

陆相断陷盆地 层序地层学 工作方法 图集

周海民 董月霞 等编著



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

陆相断陷盆地层序地层学 工作方法图集

周海民 董月霞 等编著



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

内 容 提 要

本图集按照陆相断陷盆地层序地层学的工作思路、方法、流程,通过总结提炼,形成了断陷盆地特有的层序地层学研究范例。

本图集收录了近6年来冀东油田在层序地层学研究方面的具有典型意义的成果和图件。内容既有对层序地层学理论的继承,又有在生产实践过程中的创新与发展,为从事层序地层学理论与教学的专家、学者提供了有参考意义的素材和案例。

图书在版编目(CIP)数据

陆相断陷盆地层序地层学工作方法图集/周海民等编著.

北京:石油工业出版社,2006.10

ISBN 7-5021-5492-2

I. 陆…

II. 周…

III. 陆相-构造盆地-含油气盆地-地层层序-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第032104号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:北京晨旭印刷厂

2006年10月第1版 2006年10月第1次印刷

889×1194毫米 开本:1/16 印张:12

字数:300千字 印数:1—1000册

定价:168.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究



中国石油

序 言

F O R E W O R D

层序地层学理论形成于 20 世纪 80 年代初期，源自国外的海相沉积背景，它对地学领域的重大贡献是为人们提供了一种便于操作的等时地层对比技术，进而开辟了新的油气勘探领域——岩性地层油气藏。国内学者自 20 世纪 80 年代末期就引进了层序地层学的概念体系，并针对中国陆相含油气盆地的特殊地质背景开展了大量的探索性研究，提出了不同成因类型陆相盆地的层序地层模式。随着中国油气勘探开发事业的蓬勃发展，岩性地层油气藏的地位变得越来越重要。中国石油天然气股份有限公司近几年年增探明储量中，岩性油气藏所占比例超过了 50%，已经成为中国石油储量增长的重点。但总体上国内陆相盆地层序地层学理论与岩性地层油气藏的工业化勘探之间尚存在较大的差距。此图集的选题恰是作者匠心独具，基于南堡凹陷高品质的三维地震资料，以陆相湖盆沉积砂体分布规律为指导，对南堡凹陷古近系岩性地层油气藏形成与分布的地质规律进行研究，并与勘探实践紧密结合，不断探索，积淀而成。

南堡凹陷面积不足 2000km²，是中国东部渤海湾盆地中的小型断陷盆地，油气资源十分丰富。“十五”以来，通过大面积二次三维地震勘探与复杂油藏的精细勘探，在成熟探区相继发现了规模储量，推动了南堡陆地地区原油产量的快速上升，促进了南堡滩海勘探的重大发现。特别是 2005 年以来，在南堡凹陷大面积连片叠前时间偏移三维地震数据体的基础上，充分汲取当前国内外岩性地层油气藏勘探的重要研究成果，系统地开展了南堡凹陷层序地层学研究，实现全凹陷岩性地层圈闭的三维体识别与解释，使南堡凹陷岩性地层油气藏勘探研究真正步入到工业化阶段。

此图集以陆相断陷盆地层序地层学研究思路为主线，汇集了近年南堡凹陷岩性地层油气藏勘探实践的经典图片，表达方式简单明了，易读易懂。该图集是理论与勘探实践有机结合的佳作，对岩性地层油气藏勘探具有重要的参考价值。

FOREWORD

相信层序地层学研究将为中国的石油勘探开辟更广阔的领域，相信《陆相断陷盆地层序地层学工作方法图集》的出版将对岩性地层油气藏的工业化勘探起到重要的推动作用。

李永造

2006年9月21日



中国石油

前言

P R E F A C E

目前,中国国内的油气勘探工作可以说正处于历史上最活跃的时期。随着国际油价的持续走高,勘探投入相对增加,盆地动力学、层序地层学及成藏动力学等一些勘探新理论和新方法越来越多地为广大勘探工作者所接受和应用。伴随着勘探新技术的不断进步,针对一些不易发现的隐蔽勘探目标的探索能力逐渐加强,油气勘探工作收获颇丰,取得了一系列重要发现。前陆盆地、大型古隆起、大面积地层岩性带、断陷盆地富油气凹陷、碳酸盐岩区和海域等六大领域相继成为国内油气勘探发现大油田的主要领域和目标区。

在中国东部,以松辽盆地和渤海湾盆地两大盆地为重点,整体勘探程度高,油气勘探工作虽然仍有很大的潜力,但勘探难度逐渐加大,对新技术、新方法的要求也越来越高。近些年来,油气勘探工作者面对复杂的地质条件和勘探难度逐渐加大的客观实际,不断创新勘探思路,加大新技术的推广应用力度,在勘探理论和勘探方法上持续创新,积累了很多独特的勘探经验,取得了丰硕的勘探成果。在这一地区,储量一直保持着有序的接替,产量也相对稳定。甚至在一些低勘探程度区和海域还有重大发现,产量实现了快速增长。这其中不乏经典的勘探范例。

