

文章编号:1672-6561(2012)04-0022-08

## 鄂尔多斯盆地塔巴庙地区断层对上古生界 天然气富集成藏的控制

李潍莲<sup>1,2</sup>, 刘震<sup>1,2</sup>, 张宏光<sup>1,2</sup>, 纪文明<sup>1,2</sup>, 雷婷<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249;

2. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249)

**摘要:**为了确定断层对鄂尔多斯盆地塔巴庙地区上古生界天然气富集成藏的控制作用,利用2 000 km<sup>2</sup>高精度三维地震资料,进行断层的精细解释及山西组、太原组煤系地层均方根振幅地震属性的提取,分析断层的分布、成因及形成期,研究断层与天然气高产层段和富集区的关系,建立塔巴庙气田天然气成藏模式。结果表明:上古生界存在北东向断裂系统,断层多为高角度的小断距断层,断距20~60 m;这些断层主要是基底断裂在燕山运动中、晚期重新活动造成上覆沉积盖层撕裂形成的;断层形成期与烃源岩生排烃期良好匹配,断层沟通了石炭系太原组、二叠系山西组煤系烃源岩和二叠系下石盒子组盒2段、盒3段岩性圈闭,既促使下伏天然气向盒2段、盒3段垂向汇流运移,同时又为有机酸的运移溶蚀提供通道,有效改善了邻近低渗砂体储层的孔渗性能,从而控制了塔巴庙地区主力目的层盒2段、盒3段天然气运聚成藏及高产富集区带的分布;断裂和面积相对高孔渗砂体的叠合区域是天然气的有利富集区。

**关键词:**天然气;断层;输导体系;低渗砂体;成藏模式;上古生界;塔巴庙地区;鄂尔多斯盆地

**中图分类号:**TE122.1;P618.13 **文献标志码:**A

## Control of Fault on Gas Accumulation of Upper Paleozoic in Tabamiao Area of Ordos Basin

LI Wei-lian<sup>1,2</sup>, LIU Zhen<sup>1,2</sup>, ZHANG Hong-guang<sup>1,2</sup>, JI Wen-ming<sup>1,2</sup>, LEI Ting<sup>1,2</sup>

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** In order to understand the control of fault on gas accumulation of Upper Paleozoic in Tabamiao Area of Ordos Basin, according to 2 000 km<sup>2</sup> three-dimensional seismic profile with high accuracy, fault was fine interpreted, and root mean square amplitude seismic attributes of coal-bearing strata in Shanxi Formation and Taiyuan Formation were extracted; distribution, genesis and formation stage of fault were analyzed; the relationship of gas layer section with high yield and enrichment area to fault was discussed, and gas accumulation model in Tabamiao Area was built. The results showed that there was a NE fault system in Upper Paleozoic, the angles of faults were mostly high with minor slip, and the fault throw was 20-60 m; these faults were mainly formed by the tearing of overlying sedimentary covers, which were caused by the removal of basement faults during the middle and late of Yanshan Movement; formation stage of fault matched well with hydrocarbon generation and expulsion stages of hydrocarbon source

收稿日期:2012-08-02

基金项目:“十二五”国家科技重大专项研究项目(2011ZX05002)

作者简介:李潍莲(1969-),女,山东潍坊人,副教授,工学博士,E-mail:lw1526@sina.com.cn。

rock, and fault connected the coal-bearing hydrocarbon source rock in Carboniferous Taiyuan Formation and Permian Shanxi Formation and the lithologic trap in He2 Member and He3 Member of Lower Shihezi Formation of Permian; the fault promoted the vertical conflux migration of gas to He2 Member and He3 Member, and provided a passage for the migration and dissolution of organic acid, so that porosity-permeability property of low-permeability sandstones nearby was improved, and the gas migration and accumulation in the main reservoir of He2 Member and He3 Member and the distribution of layer section with high yield and enrichment area were controlled; the overlapping areas of faults and large sandbodies with relatively high porosity and permeability were favorable for gas.

**Key words:** gas; fault; passage system; low-permeability sandstone; accumulation model; Upper Paleozoic; Tabamiao Area; Ordos Basin

## 0 引言

传统认为鄂尔多斯盆地内部断裂不发育,但近年来有很多研究者发现盆地内部断裂存在的大量证据。在重、磁、电等地球物理资料中,可清晰地发现鄂尔多斯盆地内部发育规模巨大的基底断裂,基底断裂中、新生代“隐性”活动对古生界天然气和中生界石油的富集成藏甚至地表元素地球化学场的分布特征都有明显的控制作用<sup>[1-11]</sup>。基底断裂及后期构造活动衍生的一系列剪切变形所产生的储集层物性断裂对油气的控制不容忽视<sup>[12]</sup>。野外地质调查和钻井岩芯观察中,发现盆地中部古生界、中生界地层均发育大量的高角度雁行状、“X”共轭状节理及局部断裂,岩芯可见许多清晰的断层擦痕和阶步<sup>[1,12-16]</sup>。但是,鄂尔多斯盆地内部沉积盖层中的断层断距小,在常规二维地震剖面上难以识别,因此往往难以刻画断层的分布。

