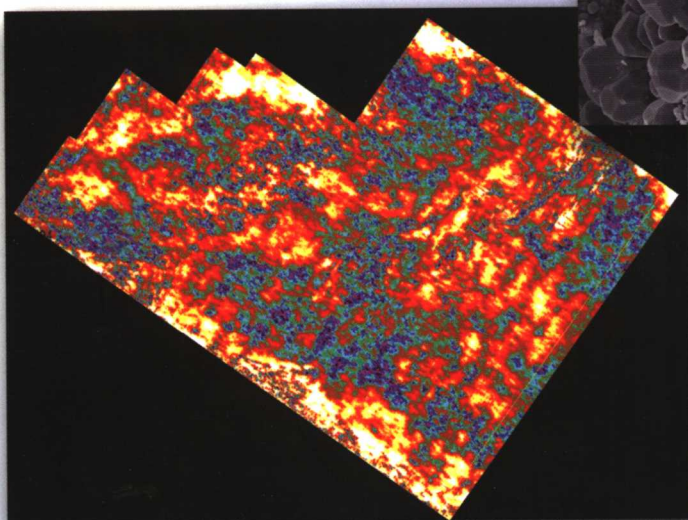
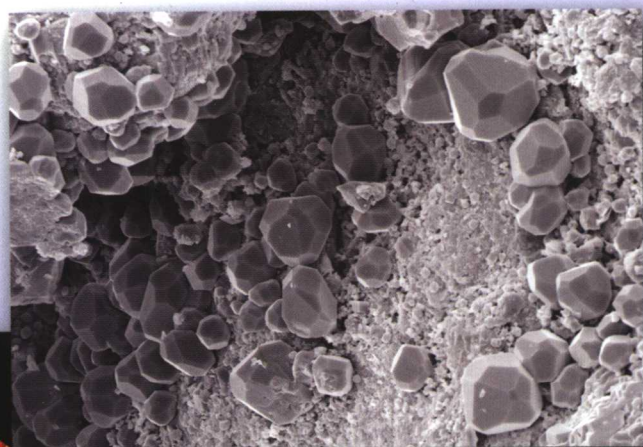


# 中国层序地层学导论

ZHONGGUO CENGXU DICENGXUE DAOLUN

吴因业 邹才能 季汉成 编著



石油工业出版社  
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

# 中国层序地层学导论

吴因业 邹才能 季汉成 编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书系统论述了中国层序地层学研究的理论和实践,对中国石油层序地层学的基本特征和工业化应用进行了总结,提出的区域层序解释技术基本与国际接轨,反映了中国沉积储层和层序地层学的主要研究内容和技术手段,对中国重要盆地类型的层序地层学和沉积体系的研究做了实例介绍。指出层序地层学研究的核心理论包括海相层序地层学的四要素控制论和陆相层序地层学的体系域演化理论,核心技术包括沉积体系域表征技术、高精度准层序格架下的储层地震预测技术和区域储层评价技术以及层序地层学的工业化制图与应用。

本书是一部理论与实践相结合的著作,可作为层序地层学和岩性地层油气藏勘探研究的教材,也可作为广大地质工作者和大专院校师生的重要参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国层序地层学导论/吴因业等编著.

北京:石油工业出版社,2005.12

ISBN 7-5021-5329-2

I. 中...

II. 吴...

III. 地层层序-地层学-中国

IV. P535.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 138356 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

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:20.5

字数:518 千字 印数:1—1000 册

---

定价:50.00 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



吴因业，男，1964年出生，浙江义乌人，工学博士，高级工程师，中国科学院博士后，中国石油大学客座教授。国际沉积学家协会（IAS）会员，中国石油学会石油地质专业委员会沉积储层学组秘书兼学术委员会委员和北京地质学会常务理事。《古地理学报》编委，担任《石油勘探与开发》、《石油学报》等学术杂志审稿人。长期从事油气层序地层学和沉积储层研究工作，多次赴澳大利亚、苏丹、美国等开展国际合作项目研究和（或）学术交流。发表学术论文近50篇，出版有《油气层序地层学》、《层序地层框架与油气勘探》、《含油气盆地层序解释技术》等专著。

E-mail: wyy@petrochina.com.cn

wuyy2002@msn.com

## 序

中国层序地层学的引进和应用起源于 20 世纪 80 年代初期,在中国著名沉积储层专家裘怿楠教授、冯增昭教授等代表参加的第 13 届国际沉积家协会 (IAS) 的国际沉积学大会 (英国 Nottingham, 1990) 及中国石油天然气集团公司吴因业博士和贾爱林博士等代表参加的第 15 届 IAS 国际沉积学大会 (西班牙 Alicante, 1998) 上,层序地层学研究的思路和方法给中国学者提供了新的启迪。

进入 21 世纪,随着岩性地层油气藏勘探的展开,层序地层学研究在中国更加得到重视,特别在三维地震技术的应用、盆地坡折带岩性油气藏勘探和前陆盆地层序地层学研究方面取得了新进展。开展层序地层学研究,分析含油气盆地层序的形成机制,有利于提高储层的预测水平和精度,寻找地层岩性油气藏,开拓新的勘探领域。

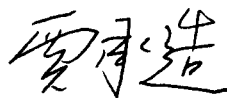
近年来中国油气勘探事业取得了巨大成就,在不断发现构造油气藏的同时,地层岩性油气藏的勘探也出现了轰轰烈烈的局面。这也大大促进了石油地质基础理论的研究,包括油气层序地层学的研究和应用。

