



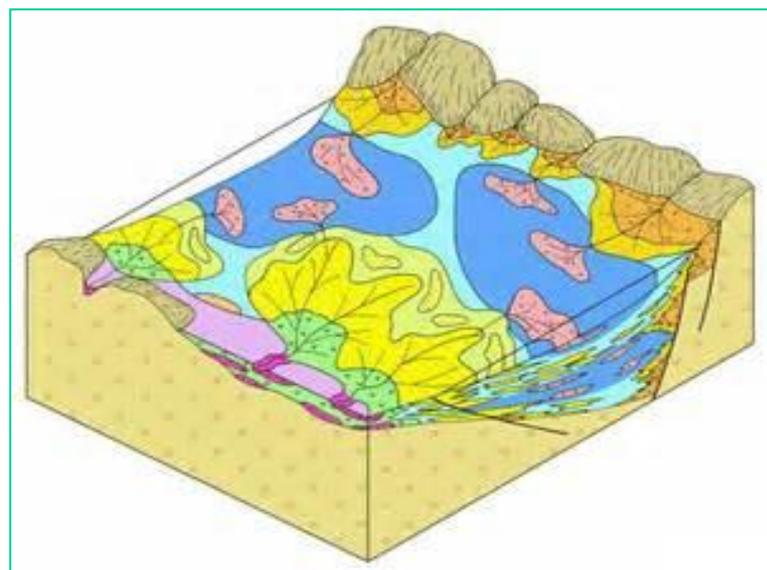
第三章 体系域及其界面

- 一、体系域划分
- 二、高位域及其界面
- 三、下降域及其界面
- 四、低位域及其界面
- 五、湖侵域及其界面
- 六、海退域及其界面

一、体系域划分

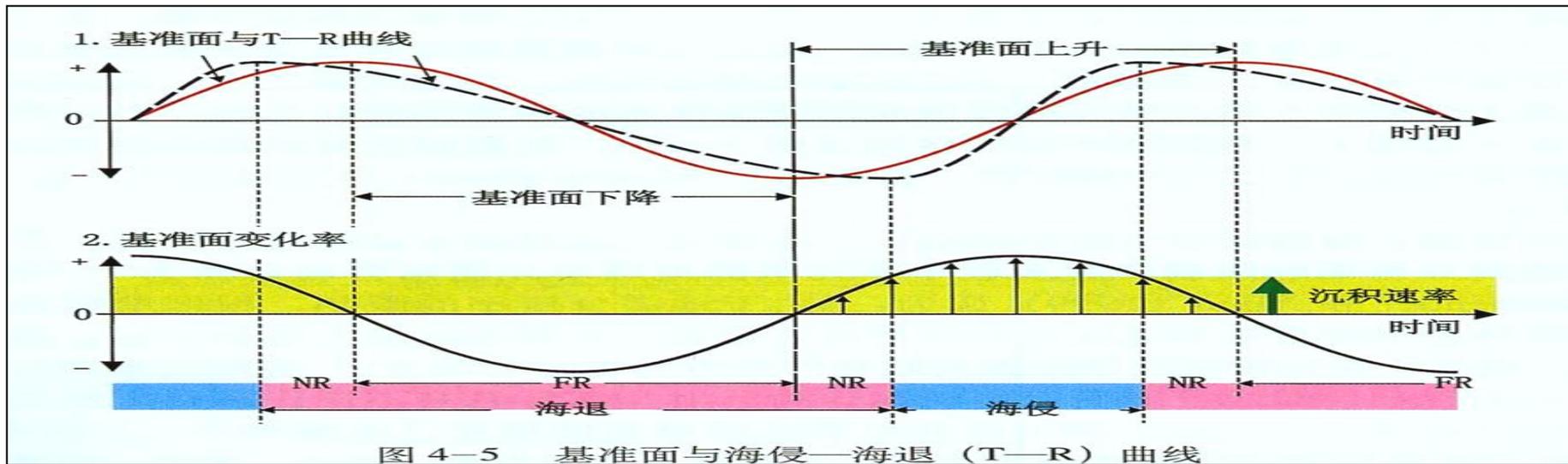
概念：

- 沉积体系 (depositional system): 是指具有成因联系的、沉积相三维空间组合 (Fisher,1967).
- 同一物源、同一水动力系统控制，成因上有联系的沉积体或沉积相在空间上有规律的组合。
- 体系域(systems tract): 是指一系列同期沉积体系的集合体 (Fisher and Brown,1977)

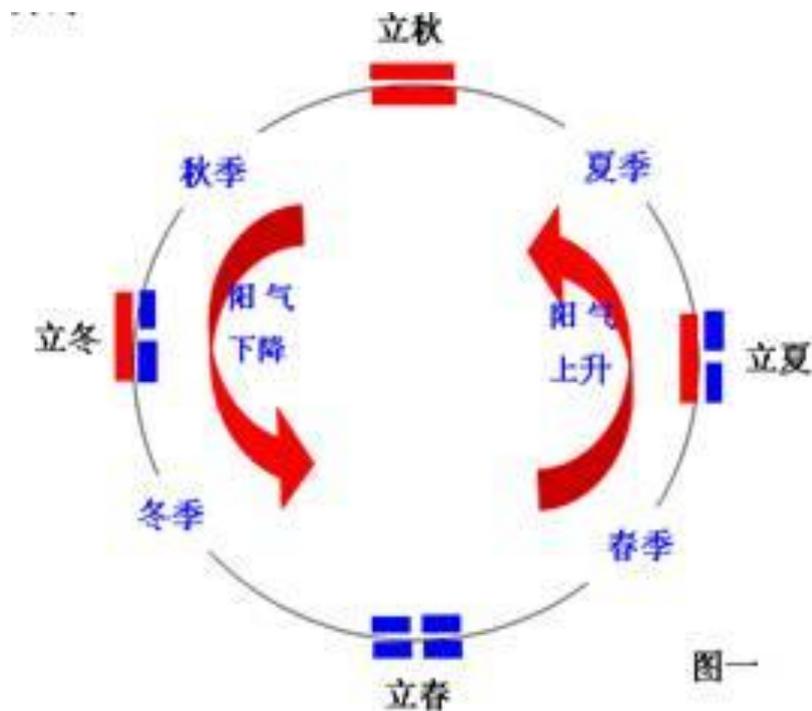


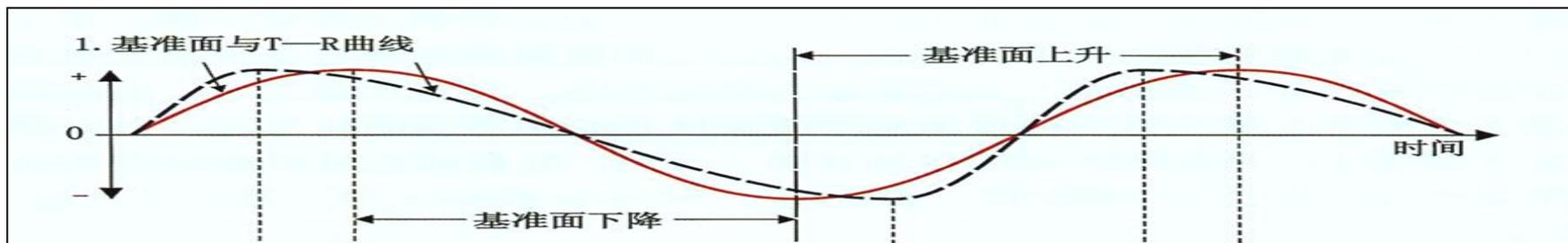
• 体系域的划分：

- 每个体系域都根据边界处的地层几何形态、在层内所处的位置以及内部准层序叠加方式客观地加以定义。
- 每个体系域与全球海平面变化曲线的某一特定时间段相伴生。



◆ **季节的划分:天文季节和气候季节。立春、立夏、立秋、立冬分别作为每一季节起点和终点,其中的大暑和大寒,分别表示一年中最热和最冷的季节。**





- ◆ 基准面-两个阶段：上升——下降——上升——下降
- ◆ T-R曲线-两个阶段：海侵——海退——海侵——海退

• 两条曲线四个特殊阶段：

- 低位上升-海退：低位正常海退
- 高位上升-海退：高位正常海退
- 下降-海退：强制海退
- 上升-海侵：海侵



◆ **基准面-两个半旋回：**

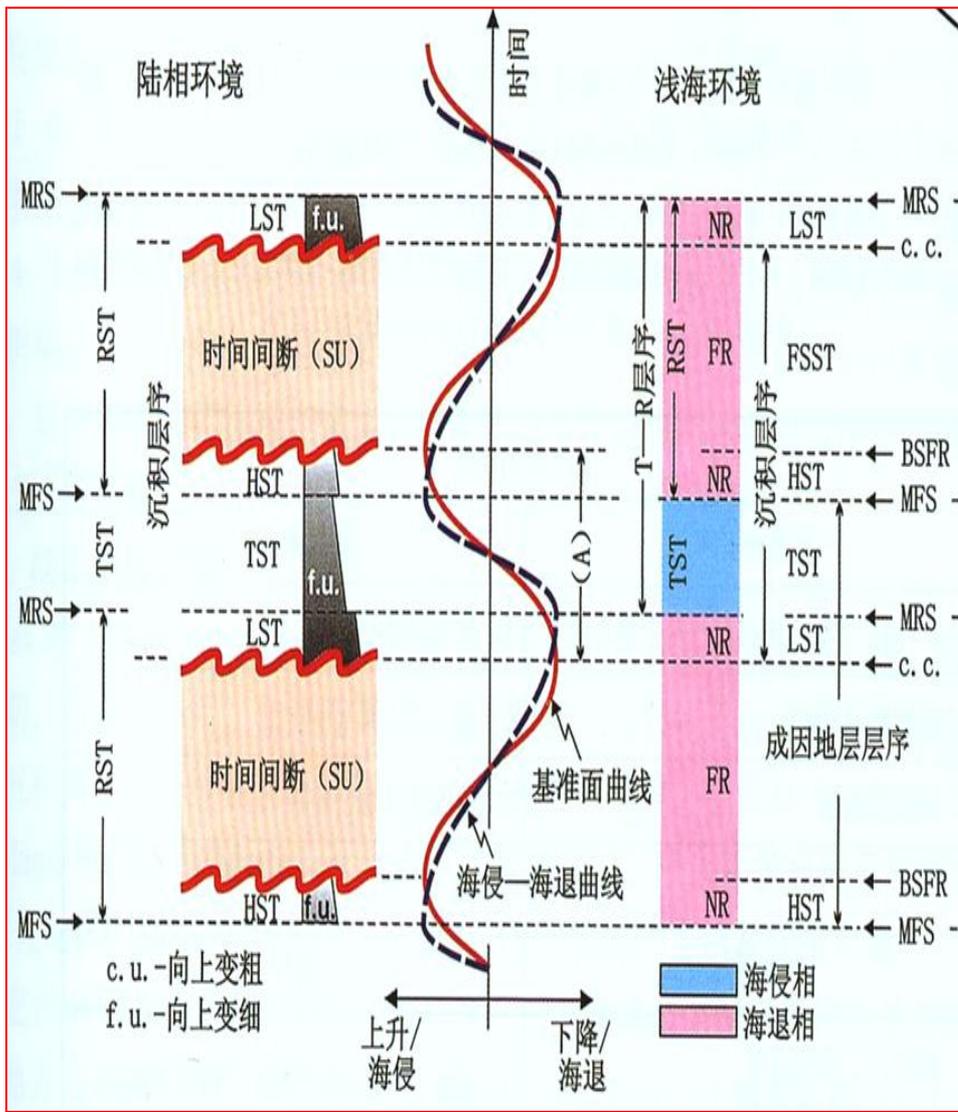
◆ **上升半旋回和下降半旋回**

◆ **T-R曲线-两个体系域：**

◆ **海侵体系域(TST)和海退体系域(RST)**

◆ **两者综合-四个体系域：**

- **低位上升-海退：低位正常海退**
- **高位上升-海退：高位正常海退**
- **下降-海退：强制海退**
- **上升-海侵：海侵**



◆ 基准面:

◆ 上升半旋回

◆ LST-TST-HST

◆ 下降半旋回

◆ FSST

◆ LST-TST-HST-FSST

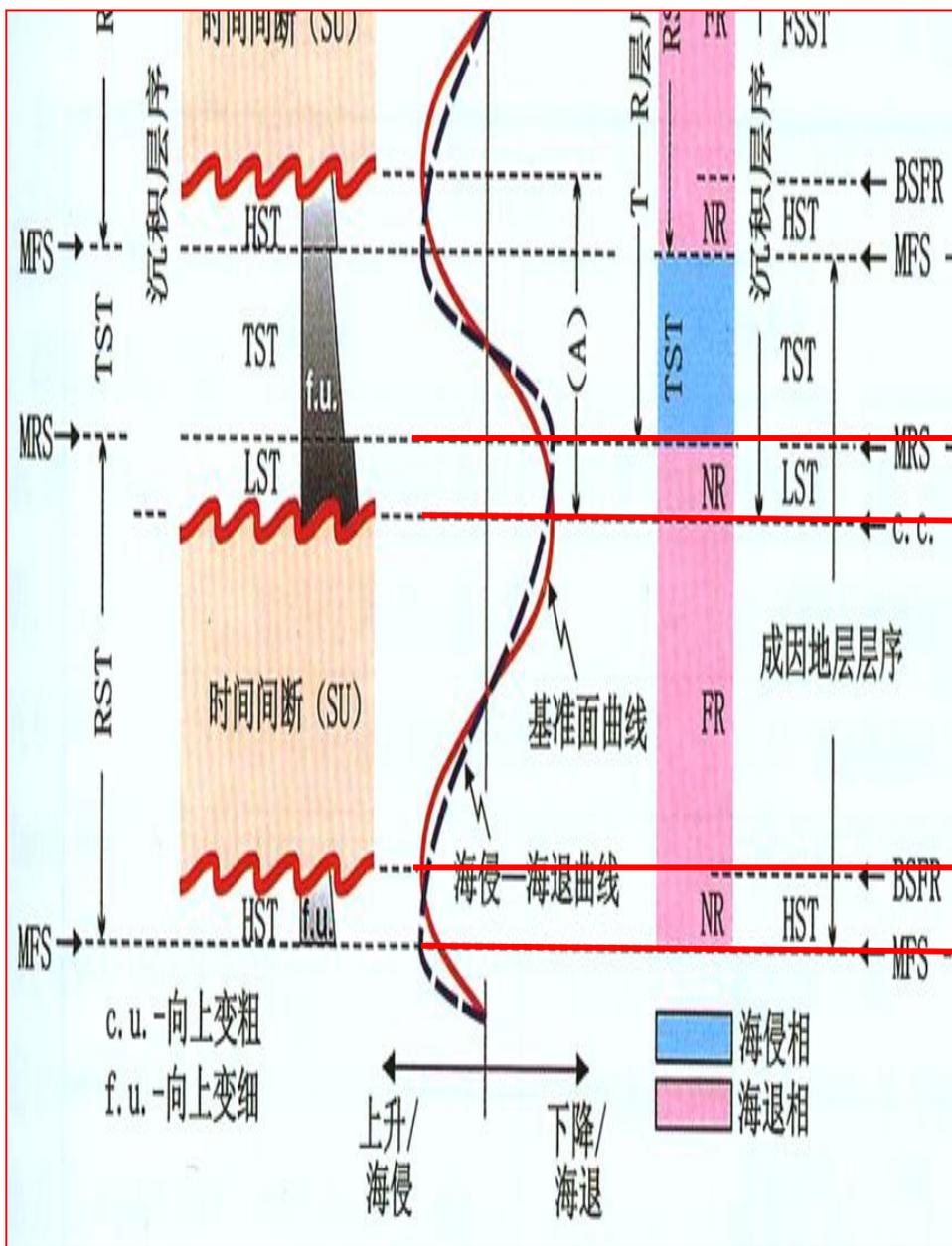
◆ T-R曲线:

◆ 海侵体系域

◆ TST

◆ 海退体系域

◆ HST-FSST-LST



◆ 退与侵的转换面

最大海退面

◆ 降与升的转换面

最大间断面

◆ 升与降的转换面

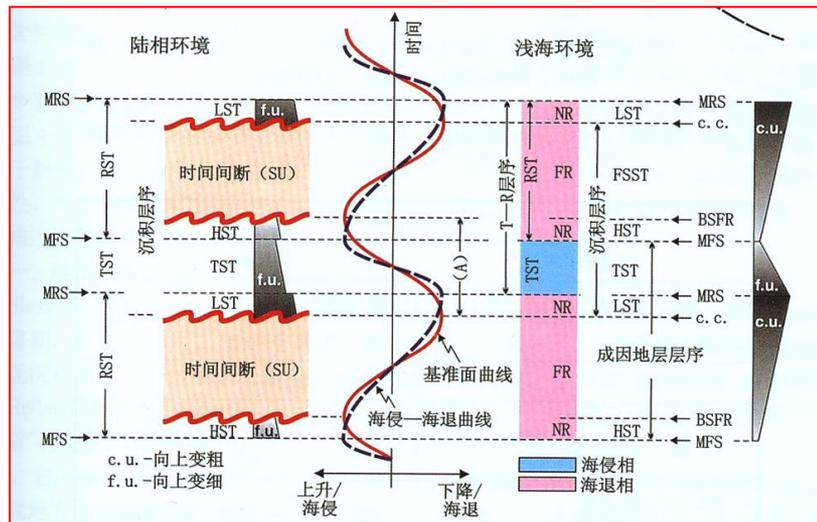
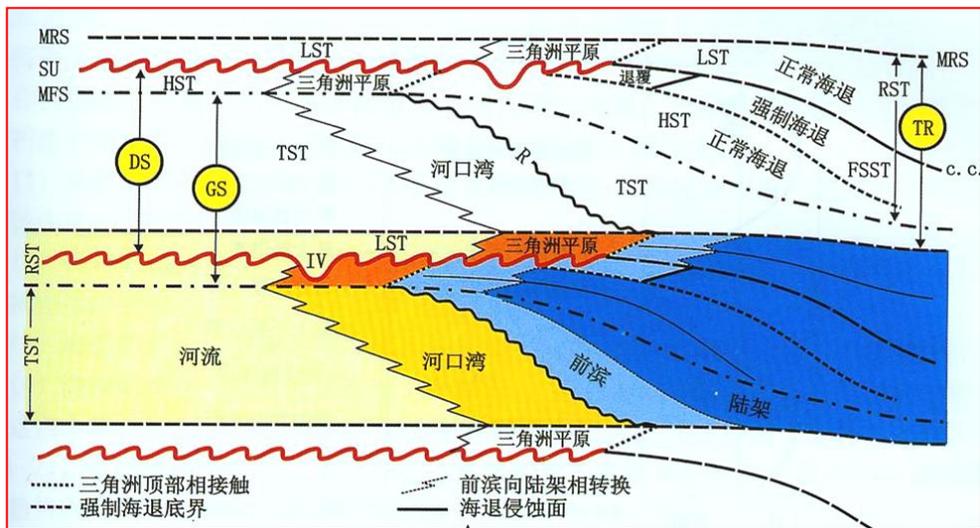
最大沉积面

