

渤中34-9油田储层敏感性评价

陈建宏¹, 魏飒飒², 余建生¹, 王志超³, 赵海建¹, 陈龙³

- (1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452;
2. 中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司, 天津 300452;
3. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘要: 渤中34-9油田为我国海上首个火成岩发育区的大型油田, 油田位于渤中34围区, 其主要目的储层为东三段和沙河街组。为加强油田储层保护, 提高油气产量, 本文通过分析储层岩性特征、孔渗特征和流体特征, 对储层岩心进行速敏、水敏、盐敏、碱敏和酸敏储层敏感性评价, 进而直观、定量地评价该油田储层损害因素, 并针对性地提出预防和减少储层侵害的合理化建议, 对渤中区块储层保护工作具有重要的现实意义。

关键词: 储层; 敏感性评价; 损害因素; 储层保护; 渤中34-9油田

中图分类号: TE31 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)09-0111-08

Reservoir sensitivity evaluation for Bozhong 34-9 Oilfield

CHEN Jianhong¹, WEI Sasa², YU Jiansheng¹, WANG Zhichao³, ZHAO Haijian¹, CHEN Long³

- (1. Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China;
2. CNOOC Energy Technology & Services-Oil Production Services Co., Tianjin 300452, China;
3. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

Abstract: Bozhong 34-9 Oilfield located in Bozhong 34 Embanked Zone is the first large-scale oil field in the offshore igneous rock developed region of China. The target reservoirs of Bozhong 34-9 Oilfield are Dongsan Part and Shahejie Formation. In order to strengthen reservoir protection and increase oil and gas production, this paper analyzes the reservoir lithology, porosity and permeability characteristics and fluid characteristics, and evaluates the cores from the reservoir in terms of velocity sensitivity, water sensitivity, salt sensitivity, alkali sensitivity and acid sensitivity. It is intended to evaluate reservoir damage factors intuitively and quantitatively, and put forward proper suggestions to prevent and reduce reservoir damage, which is of great practical significance to reservoir protection for the Bozhong block.

Key words: reservoir; sensibility evaluation; damage factor; reservoir protection; Bozhong 34-9 Oilfield

渤中34-9油田东营组三段和沙河街组储层砂岩主要由石英、钾长石、斜长石和粘土矿物组成, 粘土矿物主要以伊利石、伊蒙混层和高岭石为主并含少量绿泥石。这些敏感性矿物存在于油气层中孔隙表面、喉道等处, 处于与外来流体优先接触的位置^[1-2]。由于敏感性矿物的物理化学性质稳定区间狭小, 在钻井、完井、井下作业等作业过程中, 当外来流体侵入油气层后, 都可能发生不同程度的地层

损害, 其结果是使油气天然生产能力或注入能力下降, 即发生油气层损害^[3-4]。对外来流体的储层保护效果进行研究, 提高渗透率恢复值, 能够有效减少储层伤害。

1 储层特征

渤中34-9构造位于黄河口凹陷东洼向莱北低凸起过渡的斜坡带(见图1), 目前主要目的层为东

收稿日期: 2020-10-10; 修回日期: 2021-03-02 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.09.014

作者简介: 陈建宏, 男, 汉族, 1987年生, 钻井总监, 石油工程专业, 从事海洋石油钻井监督工作, 天津市滨海新区海川路2121号海洋石油大厦C座804房间, chenjh33@cnooc.com.cn。

引用格式: 陈建宏, 魏飒飒, 余建生, 等. 渤中34-9油田储层敏感性评价[J]. 钻探工程, 2021, 48(9): 111-118.

CHEN Jianhong, WEI Sasa, YU Jiansheng, et al. Reservoir sensitivity evaluation for Bozhong 34-9 Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(9): 111-118.

