

中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院出版物

深水砂岩新论

成因、识别、触发机制与储层性质

[美] G. Shanmugam 著

张志杰 杨帆 等译

陆架边缘

砂质碎屑流岩块

泥质海底

石油工业出版社

深水砂岩新论

——成因、识别、触发机制与储层性质

[美] G. Shanmugam 著

张志杰 杨帆 史艳丽 王岚 译

石油工业出版社

内 容 提 要

近几年世界上重大油气田的发现大部分集中在深水砂岩储层中,深水油气勘探正在成为未来油气勘探的重要研究领域。本书在大量文献调研和丰富的岩心、露头研究实例基础上,对浊积岩相模式等国际上最具争议的话题做了批判性的论述,强调了砂质块体搬运沉积(SMTD)和底流改造砂岩(BCRS)作为深水储集相的重要性,系统介绍了SMTD和BCRS的成因和识别方法以及深水沉积过程和深水砂岩沉积在油气勘探中的重要意义。

本书适合从事石油勘探、开发工作的科研人员及管理者、大中院校相关专业师生阅读、参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

深水砂岩新论——成因、识别、触发机制与储层性质/[美]G. Shanmugam 著;张志杰等译.
北京:石油工业出版社,2013.12
ISBN 978-7-5021-9706-3

I. 深…

II. ①尚…②张…

III. 砂岩油气藏-研究

IV. P618.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第236246号

New Perspectives on Deep-water Sandstones: Origin, Recognition, Initiation and Reservoir Quality, 1st edition

G. Shanmugam, Ph. D.

ISBN: 9780444563354

Copyright © 2012 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright © 2013 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved.

Published in China by Petroleum Industry Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予石油工业出版社有限公司在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

著作权合同登记号 图字:01-2013-9083

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.com.cn

编辑部:(010)64523598 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:22.75

字数:547千字

定价:135.00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

自序

本书是笔者之前著作《深水过程与相模式:对砂岩油气藏的意义》一书的延续。笔者在那本书和其他文章中,讨论了浊积岩相模式的弊端,并倡导砂质块体搬运沉积(SMTD)和底流改造砂岩(BCRS)作为深水储集相的重要性。尽管不久前这些观点还看似离经叛道,但近来日益成为“主流”。在推进这些新观点时,本书的主要目的是以岩石数据为基础,令读者信服SMTD和BCRS在石油地质中的重要性。现今解释深水砂岩大多是根据浊积岩和等深积岩相模式,本书是解决这一现象的良药。

在通过岩心和露头描述深水岩相时,50余年的从业经验为笔者检测岩石数据、获取深水海相和湖相复杂信息提供了机会。笔者曾任职于美孚石油公司(现为埃克森美孚)(1978—2000年),随后担任全球多家石油公司的顾问(2002—2010年),包括印度信诚工业有限公司(Reliance Industries Limited)、印度天然气公司、印度哈迪勘探生产公司(Hardy Exploration and Production)和中国石油勘探开发研究院。本书是笔者过去50年从业经验的总体反映,为了保持概念的一致性,重复了以前著作中的关键部分。

本书力图满足不同层次的需要,包括大专院校师生、科研人员和专业的石油地质家,但主要还是写给青年学生。因此,本书有以下几个特点:(1)采用了编号模式;(2)包括丰富的现代和古代实例插图;(3)针对长期存在的命名问题和概念问题提出了解决方案;(4)阐述新观点对油气藏观点的实际指导意义;(5)附有插图的概念、术语和方法的附录。为了反映在线刊物的高速增长,书中列出了相应的网站。本书包括367张插图和992条参考文献。

