

# 岩性相对玛北地区百口泉组储层的控制作用

张顺存<sup>1</sup>, 史基安<sup>1</sup>, 常秋生<sup>2</sup>, 鲁新川<sup>1</sup>, 邹妞妞<sup>1,3</sup>

(1. 甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气资源研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 查明准噶尔盆地玛北地区三叠系百口泉组储层发育于不同沉积微相的岩性相对储集性能的控制作用。通过岩心精细观察、薄片鉴定、测井、录井、物性等资料分析, 结合研究区沉积背景和构造环境, 在强调沉积微相与岩性配置的基础上, 划分了扇三角洲不同沉积微相环境中发育的主要岩性相, 指出了不同岩性相的物性特征及其对储层物性的控制作用。结果表明: 水下河道砂砾岩相、河口坝—远砂坝砂岩相是最为有利的储集岩相; 辫状河道砂砾岩相、水下主河道砾岩相、水下河道末端砂岩相、水上泥石流砾岩相为较有利的储集岩相; 水下泥石流砂砾岩相、前扇三角洲粉砂岩相可作为增储的储集岩相; 水下河道间砂泥岩相、平原河道间砂泥岩相、前扇三角洲泥岩相几乎不具备储集性能。最后在沉积相-岩性相研究的基础上对研究区有利储层发育区进行了预测。

**关键词:** 准噶尔盆地; 玛北地区; 三叠系百口泉组; 岩性相; 储层物性

**中图分类号:** P 581 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1964(2015)06-1126-09

## Controlling effect of lithofacies on reservoirs of Baikouquan formation in Mabei area

ZHANG Shuncun<sup>1</sup>, SHI Jian<sup>1</sup>, CHANG Qiusheng<sup>2</sup>, LU Xinchuan<sup>1</sup>, ZOU Niuniu<sup>1,3</sup>

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources, Gansu Province/ Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Institute of Exploration and Development of Xinjiang oil Company, Karamay, Xinjiang 834000, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** This paper focuses on the reservoir of Triassic Baikouquan formation in Mabei area of Junggar basin and aims to find out the controlling effect of lithofacies developed in different sedimentary microfacies on reservoir property. Based on core observation, thin section authentication, well logging, mud logging and physical property analysis, combined with the depositional setting and tectonic environment of the study area, the main lithofacies developed in different fan-delta sedimentary microfacies were classified with the emphasis on the sedimentary microfacies and lithology juxtaposition; moreover, the physical property and the controlling effect on reservoir property of different lithofacies were also analyzed. The results show that underwater channel glutenite facies, estuary dam and distal sandbar sandstone facies are much more favorable reservoir facies than braided channel glutenite facies, subaqueous main channel conglomerate facies, end of underwater channel sandstone facies and superaqueous mudslides conglomerate facies. Subaqueous mudslides glutenite facies and frontal fan-delta siltstone facies

收稿日期: 2015-03-11

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05000-01-06); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB201104); 甘肃省重点实验室专项(1309RTSA041)

通信作者: 张顺存(1973-), 男, 甘肃省定西市人, 副研究员, 博士, 从事储层地质学与储层地球化学方面的研究。

E-mail: zhangshuncun@126.com Tel: 0931-4960898

are potential reservoir facies. Subaqueous interchannel sand-mudstone facies, plain interchannel sand-mudstone facies, frontal fan-delta mudstone facies almost have no reservoir property. At last, on the basis of sedimentary facies and lithofacies research, favorable reservoir development area in Mabei was predicted.

**Key words:** Junggar basin; Mabei area; Triassic Baikouquan formation; lithofacies; reservoir property

准噶尔盆地西北缘是新疆油田分公司重要的油气产区,主要由红车(红山嘴—车排子)断裂带、中拐凸起、克百(克拉玛依—百口泉)断裂带、乌夏(乌尔禾—夏子街)断裂带、玛湖凹陷等二级构造单元组成,在玛湖凹陷东面和东南面,还有夏盐凸起、达巴松凸起等二级构造单元<sup>[1-5]</sup>。本文研究区为玛湖凹陷北斜坡地区,简称玛北地区(图1),该区在构造上处于准噶尔盆地西北缘断阶带(主要是乌夏断裂带)下盘,研究层位为三叠系百口泉组( $T_1b$ )。玛北地区三叠系从下到上依次划分为百口泉组( $T_1b$ )、克拉玛依组( $T_2k$ )、白碱滩组( $T_3b$ ),其中百口泉组从下到上划分为百口泉组一段( $T_{1b_1}$ ,百一段)、百口泉组二段( $T_{1b_2}$ ,百二段,从上到下划分为一砂组,  $T_{1b_2}^1$ ,二砂组,  $T_{1b_2}^2$ )、百口泉组三段( $T_{1b_3}$ ,百三段)。

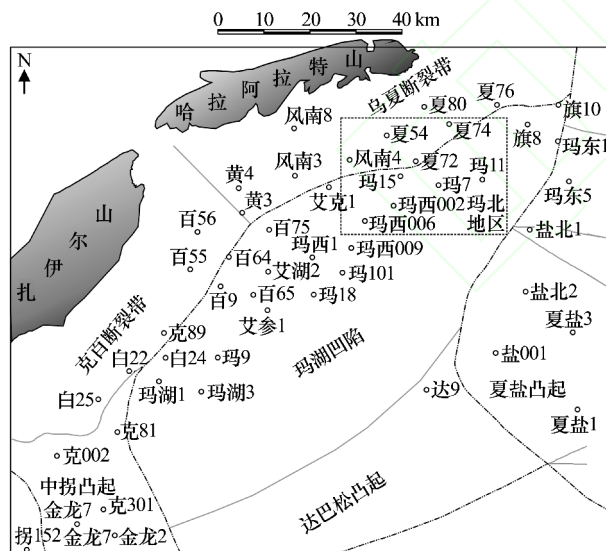


图1 玛北地区位置

Fig. 1 The location of the research area

玛北地区的油气勘探历程不长,20世纪90年代以后,陆续钻探了玛2井、玛4井、玛6井、玛9井和百65井。1993年,玛2井在三叠系百口泉组发现高产油气流,从而发现了玛北油田百口泉组油藏,并于1994年上交探明石油地质储量。同年玛6井在百口泉组获得突破并于1996年上交玛6井区控制石油地质储量,此后该区块没有进行进一步的勘探工作。2010年,钻探玛13井,次年在百口泉组

