

石西地区八道湾组三段 辫状河三角洲的识别与沉积特征研究

文佳涛^{1,2} 吴爱成³ 但玲玲⁴ 原 园^{1,2} 程 文^{1,2} 樊文阔^{1,2} 随大伟^{1,2}

(1 长江大学地球科学学院,湖北 荆州 434023;2. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室,湖北 荆州 434023;3. 新疆油田公司,勘探开发研究院勘探所,新疆 克拉玛依 834000;
4. 中国石油大学(北京)地球科学学院,北京 102200)

摘要:针对前人提出准噶尔盆地腹部石西地区下侏罗统八道湾组三段为曲流河三角洲沉积的观点,笔者根据碎屑岩的结构、沉积构造及砂体的空间展布等特征,认为八道湾组三段是在较强水动力条件下牵引流沉积的产物,其沉积环境应属于辫状河三角洲沉积。通过对研究区八道湾组三段辫状河三角洲的沉积特征进行综合研究,认为该区辫状河三角洲发育 2 种亚相和 5 种微相;辫状河三角洲平原分流河道、河漫沼泽,辫状河三角洲前缘水下分流河道、支流间湾、河口砂坝。并分析了其展布特征与演化过程,推测该区八道湾组三段沉积早期湖平面下降,研究区内发育辫状河三角洲前缘沉积;中期湖平面继续下降,发育辫状河三角洲平原沉积;晚期湖平面上升,沉积物有所变细。西北部哈拉阿拉特山—德仑山及扎伊尔山物源体系是其主要物源区。

关键词:辫状河三角洲;曲流河三角洲;沉积特征;沉积演化;石西地区;八道湾组三段

中图分类号: P512.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)01-0054-10

石西地区地处准噶尔盆地腹部陆梁隆起南部的石西凸起上,在克拉玛依市正东方向约 140 km,石西凸起整体北东东向展布,其北为三南凹陷及三个泉凸起,南为滴水泉凹陷及滴南凸起,西南邻接盆一井西凹陷(图 1)。该区八道湾组为印支运动后在三叠系凹凸不平的剥蚀面上沉积的一套含煤碎屑岩系。据地层的旋回性,将八道湾组自下而上划分为八道湾组一段(J_{1b_1})、二段(J_{1b_2})和三段(J_{1b_3})。谢渊等(1995)^[1]和况军等(2001)^[2]认为盆地腹部石西地区八道湾组一段为一套辫状河三角洲沉积,八道湾组三段为一套曲流河三角洲沉积。笔者根据对研究区八道湾组 9 口井岩心的详细观察与描述,结合 65 口井测井相分析和 26 条联井相剖面分析等,认为石西地区八道湾组一段确为辫状河三角洲沉积,与前人认识相同。而笔者通过对八道湾组三段的详细研究,对前人将该区八道湾组三段划为曲流河三角洲沉积的观点难以苟同,认为它也应该属于辫状河三角洲沉积。

1 确定八道湾组三段为辫状河三角洲沉积的主要依据

自从辫状河三角洲的概念被提出来^[3-4]之后,许多学者从不同角度对其进行了研究^[5-6],并提出了辫状河三角洲与曲流河三角洲相区别的依据。笔者认为石西地区八道湾组三段为辫状河三角洲沉积而不是曲流河三角洲沉积的主要依据如下。

1.1 粒度特征

通过粒度分析表明,研究区八道湾组三段砂岩的粒度比八道湾组一段更粗。一段 77 个粒度分析样品平均粒径为 0.119 mm,而三段 146 个样品的均值为 0.16 mm。而且每口井八道湾组三段的平均粒径均比一段的平均粒径大(表 1)。此外,八道湾组三段砂岩粒度分析样品的平均 C 值的均值、平均 M 值的均值均比八道湾组一段大。一段 77 个粒度分析样品的平均 C 值的均值、平均 M 值的均值分别为

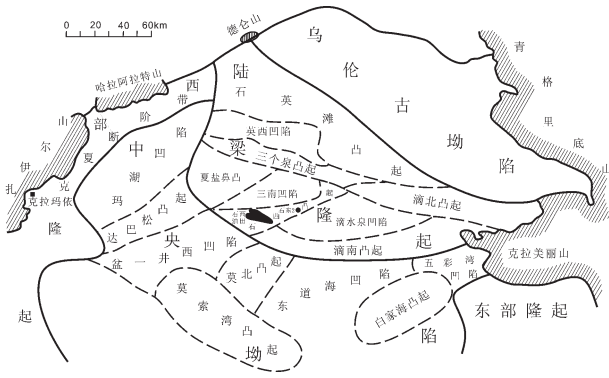


图 1 准噶尔盆地区域构造简图

Fig.1 Simplified regional structural map of Junggar basin

0.471 mm、0.175 mm, 而三段 146 个样品的平均 C 值的均值、平均 M 值的均值分别为 0.701 mm、0.24 mm(表 1)。从 C-M 图上可知,八道湾组一段碎屑颗粒几乎全为悬浮搬运组分,而三段碎屑颗粒含有少量的滚动搬运组分(图 2)。可见八道湾组三段沉积时的水动力条件比一段更强。

1.2 其他结构特征

研究区八道湾组三段碎屑颗粒磨圆度较差,以次棱角状为主。颗粒以点接触或线接触为主。支撑方式以颗粒支撑为主,杂基含量极低,仅 2%左右。这些均反映了水动力条件较强的牵引流沉积特点。

1.3 沉积构造特征:

八道湾组三段广泛发育平行层理(图版-1)、大型槽状交错层理(图版-2,4)、冲刷面构造(图版-5),也是强水动力条件牵引流的一种标志。

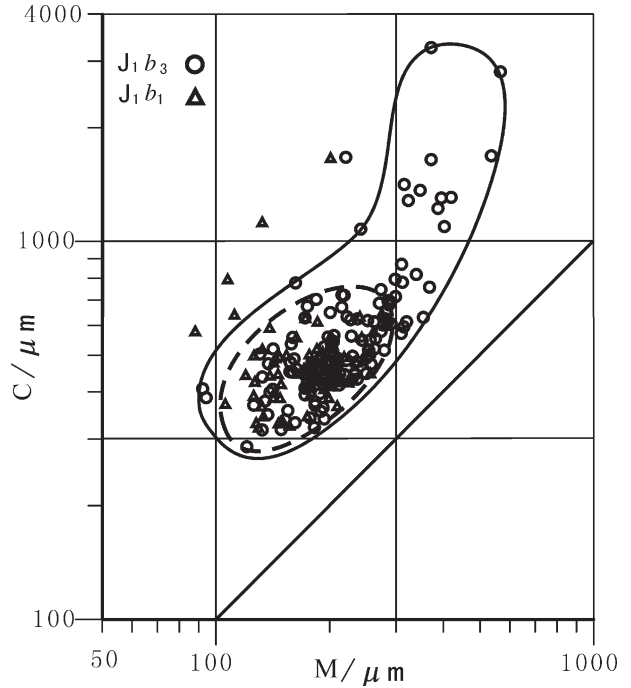


图 2 石西地区八道湾组一、三段 C-M 图
Fig.2 C-M diagram of 1st and 3rd Member of Badaowan Formation in Shixi area

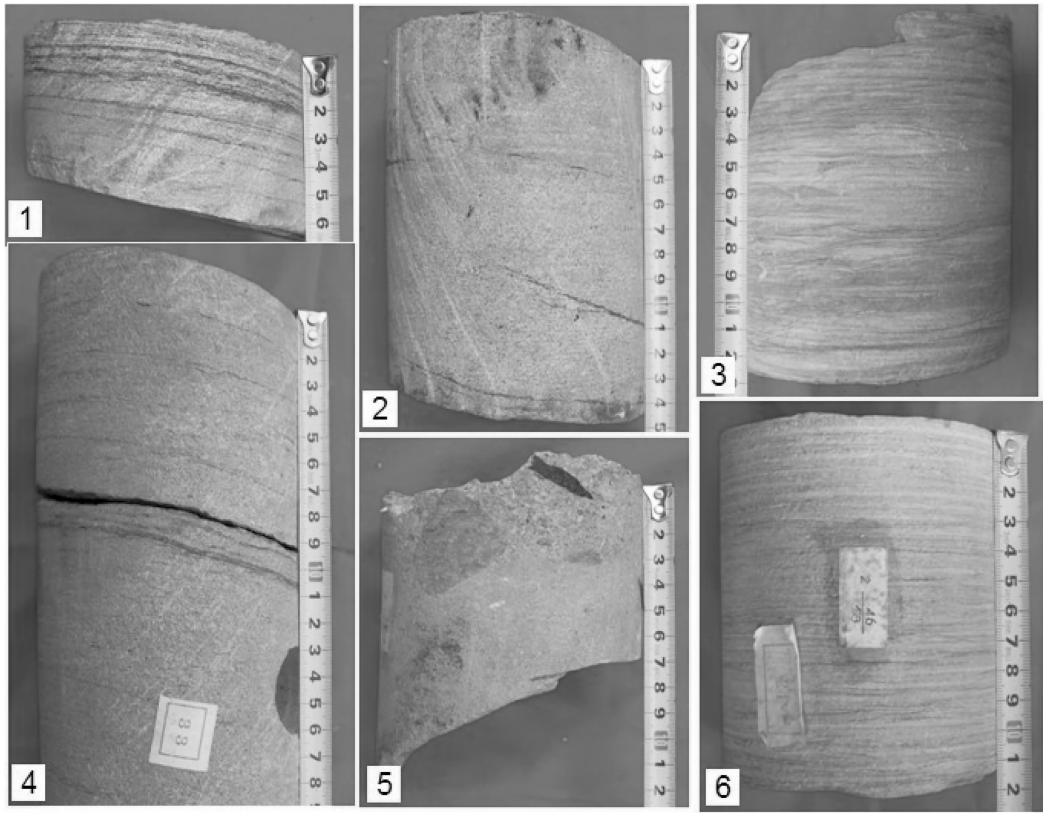
1.4 成分与供源特征

研究区八道湾组三段碎屑颗粒中岩屑含量高达 46%左右,长石含量也达约 21%,而石英含量仅为 33%左右。统计得石英/(长石+岩屑)比值约为 0.52,表明其成分成熟度很低,未经过长距离的搬运,为短距离供源。这明显符合辫状河三角洲—短流程三角洲的特征^[7-9]。

表 1 石西地区八道湾组一、三段主要粒度特征参数
Table 1 Grain-size characteristic parameters of 1st and 3rd Member of Badaowan Formation in Shixi area

样品	J1b1 主要粒度特征参数/mm			样品数	J1b3 主要粒度特征参数/mm			样品数
	平均粒径均值	平均 C 值	平均 M 值		平均粒径均值	平均 C 值	平均 M 值	
石 001	0.132	0.452	0.188	26	0.226	1.162	0.314	11
石 002	/	/	/		0.149	0.57	0.22	31
石 003	0.135	0.437	0.210	2	0.293	1.391	0.33	2
石 005	0.117	0.414	0.186	9	0.148	0.674	0.233	8
石 007	0.093	0.453	0.143	20	0.155	1.426	0.238	55
石西 1	0.107	0.620	0.133	5	0.149	0.578	0.19	14
石西 2	0.143	0.520	0.197	8	0.157	0.497	0.216	13
石西 3	0.141	0.514	0.202	7	0.180	1.173	0.316	12
平均值	0.119	0.471	0.175	77	0.160	0.701	0.24	146

图版(Plate)



