

文章编号: 1000-0550(2003)02-0307-06

鄂尔多斯盆地中部延安地区中侏罗统延安组高分辨率层序地层研究

赵俊兴 陈洪德 向 芳

(成都理工大学沉积地质研究所 油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都 610059)

摘 要 利用高分辨率层序地层学方法,以延水河剖面研究为重点,详细剖析了中侏罗统延安组不同级次基准面旋回划分,建立了鄂尔多斯盆地延安地区延安组高分辨率层序地层格架。共识别出了 36 个短期、8 个中期和 3 个长期基准面旋回。讨论了不同级次基准面旋回叠加式样与沉积相、沉积作用和构造作用等的响应关系,进一步通过基准面旋回层序研究了盆地的充填演化史。

关键词 高分辨率层序地层学 鄂尔多斯盆地 延安组 基准面旋回 沉积作用

第一作者简介 赵俊兴 男 1972 年出生 博士研究生 层序地层与含油气盆地分析

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

延安组是鄂尔多斯盆地盆地主要的产油层位之一。对于盆地侏罗系沉积体系,前人已经多次作了深入的探讨研究^[1]。研究认为,盆地在侏罗纪发育了一套陆相河流—湖泊沉积体系,中侏罗系延安组在延安地区为典型的湖泊三角洲发育区。本文从高分辨率层序地层学角度出发,以延水河野外露头剖面为重点研究剖面,展开高分辨率层序地层学分析,建立延安地区中侏罗统延安组高分辨率层序地层格架,并进一步探讨了基准面旋回叠加式样与沉积相、沉积作用、构造作用等的响应关系特征。

2 区域地质背景

鄂尔多斯盆地,是西伯利亚—蒙古大陆板块和华北—塔里木大陆陆缘区在海西晚期对接拼合之后至印支运动,才从中国北部大陆及陆缘构造域中分化出来,为一重力负荷补偿作用形成的大型拗陷盆地。印支运动晚期,鄂尔多斯盆地整体抬升,使三叠系地层遭受到剥蚀,盆地演化进入大型内陆差异沉降及沉积阶段,在印支运动末期,出现剪张断裂活动,在盆地内部形成 NW、NE、EW 向的隐伏剪张同沉积断裂(图 1)^[1]。受印支运动影响,盆地在早侏罗世—中侏罗世进入前陆挠曲盆地发育阶段,广泛发育了河流、湖泊和三角洲沉积。下侏罗统富县组与下伏三叠系呈角度不整合接触,中侏罗统延安组与下统富县组呈沉积间断接触。到了中侏罗世延安期,地形差异逐渐变小,形成河流—湖泊

三角洲沉积体系组合,延安地区为河流—湖三角洲典型发育区。

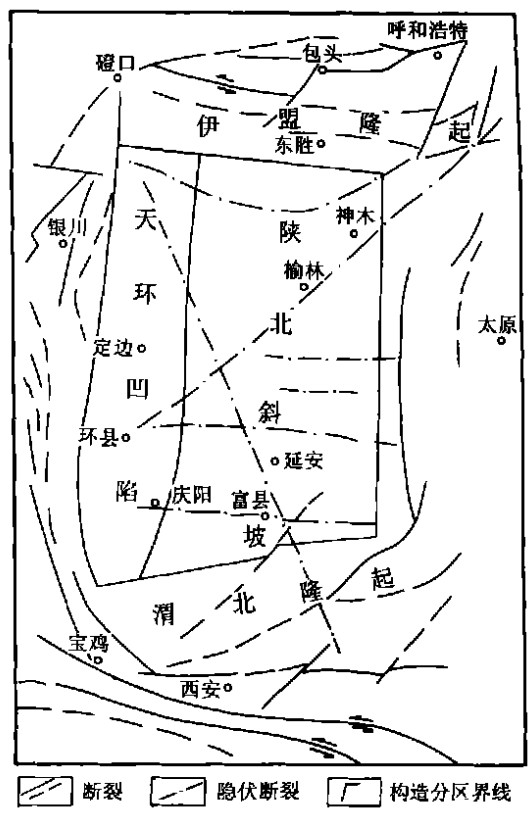


图 1 鄂尔多斯盆地构造略图
(据杨士恭等, 1992, 简化)
Fig. 1 Regional tectonics of the Ordos Basin
(from Yang Shigong, 1992)

