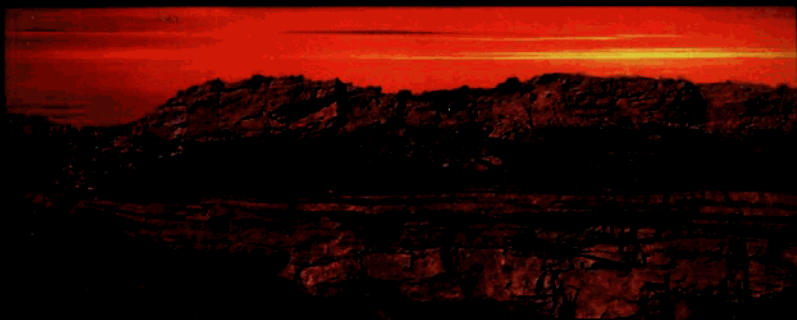


中国地质大学出版社
中国地质大学出版社



含能源盆地沉积体系

王明远主编

中国内陆和近海主要沉积体系类型的典型分析

DEDICATED TO
THE 30TH INTERNATIONAL
GEOLOGICAL CONGRESS

献给
第30届国际地质大会

序 言

沉积学是构成现代地质科学的许多分支学科的基础学科。

在能源资源和沉积、层控矿床的调查研究和勘探工作中，沉积学研究都是重要的基础工作。60—70年代以来，环境分析和相模式研究成为沉积学领域的热点。以北欧学者为代表，还强调了沉积动力学过程的研究。北美学者在发展石油工业的过程中强调并发展了沉积体系和体系域的思路，在环境与古地理重建中强调了沉积体的构成及其三维体态的时空配置。这些都促进了沉积学的前进发展，其成果用于能源资源勘探中得到了广泛的效益。现代层序地层学的出现与前进使沉积体系研究与等时地层格架密切结合，综合了构造发展、海平面变化和沉积补给等因素的影响与作用，促进了沉积动力学的研究，增强了沉积学在能源资源预测和揭示地质时期自然景观的动力起因等方面的有效潜力。

在我国，沉积学的发展与能源和沉积矿产的普查与勘探始终密切结合，并注意了追踪国际前缘，发挥我国特色，多年来对各种沉积体系进行了深入地典型解剖。本书反映了作者们对沉积学和能源地质工作多年努力的贡献和成果，在内容上侧重了内陆和近海、浅海条件下的沉积体系的典型解剖与深入追索。其中，在不少方面代表了我国最早的系统研究，并在配合资源勘探的实践中得到了检验，取得了相应的成效。本书的特色是对许多出露精美的露头剖面进行了写实素描和三维追踪，揭示了其内部构成和几何形态的细节，这对储层研究者来说具有特殊的参考价值。由于研究工作和产业部门密切结合，使露头观测能和地下地质联系，从而能在较大范围乃至全盆地进行整体性剖析。这种典型解剖非常有助于对有关沉积体系的特征提供如实理解。尽管本书重点不是专门论述层序地层学，但作者们的此项研究确实揭露了沉积体系与层序地层格架之间的紧密因袭，特别是在内陆和陆表海领域率先进行了若干典型的写实探索。总之，本专著是一本具有现代水平的，具有写实中国沉积地质特色的，符合我国当前石油地质工作需要的重要著作。它的出版问世必然是能源资源地质工作者、沉积学工作者所竭诚欢迎的。

葉連俊

1996年4月

前言

在进行能源资源及沉积矿产普查勘探中,沉积背景的研究是最重要的基础工作。有关沉积环境和相模式研究领域曾发表了大量著作。60年代末到70年代后期相继提出和使用了沉积体系及体系域的概念,进一步强调了沉积体三维几何形态和内部构成的研究并与沉积环境和沉积过程的分析紧密结合起来,此种研究比以垂向层序为主的研究更符合实际。由于工作难度大和需要具备进行三维研究的露头或工程控制条件,因此沉积体系的研究方法并未充分普及。层序地层学的出现把相、沉积体系和体系域作为不同级别的建造单元放到等时地层格架中进行研究,从而奠定了更为完整的学科体系。沉积学领域现正进入一个新的阶段。

本专著以笔者们近十年来在含煤和含油气盆地中从事的沉积环境研究为基础,经进一步总结和提高编写而成的。为此选择了一系列有代表性的工作基础较好的实例进行补充性工作,根据地质条件尽量使用沉积体系分析的思路和方法,工作中并注意与层序地层格架和构造背景分析相结合。

本书陆相部分占较大比例,包括了冲积扇体系、河流体系、湖泊三角洲体系、扇三角洲体系、湖盆水下重力流沉积及古盐湖沉积和风成沉积等7种类型,海相和海陆过渡相部分包括了三角洲、潮坪、障壁坝—泻湖、碳酸盐地和礁等5种沉积体系类型。还有一些重要的类型,如海底扇,此次未及编写。

编写专著的主要承担单位为中国地质大学,并特约南海东部石油公司总工程师陈斯忠和海洋石油勘探开发研究中心副总地质师朱伟林编写了专题部分。本书主编由李思田担任,各部分作者按章节出现的顺序排列如下:李思田、吴冲龙、周江羽、程守田、黄焱球、解习农、杨士恭、李智民、李禎、焦养泉、卢宗盛、庄新国、黄其胜、郭正义、李长泽、夏文臣、李蕙生、孙永传、林畅松、高东升、葛立刚、朱伟林、郑祥民、陈斯忠、余素玉、辛文杰、邬金华、余杰、**雷建喜**、韩征。焦养泉、王岫、杨生科承担了本书的编辑和技术性工作。崔宁、赵玉栋绘制了本书的主要图件。屈友华承担了本书的文字编排及其他技术性工作。