三段和沙河街油层,油源充足,油气运移活跃,总体呈现复式成藏特征。



图1 渤中34-9油田区域构造位置

Fig.1 Location of the Bozhong 34-9 Oilfield regional structure

1.1 岩石学特征

通过砂岩粘土矿物总量和常见非粘土矿物X衍射定量分析,东营组、沙河街组砂岩各层组主要由石英石、钾长石、斜长石和粘土矿物组成,从上到下间含不等量或少量方解石、菱铁矿、黄铁矿、硬石膏、铁白云石、辉石、重晶石和石盐等矿物(见表1)。

1.2 孔渗特性

根据测井资料分析,渤中34-9油田东三段储层属于中孔高渗砂岩油藏,沙河街组储层属于中孔中渗砂岩油藏(见表2)。

1.3 流体特性

东三段、沙河街储层原油为轻质低粘原油,地饱

表1 东营组、沙河街组粘土矿物总量和常见非粘土矿物含量
Table 1 Total content of clay minerals and composition of common non-clay minerals in Dongying and Shahejie formation

层位	矿物含量/%						
	石英石	钾长石	斜长石	方解石	菱铁矿	铁白云石	粘土矿物
东营组	38.8	13.6	13.7	4.8	2.3	1.9	21.5
沙河街组	41.3	11.4	17.5	3.1	2.1	7.3	12.9

表2 渤中34-9东三段和沙河街组储层渗透率

Table 2 Permeability parameters of reservoirs in Dongying part and Shahejie formation at Bozhong 34-9 Oilfield

层组	井区	渗透率/mD		
		低渗	中渗	高渗
		50	50~500	≥500
东三段	1井区	219.9~933.9		
	5井区	439.1~2386.4		
	6井区	209~765		
沙河街组	1井区	167.2~271.4		
	5井区	273.0~359.3		
	6井区	103~291		

压差大。东三段和沙一段地面原油密度0.850~0.855 t/m³,原油性质为轻质油,从浅到深流体性质变好。东三段和沙河街组地层水矿化度不高,均为碳酸钠水型(见表3)。

表3 渤中34-9地层水参数

Table 3 Formation water parameters at Bozhong 34-9

层位	阳离子含量/(mg·L ⁻¹)			阴离子含量/(mg·L ⁻¹)			总矿化度/(mg·L ⁻¹)	pH值
	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		
东三段	2102.0	40.0	10.0	1170.0	58.0	3661.0	7041.0	7.5
沙一段	2249.0	32.0	19.0	1631.0	0.0	3234.0	7225.0	8.5

2 储层敏感性评价

储层岩样的流动实验是储层敏感性评价程序的关键部分,根据中国石油天然气行业标准《储层敏感性流动实验评价方法》(SY/T 5358—2010)规定进行实验^[5],通过岩样与各种流体接触时渗透率的变化,直观、定量地评价储层的敏感程度。利用渤中

34-9油田东三段储层岩心(见表4)进行敏感性评价试验研究和敏感性损害机理分析,结合相关资料和研究成果,分析火成岩发育油田开发井过程中储层保护问题,提出预防和减少侵害的合理化建议。

2.1 流速敏感性评价

流速敏感性是指入井各类流体在储层中流动时,流动速度变化引起储层微粒运移、堵塞孔隙喉道

表4 实验岩心基础参数

Table 4 Basic parameters of experimental cores

岩心号	1	2
层位	东三段	东三段
井段/m	2850.71	2894.70
孔隙体积/cm ³	5.20	5.15
孔隙度/%	22.50	22.70
岩样长度/cm	4.63	4.50
岩样直径/cm	2.52	2.53
气测渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	3184.30	351.01
初始渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	880.31	80.34
实验温度/°C	35.0	35.0

等,造成储层岩石渗透率下降的现象^[6]。通过不同注入速度向岩心中注入实验流体(气体、煤油或地层水,见表5、表6),得到与渗透率变化的关系(图2~5),并找出渗透率明显下降的临界流速,判断油气层岩心对流速的敏感性。

由流速敏感性引起的渗透率变化率 D_m 按下式

表5 模拟地层水流速敏感性评价实验数据

Table 5 Experimental data of water velocity sensitivity evaluation for simulated formation

岩心号	流量/ (cm ³ ·min ⁻¹)	流速/ (m·d ⁻¹)	K_i / (10 ⁻³ μm ²)	K_n/K_i / %
1	0.268	3.43	880.31	100.00
	0.522	6.68	893.73	101.52
	0.763	9.77	905.22	102.83
	1.010	12.93	938.36	106.59
	1.505	19.27	990.22	112.49
	2.014	25.78	1041.09	118.26
	3.018	38.63	1064.94	120.97
	4.012	51.36	1093.69	124.24
	5.010	64.13	1190.31	135.21
	6.024	77.12	1256.03	142.68
2	0.258	3.25	80.34	100.00
	0.510	6.42	81.25	101.13
	0.754	9.49	83.29	103.67
	1.011	12.73	84.29	104.92
	1.507	18.97	86.00	107.05
	2.010	25.30	87.61	109.05
	3.012	37.92	89.02	110.80
	4.011	50.49	90.88	113.12
	5.008	63.04	92.56	115.21
	6.012	75.68	95.11	118.38

