

三角洲沉积与油气勘探

陈景山 陈昌明译



三角洲沉积与油气勘探

陈景山 陈昌明 译

石油工业出版社

目 录

三角洲体系和三角洲沉积作用	A. J. 斯科特和W. L. 费希尔 (1)
用于描述三角洲沉积体系的形态和地层演化的作用格架	W. E. 盖洛韦 (35)
现代河流三角洲: 作用和砂体的可变性	J. M. 科尔曼和L. D. 赖特 (43)
墨西哥湾沿岸盆地第三纪三角洲体系	W. L. 费希尔 (82)
俄克拉何马州北部宾夕法尼亚系科菲维尔组: 陆表海三角洲的一种模式	G. S. 维谢尔等 (101)
宾夕法尼亚州北中部晚泥盆世卡茨基尔三角洲复合体	M. 汉弗莱斯和G. M. 弗里德曼 (115)
阿萨巴斯卡焦油砂的三角洲沉积作用	M. A. 卡里吉 (123)
委内瑞拉马拉开波盆地始新统米拉多组和米索亚组的沉积环境.....	F. R. 范维恩 (137)
三角洲体系及其油气产状.....	W. L. 费希尔和L. F. 小布朗 (155)
得克萨斯州泰勒县西塔斯科拉油田中的三角洲地层圈闭	J. P. 小香农和A. R. 达尔 (171)
第三纪尼日尔三角洲中烃的存在条件.....	B. D. 伊瓦米等 (182)
衣阿华州—密苏里州德莫统旋回层中粘土矿物学与三角洲沉积型式的关系	L. F. 小布朗等 (217)
根据小样品识别三角洲环境	F. G. 埃思里奇等 (232)
根据倾斜型式解释分流前缘沉积	J. A. 吉尔布里思和R. W. 斯蒂芬斯 (242)
墨西哥东北部迪丰塔群的红色、绿色、紫色、橄榄色、褐色以及灰色层的颜色意义	E. F. 麦克布赖德 (249)
三角洲勘探中的成因单位	D. A. 布什 (262)

三角洲体系和三角洲沉积作用

A. J. 斯科特和 W. L. 费希尔

引言

沉积体系是与作用有关的沉积相的集合体。因此，它们是与地貌或自然地理单位相当的地层体。如：河流、三角洲、海滨平原和障壁岛体系。举个实例，图 1 表示墨西哥湾西北部主要的全新世沉积体系。

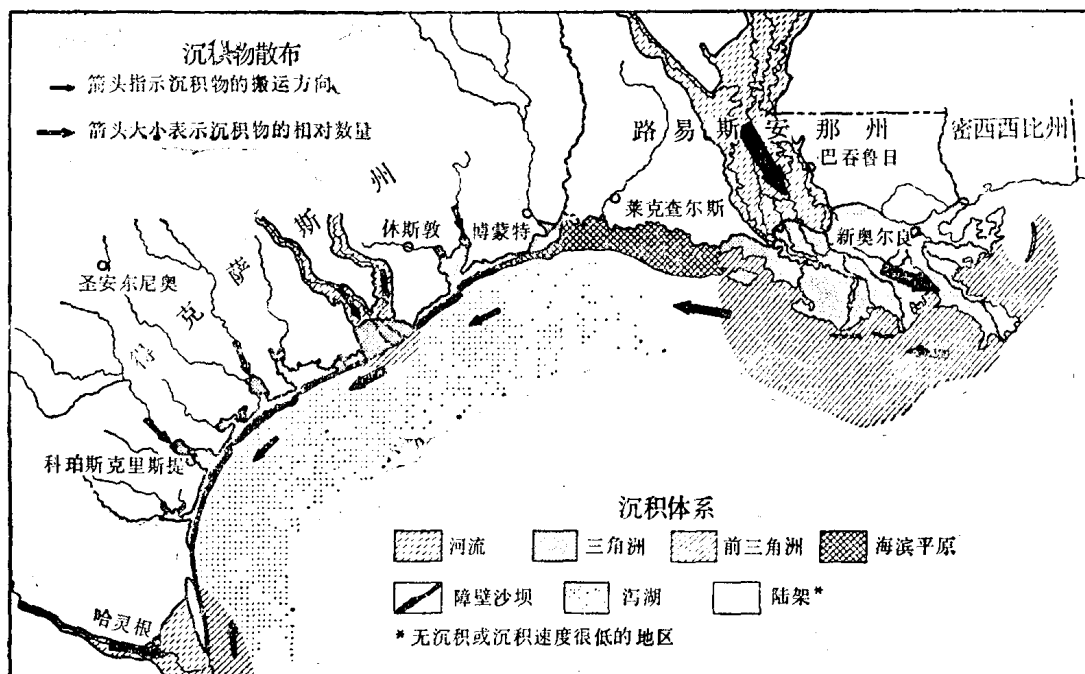


图 1 墨西哥湾西北部的现代沉积体系和沉积物散布型式。据 A. J. 斯科特

对于矿物燃料来说，大概没有那一个沉积单元比古代三角洲体系更重要的了。第一，世界上的大煤田一般都是三角洲体系的组成相；第二，世界上主要油气盆地的陆源沉积物，基本上是由河流搬运和带进的，在许多情况下，这些沉积物形成了广阔的三角洲。这些体积巨大的陆源沉积物与堆积它们的海洋盆地的相互作用，形成了无数潜在的油气储集体；由陆源碎屑储集体所产生的许多大油气盆地，其边缘是含煤相。盆地中的大多数陆源沉积物，如果现在不是呈古代三角洲体系出现，至少也是由三角洲体系分散出来的（例如，横向上与三角洲体系共生的海滨平原和障壁沙坝）。

三角洲可简单地定义为：由河流供给沉积物的沉积体系，它导致岸线不规则地向海推进。一个大三角洲的历史被各种作用（包括沉积位置的迁移和已废弃的三角洲朵体被海洋作用再改造）所复杂化。三角洲朵状复合体及其组成相构成了一个三角洲体系。这样的体系或者发育成大型的沉积单元（这些沉积单元由流量和沉积物输送量均较高的河流供给，并且逐渐推进到海水中），或者发育成其他沉积体系中的较小型的沉积单元（例如，海湾和泻湖中的湾

头三角洲和湖中的吉尔伯特型三角洲)。

三角洲体系是最复杂的沉积体系之一。例如，在密西西比三角洲体系中，大约有 20 种不同的沉积环境及其所形成的相。作为其他沉积体系的三角洲体系，可根据组成它们的特定单元和这些单元之间的空间关系了解清楚。

三角洲的形成

三角洲的形成涉及到几个变量。这些变量包括：(1) 沉积物注入的数量、粒径、速度、速度变化以及悬移质与推移质之比，这些变量又取决于流域的范围和性质以及气候；(2) 流量和蓄水体的性质，尤其是水的相对密度；(3) 蓄水体能量（波浪、水流、潮汐）的大小和种类，特别是与沉积物注入量的关系；(4) 三角洲向海推进处的水深；(5) 蓄水体底质的性质，与向海推进的砂子的压实下沉和堆积有关；(6) 沉积盆地的构造性质。

三角洲的水动力学

现已证实，贝茨 (1953) 对三角洲形成的研究为我们了解沉积物在广阔的自然条件下的分散与沉积作出了重大贡献。他把载有沉积物的河流进入停滞大水体的习性与自由射流的习性联系起来，并且识别出两种自由射流：一种是轴向射流，其混合作用为三度空间；一种是平面射流，其混合作用为两度空间。如速度分布图 (图 2) 所示，流入水与蓄水体之水的混合，使之大大降低了流速。在轴向射流中，混合作用较迅速，致使流速迅速降低；在平面射流中，向盆地方向较远的地方仍可保持较高的流速 (图 3)。

