

鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界储集砂体叠置关系及分布定量刻画

田景春¹, 张兴良^{1,2}, 王峰¹, 陈蓉¹, 林小兵¹

(1. 成都理工大学油气藏地质与开发工程国家重点实验室, 四川 成都, 610059; 2. 中国石油 长庆油田分公司, 陕西 西安 710000)

摘要:为定量刻画具有复杂叠置关系的储集砂体的时空分布特征,利用钻井岩心资料、测井资料和测试分析资料,在众多研究成果的基础上,基于砂层交错层层组的厚度参数,对高桥地区上古生界储集砂体叠置关系及砂体规模进行了分析。结果表明,研究区山西组—下石盒子组储集砂体叠置样式包括冲刷切割型(截断式河道砂体)、冲刷接触型(完整式河道砂体)和连续过渡接触型(孤立式河道砂体)。不同时期砂体平面展布特征不同,山西组储集砂体相对较窄,为条带状分布;盒8段以多期分流河道彼此叠置成的巨厚储集砂体为特征,砂体横向连片分布,平面展布规模大。通过岩心测量计算出山2段、山1段和盒8段河流满岸水深范围、单砂体厚度、单河道宽度及河道带宽度。其中,山2段曲流河三角洲河道带的宽度为700~1 500 m;山1段曲流河三角洲河道带的宽度为600~1 200 m;盒8下亚段辫状河河道带的宽度为1 000~2 000 m;盒8上亚段辫状河河道带的宽度为750~1 600 m。

关键词:砂体叠置关系;储集砂体;上古生界;高桥地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Quantitative characterization of superimposition relationship and distribution of reservoir sandbodies in the Upper Palaeozoic of Gaoqiao region, the Ordos Basin

Tian Jingchun¹, Zhang Xingliang^{1,2}, Wang Feng¹, Chen Rong¹, Lin Xiaobing¹

(1. State Key Lab of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710000, China)

Abstract: In order to quantitatively characterize the spatial and temporal distribution characteristic of superimposed reservoir sandbodies, drilling core data, logging data, and test data are integrated to analyze the superimposition relationship and sandbodies body size of the Upper Palaeozoic in Gaoqiao region of Ordos Basin. The superimposition styles of sandbodies in the Shanxi-Xiashihezi formations in the study area include scouring-cutting type (truncated channel sandbodies), scouring-contact type (complete channel sandbodies) and continuous transitional contact type (isolated channel sandbodies). Distributions of sandbodies formed in different periods are different. Sandbodies in the Shanxi Formation are relatively narrow, showing a banding distribution. In contrast, the very thick sandbodies consisting of superimposed distributary channels of multi-stages in the 8th member of the Shihezi Formation feature in laterally continuous and large scale distribution. Based on core measurement, we calculated the channel water depth range of bankfull stage, single sandbody thickness, single channel width and river width in the 2nd member of Shanxi Fm, the 1st member of Shanxi Fm and the 8th member of Shihezi Fm. The rivers in meandering river delta in the 2nd member of Shanxi Fm has a width of 700–1 500 m, the rivers in meandering river delta in the 2nd member of Shanxi Fm has a width of 600–1 200 m, and the braided rivers in the upper and lower 8th member of Shihezi Fm have a wide of 1 000–2 000 m and 750–1 600 m respectively.

Key words: superimposition relationship of sandbodies, reservoir sandbody, Upper Paleozoic, Gaoqiao region, Ordos Basin

位于鄂尔多斯盆地中部的高桥地区,北起陕63—陕245井一线,南至陕315井,西抵陕364—陕344井一线、东到与延长的矿权保护线,面积约8 000 km² (图1)。

近年来,针对该区的勘探实践揭示了区内上古生

界具有良好的开发前景^[1-3]。但由于尚未对研究区上古生界沉积相展布以及储层非均质性和含气性开展系统描述评价,因此,有关储集砂体的成因类型、叠置关系、砂体展布等需要进一步深入研究。为此,本研究在

收稿日期:2013-07-29;修订日期:2013-10-02。

第一作者简介:田景春(1963—),男,教授、博士生导师,沉积学与储层地质学。E-mail: tjc@cdut.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05007-04-01)。

