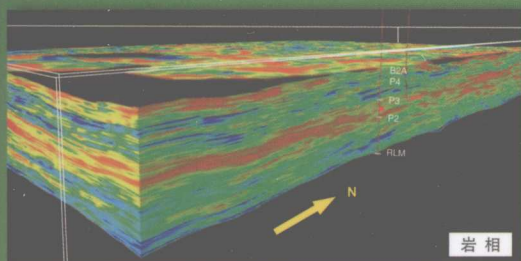
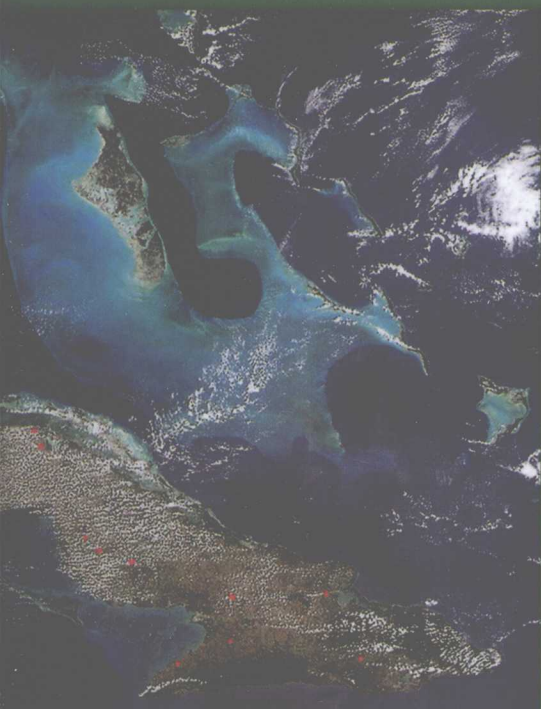


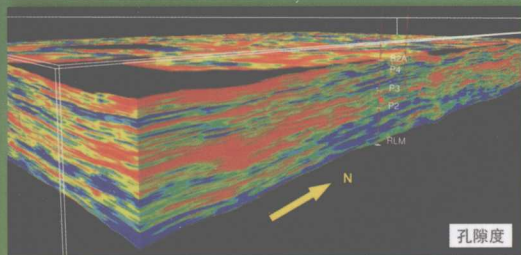
储层模拟中露头 and 现代沉积类比的综合研究

G. Michael Grammer Paul M. "Mitch" Harris
Gregor P. Eberli 编

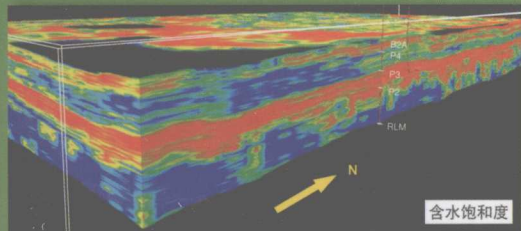
蔡希源 李思田 郑和荣 马永生 等 译



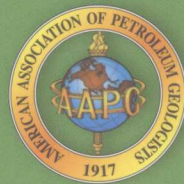
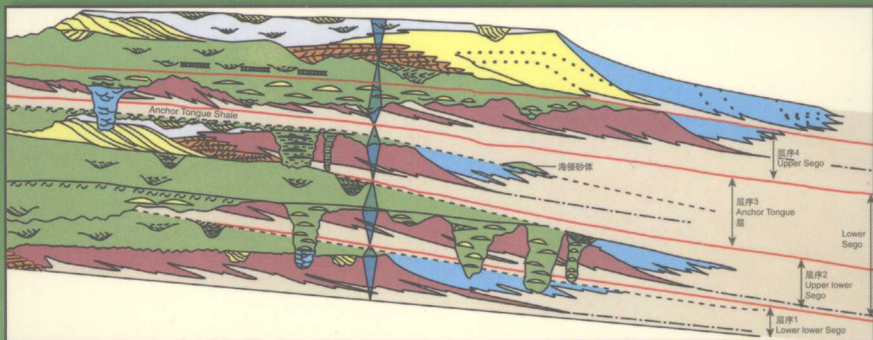
岩相



孔隙度



含水饱和度



储层模拟中露头 and 现代沉积 类比的综合研究

G. Michael Grammer Paul M. “Mitch” Harris Gregor P. Eberli 编

蔡希源 李思田 郑和荣 马永生 等 译

AAPG 论文集 80

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

Copyright © 2004

By the American Association of Petroleum Geologists

All Rights Reserved

ISBN: 0-89181-361-6

AAPG同意个人使用本书中单篇文章的影印文件。对于额外复印本书中的文章个人或内部使用,需得到AAPG的授权许可,并且直接向版权批准中心支付版权使用费,基本收费标准每篇3.5美元,每页0.5美元。版权批准中心位于马萨诸塞州丹弗斯镇 Rosewood Drive 222 号, 01923 (电话: 978/750-8400)。根据具体情况,费用会有所浮动。

AAPG 编辑: John C. Lorenz

地质科学负责: J. B. “Jack” Thomas

图书在版编目(CIP)数据

储层模拟中露头 and 现代沉积类比的综合研究/(美)格拉默(Grammer, G. M.)等编;蔡希源、李思田、郑和荣、马永生等译. —北京:地质出版社, 2008. 3

ISBN 978-7-116-05564-3

I. 储... II. ①格...②蔡...③李...④郑... ⑤马... III. 储集层—建立模型—研究
IV. P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 029685 号

