

# 苏北三垛组游荡性河 与低弯度河沉积特征

董荣鑫

(同济大学海洋地质系)

古河流的沉积物中常含有金、金刚石、铀、铂、独居石等稀有贵金属矿床以及形成重要的油气储层。因此,对古代河流沉积物的研究具有很大的现实意义。目前,对曲流河的研究较深入,而对游荡性网状河沉积的研究却不够。为探讨后者的沉积特征,特别是寻求在古代地层剖面中识别它们的标志,本文以苏北盆地三垛组一段的冲积相为例,论述了它们的沉积特征,讨论了游荡性网状河和低弯度河沉积的对比,并选出了典型的实测剖面作为剖面模式。

为配合油气勘探工作,笔者对苏北高邮凹陷渐新统地层的各取心井段逐层进行了沉积相分析。发现作为主要储油层段之一的三垛组一段属河流冲积相成因。其早期,为游荡性网状河(以下简称为游荡性河)沉积,嗣后,渐变为低弯度河沉积。本文侧重讨论垛一段冲积相的特征及地层剖面中游荡性河与低弯度河沉积的鉴别。

## 一、沉积背景

苏北裂谷盆地自古新世起逐渐形成,至始新世处于强烈裂陷级段,当时地壳运动以周期性的横向拉张和垂直深陷为特征,裂谷盆地不断扩大,海水曾数度入侵,其中始新世晚期的海侵规模最大;始新世末期裂谷盆地遭受区域性抬开和强烈断裂活动,海水退出,原来统一的水盆被解体成数个断陷湖盆;进入渐新世时,盆地基本处于湖泊环境,此后地壳的裂陷作用逐渐减弱,各断陷湖盆渐变浅,水体逐渐萎缩;至渐新世晚期(三垛组沉积时期)裂谷盆地再次遭受区域性抬升进入衰亡阶段,广阔水体消失,仅在较低洼处残留小型湖沼,盆地基本处于陆上环境,此时地壳的裂陷作用中止,由拗陷作用替代,原来相互分隔的断陷小盆地又渐统一成大型拗陷盆地。盆地中垛一段的沉积形成于裂谷盆地进入衰亡阶段的初期,它的沉积特征及其沉积类型必然不同于此前裂陷阶段以湖泊环境为主的沉积,而以陆上河流沉积为主。同时,由于刚遭受区域性构造运动,早期地形坡降大,形成游荡性河;随剥蚀、夷平和沉积作用的进行,坡降渐减,从而向低弯度河发展。

## 二、冲积相特征

### (一) 岩性

为一套砂砾岩、砂岩和粉砂质泥岩的频繁韵律互层，具如下特征：

1. 岩石都带红色色调，以砂质为主的多呈浅棕色，泥质含量高的多呈红棕色；在细粒沉积物中可见铁质和钙质结核及薄层赤一褐铁矿和钙结层，反映了沉积物形成于陆上氧化环境。

2. 砂砾岩、砂岩的成份和结构成熟度普遍较低，表现在：碎屑成份复杂，不稳定组份含量较高（表1），多属岩屑长石砂岩，碎屑磨圆度差，分选差。表明造成垛一段沉积的河流具近源、快速侵蚀和堆积的洪水型特性。

表1 砂岩成分及结构成熟度

层段	Q 石英+硅质岩屑	F 长石	L 不稳定岩屑	Q/F	Q/F+L	分选性 $\sigma_i$
垛一段	65.43	21.35	13.22	3.11	1.98	1.29
	63.57	23.94	13.49	2.78	1.75	1.34
	58.8	23.03	18.17	2.60	1.46	1.34

从表1中可见，自垛一段底部到中、上部沉积物的成分和结构成熟度渐增。反映了随冲积相的发展，河流的流程和离源区的距离增长了，沉积特征有所改变。

3. 岩性组合在垂向上呈明显的正粒序结构，一个完整的组合（韵律层）自上而下由砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩组成。韵律层内岩性渐变，碎屑成分的变化有一定的规律，向上稳定组分含量略增，向下不稳定组分含量增多；韵律层底部与下伏沉积层间岩性突变或具明显冲刷现象。