航磁与地热异常等资料反映鄂尔多斯盆地塔巴庙附近存在北东向基底断裂带,其北端伊金霍洛旗附近存在近东西向基底断裂<sup>[1]</sup>;岩芯中受构造应力作用产生的高角度破裂缝较发育<sup>[15-18]</sup>。但前人并未在该区域进行断层的识别,断层对天然气成藏和分布的控制也尚未研究。笔者利用塔巴庙地区2 000 km<sup>2</sup>高精度三维地震资料,进行断层的精细解释及山西组、太原组煤系地层均方根振幅地震属性的提取,分析断层的分布、成因及形成期,结合塔巴庙地区地质特征和油气勘探成果,对断层在天然气输导、富集成藏中的重要作用进行了探讨,建立了塔巴庙气田天然气成藏模式。

## 1 研究区概况

塔巴庙地区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北东

部,北邻伊盟北部隆起,东邻晋西挠曲带(图1)。区域构造为一平缓的西倾单斜,地层倾角小于1°,局部构造不发育,上古生界主要发育岩性气藏。上古生界自石炭系太原组向上到二叠系山西组、下石盒子组、上石盒子组—石千峰组为一个完整的成藏组合。气源岩主要为太原组、山西组的煤及暗色泥岩;主要储集层为下石盒子组辫状河砂体、山西组三角洲平原分流河道砂体、太原组局限海岸环境的障壁砂坝,储层总体具备低孔、低渗的特征;区域盖层为上石盒子组—石千峰组河漫湖相泥质岩,泥岩厚度200~300 m。

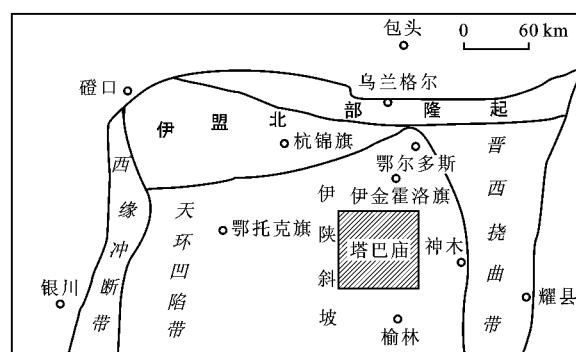


图1 鄂尔多斯盆地塔巴庙地区位置

Fig. 1 Location of Tabamiao Area in Ordos Basin

## 2 断裂特征及成因

### 2.1 断层剖面反射特征

从高精度三维地震剖面可观察到同相轴的扭曲现象,太原组、山西组煤层产生的地震强反射同相轴T<sub>9b</sub>、T<sub>9c</sub>反射层扭曲更明显,断点较清晰,多为高角度的小断距逆断层,断距为20~60 m(10~30 ms),以断开奥陶系风化壳和太原组、山西组煤层等地震反射层波组为主,上覆反射层亦可见明显断点,多断穿侏罗系延安组地层(图2、3)。其中,T<sub>9f</sub>、T<sub>9d</sub>、

$T_{9c}$ 、 $T_{9b}$  为反射层编号。

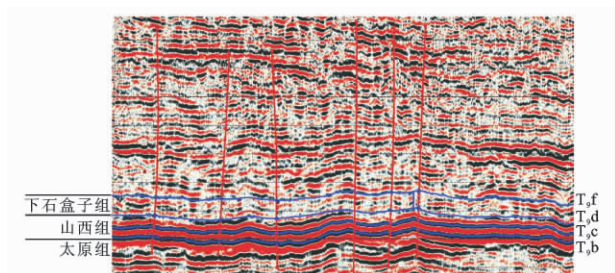


图 2 Crossline700 测线地震解释剖面

Fig. 2 Seismic Interpretation Section of Crossline700

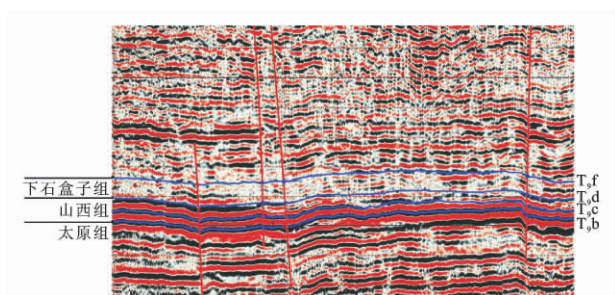


图 3 Crossline950 测线地震解释剖面

Fig. 3 Seismic Interpretation Section of Crossline950

## 2.2 断层地震属性特征

在塔巴庙地区叠后时间偏移纯波数据的山西组、太原组煤系地层均方根振幅地震属性平面图上,可观察到煤层发育的强反射区内存在清晰的、极细的线状弱反射带,西南区域主要呈北东—南西向,北部呈近东西向(图 4),这些线状异常无法用沉积现象解释,推测这些异常与断裂有关。

