

# 银额盆地巴北凹陷二叠系埋汗哈达组储层敏感性

徐铠炯<sup>1</sup>, 王纳申<sup>2</sup>, 申彪<sup>1</sup>, 吕瑞<sup>1</sup>, 马凯<sup>2</sup>, 王管<sup>2</sup>, 黄雨佳<sup>3</sup>, 贾纯子<sup>3</sup>,  
张超阳<sup>2</sup>, 李桂芳<sup>2</sup>, 王雪梅<sup>2</sup>

XU Kaitong<sup>1</sup>, WANG Nashen<sup>2</sup>, SHEN Biao<sup>1</sup>, LÜ Rui<sup>1</sup>, MA Kai<sup>2</sup>, WANG Guan<sup>2</sup>, HUANG Yujia<sup>3</sup>,  
JIA Chunzi<sup>3</sup>, ZHANG Chaoyang<sup>2</sup>, LI Guifang<sup>2</sup>, WANG Xuemei<sup>2</sup>

- 1.塔里木油田勘探事业部,新疆 库尔勒 841000;
  - 2.东方地球物理勘探有限责任公司物探技术研究中心,河北 涿州 072750;
  - 3.东方地球物理勘探有限责任公司研究院,新疆 库尔勒 841000
1. *Tarim Oilfield Exploration Division, Korla 841000, Xinjiang, China;*  
2. *CNPC Exploration Software Co., Ltd., Zhuozhou 072750, Hebei, China;*  
3. *BGP INC., Research Institute, Korla 841000, Xinjiang, China*

**摘要:**储层敏感性指对储层造成伤害的各种因素的敏感程度。储层敏感性分析的主要目的是研究各种敏感因素对储层的伤害程度,并提出预防措施,提高原油的最终采收率。为了研究银根-额济纳旗盆地巴北凹陷二叠系储层在开采过程中对储层的伤害,对其岩心做了大量的室内实验研究,并利用储层敏感性实验评价方法,参照储层评价标准对该区敏感程度进行了评价。结果表明,二叠系埋汗哈达组储层具有中等偏强酸敏、弱碱敏、中等偏强盐敏、中等偏强水敏及中等偏弱速敏。在未来的勘探开发中,保护油气层、增产措施的选择可采用相应的应对措施。

**关键词:**储层敏感性;评价方法;银根-额济纳旗盆地;巴北凹陷

**中图分类号:**P534.46;P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2020)10-1600-08

**Xu K T, Wang N S, Shen B, Lü R, Ma K, Wang G, Huang Y J, Jia C Z, Zhang C Y, Li G F, Wang X M. Mianhada Formation Reservoir sensitivity of Permian in Babei sag, Yin'E Basin. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(10): 1600-1607**

**Abstract:** Reservoir sensitivity is the degree of sensitivity to various factors that cause damage to the reservoir. The main purpose of reservoir susceptibility analysis is to study the damage degree of various sensitive factors to reservoirs and to propose preventive measures to improve the final recovery rate of crude oil. In order to study the damage to the reservoirs in the Permian reservoirs in the Babei depression of the Yingen-Ejinaqi basin, the authors carried out a large number of laboratory experiments on the core of the reservoir. The reservoir sensitivity test was used to evaluate the reservoir sensitivity. The standard was evaluated for the sensitivity of the area. The results show that the reservoirs of the Permian buried Khan Formation are intermediately strong, sensitive, weakly alkaline, moderate to strong, and slightly weak and medium weak. In the future exploration and development, the protection of oil and gas as well as the increase in the choice of measures can be used to respond to the corresponding measures.

**Key words:** reservoir sensitivity; evaluation method; Yingen-Ejinaqi basin; Babei depression

油气田开发过程中会受到各种因素的影响,从而导致储层的孔隙度和渗透率的变化,对油层的产能和储层的自身性质也会产生消极作用,因此储层

伤害的预防和保护成为近年备受关注的焦点<sup>[1-3]</sup>。对于低渗透储层甚至是超低渗透的储层而言,其储层本身的性质与常规储层存在很大的差异,储层的

收稿日期:2020-03-01;修订日期:2020-05-29

资助项目:国家自然科学基金项目《中国非常规油气储层特征、分类及地质模型建立》(批准号:41390451)

