

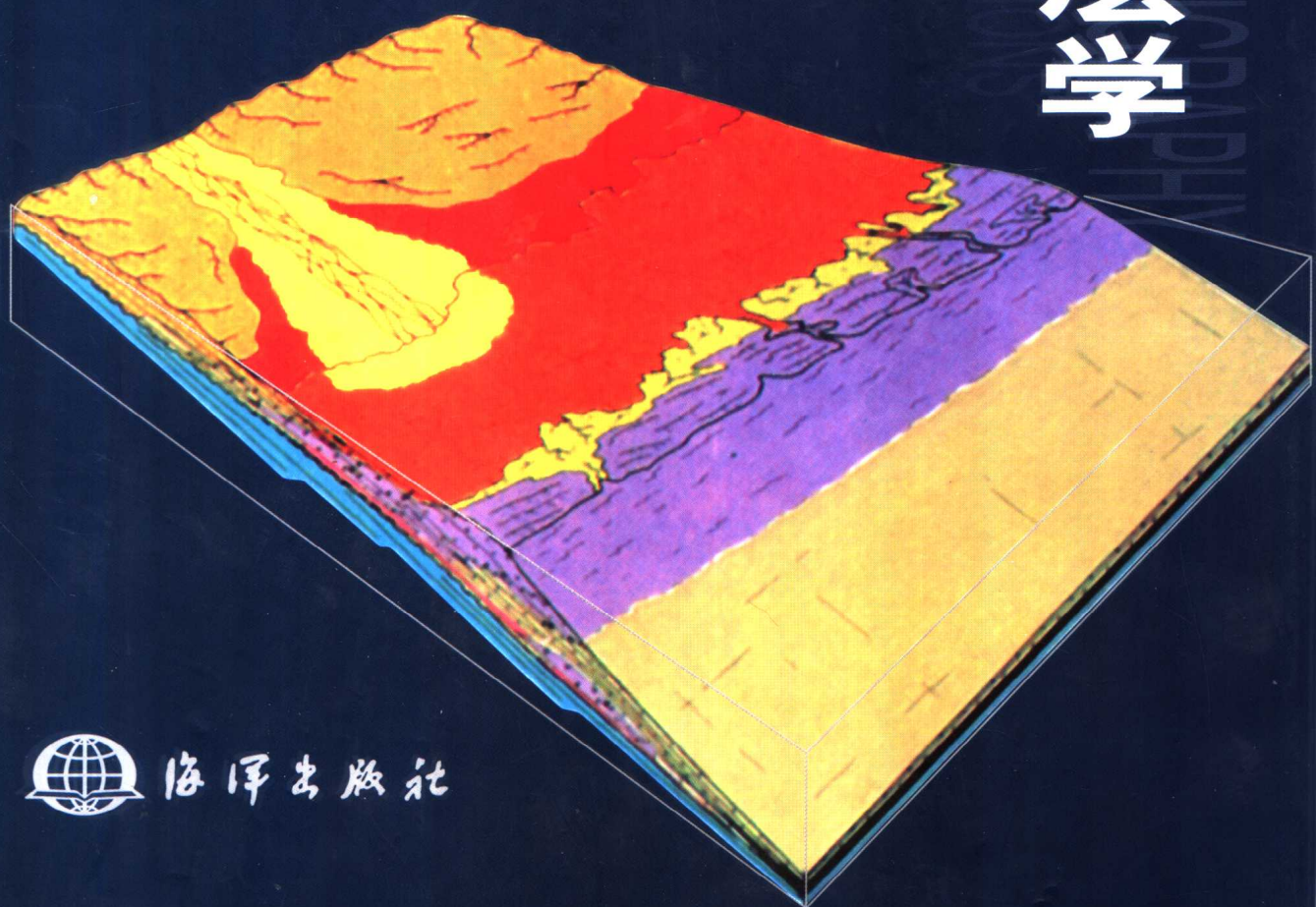
AAPG(美国石油地质学家协会)专辑57

碳酸盐岩层序地层学

近期进展及应用

Robert G. Loucks 主编
J. Frederick Sarg

马永生 刘波 梅冥相 等译
牟传龙 邵龙义 田海芹



海洋出版社

· AAPG (美国石油地质学家协会) 专辑 57 ·

碳酸盐岩层序地层学

——近期进展及应用

Robert G. Loucks 和 J. Frederick Sarg 主编

马永生 刘 波 梅冥相等 译
牟传龙 邵龙义 田海芹

海洋出版社

2003 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩层序地层学:近期进展及应用/(美)劳克斯(Loucks, R.G.), (美)萨格(Sarg, J.F.)主编;马永生等译. —北京:海洋出版社, 2003.6

ISBN 7-5027-5875-5

I. 碳… II. ①劳…②萨…③马… III. 碳酸盐岩—地层层序—研究—文集
IV. P588.24-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 038506 号

图字:01-2003-3191 号

Carbonate Sequence Stratigraphy—Recent Developments and Applications

Edited by Robert G. Loucks and J. Frederick Sarg

Copyright © 1993

The American Association of Petroleum Geologists

All Rights Reserved

Chinese edition copyright © 2003 by China Ocean Press

本书中文版由美国石油地质学家协会授权海洋出版社在中华人民共和国境内独家出版发行, 未经出版者许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

