

扇三角洲和辫状三角洲 ——两种不同类型的粗粒三角洲

钱丽英 编译

(成都地质学院)

引言

Holmes (1965) 最早把由冲积扇从相邻高地直接进积到稳定水体而形成的三角洲叫做扇三角洲。他对扇三角洲地貌形态有很详细的描述, 其中稳定水体可能为海或湖, 扇三角洲很快在山地附近沉积, 在稳定水体和山地之间占居相对较小的领域。扇三角洲由一个水上冲积扇和水下组分组组成(包括改造的滨岸带)。水下组分特征主要决定于河口作用与盆地情况的相互关系, 如波浪能、潮流、侧向流、盆地下陷、构造背景等。但现代和古代岩石记录中也存在一些粗粒三角洲类型, 而实际上它们不是 Holmes 原来定义的扇三角洲。许多文章中描述的古代扇三角洲层序中根本没有其所必须的水上冲积扇部分, 相反, 是由众多侧向沟道砾岩、砂岩组成。它们沉积于侧向辫状河道。这说明粗粒三角洲主要由两种类型, 即由冲积扇进积于稳定水体中形成的扇三角洲及由辫状河进积于稳定水体中形成的辫状三角洲。这两种粗粒三角洲可用其特征的陆上沉积组合进行区别认识。扇三角洲沉积层序上有冲积扇相, 如片流、碎屑流及辫状沟道沉积互层。扇三角洲产生小的(数十平方公里)楔形沉积体, 常常显示古水流方向的多变性和相的突变性, 沉积物一般很粗、分选差、杂基多、大小不一、岩性复杂、局部有准同生期碳酸盐胶结、孔渗性差。相反, 辫状三角洲有一个全由辫状河或辫状河平原沉积形成的陆上组合, 沉积物分选性好、碎屑有定向性、缺少泥质杂基、有粒序、有点坝迁移。辫状三角洲呈席状外形, 有良好的侧向连续性(数十至数百平方公里), 具有中—高的孔透性。这两种粗粒三角洲(大多为砾和粗砂)与其它三角洲(所谓细粒三角洲)的区别主要根据粒度的大小。区别不同类型的三角洲, 可以获得宝贵的古地理、古构造或主要构造带的信息, 为有效的油气勘探提供方便。

辫状河三角洲

人们常假定辫状沟道的粗粒碎屑物是冲积扇体系的一部分, 但有几种情况证明这基本的假设是无效的。第一, 辫状河或辫状平原与冲积扇无联系, 如阿拉斯加和冰岛沿岸的冰前辫状河和辫状平原; 第二, 即使辫状冲积平原与冲积扇并置, 也通常只有几十到几百公

里的长度，且不是真正冲积扇的组成部分。

辫状河三角洲包括由辫状冲积体系进积到稳定水体中形成的以砾石和粗砂为主的粗粒三角洲(图1 B、C、D)，其中包括短头三角洲。辫状河三角洲与冲积扇无关。

辫状河三角洲有图1 B、C、D所示的几种可能几何形态。辫状冲积体系进积到稳定水体，不考虑辫状河或辫状平原最终的来源(冰川的或其它来源)。岸边辫状河三角洲是相似的，它们在水流方向分布很广(图1C、D)。

粗粒三角洲特征

表1总结了辫状三角洲和扇三角洲的一般沉积特征。图2为其与更常见的细粒三角洲的一般区别。可见，它们在沉积相、几何形态、大小上都有很大的区别。辫状河三角洲与扇三角洲区别主要在于陆上部分，而水下部分很相似。岩石记录上，进积型扇三角洲的典型垂向层序由细粒盆地相(海相或湖相泥岩)，向上为粗粒冲积扇相(片流沉积、颗粒流沉积、水道砾岩和砂岩的互层)；而厚层(大于数十米)的辫状河、辫状平原层序(沟道化砾岩和砂岩互层)把盆地相和冲积扇相分开，这种层序可解释为辫状三角洲。

