第七章　地层形成的沉积环境和沉积作用

作为地层的主体部分，沉积地层是在不同的沉积环境中通过不同的沉积作用形成的。因此地层形成的沉积环境及其沉积特征是地史分析的重要方面。地层形成的沉积环境包括沉积环境内部的物理特征、化学特征、生物特征和古地理背景。由于地层时间跨度长、空间分布广、内容丰富，因此在沉积环境分析中必须利用多种方法，进行多学科的综合和概括。

第一节　沉积相和沉积环境

沉积环境指一个具有独特的物理、化学和生物条件的自然地理单元（如河流环境、湖泊环境、滨海环境等），沉积相则是特定的沉积环境的物质表现，即在特定的沉积环境中形成的岩石特征和生物特征的综合。沉积环境在岩性特征上的表现即为岩性相，在生物特征上的表现即生物相。

沉积相在横向（空间）上和纵向（时间）上的变化称为相变。对于地史时期的沉积相研究，往往从研究地层剖面入手，从垂向顺序中分析相的更替。19 世纪末期，德国学者瓦尔特（Walther，1894）提出："只有那些目前可以观察到是彼此毗邻的相和相区，才能原生地重叠在一起。"这就是著名的瓦尔特相律，亦称相对比原理。其大意是相邻沉积相在纵向上的依次变化与横向上的依次变化是一致的，即可以根据相邻沉积相在纵向上或横向上的变化预测其在横向上或纵向上的变化。值得指出的是相对比原理的应用前提是沉积环境为连续渐变，地层为连续沉积，沉积作用方式相同。对事件沉积（如浊流沉积、风暴沉积）而言，一次事件沉积或由一系列相同类型事件沉积规律变化组成的沉积相，在时空分布上也服从相对比原理，即相在垂向和横向上的变化具有一致性。虽然事件沉积和背景沉积各自的时空分布均服从瓦尔特定律，但由于它们是不同沉积作用方式的产物，所以在沉积相分析时应区别对待。

对地层中的沉积特征进行综合分析，确定沉积相，恢复沉积环境条件即为相分析。自发地孤立地运用现代沉积环境与产物的关系推断古代沉积物或地层的形成条件的"将今论古"思想在很早以前就已出现。莱伊尔提出的现实主义原理是指导沉积相分析的基本原则。近代沉积学方面的重大进展（如浊积岩、生物礁、远洋沉积等）都与现代沉积作用的重新深入研究有关。但是，地质作用赖以发生的环境因素和介质本身是随着时间的推移以不同速度和规模不断变化的，运用现实主义原理进行沉积相分析时，切不可机械地套用现代模式，而应遵循辩证和历史发展的规律进行现实类比分析。只有这样才能对地质历史时期中环境条件作出正确的判断。

第二节　沉积环境的主要识别标志

特定沉积环境内独特的物理、化学和生物作用，也就形成了其独特的沉积特征组合。我

们把这些能反映沉积环境条件的沉积特征称为相标志。归纳起来主要包括生物标志、物理标志和岩矿地球化学标志三大类。有关生物与环境的关系可参阅第六章。

一、物理标志

地层沉积环境的物理标志主要包括岩石的颜色、结构和沉积构造。

1. 沉积物颜色

大多数情况下，沉积物颜色与其所含色素类型及多少有关。一般来说，浅色的岩石含有机质低，多形成于浅水、动荡和氧化条件下，如海滩成因的砂岩。深水或静水和还原条件下多形成暗色岩石，如沼泽和深海沉积等。在岩石中具有含铁离子的矿物时，紫红色反映强氧化条件，如红层；暗绿色则反映相对还原的沉积环境。

2. 沉积物结构

沉积物结构包括粒度、圆度、分选、定向性和支撑类型等。一般来说，粒度粗、圆度高、分选好、颗粒支撑的岩石反映能量较高的沉积条件。相反，粒度细、磨圆度低、分选差、杂基支撑的岩石形成于较低能的水体中。

3. 原生沉积构造

主要包括层面构造、层理构造、准同生变形构造、生物及化学成因构造。

(1) 层面构造：主要包括反映介质流动状态的波痕、冲刷痕、压刻痕及各种暴露标志。波痕是指流水、波浪或风作用于非粘性沉积物表面留下的波状起伏的痕迹，按其成因可分为流水波痕、浪成波痕及风成波痕。当水流能量加强，常在下伏沉积物，尤其是泥质沉积物表面形成冲蚀的槽状痕迹，称为冲刷痕。沉积物中携带的粗粒物质（如砾石、生物介壳）在下伏沉积物顶面刻画出的各种痕迹，称为刻压痕（如沟痕）。冲刷痕和刻压痕是重力流沉积中常见的沉积构造。暴露构造指沉积物间歇暴露于大气中时在沉积物表面形成的沉积构造，如泥裂、雨痕、食盐假晶及足迹等。通常反映沉积盆地边缘间歇性暴露条件，如潮上带、湖滨环境等。

(2)层理构造：层理构造是指垂直岩层层面方向上由沉积物成分、颜色、粒度及排列方式的不同显示出来的构造。根据形态可分为以下类型（图 7-1）。

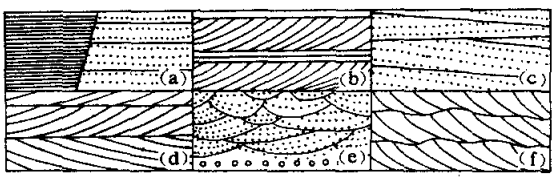


图 7-1 水平层理、平行层理和交错层理

（转引自刘本培，全秋琦，1996 补充修改）

(a) 水平层理（左）和平行层理（右）；(b) 板状交错层理；(c) 楔状交错层理（冲洗交错层理）；(d) 鱼骨状交错层理；(e) 槽状交错层理；(f) 波状交错层理

①交错层理，交错层理由一系列与层面斜交的内部纹层组成层系，层系之间由层系面分隔。交错层理根据其形态可分为板状、楔状、波状和槽状交错层理等多种类型。依据交错层理的形态、大小、前积层倾角和方向等可判断出水动力特征和古水流方向，进而帮助识别古环境。流水作用一般形成较高角度的板状交错层理，而冲洗作用则形成低角度（$<10°$）的楔状交错层理（冲洗层理），进退潮流作用则形成双向的鱼骨状（或羽状）交错层理。

