地信网论坛
BBS.3S001.COM

美国石油地质学家协会进修丛书

R. J. 韦默 著

三角洲和浅海砂岩的沉积、构造及石油分布

石油工业出版社

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1030

美国石油地质学家协会进修丛书（二）

三角洲和浅海砂岩的沉积、构造及石油分布

R.J.韦默 著　　陈景山 译

00262378

369/29

藏书

200367450

石 油 工 业 出 版 社

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

内 容 提 要

本书着重论述三角洲和浅海砂岩的沉积作用、构造及石油分布。主要内容有：地层学原理及其分析方法，沉积构造的成因与分类，三角洲和各种浅海相砂岩的沉积特征与油气分布，并附有典型实例和大量的插图。

可供石油地质勘探人员、沉积学研究人员以及石油和地质院校师生参考。

http://bbs.3s001.com/

Robert J. Weimer

Deltaic and shallow marine sandstones: sedimentation, tectonics and petroleum occurrences

AAPG Department of education activities 1978

美国石油地质学家协会进修丛书(二)

三角洲和浅海砂岩的沉积、构造及石油分布

R.J.韦默 著　　陈景山 译

石油工业出版社出版

（北京安定门外外馆东后街甲36号）

轻工出版社印刷厂排版

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16 开本 9 印张 223 千字 印 1—5,000

1982年10月北京第 1 版　1982年10月北京第 1 次印刷

书号：15037·2357　定价：1.00元

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

目　录

第一章　作用控制的成因单位——一种不同的地层分析方法……（1）
一、引　言……（1）
二、地层分析中常用的方法……（1）
三、一种不同的方法——作用控制的成因单位……（1）
四、探矿中的应用……（2）
参考文献……（3）
第二章　地层学原理……（5）
一、横向堆积原理……（5）
二、历史悠久的原理……（5）
三、推荐……（8）
参考文献……（8）
第三章　内部构造的分类……（9）
第四章　无机成因构造……（11）
一、作为沉积构造和沉积物来源的土壤……（11）
二、层理性质……（13）
三、层理的成因……（14）
参考文献……（18）
第五章　变形构造……（19）
一、作用……（19）
二、三角洲前缘——前三角洲环境中的变形作用……（21）
三、其它环境中的变形作用……（24）
参考文献……（25）
第六章　生物成因构造……（27）
一、引　言……（27）
二、识别和分类……（30）
三、遗迹化石在环境重塑中的应用……（34）
四、小结……（38）
参考文献……（39）
第七章　沉积环境……（41）
一、引　言……（41）
二、定　义……（41）
三、分　类……（45）
参考文献……（49）
第八章　三角洲环境……（50）
参考文献……（73）
第九章　障壁岛和共生环境……（78）
参考文献……（94）
第十章　三角洲与三角洲间环境……（96）
参考文献……（110）
第十一章　浅海环境……（113）
参考文献……（136）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第一章　作用控制的成因单位——一种不同的地层分析方法

一、引言

观察和描述沉积岩所用的方法，对地层单位的成因与分布的解释影响非常大。这种说法也适用于地层资料的收集方法，无论是从露头或地下收集还是通过地球物理方法，直接测定岩石特性都适用。

虽然研究者的目的是要客观地描述地层资料，但是，在他的工作中难免有一大部分带有主观性。例如，可以充分地描述砂岩层和页岩层的成分、结构、层理、胶结作用等方面的岩石学内容，但是，如果一个60英尺厚的层段含有13层砂岩并夹有12层页岩，那么，研究者由于时间的限制可能不得不把所有的层归并在一起，并且把互层状的砂岩和页岩作为一个地层单位加以描述。按照这种方法，研究者在如何最好地描述地层剖面方面已作出了主观判断。因此，任何两位研究者由于各自都受所用方法的很大影响，所以剖面的描述可能不同。

二、地层分析中常用的方法

对地质研究十分重要的组（formation）的概念，要求把地层剖面按照可作图的岩性单位进一步细分。因此，测量垂向地层剖面主要应服从于所规定的条件，即剖面的细分必须是“可作图的”，并且对于预定的比例尺来说通常也必须是可作图的。现在，最常用的作图比例尺是根据已发表的象限图所用的比例尺来确定的。当测过垂向剖面的一些组被作图并与相隔一段距离的另一个地方性剖面的一些组进行对比时，在这两个剖面之间画出组的接触界线可以描绘出具有特殊岩性的组的横向分布。按照惯例，这种界线是直的或弯曲的，在某种意义上反映一个垂向层序内的新、老岩体。这种方法强调岩体的垂向分布，并且使概念明显地偏于沉积物的垂向堆积作用，从而发展了“叠层地质学（layer cake geology）”的概念。

这种正规方法难以应用相概念。一个组内的岩性可以有横向变化，但这个组仍可以保留相同的名称。在早期的著作中，组名既可用作为岩性基准，又可用作为时间-地层基准，这是一种错误的习惯用法，显然应该抛弃和停止使用。

上述的地层分析方法被地质学家充分地用于画地质图、确定地壳构造以及恢复地球上以前发生过的并被层状岩石记录下来的事件。就大多数投影作图所要求的规模来说，地层解释充其量也只不过是概括性的，尤其是在所描述的组超过100英尺厚，并且为了便于作图和描述而把不同的岩性归并在一起时更是如此。

三、一种不同的方法——作用控制的成因单位

为了更准确地作出与地层单位的成因和分布有关的环境解释，需要一种不同的地层分析方法。任何一种新方法都必须考虑地层剖面中每一英尺岩层的成因，并且必须为细分剖面创造条件，这种细分的依据应该是自然的，而不应该象影响以前的工作那样是部分人为的和随意的。

关心沉积岩成因的科学家是很幸运的，因为他们能够观察到现代沉积物赖以堆积的条件

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

和作用，并且可以把他们的观察结果用来解释古代沉积物的成因。通过利用作为天然实验室的现代沉积环境区，科学家们想改善他们的研究质量。在过去二十年间，工业界、政府机构和大学里的科学家们已作出了重大的努力去调查研究现代沉积环境和解释全新统层序内一些作用的效果。由这些研究得出了一些概念，从而使有关沉积岩的科学思想发生了革新。

这些研究成果再次肯定了历史悠久的概念，即沉积环境内的各种作用控制岩石的类型和分布。所以，可以把新沉积的地层单位称为**作用控制的成因单位**。成因相同的沉积物具有相似的岩性，这是因为环境内有相似的物理作用、生物作用和化学作用。

作用控制的成因单位的定义是：主要由沉积时在环境内起作用的物理作用和生物作用所形成的沉积。这一概念对小规模沉积（例如由一个大波痕的迁移所沉积的一个6英寸厚的层＝一个交错层组）或大规模沉积（例如由与滨线进积作用有关的一些作用所沉积的40英尺厚的砂岩）可能都适用。这个概念通常用于较大规模的沉积单元，因此可能与某些作者所用的"相"相当。但是，比起一般所用的相概念来，选择并确定作用控制的成因单位可以使剖面的细分更精细，观察更敏捷。关键是识别一组独特的作用在开始影响和停止影响沉积作用时所产生的岩性差异（例如与一条蛇曲河道的河曲沙坝有关的沉积）。作用控制的成因单位的规模通常总是比组小。这种单位所依据的观察资料在后面论述沉积构造的几讲中加以详细讨论。这种单位的例子在论述沉积环境的讲稿中说明之。为了方便起见，本文将"作用控制的成因单位"这个词组简称为"成因单位"。

四、探矿中的应用

地层学家的目的是要尽可能准确地恢复地壳上有意义的任何地点被成层岩石记录下来的所有地质事件。纯自然科学研究或经济原因可以促进达到这一目的的工作。成层的沉积岩层系是经济矿物的巨大宝库。最重要的是油气、煤、水、铀，但也常发现其它金属和非金属矿物。

过去，地质学家根据一般概念和简化的研究方法已能成功地预测许多种矿床的产状和分布。由于对新矿藏的寻找导致重视较难辨别的但同等重要的远景区，所以研究者必须提出一些方法，以改进预测时所依据的科学研究的数量与质量。在地层工作中，第一步是更准确地恢复可赋存有用矿物的岩石的沉积环境。通过了解沉积环境的分布，可以为预测已知矿藏的展布或发现新矿藏提供科学依据。

如果一个现代沉积环境的沉积是一个**成因单位**，那末可由此得出，通过分析作用控制的成因单位的沉积层序，就可以更好地解释古代沉积环境。有些作者用略为不同的术语描述了一种相似的方法。例如，费希尔和布朗（Fisher和Brown，1972）描述了相分析的成因方法；布希（Busch，1971）以"地层成因增量"论述三角洲体系内的岩性组分，以一个"地层成因层序"讨论一个较大的单元。维谢尔（Visher，1965）和谢尔登（Shelton，1973）用"成因砂单位"提出地层研究的概念模式。显然，无论用什么方法，研究地层学的工作者目前正在更加努力识别成因相同的单元。由于描述和解释岩石内沉积构造的工作取得进展，所以这种方法是可以接受的。其它岩性特征也可以反映沉积环境，所以也必须加以考虑，例如结构、总的成分、化石含量等。然而，如果人们打算恢复古环境，那就要以岩石的沉积构造为起点。

本书后面的叙述大部分是关于恢复沉积体系以帮助探矿时如何识别和应用**成因单位**。重点将放在分析现代环境的研究成果方面，以确定什么资料和哪些概念能够应用于解释古代层

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

序，将特别注意改进定量与定性的地层分析。

在作相分析（预测同时沉积的横向岩性变化）时，根据所研究的层序内观察到的资料建立地层模式时，以及利用这些技术预测可能存在的矿藏时，所描述的这种方法最有价值。

参考文献

Busch, D. A., 1971, Genetic units in delta prospecting: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 55, no. 8, p. 566-580.

_____, 1974, Stratigraphic traps in sandstones--exploration techniques: Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memoir 21, 174 p.

Fisher, W. L. and Brown, C. F., Jr., 1972, Clastic depositional systems--a genetic approach to facies analysis (annotated outline and bibliography): Special Publication, Bureau of Econ. Geol., The Univ. of Texas at Austin, 211 p.

Shelton, J. W., 1973, Models of sand and sandstone deposits: Methodology for determining sand genesis and trend: Okla. Geol. Survey Bull. 118, 122 p.

Visher, G. S., 1965, Use of vertical profile in environmental reconstruction: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 49, no. 1, p. 41-61.

与地层学和砂岩相分析有关的书籍

Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 16, Stratigraphic Oil and Gas Fields, Tulsa, Okla, 687 p.

Amer. Assoc, Petrol. Geol. Reprint Series No. 10, Facies and the Reconstruction of Environments, Tulsa, Okla.

Amer. Assoc. Petrol. Geol. Reprint Series Nos. 7 and 8, Sandstone Reservoirs and Stratigraphic Concepts, Tulsa, Okla.

*Blatt, H, Middleton, G., Murray, R., 1972, Origin of Sedimentary Rocks: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 643 p.

Busch, D. A., 1974, Stratigraphic Traps in Sandstones - Exploration Techniques: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 21, 174 p.

Dunbar, C. and Rodgers, J., 1957, Principles of Stratigraphy: John Wiley and Sons, New York.

Grabau, A. W., 1960, Principles of Stratigraphy, vols. 1 and 2, Dover, New York, p. 1-581 and p. 582-1185.

Krumbein, W. C. and Sloss, L. L., 1963, Stratigraphy and Sedimentation: W. H. Freeman and Co., San Francisco, 660 p.

Pettijohn, F. J., 1957, Sedimentary Rocks: 2nd Ed., Harper and Bros., New York, 718 p.

*Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R., 1972, Sand and Sandstone, Springer-Verlag, New York, 618 p. (especially pages 15-23 which contain general source materials for the study of sand and sandstone including description of non-English references and textbooks).

Potter, P. E. and Pettijohn, F. J., 1963, Paleocurrents and Basin Analysis: Academic Press, Inc., New York, 296 p.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

*Selley, R. C., 1971, Ancient Sedimentary Environments: Cornell Univ. Press, Ithaca, N. Y., 240 p.

Shaw, A. B., 1964, Time in Stratigraphy: McGraw-Hill Book Co., 365 p.

*Shelton, J. W., 1973, Models of Sand and Sandstone Deposits: A methodology for determining Sand Genesis and Trend: Okla. Geol. Survey Bull. 118, 122 p.

Sloss, L. L., Dapples, E. C. and Krumbein, W. C., 1960, Lithofacies Maps: An Atlas of the United States and Southern Canada: John Wiley and Sons, New York.

Twenhofel, W. H. and others, 1932, Treatise on Sedimentation: Wilkens and Wilkens, Baltimore, 926 p.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第二章　地层学原理（概念）

一、横向堆积原理

对现代沉积环境以及有关的全新世沉积的研究，提供了关于沉积物层如何沉积和厚的沉积物楔状体如何堆积的新认识。从这些研究得出的一个最重要的概念也许是我所称的"横向堆积原理"，其简单定义是：最大量的沉积岩是由侧向加积作用堆积的。在其它各章中，对沉积环境的观察和解释提供了大量证据来证实这一原理，而且下列几点归纳了这些资料：

（1）堆积沉积物的沉积面（等时面）一般是倾斜的；

（2）地层主要通过侧向加积堆积在这些面上，成为有成因联系的单元。结果形成一个次要的垂向堆积组分。

（3）由于侧向加积和进积，沉积物一般是在搬运方向上堆积的。通过这些作用，沉积斜坡可能变得过陡，而且不稳定的沉积体可以通过滑塌、蠕动或滑动顺坡变形。

（4）成因单位在垂向上的堆叠起因于下沉作用或压实作用，或两者兼备。

（5）孔隙度和渗透率的不连续透镜体出现在时间-地层单位内。

从石油勘探的观点来看，横向堆积原理意味着，不渗透岩层所包围的孔隙性和渗透性储集岩层（即石油圈闭）可以出现在任何构造形式中，即背斜的顶部或翼部或者向斜底部。假如存在良好的生油岩层，地层圈闭的油气远景可能很大，因此只要在一个地区的一些构造高点上打钻就行了。从其它矿物勘探的观点来看，如果孔隙度和渗透率是限定母岩的重要物理特性，那么上述论点同样也适用。

均变说原理和以此为基础的推理告诉我们，如果全新世沉积物主要由横向堆积作用形成，那么，古代记录中的类似层序必然也由类似的作用所形成。这并不意味着所有的作用都曾经以相同的组合、相同的方式、相同的速度或相同的方向起作用。但是，主要作用留下了有可能准确恢复沉积环境（这是地层解释的第一步）的记录。

如果在研究地层时应用横向堆积原理，那么，应用和使用地层学许多传统原理的方式就不对了。

二、历史悠久的原理

申克（Schenck，1961）发表了一篇文章，总结他所关心的内容——"地层学指导原理"。他重新审查了最初提出一条原理时的原始叙述，并且介绍了原始的和（或）修改过的叙述。

下面的原理要点引自申克的文章，在需要解释清楚和前后连惯的地方，由我在格式上稍加修改或者增加了下列内容：

1．叠覆作用（Steno，1669）

修改过的叙述（叠覆定律）：最年轻的地层位于未受干扰的层序内的顶部（Anthony，1955，第83页）。

2．水平性（Steno，1669）

原理的叙述：倾斜层曾经是水平的（Woodford，1935，第3页）。

修改过的叙述（原始水平定律）：沉积层是近于水平地沉积下来的，并且基本上平行于它们所堆积的表面（Anthony，在所引的书中，第83页）。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. 原始连续性（Steno，1669）

修改过的叙述（原始连续定律）：水成沉积层的原始连续性只有靠它们沉积时沉积盆地的尖灭才能终止（Anthony，在所引的书中，第83页）。

4. 均变说（Hutton，1785）

原理的叙述：在地球的所有变革中，自然系统是一直不变的……而且她的规律就是经受过一般运动的仅有规律。河流与岩石、海洋与大陆在它们的所有部分都发生过变化；但是，针对这些变化的定律和它们所服从的规律却永远保持不变（Playfair，赫顿地球说的例证，1802，第421页，由 Woodford 引用，在所引的书中是第 6 页）。

修改过的叙述：将今论古（现在是认识过去的钥匙）。

5. 动物群顺序（Abbe Giraud-Soulavie，1777）

原理的叙述：不同的地质时代有不同的化石；下部地层与上部地层所含的化石是不同的。化石植物群和动物群以一定的又可确定的顺序相互演替（Anthony，1955，第89页）。

6. 根据化石鉴定地层（Smith，1816）

修改过的叙述：地层可以根据它们所含的特征化石鉴定之（Woodford，1935，在所引的书中，第5～6页；Schenck，1940，第1754～1755页）。

7. 岩石-地层单位和时间-地层单位

原理的叙述：区别岩石-地层（岩石成因）单位和时间-地层单位，对沉积岩的分类和命名来说是必不可少的。

概述（Weimer）：

岩石-地层单位（Powell，1888）：正如现在一般所理解的那样，组是一个地方性的又可作图的岩石-地层单位——为作图和描述的方便而归并在一起的岩体组合，一般发现它组成一个成因单位。

时间-地层单位：在通常由进化化石所限定的一段时间内沉积的岩石（例如阶或系）。

8. 相

概述（Weimer）：一个时间-地层单位的局部或特殊的岩性特征和（或）生物特征。

申克所阐明的这些原理被看作为地层科学的基础。地层术语和其中所包含的概念，虽然申克没有加以论述，但却由现在的工作者用《地层命名规范》正式化了。全世界各个委员会所公布的规范，代表当前关于这些原理的定义与运用的思潮。我对现今的这些规范的看法是：应以强调沉积物垂向堆积特性的方式运用这些原理。这是可以理解的，因为地层剖面几乎都是在垂向剖面（垂直于层理）上观察的。由于剖面是在露头最好（经常是仅有的露头）的地方测量的，而且只有在特殊情况下（例如悬崖露头）才能对各个层作横向追索。所以，一个地方的剖面与相距一段距离的另一个剖面间的关系，是通过对比来确定的，即剖面之间相互的时间关系是主观武断确定的。

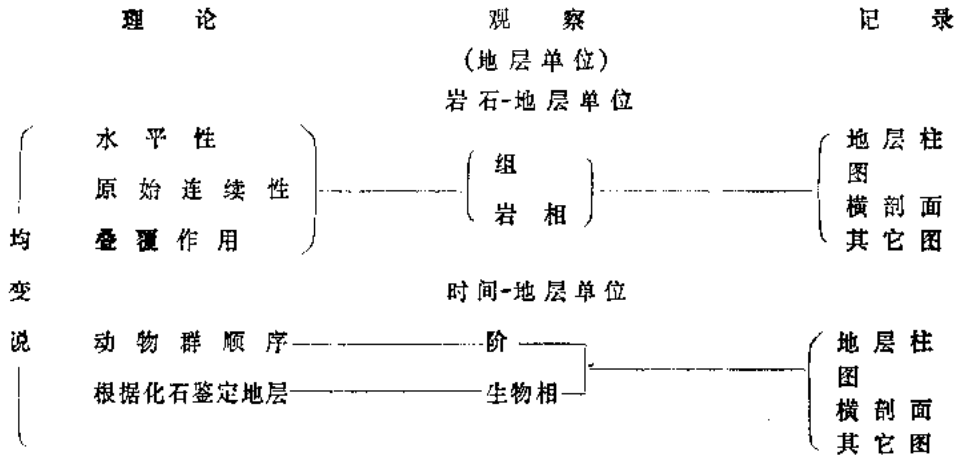
象地表资料一样，地下资料基本上是由钻孔点控制的。由于测连续剖面的反射地球物理学的最新进展，因此，现在有可能在某些层序内对井与井之间的地层关系作地震观测，或者在没有井的地方确定地层的横向变化。

三、推荐

我相信，申克所列出的原理可分为两类：一类基本上与地层工作中的观察阶段有关；另一类与理论阶段有关。地层工作中的观察、记录和理论阶段可以归纳如下：

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

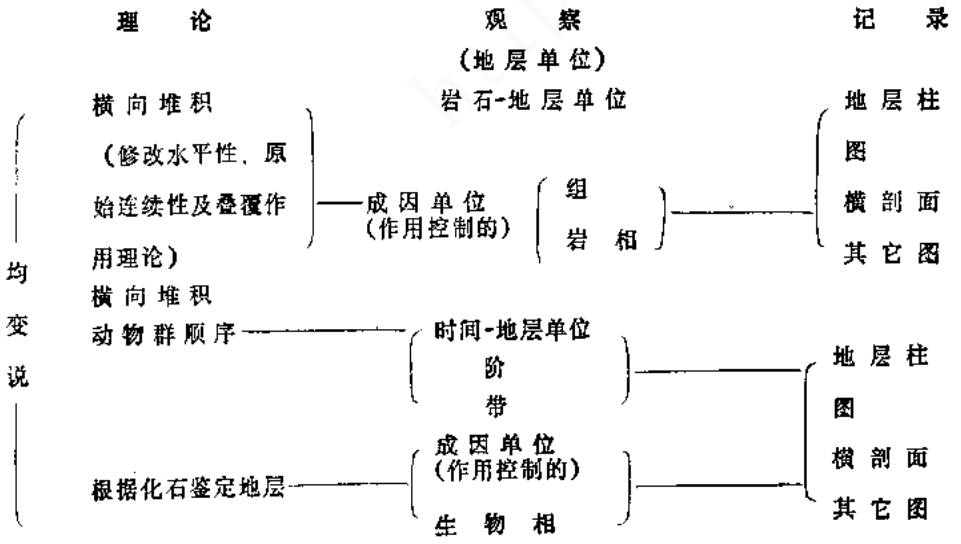
强调垂向堆积的



当应用水平性、原始连续性和叠覆作用的理论时，工作者们势必会强调组象层一样一个堆叠在另一个的顶上。如果能够识别时间-地层单位（通常是一项困难的工作），那么，称之为相的横向变化就可以被描述和作图，无论在岩性（岩相）或者古生物（生物相）方面都可以。尽管相是研究者在描述层状岩石变化时最常使用的术语之一，但是美国的《地层命名规范》并没有给相这个术语下定义，也没有把它与其它岩石地层术语联系起来。

横向堆积原理部分地或直接地与水平性、原始连续性及叠覆作用理论的一般应用相矛盾。在把现代沉积体系的研究成果应用于古代层序时，如果认为横向堆积作用是使沉积物堆积的主要作用，那就必须大大地修改观察、记录和理论阶段，我提出下面的方案：

强调横向堆积的



考虑到与水平性、原始连续性及叠覆作用理论的错误应用有联系的一些误解，现有的《地层命名规范》应该大大地加以修改。规范必须介绍横向堆积原理，也必须介绍受到委员会维护和宠爱的科学术语与概念的定义所造成的混乱情况。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

参考文献

Schenck, H. G., 1961, Guiding principles in stratigraphy: Jour. Geol. Soc. India, v. 2, p. 1-10.

Codes of Stratigraphic Nomenclature

American Commission on Stratigarphic Nomenclature: Code of Stratigraphic Nomenclature: printed by the Amer. Assoc, Petrol. Geol., Box 979, Tulsa, Okla. 74101.

International Subcommission on Stratigraphic Classification Report No. 7, An International Guide to Stratigraphic Classification, Terminology and Usage: Lethaia, 1972, Universitets-forlaget, Box 307, Blindern, Oslo 3, Norway; Box 142, Boston, Mass. 02113.

http://bbs.3s001.com/

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第三章　内部构造的分类

岩石是根据成分和结构进行命名和分类的。因此，在训练学生描述岩性时，重点放在根据手标本的研究去识别和描述结构与成分的细节。在高等岩石学课程中，学生学习用薄片或破碎样品更详细地描述岩石的成分与结构。沉积构造由于两个重要原因势必被一带而过。第一，沉积构造不是任何岩石分类方案中的一个组成部分；第二，它们在手标本上可能不是显而易见的特征。但是，沉积构造却可以为岩石的沉积环境解释提供一些最有价值的资料。沉积构造往往是确定沉积过程中所涉及到的各种作用的唯一途径。在确定搬运介质的能量等级和流动方向、生物的活动性（暗示水的盐度）以及描述沉积物的原生与次生化学变化方面，沉积构造特别有用。因此，想要恢复古代层系的沉积环境的地质人员，就必须学到如何识别、描述和解释沉积构造的知识。

为了方便起见，沉积岩的内部构造将在后面几章——无机成因构造、变形构造和生物成因构造中加以讨论。所有这三类构造在某些层内可能是相互联系的，或者可能只存在一类或两类。无机成因构造反映形成层理的作用，而生物成因构造和变形构造则说明改变或破坏层理的作用。

表3.1介绍沉积构造的一个综合性分类。对于所列出的各种沉积构造的定义、描述特征和图片，读者可以参考这一章末了所列出的有关沉积构造方面的书目。

表3.1　原生沉积构造的分类

一、无机成因构造

1．层面上或横剖面中可见的

(1) 层或纹层（水平的）

(2) 交错层或交错纹层

(a) 槽状

(b) 板状或平板状

(3) 递变层

(4) 干裂

(5) 氧化带（含或不含植物根系）

2．主要见于层面上的（根据Blatt等，1972）

(6) 压刻痕

包括擦痕、沟痕、刷痕、截痕、弹跳痕和滚动痕

(7) 冲刷痕

包括槽痕、大型冲刷痕（"冲淤"水道）、细流痕、新月形痕（"水流新月形构造"）

(8) 底形

包括波痕、沙丘、反丘、水流线理、耙痕、冲流痕和波浪形成的其它痕迹

二、变形构造

(1) 软沉积物的褶皱和断裂

(2) 卷曲纹理

(3) 球状与枕状构造

(4) 穿刺构造

泥或砂的穿刺、岩脉或岩床

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

续表

(5) 负载构造

(6) 气逸构造

三、生物成因构造（根据Frey，1973）

布默根据生物的吃食（或潜穴）习性作出的简化分类

(1) 生物成因的沉积构造

（根据Seilacher，1953）

(a) 生物扰动构造

栖息迹
爬行迹 } 觅食
觅食迹

吃食构造——吃沉积物

居住构造——吃悬浮物

(b) 生物层理构造

(2) 生物侵蚀构造　穿孔

(3) 植物根系

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第四章　无机成因构造

一、作为沉积构造和沉积物来源的土壤

碎屑沉积岩的形成是由于沉积物的侵蚀、搬运和沉积，虽然大多数沉积构造是在沉积物沉积过程或沉积之后不久形成的，但是，土壤层（比较重要的构造之一）可以在物源区由风化作用原地发育而成，或者由某些沉积环境的周期性陆上暴露作用发育而成。组成土壤剖面的不同成分与结构的典型层可以称为A、B和C层，或者更详细地分为A_1、A_2、B、C、D层（图4.1）。图4.2归纳了现今地面上土壤剖面的主要变化，反映变化很大的气候条件和其它条件。

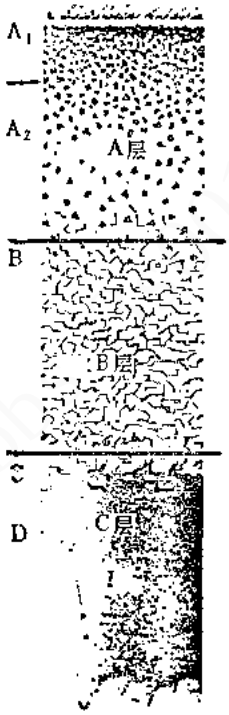


图 4.1　组成土壤剖面的层，各层都有不同的特征

在高地上由风化作用形成的土壤，是进入搬运体系的沉积物的物源。因此，在不同的风化条件下，在土壤剖面内形成的物质可以控制新沉积旋回的沉积物成分。此外，通过上部A层内物质的淋滤作用和下部B或C层内物质的富集作用，可以破坏或降低土壤剖面内沉积物或岩石的孔隙度与渗透率。这一过程可能形成碳酸盐、粘土、铁质、氧化硅和其它胶结物。因此，地质人员应该了解现代的成土过程、作为一种沉积构造的古代土壤剖面或氧化地面以及古土壤在控制古代层系的成分、结构和颜色方面的重要性。

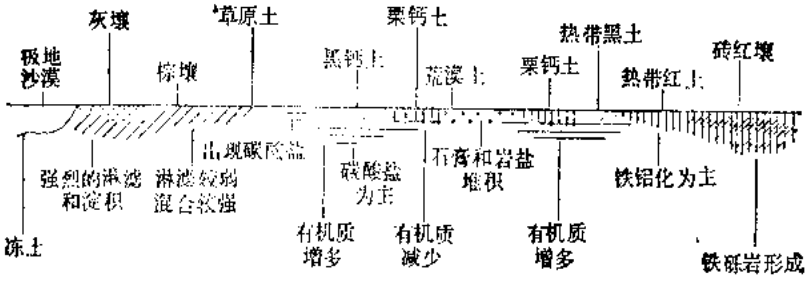


图 4.2　从极地（左）到赤道（右）的土壤分带的示意剖面。上面是土壤名称，下面是主要作用。铁铝化作用是土壤内铝和铁的水合氧化物的堆积（引自Blatt等，1972；据Ollier，1969）

并不是所有的成土过程都降低储集岩层的孔隙度和渗透率。碳酸盐岩的溶解作用通过产生洞穴、空穴、角砾岩等可以提高孔隙度和渗透率。残余的富含粘土和铁质的土壤（红土）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

通常盖在岩溶带的顶上。图 4.3 就是一个实例，说明佛罗里达目前正起作用的这些过程。图 4.4 解释了这些作用在怀俄明州埃尔克盆地密西西比系麦迪逊油层中发育碳酸盐岩储集层的重要性（McCaleb和Wayhan，1969）。

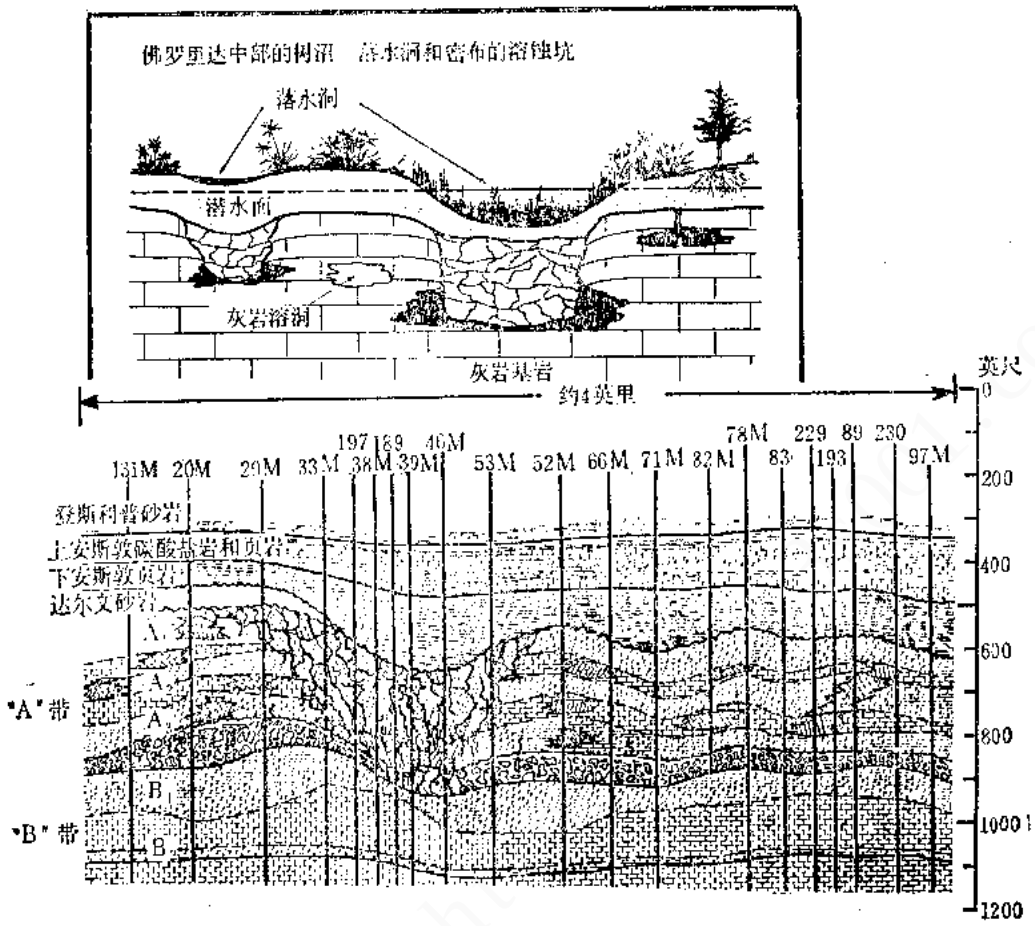


图 4.3 佛罗里达中部灰岩落水洞和溶洞的发育示意图（上图）
图 4.4 埃尔克盆地的南北向示意性地层横剖面A—A'，表示麦迪逊油层的岩溶带
（据McCaleb和Wayhan，1969）

表 4.1 描述层状岩石所用的定量术语的比较表（据Mckee和Weir，1953）

描述层理的术语		描述交错层理的术语		厚度	描述劈裂性的术语
极厚层状	层	极厚交错层状	交错层	大于120厘米	厚块状
厚层状		厚交错层状		120～60厘米	块状
薄层状		薄交错层状		60～5厘米	厚板状
极薄层状		极薄交错层状		5～1厘米	薄板状
纹层状	纹层	交错纹层状	交错纹层	1～0.2厘米	页状（粘土岩、粉砂岩） 片状（砂岩、灰岩）
薄纹层状		薄交错纹层状		小于0.2厘米	纸状

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

二、层理性质

几乎所有的沉积岩都有某种内部构造，最常见的是层理。层理是沉积物沉积时形成的成层性，层或者是平坦的，或者与层面成水平（大致平行），或者是倾斜的。麦基和韦尔（Mckee和Weir，1953）在非定量意义上使用“层理”这一术语，并且把“层（bed）”术语限于厚度大于1厘米的层，“纹层（lamirae）”术语限于厚度小于1厘米的层（表4.1）。

麦基和韦尔（1953）所介绍的“层组”概念（图4.5）可以定义为：与层面平行的内部连续成层的一种构造。“交错层组”是与层组界面（层面）斜交的内部成层。识别了两种主要类型的交错层理。如果交错层理的界面是平面，则称为平板状交错层理；如果界面是曲面，就称为槽状交错层理（图4.6）。每个层组或交错层组都被看作为一个小型的作用控制的成因单位，这样的一个单位是在或长或短的时期内由作用于沉积物的某些作用沉积而成的。关于层组或交错层组成因的解释决定于人们对沉积物的搬运作用和沉积作用的认识。

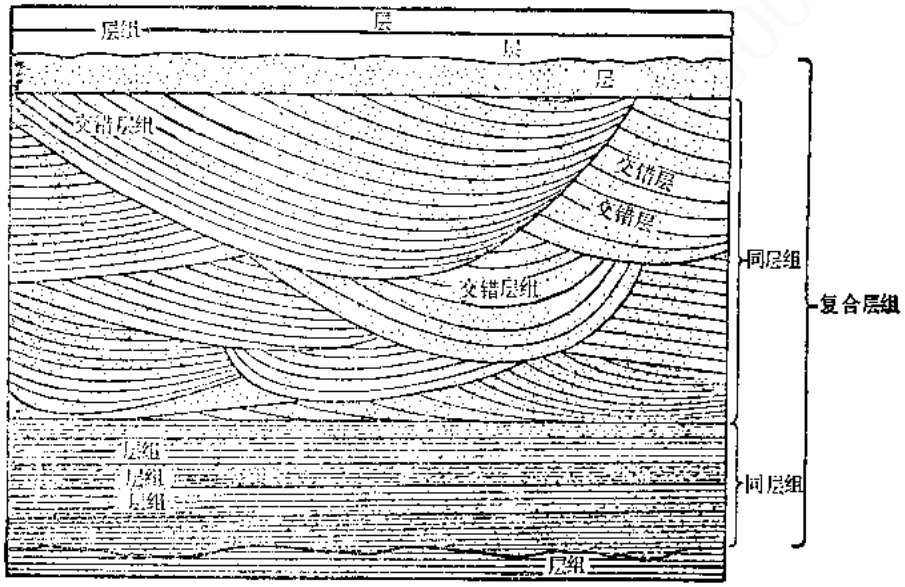


图 4.5　层状单位和交错层状单位的术语

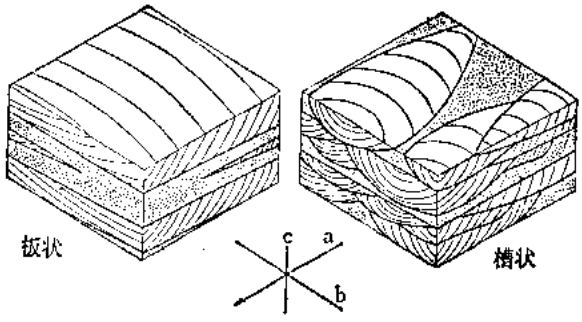


图 4.6　交错层理的两种主要类型

层理类型和岩性的重复垂向序列已被归类为有成因意义的（解释为作用控制的）模式。图4.7表示鲍马（Bouma，1962）所描述的浊积岩相模式的一个实例。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

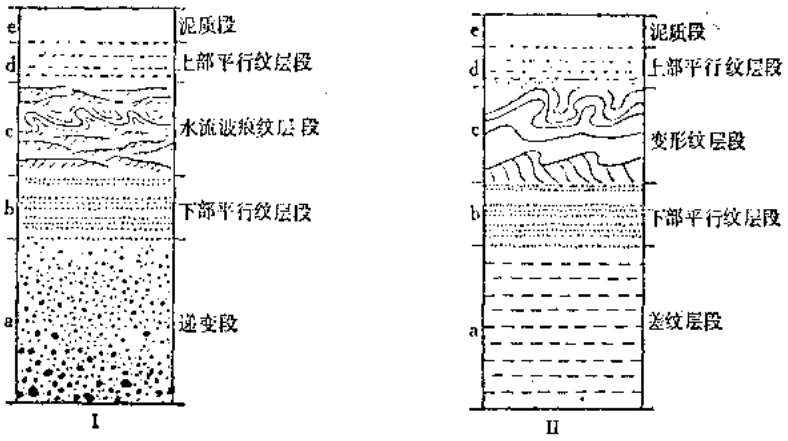


图 4.7　I—鲍马（1962）最初发表的浊积岩相模式（Ta-e）；
I—范德林根（Van der Lingen）的浊积岩相模式。根据范德林根（1969）重绘

三、层理的成因

自索比（Sorby，1859）早年的研究以来，地质人员描述并解释了沉积构造，以帮助恢复沉积体系。在一本名为《原生沉积构造及其水动力解释》（Middleton编，1965）的专题文集中概括了这一方面的大量文献和概念。有几篇文章讨论了控制层理和其它沉积构造的成因的搬运介质的流态（flow-regime）概念。在这本书中，流态被描述为具有相似底形、抗流动性和沉积物搬运方式的流动范围。它是流量、粘度和底形或糙度的函数。底形是沉积界面（即水与沉积物界面）的形态。层理是由沉积物从悬移质中降落到底床上形成的，或者由与底床接触的物质在运动中引起底形迁移（如波痕的迁移）而形成的。

在搬运介质能量、底形、层理以及搬运方向之间存在一种关系。因此，可以阐述这样的一个一般概念，即交错层的倾向是沉积物搬运的方向。哈姆斯和法内斯托克（Harms和Fahnestock，1965，第111页）用图（图4.8）说明了这些关系。从低流态到高流态能量增大，底形和层理类型反映这种变化。但是，粒度（结构）和水流功率（能量）之间的关系也影响底形，因此也影响层理类型。例如，图4.9（Simons等，1965，第52页）所示为在砂级物质中，在含有粗砂的底床上的确没有形成小波痕。在水流功率大到足以运动砂粒形成沙丘（大波痕）之前，底形是平底。

粒径（结构）和流速（能量）之间存在另一种关系，如图4.10（Allen，1965）所示。悬移质和推移质以不同速度搬运和沉积与粒径有关。温度或沉积物浓度可以改变搬运介质的粘度，因此可以改变曲线。

形成交错层理的最常见的底形是波痕和大波痕（沙丘）。艾伦（Allen）画出了由不对称波痕的迁移所形成的、常见的交错层理类型（图4.11）。这些波痕的波高和波长从小到大不等，波脊形态从直的到弯曲的各不一样。麦克丹尼尔（McDaniel，1968）归纳了这些类型和其它类型的常见的指向特征（图4.12）。

必须在空间上研究和描述层理。在只可见到一个面的露头上，或者在切开的岩芯中，往往难以恢复交错层的形态和类型。在观察一个大型交错层组的一小部分时所出现的问题，可以用图4.13（引自McCubbin和Brady，1969）加以说明。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

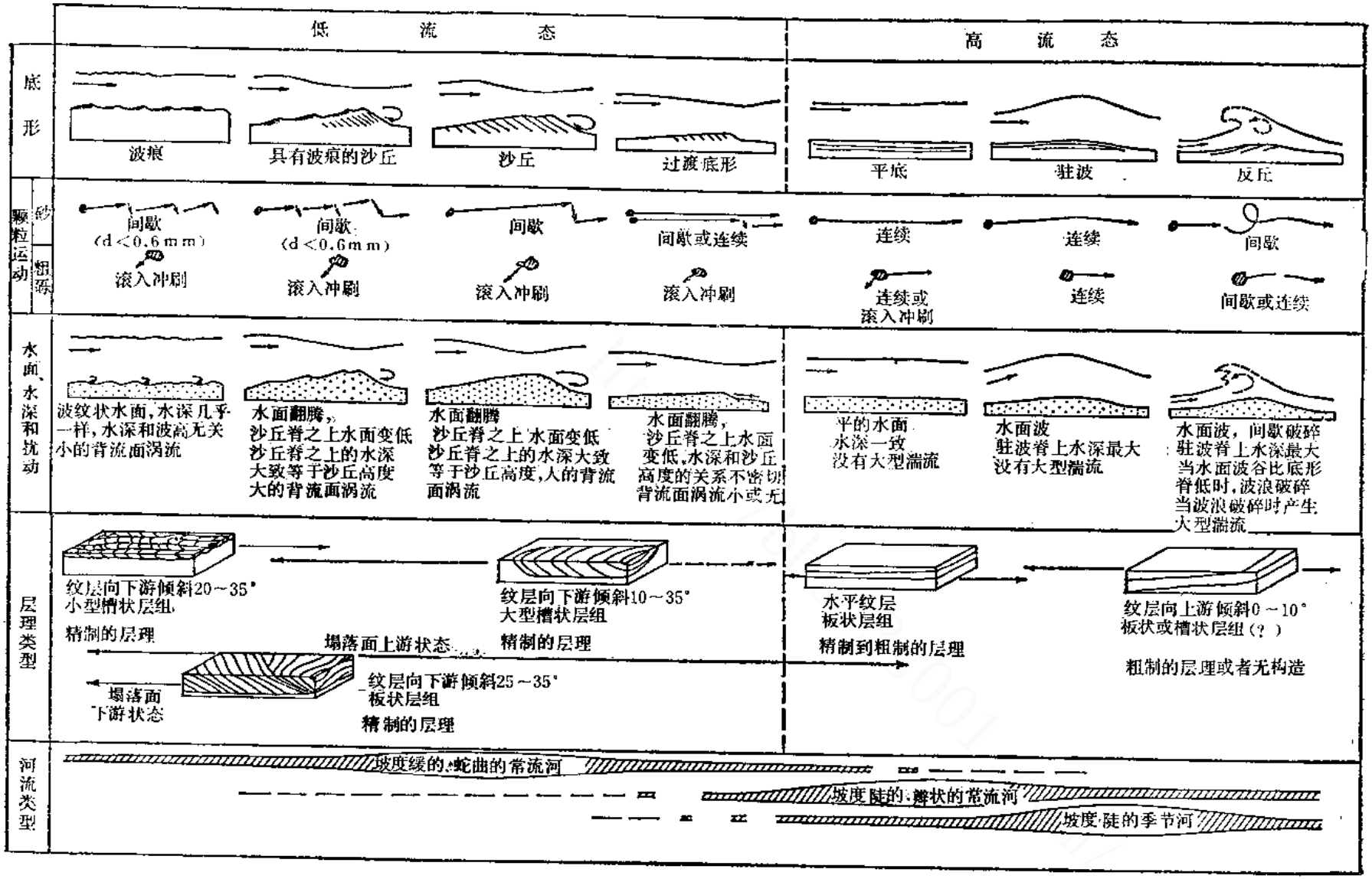


图 4.8 砂层的流态图 (Harms和Fahnestock, 1965)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

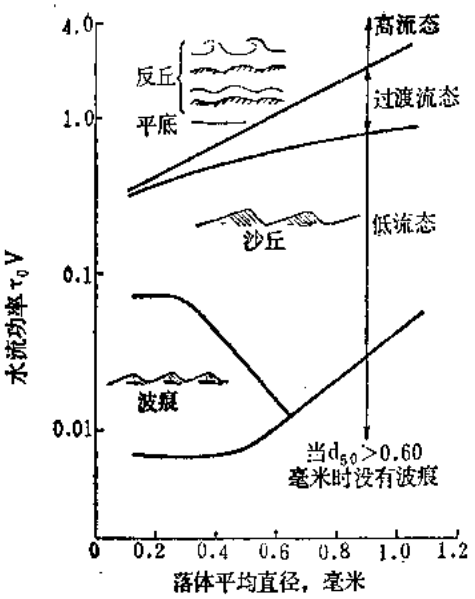


图 4.9　水流功率和落体平均直径与底形的关系（据Simons等，1965）

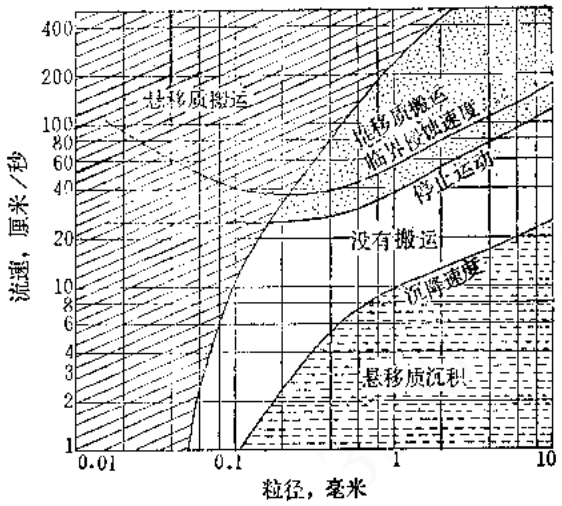


图 4.10　在比重为2.65克/厘米^{3}的均匀物质中，流速（水底之上1米处）、粒度和沉积物状态之间的关系（据Allen，1965；根据Sundborg，1956，图23修改）

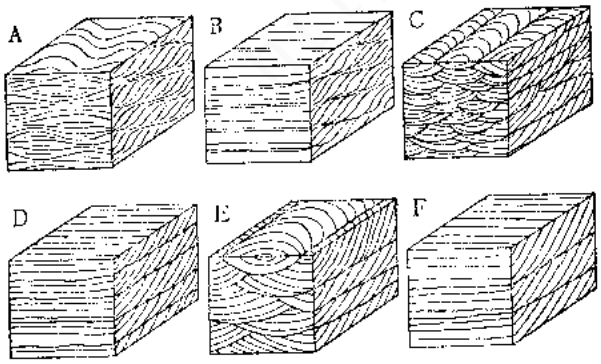


图 4.11　常见的交错层理类型，它们是由不对称波痕的迁移所形成的(根据Allen，1963a、b)

A—小型交错层组，显出香肠状构造和渐变接触，由小型舌形波痕产生；B—平面状小型交错层组，具有渐变接触，由小型直脊波痕所形成；C—由小型舌形波痕所产生的小型槽状交错层组；D—由小型直脊波痕的迁移所形成的小型平面状交错层组；E—由大型新月形波痕和可能的舌形波痕所产生的大型槽状交错层组；F—由大型直脊波痕所形成的大型平面状交错层组（据Allen，1965）

单独根据无机成因构造去恢复岩石的沉积环境，地质人员早就作了尝试，并且经过了反复努力，可惜都失败了。其原因似乎很清楚，因为层理随流态而变，而且流态相似的环境必然有类似的构造。经验证明，只有当研究者考虑沉积构造与结构的垂向和横向序列、指向特征、总的岩性、生物成因构造和其它化石的存在与否时，才能准确地恢复沉积环境。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

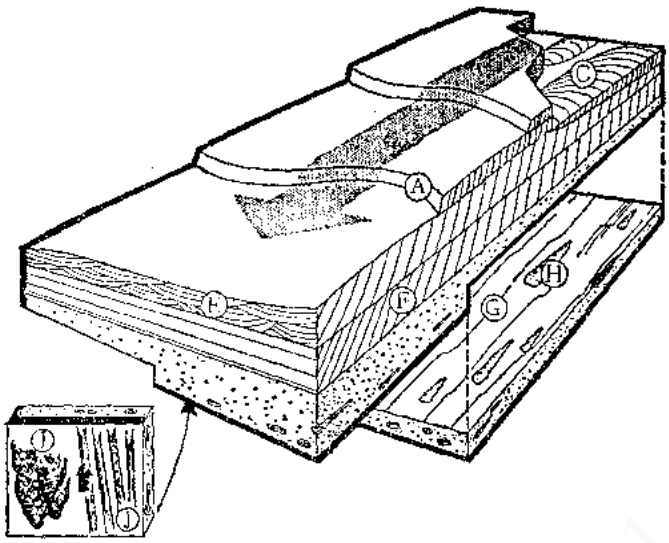


图 4.12 沉积指向特征（据McDaniel, 1968）

A—不对称波痕；C—脊与沟；E—弧状交错层理；F—平面状交错层理；G—剥离线理；H—化石线理；I—槽铸型；J—擦痕和沟铸型

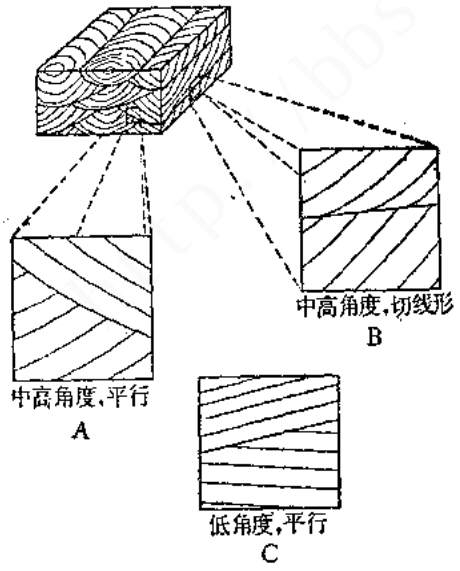


图 4.13 UA-5砂岩内主要的交错层理类型。从垂直于槽轴的剖面（A）和平行于槽轴的剖面（B）上来看，可以认为A和B代表同一种交错层理；立体图表示层组空间形态的复原图。C所示的类型在不同方向的剖面上表现出低角度和平行；层组的空间形态未知（据McCubbin和Brady, 1969）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

参考文献

(与无机成因构造有关的书刊)

Allen, J. R. L., 1965, A review on the origin and characteristics of recent alluvial sediments, Sedimentology, v. 5, p. 89-191.

Blatt, H., Middleton, G. and Murray, R., 1972, Origin of sedimentary rocks, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.

*Frey, R. W., 1973, Concepts in the study of biogenic sedimentary structures, Jour. Sed. Petrology, v. 43, no. 1, p. 1-19.

Harms, J. C. and Fahnestock, R. K., 1965, Stratification, bed forms, and flow phenomena (with an example from the Rio Grande, Soc. Econ. Paleo. and Min., Sp. Pub. 12, p. 84-115.

McCaleb, J. A. and Wayhan, D. A., 1969, Geologic reservoir analysis, Mississippian Madison Formation, Elk Basin Field, Wyoming-Montana, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 53, no. 10, p. 2094-2113.

McCubbin, D. G. and Brady, M. J., 1969, Depositional environments of the Almond reservoirs, Patrick Draw Field, Wyoming, The Mountain Geologist, v. 6, no. 1, p. 3-26.

McDaniel, G. A., 1968, Application of sedimentary features and scalar properties to hydrocarbon exploration, Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull. v. 52, p. 1689-1699.

*McKee, E. P. and Weir, G. W., 1953, Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks, Geol. Soc. Bull., v. 64, p. 381-389.

Meckel, L. D., 1967, Tabular and trough cross-bedding: comparison of deep azimuth variability, Jour. Sed. Pet., v. 37, p. 80-86.

*Middleton, G. V. (ed.), 1965. Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation, Soc. Econ. Paleo., Sp. Pub. 12, 265 p.

Sielacher, A., 1964, Biogenic sedimentary structures in Imbrie, J. and Newell, N. D. (eds.), Approaches to Paleoecology, John Wiley and Sons, New York, p. 296-316.

*Simons, D. B., Richardson, E. V. and Norden, C. F., Jr., 1965, Sedimentary structures generated by flow in alluvial channels, Soc. Econ. Paleo. and Min., Sp. Pub. 12, p. 52.

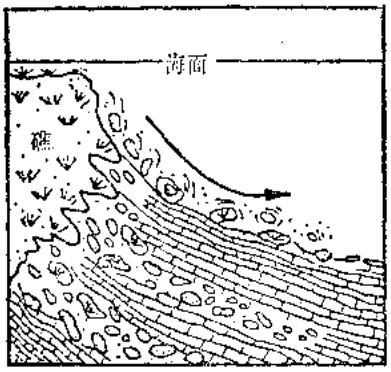
Sorby, H. C., 1859, On the structures produced by the currents present during the deposition of stratified rocks, Geol. Soc. London Quart. Jour., v. 64, p. 171-233.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第五章　变形构造

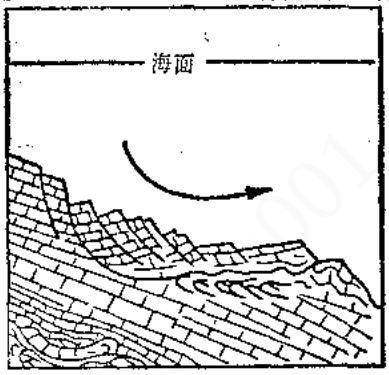
一、作用

沉积物层在沉积之后和岩化之前仍处于柔软状态时可以发生变形。一层沉积物在沉积、变形并被一个新的未变形层覆盖后产生层间变形构造，这种构造有时被称为准同生构造。或者，沉积物层在受到断裂、褶皱或底辟页岩运动发生变形之前可以埋藏到某一深度。最常见



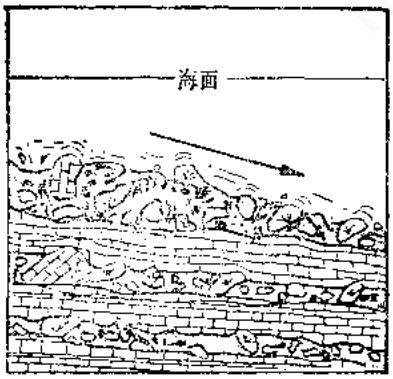
(a)

(a) 海底岩崩
—各种碎屑的滚动或自由降落
—砂级到巨砾级碎屑
—沉积单元通常有明显的界线
—分选差，没有递变
—碎屑间有孔隙
—越过陡坡的搬运距离短



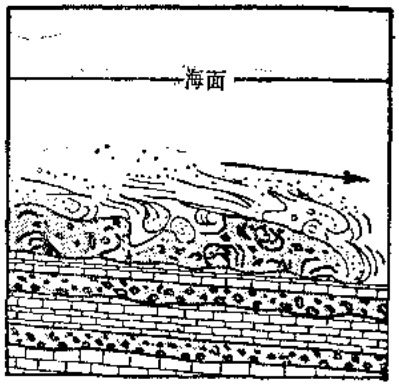
(b)

(b) 海底滑动和滑塌
—粘性物质的位移
—沿不连续的剪切面运动
—几乎没有内部流动
—局部的褶皱和断层



(c)

(c) 海底块体流
—沉积单元的界线明显
—顶、底均是平的，或者底平顶不平
—分选差；正递变少见
—通常有泥基质
—运动过程中各种碎屑混杂在一起，
并且由某种非扰动机理所支持
—越过缓坡的搬运距离中等



(d)

(d) 海底浊流
—沉积单元通常有明显的界线
—顶、底均是平的，或者顶平和底沟槽状
—分选可变；常见正递变和其它鲍马序列
—泥基质可有可无
—运动过程中各种碎屑混杂在一起，
并且由扰动悬浮所支持
—越过缓坡的搬运距离长

图 5.1　海底重力搬运机理的主要类型和一些描述特征与解释特征（据Cook等，1972；根据Dott，1963，修改）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

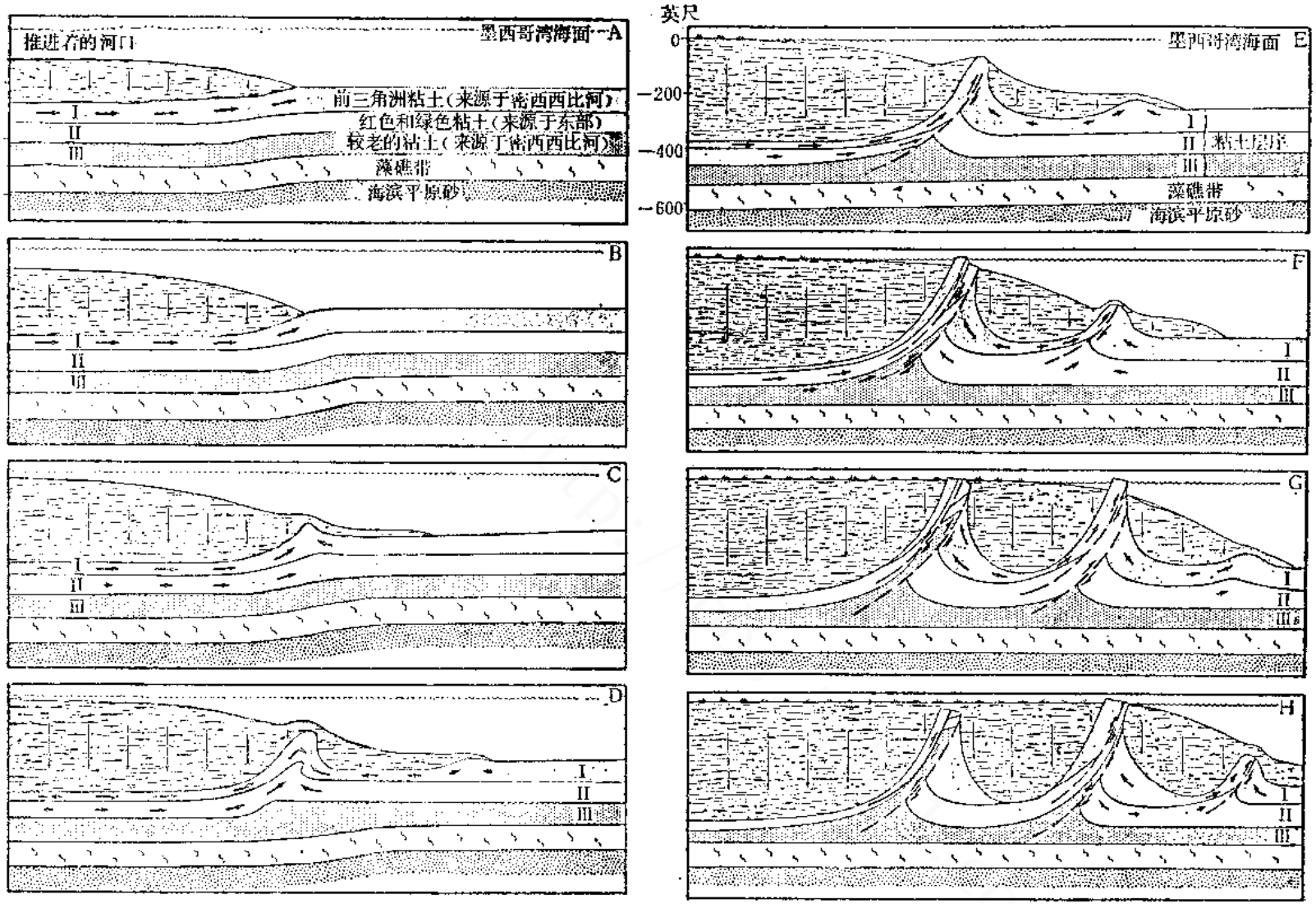


图 5.2　密西西比河南部分流泥丘的成因与发育过程（据Morgan等，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

的变形构造列在表3.1中。在横向和垂向上，发生变形的范围从几厘米到几公里不等。变形强度强弱不一。

引起变形的作用从简单的到复杂的都有（图5.1）。引起变形的最普通的力是作用在处于不稳定斜坡的大量沉积物上的重力，它通过滑动、滑塌和扭弯作用使沉积物发生褶曲和断裂。另一种普通的作用是低密度层（粘土和水）被高密度物质（砂和水）所覆盖的负载作用，它使低密度物质发生侧向运动和（或）在垂向上生成常见的负载构造。麦基和戈德堡（McKee和Goldberg，1969）曾经在实验室内用实验方法制成了由负载作用所产生的小型变形构造。

可以沉积厚的粘土层，而且在埋藏时通常未受压实，即保留有孔隙水。未压实的低密度页岩物质在被较年青的沉积物覆盖时，可以借助于异常高的孔隙压力而流动。泥丘（页岩刺穿）、砂岩脉、复杂的褶曲和断层以及砂中的其它变形构造与这些现象有关（图5.2）。哈伯特和鲁比（Hubbert和Rubey，1959）以及格雷特纳（Gretener，1969）按照早期的著作讨论了高流体压力在沉积物变形过程中的作用，并且描述了孔隙流体压力与负载压力之间的关系（图5.3）。生长断层在成因上可能与欠压实的大页岩体处于超压条件下有关（Bruce，1972，见图16.22）。

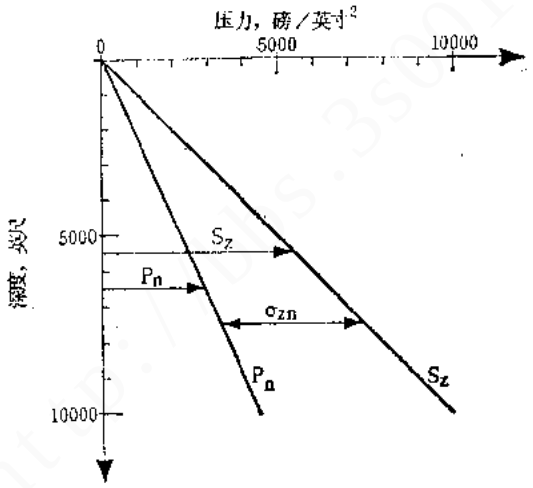


图 5.3　在假设ρ_s=2.3克/厘米³和ρ_w=1.04克/厘米³的正常条件下，总的负载压力（S_z）、孔隙流体压力（P_n）和有效负载压力（σ_{zn}）与深度的关系（据Gretener，1969）

沉积物层捕获气体可以提高压力。当气体逃逸时引起次要的变形作用，或者形成小型或大型的火山状构造。

多特（Dott，1963）总结了海底重力搬运机理的动力。他列出了四种水下作用：岩崩、滑动与滑塌、块体流以及浊流。图5.1概括了库克等（Cook等，1972）修改过的这些作用，这张图也适用于碳酸盐岩。

