

文章编号: 1001-6112(2010)02-0147-07

鄂尔多斯盆地西南缘 奥陶系马家沟组白云岩成因研究

黄擎宇, 张峭楠, 丁晓琪, 段杰, 向雷

(油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059)

摘要: 基于岩石薄片的系统鉴定, 将钻井岩心和地表露头样品相结合, 运用多种分析、测试手段对鄂尔多斯盆地西南缘奥陶系马家沟组白云岩的成因进行深入研究, 认为该组白云岩主要由准同生白云岩和埋藏白云岩组成。准同生白云岩主要发育于马家沟组一、三、五段, 受古地理环境限制明显, 由蒸发泵白云石化形成; 埋藏白云岩厚度大、分布广、岩石类型多, 构成马家沟组白云岩的主体, 成因模式包括浅埋藏期的回流白云石化以及中—深埋藏期的压实水流白云石化和地形驱动水流白云石化。热液白云岩在盆地西缘的定边地区、南缘的富县、黄陵、麟游均有发现, 通常呈脉状充填裂缝, 其成因与深部热流体沿断裂系统上涌有关, 而且对储层的发育具有指示意义。在上述成因模式研究的基础上, 对各类白云石的结构演化进行了讨论。

关键词: 白云石化; 结构演化; 马家沟组; 奥陶系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

ORIGIN OF DOLOMITE OF ORDOVICIAN MAJIAGOU FORMATION, WESTERN AND SOUTHERN MARGIN OF THE ORDOS BASIN

Huang Qingyu, Zhang Shaonan, Ding Xiaoqi, Duan Jie, Xiang Lei

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,
Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: A large amount of dolomite is developed in the Ordovician Majiagou Formation in western and southern margin of the Ordos Basin. The massive dolomite which has large exploration potential mainly distributes in the northern Tianhuan Depression and Weibei Uplift. Based on the study of outcrop section and borehole core, the lithology and mineralogy characteristics, the geochemical data and sedimentary diagenetic—structural setting, the dolomite in study area can be divided into three types: penecontemporaneous dolomite, burial dolomite and hydrothermal dolomite. Penecontemporaneous dolomite developed in Majiagou Formation Member 1, 3 and 5. Its origin is evaporative pumping dolomitization. The genesis of burial dolomite which forms main body of the dolomite of Majiagou Formation can be explained as seepage-reflux dolomitization during shallow-burial stage and compacting flow dolomitization and landform-driven flow dolomitization. Hydrothermal dolomite which fills in fractures is discovered in Dingbian, Fuxian, Huangling and Linyou area. The deep thermal fluid rising along faults and fracture system is relate to the origin of hydrothermal dolomite, it plays an important role in forming reservoirs in this area. In addition, this article describes the textural characteristic and evolution of the dolomite, for having an intuitive cognition with the forming process of various types of dolomite.

Key words: dolomitization; texture evolution; Majiagou Formation; Ordovician; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组白云岩分布范围广, 沉积厚度大, 对该组白云岩的研究无疑会加深对盆地地下古生界储层发育规律的认识。因此, 许多专家学者对其成因进行了大量论证, 提出了各种白云岩成因机制, 如蒸发泵白云石化^[1]、渗透回流白云石化^[2]、混合水白云石化^[3-4]、埋藏热水白云

石化^[5]。但对于盆地西缘和南缘白云岩的研究仍不够深入, 尤其是南缘块状白云岩的成因, 由于钻井岩心比较少, 地表露头不连续, 加之对该套白云岩的储集性能认识争议比较大, 因而研究欠深入。

近年来, 随着国际上对白云岩成因研究的不断加强, 欧美学者对混合水白云石化模式能否形成

大规模块状白云岩储层提出了广泛质疑^[6-7];同时,埋藏白云石化和受构造控制的热液白云石化逐渐成为研究的热点^[8-9];在本次研究中也发现盆地西南缘存在大量异形白云石。因此,有必要深化对盆地西南缘马家沟组白云岩成因的研究,对不同成因白云石的结构演化进行探讨,以便真实地认识白云岩的储集特征,准确地预测白云岩储层分布规律。

1 地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部,是我国第二大沉积盆地,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。根据盆地的地质演化史及构造特征,可划分为伊盟隆起、伊陕斜坡、渭北隆起、晋西挠褶带、天环坳陷和西缘逆冲带 6 个构造单元^[10-11]。本文涉及的研究范围包括天环坳陷、伊陕斜坡南侧和渭北隆起全部,呈“L”形分布于盆地西南缘(图 1)。

马家沟组沉积环境主要受基底构造隆起、坳陷及海平面变化的控制^[12]。盆地西缘的天环地区在马家沟期位于中央古隆起与乌兰格尔古陆之间,是华北海和祁连海与盆地中部相通的唯一通道,沉积环境相对开阔,浅滩发育^[13]。在定边—靖边一线白云岩呈西厚东薄的楔形席状展布,其中 DT1 井厚度最大,达 400 m 以上。盆地南缘,特别是中央古隆起以南的广大区域,以发育末端变陡的碳酸盐

岩缓坡环境为主^[14]。钻井取心发现,白云岩发育范围广、厚度大,在旬邑—彬县—淳化一带最厚,均大于 300 m,向西白云化作用减弱,陇县地区白云岩厚度为零。总体上,研究区马家沟组白云岩在天环凹陷北部和渭北隆起带最为发育。

2 白云岩岩石学特征

根据研究区白云石的晶体大小及组合可将该组白云岩分为 5 种类型:泥微晶白云岩(晶粒小于 0.03 mm)、粉晶白云岩(0.03~0.10 mm)、细晶白云岩(0.10~0.25 mm)、中—粗晶白云岩(0.25~2.00 mm)、不等晶白云岩。各类白云岩的特征如下:

2.1 泥微晶白云岩

主要分布于马一段、马三段及马五段的潮坪环境中。在野外剖面,该类白云岩呈深灰色薄层状产出。镜下晶体细小,以它形为主,晶面较脏,泥质含量高。多见鸟眼构造、干裂、水平或波状纹层等(图 2A)。岩石中含有石膏假晶及黄铁矿,石膏一般呈针状、板状或结核状分布(图 2B)。

2.2 粉晶白云岩

粉晶白云岩在马一段到马六段中均有分布,占该组白云岩的 50% 以上。在露头上呈灰黄色、浅灰色薄层或中层状产出。镜下白云石晶体为它形或半自形,晶体之间紧密接触(图 2C),孔隙不发育。此外,该类白云岩中常见残余幻影结构,且局部存在石膏假晶。该类白云岩往往发育于蒸发岩之下,成因可能与高盐度卤水的回流有关,其后又经历了埋藏期重结晶作用的改造。

2.3 细晶白云岩

细晶白云岩在马四段、马五段和马六段最为发育。一般呈浅灰色厚层或块状产出。晶体自形程度较高,多为半自形—自形,点—线式接触,晶间孔发育(图 2D)。白云石晶体多具雾心亮边结构,雾心粗大,呈褐色,亮边窄小;部分晶体呈自形菱面体增长。在阴极发光下见环带结构,可能为多期白云石化流体活动的产物^[15]。

2.4 中—粗晶白云岩

该类白云岩分布较局限,一般见于马四段及马六段。镜下晶体较大,晶面脏,部分晶体解理发育,以凹凸接触为主,主要充填裂缝或溶蚀孔洞。

组成粗晶白云岩的矿物中常常含有鞍形白云石(图 2E),这种白云石晶体粗大,晶面弯曲,具波状消光特征,表面解理缝发育,富含包裹体,沿断层或不整合面发育,常与黄铁矿、石英等矿物共生。鞍状白云石往往形成于较高的温度,是热液白云岩

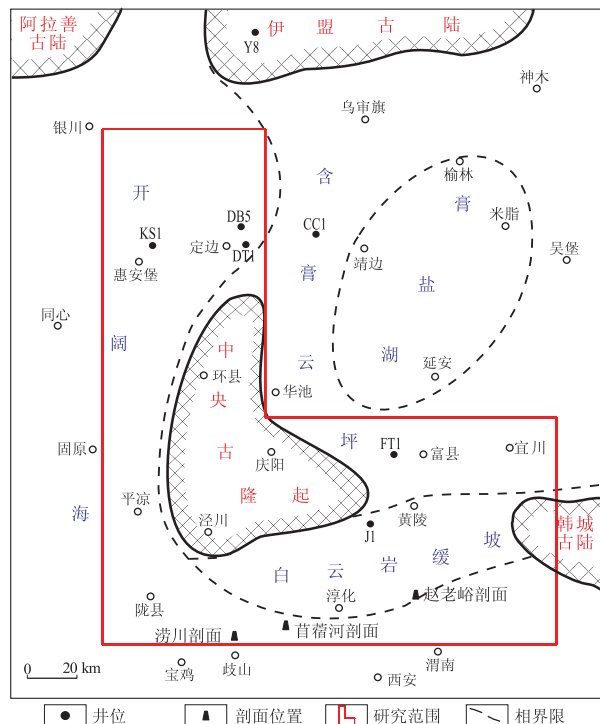
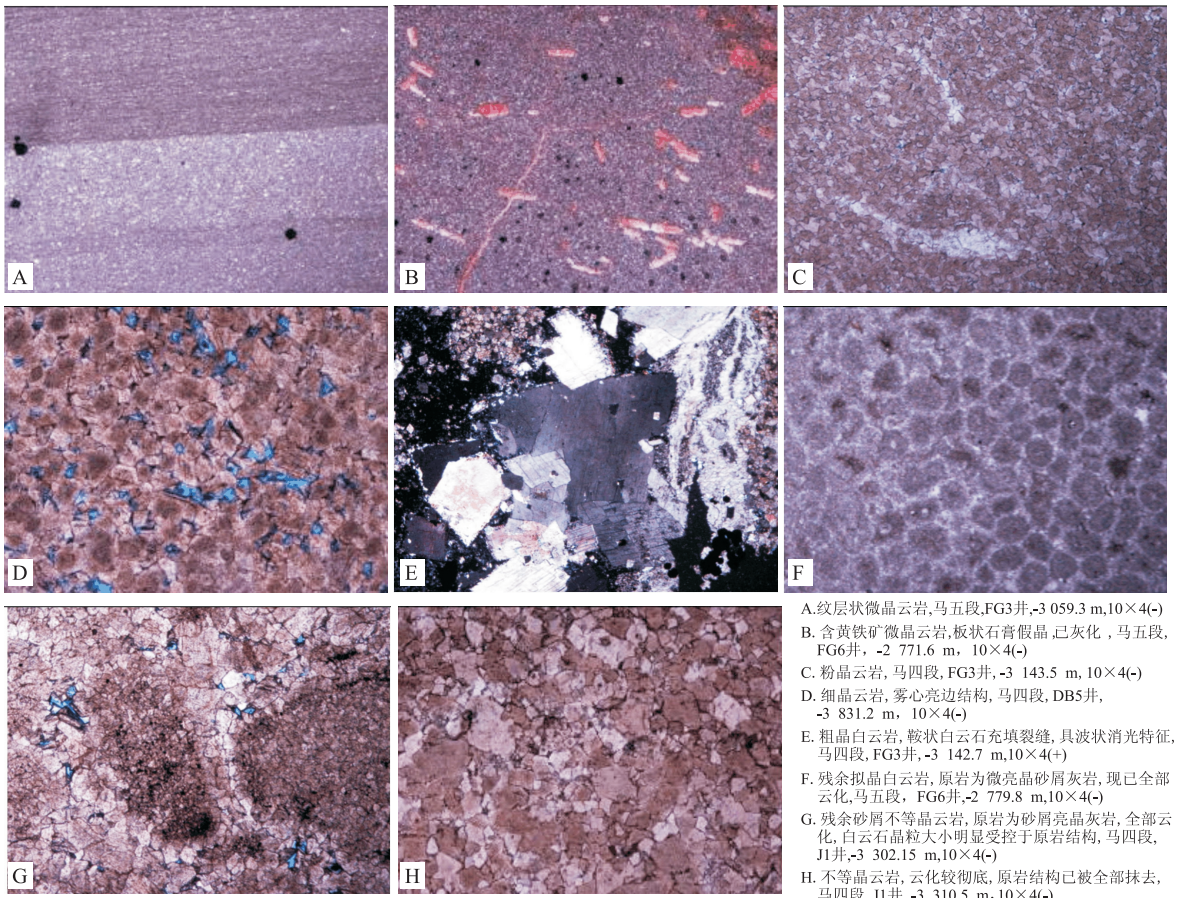


