

文章编号: 1009-3850(2008)02-0012-08

陆相拗陷湖盆陡坡带物质聚集及层序充填动力学特征 ——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例

倪新锋¹, 陈洪德², 韦东晓¹, 赵俊兴²

(1. 中国石油 杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059)

摘要: 陆相拗陷湖盆陡坡带具有坡度陡、构造活动强烈、物近源、多物源、相变快等特点。勘探实践表明, 与拗陷湖盆陡坡带相关的各类砂体, 由于具有良好的油源条件、储集条件和油气运移条件, 是油气聚集成藏的极有利场所。鄂尔多斯盆地三叠纪时期为典型的内陆大型拗陷盆地, 陇东地区三叠纪延长组在西缘逆冲带的影响下处于陡坡带, 该区有两种物质聚集模式, 一是从长 10 长 7 退积型三角洲模式, 二是从长 6 长 1 进积型三角洲模式。并且在盆地形成演化过程中, 伴随着基准面的升降变化, 不同相区、不同时期可容纳空间和沉积物供应之间的比值发生相应的变化, 从而表现为不同的地层充填样式。

关键词: 拗陷湖盆; 陡坡带; 物质聚集; 层序充填动力学; 陇东地区

中图分类号: TE121.3 **文献标识码:** A

陆相拗陷湖盆陡坡带具有坡度陡、古地形起伏较大、构造活动强烈、物近源、多物源、沉积厚、相变快等特点。近年来对拗陷盆地的勘探实践表明^[1~7], 与陡坡带相关的各类砂体, 由于具有良好的油源条件、储集条件和油气运移条件, 是油气聚集成藏的极有利场所。因此, 对陆相拗陷湖盆陡坡带物质聚集过程及利用充填动力学特征分析砂体成因类型等的研究不仅具有重要的理论意义, 而且对该类沉积体进一步勘探具有重要的实践意义。三叠纪时期, 鄂尔多斯盆地为典型的内陆大型拗陷盆地, 陇东地区三叠纪延长组在西缘逆冲带的影响下处于陡坡带, 近几年在陇东地区的西峰、马岭、环县等地发现了大规模的岩性油气藏^[7~11]。本文以鄂尔多斯盆地陇东地区为例阐述陆相拗陷湖盆陡坡带物质聚集模式及层序充填动力学特征。

晚三叠世延长期时, 鄂尔多斯盆地周边水系网发育, 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]。自晚三叠世开始, 随着秦祁地槽最终的封闭, 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西陡东缓由北西向南东倾伏的箕状盆地, 而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即陇东地区, 盆地西部沉积厚度大、相带较窄、变化较快, 是较为典型的拗陷湖盆陡坡带的特征。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₇)→萎缩(长₆—长₍₄₊₅₎)→消亡(长₃—长₁)过程(图 1)。

陇东地区延长期时具有典型的前陆盆地层序发

1 沉积地质背景

收稿日期: 2006-11-08 改回日期: 2007-07-18

作者简介: 倪新锋(1978—), 男, 博士, 工程师, 主要从事层序地层学与含油气盆地分析

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(编号: 2003CB214600)

