

文章编号: 0253-9985(2006)02-0143-09

陇东地区三叠系延长组沉积层序及充填响应特征

陈洪德, 倪新锋

(成都理工大学 沉积地质研究院, “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 陇东地区三叠系延长组是由顶、底两个区域性不整合或假整合界面组成的一个超长期旋回。在该构造层序形成发展的沉积演化旋回中, 依据次一级的构造、气候、物源供给条件及湖平面升降等变化, 可将上三叠统延长组分为区域上分布稳定的 4 个长期旋回。在此基础上, 采用层序-盆地系统的动态成因分析方法, 对陇东地区延长组进行了层序充填动力学研究, 认为构造沉降的脉动性、气候的旋回性以及由此引起的沉积物供给的差异性控制了 4 个长期旋回的发育与演化。文中, 进一步探讨了盆地演化过程中的层序充填动力学响应, 指出湖盆演化的不同时期形成不同的沉积亚相组合、不同类型的沉积物以及不同的层序叠加样式。

关键词: 沉积层序; 湖盆演化; 充填动力学; 延长组; 陇东地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE111.3 **文献标识码:** A

Depositional sequence and filling response characteristics of Triassic Yanchang Formation In Longdong area

discussed in this paper. It is pointed out that there are different combinations of sedimentary subfacies, different types of sediments and different superimposition patterns of sequences in different evolutionary periods of the lake basin.

Key words: depositional sequence; lake basin evolution; filling dynamics; Yanchang Formation; Longdong area; Ordos basin

近年来, 以层序-盆地-地球系统科学理论为指导的层序充填动力学研究成为地球科学的热点之一^[1~7]。其基本思想是: 构造控盆, 盆控相, 不同相带的时空配置形成层序的不同样式。它涵盖了构造动力学、气候动力学、海平面变化、沉积物供应等几个方面。上述几个方面构成层序充填响

应的主控因素; 但对于不同盆地、不同沉积层序及沉积演化背景, 各种控制因素所占主导地位各异。鄂尔多斯盆地为我国大型含油气盆地之一, 陇东地区(西南缘)三叠系形成于西缘逆冲推覆的前陆构造背景条件下, 研究其沉积层序构成、充填样式及充填动力响应模式对油气勘探有一定的指导

收稿日期: 2006-01-13

第一作者简介: 陈洪德(1956-), 男, 教授、博士生导师, 层序地层学与含油气盆地分析
基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214600)

意义。

1 沉积地质背景

鄂尔多斯盆地三叠纪为典型的内陆大型坳陷盆地,盆地周边为高地剥蚀区环绕。晚三叠世延长期时,盆地周边水系发育,延伸入湖盆,形成一系列向盆地中心发育的河湖三角洲裙^[8]。晚三叠世开始,随着秦祁地槽的最终封闭,西缘南北向逆冲带的活动逐渐增强,不仅使鄂尔多斯盆地呈极不对称的西陡东缓、由北西向南东倾伏的箕状盆地,而且大量粗碎屑物分别从盆地西缘涌入盆地内,沿盆地边缘发育一系列冲积扇裙。盆地的沉降中心及沉积中心均位于盆地的西南陇东地区。盆地西部沉积厚度大、相带较窄、变化较快,岩相带从盆地西部边缘向盆地内部分别为冲积相、河湖三角洲相和深湖相,大致呈环带状分布。从纵向上由湖进到湖退过程、正旋回到反旋回,反映了该大型沉积盆的形成(长 10—长 9)—扩大(长 8—长₆)—萎缩(长₆—长 4+5)—消亡(长 3—长 1)过程。

陇东地区延长期时具有典型的前陆盆地层序发育过程:早期坳陷期,进入湖盆形成阶段;中期逐渐转入快速沉降阶段,强烈坳陷,形成高可容纳空间与较强的沉积物供应且类型丰富,沉积、沉降速率逐渐加大,发育扇三角洲、河湖三角洲及湖泊沉积体系;晚期缓慢沉降,湖盆萎缩进积充填,由于三叠系与侏罗系不整合面的影响,部分仅发育三角洲平原等低位体系域沉积。因此,这样一个

的基础上,运用经典的层序地层学及高分辨率层序地层学理论和方法,利用钻井岩心、录井剖面、测井曲线、露头剖面及微量元素等多种资料,对陇东地区延长组进行系统的陆相层序地层充填动力学研究。

