

吴起长8储层粘土矿物及敏感性实验研究

刘广峰¹, 潘少杰¹, 樊建明², 王文举¹, 白耀星¹

(1. 中国石油大学(北京)石油工程教育部重点实验室, 北京 昌平 102249; 2. 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司, 陕西 西安 710021)

摘要:运用实验方法评价鄂尔多斯盆地中部吴起地区长8超低渗透砂岩储层的粘土矿物组成及对应的潜在储层伤害机理。采用铸体薄片、扫描电镜、X射线衍射等岩心分析技术,掌握了粘土的成分、含量等特征;通过25块岩心的流动评价实验,评价5口油井的储层敏感性特征;运用相关性评价方法,分析粘土矿物对储层物性和敏感性的影响。研究表明,吴起长8储层存在的4种主要粘土矿物中,伊/蒙混层含量最高,平均为47%;高岭石、伊利石和绿泥石其次,平均含量分别为24.6%、14.6%和13.8%;粘土矿物的类型、含量和产状对储层物性有重要影响,储层物性与绿泥石含量呈正相关,与伊利石、伊/蒙混层含量呈负相关;由于每种粘土的形态、性质、含量的差异,造成吴起长8储层的弱-中等偏弱速敏、中等偏强-强水敏、强-极强盐敏、弱-中等偏弱酸敏、弱-中等偏弱碱敏的趋势。

关键词:扫描电镜;X射线衍射;粘土矿物;岩心流动实验;储层敏感性

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

Experimental study on clay mineral and reservoir sensitivity of Chang 8 ultra-low permeability formation in Wuqi Area

LIU Guangfeng¹, PAN Shaojie¹, FAN Jianming², WANG Wenju¹, BAI Yaoxing¹

(1. CMOE Key Laboratory of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Changqing Oil field Company, Petro China, Shanxi Xi'an 710021, China)

Abstract: Experimental study was carried out to quantify clay mineral and corresponding reservoir sensitivity of Chang 8 ultra-low permeability formation in Wuqi Area, Ordos basin. Thin sections were prepared out of core samples, while corresponding analyses were respectively performed by using the scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) techniques. The composition and relative contents of clay minerals were identified. Subsequently, core samples flow experiments by injecting different synthetic brine were performed to evaluate reservoir sensitivity. The content of existing four main clay minerals, i. e. illite-montmorillonite mixed-layer, kaolinite, illite and chlorite, is 47%, 25%, 15%, 14% respectively. The physical property of reservoir is positive correlation with the content of chlorite, but is negative correlation with the content of illite and illite-montmorillonite mixed-layer. The differences of the morphology, properties and content of clay mineral cause the weak-medium weak velocity sensitivity, medium strong-strong water sensitivity, strong-extremely strong salt sensitivity, weak-medium weak acid sensitivity and weak-medium weak alkali sensitivity.

Key words: scanning electron microscope; X-ray diffraction; clay mineral; flow experiment; reservoir sensitivity

收稿日期:2016-07-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51404282);中国石油科技创新基金资助项目(2014D-5006-0215);中国石油大学(北京)科研基金资助项目(2462015YQ0217)

作者简介:刘广峰(1979-),男,山东东平人,博士,讲师,从事油气田开发工程方面的教学与研究。

油田开发实践表明,敏感性伤害是影响油田开发的重要因素,粘土矿物的成分、含量和产状是决定储层敏感性的主要因素^[1]。相关学者对敏感性伤害进行了大量的分析研究,其中,很多学者对储层敏感性的伤害机理和控制因素进行了深入研究,得出储层敏感性受注入流体、粘土矿物、储层物性等方面的影响,不少学者还对储层敏感性的预测进行了很多有价值的研究^[2-5]。作为我国重要接替资源的超低渗透砂岩油藏,其中存在的粘土矿物造成了渗透率的敏感性伤害,使得储层具有复杂的渗流特征^[6-7]。本文面向鄂尔多斯盆地吴起地区长8段超低渗透主力油层岩心,对该储层的粘土矿物类型、含量、形态以及敏感性特征进行了测试与分析,并在此基础上分析了超低渗透砂岩储层中粘土矿物对储层物性的影响及对敏感性的控制作用,为预防超低渗透储层的敏感性伤害提供有效的参考依据。

