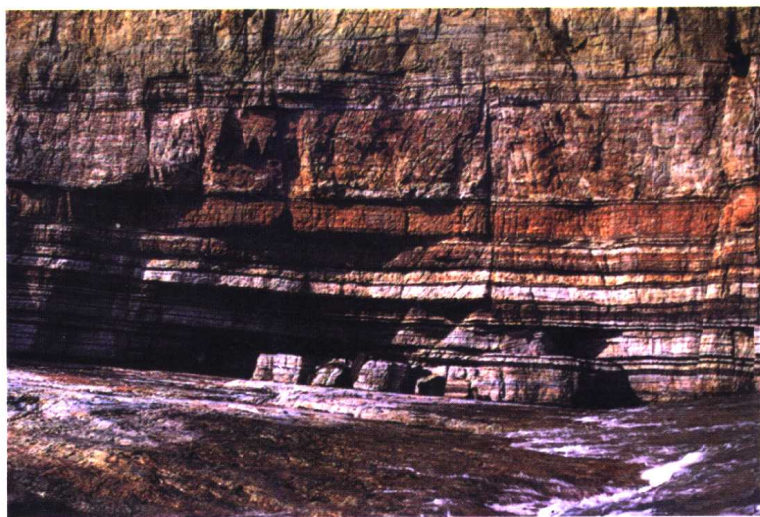


陆相 层序地层学 应用指南

中国石油天然气集团公司 编
油气储层重点实验室



LUXIANG CENGXU DICENGXUE YINGYONG ZHINAN

石油工业出版社

陆相层序地层学应用指南

中国石油天然气集团公司
油气储层重点实验室 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书简明扼要地介绍了层序地层学在陆相层序地层研究中的应用,介绍了在陆相沉积的层序特征、分布规律及对油气生储盖的预测,并对陆相层序地层学的概念、术语和研究方法等作了规范性阐述。这些对陆相层序地层学的研究和交流都会有一定的帮助。

本书可供从事层序地层学的研究人员以及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

陆相层序地层学应用指南/中国石油天然气集团
公司油气储层重点实验室编. —北京:石油工业出版社,
2002.6

ISBN 7-5021-3797-1

I. 陆…

II. 中…

III. 陆相-地层层序-研究

IV. P539.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 038591 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

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

*

850×1168 毫米 32 开本 3 印张 2 插页 76 千字 印 1—1500

2002 年 6 月北京第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3797-1/TE·2768

定价: 8.00 元

前 言

源于被动大陆边缘的层序地层学自 20 世纪 70 年代兴起以来,经历了萌芽、孕育发展和走向成熟的三个阶段。大部分研究者认为海相层序地层学的普遍原理和方法适合于在陆相沉积中应用。然而陆相沉积层序毕竟不同于海相,陆相沉积物源近、多物源、粒级粗、相变快,结构和矿物成熟度低,而且陆相沉积在很大程度上取决于构造的抬升和沉降、物源的供给、气候和湖平面的变化,因此,在应用中既要吸收海相层序地层学中的精华、成熟的工作程序和工作方法,同时还要结合各类陆相盆地沉积的具体特征有所创新、有所前进,从而在各自的盆地建立模式,并通过综合上升为理论,建立一套有特色的陆相盆地层序地层学,以指导陆相盆地的油气、煤等沉积矿产资源的勘探。

早在 20 世纪 70 年代 Vail 对层序地层学的应用意义就有一个明确的评价,“层序地层学概念在沉积岩上的应用有可能提供一个完整统一的地层学概念,就像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。因此,它可能是地质学中的一次革命,它开创了了解地球历史的一个新阶段。”无疑,我国在陆相盆地中全面、正确、规范地应用层序地层学必将把我国陆相沉积和储层的研究推向一个崭新的阶段,并将极大地提高油气勘探中对生油岩分布区、储层分布区和盖层分布区的预测精度,给油气勘探带来巨大的经济效益。同时也会对其他沉积矿藏,如煤、铀的勘探产生巨大的经济效益。

本指南旨在把近年来在中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室所辖的有关研究单位和高等院校的部分研究人员在学习和借鉴国外海相层序地层学理论和方法并应用于部分油田实践的

