



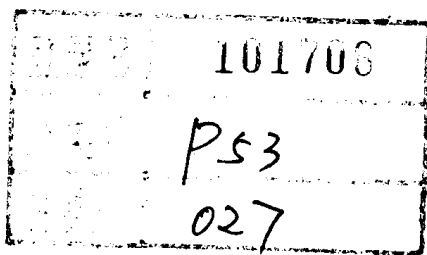
层序地层学 原理及应用

姜在兴 李华启 等编著



石油工业出版社

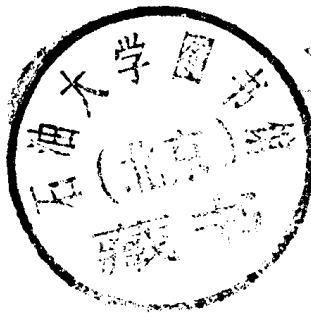




层序地层学原理及应用

姜在兴 李华启 等编著

(S429/321)



S429/30

石油工业出版社

内 容 提 要

层序地层学是 80 年代后期产生的一门新学科,是划分、对比和分析沉积地层的新方法。本书系统地介绍了层序地层学的基本概念和原理,并通过两个实例——塔里木盆地石炭系层序地层学研究和济阳坳陷下第三系高分辨率层序地层学研究说明层序地层学原理在海相及非海相地层中的应用,包括研究方法、层序地层模式和油气预测等。

本书的读者对象是从事石油地质、沉积学和地层学及地球物理解释的工作者和高校有关专业的教师和高年级大学生及研究生等。

图书在版编目 (CIP) 数据

层序地层学原理及应用/姜在兴等编著.

北京:石油工业出版社,1996.12

ISBN 7-5021-1616-8

I. 层...

II. 姜...

III. ①地层层序-地层学-基础理论②地层层序-地层学-应用

IV. P53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 19474 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开 10.5 印张 8 插页 260 千字 印 1-1000

1996 年 12 月北京第 1 版 1996 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN7-5021-1616-8/TE·1378

定价: 18.00 元

前 言

层序地层学是 80 年代后期产生的一门新学科，是一种划分、对比和分析沉积地层的新方法。根据地震、测井、岩心（屑）和露头资料，它可以更科学、更精确地进行地层时代划分、对比、古地理恢复，油气生、储、盖层及圈闭和资源预测。就象板块构造学曾经提供了一个完整统一的全球构造概念一样，层序地层学给出了一个完整统一的地层和沉积格架。它改变了分析世界沉积地层记录的基本原则，打开了了解地球历史的新篇章，是地质学上的又一次飞跃。

本书试图介绍地质学上这一新进展及其在含油气盆地研究中的应用。全书由三部分组成：第一部分，即第一至第三章，系统地阐述了层序地层学的由来、基本概念和基本原理。第二、三部分，即第四章至第十章，通过两个实例——塔里木盆地石炭系层序地层学和济阳坳陷下第三系高分辨率层序地层学研究说明层序地层学原理在海相及非海相地层中的应用，包括研究方法、层序地层模式和油气储层预测等。

全书共分十章，由姜在兴、李华启主编，钱崢、操应长、王留奇任副主编。编写分工如下：第一至第三章，姜在兴、李华启；第四章，鲁洪波、姜在兴；第五、六章，姜在兴、罗东明；第七章，操应长；第八章，姜在兴；第九章，王留奇；第十章，钱崢。参加该项研究工作的还有肖尚斌、赵勇生、马玉新、李淳、张春茹、孙国忠等。在研究过程中曾得到下列专家的指导和帮助：中国石油天然气总公司科技发展局关德范教授，北京石油勘探开发研究院薛叔浩、裘亦楠、陈丽华、譙汉生、顾家裕教授，石油地球物理勘探局袁秉衡教授等。中国科学院院士叶连俊教授审阅了初稿，并提出了宝贵的意见，在此一并表示感谢。

由于编著者和研究者水平有限，加之层序地层学本身尚处于发展阶段，欢迎对文中不当之处提出批评指正。

作者

1995.7.25 于石油大学（华东）

目 录

第一部分 层序地层学原理

第一章 引言	(1)
第二章 层序地层学发展历史	(3)
第三章 层序地层学模式	(5)
第一节 层序地层系统	(5)
第二节 纹层、纹层组、岩层、岩层组	(5)
第三节 准层序	(5)
第四节 准层序组	(15)
第五节 层序	(18)

第二部分 海相层序地层学研究实例

第四章 塔里木盆地巴楚地区石炭系层序地层学研究	(35)
第一节 引言	(35)
第二节 小海子实测剖面记叙	(35)
第三节 层序地层格架	(38)
第四节 层序Ⅰ研究	(39)
第五节 层序Ⅱ研究	(41)
第六节 层序Ⅲ研究	(42)
第七节 层序Ⅳ研究	(43)
第八节 结论	(44)

第三部分 非海相层序地层学研究实例：济阳坳陷下第三系 高分辨率层序地层学研究

第五章 概述	(45)
第一节 工区地质概况	(45)
第二节 研究方法	(46)
第六章 湖平面升降动力学	(48)
第一节 湖平面变化分析	(48)
第二节 湖平面升降动力学	(50)
第七章 湖相层序地层学模式	(57)
第一节 层序地层格架的建立	(57)
第二节 层序和体系域的时空展布及沉积特征	(68)
第三节 层序地层模式	(77)
第八章 东营凹陷高分辨率层序地层学研究	(94)

