

文章编号: 0253-9985(2009)02-0162-06

鄂尔多斯盆地大牛地气田山 1 段储层与沉积微相的关系

董昭雄^{1,2}, 沈昭国¹, 何国贤², 刘忠群²

(1. 西南石油大学 资源与环境学院, 四川 成都 610500 2. 中国石油化工股份有限公司 华北分公司, 河南 郑州 450006)

摘要: 鄂尔多斯盆地大牛地气田二叠系山 1 段主要发育河床滞留、分流河道、河道砂坝、心滩、天然堤、决口扇、河间洼地和河漫沼泽 8 种沉积微相, 储层主要发育在分流河道和心滩沉积微相。储层综合特征和沉积微相研究表明, 影响气层产能的最敏感的参数是储层中值半径。储层喉道中值半径的大小、分布和连通性以及碎屑颗粒粒度和石英含量等地质特征决定于沉积微相展布特征。通过对区内山 1 段储层沉积微相和中值半径等参数的对比分析发现, 天然气主要赋存于分流河道沉积微相, 平面上分流河道沉积微相分布在研究区西南部河流交汇处。

关键词: 分流河道; 沉积微相; 致密砂岩; 大牛地气田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE12 **文献标识码:** A

Relationship of sedimentary microfacies with reservoirs in the Shan-1 member of the Daniudi gas field, Ordos Basin

Dong Zhaoxiong^{1,2}, Shen Zhaoguo¹, He Guoxian², Liu Zhongqun²(1 School of Resources and Environment Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500 China
2 SINOPEC North China Company, Zhengzhou, Henan 450006 China)

Abstract Eight sedimentary microfacies, including channel floor lag, distributary channel, channel sand, channel bar, natural barrier, crevasse splay, interchannel low-lying land, and flood swamp, occur in the Shan-1 member (the first member of Shanxi Formation) of the Daniudi gas field in Ordos Basin. Reservoirs are mainly developed in the distributary channels and channel bars. Research on reservoir features and sedimentary microfacies shows that the median throat radius of the reservoir has the strongest influence upon gas production capacity. The size of median radius distribution and connectivity of throats as well as the debris particle size and content of quartz and other geological features of the reservoir depend on the microfacies distribution. Correlation of sedimentary microfacies with various parameters such as median throat radius of the reservoirs in Shan-1 member indicate that natural gas is mainly accumulated in distributary channels, which are distributed in areas where the rivers meet in the southwest part of the study area.

Key words distributary channel; sedimentary microfacies; tight sand; Daniudi gas field; Ordos Basin

1 地质概况

晚古生代山西期, 华北地台整体抬升, 海水从鄂尔多斯盆地东、西两侧迅速退出。盆地性质由陆表海盆演变为近海湖盆, 沉积环境由海相转变为陆相, 东、西差异基本消失, 而南、北差异沉降和

相带分异增强。总体沉积面貌为以吴旗、富县、宜川、延长地区为盆地沉降中心, 发育浅湖沉积, 周缘滨湖区则以三角洲沉积为特征, 可分为盆地北部、西北部、西部、西南部和东南部 5 个三角洲沉积体系, 砂体具向湖盆强烈进积的层序结构。二叠纪山 1 期古地理格局与山西期整体格局一致, 盆地北部自北向南依次为古陆-冲积平原-三角洲平原-三

收稿日期: 2009-01-04

第一作者简介: 董昭雄 (1980-), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探。

角洲前缘^[1-5]。研究区处在鄂尔多斯盆地中北部, 山 1 段以三角洲平原河流-河漫沼泽沉积为主, 自下而上分为 3 个亚段: S₁¹, S₁², S₁³。S₁¹ 砂层组: 地层厚度约为 7.9~41.5 m, 平均地层厚度为 22.7 m; 岩性顶部为厚煤层, 灰白、浅灰色细、中、粗、含砾粗砂岩与深灰、灰黑色泥岩、碳质泥岩、粉砂质泥岩、煤层互层。S₁² 砂层组: 地层厚度约为 9.5~34.7 m, 平均地层厚度为 20.8 m; 岩性顶部为薄煤层, 灰白、浅灰色细、中、粗、含砾粗砂岩与深灰、灰黑色泥岩、碳质泥岩、粉砂质泥岩、煤层互层。S₁³ 砂层组: 地层厚度约为 9.6~38.9 m, 平均地层厚度为 22.6 m; 岩性顶部为薄煤层, 灰白、浅灰色细、中、粗砂岩与深灰、灰黑色泥岩、碳质泥岩、粉砂质泥岩互层。沉积由北向东南逐渐超覆尖灭, 发育深灰、灰黑色泥岩与浅灰、灰白色中-粗砂岩夹煤层、碳质泥岩地层。砂岩类型主要为岩屑砂岩和岩屑石英砂岩^[6-9]。

