

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.02.015

准噶尔盆地石西油田石南 4 井区侏罗系头屯河组 储层特征及有利区展望

邹阳¹, 韦盼云², 朱涛¹, 冯右伦¹, 倪倩³, 汪孝敬¹, 于江龙¹

(1. 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 2. 中国石油新疆油田公司重油开发公司, 新疆 克拉玛依 834000; 3. 湖北省地质局地球物理勘探大队, 湖北 武汉 430000)

摘 要:石西油田石南 4 井区侏罗系头屯河组为辫状河三角洲沉积背景, 自下而上是湖平面先下降后快速上升的沉积序列, 形成一套陆源碎屑岩。底部以中砂岩和泥岩为主, 中部以粗、中砂岩相占绝对优势, 顶部为厚层块状泥岩。基于岩石薄片、铸体薄片、扫描电镜、X 衍射等资料, 首次对研究区储层的岩矿特征、孔隙结构以及物性特征进行详细研究。结果表明, 头屯河组储集层岩矿类型以岩屑砂岩为主, 其中胶结物以碳酸盐胶结为主, 胶结类型以孔隙式胶结为主, 杂基以泥质为主; 黏土矿物以高岭石居多, 高岭石、绿泥石含量与储层孔隙度有良好正相关性, 储层具中偏强碱敏性和中等水敏性特征; 储层孔隙类型有原生和次生孔隙 2 类, 原生孔隙以常与石英、绿泥石矿物相伴生的粒间孔隙为主, 次生孔隙以多同长石、高岭石矿物相共生的粒间溶孔为主, 储集层属中孔低渗储层。基于储层特征及沉积微相主控因素, 将头屯河组储层分为 I 类优质、II 类储层, 同时对研究区进行了储层有利区预测与潜力区识别, 该潜力区可作为石南 4 井区后续滚动开发的重点区域。

关键词:石南 4 井区; 侏罗系; 头屯河组; 储层特征; 潜力区识别

中图分类号: TE122

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)02-0235-09

The Reservoir Characteristics and Favorable Zone Prospect of the Jurassic Toutunhe formation in WellBlock Shinan—4, Shixi Oilfield, Junggar Basin

ZOU Yang¹, WEI Panyun², ZHU Tao¹, FENG Youlun¹, NI Qian³, WANG Xiaojing¹, YU Jianglong¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, Xinjiang, China; 2. Heavy Oil Development Company, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, Xinjiang, China; 3. The Geophysical Prospecting Unit of Hubei Geological Bureau, Wuhan 430000, Hubei, China)

Abstract: The Jurassic Toutunhe formation in WellBlock Shinan-4 of Shixi Oilfield is the braid-like sedimentary river delta. From the bottom to the top, the sedimentary sequence is lake level first descending and then quickly rising, thus formed a set of terrigenous clastic rocks. Middle sandstone and mudstone are dominant at the bottom, coarse and medium sandstone facies in the middle, and thick massive mudstone at the top. Through analyzing the data of rock slice, cast

收稿日期: 2019-08-04; 修回日期: 2019-11-25

基金项目: 国家科技重大专项“准噶尔盆地岩性地层油气藏富集规律与目标评价”(2017ZX05001-004), 中国石油天然气集团公司新疆重大科技专项“准噶尔盆地油藏富集规律及勘探技术研究与应用”(2017E-0401)

作者简介: 邹阳(1988-), 男, 湖北荆州, 硕士, 工程师, 从事沉积储层方向的研究工作。E-mail: zou520yang@163.com

thin section, scanning electron microscope and X diffraction, this paper studies in detail the characteristics of rock and ore, pore structure and physical properties of the reservoir in the study area. The results show that the rock types of reservoir in Toutunhe formation are mainly lithic sandstone. The cementation is mainly carbonate cementation, and the main type of cementation is porous cementation. The hetero-group is mainly argillaceous. The clay minerals are mostly kaolinite, and the contents of kaolinite and chlorite are positively correlated with reservoir porosity. The reservoir has the characteristics of strong alkali sensitivity and moderately water sensitivity. The types of reservoirs are primary pore and secondary pore. The primary pore is mainly intergranular pore associated with quartz and chlorite minerals; the secondary pore is mainly intergranular solution pore associated with feldspar and high-collar minerals. The reservoirs belong to medium porosity and low permeability reservoirs. Based on the reservoir characteristics and main controlling factors of sedimentary microfacies, the reservoir sand bodies of Toutunhe Formation is divided into high quality reservoir type I and reservoir type II. At the same time this paper predicts the favorable reservoir areas and identifies the favorable potential areas. The potential areas can be the key areas in the follow-up progressive development of WellBlock Shinan-4.

