



第一章 层序地层学的基本概念和基础

- 一、海（湖）平面与可容空间
- 二、沉积盆地与沉积作用
- 三、滨线轨迹与海侵、海退
- 四、地层界面与地层终止关系

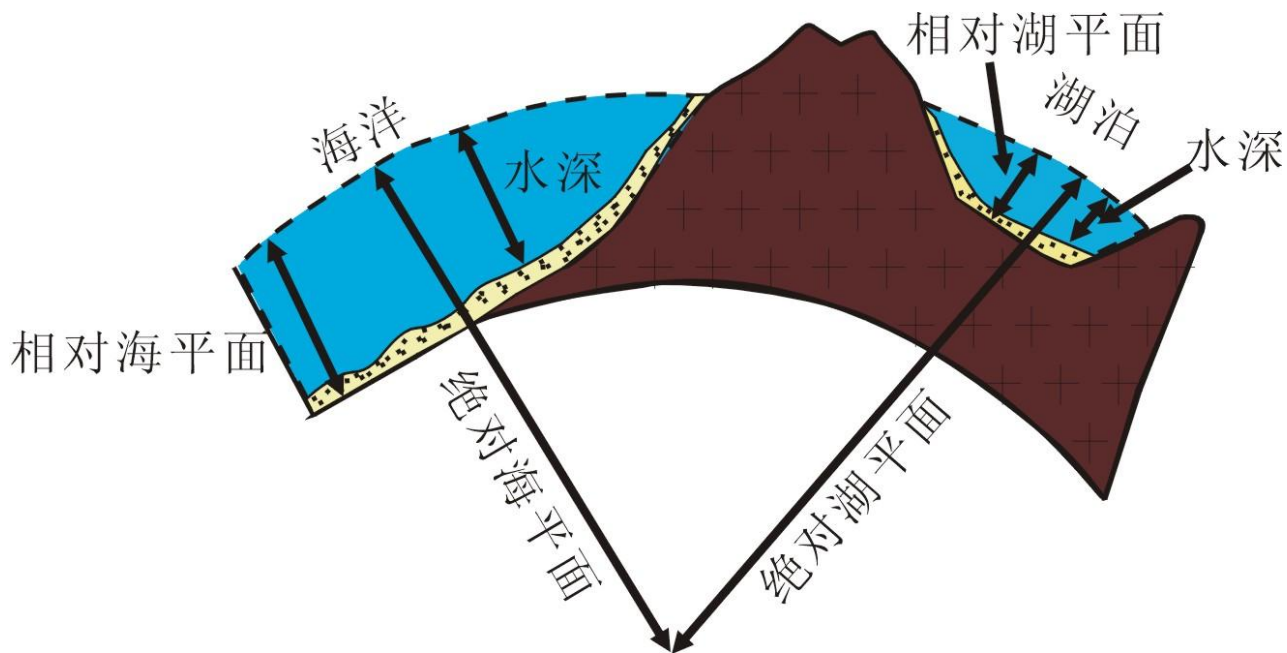


第一章 层序地层学的基本概念和基础

- 一、海（湖）平面与可容空间
 - 1、海（湖）平面、水深
 - 2、基准面
 - 3、可容空间

1、海（湖）平面、水深

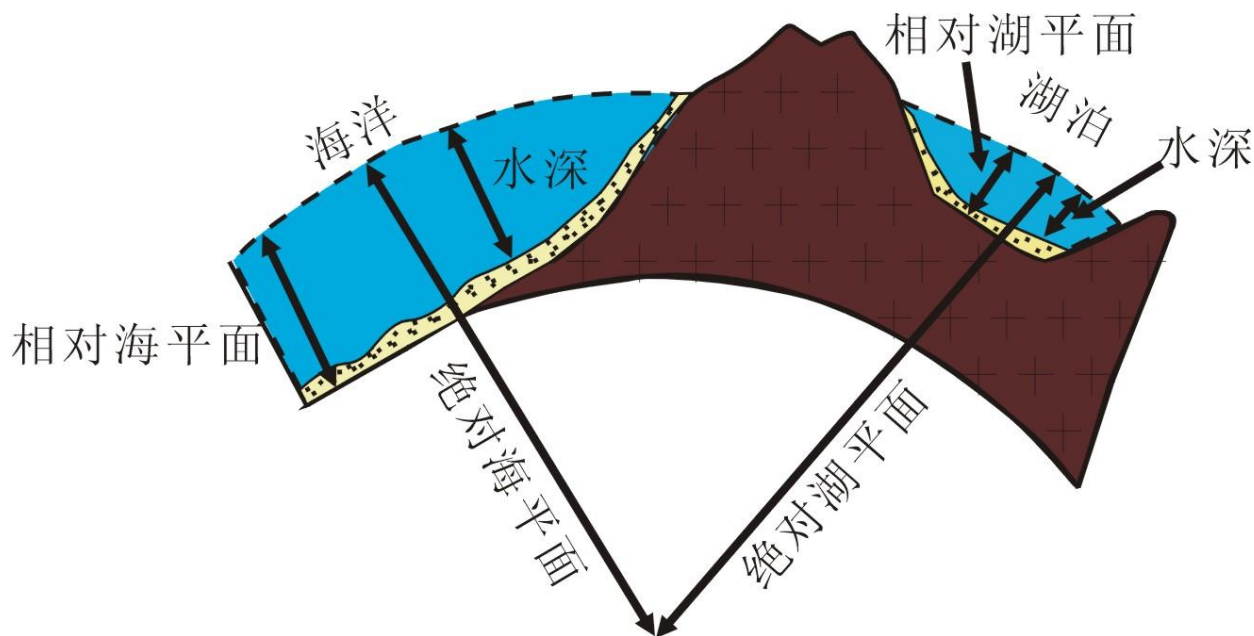
- 绝对湖（或海）平面(Eustatic sea/lake-level)：指湖（或海）面相对于一个固定基准面如地心的高度，与盆地内的局部因素无关，其升降变化多受湖（或海）盆基底位置、水深、盆内沉积物量等因素控制。





1、海（湖）平面、水深

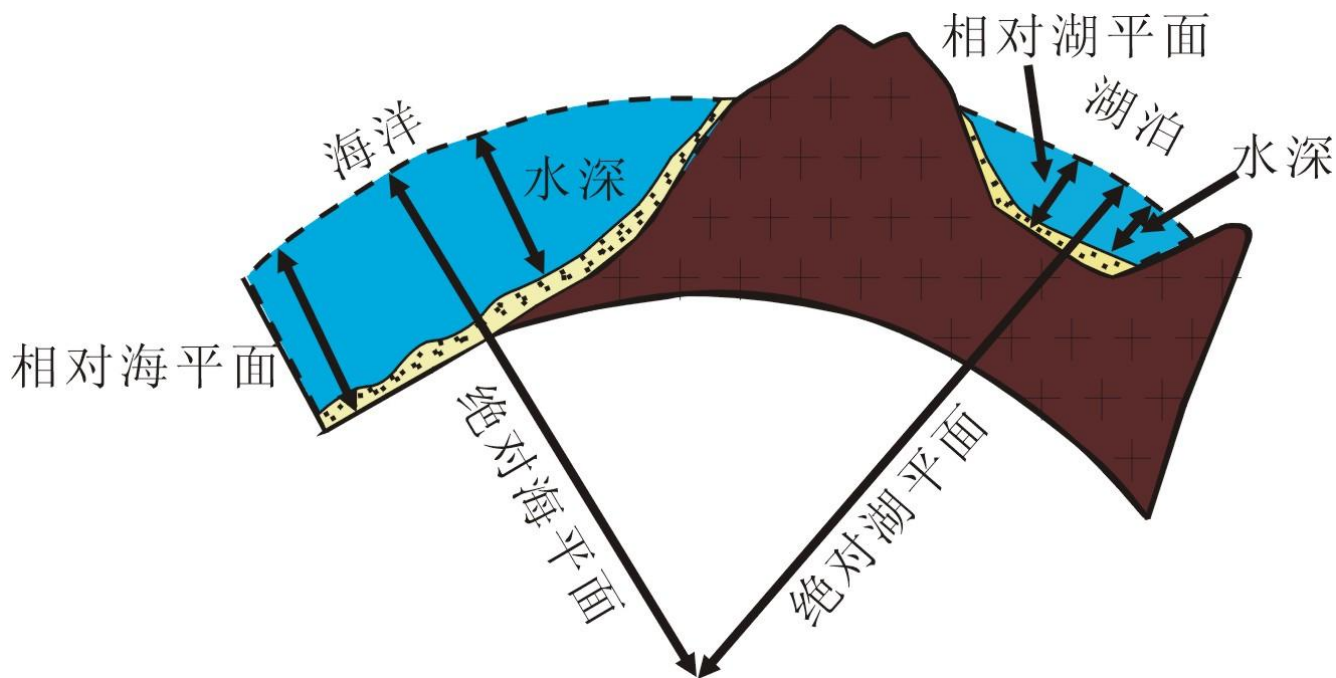
- 相对湖（或海）平面(Relative sea/lake-level)：指沉积盆地的基底距湖（或海）面的高度，反映了湖（或海）盆基底的局部沉降或上升，其升降变化受控于绝对湖（或海）平面和湖（或海）盆基底的位置。





1、海（湖）平面、水深

- 湖（或海）水深度(Water depth): 指沉积湖（或海）盆内沉积物表面距湖（或海）面的高度，其大小变化受控于相对湖（或海）平面的位置与已形成的沉积物厚度。





2、基准面(Base level)

•现状:

- 基准面Twenhofel (1939) : 沉积序列所能达到的最高面
- 基准面Sloss (1962) : 一个假想的动态平衡面, 在其上碎屑物质无法保存, 在其下可以发生沉积和埋藏作用
- 基准面Bates和Jackson (1987) : 地表不断向其发展, 但极少(如果有的话) 能达不到的理论极限或最低面, 陆表面的基准面是海平面
- 基准面Jervey (1988) : 是由海平面控制的, 第一近似于海平面...其次近似于反映海洋中任一区域能量变化的面
- 基准面Cross (1991) : 侵蚀与沉积之间的平衡面
- 基准面Schumm (1993) : 一个假想的近地表侵蚀界面, 实际上近似于海平面, 而河流侵蚀作用使其略有下降
- 基准面Cross和Lessenger (1998) : 关于产生和消耗可容空间和在此空间中沉积或侵蚀相互关系的一种阐述词
- 基准面Posamentier和Allen (1999) : 河流到达入河口的面, 在此面上沉积和侵蚀达到稳定平衡

2、基准面(Base level)

- 关于基准面的定义有两大学派：
 - 1) 基准面近似于海平面
 - 在海洋中，由于受波浪和潮流作用比海平面略低
 - 在陆地上，相当于进积/侵蚀的平衡面，河流均衡剖面与基准面在滨线重合
 - 2) 基准面是对侵蚀和沉积之间平衡界面的归纳。
 - 陆地上，河流相的基准面=河流均衡剖面
 - 海洋中，海相基准面=海平面

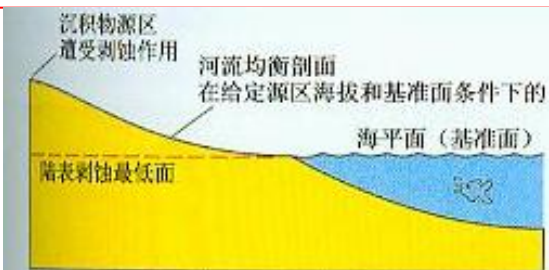


图3-10 基准面的概念，被定义为陆表剥蚀最低面（据 Plummer 和 McGearry, 1996 修改）
在滨线处河流均衡剖面与基准面重合，当源区发生构造抬升、剥蚀等作用时，均衡剖面随之改变，均衡剖面也随基准面的变化而改变。参见图3-9中基准面概念的不同定义

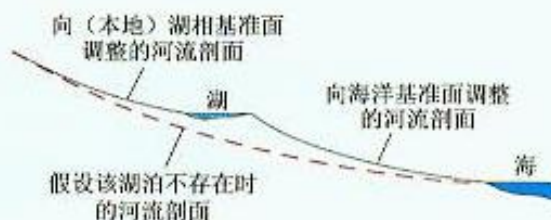


图3-11 一条先流经湖泊再流入海洋的海相和本地基准面（据 Press 和 Siever, 1986 修改）
在河流的每一段，其均衡剖面均向其所能到达的最低面调整

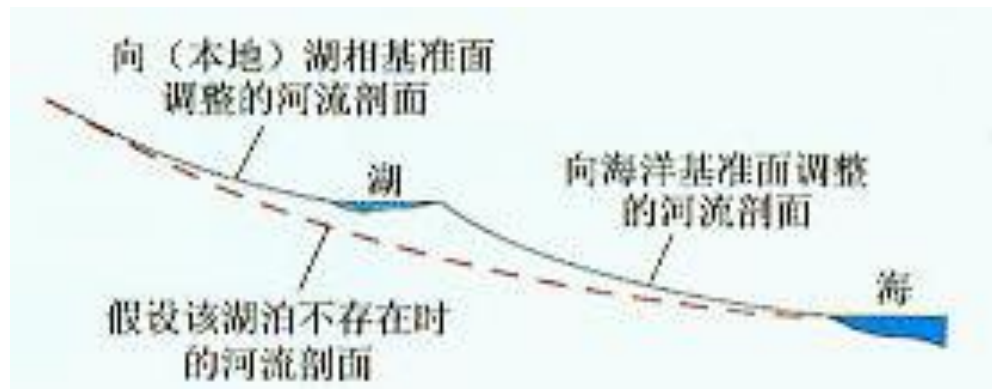
2、基准面(Base level)