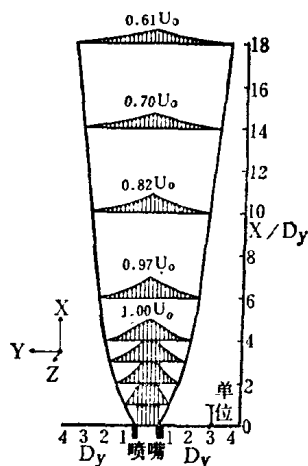


图 2 平面射流中向前速度的分布。
据贝茨 (1953)

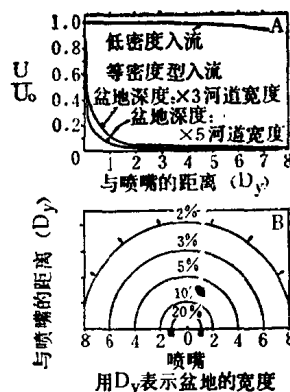


图 3 A—低密度和等密度入流中的轴向速度
B—依据与喷嘴的距离来表示等密度入流中速度的降低。据贝茨 (1953)

由一条河流注入到一个相对静止的水体中所产生的射流类型，取决于这两种水之间是否存在密度差异。有三种可能性：

1. 流入水密度较高 (高密度流) 例如，冰冷的河流注入到较温暖的湖泊中，或者从海底峡谷中流出的水流。这种流动是沿着水底成平面射流；结果形成浊流 (图 4)。

2. 流入水与蓄水体之水的密度相等 (等密度流) 当河流注入淡水湖时出现这种情况。在三度空间中容易发生混合作用，流动类型属于轴向射流。流速为零的终端带宽度为流入该盆地的河道宽度的 4 倍 (图 5)。在这个带中，沉积物的沉积基本上是完全的，结果形成吉尔伯特 (1885) 所描述的湖泊型三角洲。只有在这些条件下，才发育具有清楚的底积层、倾斜陡的前积层以及顶积层的三角洲。

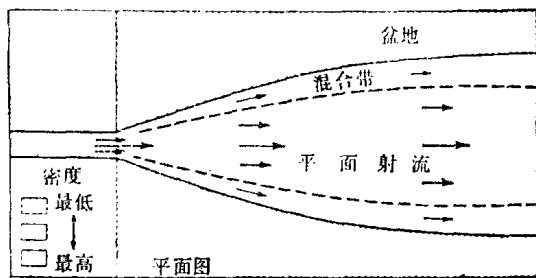


图4 高密度流。为平面射流，其流入水的密度大于蓄水体。这是浊流中经常发生的情形。斯科特根据贝茨(1953)修改

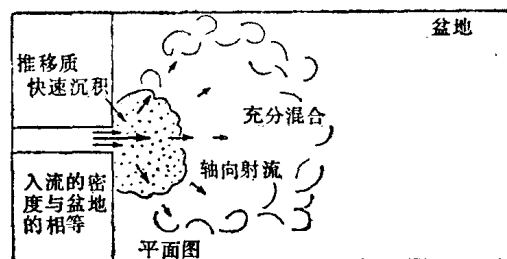


图5 等密度流。为轴向射流，其流入水的密度与蓄水体相同。与这种入流有关的快速混合作用，形成吉尔伯特型三角洲。斯科特根据贝茨(1953)修改

3. 流入水密度较低(低密度流) 发生在河流入海的地方。悬移质可以使河水的密度增高，但与咸水的密度相比却是微不足道的。载有大量沉积物的河水大约有千分之二的悬移质，这种河水的密度也仅仅是咸水密度的百分之六。河水在咸水之上向外流动，严格地说，是属于平面射流(图6)。

除流动类型外，其他变量，如射流与盆地中海洋作用的相互作用，对所形成的三角洲相的形态与性质也有很大的影响。图7表示河流作用和沉积物供应量与海洋作用对三角洲形态的改造程度的关系。

分流的发育和向海推进

三角洲形成过程中最重要和最有代表性的作用之一是分流河道的向海推进及分叉作用

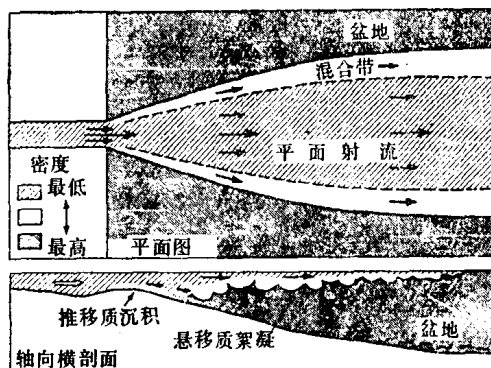


图6 低密度流。为平面射流，其流入水的密度小于蓄水体。这种情形是河流注入海洋的特征。斯科特根据贝茨(1953)修改

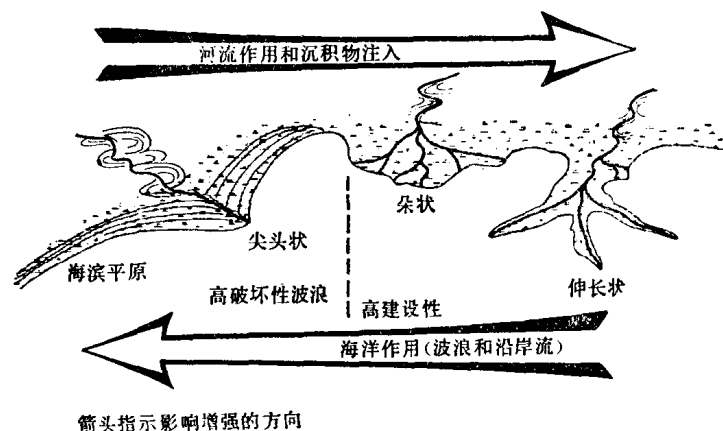


图7 在浪控三角洲的海岸线上，海洋作用与河流影响的关系。据斯克拉顿(1960)

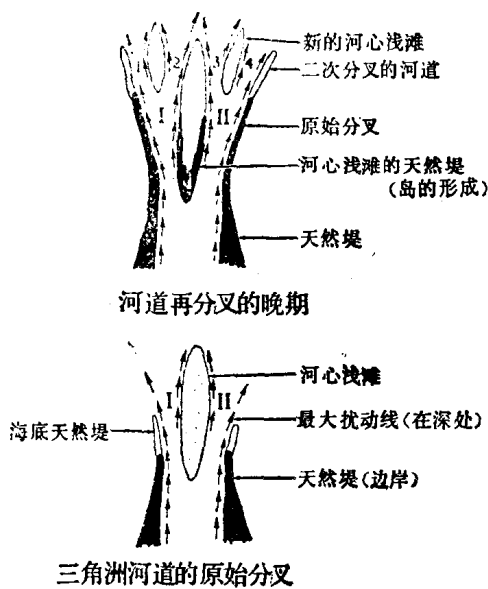


图8 河心浅滩的形成和分流的分叉。

据拉塞尔 (1967)

两者发育得很不好，结果在水流受到阻碍的横向沙坝正背后的河道两壁间形成低地。河道简单地切入并扩大这些已存在的低地。在某些情况下，河流可以分成三叉并且也切入坝顶，但是这种情况不常见。分叉分流的发育阶段示意性地表示在图8和9中。

