	62.140	砂岩
49	0.173	13.840	19.000	52.000	22.000	7.000	0.680	1.890	-	-	泥岩
50	0.167	12.960	17.000	57.000	21.000	5.000	0.927	1.110	-	-	泥岩
51	1.017	14.710	19.000	54.000	20.000	7.000	0.490	1.410	33.540	62.270	砂岩
52	0.109	11.340	18.000	51.000	23.000	8.000	0.490	1.370	37.380	55.330	泥岩
53	0.286	14.490	22.000	52.000	21.000	5.000	0.720	1.690	35.150	56.330	泥岩
54	0.394	15.490	18.000	54.000	23.000	5.000	0.420	1.240	33.540	48.780	泥岩
55	0.403	16.290	31.000	47.000	15.000	7.000	0.700	1.050	-	-	泥岩
56	0.955	10.460	22.000	48.000	23.000	7.000	1.210	2.630	23.070	66.600	砂岩
57	0.142	13.650	21.000	52.000	20.000	7.000	0.430	1.040	57.800	64.000	泥岩
58	0.190	13.420	15.000	58.000	22.000	5.000	0.558	1.070	29.200	58.730	泥岩
59	0.130	11.390	22.000	48.000	21.000	9.000	0.540	1.190	47.010	59.100	泥岩
60	0.155	12.450	29.000	39.000	22.000	10.000	0.640	0.870	23.070	59.800	泥岩
61	3.090	11.790	24.000	52.000	16.000	8.000	1.629	0.780	37.280	59.670	砂岩
62	1.479	9.720	19.000	52.000	20.000	9.000	2.244	0.780	35.100	68.340	砂岩
63	1.820	10.180	30.000	43.000	17.000	10.000	0.490	0.680	53.200	70.130	砂岩
64	57.544	12.950	6.000	67.000	22.000	5.000	0.130	1.480	32.870	47.270	砂岩
65	0.621	11.370	24.000	52.000	20.000	4.000	0.420	0.930	50.700	46.610	泥岩
66	0.437	13.760	47.000	0.000	38.000	15.000	2.655	0.000	26.140	66.260	泥岩
67	0.097	6.830	44.000	13.000	30.000	13.000	1.070	0.330	47.010	51.740	泥岩
68	0.115	9.720	39.000	16.000	35.000	10.000	0.770	0.330	73.510	70.110	泥岩
69	0.108	10.280	42.000	17.000	33.000	8.000	0.570	0.240	26.060	67.600	泥岩
70	0.089	7.470	25.000	0.000	75.000	0.000	2.606	0.000	19.450	33.740	泥岩
71	0.174	9.690	34.000	0.000	57.000	9.000	0.500	0.000	19.450	25.500	泥岩
72	0.139	10.880	31.000	0.000	58.000	11.000	0.510	0.000	39.300	26.600	泥岩
73	0.085	7.790	38.000	0.000	55.000	7.000	1.960	0.000	50.000	67.700	泥岩
74	0.138	10.250	42.000	24.000	14.000	20.000	0.410	0.830	-	-	泥岩
75	0.446	10.280	31.000	18.000	34.000	17.000	1.070	0.620	-	-	泥岩
76	2.069	13.930	26.000	42.000	25.000	7.000	0.540	0.880	-	-	泥岩
77	2.291	9.410	22.000	36.000	25.000	17.000	1.130	1.790	-	-	泥岩
78	0.580	9.160	28.000	46.000	17.000	9.000	2.140	3.470	-	-	泥岩
79	0.500	8.880	23.000	57.000	15.000	5.000	0.750	1.850	-	-	泥岩
80	0.427	10.570	28.000	31.000	36.000	5.000	0.630	0.690	-	-	泥岩
81	0.776	7.440	30.000	43.000	17.000	10.000	1.200	1.760	-	-	泥岩
82	0.218	9.900	39.000	35.000	16.000	10.000	1.940	1.750	-	-	泥岩
83	0.084	5.840	38.000	34.000	22.000	6.000	0.780	2.330	-	-	泥岩
84	53.310	21.870	16.000	62.000	18.000	4.000	0.370	0.200	-	-	砂岩
85	3.519	14.160	29.000	40.000	22.000	9.000	0.300	0.414	-	-	砂岩
86	107.540	22.450	26.000	36.000	29.000	9.000	0.144	1.780	-	-	砂岩
87	0.282	10.070	32.000	38.000	21.000	9.000	1.060	1.390	-	-	泥岩
88	11.430	14.870	33.000	18.000	33.000	16.000	0.390	0.540	-	-	砂岩
89	0.163	8.820	39.000	6.000	43.000	12.000	1.290	1.540	-	-	泥岩
90	0.173	7.820	19.000	55.000	21.000	5.000	0.510	1.450	-	-	泥岩

