



第五节 三角洲相 (Delta Facies)

一、三角洲概述

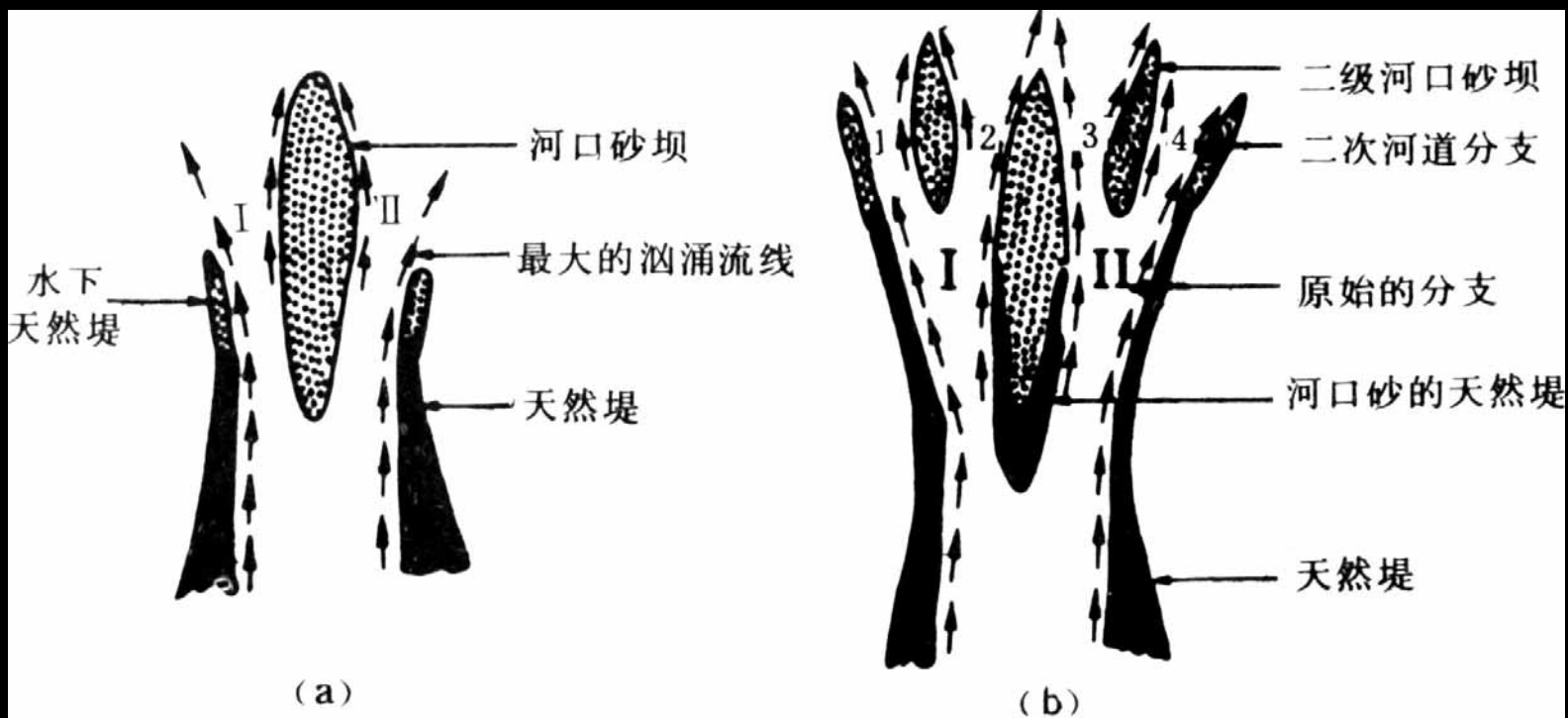
“三角洲是河流在一个稳定的水体中或紧靠水体处形成的、部分出露水面的一种沉积物”
(巴雷尔, 1912)。





(一) 三角洲的形成与演化

(1) 河口沙坝和河道分叉的形成

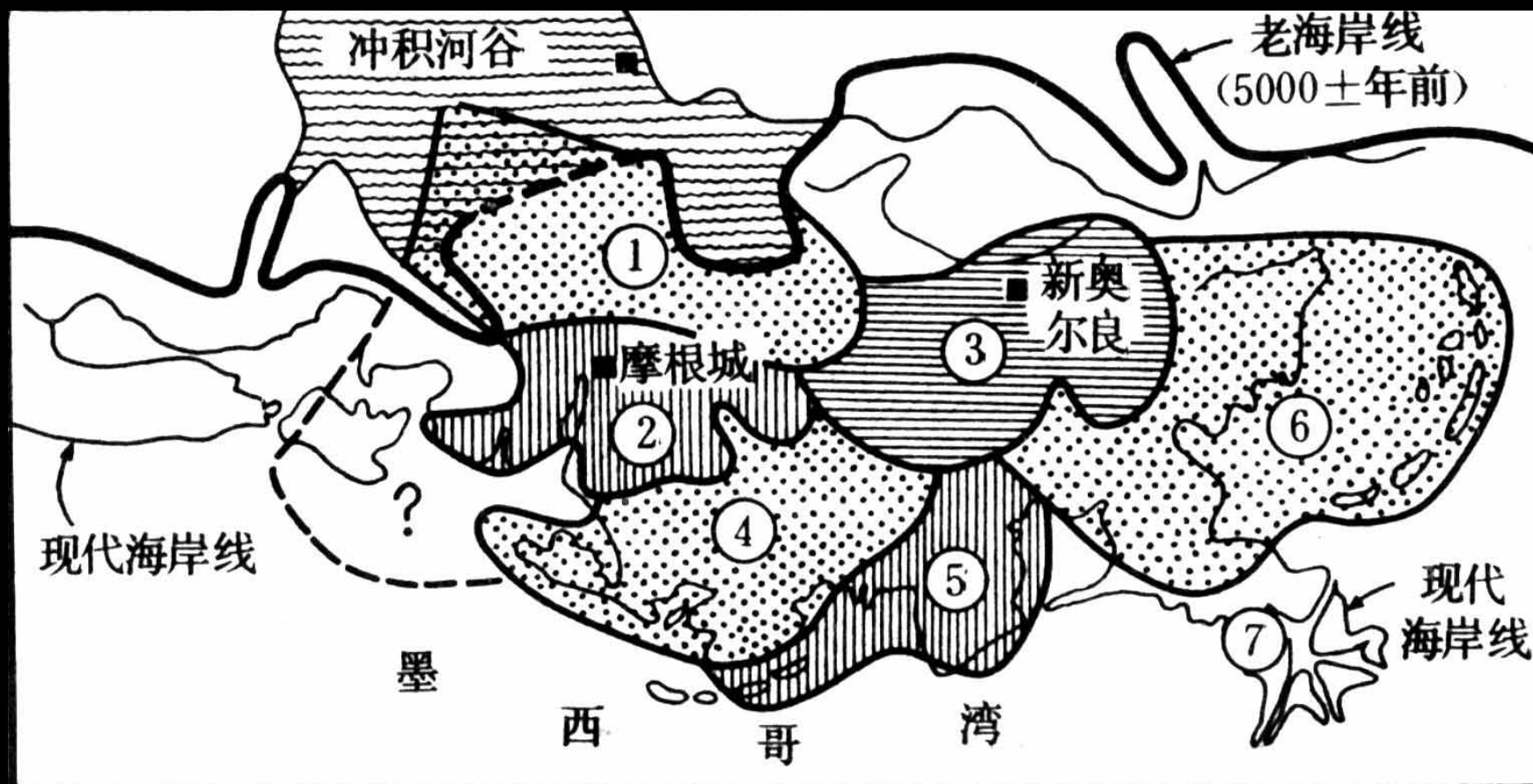
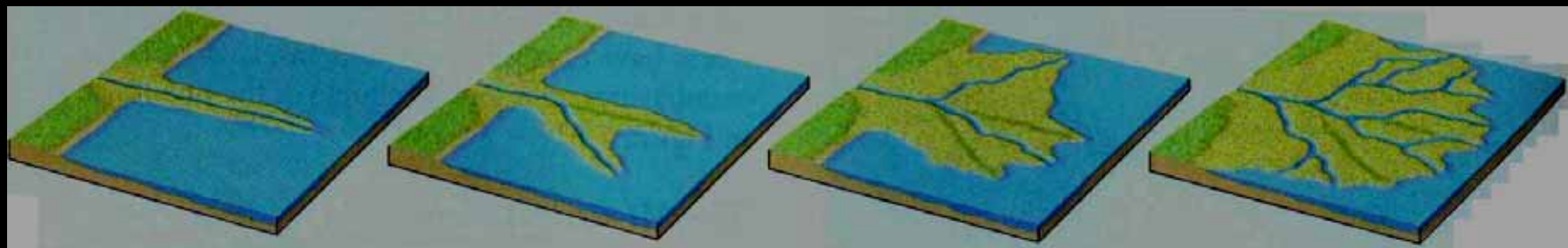


河口砂坝和分支河道的发育过程(据拉塞尔, 1967)

(a) 早期河道分叉; (b) 晚期河道分叉



(2) 决口扇的形成与三角洲的延伸





(二) 影响三角洲形成和发育的主要因素

1. 河流的作用

河流**流量**和**输砂量**是形成三角洲的物质基础。

河流的流量和输砂量越大，最大流量与最小流量的比值越高，越有利于泥砂在河口堆积，即有利于三角洲的形成。

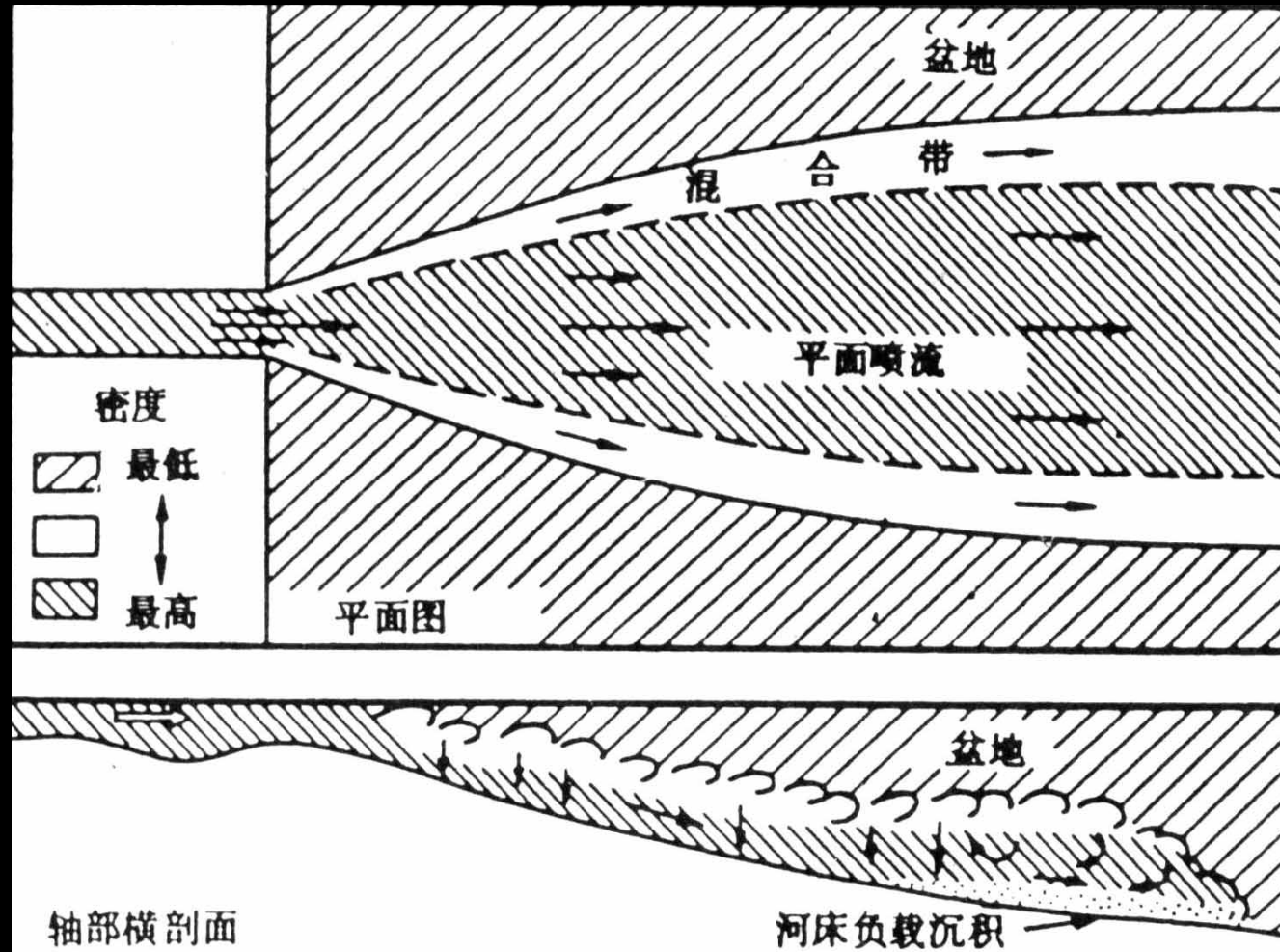
长江三角洲和黄河三角洲面积和增长速度对比（据史密斯，1966）

三角洲名称	长江	黄河
陆上面积 $\times 10^4 \text{km}^2$	2.28	12.2
平均速度 m/a	20	300~400



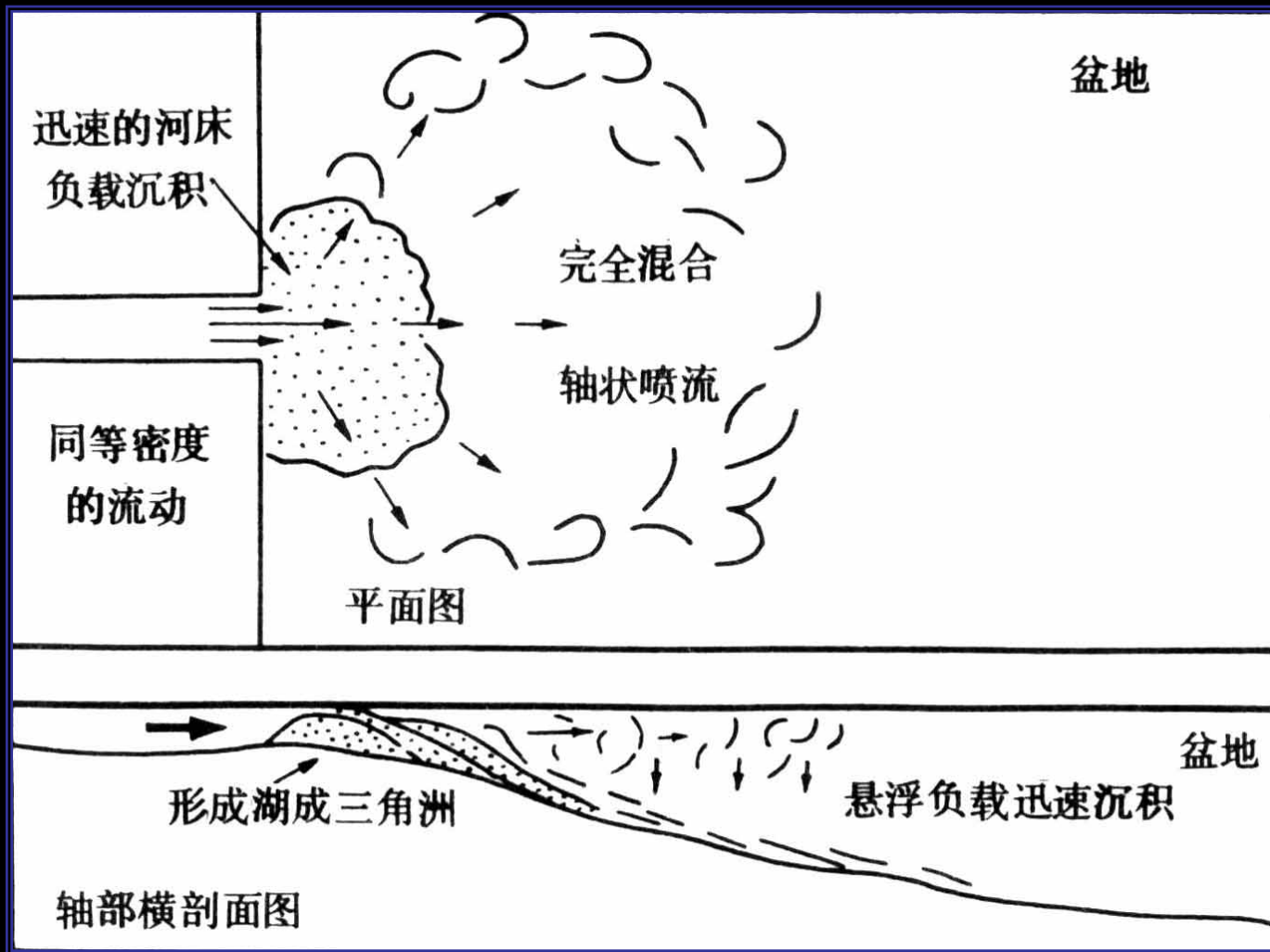
2. 蓄水体密度与河水密度的差异

(1) 河水密度 > 蓄水体密度：高密度流动，沿底部**平面喷流**，如高密度浊流形成海底扇。



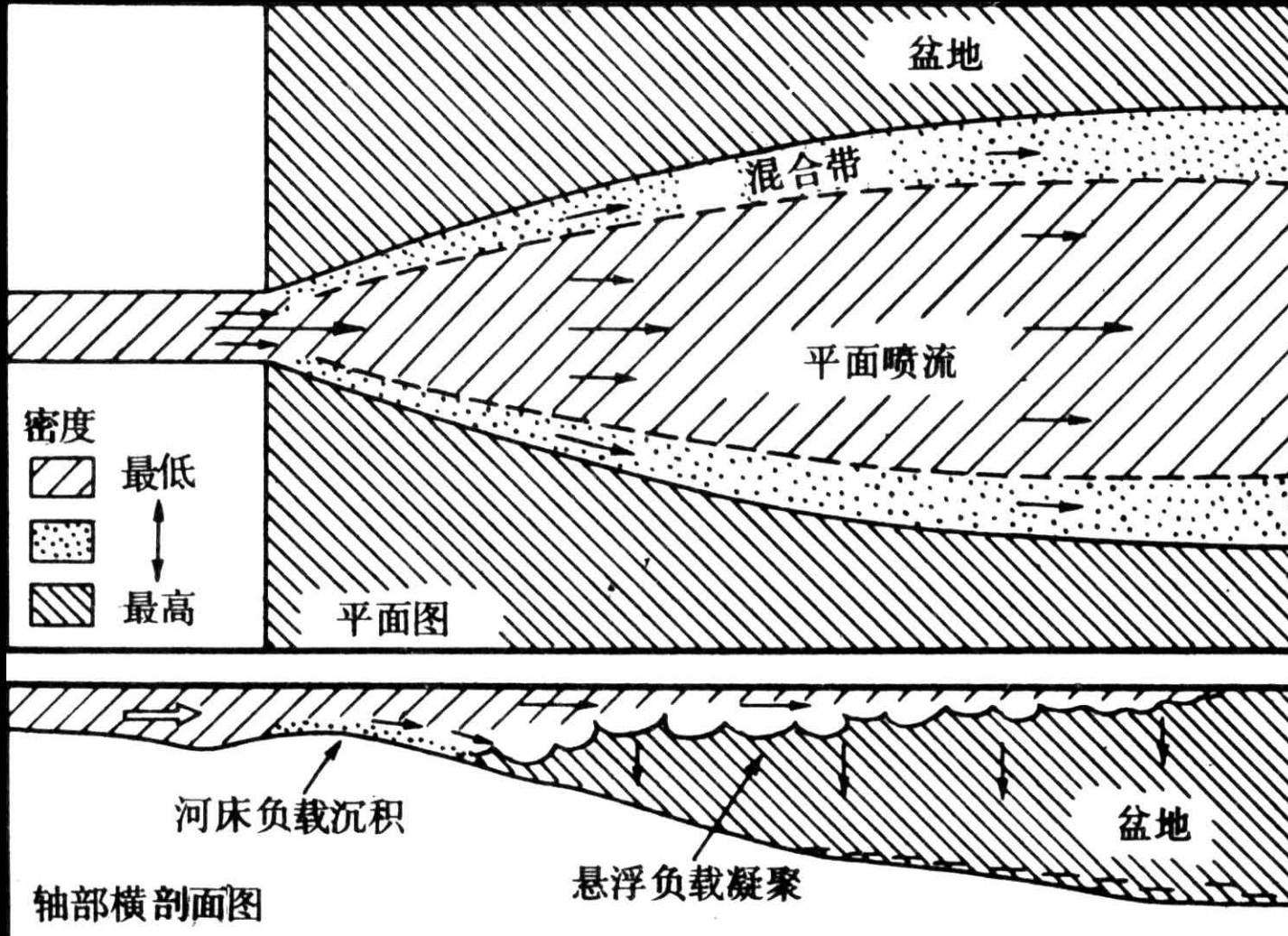


(2) 河水密度=蓄水体密度：等密度流动，属轴状喷流，如河流进入淡水湖形成湖成三角洲





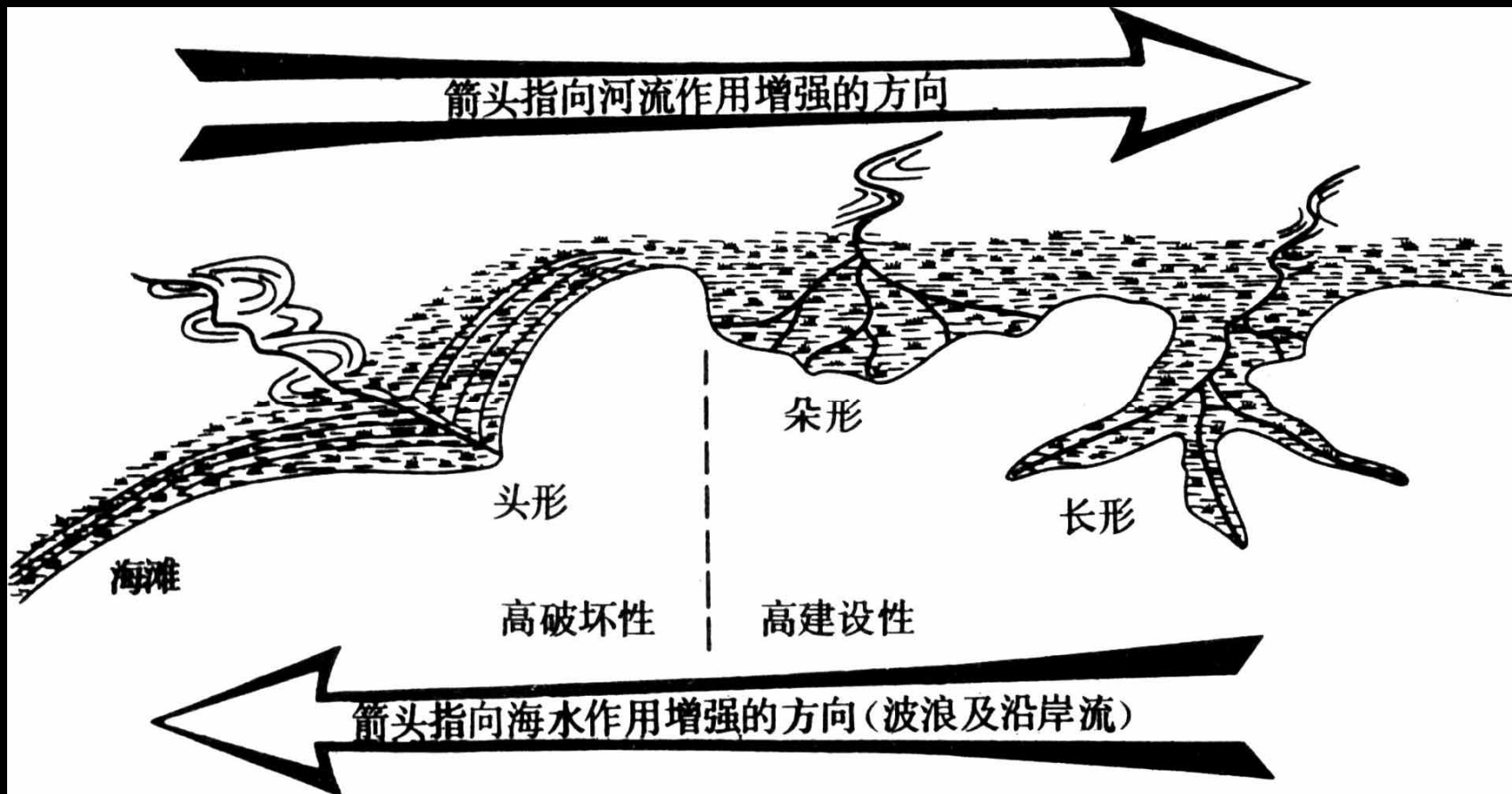
(3) 河水密度 < 蓄水体密度：为**低密度**流动，属严格的**平面喷流**类型，通常发生在河流入海处。





3. 蓄水体的水动力作用

河流的**建设作用**——波浪和潮汐的**破坏作用**



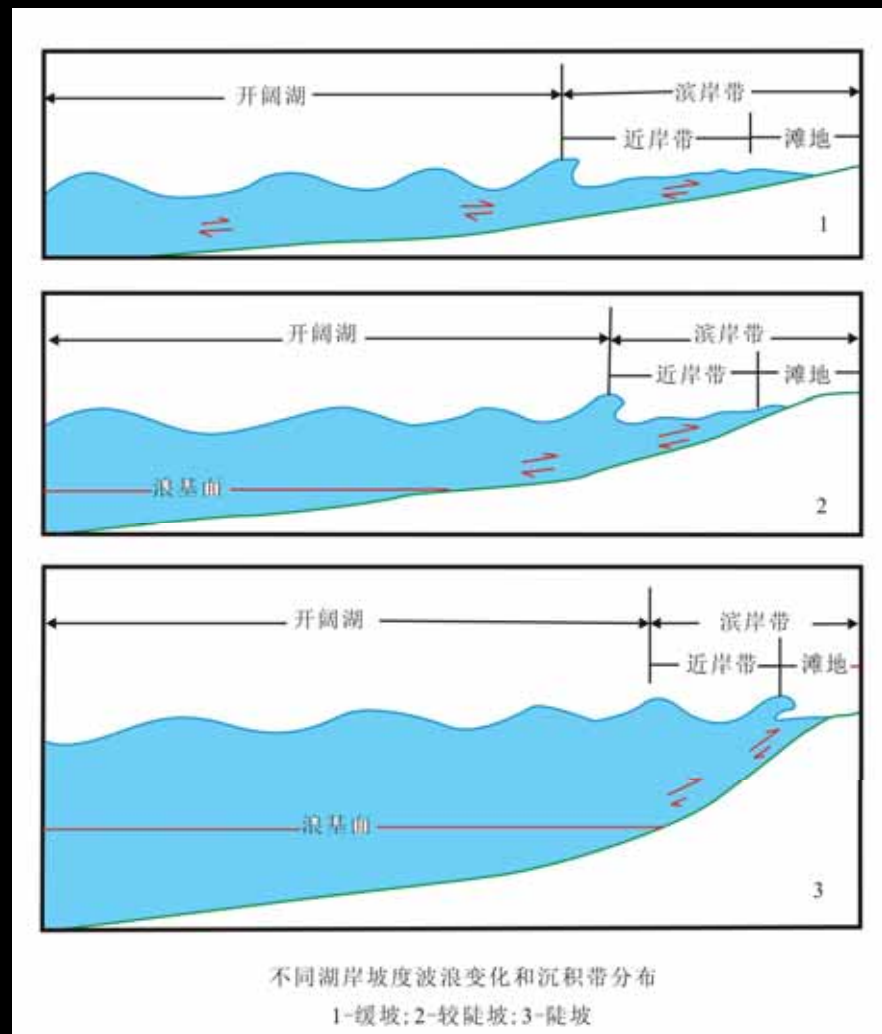
4. 河口区的盆底地形

陡坡——扇三角洲、（近岸）水下扇

缓坡——三角洲

5. 蓄水盆地构造特征

蓄水盆地相对稳定，或缓慢沉降，沉降速度等于或略小于沉积速度，对三角洲的形成和保存有利。

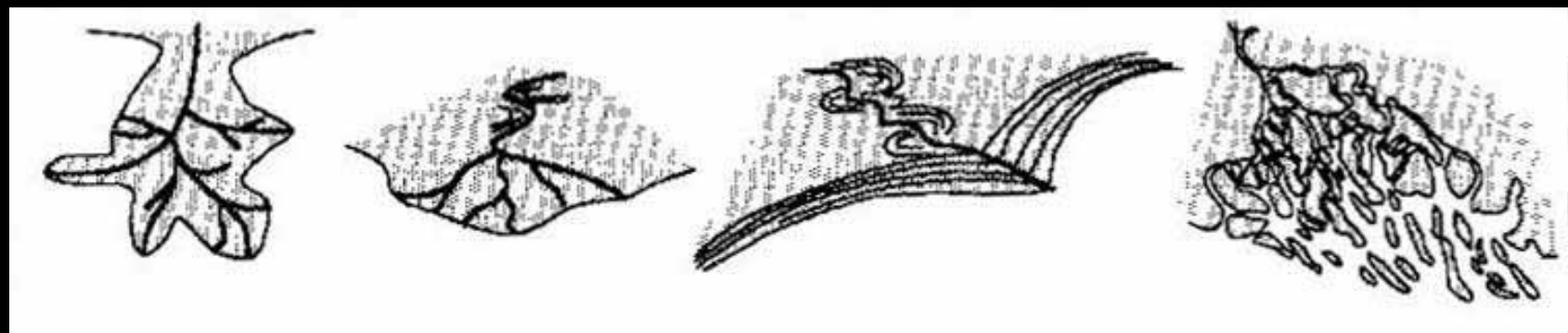
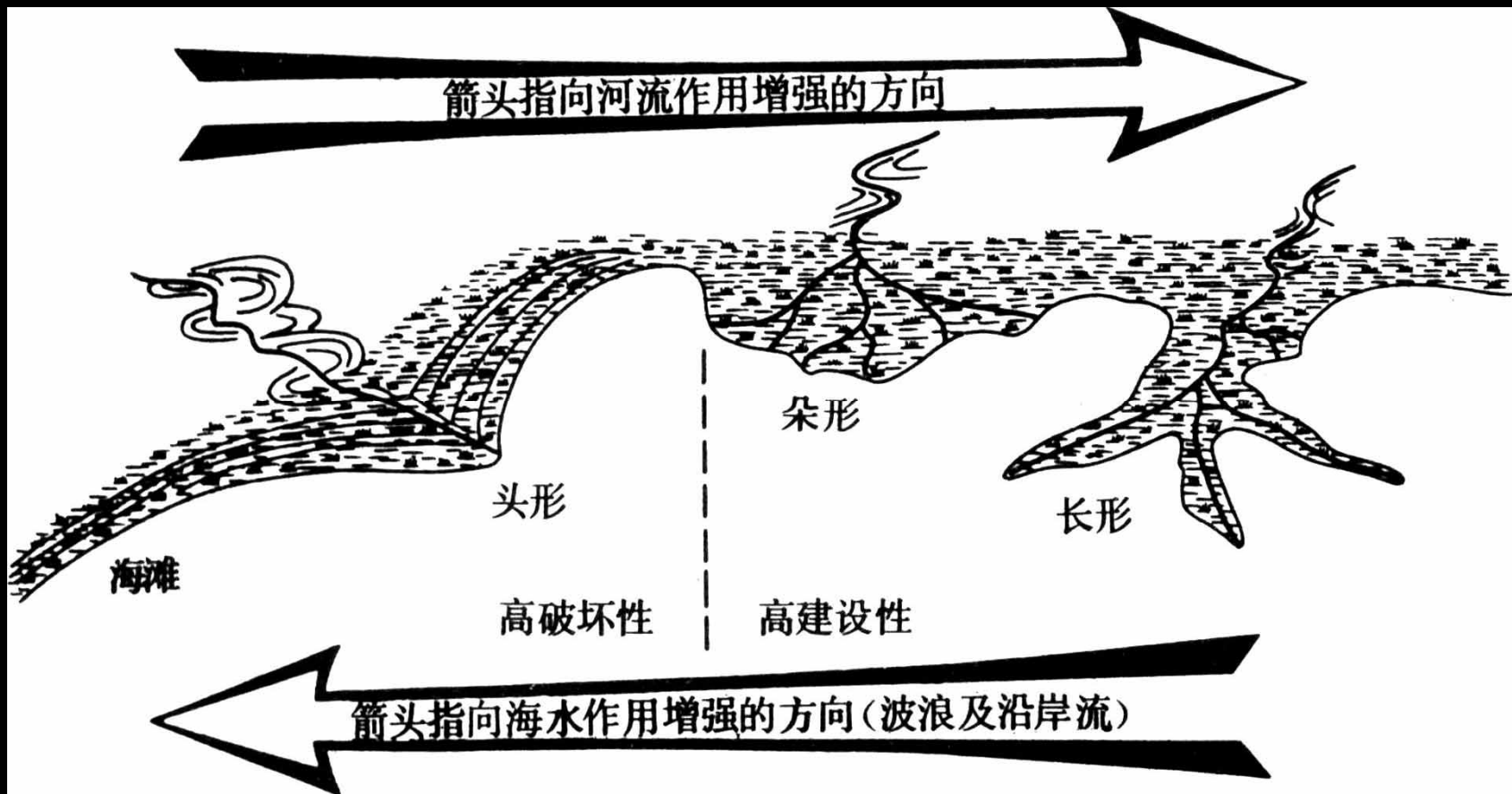


