

准噶尔盆地玛北地区三叠系百口泉组沉积模式

张顺存¹, 邹妮妮^{1,2}, 史基安¹, 常秋生³, 鲁新川¹, 陈波^{1,2}

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

摘要:准噶尔盆地西北缘玛北地区三叠系百口泉组储层发育于扇三角洲沉积环境, 岩石类型复杂, 储层的储集性能主要受不同沉积微相下岩性相的控制, 然而沉积微相与岩性相之间的匹配关系复杂。因而, 建立沉积微相与岩性相相匹配的沉积模式对该区储层主控因素的研究及储层预测具有重要意义。通过岩心精细观察、薄片鉴定、测井及录井资料分析, 结合研究区沉积背景和构造环境, 在强调岩性相和沉积微相之间的配置关系并考虑沉积物的粒度、颜色、沉积构造、沉积微相及经历的成岩作用等特征的基础上, 划分了11种主要的岩性相类型: 水上泥石流砾岩相、水下主河道砾岩相、辫状河道砂砾岩相、水下河道砂砾岩相、水下泥石流砂砾岩相、平原河道间砂泥岩相、水下河道间砂泥岩相、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和前扇三角洲泥岩相。在岩性相特征、剖面岩性相及剖面沉积相特征研究的基础上, 结合沉积序列、沉积结构和沉积构造等特征, 建立了能够反映研究区主要沉积环境及沉积特征的沉积微相与岩性相相匹配的沉积模式。在此基础上, 研究了三叠系百口泉组各段沉积微相与岩性相相匹配的平面展布特征。百口泉组3个段在研究区主要发育扇三角洲平原及前缘亚相。其中, 百一段扇三角洲平原主要发育砾岩相, 扇三角洲前缘主要发育砂岩相; 百二段下部扇三角洲平原主要发育砾岩相, 扇三角洲前缘以砂岩相为主、砂砾岩相为辅; 百二段上部扇三角洲平原以砾岩相为主、砂砾岩相为辅, 扇三角洲前缘以砂岩相为主、砂砾岩相为辅; 百三段扇三角洲平原以砂砾岩相为主、砾岩相为辅, 扇三角洲前缘以砂岩相为主、砂砾岩相为辅。

关键词:沉积相; 岩性相; 沉积模式; 三叠系百口泉组; 玛北地区; 准噶尔盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

Depositional model of the Triassic Baikouquan Formation in Mabei area of Junggar Basin

Zhang Shuncun¹, Zou Niuniu^{1,2}, Shi Ji'an¹, Chang Qiusheng³, Lu Xinchuan¹, Chen Bo^{1,2}

(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. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Exploration and Development of Xinjiang oil Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Reservoirs in the Triassic Baikouquan Formation in Mabei area of northwest margin of Junggar Basin were developed in a fan delta setting, in which the rock types are diversified, the lithologic facies under different sedimentary microfacies played vital role in controlling reservoir properties, and the matching between sedimentary microfacies and lithologic facies was complex. Thus establishing depositional models with matching sedimentary microfacies and lithologic facies is of great significance in studying the main controlling factors of reservoirs and prediction of reservoirs. Based on a combination of analyses of core observation, thin section and log data, with sedimentary background and tectonic settings of the study area, we focused on the configuration relationship between the lithologic facies and sedimentary microfacies and took into consideration the granularity and color of sediments, sedimentary texture and microfacies, and diagenesis. The results shows that 11 main lithologic facies types can be recognized in the study area: superaqueous mudslides conglomerate facies, subaqueous channel conglomerate facies, braided channel coarse-clastic facies, underwater channel coarse-clastic facies, subaqueous debris flow coarse-clastic facies, plain interchannel sandstone-mudstone facies, underwater interchannel sandstone-mudstone facies, underwater channel-end sandstone facies, mouth bar-distal sandbar sandstone facies, frontal fan-delta siltstone facies, and frontal fan-delta mudstone facies. A depositional model with matching sedimentary microfacies and lithologic phase was also established based on lithologic facies characterization, profile analyses of lithological

收稿日期: 2014-08-08; 修订日期: 2015-06-25。

第一作者简介: 张顺存(1973—), 男, 博士、副研究员, 储层地质学与储层地球化学。E-mail: zhangshuncun@126.com。

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计划)项目(2011CB201104)。

facies and sedimentary facies, as well as sedimentary sequence, depositional texture and sedimentary structure. Then, we studied the planar distribution of the microfacies and lithologic facies in the Triassic Bakouquan Formation. It shows that three members of the Formation contain mainly fan-delta plain and fan-delta front subfacies. The first member developed conglomerate in its fan-delta plain and sandstone in its fan-delta front; the second member grew at its lower part mainly conglomerate in its fan-delta plain and glutenite and sandstone in its fan-delta front; and at its upper part conglomerate with glutenite in fan-delta plain and sand with some coarse-clastic rocks in fan-delta front; and the third member is dominated by coarse-clastic facies followed by conglomerate facies in its fan-delta plain, and it is dominated by sandstone facies followed by coarse-clastic facies in its fan delta front.

Key words: sedimentary facies; lithologic facies; sedimentary model; Triassic Baikouquan Formation; Mabei Region; Junggar Basin

准噶尔盆地西北缘是中国石油新疆油田分公司重要的油气产区,构造单元主要包括中拐凸起、克百断裂带、乌夏断裂带和玛湖凹陷等(图1)。该区在石炭纪主要发育火山岩^[1-5];二叠纪早期主要发育火山岩,中、晚期主要发育以砂砾岩为主的粗碎屑沉积岩,以扇三角洲沉积相为主^[6-10];三叠纪早、中期主要发育以砂砾岩为主的粗碎屑沉积岩,晚期沉积物粒度变细,沉积环境由以冲积扇为主过渡到以扇三角洲为主^[11-14];侏罗纪主要发育以河流相、辫状河三角洲、曲流河三角洲及湖泊等为主的碎屑岩沉积^[14-16]。本文研究区为玛湖凹陷北斜坡区,简称玛北地区(图1),研究层位为三叠系百口泉组。该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)和白碱滩组(T_3b),其中百口泉组从下到上依次划分为百口泉组一段(T_1b^1 ,简称百一段)、百口泉组二段(T_1b^2 ,简称百二段,从上到下划分为一砂组 $T_1b^{2(1)}$ 和二砂组 $T_1b^{2(2)}$)和百口泉组三段(T_1b^3 ,简称百三段)^[17]。

玛北斜坡区油气勘探始于20世纪80年代,开始时进展缓慢,20世纪90年代钻了5口井,其中1993年玛2井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年上交玛北油田探明石油地质储量。同年,玛6井百口泉组获得突破,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。2010-2014年,陆

