层序地层学基础
Basis of Sequence Stratigraphy

——2009年本科生

陈开远

Tel：010-82320506， E-mail：ddcky@163.com

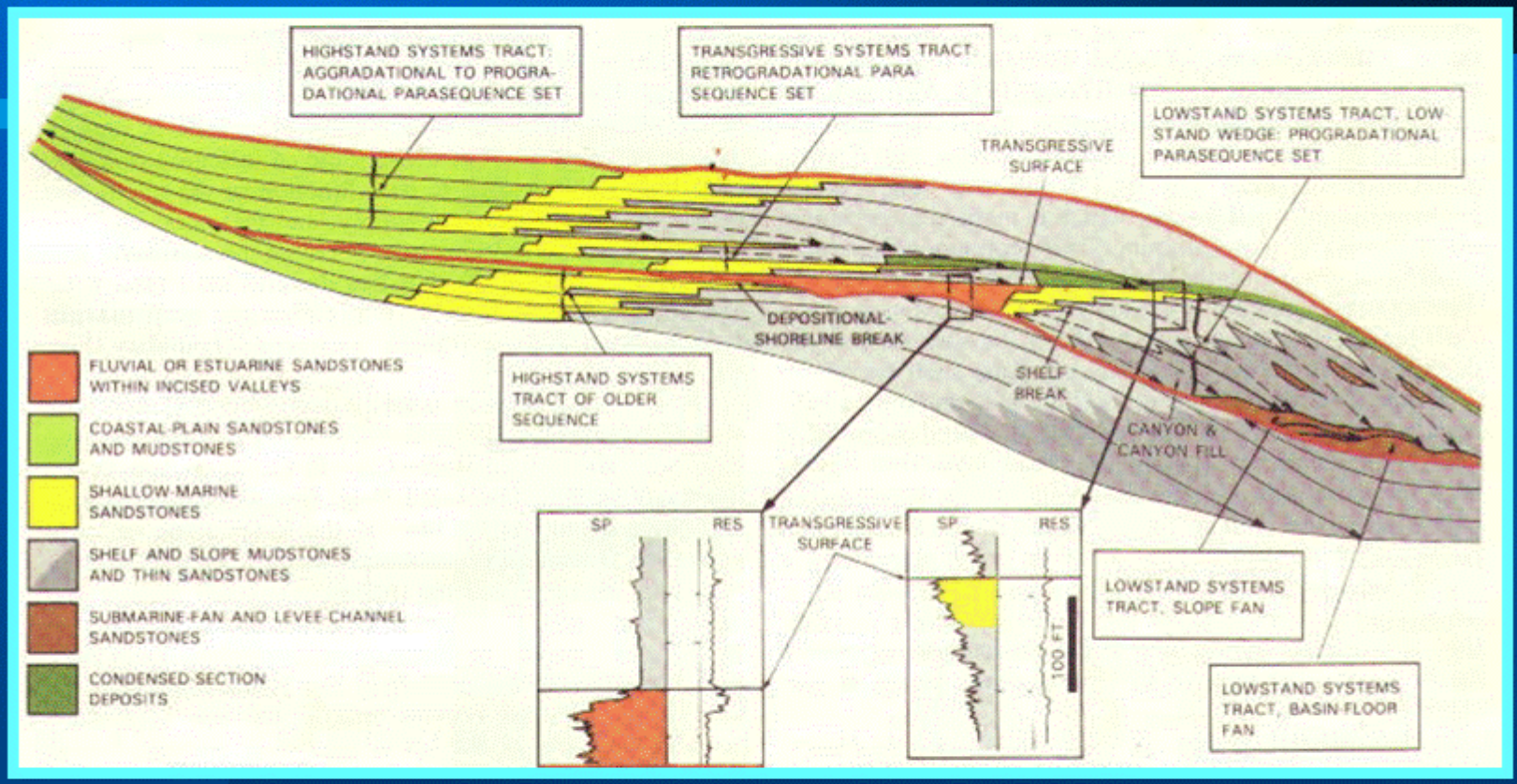
层序地层学基础

第二部分　层序地层学基础

- ♣ 层序地层学的基本理论和关键性定义
- ♣ 钻井、地震资料的层序地层学解释方法

➢第五章　碎屑岩层序地层学概述

体系域

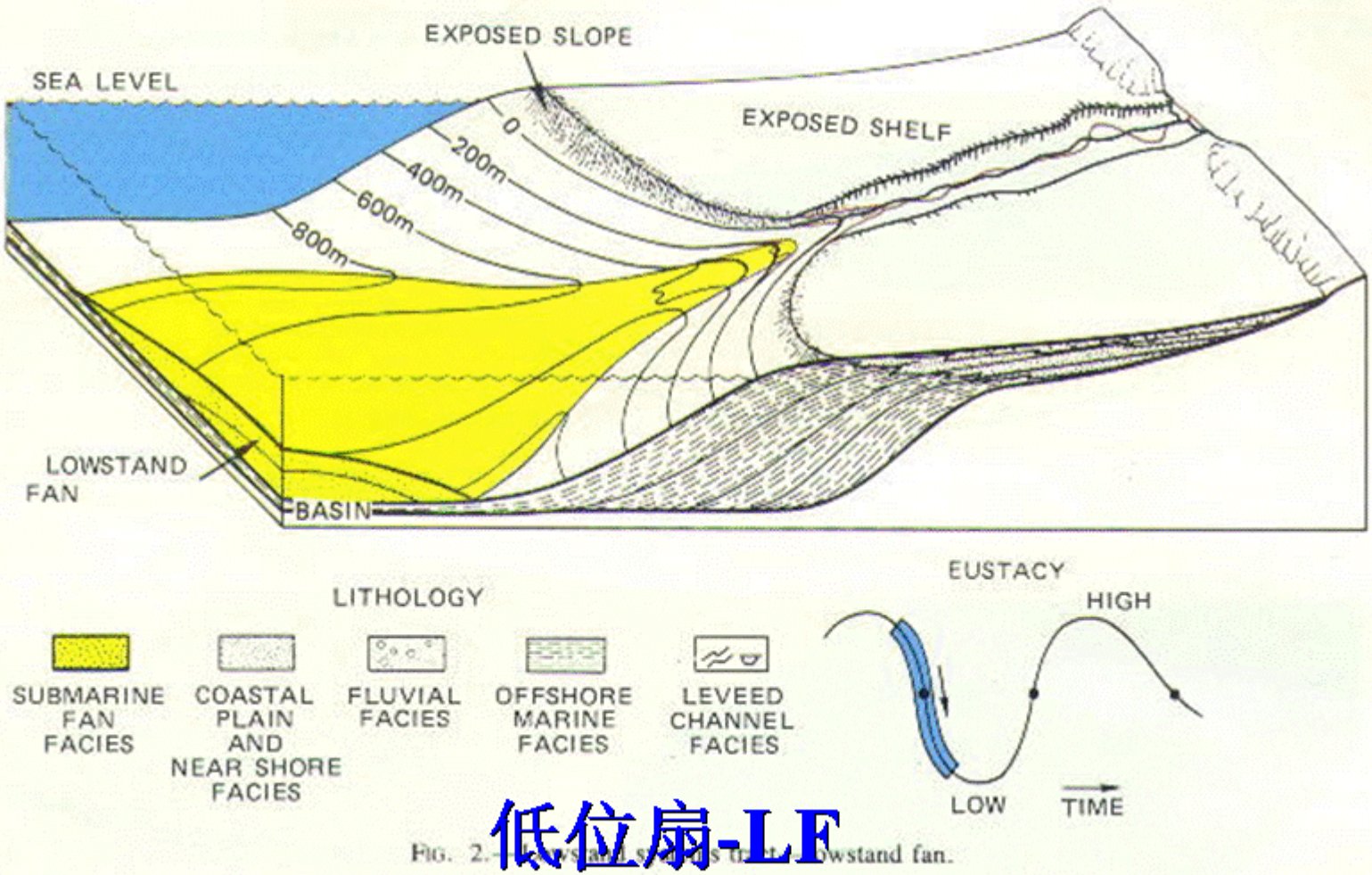


- 一串**同时期的沉积体系**(据Brown,1977)。每个体系域都与海平面升降周期曲线上的特定段相伴生(**水面迅速下降期-低位扇，水面上升-水进体系域等**)。

体系域的命名

- 必须注意的是，当谈到体系域时，低水位和高水位这些术语并不意味着暗示了全球性海面变化周期上的独特的时期或者位置。一个体系域开始的实际时间是海面升降、沉积物供应和构造运动间相互作用的函数。

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)



低位扇-LF

FIG. 2. [illegible] lowstand fan.

