

鄂尔多斯盆地东部构造演化 对上古生界大气田形成的控制作用

赵靖舟, 王 力, 孙兵华, 白玉彬, 吴伟涛

(西安石油大学油气资源学院, 陕西 西安 710065)

摘要:构造演化研究表明,鄂尔多斯盆地东部上古生界自中生代以来的构造演化大体经历了中三叠世平缓构造发育、晚三叠世—早白垩世古隆起发育和现今斜坡形成3个阶段。其中晚三叠世—早白垩世的上古生界古隆起可能形成于晚三叠世印支运动,加强于侏罗纪燕山早期运动,弱化于早白垩世末的燕山晚期运动,改造于新生代的喜马拉雅运动。该古隆起由于与石炭系—二叠系烃源岩的生气、排气高峰期匹配很好,因而成为当时天然气运移聚集的最有利区,已发现的榆林大气田和大牛地大气田即位于该古隆起部位,说明成藏关键时期古隆起背景的存在对鄂尔多斯盆地上古生界大气田的形成具有一定控制作用,但现今构造面貌对气藏分布基本上不起控制作用。气藏类型研究表明,鄂尔多斯盆地上古生界气藏为致密砂岩连续型非常规气藏,具有广覆式生烃、“蒸发式”排烃、近距离运移、大面积成藏的特点,古隆起区是这种连续型气藏的一个重要“甜点”区。连续型致密砂岩气藏的确认,预示着鄂尔多斯盆地拥有更丰富的天然气资源和更广阔的天然气勘探前景。

关键词:鄂尔多斯盆地;构造演化;上古生界;榆林气田;致密砂岩气藏;天然气藏形成

中图分类号: TE122

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)06-0875-07

0 引言

鄂尔多斯盆地是我国迄今发现的古生界煤成气最为富集的一个大型含油气盆地,现已发现苏里格、大牛地、榆林、子洲、乌审旗等多个大型、特大型煤成天然气田。鄂尔多斯盆地素以构造稳定、斜坡宽缓、变形微弱为特点,被认为是中国最稳定的构造单元之一。因此,长期以来,其上古生界天然气藏的形成和分布被认为主要受沉积相控制,气藏类型主要为岩性气藏,构造因素对上古生界天然气藏形成和分布的控制作用不明显^[1-3]。然而,对鄂尔多斯盆地中生界油藏与下古生界气藏形成与富集的研究表明,已发现的部分中生界油藏与下古生界气藏却不同程度地受隆起构造背景控制,甚至显著受控于古隆起构造^[4-7]。那么,鄂尔多斯盆地上古生界气藏的形成与富集是否具有同样的规律?盆地上古生界在天然

气开始大量运移聚集时的古构造背景是否仍像现今一样简单?其对天然气藏的形成与富集又有何控制作用?本文以鄂尔多斯盆地东部(重点是榆林气田)为研究对象,拟就这一问题加以探讨。

榆林气田位于鄂尔多斯盆地东部,区域构造位置隶属于盆地伊陕斜坡东北部(图1)。研究区地势东北高、西南低,以无定河为界,以北是毛乌素沙漠的一部分,以南为黄土高原。榆林气田是近年来在鄂尔多斯盆地探明的大型煤成气田之一,气源岩主要为石炭—二叠系煤系地层的煤岩和暗色泥岩^[8-11]。其中煤岩厚度为10~14 m,有机碳含量为62.9%;暗色泥岩厚度为70~130 m,有机碳含量为2.09%~2.33%。主力含气层段为下二叠统山西组山₃段,岩性主要为中粗粒石英砂岩,厚度大于4 m,属于浅水三角洲沉积体系。截止2006年底,榆林气田已探明天然气地质储量为 $1\,807.50 \times 10^8 \text{ m}^3$,探明

收稿日期:2010-10-31;修回日期:2010-11-15.

基金项目:国家科技重大专项“鄂尔多斯盆地大型天然气田富集规律、目标评价与勘探配套技术”(编号2008ZX05007-005)资助。

作者简介:赵靖舟(1962-),男,陕西临潼人,教授,博士,主要从事油气成藏地质学、天然气地质和地球化学研究。E-mail: jz Zhao@xsyu.edu.cn.

