

鄂尔多斯盆地北部下古生界层序地层分析*

魏魁生 徐怀大 叶淑芬

(中国地质大学能源系, 北京 100083)

早古生代鄂尔多斯地块经历了混合型缓坡→清水型缓坡→镶边陆架-末端陡倾的缓坡→奥拉槽-蒸发岩台地的发育历程, 相应发育了5个超层序, 分别形成于早寒武世-中寒武世早期(下Sauk), 中、晚寒武世(中Sauk), 早奥陶世治里-亮甲山期(上Sauk-1), 早奥陶世马家沟期(上Sauk-2)和中奥陶世(下Tippicanoe)。以中奥陶统底部的巨大不整合为界, 可以划分出Sauk和Tippicanoe两个超层序组。超层序和超层序组边界的形成与构造沉降速度突然变化、构造运动相联系。在寒武系识别出8~10个层序, 其中6~8个I型层序, 2个II型层序, 层序性质具有区域性和某种全球可对比性。经对比, 寒武纪的海平面变化大多数周期具有全球变化的同一性, 仅徐庄期频率高而崑山期频率低。早奥陶世构造活动弱, 高频层序发育, 含18~24个高频层序, 合并为3~4个层序组; 晚奥陶世具有5~6个层序周期, 海平面变化总体趋势具有全球性, 层序周期具有可对比性。根据地球化学分析, 烃源岩主要与张夏组、马家沟组有关的密集段和与乌拉力克组有关的复合密集段相联系。良好的储层包括与不整合相关的古喀斯特、TST和HST的碳酸盐岩隆、生物碎屑滩和LST的浊积岩、LST底部和HST顶部的白云岩或颗粒灰岩。

关键词 早古生代 层序地层 台地演化 烃源岩 储层预测

第一作者简介 魏魁生 男 41岁 副教授 层序地层学与沉积学

鄂尔多斯盆地是一个古生代地台及台缘拗陷与中新生代台内拗陷叠合的克拉通盆地^[1], 盆地东部没入华北地台、内部起伏不平但呈坡度平缓的向西倾斜的形态。本文以鄂尔多斯地块北部西缘和东缘下古生界(寒武-奥陶系)露头剖面作为主要研究对象。

1 早古生代沉积层序特征

沉积层序特征, 包括层序边界(SB)的性质及标志、最大洪泛面与密集段、体系域类型、地层叠加型式等, 均与台地的性质与位置有关^[2]。碳酸盐岩及露头层序地层学研究的基本思路见参考文献[3]。

1.1 型层序边界特征

型层序边界形成时, 陆架坡折之上处于侵蚀、下切和暴露状态, 其下可能发生斜坡前缘侵蚀或其它水下侵蚀作用, 沉积响应为不整合或不谐调, 在盆地环境也见整合或谐调关系^[4]。根据西缘桌子山和东缘沁源县下古生界露头剖面分析, 型层序边界具有以下特征。

1.1.1 下切谷

早古生代鄂尔多斯盆地多位于台地内部, 下切谷见于与贺兰山海槽毗邻的西缘区。下切谷

* 国家基础性研究重大关键项目和地质矿产部基础研究重大项目(8502208)资助

收稿日期: 1996 12 09 改回日期: 1997 02 17

是型层序的重要识别标志,它指示了大规模或较大规模的相对海平面下降之后,在台地上发生了下切侵蚀作用。下切谷内往往充填碎屑流沉积,与周围地层呈不协调接触关系。以桌子山寒武系 SB4 为例,下切谷切入下伏地层内,层序边界之下具有削截现象,谷内充填约 1 m 厚的碎屑流成因的砾屑灰岩,砾屑大小不一,几至几十厘米,成分混杂,含鲕粒岩、藻灰岩、页岩、粒泥岩等,侧向很快消失并略呈“V”型(图 1a)。桌子山奥陶系 SB13, 14, 15 处也曾见到(图 1b)。

