

神木气田早二叠世太原期海侵事件与砂体展布的关系

安文宏^{1,2} 石小虎¹ 杨勇¹ 黄有根¹ 冯永玖¹ 杨文敬³ 冯炎松¹

1. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院 2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 3. 中国石油长庆油田公司勘探部

安文宏等. 神木气田早二叠世太原期海侵事件与砂体展布的关系. 天然气工业, 2013, 33(4): 43-47.

摘要 下二叠统太原组是鄂尔多斯盆地神木气田的主力开发层系, 其砂体厚度大、多期叠置且各期砂岩体展布特征不明。分析认为, 该区太原期海侵事件直接影响了砂岩体的展布, 研究二者的关系有利于寻找有利开发层段。为此, 根据标志性地层、岩性突变界面等层序界面识别的关键地质信息, 以太₂—太₁段发育的 4 套石灰岩为二级层序界面, 建立了太原期层序地层划分方案; 在早二叠世海侵期次和方向研究的基础上, 刻画出太原组层序地层格架内 3 期砂岩体(七里沟砂岩、马兰砂岩和桥头砂岩)的展布特征。分析认为: ①太原期发生 4 次海侵事件, 海侵方向为东南向, 相应发育的 4 套石灰岩具有分带性且自北向南发育程度渐好; ②海侵范围和期次直接影响到砂岩体的分布范围和期次, 在海进和北部地区抬升及物源供给变化的控制下, 三角洲平原砂岩体的分布范围逐渐缩小。最后, 结合实钻数据, 指出最有利开发层段为马兰砂岩段, 其砂岩沉积发生在太原期波及范围最大的两次海侵事件之间, 受海侵影响, 沉积的砂岩颗粒受海水的淘洗作用而岩性更纯, 物性也优于其他两套砂岩体。

关键词 神木气田 早二叠世 层序地层划分 海侵事件 石灰岩分布 砂体展布 马兰砂岩 优质储集层 鄂尔多斯盆地

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.04.006

Relationship between Early Permian Taiyuan transgression and sandbodies distribution in the Shenmu Gas Field, Ordos Basin

An Wenhong^{1,2}, Shi Xiaohu¹, Yang Yong¹, Huang Yougen¹, Feng Yongjiu¹, Yang Wenjing³, Feng Yansong¹

(1. Exploration and Development Research Institute of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 2. State Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-permeability Oil & Gas Fields, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 3. Exploration Department of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 4, pp.43-47, 4/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The Lower Permian Taiyuan Fm is the major pay zone in the Shenmu Gas Field, Ordos Basin. The sandbodies are thick and superimposed, but the distributions of sandbodies formed in each stage are poorly defined. It is believed that the transgression in the Taiyuan period in the study area directly influenced the distribution of sandbodies, thus establishing such relationship is helpful to the identification of favorable intervals for gas development. A sequence stratigraphic classification scheme was established for the Taiyuan Formation by taking the four limestone layers in the 1st and 2nd members of the Taiyuan Formation as secondary sequence boundaries. Based on the study of the stages and directions of transgression in the Early Permian, a map was drawn of the distribution of sandbodies formed in 3 stages (Qiligou, Malan and Qiaotou sandstones) in the sequence stratigraphic framework of the Taiyuan Formation. The following findings were obtained. a. Four times of transgression in southeast direction occurred in the Taiyuan period, and the corresponding four sets of limestones show clear zonation and get more highly developed from the north to the south. b. The scale and stage of transgression directly influenced the distribution area and stage of sandbodies; the distribution area of sandbodies of delta plain facies was getting progressively smaller under the control of transgression, northern uplifting and the change of provenance. Finally, according to the actual drilling data, it was pointed out that the Malan sandbody is the most favorable target interval of development, which was deposited at a time between the two mostly extensive transgression events in the Taiyuan period; due to the impact of transgression, the deposited sand particles are so pure through sea water washing that its reservoir quality is much better than the other two sandbodies.