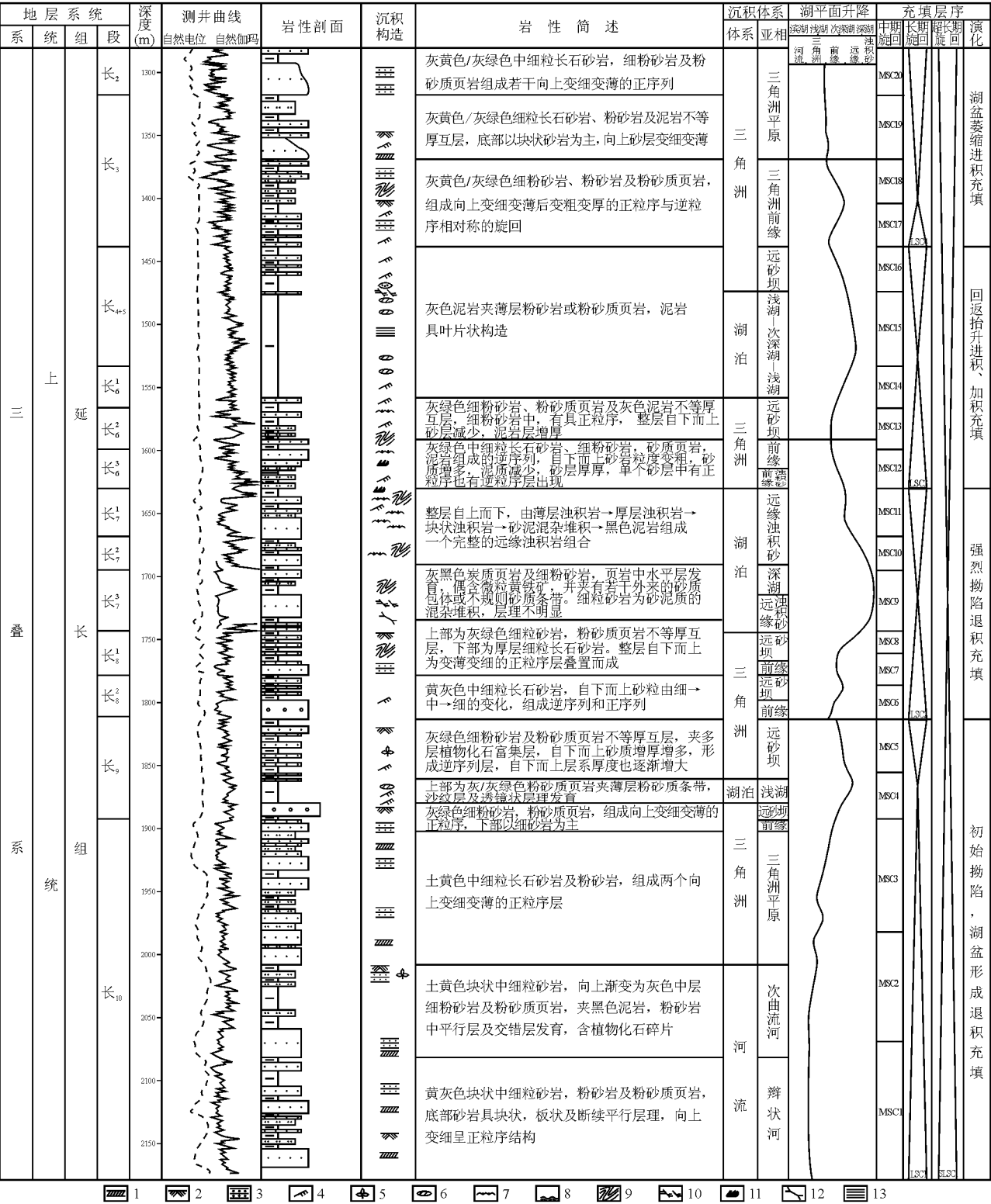


图 1 陇东地区庆 36 井沉积相 充填层序综合柱状图

1 板状层理; 2 交错层理; 3. 平行层理; 4 砂纹层理; 5 植物化石; 6 透镜状层理; 7 底模; 8 波状层理; 9 变形构造; 10 同生断裂; 11. 泥火焰构造; 12 砂岩脉; 13. 水平层理

Fig 1 Generalized column of the sedimentary facies and filling sequences through the Qings36 well in eastern Gansu

1= tabular bedding 2= cross bedding 3= parallel bedding 4= ripple lamination 5= plant remains 6= lenticular bedding 7= sole cast 8= wavy bedding 9= deformational structures 10= contemporaneous fault 11= mud flame structure 12= sandstone vein 13= horizontal bedding

育过程:早期拗陷期,进入湖盆形成阶段;中期逐渐转入快速沉降阶段,强烈拗陷,形成高可容纳空间与较强的沉积物供,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,这样一个古构造、古地理大背景决定了陇东地区延长组形成巨厚的陆源碎屑沉积建造,成为鄂尔多斯盆地重要的含油层系。

2 物质聚集模式

中生代印支运动使华北大盆地解体,形成鄂尔多斯内陆拗陷盆地,其继承了晚古生代以来的稳定克拉通的沉积背景,盆地周缘为古陆环境,盆地内腹地陡坡度小较平坦,盆地内缺乏大型断陷构造,控制沉积充填的主要因素是古气候及盆地周边的构造活动对物源区的影响。晚三叠世延长期时,盆地内主要分布三种沉积体系,即冲积相沉积体系(包括冲积扇及辫状河流沉积),它主要分布于古陆边缘,山麓及冲积平原地区,然后向盆内分布有河湖三角洲沉积体系及湖泊沉积体系(图2图3),其中以河湖三角洲沉积体系为主。随着湖盆形成发展演化,发育的河湖三角洲类型就有所不同,即沉积模式不同。该区有两种沉积模式,一是从长10长7退积型三角洲模式,二是从长6长1进积型三角洲模式。退积型三角洲从下向上由冲积平原→三角洲平原→三角洲前缘→前三角洲→浅湖→半深湖组成,构成一个大正粒序。进积型三角洲沉积模式主要发育三角洲建设期和湖盆萎缩期,从下向上由浅湖→前三角洲→三角洲前缘→三角洲平原组成,构成一个大反粒序(图1)。