②平行层理和水平层理，二者的纹层均相互平行且与层面一致，但平行层理是高流态条件下的沉积，沉积物粒度粗（中粗砂级），纹层不清晰不连续，沿层面易剥开。水平层理反映静水条件，沉积物粒度细（泥质），纹层清晰且连续（图 7-1）。

③均质层理和块状层理，用肉眼甚至用仪器也难以识别出其中的内部纹层，即无层理构造。块状层理内部成分不均一、大小混杂，反映未经分选的沉积物经快速堆积而成，如冲积扇。均质层理内部成分粒度均一，反映单一成分的快速堆积或由生物扰动破坏原生层理所致，如洪水期的深—浅湖沉积，生物扰动后的潮坪或陆棚沉积等。

④递变层理，递变层理以沉积颗粒的粒度递变为特征，可分为粒序递变和粗尾递变两种。粒序递变层理从底到顶沉积物颗粒均变细，一般认为由牵引流作用形成。粗尾递变中，细粒物质作为杂基从底到顶均有分布，仅颗粒向上变细，一般认为由重力流作用形成。递变层理底部均具明显冲刷面，尤其是粗尾递变。底部冲刷面、槽铸型等常作为识别浊流沉积的重要证据。

(3) 准同生变形构造：指沉积物沉积之后固结之前发生塑性变形形成的构造。它仅局限于上下非变形层之间以区别于后生构造。常见的准同生变形构造有负载构造、包卷层理、滑塌构造等。准同生变形构造发育于快速堆积（沉积物来不及及时脱水）或具有原始倾斜的沉积层中。由于沉积物的液化和侧向流动，可形成具复杂揉皱的包卷层理。差异压实作用及构造不稳定（如地震的颤动）常导致上覆粗粒层下沉或下陷到下伏松软沉积层中形成负载构造、枕状和球状构造。原始陡倾的沉积斜坡可使沉积物下滑形成滑移构造和滑塌构造。因此根据准同生变形构造的类型和强度可以帮助认识沉积盆地性质及堆积速度、构造活动性等。

(4) 化学及生物成因构造：其类型繁多，常见的如鸟眼构造和叠层状构造。鸟眼构造指白云岩或灰岩中大小约 1 mm 左右的蠕虫状或不规则状亮晶方解石充填体。多数学者认为鸟眼构造形成于潮坪环境，由藻类腐解留下孔隙或者气泡，经亮晶方解石和石膏充填而成。叠层构造是地质历史时期中一种常见的生物成因沉积构造。现代潮坪上叠层石发育，推测古代叠层石主要形成于潮坪等浅水沉积条件。

一般来说沉积环境物理标志主要反映沉积环境的物理特征，如介质的性质（水、风、冰）、能量条件（水流速度、波浪强度等）和搬运方式（牵引流、重力流）。除此之外，部分物理标志还具古气候和古构造意义，前者如藻叠层构造和食盐假晶，后者如滑塌构造、递变层理等。

二、岩矿标志

1. 沉积物结构组分

沉积物的结构组分可以反映其沉积历史、物源及沉积介质的特征。如纯净的石英砂岩形成于浅水高能条件（如海滩环境）。鲕状灰岩多形成于水质清洁的动荡浅水环境（如鲕粒滩、坝）；富含长石、不稳定岩屑的杂砂岩形成于颗粒未经充分簸选的快速沉积场所（如断陷盆地）；以灰泥为主的泥状灰岩则反映低能的沉积条件（如陆棚或泻湖沉积）。一些特殊的沉积岩石和沉积矿产的出现不仅对沉积相的确定具重要意义，而且可以帮助了解地层形成时期特定的古地理、古海洋和古气候背景。如将在后续章节中出现的礁灰岩、竹叶状灰岩、藻纹层灰岩、膏溶角砾岩、白云岩、磷块岩、含笔石的黑色页岩、含菊石或放射虫的硅质岩、条带状硅铁沉积、煤和铝土矿等等。

2. 自生矿物

自生矿物指沉积期或同生期形成的原生矿物，它们通常是沉积介质物化条件的反映。如海绿石、磷灰石主要形成于浅海沉积环境；石膏、岩盐等蒸发岩类矿物形成于盐度过饱和的干旱气候条件；黄铁矿的出现往往反映缺氧还原的沉积条件。

三、其他标志

除上述各类标志外，沉积相的纵向变化序列、横向变化关系及沉积体的空间几何形态在沉积环境恢复中亦可发挥重要作用。如海滩沉积多为带状或席状，三角洲和海底扇沉积多呈扇状。浊流沉积具鲍马序列，曲流河沉积多具二元结构等。综合上述各方面证据，尤其是那些在多方面具指相意义的标志，才能正确分析地史时期古环境特征。

第三节　主要沉积环境的沉积特征

以海平面为标志，地表沉积环境可以分为陆地环境、海洋环境和海陆过渡环境三大类。现代地表沉积环境类型多样且千差万别，但从历史角度看，各种环境的沉积记录的保存潜能大不相同，地史中古地理、古气候、古海洋背景与今天的面貌也有极大差别。因此本章重点介绍地史时期中一些常见的沉积相特征。

一、陆地环境沉积相类型

1. 冰川沉积

在大陆冰川地区，被冰川刨蚀裹携的碎屑物质在搬运过程中或在冰融区堆积下来成为冰积层，其砾石多呈棱角状，大小混杂，表面多具擦痕。在冰积层之上或沿横向追索可出现具层理构造的冰湖或冰海等冰水沉积。当冰川直接流入海中，浮冰所携带的碎屑可在远岸带因浮冰融化而下落，这样，各种大小的碎屑无规律地分布于细粒海洋沉积物中。有时还可见到由细粒围岩组成的水平层理被压弯而呈“落石”特征，这种沉积物称冰海砾泥沉积。