图 1 鄂尔多斯盆地马家沟期岩相古地理

Fig. 1 The map of Lithofacies palaeogeography, Majiagou Formation, south-western Ordos Basin



A. 纹层状微晶白云岩,马五段,FG3井,-3 059.3 m,10×4(-)
 B. 含黄铁矿微晶白云岩,板状石膏假晶,已灰化,马五段,FG6井,-2 771.6 m, 10×4(-)
 C. 粉晶白云岩,马四段,FG3井,-3 143.5 m,10×4(-)
 D. 细晶白云岩,雾心亮边结构,马四段,DB5井,-3 831.2 m, 10×4(-)
 E. 粗晶白云岩,鞍状白云石充填裂缝,具波状消光特征,马四段,FG3井,-3 142.7 m,10×4(+)
 F. 残余拟晶白云岩,原岩为微亮晶砂屑灰岩,现已全部云化,马五段,FG6井,-2 779.8 m,10×4(-)
 G. 残余砂屑不等晶白云岩,原岩为砂屑亮晶灰岩,全部云化,白云石晶粒大小明显受控于原岩结构,马四段,J1井,-3 302.15 m,10×4(-)
 H. 不等晶白云岩,云化较彻底,原岩结构已被全部抹去,马四段,J1井,-3 310.5 m,10×4(-)

图2 鄂尔多斯盆地西南缘马家沟组各类白云岩镜下特征

Fig. 2 Characteristics under microscope of different dolomite types in Majiagou Formation, Western and Southern Margin of the Ordos Basin

的代表性产物之一^[9]。

2.5 不等晶白云岩

在马家沟组的6个段中均有分布,以马四、马五段含量较多。根据镜下观察,不等晶白云岩可分为3种类型:一种是由富含颗粒或生物骨架的灰岩交代而成,晶体大小和结构都保留了原岩的结构特征,只是完全云化了(图2F),即残余拟晶白云岩(relict mimetic dolomite)^[16];第二种是与残余结构有关的不等晶白云岩,如残余砂屑白云岩、残余鲕粒白云岩等,晶体大小明显受控于原岩组构(图2G);第三种是与原岩结构无关的不等晶白云岩,各种大小的晶体并存,多为中—粗晶与粉晶的组合,晶体自形程度较差,镶嵌接触(图2H)。该类白云岩多形成于埋藏成岩环境中,由于原岩组构的多样性以及白云石化流体的不稳定性,极易形成不等晶白云岩。

3 地球化学特征

3.1 微量元素

白云石中铁、锰含量往往反映成岩强度和埋藏

深度,埋藏越深,成岩强度越高,铁、锰含量就越高,反之则低^[17]。这主要是因为近地表淡水条件下,铁、锰很难以低价形式进入到晶格中,而只有在埋藏条件下的还原环境中,铁、锰才有可能作为类质同象离子置换白云石晶格中的钙、镁离子^[18]。研究区不同地区各类样品的铁、锰元素含量变化较大(图3)^[19],其中以粉细晶为主的基质白云岩中铁、锰含量中等偏高,反映了埋藏成岩环境的特征;而孔洞中充填的白云岩,铁锰含量高于其它碳酸盐数倍,则很可能是受外来流体的改造所致。

3.2 包裹体特征

本次研究中,对岩心中充填孔洞和裂缝的方解石、白云石的包裹体进行了镜下观察及均一温度测试(表1)。结果表明:J1井中充填裂缝的方解石均一温度为112~119℃;FG3井中鞍形白云石的均一温度最小157.1℃,最大205.2℃,平均187.5℃。根据当地的地温梯度3.98℃/hm计算^[20],设地表温度为30℃,则与现今埋藏深度相当的地温应为95.1℃,而白云石中包体的均一温度最低也达到157.1℃,体现了明显的地热异常。考虑到盆地边缘构造活动频繁,

