

滑

美国石油地质学家协会进修丛书

〔美〕R. R. 伯格著

砂岩地层圈闭勘探

石油工业出版社

575

美国石油地质学家协会进修丛书(三)

砂岩地层圈闭勘探

〔美〕R.R.伯格 著

周祖勋 译 陈景山 校

石油工业出版社

目 录

摘要.....	1
第1节 沉积物的侵蚀、搬运及沉积.....	1
第2节 沉积环境分类.....	2
第3节 河流环境.....	4
第4节 三角洲环境.....	8
第5节 海岸环境.....	14
第6节 浅海环境.....	17
第7节 半深海—深海环境.....	19
第8节 流体压力.....	23
选读文献.....	26

摘要 根据从垂直剖面上对岩芯的沉积构造、成分和结构研究作出的有关沉积环境之解释,我们可以对储集岩的形态进行预测。在没有岩芯或岩样的时候,孔隙度与渗透率在剖面上的垂直变化,也能反映出岩石粒径与成分的变化。通过对:(1)河曲沙坝和网状河道中的河成砂岩;(2)有河道的三角洲剖面或破坏性三角洲型储集岩;(3)障壁沙坝与沿岸沙坝;(4)浅海砂岩以及(5)深水浊积岩型储集岩的野外研究,本文阐明了储集岩的各种形态。根据地下的控制,本文明确地指出了砂岩储集层与相邻圈闭相在各种情况下的关系。

倘若掌握了岩石和流体的性质,我们就能够计算圈闭相的有效性,或者就储集条件进行评定。油柱计算表明,圈闭相可以有孔隙并具渗透性,试井时有相当量的水产出,但仍可形成一个有效的封闭,使油柱高达50~75英尺。在障壁相中,由于下倾的动水压力水流的关系,可以使靠毛细管压力圈闭的石油进一步富集。综合各种解释、储集岩、圈闭以及流体压力的情况,我们可以定量地评价地层油柱。

第1节 沉积物的侵蚀、搬运及沉积

一、搬运作用与沉积作用

1. 沉积物的侵蚀作用、搬运作用和沉积作用是选择性的作用(图1)(Hjulstrom, 1935)

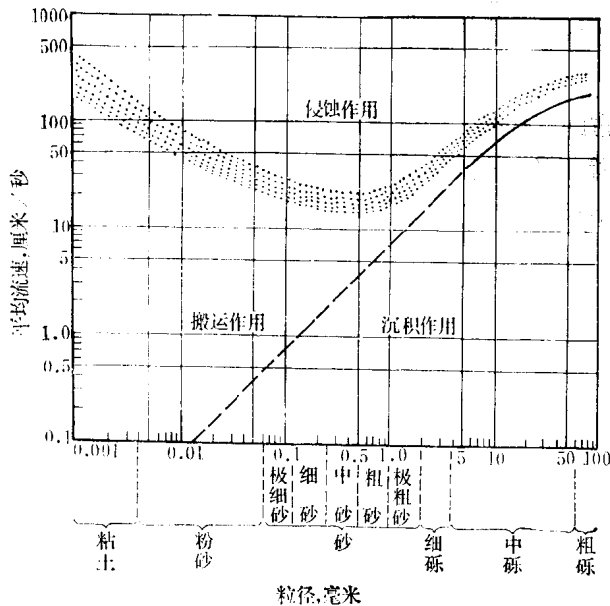


图1 侵蚀、搬运和沉积作用中水流速度与沉积物粒径的函数关系。根据水槽与河流的观察编绘
(据Hjulstrom 1935, 1959)

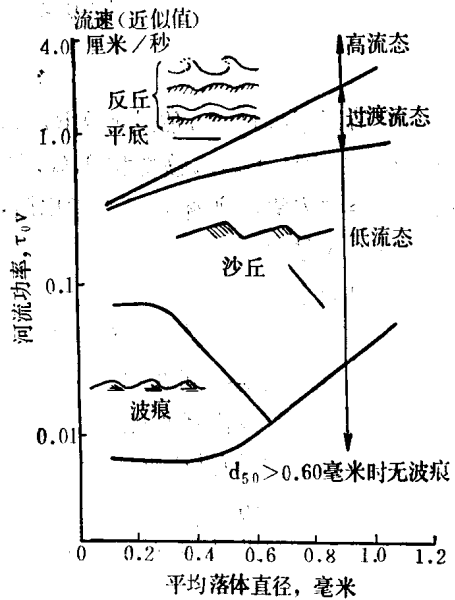


图2 河流功率和平均落体直径与河床糙度类型的关系左边为流速,系实验条件下的近似值
(据Simons, Richardson和Nordin, 1965)

(1) 侵蚀速度随粒径增大而降低,对极细的颗粒来说,由于内聚力的缘故,则侵蚀速度增大。

(2) 水流速度增大时,首先侵蚀砂质物。

(3) 水流速度降低时,砂质物按线性函数关系沉积,而细粒物质继续处于搬运状态。

2. 底形(底面形象)(图2)

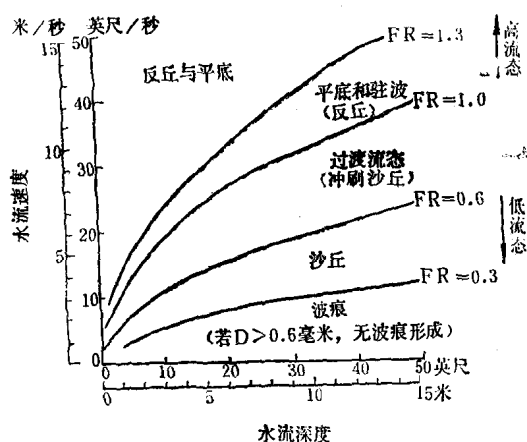


图3 在水深3英尺或不足3英尺条件下进行的关于底形与流态关系的水槽实验。运用弗劳德数(FR)可将这些实验结果推广到天然的水系中

(1) 一切非平底都是由流水造成的(因为平底也是底形的一种,故最好称作底面形象)。

(2) 底形序列构成沉积物的内部构造。

3. 流态(图3)

(1) 根据相似的底形确定水流的类级。

(2) 水流可以是层流或紊流,平流或湍流。

(3) 以功率=力×速度来度量流态。式中力为河床(海、湖床)剪力 $\tau_0 = \rho g R S$ 。R为水力半径,S为水力坡度, ρ 为水的密度,g为重力加速度。

