

鄂尔多斯盆地侏罗系延安组延 10 沉积特征

王欣月¹, 庞军刚¹, 王梓萱¹, 常梁杰², 赵 欣¹, 赵琳雁¹

(1. 西安石油大学 地球科学与工程学院, 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 西安 710065;

2. 中国石化胜利油田分公司 石油开发中心有限公司, 山东 东营 257061)

摘要:基于现代沉积学理论,采用野外辫状河露头剖面观察实测的方法,并结合钻井资料,对延安组延 10 岩相类型、岩相组合和沉积特点进行详细研究,探讨研究区沉积相、微相和沉积模式。结果表明:研究区延 10 组发育 4 种岩相类型,包括槽状交错层理中粗砂岩相(St)、板状交错层理砂岩相(Sp)、平行层理砂岩相(Sh)和块状构造砂岩相(Sm)及辫状河岩相组合;另外,识别出辫状河沉积相以及心滩、泛滥平原 2 种沉积微相。研究结果对延安组辫状河岩相组合和沉积相具有一定的指导意义,同时为鄂尔多斯盆地其他层位辫状河沉积研究提供借鉴。

关键词:沉积相;沉积微相;岩相组合;沉积模式;辫状河沉积

中图分类号:P534.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)06-0192-06

侏罗系作为鄂尔多斯盆地的关键层系,具备油、气、煤、铀等资源矿物并存聚集的特性^[1]。前人对侏罗纪沉积体系已进行了很多研究,认为中侏罗世延安期为冲积扇沉积体系,重点是冲积扇和湖泊相。时志强等认为富县-延 10 期主要为冲积扇-河流沉积,延 9-延 6 期为三角洲-湖泊沉积,延 4+5 期为网状河流-湖泊沉积^[2-4]。庞军刚等发现从早侏罗世富县期到晚侏罗世芬芳河期,鄂尔多斯盆地岩相古演变经历过河流-冲积扇、湖泊-沼泽、河流-三角洲和冲积扇等几个时期^[5-7]。但是,过去对鄂尔多斯盆地侏罗系的研究主要是聚集在盆地东北部地区、西北部地区、北部或南部延安组的沉积体系、沉积相、沉积演变和储集层特点等领域。研究范围比较广泛,地质结构集中在全部延安组,但对鄂尔多斯盆地延安组延 10 沉积相的剖析相对性欠缺。

本文基于国内外辫状河沉积研究成果,以野外露头解剖为参考,对延安组延 10 段储层进行了精细解剖,对辫状河单期河道砂体接触关系进行综合分析。研究结果对延安组辫状河砂体特征与模式具

有一定的指导意义,同时可为其他盆地其他层位辫状河沉积模式提供借鉴。

1 研究区概况

鄂尔多斯盆地是中国大中型沉积盆地之一,占地面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该盆地石油、天然气、煤炭、铀和水资源丰富多样,多种能源共存。依据现今的构造形状、基底特性和构造特点,盆地可划分为 6 个一级构造模块:伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、陕北斜坡、天环拗陷及西缘逆冲构造带。盆地内部构造相对性简单,陕北斜坡为西倾单斜^[8]。盆地内侏罗系地质结构呈月牙形,出露于东胜-神木-榆林-延安-黄陵-陇县一带,往西、往北歪斜,多见于盆地核心区。在盆地西南地区及西缘的华亭、谭山、石沟驿、磁窑堡汝箕沟等地也是有零星出露。盆地内侏罗系由下而上可划分为下侏罗统富县组、中侏罗统延安组、中侏罗统直罗组、中侏罗统安定组和上侏罗统芬芳河组。

大地构造位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东南部地区。本文以延河剖面-西杏子河剖面为代表,详细分析了延安组的岩性组合、沉积序列和沉积构造^[9]。

