

文章编号:1672-9854(2010)-02-0001-13

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

杨华, 付金华, 包洪平

(中国石油长庆油田分公司)



杨华

摘要 鄂尔多斯地区自中—晚元古代至早古生代继承性地发育区域性海相沉积, 大体经历了中—晚元古代大陆裂谷及拗拉槽、寒武纪陆表海台地、奥陶纪局限海台地及构造转换等三个主要演化阶段。分析认为, 奥陶纪在盆地西部和南部存在对天然气成藏较为有利的海槽/台地边缘沉积相带。中—上奥陶统平凉组—背锅山组是盆地西部和南部下古生界天然气成藏的主要烃源层; 奥陶系礁滩体岩性圈闭是最主要的圈闭类型。盆地西部的天环北段和南部的麟游北为两个近期天然气勘探的有利目标。

关键词 奥陶纪; 构造演化; 沉积相带; 油气成藏; 天然气潜力; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.23, TE112.31 **文献标识码**: A

杨华 1963年生, 博士, 教授级高级工程师。1984年毕业于西南石油学院石油地质专业, 2004年成都理工大学古生物学与地层学博士研究生毕业。长期在鄂尔多斯盆地从事油气勘探及地质研究工作。现任中国石油长庆油田公司副总经理。通讯地址: 710018 西安市未央路151号

1 奥陶纪海槽的形成演化及区域构造背景

鄂尔多斯地区中晚元古代—早古生代均发育有区域性的海相沉积, 但其西部和南部的沉积与盆地内部存在较大差异。盆地西部和南部以较深水相的海槽沉积为主, 而盆地内部则以碳酸盐台地相沉积为主(图1)。海槽沉积的历史可追踪到中—晚元古代, 并一直延续到中—晚奥陶世。下面分中—晚元古代、寒武纪及奥陶纪三个时期简述海槽的形成演化过程及其区域构造背景。

1.1 中—晚元古代——大陆裂谷及拗拉槽

鄂尔多斯地区位于华北地块的西部, 是在太古宇—下元古界结晶基底的基础上发展起来的多旋回克拉通盆地, 是华北地块的一部分, 其基底的形成和演化与华北地块大体一致, 有增生说、多次分裂拼合说及地体说等多种不同的解释模式^[1], 这从一个侧面反映出早期地壳演化的复杂性。基底岩性主要为

中—深变质程度的变质岩系。

中—晚元古代在区域拉张的构造背景下, 鄂尔多斯地区发育了一系列的海槽和拗拉槽, 形成了秦祁海槽、贺兰拗拉槽、晋陕拗拉槽及豫陕拗拉槽等海相碎屑岩及碳酸盐岩沉积建造(图1)。中—上元古界厚度一般大于1000m, 如盆地南缘的岐山剖面蓟县系地层厚度达1706m, 岩性主要为含硅质条带的藻白云岩^①; 盆地西缘青龙山剖面剥露长城系, 厚797m(未见底), 岩性主要为灰紫、浅褐色厚层石英砂岩夹紫红—灰红色泥岩, 主要形成于滨浅海—半深海沉积环境^[2]。

晚元古代早期的青白口纪, 鄂尔多斯地区整体抬升, 盆地内缺失青白口系沉积。震旦纪则仅在盆地西缘及南缘发育有正目观组Pt₃z(相当于罗圈组, Pt₃l), 主要以冰碛砾岩为主, 厚度多在10~40m, 仅局部地区在100m以上。

1.2 寒武纪——陆表海台地

进入早古生代, 鄂尔多斯地区又整体下沉, 接受

收稿日期: 2009-12-31

本文为中国石油天然气股份有限公司重大专项“海相碳酸盐岩大气田勘探开发关键技术”(编号2008E-0706)部分成果

① 长庆石油勘探局勘探开发研究院. 鄂尔多斯地区中上元古界下古生界油气资源评价总结报告. 1983

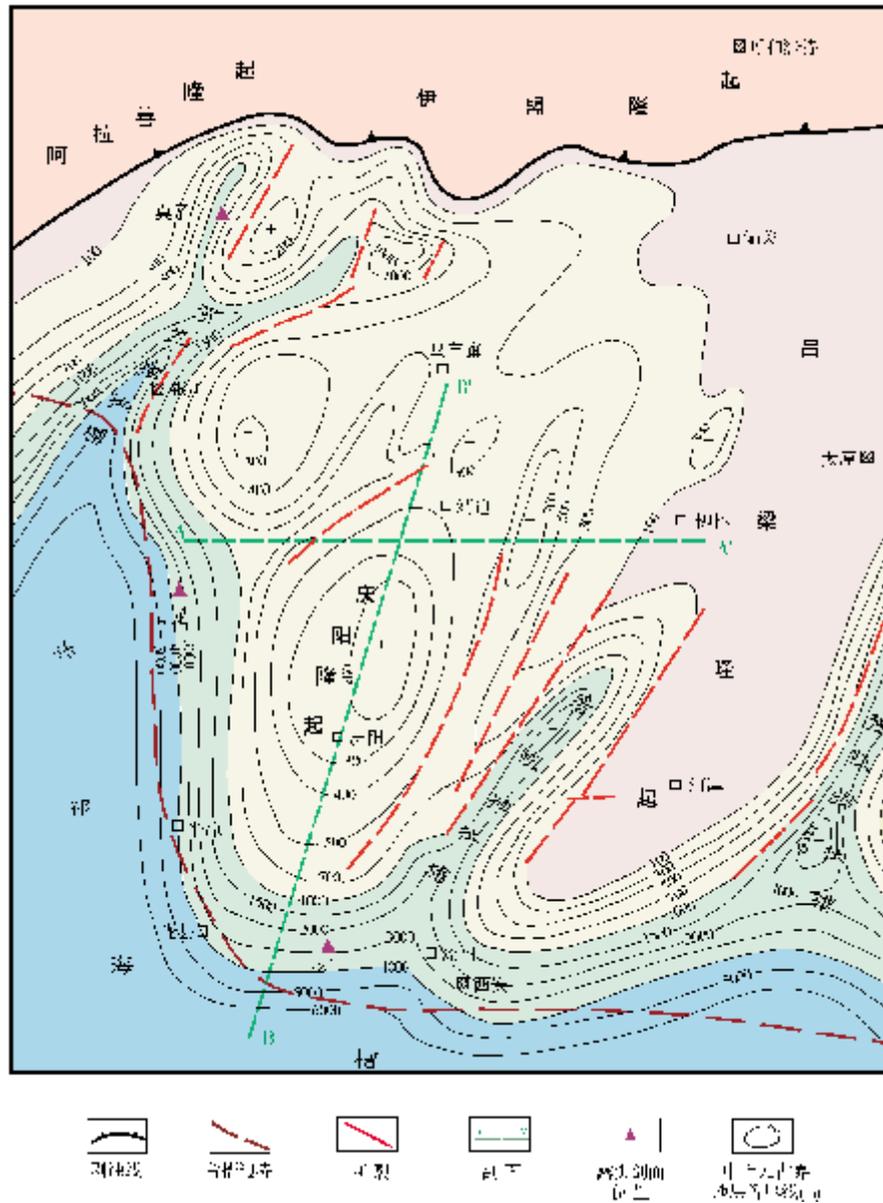


图1 鄂尔多斯地区中—晚元古代海槽及拗拉槽分布图

海相沉积,尤其是寒武纪的整体沉积面貌与华北台地更趋一致。

早寒武世沉积范围基本继承了晚元古代末期的特征,盆地内部整体缺失下寒武统,仅在盆地西缘和南缘发育馒头组(ϵ_1m)—毛庄组(ϵ_1mz),岩性主要为滨浅海相陆源碎屑岩夹白云岩。

