

南图尔盖盆地Aryskum坳陷中侏罗统多尚组 储层敏感性研究*

韩长城, 徐子煜, 王文峰, 张文文, 张楠

(新疆大学 地质与矿业工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047)

摘要: 南图尔盖盆地Aryskum坳陷油气资源丰富, Aryskum坳陷中侏罗统多尚组作为主力产层, 储层非均质性及黏土矿物发育情况不甚理想, 储层敏感性对油气开采存在较大影响, 因此储层敏感性研究迫在眉睫. 根据储层岩石结构、胶结物等基础特征, 对Aryskum坳陷中侏罗统多尚组开展敏感性流动实验. 结果表明: 中侏罗统多尚组储层具有中等偏强水敏感性、弱-中等偏强速敏感性、无-弱碱敏感性及弱酸敏感性. 深入研究发现蒙脱石及伊蒙混层相对高含量是造成储层中等偏强水敏感性的直接原因; 高岭石含量及孔喉结构决定了储层弱-中等偏强速敏感性; 储层酸碱敏感性较弱, 另外部分高方解石及白云石充填储层酸化改善效果明显.

关键词: Aryskum坳陷; 油气资源; 储层敏感性; 南图尔盖盆地

DOI: 10.13568/j.cnki.651094.651316.2020.06.22.0001

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2021)05-0599-08

引文格式: 韩长城, 徐子煜, 王文峰, 等. 南图尔盖盆地Aryskum坳陷中侏罗统多尚组储层敏感性研究[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2021, 38(5): 599-606.

英文引文格式: HAN C C, XU Z Y, WANG W F, et al. Study on reservoir sensitivity of the upper jurassic Duoshang formation in the Aryskum depression, South Turgay basin[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2021, 38(5): 599-606.

Study on Reservoir Sensitivity of the Upper Jurassic Duoshang Formation in the Aryskum Depression, South Turgay Basin

HAN Changcheng, XU Ziyu, WANG Wenfeng, ZHANG Wenwen, ZHANG Nan

(School of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830047, China)

Abstract: The Aryskum depression in the South Turgai Basin is rich in oil and gas resources. The Middle Jurassic Duoshang formation in Aryskum depression is the main production section, the reservoir heterogeneity and clay mineral development are not very good, and the reservoir sensitivity has a great impact on oil and gas production, so the study of reservoir sensitivity is urgent. Based on the characteristics of reservoir rock structure and cements, the core sensitivity flow experiment of Duoshang formation of Middle Jurassic in Aryskum depression is carried out. The results show that the Doshang Formation of Middle Jurassic reservoir has moderate to strong water sensitivity, weak-moderate velocity sensitivity, no-weak alkali-sensitivity and weak acid sensitivity. It is found that the relatively high content of montmorillonite and illite montmorillonite is the direct cause of medium to strong water sensitivity. Kaolinite content and pore-throat structure determine the weak-moderate high-velocity sensitivity of the reservoir. The sensitivity of acid and alkali is weak, and the acidification improvement effect of some high calcite and dolomite filling reservoirs is obvious.

Key words: Aryskum depression; oil and gas resources; reservoir sensitivity; South Turgay basin

* 收稿日期: 2020-06-22

基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研计划项目(XJEDU2019Y011); 天山创新团队(2020D14023).

作者简介: 韩长城(1984-), 男, 博士, 副教授, 主要从事石油地质及储层特征研究, E-mail: hanchangchen@126.com.

0 引言

地下油气藏在钻井或开采过程中,由于外来流体的进入会使储层中矿物颗粒发生一系列的变化,从而改变了储层的物性特征^[1].外界物理和化学的变化会使不同类型的黏土矿物发生水化和膨胀等作用,在一定程度上对储层的孔隙度和渗透率起着破坏作用,从而影响油气藏后期有效开发和剩余油的挖潜^[2].储层敏感性评价一般通过选取地下深层钻井岩心样品进行实验室驱替分析测试,分析在不同物理性质和化学性质的外来流体侵入情况下储层物性发生改变的性质^[3,4].因此储层敏感性研究成为油气藏开发中的重要一环,准确分析储层在开发过程中受到的损坏程度^[4],针对性调整开发工艺,是高效开发油藏的重要前提^[5,6].

南图尔盖盆地油气资源丰富,探明石油储量 1.43×10^8 t,天然气资源量 2.69×10^{10} m³^[7].自1980年南图尔盖盆地油气勘探以来,先后发现肯尼斯、库姆库尔等千万吨级油田,截至目前共发现17个商业性油田.南图尔盖盆地自此成为中亚油气勘探的新热点^[7].