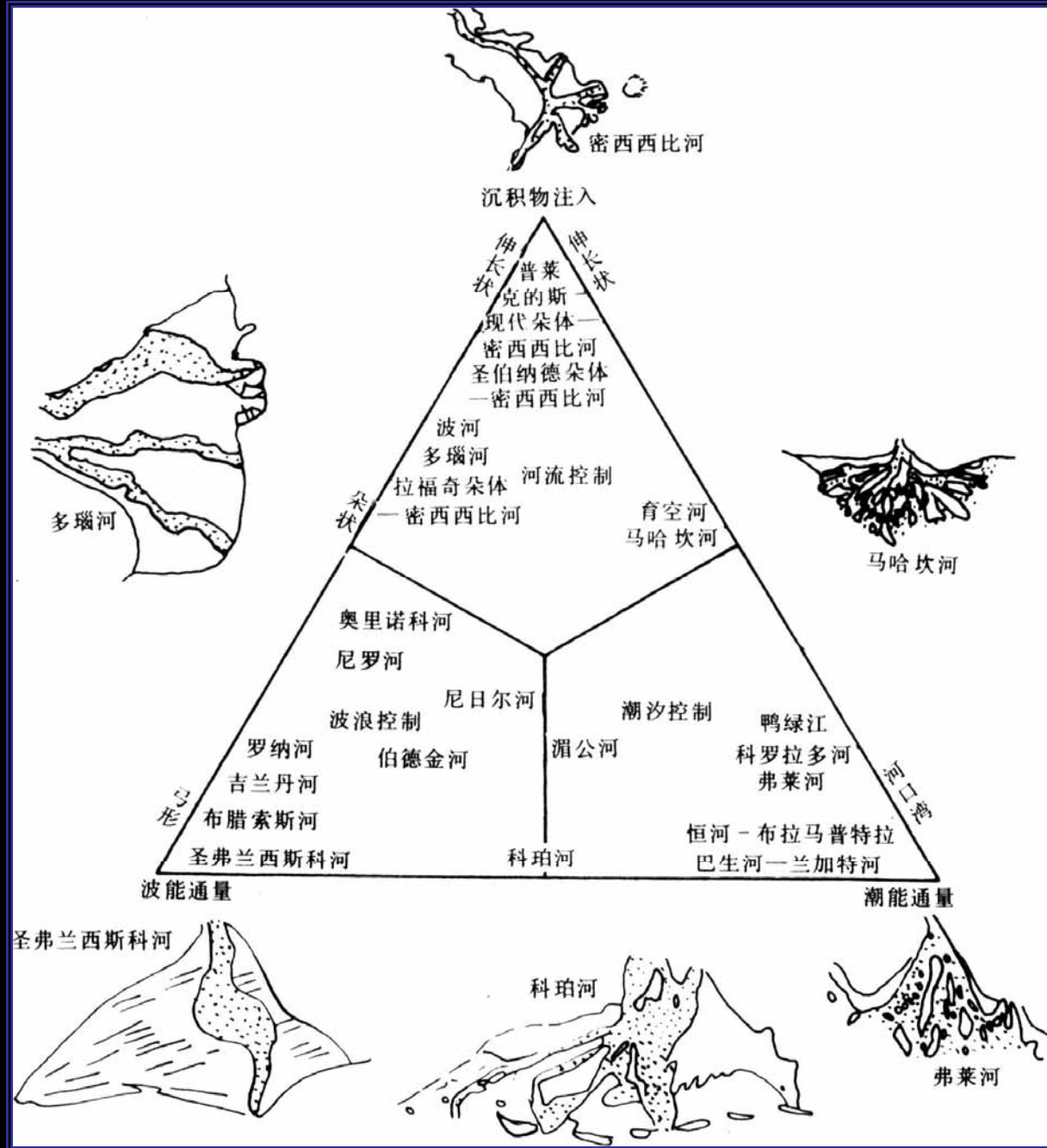


(三) 三角洲的主要类型

三角洲分类方案一览表

分类依据	分类结果
蓄水体性质	湖相三角洲、海相三角洲
水动力条件	河控三角洲、浪控三角洲、潮控三角洲
形态特征	鸟足状三角洲、鸟嘴状三角洲、港湾状三角洲
供源体性质	扇三角洲、辫状河三角洲、正常三角洲
发育部位	陆坡型三角洲、陆架型三角洲、吉尔伯特型三角洲
河口作用类型	摩擦为主的三角洲、惯性为主的三角洲、悬浮为主的三角洲
粒度粗细	粗粒三角洲、细粒三角洲
结构成因	综合各种因素划分6种类型三角洲







二、三角洲沉积特征及其相模式

(一) 河控三角洲的沉积特征及其相模式

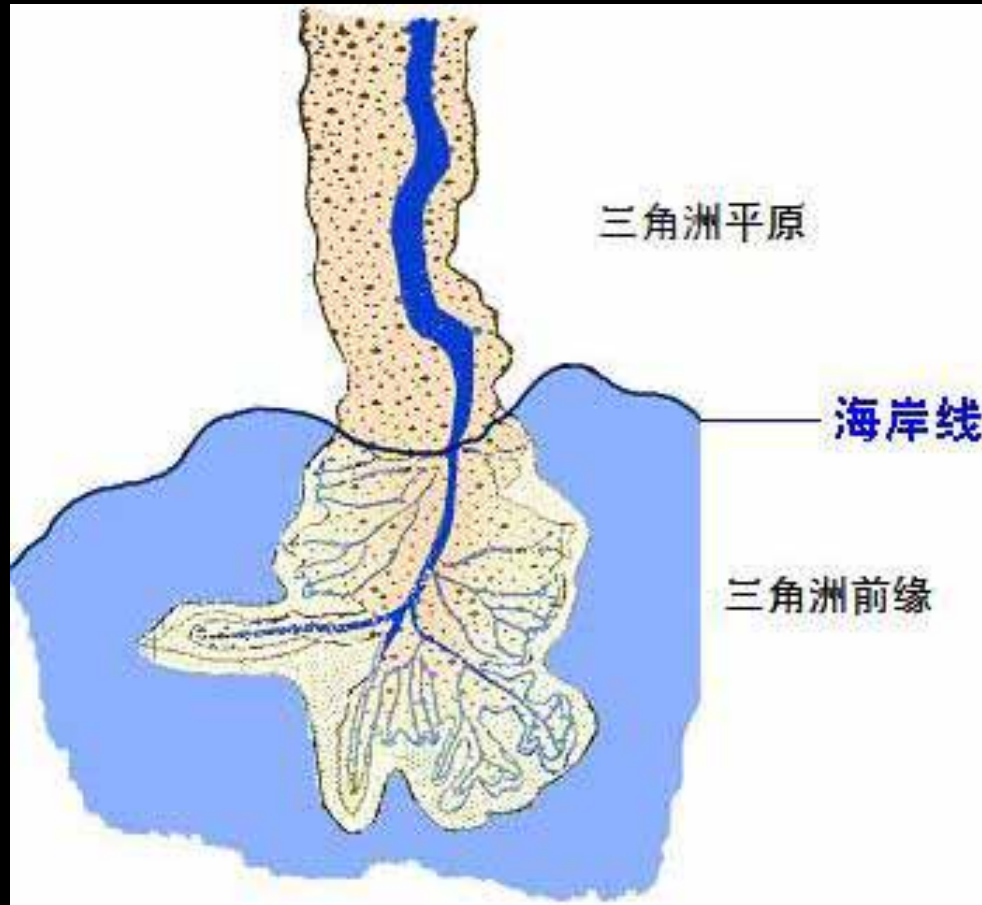
河控三角洲是在河流输入泥沙量大，波浪、潮汐作用微弱，河流的建设作用远远超过波浪、潮汐破坏作用的条件下形成的。

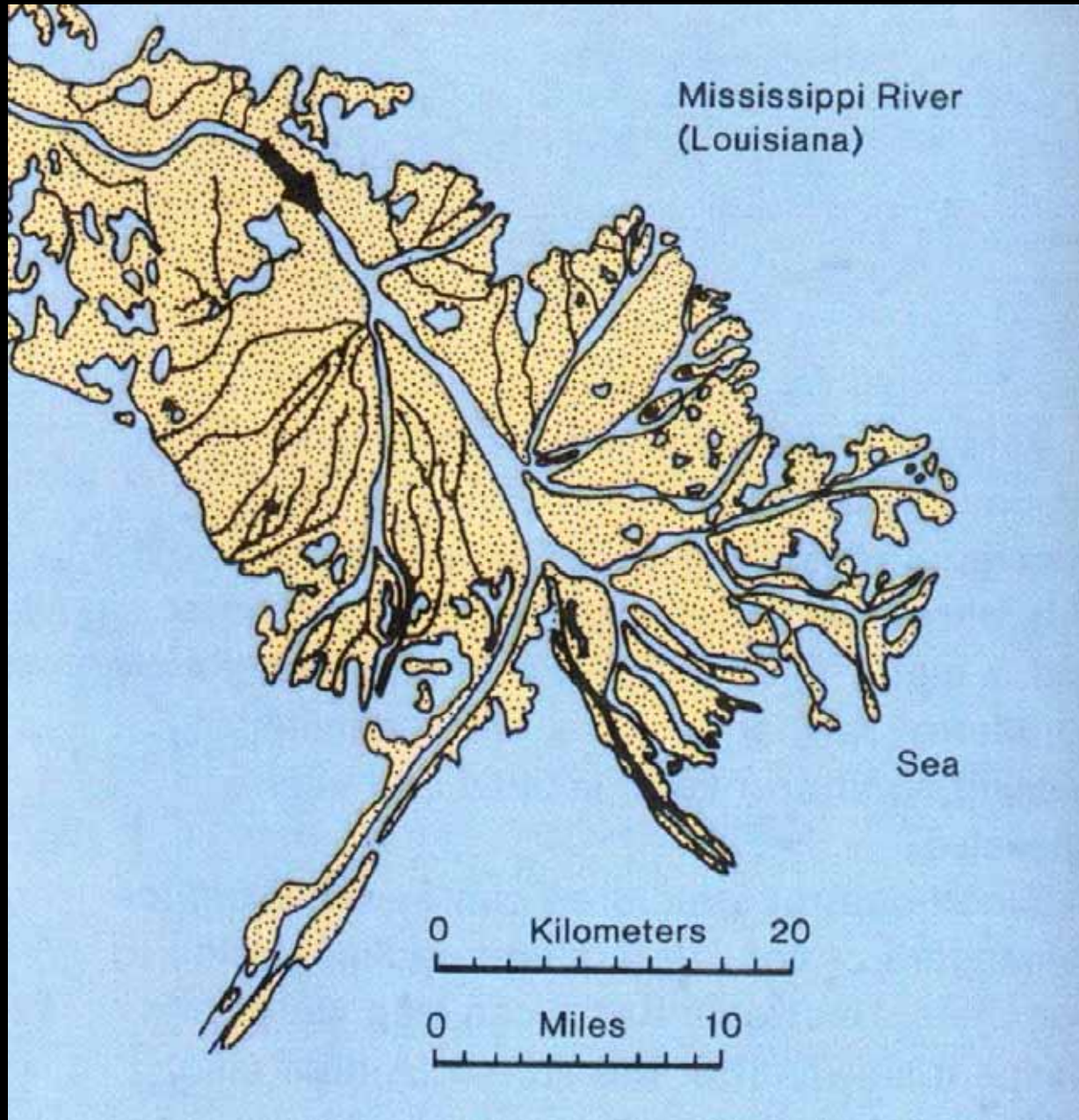
1. 河控三角洲的形态

按照三角洲的形态，可进一步分为鸟足状三角洲和朵状三角洲两种类型。



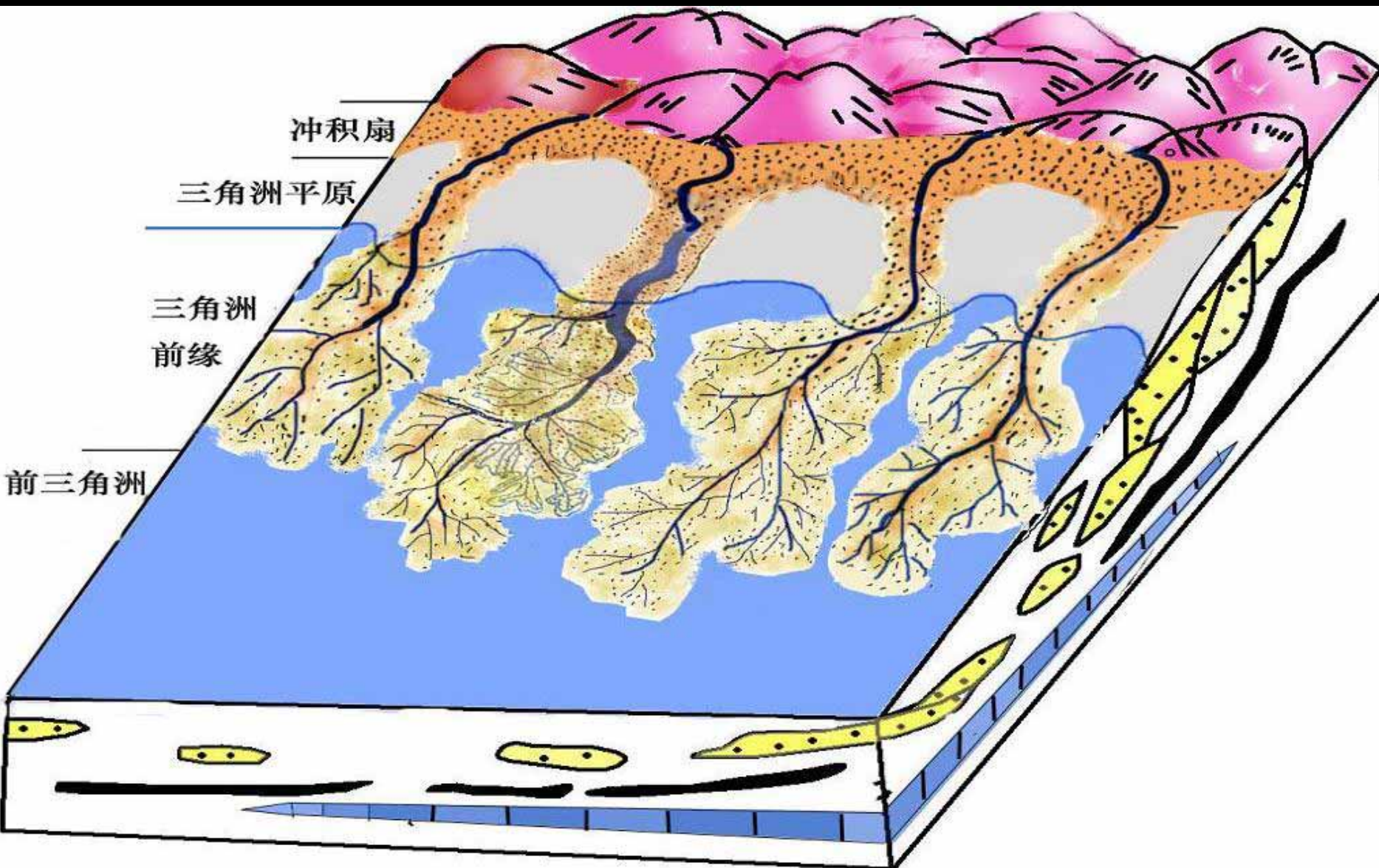
鸟足状三角洲又称舌形或长形三角洲，是以河流作用为主的极端类型，是最典型的高建设性三角洲。







地貌特征是海岸曲折，呈锯齿状，有广阔的三角洲平原和较发育的滨海沼泽。

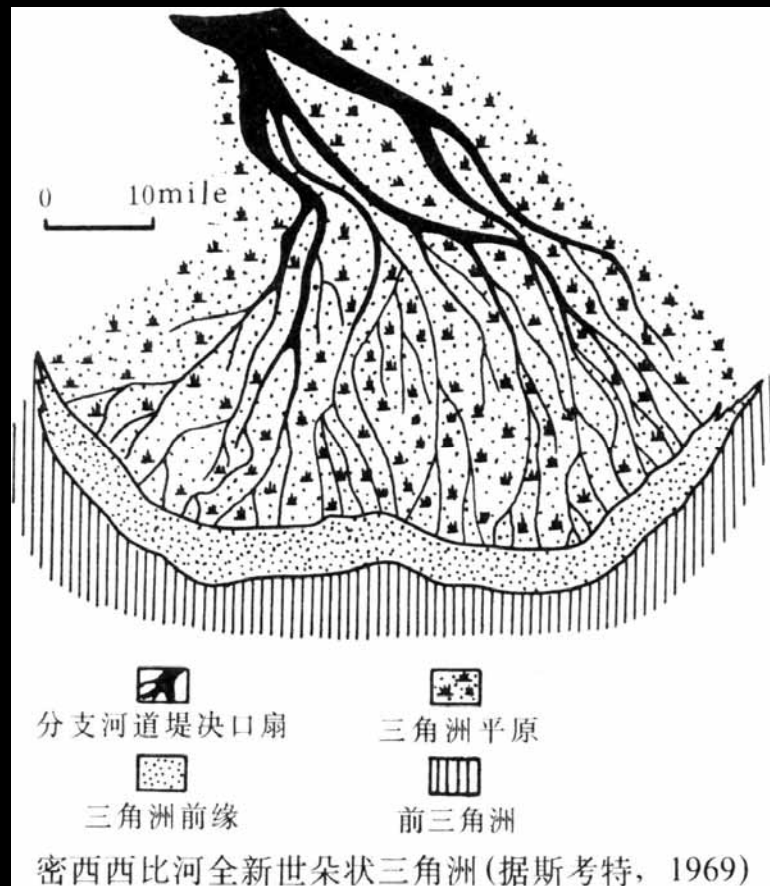


冲积扇
三角洲平原
三角洲前缘
前三角洲

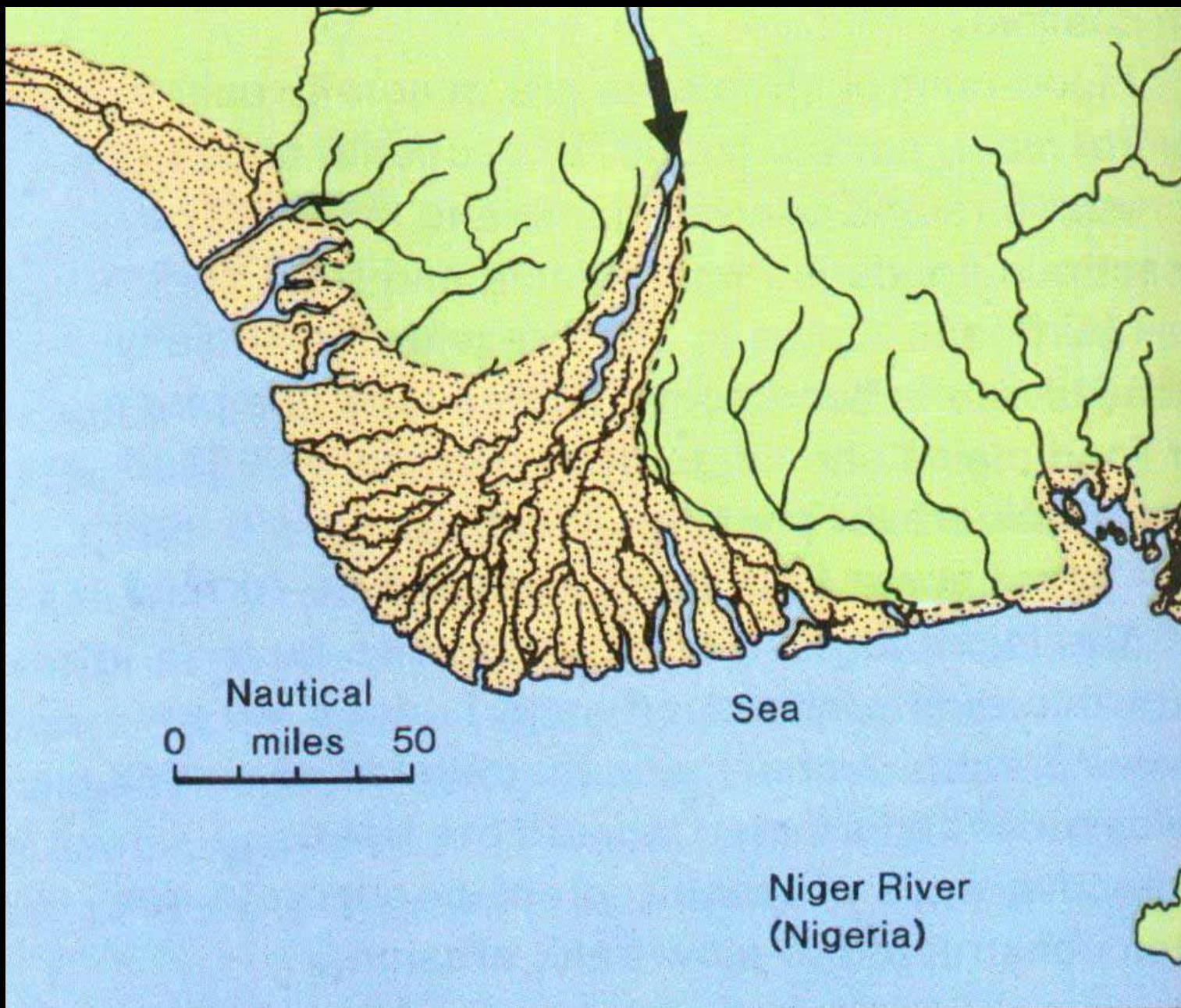


朵状三角洲形态呈向海突出的半圆状或朵状。

与鸟足状三角洲相比，朵状三角洲在形成时泥砂输出量相对较少，砂泥比值较高，波浪作用有所增强，但河流输入沉积物的数量仍高于波浪和潮汐作用改造的能力。



我国的黄河、滦河，欧洲的多瑙河，非洲的尼日尔河等形成的三角洲属于此类型。





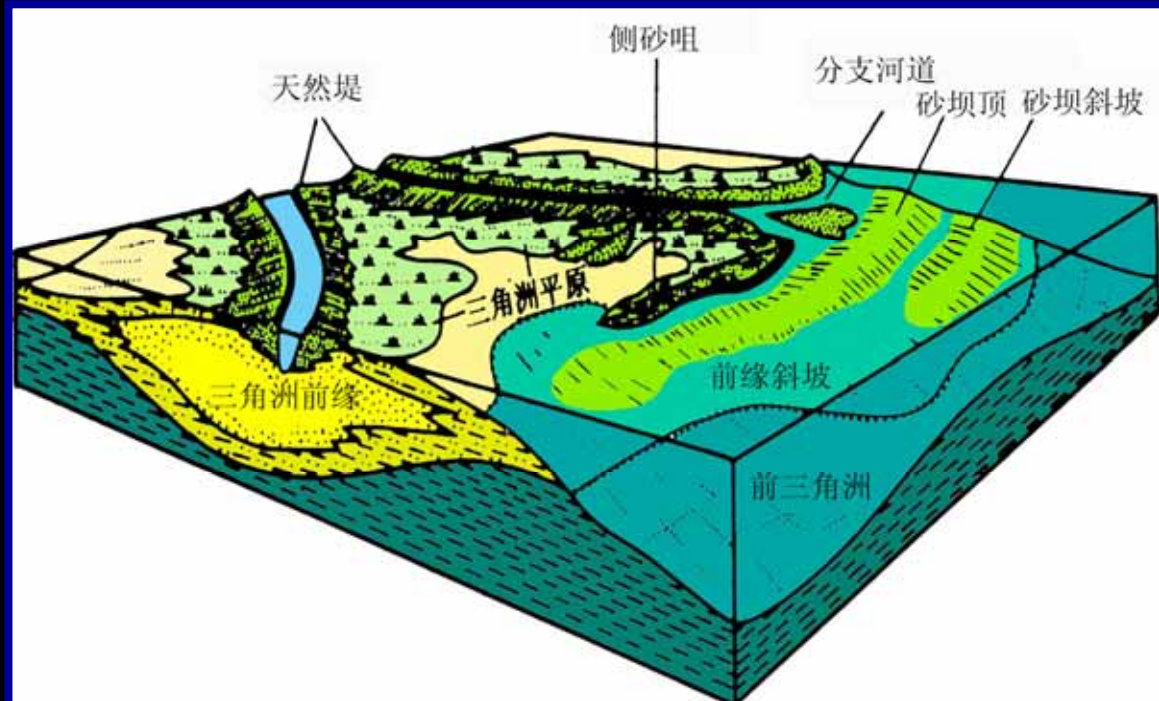
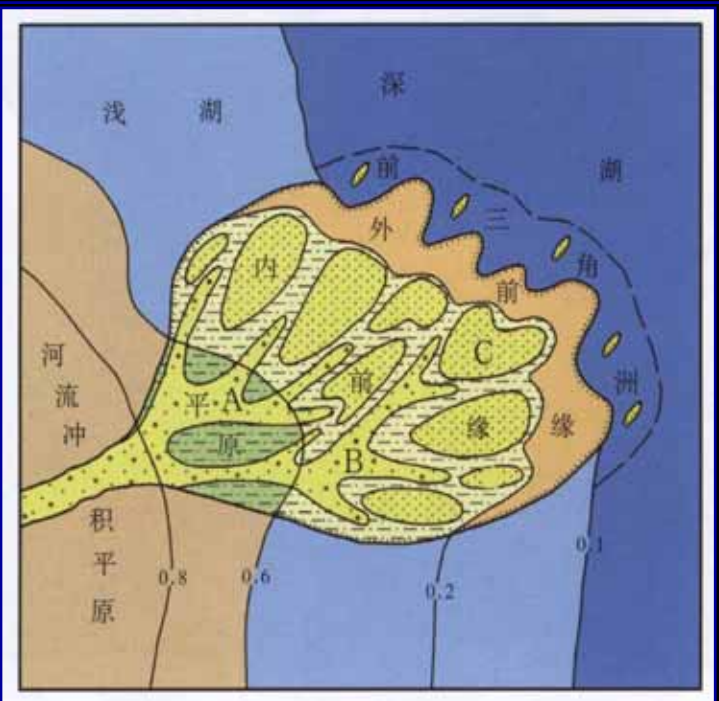
2. 三角洲的亚相类型及其特征

