

基于砂体构型精细刻画潮坪砂坝优质砂体 ——以大牛地气田 D17 井区太原组 2 段为例

杨辰雨¹, 田景春¹, 张翔¹, 林小兵¹, 刘绪钢², 曹桐生², 邢浩婷¹

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程 国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 中国石化 华北油田分公司 勘探开发研究院, 河南 郑州 450006)

摘要:以大牛地气田未开发区(D17井区)太原组2段潮坪沉积为研究对象,基于测井、岩性等特征分析,对潮坪砂坝进行了精细刻画,共识别出了砂坝主体、砂坝侧翼及砂坝侧翼叠置3个沉积微相单元,并建立了沉积微相-岩相-测井相-物性-非均质性-试气成果响应模板。对比结果显示,砂坝主体微相岩性主要为(含砾)石英粗砂岩及岩屑石英砂岩,测井曲线具光滑箱形;砂坝侧翼微相岩性主要为中-细粒砂岩岩屑砂岩、岩屑石英砂岩,测井曲线为齿化箱形、齿化钟形以及漏斗形。根据砂体组合类型,区域上划分出了砂坝主体型砂体带与砂坝侧翼型砂体带。前者砂坝宽度为6~8 km,砂体平均厚度为14.5 m,砂地比平均值为0.53,平均渗透率为 $0.48 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。后者砂坝宽度为4~6 km,砂体平均厚度为10.56 m,砂地比平均值为0.36,平均渗透率为 $0.36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。砂坝主体型砂体带砂体发育规模大,分布范围广,砂体物性好,中等非均质性,试气成果明显,应作为优先开发的地区。

关键词:非均质性;砂坝;潮坪;优质砂体;太原组;大牛地气田

中图分类号:TE122.1 文献标识码:A

Configuration-based fine description of high-quality sand bodies in tidal-flat bar —Taking the tight sandstone reservoir in the 2nd member of the Taiyuan Formation in D-17 wellblock in Daniudi gasfield as an example

Yang Chenyu¹, Tian Jingchun¹, Zhang Xiang¹, Lin Xiaobing¹, Liu Xugang², Cao Tongsheng², Xing Haoting¹

(1. State Key Lab of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;
2. Petroleum Exploration & Production Research Institute of North China Company, SINOPEC, Zhengzhou, Henan 450006, China)

Abstract: Logging data and lithological analyses of the tidal-flat deposits in the 2nd member of the Taiyuan Formation (D-17 wellblock) in the Daniudi gas field revealed three sedimentary microfacies: main sandbar, sandbar flanking and overlain sandbar flanking-. A response-template of sedimentary micro-facies-lithofacies-logging facies-physical property-heterogeneity-gas test was also established. Correlation shows that the main sandbar is mainly gravel-bearing quartzose laterite and lithic quartz sandstone, corresponding to smooth-box type logging curves; and the latter two are mainly medium-to fine-grained lithic sandstone and quartz sandstone, corresponding to dented box-and bell-shaped or funnel-shaped logging curves. Regionally, two belts were identified based on sand body assemblage types: sand body belt consisting main sandbar and sand body belt consisting sandbar flanking. The former is 6–8 km wide, and has an average thickness of 14.5 m, an average net-to-gross ratio of 0.53 and an average permeability of $0.48 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. The latter is 4–6 km wide and has an average thickness of 10.56 m, an average net-to-gross ratio of 0.36 and an average permeability of $0.36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. The former with its well developed and widely distributed sand bodies is considered to be a better development target as it has better physical properties and strong heterogeneity and good gas testing results.

Key words: heterogeneity, sand bar, tidal-flat, high-quality sand body, Taiyuan Formation, Daniudi gasfield

大牛地气田位于鄂尔多斯盆地东北部,是我国“西气东输”的主要供气基地之一^[1-4],2014年产气超过 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，“十二五”期间计划成为年产 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大型气田。其古生界致密砂岩煤成气岩性气藏,具

低孔、低渗、低丰度、大面积分布的特征^[5-7]。

气田内古生界底部发育的太原组,岩性复杂,沉积变化频繁,北东-南西向分布的障壁砂坝带,具良好的工业气流,成为勘探开发的重点层位^[8-9]。前人大

收稿日期:2014-12-20;修订日期:2015-01-30。

第一作者简介:杨辰雨(1982—),男,博士研究生,沉积学与储层地质学。E-mail:18686846@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05007-04-01)。

多将潮汐环境中,海浪造成的平行海岸分布的长条形砂体定义为障壁砂坝(简称砂坝)^[10]。在沉积相划分中,砂坝通常做为最小的沉积微相单元。但砂坝体内部分砂体组合形式多样,岩性特征不同,非均质性差异明显,即使在相似的沉积环境中发育的砂坝也不尽形同。对于沉积砂体的精细刻画,前人多从砂体叠置关系、非均质性等方面入手^[11-13]。

对大牛地气田太原组潮坪环境中的砂坝沉积,前人研究主要侧重于砂坝砂体整体性分析^[14-16],但砂坝内各部分及不同砂坝间的差异性未得到足够重视。本文通过砂坝内部岩性、测井相差异,结合砂坝叠置关系对其进行沉积微相精细划分,并建立相应识别图版,通过对比各沉积微相砂体物性特征、非均质性、试气成果,为勘探开发中优质砂体的寻找提供地质依据。