CHUCENG MONIZHONG LUTOU HE XIANDAI CHENJI LEIBI DE ZONGHE YANJIU

责任编辑: 祁向雷 郁秀荣

责任校对: 李 玫

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)82324508(邮购部); (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: 889mm × 1194mm 1/16

印 张: 24

字 数: 760 千字

印 数: 1 — 1000 册

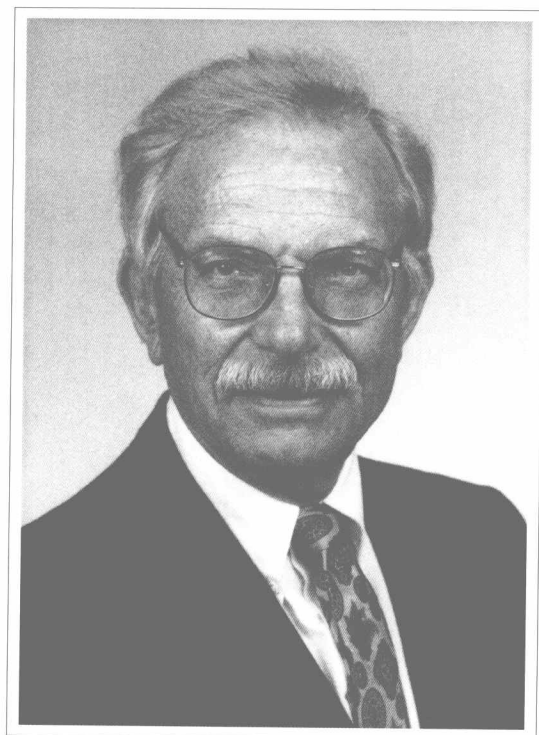
版 次: 2008 年 3 月北京第 1 版 · 第 1 次印刷

图 字: 01-2006-3425 号

定 价: 118.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-05564-3

(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)



谨以此书献给迈阿密大学比较沉积学实验室的创建者
Robert N. Ginsburg 教授 —— 一位值得尊敬的老师和同事

致 谢

美国石油地质学家协会感谢以下公司对本书出版给予的大力支持：

雪佛龙德士古公司

Tom Brown 有限公司

日本国家石油天然气金属公司

译 者 的 话

当前,从世界范围到我国,由于油气勘探的需求,出现了沉积体系和储层研究的新高潮,其中碳酸盐岩和深水扇沉积体系是最为集中的热点,陆上和海域新发现的大油气田许多与之相关。勘探领域的需求推动了技术上的创新和革命,现今地震探测的分辨能力,特别是高精度三维地震提供的影像已经能够相当准确地揭示沉积体的三维几何形态及其内部结构。然而,新技术手段的使用又必须有基于精细的地质研究所建立的沉积模式为指导。因此在实践中产生了“地震沉积学”的思路与方法,即根据现代沉积和露头大断面进行沉积环境建模,作为地震处理解释的指导,并以高精度地震资料为基础,对沉积体系和储层进行研究,所获得的地震影像又能对地质模式修改和完善。此种地质与地球物理联合反馈的方法可以识别沉积体系和储层的几何形态、内部构成并定量地预测储集性。地震沉积学所形成的一整套思路和方法体系已被证明是油气勘探中非常有效的工具,是地震地层学和层序地层学的进一步延伸和发展。AAPG近年来出版了一系列专著对此领域的研究进行了介绍,其中特别是G. P. Eberli教授等主编的《碳酸盐岩储层和沉积体系的地震成像》(AAPG M81, 2004)和G. M. Grammer教授等主编的《储层模拟中露头 and 现代沉积类比的综合研究》(AAPG M80, 2004)为其中的典型代表。这些著作通过大量典型实例的研究介绍了地震沉积学的概念、方法技术和实践效果。对我国当前油气勘探,特别是海相领域和隐蔽油气藏领域的勘探和研究具有重要参考价值,并将开辟一个新的技术领域。

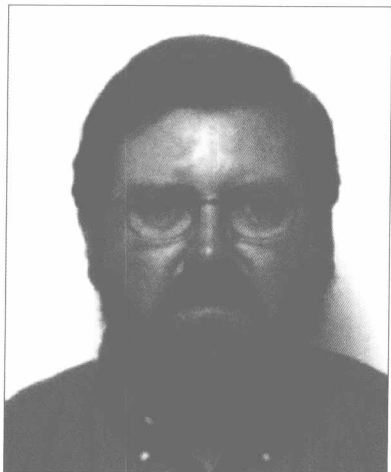
为此,在中国石油化工集团公司的组织和支持下,由中国石油化工股份有

限公司石油勘探开发研究院、中国地质大学、中国石油化工股份有限公司勘探南方分公司研究院合作，全文翻译了上述两部著作，中国地质大学有6名教授、副教授及多名博士生，中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院和勘探南方分公司研究院各有多位研究人员参与了翻译和审校工作。朱起煌、白振瑞、马金钰、刘占红和邢凤存等以及地质出版社祁向雷、郁秀荣进行了出版前的细校。蔡希源、李思田、郑和荣、马永生组织、指导了全部编译工作，并分工进行了全文审阅和修改。

