

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

陈彬滔^{1,2}, 于兴河³, 王天奇¹, 马凤良¹, 李顺利³, 杨丽莎¹

(1. 中国石油 勘探开发研究院 西北分院, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国石油天然气集团公司 油藏描述重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 3. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083)

摘要:砂质辫状河沉积具有极好的储集性能,是重要的油气储层。为了阐明砂质辫状河储层的岩相与构型特征,定量表征构型单元的几何属性和物性特征,采用露头实测、精细构型解释以及实验分析等方法对山西大同盆地中侏罗统云冈组砂质辫状河露头进行了系统研究,共识别出7种岩相类型和5种岩相组合。砂质辫状河中发育河道(CH)、心滩(CB)、边滩(PB)、废弃河道(ACH)及漫溢沉积(OF)5种典型构型单元,以河道和心滩构型单元为主,两者的累积分布频率高达78%。河道构型单元的厚度介于2.5~6.5 m,宽厚比约为25~30,平均孔隙度为7.1%。心滩构型单元的厚度介于2.5~7.0 m,宽厚比约为30~35,平均孔隙度为7.8%。同一沉积时期,砂质辫状河中存在4种基本构型单元组合,分别为CH-OF、CH/ACH-PB、CH-CB-CH和CH/ACH-PB-OF。不同沉积时期的构型单元空间分布可表示为4种基本组合类型及河道构型单元在垂向和横向的重复或叠加。河道和心滩构型单元为砂质辫状河的主要储层类型,但心滩构型单元的规模和储层物性优于河道构型单元。

关键词:构型单元;油气储层;储集物性;露头;砂质辫状河;岩相;大同盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Lithofacies and architectural characteristics of sandy braided river deposits: a case from outcrops of the Middle Jurassic Yungang Formation in the Datong Basin, Shanxi Province

Chen Bintao^{1,2}, Yu Xinghe³, Wang Tianqi¹, Ma Fengliang¹, Li Shunli³, Yang Lisha¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development - Northwest (NWGI), PetroChina, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Key Laboratory of Reservoir Description, CNPC, Lanzhou, Gansu 730020, China; 3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Sandy braided river deposits have excellent physical properties, thus are important oil/gas reservoirs. In order to demonstrate the lithofacies and architectural characteristics of the sandy braided river reservoirs, and quantify the geometric properties and physical properties of architectural units, a systematic study for outcrops of sandy braided river deposits in the Middle Jurassic Yungang Formation in the Datong Basin has been conducted on the basis of outcrop observation, detailed interpretation of architectures, and laboratory analysis. Seven types of lithofacies in five associations have been identified. Five typical architectural units were identified in the sandy braided river deposits, including channel (CH), channel bar (CB), point bar (PB), abandoned channel (ACH), and overflowing sediments (OF). Among these architectural units, the channel and channel bar are the main architectural units with accumulative distribution frequency up to 78%. The thickness of channels ranges from 2.5 m to 6.5 m, width/thickness ratio is about 25-30, and the average porosity is 7.1%. The thickness of channel bars ranges from 2.5 m to 7.0 m, width/thickness ratio is about 30-35, and the average porosity is 7.8%. During the same depositional period, four basic combination types of the architectural units developed in the sandy braided river, namely CH-OF, CH/ACH-PB, CH-CB-CH, and CH/ACH-PB-OF. The spatial distribution of the architectural units in the different depositional periods is characterized by superposition or repetition of these four basic combination types in vertical and lateral. Channel and channel bar are the major reservoir types in the sandy braided river deposits, but the scale and physical properties of the later are better than the former.

Key words: architectural unit, oil/gas reservoir, reservoir property, sandy braided river, lithofacies, outcrop, Datong Basin

收稿日期:2013-12-11; 修订日期:2014-10-17。

第一作者简介:陈彬滔(1985—),男,工程师,储层沉积学。E-mail: tobychencugh@foxmail.com.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(41072084)。

砂质辫状河沉积通常具有较高的宽厚比、孔隙度、渗透率及净毛比,可作为优质的油气储层^[1]。随着大多数以辫状河储层为主力产层的油田进入后期开发阶段,精细储层构型特征分析已迫在眉睫^[2-7]。受曲流河构型特征及其对剩余油分布控制研究的启发^[8-12],众多学者已开始利用露头、密井网资料及物理模拟实验研究辫状河储层构型及其对剩余油分布的影响^[13-17]。但是,目前关于辫状河储层构型的研究多侧重于心滩构型单元的内部构型特征与泥质隔夹层分布规律^[18-23],极少涉及整个辫状河储层的构型单元类型、组合特征及构型单元的定量几何属性(宽/厚比)与物性特征。