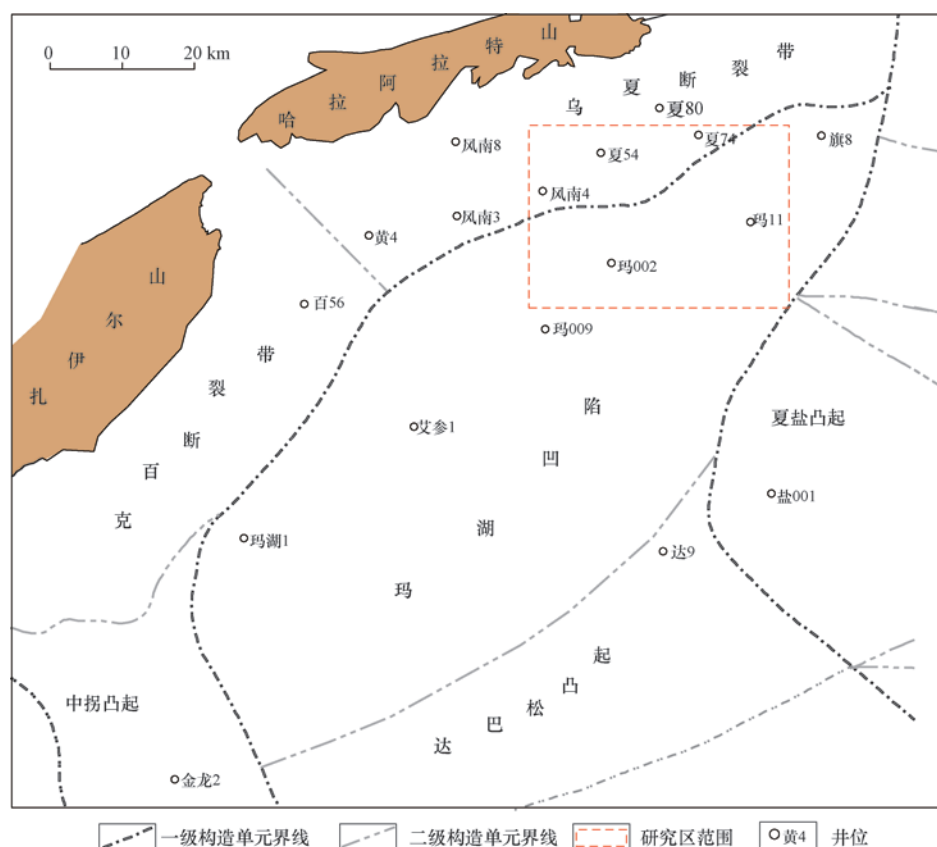


图1 准噶尔盆地玛北地区地理位置和构造区划

Fig. 1 Location and structure divisions in Mabei area of Junggar Basin (the red dotted box marked Mabei region)

续上钻多口新井,如玛13井、玛131井、玛132井、玛133井、玛15井、玛18井、玛19井、夏89井、夏90井及夏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)均获高产油气流、工业油流或稳定油气流^[17-18]。该区多口探井的勘探结果表明,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^[17-18]。研究表明,沉积作用是该区储层优劣的主要控制因素。虽然该区的沉积环境主要是扇三角洲沉积,但岩心观察表明,该区储层种类复杂,相同的沉积微相中发育的沉积物存在较大的差异,沉积微相的空间展布规律还不甚清楚,缺少符合沉积现象的沉积模式,因而沉积模式和沉积相的研究对该区油气勘探具有重要的指导意义。前人针对该地区沉积模式及沉积相方面研究的文献相对较少,多数文献主要是针对玛北油田早期的特征进行的研究^[19-24]。近几年部署了大量的新井且有良好的油气发现,然而相关文献较少^[17-18,25]。因此,本文通过对岩心特征的精细研究,结合该区的构造背景、沉积环境及录井、测井资料,建立了反映研究区三叠系百口泉组沉积特征的沉积相模式,以期为该区的油气勘探提供借鉴。

1 岩石学特征

玛北地区三叠系百口泉组的142个储集岩样品的统计分类表明(图2),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4.2%)、含砾砂岩(占3.7%)及含砾不等粒砂岩(占3.0%)等,说明研究区储层类型主要为粗碎屑的砾岩类(占84%,砂砾岩为主,其他各种砾岩为辅,下同),细碎屑的砂岩类含量较少(占16%)(图2),且砂岩主要是岩屑砂岩,另外还可以见到少量长石质岩屑砂岩发育,其他类型的砂岩基本见不到。

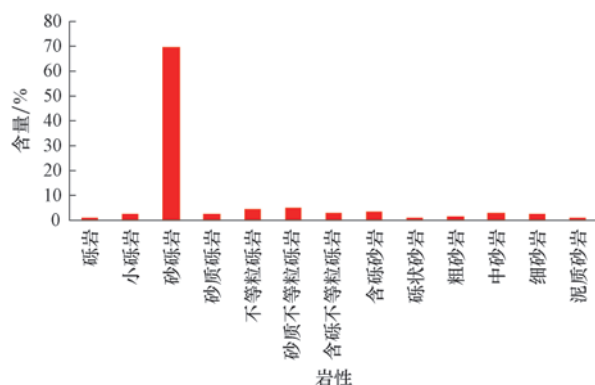


图2 玛北地区三叠系百口泉组碎屑岩类型直方图

Fig. 2 Distribution histogram of detrital in the Triassic Baikouquan Formation in Mabei area

该区粗碎屑的砾岩类储层的总体特征是:颜色主要为褐色、棕褐色(砾岩为主,砂砾岩为辅)及杂色、灰绿色、灰色(砂砾岩为主,砾岩为辅);成熟度表现为既有分选和磨圆较差的、结构成熟度较低的砂砾岩,也有具有一定磨圆度,甚至具有一定分选性的结构成熟度较高的砂砾岩;砂砾岩的胶结物以泥质、钙质为主(表1、图3)。

玛北地区三叠系百口泉组大量岩心观察、分析表明,该区岩石种类较多。为了方便研究,本文根据粒度、颜色、沉积构造、结构和成分成熟度、泥质杂基含量等因素对主要的岩石相进行了划分,并对其特征及主要发育的岩性相(见下文说明)进行了归纳。研究区主要发育褐色砾岩相、灰色砾岩相、褐色砂砾岩相、褐色泥质砂砾岩相(区别于褐色砂砾岩相,该岩心相的砂砾岩中泥质杂基含量较高,详见表1)、灰色砂砾岩相、灰色泥质砂砾岩相、中-粗砂岩相和细-粉砂岩相(最后两种岩相发育较少,故在表1中合为砂岩相),各种岩石相的特征见表1。

2 岩性相划分

从上述岩石相的划分可以看到,同样的岩性可以出现在不同的沉积微相中,同一个沉积微相也可以出现不同的岩性。为了进一步查明不同沉积微相、不同岩性之间的匹配关系,本文通过在百口泉组均获得工业油气流的玛湖1井、玛18井、玛152井、玛133井和玛19井等典型井的沉积层序及扇三角洲内部成因沉积单元的精细刻画,用岩性相来表征不同粒度、颜色和沉积微相条件下沉积物的特征(区别于第一部分的岩石相,主要强调了岩性相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、沉积微相及沉积物经历的成岩作用等特征),将研究区划分为11种岩性相,对应于研究区主要的11种沉积微相,包括扇三角洲平原亚相(后文简称平原亚相)3种(水上泥石流砾岩相、辫状河道砂砾岩相和平原河道间砂泥岩相)、扇三角洲前缘亚相(后文简称前缘亚相)6种(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和河口坝-远砂坝砂岩相)以及前扇三角洲亚相2种(前扇三角洲粉砂岩相和前扇三角洲泥岩相)(研究区扇三角洲具有突发性洪流与常态水流交替作用,洪水期以重力流或泥石流沉积为主,平水期以牵引流沉积为主,故具有泥石流沉积、辫状河道充填和水下分流河道沉积等多种成因类型),并对这11种岩性相的沉积序列、岩相模式和储层特征(包括宏观特征、微观特征、压汞曲线特征、粒度特征、孔隙度分布特征及渗透率分