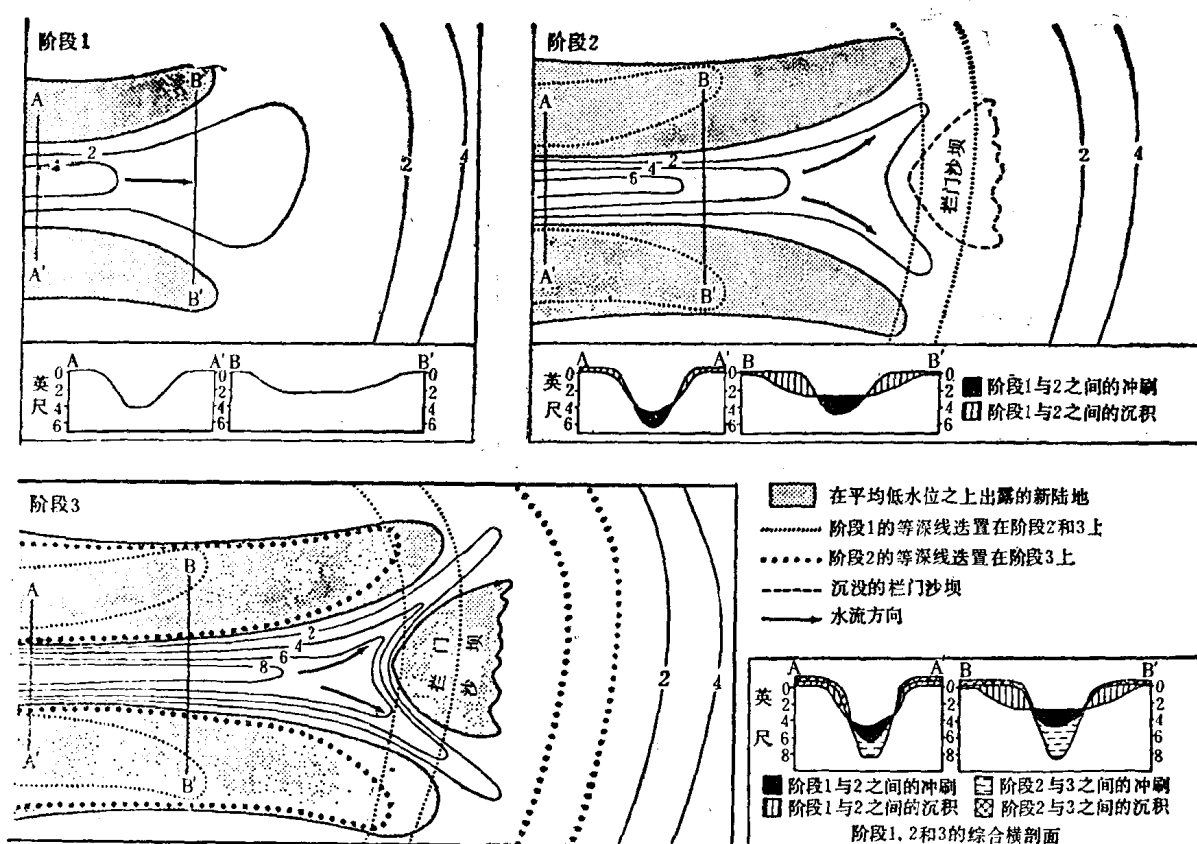


图9 河道的延伸发育和三角洲分流的分叉作用。据韦尔德 (1959)

(图8)。河流在流入盆地的河口附近发育新月形沙坝。许多作者将这种沙坝称为河口沙坝或分流河口沙坝。它是由于水流在河口地区速度突然降低而使推移质沉积下来形成的。这种沙坝的沉积，相当大地减小了河口或喷嘴的横截面积。为了适应后来的水流，有两种办法：其一是射流在沙坝上加速流动，这是不可能的；其二是分成两条或更多条的河道以使流速不增大，后一种情况是自然趋势。由于河口外展，平面射流的抛物线形状(图4)增大50%，但并不足以保持所需要的稳定的横截面积。因此，如果流速依旧不变，而且横截面积也保持不变，主流就必须在沙坝上或上游端分成两条或更多条的分流。河道分叉的最有利位置在水流固定带的外界和坝顶正上游端。在这些地点(河道两侧)，水下天然堤与坝连在一起，这两者发育得很不好，结果在水流受到阻碍的横向沙坝正背后的河道两壁间形成低地。河道简单地切入并扩大这些已存在的低地。在某些情况下，河流可以分成三叉并且也切入坝顶，但是这种情况不常见。分叉分流的发育阶段示意性地表示在图8和9中。

决口和决口扇

科尔布和范洛皮克 (1966) 以及其他人都曾注意到,分流两侧的天然堤的高度、宽度和稳定性均向下游方向减小。因此,下三角洲平原上发育不好的天然堤容易被洪水冲坏。天然堤中的局部裂口称为决口。拉塞尔 (1967) 曾注意到,从主流流经决口的推移质数量同它们的相对流量是很不相称的。河道中的推移质趋向于从高流速区向低能量区运移 (图 10)。与决口共生的沉积称为决口扇。

图 11 表示 1874 年密西西比河的活动的鸟足状三角洲的轮廓。这种轮廓几乎完全可归因于主分流的简单延伸和分叉。1940 年,这个三角洲也表现出这种轮廓 (图 12)。陆上三角洲平原的广泛生长主要是由于一系列决口扇的发育。这些决口扇和有关发生决口的年代表示在图 13 中。韦尔德 (1959) 曾详细研究过其中的一个决口扇——库比茨口决口扇,并发表了三角洲作用的经典报告。图 14 表示库比茨口决口扇的发育年代和等厚线。

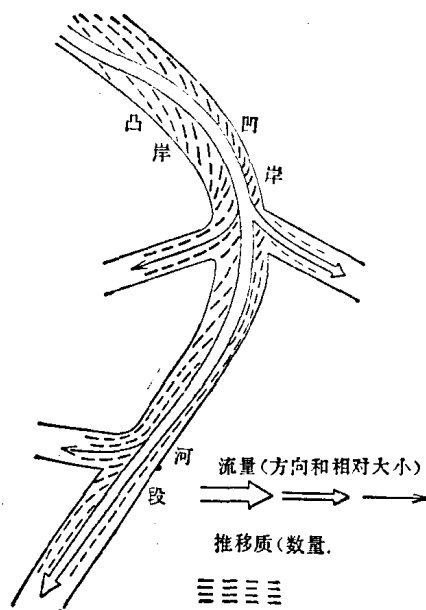


图 10 推移质流入分叉的分流河道。

注意流量较小的河道所流入的推移质较多。据拉塞尔 (1967)

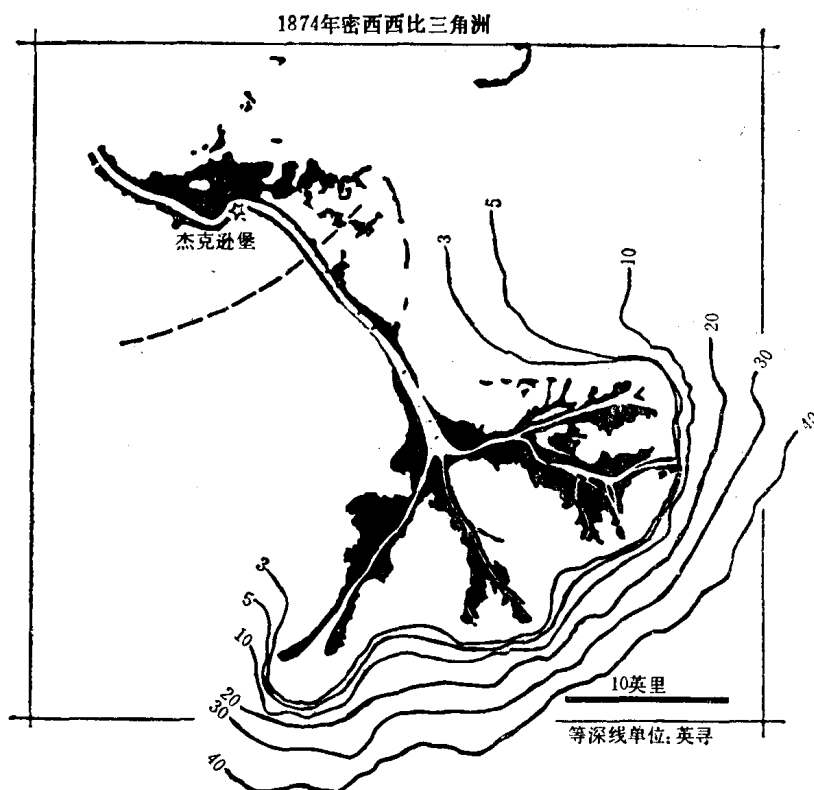


图 11 1874 年的密西西比三角洲。现代鸟足状三角洲的轮廓起因于分流的分叉和向海推进。据斯克克拉顿 (1960)