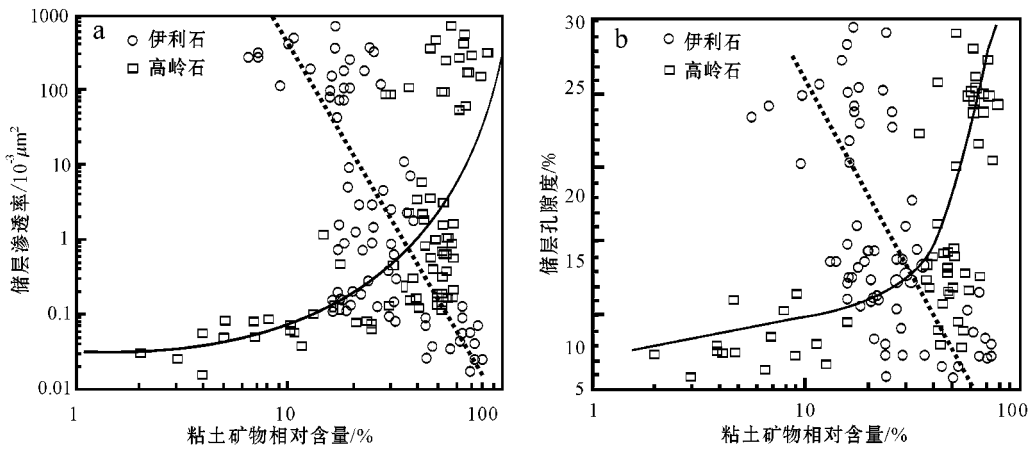
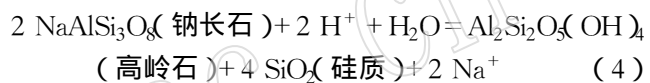
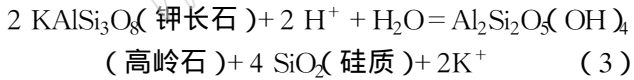
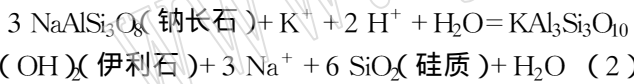
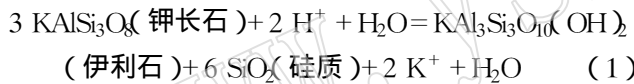


图 3 F 油层高岭石、伊利石对储层渗透率、孔隙度的影响

Fig. 3 Effect of kaolinite and illite on porosity and permeability of the F reservoir formation

因为自生粘土矿物是地层水石反应的产物，F 油层基质中长石充足，含量为 40% ~ 50% (见图 1a)，为水石反应相对过剩相，因此反应主要取决于水介质条件。黄可可等(2009)、Worden 等(2000)研究表明，当 K⁺ 浓度高时，地层水为碱性，生成伊利石，见反应式(1)(2)；当 K⁺ 浓度较低时，碱性环境不能保持，则生成高岭石，见反应式(3)(4)。



F 油层为典型的砂泥岩互层油层(图 4)，砂岩储层渗透率、孔隙度较大，连通性好，不利于 K⁺ 的保存，利于高岭石的形成。而泥岩夹层的渗透率孔隙度均较低，形成半渗透性渗滤层，利于 K⁺ 大量存留，从而生成伊利石。

由反应方程式(3)(4)可知，长石溶蚀产生的高岭石、石英等产物的体积不小于反应前长石的体积。但 F 油层砂岩层渗透性好、开放性好，溶蚀产物不会就地沉积，大量的溶蚀孔隙得以保存。在 F 油层岩心扫描电镜图片中可见大量长石溶孔，改善了储层的孔渗性(见图 2a)。同时自生高岭石以质点状分布