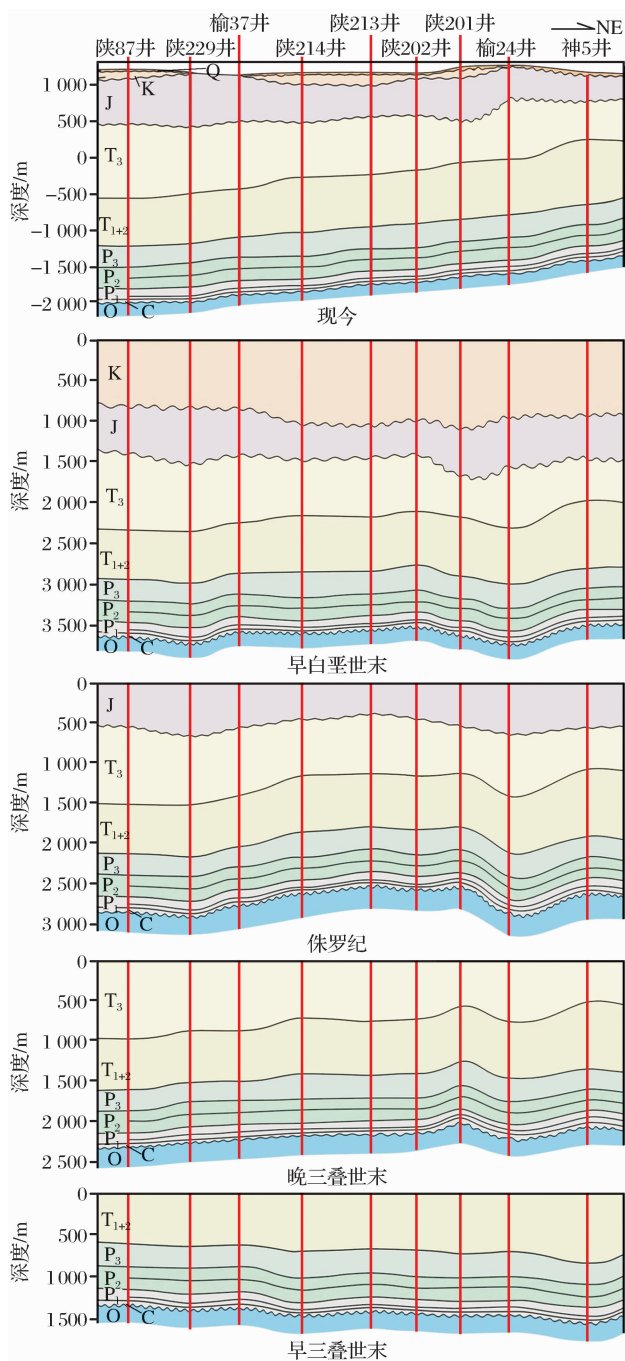


图2 榆林地区构造演化特征

1.2 晚三叠世—早白垩世古隆起发育阶段

晚三叠世末,受古特提斯海扩张和华北地块逆时针旋转的共同影响,包括鄂尔多斯盆地内的秦祁山链及华北广大地区,不同于以往的构造运动,总的应力状态处于拉张松弛状态,随之构造面目为之一新。印支运动之后,鄂尔多斯盆地进入了全新的构造演化时期,长期形成的东西成带的构造格局在燕山期发生了根本的变化,以太平洋板块活动影响占主导地位的南北成带的区域构造格局已基本形成。受此影响,榆林地区上古生界在印支运动后形成了

近南北向的古隆起构造面貌(图2,图3)。该古隆起大体沿大牛地—小纪汉—榆林—响水一线展布。

早白垩世初期,新特提斯洋开裂与扩张,尤其是西太平洋板块向中国东部大陆北西西向俯冲加剧,造成鄂尔多斯盆地处于应力松弛状态,盆地周边原来发育的许多断裂发生负反转作用^[12]。这种构造作用使得可能于印支期开始形成、早燕山期得到强化的榆林上古生界古隆起也受到一定影响,表现在隆起幅度明显降低,但仍表现为隆起构造面貌。

