

鄂尔多斯盆地祁连海域奥陶纪岩相古地理特征及演化

韩品龙^{1,2}, 张月巧², 冯 乔³, 高建荣², 张曼莎², 王红艳²

(1. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710029; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;
3. 山东科技大学 地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510)

摘要: 根据鄂尔多斯盆地西部及南部奥陶纪露头勘察结果, 尤其是中奥陶统平凉组页岩在盆地的西部及南部普遍存在, 结合地表露头及盆内钻孔资料, 系统分析研究了鄂尔多斯盆地祁连海域早古生代奥陶纪不同时期沉积环境特点, 分析了各沉积期的岩相古地理特征。受中央古隆起形成和祁连海向东逐渐海侵影响, 马家沟组一期到五期, 地形坡度较缓, 鄂尔多斯盆地古地理格局由祁连海向盆地内部分别发育开阔海台地、局限海台地到蒸发台地相沉积。马家沟组六期和 平凉期以及其上的上奥陶统沉积时期, 主要为开阔海台地、斜坡相和深水盆地相沉积, 在台地向斜坡的转换部位发育一些生物碎屑灰岩及由珊瑚组成的生物礁滩相沉积, 斜坡部位发育平凉组笔石页岩斜坡相沉积, 构成了华北盆地边缘中—上奥陶统一套特殊的局部天然气勘探组合。鄂尔多斯祁连海域奥陶纪岩相古地理研究具有重要的地质意义和实际生产意义。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 岩相古地理; 祁连海; 奥陶纪; 斜坡相

中图分类号: P586; P531 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8527(2009)05-0822-06

Petrofacies Palaeogeography and Evolution of Ordovician of Qilian Sea Area in Ordos Basin

HAN Pin-long^{1,2}, ZHANG Yue-qiao², FENG Qiao³, GAO Jian-rong², ZHANG Man-sha², WANG Hong-yan²
(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710029, China;
2. Ordos Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China;
3. College of Geosciences and Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China)

Abstract: Based on the investigation results of outcrop, especially considering the universal existence of Pingliang Formation shale in western and southern Ordos Basin, combined with the outcrop and well information, this paper systemically studies the sedimentary environment of Qilian Sea of Ordos Basin in Early Paleozoic Ordovician, and lithofacies palaeogeography of every sedimentary period is reconstructed. Affected by the formation of the central paleo up-lift and Qilian Sea's invading gradually toward east, the lithofacies paleogeographic framework of Ordos Basin totally showed that open-sea platform, limited sea platform and evaporating platforms were successively distributed during Majiagou age 1, Majiagou age 2 and Majiagou age 3. During Majiagou age 4 and Majiagou age 5, shallow-water carbonate facies, especially edge slope facies and shoal reef facies, were developed and they will be the potential reservoirs. During Majiagou age 6 and Pingliang age, the maximum regression occurred, and open-sea facies and deep-sea basin facies were developed. The graptolite shale of Pingliang Formation is good source rock. The study of the lithofacies paleogeography of Ordovician in Ordos Basin has important significances in both geological theory and production.

Key words: Ordos Basin; lithofacies palaeogeography; Qilian Sea; Ordovician period; slope facies

收稿日期: 2009-03-12; 改回日期: 2009-06-20; 责任编辑: 戚开静。
基金项目: 国家基础研究发展计划项目(2007CB209502); 中国石油与天然气总公司重大专项“海相碳酸盐岩大油气田勘探开发关键技术”(2008E-07)。
作者简介: 韩品龙, 男, 高级工程师, 1966 年出生, 石油地质学专业, 主要从事石油天然气勘探研究工作。
Email: hpl8707@163.com。