1 储层物性与成岩特征

吴起地区位于鄂尔多斯盆地中部,主力油层为延长组8段。根据该区岩心的分析结果,其孔隙度分布在7.98%~11.76%,平均为10.48%,渗透率分布在 $(0.13 \sim 0.63) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.41 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,总体上储层具有低孔、超低渗的特征。

分别依据 SY/T 5913-2004 和 SY/T 5368-

2000 关于制片和鉴定的行业实验标准,对 21 块岩样进行了铸体薄片鉴定实验。图 1 给出了铸体薄片图,根据鉴定结果,研究区储层岩石类型以岩屑长石砂岩为主;颗粒分选性中等,磨圆较好,以次棱-次圆状为主,主要粒径为 0.15~0.35 mm,颗粒点-线接触(图 1(a));水云母、杂基充填粒间,见石英加大及自生石英,局部见铁方解石及高岭石(图 1(b)、(c));孔隙类型主要为长石溶孔,其次为岩屑溶孔,少量残余粒间孔,孔隙孤立、连通性差(图 1(d)、(e))。

2 粘土矿物分析

在进行烘干、乙二醇饱和、550℃ 下加热 2.5 h 后,依据 SY/T 5163-2010 行业标准对 5 口井样品进行了 X 射线衍射粘土分析实验。直径在 10 μm 和 2 μm 以下的粘土颗粒分别用于粘土矿物总体含量和相对含量的定量分析。

由表 1 可知,粘土矿物总含量为 13%~23%,属于中等粘土矿物储层。在粘土矿物中,常见图 2(a)所示的呈书页六方板状的高岭石发育,含量为 21%~29%;孔隙壁发育绿泥石膜,含量为 9%~19%,孔内可见自生石英颗粒(图 2(b));伊利石含量为 11%~18%,多以弯曲片状、片丝状分布于粒间(图 2(c));图 2(d)所示的呈弯曲片状、片丝状伊/蒙混层含量为 41%~52%。

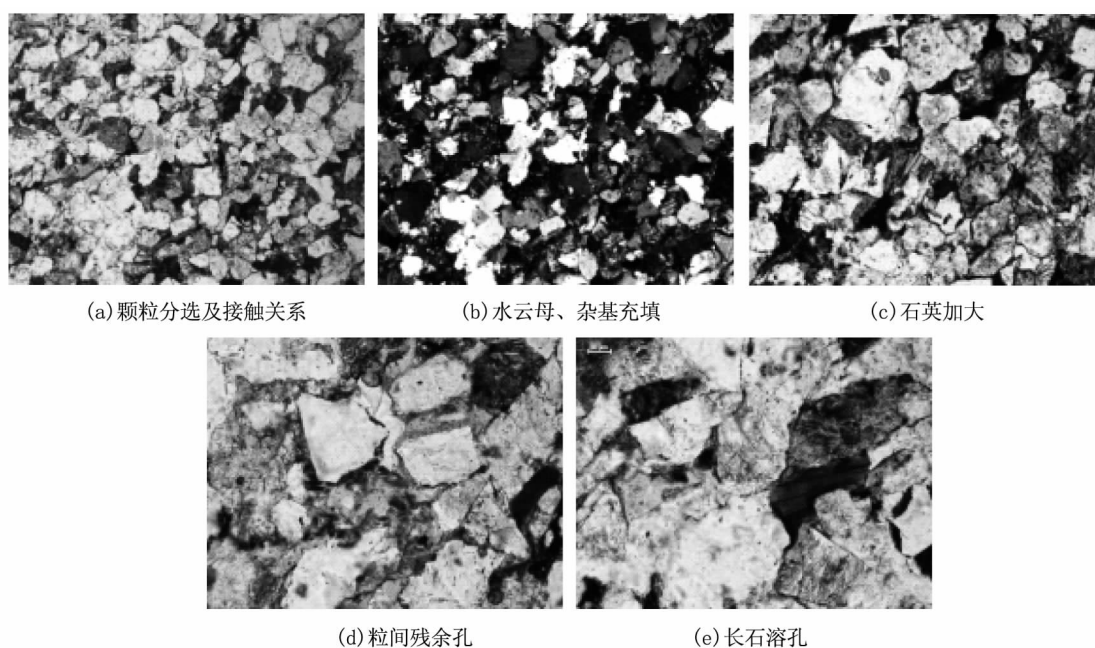


图1 吴起长8储层岩石铸体薄片

Fig.1 Casting thin sections of Chang 8 formation in Wuqi Area

表 1 X 射线衍射粘土矿物分析含量表
Tab. 1 Content analysis of clay mineral by X - ray diffraction