作者简介:徐铠炯(1991-),男,硕士,工程师,从事石油地质研究。E-mail:1529498165@qq.com

通讯作者:王纳申(1992-),男,硕士,助理工程师,从事油气成藏地质学研究。E-mail:wangnashen@cnpc.com.cn

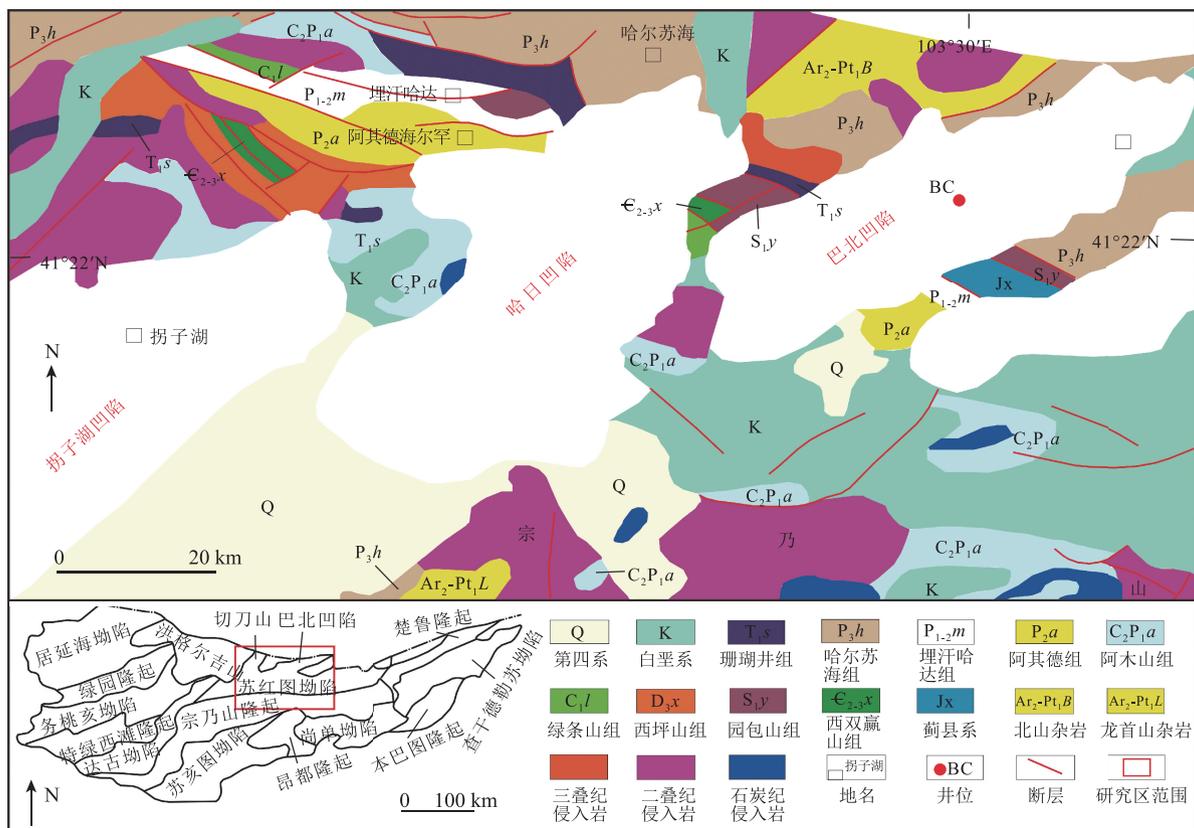


图 1 研究区位置及地质略图<sup>[4]</sup>

Fig.1 Location and geological sketch map of the study area

伤害程度也尤为严重。因此对低渗透储层敏感性研究显得格外重要,对于低渗透储层油田的开发和利用也具有十分重要的经济意义。银根-额济纳旗盆地近年勘探取得了重要的进展<sup>[1,4]</sup>,但研究区巴北凹陷勘探程度低。笔者以巴北凹陷二叠系埋汗哈达组储层为例,对该区域的低渗透储层敏感性进行分析,不仅可以为该区油气勘探开发提供理论依据,也可为同类油藏提供借鉴参考。

### 1 区域地质背景

巴北凹陷位于苏红图凹陷的中部<sup>[1,4]</sup>(图 1),是石炭系、二叠系褶皱基底上发育起来的中新生界断陷盆地,面积 1580 km<sup>2</sup>,东邻巴东凸起,西为巴布拉海凸起,北至蒙古边界<sup>[4]</sup>。前人对银额盆地二叠统 17 条剖面的泥岩或砂岩样品进行了粘土矿物相对含量分析,其中有 10 条剖面的样品粘土矿物 I/S (伊利石层/蒙脱石层)中 S 层大于 15%~50%,并不同程度地检测到高岭石的存在,其相对含量为 0.8%~16.5%,进入中成岩 A 期,对应的 R<sub>0</sub> ≤ 1.3%;

有 6 条剖面的样品 S 层 ≤ 15%,进入中成岩 B 期,对应的 R<sub>0</sub> 为 1.3%~2.0%;另有一条剖面粘土矿物中 I/S 层消失,进入晚成岩期<sup>[1]</sup>。巴北凹陷是以下白垩统为主体的不对称单断式箕状凹陷,表现为西断东超的特点。下白垩统分布面积约 580 km<sup>2</sup>,东西宽 10~14 km,南北长 45~50 km。巴北凹陷可进一步分为西南次凹和东北次凹,其中东北次凹为巴北凹陷的主体部分,可分出深洼槽和斜坡带<sup>[1,4]</sup>。前人研究<sup>[1,4]</sup>表明,巴北凹陷在沉积二叠系埋汗哈达组时,处在切刀古陆南部,其西部及南部为广阔浅海环境。与区域沉积背景一致,取样钻井二叠系颜色以深灰色、灰色为主。岩性主要为泥岩、泥质细砂岩、砂质泥岩,含膏、含灰、凝灰质泥岩等,凝灰质泥岩主要分布在 2338~2575 m 段(图 2)。