因此,本次研究旨在通过对山西大同侏罗系砂质辫状河露头的实测、精细构型解释和实验分析,厘清砂质辫状河储层的构型单元类型和组合特征,定量表征构型单元的几何属性和物性特征,明确砂质辫状河环境的主要构型单元和优质储层类型,为储层预测和剩余油挖潜提供必要的基础地质数据。

1 研究区位置及地层概况

本次研究的露头剖面位于山西省大同市云岗镇,紧邻云岗石窟(图1a)。受铁路和公路建设过程中开挖作业的影响,中侏罗统云岗组大量出露,为露头研究创造了良好的条件。

在山西大同云岗地区,中侏罗统云岗组属于砂质辫状河沉积^[18,24],由下至上分为3段,依次为砂砾岩段、石窟段及泥岩段(图1b)。本次研究的目的层段相

当于石窟段,以发育大型槽状交错层理、板状交错层理中粗粒(局部含细砾)长石杂砂岩和岩屑长石杂砂岩为特征^[18,24],夹少量的细砂岩和粉砂岩,平均古水流方向约为 187° ^[25]。

2 岩相类型与岩相组合

2.1 岩相类型

通过对5条横向剖面、1条纵向剖面的岩性、厚度和沉积构造等特征进行仔细观察和实测,在山西大同云岗组石窟段共识别出7种典型的岩相类型(图2),分别为块状层理砂砾岩相(Gm)、槽状交错层理中粗砂岩相(St)、板状交错层理中粗砂岩相(Sp)、平行层理中粗砂岩相(Sh)、流水沙纹细砂岩相(Sr)、水平层理粉砂岩相(FI)及块状泥岩相(M)。

2.2 岩相组合

根据实际露头的观察结果,结合剖面精细描述和沉积成因分析,山西大同侏罗系砂质辫状河露头主要发育5种典型的岩相组合类型(图3)。

1) 组合类型 A: Gm - St - Sh - M

底部常见冲刷面,发育河道滞留砾岩沉积(Gm),但厚度不大,向上过渡为槽状交错层理中粗砂岩相(St),反映河道下切、迁移并充填;随着河道加宽,逐渐过渡为宽浅型河道,发育平行层理中粗砂岩相;顶部发育洪泛期的杂色泥岩(图3a)。组合类型A具有向上变细的结构特点,整体以充填型砂质沉积为主。