三角洲相

三角洲平原亚相

三角洲前缘亚相

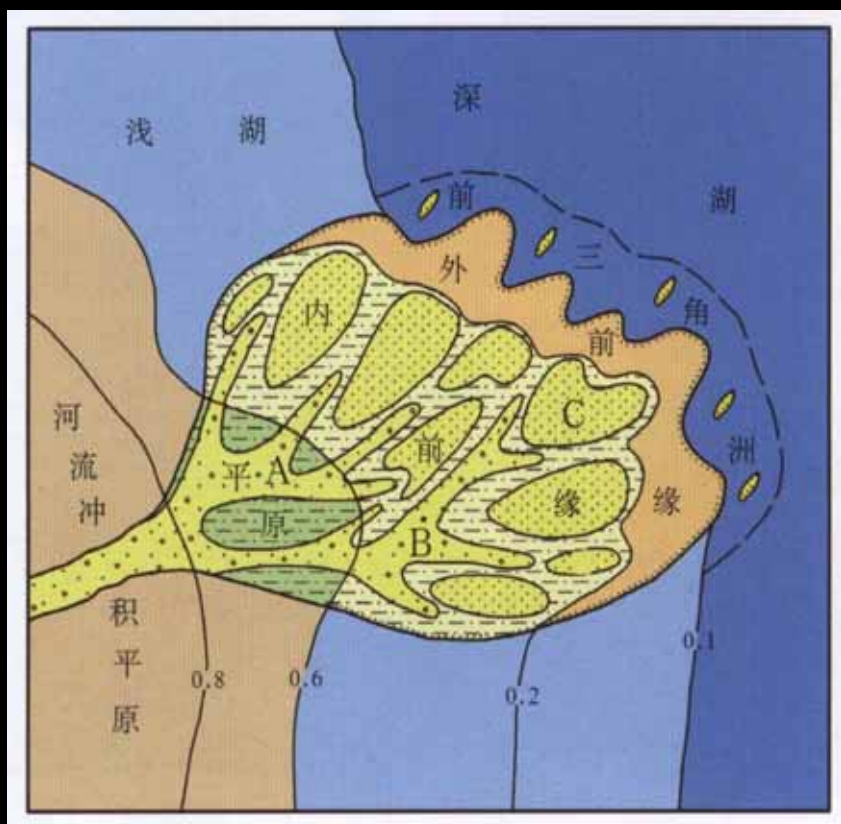
前三角洲亚相





(1) 三角洲平原 (delta plain) 亚相

三角洲沉积的**陆上部分**，其范围包括从河流大量分叉位置至海平面以上的广大河口区，是与河流有关的沉积体系**在滨海区的延伸**。





岩性：砂岩、粉砂岩、泥岩（包括泥炭、褐煤等）。

结构构造：分选性差；层理构造复杂，见雨痕、干裂、足迹等层面构造。

生物化石：少见，淡水动物化石和植物残体。

分布：呈透镜状，横向变化大。以分支河道和沼泽沉积为主体。



三角洲平原亚相

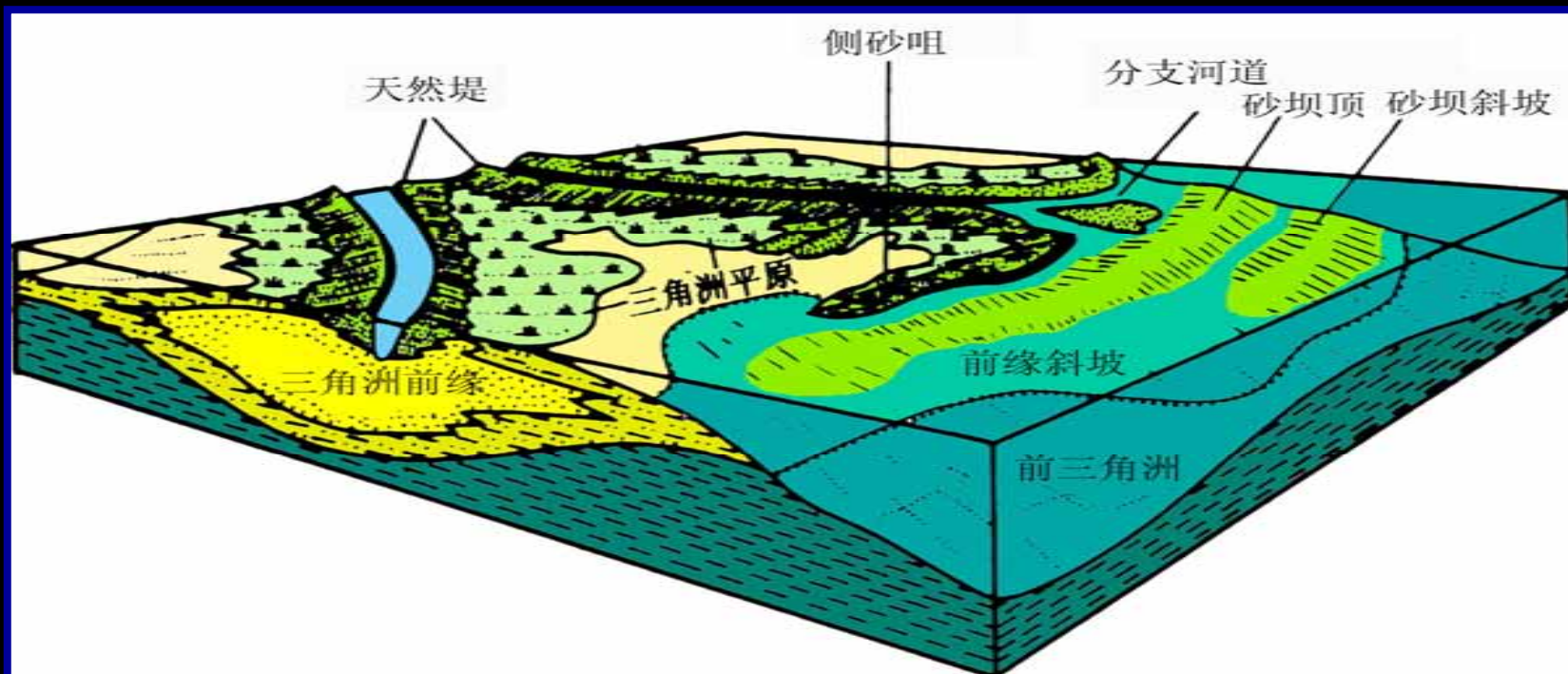
分支河道微相

陆上天然堤微相

决口扇微相

沼泽微相

淡水湖泊微相





分支河道微相

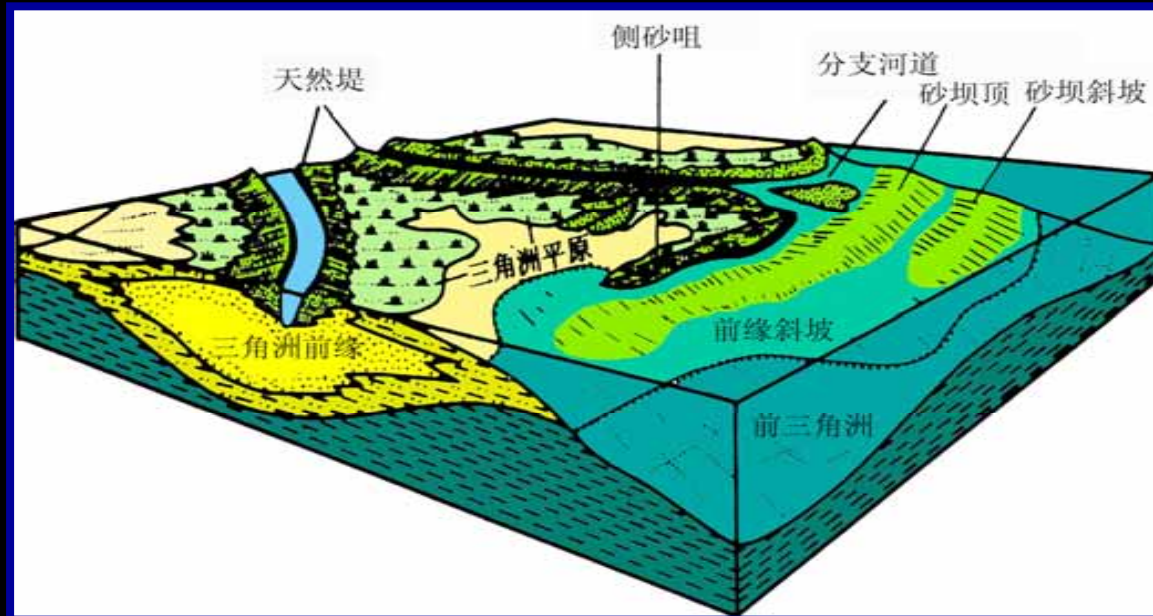
岩性：中厚层砂岩，厚度多为几米至10m左右

结构：磨圆中等到好，分选中等

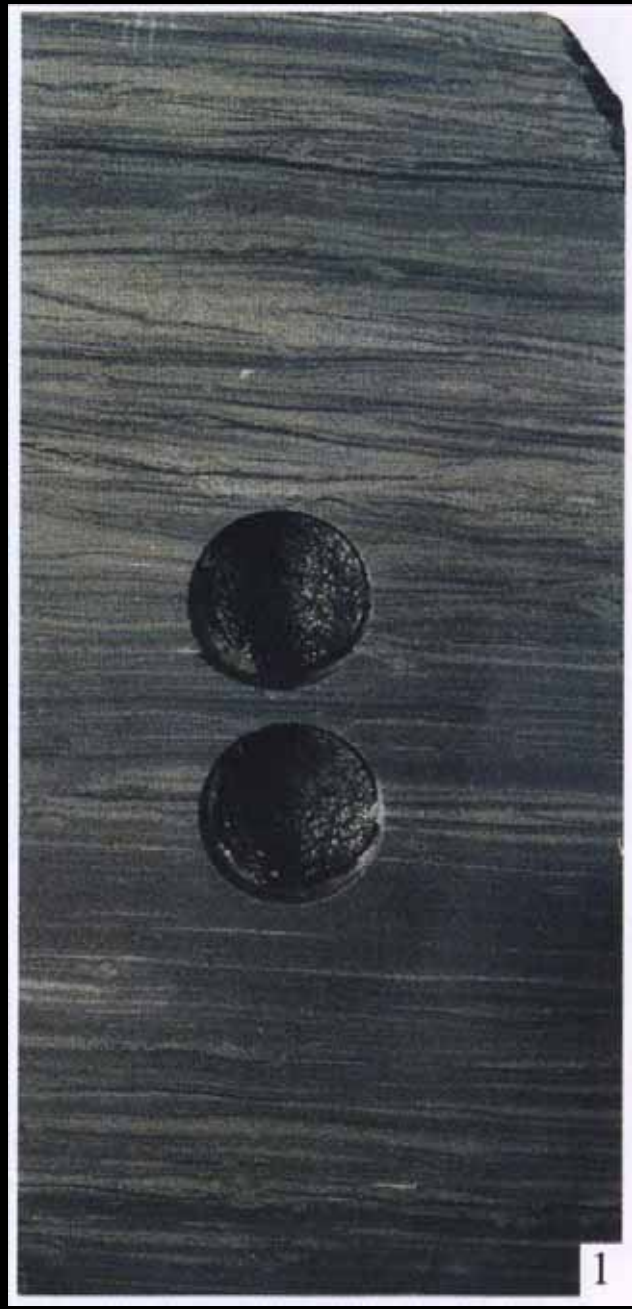
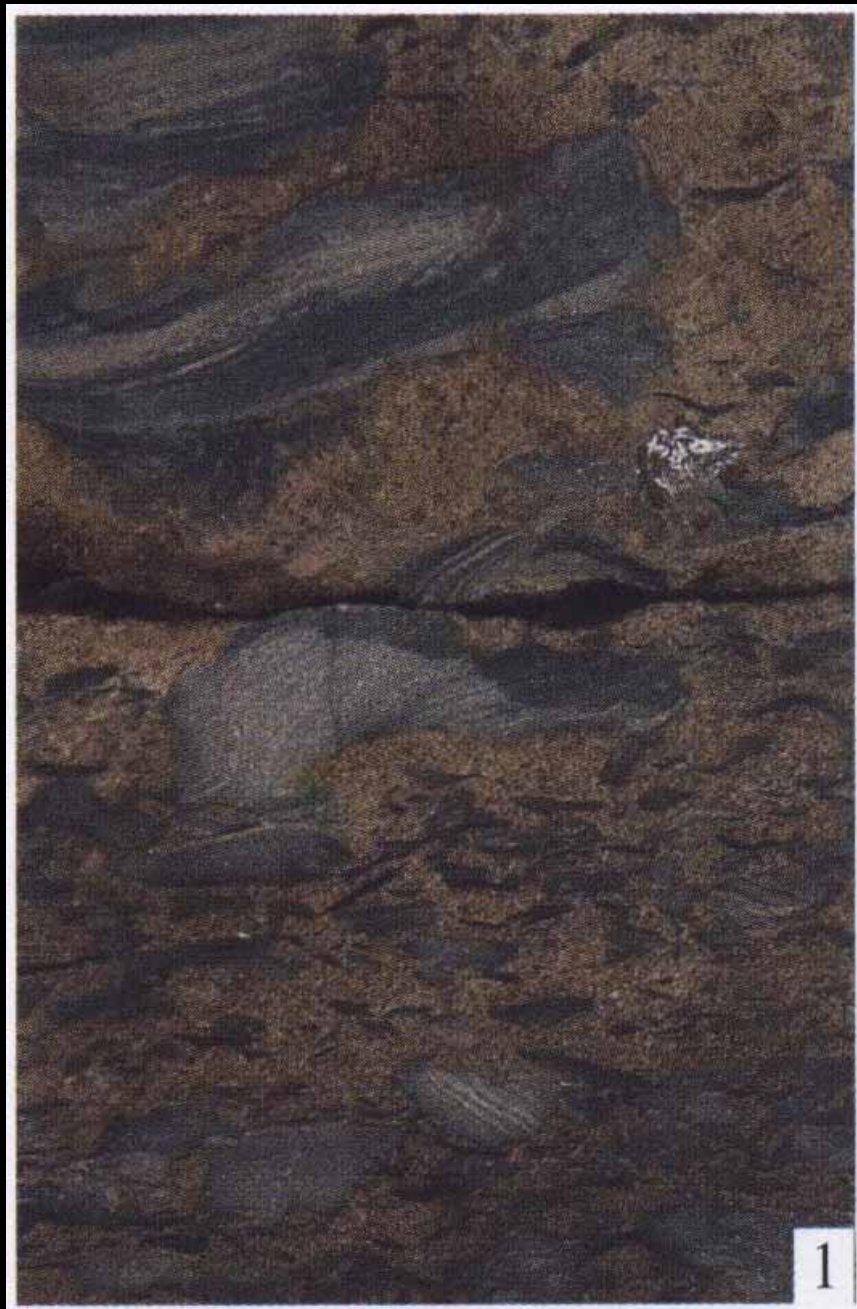
构造：大型及小型板状、槽状交错层理、冲刷—充填构造

垂向序列：向上变细（与河流相同）

平面形态：条带状，为三角洲平原亚相的骨架









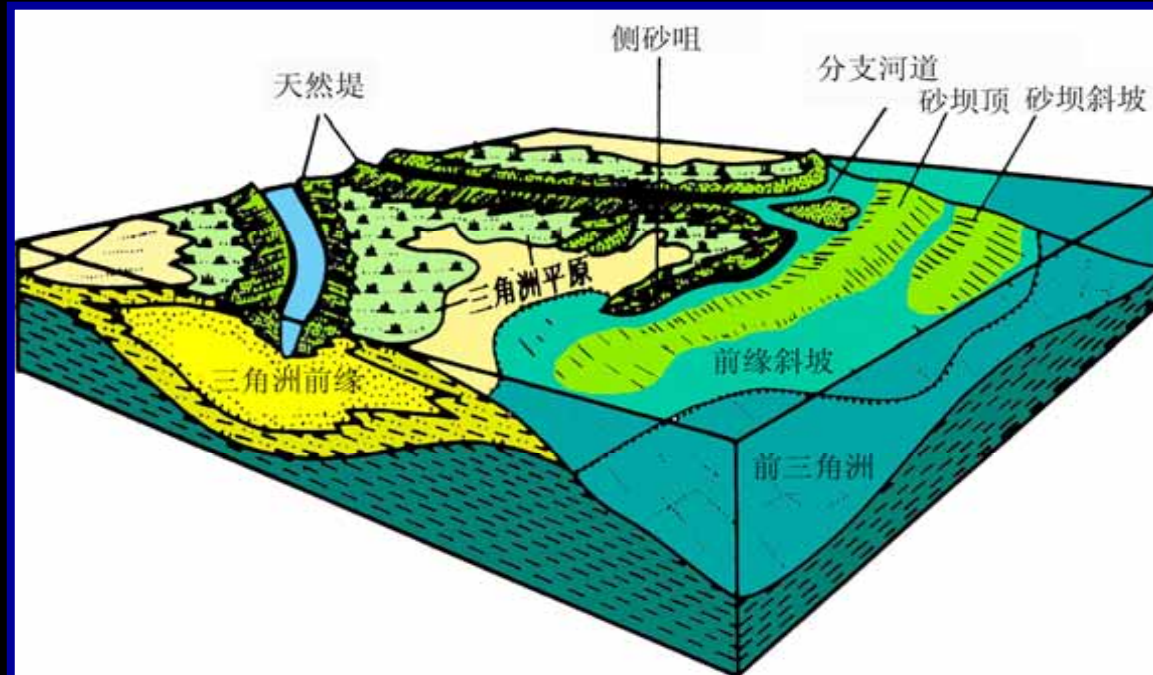
陆上天然堤微相

岩性：细砂岩、粉砂岩、泥岩薄互层

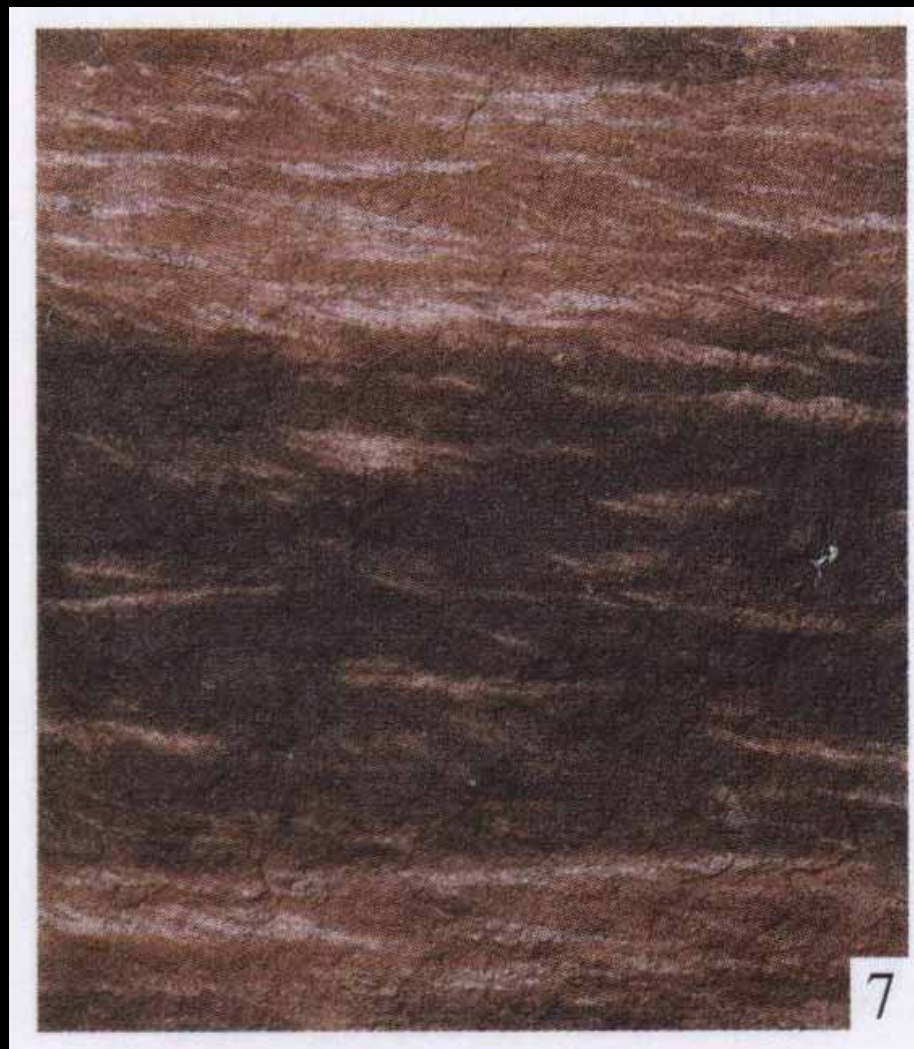
结构：磨圆中等到好，分选中等

构造：小型交错层理、波痕，泥岩中可见生物
潜穴

生物化石：少见植物碎片









决口扇微相

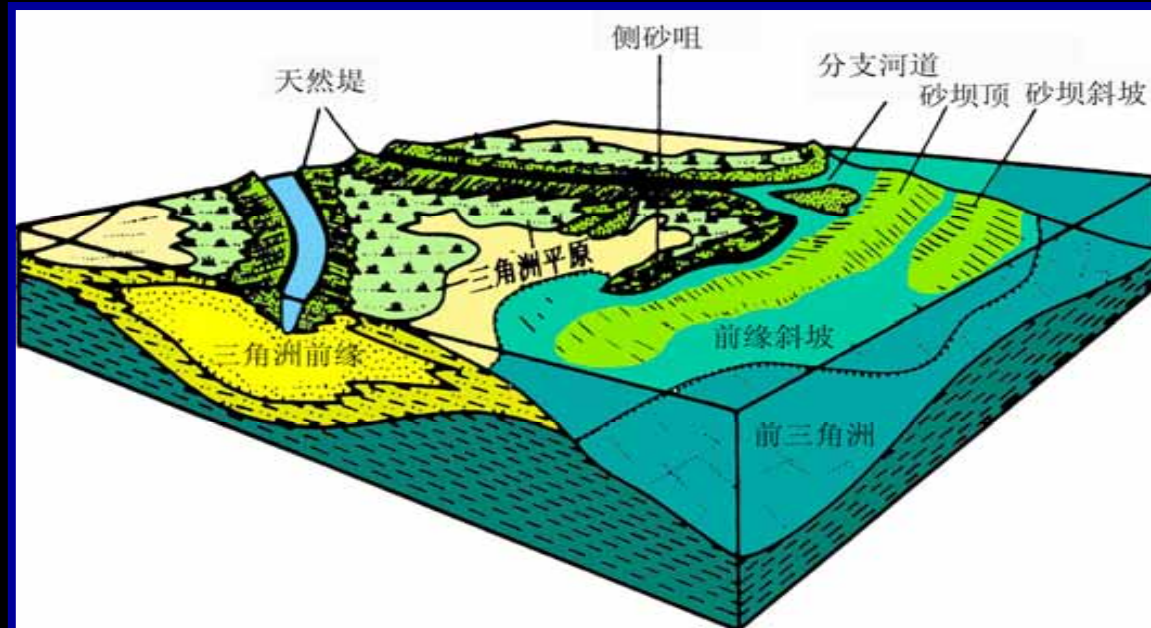
岩性：细砂岩，厚度多在2~3m以下

结构：磨圆中等到好，分选中等

构造：小型交错层理、平行层理

平面形态：扇形、席状（与河流决口扇类似）

垂向序列：向上变细（扇退）或变粗（扇进）







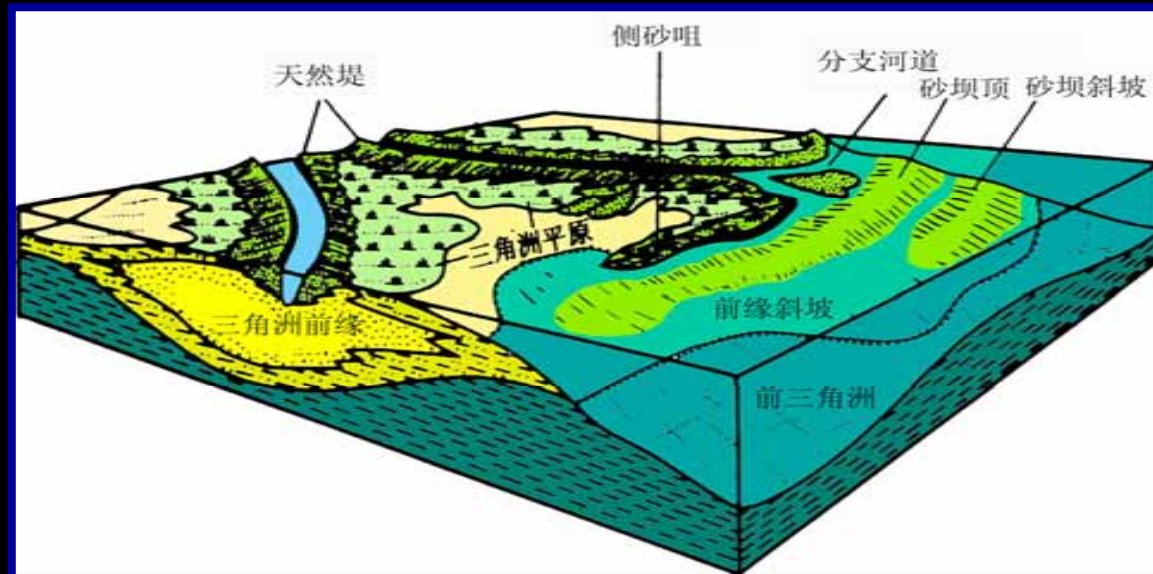
沼泽微相

环境：沼泽位于三角洲平原分支河道间的低洼地区，其表面接近平均高潮线。

岩性与构造：沉积物为深色有机质粘土、泥炭、褐煤，夹有洪水成因的纹层状粉砂。

生物化石：富含保存完好的植物碎片。

分布：沼泽约占三角洲平原亚相沉积的90%。





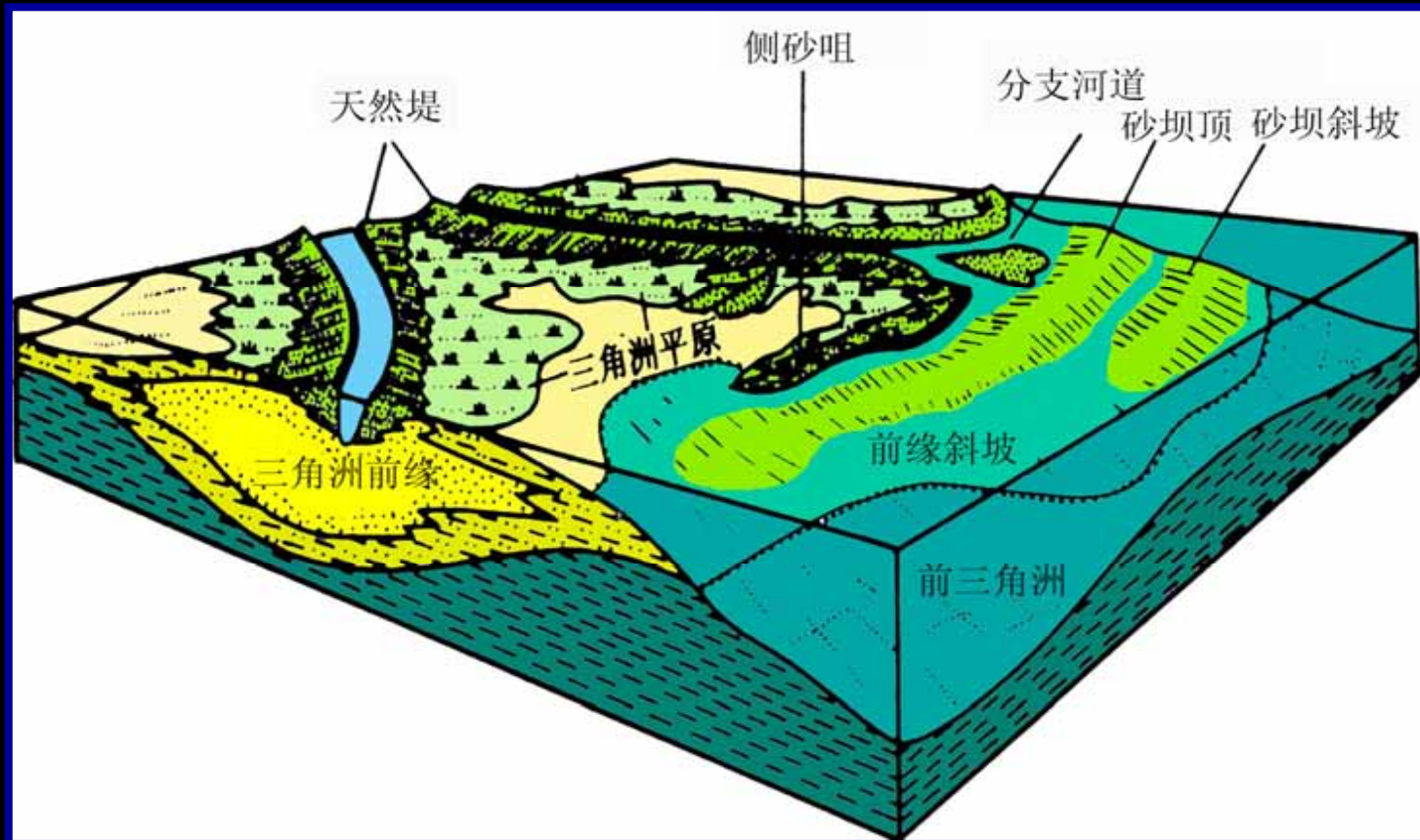






淡水湖泊微相

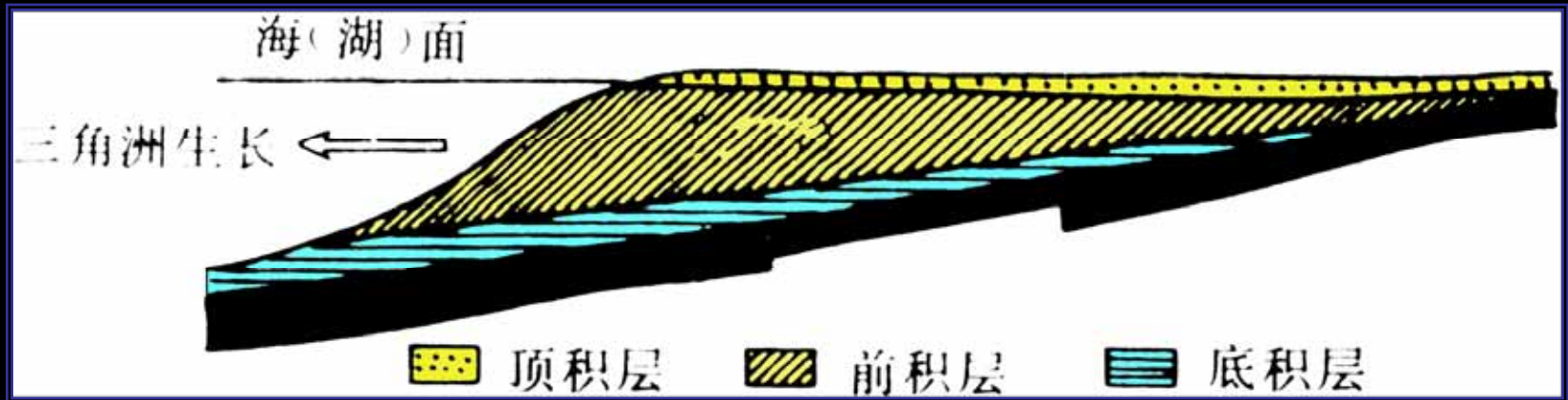
面积小，水体浅（3~4m），暗色泥岩，水平层理发育，可见黄铁矿、广盐性生物化石。