在近 20 年的科研积累和近 10 年“油气层序地层学”讲学基础上,作者编写了《中国层序地层学导论》一书,介绍了层序地层学的核心理论包括海相层序地层学的四要素控制论和陆相层序地层学的体系域演化理论,也论述了层序地层学的核心技术包括沉积体系域表征技术、高精度准层序格架下的储层地震预测技术和区域储层评价技术,以及层序地层学研究的工业化制图与应用。本书反映了中国沉积储层和层序地层学的主要研究内容方法,并配以不同盆地类型层序地层学和沉积体系的研究实例,相信会对中国油气勘探事业和技术进步起到重要的推动作用。

中国科学院院士

中国石油天然气股份有限公司副总裁

中国石油勘探开发研究院院长



2005 年 10 月

# 前 言

层序地层学的产生起源于 Mac Jervey 在 20 世纪 70 年代后期的研究成果,他在数学上模拟和定量表示了产生全球旋回曲线的海平面、构造沉降和物源供给之间的相互关系。这项工作显示出层序地层学以统一思想对地层学和盆地演化进行研究所产生的巨大潜力。然而,层序地层学作为独立的学科形成于 20 世纪 80 年代后期,是由 Vail P. R.、Sangree J. B. 和 Van Wagoner J. C. 等学者提出并完善的。

层序地层学的核心理论包括海相层序地层学的四要素控制论和陆相层序地层学的体系域演化理论,核心技术包括沉积体系域表征技术(吴因业和顾家裕,2000,2004)、储层地震预测技术(邹才能等,2004)和区域储层评价技术等(裘怿楠和赵澄林等,1999;罗平,2003)。

进入 21 世纪,随着我国岩性地层油气藏勘探的展开,更加重视层序地层学方面的研究,特别在三维地震技术的应用、盆地坡折带岩性油气藏勘探和前陆盆地层序地层学研究方面取得了新进展(邹才能和吴因业等,2004;李思田,2003)。开展层序地层学研究,研究盆地陆相层序的形成机制,有利于提高储层的预测水平和精度,寻找非构造(岩性)油气藏,并开拓新的勘探领域。

在近 20 年的科研积累和近 10 年“油气层序地层学”讲学基础上,我们编写了《中国层序地层学导论》一书。本书试图反映出“八五”至“十五”中国石油天然气集团有限公司在沉积层序地层学研究(吴因业、顾家裕和邹才能等,1987—2005)——含油气盆地层序地层学和沉积储层研究方面的部分成果,同时吸收了刘光鼎院士、胡见义院士、赵澄林教授、薛叔浩教授等著名地质学家和地球物理学家的学术思想和成就。该书特色主要表现在:①对中国层序地层学的基本特征做了初步总结,研究方法尽可能与国际接轨;②反映中国沉积储层和层序地层学的主要研究方法;③不同盆地层序地层学和沉积体系的研究实例。

《中国层序地层学导论》共分 12 章。第一章介绍中国层序地层学的应用与发展;第二章和第三章分别介绍海相层序地层学和陆相层序地层学的核心理论;第四章到第八章介绍不同的层序地层学研究技术;第九章介绍层序地层学工业化制图和应用研究;第十章介绍中国前陆盆地层序地层学和沉积储层研究实践;第十一章和第十二章分别介绍中国西部和中国东部的层序地层学研究实践。

本书第一章、第二章和第三章由吴因业、顾家裕、季汉成、申银民等编写,第四章和第五章由吴因业和季汉成等编写,第六章由吴因业和邹才能编写,第七章由杜业波、吴因业、季汉成、陈丽华编写,第八章依据 Cedric Griffiths 和吴因业等的研究成果汇编而成,第九章由吴因业、邹才能和常承永编写,第十章由吴因业、季汉成、杜业波和陈丽华等编写,第十一章由吴因业和郭彬程等编写,第十二章由邹才能等编写。此书完成过程中,得到了贾承造院士和孙龙德教授等专家们的指导以及沉积层序研究项目组同仁的协助,部分插图和文字整理由舒红和唐志奇完成,最后全书由吴因业统稿。

部分章节涉及已经完成的部分科学研究项目和科研人员如下:“国家‘九五’科技攻关

项目某专题研究”，由顾家裕、贾承造、王招明、吴因业、Cedric Griffiths 和申银民等完成；“某地区有利储层相带预测和目标评价研究”，由吴因业、刘忠、吴卫安、崔化娟、方向、郭彬程、刘志舟、程炎、唐志奇等完成；“国家‘十五’科技攻关项目某专题研究”，由吴因业、纪友亮、陈丽华、季汉成、薛良清、曹颖辉、贾进华、吴卫安、崔化娟、贾进斗、刘忠、唐志奇、杜业波、郭彬程等完成；“柴达木盆地石油预探研究”，由青海油田公司党玉琪、江波等和北京中国石油勘探开发研究院靳久强、李永铁、吴因业、方向、周凤英、王桂宏、余华琪、刘忠、黎民、王世洪、文百红、王素明、罗平、张乃、王智诒等完成。

《中国层序地层学导论》是一部理论与实践相结合的著作，笔者力图使之对油气勘探领域的生产与实践产生指导作用，促进石油地质理论的发展。由于经验与水平有限，书中不足之处，欢迎读者批评指正。