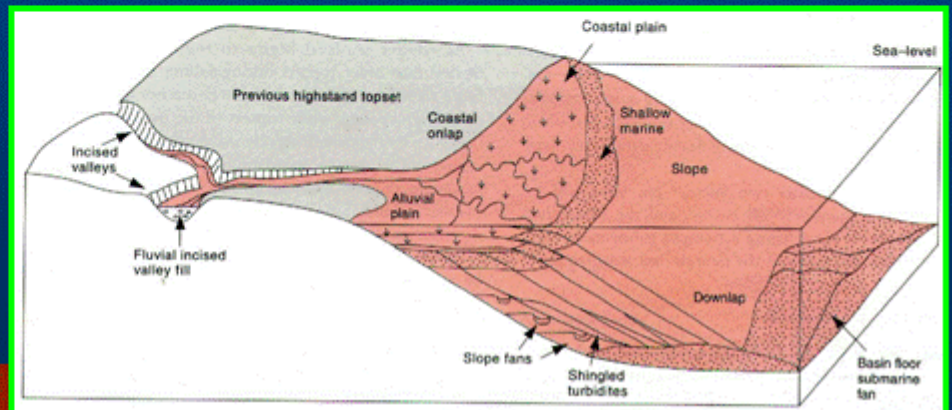
低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

- I 型沉积层序底部的体系域被称为*低位体系域*
- **低位体系域**是在以*相对海平面下降*速度超过退覆坡折带处的沉降速度和随后的*相对海平面缓慢上升*为特点的阶段沉积的。

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

陆棚坡折大陆边缘退覆坡折处的相对海面下降对河流体系有着极其重要的影响。

- 在相对海面下降以前，河流多已形成一定的河床坡降剖面，高部位剥蚀，低部位（冲积平原和湾岸平原）沉积。
- 当海面相对上升时，河流将会四处泛滥、冲刷。



低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

- 当海面相对下降到退覆坡折处以下时，海湾线离开陆架降落到陆坡上，由于平衡剖面降低，河流剖面将调整以适应较低的基准面。
- 这就引起河流复壮或者下切，河流将下切到原先沉积的顶积层：即早期层序的冲积平原、湾岸平原和陆棚沉积之中。

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

- 与早先的高位体系域时期相比，这个阶段的沉积负载比较大，并且以较高**的砂泥比为特征**。
- 这是因为低位扇时期的河流沉积物负载是由下切水流掏挖出来的、再搬运沉积物组成，再加上内陆流域盆地供应的冲积负载沉积物；以及几乎没有沉积物留在洪泛平原上，所有的这些沉积负载都通过早期的顶积层，并最终沉积在早期的高位坡积斜坡或退覆坡折带之上部位。

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

- 而后，由于在这些部位沉积物过分集中带来的不稳定性，导致整体运动 (mass movement)作用的开始，而随后这里的退缩性崩塌，可以导致大的陆架边沿槽沟或者海底峡谷的形成。
- 最后，从河流以及同时期海底峡谷侧壁滑塌而来的沉积物被密度流搬运到盆地中，并且在陆坡变得十分平缓的地方沉积下来。
- 通常，这些沉积物是点源型海底扇。这种沉积体系起因于陆棚部位的河流下切作用。

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

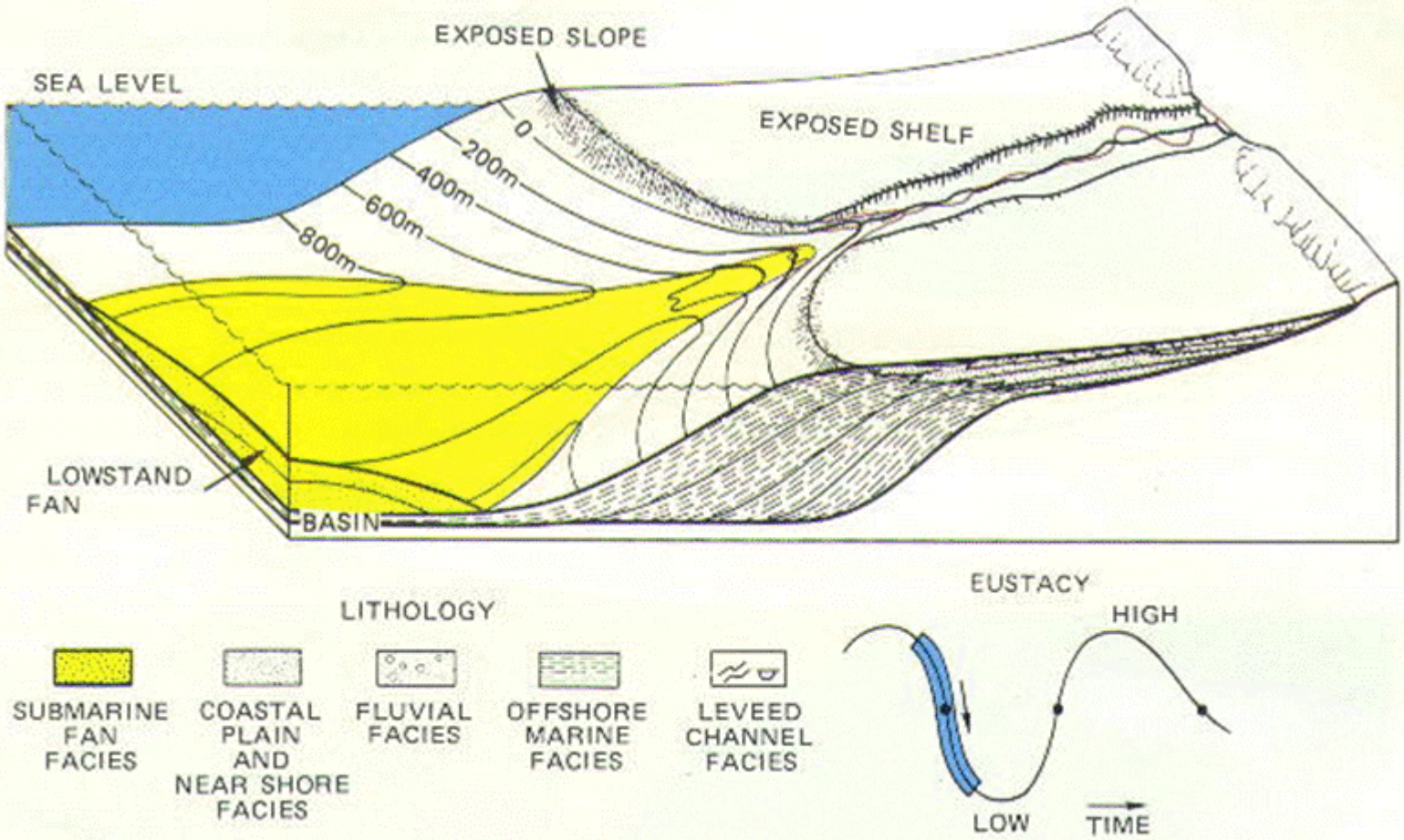


FIG. 2.—Lowstand systems tract—lowstand fan.

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

- 在海面相对下降的最低点，河流剖面再次稳定，进积的顶积—坡积层体系因而也会稳定。
- 低位体系域早期的顶积层系将在原先的退覆坡折之下开始上超。
- 低位体系域主要为一系列的进积型准层序组。

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

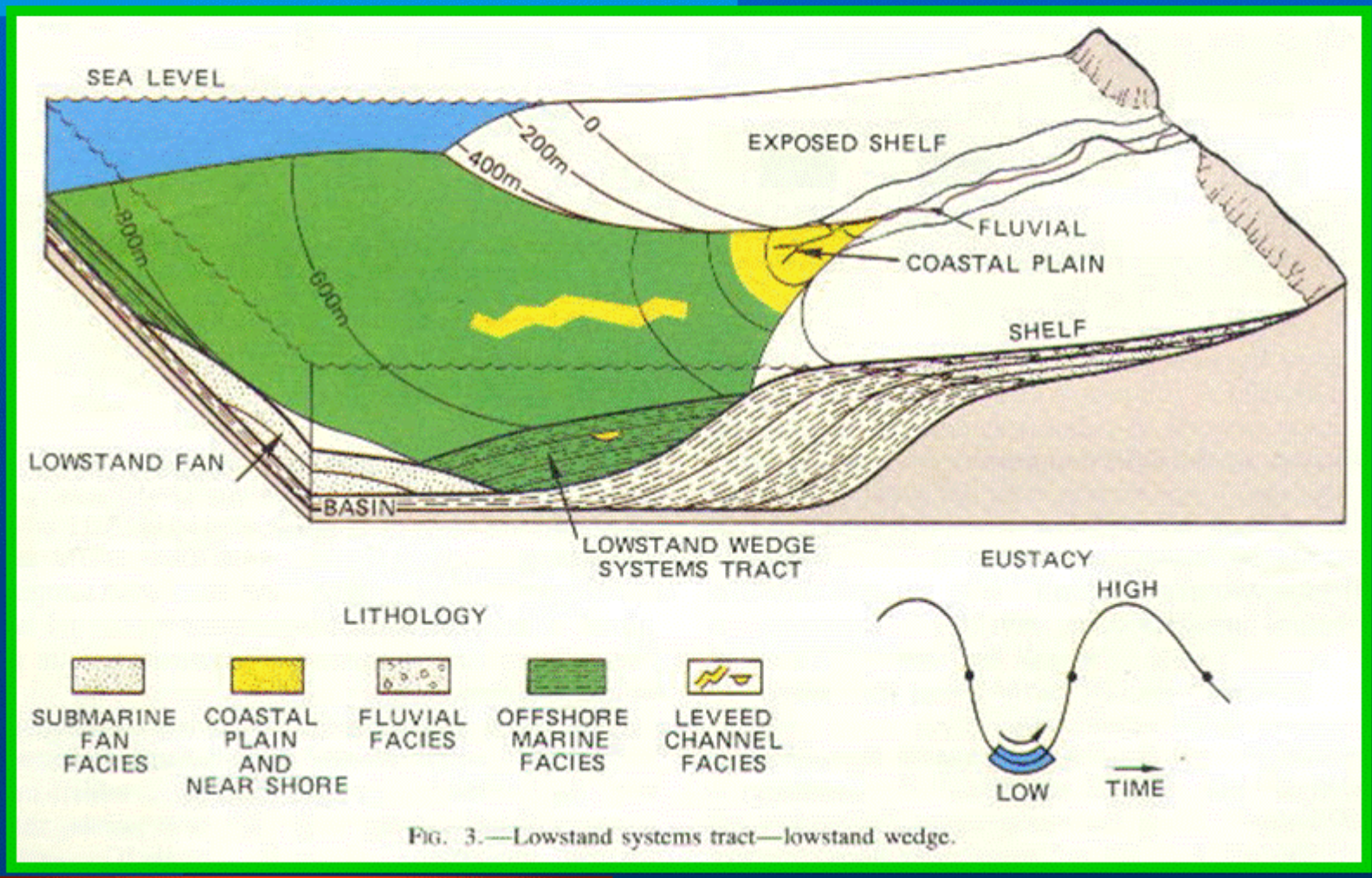


FIG. 3.—Lowstand systems tract—lowstand wedge.

