

沉积盆地的 成因地层分析

夏文臣 金友渔 编著

中国地质大学出版社

沉积盆地的成因地层分析

夏文臣 金友渔 编著

中国地质大学出版社

前 言

整体研究沉积盆地的成因地层格架和各成因地层单位的沉积构成是盆地分析的主要任务之一。近20年来,沉积学家们从不同角度探索了一些有效的研究方法。美国德克萨斯州奥斯丁大学和德克萨斯州经济地质调查所的地质学家们(如L.F.Brown, W.L.Fisher和J.H.McGowen等)提出了沉积体系和体系域的研究方法,即借助于地震地层、地震相和测井曲线分析,来研究巨型沉积体之间的构成关系,并建立沉积盆地的总体格架。这种方法在油气勘探中发挥了应有的作用。与此同时,以J.R.Allen为代表的沉积学家又侧重于研究沉积岩系中较小沉积单位的沉积构造层序和进行沉积过程解释,提出了过程沉积学的研究方法。将上述两种方法结合在一起研究沉积盆地的三维空间构成和沉积演化历史,则出现了成因地层分析的方法。

成因地层分析的基本思路是,从地表露头或钻孔岩芯的研究入手,综合应用钻孔测井曲线、地震剖面和其它地下资料,以沉积事件和沉积环境演化过程为指导思想,详细解剖各种沉积体系的内、外沉积构成,并逐层进行沉积过程和沉积环境解释,然后再以沉积体系为基本构成单位,来研究沉积盆地的充填样式和成因地层格架,恢复盆地的演化历史,建立盆地演化模式。从某种意义上讲,成因地层分析是沉积学和地层学的结合产物,它根据沉积相和沉积体系的空间配置关系划分和解释等时性地层单位,又以侧向“相变”规律划分穿时性地层单位。

本书的内容是在给沉积矿产专业高年级学生班及专业技术人员训练班的讲课过程中形成并逐步完善的。中国地质大学李思田教授的学术思想对整个思路的形成起了重要影响作用。全书共分五章,第一、二、三、四章由夏文臣执笔,第五章由金友渔执笔。初稿完成后承蒙成都地质学院夏文杰教授和中国地质大学陈钟惠教授审阅了全稿,提出了许多宝贵意见。中国地质大学杨士恭副教授、解习农讲师及80—84届高年级学生给予了很大帮助。中国地质大学出版社耿小云、段连秀同志负责本书编辑工作,全书插图由张小玉和张咏梅完成。在此一并致谢。

鉴于作者理论水平有限,编写时间仓促,书中一定会有不少错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

1988年4月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 成因地层分析的目的和任务	(1)
第二节 成因地层分析的基本术语	(2)
第二章 成因地层分析原理	(6)
第一节 基本构成单位的沉积过程分析	(6)
第二节 沉积岩系的成因地层分析	(21)
第三节 沉积盆地的充填样式及成因地层格架	(35)
第三章 成因地层分析方法	(46)
第一节 沉积学调查和沉积学编图	(46)
第二节 地球物理勘探资料在成因地层分析中的应用	(63)
第三节 成因地层分析的流程	(80)
第四节 成因地层分析方法在矿产勘探中的应用	(91)
第四章 我国西南地区晚二叠世含煤岩系的成因地层分析	(84)
第一节 地质概况和古地理背景	(84)
第二节 受潮汐和波浪作用影响的河流三角洲体系的沉积构成及环境解释	(87)
第三节 三角洲-障壁岛沉积体系的沉积构成及环境解释	(110)
第四节 无三角洲碎屑海岸体系的沉积构成及环境解释	(120)
第五节 我国西南地区晚二叠世陆表海盆地的成因地层格架	(130)
第五章 详细沉积断面的定量分析方法	(134)
第一节 半马尔柯夫过程拉氏变换逆式的数学模型	(134)
第二节 半马尔柯夫过程直接式—— I 型的数学模型	(135)
第三节 半马尔柯夫过程直接式—— I 型的数值计算方法	(138)
第四节 详细沉积断面的半马尔柯夫过程分析	(149)
第五节 详细沉积断面岩性相组合因子分析	(144)
第六节 详细沉积断面中研究聚煤规律的逐步回归分析和剩余分析	(146)
参考文献	(150)

第一章 绪 论

第一节 成因地层分析的目的和任务

近些年来,能源地质工作者在沉积盆地环境分析方面,取得了巨大进展,在研究过程中所采用的基本方法可概括为如下几个方面:(1)以研究沉积岩石的微观特征为主的沉积岩石学方法;(2)沉积岩系的垂向层序分析;(3)通过不同比例尺的沉积学编图及古流分析,研究沉积体系的沉积格架和相的空间配置关系;(4)通过古生态和地球化学分析,恢复古沉积盆地的介质条件。

沉积岩系的垂向层序特征,不仅可以直接反映沉积作用和沉积环境的垂向变化过程,而且可以应用瓦尔特定律和其它沉积学原理间接推断沉积相的空间组合关系,因此,垂向层序分析是一种比较有效的方法。但是,在沉积岩系中,古代沉积作用和沉积事件所留下的记录并非是均衡分布,各种原因所造成的沉积间断或“缺失”现象经常发生,如果仅靠垂向层序分析来推断不同沉积环境的空间配置关系,常常会得出简单化的结论。利用地下资料进行沉积学编图虽然可以弥补这一不足,但是,也时常因编图技术不熟练,编图方法和编图单位的选择不当而影响编图效果。如果编图单位选择过大,其结果只能反映区域性的总体沉积格架,而不能反映不同沉积体的几何形态及相互关系;相反,若编图单位划分过细,又容易因对比有误而歪曲沉积体的几何形态。经验告诉我们,只有在对沉积岩系进行了详细的沉积过程研究之后,才能比较合理地划分和确定各级编图单位。另外,各种相图通常只能反映某种主导岩性的空间分布或多种岩性的比例关系,而不能反映编图单位的内部沉积构成。因此,对沉积岩系的研究工作还不能仅限于垂向层序分析和沉积学编图工作。

从另一个角度讲,沉积盆地环境分析的目的在于合理指导沉积矿产的预测和地质勘探工作,因而沉积学研究只有超前进行才能发挥研究成果的指导作用。然而,当我们在新区进行研究工作时,又时常会因缺少足够的地下资料而无法进行系统的沉积学编图。目前摆在我们面前的任务是,寻求更有效的其它研究方法,其中利用地震剖面和其它物探资料进行地震地层和地震相分析是重要途径之一。在石油勘探过程中,将地震地层分析与测井曲线分析和有限量的钻孔岩芯研究相结合,可能会取得更好的效果。此外,从加强地质研究的角度出发,还应考虑其它切实可行的方法。