中寒武世徐庄期—张夏期海侵进一步扩大,尤其张夏期是盆地早古生代海侵最大的时期^[3-4],沉积范围基本覆盖除伊盟隆起及庆阳隆起(中央古隆起)

核部以外的全盆地,岩性主要为一套碳酸盐台地浅滩相的鲕粒白云岩或鲕粒灰岩,沉积特征在整个华北地区基本一致,反映了中寒武世沉积环境的稳定性,具有“陆表海”碳酸盐台地的沉积特征。地层厚度在盆地内部一般为100~200m,在西缘和南缘则可达400~600m。

晚寒武世(崑山期—长山期—凤山期),沉积范围与中寒武世相近,但由于中央古隆起(图1中庆阳隆起)对沉积的影响加大,在古隆起区的缺失范围略

有扩大。主要岩性为潮坪相竹叶状白云岩,上寒武统厚度一般在 30~100 m。

寒武纪末期又有一次短暂的构造抬升(怀远运动),使局部地区寒武系受到一定程度的剥蚀。

1.3 奥陶纪——局限海台地及构造转换

早奥陶世马家沟期,鄂尔多斯地区的沉积特征与华北地区的差异进一步明显,突出表现出鄂尔多斯从

华北地台逐渐分化的演化特征。表现在华北地区马家沟组主要为广海相的石灰岩沉积,而鄂尔多斯则主要为局限海相的蒸发岩沉积,形成碳酸盐岩与膏盐岩交互的沉积结构^[5-6](图 2)。奥陶系厚度一般为 300~500 m,最厚达 891 m。

早奥陶世末期(克里摩里期),构造及沉积环境的分异进一步加大,开始进入了较强烈的构造转换期,突出表现在两个方面。

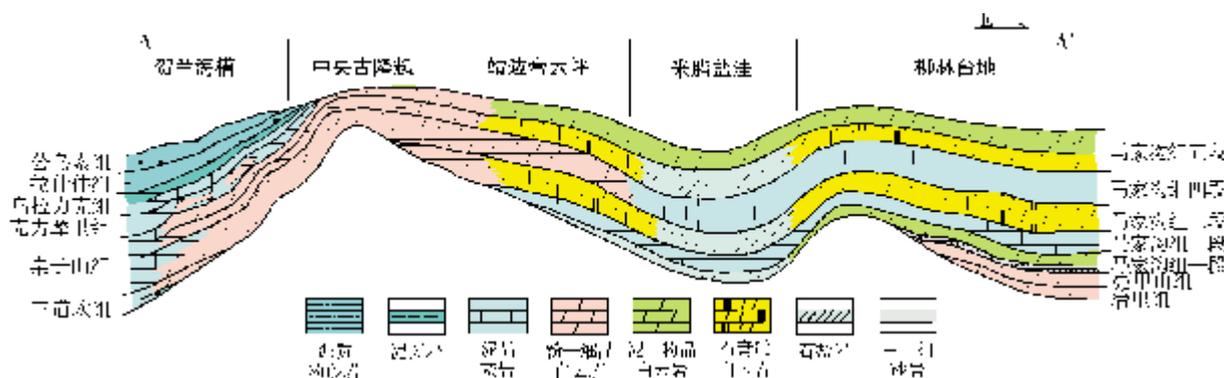


图 2 鄂尔多斯地区奥陶纪沉积岩相剖面图

A—A' 剖面位置见图 1

沉积特征的差异明显加强。从克里摩里期开始,地层岩性由原来以白云岩、膏盐岩为主,快速转化为以石灰岩为主,且岩性的横向相变也明显增强,表现出较明显的由台地—台地边缘—广海陆棚的相带分异特征。

构造活动性进一步加剧。从早奥陶世末—中晚奥陶世,盆地西南部与盆地内部表现出对偶性的地层发育特征。盆地内部从早奥陶世末期开始逐渐抬升为陆,缺失中—晚奥陶世沉积;而盆地西部、南部则加速下沉,发育巨厚的中—晚奥陶世地层,厚度逾 1 000 m,最厚达 2 000 m 以上。而且随着快速的沉降,局部发育深海相放射虫硅质岩,地层中凝灰岩夹层也明显增多,反映了构造活动性增强、岩浆及火山作用加剧。

1.4 海槽成因

通过对早古生代区域大地构造背景的综合分析,认为奥陶纪盆地南部海槽具有边缘海盆地的特征,其成因与加里东期古秦岭洋板块向古华北板块的俯冲有关(图 3)。由于板块的俯冲拖拽,在仰冲板块一侧下部的地幔中诱发对流循环^[7],引起地壳拉张。在此

拉张的构造环境下形成古渭河边缘海盆地(弧后盆地),并诱发对流产生一个上涌流,由上涌流产生的垂直应力使局部地形隆起继而形成中央古隆起。

上述模式的证据主要有以下两方面,一是秦岭造山带的古商丹缝合带中发育的早古生代蛇绿岩套,它代表了早古生代板块俯冲削减碰撞后的古洋壳残片^[8]。二是在盆地西南侧秦岭造山带中广泛发育的加里东期混合岩化花岗岩,代表了板块俯冲时岛弧带深度变质而导致部分熔融的混合岩化作用过程。经秦岭西段陇县八渡一带混合岩化花岗岩采样的锆石定年,其 U-Pb 同位素年龄为 391 Ma,记录了加里东末期构造抬升部分熔融岩浆的冷却年龄。

而盆地西部的贺兰海槽则是在由中—晚元古代三叉裂谷的天亡枝发育而成的拗拉槽基础上再次活动形成的槽状海盆,未形成真正的洋壳,地层结构特征及其反映的构造特征相对较简单。

2 奥陶纪海槽边缘相带沉积特征

2.1 海槽边缘地层发育特征

盆地西部和南部奥陶纪处于秦祁海槽沉积区,

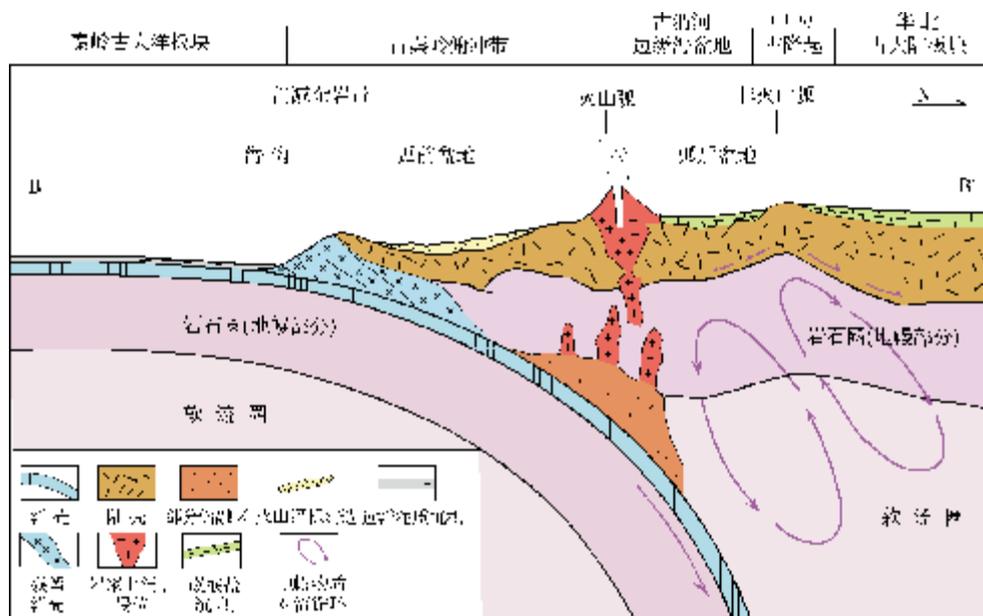


图3 加里东期秦岭—鄂尔多斯南部的板块构造及古隆起成因模式图

B—B' 剖面位置见图 1

地层分布复杂,厚度及岩性横向变化大,尤其与盆地内部地层对比难度较大。海槽与鄂尔多斯台地的过渡带(即海槽边缘或台地边缘)地层发育具有一定的特殊性,主要表现在以下两个方面。