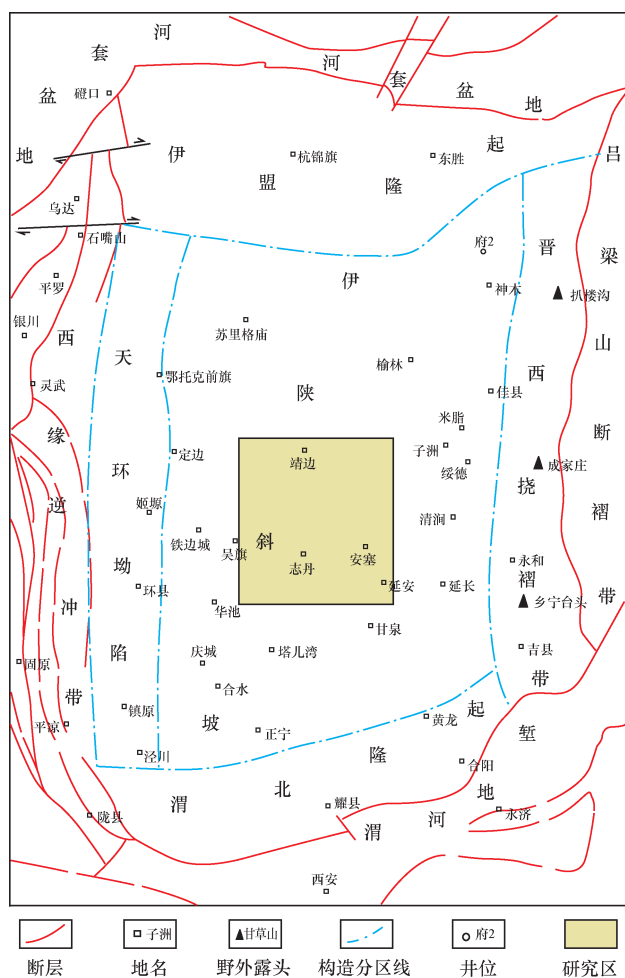


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Regional location of the study area

众多研究成果的基础上,对高桥地区上古生界储集砂体叠置关系进行分析,进而对储集砂体的时空分布开展定量刻画。为该地区上古生界进一步开发提供基础资料和科学依据。

2 砂体叠置关系

砂体叠置关系反映了砂体形成时的水动力特征、物源及沉积相垂向演化^[4-6]。通过钻井岩心观察、测井资料分析,高桥地区二叠系山西组及盒8段储集砂体具有不同的结构类型和垂向叠置关系(图2),主要包括冲刷切割型、冲刷接触型和连续过渡接触型(孤立型)等,这些砂体的叠置关系分别发育在不同沉积微相中,同时也对应着不同的砂体结构类型。

2.1 冲刷切割型叠置砂体

冲刷切割型叠置砂体(削截式河道砂体)是河流环境多期河道或三角洲环境多期分流河道垂向冲刷切割或侧向冲刷叠加所形成的。其典型特征表现为后一期河道(分流河道)发育期沉积的含砾砂岩直接叠加在前期河道(分流河道)沉积的中-细砂岩之上(图2a)。相

邻两期不同河道(分流河道)砂体垂向上紧密相邻、相互叠置,增大了砂体的有效联通性。研究区盒8段主要发育这种垂向加积的分流河道砂体类型,且高桥西部发育程度较高桥东部好。

2.2 冲刷接触型叠置砂体

冲刷接触型叠置砂体(完整式河道砂体)其特征表现为后期河道(分流河道)冲刷接触前期河道沉积。两期河道砂体之间为一定厚度的前期河道(分流河道)上部旋回的细粒沉积所分割。由于前期河道(分流河道)上部旋回的细粒沉积保存较为完整,使相邻两期河道(分流河道)沉积砂体不连通,也导致砂体的物性联通性变差(图2b),该类接触关系在研究区山西组水下分流河道中较发育。

2.3 连续过渡接触型(孤立型)叠置砂体

连续过渡接触型(孤立式河道砂体)发育于河道(分流河道)边侧部位(图2c)或为决口扇,因此,单期河道(分流河道)砂体沉积厚度小。同时,沉积后被天然堤或分流间湾泥质沉积覆盖。所以,砂体发育成孤立状、且发育程度相对较弱。

3 砂体平面展布特征

3.1 山西组砂体

山西组沉积期,盆地北部主要为曲流河和曲流河三角洲沉积^[7-11],研究区为曲流河三角洲前缘沉积,储集砂体主要为水下分流河道砂体,砂体相对较窄,为条带状分布(图3a,b)。

山2段沉积时期,沿水下分流河道沉积了4条厚砂带,分别为苏199-苏114、陕384-陕345、陕27-陕135和陕171-陕114。山1段沉积期继承了山2段沉积期的沉积格局,同样沿分流河道发育4条厚砂带,分别为莲4-陕430、陕350-陕297、G30-10-陕375和陕46-陕114。