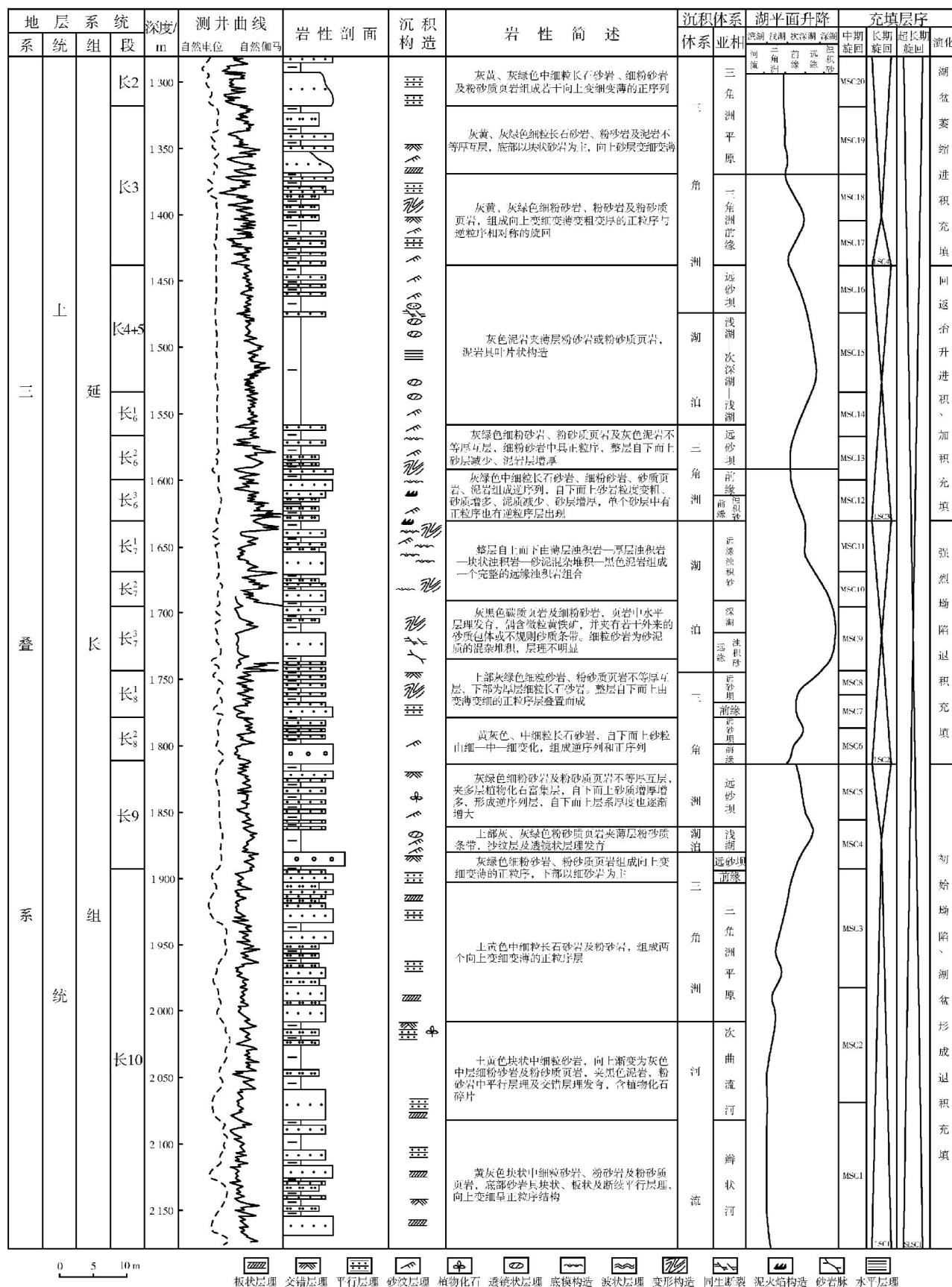
众多学者将鄂尔多斯盆地中生界上三叠统延长组划分为一个构造层序(超长期旋回),相当于 Vail 等划分的超层序^[14-17]。在延长组构造层序形成发展的大沉积演化旋回中,又因发生次一级的构造、气候、物源供给条件及湖平面升降等变化,因此形成了延长组超长期旋回中的多个长期旋回。利用钻井岩心、录井剖面、测井曲线、露头剖面及微量元素等多种资料,对多口钻井剖面的层序各类界面进行识别,对内部多个次级层序单元进行分析,从而可将上三叠统延长组分为区域上分布稳定的 4 个长期基准面旋回,它们分别是长 10—长 9、长 8—长 7、长 6—长 4+5 和长 3—长 1(由于甘陕古河道的影响,部分区块缺失长 1,甚至长 2 油层组);内部还可进一步细分为不同级别的中期、短期,甚至超短期旋回(图 1)。每个长期旋回的平均时限约为 6.5 Ma(延长组对应于晚三叠世的地质时间约为 27 Ma 卡尼期—瑞替期^①)。