•河流均衡剖面 (Fluvial equilibrium (graded) profiles)

河流体系中，如果给定源区高度及其在盆地的入口，河流体系总是趋向于达到一个纵向上的动态平衡 (Miall, 1996)

•当河流能够搬运其沉积负载而不发生河道加积和侵蚀时，这个动态平衡就已达到 (Leopold和Bull, 1979)

•不在平衡状态的河流将通过侵蚀和加积作用试图达到这一平衡状态 (Butcher, 1990)





2、基准面(Base level)

•定义：是一个想象的动态平衡面,用于描述沉积作用的上限和侵蚀作用的下限。

–高于基准面表现为侵蚀作用，即使有沉积作用也是局部和暂时的，沉积物质点不稳定，不能长期保存下来而成为地层记录；

–低于基准面，发生沉积作用，沉积物有可能被埋藏而保存下来。





3、沉积可容空间(Accommodation space)

定义：可容空间是与基准面相关联的一个概念，是指(基准面之下)“可供沉积物堆积的潜在空间”。





3、可容空间(Accommodation space)

- 类型:

- 按时间: 老空间 (早期未被充填而遗留的空间) 和 新增可容空间 (沉积过程中形成的空间)。





- 按位置：
- I类空间：沉积基准面与湖（或海）平面之间，水上可容空间，其可进一步分出两部分，其中以湖（或海）盆最低溢出点的平面为界，位于该界面与沉积基准面之间为I_A类，位于该界面与湖（或海）平面之间为I_B类。
- II类空间：湖（或海）平面与湖（或海）盆底面之间，水下可容空间，对于盆地中某一点来说，II类空间的大小与水深呈正比关系。显然，只有存在II类(水下)空间时，才可能形成稳定的沉积。



4、海平面与可容空间的关系

- 若不考虑波浪、洋流等影响，可理想地认为：
 - 陆地上，河流相的基准面=河流均衡剖面
 - 海洋中，海相基准面=海平面
 - 可容空间=海平面-沉积物表底=水深

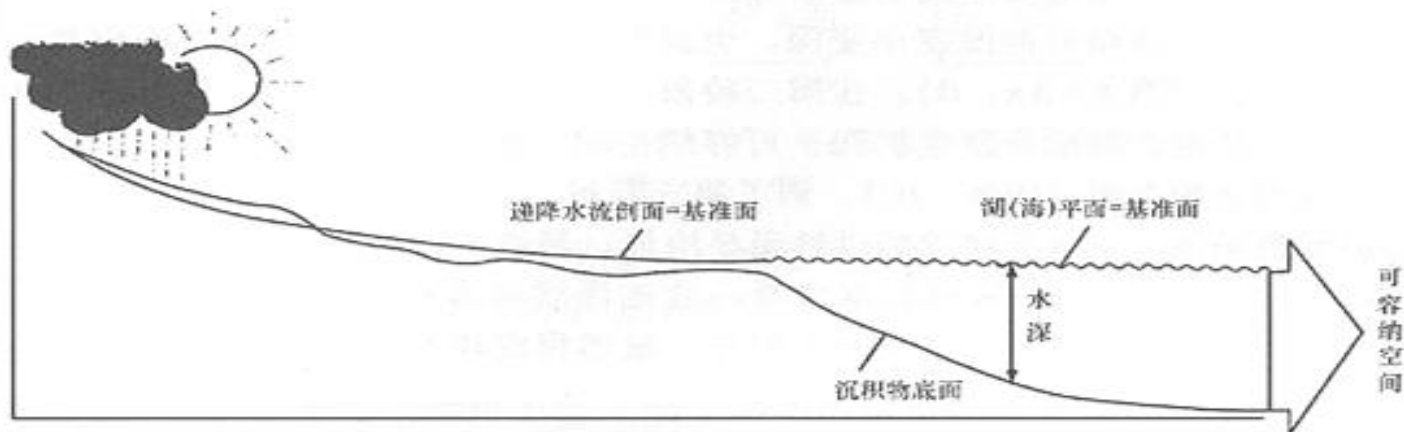
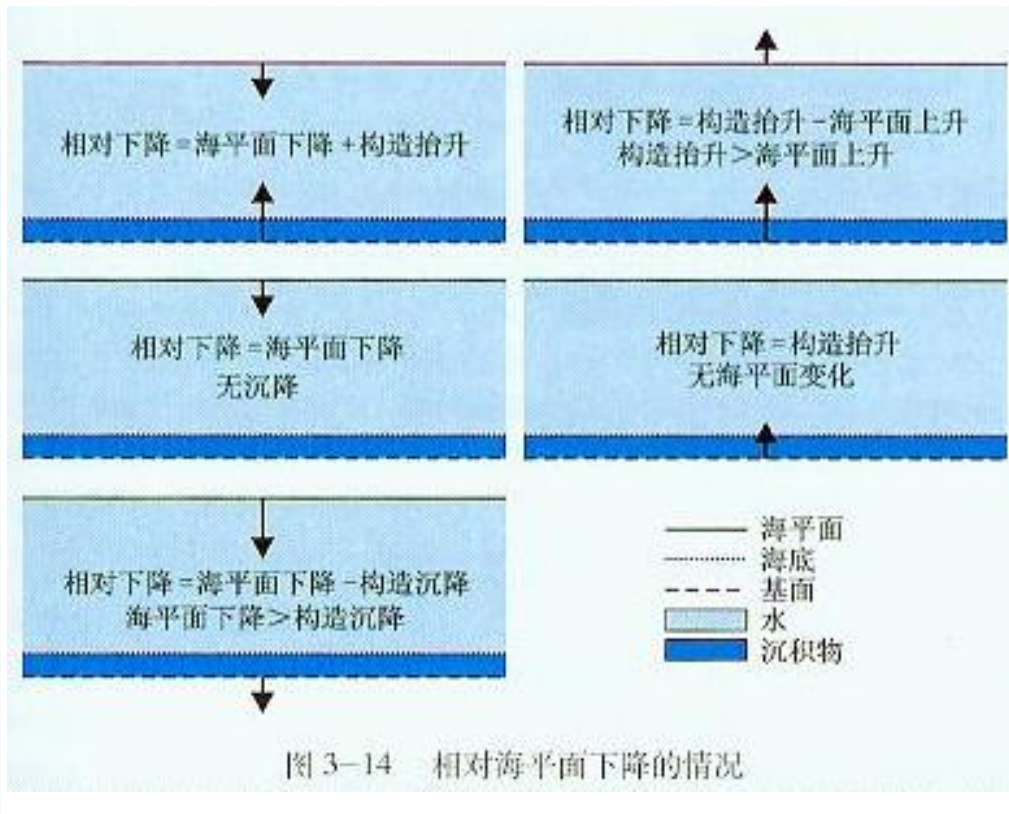
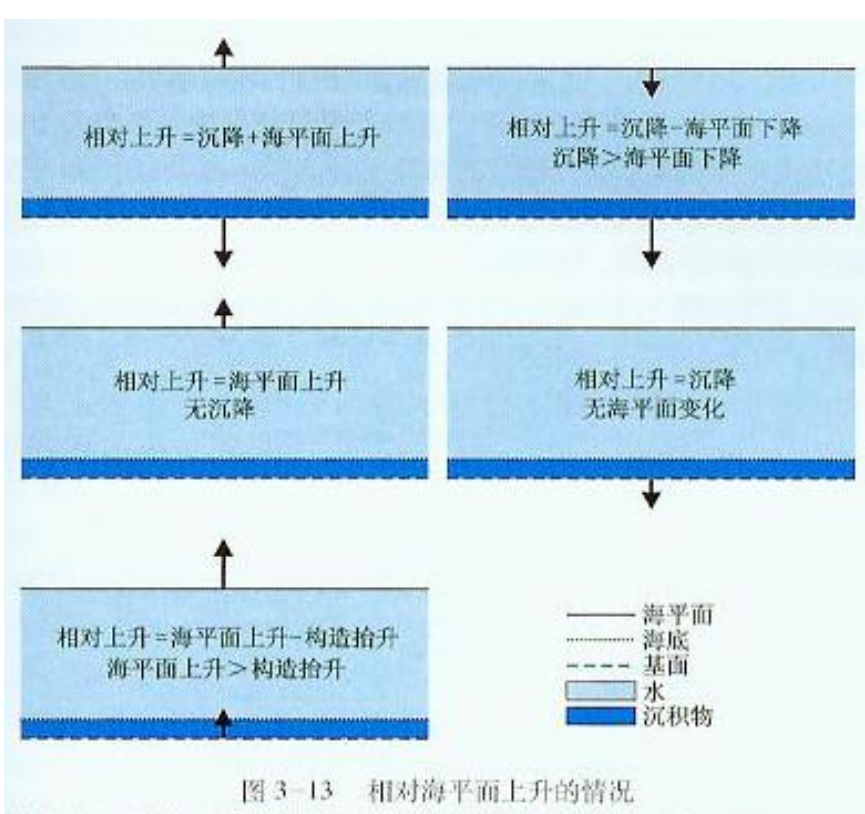


图 3-1 河流、滨岸和陆棚区基准面位置
(据 Emery, 1996)

4、海平面与可容空间的关系

相对海平面上升

相对海平面下降





4、海平面与可容空间的关系

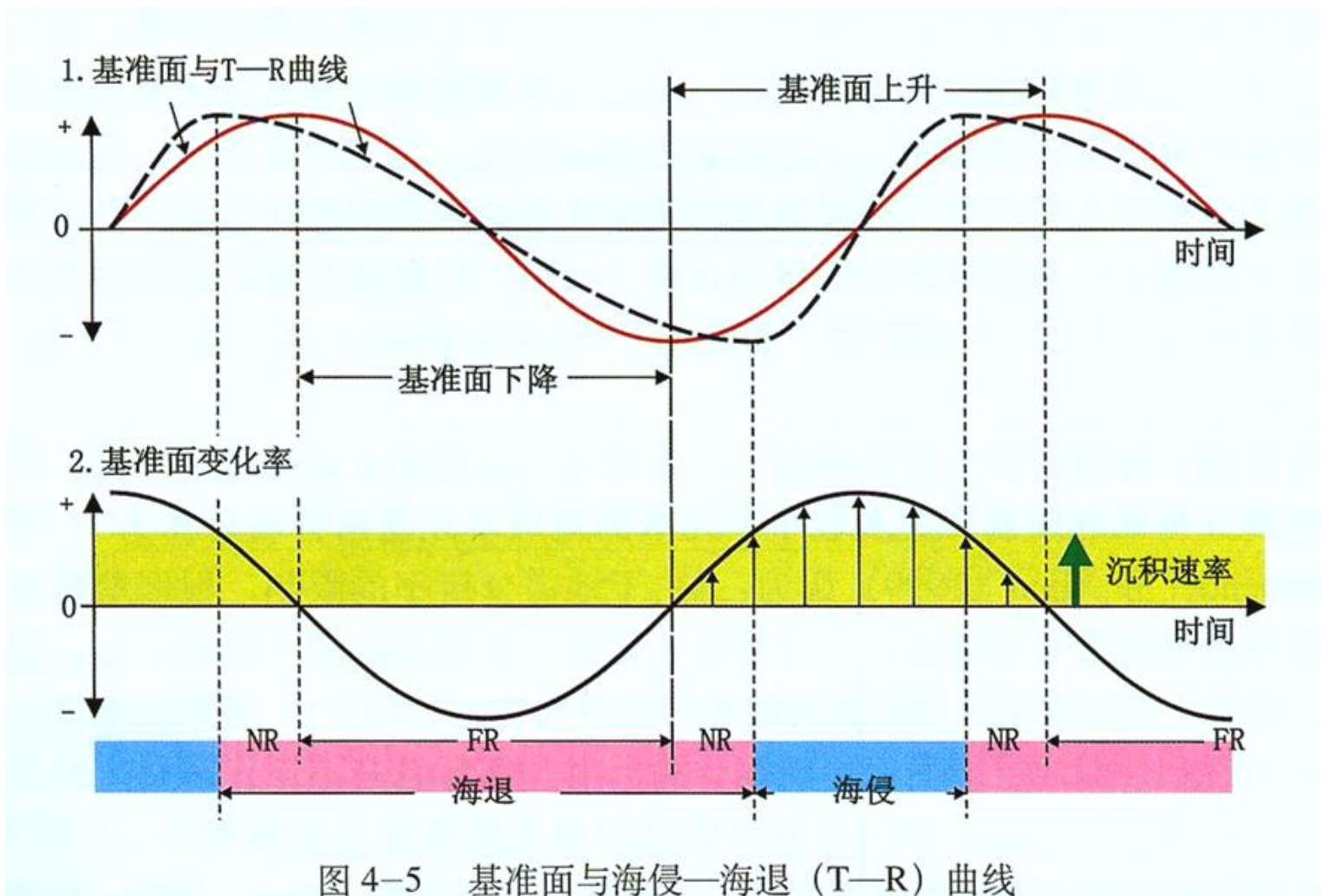


图 4-5 基准面与海侵—海退 (T-R) 曲线



第一章 层序地层学的基本概念与基础

- **二、沉积盆地与沉积作用**
 - 1. 沉积盆地与盆地边缘**
 - 2. 沉积作用的异源控制因素**
 - 3. 沉积物供给与沉积能量变化**
 - 4. 沉积作用定量方程**



