

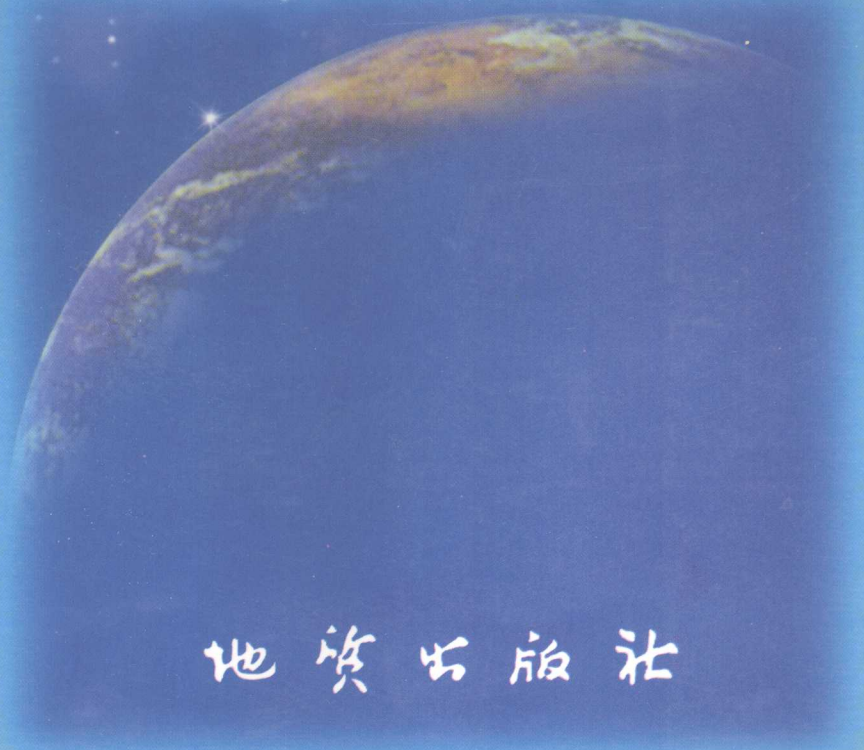
国家自然科学基金(No.49772123)

国家重点攻关项目(85-102-03-01)

联合资助成果

东海陆架盆地西湖凹陷第三系 层序地层与沉积体系分析

武法东 周 平 等著



地质出版社



国家自然科学基金 (No. 49772123)
国家重点攻关项目 (85-102-03-01) 联合资助成果

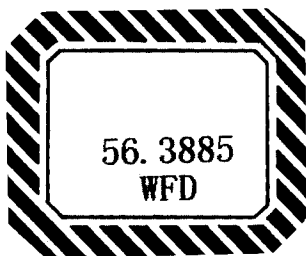
东海陆架盆地西湖凹陷第三系 层序地层与沉积体系分析

武法东 (主编) 周 平 (副主编)

武法东 苏 新 林畅松 张燕梅 刘景彦
中国地质大学 (北京)

陆永潮 解习农 陈 平 阮小燕 葛立刚
中国地质大学 (武汉)

周 平 刘金水 彭伟欣 盛 蔚
上海海洋石油局规划设计研究院



地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书总结了多年来对东海陆架盆地研究的成果。介绍了盆地地层,特别是生物地层、构造演化及盆地模拟方面的新认识;重点进行了层序地层研究,建立了层序地层格架,对高频层序的划分进行了探讨;对沉积体系及沉积背景进行了系统的条件分析,建立了第三系海平面变化曲线;对控制盆地演化的地球动力学因素进行了分析;初步总结了盆地含油气相带类型,预测了有利的油气远景区。本书总结了陆架盆地沉积体系、层序地层学及海平面变化研究的方法和思路。沉积体系与层序地层格架研究相结合是本书的特点之一。

本书对东海陆架盆地的系统研究具有重要参考价值,可供沉积学、能源地质、盆地分析等方面的研究人员和高校教师及研究生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

东海陆架盆地西湖凹陷第三系层序地层与沉积体系分析/武法东,周平等编.-北京:地质出版社,2000.9

ISBN 7-116-02466-2

I. 东… II. ①武… ②周… III. 大陆架-构造盆地-地层层序-研究-东海 IV. P736.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 50399 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:王 璞 祁向雷 张 永

责任校对:李孜

*

北京印刷学院实习工印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:12 图版:6 页 字数:272000

2000 年 9 月北京第一版·2000 年 9 月北京第一次印刷

印数:1—500 册 定价:30.00 元

ISBN 7-116-02466-2

P·1832

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

东海陆架盆地面积大,沉降深,从地质条件上分析有很大的油气聚集潜力,一直吸引着国内外广大地质学家们的注意。多年来已进行了许多工作,但研究成果较少系统地公开交流与报道。

本专著是在产、学、研紧密结合,共同完成一系列国家攻关项目专题和国家自然科学基金项目基础上合作完成的。其内容以层序地层学和沉积体系研究为主体,同时也论述了涉及盆地构造演化、天然气成藏条件等许多相关内容,是关于东海陆架盆地的一部较系统的重要著作。

当代层序地层学形成于80年代,目前已在油气勘查中广为使用,被许多国际上著名的油气公司当作一种权威的工具。层序地层学的理论和方法首先用于建立全盆地或全坳陷的等时地层格架,在此基础上进行沉积体系和沉积相的研究。本书的作者们正是以此项内容为主体进行研究,并做了系统的阐述,包括层序地层单元的划分、地层格架、沉积体系和体系域,并揭示了生、储、盖层的三维配置关系。这将对东海的油气勘探有重要参考价值。