3 沉积相发育概况

在延安地区,中侏罗世延安期主要发育了一套河流—湖泊—三角洲沉积。在不同演化阶段分别发育了不同的沉积体系类型

3.1 河流沉积

研究区内河流沉积发育,尤其在延安期的 Y10 段。河流类型包括了辫状河和曲流河两种成因类型。

3.1.1 辫状河沉积

辫状河主要发育在延安组 Y10 段中下部。辫状河沉积在岩性上表现为以含砾粗砂充填的河道沉积为主,边滩不发育。辫状河沉积在本地区形成了有名的“宝塔砂岩”。辫状河沉积下部为一套分选差的砾质粗砂岩、粗砂岩,中部为中粗粒砂岩,上部为细—粉砂岩。具有典型的自下而上随粒度变细的正粒序剖面结构。在粗碎屑岩中发育有平行层理、大型板状及槽状交错层理,在中、细砂岩具有中小型板状交错层理,粉砂岩中沙纹层理发育。剖面上沉积微相组合为河床滞留沉积、河道、心滩、边滩、河漫滩等微相组成。河床滞留沉积常与冲刷面伴生,砾石分布具有一定的定向性,沉积构造有平行层理、大型板状交错层理,底冲刷明显,沉积的砂体内有时可见泥砾和植物茎秆化石。在辫状河沉积中,河道亚相发育,边滩、河漫滩相对不发育。

3.1.2 曲流河沉积

曲流河发育于 Y10 的顶部,反映了河流体系由辫状河向曲流河发展演化过程。盆内曲流河的沉积微相主要有河道滞留、边滩、天然堤、决口扇、洪泛沼泽和洪泛平原等微相。河道滞留沉积一般出现在河道沉积的底部,常与冲刷面相伴生,其内部常可见内碎屑泥砾等,在岩性上主要为粒度较粗的粗砂岩和含砾粗砂岩,大中型槽状层理为主。河道滞留沉积在曲流河沉积中不太发育。边滩沉积是曲流河河道沉积中的主要沉积微相,在河道沉积中所占比例大。岩性上主要由粗、中砂岩和细砂岩组成,大—中型板状交错层理。曲流河河道边缘沉积以小型板状层理及攀升层理和沙纹层理为主,在岩性上常表现为细砂岩和粉砂岩互层,洪泛平原发育各种小型洪水层理,富含植物化石。

3.2 湖泊三角洲沉积

在延安地区,湖泊三角洲从 Y9 期—Y4—5 期都发育,是本地区的主要沉积体系类型。在湖泊三角洲相中,发育了三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲三种亚相类型。

三角洲平原发育在 Y10 末—Y9 初及 Y4—5 期,尤其是在 Y4—5 期发育特征。在 Y4—5 期,该地区三角洲平原主要微相有水上分流河道、天然堤、决口扇、分

流河道间洼地、沼泽和洪泛平原等,其中以分流河道、分流间洼地和洪泛平原等微相最为发育。分流河道微相中发育中型板状交错层理,其它微相发育沙纹层理及水平层理,含植物化石碎片。

三角洲前缘是本地区的主要亚相类型,在 Y9 期—Y6 期都十分发育。主要沉积微相有水下分流河道、分流间湾、河口砂坝、水下天然堤和水下决口扇、远砂坝等。在延水河剖面中,水下分流河道、河口砂坝、分流间湾等是最主要的沉积微相类型。

