

中国石油天然气总公司杭州石油地质研究所
中国南方油气勘探研究系列丛书之二

层序地层学理论和研究方法

钱奕中 陈洪德 刘文均 主编

四川科学技术出版社

中国石油天然气总公司杭州石油地质研究所
成都理工学院沉积地质研究所
中国南方油气勘探研究系列丛书之二

层序地层学理论和研究方法

钱奕中 陈洪德 刘文均 主编

四川科学技术出版社

(川)新登字004号

内 容 提 要

层序地层学是自70年代以来迅速发展起来的新兴学科,目前已成为地质界研究工作中的热门话题。本书是在广泛收集国内外已有论著和最新成果的基础上,结合自己的研究工作实践和体会编写而成。全书共分三篇十章,较全面、系统地介绍了层序地层学的理论和概念体系;阐述了层序地层学的研究方法、途径;讨论了层序地层学在油气勘探中的应用及成功实例等。观点新颖,内容翔实,图文并茂且具可操作性。

本书可供地质、地层、沉积、石油等专业从事教学、科研和生产技术人员参考,也可作为有关专业的研究生、本科生的参考教材。

书名/层序地层学理论和研究方法

主编/钱奕中 陈洪德 刘文均

责任编辑·孙 特

封面设计·卢奇勋

封面彩照·郑荣才提供

出版发行 四川科学技术出版社

(成都市盐道街3号 邮编 610012)

印 刷 西南冶金地质印刷厂

版 次 1994年12月成都第一版

1994年12月第一次印刷

印 张 14.625 插页 8

字 数 365千字

印 数 1—1000册

定 价 18.50元(软精装) 25.00元(精装) ¥22元

ISBN 7-5364-0792-O/P·57

序

•••••

地层学是地质科学赖以建立的重要基础学科之一。地球发展的历史,主要是通过研究大量保存在沉积地层中的记录进行年代划分、对比,确定成因类型而建立起来的。因此,区域的和全球的地层等时界面的确立,一直是地层研究中的基本问题。

现代地层学的重要发展是60~70年代大量地层分支学科的涌现,其中具有突破意义的是70年代末期出现的层序地层学。层序地层学的突破性进展在于确立了地层层序单元的界面即等时面,介于界面之间的层序的发展,基本上受全球性和区域性海平面升降的控制。这些界面不仅具有可以在地下或露头中识别的物理特性,而且可以用生物地层、事件地层以及化学地层等方法予以验证和完善。这样,层序地层学就为建立全球的和区域的统一时空格架,奠定了坚实的基础,从而对地层学和相关学科的发展起到了重要推动作用,同时,对能源、资源和有关矿产的勘查和开发,也具有重要的指导意义和潜在效益。80年代中期,层序地层的理论和方法引入我国,受到了普遍的重视,并结合我国实际开展了研究,取得了初步的成果。

近年以来,有关层序地层的理论和方法的介绍大都是译作。最近,成都理工学院沉积地质研究所与中国石油天然气总公司杭州石油地质研究所的同志们,根据教学和实际工作需要,系统收集了90年代以来这一领域内的有关论著成果,共同编写了“层序地层学理论和研究方法”一书,扼要地介绍了层序地层学的概念和理论,较系统而全面地介绍了各种研究方法,也介绍了国外应用层序地层学在油气勘查方面取得的成功例证,兼顾了理论性和实用性的两个方面,形成了自己的特色,与不久前成都地矿所出版的专著相得益彰。毫无疑问,本书的出版必将对进一步推动层序地层学在我国的发展和在生产实际中的应用,起到良好的作用。

我衷心祝贺本书的出版,衷心祝愿中国地层学界在今后的工作中,为丰富和发展这一新兴的分支学科,作出更多的贡献。

王立林

1995年2月于北京

前 言

70年代以来,在国内外地质学家们的共同努力下,由于层序地层学在促进地质学基础理论发展和对油气勘探中具有重要的理论意义和实用价值,因此,它已成为目前地质学研究前沿的热门课题,并取得了大量的研究成果和显著的实际效益。为了向读者详细介绍层序地层学的理论、研究方法和应用,促进层序地层学研究的发展,在广泛收集国内外已有论著的基础上,结合我们自己的研究工作和体会,编著了《层序地层学理论和研究方法》一书。

本书包括三篇十章,第一篇详细介绍了层序地层学的理论和概念体系;第二篇阐述了层序地层学的研究方法、途径;第三篇讨论了层序地层学在油气勘探中的应用及成功实例。与目前已出版的译著、编著和专著相比,该书具有如下特点:

1. 综合分析和总结了前人的研究成果,并结合作者自己的研究工作和体会,向读者系统而全面地介绍了层序地层学的理论体系。
2. 强调层序地层学与沉积学研究之间的密切联系,在深入进行沉积学研究的基础上,力求加深对层序地层学的认识。
3. 除对被动陆缘层序地层学研究有较详细的介绍外,还对活动性边缘、前陆盆地及混合沉积的层序地层特征进行了讨论。
4. 对层序地层学研究的方法体系进行了较系统、全面的介绍,包括沉积学方法、地球化学方法、古生物学方法、测井和地震地层学方法等,使之更具可操作性。
5. 较详细地介绍讨论了层序地层学研究在油气勘探中的意义和国内外用以指导油气勘探的成功实例。

本书的编著和出版得到了曾允孚教授、王成善教授和张锦泉教授等人的关心和指导,并对全书的思路和结构提出了宝贵的意见,中国科学院王鸿祯院士还为本书作序,谨在此表示衷心的感谢!