1 区域地质概况

晚石炭世末,在区域陆表海退的背景下,鄂尔多斯盆地沉积稳定,形成三角洲与潮坪交错发育的沉积格局^[17-18]。D17井区位于气田东南部,面积约650 km²,为大牛地气田2013年主要的气藏评价目标区和2014年最主要的潜在产能建设目标区。太原组厚度稳定,北东高、南西低,发育一套含砾砂岩、砂岩、泥岩、煤层碎屑岩沉积,障壁海岸相沉积特征明显。在潮汐环境中,砂体受海浪改造作用强烈,沉积构造发育。按照华北分公司地层划分方案,以太原组中部煤层为界,将太原组自下而上划分为太原组1段(太1段)和太原组2段(太2段)。太2段砂坝呈北东-南西向分布,坝体中心区域砂岩厚度均大于14 m(图1)。

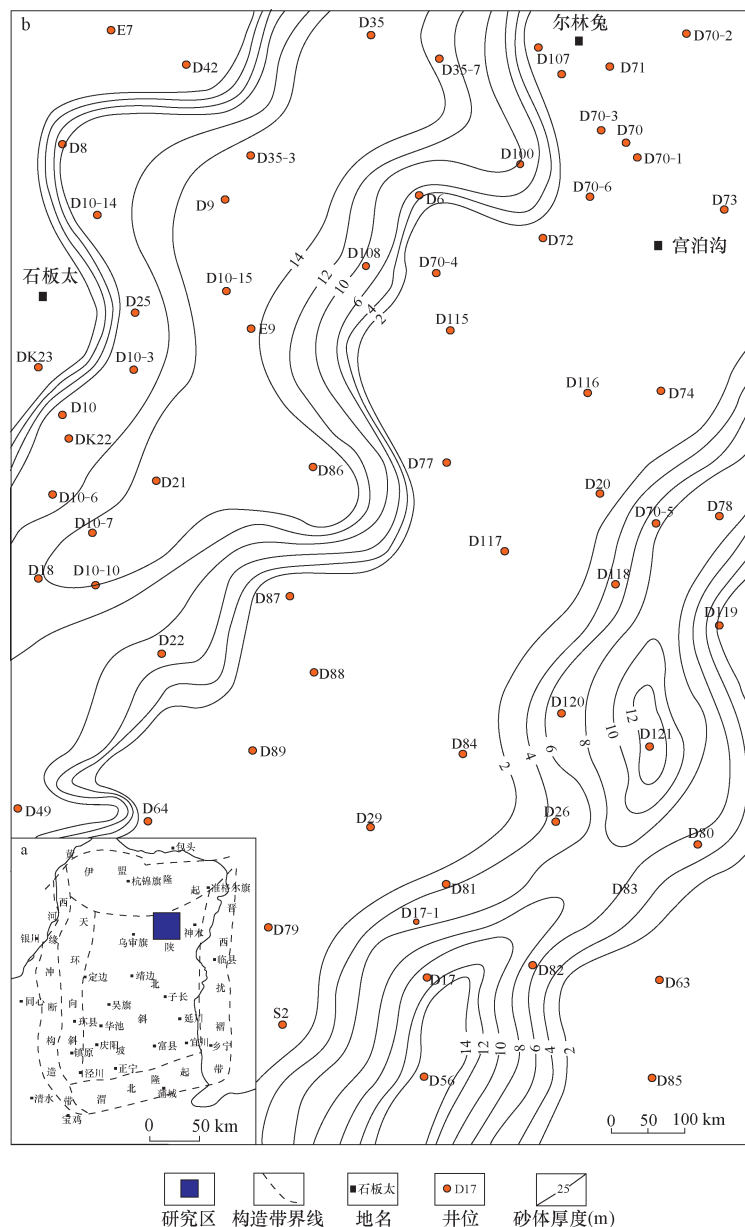


图1 研究区位置(a)及太原组2段砂体等厚图(b)

Fig. 1 Location map of the study area (a) with the isopach of the sand body (b) in the 2nd member of the Taiyuan Formation overlaid

太原组是大牛地气田上古生界复合岩性气藏的重要组成部分,以上石盒子组红色泥岩与砂质泥岩为区域性盖层,构造稳定、大面积横向连片分布,具“主源定型、相控储层、高压封闭、近源成藏”的特点^[13]。

2 砂坝砂体沉积微相

2.1 太 2 段沉积相划分

D17 井区太原组 2 段属有障壁岛海岸的潮坪沉积。在潮坪沉积环境中,按照岩性组合、沉积相识别标志、测井曲线等特征,进一步划分出了砂坝、泥坪、砂泥坪、泥炭沼泽和灰坪等沉积微相(图 2)。

砂坝,是指由海浪造成的平行海岸分布的长条形砂坝,向上变粗代表海退型沉积演化序列,向上变细代表海进型沉积演化序列,测井曲线上表现为单一光滑箱型或叠置光滑箱型、齿化箱型、光滑钟型,岩性特征为(含砾)粗砂岩。