不同级别的基准面旋回其沉积物的叠加样式及空间配置反映了可容纳空间及沉积物供给(ΔS)的变化,指示着湖盆水体升降演化及气候动力、充填动力的特征。长 10—长 9 和长 8—长 7 是两个典型的湖进—湖退旋回(图 2)。长 10 的基底是代表基准面大幅度下降的区域性暴露侵蚀间断面,其形成与构造运动、气候变冷及物源供给减少

序构成特征的认识均存在较大分歧^[9-16]。本文在充分分析上述层序地层研究认识和区域地质背景

基础上,运用经典的层序地层学及高分辨率层序地层学理论和方法,利用钻井岩心、录井剖面、测井曲线、露头剖面及微量元素等多种资料,对陇东地区延长组进行系统的陆相层序地层充填动力学研究。

①谢渊. 鄂尔多斯盆地富县探区上三叠统延长组层序地层与储层研究. 成都理工大学博士论文, 2002



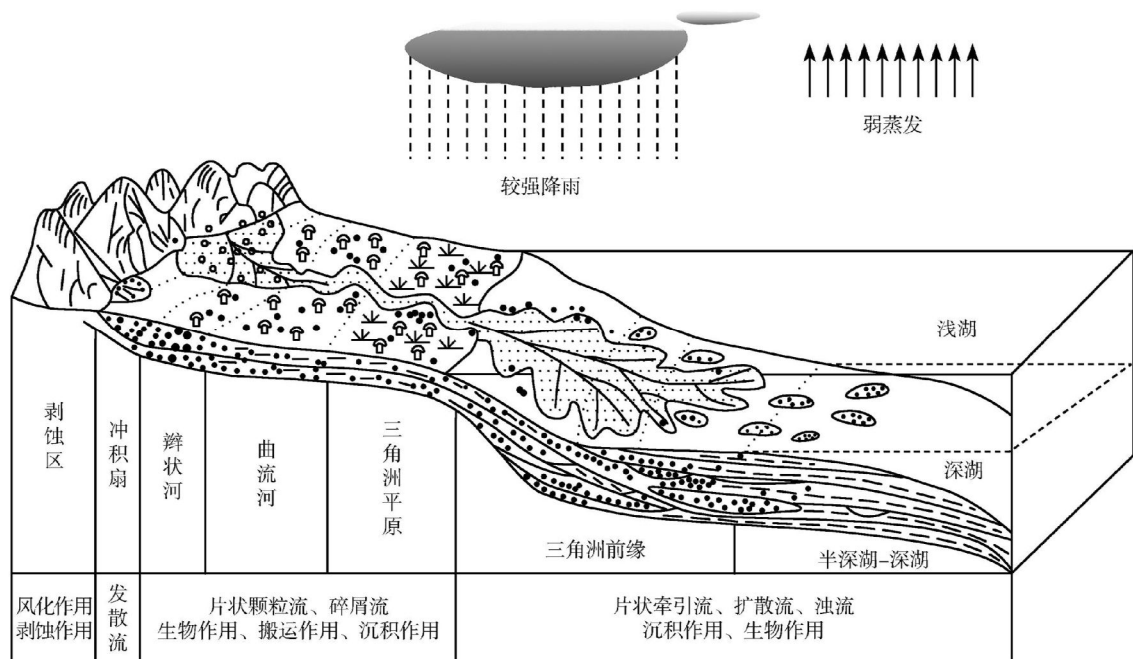


图 3 陇东地区三叠系延长组气候充填动力学特征

Fig. 3 Climatic and filling dynamic characteristics of Triassic Yanchang Formation in Longdong area