在大陆边缘盆地条件下,海平面变化对沉积环境和区域古地理有重要的控制作用。建立西太平洋边缘海平面变化周期不仅对东海陆架盆地有重要实际意义,而且在全球性对比中也受到很多研究者的关注。本书的作者们在此方面进行了详细工作,提出了东海陆架盆地海平面变化曲线,这一成果反映了相对海平面变化的周期性,经过广泛对比将能进一步确定其对认识西太平洋海平面变化有对比标准意义的部分。对重点层段还进行了米兰科维奇周期的研究和探索,这些都是本项研究的重要成绩。

在沉积与构造的结合上,作者们抓住了东海陆架盆地多幕裂陷、多幕反转的重要特征。将东海盆地沉积充填的历史演化与构造背景紧密结合起来,强调了构造因素对高级别层序地层单元的控制作用,这是层序地层学发展早期阶段被忽视的内容。古构造运动面剥蚀量的计算及其对油气成藏的关系研究是东海层序地层研究中的一项重要工作,它揭示了全凹陷剥蚀量变化的趋势,有助于找寻油气储集的有利区带。

东海陆架盆地的油气勘探已取得重大成绩,平湖、春晓等油气田的发现、开发,对上海地区的供气、对国民经济正在起着重要作用。但是,东海陆架盆地的勘探程度仍属于较低的阶段,大量基础地质及与油气聚集有关的问题有待深入研究,本专著对深部烃源岩评价等方面提出了今后研究工作的聚焦点。在前一阶段产、学、研多学科合作研究的基础上,预祝东海的研究和勘查取得更大的突破。



2000年6月30日

前 言

东海陆架盆地是东海（东中国海）的主要构造单元之一。它位于太平洋西部海域、欧亚大陆东部边缘，是以新生代为主的大型沉积盆地。自第三纪以来，盆地经历了裂陷、拗陷和区域性沉降三个主要构造演化阶段。盆地充填的海相第三系是西太平洋发育最完整的地区之一。因此，对该盆地第三系的详细解剖对研究中国东部盆地及环太平洋带地质构造演化，以至进行全球对比均有重要意义。

东海陆架盆地面积 $26.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，是我国海域最大的含油气盆地之一。第三系具有很大的油气资源潜力。自 50 年代至今已经进行了大量的地球物理勘探和钻探工作，共施工地球物理测线 10×10^4 多千米，三维地震勘探 2700 多平方千米，完成 53 口钻井的钻探。已发现 200 多个含油气构造，其中平湖油气田已经完成开发建设并向上海供气，春晓构造在获得特高产工业油气流的基础上，其储量又得到了进一步落实。因此，无论在理论研究上还是在指导油气勘探战略部署的实践上，对东海陆架盆地进行深入研究都有重要的意义。

自 1992 年开始课题组在本区开始工作，先后完成的研究课题包括国家“八五”攻关子课题“东海盆地西湖凹陷平南及邻区第三系沉积体系研究”（85-102-03-01），国家“九五”重点科技攻关专项“东海西湖凹陷平北区带含油气砂体空间展布研究”（96-110-06-02-01），以及“东海西湖凹陷苏堤构造带老第三系沉积构成及砂层对比研究”。以上述研究工作为基础，在国家自然科学基金项目“东海陆架盆地第三系层序地层及海平面变化研究”（No. 49772123）的资助下，作者们选择对层序界面特征及其变化反映最灵敏的盆地斜坡地带及有代表性的凹陷又进行了深入的工作。通过详细解剖位于浙东拗陷的西湖凹陷和台北拗陷的甌江凹陷，以层序地层学基本原理为指导，以沉积体系、成因相的精细分析为基础，以反射地震剖面解释为基本手段，以微体古生物带化石为主要定年依据，对东海陆架盆地第三系进行了系统的层序地层划分，建立了层序地层格架，并进行了高频层序的模拟分析；运用盆地分析、盆地模拟技术，建立了盆地构造格架，重建了盆地沉积演化史；对第三系进行了沉积体系分析，共识别出 9 种沉积体系，并进行了岩石学特征、沉积介质条件和物源分析；对盆地构造演化各阶段的沉积体系发育、空间展布及体系域组合等进行了分析和重建；编制了东海陆架盆地第三系海平面变化曲线；建立了以微体古生物带化石为基准、密切结合层序划分的年代地层格架；总结和预测了盆地有利的油气生成和储集相带类型及其分布。通过上述工作，提出了在陆架盆地开展层序地层学研究及沉积体系分析的方法和思路。研究范围涉及整个陆架盆地。采用详细分析与一般研究相接合的方法，重点解剖了西湖凹陷和甌江凹陷。

参加上述课题研究的成员包括：中国地质大学武法东（课题负责人及本书主编）、陆永潮、解习农、苏新、陈平、阮小燕、张燕梅、葛立刚；上海海洋石油局规划设计研究院周平、刘金水、彭伟欣、盛蔚；中国地质大学历届高年级大学生和硕士研究生张君峰、洪

伟、赵树斌、黄继华、陈永进、段秋梁、刘荣梅、占车生、李花兰等参加了部分工作。

本专著由上述课题研究者共同讨论，分工编写。特邀林畅松教授、刘景彦博士承担东海盆地西湖凹陷构造部分的编写。武法东教授审阅统编全文，英文目录及英文图表名称由苏新副教授审校。