(2) 三角洲前缘 (delta front) 亚相

处于三角洲平原外侧的向海方向，位于海平面以下，为河流和海水的剧烈交锋带，沉积作用活跃，是三角洲砂体的主体。







三角洲前缘亚相

水下分支河道微相

支流间湾微相

水下天然堤微相

分支河口砂坝微相

远砂坝微相

前缘席状砂微相



水下分支河道微相

沉积物以砂、粉砂为主，常发育交错层理、波状层理、冲刷—充填构造。

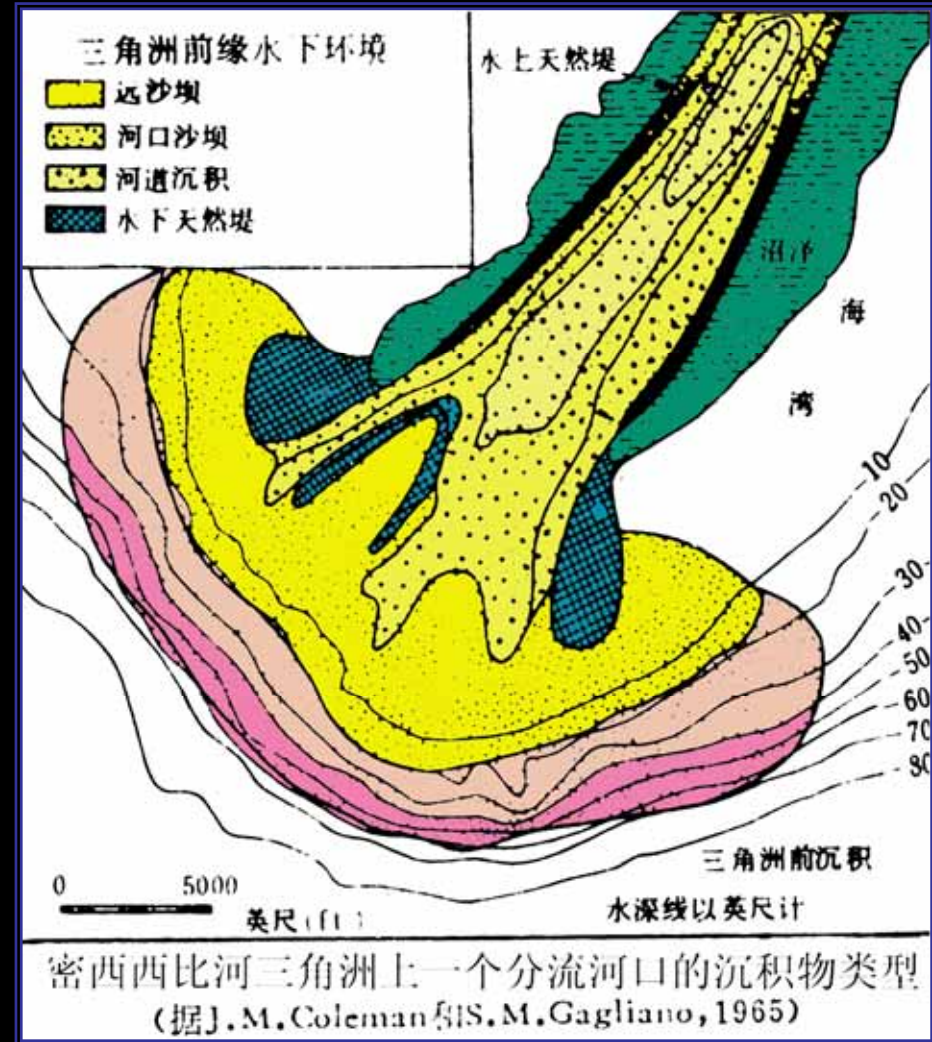


中侏罗统中的三角洲水下分流河道



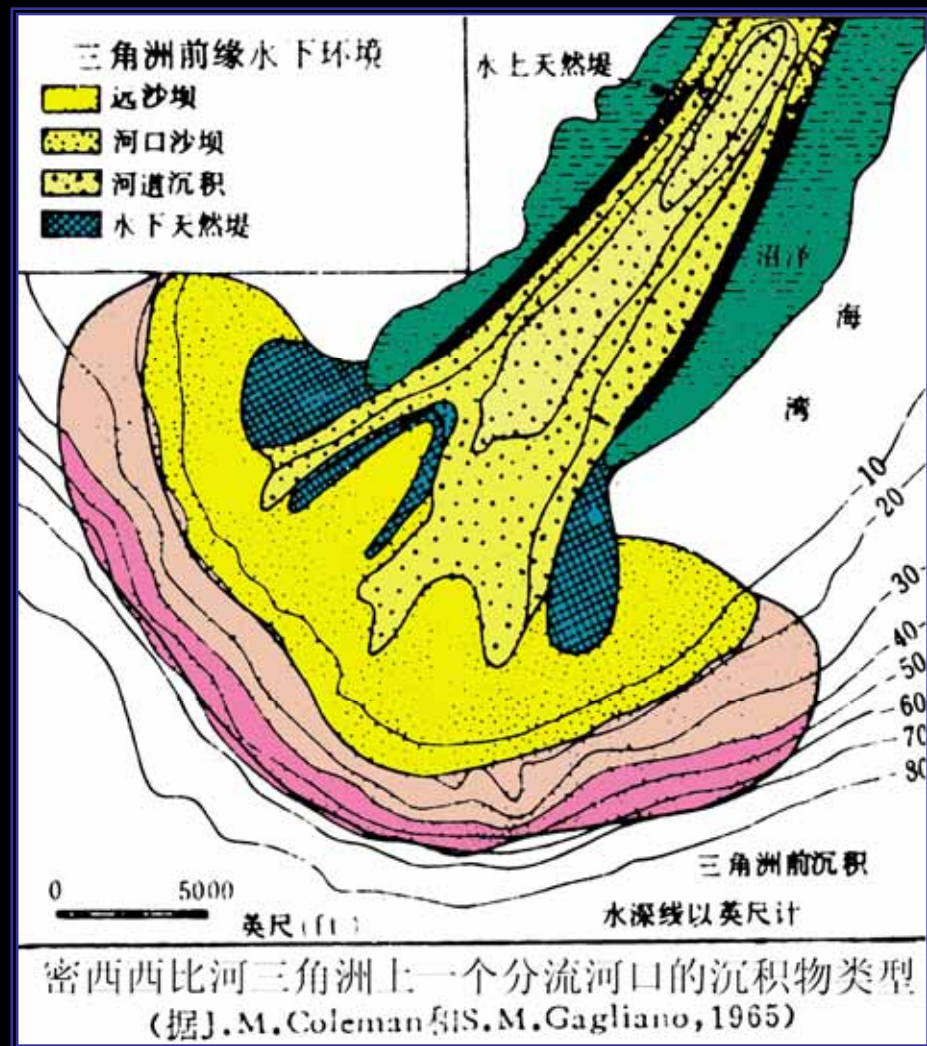
水下天然堤微相

沉积物为极细的砂和粉砂。粒度概率曲线为单段或两段型，基本上由单一的悬浮总体组成。有流水形成的波状层理。



支流间湾微相

三角洲向前推进时，在分支河道间形成一系列尖端指向陆地楔形泥质沉积体（泥楔）。





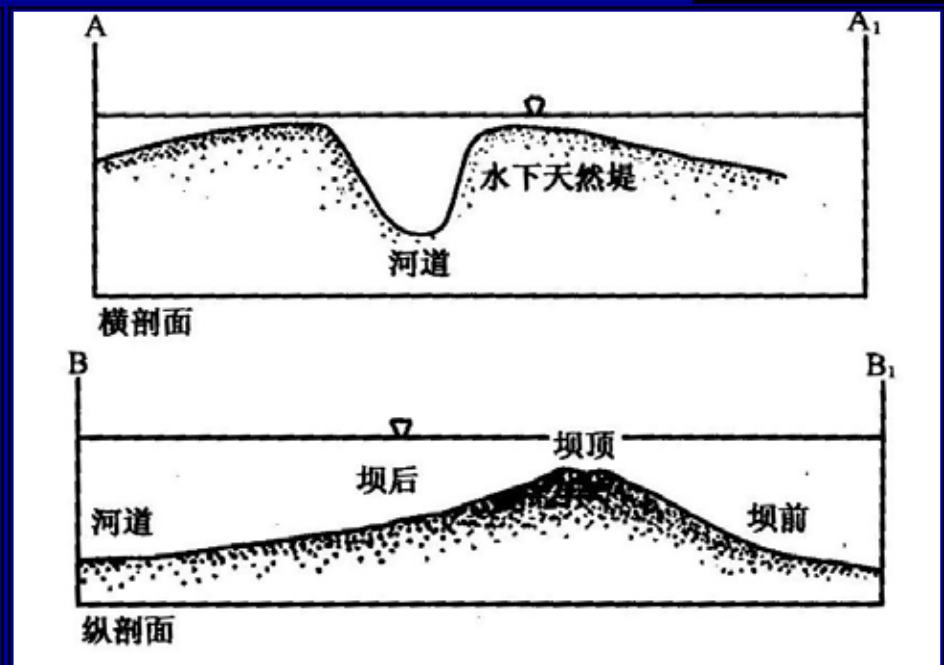
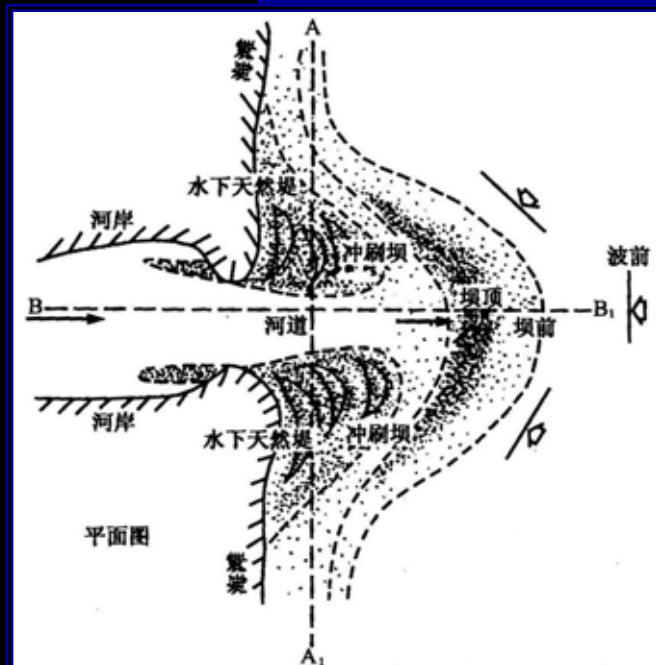
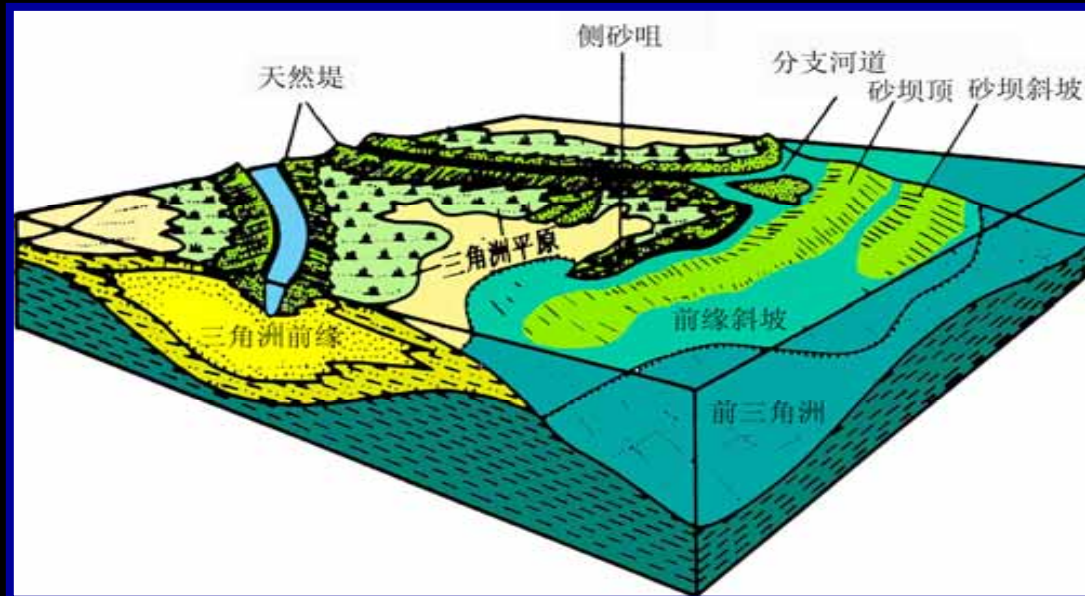
岩性：以粘土为主，含少量粉砂和细砂。

构造：具水平层理和透镜状层理，可见浪成波纹及生物介壳、植物残体等，虫孔及生物扰动构造发育。

垂向层序：下部为前三三角洲粘土沉积，向上变为富含有机质的沼泽沉积。



分支河口砂坝微相





岩性与结构：细砂、粉砂，分选好，质纯。

构造：单层为中、厚层，较发育的槽状交错层理，可见流水波和浪成波痕。

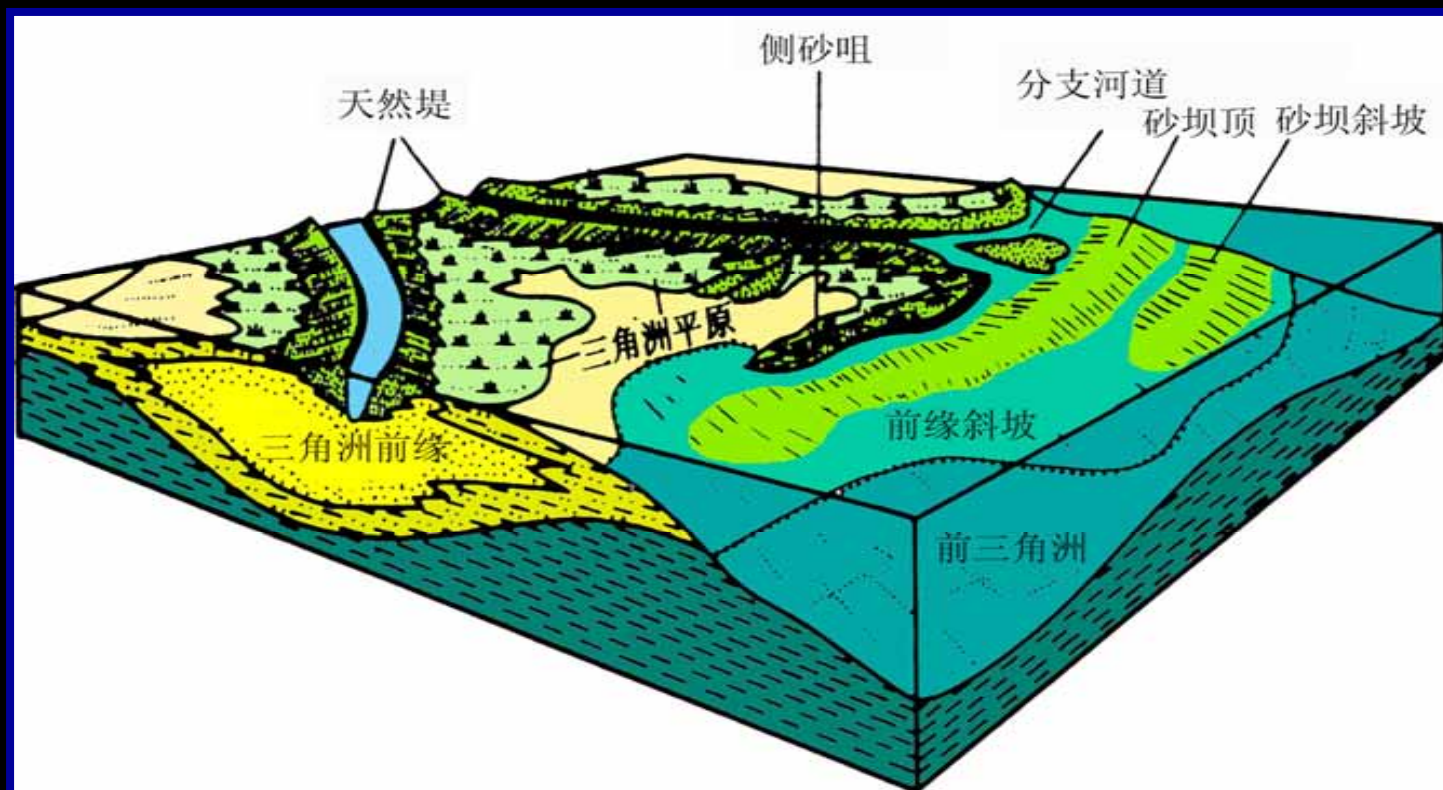
生物化石：稀少。

河口砂坝随三角洲向海推进而覆盖于前三三角洲粘土沉积之上，粘土中有机质产生气体冲上来可形成**气鼓构造**（**气胀构造**）。如果下面泥质层很厚，也可产生**泥火山**和**底辟构造**。



远砂坝微相

位置：远砂坝位于河口砂坝前方较远部位，又称末端砂坝。





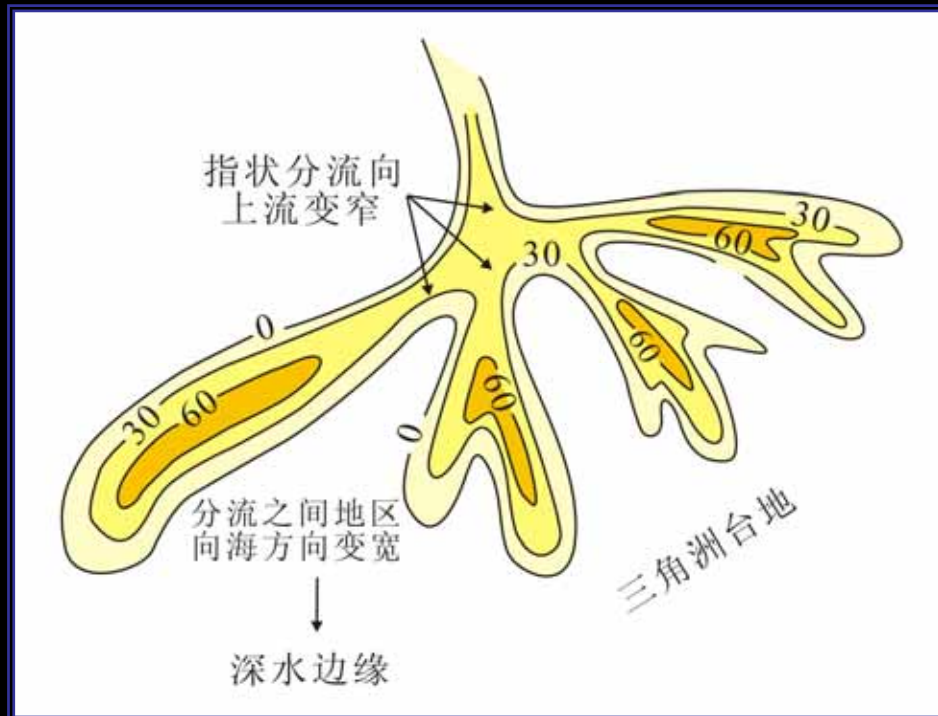
岩性：沉积物较河口砂坝细，主要为粉砂，有少量粘土和细砂。

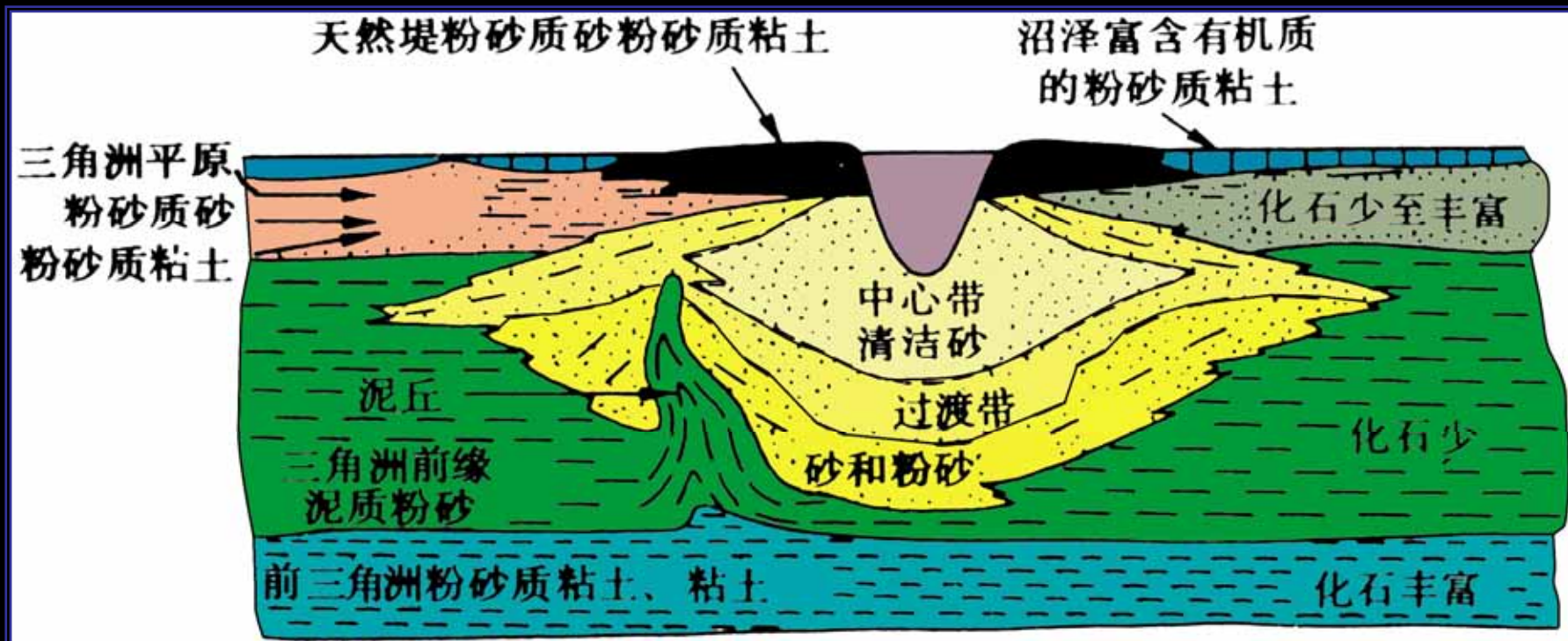
构造：可发育槽状交错层理、包卷层理、流水波痕、浪成波痕及冲刷—充填构造等。

垂向层序：位于河口砂坝之下，前三三角洲粘土沉积之上，形成**下细上粗**的垂向层序。



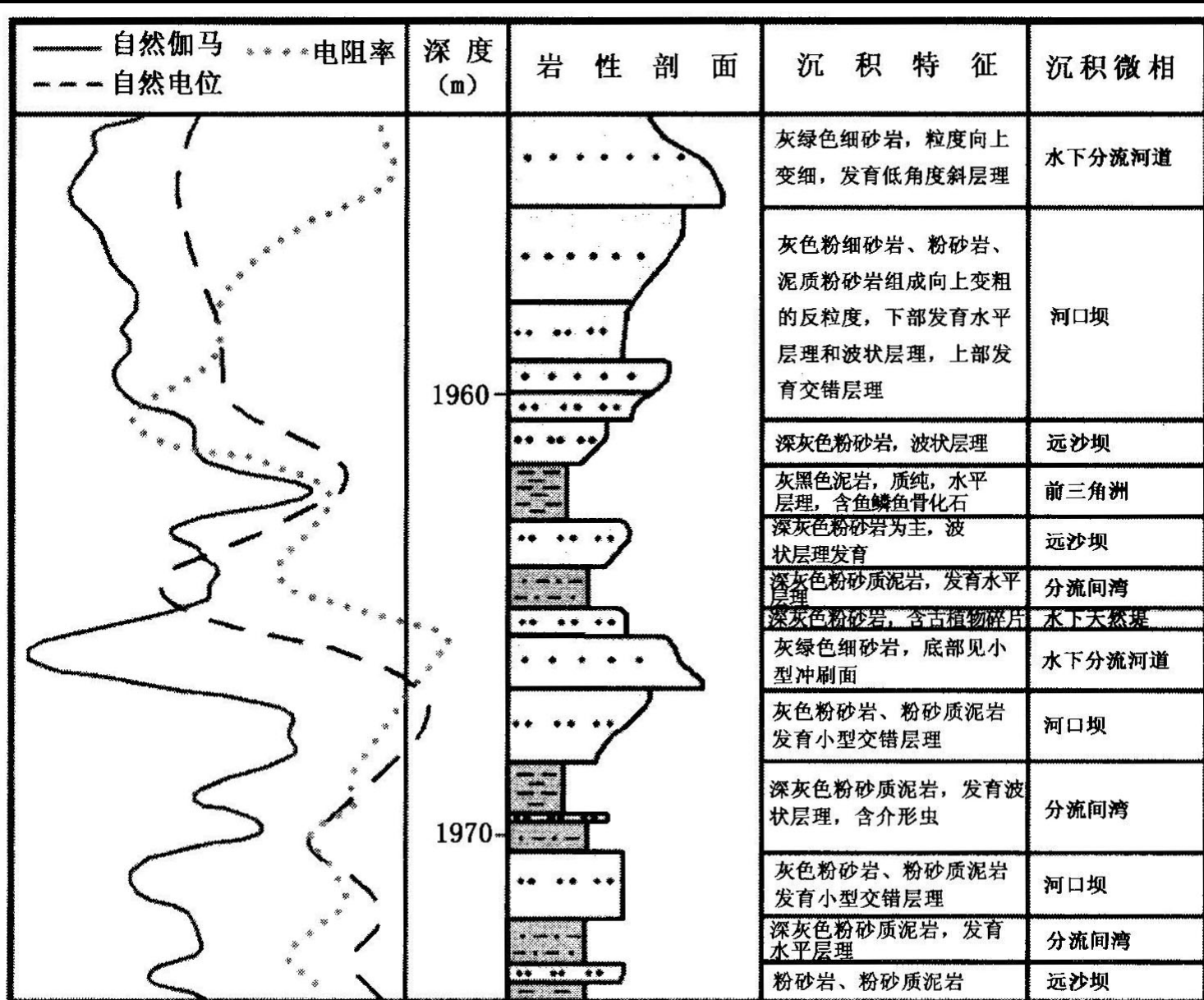
高建设性三角洲向海推进时，砂质堆积迅速，水下分支河道、水下天然堤、分支河口砂坝、远砂坝可连结组合成指状或鸟爪状砂体，称**指状砂坝**。其沉积厚度大，**向海变宽加厚**，**向陆变窄减薄**。





指状砂坝横剖面呈透镜状，下伏的前三角洲泥常被挤入指状砂坝而成为泥丘。

指状砂坝的几何形态是确定古代三角洲的重要标志。



河口沙坝和远沙坝剖面结构及岩—电关系 (Z39 井)