粗粒三角洲的水上部分

在岩石记录上，把冲积扇相和辫状河或辫状平原相区别开已成为扇三角洲问题的核心。有人(Boothroyd 和 Nummedal, 1978)认为，楔形冲积扇一端元由辫状河相组成，这种情况下，从岩石记录上是不可能把冲积扇和辫状河相区别开来的，直接结果是扇三角洲为冲积扇或辫状河进积到稳定水体中形成。

我们的观点是冲积扇层序能够，并且一定得与辫状河或辫状平原层序区别开来。冲积扇是“锥形的叶状体，由粗粒为主的沉积物堆积，属于山前或相邻高地发育的重力密度流沉积”。冲积扇具典型的地貌特征，相对局限的面积(辐射方向长度<10km，坡度1—5°)(Anstey, 1965)，与单纯由辫状河和其它冲积平原体系有明显的区别(图3)。冲积扇的沉积特征也很明显(见粗粒三角洲水上组分讨论)。

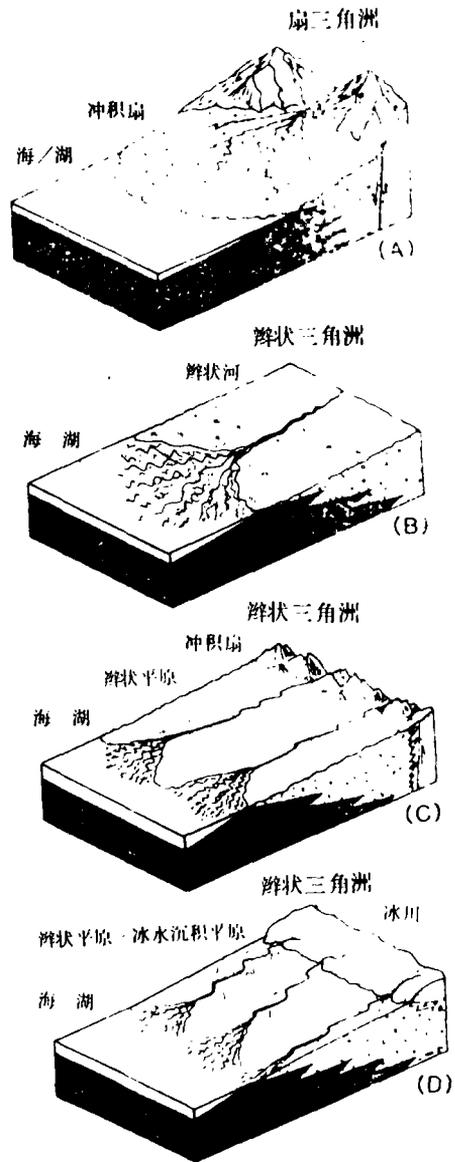


图1 两种粗粒三角洲沉积背景示意图 (A)-扇三角洲；(B)-具远山区高地物源的辫状三角洲；(C)-与发育于山前冲积扇前方辫状平原有关的辫状三角洲；(D)-与冰川冲积平原有关的辫状三角洲