表6 煤油速敏感性评价实验数据

Table 6 Experimental data of kerosene velocity sensitivity evaluation

岩心号	流量/ (cm ³ ·min ⁻¹)	流速/ (m·d ⁻¹)	K_i / (10 ⁻³ μm ²)	K_n/K_i / %
1	0.264	2.95	1124.36	100.00
	0.510	5.69	1145.88	101.91
	0.774	8.64	1177.28	104.71
	1.018	11.37	1208.24	107.46
	1.525	17.02	1219.67	108.48
	2.006	22.39	1300.28	115.65
	3.041	33.95	1331.12	118.39
	4.015	44.82	1352.68	120.31
	5.036	56.22	1374.25	122.23
	6.025	67.26	1397.36	124.28
2	0.261	3.32	86.23	100.00
	0.508	6.47	87.19	101.11
	0.761	9.69	89.02	103.24
	1.013	12.90	91.23	105.80
	1.522	19.38	93.14	108.01
	2.010	25.60	94.75	109.88
	3.019	38.45	96.28	111.65
	4.012	51.09	98.09	113.75
	5.009	63.79	99.74	115.67
	6.021	76.68	101.36	117.55

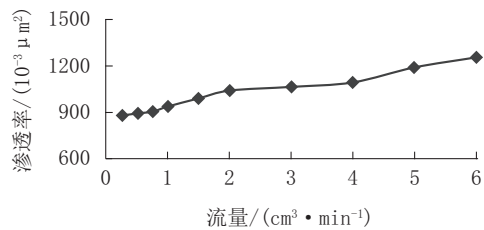


图2 1号岩心地层水速敏曲线

Fig.2 No.1 core formation water velocity sensitivity curve

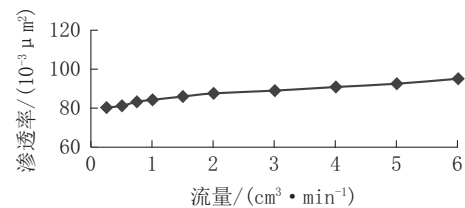


图3 2号岩心地层水速敏曲线

Fig.3 No.2 core formation water velocity sensitivity curve

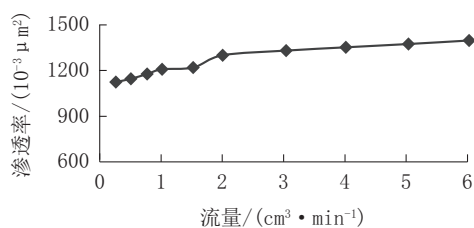


图4 1号岩心煤油速敏曲线

Fig.4 No.1 core kerosene velocity sensitivity curve

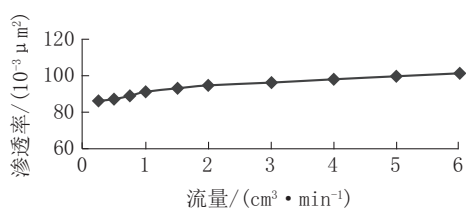


图5 2号岩心煤油速敏曲线

Fig.5 No.2 core kerosene velocity sensitivity curve

进行计算:

$$D_{vn} = \frac{|K_i - K_n|}{K_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中: D_{vn} ——不同流速所对应的岩样渗透率变化率, %; K_n ——岩样渗透率(实验中不同流速下所对应的), $10^{-3} \mu\text{m}^2$; K_i ——初始渗透率(实验中最小流速下所对应的), $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

