

文章编号:0253-9985(2013)01-0037-05

鄂尔多斯盆地神木气田二叠系太原组天然气成藏条件

蒙晓灵^{1,2}, 张宏波³, 冯强汉^{1,2}, 张保国^{1,2}, 王彩丽^{1,2}, 王准备^{1,2}

(1. 中国石油 长庆油田公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710018;

2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710018;

3. 中国石油 川庆钻探工程有限公司 科技信息处, 四川 成都 610051)

摘要:为了进一步揭示鄂尔多斯盆地神木气田天然气成藏条件与主要控制因素,利用石油地质学理论和油气成藏原理,结合地球化学特征,对太原组生烃条件和储集层特征、储盖条件和生储盖组合进行了系统剖析,同时探讨了成藏主控因素。研究认为:本溪组、太原组和山西组二段煤系地层是太原组气藏的优质烃源岩,有机质丰度高,生烃条件优越;山西组二段泥岩有机质丰度高,生烃能力强,同时具有物性封闭和烃浓度封闭双重封盖能力,具备良好的储盖条件;受物源和沉积作用双重控制,太原组储集层岩性以岩屑石英砂岩和石英砂岩为主,物性总体呈现低孔、低-特低渗特征,但由于石英砂岩储层的发育,局部仍存在富集高产层段。储集岩物性是影响该区太原组天然气成藏的主要控制因素,平面上追踪石英砂岩储层展布是今后降低钻井风险、确保气井高产的重点。

关键词:烃源岩;储集岩;储盖组合;太原组;神木气田;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Gas accumulation conditions of the Permian Taiyuan Formation
in Shenmu gas field, Ordos BasinMeng Xiaoling^{1,2}, Zhang Hongbo³, Feng Qianghan^{1,2}, Zhang Baoguo^{1,2}, Wang Caili^{1,2} and Wang Zhunbei^{1,2}

(1. Exploration & Development Research Institute, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China;

2. National Engineering Laboratory for Low-permeability Petroleum Exploration and Development, Xi'an, Shaanxi 710018, China;

3. CNPC Chuangqing Drilling Engineering Company Limited, Chengdu, Sichuan 610051, China)

Abstract: In order to further reveal natural gas reservoir forming conditions and its main controlling factors in Shenmu gas field, Ordos Basin, this paper systematically analyzed the hydrocarbon generation conditions, reservoir characteristics, reservoir and seal conditions, source-reservoir-cap assemblage and key controlling factors of gas accumulation in the Taiyuan Formation by using theories of petroleum geology and hydrocarbon accumulation in combination with geochemical characteristics. The results indicate that Benxi Formation, Taiyuan Formation and coal seams in the 2nd member of Shanxi Formation are high quality source rocks for the Taiyuan Formation reservoir, and have high organic content which is favorable for hydrocarbon generation. The shale in the 2nd member of Shanxi Formation has dual sealing mechanisms (i. e. capillary seal and hydrocarbon concentration seal) with strong sealing capacity, which are favorable for hydrocarbon preservation. The reservoir lithology of the Taiyuan Formation is dominated by quartz sandstone and lithic quartz sandstone with low porosity and low to extra-low permeability due to the control of both provenance and sedimentation. However, local high-yield pay zones still exist due to the development of quartz sandstone reservoirs. Physical properties are the main factors controlling hydrocarbon accumulation of the Taiyuan Formation in this area. Mapping quartz sandstone distribution is the key to reduce drilling risk and to ensure high yield of gas wells.

收稿日期:2011-10-10;修订日期:2012-10-15。

第一作者简介:蒙晓灵(1976—),女,工程师,天然气地质开发。

基金项目:中国石油科技重大专项(2008E-1306)。

Key words: source rock, reservoir rock, accumulation condition, Taiyuan Formation, Shenmu gas field, Ordos Basin

神木气田区域构造隶属于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部,是继榆林、子洲和大牛地等气田之后发现的又一上古生界大型气田,截止目前已提交探明地质储量 $934.99 \times 10^8 \text{ m}^3$,技术可采储量为 $474.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。气田西接榆林气田、南抵子洲、米脂气田(图 1)。下二叠统太原组是该气田主力含气层段之一。

1996—1997 年陕 210 井对太原组试气获无阻流量 $2.6969 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;2003—2006 年随着双 3

