

文章编号: 0253-9985(2007)01-0059-10

河流相沉积中的准层序 ——以四川中部须家河组为例

高志勇^{1,2}, 韩国猛³, 张丽华³

(1. 中国石油天然气股份有限公司 勘探开发研究院 实验研究中心, 北京 100083)

(2. 中国石油天然气股份有限公司 油气储层重点实验室, 北京 100083)

(3. 中国石油天然气股份有限公司 大港油田分公司 勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要: 在详细分析了曲流河、辫状河沉积动力学特点的基础上, 在四川中部须家河组河流相沉积中初步建立了 3 种河流相沉积的准层序模式。其中, 在曲流河沉积中发育 2 种准层序模式, 其一为粒级向上变细准层序, 表现为与河道水体逐渐向上变浅相对应的水下河道(滞留沉积)-边滩-水面之上的天然堤、泛滥平原的相序组合; 其二为粒级向上变粗的泛滥平原、决口扇交替沉积相序组合的准层序。辫状河准层序大多表现为粒级向上变细、与河道水体向上变浅相对应的水面之下河道(滞留沉积)-心滩-水面之上的漫滩沉积相序组合的准层序, 而粒级向上变粗的准层序不发育。河流相准层序界面是河道砂体底部的冲刷侵蚀面, 也是与湖(海)盆准层序边界湖泛面或者海泛面在陆上所相对应的界面, 但河流相准层序界面更与海相沉积中海侵滞留沉积物而非暗色泥岩的准层序界面特征相近似。在粒级向上变粗的泛滥平原-决口扇或决口河道沉积中, 准层序界面为暴露过泥岩与上部洪水期的暗色泥岩间的界面。在建立了河流相准层序模式的基础上, 针对四川中部上三叠统须家河组河流相沉积地层, 进行了准层序在垂向相序叠加样式与时空演化关系的分析, 并探讨了河流相准层序中非均质性特征。

关键词: 物性非均质性; 河流相; 准层序; 须家河组; 四川中部

中图分类号: TE111.3 **文献标识码:** A

Parasequence of fluvial deposit a case study of the Xujiahe Formation in Central Sichuan

Gao Zhiyong^{1,2}, Han Guomeng³, Zhang Lihua³

(1. Central Laboratory, Exploration & Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083, China)

(2. Key Laboratory for Oil and Gas Reservoirs, PetroChina, Beijing 100083, China)

(3. Exploration & Development Research Institute, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract Based on a detailed analysis of the dynamics characteristics of meandering stream and braided river deposits, 3 parasequence models of fluvial deposit are preliminarily recognized in the Xujiahe Formation in central Sichuan basin. Two parasequences, i.e. the graded fining-upward parasequence and the graded coarsening-upward parasequence, occur in meandering river deposits. The graded fining-upward parasequence represents a water shallow ing-upward facies sequence combination of subaqueous fluvial channel(lag deposits), marginal bank, natural levee and flood plain deposits. Whereas the graded coarsening-upward parasequences represents a facies sequence combination of alternative flood plain-crevasse-splay deposits. The braided river parasequence mostly appear as a graded fining-upward and water shallow ing-upward parasequence of facies sequence combination of subaqueous fluvial channel(lag deposits), channel bar and overbank deposits, while the graded coarsening-upward braided river parasequences are not developed. The fluvial parasequence boundary is the erosional surface at the bottom of channel sandbodies and also is the onshore equivalent interface of the lake water or sea water flooding surface on the parasequence boundaries in lake/marine basins. However, it is more similar with the parasequence boundary of transgressive lag deposits rather than dark mudstone. In the graded coarsening-upward

收稿日期: 2006-04-28

第一作者简介: 高志勇, (1974—), 男, 硕士研究生, 层序地层与沉积学

flood plain, crevasse splay or channel deposits, the parasequence boundary is the interface between exposed mudstone and upper dark flood mudstone. Based on the proposed fluvial parasequence models, the vertical superimposition pattern of fluvial parasequence and its time-space evolution are analyzed, and the heterogeneity of fluvial parasequence are studied for the Upper Triassic Xujiahe Formation in central Sichuan basin.

Key words heterogeneity of petrophysical property; fluvial facies; parasequence; Xujiahe Formation; Central Sichuan

国外学者对河流相地层的研究大多集中在近海环境中,通过海相夹层来揭示陆相地层的层序地层特征,并没有摆脱经典层序地层学理论中关于海平面升降控制层序发育的思路^[1,2]。在国内,张周良等系统的对河流相层序地层进行分析,并提出了河流相层序地层学模式^[3];国景星等^[4]也对冲积-河流相地层进行了深入的探讨;池应柳等通过对辽河东部滩海地区东营组研究认为,湖相沉积中发育向上变粗的准层序,河流相沉积中发育向上变细准层序,泛滥盆地相区发育向上变粗的准层序^[5]。总之,针对河流相沉积层序地层学研究,前人或是结合经典层序地层学模式进行大单元的分析^[1~4],或是运用基准面旋回变化特征对局部地区进行高分辨率层序地层学分析^[6~8],但是对河流相层序地层的研究尚未获得类似海相、陆相湖盆那样的研究成果。无论是国外的近海环境下,还是国内的陆相环境中,对河流相沉积中准层序进行精细的描述与垂向、横向上分布规

律研究则很少有报导。当然这也是难点所在^[9]。近几年,笔者初步对河流相沉积中准层序的识别及分布规律特征进行了积极的探讨,以期能够为河流相层序地层学研究提供有益的补充。

1 准层序的定义与模式

准层序是 Van Wagoner 等学者在针对海相碎屑岩(入海三角洲、滨岸-陆棚等沉积)研究基础上提出来的,是以海泛面和与之可对比的面为界的成因上有联系的、相对整齐的一套岩层(beds)或岩层组(bedscts)。海相碎屑岩准层序特点是岩层厚度向上增加,生物扰动向上减少,沉积时水体向上变浅^[10]。Van Wagoner 等描绘了 3 种基本的准层序地层模型:海滩准层序、与之相似而向上变粗的三角洲准层序和向上变细的潮坪准层序(图 1)^[11]。准层序厚度一般 1~50 m,持续时间为 $10^4 \sim 10^5$ a^[10]。