科尔曼和加利亚诺（1964）曾注意到三角洲沉积在垂向序列中的旋回性。他们提出，这种重复代表叠覆的次三角洲（subdelta）。为了证实这种解释，他们讨论了一个决口扇中相的区域和地层关系（图 15 和 16）。

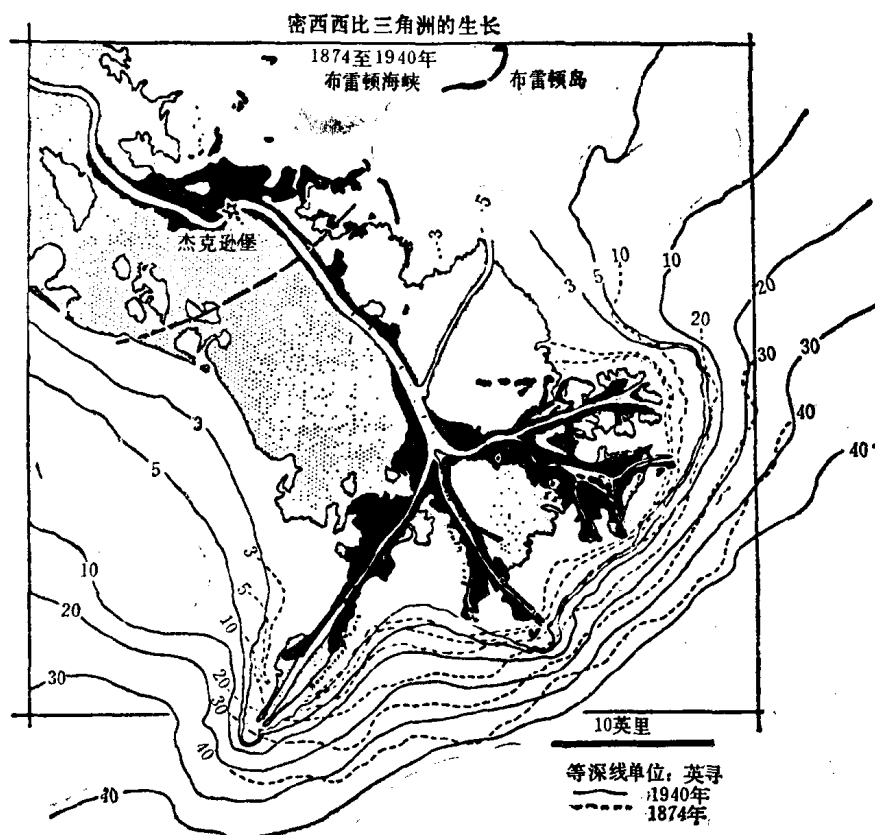


图 12 1874 年到 1940 年间密西西比三角洲的生长。陆上三角洲平原的生长主要是由于天然堤决口和次三角洲或决口扇的沉积。据斯科拉顿（1960）

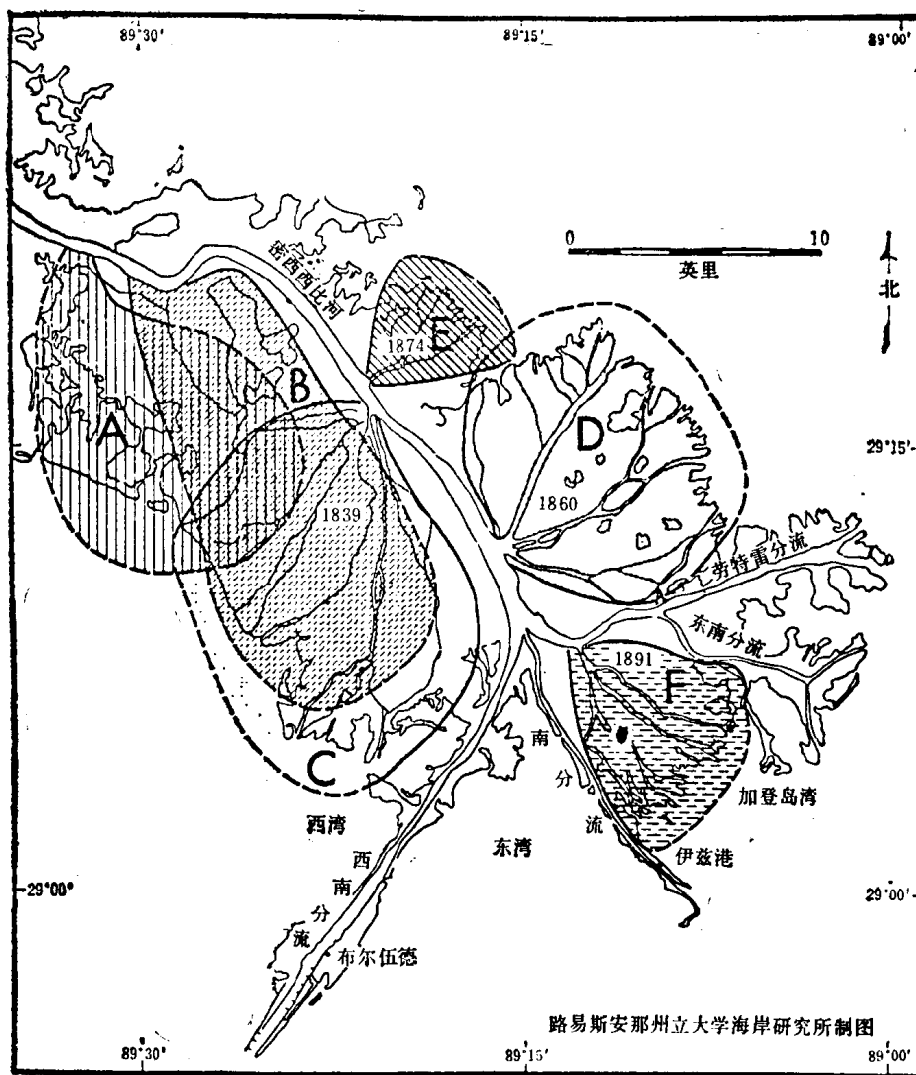


图 13 现代密西西比河鸟足状三角洲的次三角洲或大决口扇。时间代表发生决口的年代。
据科尔曼 和 加利亚诺 (1964)