Key words: Shenmu Gas Field, Early Permian, sequence stratigraphic division, transgression event, limestone distribution, sandbody distribution, Malan sandbody, quality reservoir, Ordos Basin

作者简介: 安文宏, 1980 年生, 工程师; 2005 年毕业于西北大学矿产普查与勘探专业; 现从事气田开发研究工作。地址: (710021) 陕西省西安市未央区长庆油田公司勘探开发研究院。E-mail: anwh_cq@petrochina.com.cn

神木气田位于鄂尔多斯盆地一级构造单元伊陕斜坡东北部,北部与大牛地气田相接,西与榆林气田相邻,目前提交探明地质储量近 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$,2012 年投入开发,效果较好。下二叠统太原组作为开发主力层,其砂体发育厚度大,但各期砂体展布特征不明且多期叠置^[1],成为目前制约气田水平井规模化开发的瓶颈。

神木气田在早二叠世处于鄂尔多斯盆地东北部,接受来自华北海域的海水漫延^[2-3],形成海相碳酸盐岩沉积,因此碳酸盐岩的发育范围、类型、厚度直接揭示了早二叠世海侵的期次和方向。其沉积环境决定了太原组发育以碎屑岩和碳酸盐岩互层含煤岩系为特征性的地层,包含碎屑岩型、石灰岩型和互层型 3 种组合。

1 层序地层划分方案

该区地层划分注重层序界面识别:标志性地层、岩性突变界面等^[4];①太原组下伏 9 号煤层底面存在的沉积间断面为一级层序界面识别标志。该界面为区域构造体制转换面、海侵方向转换面、生物类型交替面^[5]、地球化学异常面^[6]。9 号煤层在剖面上易于识别,野外露头可见与上部桥头砂岩直接接触。②太原组上覆北岔沟砂岩具有底冲刷特征^[7],为一级层序界面识别标志。③太原组 1 段与 T_2 段界面多为砂岩(或碳酸盐岩)直接沉积于煤层之上,揭示了较厚的障壁砂坝(或潟湖沉积)环境,以冲刷间断关系覆于沼泽泥岩之上。 T_2 — T_1 段发育 4 套石灰岩,代表了 4 次海平面的变化,是层序地层划分的重要旋回标志层。

太原组以北岔沟砂岩和 9 号煤层为一级层序界面,以 4 套石灰岩为二级层序界面,可以划分为 2 个长期旋回、4 个中期旋回(MSC1~MSC4)。各长期、中期旋回层序分别与岩石地层单位划分方案中的段、亚段相对应(图 1)。

2 海侵事件与砂体展布的关系

2.1 海侵事件分析

2.1.1 海侵方向

鄂尔多斯盆地晚石炭世南隆北倾在早二叠世早期转变为北隆南倾的构造格局,因此晚石炭世的海水主要来自于东及东北部,而早二叠世早期转为来自东及东南方向。早二叠世海侵初期形成大范围的覆水环境,利于成煤环境的发育,由此在晚石炭世发育了区域性分布的 9 号煤层。

2.1.2 海侵期次与石灰岩分布

4 次海侵对应发育 4 套石灰岩,盆地海侵方向演化史和目前的石灰岩分布图显示,太原组的分布具有

组	段	层	名称及岩性	标志层	海平面	层序划分	
山西组	山 ₂	山 ₂ ³	北岔沟段	5号煤	▲		
				北岔沟砂岩			
太原组	太 ₁	/	东大窑段	海相泥岩 东大窑灰岩	▲	MSC4	
				6号煤		▲	MSC3
			斜道段	七里沟砂岩			
				斜道灰岩			
	太 ₂	太 ₂ ¹	毛儿沟段	7号煤	▲	MSC2	
							马兰砂岩
		太 ₂ ²	庙沟段	毛儿沟灰岩	▲	MSC1	
				8号煤			
				桥头砂岩			
				庙沟灰岩			
本溪组			9号煤	▲			
						晋祠砂岩	

图 1 神木气田早二叠世太原期层序地层划分方案图

南北分异特征,石灰岩在南部更为发育。太原组 4 套石灰岩中,庙沟石灰岩(以下采用习惯性叫法——庙沟灰岩)仅在该区南部局部发育,以毛儿沟灰岩、斜道灰岩分布范围最大,也代表了范围最大的 2 次海侵事件;东大窑灰岩分布范围缩小,揭示海水开始向东南方向退缩(图 2)。

