

◎ 谢玉洪 著

构造活动型盆地层序地层分析及天然气成藏模式

——以莺歌海盆地为例

GOUZAO HUODONGXING PENDI CENGXU
DICENG FENXI JI TIANRANQI CHENGANG MOSHI
——YI YINGGEHAI PENDI WEILI



地 质 出 版 社

构造活动型盆地层序地层分析 及天然气成藏模式

——以莺歌海盆地为例

谢 玉 洪 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书以莺歌海盆地为例,介绍了构造活动型盆地的层序地层分析方法和天然气成藏模式。本书运用层序地层学和构造地层学理论,综合了钻井、测井和地震剖面等资料,在主要间断面识别的基础上建立等时层序地层格架,深入剖析沉积体系空间配置特征,结合天然气成藏条件分析,研究了以岩性—地层油气藏为主的隐蔽油气藏成藏特征和规律,并对有利储集体进行预测和评价。

本书可供从事石油天然气勘探、开发的研究人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

构造活动型盆地层序地层分析及天然气成藏模式:以莺歌海盆地为例/谢玉洪著. —北京:地质出版社, 2009. 3

ISBN 978-7-116-06003-6

I. 构… II. 谢… III. ①南海—构造盆地—地层层序—研究—中国②南海—含油气盆地—油气藏—形成—研究—中国 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 037820 号

责任编辑:郑长胜 祁向雷

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324519 (办公室); (010)82324577 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张: 9.75

字 数: 250 千字

版 次: 2009 年 3 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 60.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06003-6

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

构造活动型盆地是相对于稳定的被动大陆边缘盆地而言的，在盆地充填过程中构造活动强烈并对沉积层序的形成、内部构成等产生显著影响。前陆盆地和断陷盆地是典型的构造活动型盆地。构造活动型盆地在时间演化上具有脉动式或幕式演化特征，而在空间上则表现出构造活动强度的不均衡性特点。如前陆盆地中，造山带逆冲构造的负载作用往往造成由造山带向盆地内部沉降速率减小。同样在半地堑式断陷盆地中，断块的掀斜导致盆地内构造沉降速率从陡坡带向缓坡带逐渐减小，甚至掀斜隆升。另外，由于边界断层的区段式活动，可以导致沿断陷盆地边界断层走向上沉降速率的极大变化，如断层区段中心沉降速率往往最大，而向断层末端部位或构造转换带部位，沉降速率则明显减少。因此，在构造活动型盆地中，盆地的沉降速率在时空上均显示出极大的差异性，与被动大陆边缘特定的构造稳定背景形成鲜明的对比。

莺歌海盆地位于南海北部大陆边缘，是一个走滑-伸展型盆地。对于大多数伸展型盆地而言，其裂后期表现为指数式衰减的热沉降样式，盆地裂后期沉降逐渐减慢、盆缘断裂通常停止活动，而莺歌海盆地在裂后期具有明显的差异，比如，盆地快速沉降、边界断裂的再活动等。显然，莺歌海盆地在裂后期仍表现为较强烈的活动性。这类构造活动型盆地无论是在层序样式上，还是在沉积体系构成及主要储集砂体展布上均有其特殊性。因此，莺歌海盆地层序地层分析并不能简单套用被动大陆边缘盆地的层序地层模式，而应该探索适用于构造活动型盆地的层序模式。

多年来的研究和勘探结果表明，综合应用高分辨率地震资料和精细的测井资料以及钻井岩心资料进行层序地层学研究是一项有效的方法，但由于构造活动型盆地层序和体系域的构成复杂、时空配置变化大，直接套用层序地层学的方法难以取得有效的预测结果。本书运用层序地层和构造地层学理论和方法，通过对莺歌海盆地（重点是我国境内地区，包括盆地北部、中央底辟区和莺东斜坡带之间的广大地区）新近系三亚组、梅山组、黄流组、莺歌海组的典型钻井、测井和地震剖面综合的高精度层序地层分析以及构造发育特征分析，在主要间断面识别的基础上建立等时地层格架，深入解剖研究区沉积体系空间配置特征，并通过高分辨率三维地震资料精细解释，同时结合

天然气成藏条件分析，研究以岩性-地层油气藏为主的隐蔽油气藏成藏特征和规律，并对有利的储集体进行预测和评价，用于指导储集体和隐蔽油气藏的预测。因此，这类盆地研究对构造活动型盆地层序地层学研究具有重要的理论意义，同时对这类盆地的油气勘探具有重要的实用价值。

本书在编写与出版过程中得到了中海石油（中国）有限公司湛江分公司相关领导和专家的支持与配合，感谢中国地质大学姚书振教授在本书编写过程中的全程指导，同时感谢中国地质大学资源学院解习农教授、王华教授、任建业教授、姜涛讲师、张成讲师等大力支持与帮助。在此向他们表示衷心的感谢！