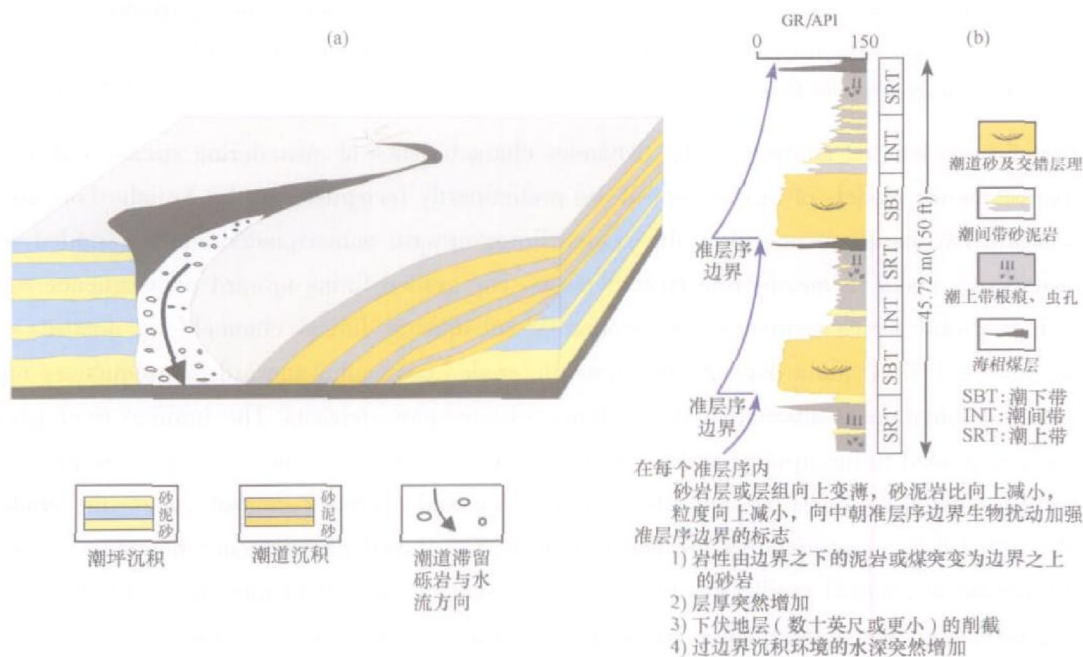


图 1 潮道沉积模式与潮坪准层序特征^[10]

Fig. 1 Depositional model of tidal channel and parasequence characteristics of tidal flat^[10]

a. 潮道砂体砂岩、泥岩-粉砂岩侧向加积模式; b. 潮坪准层序地层特征

准层序界面是海泛面, 代表水体突然变深, 主要表现为陆棚相暗色泥岩沉积, 可能具有富碳酸盐岩、磷块岩或绿泥石聚集, 跨过这个面有水深突然增加的证据, 这种加深通常与小的水下侵蚀作用和无沉积作用相伴生, 并且可以以一个小的沉积间断为指示。部分准层序界面伴有海侵滞留沉积, 这些滞留沉积只由下伏沉积物的再沉积作用组成, 主要表现为海侵冲沟的滞留砾岩、砂岩等沉积, 砂砾岩上部为暗色陆棚泥岩、陆棚砂岩及浅海砂坝等粗粒沉积, 准层序整体上显示了逐渐向上变深(由冲沟滞留砾岩、砂岩-暗色陆棚泥岩组成), 然后水体再向上变浅(由暗色陆棚泥岩-陆棚砂岩、浅海砂坝砂岩等组成)的较完整演化旋回^[12]。也就是说, 此类型准层序主要发育在海侵体系域内, 准层序界面即海泛面表现为海侵滞留沉积物, 而非暗色泥岩。

2 河流相准层序模式的建立与特征

2.1 河流相准层序特征

准层序是在海相碎屑岩沉积中进行定义的, 那么应用到陆相沉积地层中就较为困难, 特别是在海平面升降变化控制作用较弱的非近海环境中就更加困难。将准层序应用到陆相沉积中, 国内的很多学者也进行了很多有益的尝试, 如王卫红等^[13]认为断陷湖盆准层序的形成与高频湖平面变化有关, 准层序的边界是湖泛面及与之相应的界面。董清水等^[14]认为在湖泊沉积中, 准层序的界面也是湖泛面及与之相应的界面, 并显示为较小的沉积间断, 并将沉积间断的判识标志归纳为 2 类 6 型。总之, 针对湖相沉积或与湖平面变化相关的沉积中判识准层序已取得多数学者的认同, 但是在远离海平面(或湖平面)影响的河流相沉积中, 准层序的识别仍是一个难点。

在多数海相碎屑岩沉积体系中, 准层序内沉积物是由河流等输送到海里的, 也就是说大多海相碎屑岩沉积体物源来自于陆地。海滩-陆棚、潮坪等沉积体的形成是波浪、潮汐等不同海水的营力造成的。由图 1 潮道沉积模式可知, 潮道砂泥岩沉积以侧向加积为特征, 主要形成于潮水上涨与后退过程中。潮坪准层序表现为粒级向上变细特征, 多由在地史中保存下来的潮下带潮道砂体

向上变浅过渡到潮间带砂泥互层、潮上带泥岩及煤质夹层沉积为主。这一伴随着与水体逐渐向上变浅相对应的潮下带侧积潮道砂体-潮间带-潮上带的纵向相序组合的沉积特点与曲流河沉积相类似。在地史中保存下来的曲流河纵向沉积相序组合中, 底部发育河水面之下的河道滞留沉积、侧向加积的边滩(点坝)砂体, 再向上发育河水面之上的天然堤-泛滥平原的泥岩、煤层沉积等特征, 纵向上依据相序叠加反映出河水体具有向上变浅的特征。而潮坪准层序界面是潮下带潮道砂岩底部的冲刷侵蚀面, 潮道砂岩冲刷侵蚀前期准层序顶部的潮上带泥岩, 越过侵蚀面由潮上带变化为潮下带潮道沉积, 确实表现为水体加深特征。