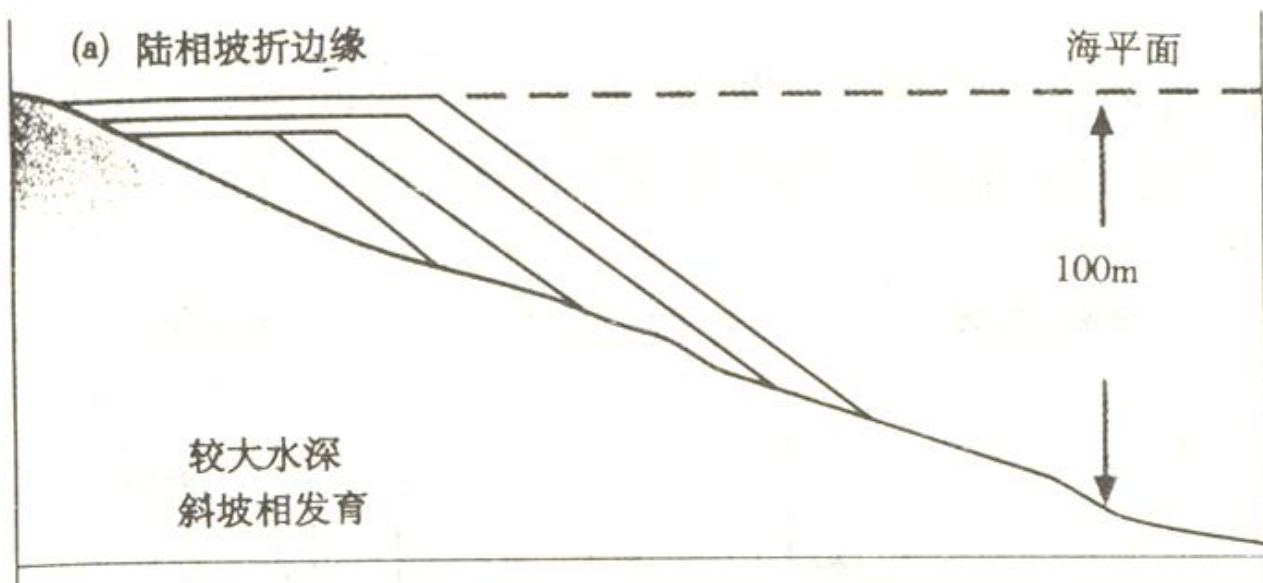
1、沉积盆地与盆地边缘

- **盆地 (Basin)：**指四周高（山地或高原）、中部低（平原或丘陵）的盆状地形。
- **沉积盆地：**是指沉积岩或沉积物分布的地区。
- **盆地边缘类型：**
 - 根据盆地边缘的地形坡度、沉积物沉积方式、古水深以及构造活动状况，可分为：
 - 1) 陆棚坡折边缘(shelf-break margin)
 - 2) 缓坡边缘(ramp margin)
 - 3) 裂谷边缘(rift margin)
 - 4) 前陆盆地(foreland basin)
 - 5) 生长断层边缘(growth fault margin)



盆地边缘类型：

- 1) 陆棚坡折边缘
 - (1) 沉积水深较深
 - (2) 具有明显地形坡折
 - (3) 发育前积斜坡
 - (4) 海平面下降期，下切谷、海底扇

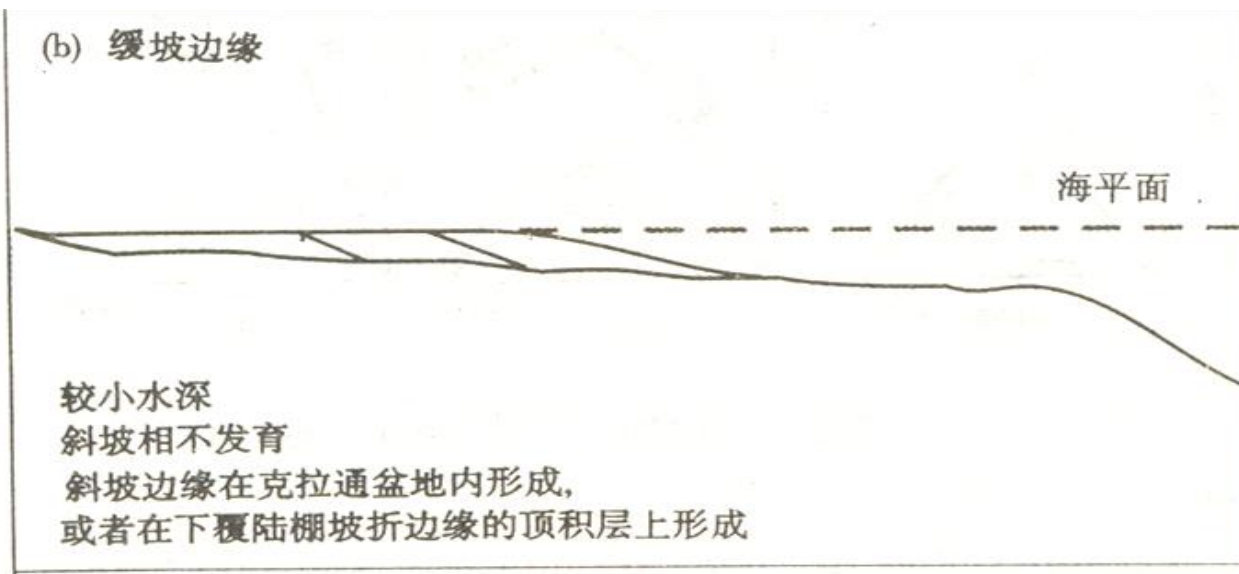




盆地边缘类型：

• 2) 缓坡边缘

- (1) 沉积水深较浅、风暴和沿岸流占主导作用
- (2) 沉积界面角度常低于1度
- (3) 低位沉积时期缺少深水浊流沉积
- (4) 硅质碎屑岩缓坡边缘盆地，浊积物-三角洲前缘滑塌，而不是独立的海底扇



盆地边缘类型:

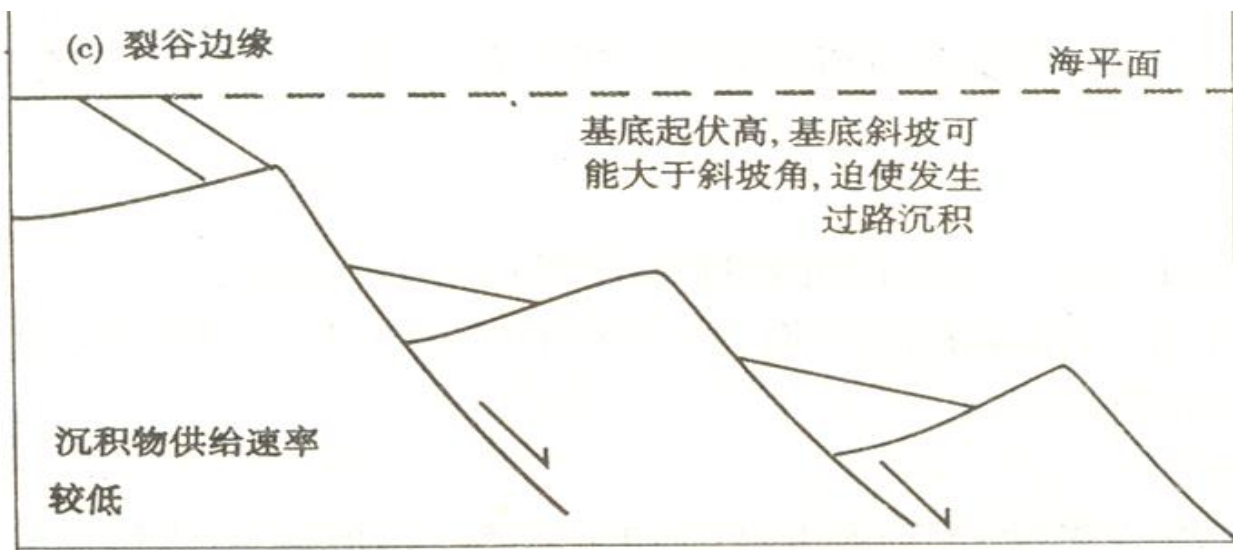
• 3) 裂谷边缘

(1) 拉伸性断层明显影响了古地貌和沉积物的输入速率。

(2) 沉积物可容空间的展布主要受控于构造活动

(3) 盆地边缘到中央, 沉降速率加大

(4) 盆地边缘的转换带控制了沉积物输入的位置



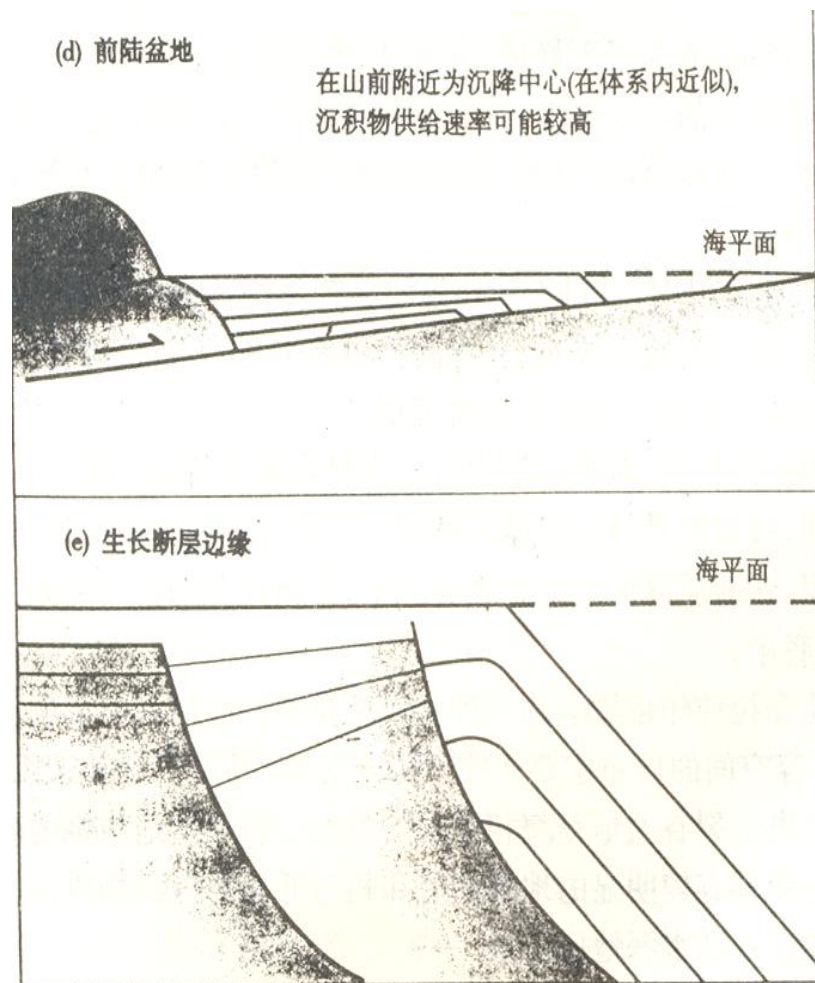
盆地边缘类型:

• 4) 前陆盆地

- 沉积物供给方式 (冲断带、轴向供源) 控制了沉积作用

• 5) 生长断层边缘

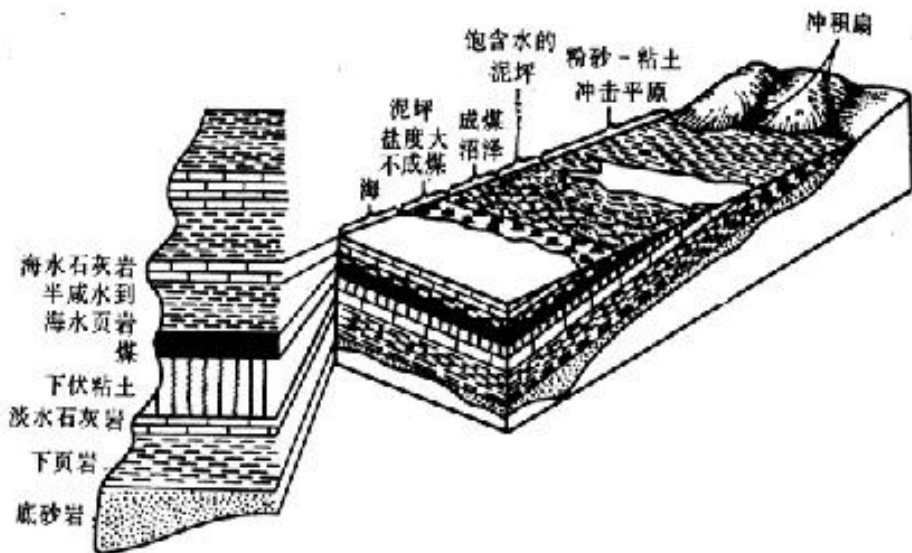
- 同沉积伸展断层为特征, 沉积作用受断层的活动性以及地形差异性控制



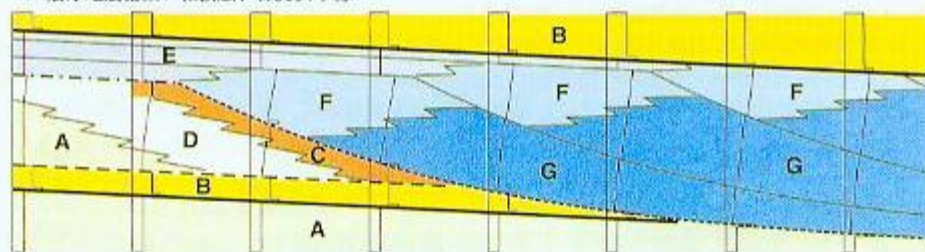


• 2、沃尔索相律—相序递变规律—相律：

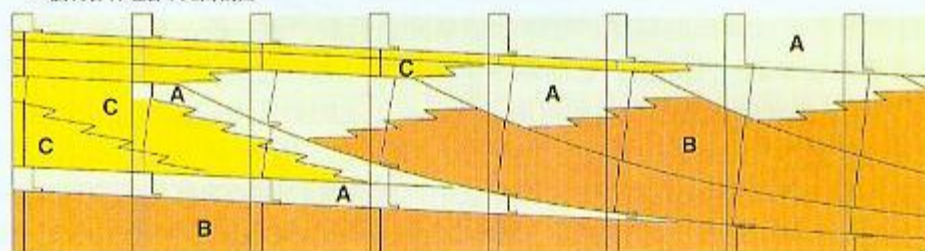
- 定义：只有在横向上成因相近并且紧密相邻而发育着的相，才能在垂向上依次出现而没有间断。
- 相序：在一个连续地层剖面中出现的沉积相的排列