在东部各探区,近年来面对新形势都形成了各自特有的勘探思路和方法。有的对本探区的勘探工作有很强的针对性,有的对全国的勘探工作有很好的指导意义。胜利探区立足富油气凹陷充分应用层序地层学理论及其研究方法,在岩性地层油气藏勘探工作中实现了理论上的创新,总结了一套成熟的岩性地层油气藏勘探方法,年新增储量一直保持在亿吨以上,实现了高勘探程度区产量的基本稳定。松辽盆地大庆和吉林探区围绕着大面积低渗透岩性油气藏开展勘探工作,总结了大型盆地大面积低渗透岩性油藏的勘探思路和方法,并形成了配套的勘探开发技术,为实现“东部更稳定”作出了重要贡献。华北油田在二连探区小凹陷的岩性地层油藏勘探中,创造性地提出了独到的勘探工作思路和勘探方法,并进行了很好的总结与推广,获得了一批重要的勘探发现,保持了油田产量的稳定,应该说非常具有特色。

冀东油田的有效勘探面积达 1660km²,是一个小探区,也是一个老探区。

PREFACE

勘探工作起步于 1962 年, 历经 44 年, 一直被公认为是渤海湾盆地勘探难度大、地质条件复杂、技术要求高的探区之一。自 1988 年冀东油田成立以来, 18 年的勘探历程大体经历了四个勘探阶段: 油田成立之初, 针对构造油藏勘探取得了三个重要发现, 产量由 $18 \times 10^4 \text{t}$ 快速上升到 $40 \times 10^4 \text{t}$; 随后, 由于勘探前期准备不足, 当时的勘探技术不能适应勘探形势的要求, 加之地下地质条件复杂, 陆地 660km^2 狭小的勘探区域内连续 5 年勘探没有突破, 油田面临生存与发展的艰难困境; 进入“九五”以后的 10 年间, 冀东油田立足于南堡凹陷, 依托老区二次三维地震勘探、高精度三维地震勘探、大面积连片叠前时间偏移、老区地质再认识、低阻油气层识别等新技术和新方法, 勘探工作不断取得新进展, 连续获得新发现; 特别是“十五”以来, 相继在高柳老区发现了亿吨级油田, 在南堡滩海发现了南堡大油田。在这一勘探过程中, 层序地层学理论和工作方法很好地指导了探区的勘探工作, 不管是在岩性油气藏勘探, 还是在老区构造油藏再认识等方面都发挥了重要作用。

冀东油田在开展岩性油气藏勘探工作, 特别是在应用层序地层学理论开展综合地质研究方面, 一直坚持产、学、研相结合的工作方式。通过与中国地质大学、中国石油勘探开发研究院等单位的合作, 将层序地层学理论和工作方法很好地应用于探区勘探生产实践中。结合探区小、三维地震资料品质得到明显改善这一有利条件, 通过 6 年的不断探索和研究, 形成了具有自身特色的层序地层学工作方法, 实现了层序地层学理论和方法在断陷盆地岩性油气藏勘探中的工业化应用。这突出表现在三维层序体解释、岩性圈闭目标评价、工业化制图等方面, 并取得了明显的勘探效果。通过不断总结、完善, 形成了陆相断陷盆地层序地层学研究的工作思路和配套的研究方法。可以说, 这为冀东探区实现跨越式大发展作出了重要贡献。

该图集主要收录了近 6 年来冀东油田在层序地层学研究方面的具有典型意义的成果和图件。本图集按照陆相断陷盆地层序地层学的工作思路、方法、流程, 通过总结提炼, 形成了断陷盆地特有的层序地层学研究范例。希望它们对类似盆地的岩性油藏勘探工作和层序地层学应用能有所帮助。

PREFACE

图集的内容主要依托于冀东油田“南堡凹陷精细勘探技术研究与应用”、“南堡凹陷古近系层序地层研究与工业化制图”、“南堡凹陷沙河街组层序地层格架解释”、“南堡凹陷岩性地层油藏综合研究”等前期研究项目的研究成果,以及相继出版的《断陷盆地油气勘探理论与实践》、《断陷盆地精细勘探》、《陆相断陷盆地成藏动力学与含油气系统表征》等专著,按照以凹陷(盆地)为单元开展层序地层学研究的工作流程,汇编了具有典型意义的图件与成果。

该图集内容既有对层序地层学理论的继承,又有在生产实践过程中的创新与发展,力求对从事油气勘探一线生产的研究者和管理者有所裨益,为从事层序地层学理论与教学的专家、学者提供有参考意义的素材和案例。考虑到目前有关层序地层学理论和研究方法方面的文献很多,总结得也很全面,并限于时间仓促和作者的水平,本图集未对层序地层学理论方面进行系统阐述,主要侧重于勘探生产中如何将层序地层学理论和工作方法应用于实践,实现层序地层学研究的工业化制图,以及岩性地层油藏的工业化勘探。

本图集图件的编辑与整理工作由周海民教授、董月霞教授、丛良滋博士等人完成。中国地质大学的李思田教授、夏文臣教授、王华教授、邓宏文教授、冯有良博士,以及相关研究单位为本书提供了大量的图件。在本图集的编辑过程中,黄红祥、张新亮、张志杰、闫伟鹏、陈新燕等同志和相关研究单位为图件的修改和编制做了大量工作,在此一并表示感谢。

中国科学院院士,著名石油地质学家贾承造先生一直倡导、推动着中国石油岩性地层油气藏的研究与勘探工作。他在百忙中为本图集作序,这是对我们编著者的最大鼓励与鞭策,在此表示衷心的感谢!