(1)奥陶系由台地向海槽呈楔状体展布,海槽边缘具有明显坡折带特征。奥陶系在盆地内部及东部广大区域内一般厚 400~600 m, 而向西部和南部海槽区则增厚至 1000 m 以上, 槽台过渡部位厚 600~800 m, 存在地层突然明显加厚的“坡折带”, 反映奥陶系沉积时存在古地形坡折。

(2)中—上奥陶统在鄂尔多斯台地区缺失, 地层尖灭带即位于槽台过渡带附近。中—晚奥陶世, 海槽区与台地区差异升降运动显著, 使台地区(包括盆地东部)缺失中—上奥陶统(表 1)。中—上奥陶统向台地方向的缺失尖灭线即位于海槽与台地的过渡带上靠近台地一侧。

2.2 海槽边缘古地理及沉积环境特征

2.2.1 冶里—亮甲山期

冶里—亮甲山期为奥陶纪海侵初始期, 沉积范围仅局限于盆地南缘和东缘, 盆地内部广大地区仍为陆地暴露区, 没有同期地层沉积。总体呈现盆地内部为鄂尔多斯古陆, 南缘和东缘为环陆白云

岩潮坪的古地理格局。而盆地西部此时同属鄂尔多斯古陆。

2.2.2 马家沟—克里摩里期

为盆地奥陶纪主要海侵沉积期, 沉积范围基本覆盖全盆地。马家沟组按岩性可划分为六个段。其中一、三、五段以白云岩—膏盐岩为主, 二、四、六段则以石灰岩、白云岩为主, 整体构成三个主要的沉积旋回, 大体相当于 Vail 的三级旋回。其中, 马一、马三、马五为高位体系域沉积, 马二、马四、马六为海侵体系域沉积。

马一、马三、马五的高位体系域沉积以马五为代表(图 4), 其岩相古地理格局是, 盆地东部为膏盐洼地, 沉积巨厚膏盐岩(马五段膏盐岩累计最大厚度在榆 9 井达 196.6 m), 向西及向南依次相变为含膏云坪、台缘斜坡及海槽相, 在中央古隆起所在的庆阳一带存在一间歇暴露的古陆区, 并在其东北侧发育环陆泥云坪沉积。其中盆地西部和南部主要处在台缘斜坡相带, 有利于礁滩体的发育, 可为其下古生界天然气成藏提供有利的储集条件。

海侵体系域沉积以克里摩里期(马六亚期)为代表(图 5), 其岩相古地理格局是, 由盆地东部向西及向南依次为广海陆棚、浅水碳酸盐台地、台缘斜坡及海槽相, 此时中央古隆起一带(镇原—宁县地区)为

表 1 鄂尔多斯地区奥陶系地层对比表

地层分区		西 缘				南 缘				东 部							
剖面位置		桌子山		平凉		陇县		岐山		泾阳		河津	柳林	偏关			
系	统	组	厚度(m)	组	厚度(m)	组	厚度(m)	组	段	厚度(m)	组	段	厚度(m)				
上覆地层		羊虎沟组		山西组		石盒子组		太原组		本溪组							
奥陶系	上统					背锅山组	439.5			背锅山组	1060						
	中统	蛇山组	95			龙门洞组	300	362	白玉组	413.6							
		公乌素组				平凉组	188	平凉组	131.8	345.8	西陵沟组	344					
		拉什仲组	287.7	167.4	162.2				80.2								
		乌拉力克组	33.9														
	下统	克里摩里组	203.3	三道沟			三道沟组	194.2	557.3	马家沟组	六段	252	峰峰组	六段	17.2	21	295
		桌子山组	368.6	水泉岭组			水泉岭组	292	142.5		五段	63.3	五段	93.2	140		
		三道坎组	82.3	麻川组		麻川组	132.6	113.5	四段		69.7	四段	76.8	172			
									三段		50	三段	69.7	58.9			
		二段	76.8	二段	45.2	79.1	128										
一段		52.7	一段	23.9	21.4												
								亮甲山组	150.5	亮甲山组	34.8	53.5	107				
								冶里组	137.2	冶里组	6.6	33.8	72				
下伏地层		崮山组		崮山组		崮山组		崮山组		凤山组							

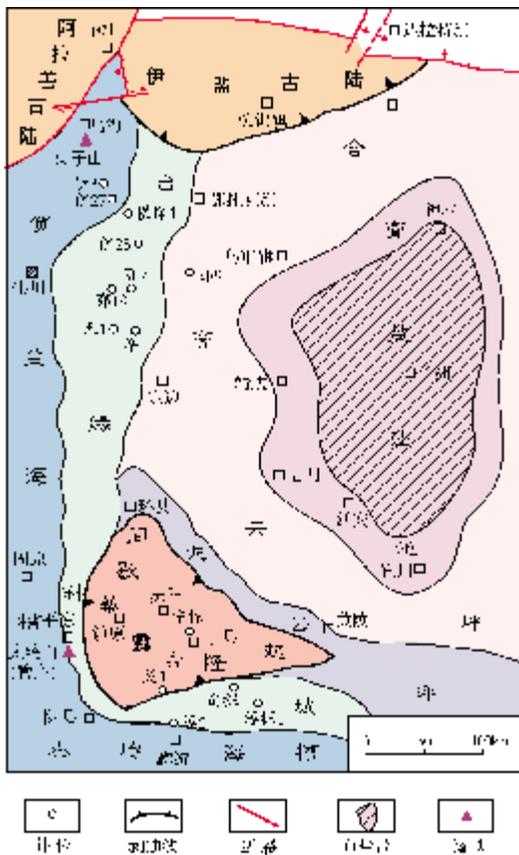


图 4 鄂尔多斯地区奥陶纪马家沟期马五亚期沉积相图

水下古隆起区。由于加里东末期鄂尔多斯地区整体构造抬升,遭受长达 1.3 亿年的风化剥蚀,盆地内部马六段几乎剥蚀殆尽,仅局部古岩溶高地及岩溶残丘地区有少量残留,残余地层厚度多在 10m 以内。盆地西部和南部,马六段保留基本完整,向西、向南靠近海槽的地带甚至仍有中—上奥陶统保留。盆地西部和南部地区在克里摩里期也刚好处在碳酸盐台地与海槽过渡的台缘斜坡相带上,有利于礁滩沉积体的发育,对礁滩相岩性圈闭体的形成和天然气成藏较为有利。