作者在从事内陆断陷盆地和内陆表海盆地沉积环境分析过程中,采用了沉积过程分析(Allen, 1982)与成因地层分析(Galloway, Hobday, 1983)相结合的方法,系统研究了两类盆地的沉积演化过程和能源矿产的聚积规律;在充分利用地下资料研究大型沉积体的形态和共生关系的同时,还利用钻孔岩芯和地表露头详细解剖了各类沉积体的内部沉积构成,较合理地划分了成因地层单位,建立了盆地的成因地层格架,为煤及其它沉积矿产的勘探提供了较可靠的地质模型。

沉积过程分析和成因地层分析方法的基本要点和工作程序是:

1. 详细描述沉积岩系的天然露头或钻孔岩芯,观察各种成因标志,识别和解释成因单位,建立沉积过程解释剖面。

2. 参考沉积体的自然分界面,客观地划分基本成因地层单位——沉积组合,详细研究它的内部沉积构成。在露头好的条件下,还应对格架沉积组合进行横向追索,并系统测量古

流参数和控制剖面，从而控制它们的几何形态、规模大小及延伸方向。

3. 利用密集分布的实测剖面或钻孔柱状，编绘详细沉积断面图。通过沉积断面的构成分析，合理地划分沉积相和生长层序（相序），研究它们的内、外沉积构成，恢复其沉积演化过程。

4. 选择代表性沉积岩系剖面或测井曲线，进行区域性成因地层对比，划分盆地级的成因地层单位——沉积总体和沉积幕，建立盆地充填样式和盆地成因地层格架。同时，结合盆地同沉积构造分析、区域性沉积古地理和构造古地理分析，探讨各种沉积体系和沉积盆地发育的边界条件（Visher, 1984）。

5. 在详细研究盆地充填物性质和演化过程的基础上，进一步分析各成因地层单位的含矿性。同时，通过对含矿成因地层单位的物质成分和地球化学特征分析，确定有经济价值的含矿成因地层单位，预测其空间分布规律。

第二节 成因地层分析的基本术语

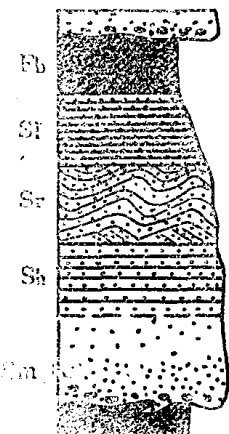
成因地层分析的主要目的是研究沉积盆地的成因地层格架和各级成因地层单位的内、外沉积构成。不论是沉积盆地，还是组成盆地的各种沉积体系，都具有多层次沉积构成的特征。换句话讲，每个沉积盆地都包含多种级别的成因地层单位。为了比较清楚地描述盆地的沉积格架，不少学者先后提出了关于成因地层单位的种种术语。Sloss L.L. (1963) 开始将层序(sequence)视为比群或“超群”还要大的非正式岩石地层单位（Margarete G.等, 1973）。Heward A.P. (1978) 在研究主要由冲积扇体系组成的沉积盆地时，提出用盆地充填序列(basin-fill sequence)、大层序(megasequence)和层序(sequence)作为描述盆地格架的成因地层单位。Selley R.C. (1982) 建议用成因地层层序(genetic sequence of strata)和成因地层增量(genetic increment of strata)作为划分沉积体系的两级成因地层单位。如果再把构成层序的相、亚相(沉积组合)和成因单位也作为低级别的成因地层单位对待，那么沉积盆地构成的多级性就更为明显。通常情况下，一个沉积盆地最多可以出现5—6个级别的成因地层单位。由小到大依次命名为成因单位、沉积组合、沉积相、生长层序、沉积总体和沉积幕(表1-1)。其中，沉积幕和沉积总体是盆地级别的成因地层单位，

表1-1 各级成因地层单位划分表

级 别	成 因 地 层 单 位	地震地层单位	性 质
盆 地 级 成 因 地 层 单 位	沉积幕 (depositional episode)	地震层序或 超层序	等时性地层单位 (盆地范围内)
	沉积总体 (depositional package)	地震相	穿时性地层单位
沉积体系 的构成单 位	生长层序 (increment sequence)		局部范围的等时性 地层单位
	沉积相 (sedimentary facies)		穿时性地层单位
	沉积组合 (sedimentary association)		沉积体
	成因单位 (genetic unit)		

它们以不同的形式构成沉积盆地的成因地层格架，并且时常可以与地震地层层序和地震相的划分吻合；生长层序及更低级别的成因地层单位是沉积体系的构成单位。

成因单位 是在基本一致或以统一方式变化的作用过程中形成的沉积单位，它反映了一定沉积事件或特定沉积环境的沉积作用演化过程。如一次浊流事件，可以产生一个完整或不完整的浊积单位，这就是人们所熟悉的鲍马层序（图1-1）。



段	Harmas和Fahnestock(1965) Walker(1965, 1967)	Allen(1963h, 1969c)
E 泥岩段	低流态，平床，无水平运动	水流功率小于 0.01 W m^{-2}
D 平行纹理段	低流态，平床，无水平运动	水流功率小于 0.01 W m^{-2}
C 水流波纹纹理段	低流态波纹底形	水流功率指标 0.5 W m^{-2}
B 平行层理段	高流态，平床，碎屑颗粒水平运动	水流功率指标 $0.5-5 \text{ W m}^{-2}$
A 正递变段	高流态，反丘	水流功率大于 5 W m^{-2}

图1-1 发育完整的浊流成因单位

（据Middleton和Hampton, 1976）

沉积组合 是由多个相同的成因单位叠覆或两种类型的成因单位互相交替组成的自然单位，它具有一定的几何形态、规模大小和内部沉积构成特征。有些沉积组合可能是在一定沉积环境中同类沉积事件多次发生的结果，如泥石流沉积组合、水下重力流河道组合和漫溢性水下重力流组合等，都是由同类型的水下重力流成因单位组成的。另外还有些沉积组合可能是某种沉积环境长期发育的产物，如各种河道沉积组合和河口坝沉积组合等。

