

# 重新认识鄂尔多斯南部早奥陶世 马家沟期碳酸盐台地沉积模式

董兆雄<sup>1,2</sup> 姚泾利<sup>3</sup> 孙六一<sup>3</sup> 包洪平<sup>3</sup> 王红伟<sup>3</sup> 何江<sup>2</sup> 范鹏<sup>2</sup>

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(西南石油大学), 四川 成都 610500; 2. 西南石油大学资源与环境学院, 四川 成都 610500; 3. 中国石油长庆油田勘探开发研究院, 陕西 西安 710069)

**摘要:** 地层、沉积岩组合及古地貌特征显示, 鄂尔多斯盆地南部地区早奥陶世马家沟期为 3 个沉积单元区, 即: 北东部区为白云岩-蒸发盐组合; 南部区为白云岩-少量蒸发盐组合; 西部区以石灰岩为主。相应地北东部区以发育台内盆地-盆缘坪为主; 南部区发育洼地-台坪-台地边缘-海槽; 西部区则发育台地边缘-海槽。野外剖面与钻井岩心观测以及区域资料研究表明, 鄂尔多斯盆地南部边缘大致在洛南瓦窑沟—西安—宝鸡一带。马家沟期研究区沉积模式总体上为: 横向上“西槽、南洼、东坪、北盆”, 纵向上“咸-淡交替”; 灰岩-白云岩-蒸发岩横向上呈带状展布, 纵向上则为不等厚交替沉积。

**关键词:** 鄂尔多斯盆地南部; 早奥陶世马家沟期; 碳酸盐台地; 岩相古地理; 沉积模式

**中图分类号:** P588.24<sup>5</sup>      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2010)05-1327-09

鄂尔多斯盆地构造上属于华北地台西部, 由于受奥陶纪以后的各期构造运动破坏, 盆地南部地区, 尤其是南部边缘地区奥陶系多被剥蚀殆尽或深埋地腹, 地面露头较少且分布局限, 这极大地增加了南部地区奥陶纪岩相古地理研究的难度, 造成了诸如碳酸盐台地、碳酸盐缓坡等众说纷纭的岩相古地理格局<sup>[1-4]</sup>。加之威尔逊的碳酸盐岩沉积相综合模式较早引入中国, 并被国内学者广为接受, 所以人们多按“威尔逊模式”来认识鄂尔多斯盆地奥陶纪的岩相古地理, 并建立相应的模式。经笔者对南部地区奥陶系剖面和有关钻井岩心系统地观测, 并综合前人的剖面和区域资料研究发现, 早奥陶世马家沟期鄂尔多斯地区是西、南为秦祁海槽的一个巨大、相对较平坦的台地, 不但有边缘障壁岛, 还有内部岛屿(中央古隆起)和盆地、洼地, 其岩相古地理特征与“威尔逊模式”有所不同。

## 1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地南部地区是指陕西志丹以南、洛南以北、山西河津以西及甘肃平凉以东地区(图 1)。

### 1.1 区域构造特征及中央古隆起形成

晚寒武世末的加里东运动, 使得鄂尔多斯地块抬升, 除南部局部仍为海水淹没外, 广大地区成为陆地, 并在盆地中部偏西-南的位置形成了一个古隆起: 中央古隆起。该古隆起平面呈“L”型, 北段走向近南北, 南段在宁县以南向东转折至富县。早奥陶世亮甲山期的怀远运动, 则进一步使南部边缘区短暂抬升成陆。关于中央古隆起的形成时代虽是言人人殊, 不过基本为两种观点。一种观点认为形成于前奥陶纪; 如汤显明(1992)<sup>[5]</sup>认为“中晚元古代中央古隆起已具雏形”; 黄建松(2005)<sup>[6]</sup>综合研究了地面露头和钻井揭示的地层接触关系、重力、地磁等资料指出