表 1 玛北地区三叠系百口泉组岩石相特征
Table 1 Features of litho-facies of the Triassic Baikouquan Formation in Mabei area

岩石相类型		特征	岩心照片		岩性相/微相
砾岩相	褐色砾岩相	该类岩心相在研究区比较发育,砾石以棱角状-次棱角状为主,分选较差,杂基主要为砂岩,可见大型板状、槽状交错层理,反映了强水动力条件			水上泥石流砾岩相
	灰色砾岩相	该类岩心相在研究区中等发育,砾石以次圆状-次棱角状为主,分选较差,杂基主要为砂岩,可见大型板状、槽状交错层理,反映了水动力条件较强			水下主河道砾岩相
褐色砂砾岩相	褐色砂砾岩相	该类岩心相在研究区比较发育,中-厚层,砂砾岩中砾石以次圆状-次棱角状为主,分选较差-中等,杂基主要为砂岩,可见大型交错层理,冲刷面,反映了较强的水动力条件			辫状河道砂砾岩相
	褐色泥质砂砾岩相	该类岩心相在研究区中等发育,砂砾岩中砾石以棱角状-次棱角状为主,分选较差,杂基主要为泥质、砂岩,泥质胶结为主,可见不规则洪积层理、层状层理、波状层理,反映了水动力条件较弱			平原河道间砂泥岩相
灰色砂砾岩相	灰色砂砾岩相	该类岩心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,反映了很强的水动力条件			水下河道砂砾岩相
	灰色泥质砂砾岩相	该类岩心相在研究区非常发育,厚层块状,砂砾岩中砾石以次棱角状-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,反映了水动力条件中等			水下泥石流砂砾岩相、 水下河道间砂泥岩相
砂岩相	中-粗砂岩相	该类岩心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,反映了水动力条件较弱			水下河道末端砂岩相
	细-粉砂岩相	该类岩心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,反映了水动力条件较弱			河口坝-远砂坝砂岩相、 前扇三角洲粉砂岩相

布特征)进行了总结归纳^①。本文仅选取其中的 4 种进行讨论。

2.1 辫状河道砂砾岩相

辫状河道砂砾岩相(图 4)主要由褐色、杂色砂砾岩、砂质砾岩和砾状砂岩所构成。砾石成分复杂,大小不等,杂乱分布,呈次圆状-次棱角状(以次棱角状为主,下同),分选差。砾岩多为碎屑支撑,砾石间多为混合杂基充填,常发育槽状交错层理、块状层理、递变层理及高角度斜层理。辫状河道砂砾岩中常发育冲刷面,反映洪水的频繁冲刷和充填过程,在水体能量最强处,细杂基被冲刷掉,往往形成同级颗粒支撑的砾岩。在测井曲线上表现为正旋回特征,单个旋回为齿化或

弱齿化的箱形,曲线组合形态为多个箱形的垂向叠加。粒度分布表现为粒级分布广、斜率小、截点不明显等特征;粒度概率曲线主要为斜率较小的二段式。压汞曲线可以看出该类砂砾岩属于歪孔细喉,退汞效率相对较好,孔喉半径部分大于 4 μm。孔隙度和渗透率较高,可见扇三角洲平原辫状河道砂砾岩具备良好的储集性能,可成为研究区较为有利的储集岩相。

2.2 水下主河道砾岩相

扇三角洲前缘亚相是扇三角洲沉积的主体,也是砂体最发育部位,处于水下,分布范围最大。水下主河道砾岩相主要由灰绿、灰色砾岩组成,磨圆较好,呈次棱角状-次圆状,分选较差,以颗粒支撑为主。常厚层

① 史基安,常秋生,张顺存,等. 环玛湖凹陷三叠系-二叠系相对优质储层成因研究. 中国石油新疆油田分公司,2013.

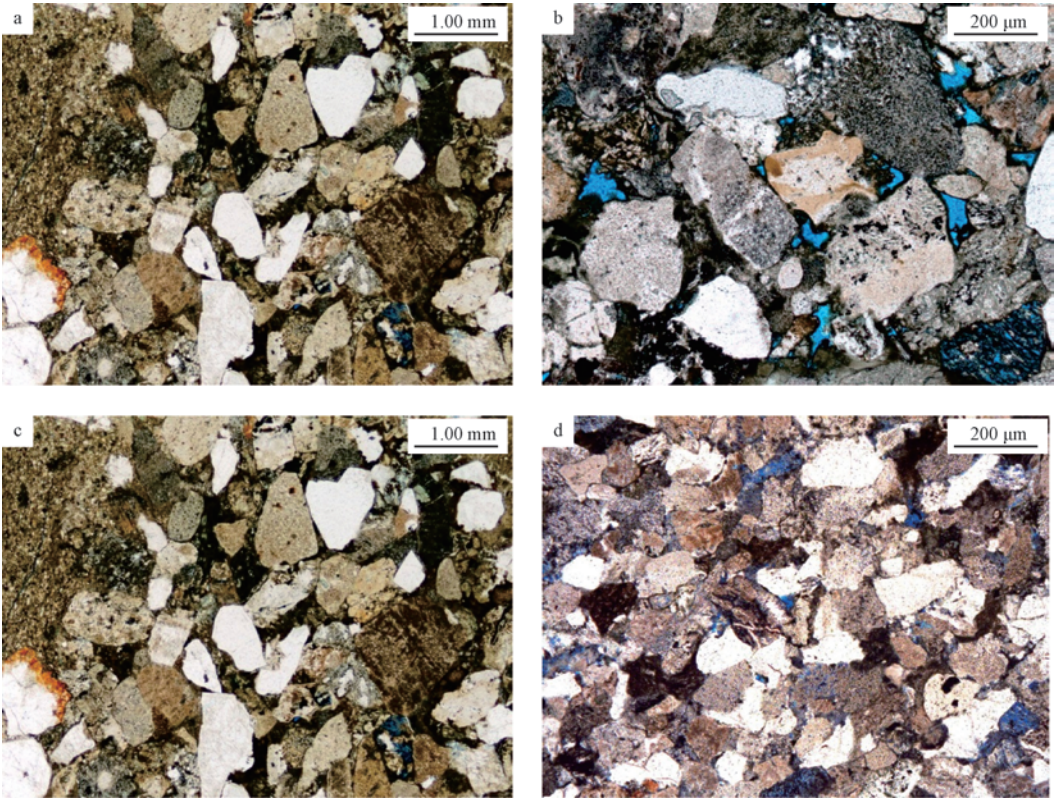


图 3 玛北地区三叠系百口泉组砂砾岩微观特征

Fig. 3 Microscopic features of coarse-clastic rocks in the Triassic Baikouquan Formation in Mabei area