层序地层学研究近年来已经取得了丰硕而卓有成效的研究成果，本书的总结仅是其中的一部分。同时由于作者水平有限，书中错误在所难免，敬请专家和读者批评指正。

著 者

2008 年 10 月

目次

前言

第一章 构造活动型盆地层序地层研究思路	(1)
第一节 构造活动型盆地层序地层研究现状	(1)
一、国内外研究现状及其研究进展	(1)
二、构造活动型盆地层序地层分析特点	(9)
第二节 研究思路、研究内容与研究方法	(11)
第二章 区域地质背景及油气地质特征	(14)
第一节 盆地动力学背景	(14)
第二节 盆地构造格架及构造演化特征	(17)
一、主要构造特征	(17)
二、构造演化阶段	(21)
第三节 盆地充填序列	(25)
第四节 油气地质特征	(26)
一、油气苗分布特征	(26)
二、油气勘探情况	(27)
第三章 层序划分和层序地层格架特征	(29)
第一节 层序界面的识别标志	(29)
第二节 层序划分及基本构成特点	(33)
一、层序划分	(33)
二、高频层序界面及四级层序特征	(35)
三、层序基本构成特点	(39)
第三节 层序样式及其主控因素	(42)
一、坡折带类型及特征	(42)
二、层序样式及其基本特征	(44)
第四节 层序地层格架特征	(46)
一、构造坡折带对层序发育的控制作用	(46)
二、多物源供给体系对层序发育的控制作用	(47)
三、宽广陆架对低位域构成的影响	(47)
第四章 层序构成及沉积体系时空展布	(49)
第一节 三亚组层序构成及其体系域时空展布	(49)
一、低位体系域沉积体系平面展布特征	(49)
二、海侵和高位体系域沉积体系展布特征	(50)
第二节 梅山组层序构成及其体系域时空展布	(52)
一、低位体系域沉积体系平面展布特征	(53)

二、海侵和高位体系域沉积体系展布特征	(54)
第三节 黄流组层序构成及其体系域时空展布	(55)
一、低位体系域沉积体系平面展布特征	(56)
二、海侵和高位体系域沉积体系展布特征	(57)
第四节 莺歌海组层序构成及其体系域时空展布	(58)
一、莺歌海组 $S_{30} \sim S_{29}$ 层序沉积体系空间配置特征	(60)
二、莺歌海组 $S_{29} \sim S_{27}$ 层序沉积体系空间配置特征	(61)
三、莺歌海组 $S_{27} \sim S_{20}$ 层序沉积体系空间配置特征	(62)
第五节 乐东组层序构成及其体系域时空展布	(71)
第六节 沉积演化特征及沉积模式	(73)
一、物源体系分析	(73)
二、沉积演化特征	(81)
三、沉积模式	(88)
第五章 构造活动对层序构成的控制作用	(91)
第一节 断层活动及其对沉积的控制作用	(92)
一、莺东斜坡带构造样式及其区域变化	(93)
二、一号断裂带和莺东断裂的活动性	(95)
第二节 构造-地层分析及古地貌	(98)
一、盆地古构造-地貌恢复原理和方法	(98)
二、构造作用对沉积地貌的控制	(100)
三、典型层序沉积地貌特征及其对低位域的控制	(103)
第三节 构造活动对层序样式和体系域构成的控制作用	(106)
第六章 天然气成藏条件及成藏模式	(110)
第一节 天然气成藏基本要素分析	(110)
一、烃源岩特征	(110)
二、储集层特征	(115)
三、生储盖组合类型及特征	(116)
四、天然气系统特征	(117)
第二节 异常高压分布及其对天然气成藏的影响	(119)
一、地层压力分布特征	(120)
二、异常高压对天然气成藏的影响	(124)
第三节 天然气成藏模式	(126)
一、盆地中央底辟带刺穿型天然气成藏模式	(126)
二、临高构造区构造-岩性圈闭型天然气成藏模式	(129)
三、莺东斜坡带构造-岩性圈闭型或岩性型天然气成藏模式	(131)
结 论	(134)
参考文献	(136)
英文摘要	(141)

Contents

Preface

Chapter 1 Research Thought of Sequence Stratigraphy Analysis in A Tectonically

Active Basin (1)

1 Current Status of Sequence Stratigraphy Analysis in A Tectonically Active Basin ... (1)

2 Research Thought and Methods (11)

Chapter 2 Regional Geological Background and Features of Oil/Gas Geology (14)

1 Basin dynamic background (14)

2 Structure Framework and Features of Tectonic Evolution (17)

3 Basin Filling Sequence (25)

4 Features of Oil/Gas Geology (26)

Chapter 3 Classification of Sequence and Features of Sequence Stratigraphic

Framework (29)

1 Identification of Sequence Boundaries (29)

2 Classification of Sequence and Features of Sequence Architecture (33)

3 Sequence Patterns and their controlling Factors (42)

4 Features of Sequence Stratigraphic Framework (46)

Chapter 4 Features of Sequence Architecture and Spatial Distribution of

Depositional Systems (49)

1 Features of Sequence Architecture and Spatial Distribution of Depositional Systems in Sanya Formation (49)

2 Features of Sequence Architecture and Spatial Distribution of Depositional Systems in Meishan Formation (52)

3 Features of Sequence Architecture and Spatial Distribution of Depositional Systems in Huangliu Formation (55)

4 Features of Sequence Architecture and Spatial Distribution of Depositional Systems in Yinggehai Formation (58)

5 Features of Sequence Architecture and Spatial Distribution of Depositional Systems in Ledong Formation (71)

6 Features of Depositional Evolution and Depositional Models (73)

Chapter 5 Effects of Tectonic Movements on Sequence Architectures (91)

1 Faulting and Their Effects on Depositional Systems (92)

2 Structural Paleo – geomorphy and their Effects on Depositional Systems (98)

3 Effects of Tectonic Movements on Sequence Patterns and Architectures of Depositional System Tracts (106)

Chapter 6 Accumulation Conditions and Models of Natural Gas	(110)
1 Basic Elements of Hydrocarbon Accumulation	(110)
2 Distribution of Overpressure and Their Effects on Hydrocarbon Accumulation	(119)
3 Accumulation Models of Natural Gas	(126)
Conclusions	(134)
References	(136)
Abstract	(141)