## 2.3 断层平面分布特征

在塔巴庙地区三维地震剖面分析解释的基础上,仔细追踪各剖面的断层,对比各个断裂带的断距、形态等特征,结合区域应力背景,进行了断点平面组合。塔巴庙地区西南区域主要发育 4 条北东向断层,并伴有几条次级断层,而在北部和东北部区域则发育 3 条近东西向断层(图 5)。其中  $F_1 \sim F_5$  这 5 条断层与煤系地层均方根振幅地震属性平面图所显示的线状异常吻合性较好(图 4)。有的断层未显示明显的地震属性异常,主要是因为煤层发生变化以及反射变弱、变杂乱的区域,断层的弱反射被混淆,地震属性特征变得模糊。

## 2.4 断层成因及形成期

塔巴庙地区的断层主要是基底断裂在燕山运动中、晚期重新活动造成上覆沉积盖层撕裂形成的。鄂尔多斯盆地早古生代—中三叠世为克拉通拗陷盆

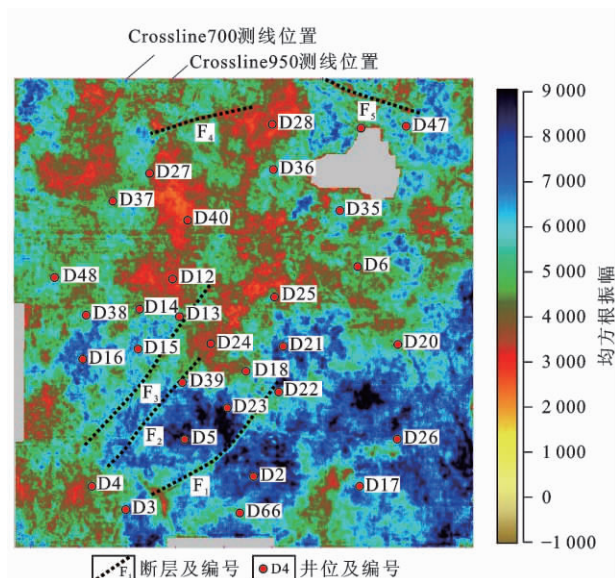


图 4  $T_{9c}$  反射层均方根振幅地震属性及断层分布

Fig. 4 Root Mean Square Amplitude Seismic Attributes and Fault Distribution of Reflecting Layer  $T_{9c}$

地,晚三叠世—白垩纪为扭动型的大型内陆拗陷盆地,新生代为扭张型周缘断陷盆地<sup>[19]</sup>。燕山期构造应力活跃,区域应力场作用在鄂尔多斯刚性地块上,除地块周缘构造变形强烈外,地块内部构造运动整体性强(以旋转与扭动作用为主)、构造活动分异小(基底和盖层构造变形微弱)。在旋转与扭动作用过程中,刚性强度不同的块体之间产生扭裂和走滑,使基底断裂重新活动,但并没有造成规模较大的断层落差以及盖层显著变形,有人称之为“隐性”活动<sup>[1-2]</sup>。从而在盆地内部造成了上古生界沿着风化壳和太原组、山西组煤系地层的滑动缩短,导致断开  $T_{9b}$ 、 $T_{9c}$ 、 $T_{9d}$  反射层的几组逆冲断裂和局部构造变形。喜马拉雅运动期间,盆地周缘受挤压和拉张,对盆地内部构造有一定改造作用,并使断裂构造最终定型<sup>[20]</sup>。鄂尔多斯盆地在晚侏罗世—早白垩世出现的异常高地温亦与北东向基底断裂活动密切相关<sup>[1]</sup>。

## 3 断层对天然气富集成藏的控制

在“低孔、低渗、低丰度、低产”的背景下,寻找高产层系及富集区是鄂尔多斯盆地上古生界天然气勘探亟待解决的关键问题。塔巴庙地区二叠系下石盒子组盒 1 段砂体厚度最大,横向分布稳定,且与下伏岩层紧密接触,含气显示普遍,在勘探前期一直被视为重点层位,但一直未取得好的勘探成果;盒 1 段上部的盒 2 段与盒 3 段砂体厚度最小、分布最