获高产油气,后陆续上钻多口新井:玛131井、玛132井、玛133井,玛15井、玛18井、玛19井、夏89井、夏90井,夏91\_H井等,多数井在三叠系百口泉组试油(特别是百二段一砂组)获工业油流或稳定油气流。多口探井的勘探结果表明,玛北地区三叠系百口泉组具有大面积含油、多层段含油的特点,但该区三叠系百口泉组储层致密、非均质性强<sup>[6]</sup>。研究表明,该区储层物性的主控因素以沉积作用为主、成岩作用为辅,然而岩心观察表明,虽然该区储层主要发育于扇三角洲沉积环境,储层类型以扇三角洲平原及扇三角洲前缘砂砾岩为主体,但储层种类复杂,相同的沉积微相中发育的沉积物物性存在较大的差异,仅凭沉积微相对储层优劣进行研究存在较大困难。前人对玛北油田进行的研究大都基于2011年以前的探井资料,大多数将玛北地区三叠系百口泉组油藏和二叠系乌尔禾组油藏放在一起进行研究,文献[7-13]从油源、成藏条件、成藏规律及运用地震方法等方面进行研究,近几年在玛北地区部署了大量的新井且有良好的油气发现,该区呈现了油气勘探的大场面,然而相关文献(包括沉积微相方面的文献)较少<sup>[6,14-15]</sup>。本文结合该区的构造背景,通过对岩心特征的精细研究,总结了不同沉积微相下发育的岩性相特征,并对主要岩性相的物性特征及其对物性的控制机理进行了探讨,以期为该区的优质储层分布区预测和油气勘探提供借鉴。

## 1 岩石学特征及岩性相划分

玛北地区三叠系百口泉组有实测孔隙度值的1142个储集岩样品的统计表明,储集岩主要是砂砾岩(占69.5%),此外还有少量砂质不等粒砾岩(占4.9%)、不等粒砾岩(占4.21%)、含砾砂岩(占3.68%)、含砾不等粒砂岩(占2.98%)、小砾岩及细砂岩(均占2.54%)等(表1)。说明该区储层类型主要为粗碎屑的砾岩类(占84%,以砂砾岩为主,其它各种砾岩为辅,下同),细碎屑的砂岩类含量较少(占16%)。其中砂岩主要是岩屑砂岩及少量长石质岩屑砂岩,其它类型的砂岩少见。粗碎屑的砾

岩类储层的总体特征包括:颜色主要为褐色、棕褐色(砾岩为主,砂砾岩为辅)、杂色、灰绿色及灰色(砂砾岩为主,砾岩为辅)(图 2);既有分选和磨圆较差的、结构成熟度较低的砂砾岩(图 3a),也有砾石具有一定磨圆度,甚至具有一定分选性的结构成

熟度较高的砂砾岩(图 3b,c);砂砾岩的胶结物以泥质、钙质为主(图 2,图 3d)。细碎屑的砂岩类储层大多数分选较差—中等,磨圆中等—较差,多数泥质杂基含量较高(图 3e)。

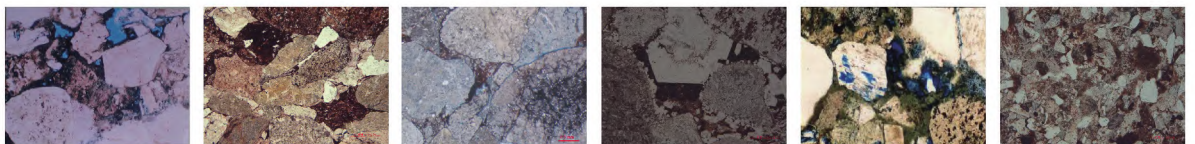
表 1 玛北地区三叠系百口泉组碎屑岩类型统计表  
Table 1 The type of clastic in Triassic Baikouquan formation of Mabei area

岩石类型	砾岩	小砾岩	砂砾岩	砂质砾岩	不等粒砾岩	砂质不等粒砾岩	含砾不等粒砂岩
样品个数	10	29	793	26	48	56	34
质量分数/%	0.88	2.54	69.5	2.28	4.21	4.91	2.98
岩石类型	含砾砂岩	砾状砂岩	粗砂岩	中砂岩	细砂岩	泥质砂岩	
样品个数	42	11	18	31	29	14	
质量分数/%	3.68	0.96	1.58	2.72	2.54	1.22	