编者

2006年10月2日





中国石油

目 录

C O N T E N T S

第一章 层序地层学理论基础	1
第一节 国外层序地层学理论的提出与发展	2
第二节 中国陆相断陷盆地层序地层学研究的主要进展	10
第三节 南堡凹陷层序地层学研究	20
第四节 岩性油藏的勘探思路和研究工作流程	22
 第二章 单井层序划分与单井相研究	 23
第一节 断陷盆地层序充填序列的划分和建立	24
第二节 单井层序划分	26
第三节 沉积相与沉积体系研究	35
 第三章 井—震结合骨架地震剖面层序地层解释	 47
第一节 井—震层序界面识别	48
第二节 连井地震层序格架建立	51
第三节 层序地层剖面的平衡恢复与体系域解释	81
 第四章 断陷盆地层序地层构成模式	 87
第一节 同沉积断裂坡折型层序构成模式	88
第二节 同沉积构造弯折型层序构成模式	89
第三节 无坡折平缓地貌型层序构成模式	90
第四节 断陷盆地层序构成模式组合	91
 第五章 全凹陷层序地层三维体解释	 92
第一节 资料基础	93
第二节 南堡凹陷北部地区二维层序剖面解释与层序研究	98
第三节 南堡凹陷南部地区三维地震体解释	104

CONTENTS

第六章	南堡凹陷成因地层分析	127
第一节	三种成因地层界面	128
第二节	古湖水位变化与构造沉降对成因层序的控制	130
第三节	超层序的划分	135
第四节	层序地层单位与油气生、储、盖组合	139
第七章	岩性油气藏勘探实例	140
第一节	勘探理念的转变与岩性地层油气藏勘探领域的拓展	141
第二节	柳赞油田柳北 $E_{s_3}^3$ 油藏层序地层精细研究	148
第三节	南堡凹陷东营组北部断裂坡折带岩性圈闭识别与评价	155
第四节	高尚堡深层 G5 区块油藏再认识	168
第五节	洪泽凹陷层序地层学研究 with 岩性油藏勘探目标评价	172

第一章 层序地层学理论基础

层序地层学作为一门独立的学科,其产生与发展对石油地质乃至地质学领域都产生了极为深远的影响。有人甚至将层序地层学的发展称为沉积地质学的第三次革命,因为它“改变了分析世界地层记录的基本原则”,并对沉积学和地层学的发展具有深远的理论意义,对油气勘探实践具有重要的指导意义。其重要性主要表现在以下五个方面:

(1) 它消除了地层学中长期存在的年代地层与岩石地层及生物地层划分方案的混乱现象,不同级别的层序地层单位的划分结果都表现出不同程度的区域可对比性。

(2) 层序地层学在以往孤立的基础研究学科,如地层学、沉积学、构造地质学、石油地质学和油田地质学之间建立了良好的联系,从而使多学科一体化研究成为可能。

(3) 在全球油气勘探程度不断提高、油气勘探重点由构造圈闭向隐蔽圈闭转变的今天,层序地层学对油气勘探领域最突出的贡献是对潜在油气勘探目标,特别是地层圈闭和岩性圈闭的勘探具有重要的指导意义。通过对不同盆地类型层序地层学模式的研究,人们可以有效地预测有利储集体系和储集单元的空间展布,并通过各沉积体系域的空间叠置关系,对各套生储盖组合关系进行综合评价,以优选有利的勘探目标。

(4) 通过地震地层学对比技术的引入和其他等时地层对比技术的融合,层序地层学的等时追踪技术具有很强的可操作性,从而使层序地层学理论更易于推广和应用。

(5) 由于地震地层学是层序地层学研究技术中的一项核心技术,而地震技术又是油气勘探技术中发展最快的领域之一,因此,地震采集、处理及解释技术的每一次突破都将带来地震地层学解释技术新的发展和人们对地下地质现象认识程度的进一步提高,同时也将为相关学科(如沉积学)的发展带来新的活力,从而使层序地层学研究技术能够始终跟上时代发展的步伐,为油气勘探事业的发展创造新的契机。

第一节 国外层序地层学理论的提出与发展

层序地层学的相关原理是在传统地质学思想方法的基础上发展起来的。被誉为层序地层学之父的 Sloss 在其 1988 年的 GSA 文章 (Forty Years of Sequence Stratigraphy) 中回忆到, 他在 1948 年的 GSA 文章中所提出的“以不整合为边界的地层单元——层序”, 这个美国部落式的名称, 当时还只是一个岩性地层单元。20 世纪 50 年代, Sielen (1958) 提供了一个大陆边缘相对于海平面变化、沉积物变化和沉积物供应变化的与当今层序模型较类似的地层响应图解。同时, Wheeler (1959) 也提出了以区域性不整合为界的沉积幕的概念。Sloss (1963) 在北美克拉通晚前寒武纪至全新世地层之间, 以区域不整合为界划分出 6 大地层单元, 称这些地层单元为“层序”, 并把层序定义为“比群、大群和超群级别更高的、在一个大区域内可追踪的、以区域不整合为界的岩石地层单元”(蔡希源, 李思田, 2003)。尽管 Sloss 的“层序”与现今层序的内涵并不完全相同, 但其概念的提出无疑对层序地层学的发展具有积极的意义。

Fisher 和 McGowan (1967) 将沉积体系定义为“一种三维岩相组合体”; Brown 和 Fisher (1977) 将体系域定义为“一连串同期的沉积体系”。这两个术语在后续的经典 Exxon 层序地层学概念体系中得到全面采用和发展。