版权所有, 侵权必究

责任编辑: 杨绥华

责任印制: 严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

河北省地勘局测绘院印刷厂印刷 新华书店总店发行

2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 34.75 插页: 12

字数: 800 千字 印数: 0~1025 册

定价: 200.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

中译本序

《碳酸盐岩层序地层学——近期进展及应用》一书为著名碳酸盐岩石油地质勘探家 Loucks 和 Sarg 主编,其主要内容为美国石油地质学家协会年会的碳酸盐岩层序地层学研讨会交流成果。该书汇集了全世界不同地区、不同时代、不同类型碳酸盐岩基于层序地层学理论框架的研究成果,根据层序地层学在碳酸盐岩中的应用特点按照概念模型和沉积学过程—响应关系、大尺度地层样式、小尺度和高频旋回堆积样式三个部分编排,分别阐述了层序概念和沉积学原理解释在碳酸盐岩研究中的适用性及局限性,以及地震层序、高频、米级旋回沉积及堆积样式的研究实例。全书图文并茂、资料丰富翔实,编排合理有序,对我国与碳酸盐岩相关的能源矿产勘探开发研究和教学工作都有重要指导意义。但原著各篇章作者来自不同国家和地区,尽管经过 Loucks 和 Sarg 统编,仍可见不同写作风格痕迹,这为中文翻译带来一定困难。

本书译者马永生博士等为近年来活跃于碳酸盐岩研究前沿的年轻地质学家,他们不但接受过良好的专业教育,具有丰富的实践工作经验,而且具有扎实的外语功底和相当的对外交流合作经历,因而译著能够准确把握原著的学术脉络,专业术语采纳得当,全书用语流畅,忠实地反映了原作者的学术思想。特别值得一提的是,译者在翻译时充分考虑了全书的系统性,而且对原著中可能存在的笔误作了订正。

该书原著是极有参考价值的关于碳酸盐岩层序地层学研究的集大成之作,能够获得翻译版权并由活跃于该领域前沿的年轻学者译成中文,这对推动我国相关领域的研究和教育工作都大有裨益。此感受,是为序。

中国科学院院士、教授

刘宝瑞

2002 年 3 月 30 日

译者的话

层序地层学是地层学和沉积学基本地质概念在地震技术应用于地质解释的过程中产生的综合地层学分析方法,它的出现被认为“首次在石油地质界掀起了研究层序地层学的热潮,并在地层学、沉积学以及一切与沉积岩有关的学科领域引起了极大的震动”(徐怀大,1991)。

正是在层序地层学概念的推动下,最近10年来围绕层序地层学概念产生了一大批研究成果,这些成果不但发展了与沉积岩相关的研究学科,而且为石油勘探和开发注入了新的活力。正是对学科的推动和对石油工业的贡献使层序地层学在当代地质学界,特别是石油地质界和沉积学、地层学界具有举足轻重的地位,也成为各个相关学科领域研究的核心。如今,层序地层学的应用范围在时间和空间上都得到了极大的拓展,从地震、岩心、测井到露头分析,从现代沉积到中生代、古生代甚至晚元古代沉积岩。

众所周知,层序地层学概念最初产生于被动大陆边缘陆源碎屑岩系的地震剖面研究,即层序地层学概念的基础是点物源供给的受海平面高程控制的沉积动力学体系。尽管源自海水水体本身的碳酸盐生产和聚积不同于陆源碎屑沉积体系,但是,碳酸盐沉积物类型及其在沉积盆地中的分布规律仍然严格受海平面相对位置控制。因此,以研究沉积体几何形态及其空间组合样式为基础的层序地层学概念对碳酸盐岩体系仍然适用。正因如此,层序地层学概念在碳酸盐岩体系中的应用几乎与碎屑岩体系同步,而且由于碳酸盐生产的特殊性,层序地层学在碳酸盐岩体系中的应用使层序地层学本身得以进一步发展和完善。

层序地层学概念在碳酸盐岩体系中的应用成果在美国石油地质学家协会年会的碳酸盐岩层序地层学研讨会上得到集中体现,并由 Loucks 和 Sarg 系统汇集而成 AAPG57 号专辑。译者在 2000 年访美期间与 AAPG 版权部门磋商,并获准在中国内地出版发行该专辑的中译本。为使国内读者能够系统了解和掌握碳酸盐岩层序地层学研究方法并将其应用于我国油气勘探实践,随后我们组织开展了紧张的翻译工作。承担翻译工作的都是近年活跃在我国碳酸盐岩沉积学和石油勘探领域的年轻地质学家,具体分工是:马永生负责前言及第一、三、六、八章,刘波负责第二、十、十五、十六章,梅冥相负责第十二、十三、十四章,牟传龙负责第四、七、十九章,邵龙义负责第十一、十七、十八章,田海芹负责第五、九、二十章的翻译工作。最后由马永生、刘波和杨绥华统一校订。

本书在翻译过程中得到了来自各方面的大力帮助,这里译者特别感谢 AAPG 授权及其版权编辑 M.C.Grosvald 的热情帮助,对北京大学地质学系秦善副教授、海洋出版社杨绥华总编以及参与翻译工作的其他同志致以真诚的谢意。

由于该专辑原文各章由不同国家和地区的作者撰写,写作风格各异,增加了翻译难度,加之时间仓促和水平所限,翻译中不当之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。

本专辑适合从事碳酸盐岩石油勘探和开发的从业人员、相关领域的研究人员以及高等学校沉积学、地层学相关专业的师生参考。

马永生

2001 年 12 月 1 日

前 言

本专辑主要选自 1991 年举行的美国石油地质学家协会年会的碳酸盐岩层序地层学研讨会论文。所选文章还包括一些其他学术会议论文。在组织和编辑本专辑文章的过程中,编者认识到有必要将碳酸盐岩层序地层学最具有代表性的当今研究成果系统地汇集到一本专著中。本专辑仅仅是地层学研究和应用中快速发展领域的时间一瞬。我们希望它能够促进将来更进一步的研究和更成功的应用。关键性的野外观察、地震分辨率的提高、虚拟的计算机模拟很可能为碳酸盐岩层序地层学作出更重要的贡献。如果本书能引起新观念和交叉学科的讨论和辩论,我们就可以认为达到了它的目的。