笔者们感谢地质矿产部科技司对此项研究给予立项和经费支持,高级工程师孙培基具体帮助组织了项目的实施。国家自然科学基金会地球科学部对鄂尔多斯西缘等项目的支持,石油勘探开发研究院对储层砂体露头研究项目的支持,都是本书得以完成的保证。本书中许多沉积学方面的精采露头是野外地质队发现并向笔者们提供了信息。叶连俊院士和孙祖纯院士主持的沉积专业委员会的倡导和支持以及沉积学界同行的多次讨论均对此专著的完成有巨大帮助,在此致以衷心感谢!本书在出版过程中还得到了中国地质大学学术著作出版基金的资助。对此一并致谢!最后,笔者还要感谢闹立峰、李继英、赵朝弘、熊华珍、黄凤鸣等同志,他们为提高本书的出版质量做了大量的工作,并提出了许多中肯的修改意见。

目 录

第一章 概 论	(1)
——沉积体系分析的进展和层序地层学	李思田 (1)
第二章 冲积扇和河流体系	(12)
第一节 阜新盆地海洲组潮湿型冲积扇体系	吴冲龙 周江羽 (12)
第二节 盆地断裂活动带边缘粗碎屑辫状平原扇及其沉积特征——以鄂尔多斯盆地西缘上三叠统延长组下部为例	程守田 黄焱球 解习农 (23)
第三节 河流体系沉积构成及深切谷充填——以鄂尔多斯盆地中侏罗统为例	杨士恭 李智民 李 桢 (32)
第四节 曲流河沉积体系内部构成和层次结构的典型分析——以鄂尔多斯盆地南缘柳林镇二马营组为例	焦养泉 卢宗盛 (46)
第三章 湖盆三角洲和扇三角洲体系	(58)
第一节 大型内陆盆地三角洲类型和沉积特征——以鄂尔多斯盆地为例	李思田 焦养泉 解习农 (58)
第二节 前陆式盆地中的陡坡三角洲沉积体系——以鄂尔多斯盆地西南缘延长组中部为例	焦养泉 李思田 庄新国 (68)
第三节 陆盆湖泊-三角洲沉积体系化石生态组合研究——以鄂尔多斯盆地东北部中侏罗统延安组湖泊-三角洲沉积体系为例	卢宗盛 黄其胜 焦养泉 (86)
第四节 扇三角洲沉积特征及发育的构造背景	李思田 郭正义 李长泽 (97)
第四章 湖盆水下重力流	(107)
——阜新断陷湖盆中的水下坍塌-浊流沉积成因序列及其构造背景	李思田 杨士恭 夏文臣 李长泽 (107)
第五章 古盐湖沉积体系	(117)
——内陆盆地盐湖沉积体系综述	李惠生 孙永传 (117)
第六章 风成沉积体系	(138)
——鄂尔多斯盆地地下白垩统风成沉积与内陆古沙漠环境	程守田 李思田 黄焱球 李智民 (138)
第七章 滨海三角洲沉积体系	(148)
第一节 贺兰山地区石炭—二叠纪三角洲体系的沉积构成和沉积层序	林杨松 (148)
第二节 黔西南晚二叠世陆表海三角洲体系沉积构成及聚煤特征	解习农 程守田 (167)
第八章 碎屑岸线沉积体系	(182)
第一节 障壁坝-泻湖沉积体系	李 桢 (182)
第二节 古代障壁坝砂体内部界面及构成单元分析	

.....	解习农 高东升 葛立刚 焦养泉 (195)
第三节 苏北现代潮坪沉积	朱伟林 郑祥民 (204)
第九章 碳酸盐台地和礁	(218)
第一节 珠江口盆地东沙碳酸盐台地第三纪生物礁沉积学研究	陈斯忠 (218)
第二节 碳酸盐台地沉积体系	余素玉 辛文杰 邬金华 余杰 雷建喜 韩征 (228)
英文摘要	(248)
主要参考文献	(249)

CONTENTS

CHAPTER 1 INTRODUCTION	(1)
—Perspective of depositional system analysis and sequence stratigraphy	Li Sitian (1)
CHAPTER 2 ALLUVIAL FAN AND FLUVIAL SYSTEM	(12)
1. Humid alluvial fan system of Haizhou Formation in Fuxin Basin	Wu Chonglong Zhou Jiangyu (12)
2. Depositional characteristics of clastic braided plain fan in the margin of faulted belt—case study on Upper Triassic in western margin of Ordos Basin	Cheng Shoutian Huang Yanqiu Xie Xinong (23)
3. Depositional architecture of fluvial system and valley filling—case study on the Middle Jurassic in Ordos Basin	Yang Shigong Li Zimin Li Zhen (32)
4. Typical internal architecture analysis and hierarchy of meander channel system—case study on the Ermaying Formation in Liulin, Ordos Basin	Jiao Yangquan Lu Zongsheng (46)
CHAPTER 3 LACUSTRINE DELTA AND FAN DELTA SYSTEMS	(58)
1. Patterns of delta and depositional characteristics in giant continental basins—case study on Ordos Basin	Li Sitian Jiao Yangquan Xie Xinong (58)
2. Steep-slope delta system in foreland basin—case study on the middle part of Yanchang Formation in the southwestern margin of Ordos Basin	Jiao Yangquan Li Sitian Zhuang Xingguo (68)
3. Ecologic association in lacustrine delta systems of continental basin—case study on Yan'an Formation of Middle Jurassic in northeastern Ordos Basin	Lu Zongsheng Huang Qisheng Jiao Yangquan (86)
4. Depositional characteristics and tectonic setting of fan delta	Li Sitian Guo Zhengyi Li Changze (97)
CHAPTER 4 SUBAQUEOUS GRAVITY OF LACUSTRINE BASIN	(107)
—Depositional sequence and tectonic setting of subaqueous slump—turbidite in faulted basin	Li Sitian Yang Shigong Xia Wencheng Li Changze (107)
CHAPTER 5 ANCIENT SALTY LACUSTRINE SYSTEM	(117)
—Review on salty lacustrine system in continental basin	Li Huisheng Sun Yongzhuan (117)
CHAPTER 6 EOLIAN DEPOSITIONAL SYSTEM	(138)
—Eolian sediments and ancient desert environment of Lower Cretaceous in Ordos Basin	Cheng Shoutian Li Sitian Huang Yanqiu Li Zhimin (138)