2.2 砂体展布特征

海侵和河流相互作用奠定了 3 套砂岩的沉积格局。该区以浅水三角洲沉积相为主,由北向南发育三角洲平原、三角洲前缘亚相,其中桥头砂岩分布稳定,平面分布规模最大(图 3);马兰砂岩在气田中北部分布较范围广,厚度大(图 4);七里沟砂岩发育厚度和范围明显减小(图 5)。

太原期(早二叠世早期),海水总体向北推进,来自北部的河流相砂体发育受到抑制,在海侵范围与砂体展布范围互为消长的关系影响下,太原组发育 3 套海侵三角洲砂岩体;即七里沟砂岩体(以下采用习惯性叫法七里沟砂岩)、马兰砂岩和桥头砂岩。

2.2.1 桥头砂岩

“桥头砂岩”是指发育在太原组庙沟灰岩与毛儿沟灰岩之间的一套砂体,是神木气田太原组最主要的砂体之一。

桥头砂岩形成于庙沟灰岩沉积期海退背景,是北隆南倾构造体制建立后形成的第一套砂体。底部冲刷、下切显著,为陆表海背景下的下切谷充填。沉积物

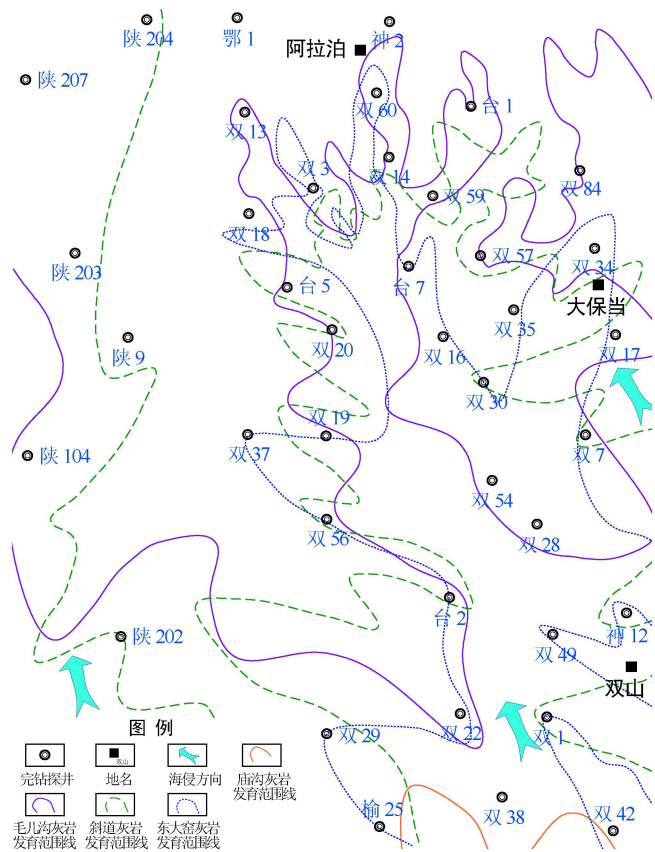


图 2 神木气田早二叠世太原期石灰岩分布图

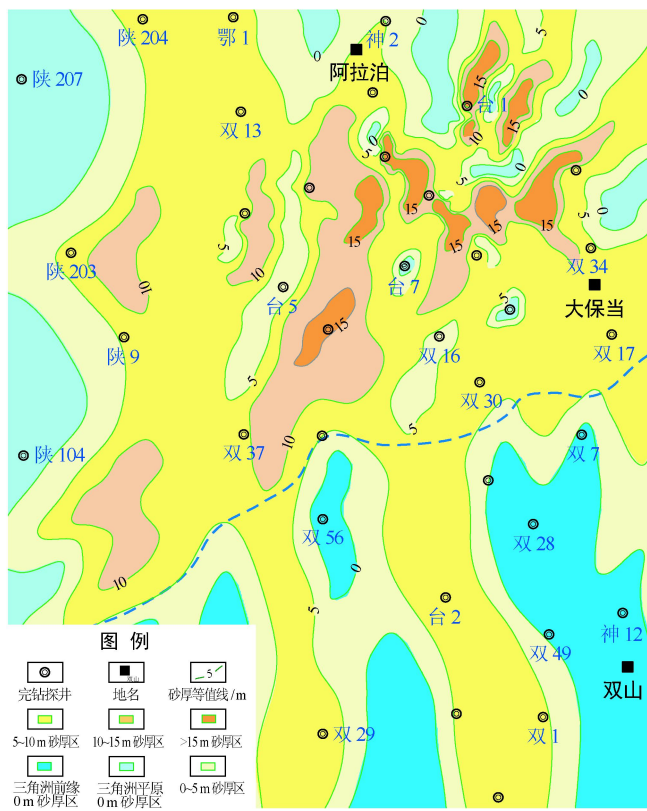


图 4 太原组马兰砂岩分布图

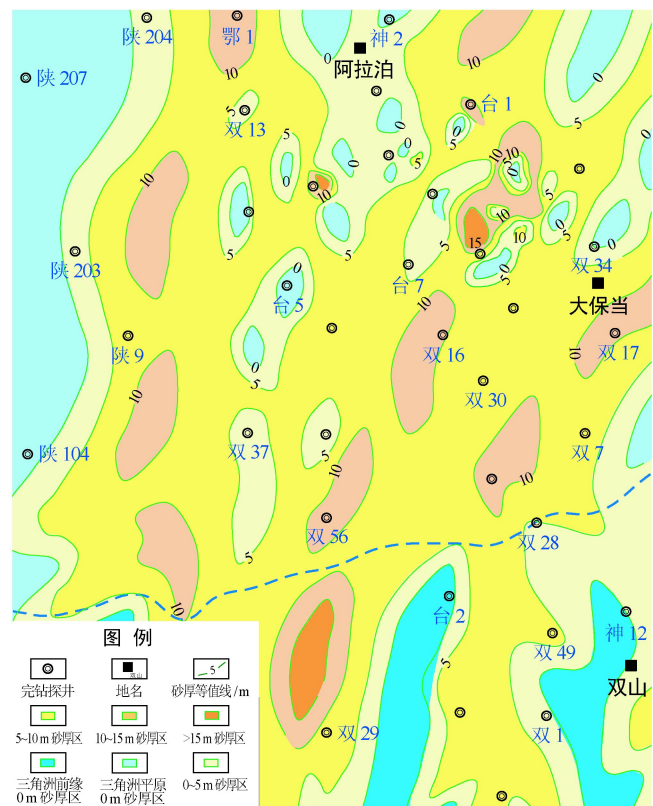


图 3 太原组桥头砂岩分布图

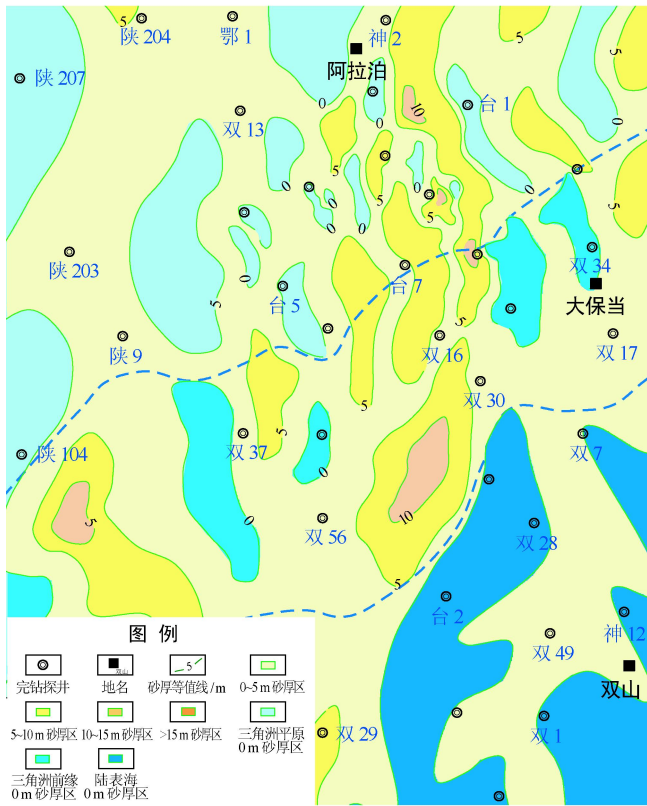


图 5 太原组七里沟砂岩分布图

中多见泥砾,层理构造以前积纹层倾角低缓为特征,生物扰动构造发育。桥头砂岩均由多个正粒序旋回组成,每个旋回均与下伏岩层呈冲刷接触关系;研究区太原期以三角洲平原亚相沉积为主。三角洲平原亚相区主要展布在陕 202—双 28 一线以北,其前方为三角洲前缘亚相分布区,砂体发育面积大。