陇东地区三叠纪延长期时气候温暖潮湿三角洲类型及沉积亚相、沉积微相的发育独具特点,即三角洲前缘亚相发育,三角洲平原相带相对较窄,三角洲前缘亚相域内以水下分流河道沉积微相占优势,河口坝沉积微相不甚发育,主要是西南部在西缘逆冲带的影响下处于陡坡带,在三角洲形成过程中三角洲前缘水下分流河道强烈向湖盆推进,先期形成的河口坝往往受后期水下分流河道冲刷侵蚀而得不到完整保存,表现在剖面上水下分流河道与河口坝多呈冲刷截切叠置关系。此外,在三角洲推进过程中,水下分流河道甚至可以切入到湖湾或前三角洲之中,不仅如此,在三角洲发育过程中水下分流河道向前推进的同时,也发生强烈的横向迁移,从而造成水

下分流河道汇聚分流,后期水下分流河道冲刷截切前期水下分流河道或水下天然堤,或者切入分流河道间洼地内(图2图3)。

3 层序充填动力作用模式

短期基准面旋回中的结构变化对于由基准面变化所引起的水深、水动力条件、沉积作用强度和方式的变化最为敏感。因此,本文从短期基准面旋回的变化来探讨层序充填动力响应特征。

盆地形成演化过程中,伴随着基准面的升降变化,不同相区、不同时期可容纳空间和沉积物供应之间的比值发生相应的变化,从而表现为不同的地层充填样式^[18 20](图4图5图6)。由于受到基准面旋回、可容纳空间、沉积物供给速率等变化,短期基准面旋回可形成不同结构,不同叠加样式及平面展

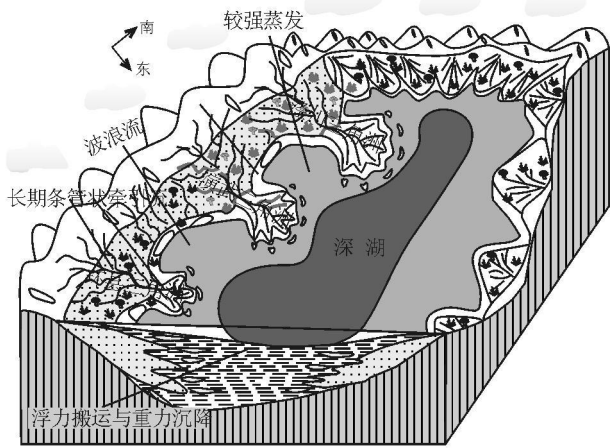


图2 陇东地区三叠系延长组沉积立体模式
Fig 2 Sedimentary model for the Triassic Yanchang Formation in eastern Gansu

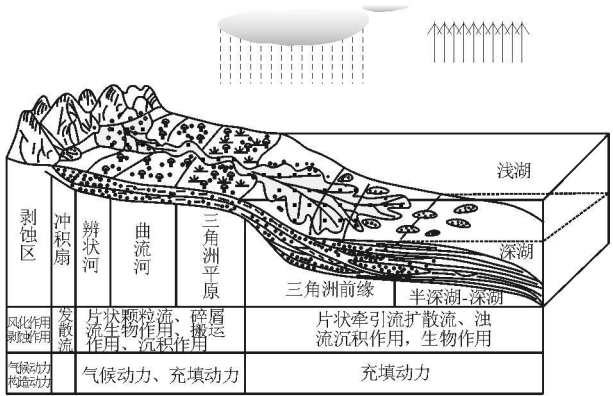


图3 陇东地区三叠系延长组单个三角洲沉积模式
Fig 3 Sedimentary model for a single delta in the Triassic Yanchang Formation in eastern Gansu

布的特征,主要有: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 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。

在三角洲平原沉积区主要为上升半旋回大于下降半旋回的不对称型,向陆一侧部分为仅保留上升半旋回的不对称旋回。上升半旋回由厚度较大的河道砂岩组成,而下降半旋回经后期的冲刷侵蚀改造则不甚发育,由厚度较薄的天然堤及决口扇等组成。以底部的冲刷面或岩性岩 转换面为界,显示向上“变深”复“变浅”的结构,主要为高可容纳空间下沉积的产物(图 4)。而向陆一侧则为低可容纳空间条件下快速堆积的产物。

在三角洲前缘沉积区,发育较为完整的沉积记录,顶、底层序界面以整一界面为主,或少部分顶界

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所组成的向上变粗的沉积序列,显示向上“变深”后又“变浅”的结构(图 5)。

在三角洲前缘一个中期旋回充填过程中(图 5),上升半旋回开始一般为水下分流河道沉积,局部具有底冲刷现象,其短期旋回结构主要为上升半旋回大于下降半旋回型,随着基准面继续上升,湖泊面积扩大,可容纳空间增加,短期基准面旋回保留变得完整,短期旋回结构以近对称型为主,在最大湖泛面附近有前三三角洲泥或者浅湖泥沉积;在基准面下降半旋回里,随着 A/Δ 比值的减小而使得三角洲

