

# 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类

薛良清<sup>1)</sup> W. E. Galloway

(美国得克萨斯大学奥斯汀分校地质系)



本文主要讨论扇三角洲和辫状河三角洲的成因和沉积特征。扇三角洲是由风暴型流量控制的;辫状河三角洲通常是由湍急洪水控制的。这两种三角洲象正常的三角洲那样经受过海洋的改造。根据沉积过程和海洋改造的性质,可把三角洲体系划分为 9 种类型。

扇三角洲和辫状河三角洲对勘探石油具有重要的意义。在前陆盆地和板内裂谷沉降盆地中,人们发现扇三角洲常常形成聚集油气的复合圈闭。

## 一、序 言

最近几年来,人们识别出两种粗碎屑三角洲:即扇三角洲与辫状河三角洲。扇三角洲是从邻近高地直接前积到停滞水体中的冲积扇<sup>[1]</sup>。它们占据了高地与海、湖盆之间的空间。辫状河三角洲是由辫状河体系(包括河流控制的潮湿气候冲积扇和冰水冲积扇)前积到停滞水体中形成的富含砂和砾石的三角洲<sup>[2,3]</sup>。辫状河三角洲在以前的分类上归属于扇三角洲范畴。McPherson 等(1987)认为把辫状河三角洲从扇三角洲中分出来有两个理由<sup>[2]</sup>:第一,辫状河或辫状河平原毕竟与冲积扇没有什么联系,如在阿拉斯加和冰岛海岸发现的冰水辫状河与冰水辫状河平原<sup>[4,5]</sup>;第二,与冲积扇毗连的辫状河冲积平原通常是几十公里、甚至上百公里长,严格地说,并不真正是冲积扇复合体的组成部分。根据三角洲体系的陆上沉积过程和海洋改造性质,我们描述包括扇三角洲、辫状河三角洲和正常的三角洲在内的三角洲体系的分类。

## 二、三角洲体系的沉积过程

三角洲体系(包括粗碎屑三角洲与正常的三角洲)是由冲积扇和/或河流体系的建设过程与由盆地作用或破坏过程对沉积物的改造再分布的相互作用的产物。

### (一) 建设过程

扇三角洲的沉积过程包括冲积扇的所有过程,如碎屑流、瞬间流、片流和筛状沉积;辫

1) 由北京石油勘探开发研究院 1987 年派往美国攻读博士学位。

本文于 1990 年 2 月收到,7 月改回。郝粹国编辑。

状河三角洲由限定性差的底载荷辫状河道控制。作者主要讨论沉积物输入量的特征、河口沉积作用与碎屑流的意义。

1. 沉积物输入量: 扇三角洲由风暴型流量控制, 展现出一种瞬时的、甚至是灾变性的沉积事件的记录。它们以最短的沉积时期、最大的流量与最大的可变性为特征[图 1(A)]。

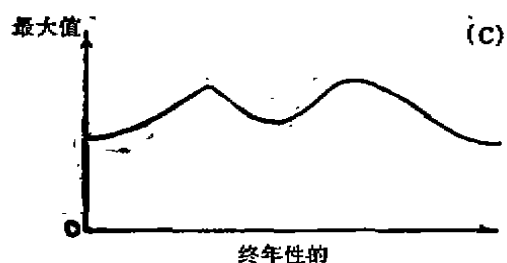
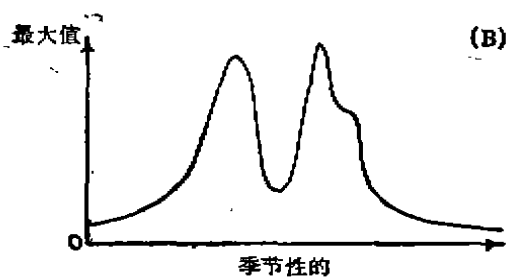
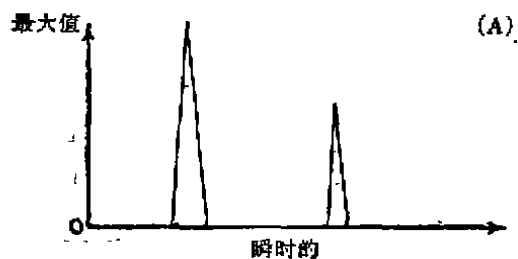


图 1 三角洲体系沉积物输入量的理想模式。  
(A) 扇三角洲的风暴型流量; (B) 辫状河三角洲  
湍急洪水控制的流量; 和 (C) 正常三角洲的连续型  
流量。

Fig. 1 Ideal patterns of discharge and sediment influx into a delta system. (A) Storm-dominated discharge typical of fan-deltas; (B) flashy/flood-dominated discharge typical of braid deltas; and (C) continuous discharge typical of common deltas

辫状河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[图 1(B)]。如布拉马普特拉河(印、孟)的降雨量随季节而变化, 绝大部分降雨发生在 5—11 月之间, 9 月为降雨高峰<sup>[6]</sup> (图 2)。在冰水冲积扇地区, 沉积物的最大输入量在夏季, 最小输入量在冬季。而正常的三角洲为相对连续的终年河流的产物[图 1(C)]。沉积物输入量决定了三角洲平原的特征, 因此, 这也是区别扇三角洲、辫状河三角洲和正常的三角洲体系的最重要基础。

2. 河口沉积作用: 关于扇三角洲、辫状河三角洲和正常的三角洲的河口沉积作用的比较, 还存在着不同的意见。McPherson 等人提出在比较粗、细碎屑三角洲的潮汐能量与波浪能量时应该谨慎, 因为它们的河口地貌动力学存在着很大差异<sup>[2]</sup>。笔者赞同他们关于三角洲体系海洋改造作用进行比较的观点, 但认为扇三角洲与辫状河三角洲的河口作用过程是不同的; 而后者与正常的三角洲的河口作用相似。扇三角洲是风暴型控制的不连续的沉积作用过程。沉积物供应表现为短促的阶段性倾向。扇三角洲的河口地貌动力学(沉积物供应的快速发生, 不时打断了稳定的扩展周期)形成限定性差的分流河口坝和限制分流河道的形成。辫状河三角洲则具有不同的特点: 第一, 具限定性的河口存在; 第二, 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并具有与正常范围的海洋或湖泊相互作用的足够的持续时