二、三角洲前缘——前三角洲环境中的变形作用

与边缘地区相比，高速沉积区可称为沉积中心（图5.4）。与常见准同生变形作用的沉积中心有关的现代环境之一是三角洲前缘—前三角洲环境。浅海地区中的高速沉积作用使沉积斜坡向海推进和变陡。

科尔曼和赖特（Coleman和Wright，1974）为了描述与现代密西西比河三角洲沉积物有关的各种变形作用，汇编了多年来的研究成果。引自这些作者的图5.4到图5.10说明现代密西西比河三角洲，并且描述某些变形作用。在下面的摘要中，科尔曼和赖特（1974）总结了三角洲前缘沉积的变形作用。

河口沉积型式受到足以危及几个海底支撑构造的沉积物变形作用的修改。有几种变形作用：（1）周边滑塌作用；（2）差异负载作用和刺穿作用；（3）地堑断裂作用；（4）由沉积物

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

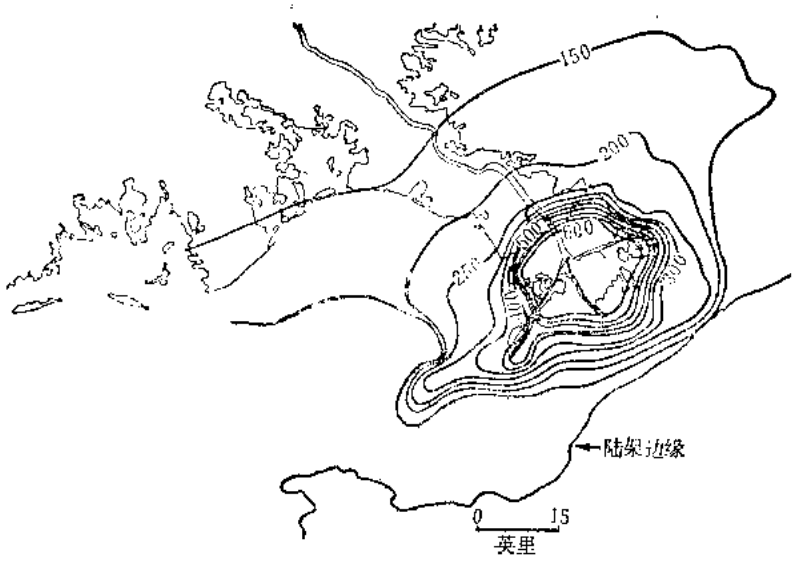


图 5.4 密西西比河三角洲三万年来的近代沉积物等厚图（据Coleman等，1974）

排气所引起的物质坡移作用；（5）深部流动。沉积速度在河口附近是高的，向海则降低：随着时间的推移，沙坝前缘变得太陡，在其周边形成旋转滑塌面，使沉积物运动到较深的水中。这些块体的长度约为200到2000英尺，宽度为600到2000英尺以上。较致密的沙坝砂覆于低密度粘土上所引起的差异负载作用，使粘土在与沙坝向海进积的同生发生垂向的和向海的流动。在变形载体的向海侧，底辟褶皱和脊柱（泥丘）侵入三角洲前缘沉积物内，而且垂向运动影响深度超过500英尺的沉积物。粘土的向海挤压和连续运动使上覆的三角洲前缘沉积物弯成

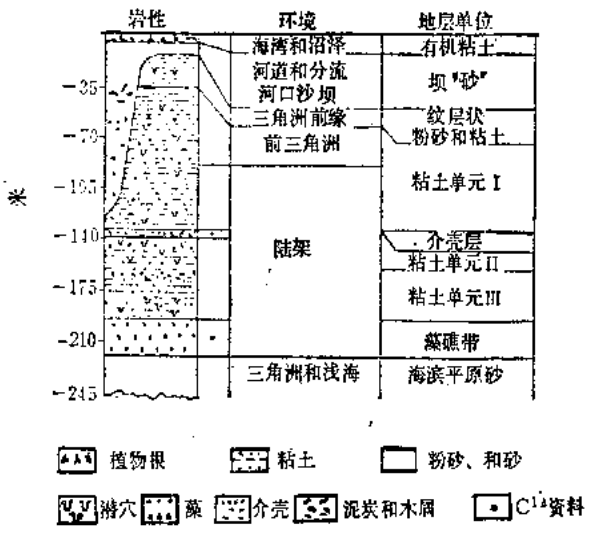


图 5.5 现代密西西比河三角洲下面的特征沉积序列（据Morgan等，1968）

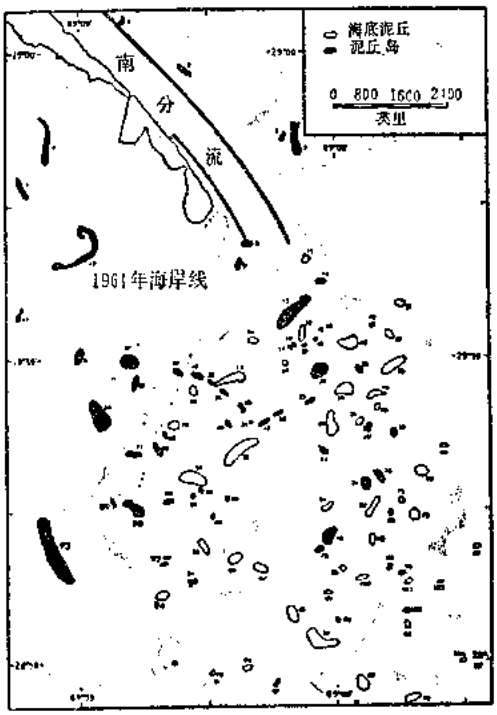


图 5.6 现代密西西比河三角洲中海底泥丘和泥丘岛的分布

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

弓形，这种应力由沿着变形载体或三角洲朵体的径向排列的小型地堑断层所释放。地堑宽度为150到1500英尺，长度为几英里。较细粒的河口沉积物含有大量的、由细菌分解有机质所产生的甲烷和二氧化碳气体。飓风波浪的通过，使海底压力产生波动，迫使所捕集的气体向上运动，使沉积物的强度降低，并使沉积物能够进行块体运动。现代密西西比河三角洲由于本身的重量而陷入到下伏更新统砂内约400英尺，从而使粘土挤向和流向水深大于300英尺的大陆架。这种粘土流动在大陆架附近产生大规模的滑塌作用和断裂作用。这些作用与沉积作用同时进行，并且在产生沉积中心方面起重要作用。

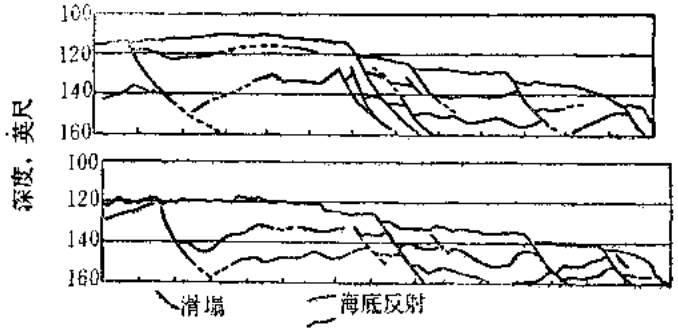


图 5.7　地震剖面的迹线表示三角洲台地内的周边断层和滑塌。剖面间距为600米（据Coleman等，1974）

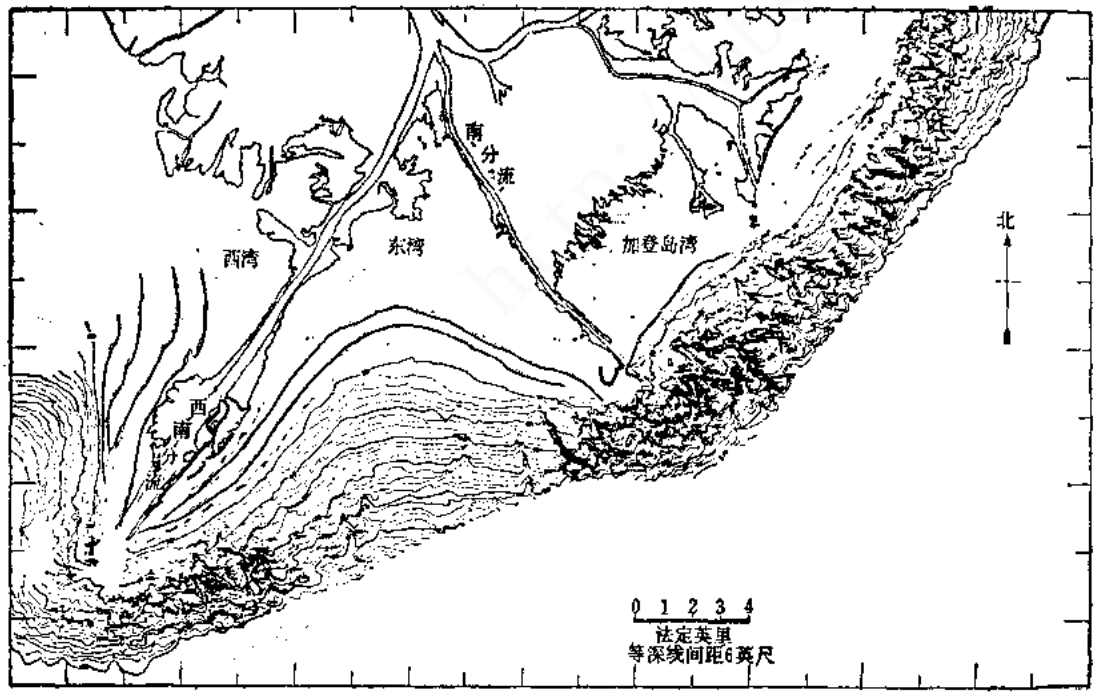


图 5.8　密西西比河西南分流到西北分流之间三角洲外上部陆坡的海底地形（根据美国海岸与大地测量调查所未发表的水文图）

有许多文章描述了现代三角洲内三角洲前缘沉积作用和变形作用的共生关系。最著名的有：马修斯和谢泼德（Mathews和Shepard，1962）论加拿大不列颠哥伦比亚省弗雷塞河三角洲；谢泼德（1973）以及谢泼德、迪尔和希普（Shepard、Dill和Heezen，1968）论哥伦比亚马格达雷那河三角洲；伯克（Burke，1972）论尼日尔河三角洲。比亚（Bea，1971）描述了

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

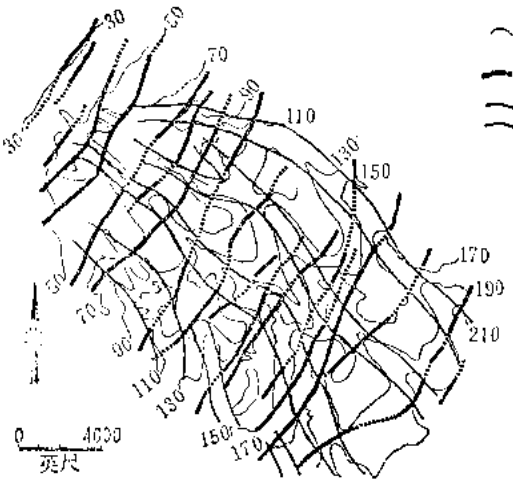


图 5.9 密西西比河三角洲台地上变形型式的特殊关系图。这个地区刚好位于南分流河口的东南部

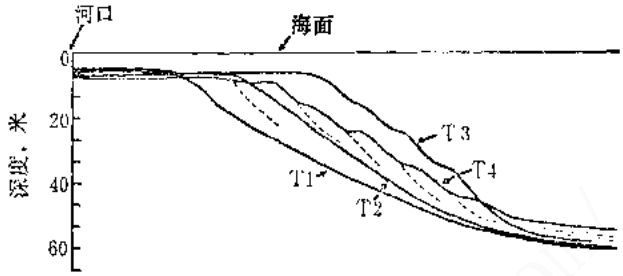


图 5.10 密西西比河三角洲台地上周边滑塌的发育（据Coleman等，1974）

密西西比河南分流以东10英里处三角洲前缘上一次滑塌运动的结果。在发生卡米尔飓风时，300英尺水深内的一个海底滑塌块顺坡向海运动，使井位上的两部钻机发生位移，井也报废了。

有些人已描述了古代层系内三角洲前缘的变形作用，例如，霍华德和洛伦格尔（Howard和Lohrengell，1969）、休伯特等（Hubert等，1972）以及韦默（Weimer，1973）描述过落基山区的白垩系；多特（1966）描述过俄勒冈州的始新统；克莱因等（Klein等，1972）描述过巴西的白垩系；盖洛韦和布朗（Galloway和Brown，1972）描述过得克萨斯州的宾夕法尼亚系。

三、其它环境中的变形作用

布朗（1968）报道过南澳大利亚州科隆泻湖中由负载作用引起泥质沉积物变形的一个有意义的实例。从海岸线进入泻湖的沙丘由于在泻湖泥上来回移动，因此正在产生变形构造。在侵入沙丘的底部，泥被迫进入一系列大致平行的、宽1～3米、高5米的背斜脊部。相邻脊之间的距离为1～7米不等。受影响的一个地区有150米宽，1500米长。

笔者曾在犹他州阿奇斯国家纪念碑卡米尔组中见到过与古代沙丘区有关的类似变形作用。在卡米尔组页岩和砂岩伏于风成的恩特拉达砂岩之下的地方，它们发生大面积变形。大型沙丘的迁移所引起的差异负载作用显然是发生变形作用的原因。

在古代深海沉积物中有许多类型和不同大小的变形构造。在浊积岩内，称为鲍马序列（图4.7）的垂向构造序列，在递变层（A段）之上的B段和C段中有小型变形层。在浊积岩或海底扇的其它类型沉积中，也有产生复杂褶皱和断层的大规模滑塌，它类似于三角洲前缘的滑塌。在近源区的沉积速度高于远源区的地方，沉积表面变得太陡，导致不稳定物质顺坡运动，许多滑塌大概就是这样产生的。

在许多环境内已观察到卷曲层理，但往往是在河曲沙坝和其它河流相砂岩中。交错层组的顶部在沉积物搬运方向上倒转和变形。这种构造的成因虽然尚未了解清楚，但可能是在河道内从洪峰到非洪水位的流态变化时期形成的。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

据梅克尔（Meckel）等人报道，在部分废弃的直分流河道充填物中有涉及到页岩层和砂层的滑塌与滑动。当河岸塌入河道时，当活动充填物（沙坝）和上覆的粘土层与粉砂层滑塌时，或者当粘土层被河道内的未知作用所破裂时，可能发生变形。

分流河道充填物从活动期到废弃期的岩性变化和有关的变形作用将在论述三角洲的第八章中进行讨论（见图8.26）。

对现代环境内变形构造的研究清楚地表明，沉积物的准同生变形是一种常见而又广泛的现象。这些观察结果使我相信，这种变形作用在古代层系内远比地质学家通常所认识到的更为普遍。变形作用的类型和方式可以提供沉积环境内有效作用的重要线索，尤其是沉积速度变化的重要线索。

参考文献

(无机变形构造)

Bea, R. G., 1971, How sea floor slides affect offshore structures, Oil and Gas Jour., Nov. 29, p. 88-92.

Brown, R. G., 1969, Modern deformational structures in sediments of the Coorong Lagoon, South Australia, Spec. Publs. Geol. Soc. Aust., 2, p. 237-241.

* Bruce, C. M., 1973, Pressured shale and related sediment deformation: mechanism for development of regional contemporaneous faults, Amer Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 57, p. 876-886.

Burke, K., 1972, Longshore drift, submarine canyons and submarine fans in development of Niger Delta, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 56, no. 10, p. 1975-1984.

*Coleman, J. M. and Wright, L. D., 1974, Formative mechanisms in a modern depocenter in New Orleans Geol. Soc. Sp. Pub., Stratigraphy and Petroleum Potential of the Northern Gulf, and 1974, Deformational processes in delta front deposits, Gulf Coast Assoc. Geol Soc. Trans., v. 24.

Cook, H. E., McDaniel, P. N., Mountjoy, E. W. and Pray, L. C., 1972, Allochthonous carbonate debris flows at Devonian Bank (Reef) Margins, Alberta, Canada, Bull. Canadian Petrol. Geol., v. 20, no. 3, p. 439-497.

*Dott, R. H., 1963, Dynamics of gravity depositional processes, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 47, p. 104-108.

_____, 1966, Eocene deltaic sedimentation at Coos Bay, Oregon, Jour. Geology, v. 74, p. 373-420.

Galloway, W. E. and Brown, L. F., Jr., 1972, Depositional systems and shelf-slope relationships in upper Pennsylvanian rocks, North Central Texas, Bur. Econ. Geol., Univ. of Texas R. I. 75, Austin, Texas, 62 p.

*Gretener, P. E., 1969, Fluid pressure in porous media--its importance in geology--a review, Bull. Canadian Petroleum Geology, v. 17, p. 283-289.

Howard, J. D. and Lohrengell, C. F., II, 1969, Large non-tectonic deformational structures from Upper Cretaceous rocks of Utah, Jour. Sed. Petrology, v. 39, p. 1032-1039.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Hubbert, M. K. and Rubey, W. W., 1959, Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting, Geol. Soc. Amer. Bull., v. 70, p. 115-166.

Hubert, J. F., Butera, J. G. and Rice, R. F., 1972, Sedimentology of Upper Cretaceous Cody-Parkman delta, southwestern Wyoming, Geol. Soc. Amer. Bull., v. 83, p. 1649-1670.

Klein, G. D., de Melo, Ubirajara, and Farera, J. C., 1972, Subaqueous gravity processes on the front of Cretaceous deltas, Reconcavo Basin, Brazil, Geol. Soc. Amer. Bull., v. 83, p. 1469-1492.

McKee, E. D., and Goldberg, M., 1969, Experiments on formation of contorted structures in mud, Geol. Soc. Amer. Bull., v. 80, p. 231-244.

*Morgan, J. P., Coleman, J. M and Gagliano, S. M., 1968, Mud-lumps: diapiric structures in Mississippi Delta sediments, Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memoir No. 8, p. 145-161.

Shepard, F. P., 1955, Delta front valleys bordering Mississippi distributaries, Geol. Soc. Amer. Bull., p. 1489-1498.

_____, 1973, Sea floor off Magdalena delta and Santa Marta area, Colombia, Geol. Soc. Amer. Bull., v. 84, p. 1955-1972.

Shepard, F. P. and Mathews, W. H. 1962, Sedimentation of Frazer Delta, British Columbia, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 46, p. 1416-1443.

Shepard, F. P., Dill, R. F. and Heezen, B. C., 1968, Diapiric intrusions in foreset sediments off Magdelena Delta, Colombia, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 52, p. 2197-2207.

Sorauf, J. E., 1965, Flow rolls of Upper Devonian rocks of south-central New York State, Jour. Sed. Petrology, v. 35, p. 533-563.

Sullwold, H. H., Jr., 1959, Nomenclature of load deformation in turbidites, Geol. Soc. Amer. Bull., v. 70, p. 1247-1248.

_____, 1960, Load cast terminology and origin of convolute bedding: Further comments, Geol. Soc Amer. Bull., v. 71, p. 635-636.

Tiffin, D. L., Murray, J. W., Mayers, I. R., and Garrison, R. E., 1971, Structure and origin of foreslope hills, Frazer Delta, British Columbia, Bull. Canadian Petrol. Geol., v. 19, no. 3, p. 509-600.

Ten Haaf, E., 1956, Signigicance of convolute lamination, Geol. en Mijnbouw, n. ser., v. 18, p. 188-194.

Walker, R. G., 1970, Review of the geometry and facies organization of turbidites and turbidite-bearing basins in Lajoie, J. (ed.) Flysch Sedimentation in North America, Geol. Assoc. Canada, Sp. Paper 7, 272 p.

Weimer, R. J., 1973, A guide to uppermost stratigraphy, central Front Range, Colorado: deltaic sedimentation, growth faulting and early Laramide crustal movement, The Mountain Geologist, v. 10, no. 3, p. 63-97.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第六章　生物成因构造

一、引言

研究古代和现代生物遗迹的遗迹学，近二十年来的发展是极其惊人的。由于受到早年在用遗迹化石组合鉴定相方面获得成功的鼓舞，工作者们一直在重新研究已报道过的、不含化石的层序，并且正在利用生物成因沉积构造以及无机成因沉积构造去阐述和改进沉积环境的解释。遗迹学资料在关于古生物学、地层学和沉积学方面的其它研究中可能也是有用的(Frey, 1973, 表6.1)。

赛拉赫 (Seilacher, 1964) 把遗迹化石的特征描述如下：(1) 时间范围长；(2) 相范围狭窄；(3) 没有次生交代；(4) 产于其它不含化石的岩石内。由于遗迹学对许多地质人员来说是一个崭新的课题，因此这里根据弗雷 (Frey, 1973) 的一篇摘要文章复制了几张表 (表6.1～6.5)。其中有基本概念的描述、常见术语的定义、生物成因构造间的主要关系(图6.1)以及赛拉赫 (1953) 修改过的一个常用的分类。

表6.1　遗迹学资料在地质学主要领域中的可能应用 (据Frey, 1971精简)

(一) 古生物学
- 1. 软体动物的化石记录
- 2. 生物活动的证据
- 3. 化石组合的差异
- 4. 后生动物的演化和生活习性的演变

(二) 地层学
- 1. "无化石"岩石的生物地层学
- 2. 标志层对比
- 3. 层的构造姿势
- 4. 沉积物的构造变形

(三) 沉积学
- 1. 由穿孔生物产生沉积物
- 2. 吃沉积物的动物改造颗粒
- 3. 沉积物的再改造
  - (1) 破坏原始的组构和沉积构造
  - (2) 产生新的组构和沉积构造

(四) 沉积环境和古生态学
- 1. 测水深
- 2. 测温度和盐度
- 3. 沉积历史
  - (1) 沉积速度
  - (2) 沉积物的沉积数量或侵蚀数量
- 4. 水和沉积物的充气情况
- 5. 底质的粘附性与稳定性

(五) 沉积物固结
- 1. 岩化作用的初期历史
- 2. 静测压实作用

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表6.2 研究生物成因构造的基本概念（根据Frey，1971修改）

生物成因构造的区别

（一）生物成因构造

从遗迹学的观点看，生物成因构造是古代或现代生物活动的确实证据，而不是生物实体部分产生的。它包括反映生物生活习性的底质遗迹或构造的整个连续变化序列：生物成因沉积构造，生物侵蚀构造以及其它显示生物活动性的各种特征。其中包括生物实体部分和宿主底质之间被动接触所形成的"实体化石"铸模，但不包括活动生物的实体部分所造成的印痕

1. 生物成因沉积构造

生物在未固结的特殊底质内或上活动所产生的生物成因构造：生物扰动构造和生物层理构造

（1）生物扰动构造——反映生物活动破坏生物成因与物理成因层理构造或沉积物组构的生物成因沉积构造：足迹、爬迹、潜穴及类似构造

（2）生物层理构造——由生物的活动产生的层理特征所组成的生物成因沉积构造：生物遗变层理、足丝缠结、某些叠层石等

2. 生物侵蚀构造

生物以机械方式或生物化学方式挖掘坚硬底质所形成的生物成因构造：穿孔、啃迹（gnawings）、挖迹（Scarpings）、咬迹（bitings）以及有关的遗迹

科目和组分

（二）遗迹学

全面研究生物所造成的遗迹，包括遗迹的描述、分类和解释。其组成部分有研究古代遗迹的古遗迹学和研究现代遗迹的新遗迹学

1. 遗迹

从遗迹学的观点看，它是单个的、有特色的生物成因构造，尤其是或多或少与形成它的生物形态有直接关系的生物成因构造：足迹、爬迹、潜穴、穿孔、粪化石、排泄物以及类似的特征，包括古代或现代的（生物遗迹）。不包括生物层理构造和其它缺乏判断结构特征的遗迹

2. 遗迹群落

即遗迹组合，组分包括动物遗迹和植物遗迹（如藻穿孔）

3. 遗迹化石

即石化的遗迹

（三）生态学

在遗迹学范围内，它是研究或解释由生物遗迹所反映的生物生活习性

表6.3 用于描述成因的术语（根据Frey，1971修改）

足迹和爬迹

1. 足迹：动物足部在下伏沉积物面上留下的一个印痕
2. 足迹系：反映动物行走方向的一行足迹
3. 爬迹：一只动物在爬行时，其身体的一部分与底质表面接触所产生的一条连续的沟，或者一只动物从这一点向另一点移动时在地面上形成的一条连续的痕迹

潜穴

1. 潜穴：生物在未固结沉积物内挖掘的洞穴。不包括层内爬迹
2. 潜穴系：网状和（或）纵横交错的潜穴
3. 竖穴（Shaft）：一个以直立为主的潜穴，或者是一个既有直立部分又有水平部分的，潜穴系中的一个以直立为主的组成部分
4. 横穴（tunnel）：一个以水平为主的潜穴，或者是一个既有直立部分又有水平部分（"长廊"）的潜穴系中的一个以水平为主的组成部分
5. 潜穴衬里：生物为了从结构上加固潜穴而在壁上构筑的加厚部分。其组成可能如下：（1）基本上由粘液的浸渗所粘着的主沉积物；（2）推入潜穴壁的沉积物的球粒状聚合体，象刚泥涂抹的烟囱那样；（3）经过选择和粘结的新

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

续表

屑颗粒，象砖石建筑那样；或者（4）坚韧的或粘结起来的虫管，主要由生物分泌的几丁质—磷质所组成。第（3）第和（4）种潜穴衬里一般称为栖居管

6. 潜穴铸型：充填沉积物的一个潜穴（潜穴充填物）。沉积物的充填可以是动物引起的主动充填，也可以是重力造成的被动充填。凡是在U形纹层套叠等处，主动充填都称为身后充填，表明动物在穿过底质移动时将沉积物填充在自己的身后

其它

1. 形状：从遗迹学的角度看，它是生物遗迹的空间关系，包括组成部分的沉积及其相对于层理的定向和（或）方位角

2. 伸展情况（Spreite）：刀形至弯曲形，U形或螺旋形构造，由紧密并列的、重复的、平行的或同心的吃食潜穴或栖居潜穴或觅食迹的组或共同组所组成；包括伸展部分在内的各个潜穴或沟一般交织成单个主干（如在*Daedalus*内），或者在周边"支撑"主干之间排列成行（如在*Rhizocorallium*内）。倒退伸展是向上伸展，或者说向动物的入口处靠近，前进伸展是向下伸展，或者说背离入口处。

表6.4 生物扰动构造的生态分类（根据 Seilacher，1953修改）

生物遗迹	基本定义	特征形态	实例①
栖息迹（=cubichnia）	动物暂时停在或掘入底质表面所形成的浅凹坑	碗状或槽状痕迹，在某种程度记录着动物的侧面—腹面形态；这类构造典型地是孤立的，但也可能与爬迹逐渐变化	*Asteriacites* *Ichnoumulus* *Lockeia* *Rusophycus*
爬行迹（=repichnia）	动物由一处移动到另一处所产生的足迹系和爬迹（层面或层内）	一系列足迹或者连续延伸的线状或弯曲状构造；有些有分枝；常见环纹；可以保存完整的形态	*Aulichnites* *Climactichnites* *Cruziana* *Scolicia*
觅食迹（=pascichnia）	主要由吃沉积物的动物在底质表面上或其附近活动所造成的沟、坑和沟纹	不分枝的、不叠覆的、弯曲的至紧密盘绕的式样或者精制的伸展状；复杂式样反映充分利用空间；可以保存完整的形态	*Helminthoida* *Nereites* *Paleodictyon* *Polykampton*
吃食构造（=fodinichnia）	吃沉积物的动物所筑造的近于暂时性的潜穴，这类构造典型地也是动物的躲避处	单一的、分枝或不分枝的圆筒形至弯曲形的竖穴或者U形潜穴，或者伸展构造，以不同的角度定向；可以保存完整的形态	*Chondrites* *Daedalus* *phycodes* *Rosselia*
居住构造（=domichnia）	潜穴或栖居管，主要是半固着的、吃悬浮物的动物的近于永久性的住处	简单的、分枝的或U形的构造，与层理垂直或斜交，或者是复杂的潜穴系；可以保存完整的形态	*Cylindricum* *Gyrolithes* *Ophiomorpha* *Skolithos*

① 实例参见 Häntzschel（1962）。

表6.5 一般术语（据Seilacher，1953）

1. 部位命名法

首先是关于生物遗迹的保存与分布方式的描述和分类（层上或层内位置，或者关于模压介质的），其次是遗迹的机械成因解释（参见图6.1）

2. 生物扰动作用

生物对沉积物的再改造作用

3. 生物扰动构造

广泛的生物扰动作用赋予沉积物的明显构造；典型地是由密集的、扭曲的或相互穿插的潜穴或其它遗迹所组成，其中有少数在形态上是明显的。在潜穴不太密集而个体更明显的地方，据说沉积物呈潜穴斑迹

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

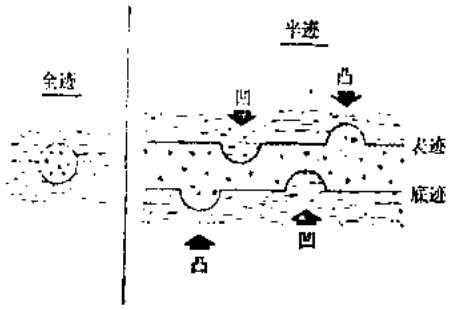


图 6.1　A. 赛拉赫对生物扰动构造的部位命名分类（据Frey，1974）

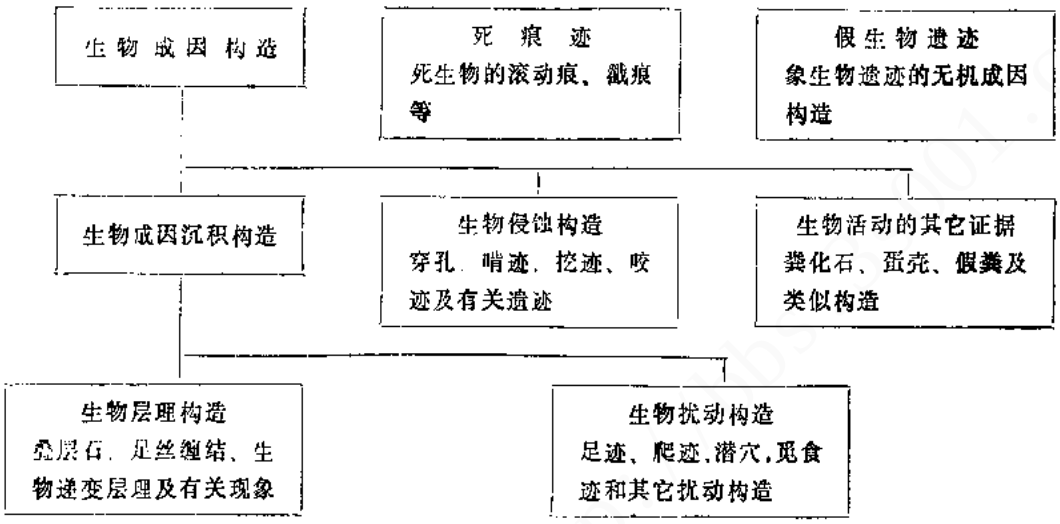


图 6.2　生物成因构造之间及其与其它现象之间的主要关系（据 Frey，1971）

弗雷（1971）曾发表过一篇同等重要的文章，这篇文章描述并引用了遗迹学的应用实例。他沿用并发展亨茨舍尔（Häntzschel，1962）、舍费尔（Schäfer，1962）、赛拉赫（1964、19e7）、戈德林（Galdring，1964）、奥斯古德（Osgood，1970）以及克里梅斯和哈珀（Crimes和Harper编，1970）的早期见解，讨论了遗迹化石的地质意义。读者可以用这些文章中所列出的参考文献作为查阅遗迹化石文献的指南。

弗雷（1971）认为，在恢复沉积环境和古生态方面遗迹化石可以提供下面的线索：（1）水深；（2）温度和盐度；（3）沉积速度；（4）沉积物的沉积数量或侵蚀数量；（5）水和沉积物的充气情况；（6）底质的粘附性与稳定性；（7）沉积物的改造作用。读者可以参考弗雷详细讨论这些方面的文章。其中特别有意义的是应用这些资料去恢复沉积物沉积时环境内起作用的生物作用和无机作用。

对于活生物在沉积物中生产的遗迹已做了大量的工作。其中的几个实例如图6.3所示。在解释古代记录时，现代作用可以作为最重要的参考。弗雷（1971）列出了文献和一些研究成果。

二、识别和分类

同遗迹化石打交道的非专业人员碰到几个难点。第一是遗迹化石的识别和定名；第二是构造的描述；第三是确定遗迹化石在解释方面的用处。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

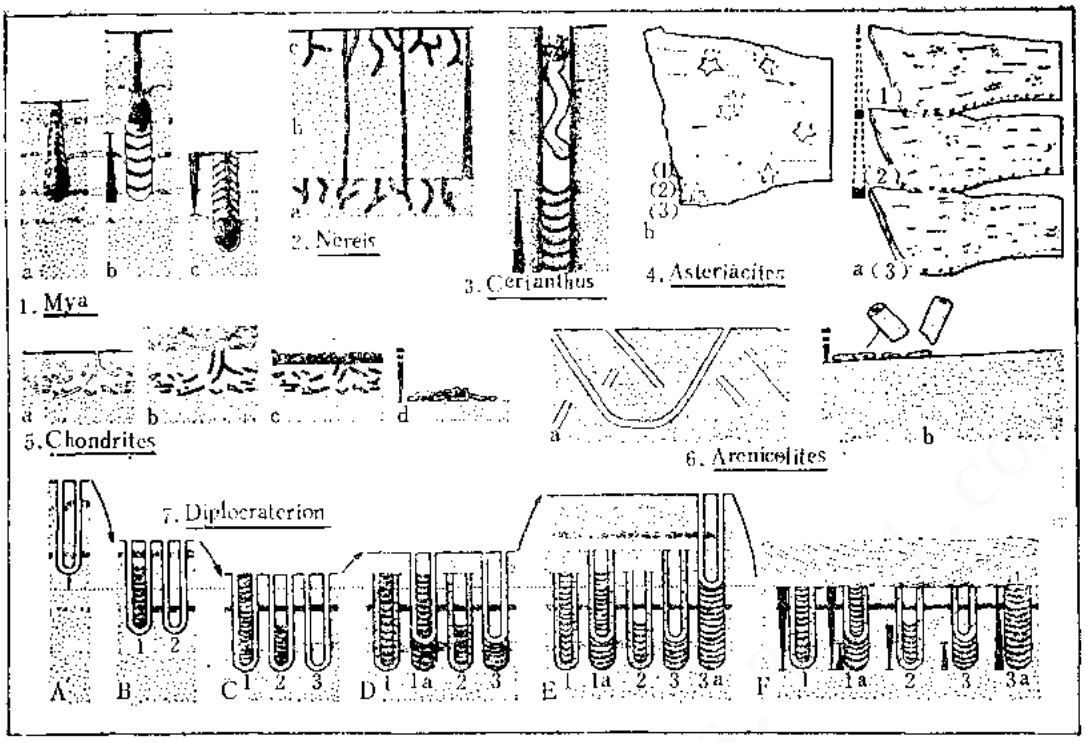


图 6.3 底质聚集或侵蚀的数量（实线箭头的高度），正如由动物随后调整潜穴深度所反映的（据Frey，1971；根据Goldring，1964，图1修改；由Goldring汇编各种资料而成）

（1）现代瓣鳃类的潜穴，（a）—微不足道的沉积作用，生长着的动物潜穴较深。(b)—快速沉积；蛤向上迁移，产生"坐迹"。(c)—底质受冲刷；蛤向下迁移。

(2)现代多毛虫的潜穴：微不足道的沉积（a），接着是快速沉积（b），然后又是微不足道的沉积（c）。（a）和（c）内的潜穴有粘液衬里；（b）内的"逃跑"潜穴没有衬里，所以不太坚固。

(3) 现代角海葵潜穴：动物随着底质的加积向上移动。

(4) 古代栖息迹：动物随着底质的加积向上移动（a），形成垂向叠加的遗迹（b）。

(5) 古代潜穴：吃食系统（a）被不同的沉积物所充填（b），接着底质受到冲刷（c），沉积物被簸选，留下粘性潜穴铸型的滞后富集（d）。

(6) 古代潜穴，含有U形潜穴的底质(a)部分被冲刷掉，留下破碎潜穴铸型的滞后富集(b)。

(7) 古代潜穴：潜穴正常发育（A1），随着底质被冲刷，潜穴向下移动（B1、C1—2），周期性形成的新潜穴（B2、C3）；随着重新沉积，有些潜穴向上移动（D1a、D3），另一些潜穴被废弃（D1-2）；随着快速沉积，有更多的潜穴被废弃（E），在这一幕的末期，所有的潜穴均被削顶和废弃（F）

对于同岩芯打交道的人来说，要使这个问题简单化，值得考虑的一个方法是穆尔和斯克拉顿（Moore和Scruton，1957）所提出的分类，他们把层描述为规则的、不规则的、斑迹的（明显和模糊的）以及均匀的（图6.4）。他们把这些原生沉积构造解释为潜穴生物逐渐改造沉积物所产生的一个连续系统中的各个组成部分（图6.5）。这两位作者用一张图说明了这一简单方类的用法，这张图表示了现代密西西比河三角洲北部和东部次要内部构造的区域分布（图6.6）。次要构造在分布上的变化与沉积速度及其它作用有关（图6.7和6.8）。靠近这个三角洲的东侧，规则层出现在沉积速度高和生物潜穴密度低的地方。斑迹层、不规则层和均匀构造产于沉积速度慢和海洋作用占优势的陆架上。韦默（1973）以及韦默和兰德（1975）通过研究美国西部内陆地区白垩纪三角洲和三角洲间沉积区，报道了古代岩石中类似的潜穴分布。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

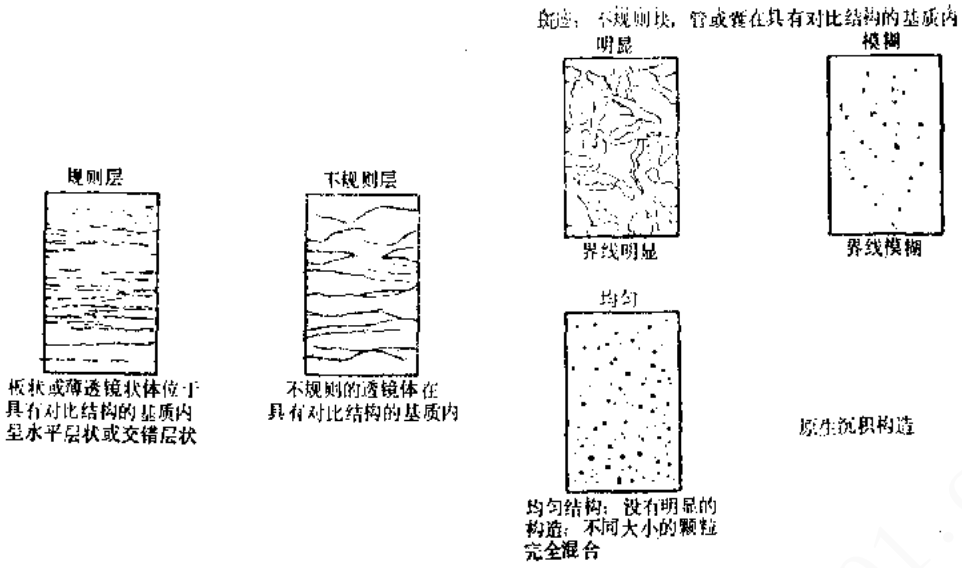


图 6.4　次要内部构造的基本类型

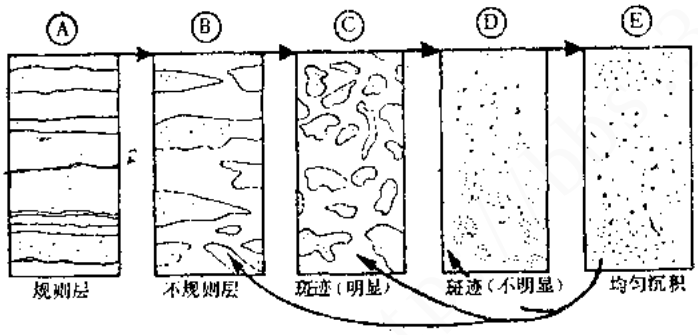


图 6.5　沉积物受潜穴生物的逐渐改造。由潜穴动物的连续作用所形成的次要内部构造的顺序。顶部的箭头指示原生与次生构造破坏的顺序。底部的箭头表示均匀沉积如何产生斑迹层或不规则层

划分遗迹化石类型的另一种已简化的方法是通过恢复能留下遗迹的动物吃食（或潜穴）习性。这种分类在研究岩芯或露头的垂向剖面时最有用。依据遗迹的形态或形状，这类构造可按下面方法进行分类（表6.6）。

这一分类的基础是建立在动物的活动大多与摄取沉积物内植物性或动物性有机质食物有关的前提下。在水作为搬运介质的情况下，具有低密度的有机质势必随着泥搬运和沉积。因此，在水流较强和泥与有机质都呈悬浮状态的地方，动物将在砂底质内筑造潜穴。由于砂可能在水底作牵引运动，或者由于砂可能未被压实，所以动物在潜穴内筑壁，以保持居住构造开放，避免潜穴倒塌。动物的食物由流经潜穴网的、含有有机质和粘土的循环水供给。粘土被动物弄成小泥丸用来涂衬潜穴，或者动物将小泥丸推到表面。韦默和霍伊特（1964）曾报道过现代十足类*Callianassa major* Say的这种吃食习性的一个实例。他们认为，潜穴筑造的这种过程是造成全世界海相白垩系和第三系岩石内广泛分布化石潜穴*Ophimorpha nodosa* Lundgren的原因。

当有机质和泥从悬浮状态沉降下来形成沉积物时，沉积物层就含有动物所需的食物。生物将穿过沉积物潜穴以摄取食物，因此称为吃沉积物的生物。生物扰动作用的程度可能是不同的，从轻微破坏层理的弱扰动到彻底破坏层理形成均匀构造的强烈扰动，这取决于动物的

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

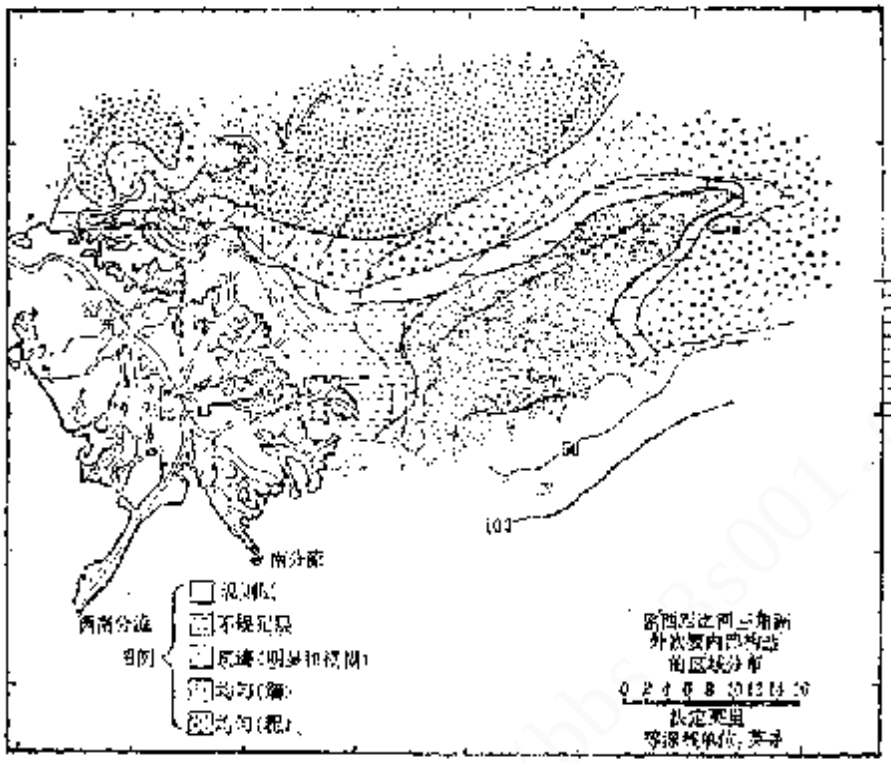


图 6.6 密西西比河三角洲北部和东部次要构造的分布

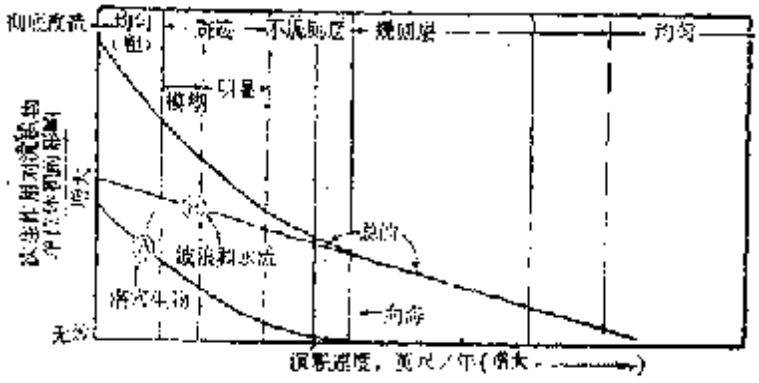


图 6.7 密西西比河三角洲外次要内部构造与沉积速度及一些作用的关系。密西西比河三角洲外沉积速度的降低，使次生作用的影响在较深水的远滨区达到最大。尽管物理作用（如波浪）的强度在浅水近滨区是最大的

曲线A—效应和例外取决于生物的数量和种类（环境对生命的有利性）。
曲线B—截距和斜率取决于（1）波浪的大小和频率，（2）水深，（3）水流速度

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

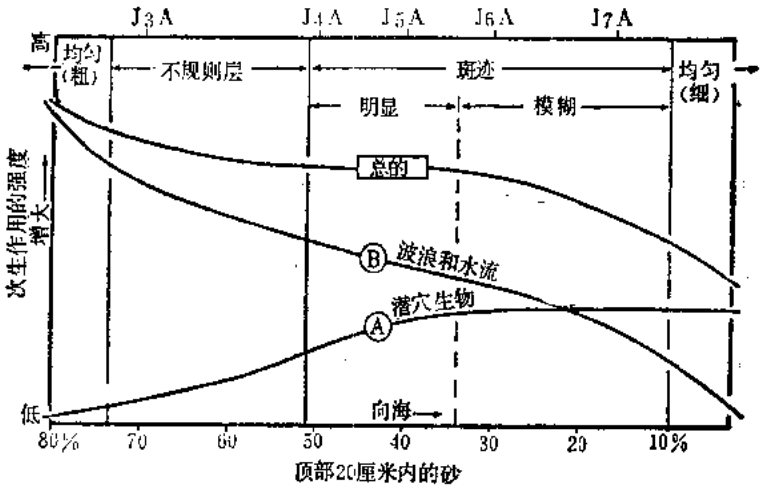


图 6.8　中得克萨斯岸外墨西哥湾内次要构造、砂的来源以及作用强度的关系，沉积速度比较一致

曲线A—截距和斜率取决于生物的数量和种类（环境对生命的有利性）；
曲线B—截距和斜率取决于（1）波浪的大小和频率，（2）水深，（3）水流强度
（图6.4～6.8均引自Moore和Scruton，1957）

表 6.6　生物扰动构造和其它构造的简化分类

吃食（或潜穴）习性	潜穴或遗迹的类型
吃悬浮物	有壁的潜穴构造在分选较好的砂内，吃食构造和（或）居住构造
吃沉积物	潜穴切断或破坏泥质砂或砂质泥内的层理，潜穴可以被砂或泥充填，并具有任何方向的排列，沉积物的生物扰动作用从轻微到强烈不等
觅食	足迹和爬迹主要是层面特征，包括栖息迹和爬行迹，砂或泥底质
穿孔	潜穴似乎切入岩化（硬）的底质，砂或泥充填

丰度、沉积速度以及有机质和氧气的数量。

生物的第三种吃食习性是动物觅食时在沉积界面处动来动去摄取食物。足迹和爬迹就是这种活动的证据。由于非专业人员难以从觅食迹中区分出栖息迹和爬行迹，所以在我的分类中把它们都归为觅食迹。

在许多古代层序中，植物（即植物根系）的扰动作用与动物的扰动作用是难以区分的。就淡水环境和半咸水环境关系密切的海岸平原的沉积作用来说，情况尤其如此。常见植物根系内的有机质被轻微的氧化作用所除掉，根穴可能被砂充填。由于植物根系一般与淡水和陆上暴露有关，因此它们是环境重塑中的重要“路标”和标志层。识别植物根穴的常用标志是根穴向下逐渐变细、向下分枝、许多不同大小的根穴连接在一起、根穴已被压缩和压扁以及根穴内有煤化（木质）物质。植物根系一般与表明陆上暴露的泥裂或氧化带共生。

三、遗迹化石在环境重塑中的应用

笔者的经验表明，古代层序中遗迹化石的分布在确定水深和有关的能量级别（水深测量）、盐度、沉积速度以及沉积物的再改造作用（生物扰动作用）方面是最有用的。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

在犹他州布克悬崖的海相白垩系地层中，霍华德（1966、1972）曾描述了生物成因构造在恢复水深和共生相方面的应用。说明从浅水到较深水的遗迹化石组合的概略图见图 6.9～6.12。在海滩前滨、临滨和远滨识别了典型的遗迹化石（图6.13）。此外，还指出了一般相与沉积环境内能量（水深）变化有关。兰德（Land，1972）也报道过怀俄明州罗克斯普林斯隆

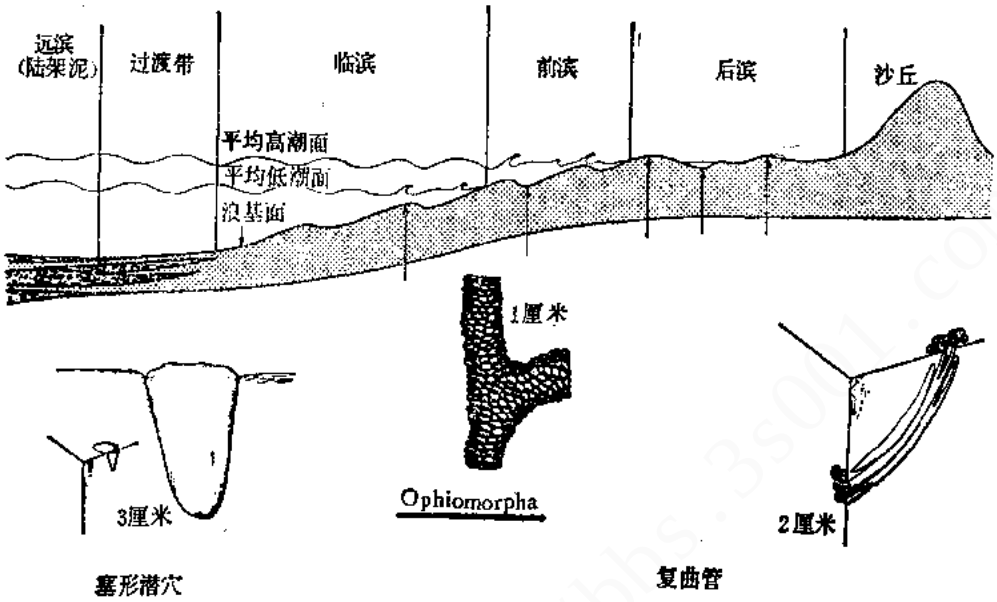


图 6.9　上临滨、临滨—前滨过渡相以及前滨（据Howard，1972）

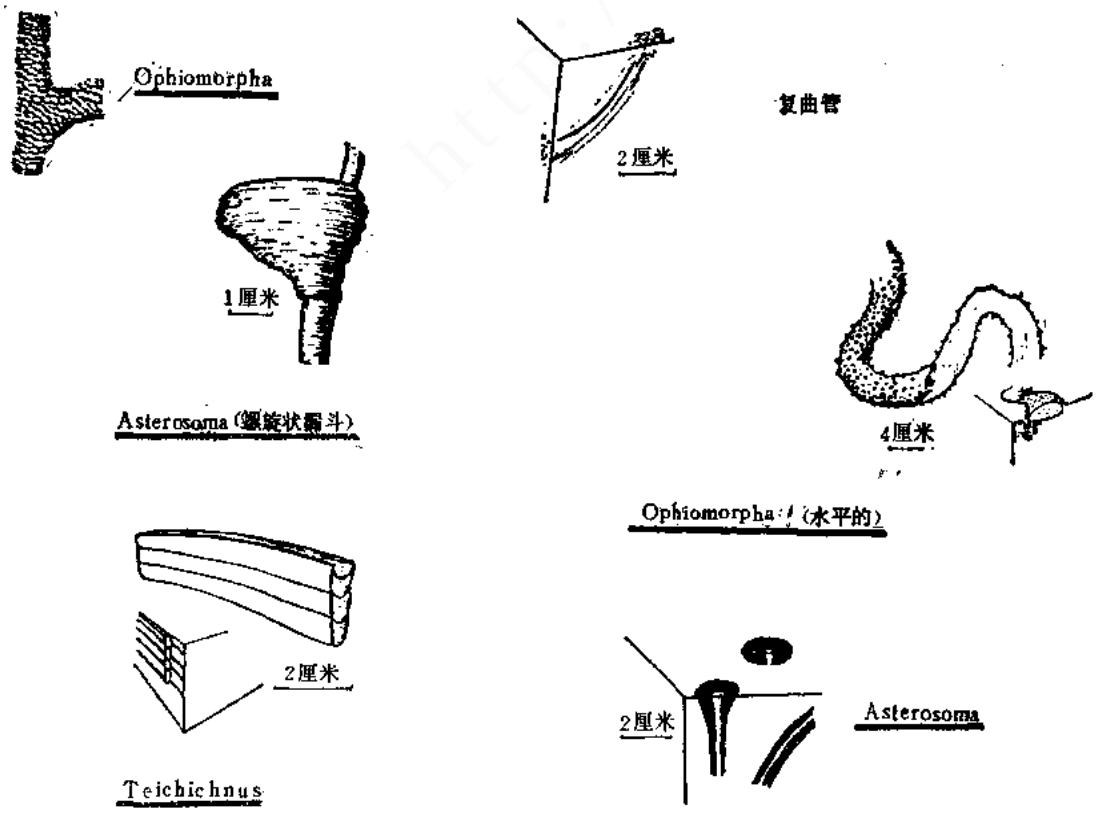


图 6.10　下临滨，这个相的特点是：细粒到中粒的脏砂，遗迹化石丰富。这里图示的遗迹化石的垂向排列代表下临滨内遗迹的一般垂向序列（据Howard，1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

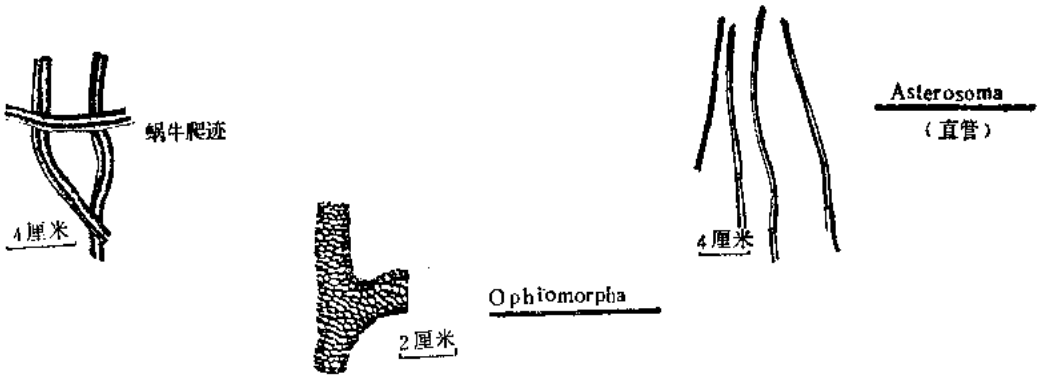


图 6.11　远滨—临滨过渡相。这个相以厚层的交错层状细砂为特征。潜穴比它的上、下相内的潜穴少得多。所显示的遗迹化石一般只是形态，并且也不丰富（据Howard,1972）

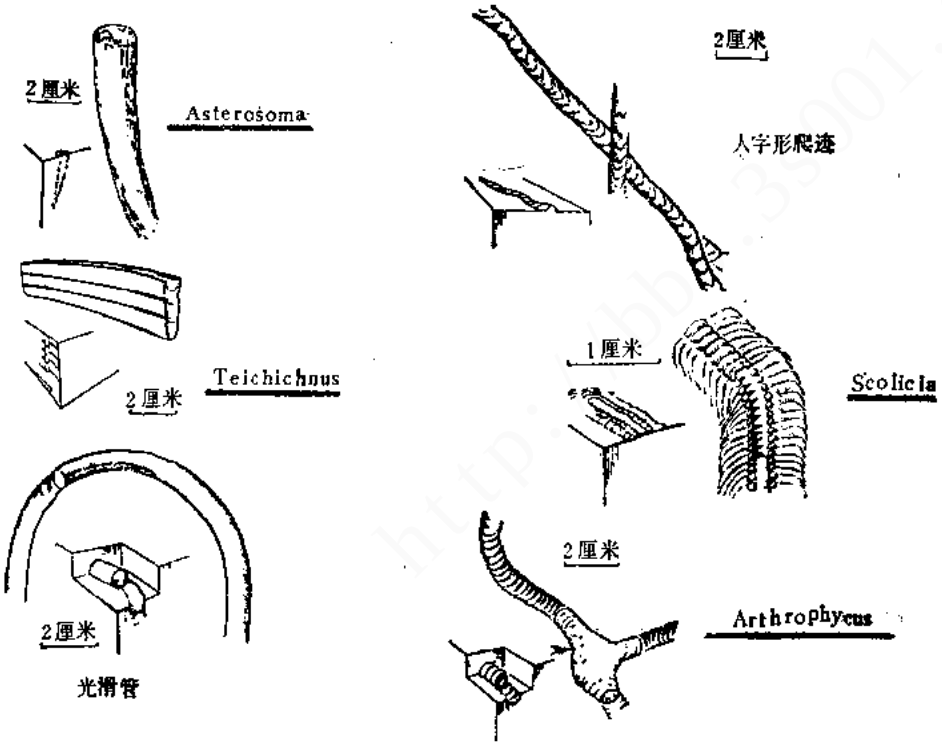


图 6.12　远滨相。这个相由极薄层状的、富含潜穴的粉砂岩所组成（据Howard，1972）

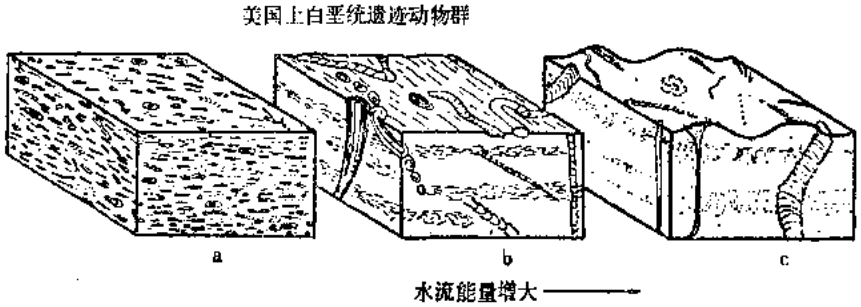


图 6.13　犹他州东中部上白垩统下坎佩尼阶岩石内存在的一般相（布拉克霍克组和潘瑟砂岩舌，星点组）（据Howard，1972）

a—富含潜穴斑迹的灰色粉砂岩含有特殊的非常少的遗迹化石，代表远滨沉积；
b—极细粒砂岩含有较大的但大太丰富的潜穴斑迹和许多特殊的遗迹化石，代表近滨沉积；
c—细粒到中粒砂岩含有少量潜穴斑迹，但含有许多特殊的遗迹化石，代表近滨和海滨沉积

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

起的白垩系海相岩石内有类似的垂向和侧向共生关系。

赛拉赫（1963）等人提出了反映古水深条件的特征遗迹化石组合的概念。这些组合按照常见的遗迹来命名，用于海水深度的三个名称是：*Cruziana*组合——浅的浅海，*Zoophycos*组合——较深的浅海到半深海，*Nereites*组合——半深海到深海。这些名称已为许多工作者所接受，但有些观察者注意到组合之间可能不存在明显的水深界线。例如，克恩和沃姆（Kern和Warme，1964）在美国圣迭戈上白垩统洛马角组内发现*Ophiomorpha*（一种常见的浅水的有壁潜穴构造）与含有*Nereitea*组合的深水动物群共生（图6.14、6.15）。

戈德林（1964）在一篇文章中强调了沉积速度和底质加积与侵蚀的过程。他的图由弗雷（1971）加了注释，如图6.3所示，以前曾提到潜穴作用的强度用于恢复沉积速度的问题（Moore和Scruton，1957）。破坏层理的强烈潜穴作用，说明沉积速度缓慢；轻微或没有潜穴作用，说明沉积速度快（假设水充氧）。韦默（1973）和韦默与兰德（1975）描述了美国西部内陆地区白垩系地层内的这些关系，这将在描述三角洲和三角洲间滨线沉积作用的表10.1～10.3内加以介绍。

在古代海相砂岩中，常见含潜穴层到无潜穴层的变化与沉积物在沉积界面上的堆积速度的变化有关。

许多作者已报道过遗迹化石在确定古代层序的水介质盐度方面的应用。如果不考虑沉积速度的影响，那么，潜穴丰富意味着水介质的盐度较高；潜穴少可能意味着淡水。在建立每一古代层序的成因单位的模式时，都必须确定这些关系。在最后确定潜穴作用强度的意义之前，都必须考虑共生的岩性、其它动物群、无机成因构造等。实际上，为找食物而潜穴的生物，生活于海水中的远比淡水中的多得多。就美国西内陆地区下白垩统来说，西默斯（Siemers，1970）论证了一个三角洲复合体（堪萨斯的达科他组）内表现出淡水、半咸水和正常海

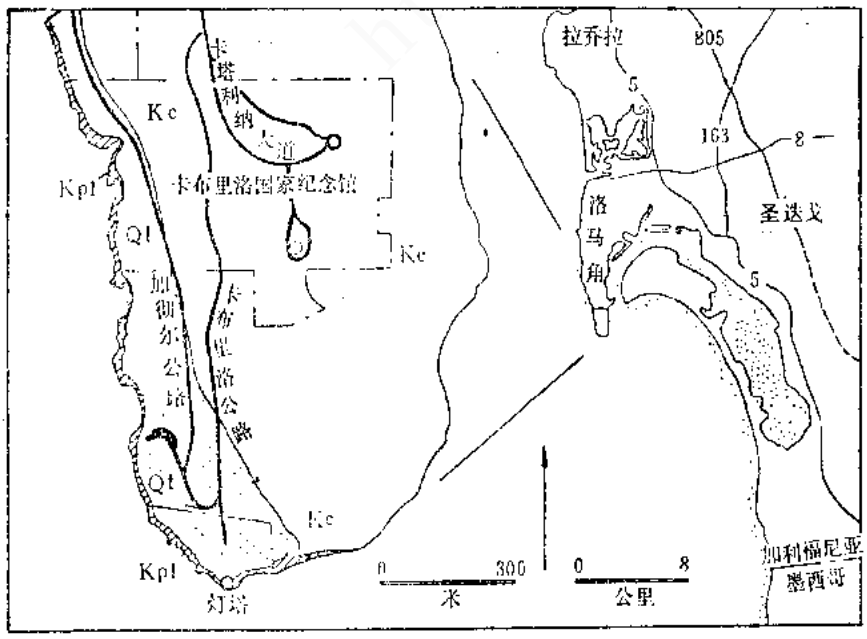


图 6.14　研究区的位置，洛马角组（Kpl，画斜线的）部分出露在海崖上，从洛马角南端沿半岛西侧到卡布里洛国家纪念馆的北界（据Kern和Warme，1974）

Kc—上白垩统卡布里洛组，Qt（带点的）—上更新统阶地沉积，数字代表州际公路的编号

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

水的三个遗迹化石组合。韦默和莫德（1972）在科罗拉多州达科他群内也曾见到了类似的分布现象。

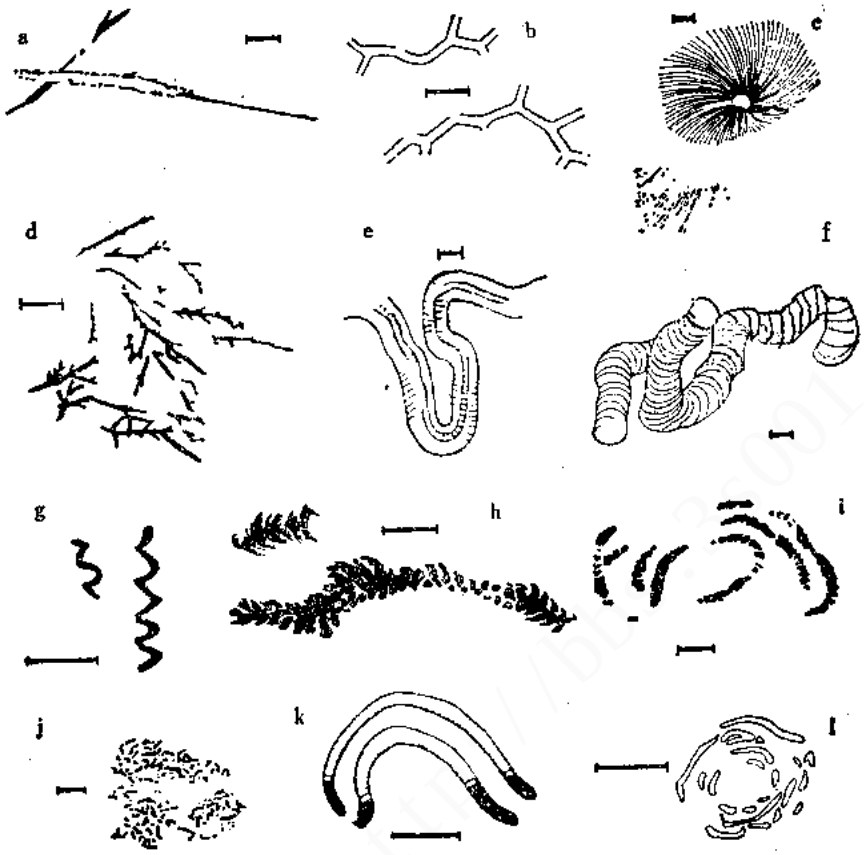


图 6.15 洛马角组内的遗迹化石。这些遗迹平行于层面产出，为俯视形状。除了(b)中的黑线段为15厘米外，其它的黑线段均为 2 厘米长（据Kern和Warme，1974）

(a) —砂岩中典型的、小泥丸衬里的*Ophiomorpha*和共生的、细而直的、泥充填的潜穴；
(b) —砂岩层顶面的*Thalassinoides*；
(c) —薄泥岩层内平展的*Zoophycos*，伸展构造从直立中心管向四周放射；
(d) —薄泥岩纹层内的大型*Chondrites*；
(e) —由于泥岩被侵蚀掉，*Scolicia*的底部出露在砂岩层的顶面上；
(f) —层面切过泥岩内*Scolicia*的上部，中左的羽状绣花针迹构造在潜穴的顶部；
(g) —泥岩内的*Belorhaphe*；
(h) —泥岩内的两种 *Nereites*；
(i) —泥岩内的*Spirophycus*；
(j) —泥岩内未鉴别的、泥充填的潜穴；
(k) —泥岩内未鉴别的、砂充填的潜穴；
(l) —泥岩内未鉴别的、泥充填的潜穴。

四、小结

描述和解释沉积岩的所有地质人员都应该在运用生物成因沉积构造方面达到合格的熟练水平。人们要从遗迹化石获得有用的资料，并不需要成为古生物学专家。当结合无机成因构造和结构的资料时，地层工作者就有有效的工具去限定作用控制的成因单位，以便在相分析和恢复古代层序的地层模式方面应用。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

参考文献

(生物成因构造)

Chamberlain, C. K., 1971, Bathymetry and paleoecology of Ouachita Geosyncline of southeastern Oklahoma as determined from trace fossils, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 55, no. 1. p. 34-50.