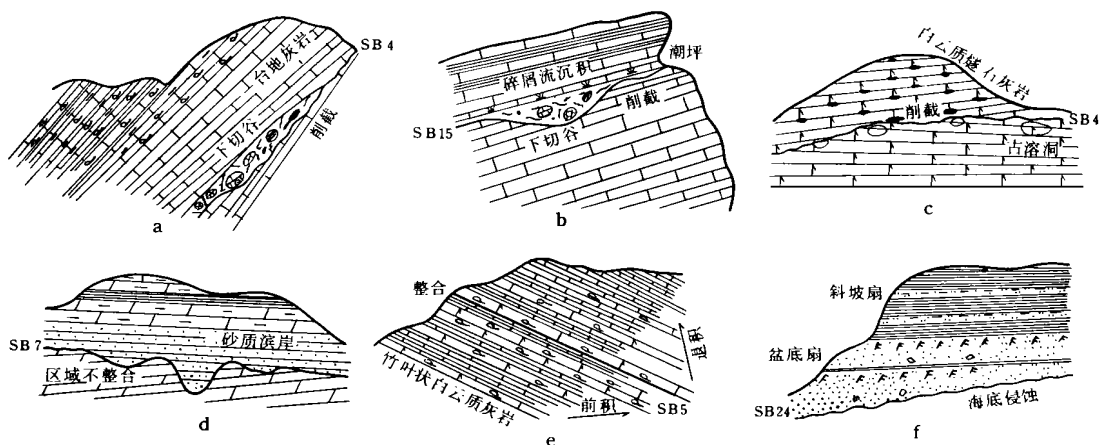


图1 部分沉积层序边界特征

a- 桌子山寒武系 SB4, 下切谷切入下伏地层内, 谷内充填约 1m 厚的碎屑流成因的砾屑灰岩; b- 桌子山奥陶系 SB15 处的下切谷; c- 沁源剖面亮甲山组 SB4 附近的喀斯特; d- 南坪奥陶系 SB7 处碎屑滨岸沉积覆盖在层序边界之上, 并切入下伏地层中, 其下有削蚀特征; e- 桌子山寒武系 SB5 整合部位, 层序边界位于相带转换部位; f- 桌子山奥陶系 SB24 上覆盖浊流成因的盆底扇和斜坡扇沉积

1.1.2 地层削截或缺失

台地或陆架出露地表时, 下伏地层遭受剥蚀, 剖面上显示为地层顶部的削蚀或地层的缺失。例如沁源县奥陶系 SB4 之下 3 m 许的白云质灰岩、灰岩顶部均受到截切, 相伴生的标志有铁质风化侵染与古溶洞等(图 1c)。露头剖面相对比较局限, 大断面上削截标志明显, 小断面上需要横向追踪或与其它标志联系分析确定。

1.1.3 喀斯特、白云岩化和氧化铁

低水位期, 海底成岩作用沿着孔隙水带向盆地迁移。由于地层暴露, 在大气淡水作用下发生的调整白云岩化或者大气淡水与海水混合形成混合白云岩化作用^[5], 使位于大气水带或混合带的原海进和高水位期沉积物发生广泛的白云岩化, 例如沁源县上寒武统 SB8, 9, 10 之下均出现巨厚的可供工业利用的白云岩。长期暴露出现深切下部的喀斯特, 例如沁源县剖面亮甲山组 SB4(图 1c)、SB5 附近所见。高水位期发育的喀斯特较小, 在干燥气候条件下, 层序边界之下出现蒸发盐胶结物和小喀斯特, 例如南坪下马家沟组 SB9, SB10 之下具有盐类和石膏胶结物。地层暴露期间还发生氧化作用, 层序边界附近见赤铁矿、褐铁矿, 例如西缘寒武系 SB1 出现的古风化壳, 山西南坪奥陶系 SB13 和 SB30 附近分别见褐铁矿和山西式赤铁矿。

1.1.4 碎屑滨岸沉积

缓坡台地没有一个明显的陆架坡折, 坡度极缓($< 5^\circ$), 在物源充分的条件下, 砂质滨岸或

海陆过渡相碎屑沉积发育,甚至覆盖大部分台地,见河流下切台地现象^[6],例如南坪奥陶系SB7处(图1d),碎屑滨岸沉积覆盖在层序边界之上,并切入下伏地层,其下有削蚀特征。SB7是一个巨大的不整合,在区域上可以广泛追踪。西缘三道坎组的SB1,SB2,SB3,SB4之上均覆盖砂质滨岸或海陆过渡相沉积。

1.1.5 辫状河碳酸盐沉积

早古生代东缘以缓坡台地为主。海平面下降时,邻近的碳酸盐岩可以成为物源,由辫状河或陆上碎屑流搬运在近岸或岸上堆积。见于南坪奥陶系SB8之上,有下切作用,沉积物已白云岩化,其颗粒(砾屑和砂屑)及胶结物均为碳酸盐岩,属于近岸带的碎屑流沉积。