A—干柏枝长沼复合体；B—大利亚德复合体；C—西湾复合体；D—库比茨口复合体；
E—巴普蒂斯特科勒特复合体；F—加登岛湾复合体

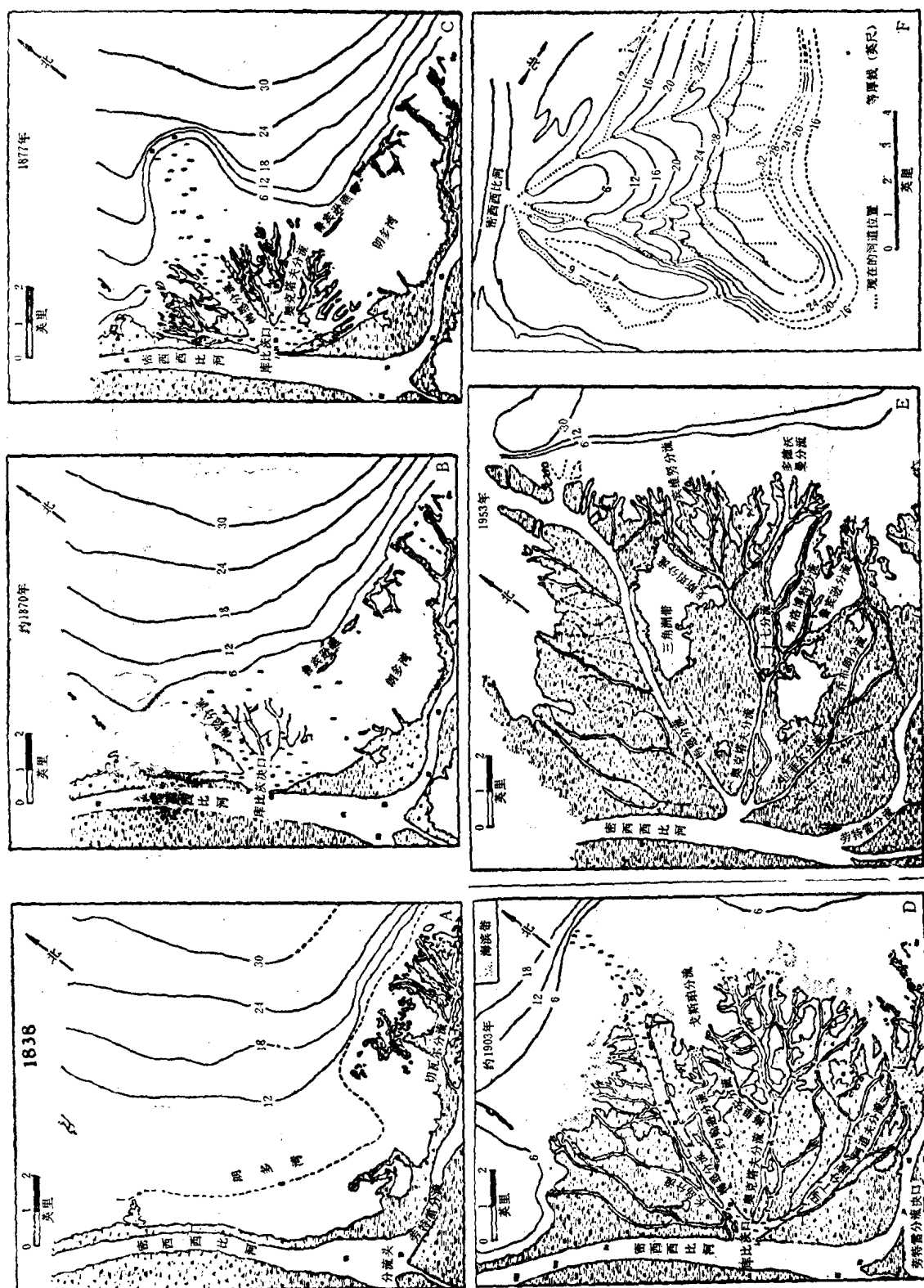


图 14 现代密西西比鸟足状三角洲中库比茨口决口扇的发育年代。据韦尔德 (1959)

A—在发生决口之前, 1838 年该区的地图; B—在库比茨口发生决口之后的 10 年, 1870 年左右该区的地图; C—决口开始之后 17 年, 1877 年的库比茨口地区。注意广阔的陆上沼泽沉积和分流河道的多样性; D—1903 年库比茨口决口扇表现出广泛地向海推进; E—1953 年的库比茨口地区, 表示出选择保存下来的较少的分流和决口扇向海边缘的下沉; F—库比茨口决口扇中沉积物的等厚图。根据决口前的等深线图和现在高程之间的等高距作图

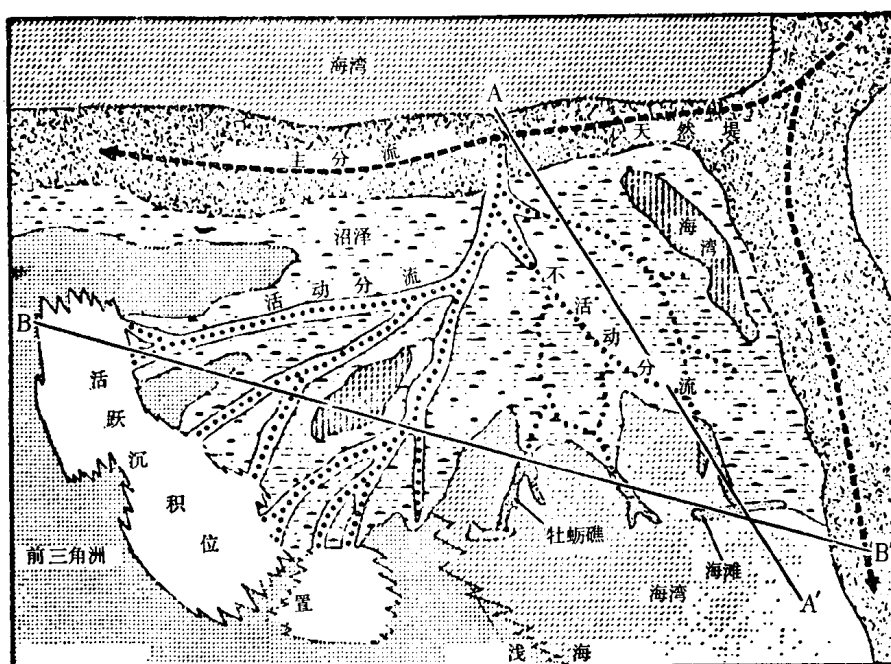


图 15 决口扇相的主要沉积单元的区域分布。据科尔曼和加利亚诺 (1964)

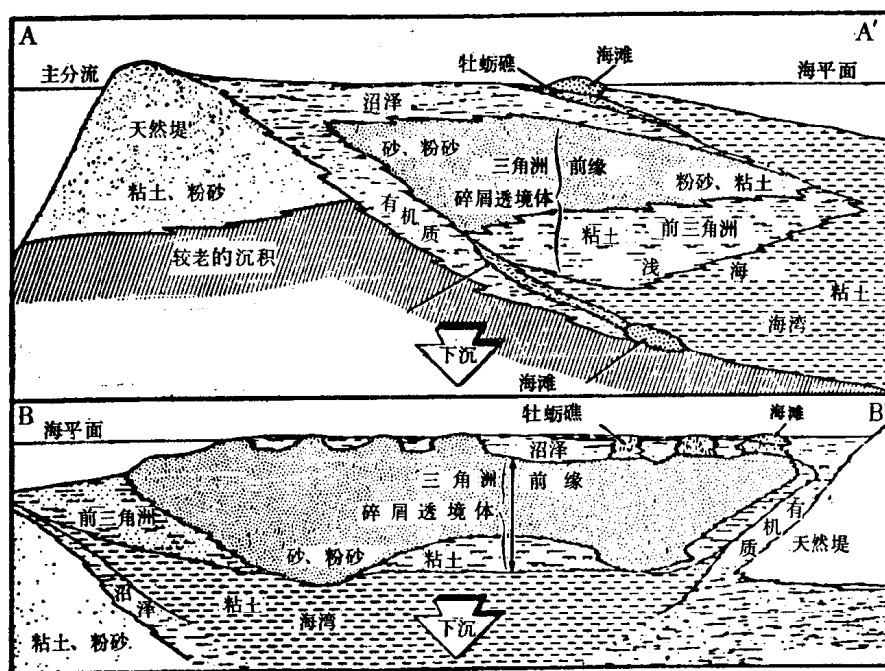


图 16 图 15 所表示的决口扇中沉积单元的横剖面。据科尔曼和加利亚诺 (1964)