储层类型	I 类			II 类			III 类		
孔隙度/%	>10			6 ~ 10			3 ~ 6		
渗透率/mD	>5			1 ~ 5			<1		
亚类	I-1	I-2	II-1	II-2	II-3	III-1	III-2	III-3	
核磁测井									
成像测井									
宏观特征									
微观特征									
岩性相	河口坝—远砂坝砂岩相	水下河道砂砾岩相	辫状河道砂砾岩相	水下主河道砂砾岩相	水下河道末端砂砾岩相	水上泥石流流砾岩相	水下泥石流流砾岩相	前三角洲粉砂岩相	
岩性相特征	该类岩性相在研究区不太发育,薄层透镜状,岩石的结构成熟度中等较高,成分成熟度较低,以泥质、钙质、硅质胶结为主,常见块状层理,波状层理,反应了水动力条件较弱。	该类岩性相在研究区非常发育,中厚层,砂砾岩中砾石以圆状次圆状为主,分选较好,杂基主要为砂岩,以钙质、硅质胶结为主,可见大型槽状交错层理,正旋回递变层理,可见冲刷面,反应了很强的水动力条件。	该类岩性相在研究区比较发育,中厚层,砂砾岩中砾石以次圆状次圆状为主分选较差中等,杂基主要为砂岩,可见大型交错层理,冲刷面,反应了较强的水动力条件。	该类岩性相在研究区中等发育,砾石以次圆状次圆状为主分选较差,杂基主要为砂岩,可见大型板状、槽状交错层理,反应了水动力条件较强。	该类岩性相在研究区不太发育,薄层状,岩石的结构成熟度较高,成分成熟度较低,以泥质、钙质、硅质胶结为主,常见块状层理,波状层理,反应了水动力条件较弱。	该类岩性相在研究区比较发育,砾石以棱角状次圆状为主分选较差,杂基主要为砂岩,可见大型板状、槽状交错层理,反应了强水动力条件。	该类岩性相在研究区非常发育,厚层块状,砂砾岩中砾石以次圆状次圆状为主分选较差,杂基主要为砂岩、泥质,以泥质胶结为主,可见块状层理,反旋回递变层理,波状层理,反应了水动力条件中等。	该类岩性相在研究区不太发育,薄层状,岩石的结构成熟度较高,成分成熟度较低,以泥质、钙质、硅质胶结为主,常见块状层理,波状层理,反应了水动力条件较弱。	

图 2 玛北地区储层岩性相特征及综合分类评价

Fig. 2 The characteristic of lithofacies and reservoir classification and evaluation of Mabei area



(a) 玛003井,3468.39 m, T<sub>1</sub>b, 灰色砂砾岩。粒间 T<sub>1</sub>b, 砂砾岩分选中等, 磨圆较好, 压实作用(铸体)×80  
(b) 玛001井,3577.89 m, T<sub>1</sub>b, 砂砾岩分选中等, 磨圆较好, 压实作用(铸体)×80  
(c) 玛006井,3418.69 m, T<sub>1</sub>b, 砾岩, 磨圆度较好, 砾间缝和界面孔发育(铸体)  
(d) 玛6井,3809.19 m, T<sub>1</sub>b, 砂砾岩, 粒间发育自形方解石胶结物, 并见有机质充填(铸体)×80  
(e) 玛006井,3407.37 m, T<sub>1</sub>b, 不等粒砂岩, 分选较差, 长石颗粒和碳酸盐类胶结物发生了溶蚀(铸体)×50  
(f) 玛6井,3883.12 m, T<sub>1</sub>b, 不等粒砂岩, 分选差, 泥质杂基含量较高, 物性较差(铸体)×50

图 3 玛北地区三叠系百口泉组砂砾岩微观特征

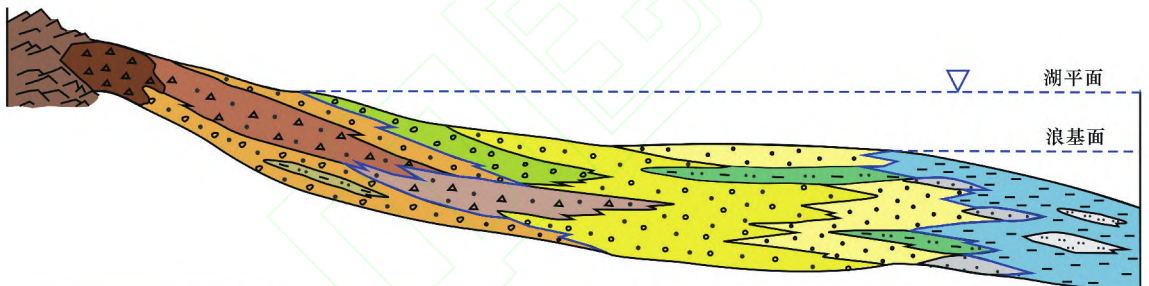
Fig. 3 The microscopic features of sandy conglomerate in Triassic Baikouquan formation of Mabei area

前人认为,岩性相通常是指特定的水动力条件或能量下形成的岩石单元<sup>[16]</sup>,是砂体最基本的构成单元,由特定的结构、构造所限定的岩石单位,具有特定的成因意义<sup>[17]</sup>,并依据岩性、颜色、粒度、沉积构造特征等划分了岩性相,如块状砾岩相、洪水层理砂砾岩相系列<sup>[16]</sup>,块状层理砂砾岩相、槽状交错层理含砾砂岩相系列<sup>[17]</sup>,混杂堆积砾岩相(见漂砾)、不明显平行层理砾岩相系列<sup>[18]</sup>,块状砂砾岩相、槽状交错层理细砾岩—中粗砂岩相系列等<sup>[19]</sup>.研究表明玛北地区三叠系百口泉组主要发育扇三角洲沉积,包括扇三角洲平原亚相(简称平原亚相)、扇三角洲前缘亚相(简称前缘亚相)、前扇三角洲亚相.其中平原亚相主要发育辫状河道、辫状河道间沉积微相,前缘亚相主要发育水下分流河道、水下分流河道间、河口坝—远砂坝等沉积微相,在平原和前缘的局部地区发育泥石流沉积(玛北地区扇三角洲是突发性洪流与常态水流交替作用的结果,洪水期以重力流或泥石流沉积为主,稳定期以牵引流沉积为主,故具有泥石流沉积、辫状河道充填和下水分流河道沉积等多种成因类型的岩性