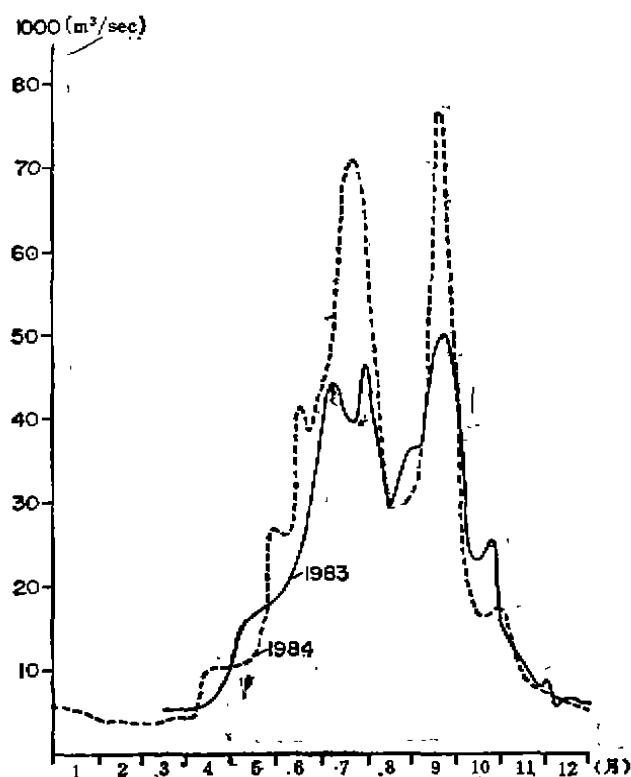


图 2 布拉马普特拉河 1983—1984 年的水文曲线图 (据 Bristow, 1987)

Fig. 2 Brahmaputra River hydrograph for 1983—1984. Discharge measurements made by Bangladesh Water Development Board at Bahaderabad. Peak discharge of 75,700 m<sup>3</sup>/sec on September 19th, 1984 was in excess of the predicted 10-year flood and caused extensive overbank flooding (from Bristow, 1987)

间。

3. 碎屑流: 碎屑流是能够搬运大颗粒的、由粘土和水提供低粘度介质的高屈服强度的重力驱动的流体<sup>[7]</sup>。碎屑流沉积物是冲积扇的重要有机组成部分<sup>[8-10]</sup>,也是区别扇三角洲、辫状河三角洲和正常三角洲的平原相的最重要的特征<sup>[2]</sup>。扇三角洲的碎屑流,通常前积到停滞水体中,在水下,它们的流动性不断增强,随后并演化为较稀释的密度流<sup>[11]</sup>。如在霍纳伦盆地, Gloppen 和 Steel 描述了侧向上与陆上碎屑流和湖盆沉积物相当的成互层的水下碎屑流<sup>[12]</sup>(图 3)。因此,扇三角洲的水下部分,可以通过识别由扇三角洲平原的陆上碎屑流直接演化而来的水下碎屑流沉积物与辫状河三角洲的水下部分加以区别。

## (二) 破坏过程

许多作者评述了粗碎屑三角洲的破坏过程<sup>[1,13-23]</sup>。综合他们的意见,可以得出以下几点基本认识:

粗碎屑三角洲所受到的海洋的影响要比正常三角洲小,这是因为它们通常以很高的

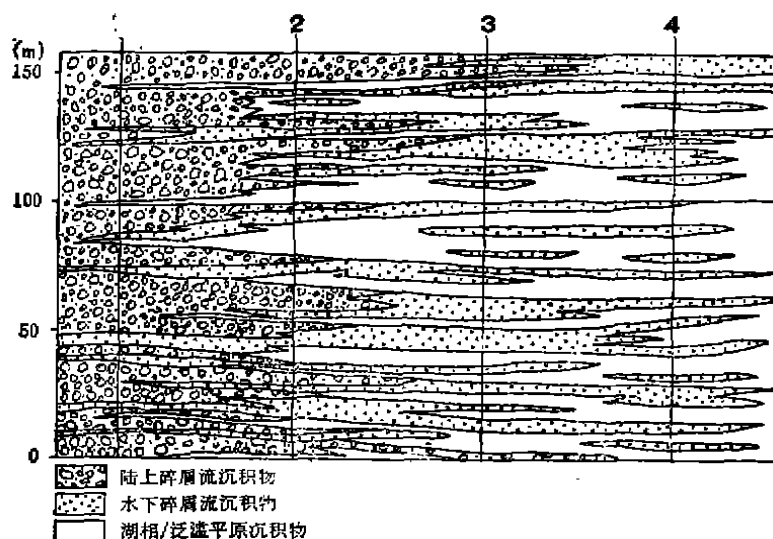


图3 尼布瓦特纳扇三角洲的陆上与水下碎屑流和湖相沉积物之间的地层关系  
(据 Gloppen 和 Steel, 1981)

Fig. 3 Stratigraphic relationships of subaerial and subaqueous debris flow deposits, and lacustrine deposits, Nibbevatnet fan-delta, Hornelen basin, Norway  
(from Gloppen and Steel, 1981)

粗碎屑沉积物输入为特征。在相同的输入强度下,波浪与潮汐能量对扇三角洲岸线改造的影响要比辫状河三角洲小。

另一方面,虽然粗碎屑三角洲以高含量的粗碎屑沉积物输入为特征,但由于其沉积物输入事件间的间隔较长,因而又要经受更多的改造作用。洪都拉斯扇三角洲是很好的例子<sup>[27]</sup>。在较大的洪水期,洪都拉斯扇快速前积;而在间歇期,它们经受波浪的改造,表现为海岸退缩和沙嘴向下迁移生长。