P. R. Vail, R. M. Mitchum, S. Thompson (1977) 发表的地震地层学专著 (Seismic Stratigraphy Application to Hydrocarbon Exploration) 是层序地层学理论发展的重要里程碑。随后, Vail 等在更多的露头资料和测井资料研究的基础上, 进一步完善了原有的地震地层学理论和概念。1987 年, 在 Bally 编著的地震地层学图集 (Atlas of Seismic Stratigraphy) 中, Vail, Wagoner 等首次使用了“层序地层学”概念。1988 年, Wilgus 编著的 SEPM 第 42 期特刊 (Sea-level Changes: an Integrated Approach) 标志着层序地层学作为一门新的学科从此诞生。

简而言之, 层序地层学经历了 20 世纪 50 年代的相模式、60 年代的沉积体系、70 年代的地震地层学和 80 年代的层序地层学发展阶段。到 20 世纪 90 年代, 层序地层学的概念和方法逐渐形成完整的体系, 并在油气勘探中作为一种权威性技术得以广泛应用。

在以 Vail 为代表的经典 Exxon 层序地层学出现之后或在其出现的同期, 国外还出现了其他一些层序地层学学术流派。Johan Peter Nystuen (1998) 在“层序地层学的历史与发展”一文中对这些流派所提出的模式、方法和概念进行了总结。下面将对国外层序地层学的三个主要学术流派, 即经典 Exxon 层序地层学、高分辨率层序地层学和成因地层层序学的基本内容予以简要摘录和介绍, 目的是让读者能够进一步明确有关层序地层学的基本概念和不同层序地层学流派对层序划分的内在关系, 以便于对本图集内容的阅读。对于想系统了解各种层序地层学原理的读者, 可阅读本书列出的较详细的参考文献。

一、经典 Exxon 层序地层学

经典 Exxon 层序地层学是国外层序地层学领域重要的学术流派, 也是国内石油地质界广泛采用的层序地层学流派。对该流派的主要技术内容、关键术语和主要模式, Wagoner 等 (1988) 进行了较全面的阐述 (徐怀大, 1993)。

层序地层学研究的是以侵蚀面或无沉积作用面 (或者与之可以对比的整合面) 为界的、成因上有联系的地层年代框架内的岩石关系 (Wagoner 等, 1988; 徐怀大, 1993)。实践研究结果表明, 不同类型的盆地内部均可划分出不同级别的层序地层单元。目前, 对于各级层序单元的涵义、划分准则已基本形成

共识 (Wilgus 等, 1988; Wagoner, 1995)。一级层序 (巨层序) 和二级层序 (超层序和超层序组) 被认为受全球性和区域性构造因素控制, 其界面常属区域性的不整合面, 代表重要的沉积间断。三级层序 (通常含义的层序) 是层序地层单元中的基本层序。

每一个三级层序均由 1~3 个体系域构成, 而各层序内部的体系域又是由以海泛面为界的准层序组和准层序构成的, 因此, 准层序和准层序组是层序的基本构筑单元。

海泛面是一个把较新地层与较老地层分开的面, 跨过这个面有水深突然增加的证据。这种加深通常与小的水下侵蚀作用 (但是没有陆上侵蚀作用或者岩相的向盆地方向转移) 和无沉积作用相伴生, 并且可以以一个小的沉积间断为指示。海泛面上不会发生上覆地层的上超, 除非这个面与层序边界重合。

准层序组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与之对比的面为界的独特的叠置方式 (Wagoner, 1985)。准层序组内准层序的叠置方式可以是前积式的、退积式的或者加积式的, 这取决于沉积速率与可容纳空间腾空速率的比值。在层序内部, 这些叠置方式是可以预测的。