第2节 沉积环境分类

本节系根据H.A.伯纳德和R.J.勒布朗(1965)的《墨西哥湾西北部第四纪地质概况》(收于由H.E.Jr.赖特和D.G.弗雷编辑的《美国的第四纪》国际第四纪研究联合会第七次会议专集,普林斯顿大学出版,第152页)的资料修改而成。

一、大陆区

1. 风成平原

砂质沙丘和粘土质沙丘①

风蚀盆地,间歇湖

2. 冲积平原或洪泛平原

(1) 蛇曲河洪泛平原

河曲带

河曲沙坝(低脊与滩槽)①

天然堤

废河道(牛轭湖)

洪泛盆地

半干燥的或无植被的

树沼,草沼,湖

集流河

(2) 网状河

河道(分散、洪泛平原或集流河道)①

①厚砂层的形成环境,下同。

河道间坪地，有植被的和无植被的，

各类砂质沙丘

二、过渡区

1. 三角洲

(1) 三角洲平原（其组成部分同蛇曲河平原）

废弃的顺直分流河道、坑迹（Poek mark）和天然堤

河曲带（其划分同冲积平原）

洪泛盆地

树沼（河漫滩沼泽）、草沼、湖、海湾（与分流间海湾横向过渡）

集流水道、潮道

沙丘，砂质沙丘和（或）粘土质沙丘

(2) 前三角洲环境（水下部分，也称为河海相）

三角洲边缘（浅的水下部分，也称为三角洲近端、三角洲前缘或三角洲台地）

分流河口沙坝、指状沙坝①

（三角洲前缘或三角洲台地）

分流间海湾、泥坪

障壁岛和沙嘴

海滩上的滨沼沙岭

潮坪、潮成三角洲和潮道

前三角洲远端（菲斯克等称它为前三角洲）

2. 三角洲间海岸平原〔包括淡水至超咸水的沿岸海湾或湖泊以及滨海带和（或）极浅的浅海带〕

(1) 滨沼沙岭平原

滨沼沙岭（海滩脊）①

海进（上覆）

海退（退覆）

泥坪（多数为海退或退覆沉积）

沼泽

湖和（或）海湾

潮汐通道、潮道和潮成三角洲

(2) 障壁岛平原

海岸障壁、障壁岛①

海滩脊

滩槽和坑迹

砂质沙丘

临滨

潮道、潮成三角洲、潮坪

海湾和（或）泻湖

潮道、潮成三角洲、潮坪

泥坪

三、正常海区

1. 陆架或浅海（与三角洲向海的水下各部分以及三角洲间海岸环境横向过渡或者包括它们在内）