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)

- 如果低位体系域是沉积在一个具有陆架坡折的盆地内，通常可以把它分成两个独立的、不同时期的组成部分：**低位扇**和紧跟着的**低位进积楔**。
- **低位扇**是受沉积物经由陆架通过活跃的下切谷时的**峡谷—海底扇**沉积作用控制的。
- **低位进积楔**以较细的楔形陆坡沉积为主。
- 它们又称为陆坡扇、陆坡楔、锥和水下扇。

低位扇 Lowstand Fan

- 低位扇通常可以区分出两个单独的沉积单元：
- 早期的、位于陆坡脚的**盆底扇**（BF，basin floor fan)；
- 后续的、衔接于陆坡处的**斜坡扇**(SF，slope fan)。

盆底扇 basin floor fan

- 它**以沉积于下陆坡和盆地底部的*海底扇*为特征**。盆底扇沉积取决于伸入到陆坡的峡谷的剥蚀作用和陆棚上河流体系的下切作用。陆棚和陆坡的硅质碎屑通过峡谷而注入到盆底扇中。
- 盆底扇的**底面**（与低位体系域底面一致）为1型层序边界，如果低位进积楔的进积范围足够大，盆底扇**顶面**可能是后续的低位进积楔的下超面，盆底扇顶面也可能是上覆任何斜坡扇的下超面。

低位扇 Lowstand Fan

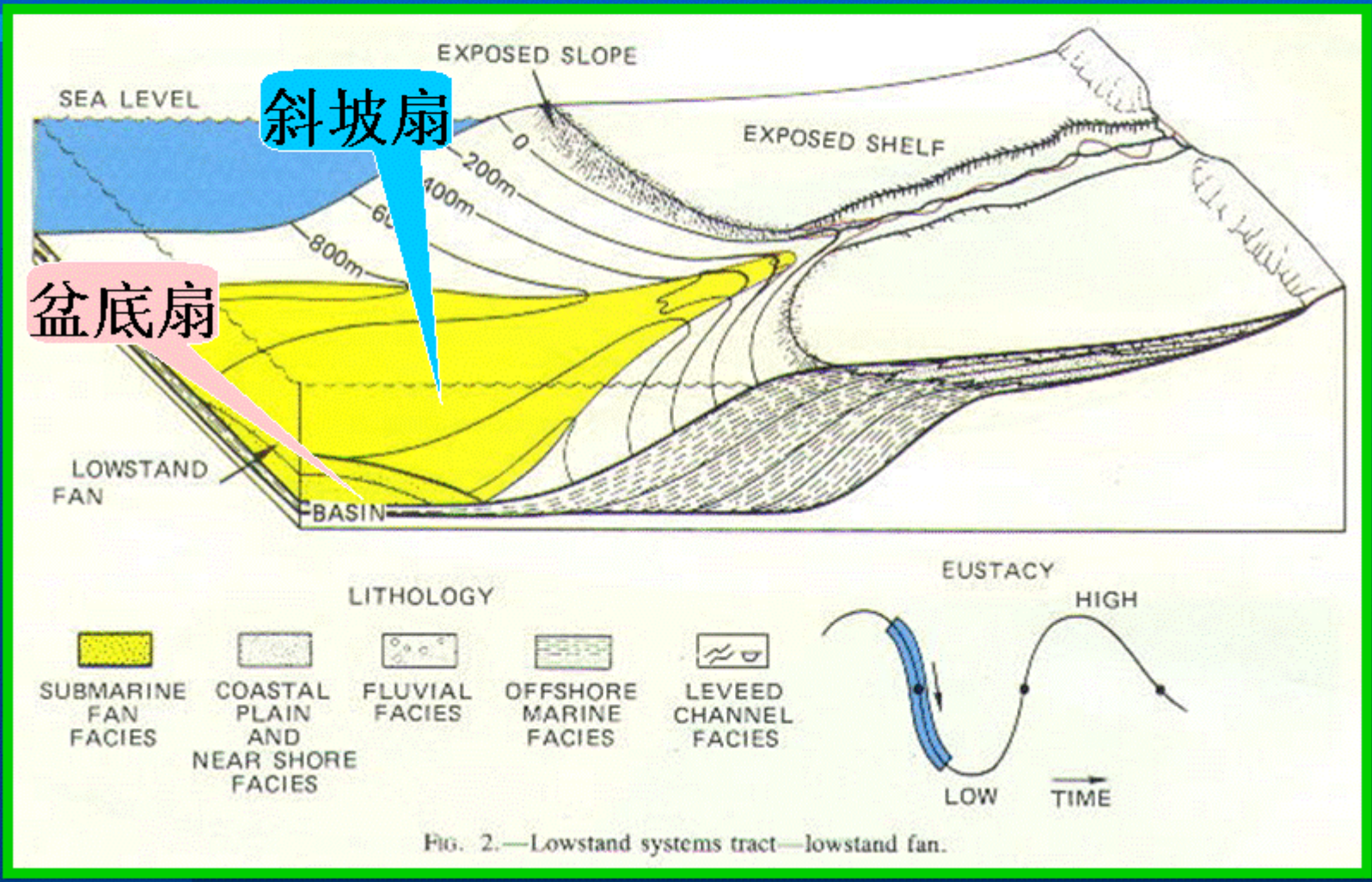


FIG. 2.—Lowstand systems tract—lowstand fan.