本书由中国石油天然气总公司杭州石油地质研究所和成都理工学院沉积地质研究所共同编著,杭州石油地质研究所钱奕中所长设计了该书的主要内容和选材。各章编写分工为:前言陈洪德,绪论刘文均、钱奕中,第一章和第五章刘文均,第二章郑荣才,第三章陈洪德、伊海生、李祥辉,第四章李勇、李元林,第六章田景春,第七章陈源仁,第八章覃建雄,第九章王英民,第十章崔秉荃。全书由钱奕中、陈洪德和刘文均统编、定稿。

由于层序地层学研究发展迅速,新的成果和认识不断涌现,加之作者水平所限,在编著过程中难免有不尽完善和错漏之处,恳请读者批评、指正。

最后,对所有关心、支持和帮助,使该书得以顺利出版的同行们表示谢意!

编 者

目 录

绪 论	(1)
-----	-------

第一篇 层序地层学理论

第一章 基本概念和控制因素	(6)
第一节 基本概念	(6)
第二节 层序、沉积旋回及控制因素	(17)
第二章 碎屑岩层序地层模式	(26)
第一节 沉积模型、层序及控制因素	(26)
第二节 层序地层模式	(34)
第三节 碎屑岩层序地层模型的变换和影响因素	(47)
第三章 碳酸盐岩的层序地层模式	(53)
第一节 碳酸盐岩的沉积作用	(53)
第二节 层序和沉积体系域	(56)
第三节 碳酸盐岩的层序地层模式	(67)
第四节 碳酸盐和陆源碎屑混合沉积的层序地层特点	(91)
第四章 活动性边缘盆地层序地层模式	(96)
第一节 前陆盆地的层序地层学	(96)
第二节 前弧盆地的层序地层学	(107)

第二篇 层序地层研究方法

第五章 沉积学研究方法	(114)
第一节 关键界面的研究	(114)
第二节 体系域的研究	(118)
第三节 高频旋回的研究	(122)
第四节 岩相古地理图的编制	(129)
第六章 地球化学方法	(135)
第一节 稳定同位素地球化学方法	(135)
第二节 稀土元素地球化学方法	(137)
第三节 微量元素地球化学方法	(138)
第四节 常量元素地球化学方法	(139)
第五节 层序界面的地球化学识别标志	(140)
第七章 古生物学研究方法	(142)

第一节	野外估测相对古深度的古生物学方法·····	(143)
第二节	海平面变化可能引起古生物化石变化的趋向·····	(153)
第三节	野外判断沉积速率的古生物标志·····	(161)
第四节	凝缩段的地层古生物标记·····	(164)
第八章	测井地层研究方法·····	(166)
第一节	基本原理·····	(167)
第二节	沉积层序的测井响应特征·····	(170)
第三节	研究方法及应用举例·····	(174)
第九章	地震地层研究方法·····	(179)
第一节	地震反射界面分析·····	(179)
第二节	地震相分析·····	(185)
第三节	典型实例·····	(194)

第三篇 层序地层学在油气勘探中的应用

第十章	层序地层学在油气勘探中的意义·····	(199)
第一节	层序地层中烃类的生、储、盖层·····	(199)
第二节	体系域中的生储盖组合及运移圈闭状况·····	(203)
第三节	层序地层中的成藏组合类型·····	(205)
第四节	层序地层学在油气勘探中的应用·····	(207)
第五节	层序地层学在油气勘探中的应用实例·····	(211)
参考文献 ·····		(221)

绪 论

——层序地层学的发展历史、现状和争论问题

作为地质学前沿的层序地层学,是在70年代末才开始出现的。它是在地震地层学的基础上发展起来的,但一经出现,发展十分迅速,至今已成为现代地质学的热门课题之一。

地层层序一词,是1949年由Sloss第一次引入地质学中,认为它是“比群和超群更高一级的岩石地层学单位”,而没有现代层序地层学的概念。70年代初,北美、西欧一些国家,把勘探地球物理中的地震勘探方法广泛应用于石油和天然气的勘探,取得了显著的经济效益,同时也积累了大量的地震资料和分析解释经验。许多地质学家从中发现了许多在地面露头、岩芯和测井资料中忽视了或从未发现过的现象,认识到他们长期信守的某些基本地质概念需要加以修正。为此,美国石油地质学家协会(AAPG)于1975年以地震地层学为中心召开年会,讨论这些问题并进行理论总结。随后,于1977年公开出版了由佩顿主编的“地震地层学”。层序地层学的主要奠基者Vail教授,在这本书中,发表了他的两篇经典文章,对层序地层学的基本概念、定义和关键性术语,首次作出了明确、系统的说明,从这个时候开始,层序地层学也就诞生了。