(1) 内带^①（水深小于120英尺，包括水下浅滩、坪地、沙坝、沙脊和破坏性三角洲沙坝）

(2) 中带（水深120~300英尺，包括海岗或海隆和海底峡谷）

(3) 外带（水深300~600英尺，包括海岗或海隆和海底峡谷）

2. 陆坡或半深海

上部陆坡包括海岗、海底峡谷、隔离海盆

下部陆坡或陆隆包括海崖

3. 深海

(1) 深海平原

(2) 海底扇或锥（“浊积岩”）^①

(3) 海山或海丘

第3节 河流环境

一、河道沉积

(1) 层理序列（图4）

(2) 粘土岩屑是河道层序中次要而又典型的组分，在具有“粘土盖层”沉积的河曲沙坝中尤为突出。

(3) 曲流的裁弯取直可以是经由滩槽的“流槽裁弯取直”，也可以是穿过河道间狭窄区段的“曲流颈裁弯取直”（图5）。

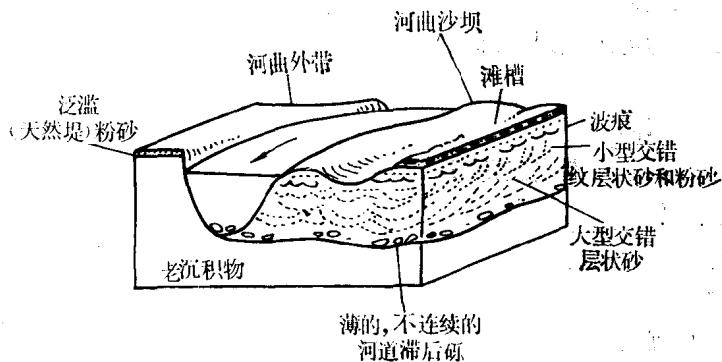


图4 河曲沙坝沉积物的垂向序列（在高流态条件下一般为滞后砾石和大型交错层状砂沉积；上覆波痕纹层状砂与粉砂是在低流态条件下沉积的）

二、河流沉积的结构与成分（图6和图7）

三、河流形态（图8和图9）

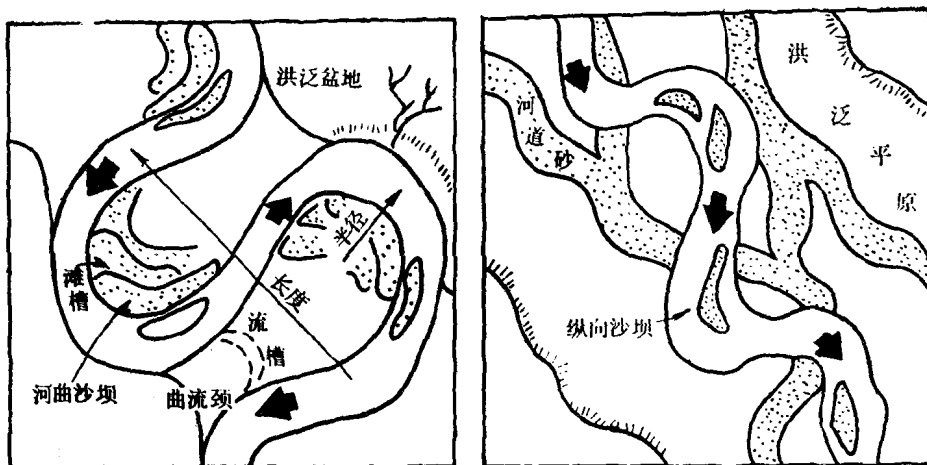


图 5 河曲带与网状带的形态示意图

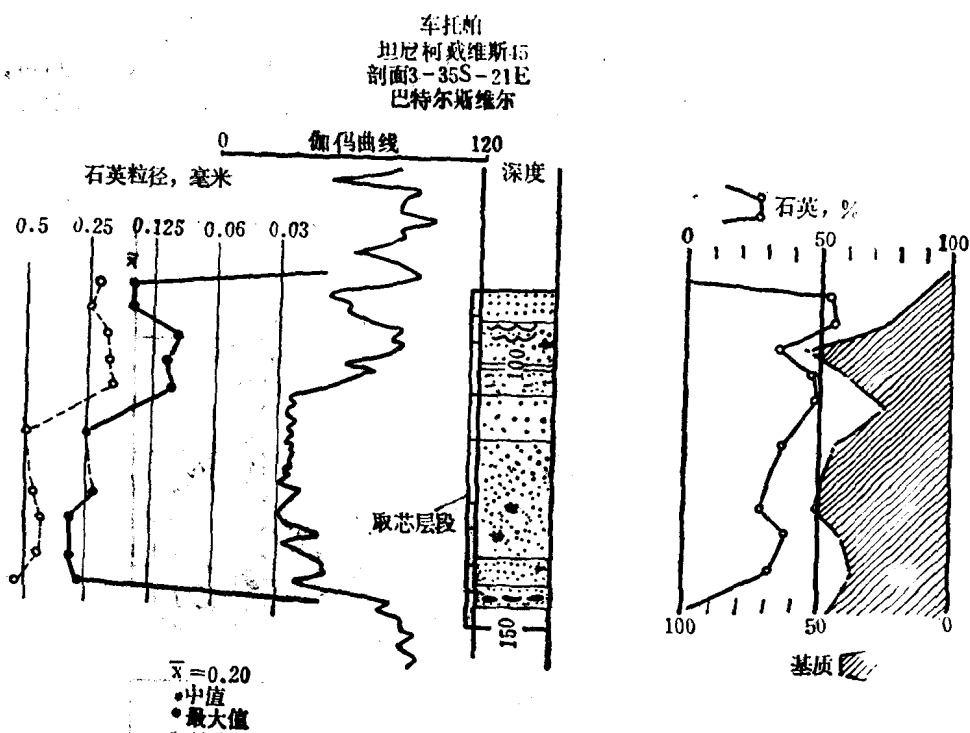


图 6 堪萨斯州东南部宾夕法尼亚系切罗基群巴特尔斯维尔砂岩的河曲沙坝层序。注意硅化木砾石组成的河道底滞后沉积、粒径、成分以及层理在垂向剖面上的变化。该层砂岩产于一个下游的冲积河谷中，大约在俄克拉何马陆架东北部巴特尔斯维尔三角洲上游100英里的地方

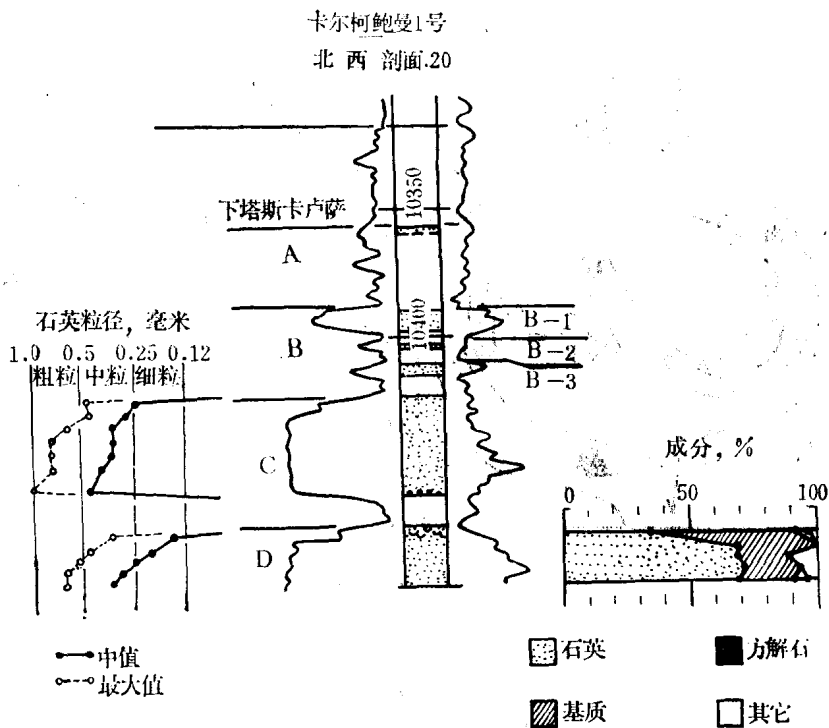
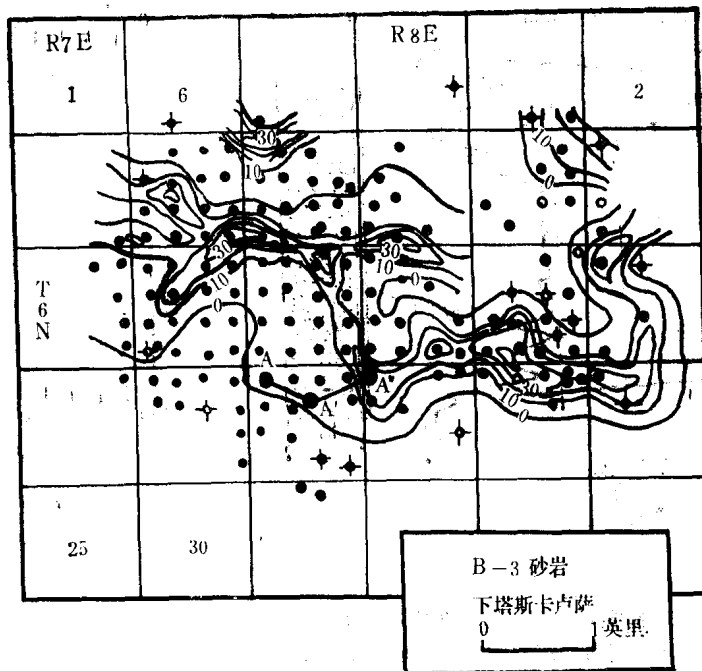


图 7 密西西比州马拉留油田白垩系底部下塔斯卡卢萨砂岩的成分和结构 (Berg和Cook, 1968)。根据岩芯进行过岩石学研究。在连续剖面中未见到层理序列, 但从岩芯上的纹层来看, 表明交错层理普遍存在