相),在同一种沉积微相中,往往发育不同的岩石类型.因此本文在岩性相的划分中,主要强调了岩性和沉积微相之间的配置关系,同时考虑了沉积物的粒度、颜色、沉积构造、沉积微相、沉积物经历的成岩作用等特征,将玛北地区三叠系百口泉组各类岩性划分为 11 种岩性相,并将主要岩性相的特征进行了总结(图 2 中总结了 8 种岩性相的特征),它们发育于研究区主要的 3 种沉积亚相中.其中平原亚相发育 3 种岩性相:水上泥石流砾岩相、辫状河道砂砾岩相、平原河道间砂泥岩相;前缘亚相发育 6 种岩性相:水下主河道砾岩相、水下河道砂砾岩相、水下河道间砂泥岩相、水下泥石流砂砾岩相、水下河道末端砂岩相、河口坝—远砂坝砂岩相;前扇三角洲亚相发育 2 种岩性相:前扇三角洲粉砂岩相、前扇三角洲泥岩相(图 4).

## 2 不同岩性相中储层物性特征

不同沉积微相环境下,发育不同的岩性相,不同岩性相的物性往往存在较大的差别,本文对不同岩性相的物性特征进行了统计分析.



亚相	扇三角洲平原			扇三角洲前缘						前扇三角洲	
岩性相	水上泥石流砾岩相	辫状河道砂砾岩相	平原河道间砂泥岩相	水下主河道砾岩相	水下河道砂砾岩相	水下河道间砂泥岩相	水下泥石流砂砾岩相	水下河道末端砂岩相	河口坝—远砂坝砂岩相	前扇三角洲粉砂岩相	前扇三角洲泥岩相
颜色	褐色、杂色	褐色、杂色	褐色、杂色	灰绿-杂色	灰-灰绿色	灰色	灰-灰绿色	灰色	灰色	深灰色	灰黑色
搬运介质	重力流	牵引流	牵引流	牵引流	牵引流	牵引流	重力流	牵引流	牵引流	牵引流	牵引流
粒度	巨砾-砂	砂砾为主	砂为主含泥	大砾-粗砂	砂砾为主	砂质-泥质	砾-砂-泥	中砂岩	中细砂为主	粉砂为主	牵引流
沉积构造	厚层块状构造,砾岩砂体呈楔状	透镜状砂体斜层理和槽状交错层理	平行层理,层系多呈透镜状和楔状	厚层状砂岩见大型槽状交错层理	中层砂砾岩发育大型槽状交错层理	中层薄层波状层理和平行层理	中层-厚层粒序层理颗粒支撑	中层砂岩小型槽状和板状层理	中薄层砂岩小型槽状和板状层理	薄层粉砂岩沙纹层理和水平层理	厚层泥岩夹粉砂泥岩水平层理
沉积结构	杂基含量高分选性差磨圆度中等	杂基较多分选性较差磨圆度较好	杂基含量多分选中等	颗粒支撑分选较差磨圆较好	颗粒支撑分选中等磨圆较好	杂基含量高分选较好磨圆中等	杂基含量较高分选中等磨圆较差	分选性好磨圆度较好具正韵律	分选性好磨圆度较好具反韵律	分选性好磨圆度较好	粒度细、分选好、粘土含量高
测井曲线	高幅箱型	中幅齿状箱型	低幅齿状箱型	齿状钟形+箱型	高幅齿状钟形	高幅齿状指状	中幅箱形+钟形	中幅钟形+指状	中幅齿化漏斗形	中幅齿化指状	低幅齿化指状
岩心照片											

图 4 玛北地区三叠系百口泉组扇三角洲岩性相-沉积相模式

Fig. 4 The model of fan-delta lithofacies-sediment facies of Triassic Baikouquan formation in Mabei area

### 2.1 河道与泥石流的物性特征

图 5 显示了水上的河道和泥石流与水下的河道和泥石流的物性特征,涉及辫状河道砂砾岩相、水上泥石流砾岩相、水下河道砂砾岩相、水下泥石流砂砾岩相 4 种岩性相.这 4 种砂砾岩(砾岩)以 II

类和 I 类储层为主(以 II 类为主,下同.储层分类见后文说明),孔隙度大多集中于 5%~13%,渗透率大体范围为 0.1~100.0 mD. 相对比下,河道砂砾岩的物性好于泥石流砂砾岩(砾岩)的物性,从孔隙度的最大值、最小值、平均值(选定的样品个数)来

看,辫状河道砂砾岩相的依次为:6.81%,17.32%,11.23%(样品个数为56),水上泥石流砾岩相的依次为:6.3%,10.7%,8.87%(样品个数为44),水下河道砂砾岩相的依次为:8.9%,12.4%,10.37%(样品个数为96),水下泥石流砾岩相的依次为:3.5%,8.2%,6.13%(样品个数为38)。同时这4种岩性相中,辫状河道砂砾岩相的物性最好,水下河道砂砾岩相的物性次之,另外两种岩性相的物性较差。其中水下河道砂砾岩相的物性条件较好的原因主要是由于该岩性相发育于前缘亚相水下分流河道微相中,长期处于水下,沉积物受到湖水不间断的淘洗,泥质杂基含量较低,钙质胶结物较发育,因而后期压实作用对储层的破坏有限,储层物性较好<sup>[20-21]</sup>;同时从孔隙度来看,辫状河道砂砾岩相物性好于水下河道砂砾岩相的物性,但孔隙度分布范围较大,说明只有部分样品的孔隙度值较高,这与该区平原亚相的部分储层埋藏较浅,压实作用对储层的破坏较小,因而具有较好的孔渗条件有关系。