国内外学者针对南图尔盖盆地油气成藏的基础要素进行了大量工作.南图尔盖盆地是一个以侏罗系-白垩系沉积为主的中生代裂谷盆地^[8],石巨业等对南图尔盖盆地侏罗系-白垩系层序发育特征及充填模式进行了研究,认为主要发育10个三级层序,沉积环境主要为三角洲-河流相^[9].断裂系统及构造特征对油气成藏具有重要的作用^[10],侏罗系砂岩的复杂成岩作用及孔隙演化对储层保存程度有重要的影响^[11],早中侏罗世的盆地伸展至晚侏罗世盆地压扭反转,再到白垩纪的剪切走滑作用对盆地油气成藏有着重要的影响^[12].宏观构造格局控制了油气的分布,多级断裂及不整合面形成了立体式油气运移通道^[13-16].综合来看前人工作主要针对油气成藏的基础地质条件,部分工作注意到了研究区开发存在的问题并针对储层岩石学特征进行了分析^[17-19],但研究工作忽视了储层敏感性研究^[20,21].为此,本文选取Aryskum坳陷中侏罗统多尚组储层岩样,在储层特征研究的基础上,开展储层敏感性评价研究,以期为该地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 区域地质概况

研究区位于南图尔盖盆地南部的阿雷斯库姆凹陷.盆地自西向东共发育4组断裂带:阿雷斯库姆断裂带、阿克沙布拉克断裂带、萨雷兰断裂带和鲍金根断裂带;平面上具有垒-堑相间的地质结构,包含四个地堑和三个地垒的裂谷格局^[6].盆地地层整体由前元古界-古生界基底和中新生界盖层两部分组成,其中基底部分由深变质岩的真正基底和浅变质岩部分的过渡基底组成.基底之上不整合接触碎屑沉积地层,现今油气发现主要集中于上部碎屑地层中.

中侏罗世Aryskum坳陷以断陷活动为主,构造上整体受基底控制,西高东低,断层继承性强.该时期在温暖、半干-半潮湿气候环境下,以湖相为主的欠补偿的断陷湖盆沉积为特点,发育两次湖侵,一是多尚组沉积晚期的初始湖泛,二是卡拉甘塞组沉积时期的大规模湖泛^[17].

南图尔盖盆地发育前中生代基底及不整合其上的沉积层:侏罗系裂谷层系、白垩系-第四系裂后坳陷沉积层系(图1).南图尔盖盆地基底在早古生代末期逐渐固结,中-晚古生代是海陆过渡沉积阶段,形成巨厚的碎屑岩-碳酸岩盐混合沉积层.晚三叠世-早侏罗世发生大规模构造碰撞造山运动,形成了卡拉套大断层及其次一级断层,同时地堑在这一阶段也经历了强烈的差异沉降,其沉降幅度在早侏罗世最大,在晚侏罗世逐渐降低.

早侏罗世-中侏罗世时期,研究区沉积环境已经转变为陆上湖泊沉积为主,基底隆起区为主要的沉积物源供给区,地堑侧缘发育粗粒砂砾岩河口相沉积的

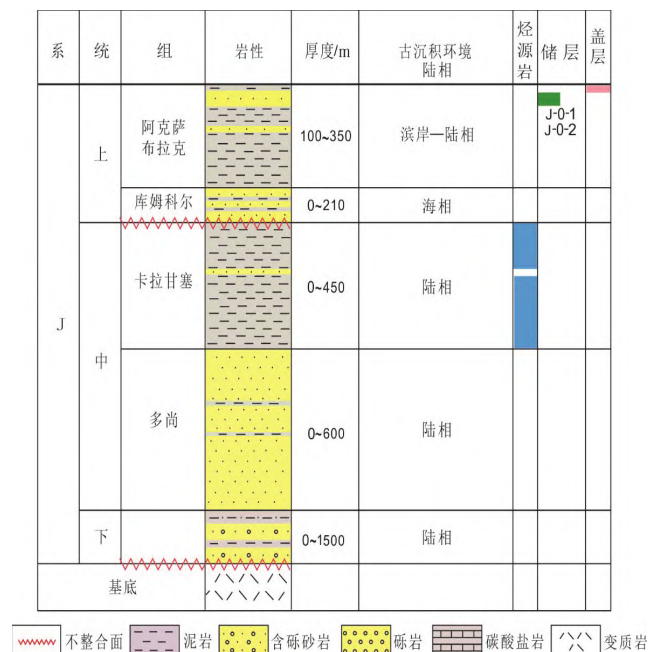


图1 研究区地层发育情况

Fig 1 Stratigraphic development in the study area

碎屑岩. 侏罗-白垩纪交接期结束裂谷沉积. 地堑停止强烈活动, 整个盆地转为缓慢坳陷, 并逐渐停止沉积, 有些地区遭受剥蚀, 形成白垩系底部砂岩, 即阿雷斯库姆层. 白垩纪-第三纪主要为河-湖及冲积相成因的砂泥岩互层. 在晚白垩世末期, 沿卡拉套大断层发生逆掩挤压. 在这种水平变形的影响下形成系列反转构造.