第一节 地质概况	(94)
第二节 单井沉积相及层序地层学分析	(94)
第三节 井间层序地层分析	(103)
第九章 沾化凹陷高分辨率层序地层学研究	(106)
第一节 地质概况	(106)
第二节 单井层序地层学分析	(107)
第三节 剖面层序地层学分析	(110)
第四节 高分辨率层序地层学研究	(114)
第五节 层序地层演化及沉积演化	(115)
第六节 沾化古湖平面升降控制因素	(120)
第七节 渤南地区密集段沉积学研究	(121)
第十章 滩海地区下第三系高分辨率层序地层学研究	(129)
第一节 地质概况	(129)
第二节 层序地层格架的建立	(132)
第三节 单井沉积相及层序地层学分析	(145)
第四节 井间层序地层学分析	(151)
参考文献	(159)

第一部分 层序地层学原理

第一章 引言

层序地层学是一种划分、对比和分析沉积地层的新方法。当与生物地层及构造沉降分析相结合时，它提供了一种更精确的地质时代对比、古地理恢复和在钻井前预测油气储集岩、烃源岩和盖层的方法。层序地层学概念在沉积地层上的应用有可能提供一个完整统一的地层概念，就象板块构造曾经提供了一个完整统一的构造概念一样。层序地层学改变了分析世界地层记录的基本原则，打开了了解地球历史的一个新阶段，因此，它可能是地质学中的一次革命。

从本质上说，层序地层学分析提供了划分层序和体系域等时间地层单位组成的地层格架，这些层序和体系域与特定的沉积体系、岩相和油气分布有密切联系，并形成于与海平面相对变化有关的基准面变化。而这些变化表现为地震资料上的反射不连续性和测井、岩心及露头剖面上相带叠置方式的变化。

层序地层学在世界范围内得到了广泛的应用，有以下几方面原因：

①消除了地层学中长期存在的年代地层与岩石地层单位及生物地层单位三重命名的混乱现象。地震反射近似地逼近等时面本身，为地层的划分与对比（至少在准层序级以上）提供了有力的武器。象板块构造学说提供了全球统一的构造概念一样，层序地层学也有可能提供一个全球统一的地层学格架和沉积作用格架。

②第一次提出了全球统一的成因地层划分方案（成因地层年表）。过去人们根据某一或二项标志，提出过地层划分方案（地层年表），其中有古生物的、岩性的、放射性同位素年龄的、古地磁的方案等。但由于没有从根本上从地层的成因和发展上进行研究，因此，出现了许多相互矛盾、无法解释的现象。层序地层学通过对控制地层形成的四个要素（构造沉降、全球海平面升降、气候、沉积物供应）的综合分析，得出相对海平面（或基准面）控制层序形成与发育的概念。将层序内部和层序之间的成因联系确立下来，把地层学从描述性提高到有完整体系的理性阶段。

③建立了地层分布模式。层序地层学是研究地层分布模式的一门科学，它把层序定义为“顶、底以不整合或与这些不整合相应的整合为界的、成因上有联系的一套地层”。层序地层学定义中所说的“地层分布模式”就是这里所指的“成因上有联系的一套地层”。具体到每个层序来说，这“一套地层”就是指在一个海平面相对变化周期（两个相邻下降翼拐点或拐点附近）沉积的地层。即每个层序都可包括三个体系域：低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域（指Ⅰ类层序），或者陆架边缘体系域、海侵体系域和高水位体系域（Ⅱ类层序）。这些概念是层序地层学的核心，是许多理论和实际工作的依托。

④提高了地质学家的预测能力，包括理论预测和实际预测两个方面。从理论预测上讲，

通过海平面相对变化的研究，可以预测尚未钻探地层的年代，预测某些应有的体系域的展布方向、范围、可能的岩相及其分布，从而对地质发展史、古地理状况作出科学的预见。从实际上讲，可以通过体系域和沉积相的分布规律，预测有利于形成油气藏以及其它沉积矿产的有利分布带。再进一步，通过高精度高分辨率的地震勘探（尤其是三维地震）、油藏描述、烃类检测等手段，可以进行钻前油藏、油层质量预测，以至已开发油田的开发方案部署、调整、提高采收率预测。

⑤把地球科学的研究从定性推向定量。总的来说，地质科学与其它科学相比，是比较偏于推理性的、定性的、描述性的和经验性的。其根本原因是无法直接了解地下地质条件在时间和空间这四维参量中的真实情况和细节变化。近年来，由于计算机技术和地震勘探以及其它有关学科的发展，已经在盆地模拟、构造史恢复、油气运移、资源评价、储量计算、储层质量预测等方面积累了不少经验，提出了一些定量研究的方法。然而，由于对地层及其所代表的岩相在三维空间和时间上的分布不够了解，影响了上述评估的确定性，并造成不同评估值之间的重大差异。现在，层序地层学的出现，基本上解决了这个问题。可以相信，在不久的将来，随着地震勘探和计算机技术的进一步提高，将有可能以层序地层及地震地层学为主线，把地质研究和（或者）油气勘探的各项主要工作从头到尾贯穿起来，构成一个系统工程。在和其它一切与沉积学有关的科学和技术密切配合的基础上，构成一个从地层划分、相带分布、古地理环境恢复、构造发育史、油藏形成史、油藏预测、油藏质量预测到油藏开发效果监测的一套完整的、比现在精确得多的定量化研究全过程（据徐怀大，1993）。