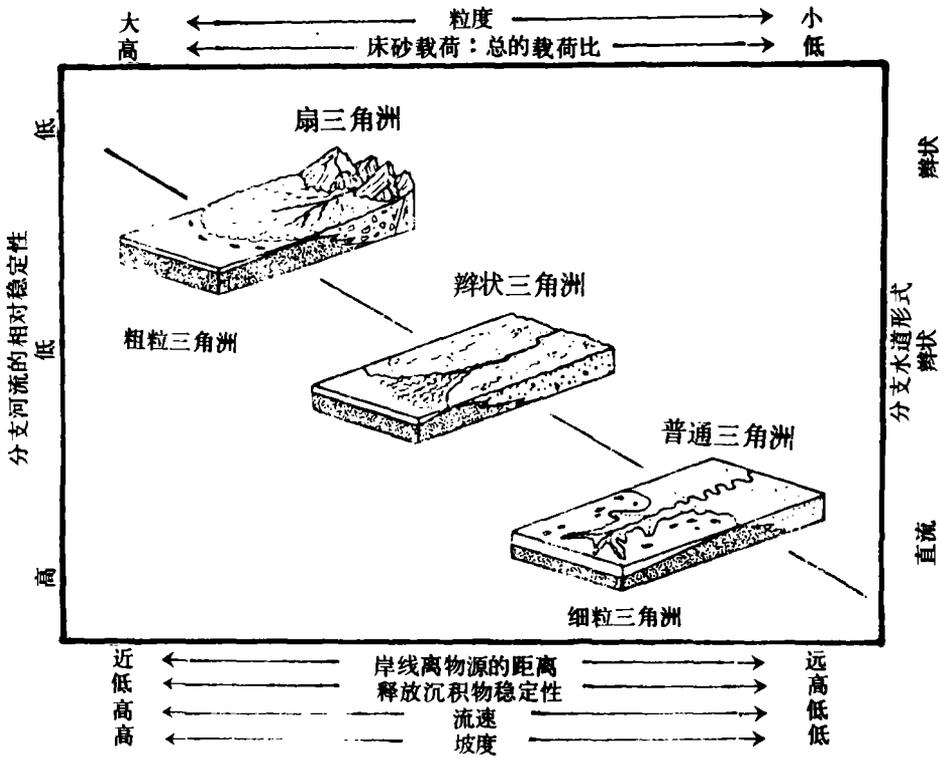


图2 扇三角洲、辫状三角洲（粗粒三角洲）和细粒三角洲在分支河道形态及稳定性、沉积物载荷和大小、河床坡度、河流流速等方面的对比图

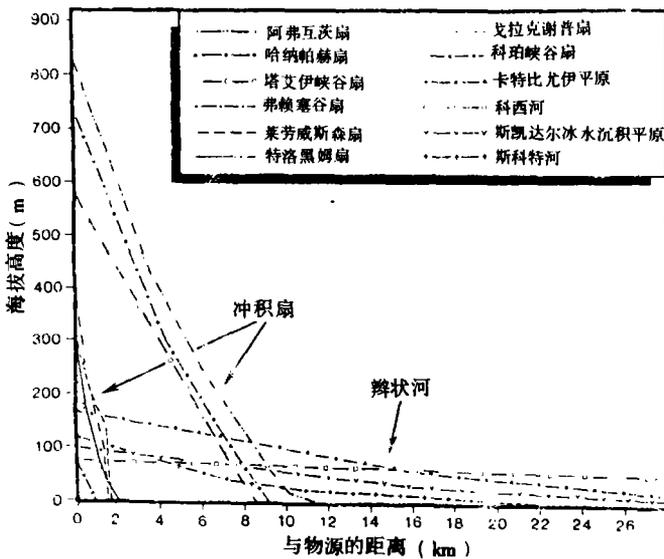


图3 楔形冲积扇和砾质辫状河纵剖面图

表1 扇三角洲与辫状三角洲对比表

特征	扇三角洲		辫状三角洲
构造背景	活动(造山带)		活动和被动
自然地理背景	断块、山前、火山高地		辫状河、辫状平原、冰川冰碛
古流	半放射状、复杂		单一、简单
沉积环境及作用	水上	沉积物重力流：碎屑流、泥石流、崩塌 过渡流 河流(限定及不定)，片流	片流 辫状构造 片流(次要)
	水下	海和湖泊：波浪、潮汐、密度流、沉积物重力流、悬浮沉积	
水上岩相	砾岩及角砾岩(颗粒或杂基支撑)、砂岩(次要)、泥岩(泥流) G_m 、 G_n 、 G_h (次要 G_i 、 G_p 、 S_i 、 S_p 、 S_h) [*]		砾岩(颗粒支撑) 砂岩 G_m 、 G_h 、 G_i 、 G_p 、 S_i 、 S_p 、 S_h [*]
最大粒度	漂砾及卵石常见		少见
分选	差、不见粒序		中一至，常见粒序
颗粒形态	不规则，棱角一次圆		次圆—圆
水上剖面	很陡		陡—中等
相变化	复杂、多、突变		简单、少、渐变
侧向连续性	低		中—高
化石	植物、孢粉、脊椎 海相和湖相化石		
土壤及氧化作用	常见		少见
地质上出现率	多		很多
几何形态及大小	楔形及透镜形、数十平方公里或更小		席状、达数百平方公里
储集性能	差		好—较好