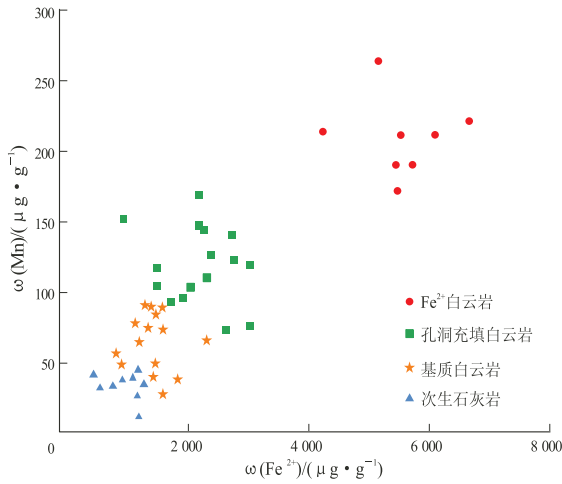


图 3 岩石中不同成分的铁、锰微量元素含量分布^[19]

Fig. 3 Scatter diagram of content of trace element Mn-Fe²⁺

表 1 鄂尔多斯盆地马家沟组白云石、方解石包裹体数据

Table 1 Data of the dolomite and calcite inclusions in Majiagou Formation of the Ordos Basin

序号	井名	深度/m	主矿物	大小/ μm	均一温度/ °C
1	J1	3 158.97	方解石	6×8	112
2	J1	3 158.97	方解石	6×9	119
3	FG3	3 142.7	白云石	6×6	157.1
4	FG3	3 142.7	白云石	5×6	160
5	FG3	3 142.7	白云石	6×9	165
6	FG3	3 142.7	白云石	5×9	180.5
7	FG3	3 142	白云石	5×8	197.7
8	FG3	3 142	白云石	5×8	197.7
9	FG3	3 142	白云石	8×10	199.6
10	FG3	3 142	白云石	8×10	198.5
11	FG3	3 142	白云石	8×10	198.5
12	FG3	3 142	白云石	7×10	199.5
13	FG3	3 142	白云石	10×16	205.2
14	FG3	3 142	白云石	7×9	190.5

注:样品由成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室激光拉曼光谱室测试,仪器型号 Linkam THMS600,检测依据:EJ/T1105-1999(矿物流体包裹体温度测定)。

因此该类白云岩的形成与后期热液改造有关。

3.3 碳氧同位素

对研究区马家沟组白云岩的碳氧同位素进行分析,发现不同类型白云岩碳氧同位素的分区现象明显(图 4)。

3.3.1 微晶白云岩

微晶白云岩的碳氧同位素分布范围为 $\delta^{18}O_{PDB}$ 最大-7.1‰,最小-9.0‰,平均-7.92‰, $\delta^{13}C_{PDB}$ 最大-1‰,最小-2.4‰,平均为-1.74‰。该类白云岩的岩石学特征显示其成因应为准同生白云岩,但是其碳氧同位素值与典型的准同生白云岩相比明显偏负,分析其原因可能与原岩中的藻类有关。

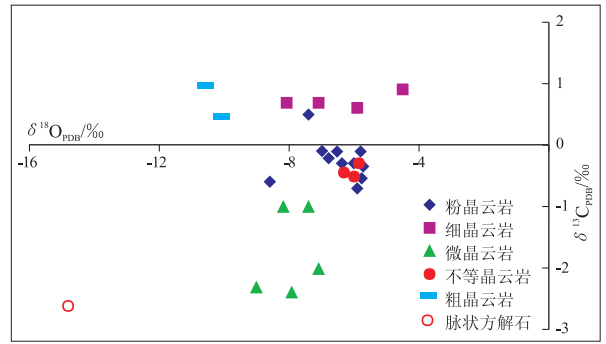


图 4 研究区不同类型白云岩碳、氧同位素交汇图

Fig. 4 Cross-plot for carbon-oxygen isotope data of dolomite in the study area

3.3.2 粉—细晶及其残余结构不等晶白云岩

该类白云岩的 $\delta^{18}O_{PDB}$ 值明显偏负(最大-4.5‰,最小-8.6‰,平均-6.41‰)。温度的升高和淡水的注入都可能导致氧同位素值偏负,但是在岩石学特征上很难找到淡水改造的证据,而且该类白云岩的 $\delta^{13}C$ 主要在零值附近分布($\delta^{13}C_{PDB}$ 最大 0.9‰,最小-0.6‰,平均-0.06‰),与正常海相灰岩的 $\delta^{13}C$ 值相近,说明白云石化流体与海水有关,很可能是来自正常海水或轻微浓缩了的海水^[21]。因此氧同位素值偏负应该是埋藏增温所致,粉—细晶白云岩、不等晶白云岩具有埋藏白云石化作用的特点。

3.3.3 中—粗晶白云岩

该类白云岩的氧同位素明显偏负。已有研究证实, $\delta^{18}O_{PDB}$ 值在低于-7‰时,此类白云石通常形成于高温条件下^[22];而且该值与北美地区奥陶系 Trenton-BlackRiver 组热液白云岩的碳氧同位素值相似^[23];包体均一温度(表 1)也说明该类白云岩的形成温度明显高于正常地温,因此应属热液白云石化作用的产物。

4 成因分析

白云岩的形成机理历来都是碳酸盐岩研究方面最为复杂、争论时间最久的问题之一。在白云石的形成过程中,不同的温压条件和流体性质以及 Mg^{2+} 的供给量将决定白云石在流体中交代、结晶和溶解的速率,因此所形成的白云岩在岩石结构和地球化学特征上往往具有较大差异,同时也造成了白云岩成因模式的多样化与复杂化。综合马家沟组白云岩的岩石结构类型、地球化学特征以及沉积背景和构造演化,认为该组白云岩主要由准同生白云岩、埋藏白云岩及少量热液白云岩组成。下面分别论述这 3 类白云岩的成因模式以及岩石结构演化。

