



石油工业出版社

612377

碳酸盐岩 油藏勘探

安妮·里克曼 著
G.M. 弗里德曼

755

U A N Y A N
Y A N

碳酸盐岩油藏勘探

安妮·里克曼 G. M. 弗里德曼 著

丁 禾 李建温 译 陈景山 校

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书阐述了环境解释的基本概念,介绍了碳酸盐岩储集层的研究方法、碳酸盐岩中孔隙的形成与破坏,以及几种重要的孔隙分类方案,为我们研究碳酸盐岩油藏提供了坚实的基础。书中还列举了十三个油藏实例,展示了各种研究方法的应用,并突出了对有产油潜力的碳酸盐岩层序的解释,这些对我国碳酸盐岩油藏的勘探很有参考价值。

可供从事石油勘探、开发的石油地质师、工程师及技术人员学习参考,也可作为有关院校石油地质学及沉积岩石学课程的教学参考书。

* * * *

本书系根据英文版译出的。第一、二章由丁禾翻译,第三章由李建温翻译。全书由陈景山统一校订。

Anne Reeckmann G.M.Friedman

Exploration for Carbonate Petroleum Reservoirs

JOHN WILEY & SONS INC.

New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore

碳酸盐岩油藏勘探

安妮·里克曼 G. M. 弗里德曼 著

丁 禾 李建温 译 陈景山 校

石油工业出版社出版

(北京安定门内大街东后街甲36号)

妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 12印张 1插页 287千字 印1—1500

1986年10月北京第1版 1986年10月北京第1次印刷

书号: 15037·2640 定价: 1.90元

前 言

本书是根据法文本《Essai de Caractérisation Sédimentologique des Dépôts Carbonatés》(碳酸盐沉积物的沉积特征)一书的第二部分(1977)翻译增补而成。与论述碳酸盐岩的其他著作不同的是,法文原本以Walther (1893~1894)和Lombard (1956)的碎屑法为基础提出了几种不同的模式。我们结合运用了这种具有独创性的新方法,并欲把这种方法介绍给更多的读者。因此,我们将原法文本译成英文并加以充实、修订出版。书中还增加了北美的一些实例。

本书主要对象是从事碳酸盐岩石工作的石油和矿业工作者、学生以及科研人员。对于碳酸盐基础知识尚感欠缺的学生和专职地质人员,建议他们阅读一下Friedman和Sanders (1978)著作中的有关章节,以熟悉碳酸盐岩石的颗粒、碳酸盐沉积作用、胶结作用的过程以及分类,这样就可以向新从事碳酸盐岩研究的人员提供足够的知识以理解本书中论述的水平。欲阅读有关的补充读物和更专门的论著的人员,可进一步研究Asquith (1979)、Bathurst (1975)和Wilson (1975)的著作。

安妮·里克曼 G.M.弗里德曼
1981年12月于纽约州特洛伊市

目 录

第一章 沉积环境和碳酸盐沉积体的形状.....	(1)
第一节 沉积环境.....	(1)
一、环境解释的基础.....	(1)
1. 分析技术.....	(1)
2. 相模式.....	(1)
二、沉积环境的主要类型.....	(2)
1. 非海洋沉积环境.....	(2)
2. 海洋沉积环境.....	(2)
三、表征沉积环境的标志.....	(5)
1. 生物标志.....	(11)
2. 物理标志.....	(11)
3. 化学与气候标志.....	(12)
第二节 不同沉积环境在垂向上的关系.....	(12)
一、海进-海退 层 序.....	(13)
二、上、下接触面.....	(15)
三、碳酸盐层序.....	(15)
第三节 沉积体的几何形状.....	(21)
一、静态关系.....	(21)
二、动态关系.....	(27)
第二章 碳酸盐储集岩.....	(32)
第一节 研究方法.....	(33)
一、岩石物理分析.....	(33)
1. 测定时用的样品.....	(33)
2. 测量单位.....	(33)
3. 测量方法.....	(33)
二、岩相学分析.....	(34)
1. 宏观分析.....	(34)
2. 微观分析.....	(34)
3. 测井.....	(34)
4. 产量测定.....	(35)
第二节 碳酸盐储集层中孔隙的种类.....	(52)
一、孔隙的分类.....	(52)
二、原生孔隙.....	(52)