前三角洲位于三角洲前缘与浅湖沉积的过渡带,其沉积物不易与浅湖、湖湾沉积相区别。前三角洲在 Y9 和 Y6 期不明显发育,沉积岩性为一套灰色—灰黑色的粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩沉积,偶夹细砂透镜体,以水平层理为主,可见球状构造、枕状构造等变形沉积构造,也偶见生物扰动。

3.3 浅湖沉积

湖泊始于延安组 Y9 直到 Y4—5,体现了从湖泊的开始形成、发育到残余湖的演化过程。湖泊水体不深,为浅湖。岩性以灰黑色的泥岩、粉砂质泥岩夹粉砂岩为主,沉积构造主要为水平层理,偶见沙纹层理,也见一些生物扰动等,不易与前三角洲沉积区别。

4 高分辨率层序地层学特征

4.1 层序边界识别标志及类型

在形成沉积层序的沉积作用过程包括了侵蚀作用、过路冲刷作用、沉积作用、非补偿性沉积或无沉积间断,不同沉积作用过程反映了基准面在地表的升降变化趋势,从而产生了不同性质和规模的层序界面及层序上下地层构型和规模的差异,为界面的识别提供了重要依据^[2-6]。在研究区,主要层序界面类型有:不整合面、沉积间断面、冲刷面、湖泛面、沉积相转换面、岩相转换面等^[4]。

在延安地区,作为区域性对比标志的“宝塔砂岩”、“裴庄砂岩”和“真武洞砂岩”沉积厚度大、粒度粗,分别代表了长期基准面的上升半旋回开始沉积,这样将延安组划分出了 3 个长期基准面旋回。在旋回的底部都伴有大的冲刷面,其中“宝塔砂岩”与下覆的富县组呈沉积间断接触关系,而且底部含有大量的河床滞留砾石。而在长期基准面旋回上升或下降过程中,发育了多次具有次一级的、有较好区域对比性的湖泛面和冲刷面,代表了中期基准面旋回层序界面。而短期基准面旋回层序界面常以频繁发育的底冲刷面、岩相转换面或欠补偿沉积面为层序界面。