收稿日期:2022-10-26

基金项目:“十三五”国家科技重大专项(2016ZX05050006);西安石油大学研究生创新与实践能力的培养计划项目(YCS22214203)。

作者简介:王欣月(1998—),女,山东枣庄人,西安石油大学地球科学与工程学院,硕士研究生,研究方向为沉积学及储层地质学;庞军刚(1978—),男,陕西西安人,西安石油大学地球科学与工程学院,副教授,博士,研究方向为沉积学及储层地质学;王梓萱(1997—),女,陕西咸阳人,西安石油大学地球科学与工程学院,硕士研究生,研究方向为沉积学及储层地质学;常梁杰(1996—),男,山西运城人,中国石化胜利油田分公司石油开发中心有限公司,硕士,研究方向为沉积学及储层地质学;赵欣(1999—),女,山西忻州人,西安石油大学地球科学与工程学院,硕士研究生,研究方向为沉积学及储层地质学;赵琳雁(1996—),女,陕西西安人,西安石油大学地球科学与工程学院,硕士研究生,研究方向为沉积学及储层地质学。

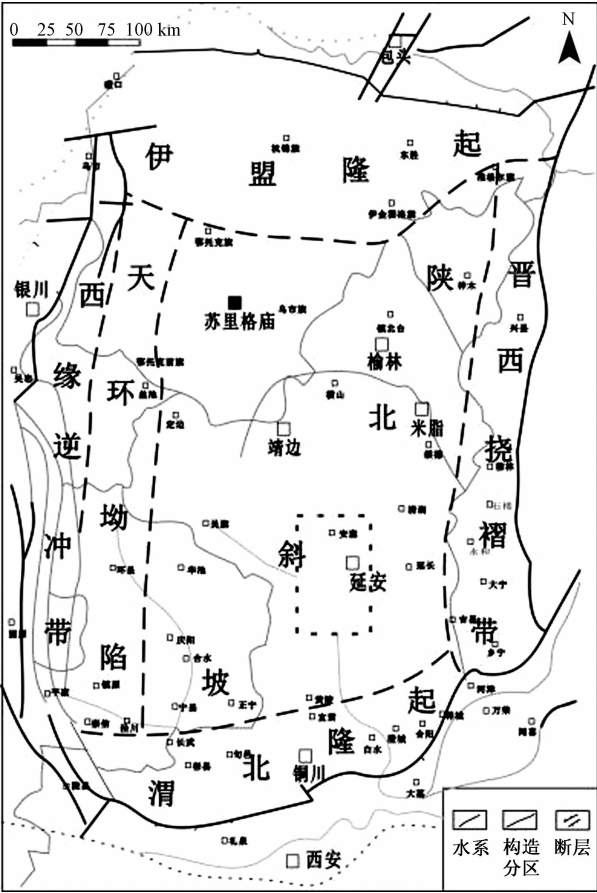


图 1 研究区构造位置

2 沉积相分析

2.1 野外露头剖面特征

西杏子河剖面自延安嘉岭大桥东侧沿延河边，经宝塔山、清凉山、杨家岭向西沿西杏子河经枣园、裴庄、高桥至安塞砖窑湾镇。其延安组厚 276 m，地层剖面出露良好。是一个具备地质环境旅游特色的剖面。该段发育很多植物和双壳类动物化石，初次在延安组发现腹足类和昆虫化石。

2.1.1 颜色

在研究沉积岩时，岩石的颜色是最具有标示性的。依据岩石颜色的深浅，能直接剖析沉积岩的沉积环境和各类成分。一般来说，浅水型氧化沉积环境的岩石颜色偏浅，深水还原环境的岩石颜色较深。

研究区延安组岩石颜色以浅灰-深灰色为主导，一部分岩石为深灰、深棕色和暗红色。泥岩颜色以深灰色-灰-灰黑色为主导。能够推论该剖面关键沉积环境为弱氧化还原环境[图 2(a)]。

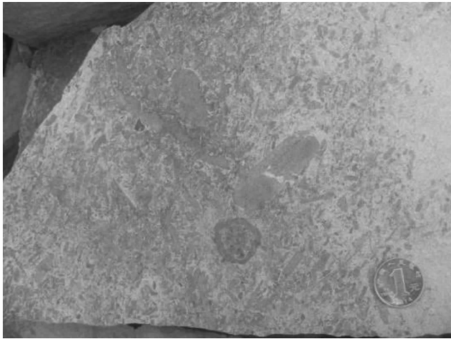
2.1.2 岩石类型

岩性在一定程度上能直接标示沉积环境，但一种岩性一般能够在不同的沉积环境中发育，而岩性组合一般只在特殊的沉积环境中发育，所以可以选取岩相

组合作为合理的相标示。西杏子河剖面延 10 段可见含砾砂岩[图 2(b)]，代表着一种相对高能沉积环境，一般存在于滞流的河道沉积中。延安组砂岩一般主要表现为正韵律的粒序变化，能够体现水道沉积环境。浅灰色粉砂质泥岩夹部分碳质泥岩的岩性组成可作为鉴别浅水区湖水的相标示^[10]。