- 1—灰色富含炭细砂岩中发育平行层理,辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积,石 005 井,3 531.2 m;
 2—浅灰色细砂岩中发育大型槽状交错层理,辫状河三角洲平原分流河道沉积,石 005 井,3 490 m;
 3—灰色泥质粉砂岩中发育水平层理和微波状小型交错层理,辫状河三角洲平原河漫沼泽沉积,石 007 井,3 475.7 m;
 4—灰色荧光含炭中砂岩中发育大型槽状交错层理,辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积,石 003 井,3 518 m;
 5—冲刷面,上覆为杂色砂质小砾岩,下伏为浅灰色细砂岩,辫状河三角洲平原分流河道沉积,石 005 井,3 497.6 m;
 6—灰色炭质粉砂岩中发育水平层理和微波状交错层理,辫状河三角洲支流间湾沉积,石 007,3 480 m;

- 1—Parallel bedding in gray carbon-rich fine-grained sandstone, sediments of braided delta subaqueous distributary channel, well SHI005, 3 531.2 m;
 2—Large-scale cross-bedding in light gray fine-grained sandstone, sediments of the braided delta distributary channel, well SHI005, 3 490 m;
 3—Horizontal bedding and small micro-wave cross bedding in gray argillaceous siltstone, sediments of braided delta flood plain swamp, well SHI007, 3 475.7m;
 4—Large-scale trough cross bedding in gray fluorescent carbon-bearing medium sandstone, sediments of braided delta subaqueous distributary channel, well SHI003, 3 518m;
 5—Erosion surface between mottled small sandy conglomerate and light gray fine-grained sandstone, sediments of the braided delta distributary channel, well SHI005, 3 497.6m;
 6—Horizontal bedding and micro-wave cross bedding in the gray carbonaceous siltstone, sediments of braided delta tributary bay, SHI007, 3 480 m;

1.5 砂岩含量

石西地区八道湾组三段砂岩含量比较高,与一段基本相同。一段砂岩含量 44.65%,三段砂岩含量 44.18%,且三段下部砂岩含量高达 56.17%。

1.6 砂体形态

石西地区八道湾组三段砂体横向连续性好,分布面积比较广,钻遇率高,说明砂体呈席状产出,而非曲流河三角洲常发育指状沙坝的特征^[9]。

2 沉积相类型及特征

通过对研究区 9 口井岩心的详细观察与描述,结合 65 口井测井相分析和 26 条联井相剖面分析

等,对八道湾组三段辫状河三角洲的沉积特征进行综合研究,共识别出 2 种亚相和 5 种微相(表 2)。

2.1 辫状河三角洲平原亚相

辫状河三角洲平原亚相多分布在盆地近物源区。其中发育煤层,是河漫沼泽沉积微相的重要标志和层序地层对比研究的划分标志层。研究区它由分流河道和河漫沼泽组成,其中分流河道沉积占主导地位。

2.1.1 分流河道微相

分流河道是研究区辫状河三角洲平原亚相中最重要的微相类型,位于辫状河道大量分岔的部位到湖平面之间的地带。岩石类型以灰色、杂色砂质小砾

岩(图版-5)、粗砂岩、中砂岩、细砂岩为主。由于平原植物繁茂,砂砾岩中炭质含量丰富,炭化木常见。主要发育平行层理、大—中型槽状交错层理(图版-2)、板状或楔状交错层理等,炭屑、泥砾常见,代表水动力较强、沉积物粒度较粗的冲刷面发育(图版-5)。其自然电位和电阻率测井曲线多为微齿化的箱型组合(图 3)。

2.1.2 河漫沼泽微相

岩石类型主要为灰色、深灰色、黑色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩以及煤层,炭质含量极丰富。可见少量水平层理和微波状交错层理发育(图版-3)。其电测曲线表现为锯齿状低值组合,而煤层则是典型的指状高电阻、高声波、伽马曲线负异常、自然电位较平直的组合(图 3)。

2.2 辫状河三角洲前缘亚相

由于八道湾组三段沉积期盆地内物源充沛,研究区又位于盆地腹部湖泊发育地带,辫状河三角洲前缘极为发育。共识别出水下分流河道、支流间湾和河口砂坝 3 种微相,其中水下分流河道是研究区辫状河三角洲前缘的沉积主体。

2.2.1 水下分流河道、主河道微相

水下分流河道是三角洲平原分流河道入湖后在

表 2 石西地区八道湾组三段沉积相类型统计

Table 2 Sedimentary facies statistics of 3rd Member of Badaowan Formation in Shixi area

相	亚相	微相	发育情况
辫状河三角洲	三角洲平原	分流河道	发育
		河漫沼泽	发育
	三角洲前缘	水下分流河道	极发育
		支流间湾	发育
		河口砂坝	少发育

水下的延续部分,砂体呈席状展布,横向分布较稳定。它主要由灰色、杂色砂质小砾岩、含砾不等粒砂岩、粗砂岩及中—细砂岩构成(图版-1、4)。单一水下分流河道砂体显示明显的正韵律,厚度一般在 10~20 m。常具大—中型交错层理(图版-4)、平行层理(图版-1)及冲刷充填构造。其自然电位和伽玛测井曲线常呈箱形负异常,微齿—光滑,伽马值较低;电测曲线值较高,声波时差值整体较低(图 4)。

由于辫状河三角洲河道侧向迁移频繁,常常由多个水下分流河道砂体叠加而形成一套巨厚的砂体,厚度一般在 30 m 以上,视水流冲刷强弱不同,一套河道砂体内不含或仅有几层较薄的泥质或粉砂