2 沉积环境及沉积微相

大牛地气田山西组属辫状河三角洲平原沉积体系, 分流河道发育、近南北向展布, 河道横向迁移、纵向多期叠加, 砂体分布范围广, 局部为分流间漫滩沼泽沉积(图 1)。

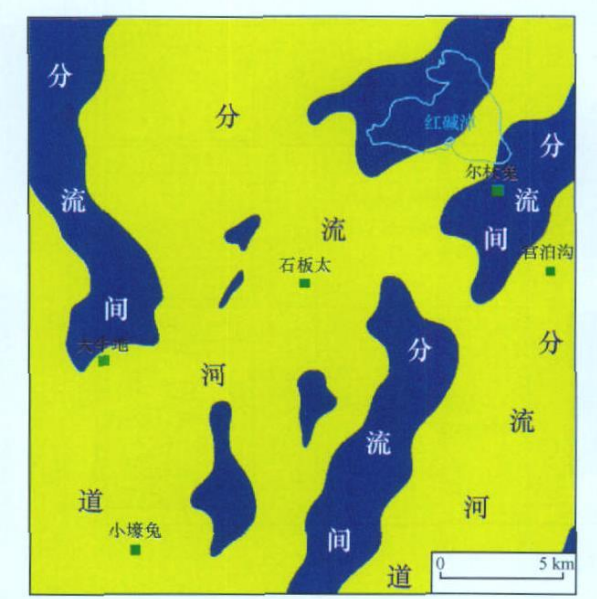


图 1 大牛地气田山 1 段沉积相平面分布
Fig 1 Planiform distribution of sedimentary facies in the Shan-1 member of the Daniudi gas field

根据区内 300 余口钻井资料, 山 1 段河床宽而浅, 河道交叉平凡, 沉积物可见河床滞留和心滩岩相。在 D1-4-1 井、D1 井、D2 井和 D5 井的取心中, 山 1 段均见到煤层, 碳质泥岩与泥岩呈间互层, 并夹有薄层砂岩, 表明区内山 1 段属于三角洲平原河沼沉积环境。其沉积亚相为辫状河三角洲平原亚相, 细分为 8 个沉积微相(图 2): ①河床滞留沉积微相(A); ②分流河道沉积微相(B); ③河道砂坝沉积微相(C); ④心滩沉积微相(E); ⑤天然堤沉积微相(F); ⑥决口扇沉积微相(G); ⑦河间洼地沉积微相(H); ⑧河漫沼泽沉积微相(I)。

3 山 1 段储层特征

山 1 段为大牛地主力产层之一, 有 145 口气井。产气井储量占气田总储量的 5%, 气层砂岩厚度为 6~14 m。储层岩性为浅灰、灰色中-粗粒岩屑砂岩和岩屑石英砂岩、石英砂岩。碎屑颗粒含量大于 85%, 杂基含量平均约为 5%, 胶结物含量一般小于 10%。5 口取心井 102 块样品的统计表明, 砂岩颗粒粒径主要分布在 0.15~1.46 mm, 平均 0.44 mm; 粒径(Φ)标准偏差 0.53~1.39, 平均 0.79, 粒径偏度-0.10~0.46, 平均 0.22, 粒径峰度 0.74~2.65, 平均 1.39(图 3)。

储层微观孔隙类型以溶蚀粒间孔和残余原生粒间孔为主, 少量粒内溶孔、高岭石晶间孔及溶蚀微裂缝等。平均孔隙半径为 27.48~38.42 μm, 分选差-中等, 孔隙大小分布不均匀。根据 12 口井 1254 块样品的统计, 砂岩孔隙度主要分布在 4.0%~8.0%, 平均 5.3%, 砂岩渗透率主要在 0.10×10⁻³~0.50×10⁻³ μm², 平均 0.47×10⁻³ μm², 属于典型的致密砂岩^[6 10-13](图 4)。主力气层孔隙度为 6.0%~9.5%, 渗透率为 0.42×10⁻³~0.98×10⁻³ μm²。