## 2.2 水上及水下的河道与河道间的物性特征

图5也显示了水上河道和河道间与水下河道和河道间的砂砾岩(砂泥岩)的物性特征,涉及辫状河道砂砾岩相、平原河道间砂泥岩相、水下河道砂砾岩相、水下河道间砂泥岩相4种岩性相。由该图可以看出,辫状河道砂砾岩相和水下河道砂砾岩相的物性条件明显优于平原河道间砂泥岩相和下水河道间砂泥岩相。如前文所述,河道(水上及水下)沉积物由于受到水体(河水及湖水)的淘洗作用,泥质杂基含量较低,储层物性较好;而河道间(水上及水下)沉积物受到水体的淘洗作用较弱,泥质杂基含量较高,钙质胶结物不发育,因而在成岩作用过程中,胶结物难以提供支撑颗粒骨架作用,加上泥质杂基的润滑作用,造成压实作用对储层的破坏加强,再加上溶蚀作用不发育,造成该微相的储层物性变差<sup>[21-22]</sup>。

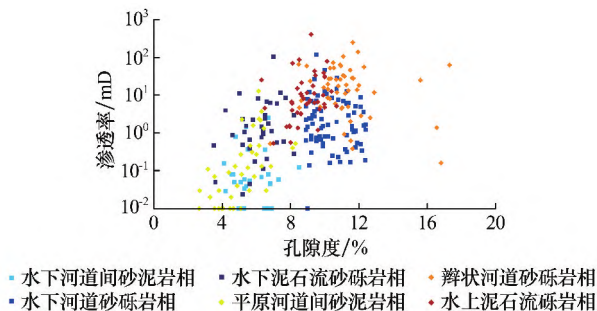


图5 不同岩性相的砂砾岩及砂泥岩的物性特征  
Fig. 5 The property characteristic of conglomerate and sand-mudstone in different lithofacies

## 2.3 不同岩性相砂岩的物性特征

图6是玛北地区主要的砂岩类储层的物性特征,涉及河口坝—远砂坝砂岩相、水下河道末端砂岩相、前扇三角洲粉砂岩相(该微相中含有较多的砂岩,故放在一起统计)3种岩性相。由该图可以看出,这3种岩性相的储层物性差别较大,从孔隙度来看,河口坝—远砂坝砂岩相最优,以10%~15%为主(81个样品中,最小值为8.12%,最大值为14.74%,平均值为11.88%),水下河道末端砂岩相次之,以7%~12%为主(36个样品中,最小值为4.34%,最大值为17.03%,平均值为10.25%),前扇三角洲粉砂岩相较差,以5%~7%为主;渗透率也符合上述特征,其中前二者主要为0.1~10.0 mD,后者基本都在0.1 mD以下。这主要是由于河口坝—远砂坝砂岩相受到湖水不间断的淘洗,泥质杂基含量低,该区带位于河水与湖水平衡带,在成岩作用早期方解石等碳酸盐类胶结物较发育,抵御了压实作用对储层物性的破坏,后期又容易发生溶蚀作用(图3e),从而改善储层物性<sup>[18-20]</sup>。该砂岩相是研究区储层物性最好的岩性相,但由于其分布范围有限,难以形成大规模的油气藏,但对于形成“甜点型”油气藏具有重要的意义。水下河道末端砂岩相的物性略差,虽然它也经历了不间断湖水的淘洗作用,泥质杂基含量较低,但成岩作用早期的碳酸盐胶结物相对不够发育,成岩作用后期的溶蚀作用发育也有限,因而储层物性较有利<sup>[21-22]</sup>,成为研究区Ⅱ类储层。

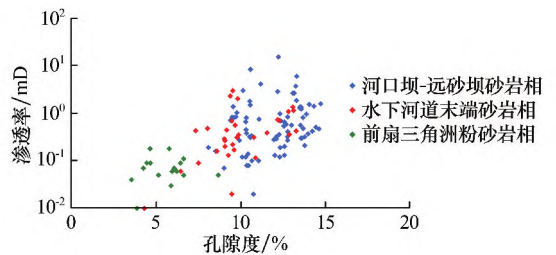


图6 不同岩性相的(粉)砂岩的物性特征  
Fig. 6 The property characteristic of sandstone and siltstone in different lithofacies

综上所述,不同沉积微相控制下的不同岩性相具有不同的物性特征,其中河口坝—远砂坝砂岩相、水下河道砂砾岩相是最为有利的储集岩相(还有部分平原辫状河道砂砾岩相);而平原辫状河道砂砾岩相、前缘水下主河道砾岩相、水下河道末端砂岩相、水上泥石流砾岩相为较有利的储集岩相;水下泥石流砾岩相、前扇三角洲粉砂岩相可作为增储的储集岩相;前缘水下河道间砂泥岩相、平原河道间砂泥岩相、前扇三角洲泥岩相几乎不具备储