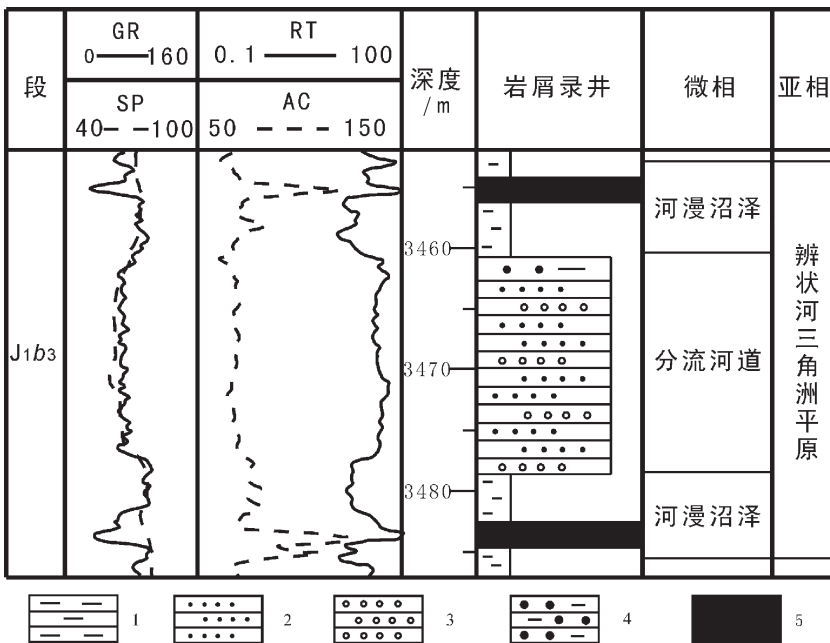


图 3 辫状河三角洲平原分流河道、河漫沼泽微相测井响应特征(石 006 井)
1-泥岩;2-细砂岩;3-砾岩;4-泥质粗砂岩;5-煤层

Fig.3 Logging response characteristics of channel and flood swamp (well Shi 006)
1-Mudstone; 2-Fine sandstone; 3-Conglomerate; 4-Pelitic coarse sandstone; 5-Coalbed

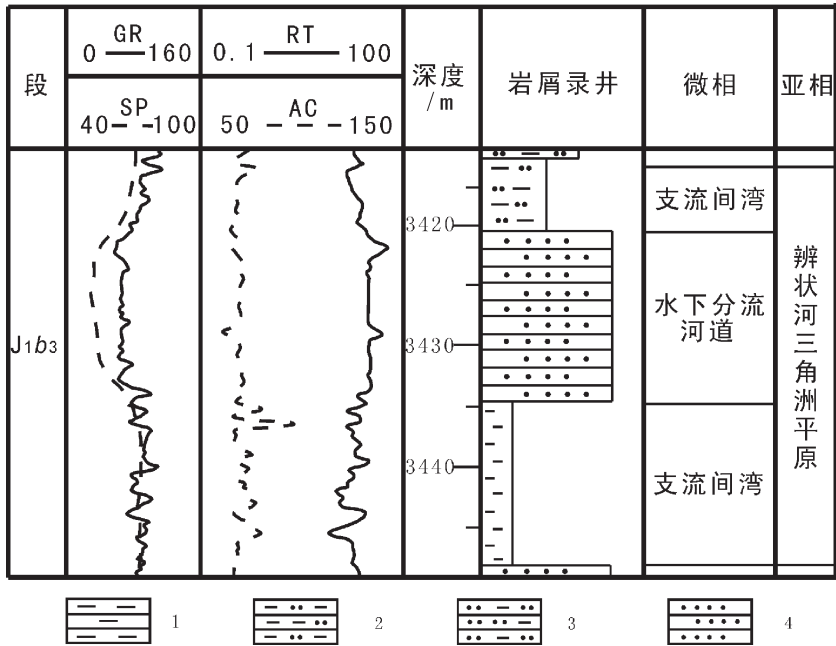


图4 辫状河三角洲前缘水下分流河道、支流间湾微相测井响应特征(石006井)

1-泥岩;2-砂质泥岩;3-泥质砂岩;4-细砂岩

Fig. 4 Logging response characteristics of underwater distributary channel and bar between branches (well Shi006)

1-Mudstone; 2-Sandy mudstone; 3-Pelitic sandstone; 4-Fine sandstone

质夹层,砂地比极高。为方便研究工区内物源方向和沉积相展布情况,笔者将发育这样的一套巨厚的由水下分流河道砂体叠加的河道砂体定名为辫状河三角洲前缘水下分流主河道,但它本质上还是属于水下分流河道微相(图5)。

2.2.2 支流间湾微相

支流间湾为水下分流河道之间相对低洼的湖湾地区。岩性主要为灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩(图版-6)。其厚度数米到数十米不等,发育水平纹层、小型交错纹理(图版-6),可见同生变形构造。其自然电位曲线平直,伽马值一般较高,电阻率曲线呈微齿状(图4)。总体反映了支流间湾为水体不深、水动力条件不强、粗粒沉积物供给较少的相对安静的沉积环境。

2.2.3 河口砂坝微相

河口砂坝是三角洲沉积水动力强且复杂的地区,河水与湖水的相互作用提高了沉积物的成分和结构成熟度,沉积物分选性明显变好。此微相在石西地区八道湾组三段发育较少,主要由中、细—粉砂岩组成,分选磨圆较好,单个砂坝厚度多在2~4 m,小—中型的交错层理较为发育。其自然电位和伽马

曲线多为漏斗或钟形中—高幅负异常。

3 沉积相展布与演化

石西地区八道湾组三段沉积早期,沉积物供应速率>可容纳空间增长速率,湖平面下降,研究区内发育辫状河三角洲前缘沉积;中期沉积物供应速率仍然大于可容纳空间增长速率,湖平面继续下降,发育辫状河三角洲平原沉积;晚期盆地沉降速度加快,湖平面上升,沉积物有所变细。

3.1 八道湾组三段沉积早期

湖平面下降,研究区内发育多期辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积(图5~6),砂体厚度一般在40~50 m,最厚可达80多米(石001井)。在沉积微相图(图5)上可以看出:西北部哈拉阿拉特山—德仑山及扎伊尔山物源体系控制的主河道沉积由工区西部石012井、石002井沿石008井、石001井经过石006井—石007井—石西2井一带到达SH1024—SH1019—SH1014井一带,辫状河三角洲水下分流河道沉积由西北向东南贯穿全区。