根据显微镜、扫描电镜和 X-衍射下的各类成岩现象及成岩作用分析,并结合自生矿物的产出状况和生成条件,埋汗哈达组的镜质体反射率在 1.259%~1.516% 之间,伊利石结晶度为 0.29~0.33,平均为 0.31,巴北凹陷埋汗哈达组以中成岩 B 期为主。

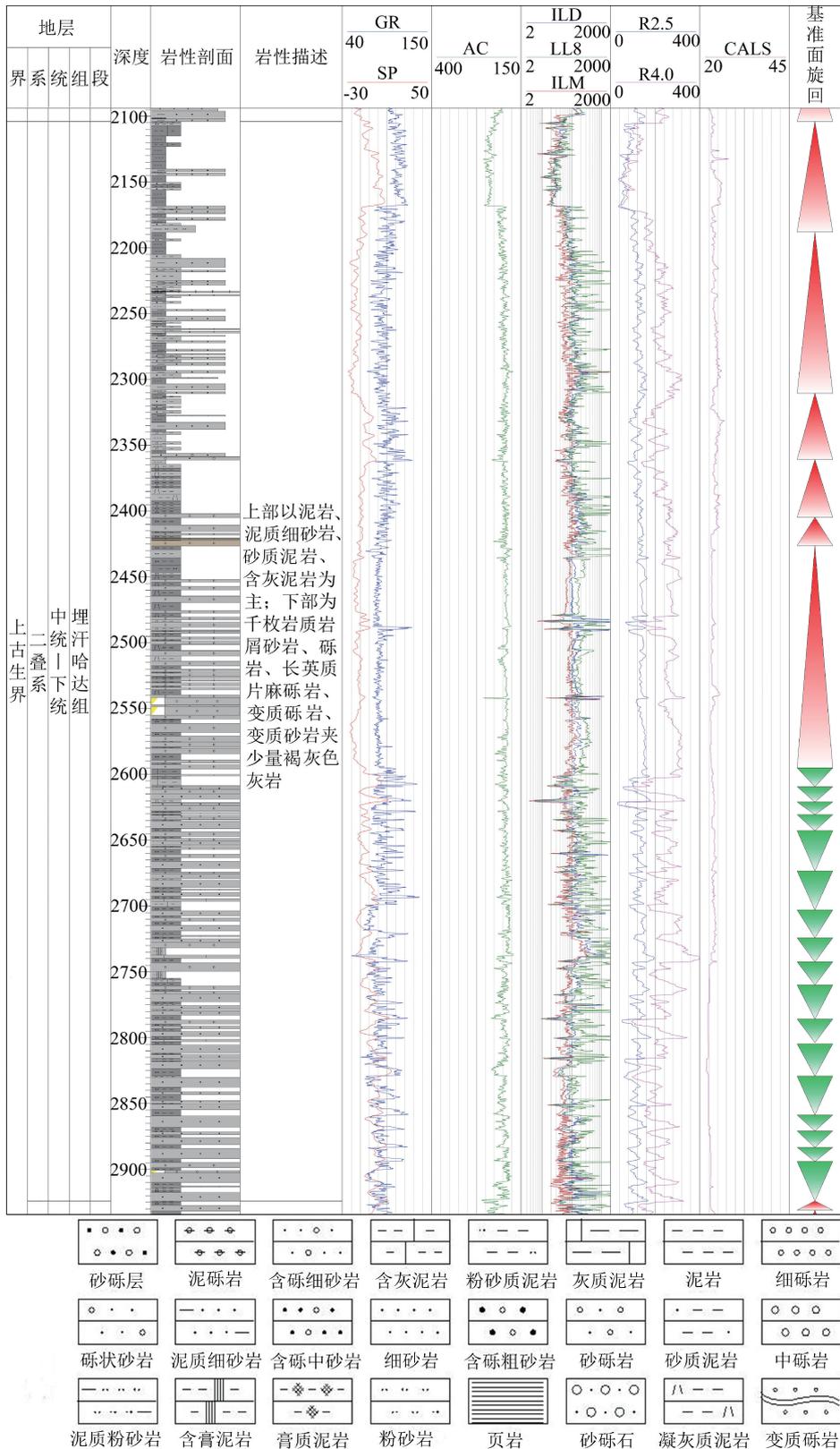
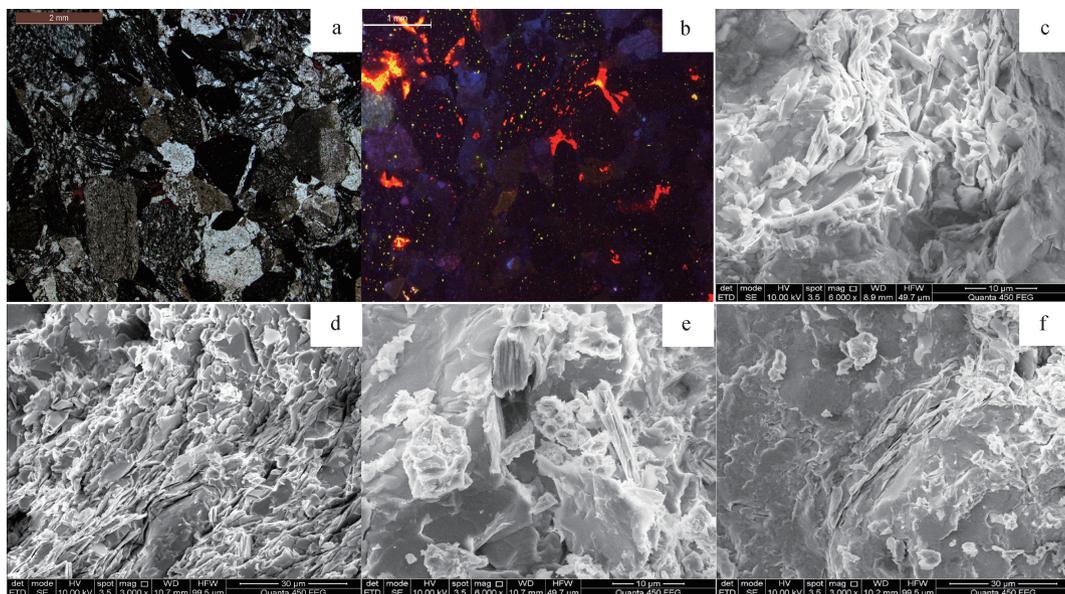


