

地震资料曲流河辫状河油气储层识别与预测

涂齐催, 刘怀山, 张进, 李金山

(中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东 青岛 266003)

摘 要: 曲流河、辫状河储层在我国的陆相盆地中广泛分布。由于曲流河相沉积砂体的单层薄、横向变化; 辫状河相沉积的砂体迁移快、垂向加积等特点, 增加了在勘探过程中对其分辨的难度。因此, 对地震资料曲流河、辫状河油气储层的识别与预测, 必须综合多种与其相关的地质资料, 结合地震数据体中给出的信息来判断分析, 以达到提高分辨率的目的。

关键词: 曲流河; 辫状河; 油气储层; 识别技术; 预测方法

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A

1 前言

在河流奔向湖泊及大海的行程中, 产生着复杂的冲刷侵蚀、搬运和再沉积作用。这些作用是在一条河的不同部位同时发生的, 其决定性因素是水流速度。河流的侵蚀、搬运及堆积作用三者往往是在一条河的不同部位同时发生, 并随着时间的推移而急剧地变化。根据近代沉积学, 一条河的不同地段水流速度不同, 河流的作用亦各不相同, 某些地段截面变小, 流速增快, 侵蚀作用就占主导地位, 而某些地段, 如, 开阔的平原地区, 流速变慢, 沉积作用又会占上风; 即使是同一个截面, 水流速度也是各处不同的, 造成对河床沉积或者侵蚀的不同影响; 另外, 河流经常会由于上游供水的突然增加或河床淤高而发生决口或改道。此时, 在决口处激流中首先产生粗粒物料的沉积, 形成正旋回性质的地层剖面。在远离决口处的广大平原上就铺上了薄薄的一层粉砂-粘土, 这种河流的决口及改道是河流的沉积作用力图把一个盆地铺平的基本手段^[1]。

因为每一种沉积都包含着随时间推移的急剧变化。流段的河道象翻土机翻土那样无休止地改造着整

个曲流河的沉积物, 最后使地下的沉积模式完全被打乱。尽管今天在地表你可以看到近代沉积的各种典型模式, 但是在地表以下 20~ 30 m 却完全是另一个模样。地下残存的是一个“复杂的混合物”。那里找不到一个完整的河道, 找不到一片完整的曲流沙坝或心滩, 也找不到一个完整的牛轭湖。不仅在平面图上是各种岩相带互相重叠, 互相切割, 而且在纵剖面上也是交互混合的, 情况十分复杂。只有河道的最后一幕在后期快速沉降掩埋的条件下, 才可以被“定影”而作为古迹被保留下来^[1]。

根据资料统计, 赋存于河流相储集层的石油储量占我国目前已经开发油田动用储量的 50% 以上, 其中, 曲流河点坝相储集层占有很大的比例^[2]; 而辫状河冲积物油藏构成了某些世界级的大油气田。这说明, 大多数大的储集体属河流相或者河流-三角洲相^[3]。因此, 对于河流和河流-三角洲的研究, 尤其是对曲流河、辫状河的研究, 是关系到各个油田油气资源合理开发利用的基础性关键工作。

因为世界上河流类型众多, 沉积作用复杂, 所以如何准确地鉴别河流和河流砂体的成因类型, 特别是对于研究在地下埋藏的古河道的沉积环境, 不仅是沉

积学的基础, 而且是油气勘探行业必须依据的基础性资料之一。

2 河流沉积相模式

在沉积学的研究内容中, 河流相沉积的模式已经从最初点河坝侧迁移模型, 到 1985 年 Miall 12 种河流类型划分^[4]。10 年后, Miall 又在其专著《河流沉积地质学》中, 将河流研究最终归结为目前 16 种河流沉积相模式^[5]。在 16 种河流沉积划分的说明中, 沉积学研究者认为: 发生在泥盆纪以后的沉积, 主要以“辫状河”和“曲流河”为主要表现形式。

2.1 曲流河

曲流河又称蛇曲河, 平面上呈条带分布, 河道较稳定, 宽深比一般较小^[6]。曲流河主要分布于流域较大河流沉积体系的中下游地区, 是流水在未固结介质中蜿蜒流动形成的一种自然现象。