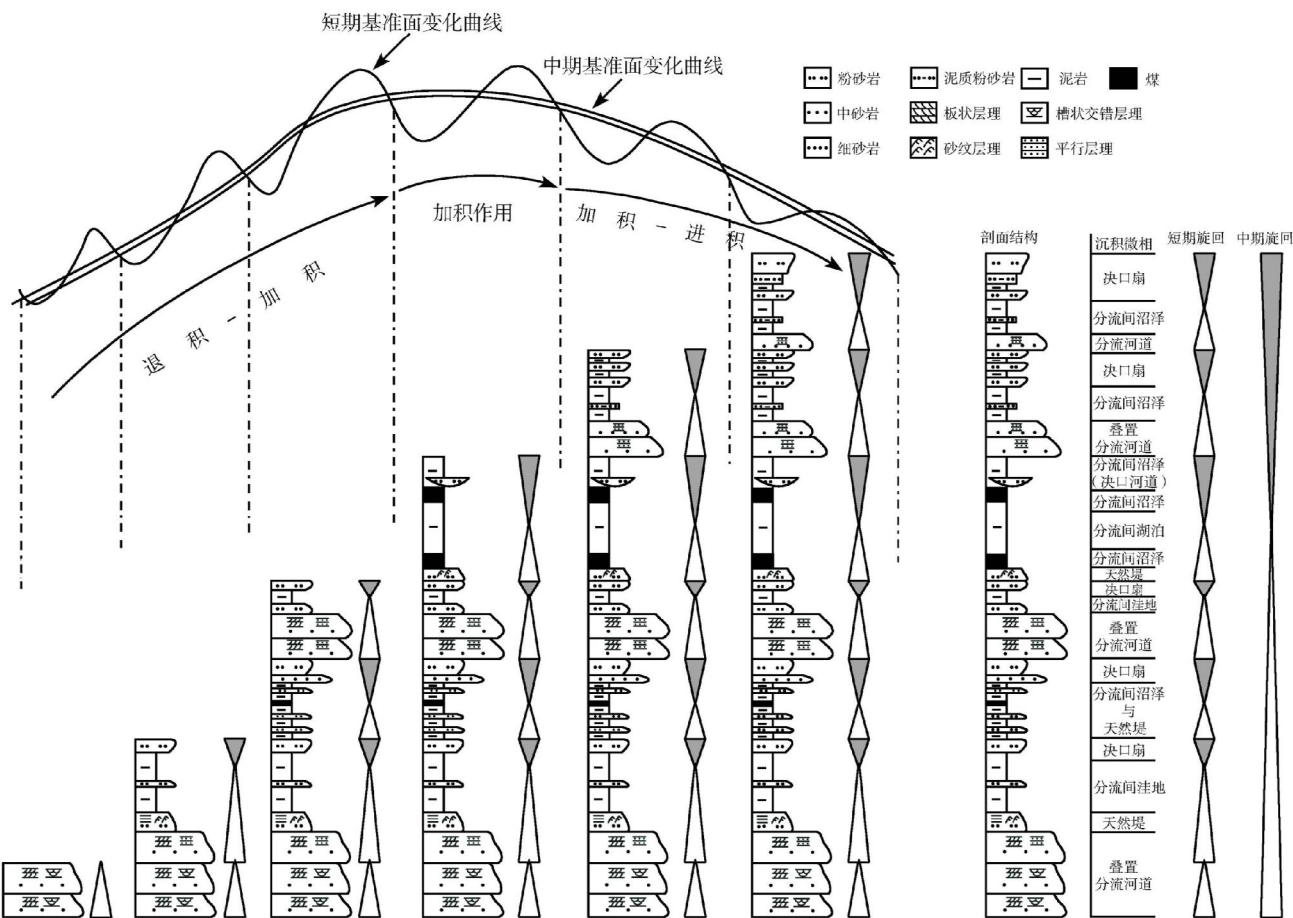


图 4 陇东地区三叠系延长组三角洲平原层序充填过程示意图

Fig. 4 Diagrammatic sketch showing the filling process of delta plain sequence in Triassic Yanchang Formation in Longdong area