笔者通过分析曲流河沉积动力学特点, 可初步建立起曲流河沉积的准层序模式(图 2)。图 2 中剖面 1 即为曲流河河道沉积体, 该处一个准层序内纵向相序叠置关系表现为河水面之下的曲流河河道底部滞留砾岩-河道(边滩)砂体-河水面之上的天然堤粉细砂岩沉积, 暗色泥岩沉积相对较少, 该处的准层序整体上粒级具有向上变细的特征; 剖面 2 为正常水位时期, 曲流河河道以侧向加积为主, 垂向上多期自旋回河道砂体叠置, 砂体底部具滞留泥砾沉积; 洪水期, 河道砂体与边滩相互叠置, 洪水冲破堤岸, 岸后(或河道间)泛滥平原相暗色泥岩垂向加积; 洪水期后, 河水位下降至较低位置, 水体变浅, 堤岸后泛滥平原相暗色泥岩暴露, 植物根痕等发育; 再一次洪水期, 水体变深, 河道迁移, 冲刷侵蚀早期暴露过的泛滥平原暗色泥岩。在曲流河垂向相序中, 底部发育河水面以下的河道滞留沉积-侧向加积的边滩砂体, 向上变浅, 发育水面之上的天然堤-泛滥平原的泥岩、煤层等沉积, 再向上至准层序边界, 水体变深, 即下一期河道砂体冲刷侵蚀早期的泛滥平原泥岩; 剖面 3 所在位置多为堤岸后泛滥平原区, 在一个准层序内, 同样具有水体向上变浅的沉积演化特征。在正常水位时期, 岸后多为泛滥平原泥岩沉积; 洪泛期多发育决口扇及决口河道的粉细砂岩及洪泛的暗色泥岩沉积; 洪泛期后, 河水位下降至较低位置, 岸后泥岩暴露, 植物根痕等发育。准层序界面为暴露过泥岩与其上部暗色泥岩间界面, 上部的暗色泥岩表现为水体加深。该准层序内粒级大多表现为向上变粗的特征。由上述分析可知, 在曲流河沉积中发育两种准层序模式: 其一为粒级向