本专辑的各章清楚地表明碳酸盐台地对沉降、海平面相对变化以及相关的环境和沉积供应变化的不同响应。部分文章揭示了它与碎屑层序在几何形态和可容空间变化响应的相似性,多数文章表明了碳酸盐岩对构造沉降、海平面变化和环境波动的一致响应关系。本专辑涵盖了碳酸盐岩层序地层学领域的一系列重要主题,包括:(1)用于解释的概念性模型;(2)碳酸盐台地与变化的海平面之间的沉积学过程-响应关系;(3)二级和三级层序的大尺度地层样式;(4)小尺度和高频旋回堆积样式。

全书可分为三个部分。第一部分描述层序概念和沉积学原理解释的适用性及受到的限制。Handford 和 Loucks 提供了解释不同沉积环境碳酸盐岩层序的概念模式。Greenlee 和 Lehmann 应用大尺度二级层序概念在地层学格架内进行产油碳酸盐岩隆的定位。Zempolich 记录了长期海平面上升的台地响应。Grammer 等以及 Brown 和 Loucks 描述了大角度台地对海面波动的过程/响应关系。

第二部分包括 6 章,它们描述了在地震层序尺度涉及地震和露头解释的实例研究。这部分内容根据地质时代从老到新编排,开始两章是关于坎宁盆地的泥盆系研究(Southgate 等, Holmes 和 Christie-Blick)。随后的几章主要解释:(1)二叠盆地的上宾夕法尼亚系地层(Waite);(2)中生代和第三系台地的淹没序列(Erlich 等);(3)印度尼西亚(Saller 等)及东爪哇海(Cucci 和 Clark)的晚第三纪礁。

最后一部分列出了高频、米级旋回沉积和堆积样式的 8 个实例。Montañez 和 Osleger 描述了内华达州大盆地的寒武纪台地的准层序堆积样式。Reid 和 Dorobek 根据大尺度的二级和三级层序解释了美国中西部密西西比系的准层序组。Goldhammer 等描述了意大利北部多洛米蒂山区一个孤立的三叠纪台地的高频地层。Pomar 描述了西班牙马略卡上新统礁的高分辨率地层学,并对比了其露头几何形态和地震进积样式。Franseen 等检验了西班牙东南部相似的中新世旋回的海平面相对变化。关于二叠纪盆地研究的 4 章记录了上二叠统地层的高分辨率旋回结构(Sonnenfeld 和 Cross),对比了全新世浅水岩系小尺度旋回的内在特点(Harris 等),解释了与旋回发育相关的成岩历史(Hovorka 等以及 Mutti 和 Simo)。

本专辑的编者对所有作者的努力和他们对文章的耐心润色表示感谢。我们还要感谢 AAPG-SEPM 会员的高度兴趣,他们很多人参加了 1991 年的研讨会和论文展示,从而显示出整个层序地层学领域对石油勘探和开发的重要性。

Robert G. Loucks
J. Frederick “Rick” Sarg

目 录

第一章	碳酸盐岩沉积层序和体系域·····	(1)
第二章	具产能碳酸盐岩隆的地层格架·····	(43)
第三章	意大利威尼特阿尔卑斯侏罗纪碳酸盐岩海侵系列:超大陆解体、渐进全球性海平面上升和浅水环境养分富集的记录·····	(61)
第四章	巴哈马海湾碳酸盐岩陡坡失稳及沉积、成岩作用时间对海平面高幅/高频波动的响应·····	(103)
第五章	美国得克萨斯州 McKittrick 峡谷二叠纪盆地边缘拉马灰岩中沉积类型和沉积过程对地层格架的影响·····	(129)
第六章	西澳大利亚坎宁盆地地下泥盆纪礁组合以及低位碎屑岩及高位碳酸盐岩的交互沉积作用·····	(153)
第七章	碳酸盐-硅质碎屑混合体系沉积旋回的成因:以西澳大利亚坎宁盆地为例·····	(177)
第八章	西得克萨斯米德兰盆地马蹄环礁东部和南部上宾夕法尼亚统的地震层序和地震相·····	(209)
第九章	碳酸盐台地边缘对淹没事件的响应:环境突变的证据·····	(239)
第十章	印度尼西亚中加里曼丹渐新统加积和退积碳酸盐陆棚的层序地层学·····	(265)
第十一章	爪哇海中新世碳酸盐岩隆的层序地层学·····	(293)
第十二章	大盆地南部 Bonanza King 组中、上寒武统台地碳酸盐的层序地层、二级沉积物可容空间事件及准层序叠加样式·····	(307)
第十三章	蒙大拿州和爱达荷州下密西西比统 Mission Canyon 组及相同层位的层序地层学与进积型前陆碳酸盐缓坡的演化·····	(329)
第十四章	意大利北部多洛米蒂山区中三叠世 Latemar 台地的层序地层学和体系域发育:根据旋回叠置样式进行露头标定·····	(359)
第十五章	进积中新世碳酸盐岩的高分辨率层序地层学:在地震解释中的应用·····	(391)
第十六章	西班牙东南部 Las Negras 地区中新世碳酸盐岩组合的层序地层学:相对海平面变化定量分析·····	(409)
第十七章	新墨西哥州瓜达卢普山脉 Last Chance 峡谷二叠纪上圣安德列	