然而，完整的韵律层在垛一段中出现不多，且厚度不大，顶部的泥质粉砂岩和粉砂质泥岩常缺失或变薄（表2）。从表2中还可见，中、上部的韵律层发育较完整，厚度相对较大，而下部的韵律层大多不完整，厚度相对较小。反映出在垛一段沉积时期，总的来说，河流具动能较大、摆动较频繁、冲蚀作用较强的特点，而这种特点在垛一段沉积早期较中、晚期表现得明显。

表2 垛一段河流沉积韵律层发育情况\*

层段	井号	剖面长 (m)	韵律层 总数	不完整韵律层数		完整韵律层数		韵律层厚度	
				个数	出现率 %	个数	出现率 %	单井平均	层段平均
E <sub>3</sub> <sup>1</sup> 中、上部	F15	84.97	18	7	38.89	11	61.11	3.64	3.66
	Z42	61.4	14	5	35.37	9	64.43	4.22	
	C12	9.5	3	2	66.67	1	33.33	3.31	
E <sub>3</sub> <sup>1</sup> 下部	C12	248.4	12	8	66.67	4	33.33	3.31	2.44
	Z42	40.3	9	6	66.67	3	33.33	2.91	
	Y2—2	39.	28	26	92.86	2	7.14	1.10	

\* 均根据取心井段实测资料统计。韵律层总数和韵律层厚度的统计均包括完整与不完整两类。凡顶部有粉砂质泥岩出现，下部有粗于砂岩的岩性韵律层划为完整韵律层。

(二) 粒度分布

对垛一段砂体进行系统粒度分析后获得的概率累积曲线及CM图式都较好地反映了砂体形成时的水动力状况及河流性质。

1. 概率累积曲线

根据形态特征及成因分析可归纳为：洪水型、流水型和堤泛型三类。

(1) 洪水型

有二种图式：一是粗、细组分段间无明显折点，曲线斜率低于50°，呈单一悬浮总体的图式（图1A）；二是粗、细组分段间有不太明显的折点，斜率较缓的部分为悬浮总体，斜率较陡的粗组分段可能为跳跃总体（在高密度的洪水流中它的搬运性质是不太清楚的），呈似二段式（图1B）。它们的共同特点是物质粗（C值为0.25—1.75φ，M值