当地形坡度低, 河流经过细粒粘性河床时, 就出现这种弯弯曲曲的河道。在河道充满水情况下, 曲流河携带的悬浮载荷比底荷负载多。平均年流量下, 曲流河具有相对多的薄层沉积, 而且滨岸和三角洲平原远离物源区, 有利于曲流河及其点坝的发育——形成点坝储集层。

曲流河或者其分支河道, 随着点坝加积, 形成规则的、偏斜的、相对环形的形状。随着环形体的扩展, 逐渐增加的砂层沉积在斜的且活动点坝沉积的表面。

2.2 辫状河

辫状河为多分岔多河道河型, 河道宽而浅, 弯曲度小, 宽深比大^[7], 心滩发育。河道大多不固定, 迁移较快, 故天然堤、河漫滩沉积不发育, 沉积物搬运量大^[8]。辫状河多发育在冲积扇表面及河流上游段。

河流出现辫状时, 具有相对高的流量、大量的粗底荷负载、相对小的悬浮负载和相对高的坡降。是活跃的河流携带着高比例的粗底荷负载。河岸和河床常由未固结的粗碎屑组成, 易被剥蚀。大油气田中辫状河流相可单独发现或出现在复合储集体中。

2.3 辫状河三角洲

辫状河三角洲是由辫状河体系前积到停滞水体中形成的富含砂和砾石的三角洲, 通常是由湍急洪水控制, 常为季节性的沉积作用产生^[6]。

辫状河三角洲与扇三角洲区主要不同为: 辫状河平原与冲积扇没有什么联系; 与冲积扇毗连的辫

状河冲积平原, 通常是几十千米、甚至上百千米长, 并不真正是冲积扇复合体的组成部分。辫状河三角洲, 主要由横向上结合的河流和滨面砂及砾组成, 常与细粒的海相或湖相沉积呈互层状。

辫状河三角洲特点: 具限定性的河口存在^[7];

河流虽然是季节性的, 但存在着与海洋能量相互作用的重要时期。因此, 来自于辫状河三角洲沉积流量, 象正常的三角洲一样, 通过限定性的河口及具有与正常范围的海洋或湖泊相互作用的足够的持续时间。

辫状河三角洲的三角洲平原, 主要由众多的辫状河道或辫状河平原相所组成。

3 曲流河、辫状河储层特征

大多数河流的沉积物是暂时的, 往往不被保存和埋藏, 这样的河流可被坚固河道壁限定, 这种情况是流量、负载、河道几何形态、坡度和流速的自然响应和相互作用的结果^[8]。只有受未固结沉积物限定的河流才响应于特定的可预测的作用过程。

平均年流量时, 河道中包含流水, 负载和河床沉积的不同组合取决于流动类型及其位置。而在满岸流量和洪泛阶段, 活跃的河流和分支河道中充满了流动的水和负载, 形成充填河道储层沉积。

平均年流量时的辫状河道可能充满粗碎屑, 一旦废弃, 将保存规模与几何形态呈函数关系的储集体。这种储集层沉积的发育不要求更多的条件和作用过程。

曲流河和非辫状河的直道河以及分支河道通常携带水和悬浮载荷及相对少的河床沉积。曲流河中侧岸侵蚀、环境扩张和河道横截面积的保持, 导致了点坝斜坡面上粗碎屑沉积的增加。随着这种作用的继续, 产生了广泛的点坝储集体。曲流河的废弃河道中实际上充满了富含有机质的粉砂和粘土, 而非辫状的直道河和支流的废弃河道中充满了或部分充满了砂, 且被保存为储层沉积体, 曲流河点坝相是全球广布的重要油气储层^[9]。

曲流河点集砂坝和辫状河侧向加积的砂岩带是在陆相盆地中广泛分布的储集层。由于辫状河砂体具河道短、快速迁移及垂向加积等特点, 而且它没有曲流河砂体那样典型的“正韵律”, 也没有三角洲砂体那样典型的“反韵律”, 因此显示出很强的非均质性。储层的非均质性是油气勘探开发中随时遇到的问题^[10], 它一方面造成垂直方向的遮挡, 使流体得以封存, 形成油气

