

# 鄂尔多斯盆地奥陶系古隆起东侧 马家沟组中组合储层特征及成藏演化

吴东旭<sup>1</sup>, 吴兴宇<sup>1</sup>, 曹荣荣<sup>2,3</sup>, 于洲<sup>1</sup>

(1 中国石油杭州地质研究院)

(2 中国石油长庆油田分公司油气工艺研究院; 3 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室)

**摘要** 鄂尔多斯盆地奥陶系古隆起东侧马家沟组中组合白云岩储集体以晶间孔、晶间溶孔、溶蚀孔洞为主要储集空间。建立了马家沟组中组合气藏演化模式: 加里东运动末期的岩溶作用改善了中组合白云岩的储层物性; 海西运动中期, 石炭系—二叠系煤系地层覆盖在中组合白云岩储集体之上, 两者组成了有利的生储盖组合; 侏罗纪末期至早白垩世, 上古生界烃源岩到达生排烃高峰期, 中组合形成了广泛的上生下储式气藏; 早白垩世以后, 构造调整导致先存天然气藏调整, 在有侧向遮挡的部位形成了现今的气藏。预测了古隆起东侧中组合有利区, 岩性圈闭是重点勘探目标。

**关键词** 鄂尔多斯盆地; 奥陶系; 马家沟组; 中组合; 白云岩储层; 储层特征; 油气成藏

中图分类号: TE122.3<sup>\*1</sup>

文献标识码: A

## 1 概况

鄂尔多斯盆地地下古生界天然气勘探层位集中于下奥陶统马家沟组, 马家沟组储气层一般划分为上、中、下含气组合<sup>[1-4]</sup>, 其中, 马五<sub>1</sub>—马五<sub>4</sub>亚段为上组合, 以风化壳岩溶型储层、古地貌型地层圈闭为主; 马五<sub>5</sub>—马五<sub>10</sub>亚段为中组合, 以晶间孔和溶蚀孔洞型白云岩储层、岩性圈闭为主; 马四段—马一段为下组合, 以晶间孔型白云岩储层为主, 圈闭条件与中组合近似。继1998年在上组合中发现靖边气田之后, 2009—2010年在苏203区块、苏322区块(图1)的中组合中也获得了突破, 展示了较大的勘探前景。因此, 有必要对马家沟组中组合储层特征及成藏演化模式进行研究, 以指导下一步的勘探。

从奥陶系顶面古地质图(图1)可见, 马家沟组下组合出露于正宁—环县—定边—鄂托克旗一线, 向南、北过渡到前寒武纪古陆, 这一区带称为奥陶系“中央古隆起”(简称古隆起), 古隆起东侧中、上组合依次出露。现今地层剖面东高西低, 石炭系泥岩和煤

系地层直接覆盖了奥陶系马家沟组中、上组合, 相应地, 形成了不同类型和叠置方式的气藏(图2)。

随着勘探的进展和需求的变化, 近年来不少研究者在盆地范围内马家沟组岩相古地理<sup>[4]</sup>、白云岩类型、成因及储层特征研究<sup>[5-8]</sup>的基础上, 针对中组合储层特征和成藏条件进行了探索<sup>[1-3]</sup>, 提出了中组合可能发育岩性圈闭以及岩性侧向封堵的设想。笔者在对中央古隆起东部中组合白云岩储层分亚段研究的基础上, 以地质演化为主线, 分析了主要地质时期的成藏要素及其配置, 建立了研究区中组合气藏的演化模式。

## 2 中组合的白云岩储层特征

### 2.1 岩石学特征

与马家沟组上组合的细粉晶白云岩相比, 中组合受后期埋藏白云石化作用的影响, 其白云岩颗粒结构呈现多样化, 主要为粉晶—细晶, 按结构组分可分为泥晶白云岩、泥粉晶白云岩、粉晶白云岩、粉—细晶白云岩、细粉晶白云岩、颗粒白云岩等六类。

收稿日期: 2013-06-18; 改回日期: 2014-04-28

本文受国家科技重大专项“海相碳酸盐岩沉积与有效储层大型化发育机理与分布研究”(编号: 2011ZX05004-002)资助

吴东旭: 1984年生, 工程师, 2010年硕士毕业于中国石油勘探开发研究院。主要从事沉积储层方面的研究工作。通讯地址: 310023 浙江省杭州市西溪路920号; E-mail: wudx\_hz@petrochina.com.cn