作者于北京 2005-6-20

# 目 录

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 第一章 中国层序地层学的应用与发展 .....     | (1)   |
| 思考题 .....                   | (4)   |
| 第二章 海相层序地层学的核心理论 .....      | (5)   |
| 第一节 盆地边缘与体系域演化理论 .....      | (5)   |
| 第二节 准层序与准层序组叠加理论 .....      | (12)  |
| 第三节 海相层序地层学模式 .....         | (15)  |
| 思考题 .....                   | (19)  |
| 第三章 陆相层序地层学的核心理论 .....      | (20)  |
| 第一节 陆相沉积的体系域理论 .....        | (20)  |
| 第二节 湖盆砂体微相沉积学理论 .....       | (24)  |
| 第三节 陆相层序地层模式 .....          | (36)  |
| 思考题 .....                   | (44)  |
| 第四章 区域层序解释技术 .....          | (45)  |
| 第一节 陆相沉积精细层序对比的基本内容 .....   | (45)  |
| 第二节 露头—岩心精细层序对比方法 .....     | (46)  |
| 第三节 井—震精细层序对比方法 .....       | (52)  |
| 第四节 体系域表征技术 .....           | (57)  |
| 思考题 .....                   | (62)  |
| 第五章 露头—岩心层序地层学研究技术 .....    | (63)  |
| 第一节 露头—岩心层序地层学研究的要点 .....   | (63)  |
| 第二节 吐哈盆地侏罗系露头陆相煤系层序特征 ..... | (64)  |
| 第三节 澳大利亚西部海相露头层序特征 .....    | (84)  |
| 第四节 北京十三陵海相碳酸盐岩露头层序特征 ..... | (90)  |
| 第五节 兰州周缘河流—三角洲露头层序特征 .....  | (97)  |
| 第六节 青海柴达木陆相冲积扇露头层序特征 .....  | (103) |
| 思考题 .....                   | (113) |
| 第六章 地震工作站层序解释和储层反演技术 .....  | (114) |
| 第一节 地震层序格架分析 .....          | (114) |
| 第二节 地震相分析技术 .....           | (123) |
| 第三节 层序格架内的储层地震反演技术 .....    | (128) |
| 思考题 .....                   | (137) |
| 第七章 油气储集体评价技术 .....         | (138) |
| 第一节 储层成岩相研究方法 .....         | (138) |
| 第二节 优质储层的控制因素 .....         | (143) |

|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| 思考题 .....                                   | (147)        |
| <b>第八章 年代地层图编制与层序模拟技术 .....</b>             | <b>(148)</b> |
| 第一节 年代地层图的编制 .....                          | (148)        |
| 第二节 层序演化模拟 .....                            | (152)        |
| 思考题 .....                                   | (159)        |
| <b>第九章 层序地层学工业化制图与应用 .....</b>              | <b>(160)</b> |
| 第一节 区带评价阶段的层序地层学——Ⅲ级层序体系域级工业化制图 .....       | (160)        |
| 第二节 目标评价阶段的层序地层学——准层序级工业化制图 .....           | (163)        |
| 第三节 岩性地层油气藏形成条件分析 .....                     | (167)        |
| 思考题 .....                                   | (177)        |
| <b>第十章 中国中西部前陆盆地层序地层学研究实践 .....</b>         | <b>(178)</b> |
| 第一节 中国前陆盆地层序特征概述 .....                      | (178)        |
| 第二节 前陆盆地层序地层格架 .....                        | (182)        |
| 第三节 前陆盆地湖盆类型和沉积特征 .....                     | (198)        |
| 第四节 前陆盆地储层特征 .....                          | (215)        |
| <b>第十一章 中国西部层序地层学研究实践——以柴西南区块为例 .....</b>   | <b>(232)</b> |
| 第一节 区域地质背景 .....                            | (232)        |
| 第二节 层序地层格架 .....                            | (239)        |
| 第三节 区带评价的层序地层特征 .....                       | (247)        |
| 第四节 沉积相与砂体微相研究 .....                        | (262)        |
| 第五节 体系域与油气聚集 .....                          | (264)        |
| 第六节 油气储层与储盖组合 .....                         | (269)        |
| 第七节 有利储层评价与油气藏预测 .....                      | (275)        |
| 小结 .....                                    | (277)        |
| <b>第十二章 中国东部层序地层学研究实践——以二连和松辽盆地为例 .....</b> | <b>(279)</b> |
| 第一节 二连盆地区域概况 .....                          | (279)        |
| 第二节 层序划分与沉积相 .....                          | (280)        |
| 第三节 层序约束下的储层反演 .....                        | (291)        |
| 第四节 层序地层格架与油气分布 .....                       | (295)        |
| 小结 .....                                    | (307)        |
| <b>附录：层序地层学常用术语 .....</b>                   | <b>(309)</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                           | <b>(314)</b> |

# 第一章 中国层序地层学的应用与发展

井剖面层序分析为一“孔”之见，三维地震层序分析乃一“块”之见，运用区域层序解释技术将二维三维相结合，露头与井震相结合，才能使层序地层学得到工业化应用：在区带评价阶段的层序地层学进行Ⅲ级层序和体系域级工业化制图，在目标评价阶段的层序地层学进行准层序级工业化制图，从而开展油气储集体和岩性油气藏目标的预测与优选。