由于需要快速完成庞大的翻译工作，以便早日提供给广大读者特别是一线勘探和研究人员参阅，书中可能会有翻译和审校不周之处，敬希批评指正。

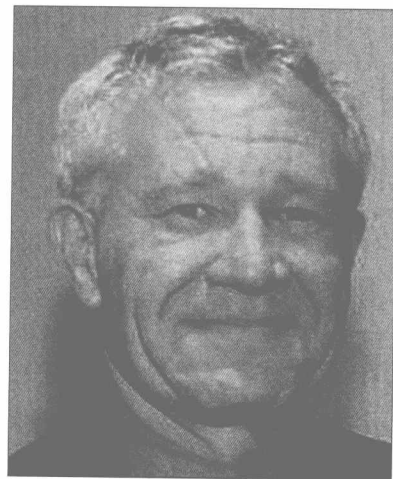
最后，感谢原著的各位主编和AAPG出版部门正式地支持和同意本书在中国出版为中文版本。

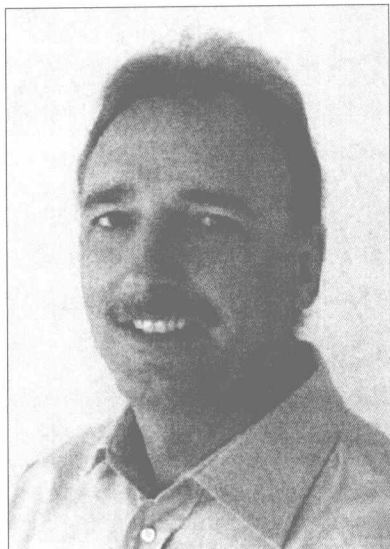
编者简介



G. Michael Grammer 1980年获得南佛罗里达大学地质学学士学位,1983年获得南部卫理公会大学硕士学位,1991年获得迈阿密大学 Rosenstiel 学院海洋和大气科学理学博士学位。在迈阿密大学期间, Grammer 是比较沉积学实验室成员之一,主要从事与石油相关的应用课题的科研和教学工作。他的工作经历包括拥有近10年在德士古石油公司(雪佛龙德士古)做油藏描述和地层损伤评价工作的经历。最近,他在德士古石油公司(或称雪佛龙德士古)担任研究科学家,主要职责包括公司内部的技术咨询和技术支持工作,同时也提供碳酸盐岩储层研究领域里多方面的培训工作。最近5年来,与本书的其他编者一起,共同领导了AAPG野外研究会对巴哈马现代碳酸盐环境的研究。他发表了很多专业性的文章,并被授予2002~2003年度AAPG“著名讲学者”称号。2002年秋, Grammer 作为一名副教授,进入了西部密歇根大学,主要研究碳酸盐岩沉积学、层序地层学和石油地质学。他的研究兴趣一直集中在碳酸盐岩台地演化的动力学、早期成岩作用过程,以及碳酸盐岩体系储层构成评价等领域。

Paul M. “Mitch” Harris 是加利福尼亚州 San Ramon 市雪佛龙德士古勘探与生产技术公司的碳酸盐岩储层咨询顾问,主要为雪佛龙德士古石油公司不同的运行单位提供碳酸盐岩技术项目支持、咨询、研究和培训工作。25年来,他的工作一直集中在与相相关的地层学和成岩作用等问题的研究方面,这些问题在世界范围内大多数碳酸盐岩盆地的碳酸盐岩储层和勘探远景区都存在。Harris 获得了西维吉尼亚大学学士学位、硕士学位和佛罗里达迈阿密大学的理学博士学位。他发表了大量的文章,主编了几部书,他是AAPG和SEPM的活跃会员。他曾经被授予AAPG“著名讲学者”和“国际著名讲学者”称号,并被SEPM授予“荣誉会员”。Harris也是赖斯大学、迈阿密大学和南加州大学的兼职教师。





Gregor P. Eberli 1985 年获得瑞士苏黎世技术学院理学博士学位。他的研究领域主要集中在沉积学、地层学以及现代和古代碳酸盐岩的岩石物理学研究。他在很多研究项目中比较研究了现代和古代沉积体系，露头 and 地下数据的异同，以此阐明沉积地层中记录的沉积过程。此外，他综合实验室试验的方法来更好地理解沉积岩的地震和测井响应特征，特别是在碳酸盐岩领域是这样。Eberli 是 AAPG “著名讲学者” 称号的获得者，也是野外考察的指导者。1991 年，他进入迈阿密大学工作，现在是迈阿密大学海洋地质与地球物理学部的主席，同时也是比较沉积学实验室的负责人。

目次

致 谢	V
译者的话	VII
编者简介	IX

第 1 章

储层模拟中综合利用露头 and 现代沉积类比：巴哈马实例概述	1
<i>G. Michael Grammer, Paul M. "Mitch" Harris, and Gregor P. Eberli</i>	

第 2 章

佛罗里达南部新近系混合的碳酸盐岩—硅质碎屑岩沉积的机制及其在研究古沉积物中的应用	23
<i>D. F. McNeill, K. J. Cunningham, L. A. Guertin, and F. S. Anselmetti</i>	

第 3 章

利用古代和现代沉积体系的资料预测潮汐砂体储层构型	43
<i>Lesli J. Wood</i>	

第 4 章

怀俄明州和蒙大拿州麦迪逊组具有储层品质的白云岩在层序地层和古地理上的分布	63
<i>Langhorne B. Smith, Jr., Gregor P. Eberli, and Mark Sonnenfeld</i>	

第 5 章

墨西哥北部阿尔布阶的侧向加积颗粒灰岩台地边缘：白垩系碳酸盐岩储层的露头模型	89
<i>David A. Osleger, Roger Barnaby, and Charles Kerans</i>	