3.2 盒8段砂体

盒8段沉积期,由于北部物源区进一步隆升,导致陆源碎屑供给更充足,自北而南依次发育了冲积扇、辫状河、辫状河三角洲、湖泊沉积。此时,高桥地区为辫状河三角洲前缘沉积。由于区内河道较宽,水深较浅,以发育多条水浅流急的网状或交织状分流河道沉积为特征,分流河道间沉积相对不发育,多期河道彼此叠置形成巨厚砂体。砂体以粗砂岩、含砾粗砂岩及中粗砂岩为主,砂体之间表现为冲刷接触型叠置特征。砂体横向连片分布,平面展布规模大(图3c,d)。

盒8上亚段沉积期,区内发育5条分流河道,分别

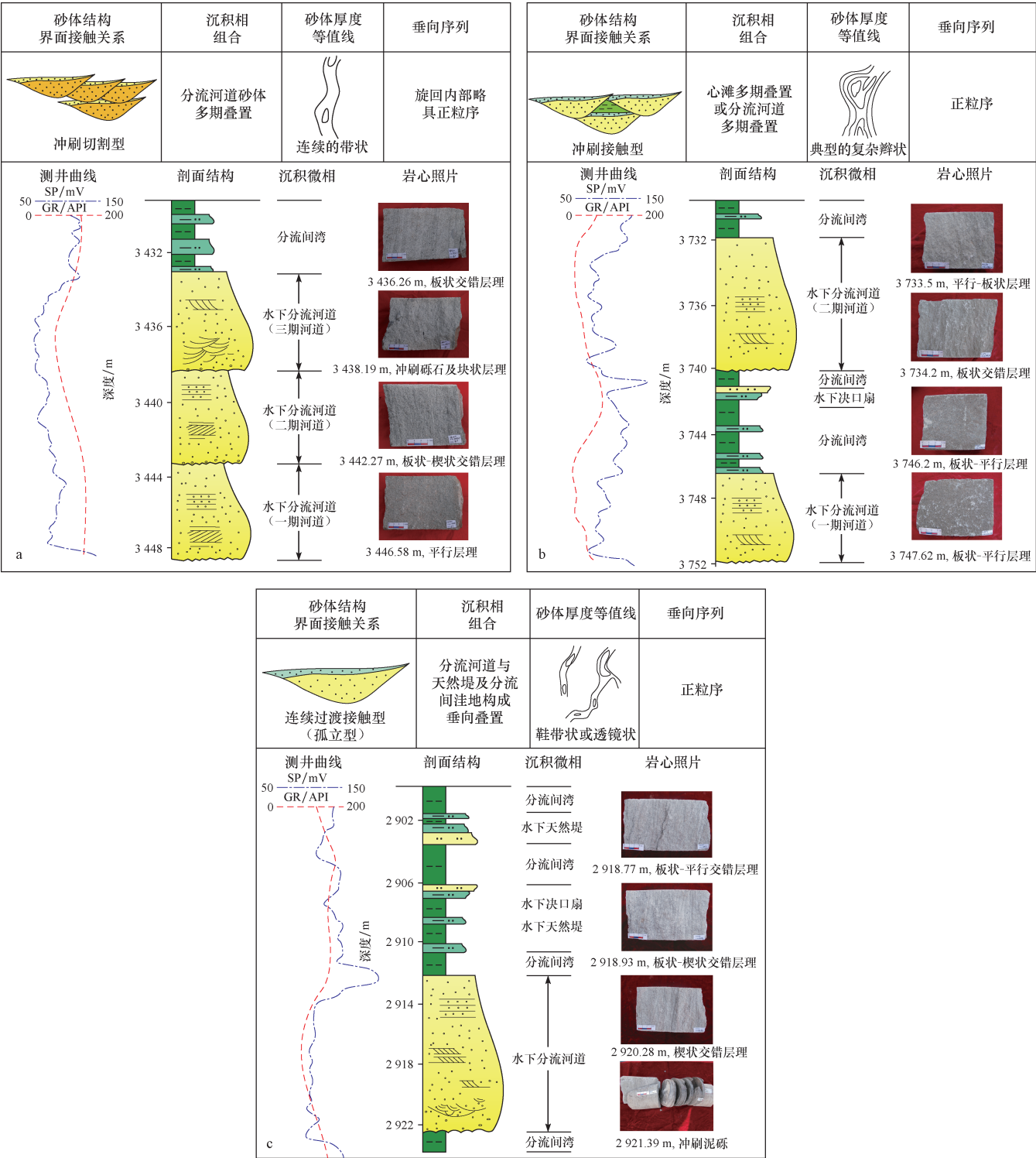


图2 高桥地区上古生界砂体叠置关系

Fig. 2 Sandbodies superimposition relationship of the Upper Paleozoic in Gaoqiao region
a. 冲刷切割型叠置砂体(削截式河道砂体), 陕297井, 盒8段; b. 冲刷接触型叠置砂体
(完整式河道砂体), 陕350井, 盒8段; c. 连续过渡接触型(孤立型)叠置砂体, 陕289井, 盒8段