- a. 玛 131 井,埋深 3 361.59 m, T_1b ,褐色砂砾岩,磨圆中等-较差,以次圆状-次棱角状为主,泥质杂基含量中等-较低,属于扇三角洲平原辫状河道沉积物;b. 玛 16 井,埋深 3 221.60 m, T_1b ,灰色砂砾岩(钙质胶结),粒间孔隙发育,泥质杂基含量低,属于扇三角洲前缘水下分流河道沉积物;c. 玛 13 井,埋深 3 109.03 m, T_1b ,灰色泥质砂砾岩,颗粒磨圆中等-较差,以次圆状-次棱角状为主,泥质杂基含量较高,粒间孔隙及粒间溶孔不发育,属于扇三角洲前缘水下分流河道间沉积物;d. 玛 133 井,埋深 3 136.60 m, T_1b ,灰色细砂岩,分选较好,磨圆中等-较好,泥质杂基含量少,粒间溶孔及粒内溶孔较发育,以钙质胶结为主,属于扇三角洲前缘末端沉积物

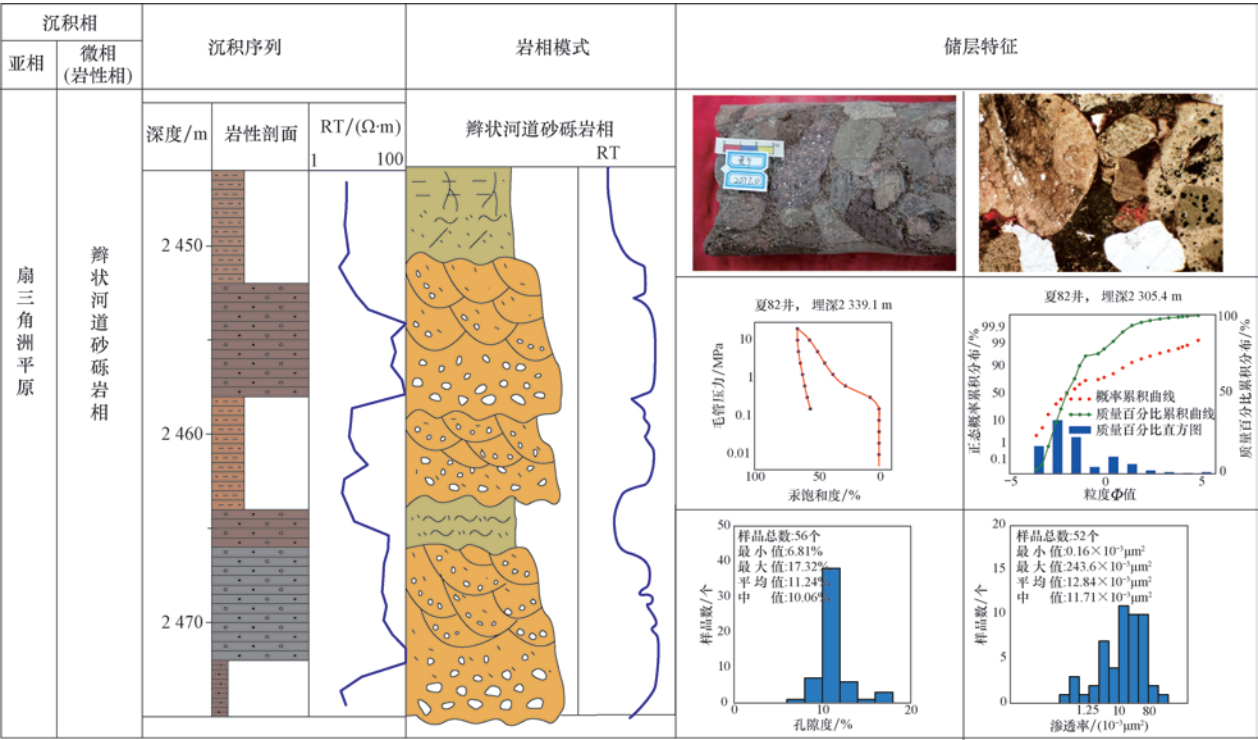


图 4 玛北地区辫状河道砂砾岩相沉积特征

Fig. 4 Features of braided channel coarse-clastic facies in Mabei area

状发育,可见大型槽状交错层理、斜层理。电阻率曲线主要为齿状钟形+箱形的复合型。粒度概率曲线具有典型的牵引流沉积特征,为典型的两段式。从压汞曲线可看出退汞效率较好,属于中孔细喉。孔隙度较好,渗透率变化较大,说明该类砾岩储集空间复杂,储层非均质性较强,难以成为研究区优质储层。

2.3 水下河道砂砾岩相

水下河道砂砾岩相(图 5)是随着平原亚相辫状河道向湖推进、河道变宽变浅、分叉增多而形成的水下分流河道沉积物。这种分流河道随水流的消能常发生淤塞而改道,故沉积物纵、横向不均一性较强,分选中等-较差,主要由灰色、灰绿色砂砾岩、砂质砾岩、含砾砂岩等组成。砾石成分复杂,以圆状-次圆状为主,常呈中层发育,见大型槽状交错层理、板状层理,局部见砾石定向排列及小型冲刷面和滞留砾石、泥砾。粒度概率曲线为典型的两段式,具明显的河道沉积特点,且斜率较低,反映分选中等-较差。电阻率曲线主要为高幅齿状钟形,因水道退缩形成钟形叠在箱形之上的复合型。从压汞曲线和孔渗直方图可以看出,扇三角洲前缘水下河道砂砾岩相是优质的储集岩相,退汞效率高,孔喉半径均值较高,孔隙度和渗透率都较高。该相砂砾岩往往成为研究区最为优质的储层,加上其厚度较大、分布范围广,成为研究区最主要的储集岩,可以形成大型油气藏。

2.4 水下河道末端砂岩相

水下河道末端砂岩相属于扇三角洲水下分流河道末端的细粒沉积,主要由灰色中-粗砂岩、含砾粗砂岩组成,常呈中-薄层发育,见小型槽状和板状层理,分选好,磨圆度较好,具正韵律。测井曲线为中幅钟形+指状。粒度概率曲线为一跳一悬加过渡式,反映了水流进入湖盆后能量降低的水动力特征。排驱压力较低,退汞效率较好。孔渗条件较好,说明河道末端砂经过了不间断的湖水淘洗,杂基含量低。该相砂岩是研究区储集性能最好的储层类型(特别是中-粗砂岩在各类储层中物性最好),但由于厚度较薄,较难形成大型的油气藏。

3 沉积相模式

在对上述 11 种岩性相分析的基础上,结合研究区的构造背景、沉积环境、储层岩石类型及特征,选取了一条典型剖面,对剖面上单井的沉积模式和沉积序列进行了研究。结合剖面上各井的实际录井及测井资料,绘制了剖面上各个井的沉积模式及沉积序列,并在此基础上绘制了该剖面的联井沉积相-岩性相剖面图(图 6)。该剖面从夏 74 井到玛 133 井呈北东-南西向,沉积环境由扇三角洲平原为主过渡到扇三角洲前缘及滨浅湖。其中,百一段主要是平原辫状河道的褐