序号	井号	深度 /m	孔隙度 /%	渗透率 /(10 ⁻³ μm ²)	粘土矿物 含量/%	粘土矿物相对含量/%					
						K	C	I	S	I/S	S%
1	G106	2 164.0	10.55	0.28	21	22	12	16	0	50	20
2	X71	2 220.4	7.98	0.13	23	21	9	18	0	52	20
3	X266	2 202.0	11.47	0.52	18	22	15	14	0	43	20
4	X278	2 103.4	10.64	0.47	20	29	14	14	0	49	20
5	X302	2 149.2	11.76	0.63	13	29	19	11	0	41	25
平均			10.48	0.41	19	25	14	15	0	47	21

注:K 为高岭石;C 为绿泥石;I 为伊利石;S 为蒙脱石;I/S 为伊/蒙混层;S% 为间层比。

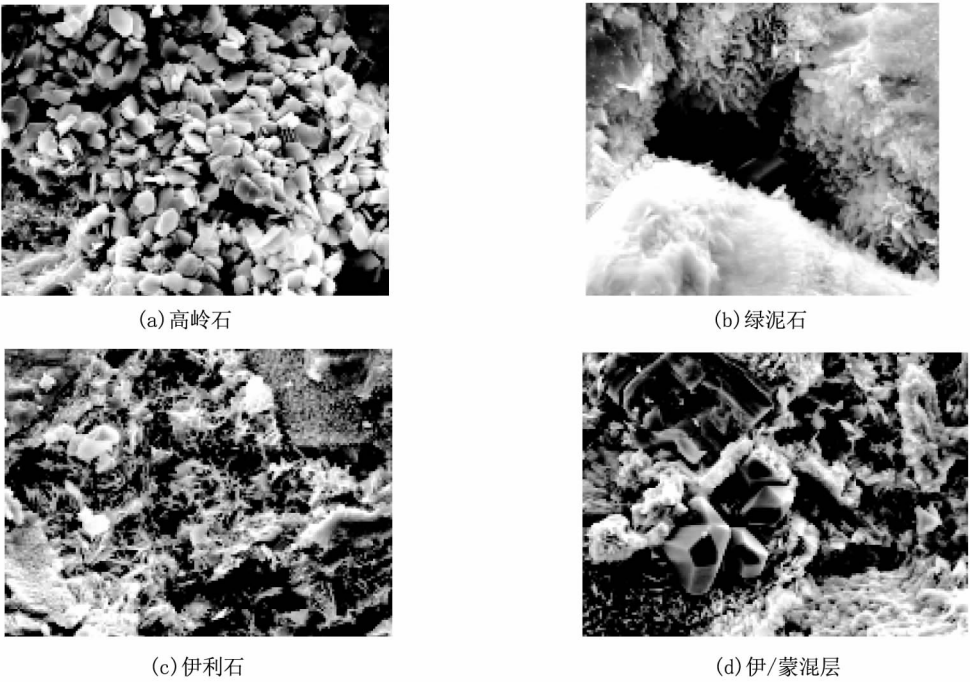


图2 岩心扫描电镜图

Fig.2 Scanning electron microscopic image of cores

3 储层敏感性实验

依据 SY/T 5358 - 2010 行业实验标准,通过岩样敏感性流动实验这一基础手段,采用图 3 所示的实验装置,用不同类型的流动液或改变渗流条件来模拟储层伤害的动态过程,依据流动液的性质和岩样渗透率的变化评价了表 1 所列 5 口井的速敏、水敏、盐敏、酸敏和碱敏特征^[8]。

以盐敏实验为例,在 70℃ 的模拟地层温度下,实验先后分别注入 8%、4%、2.8%、1.6% 的标准盐水和蒸馏水,在每种介质注入 10 倍以上孔隙体积、注入压力和流量稳定后,评价渗透率的变化并开始注入下一种流动介质,图 4(c) 给出了 5 口井盐敏的评价实验曲线。其他 4 种敏感性实验曲线均列示于图 4 中。