由表5可知,根据注入速度与渗透率的变化关系,1号、2号岩心水速敏损害率分别为42.68%、18.38%,损害程度为中等偏弱和弱,临界流速25.78 m/d。

由表6可知,根据注入速度与渗透率的变化关系,油速敏损害程度分别为24.28%、17.55%,油速敏损害程度为弱,临界流速33.95 m/d。

2.2 水敏感性评价

油气层中的粘土矿物在原始的地层条件下与地层水处于一种稳定的平衡状态。当较低矿化度的注入水进入储层后会引发粘土水化膨胀、分散,使得渗流通道发生改变,导致地层渗透率降低^[7-8]。膨胀的粘土矿物占据许多孔隙空间,非膨胀粘土的矿物释放许多微粒,因此水敏感性实验的目的在于评价产生粘土膨胀微粒运移时引起储层岩石渗透率变化率的最大程度。影响储层水敏感性伤害程度的因素与粘土矿物的种类和含量有关,还取决于粘土矿物在地层中的分布形态及地层的孔隙结构特征等。通过向岩心中注入不同矿化度淡水,得到与渗透率变化关系,找出发生水敏的条件及水敏引起的油气层损害程度(见图6、图7,表7),以便为现场确定合理的入井流体矿化度提供依据。

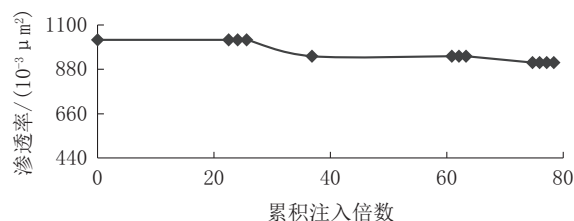


图6 1号岩心水敏感性曲线

Fig.6 No.1 core water sensitivity curve

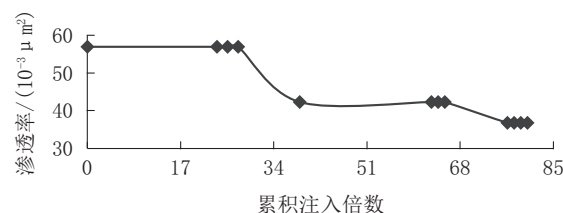


图7 2号岩心水敏感性曲线

Fig.7 No.2 core water sensitivity curve

表7 水敏感性评价实验数据

Table 7 Data of water sensitivity evaluation experiment

岩心号	流动介质	矿化度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	流量/($\text{cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$)	注入倍数	$K_i/(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	$K_w/K_i/\%$
1	模拟地层矿化度水	7041.0	1.00	25.60	1026.30	100.00
	1/2模拟地层矿化度水	3520.5	1.00	63.30	945.29	92.11
	蒸馏水	0	1.00	78.38	913.77	89.04
2	模拟地层矿化度水	7041.0	1.00	27.50	56.94	100.00
	1/2模拟地层矿化度水	3520.5	1.00	65.20	42.26	74.22
	蒸馏水	0	1.00	80.28	36.74	64.52

从以上评价数据可知,储层2块岩心水敏损害率分别为10.96%、35.48%,损害程度为弱和中等偏弱。要防止粘土等易水敏矿物因水化膨胀和分散运移造成储层伤害。

2.3 盐敏感性评价

储层敏感性伤害中盐敏感性是较为普遍的一种,储层矿物对注入水的离子类型、离子强度及成分

很敏感,进而导致储层矿物膨胀或分散、运移,并使储层岩石渗透率降低,这与水敏伤害机理类似。盐敏感性评价实验目的是了解储层矿物在接触不同矿化度流体时,其渗透率的下降规律^[9]。通过向岩心中注入不同矿化度盐水(见表8),得到与渗透率的变化关系(见图8、图9)。

表8 盐敏感性评价实验数据
Table 8 Data of salt sensitivity evaluation experiment

岩心号	流动介质	矿化度/(mg·L ⁻¹)	流量/(cm ³ ·min ⁻¹)	注入倍数	K _i /(10 ⁻³ μm ²)	K _n /K _i /%
1	模拟地层水	7041.000	1.00	23.61	792.56	100.00
	1.5倍模拟地层水	10561.500	1.00	33.52	850.67	107.33
	2.0倍模拟地层水	14082.000	1.00	26.41	894.83	112.90
	2.5倍模拟地层水	17602.500	1.00	26.93	939.08	118.49
	3.0倍模拟地层水	21123.000	1.00	27.13	963.82	121.61
2	模拟地层水	7041.000	1.00	25.61	85.29	100.00
	1.5倍模拟地层水	10561.500	1.00	29.84	84.23	98.76
	2.0倍模拟地层水	14082.000	1.00	30.29	83.47	97.87
	2.5倍模拟地层水	17602.500	1.00	30.55	82.19	96.37
	3.0倍模拟地层水	21123.000	1.00	28.98	81.06	95.04