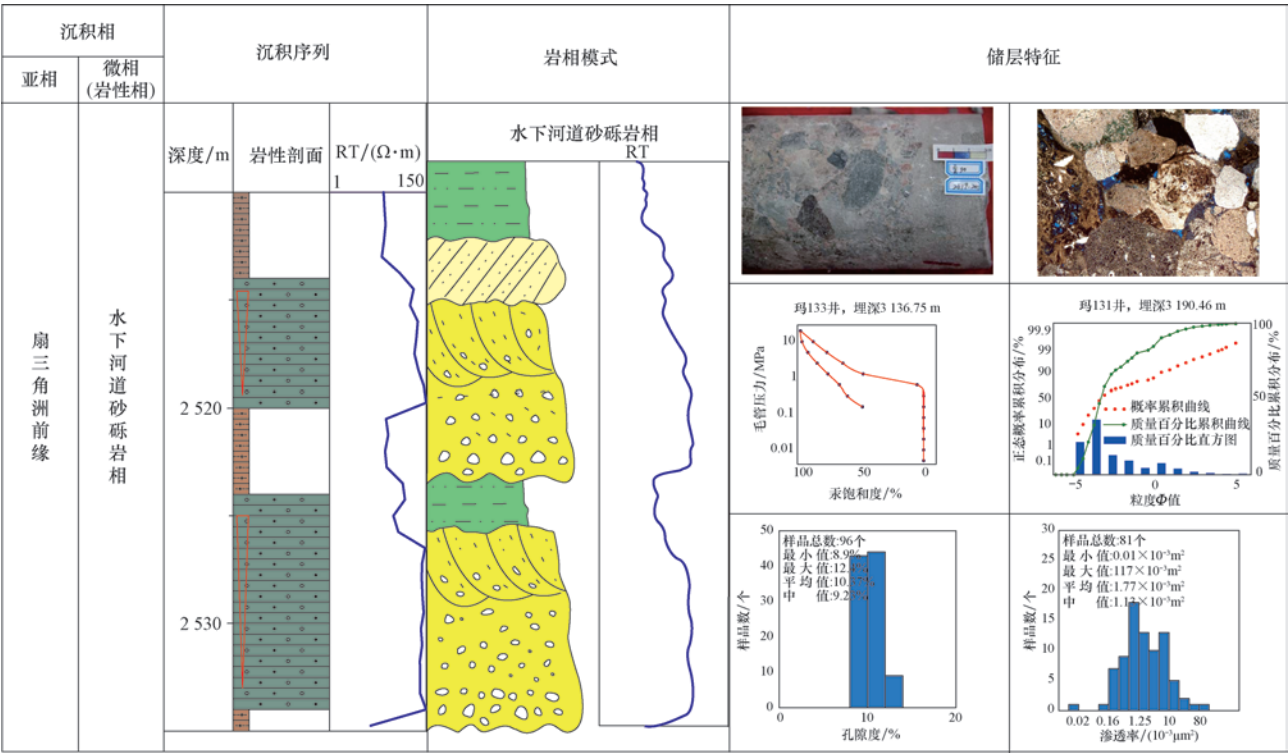


图 5 玛北地区水下河道砂砾岩相沉积特征
Fig. 5 Features of underwater channel coarse-clastic facies in Mabei area

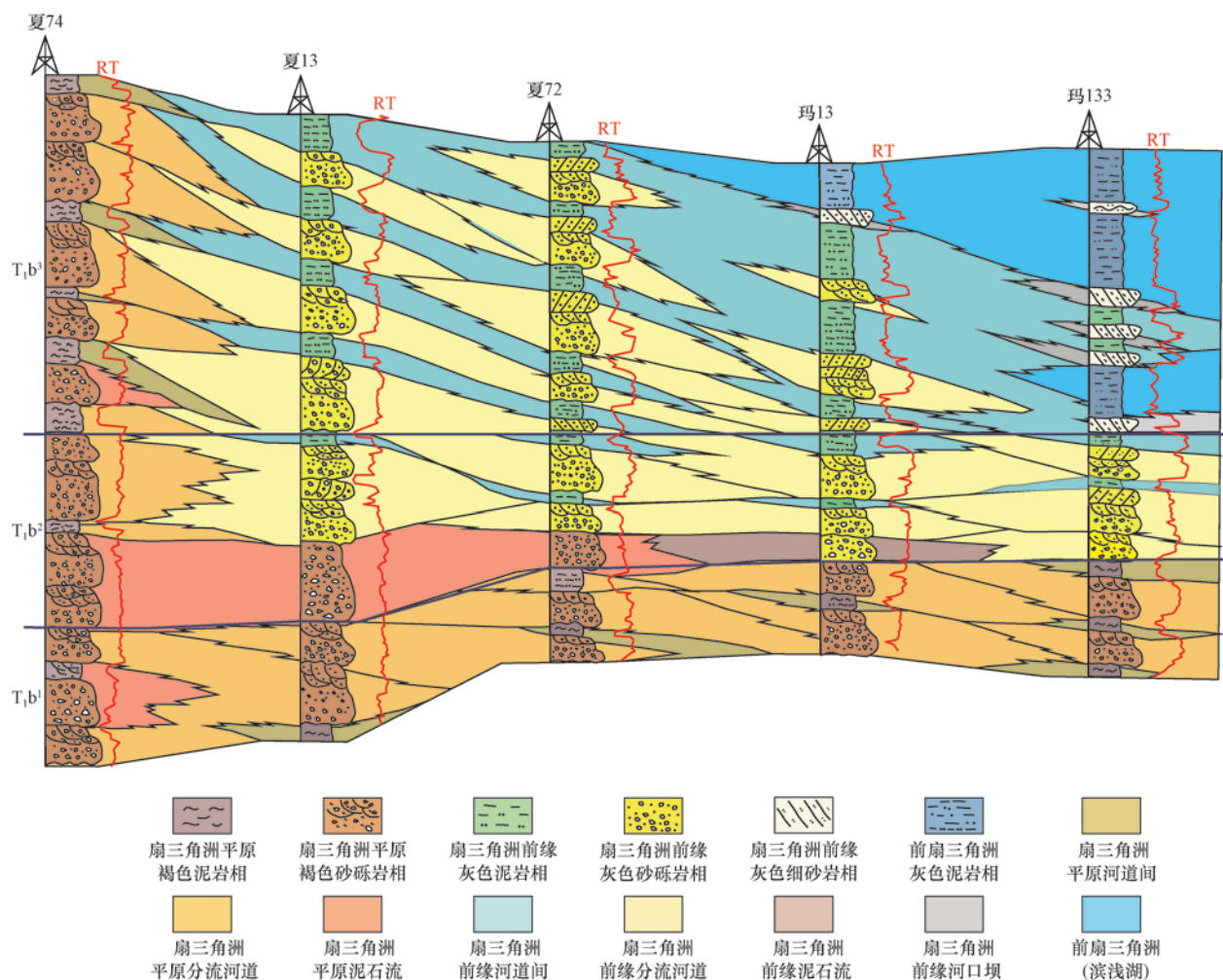


图6 玛北地区扇三角洲连井剖面沉积相-岩性相演化特征

Fig. 6 Vertical section showing evolution of fan-delta sedimentary facies-lithologic facies in Mabei area

