

## 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组五段 中组合中下段成藏特征

黄正良<sup>1,2</sup>, 刘燕<sup>3</sup>, 武春英<sup>1,2</sup>, 王前平<sup>1,2</sup>, 任军峰<sup>1,2</sup>

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

(3 中国石油集团东方地球物理勘探公司研究院长庆分院)

**摘要** 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组五段中组合中下段为该盆地天然气勘探新发现层系。主要发育膏溶孔型和晶间孔型白云岩储层,其空间分布主要受沉积环境控制。综合分析表明,中组合中下段的气源为上古生界煤型气与下古生界海相烃源气的混源气,但以煤型气为主。加里东末期,由于盆地整体抬升造成古隆起地区马家沟组五段遭受强烈剥蚀,致使其东侧中组合中下段储层与上古生界煤系烃源岩直接接触,且海退沉积旋回中的局部洼陷也能提供一定的烃源,从而构成了良好的源-储配置关系。两类白云岩储层中,由于膏溶孔或晶间孔发育,因此物性明显好于周围白云岩体,空间上可形成岩性圈闭,当上古生界煤系烃源及下古生界海相烃源运移至中组合中下段圈闭内,即可聚集成藏。整体上这种气藏具有“多层系叠合,混源成藏”的特点。

**关键词** 鄂尔多斯盆地; 奥陶系; 马家沟组; 气源对比; 混源气; 岩性圈闭; 成藏特征

**中图分类号**: TE122.3<sup>·1</sup>

**文献标识码**: A

### 1 概况

马家沟组“中组合”的概念是由鄂尔多斯盆地勘探者们于2009年提出的,指的是奥陶系马家沟组五段5亚段至10亚段的含气层组合,中组合中下段即指其中的6亚段至10亚段(简称为“马五<sub>6-10</sub>”)(图1)<sup>[1]</sup>。这是一个笼统的概念,主要是由于中组合勘探自取得突破以来,主力层系一直为马五<sub>5</sub>亚段,而马五<sub>6-10</sub>层段的勘探近期才取得突破,因此盆地勘探者对应地将马五<sub>6-10</sub>层段统称为中组合中下段。

鄂尔多斯盆地马家沟组中组合中下段发育晶间孔型和膏溶孔型两类白云岩储层。中下段天然气的勘探区域主要集中在中央古隆起东侧地区,目前已有多口探井获得高产气流,产气层段主要为马五<sub>6</sub>、马五<sub>7</sub>和马五<sub>8</sub>地层,气藏具有“多层系叠合,混源成藏”的特点,勘探前景较好。同时,马家沟组中组合中下段存在制约天然气勘探进程的难题,主要表现在:一方面中组合中下段储层非均质性强,造成探井成

功率不高;另一方面作为新层系,专门针对中组合中下段的研究成果较少,且由于勘探程度较低,诸多研究成果还不够成熟。

本文以钻井岩心、铸体薄片为基础资料,通过对各类样品的包裹体、天然气碳氧同位素、储层孔渗性、白云岩碳氧同位素等共计527块(次)分析化验资料的综合研究,试图阐明盆地奥陶系马家沟组中组合中下段烃的来源并对其进行评价,分析两类白云岩储层的成因、物性特点和展布规律,以及源-储配置及圈闭成藏特征,为盆地古隆起东侧奥陶系中组合中下段今后的勘探部署提供理论依据。

### 2 沉积背景

早奥陶世马家沟期五时(“马五时”),由于南部秦岭洋壳和北部兴蒙洋壳的俯冲,造成了盆地内南北向地层的相向挤压,盆地整体上表现为“震荡性、间歇性”的海退过程<sup>[2-5]</sup>,此时中央古隆起暴露地表,将鄂尔多斯地区分隔成东西两个沉积体系,即西部

收稿日期: 2013-05-06; 改回日期: 2013-07-05

本文受国家重大科技专项“鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩油气资源潜力、有利勘探区带评价与目标优选研究”(编号:2011ZX05004-006)资助

黄正良:1979年生,硕士,工程师。主要从事海相碳酸盐岩研究工作。通讯地址:710018 陕西省西安市未央区长庆兴隆园小区中国石油长庆油田勘探开发研究院;电话:(029)86593001;E-mail:hzi0915\_cq@petrochina.com.cn