李思田教授作为课题组的顾问自始至终给予了极大的关注和热情的指导，帮助课题组克服了种种困难，保证了研究工作顺利开展。也正是在他的支持、鼓励和鞭策下，本专著才得以完成。

在编写本专著的过程中参考了原地质矿产部上海海洋地质调查局及其所属海洋地质综合研究大队、第三海洋地质调查大队等完成的大量生产报告和研究成果，部分资料在专著中引用。上海海洋石油局及所属规划设计研究院的赵金海、周志武、李培廉、贾健谊、林志强、曾九岭等在不同方面给予了指导和帮助，并就研究的深化提出了许多宝贵建议。

课题研究过程中，上海海洋石油局和规划设计研究院的领导始终给予了全力的支持。上海海洋石油局规划设计研究院所属原石油室、资料室、地震室及后勤管理队在工作及生活方面提供了许多方便。

上述各课题研究报告和一份博士论文作为本专著的基础。在课题研究及论文评议过程中曾先后得到王鸿祯院士以及李思田、曾允孚、薛叔浩、裘亦楠、田在艺、宋天锐、田兴有、张鹏飞、沙庆安、王英华、李任伟、朱伟林、杨甲明、赵文智、陈钟惠、余素玉、茅绍智、史晓颖、万晓樵等教授的指导。

在专著出版之际，作者对关心和帮助并给予过大力支持、指导和提供方便的上述诸单位和个人表示衷心的感谢。

由于所涉及的研究范围较大，加之海上油气勘探资料十分有限，更由于作者们对所涉及的多个领域的知识了解掌握不够深入和全面，书中存在问题在所难免，恳请各位专家同仁不吝赐教。

目 录

序	李思田
前言	武法东
第一章 研究思路和研究方法	武法东 陆永潮 (1)
第一节 研究现状简述	(1)
第二节 研究的基本思路和方法	(4)
第三节 有关术语及概念体系	(7)
第二章 东海陆架盆地地层概述	(10)
第一节 新生代地层层序	苏新 陈平 (10)
第二节 新生代微体化石特征及其地质时代	苏新 (14)
第三节 地层划分和对比中的一些问题	苏新 (18)
第三章 东海陆架盆地构造特征及演化	(20)
第一节 东海及东海陆架盆地的构造单元划分	武法东 周平 (20)
第二节 西湖凹陷构造格架特征	林畅松 刘景彦 张燕梅 (22)
第三节 第三系主要不整合面及其剥蚀量计算	刘景彦 林畅松 张燕梅 (33)
第四节 盆地沉降充填和构造反转史	张燕梅 林畅松 刘景彦 (39)
第四章 东海陆架盆地第三系层序地层特征	(47)
第一节 东海陆架盆地第三系主要的等时界面	陆永潮 武法东 (47)
第二节 东海陆架盆地的层序地层序列	武法东 解习农 (52)
第三节 东海陆架盆地第三系层序地层格架	陆永潮 解习农 (53)
第四节 东海陆架盆地高频层序分析	武法东 刘金水 盛蔚 (58)
第五章 东海陆架盆地第三系沉积体系分析	
..... 武法东 周平 陆永潮 彭伟欣 葛立刚	(67)
第一节 浅海及半封闭海湾沉积体系	(67)
第二节 碎屑滨岸-潮坪沉积体系	(72)
第三节 受潮汐作用影响的三角洲沉积体系	(80)
第四节 滨岸湖泊-三角洲沉积体系	(83)
第五节 河流沉积体系	(91)
第六章 东海陆架盆地沉积体系空间展布及沉积演化	陆永潮 武法东 (97)
第一节 第三系沉积体系的空间配置样式	(97)
第二节 晚白垩世(?)—始新世裂陷阶段的沉积演化	(98)
第三节 渐新世—中新世裂后沉降阶段的沉积演化	(104)
第四节 上新世—第四纪区域性沉降阶段的沉积演化	(108)
第七章 第三系岩石学特征及沉积背景条件分析	武法东 阮小燕 陈平 (111)

第一节	第三系碎屑岩岩石学特征·····	(111)
第二节	第三系沉积介质条件分析·····	(120)
第三节	碎屑沉积物物源分析·····	(126)
第八章	东海陆架盆地第三系海平面变化及沉积动力背景分析·····	
	····· 武法东 苏新 张燕梅	(131)
第一节	生物地层序列及其与年代地层、层序地层的关系·····	(131)
第二节	东海陆架盆地第三系海平面变化·····	(133)
第三节	东海陆架盆地第三系沉积动力背景分析·····	(137)
第九章	砂分散体系与含油气砂体空间展布研究·····	(142)
第一节	以地震层速度为基础的砂分散体系研究·····	
	····· 解习农 陆永潮	(142)
第二节	以精细层序划分及振幅分析为基础的含油气砂体空间展布研究·····	
	····· 武法东 刘金水 陆永潮	(145)
第十章	东海西湖凹陷油气有利相带评价及预测·····	周平 (160)
第一节	烃源岩分布及储集体沉积类型与特征·····	(160)
第二节	老第三系生、储、盖组合特征·····	(163)
第三节	有利的含油气区预测·····	(165)
结语	····· 武法东	(168)
附录	·····	(170)
参考文献	·····	(171)
英文摘要	·····	(175)
图版说明及图版	·····	(177)