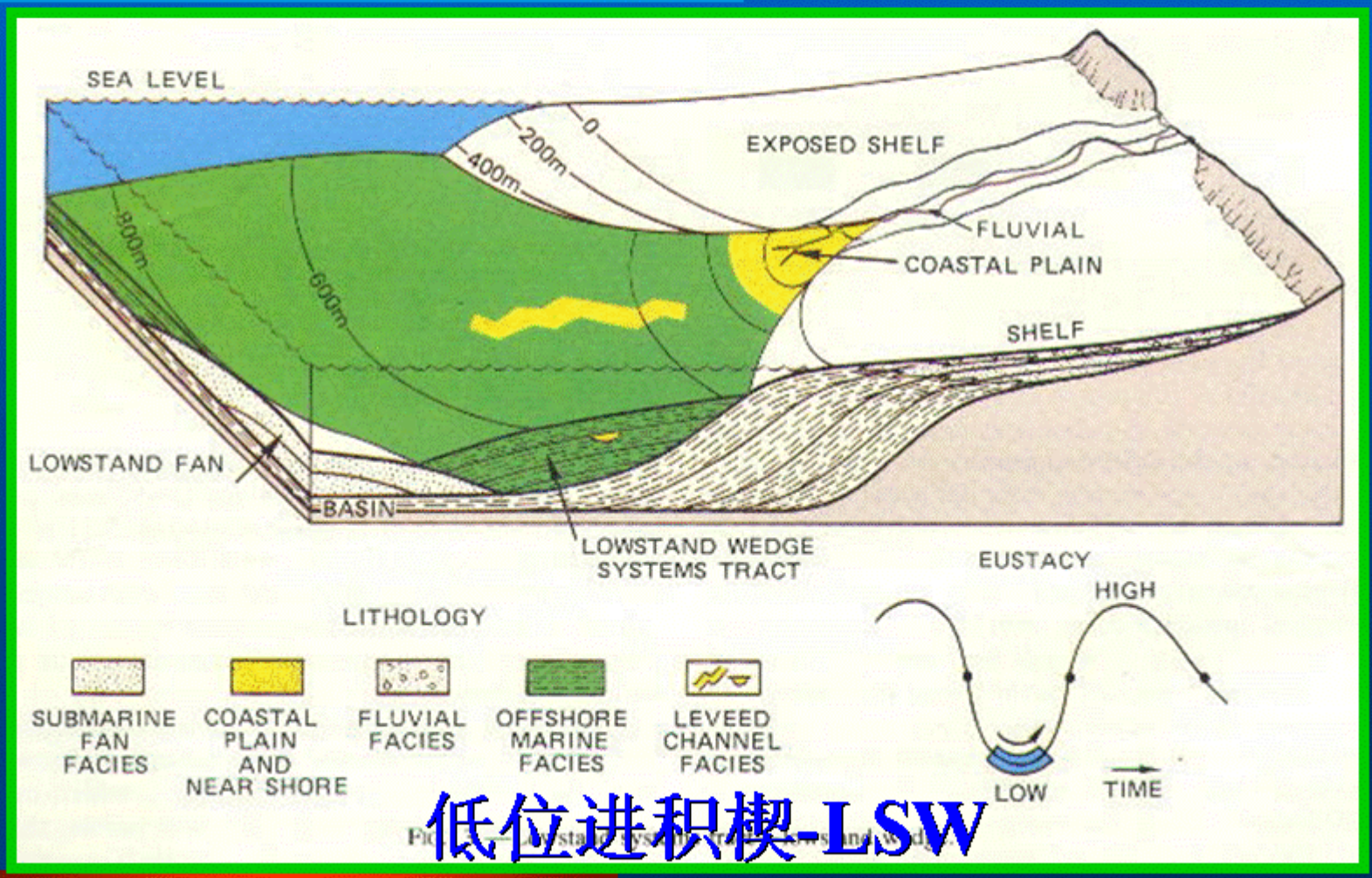
斜坡扇 slope fan

- 斜坡扇（陆坡扇）**以陆坡中部或底部的*浊积和碎屑流沉积***为特征。
- 斜坡扇沉积作用可以是与盆底扇同时期的，或者是与低位进积楔的早期部分同时期的。斜坡扇的**顶部**是低位进积楔中部和上部的某一个下超面。
- **典型的斜坡扇被认为是由水下河道—天然堤沉积复合体**（*Van Wagoner et al., 1988*）。

低位扇 Lowstand Fan

- 低位扇通常可以区分出两个单独的沉积单元——**盆底扇和斜坡扇**。
- 但是，并非**所有盆地中的Ⅰ型层序**都能区别开这两个沉积单元。

低位体系域 (Lowstand Systems Tract)



低位进积楔-LSW

低位进积楔
Lowstand Prograding Wedge

- 它以陆架上的下切河谷充填为特征。
- 常上超于层序界面之上，以具楔形形态的前积充填方式覆盖于陆坡之上，并常下超于盆底扇或陆坡扇之上。
- 低位进积楔沉积与盆底扇沉积是不同时期的沉积物。
- 低位进积楔由前积到加积准层序组组成。

低位进积楔
Lowstand Prograding Wedge

- 低位进积楔的顶面与低位体系域的顶面相重合，是一个**海泛面**，称为**海进面**。
- 低位进积楔沉积是海平面缓慢相对上升时期发生的。
- 低位进积楔以覆盖在斜坡扇有堤河道沉积和随后的峡谷充填之上的三角洲沉积体系的前积为特征。作为三角洲前缘的沉积物，**浊积岩**等深水砂可沉积下来。

水进体系域 (Transgressive Systems Tract)

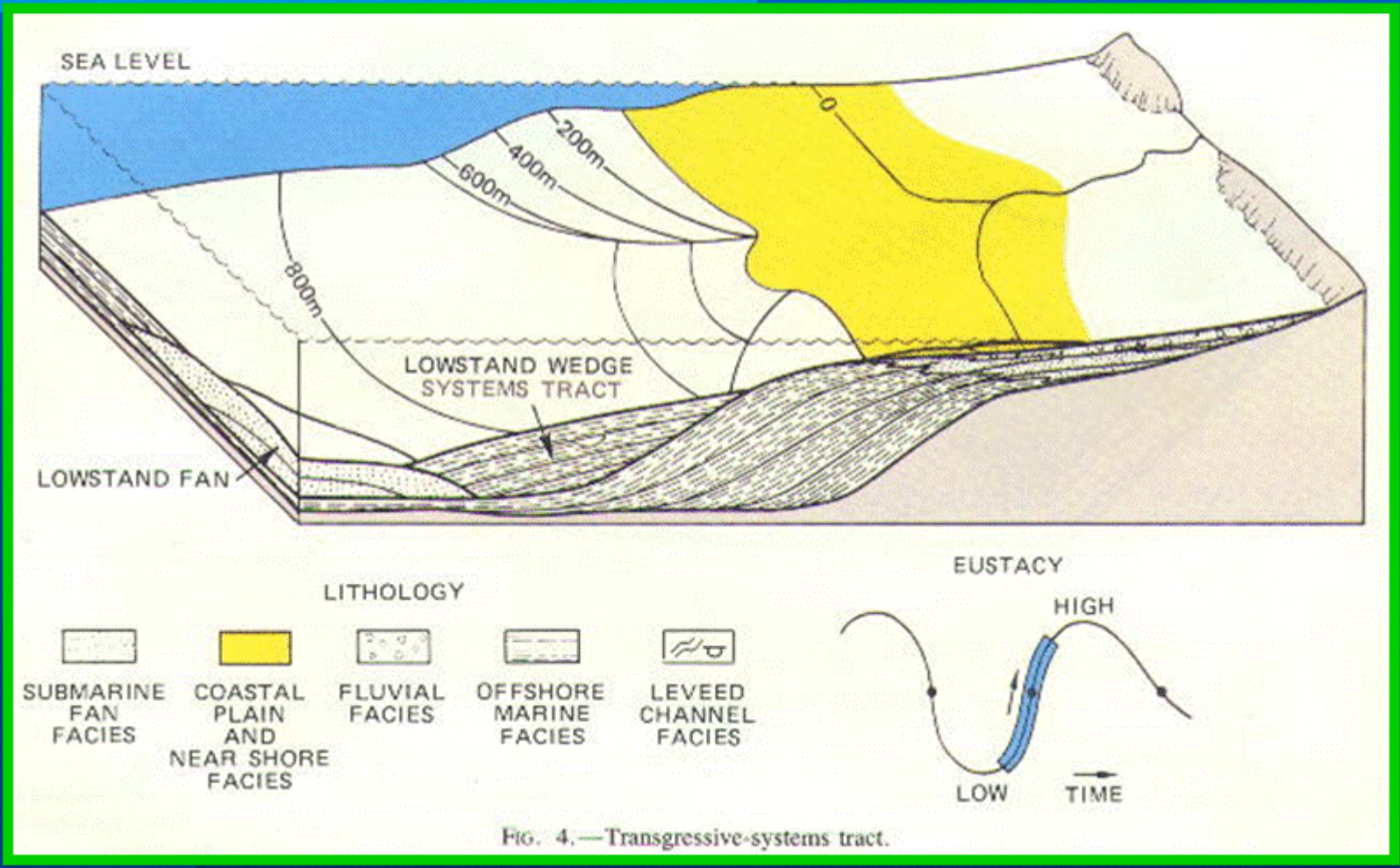


FIG. 4.—Transgressive-systems tract.

水进体系域 (Transgressive Systems Tract)

- I型（或II型）沉积层序内部中间的体系域被称为***水进体系域***。
- **水进体系域**沉积在相对海面上升、**可容纳空间体积增加较沉积物供应快得多**的时期。
- 它具有最发育的顶积层系和少量的坡积层系，以发育一个或多个退积式准层序组为特征。