一些成果和想法写出来，与油田勘探生产第一线从事层序地层学研究的人员一起进行学习和探讨。其目的是使从事陆相层序地层学的研究人员有一本比较规范的手册，在碰到困难的时候可以拿出来查一查，给具体从事油田勘探生产的研究人员带来一些方便，使其在陆相层序地层学研究应用时具有一定的正确性和规范性。在目前一些学术理论问题还有待深化研究的情况下，暂时有一个统一的概念、术语、方法等的“规范”，便于油公司范围内交流沟通，以利进一步的研究工作。我们也很清楚目前我们的工作还很不完善，实际工作的经验还不够，同时，陆相沉积复杂多变，各个盆地的沉积层序变化也不尽相同，不同盆地、甚至同一盆地的不同坳陷就有不同的层序地层分布模式。因此，本指南仅为一个“指南”，具体方向还要依据不同的盆地不同的坳陷加以分辨，希望我们的努力能给在油田工作的研究人员一点帮助，这也就是我们最大的心愿。

本指南是在收集有关海相层序地层学研究成果和我国学者研究中国陆相层序地层的成果以及中国石油油气储层重点实验室研究工作的基础上，由顾家裕教授和张兴阳博士编写而成，编写过程中范土芝博士为本书收集了有关资料，书中大量的资料是我国学者在研究中国陆相沉积的层序特征、分布规律、对生储盖预测等的总结性成果，正是他们为本指南的编写积累了大量素材和图件，在此谨对他们认真有效的工作表示敬意和感谢。

为编写本指南，在中国石油油气储层重点实验室的组织和领导下，召开了学术委员会中有关层序地层学研究人员讨论会和全国性的层序地层学学术研讨会，本指南吸取了两次与会研究人员大量学术思想精华、优秀的成果和好的建议。初稿完成后，学术委员会主任裘怿楠，副主任赵澄林、薛叔浩，重点实验室主任罗平等有关人员对本指南进行了认真细致的审阅，修改后又送交有关学术委员进行了审读，并再次进行了修改，应该说本指南是我国从事层序地层学研究人员和中国石油油气储层重点实验室人员集体劳动的成果和智慧的结晶。

在编写过程中，中国石油天然气股份有限公司贾承造总地质师，科技信息部罗治斌副总经理、李先奇博士，中国石油天然气集团公司科技发展部方朝亮处长和中国石油勘探开发研究院赵文智副院长等有关领导给予了极大的关心和指导，在此表示真挚的感谢。

同时也恳请油田勘探生产第一线的科研人员及其相关研究人员对本指南提出宝贵意见，我们定会虚心接受并将根据你们的意见进行修改和完善，以满足油田勘探生产工作实际的需要。

编 者
2001 年 11 月

目 录

第一章 层序地层学发展历史与现状	(1)
第一节 层序地层学发展历史	(1)
第二节 层序地层学研究现状	(5)
第二章 关于陆相层序地层学研究	(21)
第一节 湖平面升降曲线精度和可靠性研究	(21)
第二节 层序地层主控因素的研究	(27)
第三节 层序地层模式的适用及推广	(27)
第四节 层序地层学定量研究和计算机模拟的研究	(29)
第三章 陆相地层层序边界的识别和层序级别的划分	(32)
第一节 陆相层序地层学研究的基础资料、遵守的法则及研究 流程	(32)
第二节 层序边界的识别	(35)
第三节 层序级别的划分	(46)
第四节 等时地层格架的建立及体系域的划分	(52)
第四章 陆相层序地层学研究方法	(55)
第一节 露头层序地层学研究	(55)
第二节 地震层序地层学研究	(61)
第三节 井下层序地层学研究	(66)
第五章 陆相层序地层模式与隐蔽圈闭	(74)
第一节 坳陷型湖盆层序地层模式与隐蔽圈闭	(74)
第二节 断陷型湖盆层序地层模式与隐蔽圈闭	(77)
第六章 陆相层序地层学研究中的基本图件	(80)
参考文献	(83)

第一章 层序地层学发展历史与现状

随着人们对盆地认识的深化以及油气地质学、沉积学、海洋地质学、海洋学、古气候学、古生物学和地球物理、同位素测年等技术的长足进展，知识的量变必然导致科学的革命（质变），层序地层学以其强大的生命力在全世界得到迅速发展和应用。它作为一种成功的全球性理论，在油气资源勘探开发中正发挥着巨大的作用；以其概念的合理性和应用的可操作性，提供了一种更为精确的以不整合面或与之相对应的整合面为边界，在等时的地层格架内对地层进行对比、岩相古地理再造和勘探中钻前预测生储盖地层分布的有效方法。它的出现在沉积学、地质学以及一切与沉积岩有关的科学领域引起了极大的震动。