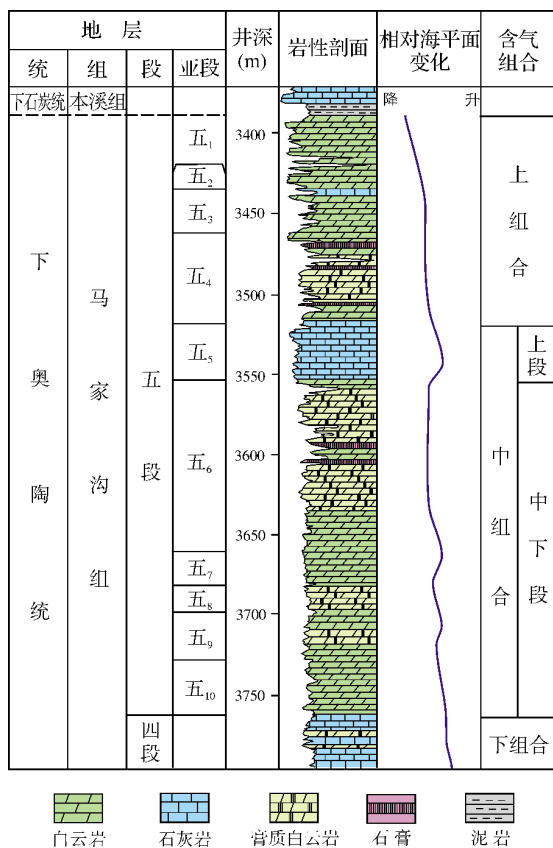


图1 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组含气组合划分

祁连海沉积体系和东部华北海沉积体系。中央古隆起东侧发育局限台地沉积,马五时,气候干热,为该地区最重要的一次膏盐发育期,受古地貌控制,沉积相带的发育具有围绕盆地东部洼陷区呈环带状展布的特点<sup>[6-7]</sup>,自东向西海水含盐度逐步降低,依次发育膏盐洼地、含膏白云岩坪和环陆白云岩坪沉积(图2)。

值得注意的是,马五时盆地内虽然整体上海退的过程,但在整体海退的背景下存在多期的次一级震荡性海进—海退。正是由于这种多期次的震荡性,造成中组合地层内部发育了膏盐岩—碳酸盐岩的互层状沉积,其旋回性极为明显。据此,可将马五段中组合中下段划分为短期海侵和短期海退两套沉积半旋回:短期海退半旋回发育以马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>和马五<sub>10</sub>亚段为代表的蒸发岩沉积,短期海侵半旋回发育以马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段为代表的夹在蒸发岩层序中的碳酸盐岩沉积。这两套沉积半旋回内部各小层沉积微相的发育特征、展布规律相似,只是由于海水震荡幅度的不同,造成了各小层沉积微相在分布的区域上存在差异(图3)。

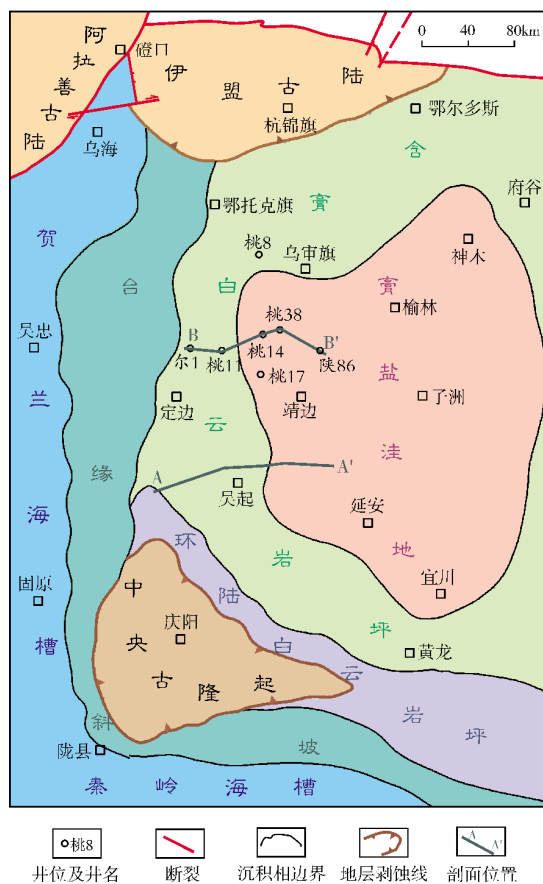


图2 鄂尔多斯盆地马家沟组五时岩相古地理图

马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>和马五<sub>10</sub>亚时为快速海退期,气候干旱炎热,岩相古地理格局与马五时一致,呈环带状展布,自西向东依次发育潮上白云岩坪、潮间含膏白云岩坪、盆缘含膏白云岩洼地和膏盐洼地微相<sup>[8]</sup>,其中潮间含膏白云岩坪和盆缘含膏白云岩洼地微相为最有利沉积微相,有利于形成膏溶孔型白云岩储层;马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚时为马五时海退大背景下的次一级海侵期,古地理格局与马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>和马五<sub>10</sub>亚时类似,自西向东依次发育白云岩坪、藻屑滩、含藻灰岩坪、潮下泥粒岩丘和深水灰泥岩丘,其中藻屑滩为最有利沉积微相,有利于形成晶间孔型白云岩储层。

### 3 成藏地质条件

#### 3.1 烃源条件

国内学者大多认为中组合中下段气藏的烃源与马五<sub>5</sub>亚段的类似,为来自上古生界的煤系烃源<sup>[2,9-10]</sup>,笔者通过油气包裹体、甲烷气碳同位素等相关分析,