集性能<sup>[15]</sup>。玛北地区储层物性受岩性相控制的这种发育规律对于寻找优质高效储层、有利储层发育区预测都具有重要的指导意义。

### 3 有利储层发育区预测

本文根据储层综合特征,以孔隙度和渗透率为基本标准,微观孔喉结构参数与渗透率的相关性为主要依据,参考新疆油田公司在生产实践中应用的储层分类标准,结合铸体薄片、核磁测井及成像测井(FMI)分析资料将玛北地区三叠系百口泉组储层分为3个大类(I类、II类、III类)、8个亚类(I-1, I-2, …, III-3)(图2)。依据该分类方案,玛北地区储层物性普遍偏差,属于低孔低渗储层。其中I类储层为优质储层,孔隙度大于10%,渗透率高于5 mD,包括河口坝—远砂坝砂岩相、水下河道砂砾岩相两种岩性相;II类储层孔隙度为6%~10%,渗透率为1~5 mD,包括辫状河道砂砾岩相、水下主河道砾岩相、水下河道末端砂岩相三种岩性相;III类储层物性最差,其孔隙度为3%~6%,渗透率低于1 mD,包括水上泥石流砾岩相、水下泥石流砂砾岩相、前扇三角洲粉砂岩相3种岩性相。需要说明的是,研究区各类储层岩性种类复杂,加上储层埋深存在较大变化,仅依据孔渗特征对储层分类存在一定的缺陷,因此本文选取具有统计学意义的代表岩性相,结合孔渗特征对储层进行了分类评价,然而各个亚类岩性相并不具有绝对物性特征,如部分辫状河道砂砾岩相的孔隙度大于10%,渗透率大于5 mD,属于I类储层范畴。

在此分类的基础上,结合沉积相特征、典型试油井的储层含油性特征(如玛131井、夏7202井、风南4井等)、岩性相特征、沉积微相和成岩作用对储层物性的控制作用机理进行了研究,并在平面上对百二段两个砂层组及百三段的有利储层发育区带进行了预测。玛北地区优良储层(I类储层)主要发育于扇三角洲前缘亚相,包括水下河道砂砾岩相、河口坝—远砂坝砂岩相,该类岩性相储层由于沉积时水动力条件较为稳定,砂砾岩(砂岩)经过湖水不间断的淘洗,泥质杂基含量较低,成岩过程中压实作用对该类储层的破坏较弱,粒间孔隙得到较好保存;同时较低的杂基含量有利于成岩早期碳酸盐类胶结物的发育,为成岩后期溶蚀作用提供了物质基础,有利于溶蚀孔隙发育<sup>[19]</sup>。优质储层(II类储层)主要是发育于平原的辫状河道砂砾岩相、前

缘的水下主河道砾岩相、水下河道末端砂岩相。该类岩性相储层沉积时的水动力较强,但由于砾岩(砂岩)受水体淘洗作用相对较弱,结构成熟度较低,加上含量相对较高的泥质杂基的润滑作用,压实作用对储层物性的破坏较大,粒间孔隙变少;同时较高的泥质杂基含量抑制了成岩早期碳酸盐类胶结物的发育,因此成岩后期溶蚀作用缺少物质基础及孔隙流体流动的空间,造成溶蚀作用不够发育,因而难以发育成优质储层。III类储层的物性相对较差,主要是发育于平原的水上泥石流砾岩相、前缘的水下泥石流砂砾岩相、前扇三角洲粉砂岩相,只有在特定的环境下,该类储层经历较弱的压实作用时,才有可能成为油气储层。

玛北地区百口泉组二段二砂组的储层主要是分布于该时期的平原亚相(主河道)和前缘亚相(水下分流河道)的褐色和灰色砂砾岩。岩性相不同储集性能不同,其中最有利的岩性相是水下河道砂砾岩相、河口坝—远砂坝砂岩相,最有利的储层(优良储层)主要是分布于夏72井、X7202井一带的前缘水下分流河道砂砾岩;玛13井、玛131井至玛007井一带的前缘水下分流河道砂砾岩;以及玛133井、玛003井至玛009井一带的前缘亚相河口坝微相的中细粒砂岩(图7a中红色线框)。

百口泉组二段一砂组的储层主要是分布于前缘亚相(水下分流河道)的灰色砂砾岩,其次是平原亚相(主河道)的褐色砂砾岩。与百口泉组二段二砂组类似,最有利的岩性相也是水下河道砂砾岩相、河口坝—远砂坝砂岩相,最有利的储层(优良储层)主要是分布于夏9井—夏72井一带的缘水下分流河道砂砾岩;玛15井—玛134井一带的前缘水下分流河道砂砾岩;玛13井—玛133井—玛007井一带和玛2井—玛006井南面一带的前缘亚相河口坝微相的中细粒砂岩(图7b中红色线框)。

百三段的有利储层分布区域已明显向东北部退缩,其分布面积也有所减小,储层的分布与沉积微相关系密切,主要是分布于前缘亚相(水下分流河道)的灰色砂岩(砂砾岩含量较少),平原亚相的储层较少。最有利的优良储层主要是分布于夏9井—夏72井一带和玛5井南面一带的前缘水下分流河道砂砾岩;夏94井南面、玛134井—玛002井一带、玛004井南面一带的前缘亚相河口坝微相的中细粒砂岩。