克里摩里期是鄂尔多斯区块周缘由被动陆缘向活动陆缘的转换期,构造条件比较特殊。由于受断块及水下火山爆发等因素的影响,台地边缘地带地形高差起伏变化较大,局部的水下隆起由于水体能量较强,易于造礁生物的固着生长和大量繁殖,而形成规模发育的堡礁群。尤其是盆地南部的台缘斜坡相带构造活动性相对较强,更利于生物礁及礁滩复合体的发育。而盆地西部的台缘斜坡带构造活动性相对较弱,沉积环境相对稳定,因而更有利于颗粒相沉积体的发育。

2.2.3 平凉—背锅山期

中奥陶世平凉期开始,台地边缘—海槽区与鄂尔

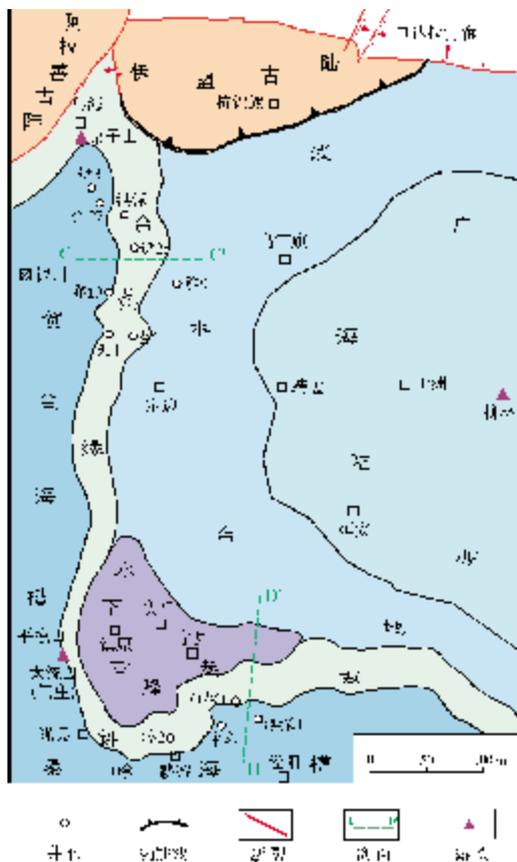


图5 鄂尔多斯地区奥陶纪克里摩里期(马六亚期)沉积相图

多斯台地区的构造活动性差异进一步加大,台地区整体抬升为陆,海槽区却加剧沉陷,这一过程一直延续到晚奥陶世背锅山期,沉积了半深海陆棚—深海盆地相的砂页岩及泥质石灰岩、泥晶灰岩(图6)。唯盆地南部在平凉期仍具台地边缘沉积特征,局部发育生物礁相及礁后潟湖相沉积,如旬探1井、永寿好时河剖面的平凉组中,均发现有珊瑚礁灰岩(图7)。至背锅山期则完全演化为半深海沉积环境。

2.3 海槽/台地边缘礁滩相带分布模式

由于盆地西部和南部的奥陶纪构造活动特征存在一定差异,其沉积地层的发育特征也有一定差异,为此,笔者对两个地区分别建立了海槽/台地的边缘沉积模式。

盆地西部奥陶纪所发育的贺兰海槽是在中—晚元古代拗拉槽基础上再次活化而成,后期活动性相对较弱,因此由台地向海槽过渡的台地边缘地形变化相对较宽缓,构造沉降与沉积补偿的过程也相对较均衡,沉积条件更有利于滩相沉积体的发育,而礁的发育规模可能相对较小。鄂尔多斯地区西部的沉积发育特征可概括为如图8所示的沉积模式,即由东向西依次由台地浅滩—潟湖—台地边缘礁滩—半深海等几个微相序列构成,其中台地边缘礁滩体主



(a) 中奥陶统平凉组笔石页岩。平凉太统山



(b) 中奥陶统平凉组笔石页岩中的笔石化石。平凉太统山

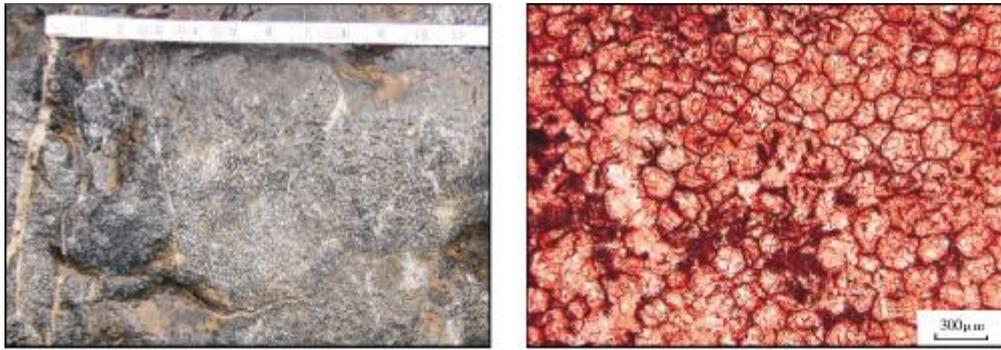


(c) 下奥陶统克里摩里组泥灰岩与凝灰质泥页岩互层。乌海桌子山



(d) 克里摩里组泥晶灰岩中三叶虫化石。乌海桌子山

图6 鄂尔多斯地区西部和南部海槽中—晚奥陶世半深海—深海盆地相沉积



(a) 中奥陶统平凉组珊瑚礁灰岩。永寿好时河。野外露头。(b) 中奥陶统平凉组珊瑚礁灰岩。旬探1井, 2997m。单偏光(茜素红染色片)

图7 鄂尔多斯地区南部海槽在中奥陶世平凉期仍具台地边缘沉积特征

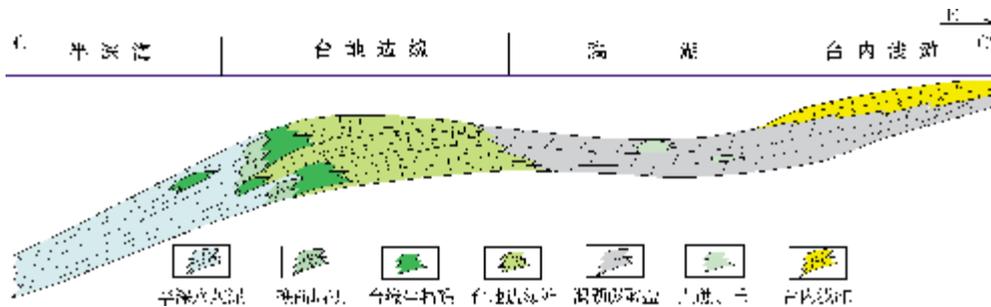


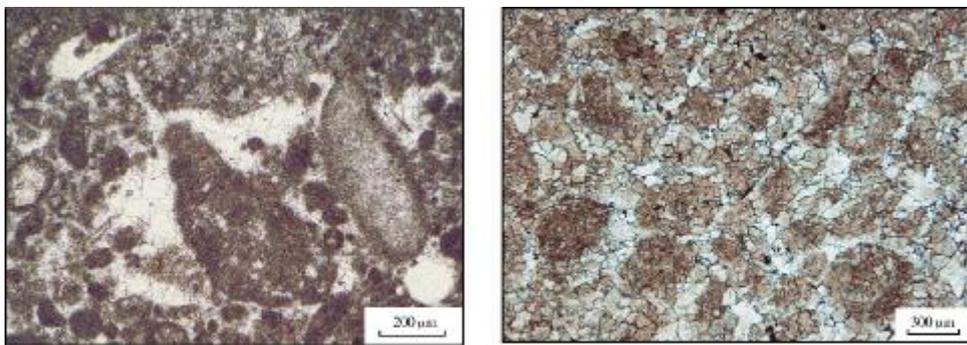
图8 鄂尔多斯地区西部奥陶纪沉积模式图
C—C' 剖面位置见图5

要以颗粒滩相沉积为主, 颗粒多以砂屑、鲕粒为主(图9), 较深水域的斜坡带及潟湖中也偶有小规模零星分布的补丁礁或生物丘。

盆地南部奥陶纪秦岭海槽区域构造活动强烈, 发展为开阔的古秦岭大洋盆地, 地壳结构已具有洋壳特征(丹凤蛇绿岩即为古洋壳的残片), 并在早奥陶世末期发生构造反转, 开始了板块俯冲而形成聚敛型板块边缘。因此其海槽边缘的构造活动性相对