80年代初,美国埃克森石油公司(EXXON)以Vail为首的研究集体,在这新思想的指导下,进行了大量实际工作,发表了许多研究成果,同时利用层序地层、磁性地层、年代地层以及生物地层中所反映的海平面变化和同位素年龄等大量资料,编制了中生代以来的年代地层和海平面旋回曲线图,厘定了不整合面、海平面变化的概念,并强调地震剖面、测井和地面露头的综合研究,是识别海平面变化的重要手段。1988年,正式出版了由威尔格斯主编的《海平面变化综合分析》(1993年中译本更名为《层序地层学原理》),1989年,相继出版了桑格瑞和维尔等的《应用层序地层学》。在这两本专著中,他们以全球性海平面变化为主导因素,系统、全面地阐明了层序地层学的基本理论、关键性术语的定义、解释程序和工作步骤。1991年,Vail等又在Einsele等主编的《地层旋回和事件》一书中,发表了“构造运动、全球海平面升降及沉积作用的地层标志综述”,再次强调,地层层序是由于构造运动、全球海平面升降、沉积作用及气候变化等地质作用相互作用而产生的,同时,也突出了不同级别构造作用对地层层序的影响,提出了一整套将层序地层分析、沉降史分析和构造地层分析相结合、互为补充的综合地层分析方法,特别对构造地层分析概括为9个步骤,突出构造沉降史与不整合面的研究,注意沉积充填史、构造型式与古应力条件的分析,高级别构造运动、构造条件与板块构造运动的关系等。1991年,由D. I. M. Macdonald主编的《活动边缘的沉积作用、构造运动和全球海平面变化》一书,进一步把层序地层研究扩展到活动大陆边缘。

层序地层学自诞生以来,就受到地质学界的关注和推崇,不仅进行过热烈的讨论,而且给予了很高的评价,它的理论和方法也得到了推广,取得了长足的进展,当然也有许多反对意见和争论。

1986年,第12届全球沉积学大会上正式公布的全球沉积学计划(GSGP)中指出:“长期以来,地质学家对地球历史中的韵律和特殊事件的发现和解释,具有浓厚的兴趣,近10年来,有几个方面的进展,已为从全球规模来考虑问题提供了一个新的超常的良机,其中最有希望的一个进展是层序地层学”。1988年9月,全球沉积地质委员会(GSGC)正式将层序地层学和全球海平面变化纳入GSGC,将层序地层学推向“学科前沿”。1989年,AAPG在《层序地层学应用》一书的前言中提出:“你要成为90年代的石油地质学家、地球物理学家、石油公司经理和管理人员吗?那么,务必请你读一读《层序地层学应用》这本书吧。”1988年,前苏联科学院主席团决议说:“它(指层序地层学)对发展基础地质科学、地层学、沉积岩石学和构造地质学有重大贡献,而且可以大大提高油气普查勘探工作效果,预计可以得到数十亿卢布的新的经济效益。”

当前,层序地层学已成为国际地质科学研究的热门课题,1989年以来的历届AAPG年会上,以及1992年第29届国际地质学大会上,它都成为重要的讨论内容。充分展示了它在理论上、实际上以及在研究的深度和广度上所取得的长足进展。这些进展主要表现在:

1) 在石油勘探领域,应用这一新的理论体系和方法,已经为储集砂体的预测带来战略性的变化,取得了重要的成就。特别是低水位体系域底界面上的深切谷充填砂体的预测和发现,如Amoco石油公司根据层序地层研究,在Beaufort海和阿拉斯加发现了新的靶区;在尼日尔三角洲地区应用墨西哥湾盆地的模式和经验,在新的地震、钻井资料的基础上完成了一系列层序地层大剖面,从而发现了丰富的有经济价值的油气圈闭;联合太平洋公司在东科罗拉多和西堪萨斯州的工作中,应用层序地层的方法重新进行整体评价,发现了长距离延伸的深切谷充填砂体,从而在找油目标上进行了战略上的转变。因此,前AAPG主席P. Weimer指出:层序地层学应用以来最重要的找油新领域之一是层序界面上的谷地充填砂体。此外,我国部份研究者已经开始把这一理论用于沉积和层控矿床的研究和预测上,并取得一些新的认识。

2) 在层序地层学的基本理论研究方面,对北美—西欧及其他地方经典露头地区进行细致的层序地层分析,对碳酸盐岩层序地层以及混积的层序地层的深入研究,对于高频旋回的地面及地下分析,以及对海平面变化的认识和精确计算等方面,都有着长足的进展。在被动大陆边缘条件下,沉积层序的计算机模拟也取得了很大的进展,如对密西西比三角州以东地区的计算机模拟结果,与真实断面有相当高的拟合度,表明对控制层序形成的主要因素、海平面变化,构造沉降、沉积物补给速度以及初始深度的分析和参数的选择上是正确的。层序地层学的思路和方法,也正在不同类型的盆地中加以应用,并证明其有效性。这些盆地既包括被动边缘盆地,也包括活动边缘盆地(如日本BOSO半岛上Kazusu群中的前弧盆地);既有伸展型盆地(北海裂谷,Neuquen弧后盆地),也有挠曲型盆地(如Alberta、Denver等前陆盆地),除了与海相沉积盆地有关的盆地外,不少学者(包括我国的许多学者)还在近海湖盆(大庆)和内陆盆地中进行探索,提出了湖盆的三维地层模式。