第 6 章

美国新墨西哥州西南部佩德雷戈萨盆地上密西西比统碳酸盐岩缓坡体系： 一个中石炭统碳酸盐岩储层的露头类比	103
<i>David J. Sivils</i>	

第 7 章

美国怀俄明州弗兰蒂尔组潮控三角洲砂岩的沉积学、统计学和流动特征研究	121
<i>Christopher D. White, Brian J. Willis, Shirley P. Dutton, Janok P. Bhattacharya, and Keshav Narayanan</i>	

第 8 章

两个早中新世碳酸盐岩台地边缘的沉积对比研究

——以珠江碳酸盐岩台地(地下, 中国南海)和Pirinç碳酸盐岩台地(露头, 土耳其南部)为例 143

P. Bassant, F. Van Buchem, A. Strasser, and A. Lomando

第 9 章

可容纳空间控制下的体系域—特殊相的划分及浅滩相缓坡脊部颗粒灰岩储集体几何形态发育特征 161

Victoria L. French, and Charles Kerans

第 10 章

新墨西哥州里郡 Vacuum 油田圣安德烈斯组储层特征:

用圣安德烈斯组 Algerita 露头模型改进储层描述 179

Emily L. Stoudt, and Michael A. Raines

第 11 章

墨西哥湾西部 Diana 油田深水储层描述和建模研究的综合方法 203

Morgan D. Sullivan, J. Lincoln Foreman, David C. Jennette, David Stern, Gerrick N. Jensen, and Frank J. Goulding

第 12 章

怀俄明州 Bighorn 盆地 Alkali Creek 地区基于野外露头的 Tensleep 砂岩三维模拟 221

B. N. Ciftci, A. A. Aviantara, N. F. Hurley, and D. R. Kerr

第 13 章

综合运用高分辨率露头 and 地下资料, 提高对加拿大西部上泥盆统(弗拉斯阶)碳酸盐岩体系

低分辨率地震资料的解释 243

Anne M. Schwab, Frans S. P. Van Buchem, and Gregor P. Eberli

第 14 章

运用基于露头、岩心、测井、地震数据和现代类比的储层模型部署井位、降低成本和增加产量:

特立尼达西部陆上和海上地区 259

Grand D. Wach, Christopher S. Lolley, Donald S. Mims, and Clyde A. Sellers

第 15 章

- 科威特—沙特中立区沃夫拉油田始新第 2 岩性段储层模拟中层序地层学和
多重三维地质统计实现的综合研究 287
Dennis W. Dull

第 16 章

- 美国得克萨斯州 100 Foot 水道复合体和西班牙艾恩萨 II 水道复合体的露头 and 注水模拟建模：
多层和多分支水道化斜坡储层的类比 313
D. K. Larue

第 17 章

- 碳酸盐岩沉积及浅成岩过程的计算机模拟 339
Fumiaki Matsuda, Michinori Saito, Ryotaro Iwahashi, Hiroshi Oda, and Yoshihiro Tsuji

第 18 章

- 多点地质统计学：一种把地质类比对象综合到多种储层模型中的定量工具 357
Jef Caers, and Tuanfeng Zhang

储层模拟中综合利用露头 and 现代沉积类比： 巴哈马实例概述

G. Michael Grammer

Western Michigan University, Department of Geosciences, Kalamazoo, Michigan, U. S. A.

Paul M. “Mitch” Harris

ChevronTexaco, Energy Technology Company, San Ramon, California, U. S. A.

Gregor P. Eberli

University of Miami, Comparative Sedimentology Laboratory, Miami, Florida, U. S. A.

前 言

在地质约束下储层模拟的发展，以及随后储层模拟模型的改善都基于关键性的参数，这些参数确定了目标储集相的几何属性与展布特征。为了精确表征潜在的储集体，必须在系统中确定地质限定的变量。沉积相总体差异，以及更多的局部变化（如颗粒大小/类型、颗粒分选、沉积构造以及成岩作用的叠加等方面）都可以影响到沉积体的内部构成和几何形态，进而影响到潜在储层的非均质性。所以，地质基础要素的综合是对地下储集相可能的纵向和横向分布变化进行表征的一个基本步骤。这样一个以地质为基础模型，不仅增进了我们对于储层非均质性的了解，同时也提供了建立其他储层模型，以及最终模拟模型的基础。

近年来，我们已经看到了高分辨率层序地层学和旋回地层学的发展，伴随着这些发展，出现了用于沉积体系解释的精细模型。运用层序地层学方法以后，沉积体系分析是随着时间的变化而进行的动态分析，而不是以前在单个时间段内所进行的静态的沉积模式或相模式分析。这些动态的概念模式对潜在储集相的展布及其储集物性提供了更好的预测，尤其是在结合对沉积体系的详细内部结构和成岩变化的认识取得新进展以后更是这样。

在许多油藏中，关键的部分是必须对储层特征有很好的了解，这些特征包括相类型和可能的成岩变化以及与高频旋回相关的垂向叠加样式。能基本控制储层内部的流体流动特征的尺度（例如米级）是一般努力达到的目标。然而，完全掌握地下这种旋回的特性是一种挑战，尤其是在少于最理想的钻井控制的情况下是这样。在这种情况下，露头类比对于了解这些高频旋回的界面和内部相的配置提供了有价值的参考。