CONTENTS

Foreword	<i>Li Sitian</i>
Preface	<i>Wu Fadong</i>
Chapter 1 Purpose and methods	<i>Wu Fadong, Lu Yongchao</i> (1)
1 Introduction	(1)
2 Approaches and methods	(4)
3 Terms and concepts	(7)
Chapter 2 Stratigraphical background of the East China Sea Shelf Basin	(10)
1 Cenozoic Stratigraphy	<i>Su Xin, Chen Ping</i> (10)
2 Tertiary microfossils and their geologic ages	<i>Su Xin</i> (14)
3 Problems in the stratigraphical division and correlation between depressions ...	<i>Su Xin</i> (18)
Chapter 3 Tectonic characteristics and evolution of the East China Sea Shelf Basin	(20)
1 Tectonic units of the East China Sea and the East China Sea Shelf Basin	<i>Wu Fadong, Zhou Ping</i> (20)
2 Structural characteristics of Xihu depression	<i>Lin Changsong, Liu Jingyan, Zhang Yanmei</i> (22)
3 Major Tertiary unconformities in Xihu depression and the erosion amount	<i>Liu Jingyan, Lin Changsong, Zhang Yanmei</i> (33)
4 Histories of subsidence, filling, and tectonic reversion of Xihu depression	<i>Zhang Yanmei, Lin Changsong, Liu Jingyan</i> (39)
Chapter 4 Characteristics of Tertiary Sequence Stratigraphy in the East China Sea Shelf Basin	(47)
1 Major Tertiary boundary surfaces in the East China Sea Shelf Basin	<i>Lu Yongchao, Wu Fadong</i> (47)
2 Series of Sequence Stratigraphy	<i>Wu Fadong, Xie Xinong</i> (52)
3 Framework of Tertiary Sequence Stratigraphy	<i>Lu Yongchao, Xie Xinong</i> (53)
4 High frequency sequence analysis	<i>Wu Fadong, Liu Jinshui, Sheng Wei</i> (58)
Chapter 5 Tertiary depositional system analysis	<i>Wu Fadong, Zhou Ping, Lu Yongchao, Peng Weixin, Ge Ligang</i> (67)
1 Neritic and semi-closed bay depositional systems	(67)
2 Clastic shore-line and tidal flat depositional systems	(72)

3 Delta depositional system affected by tidal action	(80)
4 Shore-line lacustrine and delta depositional systems	(83)
5 Fluvial depositional system	(91)
Chapter 6 Spatial distribution of deposition systems and depositional evolution in the East China Sea Shelf Basin	Lu Yongchao , Wu Fadong (97)
1 Spatial distribution of Tertiary deposition systems	(97)
2 Depositional evolution during the Late Cretaceous—Eocene rifting stage	(98)
3 Depositional evolution during the Oligocene—Miocene post—rifting stage	(104)
4 Depositional evolution during the Pliocene—Pleistocene regional subsidence stage	(108)
Chapter 7 Tertiary lithological features and sedimentary condition analysis	Wu Fadong , Ruan Xiaoyan , Chen Ping (111)
1 Lithological features of Tertiary clastic rocks	(111)
2 Sedimentary medium conditions during the Tertiary	(120)
3 Source supply of clastic sediments	(126)
Chapter 8 Analyses of Tertiary sea-level changes and sedimentary dynamic in the East China Sea Shelf Basin	Wu Fadong , Su Xin , Zhang Yanmei (131)
1 Series of Stratigraphy and correlation of Biostratigraphy and Sequence Stratigraphy	(131)
2 Tertiary sea-level changes	(133)
3 Analysis of sedimentary dynamic	(137)
Chapter 9 Sand disperses system and spatial distribution of the oil-gas bearing sand bodies in the East China Sea Shelf Basin	(142)
1 Sand disperse system study based on the seismic strata velocity	Xie Xinong , Lu Yongchao (142)
2 Spatial distribution study of the oil-gas bearing sandbodies based on the delicate sequence division and amplitude analysis	Wu Fadong , Liu Jingshui , Lu Yongchao (145)
Chapter 10 Estimation and prediction of favorable oil-gas bearing facies zones in the East China Sea Shelf Basin	Zhou Ping (160)
1 Distribution of hydrocarbon source, sedimentary types and features of the reservoir ...	(160)
2 Characteristics of the Paleogene source, reservoir and caprocks	(163)
3 Prediction of the favorable oil-gas bearing regions	(165)
Conclusions	Wu Fadong (168)
Appendix	(170)
References	(171)
Abstract	(175)
Plates and descriptions	(177)

第一章 研究思路和研究方法

第一节 研究现状简述

沉积学、层序地层学的发展和日趋紧密地结合,为沉积盆地分析提供了更为完善的方法体系。60年代晚期,沉积环境和相模式研究达到高潮并进入成熟期。主要有两个发展分支:以北欧学者 Reading 等人为代表的过程沉积学 (processes sedimentology) 和以北美学者 Fisher、Galloway、Miall 等人为代表的沉积体系分析 (depositional system analysis), 它们为现代沉积学的发展奠定了基础。70年代后期地震地层学的出现和发展为层序地层学提供了方法、手段和依据。80年代至今迅速发展的层序地层分析把沉积体系置于等时地层格架中进行研究,使沉积体系分析、沉积构成分析与层序地层分析相互结合而构成一个完整的分析系统,其优越性在能源的找寻、勘探中日益得到明显的体现。