高位体系域（Highstand Systems Tract）

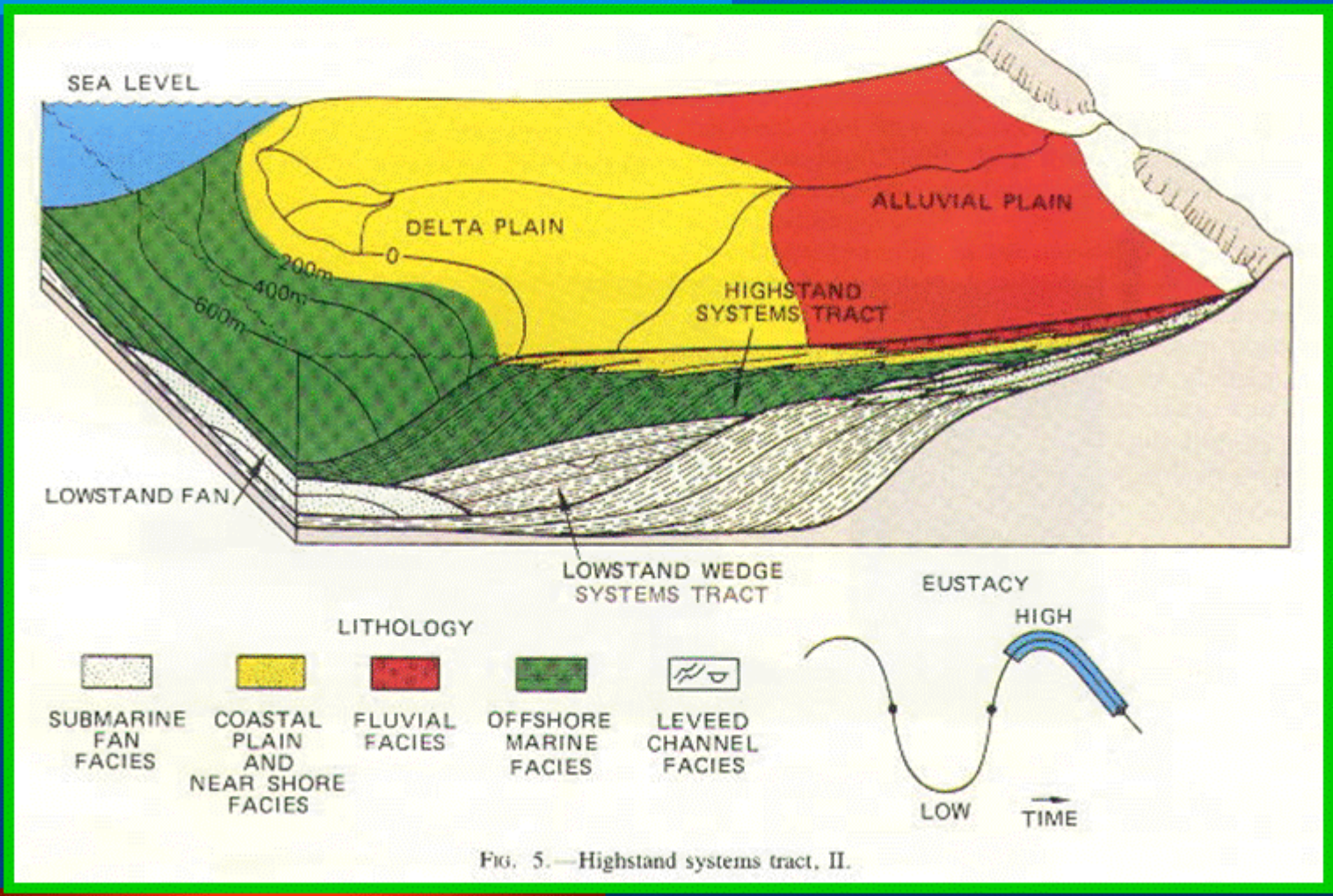


FIG. 5.—Highstand systems tract, II.

高位体系域（Highstand Systems Tract）

- I型（或II型）沉积层序最上部的体系域称为***高位体系域***
- **高位体系域**以随地史时间的相对海面上升减少为特征，因而早期发育**加积结构、晚期发育进积结构**。
- 它反映了最大海进面之后、层序边界之前进积的顶积——坡积层体系，此时可容纳空间增加的速率低于沉积物供应的速率。

陆棚边缘体系域
Shelf-margin Systems Tract

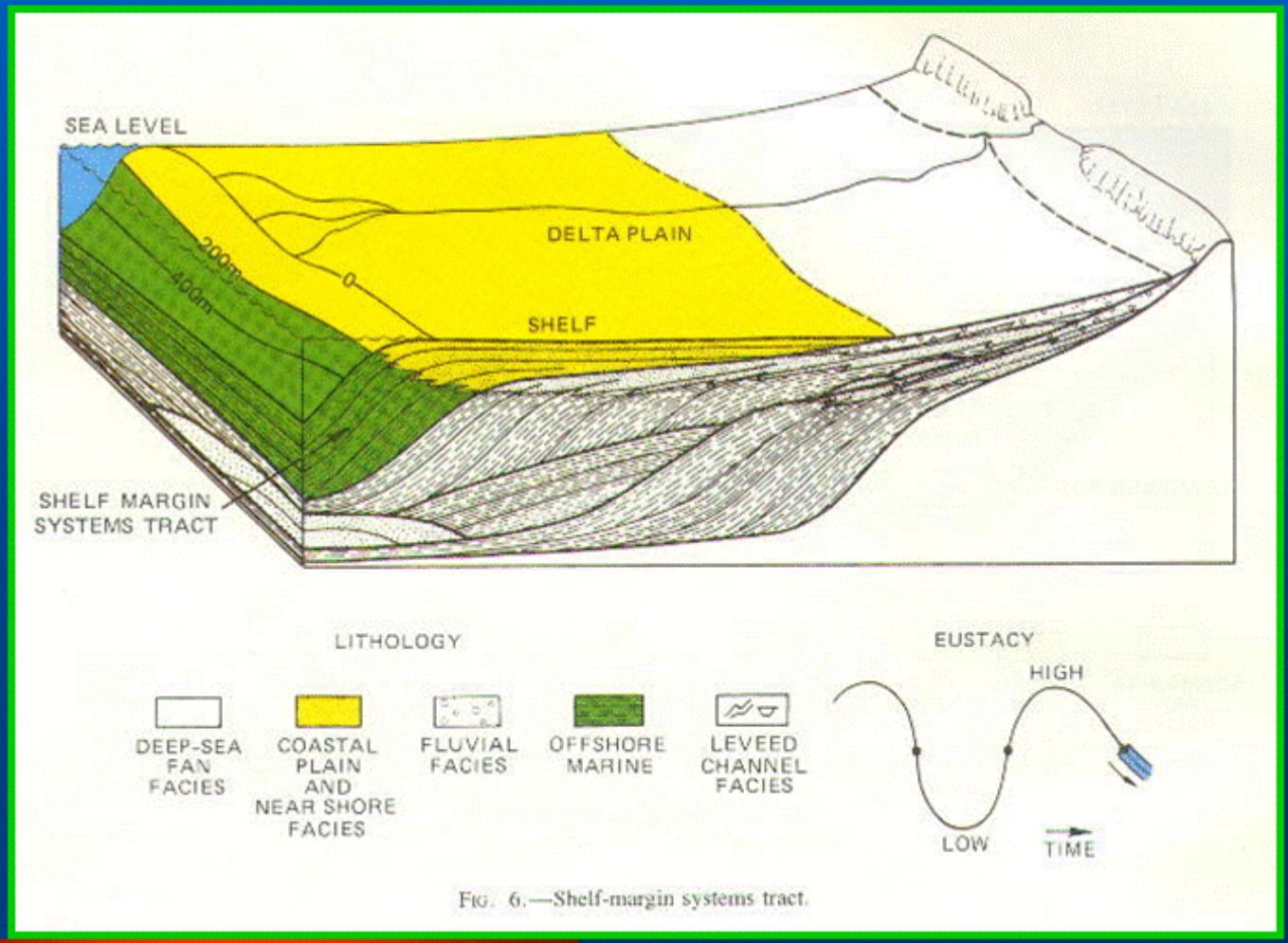
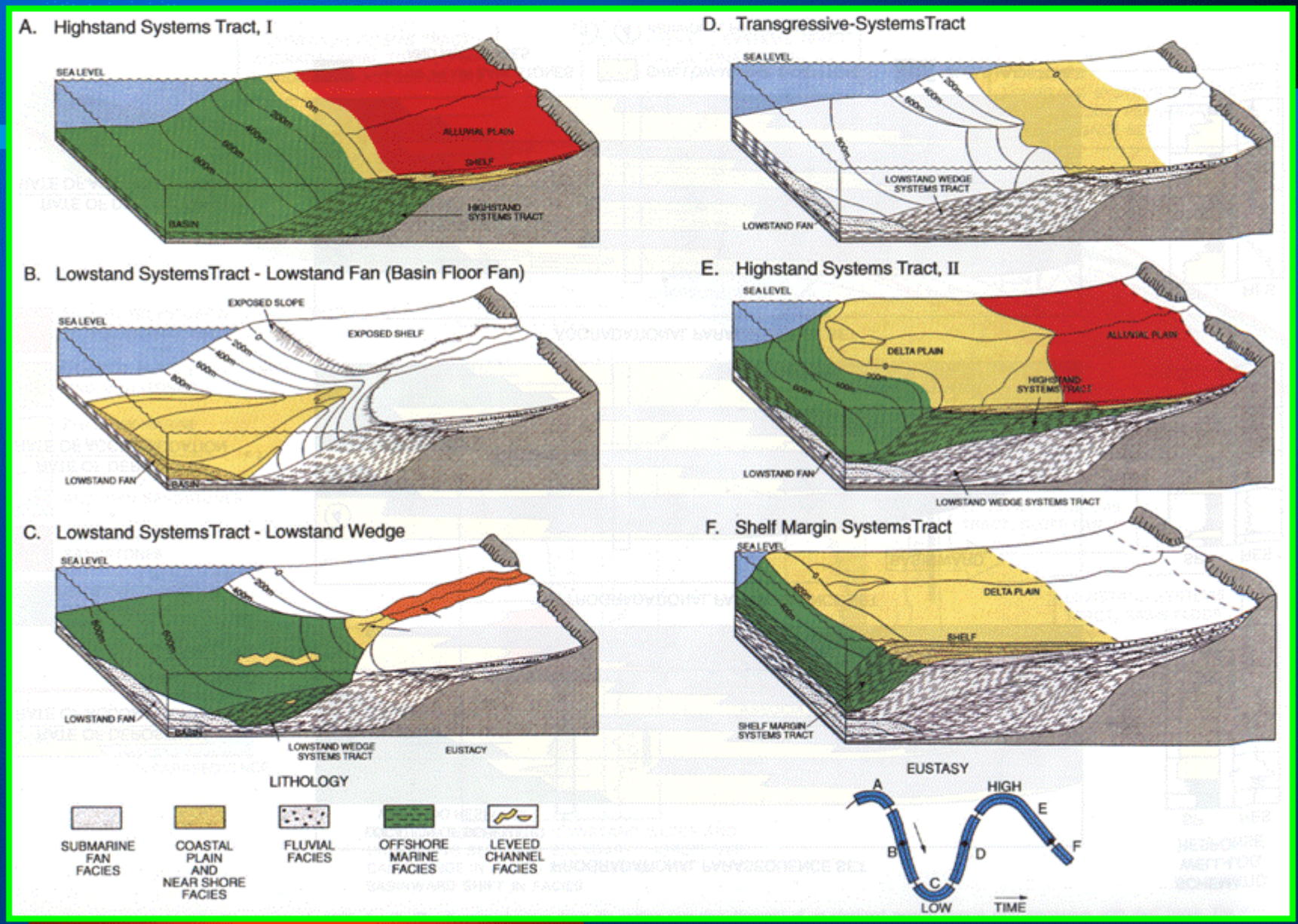
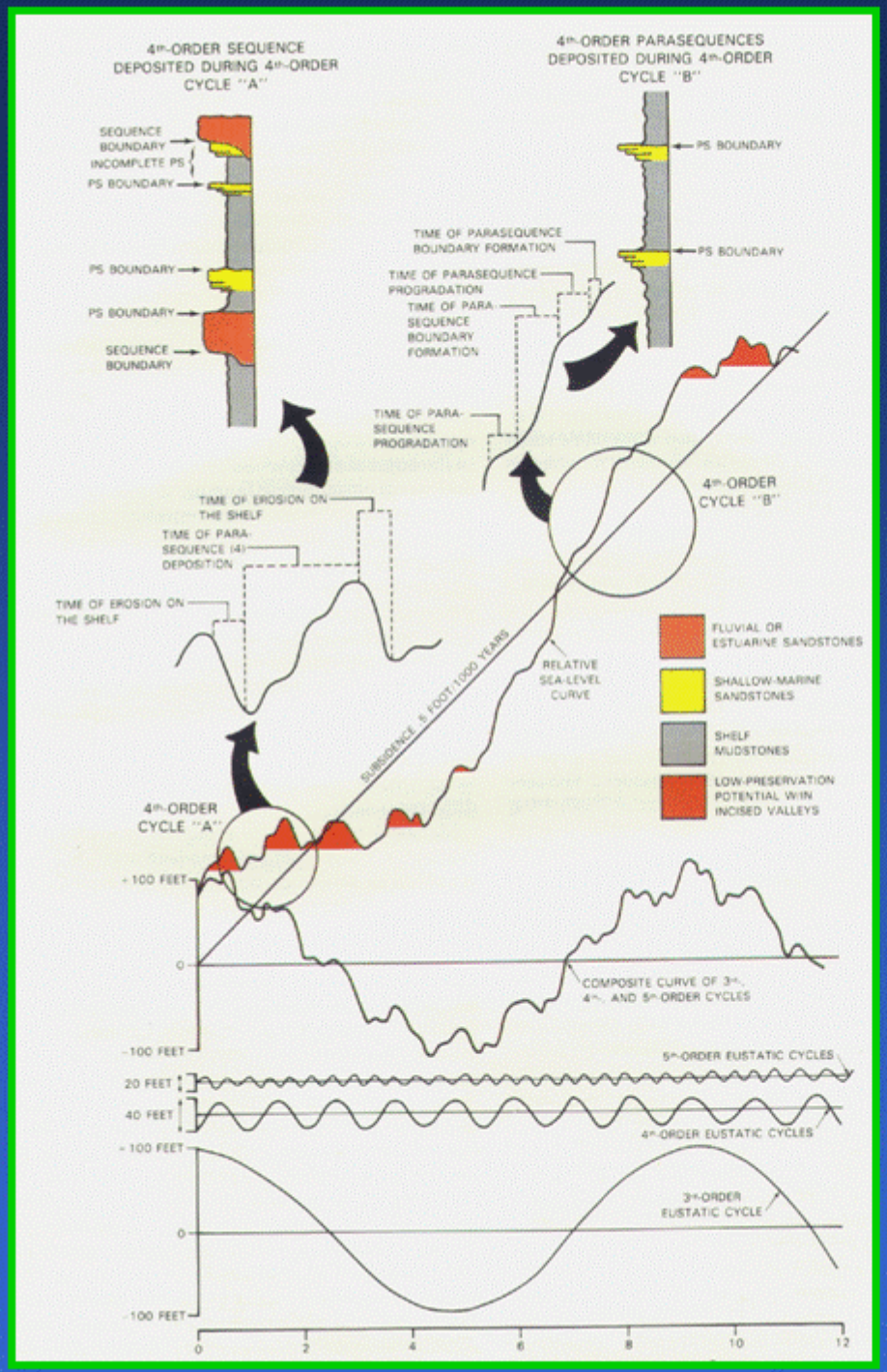