4.2 短期基准面旋回

在延安组高分辨率层序地层研究中,共识别出了

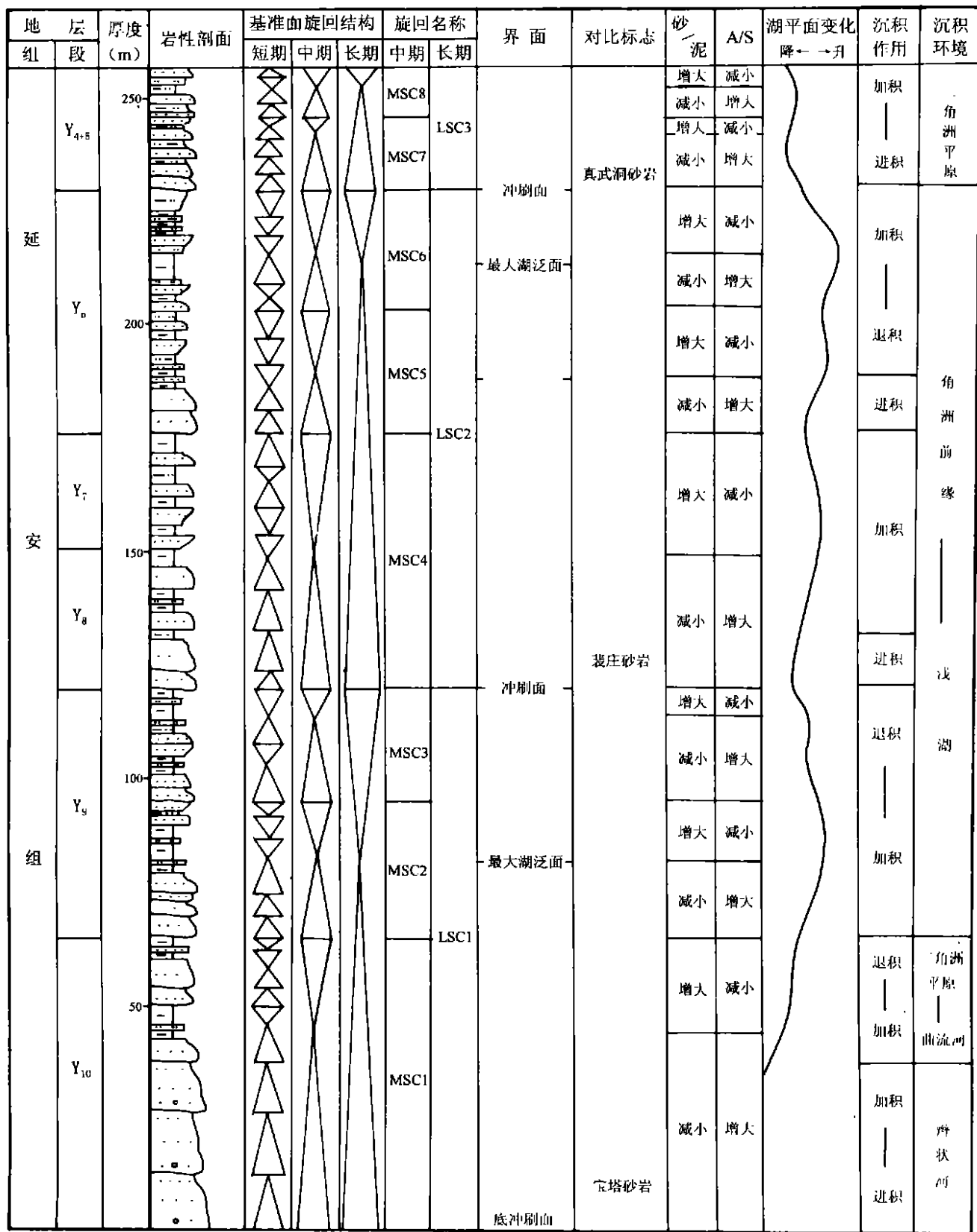


图 2 延安地区延安组基准面旋回划分及其沉积环境演化图

Fig. 2 Division of base-level cycle and evolution of depositional environment of Yanan Formation, Yanan area

36个短期基准面旋回层序(图 2)。短期基准面旋回的地层响应是由成因上相联系的一组岩相或单一岩相的岩石地层单元,层序界面为短期基准面下降到最低位置时发育的小型冲刷面、间歇性暴露面,或者是欠补偿或无沉积作用形成的间断面。

Y10期主要为河流体系发育期,所形成的短期基准面旋回结构不完整,往往缺少了基准面下降半旋回沉积,以发育上升半旋回为特点,而且沉积保留厚度较大。每个旋回都具有粒度向上变细的正粒序结构,旋回的底部伴有底冲刷面,含有河床滞留砾石。这是河流曾经发生了多次进积造成上一次被冲刷剥蚀的结果。从Y9期-Y4-5期,该地区主要发育了一套湖泊三角洲沉积体系,在剖面上保留了各种三角洲沉积体系微相组合。基准面旋回叠加式样主要有以下几种:完全对称型、不完全对称型(包括了上升半旋回大于下降半旋回和上升半旋回小于下降半旋回两种亚类)、仅保留上升半旋回和仅保留下降半旋回等几种类型。

根据区内沉积相发育特征,在不同的沉积相带和亚相带,短期基准面旋回的叠加式样不同(图 3)。在冲

积平原河流沉积相带,保留层序的基准面旋回叠加以仅保留上升半旋回为主;在三角洲沉积相带的层序旋回叠加式样主要为对称型和不完全对称型两大类,在三角洲平原亚相带内,旋回叠加以上升半旋回大于下降半旋回的不对称型为主,三角洲前缘亚相带旋回叠加式样以发育近对称型—下降半旋回大于上升半旋回型为主,前三角洲—浅湖沉积区则基本以仅保留下降半旋回为特征。