Crimes, T. P. and Harper, J. C. (eds.) 1970, Trace fossils, Seel House Press, Liverpool, 547 p.

*Exum, F. A. and Harms, J. C., 1968, Comparison of marine-bar with valley-stratigraphic traps, Western Nebraska, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 52, no. 10, p. 1851-1868.

Frey, R. W., 1971, Ichnology - the study of fossil and Recent lebensspuren in Perkins, B. F. (ed.), Trace fossils, a field guide to selected localities in Pennsylvanian, Permian, Cretaceous, and Tertiary rocks of Texas, and related papers, Louisiana State Univ., School Geoscience, Misc. Publ. 71-1, p. 91-125.

_____, 1973, Concepts in the study of biogenic sedimentary structures, Jour. Sed. Petrology, v. 43, no. 1, p. 6-19.

Goldring, R., 1964, Trace-fossils and the sedimentary surface in shallow-water marine enivronments in Developments in Sedimentology, v. 1, Elsevier, New York, p. 136-143.

Hantzschel, Walter, 1962, Trace fossils and problematica, in Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellania, Joint Committee on Invertebrate Paleontology, R. C. Moore (ed.), Geol. Soc. Amer. and Univ. Kansas Press, p. W177-W245.

Howard, J. D., 1966, Characteristic trace fossils in Upper Cretaceous sandstone of the Book Cliffs and Wasatch Plateau, in Central Utah Coals, Utah Geol. and Mineralog. Survey Bull., v. 80, p. 34-53.

*_____, 1972, Trace fossils as criteria for recognizing shorelines in stratigraphic record, Soc. Econ. Paleo. and Min., Sp. Pub. 16, p. 215-225.

Land, C. B., 1972, Stratigraphy of the Fox Hills Sandstone and associated formations, Rock Springs uplift and Wamsutter arch area, Wyoming; A shoreline-estuary sandstone model for the Late Cretaceous, Colo. School of Mines Quat., v. 67, no. 2, 69 p.

*Moore, D. G. and Scruton, P. C., 1957, Minor internal structures of some recent unconsolidated sediments, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 41, p. 2723-2751.

Osgood, R. G., Jr., 1970, Trace fossils of the Cincinnati area, Palaeontographica Americana, v. 6, no. 41, p. 281-444.

Schäfer, W., 1962, Aktuo-Paläontologie nach Studien in der Nordsee, Frankfurt-am-Main, Waldemar Kramer, 666 p.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

*Seilacher, Adolf, 1964, Biogenic sedimentary structures in Approaches to Paleoecology, Imbrie, J. and Newell, N. (eds.), Wiley and Sons, New York, p. 296-316.

_____, 1967, Bathymetry of trace fossils, Mar. Geol., v. 5, p. 413-428.

Shinn, E. A., 1968, Burrowing in recent lime sediments of Florida and the Bahamas, Jour. Paleo., v. 42, p. 879-895.

Siemers, C. T., 1970, Facies distribution of trace fossils in a deltaic environmental complex: upper part of Dakota Formation (Upper Cretaceous) Central Kansas (abs), Program Geol. Soc. Amer. Ann. Meeting, Milwaukee, Wisconsin, p. 683-684.

Spoelhof, R. W., 1974, Pennsylvanian stratigraphy and tectonics in the Lime Creek - Molas Lake area, San Juan County, Colorado, Colo. Sch. of Mines PhD dissertation T-1511 (unpublished), 193 p.

Warme, J. E., 1967, Graded bedding in the Recent sediments of Mugu Lagoon, California, Jour. of Sed. Petrology, v. 37, p. 540-547.

Weimer, R. J., 1973, A guide to uppermost Cretaceous stratigraphy, Central Front Range, Colorado: deltaic sedimentation, growth faulting and early Laramide deformation, The Mountain Geologist, v. 10, no. 3, p. 53-97.

Weimer, R. O. and Hoyt, O. H., 1964, Callianassa major burrows, geologic indicators of littoral and shallow neritic environments, Jour. Paleo. v. 38, p. 761-767.

Weimer, R. O. and Land, C. B., 1972, Field guide to Dakota group (Cretaceous) stratigraphy, Golden-Morrison area, Colorado, The Mountain Geologist, v. 9, nos. 2-3, p. 241-267.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第七章　沉积环境

一、引言

准确恢复产油砂岩的沉积环境，可以为预测产油带的展布情况和地层圈闭的新油气田提供科学依据。勘探煤和沉积铀矿的地质人员也可以用这种方法。

在大多数产油盆地内，勘探石油一般有几个阶段：第一，在油气苗附近钻探；第二，在背斜构造上钻探；第三，在一般位于背斜翼部的断层圈闭或不整合圈闭（联合圈闭）上钻探；第四，钻探地层圈闭。美国目前在陆上的大多数勘探工作都涉及到寻找难以捉摸的联合圈闭或地层圈闭。寻找这类圈闭要比寻找闭合背斜难得多。然而，配合有地下资料的地球物理方法虽然代价昂贵，但可用来勘探联合圈闭。地层工作者通过恢复沉积环境和作出地层相模式发展了勘探地层圈闭的方法（地球物理方法还没有成为地层勘探的可行方法）。

在确定和解决砂岩储集层的地层勘探问题方面，地质人员敏锐地意识到一个产油层的区域分布是有限的。他们也知道，一个砂体的几何形态是由它所处的沉积环境控制的。因此，他们如果要在预测砂岩分布趋势方面，尤其是在预测砂岩体孔隙度和渗透率的分布方面获得更大的成功，就必须不断地改进他们在准确解释环境方面的技能。虽然确定一个产油砂岩的分布趋势未必容易，但是，预测一个在地表或地下资料未见到过的潜在产油砂岩的分布却是非常艰难的。然而，勘探的前途却依赖于地质人员的头脑内所产生的新想法去解决这类问题。

勘探人员所关心的主要是发现储集岩，即孔隙性与渗透性砂岩。一个岩体内孔隙度和渗透率的数量受两个重要因素的控制：(1)堆积沉积物的环境能量；(2)岩石内由于岩化作用所引起的沉积期后变化。在下面关于环境的讨论中，主要重点将放在控制原生孔隙度和渗透率的因素上。

二、定义

已发表了关于沉积环境的许多定义，而且大多数定义都强调沉积环境是由于有某些作用在一个可限定的空间格架内起作用。在一篇关于砂体和沉积环境的优秀的评论性文章中，波特（Potter，1967，340页）归纳了沉积环境的几种常用定义。他主张："一种沉积环境是由符合于所说的大小和形态的一个地貌单元的物理变量和化学变量的一组值所限定的。实例是冲积扇、潮坪、河曲沙坝和海滩。"地貌单元、作用以及所形成的沉积物之间的关系用图解法表示如下：

（具有特定大小和形态的一个地貌单元）是由（以特定强度起作用的一组作用）所确定的，产生（由物理变量和化学变量的一组值所限定的沉积）

——地貌单元、作用以及所形成的沉积物之间的关系

早些时候广泛应用的一个定义是克伦宾和斯洛斯（Krumbein和Sloss，1963，234页）提出来的，他们把沉积环境定义为"使沉积物堆积的物理、化学和生物条件的组合"。他们认为，必须加以评价的环境要素和因素是物质、边界条件、能量以及生物特征。

无论用哪一种定义，有一点是肯定的，就是恢复古代岩石的沉积环境的地质学家必须象

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

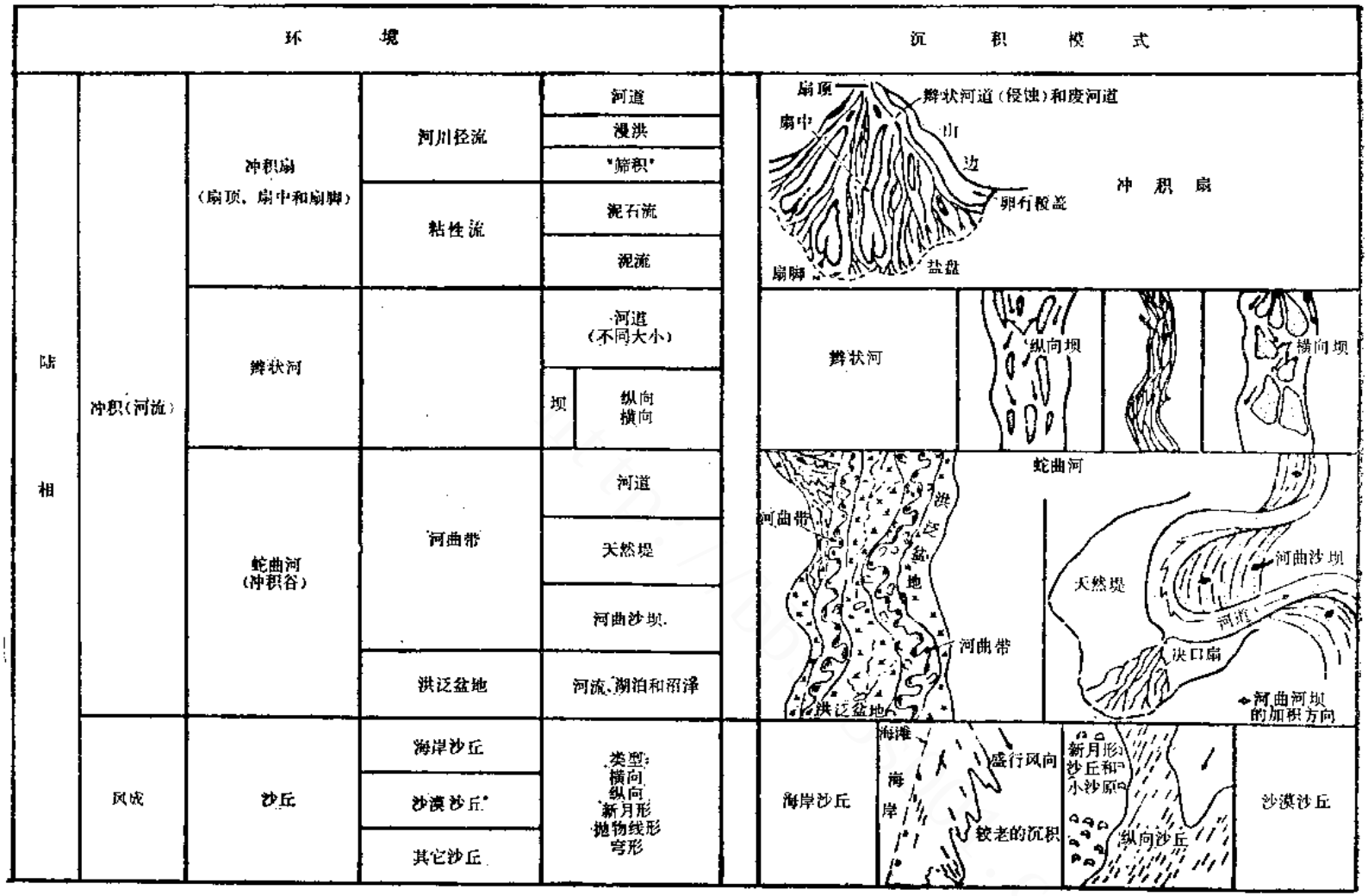


图 7.1 冲积（河流）环境和风成环境以及碎屑沉积模式（据Le Blanc, 1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

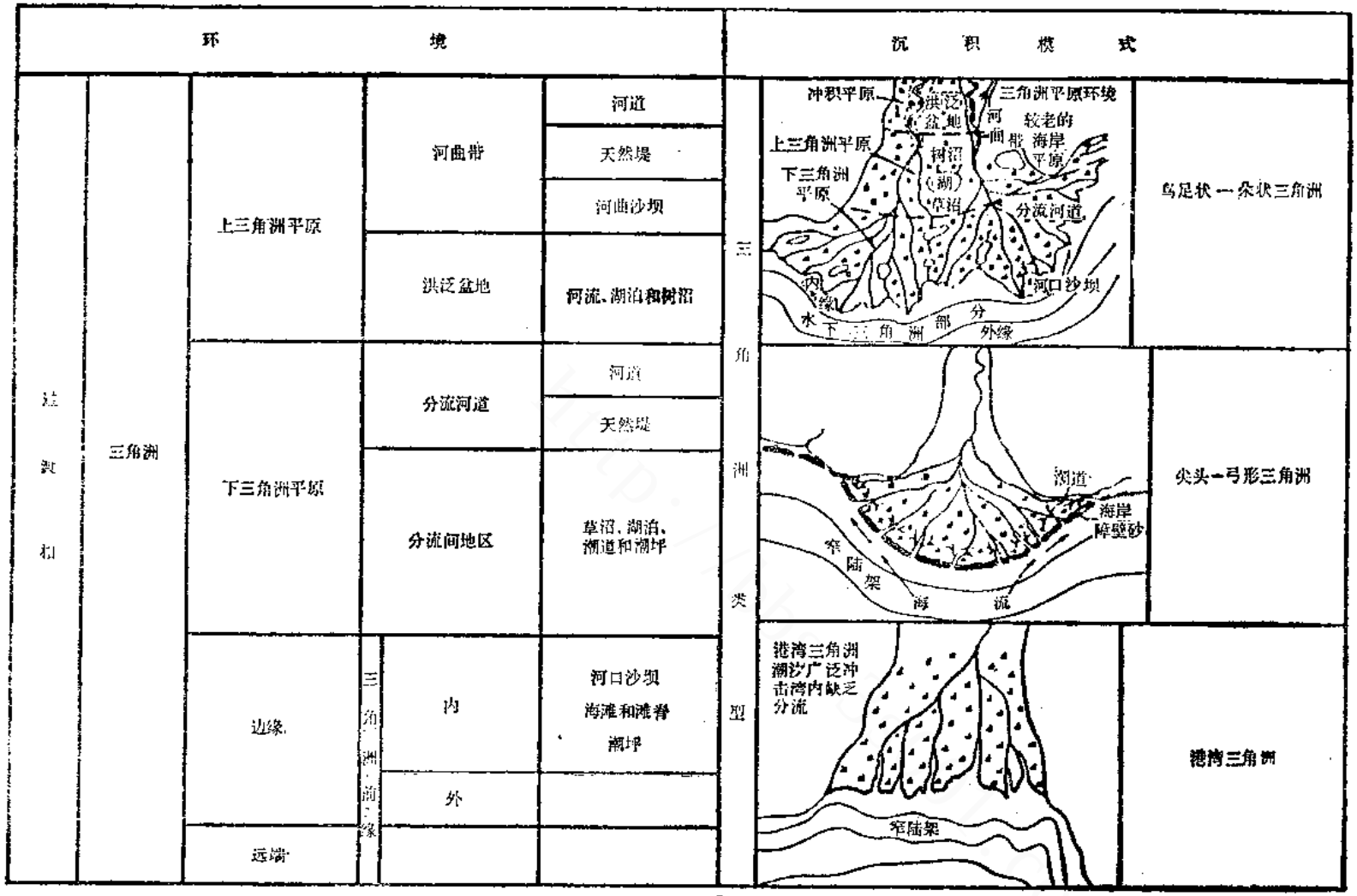


图 7.2 三角洲环境和碎屑沉积模式（据Le Blanc，1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

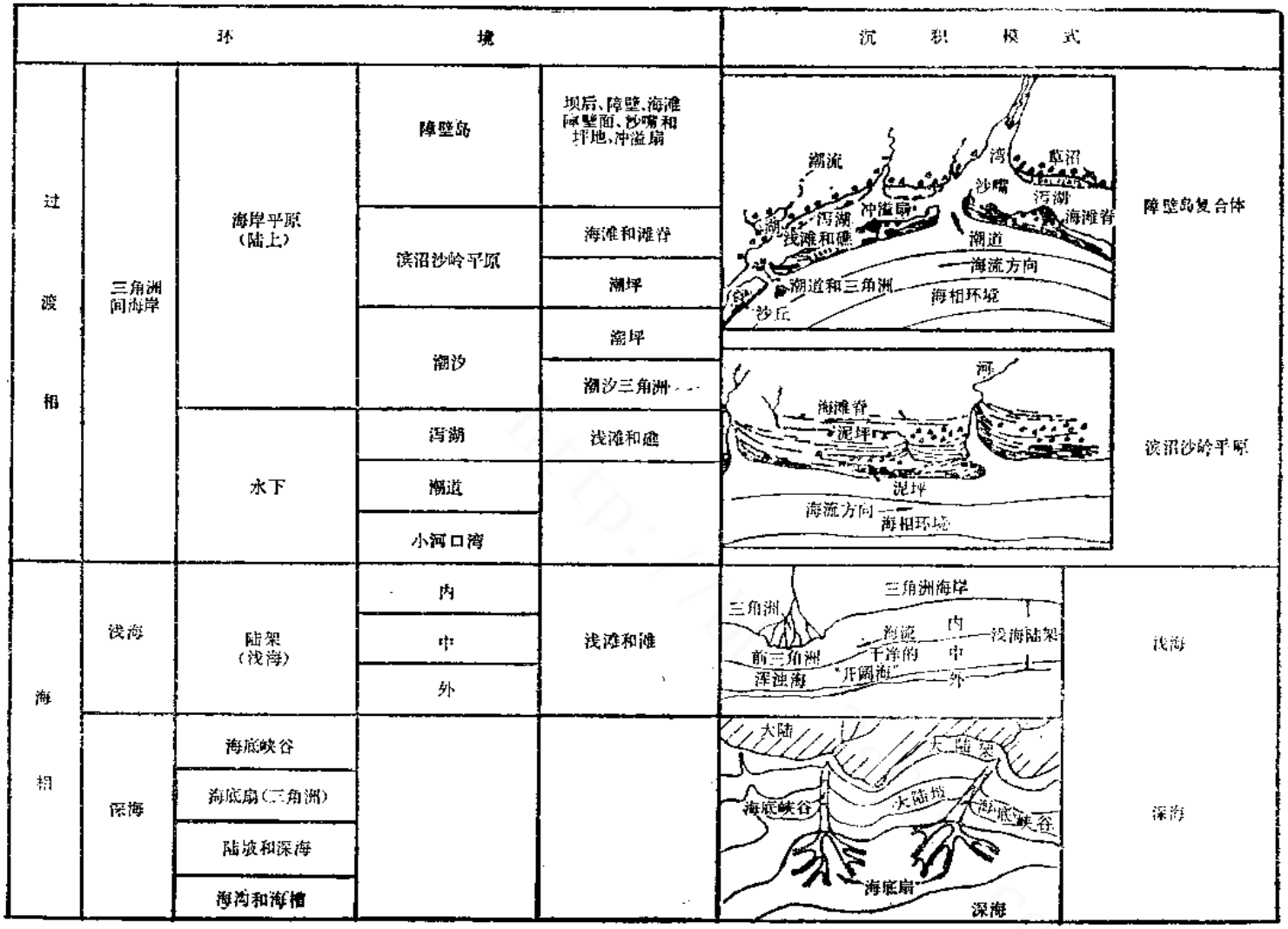


图 7.3　三角洲间海岸环境和海相环境以及碎屑沉积模式（据Le Blanc，1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

以往的地貌学家那样进行工作。

三、分类

在过去的二十年中，现代沉积环境的知识增长很快。由于人们需要更多的能量、更多更安全的生活空间以及更多的食物，所以全世界的研究人员都研究了作用、沉积物以及现代环境的区域分布。这些研究成果为地质人员提供了新的概念，并且使解释古代沉积层序有了更可靠的科学依据。在几本新书中已经总结了环境研究在地质方面的重要性（例如，Selley，1970；Kukal，1971；Reineck和Singh，1973；Pettijohn、Potter和Siever，1973；Rigby和Hamblin编，1972），此外，在各种各样的文献中还发表了许多长篇文章。

勒布朗（Le Blanc，1972）介绍了比较重要的文章之一，这篇名为"砂岩储集层的几何形态"的文章总结了三十年来研究现代与古代碎屑沉积物的经验。这篇文章的价值在于环境的分类和描述，重点放在总的沉积格架内孔隙性与渗透性砂岩的分布。勒布朗的分类（图7.1～7.3）把作用和地貌单元组合成沉积模式。在下面的章节中采用了这一分类，希望读者回顾一下勒布朗对所讨论的每一种环境的总结。由于勒布朗的总结非常好，因此这里不需要重复对环境的广泛描述。所以，主要的重点将放在那些被认为是石油勘探中最重要的环境解释方面，特别是关于笔者自己的经验。

除勒布朗的分类外，还列出了波特（1967）的一篇优秀的评论性文章中的几个表（表7.1～7.6）。这些表为研究砂体和5种较常见砂体（冲积、潮汐、浊积、障壁岛、海相陆架）的特征时所值得考虑的因素提供了环境核对表。

现代沉积物的研究成果对古代记录的适用情况必须加以讨论。有些研究者采用了现代和全新世记录的地层模式，并且试图与古代层序内砂体的观察结果一一相配。例如，"加尔沃斯顿岛的障壁坝模式"可能被专门用作为古代海退滨线砂的标准模式。这在某些情况下是行得通的，但在另一些情况下，尽管有明显的不同，研究人员仍然把他们的解释"成型"以符合标准模式。一种更明确又更精确的方法是阐述有关作用的知识，这些作用与每种现代环境及其所形成的沉积物堆积有联系并在其中起作用。通过识别作用控制的成因单位，可以确定结构单元，从而有可能恢复大的相模式。每个古代层序在作用的相互关系方面都有它本身的独特的变量组合。对古代岩石的观察结果必然限定这些变量，并且为确定它们的时间与空间分布提供依据。全新世的地层相模式只能作为总的指导模式。

在后面的几章中论述了现代环境的研究成果，并且复制了关键的参考图。在提纲中只列举了那些在解释古代层序方面似乎是最重要的论点。可以认为，所选择的参考资料是从控制沉积作用的一些主要作用中挑选出来的有代表性的实例。

同样也认为古代产油砂岩的实例能够最好地说明已知地层圈闭的地质情况。更好地了解已知油气田内储集岩层的成因，勘探人员就有更好的机会去发现和有效地开发对社会来说是至关重要的新油气田。

表7.1 砂体的环境核对表（据Potter，1967）

（一）地层学的	(b) 树枝状
1.形状	(c) 分叉状
(1) 伸长状	2) 直的
1) 弯曲的	3) 与沉积走向有关的
(a) 蛇曲状	(2) 毯状（席状）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

续表

2. 横向联系和垂向联系
(1) 连续的
1) 相变
2) 摆动的或旋回的
(2) 不连续的
1) 不整合
2) 构造削蚀
3. 岩石组合
(1) 岩石类型的范围和丰度
(2) 岩相图
(二) 原生沉积构造和层理
1. 无机成因构造
(1) 交错层理
(2) 波痕
(3) 斜离线理
(4) 底面印痕
(5) 变形构造
(6) 小型水道
(7) 页岩碎片和粘土壁
2. 潜穴、足迹和爬迹
3. 层理的特征和组构
4. 指向构造的可变性
5. 层理和构造的垂向序列
(三) 岩石学的
1. 矿物学
(1) 原生的
(2) 成岩的
2. 结构
(1) 粒度参数
(2) 形态和圆度
(3) 表面结构
(4) 组构
1) 颗粒与颗粒的接触
2) 格架部分的排列
(5) 结构的垂向序列
(四) 古生物学的
1. 原地化石
2. 异地化石
3. 海相和非海相的专门标志
4. 生态组合
(五) 地球化学的
1. 原生的 (沉积的)
(1) 矿物
(2) 同位素
(3) 有机质
(4) 痕量元素
2. 成岩的 (次生的)
(1) 矿物
(2) 同位素
(3) 有机质、石油和天然气
(4) 地层水
(5) 构造、结核、缝合线等

表7.2 冲积砂体的特征 (据Potter, 1967)

(不包括冲积扇和指状沙坝沉积)

(一) 岩石学

碎屑的，有丰富的页岩砾石及其砾岩。一般有碳质碎屑，岩石成熟度为不成熟到中等成熟。中砾和粗砾如果存在，则可能是局部的和远端的。碎屑的和化学的胶结物，动物群的含量低至没有

(二) 结构

分选性差至中等，粒基比中等至低。在细粒尾巴内有丰富的粉砂。圆度多半不好。变化大

(三) 沉积构造

不对称波痕，有大量的定向很好的交错层理，一般是单向的。斜离线理和变形构造是常见的次要构造。层倾向于随着侵蚀冲刷面呈透镜状，有一些足迹和爬迹

(四) 内部组构

强烈不对称，粒度和层厚均向上减小，近底部可能含有砾岩。充填大型水道的砂岩体比充填小型水道的砂岩体势必含有更粗的颗粒

(五) 大小、形状和定向

一般延伸很长，宽度从几十英尺到30英里，树枝状以及交织状和分叉状，向下倾方向延伸。内部指向构造和伸长性可很好对比

(六) 共生的岩类

垂向上：上覆粉砂质页岩，一般为冲积成因，可能有泥炭和煤。底部接触关系一般为明显的假整合。纵剖砂岩体混合剖面中有海相单元

横向上：粉砂质页岩和粉砂岩一般含有丰富的碳质物以及植物的根、茎、叶，横剖砂岩体，一般难以对比

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表7.3 潮汐砂体的特征（据Potter，1967）

（一）岩石学

碎屑的。泥质岩屑、骨屑及胶磷矿加泥质物。可能有一些海绿石和自生长石，碎屑的和化学的胶结物

（二）结构

分选中等，粒基比中等至高。底部可能有介壳砾岩。很象冲积砂岩的结构。常见泥炭、粘土壤及木质

（三）沉积构造

常见不对称和对称的波痕。不同厚度的交错层理丰富；一般为双向，但可向海倾斜，也可向陆倾斜。以透镜层理为主。足迹、爬迹和潜穴丰富。有水道和冲溢扇

（四）内部组构

很不对称。粒度和层厚在垂向上明显减小，底部可能含一些砾岩

（五）大小、形状和定向

大多数延伸很长，宽度为几十英尺至1000多英尺。长轴垂直于滨线或平行于港湾轴。直的至中等弯曲的，树枝状的，后者加入潮口。在障壁岛之间的通道内也有新月形沙坝。交错层理平行于伸长方向，港湾内的主要众数既可指向海，也可指向陆

（六）共生岩类

垂向上：依海退或海进成因而变化。与潮汐成因的互成层状页岩与砂岩及海相沉积物共生。底部为假整合接触

横向上：潮坪成因的粉砂岩与页岩互层，通常含有软体动物、蠕虫、甲壳类，可能还有藻类及海相沉积物

表7.4 障壁岛砂体的特征（据Potter，1967）

（一）岩石学

碎屑的。常见重矿物富集，骨屑、胶磷矿及少量海绿石，若有砾岩，一般是局部来源的，大部分可能是介壳。动物群一般是较坚固的种。主要为化学胶结物

（二）结构

一般有极好的分选性，粒基比很高。样品间的结构参数变化很小。一般有良好的圆度

（三）沉积构造

不对称波痕，丰富的平缓斜层理，纹理和线理在海滩上显著。交错层理中等者丰富，可能是风成的以及水成的。交错层理方位的变化中至大。海滩上可能出现双向分布。常见潜穴和水道

（四）内部组构

少数资料表明粒度和层厚在垂向上均增大，尤其是在海退层序内

（五）大小、形状和定向

宽度从几百英尺至几英里以上，厚度为20～60英尺，延伸很长，平行于滨线。砂岩体一般为直的至稍为弯曲的。颗粒组构和交错层理可变，特别是在风力搬运为主时

（六）共生的岩类

垂向上：依海退或海进成因而变化。底部接触一般相当平整，可能是过渡的

横向上：将海相沉积与泻湖或陆相沉积隔开，岩性差异最大。常见横移砂岩体

表7.5 海相陆架砂体的特征（据Potter，1967）

（一）岩石学

碎屑的。一般有少量泥质碎屑和云母。若有砾岩，也是局部来源的，可能存在自生长石和海绿石以及一些碎屑碳酸盐。大多是化学胶结物。砂体顶部常见残留动物群

（二）结构

分选性好至极好，粒基比高。样品间的结构参数变化极小。圆度趋于良好

（三）沉积构造

对称和不对称的波痕，交错层理可能是丰富的，定向一般多变，并且可能是双向的。有爬迹和潜穴。少量的水道和冲溢扇

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

续表

（四）内部组构

资料很少，粒度和层理厚度在垂向上的变化可能是不规则的，或者可增可减，这取决于可能的海进或海退成因

（五）大小、形状和定向

大小和形状变化很大，从不规则的小豆荚状到长形条带状至好多英里宽的席状没有分叉状和树枝状，长形砂体的定向与沉积走向的关系是变化的，有平行的、垂直的和任意的。交错层理的定向与砂体延长方向的关系不很清楚，但可能是变化的

（六）共生的岩类

垂向上：依海退或海进成因而变化，但主要是海相页岩和（或）碳酸盐岩。底部接触关系可能是假整合，但起伏一般不大

横向上：一般是比较均一的无粉砂的页岩或碳酸盐岩，通常含有丰富多变的海相动物群

表7.6 浊积砂体的特征（据Potter，1967）

（一）岩石学

碎屑的。岩屑和不成熟矿物丰富，有深水和浅水成因的海相骨骼。一般有基质存在。有页岩砾石组成的砾岩。胶结物绝大部分是碎屑的

（二）结构

分选性很差至中等，粒基比低。韵律性互层使页岩和砂岩突然并列。圆度几乎全为继承性的

（三）沉积构造

与页岩成韵律性互层的递变层，无大型交错层，层的侧向延伸很稳定。常见底面印痕、不对称波痕以及纹层和卷曲层。一般有爬迹和足迹

（四）内部组构

资料少。粒度可能与砂体大小有关系

（五）大小、形状和定向

伸长状砂岩体达几英里长；相当直，但可能有树枝状和分叉状。向下伸入盆地。指向构造和形状的相关性很好。但可能以席状和似毯状沉积为主。常见有大的搬来层

（六）共生的岩类

垂向上：一般是其它的海相页岩和浊积砂岩。可能是纵叠砂岩体

横向上：除砂岩-页岩比值较低外，岩性差异很小，页岩内底栖与浮游动物群混合，砂岩中可能含有经过再改造的陆架动物化石

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

参考文献

(沉积环境)

Amer. Assoc. of Petrol. Geol. Reprint Series 7 and 8: Sandstone reservoirs and stratigraphic concepts, I and II.

Krumbein, W. and Sloss, L. L. 1963, Stratigraphy and Sedimentation, W. H. Freeman and Sons, San Francisco.

Kukal, Z., 1971, Geology of recent sediments: Academic Press, New York, 490 p.

*LeBlanc, R. J., 1972, Geometry of sandstone bodies: in Underground Waste Management and Environment Implications, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 18, p. 133-190.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R., 1973, Sand and sandstone Springer-Verlag, 618 p.

Potter, P. E., 1967, Sand bodies and sedimentary environments: A review, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 51, p. 337-365.

Potter, P. E. and Pettijohn, F. J., 1963, Paleocurrents and basin analysis Academic Press, Inc. New York, 296 p.

Reineck, H. E. and Singh, I. B., 1973, Depositional sedimentary environments, Springer-Verlag, New York, 439 p.

*Rigby, J. K. and Hamblin, W. K. (eds.), Recognition of ancient sedimentary environments, Soc. Econ. Paleo. Min, Sp. Pub., no. 16, 340 p.

Selley, R. C., 1970, Ancient sedimentary environments, Cornell Univ. Press, Ithaca, N. Y.

Shelton, J. W., 1972, Models of sand and sandstone deposits, Okla. Geol. Sur. Bull. 118, 122 p.

Visher, G. S., 1965, Use of vertical profile in environmental reconstruction, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 49, p. 41-61.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第八章　三角洲环境（提纲）

（一）三角洲的主要组成部分

1．三角洲的定义和识别三角洲的重要性；作为沉积中心的三角洲。

2．三角洲平原；受水盆地；滨线(图8.1～8.3)。

（二）分类

1．根据受河流作用和沉积物注入量以及海洋作用（波浪和沿岸流）能量控制的三角洲滨线（或三角洲平原区）的形状分为：尖头形、（弓形）、朵状、伸长状、（鸟足状）三角洲（图8.4和8.5）。

2．根据作用于三角洲前缘的海洋作用的效率分为高建设性和高破坏性三角洲(图8.6)。

3．根据构造作用（下沉）和沉积速度的影响分为浅水和深水三角洲。

（三）沉积环境

1．三角洲平原，活动（进积）期——图8.3（主要是淡水）：分流河道、天然堤、堤后树沼（排水良好的、排水不好的）、草沼、分流间凹槽（湾或湖）、决口（图8.7和8.8）。

2．三角洲平原，不活动（废弃）期——图8.3（主要是半咸水到海水）：边缘盆地(湾，泻湖或海峡)、草沼、树沼。

3．滨线和水下三角洲（图8.3和8.9）（三角洲的盆地部分）。

活动期：三角洲前缘、前三角洲带（图8.5、8.9、8.10）、分流河口坝（近端部分和远端部分）、水下天然堤、沙坝、沙嘴、海滩。

不活动期：障壁岛、临滨、陆架。

（四）作用

1．活动的对不活动的沉积期与分流河道的水流和沉积中心的迁移有关。

2．沉积速度对下沉速度和上述的(1)联合起来产生旋回沉积作用(图8.1～8.3,8.11)。Rd/Rs的比率：Rd——沉积速度；Rs——下沉速度（图8.12）。

3．由于沉积速度快，所以分流向三角洲前缘——前三角洲区推进（图8.5、8.13～8.19）。盆地内和三角洲平原上的沉积速度较低。由于高能沉积停积在低能沉积上，所以形成向上变粗的层序。

4．在河水和沉积物注入盆地的地方，水流类型和混合作用以及所产生的沉积作用（图8.20～8.22）。

5．三角洲前缘斜坡太陡引起滑塌和滑动作用（见第五章），这是由于浅水中沉积速度高的缘故。

6．与垂向堆积速度比较起来，侧向加积（进积）速度一般是比较高的（Rd/Rs>1）。全新世大河的沉积所显示的侧向加积速度与垂向堆积速度的比值为5000比1，或者更大；沉积速度与下沉速度的其它关系：Rd/Rs=1；Rd/Rs<1（图8.12）。

7．沉积物在三角洲平原内的堆积过程中，天然堤和决口扇所起的作用（图8.6和8.7）。

8．与活动期、部分废弃期以及废弃期有关的河道作用（图8.23～8.26）。

9．生物作用——潜穴活动性一般是低的；常见植物根带；三角洲平原上大量堆积泥炭或

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

有机腐泥土。

10. 海洋作用对三角洲不活动部分的破坏或改造，形成海进的薄席状砂。

11. 下沉盆地内沉积中心的迁移导致浅水层序在垂向上的重复（旋回或旋回层：图8.1、8.11、8.16）。

（五）成因单位（相——岩石共生关系）

1. 由于作用的复杂性，所以成因单位变化很大。

2. 一般的垂向序列从下到上为：粘土岩和泥岩（前三角洲，参见表10.2）、砂岩（三角洲前缘，参见表10.1）、透镜状的碳质泥岩和砂岩（三角洲平原，参见表10.4）（图8.2、8.5～8.11）。在恢复古代三角洲时，仔细评价所有三个主相细节的重要性（第十章）。

3. 三角洲格架内常见的储集岩：

（1）分流河道砂（三角洲平原）是窄而长的线状坝，或者沿倾向有时含有孤立豆荚状的孔隙性和渗透性砂体（图8.7、8.23～8.26，表8.1和8.2）。向上变细的层序。

表 8.1 河道充填相的判别特征一览表（据MacMillan，1974）

	活河道充填	部分废弃河道充填	废弃河道充填
岩性	中粒至细粒砂岩，可能含有圆形的粘土碎屑和网木印痕	细粒至极细粒砂岩和互纹层状砂质粉砂岩，可能含有次圆形至棱角形的粘土碎屑	极细粒砂岩、粉砂岩和粘土岩，互纹层状至互层状
沉积构造 (1) 无机成因的	薄层状到厚层状为主，平面状至槽状交错层，底面可能有冲刷	薄层状为主，平面状至槽状交错层以及薄纹层状粉砂岩盖层，少量的滑塌构造和卷曲层理	薄层状至薄纹层状，棱角状无定向碎屑的破裂构造，滑塌构造和卷曲层理，可能有干裂
(2) 生物成因的	搬运过的有机物质	搬运过的有机物质	顶部可能有植物根穴
遗迹化石	在圆木内偶尔有凿船虫穿孔	未观察到	未观察到

表 8.2 河道边缘相的判别特征一览表（据MacMillan，1974）

	决口扇	天然堤	淡水湾	半咸水—海水湾
岩性	细粒至极细粒砂岩，可能有粉砂岩和粘土岩的碎屑，底面有冲刷现象	砂质粉砂岩和粘土岩，纹层状极细粒砂岩	碳质粉砂岩和粘土岩，互纹层状极细粒砂岩，白色的高岭石薄层	互相混合的极细粒砂岩、粉砂岩、粘土岩
沉积构造 (1) 无机成因的	主要是波痕纹层，冲刷底面上可能有槽状至平面状交错层	薄纹层，常被植物根穴所扰动	极薄纹层至薄层状，常见大致平行的层	通常被生物扰动作用所破坏
(2) 生物成因的	顶部可能有植物根穴	薄的、横向分布广泛的植物根穴	可能有植物根穴和碳化的植物枝叶印痕	通常被生物扰动作用所破坏
遗迹化石	未见到	偶见水平潜穴	可能有直径 0.1～0.2英寸的水平潜穴	水平潜穴，*Siphonites*，垂直的U形潜穴，连续潜穴

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

（2）指状沙坝（河道）砂（上述的特殊类型），图8.9、8.10和8.27。由于沉积过程中与压实作用、刺穿作用或生长断层作用有关的下沉，所以窄而长的线状沙坝有极大的厚度（图8.27）。请注意菲斯克（Fisk）所画的图中等厚线的变化。

（3）分流河口沙坝（图8.9、8.14、8.15）；近端部分和远端部分（向上变粗的层序）。板状砂单元有不同的几何形状和岩性。

（4）三角洲前缘或三角洲边缘席状砂，如图8.7A所示（由分流河口沙坝和活动三角洲进积时期所沉积的砂合并而成）（向上变粗的层序）。

（5）滨线砂（障壁或滨沼沙岭）和共生的陆架席状砂；三角洲不活动时期由较老的沉积经过再改造而成的砂。总结见第九到十一章。

4. 共生相

三角洲相对非三角洲相在下面第十章中已有了总结，特别总结了海岸平原、滨线和浅海相岩石共生关系的细节。

（六）构造作用和沉积作用

1. 就大型沉积中心（大河注入大量沉积物）来说，准同生变形作用及其对沉积作用的影响非常重要。

2. 三角洲沉积作用和生长断层作用（正常滑移型）关系密切，如图8.28～8.30和8.12。

（1）快速沉积的前三角洲页岩体在埋藏时保留有孔隙水；描述为欠压实的、低密度、高压、低速体。

（2）由于三角洲前缘—分流砂的进积，页岩体的负载作用可能产生页岩的刺穿运动或生长断层，或者两者兼而有之。

3. 生长断层延入控制沉积作用的基底是靠主要地壳断块的运动（图8.34）。

4. 下沉速度、沉积速度及盆内变形作用的相互关系。

（七）三角洲层序在石油勘探中的重要性：可能含有碎屑层序中最重要的储集层

1. 孤立砂体迅速被粘土和粉砂埋藏是最有利的；清水三角洲只有砂，由于缺乏早期圈闭，所以不太有利。

2. 河流带入大量有机质，埋藏后转变成石油；储集岩层与生油岩层成舌状穿插。

3. 封闭的流体体系。

4. 发育地层圈闭的条件非常有利；油气的早期运移和捕集；如果地质历史有利于圈闭的保存，沉积盆地内就有最好的远景区。

（八）三角洲层序在煤矿勘探中的重要性：

1. 三角洲层序内煤的分布与河流层序内相似，即分布在堤后树沼区和河道间地区；淡水草沼和咸水草沼与树沼（红树林）也是泥炭堆积区（图8.8）。

2. 切割树沼与草沼的生长断层系可能造成断层下降盘上或地垒断块内泥炭厚度的异常。较薄的堆积出现在上升盘或地垒断块上。泥炭的这种特别堆积，在压实时可能意味着商品煤与非商品煤之间的差别。

3. 与煤共生的相是河道砂、天然堤、粉砂和粘土、煤层下粘土、褐铁矿及灰岩（图8.11），它们同河道和河道边缘的化学作用与物理作用以及地下水位的升降有关。煤层之下有植物根带。

4. 除了上述的原地煤层外，在三角洲环境内还常见碎屑煤层，尤其是在分流间凹槽内（这种煤层之下没有植物根带，也没有煤层下粘土）。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

（九）三角洲层序在铀矿勘探中的重要性：

1．三角洲层序内铀矿的产状与河流层序内相似，但最重要的目的层是分流河道层序。

2．天然堤上和排水不良的沼泽内的氧化与淋滤条件紧靠着储集岩（活动充填），部分废弃期或废弃期保存了含碳质物的不活动河道充填的还原条件（图8.24～8.26，表8.1和8.2）。

3．决口扇（次三角洲）中的薄的河道沉积也可能是重要的母岩，因为孔隙性和渗透性砂岩邻近交替的氧化—还原条件。

（十）古代产油层序的实例：

1．墨西哥湾沿岸的新生界（三角洲沉积中心和生长断层圈闭）主要产油层是浅海陆架相（图8.31～8.37）。

2．落基山的下白垩统：皮奥里亚油田，地层圈闭内的分流河道砂岩（图8.38～8.40）。

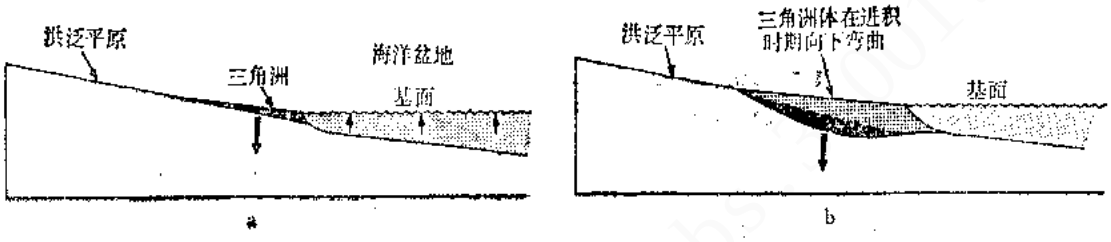
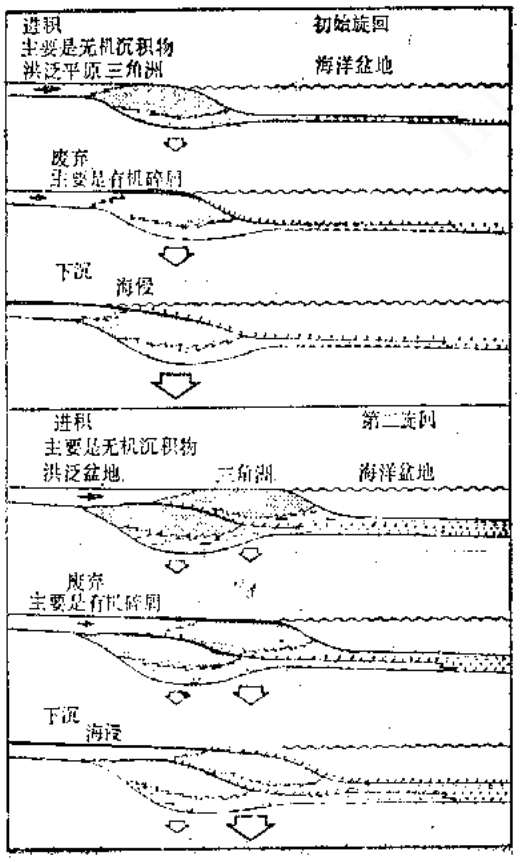


图 8.1　下沉区内的三角洲旋回。初始的三角洲沉积下沉，使随后的沉积超覆并向海推进。（据Morgan，1970）



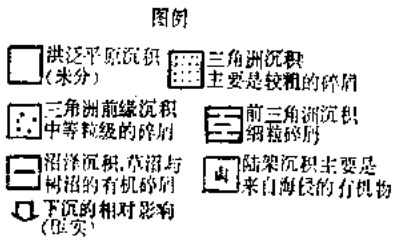


图 8.2　下沉区内三角洲旋回的模式（据Morgan，1970）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

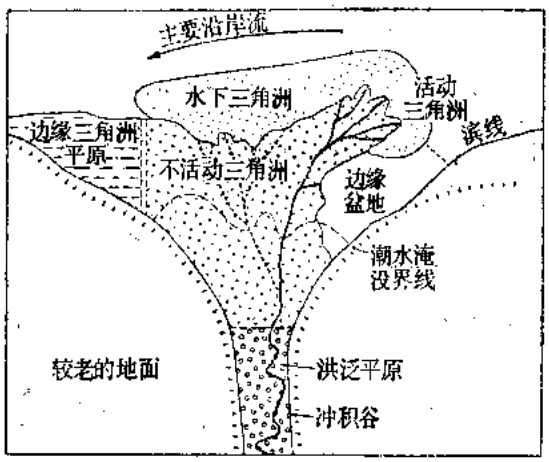


图 8.3 一个三角洲的主要自然地理组成部分（据Pettijohn等，1972；根据Gagliano和McIntire，1968，图1修改）

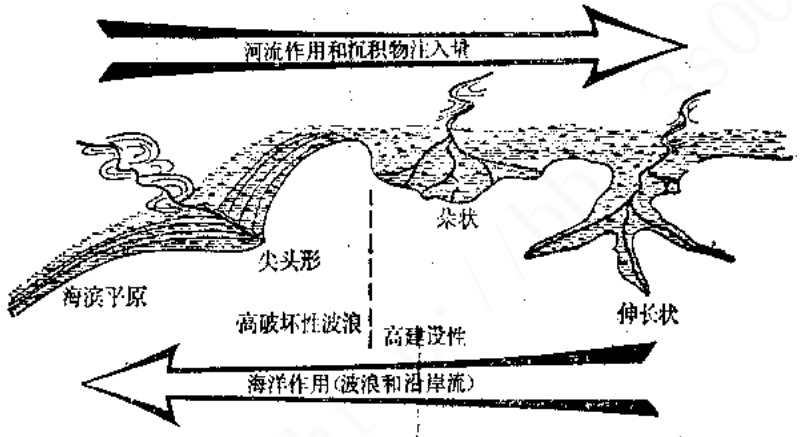


图 8.4 海洋作用和河流作用影响浪控三角洲岸线的关系。箭头示影响增大方向（据Fisher等，1969；据A.J.Scott）

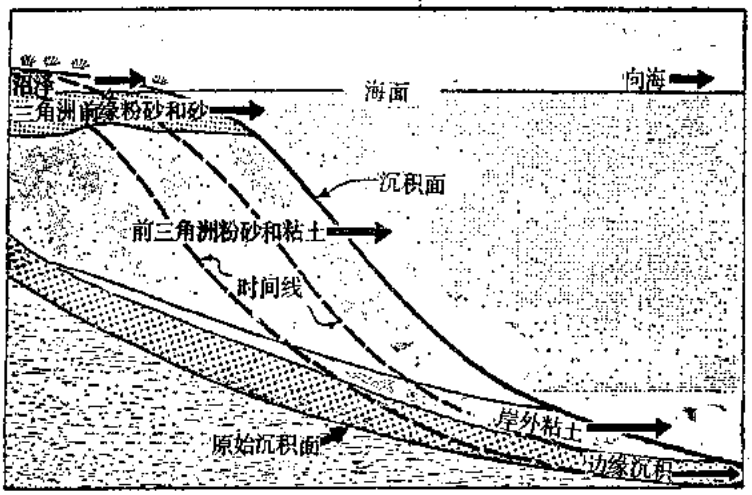


图 8.5 高建设性三角洲中沉积环境的向海迁移（据Scruton，1960）

（十一）讨论会期间可用于研究的三角洲砂岩的实例：

露头：“J”砂岩（分流河道，下白垩统）；福克斯山砂岩（三角洲前缘和分流河道，上

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

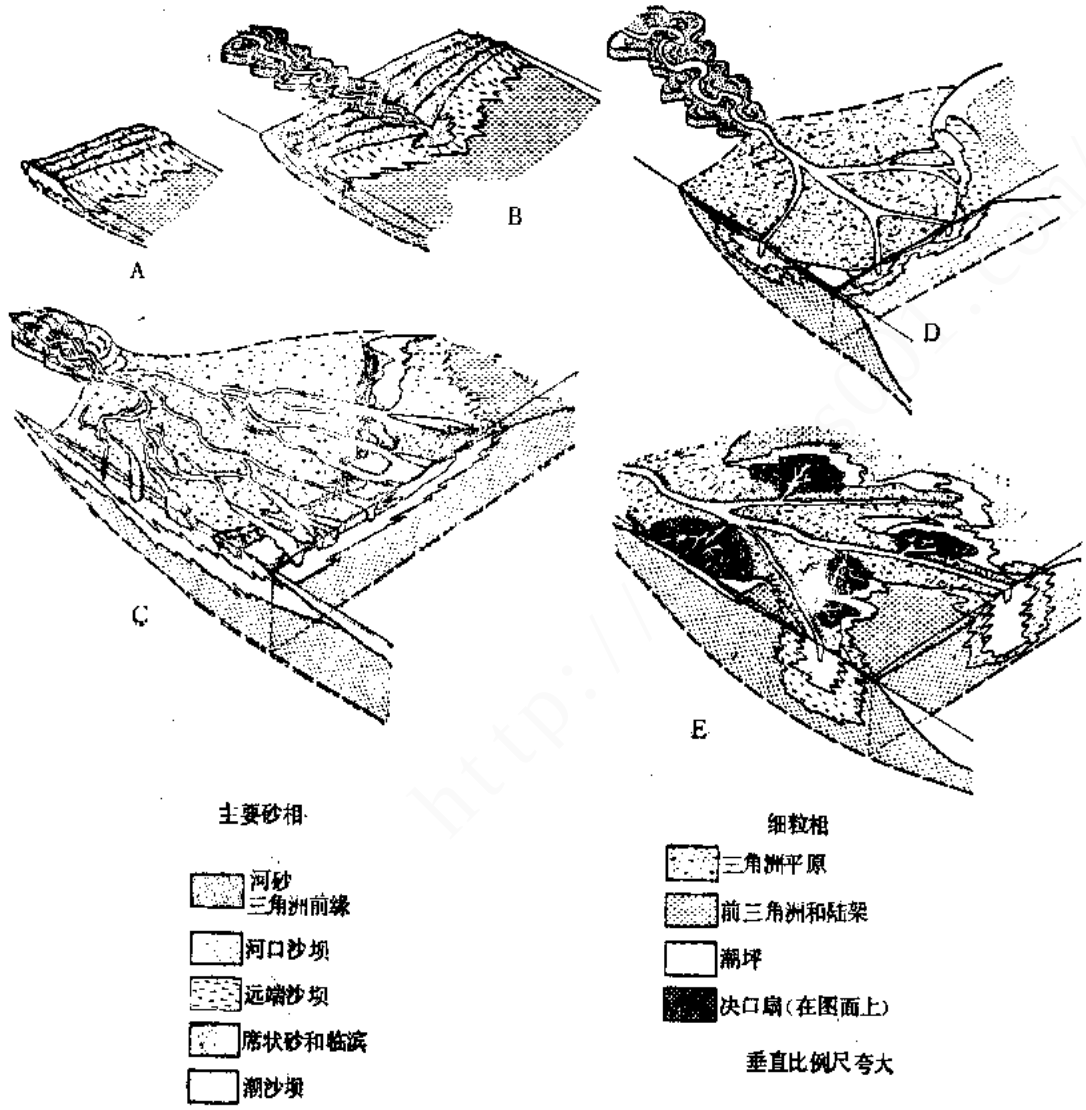


图 8.6 主要三角洲类型的格架相（据Fisher等，1969；据A.J.Scott）

(A)—作为对比的海滨平原；(B)—高破坏性浪控三角洲，主要由临滨和共生的河砂所组成；(C)—高破坏性潮控三角洲具有广阔的潮成浅滩或砂坪相；(D)—高建设性朵状三角洲具有共生的河砂、河口沙坝和三角洲前缘席状砂；(E)—高建设性伸长状三角洲具有厚的河口沙坝或指状沙坝

白垩统)。

岩芯："J"砂岩（皮奥里亚油田，分流河道）；（瓦坦堡油田，三角洲前缘）。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

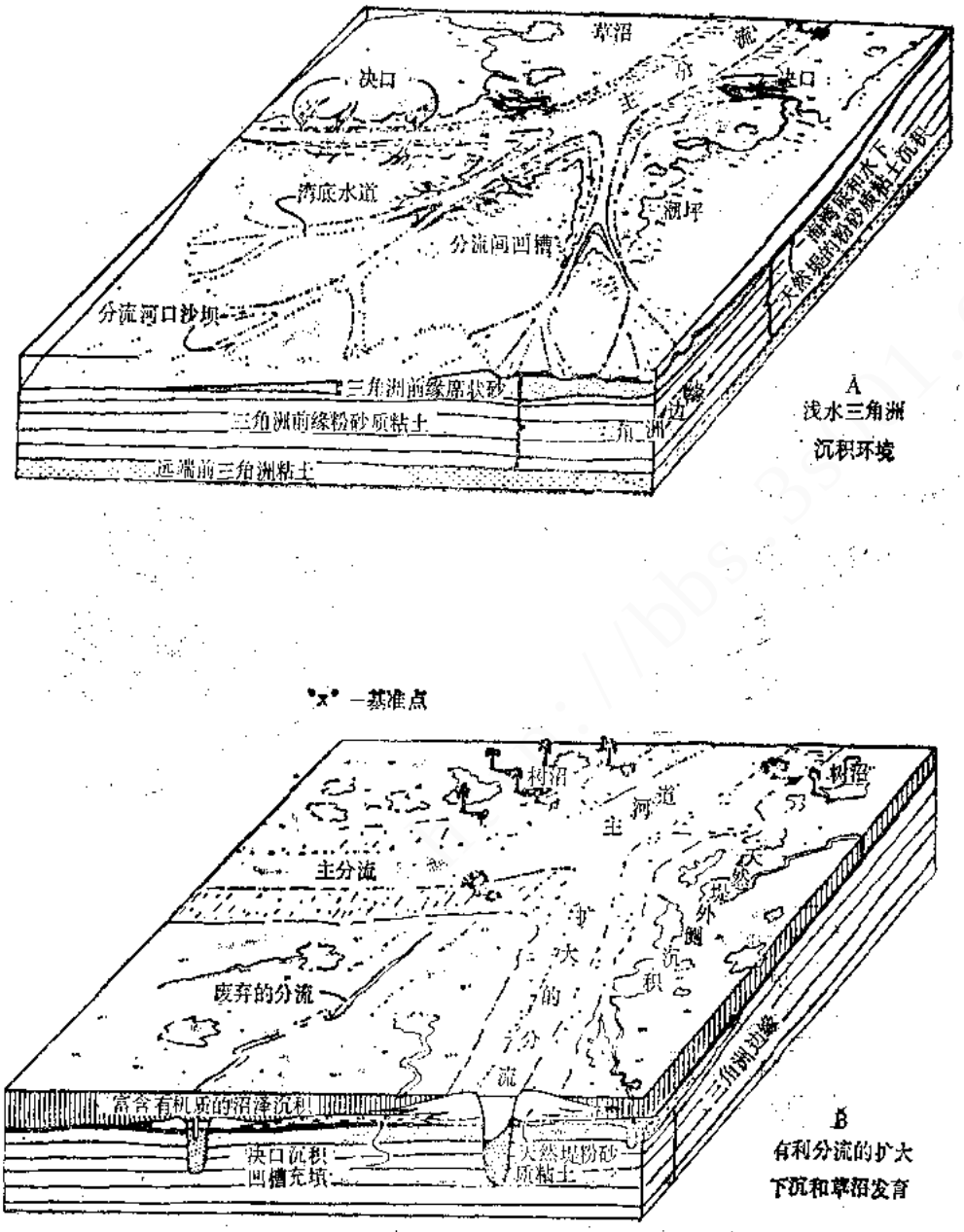


图 8.7 立体图表示由于密西西比分流的推进引起一个三角洲层序的发育，以及有关的环境和沉积物（据Fisher等，1969；根据Fisk，1930修改）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