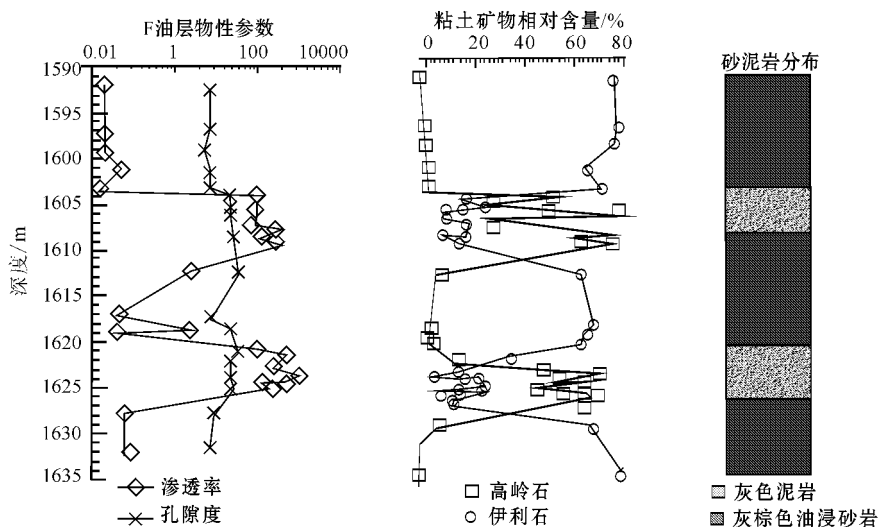


图 4 F 油层砂泥岩互层示意图

Fig. 4 Schematic diagram of interbedded sand-mud stones in the F reservoir

(见图 2b)对储层孔渗的破坏性较小。因此随着高岭石相对含量的增加,储层孔隙度、渗透性也逐渐变好。

伊利石是随着埋深增加,温度压力升高,由蒙脱石转化而来的,因此伊利石相对含量越高表明压实作用越强,则储层的孔隙度和渗透率越低。由扫描电镜图片可知,F油层的伊利石多以发丝状、薄膜状存在(见图 2c)。薄膜状的伊利石贴附在孔隙表面,孔隙半径减小。发丝状伊利石使岩心比表面增大,

束缚水增加,储层有效孔隙半径减小。由高才尼与卡尔曼导出的渗透率公式(何更胜等,2011)可知,储层渗透率与孔隙半径的平方成正相关关系,孔隙半径微小的减小,都会造成渗透率大幅降低。所以伊利石含量越高,储层渗透率和孔隙度越小。

3.2 驱替过程中高岭石、伊利石对储层的损害

由图 5a 可知,速敏指数随着高岭石、伊利石绝对含量增加而增加,其趋势线的斜率分别为 16.948、

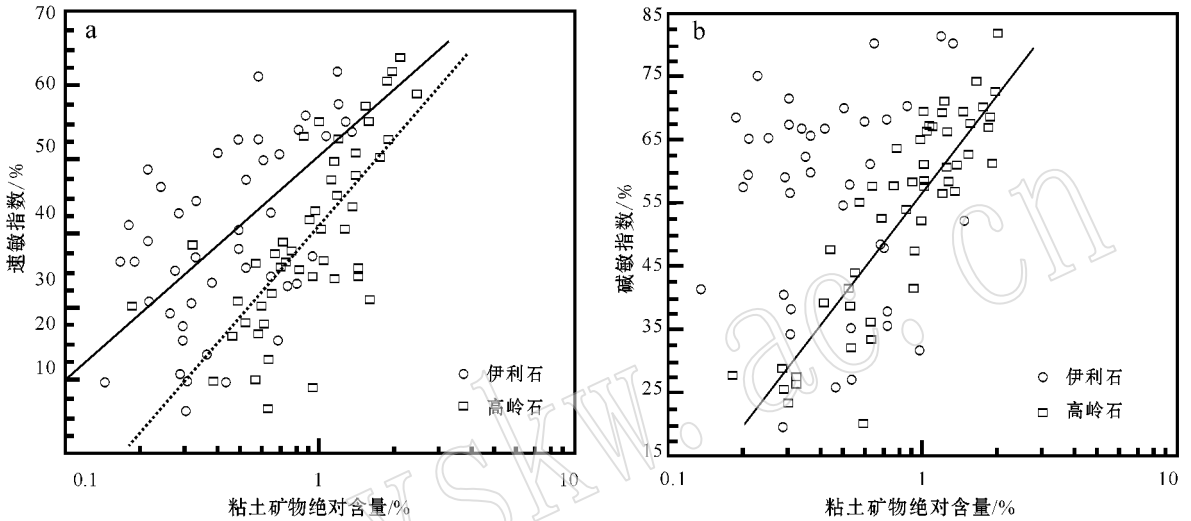
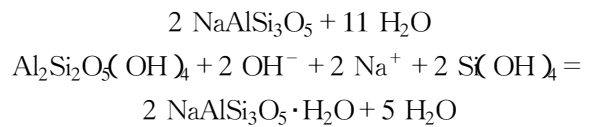
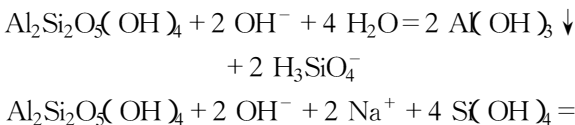