正如 Vail 所言，“层序地层学概念在沉积岩上的应用有可能提供一个完整统一的地层学概念，就像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。因此，它可能是地质学中的一次革命，它开创了了解地球历史的一个新阶段”。层序地层学在我国的兴起和发展仅有十年的历史，但我国的层序地层学工作者在引用海相层序地层学理论的基础上，对陆相层序地层学研究有了创新性的进展，已经取得了丰硕的成果。

第一节 层序地层学发展历史

虽然“层序”概念的提出（Sloss, 1948），近乎与地层学一样古老，但层序地层学作为地层学的一门新兴分支学科，则是近 20 多年来才发展起来的。究其发展轨迹，它大致可分为三个阶段：即概念萌芽阶段、孕育发展阶段和理论系统化阶段。

一、概念萌芽阶段(1948—1977)——层序概念建立阶段

该阶段主要建立了层序地层学赖以发展的地质基础,包括以生物地层学、岩石地层学、年代地层学及动力地貌学为依据建立的一些层序。其中以 Sloss, Krumbein 和 Dapples (1948) 同时提出的地层层序概念为标志。Sloss 等人将层序定义为“比群、大群或超群更高一级的单元,在一个大陆的大部分地区可以追踪,并且以区域的不整合面为界”。1963 年, Sloss 等人将北美克拉通前寒武纪晚期至全新世地层划分成以区域不整合面为边界的六套地层层序(图 1-1),并以北美印地安部落的名字对层序进行命名。然而,由于这样的层序单位所代表的时间跨度太大,不能满足详细分层对比和生产实际的需要,再加上受当时技术条件的限制,未能得到深化和推广。Sloss 的层序思想当时仅被他的学生和朋友们所接受。尽管如此, Sloss 等人提出的层序概念为当今层序地层学的发展提供了概念基础。

二、孕育阶段(1977—1988)——地震地层学形成和发展阶段

该阶段以 Vail (1977) 等人编著的《地震地层学》为标志。它是随着高分辨率地震勘探和处理技术的发展而诞生的,地震地层学提出了全球海平面变化具有相对一致性,海平面变化控制了层序发育的观点。在这个阶段,人们已能在盆地规模上或三级层序以上的级别中应用地震资料及钻井、测井资料预测和确定盆地及区域范围内的地层结构、沉积相类型和沉积相的区域分布,其影响已波及整个全世界。但这一阶段还不能适应在勘探目标——油气藏规模上的具体分析预测工作。尽管如此,该阶段对进行地层学分析已产生了一次重大的飞跃。

三、理论系统化阶段(1988 年至今)——层序地层学综合发展阶段

该阶段以 Vail (1988) 等人编著的《海平面变化综合分析》以及 Sangree, Wagoner 和 Mitchum 等人的层序地层学文献的发表为标志。层序地层学建立了一套层序地层概念体系以及在等时地层格架下不同沉积背景下的层序地层分布和不同地层的叠置样

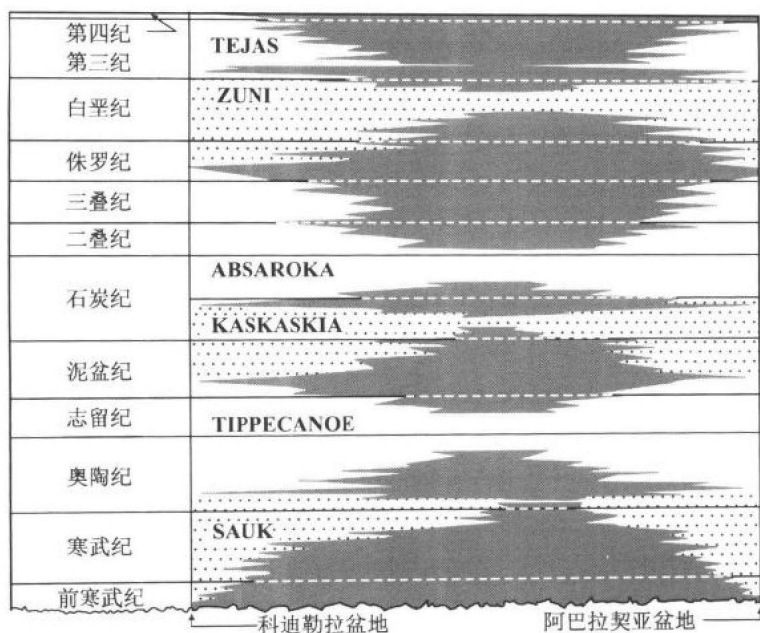


图 1-1 Sloss 识别出的显生宙克拉通层序与克拉通边缘上的造山幕的关系 (1963)