为苏124-陕335井、陕319-陕332、陕36-陕100、陕27-陕342和陕69-陕105。

盒8下亚段沉积期, 研究区同样发育5条分流河道, 沿分流河道沉积了5条厚砂带, 分别为苏264-苏114、苏112-陕126、陕36-陕283、陕27-陕309和陕259-陕106。

4 砂体规模定量刻画及油气地质意义

4.1 砂体定量刻画方法选择

水动力条件控制河道深度及宽度, 进而也控制河

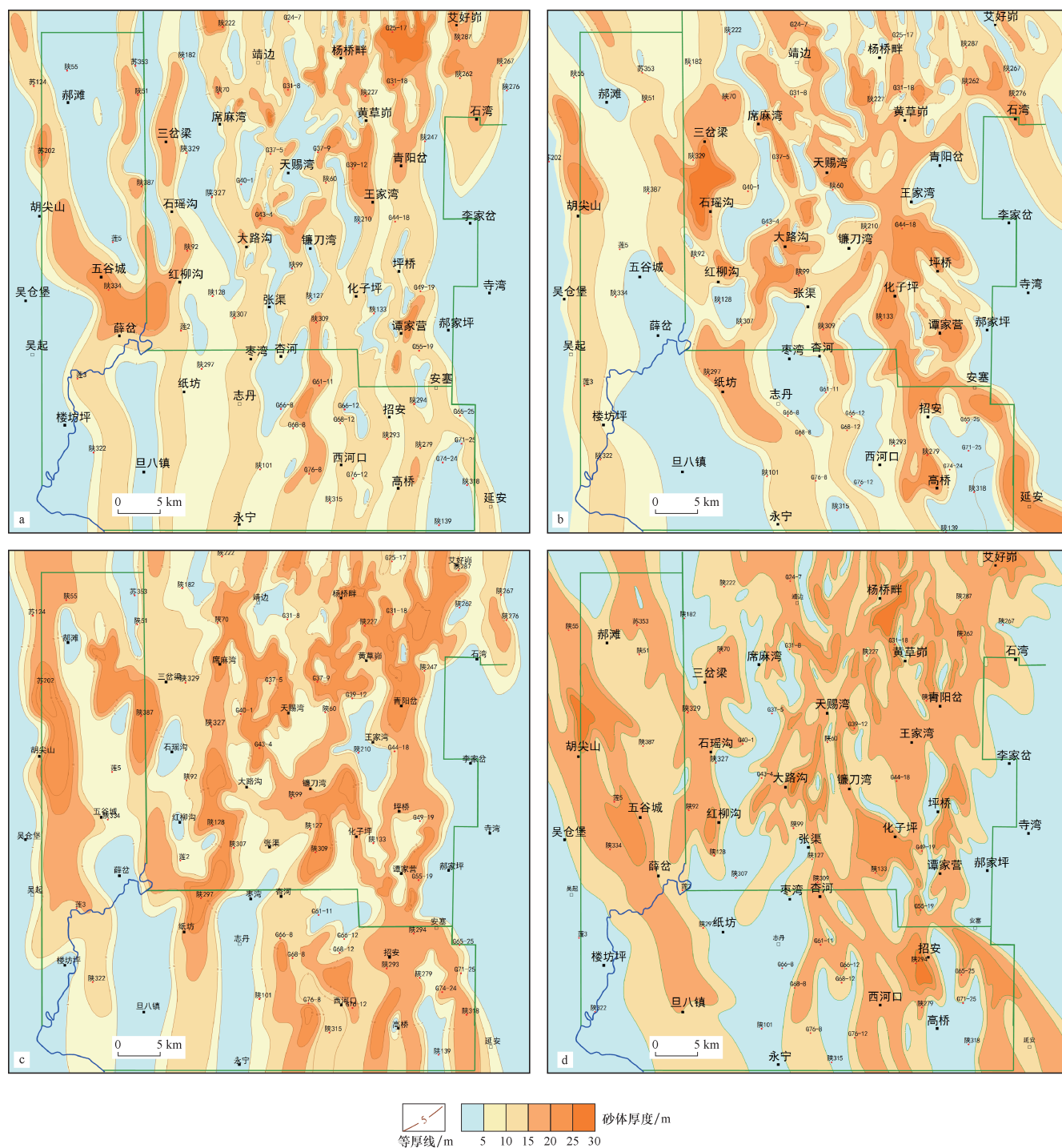


图3 高桥地区上古生界砂体厚度等值线

Fig. 3 Contour map of sandbody thickness of the Upper Paleozoic in Gaoqiao region