## 一、海相层序地层学的核心是海平面升降控制沉积作用

Vail P. R. 等 1987 年提出的层序地层学概念及其有关沉积模式，是以海洋环境为背景，针对被动大陆边缘提出的。层序地层学的核心部分是研究全球海平面升降变化对沉积作用的控制，包括对大陆边缘碎屑沉积作用的控制和对大陆边缘碳酸盐沉积作用的控制。层序及其内部组成部分体系域是全球海平面升降、地壳沉降以及沉积物供给之间相互作用的产物。全球海平面升降和构造沉降共同作用的结果，引起海平面的相对变化。在全球海平面升降的控制下，海平面的相对变化速度是碎屑沉积地层形式和岩相分布的主要控制因素；在长期构造运动的背景下，海平面的相对变化控制碳酸盐沉积地层形式和岩相分布。

海相层序地层学的基本论点是地层单元的几何形态及岩性受海平面升降、构造沉降、沉积物供给和气候四大参数控制。其中全球海平面升降速度、构造沉降速度和沉积物供给速度控制了沉积盆地的几何形态；这三种因素互相影响、互为因果关系，最终导致某一地区海平面相对于该区陆架边缘的相对变化速度及沉积体系域的发生、发展和变化（Vail P. R., 1988）。

## 二、陆相层序地层学的核心在于湖盆体系域的演化和准层序组的叠加

陆相湖盆层序地层学研究的基本论点是以三级层序和湖侵体系域、湖退体系域为切入点，解剖准层序和准层序组及其叠加方式，充分应用露头—岩心的沉积地质方法和测井—地震特别是三维地震技术，建立体系域演化模式和砂体微相沉积模式，预测油气藏尤其是地层—岩性油气藏的分布（吴因业和顾家裕，2002）。

陆相层序地层学的核心在于不同湖盆体系域的演化和准层序组的叠加方式的差异性。

## 三、前陆层序地层学的核心是造山运动控制沉积作用

前陆盆地是指位于造山带前缘与相邻克拉通之间的沉积盆地，是沿着前陆冲断带的克拉通一侧呈线状或带状沉降而形成的。陈发景等（1996）和孙肇才（1993）认为前陆盆地有下列特点：①沉降中心与沉积中心不一致；②沉降曲线具陡—缓—陡三段特征；③前陆盆地热流值低，为冷盆；④前陆盆地沉积物一般为挤压变形，但在挤压变形的后期可发育伸展构造，即发育负反转盆地；⑤从全球地质着眼，前陆盆地都发生在克拉通（陆壳）向活动带（洋壳或薄壳）过渡的克拉通被动边缘上面；⑥前陆盆地多具前渊迁移（Foredeep migration）特征；⑦前陆盆地的结构具有不对称性。

前陆盆地是发育在聚敛型活动大陆边缘之上的以挤压挠曲作用为主的沉积盆地。前陆盆地层序地层学研究基本遵循经典的层序地层学理论和技术手段,力求使用术语上的统一,使用一级(旋回)层序、二级(旋回)层序、三级(旋回)层序等,每一级别的(旋回)层序可以划分低位体系域、海(水)进体系域及高位体系域,层序级别的划分以时限为标准。但前陆盆地沉积层序具有自己的独特性。前陆盆地可容空间受构造作用、全球海平面变化和沉积物补给的控制。在造山活跃期,前陆挠曲作用占主导地位;在构造期后(构造宁静期),全球海平面变化和沉积物补给主要控制可容空间。前陆盆地沉积层序记录了构造作用和全球海平面变化复合叠加效应,通过详细的岩石学、沉积学、地层学、各沉积区(前陆盆地、前隆和隆后盆地)剖面的区域性对比研究,并与“标准”的全球海平面变化曲线进行对比,可以区分出二者在前陆盆地形成、发育、演化过程中的不同响应。

#### 四、层序地层学的解释技术核心在于沉积地质与地震地质的有机结合

应用层序地层学理论和技术研究前陆盆地是油气勘探中的新方法,也是识别和预测前陆盆地油气储层、油气藏不可缺少的手段。在关于层序地层学的应用方面,我国已有人做了不少的工作。1995年,吴因业和罗平等对西北侏罗系层序地层学进行过研究,建立了陆相前陆湖盆体系域演化模式,并将层序地层学与成油系统相结合,为储集体预测和油气评价提供了科学的依据。吴因业和顾家裕2002年编著的《油气层序地层学》对前陆盆地的层序地层有所论述,介绍了层序地层学的本质特征、从野外露头地质到地下沉积层序的含油气盆地层序解释方法与技术以及层序地层学在油气勘探开发中的应用。具体包括层序地层格架与体系域、准层序边界、沉积相和沉积体系的恢复、生储盖组合、有利储集体以及隐蔽圈闭的预测与评价等。

#### 五、前陆层序地层学研究是盆地分析的基础之一

前陆盆地层序地层学是将地层理论应用于构造活动区盆地分析的一个特例,即通过研究前陆盆地不同级别的地层旋回及其成因揭示构造运动、沉积作用和海平面相对变化关系间的内在联系,进一步研究前陆盆地沉积构造演化,为资源勘探提供理论依据。前陆盆地层序地层研究遵循一般沉积盆地地层分析的概念体系,即按层序地层学的理论和方法,将盆地充填分为不同级别——盆地充填序列、构造序列、小层组等。近年来在国外,Posamentier等(1993),Giles等(1995)相继对前陆盆地地层及其沉积建造、沉积旋回等特征进行了广泛的研究,特别是针对某些典型前陆盆地进行了详细的研究,并且提出了相应的模式。在国内,李思田等较为系统地建立了沉积盆地地层;李勇、曾允孚等以层序地层学与构造地层学相结合的分析方法,研究了龙门山前陆盆地的沉积充填序列、构造及内部组成;顾家裕(1995)在总结前人研究的基础上,系统总结了前陆盆地地层学,对研究现状和存在问题做了探讨;浦心沌等(1996)对楚雄前陆盆地的充填做了详细的研究;赵玉光等(1996)提出了动力地层学,对克拉通边缘前陆盆地进行了研究;刘贻军(1998)对前陆盆地地层学研究中的几个问题——层序地层学术语及其前陆盆地可容空间的构造作用和全球海平面变化在前陆盆地层序地层中的不同响应等进行了讨论,并提出了相应的研究方法。

