

# 鄂尔多斯盆地古隆起东侧奥陶系马家沟组 中组合成藏地质条件

时保宏<sup>1</sup>,刘亚楠<sup>1</sup>,武春英<sup>2</sup>,黄正良<sup>2</sup>,任军峰<sup>2</sup>

(1. 西安石油大学 地球科学与工程学院,陕西 西安 710065; 2. 中国石油 长庆油田分公司 勘探开发研究院,陕西 西安 710018)

**摘要:**鄂尔多斯盆地古隆起东侧奥陶系马家沟组中组合发育白云岩储层,其特征明显有别于靖边气田奥陶系顶部风化壳储层。通过储层岩性分析、流体包裹体测试分析,结合钻井、地球化学、试油等相关资料,从烃源、储层、沉积等方面对鄂尔多斯盆地古隆起东侧马家沟组中组合成藏地质条件进行了系统分析。结果表明,古隆起东侧马家沟组中组合马<sup>5</sup><sub>1</sub>、马<sup>5</sup><sub>2</sub>和马<sup>5</sup><sub>3</sub>亚期处于次一级海侵沉积背景,水动力条件强,滩相沉积发育,在隆起周边形成自形程度高的粗粉晶-细晶结构的晶粒状白云岩储层,具有晶粒均一、连通性好且发育白云石晶间孔等特征;受加里东末期构造抬升运动影响,古隆起东侧奥陶系顶部剥露为中组合地层,与上覆上古生界煤系烃源岩直接接触,形成了良好的源、储配置关系;受上倾方向岩相变化控制,在空间上中组合滩相白云岩逐渐相变为泥晶灰岩,形成分布不连续、局部富集的岩性圈闭。

**关键词:**成藏条件;中组合;马家沟组;奥陶系;古隆起;鄂尔多斯盆地

**中图分类号:**TE122.3 **文献标识码:**A

## Geological conditions for hydrocarbon accumulation in middle reservoir-source rock combination of the Ordovician Majiagou Formation on the east side of the paleo-uplift in Ordos Basin

Shi Baohong<sup>1</sup>, Liu Yanan<sup>1</sup>, Wu Chunying<sup>2</sup>, Huang Zhengliang<sup>2</sup>, Ren Junfeng<sup>2</sup>

(1. School of Earth Science and Engineering, Xi'an, Shiyou University, Xi'an Shaanxi 710065, China;

2. Exploration and Development Research Institute of PetroChina, Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China)

**Abstract:** The dolomite reservoirs in middle reservoir-source rock combination of the Ordovician Majiagou Formation on the east side of paleo-uplift in Ordos Basin are obviously different from the weathering crust reservoirs at the top of the Ordovician in Jinbian gas field. A systematic study had been carried out on the geological conditions for hydrocarbon accumulation in these dolomite reservoirs in respect of source rocks, reservoirs, sedimentation based on results of reservoir lithology characterization and fluid inclusion testing as well as analysis of drilling data, geochemical and testing data. The results show that the middle reservoir-source rock combination of the Formation experienced strong hydrodynamics against a brief regression sedimentary settings. Beach facies were well developed and formed dolomite reservoirs. The dolomite features in highly automorphic coarse powder and fine-crystal texture, uniform grains, excellent connectivity and well-developed intercrystal pores. Affected by tectonic uplifting during the late Caledonian, the top Ordovician at eastern side of the paleo-uplift were denuded and came into contact with coal-measure source rocks, providing favorable source-reservoir combination. Controlled by lithofacies transformation at updip direction, the dolomites of beach facies in the middle reservoir-source rock combination of the Formation change gradually into micrite, forming discontinuous lithological traps.

**Key words:** reservoiring condition, middle reservoir-source rock combination, Majiagou Formation, Ordovician, paleo-uplift, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地是我国下古生界碳酸盐岩主要分布区之一,碳酸盐岩沉积厚度大,分布范围广。长期以来,鄂尔多斯盆地地下古生界碳酸盐岩勘探主要围绕奥

陶系顶部岩溶风化壳储层开展工作,发现了以奥陶系马家沟组马<sup>5</sup><sub>1</sub>、马<sup>5</sup><sub>2</sub>及马<sup>5</sup><sub>4</sub>碳酸盐岩岩溶风化壳为储层的靖边大气田<sup>[1-3]</sup>,并认为古隆起东侧(靖边气田

收稿日期:2013-03-24;修订日期:2013-08-15。

第一作者简介:时保宏(1971—),男,博士,副教授,油气成藏地质学及天然气地球化学。E-mail: bh.sh@163.com。

基金项目:陕西省教育厅项目(11JK0735)。

西侧)缺失马<sup>5</sup><sub>1</sub>、马<sup>5</sup><sub>2</sub>和马<sup>5</sup><sub>4</sub>储集层地层,不具风化壳成藏条件,无勘探潜力。但自2009年开始,在古隆起东侧(靖边气田西侧)相继发现了一批储层类型有别于靖边气田的探井,为盆地下古生界天然气的勘探提供了新领域、新层系。为此,笔者从盆地古隆起东侧奥陶系马家沟组中组合烃源岩、沉积类型、储层特征等成藏地质条件开展研究,以期对盆地下古生界天然气勘探提供一定的地质依据。

## 1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北板块西部,具有太古宇及元古宇变质结晶基底,上覆中、新元古界、古生界、中生界及新生界沉积<sup>[4-9]</sup>。早古生代中、晚期,由于古秦岭洋板块向华北板块的俯冲,致使在古华北板块靠近西南缘一侧产生局部的地形隆起,继而形成横亘在盆地西南部呈“L”型分布的隆起带,即所谓的中央古隆起<sup>[10-12]</sup>;至中奥陶世,中央古隆起逐渐进入鼎盛时期。由于古隆起的分隔作用,其东、西两侧分属不同海域,表现为两个不同的沉积体。古隆起西侧,属祁连海域,发育较全的奥陶纪地层,主要为碳酸盐岩台地和深水碳酸盐岩台地斜坡相沉积。而古隆起东侧,属华北海域,普遍缺失中、上奥陶统沉积,发育下奥陶统冶里组、亮甲山组和马家沟组,主要为浅水碳酸盐岩台地相沉积。受加里东构造运动的影响,盆地古隆起东侧大部分地区奥陶系马家沟组地层缺失马<sup>6</sup>段灰岩,顶部均发育盆地碳酸盐岩天然气主要聚集的层段——马<sup>5</sup>段白云岩。根据地层旋回、岩性、电性组合等特征,马<sup>5</sup>段从上而下细分为10个亚段(马<sup>5</sup><sub>1</sub>—马<sup>5</sup><sub>10</sub>)。按照储层类型及成藏特征,前人将奥陶系马家沟组储集体划分为3个含气组合<sup>[13]</sup>:马<sup>5</sup><sub>1</sub>—马<sup>5</sup><sub>4</sub>为上组合;马<sup>5</sup><sub>5</sub>—马<sup>5</sup><sub>10</sub>为中组合,马<sup>4</sup>段以下为下组合。上组合储层岩性主要为纹层状泥粉晶白云岩,孔隙类型以溶蚀孔洞为主,是靖边气田的主力产气层段;下组合为厚层细—中晶白云岩,晶间孔及溶孔极为发育,储集性能优越,但由于该组合缺乏有效的圈闭,地层中普遍含水;中组合(马<sup>5</sup><sub>5</sub>—马<sup>5</sup><sub>10</sub>)储层主要为古隆起东侧的白云岩体,其中马<sup>5</sup><sub>5</sub>为主要储集层段。