第二章 层序地层学发展历史

层序作为一种以不整合为边界的地层单位在 1948 年由 Sloss 提出：“层序并不是一个新概念，当作者及他的同事在 1948 年提出时便已经是旧概念了。这个概念及其实践和成因地层学一样旧。”可是，我们应当肯定 Sloss 对于发展以不整合为边界的层序作为地层学的分析工具所做的贡献。Sloss (1963) 在北美克拉通晚前寒武纪至全新世地层之间，以区域不整合为边界划分出了六大地层单位，他称这些地层单位为“层序”，并且给它们贯以美国当地的名字，以强调它们源于北美。尽管 Sloss 感到这些层序没有必要应用到超克拉通或超大陆的岩石地层学和年代地层学中，他仍用这些克拉通层序作为实际工作中的实用地层单位，例如相带等。尽管克拉通层序为层序地层学奠定了基础，但 Sloss 的观点在 20 世纪 50 年代、60 年代以及 70 年代前期除 Wheeler (1958) 之外仍为少数人所接受。

当 P.R.Vail、R.M.Mitchum、J.B.Sangree 等人的地震地层学理论在美国石油地质学家协会专刊第 26 号 (Payton, 1977) 上公开发表，层序地层学便进入了另一个重要发展时期。在一系列专题论文中，专家们提出了海平面升降的概念以及相应应用于由地震反射记录的以不整合面为边界的地层型式。Mitchum (1997) 阐明并扩展了层序的概念，把它定义为“由有内在联系的相对整合的地层序列组成的地层单位，其顶、底界面为不整合面或与之可对比的整合面”。

Vail 在另外两个方面修改了 Sloss (1963) 对层序的应用。首先 Vail 和 Mitchum 的层序比 Sloss (1963) 的层序包括的时间更短。他把最初的六个克拉通层序进行了更为详细的划分。这样，Sloss 的层序便成了 Exxon 旋回图上的超层序。其次，Vail 提出了海平面升降作为层序演化机理的主导因素，但这一观点已经引起并将继续产生更多的争论。由于第 26 号专刊的诞生和日臻完善的地震反射技术的出现，层序作为一种可行的、以不整合为边界的地层单位进行地层学分析比起 Sloss 最初的克拉通层序的概念来说确实是一次重大的飞跃。

尽管地震地层学理论代表了层序应用发展历史过程中迈出的重大一步，但它在 20 世纪 70 年代后期却主要应用于地震资料范围内的盆地分析中。测井、岩心和露头一般不能单独用来分析层序。地震地层学不能提供在储层范围内进行沉积地层分析所需要的精度。

Jervey (1988) 提出的新的实用模型扩展了地震地层学的应用范围，并且用它来解释地震可分辨的地层模型。这一模型很快就实现了，层序能够进一步细分为小的地层单位即“体系域”。从理论上，Posamentier 和 Vail 等 (1988) 创建了一种三维结构图，即海底扇体系域、低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域 (I 类层序) 或陆架边缘体系域、海侵体系域和高水位体系域 (II 类层序)。1980 年以后，识别出 I 类层序中的低水位体系域中有盆底扇、斜坡扇、低水位前积三角洲、深切谷充填 (Vail, 1987)。

在理论模型发展的同时，受 D.E.Frazier (1974) 和 C.V.Campbell (1967) 强烈影响的 Exxon 地层学家们开始分析研究测井、岩心和露头中向上变浅的硅质碎屑岩地层的沉积模式，目的是要提高地下地层的地质年代和相带的对比精度。这些向上变浅的地层单位以具有重要年代地层学意义的海泛面为边界，由纹层、纹层组、岩层和岩层组构成。实践中层以同期层面为边界，在测井对比中这是一种非正式年代地层标志。

当向上变浅地层单位及组成它们的沉积岩层很明显地已经成为体系域和层序的组成单元时,这种研究就会迅速地 and 理论模型趋于一致。虽然有些学者把向上变浅的单位称为“旋回”,但 Van Wagoner (1990) 称之为“准层序”。Vail 等保留了“旋回”的用法,以表明一个规律性重复事件发生的时间,并强调了准层序和层序之间的关系。

相互关联的准层序叠加形成退积、进积和加积式三种型式,这些有明显联系的准层序叫做“准层序组”。每一个准层序组大致对应于一个体系域。另外,每一个体系域都以一个明显的相组合并在层序中处于一定的位置为特征。

认识到准层序和准层序组是体系域和层序的组成单元,就可以把它们置于年代地层学的系统中,这样,它们的叠加模式、组成岩层类型及在很大程度上还有它们组成部分的沉积环境都是可以预测的。这就加强了它们在地下地层年代和岩相对比中的应用。

准层序的概念,或象它在文献中通常用的名字——向上浅变旋回,至少可以追溯到 1836 年 Phillips 的著述,也包括他在 1912、1930、1950、1967、1971、1975 以及 1982 等年份的著述。Wilson (1975) 论述了作为准层序边界的海泛面在年代地层学上的重要意义,他提出碳酸盐岩旋回以大范围的海侵面为边界面,这些海侵面可能是“最可能接近时间标准的”,它们比每个旋回中不同期的岩相更有效。Krumbein 和 Sloss (1963) 指出,一个前积浅滩砂岩的海侵面近似一个时间界线。Anderson 等 (1984) 和 Goodwin 及 Anderson (1985) 基于对美国纽约州赫尔德堡碳酸盐的研究,也强调了旋回在年代地层学中的重要性,他们把 Wilson 的向上变浅碳酸盐岩旋回称为一个 PAC,为间断式加积旋回的缩写。

到 1983 年,在美国 Exxon 公司,地层分析超出了对准层序的研究,已发展到了对测井、岩心和露头中硅质碎屑岩层序和体系域的分析。这代表了超越地震地层学的一个重要阶段。应用由地层学相互关系定义的测井、岩心和具有很高分辨率的年代地层学系统,就能够对储层作地层和岩相分析。随着硅质碎屑岩层序、碳酸盐岩相和以层序为标志的生物地层学等的积累以及与地震地层学方法的结合,产生了现在被称为“层序地层学”的地层学和相分析的系统及方法论。