气候条件下又发生了多个次级气候演变旋回, 即延长期从早到晚气候由干旱—湿润—半湿热半干旱—干旱的多旋回性变化 (图 3)。这些次级演变

对延长组内部 4 个长期旋回的演化也有明显影响。其中 LSC1—LSC3 (长 10—长 4+5 油层组) 形成时主要为湿热气候, 湖平面较高、湖水深、湖

域宽,物源区以化学风化作用为主,物源以细碎屑物为主,形成的层序单元厚度不大,以加积-退积为特色,形成湖泊与三角洲前缘、前三角洲沉积;LSC4(长3—长1油层组)形成时,气候开始向半湿热半干旱转化,物源区物理风化作用强烈,粗碎屑物源丰富,湖平面相对较低,湖水浅且湖域窄,进积-加积作用显著,形成厚度较大的陆相层序单

沉积记录,顶、底层序界面以整合界面为主,或部分顶界面表现为弱冲刷,其上升半旋回表现为向上由粗变细的序列,而下降半旋回表现为向上由细变粗的序列(图5);其次,以发育下降半旋回沉积记录为主,上升半旋回主要由薄层的水道砂体或水道间组成正韵律退积结构,下降半旋回则由三角洲前缘席状砂组成向上变粗的沉积序列,

主要为低可容纳空间下快速沉积的产物(图4)。

在三角洲前缘沉积区,主要发育较为完整的

略变粗,但仍持续处于小于可容纳空间状态,因而以发育欠补偿-弱补偿的加积-弱进积作用为主。

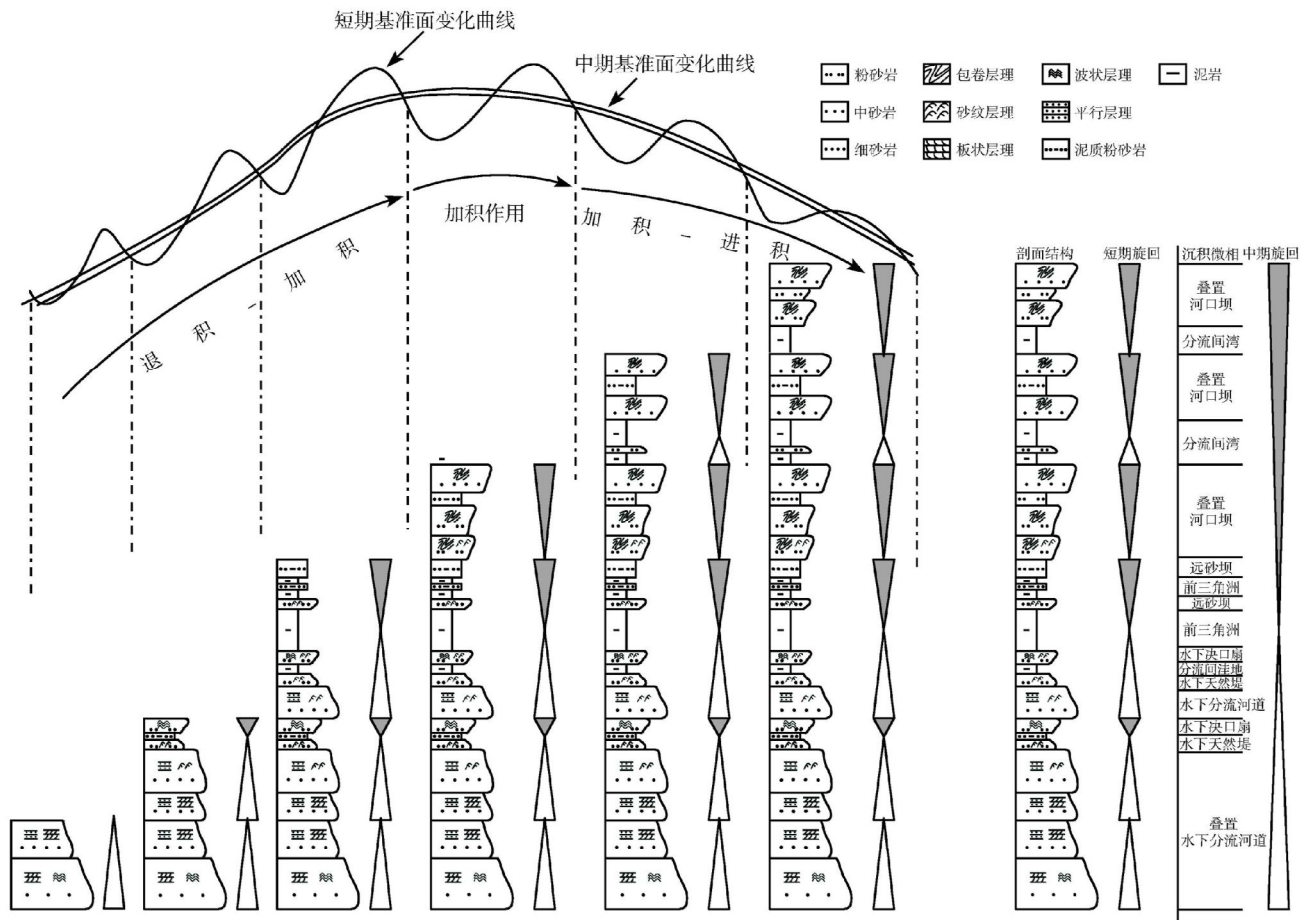


图 5 陇东地区三叠系延长组三角洲前缘层序充填过程示意图

Fig. 5 Diagrammatic sketch showing the filling process of delta front sequence in Triassic Yanchang Formation in Longdong area

