

文章编号: 1009-3850(2007)02-0060-06

川西坳陷南部须家河组—蓬莱镇组 短期基准面旋回层序分析

柯光明¹, 郑荣才¹, 罗清林², 雷光明², 谢春红¹

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 四川石油管理局 地质勘探开发院
重庆录井站, 重庆 401120)

摘要: 本文运用短期基准面旋回界面的识别标志, 将川西坳陷南部须家河组—蓬莱镇组短期基准面旋回层序划分为向上“变深”非对称型(A 型)和向上变深复变浅的对称型(C 型)两种基本结构类型; 再根据可容纳空间大小和上下两个半旋回的厚度, 进一步划分为 5 个亚类型: 低可容纳空间向上“变深”非对称型(A₁ 型), 高可容纳空间向上“变深”非对称型(A₂ 型), 以上升半旋回为主的不完全对称型(C₁ 型), 近完全—完全对称型(C₂ 型), 以下降半旋回为主的不完全对称型(C₃ 型)。

关键词: 三叠—侏罗系; 须家河组—蓬莱镇组; 短期基准面旋回; 川西坳陷南部
中图分类号: P512.2 **文献标识码:** A

郑荣才等根据近几年应用该理论体系^[1~5]对多个不同类型陆相盆地进行层序分析的体会, 结合 Cross 提出的基准面旋回的概念范畴、级次划分和等时对比原则, 提出将基准面旋回划分为巨旋回、超长期、长期、中期、短期、超短期 6 个级次旋回的划分方案, 并详细研究了每个级次旋回的基本特征、界面类型、时限范围、识别标志和发育的控制因素, 以及与 Vail 经典层序划分方案的可对比性^[6], 探讨了基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学过程^[7]。指出短期基准面旋回是由偏心率短周期导致的气候旱、湿变化过程中形成的沉积充填序列组成, 时限 0.04~0.16Ma, 为一套具低幅水深变化的、彼此间成因联系极为密切, 或由相似岩性、岩相地层叠加组成的湖进—湖退沉积序列, 大致相当于 Vail 的 5 级层序, 即准层序。其识别标志在地表和岩芯剖面上为间歇暴露面、小型冲刷面和非沉积作用间断面、相似岩性和岩相组合的分界面, 在测井曲线上表现为反

映韵律性沉积旋回的进积→退积组合的测井相组合转换面, 在地震剖面上一般不能识别出短期基准面旋回。本文根据上述短期基准面旋回的定义、识别标志, 分析川西坳陷南部须家河组—蓬莱镇组短期基准面旋回的结构类型、叠加样式和沉积动力学过程。

1 区域地质背景

川西坳陷南部的地域范围西以绵竹—都江堰—大邑—芦山—天全一线为界, 东达盐亭、射洪、乐至, 北至绵阳, 南止威远、乐山、峨眉地区, 面积约 7 万平方公里。以印支运动晚幕构造不整合面为界, 该区以晚古生代至中三叠世的海相碳酸盐岩地层为沉积基底, 充填有晚三叠世至始新世的沉积地层, 厚达万米以上, 尤其是上三叠统须家河组和侏罗系特别发育, 沉积充填序列和地层层序保存最完整, 总厚度达 5000~8000m 以上, 自下而上划分为马鞍塘组

(T_3m)、小塘子组(T_{3xt})、须家河组(T_{3x})、白田坝组(J_1b)及盆内同时异相的自流井组(J_{1z})、千佛崖组(J_2q)及盆内同时异相的新田沟组(J_2x)、下沙溪庙组(J_{2xs})、上沙溪庙组(J_{2ss})、遂宁组(J_3sn)、蓬莱镇组(J_3p)及盆地边缘同时异相的莲花口组(J_3l)。须家河组与侏罗系在盆地边缘的分布范围大体一致,都以发育冲积相的粗碎屑岩为主,而进入盆地内部以侏罗系出露范围更大,但保存条件以须家河组更好,两者均以发育湖泊沼泽或三角洲相的砂、泥岩互层组合为主。