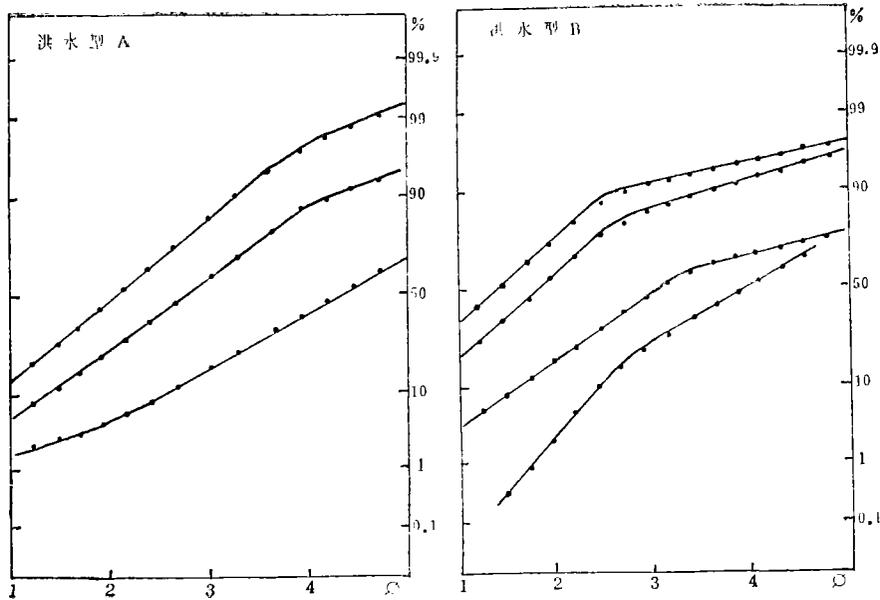


图1 垛一段砂体粒度概率累积曲线（洪水型）

为1.25—3.5φ），粒度分布区间宽，组分段间折点不明显，与浊流相曲线相似，表现为递变悬浮搬运特征。

这一类型主要见于垛一段下部砂、砾岩互层段中。在一个韵律层的下部多呈无明显折点的A图式，上部多呈似二段式的B图式。

(2) 流水型

以滚动、跳跃、悬浮三总体组成的三段式（图2A）为主；当水流动能较大时较粗物质也能呈跳跃状态被搬运，而出现由跳跃和悬浮两总体组成的二段式（图2B）。它们的特点是物质比洪水型细（C值为0—2.5φ，M值为1.5—3.75φ）。粗、细组分段间折点明显，跳跃总体含量高，滚动总体含量均低，曲线形态与现代典型河床相类似，表现出河床内牵引流的推移载荷搬运特征。

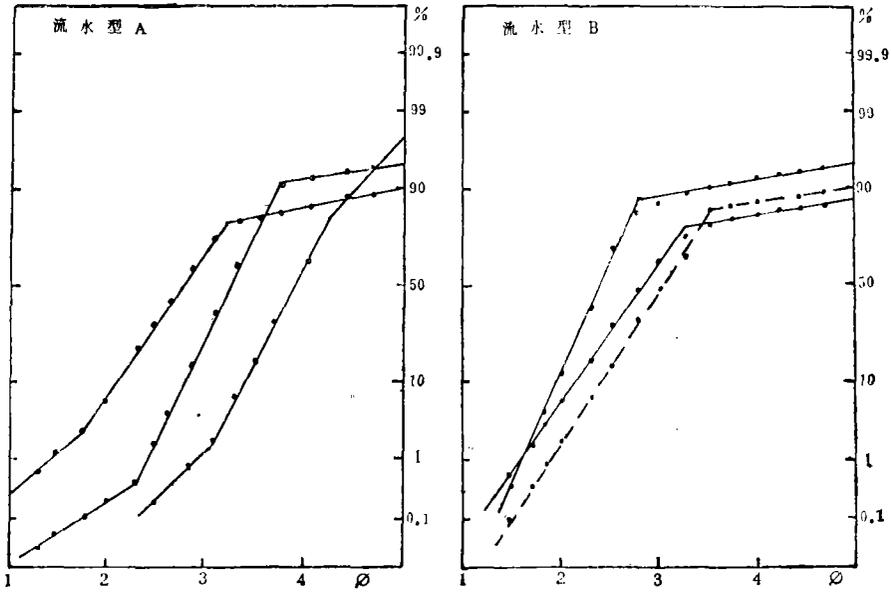


图2 垛一段砂体粒度概率累积曲线图（流水型）

这类曲线主要见于垛一段中、上部的砂岩中。在一个砂层的下部多呈二段式，上部多呈三段式。

(3) 堤泛型

特点是：粒度细（C值为2.5—3φ，M值为3.75—4.25φ），悬浮总体含量达95—100%，没有滚动总体、往往只表现为一直线，仅在水动力较弱时，不能将其所携带的细粒物质全部呈悬浮状态搬运才出现部分跳跃总体（图3），主要表现为均匀悬浮搬运性质。