河口沉积物和及其相当的经受过海洋改造的三角洲前缘产物,为重力势能的改造、破坏和再活化作用提供了理想的基础,特别是在较陡的粗碎屑扇三角洲和辫状河三角洲中更是如此。三角洲体系的组成(如粒径、矿物)决定了相关的深海扇体系的组成。河控三角洲供给的斜坡体系具有较高含量的泥和粉砂;而以辫状河三角洲为物源的,一般为富砂的斜坡体系。

### 三、三角洲体系的分类

综合现代三角洲体系作用过程的格架和与此相关的形态学与沉积物的分布模式表明,3种基本的作用过程决定了三角洲的几何形态与砂及砾石骨架相的分布。这3种作用过程是:(1)沉积物输入;(2)波浪能量;(3)潮汐能量<sup>[24]</sup>。作用过程的格架提供了识别三角形分类图的端元三角洲类型的基础。这些端元——河控、浪控和潮控三角洲——构成了三角形分类图的端点<sup>[24]</sup>。在这个分类中,现代或古代的三角洲都能找到相应的位置。

扇三角洲和辫状河三角洲象正常三角洲那样,具有相似的冲积和/或河流的前积沉积作用过程,并且受到海洋作用过程的改造(包括湖盆波浪改造)。显然,一个包括扇三角洲、辫状河三角洲和正常三角洲在内的三角洲体系完整谱系的扩展分类是十分有用的。

象 Galloway (1975) 在正常三角洲分类三角图<sup>[24]</sup>中强调的那样,根据陆上沉积过程和海洋改造性质,把三角洲体系分成 9 种三角洲类型(表 1)<sup>[25]</sup>。绝大多数三角洲,无论是现代的还是古代的,反映为建设性的河流作用过程和破坏性的波浪或/和潮汐作用过程的综合影响<sup>[24]</sup>。扇三角洲和辫状河三角洲象正常三角洲一样,很少见理想的端元类型,大多为过渡类型。

表 1 三角洲体系的分类(据 Galloway 和薛良清,1988)

Table 1 The classification of delta systems (after Galloway and Xue Liangqing, 1988)

三角洲平原 三角洲前缘	冲积扇	辫状河平原	分流平原
河 控	扇三角洲	河 控 辫状河三角洲	河 控 三角洲
浪 控	浪 控 扇三角洲	浪 控 辫状河三角洲	浪 控 三角洲
潮 控	潮 控 扇三角洲	潮 控 辫状河三角洲	潮 控 三角洲

这个分类强调扇三角洲、辫状河三角洲与正常三角洲实际为一个连续谱系的组成部分。如在得克萨斯州帕洛杜罗盆地宾夕法尼亚纪(相当于晚石炭世)——二叠纪的扇三角

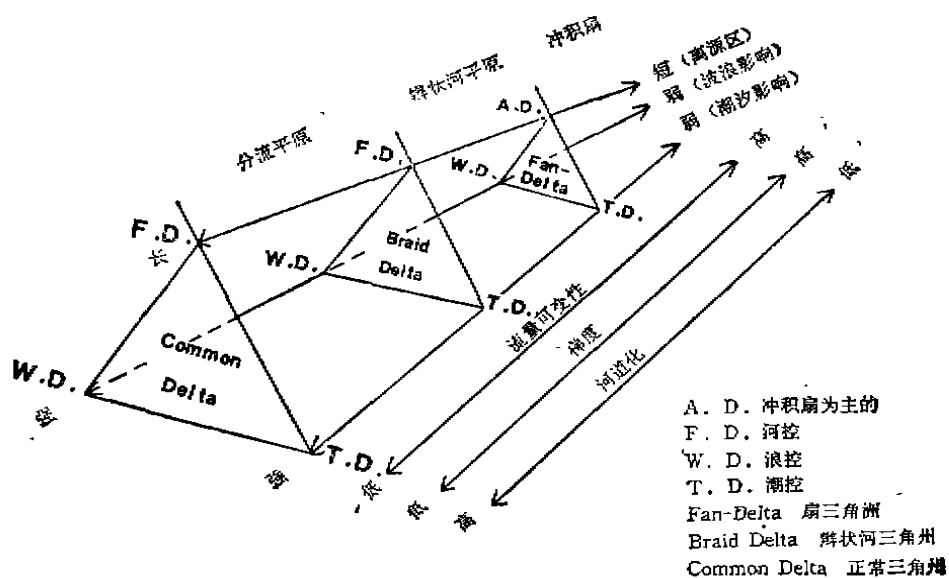


图 4 三角洲体系的连续谱系图

Fig. 4 The continuous spectrum of delta systems

洲体系中,也存在着某些辫状河三角洲<sup>[15,16]</sup>。在意大利的内亚平宁盆地,上新世的辫状河三角洲(原称之为扇三角洲)<sup>[17]</sup>虽然存在部分砾石,但展现出包括三角洲平原蛇曲河道在内的许多“正常”三角洲的特征<sup>[2]</sup>。正常三角洲也可具有辫状分流河道。河控、浪控和潮控端元类型之间的关系显示在三角图中(图4)。扇三角洲、辫状河三角洲和正常三角洲的连续谱系沿着箭头方向表示(图4)。

#### 四、三角洲体系的特征

三角洲体系的相序由两个基本部分组成:即陆上台地的三角洲平原沉积物和水下前三角洲与滨面的三角洲前缘沉积物。这两个基本部分各有不同的特征沉积状态和沉积过程。

##### (一) 三角洲平原环境和相

三角洲平原相提供了区分扇三角洲、辫状河三角洲和正常三角洲的最重要的基础。

扇三角洲的陆上部分是由碎屑流、筛积舌状体、片流和短暂的辫状河道沉积物互层组成的冲积扇。在亚拉斯扇三角洲<sup>[146]</sup>,冲积扇的水道占主导地位;而在霍纳伦盆地的泥盆纪扇三角洲,碎屑流为主要的沉积机制<sup>[147]</sup>(图3)。