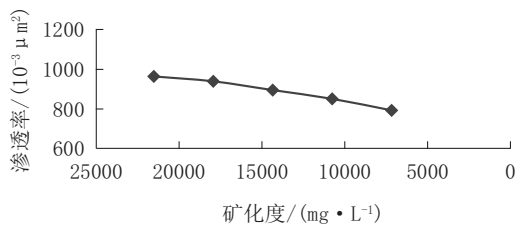


图8 1号岩心盐度敏感性曲线
Fig.8 No.1 core salt sensitivity curve

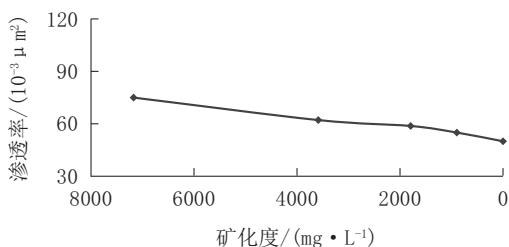


图9 2号岩心盐度敏感性曲线
Fig.9 No.2 core salt sensitivity curve

由盐度变化引起的岩样渗透率变化率D_{sn}为:

$$D_{sn} = \frac{|K_i - K_n|}{K_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中:D_{sn}——不同矿化度盐水对应的岩样渗透率变

化率,%;K_n——岩样渗透率(不同矿化度盐水对应的),10⁻³ μm²;K_i——初始渗透率(初始测试流体所对应岩样的渗透率),10⁻³ μm²。

从以上评价数据可知,当地层水浓度逐渐升高时,岩心渗透率变化率分别为21.61%、4.96%,损害程度为弱;当地层水的浓度逐渐降低时,岩心渗透率变化率分别为9.44%、33.29%,损害程度为弱和中等偏弱,临界矿化度为7041.0 mg/L。从实验岩心的盐敏曲线看出,随着矿化度的降低,岩心渗透率有一定的降低,但影响不是很大。

2.4 碱敏感性评价

碱敏感性是指各种入井碱液与储层中的矿物反应,堵塞孔隙喉道,造成储层渗透率下降的现象。进入储层的各种碱液pH值过高或过低,都会造成与储层的不配伍问题。碱敏实验的目的在于了解泥浆、水泥浆等碱性工作液进入储层后,对储层伤害大小,同时找到发生碱敏的临界pH值,为各类工作液的设计提供依据^[10]。通过向岩心中注入不同矿化度pH值盐水(见表9),得到与渗透率变化的关系(见图10、图11),根据渗透率的变化来评价碱敏损害程度,找出碱敏损害发生的条件。

表9 碱敏感性评价实验数据

Table 9 Data of alkali sensitivity evaluation experiment

pH值	1号岩心			2号岩心		
	注入倍数	$K_i/$ ($10^3 \mu\text{m}^2$)	$(K_n/$ $K_i)/$ %	注入倍数	$K_i/$ ($10^3 \mu\text{m}^2$)	$(K_n/$ $K_i)/$ %
7.0	15.61	23.55	100.00	23.49	87.55	100.00
8.5	29.13	22.68	96.31	32.19	84.59	96.62
10.0	30.43	21.36	90.70	29.11	80.23	91.64
11.5	33.21	19.97	84.80	30.54	75.98	86.78
13.0	31.20	19.21	81.57	33.29	70.44	80.46