收稿日期: 2009-08-27; 改回日期: 2009-09-15

基金项目: 《大型油气田及煤层气开发》国家科技重大专项(2008ZX05001)资助。

作者简介: 董兆雄, 男, 1954 年生, 教授, 从事沉积学及储层地质学教学与研究; E-mail: swpafm@126.com。

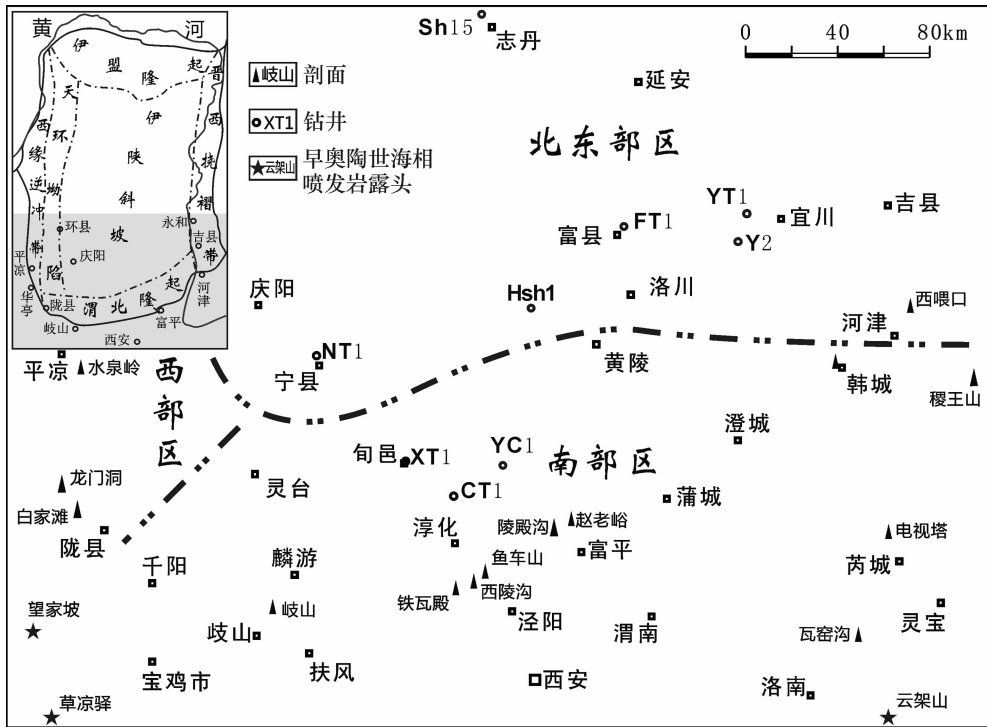


图1 研究区地理位置图  
Fig.1 Geographic location of South Ordos

“鄂尔多斯盆地中央古隆起在寒武纪早期,即兴凯运动末期就已形成,并且在加里东运动阶段持续隆起为陆”;杨遂正(2006)<sup>[7]</sup>则认为寒武纪时中央古隆起就已存在,自二叠纪石千峰期才消亡。另一种观点则认为其形成于中奥陶世之后,如解国爱(2003)和王庆飞(2005)等<sup>[8-9]</sup>。笔者认同第一种观点,即中央古隆起形成于前奥陶纪。

1.2 地层特征

根据地面露头剖面、钻井及区域资料,研究区下奥陶统广泛发育马家沟组(表1),并可据岩性组合特征将其分为:白云岩-蒸发盐组合的北东部区;白云岩-少量蒸发盐组合的南部区和灰岩-白云岩组合的西部区等3个区(图1)。

区内马家沟组与下伏冶里-亮甲山组连续沉积或呈假整合接触,有的直接与寒武系呈假整合接触,如:东南角的洛南瓦窑沟一带马家沟组直接覆于凤山组之上;山西芮城马一段直接覆于冶里组上,并在底部发育砂岩和底砾岩;西部岐山一带马家沟组与亮甲山组也呈假整合接触<sup>①</sup>。

表1 鄂尔多斯南部下奥陶统及其划分  
Table 1 Divisions of Lower Ordovician strata in South Ordos

系	统	组	段	主要岩性
奥陶系	中统	平凉		灰、深灰色泥晶灰岩、角砾灰岩为主,下部少量泥岩、凝灰岩、硅质岩
			下统	马家沟
			水泉岭	马五 马四 灰色泥-粉晶白云岩,夹泥晶灰岩、细晶白云岩及角砾白云岩。旬邑、耀县一带有膏岩
			麻川	马三 马二 马一 灰黄、灰色泥-粉晶白云岩,间或见针、板状膏溶孔,旬邑、耀县一带有膏岩 灰色泥、粉晶白云岩为主,有时见针状石膏溶孔 灰色粉晶白云岩,夹泥晶白云岩、岩溶角砾岩
			亮甲山	浅灰色至灰色粉、细晶白云岩为主
			冶里	浅灰、灰色粉晶白云岩为主,底部夹竹叶状灰岩
	寒武系	上统	凤山	浅灰、灰、黄绿色中-厚层状泥质细晶白云岩夹薄层竹叶状白云岩、泥质白云岩

① 马润华,陕西省寒武纪-白垩纪地层总结《陕西的奥陶系》,陕西省地质矿产局区域地质调查队,1990.

## 2 沉积相类型及标志

### 2.1 沉积相类型、特征及标志

本区早奥陶世时主要发育台坪、洼地、台内盆地、潟湖、浅滩、台地边缘等亚相(表 2)。

#### 2.1.1 台坪亚相

泛指碳酸盐台地上平坦开阔的地域,通常位于正常浪基面之下,水体能量较低,随海平面升降可间断性处于浪基面之上,可有少量生物,以发育细结构碳酸盐沉积为特征。当为高海平面时,为灰坪或灰云坪;低海平面时则为膏云坪等微相。

(1)灰坪微相:灰色泥晶灰岩,(含)颗粒泥晶灰岩为主。颗粒为生屑、砂屑和粉屑;生屑有介形虫、双壳类、腹足类、腕足类、棘皮类和藻屑。发育水平纹层理。

(2)(膏)云坪微相:灰色(含膏)微粉晶白云岩。见硬石膏假晶或结核(图版 I-1、2)和水平纹层理或块状层理。

#### 2.1.2 洼地亚相

小规模的低洼地块,面积和深度都较小,具有继承性,可过渡为台坪微环境。干热气候时可发育成石膏洼地,水体较局限时可形成局限洼地。

(1)灰质/云质洼地、局限洼地微相:灰-深灰色(含生屑-粉屑)泥晶灰岩或泥晶白云岩。生屑为介形虫和藻屑。发育水平纹层理。局限洼地主要发育于生物遗迹相及生物扰动构造。

(2)膏质洼地微相:硬石膏岩色浅,层厚一般小于 1 cm 至几厘米不等,并可见硬石膏层因压实/挤压的变形现象(图版 I-3)。膏质洼地常与云质洼地交替发育。

#### 2.1.3 台内盆地亚相

台地内部盆地,浪基面之下较局限的低能环境,可受风暴浪作用(图版 I-4)。高海平面时期以灰泥质沉积为主,发育灰质或白云质盆地微相;干热的低海平面时期,可发育蒸发岩。纵、横向上过渡为盆缘坪环境(亚相),仅发育于中央古隆起以北区。