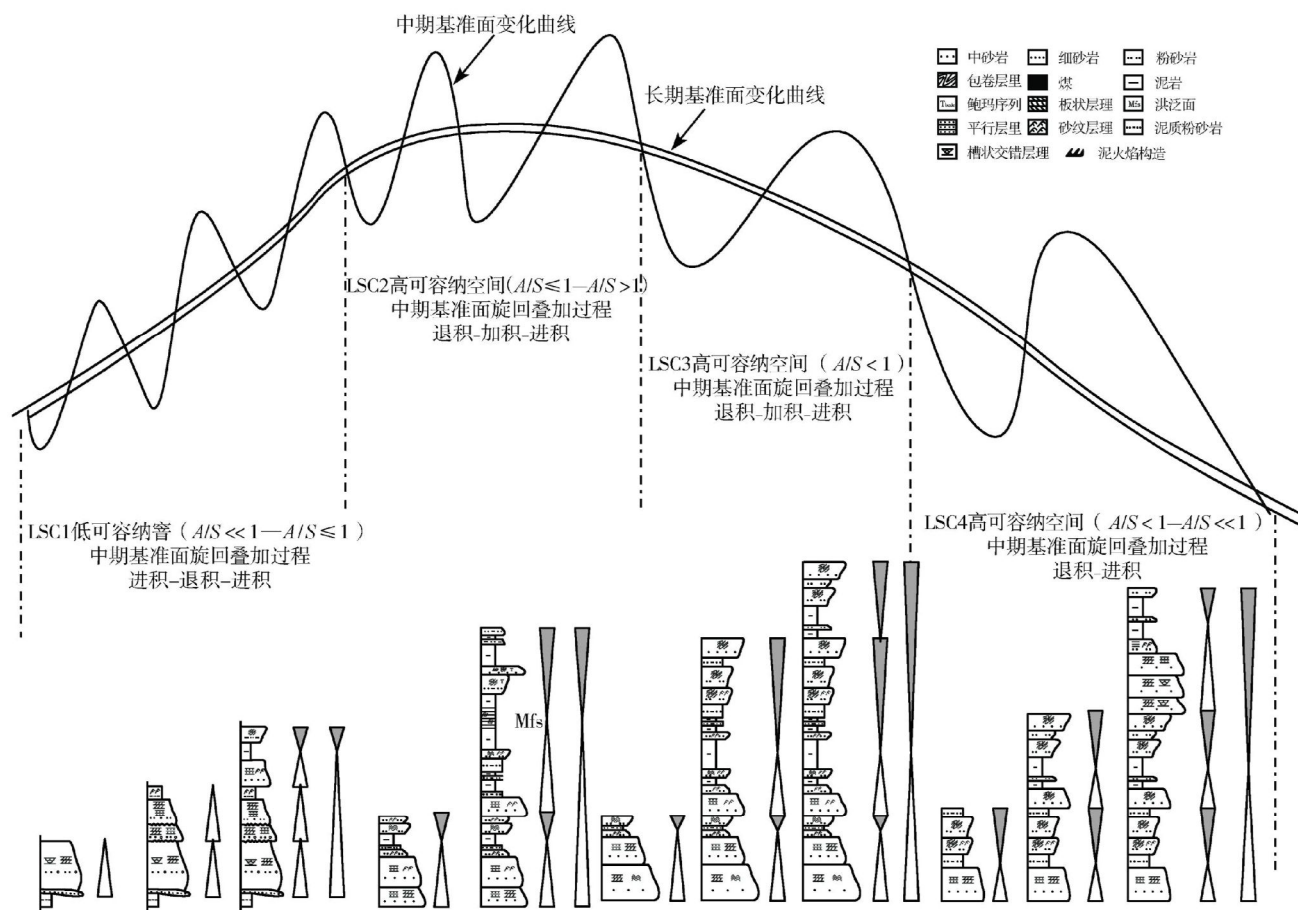


图 7 陇东地区三叠系延长组构造-层序充填过程示意图

Fig. 7 Diagrammatic sketch showing the filling process of structure-sequence in Triassic Yanchang Formation in Longdong area

冲刷作用强,并以强牵引流及片流形式共同搬运,沉积物会短暂泄荷、快速沉积,所以进积式层序中辫状河三角洲平原相带及分流河道流域面积大,砂体厚度大,沉积构造发育。长 8 晚期,湖盆进入强烈坳陷期,沉降速度明显加快,延续到长 7 末,可容空间增长持续大于沉积速率 ($A/S > 1$)。虽然在盆地西南较陡坡带也发育辫状河三角洲体系,但因沉积由低位域向湖侵体系域逐渐演化,长 8 上段形成了湖泊中的退积序列。在长 7 期湖泊扩张体系域中,盆地不均衡性强烈,盆地拉张下陷,南缘坡降明显加大,可容空间增长速度急剧增加,加之湖水变深,盆地边缘早期形成的三角洲前缘等沉积体中未固结的沉积物在地震、重力滑动等外力诱导因素影响下,经历了再次搬运沉积,形成了固城-合水地区广泛分布的浊积砂体。