1.3 现今斜坡形成阶段

早白垩世末,由于滨太平洋板块向华北板块的俯冲碰撞,并以低角度倾没于中国东部之下,形成北东向的挤压力,导致盆地东部走滑—挤压作用明显加强,地壳垂直运动较水平运动更加显著。早白垩世之后,鄂尔多斯盆地东部开始逐步抬升,陕北大斜坡面貌开始形成。鄂尔多斯盆地东部榆林地区也由此前的古隆起面貌演化为西倾斜坡面貌,现今构造格局开始形成。新生代以来,由于太平洋板块向亚洲大陆东部之下俯冲,产生了弧后扩张作用,同时印度板块与亚洲大陆南部碰撞并向北强烈推挤、使中国东西部之间产生了近南北向的右行剪切应力场,并在鄂尔多斯盆地及其以东地区产生北东—南西向的张应力,形成小断裂及微裂缝。

2 构造演化对天然气成藏的控制作用

2.1 构造演化控制了烃源岩的分布和演化

晚石炭世—早二叠世晚期,鄂尔多斯地块由陆表海向内陆湖相的构造转换过程中,发育了一套海陆交互的煤层、暗色泥岩和生物灰岩的烃源岩组合。

从有机质热成熟过程的机理出发,上古生界沉积期后至三叠纪末,盆地构造活动微弱,上覆地层不断增厚,因而该阶段上古生界有机质主要经受深成变质作用,盆地局部地区进入成熟阶段。三叠纪末至中侏罗世末,盆地具有波动沉降的特点,盆地的古地温场除受深成变质作用控制外,热异常对局部古地温场已有所影响,上古生界有机质成熟度在盆地中南部大部分范围内达到成熟阶段,部分地区可达到油气兼生阶段。晚侏罗世至早白垩世末,受深成变质作用和燕山中晚期构造热事件对盆地地温场的双重控制作用,有机质成熟度在盆地中部大部分地区已达到凝析气和干气生成阶段。早白垩世之后,盆地抬升遭受剥蚀,温度下降,有机质成熟度基本维持了早白垩世末的分布格局^[10]。

2.2 古隆起对气藏的富集具有一定控制作用

由前文分析可知,鄂尔多斯盆地东部榆林地区上古生界在晚三叠世一早白垩世存在一近南北向的古隆起构造。该上古生界古隆起由于与石炭系一二叠系烃源岩的生气、排气高峰期匹配很好,因而成为天然气运移、聚集的最有利区,已发现的榆林大气田以及紧邻该气田北侧的大牛地气田即位于该古隆起部位及其附近(图 3)。可见,成藏关键时期古隆起构造背景的存在对鄂尔多斯盆地上古生界大气田的形成具有一定控制作用。

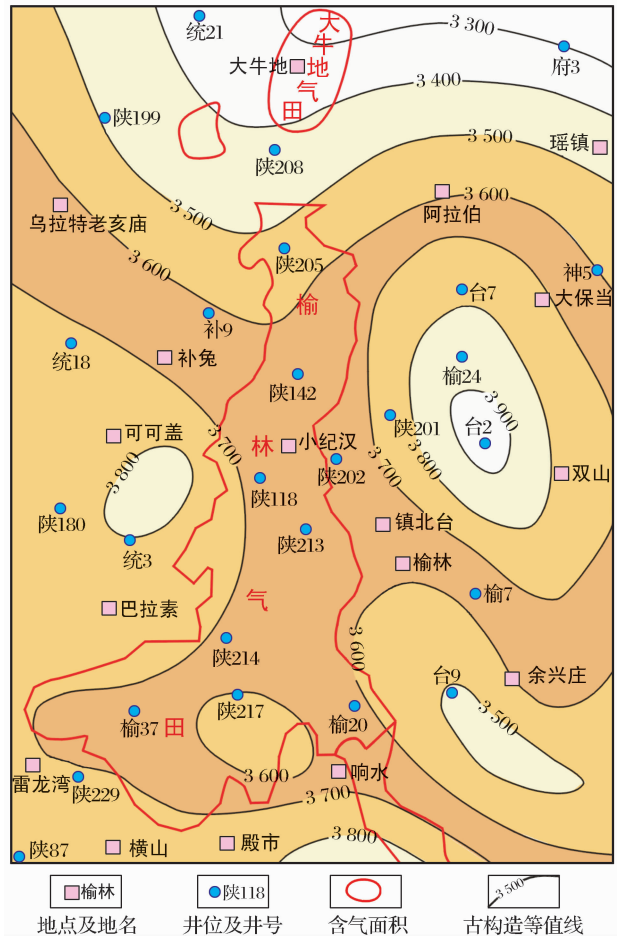


图 3 鄂尔多斯盆地东部榆林地区
山 2 段早白垩世末古构造特征

早白垩世末燕山晚期运动之后,鄂尔多斯盆地东部遭受抬升剥蚀,形成了西低东高的宽缓单斜面貌,地层倾角极为平缓,且褶皱断裂极不发育,反映晚白垩世以来的构造运动较弱,在鄂尔多斯盆地总体表现为东抬西降的翘倾运动。此时,早期形成的榆林上古生界古隆起消失,转而演变为平缓的西倾单斜面貌,仅局部发育近东西向分布的小型鼻状隆起构造(图 4)。由气藏分布与构造面貌的对比分析可以得知,这些小型鼻状隆起构造对气藏基本上不