CHAPTER 7 MARINE DELTA SYSTEM	(148)
1. Depositional architectures and sequence of delta system in Carboniferous-Permian, Helan mountain	Lin Changsong (148)
2. Depositional architectures of delta system and coal-forming characteristics of epicontinental sea in Upper Permian, southwestern Guizhou	Xie Xinong Cheng Shoutian (167)
CHAPTER 8 CLASTIC SHORELINE SYSTEM	(182)
1. Barrier-lagoon system	Li Zhen (182)
2. Internal surface and architecture element analysis of ancient barrier sandbodies	Xie Xinong Gao Dongsheng Ge Ligang Jiao Yangquan (195)
3. Modern tidal flat deposits in North Jiangsu	Zhu Weilin Zheng Xiangmin (204)
CHAPTER 9 CARBONATE PLATFORM AND REEFS	(218)
1. Reefs sedimentology of Eocene in Dongsha carbonate platform, Pearl River Mouth Basin	Chen Sizhong (218)
2. Carbonate platform system	Yu Suyu Xin Wenjie Wu Jinhua Yu Jie Lei Jianxi Han Zheng (228)
ABSTRACT	(248)
REFERENCES	(249)

第一章 概 论

——沉积体系分析的进展和层序地层学

60年代早期现代沉积学开始进入重要的发展阶段,以沉积环境和相模式研究为主导方向,对现代和古代各种环境和相以及其形成的动力学过程做了大量分析,提出了各种沉积相的模式。这些模式被广泛地用于地质学的各领域,特别是能源资源研究领域,在油气和煤勘查中取得重大效益。自60年代末至80年代,此领域两个重大发展趋势使沉积学步入新的境界。趋势之一是沉积过程分析,特别是深入开展的比较沉积学研究,深化了对沉积动力过程的理性认识。在研究中借鉴已有模式的同时更注意研究区的背景、条件和过程解释而不受前人模式的拘束。趋势之二是环境分析与沉积体三维几何形态和空间配置关系的研究。此种研究是地质勘探任务的要求,是沉积学的必然发展,由此产生了沉积体系、体系域以及沉积物构成单元的概念体系和方法。前者展示了更为宏观的研究,后者则侧重于沉积体系内部构成的细致分析并主要服务于储层研究。目前,沉积体系与沉积构成分析正在结合成一个完整的系统。

一、沉积体系分析的基本概念和思路

沉积体系 (depositional system) 的概念原由 Fisher 和 Brown (Fisher 和 McGowen, 1967; Brown, 1969; Fisher 和 Brown, 1972) 于 60 年代末提出。“一种现代的沉积体系是相关的相、环境及伴随的过程的组合”,因此“古代的沉积体系是成因上被沉积环境和沉积过程联系起来的相的三维组合”。组成沉积体系的基本成因单元是相。鉴于相的概念使用十分广泛, Galloway (1986) 曾建议使用“成因相”或“相构成单元”来表示沉积体系分析中“相”的特定范畴。事实上,自然界每种环境下形成的沉积都是复杂的组合,如曲流河沉积包括了河道、天然堤、决口扇、越岸细粒沉积物、泛滥平原湖和沼泽等,这样把曲流河沉积看作一种体系更为确切。Fisher 和 Brown (1972) 划分和描述了自然界的 9 种主要碎屑沉积体系,包括:①河流体系;②三角洲体系;③障壁坝—海岸平原体系;④泻湖、海湾、河口湾和潮坪体系;⑤大陆和克拉通内陆架体系;⑥大陆和克拉通内斜坡和盆地体系;⑦风成沉积体系;⑧湖泊沉积体系;⑨冲积扇和扇三角洲体系。

60 至 70 年代相模式研究中突出了垂向层序研究并以其作为表示模式特征的主要形式。尽管一些著名的沉积学家也指出了追索横向关系的重要性,但毕竟未能从概念体系与工作方法上解决沉积体系内部构成和空间配置的三维研究。沉积体系分析的特色是强调相的三维组合关系,强调环境、过程与几何形态的统一,因此在能源勘探中有很大的实用性,并成为当代沉积学最重要的概念之一。沉积体系和其内部的结构单元都是三维沉积体,并与一定的沉积作用和过程联系在一起,因此如果没有三维研究和配置关系的研究就不具备沉积体系分析的基本特色。Galloway (1986) 用立体图形象地表现了障壁岛体系内部的结构单元 (图 1-1)。李思田等 (1992) 在研究鄂尔多斯湖泊三角洲时也曾用立体图解表示了体系内部的结构单元。