Keywords: WellBlock Shinan-4; Jurassic; toutunhe formation; reservoir characteristics; potential area identification

石西油田是一座现代化沙漠整装油气田,近年来随着勘探节奏的加快以及开发的不断深化,作为石西油田增储上产主力区块的石南4井区备受人们关注。同时,国内外学者对其沉积成岩背景、储层宏观特征、成藏模式也进行了相关的探讨(邹姐姐等,2016;伏爽,2018;刘文锋等,2015;季敏等,2009;欧阳可悦,2012)。对于该区储层方面的研究仅限于宏观相带及其平面的展布,也有学者针对储层品质的控制因素做过简要探讨,认为石南地区头屯河组储层品质受构造控制。但是针对储层特征(宏观、微观以及主控因素)的系统研究尚不深入,制约了下一步有利开发区的优选。尤其近几年伴随着石西油田石南4井区多年来持续开发,含水率不断上升,扩边井不断加密,反应出储层品质可能受到其他因素影响。因此,厘清有利储层主控因素,刻画该区有利储层平面分布,进行合理布井,加快勘探开发刻不容缓。笔者在前人研究基础上,结合新钻井取心分析资料及高精度三维地震资料,系统针对储层微观结构及影响因素进行论述,明确储层品质主控因素以及储层宏观分布规律,并对有利区分布范围进行合理预测,同时简要分析潜力区有利地质条件,以期对石南4井区后期的井位论证及其部署、储集层评价以及开发方式的选择提供依据。

石南4井区位于准噶尔盆地腹部夏盐凸起东南

部,南以三南凹陷为界(图1),面积约为41 km²,整体构造格局为一南倾单斜,地层倾角小于3°。研究区在燕山运动早中期形成一组北东—南西向贯穿整个侏罗系的断裂体系,断裂对侏罗系油藏控藏作用不明显(况军等,1991;欧阳可悦等,2012)。准噶尔盆地二叠系下乌尔禾组、风城组优质烃源岩所生成的高成熟油气通过断裂垂向运移、不整合面横向疏导在研究区头屯河组聚集成藏,以岩性油气藏为主,具有广阔的勘探开发前景(刘文峰等,2015;陈世加

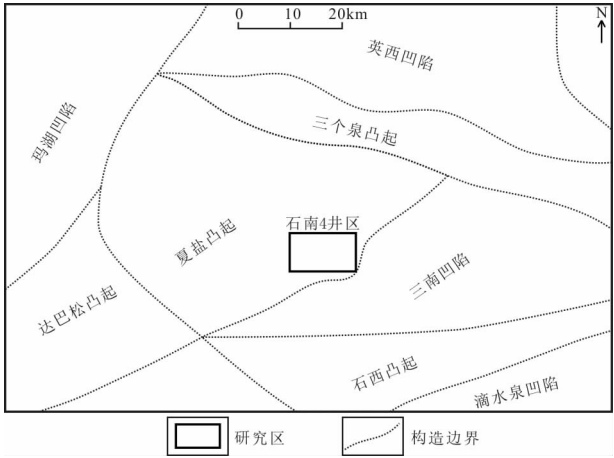


图1 石南4井区区域位置及构造划分图

Fig.1 The regional location and tectonic division map of Well block Shinan-4

等,2010)。研究区内钻遇头屯河组各类井一共 201 口,取心井占 9 口,丰富的岩心、分析化验资料为储集层研究提供了资料基础。

1 地质概况

石南 4 井区头屯河组自下而上可分为 J_2t_1 、 J_2t_2 、 J_2t_3 三段(图 2),头屯河组底界与下伏地层西山窑组泥岩突变接触,顶界与白垩系清水河组粗砂岩成不整合接触,为区域性不整合接触面。 J_2t_1 、 J_2t_2 是含油层位, J_2t_1 储层分布在中下部,岩性以灰色中砂岩为主,中上部发育厚层灰绿色泥岩; J_2t_2 储层砂体较 J_2t_1 粒度粗厚度大,灰色厚层块状粗、中砂岩占绝对优势,局部见含砾粗砂岩,顶部沉积灰绿色泥岩;而 J_2t_3 沉积物主要是深灰色厚层泥岩夹少许薄层泥质粉砂岩。总体上头屯河组从下而上表现为湖平面先有所下降后快速上升的沉积序列。

