

辫状河现代沉积研究与相模式 ——中国永定河剖析

廖保方¹ 张为民¹ 李列¹ 逯径铁¹ 葛云龙¹ 闻兰¹ 薛培华² 郭睿²

1(华北石油职工大学 河北固安 065506)

2(石油勘探开发科学研究院 北京 100083)

提 要 永定河是一条多河型河流,自上而下,包括了辫状河→曲流河→分流网状河的河型空间转换。其间辫状河段可明显区分为两类亚型:即冲积扇区的高坡降辫状河和冲积平原区低坡降辫状河。二者在河流形态、沉积物特征等方面显示不同。而沉积作用机制和砂体沉积模式是近似的,二者均进行垂向加积作用,均发生五个级次的沉积再作用面,均发育三个级次类型的薄夹层:滞留层、落淤层、颗粒降纹层与颗粒流纹层。其中落淤层最具指相意义。在河道经常摆动迁移过程中,最终形成砂体广泛展布的“叠覆泛砂体”。这种辫状河沉积模式——“叠覆泛砂体”为油气储集提供了良好的储集空间和场所。

关键词 高坡降辫状河 低坡降辫状河 落淤层 沉积模式 叠覆泛砂体

第一作者简介 廖保方 男 32岁 副教授 硕士 沉积学

中国陆上发育着众多的河流。据卫片解译研究的不完全统计,至少有38条大的河流发育有典型的平原区低坡降辫状河段(主要分布在中国东部)和14组冲积扇区的高坡降辫状河群(主要分布在中国西部)。其地域分布与形态特征反映了中国东、西部地区的自然地理、地质环境的不同,它们直接受控于气候、水文、地貌等因素。永定河是其中代表之一。

1 永定河沉积发育的自然地理地质环境

永定河位于中国华北平原,发源于内蒙、晋北黄土高原的山地;由桑干河与洋河两支流汇集官厅山峡而成永定河(图1),于天津北汇入渤海,属海河水系中的一大支流。整个河流全长680 km²,流域面积50 830 km²^[1]。据三家店水文资料:年平均流量37.1 m³/s,变化幅度在2 750~0.2 m³/s之间,年平均径流量11.69×10⁸ m³/a,年均输沙量592 kg/s,年均含沙量8.23 kg/m³,仅次于黄河的9.45 kg/m³,居全国第二。

永定河由于河流迁徙、易淤积,第四纪以来受新构造运动影响,尤其是受NW向两组基岩断裂及大兴凸起的控制,在7 200年的地质历史中河流曾多次摆动迁移、发生过5次大改道和16次摆动迁移。

因此,永定河历史上曾称为无定河,或许原名“无定河”赋予永定河以沉积学特征的地质意义更确切。研究得到:自全新世以来河流自NE流向转到向南流去,流向改变100°。同时由于易泛滥、易沉积,在芦沟桥至梁各庄河段之间,河床已淤高河床外地面10~15 m,形成悬河,折算其沉积速率达3.3 cm/a。

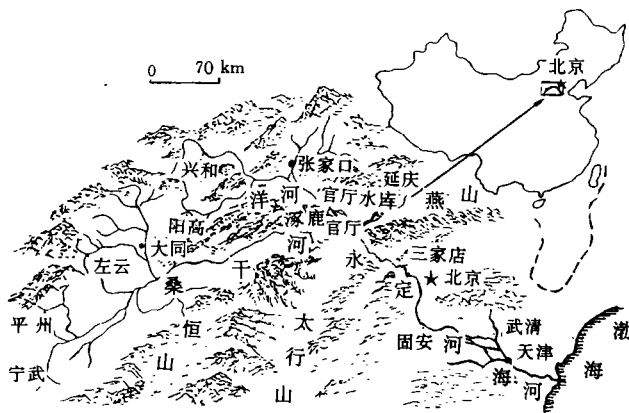


图1 永定河水系图
Fig. 1 Yongding River system

永定河是一条多河型的河流,自上而下,包括了辫状河→曲流河→分流网状河的河型空间转换。其间辫状河段可分为两类亚型:上游三家店至芦沟桥段属冲积扇区高坡降辫状河,流程11 km,坡降4‰;