70 年代中期 Brown 和 Fisher (1977) 进一步提出了沉积体系域 (depositional system tract) 的概念,并将其定义为同期相联结的一套沉积体系,或表达为同期的沉积体系的链系 (linkage),它形象地表示

出几种有成因联系的沉积体系在平面上相互过渡的现象。沉积体系域概念的提出和发展使沉积学和地层学得以更密切地结合,因为沉积体系域是一种成因地层单元。沉积盆地的每一个同期“切片”展示了一种特定的体系域面貌。盆地充填过程中,由于构造、气候、海平面和物源区的变化,体系域的类型不断改变。沉积体系域的概念是Walther相律的发展,Walther(1894)早在19世纪90年代就提出了著名的相律,即在整合的序列中只有相邻出现的相才能在垂向层序中相叠。反之,垂向叠置的相是古地理上相邻接环境的产物。Walther在同时期还提出了“相域”(facies tract)的概念(转引自Teichert,1958),这一概念被遗忘多年之后,近年来又重新被一些学者使用。重建沉积体系域即是揭示沉积体系在横向上的共生关系。每种体系域有其特有的沉积体系类型及空间配置关系,这些特征的阐明和所建立的模型是预测沉积体或相带的基础。在含油气盆地研究中被用于生、储、盖层的预测,在煤盆地中被用于含煤性预测。所谓高分辨的岩相古地理图的主要内容即是反映沉积体系域的面貌。

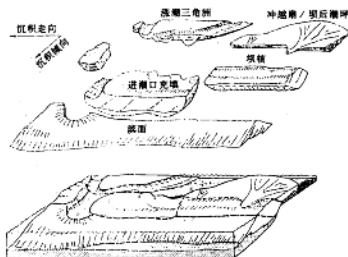


图 1-1 障壁岛体系内部的构造成
(据 Galloway, 1986)

Fig. 1-1 Facies architecture of barrier island depositional system
(after Galloway, 1986)

二、层序地层学的发展使沉积体系研究进入了新阶段

层序地层学的形成和发展使沉积体系研究进入了新阶段,因为层序地层学的关键问题是研究等时地层界面,并以此为基础重建沉积盆地的等时地层格架。成因上相关的一系列相和沉积体系都是这种等时地层格架中的建造块,其三维配置规律的阐明是提供预测沉积体的基础。

层序地层学的提出和概念体系的形成主要源于 Exxon 公司的研究集体,即 Vail 及其在卡特研究中心的同事。像地质学史上的许多学派都有其历史继承性一样,层序地层学的形成也是一大批学者努力的结果。层序的概念源于 Sloss (1949, 1963),他将层序定义为以不整合为界的岩石地层单元,是构造旋回的岩石记录。现代层序地层学的产生与高精度反射地震的应用密切相关。北美学者在含油气盆地勘探中形成和发展了层序地层学。在反射地震记录中不整合界面能直接识别和连续追踪,因而用不整合面划分地层单元是最切实可行的方法。Vail 及其同事 Mitchum 和 Sangree 等 (1977) 应用了 Sloss 的层序概念,并将其应用到不同规模和尺度的地层中。在其著作中层序 (sequence) 被定义为以不整合及其相对应的整合为界面的地层单元,其内部是由相对整合的岩层组合构成。在实践上,Vail 等人的“层序”规模比 Sloss 的小得多。在上述定义中不仅强调了不整合面也强调了与之对应的整合面,因为盆地分析的大量实践证明,许多不整合面在盆地边缘表现出明显的角度,而延伸到盆地内部则变为整合面。划分层序和追踪界面首先由盆地边缘入手。一个重要的发展是以地震地层分析为主的地层研究与测井曲线、岩心和地面露头研究密切结合,继而使层序地层学的概念体系得以形成,并具备了更明确的地质内涵 (Van Wagoner, 1990)。一般认为层序地层学研究由 70 年代中期的地震地层研究开始,经十余年的努力形成了一整套理论与方法体系。《海平面变化——一种整体性研究》(Wilgus 等主编,1988) 和《测井、岩心、露头研究中的硅质碎屑岩层序地层学》(Van Wagoner, 1990) 是两部最有代表性的专著。Vail (1991) 在其长篇论文《构造、海平面升降和沉积作用的地层标记 (综述)》中对层序地层学的最新发展做了全面的总结,对前期论著中的薄弱部分,如构造因素的影响,也作了较多的补充。

层序地层学一系列代表作中的核心是提出了层序地层学模式 (图 1-2),并从理论上阐述了构造-海

平面升降和沉积物补给对层序形成的控制。Vail 等人的理论特色是强调了全球性海平面变化对层序形成的驱动机制。Eustasy 一词由 Suess (1906) 提出, 并定义为全球性海平面变化。Vail 和 Haq 等 (1987) 积多年工作经验, 主要根据地震剖面所追踪到的向海岸上超 (onlap) 编制了海平面变化曲线, 后又经过了大量的微体古生物学和磁性地层学的精确定年。Exxon 的学者们认为其海平面变化曲线具有全球性对比意义 (这一点引起了其他研究者的争议甚至向此观点挑战, 许多学者指出以地质研究为基础建立的海平面变化曲线是指相对海平面变化, 其中包括了构造因素的影响, 不能简单地推导为全球性海平面变化)。Vail 等认为海平面升降能导致层序界面——不整合的形成, 层序内部的沉积体系和体系域亦主要受控于海平面变化。正因如此, 他们对体系域的命名也体现了海平面变化因素的主导控制地位。Vail 和 Wagoner 在其层序地层模型中划分出了 4 种体系域: ①低位体系域 (lowstand system tract (LST)); ②海侵体系域 (transgressive system tract (TST)); ③高位体系域 (highstand system tract (HST)); ④陆架边缘体系域 (shelf margin system tract (SMST))。并指出每种层序中只有 3 种体系域。Vail 等把 Fisher 和 Brown 等的沉积体系概念纳入了层序地层学的理论体系, 并给予了特定命名方法。Fisher 和 Brown 的原定义则无此种特定和限制, 因为 Vail 等的命名体系很明确地基于“海平面的驱动机制”。Walker (1990) 曾指出体系域的概念明显地表明其可被应用于许多不同的尺度 (scale)。