较强烈, 奥陶纪沉积期的古地形起伏较大, 古地形坡度也相对较陡, 在适宜的水深条件下, 对生物礁的发育极为有利, 因而形成以礁为主的礁滩相带分布特征(图10)。

图10是根据地震剖面及钻井资料分析得出的盆地南部奥陶纪台缘礁滩体的发育及分布模式, 由台地向南部的海槽区, 依次发育滩后潟湖(及蒸发潮坪)、浅水碳酸盐颗粒滩、礁后潟湖、台缘礁滩复合



(a) 下奥陶统克里摩里组砂屑灰岩, 亮晶胶结。李1井, 3906.99m。单偏光 (b) 下奥陶统马家沟组残余颗粒白云岩。旬探1井, 3146.57m。单偏光

图9 鄂尔多斯地区西部奥陶纪台地边缘礁滩体颗粒滩相沉积

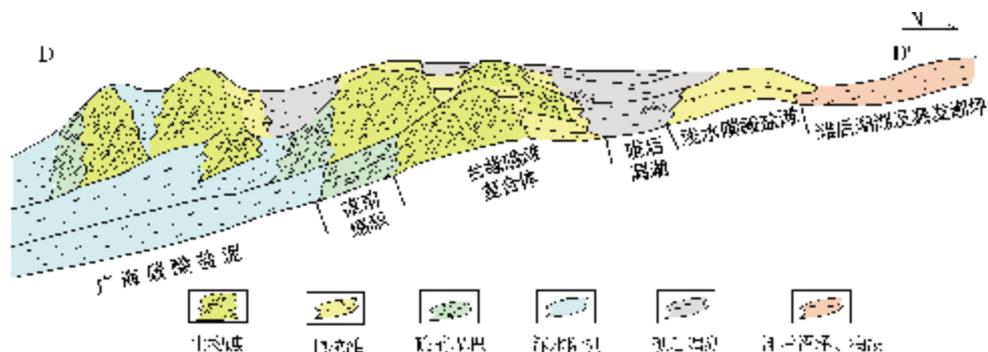


图 10 鄂尔多斯地区南部奥陶纪沉积模式图

D—D' 剖面位置见图 5

体、礁前塌积及广海碳酸盐泥等沉积类型。由于台地地区的(幕式)构造抬升,礁滩体向海槽一侧进积,形成进积型的层序结构。

3 天然气成藏潜力分析

3.1 奥陶系烃源岩发育特征

奥陶系烃源岩在鄂尔多斯地区主要是一套低丰度高演化程度的海相烃源岩,有机质丰度(TOC)一般在 0.1%~2.0%, R_o 在盆地内部一般为 1.5%以上,在盆地西部稍偏低,一般在 1.1%~1.3%之间。干酪根类型以 I 型或 II 型为主,生物类型主要是原始的海生无脊椎动物和藻类,干酪根显微组分以无定形为主,占总量 74.2%,壳质组 7.5%,镜质组 9.8%,惰性组占 8.5%。由于鄂尔多斯地区烃源岩基本都进入成熟或过成熟演化阶段,因此有机质丰度差异就成为评价该区烃源岩生烃潜力差异的更为重要的指标。综合分析表明盆地西部和南部的有机质分布具有如下两个重要特征。

3.1.1 有机质主要赋存于泥质含量较高的泥质碳酸盐岩或泥页岩中

对盆地西南部热演化程度较低的平凉官庄地表剖面奥陶系平凉组烃源岩热模拟实验表明,纯石灰岩中有机碳含量总体较低,平均 TOC 仅 0.16%,而泥质灰岩及泥岩中有机质含量分别为 0.4%和 1.08%;纯石灰岩的热解产烃率(S_1+S_2)仅为 0.01mg/g,而泥质灰岩和泥岩则分别为 0.69mg/g 和 2.56mg/g (表 2)。这表明泥质物(主要是伊利石类黏土矿物)对有机质的吸附和保存起重要作用。

表 2 鄂尔多斯地区西南部平凉地表剖面中奥陶统平凉组各类岩石热模拟参数

岩性	TOC (%)	R_o (%)	热解参数			T_{max} (°C)	产气率 (m ³ /t)
			S_1+S_2 (mg/g)	HI	OI		
灰色泥岩	1.08	0.51	2.56	226	56	439	527
泥质灰岩	0.4	0.53	0.69	163	112	442	512
纯灰岩	0.16	0.61	0.01	6	206	436	267

3.1.2 有机碳含量相对较高的烃源岩主要分布于中—上奥陶统

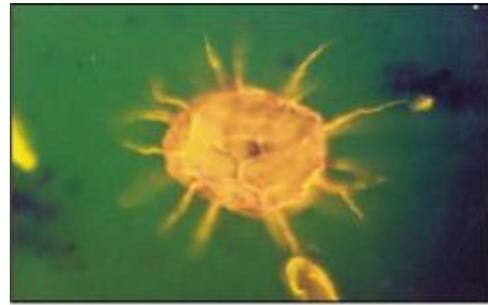
资料分析表明,盆地西南部下奥陶统马家沟组以岩性较纯的石灰岩、白云岩为主,有机质含量普遍较低,一般均小于 0.3%;而中—上奥陶统平凉组—背锅山组主要以泥页岩和泥质石灰岩为主(图 11),有机质含量总体较高,TOC 多在 0.3%以上,局部层段可达 1%~3%(表 3)。根据薛海涛等^[9]对塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩气源岩有机质丰度下限研究,气源岩有机碳的理论下限约为 0.15%~0.2%,工业下限约为 0.25%~0.3%。现经对比认为,研究区中—上奥陶统烃源岩应属相对较好的有效烃源岩。中—上奥陶统平凉组—背锅山组沿台地西缘、南缘呈“L”形带状展布(图 12),台地边缘区厚度一般在 200~400m,向海槽急剧加厚,多在千米以上。中—上奥陶统平凉组—背锅山组是盆地西部和南部古生界天然气成藏的主要烃源层。

3.2 奥陶系储层特征

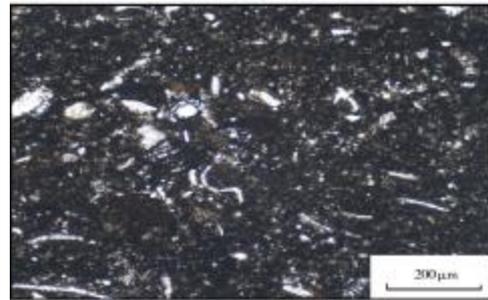
盆地西部和南部的奥陶系主要发育白云岩晶间(溶)孔、石灰岩组构选择性溶孔及岩溶洞穴三种主