式。前期，随着可容空间概念的建立和引入应用，层序地层学的理论和方法趋于成熟、实用，其标准就是 1989 年 AAPG 年会举办的层序地层学短期培训班和会议上发表的大量关于层序地层学的论述 (Sangree, J B 和 Vail, P R, 1989)。这个时期已可直接运用测井、岩心、露头资料单独或综合进行层序地层分析，既可在较大规模上服务于勘探，也可在油藏规模上进行对比、分析和预测工作。

20 世纪 90 年代以来，层序地层学进入了理论研究和生产应用全面发展的新时期，在理论上出现了诸如高分辨率层序地层学 (Cross)、成因地层学 (Galloway)、旋回地层学等学派；在实践应用中，层序地层学不但研究海相沉积，也大步迈向非海相沉

积,同时开始深入到油气勘探开发的各个阶段和层次。如从盆地分析到圈闭的成因解释,从油藏描述、数值模拟到后续动态模拟,从勘探开发各个阶段的软件开发到油藏管理,都应用了层序地层学的理论、方法和研究成果。该阶段层序地层理论的系统化,给沉积学和地层学研究带来了革命性的飞跃。Vail称层序地层学“可能是地质学中的一次革命,它开创了了解地球历史的一个新阶段”,这一点也不为过;Brown(1990)认为是“地层学领域正在进行的一场革命”;Cross等(1987)则认为是“地质学领域不亚于板块学说的一场革命”,并认为它是“把地质学从定性转变为定量科学的推动力”。

层序地层学的诞生和发展之所以获得如此高的评价,主要是在于它的科学性、先进性、预测性和定量性,具体有以下五个方面的原因。

(1) 层序地层学的基本指导思想是强调地层层序的形成受控于全球海平面的升降、构造沉降、气候和沉积物供给等因素,并表现出不同的级别、规模和不同的时间间隔。显然,层序地层学的基本观点和当前人类把地球作为一个整体,研究其演化历史的地球观是一致的,因而受到了地学工作者的重视和支持。

(2) 首次提出了全球统一的成因地层划分方案(成因地层年表)。层序地层学通过对控制地层形态的构造沉降、全球海平面升降、气候和沉积物供应的综合分析,提出了相对海平面(或基准面)变化控制层序形成与发育的概念,确定了层序内部和层序之间的成因联系,将地层学推向了具有完整系统的理性阶段。

(3) 层序地层单元的界面具有物理性界面和生物界面的双重意义。因此,层序地层学清除了地层中长期存在的年代地层、岩石地层和生物地层单位三重命名的混乱现象,为准确的地层划分与对比有可能提供一个全球统一的地层学概念和对比方案。

(4) 建立了地层格架分布模式,提高了地学工作者的预测能力。层序是以不整合面或与之相对应的整合面为其边界的、成因上有联系的一套地层。这套地层是在一个海平面变化周期中形成

的,一般包括了低位体系域、海进体系域和高位体系域,每个体系域在每个层序中都有一定的几何形态、相邻相的组合和平面上的展布方式,同时也具备三维空间的立体概念,从而提高了地层工作者在地层对比和沉积相分布的预测能力。即预测尚未钻探地层的年代、体系域的展布和范围,预测有利生储盖地层的分布,预测钻前油藏类型和油层质量,以提高勘探的成功率、勘探效益和开发中油气采收率。

(5) 将偏定性的地球科学研究推向定量化。层序地层学研究成果使人们能够更充分地了解地层的时空分布,进而可依据地震勘探技术和计算机技术来定量化地模拟层序地层的充填过程,使人们能够较定量化地了解地层划分、相带分布、古地理恢复、构造发育史、成藏史以及油藏开发效果监测等一套完整油气勘探开发过程。

第二节 层序地层学研究现状

由层序地层学的发展历史可见,作为比较完善的层序地层学,能够在全球范围内建立一个完整统一的地层学概念,在统一的等时地层格架下研究不同沉积背景下不同的地层叠置样式,从而大大提高了地层、岩性,甚至油藏的预测能力,能直接为油气勘探开发服务。因此,现今的层序地层学具有比较系统完整的概念体系、理论体系和方法体系。