色砂砾岩沉积,向上粒度略有变细,中间夹有薄层的平原辫状河道间砂泥岩沉积。百二段下部在剖面北端的夏74井、夏13井和夏72井见有平原泥石流砾岩沉积,剖面上部主要是前缘水下分流河道砂砾岩沉积夹极薄层的前缘水下分流河道间砂泥岩沉积,沿剖面由东北到西南,粒度变细,出现含砾砂岩沉积物,剖面北端的夏74井仍然以平原辫状河道砂砾岩沉积为主。百三段由东北到西南,由下到上,依次出现平原辫状河道砂砾岩夹薄层平原辫状河道间砂泥岩沉积物、前缘水下分流河道砂砾岩与前缘水下分流河道间砂泥岩互层沉积物、滨浅湖砂泥岩和粉砂岩夹薄层河口坝-远砂坝细砂岩和粉砂岩沉积物。

综合上述剖面沉积相特征,在对上述11种岩性相分析的基础上,结合研究区的构造背景和沉积环境,建立了能够反应该区沉积微相和岩心相相匹配的沉积相综合模式图(图7)。该模式重点强调了以下几个方面的特点:

1) 模式中未体现冲积扇的特点。由于该区冲积扇范围较小,钻遇井不多,与其相关的油气藏也基本未发现,因而是将该区最主要的储层发育相带——扇三

角洲相进行了细分,以期为该区的油气勘探提供依据。

2) 将岩性相与沉积微相紧密结合并进行匹配。该区储层岩石类型复杂,同样的沉积微相下发育不同的岩石类型组合,同样的岩石类型(在录井、测井资料中不易区分)发育于不同的沉积微相中,且不同沉积微相、不同岩石组合的储集性能差别较大,这是造成该区优质储层预测的主要困难。该模式对解决此问题进行了探讨,为该区优质储层预测提供了理论依据。

3) 突出湖岸线的重要性。湖岸线是扇三角洲平原亚相与扇三角洲前缘亚相的分界线。研究区平原辫状河道砂砾岩、前缘水下分流河道砂砾岩及前缘水下分流河道末端砂岩都非常发育。这些砂(砾)岩均经过不同程度的水体淘洗,是目前三叠系百口泉组最有利的储集体,但其储集性能有所差异。

4 平面沉积相特征

在上述研究的基础上,结合典型单井沉积相特征及其他剖面沉积相特征,在沉积模式图的指导下,编绘了研究区百口泉组百一段、百二段二砂组、百二段一砂

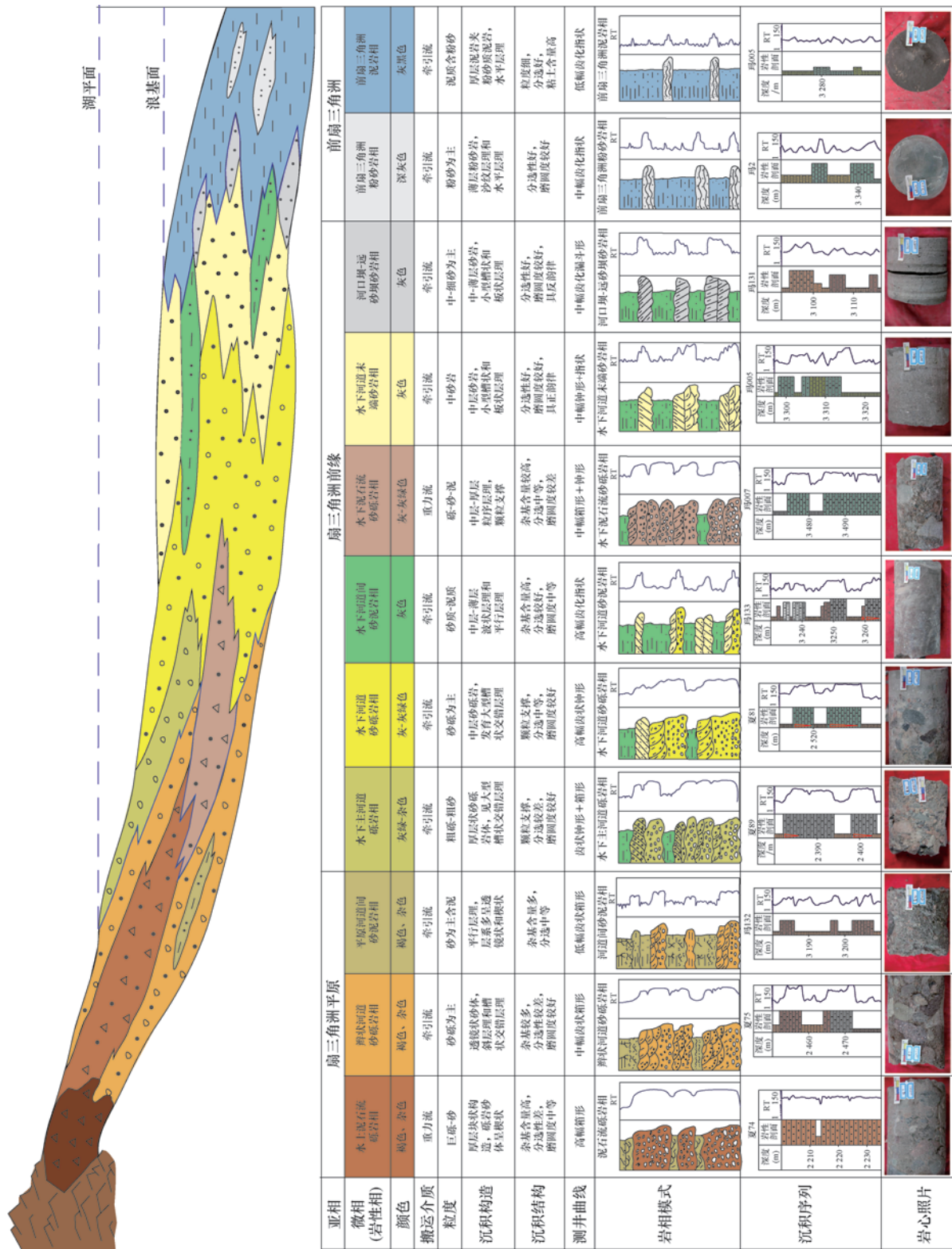


图7 玛北地区三叠系百口泉组扇三角洲沉积综合模式
Fig.7 Model of fan-delta sedimentary facies in the Triassic Baikouquan Formation in Mabei area