长 6—长 4+5 阶段,即 LSC3 长期旋回发育时期(图 7),湖盆经过早期深陷扩张之后逐渐抬升回返,由于可容空间增长速率与沉积物供给速率基本相同 ($A/S = 1$ 或 < 1),盆地均衡补偿,所以周缘碎屑物大量加积和进积式充填。期间,基底缓

慢回返,相对水深大,仍以发育辫状河、冲积扇、辫状河三角洲和浊流沉积体系为主。其次,由于长 6 为三角洲建设的高峰期,物源充足,湖岸线向前推进很快,所以深湖区范围由于三角洲的充填而有所减小。沿湖岸线发育有许多低位体系域三角洲朵体,骨架砂体主要为分流河道和水下分流河道,在盆地外围有大范围的沼泽平原化。

长 3—长 1 阶段,即 LSC4 长期旋回发育时期(图 7),湖盆全面抬升收缩并进入萎缩消亡期,物源供应充足,可容纳空间增长速率明显小于沉积物供给速率 ($A/S < < 1$),湖水迅速退缩变浅,盆地边缘及盆地内大部分地区都形成了进积式浅覆水型曲流河三角洲,以低位体系域三角洲平原分流河道沉积广泛发育为特征,三角洲河口坝普遍不发育,砂岩粒度细、泥质含量较高,泛滥沼泽和残留湖泊洼地暗色泥岩、碳质泥岩广布。

参 考 文 献

- 1 侯明才,陈洪德,田景春. 层序充填动力学——层序地层研究的新方向[J]. 地层学杂志, 2003, 27(4): 358~364
Hou Mingcai Chen Hongde Tian Jingchun Sequence-filling dy-