一、层序地层学的概念体系建立

1. 三大不同学派层序及层序边界的概念

层序概念的建立是层序地层学建立的基石。不同学派,其层序与层序边界是不同的。在三个不同学派中,Exxon公司的Vail和他的合作者认为两个不整合面或与其相对应的整合面之间的地层单元为层序;Galloway认为在墨西哥湾上第三系以三角洲为主体的沉积复合体系中,最大海泛面是最好的地层对比标志层,因此他把层序划分为最大海泛面之间的地层单元,称为成因地层层

序；而 Johnson 根据加拿大中生界露头上层序地层工作的情况，认为海侵面是本区最好对比的一个标志层，强调层序以海进—海退的一个旋回沉积层作为一个层序，因此，把两个海侵面之间的地层单元称为海侵—海退层序（即 T—R 旋回）（图 1—2）。所以，谈层序，谈边界必须指出哪一派（或哪种划分方案），而有些学者把三者混在一起谈，使不整合面、最大海泛面、海侵面在同一文章中都成为边界，这是要十分注意的。

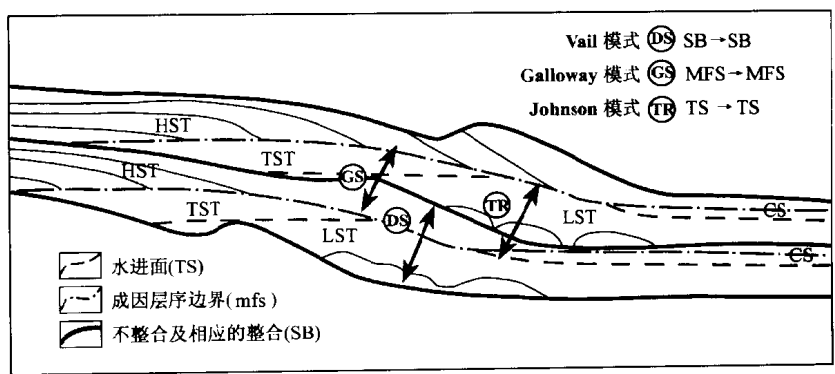


图 1—2 几种不同的层序定义 (Armentrout, 1993)

DS—Exxon 公司以 Vail 为代表的学派，以地层不整合或与此不整合可以对比的整合面为边界；
 GS—继 Frazier 之后，以 Galloway 为代表，采用最大洪泛面作为层序边界；
 TR—Johnson 所强调的层序以海侵面为层序边界的海进海退旋回(T—R 旋回)；
 LST—低位体系域；TST—海侵体系域；HST—高位体系域；CS—凝缩段

2. 三大体系域概念的建立

沉积体系是沉积环境和沉积作用过程方面具有成因联系的三维岩相组合体，沉积体系域则是由一连串有成因联系的同时代的沉积体系组成，它是在同一层序内相对海平面变化的产物，各体系域所指示的是地层剖面上它所处的位置 (Posamentier, 1988)，而并不表明水位的高低 (图 1—3)。根据不同的沉积背景，可分为低位体系域 (Lowstand system tract—LST)、海进体系域 (Transgressive system tract—TST) 和高位体系域 (Highstand

system tract—HST)。不同地质背景下层序地层具有三类体系域不同的叠置样式 (图 1-4)。

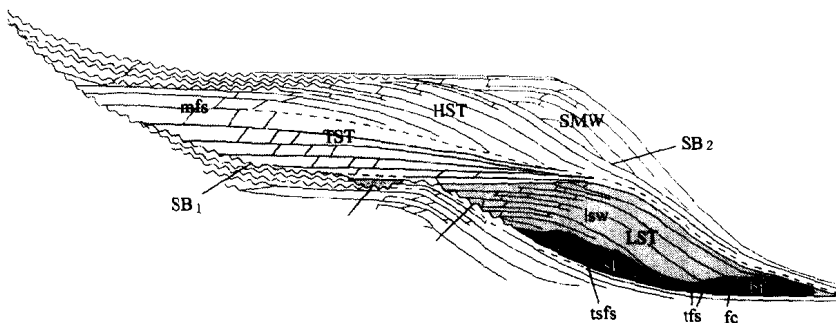


图 1-3 标准层序中三种体系域的相对位置

LST—低位体系域;TST—海侵体系域;HST—高位体系域;mfs—最大海平面;
SMW—陆棚边缘体系域;LSW—低位楔状体;sf—低位斜坡扇;bf—低位盆底扇;
tsfs—斜坡扇顶面;tfs—扇顶面;fc—扇水道;SB₁—层序边界 1;SB₂—层序边界 2