G. Shanmugam 博士

E-mail: Shanshanmugam@aol.com

2011年8月2日

随着全球油气资源需求的快速增长和陆上油气的日益减少,海洋油气资源的重要性越发凸显,其中深水油气勘探已成为海上油气勘探的热点和主要方向。1975年,Shell公司在美国密西西比峡谷水深约313m处发现Cognac油田,从而揭开了深水油气勘探的序幕。近些年世界深水油气勘探发展迅速。例如,在墨西哥湾的深水,仅2008年就获得了15项深水发现,2002—2008年发现了超过 66×10^8 桶油当量。我国深水油气勘探还处于起步阶段,2006年Husky公司和中国海洋石油总公司在珠江口盆地1500m水深处发现了荔湾3-1深海天然气田,开启了我国深水油气勘探的序幕。

尽管全球深水砂岩油气藏有着巨大的经济意义,但其沉积成因仍有争议。自1950年Kuenen发表“浊流形成递变层理”一文以来,不断有学者提出新的深水沉积模式,其中最具影响的是Bouma的浊流模式和Normark的海底扇模式。随着深水沉积认识的不断深入,近年来不断有石油地质家开始质疑将所有深水砂岩都解释为浊积岩的做法。1994年美国石油地质家协会联合科罗拉多矿业学院、斯坦福大学、Exxon公司等多家单位考察Ouachit山深水沉积剖面,并在AAPG撰文各抒己见,其中Shanmugam提出的砂质碎屑流概念引起了极大关注。国内学者对深水重力流研究也较多,但出于实用性考虑,研究多集中于沉积环境、相带划分与含油气性三个方面,而对深水砂岩的成因和流动机制研究涉及较少。我国广泛发育大型内陆湖盆,以往普遍认为湖盆中心只发育小规模浊积砂体。中国石油勘探开发研究院的科研人员受砂质碎屑流概念的启发,通过对中国重点盆地湖盆中心沉积的研究,认为湖盆中心可以形成大面积分布的砂质碎屑流,从而将鄂尔多斯盆地的勘探从湖盆边缘推进到了湖盆中心。

越来越多的地质家开始意识到传统浊积扇模式和相关的层序地层模式与复杂的深水体系现实不符。根据浊积岩模式,曾经在北海和南非打了一些干井,但因政治原因未被公开。基于勘探经济性的考虑,石油地质家们正在寻找比浊积岩相模式更有现实意义的替代模式来描述深水砂岩。

本书的目的是介绍关于深水砂岩的新认识、新观点,以35个研究实例(包括32个油气藏)、共计10000多米厚的岩心和露头的描述与解释为基础,力图使我们对深水砂岩沉积规律和分布模式有一个更加客观的认识。全书共分为四个部分,第一部分介绍深水的定义,指出传统浊流模式的缺陷;第二部分介绍砂质块体搬运沉积和底流改造砂岩的成因与识别方法;第三部分讨论深水沉积的触发机制,消除低位域控制深水砂岩沉积的神话;第四部分阐述深水砂岩油气藏的意义,并介绍全球典型的深水沉积实例。为便于深入探讨一些有争议的话题,本书还附有带插图的关键概念、术语和方法的附录。

砂质块体搬运沉积和底流改造砂岩在全球深水油气勘探的经济重要性正逐渐显现。为推

动深水油气勘探的发展,普及和推广深水砂岩新观点、新方法,特将该书译为中文,供科研院所、高校和油公司专业人员参考。本书的翻译工作是在所有参与翻译、校译人员的共同努力下完成的,人员组成为中国石油勘探开发研究院四名从事石油地质学和储层沉积学研究的博士。自序、致谢由张志杰翻译;第1章、第2章、第3章由张志杰翻译,第4章由杨帆翻译,第5章由史艳丽翻译,第6章由杨帆、张志杰翻译,第7章和后记由王岚翻译,附录部分由张志杰、杨帆翻译。张志杰、杨帆对全书进行了系统的校对和统稿工作。本书的完成得到了中国石油勘探开发研究院邹才能副院长、地质所胡素云所长、张义杰书记及有关领导和专家的大力支持,在此表示衷心感谢!