#### 六、对前陆盆地层序地层学研究取得的新认识

中国中西部重点前陆盆地主要有三类:①简单再生型前陆盆地,以柴北缘前陆盆地为

代表；②周缘冲断型前陆盆地，以川西中生代早期前陆盆地为代表；③复合多期再生型前陆盆地，以淮南叠合再生前陆盆地为代表。

根据不同类型前陆盆地，分别指出了简单再生型前陆盆地、周缘冲断型前陆盆地和复合多期再生型前陆盆地纵向层序地层格架，以及横向前陆期层序地层格架下的沉积充填特征（吴因业，雷振宇和薛良清等，2003）。

前陆冲断带是有利储层发育带，由于前陆冲断作用可形成大量断裂和基底卷入构造，有利于油气的运移，可形成多套生储盖组合，而且具有大量碎屑岩注入。在前陆冲断带由于褶皱隆升使储层埋深相对较浅，压实压溶作用较弱，可有一定原生孔残余；冲断带距物源较近，沉积物粒度较粗，不稳定组分含量较高，利于原生孔隙和次生溶蚀作用的发育；在冲断带由于应力集中，裂缝系统较为发育，对储集性能改善作用较为明显，裂缝也可为油气及下伏酸性地层水运移提供优势通道，利于成藏。

优质储层主要发育在有利的层序体系域，主要为湖退期 RST 体系域。特别是砂体主要在湖岸线附近分布时，往往成为前陆盆地储油的有效砂体。湖侵期的水进三角洲和湖退期的水退三角洲均能导致大量砂体发育。前陆盆地大量发育的三角洲（包括扇三角洲、辫状三角洲和曲流河三角洲）砂体构成了重要的储集体。

前陆盆地主要储集层段的成岩相带集中在中成岩 A<sub>1</sub>—A<sub>2</sub> 期及早成岩 B，大约埋深在 1500~3000m。3000m 以下前陆盆地储层具有低孔低渗特征，寻找裂缝发育区带，成为前陆盆地深层油气勘探目标。

前陆盆地也可以成为岩性油气藏的重要勘探领域，主要集中在前陆期的早期沉积体和前陆前期的湖侵体系域或海侵体系域中。因为前陆期早期发育多层凝缩面，且前陆期横向前陆期层序地层格架表现为山前带粗碎屑沉积向凹陷带的叠覆发育，易于形成自生自储组合；前陆前期常常发育湖沼沉积体系和湖侵体系域或海侵体系域，也易于形成自生自储组合。

## 七、前陆盆地层序地层学研究存在的问题

①前陆盆地油气生成于有利的盆缘地带，存在构造圈闭、地层—构造复合圈闭、砂岩透镜体岩性圈闭和裂缝性圈闭等多种圈闭类型，但类型复杂，预测难度大。

②前陆期沉积体保存较差，尤其在冲断带构造破坏严重。

③前陆盆地沉积物多期叠合，湖盆类型多样，演化历史复杂，恢复沉积体系难度大。

④由于遭受造山带影响，地震资料品质较差，不同部位有较大差异。

⑤构造运动对储层性质有很大影响。以川西前陆盆地为例，喜马拉雅运动使龙门山构造带从北西向东南推挤，在龙门山山前形成了众多的断裂，这是应力累积释放的结果。而凹陷内因受挤压而褶皱，断裂不太发育，断层规模小，利于压力的保存，此外，侧向压力对岩石致密化有促进作用，有利于凹陷内压力的保存。因此，龙门山推覆构造带自印支期以来，推覆挤压致使盆内沉积物无论是深埋还是浅埋，均具有致密化结构。后期构造活动产生的裂缝，可以显著地改善储层的物性。处于构造活动位置（断层附近及褶皱轴部）的砂岩储层往往发育有较多构造裂缝，因此，由于构造部位的不同，一定程度上造成了储层非均质性。

⑥构造—沉积互动关系不清。

## 八、前陆盆地层序地层学研究的对策

①建立重点前陆盆地的层序地层格架剖面，在冲断带识别到三级层序，前渊凹陷带识

别到体系域，斜坡带和隆起带识别到四—五级层序（准层序）。

②前陆盆地层序地层充填模式研究，特别注意不同时期湖盆类型（前陆期和非前陆期）的叠加和湖盆演化。

③与前陆盆地构造研究紧密结合，加强山前带物源区研究。

④区分不同前陆盆地构造带（冲断带—前渊凹陷带—前缘斜坡—隆起带），综合利用地震地质手段包括三维地震工作站处理技术，预测沉积砂体。

⑤在重点勘探目的层系，针对不同前陆盆地构造带分别开展不同级别的层序地层学研究，以体系域（针对冲断带—前渊凹陷带用三级到四级层序单元）或准层序（组）（针对前缘斜坡—隆起带用四级到五级层序单元）为处理单元和工业制图单元。