藏;另一方面是渗透性的横向变化,给油气勘探带来困难^[11]。因此,认识曲流河、辫状河储层的非均质性问题,有助于提高油气勘探和开发的成功率。

3.1 储层的非均质性

3.1.1 曲流河边滩层内非均质性

边滩砂体岩性由细砂岩、粉砂岩组成,粒度是正韵律。在砂体的底部多是明显的冲刷面,冲刷面附近泥砾富集,泥质含量增加,由下向上由槽状交错层理逐渐过渡为平行层理,这些层组也是影响砂体非均质性的的重要因素。砂体渗透率呈多个正韵律段,最高渗透率位于砂体的下部^[12]。

3.1.2 辫状河心滩层内非均质性

心滩砂体主要为中、细砂岩和粉细砂岩,在垂向上粒度变化略显正韵律,平均粒度中值稍粗于边滩的粒度中值。垂向上渗透率的变化也略呈正韵律,孔隙度垂向变化小,平均孔隙度略高于边滩,变异系数也较小。

3.2 测井相特征

在河流相沉积的河床高速带,其自然电位及微电极曲线幅度大,相对较平滑;在低速带区,自然电位及微电极曲线略呈锯齿状。如果是在堤岸和决口扇沉积区,测井曲线往往由几个正粒序薄层组成,反映水动力明显减弱的沉积环境。处于泛滥平原沉积区的测井曲线,基本是平直状态,或者有极小的幅度差。

3.3 地震相特征

在地震剖面上,河道砂体表现为强反射特征,其振幅变化较大,连续性较差,具有明显的前积反射结构,表现为中振幅中连续的“S”形或叠瓦状反射,向湖盆方向收敛。曲流河的河道较窄,加之其弯度大,因此在地震数据上的特征多为短轴状,振幅强,反射特征明显。

由于河道砂体有效厚度一般较小,尤其是厚度小于5m的砂层在常规地震资料上是无法产生强反射的,所以,这种强反射是一种组合反射效应。

4 油气储层识别与预测技术

由于受地震条件的限制,对于薄层的河道砂体,或者是薄互层砂岩体,常规的地震数据体上每一个同相轴都是一组岩性综合地震响应的结果^[13]。不同的岩性组合序列有不同的反射特征,为了识别和确定这些薄层砂体的地震反射特征,需要进行多种技术方法的处理解释^[14~17]。

4.1 小波分析方法

小波变换由于有良好的时间域和频率域局部化特性,所以在信噪比分离、保留高频成分提高分辨率方面是极为有力的工具。对地震记录作小波变换,进行多频分解处理,利用小波变换的局部化性质,达到识别薄层砂体反射特征的目的。

应用小波变换技术对薄层砂体追踪的步骤,首先在过井的十字剖面上标定出所解释砂体的顶底界线,波峰大致对应砂体的顶界,波谷对应底界,然后对同相轴进行追踪和闭合分析,并且把断点、能量衰减点、波形变化点及极性反转点作为砂体的边界。

4.2 神经网络技术

利用神经网络技术进行油气储层预测^[17]主要包括以下方面:

(1) 以沉积相及砂体成因研究为基础,利用声波测井资料制作合成地震记录对目的层标定解释。

(2) 沿解释层及其在目的层的时窗内提取若干种地震特征参数,形成特征参数空间。

(3) 从井旁道的特征参数出发,选择出符合本地区特点的几种有效特征参数,根据需要判别类别,确定出网络学习的样本道,并作为神经网络的学习样本。

(4) 以确定的样本道对神经网络进行训练,训练结束后就可以对全工区进行神经网络的分类预测。

(5) 最后以平面图的方式输出预测结果。

4.3 VSP 平均速度换算方法

利用合成地震记录,通过标志层对比和VSP平均速度换算方法确定准确的时深转换关系,将地震数据体与钻井及测井资料结合起来,对所有油气显示的层位进行纵、横向精细标定。

(1) 含气性较好的砂体顶部普遍对应于强波谷或较强波谷,且频率较低。

(2) 不含气或含气性较差的砂体,其顶部对应波峰,表现为弱振幅。

(3) 厚度小于1/8波长,含气性非常好的砂体,仍然可以在剖面上形成强反射。

(4) 在相离很近的2套含气砂体时,不能在地震数据体上严格区分,只能作为一套砂组进行预测。

5 应用实例

砂体的识别预测技术就是对曲流河、辫状河的识别,对拥有同一属性的砂体显示,在一定的程度

上就是河流位置的所在。将以上技术应用到标定的反映砂体的地层上, 能从不同的角度反映储层的形态, 为精确描述油气藏, 开发油气勘探提供依据。

以胜利油田陈家庄凸起东坡为例, 陈家庄凸起为渤海湾盆地济阳凹陷内的次级正向构造单元, 其北坡平缓, 属于沾化凹陷的南部缓坡带, 凹陷内下第三系逐渐超覆其上。陈家庄凸起南坡陡倾, 以深切基底的陈南大断裂与东营凹陷相临, 形成东营凹陷北断南超的构造格局。从目前情况预测, 陈家庄凸起无论在构造活动或是沉积充填方面都应该有一定的油气地质意义。

陈家庄凸起东部南坡最明显的古地貌特征是具有 3 条深度和宽度都较为可观的古冲沟。冲沟在不同构造发育阶段有不同的沉积充填特征。冲沟内的沉积充填砂体与东营凹陷内的同期沉积应属相同构造背景下的同一沉积体系, 冲沟内沉积充填砂体在时空展布上与基底断裂的阶段活动一致。

5.1 砂体三维显示

同一个地质时期, 由于受曲流河或辫状河作用而形成的储层, 在空间上的位置会有差异。由于该时期的地质环境是有利于油气运移和保存的, 所以确定这些储层的空间位置是非常重要的。将从各个途径获得的反映河道砂体分布的三

维数据体加入到图形功能强的处理器中, 会得到地形起伏与砂体储层的三维立体图。从图中可以看到油气储层所处的空间位置, 然后分析油气的运移和储藏。

5.2 曲流河、辫状河平面形态展示

通过上述的分析, 曲流河、辫状河会在其流经的地方留下许多各种各样的储集体, 并且这些储集体极有可能是油气藏。因此, 找到河流在平面上的位置, 在一定程度上可以认为是在平面上的不同位置找到了一系列的油气藏。所以曲流河、辫状河的平面位置显示就特别重要。应用沿层提取信息的技术, 能够将埋藏在地下一定深度的, 某一地质时期的古代河流展现出来(图 1、图 2)。在图 1 中, 它为时间在 760 m s 处以 16 m s 厚度进行层切片显示, 从图中能比较清楚地看到该时期河流的展布走向; 图 2 给了我们一幅更为清晰的曲流河、辫状河在 724 m s 处以 8 m s 厚度层切片的走向图; 图 3 为通过相关技术, 突出重点地显示了曲流河、辫状河在空间上的走向形态, 它把该时期的曲流河描述的惟妙惟肖。