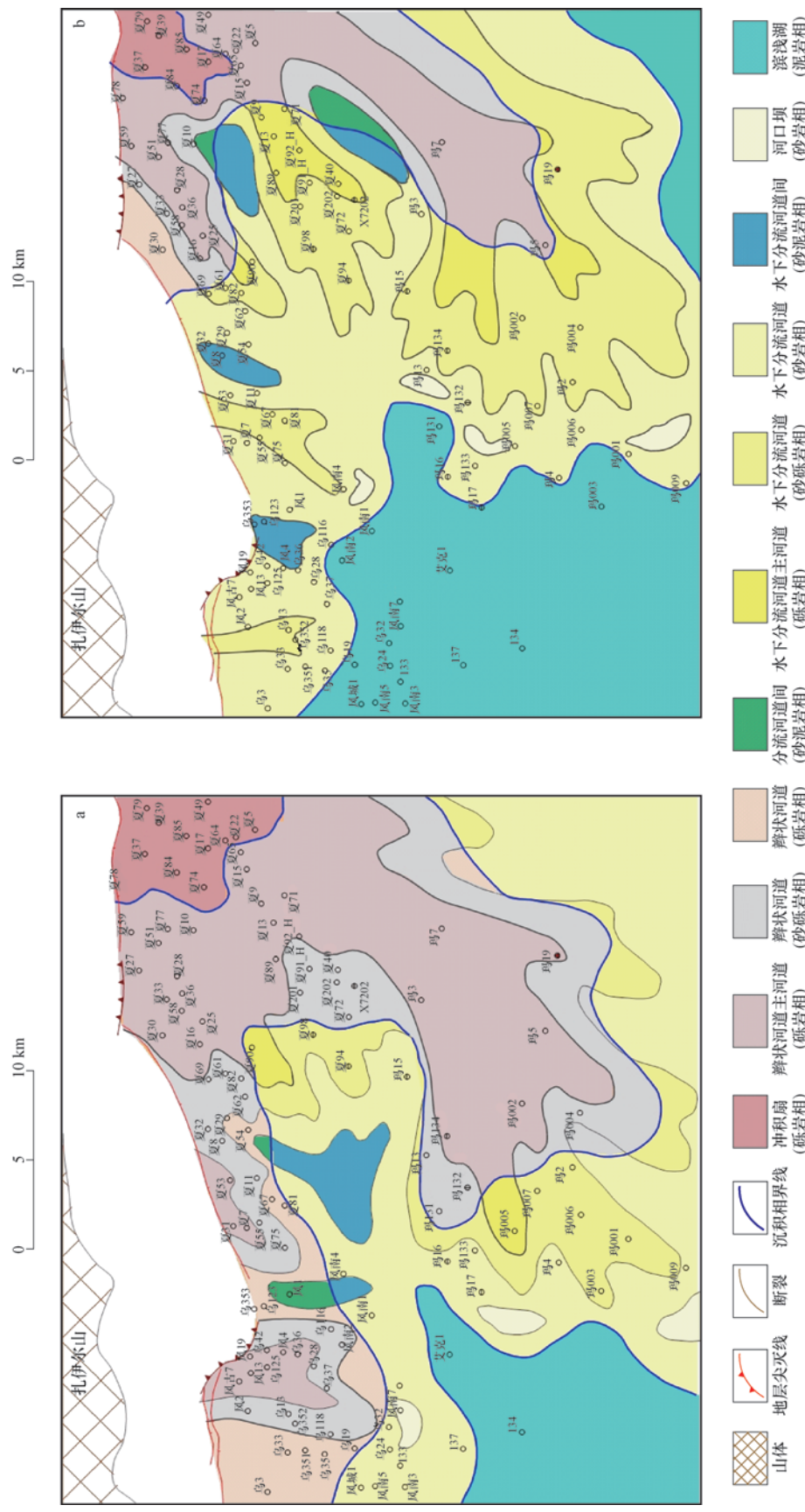


图8 玛北地区百一段 (a) 和百二段 (b) 沉积相-岩性相平面图

Fig.8 Planar distribution of Triassic Baikouquan Formation sedimentary facies - lithologic facies in Mabei area

组和百三段的沉积相-岩性相平面图。编制过程中,考虑了不同岩性相、不同沉积微相之间的匹配关系。这种沉积相-岩性相平面图对于研究区有利储层的预测及油气勘探具有一定的借鉴意义(研究表明,研究区优质储层主要是发育于前缘水下分流河道的灰色砂砾岩及前缘水下分流河道末端的灰色砂岩等^{[17]①})。下文对各段的沉积相-岩性相平面展布特征进行简要的说明。

4.1 百口泉组一段

百一段沉积期,除东北角发育小范围的冲积扇扇缘亚相及东南角发育部分的滨浅湖亚相外(由于前扇三角洲亚相与滨浅湖亚相不易区分,本文统称为滨浅湖,其岩性主要为深灰色粉砂岩、灰黑色泥岩,下文同),研究区主要发育平原亚相和前缘亚相沉积。前者主要分布于东北面,包括风南7井-风南4井-夏81井-夏90井-一线以北、夏90井-夏93井-玛15井-一线以东、玛131井-玛007井-玛2井-一线以东及玛004井南-玛19井南-一线以北,后者紧接着前者发育于西南面。在平原亚相和前缘亚相的分界处见有小范围的平原分流河道间及前缘水下分流河道间微相沉积,在靠近滨浅湖的区域可见到零星的河口坝-远砂坝发育。在平原亚相中,岩性主要是砾岩,砾岩的外围发育少量砂砾岩,在研究区北部还见有少量砂岩。在前缘亚相中,岩性主要是砂岩,仅在东南部见有少量砂砾岩、砾岩。该时期主要物源来自研究区东北部,次要物源来自研究区北部。百一段沉积期既是平原亚相最为发育的沉积期,也是平原水上泥石流砾岩相、前缘水下分流河道末端砂岩相分布最广的时期(图8a)。

4.2 百口泉组二段

百口泉组二段分为两个砂组。早期的二砂组沉积期基本继承了百一段沉积期的特征,平原及冲积扇扇缘范围缩小,前缘及滨浅湖范围增大,北部的次要物源减弱。平原亚相中,岩性以砾岩为主,见有少量砂砾岩;前缘亚相中,岩性以砂岩为主,砂砾岩为辅,还有少量砾岩。

百二段一砂组沉积期与二砂组相比,平原及冲积扇扇缘范围进一步缩小,前缘及滨浅湖范围进一步增大,北部的次要物源不明显(图8b)。平原亚相中,岩性以砾岩为主,砂砾岩为辅;前缘亚相中,岩性以砂岩为主,砂砾岩为辅,见有零星砾岩。该沉积期前缘水下分流河道间微相分布增多。

4.3 百口泉组三段

百三段沉积期基本继承了百二段一砂组沉积期的

特征,平原及冲积扇扇缘范围进一步缩小,前缘及滨浅湖范围进一步增大,北部物源基本上不发育。平原亚相中,岩性以砂砾岩为主,砾岩为辅;前缘亚相中,岩性以砂岩为主,砂砾岩为辅。平原分流河道间及前缘水下分流河道间沉积物分布更广。

从百口泉组3个段的沉积相特征来看,由百一段到百三段是一个明显的水进过程,平面上表现为平原及前缘范围逐渐缩小、滨浅湖范围逐渐增大,岩性表现为砾岩和砂砾岩逐渐减少、砂岩和粉砂岩逐渐增多。纵向上,中下部以粗碎屑的砾岩和砂砾岩沉积为主,中上部以细碎屑的砂岩和粉砂岩沉积为主,百三段顶部往往发育大范围的泥岩类沉积,与其下部的储层形成了良好的储-盖组合,为该区大范围的油气聚集提供了条件。

5 结论

1) 玛北地区储层类型复杂,以砾岩、砂砾岩、砂岩为主。砾岩有褐色及灰色砾岩;砂砾岩主要包括褐色泥质砂砾岩、褐色砂砾岩(泥质含量较低)、灰色砂砾岩(钙质胶结为主,泥质含量较低)、灰色泥质砂砾岩等;砂岩主要发育于水下,有灰色中-粗砂岩、细砂岩等。