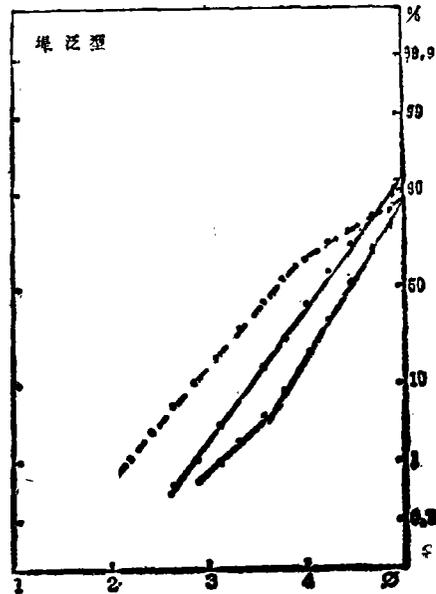


图3 垛一段砂体粒度概率累积曲线图（堤泛型）

2. CM图

用各样品粒度分布曲线上代表搬运能力上限的第1百分位数C ( $\phi_1$ ) 和代表介质总搬运能力的第50百分位数M ( $\phi_{50}$ ) 所制成的CM图, 比较明显地展现出河流作用的O-P-Q-R-S组合图象(图4)。样品点群在组合图象的各段内的集中程度见表3。

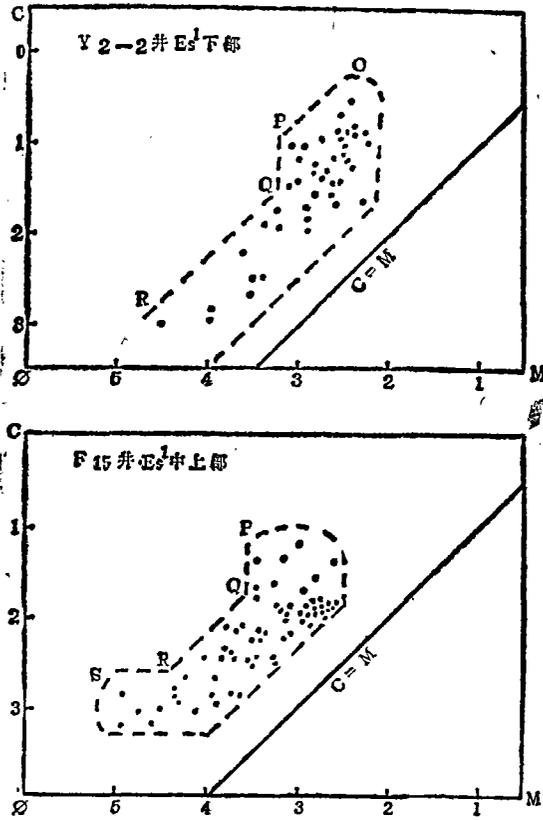


图4 垛一段冲积相的CM图

表3 高邮凹陷Es河流沉积砂体CM图点群分布特征

层 段	井 号	剖面长	O P 段	P Q 段	Q R 段	R S 段
Es <sup>1</sup> 中、上部	F15	84.97 m	—	24.14	65.52	10.34
	Z41	59.7 m	—	21.4	48.9	35.7
Es <sup>1</sup> 下部	Z41	40.3 m	1.5	37.3	53.7	3.0
	C12	258.4 m	4.88	36.58	58.58	—
	Z87	62.8 m	1.6	9.7	83.9	4.8
	Y2-2	33.45 m	2.38	47.62	50.0	—

•表中数据均为CM图上总样品数与落于各段中的样品数之比的百分数

从CM图式和表3中可以看出：

(1) 垛一段下部的样品点群大多集中于平行C=M基线的代表高密度强水流粒序悬浮搬运特征的QR段中，其次分布于代表河床牵引流推移载荷搬运性质的PQ段中，而代表河床底部悬浮加滚动搬运特征的OP段和代表河流上部细粒均匀悬浮搬运性质的RS则很少。体现垛一段下部以高密度洪水型河的下部旋回沉积为主，上部旋回的细粒沉积不发育，说明河流摆动频繁，具明显游荡性。

(2) 垛一段中、上部的样品点群分布与垛一段下部相比，相似之处是仍主要分布于QR中，体现了洪水河性质；不同之处在于无OP段，而RS段则表现得较明显（与已知高弯度河图象相比，其RS段所占比例还较低），说明随冲积相的发展河流的游荡性减弱，上部旋回沉积较发育，河道趋于较稳定，呈低弯度河性质。