⑥加强前陆盆地不同区带砂体成岩作用和储层质量评价研究。

⑦加强前陆构造研究，识别出同沉积构造带，分析构造—沉积互动关系。

## 思 考 题

1. 什么是层序地层学？
2. 层序地层学包含哪些基本内容？
3. 列举 10 位你所知道的与层序地层学有关的中外重要人物。

## 第二章 海相层序地层学的核心理论

### 第一节 盆地边缘 (Basin margin) 与体系域演化理论

层序地层学的许多概念和原理,都是基于对前积盆地边缘体系地震剖面的观察而得来的,这些前积盆地边缘体系常具有一致的沉积几何形态(图2—1)。顶积层(Topset)这一术语用来描述盆地边缘剖面的近源部分,它具有低坡度特征( $<0.1^\circ$ )。顶积层在地震剖面上表现为水平状,通常包含冲积、三角洲和浅海沉积体系。

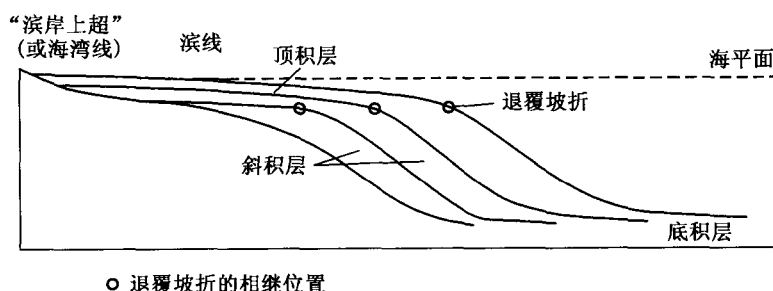


图2—1 前积盆地边缘单元的典型剖面(据 Dominic Emery 等, 1999)  
由被陆坡坡折分开的顶积层和斜积层组成,也可见底积层

滨线(Shoreline)可位于顶积层内的任何一点,它可能与退覆坡折重合,也可能出现在退覆坡折向陆方向几百公里处。顶积层的近源端点通常被定义为海岸上超点(Point of coastal onlap),意指滨海平原或近海相上倾方向的分布范围。术语斜积层(Clinof orm)用来描述盆地边缘剖面中发育在顶积层向盆地一侧的更陡的倾斜部分(通常 $>0.1^\circ$ ),斜积层一般具有陆坡的较深水沉积体系特征,其坡度可从地震剖面上获得。术语底积层(Bottomset)有时被用来描述盆地边缘剖面中斜积层的底部地层,其特征为低角度并包含深水沉积体系。

沉积剖面中,陆坡上位于顶积层和斜积层之间的主要坡折叫做退覆坡折(Offlap break)(Vail R. P. 等, 1991)。退覆坡折以前曾被叫做陆棚边缘(Shelf edge)(Vail 和 Todd 1981; Vail R. P. 等, 1984),这容易引起与陆棚坡折(即现代大陆棚的边)相混淆。陆棚坡折通常表现为残余特征而不是沉积特征。沉积滨线坡折(Depositional shoreline break)(Van Wagorner 等, 1988)这个术语也曾被使用过,但其含义是指在一个沉积剖面上,陆坡的主坡折与滨线重合。本书所使用的术语退覆坡折不具有陆坡的主坡折与滨线重合的含义。

顶积层—斜积层剖面是盆地内沉积物供给和波浪、风暴及潮汐能量相互作用的产物。沉积物通过河流系统进入顶积层—斜积层剖面的物源端,并通过与波浪和(或)与水流相关的作用被分布于横跨顶积层的区域,这些水流包括河流、潮汐流和风暴流等。但是,这

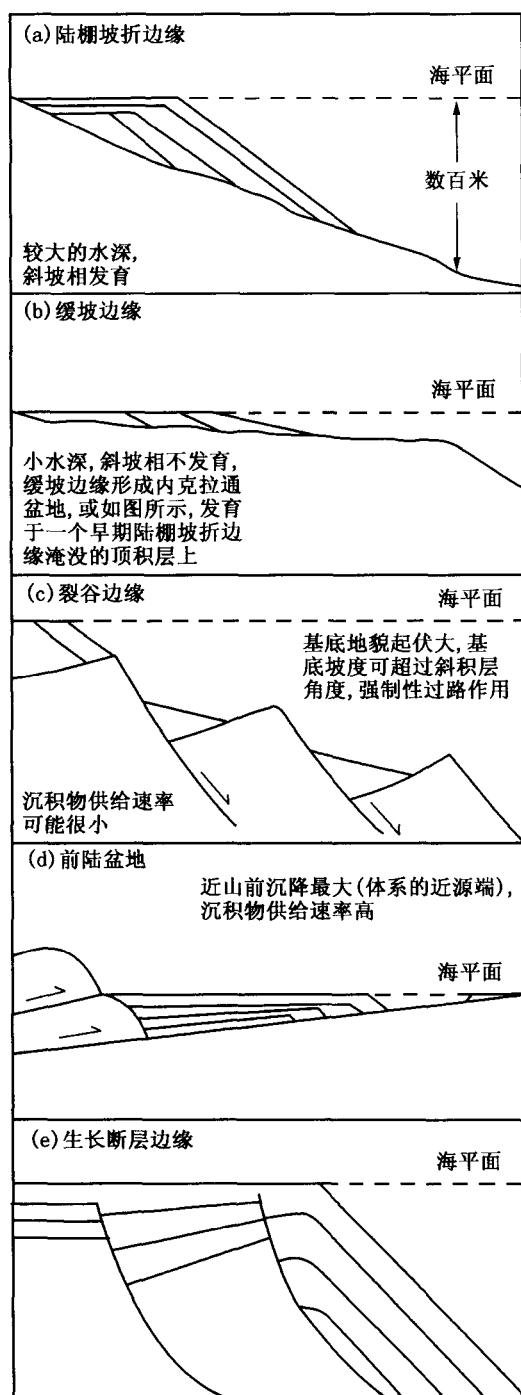


图 2—2 盆地边缘类型 (据 K. J. Myers, 1999)