三角洲旋回

已证明在了解三角洲沉积方面有用的另一个概念是三角洲旋回。依据建设期和破坏期论述三角洲体系的形成，斯科拉顿 (1960) 曾作过介绍，并被科尔曼和加利亚诺 (1964) 等人所引申。

在三角洲沉积的建设期中占主导地位的沉积作用是分流的向海推进 (图 17 和 11)，以

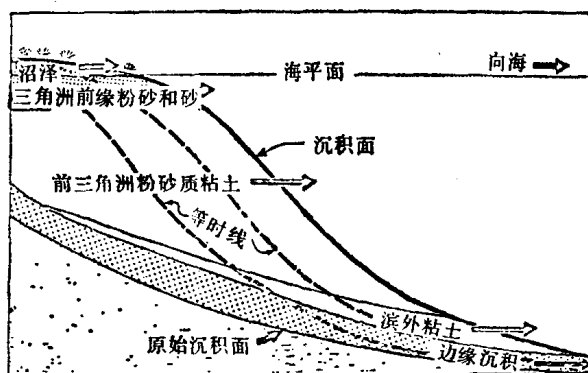


图 17 高建设性三角洲中沉积环境的向海迁移。据斯科拉顿 (1960)

及三角洲平原由于决口扇的形成而发生区域性扩展 (图 12)。分流体系的向海推进不会无限地连续发生。分流过分扩展, 最终会造成河流改道, 从而流入坡度较陡的水道。分流体系的废弃, 开始了三角洲旋回的破坏期, 其特征是三角洲沉积物的下沉并被海洋作用改造。

建设性三角洲与破坏性三角洲

在三角洲体系形成过程所涉及的几个变量 (上面所列出的) 中, 蓄水体能量或海洋能量的种类与沉积物注入量之比的这个变量, 常以一个三角洲体系中的大相组分表现出来, 因此, 它在描述现代和古代三角洲特征方面具有特殊的价值。三角洲体系中的河流相或受河流影响的相, 可以看作是建设相, 即它们是进积作用和加积作用的产物。三角洲体系中的海相起因于河流带入的或受河流影响的沉积物经过再加工或改造, 按三角洲作用来说, 它构成破坏相。在一个三角洲体系内, 如本文所用的建设相和破坏相, 可以是不同时的, 也可以是同时的。主要由河流影响 (建设) 相所组成的三角洲体系可以看作是高建设性三角洲体系; 主要由海洋影响 (破坏) 相所组成的三角洲体系称为高破坏性三角洲体系。不管海洋破坏相的丰度如何, 将一个三角洲定义为岸线不规则地向海推进的必要条件是维持和保存有一些进积的建设相。

主要由河流或河流影响相构成的高建设性三角洲和含有许多海洋成因相的高破坏性三角洲, 可以根据砂体形态特征、垂向序列、区域上的相关性和主要的海洋作用进一步描述 (图 18、19、20)。高建设性三角洲的主要变化是朵状或伸长状; 高破坏性三角洲的特征, 或者是浪控的 (wave dominated), 或者是潮控的 (tide dominated)。

高建设性三角洲在活动阶段中, 其骨架砂单位一般呈朵状或伸长状 (图 18、20)。伸长状三角洲, 以现代密西西比活动性鸟足状三角洲和密西西比体系的某些原始进积朵状体为代表, 其发育条件是: 沉积物输入量大于海洋蓄水体能量、沉积物中含有大量泥以及砂相进积在较厚的泥层上 (图 21、22)。在废弃阶段, 三角洲的进积砂相迅速沉没, 导致大多数进积砂体的永久性贮存。朵状三角洲, 如密西西比体系的几个基本上已废弃的全新世三角洲 (拉福奇、圣伯纳德和蒂奇三角洲), 其发育条件是, 沉积物输入量高、但含泥量较低以及砂相一般进积在薄泥层上 (图 23)。在废弃时, 下沉不那么快, 已建成的三角洲体的上部受到海洋作用的改造; 密西西比体系的所有高建设性朵状三角洲现在都废弃了 (图 24、25)。高建设性三角洲类型的主要差别在于进积砂相的外部形态——伸长状对朵状。

在高破坏性三角洲中, 沉积物输入量相对于海洋蓄水体能量来说是适中的, 因此, 许多这样的体系是由河流带入的、同时又被海洋作用改造过的沉积物所组成的。海洋作用的特定类型, 无论是浪控的还是潮控的, 都决定三角洲的大类 (图 18、20)。在浪控的高破坏性三

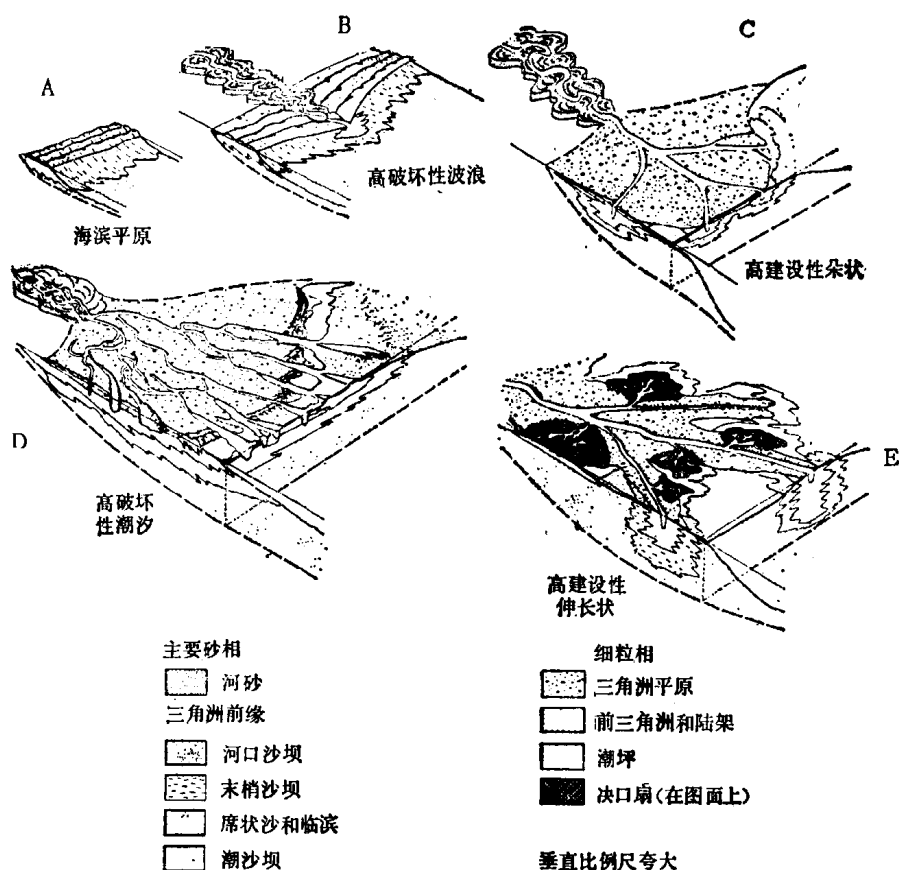


图 18 主要三角洲类型中的格架相。根据 A. J. 斯科特

A—为了进行比较而画出的海滨平原；B—高破坏性浪控三角洲主要由临滨砂和共生的河砂组成；C—高破坏性潮控三角洲具有广阔的潮成浅滩或沙坪相；D—高建设性朵状三角洲含有河砂、河口沙坝和三角洲前缘席状砂；E—高建设性伸长状三角洲具有厚的河口沙坝或指状沙坝