3) 一些新的研究方法正被引入到层序地层学研究中来。Kauffman(1991)等人提出的包括物理事件、化学事件、生物事件和复合事件的高分辨率事件地层学的概念和方法,为层序地层分析的年代地层学研究提供了新的武器。与之相近的Moutanri的综合地层学(Integrated stratigraphy)方法,以及古生态学和埋藏学也被引入。Kominz及Boud利用伽

玛方法较准确的测定了更新统及白垩系旋回沉积中的米兰科维奇旋回,进一步证实了旋回沉积中时间的相对性和旋回的周期性这一假说。Edwards(1986)提出,用高精度的TIMS 铀系统(^{230}Th — ^{234}U)年龄测定方法来研究海平面的变化,Patwilde 等利用贫碳酸盐的还原岩石中,全岩的铈(Ce)异常来研究海平面的变化,这些方法的引入将进一步充实和完善层序地层学的理论系统。

4) 促进相应学科发展,形成一些新的学科分支。这方面表现最为突出的是在沉积相的研究方面,James 和Walker 在其《沉积相模式》的第三版中(1992),按照海平面变化控制沉积相及相模式的思路,重新改写了这一名著。1993 年,由Posamentier 等人主编的《层序地层学与相分析》也是在这一思想的影响下完成的。Opdyke 及Walker(1990),Fairbairns, Davic, Ererl, Ginsburg, Tucker 等,也运用层序地层学中的基本观点,进行生物礁、碳酸盐台地以及碳酸盐层序地层模式的研究。此外,以层序地层学为生长点,一些新的学科分支正在出现,如Akihiro Kano 的《成岩层序地层学》(Diagenetic Sequence Stratigraphy), Braithwaite (1993) 的《胶结物层序地层学》(Cement Sequence stratigraphy)等。

在我国,早在80 年代后期,地震地层学的理论和方法,已在石油部门率先使用。1990 年,钱凯翻译的《层序地层学应用》公开出版,贵州区调队魏家庸等(1991)翻译的“海平面变化综合分析”的部分文章也广为流传,从此,层序地层学在我国地学界逐渐流传开来。徐怀大、魏家庸、李思田、刘宝珺等研究者,在石油、区调、煤田和盆地分析方面,都引用这一理论并作了许多开拓性的工作。有关地质院校也开始讲授有关内容。1992 年底,国家科委正式批准了以我国著名地质学家王鸿楨教授为首的、以层序地层及海平面变化为主要研究内容的国家基础性重大研究课题:中国古大陆及其边缘层序地层和海平面变化的研究。这项研究一开始就显示了它所具有的中国学派的特色,即表现为以地面露头追索研究为主,而不是从地下地震资料为主;以古生代和新元古代为主,而不是局限于中生代;以多学科相互结合的综合研究为主,而不是局限于为了油气资源为目的的盆地分析。可以预期,这项研究在我国优越的地质背景条件下,必将取得重大的突破和创新,从而为丰富层序地层学的基础理论和推动地质基础学科的发展作出重要贡献。

层序地层学之所以能在不长的时间,取得如此巨大的进展,获得这样高的评价,被认为是“地层学正在进行的一场革命”(Brown. L. F. Jr. 1990),其原因在于:

1) 从60 年代初板块构造学说问世以来,地球科学不同领域的发展趋势是强调全球性的对比研究,强调地球演化的整体性,以及不同作用过程的相互制约性,把地球甚至天体作为一个整体来加以研究。这一趋势是人类对地球科学长期思索的结果,层序地层学的基本指导思想,正是强调地层层序的形成,受到构造运动、全球海平面升降及沉积作用的相互影响和作用,并表现为不同的级别、规模和时间间隔,可见,层序地层学的观点,和当前人类的地球观是一致的,因而受到广泛的支持和重视。

2) 层序地层学是一种新的地层学体系,层序地层单元的界面是可以通过地下(地震和测井)和地面露头认识的客观存在,它具有物理性界面和生物界面的双重意义,层序地层内部和层序之间,又是有成因联系的有序的三维岩相组合的集合体。因此,层序地层学消除了地层学中长期存在的年代地层、岩石地层与生物地层单位三重命名的混乱现象,为

准确的地层划分和对比提供了有用的武器,甚至有可能提供一个全球统一的地层学概念。

3)强调了海平面变化对不整合面和层序的形成及其内部沉积体系域的作用。以往的地质工作者较为熟悉的是构造不整合和假整合,而在实际上,海平面变化造成了更多的更为重要的关键性界面,如低水位体系域底部的不整合,海侵面和最大海泛面。这些界面在地层划分对比中均有重要意义,它们都是沉积作用演化的突变和转换界面。如果说以往的地质学中,更多地被认识的是规模较大的构造因素对沉积充填的控制,那么,层序地层学的贡献是更好地揭示了海平面变化的重要影响。