◆ 侵与退的转换面

最大海侵面

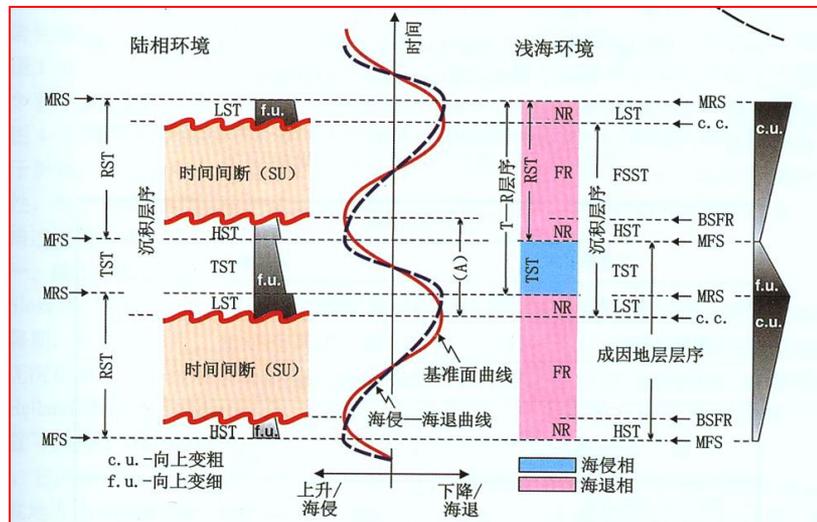
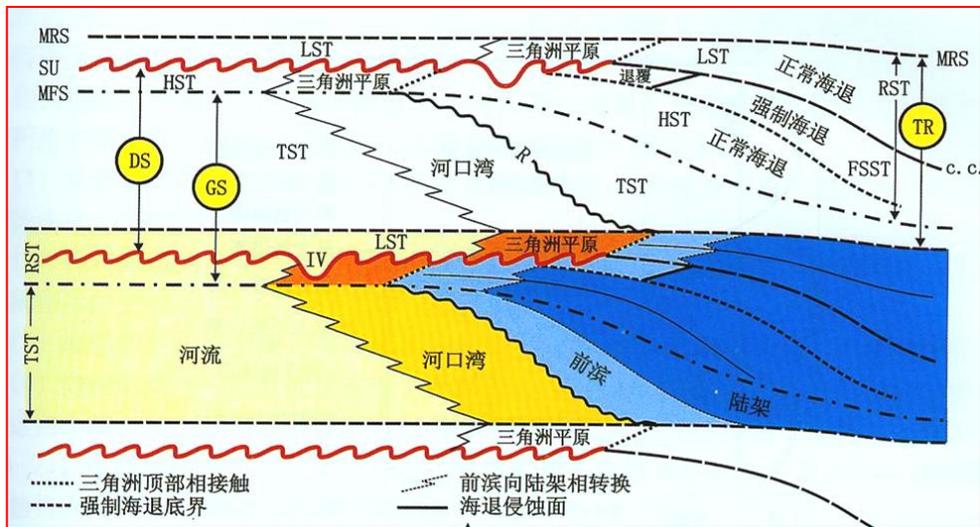
• 体系域单元:

- 低位正常海退—低位体系域 (Lowstand systems tract—LST)
- 高位正常海退—高位体系域 (Highstand systems tract—HST)
- 强制海退—下降体系域 (Falling-stage systems tract—FSST)
- 海侵—海侵体系域 (Transgressive systems tract—TST)



• 体系域界面:

- 海侵-海退的转换面-**最大洪泛面** (Maximum flooding surface-MFS)
- 上升-下降的转换面-**强制海退底界面** (Basal surface of forced regression-BSFR)
- 海退-海侵的转换面-**最大海退面** (Maximum regression surface-MRS)
- 下降-上升的转换面-**相对应整合面** (Correlative conformity-c.c.)
- 陆上不整合面 (Subaerial unconformity-su)



二、高水位体系域及其界面

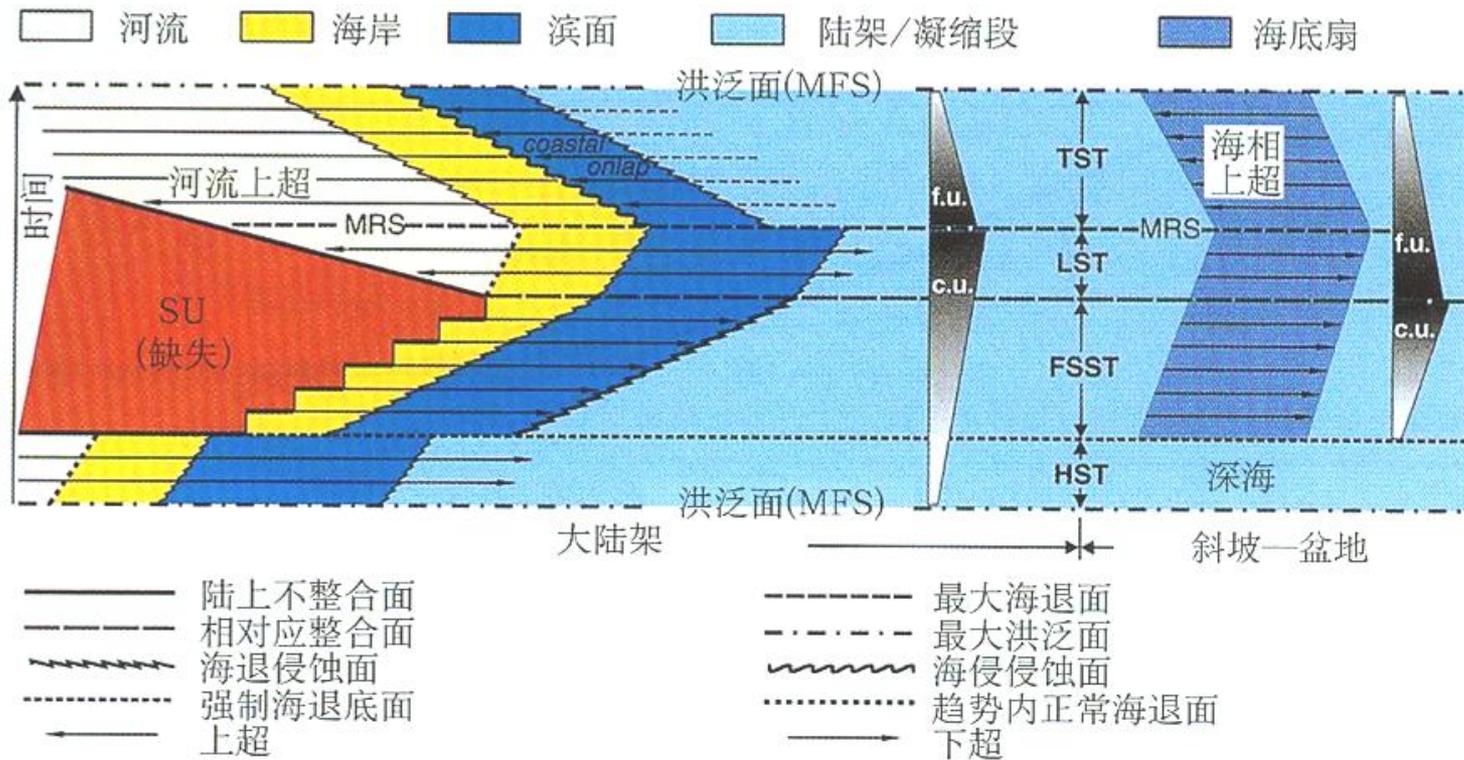
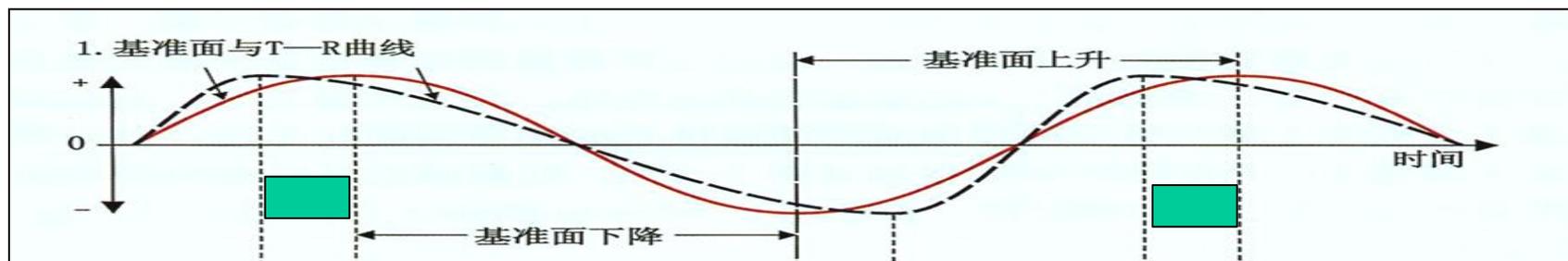
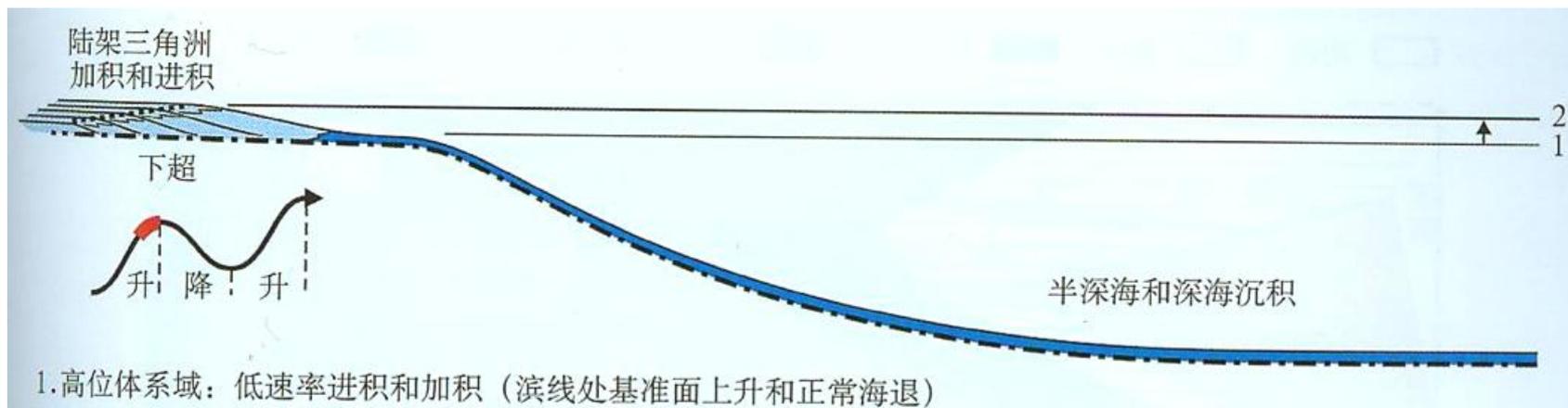


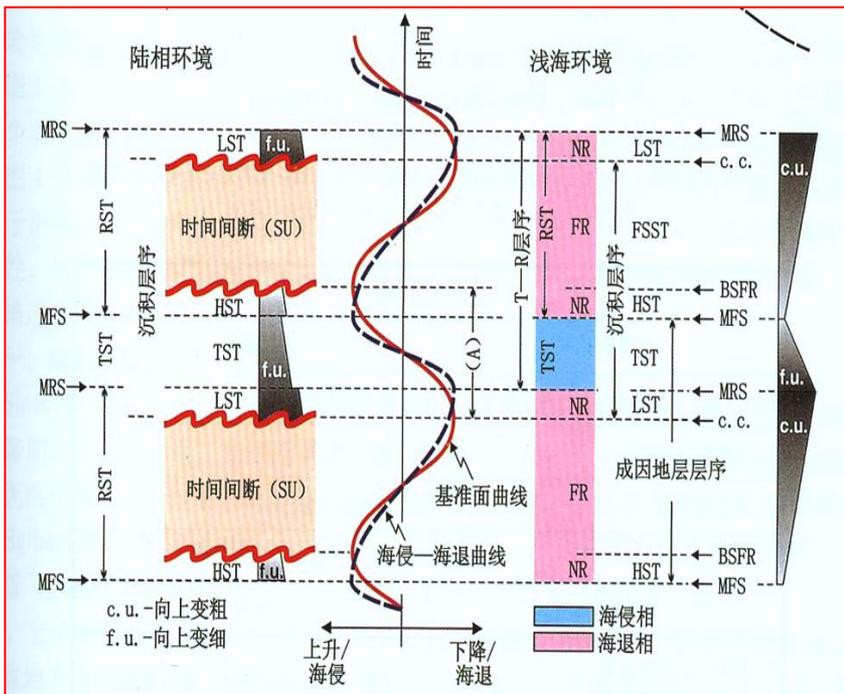
图 5-5 Wheeler 图表解释了一个完整的海退—海侵旋回期间的沉积模式 (修改自 Catuneanu, 2002)

二、高水位体系域及其界面

- 高位体系域：形成于基准面上升的晚期阶段。当上升速率小于沉积速率的时候，就产生滨线的正常海退。
- ——基准面上升—滨线向海迁移

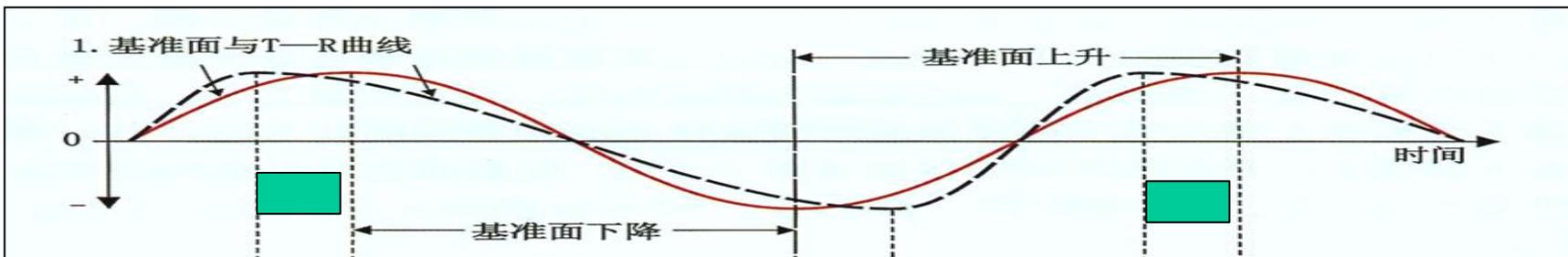


二、高水位体系域及其界面



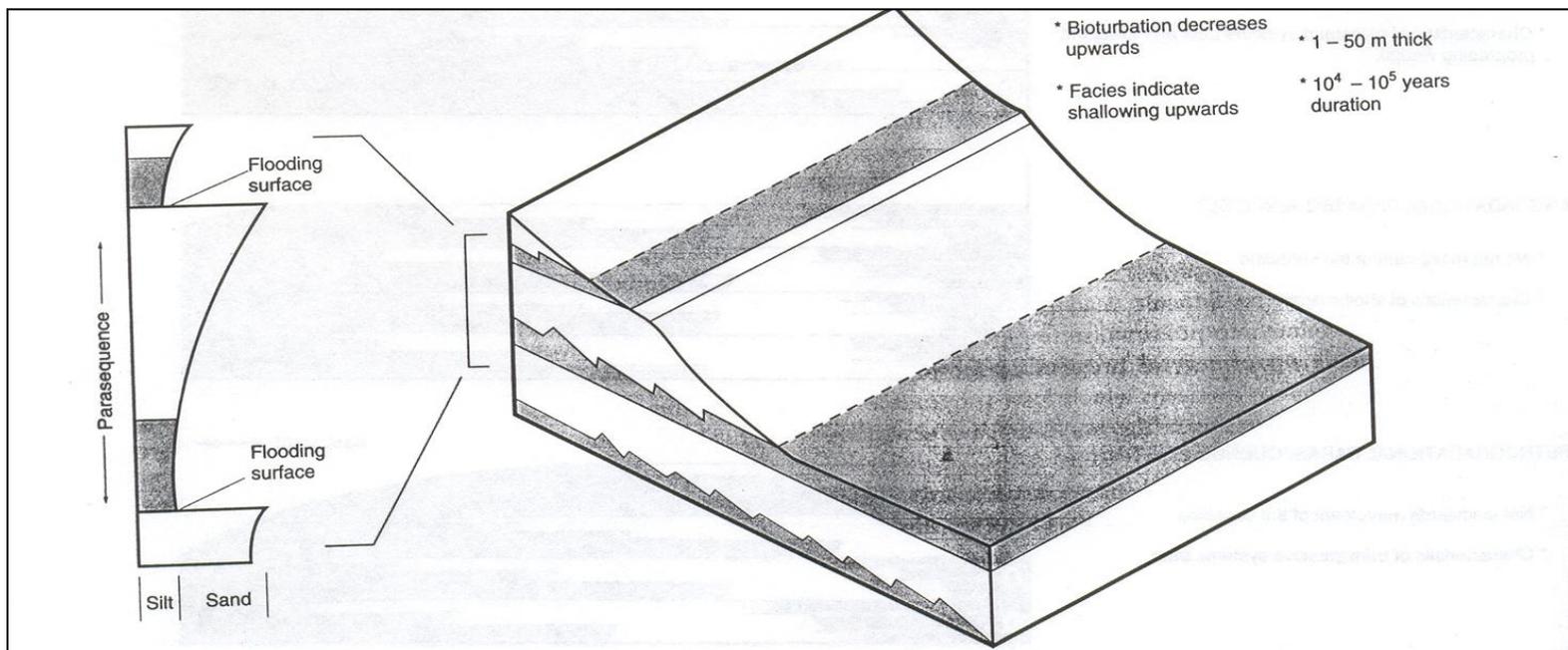
高位域界面：

- 底界面：最大洪泛面 (MFS)
- 顶界面：最大沉积面、强制海退底界面 (BSFR)、始降面 (FFS)