通过上述技术, 可以掌握在任一时期曲流河、辫状河的平面走向图, 同时也就确定储层的位置, 为油气勘探提供准确目标。

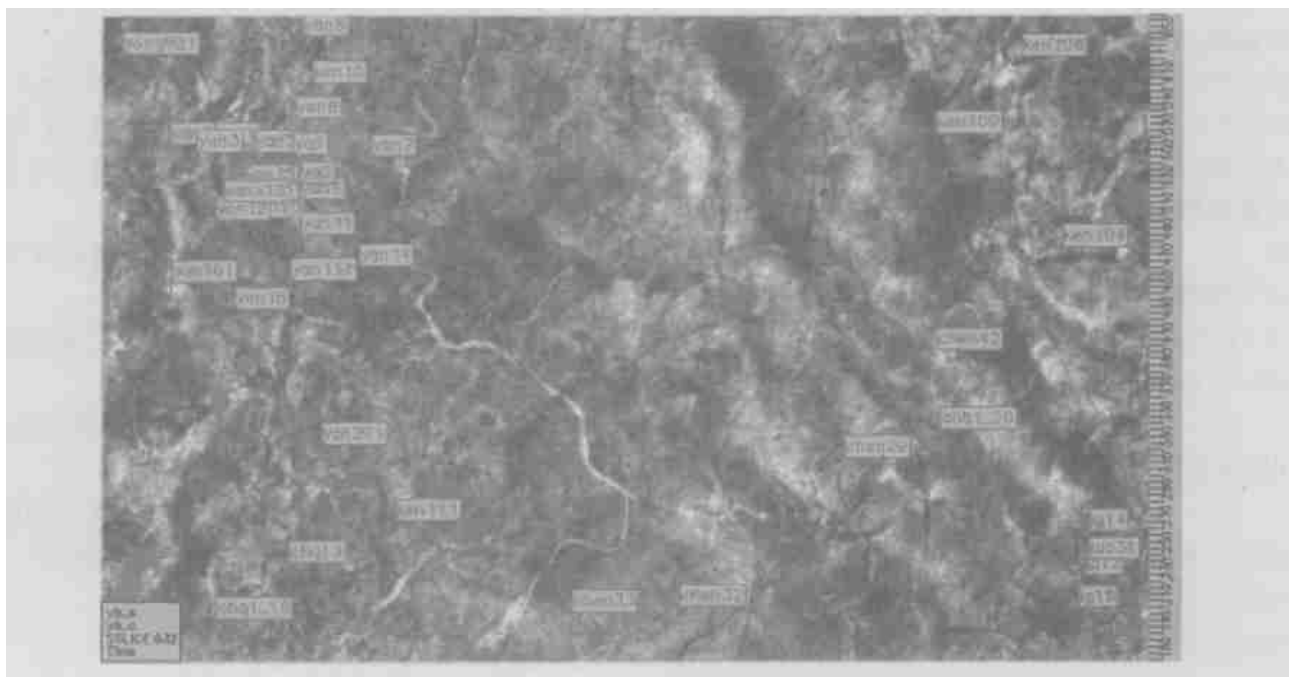


图 1 曲流河、辫状河 760 m s 处的 16 m s 厚度的层切片图

Fig. 1 The slice map of meandering stream and braided stream (760 m s)

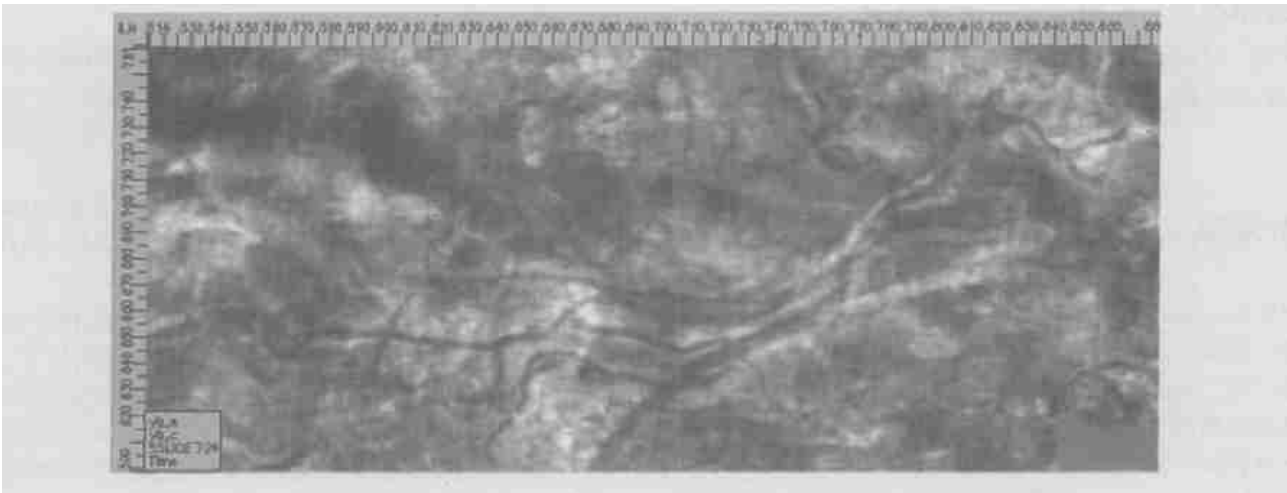


图 2 曲流河、辫状河 724 m s 处的 8 m s 厚度的层切片图
Fig. 2 The slice map of meandering stream and braided stream (724 m s)