2. 河流沉积

河流是陆地环境中重要的地质营力之一，各种类型的河流沉积广布于现代地表和古代地层中。河流可分为平原河流和山间河流。山间河流河道较直、流速大、切割深，主要保存河床粗碎屑沉积。山间河流在出山口常形成各种以粗碎屑为主的冲积扇。其沉积物多呈紫红色，块状构造，无化石或含脊椎动物骨骼碎块。平原区河流流速低，河谷宽，河曲发育（图 7-2），主要有河道、沙坝和泛滥平原沉积。河道沉积底部为砾石层，其中砾石常具定向排列，为河底滞留沉积，整体呈透镜状分布，与下伏沉积层冲刷侵蚀接触。向上逐渐过渡为具大型板状或槽状交错层理的点沙坝沉积，以岩屑或长石石英杂砂岩为主。再向上渐变为小型交错层理和水平层理，颗粒粒度变细，一般缺乏生物化石，偶具脊椎动物骨骼或树干碎块。天然堤以细砂至粉砂岩为主，发育小型槽状交错层理及水平层理。泛滥平原沉积以粉砂质和泥质为主，发育均质层理或水平层理、泥裂和雨痕。洪水冲溢天然堤形成的决口扇沉积，以粉砂岩为主，小型波纹交错层理发育，常见生物逃逸迹。当蛇曲发展促使河流改道，就会形成废弃河道和牛轭湖。牛轭湖最终被淤塞形成泥炭沼泽沉积，呈透镜状夹于河流沉积序列中。

3. 湖泊沉积

湖泊是陆地上的半封闭水体，其沉积物分布广泛，常形成重要的沉积矿产。湖泊中主要水动力为波浪和湖流。大型湖泊潮汐作用明显，从滨湖到深湖，随湖水深度增加，水动力逐渐减弱，因此沉积物由滨湖经浅湖到深湖粒度逐渐变细，层理类型从交错层理逐渐变为水平层理，平面上呈同心的环带状分布。当有河流进入时，河流入湖处形成小型三角洲。

湖泊受气候影响明显。在潮湿气候区，降雨量大于蒸发量，多为淡水湖泊，以细砂岩、粉

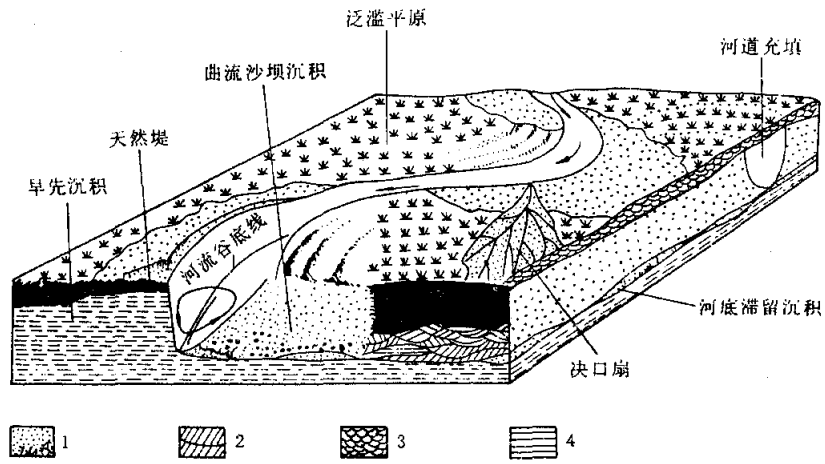


图 7-2　曲流河沉积模式图

（转引自全秋琦，王治平，1993）

1. 粒度递减；2. 交错层理；3. 交错纹理；4. 平行层理

砂岩及粘土岩为主。湖滨地带可出现粗碎屑沉积。在大型淡水湖泊里，泥灰岩、介壳灰岩、油页岩也极为常见。湖泊中养料充分，透光度好，含氧充足，宜于生物大量繁殖。因此淡水湖泊中常发育淡水双壳类、腹足类、介形类、叶肢介及鱼类、植物碎片、昆虫和脊椎动物化石，形成特有的湖生生物组合。在干旱气候区，蒸发量大于降雨量，则可形成以化学沉积为主的高盐度咸水湖泊和半咸水湖泊。随着湖泊干枯，湖泊面积缩小，水体变浅，在滨湖地区常发育干裂等暴露构造。湖泊干枯过程中，依次出现石膏、岩盐和钾盐等矿物。半咸水湖和咸水湖中除发育少量广盐度的双壳、腹足、介形类外，一般化石稀少。

在地层中河流相和湖泊相往往共生保存，这在我国中、新生代地层中极为常见。除大型稳定背景的河湖相沉积盆地外，一些小型的夹有粗碎屑及火山物质的断陷盆地河湖相沉积也极为发育。在河湖相之间可夹有湖相三角洲沉积。相对于海相沉积来说，陆地环境沉积物成分成熟度、结构成熟度均较低，宽厚比也较小，陆生植物及湖相淡水生物发育。

二、海陆过渡环境沉积相

海陆过渡环境位于陆地和海洋的过渡地带，它既受海洋的影响，也受陆地上地质营力（如河流作用）的影响，一般指三角洲环境。三角洲是携带大量碎屑物质的河流在入海处因流速减缓而堆积形成的大型扇状沉积体。其形态和结构可因受河流、波浪、潮汐及岸流的改造而发生变化。典型的以河流作用为主形成的三角洲在平面上呈鸟足状，由陆向海分为三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲三部分（图 7-3）。

三角洲平原是三角洲的陆上部分，以分支河道砂质沉积为主，也包括泛滥平原和湖沼沉积的粉砂、粘土和泥炭以及天然堤和决口扇沉积。三角洲前缘为浪基面以上的三角洲水下部分，主要包括分流河口沙坝、远沙坝、分流间湾和三角洲前缘席状砂沉积。前三角洲位于三角洲前缘的前方，处于浪基面以下，以富含有机质的泥质沉积为主，水平层理和均质层理发育。在三角洲向海推进过程中，形成自下而上由前三角洲泥—三角洲前缘粉砂和砂—三角洲

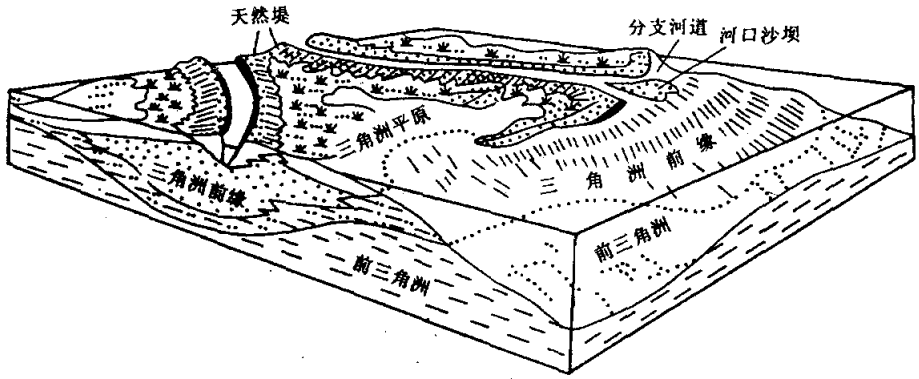


图 7-3　现代三角洲的立体模型

(转引自全秋琦、王治平，1993)