FIG. 6.—Shelf-margin systems tract.

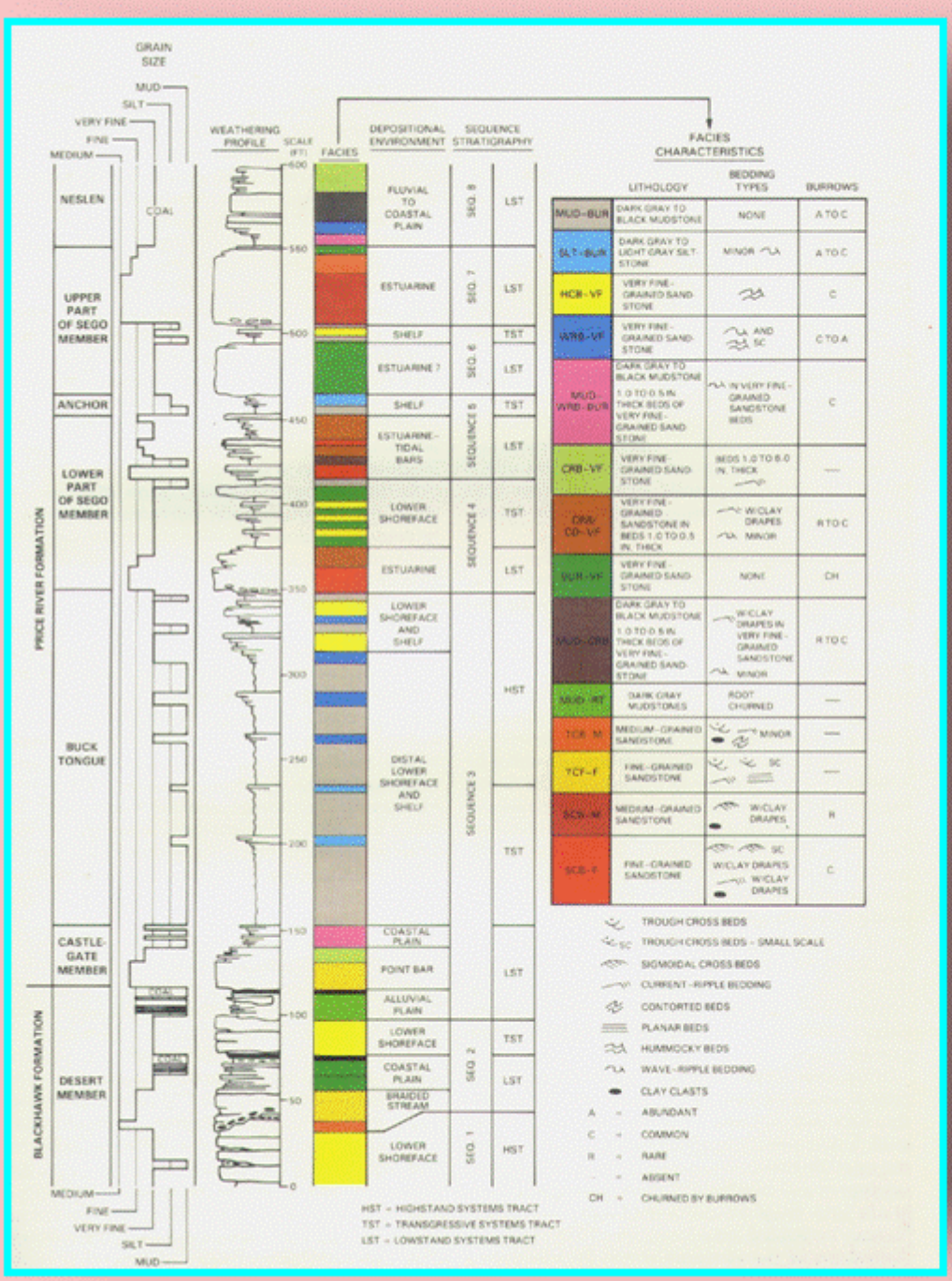
层序单元与体系域结构


A. Highstand Systems Tract, I
SEA LEVEL
ALLUVIAL PLAIN
SHELF
BASIN
HIGHSTAND SYSTEMS TRACT
B. Lowstand SystemsTract - Lowstand Fan (Basin Floor Fan)
EXPOSED SLOPE
EXPOSED SHELF
LOWSTAND FAN
C. Lowstand SystemsTract - Lowstand Wedge
LOWSTAND WEDGE SYSTEMS TRACT
EUSTACY
LITHOLOGY
SUBMARINE FAN FACIES
COASTAL PLAIN AND NEAR SHORE FACIES
FLUVIAL FACIES
OFFSHORE MARINE FACIES
LEVEED CHANNEL FACIES
D. Transgressive-SystemsTract
LOWSTAND WEDGE SYSTEMS TRACT
E. Highstand Systems Tract, II
DELTA PLAIN
F. Shelf Margin SystemsTract
SHELF MARGIN SYSTEMS TRACT
EUSTASY
HIGH
LOW
TIME