芦沟桥至西麻庄为冲积平原区低坡降辫状河，流程 36 km，坡降 0.77‰；二者各有不同，但沉积机制和沉积模式是基本相同的。

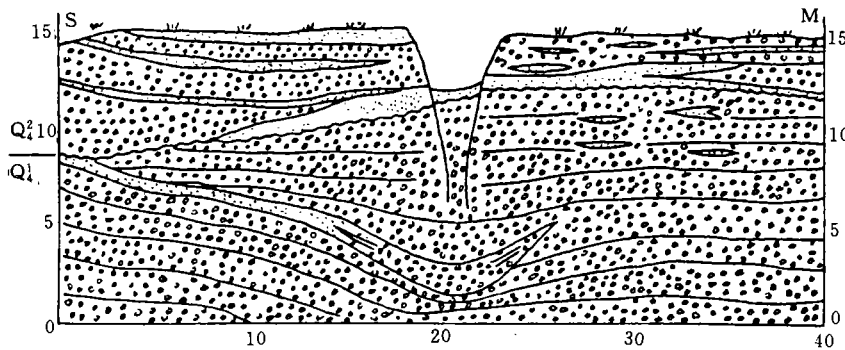


图 2 永定河冲积扇区辫状河沉积剖面(石景山)

Fig. 2 Profile of a braided river in the alluvial fan of the Yongding River(ShiJingShan)

2 永定河现代辫状河沉积剖面实例

永定河发育的两种类型的辫状河塑造了两种特点的沉积剖面。图 2 展示了冲积扇区高坡降辫状河

(图 2)；冲积平原区辫状河则以“砂包泥”为特征(图 3)。总体上，两者均形成单层厚度向上变薄、粒度向上变细的正粒序沉积剖面，底部具有明显的冲刷界面和滞留层，顶部发育细粒层(图 4)，具明显的正相序剖面特点。

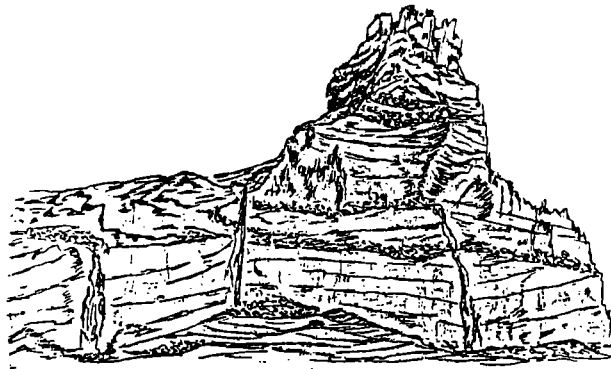


图 3 永定河冲积平原区辫状河沉积剖面素描图
(兴良公路桥北)

Fig. 3 Profile sketch of a braided river in the alluvial plain of the Yongding River
(the North of the XingLiang highway bridge)

沉积剖面特征；图 3 和图 4 则充分展示了冲积平原区低坡降辫状河沉积剖面特点。尽管在一些细节上两者稍有差异，但主要特征是一致的。表 1 概括了这两类沉积的基本特征，其要点是：

2.1 岩性粗，砂泥比值高，具明显正相序剖面特征

由于比降大，水动力强，辫状河以较粗的底负载物为主，沉积剖面以砾石和砂质沉积为特征，岩性粗、砂泥比值高，普遍多在 90% 以上，泥质夹层极少。具体而言，冲积扇区辫状河以“砾包砂”为特征

表 1 辫状河沉积特征表

Table 1 List of braided river sedimentary characteristics

河对比内容	冲积扇区高坡降辫状河	冲积平原区低坡降辫状河
坡降/‰	大(平均 4‰)	较大(平均 0.77‰)
空间分布	紧靠山口	远离山口的平原区
流量	大	大
含沙量	大	大
沉积作用	垂向加积	垂积与侧积
搬运方式	移质+推移质	推移质与悬移质
弯曲度	低, <1.5	低, <1.5
分岔系数	>1	>1
沉积介质地化条件	氧化环境 沉积物以褐黄色为主	弱氧化环境 沉积物以黄、灰为主
岩性剖面	粗, 以砾、粗砂为主, 少量粉砂	较粗, 以砂、砾为主, 夹泥、粉砂
垂向层序	向上变细的正粒序, 扇根见反粒序	向上变细的正粒序
沉积构造	砾石层为块状层理, 粗砂层为槽状层理	槽状层理, 平行层理, 板状层理, 波状层理, 爬升层理
粒度概率曲线特征	粗粒度, 宽区间 低斜率, 三段式	河道为粗粒度, 窄区间, 中斜率, 三段式 心滩为二段式、一段式
微相单元	以河道微相为主, 加辫流间砂坝微相	以河道微相为主, 加心滩坝微相
C-M 图	以 PQ、QR 段为主	为牵引流 S 型, 以 PQ、QR、RS 段为主
砂体形态	辫流间砂坝为直的条带状	心滩坝为不规则圆形
宽厚比		80