表 2 列出了实验标准给出的评价指标,按照

评价标准,研究区储层存在弱 - 中等偏弱速敏、中等偏强 - 强水敏、强 - 极强盐敏、弱 - 中等偏弱酸敏、弱 - 中等偏弱碱敏。

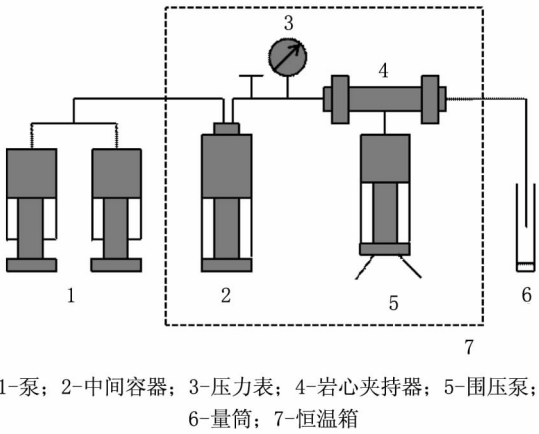


图3 储层敏感性评价实验装置

Fig.3 Experimental device of sensitivity evaluation

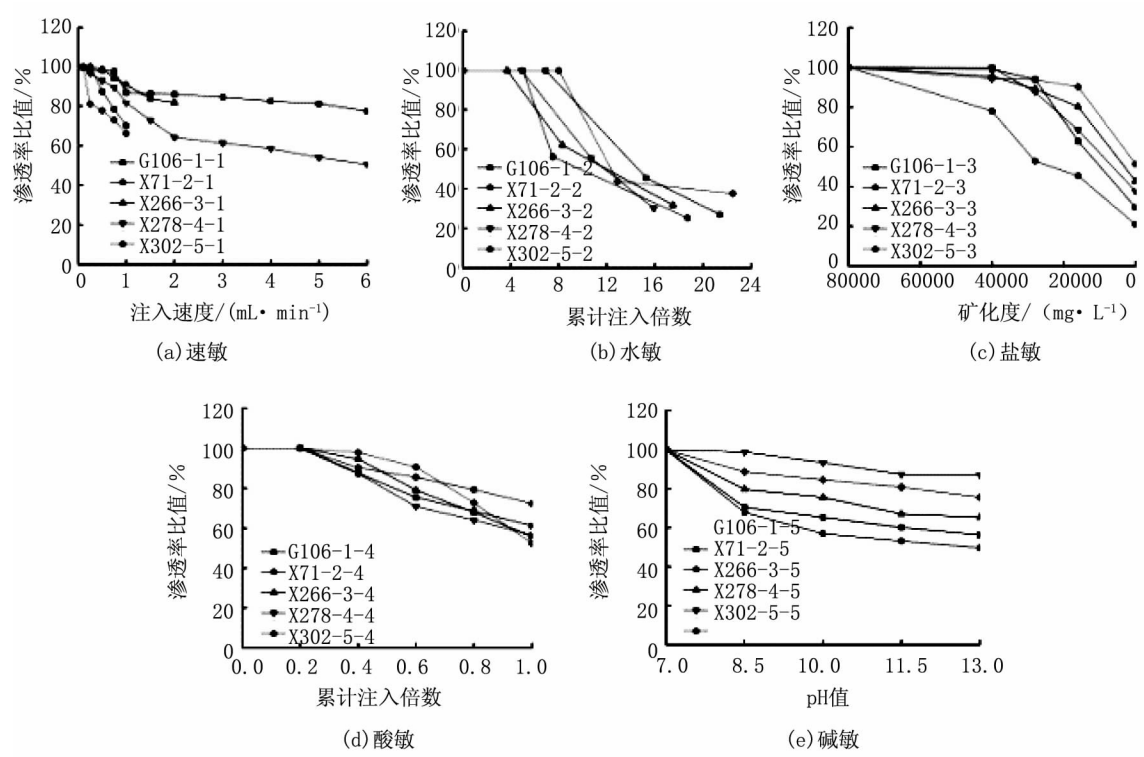


图4 储层敏感性实验曲线
Fig.4 Experiment curve showing sensitivity

表 2 储层敏感性评价表
Tab.2 Sensitivity evaluation

井号	孔隙度/%	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	D _v /%	D _w /%	C/(mg·L ⁻¹)	D _{ac} /%	D _{aln} /%
G106	10.55	0.28	22.51	73.01	40 000	47.73	43.68
X71	7.98	0.13	33.75	74.69	40 000	44.4	48.75
X266	11.47	0.52	49.35	62.31	16 000	43.48	34.61
X278	10.64	0.47	18.09	68.17	16 000	27.73	12.7
X302	11.76	0.63	29.69	69.77	28 000	38.89	24.37