层序是一套相对整合的、成因上有联系的、其顶底以不整合面或可以与之对比的整合面为界的地层 (Vail, 1977)。

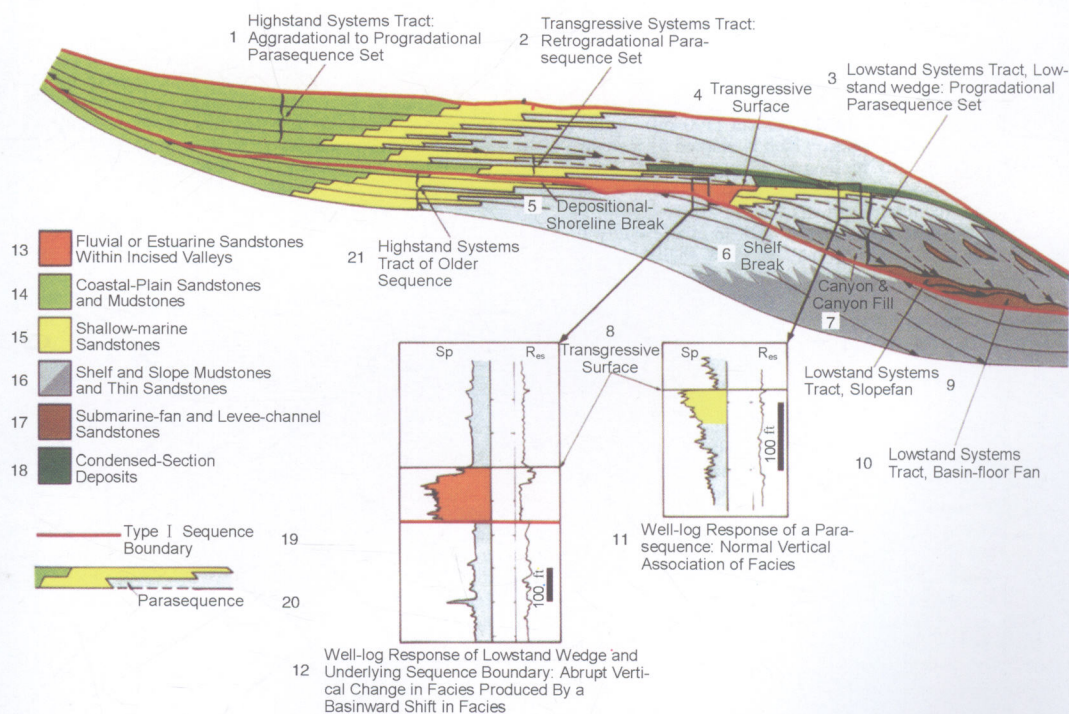


图 1-1 具有陆架坡折的盆地内沉积的 I 型层序的地层分布模式

(Stratal Patterns in a Type I Sequence Deposited in a Basin with a Shelf Break. J. C. Van Wagoner *et al*, 1988)

1—高位体系域: 加积—进积准层序组; 2—水进体系域: 退积准层序组; 3—低位体系域、低位楔: 进积准层序组; 4—海进面; 5—沉积滨线坡折; 6—陆架坡折; 7—海底峡谷和峡谷充填; 8—海进面 (测井响应); 9—低位体系域, 斜坡扇; 10—低位体系域, 盆底扇; 11—准层序测井响应: 标准垂向岩相组合; 12—低位楔和层序底界测井响应: 由岩相朝盆地方向转移新产生的岩相垂向突变; 13—下切谷中河流或河口湾砂岩; 14—海岸平原砂岩和泥岩; 15—浅海砂岩; 16—陆架坡折和陆坡泥岩及薄砂岩; 17—海底扇和有堤河道砂岩; 18—密集段沉积; 19—I 型层序边界; 20—准层序; 21—老层序的高位体系域

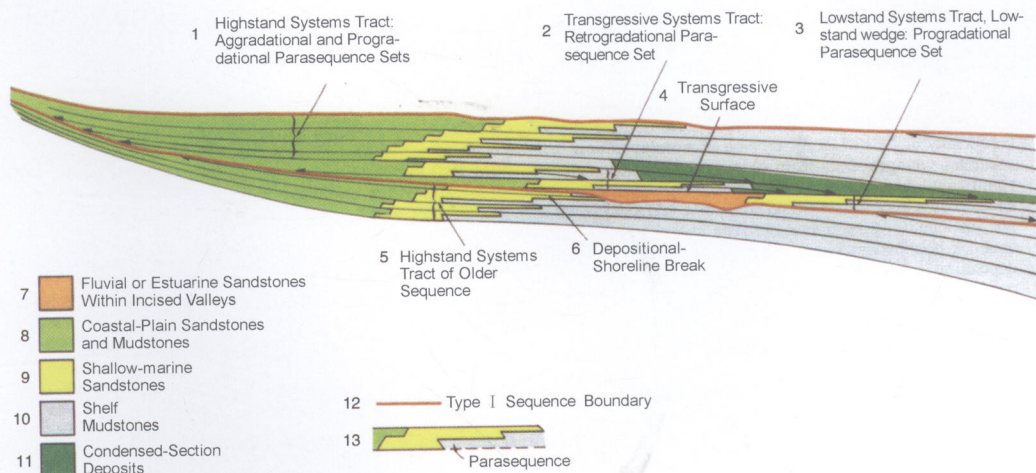


图 1-2 具有缓坡边缘的盆地内沉积的 I 型层序的地层分布模式

(Stratal Patterns in a Type I Sequence Deposited in a Basin with a Ramp Margin. J. C. Van Wagoner *et al*, 1988)

1—高位体系域：加积和进积准层序组；2—水进体系域：退积准层序组；3—低位体系域、低位楔：进积准层序组；4—海进面；5—老层序的高位体系域；6—沉积滨线坡折；7—下切谷中河流或河口湾砂岩；8—海岸平原砂岩和泥岩；9—浅海砂岩；10—陆架坡折泥岩；11—密集段沉积；12—I 型层序边界；13—准层序