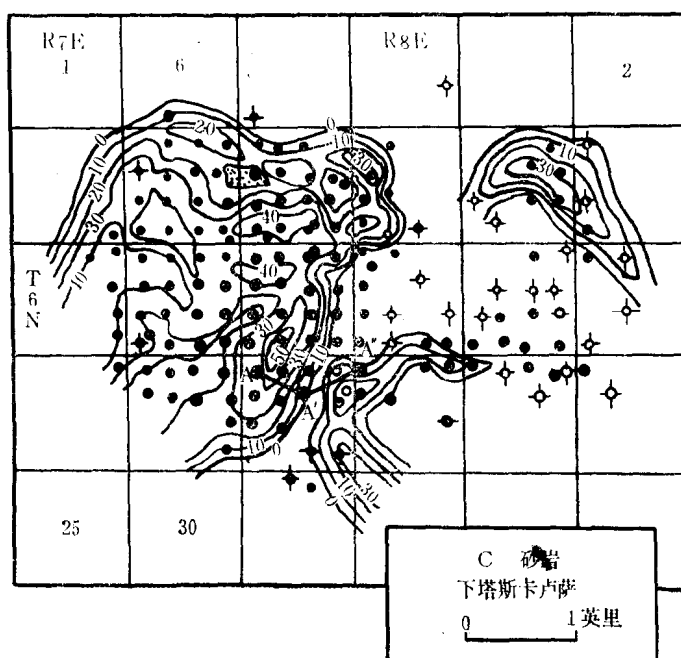
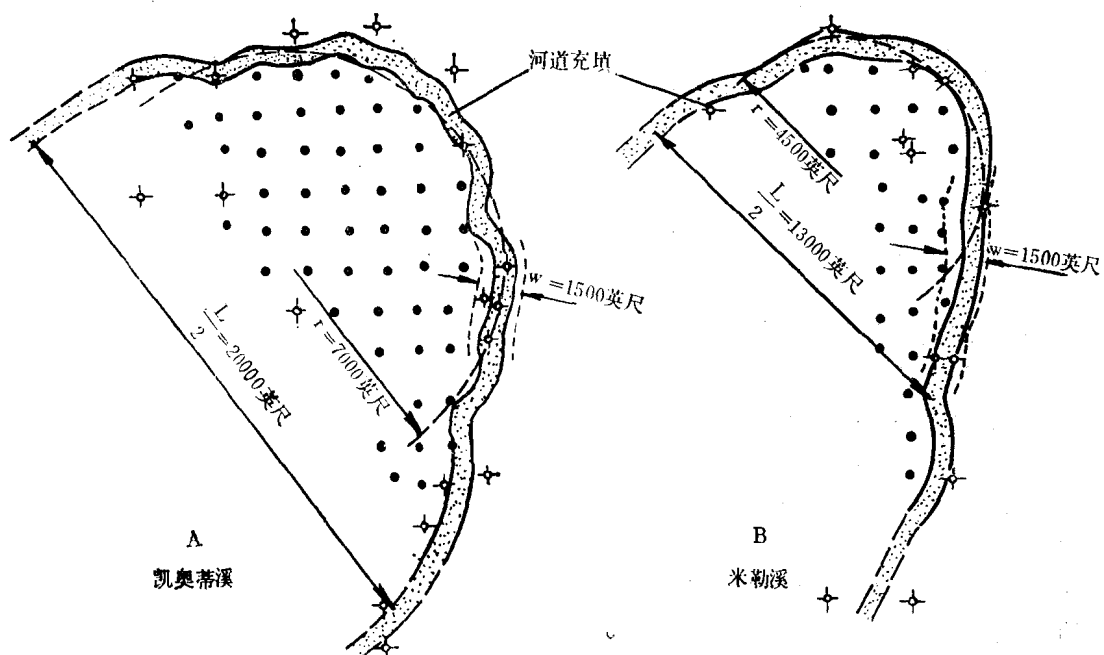


图 8 密西西比州马拉留油田下塔斯卡卢萨砂岩等厚图表示明显的河道形态。“C”砂层为河曲沙坝，“B-3”砂层为狭窄的网状河道充填（据Berg和Cook，1968）



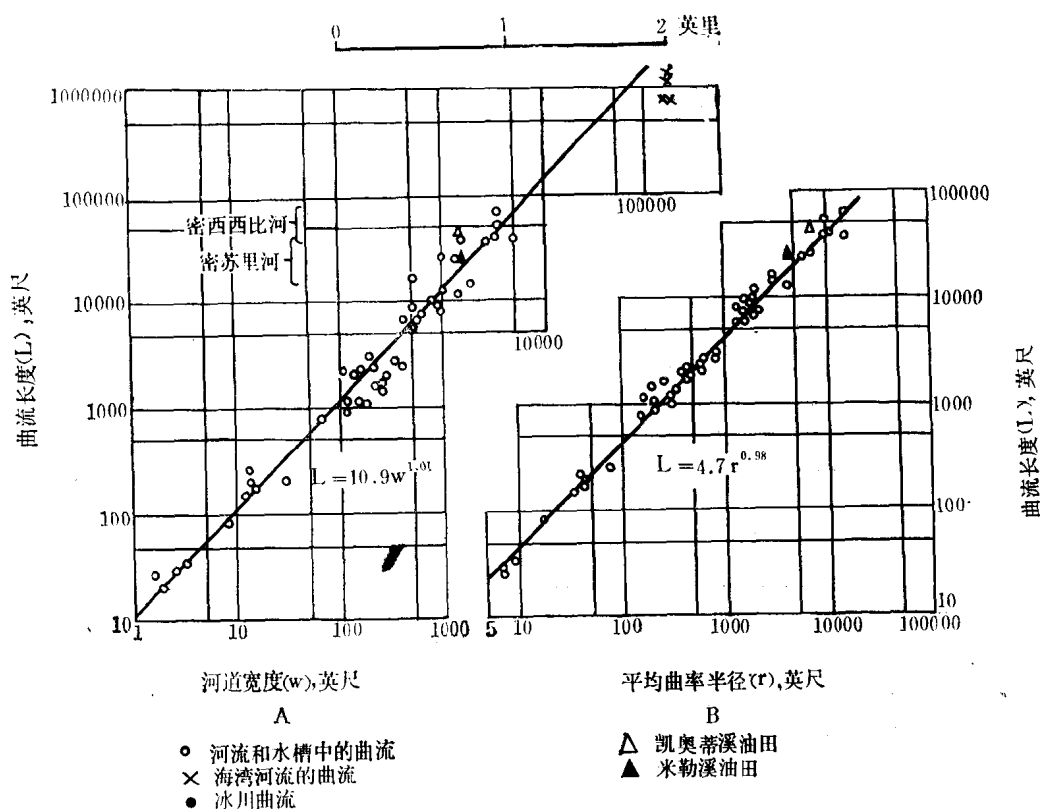


图 9 古代河道形态完全可与现代河道形态对比。波德河盆地的下白垩统福尔河（达科他群）砂岩产出河曲沙坝地层圈闭型石油。河道的各测量要素与密苏里河下游以及密西西比河的完全一致（据Berg 1968）