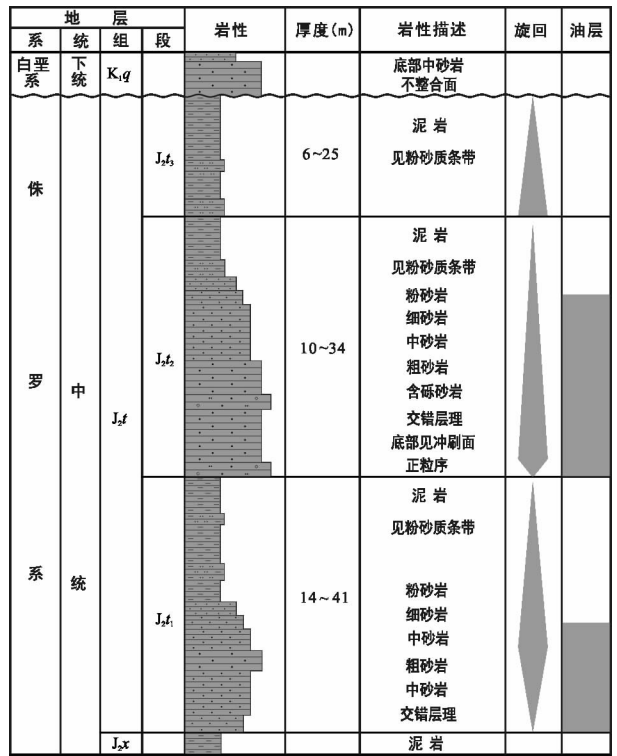


图 2 研究区头屯河组地层划分图

Fig. 2 Stratigraphic division of Toutunhe formation in the study area

通过对研究区 9 口取心井的岩心观察以及测录井等资料的分析研究,同时参考前人对石南地区沉

积相领域的研究成果(邹姐姐等,2016),划分出了石南 4 井区头屯河组辫状河三角洲-湖泊沉积体系,可识别三角洲前缘和前三角洲 2 种亚相,以及水下分支河道、河口砂坝、远砂坝、席状砂、浅湖砂坝等 7 种微相。