2 储层特征

目的层多尚组 (J₂ds) 沉积地层不整合覆盖于下部埃巴林组 (J₁p) 地层之上, 与上覆卡拉甘塞组 (J₂k) 整合接触. 岩性以细砂岩以及中砂岩较为发育, 而粗砂岩和砾岩含量较少, 从图2可以看出研究区主要发育石英-岩屑砂岩. 中细砂岩呈灰色、暗灰色, 少量呈淡灰色. 沉积构造以平行层理为主, 少量为波状层理, 由灰色和暗灰色砂和泥互层组成. 岩石组分以石英 (48%)、岩屑 (41%)、填隙物 (11%) 以及少量方解石和菱铁矿为主. 矿物成熟度相对较低, 颗粒间填隙物含量较高. 稳定组分石英以单晶为主, 磨圆为次棱角-次圆状, 有明显的次生加大作用 (图3 (a)). 岩屑主要以未分异的沉积碎屑和火山碎屑为主, 局部有压实、破碎和变形, 部分发生溶解和蚀变 (图3 (b)). 填隙物主要以杂基和胶结物为主. 杂基以泥质为主, 充填与碎屑颗粒之间, 对储层物性影响较大. 胶结物以亮晶方解石、微晶方解石及自生黏土矿物为主, 充填于粒间孔、粒内孔, 堵塞孔隙 (图3 (c)、图3 (d)).

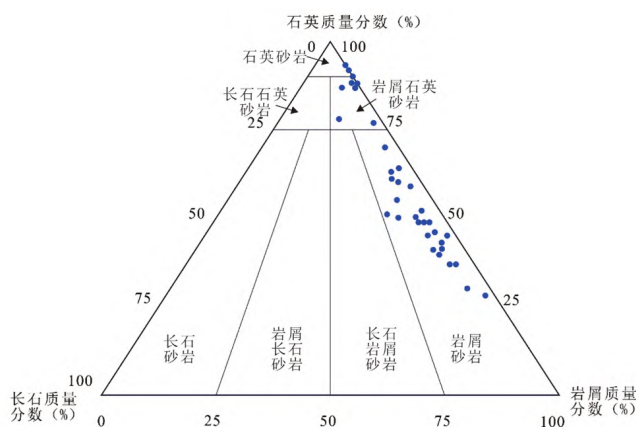


图 2 Aryskum坳陷中侏罗统多尚组碎屑岩三角形图版

Fig 2 The Aryskum depression triangular chart of clastic rocks of Middle Jurassic Duoshang formation

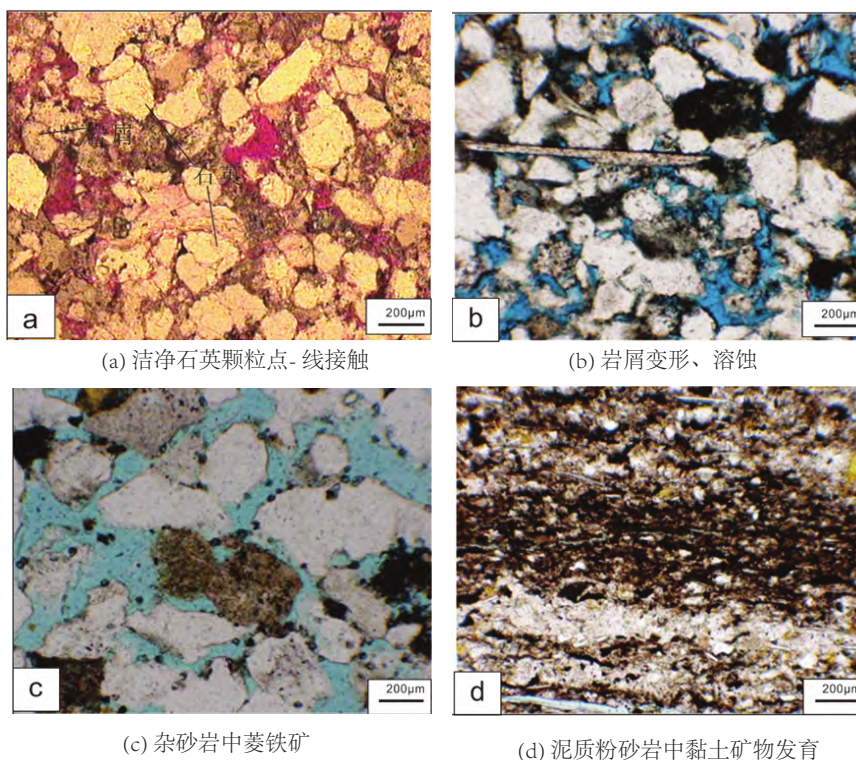


图 3 Aryskum坳陷中侏罗统多尚组储层岩石学特征
Fig 3 Petrological characteristics of J₂ds formation in Aryskum depression