然而，我们很少能从单独的露头上获得潜在储层展布的全三维（3D）影像，尤其是从空间尺度的立场上是这样。露头研究通常能在一个体系的垂向上获得可靠的资料，而横向变化一般都受到限制，因为露头的暴露要么沿走向方向，要么沿倾向方向，有时候也可能是与这些方向斜交。作为增强对可能储集相二维（2D）地面露头空间展布认识的一种手段，露头研究资料结合现代沉积类比研究的资料是非常有用的（如Grammer等，2001）。通过对现代沉积体系的评价，我们至少能够在某一个时间切片（如目前的全新世）中认识特定沉积背景下的主要相带的二维空间展布的一级近似特征。毫无疑问，用“现代的”作为类比对象存在一定的局限，因为包括诸如气候和构造变化、海平面的相对位置以及海平面的升降速度等在内的某些边界条件都可能与所研究的古代沉积体系不同。尽管

如此,在缺乏高质量的三维地震资料的情况下,现代沉积体系是储层模拟研究人员获得可能储集相的二维平面展布认识仅有的可利用的数据组之一,而对二维展布特征的认识对于正确建立地质约束下三维储层模型是必需的。

露头类比及其局限性

露头模型通常已经被作为地下储层分布的代表(例如Borer和Harris, 1991; Tyler和Finley, 1991; Grant等, 1994; Kerans等, 1994; Grammer等, 1996; Tinker, 1996; Kerans和Tinker, 1997; Sarg等, 1999; White和Barton, 1999; McLaurin和Steele, 2000; Willis和White, 2000; Willis和Gabel, 2001; Camacho等, 2002)。尽管详细的露头模型对于建立高分辨率的地下模型是非常有用的,但是露头的信息一般在某种程度上受到出露程度的约束。

美国二叠纪盆地San Andres/Grayburg组油藏展现了普遍存在的非均质性程度,以及露头类比对于阐明一些关键性储层问题的价值。San Andres/Grayburg油藏的渗透层厚度图、压力等值线图以及采收率图表明这些油藏中的流动单元在空间和垂向上具有明显分区(Dulaney和Hadik, 1990; Harris和Walker, 1990; Lucia等, 1990; Major等, 1990; Purves, 1990; Ruppel, 1990)。实验室对不同类型储层润湿性和孔隙结构的研究显示,水驱可以使开采效率达到石油地质储量(OOIP)的50%,但实际上较低的油田采收率与此实验结果完全矛盾。尽管有高密度的钻井,这种实验室与油田采收率的差异强调了对储层的流体特征和剩余流体分布进行深入研究的需要。在地质格架中对于各项特征作了细致描述的体系进行流体模拟,将有助于剖析观察到的实验室结果与油田采收率的差异。一旦这些差异能够被解释,就应该对流体特征的分布和流体模拟进行复查。

作为实例,沿达卢佩山脉(Guadalupe Mountains)Algerita陡崖分布的二叠系San Andres组的露头研究显示, San Andres组具有高旋回性,而且这些旋回的展布可能影响到垂向和横向上的储层特征。San Andres组的旋回一般为3~12m厚,其沉积相形成于海平面的相对上升阶段和/或相对静止阶段,该时期发育了碳酸盐浅滩。这种旋回底部为薄的泥岩/粒泥灰岩,具生物潜穴的粒泥灰岩和泥泥灰岩覆盖其上,并最终被厚的块状至板状或具交错层理的泥粒灰岩和颗粒灰岩覆盖

(Kerans等, 1994),这种旋回代表了潜在的垂向分带。露头在侧向上也展示了数百米规模的旋回性变化,这种配置关系可以作为二叠系盆地中油气储层类比物的典型代表。

缓坡型碳酸盐岩储层非均质性的露头类比模型(如Grant等, 1994; Kerans等, 1994)可为地下油藏开采历史提供一些启示。在大的尺度上,地层接触关系可以用于预测旋回性明显的层,这将更有助于注水早期阶段的生产。相反,在薄层和块状的筳类生物发育的层段,其旋回性很差,地层中保存了大部分不可动油,并导致流体的单元分割,但通过更深入的了解地层接触关系,也可以对其进行预测。不过露头类比与储层本身之间总会存在一些潜在的差别,其可能的原因包括:(1)空气渗透率的变化会使估算的气驱效果明显降低;(2)在不连续的地层层位中,横向的连通性在地下要比露头观察到的好;(3)在旋回中,平均渗透率存在显著的差别,导致所注流体窜流增加,使垂向方向总的驱油效率下降。

无论是在露头还是储层研究中,所要考虑的重要一点就是不同地层单元的垂向规模,例如将被用在储层模型中的各层的垂向规模。旋回、旋回组,以及不太明显的旋回性层段等单元在储层预测中都是有潜在意义的地质地层。这些层都可以在岩心和测井研究中被识别出来,而且应该在一个地下模型中构成地质格架的基本构建单位。一旦这些层被识别出来并加以对比,在单个旋回或旋回性不明显的地层单元中,岩相岩石物理分析就取得了用于对这些地层单元进行油气采收时效模拟和预测的基础数据。当然,通常假定的渗透性的横向相关性很少与井间距有关。

露头对比提供了二维和不多的三维的沉积相的面貌,其成岩作用的叠加也比地下或现代沉积类比更加详细。在露头上,对旋回/层序和沉积相格架内的孔隙度、渗透率进行测量是用来反映储层和模拟模型中可能流体的流动情况。因此,与单独从地下收集的资料相比,露头类比在沉积相和储层性质两方面提供了一个完整的认识。尽管依靠露头识别的地层和相接触关系可以用作相关的地下资料的模板,但是,关于如何很好地将露头实际获得的沉积相和成岩作用的详细资料与地下特定的储层进行对比总是存在问题的。