2 短期基准面旋回层序分析

短期基准面旋回层序所记录的地层过程——沉积学响应特征为成因上相联系的单一岩性或多个岩性组成的岩石地层单元。在近物源的盆缘地区,层序的底、顶界可以是小型侵蚀冲刷面,也可以是间歇暴露面,但更多的是小规模韵律性侵蚀冲刷面;而在远物源的盆内地区,主要为与盆缘小型侵蚀冲刷面(或间歇暴露面)可对比的相关整合面,部分为欠补偿或无沉积作用的间断面,由不同成因特征界面所限定的短期基准面旋回层序的结构和叠加样式明显不同。短期旋回层序的结构类型较多,变化较为复杂,理论模型可划分为3种基本类型和7种亚类型(图1),不同结构类型的短期旋回层序在时空分布特征上具有特定的规律性,明显遵循可容纳空间机制和 A/S 比值所决定的形成条件。

在实际工作中,分析不同沉积体系和同一沉积体系中不同相带的短期旋回层序的结构类型、沉积演化序列、叠加样式和区域分布规律,是进行高分辨率层序地层分析、等时地层对比和编制等时岩相古地理图的基础,也是确定砂体成因类型、几何形态、产出规模及储集物性和非均质性特征的主要依据^[6,7]。因此详细了解短期旋回层序的结构类型、叠加样式、沉积序列和地层旋回过程中的沉积动力学条件是极其重要的^[8]。通过分析,在川西坳陷南部须家河组—蓬莱镇组内短期基准面旋回层序可分为向上“变深”非对称型(A型)和向上变深复变浅对称型(C型)两种基本结构类型(图2)。

2.1 向上“变深”非对称型旋回结构(简称A型)

该类型(图3)主要出现在冲积扇、河流和扇三角洲、辫状河三角洲沉积体系中,曲流河三角洲和湖底扇沉积体系中也偶有发育,而在湖泊沉积体系中则不发育。层序的主体由河道砂、砾岩体组成,微相类型众多,包括冲积扇扇根或扇中亚相中的辫状河

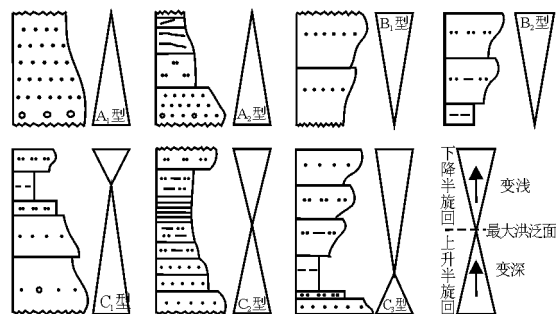


图1 碎屑岩中常见的短期基准面旋回理论结构模型

A型,向上“变深”非对称型;A₁.低可容纳空间亚类型;A₂.高可容纳空间亚类型;B型,向上变浅非对称型;B₁.低可容纳空间亚类型;B₂.高可容纳空间亚类型;C型,对称型C₁.上升半旋回为主的不完全对称型;C₂.近完全—完全对称型;C₃.下降半旋回为主的不完全对称型

Fig. 1 Theoretical models for the short-term base-level cyclic sequences in clastic rocks

A type represents “deepening”-upward asymmetrical types; A₁. Low accommodation space subtype; A₂. High accommodation space subtype; B type represents shallowing-upward asymmetrical types; B₁. Low accommodation space subtype; B₂. High accommodation space subtype; C type represents symmetrical types; C₁. Rising semicycle-dominated incompletely symmetrical type; C₂. Nearly completely to completely symmetrical type; C₃. Falling semicycle-dominated incompletely symmetrical type

道,曲流河和辫状河平原中的河道、扇三角洲或曲流河三角洲平原中的分流河道,以及湖底扇内扇和中扇中的分支水道。不同微相类型的水道化砂体成因及岩性特征虽然差异很大,但旋回结构非常一致,具有如下几个共同特点:①仅保留基准面上升半旋回沉积记录,下降半旋回表现为冲刷作用,即受层序顶部冲刷面下切侵蚀作用造成的地层缺失相当于层序下降半旋回的时间跨度;②层序的底界面大都为具下切侵蚀作用的冲刷面,层序由超覆底冲刷面的单一岩性或多个岩性,如砾岩、砂质砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩和泥岩组成向上变细“加深”的沉积序列;③形成于 A/S 值 <1 的条件下,按岩性组合和沉积序列特征,可细分为 $A/S \ll 1$ 的相对低可容纳空间和 $A/S < 1$ 的相对高可容纳空间两种亚类型。