根据地化资料, 对研究区进行成岩阶段的划分. 从表1可以看出, 研究区中侏罗统多尚组地层属于晚成岩A1期, 古地温分布范围为60 °C~ 110 °C, Ro为0.50%~0.7%, 粘土混层比为50%~35%, 埋藏深度为1 900 m~

2 750 m, 有机质低成熟; 岩石已发生胶结、压实作用, 自生石英加大, 长石和岩屑发生一定程度溶解, 形成次生孔隙带。

表 1 Aryskum 坳陷成岩阶段划分表

Tab 1 The Aryskum depression diagenetic stage division table

成岩阶段 划分方案	I/S混层黏土矿物 转化带	Ary-301			孔隙特征
		样品深度 范围 (m)	层位	Ro (%) Tmax (°C)	
早成岩	A 蒙脱石带 (S层 > 70%)			< 0.35 < 430	以原生孔隙为主, 基本无次生孔隙
	B 渐变带 (S层 70%~50%)	1 430~1 830	J ₃ km	< 0.5 < 435	以原生孔隙为主, 开始出现次生孔隙
晚成岩	A1 第一迅速转化带 (S层 50%~35%)	1 900~2 750	J ₂ kr-J ₂ ds	0.5~0.7 约440	次生孔隙大量发育,
	A2 第二迅速转化带 (S层 ±20%)	3 110~3 830	J ₁ ab-J ₁ bs	0.7~1.3 约460	形成次生孔隙带
	B 第三转化带 (S层 < 15%)			1.3~2 480左右	以少量次生孔隙和 裂缝为主
	C 混层消失带 (伊利石带)			2~4.5 500左右	孔隙基本消失, 以裂缝为主

3 储层敏感性评价

3.1 水敏性分析

对研究区储层开展水敏评价实验, 具体方法如下: 在评价实验过程中以标准盐水代替地层水, 其矿化度为 65 g/L; 剩余梯度矿化度, 按比例降低。未注入地层水前岩心样品孔隙度为 15.5%~21.7%, 平均为 18.3%; 空气渗透率为 1.31~184 mD。在岩心样品抽真空条件下, 将 7 种不同矿化度的模拟地层水按矿化度从高至低依次注入样品中, 并观察岩心渗透率的变化特征。这 7 种矿化度地层水为模拟地层水、3/4 模拟地层水、1/2 模拟地层水、1/4 模拟地层水、1/8 模拟地层水、1/16 模拟地层水及蒸馏水。实验结果表明: 研究区多尚组储层渗透率水敏损害程度较高, 损害率随着地层水矿化度由高到低逐渐减小, 分布范围为 31.5%~63.2%, 平均为 52.3% (图 4)。

研究区储层整体具有中等偏强水敏性, 储层中水敏性与黏土矿物含量较高有关。不同类型的黏土矿物遇到外来流体的膨胀能力存在着一定的差异性, 经前人多种测试分析认为常见黏土矿物膨胀能力由强到弱依次为: 蒙脱石-伊蒙混层和绿蒙混层-绿泥石-伊利石-高岭石^[22]。研究区多尚组黏土矿物组成相对含量以伊利石为主 (43%), 其次是高岭石 (24%), 伊蒙混层 (17%) 和绿泥石 (16%) 相对含量相对较低, 没有膨胀能力很强的蒙脱石黏土矿物。但是研究区多尚组存在一定量的伊蒙混层和绿泥石, 伊蒙混层中蒙脱石的膨胀性以及绿泥石的膨胀性也是不可忽视的。综上分析认为, 研究区储层中等偏强水敏性可能是相对较高含量的伊蒙混层矿物和绿泥石黏土矿物遇到外来流体发生膨胀和迁移而引起渗透率降低所致。

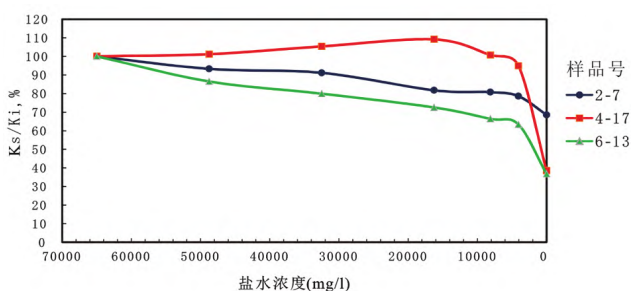


图 4 多尚组储层水敏实验曲线

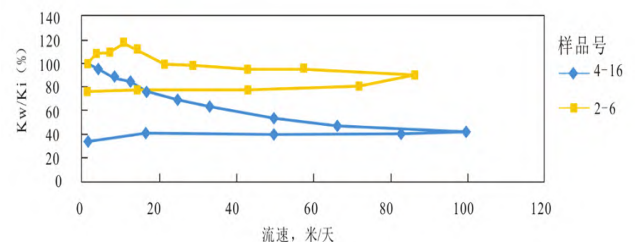
Fig 4 Water sensitivity test curve of J₂ds formation reservoir