注:D_v为速敏损害率,D_w为水敏损害率,C为临界矿化度,D_{ac}为酸敏损害率,D_{aln}为碱敏损害率。

4 粘土矿物对储层物性的影响

粘土矿物的类型、含量、形态及产状对储层物性有重要影响^[9]。图 5 为储层孔隙度、渗透率随绿泥石、伊利石和伊/蒙混层含量的变化关系。储层孔隙壁发育绿泥石膜,绿泥石膜覆盖在岩石颗粒表面,尤其是石英颗粒,一定厚度的绿泥石膜能够抑制石英次生加大,一定程度上保护了原生孔隙,因此绿泥石含量与储层物性呈正相关^[10]。弯曲片状、片丝状的伊利石、伊/蒙混层,把原生孔隙、次生孔隙分割成无数的微小孔隙,不仅降低了储层的有效孔隙度,还破坏了储层的渗透性,因此伊利石、伊/蒙混层含量与储层物性呈负相关。

5 粘土矿物对敏感性的影响

5.1 高岭石、伊利石

高岭石虽然是比较稳定的非膨胀性粘土矿物,但抗机械力的能力不高,在流体的冲击下容易分散成鳞片状的微粒而损害储层渗透率^[11]。弯曲片状、片丝状的伊利石在高速流体作用下也易破碎、运移,并在喉道处堆集,伤害孔隙连通性。MH 图 6(a)、(b)可见,这两种粘土矿物含量越高,速敏损害率越大。高岭石和伊利石平均含量分别为 25% 和 14%,作为速敏性粘土矿物,其含量较低,相应的速敏性为弱-中等偏弱^[12]。