随着越来越多地用层序地层学方法进行盆地分析,从而产生两点重要认识:①在许多沉积记录中硅质碎屑岩以 100,000 到 200,000 年的频率出现。这比原先由地震地层学家发现的频率要高得多;②低水位体系域是保存在硅质碎屑岩层序中占主导地位的体系域,在大陆架它的主要组成部分是深切谷。

有关深切谷的例子在文献中已引用。Fisk (1944) 记载了与大约 27,000 年以前开始的最后一次海平面下降相对应的“密西西比峡谷侵蚀下切作用”。密西西比深切冲积谷在有些地方深 260m、宽 193km。从伊利诺斯州到现在海岸线的下部约三分之二为冲积充填,大约延伸 963km 远,充填物包括砾石和粗砂。利用高分辨率的地震资料,Suter 等 (1985) 记录了穿过墨西哥湾北部大陆架的区域深切作用,它也是与最后一次海平面下降相对应的。美国西部阿尔必阶泥质砂岩及其同期地层中的深切谷均已被人们深入地研究过。

层序地层学将深切谷的形成与相对海平面的升降联系起来,并首次把深切谷列入层序和准层序边界的年代地层学范畴。地震、测井、岩心和露头中层序的详细分析揭示了在低水位体系域的上倾部分深切谷在时空上广泛出现。因此,深切谷的年代、分布以及充填物都是可以预测的 (Wagoner 等, 1990)。

第三章 层序地层学模式

第一节 层序地层系统

层序地层学对地层单元的划分有其自己的体系，见表 3—1、3—2。识别和研究这些地层单位及其在地层年代和岩相对比中的应用是层序地层学的关键。以下从本系统中的最小单位——纹层，向上至最大的单位——层序进行讨论。

层序地层系统中的每种地层单位仅用地层的物理关系来定义和识别，这些物理关系包括横向连续性、单位边界的几何形状、垂直叠加模型以及在单位中地层的横向几何性质。而且，对于边界面两侧地层的岩相及环境分析都十分重要，尤其是对准层序、准层序组及层序边界的识别。

第二节 纹层、纹层组、岩层、岩层组

Campbell (1967) 识别出纹层 (lamina)、纹层组 (laminaset)、岩层 (bed)、岩层组 (bedset) 作为沉积体的组成部分。我们把这些地层单位作为准层序的基本单位。它们的基本性质如表 3—1 所示，定义及详细特征如表 3—2 所示。

上述四种地层单位在成因上基本相似，但它们在形成时间间隔及边界面延伸范围上有所差别。确定边界面的主要依据为：①结构变化，②地层尖灭，③以生物钻孔、植物根或土壤带为标志的假整合。图 3—1 表示地层边界面的分级标准。边界面有轻微侵蚀或无沉积，把新老地层分开。其横向连续性可以从几平方厘米的纹层到几平方公里的岩层或岩层组。这些边界面形成较快，从几秒钟到几千年，因此在其分布范围内基本上是等时的。另外，由这些边界面所代表的时间间隔要比由这些岩层本身所代表的时间间隔大得多。由于这些原因，岩层和岩层组通常用作在多种沉积背景下进行大面积的年代地层对比。加密感应测井（井距由 0.8 到 3km，特别在海相页岩和泥岩剖面）或连续露头上，以岩层或岩层组为基础的年代地层学分析可提供最详尽的数据进行时间地层分析。

第三节 准层序

一、准层序研究范围

准层序已经在湖相、海岸平原、三角洲、海滩、潮汐带、河口湾以及陆架环境中被识别出来。但是在河流沉积剖面中，没有海相或边缘海相不出现；在斜坡或盆地剖面中，因沉积在海平面以下很深地带，故不受水深增加影响，对上述环境所形成的准层序很难鉴定。本文所说的准层序是指那些在各种环境下所形成的能够识别的准层序。

二、定义

1. 准层序 (Parasequence)

准层序为以海泛面或与之相应的界面为边界的一组有内在联系、相对整合的岩层或岩层

表 3—1 层序地层学中地层单位级序的定义和特征

地层单位	定义	厚度范围, ft	横向分布范围, mile ²	形成的时间范围, a	技术精度
层序	一组有内在联系相对整合的地层, 它以不整合或与之相关的整合为顶、底界面 (Mitchum 和 Others, 1977)	1000 100 10 1 in	10000 1000 100 10 1	10 ⁶ 10 ⁵ 10 ⁴ 10 ³ 10 ² 10 1	传统方法 测井 地震 地质
准层序组	一组有内在联系的准层序, 这组准层序形成一个明显的迭加模式, 并通常以主要海泛面及其相应的界面为边界	1000 100 10 1	10000 1000 100 10 1	10 ⁶ 10 ⁵ 10 ⁴ 10 ³ 10 ² 10 1	测井 地震 地质
准层序	一组相对整合的有内在联系的岩层或岩层组, 它们以海泛面及与之对应的界面为边界	1000 100 10 1	10000 1000 100 10 1	10 ⁶ 10 ⁵ 10 ⁴ 10 ³ 10 ² 10 1	测井 地震 地质
层组	见表 3-2	1000 100 10 1	10000 1000 100 10 1	10 ⁶ 10 ⁵ 10 ⁴ 10 ³ 10 ² 10 1	测井 地震 地质
层	见表 3-2	1000 100 10 1	10000 1000 100 10 1	10 ⁶ 10 ⁵ 10 ⁴ 10 ³ 10 ² 10 1	测井 地震 地质
纹层组	见表 3-2	1000 100 10 1	10000 1000 100 10 1	10 ⁶ 10 ⁵ 10 ⁴ 10 ³ 10 ² 10 1	测井 地震 地质
纹层	见表 3-2	1000 100 10 1	10000 1000 100 10 1	10 ⁶ 10 ⁵ 10 ⁴ 10 ³ 10 ² 10 1	测井 地震 地质