图 2 二叠系埋汗哈达组岩性电性综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive histogram of lithology and electricity of the Maianhadada Formation of Permian

图版 I Plate I



a. 颗粒半定向分布; b. 碎屑长石灰褐色、亮黄绿色、亮黄色光; c. 高岭石; d. 伊利石; e. 高岭石; f. 伊蒙混层

## 2 储层基本特征

### 2.1 储层岩石学特征与孔隙结构特征

薄片鉴定表明,巴北凹陷二叠系储层主要为灰色泥质粉砂岩、泥质细砂岩、细砂岩、砂砾岩、致密砾岩。砂岩组分中石英含量为 1%~11%;长石含量为 1%~9%;岩屑有火成岩屑 4%~22%(喷发岩),平均 14.3%,变质岩屑 61%~99%(高变质岩 1%~94%、石英岩 1%~8%、片岩 1%~7%、千枚岩 5%~73%、板岩 1%~4%、变质砂岩 1%~10%),平均 75.7%,沉积岩屑 0~1%(灰岩),以及盆屑(生物碎片) 1%~3%。本组岩性复杂多样,以变质岩屑为主,结构特征多种多样。颗粒分选性差,磨圆呈次棱角状,胶结类型加大-孔隙式(图版 I)。

本次实验样品位置深度为 2543.03 m,为二叠系埋汗哈达组的灰色含气致密砾岩,渗透率为  $0.163 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,孔隙度为 3.67%,最大孔喉半径为  $0.0724 \mu\text{m}$ ,平均孔喉半径为  $0.025 \mu\text{m}$ ,排驱压力为 10.3608 MPa。属于为超低孔渗储层。

### 2.2 敏感性矿物特征

产生储层敏感性最主要的内在因素是粘土矿物的类型及产状<sup>[5-7]</sup>。由于储层岩石中含有敏感性矿物,在油气田勘探开发过程中的各个施工环节(钻井、固井、完井、射孔、修井、注水、酸化、压裂直到三次采

油)储层与外来流体接触,当储层与外来流体不匹配时可能造成储层渗透率较低,伤害油气层<sup>[8-10]</sup>。为了防止油气储层被污染伤害,必须对储层的岩石性质、物理性质、孔隙结构及储层中的流体性质进行分析,进行敏感性模拟实验,为以后的油气田开发中保护油气层、增产增注措施的选择提供依据<sup>[5, 9, 11]</sup>。

敏感性矿物指储层中与流体接触易发生物理、化学或物理化学反应,并导致渗透率大幅下降的一类矿物,一般粒径很小(小于  $20 \mu\text{m}$ ),比表面积很大<sup>[9-11]</sup>。常见的敏感性矿物可分为酸敏性矿物、碱敏性矿物、盐敏性矿物、水敏性矿物、速敏型矿物等(表 1),与之对应的是储层的五敏性<sup>[7, 10-12]</sup>。

铸体薄片和扫描电镜、粘土矿物分析显示敏感性矿物含量如表 2 所示。

### 2.3 储层物性特征

由岩石物性分析,储层孔隙度为 1.23%~6.28%,平均 3.66%;储层渗透率为  $0.009 \times 10^{-3} \sim 0.502 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均  $0.130 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。为超低孔渗储层。由孔隙度、渗透率关系可知(图 3),随着孔隙度增大,渗透率也增大。