平原砂质沉积为主的向上变粗沉积序列。特殊的沉积环境条件使得三角洲沉积物中可发育陆生生物—广盐度生物组合。

三、海洋环境沉积相类型

现代海洋约占地球表面积的 71%，在地史时期海相地层分布广泛，因此是地史沉积学分析的主要对象。根据海水深度和海底地形，海洋环境可分为滨海（浪基面以上）、浅海（浪基面至 200m 水深，或称陆棚或陆架）、次深海（一般为 200～1 000m 水深，包括大陆斜坡和陆隆）和深海（水深大于 1 000m，深海平原）几个带。

滨海区又称海岸带。受波浪、潮汐、岸流作用的影响强烈，海岸地形分异大，同时也是沉积作用最活跃和最复杂的地区。以波浪作用为主的滨海地区形成海滩沉积，以潮汐作用为主的地区形成宽阔的潮坪沉积，在两者过渡的情况下则形成障壁砂坝—泻湖沉积体系。

1. 陆源碎屑滨浅海沉积

陆源碎屑海滩沉积以纯净石英砂岩为主，粒度向海变细，成分成熟度和结构成熟度均较高。在高波能区以物理沉积构造为主，如平行层理，低角度板状、楔状交错层理和冲洗交错层理。而中—低能区则交替发育物理和生物成因的沉积构造。生物化石多为碎片，零星或透镜状分布。

潮坪沉积环境可以分为潮上带（平均高潮线以上）、潮间带（平均高潮线与平均低潮线之间）和潮下带（浪基面至平均低潮线之间）。低潮线附近为潮坪环境中的高能带，因此以砂质沉积为主。向陆或向海沉积物粒度逐渐变细，以粉砂和泥质为主。潮汐成因的交错层理，如透镜状层理和压扁层理常见。由于涨潮和退潮潮流的作用，在潮间带至潮下带常发育向陆方向分枝的潮沟（潮汐通道）。潮沟侧向迁移可以形成砂和粉砂交替的侧向加积层理。

在障壁砂坝和泻湖沉积体系中(图 7-4)，障壁砂坝以砂质沉积为主，发育大型板状、槽状交错层理、平行层理，在其入潮口两侧形成扇状的涨潮三角洲和退潮三角洲。障壁砂坝之后(向陆一侧)为泻湖沉积环境，沉积物以泥岩为主，发育水平层理或均质层理。随与外海的连通状况及古气候背景的不同，水体盐度可以咸化或淡化，因此生物组合多为广盐度特点。

浪基面以下的浅海陆棚沉积环境，水体相对较为平静，含氧正常，盐度稳定，因此底栖生物化石丰富且保存完好，沉积物多为砂泥质互层。但该区有时可受到风暴流、潮流和洋流的影响。受潮流控制的浅海防棚主要出现于大潮差（3～4 m）的半封闭海。潮流作用形成与

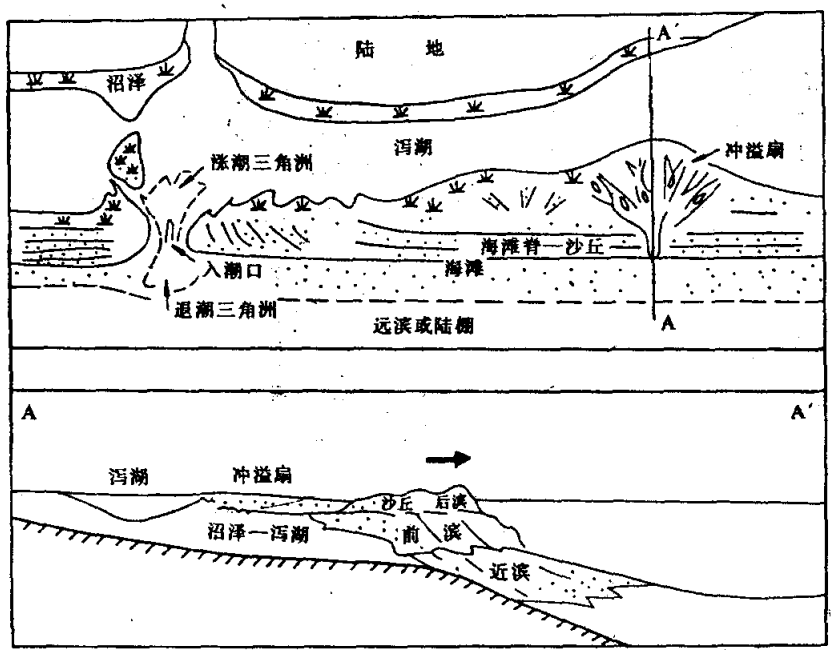


图 7-4　障壁砂坝和泻湖沉积体系模式图
（转引自王良忱、张金亮，1996，简化修改）

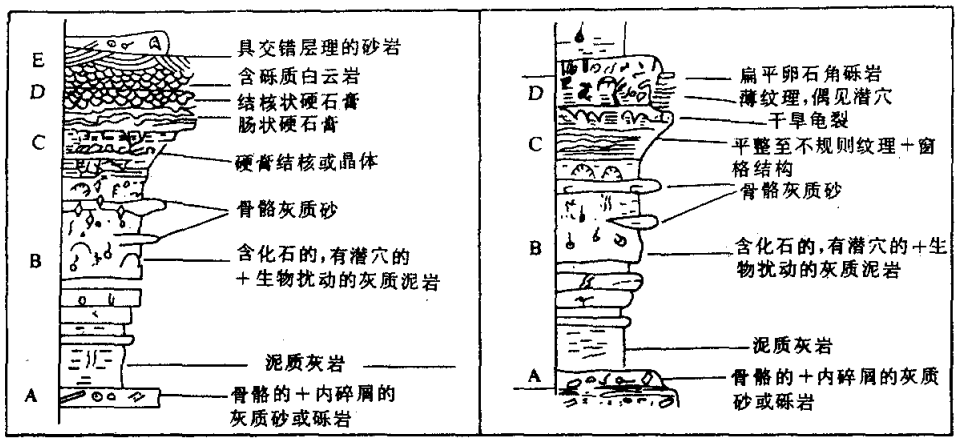
潮流方向平行的潮砂脊。潮砂脊以砂岩为主，砂粒圆度高，分选好，具双向交错层理，沉积序列为向上变粗。受风暴作用控制的陆架主要发育在低纬度（5～20°）地区。典型的风暴岩序列由三部分组成：下部为滞留的砾石或生物介壳层，底为冲刷面或渠模；中部为具丘状层理或浪成层理的砂质和生物碎屑沉积，为风暴浪作用形成；上部为泥质沉积，泥岩中生物潜穴发育，生物扰动强烈。