0 引言

奥陶系海相碳酸盐岩是鄂尔多斯盆地下古生界天然气极为重要的勘探目的层系，盆地西缘和南缘奥陶系地层层序齐全，沉积巨厚，分布广泛，保存较为完整，石油地质专家普遍认为是鄂尔多斯盆地天然气勘探的一个重要接替领域^[1-2]。该区奥陶系勘探目的层的天然气探井除天1井在奥陶系获得工业气流外，其他井均未获得突破，一个重要的原因是区内奥陶纪岩相古地貌不清。本研究从古构造背景对沉积充填的控制作用出发，通过野外代表剖面及钻孔岩心的岩石、岩相组合及古生物分析，结合测井曲线等特征，阐述古构造格局和沉积相带发育特征，试图较为客观地恢复奥陶纪时期主要岩相古地貌面貌，以推动鄂尔多斯盆地祁连海域奥陶系天然气勘探进程。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地祁连海域在区域大地构造位置上属于加里东期中央古隆起以西和以南的地区，今构造位置包括伊陕斜坡西部、西缘逆冲带、天环坳陷和渭北隆起部分地区(图1)。从大地构造位置上看，鄂尔多斯西缘和南缘处于稳定的鄂尔多斯地台与活动的秦岭—祁连造山带之间交接地带，其形成、演化必然与秦祁海槽的形成与演化紧密相关^[3]。在早古生代，中国古陆解体，沿祁连、秦岭、贺兰裂开形成秦、祁、贺三叉裂谷系^[4]。祁连和秦岭两支裂谷进一步发育成大洋裂谷，称之为秦祁洋槽，鄂尔多斯西缘发展成为被动大陆边缘，贺兰裂谷支夭折形成裂堑^[5]。到早古生代末期，加里东运动使得秦祁洋关闭，该带从稳定陆缘沉积转化为活动陆缘沉积。裂谷扩张引起的均衡作用导致裂谷肩处发生翘升，在中部形成了一醒目的正向构造单元，即中央古隆起^[5-7]；相应在其东侧因均衡调节而伴生一边侧坳陷，即陕北坳陷。两者相互协调，长期共存，不仅控制了华北海和祁连海在本区的海域范围和演变关系^[3]，而且也决定了奥陶纪岩相古地理格局。

受中央古隆起和秦祁洋槽海域的演化影响，寒武纪鄂尔多斯盆地西缘和南缘主要发育平坦、稳定的碳酸盐岩陆表海沉积，断裂活动微弱，沉积厚度变化不大，晚期海退。奥陶纪由于受到秦祁裂谷系的影响，发生快速沉降，平凉期表现为

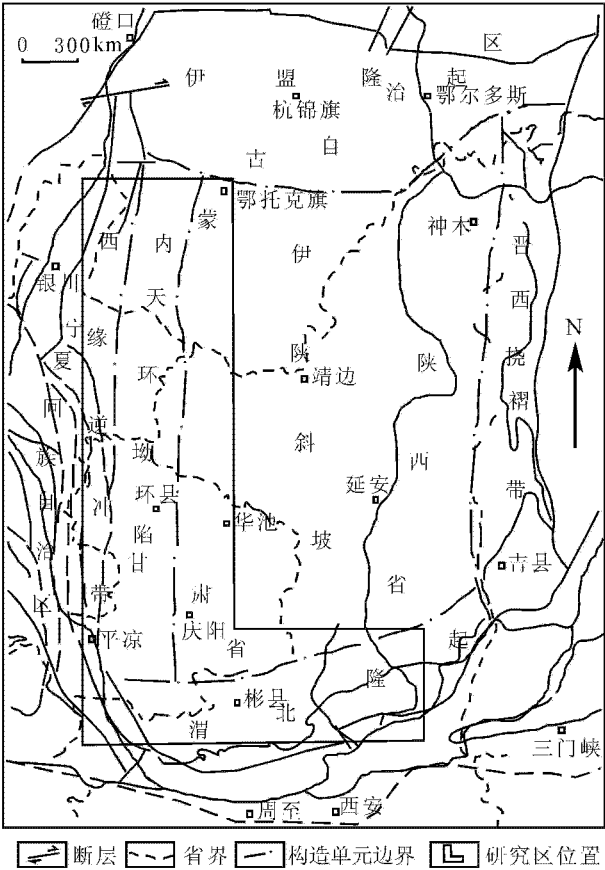


图1 鄂尔多斯盆地奥陶系西缘和南缘构造位置图
(据郑聪斌等^[8])