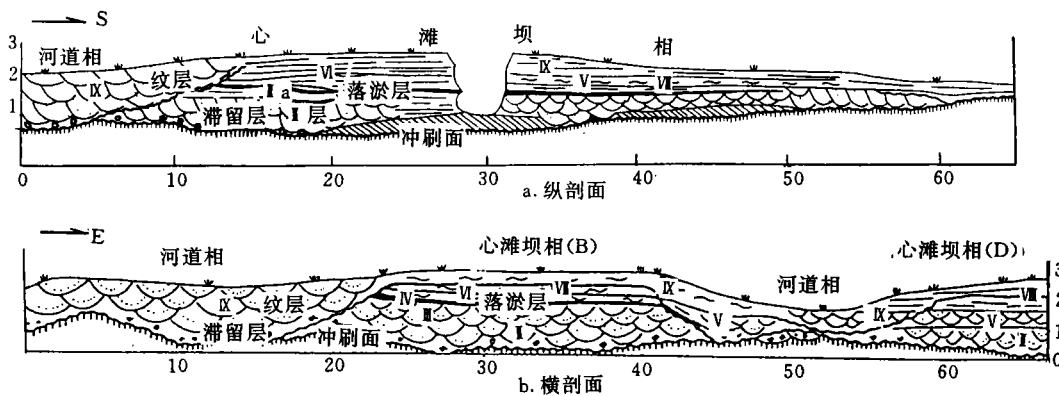


图4 永定河B心滩剖面图(兴良铁路桥北)

a. longitudinal profile b. horizontal profile

Fig. 4 Profile of the No. B channel bar in the Yongding River(the North of XingLiang railway bridge)

2.2 发育有十分特征的“落淤层”

“落淤层”是发育在心滩坝上部的成层泥粉沉积,为每次洪泛事件末期发生的、大范围分布的一种悬浮落淤沉积。岩性多细粒的悬移质,有时质不纯,多为粉砂、粉砂质泥沉积。富含碳屑,有机质丰富,颜色深,呈灰、灰黑色,岩性与上下明显不同。发育波状层理,见爬升层理及虫孔、扰动构造和变形层理等。主要发育在心滩坝顶部;河道沉积中没发现有“落淤层”存在(图4)。

如图2和图4所示,落淤层厚度较薄,在沉积剖面中所占比例也较小;并且,不同河段以及不同时期的辫状河中落淤层发育是不同的,冲积平原区辫状

河沉积中多为泥粉质沉积;冲积扇区则是砂质沉积。然而,这仅有的、薄层的落淤层的分布却较为稳定、普遍。特别是在永定河冲积平原区辫状河36 km的流程上均有分布。说明落淤层的发育和存在,可以作为辫状河相识别,甚至可以作为进行微相分析和小层对比的一个过硬标志。

2.3 层理构造极为发育,类型却较为单调

总观永定河现代沉积,层理十分发育,槽状、板状交错层理、平行层理、波状层理和爬升层理以及冲刷充填构造、变形构造等均有发育。但是,层理类型却很单调,以槽状层理为主,“一槽到顶”的沉积剖面极为常见。这也是滦河、沙河、滹沱河等现代辫状河