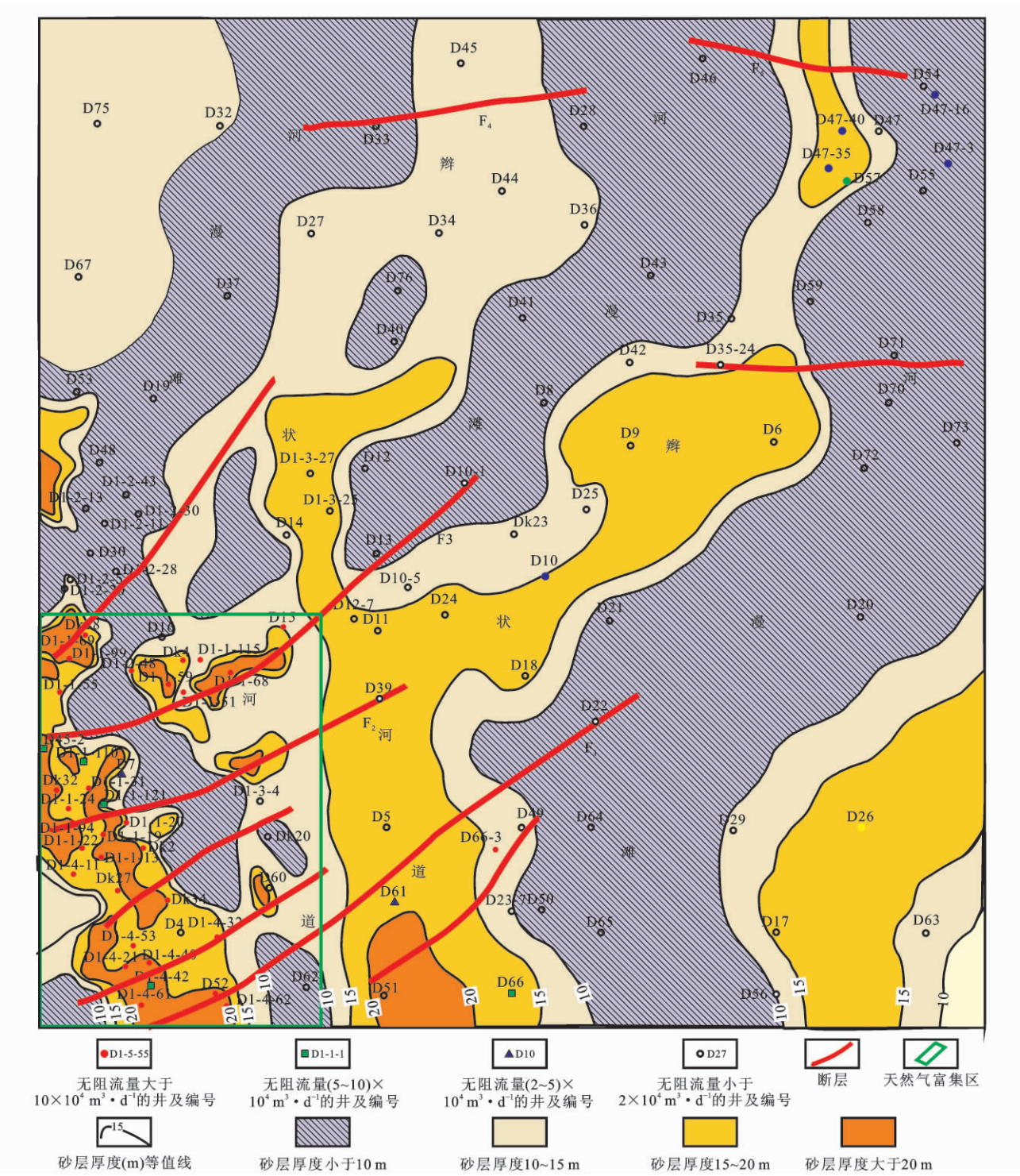


图 5 下石盒子组盒 3 段砂体、断裂与天然气富集区分布关系

Fig. 5 Relationship Among Sandstone Bodies, Faults and Gas Accumulation Areas in He3 Member of Lower Shihezi Formation

不稳定,曾被视为最差的气层,却取得了天然气勘探的重大突破,成为该区的主力气藏,目前已提交探明储量为  $586.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。统计表明,塔巴庙地区 88.24%的高产层分布于下石盒子组盒 2+3 段,其次为山西组山 1 段和太原组太 2 段,下石盒子组盒

1 段高产层则最少<sup>[21]</sup>。研究表明,断层对塔巴庙地区上古生界天然气高产层的分布有重要控制作用。

3.1 沟通气源和圈闭

塔巴庙地区气源岩主要为太原组、山西组的煤及暗色泥岩,其高产层段下石盒子组盒 3 段、盒 2 段



辫状河砂体与源岩的距离为 100~250 m, 烃源岩和储集层没有直接接触, 其间发育太原组、山西组、下石盒子组泥岩隔层。断层沟通了烃源岩和盒 2 段、盒 3 段的岩性圈闭, 且断裂形成期与烃源岩生排烃期在时间上有效匹配; 断层形成期主要是在燕山运动中、晚期, 太原组、山西组煤系烃源岩的生排烃高峰期为中侏罗世至早白垩世末期<sup>[22]</sup>, 从而使断层成为天然气垂向运移至盒 2 段、盒 3 段岩性圈闭的优势通道。