针对本地区 Y9-Y4-5期三角洲沉积相发育特点,通过基准面旋回层序分析,可以看出短期基准面旋回叠加式样同沉积作用密切相关。主要表现出以下几种情况:(1)当三角洲发生进积作用时,基准面相对地表不断小幅度下降,在三角洲平原地区,前一个短期旋回往往被部分侵蚀,基准面旋回叠加式样主要以不完全对称型(下降半旋回小于上升半旋回型)或仅保留了上升期半旋回为主;在三角洲前缘和前三角洲地区,基准面叠加式样表现为下降半旋回大于上升半旋回型或为仅保留了下降半旋回型。(2)当发生加积作用时,基准面相对地表变化不大,整个短期基准面旋回

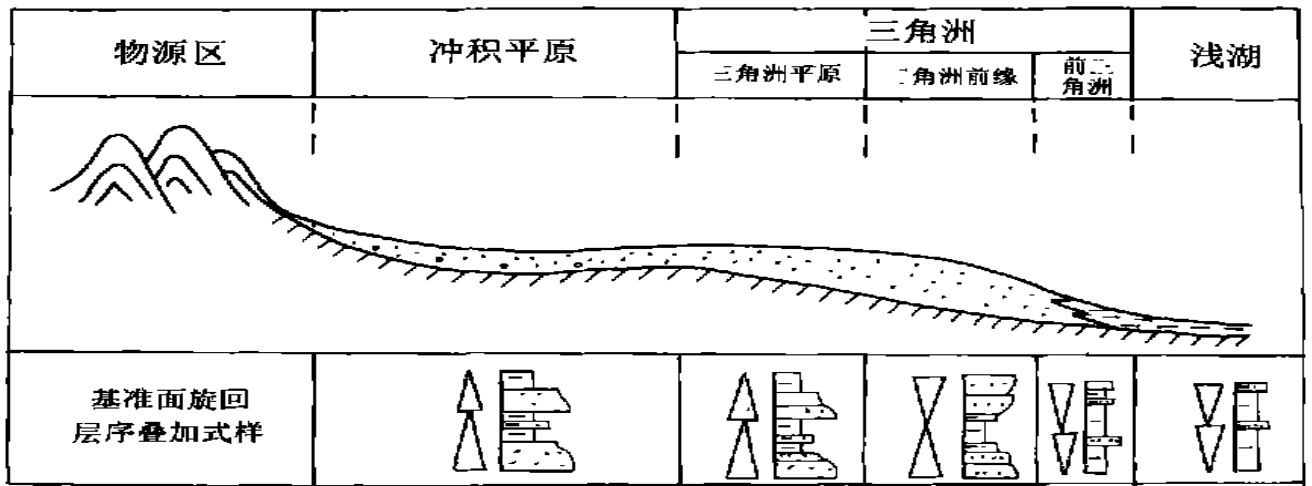


图 3 延安期沉积环境模式与不同相带基准面旋回叠加式样

Fig. 3 The depositional and arrangement pattern of base-level in different facies zone in Yananian

表 1 三角洲沉积环境短期基准面旋回叠加式样对沉积作用的响应

Table 1 Correlation of the arrangement pattern of short base-level with deposition in delta depositional environment

沉积作用	基准面旋回叠加式样类型	粒序特征	砂泥	A/S	控制因素
进积作用	(1)上升半旋回大于下降半旋回(在 Δ 平原地区);(2)上升半旋回小于下降半旋回;(3)仅保留了下降半旋回;(4)仅保留了上升半旋回(在 Δ 平原地区)	向上变粗	增大	减小	周缘抬升、物源增加或湖面下降加积作用
加积作用	(1)完全对称型; (2)不完全对称型	向上变细 复变粗	上、下半旋回 相对变化不大	变化不大	构造、物源与湖面变化相对平稳退积作用
退积作用	(1)上升半旋回大于下降半旋回; (2)仅保留上升半旋回	向上变细	减小	增大	构造沉降、物源减少或湖面上升