Fig.1 The structural location of western and southern Ordovician in Ordos Basin

坳陷沉降最盛时期；早期形成的裂谷系逐渐消失，快速隆升为陆，总体上具有边缘盆地沉降的特点^[9-13]。由于盆地西缘和南缘分属不同的地层分区，为避免将不同时代的地质事件混淆，有必要对盆地奥陶系地层进行对比。本文根据新获得的资料和前人研究成果，将研究程度较低、划分对比存在较大分歧的盆地西缘奥陶系地层单元与研究程度较高、认识基本一致、划分对比较为精确的盆地东部地层单元进行了大体对比(表1)，力求建立等时地层格架，以较确切地反映该地层单元某一时期的古地理配置，重塑古地理景观。

2 沉积微相特征

根据岩石构造特征、岩相及测井资料分析，确定鄂尔多斯盆地祁连海区下古生界存在5种沉积相类型：潮坪—局限海台地、开阔海台地、浅滩、斜坡和盆地相。

2.1 潮坪—局限海台地

潮坪沉积以盆地南缘和中央古隆起两侧较为

表1 鄂尔多斯盆地地下古生界岩石地层单元划分对比表

Table 1 Stratigraphic division and correlation of Lower Paleozoic in Ordos Basin

系	统	中国习用阶	西缘	东部	国际惯用阶 (IUGS,2005)
奥陶系	上统	五峰阶			Ashgill
		临湘阶		铁瓦殿组	
		宝塔阶	蛇山组	背锅山组	Caradoc
	中统		公乌素组		
			拉什仲组	平凉组	Llandeilo
		庙坡阶	乌拉力克组		
		牯牛阶	克里摩里组	马六段	Llanvirn
			桌子山组	马五段	
		大湾阶	三道坎组	马四段	Arenig
				马三段	
系	下统			马二段	Tremadoc
		道宝湾阶		马一段	
		两河口阶		亮甲山组	
				冶里组	

注：表中竖线表示地层缺失。

发育，一般包括潮下、潮间和潮上带3个亚相。潮下沉积一般为厚层泥晶灰岩、砾屑灰岩或礁灰岩，含有丰富的生物化石或碎片，生物扰动构造发育；潮间带沉积以间歇暴露标志为特征，如干裂、窗孔、鸟眼及纹层状构造等；潮上带主要为长期暴露地表产生的各种沉积，以纹层状粉晶白云岩、云化灰岩为主，在干燥炎热的潮上蒸发带常见膏岩、盐岩沉积(图2)，干裂、扁平砾及窗孔构造等发育。

局限海台地环境中，海水循环受到很大限制。纹理、鸟眼、藻叠层石、小型的递变层理、白云石壳及钙质结壳等构造发育，岩石类型以晶粒白云岩、颗粒白云岩、泥质白云岩、藻白云岩为主，局部含石膏、盐岩等。

从测井曲线特征上来看，局限海台地的白云岩以准同生白云岩和泥粉晶白云岩为主，自然伽马值较高，呈锯齿状，自然电位显示波状起伏；

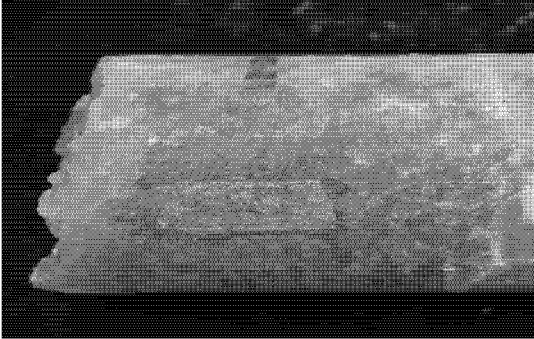


图2 Y9井马五段2 869.96 m处的褐色盐岩
Fig.2 Brown salt rock in the depth of 2,869.96 m in Majiagou age 5, well Y9