砂泥坪,自然伽马曲线表现为低-中幅微齿化或光滑指形的曲线形态,主要由薄层状粉-细粒砂岩、粉砂岩与泥岩互层组成。

泥坪,主要由薄层状粉砂岩、粉砂质泥岩与泥岩互层组成,发育水平层理和生物扰动构造。电测曲线呈

现为低幅齿化、微齿化或光滑的平直曲线。
泥炭沼泽,亦以沉积泥质为主,岩性主要由粉砂质泥岩、炭质泥岩和厚度很大的煤层组成,自然伽马曲线表现为低-中幅微齿化、光滑指形的曲线形态或呈低幅的光滑平直曲线。

2.2 砂坝沉积微相精细刻画

1) 砂坝垂向沉积微相精细划分

在潮坪沉积环境中,平行于海岸线的条带状砂体受海浪改造作用强烈,形成障壁砂坝。前人大多将砂坝作为沉积相划分的最小微相单元。根据砂坝内部岩相、测井相、粒度及沉积构造等特征,识别出砂坝主体和砂坝侧翼两个沉积微相(图 3)。

砂坝主体微相是指位于砂坝中下部的厚层砂体。测井曲线一般表现为单一光滑箱型或叠置光滑箱型、光滑钟型,岩性为(含砾)石英粗砂岩及岩屑石英砂岩。见大量粒序层理及冲刷填充构造。

砂坝侧翼是指位于砂坝砂侧翼的薄-中层状砂体。测井曲线为齿化箱型、齿化钟型、漏斗型,岩性为中-细粒砂岩岩屑砂岩、岩屑石英砂岩。粉-细粒砂岩中发育有脉状、波状潮汐层理、沙纹层理及板状交错层理等沉积构造,含有植物化石及炭屑。

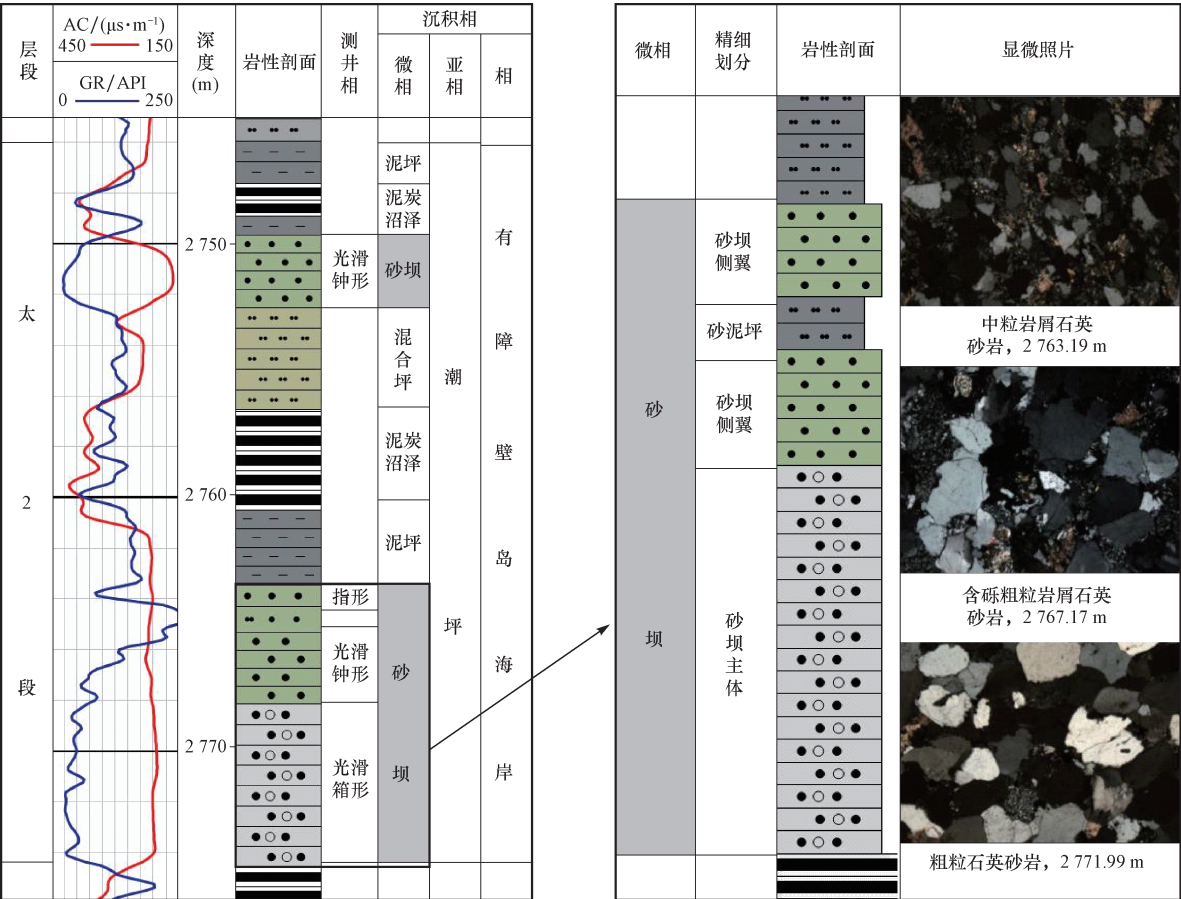


图 2 大牛地气田 D17 井区太 2 段沉积相精细划分柱状图

Fig. 2 Sedimentary facies column of the 2nd member of the Taiyuan Formation in the D-17 wellblock of Daniudi gasfield