2.2.2 马兰砂岩

形成于毛儿沟期至斜道期海侵扩大的背景下,为浅水三角洲沉积,砂体分布局限,规模较小。与桥头砂岩期相比,岸线向物源区退缩,其太原期沉积环境主要为三角洲平原亚相和三角洲前缘亚相。三角洲平原相区主要展布在陕 202—双 19—双 30 一线以北,其前方为三角洲前缘分布区,主要为水下分流河道沉积。其展布趋势大体继承了桥头砂岩的沉积格局。

2.2.3 七里沟砂岩

七里沟砂岩是继晚古生代海侵规模最大的斜道期海侵之后海平面下降期间形成的^[8-9],三角洲前缘亚相和滨海湖相沉积占主导地位,砂体发育的规模和厚度相对较小^[10]。

2.3 优势砂体与海侵事件的关系

钻井数据显示(表 1),3 套砂岩中马兰砂岩钻遇率最高,平均气层厚度大。分析化验分析表明:太₂¹ 亚段马兰砂岩石英含量高、填隙物含量低、物性明显好于太₂² 亚段桥头砂岩及太₁ 段七里沟砂岩。斜道灰岩和毛儿沟灰岩代表了太原期波及范围最大的 2 次海侵事件,由于马兰砂岩沉积发生在这 2 次海侵事件之间,受最大范围的 2 次海侵影响,沉积砂岩颗粒受海水的淘洗岩性更纯^[11-13],因此物性也优于其他两套砂岩。

表 1 太原组 3 套砂岩体特征参数表

砂岩体	平均砂岩体厚度/m	砂岩体钻遇率	平均气层厚度/m	气层钻遇率	平均孔隙度	平均渗透率/mD	平均面孔率	平均孔径/ μm	微孔率
七里沟	4.3	64%	3.7	32%	7.1%	0.37	1.5%	10	79.2%
马 兰	10.7	81%	6.9	74%	9.3%	1.08	3.3%	135	64.1%
桥 头	7.9	60%	6.9	35%	8.1%	0.58	2.2%	35	72.5%

3 结 论

1)神木气田早二叠世太原期经历 4 次海侵事件,海侵方向为东南向,相应发育的 4 套石灰岩具有分带性,且自北向南发育程度渐好。

2)海侵范围和期次直接影响到砂岩的分布范围和期次,太原组发育 3 套砂岩,在海进和北部地区抬升及物源供给变化的控制下,三角洲平原砂岩体的分布范围逐渐缩小。

3)斜道灰岩、毛儿沟灰岩代表了太原期波及范围最大的 2 次海侵事件,由于马兰砂岩沉积发生在这 2 次海侵事件之间,受到最大范围的 2 次海侵影响,沉积砂岩颗粒受海水的淘洗岩性更纯,因此物性也优于其他两套砂岩。

参 考 文 献

[1] 兰朝利,张君峰,陶维祥,等.鄂尔多斯盆地神木气田太原组沉积特征与演化[J].地质学报,2011,85(4):533-542.
LAN Chaoli, ZHANG Junfeng, TAO Weixiang, et al. Sedimentary characteristics and evolution of the Upper Carboniferous Taiyuan Formation, Shenmu Gasfield, northeastern Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(4): 533-542.

[2] 张林,魏国齐,郭英海,等.四川盆地志留世层序地层及有利储集层分布[J].天然气工业,2005,25(5):6-8.
ZHANG Lin, WEI Guoqi, GUO Yinghai, et al. Favorable reservoir distribution in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(5): 6-8.