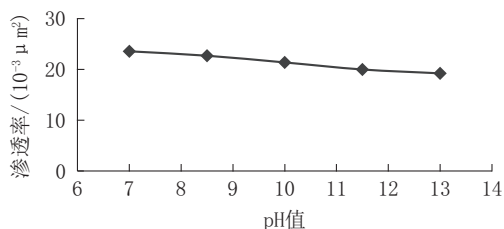


图10 1号岩心碱度敏感性曲线

Fig.10 No.1 core alkali sensitivity curve

由以上评价数据可知,临界pH值约为11.5,随着pH值升高,渗透率有一定的下降趋势。

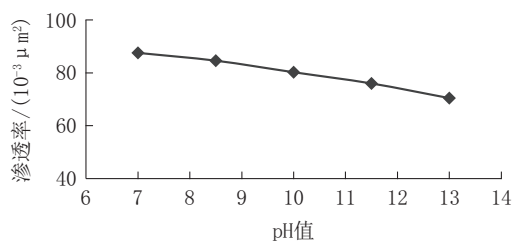


图11 2号岩心碱度敏感性曲线

Fig.11 No.2 core alkali sensitivity curve

2.5 酸敏感性评价

酸敏感性矿物及储层流体与酸液发生反应,进而产生化学沉淀或凝胶,亦或破坏岩石原有结构,加剧流速敏感,并最终降低渗透率^[11]。酸敏感性评价实验的目的是研究各种酸液的酸敏程度,了解酸液与储层流体配伍性,是否会对地层透率造成影响,为寻求更为有效的酸化处理方法并对现场施工工艺过程提供科学依据。

通过向岩心中注入一定浓度的盐酸(15% HCl)和土酸(12% HCl+3% HF)的敏感实验^[12](见表10),得到与渗透率变化的关系(见图12、图13),根据渗透率的变化来评价酸敏损害程度,找出酸敏损害发生的条件。

表10 酸敏感性评价实验数据

Table 10 Data of acid sensitivity evaluation experiment

酸类型	岩心号	实验过程	矿化度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	流量/ ($\text{cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$)	累计注入倍数	$K_i/$ ($10^3 \mu\text{m}^2$)	$(K_n/$ $K_i)/$ %
盐酸(15% HCl)	1	注酸前	7041.0	1.00	16.75	96.12	100.00
		注酸后	7041.0	1.00	29.34	57.91	60.25
	2	注酸前	7041.0	1.00	15.73	24.67	100.00
		注酸后	7041.0	1.00	30.87	16.69	67.65
土酸(12% HCl+3% HF)	1	注酸前	7041.0	1.00	13.75	52.84	100.00
		注酸后	7041.0	1.00	23.44	30.67	58.04
	2	注酸前	7041.0	1.00	18.46	67.38	100.00
		注酸后	7041.0	1.00	31.87	42.66	63.31

酸敏损害率 D_{ac} 为岩石接触酸液前后的渗透率或有效渗透率之差与接触酸前的渗透率或有效渗透率之比,即:

$$D_{ac} = \frac{K_i - K_{acd}}{K_i} \times 100\% \quad (3)$$

式中: D_{ac} ——酸敏损害率,%; K_i ——初始损害率(酸液处理前实验流体所对应岩样的渗透率), $10^{-3} \mu\text{m}^2$; K_{acd} ——酸液处理后实验流体对应的岩样渗透率,

$10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

由以上数据可知,土酸损害程度略高于盐酸,两者均为中等偏弱伤害程度。另外,注入酸后,岩心渗透率有所下降,说明酸与岩心中的矿物组分发生了反应,生成了堵塞孔道的物质^[13]。

2.6 压力敏感性评价

随着储层内部流体不断被开采,储层孔隙压力

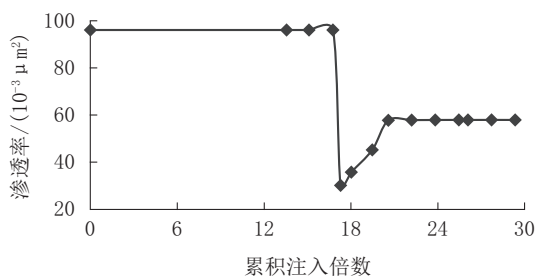


图 12 1号岩心酸度敏感性曲线
Fig.12 No.1 core acid sensitivity curve

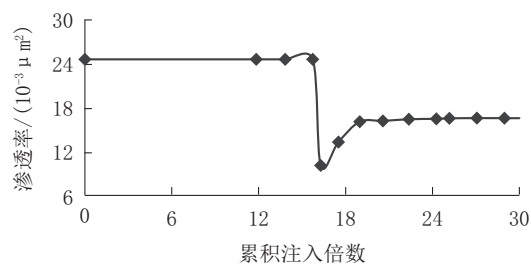


图 13 2号岩心酸度敏感性曲线
Fig.13 No.2 core acid sensitivity curve

降低,储层岩石内部力学平衡状态被打破,岩石发生弹性或塑性变形,也就是造成岩石的压缩或拉伸,这种变化将影响到流体在其中的渗流^[14]。储层性质、孔隙中流动介质性质、孔隙压力变化规律等均是影