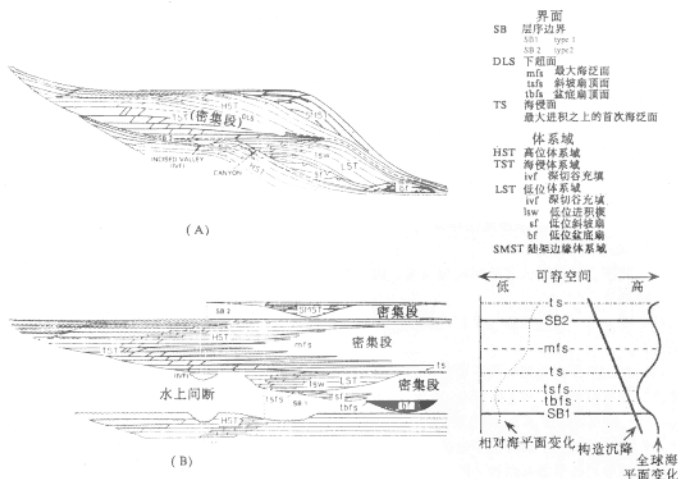


图 1-2 沉积层序及其内部的体系域构成模式图

(据 Vail, 1991)

Fig. 1-2 Model of sequence and depositional system tract

(after Vail, 1991)

(A) 按深度; (B) 按地区年代

由此可见, 沉积体系是构成层序的基本单位。按 Wagoner 等人的名词系统和沉积体系的原有定义可分出下列级别, 即层序、体系域和沉积体系的相互关系依次是层序 (sequence); 沉积体系域——从地层单元上一般相当小层序组 (parasequence set); 小层序或副层序 (parasequence) ——体系域的基本单元; 沉积体系 (depositional system); 相或成因相 (genetic facies)。

至于比 sequence 更高级别的单元在 Exxon 术语系统中有巨层序 (megasequence) 和超层序 (supersequence) 等, 但对这些术语的使用很不一致。这些高级别层序地层单元常代表大的构造和海平面变化旋回, 如有的学者指出一级 (200—400Ma) 的海平面变化旋回与超级大陆的形成和裂解周期相吻合, 二级旋回 (10—100Ma) 反映了与海底扩张速度有关的洋脊体积变化 (Plint *et al.*, 1992), 这些解释都是立足于全球构造演化的旋回性。因此 Galloway 称高级别的层序地层单元为构造层序 (tectonic sequence) (Galloway, 1989 在 30th IGC 的发言)。法国学者在 megasequence 之下还使用了 mesosequence, parasequence 这一名词尚未得到广泛承认, 有的学者使用 subsequence。Busch (1985) 的地层的成因增量 (GIS) 在规模上与之相当。

Vail 等人的层序地层模式的重要贡献之一是指出了层序内沉积体系和体系域的类型及其配置的规律性 (图 1-3)。需要强调的是不整合界面的意义, 正因为层序地层单元是以不整合或假整合为界, 其内部才存在着体系域配置的有序性, 再因为上述界面是侵蚀面, 其上的沉积物标志着一个新的沉积周期的开始。

沉积体系分析纳入层序地层学研究显示了下列明显优点:

- (1) 将沉积体系纳入了等时地层格架, 因而能正确地对比和追索相的横向关系, 使沉积学和地层学研究成为统一整体。
- (2) 有利于阐明整个盆地内相和沉积体系的三维配置, 在油田勘探中可以查明生、储、盖层的配置关系。
- (3) 在海平面变化的背景下研究沉积体系。沉积体系的特征不是一成不变的, 在沉积过程中由于条件的改变可以向另一种体系转化。例如三角洲体系在随后的连续海侵背景下变为大型放射状潮汐砂脊 (见本书第八章第三节), 将其放在海侵潮汐架体系域中就更有利于理解其演化过程。再如三角洲外缘的障壁岛砂体在随后的海侵中被改造为面积较大的内陆架砂体, 其特征既不同于三角洲前缘砂, 又失去了障壁岛砂体的形态和结构 (图 1-4; Penland, 1985)。此种砂体在我国陆上及大陆边缘盆地中皆广泛存在, 在南海北部边缘盆地还形成了具良好孔渗性的大面积储层。因此, 在海侵或海退序列中研究与海有关的沉积体系将更能从演化的角度理解其特征。

(4) 根据层序中的关键界面 (key surface) 推断沉积体系类型。层序地层的方法首先是识别作为层序边界的不整合界面, 随后相应地可以追索是否存在海退和暴露阶段造成的深切谷 (incised valley) 以及低位体系域斜坡崩等。在油气勘探中地震工作领先进行, 这种解释和预测尤为必要。