2 储层特征

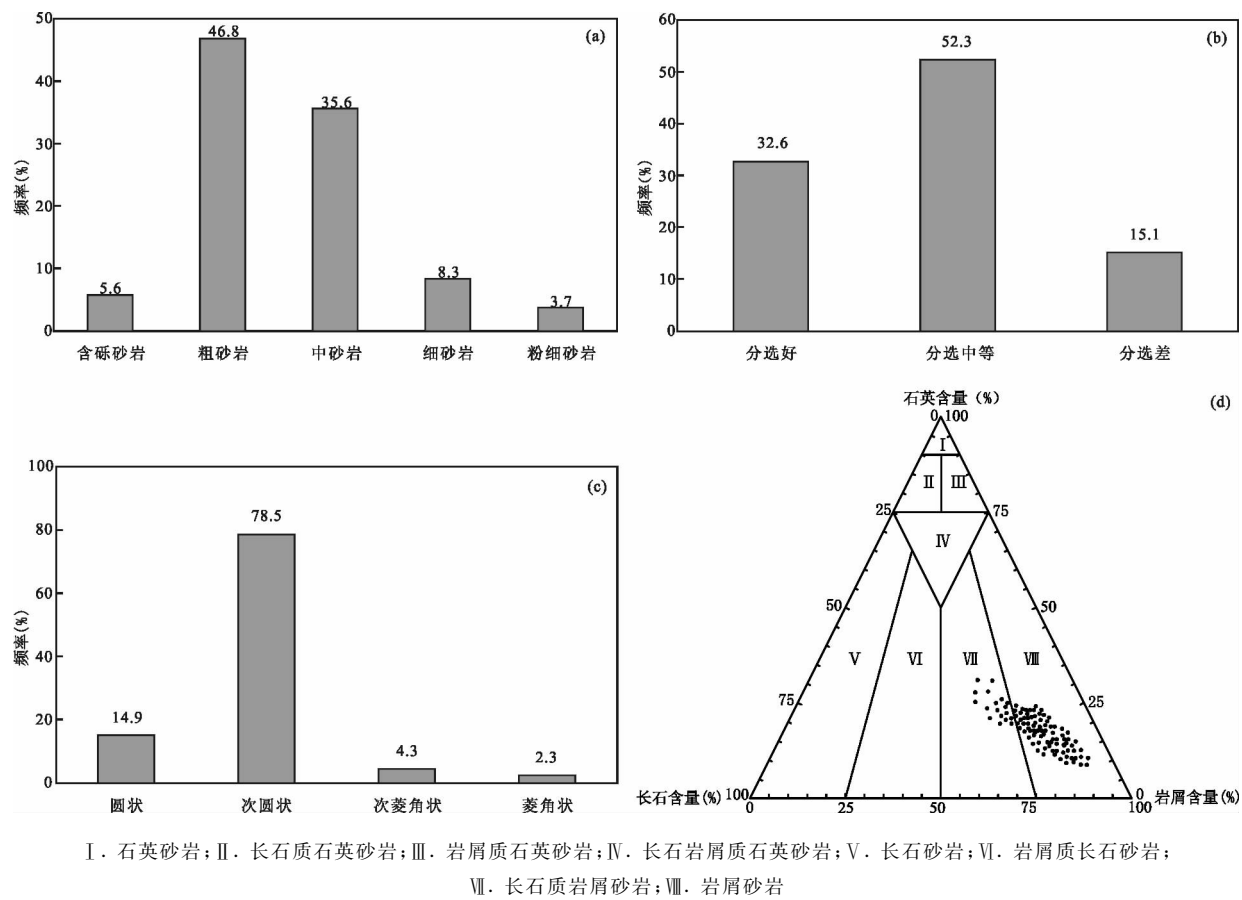
2.1 储层岩矿特征

基于石南 4 井区 166 块镜下岩石样品统计、观察,可知粗、中砂岩是头屯河组储集层主要岩性,合占总量的 82.4%(图 3a),细砂岩、含砾粗砂岩和粉砂岩次之,分选中等(图 3b)。对岩心和铸体薄片观察得出储层砂岩颗粒多呈次圆角状(占 78.5%)(图 3c),颗粒之间多以反映成岩压实作用较强的线接触为主。结合 X 衍射全岩定量分析发现,头屯河组储层中以凝灰岩为代表的中酸性火山岩屑含量较高。因此,岩屑砂岩是头屯河组储集层主要岩石类型,长石质岩屑砂岩次之(图 3d)。其中岩屑含量为 38.4%~59.8%,平均为 52.4%;石英含量为 12.8%~39.6%,平均为 25.9%;长石含量为 11.9%~33.6%,平均为 20.9%,岩石成分成熟度指标[石英/(长石+岩屑)]为 0.35。扫描电镜结果显示碳酸盐胶结物在填隙物中较为发育,硅质胶结次之,而胶结类型以反映水动力能力较强的孔隙式胶结为主;杂基以泥质为主,成分以高岭石为主。总体上头屯河组储层砂体表现为成分成熟度较低,结构成熟度中等,符合辫状河三角洲近物源沉积。

2.2 储层黏土矿物特征及敏感性分析

黏土矿物是储层砂体中重要的填隙物,其存在形态以及形成机理对储层孔隙度和渗透率有至关重要的作用(周桦等,2012;TAYLOR T R et al.,2010;蒋裕强等,2013;KANG X et al.,2017)。根据石南 4 井区 53 块岩石样品的 X 衍射资料统计,头屯河组储层中黏土矿物所占全岩比重的 3.6%~10.3%,以高岭石居多,相对含量为 48.52%;次之为伊蒙混层,相对含量为 19.39%。伊利石和绿泥石的相对含量分别为 18.58%和 13.21%(表 1)。

通过对全岩分析和扫描电镜资料研究,认为头屯河组岩石组分中凝灰岩岩屑、长石所占比重较高,在成岩过程中不断受酸性孔隙流体溶蚀,最终转变成大量高岭石,其形态呈蠕虫状、散片状,产状为充填式(图 4a)。绿泥石通常呈叶片状,在颗粒周围容



I. 石英砂岩; II. 长石质石英砂岩; III. 岩屑质石英砂岩; IV. 长石岩屑质石英砂岩; V. 长石砂岩; VI. 岩屑质长石砂岩; VII. 长石质岩屑砂岩; VIII. 岩屑砂岩

图 3 石南 4 井区头屯河组岩矿特征图

Fig. 3 The rock characteristics in Toutunhe formation , Well block Shinan-4

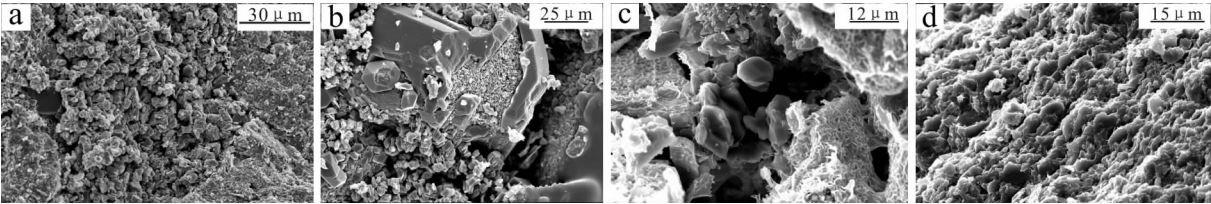
表 1 石南 4 井区头屯河组黏土矿物相对含量表

Tab. 1 The relative content of clay minerals in Toutunhe formation, WellBlock Shinan-4

层位	含量	矿物百分含量(%)				样品数(块)
		伊利石	伊蒙混层	高岭石	绿泥石	
头屯河组	min	4. 2	6. 3	10. 9	3. 9	53
	max	44. 5	48. 9	78. 5	26. 8	
	ver	18. 58	19. 39	48. 52	13. 21	

易形成包膜体,可以保护孔隙受到损伤(图 4b)。据统计黏土矿物中高岭石含量、绿泥石含量与储层孔隙度有良好正相关性(图 5a、图 5b)。其原因为高岭石主要集中发育在水下分支河道微相中,水下主河道分选淘洗作用强,为储层中期成岩作用提供了良好的渗流条件,便于孔隙流体的流动,从而在成岩过程中有助于高岭石大量的形成;而绿泥石发育区往往刚性石英颗粒含量高,石英颗粒抗压实能力较强,因此储层砂体在沉积压实过程中保留更多有效孔隙,沉积相带上主要位于水下分支河道微相。数据