1.1.6 沉积型式及相带变化

台地内层序边界之上一般沉积型式呈退积式,准层序依次向岸上超。台地内部层序边界上、下沉积相会发生某种变化。当早期高水位期沉积为并进型时,其后海进期的相带偏深;当早期高水位期沉积为追补型时,其后海进体系域呈现浅水沉积^[4]。例如桌子山寒武系SB2,其下为外台地泥页岩,其上为内台地生物屑灰岩,SB5整合部位之下准层序组呈向上变浅的前积式,白云质竹叶状灰岩向上变厚;其上准层序组呈向上变深的退积式,白云质竹叶状灰岩向上变薄。层序边界位于相带转换部位(图1e),横向上追踪对应于削截不整合。

1.1.7 陆架镶边

在桌子山地区,陆架坡折附近(无论那种背景)层序边界之上均会出现藻灰岩、生物屑灰岩或鲕粒灰岩。在缓坡背景下,低水位砂质滨岸可见。

1.1.8 斜坡和盆地背景的层序边界特征

层序边界附近具有水下侵蚀作用特征^[4],层序边界之上可能覆盖由斜坡前缘侵蚀作用形成的大规模碎屑流沉积,例如桌子山奥陶系SB19之上有3~5 m厚的滑塌-碎屑流沉积。这类碎屑流沉积不同于高水位体系域的同类沉积,前者层厚,可以追踪,后者层薄、横向上很快尖灭。在奥拉槽发育阶段,水下侵蚀面之上覆盖浊积岩(盆底扇或斜坡扇)。盆底扇为厚层块状浊积岩,具有完整的鲍马序列;斜坡扇为薄层浊积岩,具有鲍马序列C段以上沉积,例如桌子山奥陶系SB24,SB25及SB26之上的盆底扇或斜坡扇沉积(图1f)。

1.1.9 其它特征

在陆架坡折或台地边缘之下、层序边界之上会出现外陆架-上斜坡泥灰岩、钙屑浊积岩、等积岩等。在干燥气候条件下,缓坡或陆架上可能有旱谷、风成沙丘、蒸发岩、潮坪及泻湖沉积等^[2]。

1.2 型层序边界特征

型层序边界形成时,仅内台地出露地表,外台地和台地边缘只经历过短暂的暴露^[4]。一般无下切谷,淡水成岩作用规模小,见不稳定矿物的溶解、新月型丘与渗滤豆等渗滤组构,白云岩化规模不大,常见滨岸沉积向盆地迁移。陆架边缘体系域呈准加积式或准前积式。

1.3 最大海泛面和首次洪泛面特征

首次洪泛面在台地上多与不整合面重合。在不相重合的地方,出现海进滞留砾石,例如半固结的内源碎屑与固结的外源砾石,同时介屑顺该面富集,具向上水质变清的证据。最大海泛面与密集段相联系,纯碳酸盐岩层序中密集段不典型,典型的密集段由颜色偏深的泥页岩、泥灰岩组成。密集段向陆减薄甚至消失,向盆地方向加厚,例如西缘乌拉力克组层序19,20,21中的密集段,均由很厚的暗色笔石页岩组成,它们混合成一个复合密集段,其生烃潜力很大。

由泥灰岩组成的密集段, 地貌上草木横生, 风化层理极薄, 有时见由纹层显示的弱下超现象。

1.4 典型层序的体系域特征

1.4.1 I型层序台地内部体系域特征

台地上的低水位体系域(LST)以充填于下切谷的碎屑流沉积为典型(例如阿不切亥寒武系层序4), 西缘奥陶系层序1~4及东缘层序7具有此类沉积。缓坡台地具有砂质滨岸或海陆过渡相沉积(图2a), 见河流下切现象。在干旱气候条件下, 有时见陆上碎屑流沉积或很薄的蒸发岩类(图2b)。海进期发育台地相、浅滩、潮坪等沉积(图2b), 由3~8个准层序组成, 向岸超覆, 一般为追补式, 向陆渐变为并进式。高水位体系域(HST)除区域性海进期(例如寒武系层序6)呈追补式外, 一半以上呈并进式, 具有3~14个准层序, 含台地相、滩礁相、过渡相、潮坪等碳酸盐岩或砂滩沉积(图2b), 通常具有不同程度的白云岩化。