(a) 砂岩夹薄层泥岩



(b) 延10含砾砂岩

图 2 延安组岩性特征

2.1.3 井下岩电特征

延 10 主要发育一套灰白色巨厚块状中、粗粒砂岩灰，部分含少许砂砾，称之为“宝塔砂岩”。底端为规模性冲刷侵蚀面，滞留沉积发育，与下伏富县组呈平行不整合接触，岩性比较稳定。自然电位跟自然伽马呈箱状负异常，电阻率极高。该层的薄厚平稳，为 40~80 m^[9-11]。

2.2 岩相类型及组合

2.2.1 岩相类型

岩石物理相，通称岩相，意味着沉积水动力条件的转变。作为沉积作用过程的第一要素，是研究沉积相中最基础的工作，也是区划沉积相的重要概念由来^[12]。本文依据岩心的宏观沉积特点对研究区域岩相种类进行了划分，将研究区岩相种类区划为下列几类(表 1)。

槽状交错层理中粗砂岩相(St):研究区岩石层以灰绿色中粗砂岩为主导，具小、中、大型槽状交错层理。纵切面上层系界面成弧状，纹层往下倾聚集

并与之成交角，一般为水下沙丘迁移的结果，常见于三角洲水下或水中分离河道中[图 3(a)]。

板块交错层理砂岩相(Sp)：识别标志为层纹状斜层理面，层理面中间的界面是平面且相互平行。研究区主要是为灰绿色中粗砂岩，薄厚 1~2 m，粒度分布由下而上慢慢变细。与下伏泥岩呈突变接触，与块状层理砂岩呈渐变过渡。多见于三角洲平原分流河道中[图 3(b)]。

平行层理砂岩相(Sh)：主要为浅绿色和暗紫色

中细砂岩，薄厚约 1 cm。沿纹层面剥开可见剥离线理构造。一般出现在激流和高能环境中，是强水能量和平整河道的物质。多见于研究区辫状河和水下分流河道相带，一般与别的砂岩并存[图 3(c)]。

块状构造砂岩相(Sm)：主要为灰绿色中细砂岩，呈现大致均质外貌，无纹状结构层理。主要是在沉积过程中来不及分异，造成沉积物迅速沉积。研究区发育于河道砂坝、水下分支河道及河口坝等沉积环境，厚度约为 30 cm~2 m^[13-15][图 3(d)]。

表 1 研究区延 10 岩相类型

岩石类型	序号	岩组类型	岩相描述	成因解释
粗砂岩	1	块状含砾粗砂岩(Smg)	砾石具定向性，具冲刷面	河床滞留沉积
	2	块状粗砂岩(Sm)	中厚层—巨厚状，粗粒结构，内部层理不清楚	河道
	3	平行层理粗砂岩(Sh)	剥离线理，或平行层理	河道或边滩
	4	槽状交错层理粗砂岩(St)	砂砾状，具有明显的凹弧形槽状侵蚀面，上都平坦	河道或边滩
	5	板状交错层理粗砂岩(Sp)	分选、磨圆中等—较好，底部具冲刷面	河道、边滩
中粒砂岩	6	平行层理中粒砂岩(Sh)	中粒结构，发育平行层理	河道或边滩
	7	槽状交错层理中粒砂岩(St)	砂砾状、具有明显的凹弧形槽状侵蚀面，上部平坦	河道或边滩
	8	板状交错层理中粒砂岩(Sp)	分选、磨圆中等—较好，底部具冲刷面	河道、边滩