3.2 八道湾组三段沉积中期

湖平面继续下降,研究区内发育数套辫状河三

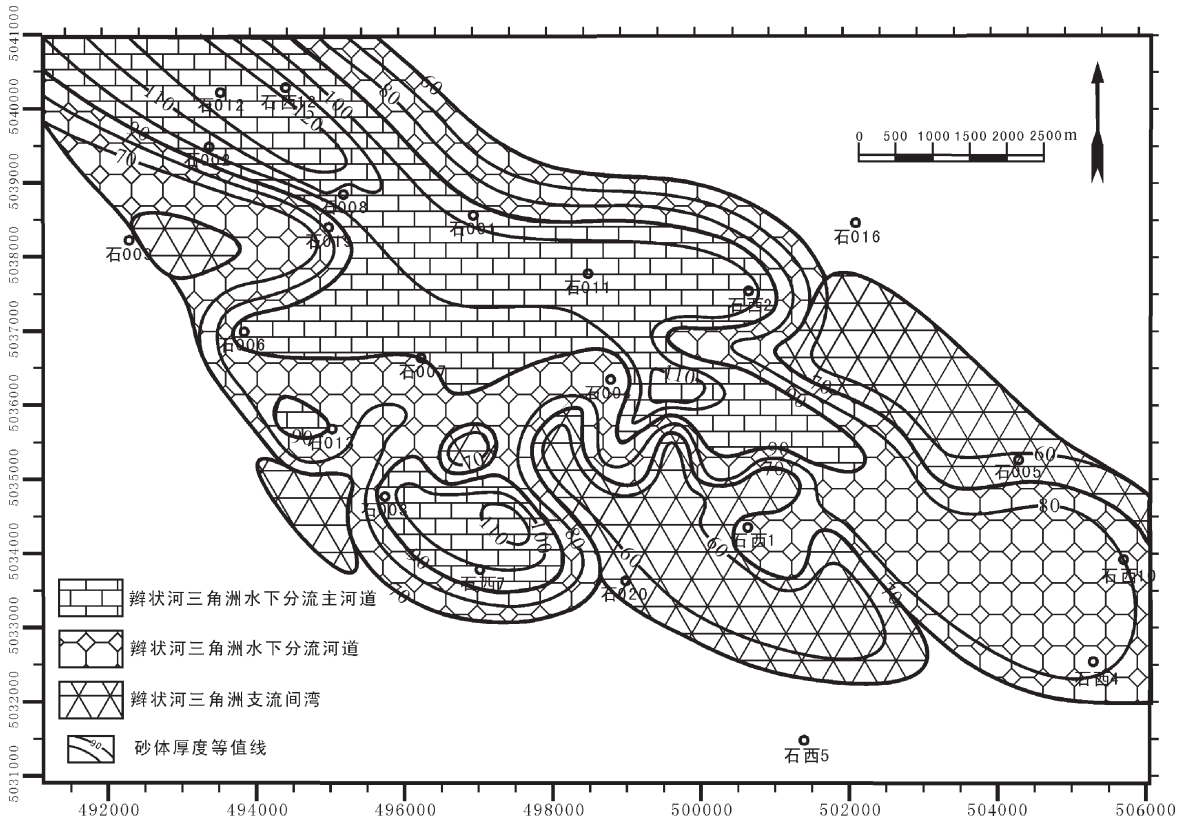


图 5 石西地区八道湾组三段沉积微相图

Fig.5 Distribution of sedimentary microfacies of the 3rd Member of Badaowan Formation in Shixi area

角洲平原沉积。前期石 012—石 002—SH1138—石 008—石 001—SH1034 井一带仍为水下分流主河道沉积格局,间夹 1~2 层河漫沼泽沉积(图 6),主河道边缘的 SH1058a—SH1068 井、SH1037 井、SH1034 井、石 004—SH1031—SHW10、SH1012 井等中间地带具 1~3 套较厚的平原沉积物(图 7)。

3.3 八道湾组三段沉积晚期

晚期盆地沉降速度加快,湖平面上升,沉积物有所变细,碎屑物供给减少。辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体厚度变薄(厚度数米至十多米),纵向上河道砂体数量减少,支流间湾发育(图 8)。将泥岩相对占优势的 SH1143 井、SH1120 井、SH1006—SH1004 井、SH1036—SH1036—SH1032—SH1025—SH1026—SHW06—SH1021—SH1013 井等区域划分为支流间湾沉积(图 5)。

4 物源分析

通过绘制研究区八道湾组三段地层等厚图(图

9)、砂体厚度等值线图(图 10)及沉积微相展布图(图 5)可以看出:西北部哈拉阿拉特山—德仑山及扎伊尔山物源体系是石西地区八道湾组三段的主要物源区。

5 结论

1)石西地区八道湾组三段砂岩的粒度比一段更粗,水动力条件比一段更强。广泛发育大—中型交错层理、平行层理、冲刷面构造。成分成熟度很低。砂体呈席状产出。因此,它应属于辫状河三角洲沉积。

2)石西地区八道湾组三段辫状河三角洲沉积共识别出 2 种亚相和 5 种微相:辫状河三角洲平原分流河道和河漫沼泽,辫状河三角洲前缘水下分流河道、支流间湾和河口砂坝。

3)石西地区八道湾组三段沉积演化特征为:早期湖平面下降,研究区内发育辫状河三角洲前缘沉积;中期湖平面继续下降,发育辫状河三角洲平原沉积;晚期盆地沉降速度加快,湖平面上升,沉积物有所变细。