## 3 储层敏感性评价

本次五敏采样位置深度 2543.03 m,为二叠系埋汗哈达组的灰色含气致密砾岩,属于超低孔渗储层。

表1 可能伤害地层的几类敏感性矿物<sup>[16]</sup>

Table 1 Several sensitive minerals that may damage the formation

敏感性类型		敏感性矿物		伤害形式
速敏性		高岭石、毛发状伊利石、微晶石英 微晶白云母、降解伊利石、微晶长石		分散运移 微粒运移
酸敏性 (含高pH值 碱敏性)	HCl	蠕绿泥石 鲕绿泥石 绿泥石-蒙皂石 海绿石 水化黑云母	铁方解石 铁白云石 赤铁矿 黄铁矿 镁铁矿	化学沉淀 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ 非晶质 $\text{SiO}_2 \downarrow$ 酸蚀释放出微粒运移
	HF	方解石 白云石 钙长石	沸石类、浊沸石 钙沸石、斜钙沸石 片沸石、辉沸石 各类粘土矿物	化学沉淀 $\text{CaF}_2$ $\text{SiO}_2 \downarrow$
	pH>12	钾长石、钠长石、微晶石英、石髓 (玉髓)、斜长石、各类粘土矿物 蛋白石-CT、蛋白石-A(非晶质)		硅酸盐沉淀 硅凝胶体
水敏性		绿泥石-蒙皂石 蒙皂石 降解绿泥石	伊利石-蒙皂石 降解伊利石 水化白云母	晶格膨胀 分散运移
结垢		石膏、重晶石、硫酸铁、方解石、赤铁矿、 天青石、硬石膏、岩盐、菱铁矿、磁铁矿		盐类沉淀

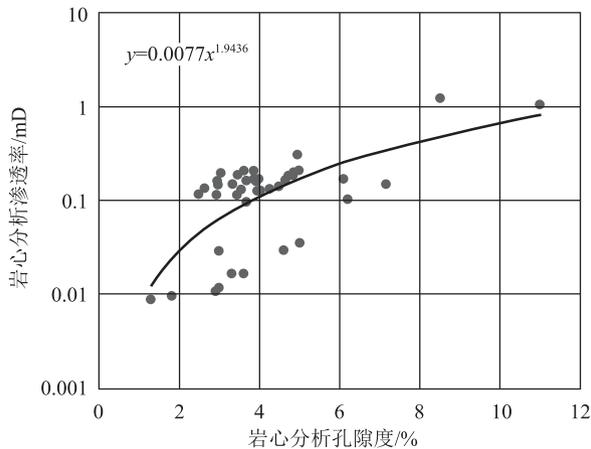


图3 岩心分析孔隙度与渗透率关系图

Fig.3 Relationship between core analysis porosity and permeability

$0.041 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。注酸后  $K_{\text{实测}}/K_{\text{初始}}$  值为 78.85%，为中等偏强酸敏(表3;图4)。

### 3.2 碱敏性评价

碱敏性指具有碱性的油田工作液进入储层后，与储层岩石或储层流体接触而发生反应产生沉淀，并使储层渗透率下降的现象<sup>[7, 14-15]</sup>。主要由于地层矿物与碱液发生离子交换形成水敏性矿物或直接

### 3.1 酸敏性评价

酸敏性指酸液进入储层后与储层中的酸敏性矿物发生反应，产生凝胶、沉淀或释放出微粒，使储层渗透率下降的性质<sup>[12-13]</sup>。主要由于盐酸或氢氟酸与含铁高或含钙高的矿物反应生成沉淀而堵塞孔隙引起渗透率低。同时，酸化释放出的粘土颗粒发生运移，产生或加剧流速敏感性<sup>[13-14]</sup>。

由酸敏变化引起的岩样渗透率的伤害率可表示为：

$$D_{ac} = \frac{|K_{i\text{酸}} - K_{acd}|}{K_{i\text{酸}}} \quad (1)$$

式中： $D_{ac}$ 为酸敏伤害率，无因次； $K_{acd}$ 为岩样酸液处理后实验流体对应的渗透率(mD)； $K_{i\text{酸}}$ 为岩样酸液处理前实验流体对应的初始渗透率。

实验流体采用地层水和15%盐酸，注酸前后渗透率分别为  $0.052 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、生成沉淀物质堵塞孔隙<sup>[3, 13-15]</sup>。

由碱敏变化引起的岩样渗透率的伤害率可表示为：

$$D_{aln} = \frac{|K_{i\text{碱}} - K_{0\text{碱}}|}{K_{i\text{碱}}} \quad (2)$$

式中： $D_{aln}$ 为碱敏伤害率，无因次； $K_{i\text{碱}}$ 为不同pH值碱液对应的岩样液体渗透率； $K_{0\text{碱}}$ 为初始pH值碱液对应的岩样液体渗透率。

表2 粘土矿物含量统计结果

Table 2 Statistics of clay mineral content

层位		粘土矿物含量/%				样品数 /个
		伊蒙混层 L/S	伊利石 I	高岭石	绿泥石 C	
二叠系	范围	4~60	18~62	3~11	13~33	25
	平均值	21.4	43.5	7.04	27.3	

表3 酸敏实验数据

Table 3 Data of acid sensitivity experiment

实验过程	流动介质	矿化度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	流量/ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	实测 渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	$K_{\text{实测}}/K_{\text{初始}}/\%$
注酸前	地层水	14879	0.25	0.052	100.00
注酸后	地层水	14879	0.25	0.041	78.85