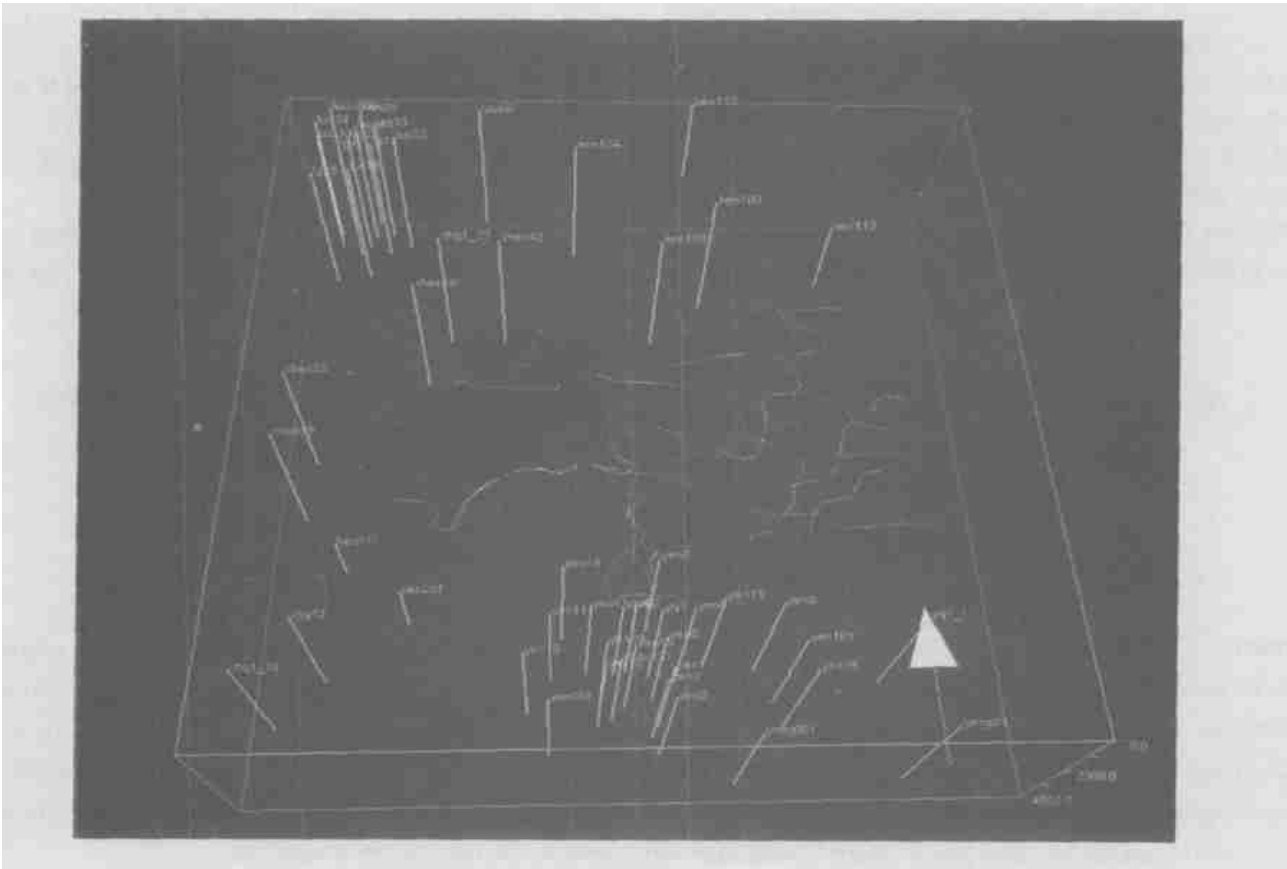


图 3 曲流河、辫状河立体透视图
Fig. 3 The stenograph of meandering stream and braided stream

6 结论

(1) 曲流河、辫状河相沉积由于沉积复杂, 单

层薄, 给精细油气储层的预测和描述带来了困难。

(2) 小波变换的时间域、频率域局部化特性, 适合薄层砂体的识别与追踪, 人工神经网络为曲流河、

辫状河相储层的预测提供了有效技术。

(3) 对曲流河、辫状河砂体的分布规律, 采用空间自动追踪技术, 能得到曲流河辫状河河流的走向。

参考文献:

- [1] 李庆忠. 近代河流沉积与地震地层学解释 [J]. 石油物探, 1994, 33 (2): 26-41.
- [2] 陈广军, 张善文, 李建明, 等. 小波分析技术在薄砂岩储集层描述中的应用——以埕岛地区馆上段为例 [J]. 石油物探, 2002, 41 (1): 95-99.
- [3] Donald C Swanson. 河流作用及其相关储层沉积的重要性 [J]. 海上油气译丛, 1997, (3): 1-21.
- [4] Miall A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth Sci. Rev., 1985, 22: 261-308.
- [5] Miall A D. The Geology of Fluvial Deposits [M]. Amsterdam Springer, 1995
- [6] 薛良清. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类 [J]. 地质学报, 1991, 65 (2): 141-153.
- [7] H. Scott Hamlin. 沉积作用对 Tirrawarra 油田辫状河三角洲砂岩储集层性质的控制作用 [J]. 海上油气译丛, 1996, (3): 47-66.
- [8] 于建国, 韩文功, 王金铎, 等. 陆相断陷盆地砂岩储层横向预测 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [9] 赵霞飞. 河流相模式与储层非均质性 [J]. 成都理工学院学报, 1999, 26 (4): 357-364.
- [10] 罗佳强. 东营凹陷博兴洼陷西部沙三段砂岩体的物源及成因分析 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8 (5): 10-13.
- [11] 伍涛, 杨勇, 王德发, 等. 辫状河储层建模方法研究 [J]. 沉积学报, 1999, 17 (2): 258-262.
- [12] 李双应, 李忠, 王忠诚, 等. 胜利油区孤岛油田馆上段沉积模式研究 [J]. 沉积学报, 2001, 19 (3): 386-393.