前缘坡度剖面。因此, 缓坡上的沉积体系对相对海平面变化的响应不同于陆棚坡折边缘。特别是, 低位体系域中的深水浊流沉积可能缺失, 或只有微小的地层意义。代之以沉积体系没有明显的陆坡过路作用和盆地沉积作用而转变成盆地方向的沉积体系。在硅质缓坡上

些顶积层的搬运作用只在最多几十米的相对较浅的深度才有效。要把沉积物搬运到深水区就必须发育陆坡, 才能靠重力作用来搬运沉积物。要按所需要的速率来搬运沉积物, 斜积层就必须建立一定的角度。陆坡角度强烈地受沉积物粒径的影响。粗粒沉积物具有较高休止角, 其所建立的陆坡比细粒沉积物的陡 (Kenter, 1990)。碳酸盐岩体系由于具有更高的剪切力, 通常能够建立比细粒碎屑物的沉积坡度 ( $0.5^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ) 更陡的沉积坡度 (可达  $35^{\circ}$ )。碎屑岩体系中的陡坡既可由粗粒物质组成, 也可以是侵蚀作用带和沉积物路过作用带。

在相对海平面下降时, 沉积体系中退覆坡折的重要性是非常明显的。当相对海平面下降而暴露出退覆坡折时, 河流通常下切以重新均夷被降低的盆地基准面 (Basin level), 其结果是河流在河口处下切嵌入。沉积体系对相对海平面下降的响应决定于盆地边缘的性质 (图 2—2)。

陆棚坡折边缘 (Shelf-break margins) 是具有发育良好的沉积斜积层的地区。海平面下降期的河流切割, 可能造成沉积物负载集中在斜积层斜坡的不连续部位。沉积体的断裂作用有能力形成大规模的浊流和海底扇沉积。陆棚坡折边缘在相对海平面缓慢上升时是典型的被动大陆边缘, 这时三角洲体系能够轻易地前积到陆棚边缘上。

缓坡边缘 (Ramp margins) 以相对较浅的水体深度为特征, 在该处风暴和水流能够作用于更大的沉积区。沉积坡度通常小于  $1^{\circ}$ , 地震斜积层 (如果能够被分辨出来) 呈约半度下倾的叠瓦状。缓坡边缘的退覆坡折大体位于滨线附近, 在该处河流坡度剖面变成稍微陡些的陆棚或三角洲

发现的任何浊流沉积可能都是三角洲前缘浊积体，而不是外来的海底扇（Van Wagoner, 1990）。

研究认为，许多现代三角洲体系都要形成缓坡边缘。一般来说，主要因为它们陆棚三角洲前积在一个先前陆棚坡折边缘被淹没的顶积层上（图 2—2）。Frazier（1974）曾经指出墨西哥湾的陆棚沉积被限制在密西西比三角洲内，该三角洲前积到了一百米水深的地方，而陆棚上其他地方是无沉积区。虽然对于密西西比三角洲来说，只需一点点额外的前积作用就能达到陆棚前沿并使边缘变成陆棚坡折边缘，但是该三角洲目前仍只形成了一个缓坡边缘。

裂谷边缘（Rift margins）表征盆地正在经历着活跃的地壳拉张作用。拉张断层对古地貌和沉积物供给速率都有强烈影响。裂谷内的沉积可容空间的空间分布主要受构造控制。虽然每个独立的断块具有自己的可容空间模式，但沉降速率通常由裂谷边缘向裂谷中心增加。断层下盘高点可经历较少的沉降，也可能抬升或剥蚀；而断层上盘向控制断层方向沉降速率逐渐增大。发育的沉积体系决定于裂谷是海相的还是陆相的。裂谷边缘的转换带可以控制沉积物的输入点。裂谷边缘的特征是具有很大的地貌起伏和相对沉积物缺乏，因为沉积物路过边缘进入了裂谷中心。盆地边缘体系可向外前积到深水区，具有很长的斜积层斜坡和相对较小的顶积层（图 2—2）。顶积层捕获粗粒物质的可能性很小，它们大部分都路过顶积层而被输送到盆地中。

前陆盆地边缘（Foreland-basin margins）的变化决定于沉积物是沿前陆盆地轴线输送还是由冲断带直接输送到前陆盆地。在后一种情况下，构造沉降速率向前陆冲断带增大，也就是向物源区增大。换言之，近源区的沉积可容空间可能比盆地中心相对要大。这对地层的几何形态有显著的影响，可能导致很厚的顶积层加积作用而几乎没有机会发育地震规模的斜积层（Pasamentier 和 Allen, 1993）。