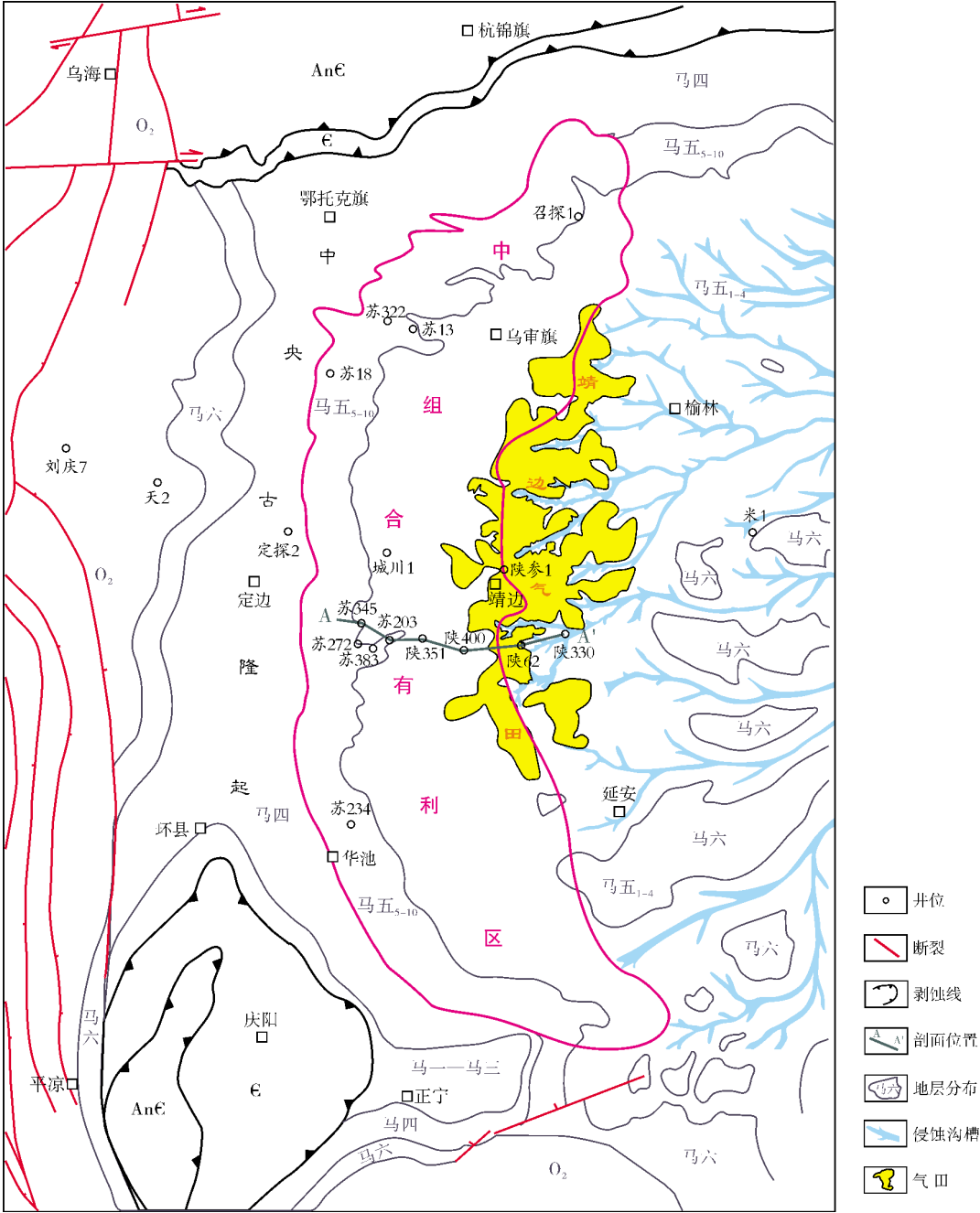


图1 鄂尔多斯盆地奥陶系顶面古地质图和中组合勘探有利区

2.2 储集空间类型及特征

与上组合风化壳岩溶储层以硬石膏结核溶蚀形成的铸模孔为主要储集空间相比，中组合白云岩具有不同的储集空间组合类型。通过对岩心、薄片的观察及分析，中组合储层主要有孔隙、孔洞、裂缝三大

类(图3),其中:孔隙主要包括晶间孔、晶间微孔与晶间溶孔等(图3a,3b);孔洞包括溶洞和溶孔(图3c,3d);裂缝以构造裂缝为主,另见少量成岩裂缝(图3e,3f)。从有效储层发育规模来看,中组合储集空间以白云石晶间孔、晶间微孔和晶间溶孔为主,其次为溶蚀孔洞,裂缝对储层储渗性能也有一定的改善作用。

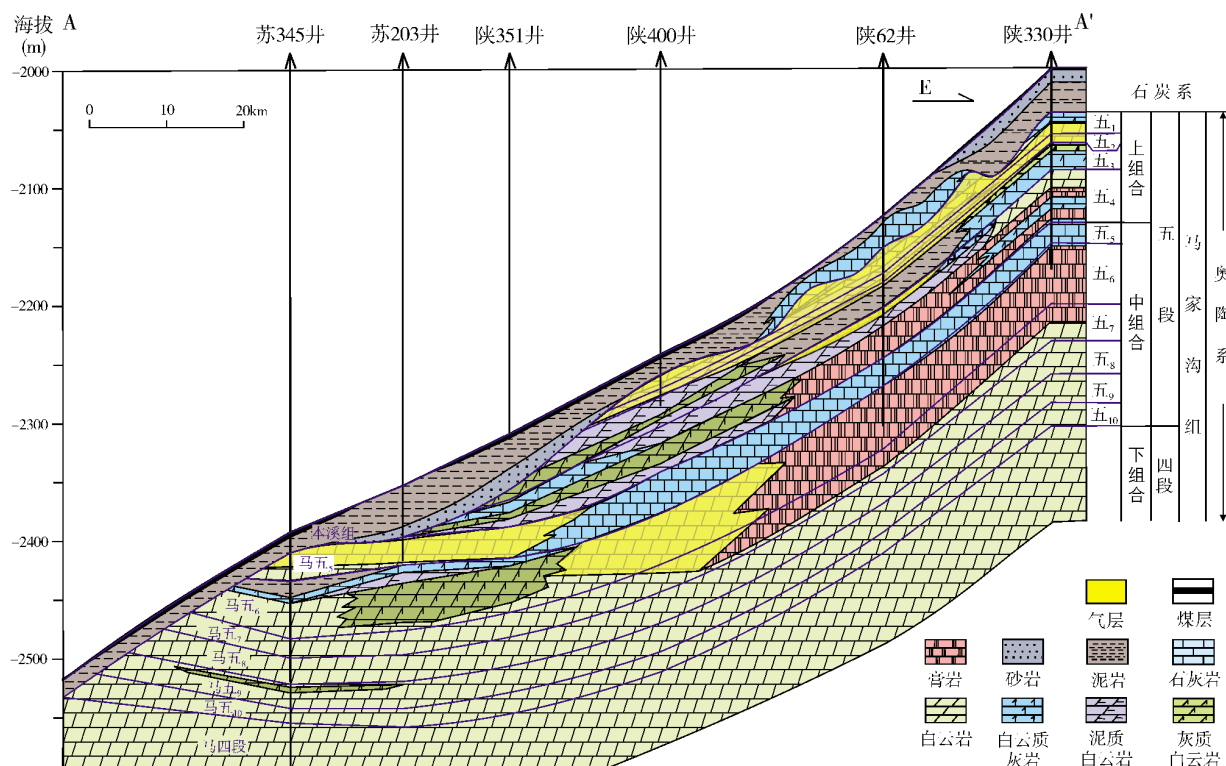


图2 鄂尔多斯盆地古隆起东侧马家沟组中、上组合气藏剖面

A—A'剖面位置见图1

从孔隙成因上看,晶间孔与晶间微孔主要由白云石化作用形成,晶间孔主要发育在泥晶粉白云岩、粉晶白云岩、粉—细晶白云岩与细晶白云岩等四类岩石中,且大多数存在于自形程度较高的白云石晶体之间,少量发育在白云石自形晶与他形晶之间。自形晶之间的晶间孔边界平直,孔隙外观常呈现为一个不规则的多边形(图3a);而晶间微孔仅少量出现,在泥粉晶白云岩的泥晶颗粒之间可见(图3b);在后期漫长的成岩作用过程中,晶间孔易受到表生岩溶、埋藏溶蚀等作用的影响,往往形成晶间溶孔,并且与晶间孔伴生。

溶蚀孔、洞的储集性能主要受表生岩溶作用、方解石胶结作用、机械充填作用与埋藏溶蚀作用的共同控制,由于成岩作用的类型与程度有所差异,溶蚀孔与溶洞在宏观与微观上也表现出了不同的特征。部分溶蚀孔、洞被后期的淡水白云石、方解石、铁白云石、石英与黄铁矿等胶结物所充填而丧失储集性能(图3c),部分被半充填而缩小储集空间,也有少部分主要受溶蚀作用所控制的溶孔、溶

洞能够比较完整地保存下来而成为有效的储集空间(图3d)。

裂缝既是表生期大气淡水的有利通道,也是埋藏期有机酸性水的重要输导网络,它有利于增加储层的孔渗性能,同时也是后期油气运移的重要通道<sup>[9]</sup>。古隆起东侧中组合白云岩储层先后在加里东末期与燕山末期经历多次抬升和沉降,在地层抬升和沉降的运动过程中,地层应力会发生变化,从而导致局部区域的岩石破裂,产生构造裂缝;同时在后期的成岩作用下,储层中也会产生成岩裂缝,但数量相对较少。与孔隙储集空间相比,裂缝一般比较平直且开启程度高,孔渗特征较好,易于被流体中沉淀出的方解石与白云石所胶结或充填(图3e),从而使大部分裂缝未能得到有效保存而未能成为储集空间或油气运气通道,仅有少部分裂缝在叠加后期埋藏溶蚀作用下才构成了有效的储集空间(图3f)。研究区内,中组合白云岩储层中的裂缝以构造裂缝为主,其次为溶蚀缝,裂缝在各个亚段均有分布。