一、沉积体系研究

1. 沉积体系和沉积构成研究

沉积体系和体系域分析是近代沉积学最重要的进展之一。沉积体系和体系域的概念、理论和分析方法是 Fisher、Brown 等学者于 70 年代形成并完善的。沉积体系 (depositional system) 是指“成因上被沉积环境和沉积过程联系起来的三维组合;一系列相互过渡、成因上有联系的沉积体系构成体系域 (depositional system tract);盆地充填是由一系列体系域构成的;构造运动、海平面变化、物源供给三个方面的因素控制了不同演化阶段的体系域面貌 (Fisher 等, 1992、1976; Brown 等, 1977; Vail 等, 1989)。为了强调三维概念,以区别于一般可应用于不同范畴的“相”的概念, Galloway (1986、1989 在 28th IGC 的发言) 建议用相构成单元或成因相 (genetic facies) 来表示。这样,通过成因相、沉积体系及体系域就建立了最基本的沉积构成单元与盆地充填演化间的链系 (linkage),进而从根本上揭示了各级沉积单元的内在的必然联系。

另一重要发展是 Miall 等人的构成单元 (architectural element) 分析。在砂岩体内部识别不同级别的界面和划分构成单元及岩性相的方法对储集砂体不均质性研究有重要意义 (Miall, 1985)。

上述两方面的重要进展都突出强调沉积体系的三维研究与组合研究。相对于以往以垂向层序为基础的研究,它具有更大的难度,但更能反映客观实际和更具有实用性 (李思田, 1992)。

2. 沉积过程分析 (sedimentary process analysis)

以英国等一批欧洲学者为代表,认为模式可以借鉴,但不能过分的强调和依赖,否则,会形成束缚思想的桎梏。因而在沉积学研究中更强调野外和室内过细的沉积标志研

究, 并进行详细的过程解释。深入系统的比较沉积学研究(梁瑞仁, 1988)和实验室沉积水动力学研究及现代沉积作用考察则是过程分析的分支, 此外, 随各种测试技术、方法的发展, 模拟沉积学、定量沉积学等概念的提出及相应技术的应用, 都在使传统的沉积学逐渐摒弃定性和描述性研究, 向更深入的研究方向发展(覃建雄, 1995)。

沉积学的其它分支, 如事件沉积学、旋回地层学(姜衍文, 1995)、储层沉积学(Tillman, 1987)、大地构造沉积学(柯保嘉, 1993)等也从不同的角度和方面不断发展, 支持和推动着沉积学的不断深入和完善。

二、层序地层学研究

层序地层学是当代沉积学研究取得最重要进展的领域之一。以北美学者 Vail 等人为代表所建立的概念体系以及研究方法对沉积盆地分析和生物地层学等许多领域都带来了深刻的影响。Sloss (1963) 最早将以不整合为界面的层序(sequence) 定义为一个构造旋回的岩石记录。70 年代地震地层学的发展重新引用 Sloss 的概念。但当时并未赋予其严格的地质概念, 特别是没有明确的级别概念(Vail, Mitchum 等, 1977)。80 年代的大量研究和实践, 特别是将地震剖面与露头、钻孔岩心和测井曲线进行对比研究, 逐渐使层序地层分析的概念体系有了比较确切的含义(Van Wagoner, 1988、1990; Weimer, 1992)。层序地层学主要的发展分支包括:

1. 高分辨率层序地层学

高分辨率层序地层学(High Resolution Sequence)的概念首先由 Posamentier 等(1999)和 Ross 等(1994)在阿伯塔东坳里三角洲人工模式试验基础上提出的。它以三维露头、测井和高分辨率地震反射剖面资料为基础, 运用精细层序划分和对比技术将钻井获得的信息转变为三维地层关系预测的基础, 从而建立区域乃至更小范围的层序地层格架, 对矿产的形成、迁移和分布进行评价及预测。由于分辨率的增强, 大大提高了预测的准确性。高分辨率层序作为海平面升降旋回的沉积响应, 其基本单位仍然是层序, 它具有常规层序的一般属性。由于陆相地层缺乏生物化石以及可用于大范围对比的等时标志, 陆相地层对比一直困扰着学科的发展。高分辨率层序地层学的发展及其在陆相地层学中的应用, 就可以利用有限的对比资料进行沉积体几何形态及其变化的预测。这种方法的显著效果体现在对我国第三系陆相含油气盆地的研究中。

2. 高频层序地层学

高频层序地层学(High Frequency Sequence)的概念最初由 Wagoner 等提出, 相当于 Miall 等(1990)和 Posamentier 等(1992)的四至五级甚至六级旋回, 周期为 0.01 ~ 0.5 Ma, 属米兰科维奇周期驱动的由气候变化而导致的高频短周期海平面变化的结果, 是行星轨道参数(偏心率、偏度和岁差)作用的结果。高频层序最早发现于北美中大陆晚宾夕法尼亚世碳酸盐岩地层中, 其中共划分出至少 55 个旋回束或四至六级旋回。随着研究程度的提高, 发现在全球范围内不同时代碳酸盐岩地层中均分布有类似的高频层序。按其内部结构特征可分为退积型、加积型和进积型高频层序(曾允孚等, 1999)。Wagoner 等认为这种高频层序横向追踪范围最小仅数平方千米, 最大可达数百平方千米, 具有局部或区域性对比意义, 在特殊情况下可进行全球对比。此外, 对于高频层序发育的原因, 许多学者也进行了深度不同的讨论。

3. 应用层序地层学

继美国等西方国家之后,中国地球科学家已经注意到,由于全球气候变暖、海水增温、冰川融化、海水体积膨胀等因素,造成了现阶段及将来很长时期全球海平面上升,从而严重威胁着人类生存环境和社会的发展。目前人们迫切需要建立一种多功能实用科学,以预测或控制区域环境及气候的变化。应用层序地层学正是在这种严峻形势下产生的。尽管海平面的上升是缓慢而“微不足道”的现象,但长期的累计值将相当大,加之我国海岸线长,沿海地区地质结构复杂,随经济建设发展而导致地下水过量开采、土层压实、水位抬高,区域海平面相对上升更加严重,这将对我国沿海地区的经济发展带来许多极为不利的影响。应用层序地层学正是从与国民经济发展相联系的角度进行沉积学的研究,并正在越来越显示出突出的作用和优势。