岩心和露头

表 3—2 纹层、纹层组、岩层及岩层组的详细特征 (据 Campbell, 1967)

地层单位	定义	地层单位特征	沉积过程	界面特征
岩层组	一组相对整齐的有内在联系的岩层序列。它以侵蚀面、不整一面或与它们相关的整一面为边界 (叫岩层组界面)	界面上下岩层成分、结构或沉积构造不同	幕式的或周期性的 (与下述相同)	与下述相同, 此外 ·岩层组及岩层组界面所需的地质年代较岩层长 ·通常在横向上比岩层面分布更广
岩层	一组相对整齐、有内在联系的纹层或纹层组序列, 以侵蚀不整一或与之有关的整一面为界面	不是所有的岩层都包含纹层组	幕式或周期性的。幕式沉积包括风暴沉积、洪泛沉积、泥石流及浊流沉积, 周期性沉积包括由于季节或气候变化的沉积	·形成迅速, 从几分钟到几年 ·在层序范围内将所有新地层与其它地层分开 ·相带变化以岩层面为边界 ·对某种环境下的年代地层学有用 ·岩层界面所代表的时间较岩层面所代表时间长 ·分布范围变化大, 从数平方米到上千平方公里
纹层组	一组相对整齐的有内在联系的纹层序列, 以侵蚀面、无沉积或与之有关的整一面为界面 (叫纹层组界面)	由一组或一套整齐的纹层组成, 该纹层在岩层中具有明显的构造	幕式沉积通常见于浪成或流水波痕岩层、浊积、丘状层理中浪成波痕层段, 或与流动波纹相反的交错层理中, 或前积层的波痕外缘	·形成迅速, 几分钟到几天 ·比岩层分布范围小
纹层	最小的肉眼可识别的层	在组成成分及结构上一致, 内部不分层	幕式沉积	·形成非常迅速, 几分钟到几小时 ·比岩层分布范围小

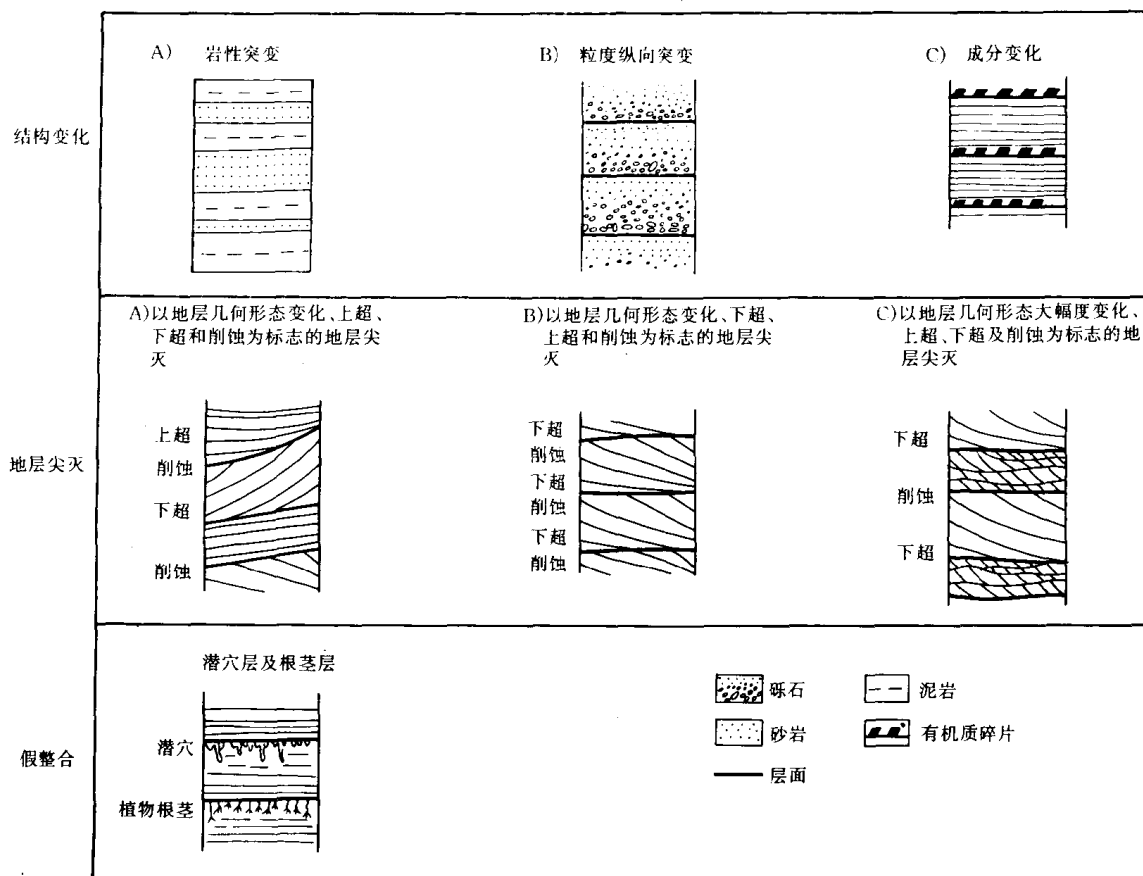


图 3—1 识别岩层界面的标志 (据 Wagoner, 1990)