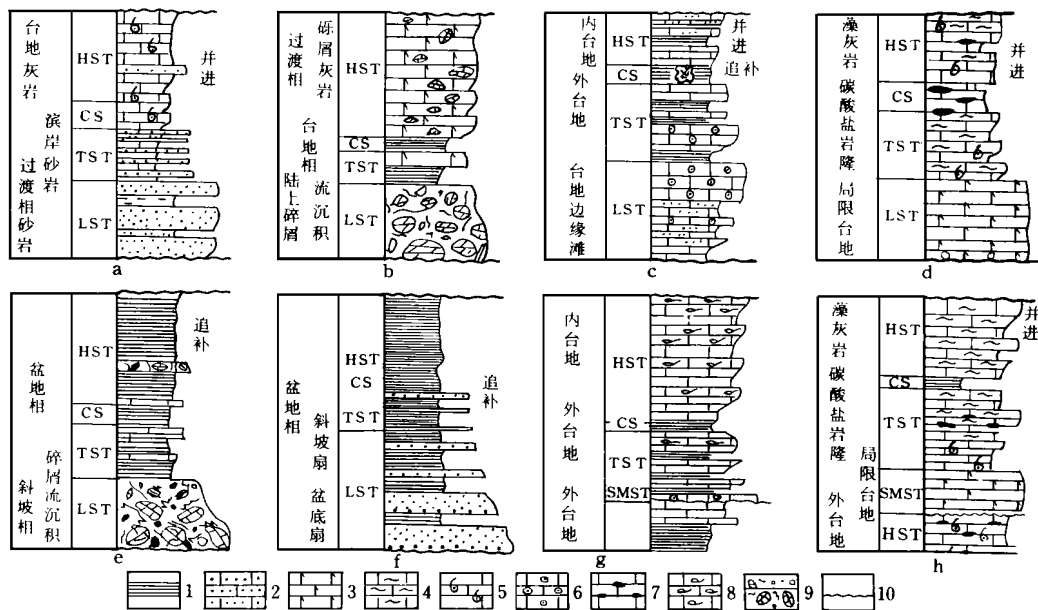


图2 典型层序的体系域特征

a- I型层序台地内部体系域特征, 西缘奥陶系层序3; b- I型层序台地内部体系域特征, 西缘寒武系层序6; c- I型层序台地边缘体系域特征, 西缘奥陶系层序3; d- I型层序台地边缘体系域特征, 桌子山奥陶系层序10; e- I型层序斜坡和盆地背景体系域特征, LST 巨大的滑塌-碎屑流沉积, 桌子山奥陶系层序19; f- I型层序斜坡和盆地背景体系域特征, LST 为厚层-块状浊积岩(盆底扇)及夹于泥岩中的薄层浊积岩(斜坡扇), 桌子山奥陶系层序24; g- I型层序体系域特征, 桌子山寒武系层序7; h- I型层序体系域特征, 西缘奥陶系层序11; 1- 页岩; 2- 砂岩; 3- 白云质灰岩; 4- 藻灰岩; 5- 生物屑灰岩; 6- 鲕粒灰岩; 7- 燧石灰岩; 8- 竹叶状灰岩; 9- 砾屑灰岩; 10- 层序边界

1.4.2 I型层序台地边缘体系域特征

LST 不发育, 缓坡背景见(如西缘奥陶系层序3)碎屑滨岸沉积, 并发育碳酸盐浅滩(例如桌子山寒武系层序3, 图2c); 镶边陆架背景(例如桌子山奥陶系层序10)见白云质灰岩(图2d)。海进体系域(TST)出现藻粘结岩隆(西缘奥陶系层序8~11)及台地边缘滩, 横向上向岸渐次迁移。一般密集段仅在缓坡背景区域性可容纳空间增长长期发育(图2c)。HST 以并进体系为主, 岩隆仍发育, 白云岩化程度较高, 横向上向盆渐次迁移; 在混合缓坡背景, 见白云岩化生物屑灰岩; 有外台地和上斜坡沉积。

1.4.3 I型层序斜坡和盆地背景体系域特征

发育于中奥陶世。LST 特征显著, 一为巨大的斜坡前缘侵蚀形成的滑塌-碎屑流沉积(如桌子山奥陶系层序19), 区域上可以追踪(图2e); 二是厚层-块状浊积岩(盆底扇)及覆盖其上夹于泥岩中的薄层浊积岩(斜坡扇, 图2f)。海进和高水位体系域呈追补式, 深水泥质沉积占主导地位, 笔石化化石丰富, 夹外台地薄层灰岩、钙屑浊积岩、薄层碎屑流沉积和等积岩, 其中碎屑流沉积横向分布不稳定。

1.4.4 II型层序体系域特征

区内 I型层序发育于镶边陆架和缓坡区的海进期, 例如桌子山寒武系层序7, 区域上层序边界之下均见追补式外台地泥页岩; 奥陶系岩隆体系中 II型层序也多见, 如层序6, 8和11。陆架边缘体系域很薄, 准层序组多呈准加积式, 前者含竹叶状灰岩、含鲕粒灰岩等, 后者发育生物屑灰岩(图2g, 2h)。海进和高水位体系域特征同 I型层序。