层序地层学是一种新的地层学体系(李思田,1992),它之所以能在广泛的领域中被应用是因为:

(1) 层序地层单元的分界是客观存在的不整合面或与之相应的整合面,因此一个层序地层单元底部是新的沉积期的开始,内部则是一个独立的序列。层序界面可以通过地震、钻井岩心和测井曲线及露头研究进行连续追索(Vail, 1992; Van Wagoner, 1990)。不整合面的识别是层序地层学之根本,脱离了这一点,则与以往常规的地层研究没有区别(Weimer, 1992)。因此不整合面被作为重要的关键界面(key surface)(李思田, 1992)。

(2) 层序地层学的方法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放在整体统一格架中进行,因而能揭示其三维配置关系。在含油气盆地中能有效地阐明生、储、盖的配置关系,预测储集体的类型和分布。

(3) 提出了对盆地充填进行解释的科学系统。各级层序单元以及内部的相和沉积体系都是盆地充填的不同级别的建造块(building block)。这种解析使盆地沉积充填研究真正进入了“三维”,具有实用价值。

(4) 提出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控制机制。海平面变化事实上造成了除构造不整合或假整合以外的更多的关键界面,如低位体系域底部的不整合面、海进侵蚀面和最大海泛面等。它们都是沉积演化的突变面和转换面。如果以往地质学中更多地认为是构造因素对沉积充填起控制作用,那么层序地层学的贡献是更好地揭示了海平面变化对沉积充填的重要影响。

正因为如此,层序地层学的理论、方法体系得以在不同类型的盆地中应用,它们包括被动边缘盆地、活动边缘盆地、伸展型盆地(如北海等裂谷)、挠曲盆地(如 Alberta、Denver 等前陆盆地)。此外,在陆相盆地(李思田等, 1995; 林畅松, 1995; 解习农、李思田, 1993)、内陆表海盆地(刘焕杰等, 1994; 武法东等, 1995)也得到了有效的实践。

层序地层分析的方法原理源于北美边缘海盆地,那里的地质构造属于被动大陆边缘条件,沉积体系保存完整,分带清楚,后期构造破坏微弱,海平面变化起重要的控制作用。然而其它类型的盆地却有不同的地质背景,因此近几年层序地层的进展主要体现在对不同类型盆地层序地层模式的重建或改进上。如李思田等(1993、1995)、解习农等(1993)提出了包括构型、术语在内的与经典层序地层模式完全不同的陆相断陷、拗陷盆地的层序地层模式。

三、海平面变化研究

海平面变化控制了层序的发育和形成,是层序驱动机制研究的重要内容 (Geophysics Study Committee 等, 1990; 钱建兴, 1994)。目前用于古海平面升降变化研究的主要方法有: ① Vail (1977、1984)、Hardenbol 等 (1981) 提出的海岸沉积物上超法; ② 把指示古海岸位置的标志与海平面升降变化相联系 (Busch, 1983; Harris, 1984; Seiglie and Baker, 1984; Weimer, 1984); ③ 根据氧同位素法 (Christopher 等, 1988; 钱建兴, 1994); ④ 利用古生物确定古水深法 (Christopher 等, 1988); ⑤ 利用沉积标志及成因相确定古水深 (武法东等, 1998)。

Haq 和 Vail 等 (1988)、Vail (1977、1990) 经过多年努力建立了中生代海平面变化的年表, 并大胆地提出由于海平面变化具有全球性 (eustasy) 的属性, 层序地层学可以成为建立全球性地层对比的手段, 并将重新建立全球地层对比系统。但正是因此导致了对是否存在全球海平面变化问题的激烈争论。其焦点集中在: ① 从第四纪与冰川有关的海平面变化周期 ($< 30\text{ka}$) 及中生代温暖无冰期的气候出发, 对冰融导致全球性海平面上升的驱动机制提出了反对意见 (Boyd 等, 1988), 认为即使在第四纪至少也是构造驱动与冰融驱动并存; ② 对建立海平面变化周期的主要方法之一——从反射地震剖面上认识上超 (onlap) 结构提出了尖锐的质疑, Uderhill (1991) 等人在北海的研究表明, 伸展构造运动同样可以引起半地堑稳定边缘的海岸上超, Driscoll (1992) 在纽芬兰滨外的工作也得出了类似的结论; ③ 以大西洋被动边缘盆地的典型层序为依据完成的计算机模拟表明, 如果忽略了构造、沉积补给和压实等因素而单一强调海平面变化, 会导致解释上的错误 (Reynolds、Steckler 和 Coakley, 1992); ④ 在没有排除构造因素影响的条件下, 海平面变化只能是相对的, 而不足以作为全球性对比的依据 (Pitman 等, 1978、1989)。

尽管地质学家们对 Vail 和 Haq 曲线是否具有全球性意义出现越来越多的争论, 但多数人承认该曲线毕竟汇总了许多区域相对海平面变化的大量资料以及相应的古生物和古地磁资料, 它对海平面变化研究起了推动作用 (李思田, 1992)。在承认海平面是层序形成驱动机制的同时, 不能过分夸大它的作用, 必须同时考虑诸如构造、沉积物补给等因素的控制和影响作用。