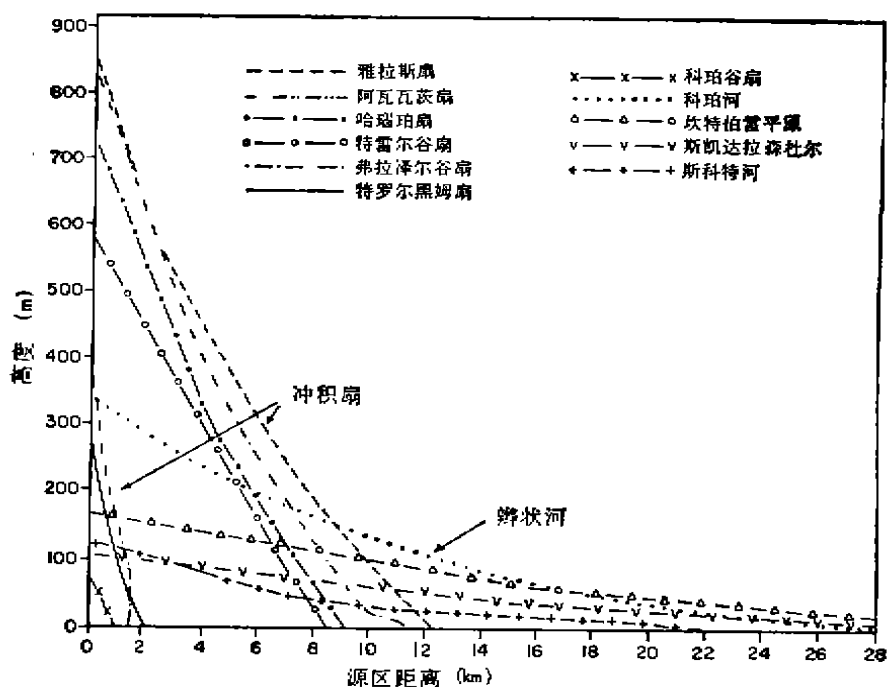


图5 冲积扇与被引为湿型冲积扇和扇三角洲的砾质辫状河的纵向剖面  
(据McPherson 等修改, 1987)

Fig. 5 Longitudinal profiles of alluvial fans, and gravelly braided rivers commonly cited as examples of wet-type alluvial fans and fan-deltas (modified from McPherson et al., 1987)

对潮湿气候的或湿型的冲积扇(包括冰水冲积扇),人们还存在着不同的认识。有的认为端元类型的湿型冲积扇完全是由辫状河道相组成<sup>[5,28,29]</sup>。这样的话,对岩石记录中的冲积扇和辫状河道相,需要进行三维空间的综合描述。人们很少强调区分扇三角洲与辫状河三角洲。然而,从严格的地貌意义上讲,冲积扇具有相对限制的规模(一般半径小于 10 km)、1—5 度的坡度<sup>[30]</sup>的显著特点。根据这些特点,可把冲积扇与伸长状的辫状河及其它冲积平原体系清楚地区别开来(图 5)。虽然潮湿气候的冲积扇受到很强的季节性变化影

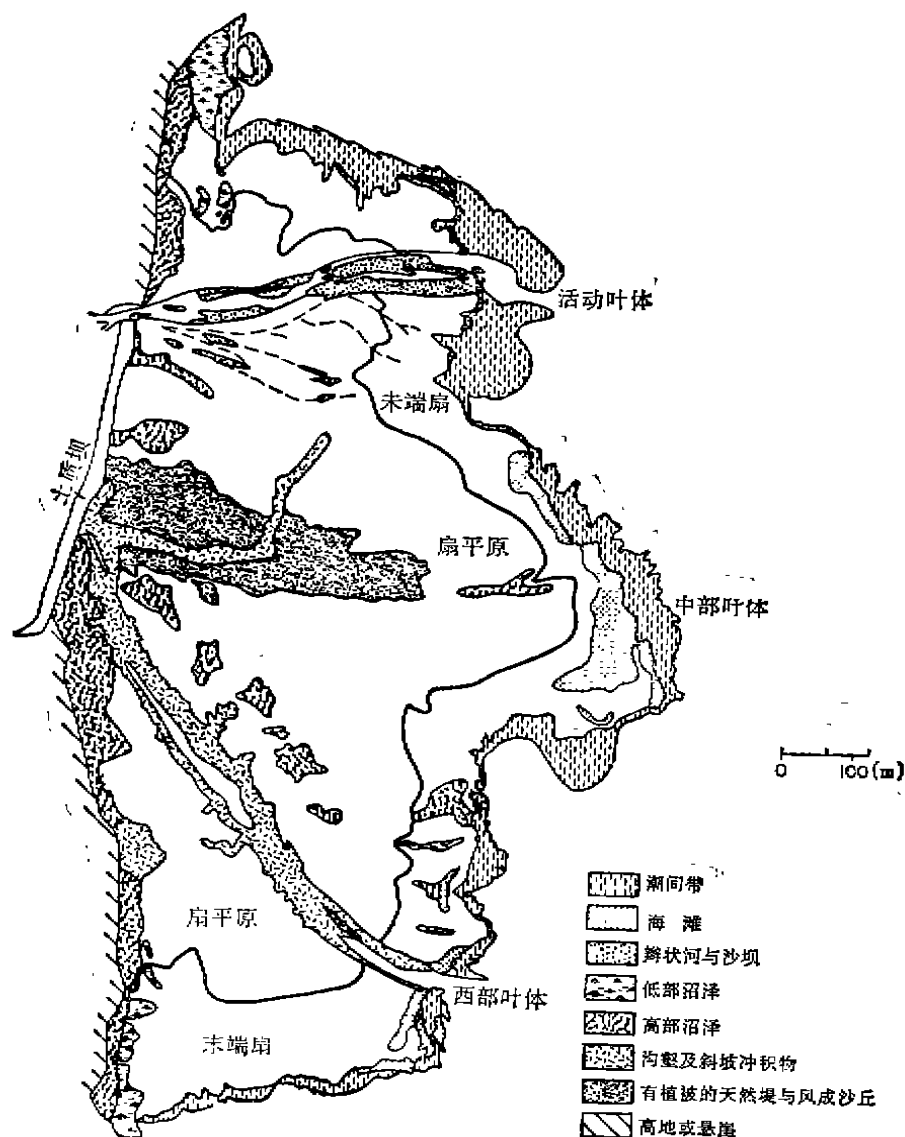


图 6 得克萨斯南部的古姆霍洛扇三角洲概要图<sup>[33]</sup>(据 McGowen 修改, 1970)