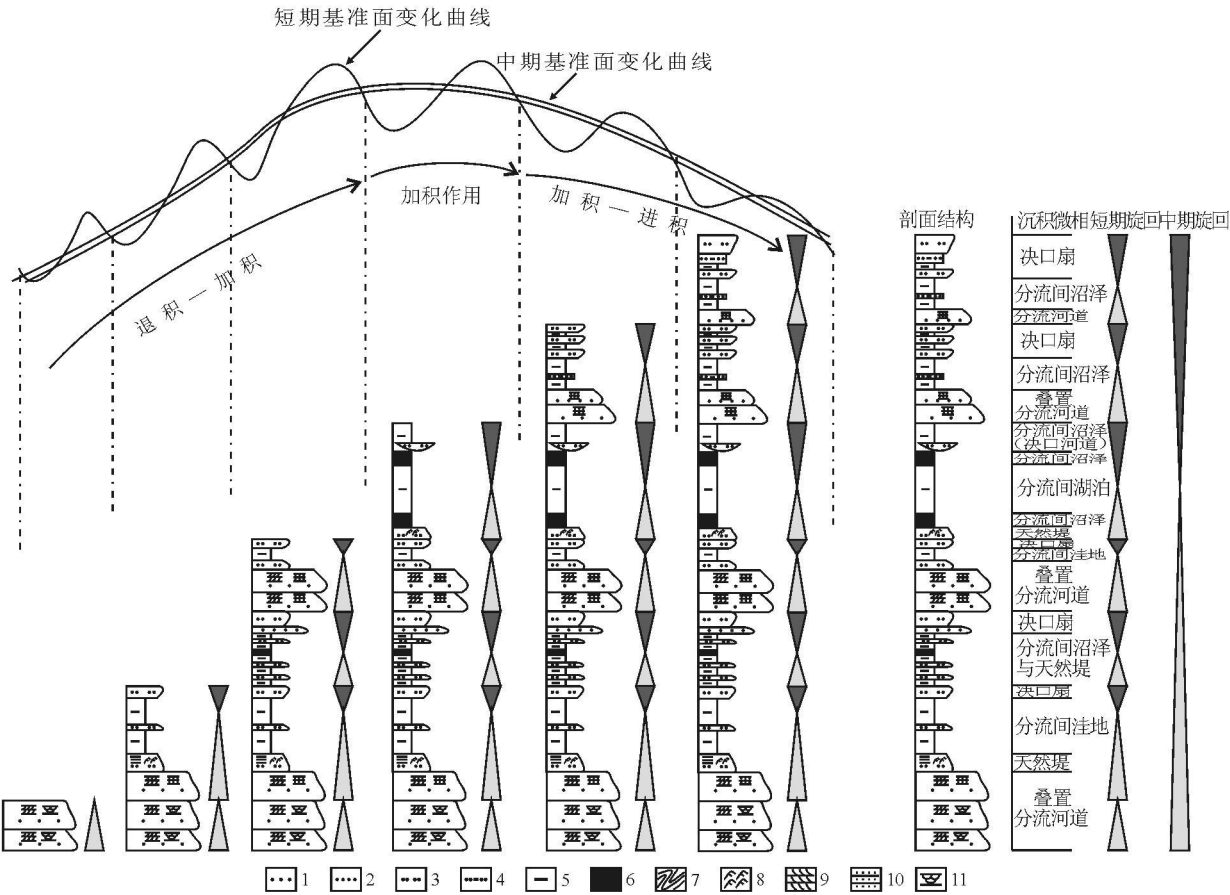


图 4 陇东地区三叠系延长组三角洲平原(未经后期改造)层序充填过程示意图

1. 中砂岩; 2. 细砂岩; 3. 粉砂岩; 4. 泥质粉砂岩; 5. 泥岩; 6. 煤; 7. 包卷层理; 8. 沙纹层理; 9. 板状层理; 10. 平行层理; 11. 槽状交错层理

Fig 4 Sketches to show the sequence filling processes of the delta plain in the Triassic Yanchang Formation in eastern Gansu

1= medium grained sandstone; 2= fine grained sandstone; 3= siltstone; 4= muddy siltstone; 5= mudstone; 6= coal; 7= convolute bedding; 8= ripple lamination; 9= tabular bedding; 10= parallel bedding; 11= trough cross-bedding