统计显示伊蒙混层、伊利石含量与储层孔隙度呈负相关性(图 5c、图 5d)。其原因为:①伊蒙混层和伊利石发育区常伴随着塑性泥质岩屑集中分布,沉积相带上主要分布在席状砂、远砂坝和浅湖砂坝微相中,淘洗作用相对较差,抗压实能力差的泥质岩屑含量高。因此,储层砂体在沉积过程中较难保存有效孔隙。②伊蒙混层呈不规则片状、似蜂巢状(图 4c),往往容易破碎从而堵塞孔隙,使储层物性变差,而伊利石呈棉絮状产于粒间孔隙中,容易将孔隙切割成细小的孔隙,降低储层物性(图 4d)。



a. 石南 4 井, 2 563.5 m, J_2t_2 , 蠕虫状高岭石, 孔隙发育, 连通性一般; b. 基 001 井, 2 572.6 m, J_2t_2 , 石英次生加大与叶片状绿泥石, 孔隙发育, 连通性一般; c. SN2238 井, 2 594.1 m, J_2t_1 , 自生石英与不规则片状伊蒙混层矿物, 孔隙不发育, 连通性差; d. 基 006 井, 2 559.7 m, J_2t_2 , 弯曲棉絮状伊利石, 孔隙不发育, 连通性差

图 4 石南 4 井区头屯河组扫描电镜下黏土矿物特征图

Fig. 4 The characteristics of clay minerals under scanning electron microscope of the Jurassic Toutunhe formation, Well block Shinan-4

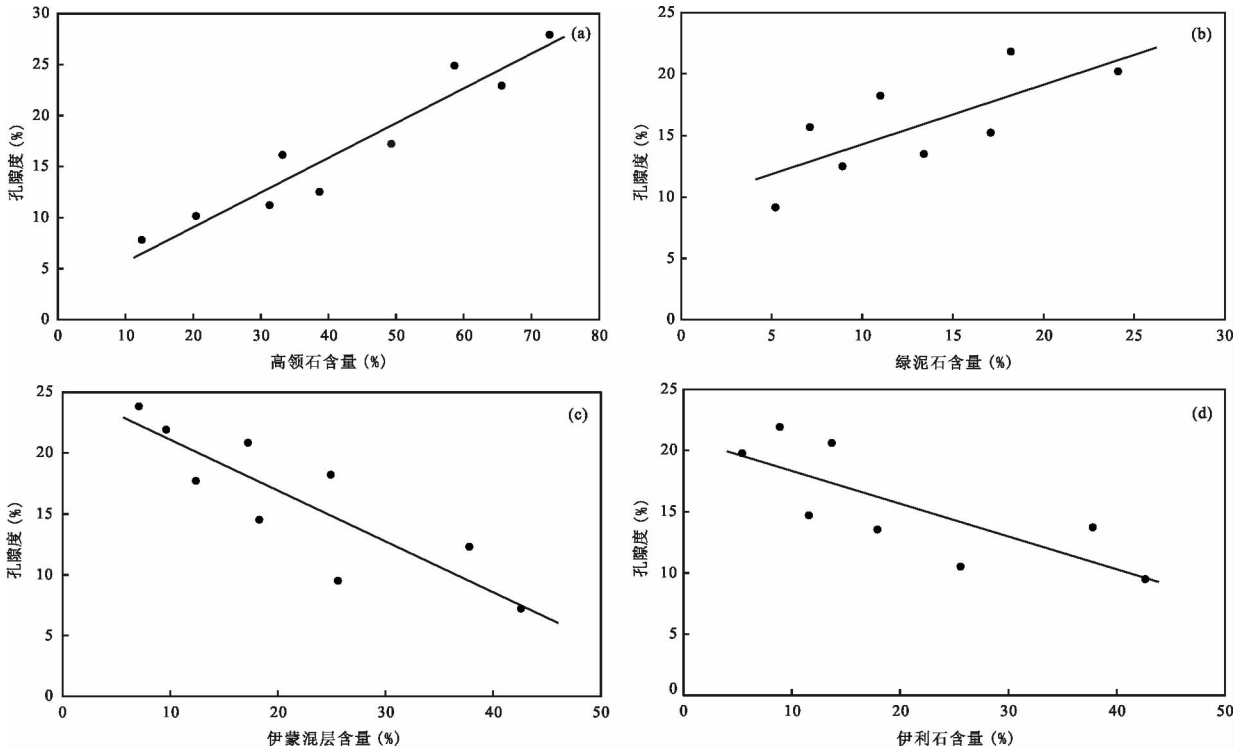


图 5 石南 4 井区头屯河组黏土矿物与孔隙度关系图

Fig. 5 Relation diagram between clay minerals and porosity of the Toutunhe formation, Well block Shinan-4

在人为因素的干扰下,外界流体进入储集层中,部分黏土矿物与外界流体发生物理或化学反应,导致黏土矿物迅速膨胀、快速运移或产生不溶物,从而破坏了原始平衡环境,导致吼道堵塞,储层连通性受到损伤,渗透率下降,这种现象即为敏感性(李阳等, 2017; 李云等, 2014; 彭仕宓等, 2006)。

基于对石南 4 井区 64 块岩石样品的敏感性实验研究,分别计算了速敏、水敏、盐敏、酸敏和碱敏实验中储层渗透率的损失率,结果表明,头屯河组储层具中偏强碱敏性和中等水敏性特征。其机理为石南