3. 层序地层格架、相接触和古沉积环境

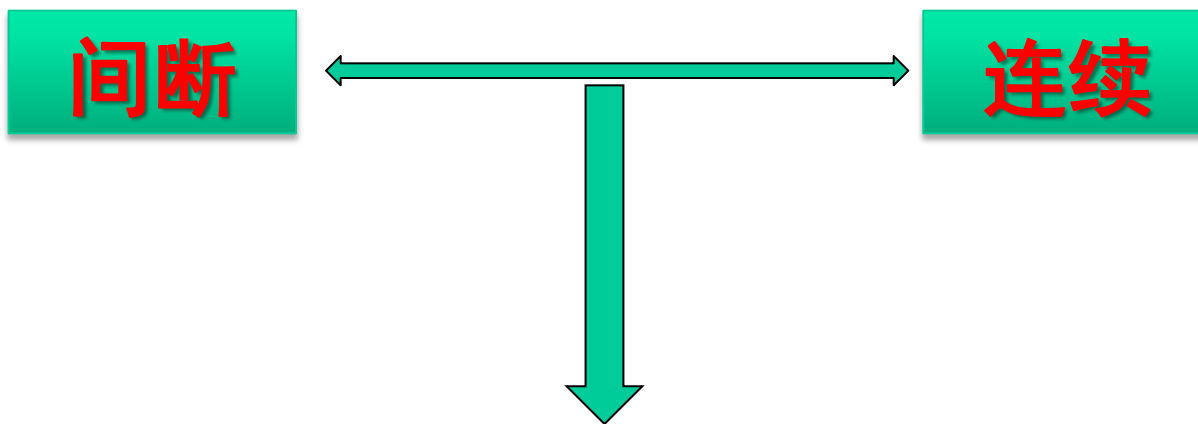


4. 强调岩石地层单元的剖面





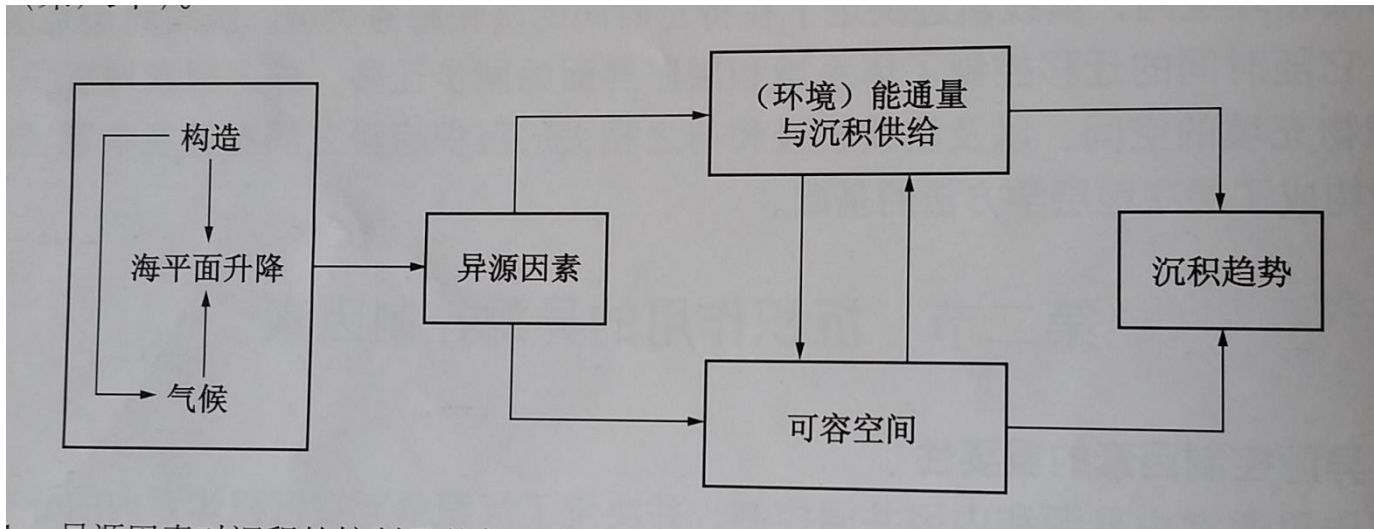
• 2、沃尔索相律—相序递变规律—相律：



间断是绝对的，连续是相对的

• 3、沉积作用的异源控制因素

- 沉积作用：通常受控于异源和内因共同作用。
 - 内因作用：如河道的决口——相尺度表现更明显
 - 异源控制作用：沉积盆地-层序地层学
 - 基本因素：气候、构造、海平面升降
 - 相关因素：沉积环境能量、沉积物供给、可容空间等



• 3、沉积作用的异源控制因素

• 沉积物供给与沉积环境能量

- 沉积物供给超出风力搬运能力（能量）——沉积
- 沉积物供给小于风力搬运能力（能量）——侵蚀

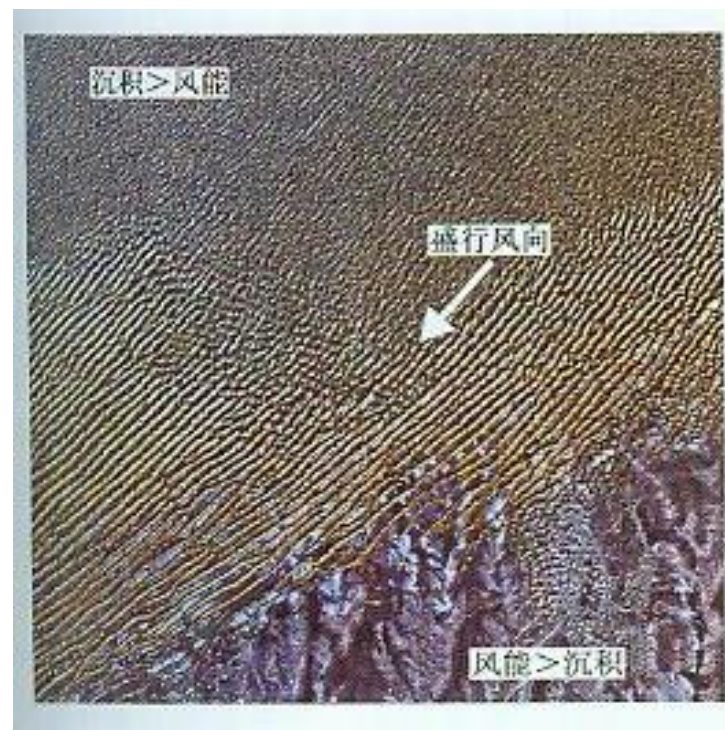
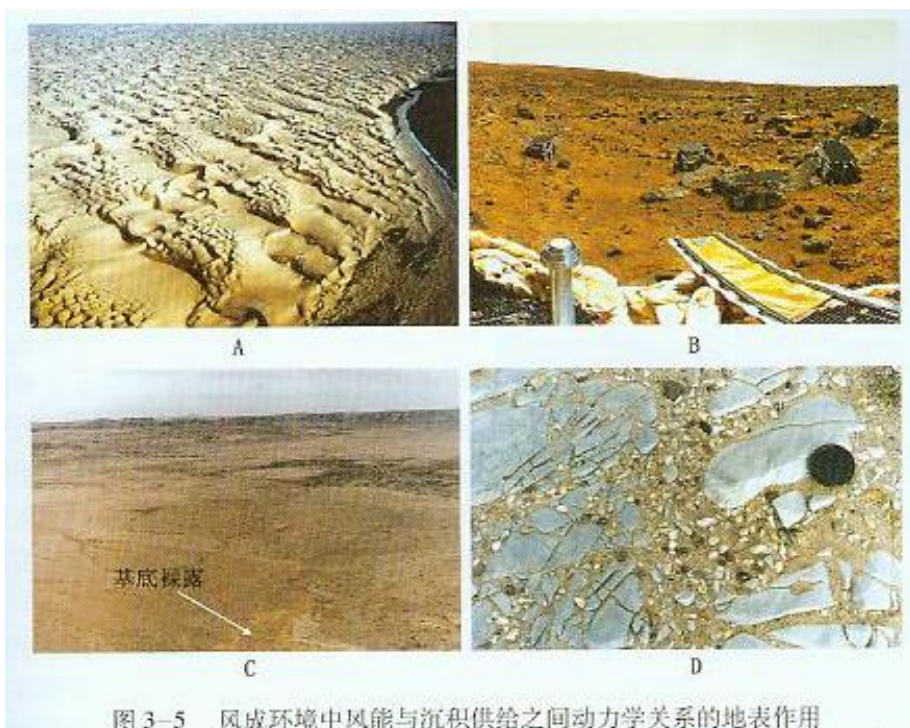
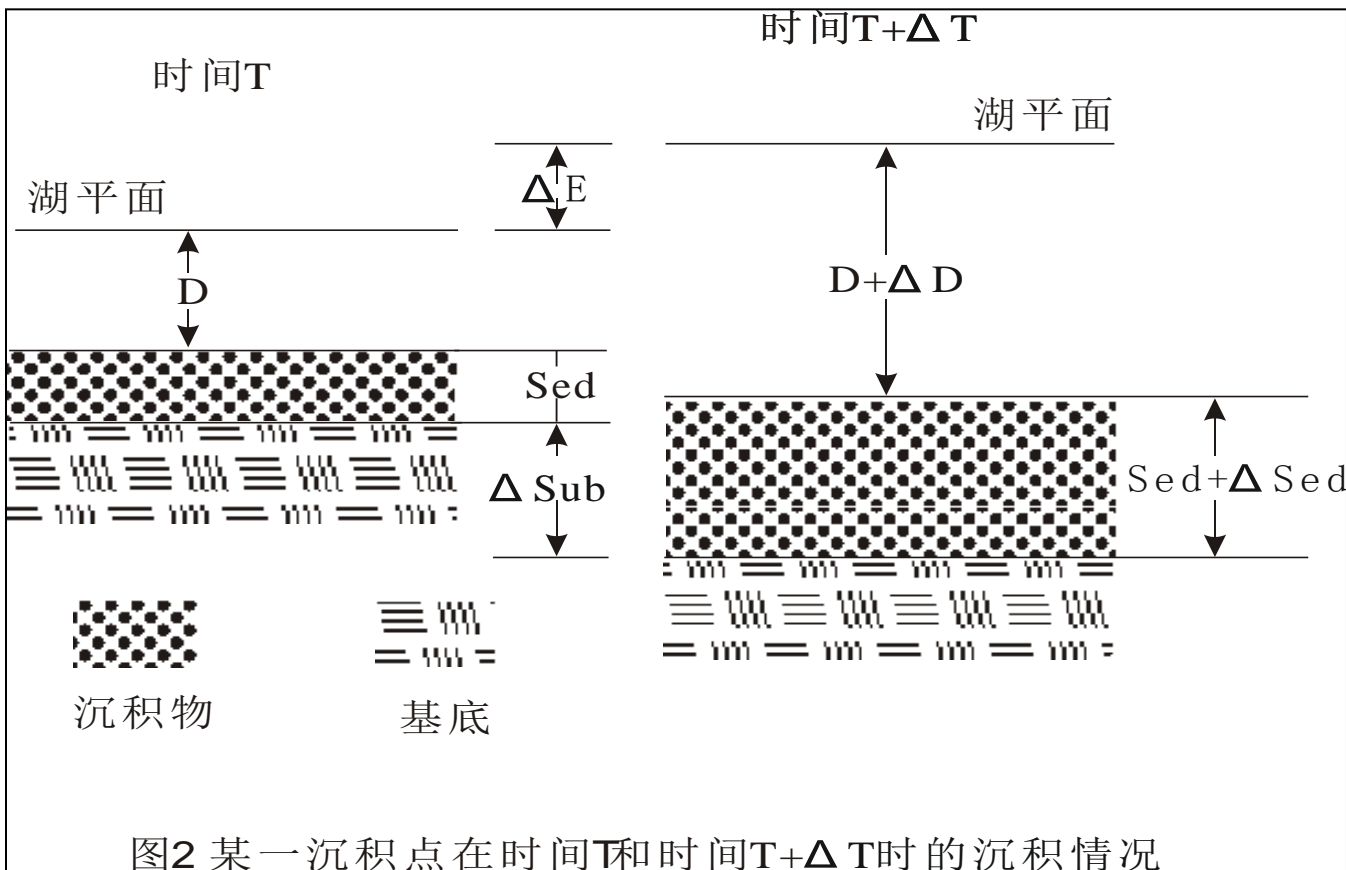