电阻率主要为较高值，局部较低，呈锯齿状；声波显示齿状低值；井径曲线呈齿状。

2.2 开阔海台地相

开阔海台地相位于局限海台地与斜坡相之间，海域广阔，海水循环比较好，盐度正常。近岸及浅水区分布颗粒灰岩沉积物，远岸过渡为泥灰岩及生物泥晶灰岩沉积物。岩性为生物碎屑颗粒灰岩、砂屑灰岩、晶粒灰岩、泥灰岩等各种类型的石灰岩，岩性较纯。陆源粉砂和粘土常呈夹层出现。生物群丰富，有软体生物、有孔虫、藻类、腕足类、棘皮动物碎片等。自然伽马曲线低值低幅，自然电位曲线近波状起伏，电阻率曲线高值，波状起伏，井径曲线平直(图3)。

2.3 台地边缘浅滩相

台地边缘浅滩相位于开阔海台地边缘浅水高能带，主要有滩、准滩和雏滩。岩性主要为亮晶灰岩、泥质灰岩、泥晶颗粒灰岩等。颗粒以砂屑和生屑为主，颗粒磨圆度较高，分选性较好。常见鲕粒灰岩，反映清澈动荡和浑浊低能沉积环境交替出现。岩石颜色较浅，各种规模槽状交错层理发育。原地生物很少，可见大型腹足类、双壳类化石碎屑。自然伽马一般低值，近于直线；自然电位曲线与自然伽马曲线同形；电阻率曲线高值，波状起伏；声波曲线锯齿状较高值，井径曲线平直(图3)。

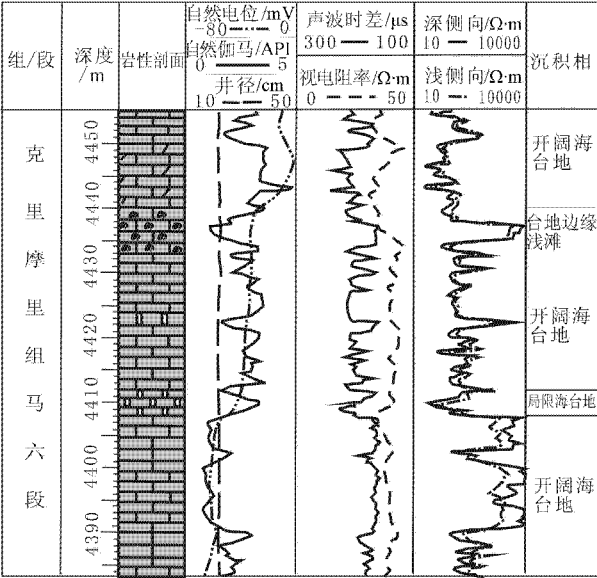


图3 局限海台地、开阔海台地和台缘浅滩相的岩性组合及测井曲线特征(Ks1井)

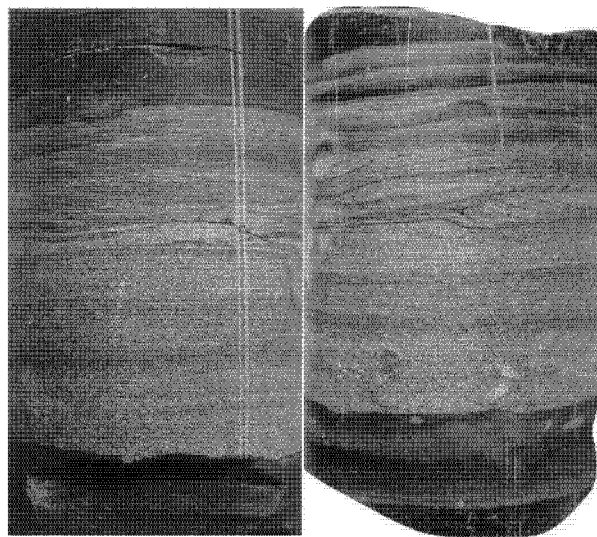
Fig.3 The lithologic combination and logs of restricted and open sea platform and platform margin bank (well Ks1)