### 3.2 汇流及改善储层物性

对于鄂尔多斯盆地上古生界岩性气藏, 天然气多以近源成藏为主, 油气一般通过初次运移或短距离二次运移可直接成藏, 即使没有断层存在也可以成藏, 但断层的存在却对油气富集起到了垂向汇流的作用, 易形成高产气藏。塔巴庙地区下石盒子组盒 1 段砂体虽然与下伏源岩紧密接触, 气源充足, 易于成藏, 但由于盒 1 段辫状河道砂体非常发育, 造成其上泥岩较薄, 砂体成藏后其气藏顶部的盖层易被断层破坏, 天然气再次向上运移, 导致气藏气量和能量损失, 从而使得盒 1 段含气显示普遍, 但气藏产能低。对于盒 2 段、盒 3 段气藏, 一方面, 断层沟通了烃源岩和圈闭, 另一方面, 断层降低了太原组、山西组、盒 1 段局部盖层的有效性, 促使下伏天然气沿断裂通道向盒 2 段、盒 3 段汇流富集; 同时盒 2 段、盒 3 段上覆大面积稳定分布的上石盒子组—石千峰组区域泥岩盖层厚度大且发育超压, 高角度小断距断层不影响其连续性和封闭能力, 因此天然气沿断层垂向汇流运移至盒 3 段顶界即被封盖, 从而形成了塔巴庙地区盒 2 段、盒 3 段的主力高产层段和富集区。

断层可为其附近的储层增孔作出贡献。断层及其派生的密集裂缝系统既是天然气垂向运移的重要通道, 同时也为有机酸的运移溶蚀提供了通道, 有效改善了邻近低渗砂体储层的孔渗性能, 从而控制了天然气富集高产的“甜点”区带的分布。

由塔巴庙地区盒 3 段砂体、断裂与天然气富集区分布关系可以看出, 断裂和面积相对高孔渗砂体的叠合区域是天然气富集区。高产气井分布不仅仅受控于有利的储集相, 还受控于断层, 高产气井多位于断层发育区。如塔巴庙地区西南区域为高产井集中分布的区域 (如 D1-1、D1-4、DK13、DK27、DK34 等井区), 同时北东向的断裂很发育, 而中部和东部也发育厚层的辫状主河道砂体, 但断层不发育, 高产气流井少 (图 5)。另外, 塔巴庙地区北部和

东北部发育的近东西向断层附近也分布一些高产井, 如 D28 井的盒 2 段、D57 井的盒 3 段及太 2 段、D47 井区及 D35 井区的太 2 段、D70 井区的太 1 段。

## 4 成藏模式

结合区域沉积、构造特征以及前人的研究成果<sup>[15-18, 21-34]</sup>, 建立塔巴庙地区层状复式天然气成藏模式 (图 6)。

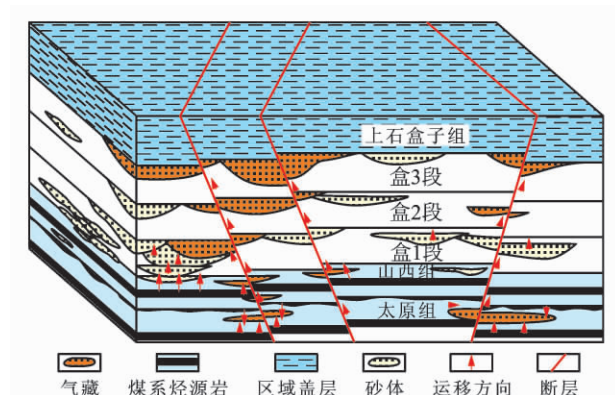


图 6 天然气成藏模式

Fig. 6 Accumulation Model of Gas

### 4.1 太原组—山西组自生自储源内成藏模式

太原组、山西组煤系烃源岩生成的天然气就近、择优充注到与其紧密接触的太原组局限海岸环境的障壁砂坝砂体和山西组三角洲平原分流河道砂体中, 在其物性好的部位富集成藏, 直接盖层和侧向的遮挡层为太原组、山西组自身发育的泥岩。由于源储之间的空间距离近、气源充足、排烃压力大, 只需经过初次运移就可聚集成藏。气层的分布主要受沉积相带的控制, 与断裂关系不大。

### 4.2 下石盒子组下生上储源上成藏模式

下石盒子组盒 2 段、盒 3 段砂体与源岩距离 100~250 m, 而且下石盒子组辫状河道砂岩沉积从下到上由盒 1 段至盒 3 段砂岩逐渐减少, 泥岩增加, 砂层的叠置程度变低, 因此只在盒 1 段、盒 2 段、盒 3 段 3 期砂体叠置连通性较好的局部区域才有天然气靠叠置砂体运移到达盒 2 段、盒 3 段储层中, 更重要的是通过断层优势通道的垂向输导进行。上覆区域盖层使天然气沿断层垂向汇流运移至盒 3 段顶界即被封盖, 形成了盒 2 段、盒 3 段的高产气藏。断裂和相对高孔渗砂体的叠合区域是天然气的有利富集区。