沉积相 是沉积学中最常用的术语，现在比较一致的认识是把它理解为反映一定沉积环境的各种成因标志的总和。在进行成因地层分析过程中，如果把沉积相作为一级成因地层单位，就应该有一个比较严格的限定范围，因此我们将沉积相定义为，在一定古地貌条件下，由不同沉积过程所形成的沉积复合体，这种沉积复合体是由多个有成因联系的沉积组合构成。如下三角洲平原相是在最高海水位和最低海水位之间的滨岸地带，由于河流的注入而形成的，它可能包括分流河道沉积组合、决口扇沉积组合、分流间湾沉积组合和沼泽沉积组合等次级成因地层单位。如果把某种沉积环境的产物命名为“相”，那么我们所说的沉积相就相当于“相组合”（Reading, 1984）。同样，如果把沉积组合看作与“亚相”相当的单位，沉积相就与“相”或“大相”的含义比较接近。

生长层序 又可称为相序，它是由相关的沉积相按一定顺序叠覆构成，时常反映了某个沉积体系或体系域一次进积、退积、填积或侧向迁移的过程。如一个进积型的三角洲生长层序通常是由浅海相、水下三角洲平原相、下三角洲平原相和上三角洲平原相依次叠覆组成。

沉积总体 是在一种或两种主导沉积作用控制下，所形成的相关沉积相的三维空间组合，它有时与沉积体系相当，有时只能作为沉积体系的一个独立组成部分。但是作为一个较高级别的成因地层单位，时常可以进一步划分为若干相似的生长层序。例如，当河流注入盆地时，在入口附近形成三角洲沉积体系，由于盆地水面的升降变化、同沉积构造活动的周期性、或源区侵蚀作用的周期变化，三角洲体系可能不止一次地向盆地方向进积、退积或侧

向迁移，从而产生由多个生长层序组成的沉积总体。图1-2展示了形成于断陷盆地周缘带的扇三角洲沉积总体的断面沉积构成特征。

沉积幕 是在沉积盆地范围内的等时性成因地层单位，它是沉积盆地某个演化阶段所形成的多沉积总体的三维空间组合。相邻的不同沉积幕之间通常被一定性质的等时界面分隔，这种界面有角度不整合面、古侵蚀面、沉积间断面、区域性水退和水进转换面、界面粘土层或火山灰层等。

上述6种成因地层单位可通过野外露头或钻孔岩芯的观察、测井曲线和地震剖面解释以及沉积学编图等方法逐级识别出来。由成因单位开始到沉积总体和沉积幕是逐次构成关系，次级成因地层单位是高级成因地层单位的基本构成元素。为了说明各级成因地层单位的关系，本书采用了沉积构成（depositional architecture）的概念，其含义是指在一定级别的成因地层单位中，基本构成元素的几何形态、规模和相互之间的组合关系。例如，一个沉积组合时常由同种类型或不同类型的成因单位构成，根据成因单位自身的几何形态和排列方式不同，可以区分为垂向叠覆型、侧向错位叠覆型、不规则叠覆型和进积型等沉积构成型式。

第二章 成因地层分析原理

成因地层分析的全部内容包括三个部分：(1) 基本构成单位的沉积过程分析；(2) 成因地层单位的划分及沉积环境解释；(3) 建立盆地成因地层格架和盆地演化分析。

第一节 基本构成单位的沉积过程分析

沉积过程和其产物之间是有一定因果关系的 (Allen, 1968, Reading等, 1979), 通过大型水槽实验和现代沉积学考察, 我们可以直接观察不同沉积过程在沉积物中产生的“反应”。因此, 在研究古代或现代沉积剖面时, 首先应该详细而准确地识别沉积过程所产生的各种成因标志, 然后再根据这些标志的组合规律去合理地解释它们形成时期沉积过程的演化, 这就是沉积过程分析的基本原理。

应该注意的是, 在我们所能观察到的古代沉积岩系中, 由于多种原因 (如生物活动、沉积物变形、成岩作用和后生破坏等) 的影响, 已经失去了大量反映沉积过程的标志。另外, 在古沉积环境演变过程中, 由于冲刷侵蚀、风化和滑塌等作用的破坏, 也有大量沉积记录完全被破坏掉。因此, 我们在进行沉积岩系剖面研究时, 除了特别细心地观察各种成因标志之外, 还要善于识别能反映一定沉积过程的成因单位和沉积组合。在识别过程中, 既要注意观察它们的垂向变化, 又要研究它们的侧向变化和共生组合关系。

一、成因单位及沉积过程解释

在对沉积岩系或整个沉积盆地进行成因分析时, 首先要解决的问题是如何客观地识别和划分基本构成单位。这种单位必须能够反映一个完整的沉积作用过程。目前, 沉积学界常用的是成因单位 (genetic unit)。开始人们将其称作沉积单位 (sedimentation unit), 它是在基本稳定一致或以统一方式变化的沉积过程中形成的具有一定厚度的自然单位。最近几年, 随着沉积学的发展, 人们对沉积物或沉积岩系中这种自然单位的成因研究也更加深入了, 除了最常见的沉积单位之外, 还识别出了遗迹化石成因单位 (ichnogenetic unit)、软沉积物变形成因单位 (soft-sediment-deformation unit), 以及成岩作用单位 (diagenetic unit) (Seimers C.T.等, 1981)。这就意味着产生成因单位的不仅有同沉积作用, 而且还包括生物作用、沉积物变形作用和成岩作用。

(一) 成因单位的组成和空间变化

大多数的成因单位, 都反映了一个连续变化的沉积过程, 因此, 它的内部组成不是单一的, 而是由不同岩性和不同沉积构造类型组成。在这里, 我们把组成成因单位最小的岩石单位称作岩性相 (lithofacies), 并将其理解为由一定岩石特征限定的岩石单位, 这种岩石特征包括成分、粒度、成层性和沉积构造等 (Miall A.D., 1984)。在野外工作中, 通常根据岩性和沉积构造类型进行命名。如: 块状层理砾岩 (Gms), 平行层理砾岩 (Gh), 块状层理砂岩 (Sms), 递变层理砂岩 (Sg), 平行层理砂岩 (Sh), 大型槽状交错层理砂岩 (St), 大型板状交错层理砂岩 (Stb), 小型波纹交错层理中细砂岩 (Sr), 水平纹理粉砂岩 (Fl), 具生物扰动构造的砂泥岩互层 (SFbt) 等。

对沉积岩系观察描述时，首先应当以岩性相作为基本分层单位，然后再根据它们的组合规律和内在联系划分成因单位。对于有经验的沉积学家来说，完全可以直接在岩芯和露头上识别划分成因单位。即使如此，我们也不能忽视对不同岩性相的详细观察，否则，就会漏掉许多重要的沉积标志。