2.4 斜坡相

斜坡相即开阔海台地的向海斜坡带,沉积物主要由各种碎屑组成,具大型滑塌构造,或呈前积层状及楔形状岩层。岩石类型以角砾状灰岩为主,包括泥质灰岩、砂屑灰岩等。广海生物丰富,如腕足类、棘皮类、有孔虫等。出现的浊流多为低密度流,沉积层序上具有粒序性,具有较为典型的鲍马序列。

2.5 盆地相

盆地相位于大陆坡以下的深海盆地,水体安静,水深最大。岩性主要为厚层灰岩和泥灰岩沉积,偶见陆源碎屑如浊流沉积等,岩石颜色由暗到浅,以泥灰岩、泥页岩、粉砂岩、砂岩为主(图4),有时夹有角砾灰岩或砂砾岩。自然伽马曲线呈小幅度锯齿状,值较高;自然电位曲线呈近波状起伏,高值,齿状;声波曲线呈尖峰状起伏;井径曲线平直。



Ks13 993.72 ~ 3 993.82 m Ks13 993.82 ~ 3 993.91 m

图4 Ks1井取心中的浊积岩鲍马序列

Fig. 4 The turbidite Bouma sequence of core in well Ks1

3 主要时期岩相古地理特征

通过以上讨论,结合各时期的地层厚度图和岩相组合关系,可以勾勒出奥陶系各期的岩相古地理轮廓。

3.1 马一段—马三段

盆地东部的马一段—马三段地层与盆地西北部桌子山地区三道坎组地层相对应。

从马一段地层等厚图上可以看出,马一期古地理格局表现为“两隆两凹一鞍部”的特点。马家沟组早期,祁连海向东逐渐海侵,但此时处于

干旱炎热气候期,海平面较低,中央古隆起和伊盟古陆处于隆起剥蚀状态,没有接受沉积。凹陷区从西向东主要为开阔海台地相、局限海台地相和蒸发台地相(图5)。开阔海台地位于古隆起的西部和南部,岩性主要为灰色厚层块状灰岩,夹薄层灰岩,厚度在80~260 m不等;产腕足类、头足类和腹足类等底栖生物化石。南北古隆起侧翼和鞍部为局限海台地沉积环境,水体较浅,更靠近陆地一侧。岩性主要为灰白色中层状细粒石英砂岩、泥晶白云岩夹瘤状灰岩,其中石英砂多为细粒、中粒,分选性、磨圆度好,反映了稳定的大陆边缘环境。古隆起以东和南部甸探1井区为蒸发台地相,发育膏、盐岩和含膏白云岩,属潮间—潮上带的干旱、蒸发环境。

马二段和马三段的岩相古地理特征继承了马一段的发育格局,它们之间具有较大的相似性,均表现为由西向东为开阔海台地、局限海台地到蒸发台地的变化;二者的不同之处表现在岩性组合上。

3.2 马四段—马五段

盆地东部地区马四段和马五段在盆地西缘对应的地层单元为桌子山组。

马四期是华北地台的最大海侵期,气候湿热,中央隆起带绝大部分被淹没,仅残存南端一小块陆地。此时沉积厚度围绕残存的古隆起呈带状分布,最大可达200余米,西部地层较东部略厚(图6)。此时从西向东依次发育深海盆地、台地边缘斜坡、台地边缘浅滩、开阔海台地、局限海台地和蒸发台地相以及在南部边缘浅滩上还发育一些生物礁。深水盆地主要位于同心—固原一线以西,主要为灰褐色薄层泥质灰岩等,含燧石条带和薄层页岩。台地边缘斜坡紧邻深水盆地,以灰岩沉积为主。以东为台地边缘浅滩相带,主要为白云岩、灰岩间互沉积。台地边缘浅滩以东为开阔海台地和局限海台地相带,以白云岩或白云岩夹灰岩的岩石组合为主。蒸发台地相带主要分布在庆深井区附近,以浅灰色含膏白云岩和灰色白云岩为主。