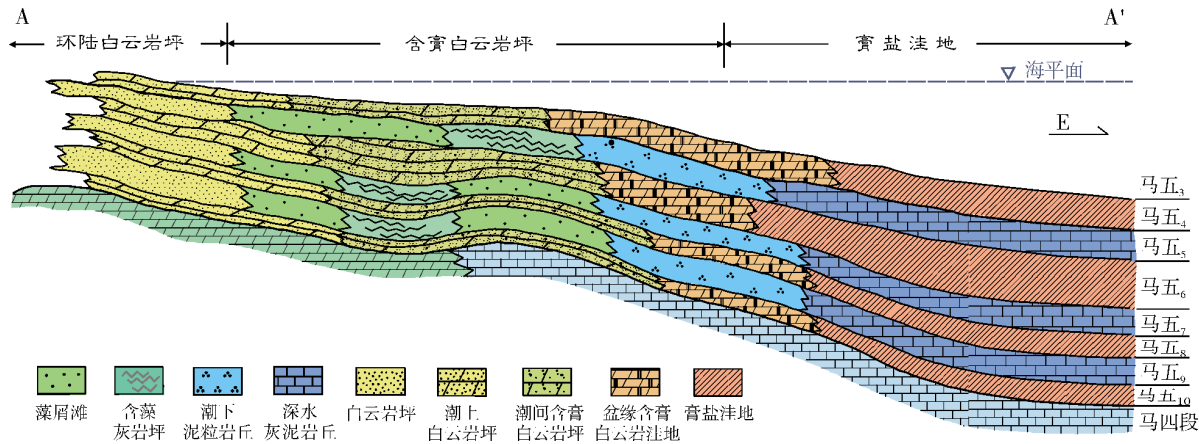


图3 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组中组合沉积模式图  
A—A'剖面位置见图2

证实了盆地奥陶系中组合中下段气藏的气源为上古生界煤型气和下古生界海相烃源的混源气，并论证了  
了下古生界海相烃源岩的生烃能力。

3.1.1 烃源分析

(1)包裹体分析

在开展包裹体分析之前，首先要进行严格的样品选取。所有样品全部选取孔洞充填物，因为只有沉积物埋藏以后形成的包裹体才与油气有关<sup>[11]</sup>；其次，在层位上选择中组合中下段(马五<sub>6</sub>—马五<sub>10</sub>)和上组合(马五<sub>1</sub>—马五<sub>4</sub>)，因为上组合马五<sub>1-4</sub>为上古生界煤系烃源已为数学者认可<sup>[2,9]</sup>，这样可以进行较好的对比分析。

激光拉曼分析结果(表1)表明：上组合包裹体气相组分主要以甲烷为主，不含或者含有少量的非烃类气体，多数样品的甲烷含量为100%。而中组合中下段包裹体组分除了以甲烷为主要成分以外，非烃类气体(主要为CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、N<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>)也占有一定的比例，反映了中组合中下段烃源不同于上古生界煤型气。

同时，对多个中组合中下段包裹体气相组分和对应的天然气组分的对比分析表明：多个样品的甲烷含量及非烃类气体的含量都存在差异。如果中组合中下段气源为单一气源，其包裹体气相组分和天然气组分势必一致，因此再次证实了中组合中下段气源为混源气。

表1 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组中组合与上组合包裹体气相组分对比

含气组合	井号	层位	深度(m)	包裹体气相组分(%)				
				CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
上组合	桃51	马五 <sub>3</sub>	3429.91	100.0	0	0	0	0
	桃45	马五 <sub>4</sub>	3584.47	100.0	0	0	0	0
	桃17	马五 <sub>2</sub>	3668.65	100.0	0	0	0	0
			3569.01	87.6	0	0	0	12.4
中组合中下段	桃8	马五 <sub>6</sub>	3573.69	100.0	0	0	0	0
			3548.99	85.3	0	0	0	14.7
			3597.87	72.2	19.8	4.9	0	3.0
			3577.07	97.2	0	2.8	0	0
			3600.80	100.0	0	0	0	0
	桃17	马五 <sub>6</sub>	3697.22	74.4	15.5	7.6	0	2.6
			3745.10	63.5	0	36.5	0	0
	桃38	马五 <sub>7</sub>	3630.20	46.9	16.9	16.9	0	0
	莲30	马五 <sub>6</sub>	3969.92	71.8	8.8	0	1.2	18.1
	统47	马五 <sub>6</sub>	3088.46	64.3	0	0	26.5	9.2

## (2) 天然气碳同位素分析

对盆地上古生界天然气探井 153 个天然气样品进行了甲烷碳同位素测定, 统计结果 (表 2) 表明, 其甲烷碳同位素均值为  $-32.9‰$ 。与此同时, 对盆地内以余探 1 井、余探 2 井和龙探 1 井为代表的 3 个下古生界气样品也进行了甲烷碳同位素测

定, 统计表明, 其均值为  $-39.09‰$ , 明显较上古生界煤型气的甲烷碳同位素值偏负。而下古生界奥陶系马家沟组中组合中下段天然气甲烷碳同位素值一般介于  $-37.03‰ \sim -34.35‰$  之间, 平均  $-35.52‰$ , 从而表明其为上古生界煤型气和下古生界海相气的混源气。

表 2 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组甲烷中碳同位素 ( $\delta^{13}C$ ) 分析结果

样品来源	井号	层位	井深 (m)	甲烷 $\delta^{13}C(‰)$		气源
				测定值	平均值	
上古生界(煤系) (对比样品: 153 个)	苏 7	D <sub>2</sub> sh	3320~3328	-33.08	-32.9	上古生界 (已知)
	苏 28	D <sub>2</sub> sh	3457~3463	-30.29		
	桃 1	D <sub>2</sub> sh	3240~3242	-27.72		
	苏 2	D <sub>2</sub> sh	3399~3404	-31.81		
	苏 9	D <sub>2</sub> sh	3336~3346	-32.56		
下古生界(海相) (对比样品: 各井 1 个)	余探 1	O <sub>1</sub> k	4083~4085	-38.92	-39.09	下古生界 (已知)
	余探 2	O <sub>1</sub> k	3975~4148	-39.09		
	龙探 1	O <sub>1</sub> m 五 <sub>7</sub>	2832~2837	-39.25		
下古生界 马家沟组中组合中下段	桃 16	O <sub>1</sub> m 五 <sub>6</sub>	3775~3777	-37.03	-35.52	(上古生界+下古生界) 混源 (推断)
	苏 381	O <sub>1</sub> m 五 <sub>6</sub>	4035~4038	-35.95		
	莲 12	O <sub>1</sub> m 五 <sub>7</sub>	4175~4178	-35.06		
	莲 30	O <sub>1</sub> m 五 <sub>7</sub>	4030~4035	-34.96		
	陕 373	O <sub>1</sub> m 五 <sub>6</sub>	4117~4121	-34.35		
	桃 38	O <sub>1</sub> m 五 <sub>6</sub>	3610~3611	-35.75		