## 5 结 语

(1) 通过高精度三维地震资料的精细解释及山

西组、太原组煤系地层均方根振幅地震属性分析,在塔巴庙地区西南区域识别出4条北东向断层,北部和东北部区域识别出3条近东西向断层。断层多为高角度的小断距断层,断距20~60 m。这些断层是基底断裂在燕山运动中、晚期重新活动造成上覆沉积盖层撕裂形成的。

(2)断层沟通了太原组、山西组煤系烃源岩和下石盒子组盒2段、盒3段岩性圈闭,而且断层活动期与烃源岩生排烃高峰期良好匹配,既促使下伏天然气向盒2段、盒3段垂向汇流运移,同时又为有机酸的运移溶蚀提供通道,有效改善了邻近低渗砂体储层的孔渗性能,控制了塔巴庙地区盒2段、盒3段天然气运聚成藏和富集高产。

(3)塔巴庙地区太原组—山西组自生自储源内成藏模式强调其高产气层分布主要受有利储集相带控制;而下石盒子组下生上储源上成藏模式认为在寻找盒2段、盒3段勘探靶区时不应仅重视砂体储层特征研究,还应重视断裂汇流通道,因为断裂和相对高孔渗砂体的叠合区域是天然气的有利富集区。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.  
ZHAO Wen-zhi, HU Su-yun, WANG Ze-cheng, et al. Key Role of Basement Fault Control on Oil Accumulation of Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(5): 1-5.
- [2] 汪泽成,赵文智,门相勇,等.基底断裂“隐性活动”对鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏的作用[J].石油勘探与开发,2005,32(1):9-13.  
WANG Ze-cheng, ZHAO Wen-zhi, MEN Xiang-yong, et al. Control of Basement Fault Minor-activity on Gas Pool Formation of Upper Paleozoic, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1): 9-13.
- [3] 潘爱芳,赫英,徐宝亮,等.鄂尔多斯盆地基底断裂地球化学特征研究[J].西北大学学报:自然科学版,2005,35(4):440-444.  
PAN Ai-fang, HE Ying, XU Bao-liang, et al. A Study on Geochemistry Feature of Basement Fractures in Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2005, 35(4): 440-444.
- [4] 赵希刚.鄂尔多斯盆地不同沉积地层中的断裂构造特征识别[J].中国核科技报告,2006(1):191-199.  
ZHAO Xi-gang. Signature Recognition for Rift Structures of Different Sediment Strata in Ordos Basin[J]. China Nuclear Science and Technology Report, 2006(1): 191-199.
- [5] 王胜利,许化政.鄂尔多斯盆地上古生界流体压力分布与成因[J].石油实验地质,2010,32(6):536-540.  
WANG Sheng-li, XU Hua-zheng. Pressure Distribution and Genesis of Fluid in the Upper Paleozoic of the Ordos Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2010, 32(6): 536-540.
- [6] 李浩,黄薇,何剑,等.鄂尔多斯盆地宜川—富县地区古生界天然气勘探潜力分析[J].西安石油大学学报:自然科学版,2011,26(2):39-42.  
LI Hao, HUANG Wei, HE Jian, et al. Analysis of the Natural Gas Exploration Potential of the Paleozoic Erathem in Yichuan-Fuxian Area, Ordos Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2011, 26(2): 39-42.
- [7] 陈安清,陈洪德,林良彪,等.鄂尔多斯盆地上古生界东、西部岩性-地层气藏的差异性[J].成都理工大学学报:自然科学版,2010,37(2):120-126.  
CHEN An-qing, CHEN Hong-de, LIN Liang-biao, et al. Difference of the Upper Paleozoic Lithostratigraphic Gas Reservoirs in Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2010, 37(2): 120-126.
- [8] 胡朝元,钱凯,王秀芹,等.鄂尔多斯盆地上古生界多藏大气田形成的关键因素及气藏性质的嬗变[J].石油学报,2010,31(6):879-884.  
HU Chao-yuan, QIAN Kai, WANG Xiu-qin, et al. Critical Factors for the Formation of an Upper Paleozoic Giant Gas Field with Multiple Gas Reservoirs in Ordos Basin and the Transmutation of Gas Reservoir Properties[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6): 879-884.
- [9] 罗静兰,魏新善,姚泾利,等.物源与沉积相对鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气优质储层的控制[J].地质通报,2010,29(6):811-820.  
LUO Jing-lan, WEI Xin-shan, YAO Jing-li, et al. Provenance and Depositional Facies Controlling on the Upper Paleozoic Excellent Natural Gas-reservoir in Northern Ordos Basin, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(6): 811-820.
- [10] 赵靖舟,王力,孙兵华,等.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[J].天然气地球科学,2010,21(6):875-881.  
ZHAO Jing-zhou, WANG Li, SUN Bing-hua, et al.