※岩相符号：G_i——大型槽状交错层理砾岩相 S_i——大型槽状交错层理砂岩相
 G_p——大型板状交错层理砾岩相 S_p——大型板状交错层理砂岩相
 G_n——平行层理砾岩相 S_n——平行层理砂岩相
 G_m——块状砾岩相 G_m——杂基支撑砾岩相

据 Miall (1978)

冰川冲积体系由于其不同的地貌、沉积特征，不可能为真正的冲积扇沉积环境提供一个相应的模式。基于冰川冰碛沉积的楔形冲积扇并不代表冲积扇沉积过程，它可以与辫状河或辫状平原沉积体系相比 (Rust, 1978; Rust 和 Koster, 1984)。

在现代冲积扇与辫状河和辫状平原并置的背景下(图 1C)，扇体很容易与辫状冲积体系分开。冲积扇地貌单元的基准面始终以明显的坡度变化及与之相关的扇上沉积物放射状分布方式的减少为特征。尽管这些地貌特征在古生代层序中不易认识，但每个沉积体系产生其特征的沉积。

冲积扇出现于主断层或活动断层形成的高地附近，地质记录中冲积扇的出现常作为确定主断裂或活动断裂的位置的直接证据。而当所鉴定的相纯粹是辫状河沉积时，这结论就不一定正确了。在许多情况下，辫状河沉积与断裂带无关，或远离断裂带。因此，在地

层记录中若不把冲积扇（及扇三角洲）与辫状河（和辫状三角洲）分开，那么就会失去很有价值的古构造及古地理资料。区分这些相的重要性已被与许多冲积扇及扇三角洲有关的盆地水系间潜在复杂关系所证实，如 Rust (1978) 指出，许多与辫状河系统并置的冲积扇不是河流系统的过渡斜坡而是它的侧向分流，这是拉张盆地和裂谷、冰川谷的典型背景。尽管冲积扇和辫状河相接出现，但它完全受制于扇的集水盆地，与邻近辫状河体系无关。若地质记录中不能清楚地进行区分，往往会得出错误的结论。

扇三角洲 冲积扇（扇三角洲水上部分）以粗粒、水流（沟道化或无沟道化）及沉积物重力流（粘性或非粘性）沉积为特征，靠近山前或活动断裂面。现代及古代冲积扇沉积大多已讨论过，但很少有人涉及冲积扇垂向及侧向的岩相关系。尽管不同的扇有其各自不同点，但一般特点总是可以归纳的。辐射流及片流沉积是冲积扇沉积作用中常见的特征，但是通常需要宽和浅的辫状水道，在这种水道内持续不断的深水流并不常见。因此，大规模迁移的床砂及与之有关的交错层理在冲积扇相中是不多的。河道及片流沉积在冲积扇中可认为是相互递变的。由它们产生扇中最丰富的岩相为非层状（块状）及颗粒支撑砾岩 (G_m)，水平层状砾岩 (G_h) 通常为叠瓦状、交错层理砾岩 (G_l 、 G_p) 及砂岩 (S_l 、 S_p) 的丰度很大程度上取决于扇类型及与之有关物源位置 (Rust 和 Koster, 1984)，砂、泥岩薄互层 (S_h 、 F_l/F_m) 在冲积扇中也常见。