注: D<sub>2</sub>sh 石盒子组; O<sub>1</sub>k 克里摩里组; O<sub>1</sub>m 马家沟组

同时, 对马家沟组中组合中下段的天然气来源, 通过如下公式<sup>[12]</sup>进行了粗略计算:

$$A \cdot x + B(1-x) = C \quad (1)$$

式中: A——下古生界海相烃源气甲烷碳同位素值, ‰;

x——下古生界海相烃源气所占比例, %;

B——上古生界煤型气甲烷碳同位素值, ‰;

C——中组合中下段天然气甲烷碳同位素值, ‰。

将表 2 中测定的天然气甲烷碳同位素平均值代入 (1), 得:

$$-39.09‰x + [-32.9‰(1-x)] = -35.52‰ \quad (2)$$

$$x = 42.3\% \quad (3)$$

通过上述计算, 表明马家沟中组合中下段的烃源仍然以上古生界煤系烃源为主, 但是下古生界海相烃源的贡献也较大, 为 42.3%。

## 3.1.2 烃源评价

上古生界煤系的生烃潜力及其对下古生界烃类聚集的贡献已经被大多数学者所肯定<sup>[2,10]</sup>, 其主要岩性为煤岩及暗色泥岩, 分布于石炭系本溪组—二叠系太原组和山西组, 在盆地内的分布极为稳定, 且具备一定的厚度。煤岩厚 3~6 m, TOC 一般为 70.8%~83.2%, 平均为 67.3%; 暗色泥岩厚 60~120 m, TOC 一般为 2.25%~3.33%, 生烃能力较强。因此, 上古生界的烃源岩无论是煤岩还是泥岩, 都为优质烃源岩, 且具有“广覆式生烃、大面积供气”的特征<sup>[2,10]</sup>。

下古生界海相烃源岩主要发育在海退半旋回 (即马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub> 和马五<sub>10</sub>) 的生烃洼陷中, 岩性主要为含泥质的碳酸盐岩, 有效烃源岩厚度 30~40 m, TOC 一般为 0.3%~0.98%, 最高可达 1.83%。以城川 1 井为例, 其马五<sub>6</sub> 亚段烃源岩的 TOC 最高可达 1.68%, 其中, TOC>0.5% 的烃源岩厚达 20 m, TOC>1% 的烃源岩厚 4 m<sup>[1]</sup>。



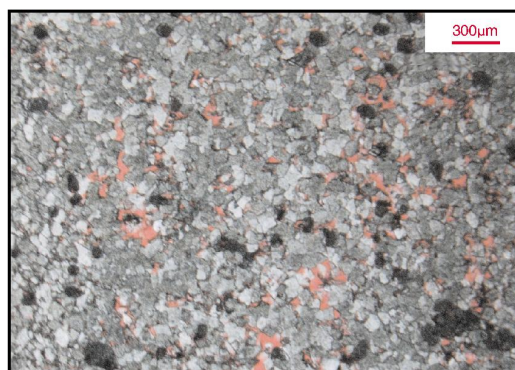
### 3.2 储集条件

马家沟组中组合中下段受沉积期及后期白云石化作用的控制,发育了海侵和海退两套不同储层,储层特征具有较大差异。马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段处于海侵半旋回,主要发育晶间孔型白云岩储层,少量发育膏溶孔型

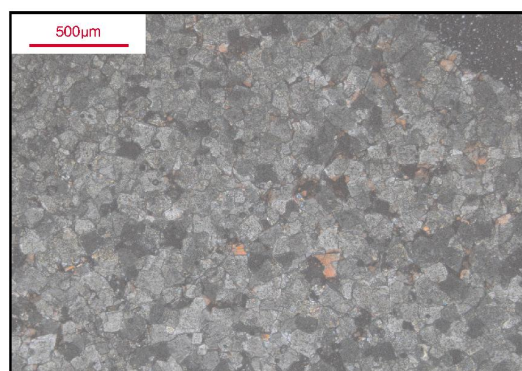
白云岩储层<sup>[13]</sup>,晶间孔型白云岩储层为粗粉晶—细晶结构的晶粒状(图4a),晶粒大小一般为35~150 μm,晶粒结构均一,自形程度高(图4b,4c),多为块状或厚层状结构。马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>和马五<sub>10</sub>亚段处于海退半旋回,主要发育膏溶孔型白云岩储层,类似于上组合风化壳型白云岩储层,为泥晶—细粉晶结构。



(a) 粉—细晶白云岩。晶间孔发育。召探1井3189.66m, 马五<sub>9</sub>亚段。(+)