第4节 三角洲环境

一、三角洲模式 是由吉尔伯特(Gilbert, 1885)设想的, 并在现代三角洲（特别是密西西比河三角洲）的研究基础上进行了修正(图10)。

二、密西西比河三角洲的垂向层序 (图11)

三、古三角洲剖面

1. 一个典型的三角洲剖面见于俄怀明洲波德河盆地东部下白垩统福尔河组中。下边的这个剖面（特鲁沃特A-1）可视作福尔河砂岩的“区域性”特征，如在凯奥蒂溪油田所显示的那样(图9)，福尔河砂岩见于河曲沙坝储集岩的外侧。事实上这个剖面仅位于凯奥蒂溪油田上倾边缘以北一英里的地方(图12)。

根据沉积构造可将福尔河组剖面由上而下分为如下三个单位：

(1) 砂岩，大多为块状，具有模糊的纹层，纹层倾角高达 20° 左右，上部含炭质物和根系，并为薄层泥煤所覆盖；分流沙坝和三角洲平原沼泽。

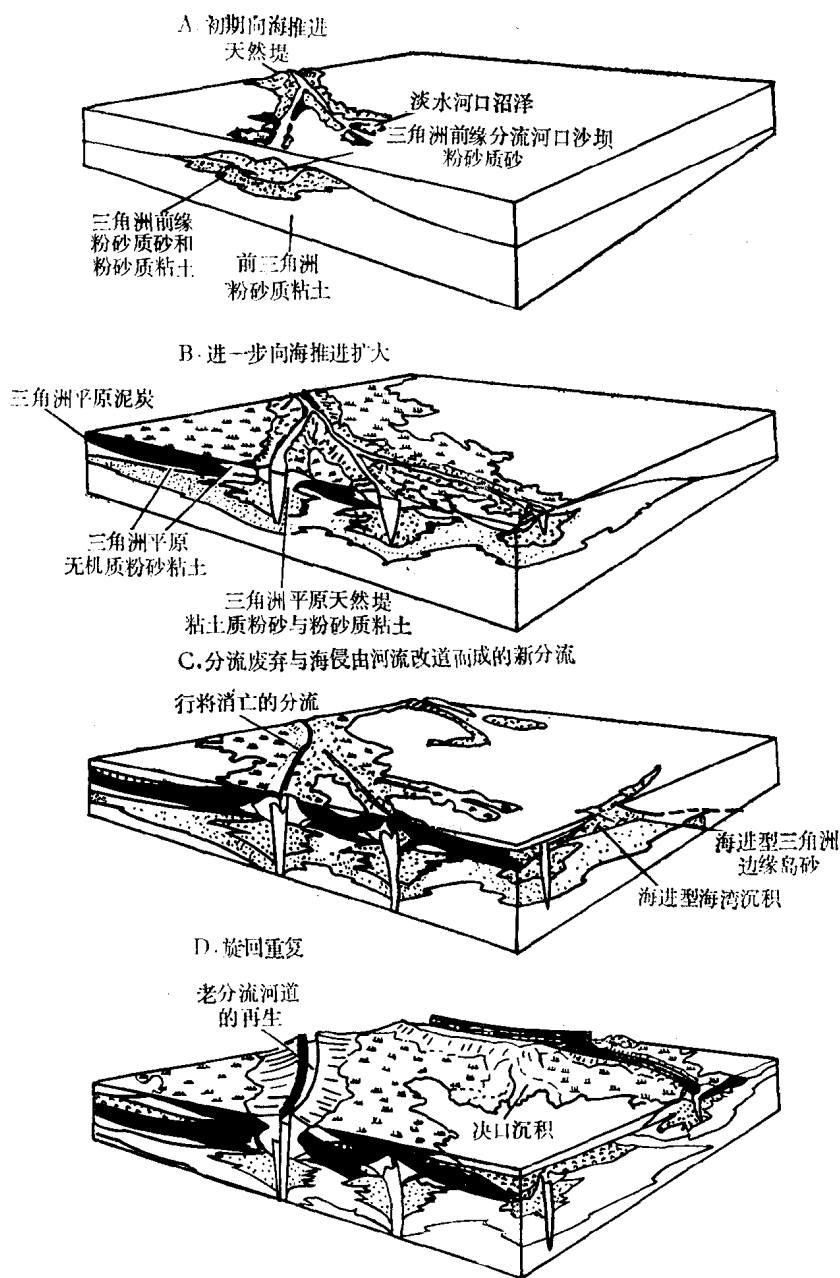


图 10 三角洲相序的发育阶段 (据Frazier, 1967)