图 5 多尚组储层速敏实验曲线

Fig 5 Velocity sensitivity test curve of J₂ds formation reservoir

3.2 速敏性分析

储层内部总是不同程度存在非常细小的微粒,如高岭石、石英、长石以及酸化后的细小微粒,这些微粒呈牢固或半牢固胶结,或者呈松散状分布于颗粒之间,当有外来流体流经储层时,这些矿物微粒会随着外来流体在储层孔隙或吼道中迁移,并且在孔隙喉道较小处发生堆积作用从而堵塞流体的流动,因此会在一定程度上引起储层渗透率的降低^[22]。

研究区多尚组地层埋藏深度大多在2 000米以上,多处于晚成岩作用早期(表1),岩石胶结作用较强,石英、长石等大颗粒矿物难以发生迁移,造岩颗粒呈点-线接触,孔隙以原生粒间孔、粒内溶孔为主。因此影响储层速敏性的主要因素还是黏土矿物的类型。未充注地层水前岩心样品孔隙度测试值域为13.4%~22.7%;测得空气渗透率为1.32~166 mD。实验结果表明:研究区储层速敏损害率为9.9%~57.7%,平均为52.3%。研究区侏罗系多尚组储层速敏感性为弱-中等偏强(图5)。

研究区储层速敏感性主要与储层中黏土矿物含量和种类有关。成岩胶结和压实强度影响储层中碎屑颗粒的固结程度,压实胶结程度弱,碎屑颗粒固结不强则容易随着流体迁移,形成速敏感性^[22]。本次实验选取侏罗系多尚组地层岩心,因为埋藏相对较深,成岩阶段属晚成岩A1-A2期,岩石固结较强,储层颗粒接触紧密,微小颗粒难以随地层水流动产生迁移(表1)。

前人研究发现储层速敏性与高岭石及绿泥石的相对含量呈正相关^[23,24]。绿泥石充填与石英及岩屑颗粒间的孔隙中(图6(a)),高岭石以鳞片状杂乱堆积于孔隙中,同时见小规模溶蚀。杂乱式堆积充填对骨架颗粒附着力较差,同时高岭石分子键能较低较易被流体牵引力所破坏,发生高岭石迁移^[8-10]。储层喉道半径为0.125~1.695 μm ,而电镜照片显示高岭石单晶体的最小半径为6 μm ,一般高岭石集合体的半径在10~20 μm (图6(b))。孔隙喉道易被高岭石迁移晶体堵塞,造成渗透率降低。而储层自生矿物中石英及长石一般以次生加大为主,单晶体几乎不出现(图6(c)),微孔隙发育,但连通性较差(图6(d))。因此自生矿物难以发生迁移堵塞。综上所述,由于受到了储层内速敏黏土矿物的影响,从而使研究区中侏罗统多尚组储层敏感性为弱-中等偏强。

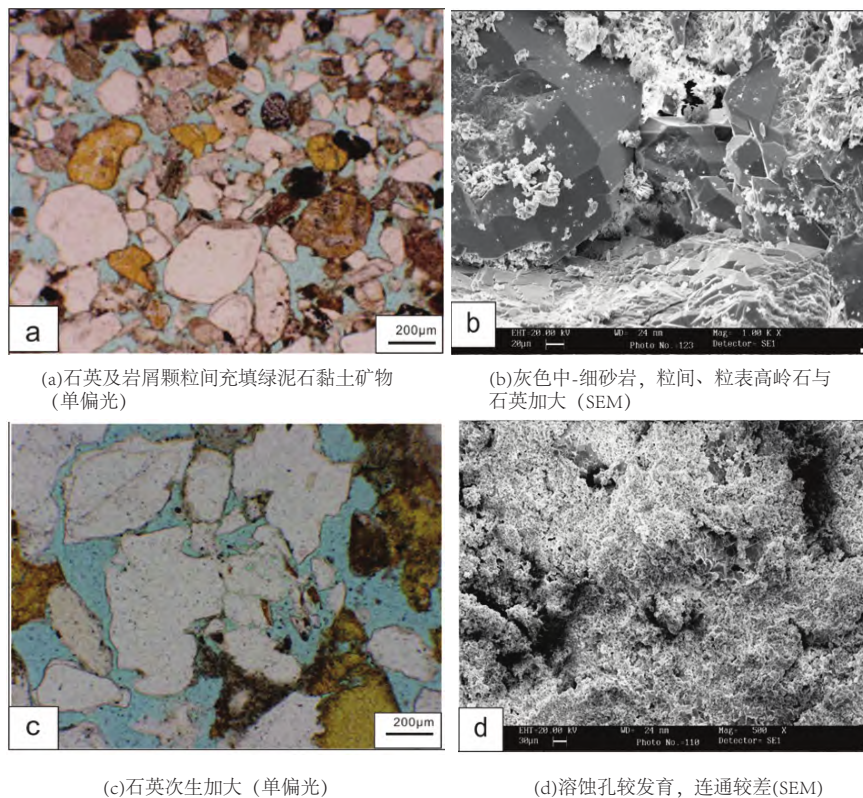


图6 Aryskum坳陷中侏罗统多尚组黏土矿物及石英颗粒次生加大特征

Fig 6 Secondary enlargement of clay minerals and quartz grains in J₂ds in Aryskum depression