表 3 鄂尔多斯盆地西部及南部奥陶系烃源岩有机质丰度统计

层位	井号/(剖面)	岩性	TOC(%)	
			范围值	均值(样品数)
背锅山组	淳2井	泥质灰岩	0.20~2.91	0.66(14)
平凉组	淳2井	石灰岩、含泥灰岩	0.24~0.97	0.49(5)
	(桌子山)	泥岩、泥质灰岩	0.88~1.25	1.09(3)
		石灰岩、含泥灰岩	0.11~0.69	0.26(14)
	任3井	泥岩、泥质灰岩	0.15~1.20	0.50(3)
		石灰岩	0.15~0.85	0.44(3)
	环14井	灰质泥岩	0.38~0.80	0.65(3)
石灰岩		0.08~0.19	0.12(16)	
马家沟组	(桌子山)	石灰岩	0.13~0.17	0.15(3)
	李1井	石灰岩	0.08~0.16	0.11(36)
	任3井	石灰岩	0.08~0.35	0.16(9)
	(平凉)	石灰岩	0.12~0.15	0.14(5)
	淳2井	石灰岩、白云岩	0.24~0.25	0.25(3)



(a) 光面球形藻。平凉太统山, 中奥陶统平凉组。荧光薄片, ×50



(b) 泥质灰岩, 富含生物碎屑。淳2井, 3280.93m, 上奥陶统背锅山组。单偏光

图 11 鄂尔多斯地区西南部中—晚奥陶世半深海—深海盆地相沉积

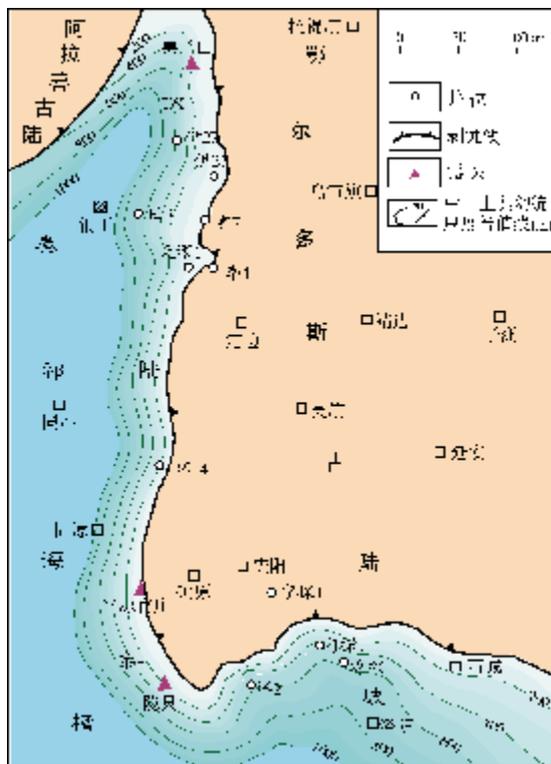
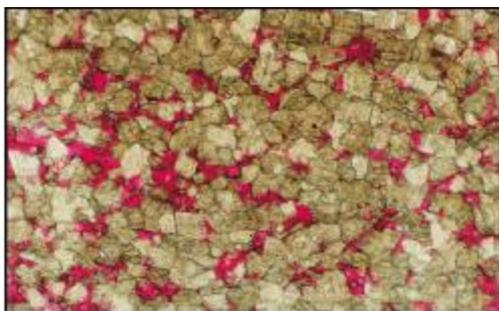


图 12 鄂尔多斯地区中上奥陶统沉积等厚图

要的储集空间类型。前两种主要受沉积相带的控制, 是礁滩相储集体中主要的储集空间类型。

晶间(溶)孔 主要见于克里摩里组(马六段)、桌子山组(马五段、马四段)白云岩中, 一般为粉—细晶白云岩, 主要由碳酸盐颗粒滩和生物礁发生白云石化作用而形成, 晶间孔主要形成于白云石化作用同期, 局部因溶蚀扩大而成晶间溶孔(图 13a)。另外, 部分晶粒结构白云岩中的所谓“晶间溶孔”(多为不规则状), 其实可能是原始礁体结构中的格架孔隙(图 13b, 13c), 由于礁体在白云石化的过程中, 其格架先白云石化, 格架孔隙后又遭受白云石的部分充填, 并最终形成不规则分布于白云岩中的斑状“溶孔”。

组构选择性溶孔 属于碳酸盐岩沉积中较为常见的孔隙类型, 多发育在相对高能滩相沉积中。如盆地西部天环地区的天1井克里摩里组气层段, 该段岩性为藻砂屑灰岩, 孔隙类型以溶孔为主, 并具溶洞、溶缝及晶间孔等多种储集空间, 储层物性较好。溶孔的形成主要是由于早表生期的间歇性暴露和大气淡水的淋滤改造后, 文石质藻屑颗粒被选择性溶蚀成孔, 方解石质灰泥基质仅发生新生变形作用而



(a) 细晶白云岩中的晶间孔、晶间溶孔。李1井, 4055.0m, 下奥陶统桌子山组。单偏光

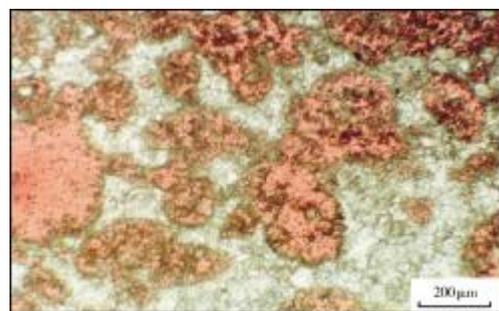


(b) 微晶白云岩。苳2井, 4182.55m, 下奥陶统马家沟组。单偏光



(c) 细晶白云岩, 具残余格架孔隙。甸探1井, 3142.11m, 下奥陶统马家沟组。单偏光

图 13 鄂尔多斯地区西部和南部奥陶系储层孔隙类型



藻屑灰岩中的颗粒溶孔。天1井, 3936m, 下奥陶统克里摩里组。单偏光

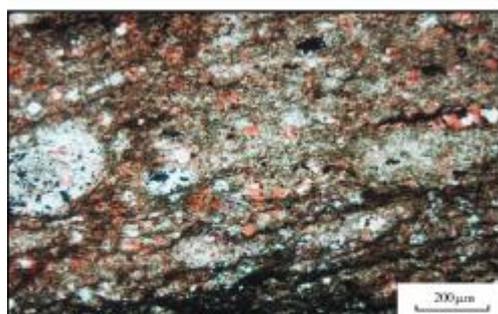
图 14 鄂尔多斯地区西部和南部奥陶系储层组构造选择性溶孔

微亮晶化(图 14)。沉积及埋藏后的局部相对高地形一般有利于这类溶孔的后期保存。

岩溶洞穴(孔洞) 主要见于盆地西部的奥陶系石灰岩中,如鄂 19 井(位于现今天环拗陷西翼)克里摩里组石灰岩中即见到厚约 11 m 的充填型洞穴储层,围岩为泥晶灰岩,岩性致密。风化壳岩溶作用形成大型的岩溶洞穴,洞穴充填泥质角砾岩,砾间充填物成岩程度低,孔隙较发育(图 15)。除鄂 19 井之外,天环地区的鄂 7、鄂 9 等多口探井均在奥陶系克里摩里组、桌子山组等层段出现泥浆漏失及钻具放空现象,是岩溶洞穴在区内广泛发育、未被完全充填的有力证据。