成因单位的识别主要在野外完成，同时也要进行必要的室内验证。在识别和建立成因单位时，应注意如下几项原则：

(1) 组成同一个成因单位的不同岩性相之间是连续沉积的，不会出现沉积间断。多种岩性相的垂向变化反映了一个连续的沉积过程。如一次水下重力流事件，在其流动状态连续变化的过程中，必然会产生具有一定沉积构造层序的成因单位（图2-1）。

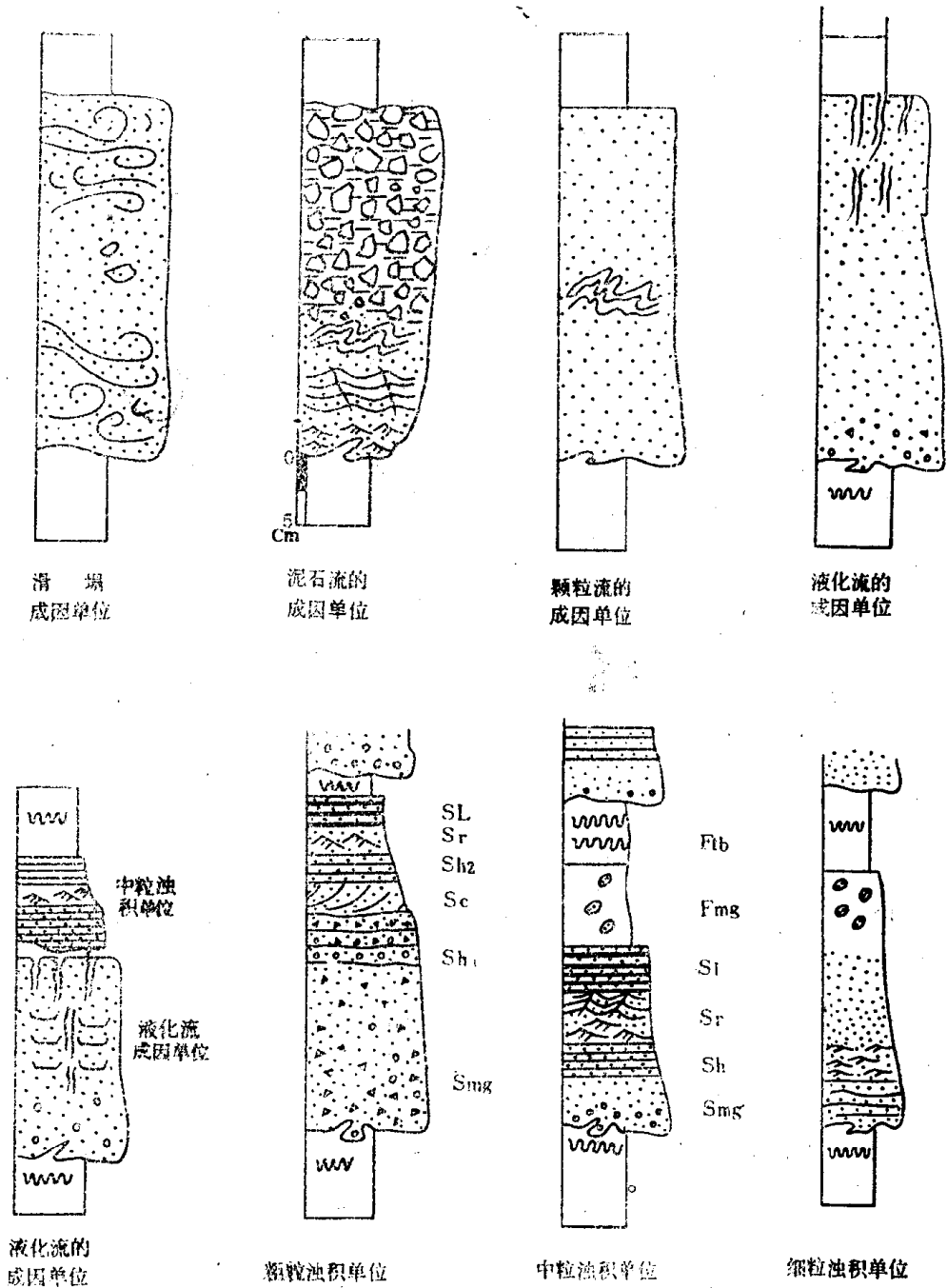


图2-1 断陷湖泊中常见的水下重力流成因单位
(选自阜新盆地沙四段岩芯)

(2) 相邻成因单位之间，通常存在一个较明显的分界面。如底冲刷面、岩性突变面或无沉积面等。

(3) 所划分的成因单位都能进行沉积过程解释，它们可以与现代沉积或水槽实验的结果对比。

(4) 每种成因单位都有一定的空间形态和内部变化规律。如水下重力流成因单位常呈席状分布，其空间变化规律是：在近端和主体部位厚度大，平均粒度粗，砂/泥比值大， S_{ms} 和 S_{mg} 相所占比例高。而在中端部位成因单位的厚度、平均粒度和砂/泥比值都变小，并时常出现典型的鲍马层序。至远端和边缘部位成因单位厚度、平均粒度和砂泥比值最小，常缺失 S_{ms} 和 S_{mg} 相。

(二) 成因单位的分类

从目前的研究成果来看，可从两个方面来对成因单位进行分类，一是根据岩性相的垂向变化趋势分类；二是根据产生成因单位的沉积过程的性质分类。二者是有内在联系的。

根据成因单位的岩性相组成及其粒度和沉积构造的垂向变化趋势，通常分为三种类型（图2-2）。

1. 正向变化的成因单位。这种成因单位的底界常为冲刷面或岩性突变面，底面上保存有一定类型的底痕构造（如负载模、火焰构造、槽模、沟模、椎模等），其内部主要由粗粒碎屑岩或粒屑灰岩组成。由下而上粒度变细、沉积构造规模变小，反映了物理作用强度逐渐变弱的演化过程。水下重力流、单向或双向水流及风暴浪等作用过程常常产生正向变化的成因单位。

2. 反向变化的成因单位。与正向变化的成因单位相反，它的顶界面较清楚，为突变接触面，其底界有时与下伏单位呈过渡关系。岩性相的粒度和沉积构造变化是向上变粗变厚，反映了介质动力条件向上变强的作用过程。以波浪作用为主的正常沉积环境的进积过程常产生这类成因单位。

3. 双向变化的成因单位。这种成因单位的顶底界面都不太清楚，但多个成因单位叠覆在一起可以显示韵律交替的特点。每个成因单位中部由较细或较粗的岩性相组成，向上和向下逐渐变粗或变细（图2-2及图2-3），反映了沉积作用强度正态变化的规律。最常见的双向变化的成因单位是潮汐作用单位，每个半日潮、半月潮和半年潮周期都可形成这种成因单位。