粘性和非粘性沉积物重力流沉积是冲积扇及冲积扇层序中不可缺少的重要部分，包括颗粒流、碎屑洪流、崩落及泥石流等几种沉积类型——杂基支撑砾岩 (G_m)，颗粒支撑砾岩 (G_m)，沉积物重力流沉积常与平底水流沉积物成互层，它们的丰度和岩性随扇类型及与单个扇体相关的物源位置而变化。正是由于沉积物重力流与片流沉积在冲积扇层序中出现，所以很容易确定冲积扇层序。

冲积扇层序的其它鉴定特征是岩相侧向和垂向上的差异，这是物源到盆地短距离搬运的产物，高度的不规则、杂乱、经常性突然释放的灾变性质为所有冲积扇的典型特征，后来水流能量的多变及沉积物的释放都在沉积作用活动期产出。

几种准同生或埋藏后的特征也是冲积扇中常见而辫状河或辫状平原沉积中少见。沉积后扇上砾岩孔隙中渗入的泥质是冲积扇沉积物中十分重要且常见的改造者 (Walker 等, 1978)。渗入作用指泥质进入颗粒支撑砾岩的粒间孔隙中的作用，直接或间接地影响胶结作用。表生或非表生的碳酸盐胶结作用也为许多冲积扇沉积物特征之一，它是长期暴露和不活动废弃扇上风化作用的产物 (Bull, 1972; Lattman, 1973)。

辫状三角洲 辫状三角洲层序的水上部分显示出与冲积扇三角洲沉积的水上部分明显不同，主要表现为以下几方面：(1) 辫状河的高度沟道化特征；(2) 冲积体系中更深更稳定的流体，辫状河沉积体系的沉积物以富斜交层 (G_l 、 G_p 、 S_l 和 S_p) 和正常砾岩层的粒径大小递变为特征（砂岩顶部常具 S_h 和 S_r ），这些岩相和岩相组合在冲积扇中是不常见的 (Rust, 1978)。 G_m 和 G_h 岩相虽在冲积扇及辫状河沉积中常见，但它们常与斜交及粒序层砾岩及砂岩共生于辫状河沉积中，而碎屑流和泥流在冲积扇层序中常见，但在辫状河沉积中缺失；其它重要的区别是辫状河沉积中单个岩相具高度的侧向连续性，而相反，冲积扇单个岩相侧向上是透镜状或交互指状特征。在更大规模上，辫状河沉积通常为席状体，不受限制，如辫状平原，很可能发育成非常宽广（数十至数百平方公里）的席状形体。与之类似，辫状三角洲由岸边辫状平原发育而成（图 1C、D），具宽广的席状体，这与冲积扇和扇三角洲的

楔形特征是明显的对照。

粗粒三角洲的水下及岸线部分

一般三角洲沉积作用取决于冲积体系与盆地条件的互相作用,包括沉积物注入(速度及类型)、波浪、潮汐、沿岸流、沉积盆地背景、沉陷速度、水化学条件等。沉积背景对那些由冲积扇直接进入较陡大陆斜坡形成的扇三角洲起特别重要的控制作用,如牙麦加的 Yallahs 扇三角洲(Wescott 和 Ethridge, 1980)。有关陆棚与陆坡背景下的扇三角洲不同的沉积作用, Ethridgs 和 Wescott (1984) 已讨论过。

由于粗粒三角洲以粗粒沉积物的快速注入为特征,因此它们在盆地过程中较细粒三角洲受波浪、潮汐、岸流影响小些。Hayes 和 Michel (1982) 研究了阿拉斯加东南岸辫状三角洲岸线沉积体系,反映了沉积物供给与波浪之间的相互作用,在受阻挡地区发育叶状三角洲,在受风暴浪地区发育弓形三角洲。它们观察到潮汐对辫状三角洲影响较小。相反, Kostaschuk (1985) 报道大潮汐影响可达 4m,它直接影响三角洲地貌的发育。在比较潮汐能量和波浪能量对粗粒及细粒三角洲的影响时,我们认为(具相同的注入强度条件下)波浪、潮汐能量对扇三角洲岸线的改造小于对辫状三角洲的改造。这是因为扇三角洲通常粒度较粗,更好地为粘土质及碳酸盐所固结。