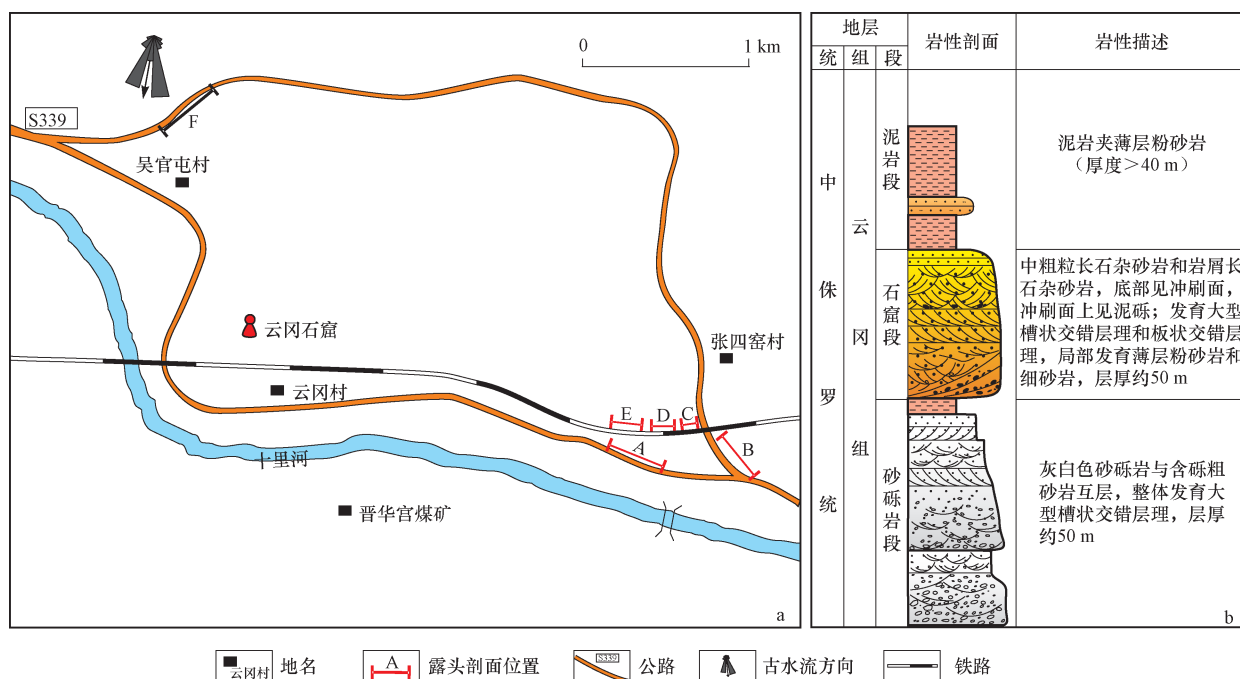


图1 研究区位置及地层概况

Fig. 1 Location and stratigraphic column of the study area

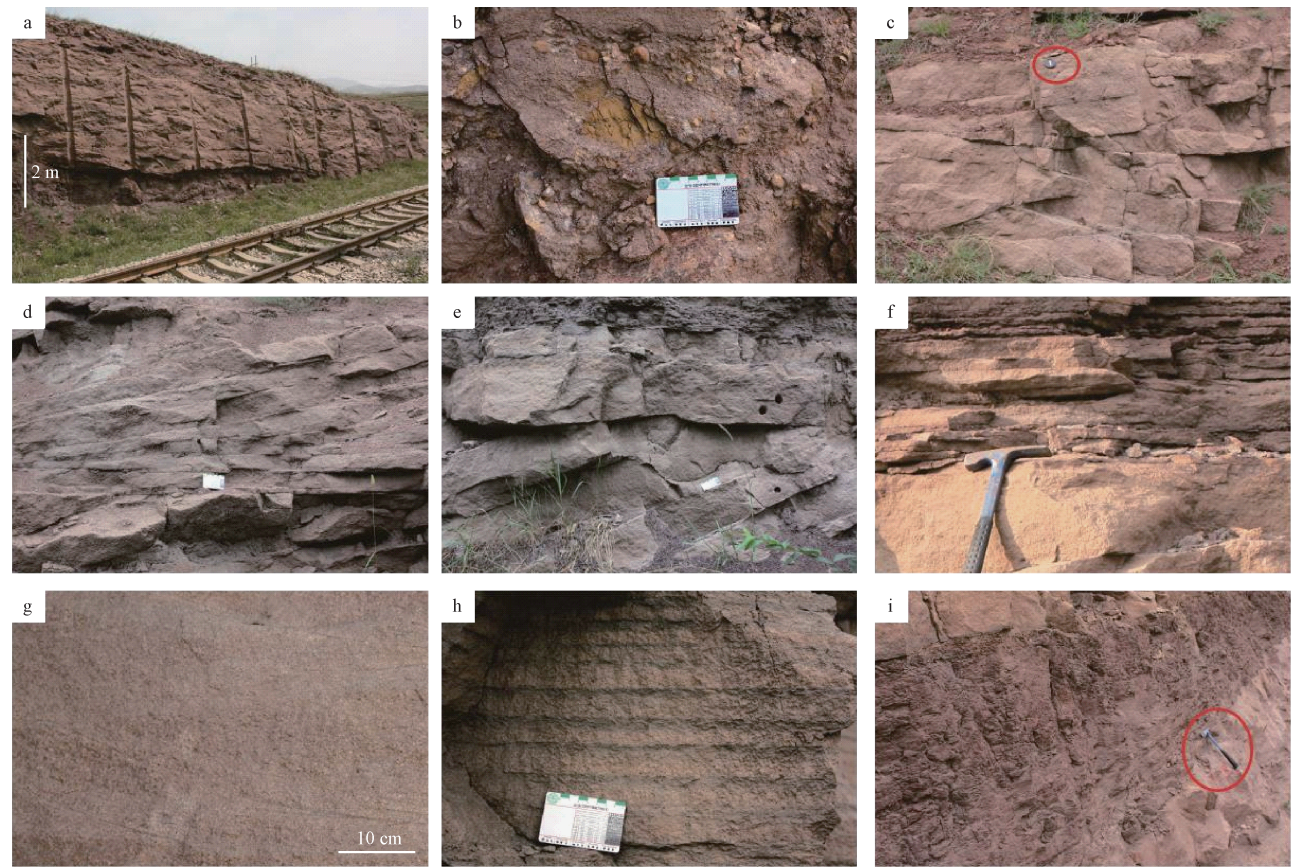


图 2 大同盆地侏罗系砂质辫状河露头典型照片

Fig. 2 Typical photos of outcrops in the Jurassic sandy braided river deposits in the Datong Basin

a. 砂质辫状河单期水道,底部见冲刷面;b. 块状层理砂砾岩相(Gm);c. 槽状交错层理中粗砂岩相(St);
d,e. 板状交错层理中粗砂岩相(Sp);f. 平行层理中粗砂岩相(Sh);g. 流水沙纹细砂岩相(Sr);
h. 水平层理粉砂岩相(Fl);i. 块状泥岩相(M)