第一章 构造活动型盆地层序地层研究思路

近年来,基于地震地层学、高精度地震资料的采集和处理水平的提高而迅速发展的高精度层序地层学(Van Wagoner 等, 1988; Posamentier, 1988; Vail 等, 1991; Mitchum 等, 1991; Cross, 1994a, 1994b)已成为油气勘探研究领域中最重要的发展方向。由于其在油气勘探中的应用效果显著而引起国际石油地质与勘探领域专家和学者们的重视,成为当前沉积盆地分析、油气地质勘探与开发等领域广泛关注的课题,也是近年国际上跨国石油公司、国际会议和文献讨论的热点问题之一(Posamentier, 1992; Flint 等, 1998; Galloway, 1998; Plint 等, 2001)。目前,Exxon 公司所倡导的层序地层学理论和方法已被广泛应用于大陆边缘盆地、陆相盆地(李思田等, 1992; 解习农等, 1993; 邓宏文, 1995; 纪友亮等, 1996; 姜在兴等, 1996; 徐怀大, 1997; 樊太亮等, 1999; 覃建雄等, 1999; 林畅松等, 2000; 池秋鄂等, 2001; 刘招君等, 2002),研究过程中根据不同盆地的特殊性对原有层序模式不断完善和修改,逐渐形成各具特色的层序样式。此外,层序地层分析已逐渐向更精细的高精度层序地层分析发展,而且基于高精度层序地层分析的思路与原理在沉积相分析、储层预测、盖层研究及其相应的成藏条件分析工作中均取得了重要进展。近十年来全球范围的油气勘查无论在陆上还是在海上,层序地层学的应用均取得了巨大的成功。

莺歌海盆地位于南海北部大陆边缘,是一个走滑-伸展型盆地(龚再升等, 1997; 李思田等, 1997; 郭令智等, 2001)。对于大多数伸展型盆地而言,其裂后期表现为指数式衰减的热沉降样式,盆地沉降逐渐减慢、盆缘断裂通常停止活动,而莺歌海盆地在裂后期具有明显的差异,显示了较强烈的活动性,比如,盆地快速沉降、边界断裂的再活动等。这类构造活动型盆地无论是在层序样式上,还是在沉积体系构成及主要储集砂体展布上均有其特殊性。因此,莺歌海盆地层序地层分析并不能简单套用被动大陆边缘盆地的层序地层模式,而应该探索适用于构造活动型盆地的层序地层模式。

第一节 构造活动型盆地层序地层研究现状

一、国内外研究现状及其研究进展

层序地层分析的研究方法首先是由 Exxon 生产研究公司的地质学家们(Van Wagoner 等, 1988; Posamentier 等, 1988; Van Wagoner 等, 1990; Sangree 等, 1991; Scholz 等, 1991)提出的。自 20 世纪 50 年代开始,经历了 50 年代的沉积相模式,60 年代的沉积体

系分析和 70 年代的地震地层学等发展阶段 (Vail 等, 1977; Mitchum 等, 1977), 至 80 年代提出层序地层学的概念与方法体系, 经历了地质学家和勘探工作者近半个世纪的努力。随着高精度地震资料的应用, 结合详细的露头资料和钻孔岩芯及测井资料, Van Wagoner 等 (1990) 和 Sangree 等 (1991) 对层序概念及层序构成作了更精辟分析, 并提出一套完整的概念体系和系统的研究方法。层序地层学是根据地震、钻孔和露头资料对地层型式作出综合解释。层序地层学成为一种划分、对比和分析沉积岩系的新方法, 其研究实质就是建立沉积盆地的等时地层格架 (李思田等, 1992)。

1. 层序地层分析进展

层序地层学研究经历了十多年的发展, 不仅仅是在其应用领域取得了重要的突破, 更重要的是在研究理论和方法体系上得到了完善和补充, 其突出进展体现在以下三方面:

其一是强制性海退概念的提出, 海进和海退分别代表岸线朝陆地和朝海洋移动的方向。岸线移动方向是沉积物注入量与陆架上沉积物所能充填空间 (可容纳空间) 相平衡的函数。当相对海平面上升时, 在沉积物注入量较低的地区表现为海进, 在沉积物注入量较高的地区仍可以表现为海退。因此, 相对海平面上升与海进之间并不存在一一对应关系。但是, 当相对海平面下降时, 海岸线只能发生海退, 并不受沉积物注入量变化的影响。相对海平面下降引起的海退响应又被称为强制性海退 (Posamentier 等, 1992)。Posamentier 等 (1999) 对经典层序地层划分进行了修正, 将具有强制性海退的沉积层序划分为四个体系域, 即早期低位体系域、晚期低位体系域、海侵体系域和高位体系域。其中早期低位体系域由低位三角洲、低位楔组成, 有些学者将其称为强制海退楔状体 (forced regressive wedge)、强制海退楔形体体系域 (forced regressive wedge systems tract, FRWST)。与高位正常海退进积体系相比, 强制海退形成的早期低位体系域有着其特有的一些特征: ①形成相对较粗的楔状体, 出现向海的一侧, 与上一个层序的高位体系域之间被一个过水区分隔; ②早期低位海岸沉积以近源陡、远源坡度逐渐变缓的滨面沉积为特征; ③低位进积楔的顶面由许多小的阶梯状递降序列形成, 表现为一个向海倾斜的斜坡; 高位正常海退的进积单元顶面或者与下伏地层平行, 或者只有一个较平缓的坡度。有了强制海退的概念, 一些以前认为是古陆架砂体的沉积现在则可能被重新解释为早期低位海岸沉积。尤其是在缓斜坡地貌背景下, 强制海退形成的早期低位三角洲、低位楔状体粒度粗, 可作为有利的储集体; 垂向上存在相的突变, 海侵时期细粒泥岩直接覆盖其上, 如果存在好的油源, 该体系域则是很好的岩性油气藏类型。