#### 2.1.4 盆缘坪亚相

台内盆地边缘地势较平缓、大致呈环带状展布的海域。通常位于浪基面之下,属低能环境,高海平面时期生物以广盐性者为主,低海平面时期基本不发育生物,但常有蒸发盐类矿物。与台坪不同之处在于其沉积物具有呈环带状展布的趋势,其分布与台内盆地相同。纵向和横向上可过渡为台内盆地和浅

表 2 鄂尔多斯南部下奥陶统马家沟组沉积相划分简表  
Table 2 Sedimentary facies classification of the Lower Ordovician Majiagou Formation in South Ordos

相	亚相	微相
碳酸盐岩台地	碳酸盐台坪	灰坪、灰云坪、(含)膏云坪
	洼地	灰/云质洼地、局限洼地、膏质洼地
	潟湖	云-灰质潟湖
	台内盆地	石膏-盐岩盆地、灰质-云质盆地
	盆缘坪	灰质-云质盆缘坪、含膏云质盆缘坪
	浅滩	灰/云质颗粒滩
	潮坪	环陆泥质云坪、含砾云/灰坪
斜坡海槽	斜坡	
	海槽	

滩等环境。

盆缘坪亚相包括灰质/云质盆缘坪、含膏盆缘坪等微相,发育泥晶灰/云岩、粉晶白云岩和(含)膏质白云岩等。其中(含)膏质白云岩中的硬石膏多为小球状结核,其次是针状、板条状晶体。发育水平纹层理或不连续-不规则波状纹层理。硬石膏经溶蚀后成为近圆形、板条状、针状等形态的铸模孔。

#### 2.1.5 潟湖亚相

(1)灰质潟湖微相:灰-深灰色(含生屑-粉屑)泥晶灰岩,生屑为钙质骨针、三叶虫、介形虫、藻类等(图版 I-5)。水平纹层理为主,间或见块状层理。

(2)云质潟湖微相:土黄到深灰色泥晶-细粉晶白云岩,纹层-薄层状到中层状产出,有的含少量硬石膏或与硬石膏呈互层状产出。白云石他形镶嵌接触,化石少见。常见的沉积构造有水平纹层、微波状纹层等。

#### 2.1.6 台内浅滩亚相

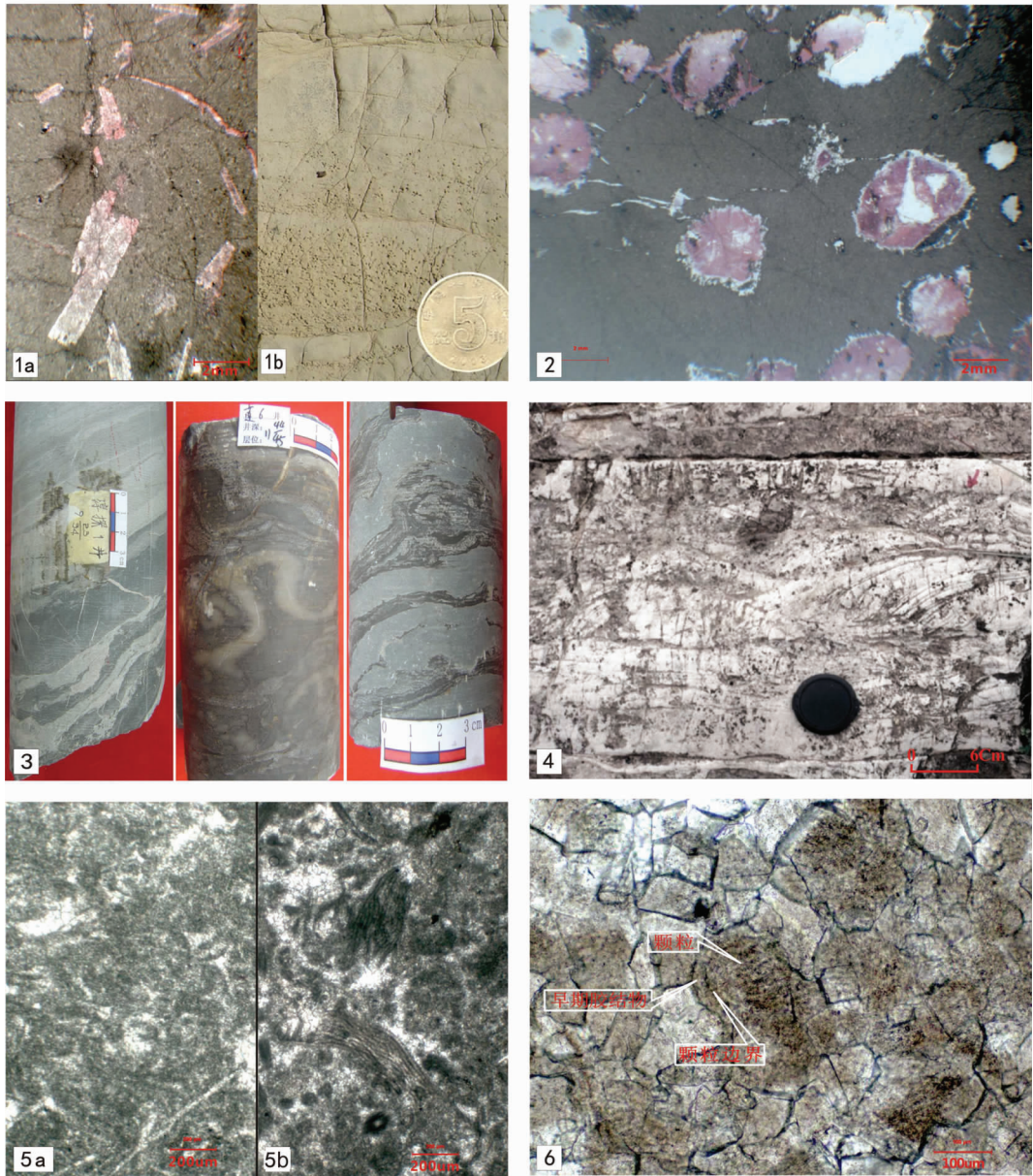
发育于台地内部,浪基面之上。灰色亮晶薄-中层状(含生屑)砂屑灰岩、灰色具颗粒幻影细晶白云岩(图版 I-6)。一般为块状层理,自上而下均过渡为泥晶颗粒灰岩或颗粒泥晶灰岩以及泥晶灰岩。