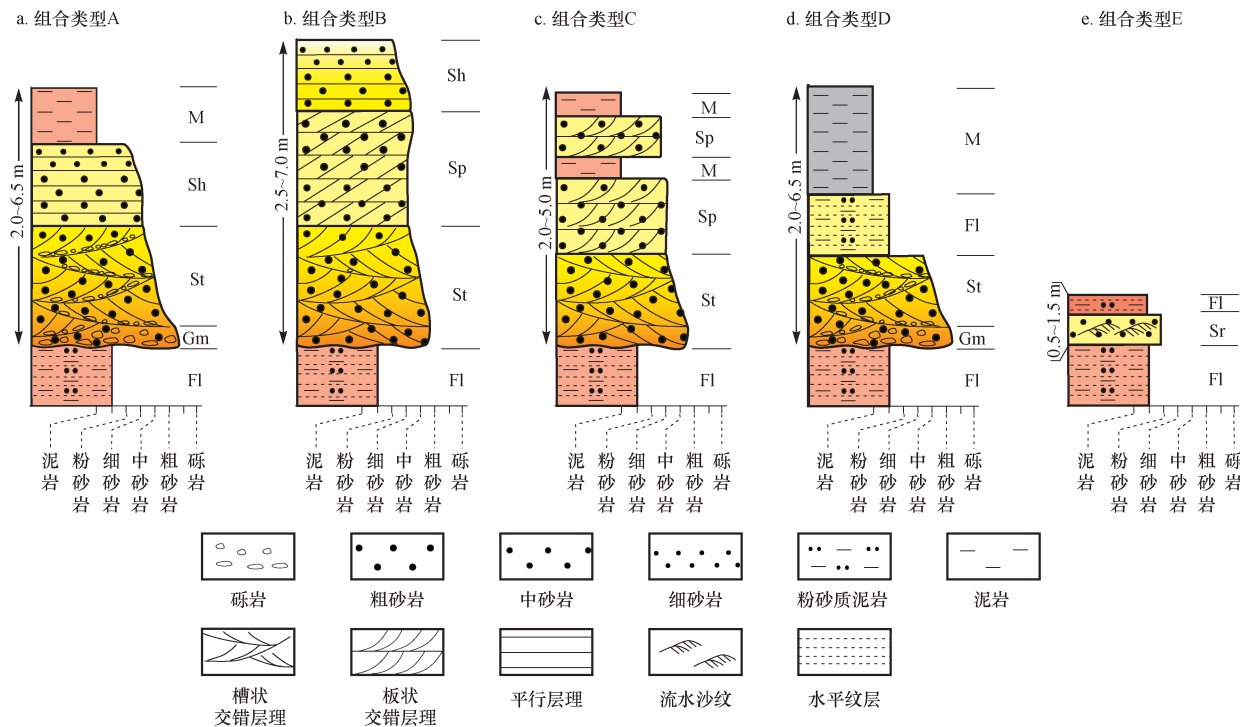


图 3 大同盆地侏罗系砂质辫状河露头典型岩相组合

Fig. 3 Typical lithofacies associations of outcrops in the Jurassic sandy braided river deposits in the Datong Basin

2) 组合类型 B:St – Sp – Sh

岩性以中粗砂岩为主,由下至上依次发育槽状交错层理、下截型板状交错层理和平行层理。顶部的平行层理中粗砂岩局部可见冲刷现象和砾石,表明具有水浅流急的水动力条件(图 3b)。组合类型 B 的韵律特征不明显,整体以垂向加积和顺流加积的砂质沉积为主。

3) 组合类型 C:St – Sp – M – Sp

岩性以中砂岩为主,主要发育槽状交错层理、下切型板状交错层理。两期下切型板状交错层理中砂岩相之间常发育块状泥岩相(M),为洪泛退却期,披覆沉积于前期砂体之上的薄层侧积泥(图 3c)。组合类型 C 具有向上变细的结构特点,整体以侧向加积的砂质沉积为主,但发育多层泥质夹层。

4) 组合类型 D:Gm – St – Fl – M

底部为早期活动河道期所沉积的砂质沉积,上部为河道废弃后充填的细粒沉积物(图 3d)。整体以暗色细粒沉积为主。

5) 组合类型 E:Sr – Fl

流水沙纹细砂岩与水平层理粉砂岩薄互层(图 3e)。垂向上,砂泥频繁互层,反映水流间歇活动,为漫溢沉积的典型垂向序列。

3 构型特征

3.1 构型单元类型

详细的露头实测和剖面精细解释结果表明,山西大同砂质辫状河露头发育 5 种典型的构型单元。

1) 河道(CH)