1. 构架孔隙·····	(52)
2. 粒内孔隙·····	(52)
3. 粒间孔隙·····	(53)
4. 窗孔状孔隙·····	(53)
三、次生孔隙·····	(53)
1. 晶间孔隙·····	(53)
2. 铸模孔隙·····	(53)
3. 孔洞孔隙和通道孔隙·····	(53)
4. 裂缝孔隙及角砾孔隙·····	(53)
5. “白垩状”孔隙或风化孔隙·····	(54)
第三节 沉积环境与储集岩的关系·····	(54)
第四节 成岩变化与储集层发育的关系·····	(55)
一、成岩阶段和储集层发育的关系·····	(57)
1. 早期成岩变化·····	(59)
2. 埋藏成岩作用的各个阶段·····	(63)
3. 晚期地表蚀变·····	(64)
二、成岩作用导致的孔隙形成和破坏·····	(66)
1. 孔隙的形成·····	(66)
2. 孔隙的破坏·····	(66)
第五节 结论·····	(67)
附录：碳酸盐岩中孔隙的分类·····	(72)
一、与孔隙几何形状有关的分类·····	(72)
1. Waldschmidt等(1956)的分类·····	(72)
2. Levorson(1956)、Harbaugh(1967)以及Klement(1971)的分类·····	(72)
3. Choquette和Pray(1970)的分类·····	(75)
4. Baillie和Vecsey(1972)的分类·····	(79)
二、根据孔隙间相互连通的情况分类·····	(80)
1. Teodorovich(1943, 1958)的分类·····	(80)
三、根据岩石与孔隙度之间的关系分类·····	(82)
1. Archie(1952)的分类·····	(82)
2. Powers(1962)的分类·····	(82)
3. Thomas(1962)的分类·····	(82)
4. Sander(1967)的分类·····	(82)
5. Ball(1968)的分类·····	(83)
第三章 碳酸盐岩油藏实例·····	(91)
例1 潮缘白云岩储集层——美国蒙大拿州维利斯顿盆地奥陶系红河组·····	(92)
一、地质背景·····	(92)
二、相与环境·····	(92)
三、白云化·····	(93)

四、孔隙的分布	(95)
五、结论	(96)
例 2 法国西南部阿基坦盆地侏罗系潮缘白云岩储集层	(96)
一、钻井提供的资料	(96)
二、结论	(100)
例 3 美国墨西哥湾沿岸斯马科佛组(侏罗系)中的高能浅海相储集层	(100)
一、地质背景	(100)
二、垂向层序	(103)
三、岩石的横向发育	(104)
四、斯马科佛储集层	(105)
五、结论	(106)
例 4 法国巴黎盆地中侏罗统陆架碳酸盐岩储集层	(106)
一、沉积物的分析与解释	(106)
二、古地理综述	(113)
三、储集层退化的原因	(115)
四、结论	(116)
例 5 法国东南部普罗旺斯区侏罗系海退-海进层序中的成岩储集层	(116)
一、岩相	(116)
二、环境解释	(119)
三、垂向和横向层序	(120)
四、结论	(123)
例 6 美国墨西哥湾沿岸白垩系斯利戈组陆架边缘厚壳蛤和鲕粒颗粒岩 储集层	(125)
一、地质背景	(125)
二、相的发育和分布	(126)
三、黑湖油田	(127)
四、结论	(130)
例 7 加拿大艾伯塔省北部的中泥盆统礁储集层	(131)
一、加拿大艾伯塔省雨虹礁	(131)
二、岩石地层学	(133)
三、成岩蚀变	(135)
四、结论	(138)
例 8 美国密执安盆地的中志留统塔礁储集层	(138)
一、地质背景	(138)
二、塔礁	(141)
三、成岩作用和储集层的分布	(145)
四、结论	(146)
例 9 中东白垩系米什里夫组海相陆架层序中的碳酸盐岩储集层	(146)
一、米什里夫组分析	(148)

二、垂向层序和横向层序的发育·····	(149)
三、米什里夫储集层·····	(151)
四、结论·····	(153)
例10 西澳大利亚泥盆纪伦纳德陆架的堡礁和陆架碳酸盐岩的沉积作用·····	(153)
一、地质背景·····	(153)
二、沉积体·····	(155)
三、相和沉积环境·····	(156)
1. 陆架环境·····	(158)
2. 陆架至斜坡过渡带·····	(159)
3. 斜坡和深水盆地环境·····	(160)
4. 相间关系: 层序·····	(160)
四、伦纳德陆架层序·····	(162)
五、结论·····	(168)
例11 美国得克萨斯州西部和新墨西哥州二叠纪礁、陆架和盆地背景中的多层 次储集层·····	(169)
一、地质背景和碳酸盐岩相·····	(169)
二、二叠纪礁组合中的储集层·····	(171)
三、结论·····	(175)
例12 碳酸盐浊积岩储集层——意大利中部(白垩系-第三系)的“斯卡利亚灰 岩”·····	(175)
一、沉积相·····	(176)
二、横向和垂向演化·····	(178)
三、储集层·····	(180)
四、结论·····	(180)
例13 与油气早期运移有关的成岩储集层·····	(181)
参考文献·····	(182)