地区高岭石是碱敏矿物,当其在储层中遇到碱性介质后变得不再稳定,容易向蒙脱石大量转换,而蒙脱石具有膨胀能力极强的特性,这种特性易导致储层吼道变得细小甚至堵塞,从而降低储层渗透率;伊蒙混层和伊利石是水敏矿物,常呈片状、蜂窝状和棉絮状,当不同于地层水特定矿化度的外来流体进入储层中,伊蒙混层和伊利石独特产状使得其与流体接触面积更大,易发生大面积膨胀、水化和迁移,引起堵塞吼道,伤害储层渗透率。因此,研究区在后续开发及生产过程中需严格控制注入储层工作液的 pH

值以及矿化度,从而减少对储层造成的损伤。

2.3 储层物性特征

孔、渗的大小以及相互关系直接影响储集层物性的好坏(郭旭等,2014)。对研究区内头屯河组大量的孔、渗样品进行统计分析(图 6),储集层有效孔

隙度主要集中在 6.1%~35.9%,平均为 16.23%;渗透率为 0.101~411 mD,平均为 5.94 mD。另外,研究区储集层孔、渗相互关系图显示渗透率随孔隙度增大而增大(图 7)。总体上头屯河组储集层属于中孔低渗储层。

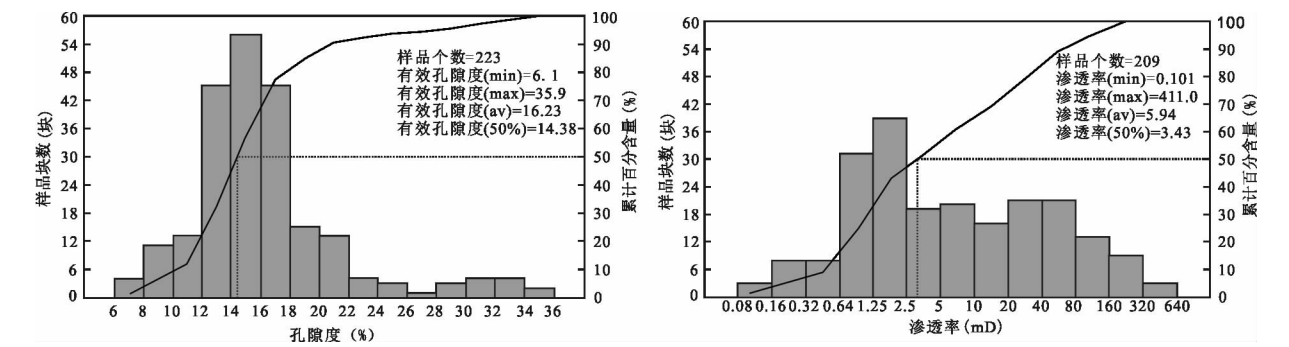


图 6 石南 4 井区头屯河组储层孔隙度、渗透率直方图

Fig. 6 Histogram of reservoir & porosity of the Toutunhe formation, Well block Shinan-4

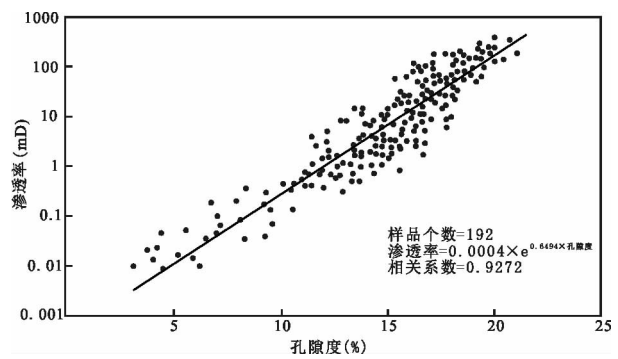


图 7 石南 4 井区头屯河组孔隙度与渗透率关系图

Fig. 7 Relationship between permeability & porosity of the Toutunhe formation, Well block Shinan-4

储层砂体孔渗特征与沉积微相是紧密联系的。沉积微相制约着砂体物性的好坏,表现为粒度越粗、分选磨圆越好,储层物性越好含油级别越高(旷红伟等,2008)。通过对头屯河组储层物性与沉积相综合分析认为:①水下分支河道以及河口砂坝微相砂体长期受高能水流的牵引和淘洗作用,砂体更为纯净,粒度较粗分选好,沉积压实过程中骨架颗粒抗压能力强,原生孔隙保留多,成岩过程中砂体良好的渗流能力为溶蚀孔隙形成提供了有利条件,因此,这种砂体所构建的储集体属于优质储层。②席状砂、远砂坝和浅湖砂坝砂体形成在河口砂坝优质砂体远端,沉积时期水流牵引和顶托作用较弱,从而砂体杂基含量较高、粒度较细,经过沉积压实和成岩作用后