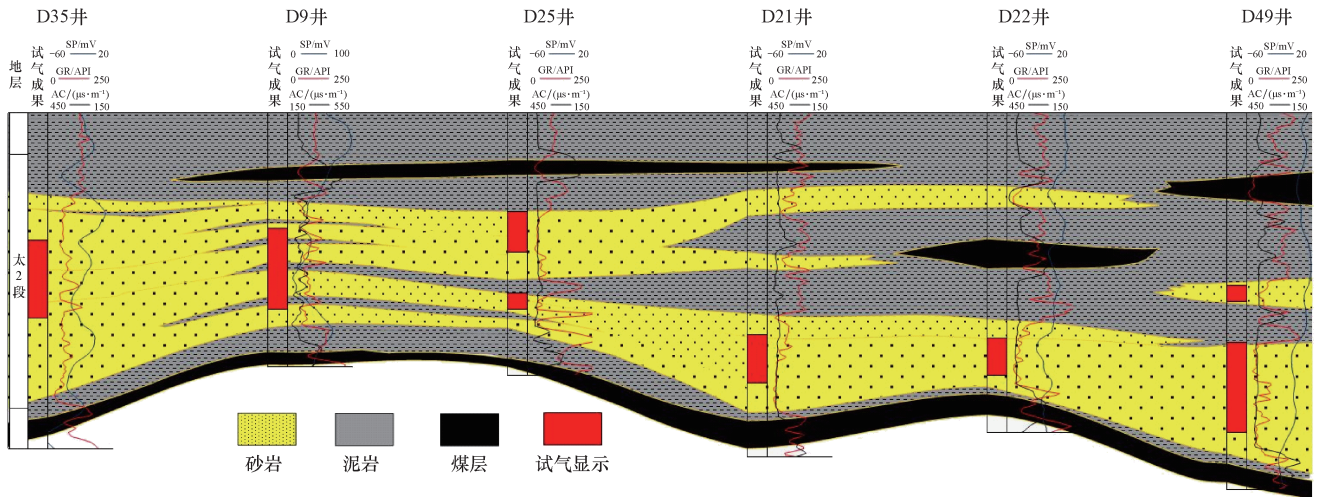


图3 大牛地气田 D17 井区太 2 段沉积微相精细划分连井对比

Fig. 3 Well-tie correlation of sedimentary microfacies in the 2nd member of the Taiyuan Formation in the D-17 wellblock of Daniudi gasfield

2) 砂坝沉积微相横向对比

平行于海岸线的长条形砂体带大多是由多个砂坝叠置而成。为了更好地研究砂坝砂体的叠置关系及空间展布特征,在大量收集钻井砂厚数据、室内薄片资料的基础上,选取 D17 井区西北部的 D35, D9, D25, D21, D22 与 D49 井,进行了砂坝沉积微相横向对比。

结果显示,砂坝主体微相主要发育在太 2 段底部,砂体厚度大,连通性好,测井相为光滑相型、叠加光滑箱型,岩性主要为含砾粗砂岩—粗砂岩。D35, D9, D25, D21, D22 和 D49 井发育多个主砂坝的叠置。D9 井中部及 D25 井底部砂体测井曲线为齿化箱形,具砂坝侧翼微相特征。但沉积时期水动力条件变化,沉积砂体受两侧砂坝共同控制,砂体沉积厚度较大,成为砂体叠置微相。

3) 砂体带平面沉积微相精细划分

D17 井区太原组 2 段砂坝发育受海陆分布格局影响,呈北东—南西向条带状展布(图 4)。砂体带中部发育透镜状砂坝主体沉积,砂坝主体之间为侧翼叠置沉积,砂体带其余低砂厚地区为砂坝侧翼沉积。两条砂体带分别位于研究区西北部(D35—D21—D49 井)和东南部(D121—D17—D56 井)。两个砂坝之间为泥坪沉积。研究区东南部(D84 井—D29—D50 井)及西南部(D63—D85 井)发育灰坪沉积。

在西北部(D35—D21—D49)砂坝中,D35, D100—D25—D10, D21—D22 和 D49 井区域为砂坝主体微相,D35, D100, D25—D10, D21—D22 井之间区域为砂坝侧翼叠置微相;砂体带其余为砂坝侧翼微相。东南部(D121—D17—D56 井)砂坝砂体带中 D80 和 D84—D17—D56 井区域为砂坝主体微相;两个砂坝主体微相间为砂坝侧翼叠置微相;其余区域为砂坝侧翼微相。