	斯组内的体积分配和相分异.....	(437)
第十八章	台地碳酸盐旋回的古代露头 and 现代实例及其在地下对比及储层非均质性研究方面的意义.....	(481)
第十九章	控制渗透率演化的准层序几何形态:以新墨西哥州瓜达卢普山圣安德列斯组 and Grayburg 组为例	(499)
第二十章	瓜达卢普山二叠纪 Yates 组上部的地层格架及与旋回有关的成岩作用.....	(523)

第一章 碳酸盐岩沉积层序和体系域

——碳酸盐台地对海平面相对变化的响应

C. Robertson Handford, Robert G. Loucks

(ARCO 石油勘探开发技术公司, 美国得克萨斯州普兰诺)

摘 要 标准的碳酸盐岩相模式广泛用于解释古环境,但它们并没有说明碳酸盐台地如何受到海平面相对变化的影响。潮下碳酸盐“工厂”如何对海平面相对变化进行响应,其他环境因素对影响碳酸盐台地形成所起的作用,对这些问题的了解使我们得以区分台地类型,进而帮助我们建立确定沉积层序和体系域模式的基础。也受搬运影响的原地碳酸盐岩沉积物和沉积过程的局部变化的综合作用导致形成了丰富多彩的地层样式,有些样式属碳酸盐沉积体系所特有。

最根本的碳酸盐沉积原理和基于地质的观察被用于建立一系列镶边陆棚和缓坡的沉积层序和体系域模式。例如,这些模式表现了由碳酸盐岩相、碳酸盐—陆源碎屑岩相或碳酸盐岩—蒸发岩—陆源碎屑岩相构成的沉积层序可以分别是低位、海侵和高位条件下的产物。低位期间:镶边陆棚的碳酸盐沉积产量因浅海海底与碳酸盐“工厂”接触范围较小而降低。沉积速率的降低和陆上暴露使得低位期间因侵蚀和斜坡失稳导致陆棚边缘和斜坡后退。结果可能形成厚的碎屑流沉积。在潮湿气候条件下喀斯特地貌的发育很重要,而且可以影响陆上暴露台地的大范围地区。如果有适当的陆源碎屑沉积物供应,它们就会被冲积扇体系搬运到陆棚边缘和斜坡;在干旱气候条件下主要搬运力是旱谷和推进的沙丘。在干旱气候条件下,低位蒸发岩可充填一个孤立的或完全封闭的盆地。海侵期间:碳酸盐沉积作用发生在局限的环境,随后随着环境更加开放,包括点礁在内的开阔海相可能局部发育顶部淹没的台地和缓坡。退积准层序包括浅水碳酸盐岩的形成和随后被淹没,陆棚边缘倾向于增生、后退,且在海平面上升速率高的情况下被淹没。高位期间:向海推进的碳酸盐岩或滨岸碎屑沉积物以及向陆推进的碳酸盐环边陆棚可能部分充填内陆棚到外陆棚海域。在干旱气候条件下,宽阔而很浅的盐碱滩通常由蒸发岩和红层充填。这些地层上超到陆上暴露的镶边陆棚和缓坡上进积的颗粒岛滩之上。陆棚边缘和滨岸线在整个陆棚和陆棚边缘较高碳酸盐沉积率的影响下趋于形成进积。斜坡和盆地环境获得额外的来自陆棚和陆棚边缘的沉积物。

必须将上述所列因素与已建立的沉积相模式综合才能获得完整的层序和体系域模式。然而,与所有模式一样,并不意味着它们可以成为适用于所有碳酸盐岩层序的僵化教条。模式需要经过修改以适应各个具体情况。一旦它们确实适合于某一特定情况,它们就起到工作假设的作用并帮助地质学家认识碳酸盐岩地层如何堆积以及为什么如此堆积。作为岩相的一般预测者,碳酸盐沉积层序和体系域模式可与地震记录综合应用,以鉴别沉积体系和定位储层岩相、盖层岩相和源岩岩相。

引 言

在过去的几十年中,缓坡 (Ahr, 1973; Read, 1985)、陆棚 (Wilson, 1975; Read,

1985) 和克拉通环境 (Irwin, 1965; Shaw, 1964) 的碳酸盐岩相模式已经被系统地用于描述和解释古老碳酸盐台地的横向岩相关系 (图 1-1)。它们通过描述理想的岩相和古环境分布样式, 即通常形成于海平面相对变化较小或很短的时间内, 提供了碳酸盐台地的静态特征。正如 Irwin (1965) 所指出: “自然界从来不是静止的。在地质历史中, 陆表海海侵到陆地之上或从陆上海退的过程发生过无数次。” 环境发生相应的迁移, 但是预测岩相的出现对勘探家和地层学家来说是个严峻的挑战。在一个碳酸盐台地的历史中, 古环境就像一个“移动靶”。它们在很大程度上通过对沉积和侵蚀过程的响应而出现、迁移、消失又重新出现, 沉积和侵蚀过程与海平面相对变化导致的海侵和海退相伴。因此, 上述相模式的预测能力受到其时间和海平面相对变化的静态观点的限制。