现代沉积类比及其局限性

现代沉积环境是使某一单独的时间处储集相空间

展布的概念化和获得储集相几何形态特征的一级定量近似值的有价值的类比对象。卫星照片、航空摄影等遥感资料与地表沉积相编图相结合可以揭示沉积相的展布和用来显示构成的维数信息,还可以协助与假定井间距相关的储层模拟。当与岩心分析的结果相结合后,这些二维资料就会更有价值。这些资料或者来自于现代环境,其提供了一个沉积旋回内沉积相的空间展布信息;或者来自于详细的露头研究,其提供了储集体系更为全面的三维信息。就像露头实例一样,将现代沉积类比的资料用于地下的时候也存在不足。例如,如何能很好地将全新世实例得出的相模式与某个特定的储集体和储层对比,这一直是受到关注的课题,同时,也是一种不足。另外,由于有限的地层厚度和缺乏成岩作用的复杂性,全新世的研究作为类比储层质量的变化依据一般是不充分的。当把现代沉积类比结合到储层模型的时候,对很多变量的了解都有限,诸如气候和构造背景、海平面相对变化的幅度和频率,特别是在碳酸盐岩中可能导致的与成岩变化相关的沉积结构的变化,与地质年龄相关的动物化石的变化,这些变量都会是将现代类比结合到储层模型中去的限制因素。尽管如此,在过去的几十年当中,现代沉积类比作为基本模型在许多沉积体系中都得到运用(例如 Illing, 1954; Newell 和 Rigby, 1957; Off, 1963; Purdy, 1963; Ball, 1967; Shinn 等, 1969; Weil 等, 1973; Hardie, 1977; Huthnance, 1982; Amos 和 King, 1984; Eberli 和 Ginsburg, 1987; McBride 和 Moslow, 1991; Davis 和 Balson, 1992; Grammer 和 Ginsburg, 1992; Hulscher 等, 1993; Major 等, 1996; Dyer 和 Huntley, 1999; Grammer 等, 2001)。最新的研究进一步解释在海平面变化的框架内沉积相的空间展布,当这些研究与碳酸盐岩早期成岩作用变化的研究(例如 Harris, 1978; Halley 和 Harris, 1979; Beach, 1993; Grammer 等, 1993b; Melim 等, 1995; Anselmetti 和 Eberli, 1997; Grammer 等, 1999)相结合时,可以为三维储层特征和建模提供非常有价值的信息。

现代沉积类比: 巴哈马实例分析

巴哈马滩(GBB)是巴哈马地区最大的碳酸盐岩孤立台地,其研究不断地促进了碳酸盐岩体系的地层、沉积和成岩模式的改进。巴哈马得到的模式对于了解“孤立”碳酸盐岩台地内部结构和油藏的储层性质有着特别重要的意义。

历史回顾

对于碳酸盐岩台地上各种岩相类型及其形成和分布的控制因素的理解,在很大程度上来自于对现代沉积类比的广泛研究。第二次世界大战结束不久,由于石油公司认识到通过现代环境来识别地下相似的古储集体的重要价值,对碳酸盐岩和硅质碎屑岩体系中现代沉积环境的研究迅速开展起来。对于碳酸盐岩而言,这类早期的研究多数都集中在巴哈马,这个美国大陆东南部开阔的现代碳酸盐滩地带(图1)。

通过近几十年的研究,利用巴哈马的研究已建立了多种背景下的沉积相模式,包括台地内部、碳酸盐砂、礁、潮坪以及边缘斜坡沉积(实例见 Illing, 1954; Newell 和 Rigby, 1957; Purdy, 1963; Ball, 1967; Shinn 等, 1969; Ginsburg 和 James, 1974; Hardie, 1977; Hine 和 Neumann, 1977; Beach 和 Ginsburg, 1980; Hine 等, 1981; Halley 等, 1983; Harris, 1983; Eberli 和 Ginsburg, 1987; Grammer 等, 1993a; Mayor 等, 1996)。另外,在碳酸盐岩研究中,对各种成岩过程和成岩机理方面的研究也获得重要的进展,包括成岩作用及其机理的识别,以及从储层潜力角度这些方面对沉积物的影响(如 Harris, 1978; Halley 和 Harris, 1979; Dawans 和 Swart, 1988; Anselmetti 和 Eberli, 1993, 1997; Beach, 1993; Grammer 等, 1993b, 1999; Melim 等, 1995, 2002)。各项研究成果都加深了对碳酸盐岩相的空间分布和早期成岩改造作用的认识,这些认识能提高地下油藏勘探和开发策略。

近年来,对大巴哈马滩地层学和沉积学的研究取得了碳酸盐岩台地侧向生长潜力和周期性进积作用的基本认识。从地震资料可以清楚地看到,通过在高位期间从滩顶部获得的沉积物的散落所导致的沿孤立台地背风边缘的进积作用,原先孤立的台地逐渐拼合,形成大巴哈马滩(Eberli 和 Ginsburg, 1987)。台地地层的生长和成岩作用与海平面的升降密切相关,而且在台地边缘礁和砂体的形成初期,台地表面上早期的地形受到台地边缘迎风或背风方向的严格控制(Ball, 1967; Hine 和 Neumann, 1977; Harris, 1979; Hine 等, 1981; Halley 等, 1983)。与此类似,在近端斜坡的环境里,相的沉积构成(如以颗粒与泥质控制)受到台地边缘迎风/背风方向的控制(Grammer, 1991)。大巴哈马滩台地表面上变浅旋回的详细解释,以及在全新世和更新世沉积记录中常见的无沉积可容纳空间方面的认识,也加深了我们对古代台地中同类地层的认识。大巴哈马的旋回变