2 下古生界层序地层分析与层序地层格架

2.1 寒武系

2.1.1 西缘阿不切亥沟层序地层分析

寒武系层序地层分析以阿不切亥沟剖面为主体。本区寒武系下统含毛庄组, 中统含徐庄组和张夏组, 上统仅含崮山组。寒武系由薄层灰岩、泥灰岩、页岩、竹叶状灰岩和鲕粒灰岩组成, 中央隆起部分地层缺失。根据野外及室内分析, 阿不切亥沟寒武系共划分出8个层序, 其中含6个 I型层序、1个 II型层序和1个性质不确定层序。

2.1.2 东缘沁源层序地层分析及横向对比

(1) 沁源县猪窝棚剖面中, 上寒武统出露较全, 下寒武统不全。(2) 在寒武系中共识别出10个层序, 其中8个 I型层序, 2个 II型层序, 层序性质具有区域性和某种全球可对比性。II型层序边界特征比较显著, I型层序边界特征不明显。猪窝棚剖面的中下部8个层序可与阿不切亥沟寒武系的8个层序相对比。(3) 2个 II型层序均位于

张夏组中、上部, 张夏期为本区的区域性海进期, 由此推论 II型层序发育于区域性海进期, 这在其它盆地也有反映(例如松辽盆地)。(4) 一般各层序缺失低水位体系域。(5) 该剖面各层序内的密集段不典型或不不存在。(6) 经对比, 寒武纪的海平面变化大多数周期具有全球变化的同一性, 仅徐庄期频率高而崮山期频率低(图3)。

2.2 奥陶系

2.2.1 东缘南坪层序地层分析

本区出露的地层有下统治里组、亮甲山组、下马家沟组(马一段至马三段)、上马家沟组(马四段至马六段)和中统峰峰组。据区域对比资料, 治里组和亮甲山组相当于山东淄博的纸坊庄组; 下马家沟组相当于桌子山地区的三道坎组和桌子山组; 上马家沟组相当于桌子山地区的克里摩里组; 峰峰组相当于桌子山的乌拉力克组和拉什仲组, 本区奥陶系共划分出29个层序, 如果底界按495 Ma, 顶界按445 Ma 计算, 每个层序的周期平均为1.725 Ma。南坪地处盆

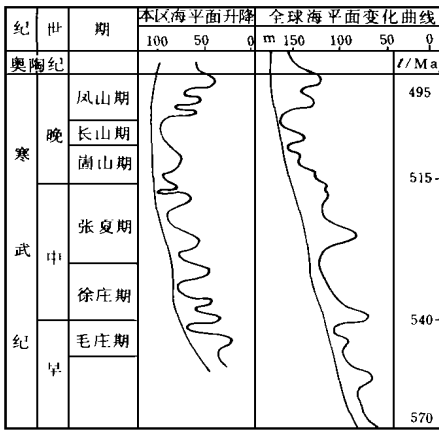


图3 寒武纪海平面相对变化周期图

地东缘碳酸盐岩台地，呈向东缓倾的缓坡台地面貌，因此层序中很少见低水位体系域，仅见下切谷充填或缓坡河口、滨岸、潮坪沉积。

2.2.2 西缘桌子山拉什仲剖面层序地层分析与对比

本区缺失下统治里组、亮甲山组及上奥陶统，由老到新下奥陶统发育三道坎组、桌子山组和克里摩里组，中奥陶统出露乌拉拉克组、拉什仲组、公乌素组和蛇山组。在奥陶系地层中共识别出29个层序，其中Ⅰ型层序共23个，Ⅱ型层序共6个，每个层序时间跨度平均约为1.035 Ma。层序数目虽然与东缘相同，但本区缺失治里组和亮甲山组的相应层序。区内29个层序仅相当于东缘层序7以上地层，其中下奥陶统的层序具可对比性，中统层序数目多于东部，表明东部水体浅，对海平面变化反映不甚敏感。这也说明在鄂尔多斯地块两侧，控制沉积层序的形成，既有共同因素，也有局部因素，西缘受内蒙海、祁连海等几个海域的影响，局部因素的影响更强。早奥陶世构造活动弱，因而高频层序发育，含18~24个高频层序（3~4个层序组）；晚奥陶世具有5~6个层序周期。海平面变化总体趋势具有全球性，层序组周期具有可对比性。