层序地层学的理论与方法显示了学术上的先进性和巨大的应用价值, 但不等于现有的层序地层模式具有普遍的适用性。模式的重要作用在于可以类比和借鉴, 好的模式在新区工作中应具备预测功能。但地质学中的任何模式都源于典型的总结, 尽管这种总结可能与更多的实例做了比较分析, 注意了特征的复现性, 但仍难免有地区的局限性。如 Vail 等人的模式主要反映被动大陆边缘盆地的层序地层特征, 已发现愈来愈多的实例与之有明显差异。模式是通过人的思维所做出的概括, 难免有认识上的局

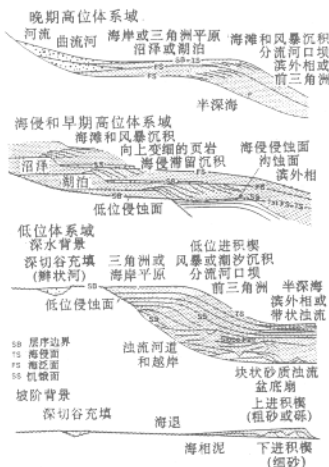


图 1-3 体系域类型及内部构造
(据 Vail, 1991)

Fig. 1-3 Types of depositional system tracts
and their architecture
(after Vail, 1991)

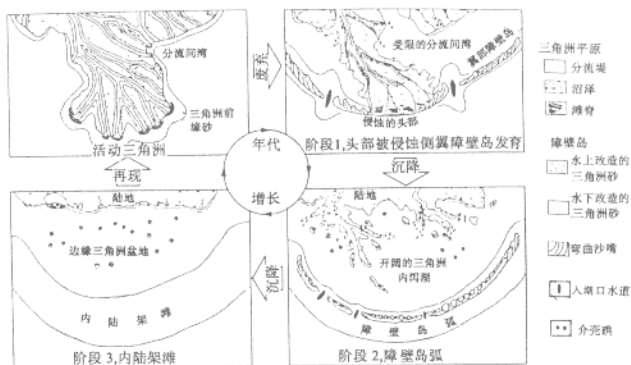


图 1-4 环绕废弃三角洲体的障壁岛体系在海平面变化过程中的演化
(据 Penland, 1985)

Fig. 1-4 The evolution of barrier systems around abandoned delta lobes
(after Penland, 1985)

限性和区域上的局限性，因此在类比与借鉴的同时应充分考虑所研究对象的具体特征而不受已有的任何模式的束缚。

在使用一种模式时需要了解提出该模式所依据的典型实例研究、其地质背景以及所做的过程解释。Jervey (1988) 关于层序的定量地质模拟的论文对大西洋型被动边缘层序的形成、影响沉积体系和体系域的因素做了系统的理论阐述并被称为“可容空间模式” (accommodation model)。可容空间是指基准面 (base level) 以下可供沉积物堆积的空间，大陆边缘海平面即大致相当基准面。从模拟的地质基础出发，盆地充填控制因素可简化为构造沉降、海平面变化和沉积物补给三者的相互影响。可容空间主要决定于沉降和海平面变化二者的联合。层序界面形成期靠近海平面变化曲线的波折点，即海平面下降或上升速度最大的时刻。可容空间的变化速度决定了沉积体系的分布和界面的特性。海平面下降速度超过沉降速度是低位体系域形成的条件；沉积补给的持续则减少了可容空间的发展，表现为沉积体进积的速度增加。

Reynolds 等 (1991) 以大西洋边缘的典型层序为实例进行了计算机模拟，表明构造、海平面变化和沉积补给三因素中任何一因素足够大的变动都足以改变层序地层格架的样式 (图 1-5)。

目前所进行的任何模拟都是将实际情况予以高度简化后进行的。在面对实际研究对象时情况却复杂得多。新生代大西洋型被动边缘构造条件相对稳定，变形较简单，因此突出了“海平面变化驱动机制”。在许多情况下，如活动边缘、前陆盆地和裂谷等背景中，构造因素的影响十分强烈。前陆背景下的幕式挤压、推覆不仅造成沉降速度的加大，而且也大大改变了物源补给，形成巨大的进积型碎屑楔状体。裂谷盆地也有与之类似的过程。Underhill (1991) 等人在北海盆地的研究中表明，存在着幕式的伸展运动和半地堑沿弧形盆缘断裂发生的断块旋转。此种幕式构造运动同样造成了地层沿不整合界面上超，此种上超并不反映海平面上升，但过去却被部分研究者错误地用于编制全球海平面变化曲线。在有较强的幕式构造活动影响下，全球性海平面变化的影响被复杂化，因此多数情况下看到的是相对海平面变化。地质背景的多样性造成层序样式、沉积体系类型和配置的多样性。随着层序地层学的广泛开展，将会产生不同构造背景下的层序地层模式。

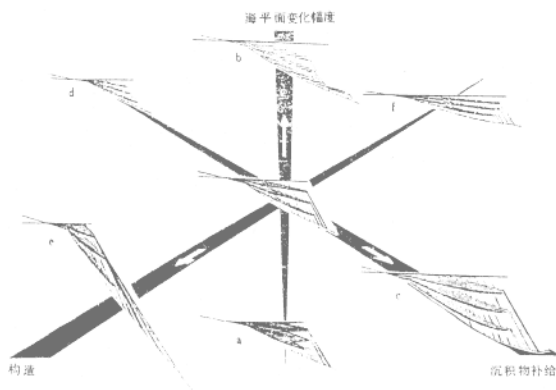


图 1-5 沉积层序与构造、海平面变化和沉积补给三因素的关系
(据 Reynolds 等, 1991)