第一章 沉积环境和碳酸盐沉积体的形状

第一节 沉积环境

沉积环境指的是可供沉积物在其中堆集的天然地理实体，这些地理体各具特有的一系列生物、物理和化学参数。在这些参数的相互影响下，能够形成各种不同的沉积物类型或者代表不同环境条件的相。研究岩石记录中的沉积相，就能对古代各种沉积环境的条件作出一定的解释。在有些地方，岩石记录中的一些环境参数只代表其中的某一个面（例如层面或假整合面）；而在大多数层系中，这些参数所代表的则是一个沉积岩体或者大量的沉积岩。

一、环境解释的基础

沉积环境的特点可以用许多参数来表示，而这些参数则可以根据它们对不断聚集的沉积物所施加的影响进行判断。有关形成沉积层序的环境过程及其产物的知识，是环境重建的依据。研究沉积环境时的基础是相模式，各种相模式则是根据岩石记录和各种现代沉积环境进行实际研究和理论研究建立的。

1. 分析技术

每一沉积层中的构造和结构的详细情况，不论大型的还是小型的，都能提供重建沉积环境所需要的各种证据。理想的研究工作应包括：

(1) 在野外观察沉积体的大型几何形状（席状、透镜状、楔状等），确定它在横向和垂向上与相邻岩体的关系，注意其内部的大型和小型构造；

(2) 在野外和在实验室内用光片、薄片和醋酸纤维素揭片观察岩石的组构、结构和成分。

有些研究工作的范围，受可用样品种类（如钻屑、岩芯或井壁岩芯）的限制，有时甚至可能没有沉积体在层系中横向延伸、几何形状以及位置方面的资料。即便是这样，在研究钻孔时，如果考虑到成岩变化的效应（这是研究碳酸盐岩时极其重要的一项内容），通过认真地研究它们的测井记录，还是能够得到所研究岩石的大量资料的。地震研究对于区域性解释工作来说是非常重要的，而且它能提供关于岩层的几何形状、岩层在各个方向上的关系以及延伸范围等方面极有价值的资料。

除了比较常用的研究方法之外，详细研究岩石的某些特征，例如微古生物、孢粉、全岩地球化学、粘土矿物、有机地球化学和扫描电子显微镜等，对环境解释很有帮助。

2. 相模式

对现代各种沉积环境模式的认识，是研究沉积岩的基础和解释古环境的最佳出发点（Heckel, 1972）。有些生物因素，例如某些生物属种的灭绝或者占据优势，以及某些属

种的居住场所，随着时间的推移发生了改变，但是也有许多因素没有发生变化。在根据岩石记录建立“古”模式时，应将这些因素考虑在内，而“古”模式的建立对碳酸盐沉积学的研究也大有裨益。

二、沉积环境的主要类型(图1-1)

沉积环境可以分为两大类，即：非海洋沉积环境和海洋沉积环境。这两种沉积环境之间的分界是海岸线。

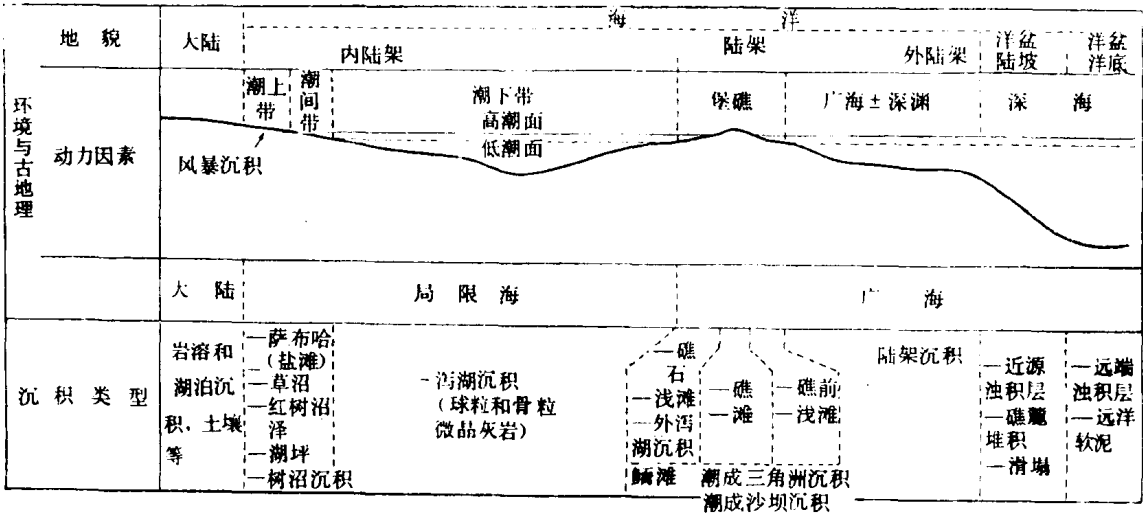


图 1-1 各种沉积环境示意图

1. 非海洋沉积环境

非海洋沉积环境中沉积物的分布一般都有很大的局限性。这些沉积物都受大气降水的影响，而且在碳酸盐沉积中，大气降水的影响能够引起明显的成岩变化。非海洋沉积环境的主要类型有：沙漠、冰川、山麓、河流、湖泊和洞穴等。非海洋沉积环境中碳酸盐沉积很少。具有经济意义的非海洋沉积物有：冲积砂矿、泥炭、煤、沼气、洞穴磷酸盐沉积、湖泊碳酸盐沉积以及与岩溶有关的矿化产物等。