(2) 砂岩, 纹层倾角为 $10\sim 15^\circ$, 见有少数波状透镜体和削蚀面; 三角洲前缘砂岩。

(3) 页岩与波状砂岩透镜体互层, 生物扰动构造, 具有纤细的砂质充填的潜穴管; 前三角洲泥岩。

在凯奥蒂溪油田地区内, 福尔河组三角洲砂岩未形成地层圈闭。所示的剖面为一干井, 福尔河砂岩的高电阻率记录是由于饱和淡水的缘故。

2. 新墨西哥州东南部特拉华盆地宾夕法尼亚系莫罗砂岩的天然气采自三角洲剖面。在

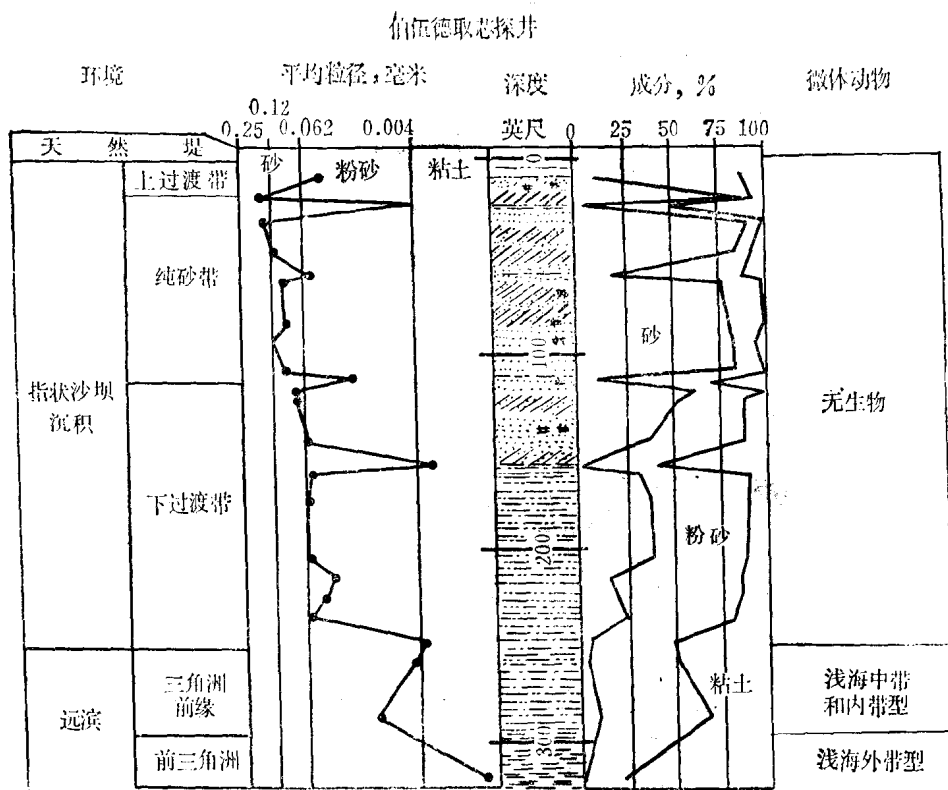


图 11 密西西比三角洲西南分流伯伍德探井中的结构递变情况 (据 Fisk, 1961, 图 7 修改)。注意粒径向上变粗和作为指状沙坝沉积物的分流河口沙坝上部“纯砂带”中粘土缺失的现象。倾角 15° 或 15° 以上的交错层数目与分散的植物碎屑数量一样, 均逐渐向上增加。菲斯科的远滨环境即为前三角洲相, 而下过渡带就是勒布朗 (LeBlanc, 1973) 等的三角洲边缘的最外带

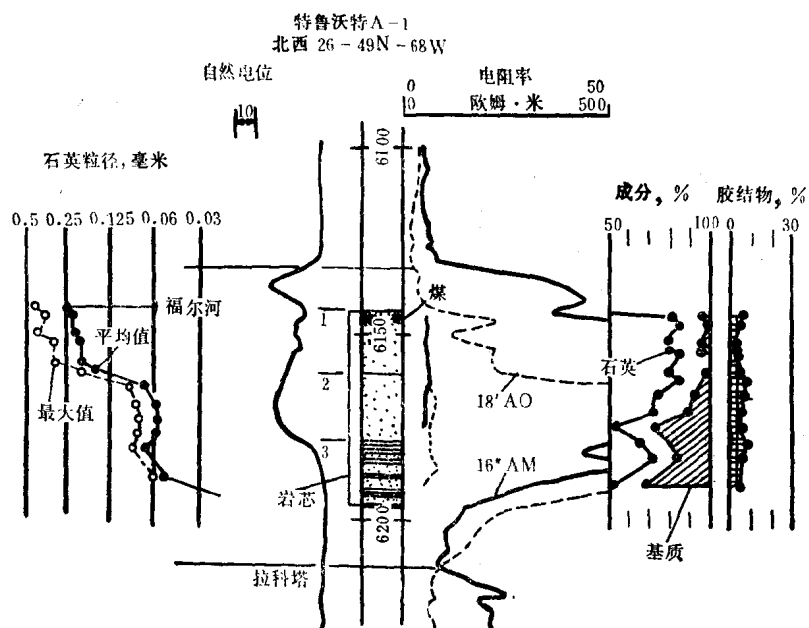


图 12 福尔河砂岩的沉积特征及其环境划分

上莫罗砂岩中存在数个三角洲旋回，三个三角洲的各个部分见于下面给出的剖面中(图13) (10715~10800英尺)。三角洲序列由上往下用字母标出。最下边的三角洲C为河流砂岩，其顶部为沼泽沉积。第二个较年青的三角洲旋回B由“三角洲边缘”砂岩组成，以页岩状的波状砂岩为特征。最年青的三角洲A由“三角洲前缘”砂岩组成，其纹层的倾角多数为10~15°。上覆的三角洲平原沉积物为含植物根的砂岩、灰质页岩和粗粒的河道充填砂岩。

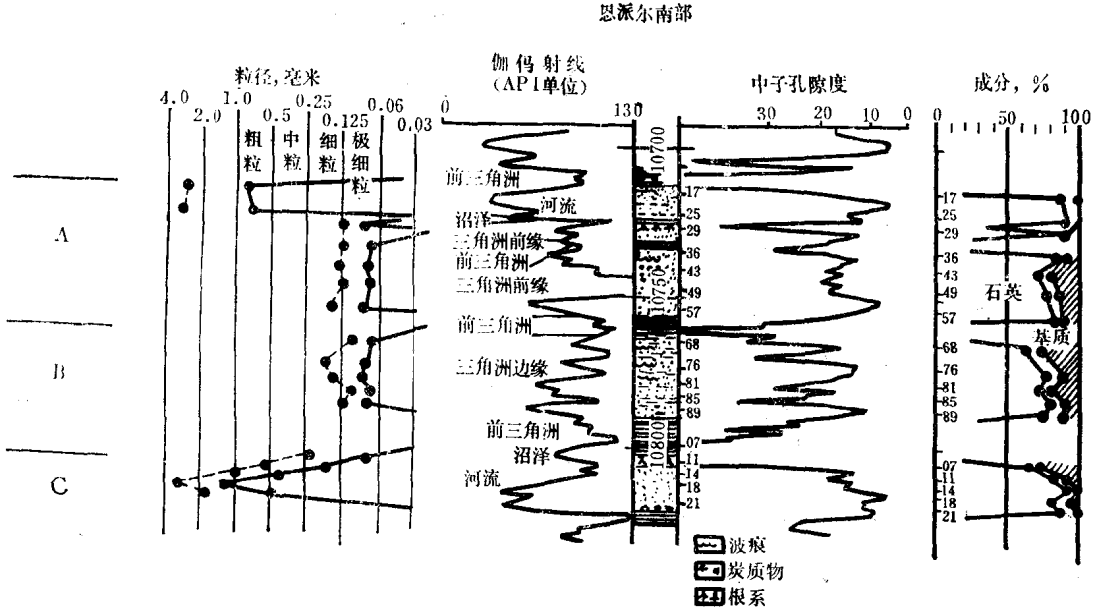


图 13 宾夕法尼亚系莫罗砂岩的沉积特征及其环境解释

(1) 莫罗剖面的整个岩芯中至少包含有四个也许是五个三角洲朵体，如图14所示。这些朵体由上而下分别以字母A、B、C₁、C₂和D标出。从垂向序列来看，一个三角洲朵体