(a) 洞穴充填泥质角砾岩。鄂19井, 3944.38m, 下奥陶统克里摩里组。岩心



(b) 洞穴充填物中的残余孔隙。鄂19井, 3948.74m, 下奥陶统克里摩里组。铸体薄片, 单偏光

图 15 鄂尔多斯地区西部奥陶系储层岩溶洞穴(孔洞)

3.3 圈闭及成藏特征

综合研究表明,该区主要存在穹隆构造圈闭、岩溶洞穴圈闭、礁滩体岩性圈闭等三种有效圈闭类型,其中礁滩体岩性圈闭是最主要类型。

穹隆构造圈闭 是指由局部发育的穹隆构造构成有效的封堵遮挡条件而形成圈闭。如位于天池穹隆构造之上的天 1 井,在奥陶系克里摩里组钻遇气层 6.4m,岩性为亮晶藻屑、团粒灰岩夹粉细晶白云

岩,中途测试曾获 $16.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 高产工业气流。这类构造圈闭在盆地内分布有限,但局部构造对气藏分布的控制作用明显。这类气藏的规模一般较小。

岩溶洞穴圈闭 是指由局部发育的岩溶洞穴与致密围岩构成有效的储集与遮挡条件而形成圈闭。位于天环向斜西翼的鄂 19 井在奥陶系克里摩里组 3 940~3 951 m 井段钻遇洞穴充填型含气显示段,岩性以泥质角砾岩、泥岩为主,储层相对较致密,试气获 $52 \text{ m}^3/\text{d}$ 的天然气流,说明洞穴型圈闭确有一定的有效性,局部充填程度较低的洞穴或可形成一定规模的工业性聚集。此类圈闭在盆地西部地区较为发育,是较有利的勘探目标。

礁滩体岩性圈闭 这是四川盆地上二叠统一下三叠统礁滩相带和塔里木盆地奥陶系礁滩相带气藏的主要圈闭类型,其勘探已经取得突破,表明海槽边缘礁滩相带具有形成天然气藏的有利地质条件,是勘探的有利目标。鄂尔多斯地区西部和南部奥陶纪属秦祁海域沉积区,地层厚度向属于华北海域的鄂尔多斯台地方向明显减薄,沉积环境过渡为以海槽边缘(或台地边缘)斜坡相为主。由于水体浅、能量较高,利于礁滩相碳酸盐岩储层的发育,在海平面相对变化的间歇暴露期,易发生白云石化而形成有效的白云岩储集体。礁滩相储集体与周围的致密围岩构成有效的储集与遮挡条件,形成有利的岩性圈闭。如盆地西部地区的伊 25 井在奥陶系克里摩里组中部发育藻屑滩相灰岩,溶孔和裂缝较发育。4 151~4 168 m 石灰岩段录井解释为裂隙微含气层,钻时 18~27 min/m,较上、下层段钻时加快,气测峰值 2.61%,基值 0.224%,气测异常明显,过井地震剖面也显示该井区存在可疑礁滩反射体,可能形成礁滩体岩性圈闭型的有效聚集。礁滩体岩性圈闭主要受沉积相控制,它在研究区横向连片分布,可形成较大规模气藏,是该区目前最具潜力的圈闭类型。另外,桌子山期盆地内广泛发育浅水台地滩相沉积,有可能形成大面积展布的白云岩储集体,向西进入台地边缘斜坡相沉积区,相变增强,也有利于局部白云岩岩性圈闭的形成。

3.4 有利勘探目标评价

通过对盆地西部和南部奥陶系海槽边缘天然气成藏条件的综合分析,结合近期地震勘探成果,初步优选出盆地西部的天环北段和盆地南部的麟游北两个有利勘探目标。

3.4.1 天环北段

位于鄂尔多斯地区西北部,今构造位于天环坳陷北段,有利勘探面积约 $8 000 \text{ km}^2$ (图 16)。该区在奥陶纪属秦祁海域沉积区,处在鄂尔多斯台地与贺兰海槽之间的碳酸盐斜坡带,是较现实的海槽/台地边缘礁滩相带勘探目标,有利成藏条件主要有以下四个方面。

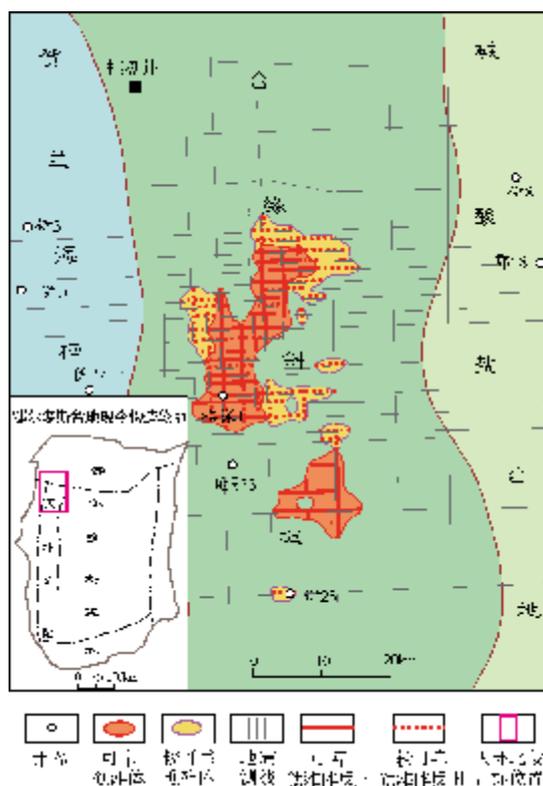


图 16 盆地西部天环北段目标预测奥陶系礁滩体分布图

具备上、下古生界两套烃源的气源供给 中奥陶统分布较为广泛,岩性为暗色泥页岩和泥质碳酸盐岩,厚度一般在 100~200 m,有机质丰度相对较高,TOC>0.4%的样品约占 40%以上,具有较好的生烃能力。另外该区紧邻上古生界乌达聚煤凹陷,石炭纪—二叠纪煤系烃源岩发育,局部与奥陶系地层直接接触,对奥陶系成藏也具一定的烃源供给作用。

发育有利礁滩相储层 台地边缘区水体浅、能量较高,有利于礁滩相碳酸盐岩的发育,早表生期溶蚀或成岩白云石化可使它形成有利的礁滩相储集体。这已为钻井所证实。

构造持续沉降,保存条件较好 晚侏罗世—早

白垩世,盆地西缘发生大规模逆冲推覆作用,在推覆体前缘形成深拗陷,伴随盆地东部的抬升,形成了东翼缓长、西翼陡短的不对称向斜面貌。连续构造沉降对上古生界天然气保存及向斜东翼上倾方向天然气的运聚成藏都较为有利。

发育有利的岩性圈闭 该区发育有利的礁滩体岩性圈闭。依据地震反射特征,在天环北段目标区识别出奥陶系礁滩体共9个(图16),累计面积约450 km²,其中可靠程度较高的礁滩体有2个,面积