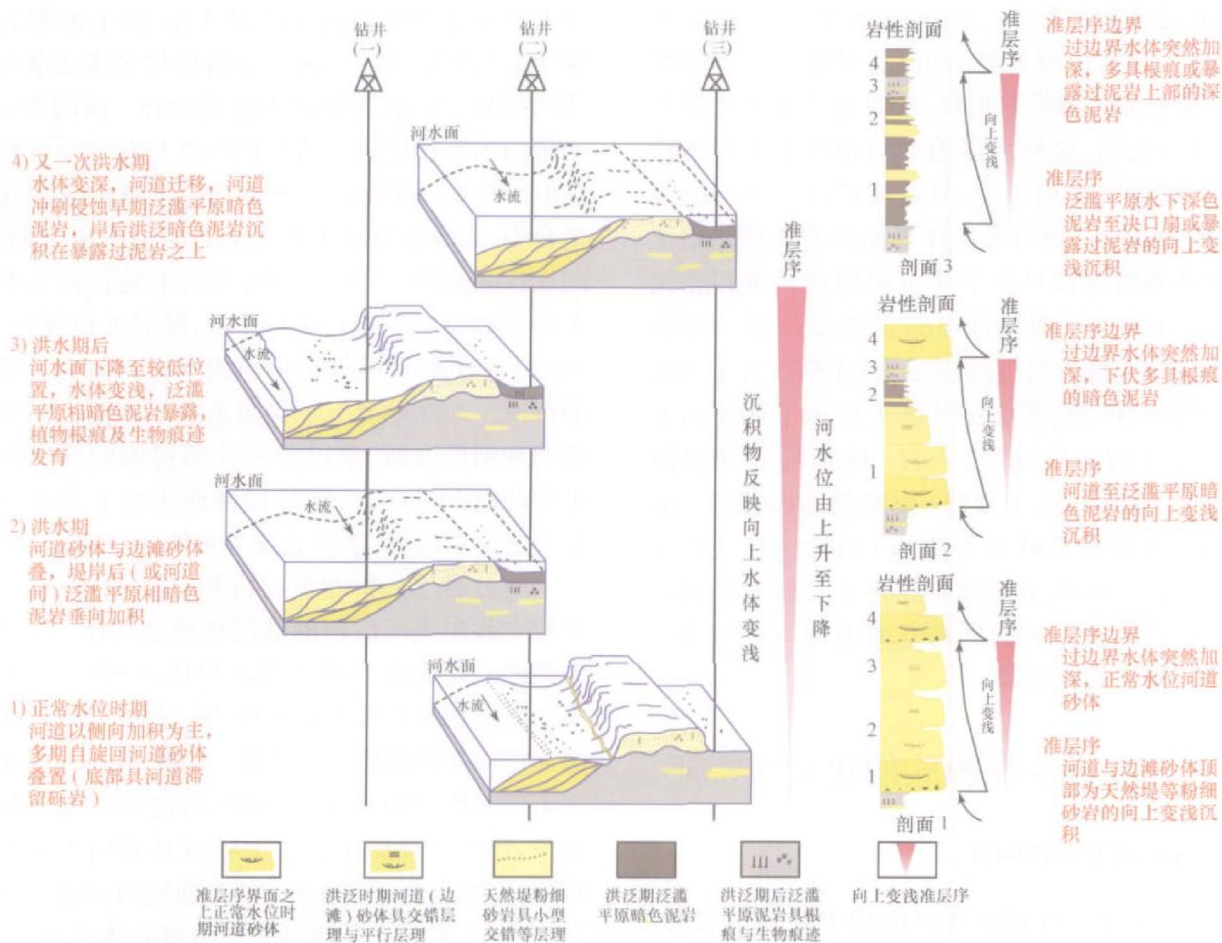


图 2 曲流河准层序模式

Fig. 2 Parasequence model of meandering river deposits

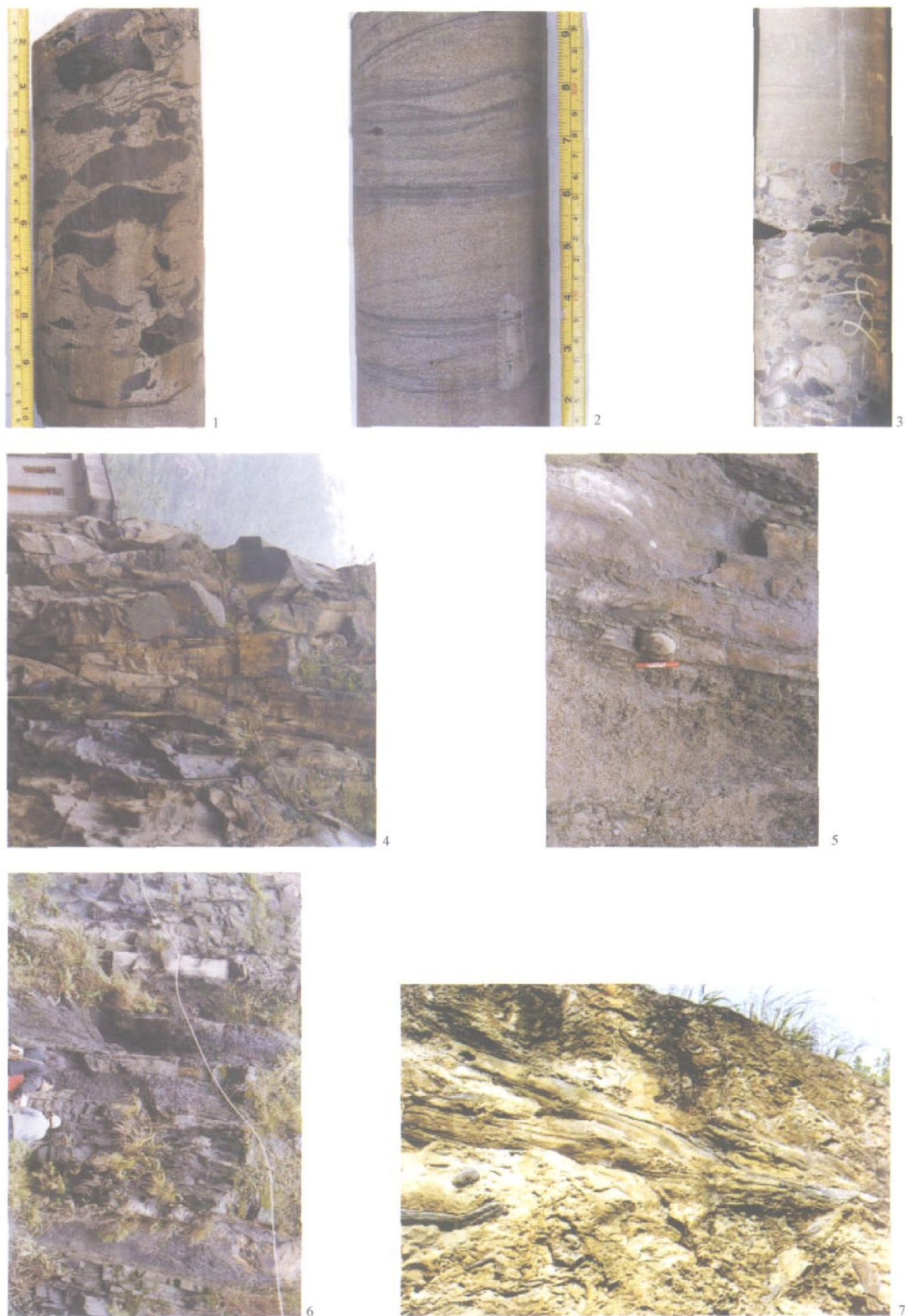
上变细准层序，表现为与河水体逐渐向上变浅相对应的水下河道（滞留沉积）-边滩-水面之上的天然堤、泛滥平原的相序组合；其二为粒级向上变粗的泛滥平原、决口扇交替沉积相序组合的准层序。

2.2 河流相准层序界面特征

由准层序界面的定义可知，跨过准层序界面有水深突然增加的证据，因此，笔者认为曲流河沉积中，准层序界面大多表现为河道砂体底部的冲刷侵蚀面（或泛滥平原泥岩顶部界面）。也就是说，河流相准层序界面即河道砂体底部的冲刷侵蚀面就是与湖盆准层序边界湖泛面或者海泛面所相对应的界面。Van Wagoner等^[10]注意到海泛面在滨海环境的向陆和向海方向均由相应的面代表，向陆地，海泛面延伸到沿海平原，可通过地表暴露、侵蚀和河流的沉积作用识别出来。在大陆

架上，这种相应的面缺乏明显的侵蚀现象，它由深海和半深海环境的沉积物代表。国内不少学者^[15-16]也从基准面旋回变化研究方向提及到了此方面的认识。

在每个粒级向上变细的曲流河准层序内，砂岩层或层组向上变薄，砂泥岩比向上减小，向上朝准层序边界方向生物扰动加强，准层序界面表现为河道滞留沉积或冲刷侵蚀面，其与海相沉积海侵体系域内，海侵滞留沉积物而非暗色泥岩的准层序界面特征相近似（如图 2 中剖面 1 与剖面 2 所示）；在粒级向上变粗的泛滥平原-决口扇或决口河道沉积的准层序内，砂岩层或层组向上增厚，砂泥岩比向上加大，向上朝准层序边界方向生物扰动减弱，准层序界面表现为暴露过泥岩上部洪水期的暗色泥岩沉积，其与海相海泛期暗色泥岩为准层序界面的特征相近（如图 2 中剖面 3 所示）。