岸线带沉积物在两种沉积相中的区别是最困难的。由于在岸线带内,不管是冲积扇或辫状河沉积,都为海洋作用造成,都夹有海相或湖相沉积,滨岸相明显,可分成沉积滨岸和剥蚀或废弃滨岸(Wescott 和 Ethridge, 1980; Hayward, 1985)。点坝、岸后湖、风成砂丘为扇三角洲和辫状三角洲岸线带的普遍特征。

粗粒三角洲的三角洲前缘和斜坡相的研究表明,在水环境中,沉积作用及沉积物的性质变化很大。沉积物重力流包括碎屑流、颗粒流、浊流。滑动及滑塌在粗粒三角洲水下部分特别常见,它们是沉积物堆积过程中的超孔隙压力(液化作用)、相对陡的盆地斜坡、可能的地震振动等几个因素的产物。在低纬度地区,环状生物礁将为粗粒三角洲的主要部分,强烈影响水下三角洲的性质,如 Aqaba 湾的扇三角洲(Hayward, 1985)。

粗粒三角洲水下部分通常显示吉尔伯特三角洲的大规模的粗粒前积、顶积及底积层。这些特征是与各种牵引流及沉积物重力流作用有关,它们将相对粗的沉积物倾卸到浅水陆棚或台地上。盆地中波浪、潮汐及各种水流对三角洲前积的影响相对较低。粗粒吉尔伯特三角洲在岩石记录中,通常是和扇三角洲相伴生。尽管吉尔伯特型前积层确实与扇三角洲共生,但它们在静水背景的湖成辫状三角洲,特别是那些冰湖成因的环境中发育更好。

扇三角洲及辫状三角洲实例

尽管扇三角洲出现在较局限的地貌背景下,但由于它们在断层边界具较高的保存能力,所以在地质记录中还是很常见的。这种背景条件造成了特别厚的层序(数千米)。现代扇三角洲较好的例子是 Dead Sea rift 的扇三角洲(Sneh, 1979),包括 Gulf of Aqaba 扇三角洲和 Yauahs 扇三角洲。

现代辫状三角洲比扇三角洲更常见,这是由于它们产出的背景条件更广泛。辫状三角

洲在中—高纬度地区出现较多,如阿拉斯加、北欧等地,主要由于快速沉积,粗粒沉积物供给充足及稳定沉积物的植被不发育。

毫无疑问,辫状河三角洲是更新世或其它冰期谷口及冰碛平原常见的特征。泥盆纪时期,由于早泥盆世植被不发育而辫状河占优势,所以辫状河三角洲为那个时期的特征。许多著名前泥盆纪辫状三角洲如奥陶系的 Haouaz、前寒武的 Skoadduvari 砂岩等都证实这点。

辫状河三角洲及扇三角洲在拉张盆地中常有时空上的关系。辫状河三角洲的辫状河或辫状平原若与冲积扇并置,那它可能形成于裂谷拉张盆地发育晚期(图 1C)。扇三角洲则形成于盆地边缘及盆地演化的早期阶段。盆地演化早期形成的盆缘断陷中,活动断裂与扇的发育、水体、海水注入之间的关系密切,随着高地的逐渐剥蚀、扇三角洲演化成辫状河三角洲,盆地部分地被冲填,冲积扇被宽阔的冲积平原与稳定水体分开。巴西的边缘盆地演化就是一个例子,其发生于早白垩世南美和非洲板块裂谷阶段。

前人的模式

Wescott 和 Ethridge (1980) 以岸边构造背景为依据,将扇三角洲进行了分类,其中对那些水上组分为冲积扇的及水上组分为辫状河系统的(扩展扇)进行了区分。Yauahs 模式相当于我们的扇三角洲,由窄前滨过渡带直接入海盆的冲积扇相组成;而“扩展扇”相当于我们的辫状三角洲体系,是根据阿拉斯加东南岸冰川冰碛“扇”而定的,水上组分全由辫状河相组成。我们认为,把冰川冰碛类归为冲积扇是不合适的,在冰川冰碛体系上建立扇三角洲模式也是不合理的,而 Wescott 和 Ethridge (1980) 的“扩展扇”模式应为辫状三角洲体系。