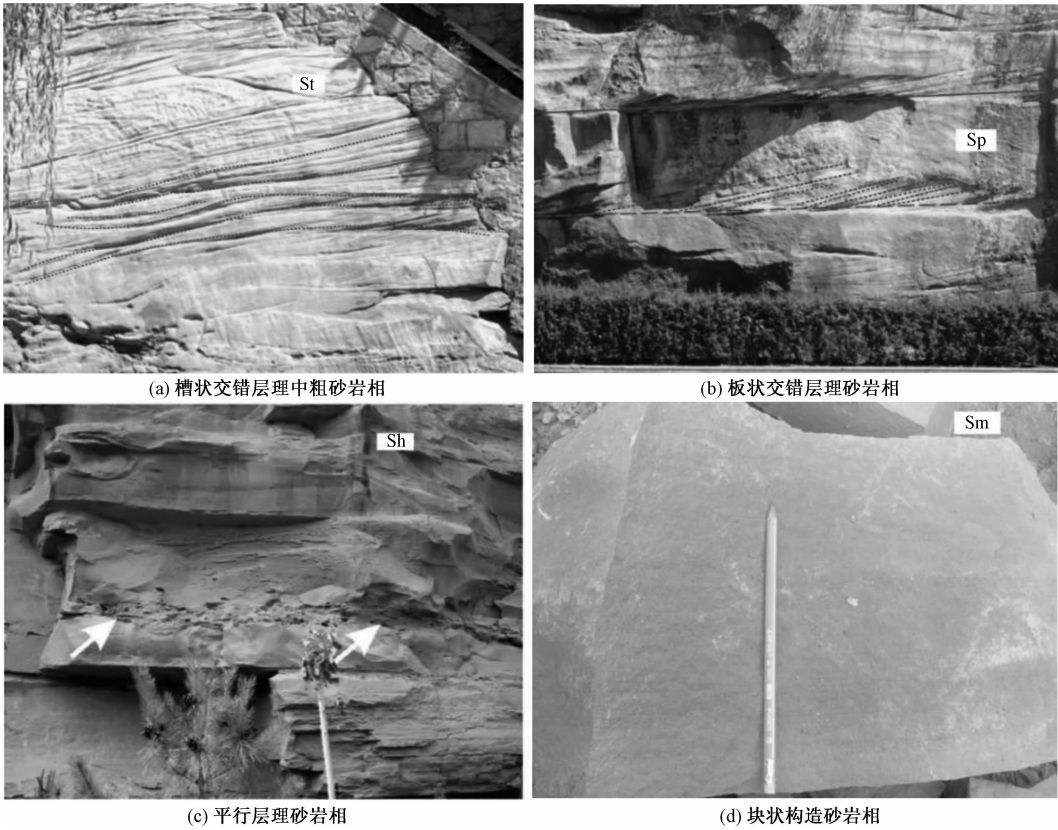


图 3 研究区延 10 岩相类型

2.2.2 岩相组合

岩相意味着单一的沉积作用或过程。同一岩相能够有多种不同的沉积表现，同一微相环境还可以出现多种岩相种类。因而，不同微相的沉积过程

一般由不一样的岩相组合来体现。每一种岩相组合或沉积序列，一般都是某一类沉积事件或某一类环境持续进化的结果。岩相组合的特点还能够精确标示垂向沉积层序，鉴别沉积环境^[16-17]。

研究区主要发育辫状河相组合,以粗、中粒砂岩为主导,含少许砾岩。其特点是多期砂岩叠加河道多,水体能量大、改道非常频繁[图 4(a)]。这种砂体均质性强,但沉积情况下其水动力条件会出现显著变动,造成砂体中粒度分布和泥质成分的差别,进而导致储集层特性的不同。在测井曲线上,整个复合河道砂体曲线呈箱型,单河道砂体之间连通性好,无泥岩隔层[图 4(b)]。一般只以河道冲洗面为界,连通性极好。