2. 海洋沉积环境

海洋沉积环境可以进一步分为陆架、陆坡和深洋盆。陆架上的水深通常为0~200米。坡度的突变把陆架边缘与水较深的洋盆区别开来，洋盆中的水深一般都大于1000米（图1-1）。在垂直于沉积走向的海洋环境剖面图上，可以看到它们之间的明显变化（图1-2）。

(1) 陆架沉积环境

根据(A)地貌、(B)水动力状态、(C)盐度和(D)透光性（透光带）等许多特征的不同，陆架环境还可以再作进一步的划分。利用这些因素的变化以及它们之间的相互作用，可以说明过去和现代陆架环境中见到的碳酸盐沉积为什么会是多种多样的。必须提出许多种模式，譬如有或者没有障壁或深水盆地等各种模式，才能将各种各样的陆架环境包括在内。

断续地横贯陆架的障壁或浅滩，是一种重要的限定性地形特征（图1-3）。障壁本身也可能具有复杂的、多种多样的形态特征，例如伴生的礁岩隆、天然堤、三角洲、沙丘、

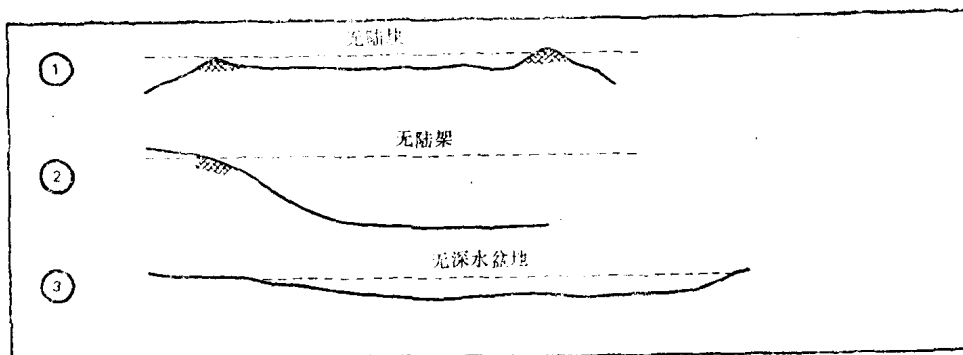


图1-2 垂直于沉积走向的示意剖面图。在有的剖面中，可以没有陆块、陆架或洋盆

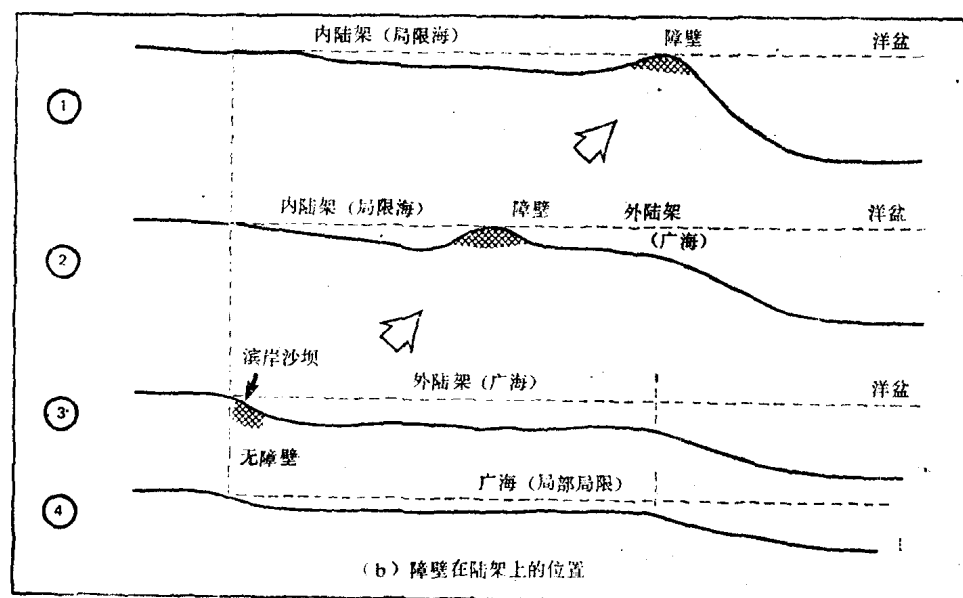
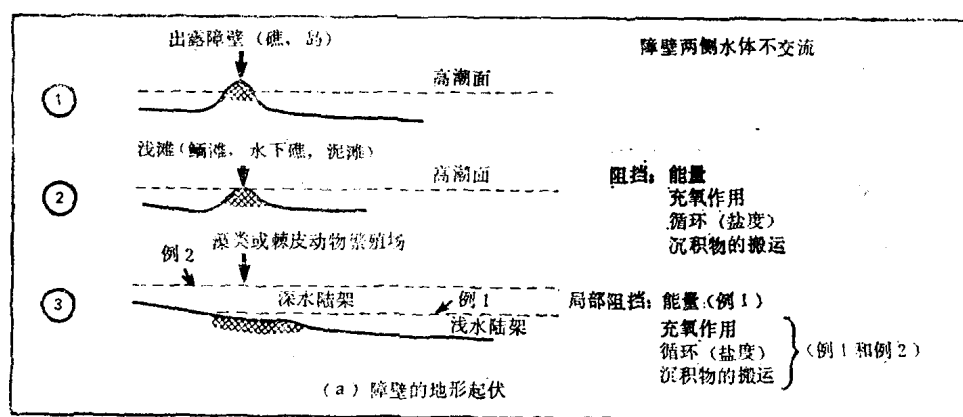