组序列，在层序中有特定的位置。准层序可以以层序边界为顶界面或底界面。

2. 海泛面 (Flooding surface)

该界面将新老地层分开，横穿该界面水深明显地增加。这一加深通常伴随有较小的水下侵蚀或无沉积（但不会出现由河流回春或相带向盆地内移动而造成的陆上侵蚀），并有一个较小的间断标志。海泛面在海岸平原及大陆架上都有一个相应的界面。

三、特征

准层序特征在表 3—1 中已列出。绝大多数硅质碎屑岩准层序是进积型的，即较新沉积的砂岩向前、向盆地方向连续进积。这一沉积模式形成一个向上变浅的相带分布，即新岩组逐渐地沉积到浅水水域。大部分硅质碎屑岩及碳酸盐岩的准层序属这种向上变浅的序列。

向上变粗及向上变细的地层序列的测井曲线及地层特征如图 3—2 所示。在典型的向上变粗序列中（图 3—2A 到 3—2C），岩层组变厚、砂岩颗粒变粗、砂泥岩比例向上增加。而在向上变细的准层序中（图 3—2D），岩层组变薄、砂岩颗粒变细（通常达到泥和煤的粒级）、砂泥岩比例向上减小。

向上变粗及向上变细准层序中的垂向相带关系揭示了水深逐渐变浅的历程。水深逐渐减小的迹象，如前滨岩层组明显地位于下临滨岩层组之上，在准层序内还没有观测到。同样，指示水深逐渐增加的垂直相带关系也没有在准层序内观测到。即使“向上变深”准层序确实存在的话，它们在岩石记录中也可能是罕见的。大多数“向上变深”的相带组合可能是由退

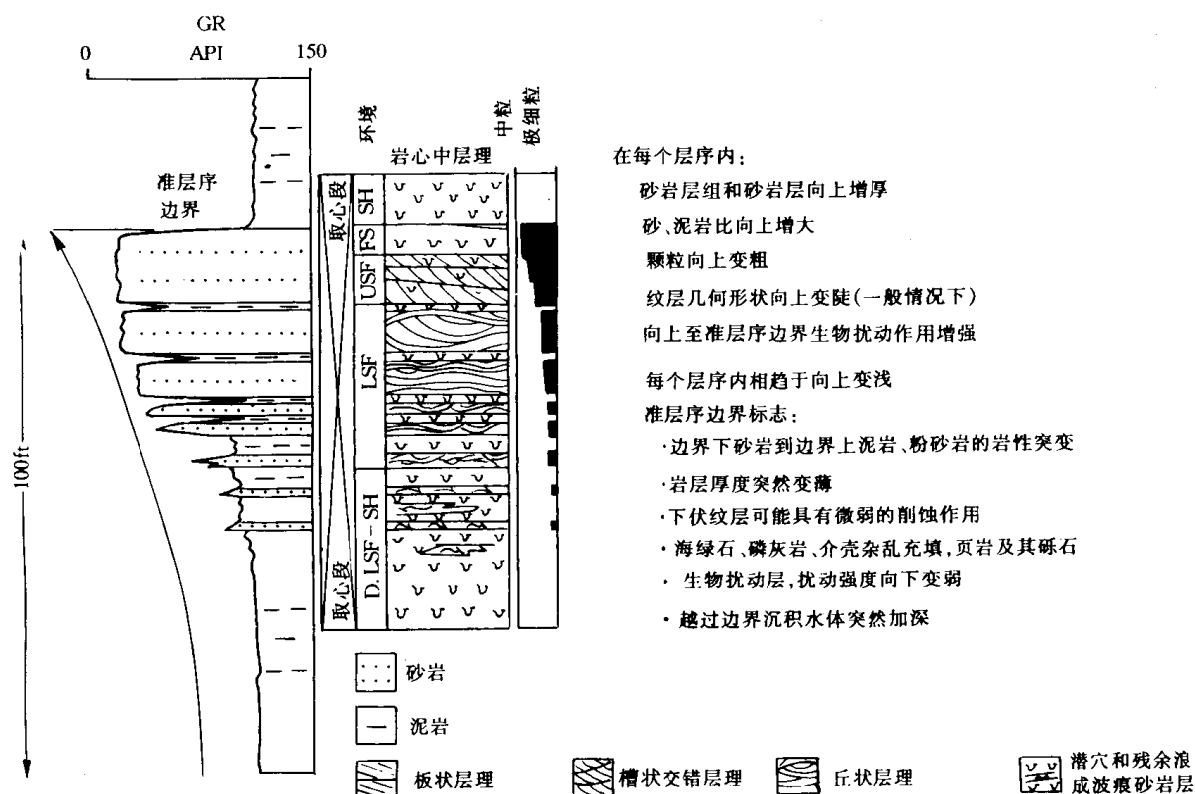


图 3—2A 向上变粗准层序的地层特征，这种类型的准层序形成于砂质的、波浪或河流控制的海岸环境中（据 Wagoner 等，1990）

积准层序组向后叠加产生的。在有些环境中，硅质碎屑沉积致密或水体太深、岩性变化不明显，因此形成的准层序难以辨认。在这些剖面中，地层出现水体向上逐渐加深的现象，只有小心地观察才能揭露标志准层序边界的海泛面的微弱证据。

准层序中岩层组沉积的物源是在海岸线附近的河口区。准层序从盆地边缘向盆地中心充填，海岸线向盆地内部移动是通过准层序进积来完成的。沉积在中至外陆架上的准层序，除在海平面相对下降时期外，通常不在内陆架沉积。但也不排除个别例外，如南非的现代滨岸，强大的洋流横扫三角洲前缘的沉积物，进而在整个陆架上形成沙浪并沉积。如果地史时期存在相似的地质背景，那么就会形成与此类似的沉积。