分别为201 km²和77 km²。在地震解释剖面上礁滩体的分布层位主要为克里摩里组—桌子山组上部。

3.4.2 麟游北

位于盆地西南部,今构造位于渭北隆起西部的向西倾没端,有利勘探面积约5600 km²(图17)。奥陶纪属秦祁海域沉积区,处在鄂尔多斯台地与秦岭海槽之间的碳酸盐斜坡带,是海槽/台地边缘礁滩相带勘探的有利目标,也有以下四方面的有利成藏地质条件。

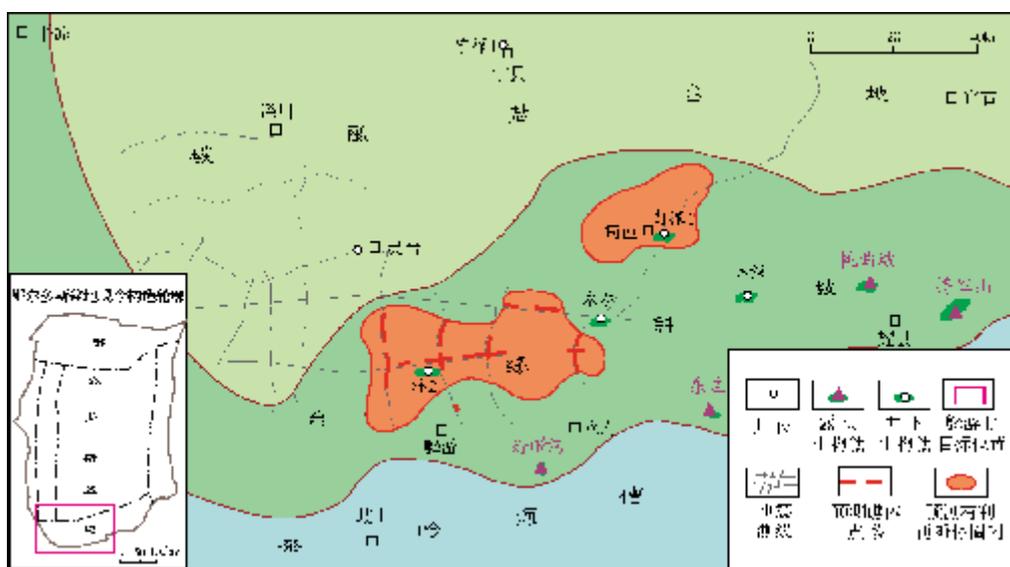


图17 盆地南部麟游北目标预测奥陶系有利礁滩体分布图

中—上奥陶统发育海相烃源岩,具有较好的烃源条件。中—上奥陶统在该区分布广泛,厚度300~700 m,根据淳2井等的化验分析资料,中—上奥陶统钻遇的灰质泥岩、泥质灰岩有机碳含量普遍大于0.3%,有机质类型以I型、II₁型干酪根为主,具备较好的生烃条件。

具备发育良好的礁滩相储集体 奥陶纪马家沟末期—平凉早期,是该区台缘礁滩体发育的主要时期,形成具有一定规模的堡礁群及礁滩复合体。目前已在盆地南缘永寿好时河、礼泉东庄、耀县桃曲坡等地的露头剖面中发现奥陶系礁滩相沉积。盆地南部探井旬探1、淳2等井也在奥陶系钻遇礁滩相沉积,地震剖面中也见到明显的礁滩体异常反射特征,图17即是根据地质及地震综合预测的目标区奥陶系礁滩体及有利钻探目标分布图。礁滩相灰岩经后期白云石化,可形成优质储层,如旬探1井在马家沟组就发

育较好的白云岩储层。

后期保存条件相对较好 麟游北目标区位于渭北隆起西段,区内断裂较少,气藏遭受后期破坏的可能性不大。同时重力资料表明渭北隆起向西倾没,奥陶系地层向西埋深加大,有利于气藏的后期保存。

台缘斜坡带沉积物岩性变化可形成有效礁滩体圈闭 礁滩相白云岩体与其周围的礁后潟湖沉积和深水沉积的灰岩、泥质灰岩相配合可形成有效圈闭。依据地震剖面强振幅—不连续的反射分布,在该区预测出麟游北和旬邑两个有利礁滩体,面积分别为850 km²和350 km²,其中麟游北礁滩体成藏条件最为有利。

4 结论

(1)鄂尔多斯地区西部和南部自中—晚元古代至早古生代存在继承性发育的海槽沉积环境,其沉

积地层发育特征与盆地内部有显著差异。

(2)奥陶纪盆地西部的贺兰海槽和南部的秦岭海槽与鄂尔多斯台地之间存在有利于礁滩体发育的海槽边缘(台地边缘)沉积相带,沿台地西部和南部呈“L”形带状展布。礁滩体岩性圈闭是研究区的最主要圈闭类型。

(3)鄂尔多斯地区西部的天环北段和南部的麟游北两个地区,奥陶系烃源、储层、圈闭及后期保存条件均较好,是近期下古生界礁滩相带天然气勘探的有利目标。

参考文献

- [1] 张抗. 鄂尔多斯断块构造和资源[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1989:77-80.
- [2] 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京:地图出版社,1985:5.
- [3] 冯增昭,陈继新,张吉森. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [4] 冯增昭,张吉森. 鄂尔多斯地区奥陶纪地层岩相古地理[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [5] 包洪平,杨承运. 鄂尔多斯东部奥陶系马家沟组微相分析[J]. 古地理学报,2000,2(1):31-42.
- [6] 包洪平,杨承运,黄建松. “干化蒸发”与“回灌重溶”——对鄂尔多斯地区东部奥陶系蒸发岩成因的新认识[J]. 古地理学报,2004,6(3):279-288.
- [7] Mckenzie D P, Morgan W J. Evolution of triple junctions[J]. Nature, 1969,224:125.
- [8] 张国伟,等. 秦岭造山带的形成与演化[M]. 西安:西北大学出版社,1988.
- [9] 薛海涛,卢双舫,钟宁宁. 碳酸盐岩气源岩有机质丰度下限研究[J]. 中国科学:D辑 地球科学,2004,34(增刊1):127-133.

编辑:卢文忠,吴厚松

Sedimentary Characteristics and Gas Accumulation Potential along Margin of Ordovician Trough in Western and Southern Parts of Ordos

Yang Hua, Fu Jinhua, Bao Hongping

Abstract: Inherited regional marine sediments developed in Ordos region from middle-late Proterozoic to early Paleozoic erathems, during which three major evolution stages went through, including middle-late Proterozoic continental rifts and aulacogens, Cambrian epicontinental platform and Ordovician restricted platform and tectonic conversion. It is deemed that there was a sedimentary facies belt favorable for gas accumulation along the margin of troughs/platform in the western and southern parts of Ordos Basin. The Middle-Upper Ordovician Pingliang and Beiguo Formations are the main source rock beds for the Lower Paleozoic gas accumulation in the western and southern parts of Ordos Basin. Ordovician reef/shoal lithologic traps are common reservoirs and two areas, the northern Tianhuan area in the western part of basin and the northern Youling area, are the recent object ones favorable for gas exploration.

Key words: Ordovician; Tectonic evolution; Sedimentary facies belt; Hydrocarbon accumulation; Gas potential; Ordos Basin

Yang Hua: male, Doctor, Professional Engineer. Add: Petrochina Changqing Oilfield Company, 151 Weiyang Rd., Xi'an, Shaanxi, 710018 China