由于水平有限,译文中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

2013年6月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 何为“深水”	(2)
1.2 有缺陷的“浊流模式”	(7)
1.3 新观点:砂质块体搬运沉积(SMTD)和底流改造砂岩(BCRS)	(15)
1.4 数据库	(24)
1.5 范畴与结构	(26)
1.6 过程沉积学	(27)
1.7 小结	(28)
第2章 砂质块体搬运沉积的成因与分类	(29)
2.1 概述	(29)
2.2 文献综述	(31)
2.3 分类	(32)
2.4 滑坡与块体搬运	(38)
2.5 基于运动类型和物质类型的陆上过程	(39)
2.6 基于力学特征的水下过程	(40)
2.7 基于沉积物支撑机制的水下过程	(42)
2.8 基于过程连续的水下过程	(42)
2.9 基于搬运速率的水下过程	(42)
2.10 小结	(44)
第3章 砂质块体搬运沉积的识别	(45)
3.1 概述	(45)
3.2 砂质滑动	(46)
3.3 砂质滑塌	(53)
3.4 砂质碎屑流沉积	(60)
3.5 块状砂岩的成因	(79)
3.6 测井解释存在的问题	(80)
3.7 地震相解释存在的问题	(80)
3.8 与地震蛇曲形态解释有关的问题	(84)

3.9 小结	(86)
第4章 底流改造砂岩	(87)
4.1 概述	(87)
4.2 表面流、深水水团和底流	(87)
4.3 底流和浊流对比	(90)
4.4 成因命名	(92)
4.5 温盐诱发的地转底流	(94)
4.6 风力驱动底流	(103)
4.7 深水潮汐底流	(114)
4.8 斜压流(内潮汐)	(134)
4.9 深水底流的底形速度矩阵存在的问题	(146)
4.10 地震相和几何形态解释存在的问题	(148)
4.11 小结	(153)
第5章 深水沉积垮塌的触发机制	(154)
5.1 概述	(154)
5.2 短期触发事件	(154)
5.3 中期触发事件	(173)
5.4 长期触发事件	(179)
5.5 小结	(187)
第6章 深水砂岩储层的意义	(188)
6.1 粒度分布	(188)
6.2 规模和几何形态	(188)
6.3 长距离搬运的 MTD	(193)
6.4 浊积岩和碎屑流岩	(196)
6.5 浊积岩和潮积岩	(197)
6.6 墨西哥湾的 SMTD 和 BCRS	(198)
6.7 墨西哥湾希克苏鲁伯(Chicxulub)陨石的影响	(199)
6.8 砂岩侵入体	(200)
6.9 层序地层学	(218)
6.10 小结	(221)
第7章 储层性质—全球实例	(222)
7.1 加利福尼亚近海沉积	(222)
7.2 尼日利亚近海沉积	(223)
7.3 墨西哥湾	(224)
7.4 佛罗里达海峡	(227)

7.5 英国北海	(229)
7.6 孟加拉湾 K-G 盆地	(229)
7.7 小结	(239)
后记	(240)
附录 A 概念、术语和方法	(241)
致谢	(296)
参考文献	(301)

第1章 绪 论

深水砂岩油气藏在 21 世纪仍然是石油工业的重要经济资产。例如,在墨西哥湾的深水,仅 2008 年就获得了 15 项深水发现(Nixon 等,2009)。勘探钻井自 2002 年发现了超过 66×10^8 bbl 油当量,是 2005 年报道的 2 倍。在生产方面,一些大型深水项目已经从勘探评价阶段过渡到生产阶段。如今,有近 4000 个在产的油气平台(图 1.1)。自 1996 年开始,墨西哥湾北部的 Lower Tertiary Trend 共有 17 项深水发现(表 1.1),其意义在于这 17 项发现不仅位于现今水深超过 5000ft(1524m)的区域,还包括古代深水环境沉积的主要储层,如 BAHA 发现(Meyer 等,2007)。