4)层序地层学的理论和方法是,在沉积盆地分析中首先建立等时地层格架,并将沉积相和沉积体系的研究,置于构造沉降、海平面升降和沉积物供给的复合制约和整体的统一格架中,因而能有效地揭示其三维配置关系。在含油气盆地的研究中,能够有效地阐明生、储、盖层的配置规律,提高地质学家的理论和实际预测能力。

层序地层学的发展是迅速的,但它的理论和方法也和任何新兴的学科分支一样,并不是一开始就十分成熟和完善,它的发展和应用过程,也有着支持和反对,以及不同意见的争论和挑战。

首先,关于全球性海平面变化问题。Haq 和Vail(1988)经过多年努力建立了中新生代海平面变化年表,并大胆地提出,由于海平面变化的全球性,层序地层学可以成为建立全球性地层对比的手段,重建全球地层对比系统。对此论点许多研究者有不同的看法和激烈的争论。许多人认为,在任何区域所建立的海平变化周期,受控于构造、气候、全球性海平面变化、沉积物供给等多重复杂因素,因此这些因素在地层中留下的标志,只能说是相对海平面变化,在没有可靠的方法排除这些非全球性因素的情况下,确定全球性变化影响是十分困难的。例如,作为建立海平面变化周期的主要方法之一的海岸上超问题,诚然海平面变化可以引起海岸上超,但在一定条件下,上超现象也可以由构造作用引起。Underhill等(1991)在北海的研究表明,沿铲形的盆缘断裂发生的同沉积伸展构造,可以造成半地堑稳定边缘的海岸上超和沉积层序。在纽芬兰,幕式的裂陷作用和断块的旋转运动,也造成了与层序边界相同的不整合记录(Driscoll, 1992)。Pitman(1978, 1989)对大西洋型被动边缘的层序地层演化作了计算后指出,地层记录中的海水进退,不一定表明发生过全球性的海平面升降。因为海平面升降速度的变化,也可能导致同样的结果。向海岸的超覆,在一定的构造背景条件下,也可能出现在海平面下降速度减慢的时期。因此,在没有排除构造因素的情况下,地层记录中所保留的海平面升降,只能是各种因素综合作用的结果,只能是区域或地区的相对海平面变化,而不能作为全球性对比的依据。

其次,关于不同级别层序(或旋回)的划分标志问题。目前已存在两种不同的年代标志(Vail, 1977, 1991),而且由于层序地层的研究在西欧和北美多集中于中新生代,层序单元的划分也有越来越小的趋势。但是这些标准能否适用于中生代甚至更古老地层,换句话说,古生代以来海平面是否以同一频率发生变化。国外某些研究者已经注意到,从新生代到中生代,海平面升降旋回的周期有逐渐加长的趋势。在我国,王鸿祯教授所领导的中国大陆边缘层序地层学研究,也注意到不同地史时期的海平面变化周期,可能存在阶段性的变化,可以预期,这一问题的提出和解决,不仅对层序地层而且对地球科学都将产生深远的影响。

近代层序地层学形成以来产生的另一个广泛性问题,是层序地层学术语体系及其与已形成规范的年代地层和岩石地层术语体系的关系。毫无疑问,准确、完整、科学、系统和统一的术语系统,对于任何学科的发展和交流都是十分必要的,但其难度也是很大的。在本书中,我们主要用国内外流行的EXXON 研究公司,即Vail 和Wagoner 等所建议的术语体系,尽量作到概念和译名前后统一一致。但限于编者水平,可能难以尽如人意,希望得到同行专家的指正。

第一篇

层序地层学理论

第一章 基本概念和控制因素

地层学是地质科学中的基础学科之一,它研究沉积岩层在时间上和空间上的叠合变化关系。这些关系以沉积岩层的物理和化学属性、古生物特征、时代关系以及地球物理属性为基础来确定,用以进行古地理再造、盆地分析、全球的地层对比、全球地质历史重塑,以及沉积盆地中资源的评价。70年代以前,地层学主要讨论岩石地层、生物地层和年代地层的经典概念及其侧向对比,用以在沉积岩露头地区进行划分和填图。但是,地层分析的传统分析方法在解释古地理和地质历史方面存在缺陷。这是由于岩石地层学的界面常常是穿时的,而年代地层学所确定的界面并非物理界面。层序地层学是一种新的可用于全球的地层系统,它是一种能综合地表露头和地下资料(测井曲线和地震资料)对沉积岩进行精确划分、对比和填图的方法,并可按照地层单位在陆棚可容空间内的变化来加以定义。它以地震曲线及地质横剖向上的不整合为界线,这些界线不仅是纵向上的特殊界面,在露头、测井和地震剖面上可以识别,而且可以用生物地层学和其他地质年代学的方法确定其时代,因此,层序地层学的地层单位是由物理界面所限定的等时岩石组合,从而提高了古地理再造、盆地分析、地质历史解释和资源评价的精确性。