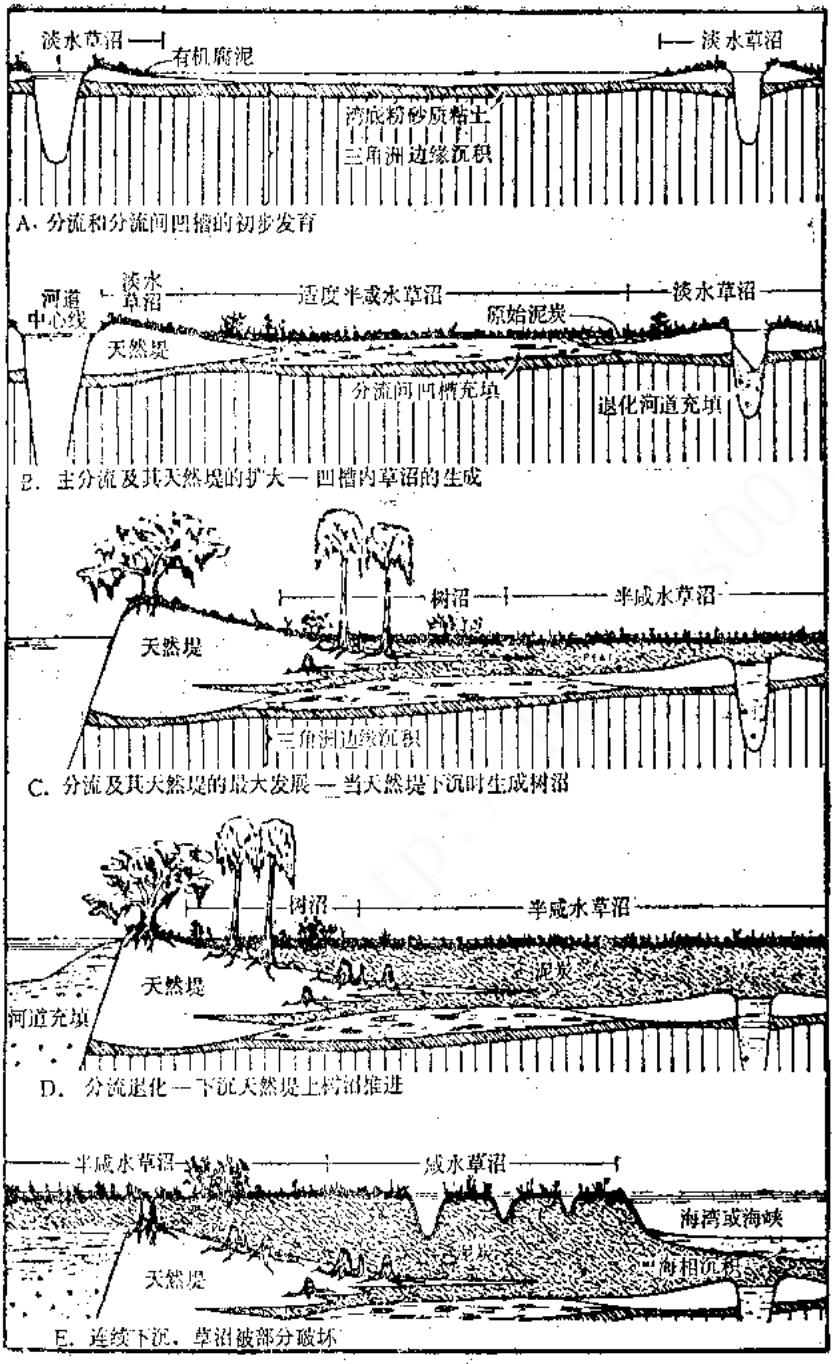


图 8.8 密西西比河三角洲体系内三角洲平原相的分流河道沉积与分流间沉积的分布和共生关系。注意河道侧翼发育良好的天然堤沉积和共生的有机沉积以及河道充填中的向上变细的层序（据Fisher等，1969；据Bernard和Le Blanc，1965；根据Fisk，1960修改）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

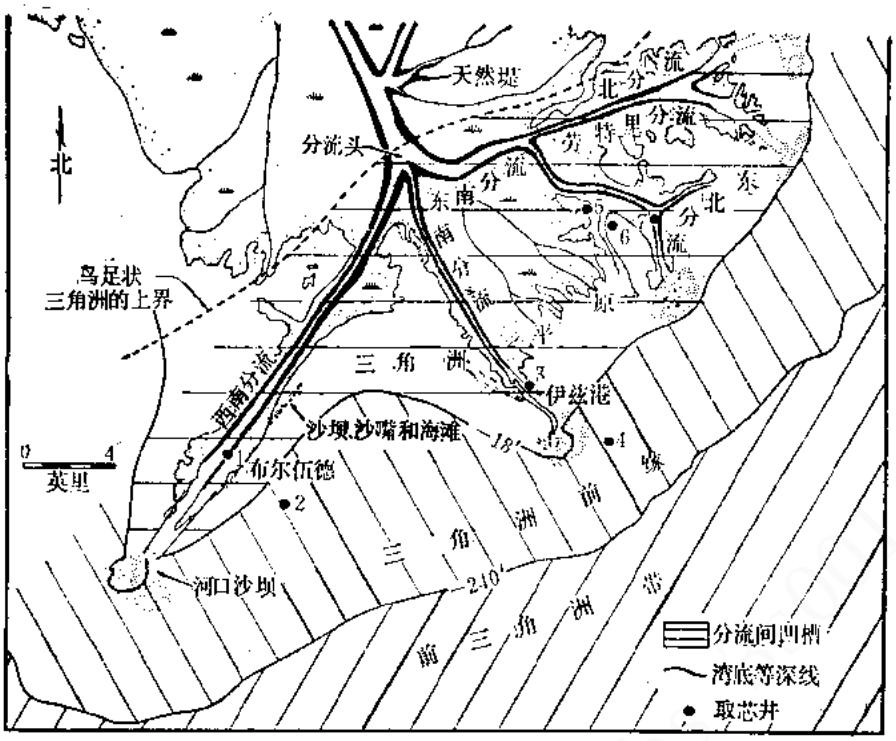


图 8.9 密西西比河鸟足状三角洲的沉积环境（据Gould, 1970; 据Fisk, 1961）

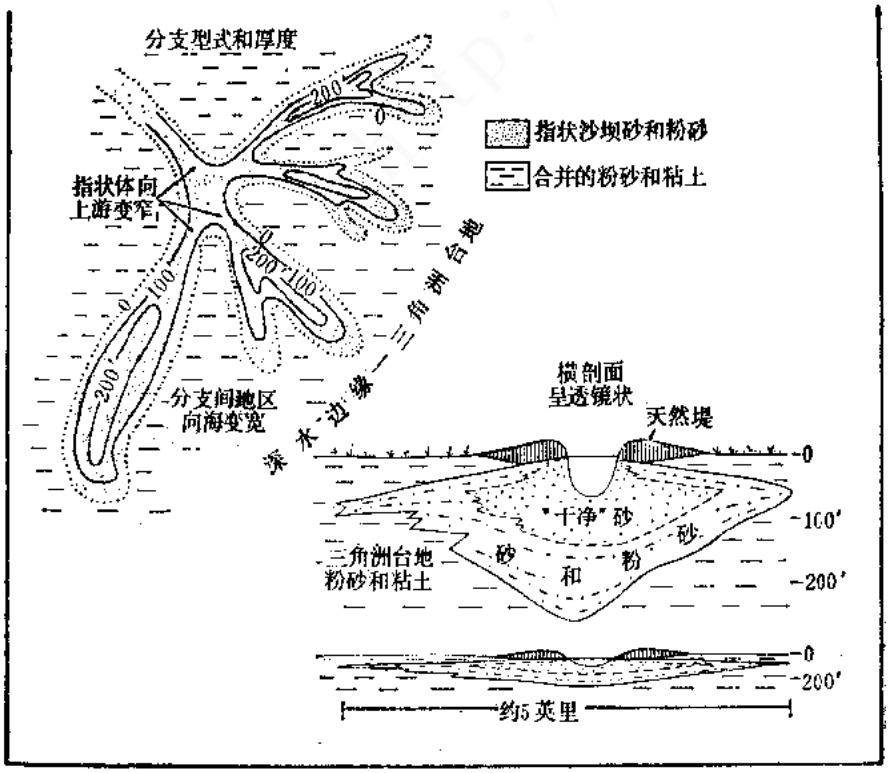


图 8.10 指状沙坝的特征形状和沉积特点（据Gould, 1970; 据Fisk, 1961）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

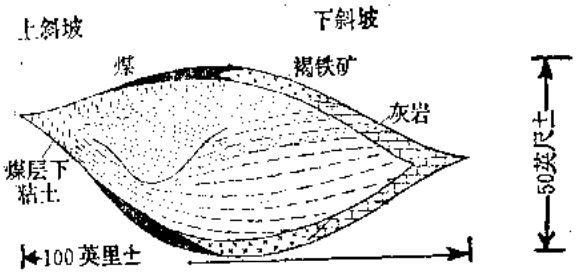


图 8.11　一个理想化的冲积—三角洲旋回的横剖面图（根据Ferm和Williams, 1963, 356页修改）

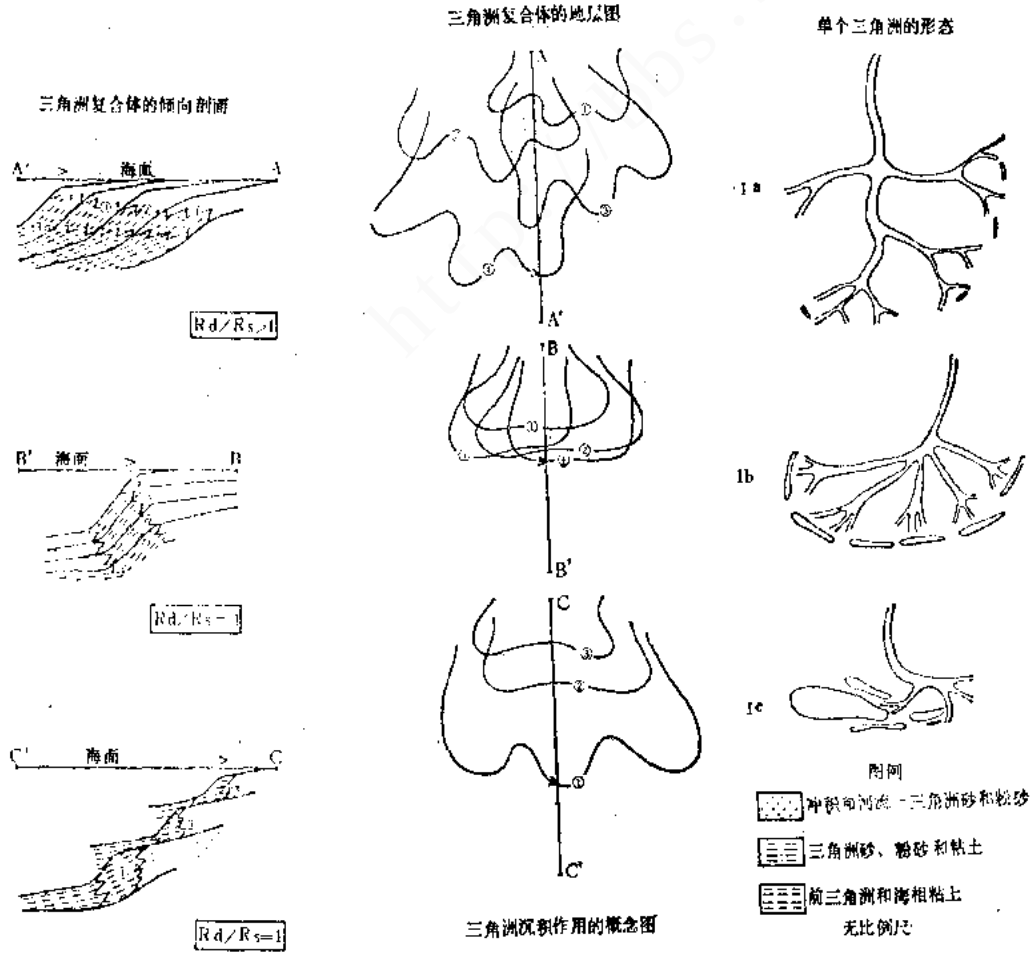


图 8.12　沉积速度与下沉速度之比（Rd/Rs）的变化引起三角洲特点变化的概念图（据 Curtis, 1970）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

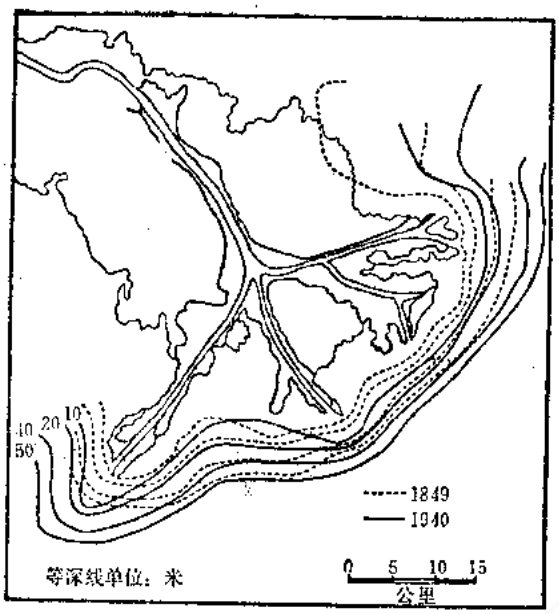


图 8.13　密西西比河三角洲在1849～1940年间的向海推进（据Coleman等，1974）

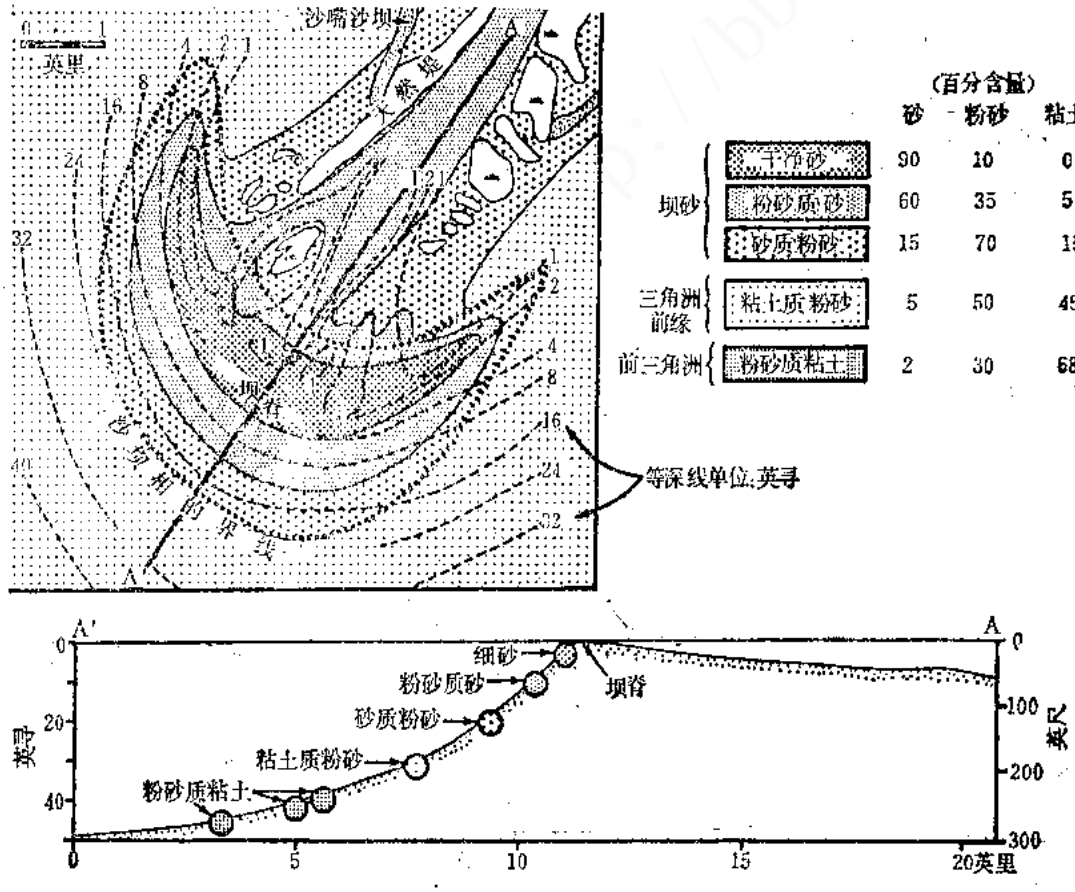


图 8.14　密西西比河西南分流河口沙坝砂的理想化分布（据Gould，1970）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

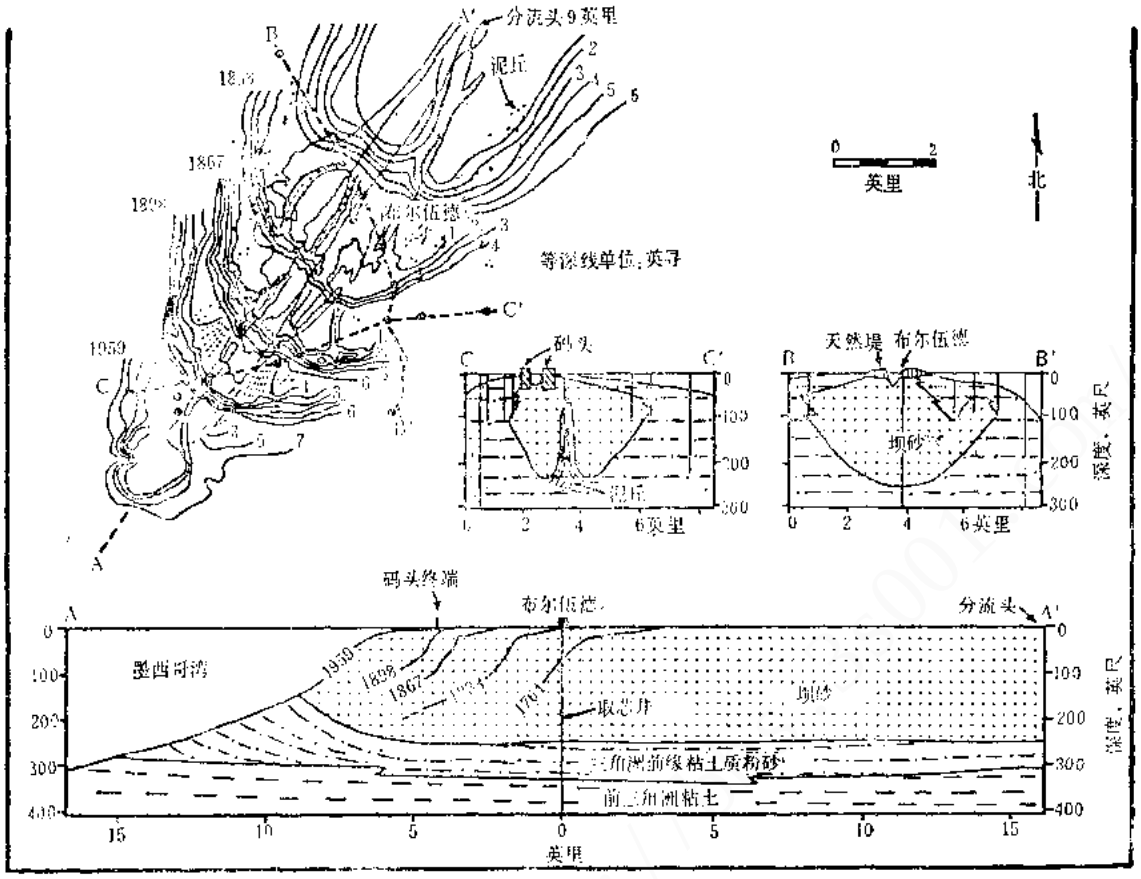


图 8.15 密西西比河两南分流指状沙坝的发展史（据Gould, 1970; 据Fisk, 1961）

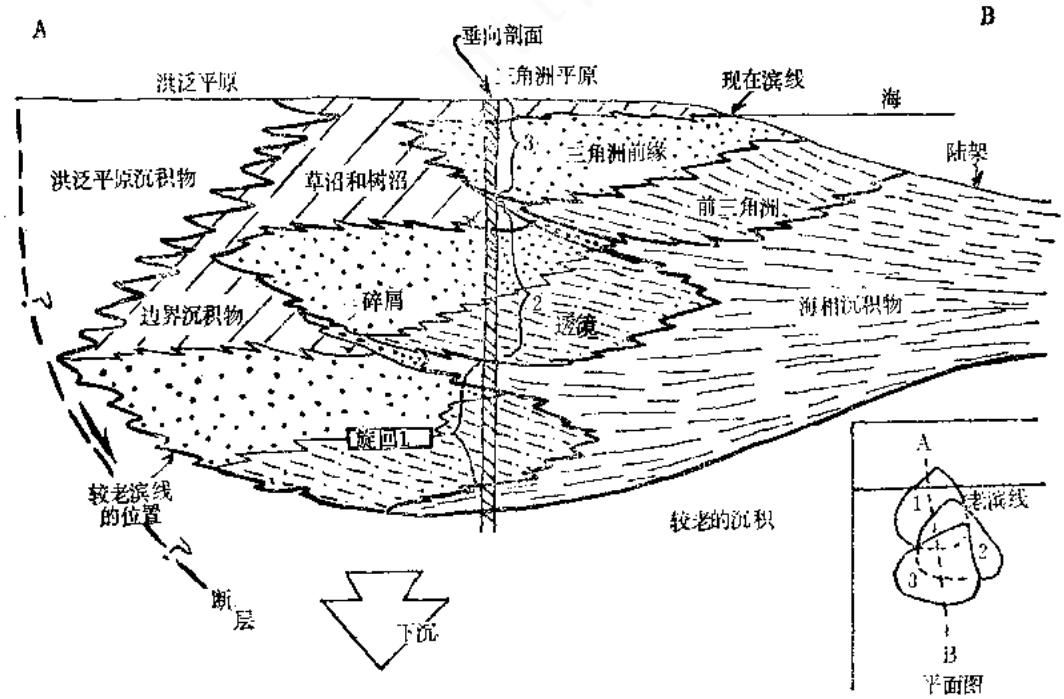


图 8.16 一个假设的三角洲复合体的超覆旋回（根据Coleman和Gagliano, 1964修改）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

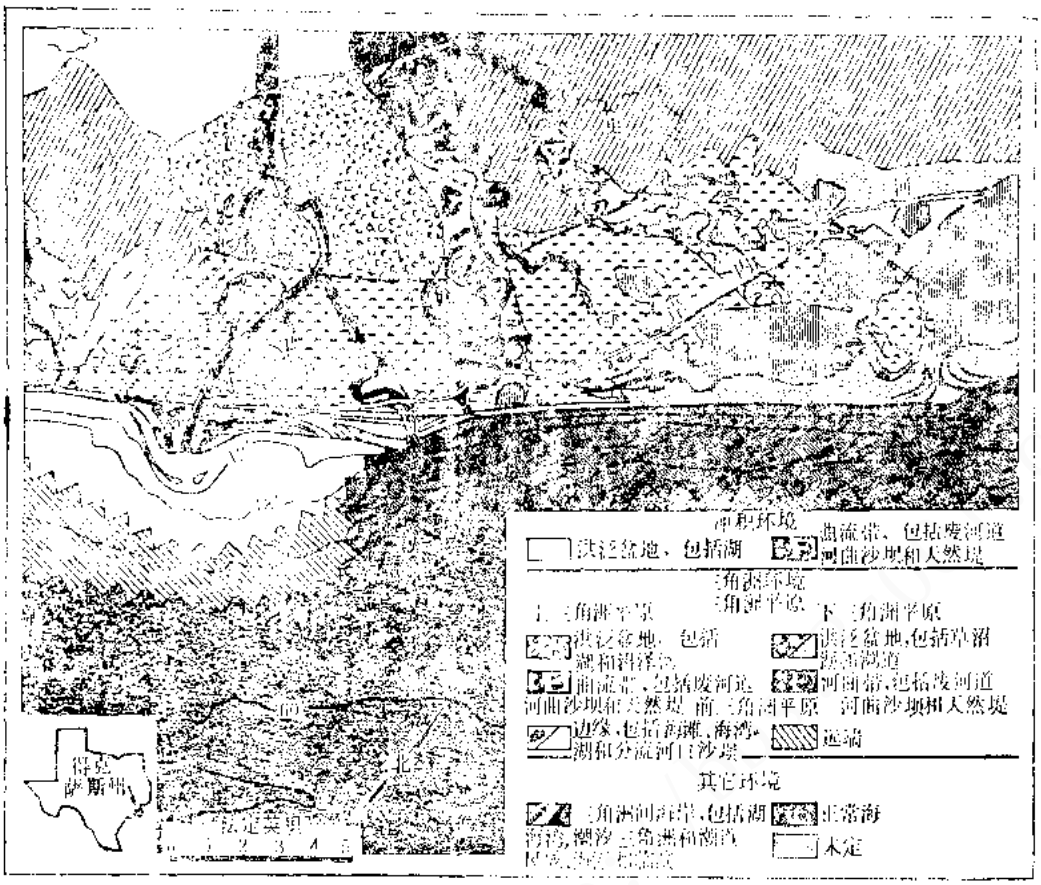


图 8.17　布腊索斯三角洲及其相邻的三角洲间海岸和海区的沉积环境。已被削蚀的奥伊斯特莫三角洲和"老"布腊索斯三角洲位于"新"三角洲的东北面。"新"三角洲的砂存在于"新"三角洲的陆上部分(下三角洲平原)和水下三角洲边缘
(引自Bernad等，1970，图30)

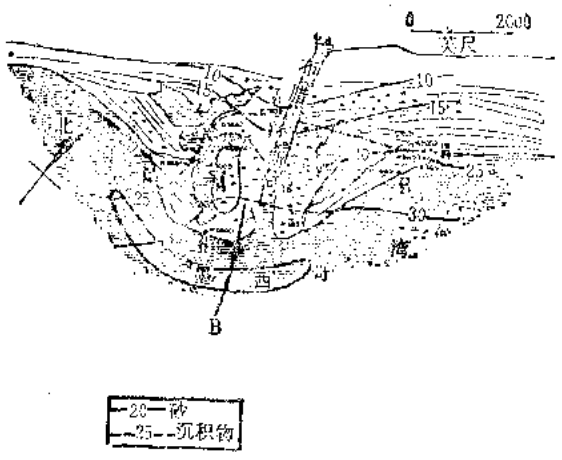


图 8.18　全新统沉积物的厚度图和净砂的厚度图（厚度单位为英尺），向海湾方向，沉积物的厚度逐渐增大，砂的厚度显著增大（资料和基础图件根据Bernad等，1970，图37和图41修改）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



图 8.19　图8.18的A-B横剖面图

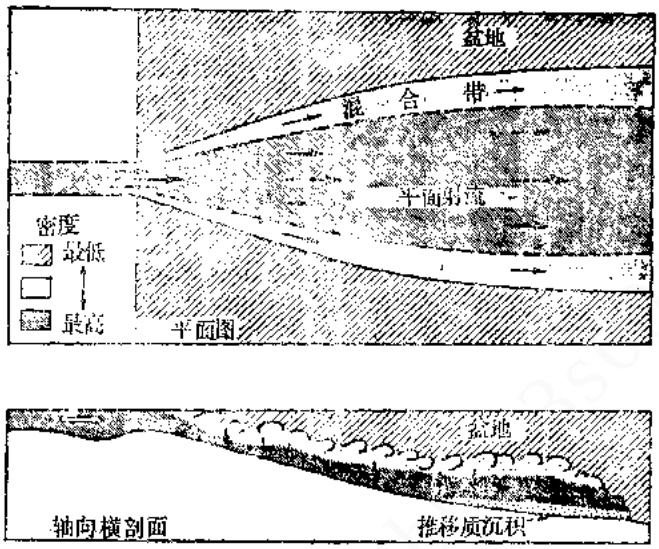


图 8.20　超密度入流，平面射流，其流入流体的密度高于蓄水体流体密度。这是浊流中常见的情况（据A.J.Scott；根据Bates，1953修改）

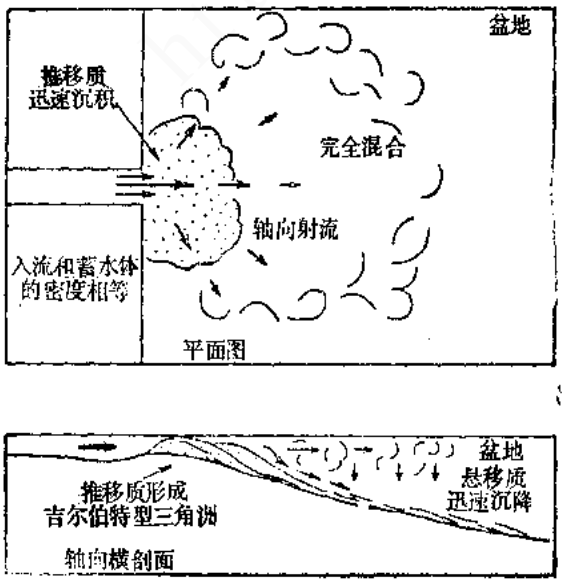


图 8.21　等密度入流，轴向射流，其流入流体的密度与蓄水体流体密度相等，与这种入流有关的迅速混合产生吉尔伯特型三角洲沉积（据A.J.Scott，根据Bates，1953修改）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

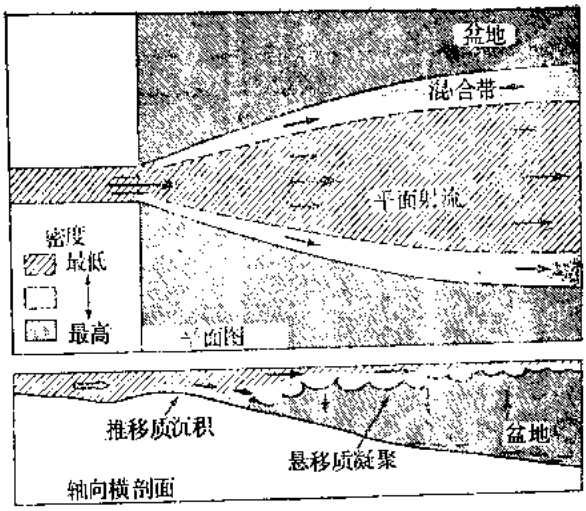


图 8.22　低密度入流。平面射流，其流入流体的密度低于蓄水体流体密度。这种情况是河流流入海洋的特征（据A.J.Scott，根据Bates，1953修改）

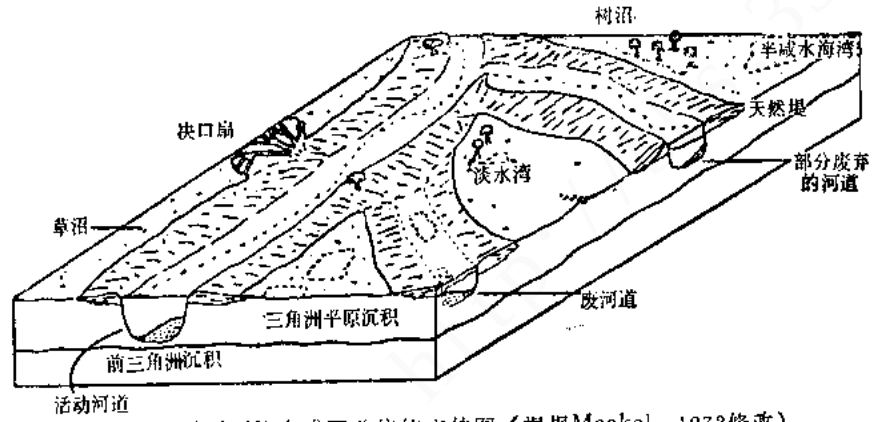


图 8.23　三角洲平原环境内成因单位的立体图（根据Meckel，1972修改）

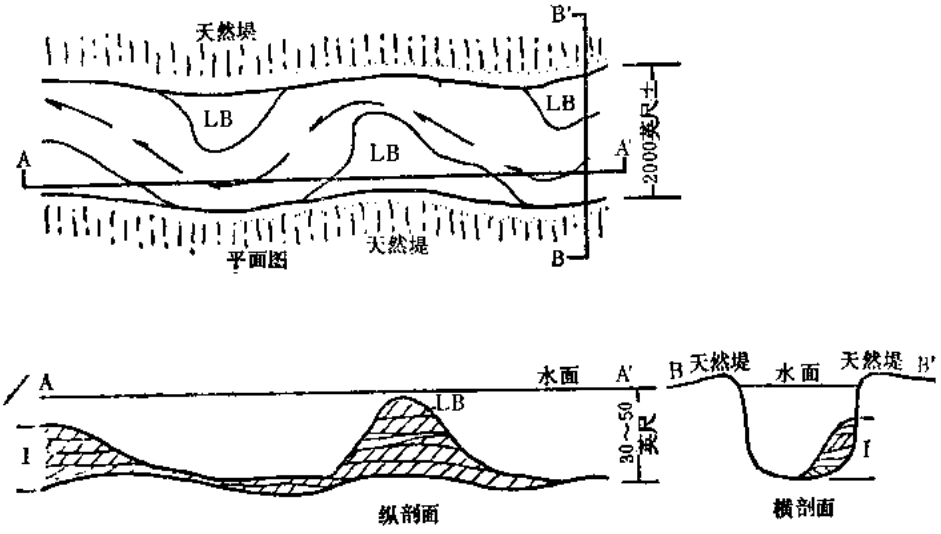


图 8.24　活动河道充填的横剖面图。岩性是中粒至极细粒砂岩，厚的平面状至槽状交错层理，可能有冲刷底面。LB—侧向坝（据MacMillan，1974）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

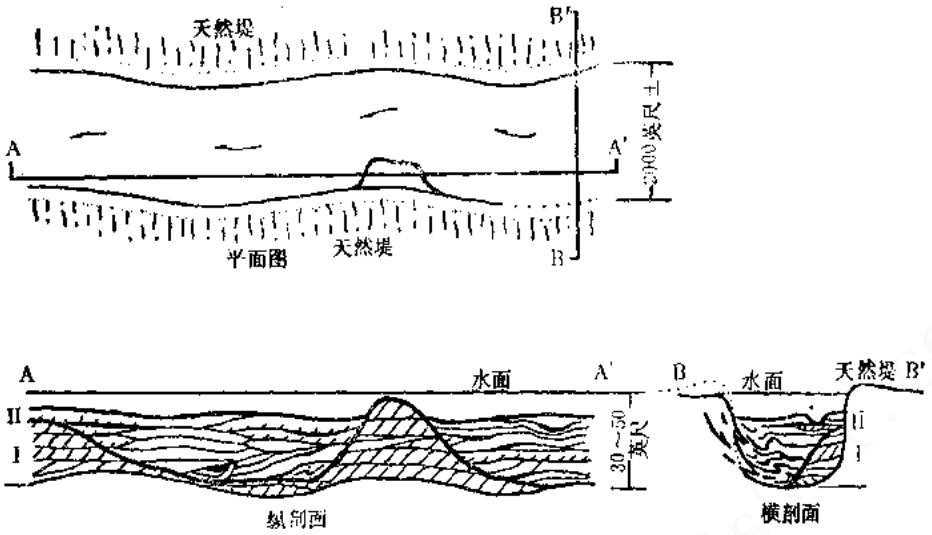


图 8.25　部分废弃充填的横剖面图。岩性是细粒至极细粒砂岩和互纹层状砂质粉砂岩，薄层状至波痕纹层状，偶尔有大型滑塌构造。（据MacMillan，1974）

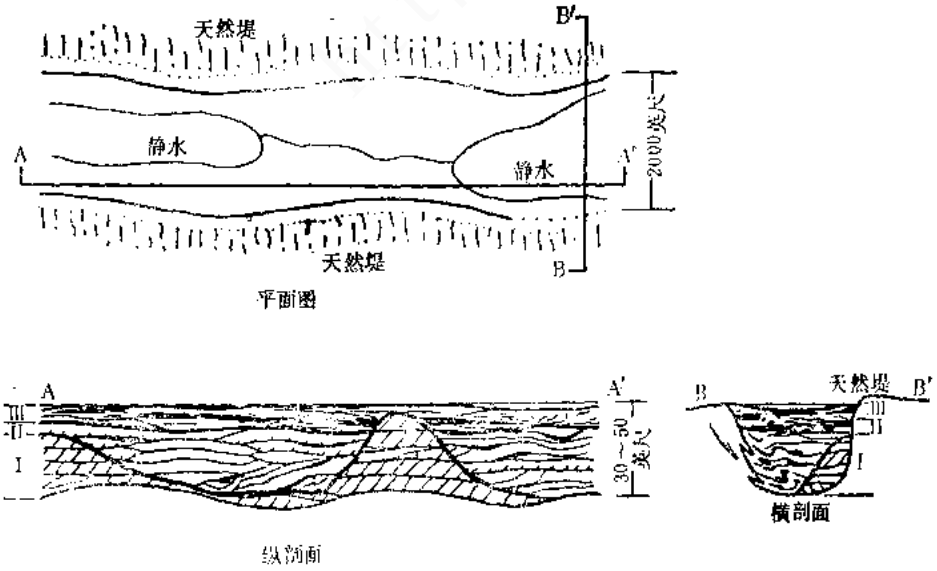


图 8.26　废河道充填的横剖面图。岩性是极细粒砂岩、粉砂岩和粘土岩，互纹层状至薄层状，有少量卷曲层理。（据MacMillan，1974）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

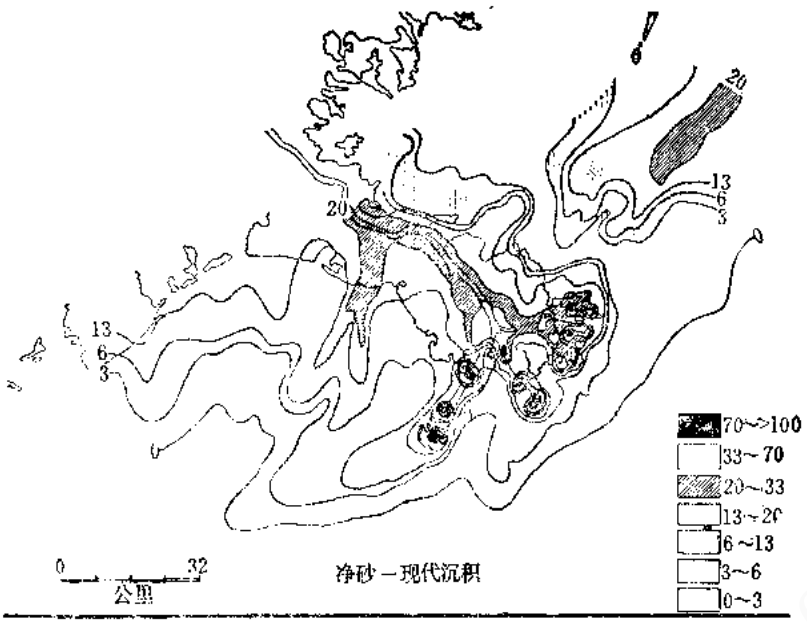
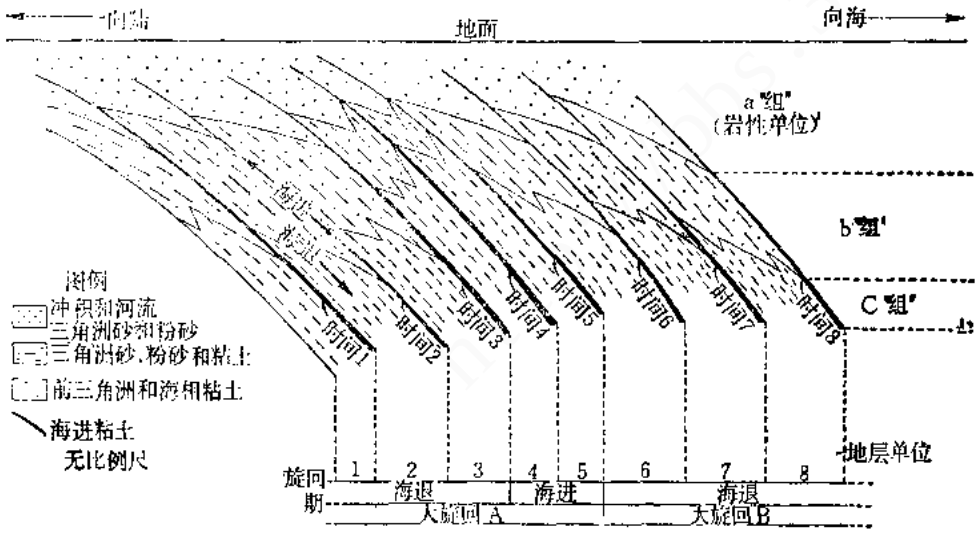


图 8.27　现代密西西比河三角洲沉积物内净砂的厚度分布型式（据Coleman等，1974）



一个近海盆地内的三角洲沉积作用—概念性倾向剖面

图 8.28　海卫盆地充填层序的概念性倾向剖面，其中的主要海退期被一次海进期所中断（据Curtis，1970）

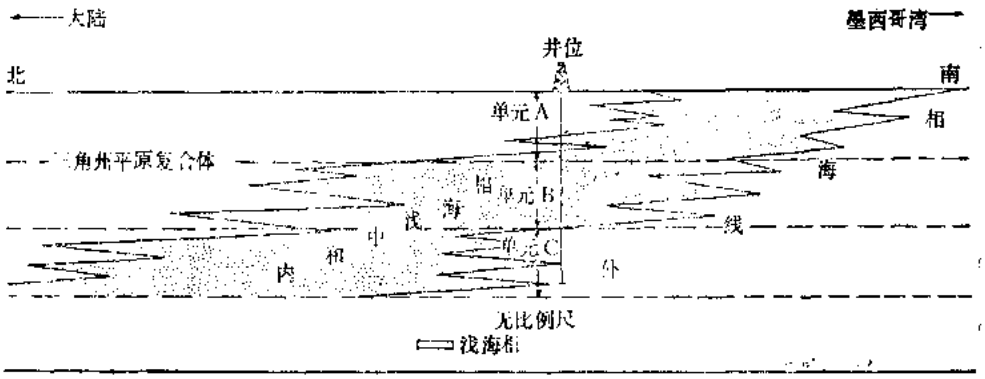


图 8.29　湾岸地槽内三种主要沉积环境之间横向和垂向关系的理想化示意图（据Weyerhoff等，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

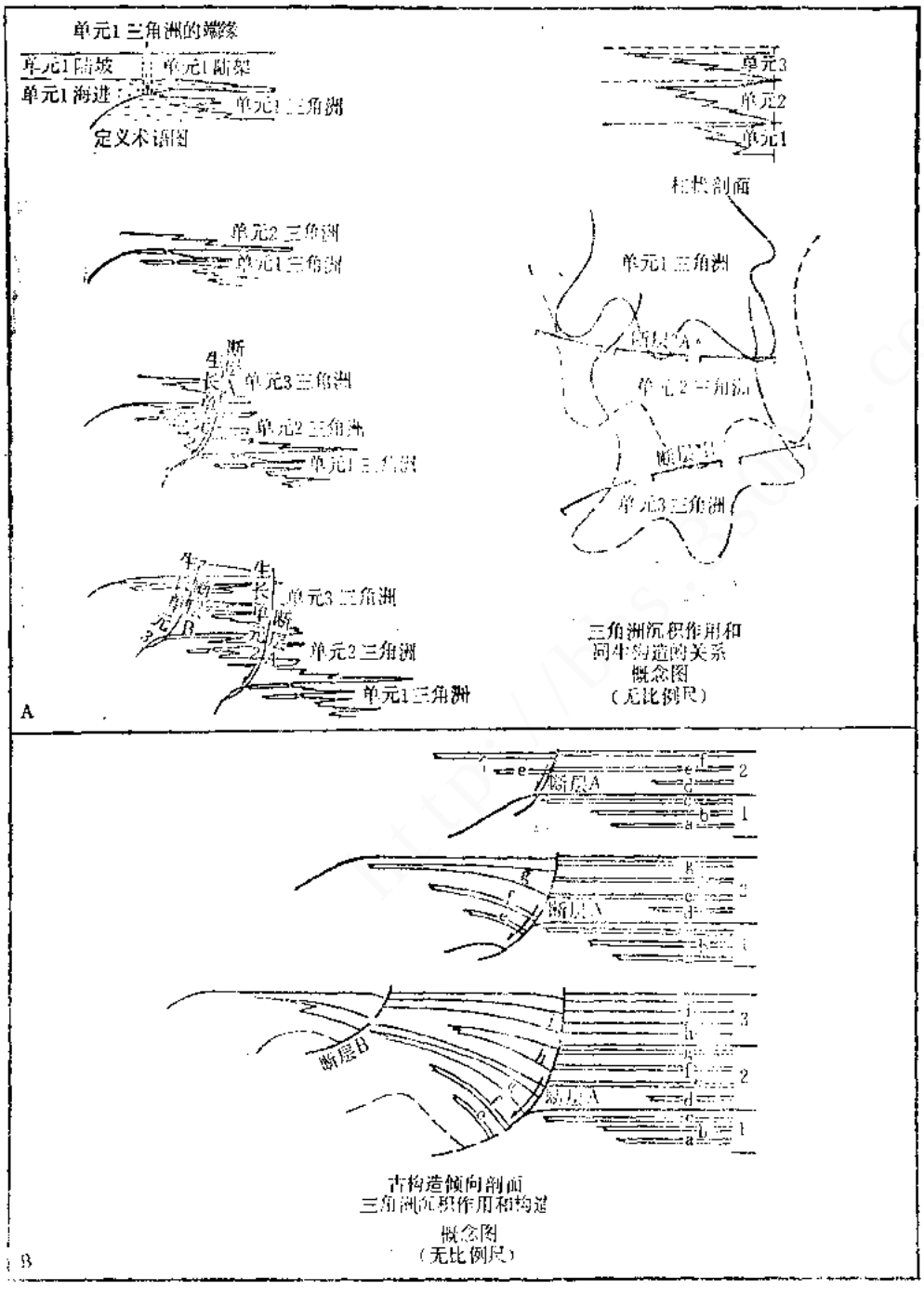


图 8.30　当一个三角洲推进到一个较老三角洲远端之外时产生滑塌断层的概念图（据 Curtis, 1970）

A—当单元2推进到单元1远端之外时，断层A发育在单元1的远端；当单元3推进到单元2远端之外时，断层B发育在单元2的远端。断层A的运动与单元2和较晚的沉积作用是同时的；断层B的运动与单元3和较晚的沉积作用是同时的。B—同生断层作用期间反区域倾向和页岩上升的连续发育阶段

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

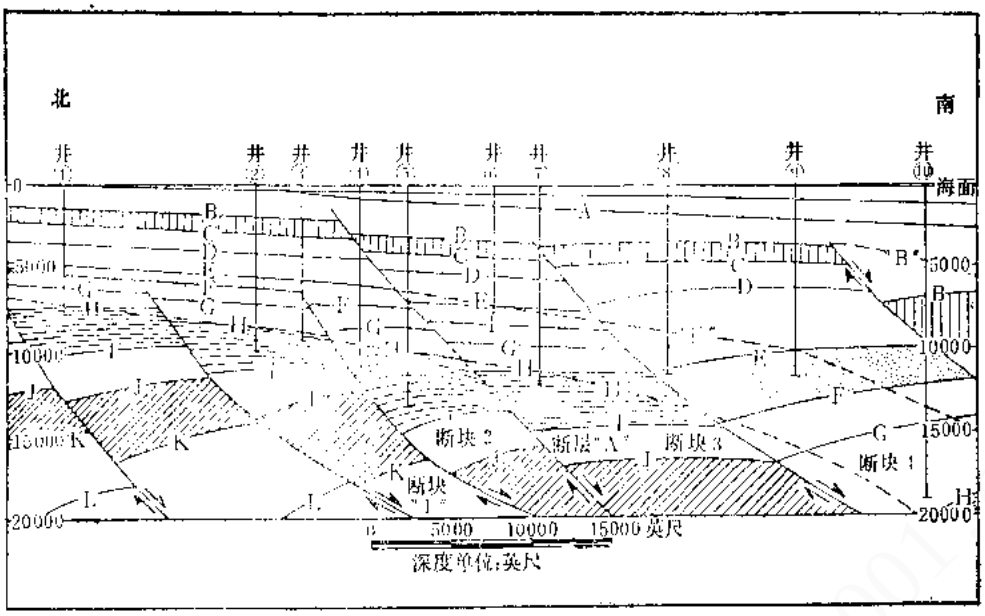


图 8.31　说明与一系列区域生长断层有关的深部地层北倾的理想化示意横剖面。如果一条区域性地层横剖面是根据1、2、5、6、7、9及10号井所提供的控制点画出的，那么，E层和H层将显出南倾，而且E—H层段将显出向南加厚。把上述7口井内E层和H层的对比点连接起来的两条虚线，说明上述情况为什么是对的。如果区域构造图是按两个虚线层中的任一个层（E或H层）画出的，将只出现区域性南倾。然而，如果利用所有可用的控制井，断块4内的E层将出现北倾。图中所示的所有断层，除断层"A"外，都是主要的生长断层。断层"A"是一条非生长断层，在断块2和3之间地层增厚不明显。
（据Meyerhoff等，1968）

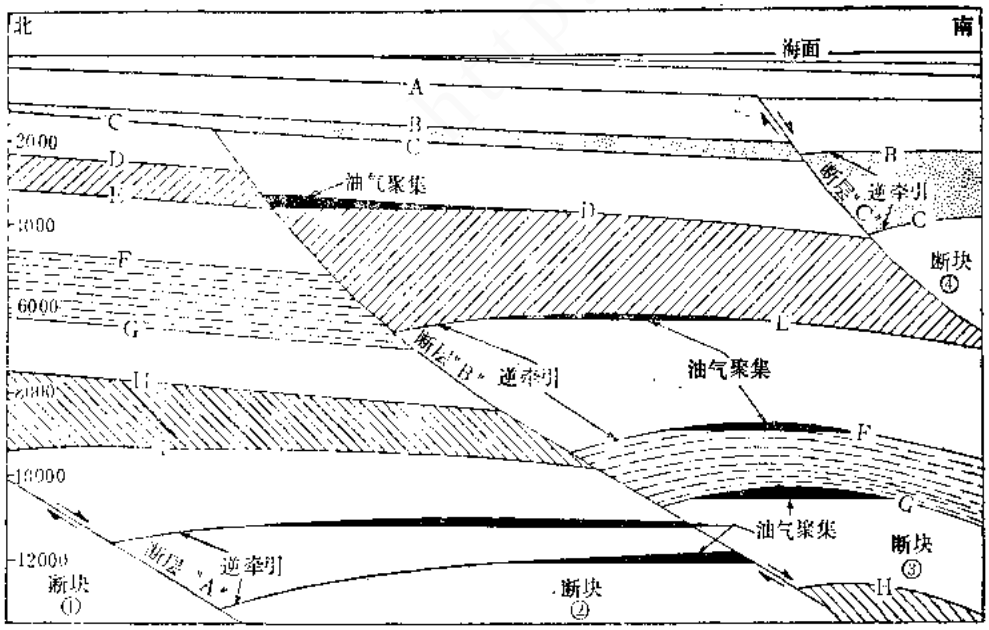


图 8.32　说明与生长断层有关的现象的示意横剖面。请注意下列几点：（1）浅处地层的区域性南倾；（2）10000英尺以下断块②的北倾；（3）跨过断层"B"，C—F层段加厚；（4）在断块②和③内，F—G层段的厚度相等，说明在F—G时期断层"B"没有生长；（5）断层"B"至少有过两个生长时期，一个在前G时期，另一个在C—F时期；（6）随着深入断层"A"、"B"和"C"，逆牵引增大；（7）断层"C"生长所影响的地层比断层"B"所影响的地层年青。这是湾岸地区生长断层所特有的，即向墨西哥湾方向，生长断层的时代一般变年青（据Meyerhoff等，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

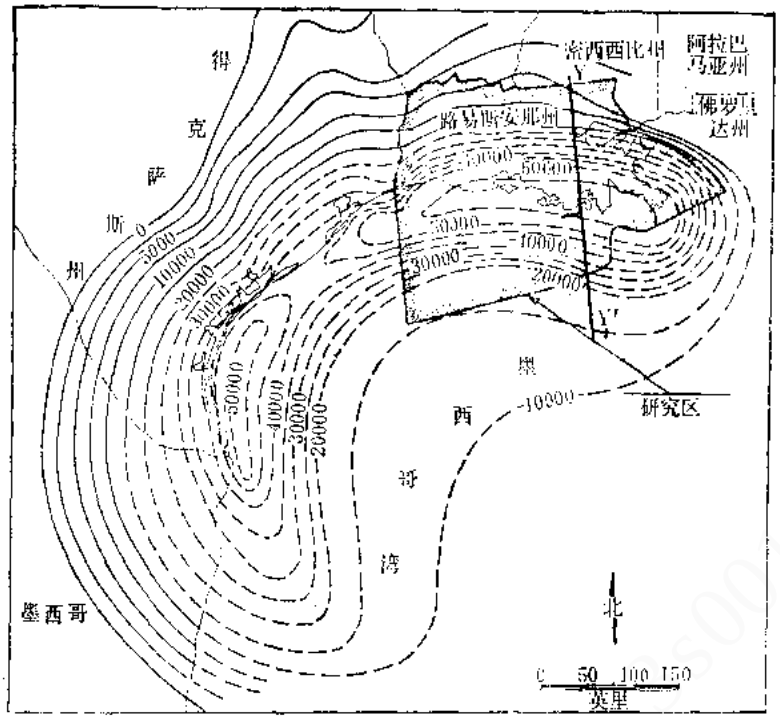


图 8.33 湾岸地槽新生界地层总的等厚图（据Meyerhoff等，1968；根据Hardin，1962修改）

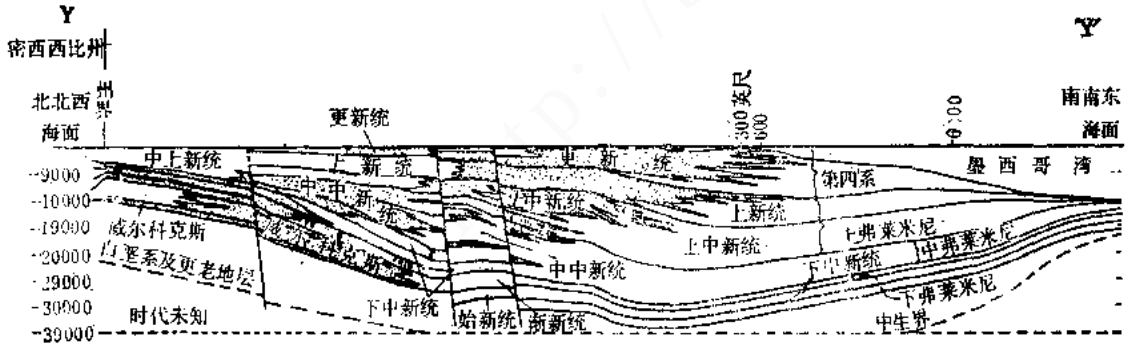


图 8.34 图8.33中的Y-Y′剖面（据Meyerhoff等，1968）

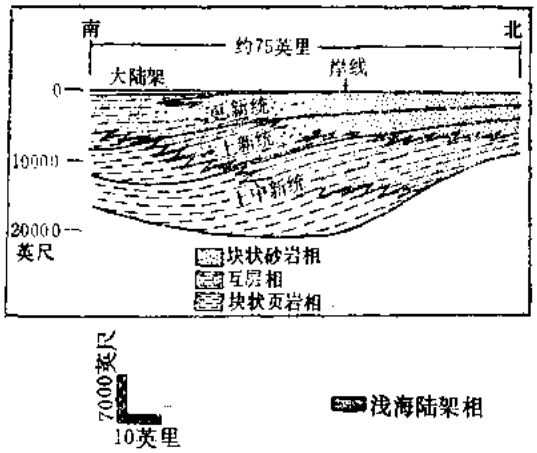


图 8.35 路易斯安那南部湾岸地槽总岩相的横剖面图（据Frey和Grimes，1970）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

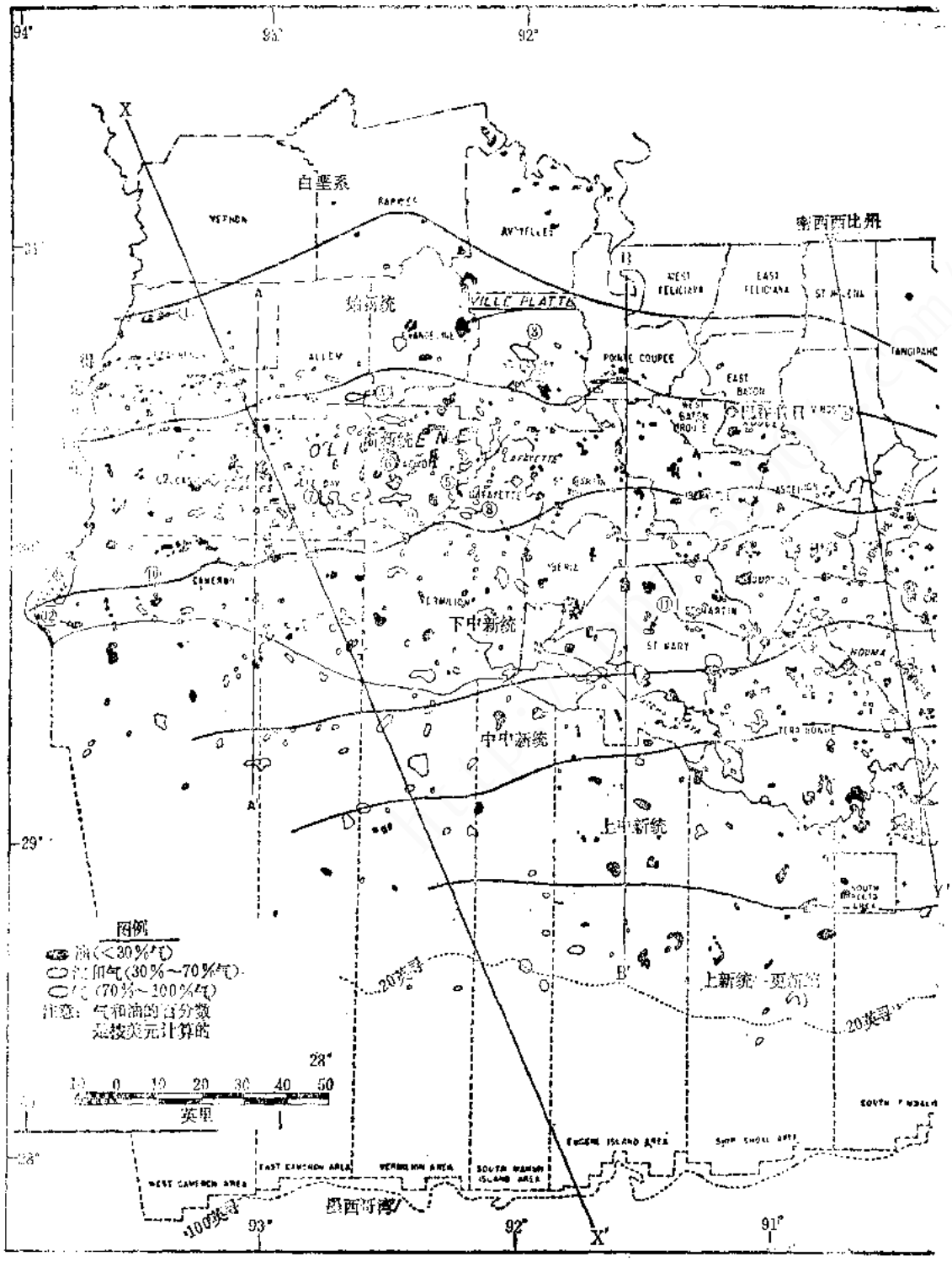


图 8.36　路易斯安那南部主要生产带、横剖面及详细油田研究的索引图。根据油和气的美元值，把油田进一步分为气田、油气田和油田三类。计算美元值所用的比率是15000立方英尺气对1桶油。（据Meyerhoff等，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

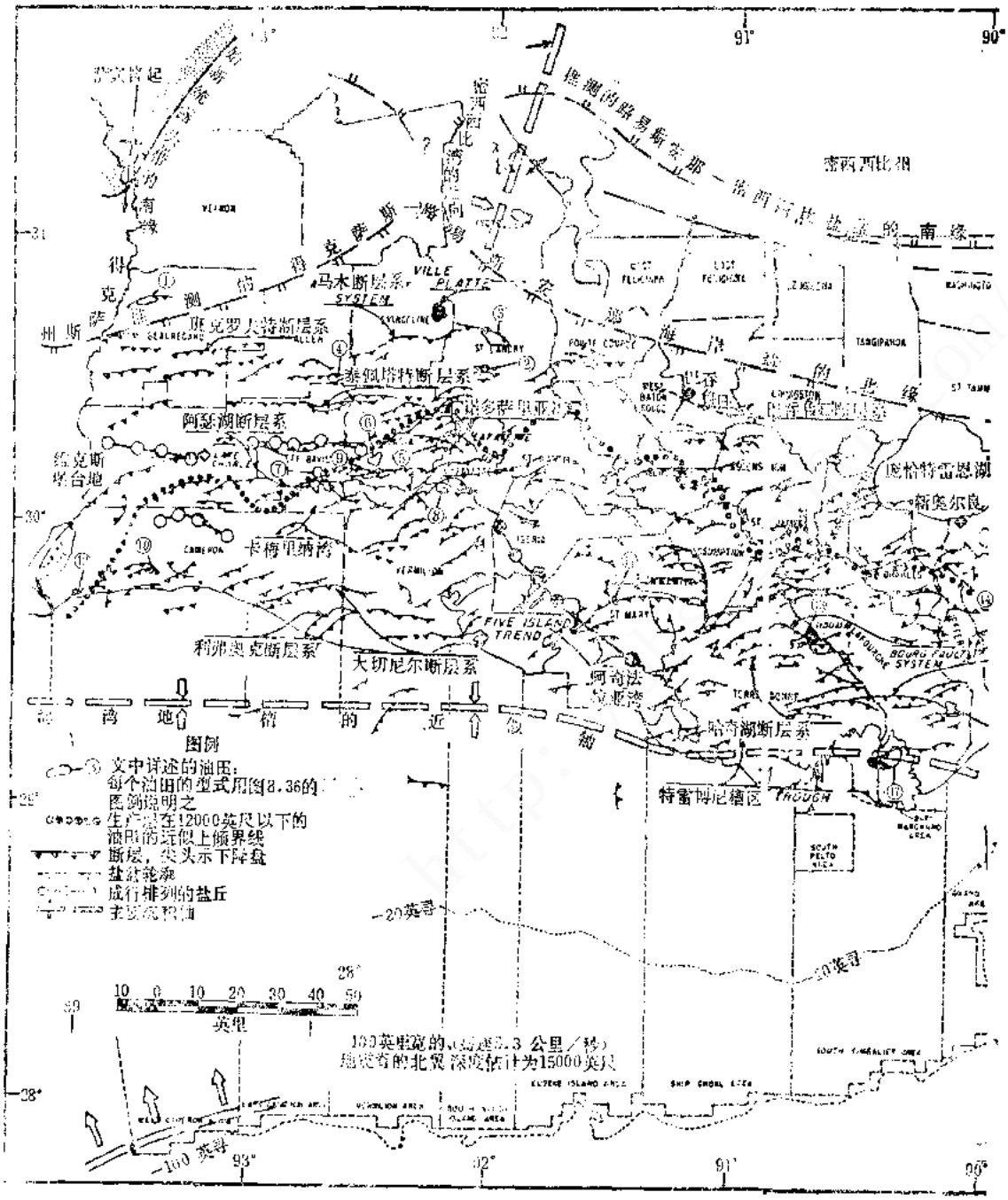


图 8.37　路易斯安那南部的主要构造特征。所示的大多数断层是区域性的或主要的生长断层。图示了其它构造特征，包括可能受基底控制的一些构造。路易斯安那南部大多数产自12000英尺以下砂层的油田的北界用黑点线表示。产层在12000英尺深度以下的油田的北界与最北部的主要弗里奥生长断层非常一致。海上断层稀少反映缺乏这个地区的资料（据Meyerhoff等，1968；根据下列资料修改，Andrews，1960；Ewing等，1960；Hardin，1962；Howe，1962；Murray，1961；Wallace，1962）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

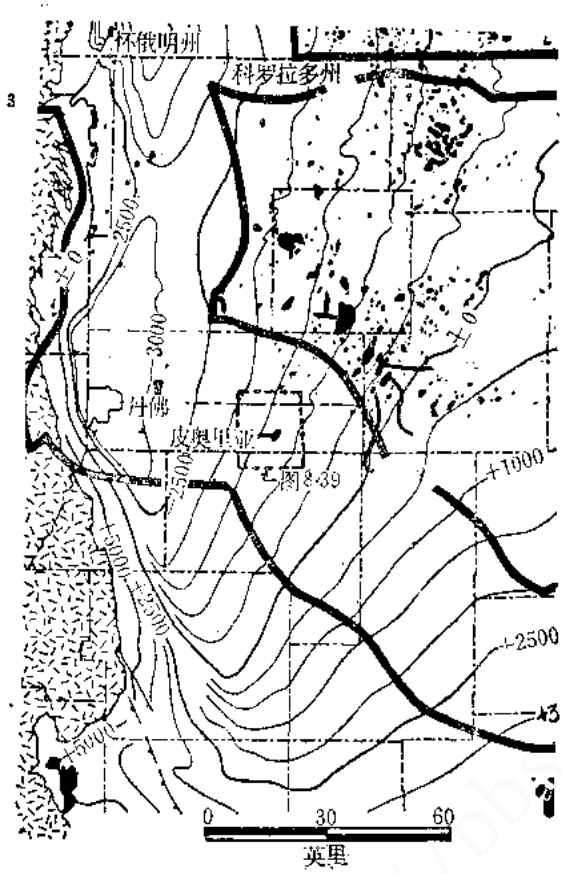


图 8.38　丹佛—朱莱斯堡盆地的索引图，表示皮奥里亚油田的位置。构造等高线是白垩系"J"砂岩的顶面（据Ecker，1971）

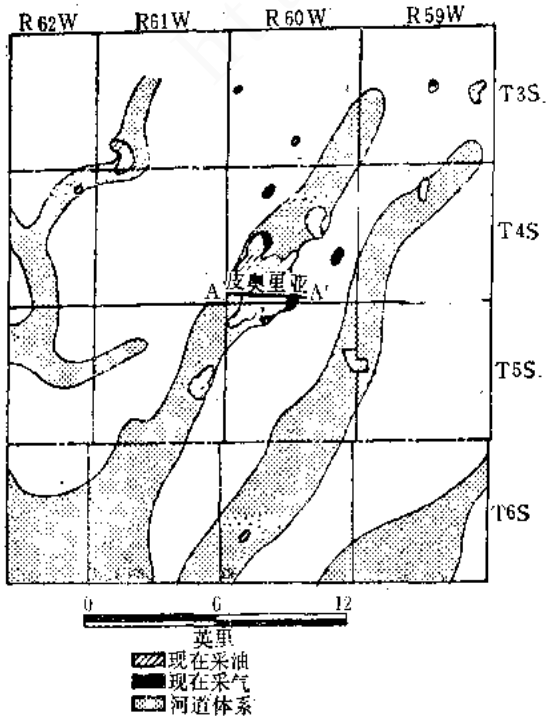


图 8.39　白平系J_2的总的河道体系（据Ecker，1971）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

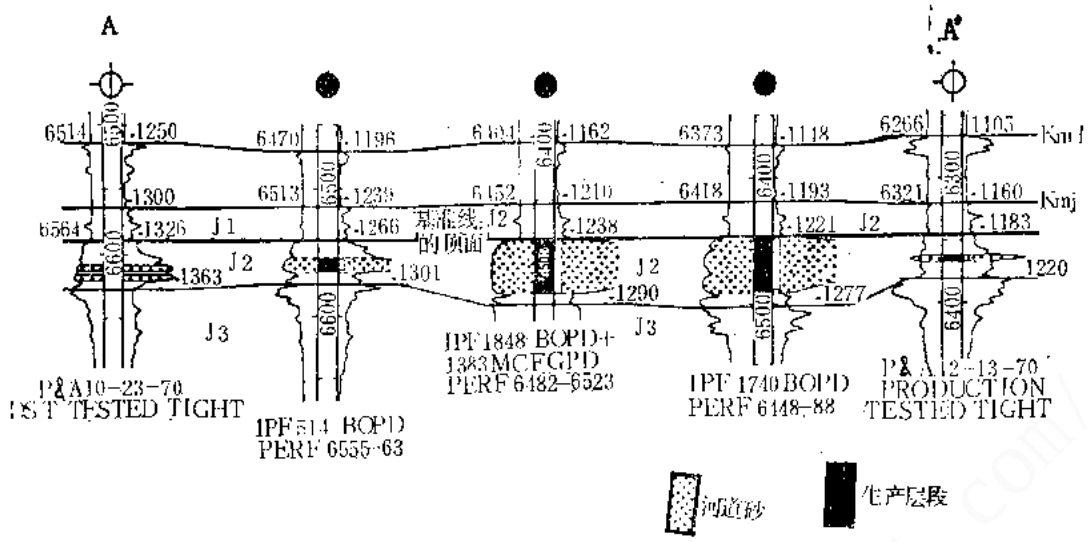


图 8.40　皮奥里亚油田的东西向地层横剖面A—A'，该剖面穿过产油的J_2河道砂岩。剖面线的位置示下图8.39（据Ecker，1971）

参考文献

（有关三角洲和共生环境的书或专刊）

Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., no. 8, August, 1971, (special issue on deltas and petroleum): v. 55.