响应力敏感性的因素^[15]。通过向岩心中施加不同的上覆压力(见表 11),得到与渗透率变化的关系(见图 14、图 15),根据渗透率的变化来评价压力敏感性的损害程度,找出压力敏感性损害发生的条件。

表 11 压力敏感性评价实验数据

Table 11 Data of stress sensitivity evaluation experiment

记录序号	1号岩心			2号岩心		
	净有效覆压/ MPa	入口压力/ MPa	覆压渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	净有效覆压/ MPa	入口压力/ MPa	覆压渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
1	0.0	0.03	2851.59	0.0	0.04	316.93
2	5.0	0.03	2792.44	5.0	0.04	305.49
3	9.0	0.03	2762.29	9.0	0.04	299.56
4	11.0	0.03	2747.45	11.0	0.04	296.31
5	15.0	0.03	2724.04	15.0	0.04	291.93
6	20.0	0.03	2701.03	20.0	0.04	287.21
7	15.0	0.03	2709.61	15.0	0.04	288.85
8	11.0	0.03	2729.86	11.0	0.04	291.21
9	9.0	0.03	2738.63	9.0	0.04	293.62
10	5.0	0.03	2771.26	5.0	0.04	299.56
11	0.0	0.03	2817.04	0.0	0.04	304.96

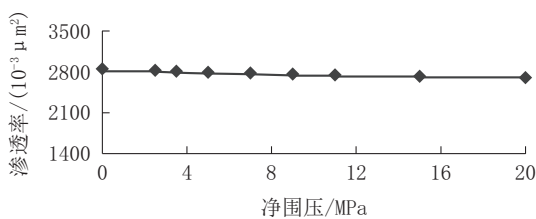


图 14 1号岩心压力敏感性曲线
Fig.14 No.1 core stress sensitivity curve

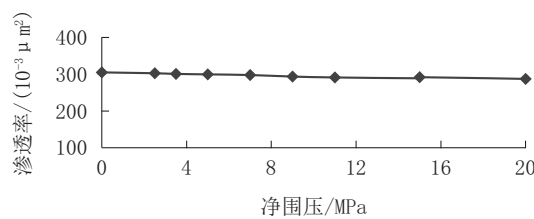


图 15 2号岩心压力敏感性曲线
Fig.15 No.2 core stress sensitivity curve

由以上数据可知,随覆压增大,岩心渗透率降低。要预防压力敏感发生,应注意开采后期地层压力下降带来的压力损害。

3 结论及建议

(1)渤中 34-9 油田东三段和沙河街组储层存在长石、粘土矿物(以伊利石、伊蒙混层、高岭石为主,

含少量绿泥石)等碱敏、水敏、速敏和酸敏矿物。

(2)通过储层岩心敏感性研究结果显示,储层存在中等偏弱至弱的水速敏损害,临界流速 25.78 m/d;存在弱的油速敏损害,临界流速 33.95 m/d;存在中等偏弱至弱的水敏和盐敏损害,临界矿化度为 7041.0 mg/L;存在中等偏弱的盐酸和土酸酸敏损害;存在弱碱敏损害,临界 pH 值约为 11.5;存在弱的压力敏感损害。

(3)储层主要损害因素为水速敏、水敏、盐敏和酸敏,高流速下存在微粒运移,水相流体矿化度的下降会带来岩心渗透率的下降,酸性流体进入会造成矿物溶蚀和孔喉堵塞,因此后期开发应注意控制合理生产压差,入井流体应保持合理抑制性,如采取酸化和注水等措施,应充分考虑酸敏和速敏及水敏伤害。

参考文献(References):