## 2 成藏地质条件

### 2.1 烃源岩条件

前人研究认为<sup>[14-15]</sup>,鄂尔多斯盆地发育上古生界煤系和下古生界海相碳酸盐岩两套烃源岩,气源供给充分。其中上古生界煤系烃源岩主要由石炭系—二叠系山西组、太原组和本溪组的煤层和暗色泥岩构成。

煤层残余有机碳含量为70.8%~83.2%,氯仿沥青“A”含量为0.61%~0.80%,总烃含量为 $1\,757.1 \times 10^{-6} \sim 2\,539.8 \times 10^{-6}$ ;暗色泥岩残余有机碳含量为2.0%~3.0%,氯仿沥青“A”含量为0.037%~0.120%,总烃含量为 $163.76 \times 10^{-6} \sim 361.60 \times 10^{-6}$ 。生烃中心,烃源岩生气强度一般为 $20 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。因此,其有机质丰度较高,生烃强度大,是下古生界碳酸盐岩气藏的主要气源,为下古生界气藏的形成和富集提供了充足的气源。

海退旋回地层中膏盐岩发育,膏盐洼地为缺氧的强还原环境,利于形成有机质丰度较高的烃源岩层。因此下古生界海相烃源岩主要发育在处于海退环境的马<sup>5</sup><sub>6</sub>、马<sup>5</sup><sub>8</sub>及马<sup>5</sup><sub>10</sub>地层。其岩性主要为泥质碳酸盐岩。残余有机碳含量一般为0.30%~0.98%,最高可达1.83%。

前人研究<sup>[3,13]</sup>认为古隆起东侧中组合下段(马<sup>5</sup><sub>6</sub>—马<sup>5</sup><sub>10</sub>)气藏的气源与中组合马<sup>5</sup><sub>5</sub>相似,均为来自于上古生界的煤系源岩。此次笔者通过对盆地东部海相气典型井、古隆起东侧中组合及上组合风化壳储层样品做油气包裹体激光拉曼光谱、天然气甲烷碳同位素等分析,采取对比分析的方法,证实了古隆起东侧奥陶系中组合下段的气源为混源气。

利用盆地东部海相气典型井、上组合及中组合天然气单井的同位素资料在天然气判识图版<sup>[16]</sup>进行投点,发现中组合马<sup>5</sup><sub>5</sub>与上组合的井都投在煤型气的范围内,而中组合下段(马<sup>5</sup><sub>6</sub>—马<sup>5</sup><sub>10</sub>)的井则分布在混源气的范围内(图1);另对盆地上古生界天然气井的150个气样及盆地东部典型海相气的5个气样的甲烷碳同位素测试结果进行统计,结果表明上古生界煤型气甲烷碳同位素均值为-32.90‰,下古生界海相气甲烷碳同位素均值为-39.09‰。而古隆起东侧中组合下段的天然气甲烷碳同位素值在-37.03‰~34.35‰,平均-35.52‰,基本处于上古生界煤型气与下古生界海相气二者之间,佐证了中组合下段气源为混源气。

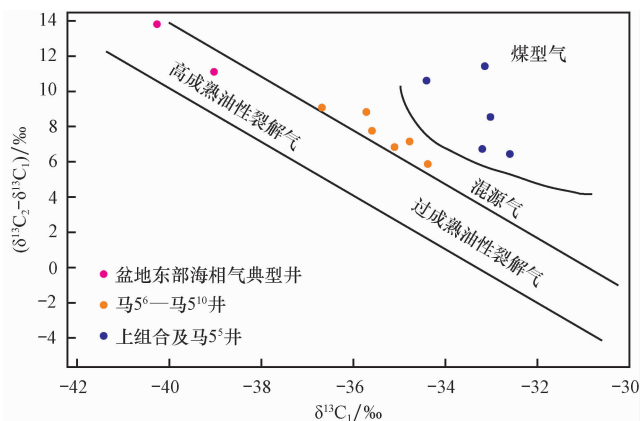


图1 鄂尔多斯盆地天然气类型判别

Fig. 1 Gas type identification in the Ordos Basin

表 1 鄂尔多斯盆地古隆起奥陶系上组合和中组合包裹体激光拉曼气相组分数据对比

Table 1 Comparison of gas phase component data by using the Laser Raman method upon inclusions from the upper and middle reservoir-source rock combinations of the Ordovician in the Paleo-uplift of Ordos Basin

| 含气组合 | 井号  | 层位                  | 深度/m      | 包裹体气相组分含量/%     |                 |                  |                |                |
|------|-----|---------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|
|      |     |                     |           | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | N <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> |
| 上组合  | T51 | 马 5 <sup>1(3)</sup> | 3 429. 91 | 100. 0          |                 |                  |                |                |
|      | T45 | 马 5 <sup>1(4)</sup> | 3 584. 47 | 100. 0          |                 |                  |                |                |
|      | T17 | 马 5 <sup>2</sup>    | 3 668. 65 | 100. 0          |                 |                  |                |                |
| 中组合  | T8  | 马 5 <sup>6</sup>    | 3 548. 99 | 85. 3           |                 |                  |                | 14. 7          |
|      | T8  | 马 5 <sup>6</sup>    | 3 597. 87 | 72. 2           | 19. 8           | 4. 9             |                | 3. 0           |
|      | T17 | 马 5 <sup>6</sup>    | 3 697. 22 | 74. 4           | 15. 5           | 7. 6             |                | 2. 6           |
|      | T17 | 马 5 <sup>6</sup>    | 3 745. 10 | 63. 5           |                 | 36. 5            |                |                |
|      | T38 | 马 5 <sup>7</sup>    | 3 630. 20 | 46. 9           | 16. 9           | 36. 2            |                |                |
|      | L19 | 马 5 <sup>7</sup>    | 4 153. 87 | 100. 0          |                 |                  |                |                |
|      | L30 | 马 5 <sup>6</sup>    | 3 969. 92 | 71. 8           | 8. 8            |                  | 1. 2           | 18. 1          |
|      | T47 | 马 5 <sup>6</sup>    | 3 088. 46 | 64. 3           |                 |                  | 26. 5          | 9. 2           |

另据包裹体激光拉曼分析结果,上组合包裹体气相组分以甲烷为主,极少含非烃类气体;而中组合下段包裹体气相组分中除甲烷外,非烃类气体也占有一定比例(表 1),反映中组合下段烃类来源有别于上组合的煤型气。结合上述碳同位素资料综合判识,认为古隆起东侧马家沟组中组合马 5<sup>5</sup> 气源为上古生界的煤型气,中组合下段(马 5<sup>6</sup>—马 5<sup>10</sup>)的气源中不但有上古生界的煤型气,还混有下古生界海相气,为混源气。

另据公式,  $-39.09\% \times X - 32.90\% \times (1 - X) = -35.52\%$  ( $X$  为下古生界海相烃源岩所占比例,%)<sup>[15]</sup>,粗略计算得下古生界海相烃源岩对中组合下段天然气的贡献约为 42.3%,表明古隆起东侧中组合下段烃源岩仍以上古生界煤系烃源岩为主,下古生界海相烃源岩对其有一定的贡献。