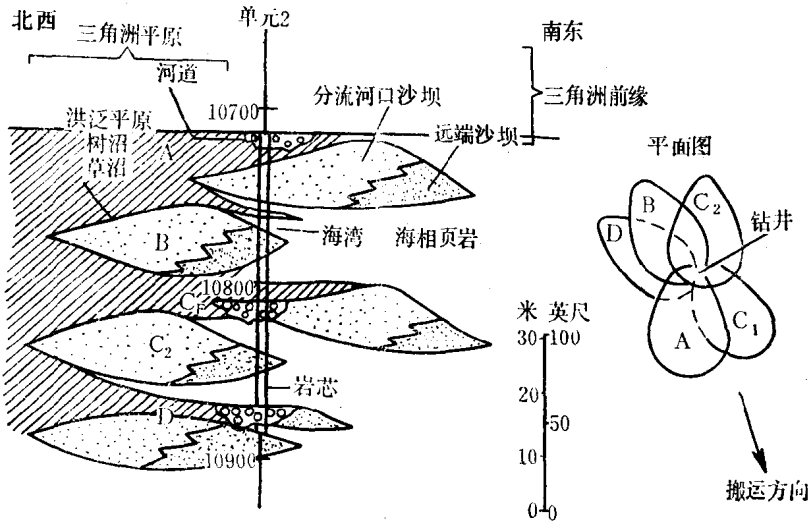


图 14 莫罗剖面的三角洲旋回

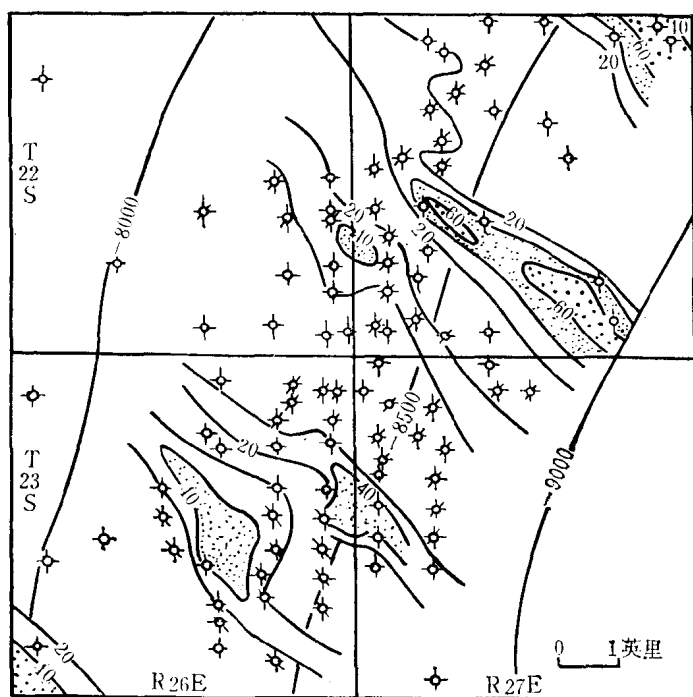


图 15 卡尔斯巴德油田莫罗纯砂岩的等厚图

的河道砂岩 (图13) 相当。

(3) 莫罗剖面中的大多数河流砂岩为二氧化硅增生晶体所致密胶结,但有一些砂岩中则具有次生淋滤成因的“微孔”孔隙。如图16所示,胶结作用大概是在前三三角洲泥压实期间,由朝上倾方向流动的水携带来的二氧化硅沉淀造成的。随后,当河道砂岩出露侵蚀时,莫罗沉积物的上倾边缘大概发生了淋滤作用。

3.落基山盆地的下白垩统砂岩 (如图17所示),表现为由下而上从前三角洲的生物潜穴泥岩到交错纹层状砂岩的递变。一些偏井中见到深切于三角洲前缘的河道砂岩。

4.通过一个小型三角洲的岩芯剖面对比,显示出三角洲前缘生物潜穴砂岩的横向变化以及它们在不同层位上为河道切割的现象。图 18 各井间距约为 0.5 英里。三角洲中部(右边)在横向上过渡为三角洲边缘(左边)。

5.三角洲相控制着储集岩内流体的分布。如图19所示,三角洲边缘(左边)具有低的渗透率,只有水产出,油和天然气见于渗透率较高的三角洲前缘和河道砂岩等更下边的构造中,而动水倾斜压力促使多形成了25英尺高的油柱(右边)。

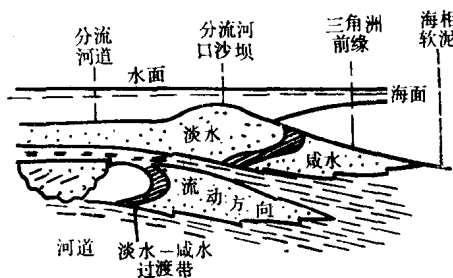


图 16 莫罗河流砂岩的胶结作用发育示意图

究竟是代表单个的沉积旋回呢,还是朵体顶部的河流砂岩和沼泽沉积表示第二个更向下倾的方向的朵体 C₁,目前尚不清楚。总之,莫罗剖面说明在三角洲成因的垂向剖面中可能遇到的复杂性。

(2) 莫罗三角洲层序中的河流砂岩是最好的储集岩。等厚图表明该储集砂岩为河流成因的。图15示出了卡尔斯巴德油田纯砂岩的分布 (Andersen, 1977), 叠加在等高距为 500 英尺的莫罗构造图上,砂岩体朝东南方向呈狭条状倾斜伸展。这些倾斜伸展的储集岩在层位上可能与恩派尔南部岩芯中的