4 致密砂岩储层与沉积微相的关系

4.1 储层纵向物性特征

研究区内储层主要发育分流河道和心滩微相。分流河道微相的粒度比较均一, 其分布多呈正韵律特征。剖面特征底部为冲刷面, 与下部泥岩为突变接触。岩性为中-细砂岩, 夹砂砾岩, 以块

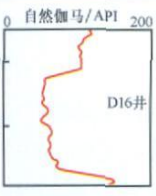
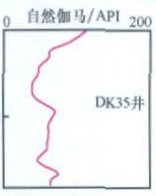
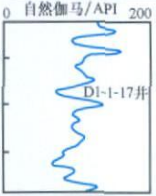
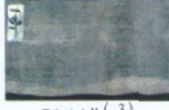
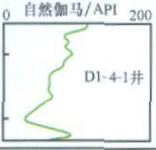
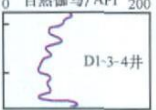
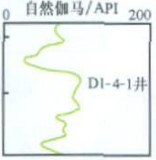
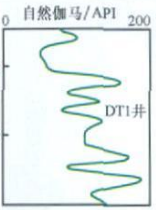
沉积体系组	沉积体系	亚相	微相	岩相特征	典型岩心照片	电性特征	典型电性曲线
海陆过渡带	三角洲	辫状河	河床滞留	细砾岩,块状结构,杂乱堆积,夹少量细角砾岩块及燧石碎屑,沿河道底部断续零星分布	 大15井($\frac{750}{82}$)井深 2 791.0 m	自然伽马曲线呈低幅度巨指状	
			分流河道	中-细砂岩,夹砂砾岩,以块状结构为主,具有斜层理结构,其粒序呈正韵律	 大16井($\frac{442}{70}$)井深 2 834.6~2834.8 m	自然伽马曲线有齿状箱形、齿状钟形和少数齿状漏斗形及组合型	
			河道砂坝	砂砾岩、中-细粒砂岩,具斜层理和槽状层理,复合韵律沿河道呈透镜状零星分布,由于河道垂向冲刷充填或侧向加积形成	 DK35井($\frac{153}{109}$)井深 2 816.5~2 816.8 m	自然伽马曲线以微齿状组合型为主	
			心滩	砂砾岩、中-细砂岩,夹薄层粉砂质泥岩,其泥质含量较高,呈块状结构及粒序层理,多呈大小不规则透镜状分布于河道之间,复合韵律		自然伽马曲线以微齿状钟形为主,次为齿状漏斗形及组合型,齿化程度较高	
			天然堤	粉砂岩、泥质砂岩及泥岩,不等厚薄互层,具有水平层理构造,沿河道浅岸呈不规则条状分布	 D1-4-1井($\frac{13}{91}$)井深 2 867.9~2 868.0 m	自然伽马曲线为钟形,中-低幅度,其顶为渐变型	
			决口扇	砂砾岩、中-细砂岩,块状结构,在该亚相中不发育,只有局部可见越岸小型砂砾岩体		自然伽马曲线为钟形,低幅度,顶为渐变型,底为突变型	
			河间洼地	以泥质为主,次为粉砂质泥岩夹碳质泥岩	 D1-4-1井($\frac{230}{213}$)井深 2 889.0~2 889.3 m	自然伽马曲线为高幅度齿状平直形,以顶、底突变为主	
			河漫沼泽	以泥岩、薄煤层及碳质泥岩为主,局部夹薄层粉砂岩	 DT1井($\frac{827}{50}$)井深 2 807.0~2 807.3 m	自然伽马曲线呈高、低剑锋状	

图 2 大牛地气田山 1 段沉积微相分类

Fig. 2 Classification of sedimentary microfacies in the Shan-1 member of the Daniudi gas field

状结构为主,具槽状交错层理和斜层理。由于其中泥质夹层的影响,渗透率分布不均一,泥质含量高的部位渗透率低,泥质含量低的部位渗透率高,一般形成多个韵律段即低渗-高渗的叠加。