#### 2.1.7 台地边缘亚相

台地边缘是指碳酸盐岩台地向广海一侧的呈带状延伸的海域,面向广海一侧,频受波浪冲击,是台地环境中海水能量最高的区域,海水的水化学条件



图版 I



1a—含膏质泥晶-粉晶白云岩,亮晶方解石呈石膏板条状假晶,其中含有白云石泥及白云石粉屑,单偏光,陕西韩城, $O_1m^3$ ; 1b—纹层-薄层状含石膏假晶泥晶白云岩;山西芮城枣沟, $O_1m^3$ ; 2—含小球状硬石膏结核泥-粉晶白云岩,硬石膏结核被溶蚀形成铸模孔,单偏光,山西稷王山, $O_1m^3$ ; 3—白云岩与硬石膏岩不等厚互层,因挤压/压实作用硬石膏已变形,左为 CT1 井  $O_1m^3$ ,中和右为 L6 井,分别是  $O_1m^3$  和  $O_1m^1$ ; 4.丘状交错层理,(镜头盖直径 6 cm),陕西淳化鱼车山,  $O_1m^2$ ; 5a—含生屑泥晶灰岩,生屑为钙质骨针、介形虫等,陕西岐山,  $O_1m^3$ ; 5b—藻屑-粉砂屑灰岩,藻屑为直管藻屑和葛万藻屑,葛万藻呈集束状或团块状;单偏光,甘肃平凉水泉湾,  $O_1m^6$ ; 6—细-中晶白云岩,白云石半自形-他形,发育颗粒幻影,并见颗粒边缘有一个胶结物环边,单偏光,陕西淳化鱼车山,  $O_1m^6$

Chart illustration:

1a. Gypsiferous micrite-crystal powder dolomite, calcsparite shows a gypsum lathlike pseudomorph, there has dolomite mud and dolomite dust in it; plainlight, Hancheng of Shaanxi,  $O_1m^3$ ; 1b. Lamellar layer-thinly laminated gypsumiferous pseudomorph micrite dolomite; Zaogou in Ruicheng of Shanxi,  $O_1m^3$ ; 2. Coccooid anhydrite concretion micrite-crystal powder dolomite, anhydrite concretions shaped casting bores by dissolution; plainlight, Jiwangshan of Shanxi,  $O_1m^3$ ; 3. Dolomite and anhydrite rock unequal thickness interbeds, the anhydrite had become deformed under compaction; well CT1 is  $O_1m^3$ , the middle and right is  $O_1m^3$  and  $O_1m^1$  of well L6; 4. Moundy cross bedding, (Diameter of lens cap is 6 cm), Yucheshan in Chunhua of Shaanxi,  $O_1m^2$ ; 5a. Bioclastic micrite limestone, bioclast is calcic bone needle, mussel-shrimp etc; Qishan in Chunhua of Shaanxi,  $O_1m^3$ ; 5b. Algae debris-silt debris limestone, algae debris are Ortonella and Girvanella, Girvanella shaped like beaming or nodular; plainlight, Shuiquanwan in Pingliang of Gansu,  $O_1m^6$ ; 6. Cryptomere-mesocrystalline dolomite, the dolomite is subhedral-anhedral form, which developed granula illusion, there is a cement rim in the edge of granula; plainlight, Yucheshan in Chunhua of Shaanxi,  $O_1m^6$

正常,利于生物发育,生物分异度高,甚至可发育生物礁;向古陆侧则能量较低,可发育潟湖、潮坪等。

台地边缘亚相包括灰质台缘滩和云质台缘生屑-砂屑滩微相,发育亮晶生屑/砂屑灰岩(白云岩)、亮晶生-砂屑灰岩(白云岩)等。块状层理为主,也见少量交错层理。

## 2.2 岩相古地理

研究区早奥陶世马家沟期岩相古地理展布具有:马家沟期一、三、五时,海平面降低,海水局限、趋咸,北部区与南部区主要为膏岩-岩盐盆地-膏质盆缘坪与膏质洼地-含膏白云岩台坪,发育白云岩-蒸发岩组合;西部区主要为台地边缘以石灰岩为主等特征。马家沟期二、四、六时海平面升高海水盐度相对降低,北部区主要为灰质白云岩盆缘坪和盆地,南部区为灰质白云岩台地,发育灰岩-白云岩组合。基于这一现象,笔者将马家沟期的岩相古地理分为低海平面和高海平面两个时期来叙述。