- Effect of Structural Evolution on the Formation and Distribution of Upper Paleozoic Giant Gas Fields in the East Ordos Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(6): 875-881.
- [11] 朱春俊, 王延斌. 鄂尔多斯盆地东北部上古生界煤系地层成煤特征分析[J]. *西安科技大学学报*, 2010, 30(6): 687-692.
- ZHU Chun-jun, WANG Yan-bin. Characteristic Analysis of Coal Forming in the Coal-bearing Formation of Paleozoic in the Northeast of Ordos Basin[J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2010, 30(6): 687-692.
- [12] 邱领军. 鄂尔多斯盆地储集层物性断裂对超低渗油气藏的控制作用[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(6): 667-670.
- DI Ling-jun. Controlling of Petrophysical Fractures on Extra-low Permeability Oil and Gas Reservoirs in Ordos Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(6): 667-670.
- [13] 张 进, 张庆龙, 任文军, 等. 断层相关褶皱——鄂尔多斯盆地中的新构造样式[J]. *石油实验地质*, 1999, 21(1): 61-65.
- ZHANG Jin, ZHANG Qing-long, REN Wen-jun, et al. Fault-related Fold—The Structural Style in the Ordos Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 1999, 21(1): 61-65.
- [14] 张君峰, 兰朝利. 鄂尔多斯盆地榆林—神木地区上古生界裂缝和断层分布及其对天然气富集区的影响[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(2): 172-177.
- ZHANG Jun-feng, LAN Chao-li. Fractures and Faults Distribution and Its Effect on Gas Enrichment Areas in Ordos Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(2): 172-177.
- [15] 邢振辉, 程林松, 周新桂, 等. 鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区上古生界致密砂岩气藏天然裂缝形成机理浅析[J]. *地质力学学报*, 2005, 11(1): 33-42.
- XING Zhen-hui, CHENG Lin-song, ZHOU Xin-gui, et al. Mechanism of Natural Fracture Formation in the Upper Paleozoic Tight Sand Gas Reservoirs in the Tabamiao Area, North Ordos Basin[J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11(1): 33-42.
- [16] 周新桂, 张林炎. 塔巴庙气田上古生界致密储层裂缝系统基本特征及其在天然气成藏中的作用[J]. *地球学报*, 2006, 27(4): 323-328.
- ZHOU Xin-gui, ZHANG Lin-yan. Basic Characteristics of Natural Fracture Systems in the Upper Paleozoic Tight Sand Reservoirs in Tabamiao Area, North Ordos Basin and Its Role in the Process of Gas Reservoir Formation[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2006, 27(4): 323-328.
- [17] 张先平, 张树林, 叶加仁. 鄂尔多斯塔巴庙地区上古生界天然气成藏机理分析[J]. *石油天然气学报*, 2006, 28(5): 1-6.
- ZHANG Xian-ping, ZHANG Shu-lin, YE Jia-ren. Analysis on Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Upper Paleozoic Gas in Tabamiao Area of Ordos Basin[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006, 28(5): 1-6.
- [18] 谭梦琦, 董昭雄, 刘忠群, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界煤成气及其砂岩气藏成藏模式[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2010, 25(5): 33-36.
- TAN Meng-qi, DONG Zhao-xiong, LIU Zhong-qun, et al. Coal-formed Gas of Upper Paleozoic in the North of Ordos Basin and Its Pool Forming Modes[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2010, 25(5): 33-36.
- [19] 张福礼. 鄂尔多斯盆地早古生代复合的古构造体系与天然气[J]. *地质力学学报*, 2002, 8(3): 193-200.
- ZHANG Fu-li. Compound Ancient Tectonic System and Natural Gas of Early Paleozoic in Ordos Basin[J]. *Journal of Geomechanics*, 2002, 8(3): 193-200.
- [20] 姚宗惠, 张明山, 曾令邦, 等. 鄂尔多斯盆地北部断裂分析[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(2): 20-23.
- YAO Zong-hui, ZHANG Ming-shan, ZENG Ling-bang, et al. Analysis of the Faults in the Northern Ordos Basin, Northwest China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(2): 20-23.
- [21] 袁志祥, 陈洪德, 陈英毅. 鄂尔多斯盆地塔巴庙地区上古生界天然气富集高产特征[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2005, 32(6): 604-608.
- YUAN Zhi-xiang, CHEN Hong-de, CHEN Ying-yi. Characteristics of Gas Accumulation with High Productivity of Upper Paleozoic in the Tabamiao Area, Ordos Basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition*, 2005, 32(6): 604-608.
- [22] 郭振华, 陈红汉, 赵彦超, 等. 利用储层流体包裹体确定鄂尔多斯盆地塔巴庙区块上古生界油气充注期次和时期[J]. *现代地质*, 2007, 21(4): 712-718.