井和双 14 井太原组试气分获 $2.544 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $5.7269 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,从而拉开了神木气田大规模勘探的序幕;截至目前,神木气田已有各级别地质储量千亿方,具有良好的开发潜力,是长庆气区产能稳产接替的重要后备区块。气田太原组气藏的成藏条件与相邻气田存在差异(表 1)。

前人关于该气田及周边储层基础地质研究成果较多^[1-3],主要涉及沉积演化特征^[4-5]、沉积模式研究^[6]及储层特征描述等方面^[7-16],而针对太原组天然气成藏条件的研究较少涉及。文中就太原组成藏条件给予了分析,认为神木气田太原组具有优良的烃源条件和较好的储盖组合,具备形成大型气田的基础条件。

1 生烃条件

盆地上古生界烃原岩总体具有广覆式生烃、大面积供气的特点。气源对比认为^[3],盆地上古生界储层中气源主要来自于煤和泥岩的煤系气。神木气田地处鄂尔多斯盆地东部生烃中心,本溪组、太原组和山西组均不同程度发育煤层,单层厚度一般 8~10 m,分布广泛,自北而南厚度增加。煤岩和暗色泥岩以腐殖型干酪根为主,具有较高的生烃能力,有机质成熟度高($R_o > 1.8\%$)。煤岩有机碳含量高达 62.9%,泥岩有机碳含量为 2.09%~2.33%。研究表明:气田大量生气时间为晚侏罗世—早白垩世,生烃强度为 $28 \times 10^8 \sim 35 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,累积排烃强度为 $24 \times 10^8 \sim 30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,具备形成大型气田的生烃条件。

2 储集岩特征

神木气田太原组发育陆表海潮控三角洲相和碳酸盐岩滨岸相,由于受到东北向物源和沉积作用控制,储集层岩性既有粗粒石英砂岩,又有岩屑砂岩,物性总体上呈现低孔、低-特低渗特征。

2.1 孔隙类型

通过对神木气田太原组 358 块砂岩铸体薄片的统计,孔隙类型主要有粒间孔、粒间溶孔、岩屑

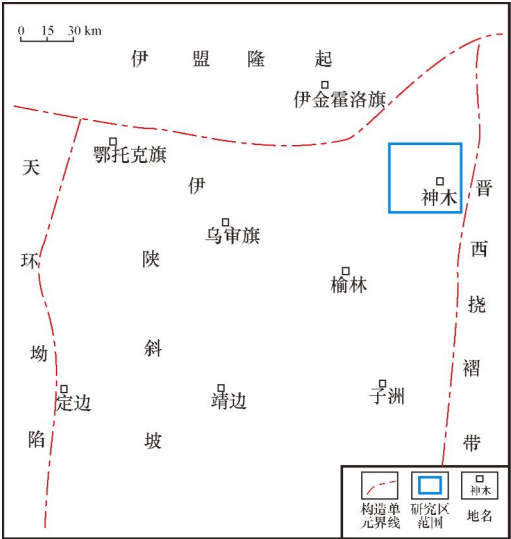


图 1 神木气田构造位置示意图
Fig. 1 Sketch map showing structural location of Shenmu gas field

表 1 相邻气田成藏条件对比
Table 1 Comparison of gas accumulation conditions with the adjacent gas fields

气田	成藏条件			
	气源条件	储集条件	盖层条件	
			直接盖层	区域盖层
榆林	石炭—二叠系海—陆交互相含煤地层	石英砂岩	山一段湖相泥岩	上石盒子组泥岩
子洲		以石英砂岩为主,夹少量岩屑砂岩、岩屑石英砂岩	山一段湖相泥岩	
神木		中—粗粒岩屑石英砂岩及岩屑砂岩	山一段湖相泥岩,山二段煤、泥岩	

溶孔和晶间孔等。岩屑溶孔是主要孔隙类型,在孔隙类型的分布频率中可占 66.7%,其次为杂基溶孔,分布频率为 14.5%,粒间溶孔为 3.7%,晶间孔可占 2.8%。此外,还有少量长石溶孔、沸石溶孔、微裂隙及可见微孔隙,粒间孔所占的比例很少(1.9%),对面孔率的贡献不大。

2.2 孔隙结构特征

神木气田太原组有效砂岩储层排驱压力一般为 0.1~0.9 MPa,喉道中值半径为 0.1~0.5 μm ;最大进汞饱和度一般为 64%~85%,平均 78.1%,退汞饱和度主要为 33%~52%,平均 44%。