二、高水位体系域及其界面

- 洪（海、湖）泛面（flooding surface）：是一个新老地层的分界面。穿过此界面深水存在明显增大的证据。
- 这种水深的突然增加常伴随着小规模的水下侵蚀作用和无沉积作用。



二、高水位体系域及其界面

最大海泛面(maximum flooding surface)、最大海侵面(maximum transgressive surface): 是一个层序中最大海(湖)侵时形成的界面, 一般对应于最远滨岸上超点, 标志着滨线海侵的结束, 分隔下伏退积地层和上覆前积地层。

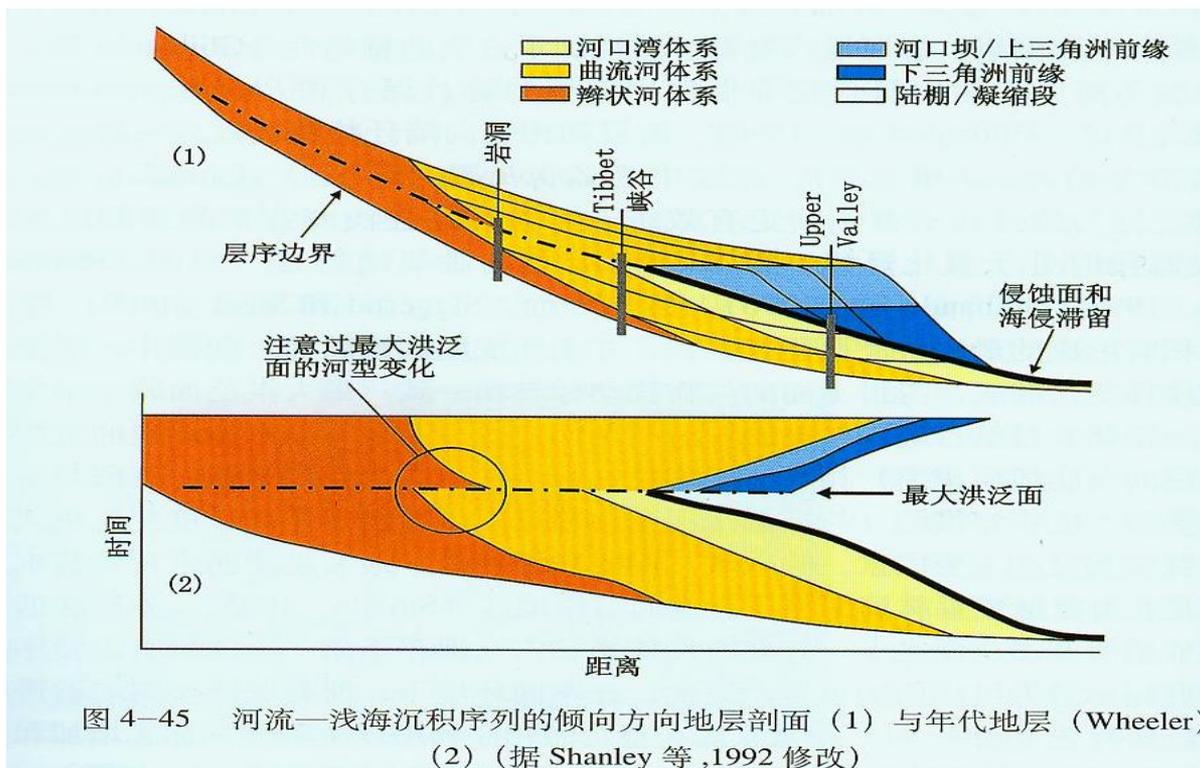
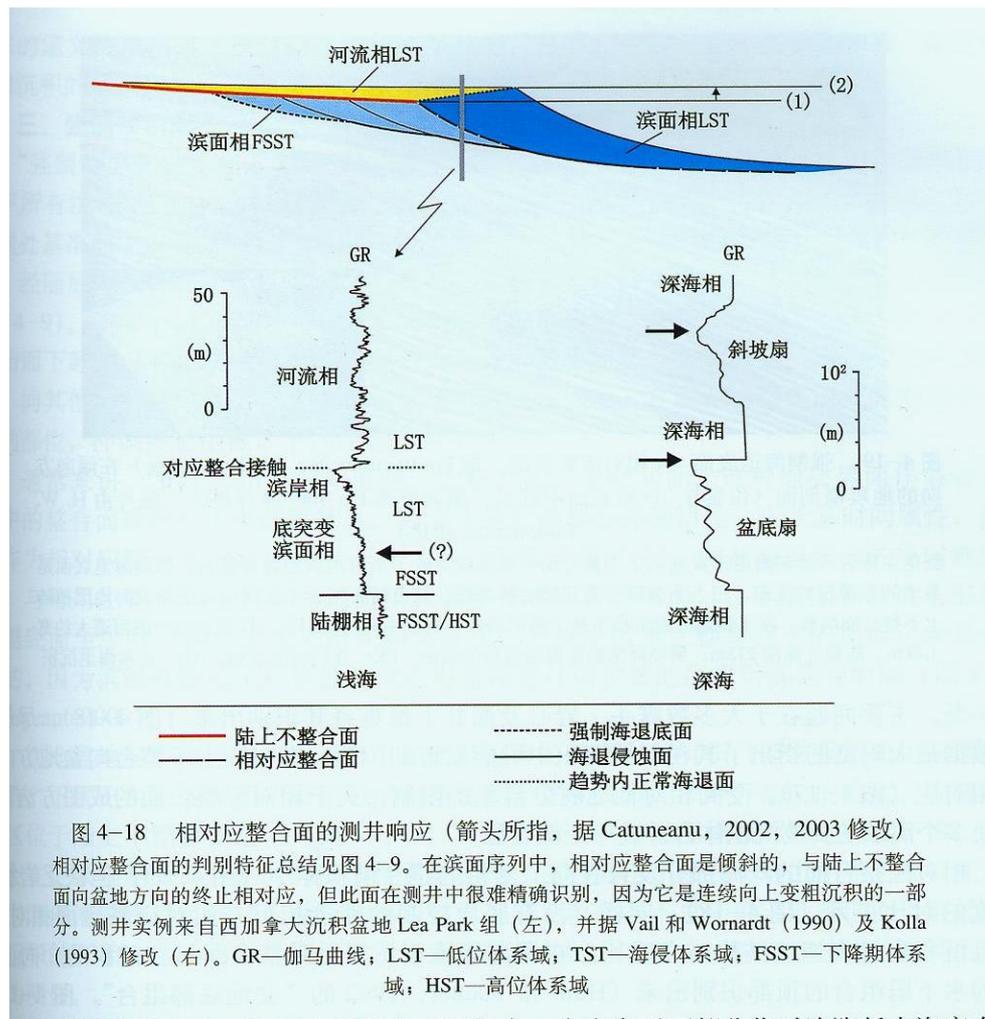


图 4-45 河流—浅海沉积序列的倾向方向地层剖面 (1) 与年代地层 (Wheeler) (2) (据 Shanley 等, 1992 修改)

二、高水位体系域及其界面

- 最大海泛面的特征：
- 1) 准层序组：
界面以下为典型的退积式准层序组，以上为加积式、进积式准层序组，反映基准面由上升到相对稳定的变化过程



二、高水位体系域及其界面

- 最大海泛面的特征：
 - (2) 存在上覆前积地层识别出的最大洪泛面为地震下超面

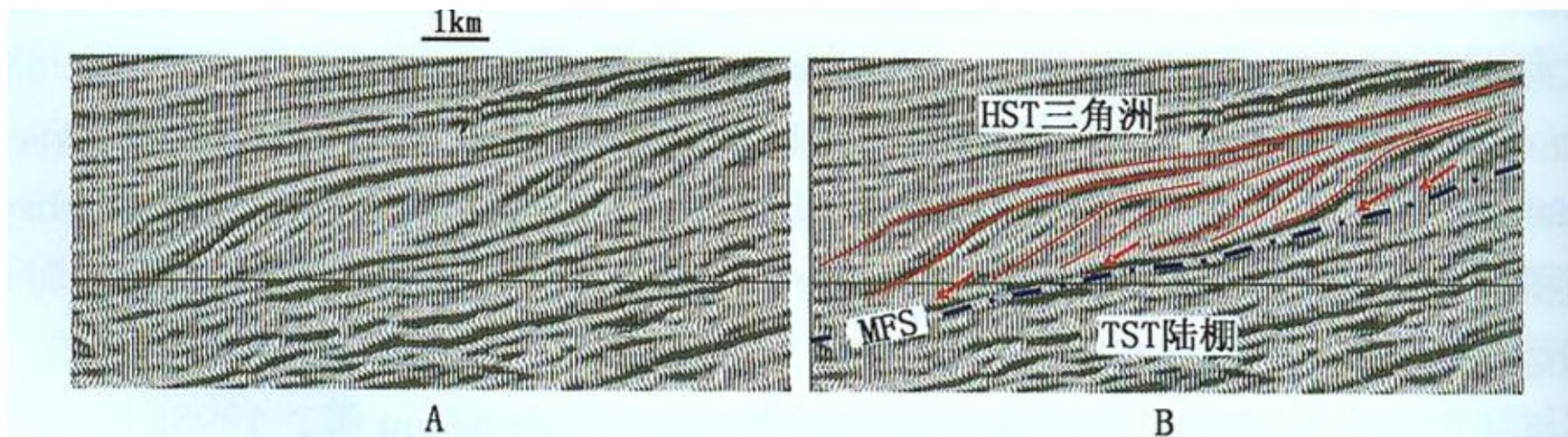


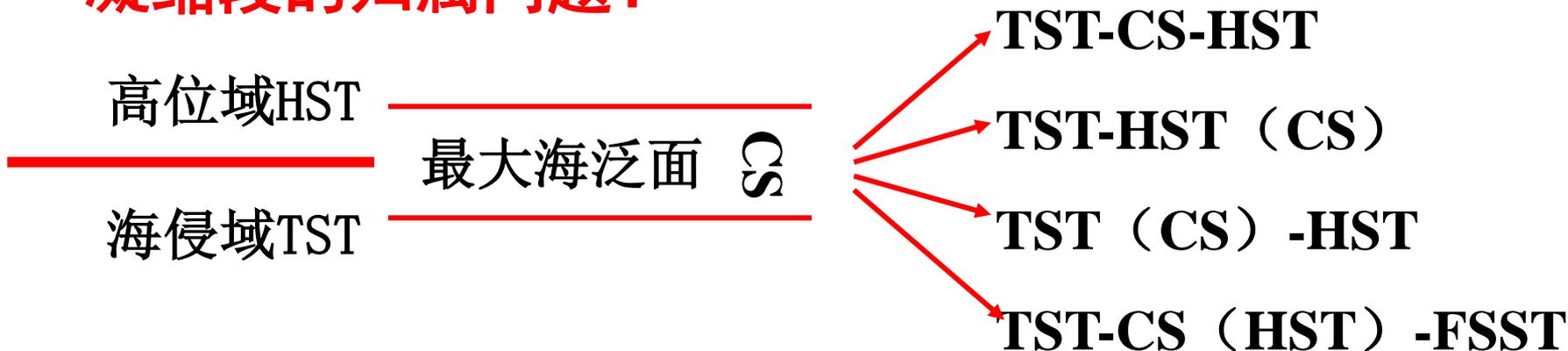
图 4-40 滨岸—浅海背景下的最大洪泛面地震响应 (据 Brown 等, 1995 修改)
A—未解释的地震测线; B—解释的地震测线。最大洪泛面上覆于海侵陆棚相之上, 被高位 (正常海退) 三角洲下超。因此, 最大洪泛面也被称为“下超面”



二、高位体系域及其界面

- 最大海泛面的特征：
 - (3) 常与凝缩段伴生
- 凝缩段 (Condensed section) (生油岩密集段) :
 - 沉积速率慢 (1-10mm/1000a)、厚度很薄、富含有机质、缺乏陆源物质的半深水、深水沉积物。
 - 是在海平面相对上升到最大、海侵最大时期形成的。

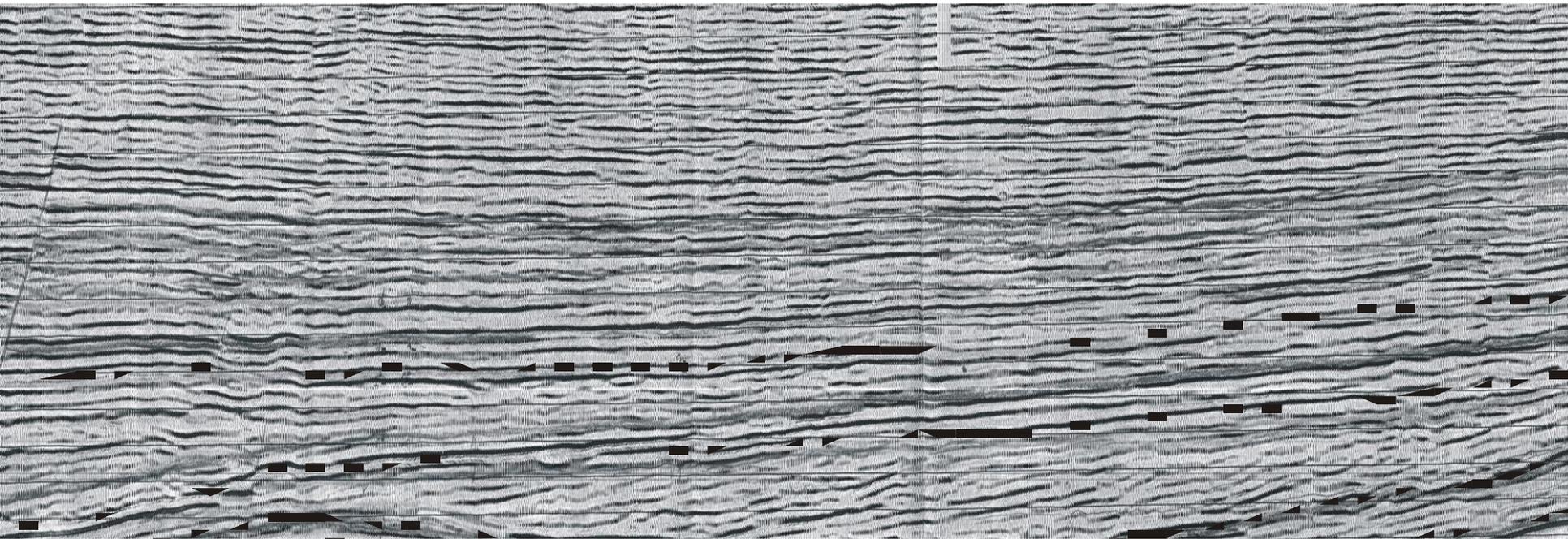
•凝缩段的归属问题？





二、高位体系域及其界面

- 凝缩段的特征
- (1) 地球物理特征：地震反射连续性好、振幅强、频率中等、分布广，且上覆层的系列下超点



二、高位体系域及其界面

- 凝缩段的特征
- (2) 岩石学特征：粒度细、颜色深，主要为油页岩、泥灰岩，有机质丰富—生油岩密集段
- (3) 古生物特征：深水生物，低分异、小个体、高丰度，密集段泥岩表面发育始网迹、古网迹等。





二、高水位体系域及其界面

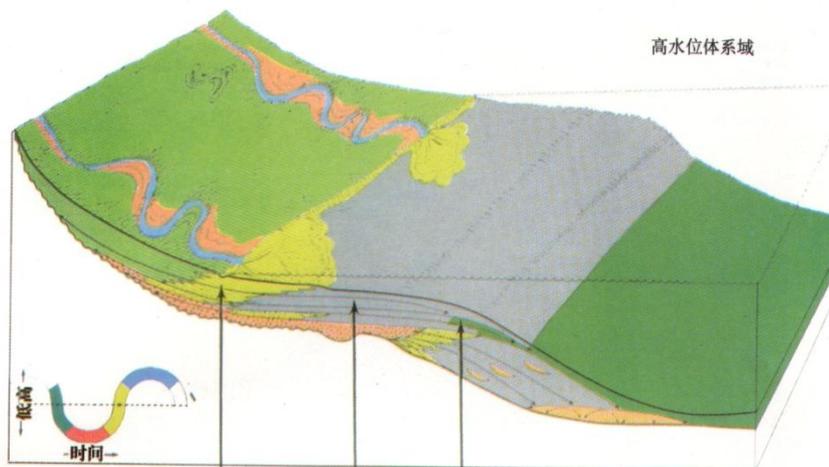
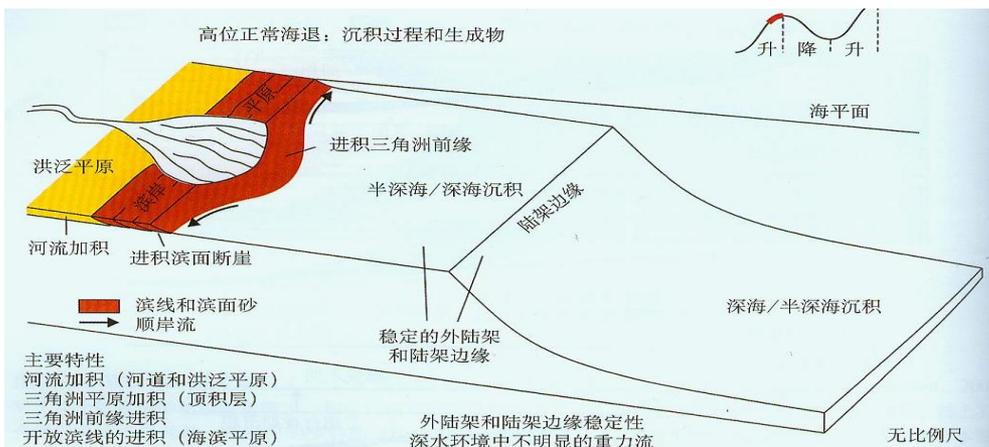
凝缩段的特征