第二节 研究的基本思路和方法

一、研究思路

东海陆架盆地属多“单型”构成的复合盆地, 其沉积体系和古地理格局在盆地不同的演化阶段具有很大的差异性。因此在应用经典的层序地层分析模式方面存在着一定的局限性。据此, 课题组汲取了层序地层分析的基本思想, 在研究思路与工作方法上则按东海陆架盆地的特点进行探索。研究中从单井岩心的成因相精细解析出发, 以沉积体系内部构成和过程沉积学分析为基础, 应用层序地层分析的基本思想识别关键界面, 划分各级层序地层单元, 建立等时地层序列和地层格架; 在此基础上, 重建主要目的层段的沉积体系、体系域空间配置和演化, 确定海平面变化周期, 最终建立盆地的沉积模式和层序地层模式,

进行油气有利储集相带的分布预测。其研究思路如图 1-1 所示。整个研究过程分为 6 个阶段进行：

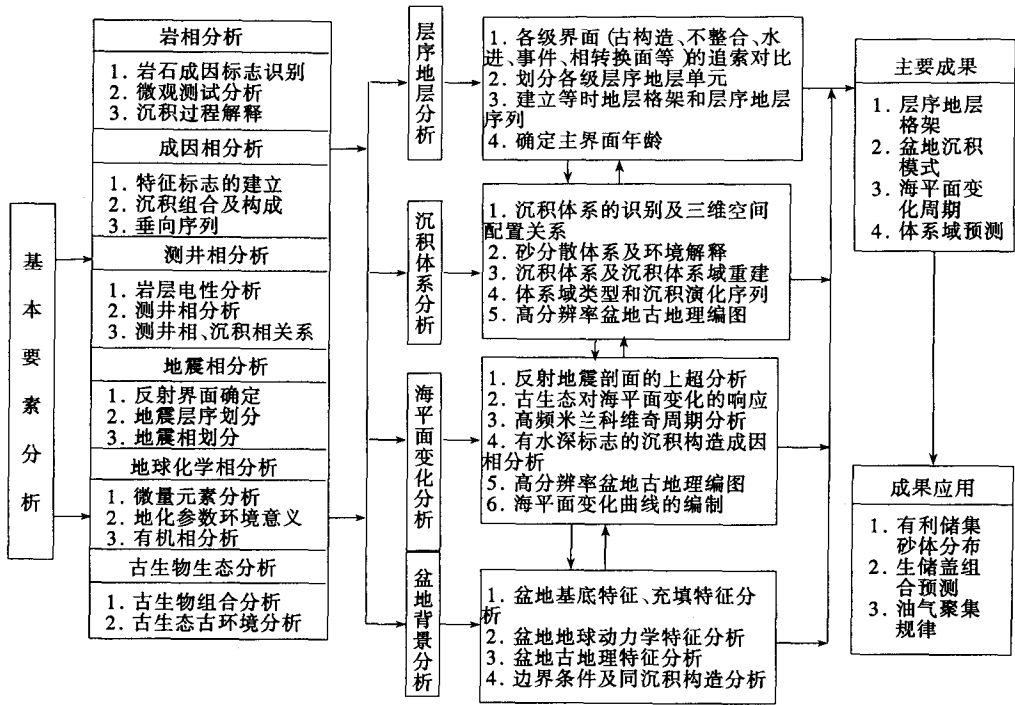


图 1-1 沉积体系及海平面变化研究思路及流程图

Fig. 1-1 Summary of approaches and methods used for investigating deposition systems and sea-level changes in East China Sea Shelf Basin

1. 沉积学研究的基本要素分析阶段

重点是对钻井岩心进行详细观察、描述并对沉积过程进行解释；对测井相、地震相、有机地球化学、生物组合及古生态进行分析，对钻井测井曲线和连井地震剖面进行详细解释，识别最基本和最特征的成因相。

2. 沉积体系构成分析阶段

进行沉积组合和沉积体系构成分析，确定基本沉积构成单元的形态、构成及共生组合关系，并对其进行成因解释；根据地震相和砂分散体系特征鉴别沉积体系类型，分析沉积体系的构成特点。通过详细的沉积学编图，建立沉积断面网络，在三维空间建立沉积体系的展布。

3. 层序地层分析阶段

以主干地震剖面的主要反射界面分析、对比和追踪为基础，结合录井和测井曲线的旋回划分、对比，以及生物的丰度和分异度确定各级层序的宏观特征，划分由界面限定的各级层序地层单元，建立盆地等时地层序列和地层格架，分析主要层序单元体系域、沉积体系的三维空间配置特征。

4. 海平面变化周期分析

根据反射地震剖面的上超规模及幅度，依据古生态、古生境分析，以及特征成因相、

沉积构造等反映古水深的标志，确定古水深及其变化周期和幅度，并编制海平面变化曲线。

5. 盆地演化和背景分析

在层序地层划分对比基础上，结合盆地边界条件分析，如盆地构造背景、同沉积构造、古地形、古气候、物源供给、地质事件分析等，以盆地级层序（一级层序）为单元进行充填演化阶段分析，恢复盆地的构造演化历史及各演化阶段的沉积充填过程。