- GUO Zhen-hua, CHEN Hong-han, ZHAO Yan-chao, et al. Using Fluid Inclusions of Reservoir to Determine Hydrocarbon Charging Orders and Times in the Upper Paleozoic in Tabamiao Block, Ordos Basin[J]. *Geoscience*, 2007, 21(4): 712-718.
- [23] 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.
- HAO Shu-min, HUI Kuan-yang, LI Liang. Reservoir-ring Features of Daniudi Low-permeability Gas Field in Ordos Basin and Its Exploration and Development Technologies[J]. Oil and Gas Geology, 2006, 27(6): 762-768.
- [24] 罗东明,陈舒薇,张广权. 大牛地气田上古生界沉积相与天然气富集规律的再认识[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(3): 368-374.
- LUO Dong-ming, CHEN Shu-wei, Zhang Guang-quan. New Understandings of the Upper Paleozoic Sedimentary Facies and Gas Accumulation Patterns in Daniudi Gas Field[J]. Oil and Gas Geology, 2011, 32(3): 368-374.
- [25] 李荣西,段立志,张少妮,等. 鄂尔多斯盆地低渗透油气藏形成研究现状与展望[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4): 364-372.
- LI Rong-xi, DUAN Li-zhi, ZHANG Shao-ni, et al. Review on Oil/Gas Accumulation with Low Permeability in Ordos Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(4): 364-372.
- [26] 任来义,杨超,刘宝平,等. 鄂尔多斯东部上古生界物源及山西组构造背景[J]. 西南石油大学学报:自然科学版, 2011, 33(5): 49-53.
- REN Lai-yi, YANG Chao, LIU Bao-ping, et al. Provenance and Tectonic Settings of the Shanxi Formation in Eastern Ordos Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology Edition, 2011, 33(5): 49-53.
- [27] 薛会,张金川,徐波,等. 鄂尔多斯北部杭锦旗探区上古生界烃源岩评价[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2010, 37(1): 21-28.
- XUE Hui, ZHANG Jin-chuan, XU Bo, et al. Evaluation of Upper Paleozoic Source Rocks of the Hangjinqi Block in the Northern Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2010, 37(1): 21-28.
- [28] 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 Yong-gui, LIU Zhen-feng. Reservoir Modeling of Tight Gas Sands in the Upper Palaeozoic of the Northern Ordos Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2011, 32(4): 560-567.
- [29] 王明健,何登发,包洪平,等. 鄂尔多斯盆地伊盟隆起上古生界天然气成藏条件[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1): 30-39.
- WANG Ming-jian, HE Deng-fa, BAO Hong-ping, et al. Upper Palaeozoic Gas Accumulations of the Yimeng Uplift, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 30-39.
- [30] 黄思静,梁瑞,黄可可,等. 鄂尔多斯盆地上古生界碎屑岩储层中的鞍形白云石胶结物及其对储层的影响[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2010, 37(4): 366-376.
- HUANG Si-jing, LIANG Rui, HUANG Ke-ke, et al. Saddle Dolomite Cements in Upper Paleozoic Clastic Reservoir Rocks from Ordos Basin and Their Effect on Reservoir Properties[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2010, 37(4): 366-376.
- [31] 武文慧,黄思静,陈洪德,等. 鄂尔多斯盆地上古生界碎屑岩硅质胶结物形成机制及其对储集层的影响[J]. 古地理学报, 2011, 13(2): 193-200.
- WU Wen-hui, HUANG Si-jing, CHEN Hong-de, et al. Origin of Siliceous Cement in the Upper Paleozoic Clastic Rocks in Ordos Basin and Its Effects on Reservoir Quality [J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(2): 193-200.
- [32] 付锁堂,石小虎,南珺祥. 鄂尔多斯盆地东北部上古生界太原组及下石盒子组碎屑岩储集层特征[J]. 古地理学报, 2010, 12(5): 609-617.
- FU Suo-tang, SHI Xiao-hu, NAN Jun-xiang. Characteristics of Clastic Reservoir of the Upper Paleozoic Taiyuan and Xiashihezi Formations in Northeastern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2010, 12(5): 609-617.
- [33] 赵忠英,柳广弟,孙明亮,等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气藏类型辨析[J]. 现代地质, 2010, 24(4): 703-708.
- ZHAO Zhong-ying, LIU Guang-di, SUN Ming-liang, et al. Discussion on Types of Upper Paleozoic Gas Reservoirs in Ordos Basin [J]. Geoscience, 2010, 24(4): 703-708.
- [34] 闫建萍,刘池洋,张卫刚,等. 鄂尔多斯盆地南部上古生界低孔低渗砂岩储层成岩作用特征研究[J]. 地质学报, 2010, 84(2): 272-279.
- YAN Jian-ping, LIU Chi-yang, ZHANG Wei-gang, et al. Diagenetic Characteristics of the Lower Porosity and Permeability Sandstones of the Upper Paleozoic in the South of Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(2): 272-279.