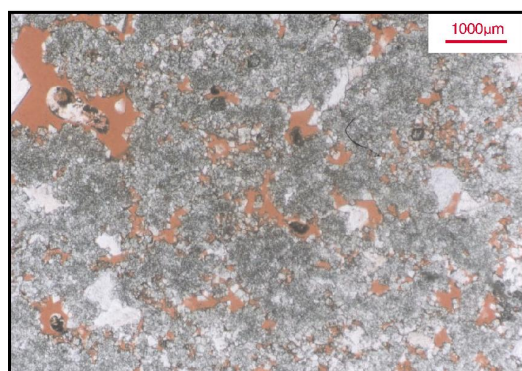
(b) 粉—细晶白云岩。晶间孔发育。桃17井3183.47m, 马五<sub>7</sub>亚段。(+)



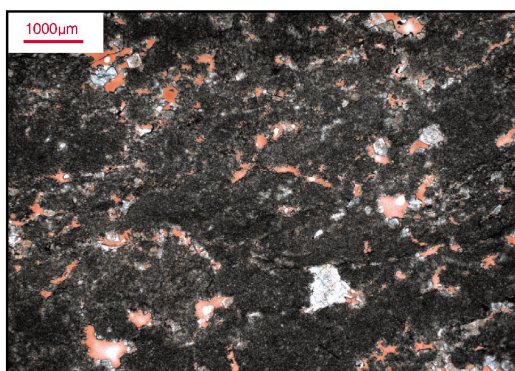
(c) 细晶白云岩。晶间孔发育。桃38井3630.48m, 马五<sub>9</sub>亚段。(+)



(d) 粉晶白云岩。膏溶孔发育。桃17井3780.30m, 马五<sub>10</sub>亚段。(+)



(e) 泥晶藻白云岩。针状晶间溶孔发育。苏2井3601m, 马五<sub>8</sub>亚段。(+)



(f) 泥晶白云岩。针状晶间溶孔发育。桃8井3595.96m, 马五<sub>6</sub>亚段。(+)

图4 鄂尔多斯盆地奥陶系中组合中下段储层显微特征

膏溶孔型白云岩储层(马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>、马五<sub>10</sub>亚段)主要受蒸发泵作用和岩相古地理控制,发育于盆缘膏质白云岩洼地相带,其中以马五<sub>6</sub>亚段最为发育,厚度一般为3~8m,最厚可达12m。储集空间一般为膏溶孔(图4d)和晶间溶孔(图4e),由泥晶含膏白云岩中的膏质成分经历淡水淋滤作用所形成,形态大多不规则,以溶蚀孔洞、针状晶间溶孔为主(图4f),部分为板状,孔径大小一般为25~280 μm,大小悬殊。对这些膏溶孔型白云岩储层169个物性样品的分析表明,这类储层的孔隙度一般为0.6%~5.7%,个别样品可达13.3%,平均3.06%,大于4%的样品占29%;渗透率一般为 $(0.01\sim0.5)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均 $0.43\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,大于 $0.1\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的样品占34.9%;孔渗相关性系数为0.26,相对较差。

晶间孔型白云岩储层(马五<sub>7</sub>、马五<sub>9</sub>亚段)已知马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段晶间孔型白云岩的有序度值为0.83~0.96,该值明显比马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>、马五<sub>10</sub>亚段含膏白云岩的有序度值(0.43~0.64)要高,说明马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段白云岩储层在白云石化过程中有大气淡水参与,从而使得盐水的含盐度降低,结晶速度减缓,晶体也较粗;与此同时,大气淡水的参与势必造成先成白云石的重结晶,进一步导致白云石晶体变粗。

对马家沟组中组合中下段的马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段白云岩、中组合上段马五<sub>5</sub>亚段白云岩以及上组合的白云岩作了碳、氧同位素对比分析,分析结果(图5)表明:上组合白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布于 $-4.6\text{‰}\sim-0.7\text{‰}$ ,平均 $-2.2\text{‰}$ , $\delta^{18}\text{O}$ 值分布于 $-12.4\text{‰}\sim-8.6\text{‰}$ ,平均 $-8.9\text{‰}$ ;而中组合中下段马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与中组合上段马五<sub>5</sub>白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较为相近,且明显重于上组合的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,这反映了马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段白云岩整体形成于浓盐水的成岩环境,且伴随有大气淡水的加入。值得注意的是,马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值主要分布在两个区间:一部分样品分布于 $-7.21\text{‰}\sim-5.86\text{‰}$ ,与马五<sub>5</sub>白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值分布区间相近(这部分样品位于中央古隆起东侧),其白云石化环境应该与马五<sub>5</sub>的相似,为混合水白云石化作用形成<sup>[12]</sup>;而另一部分样品分布于 $-4.66\text{‰}\sim-4.11\text{‰}$ ,反映了这部分样品形成于更浓的盐水,而没有大气淡水的作用(这部分样品主要集中于古隆起东侧靠近盆地中部地区)。