砂体所保留有效孔隙度较小,不易形成优质储层。③支流间湾和浅湖-前三角洲以泥岩沉积为主,属于非储层(图 8)。

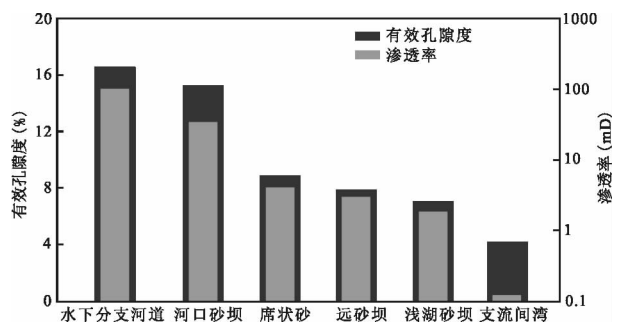


图 8 头屯河组沉积微相与物性关系图

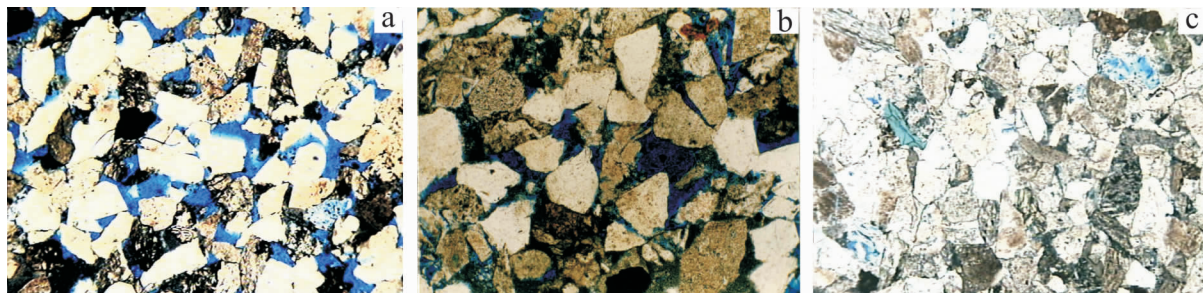
Fig. 8 Relation diagram of sedimentary microfacies and physical properties of Toutunhe formation

2.4 储层孔隙结构特征

储层孔隙结构由孔隙大小、形状、连通性构成,这些微观因素制约着储层物性(吴小斌等,2011)。基于对石南 4 井区 93 块铸体薄片观察,头屯河组储层孔隙类型有原生和次生孔隙 2 类。原生孔隙以粒间孔隙为主,此类粒间孔是经过沉积压实缩小和石英、长石次生加大作用后形成的(图 9a),往往零散分布在颗粒之间,占有孔隙的 55%。此类粒间孔隙常与石英、绿泥石矿物相伴生,成因前已述及。次生孔隙以粒间溶孔为主,粒内溶孔次之,前者是凝灰

岩岩屑和长石矿物在成岩过程中被酸性孔隙流体不断侵蚀,在颗粒与颗粒连接处形成的孔隙(图9b),多数呈不规则状,占总孔隙比重37.2%。此类粒间

溶孔常与长石、高岭石矿物相伴生,成因前已述及;粒内溶孔是格架颗粒溶孔(图9c),该孔隙不发育对孔隙贡献甚微,仅占7.8%。



a. 石南4井,2 573.59 m, J_2t_2 ,原生粒间孔,单偏光,×40; b. 基007,2 536.87 m, J_2t_2 ,粒间溶孔,单偏光,×50; c. 基004,2 588.35 m, J_2t_1 ,粒内溶孔,单偏光,×40

图9 石南4井区头屯河组孔隙类型图

Fig. 9 Pore types of Toutunhe formation, Well block Shinan-4

3 有利储层预测和潜力区识别

有利储层预测是建立在储层特征研究基础上,并结合沉积微相及地震属性资料对储层分布进行预测。根据取心井岩心资料及岩石薄片资料分析研究认为,粗、中砂岩是头屯河组主要储层砂体,分布于水下分支河道。同时,对取心井含油级别、压汞曲线以及铸体薄片等分析化验资料综合分析,结果表明,石南4井区储层砂体可分为Ⅰ、Ⅱ类。Ⅰ类优质砂体主要发育在水下分支河道、河口砂坝微相中;Ⅱ类砂体分布在远砂坝、席状砂及浅湖砂坝微相中。

3.1 有利区分布

在 J_1t_1 沉积早期,湖平面相对较高,三角洲前缘亚相在研究区内分布范围有限,顺东北物缘方向,水下分支河道和河口砂坝优质储层砂体延伸至石南5井处,仅在研究区中南部形成小范围物性好的Ⅰ类有利储层。而在研究区西北部以及东北部发育三角洲前缘前端的远砂坝砂体和席状砂砂体构成了孔渗一般的Ⅱ类储层(图10a)。到 J_2t_2 时期,由于水流携带沉积物的增长量远大于可容空间的增长速度,三角洲前缘在研究区内大范围连片发育,顺东北、西北物缘方向水下分支河道和河口砂坝优质储层砂体不断向研究区中部加积,平面上砂体分别从研究区东北和西北一直延伸至研究区中部基001井和石南4井处,其构成的Ⅰ类有利储层在研究区内呈片状稳

定发育。与此同时,物性相对一般的远砂坝砂体和席状砂砂体所构建的Ⅱ类储层在Ⅰ类有利储层的前端(图10b)。到 J_2t_3 时期后,沉积环境迅速发生变化,湖平面快速上升至最大湖泛面,研究区内以浅湖-前三角洲的泥岩和粉砂质泥岩沉积为主,较难形成规模有利的砂体,仅平行湖岸面的浅湖砂坝砂体所构建的Ⅱ类储层呈透镜状点缀在研究区内。