Fig. 6 Sketch map of Gum Hollow fan delta, a small fan-delta constructed by storm runoff into a shallow bay along the South Texas Coast (modified from McGowen, 1970)

响,但连续的流量是其典型特征。其端元类型湿型冲积扇不能代表冲积扇特征的作用过程;它可以更直接地与短促的、高梯度辫状河或辫状河平原体系进行类比<sup>[31,32]</sup>。

另外,扇三角洲的地理和构造背景也具有独有的特征。它们紧靠山地前缘或构造造成的悬崖地形(通常为盆地边缘的边界断层)(图6)。所以,古地理和古构造背景提供了

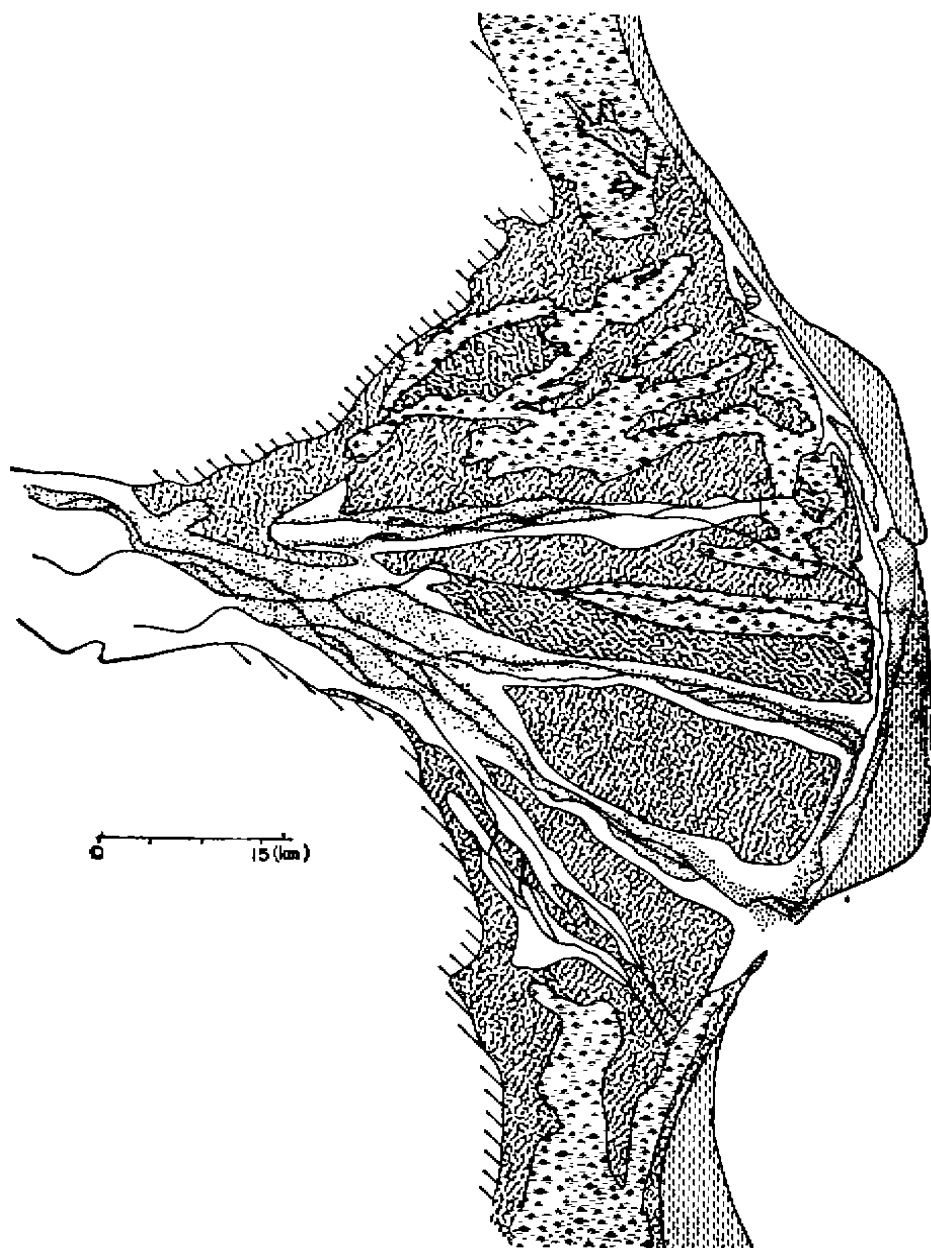


图7 阿拉斯加西南部的雷德格拉西尔浪控辫状河三角洲概要图

Fig. 7 Sketch map of the Red Glacier braid delta, a wave-dominated outwash delta, Southwest Alaska

图例同图6



在岩石记录中区分扇三角洲与辫状河三角洲的进一步证据。

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(图 7)。辫状河道充填物为宽/厚比高的、宽平板状的、沿倾向的多侧向砂岩带。底部冲刷面具有比较平缓的特征,表现为低度的地形起伏。河道充填层序主要由砂岩所组成,也常见砾岩。辫状河道的沉积单元包括成互层的横向沙坝或纵向沙坝或它们两者的透镜体,并挟夹有丰富的小到中等、从砂到泥充填的冲蚀槽。其详细的内部结构是复杂的,但多个沉积单元完整叠合起来就会产生广泛分布、均一组成的厚单元<sup>[28,34]</sup>。与冲积扇相比,辫状河沉积物以河流体系的高度河道化,更深、更持续的水流和很好的侧向连续性为特征。