第一节 基本概念

一、层序及其内部组成

层序地层学是研究一系列以侵蚀面或无沉积作用面和与之可以对比的整合面为界的、具有旋回性的、成因上有联系的并可置于年代地层框架内的沉积岩层关系。层序地层

学的基本单位是层序(sequence),它是一套内部相对整合,在成因上有联系的、以不整合和可以与之对比的整合面为界的等时沉积体。对每一层序来说,存在如下特点:

- ①层序的顶底面,以不同类型且可以识别的不整合或整合界面相区别。
- ②层序内部的相对整合的层形成于同一海平面升降旋回中,因而在成因上是有联系的,这也就意味着,层序不是由一种沉积相所组成,而是多种沉积相在纵向上和横向上的有序组合。
- ③层序是一个具有年代意义的单位,它一方面表明,层序内的所有岩层都是沉积在为层序边界的年代所限定的地质时间间隔内。另一方面是说层序界面的地质年代,可以用生物地层和其他年代地层学方法加以确定,并置于年代地层框架中。

图1-1 表明了层序的基本概念及其与年代地层学之间的关系。上边是一个层序的综

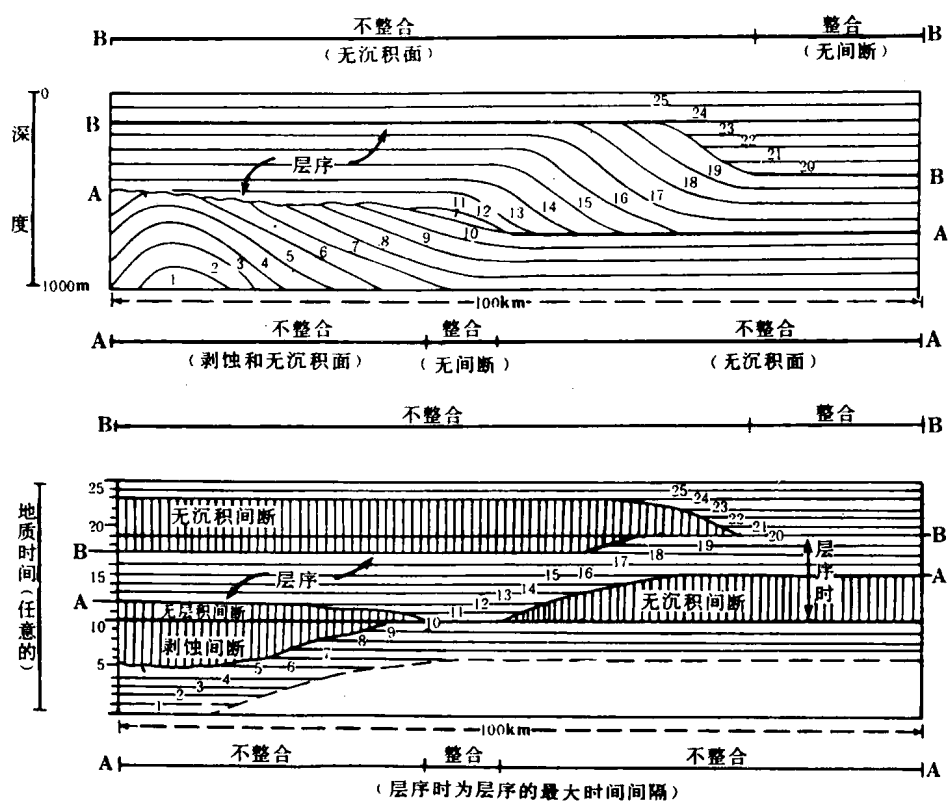


图1-1 层序地层学与年代地层学比较

(据R. M. Mitchum, P. b. Vail 和S. Thompson, 1977)

合地层剖面,纵轴表示距离,左方为浅水区,右方为盆地,A—A,B—B 为层序界面。下图为同一沉积单元的年代地层剖面,纵轴为任意选定的地质时间单位,横轴为距离。比较上下剖面可以进一步理解层序地层学中界面、不整合及相应的整合等概念的年代地层学含义。

一个层序的内部可分为若干沉积体系域,它们以其在层序内的位置以及以海泛面为界的准层序组和准层序的叠置方式来定义。

沉积体系(depositional systems)这一概念,最初由Fisher 和Mcgrowen(1977)首次引入到沉积学中,他们将沉积体系定义为:在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。因此,沉积体系是与地貌或自然地理单元相当的沉积体,并以其生成环境命名,例如河流体系、三角洲体系、滨岸体系等。每一沉积体系的基本单元是更低级别的相或相组合所组成,沉积体系域(systems tract)则是由一连串有成因联系的同时代的沉积体系所组成(Brown 和Fisher,1977)。在每一层序中,沉积体系域的形成,取决于全球海平面变化、构造沉降和沉积物供给速度间的相互关系。一般来说,每一层序都是由三个体系域所组成,即 I 型层序中的低水位体系域(LST)、海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)和 II 型层序的陆棚边缘体系域(SMST)、海侵体系域(TST)和高水位体系域(图1-2)。