4.1 准同生白云岩成因模式

该类白云岩主要发育于盆地南部马家沟组一、三、五期;岩性以泥微晶云岩、含膏微晶云岩、含生屑微晶云岩为主。原岩中的显微沉积层理、石膏假晶均说明其原始沉积环境具有水浅、低能和盐度高的特点;白云石晶体细小,自形程度较差说明其结晶(交代)速度快,这些都是准同生白云岩化的标志。此类白云岩的成因多用蒸发泵白云石化模式加以解释(图 5A),即在干旱炎热的气候条件下,在礁、滩顶部或受障壁的潟湖—潮坪环境中,由蒸发浓缩形成的高镁卤水交代灰泥所引起白云石化作用。

4.2 埋藏白云岩成因模式

埋藏白云岩构成马家沟组白云岩的主体。岩性以粉—细晶白云岩和不等晶白云岩为主。根据已有的地球化学测试数据可推测白云石化流体与海水有关,结合本区的沉积背景、流体驱动机制及成岩环境的差异,可将该类白云岩的成因分为浅埋

藏期的回流白云石化以及中—深埋藏期的压实水流白云石化和地形驱动水流白云石化。浅埋藏期是大规模白云石化发生的基础,而中—深埋藏期则是白云石化过程的延续阶段,使得白云石化程度得到加强或调整^[21-24]。

4.2.1 浅埋藏期白云石化模式及岩石结构演化

浅埋藏期的白云石化以回流模式为主(图 5B),根据马家沟组的沉积环境分析,在奥陶纪时期,研究区属于一种极浅的陆表海沉积环境,潮坪及浅滩发育,局部水体受限,而且由于当时气候干旱,导致海水盐度升高、密度增大,与下伏沉积物中的正常海水形成密度差,从而使高盐度流体向海方向发生回流,在回流过程中不断替代原来的孔隙水或与之混合,将原先沉积的碳酸盐岩矿物交代形成白云岩。

该模式下形成的白云岩多以粉晶为主,通常具雾心亮边结构及残余结构。现以颗粒灰岩为例,简述其在白云石化过程中的结构演化。

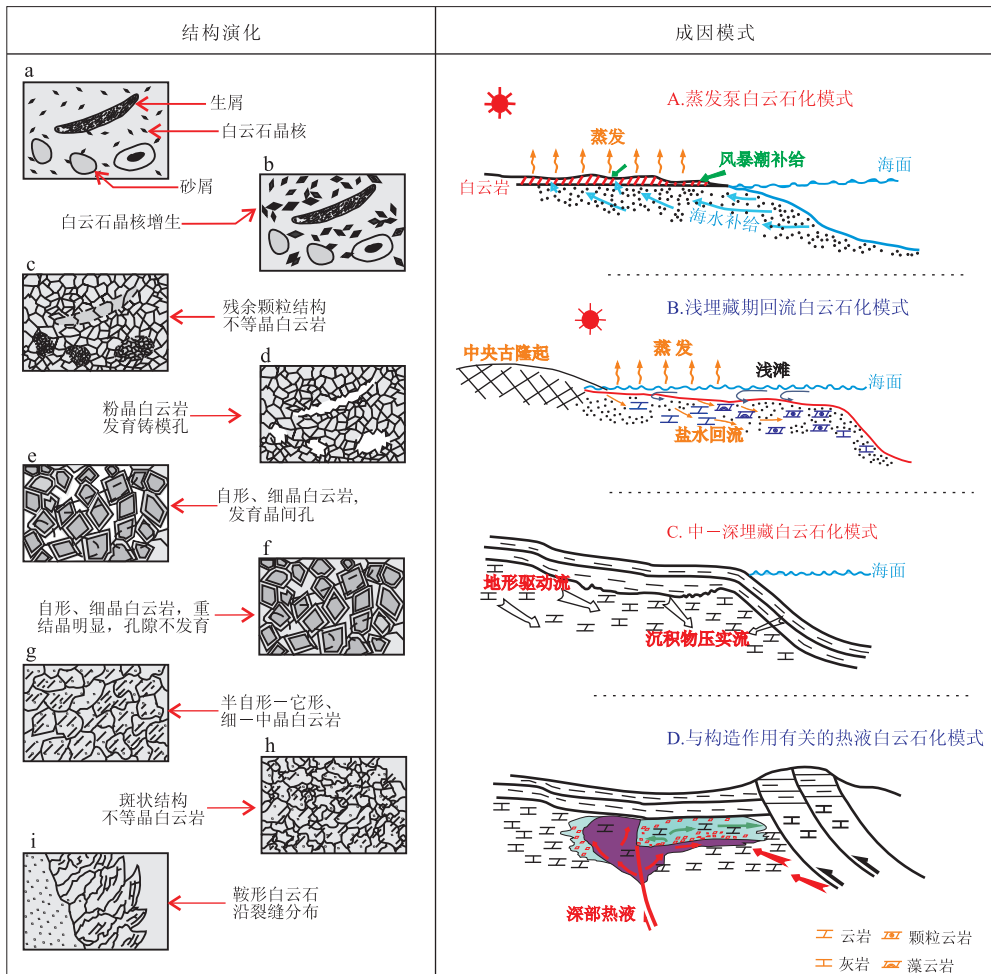


图 5 鄂尔多斯盆地西南缘马家沟组白云岩成因模式及结构演化

Fig. 5 Dolomitization models and texture evolution of dolomite in Majiagou Formation, Western and Southern Margin of the Ordos Basin