a. 山2段; b. 山1段; c. 盒8下亚段; d. 盒8上亚段

道砂体的厚度和河道带分布宽度^[12-15]。不同地区不同沉积类型的砂体,其宽度与各种沉积特征的相关程度也不同^[16-18]。河流地质学和地貌学研究表明,水流形成的沙丘高度受河流的满岸水流深度控制,而交错层层组的厚度又受沙丘高度控制。因此,河流满岸水流深度与河道带宽度之间存在统计关系。因此,可以根据砂层交错层层组的厚度求出河道带的宽度。应用前提是:①砂层交错层层组由砂质波痕或低起伏底床波痕迁移形成,且其层组厚度必须大于3 cm;②在空

间上交错层理的类型和组成层里的砂岩平均粒径没有明显的变化。

河道带的宽度是河道迁移的结果,利用岩心或露头上测量的交错层组厚度预测辫状河河道带宽度。目前,对于曲流河研究程度高,这是由于曲流河属单河道沉积,河道宽度相对较固定,其砂体主要沉积在点坝位置便于观测。所以,根据已建立起相对固定的宽厚比值范围,通过单井砂体厚度的统计,便可定量计算曲流河沉积砂体的宽度。

依据前人总结归纳的河道水深的经验公式:

$$h = 1.5L \tag{1}$$

式中: h 为水深,m; L 为河道砂坝的厚度,m。

$$w = 6.8h^{1.54} \tag{2}^{[17]}$$

式中: w 为河道宽度,m。

在曲流河体系中,曲流河河道带宽度(W_m)为多期河道迁移的总宽度,当曲率大于 1.7 时,它与河流的满槽河流深度有以下的统计关系:

$$W_m = 65.6D^{1.54} \tag{3}^{[19]}$$

式中: W_m 为最大河道带宽度,m; D 为平均河道深度,m,在古代岩石记录中可以用点砂坝砂体厚度代替。

对于辫状河沉积,由于辫状河砂体虽表现为连片性相对较好,但砂体厚度薄,层间隔、夹层发育,砂体宽度的预测存在一定难度。但河道带的宽度(Ch_w)与其平均满槽深度有以下统计关系:

$$Ch_w = 59.9 d_m^{1.8} \tag{4}^{[20]}$$

式中: Ch_w 为辫状河河道带宽度,m; d_m 为辫状河平均

满岸水流深度,m。

所以,同样可以利用岩心或露头上测量的砂层交错层层组的厚度,便可计算辫状河河道带的宽度。

4.2 砂体定量刻画的应用

用上述计算方式,以高桥地区陕 299 井区为例对砂体发育规模进行定量刻画(表 1)。该井区山西组为中-细粒岩屑砂岩、岩屑质石英砂岩夹深灰色泥岩组成,厚度 30 m 左右(图 4)。盒 8 段为浅灰色含砾粗砂岩、灰白色中粗粒砂岩、灰绿色岩屑质石英砂岩夹泥岩组成,砂岩发育大型交错层理,上部见杂色泥岩。沉积相分析认为高桥地区山西组为曲流河三角洲沉积、下石盒子组盒 8 段为辫状河三角洲沉积,气藏分布受砂体展布控制。

通过岩心观察,测量出山 1 段、山 2 段、盒 8 下亚段和盒 8 上亚段交错层层组的厚度,根据上述公式计算出山 2 段、山 1 段和盒 8 段沉积期,砂体的展布范

表 1 高桥南部陕 299 井区河道发育规模定量刻画
Table 1 Quantitative description of river development near Shan299 wellblock in south Gaoqiao region

层位	砂体厚度定量计算/m			河道宽度定量计算/m			河道带宽度定量计算/m		
	最小值	最大值	主要范围	最小值	最大值	主要范围	最小值	最大值	主要范围
盒 8 上亚段	0.78	9.00	4~6	8.66	374.30	80~200	38.30	3 126.54	750~1 600
盒 8 下亚段	1.00	12.20	5~7	12.70	597.98	150~250	59.90	5 405.98	1 000~2 000
山 1 段	0.58	8.06	3~5	5.49	315.82	60~150	22.47	2 563.48	600~1 200
山 2 段	0.54	8.70	4~5	4.92	355.26	70~180	19.76	2 941.45	700~1 500