图 5 高岭石(K)、伊利石(I)绝对含量对速敏指数、碱敏指数的影响

Fig. 5 Effect of absolute values of kaolinite and illite on velocity sensitivity and alkali sensitivity

13.217,说明在该油层中高岭石造成的储层速敏性更强。F油层中发丝状、纤维状(见图 2c)的伊利石容易被高速流体冲刷折断,运移后堵塞孔隙,使储层渗透率降低。F油层中高岭石多呈书页状堆积(见图 2b),与基质附着力小且层间结合力弱,在流体的冲刷下容易分散运移,堵塞喉道。由于F油层中高岭石集中分布于砂岩储油层,而伊利石主要分布在泥质夹层中,因此在开采过程中要重点防制高岭石造成的速敏损害。由图 5b 可知,碱敏指数随高岭石含量的增加而增加,与伊利石含量没有明显的关系。因为在高 pH 值溶液中,“OH⁻ 依附于其表面,使晶层间斥力增大,易沿晶层方向裂成鳞片状微粒(赵明国等,2009)”堵塞孔隙喉道。高岭石与碱发生化学反应会产生沉淀和石英次生加大,堵塞储层孔隙,使渗透率降低,其化学反应方程式(Hayatdavoudi and Ghalambor,1998)为:



4 结论

(1)松辽盆地 F 油层砂泥岩互层发育,基质中长石充足(含量为 40%~50%),为长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩或长石砂岩。粘土矿物主要为高岭石和伊利石,其平均相对含量分别为 43.6%和 28.9%。伊利石呈发丝状充填粒间孔隙或以薄膜状贴附颗粒表面,高岭石呈书页状且多以集质点形式填充孔隙中。

(2)F油层渗透率、孔隙度随着高岭石相对含量的增加而增加,随着伊利石相对含量的增加而减小。这表明高岭石大量出现指示砂岩层,渗透率、孔隙度较高;伊利石大量出现指示泥岩层,渗透率、孔隙度较低。储层的渗透性差异制约自生石英的沉积位置,砂岩层渗透性差,自生石英往往就地沉积,溶蚀孔隙较小,而泥岩层则溶蚀孔隙大量发育。另外,高

岭石和伊利石形成后的赋存形态对储层孔渗特征具有重要影响。

(3) 在油田开发过程中高岭石、伊利石对储层物性的影响由室内岩心驱替实验可知, F 油层为中等强度偏弱速敏, 中等偏强碱敏。储层的速敏指数随着高岭石、伊利石含量的增加而增加。储层的碱敏指数随高岭石含量的增加而增加, 与伊利石含量没有明显的关系。砂岩层主要是高岭石, 所以生产过程要注重防范高岭石的碱敏、速敏损害。