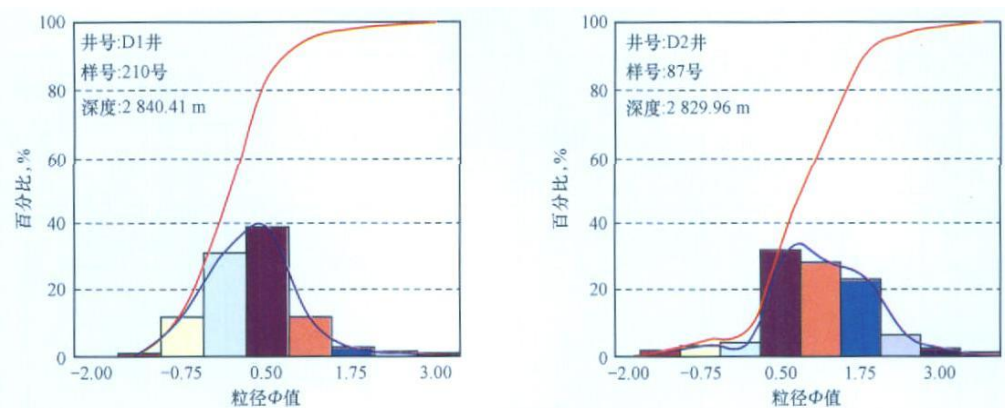


图 3 大牛地气田 D1、D2 井山 1 段岩石粒度分布统计

Fig. 3 Grain size distribution of the Shan-1 member in well D1 and D2 in the Daniudi gas field
(红线为累积百分比)

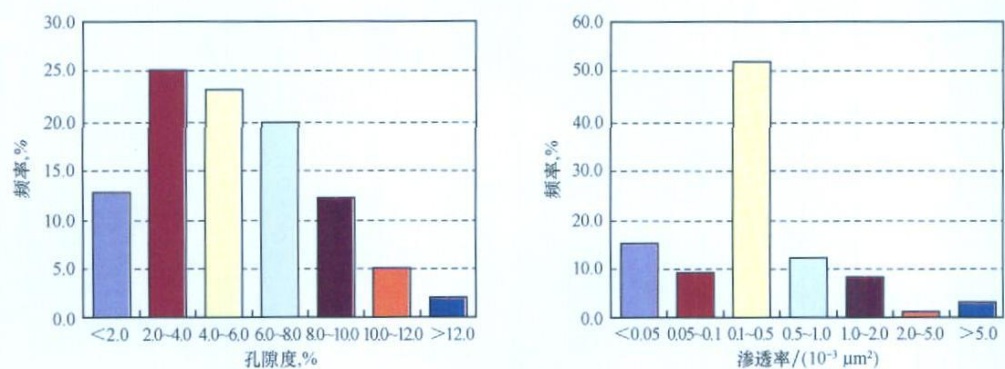


图 4 大牛地气田山 1 段孔隙度、渗透率分布直方图

Fig. 4 Histogram distribution of porosity and permeability of the Shan-1 member in the Daniudi gas field

心滩微相多为快速沉积的产物, 厚度大, 沉积物筛选程度低, 岩性分选差, 泥质含量高。岩性为砂砾岩和中-细砂岩, 夹薄层粉砂质泥岩, 呈块状结构及粒序层理。由于分选差, 泥质含量高, 储层物性较差, 纵向上层内物性分布表现出复合韵律的特征 (图 5)。

4.2 致密砂岩储层产能控制因素

通过储层产能与物性、孔隙结构、沉积微相、成岩作用、非均质性、岩石类型和成分等相关性分析可知, 影响气层产能的最关键地质因素为中值半径和沉积微相。

4.2.1 中值半径与产能的关系

将本区山 1 段 30 余样品的岩石粒度和组成成分中的石英颗粒含量与中值半径作相关性分析, 发现有很好的相关性 (图 6a b)。对已有取

心、并经过压裂试气的 10 余口井的山 1 段砂岩储层岩心喉道中值半径和完井产能测试数据等多种储层特征数据的分析显示, 中值半径与产能之间的相关性最好 (图 6c), 一般山 1 段储层中值半径大于 0.16 μm 即能形成天然气产量。控制喉道中值半径的地质因素是组成储层的岩石粒度和组成成分中的石英颗粒含量。

4.2.2 沉积微相与产能的关系

对不同储层沉积微相所对应的物性、中值半径、岩性、电性的统计 (表 1) 表明, 分流河道岩性粗、物性好、中值半径大、电性特征好, 产能为高产; 其次为心滩微相和决口扇微相。其余微相一般不产气。