图 1-3 垂直于沉积走向的示意剖面图

图 (a) 表示障壁地貌的种类; (b) 表示障壁位置的变化

障壁坝、潮坪、潮沟、泻湖以及向周围环境中倾泻各种物质的有效侵蚀区。障壁地形的起伏直接影响周围水的能量、温度和化学特性（充氧作用和盐度），进而影响障壁两侧生

物的活动（图1-3a）。这些变化造成了内陆架环境和外陆架环境之间明显的差异（图1-3b）。

在陆架环境中，影响沉积物粒度、分布和颗粒形状的物理因素是波浪、海流、涌浪、潮流和风。这些因素的变化决定着沉积环境中能量的大小。

在陆表海中，潮汐运动受到阻尼（Shaw, 1964; Friedman和Sanders, 1978, 第360页）（图1-4），而在陆架（陆缘）海中却有潮汐运动，那里的内陆架可以进一步划分为：

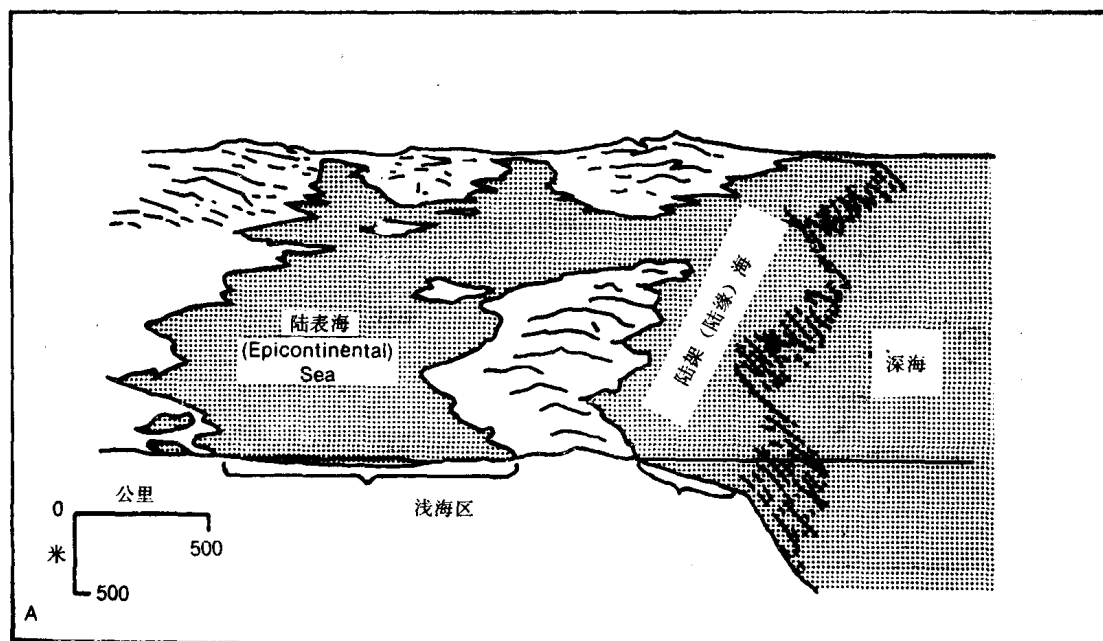


图 1-4 陆表海和陆缘海与大陆架的关系
(据Friedman和Sanders, 1978, P360, 图12-18A 根据Heckel, 修改1972)

- (A) 潮上带 只有少数高潮和风暴浪能够到达这里；
- (B) 潮间带 介于高潮面和低潮面之间，有规律性地交替出露水面和被水淹没；
- (C) 潮下带 为最低潮以下的地带。