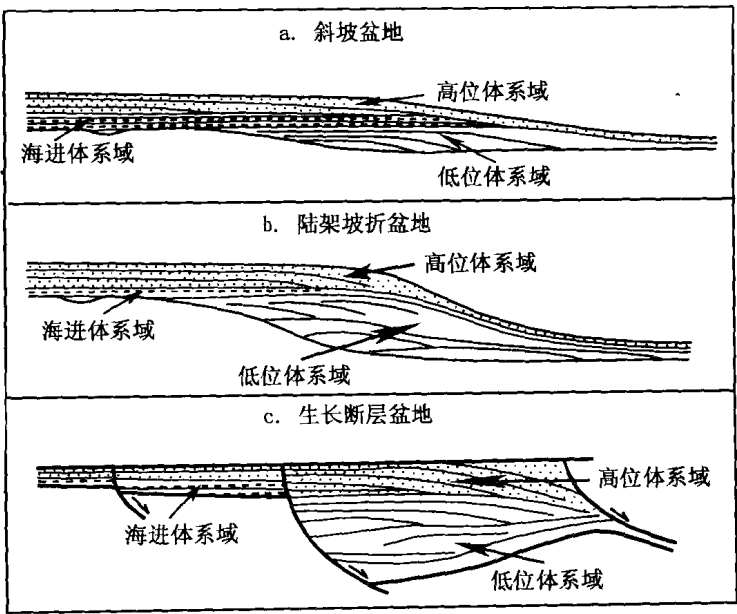


图 1-4 不同构造背景下的层序地层模式
(据 Vail 等, 1991)

3. 全球海平面和相对海平面

海平面变化是层序地层学中最重要概念之一，全球海平面是海平面相对于某个固定参照点（如地心）运动的单元函数，相对海平面则是海平面运动和海底运动的双元函数（图 1-5）。海平面相对变化是形成以不整合面以及与之相对应的整合面为边界的、成因上相关的沉积层序的根本原因。更重要的是，它描述了沉积可容空间是如何变化的，Vail 等人建立了 I, II 级层序全球海平面变化的曲线（图 1-6）。

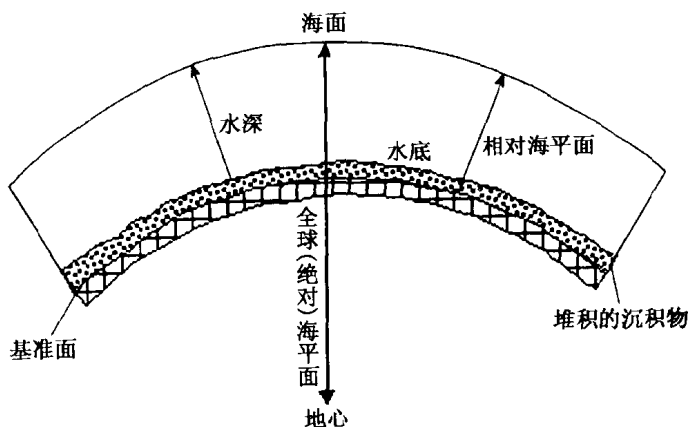


图 1-5 全球海平面、相对海平面及水深基本定义(据 Jervey,1988)

全球海平面是指海平面相对于一个固定的基准点（如地心）的位置；

相对海平面是指海平面与局部基准面如基底之间的测量值；

水深是指海水表面与海底之间的距离

4. 可容空间 (Accommodation)

可容空间是潜在的可供沉积物堆积的空间。可容空间是全球海平面升降变化、相对海平面变化、沉积物供给和构造沉降的函数，也就是说，海平面和构造的相对升降变化特征决定了是否存在可供沉积物沉积的可容空间。图 1-7 表示了基准面和可容空间的关系。