Fig. 1-5 Relationship of sequence characteristics and the controlling factors—tectonic, sea level change and sediment flux
(after Reynolds *et al.*, 1991)

我国具有与北美被动大陆边缘层序地层较为相似的条件，如南海的珠江口和琼东南等盆地。在上述地区对新第三纪的层序地层正进行着深入的研究（陈志勇等，1990；杨少坤、许仕策，1993），在新第三纪海相地层中划分出了一系列有陆架坡折的层序（即 Vail 的 I 型层序）（图 1-6）。但是我国还有大量地质背景极不相同的盆地，如地台基底上的内陆表海盆地和内陆盆地，需要探索其层序地层与沉积体系域的特征。



图 1-6 南海北部边缘新第三纪具陆架坡折的层序地层样式 (T₁ 界面之上为新第三系)
(据陈志勇等, 1990)

Fig. 1-6 Sequence pattern with shelf break of Neogene in the northwest margin of South China Sea
(after Chen Zhiyong *et al.*, 1990)

我国地台区较稳定的构造背景下内陆表海沉积具有广大面积,如华北和上扬子的石炭、二叠纪沉积,其地层样式与北美大西洋型被动边缘有明显不同。华北地台石炭系底部和扬子地台上二叠统底部都属假整合或微角度不整合,迄今为止尚未在华北地台内部的石炭系底部发现代表低位体系域的深切谷充填,层序底部由海侵体系域开始(图1-7)。陆表海盆地与大洋之间常有一定阻隔因素,如古陆或岛链,即所谓“受限内陆表海”。此种条件下由于古坡度近水平,海侵带有突发性,即海平面小幅度升高也能立即淹没广大面积,其与发育有低位体系域的边缘海斜坡之间可能相距很远并以较复杂的形式相连通[图1-7(A)],低位体系域部分因位处陆缘,在板块相互作用,特别是大陆碰撞过程中可能被破坏或仅存残片保留在造山带中,华北地台的石炭、二叠纪层序可能即属此类情况。

在扬子地台的黔桂地区,二叠纪沉积期有同期裂陷作用,在地台边缘,特别是相邻加里东造山带基底部分发育有基底深断槽,其中发育了低位体系域的深水沉积,深切谷充填在江西省北部也有发现,图1-7(B)即表示了此类层序地层模式。

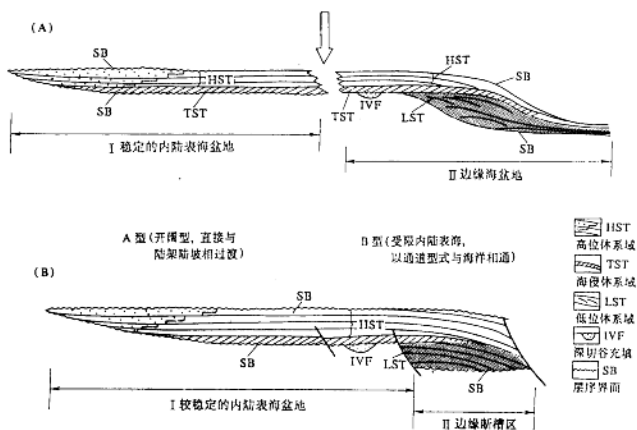


图1-7 陆表海条件下的层序地层模式及其与大陆边缘和边缘断槽的关系

Fig. 1-7 Sequence patterns of epeiric sea basin and their relation to continental margin and marginal rifts

(A) 稳定的内陆表海盆地的层序地层样式及其与边缘海盆地的过渡关系;

(B) 较稳定的内陆表海盆地边缘断槽区发育了低位体系域的深水沉积

图1-8为贵州西部晚二叠世龙潭中期高位体系域的立体块图,此图是基于一系列实测剖面(威宁—水域—织金—安顺—贵阳—惠水—望漠)和横向追索后编制的模式化图,显示了多种沉积体系(由冲积—三角洲—碎屑岸线—碳酸盐台地)构成的体系域,并表现了向断槽部位的突然变化。

在陆内条件下层序地层的若干基本原理仍能适用,但必须从区域地质条件出发,而不能使用基于大陆边缘条件所建立的模式。首先不整合及假整合界面常更为清晰,可以划分出以不整合及其相应的整合面为界的层序地层单元。在陆相盆地内不能直接看到海平面变化的影响,但沉积基准面(base level)的控制同样显著。图1-9是鄂尔多斯盆地延安组的层序地层模式图(李思田等,1995),延安组的上、下界面均为不整合面,显示了基准面下降造成的大陆剥蚀,并有类似于深切谷充填的大型河道

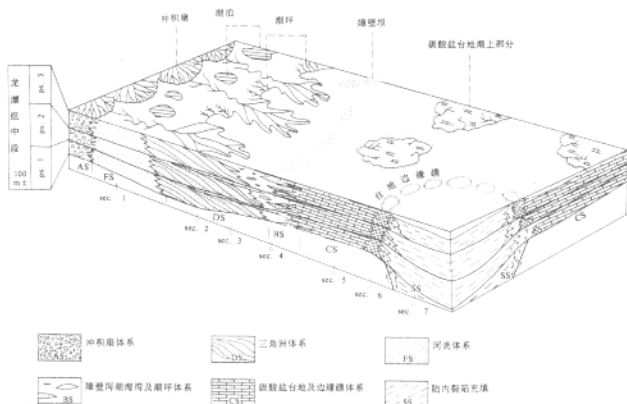


Fig. 1-8 Sketch of the depositional system tract of Middle Longtan Formation, western Guizhou Province