其二是高精度层序地层学 (high resolution sequence stratigraphy) 的发展引起了人们的广泛关注并取得了显著的进展。近年来大量的研究表明, 高精度层序地层学的概念和理论可有效地应用于地下地质的研究, 为精细的地层对比、沉积相和储层特征等的研究提供了有效的分析方法和预测工具。Cross T. A. (1994) 倡导的高分辨率层序地层学, 代表着该领域的新进展。Cross 领导的成因地层组建立了一种重要的高分辨率层序地层分析方法——基准面进退旋回分析。即: 层序的发育是受全球海平面变化、构造沉降、沉积物供应量及沉积地形、气候等各种因素相互作用制约的基准面 (Base Level) 的变化控制的。基准面是一个相对于地球表面波状起伏的、连续的、略向盆地方向下倾的抽象面 (非物理面), 它不一定等于海平面、海平面向陆延伸的水平面或河流平衡剖面等, 其位置、运动方向及升降幅度不断随时间而变化。基准面在变化中总是向其幅度最大值或最小值单方

向移动, 构成一个完整的上升与下降旋回。基准面的一个上升与下降旋回称为一个基准面旋回。一个基准面旋回是等时的, 在一个基准面旋回变化过程中 (时间域) 保存下来的岩石为一个成因地层单元, 即成因层序, 它以时间为界面, 因而是一个时间地层单元。基准面的旋回性变化, 改变了沉积的可容纳空间, 导致沉积与侵蚀的发生。当基准面高于地表时, 有可容纳空间, 以沉积作用为主, 侵蚀作用成为局部和暂时的; 当基准面低于地表时无可容纳空间, 侵蚀作用占优势, 沉积作用成为局部且暂时的; 当基准面与地表一致时, 既无沉积又不侵蚀, 只有沉积物路过。在基准面随时间的变化过程中, 地表不同地理位置上有四种地质作用状态: 沉积、侵蚀、沉积物路过 (无沉积) 及饥饿沉积 (密集段)。

其三是不同构造背景条件下所形成盆地的层序地层格架和层序样式, 特别是构造活动型盆地。构造活动性盆地包括箕状断陷盆地 (又称半地堑式盆地)、双断型断陷盆地、下断上坳型盆地、前陆盆地、克拉通盆地等, 这些盆地的共同特点是构造活动作用于盆地形成和充填发育的全过程。目前, 对这类盆地研究比较有代表性的有: Shanley 和 McCabe (1994) 通过对阿根廷白垩纪地层的研究, 建立了半地堑盆地的层序地层样式: Use strecher 的河流-湖泊环境构造地层层序。近十年来, 我国在陆相伸展盆地、前陆盆地的层序地层研究中也已取得了丰硕的成果。

2. 高精度层序地层分析

在碳酸盐岩中, 小尺度沉积旋回长期以来被解释为米兰柯维奇 (Milankovitch) 气候旋回引起的全球海平面高频变化的结果。而在硅质碎屑岩地层中, 过去人们倾向于用自旋回, 如三角洲废弃和河流改道, 来解释小型的沉积旋回, 因此, 类似碳酸盐岩中的 Milankovitch 气候旋回形成的硅质碎屑岩中的高频旋回未被重视和识别。层序地层学概念提出以后, Van Wagoner (1990) 和 Mitchum 等 (1991) 认为在硅质碎屑岩地层中同样可以识别出代表全球海平面高频变化的小型尺度的沉积旋回, 并提出了高频层序地层学的概念。他们在 Exxon 全球海平面旋回图的基础上, 建立了硅质碎屑岩地层中能够识别出来的全球海平面旋回变化的谱系, 其二级到五级的频率变化范围在 $9 \sim 10\text{Ma}$, $1 \sim 2\text{Ma}$, $0.1 \sim 0.2\text{Ma}$ 和 $0.01 \sim 0.02\text{Ma}$, 其中 $9 \sim 10\text{Ma}$ 和 $1 \sim 2\text{Ma}$ 为 Exxon 全球海平面旋回图上的二级和三级旋回, 由层序组和三级层序所代表。而高频旋回 $0.1 \sim 0.2\text{Ma}$ 和 $0.01 \sim 0.02\text{Ma}$ 可以在测井、岩心和露头上, 或者是一些地区的高分辨率地震剖面上被识别出来, 这些高频旋回处于 Milankovitch 气候旋回的范围之内, 是由于地球轨道的周期性变化产生的。在过去 2Ma 年中, 这种气候旋回与高频海平面变化的关系已经被深海钻孔氧同位素研究所证实。