三角洲前缘席状砂微相

在海洋作用较强的河口区，河口砂坝受波浪和岸流的淘洗和簸选，并发生侧向迁移，使之呈席状或带状广泛分布于三角洲前缘，形成**三角洲前缘席状砂体**。

席状砂砂质纯，分选好，发育交错层理，化石少。砂体向岸方向加厚，向海方向减薄。

三角洲前缘席状砂是破坏性三角洲的沉积微相类型，在高建设性三角洲相中不发育。



(3) 前三角洲 (prodelta) 亚相

环境：位于三角洲前缘的前方，实际上为处于浪基面以下的正常海相沉积。

岩性：主要由暗色粘土和粉砂质粘土组成。

构造：常发育水平层理及块状层理。

化石：见广盐性生物化石，如介形虫、双壳类

与油气的关系：前三角洲暗色泥岩富含有机质，可作为良好的生油层。

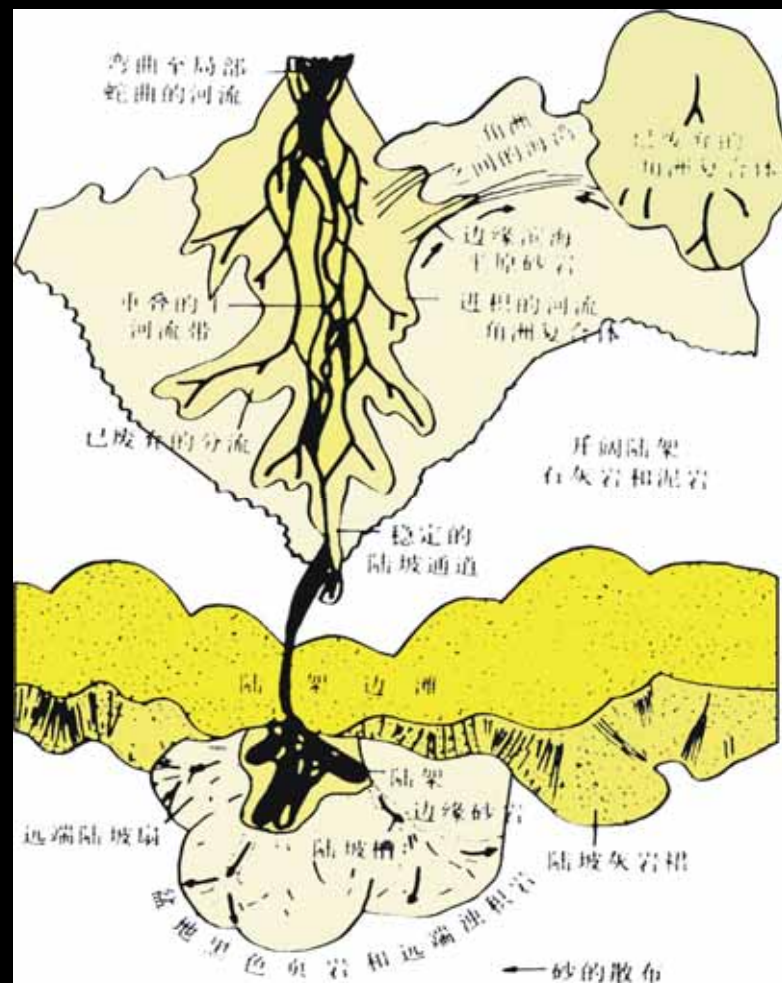
3. 平面相组合及垂向层序

(1) 平面相组合

● 河流—三角洲—深水浊积扇

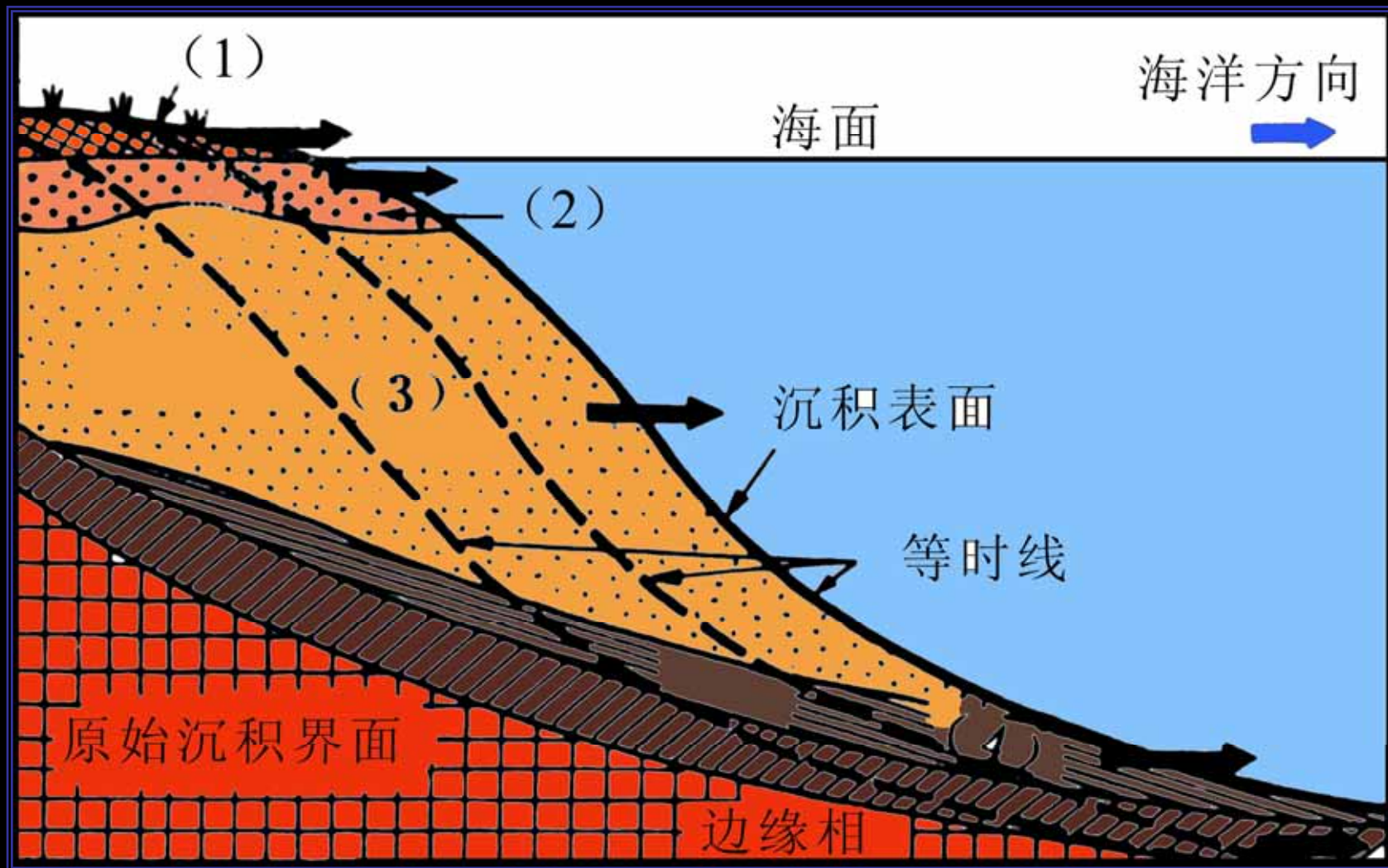
● 河流—三角洲与滩坝沉积体系（河控朵状三角洲或浪控三角洲）

● 三角洲内部相结合由陆向海依次为三角洲平原、三角洲前缘、前三三角洲。





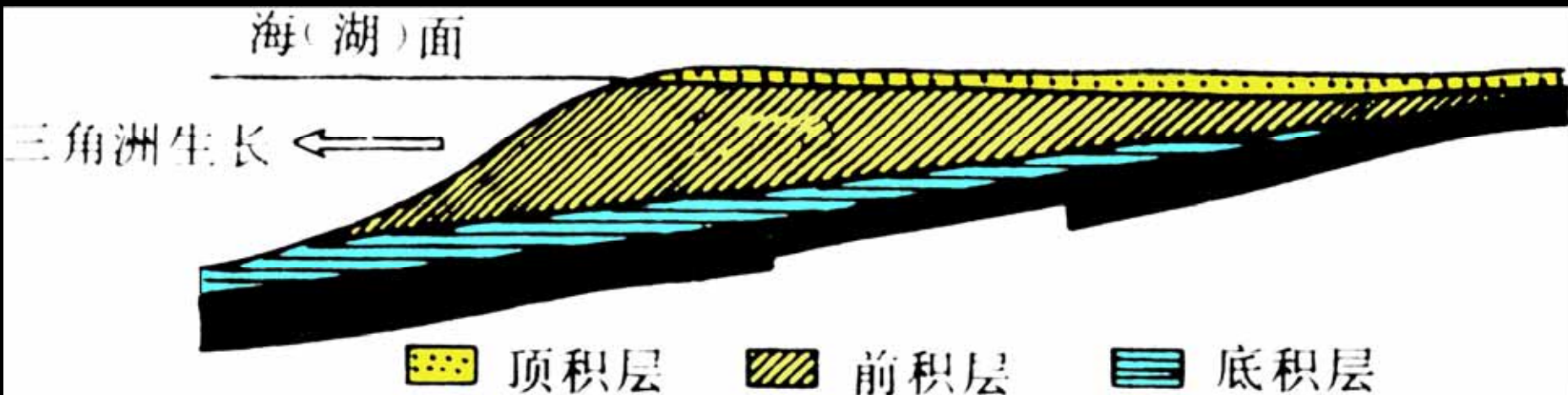
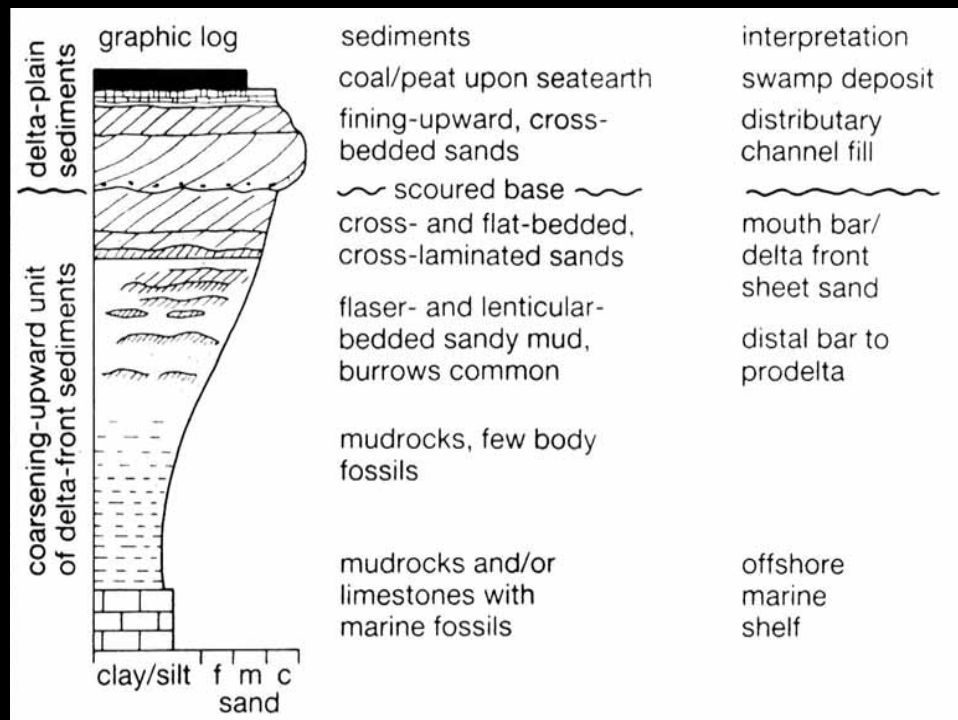
同期异相与同相异期



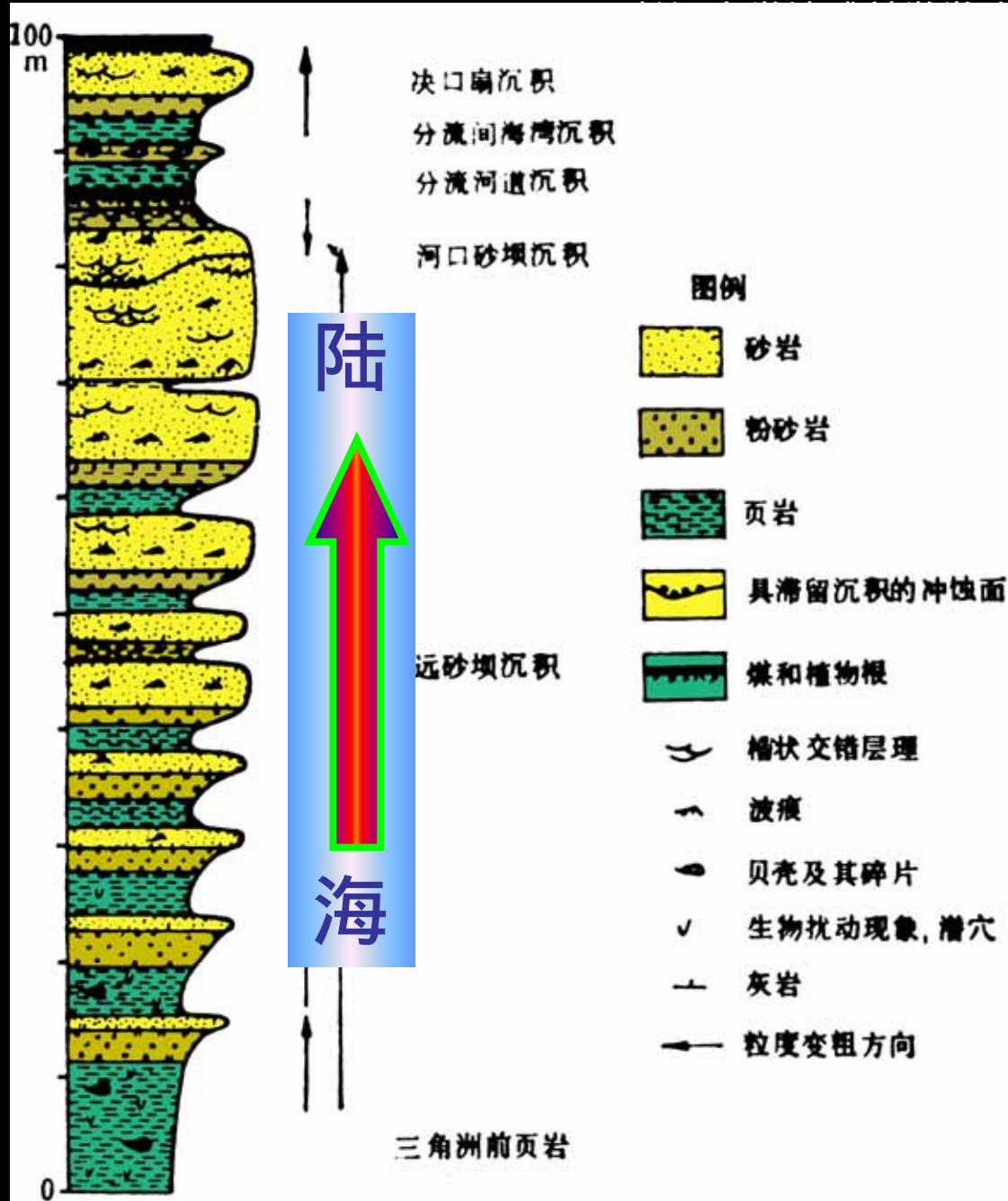


(2) 垂向层序

大致为下细上粗
的反旋回沉积的垂向
层序。上部局部为下
粗上细的间断性正旋
回，顶部为沼泽。



由下至上海相化石减少，而陆相化石尤其植物化石增多；波浪波痕及其产生的交错层理向上减少，流水波痕及其产生的交错层理增多。



综合的三角洲沉积层序 (据A. D. Miall, 1979)



河控三角洲垂向层序

剖面	相	环境解释	
	夹炭质泥岩或煤层的砂泥岩互层	沼泽	三角洲平原
	槽状或板状交错层理砂岩	分支流河道	
	含半咸水生物化石和介壳碎屑泥岩	分支间湾	三角洲前缘
	楔形交错层理和波状交错层理纯净砂岩	河口砂坝	
	水平纹理和波状交错层理粉砂岩和泥岩互层	远砂坝	
	暗色块状均匀层理和水平纹理泥岩	前三三角洲	
	含海生生物化石块状泥岩	正常浅海	



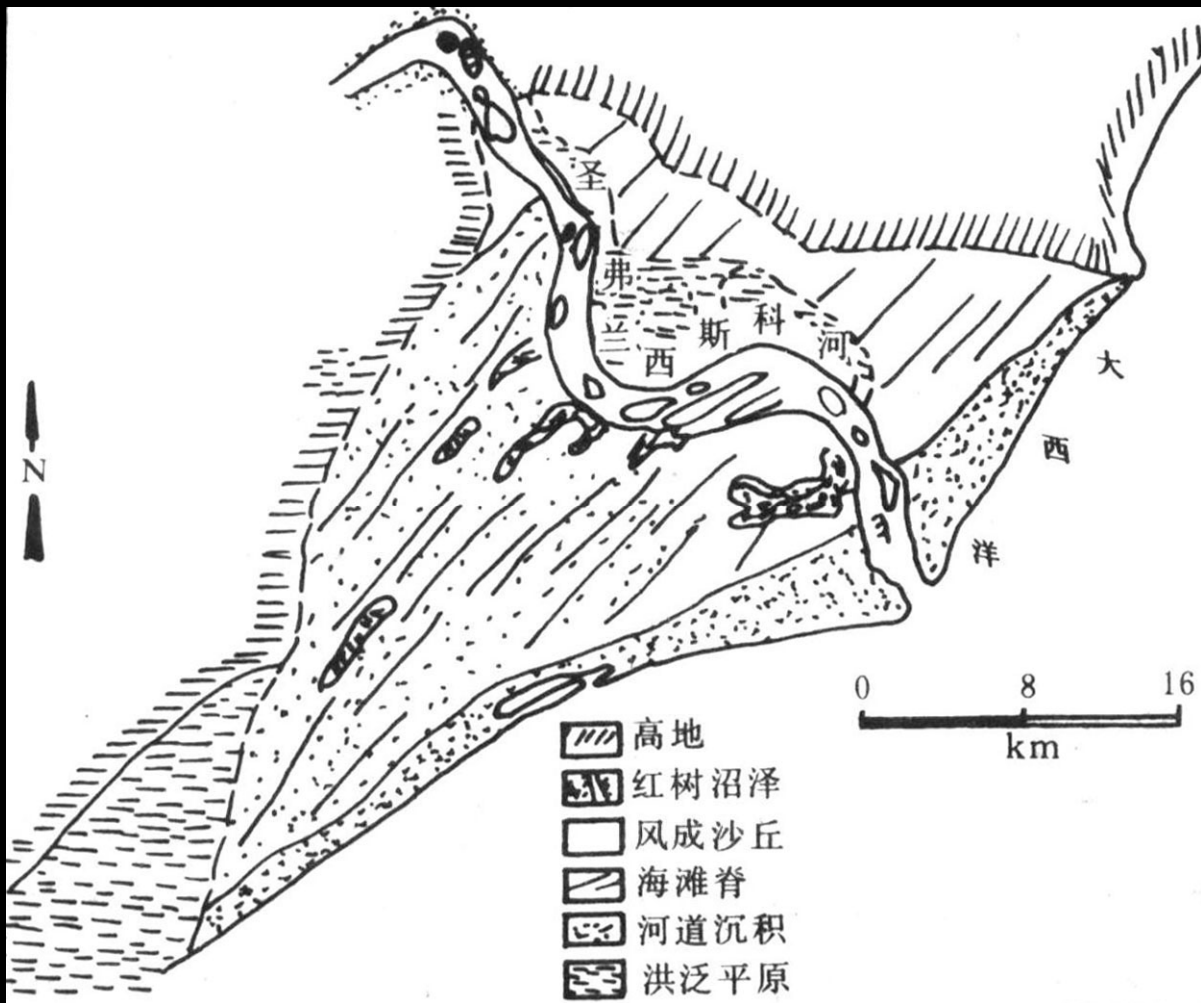
剖面	岩性	沉积构造	古生物	环境	资料来源	
	杂色泥岩, 夹炭质页岩、粉砂岩	块状层理, 水平层理	植物根、叶, 沼泽拟星介	三角洲平原	分流间漫滩沼泽	临 63
	粉砂岩, 泥质较多	波状层理, 上攀层理	植物叶、干、碎片、螺		天然堤	临 63
	粉—细砂岩, 常具冲刷面, 泥砾	波状交错层理, 板状及槽状交错层理, 平形层理	植物叶、干、碎片、螺		分流河道	临 45
	粉—细砂岩, 偶为中砂岩, 泥质少	波状交错层理, 平行层理, 变形层理	少量螺、蚌碎片	三角洲前缘	河口坝远砂坝	临 45
	薄砂、泥岩互层	透镜状, 脉状层理	介形虫			
	暗色泥, 页岩	块状层理或水平纹理	华北介丰富, 见鱼磷、骨化石	前三三角洲		临 45

惠民凹陷三角洲沉积序列 (据朱筱敏, 1995)