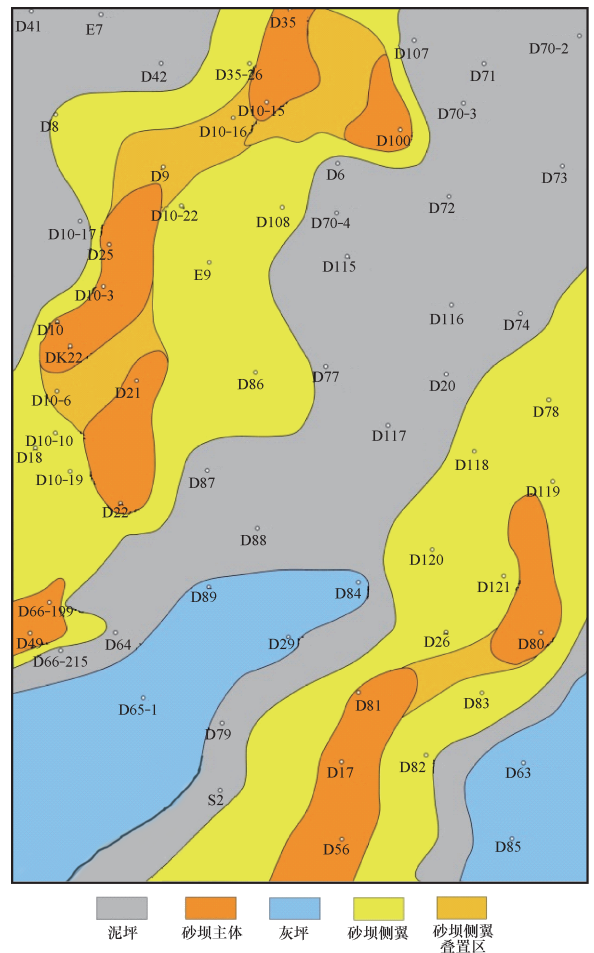


图4 大牛地气田 D17 井区太 2 段砂体沉积微相

Fig. 4 Sedimentary microfacies in the 2nd member of the Taiyuan Formation in the D-17 wellblock of Daniudi gasfield

3 砂坝特征

3.1 单一砂坝不同沉积微相特征对比

1) 物性特征对比

由于砂坝沉积微相岩性的不同,造成砂坝各微相

砂体储集层性能差异明显。选取西北部砂坝(D35—D21—D49 井)中 253 块样品,对比分析不同沉积微相砂岩储集层孔隙度特征(图 5)。统计结果表明,砂坝主体微相粒度较粗,岩性主要为石英砂岩,杂基含量少,物性特征好,孔隙度平均值为 9.3%。砂坝侧翼叠置微相,以中-细粒岩屑砂岩为主,少量石英砂岩,杂基含量多,物性特征次之,平均孔隙度为 7.9%。砂坝侧翼微相物性最差,平均孔隙度仅为 6.1%。

2) 非均质性特征及产能对比

大牛地地区上古生界气藏是典型的低渗透致密砂岩气藏,致密砂岩储层的非均质性特征与油气储量、产量及产能密切相关。储层非均质性分为宏观非均质性和微观非均质性。本文选择从宏观方面研究砂坝内各沉积微相控制砂层的非均质性特征。其评价参数有变异系数、突进系数、级差、均值系数^[14]。

选取了 D35—D21—D49 井砂体带中 6 口井 10 个岩心段,300 多个样品的物性及非均质性数据进行分析(表 1)。通过对比分析,建立了沉积微相-岩相-测井相-物性-非均质性-试气成果响应模板(图 6)。可见,砂坝侧翼-砂坝侧翼叠置区-砂坝主体样品平均孔隙度逐渐变大。砂坝侧翼层段表现为强

非均质性,砂坝侧翼叠置区及砂坝主体为中等非均质性。砂坝主体和砂坝侧翼叠置区取得了良好的显示。砂坝主体及砂坝侧翼叠置砂体物性特征好,非均质性差,试气成果明显,在开发中应引起高度重视。

3.2 砂体带类型划分与特征对比

以具有良好物性特征及试气成果的砂坝主体微相和砂坝侧翼叠置微相为优势相,按其在砂体带中的发育面积,进行砂体带性质划分(图 3)。D35—D21—D49 井砂体带中砂坝主体和砂坝侧翼叠置微相发育较好,占总面积的 43%,为砂坝主体型砂体带;D121—D17—D56 井砂体带中占 24%,定义为砂坝侧翼型砂体带。

1) 砂体带发育规模差异

砂坝主体型砂体带(D35—D21—D49 井)控制井数量为 27 口,砂坝宽度为 6~8 km,其中砂厚 14 m 以上的井有 10 口,砂体联通性较好,砂坝主体型砂体带砂体平均厚 14.5 m,砂地比最大值为 0.94,最小值为 0.21,平均值为 0.53。

砂坝侧翼型砂体带(D121—D17—D56 井)控制井数量为 12 口,砂坝宽度为 4~6 km,其中砂厚 14 m 以上的井有 3 口,砂体联通性较差,分别形成了大 121 井及

表 1 大牛地气田 D17 井区太 2 段沉积微相砂体非均质性及产能评价

Table 1 Evaluation of heterogeneity and productivity of sand bodies of different sedimentary microfacies in the 2nd member of the Taiyuan Formation in the D-17 wellblock of Daniudi gasfield