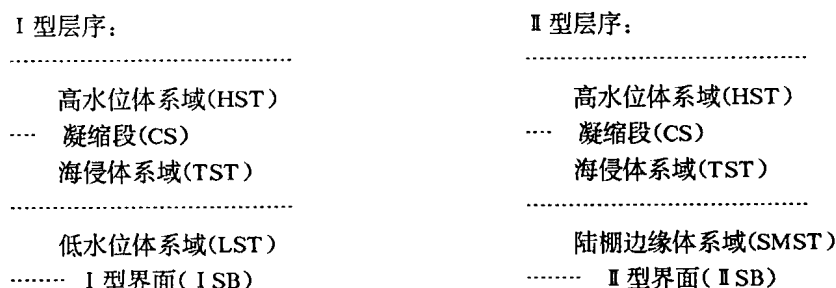


图1-2 不同类型层序结构简图

准层序(parasequence)和准层序组(parasequence sets)是层序的基本构成单元,当然也是体系域的基本构成单元。一个准层序以海泛面和与之可以对比的面为界,在成因上有联系的相对整合的一套岩层(beds)或岩层组(bed sets)。硅质碎屑岩的准层序是进积性的,因此向上变浅,碳酸盐岩准层序通常是加积性的,也是向上变浅的。因此,也可以把准层序认为是一套连续向上变浅的岩相组合。准层序组则是一套成因上有联系的准层序,它们形成一种在多数情况下以大的海泛面,和可以与之对比的面为界,由若干准层序以不同方式叠置而成。主要叠置方式有进积型、退积型和加积型(图1-3),不同叠置方式的形成取决于沉积速度与可容空间形成速度间的比值。准层序组的边界可以出现以下几种情况:

- ①在层序内部分开不同叠置方式的准层序;
- ②出现于层序底部与层序界面重合;
- ③可以是下超面出现于体系域底部,成为体系的界面。

二、层序类型及其边界

在地层记录中,可以识别出两种类型的层序,即 I 型层序和 II 型层序。I 型层序底部以 I 型层序界面为界,顶部为 I 型或 II 型层序边界(图1-4)。II 型层序底部以 II 型层序界面为界,顶部为 I 型或 II 型边界(图1-5)。

I 型层序界面以河流复状作用(硅质碎屑岩区)、沉积相向盆地方向迁移、海岸上超的向下转移(图1-6)以及与上覆地层相伴生的陆上暴露和同时发生的陆上侵蚀作用为特征。由于沉积相向盆地方向迁移,必将造成非海相或浅水海相地层(如辫状河道砂岩或河口湾砂岩、潮坪相碳酸盐岩),可直接覆盖在界面下的较深水的海相地层之上(如下临滨砂岩、陆棚泥岩或泥灰岩),其间缺少中等水深环境的沉积岩层。

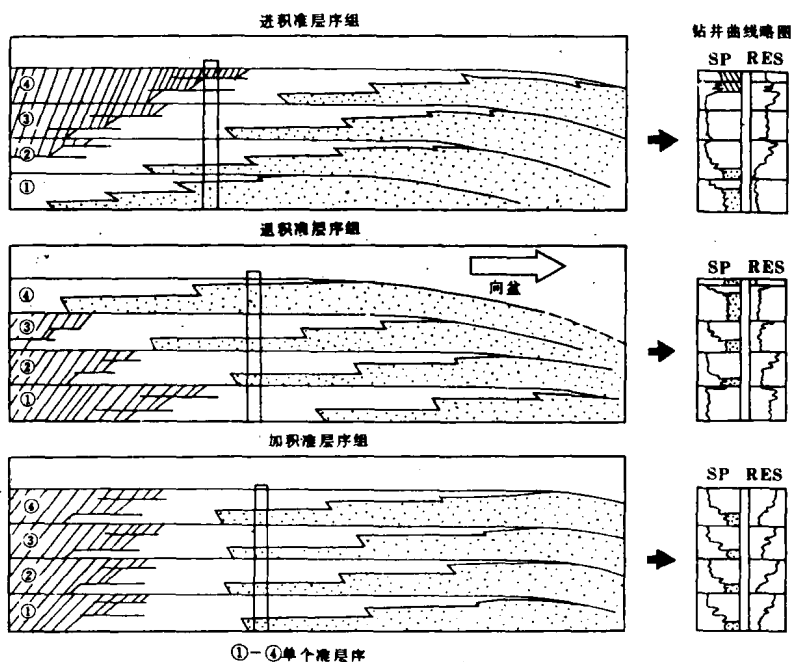


图1-3 准层序组中准层序的叠置类型
(据(Van Wagoner 等,1988))