1. 低可容纳空间向上“变深”非对称型(A₁型)

该亚类型形成于 $A/S \ll 1$ 的基准面上升过程中,即可容纳空间(A)远小于沉积物供给量(S)的低可容纳空间沉积背景中,常由岩性组合较单一的砾岩、砂质砾岩、砂岩组成,发育向上略趋变细“加深”的沉积序列,以保存水道化砂体的主体部分为主。

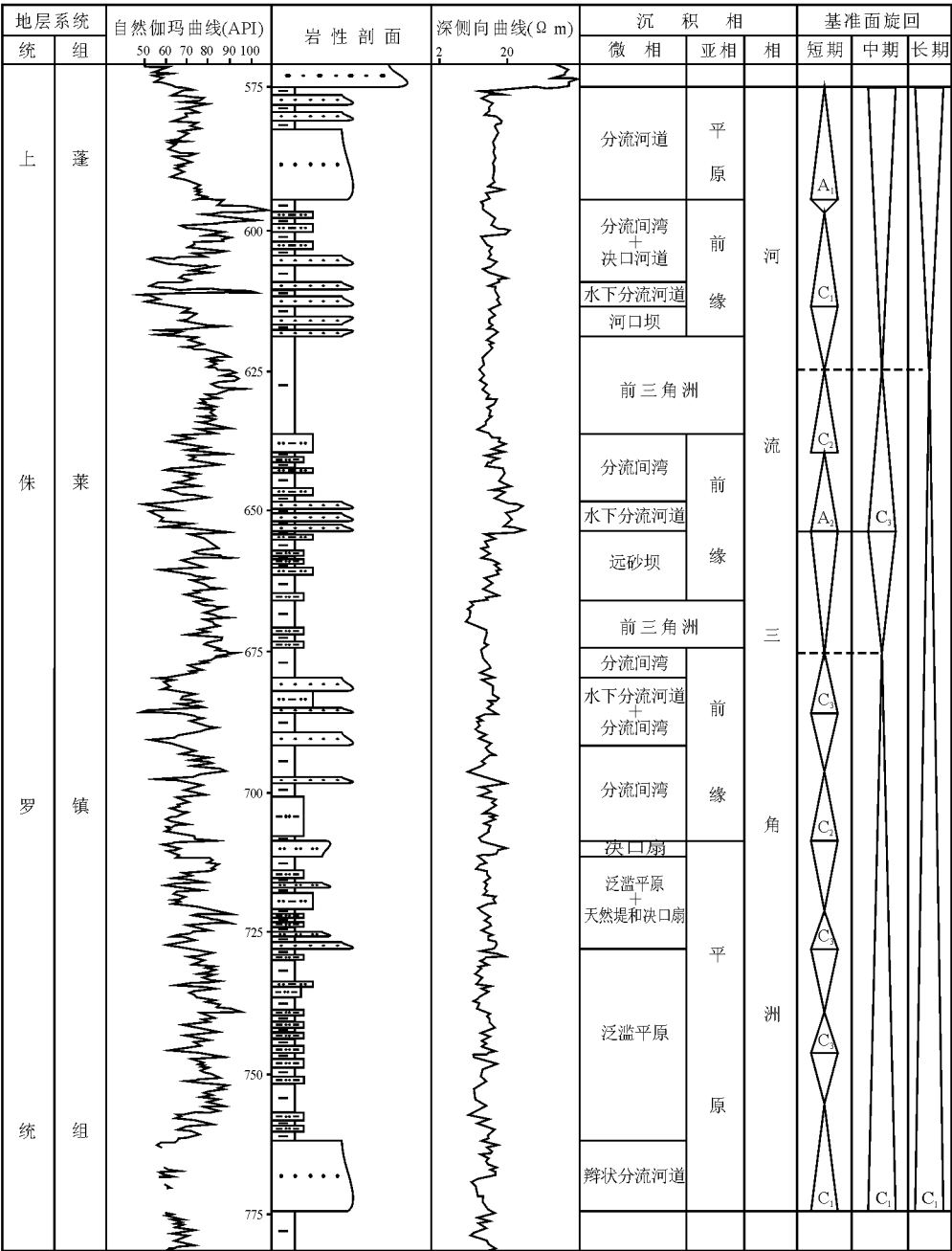


图2 川西坳陷南部蓬莱镇组沉积相和层序地层综合柱状图(白马2井)