图版 iv 四川中部上三叠统须家河组沉积剖面

Plate iv Sedimentary profiles of the Upper Triassic Xujiache Fm. in Central Sichuan area

1. 川中营 24 井须家河组二段辫状河河道中块状、片状炭屑及煤线, 井深 3 036 m; 2. 营 24 井须家河组三段井深 2 851 m, 曲流河边滩砂体中小型交错层理; 3. 营 24 井须家河组四段 2 786.8 m 处, 辫状河河道底部滞留泥砾沉积; 4. 四川华蓥市溪口剖面须二段辫状河河道相互切割、侧积特征; 5. 四川华蓥市溪口剖面须五段曲流河泛滥平原-决口河道沉积, 泛滥平原上部发育钙质风化石球; 6. 四川华蓥市溪口剖面须五段中, 暗色炭质泥页岩为泛滥平原沉积, 上部砂岩冲刷侵蚀下部暗色泥页岩, 砂岩底部冲刷面即为准层序界面; 7. 四川华蓥市溪口剖面须六段下部曲流河河道沉积中的硅化木

3 四川中部须家河组河流相准层序特征

3.1 曲流河准层序垂向相关关系

四川中部上三叠统须家河组发育了一套砂泥交互的河流相沉积, 须家河组自下而上划分为六段, 其中须一、三、五和六段发育曲流河沉积, 须二、须四段发育辫状河沉积^[17] (图版 iv)。在曲流河准层序内, 虽皆为向上变浅的沉积微相序列, 但每个准层序内相序组成却不尽相同。如图 3a 所示, 磨 68 井须三段中 4 个准层序均为向上变浅序列, 其中下部 3 个准层序表现为曲流河多期相互叠置的边滩砂体, 向上变浅至天然堤-薄层泛滥平原暗色、灰绿色泥岩沉积, 表现为粒度向上变细的正韵律特征。就厚度而言, 下部准层序内河道 (或边滩) 单层砂体厚 4~8 m, 而上部准层序内单层河

道砂体仅厚 3~5 m, 准层序内泥岩厚度向顶部准层序界面增大。顶部第 4 个准层序则表现为粒度向上变粗的反韵律特征, 由薄层泛滥平原暗色泥岩-决口扇的垂向加积的相序组成。因此, 曲流河沉积中可发育河道 (边滩)-泛滥平原泥岩的向上变细准层序, 也可以发育泛滥平原-决口扇 (决口河道) 的向上变粗的准层序。

3.2 辫状河准层序垂向相关关系

在分析了曲流河准层序内部垂向相序组合特征的基础上, 初步探讨了辫状河准层序的垂向相序特点。如图 3b 所示, 下部 5 个辫状河准层序, 垂向上主要表现为河水面之下的河道滞留砾岩-多期相互切割的河道砂体、心滩砂体-废弃河道-河水面之上的河道间漫滩泥岩沉积, 碎屑粒度同样为向上变细的正韵律特点。5 个辫状河准层序上部, 发育 2 个曲流河准层序。因此, 可以说一般

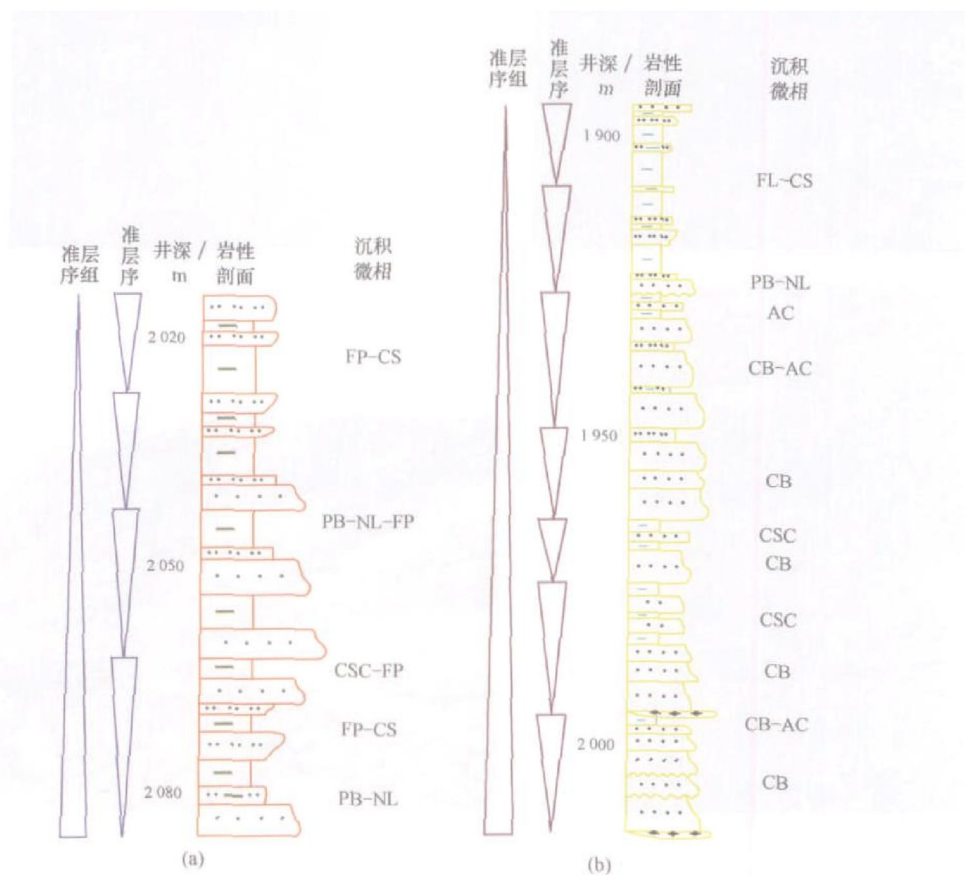


图 3 四川中部磨 68 井须家河组曲流河与辫状河准层序垂向分布

Fig. 3 Vertical distribution of meandering river and braided river parasequences of the Xujiahe Formation in well M o 68, Central Sichuan province

a. 须三段; b. 须四段

PB 边滩; CB 心滩; NL 天然堤; FL 洪漫湖; FP 泛滥平原; CS 决口扇; CSC 决口河道; AC 废弃河道

情况下, 辫状河准层序表现为河道(心滩)一漫滩沉积的粒级向上变细、沉积相序向上变浅的准层序, 而粒级向上变粗的准层序不发育。辫状河准层序界面大多表现为河道砂体底部的冲刷侵蚀面, 而表现为洪水期暗色泥岩沉积的准层序界面不发育。