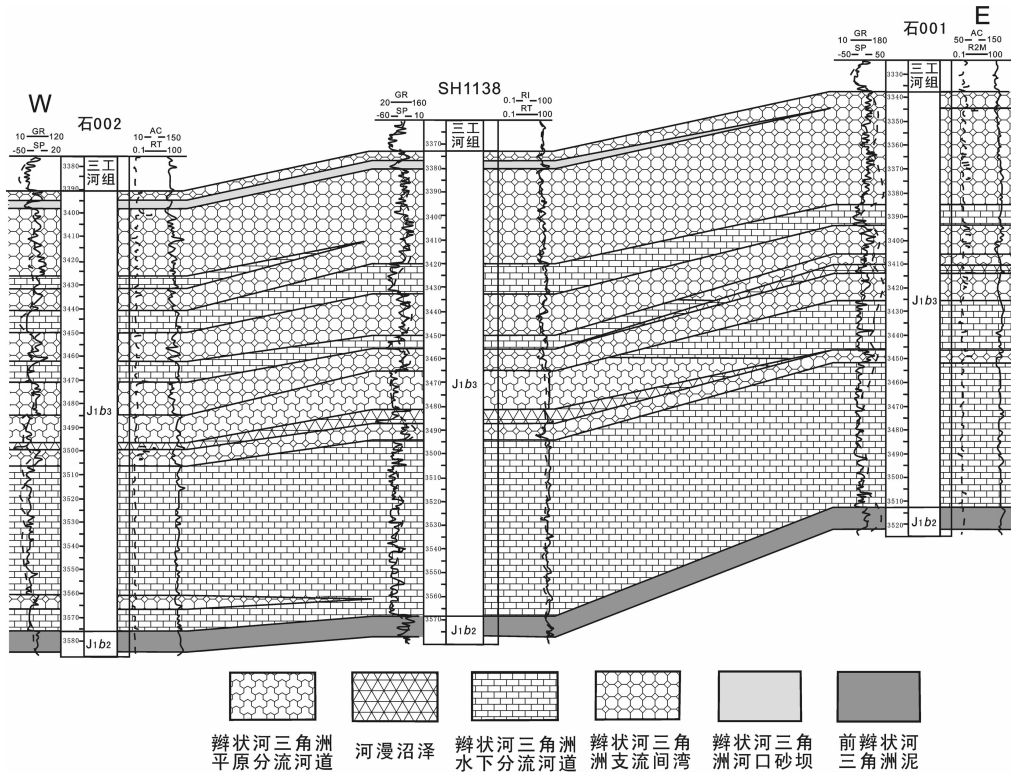


图6 过石002-SH1138-石001 井剖面微相对比图

Fig.6 Sedimentary facies profile crossing well SH1002, well SH1138 and well SH1001

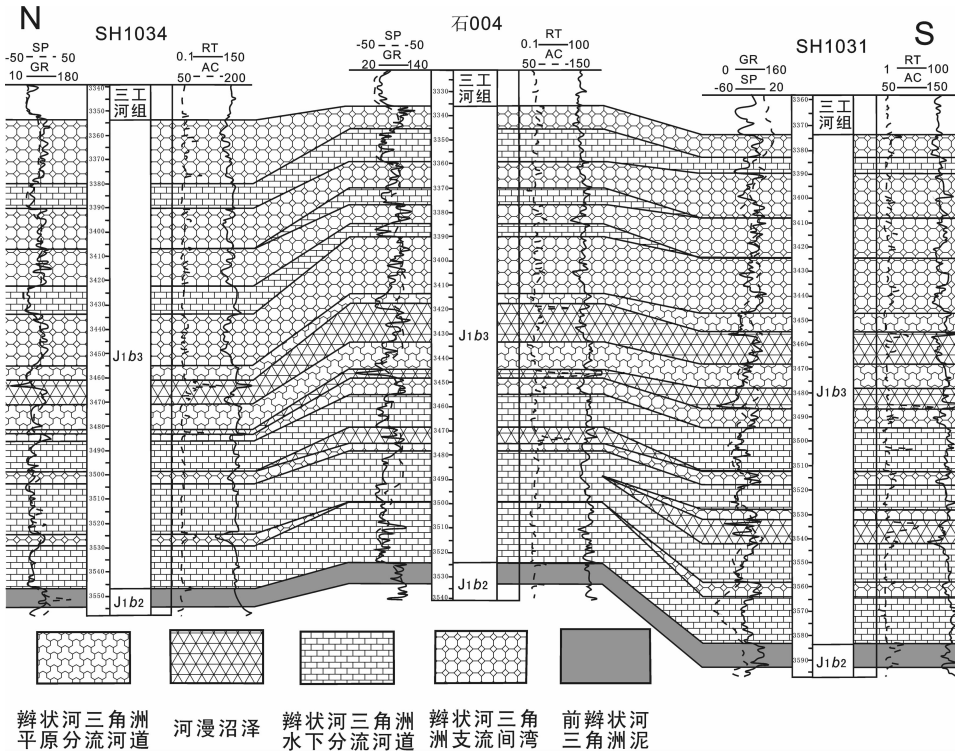


图7 过 SH1034-石004-SH1031 井剖面沉积微相对比图

Fig.7 Sedimentary facies profile crossing well SH1034, well SH1004 and well SH1031