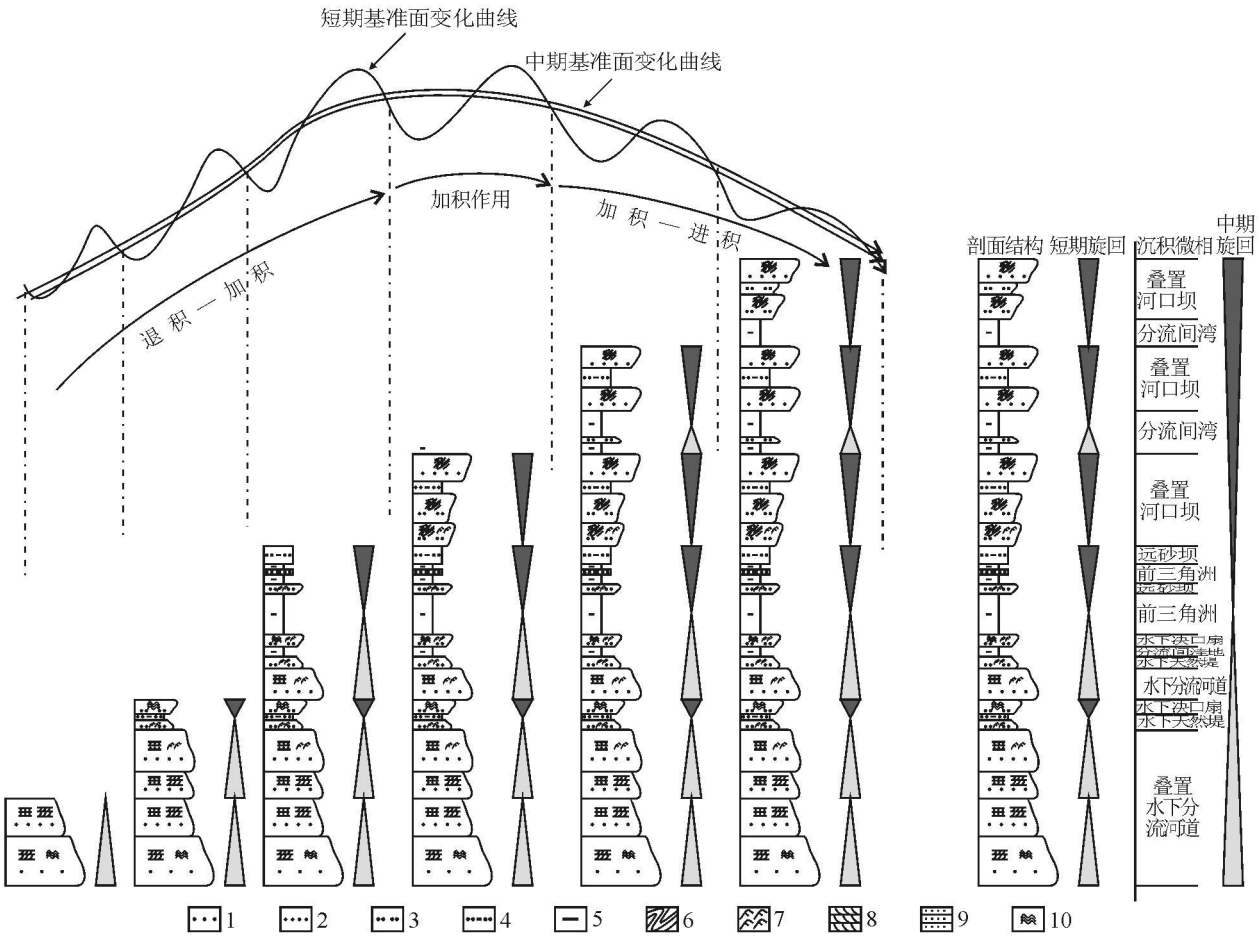


图 5 陇东地区三叠系延长组三角洲前缘层序充填过程示意图

1. 中砂岩; 2 细砂岩; 3 粉砂岩; 4. 泥质粉砂岩; 5 泥岩; 6 包卷层理; 7. 沙纹层理; 8. 板状层理; 9 平行层理; 10. 波状层理

Fig 5 Sketches to show the sequence filling processes of the delta front in the Triassic Yanchang Formation in eastern Gansu
1= medium-grained sandstone 2= fine-grained sandstone 3= siltstone 4= muddy siltstone 5= mudstone 6= convolute bedding 7= ripple lamination 8= tabular bedding 9= Parallel bedding 10= wavy bedding

前缘发生进积作用, 往上砂、泥比增加, 远砂坝、河口坝变得越来越发育, 短期基准面旋回叠加构型又由对称型转向下降半旋回大于上升半旋回型。

在前三角洲、湖底扇沉积区主要发育下降半旋回沉积记录为主, 上升半旋回主要表现为无沉积间断。上升半旋回或下降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。此类基准面旋回层序的岩性组合和剖面结构自下而上主要表现为泥岩、泥质粉砂岩和薄层粉砂岩组成向上变浅略变粗的下降半旋回反韵律结构(图 6)。主要由于基准面上升期因远离物源区, 无或很少沉积物补给而处于无沉积状态, 下降期沉积物补给量趋于增多或略变粗, 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。