## 2.2 沉积条件

早奥陶世,古隆起东侧马家沟组经历了 3 次海侵和海退旋回,具有明显的旋回性沉积特征。其中马 1 段、马 3 段和马 5 段发育以石盐岩为主夹硬石膏岩、白云岩的蒸发盐湖相沉积为特征,而马 2 段、马 4 段和马 6 段岩性主要为泥晶灰岩。其中马 6 段由于后期的剥蚀作用而在盆地中东部地区大面积缺失。马 5 期处于海退期,是盆地一次重要的膏盐岩发育期。沉积演化表明<sup>[10]</sup>,中组合马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>8</sup> 和马 5<sup>10</sup> 亚期处于次一级海退期,沉积物以蒸发岩沉积为主(马 5<sup>6</sup> 最为典型),与此相反,马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 亚期则处于次一级海侵期,发育夹在蒸发岩层序中海侵沉积—碳酸盐岩沉积(马 5<sup>5</sup> 最为典型)(图 2)。

研究发现,马家沟期沉积相带主要受控于盆地东部洼陷,具有环带状分布特点。沉积相东、西分异比较明显,南、北差别不显著。由于中组合海侵期各小层及

海退期各小层微相发育特征、展布规律相似,因此以海侵最为代表的马 5<sup>5</sup> 期及马 5<sup>6</sup> 期为例,说明海侵期及海退期沉积相带在平面上的分布特征。

海侵期:马 5<sup>5</sup> 亚段为夹在蒸发岩层序中的短期海侵沉积,平面上马 5<sup>5</sup> 亚段沉积相带自西向东发育东部环陆云坪、靖西台坪、靖边缓坡、洼地 4 种碳酸盐岩台地型环境(图 3)。靠近中央古隆起的环陆云坪,主要处于潮上带,沉积物以含泥白云岩为主,在加里东期多被剥蚀;古隆起东侧(靖边气田西侧)马 5<sup>5</sup> 亚段主要发育靖西台坪沉积相带。其总体处于潮上和潮间交替发育带。

海退期:以马 5<sup>6</sup> 为代表的海退期沉积相带表现为围绕盆地东部盐岩盆地呈环状分布模式,从湖盆中心向周边地区依次为盐岩盆地、盆缘膏云斜坡、含膏云质缓坡及靖西台坪,岩性由以膏盐岩为主过渡为以云岩为主。海退期受蒸发旋回的控制,云坪相带沉积明显不同于海侵期的台坪相带,纵向上多具韵律性的纹层状泥粉晶白云岩与泥质白云岩、白云质泥岩频繁互层。储层主要发育在古隆起东侧靖西台坪及含膏相带。靖西台坪水动力强,利于形成滩相晶间孔型白云岩储层(图 3)。

## 2.3 储集条件

马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 虽同为夹在蒸发岩层序中的短期海侵沉积,但由于古隆起东侧地区沉积环境依然存在着微小差异。从古隆起东侧马家沟中组合地层及岩性对比剖面来看(图 4),古隆起东侧马 5<sup>5</sup> 地形较平,而马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 台地内还存在着局部洼陷区,这种差异势必引起白云岩化机理的不同。

马 5<sup>5</sup> 亚期,古隆起东侧地形较平,水动力条件强,发育颗粒滩沉积。由于其后沉积的马 5<sup>4</sup> 期古隆起处

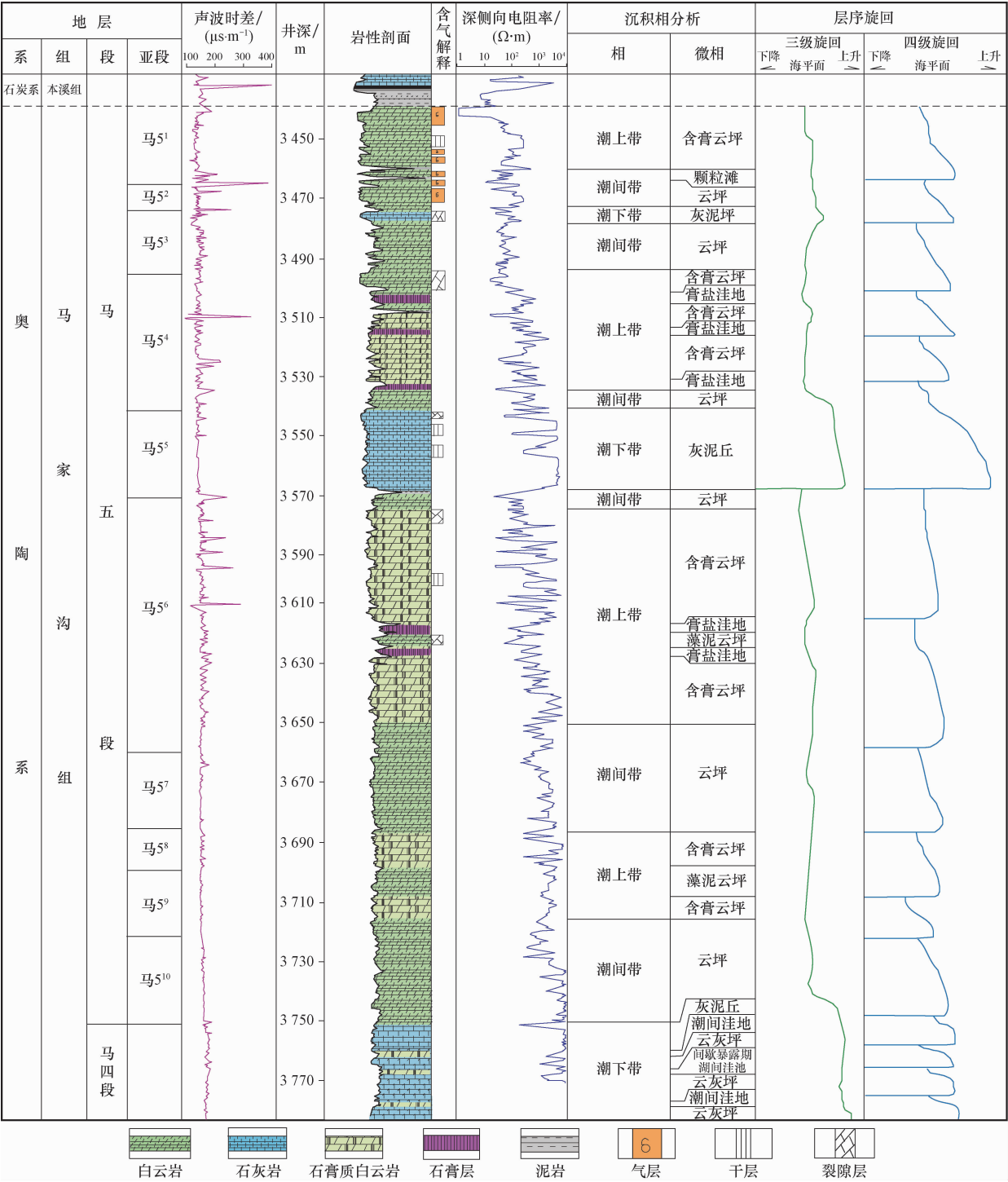


图2 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组地层综合柱状图

Fig.2 Stratigraphic column of the Ordovician Majiagou Formation in the Ordos Basin