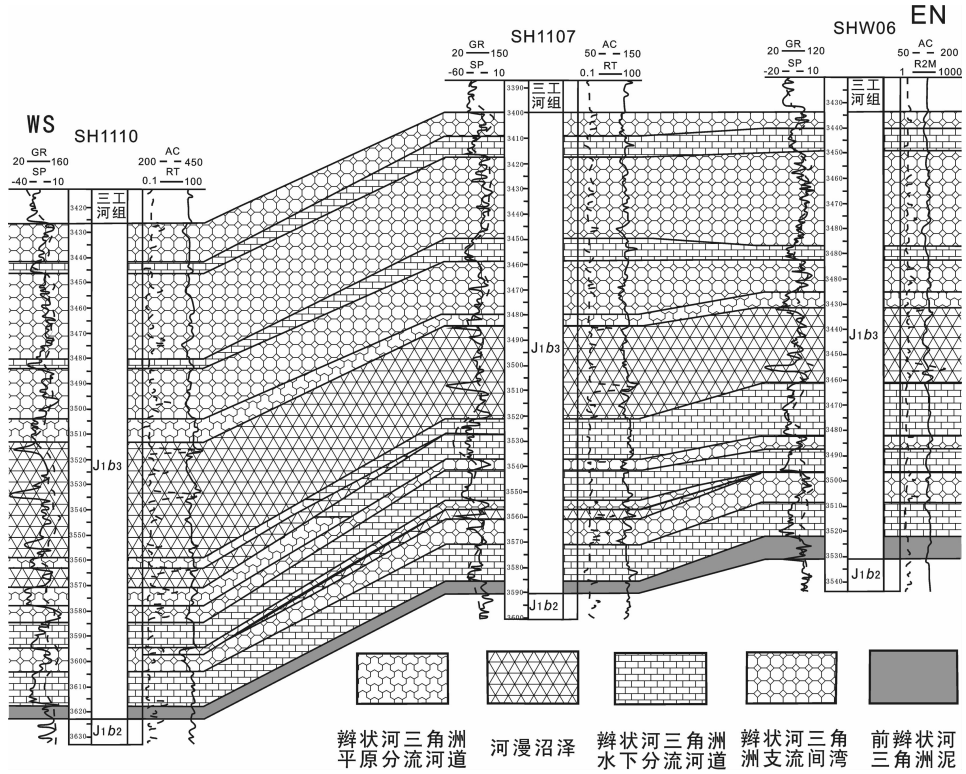


图 8 过 SH1110—SH1107—SH1104—SHW06 井剖面沉积微相对比图

Fig.8 Sedimentary facies profile crossing well SH1110, well SH1107, well SH1104 and well SHW06

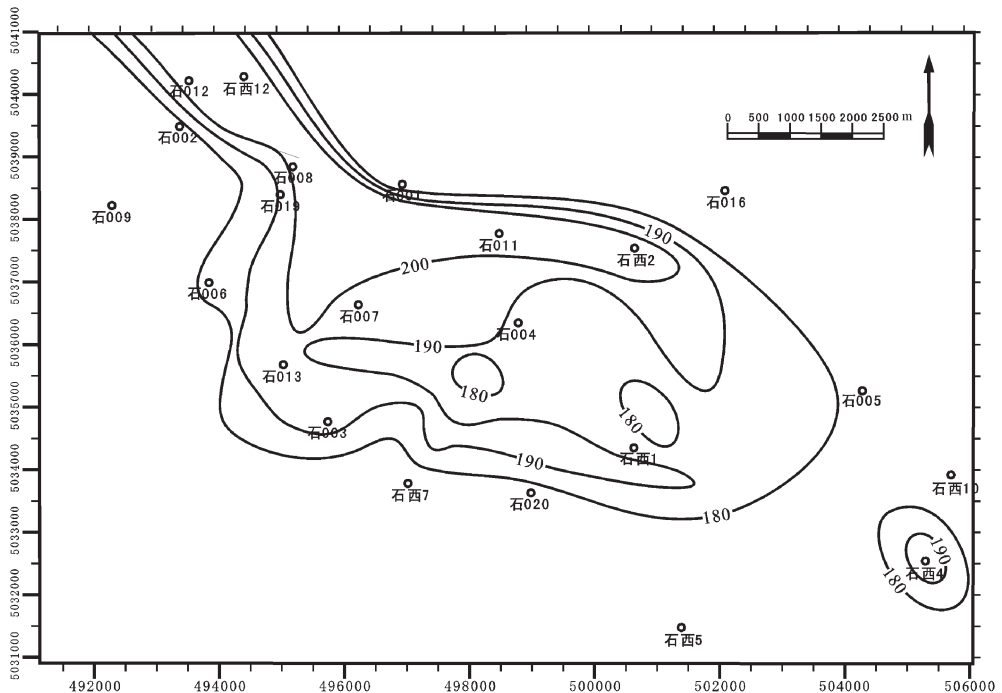


图 9 石西地区八道湾组三段地层等厚图

Fig.9 Isopach map of 3rd Member of Badaowan Formation in Shixi area

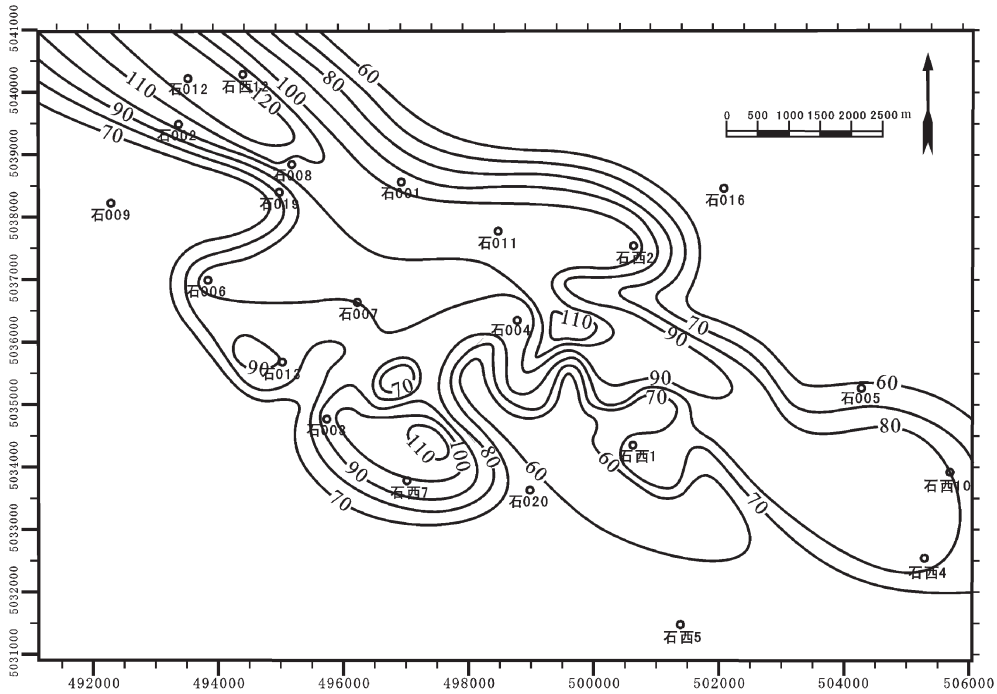


图 10 石西地区八道湾组三段砂体厚度等值线图

Fig.10 Sand thickness contour map of 3rd Member of Badaowan Formation in Shixi area