生长断层边缘（Growth-fault margins）的特征是具有由重力作用驱动的同沉积拉张断层。在生长断层上盘沉降速率很高，产生一个扩张的沉积序列。在沉积体系中发育的生长断层的效果取决于断层在海底是否有地貌表现。当上盘比下盘地貌低时，横跨断层两侧的沉积相不同，在下降一侧发育厚的深水碎屑体系。

一个层序代表了一个由非海相侵蚀面为界的沉积旋回，沉积于一个“重要的”（根据研究尺度而定）基准面升降旋回中。在大多数盆地中，基准面受海平面控制，一个层序是一个相对海平面上升—下降周期的产物。在一个基准面旋回中，一个理想的层序如图 2—3 所示，该图依据 Van Wagoner 等（1988）的图件编绘。这是一个 I 型层序，相对海平面下降幅度足够大，以至于层序的第一个顶积层上超在前期层序的斜积层上，这表示在退覆坡折处有相对海平面下降。

按照 Van Wagoner 等的观点（1988），I 型层序边界的特征是具有陆上暴露、陆上侵蚀作用伴随河流复活作用（Stream rejuvenation）、相带向盆地方向迁移、滨岸上超向下迁移、下伏地层上有上超。滨岸上超是用来描述顶积层在盆地边缘上的上超点的术语。相带向盆地方向迁移的结果，是非海相或边缘海相地层，如辫状河或河口湾砂岩可能直接覆盖在浅海相地层之上；下滨面砂岩或陆棚泥岩穿过层序界面，而没有中间沉积环境的地层沉积。这种相带叠加称为相错断（Facies dislocation）。Van Wagoner 等解释的 I 型层序界面，是形成于全球海平面下降速率超过退覆坡折处的盆地沉降速率，在该位置上发生相对海平面下降。

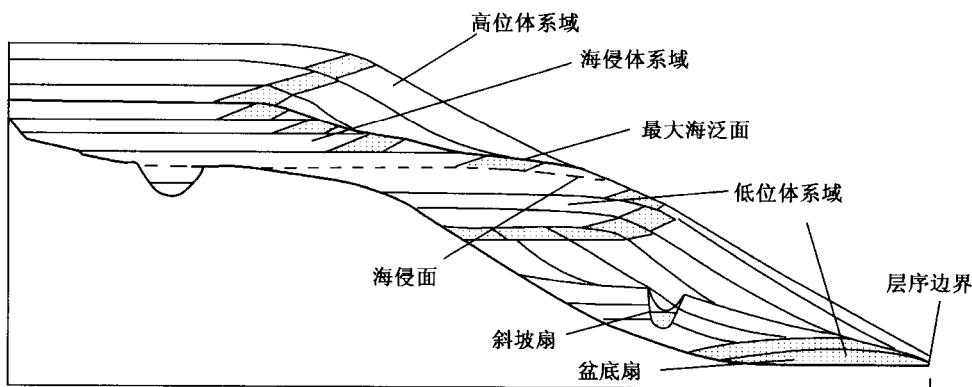


图 2—3 陆棚坡折边缘 I 型层序的地层几何形态 (据 D. Emery, 1999)  
表现出五个分开的沉积组合, 传统上划分为三个体系域: 即低位体系域、海侵体系域和高位体系域

## 一、体系域的定义

图 2—3 所示的理想 I 型层序发育于陆棚坡折边缘。可以看出, 它由几个独立的沉积组合组成。在地震地层学创立的早期阶段, 就已经观察到一个盆地中的沉积物是不均一、不连续的, 而是表现为地震反射终止所分隔的一系列离散“单元”。Exxon 研究人员发现, 这些组合在地震剖面上可观察到的大多数层序中是按一种可预测的方式排列的, 这些组合被称之为体系域 (System tracts)。

术语体系域由 Brown 和 Fisher (1977) 首次定义为: 它是一组有成因联系的同期沉积体系, 具有三维岩相组合, 是活动 (现代) 的和推测 (古代) 的沉积作用和环境的产物 (据 Fisher 和 McGowen, 1967)。

因此, 一个体系域是一个三维的沉积单元, 其边界是地层上超、下超等沉积界面。体系域在地震剖面上表现为由地震反射终止面所限定的一组相对整合的反射单元 [Brown 和 Fisher 等的“地震地层单元 (Seismic-stratigraphic unit)”, 1977; Mitchum 等的“地震层序 (Seismic sequence)”, “地震组合 (Seismic package)”]。

体系域是由它们边界的性质和内部的几何形态来判别和定义的。在任何一个相对海平面旋回中, 都频繁发育三个主要的体系域, 并且把相对海平面旋回的不同阶段特征化 (图 2—3)。

体系域术语很复杂, 很容易被迷惑, 因此总是得记住把地层划分成体系域的目的。体系域是地层预测的基本作图单元, 因为它包含了一系列的沉积体系, 具有一致的古地理和沉积性, 因此能对体系域单独做出古地理图。

## 二、低位体系域

I 型沉积层序中最下面 (地层上最老的) 体系域叫低位体系域 (Lowstand systems tract), 它沉积在退覆坡折处相对海平面下降、继而缓慢上升的阶段。

陆棚坡折边缘上退覆坡折处的相对海平面下降, 对河流体系有极大的影响。在相对海平面下降之前, 河流一般都维持一种或多或少均衡的剖面, 并且上游侵蚀、下游沉积 (冲积平原和海岸平原)。为了响应在整个低位部分的相对海平面上升, 河流将随意改道。当退