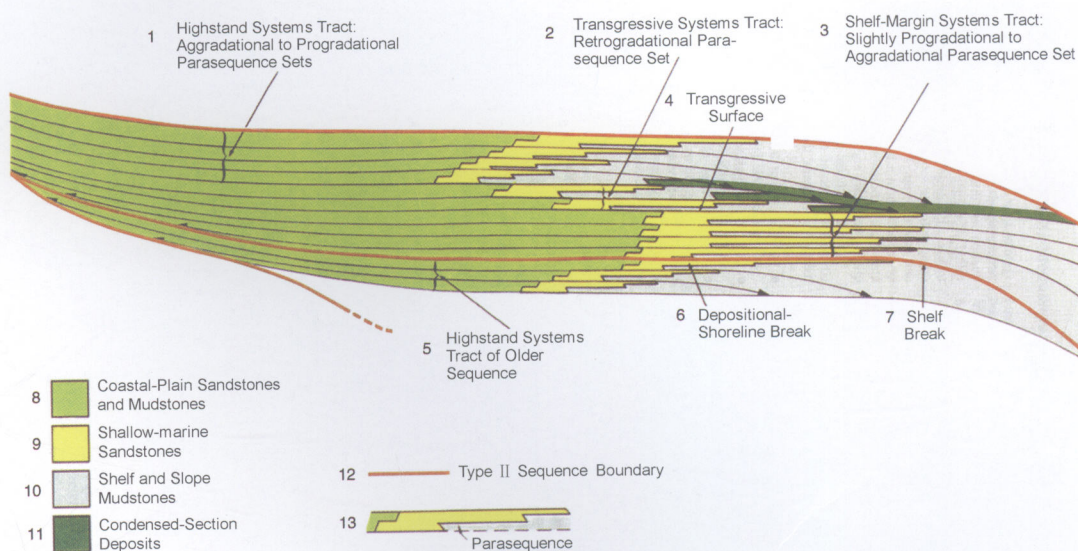


图 1-3 具有陆架边缘的盆地内沉积的 II 型层序的地层分布模式

(Stratal Patterns in a Type II Sequence Deposited in a Basin with a Shelf Margin. J. C. Van Wagoner *et al*, 1988)

1—高位体系域：加积—进积准层序组；2—水进体系域：退积准层序组；3—陆架边缘体系域：弱进积—加积准层序组；4—海进面；5—老层序的高位体系域；6—沉积滨线坡折；7—陆架坡折；8—海岸平原砂岩和泥岩；9—浅海砂岩；10—陆架和陆坡泥岩；11—密集段沉积；12—II 型层序边界；13—准层序

Wagoner 等 (1988) 曾在被动大陆边缘盆地中识别出两种层序类型，即 I 型层序和 II 型层序 (图 1-1、图 1-2、图 1-3)。当海平面下降速率大于沉积滨线坡折带处盆地构造沉降速率时，形成 I 型层序，

此时,形成海平面的相对下降,并降落至陆架坡折带以下;当海平面下降速率小于沉积滨线坡折带处盆地构造沉降速率时,形成Ⅱ型层序,此时,在陆架坡折带处并未发生明显的海平面相对下降。

完整的Ⅰ型层序可由低位体系域、海进体系域和高位体系域构成,而完整的Ⅱ型层序则由陆架边缘体系域、海进体系域和高位体系域构成。

低位体系域介于Ⅰ型层序边界与初次海泛面之间。在具有陆架坡折带的Ⅰ型层序中,低位体系域可由盆底扇、陆坡扇和低位楔组成。盆底扇以下陆坡底部的海底沉积为特征,扇的形成与海底峡谷进入陆坡的侵蚀作用以及河谷进入陆架的下切作用相伴生。陆坡扇以陆坡中部或底部的浊流和碎屑流沉积为特征。陆坡扇沉积可以与盆底扇是同时期的,或者与低位楔的早期部分是同时期的。低位楔以陆架上的下切河谷充填为特征,它通常上超于层序界面之上,并以具有楔形几何形态的前积充填方式覆盖于陆坡之上,且通常下超于盆底扇或陆坡扇之上。低位楔的顶面与低位体系域的顶面相重合,是初次海泛面。在具有缓坡边缘的Ⅰ型层序中,低位体系域则由相对薄的低位楔组成,它可能包含两个部分。第一部分以河流下切作用和沉积物过路冲蚀海岸平原为特征,是在海平面相对下降时期发生的,在该时期滨线快速向盆地方向推进,直至相对海平面下降稳定为止。第二部分以海平面的缓慢相对上升、下切河谷的充填,以及滨线的连续前积为特征,造成一个由逆倾向的下切河谷充填沉积物和顺倾向的一个或多个前积准层序组构成的低位楔。

海进体系域是典型Ⅰ型和Ⅱ型层序内的中间体系域。它以一个或多个退积式准层序组为特征。海进体系域的底面为初次海进面。海进体系域内部的准层序在朝陆地方向上超到层序边界之上,在朝盆地方向下超到海侵面之上。海进体系域的顶面是最大海泛面。

高位体系域是典型Ⅰ型或Ⅱ型层序中的上部体系域。这个体系域通常广泛分布在陆架上,并且常常从一个或多个加积式准层序组开始,继之为一个或多个前积准层序组。高位体系域内部的准层序在朝陆地方向上超于层序边界之上,在朝盆地方向下超于海进或低位体系域顶面之上。高位体系域的顶部以Ⅰ型或Ⅱ型层序界面为界,其底部以下超面为界。

密集段主要分布于海进体系域内部和高位体系域远端,是含油气系统中烃源岩体系的主要发育区。

陆架边缘体系域是与Ⅱ型层序边界伴生的最低体系域。该体系域以一个或多个微弱前积到加积的准层序组为特征,它在朝陆地方向上超到层序边界之上,在朝盆地方向下超到层序边界之上。陆架边缘体系域的顶面是海侵面,同时也是海进体系域的底面。陆架边缘体系域的底面是Ⅱ型层序界面。