河道是研究层段露头剖面中最常见的构型单元之一,垂向序列对应于岩相组合类型 A,但受后期河道侵蚀冲刷的影响,部分河道构型单元的岩相组合保存并不完整。河道构型单元在剖面上通常呈透镜状(顶平底凹)(图 4a)或因压实作用而呈近似板状。研究层段的实测结果表明,河道构型单元的厚度介于 2.0 ~6.5 m,宽度介于 50 ~180 m,宽厚比约为 25 ~30(表 1)。



图 4 大同盆地侏罗系砂质辫状河露头典型构型单元

Fig. 4 Typical architectural units of outcrops in the Jurassic sandy braided river deposits in the Datong Basin
(不同颜色的箭头标示不同构型单元的边界,其中向上箭头指示构型单元底界,向下箭头指示构型单元顶界。)

表 1 大同盆地侏罗系砂质辫状河露头典型构型单元特征

Table 1 Characteristics of typical architectural units of outcrops in the Jurassic sandy braided river deposits in Datong Baisn

构型单元名称	代码	垂向序列	剖面形态	实测数据		
				宽度范围/m	厚度范围/m	宽/厚比范围
河道	CH	Gm – St – Sh – M		50 ~ 180	2.0 ~ 6.5	25 ~ 30
心滩	CB	St – Sp – Sh		70 ~ 240	2.5 ~ 7.0	30 ~ 35
边滩	PB	St – Sp – M – Sp		—	—	—
废弃河道	ACH	Gm – St – Fl – M		—	—	—
漫溢沉积	OF	Sr – Fl		—	0.5 ~ 1.5	—

2) 心滩(CB)

研究层段露头剖面中另一常见的构型单元为心滩,其垂向序列对应于岩相组合类型 B。顶部通常因后期短暂强水流冲越而存在小型冲沟现象。心滩构型单元在剖面上多呈底平顶凸透镜状(图 4a),构型单元内部泥质夹层少见。研究层段的实测结果表明,心滩构型单元的厚度介于 2.5 ~ 7.0 m,宽度介于 70 ~ 240 m,宽厚比约为 30 ~ 35。总体而言,心滩构型单元与河道构型单元的厚度范围相近,但是心滩构型单元的宽度和宽厚比明显大于河道构型单元。

3) 边滩(PB)

辫状河沉积中,边滩构型单元不属于主要构型单元,通常与河道构型单元或废弃河道构型单元伴生,其垂向序列对应于岩相组合类型 C。边滩构型单元在剖面上多呈楔形,构型单元内部常发育泥质夹层(图 4c)。

4) 废弃河道(ACH)

废弃河道构型单元同样具有顶平底凹透镜状的剖面形态(图 4c),但其上部充填沉积物为细粒物质,为辫状河储层中典型的渗流屏障。

5) 漫溢沉积(OF)

漫溢沉积构型单元通常分布于河道构型单元两侧,以薄层砂岩与泥岩互层为特征,其垂向序列对应于岩相组合类型 E,剖面上一般呈平板状(图 4b),厚度小、横向延伸距离远。实测结果显示其厚度介于 0.5 ~ 1.5 m,但是因横向延伸宽度大于出露范围,而无法确定其宽度和宽厚比。

3.2 构型单元基本组合类型

根据露头实际观察结果,结合现代沉积特征,拟定了砂质辫状河典型构型单元的基本组合类型。该基本组合类型指同一沉积时期构型单元的可能组合类型,具有特定的沉积成因联系。

构型单元的基本组合类型可归纳为 4 类,为 2 种或 3 种构型单元的组合(图 5):①因洪水期水流溢出河道而形成的河道-漫溢沉积构型单元组合(CH-OF);②河道弯曲处,凸岸侧向加积而形成的边滩构型单元与河道/废弃河道构型单元组合(CH/ACH-PB),同一沉积时期,边滩构型单元的一侧与河道/废弃河道构型单元连接,而不会单独存在;③河道-心滩-河道构型单元组合(CH-CB-CH),辫状河中最常见的组合类型,对于同一沉积时期而言,心滩构型单元总是与河道构型单元伴生,呈两侧拼接式;④边滩外部洪水期水流溢出而形成的河道-边滩-漫溢沉积构型单元组合(CH/ACH-PB-OF)。