根据成因单位的形成过程不同，又可将

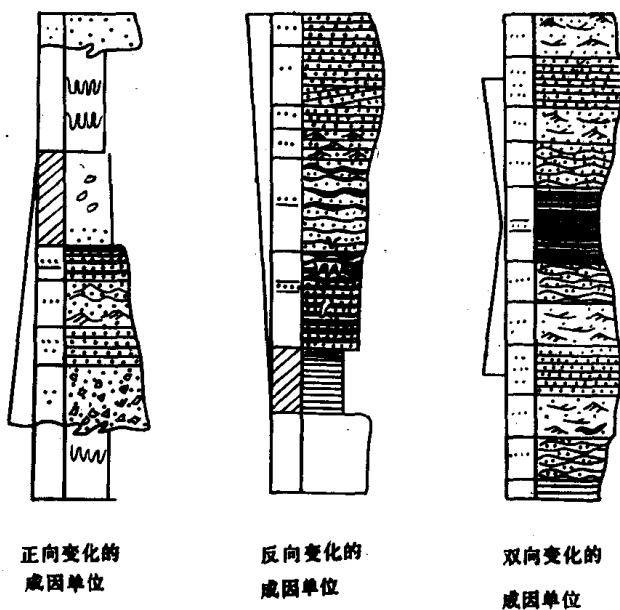


图2-2 按粒度和沉积构造变化趋势所划分的成因单位类型

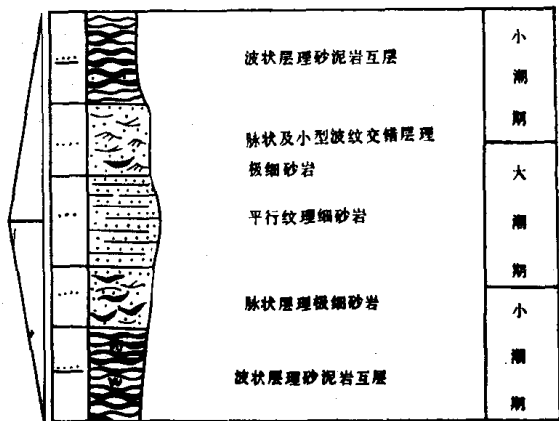


图2-3 由潮汐作用产生的双向变化的成因单位

其分为四种类型：即同沉积的成因单位、遗迹化石成因单位、沉积物软变形成因单位和成岩作用成因单位。

1. 同沉积的成因单位，又称沉积单位。它是由原始沉积过程形成的，因此保存着完好的沉积构造层序，并直接反映了成因单位形成的物理或化学沉积过程。在沉积岩系中这类成因单位最为多见。根据沉积事件的性质不同，又分三个亚类：

(1) 突发沉积事件型成因单位，主要由各种突发性沉积事件产生的成因单位。如洪水事件、水下重力流事件和风暴事件等，都可以形成独具特色的成因单位（图2-1和图2-10）。

(2) 周期性变化的成因单位，是由沉积作用的周期性变化而形成的成因单位，半月或半年潮汐周期所产生的成因单位都属于这种类型。其沉积构造层序既可能出现双向变化的，也可能出现反向变化或正向变化的（图2-4）。

(3) 正常演化型成因单位，是由某一种稳定的沉积环境（如河道、滨岸波浪带等）沿常规过程演化而形成的成因单位。如曲流河道或潮汐水道点砂坝的一次加程过程可以形成一个厚度较大的成因单位（图2-5）。