3.3 河流相准层序时空演化特征

在分析了曲流河与辫状河准层序垂向相序特征的基础上, 笔者对河流相准层序纵向时空演化作了有益的探讨。无论是辫状河还是曲流河, 准层序内微相序列的垂向叠加样式、碎屑颗粒粒级的变化均与基准面的升降变化所导致的河型有关。如图 4a 所示, 点 A 磨 68 井距物源较近, 在基准面下降阶段主要发育辫状河准层序, 准层序内底部为较厚的河道滞留砾岩沉积, 向上多期心滩砂体叠置, 岩性为中粗砂岩, 顶部薄层漫滩泥岩沉积, 其后发育的准层序底部砾岩层冲刷侵蚀下部的漫滩泥岩。基准面下降期发育的辫状河准层序

内砂泥比值较高, 粒级较粗。向下游至 B 点, 由于地形坡度降低, 河道较上游变得较为宽缓, 此点女 101 井则主要发育曲流河准层序, 准层序内底部发育中细砂岩河道砂体及多期叠置的边滩砂体, 向上为粉细砂岩的天然堤砂体与暗色泥岩的泛滥平原沉积, 大多发育粒级向上变细的准层序, 粒级向上变粗的准层序不甚发育。曲流河准层序内砂岩粒级小于辫状河准层序内的粒级, 泥岩含量也高于辫状河准层序。

在基准面由下降转变为上升过程以后, 如图 4b 所示, 随着河流发育时间的增长, 河流上游发生溯源侵蚀, A 点的磨 68 井中虽同样发育辫状河准层序, 但由于此点地形坡度较先前低缓, 辫状河水体也较原来变得宽缓, 因此 A 点准层序内多期叠置的心滩砂体与漫滩泥岩组成了此时的相序特征, 河道及心滩单砂体较基准面下降时期厚度减薄, 砂岩粒级也相对变细, 泥质含量较先前含量增高。位于河流中下游的 B 点女 101 井也具有上述

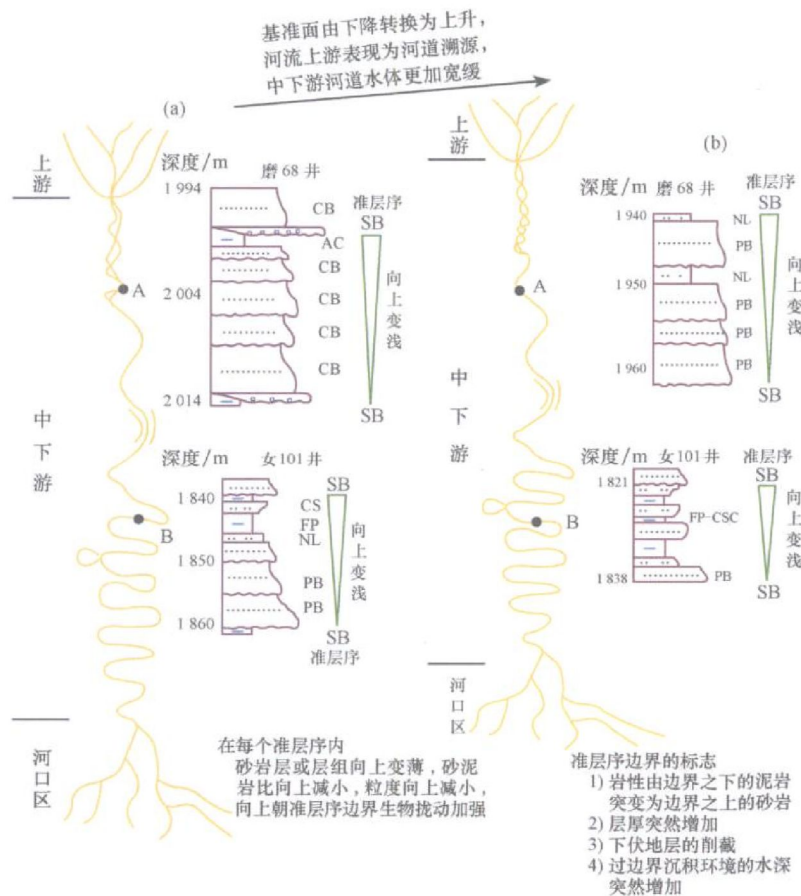


图 4 川中磨溪-龙女寺地区须家河组河流相准层序时空演化关系

Fig. 4 Temporal and spatial evolution of fluvial parasequence in the Xujiahe

Formation, Moxi-Longnusi area, Central Sichuan province

PB 边滩; CB 心滩; NL 天然堤; FP 泛滥平原; CS 决口扇; CSC 决口河道; AC 废弃河道; SB 准层序界面

的变化特点,即河道水体变得更加宽缓,曲流河沉积特征更加明显,洪泛及袭夺现象频繁发生。曲流河准层序内表现为河道及边滩单砂体厚度减薄,泛滥平原与决口扇、决口河道互层成为该时期准层序内的相序特点,并出现了粒级向上变细准层序与粒级向上变粗的准层序均较为发育的特征。