[3] 沈玉林,郭英海,李壮福,等.鄂尔多斯盆地东缘本溪组—太原组层序地层特征[J].地球学报,2009,30(2):187-193.
SHEN Yulin, GUO Yinghai, LI Zhuangfu, et al. Sequence stratigraphy of Benxi-Taiyuan Formation in eastern Ordos Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30(2): 187-193.

[4] 吴因业,孙龙德,顾家裕,等.塔里木盆地满西地区石炭系东河砂岩沉积层序分析与储集层评价[J].古地理学报,2008,10(1):13-24.
WU Yinye, SUN Longde, GU Jiayu, et al. Sedimentary sequence analysis and reservoir evaluation of the Donghe Sandstone of Carboniferous in Manxi area of Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(1): 13-24.

[5] 谭晨曦,李文厚,冯娟萍,等.鄂尔多斯盆地大牛地气田储集层物源分析[J].矿物学报,2010,30(3):389-397.
TAN Chenxi, LI Wenhou, FENG Juanping, et al. Analysis of sedimentary source of reservoir in Daniudi Gas Field in Ordos Basin [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2010, 30(3): 389-397.

[6] 席胜利,李文厚,刘新社,等.鄂尔多斯盆地神木地区下二叠统太原组浅水三角洲沉积特征[J].古地理学报,2009,11(2):187-194.

- XI Shengli, LI Wenhou, LIU Xinshe, et al. Sedimentary characteristics of shallow water delta of the Lower Permian Taiyuan Formation in Shenmu area, Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(2): 187-194.
- [7] 庞军刚, 李文厚, 杨友运, 等. 鄂尔多斯盆地子洲地区上古生界沉积体系特征 [J]. 天然气工业, 2007, 27(12): 58-61.
PANG Jungang, LI Wenhou, YANG Youyun, et al. Features of Upper Paleozoic depositional system in Zizhou region, Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(12): 58-61.
- [8] 宋雪娟, 李壮福. 鄂尔多斯双山地区七里沟砂岩沉积特征及演化 [J]. 山西焦煤科技, 2011, 35(3): 9-43.
SONG Xuejuan, LI Zhuangfu. Sedimentary characteristics and evolution of Qiligou sandstone in Shuangshan Area, Ordos Basin [J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2011, 35(3): 9-43.
- [9] 冯文立, 黄思静, 黄培培, 等. 鄂尔多斯盆地东北部太原组砂岩储层特征 [J]. 岩性油气藏, 2009, 21(1): 89-93.
FENG Wenli, HUANG Sijing, HUANG Peipei, et al. Sandstone reservoir characteristics of Taiyuan Formation in northeastern Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(1): 89-93.
- [10] 兰朝利, 张永忠, 张君峰, 等. 神木气田太原组储层特征及其控制因素 [J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2010, 25(1): 7-11.
LAN Chaoli, ZHANG Yongzhong, ZHANG Junfeng, et al. Reservoir characteristics of Upper Carboniferous Taiyuan Formation in Shenmu Gasfield and their controlling factors [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2010, 25(1): 7-11.
- [11] 顾家裕, 张兴阳, 郭彬程. 塔里木盆地东河砂岩沉积和储层特征及综合分析 [J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 285-294.
GU Jiayu, ZHANG Xingyang, GUO Bincheng. The depositional reservoir features and composite analysis of Donghe Sandstone in Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(3): 285-294.
- [12] 刘长江, 桑树勋, 陈世悦, 等. 渤海湾盆地石炭—二叠纪沉积作用与储层形成 [J]. 天然气工业, 2008, 28(4): 22-25.
LIU Changjiang, SANG Shuxun, CHEN Shiyue, et al. Carboniferous-Permian sedimentation and reservoiring in the Bohaiwan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(4): 22-25.
- [13] 蒋裕强, 陶艳忠, 沈妍斐, 等. 对大川中地区上三叠统须家河组二、四、六段沉积相的再认识 [J]. 天然气工业, 2011, 31(9): 39-50.
JIANG Yuqiang, TAO Yanzhong, SHEN Yanfei, et al. A new understanding of sedimentary facies of sandstones in the 2nd, 4th, and 6th members of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the Large-Scale Middle Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(9): 39-50.

(修改回稿日期 2013-02-13 编辑 罗冬梅)