沉积微相	井号	底深/m	底深/m	平均孔隙度/%	变异系数	突进系数	级差	均值系数	非均质性	无阻流量/(m ³ ·d ⁻¹)
砂坝侧翼	D6	2 715.66	2 723.99	4.6	0.78	2.81	18.10	0.35	强	—
	D21	2 702.29	2 708.71	7.9	0.88	3.01	135.70	0.33	强	—
	D21	2 712.86	2 720.43	4.5	0.98	4.15	41.60	0.24	强	—
	D35	2 533.00	2 542.00	9.1	0.96	3.35	184.00	0.30	强	59 532
砂坝主体	D35	2 542.00	2 555.00	9.6	0.59	2.56	30.30	0.39	中等	59 532
	D21	2 721.07	2 733.00	9.3	0.52	2.68	6.60	0.37	中等	8 722
	D22	2 763.40	2 774.10	8.5	0.64	2.58	8.67	0.39	中等	22 403
	D25	2 695.89	2 705.91	8.0	0.44	2.02	6.49	0.50	中等	25 762
砂坝侧翼叠置	D25	2 707.60	2 711.84	8.9	0.36	1.82	6.28	0.55	中等	25 762
	D9	2 658.82	2 674.53	7.8	0.59	2.76	21.10	0.36	中等	13 250

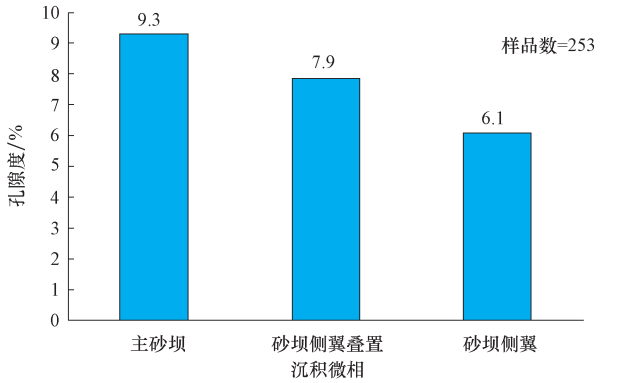


图 5 大牛地气田 D17 井区砂坝不同沉积微相砂体孔隙度直方图
Fig. 5 Histogram showing porosity of different sedimentary microfacies in sand bars in the D-7 wellblock of Daniudi gasfield

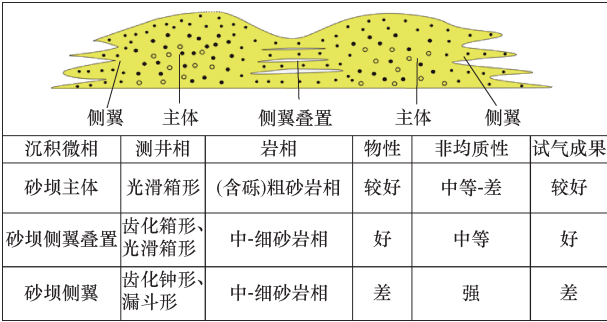


图 6 大牛地气田 D17 井区砂坝内各微相识别图版
Fig. 6 Templates for identifying sedimentary microfacies of sand bodies in the D-17 wellblock of Daniudi gasfield

D17—D56 井两个砂体高值带,主砂坝带砂体平均厚 10.56 m,砂地比最大值为 0.56,最小值为 0.06,平均值为 0.36。可见,坝砂主体型砂体带砂体厚度及规模都好于砂坝侧翼型砂体带。

2) 砂体带岩性特征差异

D17 井区太原组储集砂体岩性主要为含砾粗粒石英砂岩、岩屑石英砂岩(图 2,图 7)。选取研究区太 2 段两条砂体带 90 余样品,经薄片观察统计碎屑颗粒含量。砂坝侧翼型砂体带(D121—D17—D56 井)岩屑含量较高。在砂岩投点图上砂坝主体型砂体带(D35—D21—D49 井)样品基本落在石英砂岩区和岩屑石英砂岩区,而砂坝侧翼型砂体带(D121—D17—D56 井)样品投点落在岩屑砂岩砂岩区及岩屑砂岩区。

砂坝砂体的岩性受其沉积时期物源岩性的控制,这种岩屑含量的明显差异,体现了两条砂体带物源区母岩的差异。在单井上,岩屑含量的垂向变化,体现了沉积微相对岩性的控制作用。以 D22 井为例,底部砂坝主体微相中,石英含量高达 95%,为石英砂岩。中

上部砂坝侧翼微相砂体中岩屑含量明显升高,最高达 15%,为岩屑石英砂岩。

3) 砂体带物性特征差异

D17 井区太 2 段砂体储集岩以粒间孔和粒间溶孔占主导地位,孔径及喉道小。孔隙度主要分布在 5%~15%,平均孔隙度为 8.38%;渗透率主要分布在 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。平均渗透率为 $0.44 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属低孔隙度、低渗透率的储集层。但不同砂体带物性差异明显。

对比两条受控于不同沉积微相砂体带砂体,分别在两条砂体带岩心样品中选取了 235 和 164 块样品,利用物性分析法测得样品孔隙度和渗透率。从两条砂体带孔隙度、渗透率分布频率直方图中可以看出(图 8),砂坝主体型砂体带样品孔隙度的峰值出现在 9%~11%。渗透率出现在 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。两个砂体带有相同的孔渗相关性,平均孔隙度分别为 8.40% 和 8.32%,平均渗透率分为 0.48×10^{-3} 和 $0.36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