马五期开始海退,庆阳古陆向北延深,地层厚度增大,其岩相古地理格局大体不变,但是马五段生物礁滩和鲕粒滩发育,在桌子山剖面、环14井和平凉—陇县均见生物滩灰岩;在天池构造和苏峪口地区均见鲕粒滩相灰岩,是有利储层发育层段。

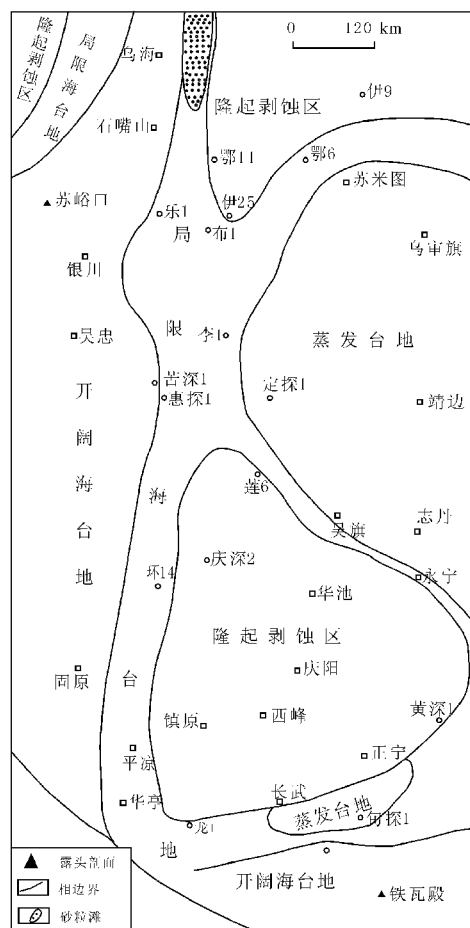


图5 鄂尔多斯西缘和南缘马一段岩相古地理图

Fig. 5 Lithofacies paleogeography map of Majiagou age 1 in western and southern Ordos Basin

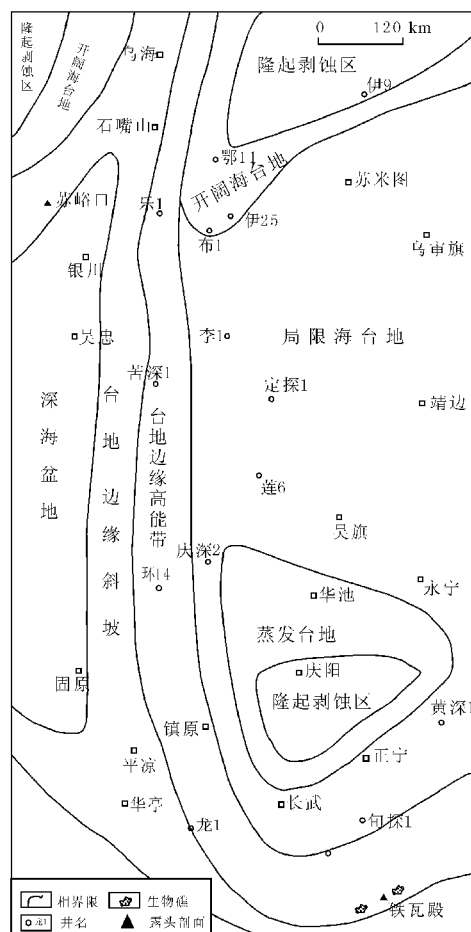


图6 鄂尔多斯西缘和南缘马四段岩相古地理图

Fig. 6 Lithofacies paleogeography map of Majiagou age 4 in western and southern Ordos Basin