在浅埋藏早期的低温环境下,由卤水回流所形成的白云石化流体往往选择性交代灰泥基质中的高镁方解石、文石等。因为这些矿物表面较大,且比正常方解石更易溶解,因此优先被交代形成白云石晶核^[16](图 5a),这些晶核在白云石化流体持续供给下不断增长,形成半自形—自形粉晶白云石呈漂浮状分布于原岩中(图 5b)。当这种白云石化流体过饱和时,原始灰岩中的颗粒也将发生云化,最终形成具残余结构的不等晶白云岩(图 5c);当这种流体欠饱和时,颗粒一般不发生云化(主要是因为欠饱和的白云石化流体难以在由粗晶方解石组成的化石颗粒中成核^[16]),但基质中的白云石晶粒继续生长,从而形成灰质粉晶白云岩,在后期的成岩改造过程中,这些灰质组分常被溶蚀形成铸模孔(图 5d)。

在浅埋藏阶段的晚期,地层温度略有升高,如果白云石化流体继续供给,基质中的白云石晶粒将继续增生或发生重结晶,由于回流交代的过程中白云石化流体逐渐淡化,因此在白云石晶粒生长的过程中经常会出现明亮晶壳围绕晶核不断增生的现象^[25],最终形成自形—半自形、具雾心亮边结构的粉—细晶白云岩(图 2D,图 5e),这类白云岩往往发育大量晶间孔;如果孔隙空间未被油气及时充注,在埋藏后期则会因为重结晶或是胶结物的充填而完全堵塞孔隙^[26](图 5f)。

4.2.2 中—深埋藏期白云石化模式及岩石结构演化

据 Machel^[27]的埋藏成岩环境划分标准,中埋藏深度为 600~3 000 m。在这样的埋藏深度下,白云岩形成的动力学障碍大大降低,多数流体都可能成为白云石化流体^[6],所不同的是流体的驱动力以及运动方向。

盆地南缘在马家沟组沉积之后继续接受中奥陶统平凉组的沉积,由于古地理格局的变迁,该区水体变深,沉积物以细粒为主,且厚度巨大,封存了大量粒间水。进入中埋藏阶段后,受差异压实作用以及地形变化的影响,这些粒间海水在深层水头压力和区域应力场的控制下顺层渗流;由于深埋藏环境中的地温较高,这些流体逐渐演化为白云石化流体,一方面对原始灰岩进行交代,另一方面导致早期形成的白云岩发生重结晶。因此,中—深埋藏条件下白云石化模式应该包括压实水流白云石化模式和地形驱动水流白云石化模式(图 5C)。

中—深埋藏期形成的白云岩晶体较大,多为细晶到中晶,以它形为主,镶嵌接触。该类白云岩一般由早期形成的白云岩演化而来。随着埋深增加,

温度升高,达到晶体它形生长的临界温度时,白云石晶体快速生长,晶面发生曲面化^[16]。如果过饱和的白云石化流体继续供给,往往会造成过度白云石化^[28],使晶体之间紧密接触,最终形成曲面、半自形—它形细晶云岩(图 5g);而当白云石化流体欠饱和或是供给不均匀时,晶体之间产生竞争性生长^[28],在原岩组构和局部重结晶作用的影响下,形成具斑状结构的不等晶白云岩(图 2H,图 5h)。同时,灰岩局部发生交代的现象在深埋条件下也比较常见,常常形成灰质白云岩或白云质灰岩。

4.3 热液白云岩成因模式

与热液作用有关的白云岩分布局限,主要沿断层或裂缝孤立存在,与围岩呈突变接触;镜下常见鞍形白云石充填于裂缝或溶蚀孔洞中。Smith 和 Davies(2006)在该类白云岩的阐述中认为,热液白云岩往往发育在张扭性断层附近。但对于西南缘马家沟组的白云岩来讲,与典型热液白云岩发育区的构造背景所不同是,鄂尔多斯盆地周缘古生代以来的构造运动多以挤压为主,盆地西缘和南缘均发育大型逆冲带^[29]。虽然构造样式不同,但这些都与基底断层有关的深大断裂仍是热液流体运移的主要通道。尤其是在中生代晚期,祁连构造域的挤压作用导致盆地西缘发生强烈逆冲推覆、断裂活动,同时伴随 3 次大规模的深部流体上涌,这些流体在构造应力作用下沿不整合面及构造裂缝向盆地内部运移^[30]。航磁、重力、大地电磁等多种研究成果表明,盆地内部及周缘存在多组基底断裂带^[31],其中对研究区影响较大的定边—绥德基底古断裂和庆阳—富县—宜川古断裂仍存在着不定期的活动,对深部热源的形成和部分热液的上升具有重要作用。前人认为受热液影响的区域主要集中在西缘的定边地区和南缘的 XT1 井附近,但在本次研究中发现,富县、黄陵地区的探井中均有热液活动的痕迹,而且在麟游首蓆河剖面中也观察到了大量热液脉贯穿围岩的现象,因此热液活动的区域可能更为广阔一些(图 6)。这些深部热流体为白云岩的形成提供了物质基础,同时也对围岩造成一定溶蚀,使原岩孔隙度增加,有利于优质储层发育。

热液白云岩一般以发育鞍状白云石为特征。这种白云石既可做为胶结物充填孔洞,也可以交代方式出现。鞍形白云石胶结物一般直接从热液流体中结晶而成,由于生长速度较快,晶体内富含气液两相包裹体;再加上高温高压的影响,导致晶体生长过程中晶格发生扭曲,同时使晶体表面微裂缝发育(图 5i);而且鞍形白云石常与石英、黄铁矿、方解