三级全球性海平面变化叠加上四级 (120k. y.) 和五级 (50k. y.) 海平面旋回产生复合的海平面旋回。这种复合的海平面旋回再叠加上构造沉降就成为一个地区的相对海平面变化。Van Wagoner 等 (1990) 定义了两类类型的四级旋回 (图 1-1), 分别被命名为“A”和“B”。“A”型四级旋回被定义为从海平面下降到海平面下降。如果有充足的物源供给, 这种四级旋回产生四级层序, 其边界为陆上不整合。叠加在四级旋回上的五级旋回产生准层序, 其边界为海泛面。“B”型四级旋回被定义为从海平面快速上升到海平面快速上升。这种四级旋回只产生不完整层序, 其边界为海泛面。在 Van Wagoner 等 (1990) 所用的例子中, 当构造沉降量较大 (15cm/k. y. 以上), 那么只有三级海平面旋

回形成层序，而四级旋回形成准层序。当构造沉降量小于 15cm/k. y. 时，四级旋回可以形成层序，五级旋回形成准层序。由此可见形成四级层序的条件是：稳定的大地构造背景、盆地构造沉降极低和较高的沉积物供给速率。

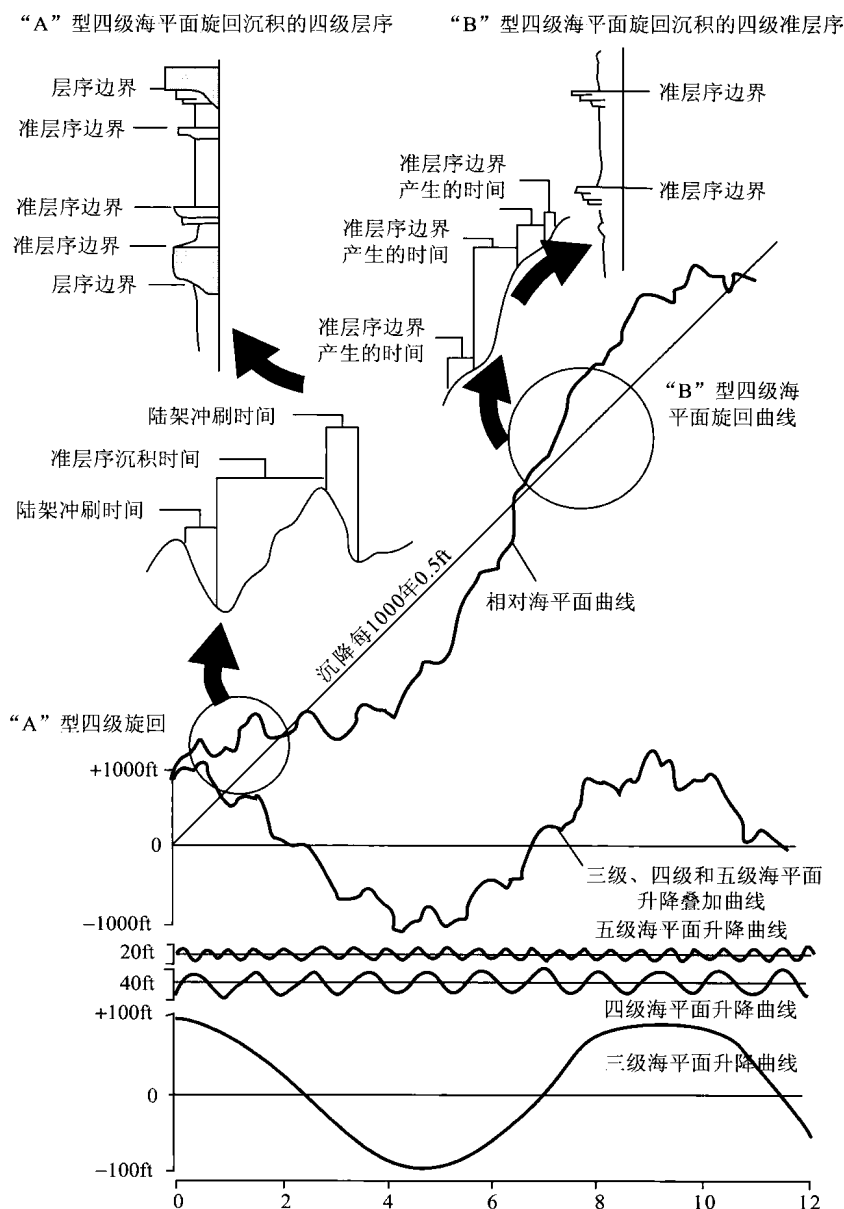


图 1-1 不同级别的海平面变化旋回的叠加和高频层序的发育

(据 Mitchum 等, 1991)

Mitchum 等 (1991) 进一步明确了四级层序的概念及其构成样式 (图 1-2), 在 Exxon 层序体系中, 三级层序是由沉积体系域构成, 而沉积体系域由准层序组构成, Mitchum 等 (1991) 将这种层序称之为基本层序 (fundamental sequence) (图 1-2A)。如果体系域是由四级层序组、而不是由准层序组构成, 这种层序被称之为复合层序 (Com-

posite Sequence) (图 1-2B)。与四级层序类似, 三级复合层序代表了全球海平面变化的一个旋回期间的沉积。在南非海域的盆地, 三级层序的时限范围是 1~3Ma, 平均 1.3Ma, 而四级层序的时限范围在 0.1~0.5Ma 之间。所以四级层序与基本层序类似, 也是由体系域组成, 但是时限更短, 有时在精度高的地震剖面上可以识别出来。这种层序也被 Vail 等 (1991) 称之为简单层序 (Simple Sequence), 形成于可容纳空间增加的速率太低, 不能够抵消高频的全球性海平面下降时, 高频海平面变化旋回就可以导致四级层序的发育。