3.3 碱敏性分析

当高pH值流体进入储层内会与黏土矿物及硅质矿物发生溶解作用,溶解作用强弱与流体碱性程度呈正比.高pH值流体会与黏土及硅质矿物反应生成新的硅酸盐沉淀物,同时高pH值流体中 OH^- 会与溶解的某些二价阳离子反应生成胶体或凝胶,沉淀物及凝胶产物会堵塞在孔隙喉道中,导致储层渗透率下降^[22].

对研究区储层进行碱敏评价实验(图7),按pH值高低依次注入6 500 mg/L的KCl、KCl与NaOH混合液,注入速度均为0.1 mL/min.未注入地层水前岩心样品孔隙度测试值域为15.8%~19.9%;测得空气渗透率范围为2.15~166 mD.实验结果表明:研究区储层碱敏损害率为1.6%~5.8%,平均为4.4%,研究区中侏罗统多尚组储层敏感性为无-弱,在储层中,高pH值的碱液对硅质矿物的选择性溶解能力较强,经分析,认为储层碱敏较轻的原因是储层中具有较少的硅质矿物.尽管实验显示研究区储层整体碱敏感性较弱,但在施工过程中还是要注意工作液的碱度选择,尽可能地保护储层.

3.4 酸敏性分析

酸敏感性是指当pH值较低的酸性溶液进入储层孔隙空间后,酸性溶液与储层中易溶矿物发生反应后生成的沉淀物堵塞孔隙喉道或破坏岩石原有结构,从而会加剧速敏感性,从而降低储层渗透率的现象^[22].取质量分数15%的HCl进行酸敏实验(表2).注入速度为0.2 mL/min,酸反应时间为1小时,压差为0.6 MPa.多尚组碎屑岩储层未充注地层水岩心样品孔隙度测试值域为19.3%~21.3%;空气渗透率为3.66~115 mD.实验结果表明:研究区储层酸敏损害率为-13%~25.4%,平均为4.5%,研究区中侏罗统多尚组储层酸敏感性为无-弱.

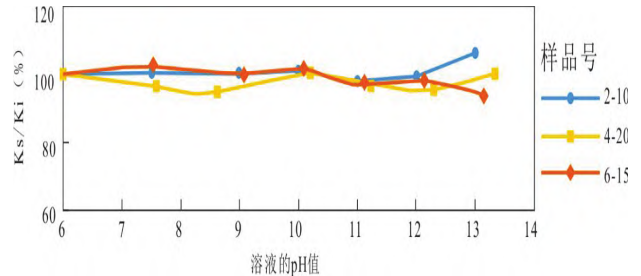


图7 多尚组储层碱敏实验曲线

Fig 7 Alkali sensitivity test curve of J₂ds formation reservoir

表2 酸敏实验结果

Tab 2 Results of acid sensitivity experiment

样品号	注入流体	流量 (mL · min ⁻¹)	压差 (MPa)	渗透率 (mD)	孔隙度 (%)	酸敏损失率 (%)
2~9号	KCl溶液	0.2	0.6	3.66	19.3	-13
4~18号	KCl溶液	0.2	0.6	78.3	20.6	1.5
6~14号	KCl溶液	0.2	0.6	115	21.3	25.4

由于储层酸敏感性主要与储层中的绿泥石、伊蒙混层有直接关系,损害率与其含量呈正相关^[25].而研究区中侏罗统多尚组储层黏土矿物中绿泥石及伊蒙混层相对含量较低,所以整体储层酸敏感性较弱.另外,酸敏感性实验中一个样品出现酸化后渗透率改善的情况,分析认为该储层样品中相对高的方解石及白云石含量是造成这一现象的直接原因.方解石及白云石被盐酸溶解产生新的流体渗流通道,增大了储层渗透率.

综上所述,多尚组储层水敏性、速敏性、碱敏性和酸敏性评价结果和其影响因素如表3.