除上述 4 种基本组合类型外,河道构型单元(CH)还可以单独作为一种要素进行空间组合。因

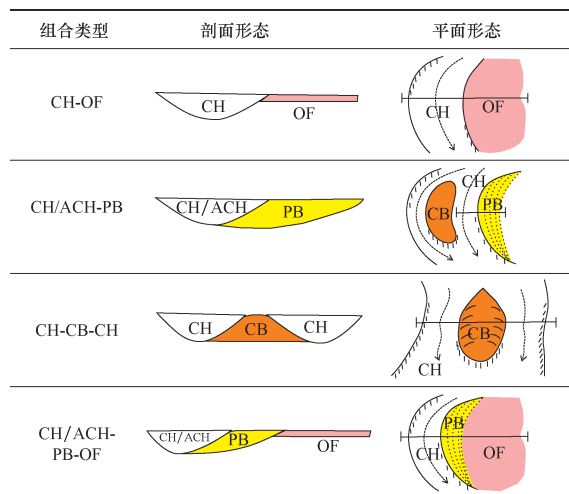


图 5 大同盆地砂质辫状河构型单元基本组合类型

Fig. 5 Basic combination types of architectural units in the sandy braided river deposits in Datong Basin

此,不同沉积时期的构型单元空间分布可表示为 4 种基本组合类型及河道构型单元在垂向和横向的重复或叠加。

4 构型单元分布频率与物性特征

4.1 构型单元分布频率

通过对 5 条露头剖面进行精细构型单元解释,共识别出 276 个构型单元,其中河道构型单元 113 个,分布频率为 41.0%;心滩构型单元 102 个,分布频率为 37.0%;边滩构型单元 9 个,分布频率为 3.2%;废弃河道构型单元 7 个,分布频率为 2.5%;漫溢沉积构型单元 45 个,分布频率为 16.3%(表 2)。

统计结果表明,砂质辫状河以河道和心滩构型单元为主,两者的分布频率总和高达 78%;废弃河道仅占 2.5%,反应出辫状河沉积体系虽然河道迁移频繁,但是仍以砂质充填为主,泥质废弃河道分布频率低,泥质渗流屏障较少。

4.2 构型单元物性特征

根据构型单元识别结果,分别对各构型单元进行了取样,以便于开展物性特征分析。研究过程中共计取样 147 块,其中河道构型单元取样 53 块,心滩构型单元取样 61 块(表 2)。

河道构型单元的孔隙度(Φ)介于 4.8% ~ 10.6%、平均 7.1%,渗透率(K)介于 0.022×10^{-3} ~ $2.09 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、平均 $0.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,渗透率均质系数($K_{\text{平均}}/K_{\text{最大}}$)为 0.11,储层质量系数($\sqrt{K/\Phi}$)为 1.8;心滩构型单元的孔隙度介于 4.3% ~ 10.1%、平均 7.8%,渗透率介于 0.038×10^{-3} ~ $4.31 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、平均

表2 大同盆地侏罗系砂质辫状河露头构型单元分布频率与物性特征

Table 2 Distribution frequency and physical properties of the architectural units of outcrops in the Jurassic sandy braided river deposits in Datong Basin

构型单元 名称	代码	分布频率		物性特征						
		样品个数	频率/%	样品个数	孔隙度/%			渗透率/(10^{-3})(μm^2)		
					最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
河道	CH	113	41.0	53	4.8	10.6	7.1	0.022	2.09	0.23
心滩	CB	102	37.0	61	4.3	10.1	7.8	0.038	4.31	1.27
边滩	PB	9	3.2	6	4.0	9.8	7.5	0.030	3.52	1.04
废弃河道	ACH	7	2.5	—	—	—	—	—	—	—
漫溢沉积	OF	45	16.3	27	3.4	8.6	6.5	0.053	0.94	0.54

$1.27 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 渗透率均质系数为 0.29, 储层质量系数为 4.1; 边滩构型单元的孔隙度介于 4.0% ~ 9.8%、平均 7.5%, 渗透率介于 $0.030 \times 10^{-3} \sim 3.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、平均 $1.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 渗透率均质系数为 0.30, 储层质量系数为 3.7。

砂质辫状河中河道与心滩构型单元的孔隙度和渗透率范围相近, 但是心滩构型单元的渗透率均质系数和储层质量系数明显大于河道构型单元的相应参数, 表明心滩构型单元的均质性更强。此外, 边滩构型单元虽然数量少, 但是其储集物性与心滩构型单元类似, 同样优于河道构型单元。结合岩相与岩相组合分析结果, 河道构型单元底部通常发育滞留泥砾, 并且河道构型单元的岩相组合垂向序列具有明显的正韵律特征, 最终影响其储层非均质性。因此, 砂质辫状河中最佳储层类型为心滩构型单元, 河道构型单元数量多, 但储层非均质性相对更强, 边滩构型单元虽然储层质量好、但数量少。