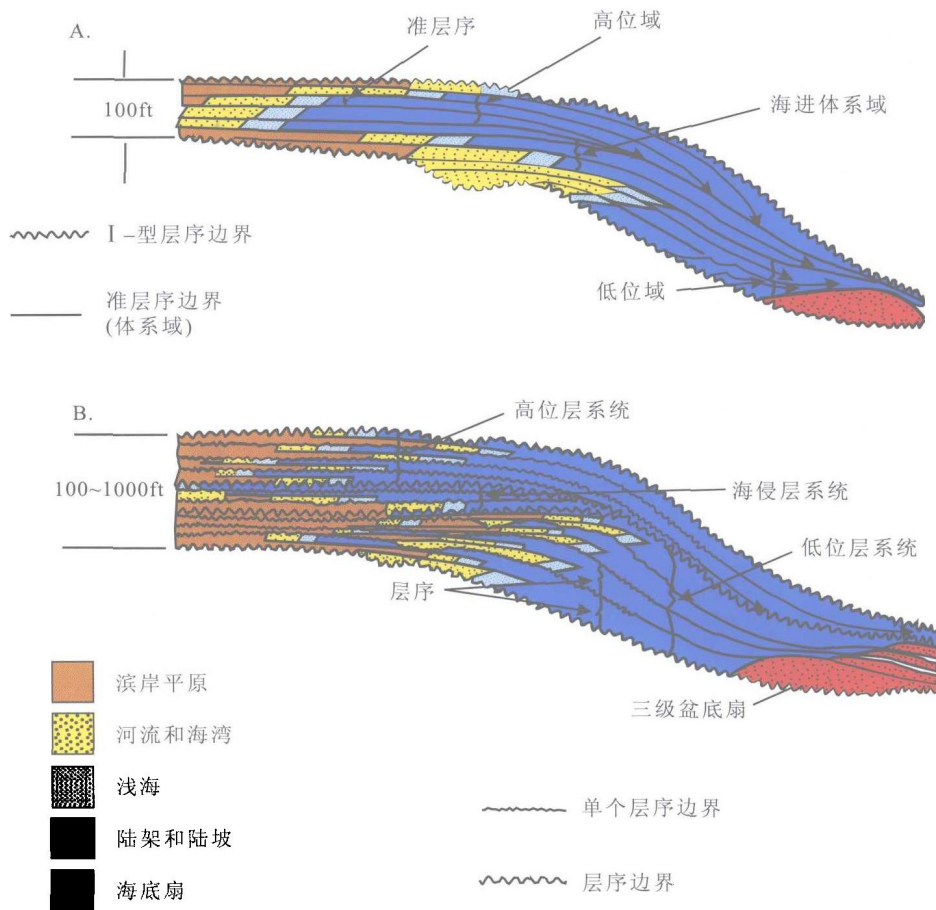


图 1-2 复合层序与基本层序构成模式
(据 Mitchum 等, 1991)

综上所述, 四级层序具有三级层序的基本特征, 但是时限更短, 属于高频层序的范畴。四级层序概念的提出虽然有很长时间, 但是其应用涉及地震分辨率。随着地震数据采集与处理技术的提高, 国际上著名的石油公司和产业部门开始要求在油气勘探生产中要力求分出四级层序以便更精确地进行储层预测。

高频四级层序最早发现于北美大陆晚宾夕法尼亚世碳酸盐岩地层中, 其中共划分出了至少 55 个旋回。随后, Brown 等 (1995) 在南非 Pletomos、Breadasdorp 和 Orange 盆地白垩纪三角洲地层中识别出了时间在 0.2~0.5Ma 的四级层序, 其体系域构成类似于三级层序。Henriksen 等 (1996) 在挪威大陆架下渐新统海岸三角洲中划分出了 38 个发育良好的

四级层序。

3. 构造活动型盆地层序样式

相对于稳定被动大陆边缘,许多盆地不仅在形成时期受构造活动的控制,而且在发育过程中,构造仍然表现为强烈的活动性,如控盆或控洼断裂的强烈活动(活动的结果可以形成盆地复杂的古地貌形态),以及盆地充填过程中的基底快速沉降等等都可以是构造活动型盆地的特征,此类型盆地表现形式多种多样,可以为前陆盆地,也可以表现为伸展断陷盆地;同时也可能是多种构造活动叠加而成的盆地类型,如莺歌海盆地,在其演化过程中经历了多期构造性质不同的构造活动的叠加。

国内外许多学者已经对盆地内构造活动影响和控制着盆地的沉积体系发育以及沉积地层样式进行了研究,并提出相应的理论模型。Dawers 和 Underhill (2000) 认为北海 Statfjord 地区晚侏罗世断层活动以及断层与断层之间的相互作用控制了同断陷期的层序地层发育,沉积和沉降中心均随断层活动中心变动而迁移。李思田等(1998) 研究结果也表明受走滑伸展构造运动的影响,莺歌海盆地的沉积、沉降中心依次向东南方向迁移。Gupta 和 Cowie (2000) 提出,在伸展断陷盆地内,一方面断层活动(包括其形成、生长、消亡等)影响沉积体系的发育,另一方面沉积地层响应记录了不同阶段的构造活动特征。Gawthoper 和 Leeder (2000) 对这一过程进行了总结,并分别研究了海相和陆相断陷盆地内构造活动的沉积响应特征以及三维演化模式。