3.3 马六段

盆地东部马六段地层在盆地西缘对应为克里摩里组地层。马六期是最大海退期,南北古陆连为一体,地层沉积范围缩小,仅在鄂 11—庆深 2—龙 1 井一线以西及庆阳古陆以南地区有地层分布,厚度变化快,反映陆架边缘地形陡峭。从岩石组合情况分析,盆地西缘从深水盆地快速相变为台缘斜坡和台缘浅滩,而南缘地区仅发育台缘斜坡和台缘浅滩 2 个相带。深水盆地相主要为深灰色厚层—块状灰岩沉积,台缘斜坡相以深灰色灰岩为主,发育少量泥灰岩和泥岩;台缘滩相以白云岩为主,少量发育泥质岩和泥灰岩。

3.4 平涼組

中奥陶统平凉组在桌子山地区相当于拉什仲组和乌拉力克组。平凉组地层主要分布在鄂11—伊25—庆深2井以西地区,厚度变化快,形成一个较陡的斜坡。南部除耀参1井平凉组相对较厚外,区域上呈现出由北向南逐渐增厚的趋势,最

厚可达 500 余米。南部则主要为灰色薄层泥质泥晶白云岩。局限海外为开阔海台地, 沉积物为灰色—浅灰白色厚层块状细粉晶白云岩夹薄层黄色泥晶白云岩。在南部邻近秦岭海槽, 主要为斜坡沉积。随后, 海侵进一步扩大, 局限海台地内的云坪面积明显缩小, 白云岩中泥质含量增多。开阔海台地岩性为厚层块状的泥晶灰岩, 颗粒灰岩和细晶—粉晶白云岩。到马四期海侵最强烈, 在台地边缘与斜坡地区开始发育大量碳酸盐岩浅滩。形成奥陶纪一套非常重要的储集层。到马五期开始海退, 中央古隆起带范围扩大, 以局限海台地沉积为主, 以东为开阔海台地, 沉积物主要为厚层块状泥晶灰岩、颗粒灰岩; 开阔海的外缘发育浅滩沉积。马六期和平凉期达到最大海退, 陆地范围最大, 海相沉积只在隆起西部和南部地区发育, 主要以斜坡—盆地相沉积为主, 形成了厚层的笔石页岩沉积, 是鄂尔多斯盆地西部一套重要的海相烃源岩。

4 岩相古地理演化和沉积模式

根据区域古构造背景和以上各期岩相古地理分析，总结出鄂尔多斯盆地奥陶纪的岩相古地理演化过程及鄂尔多斯盆地西缘和南缘奥陶纪海相碳酸盐岩沉积模式(图7)。

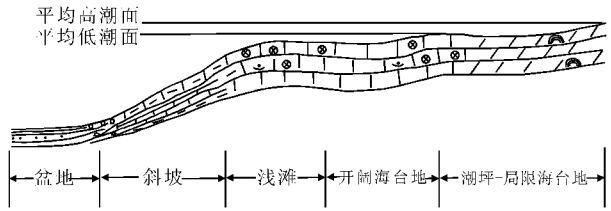


图7 鄂尔多斯盆地秦祁海域奥陶系海相碳酸盐岩沉积模式图

Fig.7 The sedimentary model of marine carbonate of Ordovician in Qinqi area of Ordos Basin