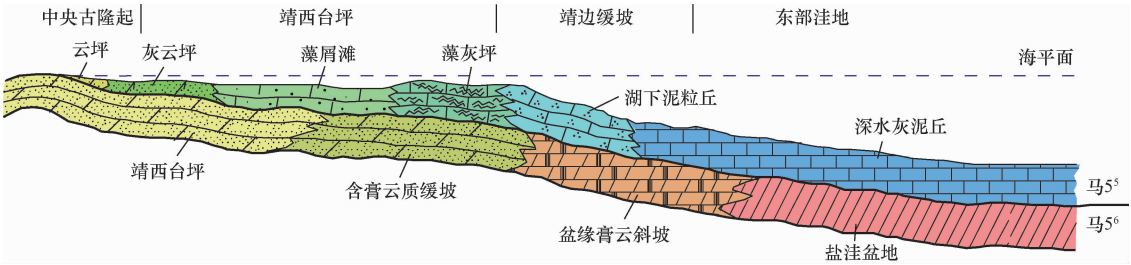


图3 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组马5<sup>5</sup>和Ma5<sup>6</sup>段沉积相分布模式

Fig.3 Sedimentary model of the Ma5<sup>5</sup> and Ma5<sup>6</sup> in the Ordovician Majiagou Formation of Ordos Basin

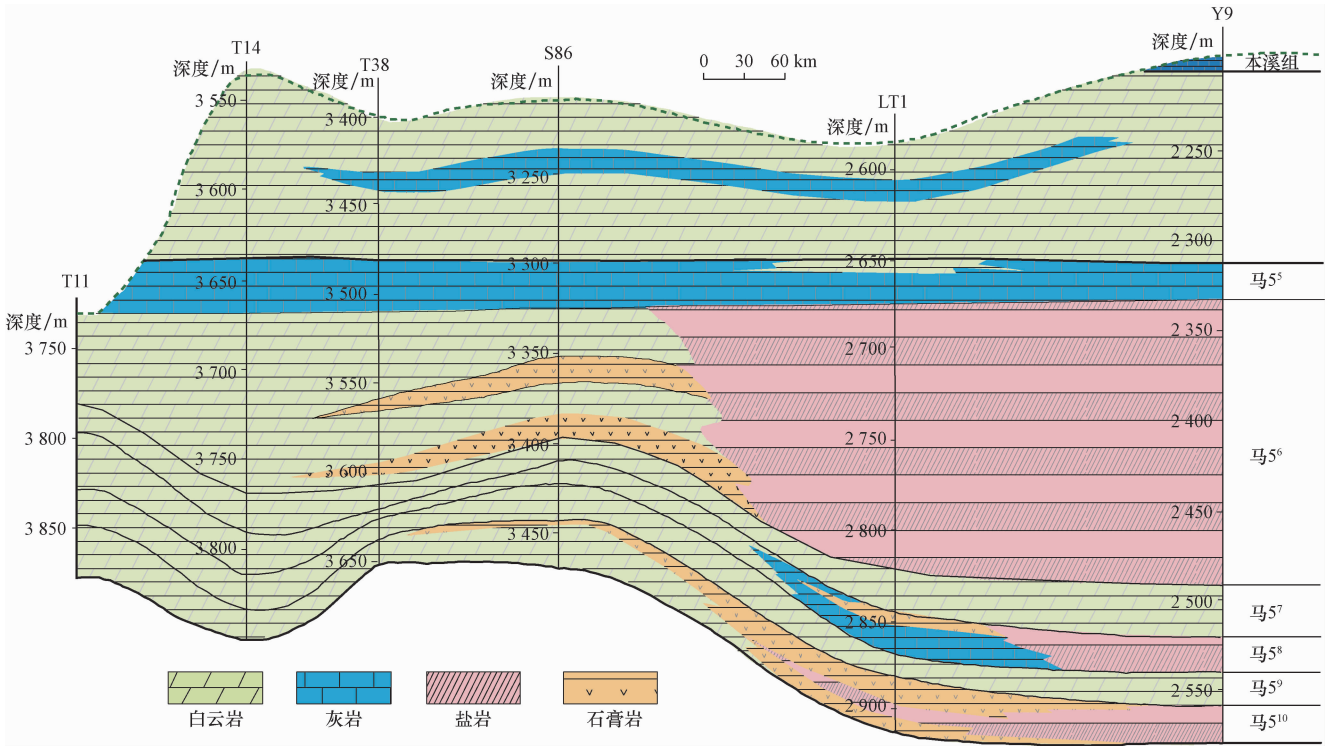


图 4 鄂尔多斯盆地古隆起 T11—Y9 井马家沟组马 5 中、下段岩性对比剖面

Fig. 4 Cross-well section showing lithological changes from Well T11 to Well Y9 in the middle and lower intervals of the 5<sup>th</sup> Member of Ordovician Majiagou Formation in the paleo-uplift of Ordos Basin

于间歇性暴露,致使在大气淡水与富镁卤水混合作用下<sup>[13,17-19]</sup>,马 5<sup>5</sup> 沉积的灰岩发生白云岩化,形成藻屑滩沉积的晶间孔储层。

马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 亚期,古隆起东侧地区发育局部洼陷区,水体环境相对较弱,但其边部水动力条件强,依然发育滩相沉积;另一方面,马 5<sup>7</sup> 沉积后洼陷区由于长期处于强蒸发环境,有利于富镁卤水长时间汇聚。靠近古隆起的滩相发生类似马 5<sup>5</sup> 的混合水白云岩化,以东区整体为富镁卤水向下(或侧向)渗透发生白云岩化<sup>[13,18-24]</sup>。盆地中部藻屑滩沉积由于为颗粒结构,白云岩化更为彻底,易形成晶间孔型储层。

据上组合马 5<sup>1</sup> 和马 5<sup>2</sup>、古隆起东侧中组合马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 白云岩碳氧同位素对比分析结果(图 5),中组合马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 的  $\delta^{18}\text{O}$ (氧同位素)值明显较上组合马 5<sup>1</sup> 和马 5<sup>2</sup> 富集,反映了其形成于较浓盐水的成岩环境中;马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 的  $\delta^{18}\text{O}$  值也具有明显的两分特征,低值与马 5<sup>5</sup> 相当,为淡水参与的结果,进一步佐证了上述白云岩化机理。

岩心观察、铸体薄片、扫描电镜和图像分析研究表明,马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 储层主要储集空间为白云石晶间孔,少量晶间溶孔,储层连通性较好,具有“晶粒均一、小孔细喉”的孔隙结构特征(图 6a—c)。

与马 5<sup>5</sup> 亚段相比,马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 亚段滩相沉积颗粒更粗大,白云岩更为发育。这是因为马 5<sup>5</sup> 为最大的海侵期,水体较马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 更深;古隆起东侧多为泥

晶结构,不利于富镁卤水的下渗,无法发生白云岩化;以及马 5<sup>4</sup> 海退持续时间较马 5<sup>6</sup> 和马 5<sup>8</sup> 短,海水盐度较低,相对不利于白云岩化进行。

物性统计结果显示,马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 白云岩储层段孔隙度大于 4% 的样品分布频率为 51.9%,平均孔隙度为 4.96%;渗透率大于  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的样品分布频率为 42.5%,平均渗透率为  $0.83 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>8</sup> 和马 5<sup>10</sup> 储层由于处于间歇暴露蒸发环境,储集空间主要为泥晶含膏白云岩中的含膏物质经历风化淋滤作用形成的膏溶孔(图 6d—f),形态以溶蚀孔