简言之,扇三角洲平原沉积物由冲积扇相所组成。辫状河三角洲层序的顶部为辫状河平原相。正常三角洲则表现为低度起伏的三角洲平原陆上相与浅水相的镶嵌画面。

## (二) 三角洲前缘环境和相

三角洲体系端元类型的三角形分类是建立在三角洲前缘的沉积过程和沉积状态的基础上。

1. 河控三角洲体系: 在河控三角洲体系中,沉积物输入的速率和体积超过了盆地能量对三角洲活动边缘的再改造能力。扇三角洲在形状上象扇(图 6); 而辫状河三角洲为舌状到轻度的伸长状。相反,河控正常三角洲叶体的几何形态从高度伸长状到鸟足状。

辫状河三角洲象正常三角洲一样具有限定性的河口坝。扇三角洲则为发育很差的、或甚至缺乏河口坝。这是因为扇三角洲的河口地貌动力学(通常为很弱沟道化的碎屑流或片流沉积物供应的快速发生,不时打断稳定的扩展周期)导致了限定性差的分流河道形成。另外,正如以上讨论的,扇三角洲通常富含水下碎屑流沉积物。一般来说,水下碎屑流沉积物为基质支撑、分选较差,并包含棱角状到亚圆状的粗碎屑。它由陆上碎屑流沉积物演化而来,并存在于三角洲前缘的上部层序中(图 3)。辫状河三角洲的沉积物重力流沉积物,集中在较低的前三角洲与盆地平原环境中(图 8)。然而,由扇三角洲前缘滑塌产

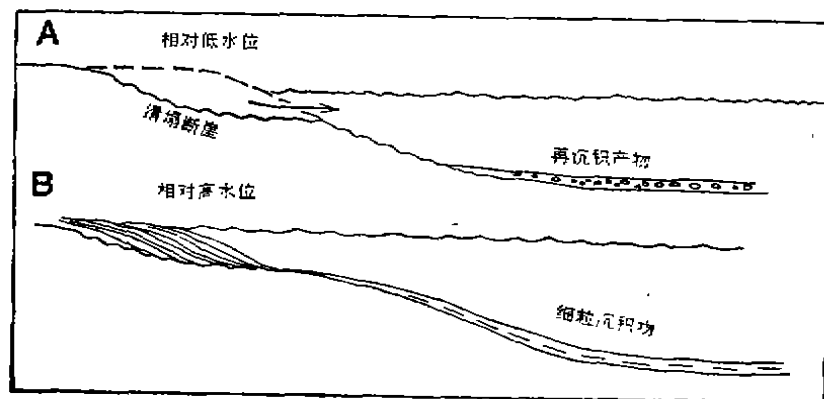


图 8 内亚平宁盆地南缘的古流向剖面(据 Ricci Lucchi 等简化,1987)

Fig. 8 Section normal to paleoflow of the southern margin of the Intra-Apenninic Basin (simplified from Ricci Lucchi et al., 1987)

生的沉积物重力流沉积物,也存在于前三三角洲与盆地平原中。因此,用它们来区分扇三角洲前缘与辫状河三角洲前缘是困难的。综上所述,扇三角洲水下部分的层序,以水下碎屑流沉积物的分布和发育很差或缺失河口坝,而可与辫状河三角洲的水下部分相区别。

2. 浪控三角洲体系:在浪控三角洲体系中,大多数最先沉积在分流河口坝的底载荷经受了波浪的改造,并由沿岸流搬运、沿三角洲前缘方向再沉积下来,导致了很发育的、聚结滩脊的形成。浪控三角洲体系的平面几何形态为弓形或尖头状。由于扇三角洲和辫状河三角洲通常以高含量的粗碎屑沉积物输入为特征,因此,它们经受海洋作用过程的影响,比正常的三角洲要小一些<sup>[2]</sup>。但是,它们又要经受沉积物输入间歇期的较长的改造作用。Hayes 和 Miches 论述了阿拉斯加东南海岸反映沉积物供应与波浪相互作用的辫状河三角洲(他们的扇三角洲)岸线沉积体系<sup>[20]</sup>。在波浪很小的地区,产生舌状三角洲;而在风暴浪地区,则为弓形三角洲<sup>[21]</sup>。牙买加东南部的 Yallahs 扇是一个浪控扇三角洲的极好实例<sup>[26]</sup>。

3. 潮控三角洲体系:随着潮汐能量的增加,潮流对分流河口坝的几何形态进行改造并对底载荷沉积物进行再分布。与波浪改造相反,沉积物搬运主要在倾向方向。沉积物从河口搬运出来,再扩散到由悬浮沉积物的快速混合和沉降构成的宽阔的浅水前三三角洲台地。河口坝被改造成一系列的伸长状的坝。这些坝存在于很好的河口到水下三角洲前缘台地。潮控三角洲平原几何形态被描述成不规则的或河口湾状<sup>[28]</sup>。Kostaschuk (1985)报道过大潮(4m)对辫状河三角洲(他的峡湾三角洲)的主要影响,就是改变分流河口的位置。潮控扇三角洲的实例还没有被研究过。我们推测扇三角洲梯度较陡和缺乏供潮汐改造的限定性河道的缘故。因此,在岩石记录中,识别潮控三角洲需要仔细检查潮汐沉积物和泥坪相的扇边缘。

大多数三角洲体系表现为波浪和潮汐过程的混合影响。科珀河辫状河三角洲体系<sup>[21]</sup>(最初由原作者称之为扇三角洲)已被描述为浪控与潮控混合影响的沉积复合体。其三角洲复合体的主要环境有:(1)陆上辫状河平原,由沼泽泥和海湾辫状分流河道充填所组成;(2)潮汐潟湖,由挟夹潮道充填复合体的砂坪和泥坪组成;(3)边缘障壁岛和滨面砂岩;(4)前三三角洲或陆棚泥岩。