由以上分析可看出, 沉积微相决定了致密砂岩的碎屑颗粒粒度和石英含量等地质特征, 从而决定了储层中值半径和物性, 因而也决定了储层的产能。

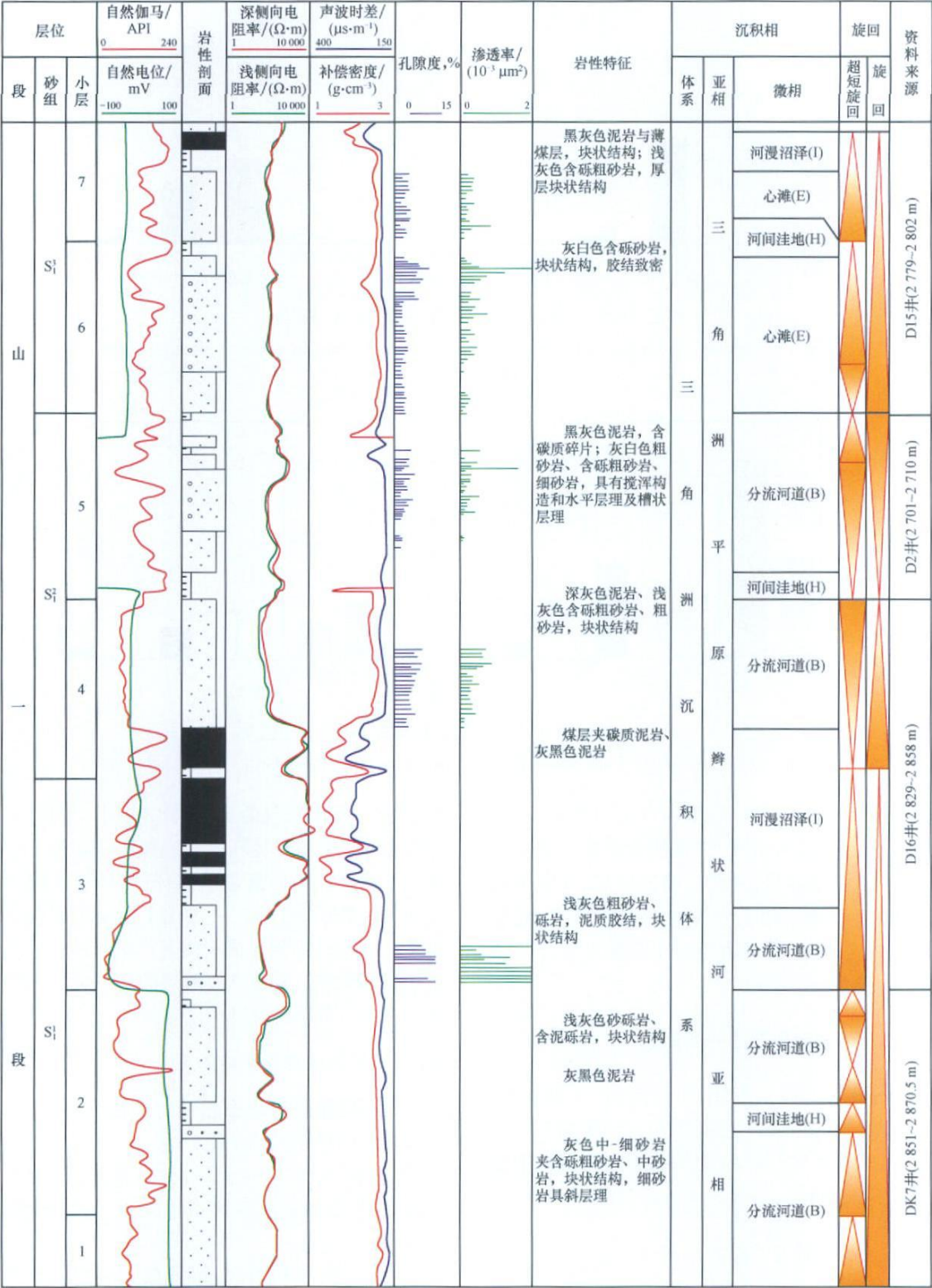


图 5 不同沉积微相储层物性特征

Fig. 5 Physical properties of reservoirs in different sedimentary microfacies in the Shan-1 member of the Daniudi gas field