关于台地南部边界,由于缺乏有效的露头 and 钻井资料,长期以来一直困扰着沉积学界。笔者通过分析区域资料发现:①陇县白家滩与龙门洞两剖面相距约 10 km(图 1),前者马家沟组—中奥陶统平凉组主要为颗粒灰岩间有颗粒质灰岩,属台缘滩沉积;后者平凉组为灰黑色与灰绿色泥页岩夹黑色硅质岩下部夹角砾灰岩,属台缘斜坡-海槽沉积。②岐山剖面马家沟组发育颗粒泥晶灰岩、藻屑泥晶灰岩夹颗粒灰岩,主要为潟湖环境。③东南缘的洛南以北的瓦窑沟剖面张夏组发育粒径达 5 mm 的亮晶豆粒灰岩,无疑应是相当高能的平台边缘;因鄂尔多斯地块早古生代构造运动总体以升降运动为主,早奥陶世势必继承寒武纪台地边缘的古地貌格局。④早奥陶世,宝鸡拓石镇望家坡、凤县红花铺镇草凉驿、洛南高耀乡云架山等处发育一套中酸性夹中基性火山岩为主的地层,属分裂再生的弧后盆地内的海相喷发型<sup>[10]</sup>。综合分析这些剖面及区域资料后推测:陇县—宝鸡北—西安—洛南北一线为台地边缘,发育障壁岛或滩;以南则为斜坡-海槽。

### 2.2.1 马家沟期低海平面时岩相古地理

亮甲山期末的怀远运动是加里东期的又一次重要构造运动,它造成了早奥陶世亮甲山期与马家沟期间的沉积间断<sup>[9]</sup>,并拉开了马家沟期振荡性海平

面变化的序幕。马一、三、五时为海平面下降期,海水变浅、交换普遍受限,海水来自东、南方向。在干旱炎热气候的总背景下,海平面降低成了环境变化的控制性因素,它导致了海水盐度升高甚至咸化,广泛沉淀硬石膏-岩盐。①北东区:发育石膏-岩盐盆地和含膏白云岩盆缘坪,其中 Sh15 井马家沟组岩盐累计厚度约 43 m, Luo1 井区发育膏质洼地微相;②南部区:XT1-CT1-YC1 井区不同程度发育膏质洼地,其中 CT1 井马三段见硬石膏岩与白云岩呈不等厚互层;③西部边缘台地区的陇县白家滩到岐山一带为砂屑-生屑滩带。由于该滩带的障壁作用,其后侧发育了潟湖(图 2)。

### 2.2.2 马家沟期高海平面时岩相古地理

马二、四、六时为高海平面时期,这时研究区基本承袭了前期的古地貌特征,海水由东、西、南 3 个方向入侵鄂尔多斯盆地。但中央古隆起仍起到一定的阻隔作用,影响了西部祁连海槽与东部华北海的广泛连通。尽管此时仍然位于赤道附近,但台地内部与外海的海水交换能力大为改善,所以区内除发育灰质白云岩外基本无蒸发盐。北东区,高海平面时期的膏质白云岩盆缘坪和膏质-岩盐盆地演化为灰质白云岩盆缘坪—盆地;南部区,原来的膏质白云岩坪变成灰质白云岩坪,膏质洼地则被局限洼地(白云质洼地)取代;西部边缘区由于海底坡降大并紧邻秦祁海槽,所以除滩带后侧受到一定程度局限外,其他部分较为开阔,以发育灰岩为主(图 3)。

## 3 沉积相模式

马家沟期研究区沉积模式总体上呈:横向上“西槽、南洼、东坪、北盆”的古地理格局,纵向上“咸-淡交替”演化发展的趋势。

### 3.1 构造作用对沉积环境的控制

南部区剖面及钻井资料还显示,从内侧的洼地区到南缘,冶里—亮甲山组的缺失程度加大。东南角的山西芮城剖面缺失亮甲山组,马一段白云岩直接覆于冶里组之上,且其底部还发育砂岩和角砾岩;洛南瓦窑沟一带,下马家沟组白云岩则与上寒武统呈假整合接触,且其底部还发育含砾页岩和砾岩<sup>[10]</sup>。袁卫国等(1996)<sup>[11]</sup>认为“自晚寒武世起,扬子板块向华北板块俯冲下插,造成向北推挤而使鄂尔多斯大

①山西省地质局区域地质调查队. 山西的奥陶系, 1978.