具控制作用,控制气藏分布的主要因素为生气强度、岩性或物性等非构造因素,亦即现今气藏主要呈现出岩性气藏的面貌。原因是,随着古隆起被改造为西倾平缓斜坡,气藏的调整与重新聚集必然主要受到呈南北向延伸的上古生界带状砂体分布的控制,位于带状砂体间的细粒沉积或者致密砂岩带则构成了后期气藏调整运移的侧向遮挡。

值得注意的是,由于研究区气藏形成后的构造变动总体较弱,形成的斜坡地层几近水平,因此后期气藏的调整作用不强,特别是侧向上调整运移的距离不大。这由榆林气田的分布可以清楚看出,其现今气藏的位置几乎与古隆起完全一致,说明后期构造面貌发生变化时原来气藏的天然气并未发生显著的侧向调整运移。由此可以得出结论,古隆起区是鄂尔多斯盆地东部上古生界致密砂岩气藏形成的一个重要“甜点”区,有利于上古生界大气田的形成。

古隆起区之所以是鄂尔多斯盆地东部上古生界致密砂岩气藏形成的重要“甜点”区之一,主要是由于相对高的构造位置一方面有利于相对优质储层的形成,另一方面有利于天然气的侧向汇聚运移,因此是天然气相对富集的地区。罗文军等^[13]对四川盆地的研究也表明古隆起对致密砂岩气藏形成和气水分布具有重要控制作用。也有研究者^[14]认为,区域构造在宏观上对低渗透砂岩气藏分布具有控制作用,它控制了气藏分布的基本骨架。

2.3 构造运动为天然气藏的形成创造了良好的运移条件

鄂尔多斯盆地上古生界地层平缓,岩性致密,因此天然气很难进行长距离侧向运移。而且,该盆地断裂构造不发育,因而垂向运移的条件也很差。这种很差的纵横向运移条件,决定了鄂尔多斯盆地上古生界天然气藏的形成以近源聚集成藏为主,长距离侧向和垂向运移的可能性不大。但另一方面,神木等地区发现的二叠系上部石盒子组与石千峰组气藏的形成,则需要良好的垂向运移条件。研究表明,裂缝是形成石盒子组与石千峰组气藏的关键。

事实上,鄂尔多斯盆地主体尽管缺乏规模较大的断裂构造,但裂缝(包括微裂缝)构造却仍比较发育,它们可能是该盆地上古生界天然气发生垂向运移的主要通道,是控制上古生界上部成藏组合天然气藏形成的重要因素。就裂缝的形成时间而言,存在印支、燕山和喜马拉雅等多个期次。其中喜马拉雅运动是鄂尔多斯盆地现今裂缝构造形成的重要时

有以下几个主要特点:①气藏形成和分布对圈闭无严格要求,天然气具有弥散式分布的特点,其范围一般不受圈闭限制,可以分布在岩性等常规圈闭之内,也可以分布在圈闭以外,具有分布面积广、丰度低的特点;②气藏的形成主要是初次运移的产物,二次运移距离很短,因而气藏多为就近运移聚集成藏;③天然气运移的动力主要为生烃作用产生的异常压力,浮力很弱,对气藏形成和分布不起重要作用。

另一方面,鄂尔多斯盆地上古生界砂岩的物性普遍很差,渗透率平均在 $1 \times 10^{-6} \mu\text{m}^2$ 以下,榆林—子洲气田相对要高一些,但按照国内外一般的理解,鄂尔多斯盆地上古生界气藏主体均属于典型的致密砂岩气藏。