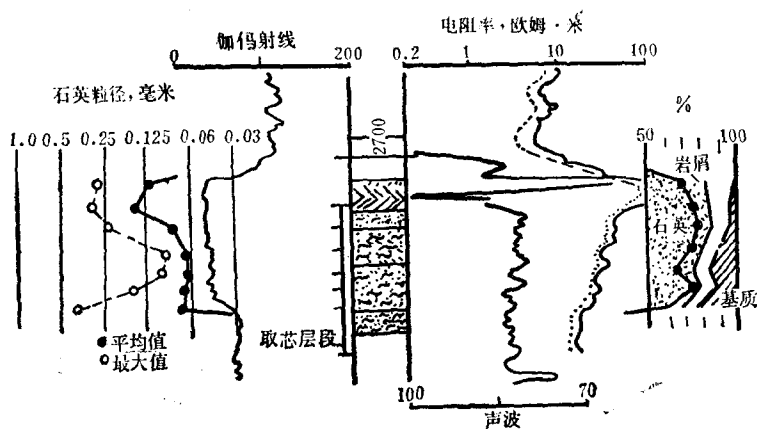


图 17 落基山盆地
下白垩统三角洲砂岩
的特征

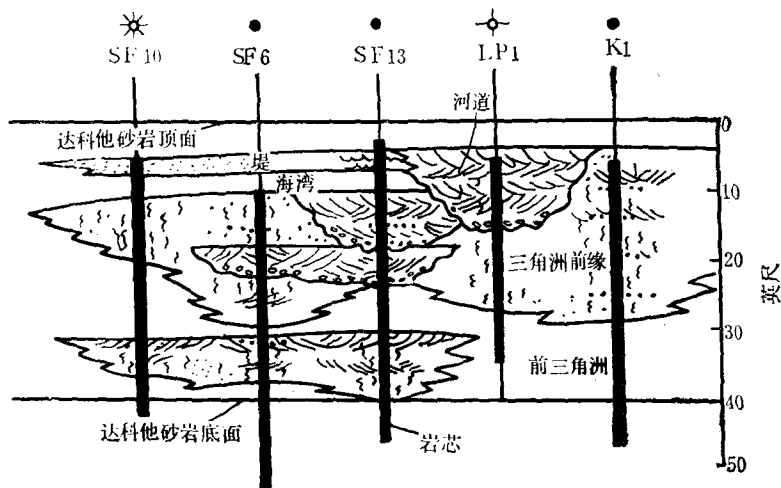


图 18 达科他小三角
洲的横向相变及河道
的切割现象

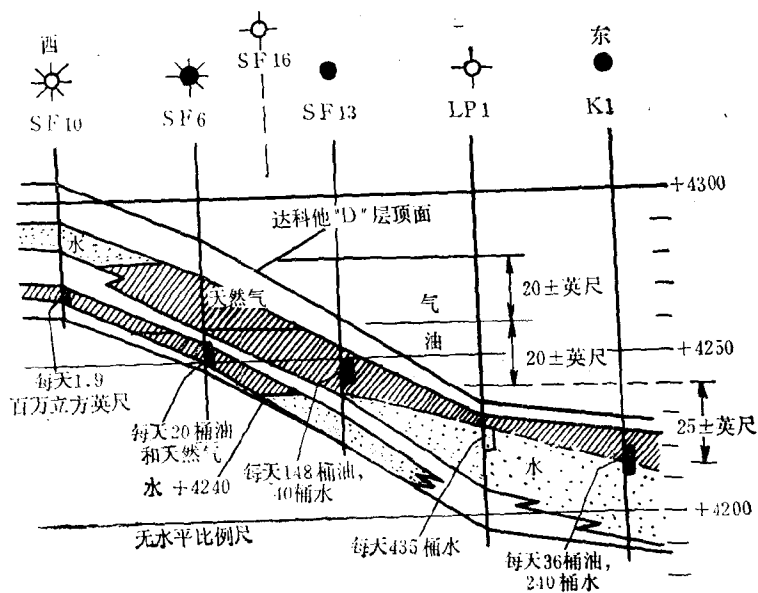


图 19 三角洲储集
岩内流体的分布

第5节 海岸环境

1. 现代海岸（三角洲间）环境包括与滨线相邻的从淡水到超咸水海湾和泻湖到很浅的浅海带内的各种环境，但主要的砂质环境是滨海（见图20和21）。

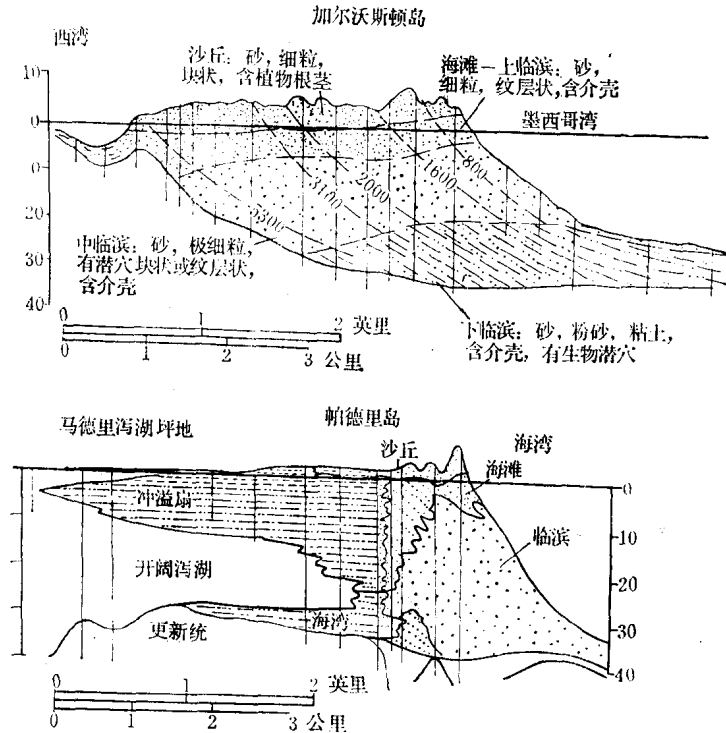


图 20 加尔沃斯頓島（据Bernard等，1970）和帕德里島（据Fisk，1959）横剖面对比图。帕德里島具有厚层的、由细砂组成的冲溢扇，细砂是在风暴期间冲进和吹入泻湖内的