2) 研究区可划分为11种岩性相,对应于3种主要的沉积亚相。扇三角洲平原亚相有3种,包括水上泥石流砾岩相、辫状河道砂砾岩相和平原河道间砂泥岩相;扇三角洲前缘亚相有6种,包括水下主河道砾岩相、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和河口坝-远砂坝砂岩相;前扇三角洲亚相有2种,包括前扇三角洲粉砂岩相和前扇三角洲泥岩相。

3) 三叠系百口泉组主要发育扇三角洲平原及前缘亚相沉积。从百一段到百三段,平原亚相的范围逐渐缩小,前缘亚相的范围先略有增大、后缩小,前扇三角洲的范围逐渐增大,总体反应了水进的沉积过程,期间沉积物供给量经历了由少到多再明显减少的过程。各段不同沉积亚相的岩性相也存在较明显的差异。

参 考 文 献

- [1] He Dengfa, Li Di, Fan Chun, et al. Geochronology, geochemistry and tectonostratigraphy of Carboniferous strata of the deepest Well Mo shen-1 in the Junggar Basin, northwest China: Insights into the continental growth of Central Asia [J]. *Gondwana Research*, 2013, 24 (2): 560 - 577.
 - [2] Liu Haiquan, Xu Yigang, He Bin. Implications from zircon-saturation temperatures and lithological assemblages for Early Permian thermal anomaly in northwest China [J]. *Lithos*, 2013, 182 - 183 (12): 125 - 133.
 - [3] 潘建国, 郝芳, 谭开俊, 等. 准噶尔盆地红车断裂带古生界火山岩油气藏特征及成藏规律 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19 (2): 53 - 57.
- Pan Jianguo, Hao Fang, Tan Kaijun, et al. Characteristics and accu-

① 史基安, 常秋生, 张顺存, 等. 环玛湖凹陷三叠系-二叠系相对优质储层成因研究. 中国石油新疆油田分公司, 2013.

- mulation of Paleozoic volcanic rock reservoirs in Hongche fault belt, Junggar Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 53–57.
- [4] 张继恩, 肖文交, 韩春明, 等. 西准噶尔石炭纪洋中脊俯冲岩浆活动: 以玛里雅蛇绿岩为例[J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3272–3282.
- Zhang Ji'en, Xiao Wenjiao, Han Chunming, et al. Magmatism of mid-oceanic ridge subduction during Carboniferous in western Junggar: Evidence from Maliyao phiolite[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(11): 3272–3282.
- [5] 冯乾文, 李锦铁, 刘建峰, 等. 新疆西准噶尔克拉玛依岩体中暗色岩墙的形成时代及地质意义——来自锆石 LA-ICP-MS 和角闪石 Ar-Ar 定年的证据[J]. 岩石学报, 2012, 28(7): 2158–2170.
- Feng Qianwen, Li Jinyi, Liu Jianfeng, et al. Ages and geological significance of the dark dykes emplaced in the Karamay pluton and adjacent area, in western Junggar, Xinjiang, NW China: Evidence from LA-ICP-MS zircon chronology and Ar-Ar amphibole chronology[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(7): 2158–2170.
- [6] 吴涛, 赵长永, 吴采西, 等. 准噶尔盆地湖底扇沉积特征及地球物理响应——以克拉玛依油田五八区二叠系下乌尔禾组为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 85–94.
- Wu Tao, Zhao Changyong, Wu Caixi, et al. Sedimentary characteristics and geophysical responses of sublacustrine fan in the Junggar Basin: a case study on the Lower Urho Formation of the Permian in the Wuba block, Karamay oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 85–94.
- [7] 史基安, 何周, 丁超, 等. 准噶尔盆地西北缘克百地区二叠系沉积特征及沉积模式[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 121–127.
- Shi Ji'an, He Zhou, Ding Chao, et al. Sedimentary characteristics and model of Permian system in Ke-Bai area in the north western margin of Jungar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 121–127.
- [8] 匡立春, 唐勇, 雷德文, 等. 准噶尔盆地二叠系咸化湖相云质岩致密油形成条件与勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(6): 657–667.
- Kuang Lichun, Tang Yong, Lei Dewen, et al. Formation conditions and exploration potential of tight oil in the Permian saline lacustrine dolomitic rock, Junggar Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(6): 657–667.
- [9] 朱世发, 朱筱敏, 吴冬, 等. 准噶尔盆地西北缘下二叠统油气储层中火山物质蚀变及控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 77–85.
- Zhu Shifa, Zhu Xiaomin, Wu Dong, et al. Alteration of volcanics and its controlling factors in the Lower Permian reservoirs at northwestern margin of Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 77–85.
- [10] 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.
- [11] 鲜本忠, 徐怀宝, 金振奎, 等. 准噶尔盆地西北缘三叠系层序地层与隐蔽油气藏勘探[J]. 高校地质学报, 2008, 14(2): 139–146.
- Xian Benzong, Xu Huanbao, Jin Zhenkui, et al. Sequence stratigraphy and subtle reservoir exploration of Triassic system in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(2): 139–146.
- [12] 方世虎, 郭召杰, 张志诚, 等. 准噶尔盆地中生代演化的地层学和沉积学证据[J]. 高校地质学报, 2004, 10(4): 554–561.
- Fang Shihu, Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng, et al. Mesozoic tectonic evolution of southern Junggar Basin, northwestern China: Constraints from stratigraphic and sedimentologic evidences[J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(4): 554–561.
- [13] 任涛, 王彦春, 王仁冲. 冲积扇低孔、低渗砂砾岩油藏产能指标预测——以准噶尔盆地西北缘 Y 地区三叠系百口泉组油藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(4): 556–561.
- Ren Tao, Wang Yanchun, Wang Renchong. Productivity index prediction of alluvial fan coarse-grained clastic reservoirs with low porosity and low permeability: a case from Triassic Baikouquan Formation reservoir in Y-region at northwestern margin of Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(4): 556–561.
- [14] 张继庆, 汪新胜, 刘志刚, 等. 准噶尔盆地西北缘三叠-侏罗系沉积模式[J]. 新疆石油地质, 1992, 13(3): 206–216.
- Zhang Jiqing, Jiang Xinsheng, Liu Zhigang, et al. Sedimentation model for the Triassic and Jurassic strata of the northwestern margin in Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1992, 13(3): 206–216.
- [15] 鲍志东, 刘凌, 张冬玲, 等. 准噶尔盆地侏罗系沉积体系纲要[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 10–18.
- Bao Zhidong, Liu Ling, Zhang Dongling, et al. Depositional system frameworks of the Jurassic in Junggar Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2): 10–18.
- [16] 朱筱敏, 张义娜, 杨俊生, 等. 准噶尔盆地侏罗系辫状河三角洲沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 244–251.
- Zhu Xiaomin, Zhang Yina, Yang Junsheng, et al. Sedimentary characteristics of the shallow Jurassic braided river delta, the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 244–251.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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 Su'an, et al. The exploration target of oil gas Mabei slope area of Junggar Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2005, 27(6): 8–11.
- [23] 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, 34(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, 34(3): 320–323.
- [24] 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]. 山东东营: 中国石油大学(华东), 2011.
- Chen Jie. The impacts of diagenesis on carrying capability of unconformity of Ke-Xia Fault Belt in Junggar Basin[D]. Dongying, Shandong: China University of Petroleum(East China), 2011.
- [25] 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.

(编辑 李 军)