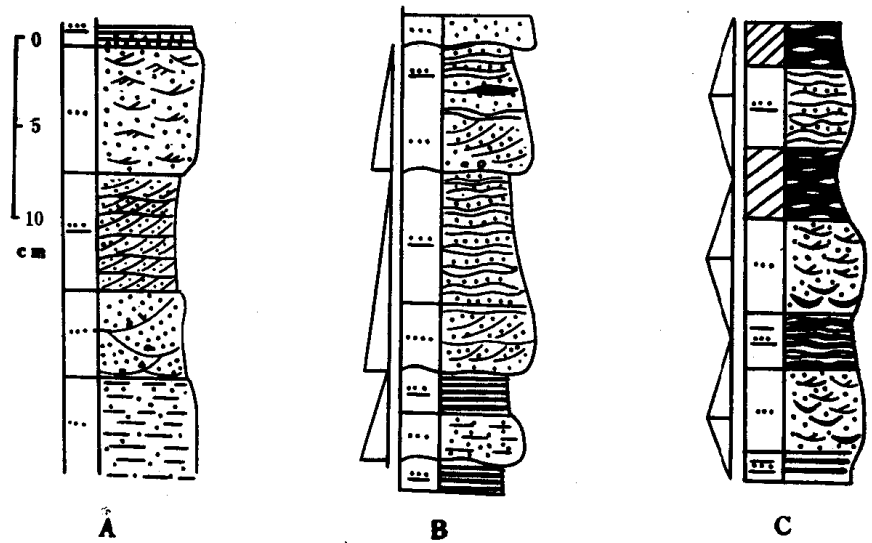


图2-4 潮汐沉积物中的成因单位

A. 不对称双向变化型 B. 正向变化型（三个单位） C. 对称双向变化型（三个单位）

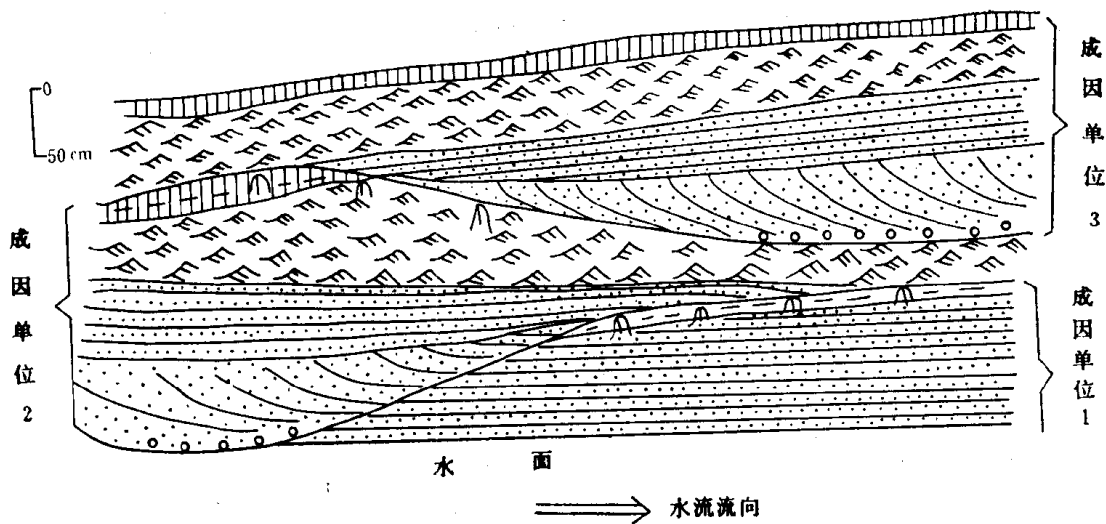


图2-5 汉水点砂坝沉积组合中的成因单位

2. 遗迹化石成因单位，是沉积物沉积之后，由于生物活动而产生的。如遗迹化石密集带和生物扰动层等。在这类成因单位中，虽然有些同沉积标志被破坏，但它却从另一个角度反映了沉积物形成的生态环境和介质化学条件。如被根化石穿切的薄层决口砂岩，可能是河道决口之后又被植被覆盖的结果；与水下重力流成因单位交替出现的密集生物扰动泥岩

(图2-1), 则代表间事件期平静的湖泊环境。

3. 沉积物变形成因单位, 也是准同生期末固结沉积物遭受变形破坏而产生的。引起变形的原因可能多种多样, 如沉积物的差异负荷、沉陷作用、重力影响下的顺斜坡滑动或滑塌作用、液化作用及流体的底部剪切作用等。通过对变形成因单位的研究, 一方面可以判别变形作用类型, 另一方面也可以判别沉积物再搬运的方向和运动过程。

4. 成岩作用成因单位, 是由成岩期的压实、固结和胶结作用等成岩事件产生的成因单位。成岩期形成的结构、构造完全掩盖了原生沉积构造, 如菱铁质胶结的细砂岩, 时常不显示层理。但从砂岩的结构成熟度及相邻岩层的成因标志判定, 它应该发育一定类型的层理。划分成岩作用单位不仅有助我们研究成岩过程和成岩事件, 而且有些成岩标志(如结核、晶痕、鸟眼构造等)对解释沉积环境也是有意义的。

(三) 成因单位的过程解释

通过对现代沉积物和古代沉积岩系的详细研究证明, 利用成因单位来恢复沉积过程和解释沉积环境是十分奏效的。特别是在野外露头不连续或钻孔取芯较少的情况下, 更应该重视成因单位的识别和解释工作。在对成因单位进行过程解释时, 除了正确判别成因单位类型之外, 还应注意内部的岩性相组成和外部形态的分析。

由单向流水作用产生的成因单位多数为正向变化的。但是, 它的形成过程和事件性质不同, 就会出现不同的沉积构造层序, 如缓慢侧向加积的点砂坝成因单位的底部为大型板状或楔状交错层理砂, 向上变为平行纹理中细砂和小型水流波纹交错层理细砂(图2-5)。这种沉积构造层序表明, 在点砂坝加积过程中, 开始河道较深, 虽然底载荷物含量较高, 流速也较大, 但佛劳德数(Fr)并不大, 故只能形成水下沙波; 而至浅水部位, 由于深度减小, Fr 加大, 因此形成上部平床; 再向边缘部位, 水深和流速都变小, 且速度变化较明显, 这样就产生了小型水流波纹。

与侧向加积点砂坝不同的是洪泛特征明显的辫状河成因单位。常见的沉积构造层序是: 底部为块状砾岩, 向上依次出现平行层理含砾砂岩、大型交错层理砂岩和小型水流波纹交错层理中细砂岩。这些比较一致地反映了水动力条件由强到弱的变化过程。

在受潮汐作用控制的双向水流条件下, 由于水流速度、水深和载荷物物质的周期性变化, 可以形成不同大小的成因单位。借助于这些成因单位, 不仅可以恢复各种类型的潮汐周期(见第四章第三节), 而且可以区分不同的沉积环境。如组成侧积型潮下潮道的成因单位, 时常具有厚度大和正向变化的特点(图2-6)。其内部不同岩性相的粒度、沉积构造和古流型式的变化, 都较清楚地反映了水动力条件总体向上变弱和覆水变浅的变化趋势。而组成填积型潮间潮道的成因单位通常厚度小、变化大, 并且多单位垂向叠覆性明显。

在单向或双向水流条件下所形成的各种成因单位, 都可以借助于图2-7合理地进行过程解释。产生流动型沉积构造的各种底床形态不仅与水流功率有关, 而且还

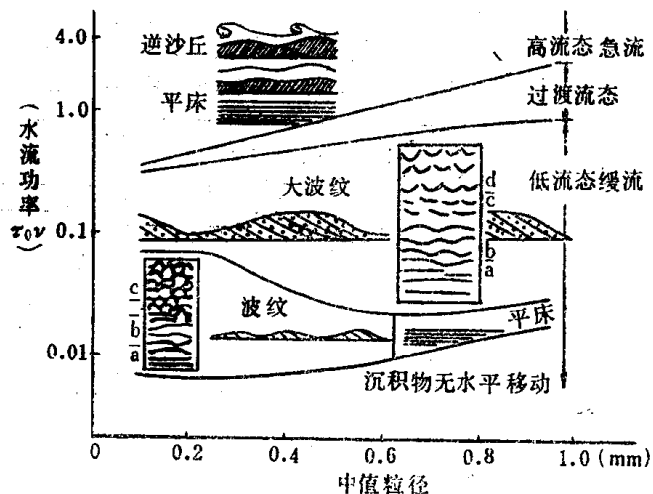


图2-7 底床形态及其与水流功率和粒度的关系示意图 (据Reineck等, 1980)