4) 试气成果差异

对两条砂体带的试气成果进行了统计,砂坝主体型砂体带 8 口井有试气成果,最大平均无阻流量为 $59\,532 \text{ m}^3/\text{d}$,最小值为 $8\,722 \text{ m}^3/\text{d}$,平均为 $21\,038 \text{ m}^3/\text{d}$ 。砂坝侧翼型砂体带有 4 口试气成果井,平均无阻流量最大为 $32\,964 \text{ m}^3/\text{d}$,最小为 $14\,764 \text{ m}^3/\text{d}$,平均为 $21\,322 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4 结论

1) D17 井区太原组 2 段潮坪沉积可识别出砂坝、砂泥坪、泥坪、泥炭沼泽、灰坪等沉积亚相类型,并将砂坝进一步划分为砂坝主体、侧翼叠置和砂坝侧翼 3 个沉积微相。

2) 坝砂主体型砂体带砂体厚度及规模都好于砂坝侧翼型砂体带。其中砂坝主体型砂体带砂体平均厚

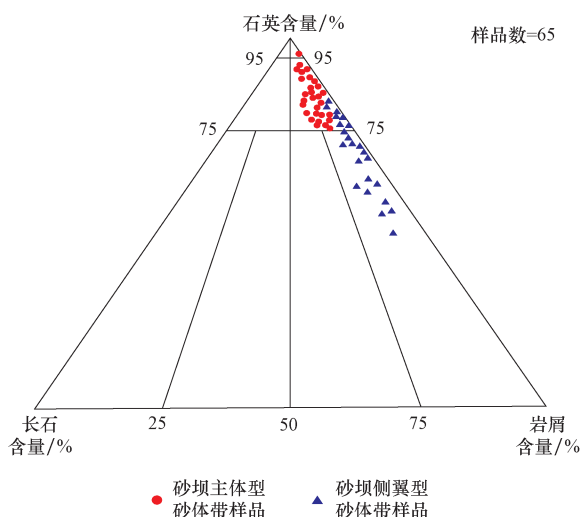


图 7 大牛地气田 D17 井区太 2 段储层岩石类型

Fig. 7 Rock types of reservoirs in the 2nd member of the Taiyuan Formation in the D-17 wellblock of Daniudi gasfield

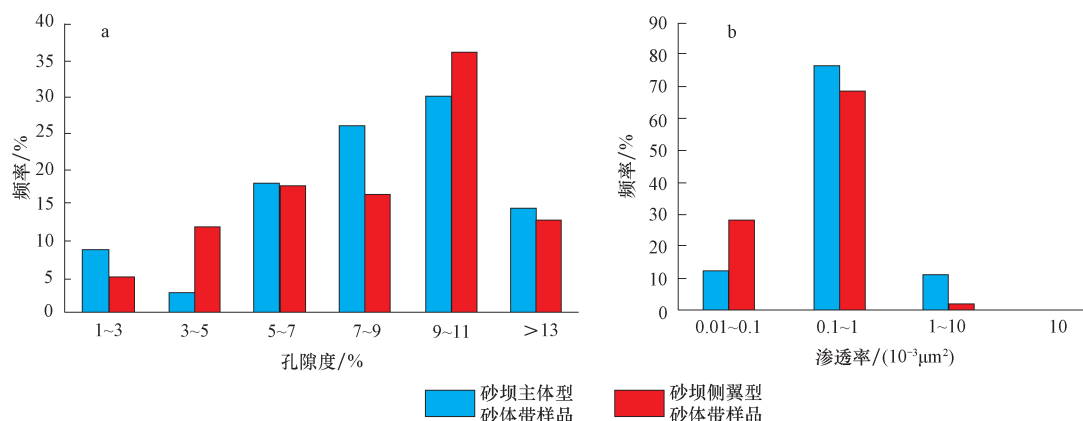


图 8 大牛地气田 D17 井区不同砂体带物性特征

Fig. 8 Histogram showing the physical properties of sand bodies in the D-17 wellblock of Daniudi gasfield

为 14.5 m,砂地比平均值为 0.53。侧翼型砂体带砂体平均厚为 10.56 m,砂地比平均值为 0.36。

3) 根据砂坝砂体测井相-岩相-沉积微相-物性-非均质性-试气成果响应模板特征,具光滑箱形的(含砾)粗砂岩相的砂坝主体微相和具齿化箱形中-细砂岩相侧翼叠置微相物性特征好,具中等非均质性,试气成果显示好,是勘探开发中的优质砂体。