注：反注酸名称：15% HCl；注入倍数：1.0

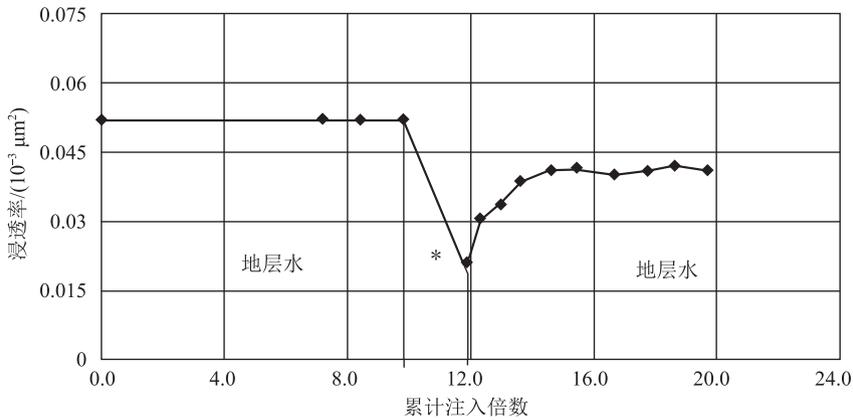


图 4 二叠系储层酸敏性实验曲线 (\* 区间表示反注酸过程)

Fig. 4 Acid sensitivity test curve of Permian reservoir

实验流体采用 14879 mg/L 的 KCl 溶液,并用 NaOH 溶液改变实验流体的 pH 值。注碱前后渗透率分别为  $0.049 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $0.035 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,碱敏损害程度为 28.57%,为弱碱敏,临界 pH 值为 7.0(表 4;图 5)。

### 3.3 盐敏性评价

盐敏性指一系列矿化度的注入水进入储层后,引起粘土矿物膨胀或分散、运移,导致储层渗透率下降的现象<sup>[9,13-15]</sup>。当不同盐度的流体流经含粘土

的储层时,在开始阶段,随着盐度的下降,岩样渗透率变化不大,当盐度减小至某一临界值时,随着盐度的继续下降,渗透率将大幅度减小,此时的盐度为临界盐度<sup>[14,16]</sup>。

由盐度变化引起的岩样渗透率的伤害率可表示为:

$$D_{sn} = \frac{|K_{i\text{盐}} - K_0|}{K_{i\text{盐}}} \quad (3)$$

式中:  $D_{sn}$  为盐敏伤害率,无因次;  $K_{i\text{盐}}$  为不同矿化度盐水对应的岩样渗透率;  $K_0$  为初始流体所对应的岩样渗透率。

实验初始测试流体采用矿化度为 14879 mg/L 的模拟地层水。测试前后渗透率分别为  $0.052 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $0.025 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,盐敏损害程度为 51.92%,为中等偏强盐敏,临界矿化度为 3719.8 mg/L(表 5;图 6)。

### 3.4 水敏性评价

水敏性指较低矿化度的注入水进入储层后引

表 4 碱敏实验数据

Table 4 Alkali sensitive test data

流动介质	pH 值	流量/ (mL · min <sup>-1</sup> )	实测渗透率 /10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	实测渗透率/ 初始渗透率/%
14879mg/L KCl	7.0	0.25	0.049	100.00
14879mg/L KCl	8.5	0.25	0.043	87.86
14879mg/L KCl	10.0	0.25	0.039	79.59
14879mg/L KCl	11.5	0.25	0.037	75.51
14879mg/L KCl	13.0	0.25	0.035	71.43

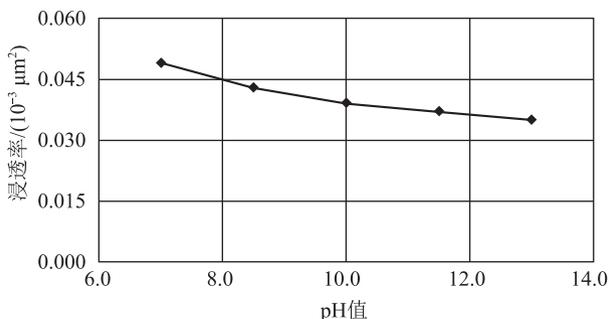


图 5 二叠系储层碱敏性实验曲线

Fig. 5 Alkali sensitivity test curve of Permian reservoir

表 5 盐敏实验数据

Table 5 Salt sensitivity test data

流动介质	矿化度/ (mg · L <sup>-1</sup> )	流量/ (mL · min <sup>-1</sup> )	实测渗透率 /10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	实测渗透率/ 初始渗透率/%
模拟地层水	14879.0	0.25	0.052	100.00
1/2 模拟地层水	7439.5	0.25	0.048	92.31
1/4 模拟地层水	3719.8	0.25	0.044	84.62
1/8 模拟地层水	1859.9	0.25	0.040	76.92
1/16 模拟地层水	929.9	0.25	0.035	67.31
1/32 模拟地层水	465.0	0.25	0.031	59.62
蒸馏水	0.0	0.25	0.025	48.08