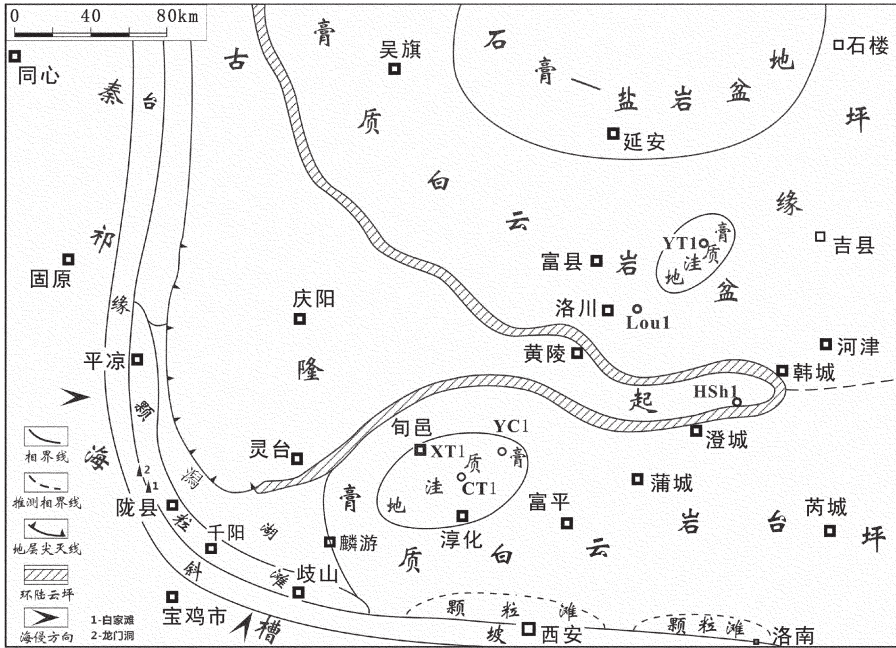


图2 鄂尔多斯盆地南部早奥陶世马家沟期低海平面时岩相古地理图

Fig.2 Lithofacies palaeogeographic map of the low sea level period of the Early Ordovician Majiagou stage in South Ordos

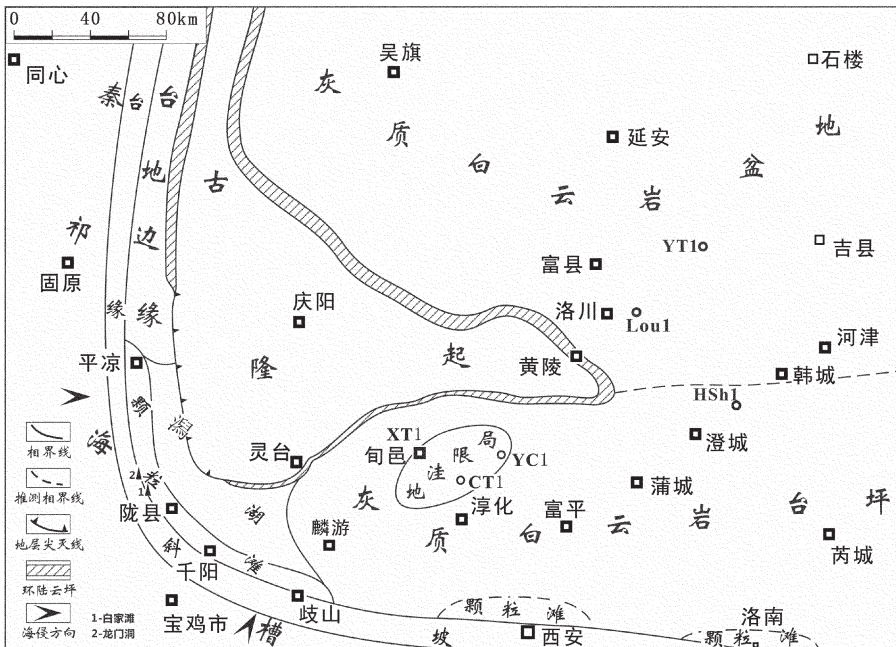


图3 鄂尔多斯盆地南部早奥陶世马家沟期高海平面时岩相古地理图

Fig.3 Lithofacies palaeogeographic map of the high sea level period of the Early Ordovician Majiagou stage in South Ordos

部地区抬升,在亮甲山期尤为明显”。何自新(2003)<sup>[9]</sup>更是认为亮甲山期末的怀远运动造成了早奥陶世亮甲山期与马家沟期间的沉积间断。可见鄂尔多斯盆地广大地区马家沟组与冶里—亮甲山组呈假整合接触,尤其南部边缘区缺失冶里—亮甲山组的现象与此不无关系。

### 3.2 马家沟期沉积模式及演化

众所周知,沉积环境和沉积作用主要受构造和气候双重因素的共同控制,但结合古地磁资料笔者发现,整个奥陶纪时期华北地块都位于赤道附近<sup>[12-14]</sup>,而蒸发盐却并不是整个奥陶系都发育。这充分说明在气候条件相同的情况下,海平面变化或者说基底构造作用就是控制沉积环境变化的根本因素。基于这一认识,笔者仍将按海平面高低来建立研究区的沉积模式(图 4)。

(1)低海平面时期沉积模式及演化:马家沟一、三、五时,盆地基底抬升,海平面相对降低,海水交流受限,加之气候炎热,蒸发作用强,海水浓缩,尤其是台内盆地、洼地及潟湖等低洼区(图 2~4)。这些低洼区,由于地势低洼,成为重盐水的汇聚区,来自四周台坪、盆缘坪等相对高处的超盐度重盐水和蒸发后下沉的浓缩的表层海水都将汇聚于此。这些因强蒸发而浓缩的海水,都是富  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{NaCl}$  和  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的。当其中  $\text{NaCl}$  和  $\text{CaSO}_3$  过饱和时,分别沉淀石盐和硬石膏;而当  $\text{CaSO}_4$  和  $\text{NaCl}$  浓度低时,则发生