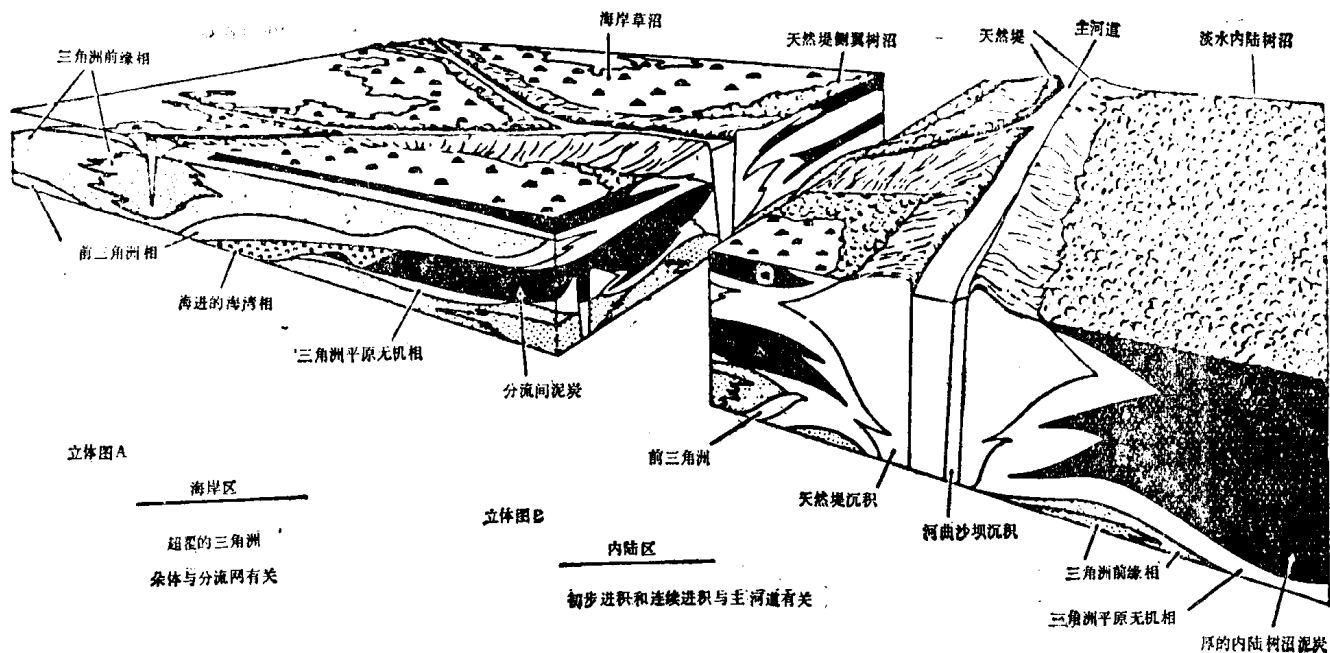


图 19 高建设性三角洲体系中的主要相。注意内陆区主要是与三角洲平原共生的细粒沉积物和有机物,海岸区是与前三角洲泥共生的三角洲前缘砂。根据弗雷泽 (1967) 修改

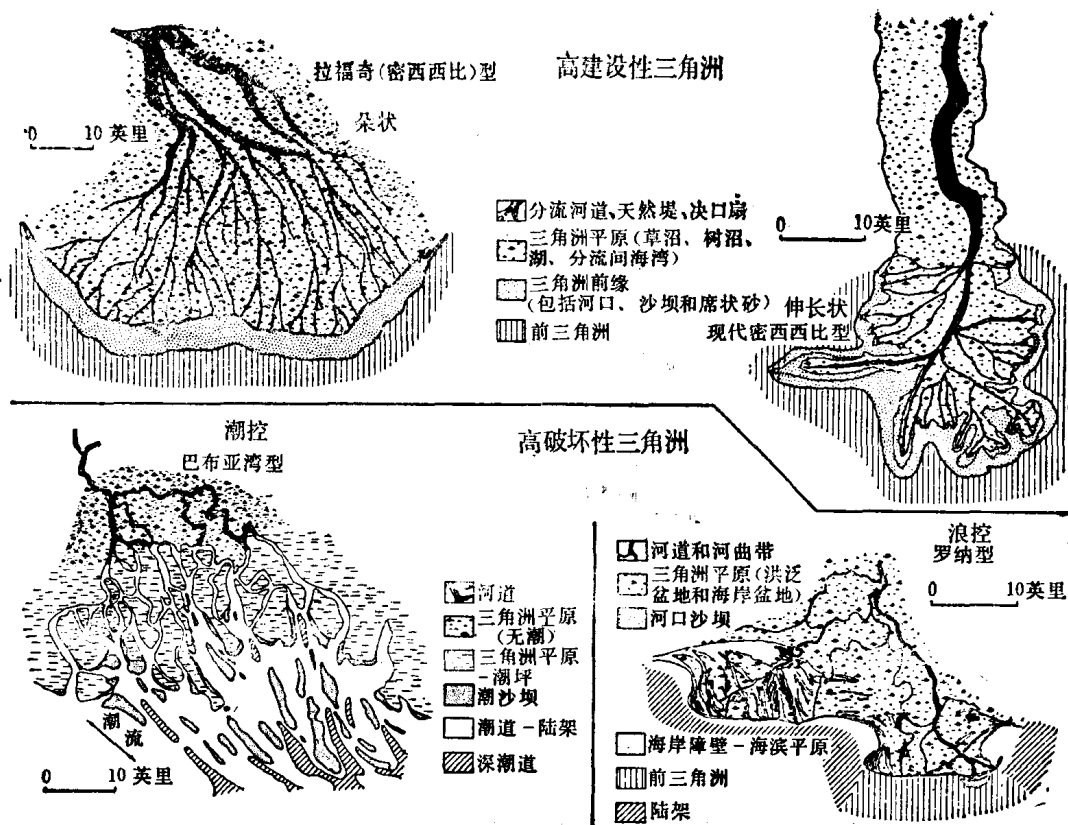


图 20 三角洲的基本类型。资料部分引自菲斯克 (1944) 和克鲁特 (1955)

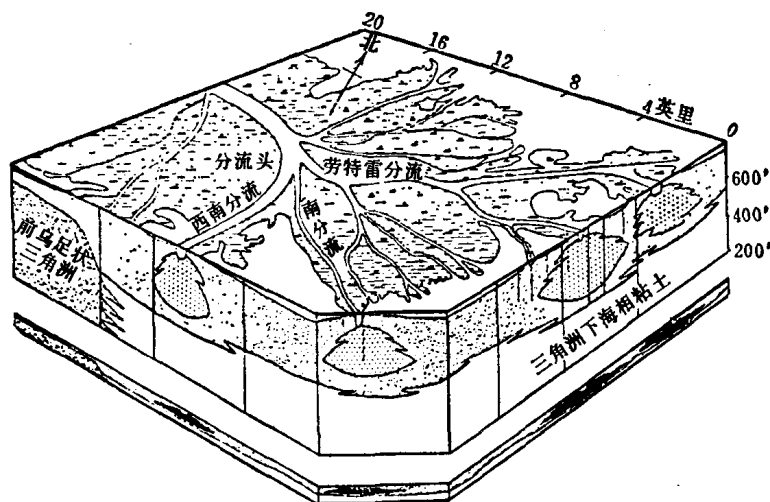


图 21 现代密西西比河高建设性伸长状三角洲。进积砂沉陷到厚的前三角洲层序中, 形成伸长的指状沙坝单元。据邓巴和罗杰斯 (1957), 根据菲斯克等 (1954) 修改