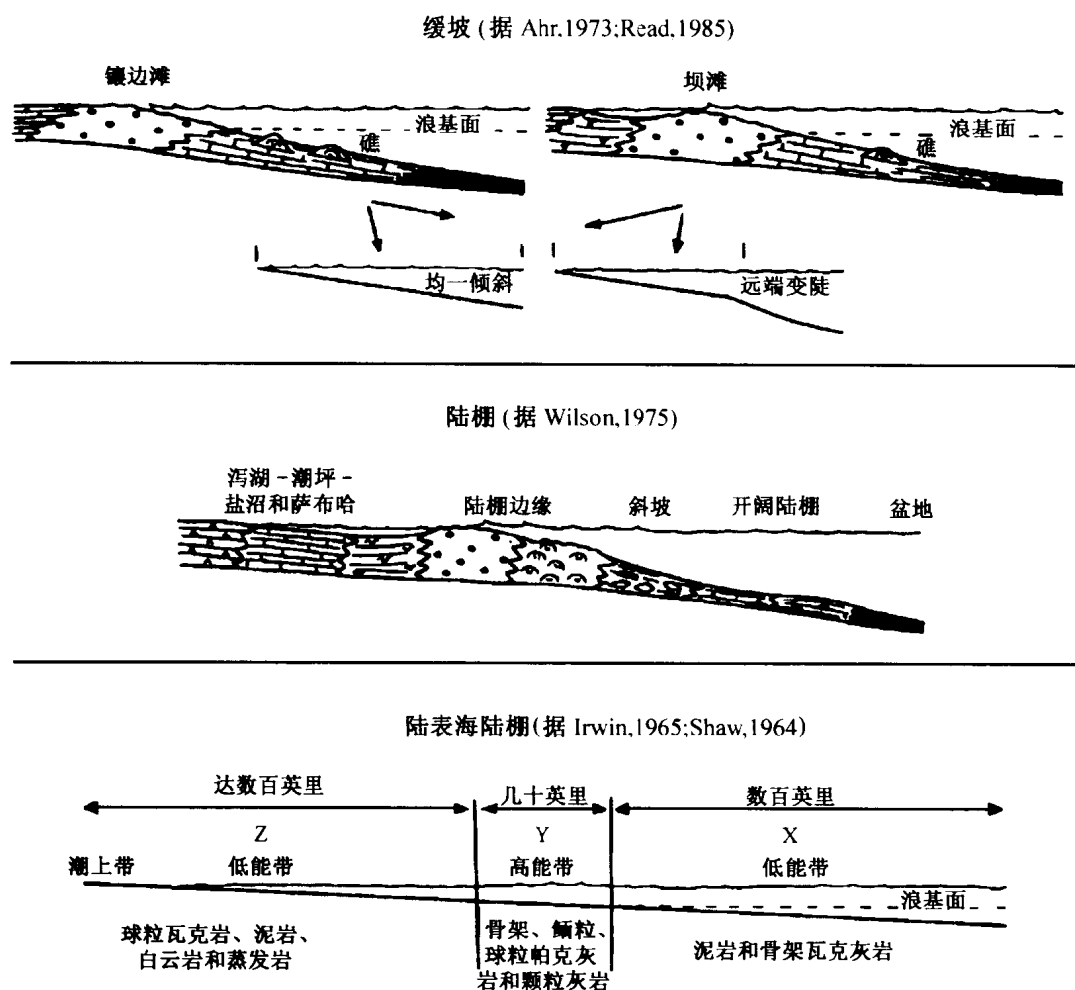


图 1-1 缓坡、镶边陆棚和陆表海的标准相模式表示静态的碳酸盐台地

层序地层学通过综合时间和海平面相对变化来跟踪岩相迁移。主要根植于地震层序

分析的层序地层学的可行性决定于在以不整合为界的沉积层序的等时地层格架内的岩相预测(Haq 等, 1987; Posamentier 和 Vail, 1988; Vail 等, 1977; Vail, 1987; Van Wagoner 等, 1990)。应用 Vail 等(1977)所发展的地震层序地层学, 解释者分析地震反射来描述地层几何形态并说明相对于时代地层限定表面的地层尖灭和切蚀的系统变化样式。从这方面来讲, 他们建立了以不整合为界的沉积层序的出现, 推测出海平面相对变化, 并描述了某一地区的沉积和侵蚀历史。

地震层序分析的方法和实践促成了埃克森(Exxon)公司层序地层学模式和相关体系域图解的发展(Haq 等, 1987; Posamentier 和 Vail, 1988; Vail, 1987)。该模式总结了形成于被动边缘沉积盆地的硅质碎屑沉积层序的可预测的地层样式和几何形态, 及其对海平面相对变化的响应(图 1-2)。