3 台地演化与层序特征

早古生代沿鄂尔多斯地块西南缘张裂了新的秦岭、祁连、贺兰海槽。秦、祁两支海槽发育，沉积物厚度大。贺兰海槽为夭折的一支，呈奥拉槽，发育碎屑岩和碳酸盐岩。盆地北部为古陆，内部沉积厚度较薄。盆内主要为稳定的陆表海碳酸盐岩、蒸发岩，夹陆源碎屑沉积。早古生代鄂尔多斯地块进入克拉通内拗陷作用阶段，经历了混合型缓坡→清水型缓坡→镶边陆架-末端陡倾的缓坡→奥拉槽(西缘)-蒸发岩台地的发育历程。台地演化和构造沉降速率变化，明显控制了区内早古生代发育的5个超层序(图4)，三级层序还受古气候和碳酸盐生长率等因素的控制。第一个(下Sauk)超层序形成于早寒武世-中寒武世早期，特征是构造沉降缓慢，台地性质为碳酸盐岩-碎屑岩混合型。中、晚寒武世构造沉降速率和台地性质均发生了显著变化，表现为构造沉降加快，张夏期海侵达到高潮(发育含菊花状构造的风暴岩)，台地由原来的混合型变为清水缓坡型，从而形成第二个(中Sauk)超层序。晚寒武世末期加里东运动使西部抬升、东部沉降，早奥陶世早期(治里-亮甲山期)中、西部处于剥蚀或无沉积状态，形成一个区域不整合，仅东部接受沉积，沉积背景虽然仍为清水缓坡型台地，但构造沉降速率变化比中Sauk超层序的小得多，以致对应的构造沉降曲线平缓(图4)，此即第三个超层序(上Sauk-1)。与上述三个超周期相对应发育的台地为均斜缓坡性质，故所含的三级层序缺乏典型的低水位体系域，仅在东缘发现特殊的低水位陆上碎屑流沉积以及在西缘局部见下切谷充填式低水位碎屑流沉积；海进和高水位期碳酸盐生长率一般较高，以并进型略占多数。第三个超周期末因受怀远运动的影响，亮甲山组遭受到不同程度的剥蚀，形成了区域不整合；早奥陶世马家沟期发生了广泛的海侵，海水覆盖全区，沉积了一套浅灰、深灰色厚层灰岩、白云质灰岩、生物屑灰岩，夹页岩和膏盐岩，代表第四个超层序(上

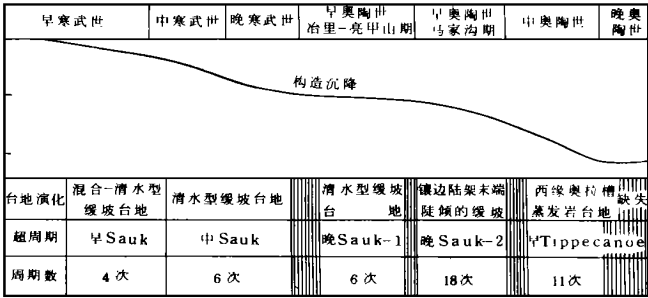


图4 碳酸盐台地演化与超层序发育关系

层序(图4)，三级层序还受古气候和碳酸盐生长率等因素的控制。第一个(下Sauk)超层序形成于早寒武世-中寒武世早期，特征是构造沉降缓慢，台地性质为碳酸盐岩-碎屑岩混合型。中、晚寒武世构造沉降速率和台地性质均发生了显著变化，表现为构造沉降加快，张夏期海侵达到高潮(发育含菊花状构造的风暴岩)，台地由原来的混合型变为清水缓坡型，从而形成第二个(中Sauk)超层序。晚寒武世末期加里东运动使西部抬升、东部沉降，早奥陶世早期(治里-亮甲山期)中、西部处于剥蚀或无沉积状态，形成一个区域不整合，仅东部接受沉积，沉积背景虽然仍为清水缓坡型台地，但构造沉降速率变化比中Sauk超层序的小得多，以致对应的构造沉降曲线平缓(图4)，此即第三个超层序(上Sauk-1)。与上述三个超周期相对应发育的台地为均斜缓坡性质，故所含的三级层序缺乏典型的低水位体系域，仅在东缘发现特殊的低水位陆上碎屑流沉积以及在西缘局部见下切谷充填式低水位碎屑流沉积；海进和高水位期碳酸盐生长率一般较高，以并进型略占多数。第三个超周期末因受怀远运动的影响，亮甲山组遭受到不同程度的剥蚀，形成了区域不整合；早奥陶世马家沟期发生了广泛的海侵，海水覆盖全区，沉积了一套浅灰、深灰色厚层灰岩、白云质灰岩、生物屑灰岩，夹页岩和膏盐岩，代表第四个超层序(上