若将“扇三角洲”这术语的意义扩大到无冲积扇的辫状冲积平原,那么三角洲背景条件就去掉了扇三角洲很有价值的特征,因为扇三角洲是盆地边界断裂及附近高地的直接指示者。这一广义的定义使扇三角洲沉积岩相组合及其可变性大大地多样化、复杂化。我们认为,若在扇三角洲平原相中无明显的冲积扇,“扇三角洲”这术语就不应该用。

储集油气潜能及特征

扇三角洲和辫状三角洲可作为有利的潜在烃藏,他们与海或湖相生油层指状接触或上倾尖灭、或接近。尽管许多扇三角洲和辫状三角洲层序中产油与构造作用有关,但与粗粒三角洲层有关的岩性多变性使地层圈闭具有重要意义。地层圈闭常由储集砂岩与外围三角洲平原页岩、海相或湖相页岩、“紧密”的灰岩或他们的混合组成。在扇三角洲的情况下,常见的上倾尖灭圈闭是一种同沉积封闭断层,使扇相地层位于上升盘不渗透层的地层之下。

扇三角洲储集性能较差,包括所有的几何形态及大小、砂体的侧向连续性、孔隙度及渗透率几方面。它们常具较小的楔形体,岩相常常突变,具大量富杂基的岩相,水上组分为碳酸盐胶结;而辫状三角洲具有中等—好的分选性及无杂基的砾岩和砂岩使辫状三角洲层序具很高的渗透性及孔隙度,加上高度的侧向连续性及与可能的海或湖相生油岩的上倾尖灭关系,使辫状三角洲为烃类勘探的有利目标。

结论

1. 扇三角洲是冲积扇直接进积到稳定水体而形成的粗粒三角洲, 水上部分全由冲积扇相组成, 与水下部分成互层。扇三角洲面积为数十平方公里, 由于其位于断裂边界, 高沉降条件导致其具有相当厚的层序。

2. 辫状三角洲是辫状平原体系进积到稳定水体而形成的粗粒三角洲, 辫状三角洲平原全由辫状分流河道组成, 具较大的面积(数百平方公里)。它们在现代及古代岩石记录中普遍, 但曾经被认为是扇三角洲。

3. 扇三角洲和辫状三角洲可根据其水上组分特征进行区别, 前者为片流、碎屑流、辫状沟道沉积; 后者为辫状沟道沉积。岩相及其组合、沉积层序及单元古流数据资料可用来区别它们。

4. 在岩石记录中, 正确区分扇三角洲及辫状三角洲对古地理, 古构造演化有重要意义。

5. 扇三角洲由于其分选差、泥质含量高(或是沉积的或是渗滤的), 单层砂岩分布范围小, 高度的粘土及碳酸盐胶结导致其储集性能差。辫状三角洲由于其分选好, 粒度粗, 泥质含量低, 各个岩相侧向连续性好, 因而储集性能很好。

参考文献(略)

译自《Geological Society of America Bulletin》V. 99, P331—340 September 1987

姚建敏 校

(上接 68 页)

一、加拿大大平原北部的大陆卤水及蒸发岩	207
二、澳大利亚维多利亚州西部蒸发干盐湖中的现代非海相白云石	223
三、加拿大不列颠哥伦比亚省内陆 Cariboo 高原盐湖的沉积学	239
四、某些泻湖和大陆卤水湖成分和浓度的比较	265
五、加拿大西部中泥盆世卤水的混合及其对区域白云石化的可能意义	271
六、加拿大萨斯喀彻温省泥盆统普雷里蒸发岩组 Patience 湖段沉积作用和成岩作用的液体包裹体证据	287