3.2 潜力区特征分析

潜力区识别是基于沉积相研究结果及储层特征,结合研究区石油地质特征以及目前勘探开发程度,对研究区目的层进行潜力预测。通过本次研究认为,研究区 J_2t_2 西北部(图10b红色虚线框内)具有较大勘探开发潜力。通过地震资料精细解释,重新落实研究区低幅构造,显示 J_2t_2 西北部储集层砂体构造上位于高部位,同时砂体厚度平面图显示该区域砂体厚度厚(平均为18 m)、连续性好、分布稳定,且位于Ⅰ类有利储层区域内。结合试油资料,该区域上倾方向石618井、石603井以及下倾方向基003井试油均获得高产工业油流且未产水。而研究区 J_2t_2 西北部目前勘探程度较低。因此,该区域可作作为下一步滚动勘探开发的重点区域。

4 结论

(1)石南4井区头屯河组储层岩性主要为粗、中砂岩,岩矿类型以岩屑砂岩为主,其中胶结物以碳酸

- 前景分析[J]. 新疆石油地质, 1991, 12(1): 5-12.
- KUANG Jun, WANG Guolin, JIA Xiyu, et al. Structural Evolution and Hydrocarbon prospective analysis in the hinterland of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1991, 12(1): 5-12.
- 陈世加, 展燕, 路俊刚, 等. 准噶尔盆地腹部石南31井白垩系油气成因与运移方向[J]. 石油实验地质, 2010, 32(4): 382-386.
- CHEN Shijia, ZHAN Yan, LU Jungang, et al. Cretaceous hydrocarbon formation and migration direction in Well Shinan 31 in the hinterland of Junggar Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(4): 382-386.
- 周桦, 黄思静, 兰叶芳. 华庆地区长6油层组黏土矿物类型及其对储层物性的影响[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(3): 66-73.
- ZHOU Hua, HUANG Sijing, LAN Yefang. Types of clay minerals and its effects on reservoir properties of Chang 6 oil reservoir set in Huaqing area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(3): 66-73.
- 蒋裕强, 张春, 邓海波, 等. 黏土矿物对低渗致密砂岩储渗性能的影响[J]. 西南石油大学学报(自然版), 2013, 35(6): 39-47.
- JIANG Yuqiang, ZHANG Chun, DENG Haibo, et al. Influences of Clay Minerals on Physical Properties of Low Permeability and Tight Sandstones [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2013, 35(6): 39-47.
- 李阳, 李树同, 牟炜卫, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长6段致密砂岩中黏土矿物对储层物性的影响[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(7): 1043-1053.
- LI Yang, LI Shutong, MOU Weiwei, et al. Influences of clay minerals on physical properties of Chang 6 tight sandstone reservoir in Jiyuan area, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(7): 1043-1053.
- 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): 52-58.
- LI Yun, QI Liqi, HU Zuowei, et al. Reservoir sensitivity of Middle Jurassic Toutunhe Formation in Fudong slope, Junggar Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(1): 52-58.
- 彭仕宓, 尹旭, 张继春, 等. 注水开发中黏土矿物及其岩石敏感性的演化模式[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 95-96.
- PENG Shimi, YIN Xu, ZHANG Jichun, et al. Evolutionary pattern of clay mineral and rock sensitivity in water flooding reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 95-96.
- 郭旭, 李维锋, 汪孝敬, 等. 红山油田白垩系清水河组储层特征及有利区带展望[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(35): 190-195.
- GUO Xu, LI Weifeng, WANG Xiaojing, et al. The Reservoir Characteristic and Favorable Zone Outlook of the Cretaceous Qingshuihe Formation in Hongshan Oilfield[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(35): 190-195.
- 旷红伟, 高振中, 穆朋飞. 准噶尔盆地夏盐凸起石南31井区下白垩统清水河组一段物源分析[J]. 古地理学报, 2008, 10(4): 371-378.
- KUANG Hongwei, GAO Zhenzhong, MU Pengfei. Provenance analysis of the member of lower Cretaceous Qingshuihe Formation in SN 31 well area of Xiayan uplift of Junggar Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(4): 371-378.
- 吴小斌, 侯加根, 孙卫. 特低渗砂岩储层微观结构及孔隙演化定量分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(11): 3438-3446.
- WU Xiaobin, HOU Jiagen, SUN Wei. Microstructure characteristics and quantitative analysis on porosity evolution of ultra-low sandstone reservoir[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2011, 42(11): 3438-3446.
- TAYLOR T R, GILES M R, HATHON L A, et al. Sandstone diagenesis and reservoir quality prediction: Models, myths, and reality[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(8): 1093-1132.
- KANG X, HU W, CAO J, et al. Selective dissolution of alkali feldspars and its effect on Lower Triassic sandy conglomerate reservoirs in the Junggar Basin, northwestern China[J]. Geological Journal, 2017, 53(11): 475-499.