与此同时,也有不少学者注意到构造活动对层序的影响,尤其是层序内部构成、垂向叠加样式、沉积体系分布等发育的控制作用。如 Lin 等(2001) 对二连盆地的层序构成、沉积体系综合研究后,认为不同的构造阶段发育了截然不同的沉积体系,同时对应于不同类型的层序,不同级别的层序地层界面受控于不同级别的构造活动。Ravnas 和 Steel (1998) 通过断陷盆地沉降速率与沉积特征之间的关系,提出不同的沉降速率(代表构造活动的强与弱)控制了体系域类型的发育以及体系域的内部构成样式。Corfield 等(2000) 则认为在同一盆地内同一时期不同的构造部位(即构造活动强度不同的地区)沉积地层样式、沉积构成也是不同的,如断层活动性强的部位(分段活动断层之中心),在断层上盘,地层表现为楔形,沉积、沉降中心位于断层面附近,而断层活动弱的部位(分段活动断层的末端),地层呈向斜形态,沉积、沉降中心明显向盆地方向迁移;并且强调这种差异特征不仅在露头上可以识别,在高分辨率地震剖面上同样可以识别。Young 等(2000) 则针对 Suez 裂谷中发育的构造转换带的沉积特征以及层序地层进行了精细研究,认为构造活动不仅控制了盆地的可容纳空间,而且沉积物供给速率也受其影响(或控制);高沉降速率、低沉积物供给,形成以退积和加积特征为主的准层序样式;低沉降速率、高沉积物供给,会形成粗粒的进积型准层序叠加样式。

对于一个应用于构造活动盆地边缘背景的总的层序模式而言,所有的控制层序发育的3个因素(全球性海平面变化、构造运动和物源供给)必须看作为独立的变量。海底的构造运动与全球性海平面变化共同确定了相对海平面的变化,进而,相对海平面的变化又确定了沉积物聚集的可容纳空间的大小。Yoon 等(2003) 将全球性海平面变化、构造运动和物源供给作为独立的变量考虑,提出了9种可能的层序发育情形(图1-3),均是可容纳空间变化和物源供给变化的函数。一些重复的情形被去除以后,以准层序的叠积样式为依据,可以确定出6种层序的类型。

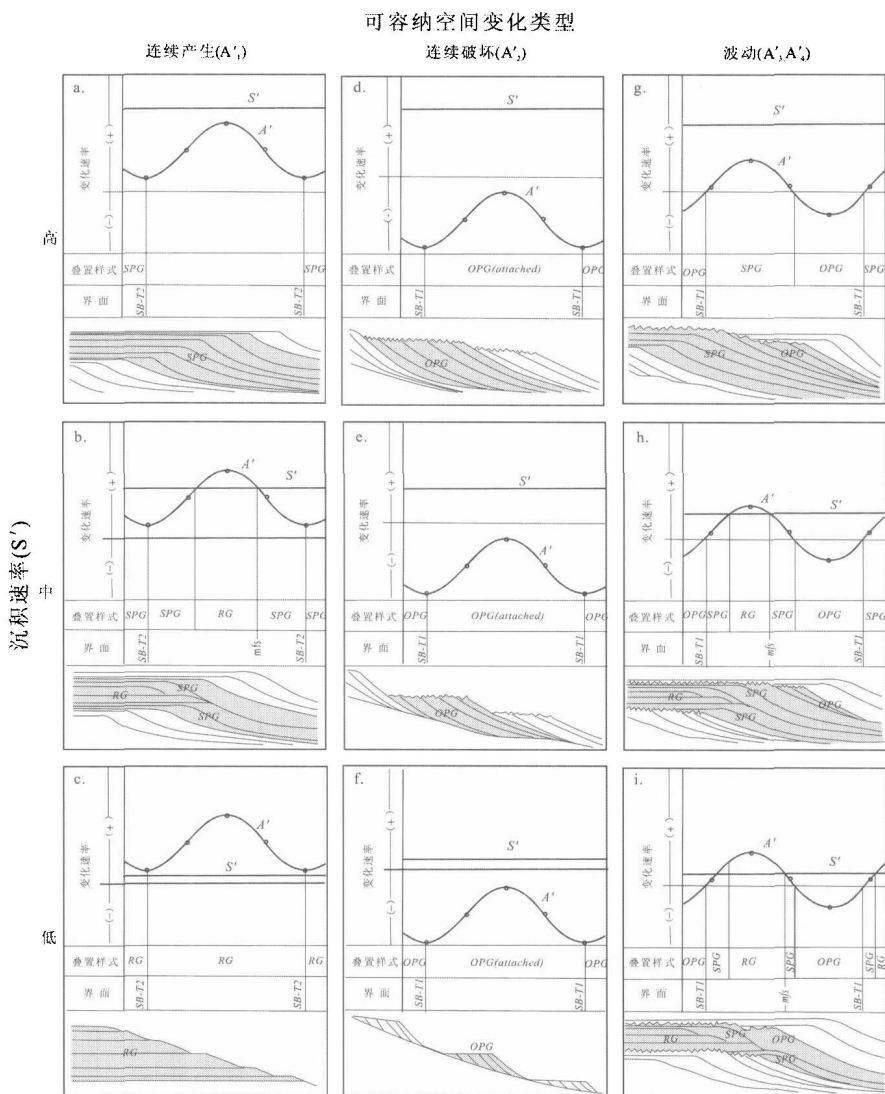


图 1-3 构造活动型盆地层序叠置样式

(据 Yoon 等, 2003)