Bernard, H. A., Major, C. F., Parrott, B. S., and LeBlanc, R. J., Sr., 1970, Recent sediments of southeast Texas: Texas Bur. Econ. Geol. Guidebook no. 11, Austin, Texas.

Dikkers, A. J. (ed.), Deltaic deposits and petroleum: Proceedings Panel 4, 9th World Petroleum Congress, Tokyo, May 11-16, 1975 (in press).

*Fisher, W.L.,et al (eds.) 1969, Delta Systems in the Exploration for Oil and Gas - A Research Colloquim, Bur. of Econ. Geol., The Univ. of Texas, Austin, Texas, 78 p. 110 illustrations, 24 p. selected references.

Geological Society of America, Carboniferous of the Southeastern United States, Sp. Paper 148.

Meyerhoff, A. A. (ed.), 1968, Geology of Natural Gas in south Louisiana: in Beebe, B. W. and Curtis, B. (eds.), Natural Gases of North America, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 9, p. 376-581.

*Morgan, J. P., (ed.), 1970, Deltaic sedimentation, modern and ancient: Soc. Econ. Paleo. Min. Sp. Pub. no. 15, 312 p.

Shirley, M. A., (ed.), 1966, Deltas in their geologic framework, Houston Geol. Soc., Houston, Texas. 251 p.

第四纪三角洲环境

*Allen, J. R. L., 1965, Late Quaternary Niger delta, and adjacent areas: sedimentary environments and lithofacies: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 49, p. 547-600.

Bates, C. C., 1953, Rational theory of delta formation: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 37, p. 2119-2162.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Born, S. M., 1972, Late Quaternary history deltaic sedimentation and mudlump formation at Pyramid Lake, Nevada: Desert Research Inst., Univ. of Nevada Sp. Pub., 97 p.

Coleman, J. M., 1966, Ecological changes in a massive fresh-water clay sequence: Trans. Gulf. Coast. Assoc. Geol. Soc., v. 15, p. 159-174.

_____, 1969, Brahmaputra River: channel processes and sedimentation: Sedimentary Geology, v. 3, p. 131-237.

Coleman, J. M. and Gagliano, S. M., 1964, Cyclic sedimentation in the Mississippi River deltaic plain: Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans., v. 14, p. 67-80.

Coleman, J. M. and Gagliano, S. M., 1965, Sedimentary structures: Mississippi River deltaic plain: Soc. Econ. Paleo. and Min., Sp. Pub. no. 12, p. 133-148.

Coleman, J. M., Gagliano, S. M. and Smith, W. G., 1970, Sedimentation in a Malaysian high tide tropical delta: Soc. Econ. Paleo. Min. Sp. Pub. 15, p. 185-197.

Coleman, J. M., Gagliano, S. M. and Webb, J. E., 1964, Minor sedimentary structures in a prograding distributary: Marine Geol., v. 1, p. 240-258.

Dunbar, C. O. and Rodgers, J., 1957, Principles of stratigraphy, John Wiley and Sons.

Fisk, H. N., 1961, Barfinger sands of the Mississippi delta: in Osmond, J. C. and Peterson, J. A., (eds.) Geometry of Sandstone Bodies. Amer. Assoc. Petrol. Geol., p. 29-52.

Fisk, H. N., et al., 1954, Sedimentary framework of the modern Mississippi delta: Jour. Sed. Petrology, v. 24, p. 76-99.

Frazier, D. E., 1967, Recent deltaic deposits of the Mississippi River, their development and chronology: Gulf Coast Assoc. Geol. Socs. Trans., v. 17, p. 287-315.

Gagliano, S. M. and McIntire, W. G., 1968, Delta components in Recent and ancient deltaic sedimentation: A comparison: Louisiana State Univ. Coastal Studies Inst.

Galloway, W. E. and Brown, L. F., Jr., 1972, Depositional systems and shelf-slope relationships in upper Pennsylvanian rocks, north central Texas, Texas Bur. of Econ. Geol. Rep. Inv. 75, 62 p.

*Gould, H. R., 1970, The Mississippi delta complex: Soc. Econ. Paleo. and Min., Sp. Pub. 15, p. 3-30.

Ho, C. and Coleman, J. M., 1969, Consolidation and cementation of Recent sediments in the Atchafalaya Basin: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 80, no. 2, p. 183-191.

Khclief, M. M., Hilmy, E., and Shahat, A., 1969, Geological and mineralogical studies of some sand deposits in the Nile Delta, U. A. R.: Jour. Sedimentary Petrology, v. 39, p. 1520-1530.

Kolb, C. R. and Van Lopik, J. R., 1966, Depositional environments of the Mississippi River deltaic plain - Southeastern Louisiana: in Shirley, M. A. (ed.), Deltas in their Geologic Framework, Houston Geol. Soc., p. 17-61.

LeBlanc, R. J., 1972, Geometry of sandstone reservoirs: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 18, p. 133-177, (also in AAPG Reprint series no. 7).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

MacKay, J. R., 1963, The MacKenzie Delta area, N. W. T.: Ottowa, Canada Geol. Survey, Geog. Branch, Memoir 3, 202 p.

Mathews, W. H. and Shepard, F. P., 1962, Sedimentation of Fraser River delta, British Columbia: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 46, no. 8, p. 1416-1443.

Mockel, L. D., 1972, Anatomy of distributary channel - fill deposits in Recent mud deltas (abs.): Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 56, p. 639.

Moore, G. T., and Asquith, D. O., 1971, Delta: Term and Concept: Bull. Geol. Soc. Amer., v. 82, p. 2563-2568.

*Morgan, J. P., 1970a, Deltas--A resume: Jour. Geol. Educ., v. 18, no. 3, p. 107-117.

_____, 1970b, Depositional processes and products in the deltaic environment: Soc. Econ. Paleo. and Min. Sp. Pub. 15, p. 31-47.

Morgan, J. P., Coleman, J. M. and Gagliano, S. M., 1968, Mudlumps: diapiric structures in Mississippi delta sediments: in Diapirism and diapirs, Memoir no. 8, Amer. Assoc, Petrol. Geol., Tulsa, Okla., p. 145-161.

*Comkens, E., 1974, Lithofacies relations in the Late Quaternary Niger delta complex., Sedimentology, v. 21, p. 195-222.

Scruton, P. C., 1960, Delta building and the deltaic sequence: in Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico, 1951-1958, Amer. Assoc. of Petrol. Geol., Tulsa, Okla., p. 82-102.

Shepard, F. P., 1956, Marginal sediments of the Mississippi delta: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 40, p. 2537-2623.

_____, 1960, Mississippi delta: marginal environments, sediments and growth: in Shepard, et al. (eds.), Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico: Amer. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, Okla.

_____, 1973, Sea floor off Magdalena Delta and Santa Marta area, Colombia: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 84, p. 1955-1972.

Short, K. C. and Stäuble, A. J., 1967, Outline of geology of Niger delta: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 51, p. 761-779.

Van Andel, T. J., 1967, The Orinoco Delta: Jour. Sed. Petrol., v. 37, p. 297-310.

Wright, L. D. and Coleman, J. M., 1973, Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 57, no. 2, p. 370-398.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Asquith, D. O., 1970, Depositional topography and major marine environments, Late Cretaceous, Wyoming: Amer. Assoc. Petrol Geol. Bull., v. 54, no. 7, p. 1184-1224.

Bruce, C. F. and Parker, E. R., 1975, Structural features and hydrocarbon deposits in the MacKenzie Delta: 9th World Petroleum Congress Proc., Panel 4, Tokyo.

Carrigy, M. A., 1966, Lithology of the Athabaska Oil Sands: Res. Council of Alberta Bull. 18, p. 1-29.

Curtis, D. M., 1970, Miocene deltaic sedimentation, Louisiana Gulf Coast: Soc. Econ. Paleo. and Min. Sp. Pub. 15, p. 293-308.

Davis, T. L., 1974, Seismic investigation of Late Cretaceous faulting along east flank of the central Front Range, Colorado: PhD Thesis T-1681, Colorado School of Mines, (unpub.).

Ecker, G. D., Jr., 1971, Peoria Field, Arapahoe County, Colorado: The Mountain Geologist, v. 8, no. 3, p. 141-150.

Ferm, J. C., 1974, Carboniferous environmental models in eastern United States and their significance: Geol. Soc. Amer. Sp. Paper 143, p. 79-95; Selected Bibliography, p. 337-355.

Ferm, J. C. and Williams, E. G., 1963, Model for cyclic sedimentation in the Appalachian Pennsylvanian (abs.): Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 47, no. 2, p. 356.

Fisher, W. L. and McGowan, J. H., 1969, Depositional systems in the Wilcox Group (Eocene) of Texas and their relationship to the occurrence of oil and gas: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 53, p. 30-54.

Frey, M. G. and Grimes, W. H., 1970, Bay Marchand--Timbalier--Caillou Island Salt Complex, Louisiana: in Halbouty, M. T. (ed.), Geology of Giant Petroleum Fields, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 14, p. 277-291.

Gill, J. R., 1973, Stratigraphy and geologic history of the Montana group and equivalent rocks, Montana, Wyoming and North and South Dakota: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 776, 37 p.

Gill, J. R. and Cobban, W. A., 1966, The Red Bird section of the Upper Cretaceous Pierre Shale in Wyoming: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 393-A, 73 p.

Gill, J. R., Cobban, W. A. and Schultz, L. G., 1972, Stratigraphy and composition of the Sharon Springs, Member of the Pierre Shale in Western Kansas: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 728, 50 p.

Hubert, J., et al., 1972, Sedimentology of Upper Cretaceous Cody-Parkman delta, southwestern Powder River Basin, Wyoming: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 83, p. 1649-1670

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

MacMillan, L. T., 1974, Stratigraphy of the South Platte Formation (Lower Cretaceous), Morrison--Weaver Gulch area, Jefferson County, Colorado: Colorado School of Mines, MSc Thesis T-1626, (unpub.), 86 p.

Magnier, Ph., Oki, T. and Kartaadiputra, L. W., 1975, The Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia: 9th World Petroleum Congress Proc., Panel 4, Tokyo.

McBride, E. F., 1974, Significance of color in red, green, purple, olive, brown and gray beds of Difunta group, Northeastern Mexico· Jour. Sed. Petrology, v. 44, no. 3, p. 760-773.

*McGregor, A. A., and Biggs, C. A., 1968, Bell Creek Field, Montana: a rich stratigraphic trap: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 52, no. 10, p. 1869-1887.

Ovanesov,G.P., et al.,1975, Palaeodeltaic sediments and methods of petroleum exploration in the U. S. S. R.: 9th World Petroleum Congress Proc., Panel 4, Tokyo.

Rainwater, E. H., 1966, Geologic significance of deltas: in Shirley, M. L., (ed.), Deltas in their Geologic Framework, Houston Geol. Soc., Houston, Texas, p. 1-15.

Thompson, G. G., 1972, Palynologic correlation and environmental analysis within the marine Mancos Shale of southwestern Colorado, Jour. Sed. Petrology, v. 42, no. 2, p. 287.

Van de Graaff, F. R., 1972, Fluvial-deltaic facies of the Castlegate Sandstone (Cretaceous), east central Utah, Jour. Sed. Petrology, v. 42, no. 3, p. 558.

Weber, K. J. and Daukoru, R., 1975, Petroleum Geology of the Niger Delta: 9th World Petroleum Congress Proc., Panel 4, Tokyo.

Weimer, R. J., 1960, Upper Cretaceous stratigraphy, Rocky Mountain area: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 44, no. 1, p. 1-20.

_____, 1970, Late Cretaceous deltas, Rocky Mountain region: Soc. Econ. Paleo. and Min. Sp. Pub. 15, p. 270-292.

_____, 1971, Deltas and petroleum: Foreword: Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 55, no. 8. p. 1135-1136.

*_____, 1973, A guide to uppermost Cretaceous stratigraphy, central Front Range, Colorado: deltaic sedimentation, growth faulting and early Laramide crustal movement: The Mountain Geologist, v. 10, no. 3, p. 53-97.

Weimer, R. J. and Land, C. B., 1972, Field guide to Dakota Group (Cretaceous) stratigraphy, Golden-Morrison area, Colorado: The Mountain Geologist, v. 9, no. 2-3, p. 241-267.

Weimer, R. J. and Land, C. B., 1975, Maestrichtian deltaic and interdeltaic sedimentation, Rocky Mountain Region: in Special volume on Cretaceous deposits, Geol. Assoc. Canada, Sp. Paper (in press).

Weimer, R. J., Land, C. B. and MacMillan, L. T., 1974, A stratigraphic model for distributary channels, (J) and muddy sandstones, Rocky Mountain Region (abs.): Amer. Assoc. Petrol. Geol. Ann. Meetings Abstracts, v. 1, p. 97.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第九章　障壁岛（滨线）和共生环境（提纲）

（一）障壁岛体系的组成部分和术语（图9.1～9.4）

1. 海滩（后滨，前滨），临滨，沙丘，海滩脊，滩槽，障壁坪（冲溢扇），入潮口（或港湾）。

2. 术语问题

远滨沙坝对障壁沙坝

基准滨线

大洋对泻湖

3. 上升滨线和下沉滨线

（二）控制滨线砂（包括临滨）发育、改造和侧向变化的作用

1. 临滨带内的浪生水流（有效浪基面）。

2. 潮生和浪生水流——海滩、入潮口、潮道。

3. 叠加在正常作用上的风暴效应。

4. 沿岸漂流——来自物源区的砂沿滨岸带运动，这些物源区可能是：（1）河流，（2）滨线一带的原有沉积物，（3）下沉时期对古代海底沉积物的再改造。

5. 风成海岸沙丘

6. 滩脊和滩槽地形中潜水面的波动；氧化作用；植物根系。

7. 生物作用：形成生物成因构造的生物对能量、沉积速度和食物供应情况的响应。

8. 在一般的滨线带内，沉积速度最高；向陆和向海，沉积速度均较慢；比较起来，侧向加积速度高于垂向堆积速度；高能沉积进积在低能沉积上，因此形成向上变粗的层序（图9.5）（但在潮道地区内有向上变细的层序）。

9. 由于砂添加在海滩带内，障壁岛（滨线）向海方向增生（形成海滩脊或滨沼沙岭），也在沿岸漂流方向上增生。

（三）成因单位（相——岩石共生关系）

1. 障壁岛—泻湖序列（图9.5，9.6～9.8）。实例是得克萨斯州沿岸中部的加尔沃斯顿岛。请参见表示构造和结构变化的垂向剖面（图9.5）。

在入潮口切割障壁岛的地方所形成的潮道—潮汐三角洲序列。

滨沼沙岭平原——由于砂和泥交替地添加到海滩区，滨线向海推进。

2. 障壁岛—潮道（港湾或海峡）——潮坪—盐沼序列（图9.9～9.11）。实例有：佐治亚州海岸中部、萨佩洛岛地区、北海—荷兰和西德。

垂向剖面除了具有较大的潮道外，均类似于上述的1（参见图10.21，据Land，1972）。

3. 滨线沉积中相共生关系的其它实例在第十章（三角洲与三角洲间环境）中介绍。

4. 障壁岛砂体的特征（见表7.4）。

（四）构造作用和沉积作用

1. 与下沉速度（R_s）比较的沉积速度（R_d）控制滨线沉积的厚度。

（1）$R_d/R_s > 1$是进积作用（海退），具有20～40英尺厚的、长形线状横移砂体；稳定的

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

构造背景。砂体的厚度受有效浪基面的控制；长度受滨线地貌的控制；宽度受砂的供应情况、陆架水深及进积作用的延续时间所控制。

（2）$R_d/R_s=1$形成纵叠砂体；由于全盆地的下沉或局部的生长断层，许多线状**成因单位**在垂向上堆叠起来。

（3）$R_d/R_s<1$形成相隔较远的、窄而孤立的线状沙坝，厚度为20～30英尺，堆积于海岸平原沉积上。这种沙坝并不象海退沉积〔上述的（1）〕那样显出垂向上的岩性分异。

（五）障壁岛（滨线）层序在石油勘探中的重要性：

1．重要的地层圈闭，因为长形线状的孔隙性和渗透性沙坝砂可能被不可渗透的页岩和粉砂岩所封闭；相带可以预测。

2．被海相页岩迅速埋藏和上覆的滨线砂对石油似乎最有利（总的海侵旋回中滨线暂时停止不动）。

3．在总的进积旋回中，滨线砂不可能发育早期上倾封闭，所以早期形成的天然气逸失到大气中；在埋藏较深以后，圈闭也不可能靠近生油层以便于油气的运移和聚集。

（六）障壁岛（滨线）层序在煤矿和铀矿勘探中的重要性：

1．煤通常出现在障壁岛背后并以其为边缘的海岸平原层序内。识别地质记录中的障壁沙坝可指导煤炭沉积区的预测（环境是草沼或海岸树沼）；滩槽沉积可能形成较小的透镜状煤层；在海退旋回（海面降低）中，废弃障壁可能形成地形脊，控制着可能在以前的泻湖区内发育起来的水系和成煤沼泽。实例是佐治亚州南部奥克菲诺奇沼泽。

2．障壁沙坝的上部一般具有很高的孔隙度和渗透率，因此是铀矿的良好母岩。但是，砂中的碎屑碳质含量一般较低，这是由于氧化作用或生物吸收的缘故。一般说来，对成铀不是一个有利背景。

（七）古代产油层序的实例：

1．怀俄明州帕特里克德罗油田上白垩统（75×10^6桶），图9.12～9.26。

2．蒙大拿州钟溪油田下白垩统（15×10^7桶，蒙大拿州最大的第二个油田），图9.27～9.32。

（八）讨论会期间可用于研究的障壁沙坝—海滩砂岩的实例：

露头：怀特罗克斯上白垩统福克斯山砂岩；

岩芯：怀俄明州帕特里克德罗油田上白垩统阿尔蒙德组；怀俄明州曼宁油田上白垩统帕克曼砂岩；蒙大拿州钟溪油田下白垩统穆迪砂岩。

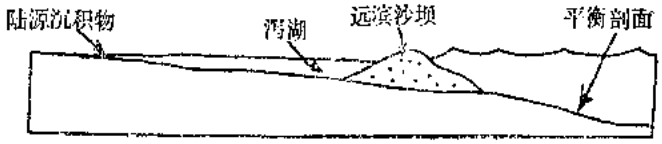


图 9.1　低海岸海滨带特征的横剖面

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

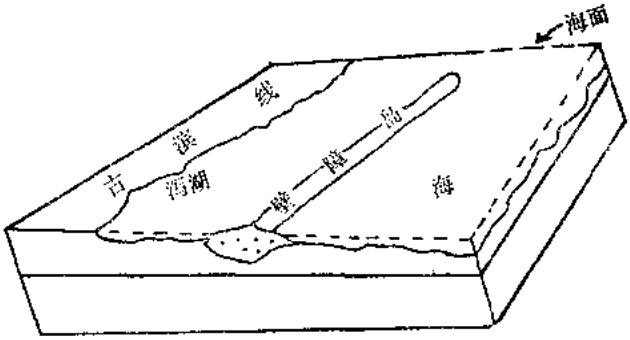


图 9.2　具有障壁岛的海滨带立体图

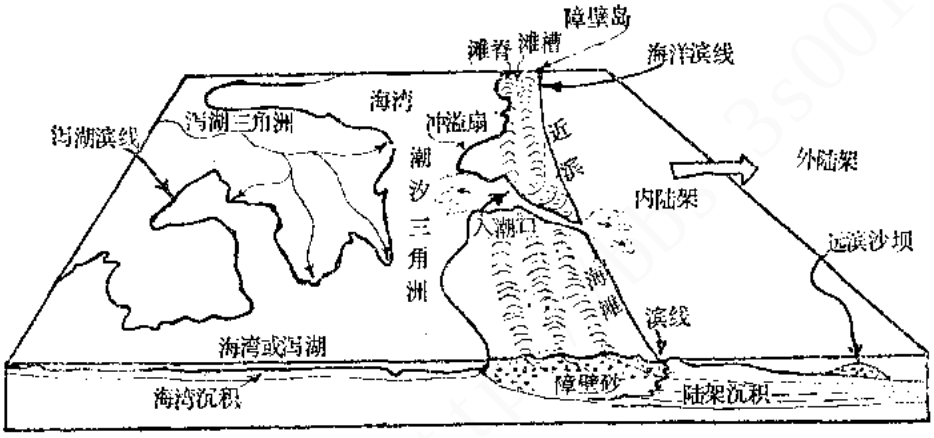


图 9.3　障壁岛体系的组成部分和术语

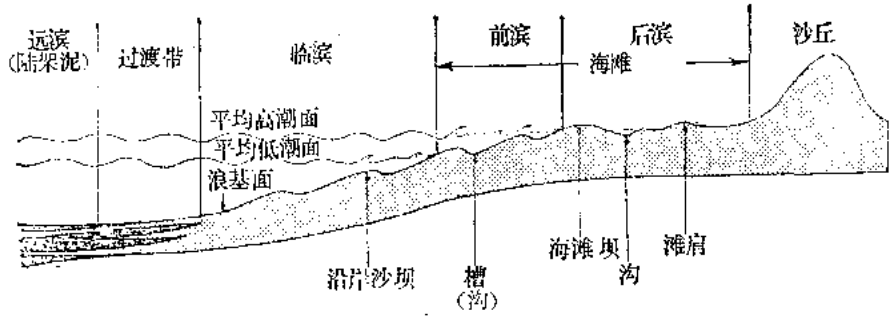


图 9.4　海滩剖面中各种地貌单元的术语示意图，表示海滩的各种地貌特征以及向陆架泥的过渡（据Reineck和Singh，1973；术语主要根据Emery，1960a）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

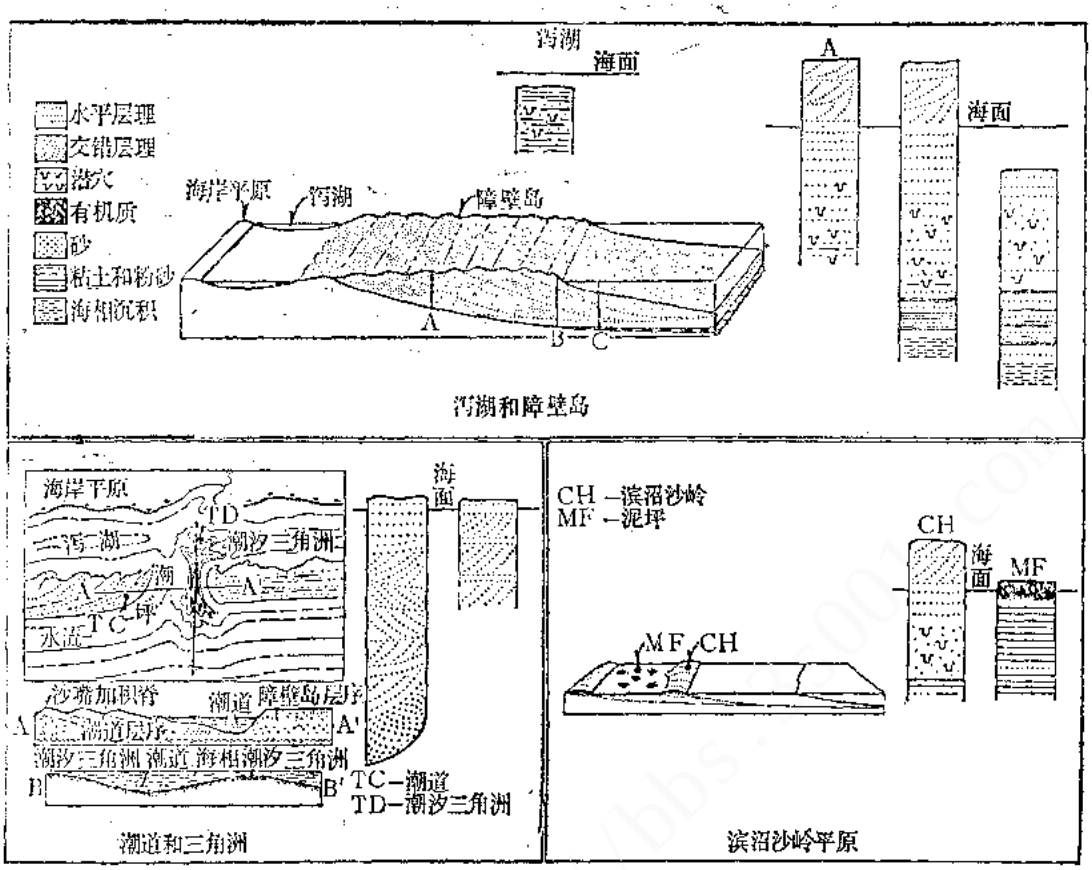


图9.5 滨沼沙岭平原和障壁岛复合体的典型的沉积序列，为海岸—三角洲间的碎屑沉积模式（据Le Blanc，1972）

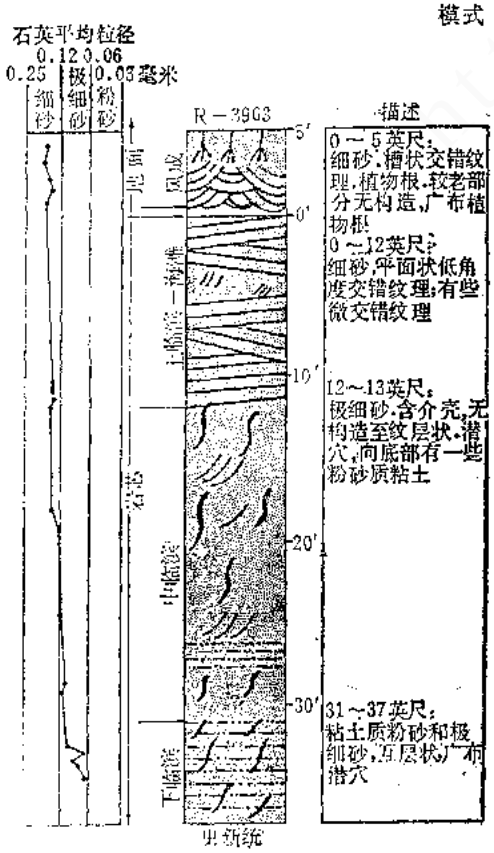


图 9.6 在加尔沃斯顿岛R-3963钻孔岩芯中典型障壁岛沉积物的沉积构造、结构及岩性。风成沉积物未取芯；为了使垂向环境序列完整，在靠近原来的取芯井位处测量了风成沉积剖面

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

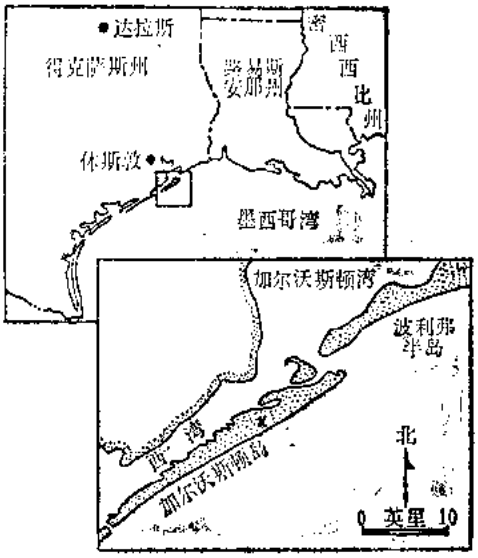


图9.7 墨西哥湾西北部索引图，表示加尔沃斯顿岛的位置（图中的×表示R-3963取芯井的位置）(据Davis、Ethridge和Berg，1971)

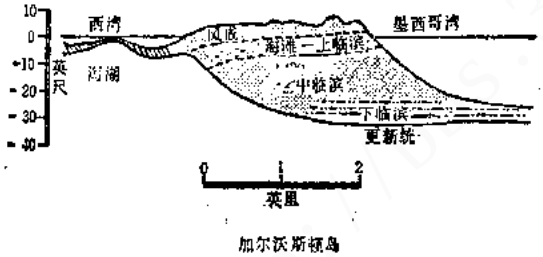


图 9.8 得克萨斯州加尔沃斯顿岛的横剖面图，表示障壁岛复合体的主要环境（据Davis、Ethridge和Berg，1971；根据Bernard等，1962，204页，图12修改）

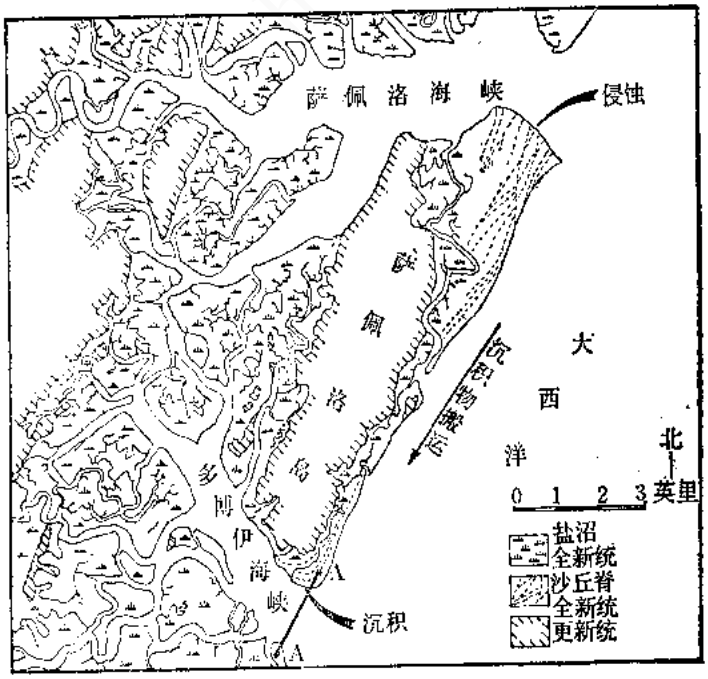


图9.9 佐治亚州萨佩洛岛地区环境示意图

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

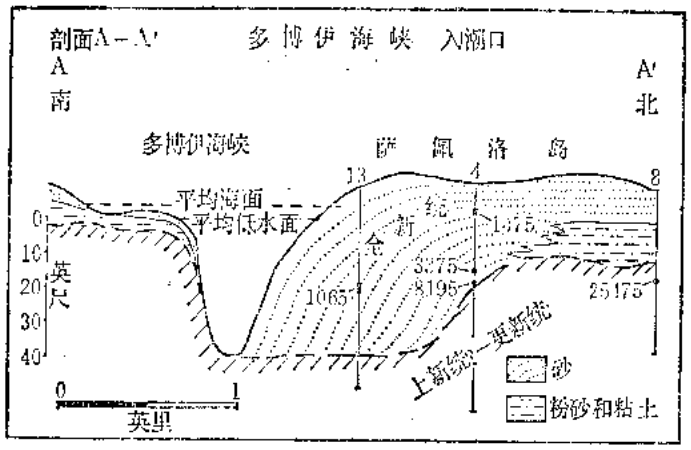


图9.10 佐治亚州多博伊海峡入湖口的横剖面；垂直比例尺放大100倍。剖面位置和图例参见图9.9（据Hoyt和Henry，1967）

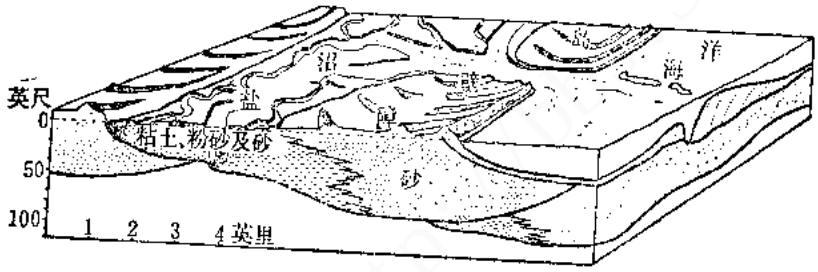


图9.11 迁移障壁岛的理想图（据Hoyt和Henry，1967）

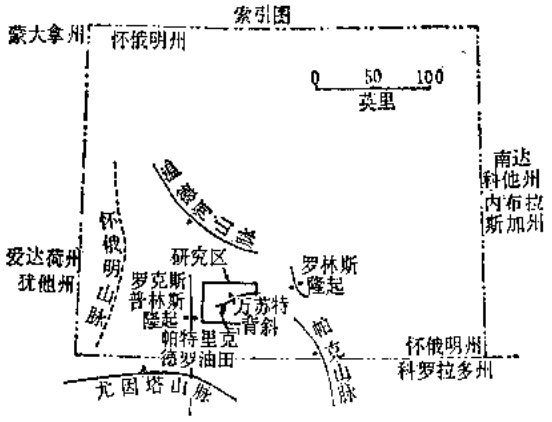


图9.12 怀俄明州帕特里克德罗油田以及与其它构造要素有关的研究区的位置索位图（据Weimer，1966）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

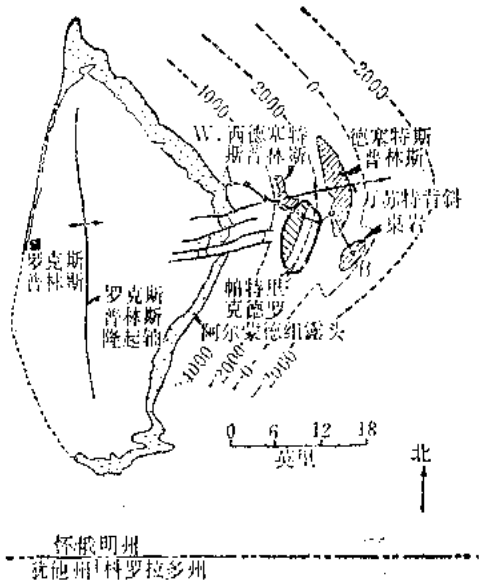


图 9.13 区域构造等高线图，表示主要油田产自万苏特背斜上的阿尔蒙德组。指出了构造横剖面(图9.14)和电测对比剖面A-B（图9.23）的位置。虚线是构造等高线，单位为英尺；构造基准面是阿尔蒙德组顶面。本区的地面高程为6500～7500英尺。带点区是罗克斯普林斯隆起翼部上阿尔蒙德组的露头。画斜线的是产气区。帕特里克德罗油田内未画线的是产油田（据Weimer，1966）

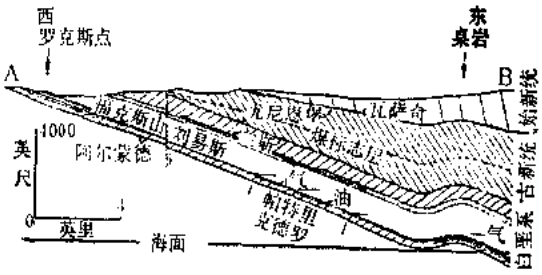


图 9.14 从阿尔蒙德组的地面露头至桌岩油田的东西向构造横剖面A-B，指出了地层变化和帕特里克德罗油田的位置，剖面从A点正西到B点，见图 9.13和9.16（据Weimer，1966）

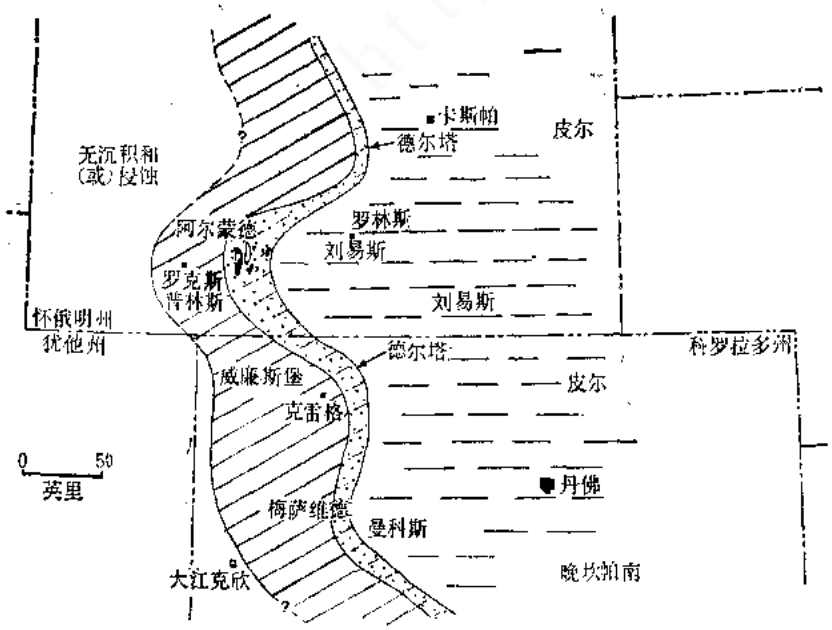


图 9.15 总的区域岩相图，表示万苏特背斜油田和邻区阿尔蒙德组上部的对比。环境解释：画水平线的为浅海相页岩和粉砂岩；画斜线的为海岸平原沉积，为不渗透的含煤粘土岩、粉砂岩、砂岩；打点并画斜线的为孔隙性和渗透性障壁沙坝砂岩层（滨线）与海岸平原沉积（同上）穿插带。油田：1—帕特里克德罗和西德塞特斯普林斯；2—德塞特斯普林斯；3—桌岩；4—万苏特（据Weimer，1966）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

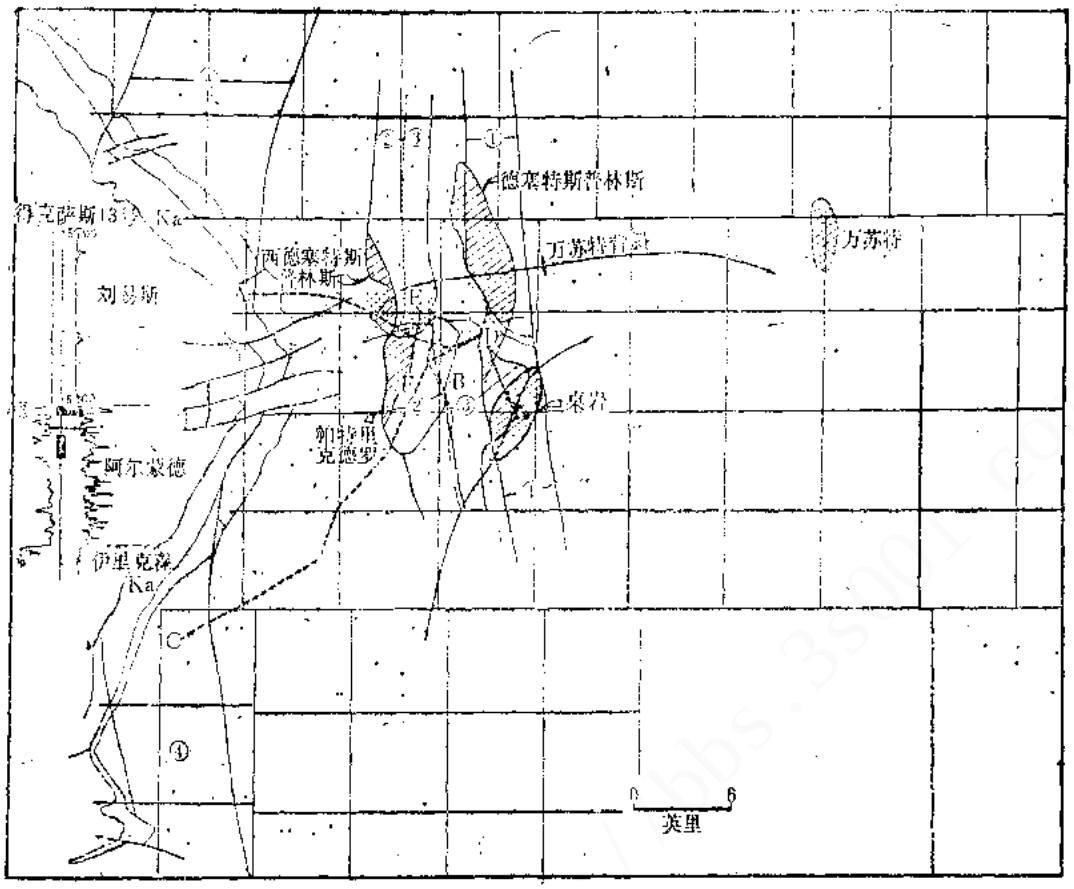


图 9.16　阿尔蒙德组上部100英尺内四个多孔隙的可渗透砂岩带的区域分布图。沙坝砂岩体 1 、 2 、 3 及 4 的地层位置示于图9.17中。（朝特里克德罗产油砂岩层在油田中被称为UA-5。）也表示了桌岩和德塞特斯普林斯地区及地表露头中产油层段孔隙度与渗透率的分布。Ka—阿尔蒙德组的露头；影线表示每个多孔砂岩带中的产气区。1段和4段的不渗透砂岩层在多孔隙的可渗透带东面（参见图9.17）。砂岩体是指障壁沙坝。控制井用黑点表示；生产井未表示。表示了图9.17（C-D剖面）的位置（据Weimer，1966）

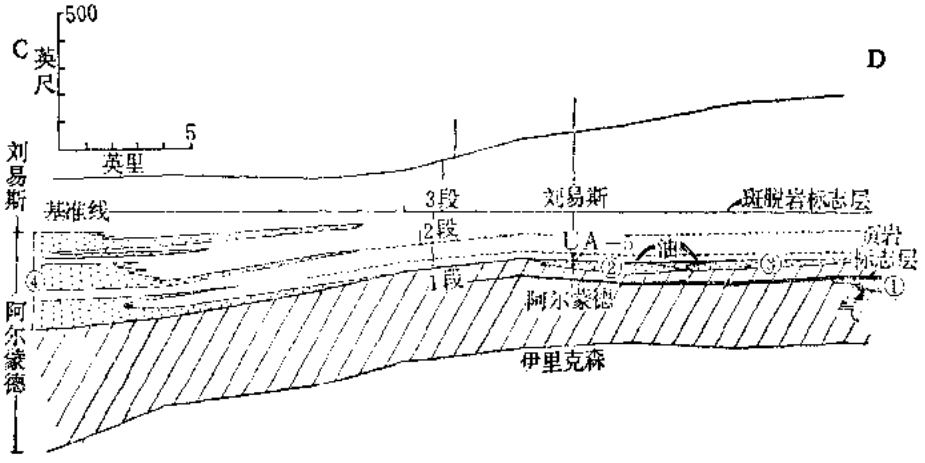


图 9.17　表示阿尔蒙德组上部和刘易斯页岩中时间地层段相变的复原剖面 C-D。也表示了阿尔蒙德组上部推测的障壁沙坝砂岩体 1 、 2 、 3 及 4 的层位。剖面是根据表示井的电测曲线。画斜线的为非海相沉积物；画点的为海相和过渡相砂岩，含一些粉砂岩和页岩；图中部空白区为海相页岩（据Weimer，1966）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

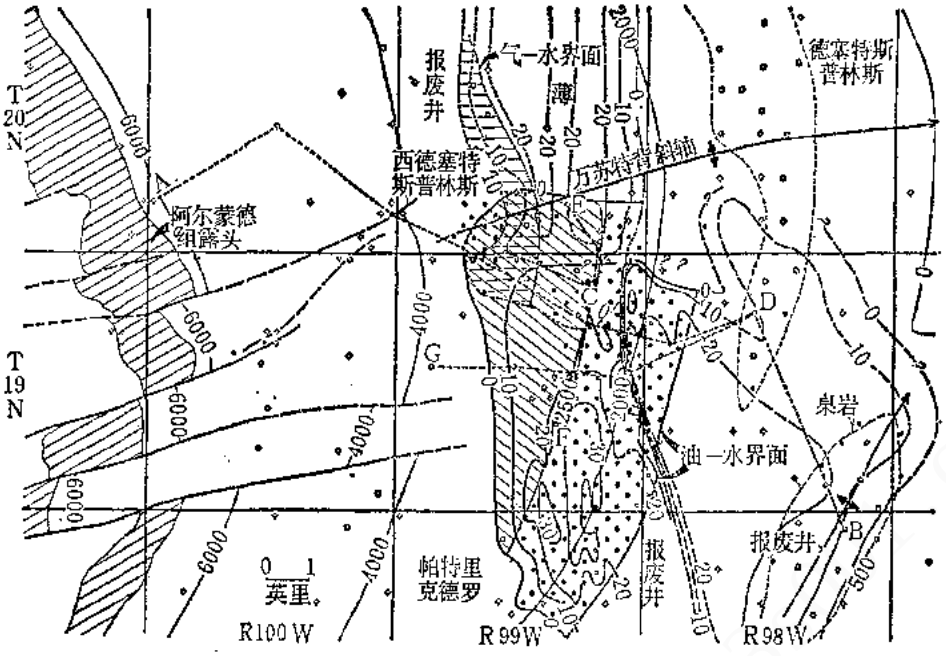


图 9.18　帕特里克德罗（实线）、桌岩（长虚线）和西德塞特斯普林斯（短虚线）地区阿尔蒙德砂岩体最上部（UA-5）的等厚线图。等厚线重叠在以阿尔蒙德组顶面为基准面的构造等高线图上。等厚线间距为10英尺，构造等高线间距为2000英尺，除非另有注明（据Weimer，1966）

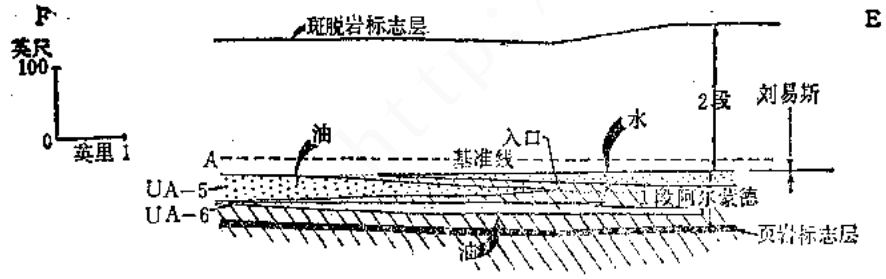


图9.19　根据岩芯和电测曲线画出的南北向复原剖面F-E，表示帕特里克德罗主要产油砂岩（UA-5）向北尖灭，也表示了UA-6产油砂岩的层位。请注意UA-5砂岩层向南加厚以及UA-5和UA-6砂岩层的接触关系。砂岩层接触区见图9.16，剖面位置见图9.16和9.18（据Weimer　1966）

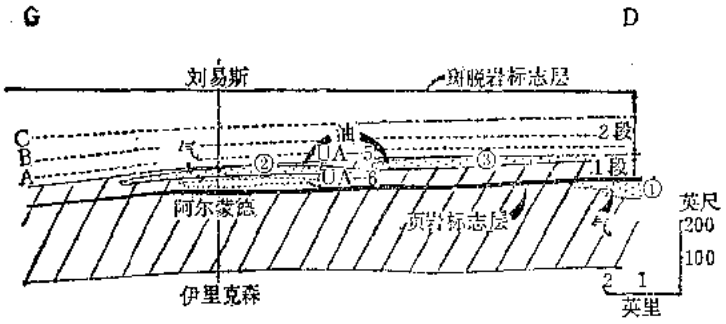


图 9.20　横跨帕特里克德罗油田的东西向复原剖面 G-D，表示产油砂岩的层位。沙坝1—德塞特斯普林斯和桌岩油田的主要产气砂岩带。沙坝2和3（UA-5）—帕特里克德罗油田的产油气砂岩带。也表示了时间地层段1和2。刘易斯页岩内A、B、C虚线是标志层。剖面位置见图9.16和9.18（据Weimer，1966）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

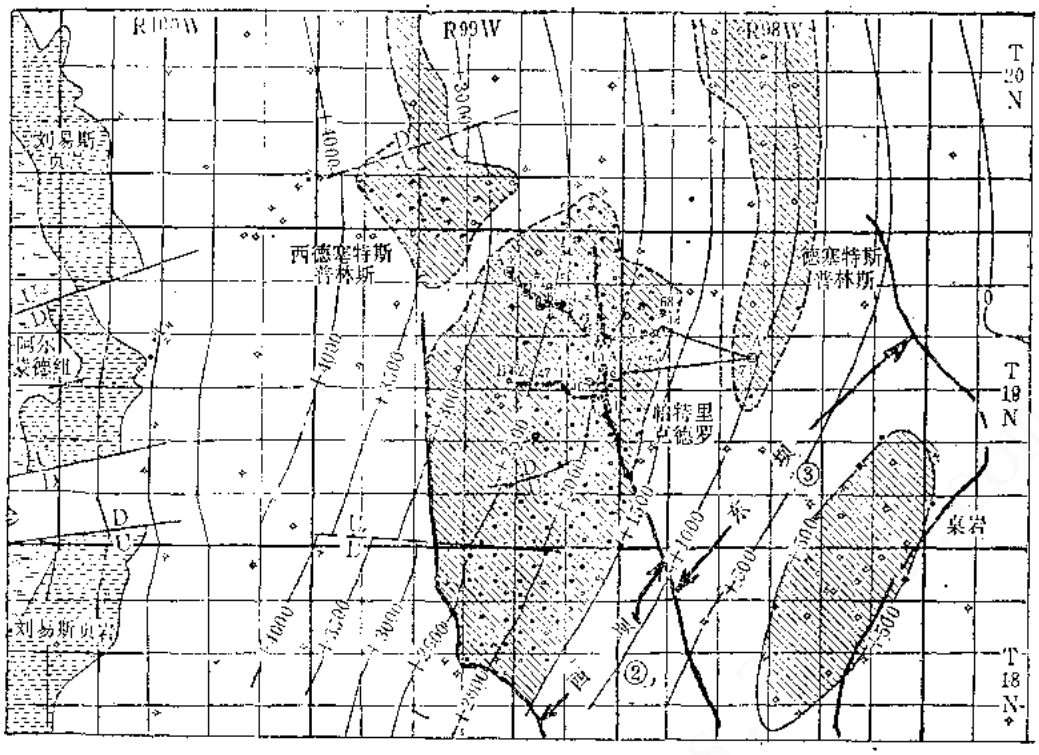


图 9.21　阿尔蒙德组顶面的构造等高线图，画圆圈的井表示用于研究的取芯井位置，数字是剖面图中所涉及到的井号。D—断层下盘；U—断层上盘（据McCubbin和Brady，1969；根据Lawson和Crowson，1961；Mees等，1961；以及May，1961　编绘）

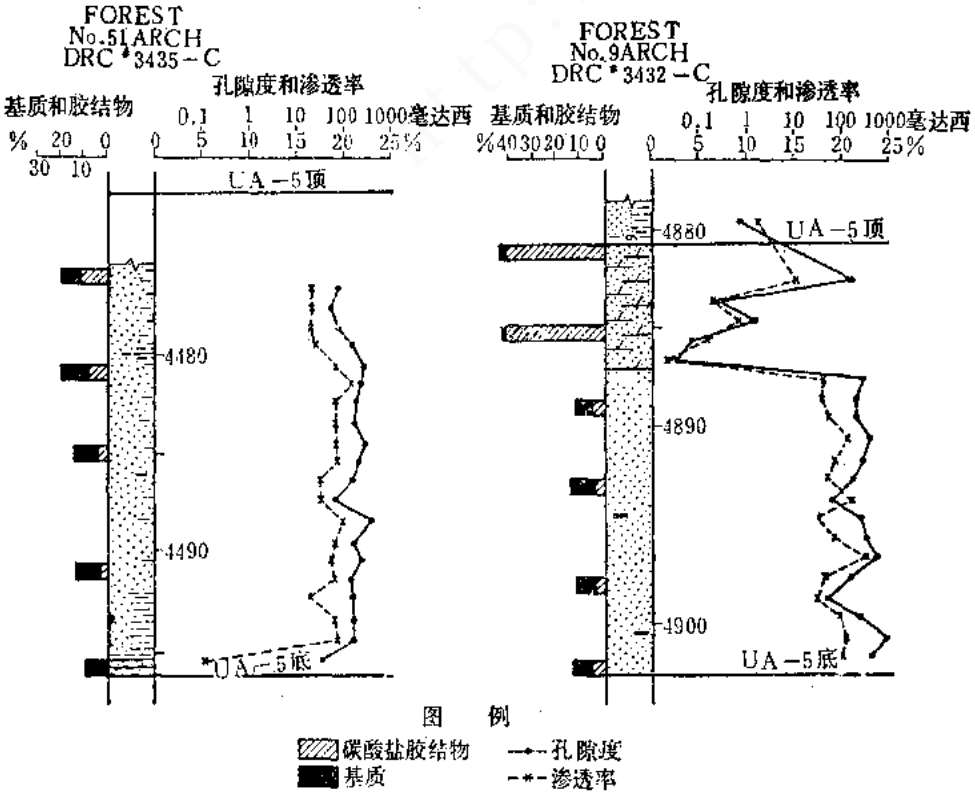


图 9.22　帕特里克德罗UA-5砂岩的孔隙度和渗透率的垂向变化以及与碳酸盐胶结物和基质含量变化的关系。基质和碳酸盐胶结物的丰度根据薄片点计，以全岩（包括孔隙空间）的百分数表示（据McCubbin和Brady，1969）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

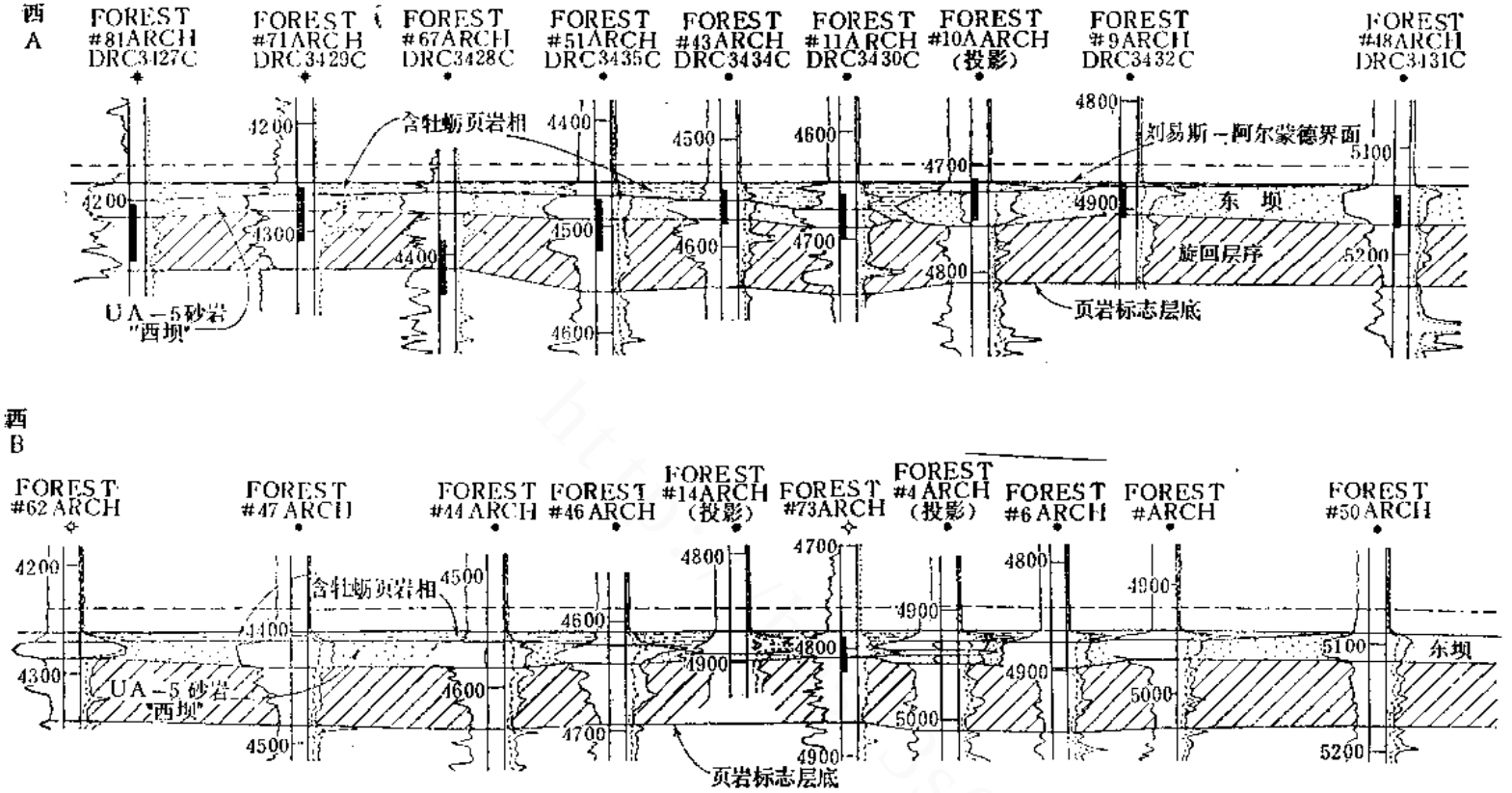


图 9.23 帕特里克德罗地区阿尔蒙德组上部的地层横剖面。地层对比系根据电测曲线和控制井的岩芯。垂直的粗黑线表示控制井的岩芯段。剖面位置见图9.21（据McCubbin和Brady，1969）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