Sauk -2) 的沉积; 第四个超周期的特征是构造活动减弱, 但构造沉降速率比第三个超周期变大, 中、西部接受沉积, 台地性质也变为以镶边陆架-末端陡倾的缓坡为主。西部三道坎期为碳酸盐岩和硅质碎屑岩组成均斜缓坡, 碎屑岩物源为北部的乌兰格尔蒙起, 其三级和高层序的低水位体系域主要由滨岸砂岩组成; 桌子山期老石旦等地出现了碳酸盐岩隆, 具有台地边缘沉积的性质, 盆地内部及东缘发现有点礁及多个小岩隆, 属于镶边陆架; 随后克里摩里期岩隆基本消失, 出现外陆架和斜坡相, 贺兰山地区为盆地相, 属于末端陡倾的缓坡, 西缘低水位下切谷多见。第五个超层序(下 T ippecanoe) 形成于中奥陶世, 与第四个超层序以巨大的不整合分开, 本期进入边缘裂陷和蒸发岩台地阶段, 特点是盆地内部隆起, 西、南缘沉降迅速并具有奥拉槽的性质(发育重力流沉积)。所含的三级层序低水位体系域相对最为发育, 特征典型, 具有大规模的浊积岩和钙质碎屑流沉积。中奥陶世以后, 秦、祁海槽发生褶皱, 盆内及贺兰奥拉槽长期隆起、整体抬升、遭受剥蚀, 故缺失上奥陶统-下石炭统, 导致第五个超层序顶界也为巨大的不整合, 第四和第五个超层序的海进和高水位体系域特征相似, 以追补型略占多数。

上述5个超层序, 以中奥陶统底部的巨大不整合为界, 可以划分出两个超层序组, 下部4个超层序相当于 Sauk 超层序组, 上部1个超层序相当于 T ippecanoe 超层序组。以上分析证明, 超层序和超层序组边界的形成与构造沉降速度突然变化、构造运动相联系, 其内部组成与台地演化阶段有关。

4 沉积层序与油气成藏关系

原认为鄂尔多斯盆地的烃源岩产自中生界和上古生界, 近年越来越多的研究表明, 下古生界的暗色碳酸盐岩和泥页岩也是重要的烃源岩之一, 尤其是中部大气田。层序地层分析表明, 下古生界的烃源岩, 与密集段(CS) 特别是复合密集段有关, 包括寒武系张夏组(CS5, 6, 7)、奥陶系马家沟组相应层序和西缘乌拉力克组以上层序(CS11 ~ CS23)。据桌子山露头张夏组3个密集段22块灰-深灰色灰岩分析, 有机碳含量0.06% ~ 0.32%, 平均0.13%, 干酪根类型以 A 型为主, 少量 型; 沥青 A 及烃含量相当低, 推测其烃源岩成熟度高, 处于干气-湿气阶段。烃源岩主要分布于盆地西南缘, 暗色岩类厚达100 ~ 200 m。马家沟组烃源岩主要分布于西部、北部及南部, 各密集段暗色灰岩厚达200 ~ 600 m, 根据井下以及西缘露头 CS7 ~ CS23的42块样品分析, 碳酸盐岩密集段中有机碳含量较高, 介于0.1% ~ 0.8%, 平均0.24%。乌拉力克组的复合密集段含60 ~ 90 m 的暗色泥页岩, 有机碳含量高达0.80%以上, 是盆地最有利的烃源岩, 其可溶有机质含量低, 表明成熟度较高; 干酪根为 A 与 型, 富含饱和烃或非烃与沥青质, 芳烃含量低, 呈现腐泥型干酪根的特点。上述密集段及邻近地层其所以成为盆地内有利的烃源岩, 也与二级周期海平面变化有关(图4)。张夏组沉积时盆地内海侵达到高潮, 相当于第二个超层序的最大海泛和高水位期。上马家沟组沉积时为奥陶纪的最大海侵期, 相当于第四个超层序的高水位期。在乌拉力克期以后, 盆内隆起、西缘裂陷且水体深, 从而发育重力流沉积和深水泥质沉积。乌拉力克组的大套暗色泥页岩实质是由几个密集段组成的复合密集段, 因而生烃潜力最大。