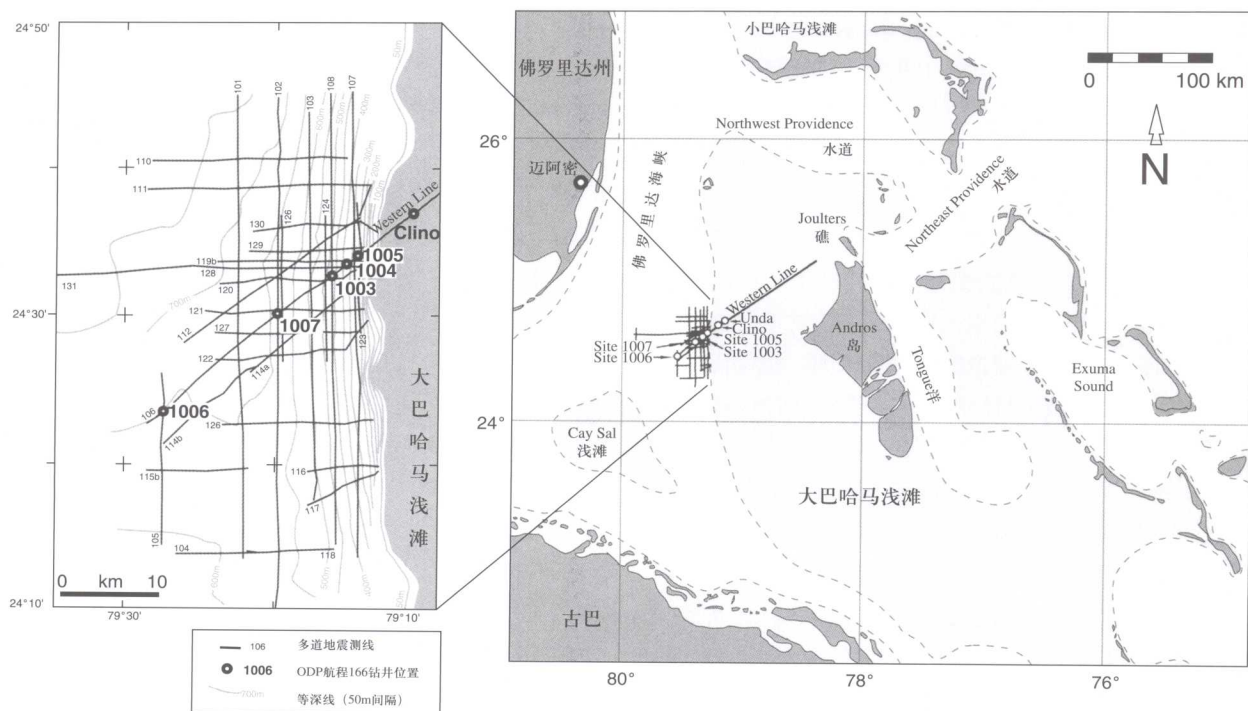


图1 大巴哈马滩 (GBB)、Joulter Cays 鲕粒沙洲复合体和 Tongue 洋的位置图。佛罗里达海峡将佛罗里达州与大巴哈马滩隔开, 而且墨西哥暖流流经这个海峡。图中也显示了西部地震测线, Clono 和 Unda 的钻井, 以及大洋钻探计划的钻井位置。

化的特点揭示了旋回地层对比过程中固有的局限性, 同时也有助于储层非均质性方面的解释, 这些解释可用于某些古代碳酸盐岩沉积体系 (Grammer 等, 2001)。

在本章中, 通过对巴哈马现代沉积环境研究的多个实例进行简要的检验, 揭示出结合现代沉积环境的资料进行研究所包涵的意义。首先, 对台地边缘鲕粒滩的持续性研究是于20世纪70年代首次进行的, 首次研究在勘探和开发尺度上提供了关于潜在储层的侧向非均质性的详细研究。这些研究获得的知识已经运用于古代碳酸盐砂体的多项研究。接下来, 始于20世纪90年代早期的关于巴哈马台地边缘斜坡沉积的定年、演化及潜在储层分布的研究, 再次说明了结合现代沉积类比所获得的几何学资料的价值。在这两个实例之后, 本章接着讨论对地震反射层的年代地层意义方面认识的一些新进展, 最后对碳酸盐沉积物和碳酸盐岩的岩石物理特征的主要控制因素进行了点评。表1列出的大纲是20年来对巴哈马的研究中作者们认为较为关键的一些认识, 至于比较沉积学在储层分析中的应用价值, 则留给读者进行评价。

台地边缘鲕粒滩

Joulter Cays 鲕粒滩复合体位于大巴哈马滩 Andros

岛的北部 (图1), 该复合体展示沉积相和成岩相的空间变化性, 这种变化性能最终导致储层非均质性的形成和地层圈闭的发育。这些碳酸盐砂体已经通过地表采样和浅钻的取心做了广泛的研究 (Harris, 1979, 1983, 1984), 加深了我们对鲕粒滩如何随着海平面变化而发展和演化的了解。