表3 Arysium坳陷中侏罗统多尚组储层敏性评价结果

Tab 3 Reservoir sensitivity evaluation results of J₂ds formation in Arysium depression

多尚组敏感性	水敏	速敏	碱敏	酸敏
强度	中等偏强	弱-中等	无-弱敏	弱
影响因素	伊蒙混层和绿泥石含量	高岭石含量及孔喉结构	硅质矿物含量少	方解石和白云石充填

4 结论

- (1) 侏罗统多尚组储层具有中等偏强水敏感性、弱-中等偏强速敏感性、无-弱碱敏性及弱酸敏性;
- (2) 伊蒙混层和绿泥石相对高含量是造成储层中等偏强水敏感性的直接原因;高岭石含量及孔喉结构决定了储层弱-中等偏强速敏感性;
- (3) 储层酸碱敏感性较弱,另外部分高方解石及白云石充填储层酸化改善效果明显.

参考文献:

- [1] 张立强,李波. 东营凹陷沙河街组不同砂体类型储层敏感性[J]. 大庆石油地质与开发, 2011(5): 30-35.
ZHANG L Q, LI B. Sensitivity on different sandbody types of the reservoirs in Shahejie Formation of Dongying Sag[J]. Petroleum Geology Oilfield Development in Daqing, 2011(5): 30-35. (in Chinese)
- [2] 李勇,王延斌,孟尚志,等. 煤系非常规天然气合采地质基础理论进展及展望[J]. 煤炭学报, 2020, 45(4): 1406-1418.
LI Y, WANG Y B, MENG S Z, et al. Theoretical basis and prospect of coal measure unconventional natural gas coproduction[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(4): 1406-1418. (in Chinese)
- [3] 党犇,赵虹,康晓燕,等. 鄂尔多斯盆地陕北斜坡中部延长组深部层系特低渗储层敏感性微观机理[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(3): 1100-1107.
DANG B, ZHAO H, KANG X Y, et al. Microscopic mechanism of ultra-low permeability reservoir sensitivity in deep strata of Yanchang Formation in the middle of northern Shaanxi slope, Ordos Basin[J]. Journal of Central South University(Natural Science Edition), 2013, 44(3): 1100-1107. (in Chinese)
- [4] 刘遥. 新欢27断块注水困难机理及对策研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2010.
LIU Y. Mechanisms and countermeasures study in terms of difficulties of water injection in Xinhuan 27 block[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2010. (in Chinese)
- [5] 任大忠,张晖,周然,等. 塔里木盆地克深地区巴什基奇克组致密砂岩储层敏感性研究[J]. 岩性油气藏, 2018, 30(6): 30-39.
REN D Z, ZHANG H, ZHOU R, et al. Sensitivity of tight sandstone reservoirs of Bashkikiqe Formation in Keshen area, Tarim Basin[J]. Lithologic Reservoir, 2018, 30(6): 30-39. (in Chinese)
- [6] 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, 32(2): 94-99.
DUAN C J, WEI X G, LI X D, et al. Reservoir sensitivity of deep high pressure and low permeability sandstone reservoirs[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(2): 94-99. (in Chinese)
- [7] 王东旭. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地南肯尼斯油田油气分布特征及成藏主控因素[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
WANG D X. Oil and gas distribution characteristics and main controlling factors of reservoir formation in South Kenneth Oilfield, South Turgai Basin, Kazakhstan[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2014. (in Chinese)
- [8] MOSELEY B A, TSIMMER V A. Evolution and hydrocarbon habitat of the South Turgai Basin, Kazakhstan[J]. Petroleum Geoscience, 2000, 6(2): 125-136.
- [9] 石巨业,金之钧,樊太亮,等. 南图尔盖盆地Aryskum坳陷北部层序发育特征及充填演化模式[J]. 地质科技情报, 2016, 35(6): 70-76+89.
SHI J Y, JIN Z J, FAN T L, et al. Sequence stratigraphy characteristics and filling evolution models in the north of Aryskum depression, South Turgai Basin[J]. Geological Science and Technology information, 2016, 35(6): 70-76+89. (in Chinese)
- [10] 王有宁,孙永河,尹继全,等. 南图尔盖盆地卡拉套断裂体系变形特征[J]. 断块油气田, 2019, 26(4): 421-425.
WANG Y N, SUN Y H, YIN J Q. Deformation characteristics of Karatau strike-slip fault in South Turgai Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2019, 26(4): 421-425. (in Chinese)
- [11] LIANG H W, ZHAO X Q, ZHAO L, et al. Braided river sandstone reservoir characterization in kumkol South Oilfield, South Turgai Basin[J]. Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 2018, 47 (4): 831-838.
- [12] 陈科贵,刘思序,王兆峰,等. 基于曲线重构的缝洞型碳酸盐岩储层测井识别研究:以南图尔盖盆地Karabulak油田Pz层为例[J]. 地球科学进展, 2018, 33(11): 1154-1160.
CHEN K G, LIU S X, WANG Z F, et al. A logging identification method for fractured vuggy carbonate reservoirs based on curve reconstructi[J]. Advances in Earth Science, 2018, 33(11): 1154-1160. (in Chinese)
- [13] 孔祥宇,殷进垠,张发强. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地油气地质特征及勘探潜力分析[J]. 岩性油气藏, 2016, 19(3): 48-53.
KONG X Y, YIN G Y, ZHANG F Q. Petroleum geological characteristics and exploration potential of South Turgai Basin, Kazakhstan[J]. Lithologic Reservoir, 2016, 19(3): 48-53. (in Chinese)
- [14] 尹微,张明军,孔令洪. 哈萨克斯坦南土尔盖盆地A区块岩性油气藏[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(5): 570-575.
YIN W, ZHANG M J, KONG L H. Lithologic reservoirs in block A of South Turgai Basin, Kazakhstan[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(5): 570-575. (in Chinese)
- [15] 杨永亮. 南图尔盖盆地基底特征及基岩成藏模式[J]. 海相油气地质, 2016, 21(4): 43-50.