v . 流速 τ_0 . 底部剪切应力 a. 直脊的 b. 波曲状的 c. 舌状的 d. 新月形的

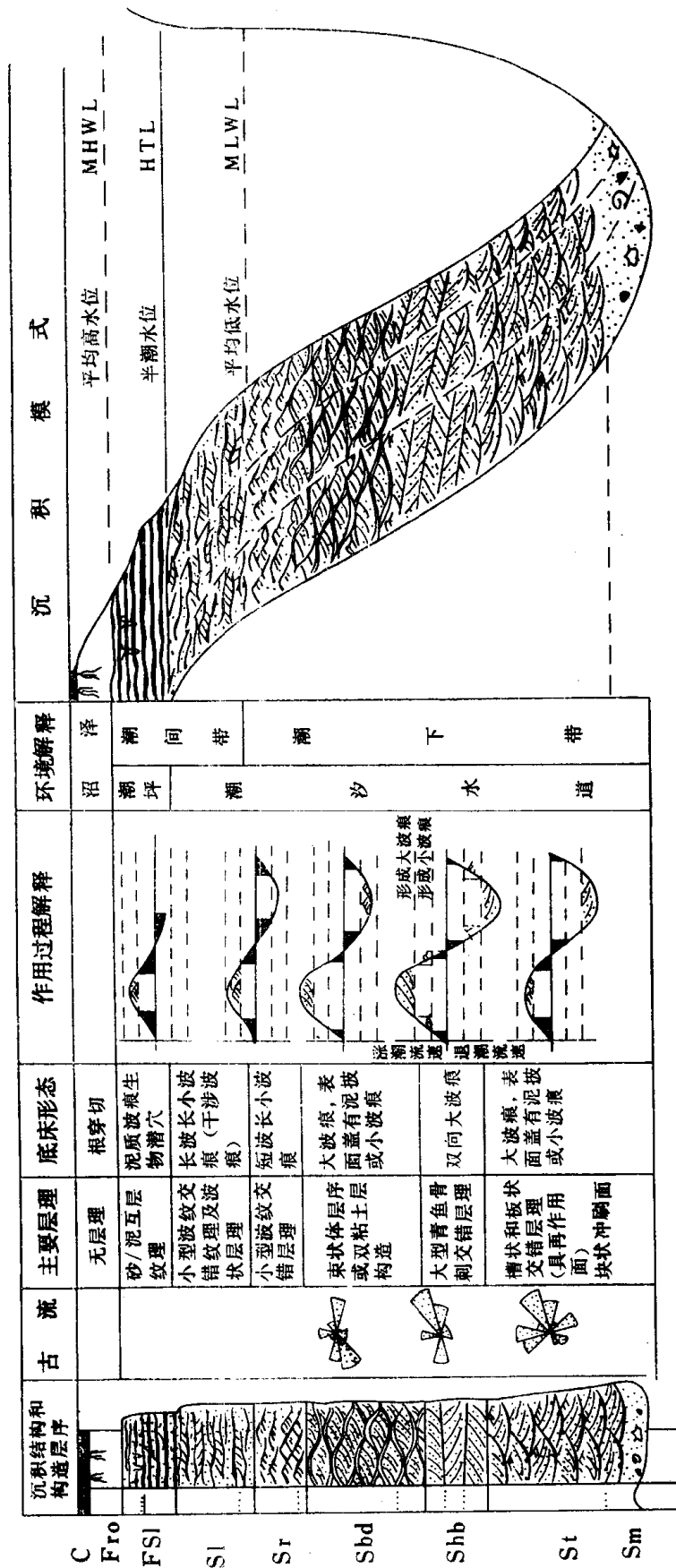


图2-3 侧积型潮下通道中的成因单位
(据夏文臣, 1988)

受载荷物质粒度大小的影响。在粗粒载荷的情况下，随着水流功率的由大到小变化，则出现图2-8 A 所示的岩性相变化序列。在底载荷物质较细的河道中，出现大型交错层理 的机会较少，而小型交错层理相对较发育（图2-8 B），有时出现由高流态平行层理中一细砂岩直接变化为小型交错层理细砂岩的层序。