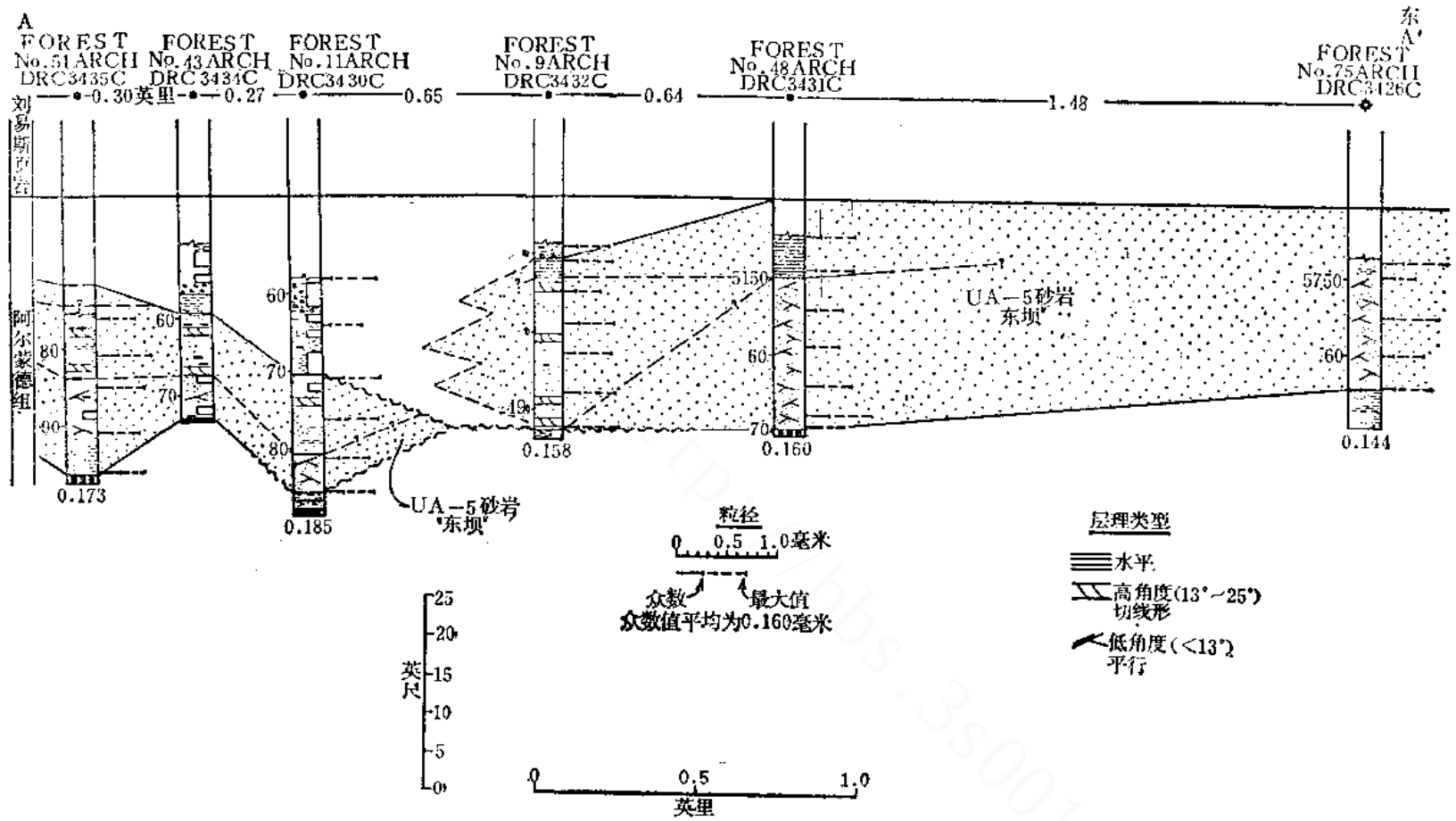


图 9.24 帕特里克德罗地区帕特里克德罗 UA-5 砂岩的粒度分布和层理类型。虚线表示以不同层理类型为特征的带或相的大致界线（据McCubbin和Brady，1969）

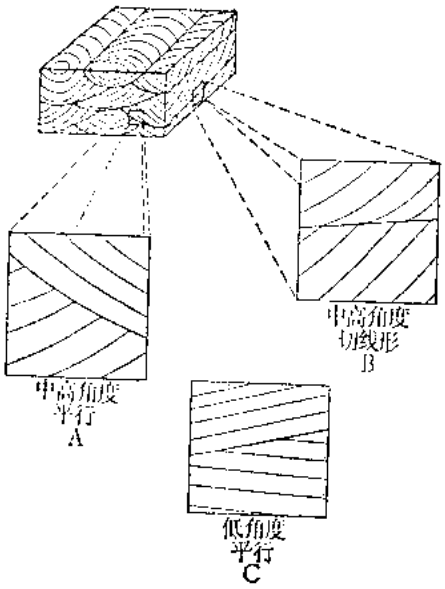


图 9.25　UA-5砂岩内主要的交错层理类型。从垂直于槽轴的剖面（A）和平行于槽轴的剖面（B）上来看，可以认为A和B代表同一种交错层理；立体图表示层组空间形态的复原图。C所示的类型在不同方向的剖面上表现出低角度和平行层组的空间形态未知。这两种交错层理和水平层理在UA-5砂岩内的分布示于图9.24（据McCubbin和Brady，1969）

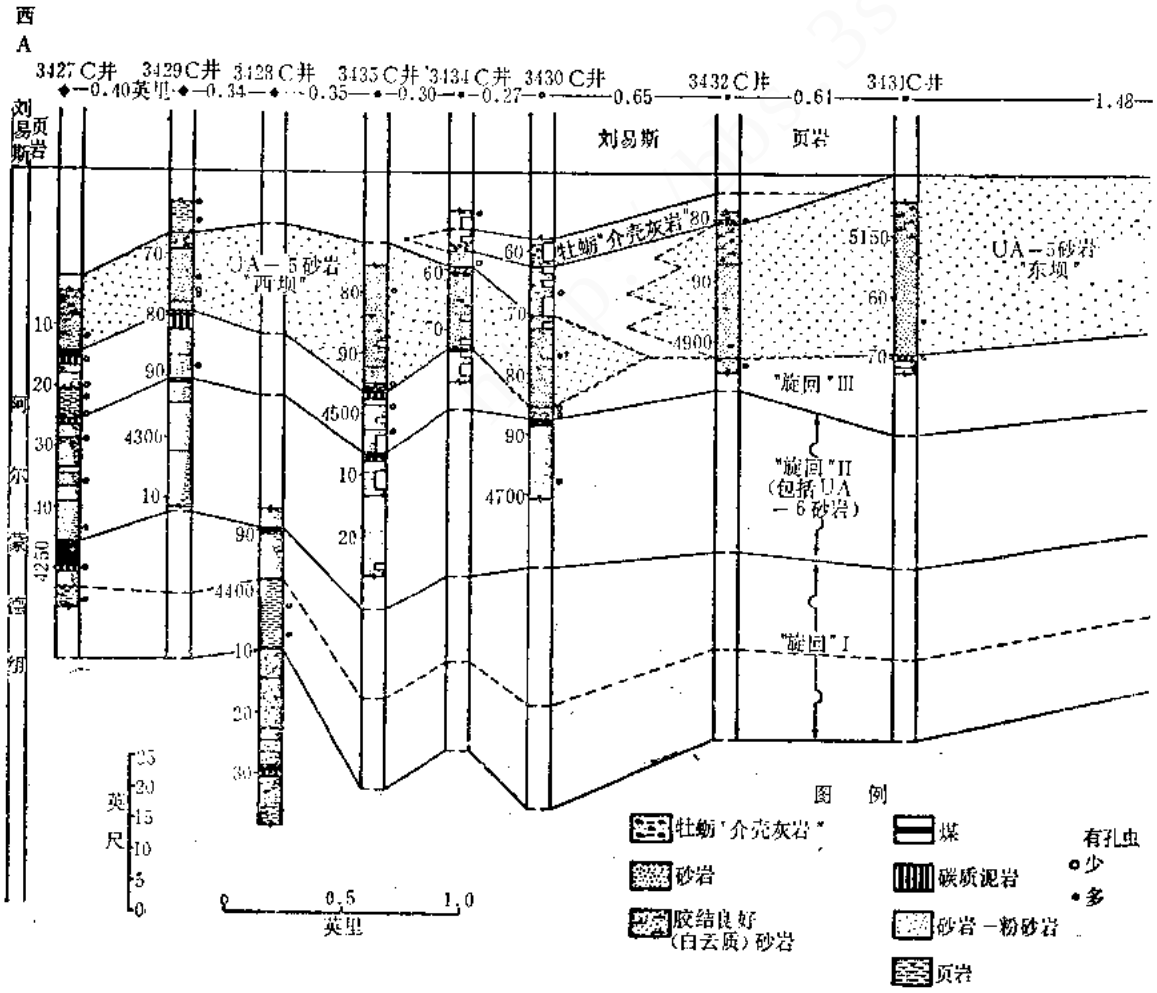


图 9.26　帕特里克德罗地区阿尔蒙德组上部的岩石学和地层学。岩性是根据岩芯研究。有孔虫的分布表示在柱子右边。剖面位置见图9.21（据McCubbin和Brady，1969）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

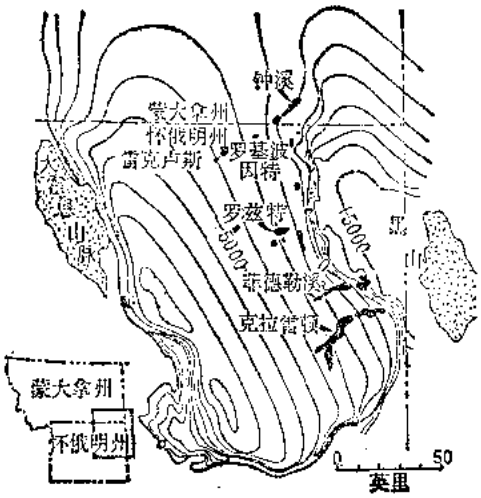


图 9.27 怀俄明州和蒙大拿州波德河盆地的索引图，表示穆迪砂岩内包括钟溪油田的一些主要油田的位置。构造基准面是达科他砂岩的顶面。构造等高线间距为1000英尺（据McGregor和Biggs，1968）

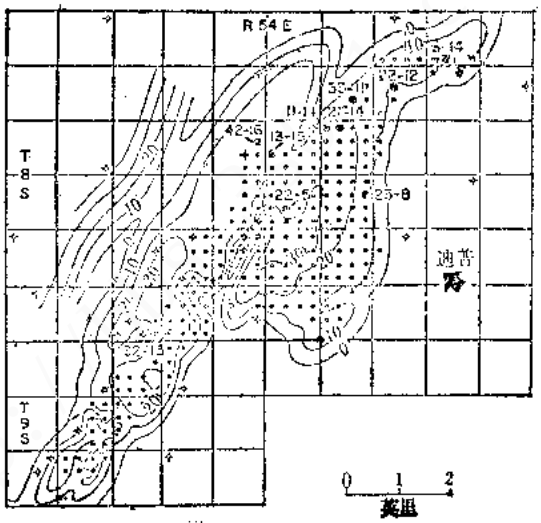


图 9.28 钟溪油田穆迪砂岩的等厚线图，表示穆迪砂岩的总厚度。等厚线间距为10英尺。岩芯样品取自图中有编号的井（根据 McGregor和Biggs，1968，图9修改）

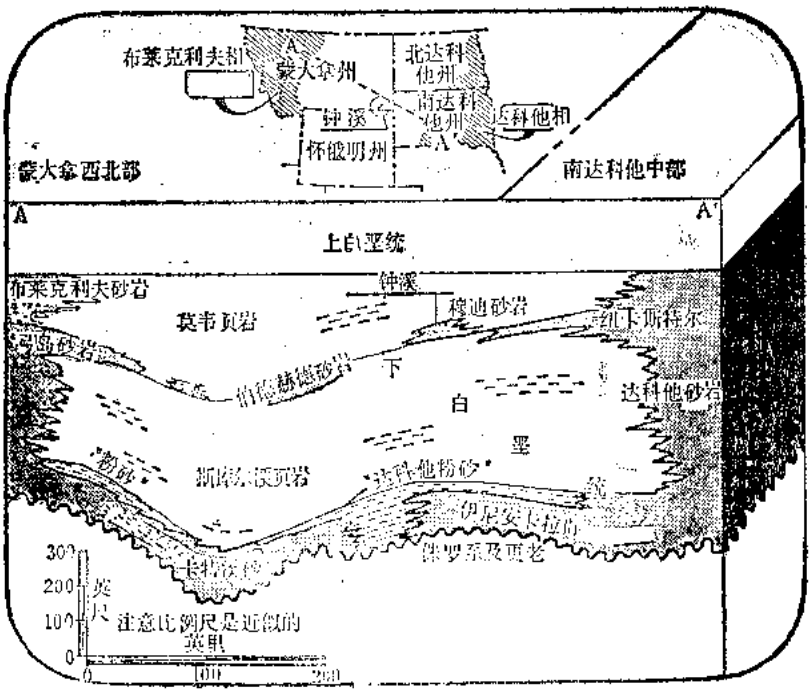


图 9.29 蒙大拿州西北部至南达科他州中部下白垩统岩层的北西—南东向横剖面图（据Mc Gregor和Biggs，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

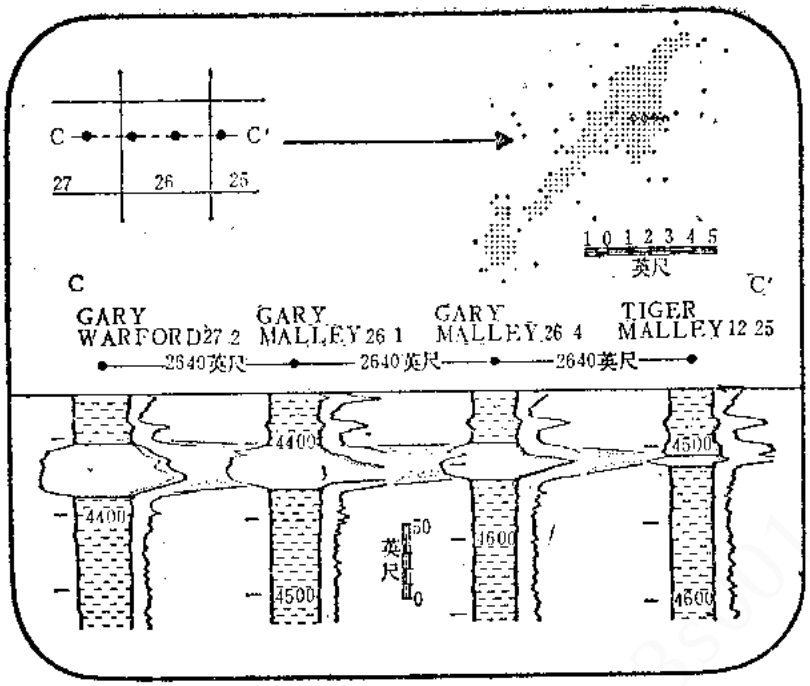


图 9.30　钟溪油田东部穆迪砂岩的东西向横剖面，表示储集岩层向东变薄（据McGregor和Biggs，1968）

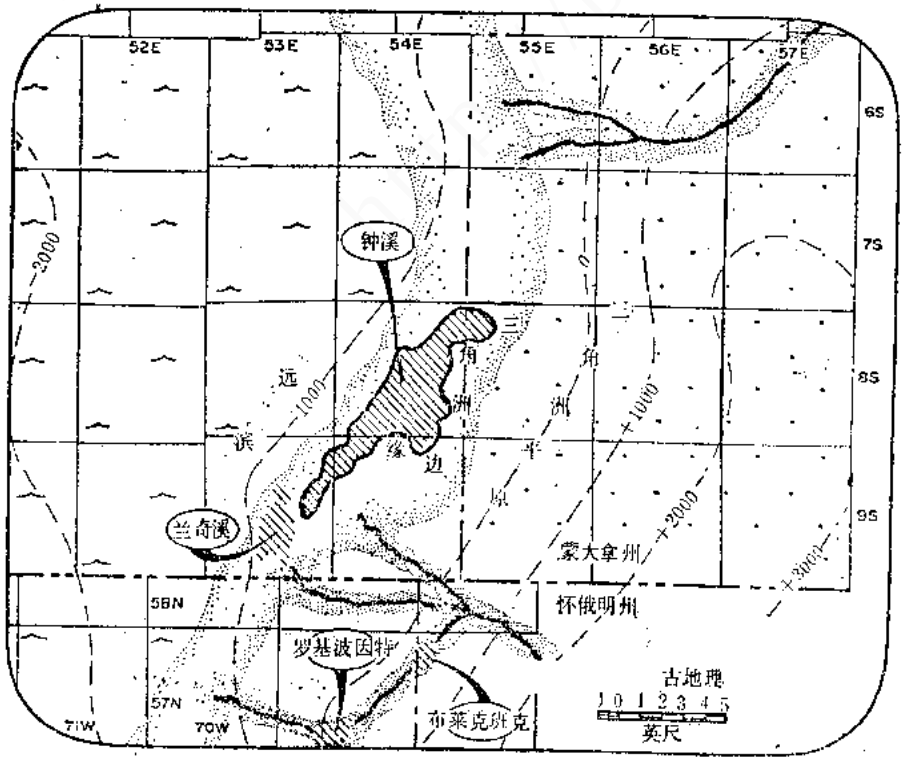


图 9.31　钟溪和罗基波因特地区穆迪砂岩古环境的深度。构造基准面是穆迪砂岩的顶面。等高线间距为1000英尺（据McGregor和Biggs，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

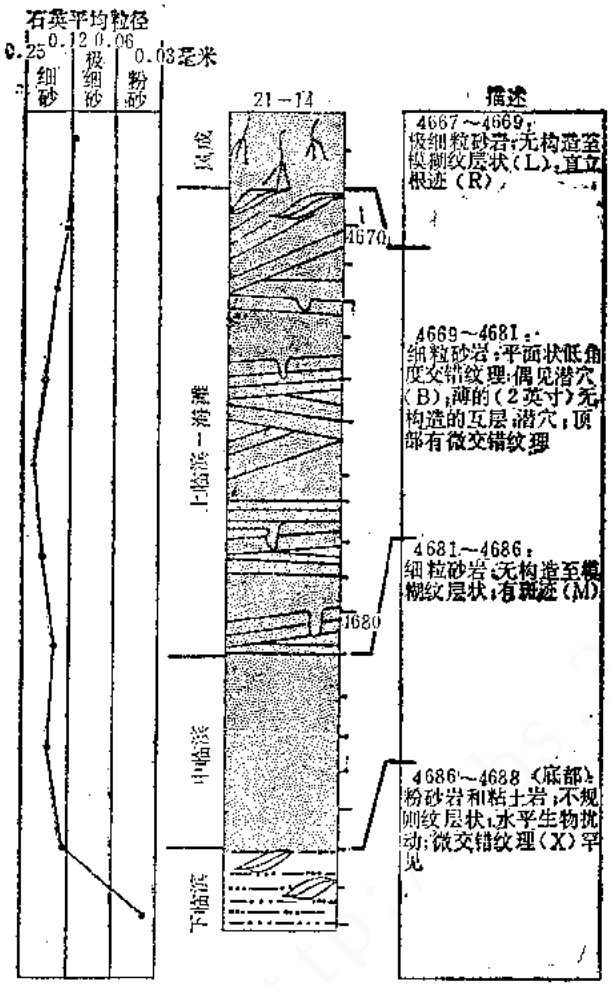


图 9.32　蒙大拿州钟溪油田6-14井中典型障壁沙坝储集层沉积物的沉积构造、结构及岩性，请与图9.6比较

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

参考文献

[障壁岛(滨线)和共生环境]

第四纪环境

Bernard, H. A. and LeBlanc, R. J. Sr., 1965, Resume of the Quaternary Geology of the NorthWestern Gulf of Mexico: in The Quaternary of the United States, Princeton Univ. Press, Princeton, N. J., p. 154-159.

Bernard, H. A., Major, C. F., Parrott, B. S., and LeBlanc, R. J., Sr., 1970, Recent sediments of southeast Texas: Texas Bur. Econ. Geol. Guidebook no. 11, Austin, Texas.

Curray, J. R. and Moore, D. G., 1964, Holocene regressive littoral sand, Costa de Nayarit, Mexico: in Van Straaten, L. M. J. U. (ed.), Deltaic and Shallow Marine Deposits, Elsevier, Amsterdam, p. 76-82.

Curray, J. R. and Moore, D. G., 1964, Pleistocene deltaic progradation of continental terrace, Costa de Nayarit, Mexico: in Van Andel, R. H. and Shor, G. G., Jr., (eds.), Marine Geology of the Gulf of California, Amer. Assoc, Petrol. Geol. Memoir, p. 193-215.

Dickinson, K. A., Berryhill, H. L., Jr., and Holmes, C. W., 1972, Criteria for recognizing ancient barrier coastlines: Soc. Econ. Paleo. Min. Sp. Pub. no. 16, p. 192-214.

*Hoyt, J. H., 1967, Barrier Island Formation: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 78, p. 1125-1136.

对上述文章的讨论

Cooke, C. W., 1968, Barrier Island Formation: Discussion: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 79, p. 945-947.

Fisher, J. J., 1968, Barrier Island Formation: Discussion: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 79, p. 1421-1431.

Hoyt, J. H., 1969, Chenier vs. barrier, genetic and stratigraphic distinction: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 53, no. 2, p. 299-306.

*Hoyt, J. H. and Henry, R. J., Jr., 1967, Influence of island migration on barrier island sedimentation: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 78, p. 77-86.

*LeBlanc, R. J. Sr., 1972, Geometry of sandstone reservoir bodies: Amer. Assoc, Petrol. Geol. Memoir 18, p. 133-177 (also in AAPG Reprint Series No. 7)..

Price, W. A., 1951, Barrier island not offshore bar: Science, v. 113, p. 487-488.

Schwartz, M. L. (ed.), 1973, Barrier islands: Benchmark Papers in Geology, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pa.

_____, (ed.), 1972, Spits and bars: Benchmark Papers in Geology, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pa.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Shepard, F. P., 1960, Gulf coast barriers: in Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico, 1951-58, Amer. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, p. 197-220.

古代滨线沉积

Berg, R. R. and Davies, D. K., 1968, Origin of Lower Cretaceous muddy sandstone at Bell Creek, Montana: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 52, no. 10. p. 1888-1898.

*Davies, D. K., Ethridge, F. G. and Berg, R. R., 1971, Recognition of barrier environments: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 55, no. 4, p. 550-565.

Hollenshead, C. T. and Pritchard, R. L., 1961, Geometry of producing Mesaverde sandstones, San Juan Basin: in Amer. Assoc. Petrol. Geol. Book - Geometry of Sandstone Bodies, p. 98-118.

Hoyt, J. H., 1967, Pleistocene shoreline sediments in coastal Georgia: Deposition and modification: Science, v. 155, no. 3769, p. 1541-1543.

Howard, J. D., 1972, Trace fossils as criteria for recognizing shorelines in stratigraphic record: Soc. Econ. Paleo. and Min. Sp. Pub. 16, p. 215-225.

Klein, G. deV., 1974, Estimating water depths from analysis of barrier island and deltaic sedimentary sequences: Geology, v. 2, no. 8, p. 409-412.

*Land, C. B., Jr., 1972, Stratigraphy of Fox Hills Sandstone and associated formations, Rock Springs uplift and Wamsutter arch area, Sweetwater County, Wyoming: a shoreline-estuary sandstone model for the Late Cretaceous: Colorado School of Mines Quart., v. 67, no. 2, 69 p.

*McCubbin, D. G. and Brady, M. J., 1969, Depositional environment of the Almond reservoirs, Patrick Draw Field, Wyoming: The Mountain Geologist, v. 6, no. 1. p. 3-26.

*McGregor, A. A. and Biggs, C. A., 1968, Bell Creek Field, Montana: a rich stratigraphic trap: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 52, no. 10, p. 1869-1887.

Sabins, F. F., Jr., 1963, Anatomy of stratigraphic traps, Bisti Oil field, New Mexico: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 47, p. 193-228.

*Weimer, R. J., 1966, Time-stratigraphic analysis and petroleum accumulation, Patrick Draw Field, Wyoming: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 50 no. 10, p. 2150-2175.

Weimer, R. J. and Land, C. B., Jr., 1975, Maestrichtian deltaic and interdeltaic shoreline deposits, Upper Cretaceous, Rocky Mountain region: Geol. Assoc. Can. Sp. Paper on Cretaceous (in press).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第十章　三角洲与三角洲间（或三角洲边缘）环境（提纲）

（一）海岸平原和浅海的环境与作用：

1．要确定一个垂向剖面在总的沉积体系中的位置，必须会区别三角洲沉积区和三角洲间沉积区。

2．评价总的岩性和确定一个海退层序内成因单位的重要性，海退层序包括海相粉砂和粘土（远滨）、上覆的海相砂（近滨和滨线）以及盖顶的粘土、粉砂、砂、煤（海岸平原）。

3．海岸平原沉积：充填三角洲平原内开阔湾的作用和充填三角洲间海岸平原内泻湖的作用是相似的；因此，成因单位是相似的。

（1）充填开阔湾的决口扇次三角洲：实例是密西西比河三角洲的库比茨口和朗多湾（图10.1）；次三角洲的作用和岩性也用图10.2和10.3表示之。

（2）充填泻湖的小三角洲（泻湖三角洲）：实例是得克萨斯州海岸中部的瓜达卢普三角洲—圣安东尼奥湾（泻湖）（图10.4～10.8）。

（3）区别：上述的实例1在沉积位置与浅海之间没有轮廓分明的滨线沉积（没有产生多孔隙的可渗透砂的高能带）；实例2在低能泻湖沉积与陆架沉积之间有障壁沙坝（高能）。

4．潮控海岸平原沉积：潮道（港湾），潮坪，草沼或树沼；沉积物一般在三角洲边缘上或三角洲间地区内。

（1）迁移潮道可能留下具有冲刷底面的席状潮道砂。在海退时期，可能破坏障壁沙坝的顶部或全部。现代实例是尼日尔河三角洲（图10.9～10.15）。

（2）在进积层序中，以潮道为边缘的共生潮坪和盐沼。实例是荷兰海岸和西德海岸（图10.16～10.19）。

（3）大三角洲与三角洲间地区的滨线沉积（图10.20）；海滩—临滨的作用和沉积（第九讲；图10.21和10.22，表10.1）与三角洲前缘的作用和沉积（第八章；图10.23和10.24，表10.2）的比较。

（4）受三角洲与三角洲间沉积作用影响的陆架沉积：前三角洲海相页岩与陆架页岩（障壁岛外沿海）的岩性比较。

（二）区别高能海岸区内三角洲沉积和某些三角洲间沉积的困难（Scott的高破坏性浪成三角洲和潮成三角洲，图8.6）。实例：莱茵河，荷兰海岸，图10.16和10.17。

（三）三角洲与三角洲间背景中成因单位垂向序列的古代实例：落基山区上白垩统梅斯特里克特。

1．三角洲背景：科罗拉多州戈尔登地区皮尔组、福克斯山组、拉腊米组；（图10.23～10.28，表10.2、10.3、10.4）。

2．三角洲间背景：怀俄明州罗克斯普林斯地区刘易斯组、福克斯山组、兰斯组；（图10.21、10.22、10.29，表10.1）。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表 10.1　怀俄明州罗克斯普林斯隆起福克斯山砂岩和上刘易斯页岩（上皮尔）的鉴定特征一览表（据Land，1972）

	环境Ⅰ—前滨（海滩）	环境Ⅱ—临滨	环境Ⅲ—临滨之下	环境Ⅳ—浅海（刘易斯页岩）
岩性	极细粒至细粒的分选良好的砂岩	极细粒至细粒砂岩。向上粒度增大，分选变好。近底部有页岩和粉砂岩的薄互层	极细粒砂岩，粉砂岩和粉砂质页岩的互层，垂向层序中粒度向上增大	粉砂质页岩和粘土质粉砂岩
层理	近平行层状，层理原来以1～3°向海倾斜，并且向陆略呈楔状	下部以近平行层状为主，上部以弧状交错层理为主，下部的层理一般被生物潜穴作用所破坏	极厚至极薄层状，以近平行层理为主，小波痕纹理和低角度交错层理，常见对称波痕	层理一般被生物扰动作用所破坏
遗迹化石	吃悬浮物的动物主要是 Ophiomorpha，常见 Arenicolites 的潜穴	下部有吃沉积物的动物和生物扰动构造，上部的吃悬浮物的动物以 Ophiomorpha 为主	常见Rhizocorallium，小型的 Ophiomorpha(?) 以及砂充填的潜穴，层面上有足迹，潜穴和生物痕迹，薄的（1/2～4英寸）生物扰动非平行于层理，罕见 Ophiomorpha 和 Arenicolites	常见生物扰动，层理完全被破坏，偶尔能区别直径为1～6毫米的单个潜穴
化石	未发现	腕足类和菊石极罕见，少数经过磨蚀的牡蛎介壳	腕足类和菊石极罕见	腕足类极罕见（据Weimer，1973）

注：环境Ⅰ到Ⅳ为海面到浅海。

表 10.2　科罗拉多州戈尔登地区福克斯山砂岩的鉴定特征一览表

	环境Ⅰ，分流河口（近端）（或上三角洲前缘）	环境Ⅱ，分流河口（远端）（或下三角洲前缘）
岩性	棕黄色细粒至中粒的，分选良好的砂岩，含有少量的、灰色的、云母质、碳质、粉砂质页岩层；钙质和铁质结核直径达2英尺	棕黄色极细粒至细粒粉砂质砂岩与灰色页岩①和粉砂岩互层；向上过渡到上三角洲前缘；沿层面富含云母片和碳质片
层理	主要是近平行纹理，其次是波痕微交错纹理。有一些厚达2英尺的槽状交错层组。常见变形的"球状与枕状"构造	主要是近平行纹理，有一些波痕微交错纹理。薄层内常见小型变形构造；偶见大型滑塌构造；有许多碳酸钙的叠瓦层
遗迹化石	不丰富；吃悬浮物的动物产生少量潜穴构造，直径1/2英寸，长4～6英寸	生物扰动构造发育不好；吃沉积物的动物活动于薄粉砂岩或砂岩层内
其它化石	页岩层内有稀少的 Haplophragmoides	Haplophragmoides 和共生的有孔虫存在页岩层内，但不丰富

① 页岩主要是蒙脱石粘土

（四）泻湖三角洲沉积的古代实例：怀俄明州阿尔蒙德组（图9.19、9.20、9.23、9.26），产油的分流薄层砂岩被称为UA-6。

（五）决口扇次三角洲沉积的古代实例，戈尔登地区上白垩统拉腊米组（图10.28，表10.4）。

（六）泻湖三角洲和决口扇次三角洲的石油勘探：

1．小三角洲除了它们是建造到低能浅水体（即海湾或泻湖）中的较低能量体系外，均象大三角洲（第八讲）。

2．储油砂层的形成环境同大三角洲一样，分流河道，分流河口沙坝，三角洲前缘。但

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表 10.3　科罗拉多州戈尔登地区上皮尔页岩的鉴定特征一览表

	环境Ⅲ，前三角洲	环境Ⅳ，陆架或较深浅海
岩性	灰色纹层状易剥裂页岩①，含少量薄粉砂岩层和砂岩层；沿层面富含碳质片和云母片	深灰色易剥裂页岩①，碳质片和云母片不如前三角洲环境丰富
层理	最常见近平行纹理和易裂性；大型滑塌块少见	发育良好的易裂性
遗迹化石	吃沉积物的动物曾活动于粉砂质层内，少见	未见到
其它化石	Haplophragmoides 和共生的有孔虫，海相软体动物少见；偶见菊石	海相有孔虫少见至常见，含共生的海相软体动物。Sphenodiscus coahuilites，Inoceramus fibrosus 和 Baculites clinolobatus

① 页岩主要是蒙脱石粘土。

表 10.4　科罗拉多州戈尔登地区拉腊米组的鉴定特征一览表

	河道①	沼泽		湖	决口扇砂岩
		排水良好	排水不好		
岩性	灰色至褐色的，细粒至粗粒的砂岩，近底部含粘土屑，粒度向上变细，底面有大型负载构造，常见粘土颗粒，有冲刷底面	浅灰色和粉红色高岭石粘土岩，含1～3英寸厚的铁质结核层	深灰至黑色高岭石粘土岩①，碳质页岩及薄煤层	灰色至深灰色粘土岩和富含有机质的页岩，含少量粉砂岩层和极细粒砂岩层	灰色至褐色的，细粒至中粒的砂岩，结构向上变细；靠近主河道有冲刷底面；离开河道，底面为突变或渐变。主河道向外，砂岩变薄，颗粒变细
层理	下部具有槽状交错层，其层组厚度达2英尺，上部有波痕微交错纹理	外观一般为块状；常见被植物根系的生长所破裂的"粘土盖层"	富含碳质的层内有纹理	通常有良好的纹层状或层状	主要是波痕微交错纹理；下部常见槽状交错层理
化石	沿底部常见圆木和叶的印痕	偶见碳化植物屑或印痕；植物根系	碳化植物残骸和印痕；植物根系	植物叶和植物屑的印痕	沿底部常见象"木村梗态"那样的大量圆木印痕；上部有棕榈叶的印痕

① 在戈尔登地区的露头剖面内没有专门鉴定天然堤。

它们的厚度一般为10英尺或更薄，而且几乎没有有效的孔隙度和渗透率。狭窄的分流河道大概具有最好的储集性能。

3. 在决口扇次三角洲情况下，特征的识别可能指示邻近大分流河道的储集层。泻湖三角洲环境的识别，可能暗示向海方向上有障壁沙坝。

（七）煤矿和铀矿的形成环境类似于第八和九章中所讨论的。

（八）讨论会期间可用于研究的决口扇次三角洲和泻湖三角洲的实例：

露头：拉腊米组；"J"砂岩；

岩芯：科罗拉多州皮奥里亚油田"J"砂岩；怀俄明州帕特里克德罗油田阿尔蒙德组。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

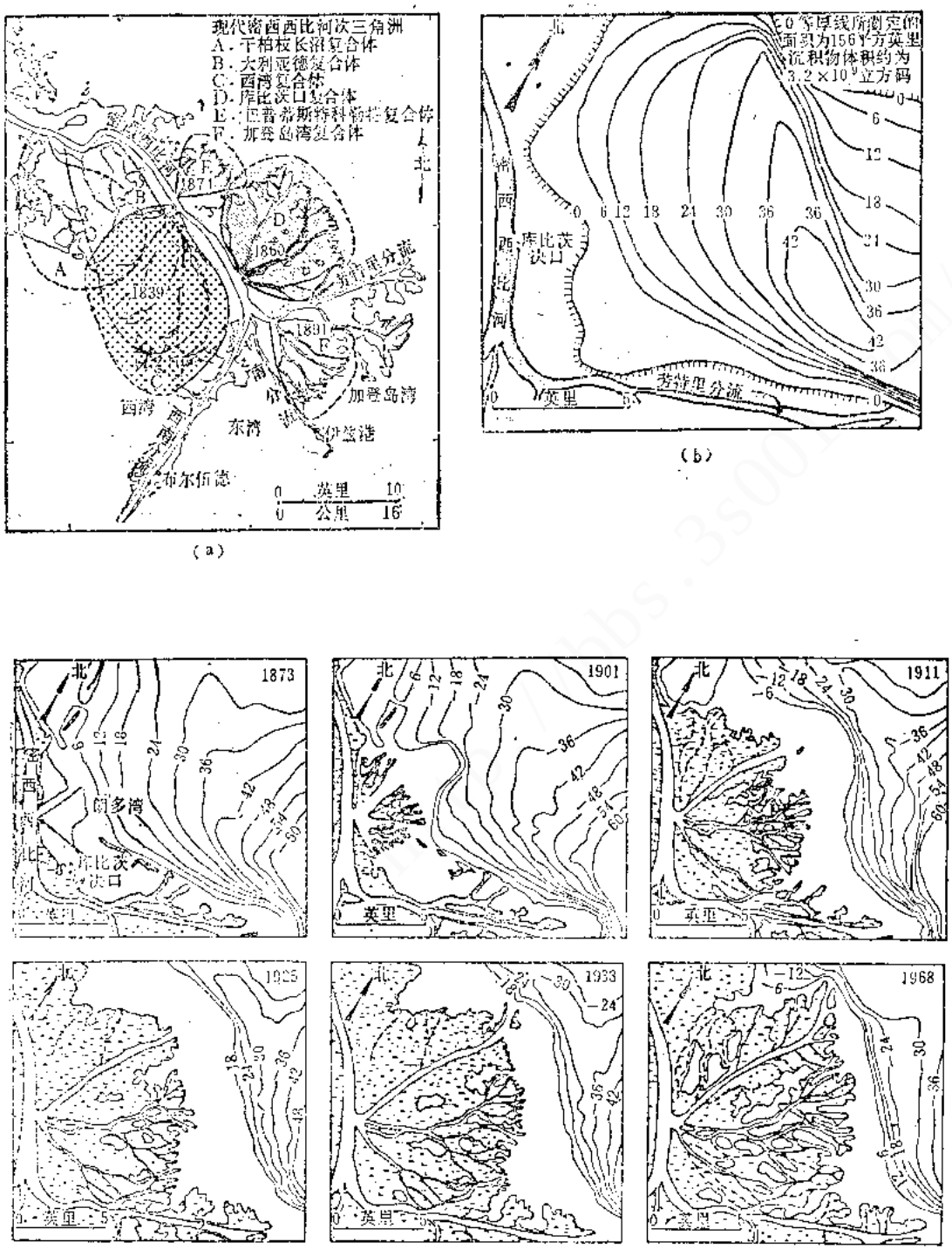


图 10.1　现代密西西比河三角洲在1860年库比茨决口后所形成的一个次三角洲决口扇沉积的实例（据Morgan, 1970, 113和115页）

a. 现代密西西比河的次三角洲（据Coleman和Galiano, 1964）

b. 1873至1968年密西西比三角洲朗多湾内充填物的等厚图（单位为英尺）

c. 1860年库比茨决口后密西西比三角洲朗多湾的沉积充填（等深线单位：英尺）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

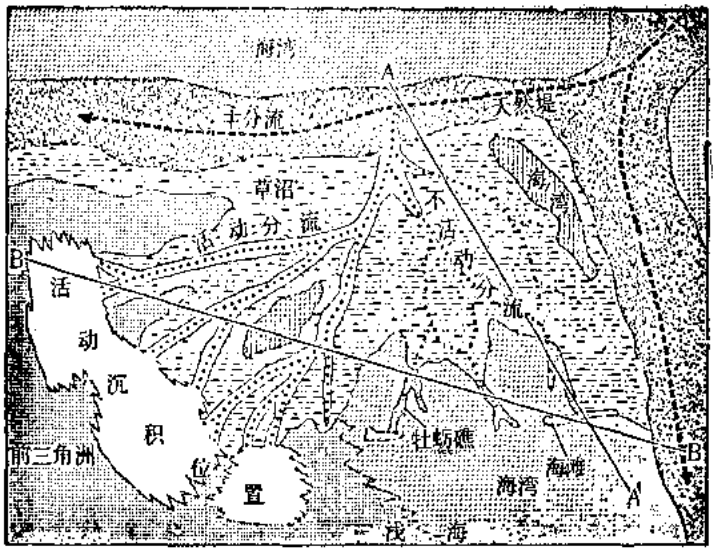


图 10.2　主要沉积单元——决口扇相的区域分布（据Coleman和Gagliano，1964）

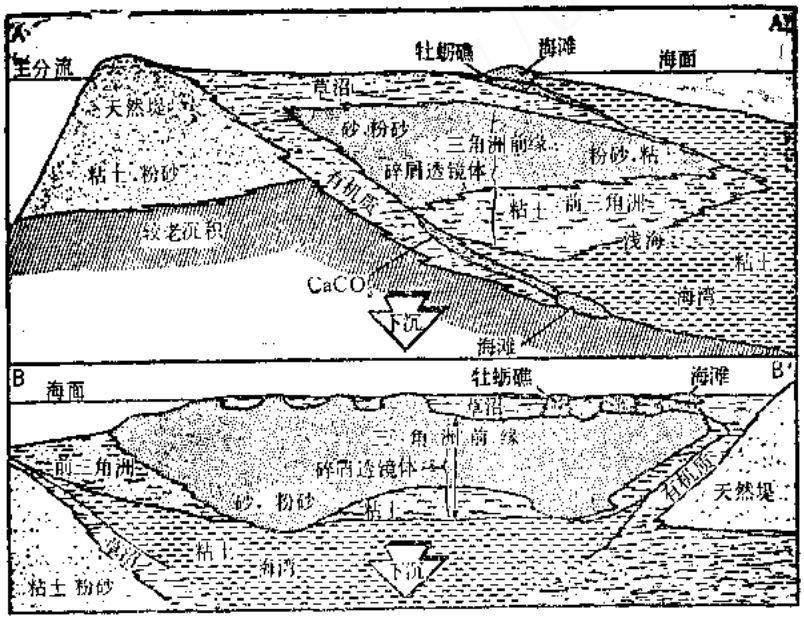


图 10.3　图10.2所示的决口扇内沉积单元的横剖面（据Coleman和Gagliano，1964）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

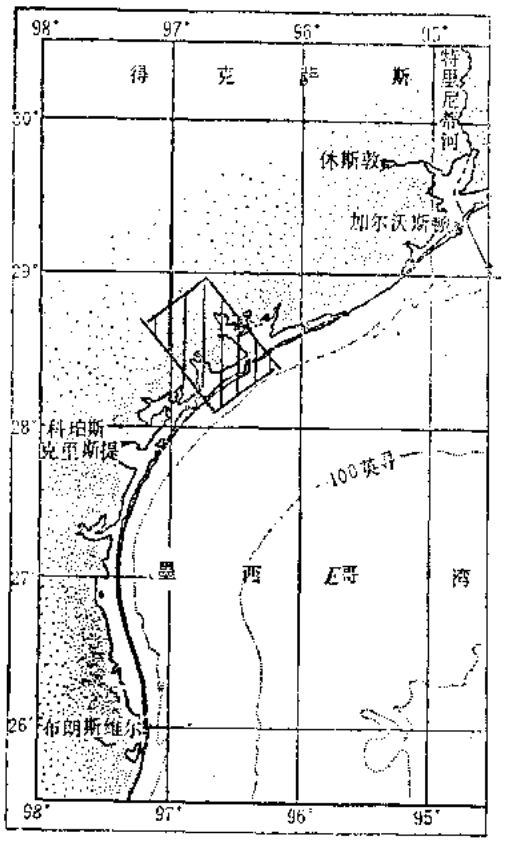


图 10.4　墨西哥湾西北部地图

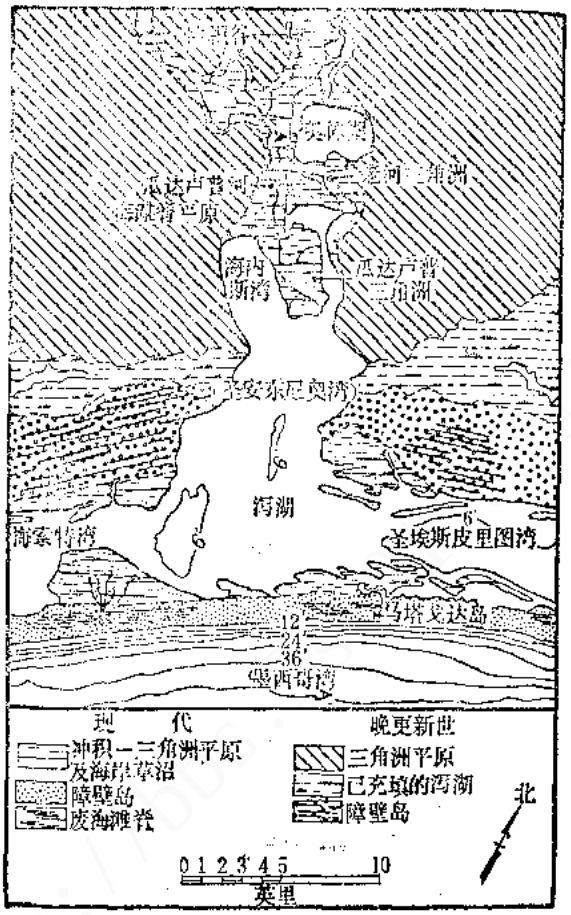


图 10.5　得克萨斯州海岸中部的瓜达卢普三角州—圣安东尼奥湾（据 Le Blanc 和 Hodgson，1959）

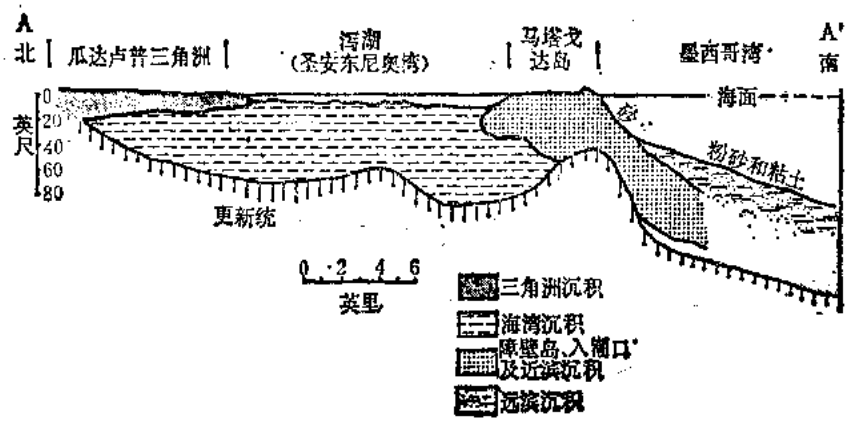


图 10.6　瓜达卢普三角洲的地质背景，表示上更新统沉积物与全新统沉积物的关系以及谢波德和穆尔（1955）对瓜达卢普三角洲至墨西哥湾横剖面的一般解释（据Donaldson等，1970）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

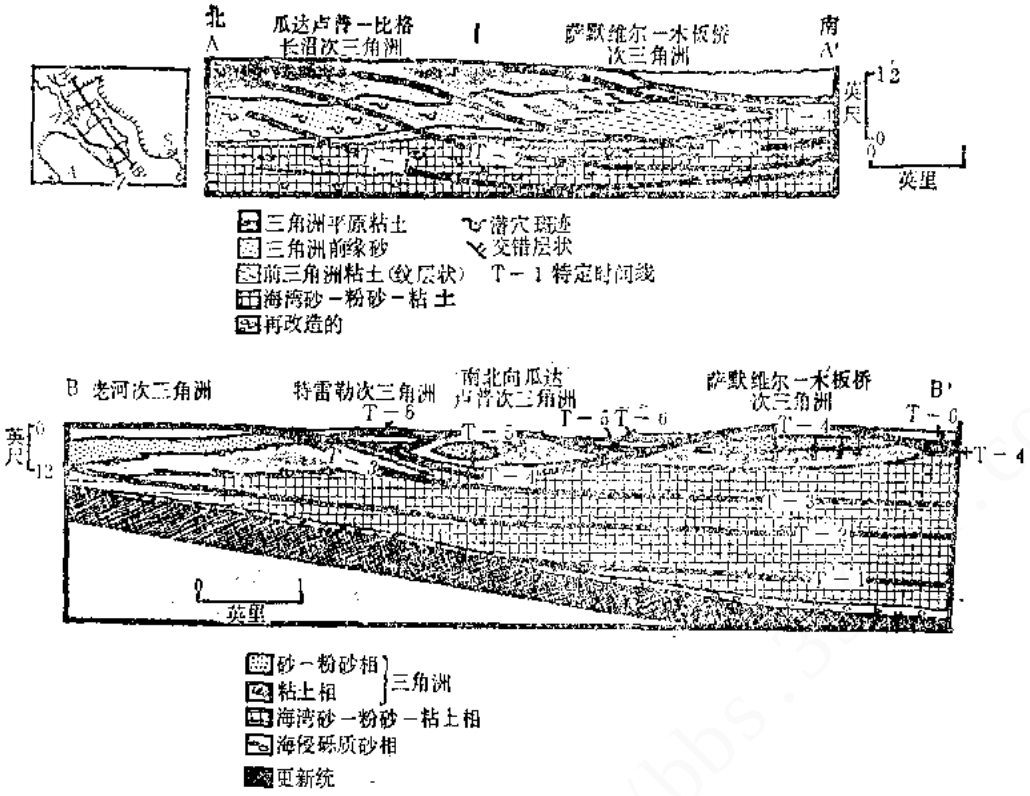


图 10.7　推进到逐渐变浅的海湾内的瓜达卢普三角洲横剖面A-A'。与推进较快的萨默维尔——木板桥次三角洲比较起来，较深水内的沉积作用起初形成更厚的三角洲前缘砂和更丰富的潜穴斑迹，并且导致更慢的推进。海湾目前侵犯三角洲南端。表示次三角洲随时间进行侧向迁移的横剖面B-B'。时间线是推测的

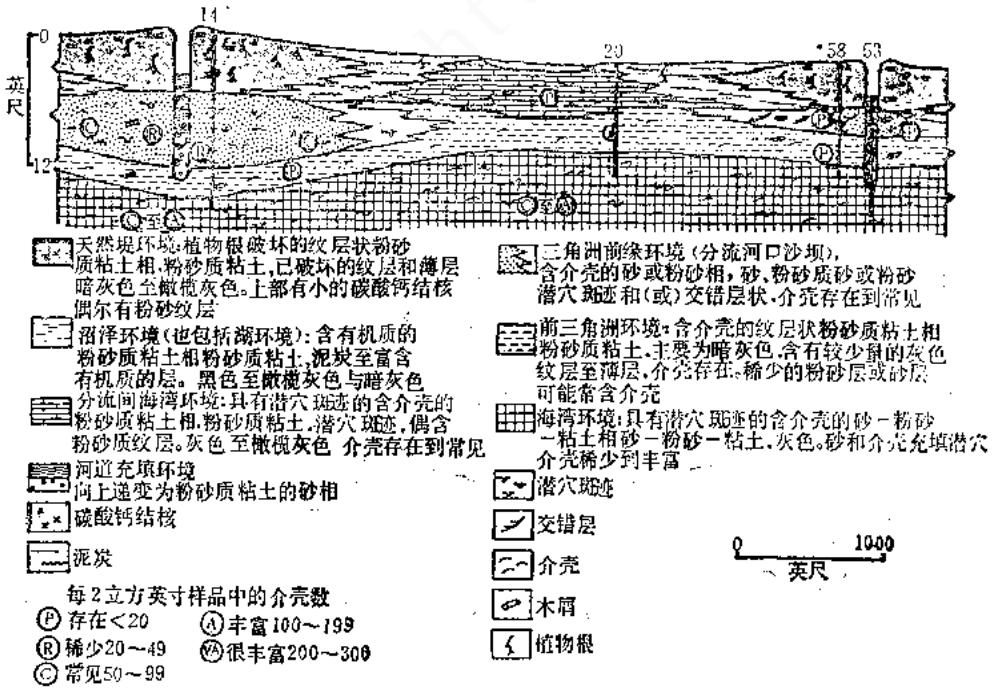


图 10.8　瓜达卢普三角洲相的横剖面图。用来表示相特征而选择出来的岩芯只是近似地位于横剖面上(据Donaldson等，1970)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

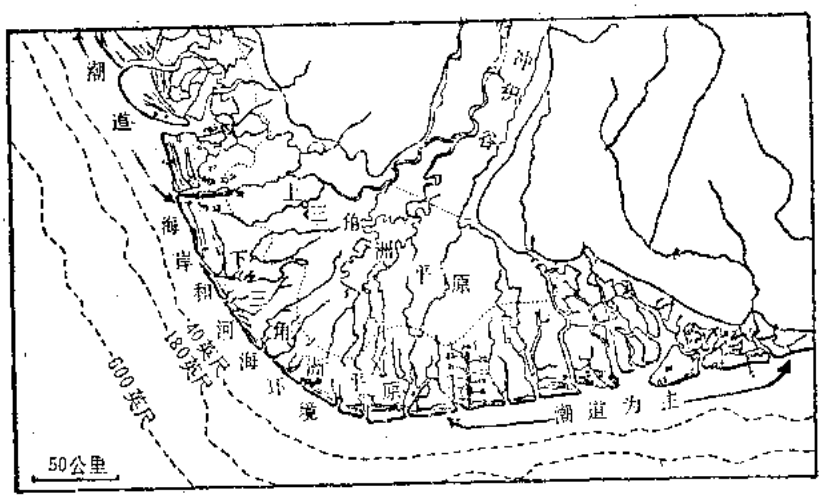


图 10.9　晚第四纪尼日尔河三角洲，井位图(据Oomkens,1974)

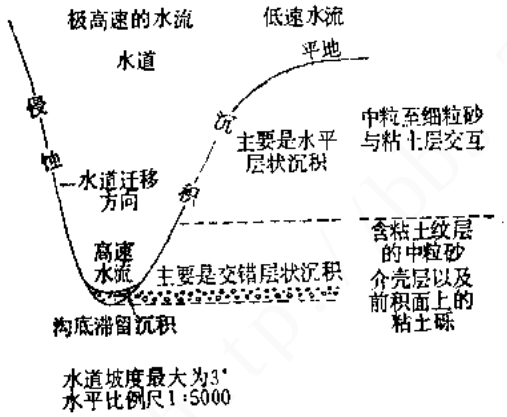


图 10.10　荷兰哈林莱特一条迁移港湾水道的横剖面（据 Oomkens和Terwindt，1960）

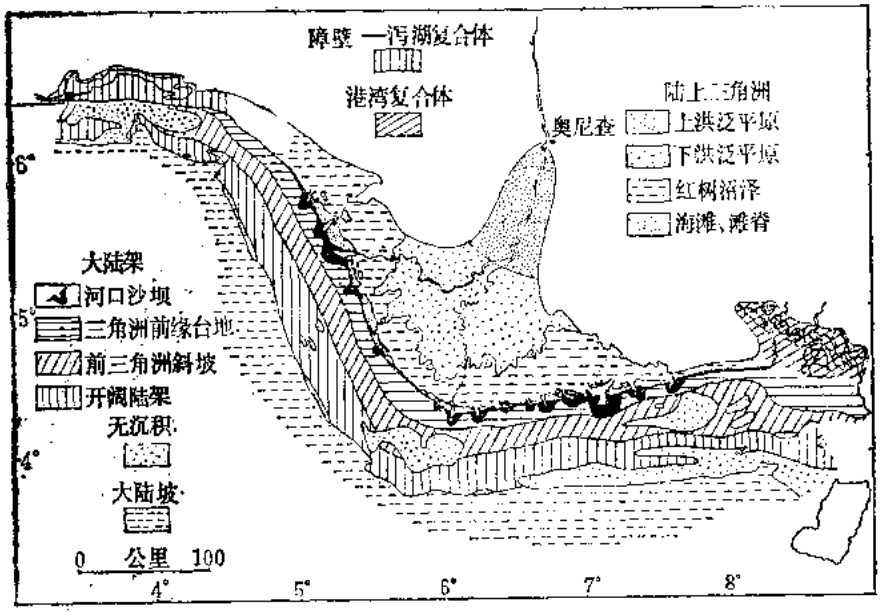


图 10.11　尼日尔河三角洲区的沉积环境（据Allen，1965）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

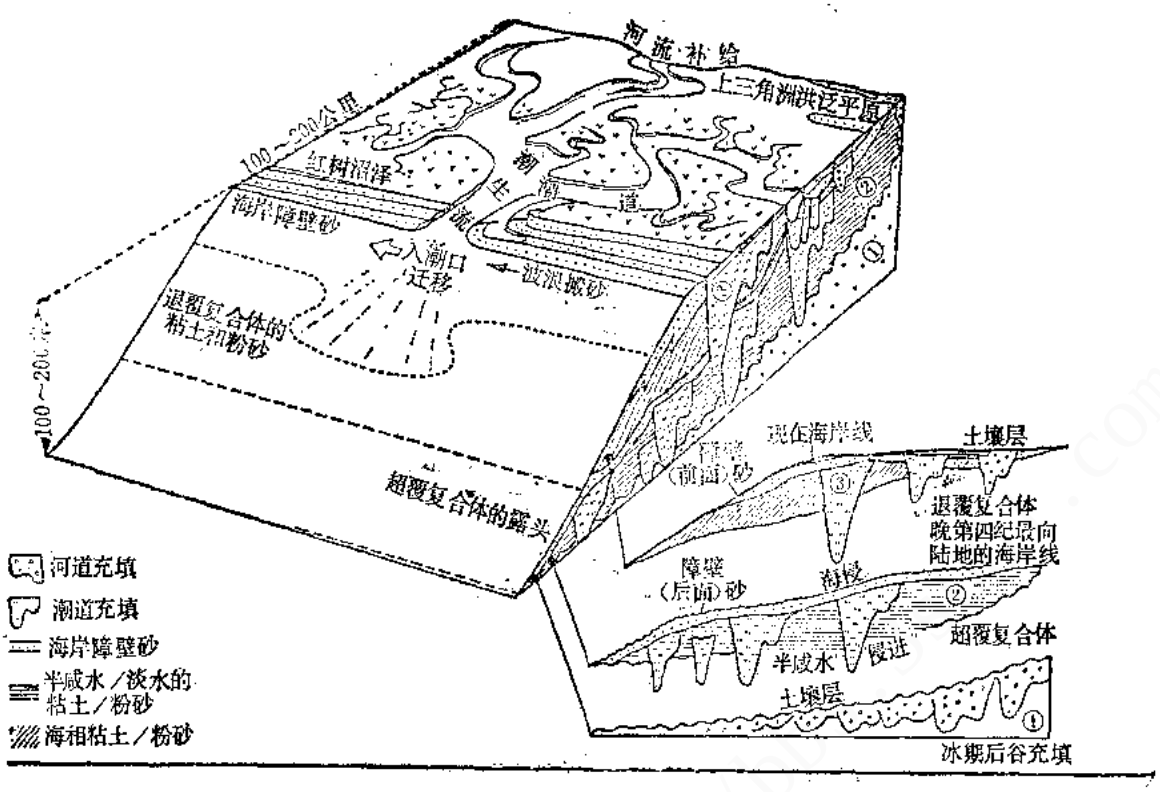


图 10.12　晚第四纪尼日尔河三角洲的岩相关系（据Oomkens, 1974）

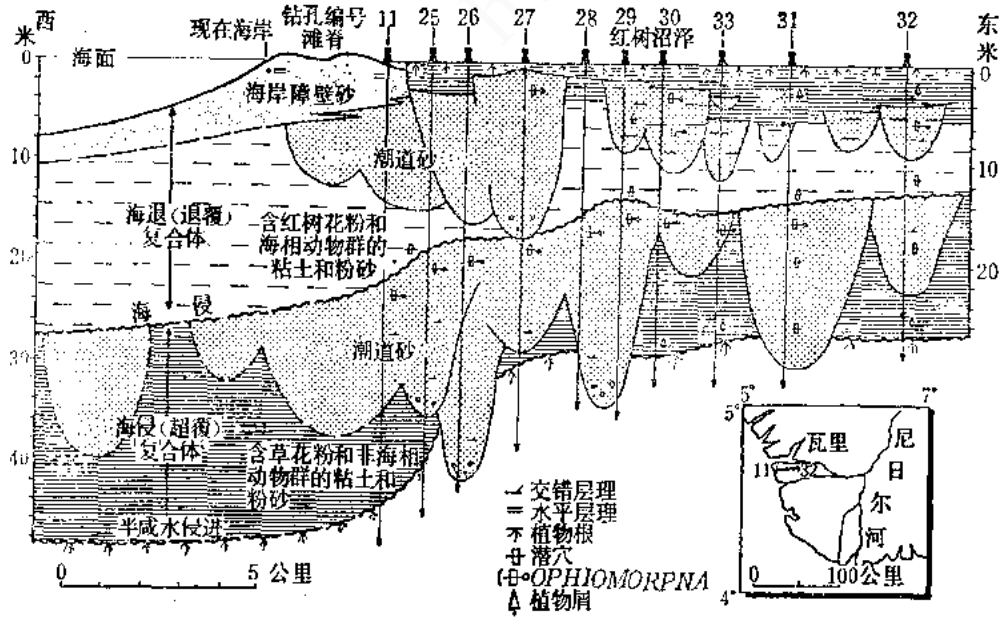
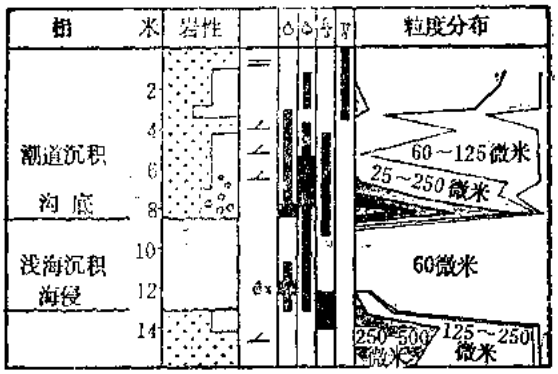


图 10.13　晚第四纪尼日尔河三角洲的海侵与海退层序（据Oomkens, 1974）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



1.14 含潮道充填砂段的海退层序。4号钻孔。图例见图10.15（据Oomkens，1974）

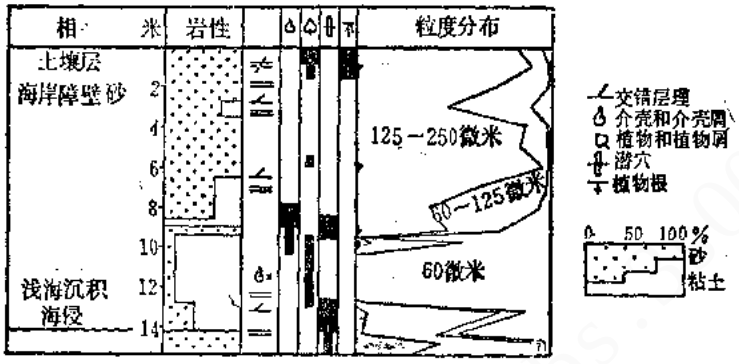


图 10.15 含海岸障壁砂段的海退层序。1号钻孔（据Oomkens，1974）

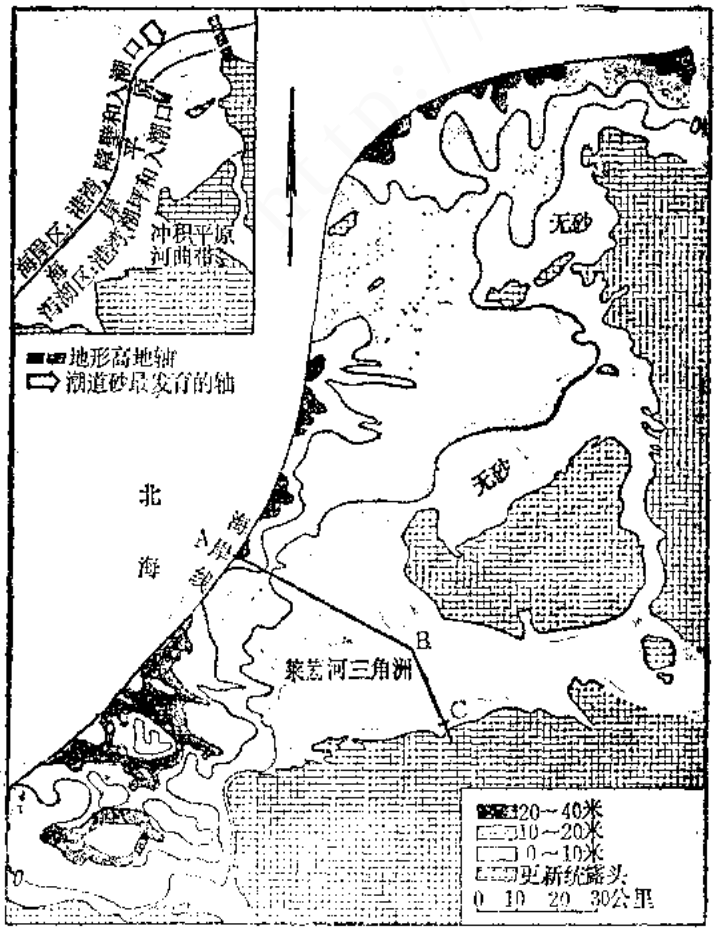


图 10.16 荷兰下海岸平原中现代潮道充填砂的分布（据Oomkens，1974）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