- (4) 地球化学特征
- 有机地化：有机质含量高、干酪根类型好
- 微量元素：反映深水的微量元素富集
- (5) 沉积速率：小
- (6) 测井曲线：高自然伽马、低电阻率、平直自然电位为特征

二、高位体系域及其界面

高位体系域的特征

- 此时沉积物供给速率常大于可容空间增加的速率，形成了一个或多个进积准层序组
- 沉积体系：相似于海侵域，但河流作用明显，河道砂发育、潮汐影响小、泻湖和煤系地层不太发育



- 海平面上升速度最小，在高水位晚期缓慢下降
- 沉积速度大于海平面上升速度形成高位体系域中加积到进积准层序组
- 下超在密度段上的准层序

照片

科罗拉多州道格拉斯克里克背斜布克悬崖普赖斯河组盖特堡段，巴克汤格段和赛戈段高位体系域进积准层序组及其密集段（磷质鲕状岩）

图版 3-5 海平面相对慢速上升、静止和慢速下降（据 Wagoner 等，1990）

图 5-7 高位（正常海退晚期上升）体系域的沉积过程和产物（修改自 Catuneanu, 2003）
这个过程的沉积覆盖和下超到最大洪泛面之上。“高位柱体”的容积包括河流、海岸和滨面沉积。陆架和

三、下降体系域及其界面

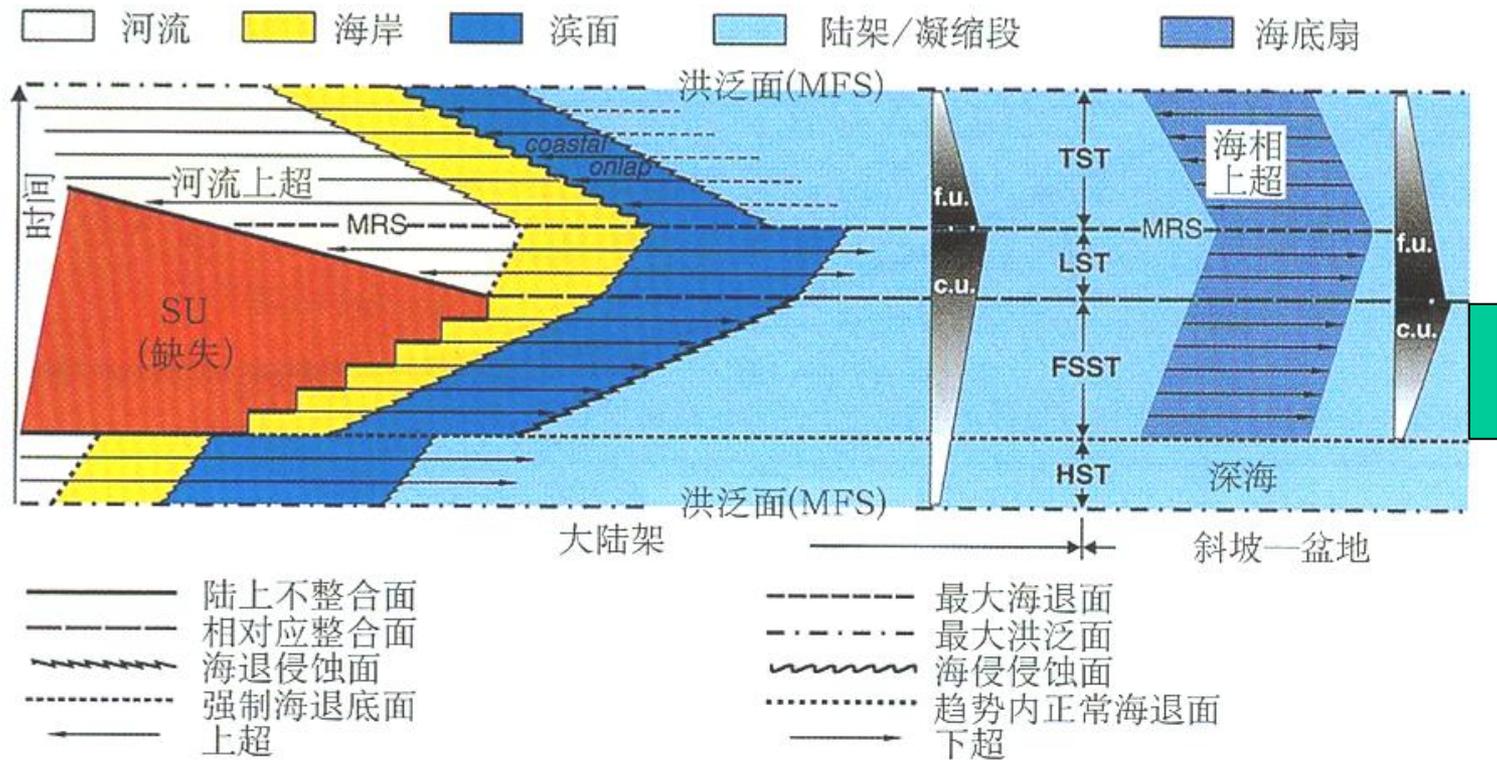
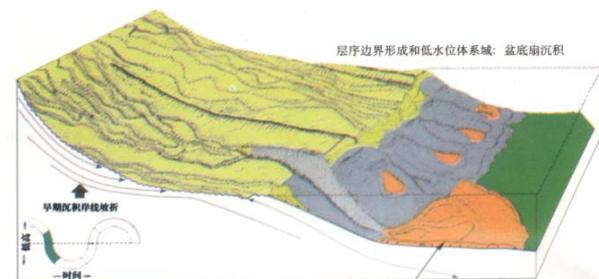
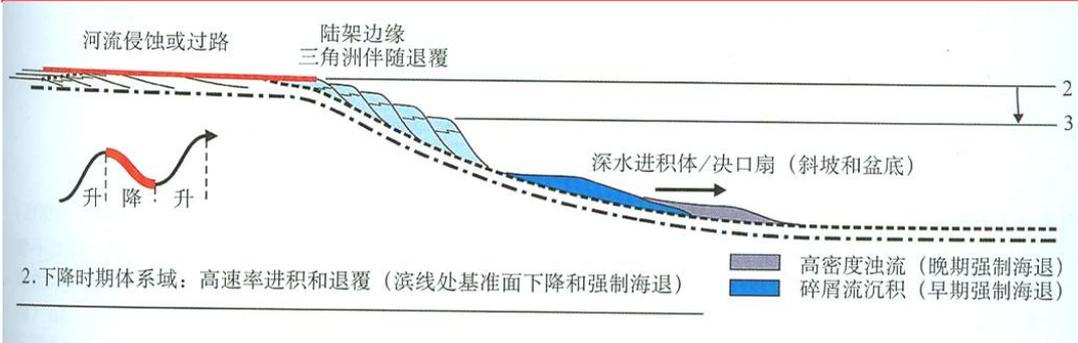


图 5-5 Wheeler 图表解释了一个完整的海退—海侵旋回期间的沉积模式 (修改自 Catuneanu, 2002)

三、下降体系域及其界面

下降体系域：包括在滨线强制海退期间所有堆积在沉积盆地中的地层，相当于早期的低位扇沉积时期——基准面下降-滨线向海迁移

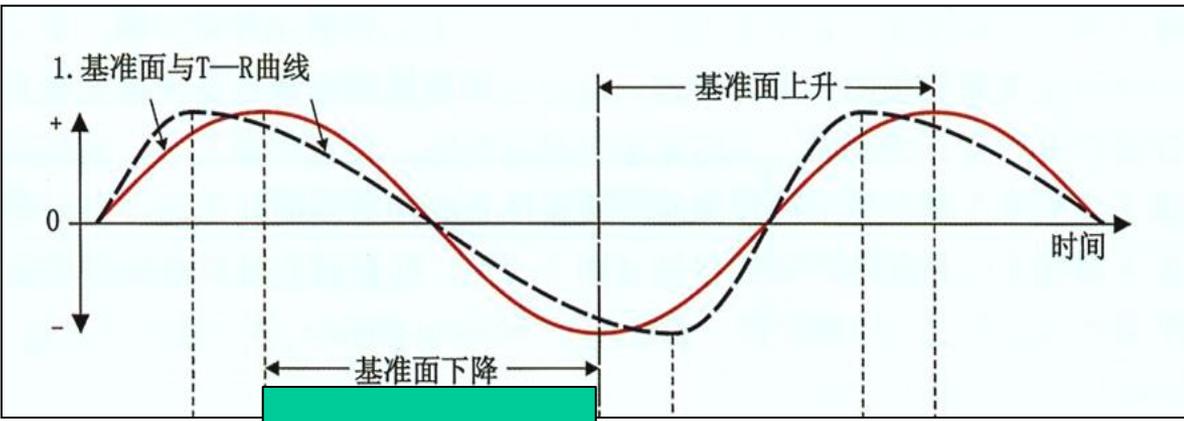


- 海平面下降速度超过沉降速度
- 陆架外缘海平面下降，陆架暴露遭侵蚀，峡谷切割
- 斜坡三角洲和海底扇沉积形成

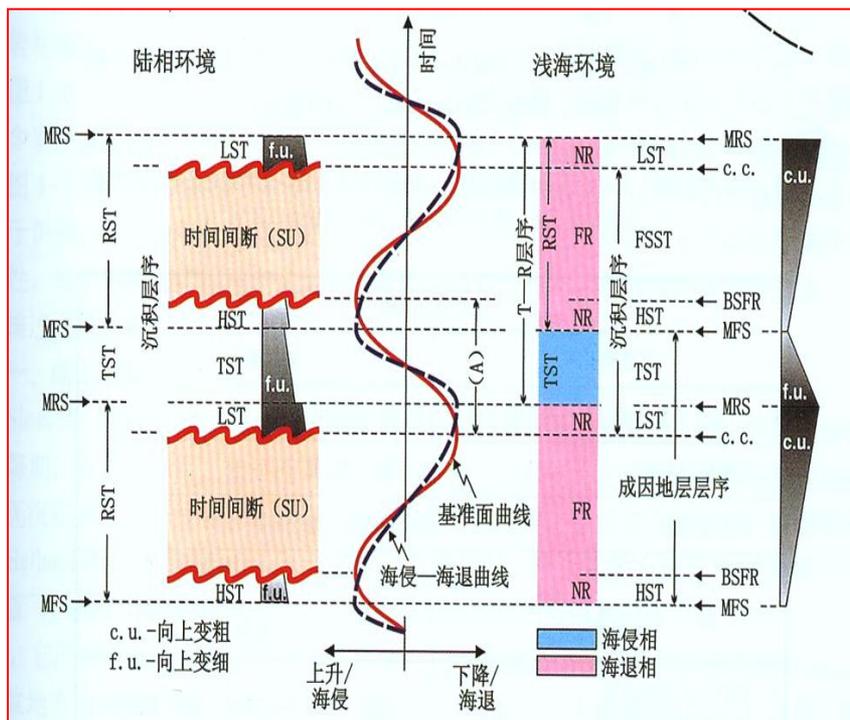
照片

加里福尼亚蒙蒂塞洛坝上白垩统土伦阶，科尔蒂纳组，贝纳多段海底扇砂岩

图版 3-2 层序演化，海平面相对快速下降 (据 Wagoner 等, 1990)

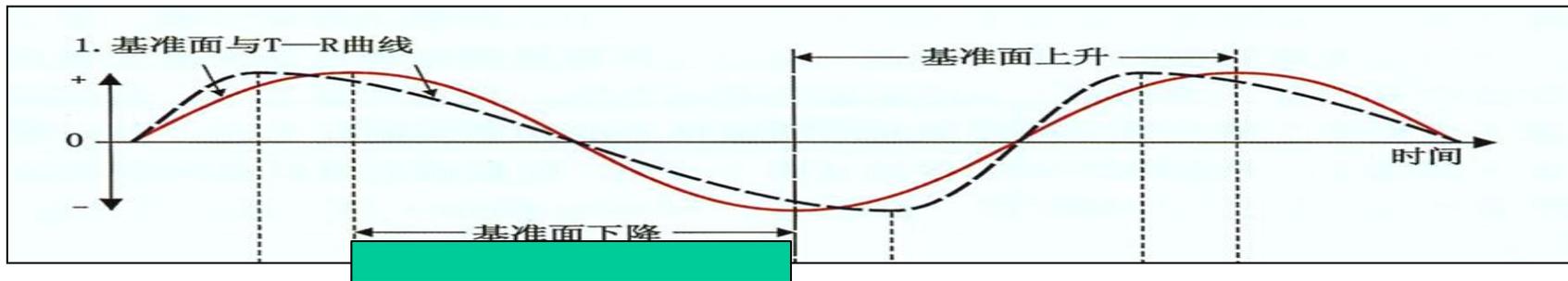


三、下降体系域及其界面



下降体系域的界面：

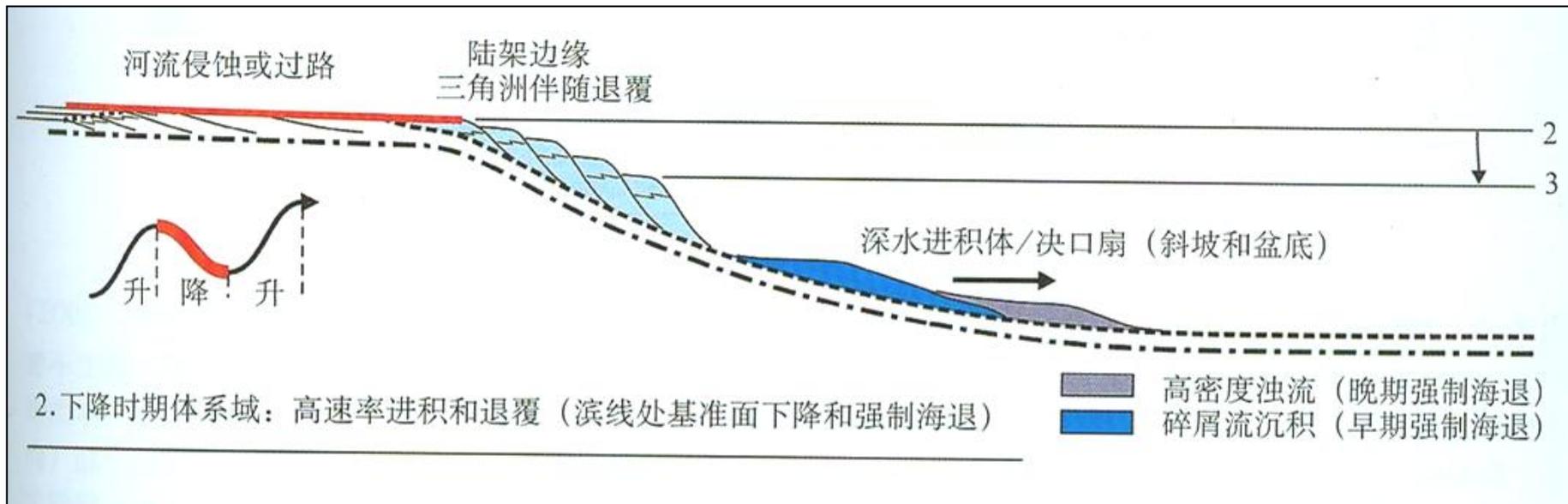
- **底界面**：最大沉积面、强制海退底面（BSFR）
- **顶界面**：最大间断面、复合作用面（陆上不整合面和与之对应的整合面）



三、下降体系域及其界面

强制海退底面：强制海退期海洋环境下所有沉积的底面，对应于滨线处基准面下降开始时的古海底——始降面

- 是将下伏高位正常海退地层与上覆强制海退地层分开的界面



三、下降体系域及其界面

始降面 (first falling surface) 的特征:

- 1) **地震反射**: 界面以下沉积地层地震相以平行、亚平行, 连续性好; 界面以上常具前积反射结构。

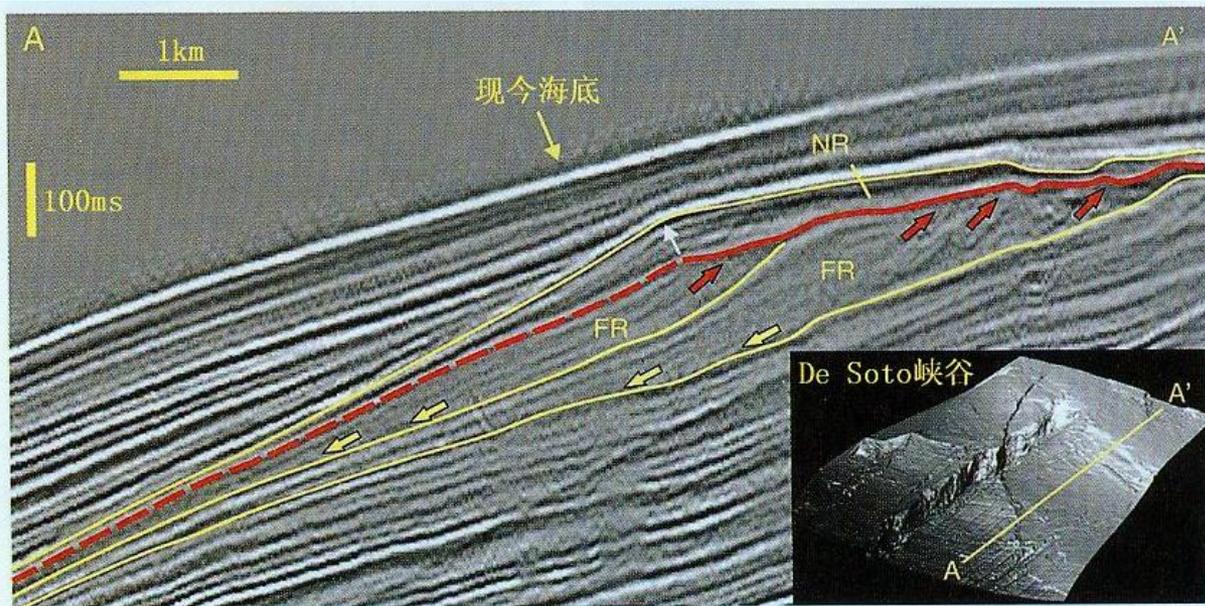
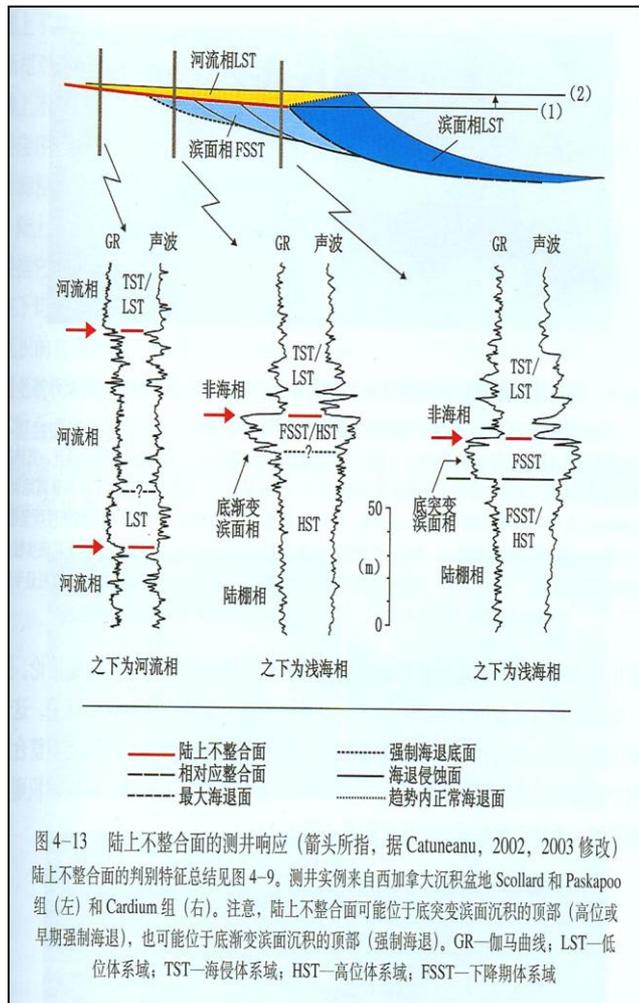


图 4-17 相对应整合面在倾向方向的地震横剖面 (据 Hunt 和 Tucker, 1992, 红色虚线; 位置在 3D 照亮面中标示; 墨西哥湾 De Soto 峡谷地区, 图片由 H. W. Posamentier 提供)

三、下降体系域及其界面

2) 沉积环境：界面以下的沉积多以深湖半深湖为特征，沉积物粒度细，仅在湖盆边缘地区发育了小规模三角洲沉积。界面以上以滨浅湖沉积为特征，三角洲沉积发育。

3) 准层序组：该界面上、下的准层序组常由加积式变为进积式，这反映了湖盆水体由相对稳定到快速下降的变化过程



三、下降体系域及其界面

下降体系域的特征：伴随快速进积和具超覆叠加模式的浅海沉积，下超陆坡的陆架边缘三角洲、盆地水下扇超覆叠加可能被后期陆上或海侵所侵蚀而表现的不明显

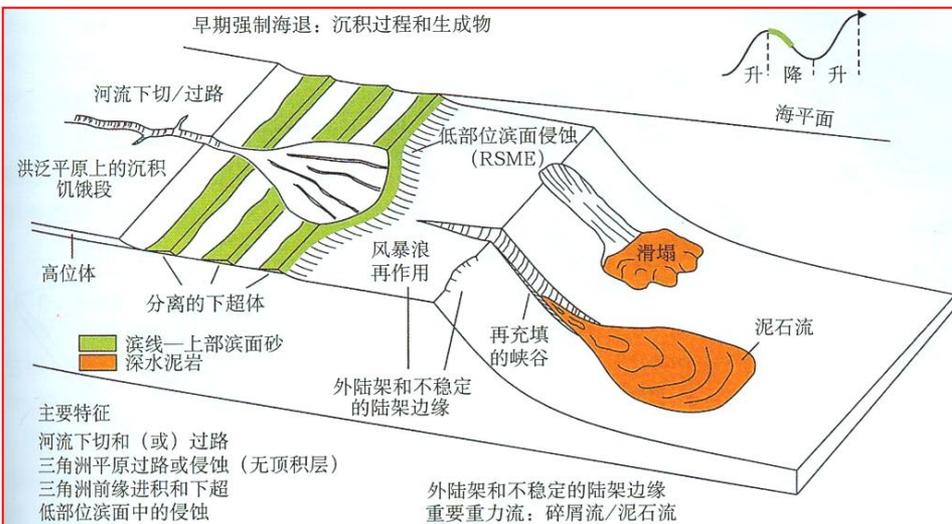


图 5-26 下降期体系域早期的沉积过程和生成物 (修改自 Catuneanu, 2003)

聚集在此时期大部分的砂都被聚集到分离和退覆滨线到上滨面系统之内。细粒沉积物的大量聚集随泥石流流开始于深水环境。两个层序地层界面形成于基准面下降时期：陆上不整合面，随着滨线的后退逐渐向盆地方向扩展；海退侵蚀面 (RSME) 在低滨面被波浪切割。强制海退面在所有强制海退地层的底部，包括早期下降泥石流沉积。在某些地方，这个界面可能被 RSME 所改造 (图 4-23)

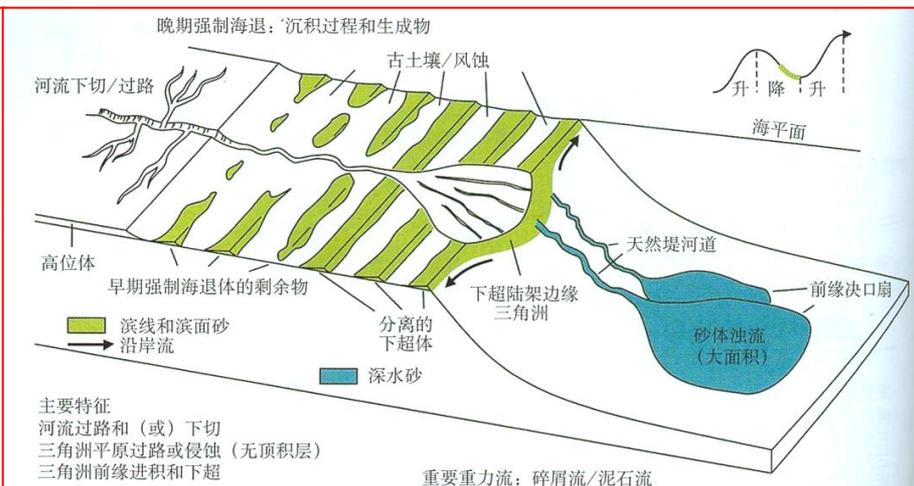


图 5-27 下降期体系域晚期的沉积过程和生成物 (修改自 Catuneanu, 2003)

沉积物聚集平衡的变化有利于深海海底扇的形成，这里的海底扇聚集了大量的砂。陆上不整合面继续形成和向盆地方向扩展直到基准面下降。滨线下降低于陆架边缘时，海退侵蚀面停止形成，主要是因为大陆坡的海底坡度比需要波浪能量而平衡的滨面剖面陡。要注意的是，河流体系可能下切至高位体，但可能仅路过陆上暴露陆架的剩余部分，除非基准面下降到了陆架边缘海拔以下。深海盆地的浊积流由高密度型所控，因为沉积供给的大量聚集，因此整个过程中它们容易过载和发生加积作用 (沉积载荷 > 流体能量)

三、下降体系域及其界面

◆ 强制海退楔状体沉积

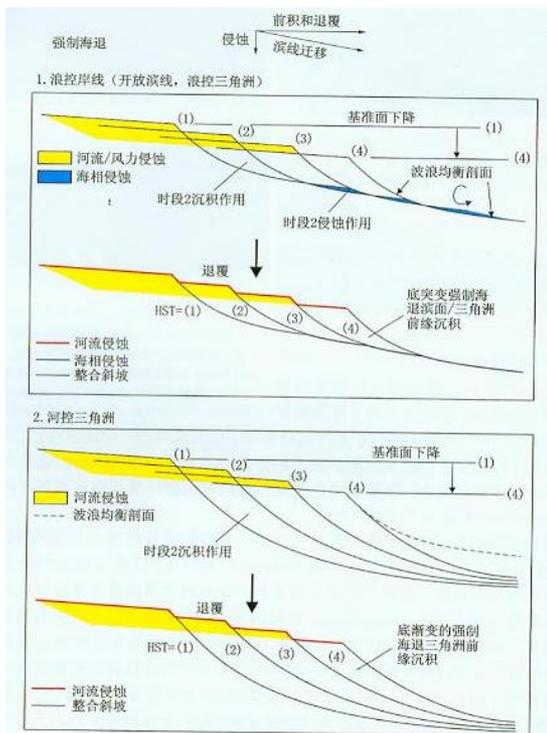
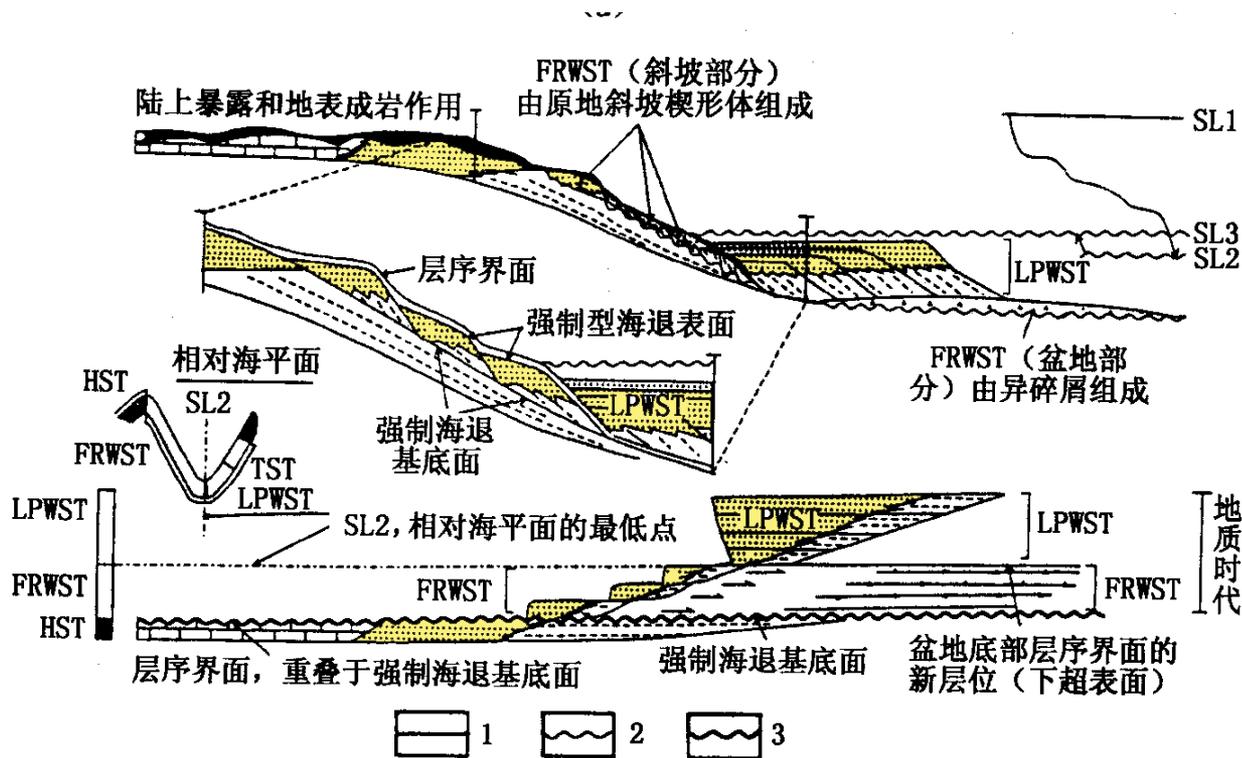


图 3-27 强制海退体系的滨线迁移轨迹 (据 Catuneanu, 2003 修改)



四、低水位体系域及其界面

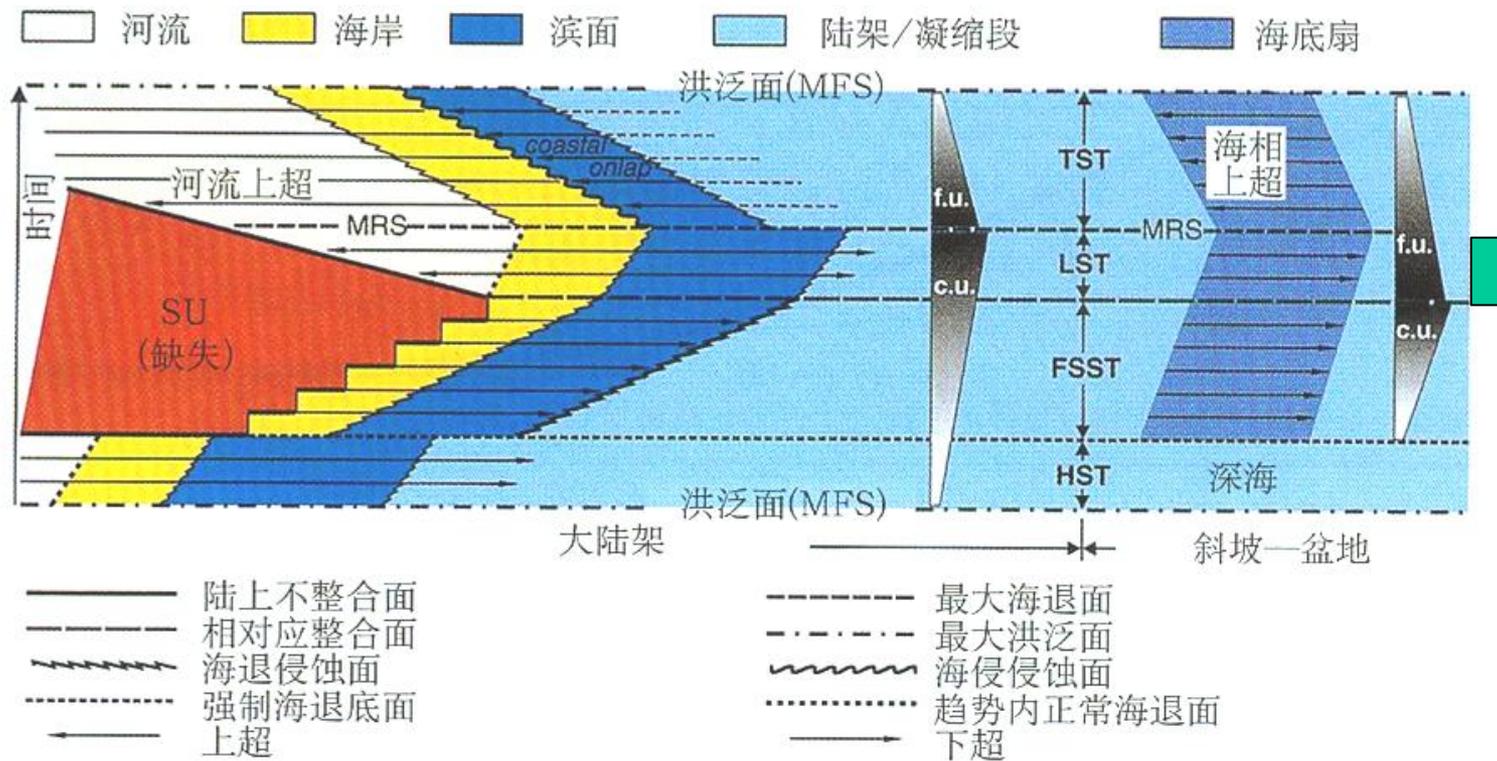
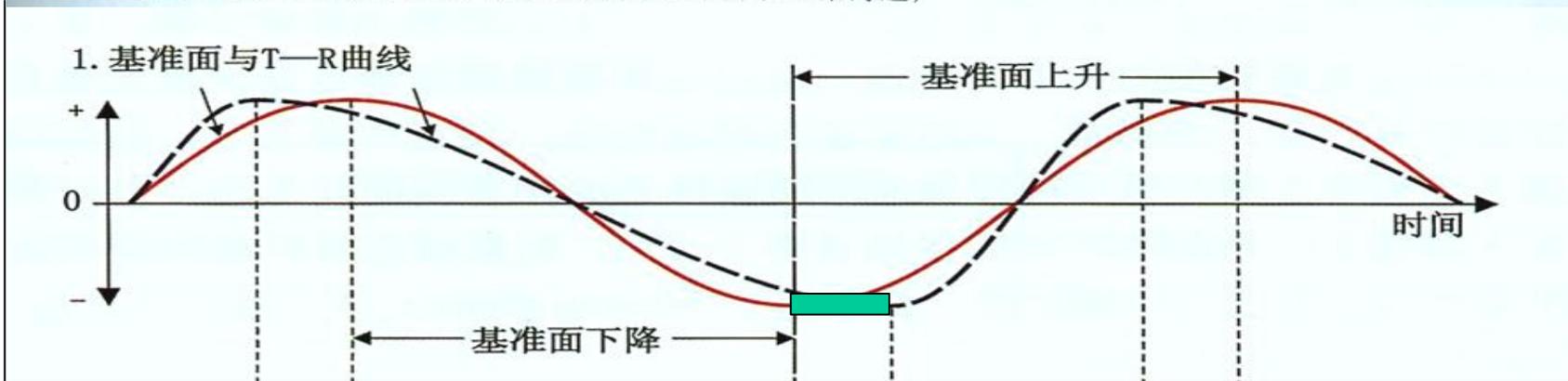
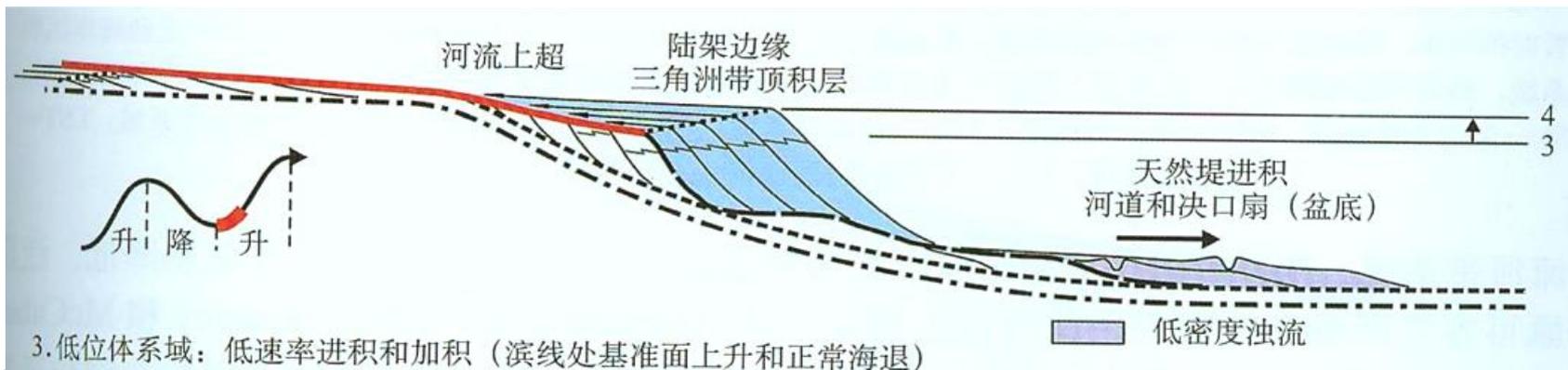