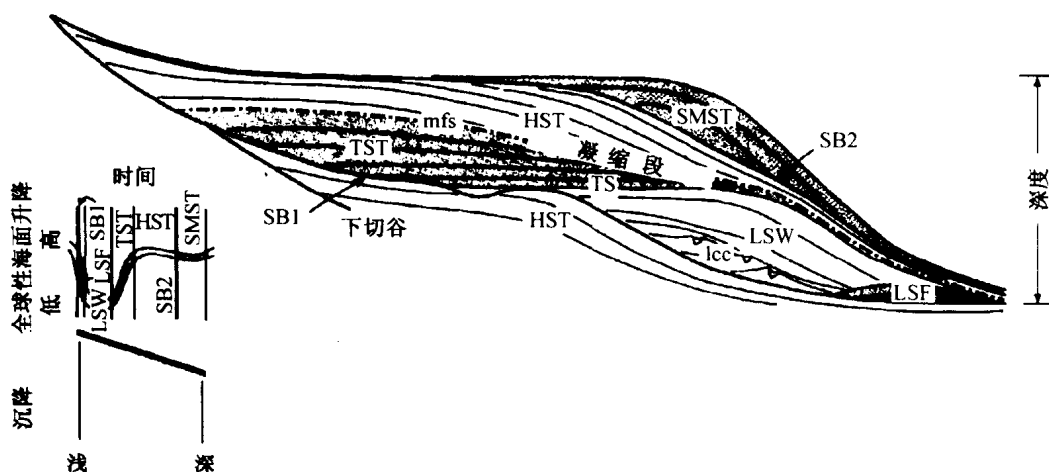


图 1-2 通常从碎屑层序研究获得的 Haq 等(1987)和 Vail(1987)的沉积层序模式

界面缩略词: SB1 = I 类层序界面; SB2 = II 类层序界面; mfs = 最大海泛面; TS = 海侵面。体系域缩略词: HST = 高位体系域; TST = 海侵体系域; LSW = 低位楔体系域; LSF = 低位扇体系域; SMST = 陆棚边缘体系域; lcc = 堤坝和河道组合。据 Haq 等(1987)和 Vail(1987)修改

现在, 层序地层学已被认为是分析碳酸盐台地发育历史的实用方法 (Eberli 和 Ginsburg, 1989; Handford 和 Loucks, 1990, 1991; Hunt 和 Tucker, 1991; Jacquin 等, 1991; Rudolph 和 Lehmann, 1989; Sarg, 1988)。多数现有的工作利用了或修改利用了碎屑沉积层序地层学的埃克森模式来帮助解释碳酸盐岩沉积层序的演化。然而, 这一基于碎屑沉积的模式运行在不同于那些决定碳酸盐沉积的基本原理之上。埃克森模式假设所有沉积物都是盆地之外来源的, 而且主要通过流过陆地和盆地上倾方向的冲积和三角洲体系搬运到海相盆地中 (见 Vail, 1987 的图 3)。显然, 这一假设不适合碳酸盐岩层序, 因为碳酸盐沉积物并不是从盆地外搬运而来, 而是在海盆中通过有机和无机过程形成 (James, 1979)。这就导致了碳酸盐岩沉积物独有的能力, 即建造沉积顶面和形态多样的台地, 例如镶边陆棚、孤立或拆离台地、缓坡。硅质碎屑体系可以形成明显的陆棚坡折但缺乏镶边边缘。另外, 硅质碎屑斜坡角度通常低于碳酸盐岩斜坡 (Schlager 和

Camber, 1986)。由有机质建造而成的独特沉积顶面形态是许多碳酸盐岩层序的特征, 仅仅依靠该特征就可以说明碳酸盐岩和硅质碎屑地层在形态上的不同。只有在以碳酸盐岩碎屑沉积为主的台地内, 碳酸盐岩和硅质碎屑岩层序才具有相似的几何形态, 例如缓坡或低角度镶边陆棚 (Sarg, 1988)。这是因为碎屑碳酸盐和硅质碎屑沉积物对波浪及洋流的搬运和沉积具有相同的响应方式。

由于碳酸盐沉积物成因多样, 环境对碳酸盐岩沉积具有强烈的控制作用 (Davies 等, 1989; Hopley, 1982; Schlager, 1991; Wilson, 1975), 碳酸盐岩对海平面相对变化有多种不同的响应方式, 这些方式可能都不同于碎屑沉积, 因此, 我们对基于碎屑沉积的埃克森层序模式 (Haq 等, 1987; Posamentier 和 Vail, 1988; Vail, 1987) 在解释碳酸盐台地地层和海平面相对变化历史时的广泛适应性提出质疑。埃克森碎屑沉积层序模式的基本原理在许多碳酸盐岩层序的应用中是合理的, 但是, 碳酸盐岩和碎屑沉积之间的重要区别需要发展单独的碳酸盐岩层序和体系域模式。

层序地层学分析是一项发展中的原理, 其根本假设需要进一步评估 (Schlager, 1991)。作为评估的一种方法, 我们综合了现代和古代碳酸盐岩体系的地质和地球物理数据, 并利用了碳酸盐岩沉积原理、已知碳酸盐岩相模式和层序地层学分析方法, 达到如下两个目的:

- (1) 识别碳酸盐岩地层样式, 并将其与碎屑地层样式相区别;
- (2) 为不同类型的镶边陆棚和缓坡建立沉积层序和体系域模式。

碳酸盐台地结构特点

碳酸盐台地在一定程度上类似于硅质碎屑陆棚, 它们的建造和变化都受到在全球性海平面升降、构造沉降、沉积速率和气候等因素驱动下的沉积和侵蚀过程控制 (Sarg, 1988; Vail, 1987)。前三个控制因素相互作用决定了海平面相对变化。气候主要控制沉积类型。综合起来, 它们的相互作用形成了碳酸盐台地沉积层序地层样式和岩相的多样性 (Haq 等, 1987; Jervey, 1988; Kendall 和 Schlager, 1981; Sarg, 1988; Vail, 1987), 以及整体外形、体积和几何形态的多样性 (Bosellini, 1989)。这些因素和其他因素的相互作用可以看成是描述碳酸盐台地自然物理特性的基本结构 (表 1-1)。进一步评价这些因素可以对碳酸盐台地及其演化有更深入的了解。我们已经将其作为层序地层学分析的首选步骤来描述某些现代和古代碳酸盐台地的特征 (表 1-2)。下面对这一系列因素进行归纳。