References

- Cao Jian, Zhang Yijie, Hu Wen, *et al.* 2005. Developing characteristics of Kaolinite in central Junggar Basin and their effect on the reservoir quality[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 25(4): 367~373(in Chinese with English abstract).
- Deng Jie, Wang Zhenliang, Gao Chao, *et al.* 2011. Estimation of sensitivity of Chang 2 reservoir in Zhanghan area[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 41(2): 285~289(in Chinese with English abstract).
- Fu Wanjun. 2000. Influence of clay minerals on sandstone reservoir properties[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2(3): 59~67(in Chinese).
- Hayatdavoudi A and Ghalambor A. 1998. Controlling formation damage caused by kaolinite clay minerals: part II[J]. *SPE # 39 464*: 421~429.
- He Gengsheng and Tang Hai. 2011. *Petroleum Physics*[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 67, 276~277, 312(in Chinese).
- Huang Keke, Huang Sijing, Tong Hongpeng, *et al.* 2009. Thermodynamic calculation of feldspar dissolution and its significance on research of clastic reservoir[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(4): 474~482(in Chinese with English abstract).
- Huang Xiang and Zhao Mingqiang. 2010. Research on formation damage mechanism of high temperature and low permeability reservoir in Bonan Oilfield[J]. *Journal of Yangtze University(Nat. Sci. Edit.)*, 7(2): 181~183(in Chinese).
- John A, McDonald H A and Jello F. 2003. Testing reservoir sensitivity in heterogeneities shallow marine reservoir[J]. *Annual Meeting Expanded Abstracts-American Association of Petroleum Geologists*, 12: 80~81.
- Li Qun, Guo Jianguhua, Guo Yuancao, *et al.* 2009. Sensitivity character and its mechanism analysis of low-permeability sand bodies in H152 block of Huachi Oilfield[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 29(2): 78~83(in Chinese with English abstract).
- Meng Wanbin, Lü Zhengxiang, Feng Mingshi, *et al.* 2011. The origin of authigenic illite in tight sandstones and its effect on the formation of relatively high-quality reservoirs: A case study on sandstones in the 4th member of Xujiahe Formation, western Sichuan Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(5): 783~790(in Chinese with English abstract).
- Worden R H and Morad S. 2000. Quartz cementation in oil field sandstones: A review of the key controversies[A]. Worden R H and Morad S. *Quartz Cementation in Sandstones*[C]. Oxford: Blackwell Publishing Company, 1~20.
- Xu Tongtai, Wang Xingxin, Zhang Youyu, *et al.* 2003. *Clay Minerals in Petroiferous Basin of China*[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 40(in Chinese).
- Yu Tao, Wu Dianyi and Wang Xishun. 2002. Research on sandstone reservoir sensitivity in Yushulin Oil Field[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 21(2): 59~61(in Chinese with English abstract).
- Zhao Mingguo, Ning Zhongchao and Zhou Haifei. 2009. Sensitivity study on Biaowai reservoir in Xingnan development zone[J]. *Inner Mongolia Petrochemical*, 24: 143~145(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xingyuan. 2009. The impact of clay minerals on oil-gas reservoir[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 30(4): 533~536(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹剑, 张义杰, 胡文, 等. 2005. 油气储层自生高岭石发育特点及其对物性的影响[J]. *矿物学报*, 25(4): 367~373.
- 邓杰, 王震亮, 高潮, 等. 2011. 定边张韩地区长 2 低渗储层敏感性分析[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 41(2): 285~289.
- 伏万军. 2000. 粘土矿物成因及对砂岩储集性能的影响[J]. *古地理学报*, 2(3): 59~67.
- 何更胜, 唐海. 2011. *油层物理*[M]. 北京: 石油工业出版社, 67, 276~277, 312.
- 黄可, 黄思静, 佟宏鹏, 等. 2009. 长石溶解过程的热力学计算及其在碎屑岩储层研究中的意义[J]. *地质通报*, 28(4): 474~482.
- 黄翔, 赵明强. 2010. 渤南油田高温低渗油藏储层伤害机理研究[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 7(2): 181~183.
- 李群, 郭建华, 郭原草, 等. 2009. 华池油田华 152 区低渗透砂岩储层敏感性及其形成机理[J]. *矿物岩石*, 29(2): 78~83.
- 孟万斌, 吕正祥, 冯明石, 等. 2011. 致密砂岩自生伊利石的成因及其对相对优质储层发育的影响——以川西地区须四段储层为例[J]. *石油学报*, 32(5): 783~790.
- 徐同台, 王行信, 张有瑜, 等. 2003. *中国含油气盆地粘土矿物*[M]. 北京: 石油工业出版社, 40.
- 于涛, 吴殿义, 王喜顺. 2002. 榆树林油田砂岩储层敏感性研究[J]. *大庆石油地质与开发*, 21(2): 59~61.
- 赵明国, 宁忠超, 周海菲. 2009. 杏南开发区表外储层敏感性研究[J]. *内蒙古石油化工*, 24: 143~145.
- 赵杏媛. 2009. 粘土矿物与油气[J]. *新疆石油地质*, 30(4): 533~536.