结合马家沟组五段岩相古地理研究<sup>[14]</sup>,可构建

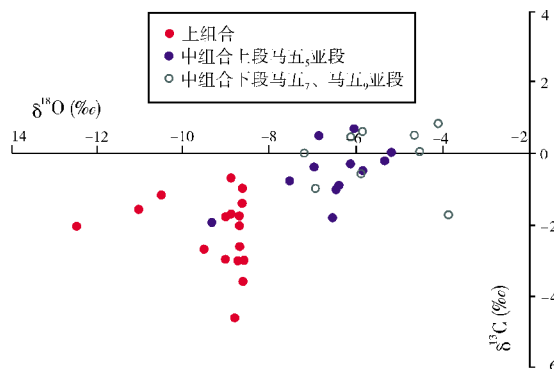


图5 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组白云岩碳氧同位素组成分布图

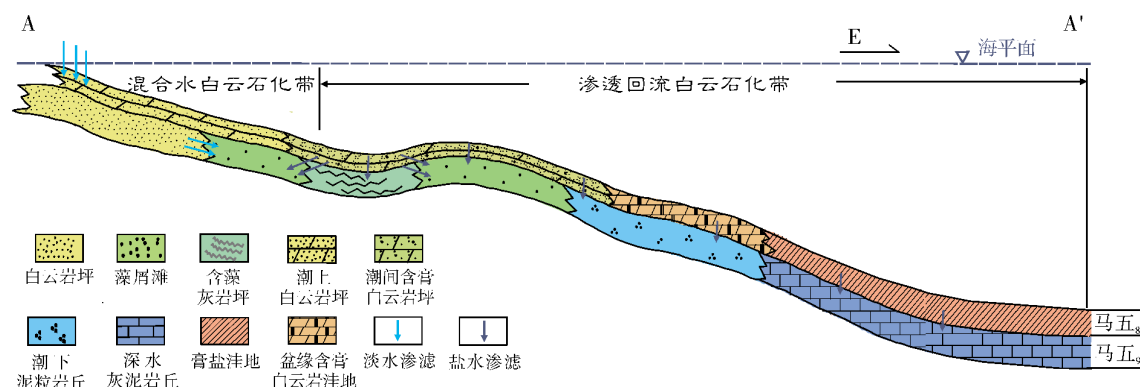
出马五<sub>7</sub>亚段和马五<sub>9</sub>亚段的白云石化模式。

以马五<sub>9</sub>亚段为例(图6)。马五<sub>9</sub>时,古隆起东侧及盆地中部局部隆起区由于水动力条件较强,发育藻屑滩相沉积,这是晶间孔型白云岩储层最有利部位。而马五<sub>8</sub>时为快速海退期,一方面海水的蒸发大于正常海水的补给,造成华北海为高盐度卤水环境。由于高盐度卤水相对正常海水密度大,势必整体向下渗滤,对中央古隆起以东的广大地区的下伏灰岩发生渗透回流白云石化作用;另一方面,马五<sub>8</sub>时海平面的下降导致古隆起地区间歇性暴露,大气淡水在重力的作用下向下渗滤,形成了大气淡水与高盐度卤水对藻屑滩的“混合水”白云石化作用(区别于传统的大气淡水与正常海水的“混合水白云石化”作用),这与马五<sub>5</sub>时白云石化模式相同<sup>[1-2]</sup>。因此,马五<sub>9</sub>时白云石化是非单一的成岩作用,在靠近中央古隆起区为“混合水白云石化”作用区,而远离中央古隆起区为“渗透回流白云石化”作用区。马五<sub>9</sub>亚段的白云石化模式与马五<sub>5</sub>亚段的一致。

正是由于这两种白云石化作用的差异,造成了靠近中央古隆起一侧的滩相白云岩储层和盆地中部的滩相白云岩储层在储集性能上存在差别,即靠近古隆起一侧的滩相白云岩储层为混合水白云石化作用而形成,由于受到了大气淡水的淋滤作用,晶间孔更为发育,且孔间的连通性也更好(图4a、4b),储集性能明显强于盆地中部渗透回流白云石化成因的滩相白云岩储层(图4c)。

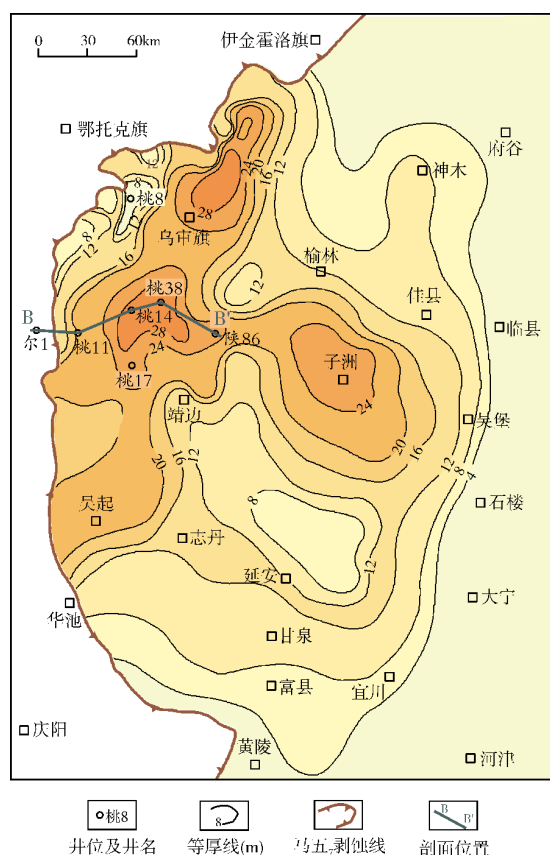
马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段与马五<sub>5</sub>亚段同为夹在蒸发岩层序中的层状碳酸盐岩,受沉积环境控制,其白云岩分布规律具有一定的相似性,只是马五<sub>7</sub>和马五<sub>9</sub>亚段的白云石化作用更为强烈,白云岩的分布范围也更



图6 鄂尔多斯盆地奥陶系中组合马五<sub>2</sub>亚段白云石化模式图

A—A'剖面位置见图2

为广泛;其白云岩的分布不再呈马五<sub>2</sub>亚段的那种条带状<sup>[1]</sup>,而是覆盖式的展布,白云岩体主要发育于古隆起东侧地区,整体上白云岩的厚度自西向东逐渐减薄,盆地中东部子洲—米脂—横山地区发育局部厚层白云岩(图7),白云岩厚度一般为13~25 m,最厚可达29 m。