## 五、粗碎屑三角洲的油气储层评价

McPherson 等(1987)对比了扇三角洲与辫状河三角洲的储层质量<sup>[2]</sup>。扇三角洲的储层质量较差,这是因为分选差,高含量的泥基质限制了单层的连通范围,并常为粘土和碳酸盐胶结的高度固结化。辫状河三角洲具有极好的储层质量。这是因为较好的分选、粒径较粗、基质较低和较好的单个岩相的侧向连续性。因此,他们认为辫状河三角洲是油气勘探的有利目标。

然而,在前陆盆地和板内裂谷沉降盆地中,人们发现扇三角洲的油气勘探的重要性并不亚于辫状河三角洲,它们常常形成混合构造——地层圈闭。在中国东部的第三纪裂谷盆地中,扇三角洲油田为很常见的油气聚集类型。泌阳凹陷的双河镇油田是裂谷盆地中扇三角洲油气聚集的典型实例。在泌阳凹陷的陡坡,渐新世核桃园组的扇三角洲砂砾岩体(原作者的水下冲积扇砂砾岩体<sup>[32]</sup>)向北插入生油岩之中。结合凹陷的鼻状构造,扇三

三角洲复合体,形成了双河镇油田的上倾尖灭圈闭,拥有数百万吨的油气储量<sup>[5]</sup>。扇三角洲的中、下部储层平均厚达60—70m。值得注意的是,象泌阳这样的小凹陷,陡坡的岩性圈闭占有全盆地储量的78%<sup>[35]</sup>。因此,扇三角洲体系在我国裂谷盆地的油气勘探中是最重要的目标之一。

## 结 论

1. 扇三角洲是由风暴型流量控制的,展现出一种瞬时的、甚至是灾变性的沉积作用的记录。辫状河三角洲通常是湍急洪水控制的、季节性沉积过程的产物。扇三角洲和辫状河三角洲由于高含量的粗碎屑沉积物输入,它们所受到的海洋作用过程的影响要比正常的三角洲小一些。但又由于它们沉积物输入的间歇周期长,又常常经受更长时间的改造。

2. 根据陆上沉积过程和海洋改造的性质,三角洲体系可以被划分为9种类型。

3. 在岩石记录中,可以根据独特的陆上相组合来识别扇三角洲、辫状河三角洲和正常三角洲。扇三角洲的上部层序为片流、碎屑流和辫状河道的互层沉积物。辫状河三角洲具有辫状河平原相的陆上相组合。正常三角洲的平原相沉积物由限定性强的分流河道和分流间相所组成。扇三角洲的水下部分也具有不同的特点。

4. 粗碎屑三角洲被证明是油气勘探的有利目标。在前陆盆地和板内裂谷沉降盆地中,扇三角洲常常形成混合构造——地层圈闭。

## 参 考 文 献

- [1] Holmes, A., 1965, *Principles of physical geology*: London, England, Thomas Nelson and Sons, Ltd., 1, p. 288.
- [2] McPherson, J. G., Shanmugam, G., and Moiola, R. J., 1987, Fan-deltas and braid deltas: Varieties of coarse-grained deltas: *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 99, p. 331—340.
- [3] Steel, R. J., 1988, Fan-deltas and braid deltas: conceptual problems, IN Nemec, W., and Steel, R. J., (eds.), *Fan deltas: sedimentology and tectonic setting*, p. 14—22.
- [4] Gustavson, T. C., 1974, Sedimentation on gravel outwash fans, Malaspina Glacier foreland, Alaska: *J. Sediment. Petrol.* 44, p. 374—389.
- [5] Bootbroyd, J. C., and Nummedal, D., 1978, Proglacial braided outwash: A model for humid alluvial-fan deposits, IN Miall, A. D., (ed.), *Fluvial sedimentology: Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 5*, p. 641—668.
- [6] Bristow, C. S., 1987, Brahmaputra River: Channel migration and deposition, IN Ethridge, F. G., Flores, R. M., and Harvey, M. D., (eds.), *Recent developments in fluvial sedimentology*, p. 63—74.
- [7] Hampton, M. A., 1975, Competence of fine-grained debris flow: *J. Sediment. Petrol.* 45, p. 834—844.
- [8] Bull, W. B., 1972, Recognition of alluvial fan deposits in the stratigraphic record, IN *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ. No. 16*, p. 63—83.
- [9] Bull, W. B., 1977, The alluvial-fan environment: *Progress in Physical Geography*, v. 1, p. 222—270.
- [10] Wells, S. G., and Harvey, A. M., 1987, Sedimentologic and geomorphic variations in storm-generated alluvial fans, Howgill Fells, northwest England: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 98, p. 182—198.
- [11] Nemec, W., Porebski, S., and Steel, R. J., 1980, Texture and structure of resedimented conglomerates—examples of Ksiaz Formation (Famennian-Touranian), southwestern Poland: *Sedimentology* 27, p. 519—538.
- [12] Gloppe, T. G., and Steel, R. J., 1981, The deposits, internal structure, and geometry in six alluvial fan-delta bodies (Devonian-Norway)—a study in the significance of bedding sequence in conglomerates: *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ. No. 31*, p. 49—69.
- [13] Galloway, W. E., 1976, Sediments and stratigraphic framework of the Copper River fan delta: *J. Sediment. Petrol.* 46, p. 726—737.
- [14] Brown, L. F., and Fisher, W. L., 1980, Seismic stratigraphic interpretation and petroleum exploration,