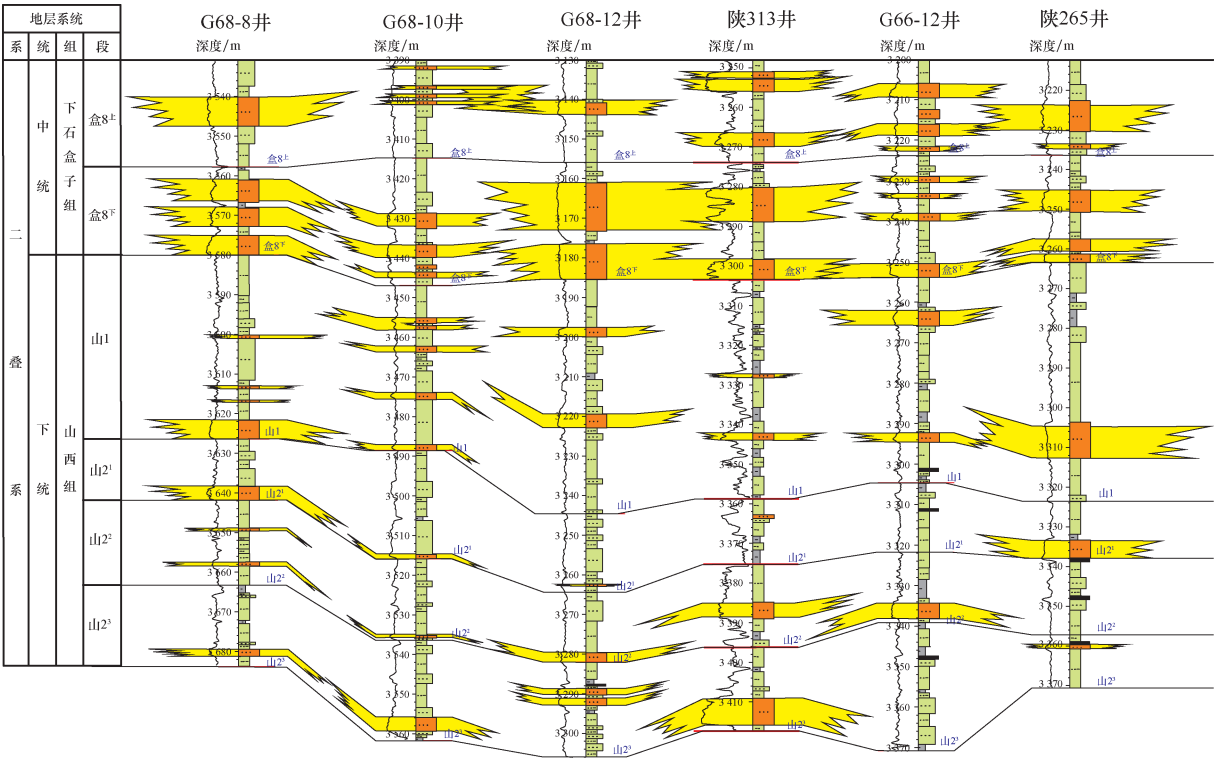


图 4 高桥地区 G68-8 井—陕 256 井上古生界山西组-盒 8 段砂体对比
Fig. 4 Comparison of sandbodies in well-tied profile from G68-8 well to Shan256 well
in the Shanxi Formation and He8 member of Gaoqiao region

表2 高桥地区盒8段与山西组砂体物性特征

Table 2 Physical characteristics of sandbodies in the Shanxi Formation and He8 member of Gaoqiao region

层位	平均有效厚度/m	孔隙度/%	渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
盒8上亚段	6.57	8.53	0.76
盒8下亚段	8.13	8.60	0.66
山1段	4.30	6.82	0.43
山2段	5.80	6.94	0.52

围、河道宽度、河道带的宽度(表1)。

4.3 油气地质意义

砂体的发育规模往往取决于砂体的发育环境及不同叠置关系,并最终决定了其具有不同的油气地质意义。

1) 研究区盒8段砂体以冲刷切割型叠置砂体发育为特征,盒8段砂体定量刻画的结果也显示了较厚的砂体厚度与较宽的河道带,因此,其砂体紧密相邻、相互叠置,增砂体整体厚度大、联通性好。物性数据揭示此类砂体物性好、物性参数在垂向上变化不大(表2),是研究区最有开发价值的储集砂体。

2) 山西组砂体以冲刷接触型叠置砂体为主,也见冲刷切割型叠置砂体发育。定量刻画的结果表明山西组砂体比盒8段砂体规模小一些。就冲刷接触型叠置砂体而言,此类砂体从单一砂体来说物性较好,但砂体具有从下到上物性逐步变差的特点,总体物性一般(表2)。从叠置砂体来说,由于砂体间发育细粒沉积,一次其连通性差,油气地质意义较冲刷切割型叠置砂体要相对差一些。