保留相对完全,基准面叠加式样为完全对称型或不完全对称型为主;(3)当处于退积作用阶段时,由于基准面相对地表不断地呈小幅度上升,基准面旋回叠加则主要为保留上升半旋回大于下降半旋回的不完全对称型或仅保留上升半旋回为特点

4.3 中期基准面旋回

通过对短期基准面旋回层序叠加式样分析,以及由于中期基准面旋回变化而导致的层序界面的确定,自下而上将延安组划分出了 8 个中期基准面旋回层序,自下而上依次为:MSC1, MSC2, MSC3, ... MSC8(图 2)

MSC1 形成于盆地扩张初期,旋回叠加式样表现为以上升半旋回为主的不完全对称型。包括了整个 Y10 期沉积,主要为河流沉积体系发育阶段,由多个短期上升半旋回组成。旋回底部为大型冲刷面,含大量河床滞留砾石,亦是第一个长期基准面旋回的底界面

MSC2 和 MSC3 发育于 Y9 期。MSC2 为近完全对称型,形成于湖泊快速扩张期,延伸在 Y9 早期,三角洲沉积发育,在基准面旋回转换点处出现了第一次最大湖泛面,亦为前三角洲与三角洲前缘的相转换面。

MSC3 发育在 Y9 沉积晚期,为湖泊快速扩张后的缓慢收缩期,为不完全对称叠加式样,基准面上升半旋回相对发育,旋回底部界面为三角洲前缘水下分流河道进积冲刷面,下半旋回为三角洲前缘亚相沉积,上半旋回为前三角洲亚相沉积。

MSC4 延伸了整个 Y8 和 Y7 期,为继承了 Y9 期后出现的又一次湖泊快速扩张—缓慢收缩期,主要由三角洲前缘亚相组成。旋回叠加式样为完全对称型,底界面为水下分流河道进积冲刷面。在上升半旋回,水下分流河道微相发育,砂泥向上减小, A/S 向上增大。下降半旋回河口砂坝与分流间湾微相相对发育,砂泥向上小幅增大, A/S 向上缓慢减小。

MSC5 与 MSC6 形成于 Y6 期,该期湖泊再一次发生扩张作用,湖平面上升。MSC5 发育于 Y6 早期,不完全对称型,三角洲前缘亚相发育,底界面为水下分流河道冲刷面。在上升半旋回中水下分流河道及分流间湾微相发育,底部砂泥大,向上逐渐减小;下降半旋回中河口砂坝微相发育,砂泥向上变大, A/S 相对减小。MSC6 发育于 Y6 晚期,近对称型,主要为三角洲前缘前端—浅湖沉积,远砂坝微相较为发育,在该旋回的基准面上升与下降的转换点处出现了第二次最大湖泛面。

MSC7 和 MSC8 组成了 Y4—5 期沉积。MSC7 形成于 Y4—5 早期,在该期,湖泊快速萎缩,三角洲强烈进积,河流发生“回春”作用。MSC7 在本地区主要发育

了三角洲平原亚相沉积,分流河道及洪泛平原微相发育,所组成的基准面旋回叠加式样为不完全对称型,上升半旋回更为发育,下降半旋回保留少。MSC8 形成于 Y4—5 的晚期,为湖泊快速萎缩后的缓慢平稳期,河流回春作用相对减弱,近对称旋回叠加类型,沉积相发育特征与 MSC7 基本上相同。顶部发育不完全,顶与上覆直罗组呈区域性小角度不整合接触。