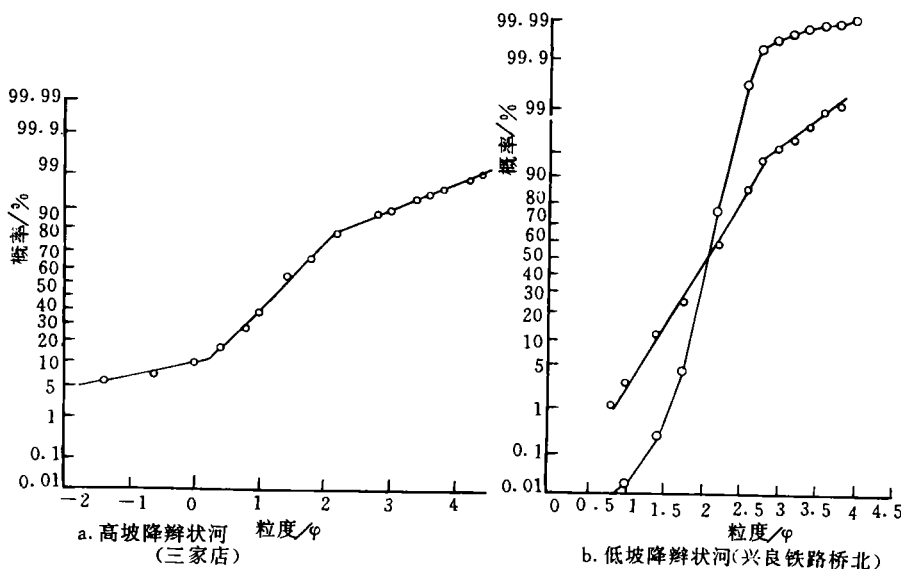


图5 高、低坡降辫状河相粒度概率曲线特征

Fig. 5 Probability curve characteristics of high and low-slope braided rivers

沉积的一个常见现象。

2.4 粒度概率曲线特征与通常的两段式有明显的不同

冲积扇区高坡降辫状河沉积物的概率曲线为粗粒度、宽区间、低斜率的三段式曲线(图 5a);冲积平原区低坡降辫状河沉积物的概率曲线为窄区间、较高斜率的三段式曲线和两段式、一段式的过渡组合(图 5b);心滩坝则以两段式、一段式为特征。主要反映了河道和心滩的特点,随着搬运距离的增大,牵引总体含量减少,跳跃总体和悬浮总体含量增大。

正是由于不同河段之间有不同的概率曲线型式,所以粒度概率曲线特征可以明显区分高、低坡降两类辫状河沉积的不同。

2.5 宏观上,辫状河砂体在时空上相互叠切,形成大面积分布的复合储集体

同期辫状河沉积,河道砂与心滩坝砂体之间通过侵蚀面,或者通过侧积面而相互叠切、互相连通(图 4b),形成同期沉积复合体,在平面上呈大面积分布。不同期次辫状河沉积,由于河道的频繁摆动迁移,而在垂向上互相叠加,或侧向接触,形成时空上大面积分布的复合体。正是由于河道的游荡汇聚,导致破坏与建设共存,致使辫状河不同期次、不同级次河道相与不同规模的心滩相垂向叠加、横向接触,形成了复杂而又大面积分布的、叠加切割的大型复合储集体。

3 辫状河沉积相模式

通常认为,沉积模式实质上是描述再现的沉积作用的面貌。或者称作是一种对沉积物的沉积作用机理所作的成因解释模型^[2]。

根据永定河现代沉积研究,结合踏勘滦河、沙河、滹沱河等河流的野外地质观察,以及对山西大同中侏罗统云岗群辫状河相地层露头的描述,可以将辫状河沉积模式概括为:一个由垂向加积作用控制

的粗粒岩性(砂、砾)为主体,少有细粒粉砂质泥质夹层,层理构造发育,横向相变较大的、垂向层序向上变细的正旋回组成的、空间广泛展布的“叠覆泛砂体”(见图 6)。

概括为“叠覆泛砂体”是据其内涵特征而定的。所谓“泛”是指“广泛;泛而不实、空泛;透出等”。其中心意思是广而不实透其中。就辫状河砂体的地质结构和特性而论,一是指宏观上,不同期次、不同级次砂体叠加,展布范围广,特别是河道摆动建造了相当规模宽度的叠置砂体;二是指这种砂体内部结构复杂,存在有落淤层等低渗屏障,砂体之间并不完全连通;其三是指这种砂体内部发育着众多的各种形式的冲刷面等层次界面。故而,对于这种泛而不实、通而不畅的宏观特征与微观内部结构特征的叠置综合体,我们称之为“叠覆泛砂体”,其与“多边形”叠置砂体形同而意异。

无论是冲积扇区高坡降辫状河还是冲积平原区低坡降辫状河,尽管两者有所不同,但其沉积机制与沉积模式是基本相同的。它们的沉积相模式的基本要点是:

(1)基于辫状河沉积机制过程的四个基本特性,决定了辫状河沉积作用仍以垂向加积作用为主,兼有侧积、前积作用发生。

a. 水动力因素的不稳定性

辫状河沉积往往发生于洪泛事件过程中,而洪水常有起落,暴涨陡落表明洪峰过程中明显波动或震荡(图 7),即便在短暂的瞬间也有较大的变幅。最佳的憩水期为悬浮质沉积提供了良好的重力分异条件,无论是颗粒流纹层或是颗粒沉降纹层都可能发生或发育形成。辫状河沉积中所见的落淤层即属此流态下的产物。尽管厚度甚小,但其分布范围较广。落淤层对辫状河沉积微相划分具有指相意义,是心滩坝微相的特有岩性标志。而最为主要的是水动力

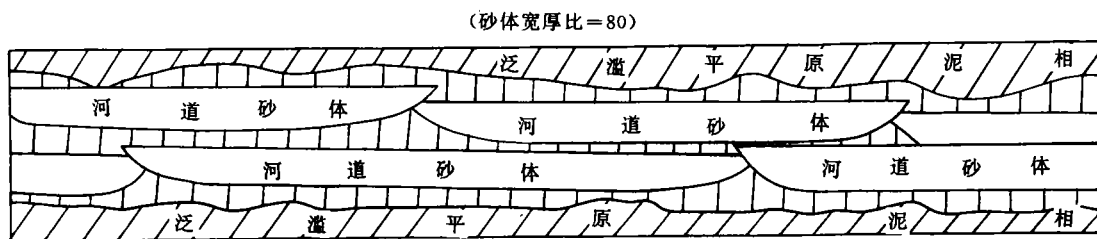


图 6 辫状河沉积模式——“叠覆泛砂体”
Fig. 6 Braided stream sedimentation model—stacked pan-sandbody

因素的不稳定性揭示了落淤层形成的机理。

上和平面上广泛展布的“叠覆泛砂体”。

d. 水流的多向性

辫状河道的弯曲与水流的 multidirectional 发生之间,二者相关联、相依托。这种多向性不仅表现在一个河流横剖面上,而且也表现在沿河道的纵剖面上。沿程水流方向变化较大,时有改变。明显区别于曲流河和顺直河^[3]。

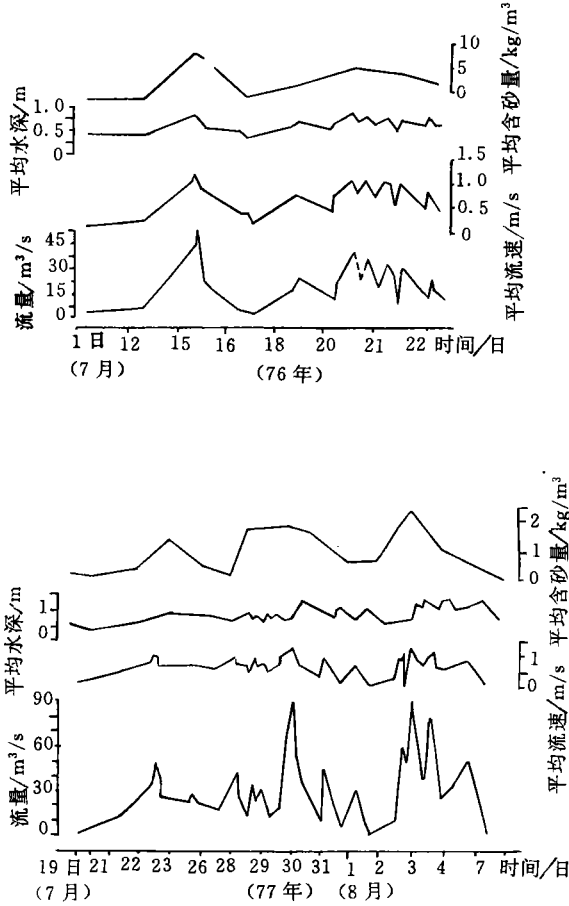


图7 永定河芦沟桥站洪水变化过程图

Fig. 7 Flood changing procedure of the Yongding River recorded by the Luogou bridge hydrologic station