- Amer. Assoc. Petrol. Geol. Course Notes No. 16.
- [15] Dutton, S. P., 1980, Depositional systems and hydrocarbon resource potential of the Pennsylvanian System, Palo Duro and Dalhart basins, Texas Panhandle: University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Geological Circular 80—8, p. 49.
  - [16] Wescott, W. A., and Ethridge, F. G., 1980, Fan-delta sedimentology and tectonic setting-Yallahs fan delta, southeast Jamaica: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 64, p. 374—399.
  - [17] Schramm, W. E., 1981, Humid tropical alluvial fans, northwest Honduras, Central America. Unpubl. MS thesis, Louisiana State Univ.
  - [18] Hayes, M. O., and Michel, J., 1982, Shoreline sedimentation within a forearc embayment, lower Cook Inlet, Alaska: J. Sediment. Petrol. 52, p. 251—263.
  - [19] Pollard, J. E., Steel, R. J., and Undersrud, E., 1982, Facies sequences and trace fossils in lacustrine/fan delta deposits, Hornelen Basin (M. Devonian), western Norway: Sedimentology Geology, v. 32, p. 63—87.
  - [20] Postma, G., 1984, Slumps and their deposits in fan delta front and slope: Geology, v. 12, p. 27—30.
  - [21] Hayward, A. B., 1985, Coastal alluvial fans (fan deltas) of the Gulf of Aqaba (Gulf of Eilat), Red Sea: Sedimentary Geology, v. 43, p. 241—260.
  - [22] Kostachuk, R. A., 1985, River mouth processes in a fjord-delta, British Columbia, Canada: Marine Geology, v. 69, p. 1—23.
  - [23] Link, M. H., Roberts, M. T., and Newton, M. S., 1985, Walker Lake Basin, Nevada: An example of late Tertiary (?) to Recent sedimentation in a basin adjacent to an active strikeslip fault, IN Biddle, K. T., and Christie-Blick, N., (eds.), Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation: Soc. of Econ. Paleont. and Mineral. Spec. Publ. No. 37, p. 105—125.
  - [24] Galloway, W. E., 1975, Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems, IN Broussard, M. L. (ed.), Deltas: Houston Geol. Soc., p. 87—98.
  - [25] Galloway, W. E., and Xue Liangqing, 1988, Fan-delta, braid delta and the classification of delta systems: Abstracts of international symposium on sedimentology related to mineral deposits, July 1988, Beijing, China.
  - [26] Handford, C. R., and Dutton, S. P., 1980, Pennsylvanian-Early Permian depositional systems and shelf-margin evolution, Palo Duro basin, Texas: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 64, p. 88—106.
  - [27] Ricci Lucchi, F., Colella, A., Ori, G. G., Oglioni, F., and Colalongo, M. L., 1981, Pliocene fan deltas of the Intra-Appenninic basin, Bologna, IN Ricci Lucchi, F. (ed.), International Association of Sedimentologists, 2nd European Regional Meeting, Bologna, Italy, Excursion Guidebook, p. 81—162.
  - [28] Galloway, W. E., and Hobday, D. K., 1983, Terrigenous clastic depositional systems: New York, Springer-Verlag, 423 p.
  - [29] Kochel, R. C., and Johnson, R. A., 1984, Geomorphology and sedimentology of humid-temperate alluvial fans, central Virginia, IN Koster, E. H., and Steel, R. J., (eds.), Sedimentology of gravels and conglomerates: Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 10, p. 109—122.
  - [30] Anstey, R. L., 1965, Physical characteristics of alluvial fans: U. S. Army Natick Laboratories, Technical Report ES-20, 109 p.
  - [31] Rust, B. R., 1978, Depositional models for braided alluvium, IN Miall, A. D. (ed.), Fluvial sedimentology: Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 5, p. 605—625.
  - [32] Rust, B. R., and Koster, E. H., 1984, Coarse alluvial deposits, IN Walker, R. G., (ed.), Facies models (2nd edition): Geoscience Canada Reprint Series 1, p. 53—69.
  - [33] McGowen, J. H., 1970, Gum Hollow fan delta, Nueces Bay, Texas: The Univ. of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Report of Investigations No. 69, 91 p.
  - [34] Miall, A. D., 1978, Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary, IN Miall, A. D., (ed.), Fluvial sedimentology, Can. Soc. Petrol. Geol. Mem. 5, p. 597—604.
  - [35] Ma Li, Ge Taisheng, Zhao Xueping, Zie Taijun, Ge Rong, and Dang Zhenrong, 1982, Oil basins and subtle traps in the eastern part of China. IN Halbouty, M. T., (ed.), The deliberate search for the subtle trap: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 32, p. 287—316.

## FAN-DELTA, BRAID DELTA AND THE CLASSIFICATION OF DELTA SYSTEMS

Xue Liangqing and W. E. Galloway

(Department of Geological Sciences The University of Texas at Austin, TX 78713, U.S.A.)

### Abstract

Fan-deltas are alluvial fans prograding directly into a standing body of water from an adjacent highland. Braid deltas are sand and gravel-rich deltas that form where a braided fluvial system progrades into a standing body of water. Fan-deltas are storm discharge-dominated, displaying a record of ephemeral, even catastrophic depositional processes. Braid deltas are commonly produced by flashy, flood-dominated, and often seasonal depositional processes. Fan-deltas and braid deltas, like common deltas, are reworked by marine processes. Delta systems are classified into nine delta types based on the subaerial depositional processes and nature of marine reworking. Fan-deltas, braid deltas and common deltas can be distinguished in the rock record by distinctive subaerial facies assemblages. Fan-delta sequences are capped by alluvial fan facies. In contrast, braid deltas have a subaerial facies component consisting dominantly of braided-river or braidplain facies. The subaqueous components of fan-deltas also differ.

The importance of fan-delta and braid delta deposits as hydrocarbon reservoirs is increasingly being realized. Fan-deltas are found in divergent margin foreland and intraplate rift-subsided basin settings, where combination structural-stratigraphic hydrocarbon traps are common.

### 作者简介

薛良清, 江苏省江都县人。1982年毕业于西北大学地质系, 同年考入中国地质大学北京研究生部, 攻读硕士学位, 主修地震地层学。1986年考取北京石油勘探开发科学研究院沉积相专业博士研究生。1987年被美国得州大学奥斯汀分校录取为博士研究生, 主修陆源碎屑沉积体系。