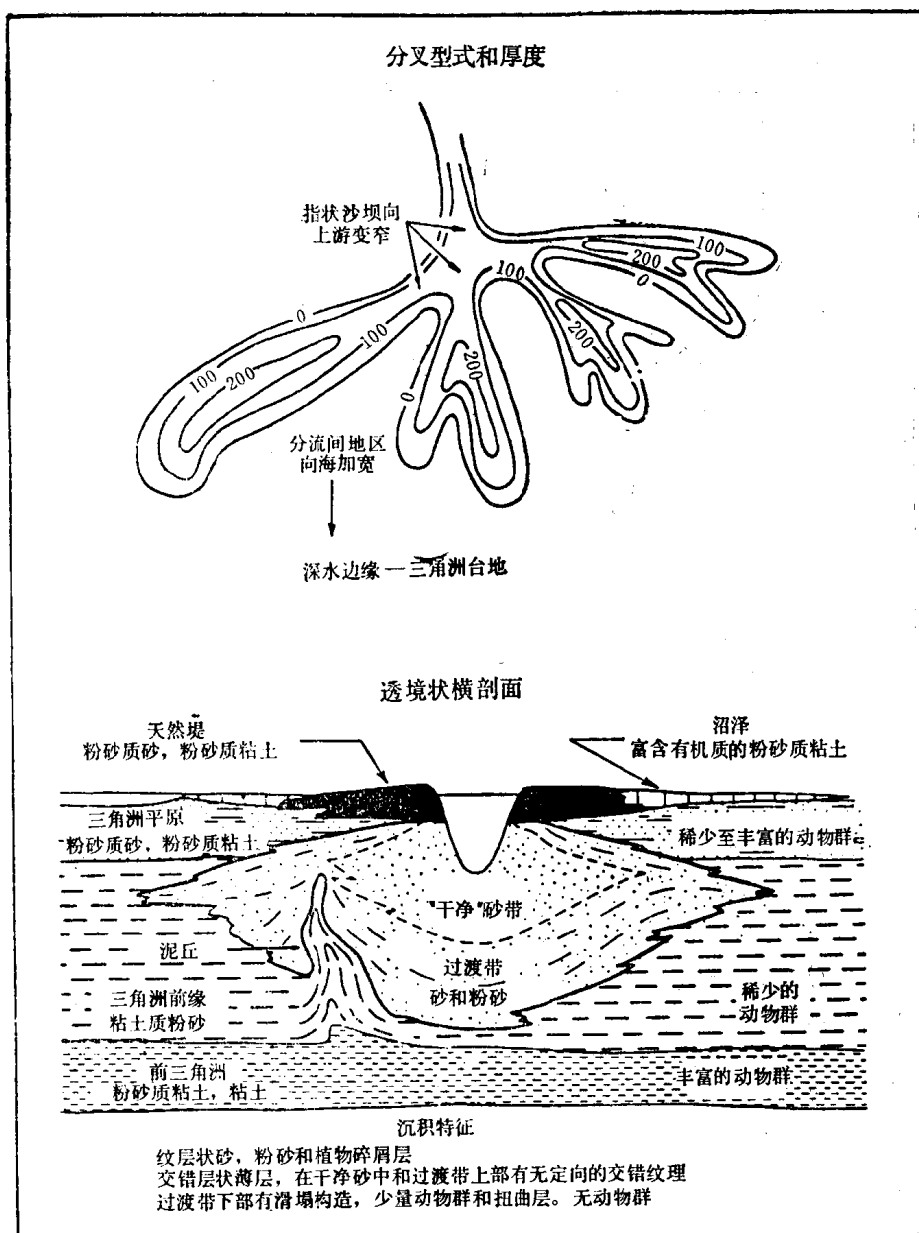
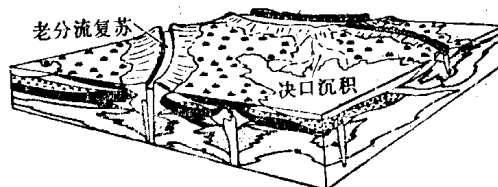


图 22 指状沙坝沉积的几何形态和沉积特征。注意砂体向下倾方向增厚和分叉。“干净”砂带代表分流河口沙坝顶环境，侧翼的泥质砂代表末梢沙坝环境。据菲斯克 (1961)



图 23 高建设性朵状三角洲。沉积在河口沙坝顶上的砂被沿岸流散布在侧向上，形成宽阔的砂质三角洲前缘。据弗雷泽 (1967)



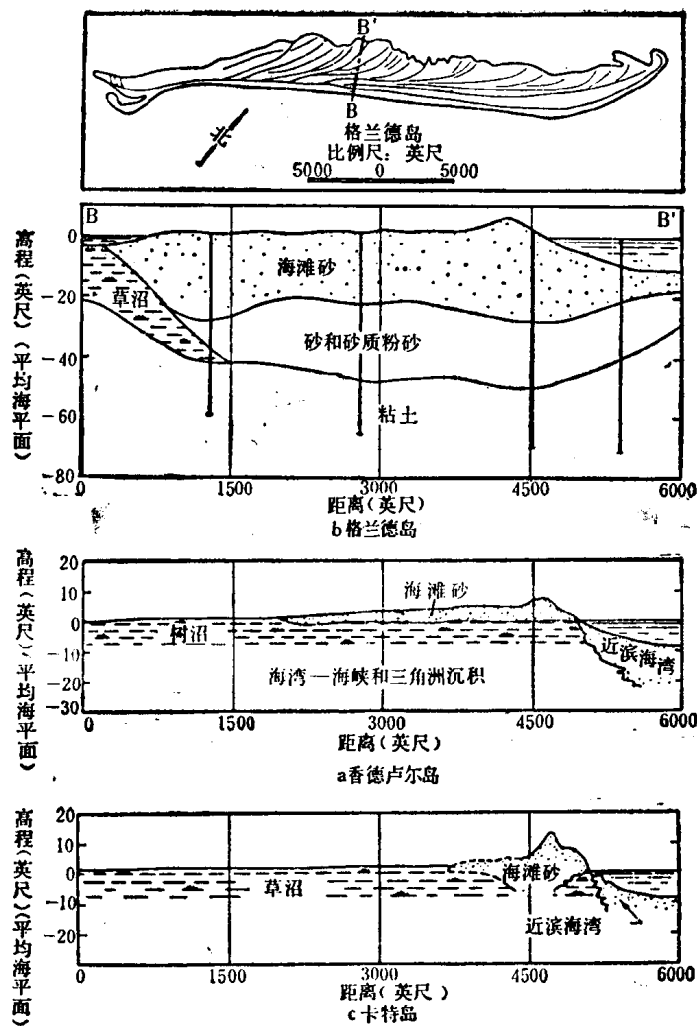


图 24 三角洲边缘障壁岛的横剖面。它是在高建设性三角洲的破坏期由三角洲前缘砂改造而成的。据科尔布和范洛皮克 (1966), 根据菲斯克和麦克法伦 (1955) 以及特雷德韦尔 (1955)

角洲中, 主要是以一系列的海岸障壁 (coastal barriers) 堆积在河口侧翼, 使主要的砂单位呈尖头形至弓形趋势 (图 18、20)。在中等大小的现代三角洲中常有这种类型, 现代实例包括波河、尼罗河、罗纳河以及墨西哥塔巴斯科沿岸三角洲。在潮控的高破坏性三角洲中, 河流带来的沉积物被潮流改造成一系列从河口前缘呈放射状排列的手指状砂单位。泥和细粒沉积物堆积在陆上, 形成广阔的红树沼泽或潮坪, 它们进积在潮汐坝上 (图 20)。这种三角洲的现代实例有伊洛瓦底江、湄公河、弗雷塞河三角洲、巴布亚湾的三角洲以及东亚地区的其他几个海岸三角洲。在高破坏性三角洲废弃时, 残余的边缘砂受到波浪或潮流的连续改造; 三角洲的向陆部分成为广阔的港湾状, 尤其是在浪控三角洲中。存在有介于这里所描述的三角洲基本类型之间的种类。尼日尔三角洲就是一例, 它是一个受海洋波浪和潮流影响均很大的现代三角洲。