碳酸盐工厂

整个碳酸盐台地的沉积速率主要决定于潮下碳酸盐工厂的产率。碳酸盐工厂产生碳酸盐沉积物的能力决定于纬度、温度、盐度、水深、光照强度、水流扰动、水循环、CO₂ 浓度和养料供应等因素的相互作用 (Hallock 和 Schlager, 1986; Lees, 1975; Lees 和 Buller, 1972; Milliman, 1974; Wilson, 1975)。当这些因素都有利于有机和无机碳酸盐沉积物的生产并且相互作用恰当时即可产生强劲的碳酸盐工厂。

表 1-1 碳酸盐台地内部结构特点

内部结构要素	全球性海平面升降	低 位		海 侵		高 位		静 止		
	沉降/构造环境	热 冷 缩			地 壳 变 薄			地 壳 负 载		
		板 内					板 缘			
		大陆(克拉通)		洋壳		被动边缘		会聚边缘		转换边缘
	气 候	潮 湿			半 干 旱			干 旱		
	碳酸盐工厂	热带(低纬度)						温带—极地(中—高纬度)		
		光 合 自 养 生 物 (chlorozoan 和 绿藻) 的生物成因产出		非光合自养生物和红藻 的生物成因产出		非生物成因产出(鲕粒和球粒)		非光合自养生物、珊瑚、红藻		
	与大陆连接	相 连					相 离			
							孤 立 的		联 合 的	
	形 态	缓 坡		镶边陆棚			平顶陆棚			
		均一坡度	远端变陡							
	宽 度	窄(<10km)					宽(>10km)			
	循 环	开 阔					局 限			
		潮 汐		波 浪		洋 流		风 暴		上升流
	边缘类型	增 生			过 路			侵 蚀		
		礁					颗粒滩			
边缘定向性	向风侧					背风侧				
沉积体系	滨岸和近滨			滨外陆棚			陆棚—边缘		斜坡和盆地底	
岩石学	碳酸盐岩		碳酸盐岩/碎屑岩		碳酸盐岩/蒸发岩		碳酸盐岩/蒸发岩/碎屑岩			

表 1-2 一些重要的碳酸盐台地及其鉴别标志

台地	时代	构造位置	气候	碳酸盐工厂	连接性	形态	宽度	循环	边缘类型*	定向	沉积物类型
巴哈马	Q	被动大陆边缘	潮湿—半干旱	热带	相离	镶边平顶陆棚	宽	开阔—局限	A、B、E 礁—颗粒滩	迎风—背风	碳酸盐岩
伯利兹(Belize)	Q	转换边缘	潮湿	热带	相连	镶边陆棚	窄—宽	开阔—局限	A、B、E 礁	迎风	碳酸盐岩—碎屑岩
澳大利亚大堡礁	Q	被动大陆边缘	潮湿	热带	相连	镶边陆棚	宽	开阔	A、? 礁	迎风	碳酸盐岩—碎屑岩
百慕大	Q	洋壳板内热点	潮湿	热带	相离	镶边陆棚	窄—宽	开阔	? 礁	迎风—背风	碳酸盐岩
墨西哥尤卡坦(Yucatan)东北	Q	转换陆缘	潮湿	热带	相连	镶边陆棚	窄—宽	开阔—局限	? 礁—颗粒滩	迎风	碳酸盐岩
墨西哥坎佩切(Campeche)滩	Q	被动大陆边缘	潮湿	热带	相连	远端变陡缓坡	宽	开阔	? 颗粒滩/礁	背风	碳酸盐岩

续表 1-2

台地	时代	构造位置	气候	碳酸盐工厂	连接性	形态	宽度	循环	边缘类型	定向	沉积物类型
西佛罗里达	Q	被动大陆边缘	潮湿	热带	相连	远端变陡缓坡	宽	开阔	A、E, 滩	背风	碳酸盐岩—碎屑岩
佛罗里达群岛	Q	被动大陆边缘	潮湿	热带	相连	镶边陆棚	宽	开阔—局限	A、? 礁	迎风	碳酸盐岩
红海	Q	早期裂谷陆缘	干旱	热带	相连	镶边陆棚	窄	局限	A、? 礁	迎风—背风	碳酸盐岩—碎屑岩
南澳大利亚	Q	被动大陆边缘	半干旱	温带	相连	远端变陡缓坡	宽	开阔	A 礁	迎风	碳酸盐岩
印度洋马尔代夫群岛	Q	被动洋壳边缘热点	潮湿	热带	相离	镶边陆棚	宽	开阔	A、B、E 礁	迎风—背风	碳酸盐岩
波斯湾	Q	会聚大陆边缘	干旱	热带	相连	均—缓坡	宽	局限	礁/颗粒滩	迎风	碳酸盐岩—蒸发岩—碎屑岩
印度尼西亚塞里布岛 (Pulau Seribu)	Q	洋壳板内弧后	潮湿	热带	相离	镶边陆棚	窄	局限	A 礁	迎风—背风	碳酸盐岩—碎屑岩
得克萨斯州斯图尔特 (Stuart) 城	K	被动大陆边缘	干旱	热带	相连	镶边陆棚	宽	开阔—局限	A、? 礁/颗粒滩	背风?	碳酸盐岩—蒸发岩—碎屑岩
得克萨斯和新墨西哥州二叠盆地	P	会聚陆缘	干旱	热带	相连	镶边陆棚	宽	局限	A、B、E 礁、颗粒滩	迎风—背风?	碳酸盐岩—蒸发岩—碎屑岩
墨西哥湾滨岸斯马科弗 (Smackover)	J	被动大陆边缘	干旱	热带	相连	缓坡/镶边陆棚	宽	开阔—局限	颗粒滩、礁	?	碳酸盐岩—蒸发岩—碎屑岩
墨西哥黄金水道	K	被动大陆边缘	半干旱?	热带	相离	镶边陆棚	宽	开阔—局限	礁、颗粒滩	迎风—背风	碳酸盐岩
西澳大利亚坎宁盆地	D	被动克拉通边缘	半干旱?	热带	相连—相离	镶边平顶陆棚?	宽	开阔?	A、B、E 礁、颗粒滩	?	碳酸盐岩—碎屑岩
意大利多洛米蒂山 (Dolomites)	T	被动边缘	半干旱?	热带	相离	镶边平顶陆棚	窄	开阔—局限?	A、B、E 礁、颗粒滩	迎风—背风	碳酸盐岩
阿肯色州 Boone 组	Miss.	被动大陆边缘	潮湿	热带	相连	缓坡	宽	开阔	颗粒滩	迎风	碳酸盐岩
南海纳土纳	Mio.	裂谷大陆块体	潮湿	热带	相离	镶边陆棚	宽	开阔?	A、礁、颗粒滩	迎风—背风?	碳酸盐岩