- YANG Y L. Basement characteristics and reservoir-forming model of bedrock in South Turgai Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2016, 21(4): 43-50. (in Chinese)
- [16] 田作基, 徐志强, 郑俊章, 等. 图尔盖盆地阿雷斯库姆坳陷石油地质特征和成藏模式[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(1): 107-109.
TIAN Z J, XU Z Q, ZHENG J Z, et al. Petroleum geological characteristics and reservoir formation model of Alekom Depression in Turgai Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(1): 107-109. (in Chinese)
- [17] 张朝富, 陈安定, 蒲玉娥, 等. 南图尔盖盆地阿雷斯库姆坳陷构造动力学分析[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(1): 127-129.
ZHANG C F, CHEN A D, PU Y E, et al. Structural dynamics analysis of Arysium depression in South Turgay Basin of Kazakhstan[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(1): 127-129. (in Chinese)
- [18] 代寒松, 洪亮, 张明军, 等. 南图尔盖盆地Arysium坳陷中段构造特征及其对侏罗系油气的控制作用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2013, 15(1): 35-39.
DAI H S, HONG L, ZHANG M J, et al. Structural characteristics of the middle section of Arysium Depression in South Turgai Basin and its control on Jurassic hydrocarbons[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2013, 15(1): 35-39. (in Chinese)
- [19] 王树慧, 吴少波, 蔡芳, 等. 南图尔盖盆地Kumkol油田上侏罗统库姆科尔组沉积相研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2012, 27(3): 15-20.
WANG S H, WU S B, CAI F, et al. Sedimentary facies of Upper Jurassic Kumkol formation in Kumkol Oilfield, South Turgai Basin[J]. Journal of Xi'an Petroleum University(Natural Science Edition), 2012, 27(3): 15-20. (in Chinese)
- [20] 何晓松, 王立, 毛德民, 等. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地的扇体识别技术[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(s1): 84-89+167.
HE X S, WANG L, MAO D M, et al. Fan recognition technology in South Turgai Basin, Kazakhstan[J]. Petroleum Geophysical Exploration, 2009, 44(s1): 84-89+167. (in Chinese)
- [21] 卢欢, 王清斌, 杜晓峰, 等. 低渗透储层类型划分及储层敏感性主控因素-以渤海海域古近系为例[J]. 石油学报, 2019, 40(11): 1331-1345,1367.
LU H, WANG Q B, DU X F, et al. Low-permeability reservoir types classification and reservoir sensitivity controlling factors: a case study of Paleogene in Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(11): 1331-1345+1367. (in Chinese)
- [22] 高金玉, 赵伯宇, 张元福, 等. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地层序地层模式[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(3): 27-30.
GAO J Y, ZHAO B Y, ZHANG Y F, et al. Sequence stratigraphic model of South Turgai Basin in Kazakhstan[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(3): 27-30. (in Chinese)
- [23] 周娇. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地J1-K1层序地层与沉积演化[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
ZHOU J. Sequence stratigraphy and sedimentary evolution of J1-K1 in South Turgay Basin, Kazakhstan[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2014. (in Chinese)
- [24] 司继伟, 马宏斗. 哈萨克斯坦阿雷斯库姆坳陷K区块地层层序划分[J]. 天然气技术与经济, 2015, 9(3): 14-17+77.
SI J W, MA H D. Stratigraphic sequence division of K block in Alekom depression, Kazakhstan[J]. Natural Gas Technology and Economy, 2015, 9(3): 14-17+77. (in Chinese)
- [25] 冉怀江. 南图尔盖盆地萨雷布拉克地区侏罗系沉积层序及地层不整合圈闭[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(2): 6-12.
RAN H J. Jurassic sedimentary sequences and stratigraphic unconformity traps in Salebrackarea, South TurgayBasin[J]. Lithologic Reservoir, 2015, 27(2): 6-12. (in Chinese)

责任编辑: 赵新科