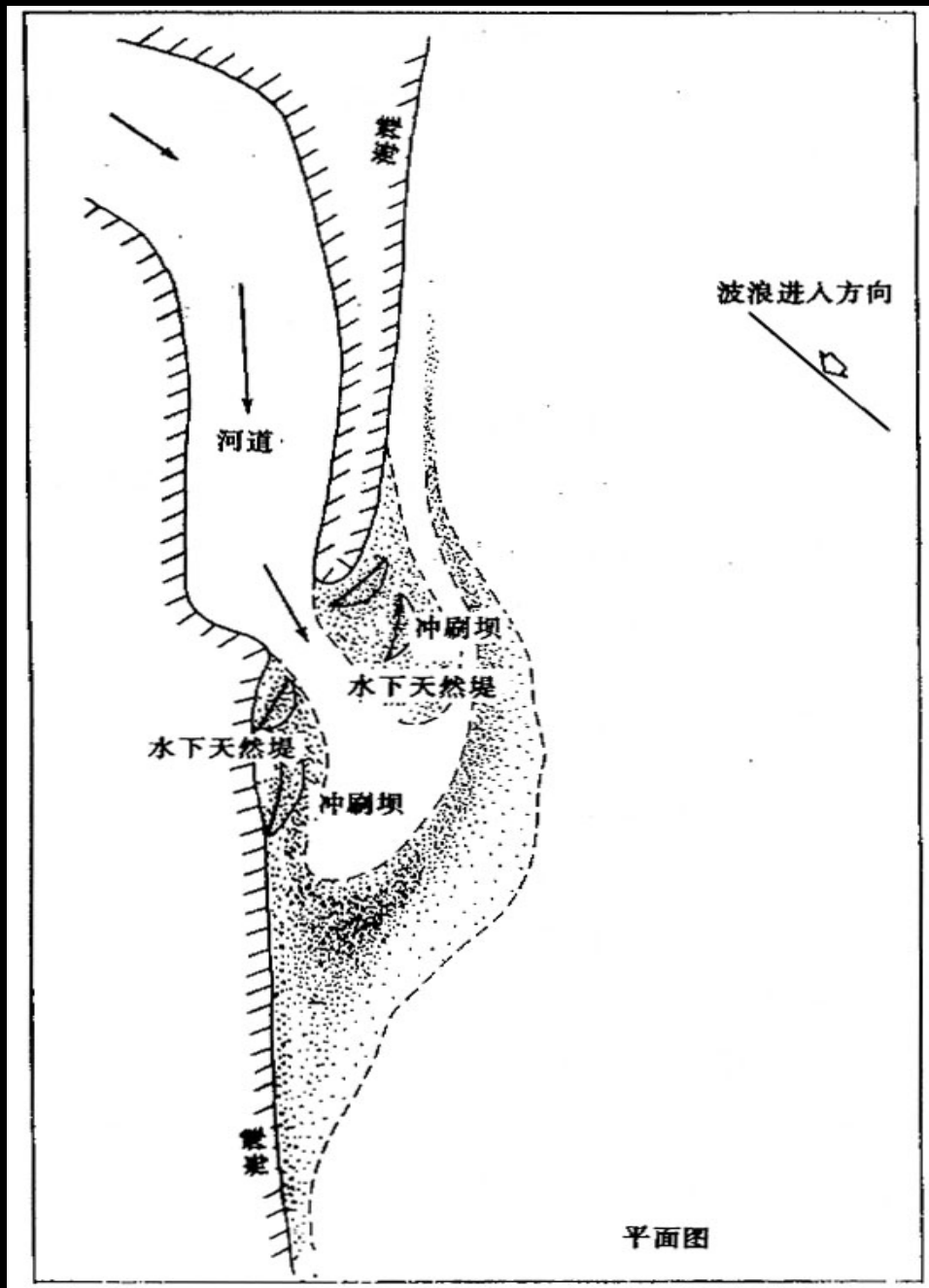
(二) 浪控三角洲沉积特征

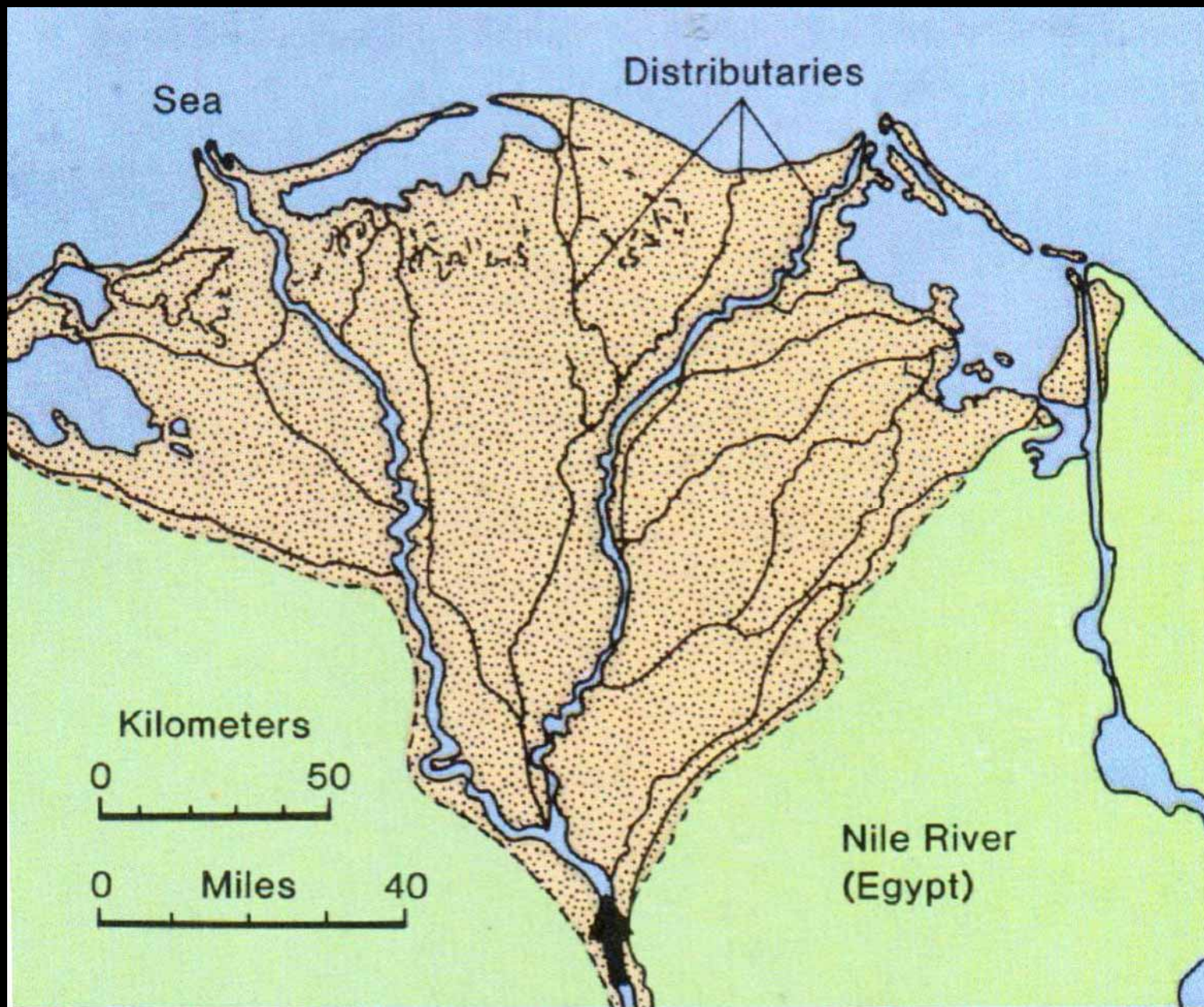
浪控三角洲平面形态呈鸟嘴状，故又称为**鸟嘴状三角洲**。

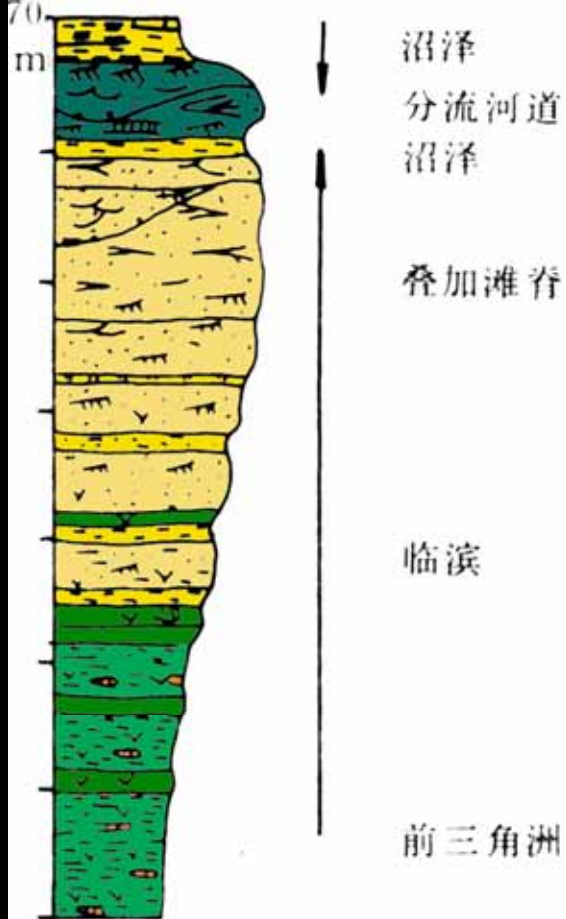


圣弗兰斯科河鸟嘴状三角洲

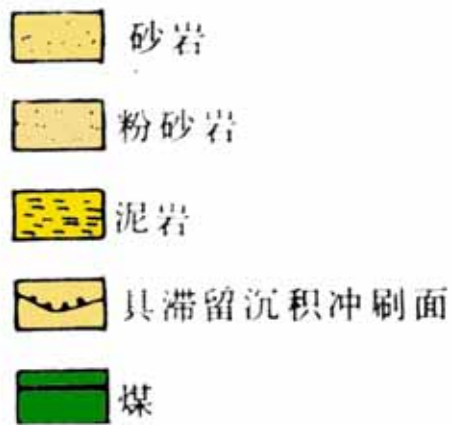
沿岸流为主控制的三角洲砂体分布模式







浪控三角洲

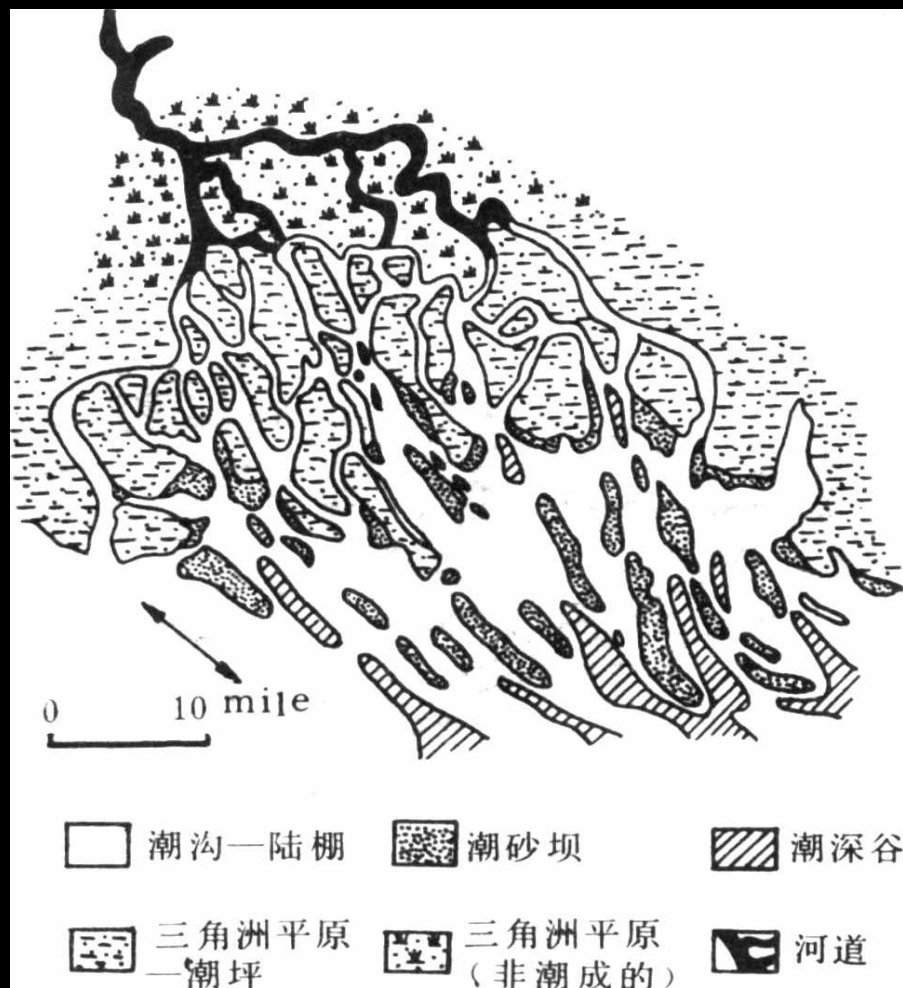


一般来说，浪控三角洲的垂向层序仍为下细上粗的反旋回层序。

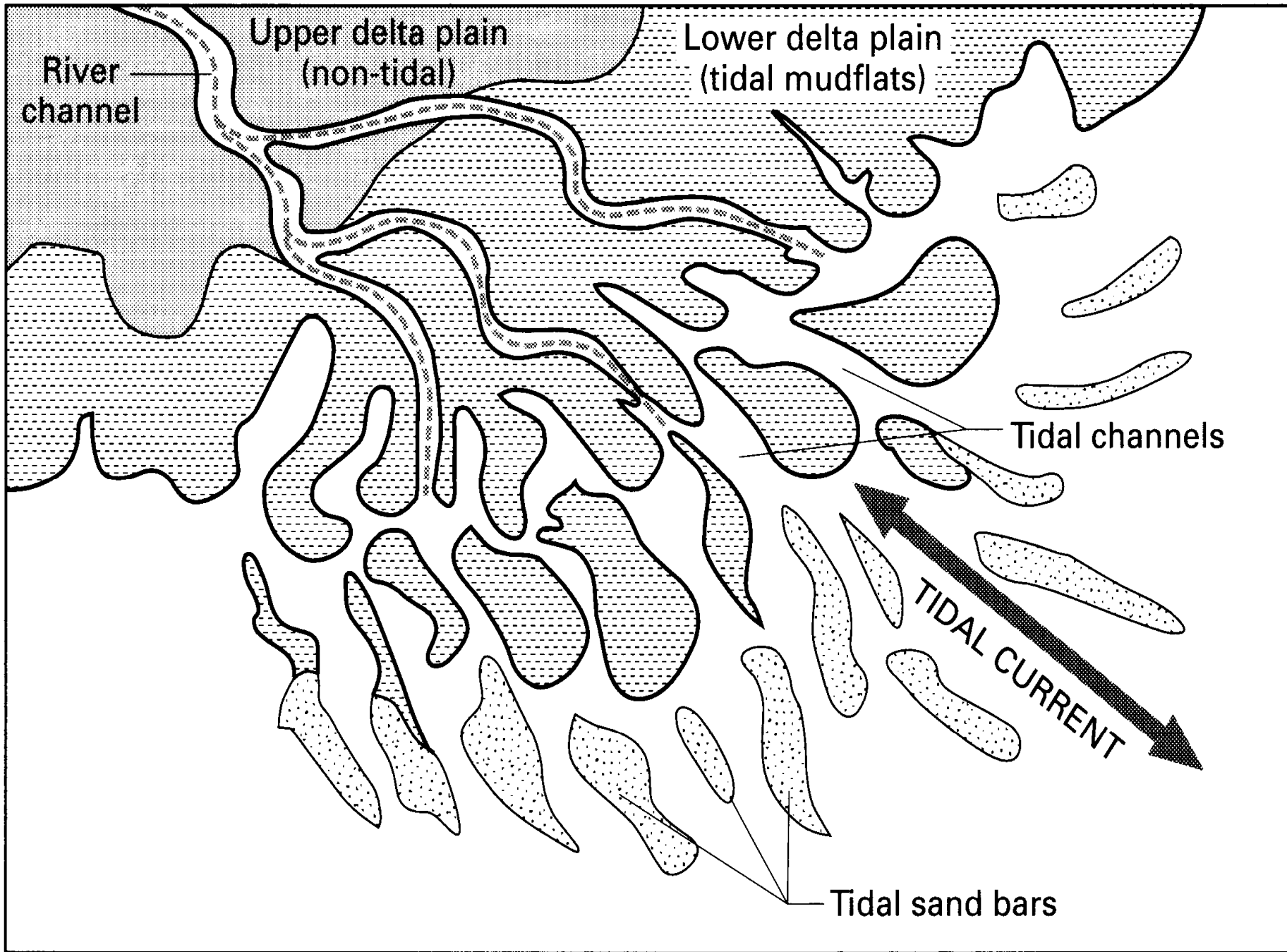


(三) 潮控三角洲沉积特征

河流流入三角港或其他形状的港湾，由于潮汐作用远大于河流作用，港湾中的泥砂受潮汐强烈破坏和改造，仅形成小型三角洲。其外形受港湾控制，又称**港湾型三角洲**。



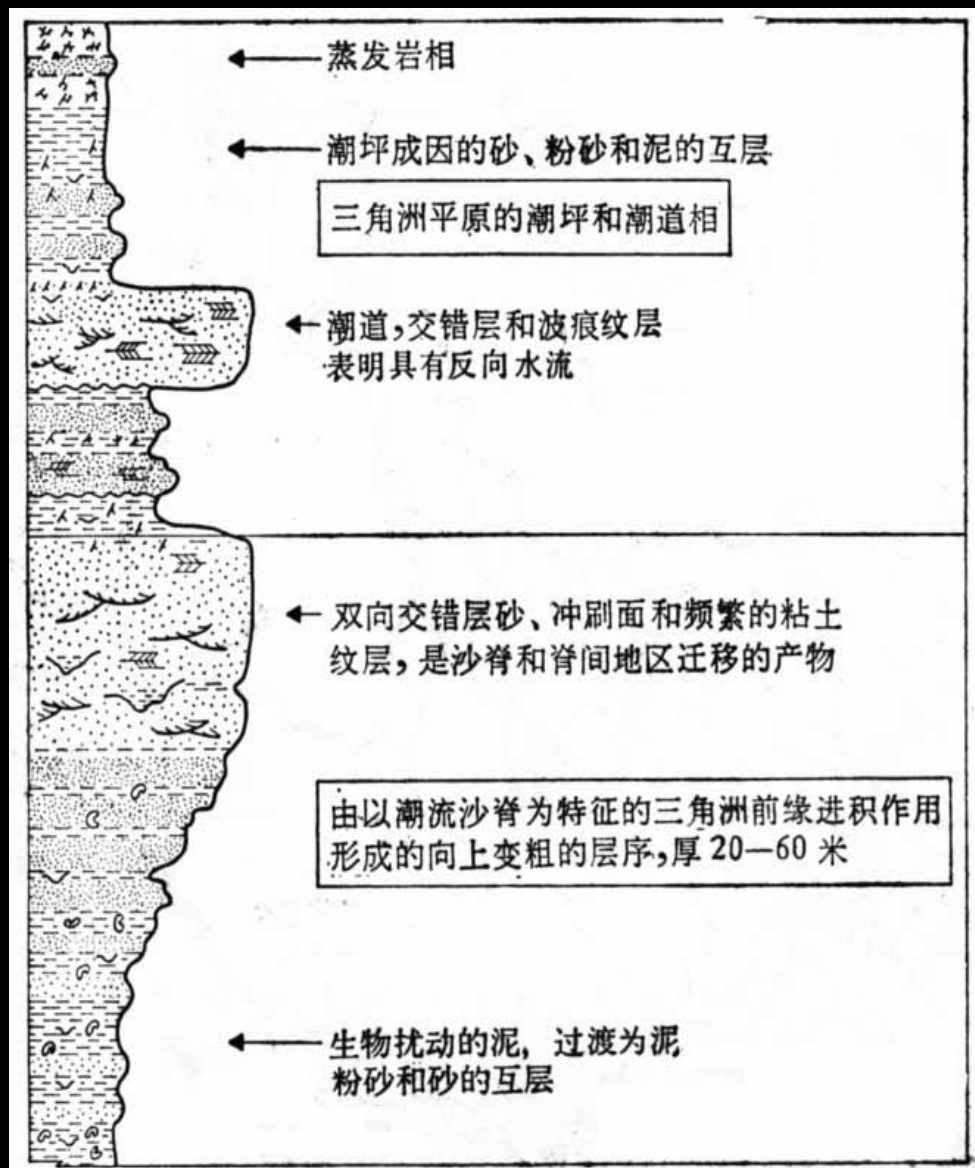
潮控三角洲一般发育于中高潮差、低波浪能量、低沿岸流的盆地狭窄地区。





潮控三角洲前积作用形成一个**下细上粗的反旋回**垂向层序。

层序下部主要是以**潮汐砂坝**为特征的三角洲前缘进积作用产生的向上变粗的层序。



奥德河潮控三角洲垂向层序

(据 J. M. Coleman 和 L. D. Wright, 1975)



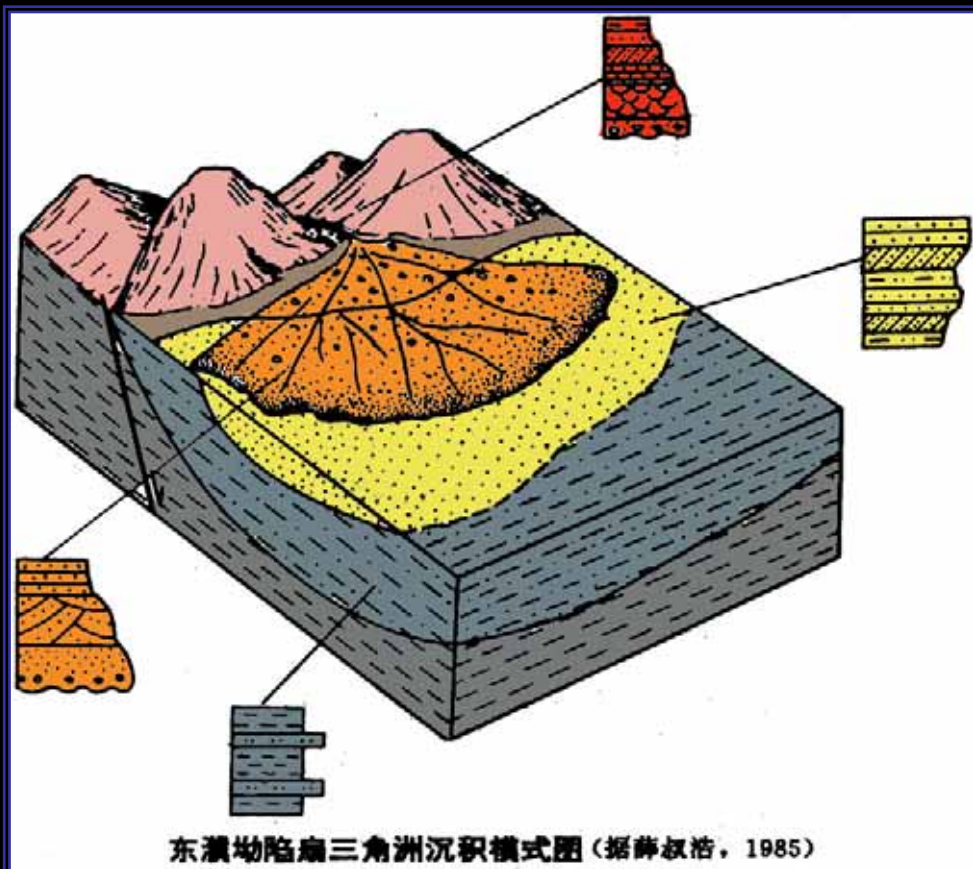
河控、浪控及潮控三角洲垂向层序对比表

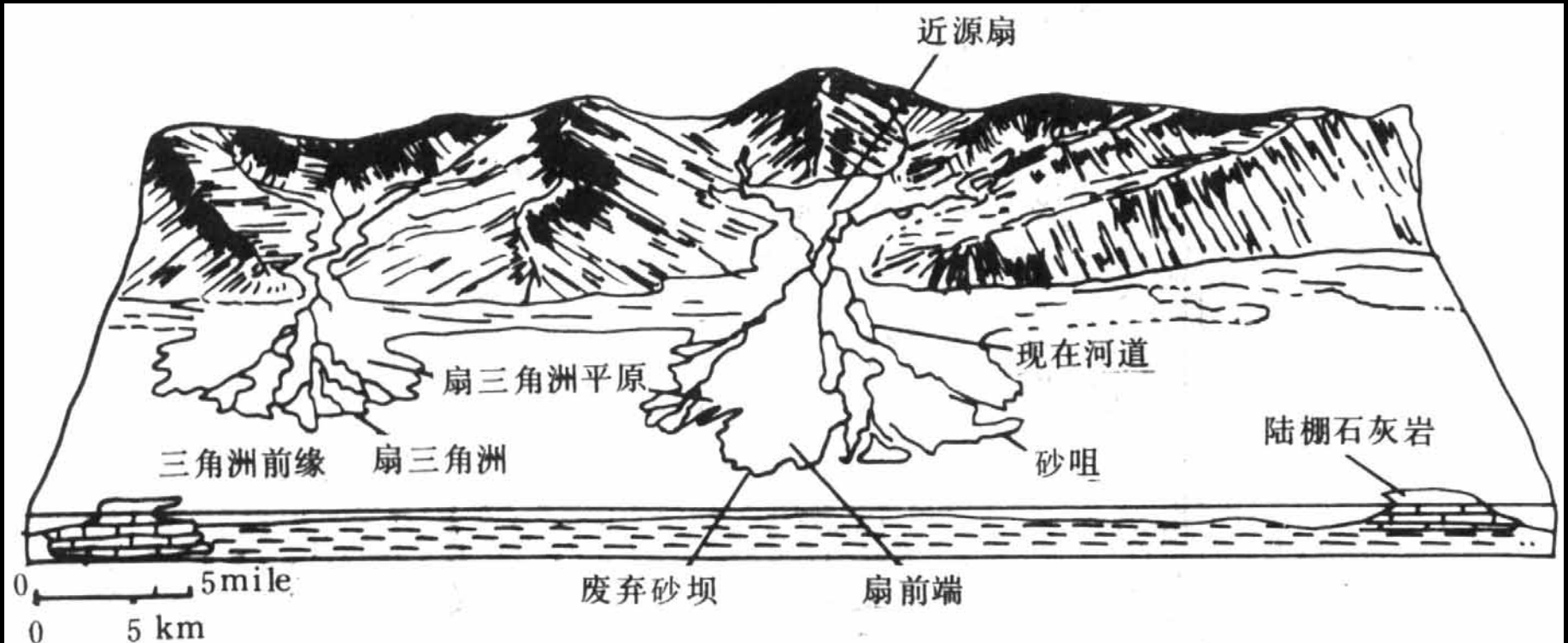
	河控三角洲	浪控三角洲	潮控三角洲
平原发育情况	主要由分流河道、间湾中的沼泽及海湾组成。	主要由河道、海滩、砂脊、障壁岛及沼泽组成。	由潮汐水道、潮坪及沼泽组成。
前缘发育情况	厚度较大，以河口坝为主。	厚度较薄，受波浪改造。	厚度较薄，并夹有潮坪沉积。
层序完整	建设性阶段较完整，破坏阶段不完整。	破坏性为主，不完整	破坏性为主，不完整
粒度变化	总体下细上粗，局部下粗上细。	下细上粗，细粒段不发育，中部砂岩分选好。	下细上粗
沉积构造	水流波纹及各种交错层理。	对称波纹、冲刷构造	双向交错层理、复合层理、潮汐水道

(四) 扇三角洲沉积特征

Holmes (1965)、Megowen (1970) 将扇三角洲定义为：“由相邻高地进积到安静水体中的**冲积扇**”。

扇三角洲主要形成于**构造活动较强烈的地区**，由短而坡度大的河流（主要是辫状河）从附近的物源区携带大量粗碎屑在盆地边缘快速堆积。





根据扇三角洲的影响因素，将它划分为湖泊扇三角洲、波浪改造的扇三角洲和潮汐改造的扇三角洲。



扇三角洲相

扇三角洲平原亚相

泥石流沉积微相

分流河道微相

漫滩沼泽微相

碎屑流沉积微相

水下分流河道微相

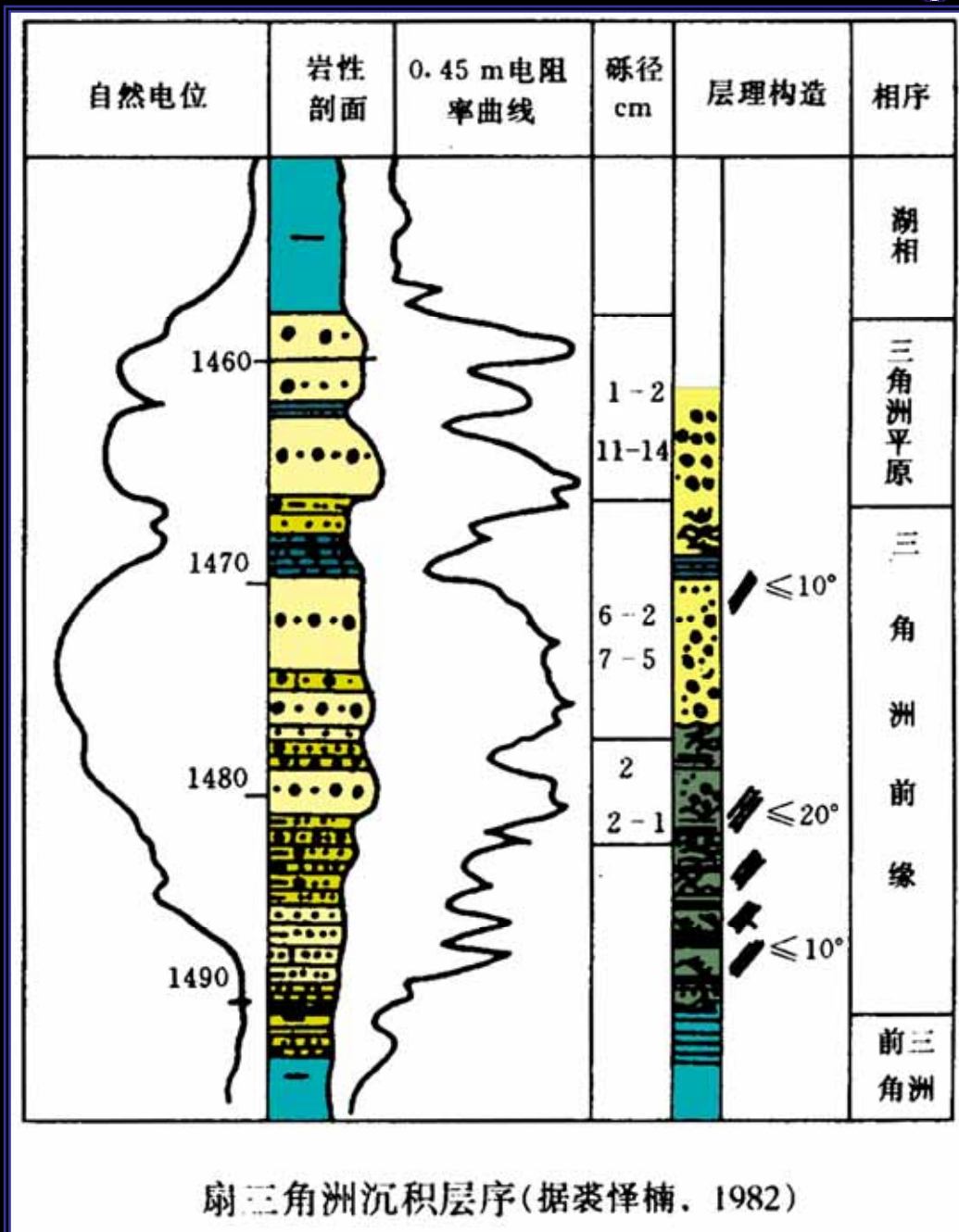
扇三角洲前缘亚相

水下分流河道间微相

河口砂坝微相

前扇三角洲亚相

前缘席状砂微相



扇三角洲沉积层序(据裘怿楠, 1982)



沉积相	岩性剖面	层理类型	颜色	岩性特征	层理	冲刷面	生物扰动	泥砾	炭屑根迹	化石	概率累积曲线	电性		韵律特征	砂体几何形态	接触关系
												曲线	形态			
三角洲平原	分流河道			棕、黄褐色 砾岩、含砾砂岩上部偶见薄层泥岩	大型交错层理 小型交错层理 波状层理 爬升层理 水平层理	有		有		无化石、植物茎偶见			桶形正梯形	正韵律	平底或透体 顶凸或透体	突变
	扇间沼泽			黄褐、灰黑色 粉砂岩、泥岩交互、含薄层炭质夹层	水平层理 块状层理		扰动		较多	见虫孔遗迹						
三角洲前缘	水下分流河道			黄褐、灰色 含砾砂岩、中细砂岩、上部粉砂岩、但泥岩少见	水平层理 波状层理 爬升层理 交错层理 水平层理	有		有		介形虫、淡水藻类			桶形正梯形	正韵律 亦见复合韵律	平底透体 顶凸透体	突变
	水下河道间沉积			灰黄色 细砂岩、粉砂岩夹泥岩	水平层理 压扁层理 透镜层理 波状层理		扰动	有(少)	有	螺鱼化石						渐变
	河口砂坝			灰白、灰黄色 砂岩、粉砂岩、前缘夹薄层泥岩	小型交错层理 水平层理 压扁层理 透镜层理 透变形层理					螺、介形虫			反梯形反三角	以反韵律为主亦见正韵律	平底透体 顶凸透体	渐变
	前缘状席砂			灰黄、灰白色 细砂岩、粉砂岩和泥岩互层、常见浊流沉积夹层	小型交错层理 波状层理										正反韵律	薄层平布
前三角洲			暗灰色 粉砂质泥岩和泥岩	水平层理 揉皱构造					有							渐变

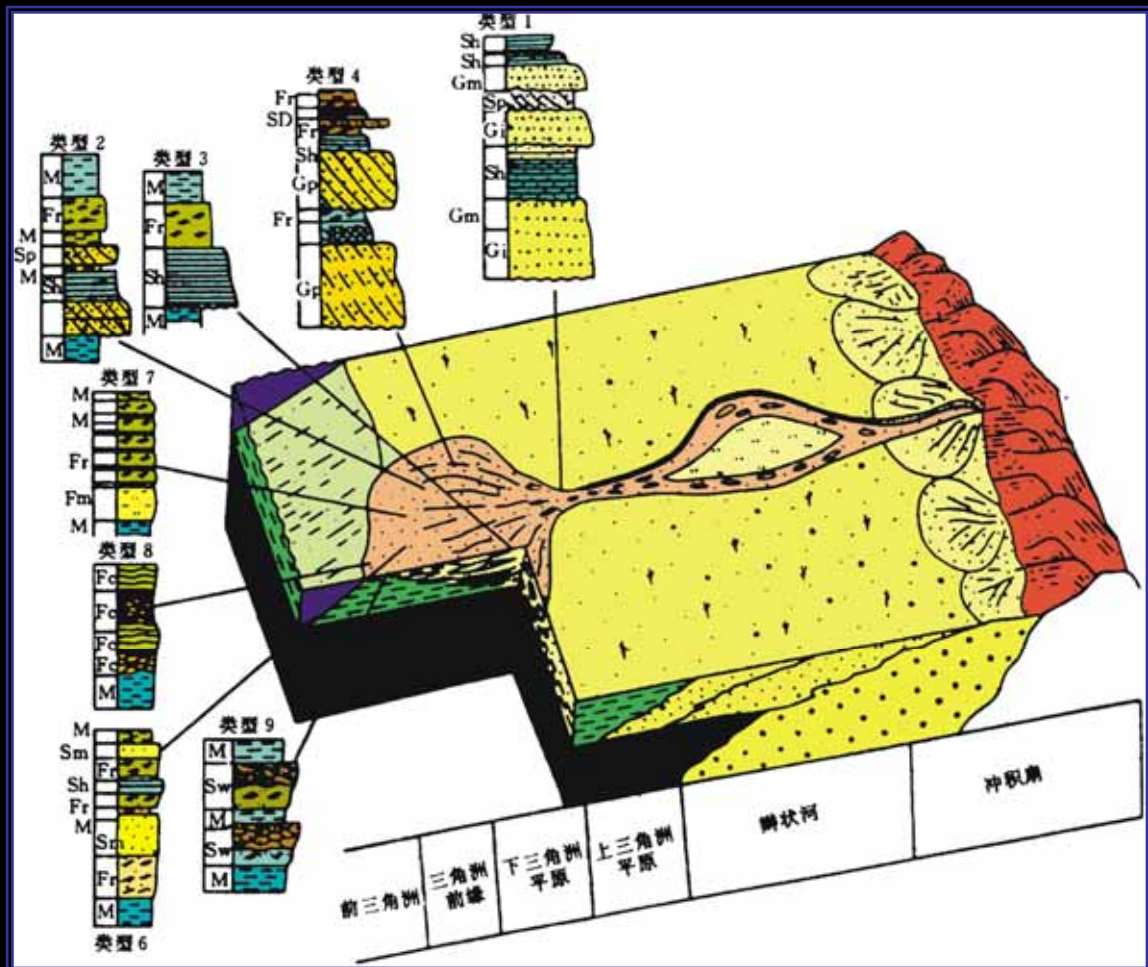
扇三角洲沉积特征 (据顾家裕, 1984)