储集岩性主要为岩屑石英砂岩、石英砂岩和岩屑砂岩,不同类型的岩性压汞曲线形态有着显著的差别(图 2)。石英砂岩发育粒间孔和粒间溶

孔,毛管压力曲线具宽缓平台,喉道发育,渗透性好,排驱压力大部分小于 0.5 MPa(图 2a);岩屑石英砂岩以岩屑溶孔为主,喉道发育程度较石英砂岩差,压汞曲线斜度增大,排驱压力 1 MPa 左右(图 2b);岩屑砂岩以岩屑溶孔为主,压汞曲线斜度大,无明显的曲线平台(图 2c)。

2.3 物性特征

该区储层受沉积和成岩作用双重控制,物性呈低孔、低-特低渗特征。沉积作用决定了储层的岩石组构和原生孔隙发育状况,成岩作用对孔隙进行着建设性和破坏性双重改造。大量分析样品表明:该区砂岩储层孔隙度主要分布在 4%~12%,平均为 7.1%;渗透率主要分布在 $0.01 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 3)。

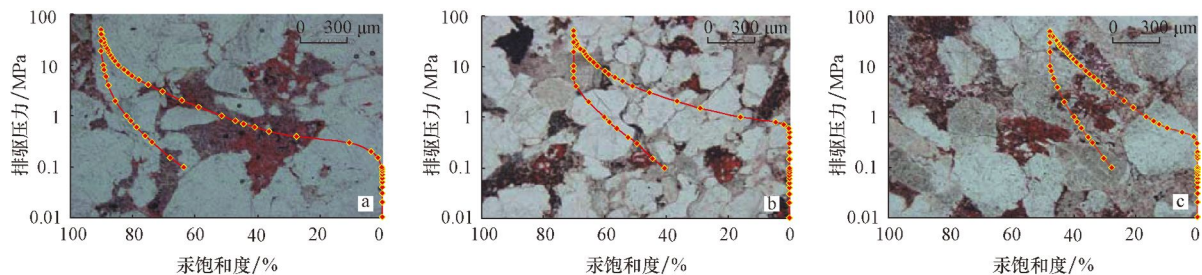


图 2 神木气田太原组砂岩储层孔隙结构特征

Fig. 2 Pore structure features of sandstone reservoirs in the Taiyuan Formation of Shenmu gas field

a. 石英砂岩,粒间孔、粒间溶孔,孔隙度 $\Phi = 11.64\%$,渗透率 $K = 1.720 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,双 A 井,2 752.53 m; b. 岩屑石英砂岩,岩屑溶孔, $\Phi = 8.50\%$, $K = 0.355 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,双 B 井,2 819.88 m; c. 岩屑砂岩,岩屑溶孔, $\Phi = 8.30\%$, $K = 0.058 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,双 C 井,2 475.13 m