可见,鄂尔多斯盆地上古生界气藏为致密砂岩连续型非常规气藏。这一认识的提出,预示着鄂尔多斯盆地上古生界天然气资源比目前估计的还要大。实际勘探的结果也表明,当前所圈定的气藏边界实际上不过是商业气流井的边界,或者目前勘探开发程度下的储量计算边界,而不是气藏的自然边界。随着气价的上升或技术的不断进步,这类气藏的范围还将进一步扩大。

鄂尔多斯盆地东部榆林气田的形成和分布尽管受古隆起的一定控制,但总体上仍属于致密砂岩连续型气藏,其形成和分布亦主要受生烃强度、储层非均质性以及聚散保存条件等因素的影响,古隆起区只不过是这种连续型气藏的一个重要“甜点”区。

4 结论

(1)鄂尔多斯盆地东部榆林地区上古生界的构造演化在中生代以来经历了中三叠世平缓构造发育、晚三叠世—早白垩世古隆起发育和现今斜坡形成3个阶段。其中晚三叠世—早白垩世的上古生界古隆起可能形成于晚三叠世印支运动,加强于侏罗纪燕山早期运动,弱化于早白垩世末的燕山晚期运动,改造于新生代的喜马拉雅运动。

(2)榆林地区上古生界古隆起的形成发育时间由于与石炭系—二叠系烃源岩的生气、排气高峰期匹配很好,因而成为天然气运移聚集的最有利区,已发现的榆林大气田以及紧邻该气田北侧的大牛地气田即位于该古隆起部位,说明成藏关键时期古隆起背景的存在对鄂尔多斯盆地上古生界大气田的形成具有一定控制作用。但现今构造面貌对气藏分布基本上不起控制作用。

(3)鄂尔多斯盆地上古生界地层平缓,岩性致

密,因此天然气很难进行长距离侧向运移。而且,鄂尔多斯盆地断裂构造不发育,因而垂向运移的条件也很差。这种很差的纵横向运移条件,决定了鄂尔多斯盆地上古生界天然气藏的形成以近源聚集成藏为主,长距离侧向和垂向运移的可能性不大。

(4)鄂尔多斯盆地上古生界气藏为致密砂岩连续型非常规气藏,具有广覆式生烃、“蒸发式”排烃、近距离运移、大面积成藏的特点。鄂尔多斯盆地东部榆林气田的形成和分布尽管受古隆起的一定控制,但总体上仍属于致密砂岩连续型气藏,其形成和分布亦主要受生烃强度、储层非均质性以及聚散保存条件等的控制,古隆起区只不过是这种连续型气藏的一个重要“甜点”区。

参考文献:

- [1] Editing Group of Changqing Oilfield Records of Petroelum Geology. China Records of Petroleum Geology; Vol. 12, Changqing Oilfield [M]. Beijing: Petroleum Publishing House, 1992. [长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志: 十二卷, 长庆油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.]
- [2] Yang Junjie. Tectonic Evolution and Oil-Gas Reservoirs Distribution in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Publishing House, 2002. [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.]
- [3] Min Qi, Fu Jinhua, Xi Shengli, *et al.* Characteristics of natural gas migration and accumulation in the upper Paleozoic of Ordos basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(4): 26-29. [闵琪, 付金华, 席胜利, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气运移聚集特征[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 26-29.]
- [4] Zhao Jingzhou, Yang Xianchao, Wu Fuli, *et al.* Controlling of uplifts on the Triassic petroleum accumulation and distribution in north Shaanxi slope, Ordos basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 648-655. [赵靖舟, 杨县超, 武富礼, 等. 论隆起背景对鄂尔多斯盆地陕北斜坡区三叠系油藏形成和分布的控制作用[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 648-655.]
- [5] Zhao Jingzhou, Wu Fuli, Yan Shike, *et al.* Regularity of Triassic petroleum accumulation and distribution in the east part of north Shaanxi slope[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(5): 24-27. [赵靖舟, 武富礼, 闫世可, 等. 陕北斜坡东部三叠系油气富集规律研究[J]. 石油学报, 2006, 27(5): 24-27.]
- [6] Wu Fuli, Zhao Jingzhou, Yan Shike, *et al.* Compensatory petroleum accumulation rules in the Mesozoic of Shaanbei area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 28(3): 23-26, 31. [武富礼, 赵靖舟, 闫世可, 等. 陕北地区中生界石油补偿成藏规律研究[J]. 石油学报, 2006, 28(3): 23-26, 31.]
- [7] Li Daosui, Zhang Zonglin, Xu Xiaorong. Paleogeomorphology and paleostructure controlling the gas field in the center of Ordos basin [J]. Petroleum Exploration and Development,