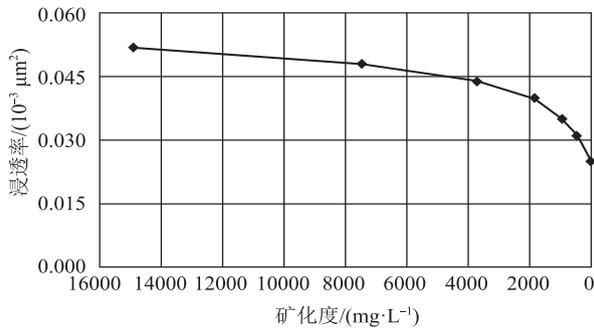


图6 二叠系储层盐敏性实验曲线

Fig. 6 Salt sensitivity test curve of Permian reservoir

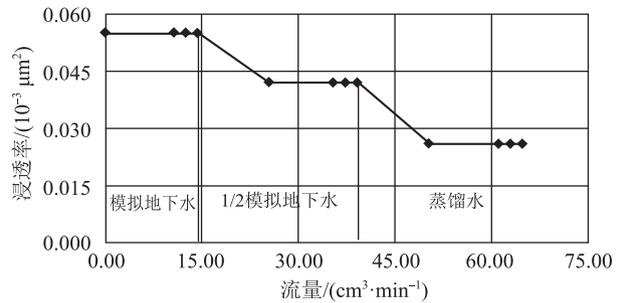


图7 二叠系储层水敏性实验曲线

Fig. 7 Water sensitivity test curve of Permian reservoir

起粘土矿物膨胀、分散、运移,使渗流通道发生变化,导致储层渗透率下降的现象<sup>[10, 16-17]</sup>。

由水敏变化引起的岩样渗透率的伤害率可表示为:

$$D_w = \frac{|K_{i水} - K_w|}{K_{i水}} \quad (4)$$

式中:  $D_w$  为水敏伤害率,无因次;  $K_{i水}$  为水敏实验中蒸馏水所对应岩样的渗透率;  $K_w$  为水敏实验中初始测试流体对应的岩样渗透率。

实验初始测试流体采用矿化度为 14879 mg/L 的模拟地层水。测试前后渗透率分别为  $0.055 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $0.026 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 水敏损害程度为 52.73%, 为中等偏强水敏(表 6; 图 7)。

表6 水敏实验数据

Table 6 Water sensitivity test data

流动介质	矿化度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	流量/ ( $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	累积注 入倍数	$K_i$ / $10^{-3} \mu\text{m}^2$	$K_i/K_1$ /%
模拟地层水	14879.00	0.25	14.46	0.055	100.00
1/2 模拟地层水	7439.50	0.25	39.22	0.048	87.27
蒸馏水	0.00	0.25	64.84	0.026	47.27

### 3.5 速敏性评价

速敏性是指在试油、采油、注水等作业过程中,当流体在储层中流动时,由于流体流动速度变化引起储层微粒迁移、堵塞孔隙喉道,造成储层渗透率下降的现象<sup>[8, 18-19]</sup>。

由流速变化引起的岩样渗透率的伤害率可表示为:

$$D_{vn} = \frac{|K_n - K_i|}{K_i} \quad (5)$$

式中:  $D_{vn}$  为速敏伤害率,无因次;  $K_n$  为实验中不同流速下对应的岩样渗透率;  $K_i$  为实验中最小流速下对应的岩样渗透率。

实验流体采用矿化度为 14879 mg/L 的模拟地层水。测试前后渗透率分别为  $0.056 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $0.039 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 速敏损害程度为 30.78%, 为中等偏弱速敏,临界流速为 0.50 mL/min(表 7; 图 8)。

表7 速敏实验数据

Table 7 Speed sensitive test data

流动介质	压力/ MPa	流量/ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	实测渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	实测渗透率/ 初始渗透率/%
模拟地层水	0.93	0.10	0.056	100.00
模拟地层水	2.43	0.25	0.054	95.68
模拟地层水	5.24	0.50	0.050	88.74
模拟地层水	8.73	0.75	0.045	79.90
模拟地层水	11.91	1.00	0.044	78.09
模拟地层水	18.28	1.50	0.043	76.31
模拟地层水	24.95	2.00	0.042	74.55
模拟地层水	40.31	3.00	0.039	69.21
模拟地层水	过压终止实验			

## 4 讨论

研究区埋汗哈达组为海洋沉积环境,沉积物整体以致密砾岩为主,根据前文敏感性实验可知,样品为中等偏强酸敏、弱碱敏、中等偏弱速敏、中等偏强水敏、中等偏强盐敏。储层速敏性主要与粘土矿物类型及孔喉分布有关,引起速敏性的粘土矿物主要有高岭石和伊利石,目标区块储层粘土矿物中高岭石和伊利石的相对体积分数不高,所以粘土矿物引起速敏损害的能力较弱;但是由于致密砾岩储层孔喉较小,当流体流动时候,冲刷下来的微小颗粒容易堵塞孔径较小的孔道,形成桥堵,从而形成一