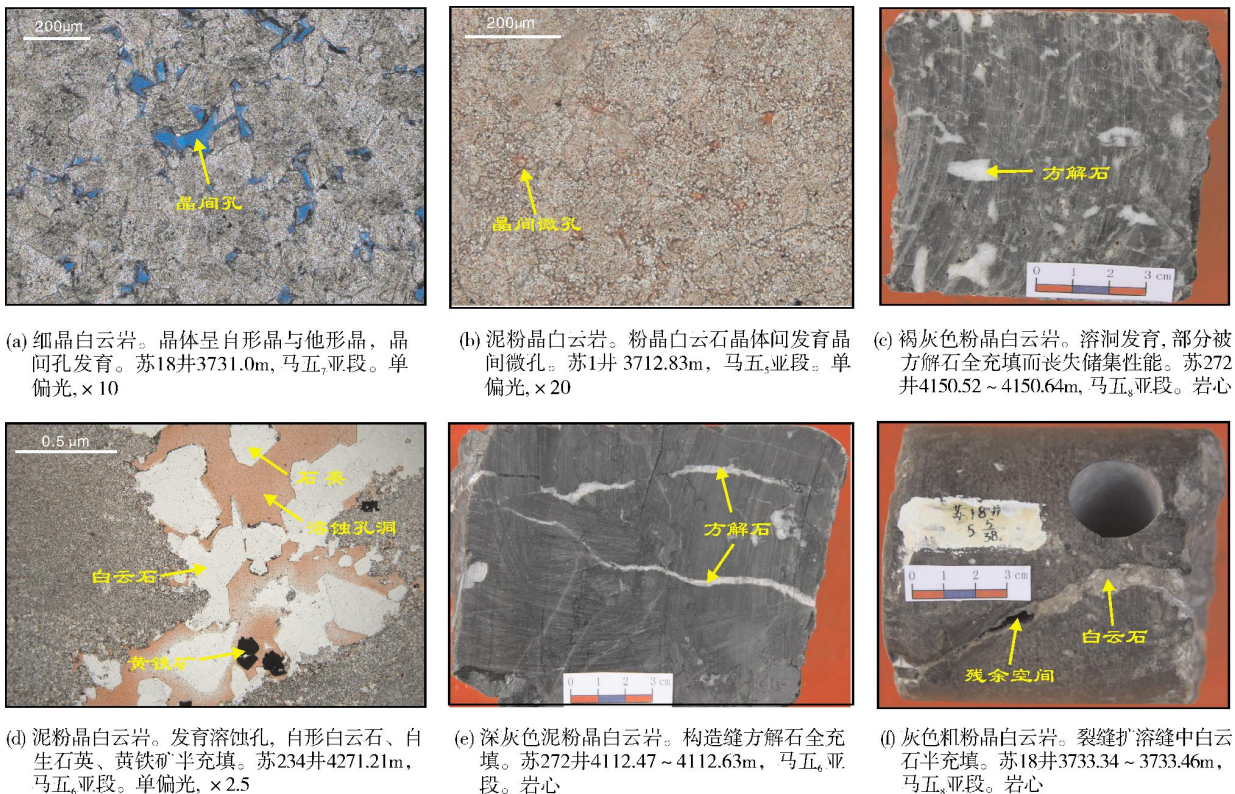


图3 鄂尔多斯盆地古隆起东侧马家沟组中组合储集空间类型及特征

### 2.3 储层孔渗特征

岩心的孔渗测试结果表明, 中组合白云岩储层为低孔低渗型储层<sup>[3]</sup>。由于沉积环境及后期成岩改造作用的差异, 各个小层储集物性有一定的差异; 从测井解释的孔渗性看, 马五<sub>5</sub>和马五<sub>7</sub>亚段的物性最好, 马五<sub>8</sub>亚段的次之; 马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>与马五<sub>10</sub>三个亚段的物性相对较差(图4)。

## 3 中组合的成藏演化模式

本文以地质演化为主线, 在还原各地质阶段成藏要素的形成及配置关系基础上, 建立了中组合气藏的演化模式, 认为古隆起东侧中组合气藏的形成包括了以下四个阶段(图5)。

### 3.1 储集体发育阶段

鄂尔多斯盆地马五时是一个相对海退期<sup>[10]</sup>, 它以干燥气候条件下的潮坪沉积环境为特征, 易于发生准同生白云石化作用, 并形成少量的晶间孔与晶间微孔。其中马五<sub>5</sub>、马五<sub>7</sub>、马五<sub>8</sub>三个时段为次级相

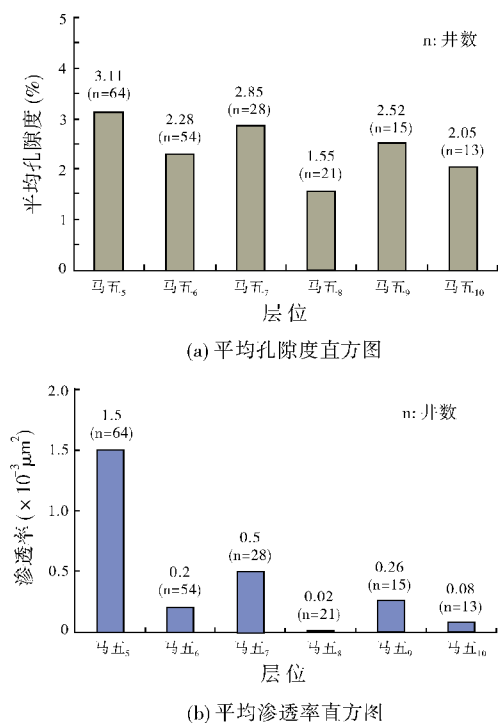
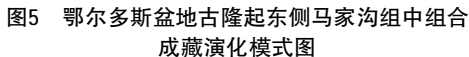


图4 鄂尔多斯盆地古隆起东侧马家沟组中组合各亚段测井解释孔渗分布直方图



与储盖组合相对应, 本区形成了两种典型的圈



闭类型;地层圈闭和岩性圈闭。地层圈闭的形成主要跟地层沉积间断或不整合相关。风化壳上部的石炭系泥岩、铁铝岩等低渗透岩层覆盖上组合储层,局部的石炭系可以形成有效的侧向遮挡。此种圈闭是上组合气藏的主要圈闭类型(图2)。

岩性圈闭的形成主要跟海平面变化以及沉积相变有关。相对海侵期形成的石灰岩、泥质白云岩等低渗透地层作为盖层,覆盖在相对海退期形成的中组合白云岩之上;台坪相的白云岩侧向岩性尖灭,过渡为盆地内部的石灰岩、膏岩等低渗透岩类,形成有效遮挡。此种圈闭是中组合气藏的主要圈闭类型(图2,图5b)。