参 考 文 献

- [1] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,2002. 39-41.
Yang Junjie. Tectonic evolution and oilgas reservoirs distribution in Ordos Basin[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2002. 39-41.
- [2] 钱凯,马新华,李景明,等. 中国天然气资源[M]. 北京:石油工业出版社,1999. 33-35.
Qian Kai, Ma Xinhua, Li Jingming, et al. Natural gas resources in China[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1999. 33-35.
- [3] 李景明,李剑,谢增业,等. 中国天然气资源研究[J]. 石油勘探与开发,2005,32(2):15-18.
Li Jingming, Li Jian, Xie Zengye, et al. Chinese natural gas resources [J]. Petroleum Exploration and Development,2005,32(2):15-18.
- [4] 赵贤正,李景明,李东旭,等. 中国天然气勘探快速发展的十年[M]. 北京:石油工业出版社,2002,9-16.
Zhao Xianzheng, Li Jingming, Li Dongxu, et al. Ten years of rapid natural gas exploration progress in China[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2002,9-16.
- [5] 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勘探开发技术[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):762-768.
Hao Shumin, Hui Kuanyang, Li Liang. Reservoiring features of daniudi low-permeability gas field in drdos basin and its explo-ration and development technologies [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6):762-768.
- [6] 罗东明,谭学群,游玉春,等. 沉积环境复杂地区地层划分对比方法—以鄂尔多斯盆地大牛地气田为例[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):38-44.
Luo Dongming, Tan Xuequn, You Yuchun, et al. Stratigraphic division and correlation in areas with complicated sedimentary environment—a case study of Daniudi gas field in the Ordos Basin[J]. Oil& gas geology. 2008,29(1):38-44.
- [7] 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.
Li Liang, Yuan Zhixiang, Hui Kuanyang, et al. Accumulation regularity of Upper Paleozoic gas in north Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3):268-271,282.
- [8] 刘圣志,李景明,孙粉锦,等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田成藏机理研究[J]. 天然气工业,2005,25(3):4-6.
Liu Shengzhi, Li Jingming, Sun Fenjin, et al. Reservoiring mechanism of Sulige gas field in Erduosi basin[J]. Natural Gas Industry,2005,25(3):4-6.
- [9] Chen Zhonghui, Zhang Nianmao, Zhang Shouliang, et al. The time and spatial evolution of sedimentary systems and coal-accumulating centre in late Palaeozoic coal-bearing measures on the eastern margin of Ordos basin,1989,14(4):357-364.
- [10] Rosati j d,Dean r g,Stone g w. Across-shore model of barrier island migration over acompressible substrate [J]. Marine Geology, 2010, 271:1-16.
- [11] 田景春,刘伟伟,王峰,等. 鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界致密砂岩储层非均质性特征[J]. 石油与天然气地质,2014,35(2):183-189.
Tian Jingchun, Liu Weiwei, Wang Feng, et al. Heterogeneity of the Paleozoic tight sandstone reservoirs in Gaoqiao Area of Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(2):183-189.
- [12] 田景春,张兴良,王峰,等. 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[J]. 石油与天然气地质,2013,34(6):737-815.
Tian Jingchun, Zhang Xingliang, Wang Feng, et al. Quantitative characterization of superimposition relationship and distribution of reservoir sandbodies in the Upper Palaeozoic of Gaoqiao region, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6):737-815.
- [13] 孙素琴. 大牛地气田二叠系山西组单砂体预测技术及应用[J]. 石油实验地质,2012,34(3):340-344.
Sun Suqin. Prediction of single sand body and its application in Shanxi Formation of Permian, Daniudi Gas Field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(3):340-344.
- [14] 金惠,施振生,杨威,等. 川中地区上三叠统小塘子组障壁砂坝及其成因分析[J]. 天然气地球科学,2013,24(4):19-28.
Jin Hui, Shi Zhensheng, Yang Wei, et al. Barrier island and its genesis analysis of Xiaotangzi Formation of upper Triassic in central Sichuan basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(1):19-28.
- [15] 袁静,梁绘媛,谭明友,等. 惠民凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体沉积特征及形成条件[J]. 石油与天然气地质,2014,35(3):410-416.
Yuan Jing, Liang Huiyuan, Tan Mingyou, et al. Sedimentary characteristics and forming conditions of beach-bar sandbodies in the upper fourth member of the Shahejie Formation in the south slope of the Huimin Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3):410-416.
- [16] 陈钟惠,张年茂,张守良,等. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系沉积体系和聚煤作用的时空演化[J]. 地球科学-中国地质大学学报,1989,14(4):357-364.
Chen Zhonghui, Zhang Nianmao, Zhang Shouliang, et al. Time and spatial evolution of sedimentary systems and coal-accumulation centre in Late Palaeozoic coal-bearing nesaures on the eastern margin of Ordos Basin[J]. Earth Science-Journal of China Unviersity of Geosciences, 1989, 14(4):357-364.
- [17] 郝蜀民,李良,尤欢增. 大牛地气田石炭-二叠系海陆过渡沉积体系与近源成藏模式[J]. 中国地质,2007,34(4):606-611.
Hao Shumin, Li Liang, You Huanzeng. Permo carboniferous paralic depositional systems in the Daniudi gas field and its near-source box-type gas accumulationorr forming model[J]. Geology in China, 2007, 34(4):606-611.
- [18] 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]. 石油工业出版社,北京,2004.
Yu Xinghe, Ma Xingxiang, Mu Longxin, et al. The braided fluvial river reservoir geologic model and the level interface analysis [m]. Petroleum Industry Press, Beijing. 2004.