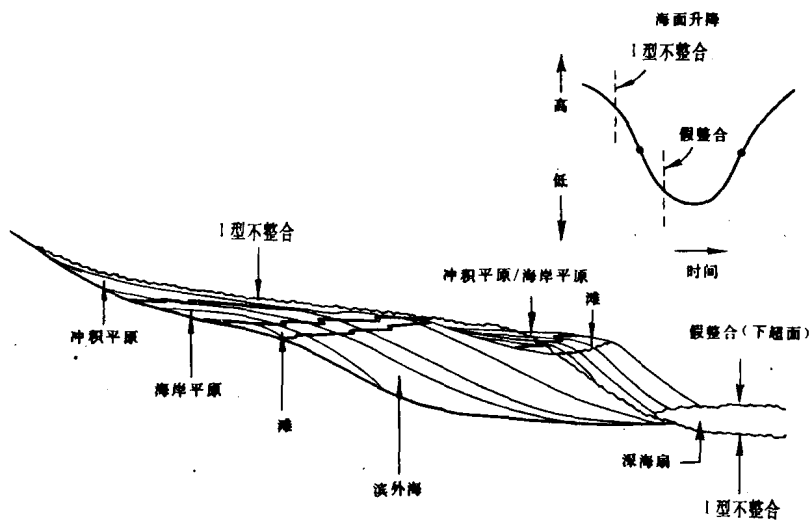


图1-4 I型层序界面
(据Posamentier 等,1988)

Ⅱ型层序界面的特征是,沉积滨线坡折带向陆方向的陆上暴露、上覆地层的上超以及海岸上超的向下迁移为特征,但是它既没有与河流复状作用相伴生的陆上侵蚀,也没有沉积相向盆地方向的转移。

不同类型层序及其界面的形成,与全球海平面下降的速度、沉积滨线坡折带的沉降速

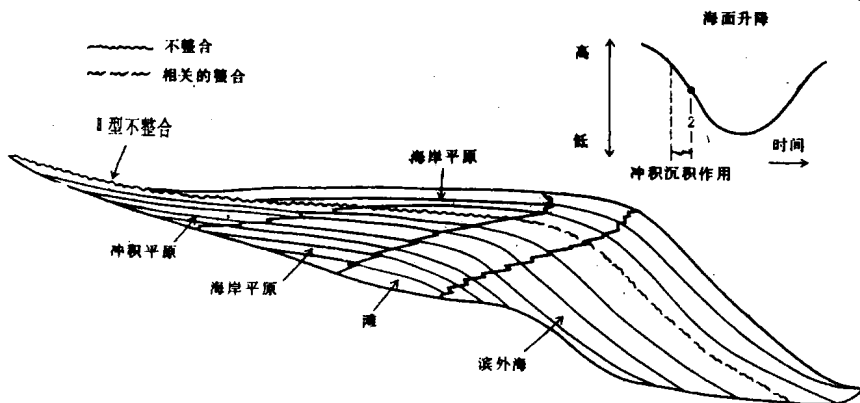


图1-5 II型层序界面
(据Posamentier等,1988)

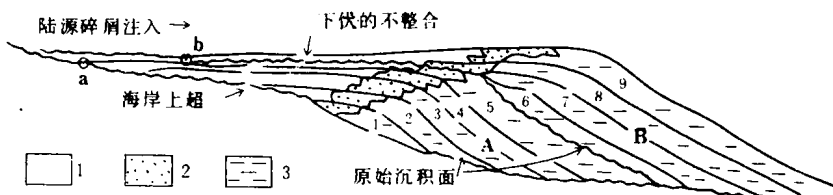


图1-6 海岸上超向下迁移说明海平面下降
(据Vail等,1977)

1. 非海相海岸沉积;2. 滨海沉积;3. 海相沉积

度大小有关。沉积滨线坡折带(depositional shoreline break)是指陆棚上剖面和陆的一个位置,它不同于自然地理的陆棚坡折带,而是沉积作用活动的地形坡折,一般位于水深数米处,介于平均夷平面或近于平均夷平面的陆上剖面和陆棚较深水剖面之间。由沉积滨线坡折带向陆地方向,沉积表面接近或在基面之上,向海方向沉积表面低于基面,因此在硅质碎屑沉积盆地中,沉积滨线坡折带的位置大致与三角洲的河口沙坝的向海一端,或者与海滩上临滨位置一致,通常位于岸线向海100—1000m处,水深在8—15m间,即相当于正常浪基面位置。而在碳酸盐沉积盆地中,它与岸线之间,可能隔有广阔的内陆棚。

I型层序界面的形成被解释为,是由于全球海平面下降速度超过沉积滨线坡折带处盆地的沉降,因而在该处产生海平面的相对下降时形成的。而II型界面则是由于全球海平面下降速度小于沉积滨线坡折带处盆地沉降速度时形成的,因此在这个位置上没有发生海平面的相对下降。图1-7表示不同类型层序界面形成时全球海平面升降及盆地沉降间的不同关系及其沉积响应,这种不同形成了不同类型界面的特征以及层序内部体系域组成、几何关系和相组合特点的不同。

三、体系域的一般特点

前已述及,体系域是根据界面类型、它们在层序内的位置以及准层序和准层序叠置方