图7 鄂尔多斯盆地奥陶系中组合马五<sub>2</sub>亚段白云岩厚度图

通过对马五<sub>2</sub>和马五<sub>2</sub>亚段白云岩储层的综合评价表明,并非所有的白云岩都能形成良好的储层;只有藻屑滩微相由于水动力条件强,形成的粗粉晶白云岩结构均一,晶间孔发育,所以才成为较好储层。而对于非滩相沉积,由于岩性致密,晶间孔不发育,不能形成储层。因此认为,针对马五<sub>2</sub>和马五<sub>2</sub>亚段白云岩储层的勘探,主要应以寻找滩相白云岩为目标;同时由于靠近中央古隆起的滩相白云岩体受高盐度卤水淋滤与大气淡水淋滤的双重作用,晶间孔更为发育,白云岩厚度大,且连片性好,故应作为马五<sub>2</sub>和马五<sub>2</sub>亚段天然气勘探的重点区域。

对马五<sub>2</sub>和马五<sub>2</sub>亚段186个晶间孔型白云岩储层物性样品的分析表明:它们的孔隙度一般为2%~10%,平均5.02%,大于4%的样品占51.9%;渗透率一般为 $(0.01\sim1.0)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均 $0.83\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,大于 $0.1\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的样品占42.5%;孔渗的相关性系数为0.43,相对较好。

总体上,中组合中下段储层平均孔隙度为4.53%,平均渗透率为 $0.74\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,马五<sub>2</sub>和马五<sub>2</sub>亚段的孔渗条件及相关性整体上较马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>和马五<sub>10</sub>亚段的要好,为中组合勘探最有利层系。但马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>和马五<sub>10</sub>亚段渗透率大于 $1.0\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的样品分布频率为7.1%,说明局部仍然发育高渗储层(目前在马五<sub>6</sub>和马五<sub>8</sub>亚段已成功钻探了8口高产气流井)。

### 3.3 源-储配置及圈闭成藏

鄂尔多斯盆地受加里东末期整体抬升的影响,下古生界被不同程度地剥蚀,特别是中央古隆起区

位于古地貌相对较高的位置,剥蚀程度更为强烈。该区域内奥陶系马家沟组中组合中下段,因遭受剥蚀而依次暴露地表,从而自古隆起向东,与上古生界接触的地层逐渐变新。晚石炭世,盆地开始整体沉降,开始接受上古生界的沉积,使得下古生界马家沟组中组合中下段的白云岩储层直接与上古生界石炭系—二叠系煤系烃源岩充分接触,形成一个有效供烃窗口——对中组合中下段侧向供烃(图 8)。该供烃窗口呈南北向带状展布,南北长约 400 km,东西宽约 20 km,因此该供烃窗口具有“供烃面积大、分布范围广、供烃充足”的特点。此外,马家沟组中组合中下段海退半旋回,局部洼陷中的烃源岩也可以对其自身的两类白云岩储层提供一定的烃源。

综合上述分析,本文建立了鄂尔多斯盆地奥陶系中组合中下段的成藏模式:中组合中下段的成藏主要在古隆起东侧及盆地中部地区,储层岩性整体为白云岩夹硬石膏岩。无论是滩相沉积经混合水白云石化或渗透回流白云石化而形成的晶间孔型白云岩储层,还是膏溶孔型白云岩储层,其物性都明显好于周围的白云岩体,这样便在空间上形成了岩性圈闭。燕山期,鄂尔多斯盆地发生构造翻转,盆地内整体表现为“东高西低”的构造特征,致密的白云岩围岩在上倾方向对马家沟组中组合中下段形成的岩性遮挡,最终形成上古生界煤系烃源及下古生界海相烃源同时供烃的岩性圈闭混合气藏(图 8)。