(三) 沉积构造

以发育各种单向流水型层理和底部冲刷构造为特征。在垂向剖面中随岩性由粗到细的韵律变化，沉积构造也有着相应的组合规律。综合垛一段中所见，岩性、沉积构造与流水强度间的关系见表4。

表4 垛一段冲积相岩性、层理、流水强度间的关系\*

水流强度		层理类型	岩性
静流	床沙无起伏 $F \lll 1$	块状层理	粉砂质泥岩
	沙纹 $F \ll 1$	水平层理	泥质粉砂岩
	沙垄 $F < 1$	波状层理 小型交错层理 (斜波状、槽状、板状)	粉砂岩
	过渡性 $F \leq 1$	大型交错层理 (单斜、槽状、板状)	砂岩
$F > 1$	过渡性层理		
急流	平坦床沙 $F > 1$	平行层理	含砾砂岩
	混浊流快速堆积 $F \gg 1$	粒序层理 块状混杂构造	砂砾岩
	冲刷及刻蚀 $F \gg \gg 1$	冲刷构造	砾岩

\*根据刘宝璋主编的“沉积岩石学”(1979)330页插图改编。

在垂向上沉积构造的这种组合序列，反映了流水强度由强变弱的过程。一个单韵律层代表了一次由强到弱的流水沉积作用。在垛一段冲积相中，完整韵律层的总厚度及其中各岩性小层的厚度都不太大，但韵律层中岩性及沉积构造的变化却表现得较明显。说明每次水流的持续时间并不长。由此也进一步反映了垛一段冲沉相具季节性洪水沉积特性。

此外，对比垛一段下部与中、上部的沉积构造特征，发现有如下规律的差异：垛一

段下部以 $F > 1$ 的急流型构造为主，表4组合序列上部的小型和水平层理很少见，冲刷现象十分发育，说明河流作用动能大，且变化快；垛一段中、上部构造类型丰富，由平行到水平，从大型到小型，组合序列较完整，总的来说以 $F < 1$ 的静流型为主，体现河流作用较稳定。垛一段下部与中、上部在沉积构造方面反映出来的差异，与岩性及粒度分析资料的对比结果基本一致。

(四) 亚相类型

垛一段河流冲积相可进一步划分出：河床滞留沉积、心滩沉积、边滩沉积、串沟淤填沉积、天然堤沉积、洪泛平原沉积等亚相类型。各类型的主要相标志见表5。

表5 垛一段河流沉积各亚相特征

亚相类型	岩 粉	沉 积 构 造	粒度分布	剖面位置	沉积作用
洪泛平原沉积	粉砂质泥岩	多呈块状，有时可见水平—微波状层理以及由同方向的水流迭置沉积形成楔状交切层理*	分布	上部	垂向加积
天然堤沉积	粉砂质泥岩与泥质粉砂岩互层	爬升—波状层理、水平层理 以具同生淋滤成因的钙质结核、钙结层及大型垂直虫穴为特征	曲线呈堤	中部	
串沟淤填沉积	以粉砂质泥岩为主，有时为泥质粉砂岩	块状构造，底部有时有泥砾	泛型	关于边滩沉积中	
边滩沉积	各种粒级的砂岩	层理类型丰富 从平行→水平 从大型→小型	自下而上粒度变细分布曲线呈流水型	下部	侧向加积
心滩沉积	砂岩、含砾砂岩、砂砾岩互层	平行层理、斜层理、大型交错层理	自下而上砾石含量及砾径递减	中部	侧向加积
河床滞留沉积	砂砾岩、砾岩	多呈块状混杂构造，有时呈粒序层理或由砾石定向排列成斜层理 底部发育冲刷构造	分布曲线呈洪水型	底部	