4.4 长期基准面旋回

在延安地区,可明显识别出三个长期基准面旋回,自下而上分别命名为:LSC1, LSC2 和 LSC3,也代表了盆地在中侏罗世延安期的三次大构造沉降旋回。

LSC1 由 MSC1、MSC2 和 MSC3 叠加而成,底部界面为区域性沉积间断面和大规模的冲刷侵蚀面,下部以发育了一套厚度较大、粒度粗的“宝塔砂岩”为主要标志,可以进行区域性地层对比。上升半旋回从 Y10 延续至 Y9 中下部,在 Y10 期以发育河流沉积为主, Y9 早期以发育三角洲沉积,整个上升半旋回体现出了盆地扩张,湖泊开始形成到快速扩张至第一次出现最大湖泛面。下降半旋回发生在 Y9 中晚期,形成于湖泊快速扩张之后的缓慢收缩阶段,湖平面开始下降,在本地区三角洲前缘发生了缓慢进积。

LSC2 由 MSC4、MSC5 和 MSC6 组成,包含了整个 Y7、Y8 和 Y6 期沉积。在本地区整个发育了一套三角洲前缘—浅湖沉积,底界面为三角洲前缘水下分流河道进积冲刷面。在 Y8 早期水下分流河道加积作用明显,在区内连续沉积了一套较厚的“裴庄砂岩”,并可进行区域对比。以上为三角洲前缘前端—浅湖沉积,河口砂坝、远砂坝、前三角洲和浅湖粉沙泥等微相发育。在 MSC6 中部出现了第二次最大湖泛。

LSC3 出现在 Y4—5 期,包含了 Y4—5 期沉积。在下半旋回发育期间,由于区域性构造抬升,三角洲强烈进积,湖泊面积迅速缩小,湖泊进入萎缩期,河流发生“回春”,区内三角洲平原发育,主要的沉积微相有水上分流河道及泛滥平原。进入下降半旋回,构造相对平稳,主要以三角洲平原加积作用为主。由于后期构造抬升作用,造成了区内 Y1—Y3 期沉积的缺失。

5 基准面旋回与盆地充填演化

延安期盆地演化经历了完整的由下切、充填到抬升的演化过程,主要发育了河流—湖泊三角洲沉积体系^[7],不同发展阶段、不同地区以及不同的沉积体系中,由于盆地周边构造、沉积物供应以及盆地自身发展的不平衡性,导致了各沉积相、亚相及微相的纵横配置及高分辨率层序地层也发生相应规律的变化(表 2)。

表 2 基准面旋回与沉积盆地演化关系简表

Table 2 Correlation of base-level cycle with the basinal evolution in Ordos Basin

地 层	充填演化阶段	主要沉积作用	沉积体系	构造背景	基准面旋回		
					中 期	长 期	
延 安 组	Y4-5	构造抬升期	超补偿沉积, 河流“回春”, 三角洲强烈进积	网状河—残余湖体系	构造抬升期	MSC8 MSC7	LSC3
	Y6	湖泊充填淤浅期	补偿沉积,	河湖泊三角洲体系	构造相对稳定期	MSC6 MSC5	LSC2
	Y7		补偿沉积	河湖泊三角洲体系	构造稳定期	MSC4	
	Y8	湖泊开始充填淤浅期	补偿沉积	河湖泊三角洲体系	构造相对稳定 早期局部抬升		MSC3 MSC2
	Y9	河湖过渡期	开始填平补齐	河湖泊三角洲体系	构造沉降期, 湖泊快速扩张	MSC1	
	Y10	超覆河谷充填期	侵蚀堆积	河流体系	开始沉降, 盆地扩张		

根据本地区延安组高分辨率层序地层发育特点, 在延安期, 总共有三次大的构造沉降旋回, 分别对应了三个长期基准面旋回 (LSC1 LSC2和 LSC3)。在 LSC1 中构造升降变化最大, 具体表现在其下部为辫状河沉积的“宝塔砂岩”, 粒度粗, 沉积厚度大, 到了 MSC1 晚期本地区已进入湖泊三角洲平原沉积阶段。在 MSC2 主要是受局部构造运动影响, 盆内湖泊发育, 体现了整体上沉积环境变化不大的盆地内部调整阶段, 表现在沉积微相发育特点及沉积微相组合上的改变。MSC3 则是受后期区域性构造抬升初期影响, 河流作用增强, 三角洲强烈进积, 湖泊已演化为残余湖阶段。在三次大的旋回内又可分为八个次一级的构造升降旋回, 分别对应了八个中期基准面旋回 (MSC1-MSC8)。