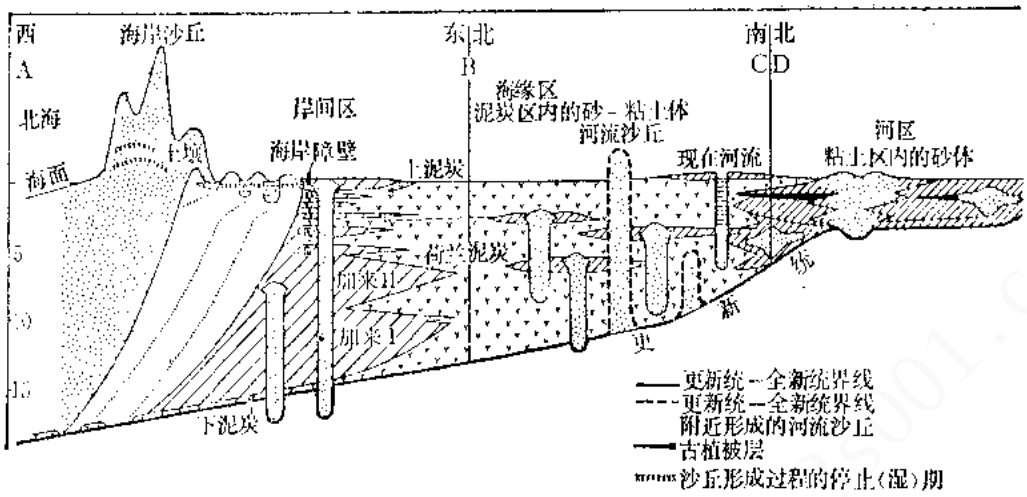


图 10.17　荷兰全新统地层的横剖面示意图（据DeJong，1971）

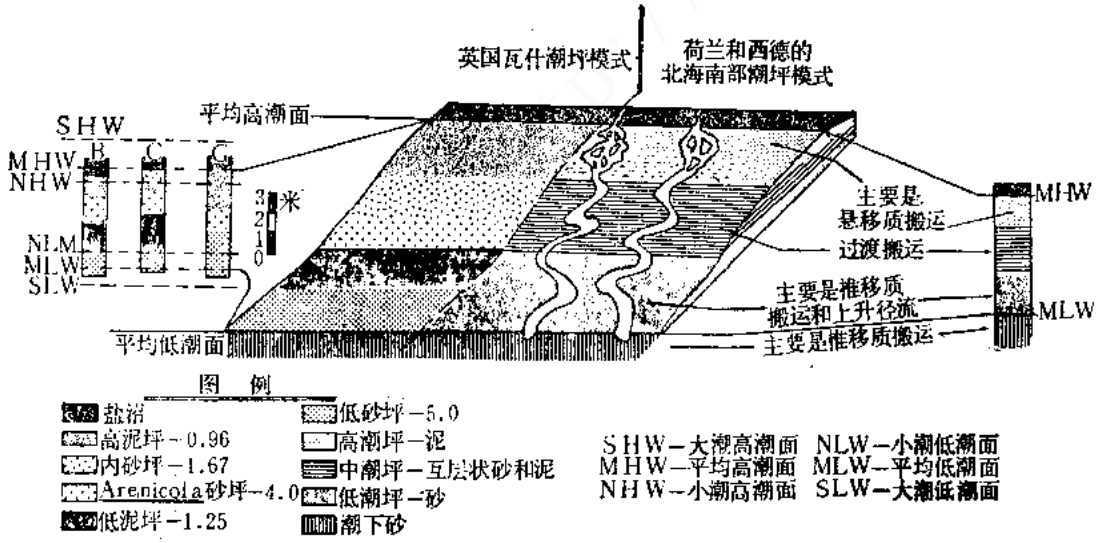


图 10.18　英国瓦什（Evans，1965）以及荷兰（Van Straaten，1954；Van Straaten和Kuenen，1958）和西德（Reineck，1963、1967）的北海海岸的潮间碎屑沉积模式，表示沉积物搬运带的分布如何控制沉积物结构和共生构造的分布。两个海岸线模式的进积作用都产生向上变细的层序。剖面B、C和G引自埃文斯（Evans，1965，图8）。图例中的数字是根据埃文斯（1965，图版17、18和20）所标出的岩心厚度计算的砂—泥比值。砂—泥比说明埃文斯的低泥坪环境主要是砂；因此，荷兰和西德的向上变细的结构关系也适用于瓦什。*Arenicola*砂坪的高砂/泥比是由潜穴活动造成的。*Arenicola*所生成的泥质粪粒大概作为砂级泥质球粒被潮汐作用搬离这个环境（Rhoads和Young，1970）（据Klein，1971）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

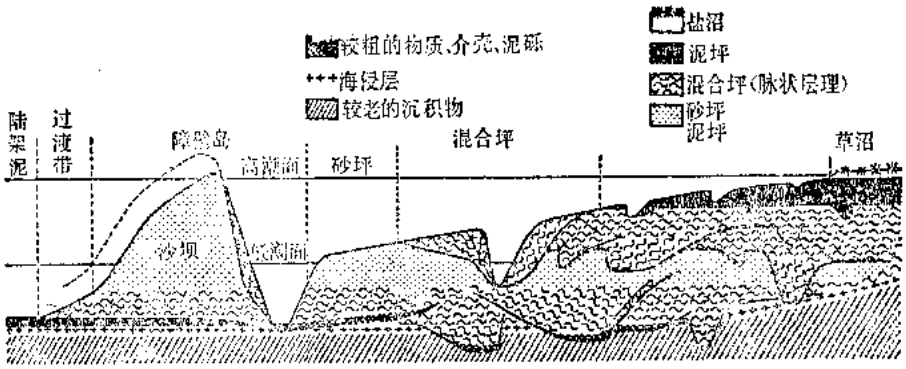


图 10.19 缓慢推进沉积的垂向序列被蛇曲潮道再改造。下部（潮下带）由潮道沉积组成左边是开阔海(据Reineck, 1972)

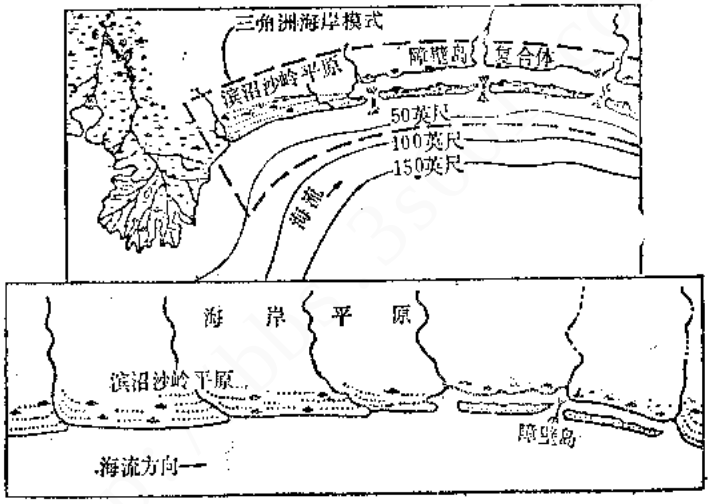


图 10.20 三角洲间海岸碎屑沉积模式的特征和总背景（据Le Blanc, 1972）

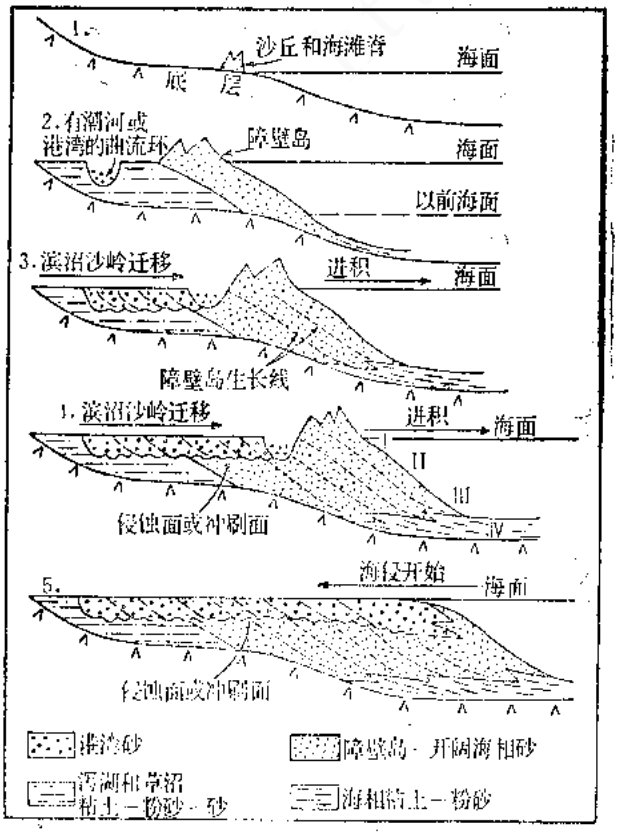


图 10.21 港湾砂岩沉积作用的假定阶段

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

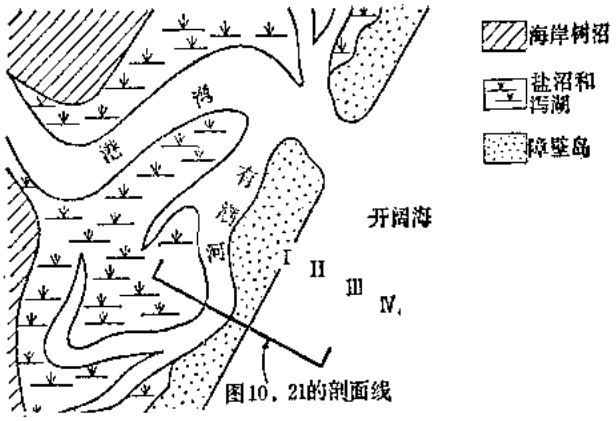


图 10.22　福克斯山组和共生的兰斯组与刘易斯组部分沉积时期的环境解释（据Land，1972）

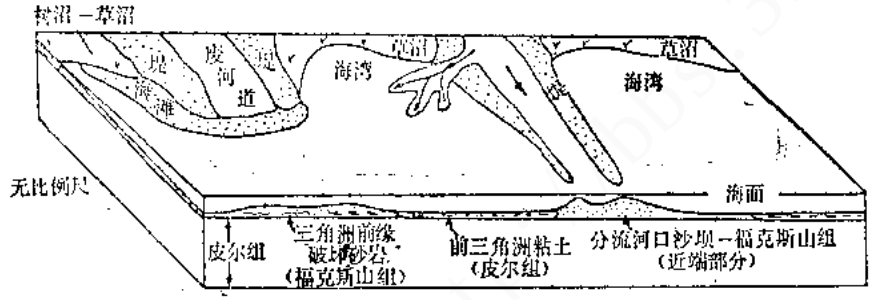


图 10.23　推测存在于戈尔登—莱顿地区东部的下拉腊米沉积时期三角洲前缘环境的复原草图

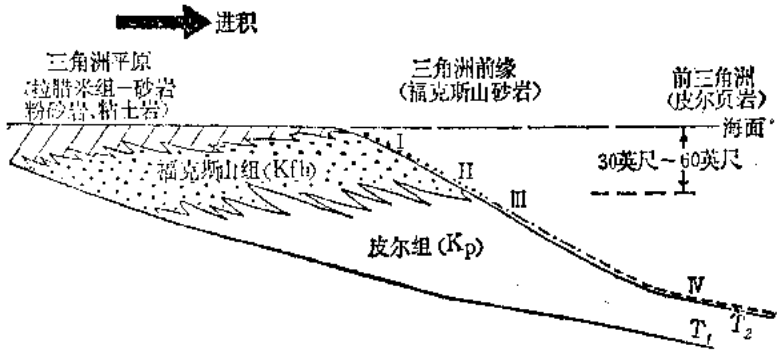


图 10.24　将地层与沉积相和沉积环境联系起来的三角洲沉积模式（据Weimer，1973）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

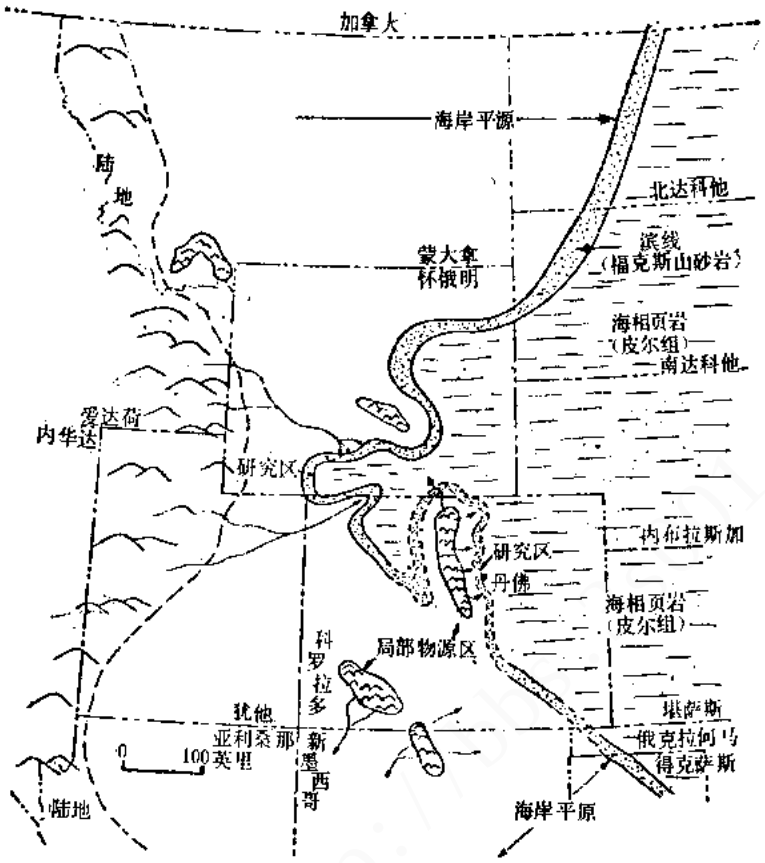


图 10.25 梅斯特里克特三角洲和三角洲间沉积区（据Weimer和Land，1975）

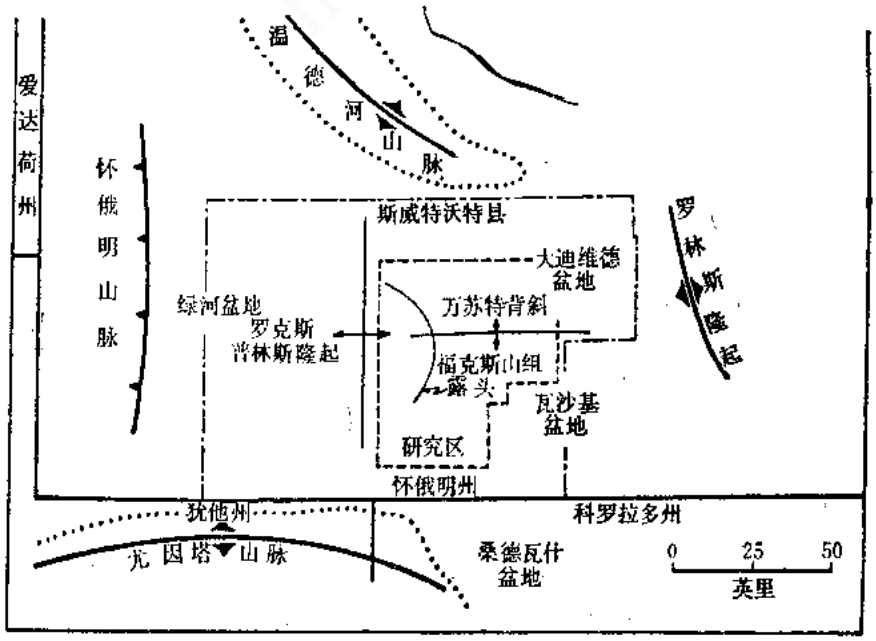


图 10.26 怀俄明州西南部及邻州主要构造特征的位置图（据Land，1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

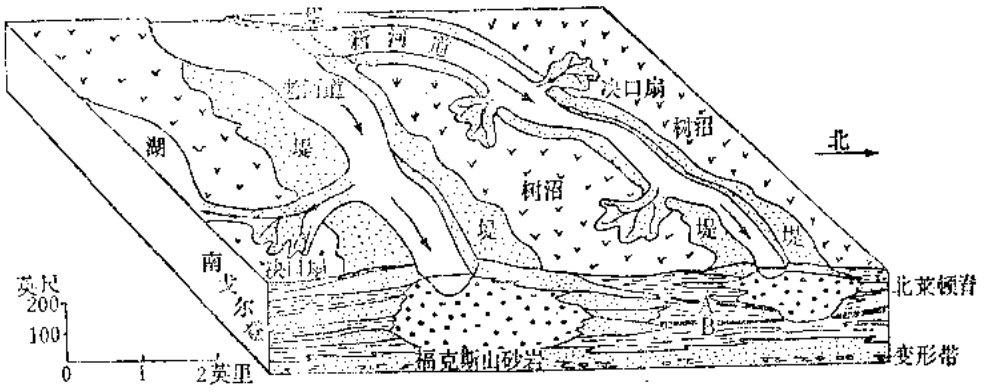


图 10.27 从莱顿脊到戈尔登地区下拉腊米组内环境关系的概略草图（根据Camacho, 1969修改）

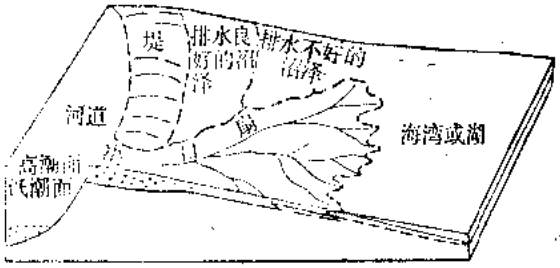


图 10.28 河道边缘环境与拉腊米组决口扇沉积的关系

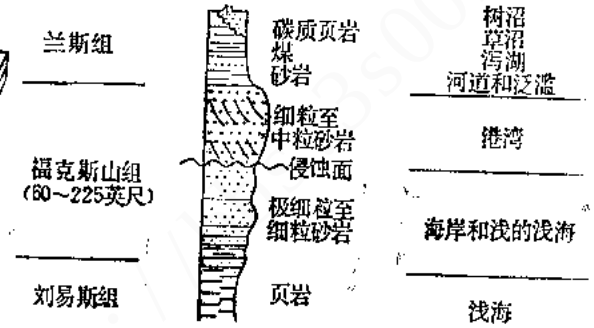


图 10.29 福克斯山组与共生的兰斯组和刘易斯组部分的主要沉积环境（据Land,1972）

参考文献

(三角洲平原环境)

Bedwell, J. L., 1974, Textural parameters of clastic rocks from borehole measurements and their application in determining depositional environments: PhD dissertation, Colorado School of Mines, T-1621, (unpub.) 215 p.

Carloss, J. C., 1974, Depositional environments from borehole measurements, Lower Cretaceous, Peoria Field and adjacent area, Arapahoe County, Colorado: MSc thesis (unpub.), Colorado School of Mines, Golden, Colo.

Coleman, J. M. and Gagliano, S. M., 1964, Cyclic sedimentation in the Mississippi River deltaic plain: Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans., v. 14, p. 67-80.

*Coleman, J. M., Gagliano, S. M., and Webb, J. E., 1964, Minor sedimentary structures in a prograding distributary: Marine Geol., v. 1, p. 240-258.

Fisk, H. N., et al., 1954, Sedimentary framework of the modern Mississippi delta: Jour. Sed. Petrology, v. 24, p. 76-99.

MacMillan, L. T., 1974, Stratigraphy of the South Platte Formation (Lower Cretaceous), Morrison--Weaver Gulch area, Jefferson County, Colorado: Colorado School of Mines MSc Thesis T-1626, (unpub.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Morgan, J. P., 1970, Deltas--A resume: Jour. Geol. Educ., v. 18, no. 3, p. 107-117.

*Weimer, R. J., 1973, A guide to uppermost Cretaceous stratigraphy, central Front Range, Colorado: deltaic sedimentation, growth faulting and early Laramide crustal movement: The Mountain Geologist, v. 10, no. 3, p. 53-97.

*_____, 1975, Maestrichtian deltaic and interdeltaic sedimentation, Rocky Mountain region in the United States: Geol. Assoc. Canada Sp. Pub. on Cretaceous (in press).

Weimer, R. J. and Land, C. B., 1972, Field guide to Dakota Group (Cretaceous) stratigraphy, Golden-Morrison area, Colorado: The Mountain Geologist, v. 9, nos. 2-3 p. 241-267.

Welder, F. A., 1959, Processes of deltaic sedimentation in the lower Mississippi River: Louisiana State Univ. Coastal Studies Inst. Tech. Report 12, 90 p.

三角洲间海岸平原环境

泻湖－泻湖三角洲－草沼

Ayala-Castanares, A. A. and Phleger, F. B,(eds.), 1969, Coastal Lagoons, A Symposium: Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico City, 686 p. (espec. Phleger, p. 5-25).

*Donaldson, A. C., Martin, R. H., and Kanes, W. H., 1970, Holocene Guadalupe Delta of Texas Gulf Coast: in Soc. Econ. Paleo. Min. Sp. Pub. 15, p. 107-137.

FitzGerald, D. M. and Bouma, A., 1972, Consolidation studies of deltaic sediments: Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans., v. 22, p. 165-173.

Kanes, W. H., 1970, Facies and development of the Colorado River delta in Texas in Soc. Econ. Paleo. Min. Sp. Pub. 15, p. 78-106.

Lankford, R. R. and Rogers, J. J. W., 1969, Holocene geology of the Galveston Bay area: Houston Geol. Soc., 144 p.

Oomkens, E., 1974, Lithofacies relations in the Late Quaternary Niger delta complex: Sedimentology, v. 21, p. 195-222.

Shepard, F. P. and Moore, D. G., 1955, Central Texas coast sedimentation: characteristics of sedimentary environments, recent history, and diagenesis: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 39, p. 1463-1593.

Shepard, F. P. and Moore, D. G., 1960, Bays of the Central Texas coast: in Shepard, F. P. and others (eds.) Recent sediments, northwest Gulf of Mexico: Tulsa, Okla., Amer. Assoc. Petrol. Geol., p. 117-152.

潮道－港湾－潮坪－盐沼

Allen, J. R. L., 1965, Late Quaternary Niger delta and adjacent area: Sedimentary environments and lithofacies: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 49, p. 547-600.

Anderson, F. E., 1973, Observations of some sedimentary processes acting on a tidal flat: Mar. Geol., v. 14, p. 101-116.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Curray, J. R., 1969, Estuaries, Lagoons, Tidal Flats and Deltas: in Stanley, D. J. (ed.), The New Concepts of Continental Margin Sedimentation, Amer. Geol. Institt., Washington, D. C., 30 p.

DeJong, L. D., 1971, The scenery of the Netherlands against the background of Holocene geology: Revue de Geographie Physique et de Geologie Dynamique (2), v. 13, p. 143-162.

*Evans, G., 1965, Intertidal flat sediments and their environments of deposition in the wash: Quart. Jour. Geol. Soc., v. 121, p. 209-245.

Guilcher, A., 1967, Origin of sediments in estuaries: in Lauff, G. H. (ed.), Estuaries: Amer. Assoc. Adv. Sci., p. 149-179.

Haven, D. S. and Morales-Alamo, R., 1972, Biodeposition as a factor in sedimentation of fine suspended solids in estuaries: Geol. Soc. Amer. Memoir 133, p. 121-130.

Klein, G. deV., 1970, Depositional and dispersal dynamics of intertidal sand bars: Jour. Sed. Petrol., v. 40, p. 1095-1127.

*_____, 1971. A sedimentary model for determining paleotidal range: Geol. Soc. Amer..Bull., v. 82, p. 2585-2592..

Land, C. B., Jr., 1972, Stratigraphy of Fox Hills Sandstone and associated formations, Rock Springs uplift and Wamsutter arch area Sweetwater County, Wyoming: a shorline estuary sandstone model for the Late Cretaceous: Colorado School of Mines Quart., v. 67, no. 2, 69 p.

Lauff, G. H. (ed.), 1967, Estuaries: Amer. Assoc. Adv. Sci., Wash., D. C., 757 p.

*MacKenzie, D. B., 1972, Tidal sand flat deposits in Lower Cretaceous Dakota Group near Denver, Colorado: The Mountain Geologist, v. 9, nos. 2-3, p. 269-277.

Meade, R. H., 1969, Landward transport of bottom sediments in estuaries of the Atlantic coastal plain: Jour. Sed. Pet., v. 39, p. 222-234.

_____, 1972, Transport and deposition of sediments in estuaries: Geol. Soc. Amer. Memoir 133, p. 91-120.

Nelson, B. W., (ed.) 1972: Environmental framework of coastal plain estuaries: Geol. Soc. Amer. Memoir 133.

Oomkens, E., 1974, Lithofacies relations in the Late Quaternary Niger delta complex: Sedimentology, v. 21, p. 195-222.

Posta, H., 1967, Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment: in Lauff, G. H. (ed.) Estuaries: Amer. Assoc. Adv. Sci., p. 158-179.

Reineck, H. E., 1967, Layered sediments of tidal flats, beaches and shelf bottoms of the North Sea: in Lauff, G. H. (ed.), Estuaries: Amer. Assoc. Adv. Sci., p. 191-206.

_____, 1972, Tidal flats: Soc. Econ. Paleo. Min. Sp. Pub. 16, p. 146-159.

Thompson, R. W., 1968, Tidal flat sedimentation on the Colorado River delta, Northwestern Gulf of Calif.: Geol. Soc. Amer. Sp. Paper 107, 133 p.

Van Stratten, L. M. J. V. and Kuenen, Ph. H., 1958, Tidal action as a cause of clay accumulation: Jour. Sed. Petrol., v. 38, p. 406-413.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第十一章　浅海环境（陆架—浅海）（提纲）

（一）体系的主要组成部分和术语：

1．附属于滨线并与障壁岛、三角洲、海角或入潮口共生的海相砂体：临滨、三角洲边缘（三角洲前缘）、海侵砂（Le Blance，1972，图11.1）；具有横向脊与槽的、与海角共生的浅滩（图11.2）；入潮口或港湾浅滩（潮汐三角洲？）（图11.3和11.4）。

2．远滨沙坝（可能相对于滨线走向任意定向）；斯威夫特（Swift）等的沙脊和滩槽（图11.5）；纳尔逊和布雷（Nelson和Bray）的沙滩（sand bank）（图11.6）；奥夫（Off）的潮流脊（图11.7）；卡斯顿（Caston）的线状沙滩（图11.8）。术语：坝心、坝缘、坝间（Exum和Harms，1968）；相与前滨、临滨和陆架的相似性（图14.9）。沙坝的粒度可以向上变细，也可以向上变粗。

3．陆架底上的变余砂（海侵沙原）。

4．覆于海底冲刷面上的沙坝砂。

（二）作用和成因单位（相——岩石共生关系）：

1．复杂性和多样性：正常的和风暴引起的波浪和潮流，它们叠加在陆架的稳定、下沉（加深）或变浅条件上，还有沉积物输入的变化。现代陆架：残余砂毯状层；砂质浅滩；滩脊和滩槽砂；泥毯状层。

2．与海角共生的浅滩和浅滩后退地块同推测的风暴水力动态有关（图11.2和11.10）。

3．泥质陆架上的沙滩（浅滩）（图11.6、11.11和11.12）。

4．根据卡斯顿的意见，控制砂运动的潮流可形成线状沙滩（图11.8和11.13～11.16）。

5．佐治亚州萨佩洛岛地区入潮口浅滩的沉积物运动和砂分布（图11.3、11.4和11.7；图9.9～9.11）。

6．根据克利夫顿（Clifton）等，高能近滨（临滨）区内的浅水波浪作用和沉积构造相（图11.18～11.21）。

7．根据霍华德和赫内克，佐治亚洲萨佩洛岛低波能海岸的海滩与近滨环境的相分带（图11.17、11.22和11.23）。

8．波浪把废弃的三角洲前缘重新改造成海侵（破坏性）薄席状砂。它们可能在陆架上或者超覆在较老的三角洲平原上（由于被海水淹没）。

9．较老的海岸平原沉积由于下沉而在陆架上进行再改造。某些现代陆架上的薄层变余砂——全新世记录。

10．海相陆架砂体的特征（表7.5）

（三）构造作用和沉积作用：

1．陆架的类型和构造对陆架成因的控制。

2．陆架上的局部构造运动影响水深和产生砂质浅滩。

3．断层、背斜或刺穿带上线状远滨沙坝的定位（决定有效浪基面内的水深）（图11.6）。

4．构造控制沉积速度（Rd）与下沉速度（Rs）之比。影响滨线的海侵和海退运动以及广阔陆架砂的发育（图11.24和11.25）。

（四）浅海砂在石油勘探中的重要性：

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1. 浅海砂在许多地区是最重要的产油砂岩。

2. 储集岩紧靠合适的生油岩有利于地层控制的油气聚集。

3. 滨浅砂带可以很好地预测，远滨沙坝带除了属于构造控制的之外，不大好预测。

4. 含有储集岩层的一个**成因单位**的厚度一般是20～30英尺（受有效浪基面的控制）。在生长断层区内可以发育多个**成因单位**。储集性能可能是差的至很好的。

（五）浅海砂在煤矿勘探中不重要；在铀矿勘探中不甚重要。

（六）古代产油层序的实例：

1. 阿尔伯达省彭比纳油田上白垩统卡迪姆砂岩；加拿大的最大油田，储量为16亿桶，如图11.26～11.32。

2. 怀俄明州索尔特溪油田上白垩统弗朗蒂尔砂岩；落基山区的最大油田，储量为5亿桶，见图11.24、11.25、11.33、11.34。

3. 内布拉斯加州下白垩统“J”砂岩；有几个储量为5百万至1千万桶的油田，如图11.35～11.43。

4. 科罗拉多州瓦坦堡油田下白垩统“J”砂岩；科罗拉多州的最大气田，储量为1.1×10^{12}立方英尺；参见图11.45～11.48。

5. 科罗拉多州丹佛盆地斯平德尔油田上白垩统“海津砂岩”（特里砂岩）(图11.49)。

（七）讨论会期间可用于研究的浅海砂岩的实例：

露头："海津"砂岩；

岩芯：科罗拉多州斯平德尔油田上白垩统特里砂岩和海津砂岩；科罗拉多州上白垩统科德尔（弗朗蒂尔）砂岩；科罗拉多州瓦坦堡油田下白垩统“J”砂岩。

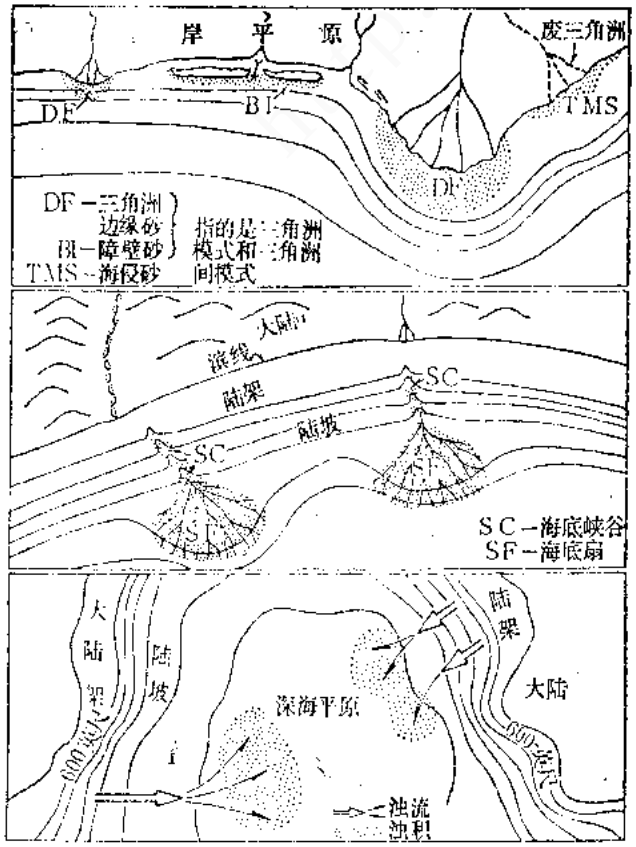


图 11.1 海相环境中砂的沉积作用（据Le Blanc，1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

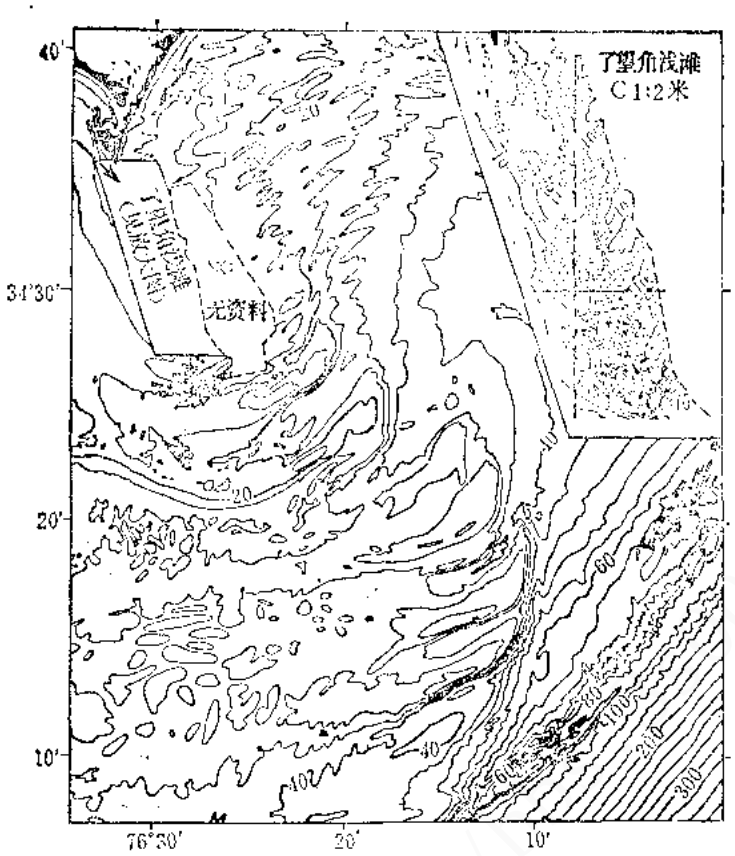


图 11.2　了望角浅滩，一个与海角共生的浅滩和浅滩后退的地块。地块已被塑造成弓形的横向脊，脊之间被作为风暴溢流道的滩槽所隔开。由于波浪的折射，脊被弯成弓形，它们代表脊形成的三种主要方式。沿岸漂流的单位为码^3/年$\times10^3$（据Langfelder等，1968）。等值线单位为米（据Swift等，1973）

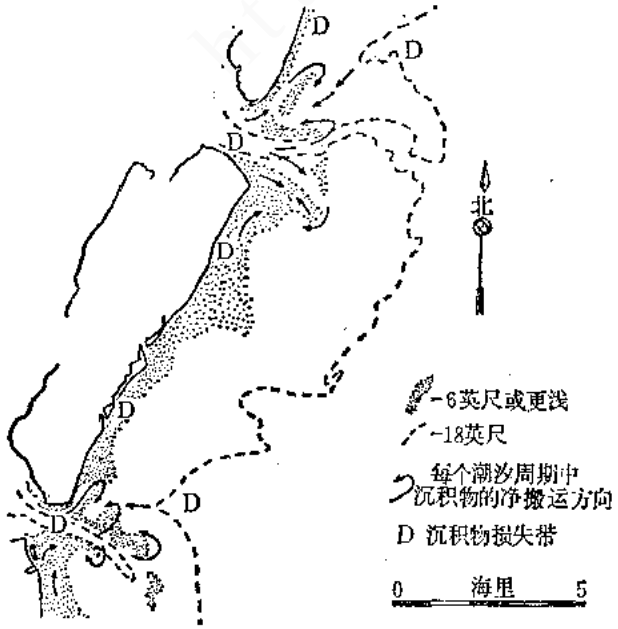


图 11.3　港湾入口浅滩附近沉积物运动和损失的型式。在港湾入口处，沉积物被捕集在一个封闭体系内，浅滩的推进是靠消耗邻近的海滩、临滨和潮道（据Oertal和Howard，1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

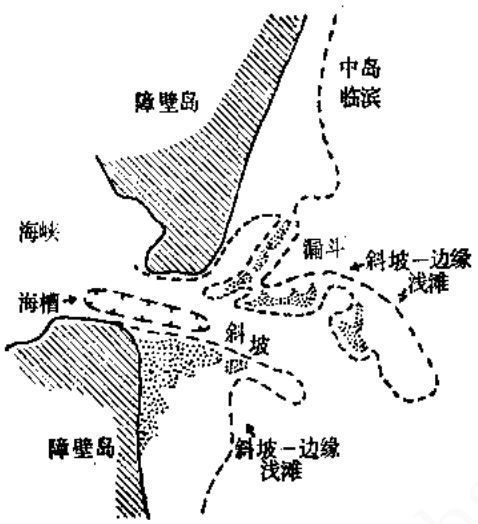


图 11.4　障壁—入口术语。美国佐治亚州的港湾入口（据Oertal和Howard，1972）

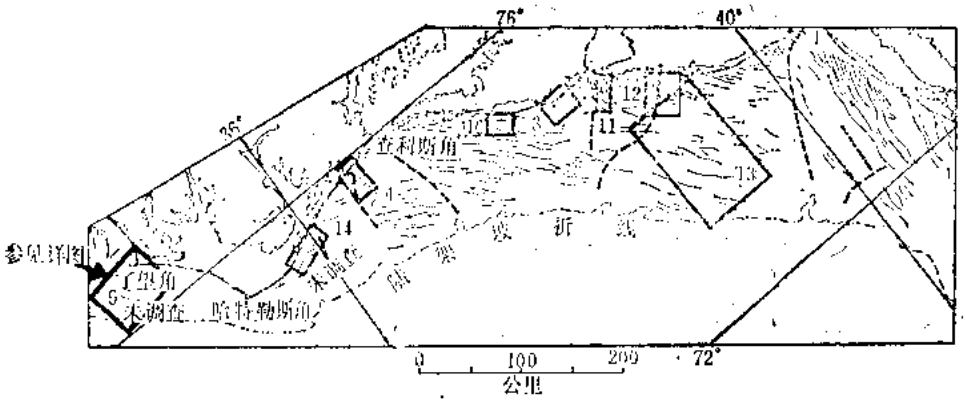


图 11.5　中大西洋开展海湾中比较重要的脊峰线和主要陆架横谷的通道。方框表示其它图的位置（据Swift等，1973，根据Uchupi，1968修改）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

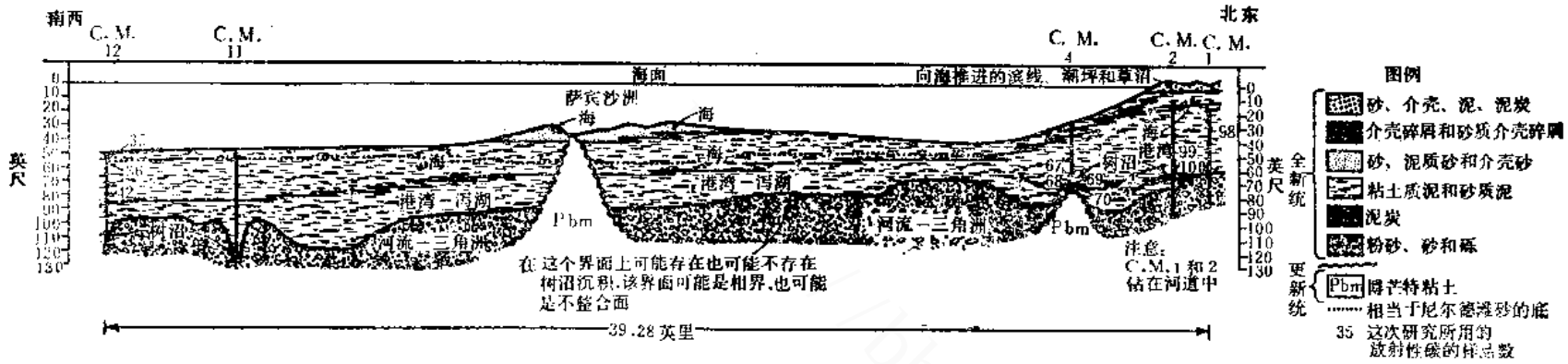
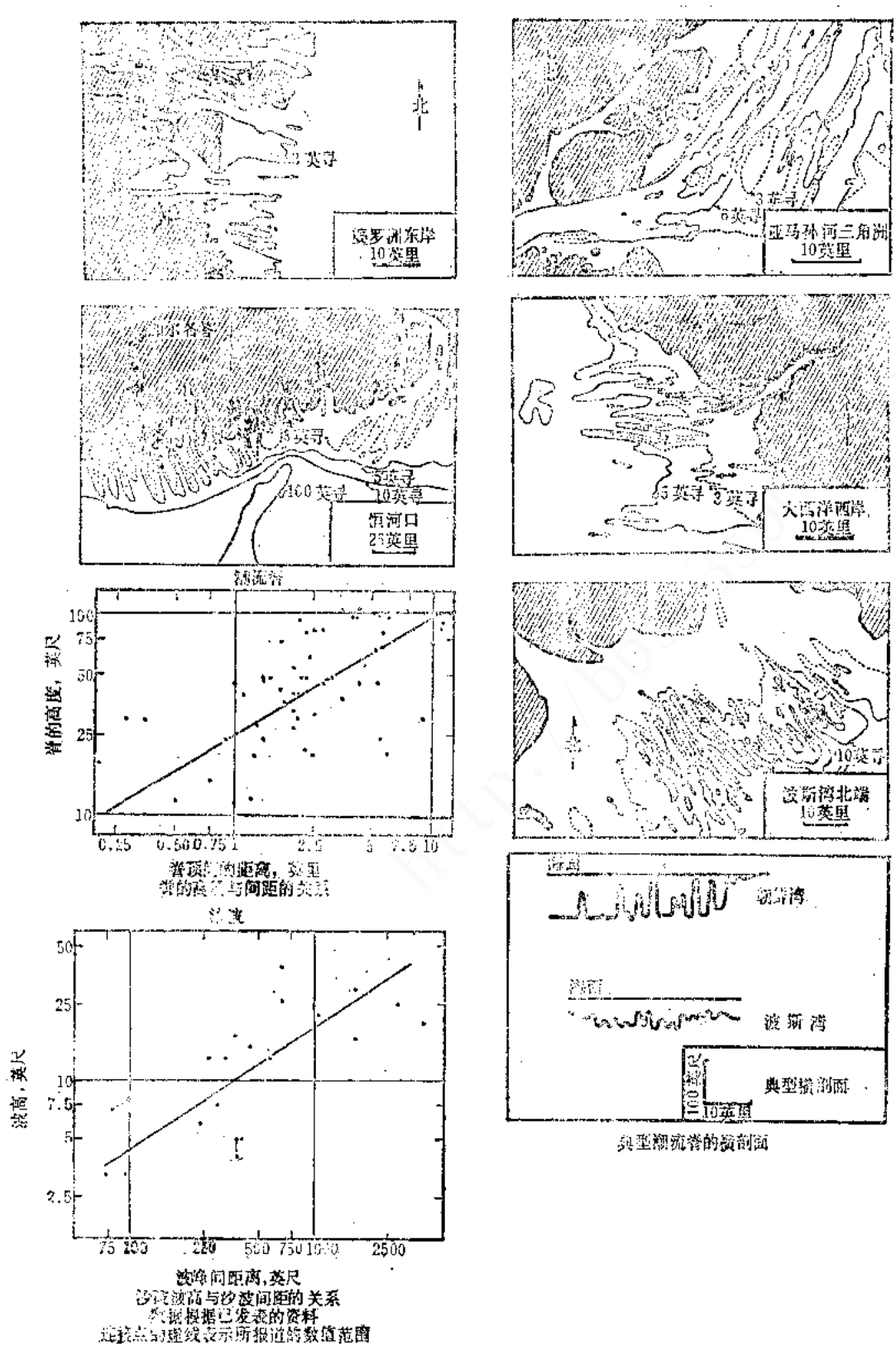


图 11.6　沿着已埋藏的萨宾河古河道的全新统沉积物的地层横剖面图（据Nelson和Bray，1970）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



典型潮流脊的横剖面

图 11.7　潮流脊和沙波的平面图和图解（据Off，1963）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

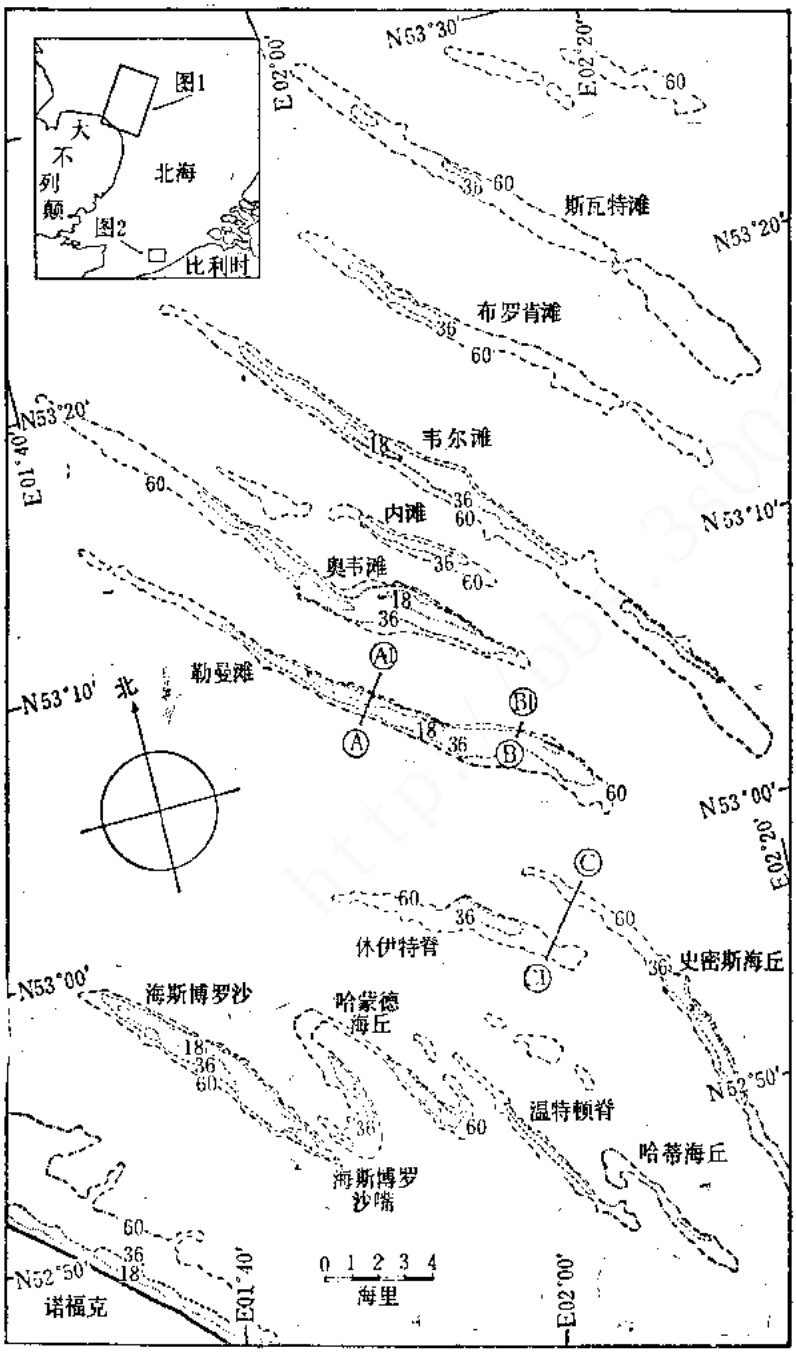


图 11.8　诺福克滩区的线状沙滩。等深线分别为18，36和60英尺。剖面C-C1参见图 11.18。插图表示北海南部两个研究区的位置（据Caston，1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

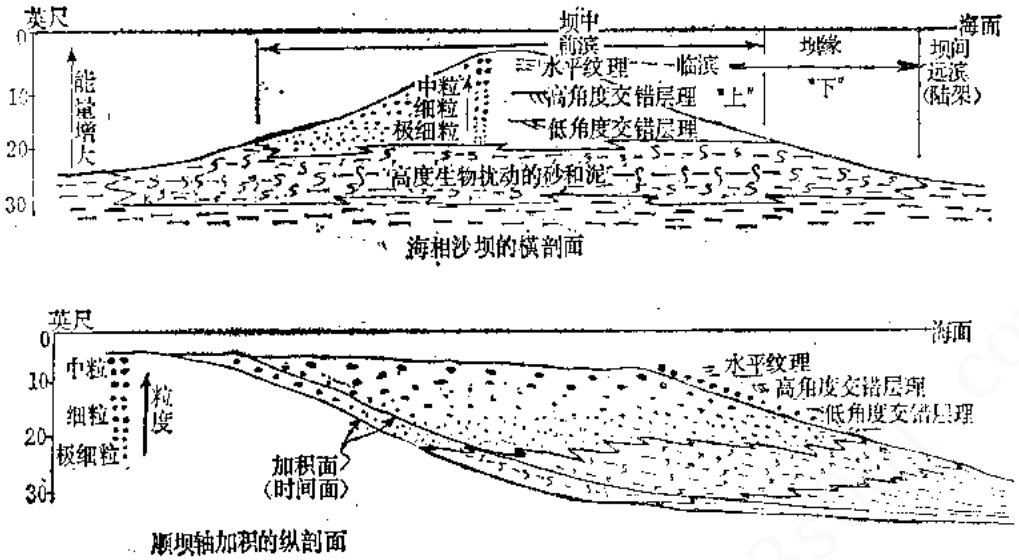


图 11.9　海相沙坝与临滨在相和术语方面的相似性

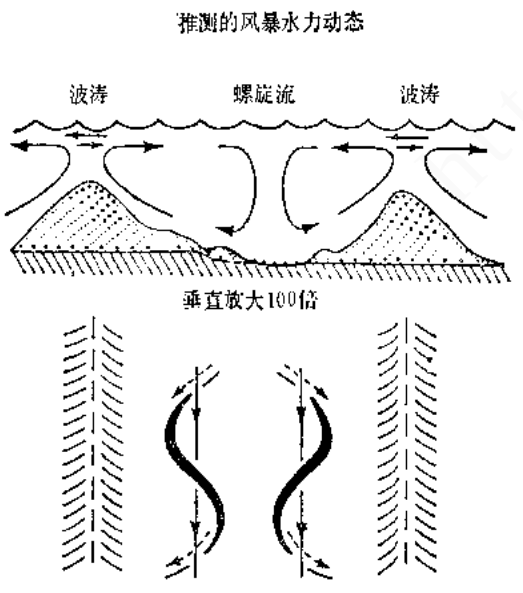


图 11.10　螺旋流运动（螺旋流构造）以及与风暴流场伴生的风暴波涛的示意图（据Swift等，1973）

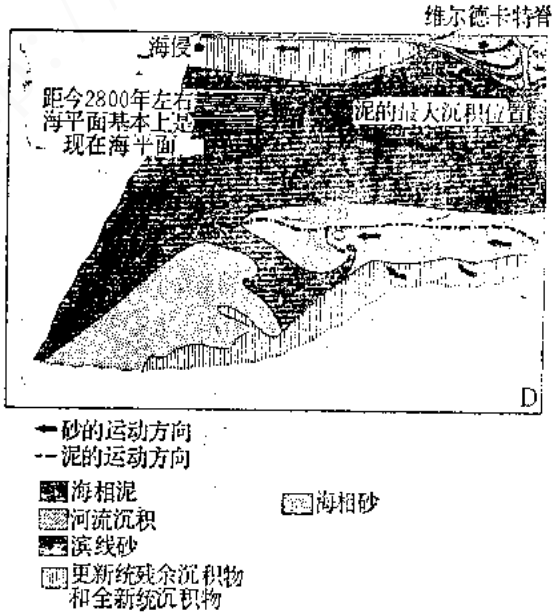


图 11.11

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

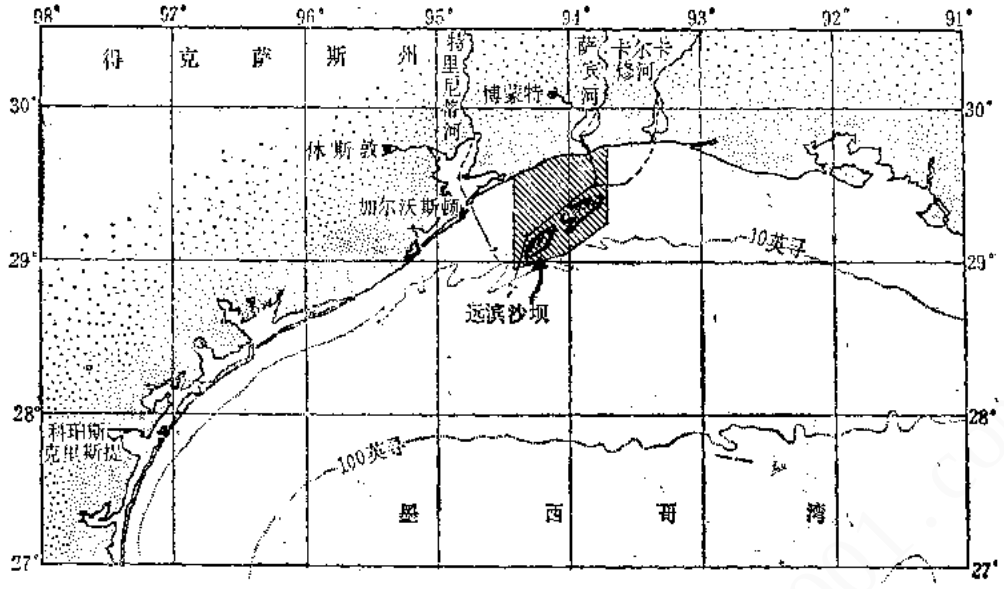


图 11.12 墨西哥湾西北部的萨宾一高岛区的位置（斜线区）和冰期的古河道（据Nelson和Bray，1970）

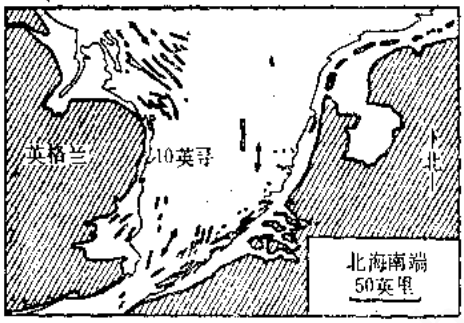


图 11.13 北海南端的线状沙滩（据Off，1963）

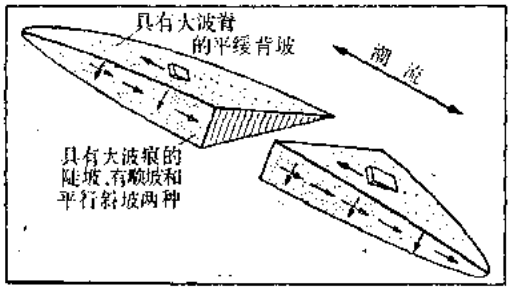


图 11.14 线状沙滩表面的大波痕（根据Houboult，1968修改）

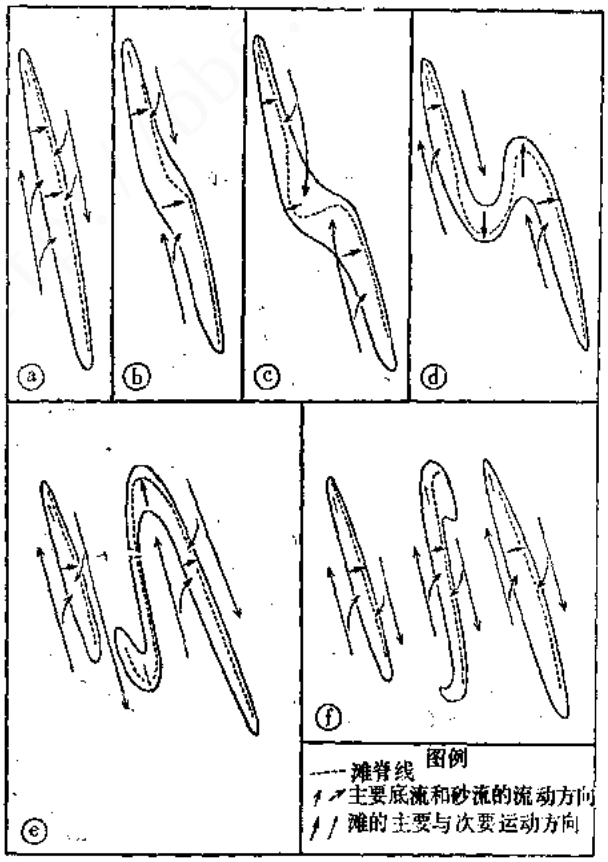


图 11.15 线状沙滩的生长发育阶段（据Caston，1972）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

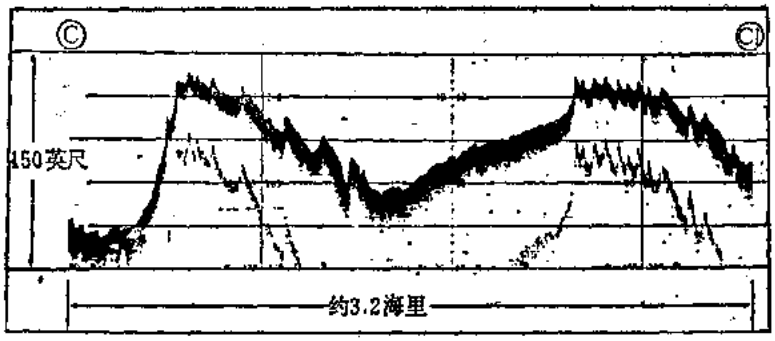


图 11.16　史密斯海丘（左）和休伊特脊（右）的回声测深横剖面，平缓滩坡(面向南西方向）上有大量的、大而不对称的沙波。这些沙波的陡侧面向上坡（峰线）。剖面位置见图11.8（据Caston，1972）

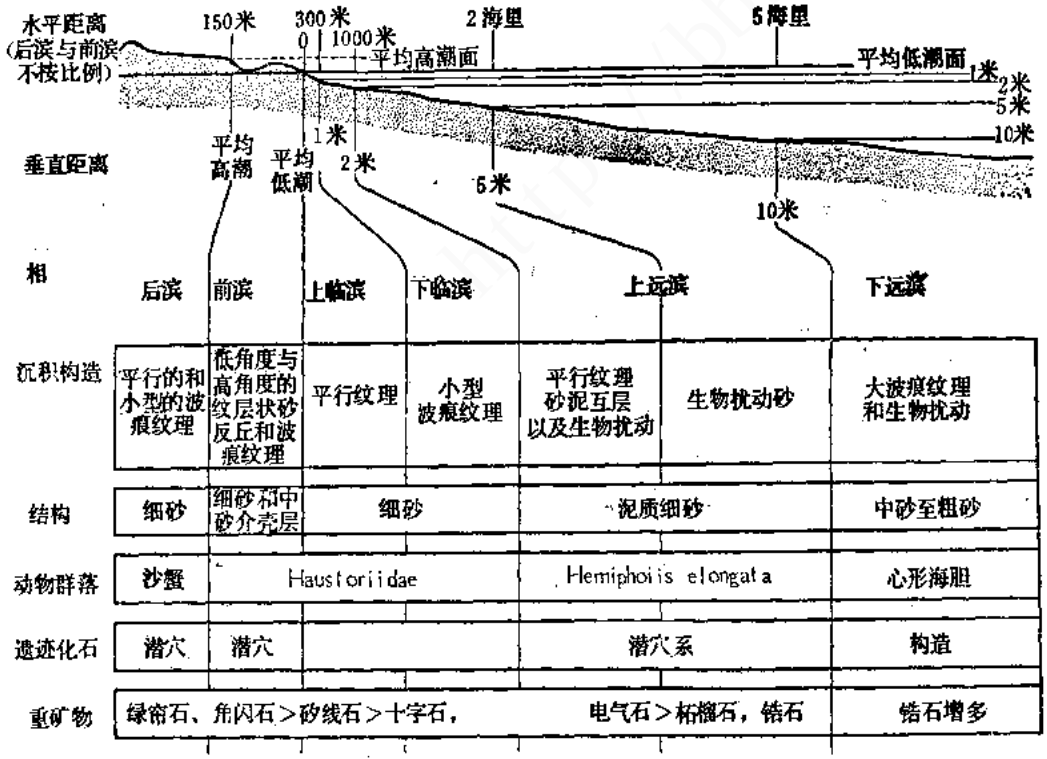


图 11.17　佐治亚州萨佩洛岛海滩和近滨环境的相带（据Howard和Reineck，1972a）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

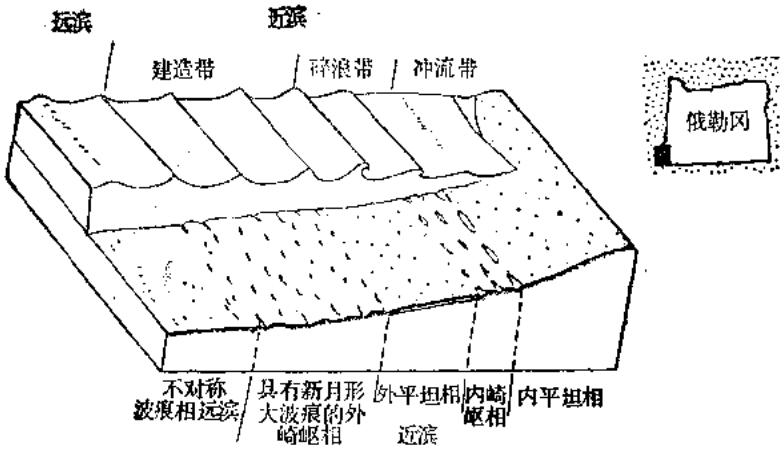


图 11.18　高能近滨区内及其附近的波浪作用分带和沉积构造相（据Clifton等，1971）

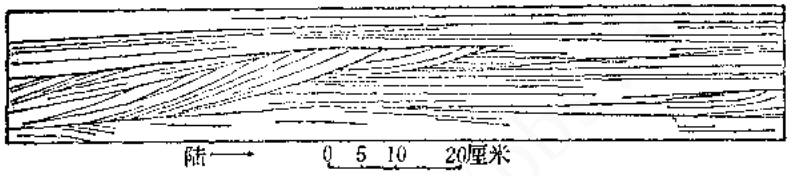


图 11.19　内平坦相（冲流带）向海边缘的内部构造（据Clifton等，1971）

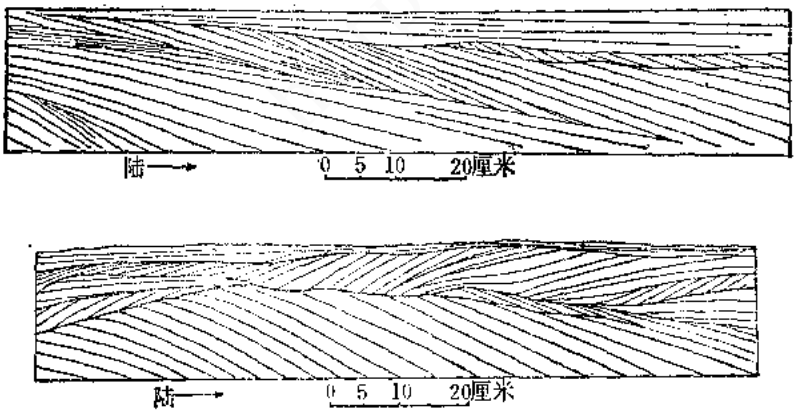


图 11.20　外平坦相的内部构造（据Clifton等，1971）
a—外平坦相外部；b—外平坦相中部



图 11.21　远滨—近滨交界向海处在正常的一天中所形成的砂的内部构造（据Clifton等，1971）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