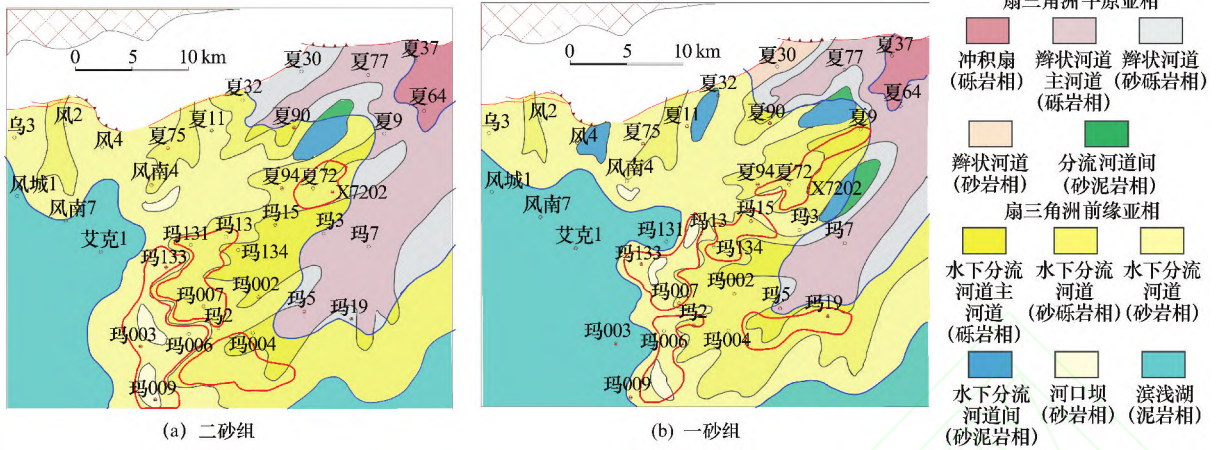


图 7 玛北地区百口泉组百二段二砂组和一砂组有利储层分布预测平面

Fig. 7 The plane distribution of predict favorable reservoir of Triassic Baikouquan formation in Mabei region

百三段的有利储层分布区域已明显向东北部退缩,其分布面积也有所减小,储层的分布与沉积微相关系密切。最有利的优良储层主要是分布于夏 9 井—夏 201 井—夏 72 井一带和玛 5 井以南的前缘水下分流河道砂砾岩;夏 94 井、玛 131—玛 002 井和玛 004 井以南的前缘亚相河口坝微相的中细粒砂岩。

## 4 结 论

1) 玛北地区三叠系百口泉组储层类型复杂,主要是砂砾岩,还有少量砂质不等粒砾岩、不等粒砾岩、含砾砂岩、含砾不等粒砂岩、小砾岩及细砂岩等。

2) 玛北地区主要发育扇三角洲沉积相,分为扇三角洲平原亚相、扇三角洲前缘亚相、前扇三角洲亚相,其中平原亚相发育 3 种岩性相:水上泥石流砾岩相、辫状河道砂砾岩相、平原河道间砂泥岩相;前缘亚相发育 6 种岩性相:水下主河道砾岩相、水下河道砂砾岩相、水下河道间砂泥岩相、水下泥石流砂砾岩相、水下河道末端砂岩相、河口坝—远砂坝砂岩相;前扇三角洲亚相发育 2 种岩性相:前扇三角洲粉砂岩相、前扇三角洲泥岩相。

3) 岩性相控制了储层物性,不同岩性相的储层物性不同;扇三角洲前缘的水下河道砂砾岩相、河口坝—远砂坝砂岩相是最为有利的储集岩相;扇三角洲平原的辫状河道砂砾岩相、水上泥石流砾岩相、扇三角洲前缘的水下主河道砾岩相、水下河道末端砂岩相为较有利的储集岩相;扇三角洲前缘的水下泥石流砂砾岩相、前扇三角洲粉砂岩相可作为增储的储集岩相;扇三角洲前缘的水下河道间砂泥岩相、扇三角洲平原的河道间砂泥岩相、前扇三角

洲泥岩相几乎不具备储集性能。

## 参考文献:

- [1] 陶国亮,胡文瑄,张义杰,等.准噶尔盆地西北缘北西向横断裂与油气成藏[J].石油学报,2006,27(4):23-28.  
TAO Guoliang, HU Wenxuan, ZHANG Yijie, et al. NW-trending Transverse faults and hydrocarbon accumulation in the northwestern Margin of Junggar basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(4): 23-28.
- [2] 雷振宇,鲁兵,蔚远江,等.准噶尔盆地西北缘构造演化与扇体形成和分布[J].石油与天然气地质,2005,26(1):86-91.  
LEI Zhenyu, LU Bing, WEI Yuanjiang, et al. Tectonic evolution and development and distribution of fans on northwestern edge of Junggar basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 86-91.
- [3] 杨勇,查明.准噶尔盆地乌尔禾—夏子街地区不整合发育特征及其在油气成藏中的作用[J].石油勘探与开发,2007,34(3):304-309.  
YANG Yong, ZHA Ming. Development of unconformity and its effect on the migration and accumulation of hydrocarbon in Wu'erhe-Xiazijie area, Junggar basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 304-309.
- [4] 肖飞,刘洛夫,曾丽媛,等.准噶尔盆地车排子东缘原油地球化学特征与油源分析[J].中国矿业大学学报,2014,43(4):646-655.  
XIAO Fei, LIU Luofu, ZENG Liyuan, et al. Geochemical characteristics and oil source of crude oils in the east edge of Chepaizi high, Junggar basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2014, 43(4): 646-655.
- [5] 张顺存,陈丽华,周新艳,等.准噶尔盆地克百断裂下