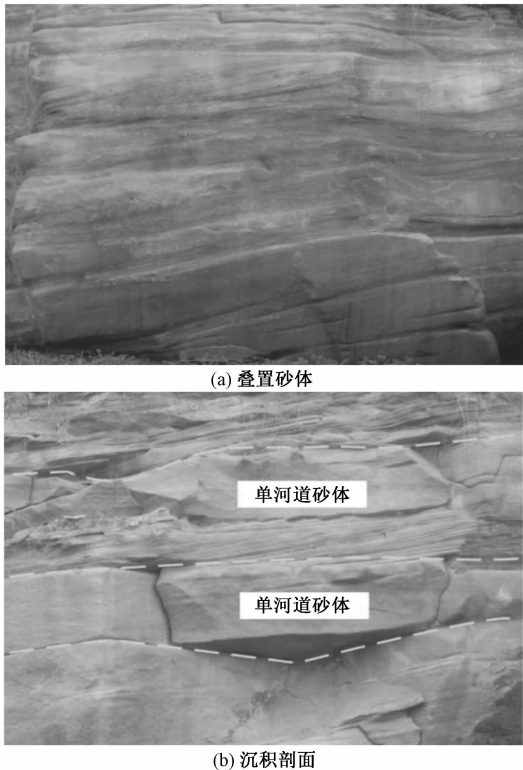


图 4 辫状河组合特征

2.3 沉积相类型

在杏子河侏罗系剖面上,研究区南部延 10 段主要发育辫状河沉积,沉积微相为河道砂坝微相和泛滥平原微相。在纵剖面上,主要表现为不完整的、彼此叠置的“砂包泥”的正旋回。在河道基底侵蚀冲刷面上,发育有厚层粗中粒砂岩,具大型槽状、板状交错层理和正粒序层理,发育滞流沉积。上方为河道砂坝沉积,具有交错层理,再上方为泛滥平原亚相薄粉砂岩,由下而上呈正旋回序列。横截面上,辫状河沉积为宽厚比大的板状体,遍及平面,底端冲刷面平整。河道沉积相为深灰、淡绿色或浅绿色(含砂砾)粗砂岩(发育于河道底端)和中粒砂岩(宝塔山砂岩),其上发育河道砂坝(心滩)。

延 10 期沉积特点仍受古河谷影响,但该阶段河道显著变宽,以河道砂体沉积为主导。河道砂体沉

积薄厚极大,持续性好,具大中型板状、楔状和槽状交叠层理。砂体底端和富县组冲洗面显著,主要发育泛滥平原和河道砂坝微相。

2.3.1 泛滥平原微相

泛滥平原微相又被称为泛滥盆地,一般只在洪泛期造成深灰色或灰色粉砂岩、泥质粉砂岩等细砂沉积,是辫状河沉积超薄的高层。后半期非常容易被洪水冲刷侵蚀。泥岩储存不完全,薄厚不一,为 3 cm 至几十厘米。主要发育水平层理和波状层理,测井曲线为直曲线或微齿线曲线。

2.3.2 河道沙坝微相

河道砂坝微相也可以称之为“心滩”微相,是研究区延安组延 10 段最主要的微相。厚层含砾粗砂岩、细砂岩发育,呈深灰色、浅灰色,夹泥质粉砂岩、泥岩。风化底端关键发育大型槽状交错层理,往上发育板状或波状层理,部分有时候发育平行层理,尤其是含砾中/粗砂岩。在底端滞流沉积与心滩微相的交汇处会发育一层细砂中/细砂岩,并发育很多小型波状层理、大的槽状、板状交错层理,底端有显著的冲洗面。测井曲线呈箱型、齿型箱型^[18-19]。

3 辫状河沉积相模式

3.1 辫状河沉积模式

一般来说,辫状河产生于地形坡度陡、水流急的地域,一般发育河道、河漫滩、泛滥平原等亚相。这是辫状河体系中砂岩沉积的重要相带,有心滩和滩间辫状河 2 种微相^[20]。

当辫状河入水时,因为流动速度减少,很多细砂持续沉积在河口区,产生河口坝。辫状河三角洲一般受急湍的洪水或山间河流操纵。水下分流河道流动性强,河口不稳定,河口坝不发育或规模较小(图 5)。



图 5 辫状河沉积模式^[21]