- namics—a new study direction on sequence stratigraphy[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2003, 27(4): 358–364
- 2 覃建雄, 陈洪德, 田景春. 右江盆地层序充填序列与古特提斯海再造[J]. *地球学报*, 2000, 21(1): 62–70
Q in Jianxiong Chen Hongde Tian Jingchun Sequence filling succession and Paleo-Tethyan Sea reconstruction of the Youjiang basin, southern China[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2000, 21(1): 62–70
 - 3 陈洪德, 覃建雄, 田景春. 右江盆地层序充填动力学初探[J]. *地质论评*, 2003, 49(5): 495–500
Qu Hongjun Li Wenhou Mei Zhichao et al Relationship between sequence stratigraphy and petroleum system in oil and gas exploration: an example in the Mesozoic Ordos basin[J]. *Geological Review*, 2003, 49(5): 495–500
 - 13 赵宏刚, 陈全红, 王文武, 等. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统层序地层学研究[J]. *西北地质*, 2003, 36(4): 35–38
Zhao Honggang Chen Quanhong Wang Wenwu et al Research on the sequence stratigraphy of the Upper Triassic in the southern Ordos basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(4): 345–351
 - and climatic evolution recorded in the Gariep Belt, Namibia and South Africa[J]. *Basin Research*, 2002, 14: 55–67
 - 6 Devault B, Jeremia J. Tectonostratigraphy of the Nieuwenkerk Formation (Delfland subgroup), West Netherlands basin[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(10): 1679–1709
 - 7 Hans E, Mandana Wolfgang S. Tectonic and climatic control of Paleocene sedimentation in Rhenodanubian Flysch basin (Eastern Alps, Austria)[J]. *Basin Research*, 2002, 14: 247–262
 - 8 夏青松, 田景春, 张锦泉, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组 6—8 段层序评价及有利区带预测[J]. *油气地质与采收率*, 2004, 10(4): 11–13
Xia Qingsong Tian Jingchun Zhang Jinquan et al Reservoir evaluation and favorable area prospecting in Chang 6 to Chang 8 of the Triassic period at Longdong region in Ordos Basin[J]. *Petroleum Geology & Recovery Efficiency*, 2004, 10(4): 11–13
 - 9 吴志宇, 赵虹, 李文厚, 等. 安塞地区延长组层序地层特征[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(2): 190–193
Wu Zhiyu Zhao Hong Li Wenhou et al Sequence stratigraphy of Yanchang Formation in Ansai district[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(2): 190–193
 - 10 杨友运. 鄂尔多斯盆地南部延长组沉积体系和层序特征[J]. *地质通报*, 2005, 24(4): 369–372
Yang Youyun Characteristics of the depositional systems and sequence evolution of the Yanchang Formation in the southern Ordos basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(4): 369–372
 - 11 Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy: (Part 1) seismic stratigraphy interpretation procedure [A]. In: Bally A W, ed. *Atlas of seismic stratigraphy* [C]. AAPG Studies in Geology, 1987, 27: 1–10
 - 12 屈红军, 李文厚, 梅志超, 等. 论层序地层学与含油气系统在油气勘探中的联系——以鄂尔多斯中生代盆地为例[J]. *地质论评*, 2003, 49(5): 495–500
Qu Hongjun Li Wenhou Mei Zhichao et al Relationship between sequence stratigraphy and petroleum system in oil and gas exploration: an example in the Mesozoic Ordos basin[J]. *Geological Review*, 2003, 49(5): 495–500
 - 13 赵宏刚, 陈全红, 王文武, 等. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统层序地层学研究[J]. *西北地质*, 2003, 36(4): 35–38
Zhao Honggang Chen Quanhong Wang Wenwu et al Research on the sequence stratigraphy of the Upper Triassic in the southern Ordos basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(4): 345–351
 - 14 兰朝利, 吴峻, 李继亮, 等. 靖安油田长 6 段层序地层分析[J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(4): 362–371
Lan Chaoli Wu Jun Li Jiliang et al Sequence stratigraphy of Chang-6 member in Jing'an oil field[J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(4): 362–371
 - 15 李思田, 林畅松, 解习农, 等. 大型陆相盆地层序地层学研究——以鄂尔多斯中生代盆地为例[J]. *地学前缘*, 1995, 2(3–4): 133–148
Li Sitian Lin Changsong Xie Xinong et al Approaches of non-marine sequence stratigraphy—a case study on the Mesozoic Ordos basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3–4): 133–148
 - 16 胡受权, 郭文平, 杨凤根. 试论控制断陷湖盆陆相层序发育的影响因素[J]. *沉积学报*, 2001, 19(2): 256–262
Hu Shouquan Guo Wenping Yang Fenggen et al Study on influential factors of terrigenous sequence formation and development in fault-depressed lacustrine basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 256–262
 - 17 邓宏文. 美国层序地层学研究中的新学派——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 stratigraphy studies in USA: high-resolution sequence stratigraphy[J]. *Oil & Gas Geology*, 1995, 16(2): 89–97
 - 18 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 369–375
Zheng Rongcai Yin Shimin Peng Jun Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 369–375

(编辑 李 军)