5 结论

1) 高桥地区山西组-下石盒子组储集砂体叠置样式包括:冲刷切割型(截断式河道砂体)、冲刷接触型(完整式河道砂体)和连续过渡接触型(孤立式河道砂体)。不同时期砂体平面展布特征不同,砂体的分布主要受(分流)河道的控制。

2) 通过岩心观察,根据山西组1段、2段、盒8下亚段和盒8上亚段交错层层组的厚度,计算出山2段、山1段和盒8段沉积期砂体的展布范围、河道宽度和河道带的宽度。山2段曲流河三角洲河道带的宽度为700~1500 m,山1段曲流河三角洲河道带的宽度为600~1200 m,盒8下亚段辫状河河道带的宽度为1000~2000 m,盒8上亚段辫状河河道带的宽度为750~1600 m。

参 考 文 献

[1] 林雄,徐小蓉,侯中建,等.鄂尔多斯盆地北部山西组-下石盒子组盆地演化与天然气富集规律[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(2):138-141.

Lin Xiong, Xu Xiaorong, Hou Zhongjian, et al. Law of gas gathering and basin evolution from Shanxi to Xiashihezi Age in northern Ordos basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2005, 32(2): 138-141.

[2] 叶成林,王国勇,何凯,等.苏里格气田储层宏观非均质性——以苏53区块石盒子组8段和山西组1段为例[J].石油与天然气地质,2011,32(2):236-244.

Ye Chenglin, Wang Guoyong, He Kai, et al. Macro heterogeneity of reservoirs in Sulige gasfield—a case study of the 8th member of the Shihezi Formation and the 1st member of the Shanxi Formation in the Su53 Block [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 236-244.

[3] 何自新,付金华,席胜利,等.苏里格大气田成藏地质特征[J].石油学报,2003,24(2):6-12.

He Zixin, Fu Jinhua, Xi Shengli, et al. Geological features of reservoir formation of Sulige gas field [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(2): 6-12.

[4] 胡光明.鄂尔多斯盆地苏里格地区二叠系河流相砂体展布规律[J].油气地质与采收率,2004,11(1):4-7.

Hu Guangming. Spreading rule of the fluvial facies sandbody of permian in Sulige area of Eerduosi Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(1): 4-7.

[5] 刘锐娥,黄月明,卫孝锋,等.鄂尔多斯盆地北部晚古生代物源区分析及其地质意义[J].矿物岩石,2003,23(3):82-86.

Liu Rui'e, Huang Yueming, Wei Xiaofeng, et al. Analysis of provenance of Late Paleozoic in the northern Ordos Basin and its geological significance [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2003, 23(3): 82-86.

[6] 席胜利,王怀厂,秦伯平,等.鄂尔多斯盆地北部山西组、下石盒子组物源分析[J].天然气工业,2002,22(2):21-24.

Xi Shengli, Wang Huaichang, Qing Boping, et al. Analysis of the material sources of Shanxi formation and Shihezi formation in north Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(2): 21-24.

[7] 付锁堂,田景春,陈洪德,等.鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征[J].成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(3):236-241.

Fu Suotang, Tian Jingchun, Chen Hongde, et al. The delta depositional system distribution of Late Paleozoic era in Ordos Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(3): 236-241.

[8] 郭英海,刘焕杰.陕甘宁地区晚古生代沉积体系[J].古地理学报,2000,2(1):19-30.

Guo Yinghai, Liu Huanjie. The late palaeozoic depositional system of Shanxi-Gansu-Ningxia area [J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 2(1): 19-30.

[9] 何顺利,兰朝利,门成全.苏里格气田储层的新型辫状河沉积模式[J].石油学报,2005,26(6):25-29.

He Shunli, Lan Chaoli, Men Chengquan. New braided river model in Sulige gas field of Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(6): 25-29.

[10] 沈玉林,郭英海,李壮福.鄂尔多斯盆地苏里格庙地区二叠系山西组及下石盒子组盒八段沉积相[J].古地理学报,2006,8(1):53-62.

Shen Yulin, Guo Yinghai, Li Zhuangfu. Sedimentary facies of the Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation of Permian in Suligemiao area, Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(1): 53-62.