辫状河砂(砾)岩呈条线形,岩层关键为砾岩或中粗砂岩,粒度分布粗,体现了水流较急,地形坡度较陡。在纵向沉积序列上,砂泥比多为 40%~60%,一般体现为“砂包泥”。砂砾底端平整,顶端为突变面,体现出大部分河道忽然改线或废旧。泥岩与砂砾岩互层为淡褐色或灰色、深灰色。一般深色泥岩表示陆地上干燥的河漫滩沉积,深色泥岩带有植物化石乃至煤层,意味着湖泊潮湿的生态环境。河道迁移发育各种层理,如块状或不明显的水平层理、巨型槽状交错层理、单组大型板状交错层理等。

3.2 延 10 辫状河沉积模式

延安组沉积初期,晚三叠世顶面构造受古地形地貌控制地层厚度。在沉积作用下,古高地逐渐消失,河流与三角洲山间盆地的界限渐渐地倒退,产生湖泊。沉积中心处于延安及东部地区。沉降中

心位于灵武—惠安堡一线上,坳陷展布方向为 35° NE。因为山间盆地均衡沉降,沉积与沉降中心重叠,均出现在延安地区^[22-23]。

延 10 宝塔砂岩为延安组底端的灰白中粒长石石英砂岩,薄厚 40~80 m。中上方夹淡绿色砂、泥岩,由此可见球形风化。深灰色块状长石细板岩,夹泥灰岩、粉细砂质泥岩,夹少许黑灰色页岩,薄厚 123~179 m。总的来说,岩层具备由下而上逐渐变细的渐变构造,岩层比较稳定,交错层理种类多样,在其中板状交错层理和槽状交错层理比较发育。底端为大中型冲洗侵蚀面,滞留沉积发育,下边与富县组平行面不接触,岩层比较稳定(图 6)。底端发育辫状河,辫状河发育的江河一般弯度较低,但河道宽阔轻缓,水体相对性偏浅,河道砂体相对性发育,沉积环境一般为潮湿的周期性气候^[24-25]。



图 6 研究区延 10 辫状河沉积模式

4 结论

- 1)研究区延 10 油层组具有由下而上逐渐变细的正粒序结构、岩性比较稳定和滞留沉积较为发育的特点,沉积构造以槽状、板状交错层理和块状层理为主。
- 2)在辫状河野外露头观察的基础上,结合钻井资料,将辫状河岩相类型分为 4 类:槽状交错层理中粗砂岩相(St)、板状交错层理砂岩相(Sp)、平行层理砂岩相(Sh)和块状构造砂岩相(Sm),并鉴别出 1 种岩相组合,即辫状河相岩相组合。
- 3)研究区主要发育辫状河亚相,泛滥平原微相较少发育,河道砂坝微相广泛发育。以含砾粗砂

岩、粗砂岩为主,夹少许粉砂岩、泥岩,出现“砂包泥”的宏观沉积特点。

参考文献

[1] 刘池洋,赵红格,桂小军,等.鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J].地质学报,2006(5):617-638.

[2] 时志强,韩永林,赵俊兴,等.鄂尔多斯盆地中南部中侏罗世延安期沉积体系及岩相古地理演化[J].地球学报,2003,24(1):49-54.

[3] 梁积伟.鄂尔多斯盆地侏罗系沉积体系和层序地层学研究[D].西安:西北大学,2007.

[4] 杨磊.鄂尔多斯盆地侏罗纪延安期原始盆地恢复[D].西

安:西北大学,2008.

[5] 庞军刚,陈全红,李文厚,等. 鄂尔多斯盆地延安组标志层特征及形成机理[J]. 西北大学学报(自然科学版),2012,42(5):806-812.

[6] 李振宏. 鄂尔多斯盆地中-晚侏罗世构造事件的沉积响应[J]. 地球科学,2015,36(1):22-30.

[7] 郭艳琴,李文厚,郭彬程,等. 鄂尔多斯盆地沉积体系与古地理演化[J]. 古地理学报,2019,21(2):293-320.

[8] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[J]. 北京:石油工业出版社,2002.

[9] 贾本文. 鄂尔多斯盆地东南部侏罗系延安组延 10 物源分析[D]. 西安:长安大学,2020.

[10] 赵旃楠. 鄂尔多斯盆地侏罗系延安组主要露头剖面沉积相及储层分析[D]. 荆州:长江大学,2019.

[11] 赵虹,党彝,党永潮,等. 鄂尔多斯盆地安塞志丹地区侏罗系延安组下部组合沉积演化及其对油气的控制[J]. 西北大学学报(自然科学版),2020,50(3):490-500.