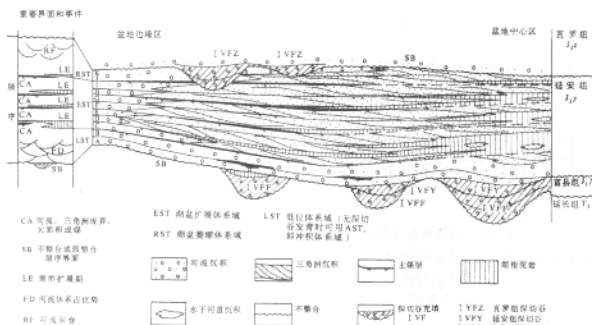


图 1-9 鄂尔多斯盆地延安组的层序地层结构

(据李思田等, 1995)

(本图综合了多条沉积断面成果, 延安组层序厚度 200~350m)

Fig. 1-9 Sequence architecture of Yan'an Formation in Ordos basin

(after Li Sitian *et al.*, 1995)

下切, 其下切深度有时可达 50—100m 左右, 最深可达 200m, 如延安组底部的宝塔山砂岩和直罗组底部的大型河道砂体。在延安组层序的顶部还出现了大陆长期暴露的风化标志, 如广泛存在的富高岭土

砂岩和其上的砾层。

延安组层序内部一般可划分出 11 个小层序，小层序的界面主要是湖泊扩展的界面及河流、三角洲沉积体系废弃、大面积沼泽化并形成稳定煤层的界面（区域性稳定煤层的顶界面）。由于不整合是沉积间断后新周期的重新开始，因此层序内部也表现了三分性，上、中、下部体系域特征不同，但不应完全套用边缘海盆地体系域的命名原则。下部是以河流作用占优势的体系域，并有深切谷充填，表明层序底部的不整合是经过基准面下降、长期暴露并有河流侵蚀、深切形成的属于低位体系域性质（LST）；中期有三次大的湖泊扩展事件，形成三角洲-湖泊占优势的体系域，可称之为湖泊扩展期的体系域（EST）；晚期湖泊逐渐萎缩，河流回春形成湖退缩期的体系域（RST），最后由于基准面下降形成大陆暴露面，并造成层序顶部的不整合。

三、沉积体系内部的构成单位

层序地层学从宏观上即从整体沉积格架上加深了对沉积体系的研究，沉积构成分析则深化了沉积体系内部特征的解析，并成为储层非均质性研究的最基础内容。

Miall (1985) 在河流沉积的研究中发展了 Allen 关于构成单元 (architectural element)^① 的概念。构成单元是一种岩性体，具有特定的几何形态和岩性相组成，是一定的沉积作用的产物。所划分的河流沉积物 8 种构成单元是河道 (CH)、砾质坝和底形 (GB)、砂质底形 (SB)、向下游加积的大底形 (DA)、侧向加积沉积 (LA)、沉积物重力流 (SG)、纹层状砂席 (LS)、越岸细粒沉积物 (OF)。以后的研究进一步扩展到其他环境的水道沉积，如海底扇水道 (Miall, 1989)。Miall 在一系列论著中提出了垂向层序研究的不足之处，强调了对沉积体进行三维研究。

在 Miall (1985) 的构成单元分类中没有明显级别的概念，随后进一步提出了沉积体内部界面的构成单元的级别 (hierarchy of bounding surfaces and architectural units)，并分出了 6 级界面和 8 级构成单元 (Miall, 1988, 1990)。其他学者如 Allen 对海岸和河口湾沉积、Dott 等对陆架沉积、Brookfield 等对风成沉积也都做了等级划分。

碎屑沉积的构成单元 (Miall, 1990) 为：① A. 波痕（微底形）；B. 全日潮砂丘的生长增量；② 砂丘（中级底形）；③ 大底形生长增量；④ 大底形；⑤ 河道、三角洲朵叶；⑥ 河道带；⑦ 沉积体系；⑧ 盆地充填复合体。

Miall 的构成单元和等级界面研究对沉积体内部构成进行了详细分级，有其优越性。80 年代后期以来储层沉积学成了国内外研究的热点，因为人们认识到巨大数量的可动油由于砂体内部的非均质性而滞留于储层中未被采出。例如曲流河道砂体在点坝加积过程中形成了薄的泥被覆，从而使储层砂体变成半流通体。因此，要揭示砂体内部的非均质性，就需要分级别极细地划分和研究构成单元和等级界面，因为甚至厘米级的细夹层都可能带来重大影响。这样，沉积体内部的构成分析就成为油藏工程的重要基础。

在沉积学领域，“相”这一术语使用十分广泛并被用于不同的范畴。但在沉积体系分析中，“相”的使用范畴被限定于比体系低一级的单位，是构成体系的各种沉积体，如湖泊三角洲体系的分流河道 (DC)、决口扇 (CVS)、决口三角洲 (CVD)、越岸沉积 (OB)、三角洲平原小型湖 (PL)、间湾 (BA)、沼泽 (SP)、水下分流河道 (SCH)、河口坝 (MB)、湖泊泥岩 (LM) 等，图 1-10 表示了湖泊三角洲体系及其成因相构成。在鄂尔多斯盆地进行储层非均质性研究中对露头进行了三维研究，清楚地显示了同一沉积体系中不同成因相孔渗性的差异，如在延安组三角洲体系中水上分流河道及决口扇在孔渗性上优于口坝席状砂和水下分流河道（李思田、焦养泉、付清平，1993）。

^① architectural element 亦译为建筑单元或构形。