Fig.2 Generalized column of sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Penglaizhen Formation in the southern part of western Sichuan depression (Baima-2 well)

有利储集砂体在该亚类型旋回层序中广泛发育, 为最有利于储集砂体发育的类型。

2. 高可容纳空间向上“变深”非对称型(A₂型)

该亚类型岩性组合相对较复杂, 由砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩和泥岩有序叠加组成, 发育向上连续变细“加深”的沉积序列, 与 A₁ 型比较, 不仅水道化砂体保存完整, 而且位于砂体上部细粒的溢堤沉

积往往也得到不同程度的保存。在该亚类型旋回层序中, 有利储集砂体主要发育于底部或下部, 而中部和上部则以发育隔层为主。

2.2 对称型旋回结构(简称 C 型)

该类型(图4)为各沉积体系中最常见的短期旋回结构类型, 共同的特点为: ①层序由基准面上升和下降两个半旋回叠加组成, 具有相对较完整的韵律

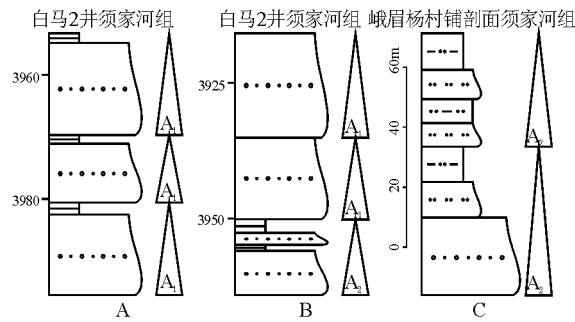


图3 几种向上“变深”非对称型短期旋回层序结构
A₁. 低可容纳空间亚类型; A₂. 高可容纳空间亚类型; A. 辫状分流河道夹河道间沼泽; B. 辫状分流河道夹河道间沼泽; C. 分流主河道→天然堤→泛滥平原

Fig. 3 Profiles through the “deepening”-upward asymmetrical short-term cyclic ssequences
A₁. Low accommodation space subtype; A₂. High accommodation space subtype. A. Braided distributary channel intercalated with interchannel marshes; B. Braided distributary channel intercalated with interchannel marshes; C. Distributary channel→natural levee→flood plain

性湖进—湖退沉积旋回记录。②层序内发育有两类界面, 其一为层序底、顶界面, 其地质属性或为小型冲刷面, 或为相关整合界面; 其二为短期洪泛面, 垂向剖面上位于进积(或加积)→退积→加积(或进积)作用形成的由粗变细复变粗(或由浅变深复变浅)的沉积序列中部, 相当于短期基准面由上升折向下降的相转换面位置。③该类旋回形成于 $\Delta S \geq 1$ 的条件下, 以洪泛面为对称轴, 按层序中的上升半旋回

与下降半旋回厚度变化状况, 可进一步细分为不完全、近完全—完全对称的亚类型, 它们不仅在不同的沉积体系中有不同的沉积序列和演化特征, 而且在同一沉积体系或同一相带的不同位置其沉积序列也有一定的差别。在实际工作中, 分析同一沉积体系中各相带的亚类型结构变化及其所具有的特定沉积序列和发育位置, 对储层特征分析和预测是非常重要的。