四、准层序边界

准层序边界是海泛面及与之相应的界面。它无论是从地区性还是到盆地范围内都是平坦的界面，表现为在大区域内仅有较小的地形起伏。通过海泛面可明确地区分开其上覆的深水岩石（如陆棚泥岩）和其下伏的浅水岩石（如滨海相砂岩）。这个海泛面伴随有短暂的沉积间断，具有较弱的海底侵蚀或者无沉积，与海泛面有关的海底侵蚀程度在 1m 范围内（但更可能的范围是从几厘米到几十厘米）发生变化是正常的。

人们在具海泛面的岩心或露头上发现少量海进滞留沉积，它们的分布与层序边界不一致。海进滞留沉积在这里定义为一种厚度通常小于 0.6m、较粗粒物质的层状沉积，由生物介壳、介壳碎片、粘土撕裂屑、钙质结核和硅质碎屑砾石或卵石组成，它们来源于下伏岩层，是由于海进期间海岸带岩石受侵蚀所成。而且这种物质集中在海进面顶部形成不连续的

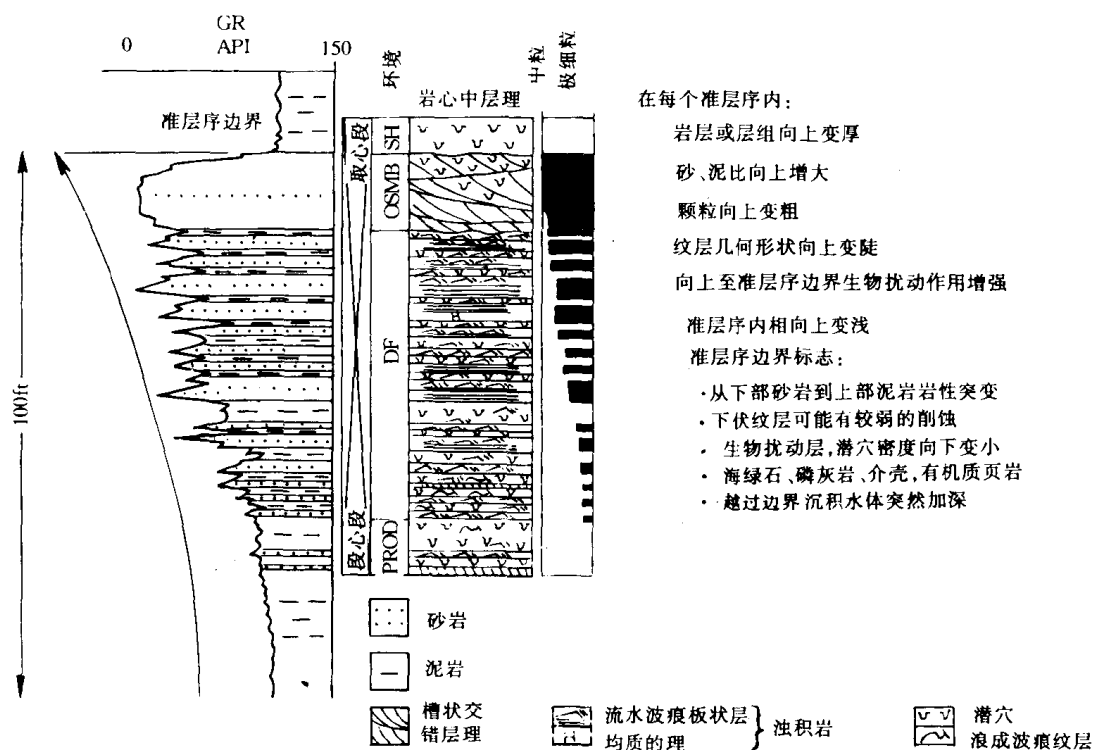


图 3—2B 向上变粗准层序的地层特征，这种类型的准层序形成于砂质的、
河流或波浪控制海岸的三角洲环境中（据 Wagoner 等，1990）

地层，通常分布在内至外陆棚上。在岩心或露头中观察海泛面可以用这种沉积颗粒（如以上列出的）为标志进行边界识别，然而当海侵滞留沉积出现在海泛面上时，则该沉积明显地来源于下伏岩层，如卵石质砂岩顶部的薄层硅质碎屑砾石。更常见的情况是滞留沉积出现在与层序边界一致的海泛面上，在这种情况下，滞留沉积与下伏沉积没有明显的同源性。下文将简述四种类型的滞留沉积，其中只有第一类是海侵滞留沉积。

第一类滞留沉积由分布不连续、形状不规则、直径达 2.5cm 的钙质结核组成，位于海泛面上，与位于深切谷底部或河间地带的层序边界一致。它来源于层序界面暴露地表期间在土壤层中形成的钙结砾或钙质结核，后来的海侵搬运走了相对容易剥蚀的土壤，使结核作为滞留沉积物集中形成于海侵面上。这些结核通常作为土壤层存在的唯一标志，除非在海侵陆棚的低凹地带保存有零散的残余土壤层。

第二类滞留沉积是由强烈的生物扰动、波浪或水流对准层序的改造作用直到海泛面以下 1.5m 形成的，它筛去了较小的颗粒并使较粗的颗粒集中。这种改造作用逐渐向下进入下伏岩层，所以剩余准层序与被改造的沉积物之间没有任何能区分它们的界面。这种改造作用可解释为因风暴或海进之后，海侵面上形成相当数量的小颗粒沉积之前，由正常的两栖动物群活动所致。在某些地方，生物扰动作用和海底出露可以形成坚硬的地面。一般来说，这种滞留沉积形成于海泛面之上，与层序边界一致。