海面变化周期


4th-ORDER SEQUENCE DEPOSITED DURING 4th-ORDER CYCLE "A"
4th-ORDER PARASEQUENCES DEPOSITED DURING 4th-ORDER CYCLE "B"
SEQUENCE BOUNDARY
INCOMPLETE PS
PS BOUNDARY
PS BOUNDARY
PS BOUNDARY
PS BOUNDARY
SEQUENCE BOUNDARY
PS BOUNDARY
PS BOUNDARY
TIME OF PARASEQUENCE BOUNDARY FORMATION
TIME OF PARASEQUENCE PROGRADATION
TIME OF PARA-SEQUENCE BOUNDARY FORMATION
TIME OF PARA-SEQUENCE PROGRADATION
4th-ORDER CYCLE "B"
TIME OF EROSION ON THE SHELF
TIME OF PARA-SEQUENCE (4) DEPOSITION
TIME OF EROSION ON THE SHELF
RELATIVE SEA-LEVEL CURVE
SUBSIDENCE, 1 FOOT/1000 YEARS
FLUVIAL OR ESTUARINE SANDSTONES
SHALLOW-MARINE SANDSTONES
SHELF MUDSTONES
LOW-PRESERVATION POTENTIAL W/IN INCISED VALLEYS
4th-ORDER CYCLE "A"
+100 FEET
0
-100 FEET
COMPOSITE CURVE OF 3rd-, 4th-, AND 5th-ORDER CYCLES
5th-ORDER EUSTATIC CYCLES
20 FEET
40 FEET
4th-ORDER EUSTATIC CYCLES
+100 FEET
0
-100 FEET
3rd-ORDER EUSTATIC CYCLE
0
2
4
6
8
10
12

露头测量得到的体系域


GRAIN SIZE
MUD
SILT
VERY FINE
FINE
MEDIUM
WEATHERING PROFILE
SCALE (FT)
FACIES
DEPOSITIONAL ENVIRONMENT
SEQUENCE STRATIGRAPHY
FACIES CHARACTERISTICS
LITHOLOGY
BEDDING TYPES
BURROWS
PRICE RIVER FORMATION
BLACKHAWK FORMATION
NESLEN
UPPER PART OF SEGO MEMBER
ANCHOR
LOWER PART OF SEGO MEMBER
BUCK TONGUE
CASTLE-GATE MEMBER
DESERT MEMBER
COAL
FLUVIAL TO COASTAL PLAIN
ESTUARINE
SHELF
ESTUARINE ?
SHELF
ESTUARINE-TIDAL BARS
LOWER SHOREFACE
ESTUARINE
LOWER SHOREFACE AND SHELF
DISTAL LOWER SHOREFACE AND SHELF
COASTAL PLAIN
POINT BAR
ALLUVIAL PLAIN
LOWER SHOREFACE
COASTAL PLAIN
BRAIDED STREAM
LOWER SHOREFACE
SEQ. 8
SEQ. 7
SEQ. 6
SEQUENCE 5
SEQUENCE 4
SEQUENCE 3
SEQ. 2
SEQ. 1
LST
TST
HST
MUD-BUR
SLT-BUR
HCB-VF
WRB-VF
MUD-WRB-BUR
CRB-VF
CRW-CD-VF
SUR-VF
MUD-CRB
MUD-RT
TCF-M
TCF-F
SCS-M
SCS-F
DARK GRAY TO BLACK MUDSTONE
DARK GRAY TO LIGHT GRAY SILTSTONE
VERY FINE-GRAINED SANDSTONE
VERY FINE-GRAINED SANDSTONE
DARK GRAY TO BLACK MUDSTONE 1.0 TO 0.5 IN. THICK BEDS OF VERY FINE-GRAINED SANDSTONE
VERY FINE-GRAINED SANDSTONE
VERY FINE-GRAINED SANDSTONE IN BEDS 1.0 TO 0.5 IN. THICK
VERY FINE-GRAINED SANDSTONE
DARK GRAY TO BLACK MUDSTONE 1.0 TO 0.5 IN. THICK BEDS OF VERY FINE-GRAINED SANDSTONE
DARK GRAY MUDSTONES
MEDIUM-GRAINED SANDSTONE
FINE-GRAINED SANDSTONE
MEDIUM-GRAINED SANDSTONE
FINE-GRAINED SANDSTONE
NONE
MINOR
BEDS 1.0 TO 6.0 IN. THICK
W/CLAY DRAPES
NONE
W/CLAY DRAPES IN VERY FINE-GRAINED SANDSTONE
ROOT CHURNED
W/CLAY DRAPES
A TO C
C
C TO A
R TO C
CH
R
TROUGH CROSS BEDS
TROUGH CROSS BEDS - SMALL SCALE
SIGMOIDAL CROSS BEDS
CURRENT-RIPPLE BEDDING
CONTORTED BEDS
PLANAR BEDS
HUMMOCKY BEDS
WAVE-RIPPLE BEDDING
CLAY CLASTS
A = ABUNDANT
C = COMMON
R = RARE
= ABSENT
CH = CHURNED BY BURROWS
HST = HIGHSTAND SYSTEMS TRACT
TST = TRANSGRESSIVE SYSTEMS TRACT
LST = LOWSTAND SYSTEMS TRACT

测井资料中的体系域

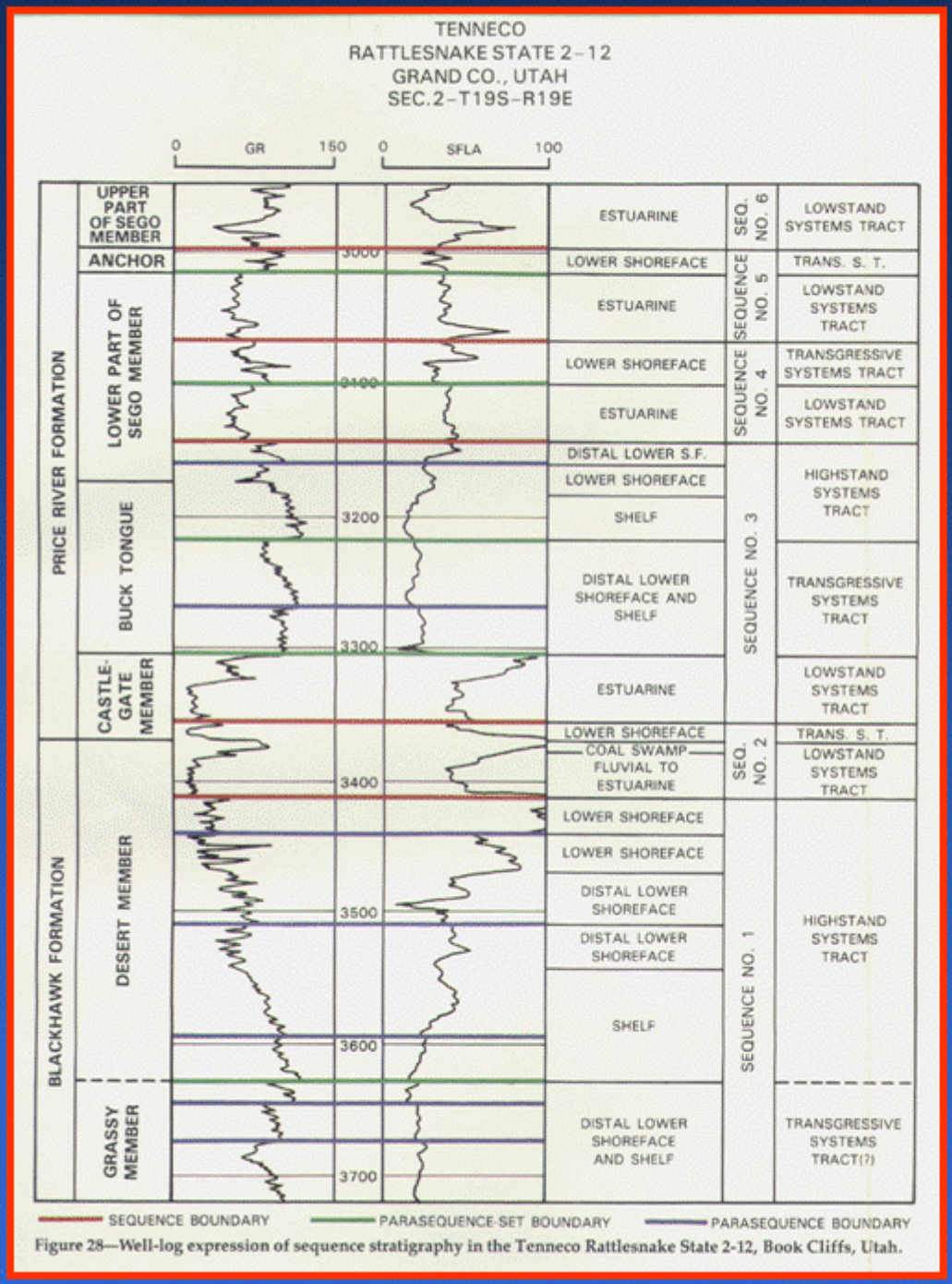


Figure 28—Well-log expression of sequence stratigraphy in the Tenneco Rattlesnake State 2-12, Book Cliffs, Utah.