- 盘二叠系砂砾岩的沉积模式[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 740-746.
- ZHANG Shuncun, CHEN Lihua, ZHOU Xinyan, et al. Sedimentary model of the Permian sandy conglomerate in the footwall of the Kebai fault, the Junggar basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 740-746.
- [6] 瞿建华, 张顺存, 李 辉, 等. 准噶尔盆地玛北地区三叠系百口泉组油藏成藏控制因素[J]. 特种油气藏, 2013, 20(5): 51-56.
- QU Jianhua, ZHANG Shuncun, LI Hui, et al. The Controlling factors of Triassic reservoirs in Baikouquan formation, Mabei area[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(5): 51-56.
- [7] 王绪龙, 康素芳. 准噶尔盆地西北缘玛北油田油源分析[J]. 西南石油学院学报, 2001, 23(6): 6-8.
- WANG Xulong, KANG Sufang. On the oil source of the Mabei oilfield, northwest Junggar basin[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2001, 23(6): 6-8.
- [8] 杨坚强, 康素芳, 武宏义, 等. 根据地球化学资料分析玛北油田油藏的形成[J]. 新疆石油地质, 1995, 16(2): 144-148.
- YANG Jianqiang, KANG Sufang, WU Hongyi, et al. Analysis of the formation of reservoir in Mabei oilfield by geochemical data[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 16(2): 144-148.
- [9] 陈 杰. 准噶尔盆地克夏断裂带成岩作用对不整合输导性能的影响[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2011: 1-163.
- [10] 何 琰, 牟中海, 裴素安, 等. 准噶尔盆地玛北斜坡带油气成藏研究[J]. 西南石油学院学报, 2005, 27(6): 8-11.
- HE Yan, MOU Zhonghai, PEI Suan, et al. The exploration target of oil-gas Mabei slope area of Zhuengar basin[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2005, 27(6): 8-11.
- [11] 王屿涛, 丁安娜. 玛北油田油气的分布规律及成藏分析[J]. 天然气地球科学, 1997, 8(4): 17-22.
- WANG Yutao, DING Anna. The distribution and accumulation of oil and gas in Mabei oilfield[J]. Natural Gas Geoscience, 1997, 8(4): 17-22.
- [12] 王晓平, 尚建林, 王林生, 等. 地质统计反演在准噶尔盆地玛北油田的应用[J]. 新疆石油地质, 2013, 24(3): 320-323.
- WANG Xiaoping, SHANG Jianlin, WANG Linsheng, et al. Application of geostatistic inversion technology to mabei oilfield in Junggar basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 24(3): 320-323.
- [13] 雷德文. 准噶尔盆地玛北油田孔隙度横向预测[J]. 新疆石油地质, 1995, 16(4): 296-300.
- LEI Dewen. Transversal prediction of porosity in Mabei oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 16(4): 296-300.
- [14] 吴 涛, 张顺存, 周尚龙, 等. 玛北油田三叠系百口泉组储层四性关系研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2012, 34(6): 47-52.
- WU Tao, ZHANG Shuncun, ZHOU Shanglong, et al. Study on four property relationship of Baikouquan formation in Triassic, Mabei oilfield, Junggar basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2012, 34(6): 47-52.
- [15] 张顺存, 蒋 欢, 张 磊, 等. 准噶尔盆地玛北地区三叠系百口泉组优质储层成因分析[J]. 沉积学报, 2014, 32(6): 1171-1180.
- ZHANG Shuncun, JIANG Huan, ZHANG Lei, et al. Genetic analysis of the high quality reservoir of Triassic Baikouquan formation in Mabei region, Junggar basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(6): 1171-1180.
- [16] 于兴河, 郑浚茂, 宋立衡, 等. 断陷盆地三角洲砂体的沉积作用与储层的层内非均质性特点[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1997, 22(1): 51-56.
- YU Xinghe, ZHENG Junmao, SONG Liheng, et al. Features of depositional processes and permeability heterogeneities in deltaic sandbodies in faulted basins[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(1): 51-56.
- [17] 辛仁臣, 柳成志, 雷顺. 粗粒曲流河体系河道沉积的沉积构形分析: 以籍家岭泉头组露头为例[J]. 大庆石油学院学报, 1997, 21(3): 16-19.
- XIN Renchen, LIU Chenzhi, LEI Shun. Depositional architecture analysis of coarse meandering rivers system: a case study on Jijialing outcrop[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1997, 21(3): 16-19.
- [18] 单 新, 于兴河, 李胜利, 等. 淮南水磨沟侏罗系喀拉扎组冲积扇沉积模式[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(2): 262-270.
- SHAN Xin, YU Xinghe, LI Shengli, et al. The depositional characteristics and model of Kalazha formation in Shuimogou profile, Junggar basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2014, 43(2): 262-270.
- [19] 印森林, 吴胜和, 许长福, 等. 砂砾质辫状河沉积露头渗流地质差异分析: 以准噶尔盆地西北缘三叠系克上组露头为例[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(2): 286-293.
- YIN Senlin, WU Shenghe, XU Changfu, et al. Percolation differences of sedimentary outcrop in sand-



- gravel braided river; A case study of Triassic upper Karamay formation outcrop in the northwest edge of Junggar basin [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2014, 43(2): 286-293.
- [20] ZHANG P H, ZHANG J L, LEE Y I, et al. Diagenesis of braided fluvial sandstones and its implications for prediction of reservoir quality: a case study on the Neogene Shawan formation, Junggar basin, NW China [J]. *Arab J Geosci*, DOI 10.1007/s12517-013-1200-2.
- [21] 张顺存, 刘振宇, 鲁 阳, 等. 成岩作用对克百断裂下盘二叠系砂砾岩储层物性的控制作用研究 [J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(5): 755-761.
- ZHANG Shuncun, LIU Zhenyu, LU Yang, et al. Diagenesis constrain to physical property of Permian conglomerate reservoir in underlying block of Kebai fault [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(5): 755-761.
- [22] 张顺存, 刘振宇, 刘巍, 等. 准噶尔盆地西北缘克百断裂下盘二叠系砂砾岩储层成岩相研究 [J]. *岩性油气藏*, 2010, 22(4): 43-51.
- ZHANG Shuncun, LIU Zhenyu, LIU Wei, et al. Diagenesis facies of Permian sandy conglomerate reservoir in footwallof Kebai fault in northwestern margin of Junggar basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2010, 22(4): 43-51.

(责任编辑 姚志昌)