图 3-5 风成环境中风能与沉积供给之间动力学关系的地表作用



• 4、沉积作用的基本方程

- 可容空间、水深、绝对海平面、相对海平面等的定量关系





• 4、沉积作用的基本方程

D.J.Cant针对海洋盆地沉积演化过程中的海进、海退的控制因素提出了海洋沉积作用的基本方程：

$$\Delta\text{Sub} + \Delta\text{E} - \Delta\text{Sed} = \Delta\text{D}$$

$$\Delta\text{A} = \Delta\text{D} + \Delta\text{sed} = \Delta\text{Sub} + \Delta\text{E} = \Delta\text{RE}$$

其中 ΔSub ——沉积盆地基底的沉降幅度，基底上升 Δsub 为负值，基底下降为正值

ΔE ——沉积时期绝对海平面的垂直变化，绝对海平面上升 ΔE 为正值，下降为负值

ΔSed ——某一点在某一时期内的沉积厚度

ΔD ——水深变化

ΔRE ——相对海平面的垂直变化

ΔA ——可容空间变化

由上式可以看出，当 $\Delta\text{D} > 0$ ，反映某一时期内沉积盆地的水体加深，相对海平面上升，发生海侵过程；当 $\Delta\text{D} < 0$ ，反映某一时期内沉积盆地的水体变浅，相对海平面下降，发生海退过程。

• 4、沉积作用的基本方程

- $\Delta T:\Delta A=\Delta D +\Delta sed=\Delta Sub+\Delta E$
- 可容空间是海平面升降变化和构造沉降二者的函数，而沉积物厚度和水深仅是其表现形式。

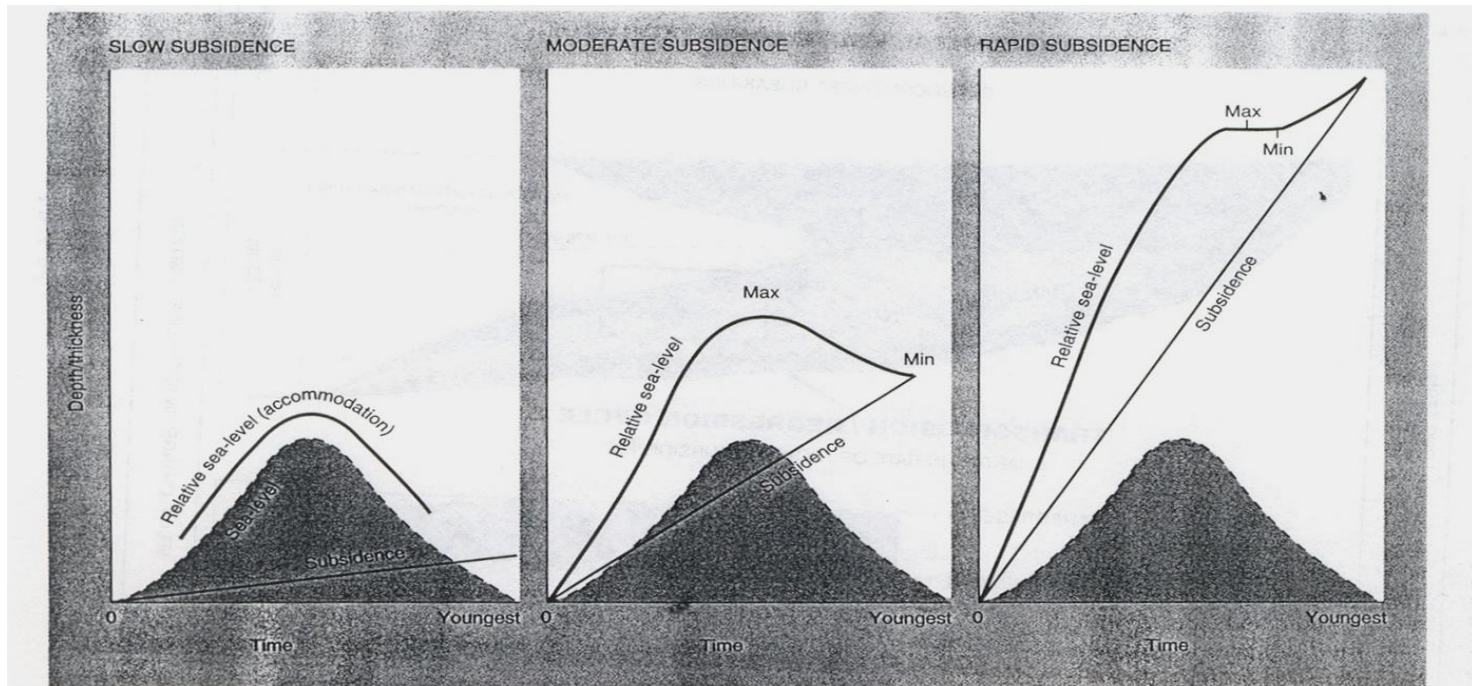


Fig. 2.8 Accommodation space through time (from Jervey, 1988)



第一章 层序地层学的基本概念与基础

- 三、滨线轨迹与海侵、海退
 1. 定义
 2. 正常海退与强制海退



1、滨线轨迹与海侵、海退的定义

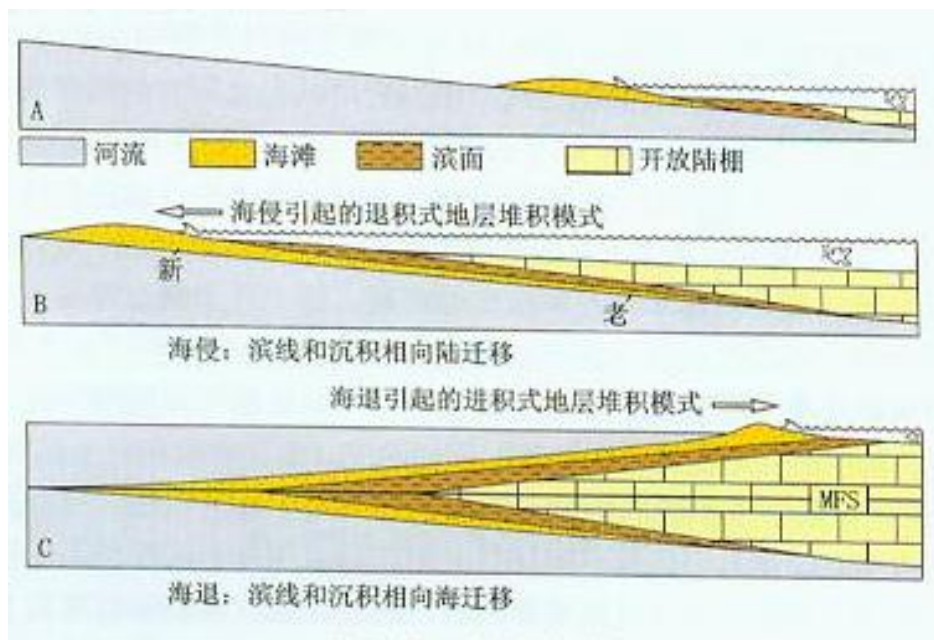
- 滨线 (Shoreline) : 海岸水面线, 海岸线
- 滨线轨迹:
- 海侵与海退





1、滨线轨迹与海侵、海退的定义

- 海侵 (Transgression)：滨线向陆迁移，与之相应的发生沉积相带的向陆迁移和邻近滨线区域水体的加深。
- 沉积作用方程： $\Delta V_s / \Delta t < \Delta V_a / \Delta t$
- $\Delta V_s / \Delta t$ --沉积物输入量、 $\Delta V_a / \Delta t$ --可容空间的变化率