b. 辫状河道的游荡性

由于周期性洪泛事件,辫状河道床形的起伏和心滩坝的分布,使水流分聚无常,变化的水动力作用促使河道在空间上经常发生变迁,从而导致心滩坝的不稳定性。

c. 砂体的切叠性

辫状河道的游荡,导致河道砂体和心滩坝砂体常发生迁移,相互之间不仅在空间上而且在时间上相互叠覆,并以各种切叠形式接触,从而形成在剖面

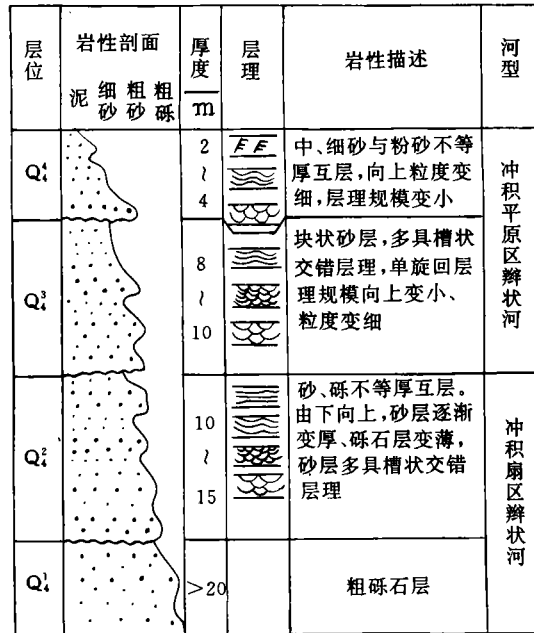


图8 永定河垂向四套地层沉积剖面图

Fig. 8 Four sets of the formation in the Yongding River profile

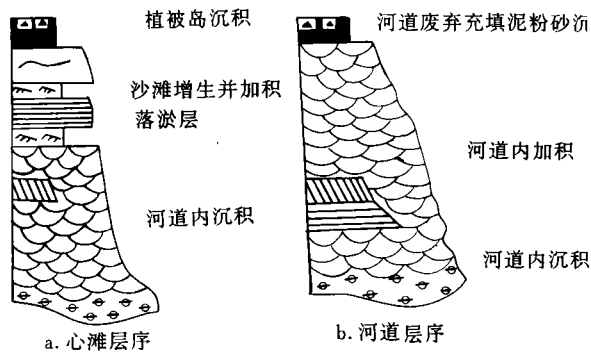


图9 辫状河沉积剖面垂向层序(冲积平原区)

Fig. 9 Vertical sequence of the braided river (alluvial plain)

a. Channel bar sequence b. Channel sequence

(2) 辫状河沉积物岩性普遍偏粗,不管是扇区高

坡降辫状河还是平原区低坡辫状河均如此(图8)。唯一差别是高坡降辫状河岩性更粗,以砾为主,缺少泥粉质沉积,心滩坝呈滩脊状,河道顺直,河道微相和心滩微相均呈条带状相间分布。二者相同的是粗粒多,细粒少,砂(砾)泥(粉)比值在90%以上。颗粒分选极差,物理和化学成熟度较低;垂向层序显示为一个以槽状交错层理为为主的砂砾相组成的向上变细的正旋回。

(3)辫状河沉积的微相单元主要是河道微相和心滩微相(图9),其次为泛滥平原微相。高坡降辫状河的心滩坝微相不发育,不明显;主要微相单元是河道微相。低坡降辫状河的心滩坝微相发育明显,识别标志以发育和保存的“落淤层”而区别于河道微相。因此,“落淤层”的指相意义显得十分重要。这些微相单元砂体相互切叠,显示出薄而宽的辫状河相复合砂体。据野外统计研究,河道砂体的宽厚比为80左右。

(4)低坡降辫状河具有发育的各种类别、级次的沉积界面——冲刷面、沉积再作用面。大致是两种类型五个级次的沉积界面。旋回冲刷面普遍为河流沉积所共有,不管是曲流河或是辫状河均可见到明显的底部冲刷面。若以此作为河流沉积旋回中的一级沉积界面的话,依次“沉积再作用面”包括有:二级沉积界面为岩性层间的界面,三级沉积界面为层理构造的层系组界面,四级沉积界面为层理构造的层系界面;五级沉积界面为层理构造的纹层间界面。五个级次的沉积界面中除三级、四级、五级外,可见到二级沉积界面具有一级沉积界面的冲刷起伏,这或许是辫状河沉积的特强水动力因素所致^[4]。