Joulter Cays 滩的例子阐述了与地下碳酸盐岩台地油藏的解释和对比相关的一些困难。面积大于400km²的现代浅滩复合体在厚度和原始沉积组构方面变化都非常大 (Harris, 1979, 1983)。在 Joulter Cays 地区, 不管是在台地的淹没期间还是在海平面的最近一次上升、浅滩复合体形成的期间, 先成的地形及随后的碳酸盐砂岩的形成都有很大变化。浅滩的生长在很大程度上是对海平面相对上升的响应, 记录了鲕粒砂条带的迅速扩大、岛的形成, 以及相伴生的大气成岩作用、海底硬底的发育, 以及掘穴生物对局部浅滩的加固和改造。

Joulter Cays 滩取心 (图2) 所揭示的特征性的垂向序列由底部的含分散状岩屑砂和团粒泥、中部的微晶球粒砂、顶部的鲕粒砂组合而成, 显示出颗粒大小、鲕粒百分含量, 以及颗粒支撑结构向上增加的特点 (Harris, 1979, 1984)。该相序列向南变薄, 覆盖在逐渐变浅的更新世沉积物表面, 向北和向西总体上沉积

表 1 从巴哈马获得的主要认识

台地的演化和地层
• 高位期间，由于滩顶部沉积物散落所形成的侧向进积，尤其是沿台地背风边缘的进积作用，可使先期形成的孤立台地逐渐合并。 • 高位期间，台地沉积物的散落在斜坡上形成沉积物的“高位楔形体”，在几何特征和定位上拟态了一个“低位楔形体”。 • 在台地边缘的迎风面和背风面之间，边缘斜坡的沉积过程和岩相是变化的。 • 在低位和高位期间，台地边缘和斜坡相崩塌和巨型角砾岩出现。 • 生物地层学和磁性地层学证实了数个区域性可以对比的层序界面是年代地层界面。 • 在纯碳酸盐岩体系中，地震反射界面明显地受岩性和成岩变化的综合响应。 • 无充填可容纳空间的存在对旋回地层学的应用具有重要意义，但在区域对比上具有其固有的局限性。
岩相和沉积体
• 岩相类型及其在整个碳酸盐岩台地中的分布是相对稳定的，是古地理学和古海洋学共同作用的结果（如迎风与背风方向、潮汐作用范围及其影响、波浪动态、古纬度等）。 • 鲕粒滩和生物礁带沿迎风面台地边缘发育最好，在那里，它们一般发育在先成的高地之上。 • 鉴于鲕粒滩相带倾向于在先成的高地上开始生长，相的展布和几何形态是由变化的同沉积过程产生的。 • 依靠台地顶面的格局，沿背风面斜坡分布的沉积物楔形体的粒级范围从以颗粒为主过渡到以泥质为主。 • 向上变浅旋回的成因和演化已在一些环境中进行了解释（沙滩、潮坪、台地内部，以及生物礁）。
成岩作用
• 成岩过程在淡水渗流、大气水潜流、海底潜流，以及埋藏成岩环境中被加以说明。 • 海底胶结作用发生在浅水至深水位置（台地顶部到盆地底部）。 • 同沉积的海底胶结作用会迅速出现在潮间带、浅的潮下带，以及深的潮下带（~100m），而且可能影响到“地质上的瞬时”年代格架中的沉积物沉积。 • 沉积物的旋回性影响成岩作用的叠加，进而影响到碳酸盐岩的储层性质。 • 海底潜水带及淡水潜水带中，文石颗粒的溶解能形成铸模孔隙。 • 溶解和胶结作用过程持续改变了碳酸盐岩的物理性质。
储层分布推断
• 地层圈闭的展布和特征在许多环境都已建立（沙滩、潮坪、台地内部、生物礁以及斜坡）。 • 潮坪、鲕粒滩、生物礁，以及近端斜坡相储层沿走向方向延伸很远，但是在倾向上可能延伸不远。 • 具有很好的原生储集潜力的粗粒岩屑堆楔形体在低位和海侵阶段沿斜坡近端发育。 • 潮坪、鲕粒滩和生物礁油藏可能会在开采和强化开采规模上受到水平方向和垂直方向的分割。

物厚度也逐渐减小。在滩复合体内部，优势相的厚度是互补的。鲕粒砂向岸变薄，而球粒砂则向岸加厚并形成台地内覆盖的最厚单元。这些相变是由于海平面上升造成沉积样式变化而造成的 (Harris, 1979)。浅滩的生长可分为3个阶段 (图3)：(1) 早期的滩淹没阶段，似球粒状和球粒状泥质砂堆积在更新世基底上受保护的洼地里；(2) 滩形成阶段，鲕粒开始在基岩高地上形成，这个基岩高地是底部搅动集中的地方；(3) 滩的发展阶段，在这个阶段鲕粒砂的产生和分散形成了滩的现今

规模和自然地理面貌。

Joulters Cays浅滩复合体中潜在的储层物性的非均质性可以基于沉积相的展布特征来加以推测 (Major 等, 1996)。沿浅滩的活动边缘分布的纯净鲕粒砂是以潮下坝、水道充填、海滩，以及岛的岩相形式沉积的。在横剖面上，砂体宽2km，厚2~3m，呈不规则状。Halley 和 Harris (1979)，Enos 和 Sawatsky (1981) 在类似的纯净碳酸盐砂中测量到高的原始孔隙度值，而且通过薄片分析进行了验证。纯净的鲕粒砂向岸线方向迅速