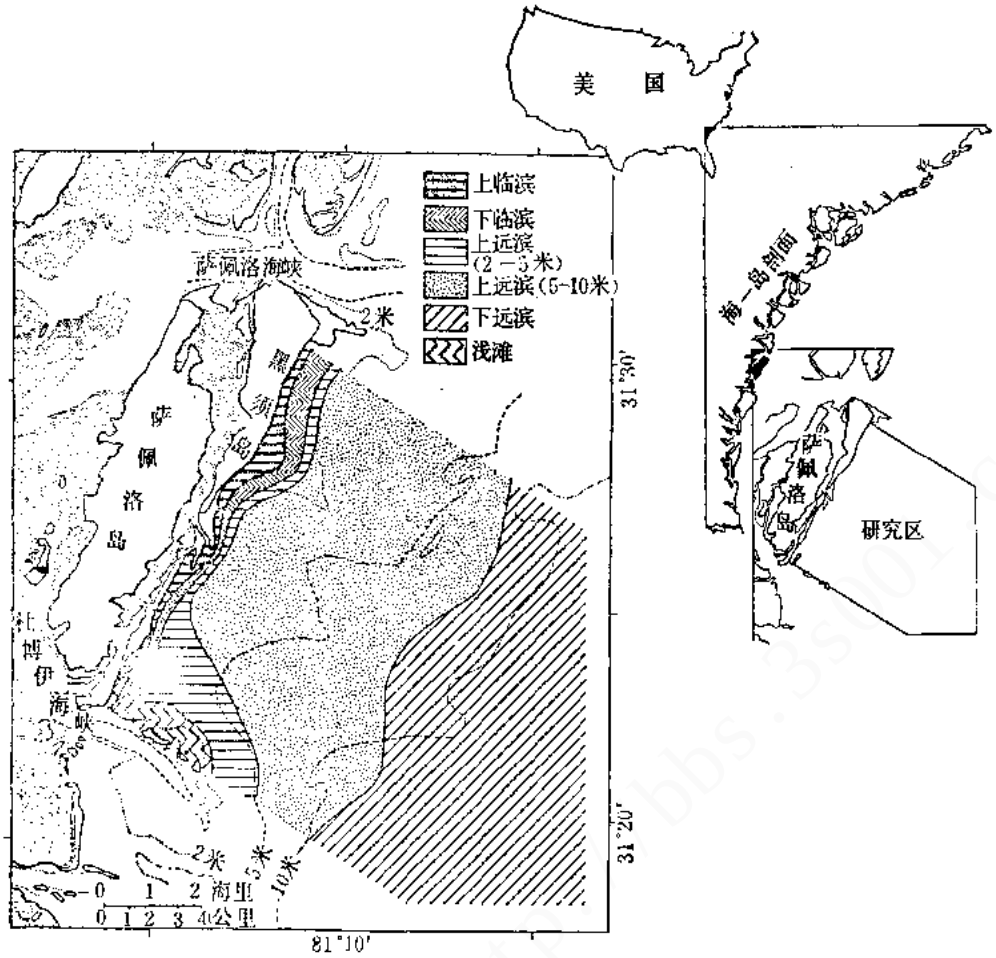


图 11.22 佐治亚州萨佩洛岛附近的主要地貌特征和相分布（据Howard和Reineck, 1972a）

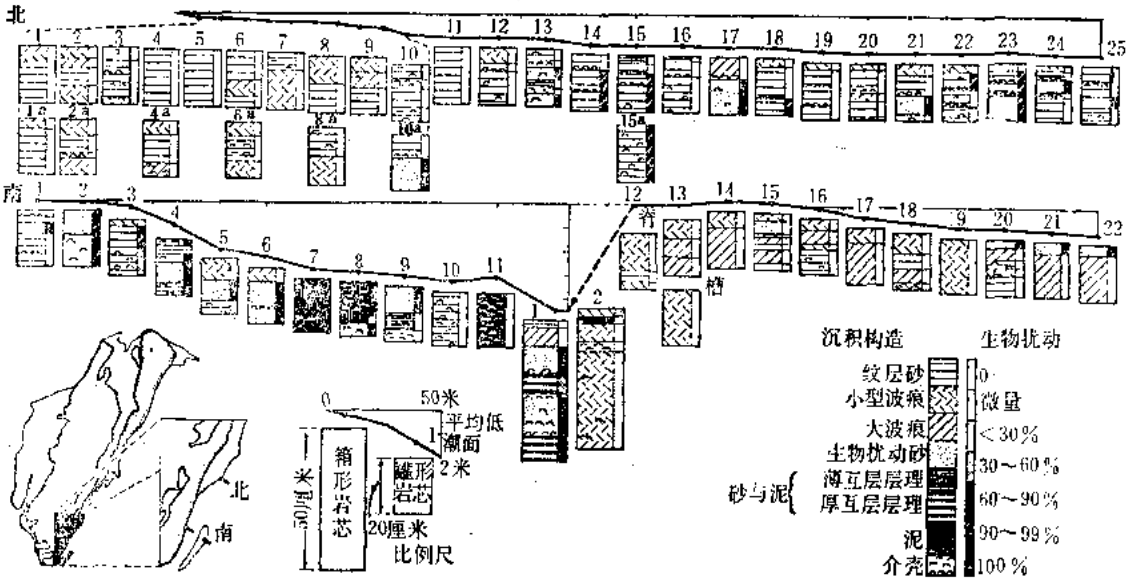


图 11.23 罐形岩芯的地理表示。每个罐形岩芯剖面中所出现的各种沉积构造以每个站位的符号表示之。生物扰动程度表示于罐形岩芯剖面柱子的右边（据Howard和Reineck, 1972a）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

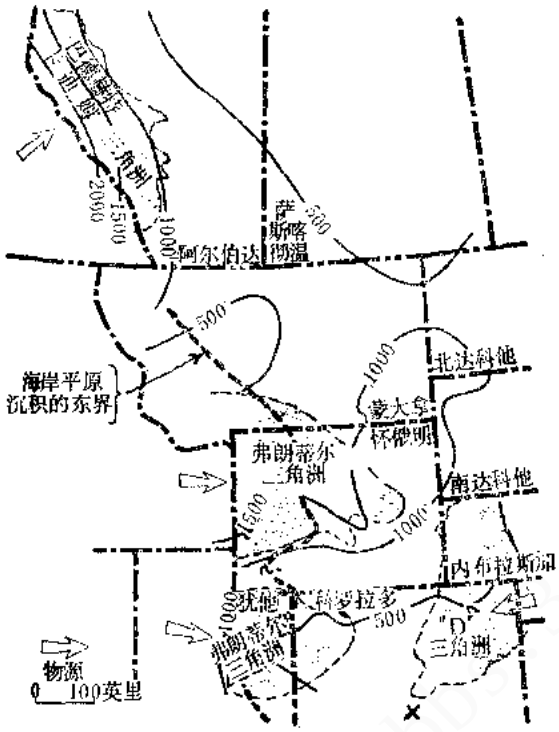


图 11.24　莫里贡岩顶面与内布拉拉组（在有可能的地方是同时间单位）底面之间总具浸的等厚线图，表示了主要砂岩集中分布区内的组名。等厚线单位为英尺（根据Barlow和Haun，1966修改）

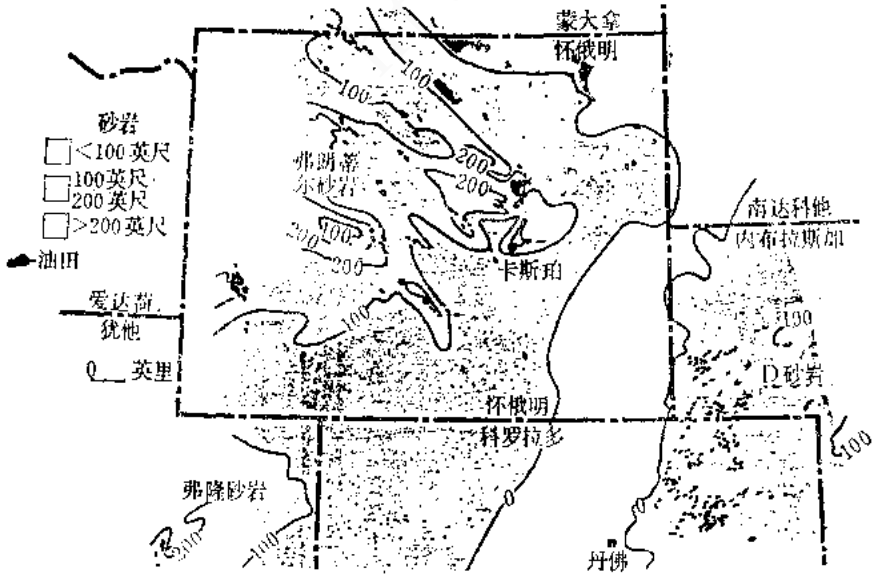


图 11.25　弗朗蒂尔组和相关地层内总砂岩的等厚线图，东南部彭顿页岩的科德尔砂岩段在计算时省略了。等厚线单位为英尺（根据Barlow和Haun，1966修改）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

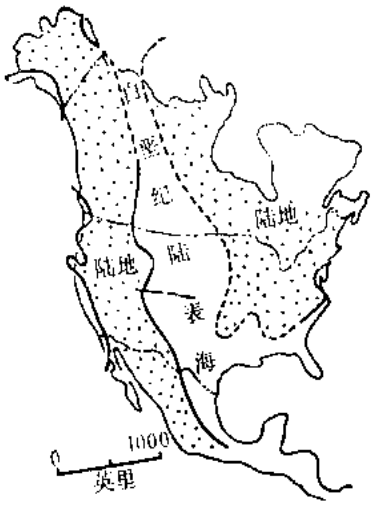


图 11.26 白垩纪海域地理分布的索引图
(据Gill和Cobban, 1966)

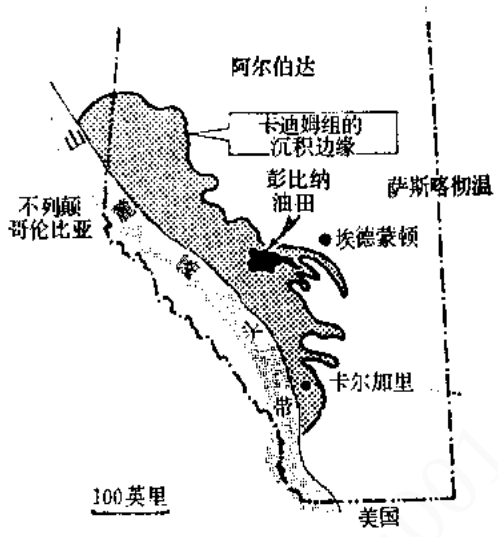


图 11.27 加拿大阿尔伯达省索引图

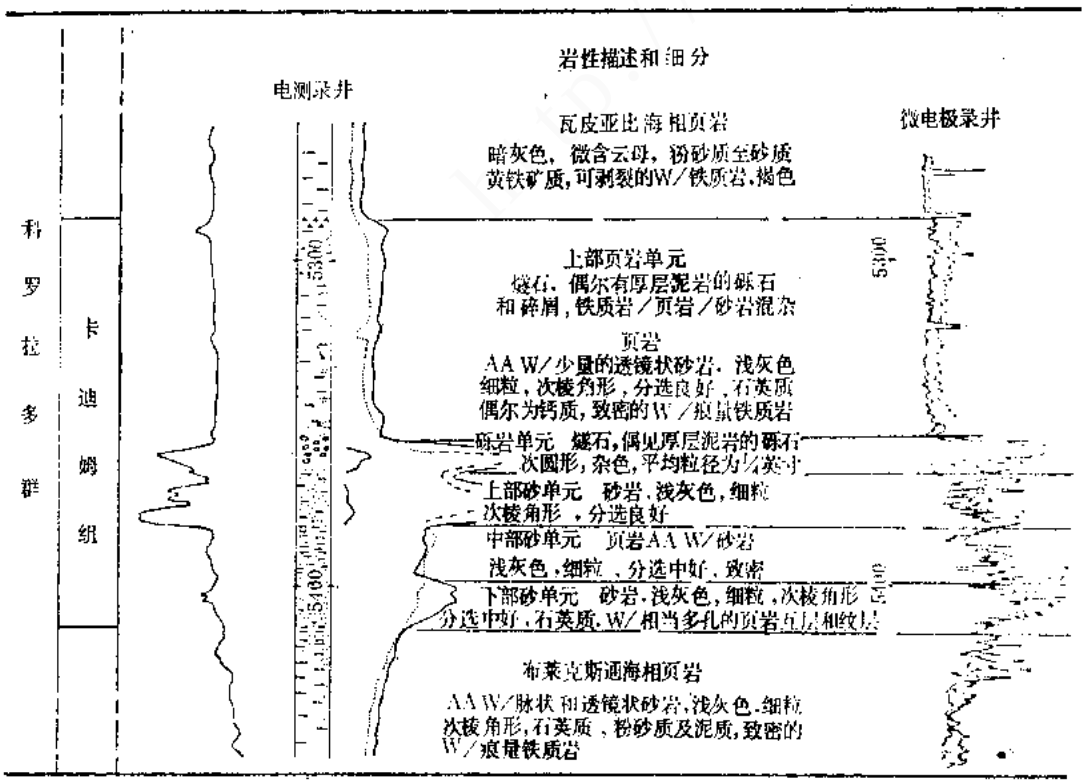


图 11.28 彭比纳油田典型的卡迪姆组的详细录井资料（据Mills, 1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

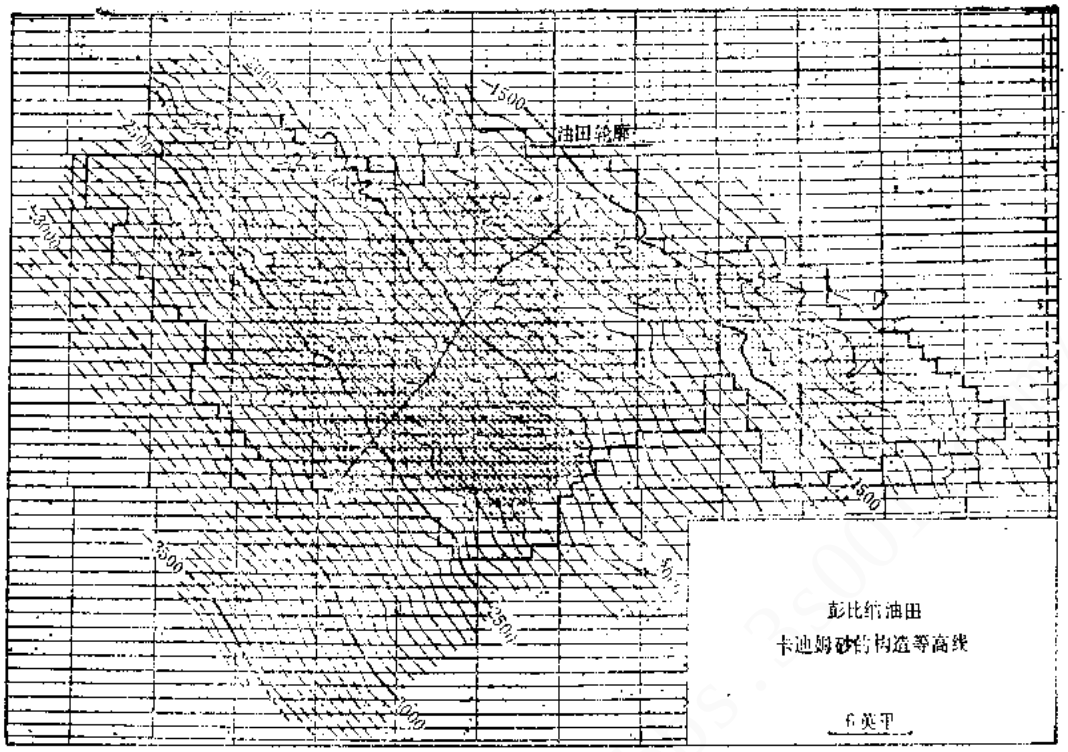


图 11.29　彭比纳油田卡迪姆砂的构造等高线图，等高线间距为 50 英尺（据Mills，1968）

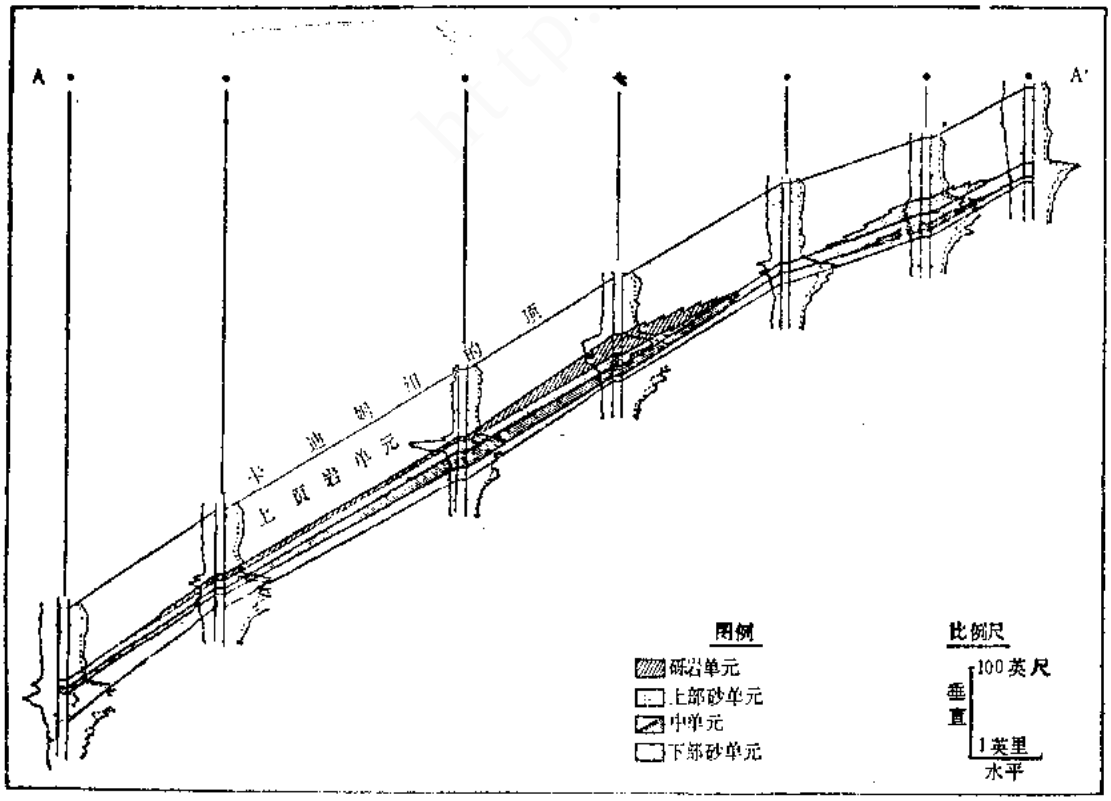


图 11.30　彭比纳油田的构造横剖面，A-A'剖面的位置见图 11.29（据Mills，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

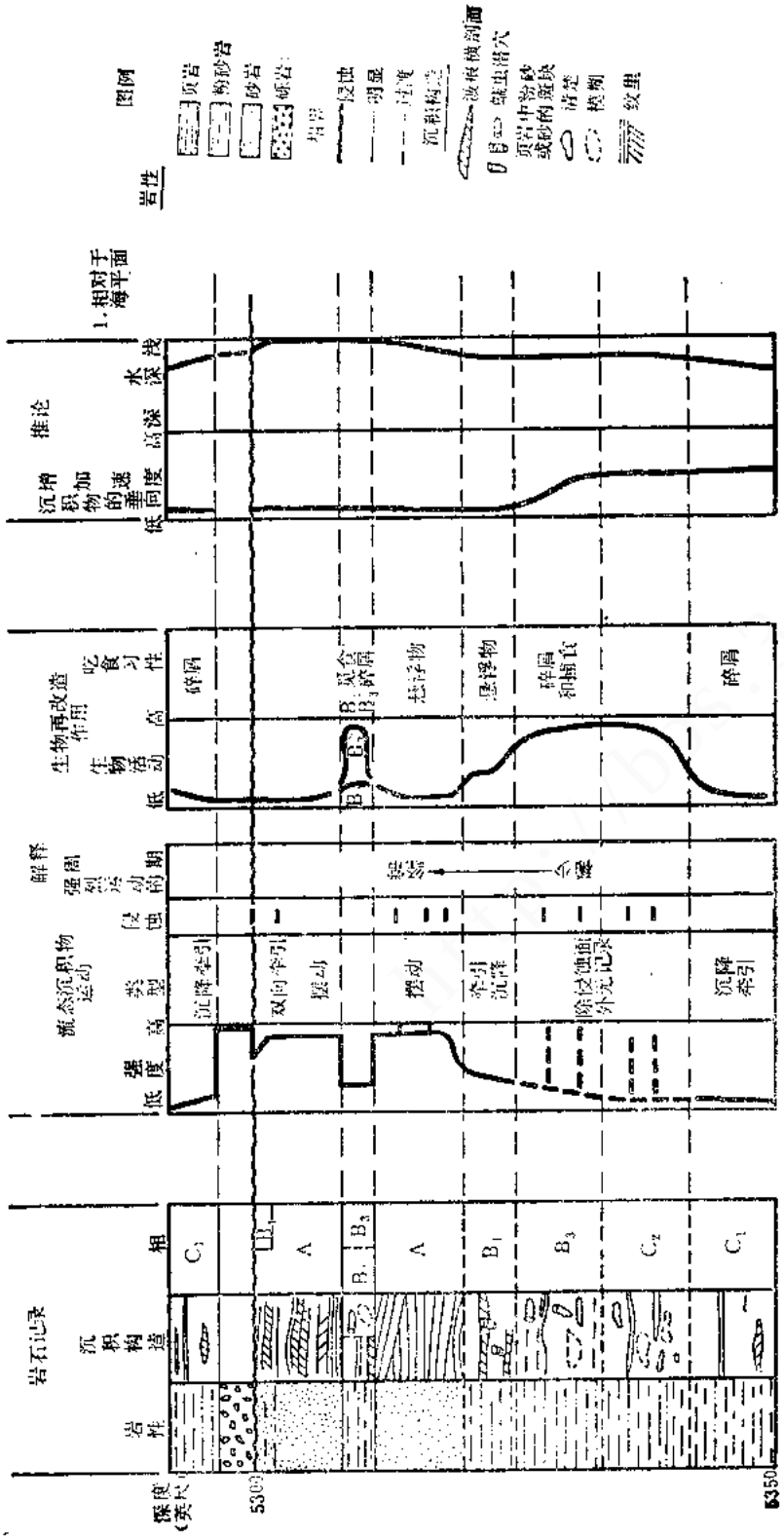


图 11.31 典型的卡迪姆岩芯的相分析（据Michaelis和Nixon，1969）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

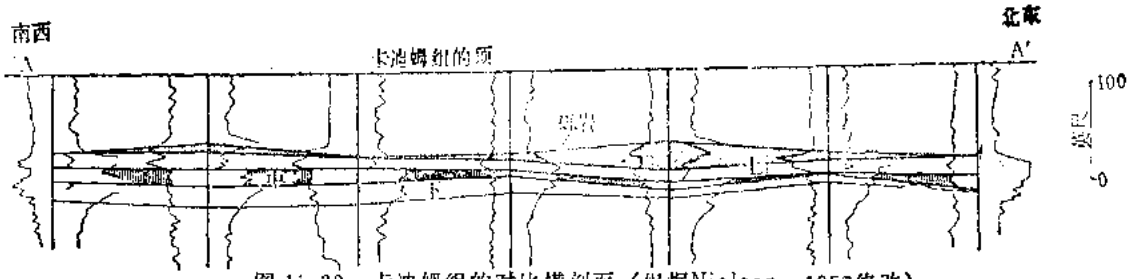


图 11.32　卡迪姆组的对比横剖面（根据Nielsen，1957修改）

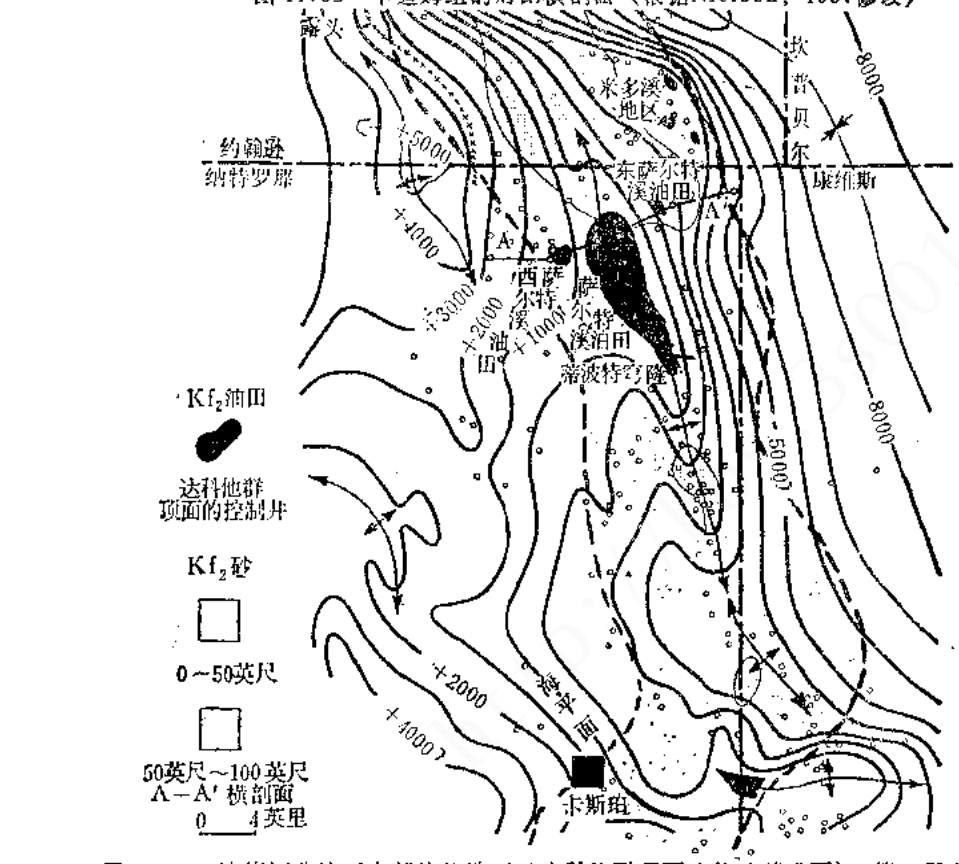


图 11.33　波德河盆地西南部的构造（以达科他群顶面为构造基准面）、第二层弗朗蒂尔砂岩（Kf_2）的分布及其中的油田。海平面上、下的构造等高线单位为英尺（据 Barlow和Haun，1966）

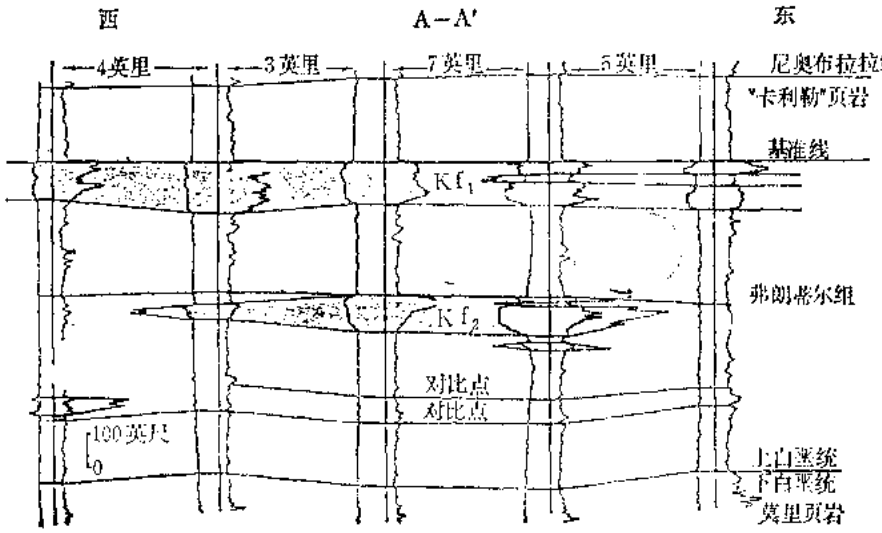


图 11.34　弗朗蒂尔组的东西向电测录井横剖面A—A'，表示第一层弗朗蒂尔砂岩（Kf_1）和第二层弗朗蒂尔砂岩（Kf_2）及共生页岩与粉砂岩的对比。剖面位置见图11.33（据 Barlow 和 Haun，1966）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

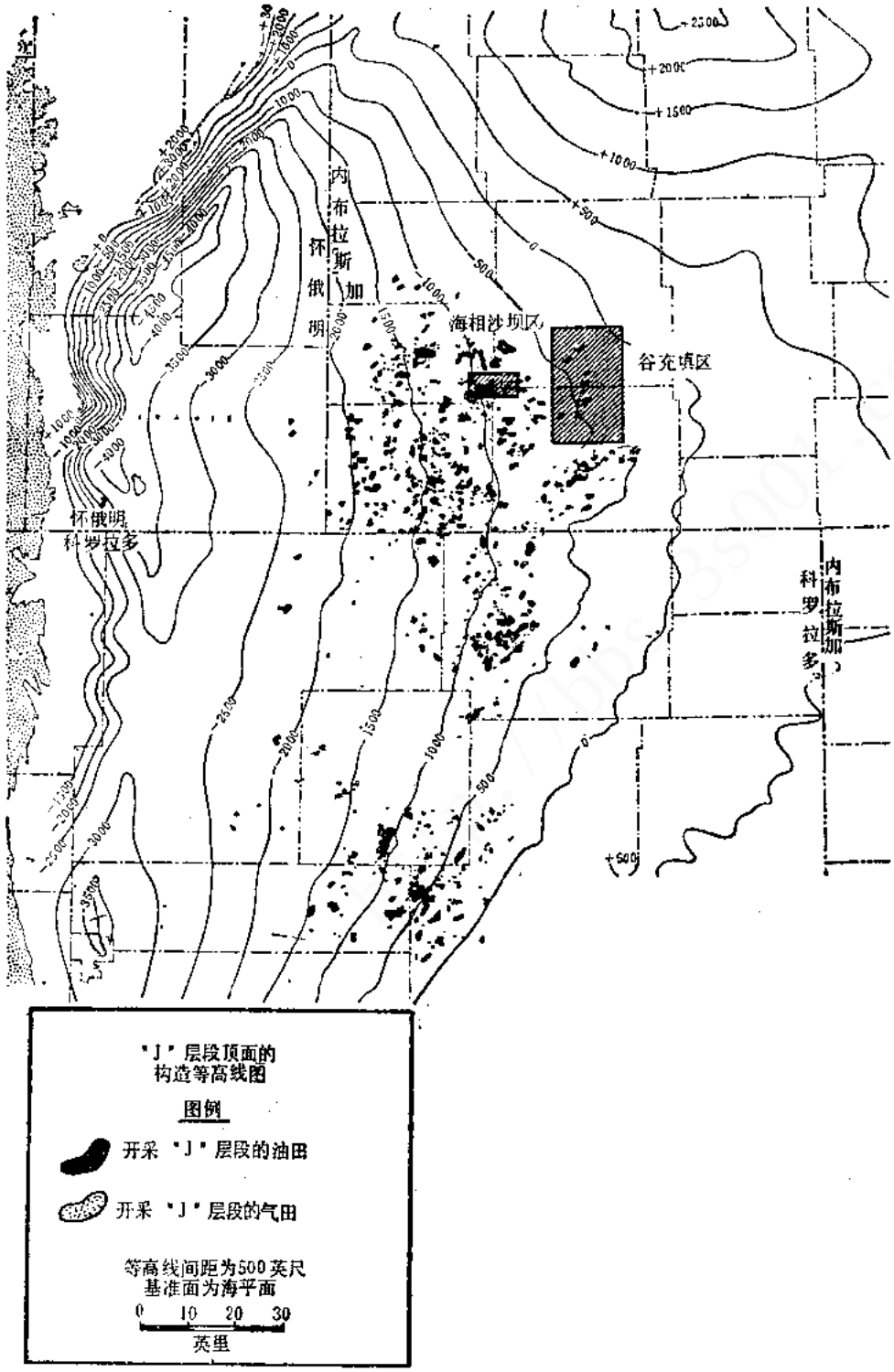
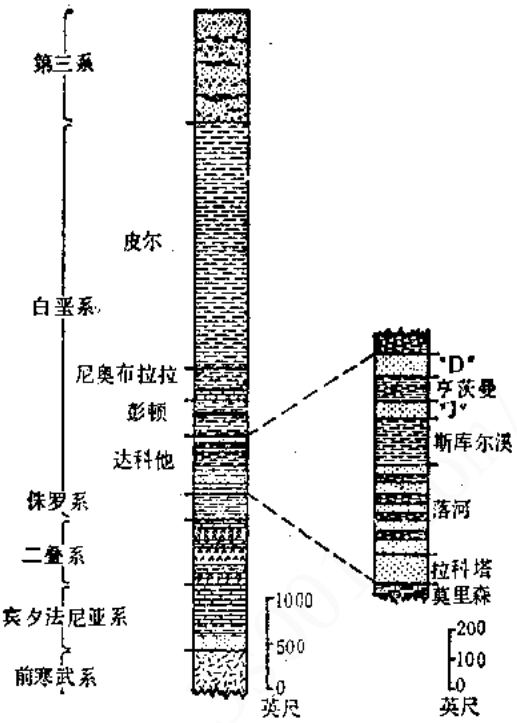
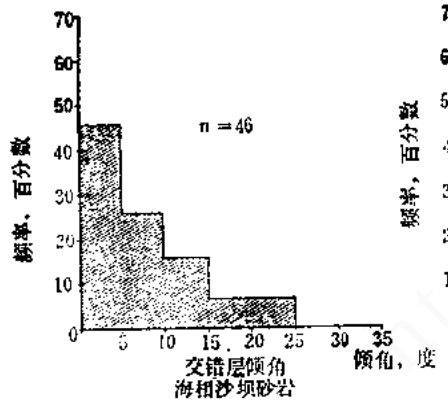


图 11.35　丹佛盆地的构造等高线图，基准面是白垩系达科他群"J"层段的顶面。深度基准面是海平面。图中画斜线的方框表示海相沙坝和谷充填的研究区。等高线间距为500英尺（据Exum和Harms，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图 11.36　内布拉斯加州西部的综合地层柱





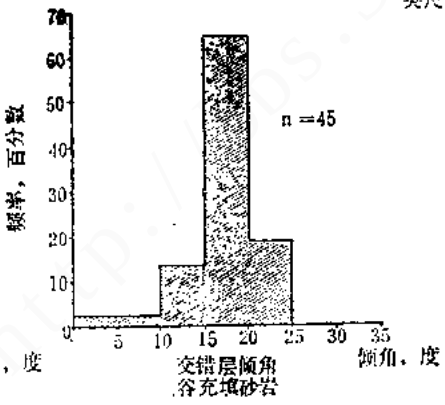


图 11.37　海相沙坝和谷充填岩石中大型交错层理倾角的直方图。虽然倾角的变化范围相同，但海相沙坝内80%以上的倾角小于15°，而谷充填物内80%以上的倾角大于15°（据 Exum 和 Harms，1968）

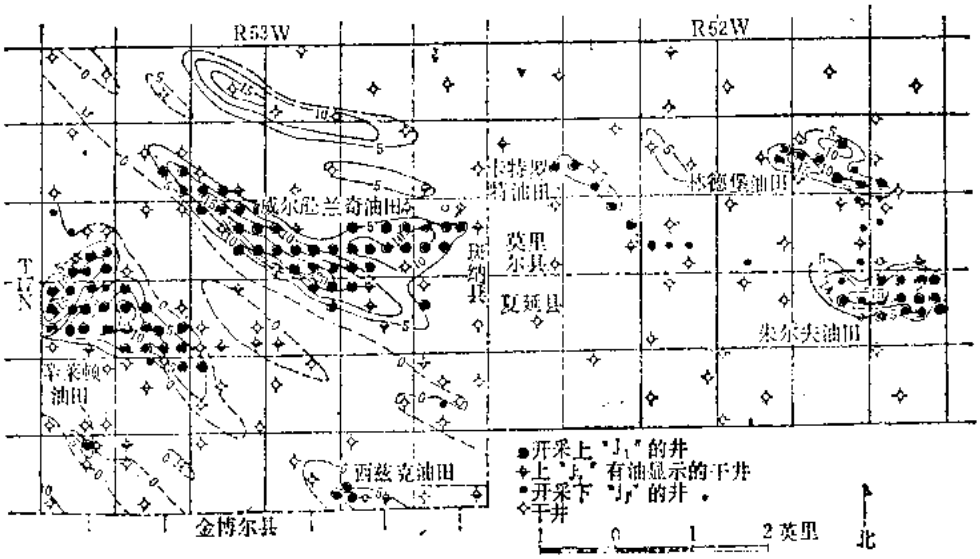


图 11.38　内布拉斯加州海相沙坝区上"J_1"中纯砂岩的等厚线图，等厚线间距为 5 英尺（据Exum和Harms，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

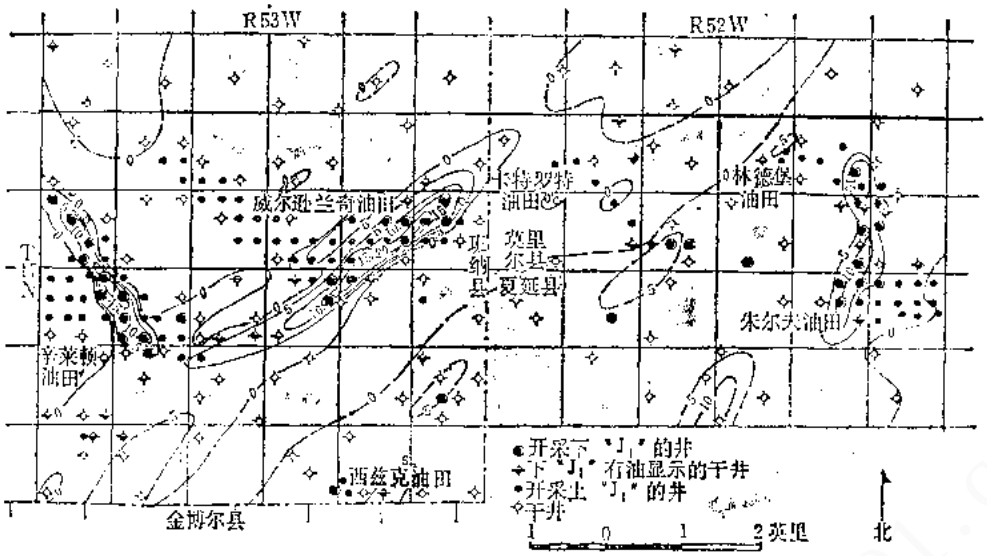


图 11.39　内布拉斯加州海相沙坝区下"J_1"中纯砂岩的等厚线图。等厚线间距为 5 英尺（据Exum和Harms，1968）

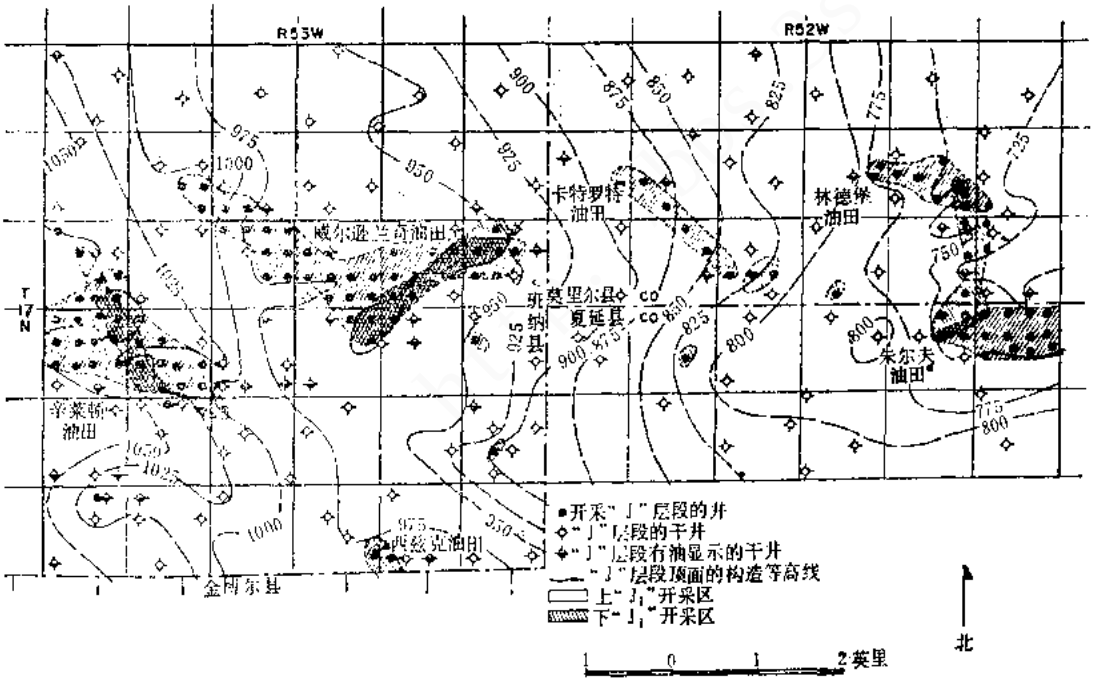


图 11.40　内布拉斯州海相沙坝区"J"单元基准顶面在海平面以下的构造等高线图，深度基准面是海平面。上、下"J_1"的开采区用斜线表示。油田显然与构造闭合无关。等高线间距为25英尺（据Exum和Harms，1968）

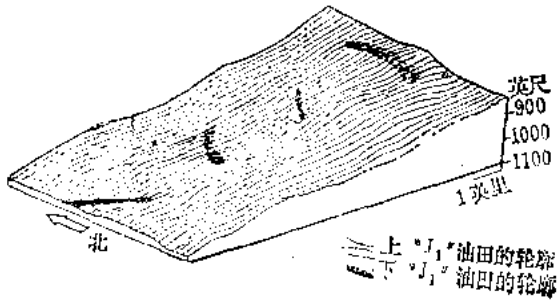


图 11.41　海相沙坝研究区的立体图，具有上、下"J_1"油田的轮廓界线。构造起伏用"J"单元顶面与等间距的东西向垂直面的交线表示。石油聚集与构造闭合无关（据Exum和Harms，1968）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

	海　相　沙　坝	谷　充　填
矿　物	有海绿石	无海绿石
结　构	粘土含量向上减少；砾石稀少	粘土含量向上增多，砾石常见
构　造	低角度交错层；对称波痕；潜穴	高角度交错层；不对称波痕；变形构造
古生物	海相微体生物；孢粉	孢粉

图 11.42　海相沙坝和谷充填的岩石特性比较

	海　相　沙　坝	谷　充　填
宽　度	0.5～1.5英里	0.3～0.4英里
长　度	小于 6 英里	大于20英里
厚　度	最大为25英尺	最大为80英尺
形　状	散布的椭圆形透镜体	单个长柱状
横向变化	沉积的，渐变	侵蚀的，突变
底部接触	渐变或突变	侵蚀

图 11.43　海相沙坝和谷充填的储集层几何形态的比较（据Exum和Harms，1968）

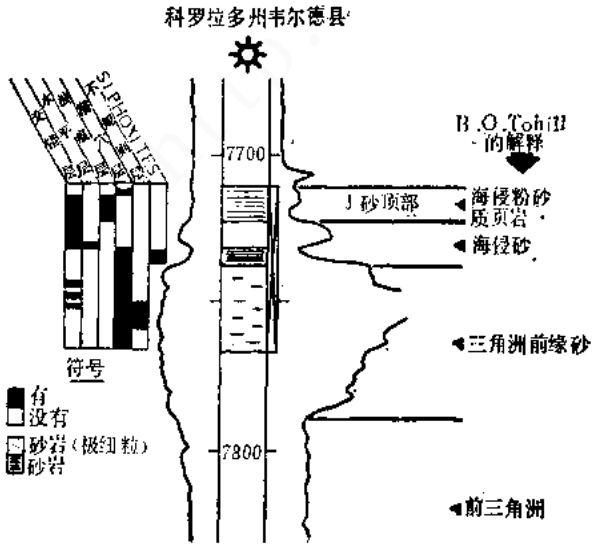
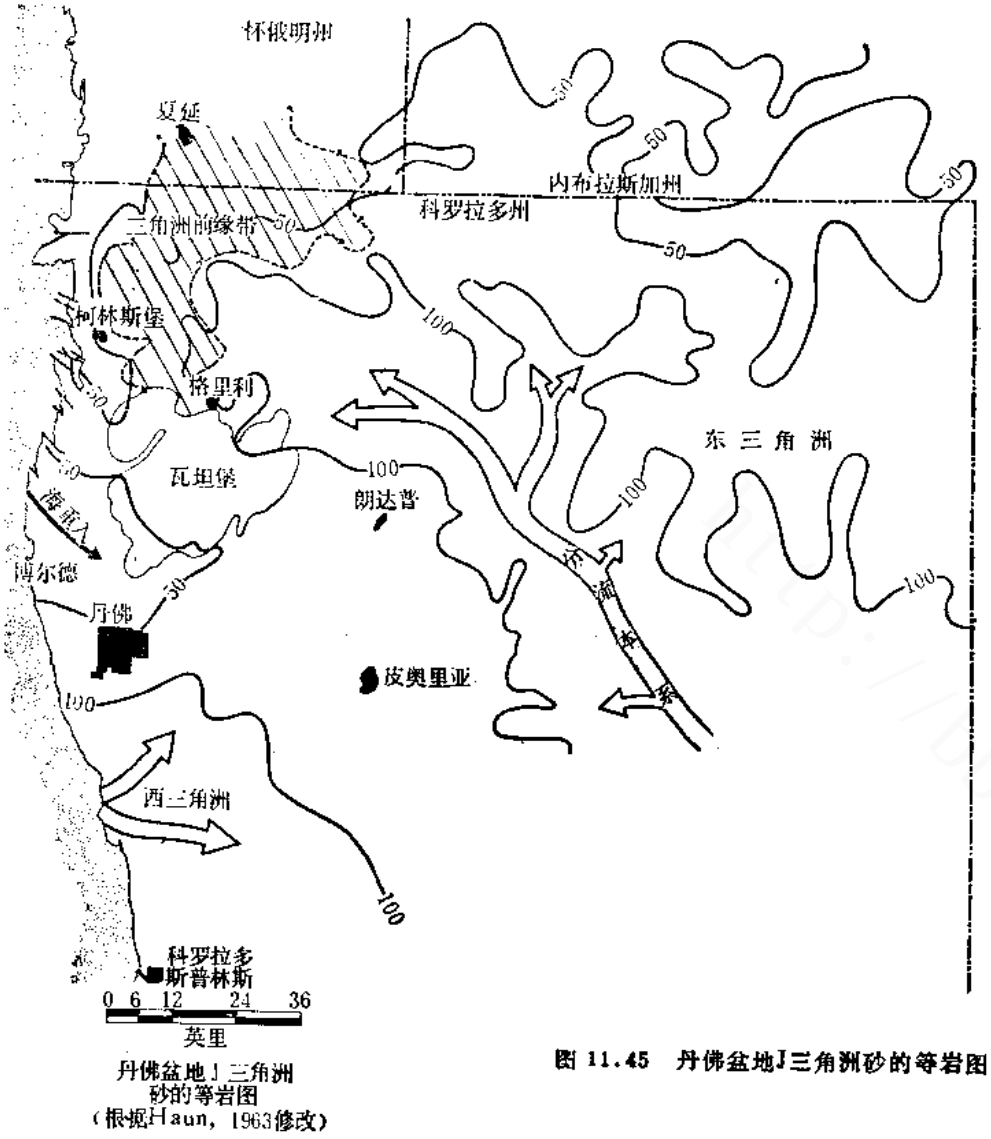
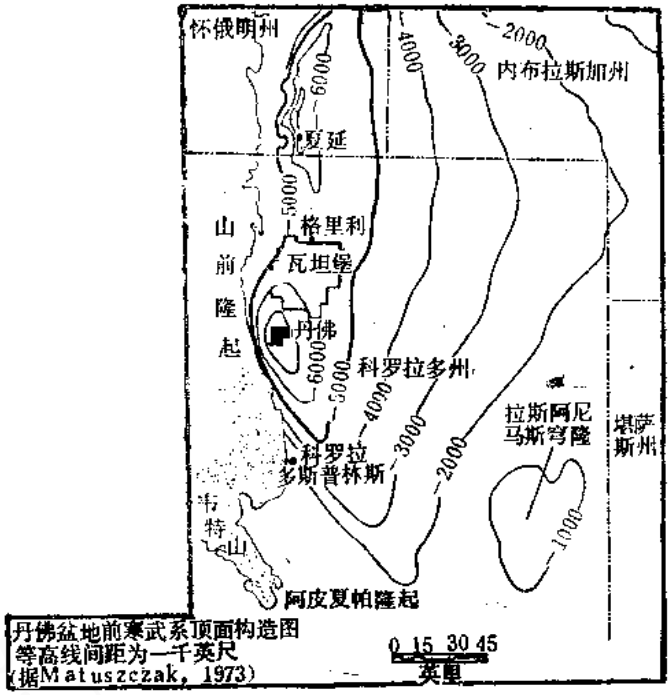


图 11.44　J砂岩的沉积特征和环境解释

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



丹佛盆地J三角洲砂的等岩图
（根据Haun，1963修改）



丹佛盆地前寒武系顶面构造图
等高线间距为一千英尺
（据Matuszczak，1973）

161

图 11.45　丹佛盆地J三角洲砂的等岩图和前寒武系顶面构造图

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

平均孔隙度	9.5 %
平均渗透率	0.1～0.2毫达西
同生水饱和度	44% (?)
可采储量	1100
油田大小	283000英亩
平均产层厚度	25英尺多
原始油层压力	2750
深度范围	7350～8500英尺
	100～3575

图 11.46 "J"砂岩储集层的基本数据

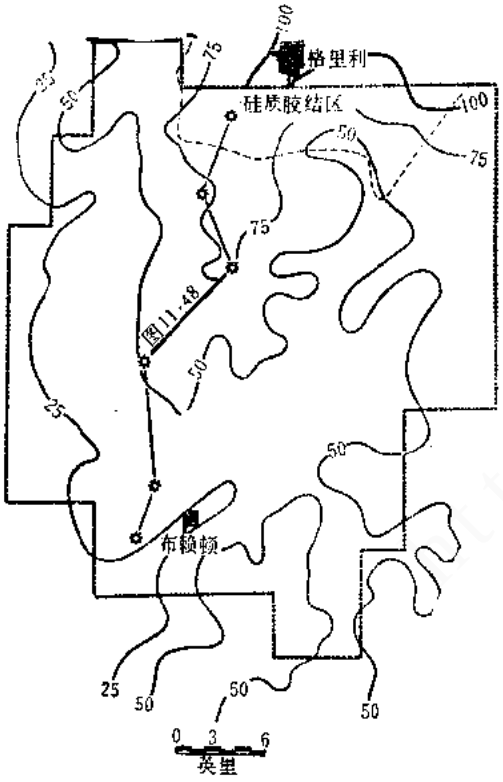


图 11.47 瓦坦堡油田J砂岩等岩图，等值线间距为25英尺（据Matuszczak，1973）

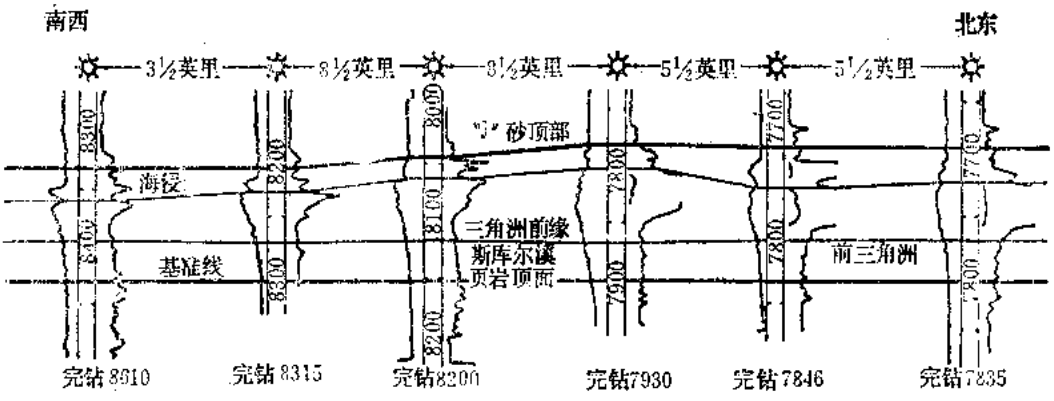


图 11.48 瓦坦堡油田下白垩统"J"砂岩的横剖面对比图，剖面位置见图 11.47（据Matuszczak，1973）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

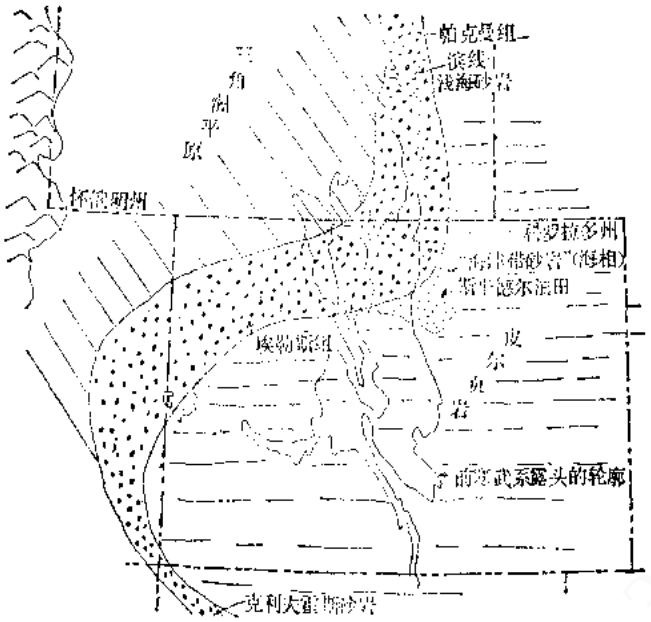


图 11.49 上白垩统坎佩尼阶"海津砂岩"区的岩相图(据R.M.A.G.的图; Weimer 修改过)

参考文献

[有关浅海(陆架)环境的书或专刊]

Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1972, Reprint Series No. 3, Continental Shelves Origin and Significance, Tulsa, Okla., 194 p.

Amer. Geological Inst., New Concepts of Continental Margin Sedimentation, Wash., D. C., Short Course Lecture Notes, Philadelphia, Nov. 7-9, 1969.

*Howard, J. D. and Reineck, H. E., 1972, Georgia coastal region, Sapelo Island, U. S. A.: sedimentology and biology. IV, Physical and biogenic sedimentary structures of the nearshore shelf: Senckenbergiana Marit., v. 4, p. 81-123.

Swift, D. J. P., Duane, D. B. and Pilkey, O. H., (eds.), Shelf sediment transport: Processes and Pattern: Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pa.

第四纪陆架(浅海)环境.

Allen, G. P. and Castaing, P., 1973, Suspended sediment transport from the Gironde estuary (France) onto the adjacent continental shelf: Mar. Geol., 14, M47-M53.

*Clifton, H. E., Hunter, R. E. and Phillips, R. L., 1971, Depositional structures and processes in the non-barred high-energy nearshore: Jour. Sed. Petrology, v. 41, no. 3, p. 651-670

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Caston, V. N. D., 1972, Linear sand banks in the southern North Sea: Sedimentology, v. 18, p. 63-78.

Caston, V. N. D., and Stride, A. H., 1970, Tidal sand movement between some linear sand banks in the North Sea off northeast Norfolk: Mar. Geol., v. 9, M38-M42.

Curray, J. R., 1965, Late Quaternary history, continental shelves of the United States: in Quaternary of the United States: Wright, H. E. and Frey, D. G (eds). Princeton Univ. Press, p. 723-735.

Dingle, R. V., 1965, Sand waves in the North Sea mapped by continuous reflection profiling: Mar. Geol., v. 3, no. 6, p. 391-400.

Emery, K. O., 1952, Continental shelf sediments of Southern California: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 63, p. 1106-1108.

_____, 1968, Relict sediments on continental shelves of world: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 52, p. 445-464. (also in AAPG Reprint Series No. 3).

Emery, K. O., 1969, The continental shelves: Scientific Amer., v. 221, no. 3, p. 106-122.

_____, 1971, Bottom sediment map of the Malacca Strait: Tech. Bull., E.C.A.F.E., v. 4, p. 149-152.

Ewing, G. A., 1973, Wave induced bottom currents on the outer shelf: Mar. Geol., v. 14, p. M31-M35.

Gorsline, D. S., 1963, Bottom sediments of the Atlantic shelf and slope off southern United States: Jour. Geol., v. 71, p. 442-447.

Hallam, A., (ed.), 1967, Depth indicators in marine sedimentary environments: Mr. Geol., v. 5 (special issue), p. 329-567.

Houboult, G. J. H. C., 1968, Recent sediments in the southern bight of the North Sea: Geol. Mijnbauw, v. 47, p. 245-273.

Jones, N. S., Kain, G. M. and Stride, A. H., 1965, The movement of sand waves on Warts Bank, Isle of Man: Mar. Geol., v. 3, no. 5, p. 329-336.

Keller, G. K. and Richards, A. F., 1967, Sediment of the Malacca Strait; southeast area: Jour. Sed. Petrology, v. 37, 1, pp. 102-127.

Kenyon, N. H., 1970, Sand ribbons of European tidal seas: Mar. Geol., v. 9, p. 25-39.

Kenyon, N. H. and Stride, A. H., 1970, The tide-swept continental shelf sediments between the Shetland Islands and France: Sedimentology, v. 14, p. 159-173.

Nelson, H. F. and Bray, E. E., 1970, Stratigraphy and history of the Holocene sediments in the Sabine-High Island area, Gulf of Mexico: in Morgan, J. P. (ed.), Deltaic Sedimentation, Modern and Ancient: Soc. Econ. Paleo and Min. Sp. Pub. 15, p. 48-77.

Off, T., 1963, Rythmic linear sand bodies caused by tidal currents: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 47, p. 332-341.

Oertal, G. F., II, and Howard, J. D., 1972, Water circulation and sedimentation at estuary entrances on the Georgia Coast: in Swift, et al. (eds.), Shelf Sediment Transport: process and pattern, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg, Pa.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Reinock, H. E., 1963, Sedimentary structures (stratification) in the area of the southern North Sea: Senckenberg Research Inst. for Marine Geology and Marine Biology, Publ. no. 217, 138 p. (published in German).

Smith, J. D., 1969, Geomorphology of a sand ridge: Jour. Geology, v. 77, p. 39-55.

Stanley, D. G., Curray, J. R., Middleton, F. V. and Swift, D. J. P., 1969, The new concepts of continental margin sedimentation: Amer. Geol. Inst., Short Course Lecture Notes, Wash., D. C.

Stride, A. H., 1963, Current-swept sea floors near the southern half of Great Britain: Quart. Jour. Geol. Soc. London: v. 119, p. 175-199.

Stride, A. H. and Chesterman, W. D., 1973, Sedimentation by non-tidal currents around northern Denmark: Mar. Geol., v. 15, M53-M58.

*Swift, D. J. P., Duane, D. B. and McKinney, T. F., 1973, Ridge and swale topography of the middle Atlantic Bight, North America: secular response to the Holocene hydraulic regime: Mar. Geol. v. 15, p. 227-247.

Swift, D. J. P., Stanley, D. J., and Curray, J. R., 1971, Relict sediments on continental shelves: a reconsideration: Jour. Geol., v. 79, p. 322-346.

Terwindt, J. H. J., 1971, Sand waves in the southern bight of the North Sea: Mar. Geol., v. 10, no. 1, p. 51-69.

Uchupi, E., 1968, The Atlantic continental shelf and slope of the United States: physiography: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 529--C, p. 1-20.

Van Stratten, L. M. J. U., 1959, Minor structures of some recent littoral and neritic sediments: Geol. en Mijnbauw, v. 21, p. 197-216.

古代浅海沉积

*Barlow, J. A., Jr. and Haun, J. D., 1966, Regional stratigraphy of Frontier Formation and relation to Salt Creek Field, Wyoming: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 50, no. 10, 2185-2196.

Berven, R. J., 1966, Cardium sandstone bodies, Crossfield-Garrington: Bull Canadian Petrol. Geol., v. 14, no. 2, p. 208-240.

Cobban, W. A. and Reside, J. B., Jr., 1952, Frontier Formation, Wyoming and adjacent areas: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 36, no. 10, p. 1913-1961.

Evans, W. E., 1970, Imbricate linear sandstone bodies of Viking Formation in Dodsland - Hoosier area of Southwestern Saskatchewan, Canada: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 54, no. 3, p. 469-486.

*Exum, F. A. and Harms, J. C., 1968, Comparison of marine-bar with valley-fill stratigraphic traps, Western Nebraska: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 52, no. 10, p. 1851-1868.

*Howard, J. D., 1972, Trace fossils as criteria for recognizing shorlines in stratigraphic record: Soc. Econ. Paleo. and Min. Sp. Pub. 16, p. 215-225.

*Matuszczak, R. A., 1973, Wattenberg field, Denver Basin, Colorado: The Mountain Geologist, v. 10, no. 3, p. 99-105.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Michaelis, E. R., 1957, Cardium sedimentation in the Pembina River area: Alberta Soc. Petrol. Geol., Jour., v. 5, p. 73-77.

*Michaelis, E. R. and Nixon, G., 1969, Interpretation of depositional processes from sedimentary structures in the Cardium sand: Canad. Petrol. Geol. Bull., v. 17, no. 4, p. 410-443.

Mills, B. A., 1968, Solution-gas reserves in Pembina Cardium oil field, Alberta Canada: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 9, p. 698-704.

Nielsen, A. R., 1957, Cardium stratigraphy of the Pembina Field: Alberta Soc. Petrol. Geol. Jour., v. 5, no. 4, p. 64-72.

Patterson, A. M. and Arneson, A. A., 1957, Geology of Pembina Field, Alberta: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 41, p. 937-949.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com