2. 浅水碳酸盐沉积

碳酸岩潮坪根据其形成古气候背景的不同可以分为两种。在于旱炎热的气候条件下，如现代的波斯湾地区，称萨勃哈沉积。由于雨量少、蒸发量大，沉积物中含大量的自生蒸发盐类矿物，如石膏、硬石膏和石盐。硬石膏等结核层中可发育特殊的网状结构或盘肠状构造。自生蒸发盐类矿物的沉淀提高了地下水中的镁、钙离子比值、引起广泛的白云岩化作用。如果在沉积过程中发生淡水淋滤，则蒸发岩将被溶解而形成塌陷角砾岩（图 7-5）。在气候温暖潮湿的地区，潮下带往往为粗粒生物碎屑灰岩，向陆粒度变细，逐渐被藻纹层灰岩和白云岩所取代，常见鸟眼构造和干裂等暴露标志。

生物礁是浅水碳酸盐沉积中一种特殊的沉积体，它既可以发育在沿岸形成岸礁，也可出现在陆棚上形成障壁礁（或堡礁）。生物礁以骨架岩、粘结岩和障积岩为主。古生代造礁生物以四射珊瑚、海绵、古杯、苔藓虫、层孔虫为主，中生代以后主要为六射珊瑚和厚壳蛤等。生物礁的形成不但为其后侧(向陆方向)和前侧(向海方向)提供了大量的碳酸盐沉积物，而且直接影响着周围水体的能量、含氧量、温度、含盐度以及生物的发育，因此礁后往往形成顶部相对平缓的浅水碳酸盐台地，发育对环境耐性较强的生物群。礁前则形成礁前角砾岩。

陆棚碳酸盐沉积环境内除发育有与陆源碎屑沉积环境相对应的风暴沉积外，主要为含生物碎屑灰岩和泥晶灰岩及其与泥灰岩和页岩的互层，具正常海相生物群组合，生物潜穴、结



（a）　　（b）

图 7-5　碳酸盐潮坪沉积序列

（转引自王良忱、张金亮，1996）

（a）海岸萨勃哈；（b）正常（潮湿型）潮坪，A，B. 潮下带；C. 潮间带；D，E. 潮上带

核状或瘤状构造常见，生物扰动作用强烈。

3. 次深海、深海沉积

次深海和深海沉积环境中主要有远洋、半远洋背景沉积和海洋重力流事件沉积两种。现代深海沉积主要为褐色粘土、抱球虫软泥和放射虫软泥等组成。地史中远洋、半远洋沉积则为含远洋浮游生物，如笔石、三叶虫的泥质页岩和放射虫硅质岩等。对现代深海沉积物的深入研究发现，洋流作用也可在远洋盆地中形成各种砂体，砂体中发育波痕、小型交错层理等流动构造。

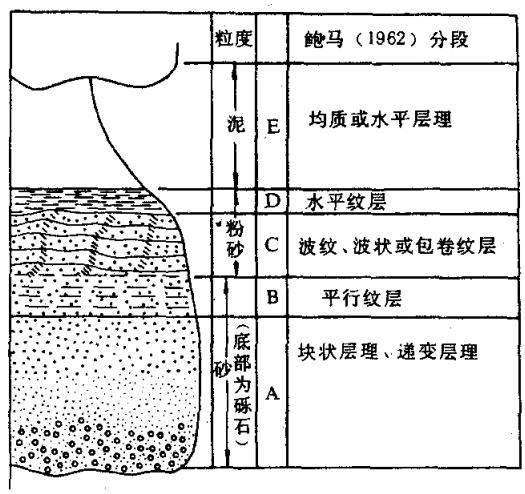


图 7-6　浊积岩中的鲍马序列

（据 Middleton 和 Hampton，1976）

海底重力流沉积主要发育于大陆边缘。重力流作用形成的碎屑流和浊流沉积在空间上形成海底扇沉积体系。浊积岩是海底扇沉积的主体，经典的浊积岩由完整的鲍马序列五部分组成（图 7-6）。此外重力流沉积还包括岩崩作用形成的碎屑堆，滑移和滑塌形成的变形程度不等的异地堆积岩块和沉积物。地史学中常把巨厚的由深海浊积岩及其他重力流沉积组成的综合体称为复理石沉积。

第四节　地层形成的沉积作用

沉积地层占地层的绝大部分，它们是在一定的沉积环境中，通过一定的沉积作用形成的。因此，地层学的许多基本原理和基本概念都是从对沉积作用过程的认识和理解提出的。70 年代以来，由于沉积学领域的飞速发展，推动了地层学的巨大进步。因此，本节着重介绍地层形成的沉积作用以及与地层形成有关的地层学、沉积学基本原理。

一、纵、横向堆积作用和生物筑积作用

1. 纵向堆积作用

纵向堆积作用是指沉积物在水体中自上而下降落，依次沉积在沉积盆地底部的沉积作用。由于水体中呈悬浮状的沉积物像“雨滴”一样自由降落，因此可以形象地称之为“沉积物雨”。这种在“沉积物雨”降落过程中形成的地层型式即为所谓“千层糕式”的地层模型。“千层糕式”的地层，是指地层逐层地水平叠覆而成的岩层组合。纵向堆积作用形成的地层具以下特征：沉积地层的时间界面一般是水平或近于水平的，它与岩性界面是平行或基本平行的。