$\text{Mg}^{2+}$ 交代先成的灰质沉积物或岩石生成白云岩。

总体上,在台内盆地和洼地等低洼处,发育硬石膏岩或膏质白云岩与白云岩的不等厚韵律层,在台坪、盆缘坪等处则发育白云岩与膏质白云岩的不等厚韵律层。

低海平面时期的海水补给可有 3 个方向,即:西南、南、东。由于海平面低,西南和南部的台地边缘浅滩带起着障壁作用,限制了秦祁海槽的海水大量进入鄂尔多斯盆地;东面广袤平缓的台地延伸可达上百千米或更远,海平面与沉积界面间的深度变浅,生成于广海的大风浪对沉积底质的影响多已消减在台地边缘地带,这也限制了来自东方的海水补给。纵观 3 个方向的海水补给都不同程度受限,研究区在低海平面时期总体上是较闭塞的环境,海水中  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{NaCl}$  和  $\text{MgCO}_4$  浓度高,以含膏白云岩和泥粉晶白云岩沉积为主,形成大面积的含膏白云岩坪;局部洼函的下部可出现石膏岩,偶有风暴岩沉积层。

(2)高海平面期沉积模式及演化:马家沟二、四、六时,基底下沉导致海平面相对上升,但古地貌格局没有发生明显改变。据鱼车山剖面马二段丘状交错层理推测,马二、四、六时大部分地区处于正常浪基面之下风暴浪基面之上,海水深度应大于 20~30 m 或更大。随着沉积界面深度增加,海水交流得到一定程度改善。对于本区的 3 个沉积单元区来说,海水补给在承袭低海平面期格局的基础上交换强度增大,

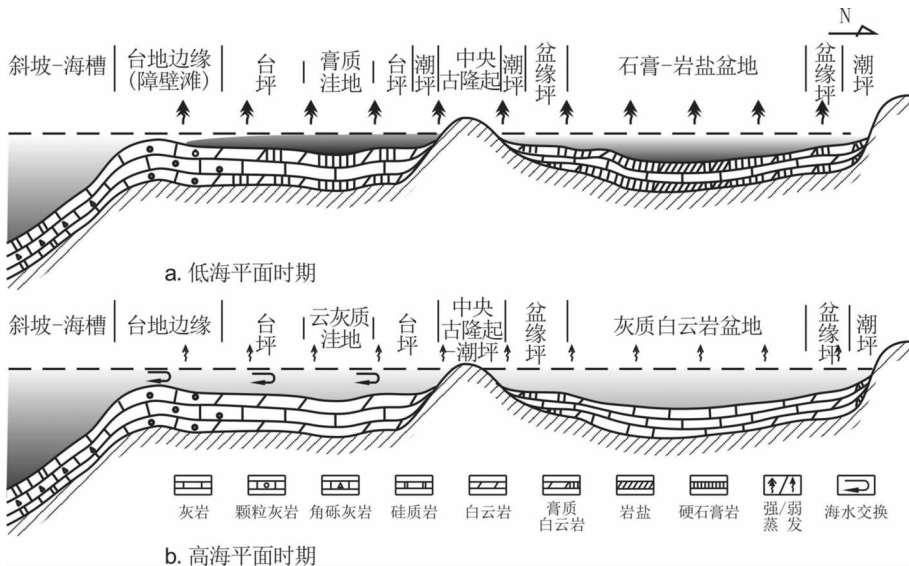


图 4 鄂尔多斯盆地南部马家沟期沉积模式  
Fig.4 Sedimentary model of the Majiagou stage in South Ordos

但由于存在边缘障壁滩、岛,南部与北东单元区海水仍受到一定的限制,所以南部和北东部沉积单元区在高海平面时期仍然是以灰质白云岩、白云岩夹灰岩沉积为主,发育灰质-白云质台坪/盆缘坪等。原来南部的膏质洼地变成了云灰质洼地,北东部的变化与南部类似;西部也基本保持了原来的格局。

## 4 结 论

鄂尔多斯盆地南部地区早奥陶世马家沟期为碳酸盐台地,根据野外剖面和区域资料研究,认为研究区以南的洛南—西安—宝鸡等一线部分缺失冶里—亮甲山组,是在晚寒武世抬升的基础上再经受亮甲山期末的怀远运动导致南缘区翘升遭受剥蚀所致。这一带也因此成为台地边缘的坡折带,也说明了鄂尔多斯盆地南部为碳酸盐台地而不是碳酸盐缓坡。

在综合研究马家沟期的岩相古地理基础上,建立了研究区马家沟期总体上呈:横向上“西槽、南洼、东坪、北盆”,灰岩-白云岩-蒸发岩呈带状展布;纵向上“咸-淡交替”,灰岩-白云岩-蒸发岩不等厚交替的沉积模式。