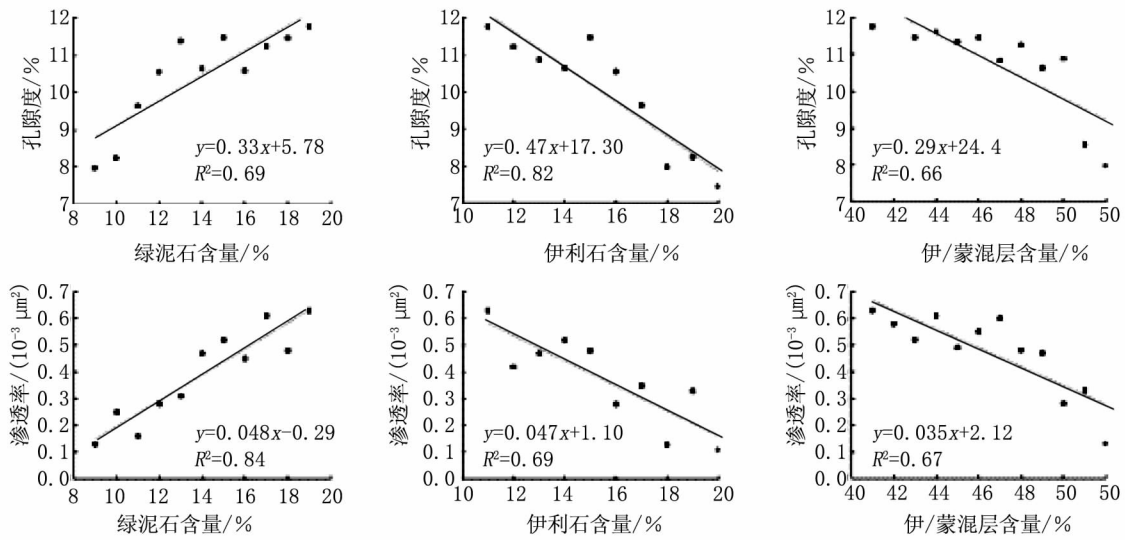


图5 粘土矿物含量与储层物性的关系

Fig.5 Relationship between clay mineral content and reservoir property

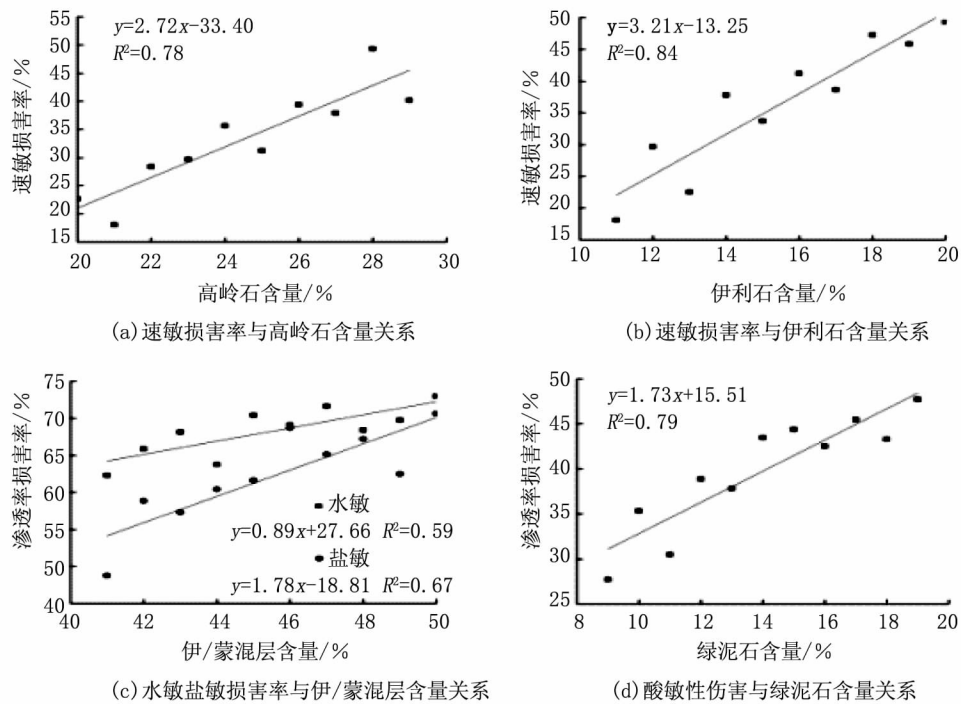


图6 储层渗透率损害率与粘土矿物含量关系

Fig.6 Relationship between damage rate of permeability and clay mineral content

5.2 伊/蒙混层

伊/蒙混层为研究区存在的粘土矿物中膨胀性最强的^[13],其含量决定了储层水敏、盐敏伤害性的强弱(图6(c))。研究区储层伊/蒙混层平均含量高达47%,造成储层水敏、盐敏性强。因此,在钻井、储层改造和注水时,应注意工作液的矿化度,且考虑使用防膨剂或粘土稳定剂,以减小储层

伤害^[14]。

5.3 绿泥石

绿泥石是一种特殊的含水层状铝硅酸盐矿物,极易在酸作用下发生化学反应,生成沉淀,造成储层的酸敏性伤害^[15]。如图6(d)所示,储层绿泥石平均含量为14%,为弱-中等偏弱酸敏^[16]。

6 结论

1) 吴起长 8 砂岩油藏平均孔隙度为 10.48%, 平均渗透率为 $0.41 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属超低渗储层, 所含粘土矿物主要有绿泥石、伊利石、高岭石和伊/蒙混层。

2) 绿泥石的含量与储层物性呈正相关, 伊利石、伊/蒙混层的含量与储层物性呈负相关。

3) 储层中伊蒙混层含量高, 造成储层水敏、盐敏性偏强; 高岭石、伊利石和绿泥石含量较低, 因此速敏性为弱 - 中等偏弱, 酸敏性为弱 - 中等偏弱。

参考文献:

- [1] 单华生, 周锋德. 伊通盆地鹿乡断陷低渗储层敏感性机理分析及分布预测[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2012, 37(4): 719 - 727.
- [2] 徐樟有, 魏萍, 熊琦华. 枣南油田砂岩储层中的粘土矿物特征与油层敏感性试验研究[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1994, 18(3): 1 - 5.
- [3] 曹忠辉, 程少林. 大牛地气田上古生界储层粘土矿物及敏感性分析[J]. 河南石油, 2006, 20(1): 10 - 13.
- [4] 贾统权. 粘土矿物与油藏演化的对应关系对储层敏感性的影响[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(5): 12 - 15.
- [5] 陈恭洋, 张玲, 周超宇. 新沟咀组下段粘土矿物分布特征与储层敏感性[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(2): 7 - 12.
- [6] 时宇, 杨正明, 黄延章. 低渗透储层非线性渗流模型研究[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 731 - 734.
- [7] 熊伟, 雷群, 刘先贵, 等. 低渗透油藏拟启动压力梯度[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(2): 232 - 236.
- [8] 宫清顺, 寿建峰, 姜忠朋, 等. 准噶尔盆地乌尔禾油田三叠系百口泉组储层敏感性评价[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 307 - 314.
- [9] 周晓峰, 何顺利. 鄂尔多斯盆地西南部长 6 段粘土矿物特征[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(6): 587 - 589.
- [10] 宋丽红, 朱如凯, 朱德升, 等. 粘土矿物对广安须家河组致密砂岩物性影响[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2011, 33(2): 73 - 78.
- [11] 杨胜来, 魏俊之. 油层物理学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [12] 李芳芳, 高旺来, 杨胜来, 等. 安塞油田高 52 区低渗油藏储层敏感性研究[J]. 特种油气藏, 2012, 19(4): 126 - 129.
- [13] 董清水, 孟庆涛, 贾钰, 等. 伊通地堑莫里青断陷双阳组敏感性储层类型及其分布规律[J]. 石油实验地质, 2009, 31(3): 231 - 236.
- [14] 成赛男, 田继军, 张鹏辉. 伊通盆地莫里青断陷西北缘双阳组二段储层敏感性流动实验评价[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(3): 76 - 78.
- [15] 柳娜, 南珩祥, 刘伟. 鄂尔多斯盆地中部长 6 和长 8 储层特征及酸敏机理[J]. 石油学报, 2008, 29(4): 588 - 591.
- [16] 赵杏媛. 塔里木盆地粘土矿物类型[J]. 新疆石油地质, 1998(2): 137 - 144.
- [17] (责任编辑 王利君)
- (上接第 82 页)
- [20] 贺克斌, 杨复沫, 段凤魁, 等. 大气颗粒物与区域复合污染[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 415 - 419.
- [21] 徐敬, 张小玲, 徐晓斌, 等. 上甸子本底站湿沉降化学成分变化与来源解析[J]. 环境科学学报, 2008, 28(5): 1001 - 1006.
- [22] 焦梦. 煤炭使用对中国大气污染的贡献[R/OL]. 中国发展门户网, (2014 - 10 - 21). http://cn.chinagate.cn/reports/2014-10/21/content_33824166_2.htm.
- [23] TANG G, ZHU X, HU B, et al. Vertical variations of aerosols and the effects responded to the emission control: application of lidar ceilometers in Beijing during APEC, 2014[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015(15): 13173 - 13209.
- [24] 2013 年河北省钢铁行业大事记[N/OL]. 欧浦钢网, (2015 - 01 - 20). <http://www.opsteel.cn/news/2015-01/0D0E0619744098B8E050080A7DC90A8C.html>.
- [25] HUANG R J, ZHANG Y L, BOZZETTI C, et al. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China[J]. Nature, 2014(514): 218 - 222.
- [26] 肖锐, 李冰, 杨红霞, 等. 北京市大气颗粒物及其铅的来源识别和解析[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 148 - 155.
- [27] 岳丽. 北京市空气细颗粒物(PM_{2.5})污染特征及来源解析[D]. 济南: 山东师范大学, 2007.
- [28] YANG L X, CHENG S H, WANG X F. Source identification and health impact of PM_{2.5} in a heavily polluted urban atmosphere in China[J]. Atmospheric Environment, 2013(75): 265 - 269.
- [29] YU L D, WANG G F, ZHANG R J. Characterization and source apportionment of PM_{2.5} in an urban environment in Beijing[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2013(13): 574 - 583.
- [30] 朱坦, 冯银厂. 大气颗粒物来源解析原理、技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [31] (责任编辑 王利君)