1. 以上升半旋回为主的不完全对称型(C₁型)
该亚类型以上升半旋回沉积厚度远大于下降半旋回为特征, 广泛发育于冲积扇、冲积平原、扇三角洲、曲流河三角洲和湖底扇沉积区。在冲积扇和冲积平原沉积区, 上升半旋回各由单个或多个扇中块状泥石流砾岩、辫状河道砾岩、砂质砾岩和辫状河道心滩、曲流河边滩砂质砾岩、含砾砂岩组成向上变细加深的正韵律半旋回, 下降半旋回则各由片泛沉积的泥、粉砂岩薄互层或充填废弃河道的泥岩夹间歇河道含砾砂岩或决口扇砂岩组成向上略趋变粗变浅的反韵律半旋回, 层序的底、顶界均为冲刷面。在湖泊和湖底扇沉积区, 该亚类型分别出现在浅湖砂坝和湖底扇中扇分支水道发育区。上升半旋回各由较厚的浅湖砂坝砂岩夹薄层浅湖泥岩和分支水道砂质砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩夹水道间(或外扇)粉砂质泥岩、薄层泥岩组成向上变细加深的正韵律半旋回; 下降半旋回各由薄的浅湖泥岩夹薄层漫流粉砂岩和水道间堤泛泥质粉砂岩、泥岩或由半深湖向外扇过渡的薄互层泥、粉砂岩组成粒度略变粗或泥

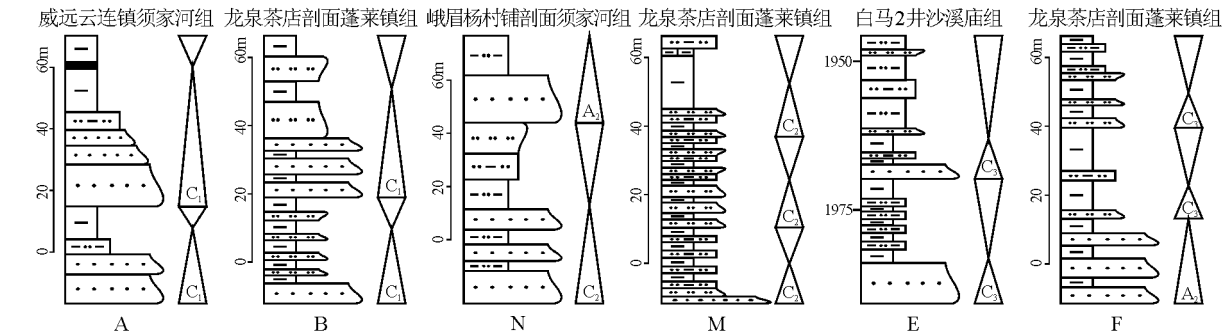


图4 几种对称型短期旋回层序剖面结构
C₁. 以上升半旋回为主的不完全对称型; C₂. 近完全—完全对称型; C₃. 以下降半旋回为主的不完全对称型。A. 边滩→天然堤→沼泽化河漫湖; B. 浅湖→滨湖; C. 水下分流河道→分流间湾; D. 浅湖→半深湖→外扇; E. 水下分流河道→分流间湾→水下决口扇; F. 沿岸砂坝→浅湖泥

Fig. 4 Profiles through the symmetrical short-term cyclic sequences
C₁. Rising semicycle-dominated incompletely symmetrical type; C₂. Nearly completely—completely symmetrical type; C₃. Falling semicycle-dominated incompletely symmetrical type. A. Point bar→natural levee→marshland flood plain; B. Shallow lake→littoral lake; C. Subaqueous distributary channel→interdistributary bay; D. Shallow lake→bathyal lake→outer fan; E. Subaqueous distributary channel→interdistributary bay→subaqueous crevasse splay; F. Longshore bar→shallow lake mud

质含量减少的反韵律半旋回, 层序的底界面以小型冲刷面为主, 顶界面大多数为整合界面。该亚类型旋回层序中有利储集砂体也较为发育, 主要分布于层序的下部或底部和上部或顶部, 而中部则以发育隔层和烃源岩为主。

2. 近完全—完全对称型 (C_2 型)

该亚类型以上升和下降两个半旋回沉积厚度近于相等或完全相等为特征。冲积扇沉积区中不发育, 但广泛发育于冲积平原、扇三角洲或曲流河三角洲、湖泊和湖底扇沉积区。在扇三角洲或曲流河三角洲沉积区, 主要出现在近河口的前缘部位, 由分流河道含砾砂岩、砂岩、天然堤泥质粉砂岩和分流间洼地或前扇三角洲泥岩、决口扇或河口坝粉—细砂岩组成由粗变细复变粗的对称型旋回, 层序底界面一般以小型冲刷面为主, 顶界面为弱冲积面或相关整合界面。在湖泊和湖底扇沉积区, 分别出现在浅湖砂坝与浅湖泥或中扇与外扇过渡带, 各为浅湖砂坝砂岩→浅湖泥岩、粉砂岩薄互层组合, 中扇分支水道(或无水道前缘席状砂)粉—细砂岩或含砾细砂岩与水道间(或外扇)泥岩、粉砂质泥岩及无水道前缘席状砂(或水道侧翼)泥质粉砂岩、粉砂岩组合所构成的由粗变细复变粗的对称型旋回, 层序底、顶界面或为小型冲刷面, 或为相关整合界面。该亚类型旋回层序中有利储集砂体也较发育, 主要分布在层序的下部或底部, 而上部或顶部一般不发育储集砂体, 中部以发育隔层和烃源层为主。