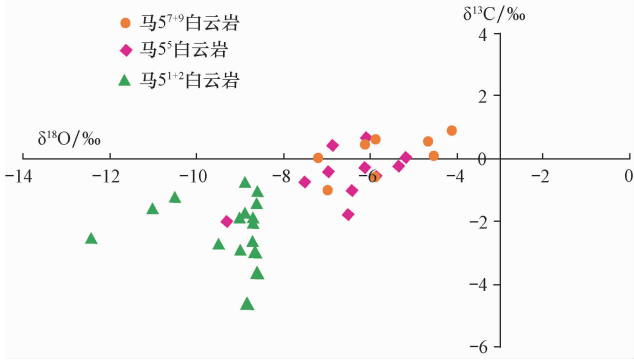


图 5 鄂尔多斯盆地古隆起马家沟组马 5<sup>1+2</sup>、马 5<sup>5</sup> 与马 5<sup>7+9</sup> 白云岩碳、氧同位素对比

Fig. 5 Distribution of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values of dolomite in Ma5<sup>1+2</sup>, Ma5<sup>5</sup> and Ma5<sup>7+9</sup> of the Ordovician Majiagou Formation in the paleo-uplift of Ordos Basin

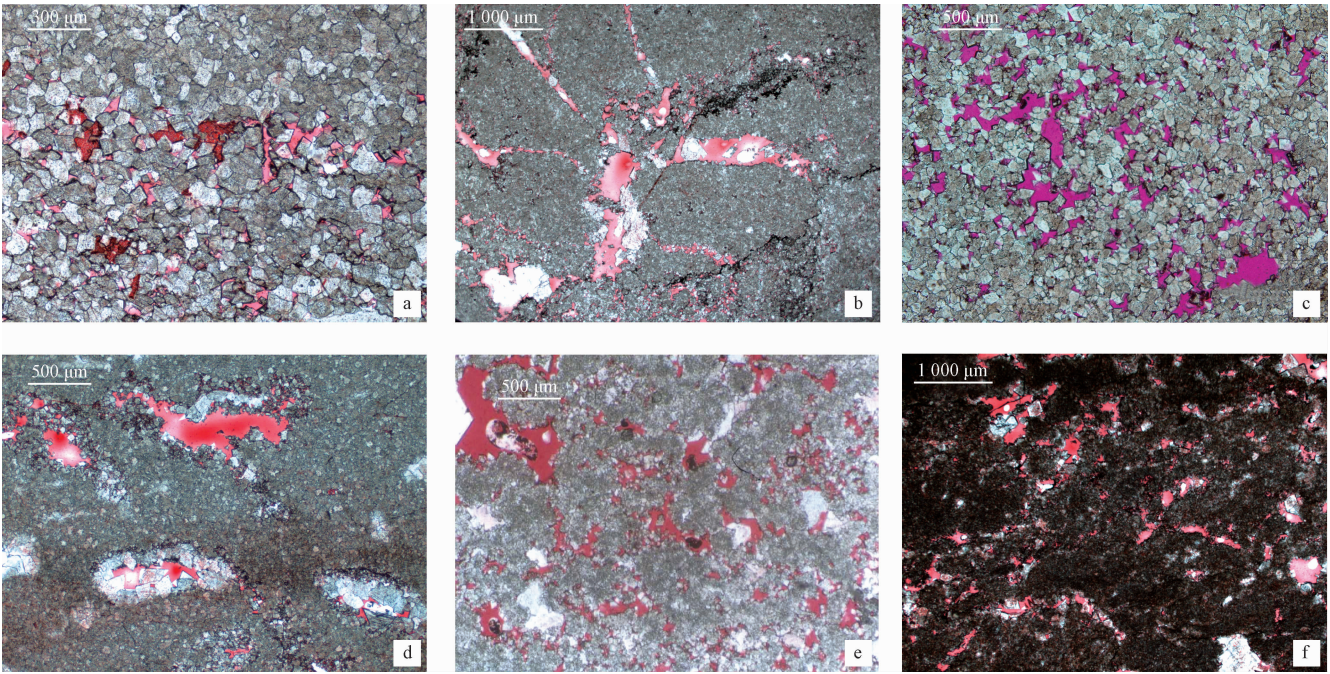


图6 鄂尔多斯盆地古隆起东侧中组合储层显微特征

Fig. 6 Microphotographs of thin sections from the middle reservoir-source rock combination of the Ordovician on the east side of the paleo-uplift in Ordos Basin

a. T46 井, 2 990. 25 m, 马 5<sup>5</sup>, 晶间孔; b. L19 井, 4 150. 17 m, 马 5<sup>7</sup>, 溶孔; c. T18 井, 3 630. 48 m, 马 5<sup>9</sup>, 晶间孔; d. T17, 3 780. 30 m, 马 5<sup>10</sup>, 膏溶孔; e. S2 井, 3 601. 00 m, 马 5<sup>6</sup>, 泥晶藻白云岩, 溶孔; f. T8, 3 595. 96 m, 马 5<sup>6</sup>, 溶孔

洞、针状为主, 部分为斑状, 其次为晶间孔。马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>8</sup> 和马 5<sup>10</sup> 白云岩储层段孔隙度大于 4% 的样品分布频率为 29%, 平均孔隙度为 3. 06%; 渗透率大于  $0. 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的样品分布频率为 34. 9%, 平均渗透率为  $0. 43 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

据物性分析, 古隆起东侧马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 孔渗性整体上较马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>8</sup> 和马 5<sup>10</sup> 好, 为中组合勘探最有利层系; 马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>8</sup> 和马 5<sup>10</sup> 的物性虽没马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>7</sup> 和马 5<sup>9</sup> 物性好, 但其物性资料中大于  $1. 0 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$  的样品分布频率为 7. 1%, 说明马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>8</sup> 和马 5<sup>10</sup> 局部仍然发育高渗储层, 仍可作为勘探的有利目标。

2. 4 成藏模式

加里东末期开始的整体构造抬升, 使鄂尔多斯地区下古生界遭受了长达 1 亿多年的风化剥蚀。靖边气田以西至古隆起地区抬升剥蚀尤为强烈, 由东向西到古隆起区奥陶系顶部剥露地层依次由新变老, 逐渐由奥陶系中组合(马 5<sup>5</sup>—马 5<sup>10</sup>)变为下组合(马 4 段)地层。晚石炭世鄂尔多斯盆地整体沉降, 沉积了石炭系—二叠系煤系源岩。因此古隆起东侧中组合白云岩储层与上古生界煤系烃源岩直接接触, 形成了良好的源储配置关系<sup>[10]</sup>。燕山期发生盆地构造反转, 东部抬升, 同时中组合白云岩向东侧上倾方向形成岩性圈闭, 并形成气藏。

将古隆起东侧(靖边气田西侧)中组合马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>7</sup>、马 5<sup>8</sup>、马 5<sup>9</sup> 和马 5<sup>10</sup> 地层水资料进行统计作

图。结果表明, 马 5<sup>5</sup>、马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>7</sup>、马 5<sup>8</sup>、马 5<sup>9</sup> 和马 5<sup>10</sup> 主要离子浓度差别较大(图 7), 地层水相对独立, 为局部滞留水, 反映其各自为相对独立的流体单元, 结合气源、储集条件分析, 古隆起东侧中组合马 5<sup>5</sup> 和中组合下段马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>7</sup>、马 5<sup>8</sup>、马 5<sup>9</sup> 和马 5<sup>10</sup> 为两套不同的成藏系统。