(5)低坡降辫状河沉积中夹有三种级别类型的薄层、夹层和纹层(图4)。一级为河道滞留层,厚度相对较大,属高渗透层。二级为泥质夹层即落淤层,厚度较薄,属非渗透性遮挡层。三级为泥质纹层,属非渗透性遮挡层,厚度极小,以毫米计,但在层系中常呈韵律性反复出现。此类沉积特征主要发育在低坡降的辫状河沉积中,高坡降辫状河可见滞留层。研究这些非均质问题对石油开发具有特定的技术意义和生产价值。

总之,辫状河相沉积是一种十分复杂而又具有较高经济价值的沉积体。在其沉积模式的建立中还有很多尚待深入研究的问题,但只有当那些未解决的理论问题或应用问题解决了的时候,也许沉积模式也就建立完善了。

参 考 文 献

- 1 固安县水利局编. 固安县水利志. 北京: 中国人事出版社, 1991. 7
- 2 裘亦楠主编. 储层地质模式. 石油科技论文集. 北京: 石油工业出版社, 1990. 5
- 3 薛培华. 河流点坝相储层模式概论. 北京: 石油工业出版社, 1991. 1
- 4 米阿尔 A D. 河流沉积体系分析, 吴伟译. 北京: 石油工业出版社, 1987. 9
- 5 Bridge J S, Gabel S L. Flow and sediment dynamics in a low sinuosity, braided river: Calamus river, Nebraska Sandhills. *Sedimentology*, 1992, 39(1): 125~142
- 6 Godin P D. Fining-upward cycles in the sandy braided-river deposits of the Westwater Canyon member (Upper Jurassic), Morrison formation, New Mexico. *Sedimentary Geology*, 1991, 70(1): 61~82
- 7 Feldman H R. Pleistocene braided stream deposits from northwestern South Carolina. *Southeastern Geology*, 1990, 31(4): 223~234

Study on Modern Deposit of a Braided Stream and Facies Model ——Taking the Yongding River as an Example

Liao Baofang¹ Zhang Weimin¹ Li Lie¹ Lu Jing Tie¹
Ge Yunlong¹ Wen Lan¹ Xue Peihua² Guo Rui²

1 (Huabei Petroleum Vocation University, HeBei Guan 065506)

2 (Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083)

Abstract

There are multipatterns in the Yongding River and they transfer from the braided to meandering, then to an a branched channel along the flow direction. The braided stream segment can be subdivided into two types: One is a high slope braided river which is distributed in the fluvial fan, (Continued on page 50)

water escaping, gravitational sliding, water flow dragging, ripple gliding, bioturbation, wave action and slumping, and can be divided into seven types according to their origins. Those formed by water escaping and water flow dragging are the most common and typical ones among them.

On surfaces of the deformed beddings of water escaping type, there are usually many nipple-like and dorsal fin-like projectings which may sometimes have a hole for water escaping in the center of each projecting, and the deformed beddings may have abrupt contact with their neighbor beddings. Deformed beddings of water flow dragging type usually possess five characteristics as follows:

(1) the overlying sediments and sedimentary structures of them, such as clay boulder or sand-sized grains in massive and parallel beddings, regressive sand waves, climbing-ripple laminations, are all formed by water flow of high velocity. (2) the axial planes of fold curve-like deformed beddings are often randomly oriented, although they may sometimes dip toward the upper reach. (3) usually, they show abrupt contact with overlying beddings and gradual or abrupt contact with underlying beddings of them according to extent of deformation. (4) most of them are deformed severely and show very complicated appearances such as the cabbage-like ones and the bag-like or tube-like ones. (5) they are steadily widespread and sometimes may be well-stratified and graded.

Key Words deformed bedding delta Yellow River

(Continued from page 39)

another is a low slope braided river which is distributed in the fluvial plain. Both of them are different in river shape and sediment characteristics, but have similar sedimentation mechanism and models. There are five sedimentary reworking surfaces, and three types of thin interlayers, and they both have vertical accretion. The three thin interlayers are lag deposit, fall-siltseam and grain-fall lamina or grain flow lamina. The fall-siltseam is an important facies index. The wide-scale stacked pan-sandbody was formed by channel shifting. The braided stream sedimentation model-stacked pan-sandbody provides a good reservoir space for oil and gas.

Key Words high slope braided river low slope braided river fall-siltseam sedimentation model stacked pan-sandbody