- [1] 杨枝,孙金声,张洁,等. 裂缝性碳酸盐岩储层保护技术研究进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(11): 4-10.
YANG Zhi, SUN Jinsheng, ZHANG Jie, et al. Advances in protection technology of fractured carbonate reservoir[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(11): 4-10.
- [2] 王文立. 松南深层火成岩储层的损害分析与保护技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(5): 5-9.
WANG Wenli. Analysis on the deep igneous reservoir damage in Songnan and the protection technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(5): 5-9.
- [3] 司念亭,冯硕,方培林,等. 垦利 10-1 油田修井作业储层保护技术[J]. 中国海上油气, 2020, 32(3): 130-135.
SI Nianting, FENG Shuo, FANG Peilin, et al. Reservoir protection techniques during workover in KL10-1 oilfield[J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(3): 130-135.
- [4] 吴小斌,王志峰,崔智林,等. 镇北地区超低渗储层敏感性评价及机理探讨[J]. 断块油气田, 2013, 20(2): 196-200.
WU Xiaobin, WANG Zhifeng, CUI Zhilin, et al. Sensitivity evaluation and mechanism discussion on ultra-low permeability reservoir in Zhenbei area [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(2): 196-200.
- [5] SY/T 5358—2010, 储层敏感性流动实验评价方法[S].
SY/T 5358—2010, Experimental evaluation method for reservoir sensitivity[S].
- [6] 陈丽娜,袁志刚,刘长海,等. 渤中 25-1 油田明下段储层敏感性特征及影响因素[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(S1): 63-66.
CHEN Li'na, YUAN Zhigang, LIU Changhai, et al. The sensitivity of reservoir characteristics and influence factors of BZ 25-1 oilfield the lower part of Minghuazhen formation[J]. Oil Drill-
- ing & Production Technology, 2012, 34(S1): 63-66.
- [7] 王丹,杨兰. 南海 A 油田储层敏感性评价及储层保护技术研究[J]. 能源化工, 2018, 39(6): 66-70.
WANG Dan, YANG Lan. Study on reservoir sensitivity evaluation and reservoir protection technology of a oilfield in South China Sea[J]. Energy Chemical Industry, 2018, 39(6): 66-70.
- [8] 张蕊,臧士宾,任晓娟. 低渗储层岩石水敏性损害因素分析[J]. 内蒙古石油化工, 2012, 38(21): 15-17.
ZHANG Rui, ZANG Shibing, REN Xiaojuan. The analysis of low permeability reservoir rock water sensitivity damage mechanism[J]. Inner Mongolia Petrochemical, 2012, 38(21): 15-17.
- [9] 罗东红,唐海雄,熊友明,等. 南海流花 11-1 礁灰岩油田储层敏感性评价[J]. 中国海上油气, 2007, 19(5): 315-318.
LUO Donghong, TANG Haixiong, XIONG Youming, et al. A sensitivity evaluation of reef limestone reservoirs in Lihua 11-1 oilfield, South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(5): 315-318.
- [10] 王昌军,罗觉生,陈武,等. 油田储层敏感性评价实验研究[J]. 化学与生物工程, 2006, 23(6): 44-46.
WANG Changjun, LUO Juesheng, CHEN Wu, et al. Experimental study on evaluation of reservoir sensitivity[J]. Chemistry & Bioengineering, 2006, 23(6): 44-46.
- [11] 胡友林,岳前升,刘书杰,等. 恩平 24-2 油田珠江组储层敏感性研究[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(6): 119-122.
HU Youlin, YUE Qiansheng, LIU Shujie, et al. Reservoir sensitivity of Zhujiang Formation in Enping 24-2 Oilfield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(6): 119-122.
- [12] 陈文. 注水井储层损害评价研究及防治措施——以大港油田南部开发区王 27 断块为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2004.
CHEN Wen. The Damage evaluation and recovery countermeasure for the reservoir of injection well[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2004.
- [13] 李云,祁利祺,胡作维,等. 准噶尔盆地阜东斜坡中侏罗统头屯河组储层敏感性特征[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(1): 52-57.
LI Yun, QI Liqi, HU Zuwei, et al. Reservoir sensitivity of middle jurassic toutunhe formation infudong slope, Junggar Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(1): 52-57.
- [14] 徐同台. 保护油气层技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
XU Tongtai. Reservoir Protection Technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [15] 王建标. 福山油田保护油气层钻井完井液技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 24-26.
WANG Jianbiao. Research on drilling and completion fluid technology for protection of oil-gas formations in Fushan Oilfield [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(4): 24-26.

(编辑 荐华)