2. 4. 1 马 5<sup>5</sup> 成藏系统

该系统储集体为中组合马 5<sup>5</sup> 白云岩藻屑滩沉积的晶间孔储层。古隆起东侧马 5<sup>5</sup> 晶间孔白云岩储层由于上覆地层较薄(一般 < 60 m), 有利于上古生界煤系烃源岩生气向下运移, 另外该储层由于风化剥露造成其西侧直接与上古生界煤系烃源岩接触, 也有利于上古生界煤系气源的侧向运移。同时, 马 5<sup>5</sup> 晶间孔白云岩储层在上倾方向相变为泥晶灰岩, 在空间上形成岩性圈闭, 经上古生界气源运移并聚集成藏。整体上, 该气藏具备“分布不连续, 局部高产富集”的特征(图 8)。

2. 4. 2 马 5<sup>6</sup>—5<sup>10</sup> 成藏系统

马 5<sup>6</sup>—5<sup>10</sup> 成藏系统主要指古隆起东侧中组合下段的膏下成藏。其储集体主要为中组合下段的马 5<sup>7</sup> 及马 5<sup>9</sup> 藻屑滩沉积的晶间孔型储层。虽然其同中组合马 5<sup>5</sup> 一样, 具有良好的源(上古生界煤系烃源岩)储配置关系, 但由于中组合下段马 5<sup>6</sup> 为海退期沉积, 发育膏盐岩沉积。正是由于其存在, 阻断了上古生界煤

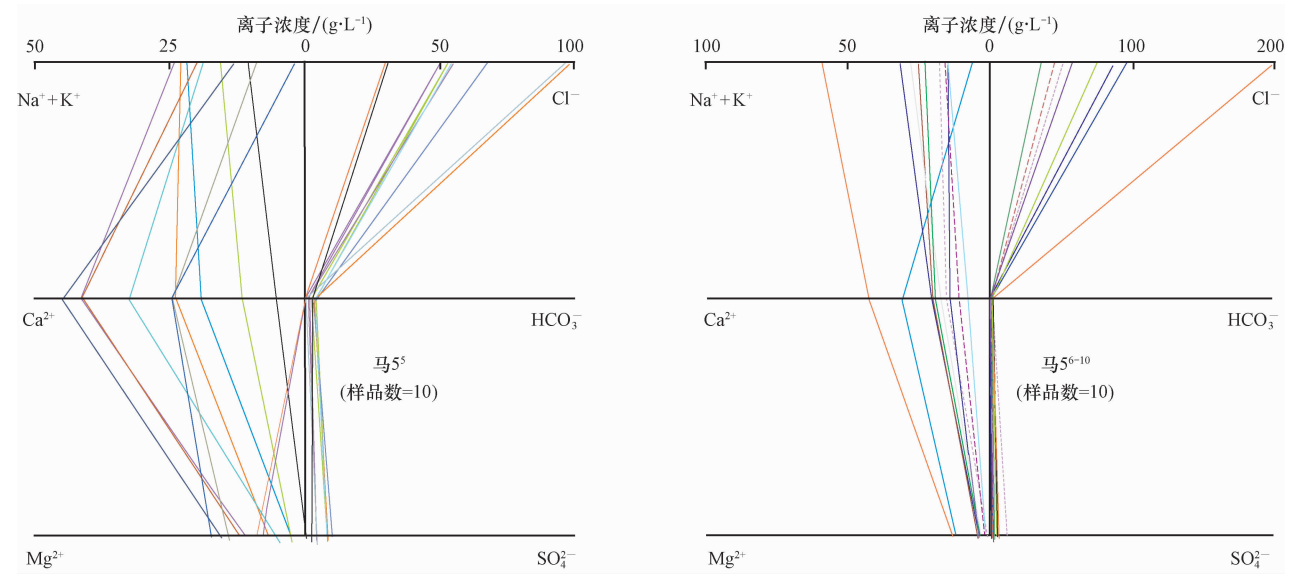


图 7 鄂尔多斯盆地古隆起东侧中组合马 5<sup>5</sup> 和马 5<sup>6-10</sup> 地层水斯蒂夫形状对比  
Fig. 7 Steve hydrochemical facies map of Ma5<sup>5</sup>, and Ma5<sup>6-10</sup> in the Ordovician Majiagou Formation on the east side of the paleo-uplift of Ordos Basin

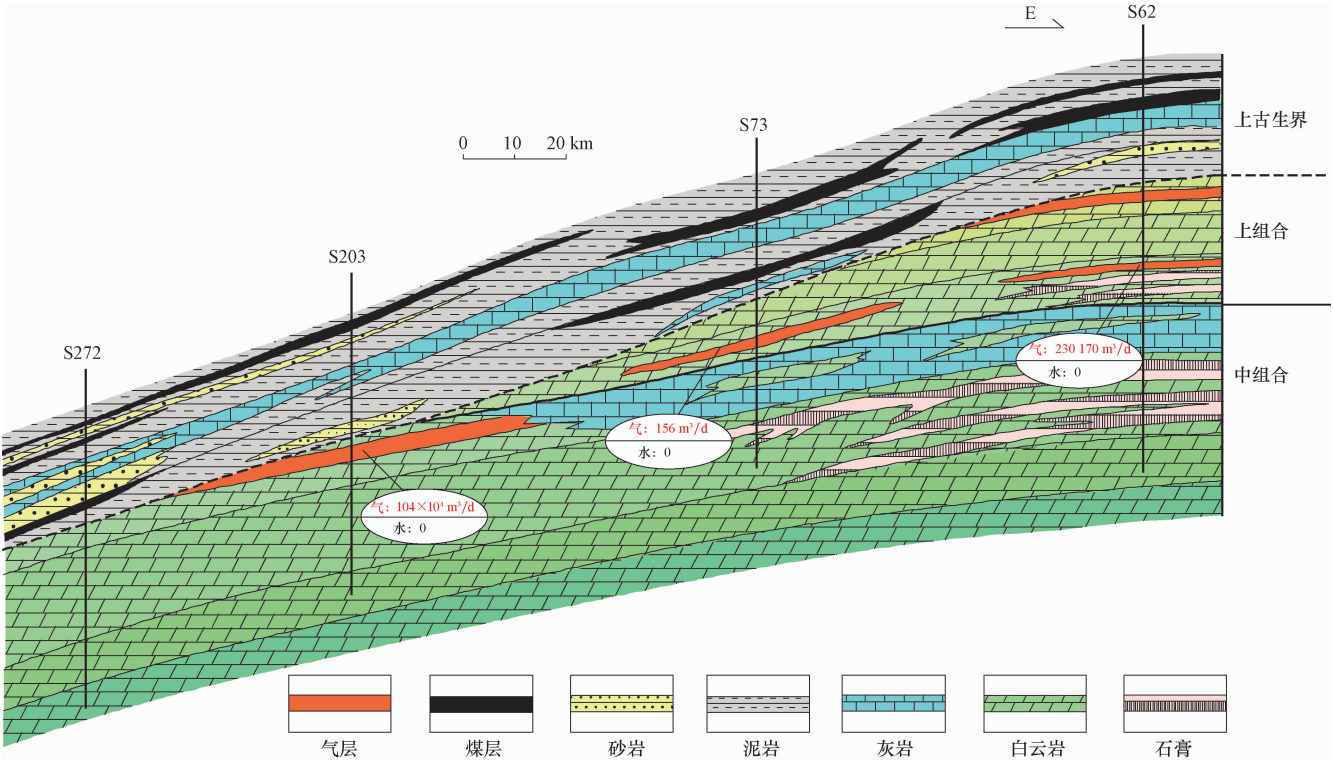


图 8 鄂尔多斯盆地古隆起东侧马 5<sup>5</sup> 段岩性圈闭成藏模式  
Fig. 8 Pooling pattern for the lithologic traps in Ma5<sup>5</sup> of the Ordovician Majiagou Formation on the east side of the paleo-uplift of Ordos Basin