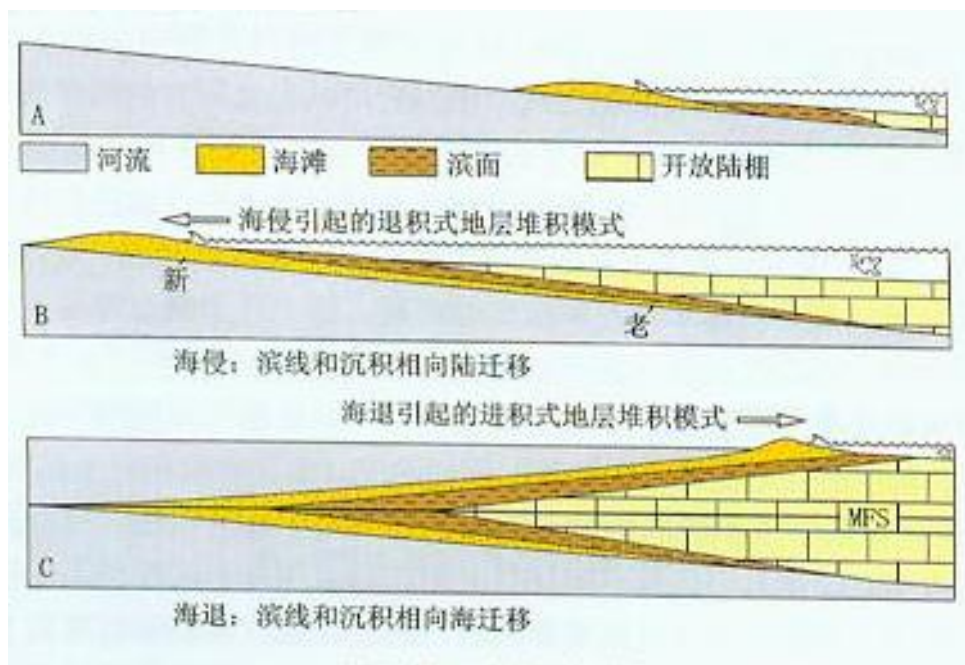
1、滨线轨迹与海侵、海退的定义

•海退 (Regression)：滨线向海迁移，与之相应的发生沉积相带的向海迁移和邻近滨线区域水体的变浅。

•沉积作用方程： $\Delta V_s / \Delta t > \Delta V_a / \Delta t$

• $\Delta V_s / \Delta t$ --沉积物输入量

• $\Delta V_a / \Delta t$ --可容空间的变化率





1、滨线轨迹与海侵、海退的定义

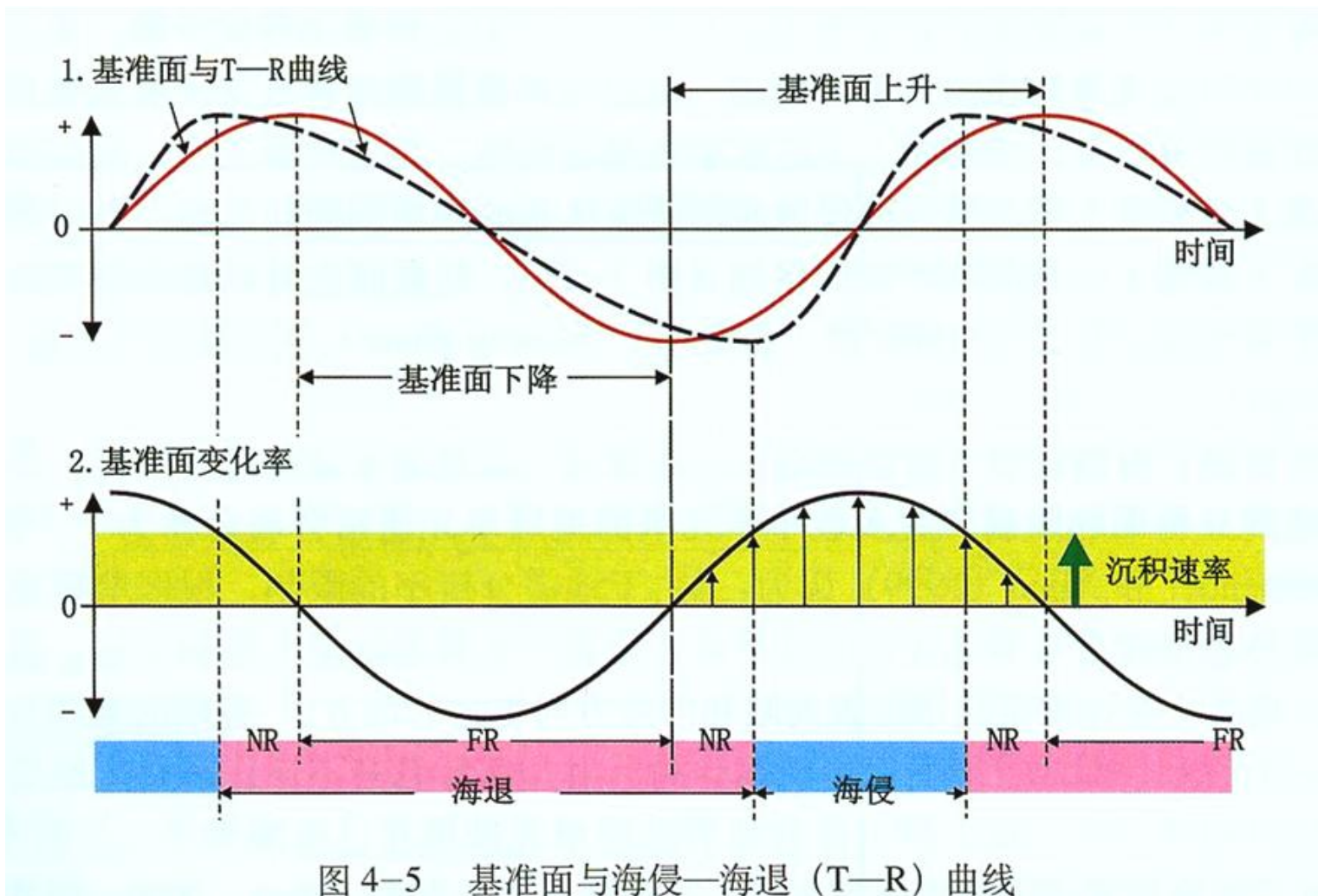


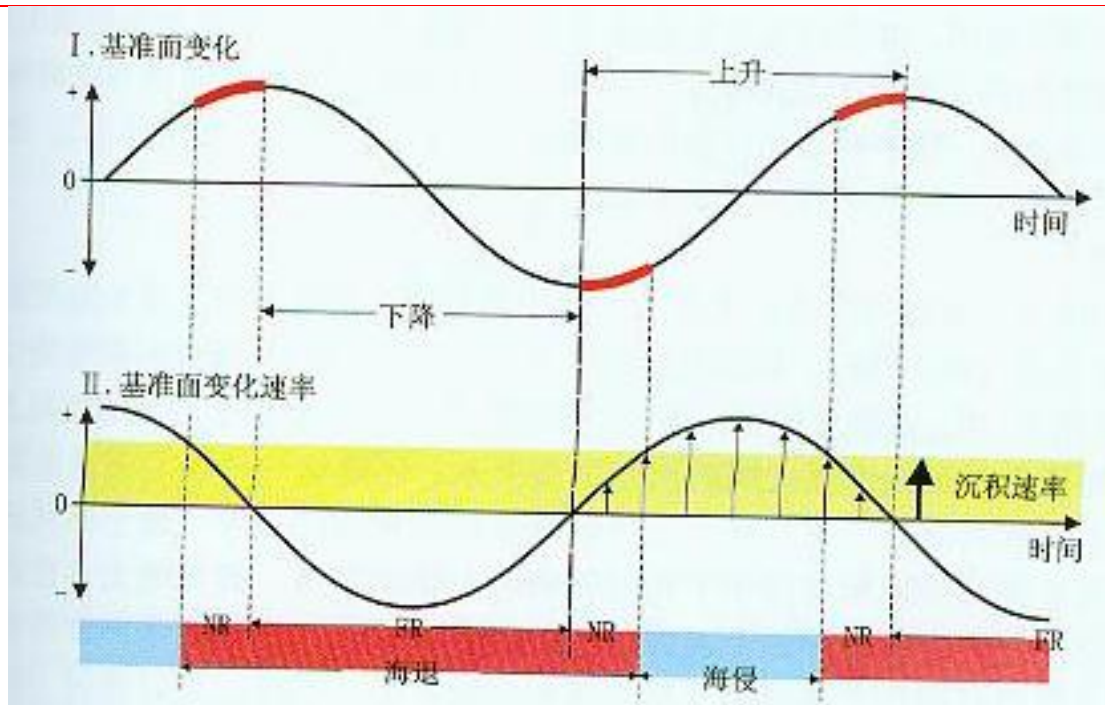
图 4-5 基准面与海侵—海退 (T-R) 曲线



2、正常海退与强制海退

•海退类型:

- 正常海退 (Normal regression): 基于沉积物供给引起的海退
- 强制海退 (Forced Regression) : 基于基准面下降引起的海退





2、正常海退与强制海退

- 正常海退：如果沉积物注入量 (ΔV_s) 超过了沉积物容纳空间的增长量 (ΔV_a)。

$$\text{即 } \Delta V_s / \Delta t > \Delta V_a / \Delta t$$

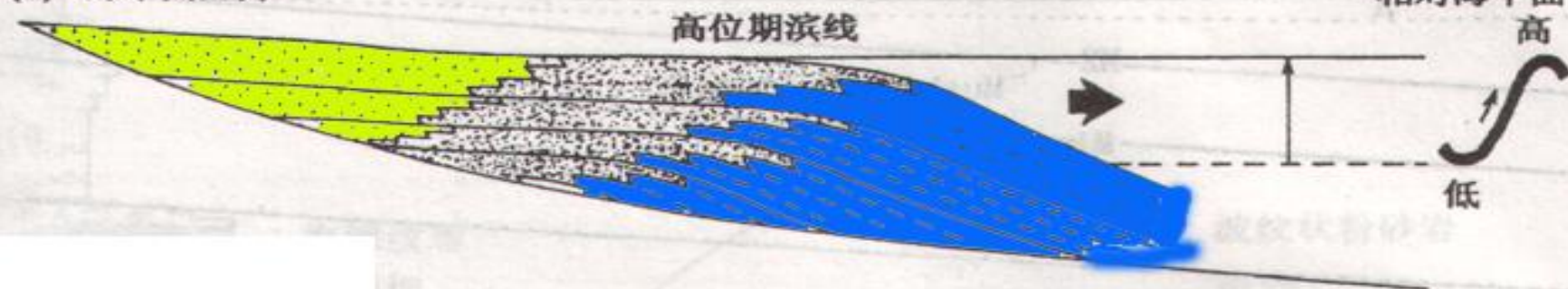
$\Delta V_s / \Delta t$ —沉积物输入量

$\Delta V_a / \Delta t$ —可容空间的变化率

海平面：相对稳定或上升

岸线：向海推进——正常海退

(a) 海平面上升



2、正常海退与强制海退

• 正常海退:

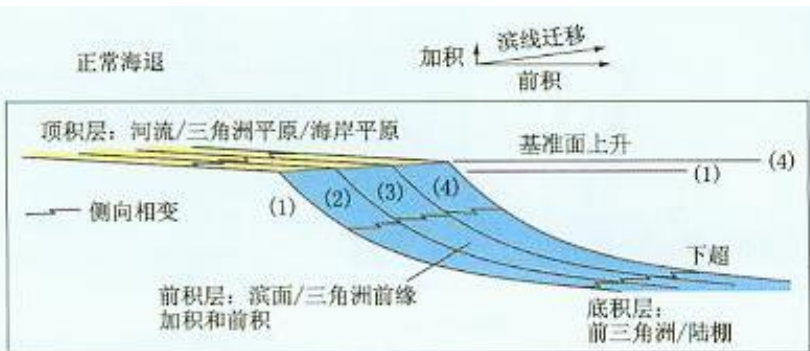


图 3-35 河流—浅海环境中前积和加积作用引起的正常海退期滨线迁移轨迹



图 3-36 正常海退三角洲 (河控三角洲) 沉积序列, 从浅海泥岩、砂岩 (陆架、前三角洲、三角洲前缘) 到海岸及河流沉积 (含铁砂岩, 犹他州) 的整合接触

箭头指示三角洲前缘砂体与上覆含煤的三角洲平原及河流沉积之间的整合接触。这一接触关系标志着三角洲前积层的底界



图 3-37 浪控开放滨线上滨面加积砂岩。该套波浪地层被认为是正常海退体系晚期抬升 (高位) 沉积的一部分 (Rubidge 等, 2000), Karoo 盆地 Eccra 群 Waterford 组 (晚寒武世)

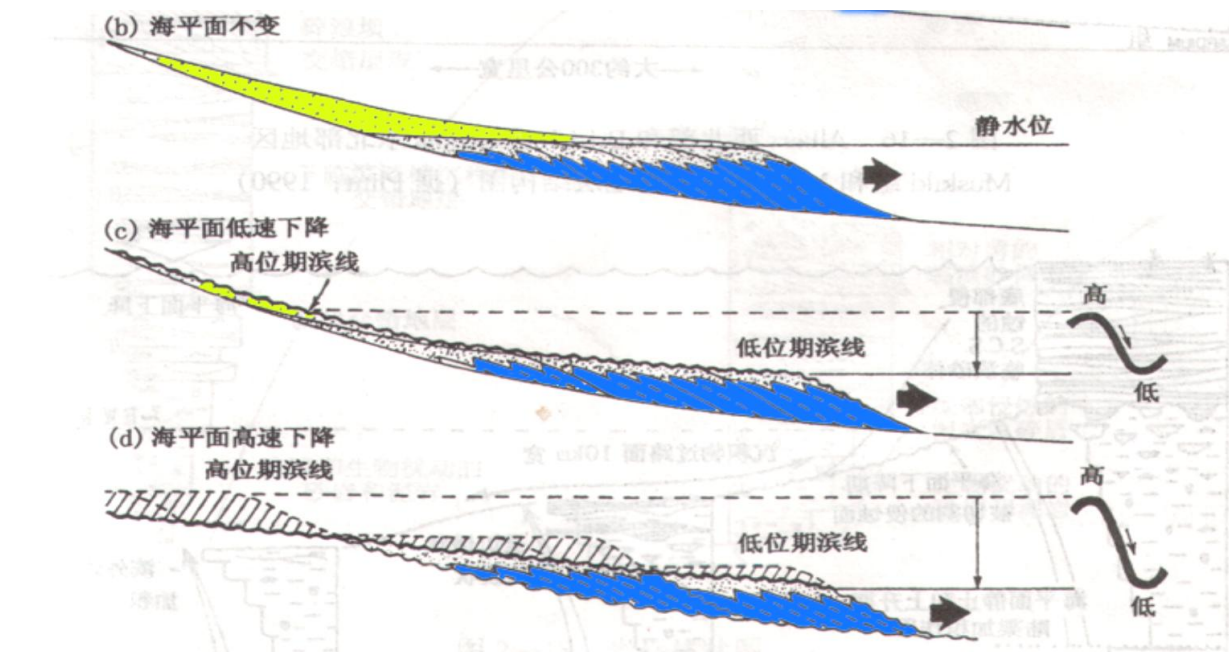


图 3-38 正常海退海岸加积沉积砂体规模巨大, 地层角度平缓, 为开放滨线前滨沉积的典型特征。海岸砂体沉积覆于向上变粗的陆架和滨面沉积 (位于这一剖面的地下部分), 并被河流—洪泛平原相所覆盖, 后一种接触关系是岩性突变但整合接触。西加拿大盆地 Castor 地区 Uppermost Bearpaw 组 (早麦斯特里希特期) 砂岩



2、正常海退与强制海退

- 强制海退：在海平面下降期，可容空间总是呈减小趋势，即 $\Delta V_a / \Delta t < 0$ ， $\Delta V_s / \Delta t > \Delta V_a / \Delta t$
- 即使没有沉积物注入，这种关系也成立并发生海退，有沉积物注入更会产生海退，因此，把海平面下降产生的海退称之为强制型海退。





2、正常海退与强制海退

强制海退：

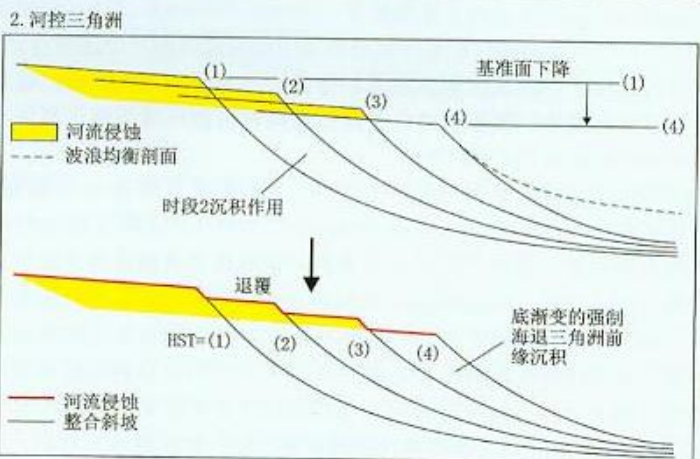
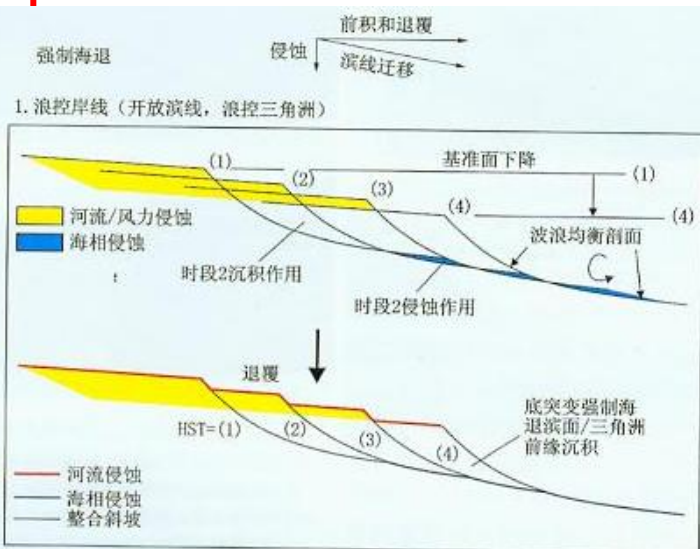


图 3-27 强制海退体系的滨线迁移轨迹 (据 Catuneanu, 2003 修改)