从平面上讲, 在冲积扇沉积、三角洲平原沉积区, 即以河流沉积为主的区域内, 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, 以发育仅保留上升半旋回为特点, 而且沉积厚度较大。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。这是由于沉积物供给充分, 由基准面上升所造就的可容纳空间快速被沉积物充填完整, 暴露于空气中, 故在基准面转入下降半旋回后, 即发生了多次进积造成上一次被冲刷剥蚀的结果; 而在三角洲前缘、前三角洲沉积区, 由于沉积基准面低于湖平面, 基准面之上存在剩余可容纳空间, 因此, 当基准面转入下降期后, 沉积物可继续充填剩余可容纳空间, 而发育基准面上升半旋回和下降半旋回共存的对称性型旋回; 在湖盆的沉积中心区, 由于沉积物供给不是很充分, 只有在基准面下降期间, 沉积物供应通量增加, 形成细粒或生物化学沉积, 发育向上变浅的基准面上升半旋回(图 7)。

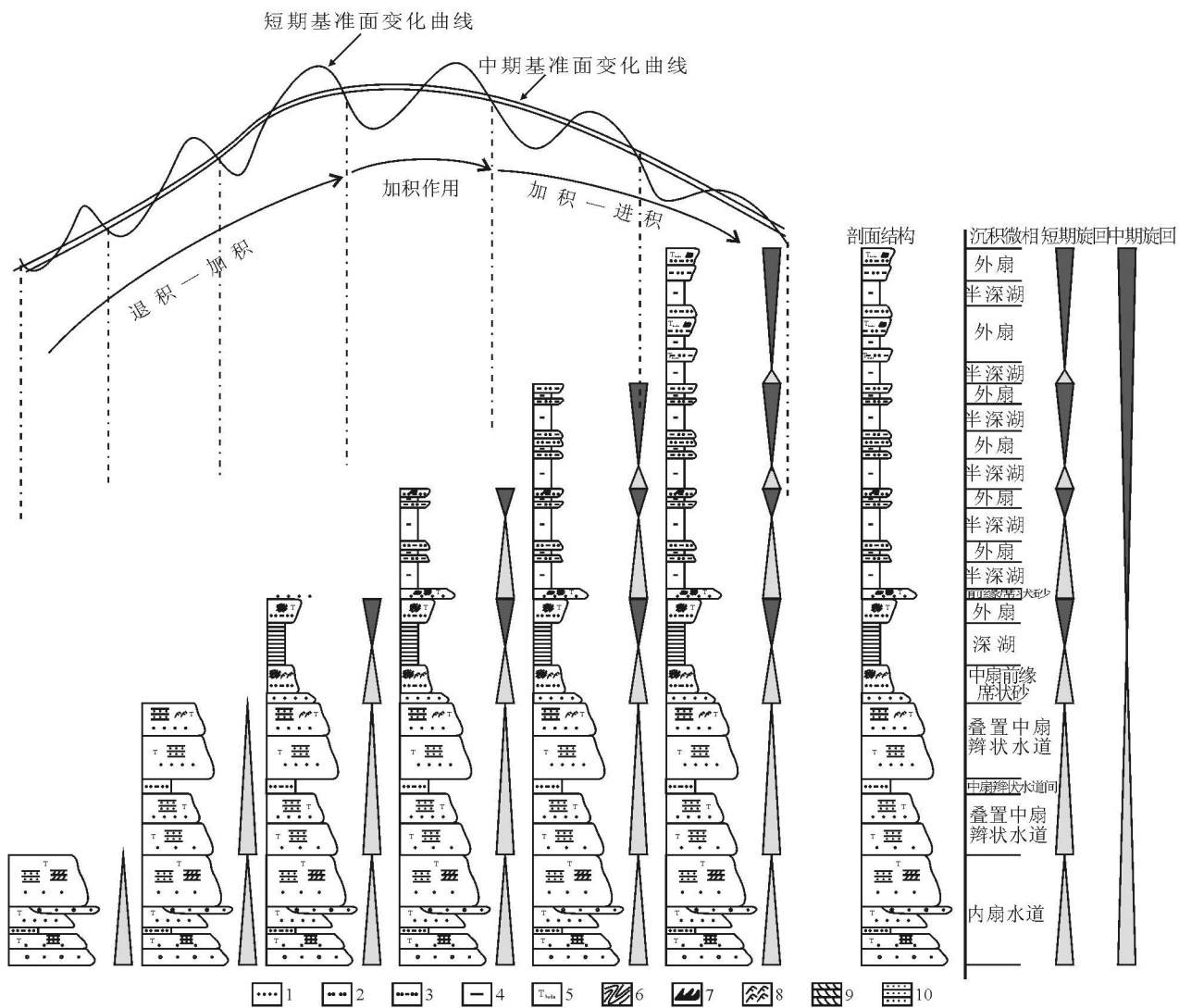


图 6 陇东地区三叠系延长组前三角洲-湖底扇层序充填过程示意图

1. 细砂岩; 2 粉砂岩; 3 泥质粉砂岩; 4. 泥岩; 5. 鲍玛序列; 6 包卷层理; 7. 泥火焰构造; 8 沙纹层理; 9 板状层理; 10. 平行层理