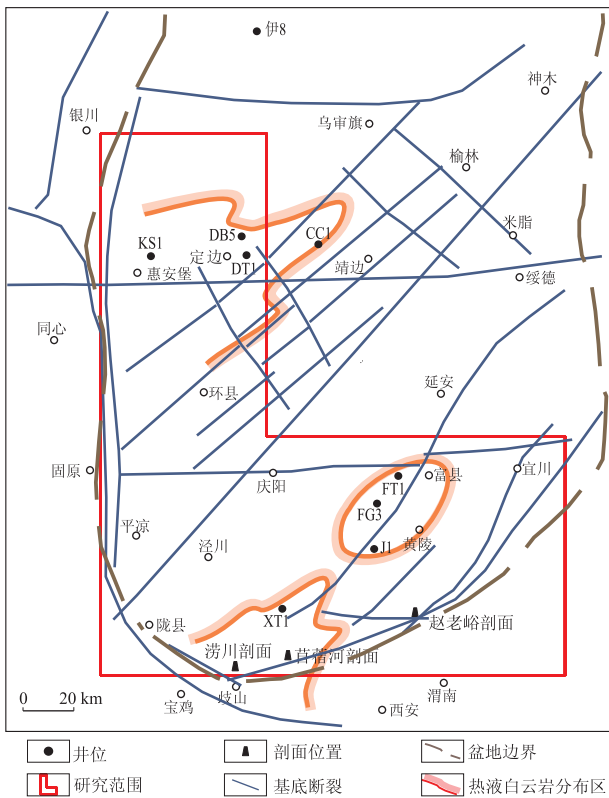


图 6 鄂尔多斯盆地基底断裂带及热液白云岩分布区

Fig. 6 The distribution of basement fractures and hydrothermal dolomite in the Ordos Basin

石、萤石等矿物共生。从储层的角度来看,交代基质的热液白云岩是最广泛和最重要的,不过对于这种交代的成因目前还存在较大争议。

5 结论

1)鄂尔多斯盆地西南缘马家沟组白云岩分布广泛,其中以西缘的天环北段和南缘的渭北隆起区是块状白云岩的集中发育区,具有巨大的勘探潜力。

2)马家沟组白云岩主要包括准同生白云岩、埋藏白云岩以及少量热液白云岩。准同生白云岩一般发育于马家沟组一、三、五段的顶部,受沉积环境限制明显;热液白云岩主要与构造作用有关,常分布于断层等裂缝系统内,对优质储层的发育往往具指示意义;埋藏白云岩构成马家沟组白云岩的主体,具有厚度大、分布广、岩石类型多、成因模式复杂的特点。

3)导致盆地西南缘马家沟组发生白云石化的流体主要为高盐度的海水、封存的残余海水以及深部的热流体。不同的流体性质及驱动机制构成了多样化的成因模式:准同生白云岩主要为蒸发泵白云石化;埋藏白云岩分为浅埋藏期的回流白云石化以及中—深埋藏期的压实水流白云石化和地形驱

动水流白云石化;而热液白云岩主要与深部热流体沿断裂系统上涌有关。

4)受构造控制的热液白云岩在鄂尔多斯盆地西缘的定边地区、南缘的富县—黄陵—麟游一线均有发现。与典型热液白云岩发育区的张扭性构造背景所不同是:鄂尔多斯盆地周缘自古生代以来多以挤压运动为主,如何在这种构造特征下寻找有利储层发育区将是下一步研究的重点。

参考文献:

[1] 李安仁,张锦泉,郑荣才. 鄂尔多斯盆地奥陶统白云岩成因类型及其地球化学特征[J]. 矿物岩石,1993,13(4):41-49.

[2] 冯增昭,鲍志东,张永生,等. 鄂尔多斯地区奥陶纪地层岩石相古地理[M]. 北京:地质出版社,1998.

[3] 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,2005,2(2):38-41.

[4] 彭军,田景春,赖生华. 陕甘宁盆地中部马家沟组白云岩成因及储集性[J]. 成都理工学院学报,1998,25(1):87-92.

[5] 张永生. 鄂尔多斯地区奥陶系马家沟群中部块状白云岩的深埋藏白云石化机制[J]. 沉积学报,2000,18(3):424-430.

[6] HARDIE L A. Dolomitization: a critical view of some current views[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1987, 57(1): 166-183.

[7] LUCZAJ J A. Evidence against the Dorag(mixing-zone) model for dolomitization along the Wisconsin arch—A case for hydrothermal diagenesis [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11):1719-1738.

[8] WIERZBICKI R, DRAVIS J J, AL-AASM I, et al. Burial dolomitization and dissolution of Upper Jurassic Abenaki platform carbonates, Deep Panuke reservoir, Nova Scotia, Canada [J]. AAPG Bulletin,2006, 90(11): 1843-1861.

[9] DAVIES G R, SMITH JR L B. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview [J]. AAPG Bulletin, 2006,90(11): 1641-1690.

[10] 杨俊杰,裴锡古. 中国天然气地质学(卷四)[M]. 北京:石油工业出版社,1996.

[11] 赵克斌. 鄂尔多斯盆地地球化学特征与受控因素[J]. 石油实验地质,2009,31(1):79-86.

[12] 张锦泉,耿爱琴,陈洪德,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组古岩溶天然气储层[J]. 成都地质学院学报,1992,19(4):65-71.

[13] 王少飞,杨奕华,徐雁前,等. 陕甘宁盆地定边地区奥陶系巨厚白云岩体的成因分析[J]. 天然气地球科学,1996,7(3):14-22.

[14] 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.