5 结论

1) 山西大同云岗组石窟段砂质辫状河露头发育 7 种典型的岩相类型、5 种岩相组合, 总体以河道下切、迁移并充填沉积的槽状交错层理中粗砂岩相和垂向加积或侧向加积形成的板状交错层理中粗砂岩相为主。

2) 砂质辫状河中发育 5 种典型的构型单元, 分别为河道(CH)、心滩(CB)、边滩(PB)、废弃河道(ACH)和漫溢沉积(OF)。河道构型单元剖面呈顶平底凹透镜状, 宽/厚比约为 25 ~ 30; 心滩构型单元呈底平顶凸透镜状, 宽/厚比约为 30 ~ 35。心滩构型单元的宽度和宽/厚比明显大于河道构型单元。

3) 同一沉积时期, 砂质辫状河存在 4 种基本构型单元组合, 分别为河道 - 漫溢沉积构型单元组合(CH - OF)、边滩 - 河道/废弃河道构型单元组合(CH/ACH - PB)、河道 - 心滩 - 河道构型单元组合

(CH - CB - CH)、河道 - 边滩 - 漫溢沉积构型单元组合(CH/ACH - PB - OF)。不同沉积时期的构型单元空间分布可表示为 4 种基本组合类型及河道构型单元在垂向和横向的重复或叠加。

4) 砂质辫状河的主要储层为河道构型单元和心滩构型单元, 但心滩构型单元的均质性更强, 其储层质量优于河道构型单元。

参 考 文 献

- [1] Miall A D. A review of the braided-river depositional environment [J]. Earth Science Reviews, 1977, 13(1): 1 - 62.
- [2] 于兴河. 油气储层表征与随机建模的发展历程及展望[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 1 - 15.
Yu Xinghe. A review of development course and prospect of petroleum reservoir characterization and stochastic modeling [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 1 - 15.
- [3] 白振瑞, 邢凤存, 李会宪. 柯坪露头区柯坪塔格组河流作用为主的三角洲沉积特征及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 217 - 224.
Bai Zhenrui, Xing Fengcun, Li Huixian. Sedimentary features of fluvial-dominated delta in the Kepingtage Fm in Keping outcrop area and their significance for petroleum exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 217 - 224.
- [4] 吴胜和, 纪友亮, 岳大力, 等. 碎屑沉积地质体构型分级方案探讨[J]. 高校地质学报, 2013, 19(1): 12 - 22.
Wu Shenghe, Ji Youliang, Yue Dali, et al. Discussion on hierarchical scheme of architectural units in clastic deposits [J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 12 - 22.
- [5] 封从军, 鲍志东, 单启铜, 等. 三角洲平原复合分流河道内部单砂体划分——以扶余油田中区南部泉头组四段为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 77 - 83.
Feng Congjun, Bao Zhidong, Shan Qitong, et al. Single sand body identification in compound distributary channel of delta plain: a case study from the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 77 - 83.
- [6] 曾祥平. 储集层构型研究在油田精细开发中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(4): 483 - 489.
Zeng Xiangping. Application of reservoir structure research in the fine exploitation of oilfields [J]. Petroleum Exploration and Development,