- Liu Weidong, Li Yuhong, Zhang Yaling, et al. Fracture optimization of horizontal wells in Luo1 well area[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(2): 28-31.
- [8] 张士诚, 温庆志, 王凤和, 等. 水平缝四点井网整体压裂裂缝参数优化设计[J]. 石油学报, 2004, 25(1): 74-78.
- Zhang Shicheng, Wen Qingzhi, Wang Fenghe, et al. Optimization design of integral fracturing parameters for four spot well pattern with horizontal fractures[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 74-78.
- [9] 温庆志, 张士诚. 改进的水平缝四点井网整体压裂数值模拟[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2005, 29(5): 57-60.
- Wen Qingzhi, Zhang Shicheng. Improved integral fracturing numerical simulation for four spot pattern with horizontal fractures[J]. Journal of China University of Petroleum, 2005, 29(5): 57-60.
- [10] 石晓燕. Petrel 软件在精细地质建模中的应用[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(6): 773-774.
- Shi Xiaoyan. Application of Petrel software to 3D fine geologic modeling[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(6): 773-774.
- [11] 黄勇, 李春兰, 程林松, 等. 低渗透油藏垂直裂缝井产能评价新方法[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 99-101.
- Huang Yong, Li Chunlan, Cheng Linsong, et al. A new method of estimating productivity of vertically fractured wells in low permeability oil reservoirs[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(1): 99-101.
- [12] 葛家理, 宁正福, 刘月田, 等. 现代油藏渗流力学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 313-317.
- Ge Jiali, Ning Zhengfu, Liu Yuetian, et al. Mechanics of modern reservoir seepage[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 313-317.
- [13] 刘慧卿. 油藏数值模拟方法专题[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2001: 127-132.
- Liu Huiqing. Special topic of reservoir numerical simulation method[M]. Dongying, Shandong: University of Petroleum Press, 2001: 127-132.
- [14] 朱维耀, 孙玉凯, 王世虎, 等. 特低渗透油藏有效开发渗流理论和方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 215-217.
- Zhu Weiyao, Sun Yukai, Wang Shihu, et al. The seepage theory and method of special low permeability reservoir effective development[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 215-217.
- [15] 王建民, 魏天存, 魏文科, 等. 鄂尔多斯盆地中生界特低-超低渗透油藏递减规律[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2011, 47(2): 44-49.
- Wang Jianmin, Wei Tiancun, Wei Wenke, et al. Decline law of extra-low-ultra-low permeability of mesozoic reservoir in the Ordos basin[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition), 2011, 47(2): 44-49.
- [16] 计有权, 杨天行, 聂晶, 等. 压裂井经济分析的优化方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(3): 312-314.
- Ji Youquan, Yang Tianxing, Nie Jing, et al. Optimum method of economical analysis on hydraulic fracture well[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, 33(3): 312-314.
- [17] 李颖川. 采油工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 236-237.
- Li Yingchuan. The technology of petroleum production[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 236-237.

(编辑 高岩)

(上接第 742 页)

- [11] 王勇, 徐晓荣, 付晓燕, 等. 苏里格气田苏6井区上古生界沉积相特征研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2007, 37(2): 266-272.
- Wang Yong, Xu Xiaorong, Fu Xiaoyan, et al. Research on the sedimentary facies characteristics of Upper Paleozoic reservoir in Su 6 region, Sulige gasfield[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2007, 37(2): 266-272.
- [12] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体形成与分布[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 813-825.
- Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang, et al. Formation and Distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basins[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 813-825.
- [13] 张永贵, 刘振峰. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩气藏储层建模[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 560-567.
- Zhang Yonggui, Liu Zhenfeng. Reservoir modeling of tight gas sands in the Upper Palaeozoic of the northern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 560-567.
- [14] 胡光明. 鄂尔多斯盆地苏里格地区二叠系河流相砂体展布规律[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 4-7.
- Hu Guangming. Spreading rule of the fluvial fades sandbody of permian in Sulige area of Eerduosi Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(1): 4-7.
- [15] 王昌杰. 河流动力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- Wang Changjie. River dynamics[M]. Beijing: People's Traffic Press, 2001.
- [16] 于兴河, 马兴祥, 穆龙新, 等. 辫状河储层地质模式及层次界面分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- Yu Xinghe, Ma Xingxiang, Mu Longxin, et al. The braided fluvial river reservoir geologic model and the level interface analysis[M]. Beijing: Oil Industry Press, 2004.
- [17] Leeder B E. Reiverchannelpatters: braided, meandering and straight[M]. United States Government Printing Office, 1973: 39-85.
- [18] Schumm S A. Effects of sediment type on the shape and stratification of some modern fluvial deposits[J]. Geological Society of America Bulletin, 1960, 258: 177-184.
- [19] John C, Lorenz J C, Heinze D M, et al. Determination of widths of meander-belt sandstone reservoirs from vertical downhole data, Mesa verde Group, Piceance Creek basin, Colorado[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(5): 710-721.
- [20] Bridge J S, Machey S D. A theoretical study of fluvial sandstone body dimensions[J]. Special Publications of the International Association of Sedimentologists, 1993, 15(1): 65-82.

(编辑 董立)