### 3.3 天然气生成与运移阶段

燕山期,上古生界烃源岩进入生、排烃峰值期,天然气由生烃、排烃中心向各圈闭系统运聚,形成气藏。石炭系、二叠系生烃中心位于乌审旗—延安—定边一带<sup>[16]</sup>,在三叠纪快速埋藏的正常古地温作用下,开始进入生烃门限,并有少量烃类排出;上古生界煤成气以垂直顶渗方式进入中组合储层,但供气量不大。晚侏罗世到早白垩世,基于热事件的影响,上古生界有机质进入成熟—高成熟阶段,盆地达到主要生烃、排烃期<sup>[17-18]</sup>。石炭系、二叠系的天然气向下伏奥陶系储层运聚,主要有两种途径:(1)在排烃峰值期,上古生界下部的天然气浓度明显大于奥陶系顶部的天然气浓度,由于浓度差的存在,导致上古生界天然气向奥陶系扩散运移;(2)来自上古生界煤系地层有机质脱羧基作用产生的酸性水向奥陶系入侵,为天然气向下运移提供了载体。所以,中组合的气藏主要为上生下储型(图5c)。

### 3.4 气藏调整阶段

早白垩世之后,盆地东部抬升,西部沉降,导致已形成的气藏内部流体调整,局部岩溶构造的上倾方向由地层和岩性封堵,在构造演化中成为气藏的遮挡,显现出现今的气藏面貌(图5d):西倾单斜背景的储集体上倾方向被充填封堵,或在残丘、断隆基础上形成的穹窿状背斜,与白云岩储层、岩溶储层相互配置,形成以古地貌与构造为基础、具备岩性遮挡条件的复合圈闭。

从理论上而言,如果研究区内的中组合形成了有效的地层或岩性圈闭,它就有可能形成气藏。如果

中组合因为缺失纵向或侧向的岩性遮挡,天然气将继续向上部的上组合及盆地中部聚集,上组合中的地层圈闭广泛存在,在局部地区侧向遮挡的条件下,就会形成象靖边气田的膏模孔风化壳气藏(图2),如陕62井所揭示的那样。

根据上述成藏演化模式,本文主要考虑到中组合的有利储集层发育区和有效岩性圈闭范围,在气源供应充足的情况下,预测中组合气藏的有利区分布在华池—靖边—乌审旗—一线(图1)。在下一步勘探过程中,要注意中组合沉积微相的侧向变化,把岩性圈闭作为重点目标。

## 4 结 论

(1)鄂尔多斯盆地奥陶系古隆起东侧中组合白云岩储层以颗粒滩沉积为基础,经过岩溶改造,形成了储集空间以晶间孔、晶间溶孔、溶蚀孔洞为主的储集体,且马五<sub>5</sub>、马五<sub>7</sub>、马五<sub>9</sub>亚段的储集性能好于马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>与马五<sub>10</sub>亚段。

(2)上古生界煤系烃源岩和下古生界海相碳酸盐岩烃源岩为中组合气藏提供了充足的气源,同时上古生界厚层的泥岩层系也担当了区域上的盖层,它与中组合白云岩储层一起形成了良好的生储盖组合。

(3)中组合沉积期形成的颗粒滩到白云质灰岩坪、泥质白云岩坪等的相变,为后期气藏调整阶段的侧向遮挡以及有效圈闭的形成提供了保障。

#### 参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 黄正良,陈调胜,任军峰,等.鄂尔多斯盆地奥陶系中组合白云岩储层及圈闭成藏特征[J].石油学报,2012,33(增刊2):118-124.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 侯方浩,方少仙,董兆雄,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,2003,21(1):106-112.
- [6] 冯增昭,陈继新,张吉森.鄂尔多斯盆地早古生代岩相古地理[M].北京:地质出版社,1991.

- [7] 苏中堂,陈洪德,徐粉燕,等. 鄂尔多斯盆地马家沟组白云岩成因及其储集性能[J]. 海相油气地质, 2013, 18(2): 15-22.
- [8] 侯方浩,方少仙,何江,等. 鄂尔多斯盆地靖边气田区中奥陶统马家沟组五—五<sub>4</sub>亚段古岩溶型储层分布特征及综合评价[J]. 海相油气地质, 2011, 16(1): 1-13.
- [9] 谢传礼. 长庆气田奥陶系马五段碳酸盐岩裂缝发育程度与气藏关系研究[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(3): 8-13.
- [10] 史基安,邵毅,张顺存,等. 鄂尔多斯盆地东部地区奥陶系马家沟组沉积环境与岩相古地理研究[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 316-324.
- [11] 赵振宇,郭彦如,王艳,等. 鄂尔多斯盆地构造演化及古地理特征研究进展[J]. 特种油气藏, 2012, 19(5): 15-20.
- [12] 冯增昭,鲍志东,康祺发,等. 鄂尔多斯奥陶纪古构造[J]. 古地理学报, 1999, 1(3): 83-94.
- [13] 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.
- [14] 郑聪斌,张军. 鄂尔多斯盆地奥陶系天然气成藏特征及气藏分布规律[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(4): 5-12.
- [15] 时保宏,刘亚楠,武春英,等. 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[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(5): 610-618.
- [16] 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.
- [17] 何自新,付金华,席胜利,等. 苏里格大气田成藏地质特征[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 6-12.
- [18] 赵文智,何登发. 中国含油气系统的基本特征与勘探对策[J]. 石油学报, 2002, 23(6): 1-11.

编辑:董庸

## Reservoir Characteristics and Evolution of Majiagou Middle Assemblage on East Side of Ordovician Central Paleouplift, Ordos Basin

Wu Dongxu, Wu Xingning, Cao Rongrong, Yu Zhou

**Abstract:** The Majiagou Middle Assemblage refers to the whole gas-bearing reservoir beds from Submember-5 to Submember-10 of Lower Ordovician Majiagou Member-5 in Ordos Basin. Intercrystalline pore, intercrystalline dissolved pores and dissolved vugs are predominating in the Middle Assemblage dolostone reservoirs that are widely distributed on the east side of the Ordovician Central Paleouplift, Ordos Basin. The Ordovician Middle Assemblage dolostone reservoirs experienced a long process of hydrocarbon accumulation and reservoir evolution. The good source-reservoir-cap assemblage consists of the Middle Assemblage karst dolostone as reservoirs and the overlying thick Carboniferous-Permian coal measure strata as cap and source rock. Attributed to the upper Paleozoic source rock that had reached to the peak of hydrocarbon generation and expulsion during late Jurassic to early Cretaceous period, the "source in the upper and reservoir in the lower" styled gas reservoirs formed widely in the Middle Assemblage. Because of modulation of the earlier gas reservoirs caused by structural evolution since early Cretaceous, nowadays gas reservoirs commonly formed in the laterally-sealing locations within Middle Assemblage. It is suggested that lithologic traps are the favorable exploration targets.