纵向堆积作用是地层学建立以后200余年中绝大多数地质学家所持有的传统概念。这种概念至今仍在某种程度上统治着地层学的一些领域。在纵向堆积作用的思想指导下，产生了一系列传统地层学的原理，如Steno (1669) 的原始水平性原理、原始侧向连续原理和地层叠覆原理。原始水平性原理认为，沉积作用所形成的岩层沉积时是近于水平的，而且所有的岩层都是平行于这个水平面的。现在人们看到的非水平地层都是后来构造作用改造的。原始侧向连续原理认为，沉积地层中的岩层在侧向上是大规模甚至全球性连续的，或者延伸到一定的距离逐渐尖灭。如果野外一个岩层不能连续追索而突然中断，说明它不是原始形成，而是构造作用改造的。地层叠覆原理认为，沉积地层的原始状态自下而上是从老到新的。如果这种顺序被改变，说明有构造作用的改造。叠覆原理在Steno三定律中最著名且影响最广，是地层学最重要的基本原理之一。

现代沉积学研究表明，“沉积物雨”式的纵向堆积作用主要发生在悬浮沉积的条件下，比较典型的如深湖悬浮沉积、远洋悬浮沉积、火山灰沉积等。因此，纵向堆积作用的发生范围是很有限的。在这些沉积环境和这些沉积作用下，上述传统地层学的原理是适合的，但在非纵向堆积作用的情况下，这些原理的应用就要受到限制。

2. 横向堆积作用

横向堆积作用是沉积地层形成的主要作用方式，它是由Weimer (1978) 提出的一个重要的地层学概念。横向堆积作用指沉积物的颗粒在介质搬运过程中沿水平方向位移，当介质能量衰减时沉积下来。由于横向堆积作用类似于推土机的推土作用，因此可以形象地称之为“推土机式”的沉积作用。比较典型的如曲流河河道侧向迁移形成的侧向加积作用，河流作用为主的三角洲与海滩、障壁砂坝的进积作用以及滨岸沉积的退积作用等。在曲流河的发展过程中，河道受侧向侵蚀作用的影响向凹岸迁移，并在凸岸沉积。逐渐形成凸岸点砂坝向凹岸方向迁移。与此同时，河流的天然堤、洪泛平原等也随之迁移。因此形成的沉积物的时间界面是倾斜的，与沉积物的岩性界面有一定角度（图7-7 (a)）。河流作用为主的三角洲、海滩和障壁砂坝具有相似的进积作用过程。以障壁砂坝为例，在障壁砂坝向海推进的过程中，沉积物颗粒沿着倾斜的沉积表面沉积。在前滨和临滨部位，沉积物以中、粗粒沉积为主，而在远滨部位主要为粘土和细粒沉积。因此也造成时间界面和岩性界面的不一致（图7-7 (b)）。从更大范围上讲，海平面的变化、沉积基底的构造升降、沉积物陆源的供给多少、砂泥比例等都能引起相对海平面变化，从而造成海平面向大陆方向侵进（海进）或海平面向海洋方向退却（海退）。与之对应，海进过程中地层形成向大陆方向的上超（超覆），在海退过程中地层向海洋方向的退却或下超（退覆）（图7-8）。从而造成大区域的地层时间界面和岩性界面的不一致。

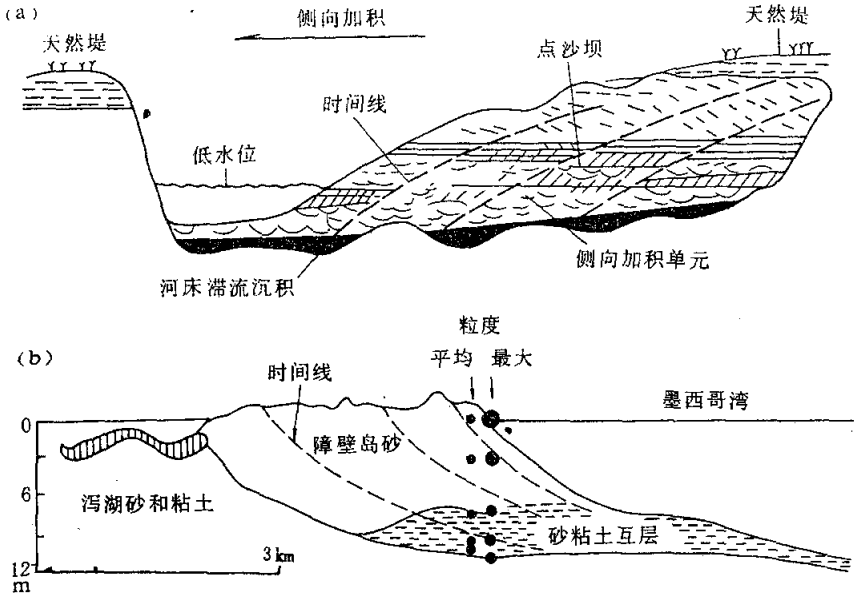


图 7-7 曲流河侧向迁移形成的侧向加积（a）和障壁砂坝向海推进形成的进积（b）

（转引自王良忱、张金亮，1996）

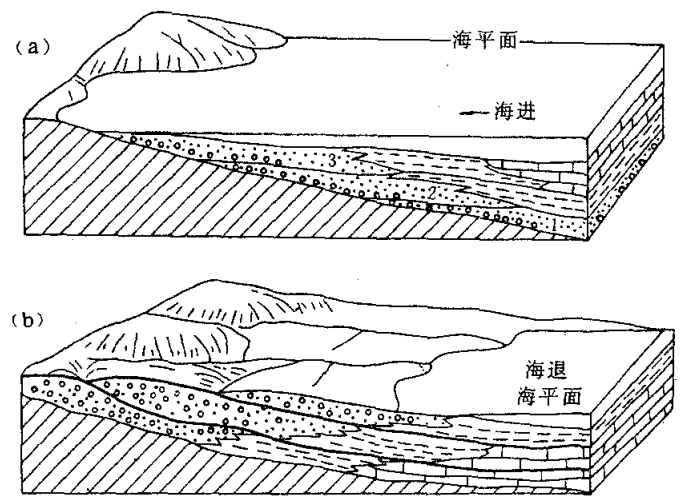


图 7-8 海进（a）和海退（b）及其形成的超覆和退覆的示意图

（转引自刘本培，1986）

作为沉积地层主要的形成方式，横向堆积作用形成的地层具以下特征：沉积地层的时间界面一般是非水平的，地层的时间界面与岩性界面一般是不一致或斜交的。对横向堆积作用的认识导致了穿时普遍性原理的产生（Shaw，1960）。穿时普遍性原理认为：①在原地形成沉积地层时，岩层之所以能够在空间上连续延伸，其唯一的途径是通过海平面的相对升降（海进、海退）造成沉积环境的迁移或变化来完成；②在异地（外来）沉积物沉积的过程中，岩层之所以能以正常顺序连续出现，其唯一的途径是通过形成该岩层的介质总能的侧向迁移