图 3-30 强制海退期河控三角洲沉积序列

犹他州 Panther Tongue。A—从下伏的三角洲前缘向上部前三角洲的整合相变。三角洲前缘砂体向底渐变, 表明三角洲前积过程中无波浪侵蚀作用; B—相对陡峭的三角洲前缘斜坡 (图中以 $5^{\circ} - 15^{\circ}$ 角向右倾斜), 其坡度大于波浪侵蚀均衡剖面坡度 (约 0.3°), 三角洲前积过程中无波浪侵蚀作用, 三角洲前缘顶部为海侵滞留沉积 (砂岩层, 见图中箭头) 覆盖, 其后又被海侵泥岩覆盖, 因此剖面上未见三角洲平原沉积



现代强制海退三角洲浪滩地层叠置样式 (照片由 J. En)



2、正常海退与强制海退

正常海退与强制海退的区别

1) 前积体分布位置。

强制海退沉积单元由沉积物过水区把它与刚沉积下来的下伏前积单元分开，孤立分布于下伏前积单元外侧。

正常海退前积单元相反，这里没有出现过水区。

2) 前积沉积层上界面的坡度：

强制海退前积单元由多个小的阶梯状递降序列组成，具有向海倾斜，形成一个向海倾斜的斜坡；

正常海退单元顶面或者与下伏地层平行，或具一个较缓的坡度

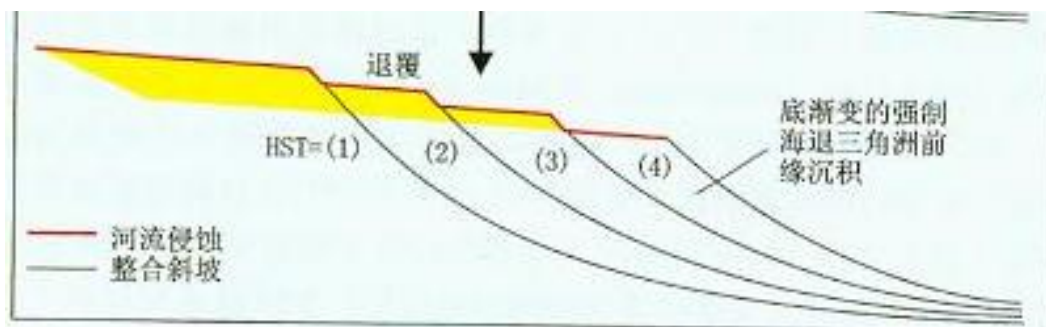
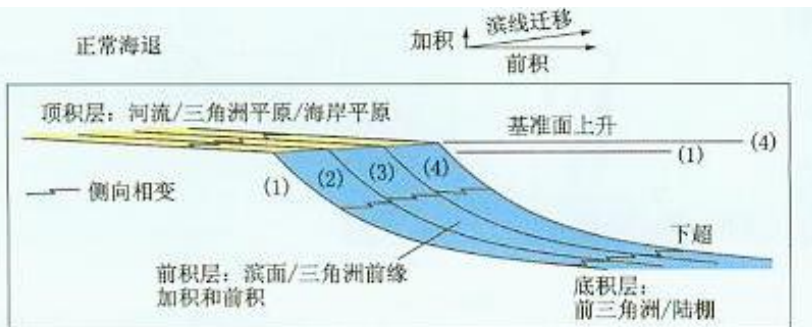


图 3-35 河流—浅海环境中前积和加积作用引起的正常海退期滨线迁移轨迹

图 3-27 强制海退体系的滨线迁移轨迹 (据 Catuneanu, 2003 修改)

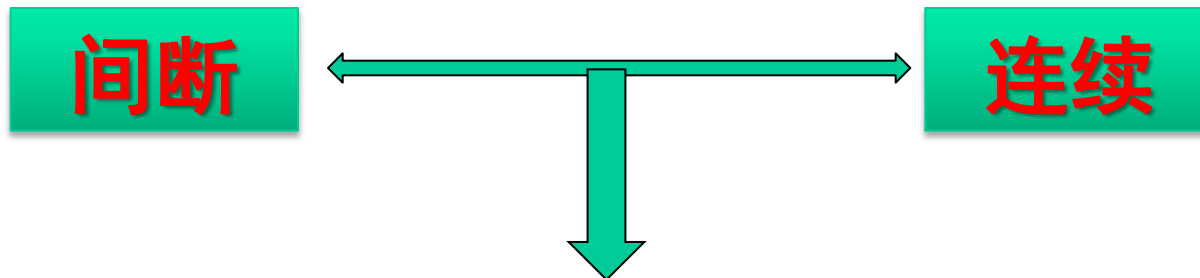


第一章 层序地层学的基本概念和基础

- 四、地层界面与地层终止关系
 - 地层界面
 - 地层终止关系

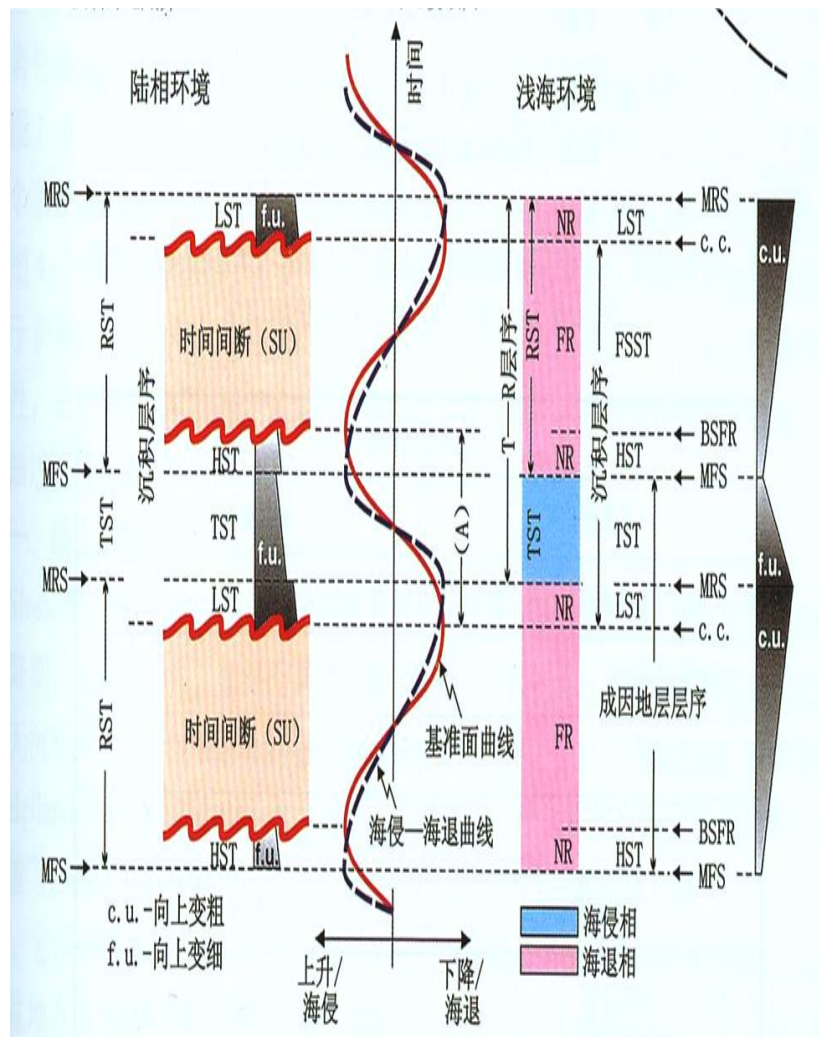
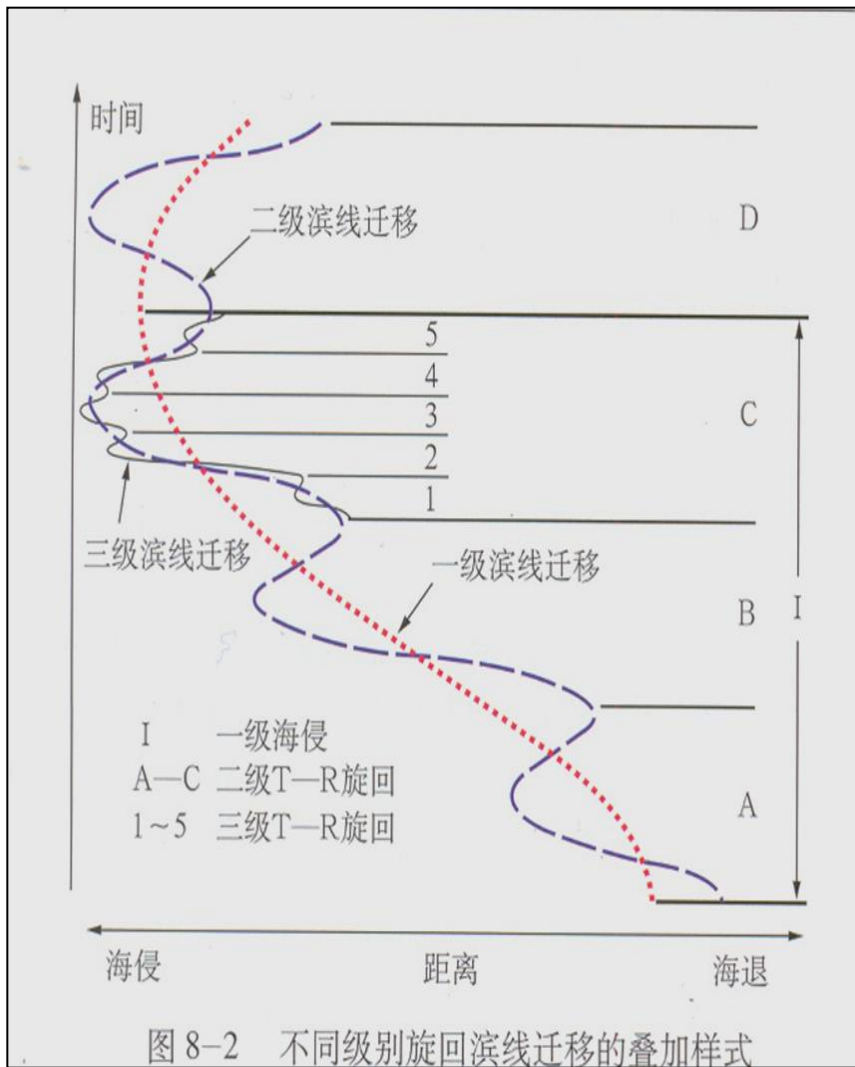


- **地层界面：记录了沉积事件随时间的变化，由基准面变化与沉积作用的相互影响而形成。**



间断是绝对的，连续是相对的

•特殊的地层界面——层序地层界面





•地层界面识别的原则:

- 地层接触关系（整合或不整合）
- 与界面接触的相的属性
- 界面上下地层所记录沉积趋势（海退、海侵）
- 界面或与界面接触的相标志（岩石学、遗迹化石等）特征
- 与特定界面相关的地层终止特征



• **地层终止关系：**是地层与其终止的界面之间的几何关系。

• **地层终止类型：**

- 削截 (Truncation)
- 顶超 (Toplap)
- 上超 (Onlap)
- 下超 (Downlap)
- 退覆 (Offlap)

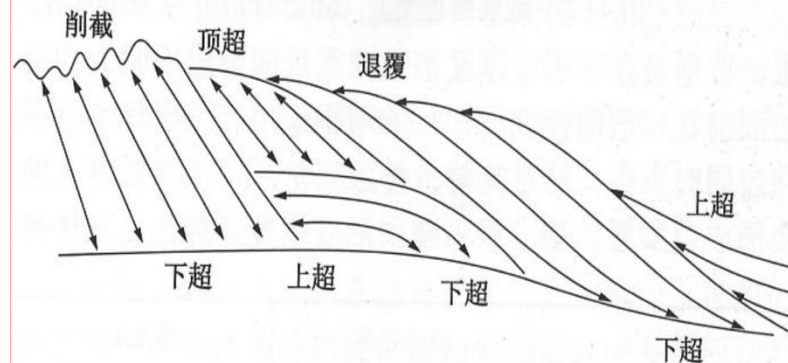


图 4-1 地层终止类型 (据 Emery 和 Myers, 1996 修改)