\* 楔状交切层理洪泛平原上废弃河道沉积的代表性特征。

亚相组合在垛一段下部与中、上部也有差异：下部主要由河床滞留沉积和心滩沉积组成（缺乏细粒沉积）；中、上部以出现串沟淤填沉积为特征，主要由边滩、天然堤、洪泛平原沉积等组成（细粒沉积发育）。

综上所述，垛一段冲积相具快速侵蚀、快速搬运和堆积的特征，是季节性洪水河的产物。而垛一段下部与中、上部的特征差异则是河流类型不同，沉积作用有别所致。

### 三、古河流类型及其鉴别标志

一般按河流的弯曲性和游荡性将河流分为: 高弯度河、底弯度河、游荡性河(网状河)。在古代地层中鉴别古河流类型主要依据: 剖面结构、沉积构造及亚相组合等标志。

从垛一段下部到中、上部, 剖面的韵律结构由大多不完整、不太明显到较完整、较明显; 砂体的成分成熟度和分选性渐增; 搬运方式由PQ—PR组合为主到以QR—RS组合为主; 由河流下部旋回的砂、砾岩互层为主到以河流上部旋回的砂、泥岩互层为主。在垛二段中(无岩心资料), 剖面的韵律结构十分明显而完整, 单韵律层的厚度及韵律层中泥质粉砂岩和粉砂质泥岩所占比例均大于垛一段。反映了从垛一段沉积早期到晚期, 随河流冲积相发展, 河流性质由游荡性河渐变为低弯度河, 至垛二段沉积时期则变为高弯度河沉积。这种变化是符合河流发展规律的。垛一段游荡性河与低度弯河沉积的鉴别标志见表6。

表6 高邮凹陷E<sub>s</sub>游荡性河与低弯度河沉积特征对比表\*

沉积类型		游荡性河冲积相	低弯度河冲积相
发育层位		E <sub>s</sub> <sup>I</sup> 下部	E <sub>s</sub> <sup>I</sup> 中、上部
剖面韵律结构特征		大多不完整, 单韵律层厚度较小 河流上部旋回不发育	大多完整, 单韵律层厚度较大 河流上部旋回沉积较发育
砂体成熟度	F	22.98	21.35
	L	15.84	13.22
	Q/E	2.66	3.06
	Q/F+L	1.58	1.89
粒度分布	概率图式	洪水型—流水型	流水型—堤泛型
	CM图式	RS段不发育	RS段较发育, 无OP段
层理特点		以F>1的各种层理和大型交错层理为主	以F<1的各种交错层理为主
亚相特征		以砂、砾互层的心滩沉积为特征	以出现边滩及串沟淤填沉积为特征

\* 表中砂体成熟度数据根据各取心井段的数值平均而得

### 四、剖面模式

为便于在观察和分析地层剖面时鉴别游荡性河与低弯度河沉积, 现选择垛一段中较典型的实测钻井剖面作为剖面模式。

#### (一) 游荡性河冲积相剖面(图5)

图5剖面具如下特点:

1. 仅有河流下部旋回的粗粒沉积, 缺乏河流上部旋回的细粒(粉砂和泥)沉积。
2. 具频繁的正韵律结构, 表现为砾、砂岩互层。在总厚仅15.1m的剖面中有8—9个正韵律结构层, 韵律层间均有明显冲刷现象。