* A = 加积; B = 过路; E = 侵蚀

热带海洋工厂位于南、北纬 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间的温暖浅海环境。呈层状的碳酸盐工厂包括从热带水面到清澈海水之下 100 m 之间的范围,但主要产率在顶部的 10 m 范围内(Wilson, 1975)。沉积物的主要生产者包括光合自养生物(chlorozoan 和绿藻)和非光合自养生物。前者包括造礁珊瑚和钙质红、绿藻,后者主要由有孔虫、软体动物、苔藓虫和棘皮类生物组成。对于珊瑚和钙质绿藻的健康发育而言,其最低和最高年水温分别不能低于 15°C 和高于 26°C (Lees 和 Buller, 1972)。来自于非固结的钙藻和直接沉积的非骨架颗粒(鲕粒和球粒),以及碳酸盐灰泥也广泛产生于温暖海域。现代鲕粒的形成由于能量和盐度而更为受限。鲕粒倾向于形成于每日波浪和洋流活动较强且盐度超过 35.8‰ (原文有误,盐度应为 35.8‰——译注)(Lees, 1975)的扰动浅水(小于 2 m)(Bathurst, 1971; Loreau 和 Purser, 1973; Newell 等, 1960)。

在温带和极地海域,碳酸盐工厂通过钙质红藻以及诸如孔虫、软体动物、苔藓虫、棘皮动物和藤壶等非光合自养生物产生骨架颗粒。温带海域缺乏钙质绿藻,灰泥也相对较少。灰泥主要通过骨架颗粒的机械磨蚀和生物侵蚀形成或由颗石藻聚集而成(Blom 和 Alsop, 1988)。

沉积产率和堆积率在热带台地比在温带要高。下列特点是从前人工作(Glaser 和 Droxler, 1991; James 和 Bone, 1991; James 和 MacIntyre, 1985; Sarg, 1988; Schlager, 1981; Wilson, 1975)总结出来的。

(1) 全新世碳酸盐聚集率可以与全球性海平面上升率($30 \sim 700 \text{ cm/ka}$)持平或超过(Schlager, 1981)。

(2) 古代碳酸盐台地的长期堆积率($< 1 \sim 50 \text{ cm/ka}$)远小于全新世堆积速率(达 $1\,500 \text{ cm/ka}$)。尽管区别明显,但并不是说全新世的堆积速率是局部的而古代沉积率代表了整个台地。而且,古代沉积率没有考虑压实作用、小的间断和长期的静止期(Sarg, 1988)。

(3) 全新世高的堆积率反映了海平面在最后一次快速上升期间较大的可容空间。MacIntyre(1983)测量了巴拿马 Galeta 礁在 $7\,000 \sim 4\,000 \text{ a B. P.}$ 期间海平面上升较快的时期内堆积率为 390 cm/ka 。接着,礁的生长率最后在 $3\,000 \sim 4\,000 \text{ a B. P.}$ 期间下降到 $60 \sim 70 \text{ cm/ka}$,这期间海平面上升速率明显降低。Schofield 等(1983)在塔斯曼海的 Elizabeth 礁识别了相似的情况。

(4) 台地通常形成超过它表面容纳空间的沉积物。结果,多余的沉积物被搬运到邻近的斜坡位置,从而导致进积作用。因此,较低的堆积率并不总是反映产率低或生长潜力小。在台地顶部测得的低堆积率可能是斜坡上高的进积率的原因。

(5) 如果含礁的碳酸盐台地的平均生长率为 100 cm/ka ,其内部的环境会有很大变化。浅水的礁缘堆积率可达 $2\,000 \text{ cm/ka}$,而鲕粒滩边缘的堆积率为 $50 \sim 200 \text{ cm/ka}$ (Schlager, 1981)。在泥质台地内部沉积率更低。在平均厚度为 0.65 m 的小巴哈马滩内部全新世连续灰泥层的平均净堆积率为 12 cm/ka (Neumann 和 Land, 1975)。在沉积厚度为 2 m 的地方,净沉积率为 36 cm/ka 。如果在小巴哈马滩外没有藻类沉积的损失,堆积率应当为现代沉积率的 1.5 倍(Neumann 和 Land, 1975)。在尤卡坦滨岸泻湖的泥滩沉积可以有局部较高的沉积率。Brady(1971)在 Nichupte 泻湖记录到 11.5 m 的泥质沉积物,转换成堆积率则为 192 cm/ka 。在尤卡坦几乎没有沉积物被搬运到台地之外,因为