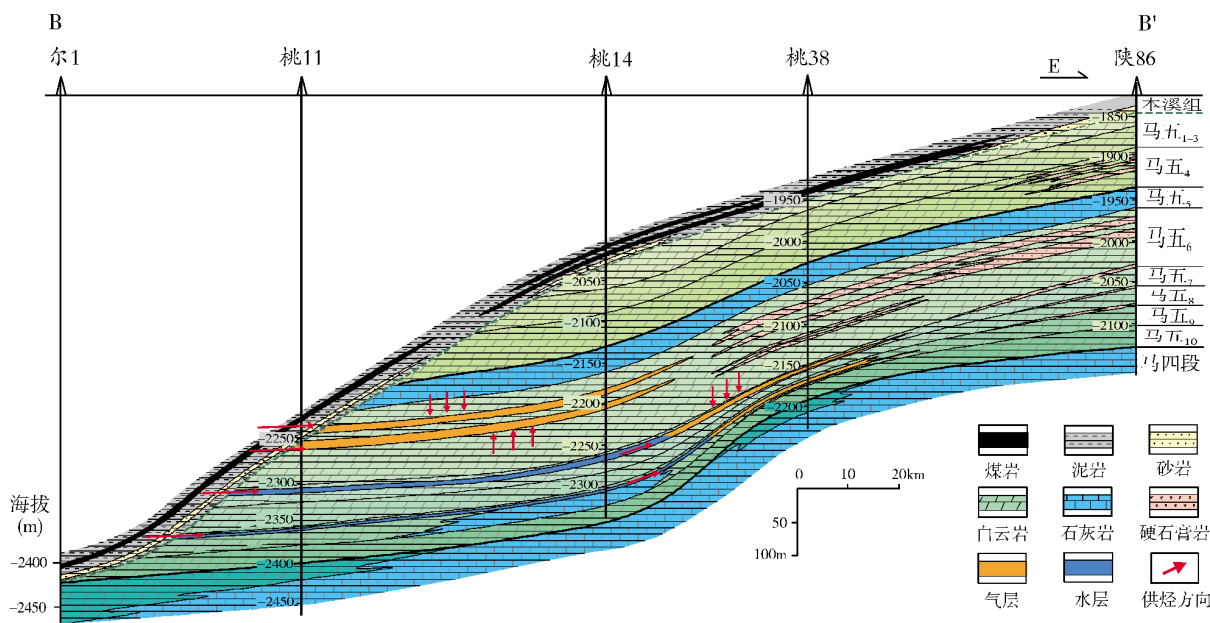


图 8 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组中组合中下段成藏模式图

B—B'剖面位置见图 2 和图 7

## 4 结 论

(1)奥陶系马家沟组中组合中下段气藏的气为来自上、下古生界的混源气,其中,以上古生界煤系烃源为主要烃源。

(2)中组合中下段海侵沉积旋回储层物性更好,主要因滩相沉积发生混合水和渗透回流两类白云石化作用而形成,混合水白云石化储层中的晶间孔更为发育。下一步勘探的重点,应该以寻找古隆起东侧的滩相沉积为目标。

## 参 考 文 献

- [1] 黄正良,陈调胜,任军峰,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系中组合储层及圈闭成藏特征[J]. 石油学报,2012,33(s2): 118-124.
- [2] 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): 1-10.
- [3] 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与岩相发育特征[J]. 沉积学报,2002,7(1): 38-46.
- [4] 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.



- [5] 辛勇光,周进高,邓红婴. 鄂尔多斯盆地南部下奥陶统马家沟组沉积特征[J]. 海相油气地质, 2010, 15(4): 1-5.
- [6] 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): 733-739.
- [7] 任军峰,包洪平,孙六一,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳岩溶储层孔洞充填特征及机理[J]. 海相油气地质, 2012, 17(2): 63-69.
- [8] 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.
- [9] 杨华,付金华,包洪平. 鄂尔多斯地区西部和南部奥陶纪海槽边缘沉积特征与天然气成藏潜力分析[J]. 海相油气地质, 2010, 15(2): 1-13.
- [10] 杨华,付金华,魏新善,等. 鄂尔多斯盆地天然气成藏特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(4): 5-9.
- [11] 陶士振. 包裹体应用于油气地质研究的前提条件和关键问题[J]. 地质科学, 2004, 39(1): 77-88.
- [12] 米敬奎,王晓梅,朱光友,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): 859-867.
- [13] 于洲,孙六一,吴兴宁,等. 鄂尔多斯盆地靖西地区马家沟组中组合储层特征及主控因素[J]. 海相油气地质, 2012, 17(4): 49-56.
- [14] 谢锦龙,吴兴宁,孙六一,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组五段岩相古地理及有利区带预测[J]. 海相油气地质, 2013, 18(4): 23-32.

编辑:赵国宪

## Characteristics of Hydrocarbon Accumulation in the Middle and Lower Sections of Middle Assemblages of Lower Ordovician Majiagou Member-5, Ordos Basin

Huang Zhengliang, Liu Yan, Wu Chunying, Wang Qianping, Ren Junfeng

**Abstract:** The Lower Ordovician Majiagou Formation can be divided into the Lower, the Middle and the Upper assemblages from the lower to the upper and the Middle Assemblage can be further divided into three sections. The Middle and Lower Sections of the Middle Assemblage are the good gas reservoirs that are discovered recently in Ordos Basin. The dolostone reservoirs with gypsum-dissolution pores and intercrystal pores are common and the spacial distribution of these dolostone reservoirs is controlled by sedimentary environment. Comprehensive analysis shows that the gas in the Middle and Lower section reservoirs is the mixed gas that derives mostly from the coal-related gas in the Upper Paleozoic source rock and less from the marine-facies gas in the Lower Paleozoic source rock. Due to uplifting of the whole Ordos Basin at the end of Caledonian movement, Majiagou Member-5 strata were subjected to intensive denudation, which led to direct contact of the Middle and Lower section reservoirs of Middle Assemblage of Majiagou Member-5 with the overlying Upper Paleozoic coal-series source rock and so a good source-reservoir relationship was set up. Owing to development of gypsum-dissolved and intercrystal pores, these dolostone reservoirs obviously are of better physical property than the surrounding dolostone bodies so that they are favorable to form lithologic traps and hydrocarbon accumulation in them as the mixed coal-related and marine-facies gases migrated into the Middle and Lower section traps from the Upper Paleozoic and Lower Paleozoic source rocks. These gas reservoirs are characteristic of multi-layer superimposition and mixed source accumulation.

**Key words:** Ordovician; Majiagou Fm.; Gas and source correlation; Mixed source gas; Lithologic trap; Hydrocarbon accumulation; Ordos Basin

**Huang Zhengliang:** male, Geology Engineer. Add: Research Institute of Exploration and Development of PetroChina Changqing Oilfield Branch Company, Xinglongyuan, Changqing, Xi'an, Shaanxi, 710018, China