**Key words:** Ordovician; Majiagou Fm.; Dolostone reservoir; Hydrocarbon accumulation; Ordos Basin

**Wu Dongxu;** male, MSc., Petroleum Geology Engineer. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang, 310023, China

# 鄂尔多斯盆地奥陶系古隆起东侧 马家沟组中组合储层特征及成藏演化

吴东旭<sup>1</sup>, 吴兴宇<sup>1</sup>, 曹荣荣<sup>2,3</sup>, 于洲<sup>1</sup>

(1 中国石油杭州地质研究院)

(2 中国石油长庆油田分公司油气工艺研究院; 3 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室)

**摘 要** 鄂尔多斯盆地奥陶系古隆起东侧马家沟组中组合白云岩储集体以晶间孔、晶间溶孔、溶蚀孔洞为主要储集空间。建立了马家沟组中组合气藏演化模式: 加里东运动末期的岩溶作用改善了中组合白云岩的储层物性; 海西运动中期, 石炭系—二叠系煤系地层覆盖在中组合白云岩储集体之上, 两者组成了有利的生储盖组合; 侏罗纪末期至早白垩世, 上古生界烃源岩到达生排烃高峰期, 中组合形成了广泛的上生下储式气藏; 早白垩世以后, 构造调整导致先存天然气藏调整, 在有侧向遮挡的部位形成了现今的气藏。预测了古隆起东侧中组合有利区, 岩性圈闭是重点勘探目标。

**关键词** 鄂尔多斯盆地; 奥陶系; 马家沟组; 中组合; 白云岩储层; 储层特征; 油气成藏

中图分类号: TE122.3<sup>\*1</sup>

文献标识码: A

## 1 概 况

鄂尔多斯盆地地下古生界天然气勘探层位集中于下奥陶统马家沟组, 马家沟组储气层一般划分为上、中、下含气组合<sup>[1-4]</sup>, 其中, 马五<sub>1</sub>—马五<sub>4</sub>亚段为上组合, 以风化壳岩溶型储层、古地貌型地层圈闭为主; 马五<sub>5</sub>—马五<sub>10</sub>亚段为中组合, 以晶间孔和溶蚀孔洞型白云岩储层、岩性圈闭为主; 马四段—马一段为下组合, 以晶间孔型白云岩储层为主, 圈闭条件与中组合近似。继1998年在上组合中发现靖边气田之后, 2009—2010年在苏203区块、苏322区块(图1)的中组合中也获得了突破, 展示了较大的勘探前景。因此, 有必要对马家沟组中组合储层特征及成藏演化模式进行研究, 以指导下一步的勘探。

从奥陶系顶面古地质图(图1)可见, 马家沟组下组合出露于正宁—环县—定边—鄂托克旗一线, 向南、北过渡到前寒武纪古陆, 这一区带称为奥陶系“中央古隆起”(简称古隆起), 古隆起东侧中、上组合依次出露。现今地层剖面东高西低, 石炭系泥岩和煤

系地层直接覆盖了奥陶系马家沟组中、上组合, 相应地, 形成了不同类型和叠置方式的气藏(图2)。

随着勘探的进展和需求的变化, 近年来不少研究者在盆地范围内马家沟组岩相古地理<sup>[4]</sup>、白云岩类型、成因及储层特征研究<sup>[5-8]</sup>的基础上, 针对中组合储层特征和成藏条件进行了探索<sup>[1-3]</sup>, 提出了中组合可能发育岩性圈闭以及岩性侧向封堵的设想。笔者在对中央古隆起东部中组合白云岩储层分亚段研究的基础上, 以地质演化为主线, 分析了主要地质时期的成藏要素及其配置, 建立了研究区中组合气藏的演化模式。

## 2 中组合的白云岩储层特征

### 2.1 岩石学特征

与马家沟组上组合的细粉晶白云岩相比, 中组合受后期埋藏白云石化作用的影响, 其白云岩颗粒结构呈现多样化, 主要为粉晶—细晶, 按结构组分可分为泥晶白云岩、泥粉晶白云岩、粉晶白云岩、粉—细晶白云岩、细粉晶白云岩、颗粒白云岩等六类。

收稿日期: 2013-06-18; 改回日期: 2014-04-28

本文受国家科技重大专项“海相碳酸盐岩沉积与有效储层大型化发育机理与分布研究”(编号: 2011ZX05004-002)资助

吴东旭: 1984年生, 工程师, 2010年硕士毕业于中国石油勘探开发研究院。主要从事沉积储层方面的研究工作。通讯地址: 310023 浙江省杭州市西溪路920号; E-mail: wudx\_hz@petrochina.com.cn