- [13] 戴启德, 狄明信, 白光勇, 等. 孤东油田上第三系馆陶组上段储层非均质模式研究 [J]. 石油大学学报, 1996, 20 (5): 1-7.
- [14] 刘波. 储层砂质辫状河的识别——以大庆喇嘛甸—萨尔图油田西部为例 [J]. 石油学报, 2002, 23 (2): 43-47.
- [15] 于建国. 砂砾岩体的内部结构研究与含油气预测 [J]. 石油地球物理勘探, 1997, 32 (增刊 1): 15-19.
- [16] 吴朝容. 河道砂体识别技术 [J]. 石油物探, 2003, 42 (2): 204-207.
- [17] 杨凤丽. 应用人工神经网络技术预测曲流河砂体分布 [J]. 同济大学学报, 1999, 27 (1): 115-118.

A study of identification and forecasting method about the reservoir of meandering stream and braided stream

TU Qi-cui, LIU Huai-shan, ZHANG Jin, LI Jin-shan

(College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The reservoir of meandering stream and braided stream are widely distributed in the continental facies basin. The sediment sandstone layers of meandering stream are thin and varied laterally. And those of braided transport quickly and aggraded vertically. They increase hardness against improving the prospecting resolution. Accordingly, for the sake of improving the resolution, the identification and forecasting about the reservoir of meandering stream; and braided stream, must be combined and analysed with several correlated geological datum and the information of the seismic sections.

Key words: meandering stream; braided stream; reservoir; identification technology; forecasting method