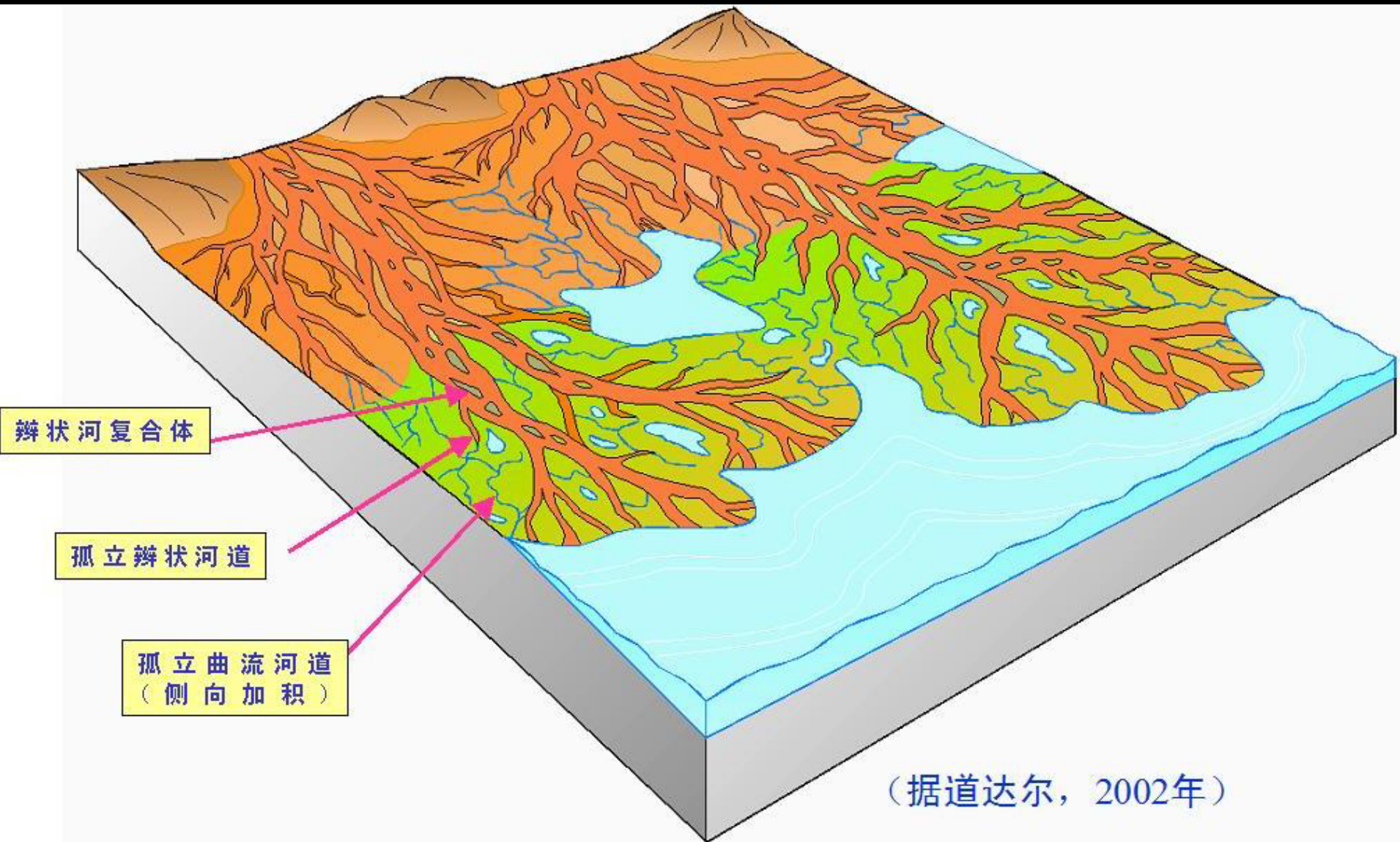


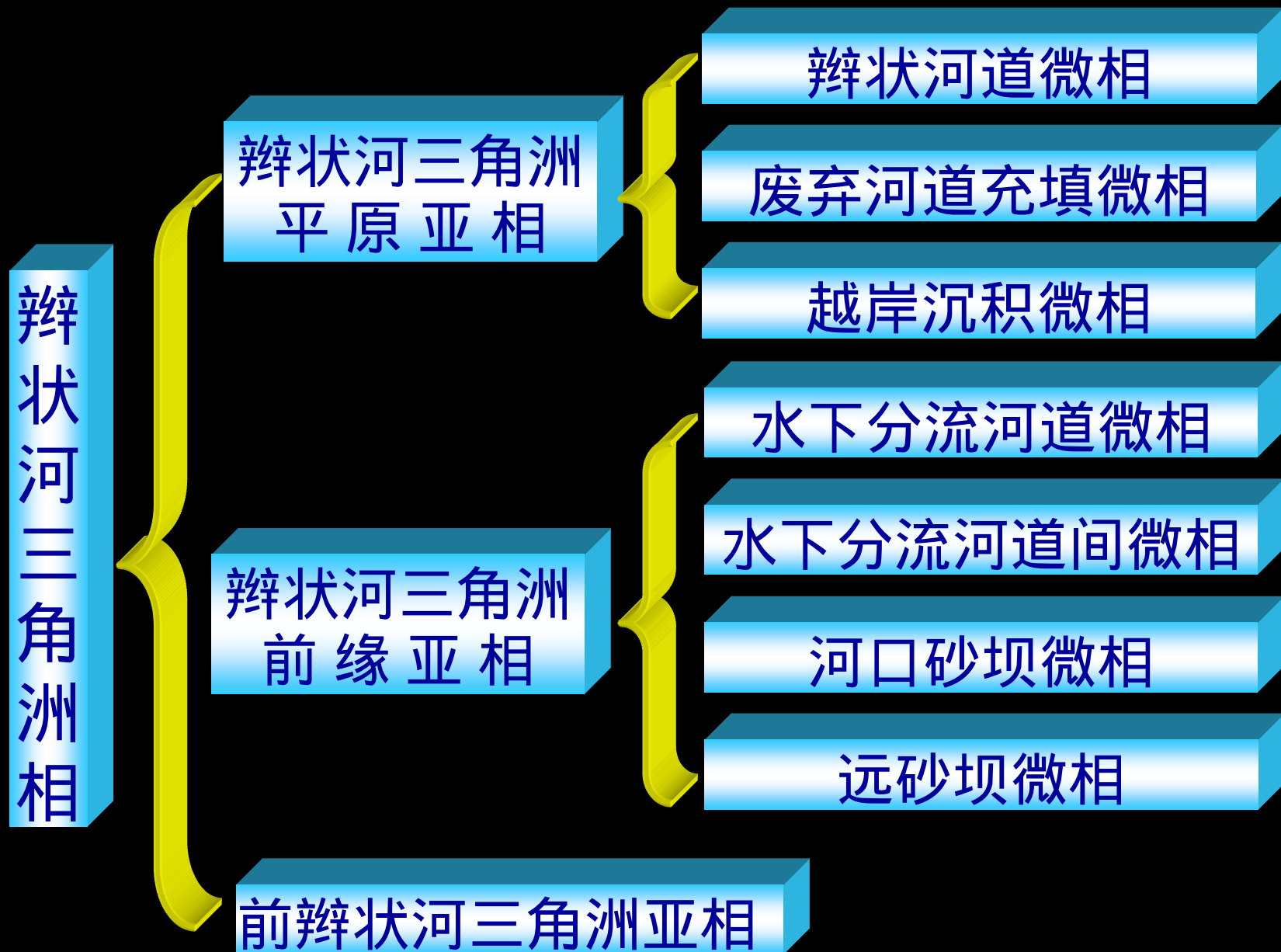
(五) 辫状河三角洲沉积特征

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。

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。

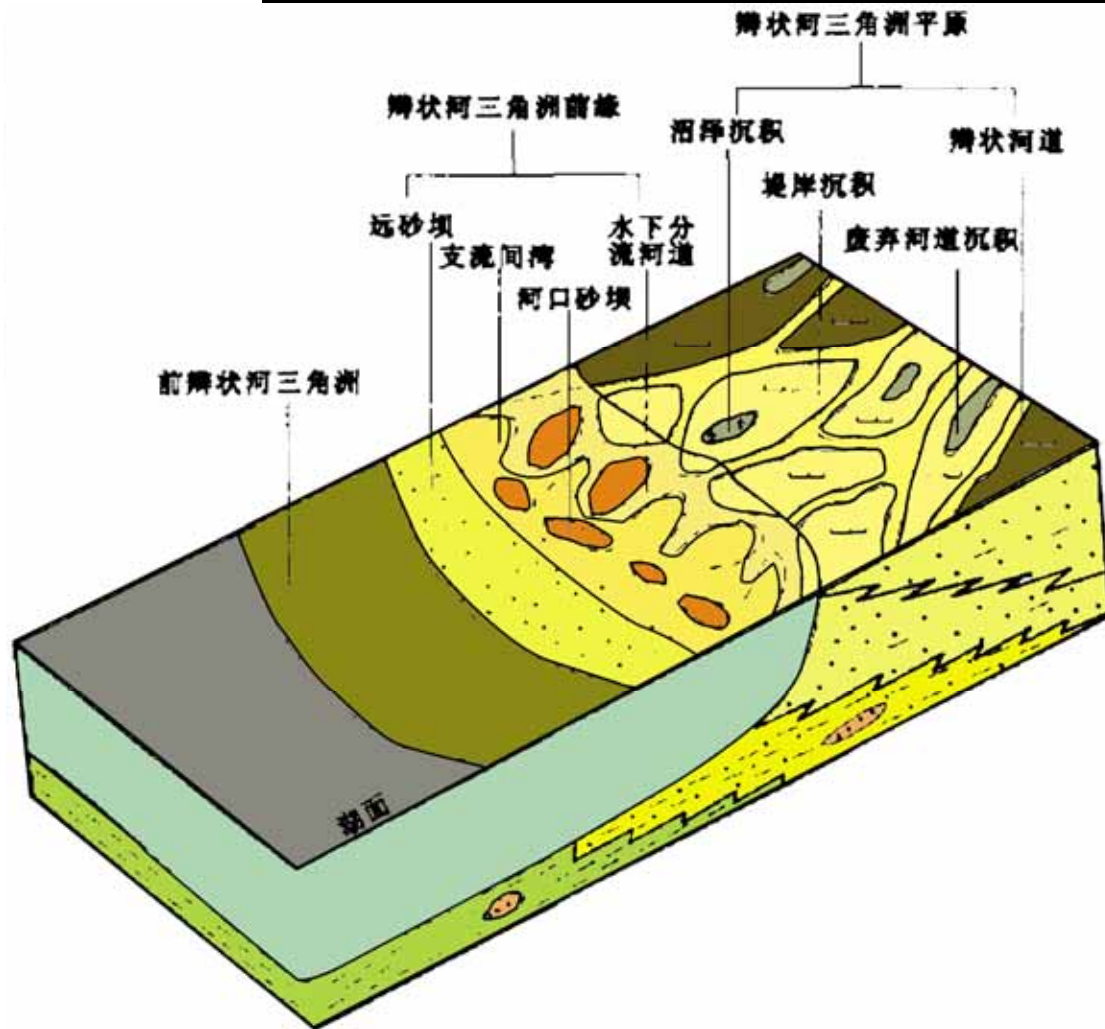




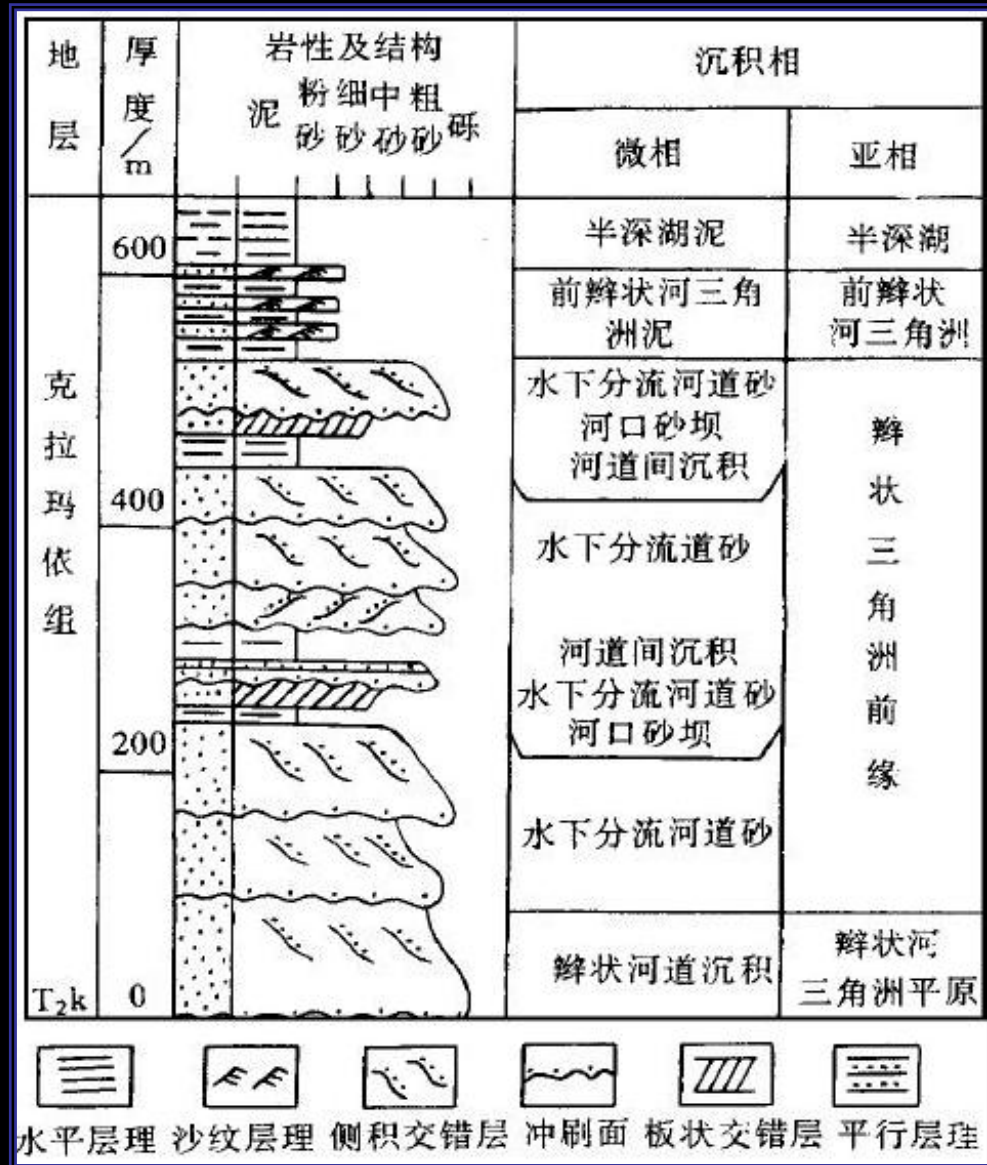
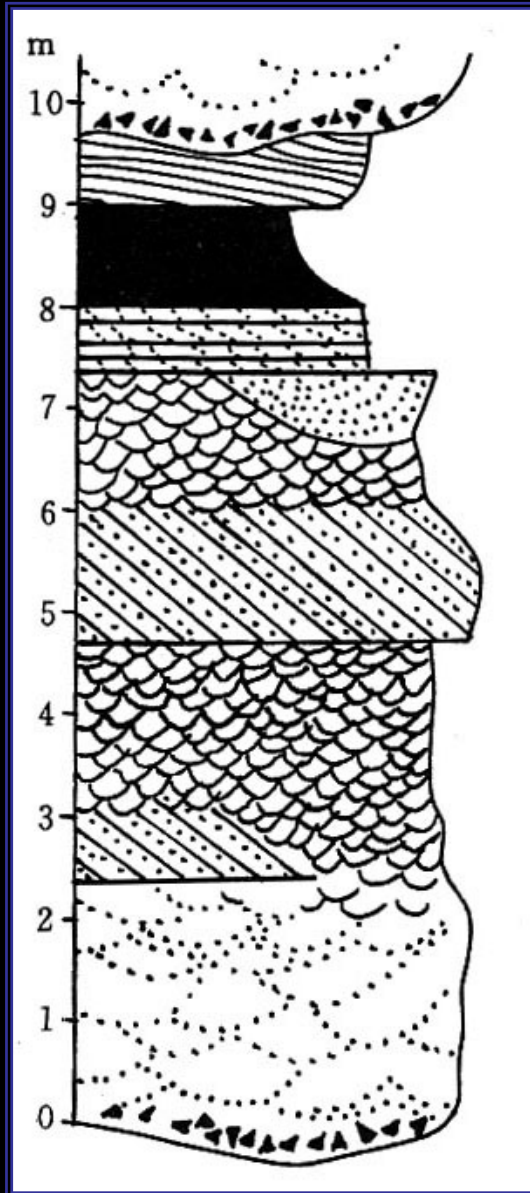




井深 m	岩性及结构	微相	亚相
		前三角洲泥	前三角洲
		水下分 流河道	三角洲前缘
4850		沼泽沉积	三角洲平原
		辫状河道	
		水下分流 河道	三角洲前缘
		分流河道间	
		水下分流 河道	
		分流河道间	
4950		辫状河道	三角洲平原
		沼泽沉积	三角洲前缘
		水下分流 河道	
		分流河道间	
		水下分流 河道	



塔里木盆地草2井侏罗系辫状河三角洲沉积序列 (据高振中, 1996)



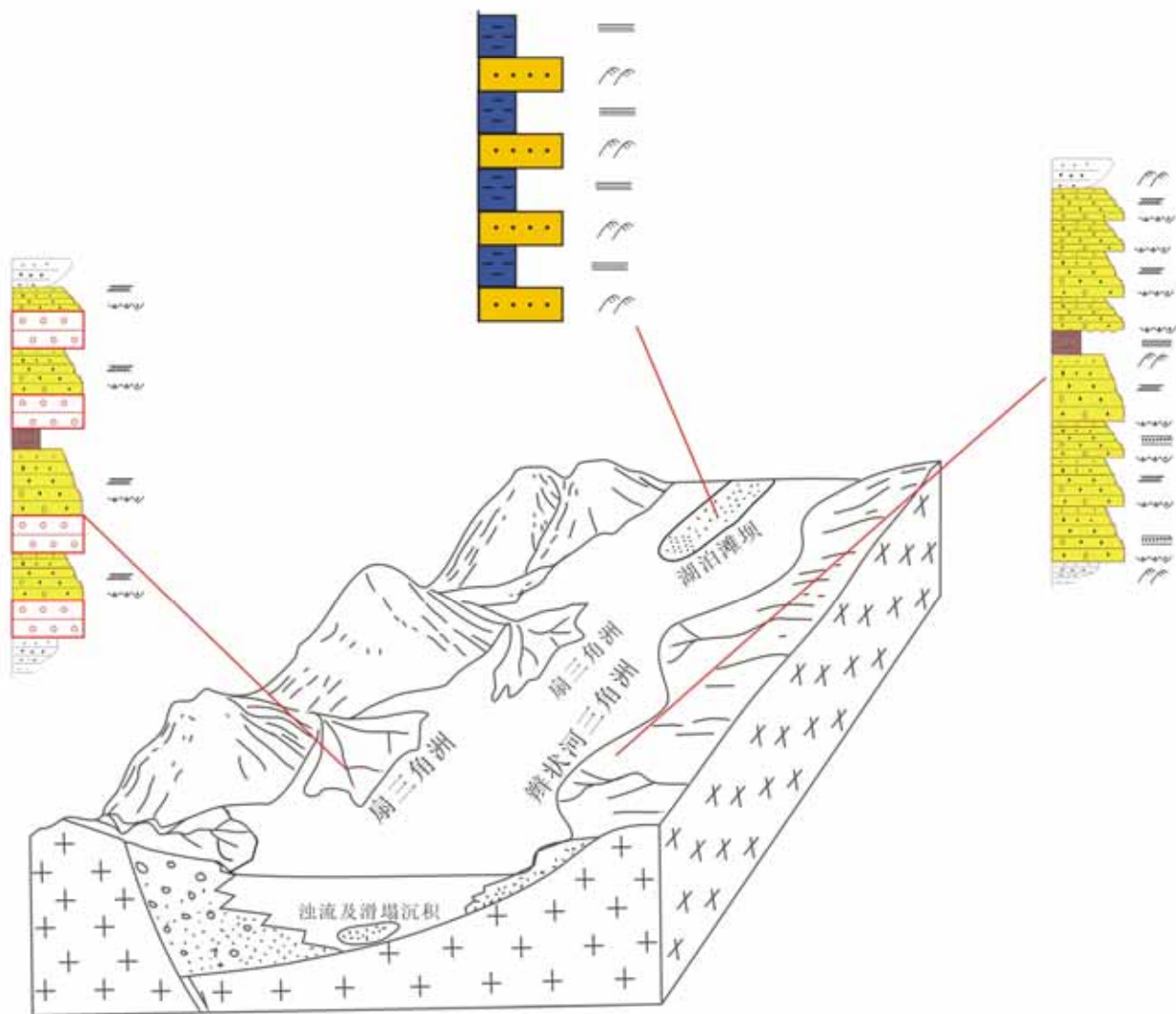
二元结构的底层沉积发育，顶层沉积不发育

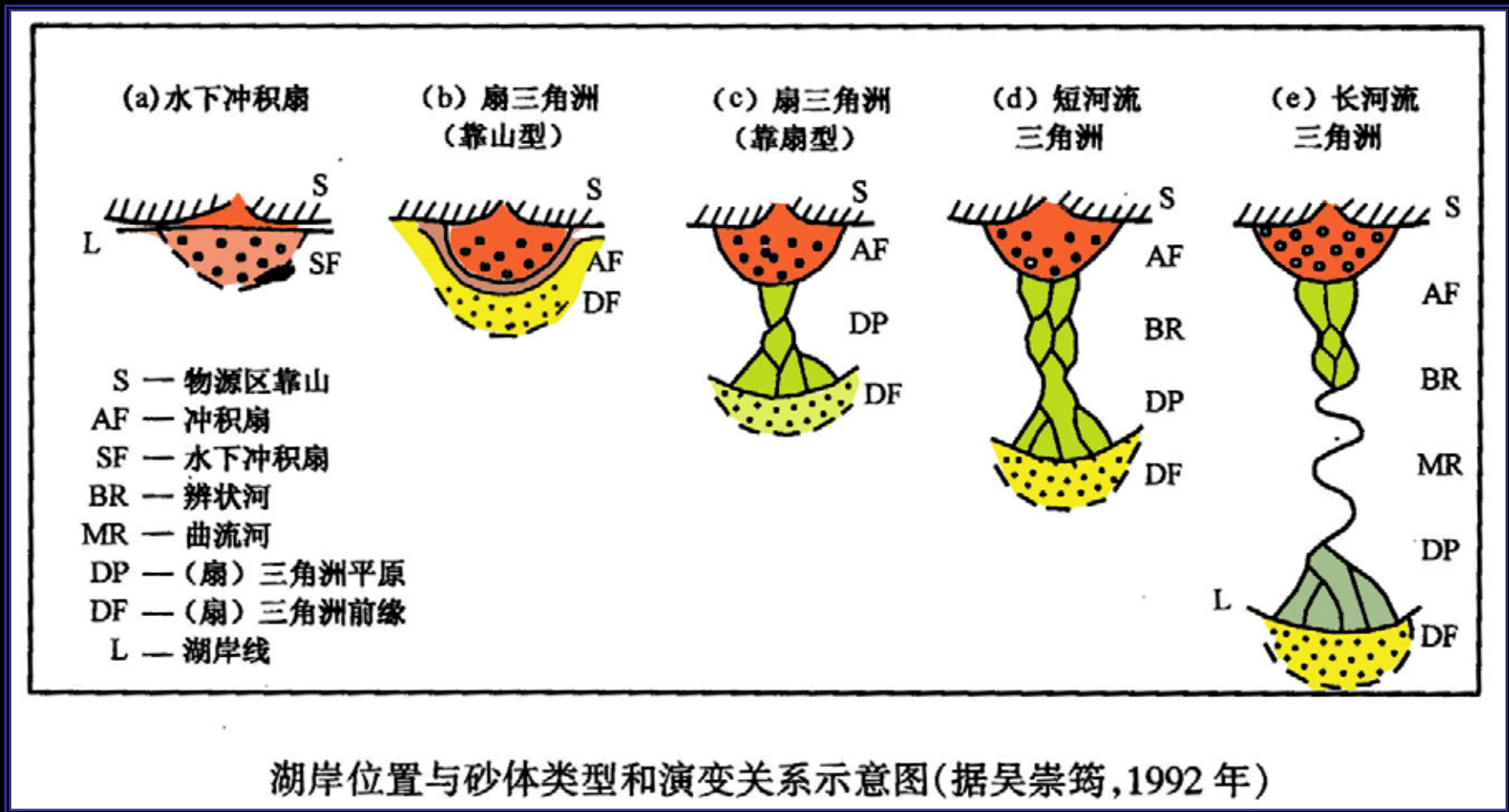


(六) 扇三角洲辫状河三角洲正常三角洲的关系

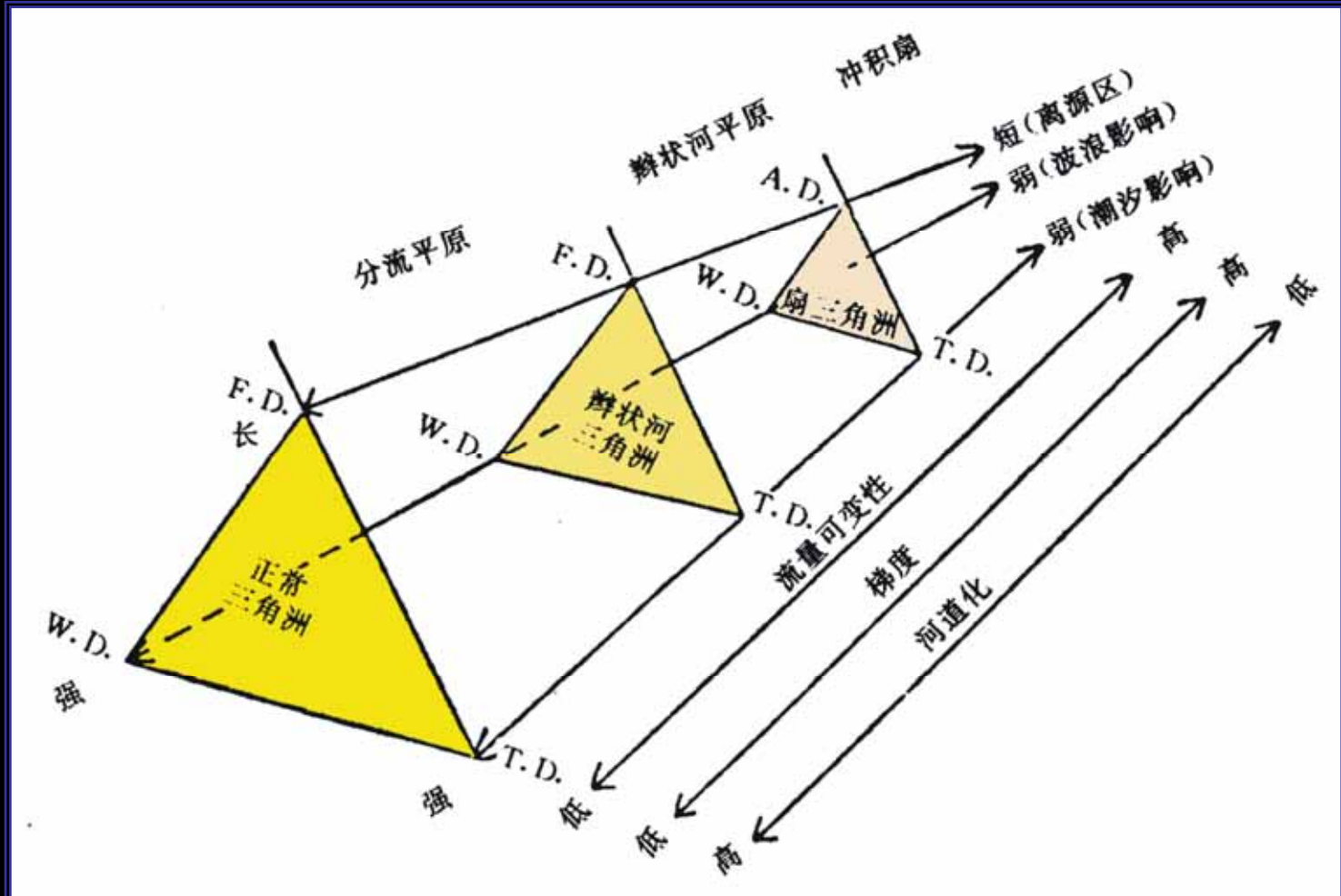
辫状河三角洲与扇三角洲沉积特征对比表

类型	辫状河三角洲	扇三角洲
沉积特点	主要为正常河流的牵引流沉积，通常受到急湍洪水控制，为季节性沉积作用，以河道沉积占主导地位	突发的、瞬时的灾变事件产生的重力流沉积与间灾变期正常牵引流沉积交替进行，并以重力流沉积占主导地位
平原亚相	类似于辫状河沉积	类似于冲积扇沉积
河道砂体	总体呈层状，内部由若干个下粗上细的砂岩透镜体叠置而成	透镜体，厚度小，变化大
沉积构造	交错层理发育，尤以侧积交错层发育为特征	块状构造为主
岩石类型	砾岩、含砾砂岩、中粗砂岩为主，颗粒支撑	砂岩、砾岩为主，多为杂基支撑





坡度对冲积扇—河流—三角洲沉积体系的构成有影响



三角洲体系分类谱系图(据薛良清, 1991)

A.D.—冲积扇为主的; F.D.—河控;

W.D.—浪控; T.D.—潮控



三、三角洲的鉴别标志及其与油气的关系

(一) 古代三角洲沉积鉴别标志

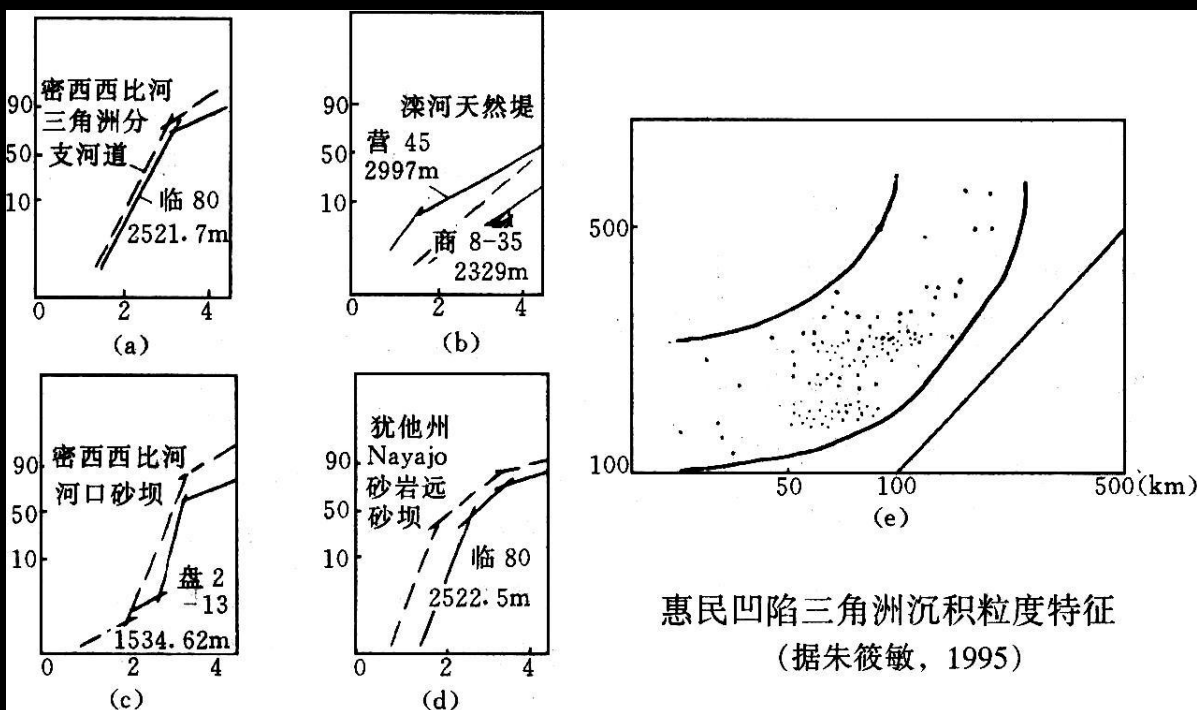
1. 岩石类型

砂岩、粉砂岩、粘土岩为主。三角洲平原中常见有暗色有机质沉积，如泥炭或薄煤层等。

2. 粒度分布特征

中由陆 海，砂岩中的碎屑粒度和分选有
变细变好的总趋势。

在C-M图上，三角洲前缘具有QR和RS段。





3. 沉积构造

流水波痕、浪成波痕、板状和槽状交错层理，水平层理，波状层理、透镜状层理、包卷层理、冲刷—充填构造、变形构造、生物扰动等。

4. 生物化石

海生与陆生生物化石混生。



5. 垂向层序

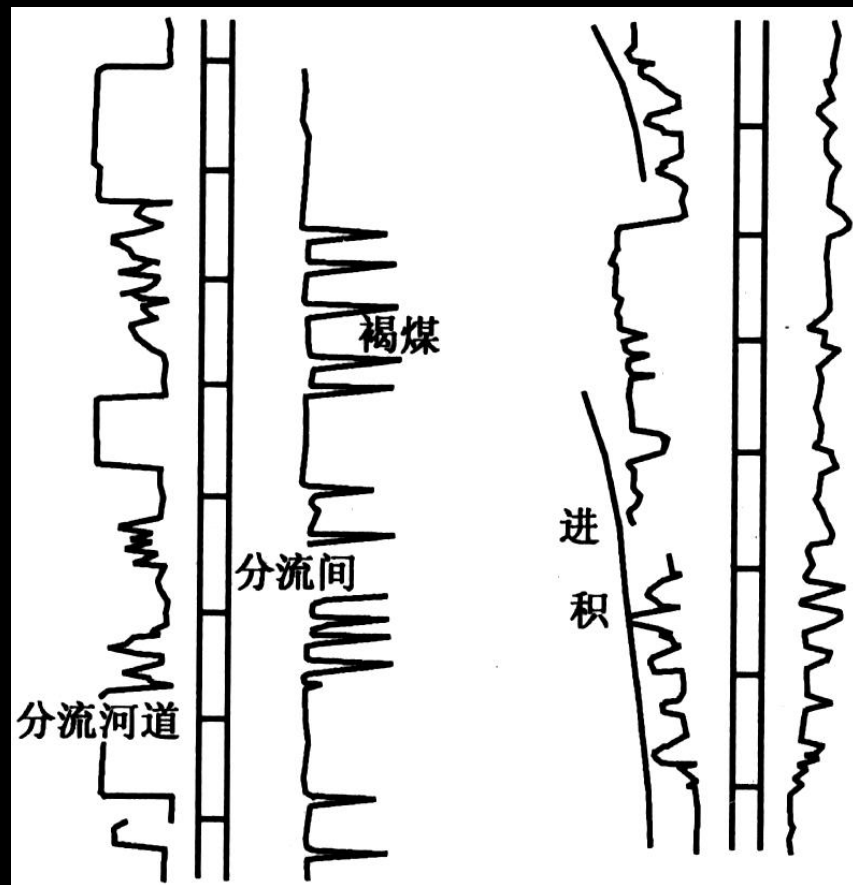
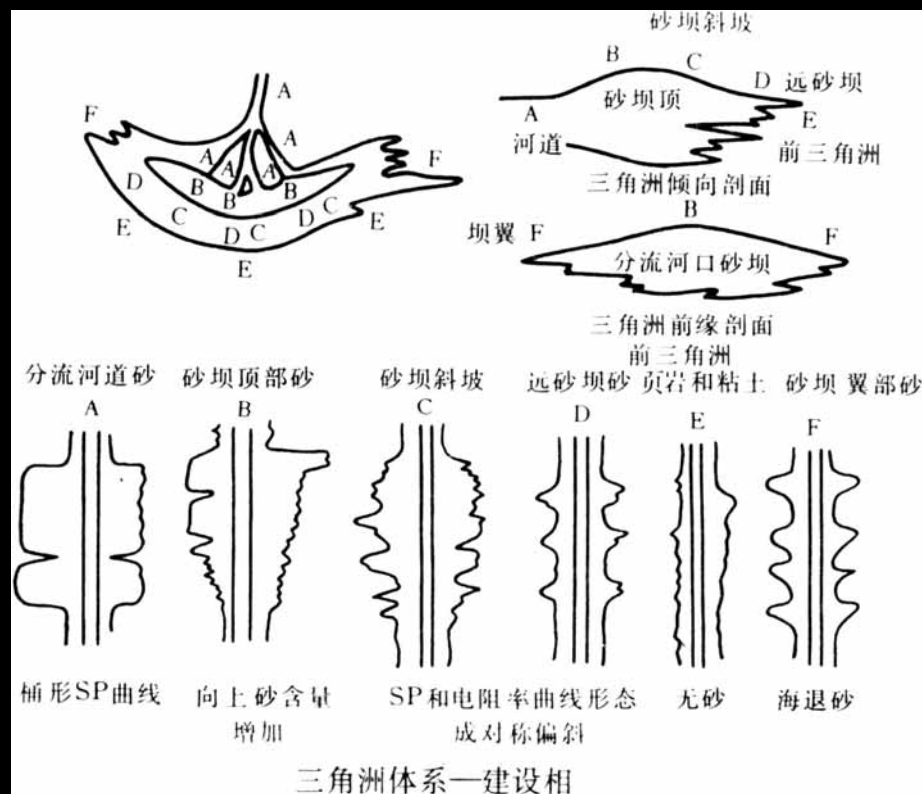
总体上为下细上粗反旋回序列，顶部为下粗上细正旋回。