而实现。如果这种机械能的迁移是在缓慢的过程中完成的，则形成的岩层可以侧向连续且穿时。因此，穿时普遍性原理可以归纳为：在所有横向堆积作用过程中形成的岩石地层必然是穿时的。

3. 生物的筑积作用

生物筑积作用是生物礁型的沉积地层形成的一种特殊方式。它是指造架生物原地筑积而形成地层的作用方式。由于原地生物首先形成生物格架，之后才充填填隙物，类似于现代建筑中的钢筋混凝土结构，因此可形象称之为“钢筋水泥式”堆积作用。生物筑积作用所形成的地层一般呈丘状隆起，岩层多具块状构造，这是由于生物生长的向阳性和生物筑积速率快所决定的。生物筑积作用主要受海平面变化、生物礁的生长速率（表现为生物礁体顶面的水深）、沉积基底的构造沉降及三者的相互关系（表现为相对海平面变化）控制。如图7-9所示，在相对海平面下降过程中（图7-9(c)），生物礁为了维持正常生长必保持适当的水深，因此生物礁必然向深水地区迁移，形成生物礁成因的地层侧向加积。在相对海平面稳定阶段（图7-9(b)），生物礁为了维持生存，也必然向深水地区迁移形成侧向加积。上述两种情况形成的岩性界面和时间界面都是不一致的。在第三种情况下，相对海平面持续而逐渐上升（图7-9(a)），生物礁为了维持自身生存，必然向上生长，从而形成垂向加积。此时，地层的岩性界面和时间界面基本上是一致的。综上所述，在垂向加积的情况下，生物筑积作用所形成的地层基本上符合传统的地层学原理。而在侧向加积的情况下，所形成的地层则与传统地层学原理不相符合，而与地层的穿时性普遍存在原理相符。

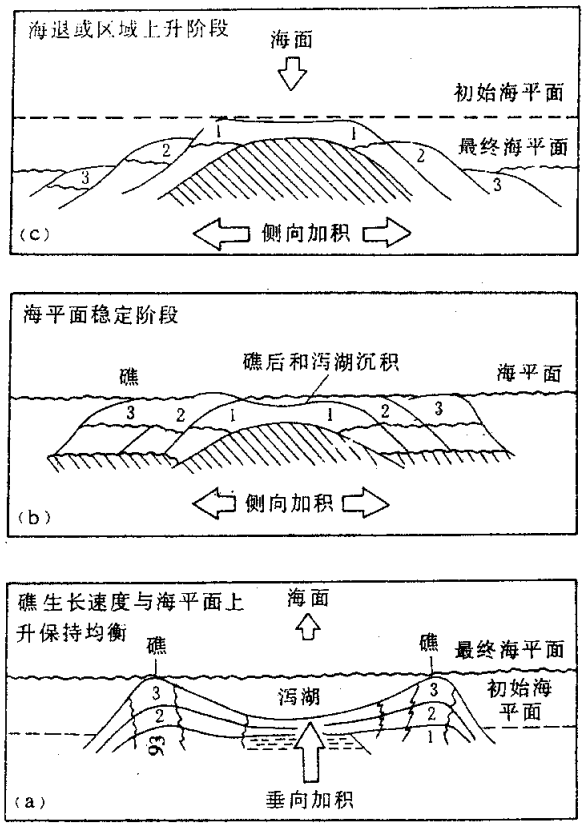


图7-9 生物礁形成的垂向加积（a）和侧向加积（b，c）示意图

（据Langman，1981）

二、旋回沉积作用和非旋回沉积作用

地层垂向上的规律组合和变化，即地层的旋回性是现代理论地层学及应用地层学研究的一个重要方面。这种旋回性在不同时间、空间尺度上均有表现，但本章主要讨论的是露头尺度上的岩层的旋回性。地层的旋回性是由地层的旋回沉积作用形成的。所谓旋回沉积作用，是指在一定的沉积环境中由于环境单元的变迁，或在一定的沉积作用过程中由于作用方式的变化导致地层的沉积单元规律重复的沉积作用。不同的旋回沉积作用形成不同的旋回沉积序列。

相反，不能够形成这种规律重复的沉积作用是非旋回沉积作用。

控制地层旋回沉积作用的因素主要是沉积盆地内的环境因素（如沉积环境中环境单元的变化所造成的环境水动力条件、物理化学条件、生物条件的变化），也包括沉积盆地的背景因素，如海平面变化、沉积物的物源性质、盆地基底的构造活动及古气候等。它们也是通过沉积基准面（海平面、湖平面等）的变化去影响沉积作用的。根据旋回沉积作用的形成机理，可以将旋回沉积作用划分为不同的类型。一是由沉积体自身作用为主的旋回沉积作用，典型的如生物筑积作用。由于生物的向阳性和生物的快速生长作用，生物体可以在原地增殖形成各种不同的生物筑积体（典型的如生物礁、生物丘等）。当生物筑积的速率和海平面升降速率不均衡时，就会造成不利于生物生长的环境变化而使生物筑积体向侧向迁移，从而形成生物筑积体地层单元的旋回性变化，即旋回沉积序列。当生物筑积速率大于海平面上升速率时，生物筑积体会出现向深水区的侧向加积，生物筑积体表现为向上变浅的旋回沉积序列（图 7-10 (A)）。当生物筑积速率小于海平面上升速率时，生物筑积体会向浅水区迁移，造成向上变深的旋回沉积序列（图 7-10 (B)）。二是在沉积背景相对稳定的条件下，由于沉积盆地内环境单元的变迁形成的旋回沉积作用。典型的如曲流河、潮道的侧向加积作用，三角洲、海滩、障壁砂坝、潮坪的进积作用等。如前所述，在曲流河侧向加积过程中，由于环境单元的侧向迁移，使沉积单元也随之侧向迁移，从而造成向上变细的旋回沉积序列（图 7-11 (a)）。潮道的侧向加积作用与曲流河相同，也形成向上变细的旋回沉积序列。三角洲、海滩、障壁砂坝及潮坪在向海推进的过程中，由于近岸的环境单元向海推进，浅水沉积覆于向海一侧的深水沉积之上，从而形成向上变浅的旋回沉积序列（图 7-11 (b)，(c)，(d)）。三是由于突发性的事件形成的旋回沉积作用，如浊流作用形成的鲍马序列（图 7-6）。它并不是由于环境单元的变化形成的，而是由于沉积作用方式的变化形成的。在浊流沉积的过程中，早期为典型的重力流作用，所以形成具递变层理的砂岩段（A 段），随着浊流沉积作用方式的变化，牵引流作用的加入，逐渐形成 B～D 段的沉积。四是由于沉积背景因素的影响，造成相对海平面的升降变化，从而引起海进或者海退，形成地层的旋回性变化。这种相对海平面的升降变化，一方面可以形成旋回沉积序列，它也可以破坏由其他旋回沉积作用形成的旋回沉积序列而使其更复杂。