二、高分辨率层序地层学

Cross (1988, 1991), Cross 等 (1993) 及 Cross 和 Lessenger (1998) 相继提出了另一种层序地层学,即高分辨率层序地层学。高分辨率层序地层学的观点认为,构成经典层序地层学的三级层序的低位体系域、海进体系域和高位体系域中的砂体沉积并不是等时的。如沉积在具有陆架坡折带的低位体系域由盆底扇、斜坡扇和低位楔状体组成,这三种类型的低位域砂体在形成时间上是不同期的。盆底扇与层序界面上的侵蚀作用和河谷下切作用相伴生,其顶面是个下超面,是海平面相对下降期产生的;低位楔以陆架上的下切谷充填为特征,通常上超于层序界面之上、下超于盆底扇和斜坡扇之上,是海平面相对上升期下切谷充填作用形成的,与盆底扇沉积不同期,在时间上明显晚于盆底扇(徐怀大等,1993)。同样,高位体系域由一个或多个加积或进积的准层序组或准层序构成。由盆地边缘到盆地斜坡,沉积体每一次进积形成的“准层序”均由冲刷作用形成的不整合面、过路作用形成的沉积间断面和沉积推进作用形成的进积

陆相断陷盆地层序地层学工作方法图集

层序序列组成,多次进积作用形成的准层序的叠合构成“准层序组”或高位体系域。因而,三级层序高位域的顶界面,即层序界面是多个冲刷不整合面的“集合”形成的,代表了一个时间段。

高分辨率层序地层学理论的核心是:在基准面旋回变化过程中,由于可容纳空间与沉积物供给速率的变化,导致沉积物的保存程度、地层堆积样式、相类型、相结构、相序等发生变化,这些变化是沉积作用在基准面旋回中所处的阶段、所处位置和可容纳空间的函数。因此,通过研究控制沉积层序发育的基准面旋回变化,可以建立等时地层格架,预测等时地层单元内部地层的结构型式和岩相分布。

基准面旋回是高分辨率层序地层学的一个重要概念。然而,地质家对基准面的概念并不陌生。Barrell早在1917年就认识到地层序列记录了基准面穿越地表上升与下降作用的全过程。Busch(1959)再度重申“地层旋回是基准面旋回期间的沉积物堆积记录”。Sloss(1963)认为地层基准面是分隔沉积作用和剥蚀作用的理论均衡面,“在该面之上沉积物不能停留,该面之下可能发生沉积作用和埋藏作用”。Wheeler(1964)对基准面的定义更为科学,他指出,“基准面既不是海平面,也不是海平面向陆方向延伸的水平面。地层基准面是一个相对于地表波状起伏的、连续的、略向盆地方向下倾的抽象面(非物理面)。这个面相对于地表上升和下降,其位置、运动方向及升降幅度不随时间而变化”。Cross等(1993)引用并发展了Wheeler(1964)的基准面概念,他指出,基准面是一个势能面,它反映了地球表面与力求其平衡的地表过程间的不平衡程度(图1-4)。要达到平衡,地表要不断地通过沉积或剥蚀作用改变其形态,使其向靠近基准面的方向移动,因此,这个面是描述迫使地表上、下移动到某一位置的能量均衡面。在这个位置上,地形梯度、沉积物供给和可容纳空间是平衡的。基准面在变化中总是具有向其幅度的最大值或最小值单向移动的趋势,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。基准面由上升到下降或由下降到上升的转换位置为基准面旋回的转换点。

控制沉积物在地表形成、分布和保存的诸多物理、化学和生物作用可归纳为两个地层变量,即可容

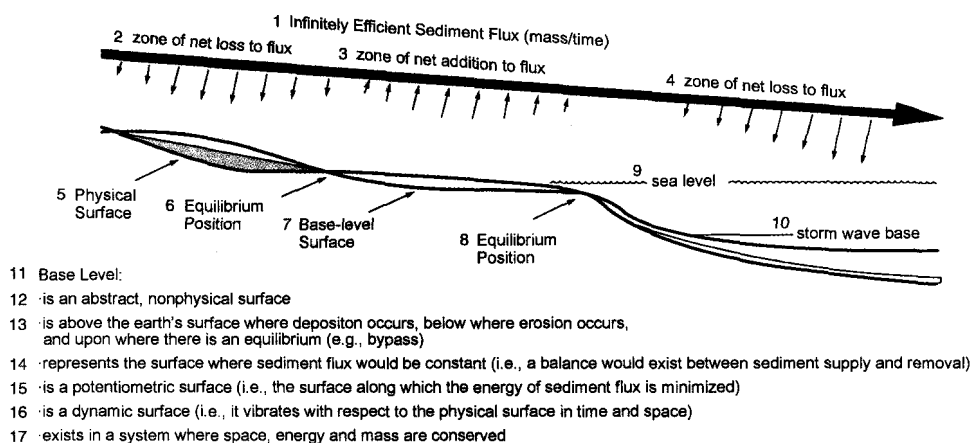


图 1-4 基准面概念

(Concept of Base-level. T. A. Cross, 1994)

1—供给充分时有效沉积物通量(单位时间内的沉积物补给量);2—沉积物卸载区;3—沉积物补给区;4—沉积物卸载区;5—物理面;6—平衡位置;7—基准面;8—平衡位置;9—海平面;10—风暴浪基面;11—基准面;12—是一个抽象的非物理面;13—在沉积作用发生处,基准面位于地表之上;在剥蚀作用发生处,基准面位于地表之下;基准面处为一平衡位置(如沉积物过路不留);14—代表沉积物通量恒定的一个界面(即沉积物供给与迁移保持平衡状态);15—是一个势能面(即沿该面沉积物通量的能量达到最小);16—是一个动态面(即它相对于物理面在时空域内发生振荡);17—处于一个空间、能量和质量均保持守恒的系统内