[12] 尹泽,刘自亮,彭楠,等. 鄂尔多斯盆地西缘上三叠统延长组沉积相特征研究[J]. 沉积学报,2019,37(1):163-176.

[13] 李智学. 鄂尔多斯盆地中南部延安组页岩气成藏规律与潜力评价[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2014.

[14] 赵俊峰,屈红军,林晋炎,等. 湖泊三角洲沉积露头精细解剖:以鄂尔多斯盆地裴庄剖面为例[J]. 沉积学报,2014,32(6):1026-1034.

[15] 黎祺,陆嫣,何贤科,等. 基于地震波形分类的三角洲储层刻画与应用:以西湖凹陷 J 气田为例[J]. 科学技术与工程,2022,22(17):6847-6856.

[16] 陈彬滔,于兴河,王天奇,等. 砂质辫状河岩相与构型特征:以山西大同盆地中侏罗统云冈组露头为例[J]. 石油与天然气地质,2015,36(1):111-117.

[17] 白通,赵卫卫,慕尚超,等. 延安地区西南部长 7 段页岩岩相表征[J]. 科学技术与工程,2022,22(3):987-996.

[18] 李易隆,贾爱林,冀光,等. 辫状河沉积构型解剖方法:以鄂尔多斯盆地中东部盒八段沉积为例[C]//2017 年全国天然气学术年会论文集. 杭州:中国石油学会天然气专业委员会,四川省石油学会,浙江省石油学会,2017:251-268.

[19] 张彬,张刚,徐帅康. 定边地区中侏罗统延安组辫状河沉积模式[J]. 西安科技大学学报,2021,41(5):845-852.

[20] 杨有星,金振奎,白忠凯,等. 辫状河单河道砂体接触关系及主控因素分析:以新疆克拉玛依,山西柳林、大同和陕西延安辫状河露头为例[J]. 岩性油气藏,2018,30(2):30-38.

[21] 司学强,张金亮. 塔东北地区白垩系辫状河沉积特征研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2005(6):29-34,70.

[22] 王进,于兴河,仲玉芳,等. 准噶尔盆地红山嘴地区三叠系克下组辫状河沉积特征[J]. 现代地质,2021,35(3):841-849.

[23] 何卫军. 鄂尔多斯盆地南部侏罗系直罗组-安定组沉积体系研究[D]. 西安:西北大学,2007.

[24] LUNT I A, SMITH G H, BEST J L, et al. Deposits of the sandy braided South Saskatchewan River Implications for the use of modern analogs in reconstructing channel dimensions in reservoir characterization [J]. AAPG Bull, 2013, 97(4):553-576.

[25] LYND S R, HAJEK E. Conceptual model for predicting mudstone dimensions in sandy braided-river reservoirs [J]. AAPG Bull, 2006, 90(8):1273-1288.

Sedimentary Characteristics of Yan 10 of Jurassic Yan'an Formation in Ordos Basin

WANG Xinyue¹, PANG Jungang¹, WANG Zixuan¹, CHANG Liangjie², ZHAO Xin¹, ZHAO Linyan¹

(1. Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China;
2. Petroleum Development Center, Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying 257061, Shandong, China)

Abstract: Based on the modern sedimentology theory, the lithofacies types, lithofacies combinations and sedimentary characteristics of Yan10 in Yan'an Formation are studied in detail by means of field observation of braided river outcrop section and drilling data, and the sedimentary facies, microfacies and sedimentary model in the study area are discussed. The results show that four lithofacies types are developed in Yan10 Formation in the study area: coarse sandstone facies (St) in trough cross-bedding, tabular cross-bedding sandstone facies (Sp), parallel bedding sandstone facies (Sh), massive structural sandstone facies (Sm) and braided river lithofacies association. In addition, braided river sedimentary facies, heart bank and flood plain sedimentary microfacies are identified. The research results have certain guiding significance for the Yan'an Formation braided river lithofacies association and sedimentary facies, and could provide reference for other layers of braided river deposition in Ordos Basin.

Keywords: sedimentary facies; sedimentary microfacies; lithofacies association; depositional model; braided river sedimentation