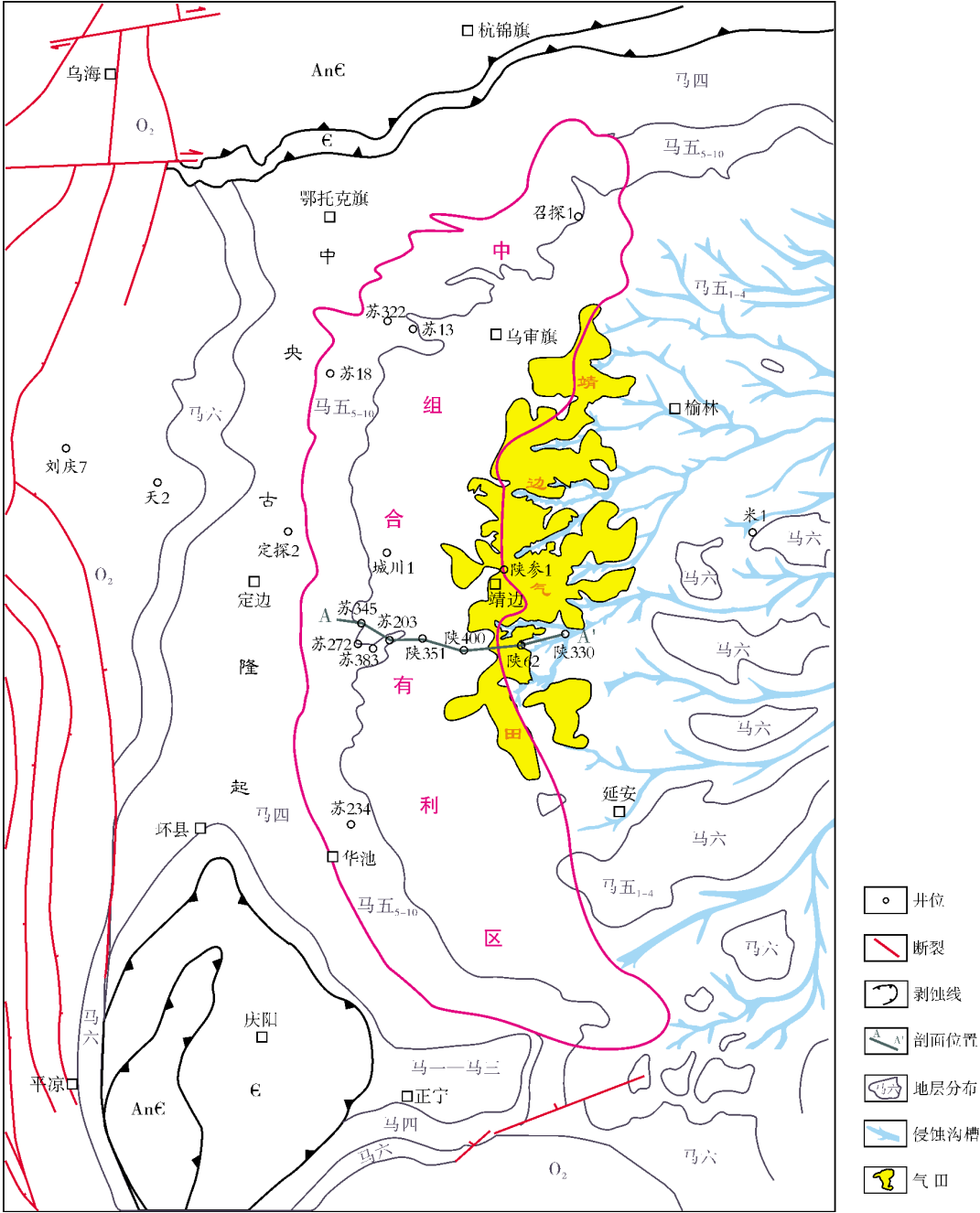


图1 鄂尔多斯盆地奥陶系顶面古地质图和中组合勘探有利区

2.2 储集空间类型及特征

与上组合风化壳岩溶储层以硬石膏结核溶蚀形成的铸模孔为主要储集空间相比，中组合白云岩具有不同的储集空间组合类型。通过对岩心、薄片观察及分析，中组合储层主要有孔隙、孔洞、裂缝三大

类(图3)，其中：孔隙主要包括晶间孔、晶间微孔与晶间溶孔等(图3a,3b)；孔洞包括溶洞和溶孔(图3c,3d)；裂缝以构造裂缝为主，另见少量成岩裂缝(图3e,3f)。从有效储层发育规模来看，中组合储集空间以白云石晶间孔、晶间微孔和晶间溶孔为主，其次为溶蚀孔洞，裂缝对储层储渗性能也有一定的改善作用。

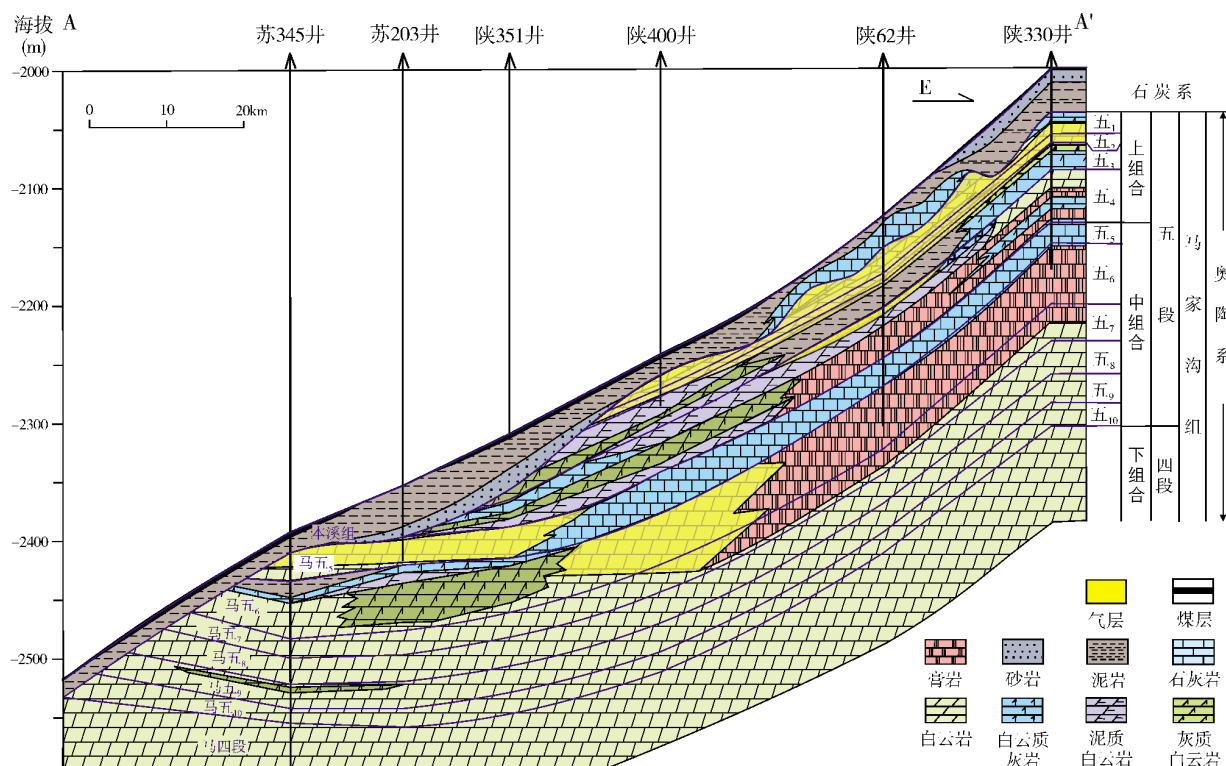


图2 鄂尔多斯盆地古隆起东侧马家沟组中、上组合气藏剖面

A—A'剖面位置见图1

从孔隙成因上看,晶间孔与晶间微孔主要由白云石化作用形成,晶间孔主要发育在泥晶粉白云岩、粉晶白云岩、粉—细晶白云岩与细晶白云岩等四类岩石中,且大多数存在于自形程度较高的白云石晶体之间,少量发育在白云石自形晶与他形晶之间。自形晶之间的晶间孔边界平直,孔隙外观常呈现为一个不规则的多边形(图3a);而晶间微孔仅少量出现,在泥粉晶白云岩的泥晶颗粒之间可见(图3b);在后期漫长的成岩作用过程中,晶间孔易受到表生岩溶、埋藏溶蚀等作用的影响,往往形成晶间溶孔,并且与晶间孔伴生。

溶蚀孔、洞的储集性能主要受表生岩溶作用、方解石胶结作用、机械充填作用与埋藏溶蚀作用的共同控制,由于成岩作用的类型与程度有所差异,溶蚀孔与溶洞在宏观与微观上也表现出了不同的特征。部分溶蚀孔、洞被后期的淡水白云石、方解石、铁白云石、石英与黄铁矿等胶结物所充填而丧失储集性能(图3c),部分被半充填而缩小储集空间,也有少部分主要受溶蚀作用所控制的溶孔、溶

洞能够比较完整地保存下来而成为有效的储集空间(图3d)。

裂缝既是表生期大气淡水的有利通道,也是埋藏期有机酸性水的重要输导网络,它有利于增加储层的孔渗性能,同时也是后期油气运移的重要通道<sup>[9]</sup>。古隆起东侧中组合白云岩储层先后在加里东末期与燕山末期经历多次抬升和沉降,在地层抬升和沉降的运动过程中,地层应力会发生变化,从而导致局部区域的岩石破裂,产生构造裂缝;同时在后期的成岩作用下,储层中也会产生成岩裂缝,但数量相对较少。与孔隙储集空间相比,裂缝一般比较平直且开启程度高,孔渗特征较好,易于被流体中沉淀出的方解石与白云石所胶结或充填(图3e),从而使大部分裂缝未能得到有效保存而未能成为储集空间或油气运移通道,仅有少部分裂缝在叠加后期埋藏溶蚀作用下才构成了有效的储集空间(图3f)。研究区内,中组合白云岩储层中的裂缝以构造裂缝为主,其次为溶蚀缝,裂缝在各个亚段均有分布。