## 参考文献(References):

- [1] 冯增昭,张吉森,费安琦,等. 陕甘宁晋及内蒙古地区奥陶纪岩相古地理新探[J]. 地质论评, 1983, 29(1):17-23.  
Feng Zengzhao, Zhang Jisen, Fei Anqi, et al. The Ordovician lithofacies and paleogeography of the Shaanxi-Gansu-Ningxia-Neimonggol-Shanxi Region [J]. Geological Review 1983, 29 (1): 17-23(in Chinese with English abstract).
- [2] 冯增昭,鲍志东,张永生,等. 鄂尔多斯奥陶纪地层岩石岩相古地理[J]. 北京:地质出版社, 1994.  
Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Zhang Yongsheng, et al. Stratigraphy Petrology Lithofacies Paleogeography of Ordovician in Ordos [J]. Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese with English abstract).
- [3] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京:石油工业出版社, 2003.  
He Zixin. The Evolution of Ordos Basin and Its Oil-Gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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, 2002, 24(1):50-52.  
Hou Fanghao, Fang Shaoxian, Dong Zhaoxiong, et al. The developmental characters of sedimentary environments and lithofacies of middle Ordovician Majiagou Formation in Ordos basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1):106-112 (in Chinese with English abstract).
- [5] 汤显明,惠斌耀. 鄂尔多斯盆地中央古隆起与天然气聚集 [J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(1):64-71.  
Tang Xianming, Hui Binyao. The central uplift of Ordos Basin and its gas accumulation [J]. Oil and Gas Geology, 1993, 14(1):64-71(in Chinese with English abstract).
- [6] 黄建松,郑聪斌,张军,等. 鄂尔多斯盆地中央古隆起成因分析[J]. 天然气工业, 2005, 25(4):23-26.  
Huang Jiansong, Zheng Congbin, Zhang Jun, et al. Origin of the central paleouplift in Erduosi basin [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(4):23-26(in Chinese with English abstract).
- [7] 杨遂正,金文化,李振宏,等. 鄂尔多斯多旋回叠合盆地形成与演化[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4):494-498.  
Yang Suizheng, Jin Wenhua, Li Zhenhong, et al. Multicycle superimposed basin from and evolution of Ordos basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4):494-498(in Chinese with English abstract).
- [8] 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.  
Xie Guo'ai, Zhang Qinglong, Guo Lingzhi, et al. The genesis and hydrocarbon distribution of western and southern margins of Paleozoic foreland basin and central paleouplift in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica 2003, 24(2):18-23(in Chinese with English abstract).
- [9] 王庆飞,邓军,黄定华,等. 鄂尔多斯盆地石炭纪中央古隆起形成机制[J]. 现代地质, 2005, 19(4):546-595.  
Wang Qingfei, Deng Jun, Huang Dinghua, et al. Formation mechanism of Carboniferous central paleouplift of Ordos basin [J]. Geoscience 2005, 19(4):546-595 (in Chinese with English abstract).
- [10] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1989.  
Bureau of Geology and Mineral Exploration of Shaanxi Province. Regional Geology of Shanxi Province, People's Republic of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989 (in Chinese with English abstract).
- [11] 袁卫国,赵一鸣,等. 鄂尔多斯南部地区早古生代被动大陆边缘特征与演化[J]. 西北大学学报(自然科学报), 1996, 26(5):451-454.  
Yuan Weiguang, Zhao Yiming, et al. Characteristics and evolution of passive continental margin during early Palaeozoic era in southern Ordos [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1996, 26(5):451-454(in Chinese with English abstract).
- [12] 翟永建,周姚秀,等. 华南和华北陆块显生宙的古地磁及构造演化[J]. 地球物理学报, 1989, 32(3):296-307.  
Zhai Yongjian, Zhou Yaoshu, et al. Paleomagnetism and tectonic evolutions of North and South China Blocks since the Phanerozoic [J]. Acta Geophysica Sinica 1989, 32(3), 296-307(in Chinese with English abstract).
- [13] 黄宝春,朱日祥,等. 华北地块早古生代古地磁结果的大地构造意义[J]. 地球物理学报, 1996, 39(Supp):166-172.  
Huang Baochun, Zhu Rixiang, et al. Tectonics implication early Paleozoic paleomagnetic results in north China Block [J]. Acta



Geophysica Sinica, 1996, 39 (Supp.):166-172 (in Chinese with English abstract).

- [14] 杨振宇, 马醒华, 黄宝春, 等. 华北地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(增刊):44-56.

Yang Zhenyu, Ma Xinghua, Huang Baochun, et al. Apparent polar wander path and tectonic movement of the North China Block in Phanerozoic[J]. Science in China(Series D), 1998, 41(Supp.):51-65(in Chinese).

## The carbonate platform sedimentary model of southern Ordos basin

DONG Zhao-xiong<sup>1,2</sup>, YAO Jing-li<sup>3</sup>, SUN Liu-yi<sup>3</sup>, BAO Hong-ping<sup>3</sup>,  
WANG Hong-wei<sup>3</sup>, HE Jiang<sup>2</sup>, FAN Peng<sup>2</sup>

- (1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;  
2. Department of Resource and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China; 3. Exploration and Development Institute, Changqing Oilfield Company, CNPC, Xi'an 710021, Shaanxi, China)

**Abstract:** The characteristics of the strata, the sedimentary rock combination and the ancient landform demonstrate that the local early Ordovician Majiagou stage in southern Ordos basin can be divided into three depositional unit areas, i.e., the north-eastern area primarily with the dolomite-evaporite combination, the southern area with dolomite and minor evaporite combination, the western area mainly with limestone. Correspondingly, the north-eastern area mainly grew the intra-platform basin-basin-marginal flat, the southern area grew hollow-platform flat-platform edge-trough, and the western area grew the platform edge-trough. The surface occurrence and the well drilling core sample observation as well as the regional material research indicate that the southern edge of Ordos basin is approximately located along the Luonan Wayaogou-Xi'an-Baoji zone. On the whole, the depositional model of Majiagou stage in the study area is 'west trough, south hollow, east flat, north basin' in the transverse direction and 'salty-fresh water alternation' in the longitudinal direction. The calcareous rock-dolomite-evaporite belt is spread in the transverse direction, but shows alternate deposition with nonuniform thicknesses in the longitudinal direction.

**Key words:** southern Ordos basin; Early Ordovician Machiakou stage; carbonate platform; lithofacies paleogeography; depositional model

**About the first author:** DONG Zhao-xiong, male, born in 1954, professor, engages in sedimentation and reservoir geology teaching and research; E-mail swpafm@126.com.