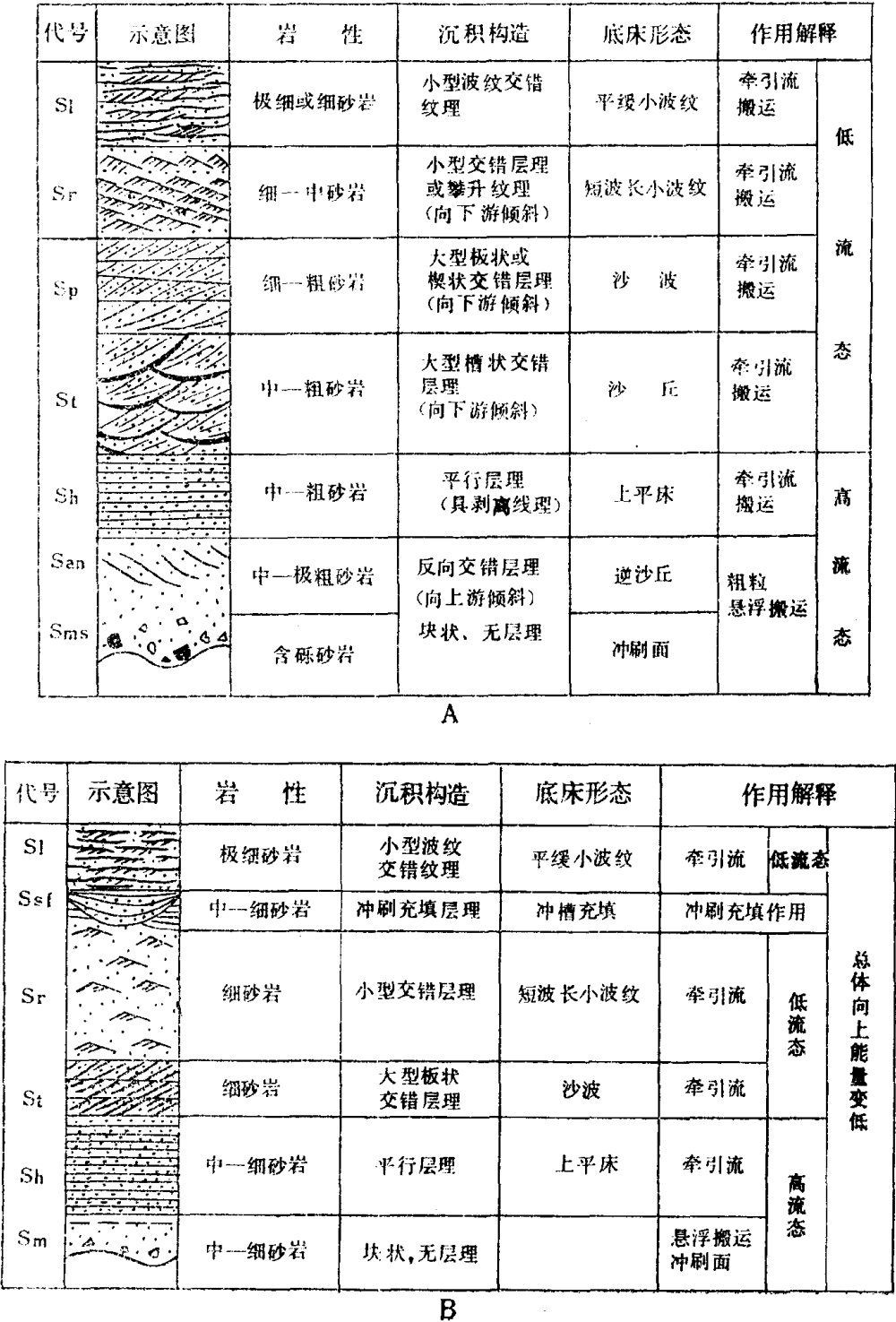


图2-3 单向水流作用条件下所产生的岩性相类型及变化顺序

A. 粗粒底载荷为主的河道沉积中常见岩性相类型 B. 细粒底载荷为主的河道沉积中常见岩性相类型

无论是在深海,还是在深湖盆地中,各种类型的水下重力流沉积都是比较常见的。根据成因通道常可以分为四种类型:沉积物滑塌性水下重力流;由河流或溶化冰川携带进入盆地的

超载荷悬浮流；由风暴浪作用搅动底部沉积物形成的高密度雾状重力流；以及浅水区溢出的流砂或离岸流（Stow D.A.V., 1986）。前两种类型既可出现在海洋盆地中，又可出现在湖盆中，后两种类型主要出现在深海盆地或陆架斜坡地带。

滑塌性水下重力流包括崩积、块体滑动、未固结沉积物蠕变、泥石流、颗粒流、液化流和浊流等。直接来源于陆地的超载荷悬浮流包括泥石流、洪水性密度流和溶化的冰川流等。无论其成因如何，水下重力流的成因单位都有相似的岩性相组成。Bouma（1962）概括了浊积单位的五种沉积构造类型（图1-1），即：A段，块状或递变砂；B段，平行层理砂；C段，波纹交错纹理或包卷纹理砂；D段，平行纹理砂或粉砂；E段，深水泥。这种成因单位较好地反映了一次浊流事件的沉积作用变化过程，因此，至今人们还用它作为识别浊流沉积的主要依据。但是，由五种岩性相所组成的鲍马层序并不能概括所有的水下重力流沉积类型，在较浅水近岸水下重力流沉积和再搬运的生物碎屑水下重力流沉积层序中，时常出现大型交错层理砂和不同类型的平行层理砂。据此，Allen（1970）假设了水下重力流沉积的七种沉积构造类型（图2-9）。现已证明，这种层序在扇三角洲和近岸型水下重力流扇中十分常见。

不同成因和不同流动机制的碎屑型水下重力流，可以形成多种类型的成因单位（图2-10）。它们无论在成因单位厚度，还是在岩性相组成上都各不相同。

波浪作用所产生的各种成因单位，可根据图2-11进行过程解

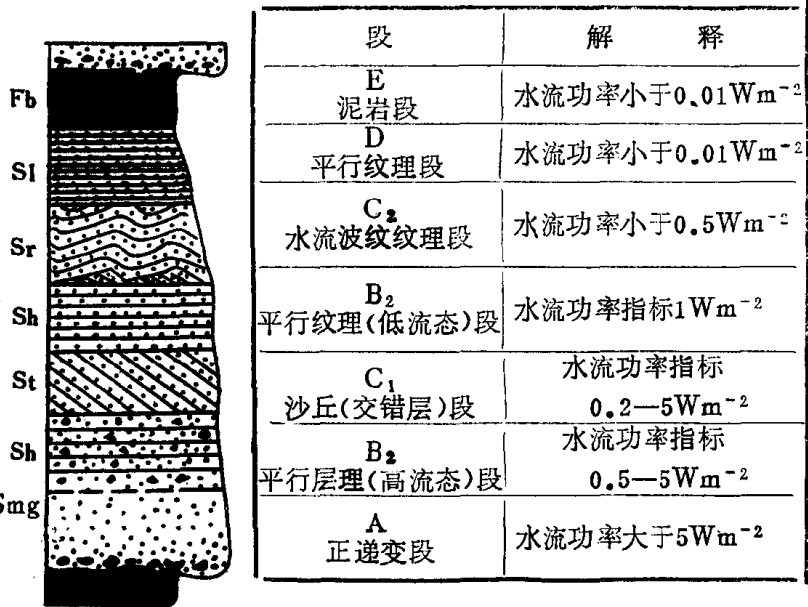


图2-9 粗粒碎屑或再搬运生物碎屑水下重力流成因单位的沉积构造层序及其作用解释
(据Allen, 1981)

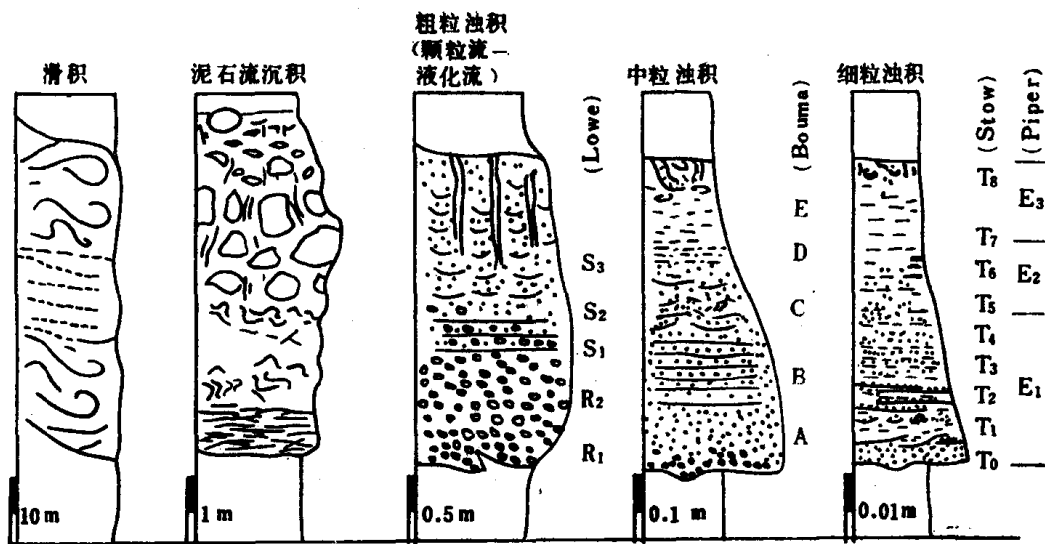


图2-10 滑塌沉积和各种水下重力流沉积中的成因单位类型及其垂向层序
(据Stow, 1986)