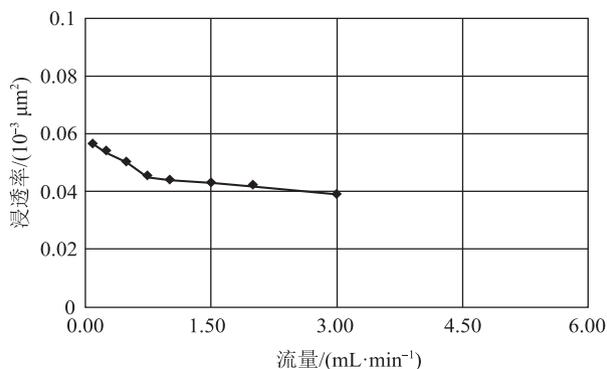


图 8 二叠系储层速敏性实验曲线

Fig. 8 Velocity sensitivity test curve of Permian reservoir

定的速敏损害。这与目标区块储层具有中等偏弱的速敏损害评价结果吻合。粘土矿物是影响研究区储层水敏和盐敏损害的主要因素,引起水敏/盐敏损害的粘土矿物主要有蒙脱石、伊/蒙混层和伊利石。目标区块储层粘土矿物中伊/蒙混层和蒙脱石的相对体积分数较高。水敏损害主要是由于粘土矿物吸水膨胀造成的,而盐敏损害除粘土水化膨胀外,入井流体矿化度的突然改变还能造成蒙脱石和伊/蒙混层矿物的分散运移,进而堵塞孔喉,造成盐敏损害。引起酸敏性损害的粘土矿物主要是绿泥石,目标区块储层粘土矿物中绿泥石的相对体积分数较高,又由于岩心渗透率较低,所以具有中等偏强酸敏损害。碱敏损害主要是 pH 值较高的入井流体与储层中的石英颗粒、粘土矿物及其他铝硅酸盐矿物发生溶解反应,溶液的碱性越强,溶解作用越明显。因成岩环境的原因,本区块没有出现大规模的碱性溶蚀。

## 5 结论

(1) 银根-额济纳旗盆地巴北凹陷二叠系埋汗组储层属于致密储层,物性较差,孔隙半径小、毛细管压力大、粘土矿物等不稳定成分较多,是储层容易发生损害的主要原因。

(2) 埋汗组储层的速敏程度显示为中等偏弱、中等偏强酸敏、弱碱敏、中等偏强盐敏、中等偏强水敏,在将来的勘探开发中,保护油气层、增产措施的选择可采用相应的应对措施。

(3) 鉴于银根-额济纳旗盆地巴北凹陷二叠系储层的敏感性特征,在对储层进行改造作业时,应尽量避免压力突变或井底压力过低等压差较大的施工,注入储层的流体矿化度必须小于水敏临界矿

化度,减少液体滤失,防止储层含水饱和度过高。

**致谢:** 样品现场采集和实验测试分析分别得到陕西延长石油(集团)有限责任公司油气勘探公司和陕西省油气成藏地质学重点实验室的大力支持,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并致以诚挚的感谢。

## 参考文献

- [1] 王纳申. 银额盆地巴北凹陷白垩系油气成藏条件研究[D]. 西安石油大学硕士学位论文, 2019.
- [2] 吕道平, 杨胜来, 马铨铮, 等. 致密储层敏感性实验研究[J]. 石油化工高等学校学报, 2017, (2): 34-39.
- [3] 单祥, 徐洋, 郭华军, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷北斜坡玛 131 井区块三叠系百口泉组储层敏感性评价[J]. 地质科技情报, 2017, (1): 176-182.
- [4] 张惠, 王纳申, 孟祥振, 等. 银额盆地苏红图坳陷北部埋汗组碎屑锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J]. 地质通报, 2019, 38(4): 656-666.
- [5] 王纳申, 张译丹, 黄家旋, 等. 用微地震技术评价姬塬油田体积压裂的效果[J]. 物探与化探, 2017, (1): 165-170.
- [6] 王纳申. 姬塬地区延长组低渗透油田增产措施应用讨论[J]. 石化技术, 2015, (10): 246-248.
- [7] 徐会林, 王新海, 魏少波, 等. 四川盆地高石梯-磨溪区块震旦系储层敏感性实验评价[J]. 岩性油气藏, 2015, (2): 13-17, 25.
- [8] 何永宏. 鄂尔多斯盆地姬塬油田长 8 储层敏感性研究[J]. 断块油气田, 2014, (1): 87-91.
- [9] 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, (3): 76-78, 116.
- [10] 吴春燕, 沈英, 程玉群, 等. 下寺湾地区延长组长 7 陆相页岩气储层敏感性实验[J]. 地质科技情报, 2015, (5): 81-85.
- [11] 段春节, 魏旭光, 李小冬, 等. 深层高压低渗透砂岩油藏储层敏感性研究[J]. 地质科技情报, 2013, (3): 94-99.
- [12] 高波, 张旭东, 黄小凤, 等. 渤海油田储层敏感性快速预测方法[J]. 石油钻采工艺, 2012, (S1): 67-69.
- [13] 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, (4): 126-129, 157.
- [14] 吴雄军, 蒋官澄, 赵琳, 等. 径向神经网络优化及在储层敏感性定量预测中的应用[J]. 油气地质与采收率, 2012, (1): 107-110, 118.
- [15] 徐辉, 田荣斌, 李珊, 等. 张家垛阜三段储层敏感性和油水相渗特征[J]. 油气藏评价与开发, 2011, (6): 48-51.
- [16] 曾伟, 董明, 孔令明, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田中、下二叠统砂岩储层敏感性影响因素分析[J]. 天然气勘探与开发, 2011, (3): 31-34, 37, 88.
- [17] 李丽. 稠油水淹及储层评价方法研究[J]. 国外测井技术, 2020, 41(5): 16-19.
- [18] 任杰, 田永敏, 王军, 等. 普光气田礁滩相储层特征及分类评价[J]. 断块油气田, 2020, (5): 579-584.
- [19] 李渭, 白嵩, 姜亭, 等. 蒙额参 3 井石炭二叠系干泉组页岩储层含气性及可压性评价[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2020, 50(5): 831-839.