地层终止关系

特殊沉积趋势

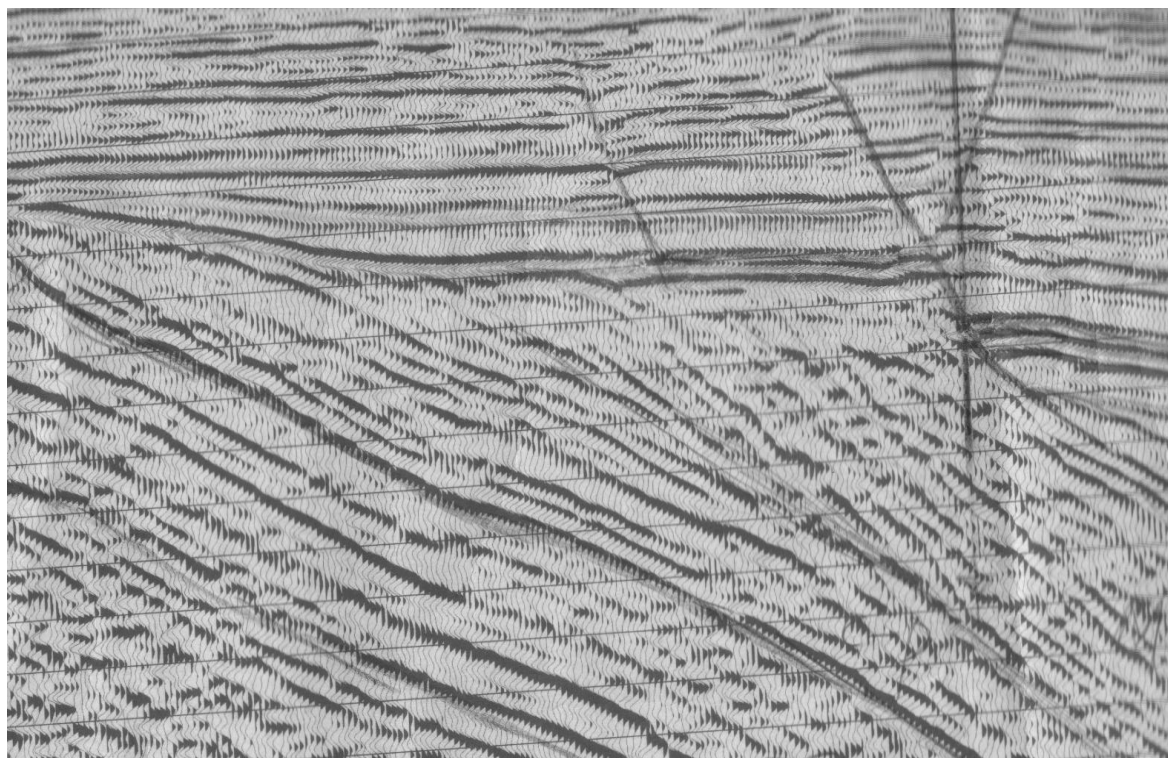
- 推断同沉积滨线的迁移类型
- 重新滨线附近基准面演化史

地层终止	滨线迁移	基准面
削截, 河流体系	强制海退	下降
削截, 海相体系	强制海退, 海侵	下降, 上升
顶超	海退	静止
视顶超	正常海退, 强制海退	上升, 下降
退覆	强制海退	下降
上超, 河流体系	正常海退, 海侵	上升
上超, 滨岸体系	海侵	上升
上超, 海相体系	海侵	上升
下超	正常海退, 强制海退	上升, 下降



• 削截：地层终止于上覆的侵蚀面，揭示了侵蚀地形或角度不整合的发育

类 型		形成环境
上 超 穿 时 型	水进 上超穿时底砾岩	古地形高差大 气候较干燥
	水进 上超穿时砂体	古地形平缓 气候潮湿
整 一 等 时 型		地形平原化





•顶超：地层向上终止于低角度面，主要是无沉积（沉积物路过）作用的结果，其次可能是由于侵蚀作用形成。

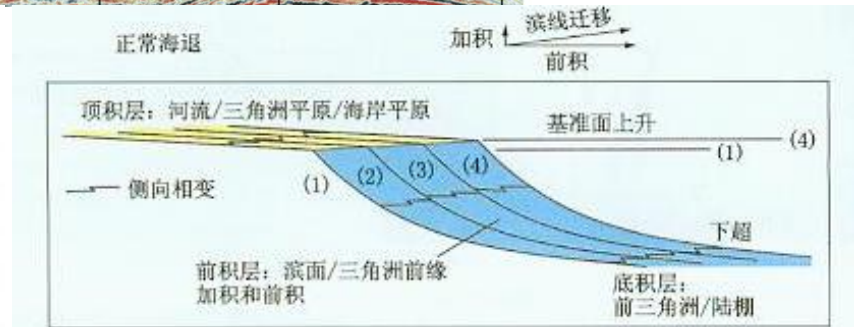
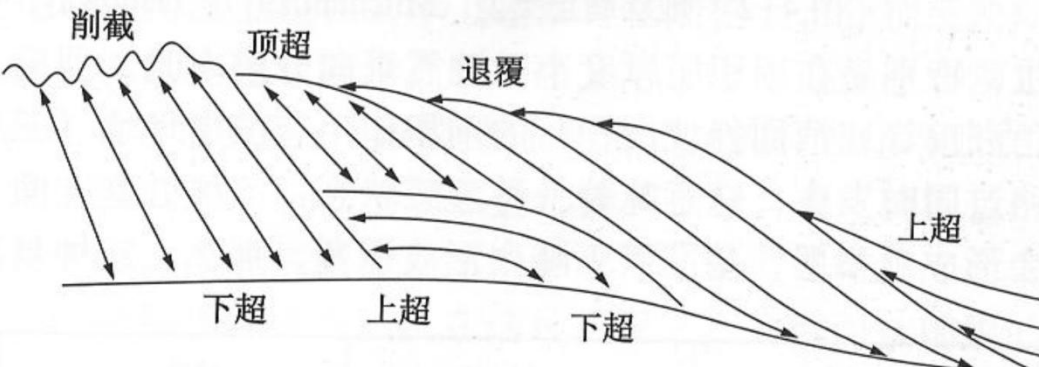
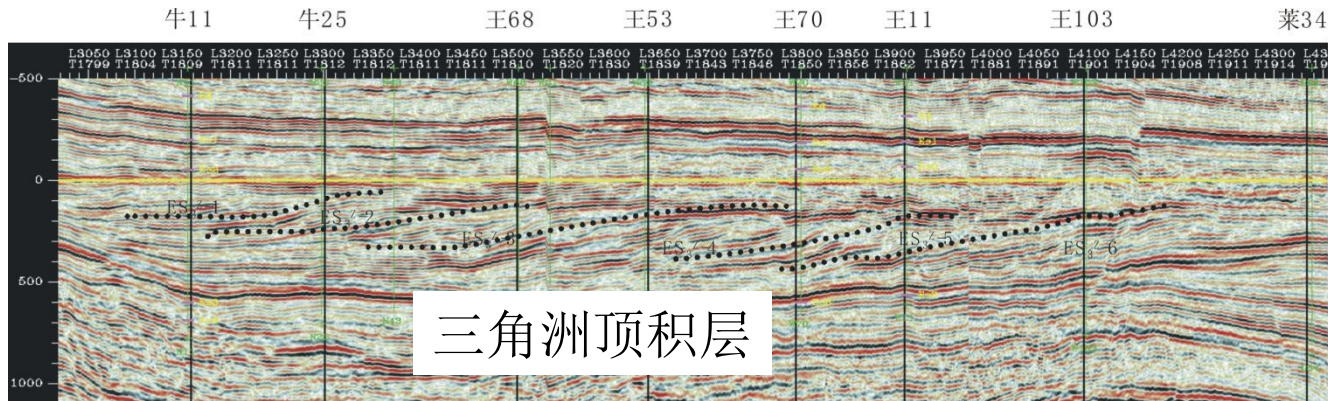


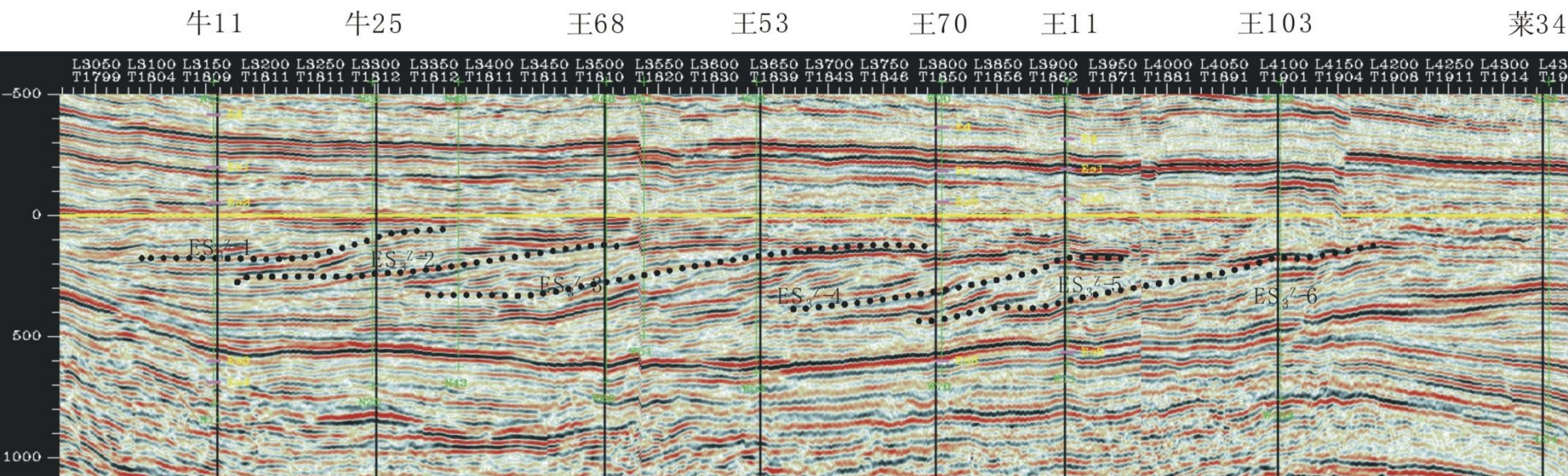
图 3-35 河流—浅海环境中前积和加积作用引起的正常海退期滨线迁移轨迹



- 上超：低角度层终止于倾斜的地层界面上，代表沉积单元在其沉积边界的横向终止
 - 海相上超：海侵期发育于大陆坡
 - 滨岸上超：在海侵滨岸发育的浅水地层上超于海侵冲刷面
 - 河流上超：在基准面上升期，河流体系加积区的上游一端向陆方向迁移，河流相地层上超于陆上不整合面上



• 下超：底超，倾斜地层终止于低角度面，代表沉积单元沉积边界的底部。多见于浅海、深海、湖泊等环境的前积体底部，代表了海（湖）斜坡沉积向海（湖）深部沉积的变化或是无沉积作用。





•退覆：在整合地层层序中，沉积单元的上倾尖灭向滨外推进，新地层总是将其覆盖的老地层暴露一部分。代表着基准面下降，是强制海退的标志。

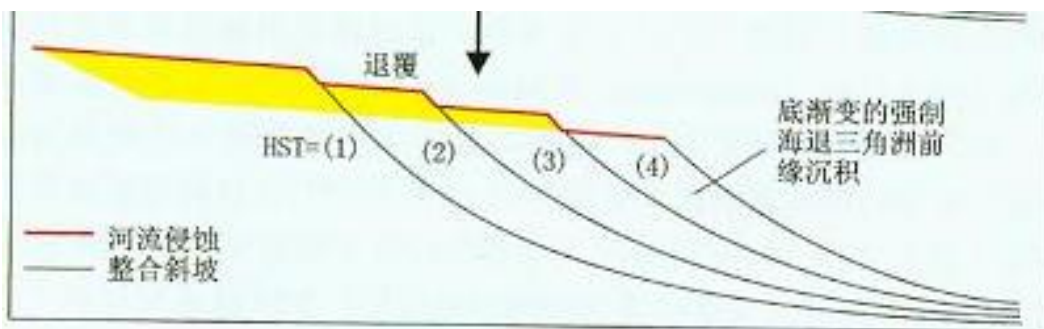
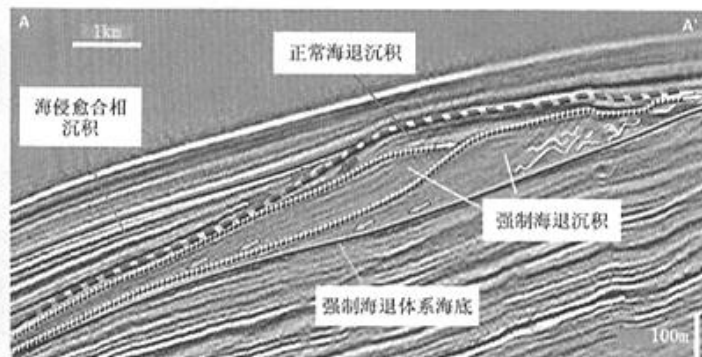
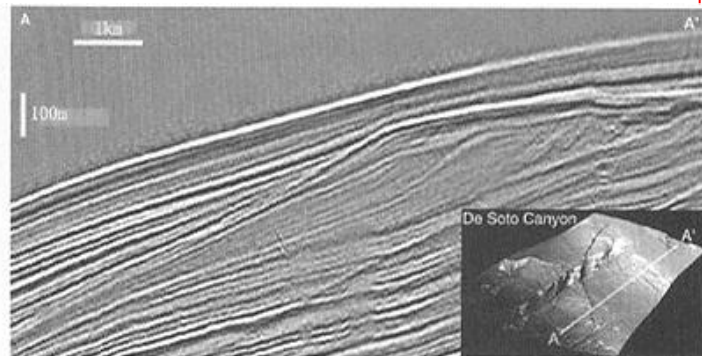


图 3-27 强制海退体系的滨线迁移轨迹 (据 Catuneanu, 2003 修改)



墨西哥湾 De Soto Canyon 地区陆架边缘及愈合相沉积 (未解释和解释好的地震剖面三维图中所示) (据 Posamentier, 2004a 修改, 图片由 H. W. Posamentier 授权)



知识要点

- 基准面与海（湖）平面
- 滨线轨迹与海侵海退
- 地层界面与地层终止关系

研讨题目

- 试阐述在一个海平面变化旋回中的相对海平面、可容空间与沉积趋势的变化特征，并指出可能存在特殊的地层界面及其位置。