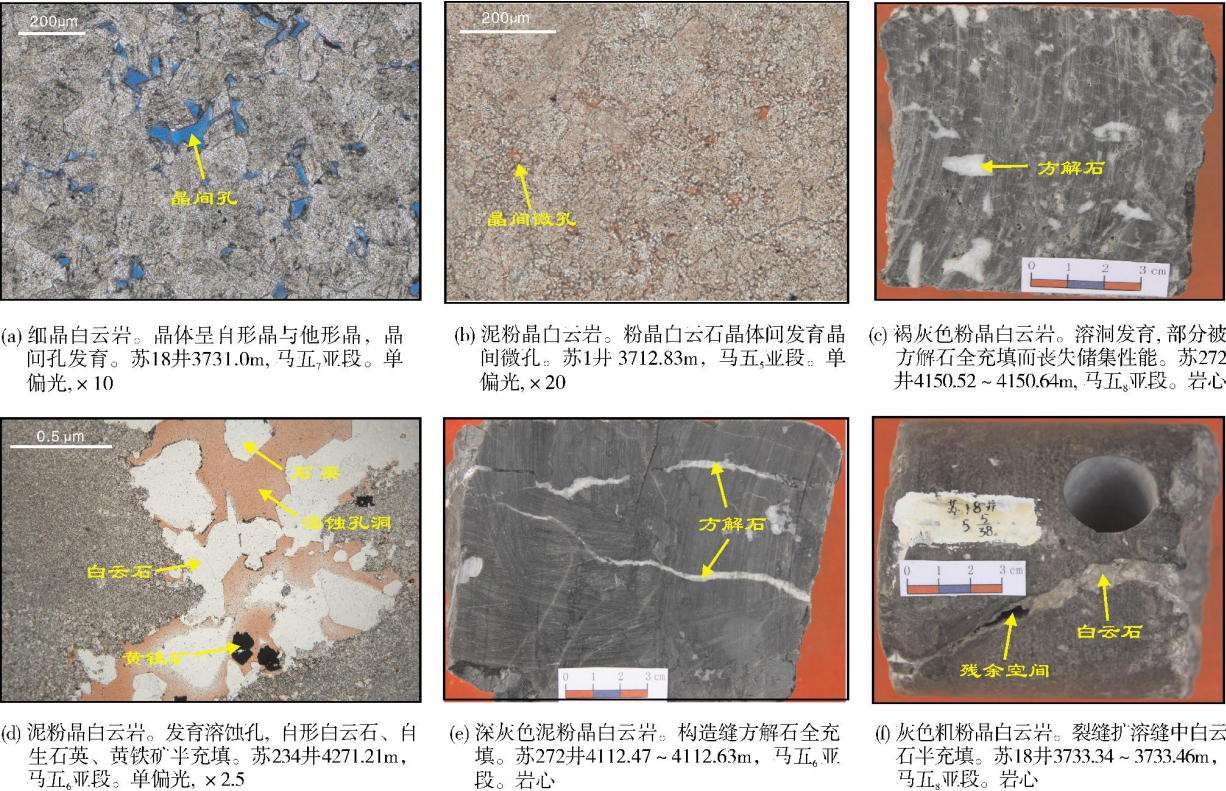


图3 鄂尔多斯盆地古隆起东侧马家沟组中组合储集空间类型及特征

2.3 储层孔渗特征

岩心的孔渗测试结果表明，中组合白云岩储层为低孔低渗型储层<sup>[3]</sup>。由于沉积环境及后期成岩改造作用的差异，各个小层储集物性有一定的差异，从测井解释的孔渗性看，马五<sub>5</sub>和马五<sub>7</sub>亚段的物性最好，马五<sub>9</sub>亚段的次之；马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>与马五<sub>10</sub>三个亚段的物性相对较差(图4)。

3 中组合的成藏演化模式

本文以地质演化为主线，在还原各地质阶段成藏要素的形成及配置关系基础上，建立了中组合气藏的演化模式，认为古隆起东侧中组合气藏的形成包括了以下四个阶段(图5)。

3.1 储集体发育阶段

鄂尔多斯盆地马五时是一个相对海退期<sup>[10]</sup>，它以干燥气候条件下的潮坪沉积环境为特征，易于发生准同生白云石化作用，并形成少量的晶间孔与晶间微孔。其中马五<sub>5</sub>、马五<sub>7</sub>、马五<sub>9</sub>三个时段为次级相

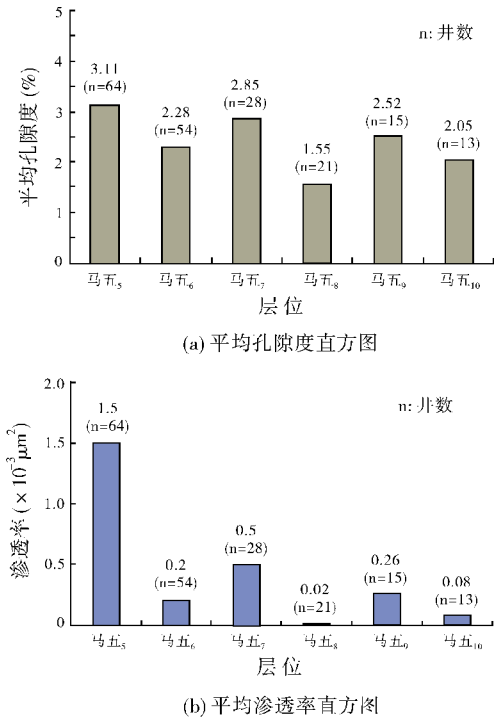
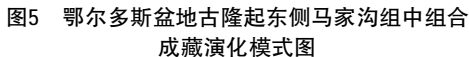


图4 鄂尔多斯盆地古隆起东侧马家沟组中组合各亚段测井解释孔渗分布直方图





与储盖组合相对应, 本区形成了两种典型的圈

闭类型;地层圈闭和岩性圈闭。地层圈闭的形成主要跟地层沉积间断或不整合相关。风化壳上部的石炭系泥岩、铁铝岩等低渗透岩层覆盖上组合储层,局部的石炭系可以形成有效的侧向遮挡。此种圈闭是上组合气藏的主要圈闭类型(图2)。

岩性圈闭的形成主要跟海平面变化以及沉积相变有关。相对海侵期形成的石灰岩、泥质白云岩等低渗透地层作为盖层,覆盖在相对海退期形成的中组合白云岩之上;台坪相的白云岩侧向岩性尖灭,过渡为盆地内部的石灰岩、膏岩等低渗透岩类,形成有效遮挡。此种圈闭是中组合气藏的主要圈闭类型(图2,图5b)。