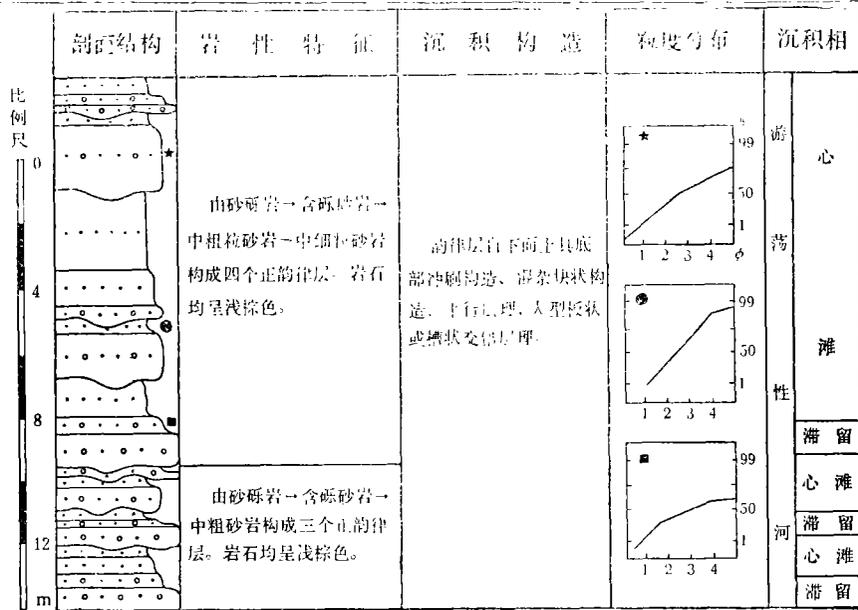


图5 垛一段下部游荡性河沉积剖面

3. 整个剖面自下而上粒度由粗变细，韵律层厚度由小变大，沉积构造由以  $F > 1$  为主渐变为以  $F < 1$  为主，粒度分布曲线由以洪水型为主渐变为以流水型为主。

4. 仅是河床滞留沉积和心滩沉积二种亚相类型。

该剖面处于垛一段下部，形成于山前冲积平原的早期发育阶段。那时地形坡降大，河流湍急，迁移速度快，细粒沉积物都在“游荡”中被侵蚀未能保存下来。随冲积平原的发展坡降渐降，游荡性减弱，因而相对较细的碎屑物得以沉积，堆积厚度相对较大。这是一个河流的游荡性由强变弱的较典型沉积剖面。

(二) 低弯度河冲积相剖面 (图6)

图6剖面处于垛一段中上部，具如下特点：

1. 除发育较粗的河床沉积 (下部旋回) 外，还发育细粒堤泛沉积 (上部旋回)。与游荡性河沉积相比，粒度较细。说明形成时地形坡降相对较小，流速相应较缓，迁移和冲蚀能力较弱，河道相对较稳定。

2. 砂岩层中均夹有薄层泥岩。在游荡性河沉积中没有这种现象，只可能在砂、砾互层的砂层之上，砾层之下，即在韵律层的顶部，偶而出现残存的薄层或透镜状细粒沉积。在韵律层内部的砂层间出现的薄层泥岩属串沟淤填沉积，表明河流具一定弯度，其两侧的砂岩为边滩沉积。

3. 边滩沉积厚度不大 (为 1.2—3.65m)。根据现代河流沉积资料，弯度大的河流的边滩沉积厚度大 (如密西西比河的边滩厚度为 6—7m)；弯度小的小河流的边滩沉积厚度小 (一般为 1—3m 左右)。可见图6剖面属低弯度小河沉积。

4. 自下而上，沉积物粒度由粗变细，边滩厚度由小变大，层理由以大型交错为主变为以小型交错为主，粒度分布曲线由以流水型为主渐变为以堤泛型为主。反映了随冲积平原的发展，河道渐趋稳定，深度和弯度渐增大。