结合高分辨率层序地层特征, 整个盆地演化史表现为: 在 LSC1, Y10 期为构造抬升向快速下降转换期, 出现河谷下切和河谷超覆充填, 到了 Y9 期由于构造沉降为盆地进入河湖沉积期; 进入 LSC2, 其中 Y8 期为构造局部抬升, 盆地开始填平补齐期, 湖泊开始充填淤浅, Y7-Y6 期构造活动较稳定, 盆地补偿沉积; 最后在 LSC3, 在 Y4-5 期构造再次抬升, 河流沉积作用增强, 河流发生“回春”, 沉积作用为超补偿沉积, 湖泊被淤塞, 为残余湖泊沉积期。

参考文献 (References)

- 1 李宝芳, 李祯. 鄂尔多斯盆地中下侏罗统沉积体系和层序地层 [M]. 北京: 地质出版社, 1995 [Li Baofang, Li Zhen. 1995. Sedimentary system and sequence stratigraphy of Lower to Mid-Jurassic in Ordos Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995]
- 2 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学

[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89~ 97 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S.: high-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89~ 97]

- 3 邓宏文, 王洪亮等. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~ 184 [Deng Hongwen, Wang Hongliang. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177~ 184]
- 4 郑荣才. 基准面旋回结构叠加式样的沉积动力学分析 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369~ 375 [Zheng Rongcai, Yin Shiming, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking patten of base-level cycle [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 369~ 375]
- 5 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义 [J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249~ 255 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycle of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249~ 255]
- 6 郑荣才, 彭军. 陕北志丹三角洲长 6 油层组高分辨率层序分析与等时对比 [J]. 沉积学报, 2002, 21(1): 92~ 100 [Zheng Rongcai, Peng Jun. Analysis and isochronostratigraphic correlation of high-resolution sequence stratigraphy for Chang-6 oil reservoir set in Zhidan Delta, Northern Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 20(1): 92~ 100]
- 7 赵俊兴, 陈洪德, 时志强. 古地貌恢复技术方法及其研究意义——以鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积前古地貌研究为例 [J]. 成都理工大学学报, 2001, 28(3): 260~ 266 [Zhao Junxing, Chen Hongde, Shi Zhiqiang. The way and implications of rebuilding paleogeomorphology—Taking the research of paleogeomorphology of the Ordos basin before Jurassic deposition as an example [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(3): 260~ 266]

(Continued on page 333)

calculate the paleo-temperature gradient, the paleo-pressure gradient and the changable palaeo-temperature trajectory. Finally the time domain, the depth domain and the temperature domain of hydrocarbon-production can be worked out. We compare these calculated data with the data calculated in classic way, it shows that the inclusion *TTI* method is available and valid.

Key words fluid inclusion, time temperature index(*TTI*), hydrocarbon source condition

(Continued from page 312)

The High-Resolution Sequence Stratigraphy Feature of Yanan Formation in Yanan Area, Ordos Basin

ZHAO Jun-xing CHEN Hong-de XIANG Fang
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract On the basis of high-resolution sequence stratigraphy, the detailed study on the subdivision of different orders of the base-level cycles in middle Jurassic Yanan Formation has been performed in Yanshui river cross section, and a corresponding high-resolution sequence framework has been established in the middle part of Ordos Basin. There can be recognized 34 short, 8 middle and 3 long base-level cycles. Simultaneously, the paper has also discussed the relationship between the stacking patterns of different cycles and sedimentary facies, deposition and tectonics, and furthermore, investigated the basinal filling history by the base-level cycle sequences.

Key words high-resolution sequence stratigraphy, Ordos Basin, Yanan Formation, base-level cycle, deposition