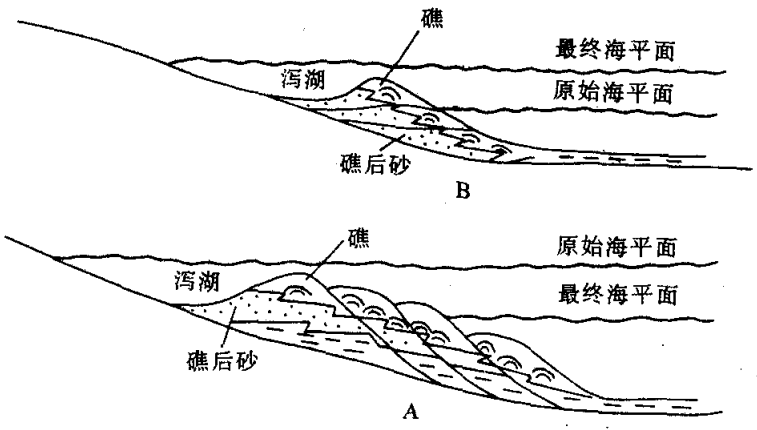


图 7-10　生物筑积作用引起的生物筑积体的侧向迁移形成的旋回沉积序列

(A) 海平面下降；(B) 海平面上升

由旋回沉积作用形成的旋回沉积序列是现代地层学研究的一个重要方面，也是建立地层单位的重要基础。

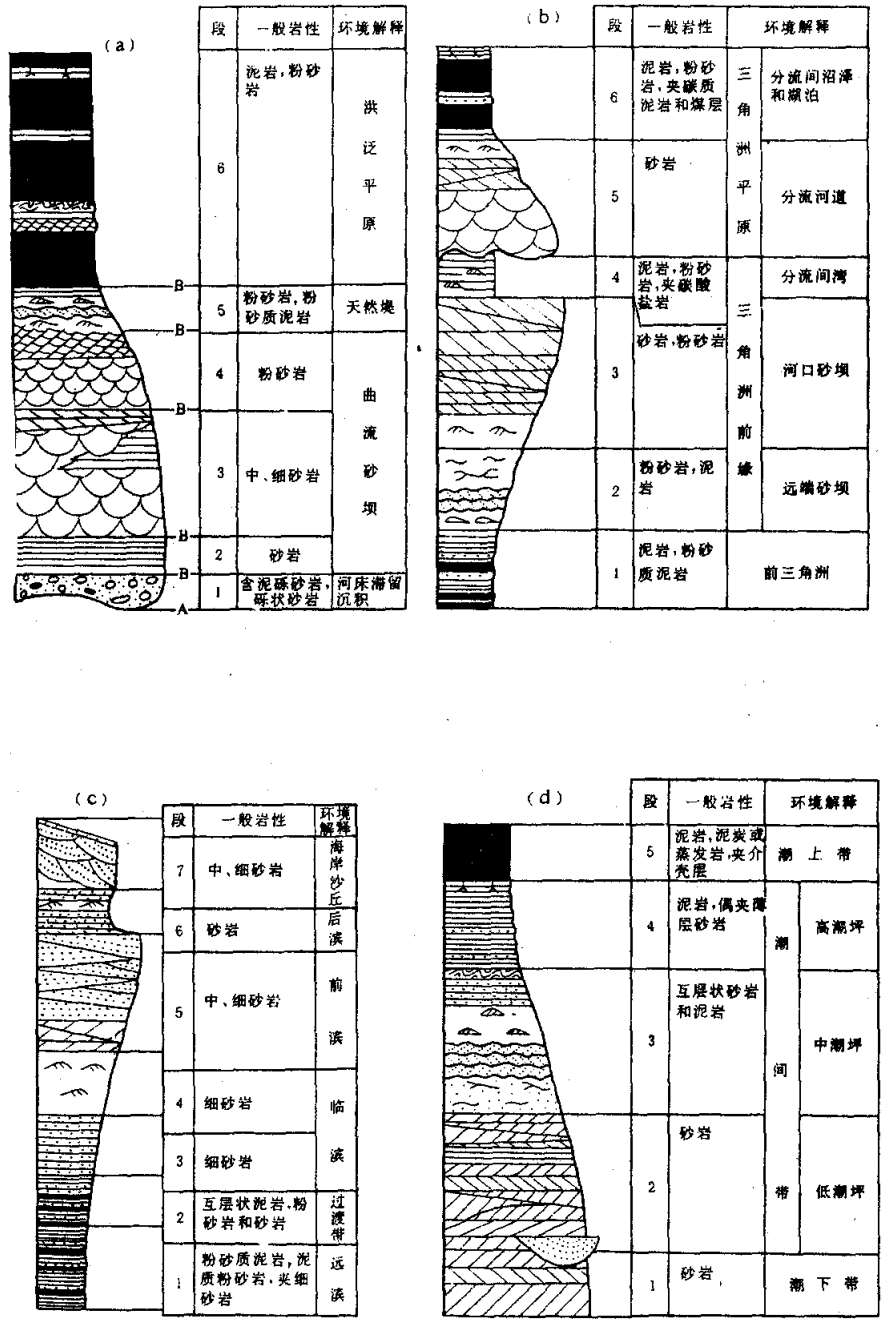


图 7-11　不同沉积环境中环境单元的侧向迁移形成的旋回沉积序列

（据《沉积构造与环境解释》编写组，1984，综合简化）

（a）曲流河；（b）河流作用为主的三角洲；（c）海滩；（d）障壁砂坝