图 5-5 Wheeler 图表解释了一个完整的海退—海侵旋回期间的沉积模式 (修改自 Catuneanu, 2002)

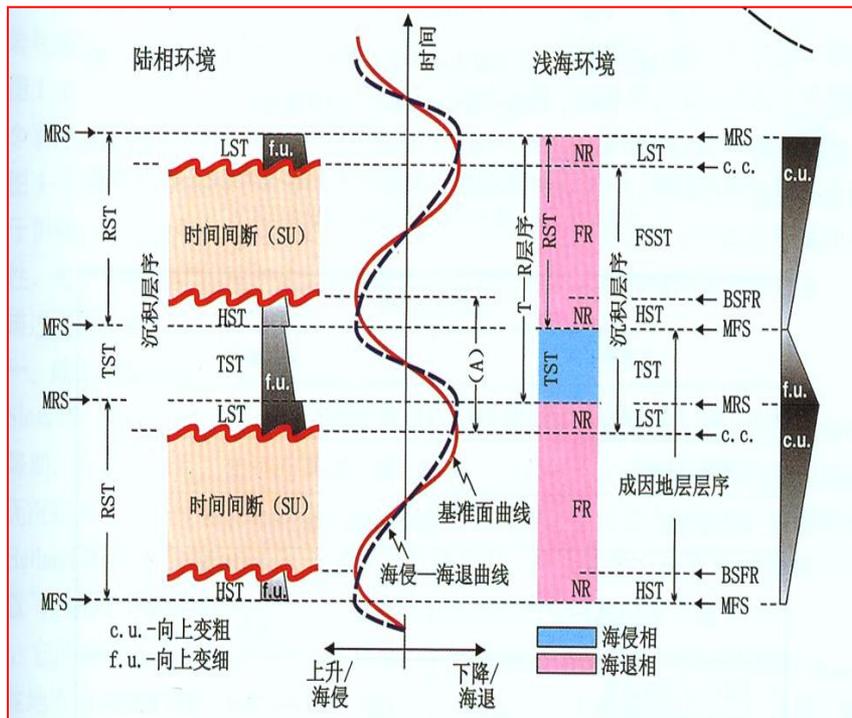
四、低水位体系域及其界面

低水位体系域：限于在上升阶段早期的正常海退堆积的所有沉积物

——基准面上升—滨线向海迁移

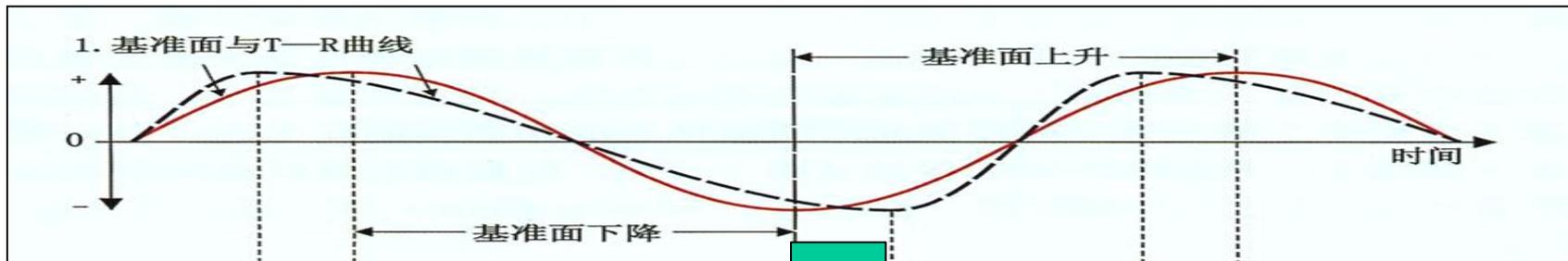


四、低水位体系域及其界面



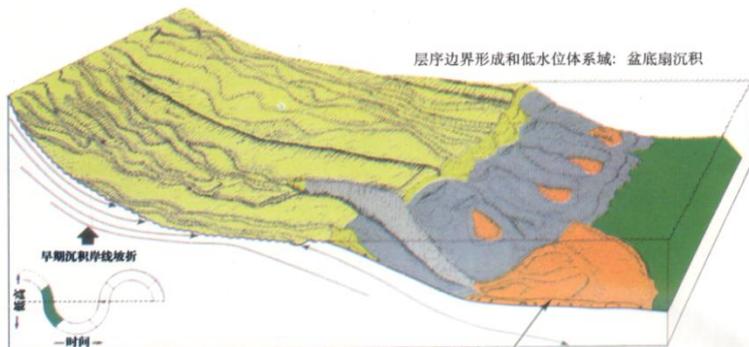
低水位体系域的界面：

- **底界面**：最大间断面、复合作用面（陆上不整合面和与之对应的整合面）
- **顶界面**：最大海退面



四、低位体系域及其界面

◆ 低位体系域:

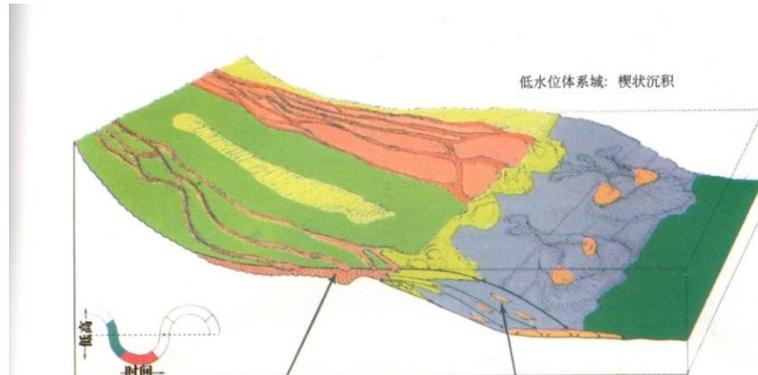


- 海平面下降速度超过沉降速度
- 陆架外缘海平面下降, 陆架暴露遭侵蚀, 峡谷切割
- 斜坡三角洲和海底扇沉积形成

照片

加里福尼亚蒙蒂塞洛坝上白垩统土伦阶, 科尔蒂纳组, 贝纳多段海底扇砂岩

图版 3-2 层序演化: 海平面相对快速下降 (据 Wagoner 等, 1990)



- 海平面下降速度降低、静止及缓慢上升
- 海底扇沉积停止
- 辫状河、河口湾相粗砂岩充填深切谷反映海平面上升
- 斜坡上浊积岩楔状体与薄层砂岩在海底扇上形成下超

照片

左: 怀俄明州温德里弗盆地充填砂岩、泥岩的河口湾深切谷
右: 西班牙低水位楔状浊积砂岩、泥岩

图版 3-3 层序演化: 海平面慢速下降、静止和慢速上升 (据 Wagoner 等, 1990)

四、低位体系域及其界面

低位体系域：正常海退沉积为特征，沉积物沉积速率超过了基准面上升速率

- 河流河道充填、海岸、三角洲、海底扇等体系

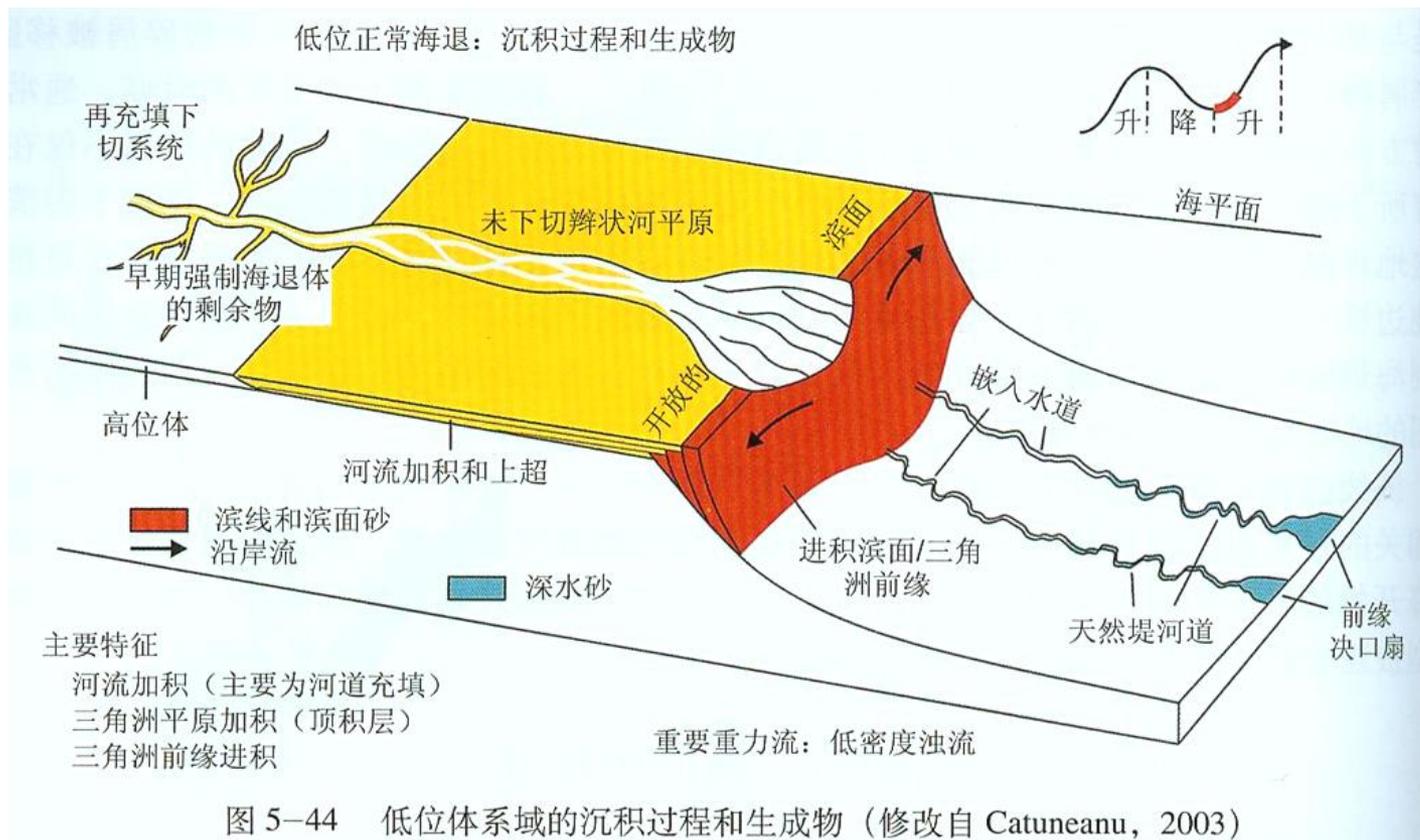


图 5-44 低位体系域的沉积过程和生成物（修改自 Catuneanu, 2003）

四、低位体系域及其界面

- 河流河道充填：海岸的加积作用引发了河流体系下游部分坡度的降低，河流能量也降低，沉积物粒度变细，形成了低可容空间下河流的充填沉积。
- 河流的加积和上超，低位体逐渐向陆地扩展

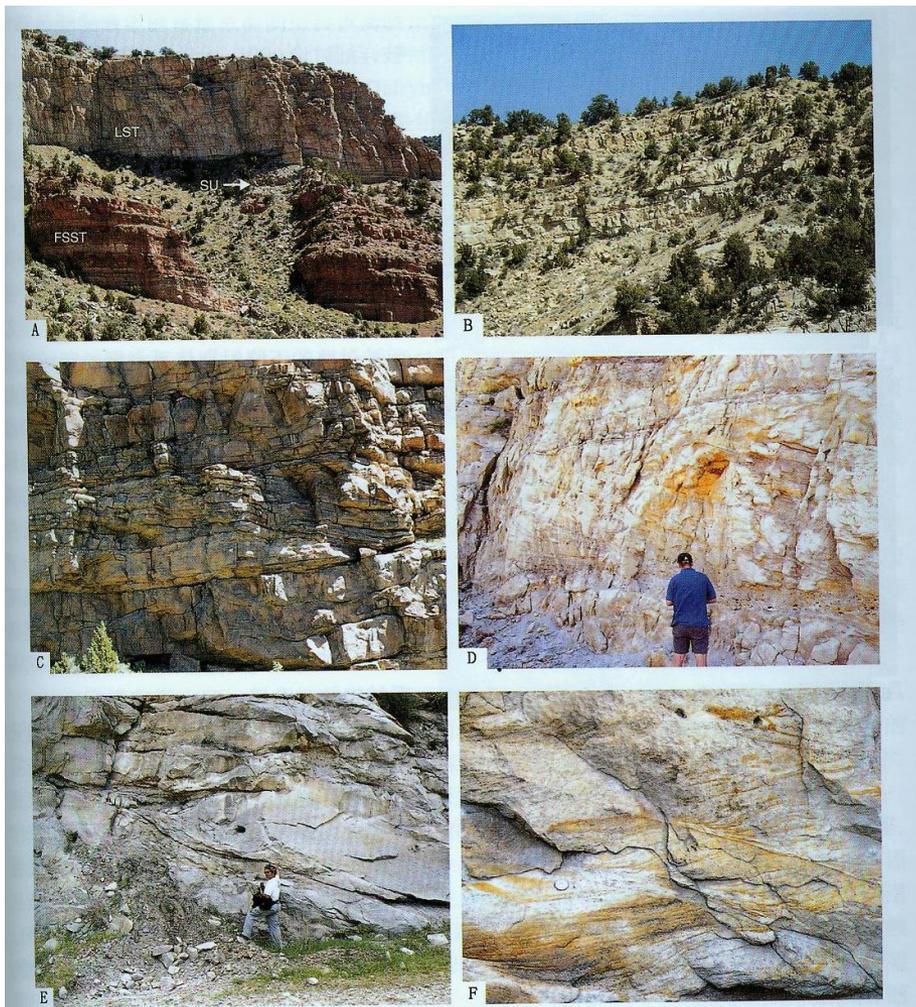


图 5-49 低位河流体系的露头表现 (Castlegate 组, Utah)

A—聚集的河道充填 (图片的上部, 浅颜色: Castlegate 组), 通过陆上不整合面与下伏的强制海退滨面沉积相区分 (图片的下部, 微红色: Blackhawk 组); B、C、D、E—辫状河系统聚集的河道充填; F—上叠沙丘暗示了高能量辫状河系统中的沉积和物供给。FSST—下阶体系域, LST—低位体系域, SU—陆上不整合面