第三类滞留沉积通常发现于海泛面之上，它在海平面上升之后，一定数量的较细颗粒的硅质碎屑沉积物前积于陆棚之前出现；并伴随有机或无机碳酸盐岩在海泛面上聚集。有机碳酸盐岩以介壳层的形式形成于海泛面上，为厚度可达 1.8m、广泛分布的板状岩层，虽然这

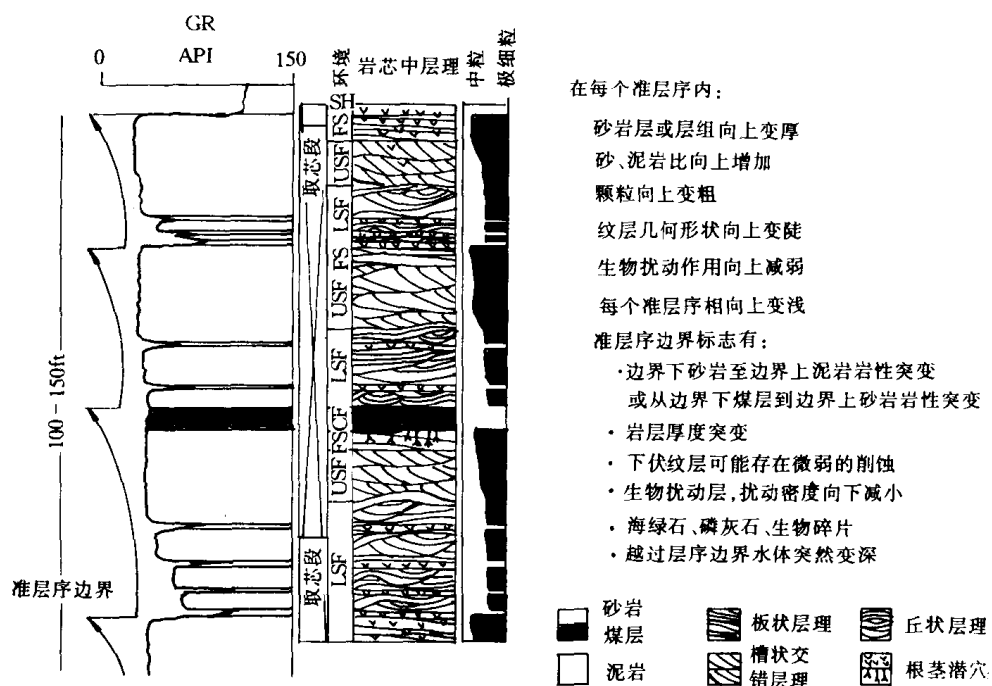


图 3—2C 向上变粗的叠加准层序的地层特征，这些准层序形成于砂质的、波浪或河流控制海岸的海滩环境，该环境中沉积速率与沉降速率相等（据 Wagoner 等，1990）

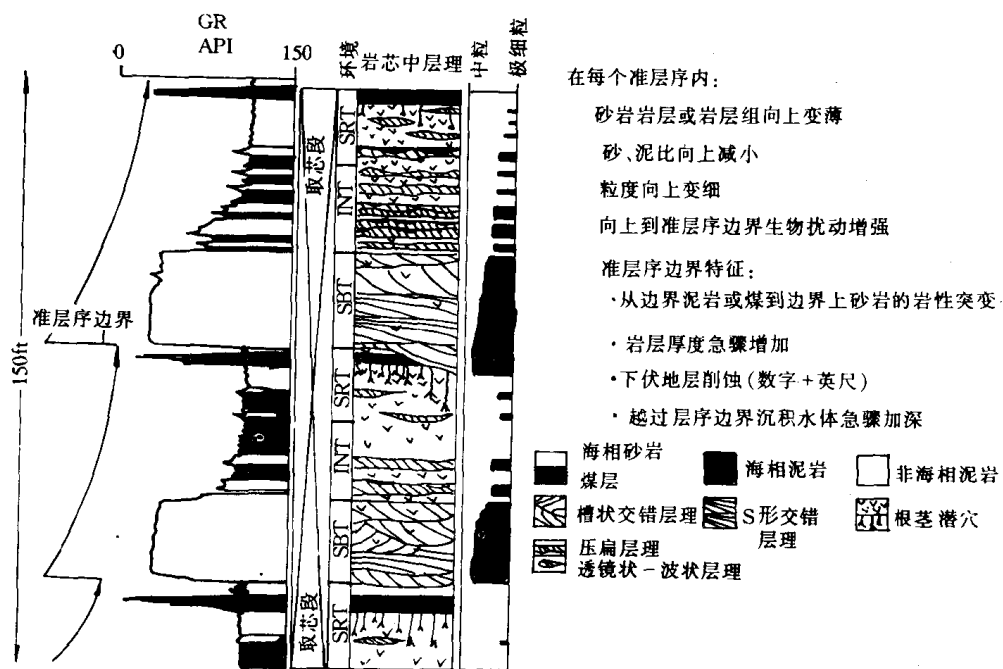


图 3—2D 两个向上变细的准层序中岩层的特点，这些准层序形成于泥质、潮控海岸的潮汐浅滩到潮下环境（据 Wagoner 等，1990）

些介壳层被风暴筛选或重新改造，但这些生物遗体说明了它们是陆架上固有的而不是来源于下伏岩层。在沿着美国马里兰州一个悬崖分布的中新世地层中，这些类型的介壳层位于海泛