据露头层序地层分析, 良好的储层与以下因素相联系: (1) 与不整合特别是区域性不整合有关。地层暴露期间, 周期长形成巨大的古喀斯特, 例如SB19之下; 周期短形成一系列小规模的古溶洞, 冶里-亮甲山组、桌子山组各层序边界附近普遍可见(图2, 3)。连续的溶解作用使不整合之下的地层, 在相当大的范围内孔渗性能变好; 不整合之上可构成风化残丘型圈闭(奥

陶系SB30之上), (2) 与骨架沉积体系有关, 例如碳酸盐岩隆、生物碎屑滩, 西部奥陶系层序7~12的LST和HST多见。地震剖面上岩隆呈披盖式凸起, 内部不连续, 具低速异常。西部奥陶系层序14~16下切谷低水位充填物、层序19~25低水位体系域的碎屑流沉积和厚层油积岩也是良好储层。在层序格架内追踪骨架沉积体系, 将大力提高有效储层的预测能力。(3) 与白云岩化有关。位于台地上的各层序高水位体系域上部不同程度发生过白云岩化, 某些层序低水位体系域也见白云岩化作用。镜下白云岩的晶间隙达2%~6%, 虽不高但连通性好, 将是重要的储层。

参 考 文 献

- 1 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志 (卷12). 北京: 石油工业出版社, 1992. 1~332
- 2 Handford C R. Carbonate depositional sequences and system tracts— responses of carbonate platforms to relative sea level changes. In: Locks R G, Sarg J F, eds. Carbonate sequence stratigraphy— recent developments and applications. A APG Memoir, 1993, 57: 3~41
- 3 Wei Kuisheng, Xu Huaida, Ye Shufeng. Study on carbonate sequence stratigraphy of Ordovician in Northern Ordos Basin. Journal of China University of Geosciences, 1996, 7 (1): 63~71
- 4 Sarg J F. Carbonate sequence stratigraphy. In: Wilgus C K, Posamentier H, Hastings B S, et al. eds. Sea-level changes: an integrated approach. SEPM Special Publication, 1988, 1989, 42: 155~182
- 5 Tucker M E. Sequence stratigraphy of carbonate-evaporite basins: models and application to the Upper Permian (Zechstein) of Northeast England and adjoining North Sea. Journal of the Geological Society, 1991, 148: 1 019~1 036

SEQUENCE STRATIGRAPHIC ANALYSIS OF LOWER PALEOZOIC IN NORTH ORDOS BASIN

Wei Kuisheng Xu Huaida Ye Shufen
(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

The Early Paleozoic of Ordos massif underwent the evolution processes of siliciclastic → carbonate ramp → rimmed shelf → distally steepened ramp → aulocogen → evaporate platform which correspond to five supersequences developed respectively in Early Cambrian, the early stage of Middle Cambrian, Middle-Late Cambrian, the Yeli-Liangjashan period of Early Ordovician, the Majiagou period of Early Ordovician and Middle Ordovician. Take the huge unconformity in the bottom of Middle Ordovician as the boundary, the sequences could be classified into Sauk and Tippecanoe supersequence sets. The formation of the boundaries of the supersequences and supersequence sets was related to the mutation of tectonic subsidence and tectonic movement. Most periods of sea level changes of Cambrian in Ordos Basin coupled (下转170页)

THERMAL HISTORY ANALYSIS OF YANJI BASIN

Chen Zhaonian Chen Fajing Dong Yong
(*China University of Geosciences, Beijing*)

Abstract

Thermal history analysis results indicate that the heat flux of Yanji Basin increased with the increase of extension degree during fracture stage, and the value even reached 94 m W/m^2 during early Longjing stage; the value delayed by index during the subsiding stage of the basin, and it decreased during denudation stage. During late Longjing stage, the basin was uplifted and eroded. This happened to be the maturation stage of the source rocks of the basin, hydrocarbon resources generated might be easily lost due to the poor preservation condition. Thus oil and gas exploration in this basin would run a high risk.

(上接135页)

with global identity of eustatic cycle, except the high frequency in low frequency in Gushan period. Tectonic movement was weakend during Early Ordovician, high-frequency sequences developed well. Late Ordovician contained 5-6 sequence periods. According to the analysis of organic geochemistry, the main source rocks are the condensed sections with dark limestones and shales in the Zhangxia Formation of Cambrian, the Majiagou and Wulalike Formations of Ordovician. Favorable reservoirs are paleo-karst related to regional unconformity, carbonate buildup and bioclastic limestone in TST and HST, turbidite in LST and dolostone or grain-stone in lower LST and higher HST.