潮缘环境这一术语指的是从潮下带到潮上带的海边环境，它受潮汐波动的影响(Friedman和Sanders, 1978, 第568页)。

从岩石记录中一般不能直接观察出某一环境的潮汐动力现象。通常是利用相组合以及相随时间的演变来推断不同地质时期中海岸线的大致位置，进而将层序的不同部分与根据现代海岸模式确定的沉积环境相对比。现分述如下：

(A)潮上带 潮上带中可以再分为萨布哈(盐滩)、盐沼、卤水塘和岸塘等几种亚环境。它们发育于海水正常影响的范围以上，偶或也能被海水淹没。这个带中发育良好的沉积物的产状，在很大程度上决定于海岸的剖面形态。沉积物的特性主要受气候影响，例如在干旱区出现萨布哈，而在潮湿气候区可以发育广阔的盐沼。

在潮上带中，高浓度盐水可以和淡水同时存在，从而使它成为早期成岩蚀变的一个重要地带。

(B)潮间带 潮间带是一个周期性地露出水面又被淹没的地区,以韵律性沉积作用为特点。此带中生物甚为丰富,但生活条件变化急剧,生物群能适应交替发生的出露水面与被淹没以及温度、盐度、pH值和水化学等的巨大变化。气候对潮间带沉积也有很明显的影响。例如藻丛及其沉积产物即发育于气候干旱的潮间带之中。潮间带可分为前滨、海滩、潮沟、天然堤、红树沼泽和滩脊等亚环境。潮间带与潮上带一样,也是适于发生早期成岩蚀变的环境。其中包括形成白云岩和蒸发岩。

根据潮汐、风向和海流影响的大小以及有无滨外障壁或沙坝,潮间环境通常为一高能环境。潮间环境的特征在许多方面不易与近滨潮下环境相区别。

(C)潮下带 通常这里是一种低能环境,但在海流和波浪活动强烈的地区,能量仍可很高,而且沉积物与潮间带中的相似。此带中可以有珊瑚生存,有鲕粒发育,或者出现水道、三角洲和生物碎屑浅滩。潮下带的沉积物不象潮间带中那样变化无常,不过,它却是碳酸盐沉积的一个重要环境。微动物群种类繁多,盐度的变化(在很大程度上决定于水深)产生了不同的沉积条件。

盐度高、碳酸盐饱和以及充氧条件差,一般表示低能环境。这些条件能够形成差别不大的变态动物群组合。识别这种水的条件和动物群组合,就能区分局限海环境(受局限的陆架或海盆)与广海环境(开阔的陆架或海盆)。陆表海也存在这些差别,那里虽然不存在能够影响水循环的天然障壁,但是在水体广阔而且水深不大的地方,也意味着水的循环不畅,波浪受阻,而且能量很低。

按照光线穿透的深度,可将潮下环境分为两个带:(a)透光带和(b)不透光带。两个带中的生物条件极为悬殊,因为在不透光带中没有光合作用。

很明显,影响海洋陆架环境的许多因素都相互关联。例如,有一个地形上的高地横跨陆架(例如鲕滩、障壁沙坝或生物礁),它限制着水的运动,因而影响内陆架水的化学特性(图1-3b)。同样的障壁也能对波浪和海流起阻挡作用,使内陆架环境的动能降低。这些效应都能反映在潮间环境和潮上环境所形成的沉积物的种类上。如果障壁是一个藻岩隆、生物礁或者一个活动的碳酸盐滩,那么它的产状还会受到透光带的限制。即使在清澈的水中,透光带的限制也会使这类障壁仅只出现在几十米的深度以内。

(2)深洋盆 这种沉积环境发育均一的、单调的相,同时伴有漫长的无沉积期。按照深度的不同,深洋盆又可分为几个带——半深海带(400~2000米)、深海带(2000~6000米)和深渊带(深度大于6000米)。