3. 以下降半旋回为主的不完全对称型 (C_3 型)

与 C_1 型相反, 该亚类型以下降半旋回厚度大于或远大于上升半旋回为特征。在冲积扇和冲积平原沉积区不发育此亚类型, 但广泛出现在扇三角洲、曲流河三角洲和湖泊沉积区, 湖底扇沉积区偶见。在扇三角洲和曲流河三角洲中, 该亚类型主要发育在前缘与前三角洲过渡带, 其上升半旋回主要由薄的分流河道(或前缘席状砂)砂岩、天然堤粉砂岩、分流间湾或前扇三角洲泥岩组成向上迅速加深变细的正韵律半旋回, 下降半旋回由远砂坝薄互层的泥、粉砂岩和较厚的河口坝粉、细砂岩夹泥岩组成向上变浅和粒度加粗的反韵律半旋回, 层序的底、顶界以整合界面为主, 顶部偶为小型冲刷面。在湖泊沉积区, 该亚类型主要出现在浅湖—滨湖过渡带, 上升半旋回由薄的浅湖砂坝砂岩和浅湖泥岩互层组成向上变细加深的正韵律半旋回, 下降半旋回由大套滨湖砂、泥坪的泥、粉砂岩、粉—细砂岩组成向上略趋变粗变浅的反韵律半旋回, 层序底、顶界面或为小型冲刷面,

或为相关整合界面。该亚类型旋回层序中, 以发育隔层和烃源层为主, 而有利储集砂体不发育, 仅部分层序底顶发育储集性能差的薄粉砂岩层。

3 不同结构类型的短期旋回层序分布模式

在川西坳陷南部须家河组与侏罗系中, 各沉积体系内不同结构类型的短期旋回层序于各相带中分布具有 2 个相似的规律性和基本特点: ① 向上“变深”非对称型短期旋回层序均分布于靠物源区的一侧, 如冲积扇的扇根、河流的上游地区、扇三角洲或曲流河三角洲的平原地区、以及湖底扇的内扇和近内扇的中扇水道发育区, 大多由多个水道化砂体连续叠加组成 A 型结构的旋回; ② 具对称型旋回结构的短期旋回层序虽然于各沉积体系中普遍发育, 但在曲流河三角洲、湖泊和湖底扇中更为广泛, 特点为上升半旋回主要由充填水道的砂砾岩体与堤泛沉积的泥、粉砂岩或浅一半深湖泥岩叠加组成, 其厚度自上游朝下游方向逐渐减薄, 尤以水道化砂体的厚度减薄最明显, 下降半旋回主要由泛滥平原或浅一半深湖泥岩、粉砂岩和溢出水道的粉—细砂岩叠加组成, 厚度自上游向下游方向加厚, 尤以三角洲河口和湖底扇分支水道前缘的扇状砂体厚度加大最为明显。显而易见, 各沉积体系中短期旋回的地层过程和沉积学响应特征, 均明显受基准面上升期有效可容纳空间向陆方向溯源迁移, 而下降期间则向盆地方向顺源迁移的双向变化过程控制, 因而各沉积体系中的短期旋回结构和空间分布规律具有一定的相似性, 基本特点为: 具 A 型结构的短期旋回层序主要分布于各沉积体系近物源的上游部位; 具 C 型结构的短期旋回层序主要分布在远物源的中、下游部位或外侧。在各沉积体系中均出现从上游至下游, 由 A_1 型、 A_2 型向 C_1 型、 C_2 型和 C_3 型过渡的分布特征。据此, 认为研究区各沉积体系中不同结构类型的短期旋回层序具有如图 5 所示的分布模式。

参考文献:

- [1] CROSS A T, LESSENGER M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high-resolution stratigraphic correlation [R]. Accepted for publication in Norwegian Petroleum Society Conference Volume, July, 1996, 1—24.
- [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.
- [3] 邓宏文, 王洪亮, 李熙第. 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.