Fig 6 Sketches to show the sequence filling processes of the prodelta sublacustrine fan in the Triassic Yanchang Formation in eastern Gansu

1= fine grained sandstone; 2= siltstone; 3= muddy siltstone; 4= mudstone; 5= Bouma sequence; 6= convolute bedding; 7= mud flame structure; 8= ripple lamination; 9= tabular bedding; 10= parallel bedding

针对鄂尔多斯盆地西南部陡坡带三角洲沉积相发育特点,通过基准面旋回层序分析,可以看出基准面旋回叠加样式同沉积作用密切相关。主要表现出以下几种情况(表 1,图 7):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,基准面旋回叠加样式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,基准面叠加样式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保留相对完全,基准面叠加样式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 结 论

(1)陆相拗陷湖盆陡坡带具有坡度陡、古地形起伏较大、构造活动强烈、近物源、多物源、沉积厚、相变快等特点。鄂尔多斯盆地陇东地区三叠纪延长

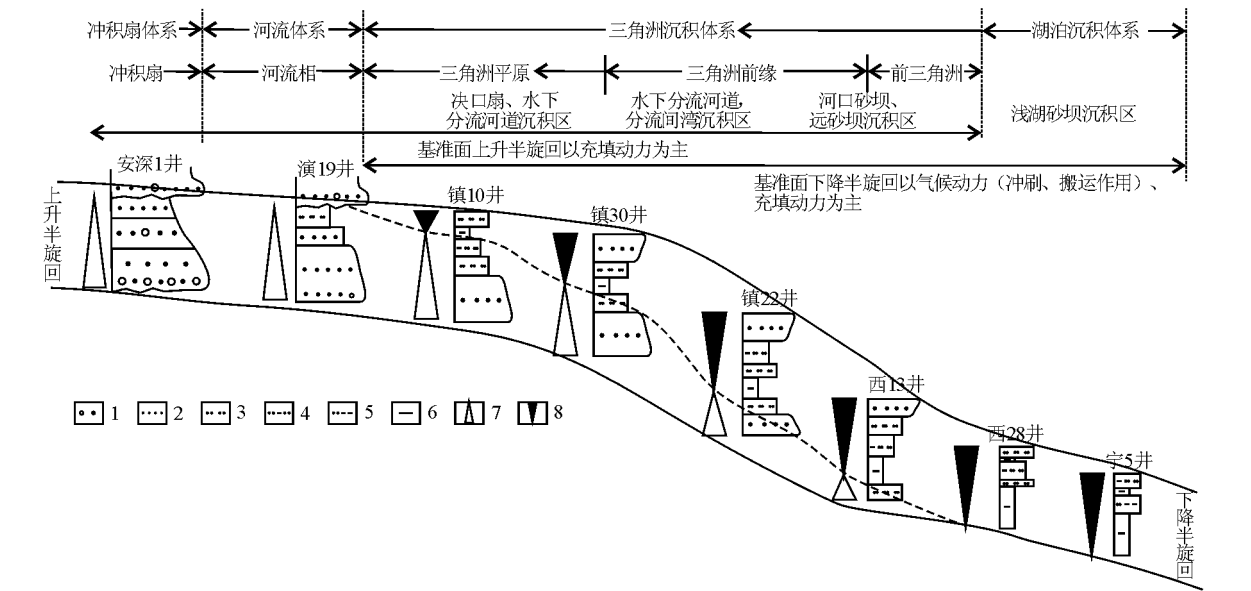


图 7 陇东地区冲积扇沉积体系-湖泊沉积体系层序充填动力学模式

1 含砾中砂岩; 2 细砂岩; 3 粉砂岩; 4 泥质粉砂岩; 5 粉砂质泥岩; 6 泥岩; 7 上升旋回; 8 下降旋回

Fig. 7 Dynamic model for the sequence filling processes of the alluvial fan-lacustrine depositional systems in eastern Gansu
1= gravel-bearing medium-grained sandstone; 2= fine-grained sandstone; 3= siltstone; 4= muddy siltstone; 5= silty mudstone; 6= mudstone; 7= rising cycle; 8= falling cycle

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 Responses of the stacking patterns in the short-term base-level cycles to the deposition in the delta environment

沉积作用	基准面旋回叠加式样类型	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)	增大	减小	周缘抬升、物源增加或湖面下降
加积作用	(1) 完全对称型; (2) 不完全对称型	增大—减小—增大	变化不大	构造、物源与湖面变化相对平稳
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	减小	增大	构造沉降、物源减少或湖面上升