### 3.3 天然气生成与运移阶段

燕山期,上古生界烃源岩进入生、排烃峰值期,天然气由生烃、排烃中心向各圈闭系统运聚,形成气藏。石炭系、二叠系生烃中心位于乌审旗—延安—定边一带<sup>[16]</sup>,在三叠纪快速埋藏的正常古地温作用下,开始进入生烃门限,并有少量烃类排出;上古生界煤成气以垂直顶渗方式进入中组合储层,但供气量不大。晚侏罗世到早白垩世,基于热事件的影响,上古生界有机质进入成熟—高成熟阶段,盆地达到主要生烃、排烃期<sup>[17-18]</sup>。石炭系、二叠系的天然气向下伏奥陶系储层运聚,主要有两种途径:(1)在排烃峰值期,上古生界下部的天然气浓度明显大于奥陶系顶部的天然气浓度,由于浓度差的存在,导致上古生界天然气向奥陶系扩散运移;(2)来自上古生界煤系地层有机质脱羧基作用产生的酸性水向奥陶系入侵,为天然气向下运移提供了载体。所以,中组合的气藏主要为上生下储型(图5c)。

### 3.4 气藏调整阶段

早白垩世之后,盆地东部抬升,西部沉降,导致已形成的气藏内部流体调整,局部岩溶构造的上倾方向由地层和岩性封堵,在构造演化中成为气藏的遮挡,显现出现今的气藏面貌(图5d):西倾单斜背景的储集体上倾方向被充填封堵,或在残丘、断隆基础上形成的穹窿状背斜,与白云岩储层、岩溶储层相互配置,形成以古地貌与构造为基础、具备岩性遮挡条件的复合圈闭。

从理论上而言,如果研究区内的中组合形成了有效的地层或岩性圈闭,它就有可能形成气藏。如果

中组合因为缺失纵向或侧向的岩性遮挡,天然气将继续向上部的上组合及盆地中部聚集,上组合中的地层圈闭广泛存在,在局部地区侧向遮挡的条件下,就会形成象靖边气田的膏模孔风化壳气藏(图2),如陕62井所揭示的那样。

根据上述成藏演化模式,本文主要考虑到中组合的有利储集层发育区和有效岩性圈闭范围,在气源供应充足的情况下,预测中组合气藏的有利区分布在华池—靖边—乌审旗—一线(图1)。在下一步勘探过程中,要注意中组合沉积微相的侧向变化,把岩性圈闭作为重点目标。

## 4 结 论

(1)鄂尔多斯盆地奥陶系古隆起东侧中组合白云岩储层以颗粒滩沉积为基础,经过岩溶改造,形成了储集空间以晶间孔、晶间溶孔、溶蚀孔洞为主的储集体,且马五<sub>5</sub>、马五<sub>7</sub>、马五<sub>9</sub>亚段的储集性能好于马五<sub>6</sub>、马五<sub>8</sub>与马五<sub>10</sub>亚段。

(2)上古生界煤系烃源岩和下古生界海相碳酸盐岩烃源岩为中组合气藏提供了充足的气源,同时上古生界厚层的泥岩层系也担当了区域上的盖层,它与中组合白云岩储层一起形成了良好的生储盖组合。

(3)中组合沉积期形成的颗粒滩到白云质灰岩坪、泥质白云岩坪等的相变,为后期气藏调整阶段的侧向遮挡以及有效圈闭的形成提供了保障。

#### 参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 黄正良,陈调胜,任军峰,等.鄂尔多斯盆地奥陶系中组合白云岩储层及圈闭成藏特征[J].石油学报,2012,33(增刊2):118-124.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 侯方浩,方少仙,董兆雄,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,2003,21(1):106-112.
- [6] 冯增昭,陈继新,张吉森.鄂尔多斯盆地早古生代岩相古地理[M].北京:地质出版社,1991.

- [7] 苏中堂,陈洪德,徐粉燕,等. 鄂尔多斯盆地马家沟组白云岩成因及其储集性能[J]. 海相油气地质, 2013, 18(2): 15-22.
- [8] 侯方浩,方少仙,何江,等. 鄂尔多斯盆地靖边气田区中奥陶统马家沟组五—五<sub>4</sub>亚段古岩溶型储层分布特征及综合评价[J]. 海相油气地质, 2011, 16(1): 1-13.
- [9] 谢传礼. 长庆气田奥陶系马五段碳酸盐岩裂缝发育程度与气藏关系研究[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(3): 8-13.
- [10] 史基安,邵毅,张顺存,等. 鄂尔多斯盆地东部地区奥陶系马家沟组沉积环境与岩相古地理研究[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 316-324.
- [11] 赵振宇,郭彦如,王艳,等. 鄂尔多斯盆地构造演化及古地理特征研究进展[J]. 特种油气藏, 2012, 19(5): 15-20.
- [12] 冯增昭,鲍志东,康祺发,等. 鄂尔多斯奥陶纪古构造[J]. 古地理学报, 1999, 1(3): 83-94.
- [13] 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.
- [14] 郑聪斌,张军. 鄂尔多斯盆地奥陶系天然气成藏特征及气藏分布规律[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(4): 5-12.
- [15] 时保宏,刘亚楠,武春英,等. 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[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(5): 610-618.
- [16] 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.
- [17] 何自新,付金华,席胜利,等. 苏里格大气田成藏地质特征[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 6-12.
- [18] 赵文智,何登发. 中国含油气系统的基本特征与勘探对策[J]. 石油学报, 2002, 23(6): 1-11.

编辑:董庸

## Reservoir Characteristics and Evolution of Majiagou Middle Assemblage on East Side of Ordovician Central Paleouplift, Ordos Basin

Wu Dongxu, Wu Xingning, Cao Rongrong, Yu Zhou

**Abstract:** The Majiagou Middle Assemblage refers to the whole gas-bearing reservoir beds from Submember-5 to Submember-10 of Lower Ordovician Majiagou Member-5 in Ordos Basin. Intercrystalline pore, intercrystalline dissolved pores and dissolved vugs are predominating in the Middle Assemblage dolostone reservoirs that are widely distributed on the east side of the Ordovician Central Paleouplift, Ordos Basin. The Ordovician Middle Assemblage dolostone reservoirs experienced a long process of hydrocarbon accumulation and reservoir evolution. The good source-reservoir-cap assemblage consists of the Middle Assemblage karst dolostone as reservoirs and the overlying thick Carboniferous-Permian coal measure strata as cap and source rock. Attributed to the upper Paleozoic source rock that had reached to the peak of hydrocarbon generation and expulsion during late Jurassic to early Cretaceous period, the "source in the upper and reservoir in the lower" styled gas reservoirs formed widely in the Middle Assemblage. Because of modulation of the earlier gas reservoirs caused by structural evolution since early Cretaceous, nowadays gas reservoirs commonly formed in the laterally-sealing locations within Middle Assemblage. It is suggested that lithologic traps are the favorable exploration targets.

**Key words:** Ordovician; Majiagou Fm.; Dolostone reservoir; Hydrocarbon accumulation; Ordos Basin

Wu Dongxu; male, MSc., Petroleum Geology Engineer. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang, 310023, China