- [4] 邓宏文, 王洪亮, 李小孟. 高分辨率层序地层对比在河流相中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 90—95.
- [5] 王洪亮, 邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96—102.
- [6] 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.

- [7] 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.

- [8] 彭军, 郑荣才, 陈景山, 等. 百色盆地那读组短期基准面旋回层序分析[J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 203—209.

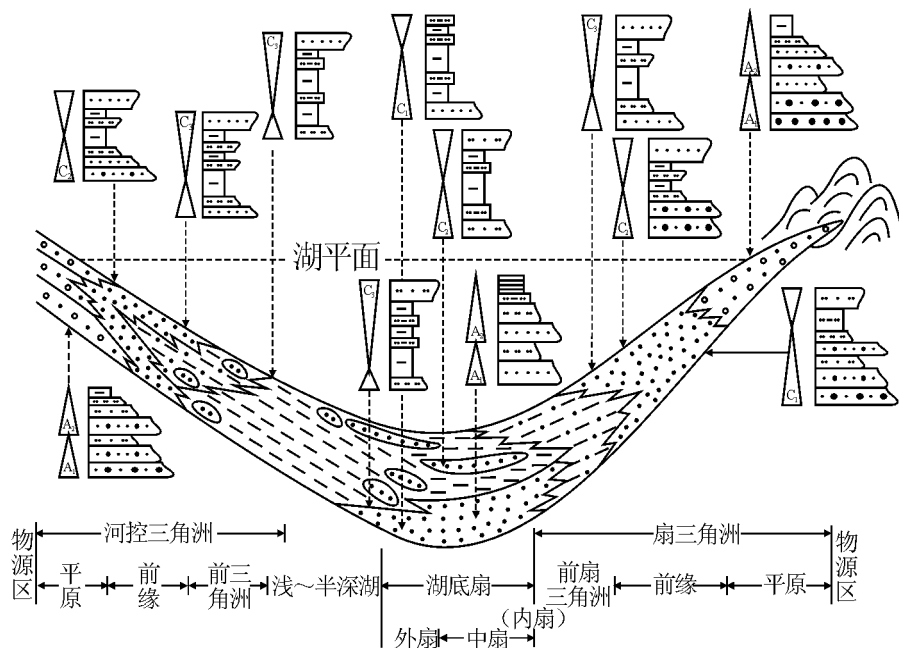


图5 不同沉积体系中短期基准面旋回层序变化和分布模式

Fig. 5 Distribution patterns and variations in the short-term base-level cyclic sequences in different depositional systems

The short-term base-level cyclic sequences in the Xujiache and Penglaizhen Formations in the southern part of western Sichuan depression

KE Guang-ming¹, ZHENG Rong-cai¹, LUO Qing-lin², LEI GUANG-ming², XIE Chun-hong¹

(1. Research Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Chongqing Well Logging Station, Sichuan Administration Bureau of Petroleum, Chongqing 401120, China)

Abstract: The short-term base-level cyclic sequences in the Xujiache Formation-Penglaizhen Formation in the southern part of western Sichuan depression are separated, according to the criteria for the recognition of the short-term base-level cyclic boundaries, into two types: “deepening”-upward asymmetrical (A type) and deepening- and then shallowing-upward symmetrical (C type) types, and five subtypes according to the sizes of accommodation spaces and thickness of upper and lower semicycles: “deepening”-upward asymmetrical (A₁ type) of low accommodation spaces; “deepening”-upward asymmetrical (A₂ type) of high accommodation spaces; rising semicycle-dominated incompletely symmetrical type (C₁ type); nearly completely to completely symmetrical type (C₂ type), and falling semicycle-dominated incompletely symmetrical type (C₃ type).

Key words: Triassic—Jurassic; Xujiache and Penglaizhen Formations; short-term base-level cycle; southern part of western Sichuan depression