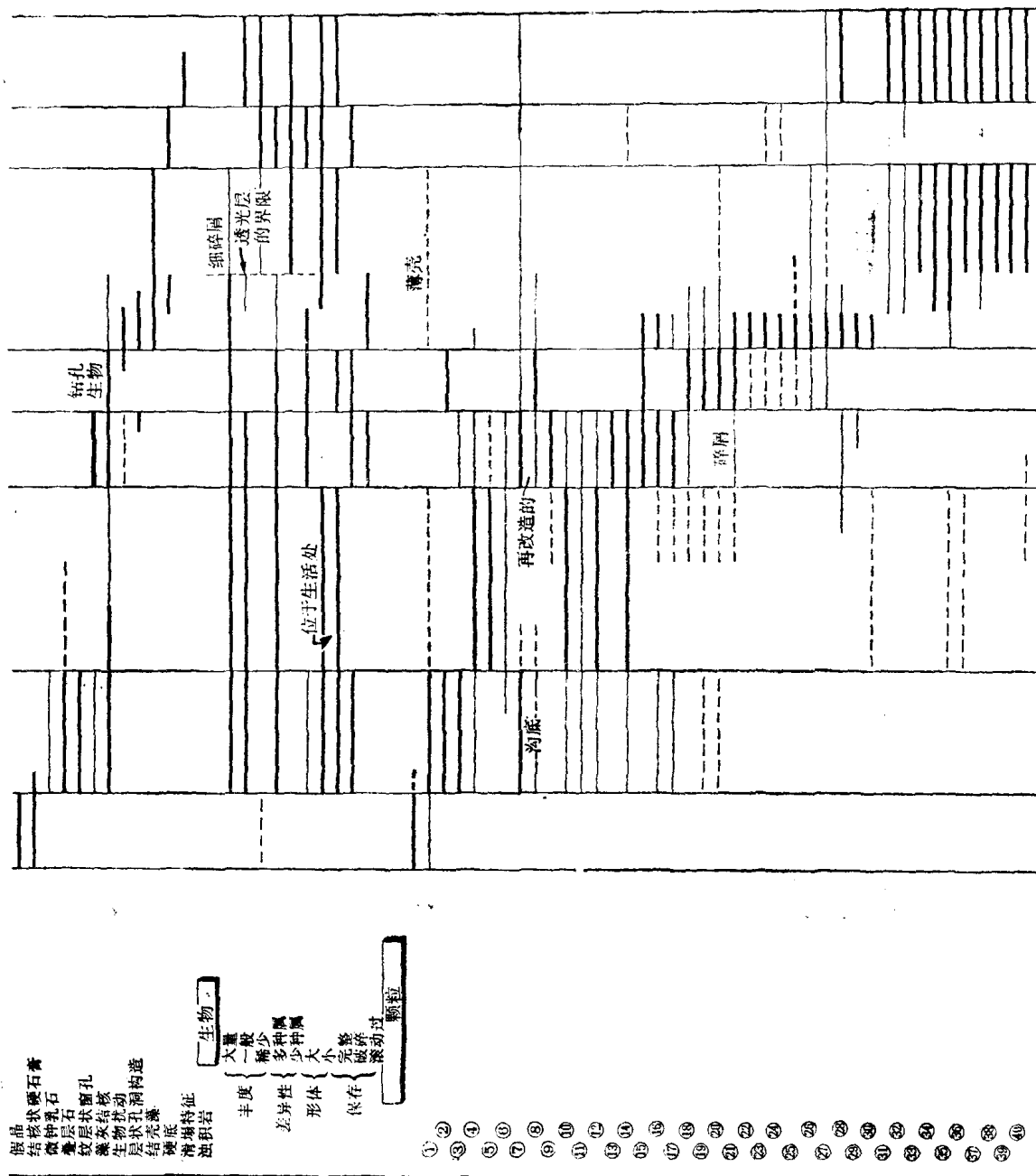
在陆架与深洋盆之间,还可以划分出一个陆坡沉积环境。它是一个形成重力位移产物的地带,其中包括滑塌沉积、坡麓沉积、浊流沉积以及深海扇等。

三、表征沉积环境的标志

不同沉积环境的识别是在大量观测的基础上进行的。

(A)沉积物宏观特征和微观特征的观察 其中包括沉积构造、岩性特征、矿物组成以及其他方面的观察(表1-1)。

(B)沉积环境中生物特征的识别 其中包括所含动、植物群的种类,生物与沉积物之间的相互作用,例如生物扰动作用、捕集作用、粘结作用和文石针的作用等(表1-2)。



1. 泥岩类
2. 介形类
3. 藻类
4. 藻类
5. 藻类
6. 藻类
7. 藻类
8. 藻类
9. 藻类
10. 藻类
11. 藻类
12. 藻类
13. 藻类
14. 藻类
15. 藻类
16. 藻类
17. 藻类
18. 藻类
19. 藻类
20. 藻类
21. 藻类
22. 藻类
23. 藻类
24. 藻类
25. 藻类
26. 藻类
27. 藻类
28. 藻类
29. 藻类
30. 藻类
31. 藻类
32. 藻类
33. 藻类
34. 藻类
35. 藻类
36. 藻类
37. 藻类
38. 藻类
39. 藻类
40. 藻类