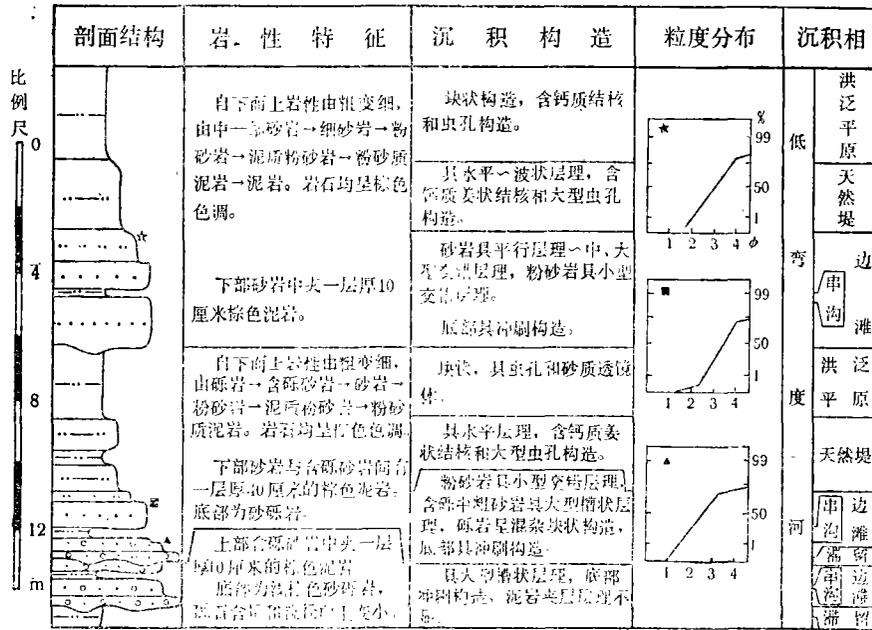


图6 垛一段中上部低弯度河沉积剖面

### 五、结 束 语

在各个地质历史时期都有沙质河流的沉积物存在，这些沉积物能形成重要的油气储层。由于游荡性河体系中缺乏泥质沉积，使在地层剖面中保存下来的泥岩，在横向上也不连续，不能有效地阻挡油气运移。而弯度河沉积剖面中泥岩较发育，能形成较好盖层，使其下伏的边滩沉积常成为有利油气聚集场所。在苏北盆地垛一段沉积中的重要油气储层大多为边滩沉积。而游荡性河的心滩沉积虽粒度粗、岩性较疏松，但很少形成油气储层。在苏北盆地中今后若能进一步查明边滩沉积的空间分布规律将有助于油气勘探。

因此进一步研究河流冲积相的沉积特征，探讨弯度河与游荡性河流沉积的识别标志，无论在理论上，还是在生产实践中都是很有意义的。

工作中得到江苏石油勘探开发公司地质研究院的大力协助，在此致谢。

(收稿日期：1986年9月8日)

### 参 考 文 献

[1] 成治, 1976, 某地白垩系中的冲积相, 地质科学, 第4期, 337—351页。  
 [2] 任明远, 王乃梁, 1981, 现代沉积环境概论, 科学出版社。  
 [3] 陈昌明, 黄家宽等, 1982, 中国东部第三纪裂谷盆地的沉积模式, 中国科学院地质研究所论文集, 141—154页, 科学出版社。  
 [4] 严钦尚, 张国栋等, 1979, 苏北金湖凹陷阜宁群的海侵和沉积环境, 地质学报, 第1期, 74—83页。  
 [5] Stur.M.M., 1966, Highand Low Sinuosity Steam Deposits with Examples from the Devonian of Spitsbergen, Journal of Sedimentary Pctcrology, V.36, P.1102—1117.

SEDIMENTARY CHARACTERS OF BRAIDED AND  
LOW-SINUOSITY STREAMS IN SANDO FORMATION OF  
LOWER TERTIARY, NORTHERN JIANGSU PROVINCE

Dong Rongxin

( Marine Geology Department, Tongji University )

**Abstract**

In the sediments of paleostreams, there are certain amount of rare mineral deposits, such as gold, diamond, uranium, platinum and monazite, etc. and some important oil/gas reservoirs as well. Therefore, it is practically significant to study the ancient fluvial sediments. Up to the present, much analysis have been made on the sedimentation of the sinuous streams, but those on braided streams are not enough.

Taking Lower Tertiary fluvial sedimentation in Sando Formation of Northern Jiangsu as an example, the characters of fluvial sedimentation, and the relation between braided streams and low-sinuosity streams are discussed in this paper. For the recognition of the sedimentary characters of such streams, especially of the characters in ancient stratigraphic profiles, the author of this paper establishes a typical profile as a model.