四、低水位体系域及其界面

- 浊积扇：低位期，河流到浅海环境中，陆架的加积减少了沉积物向深盆的供给，此时以低密度浊流为特征，不同于强制海退晚期的高密度浊流

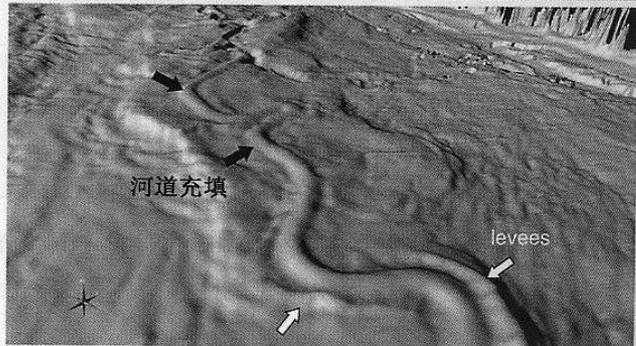
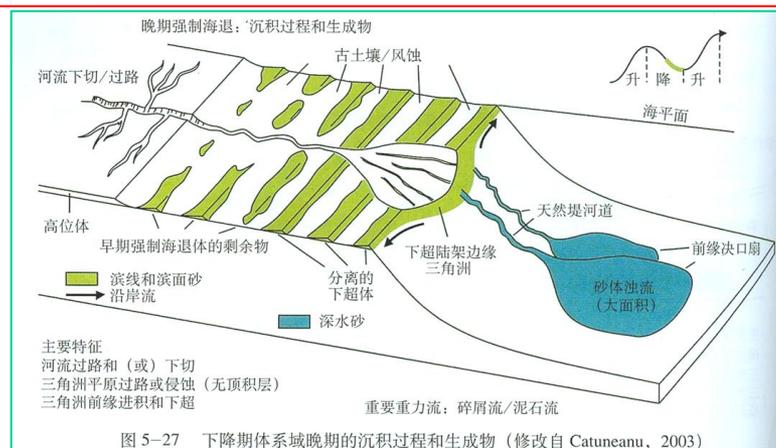
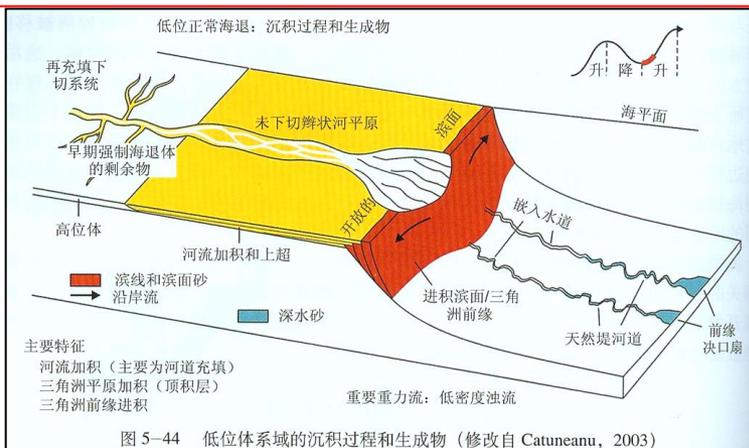


图 5-47 盆底低密度浊流天然堤水道系统的沉积元素

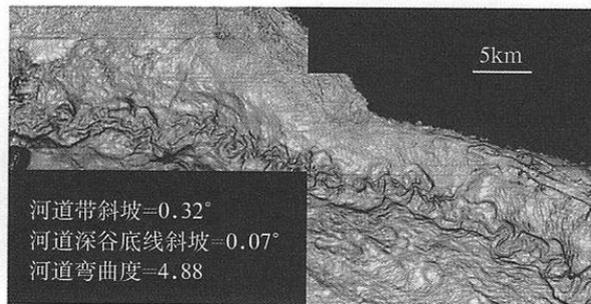


图 5-46 盆底加积浊流天然堤水道（晚更新世，De Soto Canyon 区域，墨西哥湾，

五、湖侵体系域及其界面

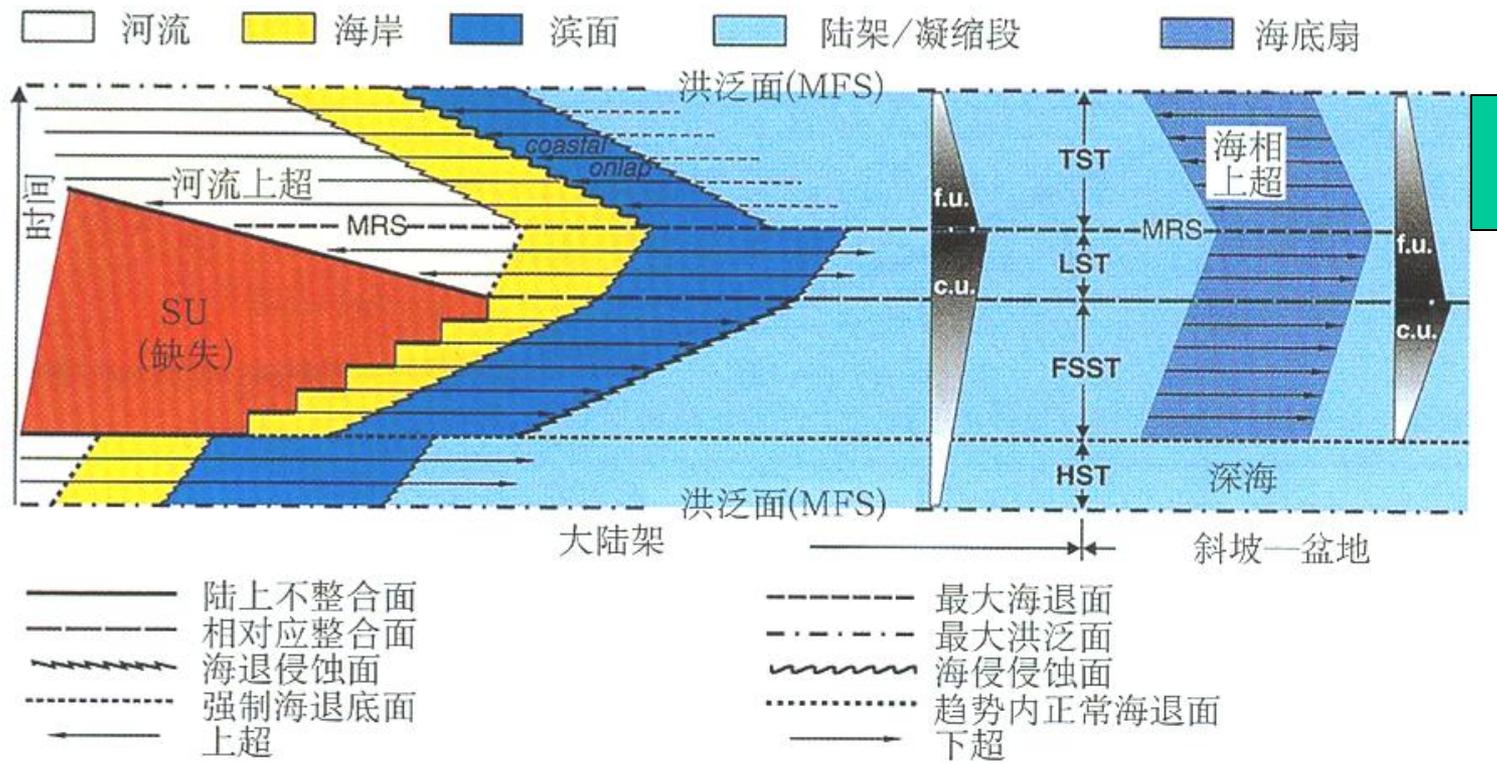
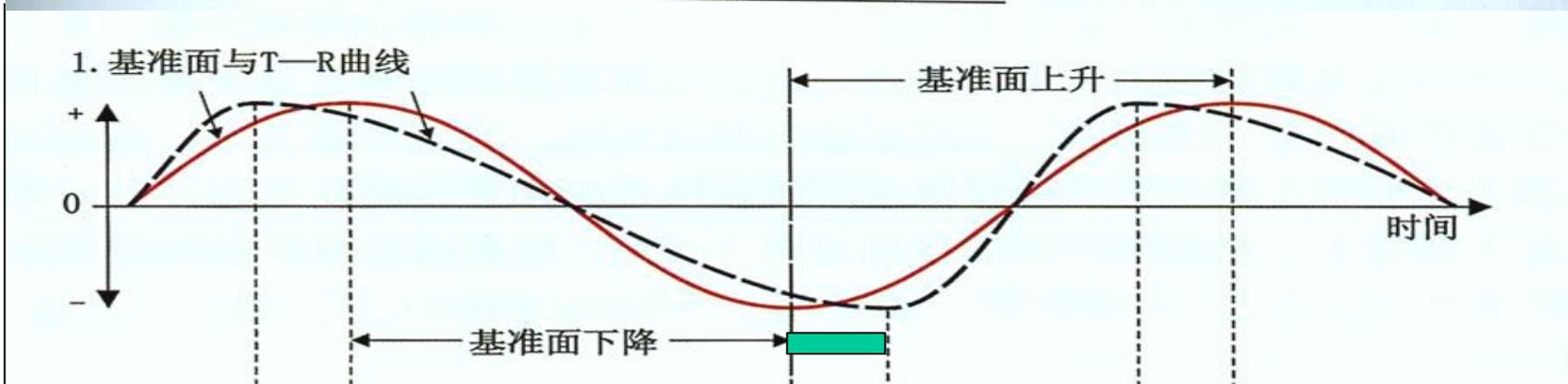
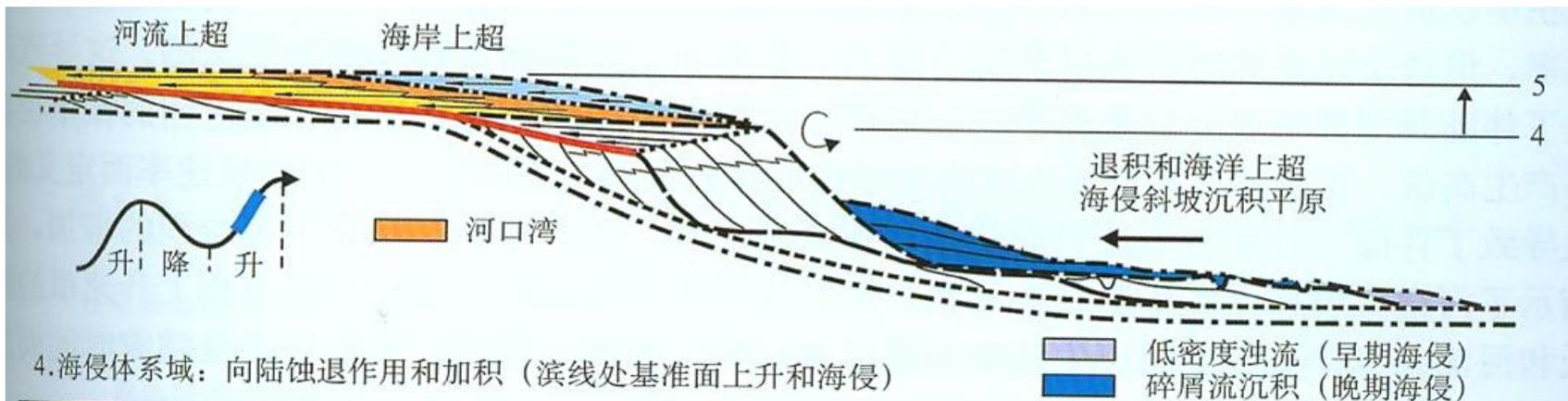


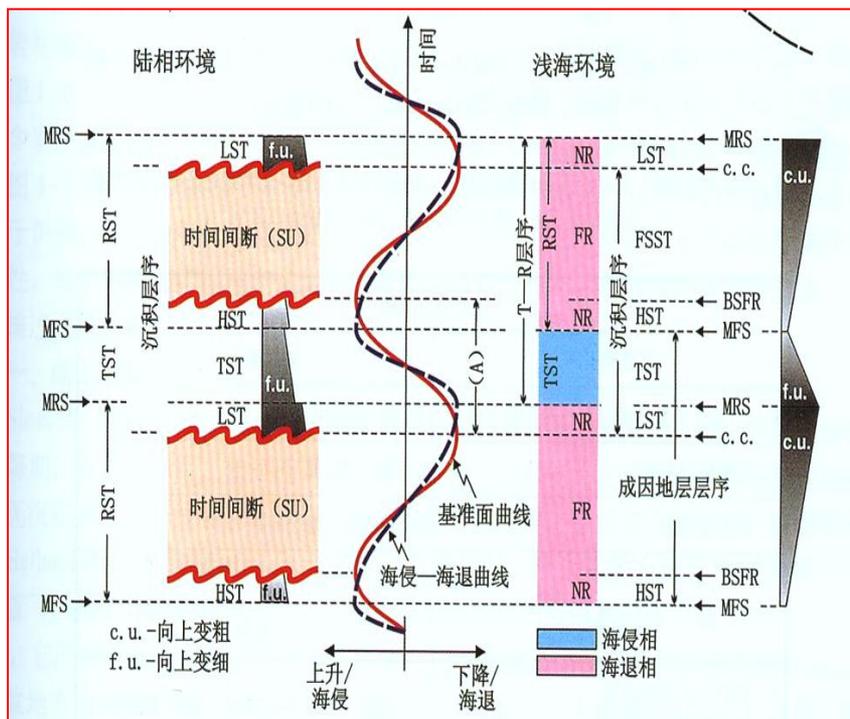
图 5-5 Wheeler 图表解释了一个完整的海退—海侵旋回期间的沉积模式 (修改自 Catuneanu, 2002)

五、湖侵体系域及其界面

- 海侵体系域：形成于滨线处于沉积速率小于基准面上升速率的沉积时期
- ——基准面上升-滨线向岸迁移

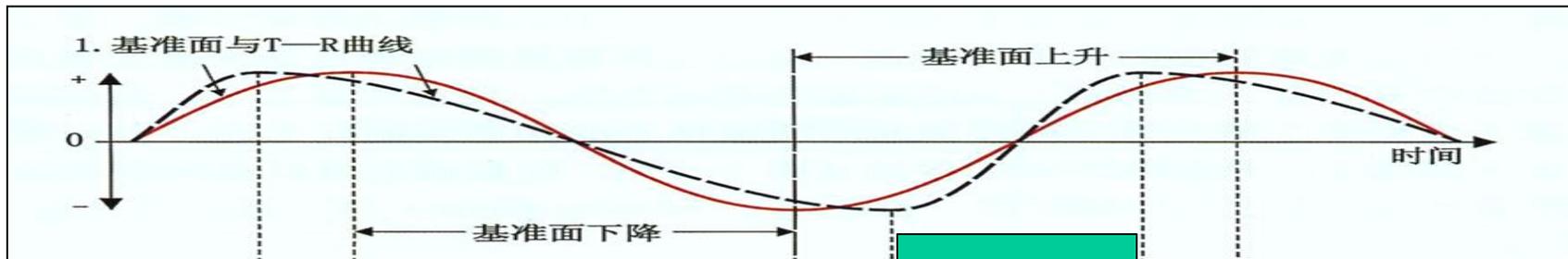


四、湖侵体系域及其界面



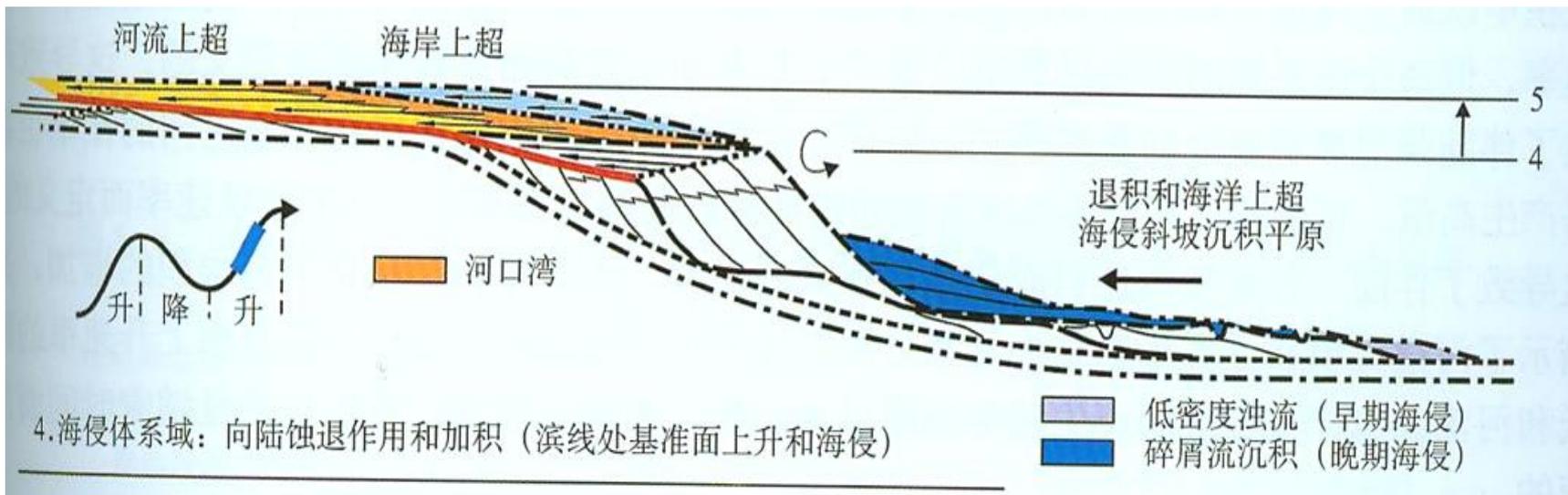
低水位体系域的界面：

- 底界面：最大海退面 (MRS)
- 顶界面：最大洪泛面 (MFS)



五、海侵体系域及其界面

- **最大海退面**：标志着滨线海退至海侵的变化，分隔了其下前积地层和其上的退积地层，代表了海侵作用的开始。
- **-初始洪泛面 (first flooding surface)**



五、海侵体系域及其界面

初始洪泛面 (first flooding surface):

- 指海（湖）平面发生大规模上升的初始海泛面，一般对应于第一个滨岸上超点。
- 1) 准层序组：界面以上为退积式准层序组，以下为加积式准层序组，反映湖平面由相对稳定到上升的变化过程