系烃源岩生成的烃类垂直向下运移,只能发生侧向运移。由气源分析,该成藏系统的气源来源于上古生界煤系地层和下古生界海相碳酸盐岩。因此,一方面,上古生界煤系气源沿供烃窗口向中组合白云岩储层侧向运聚,另一方面下古海相烃源岩也对中组合储层进行烃类充注,聚集成藏(图 9)。

3 结论

1) 古隆起东侧奥陶系马家沟组中组合整体为海侵沉积,但在海侵背景下,又发育次一级的海侵和海退,沉积特征具有明显的旋回性,马 5<sup>6</sup>、马 5<sup>8</sup> 和马 5<sup>10</sup>

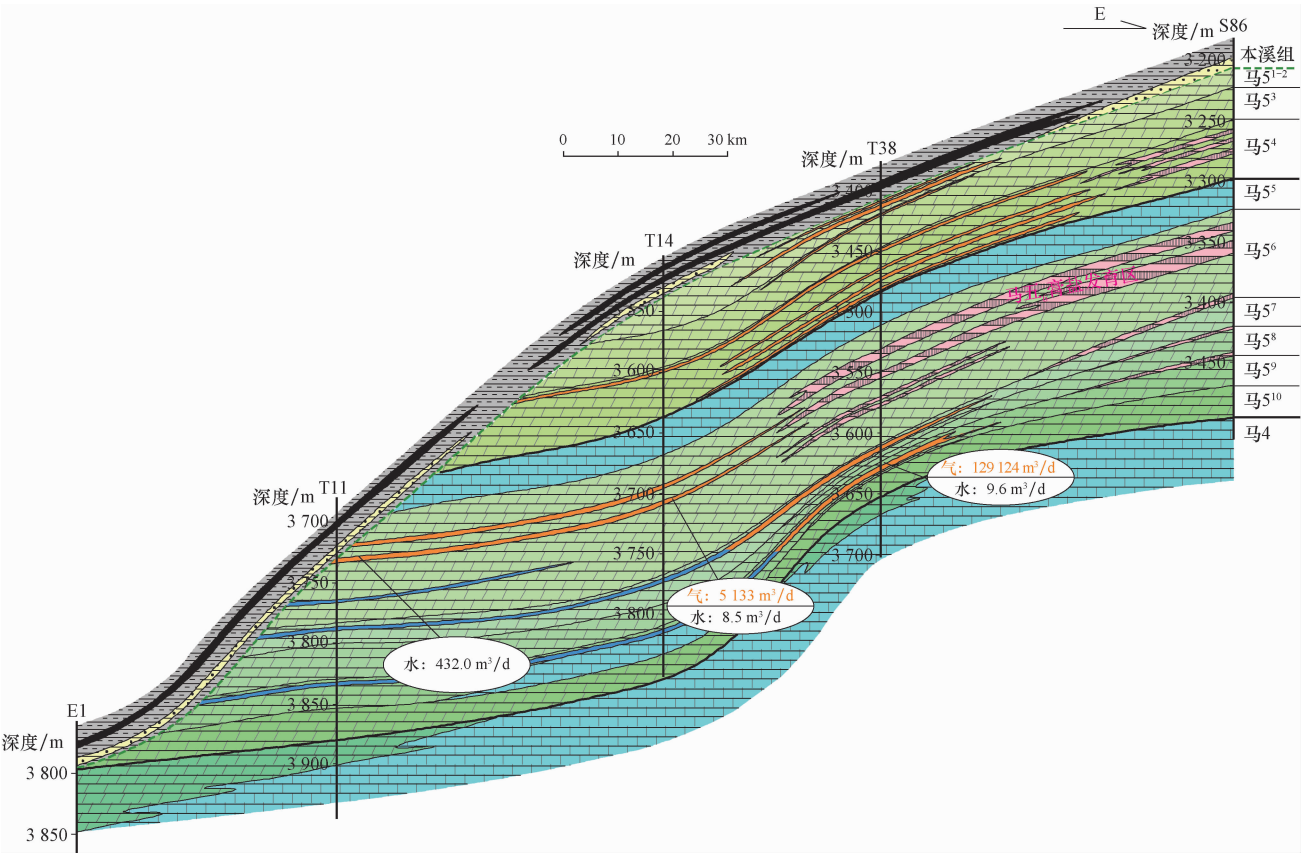


图9 鄂尔多斯盆地古隆起东侧中组合马5<sup>6-10</sup>段岩性圈闭成藏模式  
Fig.9 Pooling pattern for the lithologic traps in Ma5<sup>6-10</sup> of the Ordovician Majiagou Formation on the east side of the paleo-uplift of Ordos Basin

以蒸发岩沉积为主,而马5<sup>5</sup>、马5<sup>7</sup>和马5<sup>9</sup>发育碳酸盐岩沉积。

2) 古隆起东侧奥陶系马家沟组白云岩储层主要发育在马5<sup>5</sup>、马5<sup>7</sup>和马5<sup>9</sup>三个亚层,储层主要为粗粉晶-细晶结构的晶粒状白云岩,自形程度高,主要储集空间为白云石晶间孔,孔隙度平均为4.96%,渗透率为 $0.83 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,孔渗总体较好,为古隆起东侧中组合白云岩勘探最有利层系。

3) 古隆起东侧中组合白云岩储层与上覆上古生界石炭-二叠系煤系烃源岩形成了较好的源、储配置关系,加之白云岩储集体向上倾方向相变而形成岩性圈闭,最终形成分布不连续,局部高产富集的古隆起东侧中组合气藏,成为盆地天然气勘探的新领域。

参 考 文 献

[1] 郑聪斌,谢庆邦. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳储层特征[J]. 天然气工业,1993,13(5):26-30.  
Zheng Congbin, Xie Qingbang. Reservoir characteristics Ordovician weathered crust in the central part of ShanGanning Basin[J]. Natural Gas Industry, 1993, 13(5): 26-30.

[2] 郑聪斌,冀小琳,贾疏源. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳岩溶发育特征[J]. 中国岩溶,1995,14(3):280-288.  
Zheng Congbin, Ji Xiaolin, Jia Shuyuan. Palaeokarst features of Ordo-

vician weathering crust in the centre of Shangganning Basin[J]. Car-sologica Sinica, 1995, 14(3): 280-288.

[3] 杨华,付金华,魏新善,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩天然气勘探领域[J]. 石油学报,2011,32(5):733-741.  
Yang Hua, Fu Jinhua, Wei Xinshan, et al. Natural gas exploration domains in Ordovician marine carbonates, Ordos Basin[J]. Acta Petro-lei Sinica, 2011, 32(5): 733-741.