A 型: A 型层序由一个单独的 SPG 准层序组构成, 与稳定正常的海退有关, 是相对海平面稳定上升和沉积物高速供给并超过了新的可容空间的增加 ($S' > A'_{\max}$) 的结果 (图 1-3a)。Emery (1996) 先前提出了一个类似的层序, 由一个单一的体系域构成, 命名为“海退体系域”。A 型层序可以发育在正断层的上盘, 形成于伸展断层的初始发育阶段, 并伴有迅速的沉降和断层下盘的快速的沉积物堆积。

B 型: B 型层序可以形成于相对海平面稳定上升并叠加在中等物源供给的部位。物源的供给速率处于最大和最小可容纳空间之间 ($A'_{\min} < S' < A'_{\max}$, 图 1-3b)。该层序与 Exxon 研究组提出的 II 型层序基本类似, 其中有 2 个 SPG 准层序组被解释为陆架边缘和高位体系域, 夹在中间的 RG 准层序组被解释为海进体系域。B 型层序可以发育在迅速沉降且具有中等物源供给的伸展盆地中。

C 型层序：C 型层序完全由 RG 叠置样式组成，与相对海平面的持续上升相伴，物源供给低 ($S' < A'_{\min}$ ，图 1-3c)，这种情形发生在海岸平原，以一系列阶梯退缩为特征，沉积物聚集不足以填充逐渐增加的可容纳空间。

D 型层序：由单一的楔形准层序组构成，具有 OPG 叠置样式，发育在强制性海平面稳定下降的部位 ($A' < 0$)，是由于海底的迅速上隆超过了海平面的上升（图 1-3d-f）。OPG 准层序组与 Hunt 等（1992）的强制性海退体系域相对应。Emery（1996）也介绍了这种类型的层序，该层序由一个单一的中位体系域（midstand）组成，在这种体系域中任何时刻的沉降都不会高过沉积物的供给，从而产生海退。Hunt 等（1992）认为强制性海退 OPG 准层序组由丘形盆底扇/裙组成，但是不一定同时发育在一个单一的海退期间。D 型层序发育在低构造沉降或上隆、高沉积物供给的盆地中，活动断层的下盘或者低坡度的前积和陆架边缘发育最好。

E 型层序：该类层序由两个交替的准层序组组成，具有 SPG 或 OPG 叠置样式，且与波动的相对海平面变化相伴生，海平面变化具有上升阶段和下降阶段，而且，沉积速率大于可容纳空间产生的速率 ($S' > A'_{\max}$)（图 1-3g）。E 型层序边界与 I 型层序边界极其类似，因为相对海平面旋回被相对海平面下降阶段所强化。然而，存在的争议是层序边界是放在强制性海退体系域之下，还是之上。在本文的模式中，边界被置于 OPG 准层序组（强制性海退体系域）之上，因为这是在深部地震剖面上最容易识别和容易制图的界面。

F 型层序：该层序由下到上可以划分出 4 个准层序组：SPG，RG，SPG，OPG。相对海平面变化具有上升和下降阶段，中等到低的物源供给，并小于最大的可容空间产生的速率 ($S' < A'_{\max}$)（图 1-3h 和 i）。这基本上是 Exxon 研究小组定义的 I 型层序。相对海平面上升的早期阶段，最下部的 SPG 样式的准层序组对应于 Exxon 研究组的低位域（低位楔），或者是 Hunt（1992）的低位进积楔状体。在相对海平面迅速上升时期，沉积体系满足条件 $S' < A'$ ，这是由于相对海平面上升加速的缘故，由此产生了 RG 准层序组与海进体系域相对应。在这一海侵单元之上，另一个 SPG 准层序组发育，这是由于可容空间产生较慢并相对地被物源供给超越。这是在强制性海平面上升的晚期形成的高位体系域，最上部的 OPG 样式的准层序组是相对海平面下降时期的低位域（盆底扇）上半部分的沉积。

对于应用于构造活动型盆地边缘的层序模式，构造活动和沉积物的输入量是除了全球性海平面变化之外的主要因素，这个模式提出了 6 种层序类型，显示了一种准层序组在数量上和叠置样式上的变化。这些准层序组反映了可容纳空间的变化 (A') 和沉积物 (S') 供给速率的复合效应（图 1-3）。由单一的 SPG 准层序组构成的 A 型层序与可容纳空间的稳定产生和沉积物的高速供给 ($S' > A'$) 相关。B 型层序（SPG-RG-SPG）本质上与 Exxon 研究组的 II-型层序类似，形成于可容纳空间稳定产生叠置在中等物源供给速率的条件下 ($A'_{\max} > S' > A'_{\min}$)；C 型层序（RG）与可容纳空间的稳定产生和低沉积物供给有关 ($A'_{\max} > S'$)；D 型层序由具有 OPG 叠置样式的准层序组构成，由于海底的迅速上隆超过了全球海平面上升，可容纳空间负增长 ($A' < 0$)；E 型层序由 SPG 和上覆 OPG 准层序组构成，它形成于具有形成和消失阶段的、波动的可容纳空间的变化与沉积速率大于可容纳空间产生的最大速率的部位 ($S' > A'_{\max}$)；F 型层序与 Exxon 研究组的 I-型层序相对应，从下到上被划分为 4 个准层序组 SPG、RG、SPG 和 OPG，其与可容纳空间产生、消失的波动变化和中低物源供给小于可容纳空间产生的最高速率的部位相关 ($S' < A'_{\max}$)。