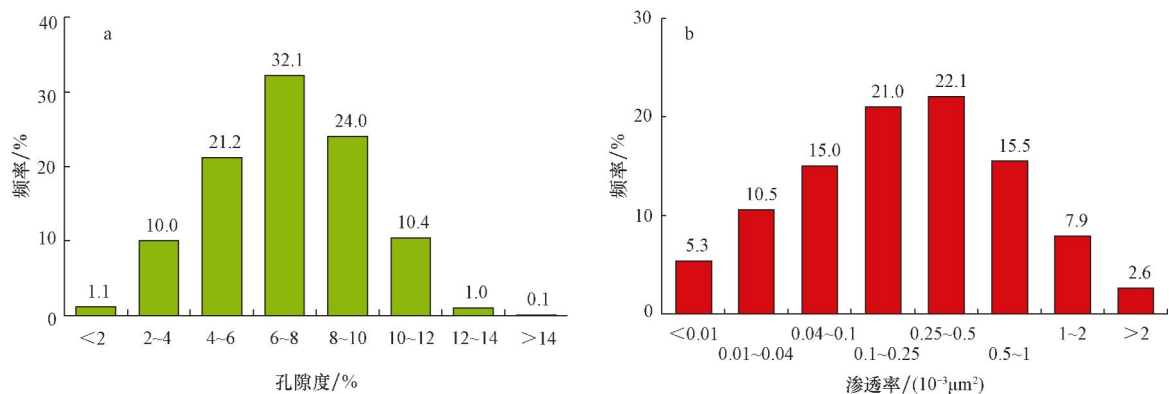


图 3 神木气田太原组储层物性分布

Fig. 3 Physical properties of the Taiyuan Formation in Shenmu gas field

a. 孔隙度分布频率直方图,样品数,1 761 个; b. 渗透率分布频率直方图,样品数,1 761 个

因此,总体低孔、低-特低渗的储集层特征导致了该区天然气储集性能较差。但由于石英砂岩储层的分布,局部仍富集高产层段。

3 储盖组合

天然气扩散作用强,保存条件对天然气成藏至关重要。本溪组底部的铝土质泥岩横向分布稳定、岩性致密,可作为上古生界含气层系的区域性底板。山西组二段煤、泥岩有机质丰度高,生烃能力强,具有物性封闭和烃浓度封闭双重封盖能力,是良好的直接盖层,同时上石盒子组和石千峰的紫红色泥岩构成了稳定的区域盖层。气田太原组骨架砂岩为分流河道沉积,泥质夹层较多,可形成侧向封堵。太原组内部以岩屑溶孔为主要的储集空间,周围致密砂岩与泥岩形成封闭,气体在排烃的过程中充注入储集层中聚集成藏(图4)。

4 成藏主控因素

盆地上古生界太原组、山西组二段为典型的源内层式组合。含煤地层为其主要的烃源岩,相

对应其间发育的砂岩储层,有利于形成岩性气藏圈闭。但良好的生烃条件、高效的封盖性能和有利的成藏组合凸显出神木气田太原组砂岩储层储集性较差。与太原组储层相比,山西组二段优质石英砂岩储层较为发育,在天然气向上运移过程中,可及时捕获从而富集成藏。因此,储集岩物性是影响神木气田太原组天然气成藏的主要控制因素。下步气田规模开发应通过在平面上追踪太原组石英砂岩储层的分布,从而达到降低钻井风险,确保气井高产的目的。

5 结论

1) 神木气田太原组底部煤层和泥岩是主力烃源岩,有机质丰度总体较高,生烃条件优越。

2) 神木气田太原组发育陆表海潮控三角洲相和碳酸盐岩滨岸相,由于受到北东向物源和沉积作用的双重控制,储集层岩性以岩屑石英砂岩、石英砂岩为主,含少量岩屑砂岩,物性总体呈现低孔、低-特低渗特征。