6. 有利油气相带预测阶段

通过沉积体系分析和层序地层分析，查明主要目的层段中各层序（三级层序）沉积体系的空间配置及与生、储、盖的组合关系，确定并预测有利储集砂体的空间分布。

二、研究方法要点

进行沉积体系和层序地层分析，所采用的技术方法主要突出了以下几个方面：

1. 以地球物理方法为主、结合地质分析追索不同级别的层序地层界面

反射地震剖面所提供的反射界面是确定层序界面最重要的依据，然而只有结合对各种地质信息（如岩性、生物群、地球化学参量、测井曲线、地震相等）的综合研究才能确定这些界面的性质。不可片面强调或偏废任何一方面。

2. 沉积过程解释剖面研究

为了有效地研究沉积体系或体系域的内部沉积构成，应当从沉积过程剖面（单井相柱状）的研究工作开始，既要详细编录钻井岩心，准确细致地判别沉积构造和其它成因标志，又要特别注意由某一地质事件所形成的特征成因相的识别和解释。要对重点剖面和主要成因相进行岩石学特征及微相标志研究，将沉积过程解释剖面与沉积断面构成分析相结合，不仅可以揭示沉积体系的构成特征，而且对沉积体系的鉴别和沉积过程解释也很有帮助。

3. 对沉积体系进行三维空间研究

尽管精细的垂向序列分析对沉积体系的内部构成和沉积过程分析是必不可少的，但仅靠单井剖面（一维）的研究仍有相当大的局限性。为此利用研究区内大量的地震剖面，结合过地震剖面的单井资料对各成因单元的相与沉积体系进行追索和圈定，能真实地揭示成因相的空间关系。

4. 在钻井录井剖面进行大比例尺垂向精细解析

海上盆地钻井资料十分宝贵，利用十分有限的钻井剖面，尽量在垂向上把工作做细。如在单井中把层序划到小层序（parasequence），沉积体系分析中解释到成因相。精细的垂向层序划分可大大提高层序分析的分辨率。

5. 加强地震地层研究

鉴于盆地已经完成了大量的地震勘查工程并处理了许多地震剖面，进行深入细致的地震地层研究十分必要。利用地震相特征及地震层速度资料编制了西湖凹陷斜坡带主要目的层段（平湖组和花港组）各层序的地震相类型图、厚度图及相对砂泥岩比率图，实践证明这种方法行之有效。

第三节 有关术语及概念体系

近代层序地层学形成高潮以来存在的一个广泛的问题是术语体系问题。由于盆地构造地质背景的差异,使得不同盆地形成的层序无论在构型、形式还是在形成机制、相互间关系等诸方面都有显著的差异。例如,在大型内陆盆地,湖泊扩展和萎缩过程控制了层序的形成和发育,因而与经典层序地层相比,这种层序构型具有特殊的形式(李思田等,1995)。因此沿用已有的术语已经不能确切地揭示其深刻的内涵,李思田等提出了扩展体系域、萎缩体系域以代替原有的海侵体系域和高位体系域(李思田等,1993、1995)。由此可见,所采用的术语必须能够正确地反映层序或地质体的深刻内涵。

鉴于东海陆架盆地发展既有裂陷阶段的浅海、海陆交互充填沉积,又有裂后沉降阶段滨海湖泊、河流、三角洲沉积,所以也不能完全套用已有术语。由于对裂后沉降阶段滨海湖泊展布的范围揭露不完全,在西湖、瓯江凹陷仅仅是原形湖盆的西缘部分,因此在湖泊扩展期仍然表现为由东向西的水进。为了既照顾到盆地不同阶段充填性质,又使术语尽量反映客观实际,本文在体系域上采用的术语是低位体系域、水进体系域和高位体系域。

出于同样原因,也有必要将层序地层级别术语及其含义阐述如下,以探索是否适合大型叠合盆地沉积体系和层序分析的需要。

1. 盆地构造层序(tectonic sequence)和Ⅰ级层序界面(TS)

Ⅰ级层序界面是大区域性的不整合面或假整合面,它以界面下的地层形变为特征。这类界面是不同构造应力场下“单型”盆地划分的标志面,并用以划分构造层序。构造层序相当盆地的一级层序或“单型”盆地的充填序列。不同的构造层序代表了不同的构造体制,且其所指示的古构造作用、海平面变化、物源供给等都有大的差异。

2. 超层序(supersequence)和Ⅱ级层序界面(SS)

Ⅱ级层序界面通常是区域性的不整合面,此种界面是“单型”盆地沉积构造演化到一定阶段的产物,通常是构造反转或单型盆地从初始阶段、最大扩张到萎缩阶段转变的分界面,用以划分超层序(或二级层序)。隶属于同一构造层序的超层序在构造和沉积上虽有差异,但它们应处于同一构造应力场条件。

3. 层序(sequence)和Ⅲ级层序界面

层序界面通常也是不整合面、假整合面及其连续延伸之整合面。相转换面也可作为层序界面。层序的内部基本上是连续沉积的。三级层序的识别要靠地震剖面与钻井结合,靠反射波组追踪对比。

4. 小层序组(parasequence set)

一个层序往往有数十米或数百米厚,持续堆积时间达1~5 Ma或更久,显然其内部并非均是均一的,可做进一步划分。Vail等北美学者注意到层序上部、中部和下部的面貌有重大差别,因而将一个完整层序划分为低位、海侵和高位体系域。由于地震地层学与露头、钻孔岩心和测井曲线研究相结合而提出了小层序(parasequence)的概念。通常地震剖面上不能识别到小层序,但与钻井对比发现由层序划分出的体系域都是小层序组,而每个小层序组都是由一系列有成因联系并具有一定叠加形式的小层序构成。它多以重大水进面(海泛面或湖水扩展面)或与之对应的界面为界(Vail, 1989)。显然在层序内部识别和选择区