期时在西缘逆冲带的影响下处于陡坡带, 该区具有两种物质聚集模式: 一是从长 10 长 7 的退积型三角洲模式, 二是从长 6 长 1 的进积型三角洲模式; (2) 由于受到基准面旋回、可容纳空间、沉积物供给速率等变化, 短期基准面旋回在三角洲平原沉积区主要为上升半旋回大于下降半旋回的不对称型为主, 向陆一侧部分为仅保留上升旋回的不对称旋回; 在三角洲前缘沉积区, 发育较为完整的沉积记录, 顶、底层序界面以整一界面为主, 在前三角洲—湖底扇沉积区主要发育下降半旋回沉积记录, 上升半旋回则表现为无沉积间断; (3) 通过基准面旋回层序分析, 可以看出基准面旋回叠加样式同沉积作用 (进积, 加积, 退积) 密切相关。

参考文献:

[1] 王英民, 刘豪, 王媛. 准噶尔盆地侏罗系非构造圈闭的勘探前景 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 29(1): 44-47
[2] 赵殿栋, 刘传虎. 准噶尔盆地油气勘探潜力及方向 [J]. 新疆石油地质, 2005, 26(1): 1-5
[3] 况军, 齐雪峰. 准噶尔前陆盆地构造特征与油气勘探方向 [J]. 新疆石油地质, 2006, 27(1): 5-9
[4] 邹才能, 薛叔浩, 赵文智, 等. 松辽盆地南部白垩系泉头组—嫩江组沉积层序特征与地层岩性油气藏形成条件 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 14-17
[5] 吴亚东, 赵文智, 邹才能, 等. 松辽盆地南部岩性—地层油气藏成藏规律 [J]. 新疆石油地质, 2006, 27(1): 19-22
[6] 王建功, 卫平生, 郑茂俊, 等. 挠曲坡折带特征与油气勘探——以松辽盆地南部为例 [J]. 石油学报, 2005, 26(2): 26-29, 37

- [7] 段毅, 吴保祥, 郑朝阳, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田油气成藏动力学特征[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 29—33.
- [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长 6—长 8 储层评价及有利区带预测[J]. 油气地质与采收率, 2004, 10(4): 11—13.
- [9] 刘化清, 廖建波, 房乃珍, 等. 鄂尔多斯盆地环县地区长 6 沉积体系展布特征[J]. 沉积学报, 2005, 23(4): 584—588.
- [10] 李凤杰, 王多石, 郑希民, 等. 陕甘宁盆地陇东地区长 3 油组拗陷湖盆岩性油藏成藏模式[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(3): 1—4.
- [11] 付金华, 郭正权, 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 34—44.
- [12] 康玉柱. 塔里木前陆盆地构造特征及油气分布[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 25—27.
- [13] 王振华. 塔里木盆地库车坳陷油气藏形成及油气聚集规律[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(3): 189—191.
- [14] 贾承造, 魏国齐, 肖安成, 等. 塔里木盆地中生代构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004. 69—78, 170—223.
- [15] 林畅松, 王清华, 肖建新, 等. 库车坳陷白垩纪沉积层序构成及充填响应模式[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(增刊 1): 74—82.
- [16] 薛叔浩, 刘霖林, 薛良清, 等. 湖盆沉积地质与油气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 12—75.
- [17] 吴崇筠, 薛叔浩, 杜永林, 等. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 115—408.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.

Sediment accumulation on the steep slope zone of the continental downwarped lacustrine basin and dynamics of sequence filling. An example from the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin, eastern Gansu

NIX in-feng, CHEN Hong-de, WEI Dong-xia, ZHAO Jun-xing

(1. Hangzhou Institute of Geology PetroChina Hangzhou 310023 Zhejiang China; 2. Institute of Sedimentary Geology Chengdu University of Technology Chengdu 610059 Sichuan China)

Abstract The steep slope zone of a continental downwarped lacustrine basin tends to have the features of steep slope, intense tectonic movement, nearer provenance, multiple origins and sharp facies changes. The exploration in recent years has disclosed that all kinds of sandstone bodies associated with the steep slope zone of a downwarped lacustrine basin may be interpreted as most favourable places for oil and gas accumulation due to good conditions of source rocks, reservoir rocks and oil and gas migration. The Ordos Basin was once a typical large-scale continental downwarped lacustrine basin during the Triassic, and the eastern part of Gansu was in the steep slope zone under the influence of the western thrust zone during the Yanchangian of the Triassic. Two models for sediment accumulation are constructed for this steep slope zone: one for the Chang4—Chang7 retrogradational delta and another for the Chang6—Chang8 progradational delta. The accommodation space/ sediment supply ratios have changed in different facies zones and periods in response to the base level fluctuations during the formation and evolution of the basin, giving rise to distinct stratial filling patterns.

Key words downwarped lacustrine basin; steep slope zone; sediment accumulation; dynamics of sequence filling; eastern Gansu