[15] 朱井泉,吴仕强,王国学,等. 塔里木盆地寒武—奥陶系主要白云岩类型及孔隙发育特征[J]. 地学前缘,2008,15(2):67-79.

[16] SIBLY D F, GREGG J M. Classification of dolomite rock textures [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1987, 57(6):967-975.

地分析, 隐蔽油藏约占 60%~70%。由此推测, 准噶尔盆地隐蔽圈闭勘探潜力十分巨大。从构造演化史分析, 准噶尔腹部西部为车莫古隆起控制区, 东部为单斜发育区, 因此勘探重点应放在西部。从油层发育、圈闭潜力分析, 今后勘探重点层位应为与车莫古隆起相关的白垩系与侏罗系大型地层不整合—岩性复合圈闭、侏罗系岩性圈闭。车莫古隆起外围是寻找残留构造油气藏与岩性油藏的有利部位。

东部地区是小型岩性圈闭发育区, 一方面加强在薄层砂体中找厚砂层, 低渗透储层中找相对高渗透储层的工作, 另一方面寻找砂体与断层复合圈闭, 或来自南部的砂体形成的上倾尖灭圈闭。

参考文献:

[1] 徐常胜, 杨梦云, 江祖强, 等. 准噶尔盆地石南油气田头屯河组成藏模式[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(6): 639—640.
 [2] 方世虎, 郭召杰, 张志诚, 等. 准噶尔盆地中生代演化的地层学

和沉积学证据[J]. 高校地质学报, 2004, 10(4): 554—560.
 [3] 陈业全, 王伟锋. 准噶尔盆地构造动力学过程[J]. 地质力学学报, 2004, 10(2): 155—164.
 [4] 赵白. 燕山、喜马拉雅构造运动在准噶尔盆地油气运聚中的作用[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5): 468—470.
 [5] 邵雨, 陈伟, 张伯友. 断层相关褶皱理论在准噶尔盆地南缘山前带构造研究的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(1): 26—29.
 [6] 李丕龙. 准噶尔盆地石油地质特征与大油气田勘探方向[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 7—9.
 [7] 王居峰, 邓宏文, 蔡希源. 准噶尔盆地中部侏罗系层序地层格架[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 23—26.
 [8] 何登发, 翟光明, 况军, 等. 准噶尔盆地古隆起的分布与基本特征[J]. 地质科学, 2005, 40(2): 248—261.
 [9] 贾进斗. 准噶尔盆地天然气藏地质特征及分布规律[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(4): 449—455.
 [10] 秦都. 准噶尔盆地腹部隐蔽油气藏类型划分与形成机理[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 356—361.
 [11] 史建南, 郝芳, 邹华耀, 等. 调整改造型隐蔽油气藏形成与分布模拟实验研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 590—594.

(编辑 叶德燎)

~~~~~  
 (上接第 153 页)

[17] TUCKER M E, WRIGHT V P. Carbonate sedimentology[M]. Oxford: Blackweel scientific publications, 1990: 365—596.  
 [18] WALKER G, ABUMERE O E. Luminescence spectroscopy of Mn<sup>2+</sup> centers in rock-forming carbonates[J]. Mineralogical Magazine, 1990, 53(70): 837—845.  
 [19] 郑聪斌, 章贵松, 王飞雁. 鄂尔多斯盆地奥陶系热水岩溶特征[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 524—529.  
 [20] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.  
 [21] WARREN J. Dolomite: Occurrence, Evolution and Economically Important Associations[J]. Earth—Science Review, 2000, 52(1—3): 1—81.  
 [22] ALLAN J R, WIGGINS W D. Dolomite reservoirs: geochemical techniques for evaluation origin and distribution[J]. AAPG Continuing Education Course Notes, 1993, 36: 129.  
 [23] SMITH L B. Origin and reservoir characteristics of upper Ordovician trenton—black river hydrothermal dolomite reservoirs in New York[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11): 1691—1718.  
 [24] GAO G, LAND L S, ELMORE R D. Multiple Episodes of Dolomitization in the Arbuckle Group, Arbuckle Mountains, South—Central Oklahoma: Field, Petrographic, and Geochemical Evidence[J]. Journal of Sedimentary Re-

search, 1995, 65(2a): 321—331.  
 [25] FOLK R L, LAND L S. Mg/Ca Ratio and Salinity: Two Controls over Crystallization of Dolomite[J]. AAPG Bulletin, 1975, 59(1): 60—68.  
 [26] CHOQUETTE P W, HIATT E E. Shallow-burial dolomite cement: a major component of many ancient sucrosic dolomites[J]. Sedimentology, 2007, 55(2): 423—460.  
 [27] MACHEL H G. Effects of groundwater flow on mineral diagenesis, with emphasis on carbonate aquifers [J]. Hydrogeology Journal, 1999, 7(1): 94—107.  
 [28] JONES B. Dolomite Crystal Architecture: Genetic Implications for the Origin of the Tertiary Dolostones of the Cayman Islands[J]. Journal of Sedimentary Research, 2005, 75(2): 177—189.  
 [29] 解国爱, 张庆龙, 郭令智, 等. 鄂尔多斯盆地西缘和南缘古生代前陆盆地及中央古隆起成因与油气分布[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 18—23.  
 [30] 万丛礼, 周瑶琪, 陈勇, 等. 鄂尔多斯盆地中西部深部流体活动及其对奥陶系天然气形成的热作用[J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 122—128.  
 [31] 潘爱芳, 赫英, 黎荣剑, 等. 鄂尔多斯盆地基底断裂与能源矿产成藏成矿的关系[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(4): 459—464.

(编辑 黄 娟)