4 河流相准层序物性非均质性

4.1 须家河组曲流河准层序物性非均质性特征

储集砂体物性非均质性研究是储层研究中不可缺少的重要内容^[18],在河流相准层序中,根据单个砂体的厚度、粒度、分选性、泥质含量和相序特征进行垂向物性变化关系分析。在须家河组一、三、五和六段曲流河沉积中,第一种准层序表现为正韵律的粒级向上变细特征,单层砂体厚 3~5 m,河道(或边滩)砂体下部为具大型槽状交错层理的中细砂岩,中部为具小型交错层理的细砂岩;上部天然堤砂体为具有波状层理、平行层理的粉砂岩;顶部为洪泛沉积的发育水平层理的泥质粉砂岩及粉砂质泥岩等。准层序内砂体以侧向加积为主,分选性在垂向上表现为中下部较好顶部较差或中部较好底部顶部较差的特征,因此准层序垂向上孔隙度与渗透率也同样表现为中下部较好顶部较差或中部较好底部顶部较差的特征。若砂体间存在强烈下切形成的冲刷面或由泥质夹层存在的岩性突变面,或者发育致密成岩胶结带,相应的孔隙度会发生突变;另一种曲流河准层序表现为由泛滥平原暗色泥岩-决口扇(决口河道)的相序叠加类型,自下而上则出现粒度向上变粗的反韵律特征,泥质含量也向上减少,分选性向上变好,孔隙度与渗透率表现为向上增加的趋势。可见,曲流河准层序内沉积作用与方式影响砂体的非均质性。

4.2 须家河组辫状河准层序物性非均质性特征

在须二段与须四段辫状河沉积中,准层序只表现为粒级向上变细特征。如图 5 所示,磨 53 井须家河组二段由多个辫状河准层序构成,准层序

上由河道滞留沉积一相互切割的河道(心滩)砂体一漫滩沉积的垂向相序组成,是垂向加积和侧向加积的共同产物。辫状河准层序内,砂岩孔隙度与渗透率垂向上具有 3 种类型的变化特征:

中下部较好,底部与顶部相对较差。如磨 53 井 2 118~2 134 m 井段的准层序,自下而上岩性由砾状粗砂岩向上变细至粉细砂岩、泥岩。底部准层序界面处河道滞留沉积发育,颗粒分选性较差,孔隙度值为 2%,渗透率值为 $0.10 \times 10^{-3} \sim 2.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;准层序中部物性相对较好,孔隙度值为 6%~9%,渗透率值为 $1.00 \times 10^{-3} \sim 8.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;顶部泥质含量高分选性差,其孔隙度值降低为 3%~5%,渗透率值为 $0.05 \times 10^{-3} \sim 0.10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。④中下部较好,顶部较差。如磨 53 井 2 134~2 150 m 井段的准层序,其形成原因为准层序底部滞留沉积不甚发育,顶部漫滩沉积泥质粉砂岩中泥质含量增高,致使物性变差,其孔隙度值由 9%降低到 4%,渗透率值由 $8.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 降低至 $0.05 \times 10^{-3} \sim 0.10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。④准层序内孔隙度与渗透率变化不明显的均匀物性特征,如磨 53 井 2 187~2 206 m 井段,由于准层序内砂体粒度、分选和泥质含量均匀,或叠置的砂体岩性和结构特征基本一致,则出现均匀物性特征,其孔隙度值为 8%~9%,渗透率值由 $6.00 \times 10^{-3} \sim 12.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

4.3 影响河流相准层序物性非均质性因素

1) 基准面升降变化与古地形坡度的不同,导致河流在不同时期内发育不同的河型,辫状河准层序与曲流河准层序储层非均质性纵向上具有不同的变化模式:辫状河准层序与粒级向上变细的曲流河准层序内,储层多表现出底部与顶部物性较差,中部物性较好的变化规律,或者中下部物性较好,顶部较差的演化特征。粒级向上变粗的反韵律曲流河准层序内,多发育物性向上变好的纵向变化规律,辫状河准层序中此规律一般不发育。

2) 沉积速率、沉积组构是储层内非均质的控制因素之一,如在辫状河与曲流河粒度向上变细的准层序中,堆积速度慢的砂体相对堆积速度快的砂体有更好的储集物性,前者一般以发育较均