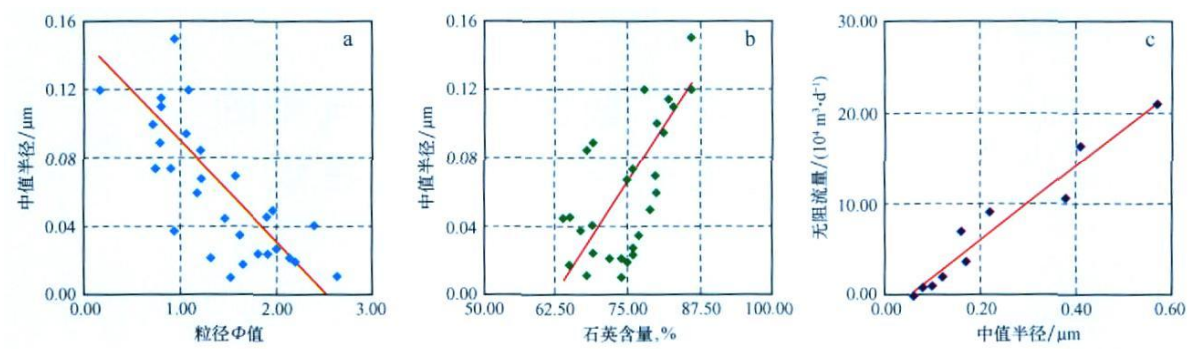


图 6 大牛地气田山 1 段储层中值半径相关性分析

Fig. 6 Correlation analysis of median throat radius of reservoirs in the Shan-1 member of the Daniudi gas field

a. 中值半径与粒度相关图; b. 中值半径与石英含量相关图; c. 中值半径与产能相关图

表 1 大牛地气田山 1 段储层微相及地质参数统计

Table 1 Statistics of sedimentary microfacies and geological parameters of reservoirs in the Shan-1 member of the Daniudi gas field

沉积微相	岩石类型	孔隙度, %	渗透率 / $(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	中值半径 / μm	声波时差 / $(\mu\text{s} \cdot \text{m}^{-1})$	补偿中子孔隙度, %	深侧向电阻率 / $(\Omega \cdot \text{m})$	补偿密度 / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	无阻流量 / $(10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
分流河道	含砾粗粒、粗粒石英砂岩、岩屑砂岩	8.5	1.47	0.28	230	12	245	2.44	12.0
心滩	砾、含砾粗粒、粗粒岩屑石英砂岩、岩屑砂岩	6.5	0.82	0.17	206	6	140	2.52	5.5
决口扇	粗粒、中粒岩屑石英砂岩、岩屑砂岩	7.2	0.27	0.06	210	22	20	2.60	1.4
天然堤	细粒岩屑石英砂岩、岩屑砂岩	3.1	0.08	0.01	230	30	50	2.50	0

5 结论

分流河道沉积微相是山 1 段主要储层,岩性为石英砂砾岩或石英中-细砂岩,颗粒一般呈次棱角和次圆状,分选较差-中等,物性和天然气含量均为同层段最佳。研究区内有 3 条分流河道的叠加,其中东部两条河道呈东北-南西向展布,西部河道呈北西-南东向展布,3 条河道在西南部交汇。储层主要发育在西南部河道交汇处的分流河道砂岩之中。

参 考 文 献

1 郝蜀民,惠宽洋,李良. 鄂尔多斯盆地大牛地大型低渗气田成藏特征及其勘探开发技术 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27 (6): 762~ 768

2 李良,袁志祥,惠宽洋,等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 268~ 271

3 戴金星. 中国从贫气国正迈向产气大国 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 125~ 132

4 周文,张哨楠,李良,等. 鄂尔多斯塔巴庙地区上古气藏特征及成藏机理 [J]. 成都理工大学学报, 2004, 31(6): 606~ 711

5 罗东明,谭学群,游瑜春,等. 沉积环境复杂地区地层划分对比方法——以大牛地气田为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29

(1): 38~ 44

6 Zhang H, Kang Y, You L, et al Practices and countermeasures for exploration and exploitation of tight sandstone gas reservoirs in China[A]. Proceedings of the WPC 1st Youth Forum [C]. Beijing Petroleum Industry & Beijing Kehai Electronic Press 2004

7 赵澄林,陈丽华,涂强. 中国天然气储层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999

8 长庆油田石油地质志编写组. 长庆油田 (中国石油地质志, 卷十二) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992

9 杨俊杰,裴锡古. 中国天然气地质学 (卷四)——鄂尔多斯盆地 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996

10 Ammer J Tight gas technologies for the Rocky Mountains[J]. Gas TIPS 2002 8(2): 18~ 23

11 Teufel L W. Optimization of infill drilling in naturally-fractured low-permeability gas sandstone reservoirs[J]. Gas TIPS, 2004, 10 (2): 20~ 24

12 Northrop D A, Frohne K H. The multi-well experiment a field laboratory in tight gas sandstone reservoirs[J]. JPT, 1990 46(6): 772~ 779

13 Push G, Gaupp R, Liemann N. Integrated research contributions for screening the tight gas potential in the Rotliegendes Formation of North Germany[J]. Oil Gas European Magazine 2005, 31(4): 187~ 193

(编辑 李 军)