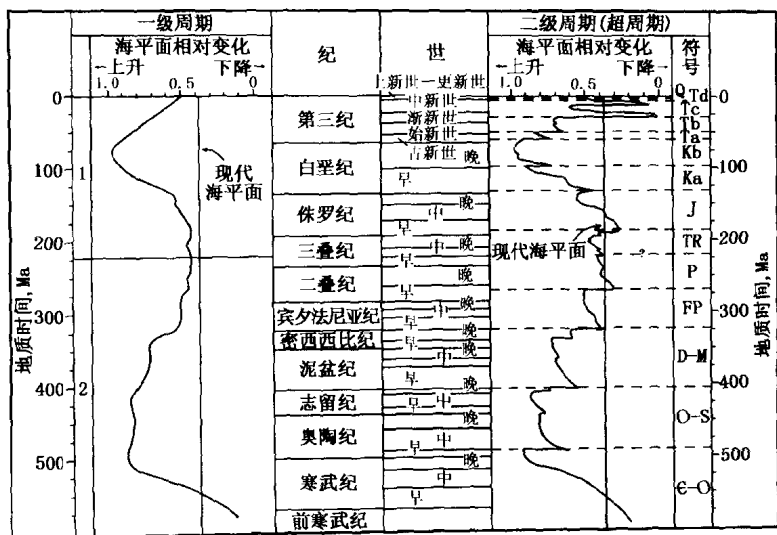


图 1-6 显生宙全球海平面变化旋回 (据 Vail 等, 1977)

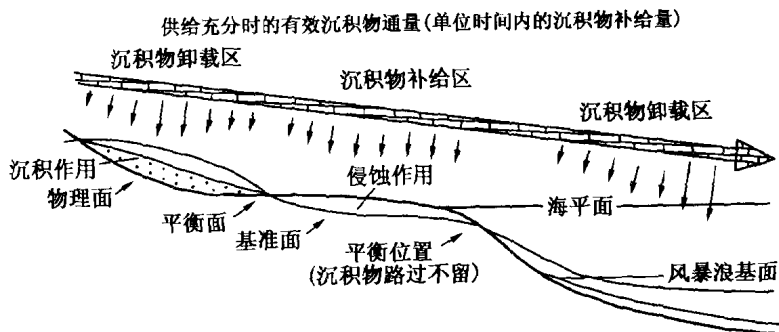


图 1-7 基准面、可容空间和反映可容纳空间与沉积物供给之间平衡的地貌状态 (据 Cross, 1994 修改)

当基准面位于地表之上时, 就提供了可供沉积物沉积的空间, 发生沉积作用;

当基准面位于地表之下时, 可容空间消失, 发生侵蚀作用;

当基准面与地表重合时, 既不发生沉积作用也不发生侵蚀作用,

沉积物发生过路作用

二、层序地层学三大理论体系和四大方法体系

层序地层学研究自一开始,就是从不同角度、不同思路、不同层次开展的,形成相互联系又有区别的三大理论体系及四大方法体系。

1. 三大理论体系

1) 海相层序地层学

层序地层学首先是在被动大陆边缘海相地层研究基础上建立起来的,它包括了层序地层最核心和精髓的部分,如前所述的三种层序和层序边界的定义均是以海相地层为研究对象建立的。

海相地层学的主要特点表现为:

(1) 均强调海平面变化是控制层序成因和相分布的内在机制,可用于全球范围内的海平面对比及沉积地层对比。

(2) 将构造运动、全球海平面变化、沉积物供给、气候变化作为影响层序发育变化的四大控制因素。

(3) 对成岩作用的影响考虑较少。

针对这些特点建立了 I, II 型碎屑岩层序地层模式(图 1-8 和图 1-9)。在国内,对中国海相盆地已经建立了海相层序模式,并分析内部构成特征,实例有《中国古陆及邻区层序地层学》(王鸿桢,1996)、《塔里木盆地层序地层学》(顾家裕,1998)等。

2) 陆相层序地层学

由于陆相地层中油气等矿产资源勘探开发的需要,国内外许多专家和学者,尤其是中国地质界,对陆相层序地层做了大量的研究和探索工作,取得了很大的成功,促进了陆相层序地层学理论体系的建立。在国外,如加拿大陆相层序地层学研究组、Shanley 和 McCabe (1991, 1993)、Van Wagoner (1995)、Mancilla 等 (1988)、Legarreta 和 Gulisan (1989)、Kokgian (1991) 等人分别对加拿大陆相近海、犹他州、阿根廷等内陆盆地的陆相冲积层进行了研究;Mignel Uliana 等 (1992) 建立了阿根廷白垩纪地层的湖相体系域(图 1-10);Fryberger (1988)