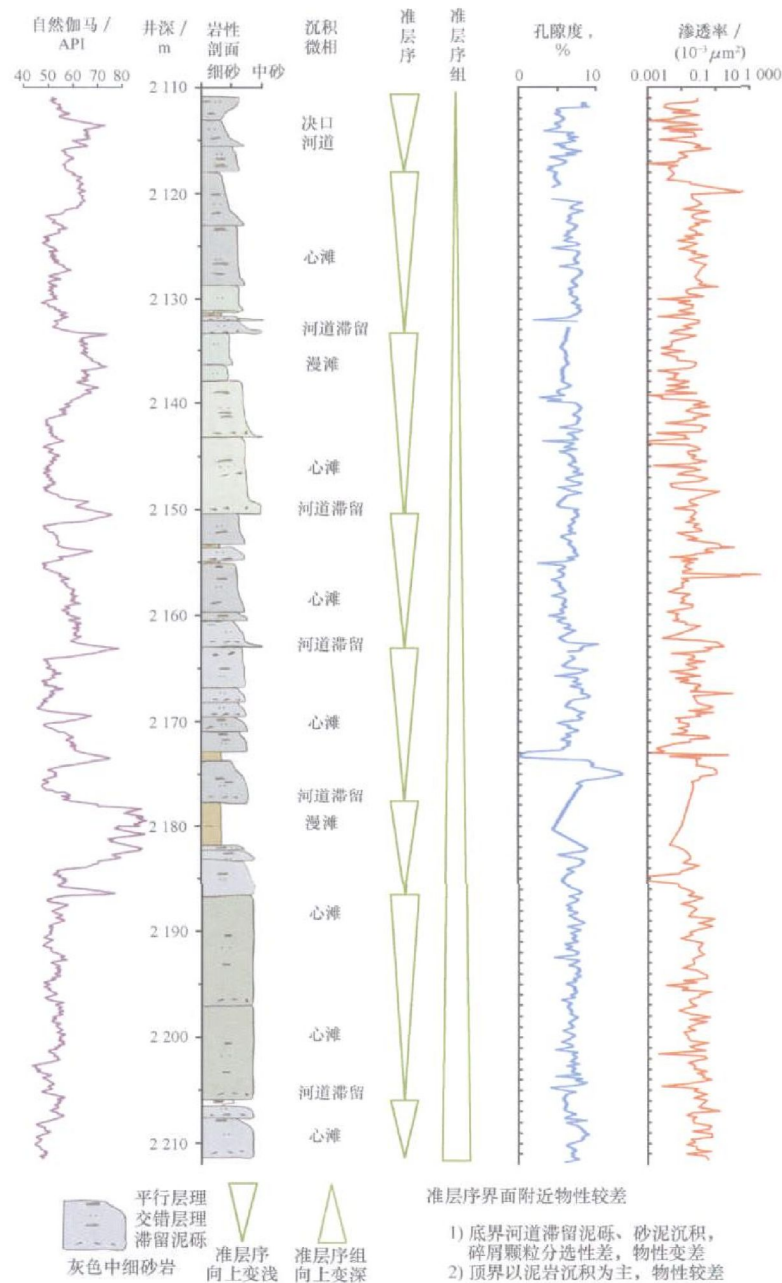


图 5 磨 53 井须家河组二段准层序内沉积微相与物性非均质性综合柱状图

Fig. 5 Composite column of sedimentary microfacies and lithophysical property heterogeneity of fluvial parasequence in the 2nd member of Xujiache Formation in well Mo 53

在正常条件下以发育与向上变细粒序相对应的物性向上变差砂体为主, 然而由于河道下部快速堆积的滞留砾岩或砾质砂岩分选较差, 往往含有大量塑性的同生泥砾和泥屑组分, 成岩过程中泥砾和泥屑组分通过压实、位移和破裂等形变作用可以假杂基的方式将部分孔隙充填, 导致砂体致密化, 从而造成准层序底部与顶部物性较差, 而中部

降低了孔隙度与渗透率, 碳酸盐胶结物不均匀分布, 往往在砂体内的不同部位可形成测井曲线中电阻率或声波时差突然增高的“钙尖层”, 导致局部物性变差; 压实作用对储层非均质性的影响主要表现在深部储层的孔隙度与渗透率的绝对值变小, 而对储层内相对值的变化影响不大^[18]。

沉积可发育河道(边滩)–泛滥平原泥岩的向上变细准层序,也可以发育泛滥平原–决口扇(决口河道)的向上变粗的准层序。辫状河准层序表现为河道(心滩)–河道顶部漫滩沉积的粒级向上变细的准层序,而粒级向上变粗的辫状河准层序模式不发育。

2) 河流相准层序界面是河道砂体底部的冲刷侵蚀面,粒级向上变粗的泛滥平原–决口扇或决口河道沉积的准层序界面表现为暴露过泥岩上部洪水期的暗色泥岩沉积。

3) 在须家河组曲流河粒级向上变细的准层序内,储层物性出现自下而上随砂体粒度向上变细或泥质含量增加,孔隙度下降的变化趋势。在另一种粒级向上变粗曲流河准层序中,储层物性自下而上则出现粒度向上变粗泥质含量减少的孔隙度向上增加的变化趋势。在须二段与须四段辫状河沉积中,准层序内储层物性分别表现为中下部较好、上部相对较差的变化特征与上下部较差,中部较好变化趋势。不同河型、不同的沉积速率和沉积组构以及成岩后生作用控制着河流相准层序内储层物性的非均质性特征。

致谢: 本文在撰写过程中得到了中国石油勘探开发研究院顾家裕教授的关注与帮助,在此深表谢意!

参 考 文 献

- Shanley K W, McCabe P J Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4): 544–568
- Wright V P, Marriott S B The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems the role of floodplain sediment storage [J]. Sedimentary Geology, 1993, 86: 203–210
- 张周良. 河流相地层的层序地层学与河流类型 [J]. 地质论评, 1996, 4(2): 188–193
- 国景星, 戴启德, 吴丽艳, 等. 冲积–河流相层序地层学研究 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2003, 27(4): 15–19
- 池应柳, 孙红军, 李淮莲. 辽河东部凹陷滩海地区东营组准层序成因研究及意义 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(4): 29–34
- 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
- 李宏伟, 袁士义, 朱怡翔, 等. 河流相地层相分异与沉积物体积分配规律 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 356–360
- 郑荣才, 柯光明, 文华国, 等. 高分辨率层序分析在河流相砂体等时对比中的应用 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2004, 31(6): 641–647
- 薛良清. 成因层序地层学的回顾与展望 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 484–488
- Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high resolution correlation of time and facies [M]. AAPG, 1990, 1–152
- Mulholland J W. The parasequence [J]. The Leading Edge, 1998, 17(10): 1374–1376
- Emery D, Myers K J Sequence stratigraphy [M]. London: Blackwell Science Ltd, 1996, 204–213
- 王卫红, 姜在兴, 吴明容, 等. 断陷湖盆层序地层单元与油气的关系 [J]. 新疆地质, 2003, 21(2): 202–205
- 董清水, 崔宝琛, 李想, 等. 陆相层序地层划分及岩心、测井高分辨率层序地层界面判识 [J]. 石油实验地质, 1997, 19(2): 121–126
- 吴朝容, 郑荣才. 辽河油田西部洼陷沙河街组高分辨率层序地层学特征 [J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(4): 375–381
- 彭军, 郑荣才, 陈景山, 等. 百色那读组短期基准面旋回层序分析 [J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 203–209
- 高志勇, 罗平, 郑荣才, 等. 四川磨溪–龙女寺构造须家河组高分辨率层序地层分析 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2005, 32(6): 597–603
- 郑浚茂, 于兴河, 谢承强, 等. 不同沉积环境储层的层内非均质性——以黄骅坳陷为例 [J]. 现代地质, 1995, 9(4): 501–508

(编辑 武新民)