3) 神木气田太原组储层物性较差,削弱了源内式成藏组合的优势,平面上追踪石英砂岩展布成为下部勘探开发的重点。

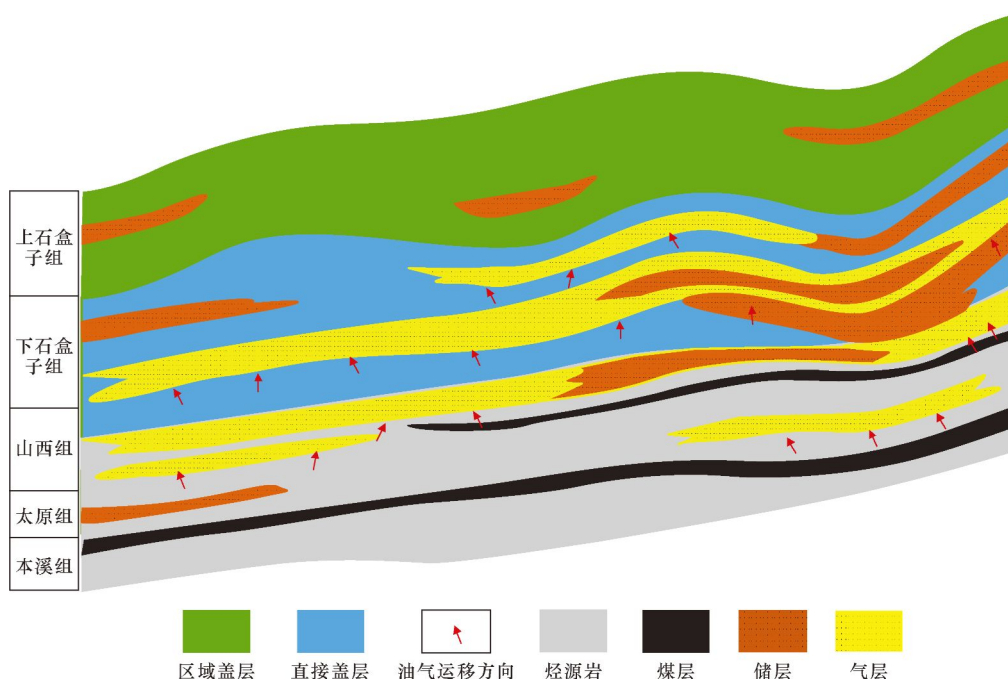


图4 神木气田上古生界天然气成藏模式

Fig. 4 Gas accumulation patterns of the Upper Paleozoic in Shenmu gas field

参 考 文 献

- [1] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社,2003:1-390.
He Zixin. The evolution and petroleum of Ordos Basin[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2003:1-390.
- [2] 杨俊杰,李克勤,宋国初,等. 中国石油地质志:卷十二[M]. 北京:石油工业出版社,1992.
Yang Junjie, Li Keqin, Song Guochu, et al. Petroleum geology of China: Volume 12[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.
- [3] 付兆辉,秦伟军,李敏. 渤海湾盆地垦东凸起构造演化及对沉积的控制作用[J]. 石油地质与工程,2011,25(4):7-10.
Fu Zhaohui, Qing Weijun, Li Min. Tectonic evolution and its controlling effect on sedimentation of the Kendong uplift in Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(4):7-10.
- [4] 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,2002:1-228.
Yang Junjie. Tectonic evolution and petroleum distribution of Ordos Basin[J]. Beijing:Petroleum Industry Press,2002:1-228.
- [5] 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):534-541.
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):534-541.
- [6] 董立,李鹏,陈伟,等. 蒙古国塔木察格盆地塔南凹陷西部次凹构造特征分析[J]. 石油地质与工程,2011,25(3):33-36.
Dong Li, Li Peng, Zhang Wei, et al. Tectonic characteristics of West subsag of Tanan sag in the Tamsag Basin, Mongolia[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(3):33-36.
- [7] 陈昭佑,王光强. 鄂尔多斯盆地大牛地气田山西组砂体组合类型及成因模式[J]. 石油与天然气地质,2010,31(5):632-639.
Chen Zhaoyou, Wang Guangqiang. Assemblage types and genetic models of the Shanxi sandbodies in Daniudi gasfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5):632-639.
- [8] 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.
- [9] 曹忠辉,王建淮,郭建民. 鄂尔多斯盆地大牛地气田上古生界储层特征[J]. 断块油气藏,2006,13(2):11-13.
Cao Zhonghui, Wang Jianhui, Guo Jianmin. Depositional models of Taiyuan Formation in Daniudi gas field, Ordos Basin[J]. Fault-Block Oil&Gas Field, 2006, 13(2):11-13.
- [10] 张广权,陈舒薇,郭书元. 鄂尔多斯地区东北部大牛地气田山西组沉积相[J]. 石油与天然气地质,2011,31(3):338-396.
Zhang Guangquan, Chen Shuwei, Guo Shuyuan. Sedimentary facies of the Shanxi Formation in Daniudi gas field, northeastern Ordos area[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3):338-396.
- [11] 蒙晓灵,张宏波,刘志军,等. 神木气田太原组气藏开发低效率主控因素[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2012,27(1):7-10.
Meng Xiaoling, Zhang Hongbo, Liu Zhijun, et al. Dominant factors of the low-efficiency development of the gas reservoir in Taiyuan Formation in Shenmu Gasfield[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition), 2012, 27(1):7-10.
- [12] 侯瑞云,刘忠群. 鄂尔多斯盆地大牛地气田致密低渗储层评价与开发对策[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):118-128.
Hou Ruiyun, Liu Zhongqun. Reservoir evaluation and development strategies of Daniudi tight sand gas field in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1):118-128.
- [13] 付金华,段晓文,席胜利. 鄂尔多斯盆地上古生界气藏特征[J]. 天然气工业,2000,20(6):16-20.
Fu Jinhua, Duan Xiaowen, Xi Shengli. Characteristics of Upper Paleozoic gas reservoirs in Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6):16-20.
- [14] 张金亮,张金功,洪峰,等. 鄂尔多斯盆地二叠统深盆气形成的地质条件[J]. 天然气地球科学,2005,16(4):526-533.
Zhang Jinliang, Zhang Jingong, Hong Feng, et al. Geologic controls of deep basin gas accumulations in the lower Permian sequence of the Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(4):526-533.
- [15] 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(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.
- [16] 付金华,魏新善,任军峰. 伊陕斜坡上古生界大面积岩性气藏分布与成因[J]. 石油勘探与开发,2008,35(6):664-667,691.
Fu Jinhua, Wei Xinshan, Ren Junfeng. Distribution and genesis of large scale Upper Palaeozoic lithologic gas reservoirs on Yishan Slope[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(6):664-667,691.

(编辑 张亚雄)