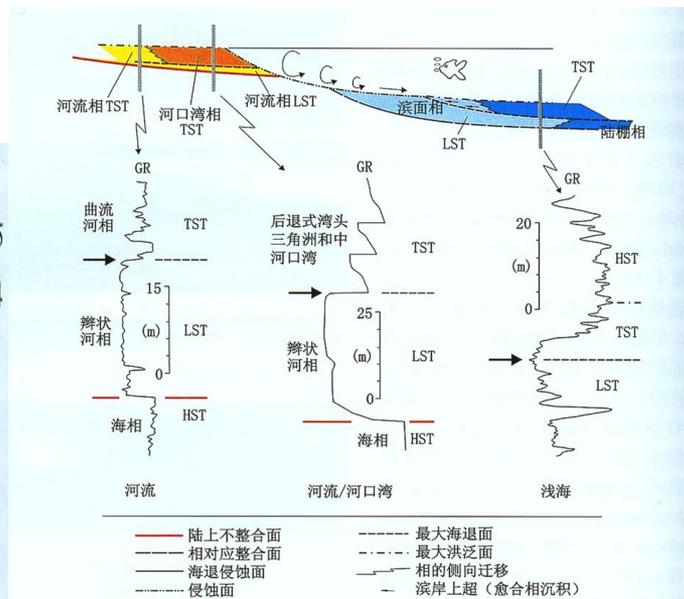
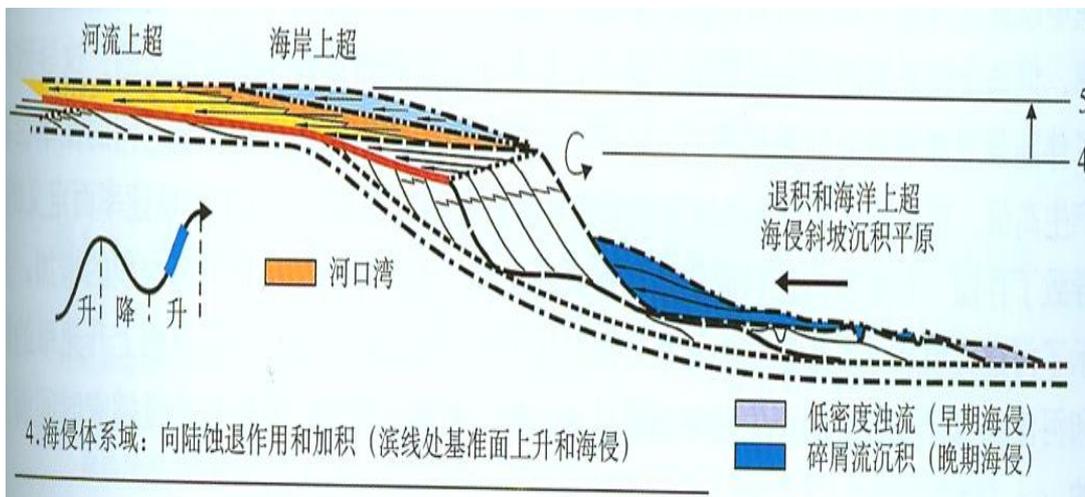


图 4-32 最大海退面测井响应 (箭头所指, 据 Catuneanu, 2002, 2003 修改)
最大海退面的判别标志见图 4-9 的总结。测井实例来自 Kerr 等 (1999) (左图和中图) 和 Embry 和
catuneanu (2001) (右)。GR—自旋伽马曲线, LST—低位体系域, TST—海侵体系域, HST—高位体系

五、海侵体系域及其界面

- 2) 沉积环境差异，界面以上多为半深湖-深湖，界面以下多为滨浅湖或暴露环境
- 3) 在盆地边缘，首泛面有时与层序界面重合

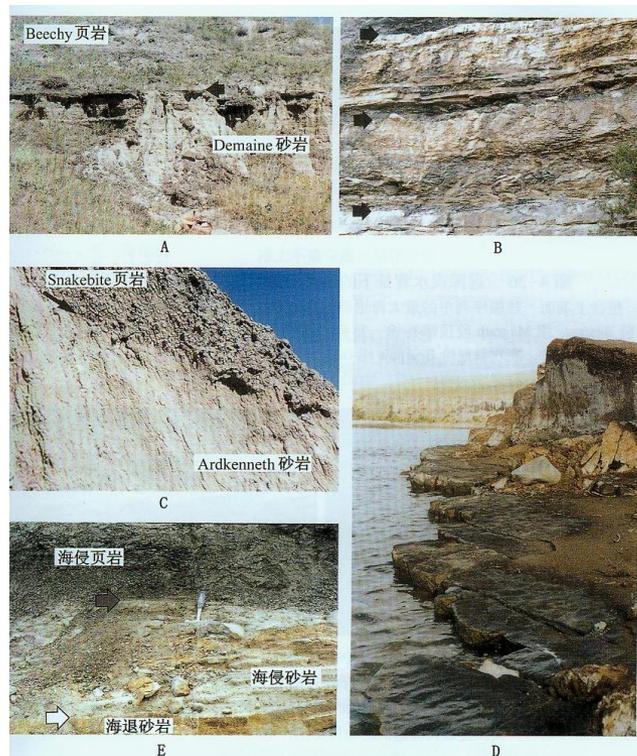
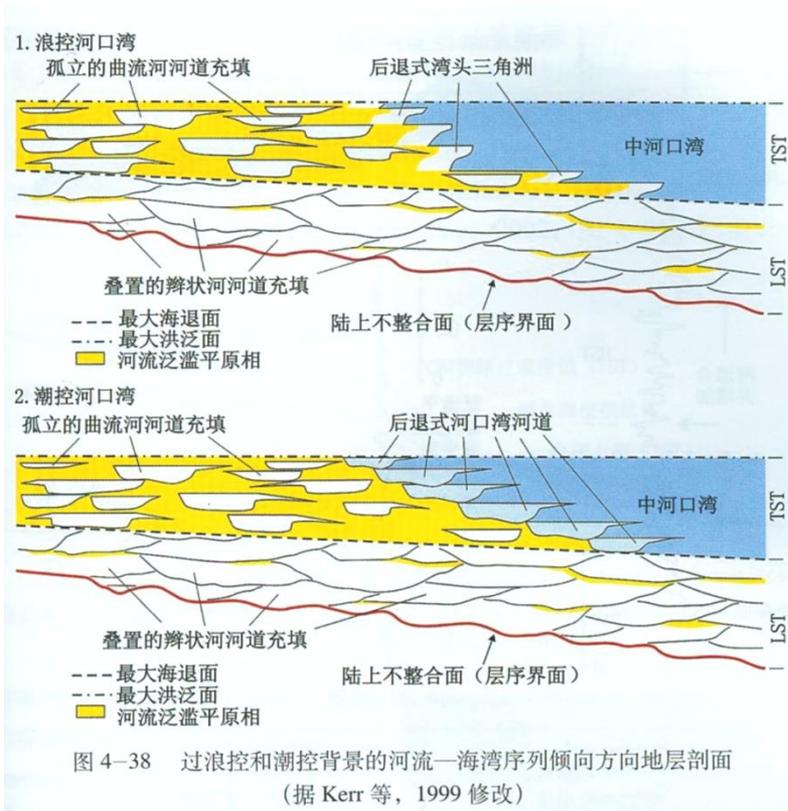
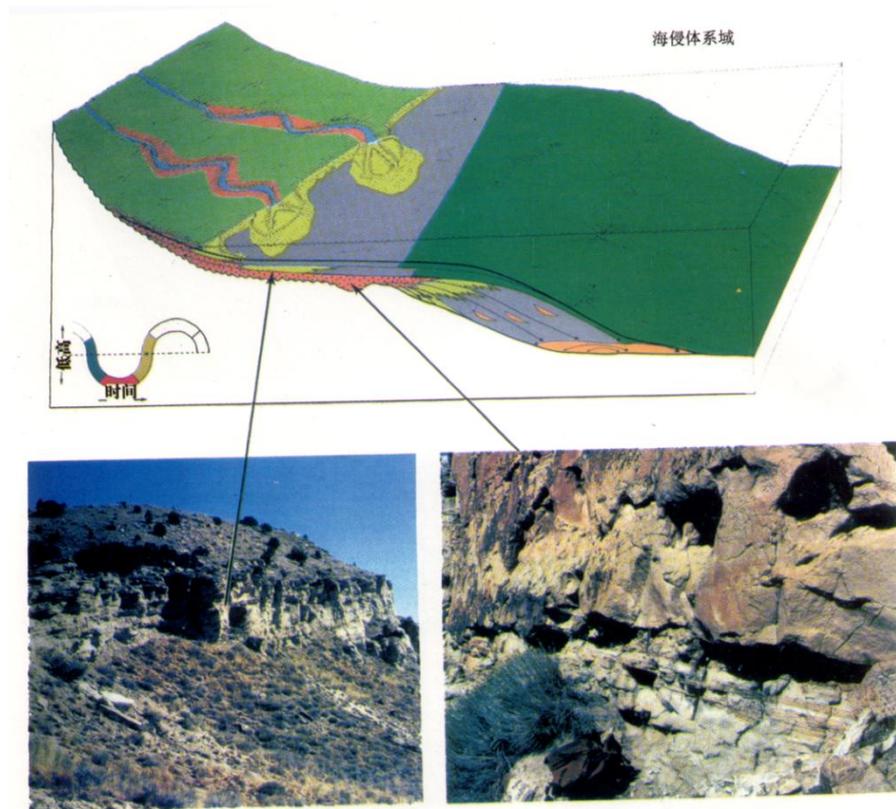


图 4-35 近源浅水背景下的最大海退面露头实例

五、海侵体系域及其界面

• 海侵体系域特征：

- 沉积作用缓慢、低砂泥比值、一个或多个退积准层序组。
- 沉积体系：陆架沉积、三角洲沉积、海岸平原沉积及障蔽岛、泻湖、潮汐沉积
- 顶部沉积以沉积慢、分布广、富含有机质、沉积物细为特征。

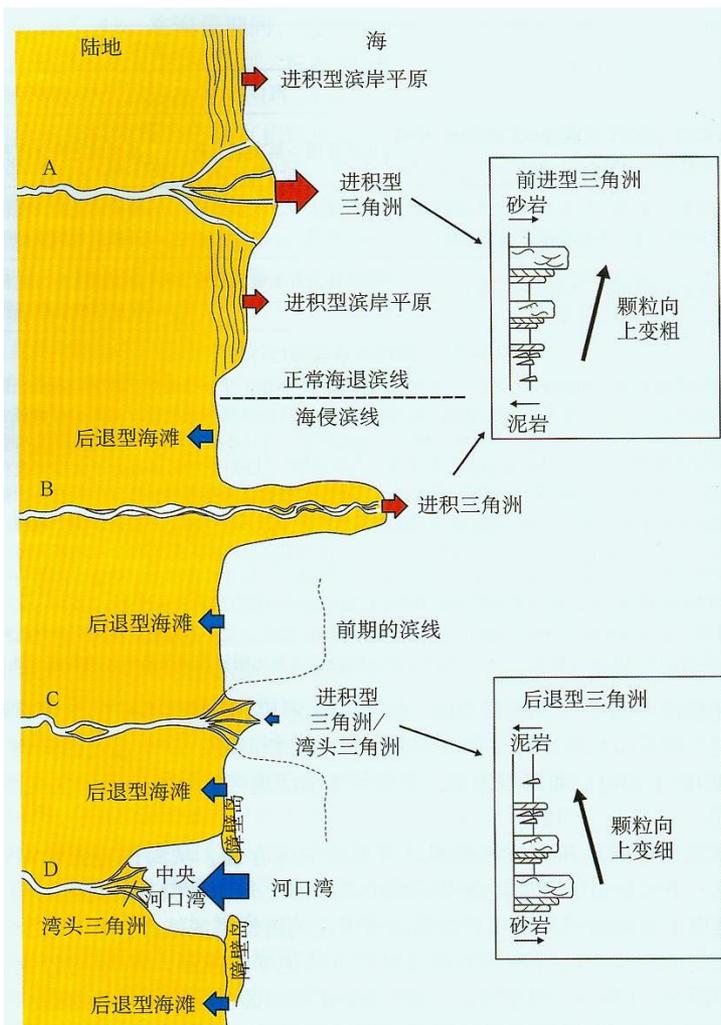


- 海平面上升速度最大
- 在短暂的减速过程中，上升准层序以向后叠加的形式进行
- 有机质富集相（密集段）向上迁移到大陆架上
- 河流系统由辫状河变成曲流河

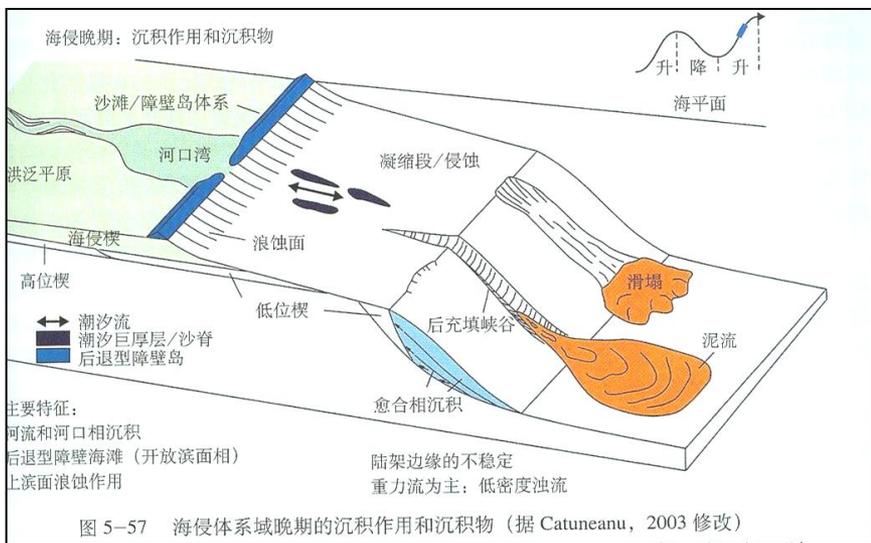
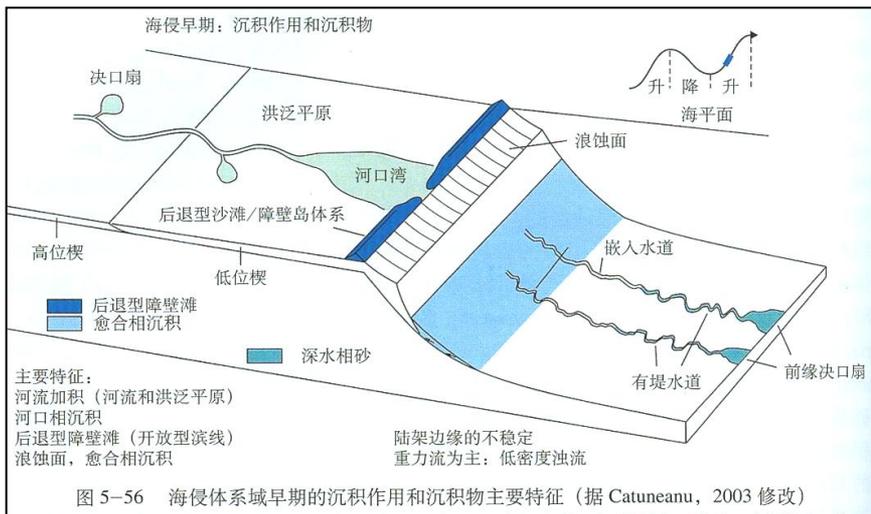
照片

左：怀俄明州比格霍恩盆地陆蚀退层序，海进体系域蒂波特顶部砂岩
右：怀俄明州比格霍恩盆地辫状河深切谷砂岩（蒂波特砂岩）

五、海侵体系域及其界面

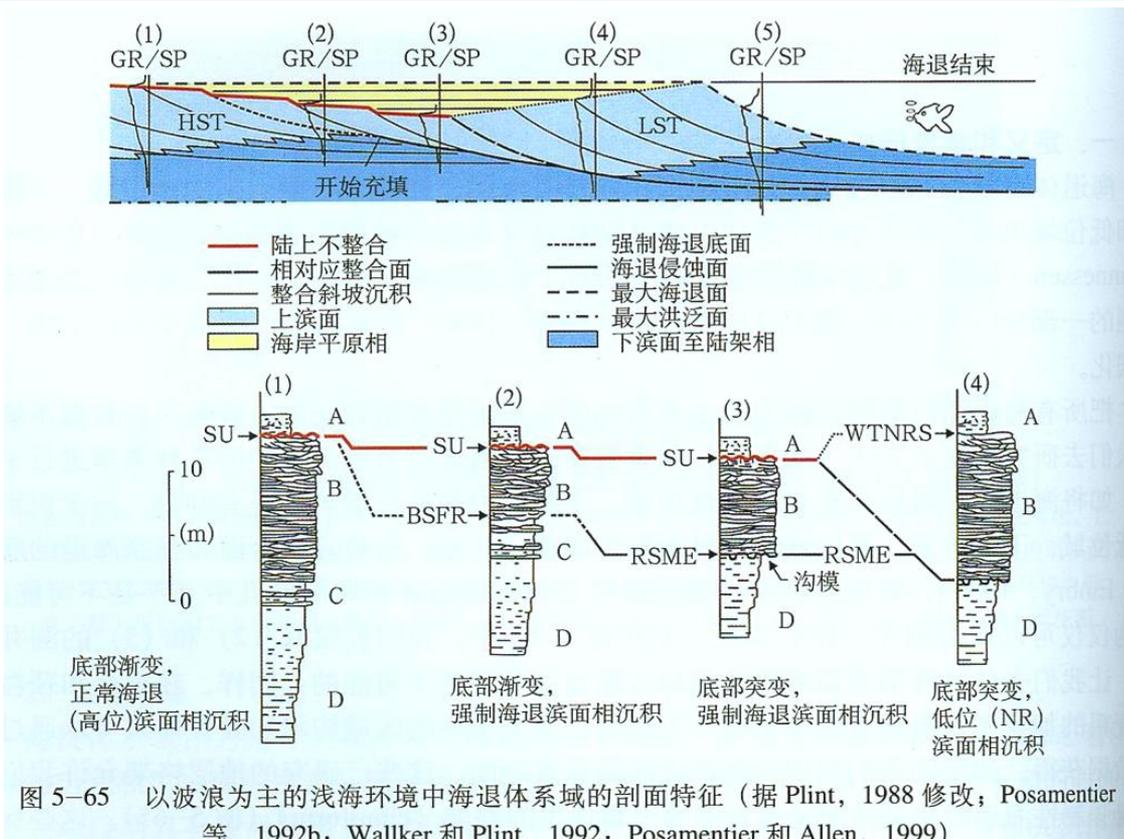


对于不同滨岸环境的进积或退积特征取决于沉积速率和基准面上升速率之间的关系



六、海退体系域及其界面

- 海退体系域 (regressive systems tract) : 包括滨线海退过程中沉积的所有地层, 不能识别出高位、下降和低位体系域





知识要点

- 低位域与高位域
- 海侵域与下降域
- 海退域

研讨题目

- 试阐述在一个基准面变化旋回中体系域划分的依据。