- 1994,21(3):9-14. [李道隧,张宗林,徐晓蓉. 鄂尔多斯盆地中部古地貌与构造对气藏的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 1994,21(3):9-14.]
- [8] Dai Jinxing, Chen Jianfa, Zhong Ningning, *et al.* Giant Natural Gas Fields and Their Source Rocks in China[M]. Beijing: Science Press, 2003. [戴金星, 陈践发, 钟宁宁, 等. 中国大气田及其气源[M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [9] Fu Jinhua, Wei Xinshan, Shi Xiaoying. Gas reservoir formation geological conditions of Yulin field in Ordos basin[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(4): 9-11. [付金华, 魏新善, 石晓英. 鄂尔多斯盆地榆林气田天然气成藏地质条件[J]. 天然气工业, 2005, 25(4): 9-11.]
- [10] Liu Xinshe, Xi Shengli, Fu Jinhua, *et al.* Natural gas generation in the upper Paleozoic in Ordos basin[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6): 19-23. [刘新社, 席胜利, 付金华, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气生成[J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 19-23.]
- [11] Zheng Song, Tao Wei, Yuan Yusong, *et al.* Evaluation of gas resource kitchen for the upper Paleozoic coal measure, Ordos basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(3): 440-446. [郑松, 陶伟, 袁玉松, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界气源灶评价[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(3): 440-446.]
- [12] Liu Hefu. Extensional tectonics and its inversion[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(1/2): 113-124. [刘和甫. 伸展构造及其反转作用[J]. 地学前缘, 1995, 2(1/2): 113-124.]
- [13] Luo Wenjun, Li Yanjun, Li Qirong, *et al.* Relationship between high permeability zones and palaeostructures in tight gas reservoirs[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1): 70-74. [罗文军, 李延钧, 李其荣, 等. 致密砂岩气藏高渗透带与古构造关系探讨——以川中川南过渡带内江—大足地区上三叠统须二段致密砂岩气藏为例[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 70-74.]
- [14] Wei Yunsheng, Shao Hui, Jia Ailin, *et al.* Gas water distribution model and control factors in low permeability high water saturation sandstone gas reservoirs[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(5): 822-826. [位云生, 邵辉, 贾爱林, 等. 低渗透高含水饱和度砂岩气藏气水分布模式及主控因素研究[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(5): 822-826.]

Effect of Structural Evolution on the Formation and Distribution of Upper Paleozoic Giant Gas Fields in the East Ordos Basin

ZHAO Jing-zhou, WANG Li, SUN Bing-hua, BAI Yu-bin, WU Wei-tao

(School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Upper Paleozoic structure in the east part of Ordos basin as a large smooth westward monocline was characterized by simple structure short of folds and faults. Accumulation and distribution of natural gas in the upper Paleozoic in Yulin area was mainly controlled by sedimentary facies, and the types of gas reservoir were regarded as lithologic type. Nevertheless, the structural evolution suggested that the Yulin region has experienced 3 structural stages, i. e. level structure in middle Triassic, paleo-uplift in late Triassic to early Cretaceous, and monoclinical slope in late Cretaceous to present. The paleo-uplift of upper Paleozoic was probably formed through the Indosinian movement in late Triassic, intensified by the early Yanshanian movement in the end of early Cretaceous and reformed by the Himalayan movement in the Cenozoic. The formation and development of this paleo-uplift coincided with time of peak generation and expulsion of hydrocarbons from Carboniferous and Permian source rocks. Thus, the paleo-uplift became the most favorable area for natural gas accumulation. The giant gas fields of Yulin and Daniudi were distributed at paleo-uplift and its surroundings, inferring that the formation and occurrence of giant gas fields would be controlled by the paleo-uplift. But the present local structures have little or even no effect on the distribution of the giant fields. On the contrary, we found out that the Upper Paleozoic natural gas fields in the Ordos Basin would be continuous tight gas accumulations, which are characterized by widespread hydrocarbon generation, vaporizing-like expulsion, short-distance migration and pervasive distribution. Recognition of continuous tight gas accumulation in the Ordos basin may give a greater resource volume and a bigger exploration potential in this basin.

Key words: Ordos basin; Structural evolution; Upper Paleozoic; Yulin gas field; Tight gas; Gas accumulation.