纳空间 (A) 和沉积物供给量 (S), 二者之间的关系可以其比值 (A/S) 表示。可容纳空间是地表和基准面之间可供沉积物堆积的体积。当基准面位于地表之上时, 提供了沉积物的堆积空间, 沉积作用发生, 任何侵蚀作用均是局部的或暂时的; 随着基准面相对于地表进一步上升时, 可容纳空间增大, 沉积物在该可容纳空间内堆积的潜在速度增加, 但沉积物堆积的实际速度, 还受控于物质搬运的地质过程。也就是说, 可容纳空间控制了某一时间内, 某一地理位置沉积物堆积的最大值, A/S 则决定了可容纳空间内沉积物堆积速度、保存程度和内部结构等。当基准面位于地表之下时, 可容纳空间消失, 发生侵蚀作用, 任何沉积作用均是暂时的和局部的。随着基准面相对于地表进一步下降, 侵蚀作用的潜在速度增加, 但实际速度也受将沉积物搬离地表的地质过程所限制。当基准面与地表一致时, 既无沉积作用又无侵蚀作用发生, 沉积物仅表现为路过, 因此, 在基准面变化的时间域内 (时间是连续的), 在地表的不同地理位置上表现为四种地质作用状态, 即沉积作用、侵蚀作用、沉积物路过产生的沉积间断及沉积物非补偿 (当可容纳空间与沉积物供给量比值 $A/S \rightarrow \infty$ 时) 产生的饥饿性沉积作用。

建立等时地层框架, 并依此预测沉积有利相带和进行精细的储层表征是高分辨率层序地层学的主导思想, 研究基准面的旋回变化及这种旋回变化与沉积物的体积分配、相序的对称性和相分异的规律是高分辨率层序地层学的主要技术思路。图 1-5 说明了基准面旋回变化过程中自冲积平原到浅海陆架区的相分异及旋回结构对称性的时空变化关系。在冲积平原区, 因地势较高, 可容纳空间只出现在基准面上升阶段, 在物源供给充分的前提下, 可保留基准面上升的半旋回沉积, 但通常缺乏基准面下降的半旋回沉积; 在海岸平原至潮汐滨线区, 无论在基准面上升期还是基准面下降期都具有可观的可容纳空间, 而且离沉积物源区较近, 因此往往发育对称的基准面上升和下降的地层记录; 在滨前至浅海区, 因基准面上升期的沉积物源很少能够抵达此地, 因此主要发育基准面下降期的半旋回沉积, 而且其基准面下降末期的沉积也常受到随后的基准面上升海流的反向冲刷; 在浅海陆架区, 受远源漂浮沉积、浊流沉积、风暴

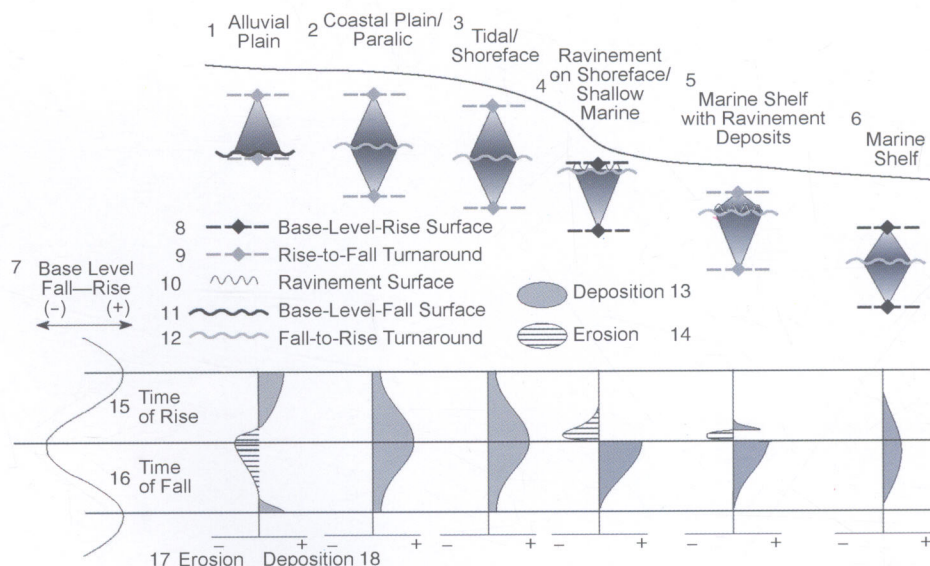


图 1-5 基准面旋回变化期间不同相域的沉积物体积分配

(Sediment Volume Partitioning in Facies Tracts During Base-level Cycle. T. A. Cross *et al.*, 1998)

1—冲积平原; 2—海岸平原/近海; 3—潮汐/滨面; 4—滨面海侵/浅海; 5—具有海侵冲刷沉积物的海洋陆架; 6—海洋陆架; 7—基准面降—升; 8—基准面上升面; 9—上升—下降转换面; 10—海侵冲刷面; 11—基准面下降面; 12—下降—上升转换面; 13—沉积作用; 14—侵蚀作用; 15—上升期; 16—下降期; 17—侵蚀作用; 18—沉积作用