4)石西地区八道湾组三段的沉积物来源于西北部的哈拉阿拉特山—德仑山及扎伊尔山物源体系。

参考文献 (References):

[1] 谢渊, 罗安屏, 傅恒. 准噶尔盆地侏罗纪沉积体系序列演化与油气关系[J]. 沉积与特提斯地质, 1995, 19:119-130.
Xie Yuan, Luo Anping, Fu Heng. Evolution of sedimentary systems during the Jurassic: its bearings on the oil and gas deposits in the Junggar Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 1995, 19:119-130 (in Chinese with English abstract).

[2] 况军, 姚根顺, 朱国华, 等. 石西地区侏罗系八道湾组低孔渗成因[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(6):493-496.
Kuang Jun, Yao Genshun, Zhu Guohua, et al. The origin of low porosity and low permeability in Badaowan Formation reservoirs of Jurassic, Shixi Area of Junggar Basin. [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(6):493-496 (in Chinese with English abstract).

[3] McPherson J G, Shanmugam G, Moioia R J. Fan-deltas and braid deltas: conceptual problems [C]//NE-MEC W, STEEL R J. Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Settings. Glasgow and London;Blackie, 1988;14-22.

[4] McPherson J G, Shanmugam G, Moioia R J. Fan-deltas and braid deltas; Varieties of coarse-grained deltas[J]. Geol. Amer. Bull., 1987, 99:331-340.

[5] 李维峰, 高振中, 彭德堂, 等. 库车坳陷中生界三种类型三角洲的

比较研究[J]. 沉积学报, 1999, 17(3):430-435.
Li Weifeng, Gao Zhenzhong, Peng Detang, et al. Comparative study of fan deltas, braided river deltas and Meandering river deltas of Mesozoic Erathem in Kuche Depression, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (3):430-435 (in Chinese with English abstract).

[6] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 33(1):212-220.
Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sandbodies [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):212-220 (in Chinese with English abstract).

[7] 高志勇, 郭宏莉, 张水昌, 等. 满加尔凹陷南缘志留系柯坪塔格组上段不同体系域内辫状三角洲砂体与储集性研究 [J]. 中国地质, 2008, 35(5):951-962.
Gao Zhiyong, Guo Hongli, Zhang Shuichang, et al. Braided-delta sandstone and its petroleum storage capacities in different systems tracts in the Upper Member of the Silurian Kalpintag Formation on the southern margin of the Manjia'er subbasin[J]. Geology in China, 2008, 35(5):951-962(in Chinese with English abstract).

[8] 张大智, 纪友亮, 韩春元, 等. 饶阳凹陷沙河街组辫状河三角洲沉积特征及储集性[J]. 中国地质, 2009, 36(2):344-354.
Zhang Dazhi, Ji Youliang, Han Chunyuan, et al. Sedimentary characteristics and reservoir properties of the Shahejie Formation

braided river delta in Raoyang Sag [J]. *Geology in China*, 2009, 36 (2):344-354(in Chinese with English abstract).
[9] 何幼斌, 王文广. 沉积岩与沉积相[M]. 北京:石油工业出版社, 2007.

He Youbin, Wang Wenguang, et al. *Sedimentary Rocks and Sedimentary Facies* [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2007(in Chinese).

The Identification of the braided fluvial delta in the 3rd Member of Badaowan Formation in Shixi area and a study of its sedimentary characteristics

WEN Jia-tao^{1,2}, WU Ai-cheng³, DAN Ling-ling⁴, YUAN Yuan^{1,2},
CHENG Wen^{1,2}, FAN Wen-kuo^{1,2}, SUI Da-wei^{1,2}

(1. School of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China; 2. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China;

3. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, Xinjiang, China;

4. School of Geoscience, China University of Petroleum, Beijing 102200, China)

Abstract: The sedimentary facies of 3rd Member of Lower Jurassic Badaowan Formation in Shixi area of Junggar Basin was previously regarded as meandering river delta. The authors consider it to be the product of tractive current under fairly strong hydrodynamic conditions, as evidenced by the texture, sedimentary structure and distribution characteristics of the sandstone. Its sedimentary environment belongs to the braided fluvial delta. Based on a synthetic study of its sedimentary characteristics, the authors identified 2 subfacies and 5 microfacies in the study area, which include the braided delta distributary channel, braided delta flood plain swamp, braided delta subaqueous distributary channel, tributary bay, and mouth bar. The distribution characteristics and evolution processes of sedimentary facies are inferred as follows: during the early stage the water level fell, the study area developed braided delta front; in the middle stage the water level continued falling, the study area developed braided delta plain; in the late stage the water level rose, and the sediments became thinning. The northwest Halaalate Mountain, Delun Mountain and Zhayier Mountain located in the margin of the study area constituted the main material sources.

Key words: braided fluvial delta; meandering river delta; sedimentary characteristics; depositional evolution; Shixi area; 3rd Member of Badaowan Formation

About the first authors: WEN Jia-tao, male, born in 1985, master candidate, engages in the study of petroleum geology; E-mail: wenjiatao1cm@163.com.