从早奥陶世中期马一段地层沉积开始，海侵范围逐渐扩大，鄂尔多斯西部和南部发育大片局限海台地，白云岩广泛发育，西部沉积物主要为准同生白云岩。南部则主要为灰色薄层泥质泥晶白云岩。局限海外为开阔海台地，沉积物为灰色—浅灰白色厚层块状细粉晶白云岩夹薄层黄色泥晶白云岩。在南部邻近秦岭海槽，主要为斜坡沉积。随后，海侵进一步扩大，局限海台地内的云坪面积明显缩小，白云岩中泥质含量增多。开阔海台地岩性为厚层块状的泥晶灰岩、颗粒灰岩和细晶—粉晶白云岩。到马四期海侵最大，在台地边缘与斜坡地区开始发育大量碳酸盐岩浅滩，形成奥陶纪一套非常重要的储集层。到马五期开始海退，中央古隆起带范围扩大，以局限海台地沉积为主，以东为开阔海台地，沉积物主要为厚层块状泥晶灰岩、颗粒灰岩；开阔海的外缘发育浅滩沉积。马六期和平凉期达到最大海退，陆地范围最大，海相沉积只在隆起西部和南部地区发育，主要以斜坡—盆地相沉积为主，形成了厚层的笔石页岩沉积，是鄂尔多斯盆地西部一套重要的海相烃源岩。

5 结 语

鄂尔多斯盆地南部和西部早古生代时期地处华北地台边缘，中—上奥陶统的存在表明其沉积格局与华北地台有明显的差异。在奥陶系马家沟期沉积基础上，中—上奥陶统在野外露头和井下

岩心观察均发现生物逐渐繁盛的迹象，存在礁滩灰岩，且礁滩体具有一定的规模，礁滩体在海相地层中是较好的油气储层，为油气聚集提供了良好的储集体。其下的马家沟组、平凉组地层从烃源岩地化指标分析具有一定的生烃能力，构成一套与华北地台内部有明显区别的鄂尔多斯盆地古生代海相地层储盖组合。应该考虑后期构造活动对早古生代地层的改造及其后期保存条件的优劣，为优选勘探目标提供可靠的依据。

参考文献：

[1] 李江涛. 鄂尔多斯盆地北部加里东期构造演化及其与古生界天然气的关系 [J]. 现代地质, 1997, 11(4): 488-495.

[2] 李振宏, 王欣, 杨遂正, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系岩溶储层控制因素分析 [J]. 现代地质, 2006, 20(2): 299-306.

[3] 章贵松, 张军. 鄂尔多斯盆地西部奥陶纪岩相古地理特征 [J]. 低渗透油气田, 2006, 11(3): 34-39.

[4] 陈孟晋, 王新民, 胡国艺, 等. 鄂尔多斯盆地西部奥陶系天然气成藏条件与勘探潜力 [J]. 中国石油勘探, 2006, 11(1): 25-30.

[5] 付金华, 郑聪斌. 鄂尔多斯盆地奥陶纪华北海和祁连海演变及岩相古地理特征 [J]. 古地理学报, 2001, 3(4): 25-34.

[6] 孙国凡, 刘景平. 贺兰拗拉槽与前渊盆地及其演化 [J]. 石油与天然气地质, 1983, 4(3): 236-245.

[7] 张军, 徐黎明, 包国民. 陕甘宁盆地中央古隆起的形成及其与天然气的关系 [J]. 天然气工业, 1994, 14(增刊): 19-33.

[8] 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.

[9] 张抗. 论贺兰裂堑(AULACOGEN) [M] //内蒙古石油学会. 鄂尔多斯盆地西缘地区石油地质论文集. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1983: 29-40.

[10] 解国爱, 张庆龙, 郭令智. 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): 18-29.

[11] 王庆飞, 邓军, 杨立强, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶纪“L”状边缘隆起演化过程及其构造背景 [J]. 现代地质, 2006, 20(1): 30-34.

[12] 冯增昭, 鲍志东. 鄂尔多斯奥陶纪马家沟组岩相古地理 [J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 1-18.

[13] 姚泾利, 赵永刚, 雷卞军, 等. 鄂尔多斯盆地西部马家沟期层序岩相古地理 [J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2008, 30(1): 33-37.

[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] 席胜利, 郑聪斌, 夏日元. 鄂尔多斯盆地西南缘中奥陶世斜坡相与油气前景 [J]. 低渗透油气田, 2005, 10(1): 6-12.