表1-2 鉴别各种沉积环境用的生物特征

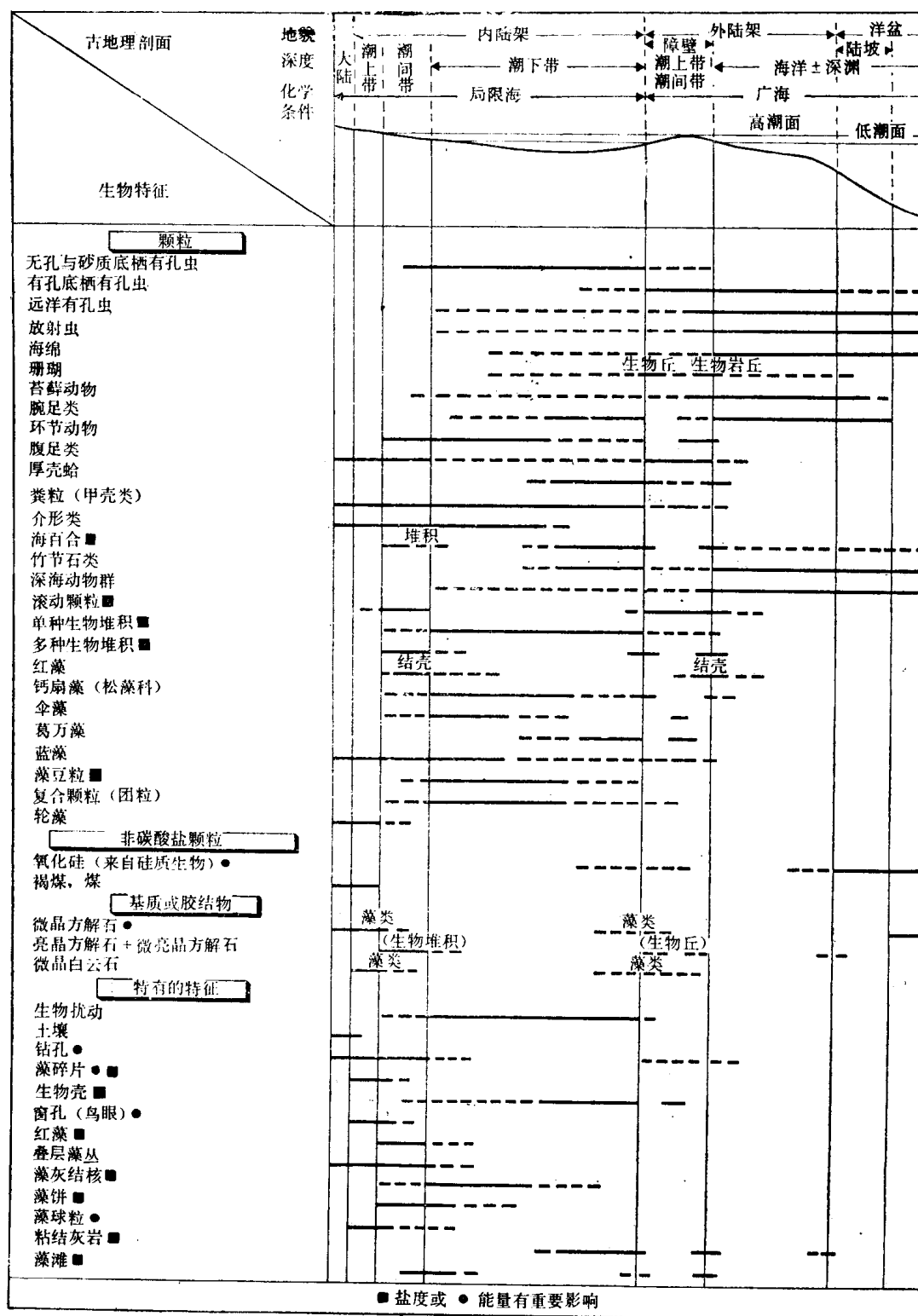


表 1-3 鉴别各种沉积环境用的物理特征

古地理剖面	地貌 深度 化学 条件	内陆架										障壁	外陆架	洋盆
		大陆	潮上带	潮间带	潮下带	局限海	潮上带	潮间带	海洋+深渊	陆坡				
物理特征		广海										高潮面	低潮面	
碳酸盐颗粒														
单种生物堆积 ▲														
多种生物堆积 ▲														
滚动颗粒 ▲														
藻豆粒 ▲														
复合颗粒 (团粒) ▲														
内碎屑														
岩屑														
鲕粒														
球粒														
藻球状粒 ■▲														
非碳酸盐物质														
褐煤、煤 ▲														
铝土矿 ■														
褐铁矿 ■														
火石 ■▲														
燧石 ■														
石英碎屑														
磷酸盐 ■														
粘土矿物 ■		(衰退) (衰退)												
硬石膏、石膏 ■														
结构														
泥岩														
颗粒质泥岩														
泥质颗粒岩														
颗粒岩														
微亮晶和填隙亮晶 ■														
特有的特征		生物堆积 生物丘 潮上带角砾岩												
扁平卵石砾岩														
浊积角砾岩														
负载构造														
波痕														
粒序层理														
纹层														
层理														
“马尾丝”状构造														
内沉积物														
斜层理														
藻丛														
藻包壳														
藻灰结核														
藻饼														
粘结岩 ▲														
叠层石 ▲														
		▲ 生物或 ■ 盐度有重要影响												