[4] 雷卞军,张吉,王彩丽,等. 高分辨率层序地层对微相和储层的控制作用——以靖边气田统5井区马五段上部为例[J]. 岩性油气藏,2008,20(1):1-7.  
Lei Bianjun, Zhang Ji, Wang Caili, et al. Control of high resolution sequence stratigraphy on microfacies and reservoirs: a case from the up-per Ma 5 member in Tong 5 wellblock, Jingbian Gas Field[J]. Litho-logic Reservoirs, 2008, 20(1): 1-7.

[5] 时保宏,姚泾利,张艳,等. 鄂尔多斯盆地延长组长9油层组成藏地质条件[J]. 石油与天然气地质,2013,34(3):294-300.  
Shi Baohong, Yao Jingli, Zhang Yan, et al. Geologic conditions for hy-drocarbon accumulation in Chang-9 oil reservoir of the Yanchang For-mation, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 294-300.

[6] 王作乾,何顺利. 靖边下古生界气藏马五段碳酸盐岩储层综合评价[J]. 石油天然气学报,2009,31(4):180-183.  
Wang Zuqian, He Shunli. Integrated evaluation of carbonate reservoir for Om<sup>5</sup> of Lower Paleozoic gas reservoir in Jingbian area[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(4): 180-183.

[7] 赵红格,刘池洋,王峰,等. 鄂尔多斯盆地西缘构造分区及其特征

- [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 173–180.
- Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Feng, et al. Structural division and characteristics in western edge of Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 173–180.
- [8] 丁晓琪, 张哨楠, 谢世文, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界成藏系统[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 157–165.
- Ding Xiaqi, Zhang Shaonan, Xie Shiwen, et al. Hydrocarbon accumulation system of the Mesozoic in ZhenJing oilfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 157–165.
- [9] 陈朝兵, 朱玉双, 谢辉, 等. 姬塬油田红井子地区延长组长9油层组石油富集规律[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 758–765.
- Chen Zhaobing, Zhu Yushuang, Xie Hui, et al. Accumulation patterns of the Chang-9 oil reservoir in the Yanchang Formation of Hongjingzi area in Jiyuan oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 758–765.
- [10] 刘春燕, 宗敏, 许化政, 等. 鄂尔多斯盆地南部奥陶系天然气成藏条件分析[J]. 世界地质, 2012, 31(3): 536–547.
- Liu Chunyan, Zong Min, Xu Huazheng, et al. Analysis on accumulation condition of natural gas in southern Ordos Basin in Ordovician[J]. Global Geology, 2012, 31(3): 536–547.
- [11] 侯方浩, 方少仙, 赵敬松, 等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境模式[J]. 海相油气地质, 2002, 7(1): 38–46.
- Hou Fanghao, Fang Shaoxian, Zhao Jingsong, et al. Depositional environment model of Middle Ordovician Majiagou formation in Ordos Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2002, 7(1): 38–46.
- [12] 倪春华, 周小进, 王果寿, 等. 鄂尔多斯盆地南缘平凉组烃源岩沉积环境与地球化学特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 38–46.
- Ni Chunhua, Zhou Xiaojin, Wang Guoshou, et al. Sedimentary environment and geochemical characteristics of hydrocarbon source rocks in the Pingliang Formation, southern margin of the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 38–46.
- [13] 杨华, 包洪平. 鄂尔多斯盆地奥陶系中组合成藏特征及勘探启示[J]. 天然气工业, 2011, 31(12): 11–20.
- Yang Hua, Bao Hongping. Characteristics of hydrocarbon accumulation in the middle Ordovician assemblages and their significance for gas exploration in the Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 11–20.
- [14] 王传刚, 王毅, 许化政, 等. 论鄂尔多斯盆地地下古生界烃源岩的成藏演化特征[J]. 石油学报, 2009, 30(1): 38–45.
- Wang Chuangang, Wang Yi, Xu Huazheng, et al. Discussion on evolution of source rocks in lower Paleozoic of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(1): 38–45.
- [15] 程付启, 金强, 刘文汇, 等. 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系风化壳混源气成藏分析[J]. 石油学报, 2007, 28(1): 38–42.
- Cheng Fuqi, Jin Qiang, Liu Wenhui, et al. Formation of source-mixed gas reservoir in Ordovician weathering crust in the central gas-field of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(1): 38–42.
- [16] 黄第藩, 熊传武, 杨俊杰, 等. 鄂尔多斯盆地中部大气田的气源辨识[J]. 科学通报, 1996, 41(17): 1588–1592.
- Huang Difan, Xiong Chuanwu, Yang Junjie, et al. Gas source discrimination of central gas field in Ordos Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(17): 1588–1592.
- [17] 米敬奎, 王晓梅, 朱光有, 等. 利用包裹体中气体地球化学特征与源岩生气模拟实验探讨鄂尔多斯盆地靖边气田天然气来源[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 859–869.
- Mi Jingkui, Wang Xiaomei, Zhu Guangyou, et al. Origin determination of gas from Jingbian gas field in Ordos basin collective through the geochemistry of gas from inclusions and source rock pyrolysis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(3): 859–869.
- [18] 赵俊兴, 陈洪德, 张锦泉, 等. 鄂尔多斯盆地中部马五段白云岩成因机理研究[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 38–41.
- Zhao Junxing, Chen Hongde, Zhang Jingquan, et al. Genesis of dolomite in the fifth member of Majiagou formation in the middle Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 25(1): 38–41.
- [19] 付金华, 王宝清, 孙六一, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格地区奥陶系马家沟组白云石化[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 266–273.
- Fu jinhua, Wang Baoqing, Sun liuyi, et al. Dolomitization of Ordovician Majiagou Formation in Sulige region, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 266–273.
- [20] 包洪平, 杨承运. 碳酸盐岩层序分析的微相方法——以鄂尔多斯东部奥陶系马家沟组为例[J]. 海相油气地质, 2000, 5(1–2): 153–157.
- Bao Hongping, Yang Chengyun. Micro-facies method of carbonate strata sequence analysis—take eastern Ordos basin Ordovician Majiagou group for example[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 5(1–2): 153–157.
- [21] 黄擎宇, 张哨楠, 丁晓琪, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘奥系马家沟组白云岩成因研究[J]. 石油实验地质, 2010, 32(2): 147–153.
- Huang Qingyu, Zhang Shaonan, Di Xiaqi, et al. Origin of dolomite of Ordovician Majiagou Formation, western and southern margin of the Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(2): 147–153.
- [22] Tucker M. Sequence stratigraphy of carbon at teevaporite basins: models and application to the Upper Permian (Zechstein) of northeast England and adjoining North Sea[J]. Journal of the Geological Society, 1991, 148: 1019–1036.
- [23] 康立明, 苏道敏, 曹林川. 鄂尔多斯盆地元城地区储层微观孔隙结构特征[J]. 断块油气田, 2011, 18(3): 338–341.
- Kang Liming, Su Daomin, Cao Linchuan. Characteristics of reservoir microscopic pore structure in Yuancheng Area of Ordos Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(3): 338–341.
- [24] 时保宏, 张艳, 张雷, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长7致密储层流体包裹体特征与成藏期次[J]. 石油实验地质, 2012, 34(6): 599–603.
- Shi Baohong, Zhang Yan, Zhang Lei, et al. Hydrocarbon accumulation dating by fluid inclusion characteristics in chang7 tight sandstone reservoirs of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(6): 599–603.