Definition of Key Terms

沉积体系*Depositional System*

- 三角洲沉积体系。
- 逐渐向海前积。

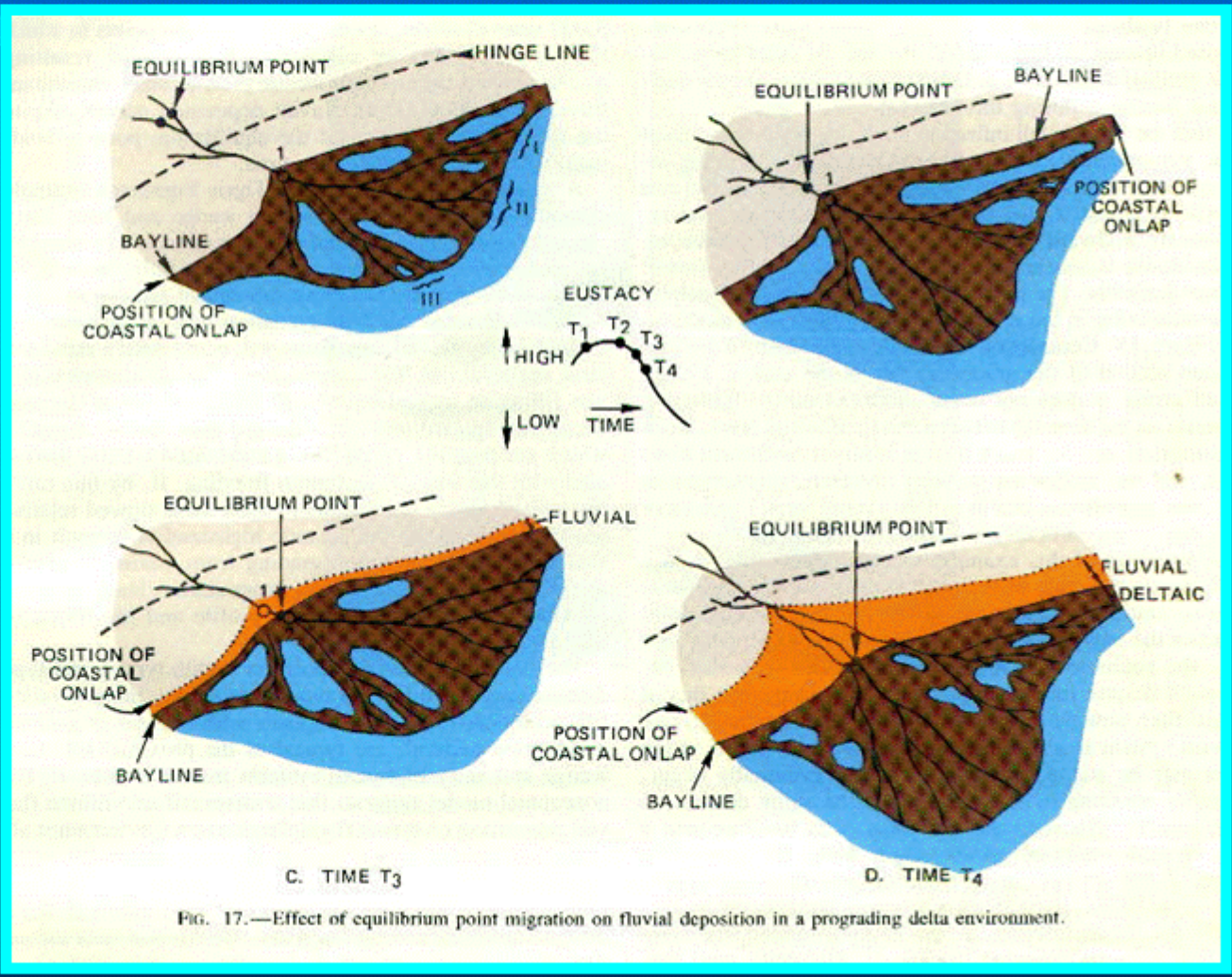


FIG. 17.—Effect of equilibrium point migration on fluvial deposition in a prograding delta environment.

主要沉积体系及相构成

冲积扇体系

河流体系

湖泊体系

扇三角洲体系

三角洲体系

碎屑海岸体系

碳酸盐岩台地体系

深水扇体系

Definition of Key Terms

沉积体系*Depositional System*

- 一串现在仍积极作用的(现代的)或者推测的(古代的)**沉积作用和沉积环境**(三角洲、河流、障壁岛等)**从成因上联系**到一起的**岩相组合**(据Brown,1977)。
- **A three-dimentional assemblage of lithofacies, genetically linked by active (modern) or inferred (ancient) processes and enviroments (delta, river, barrier island, and so on) (Brown and Fisher,1977).**

层序基本结构特征

层序界面——不整合 SB/ UN

密集段（cs）

高位体系域 HST

最大洪泛面 mfs

水进体系域 TST

海进面 ts

准层序组及准层序

下切谷（ivf）

低位体系域 LST

低位进积楔 LSW

低位扇

斜坡扇 SF

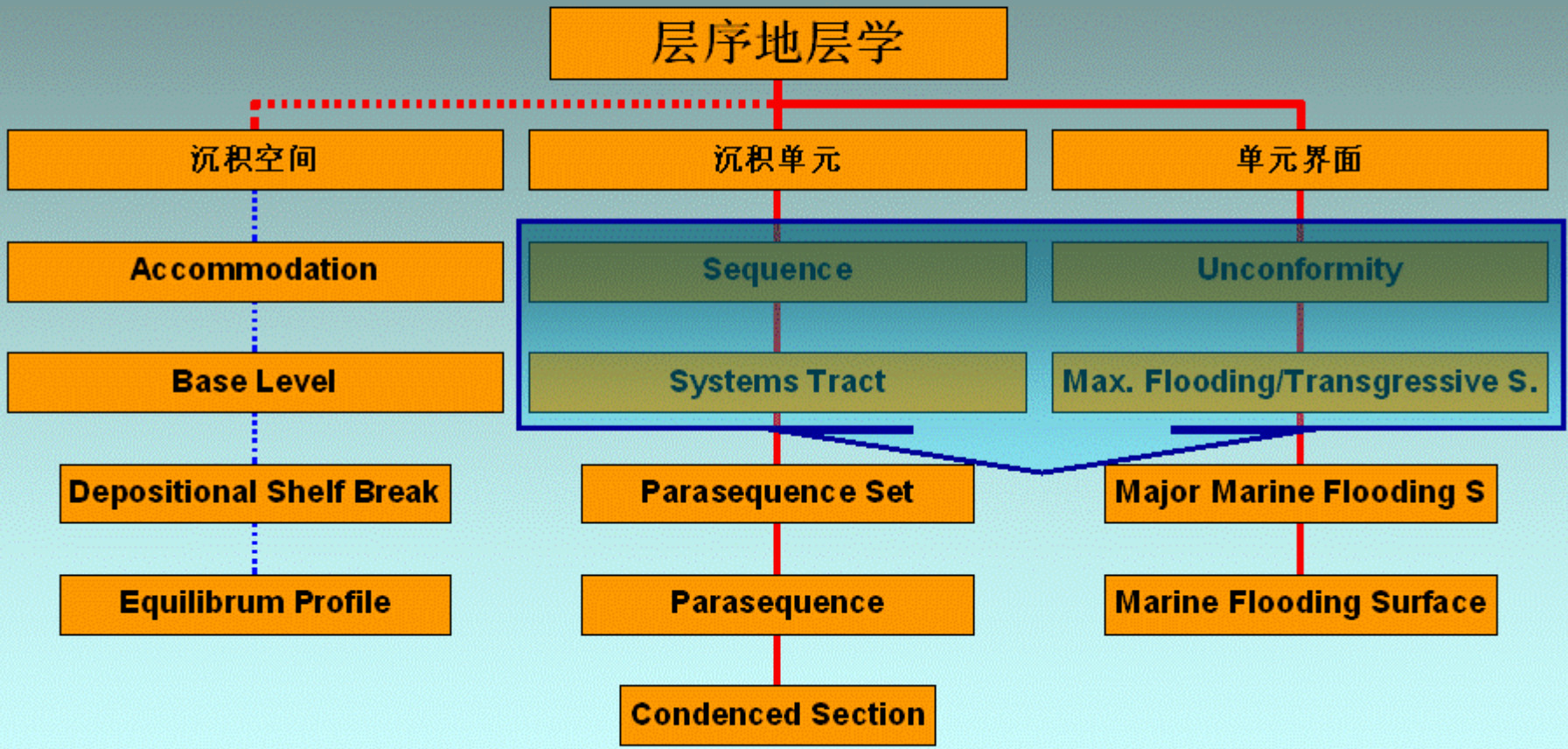
盆底扇 BF

陆棚边缘体系域 SMST

I 型层序界面——I 型不整合 SB I

II 型层序界面 SB II

The Relationship of the Terms



第五章学习结束，请继续！

陈开远

Tel：010-82320506， E-mail：ddcky@163.com