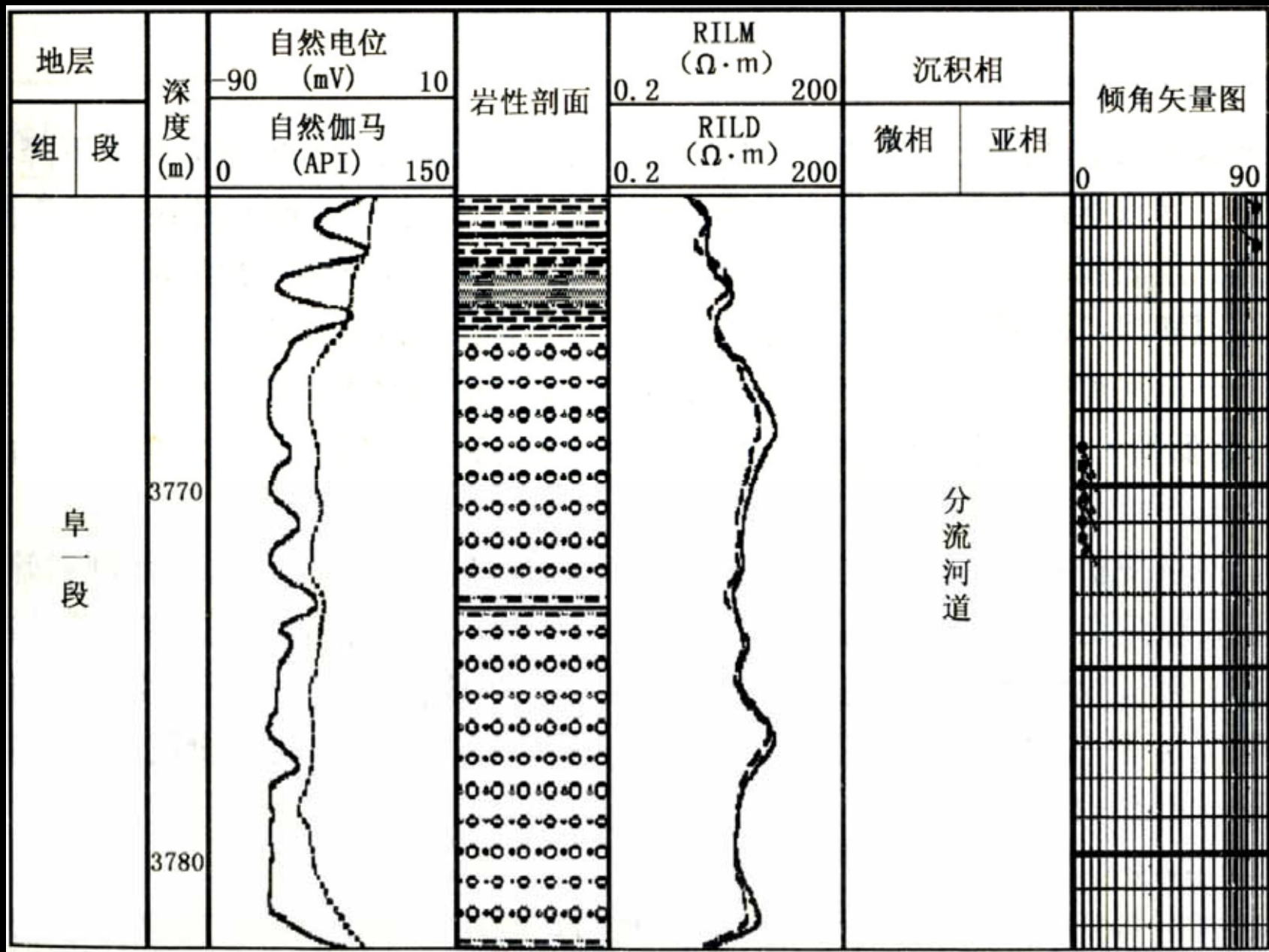
6. 砂体形态

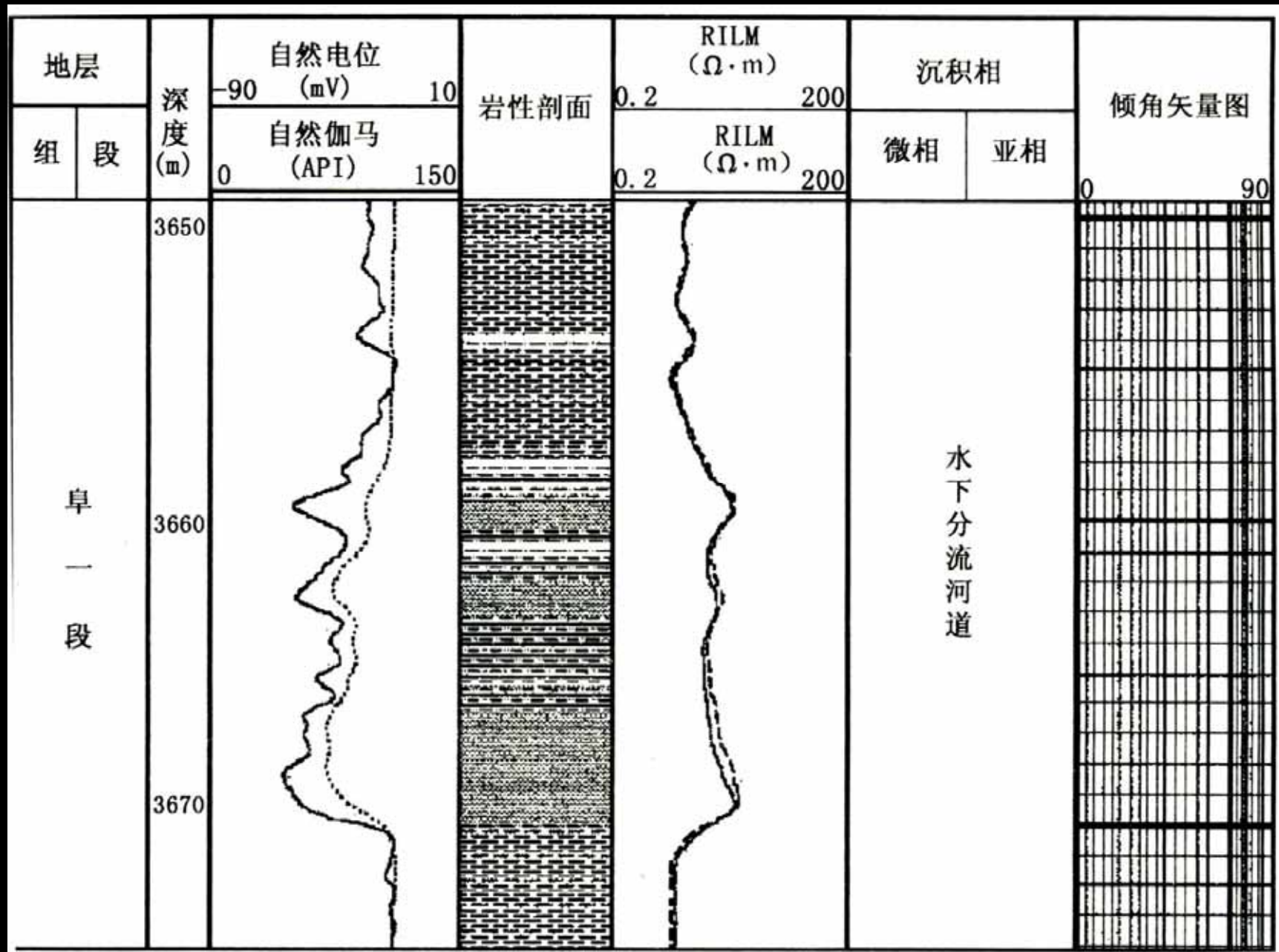
平面上呈朵状或指状，剖面上呈发散的扫帚状。

7. 测井曲线

分流河道多呈钟型或箱型正韵律，河口坝、远砂坝呈漏斗型反韵律。









河口沙坝

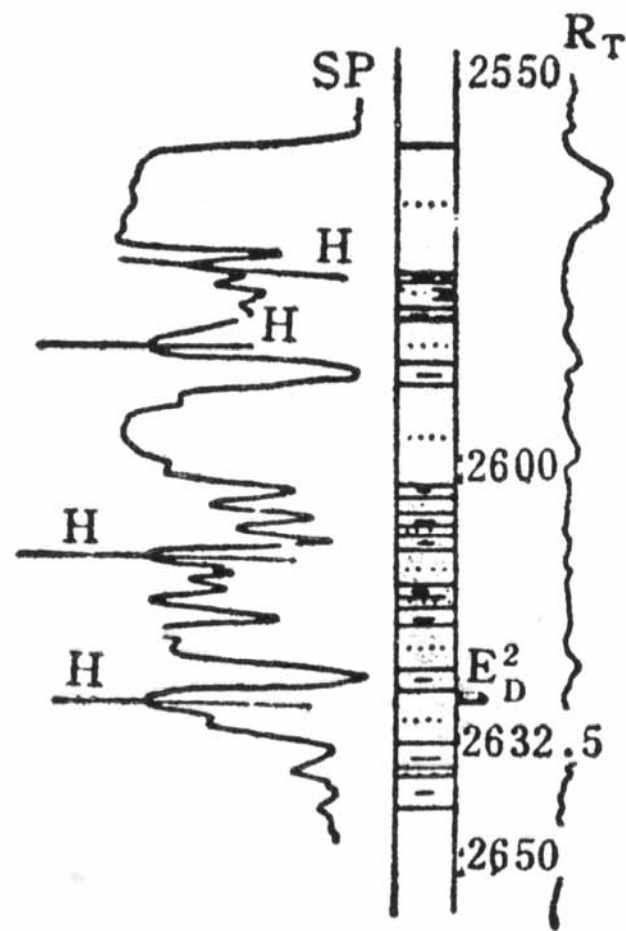
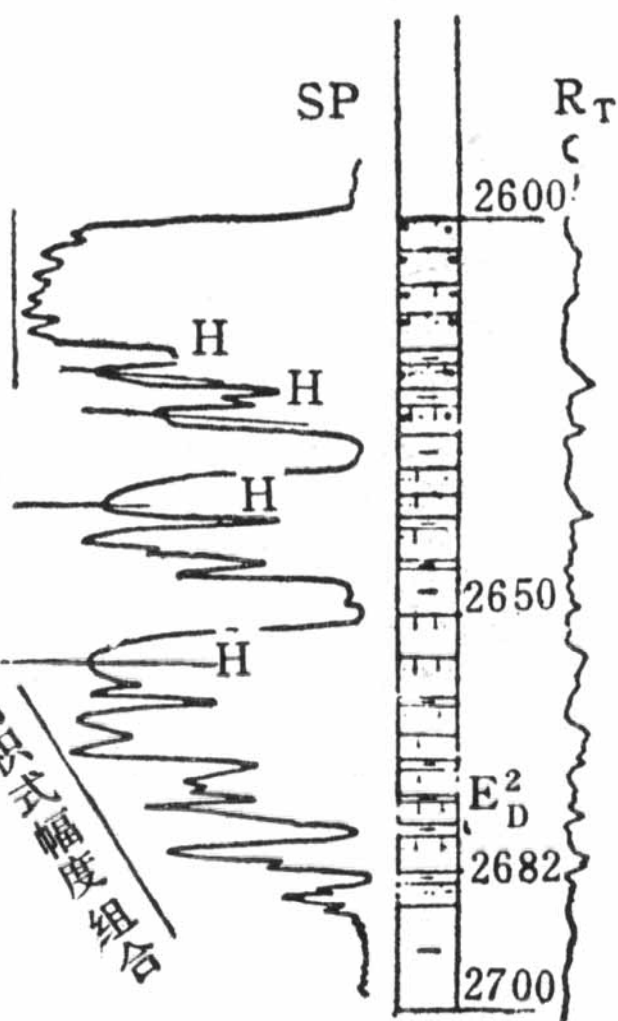
河口沙坝

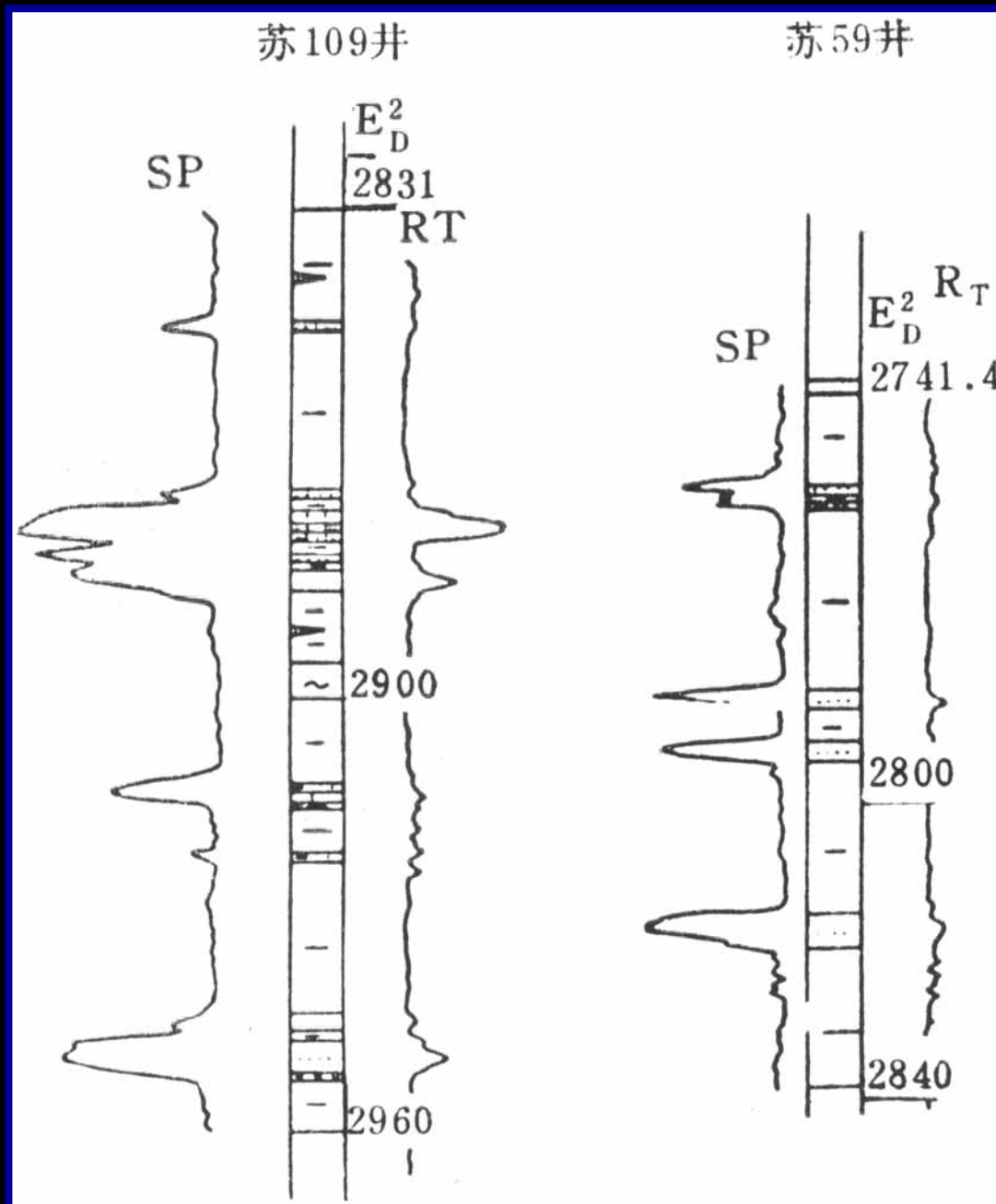
苏120井

苏115井

加积式幅度组合

前积式幅度组合



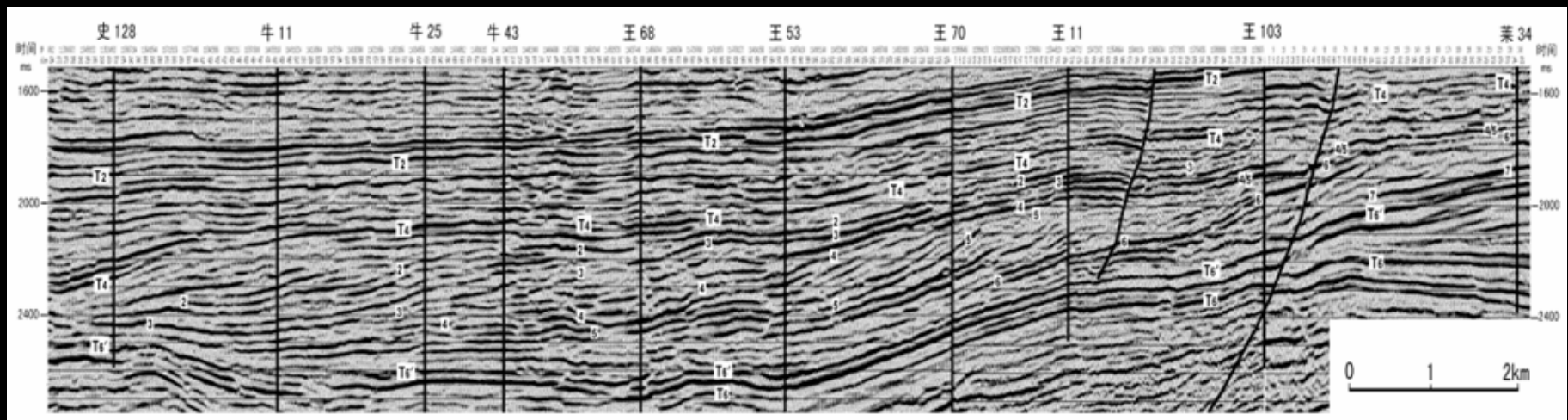




8. 地震剖面

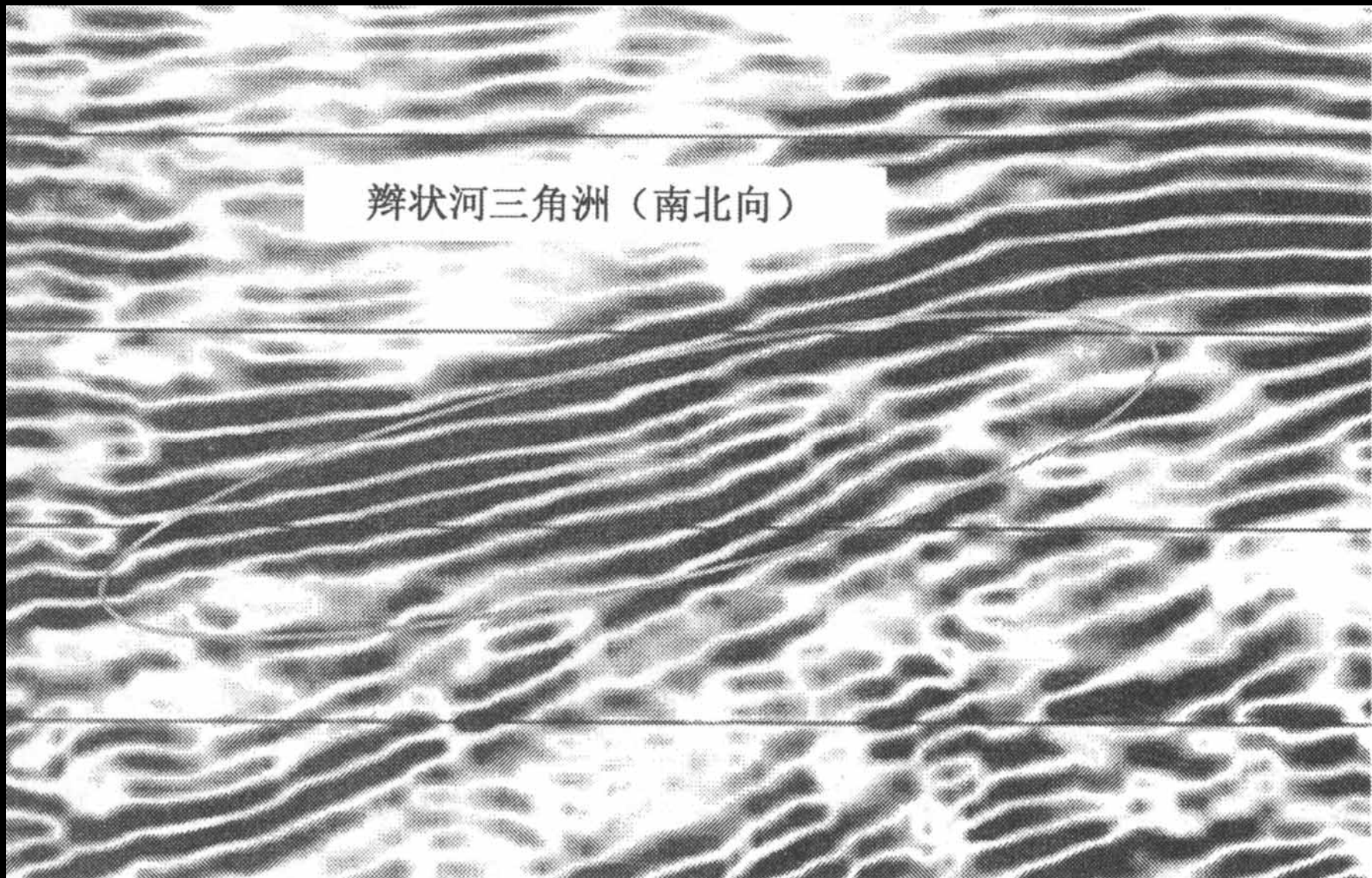
不同类型的三角洲的形态特征和沉积特征不相同，因此，在地震剖面上的特征也存在一些甚至较大的差别：

- 海盆河控三角洲，最重要的标志是发育有各种前积结构，其中以S型、斜交型和复合S型前积结构；
- 海盆浪控三角洲以叠瓦状前积结构为特征；
- 断陷湖盆中的三角洲常见叠瓦状前积结构。



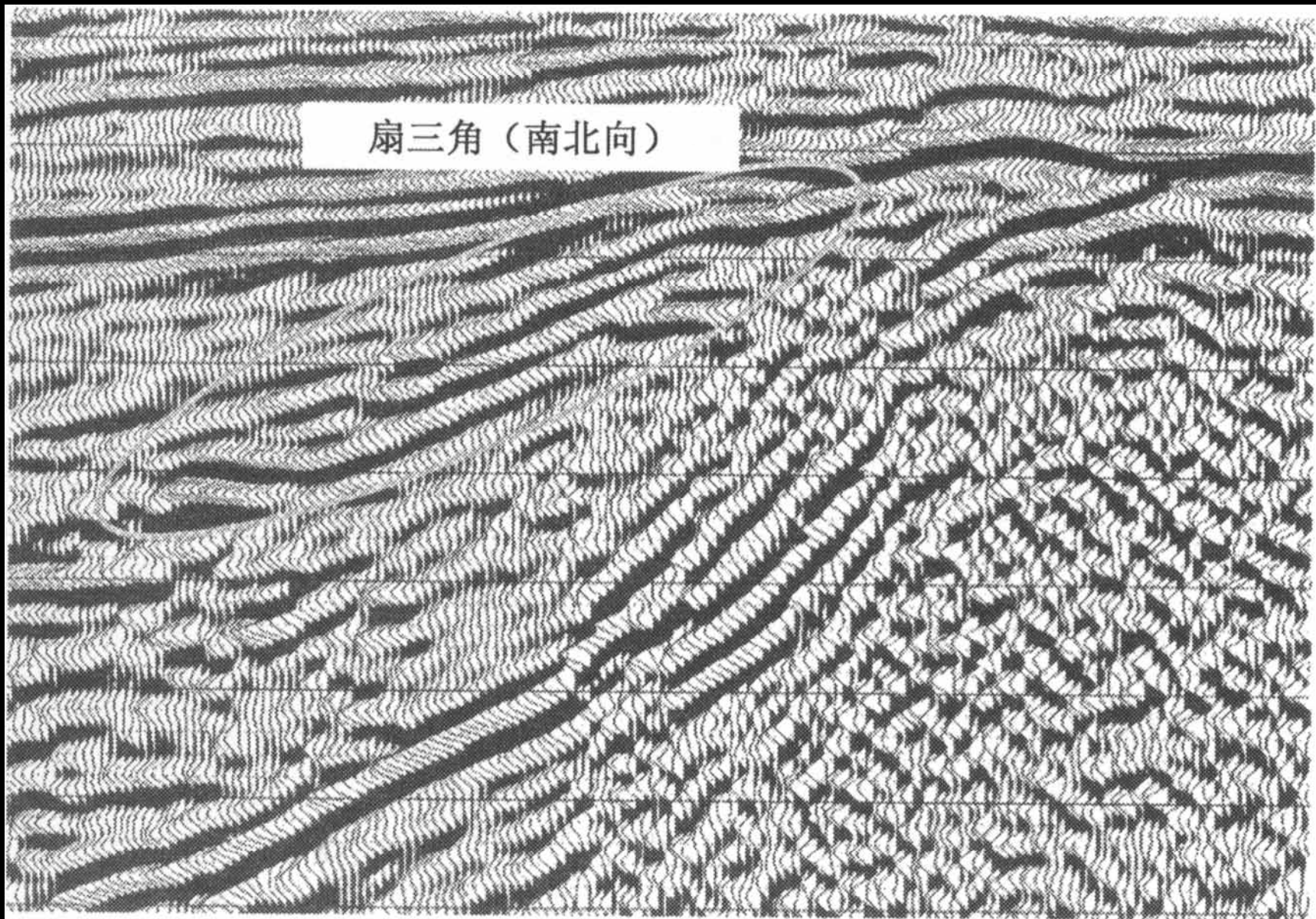


辫状河三角洲（南北向）





扇三角（南北向）





(二) 三角洲相与油气的关系

世界上许多油气田与三角洲相有关，其中有不少是大型和特大型油气田。如科威特的布尔干油田和委内瑞拉马拉开波盆地玻利瓦尔沿岸油田，可采储量分别为94亿吨和42亿吨，为世界第二和第三特大型油田。

前三三角洲亚相具有良好的生油条件。

三角洲前缘亚相是储集条件有利的相带。

圈闭条件好：滚动背斜、岩性圈闭、地层圈闭等



本节要点：

- 三角洲的形成与演化
- 三角洲的主要控制因素
- 根据水动力条件、形态特征和供源体性质进行三角洲分类
- 三角洲的亚相和微相划分（重点）
- 三角洲各亚相和微相的沉积特征（重点）



- 河控、浪控和潮控三角洲垂向沉积层序对比
- 扇三角洲和辫状河三角洲的相带划分
- 扇三角洲和辫状河三角洲沉积特征对比
- 三角洲的鉴别标志
- 三角洲与油气的关系