- 2010,37(4):483-489.
- [7] 岳大力,吴胜和,刘建民. 曲流河点坝地下储层构型精细解剖方法[J]. 石油学报,2007,28(4):99-103.
Yue Dali, Wu Shenghe, Liu Jianmin. An accurate method for anatomizing architecture of subsurface reservoir in point bar of meandering river [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 99-103.
- [8] Donselaar M E, Overeem I. Connectivity of fluvial point-bar deposits: An example from the Miocene Huesca fluvial fan, Ebro Basin, Spain [J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(9): 1109-1129.
- [9] 陈彬滔,于兴河,潘树新,等. 准噶尔盆地南缘头屯河组曲流河沉积特征与成因砂体对比方法[J]. 天然气地球科学,2013,24(6): 1132-1139.
Chen Bintaoyu, Yu Xinghe, Pan Shuxin, et al. Sedimentary characteristics and sedimentogenic-based sandbodies correlation methods of meandering river in Toutunhe Formation, southern margin of Junggar Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(6): 1132-1139.
- [10] Pranter M J, Ellison A I, Cole R D, et al. Analysis and modeling of intermediate-scale reservoir heterogeneity based on a fluvial point-bar outcrop analog, Williams Fork Formation, Piceance Basin, Colorado [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(7): 1025-1051.
- [11] 马世忠,孙雨,范广娟,等. 地下曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构研究方法[J]. 沉积学报,2008,26(4):632-639.
Ma Shizhong, Sun Yu, Fan Guangjuan, et al. The method for studying thin interbed architecture of burial meandering channel sandbody [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 632-639.
- [12] Bridge J S, Tye R S. Interpreting the dimensions of ancient fluvial channel bars, channels, and channel belts from wire-line logs and cores [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(8): 1205-1228.
- [13] 王俊辉,姜在兴,张元福,等. 三角洲沉积的物理模拟[J]. 石油与天然气地质,2013,34(6):758-764.
Wang Junhui, Jiang Zaixing, Zhang Yuanfu, et al. Physical simulation of deltaic deposits [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6): 758-764.
- [14] 王改云,杨少春,廖飞燕,等. 辫状河储层中隔夹层的层次结构分析[J]. 天然气地球科学,2009,20(3):378-383.
Wang Gaiyun, Yang Shaochun, Liao Feiyan, et al. Hierarchical structure of barrier beds and interbeds in braided river reservoirs [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 378-383.
- [15] 李顺明,宋新民,蒋有伟,等. 高尚堡油田砂质辫状河储集层构型与剩余油分布[J]. 石油勘探与开发,2011,38(4): 474-482.
Li Shunmin, Song Xinming, Jiang Youwei, et al. Architecture and remaining oil distribution of the sandy braided river reservoir in the Gaoshangpu Oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(4): 474-482.
- [16] 陈彬滔,于兴河,王天奇,等. 岱海湖盆沿坡流与顺坡流相互作用的沉积响应[J]. 地球科学—中国地质大学学报,2014,39(4): 399-410.
Chen Bintaoyu, Yu Xinghe, Wang Tianqi, et al. Sedimentary response to interaction between alongslope and downslope currents in Daihai Lake, North China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2014, 39(4): 399-410.
- [17] Lynds R, Hajek E. Conceptual model for predicting mudstone dimensions in sandy braided-river reservoirs [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(8): 1273-1288.
- [18] 杨丽莎,陈彬滔,李顺利,等. 基于成因类型的砂质辫状河泥岩分布模式—以山西大同猪罗系砂质辫状河露头为例[J]. 天然气地球科学,2013,24(1):93-98.
Yang Lisha, Chen Bintaoyu, Li Shunli, et al. Pattern of genesis-based mudstone distribution for braided river: A case study of sandy braided-river outcrop, Datong, Shanxi province, China [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(1): 93-98.
- [19] 刘钰铭,侯加根,宋保全,等. 辫状河厚砂层内部夹层表征—以大庆喇嘛甸油田为例[J]. 石油学报,2011,32(5): 836-841.
Liu Mingyu, Hou Jiagen, Song Baoquan, et al. Characterization of interlayers within braided-river thick sandstones: A case study on the Lamadian Oilfield in Daqing [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 836-841.
- [20] 刘卫,丁亚军,彭光艳,等. 基于界面约束法的曲流河点坝内部构型建筑模[J]. 油气地质与采收率,2014,21(3):33-35,40.
Liu Wei, Ding Ya, Peng Gangyan, et al. Study on characterization of point bar architecture based on surface constrain [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 33-35, 40.
- [21] 董清水,孙雷,楼仁兴,等. 松辽盆地南部小城子地区下白垩统泉一段辫状河沉积判别标志与分布特征[J]. 石油实验地质,2014,36(2):129-135.
Dong Qingshui, Sun Lei, Lou Renxing, et al. Determinative marks and distribution characteristics of braided river deposits in Ist section of Quantou Formation of Lower Cretaceous in Xiaochengzi area, southern Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 129-135.
- [22] 尚鲁宁,吕大炜,李增学,等. 琼东南盆地崖南凹陷崖城组辫状河三角洲沉积特征及油气地质意义[J]. 油气地质与采收率,2013,20(5):4-9.
Shang Luning, Lü Dawei, Li Zengxue, et al. Depositional characteristics and petroleum geology significance of braided delta system in Yacheng formation, Yanan sag, Qiongdongnan basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(5): 4-9.
- [23] 房煦. 非近海河流相层序地层学探讨——以济阳拗陷新近系为例[J]. 油气地质与采收率,2014,21(6):10-14.
Fang Xu. Discussion on non-coastal fluvial facies sequence stratigraphy: an example from the Neogene in Jiyang depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 10-14.
- [24] 王随继. 大同盆地中侏罗世河流沉积体系及古河型演化[J]. 沉积学报,2001,19(4):501-505.
Wang Suiji. Fluvial depositional systems and river pattern evolution of middle Jurassic series, Datong Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 501-505.
- [25] Yu X, Ma X, Qing H. Sedimentology and reservoir characteristics of a Middle Jurassic fluvial system, Datong Basin, Northern China [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2002, 50(1)

(编辑 张亚雄)