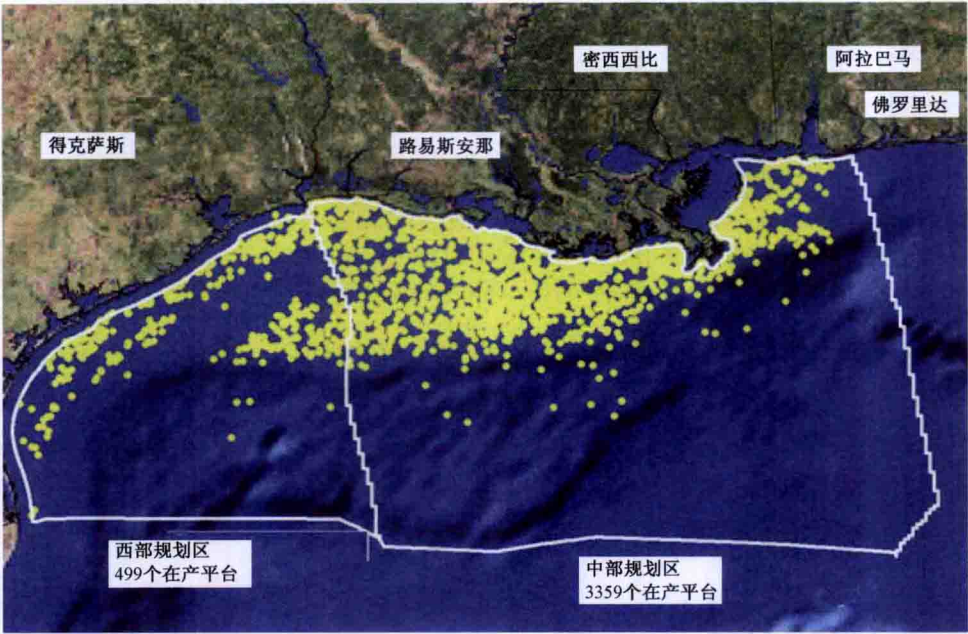


图 1.1 墨西哥湾北部近 4000 个在产油气平台位置图
图片来自国家美国商务部海洋与大气管理局。

http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06mexico/background/oil/media/platform_600.html. 2011 年 3 月 27 日登录

表 1.1 墨西哥湾北部现今水深大于 5000ft 的 17 个发现列表
(这些油气藏发现都与 Lower Tertiary Trend 有关)

项目	远景区	区块	水深,ft(m)	发现时间
1	Kaskida	KC292	5721(1876)	2006
2	Buckskin	KC872	6920(2110)	2009
3	Jack	WR759	6962(2123)	2004
4	St. Malo	WR678	6991(2131)	2003

续表

项目	远景区	区块	水深, ft (m)	发现时间
5	Julia	WR627	7087 (2161)	2007
6	BAHA ^a	AC600	7620 (2323)	1996
7	Hal	WR848	7657 (2334)	2008
8	Gotcha	AC856	7714 (2352)	2006
9	Great White	AC857	8119 (2475)	2002
10	Cascade	WR206	8152 (2485)	2002
11	Chinook	WR469	8831 (2692)	2003
12	Cheyenne	LL399	8983 (2739)	2004
13	Tiger	AC818	9004 (2745)	2004
14	Silvertip	AC815	9226 (2813)	2004
15	Stones	WR508	9571 (2918)	2005
16	Tobago	AC859	9627 (2935)	2004
17	Trident	AC903	9721 (2964)	2001

数据来源:项目 1 和 3 ~ 17——据 Nixon 等(2009)编制;项目 2 (Buckskin)——<http://www.chevron.com/news/press/release/?id=2009-05-05>, 2011 年 3 月 28 日登录。a 见 Meyer 等(2007)关于 BAHA 油藏的深水成因与 Lower Tertiary Trend 有关的论述。AC—Alaminos 峡谷;KC—Keathley 峡谷;LL—Llyod 脊;WR—Walker 脊。

尽管全球深水砂岩油气藏有着巨大的经济意义,但其成因仍有争议。Shanmugam 在早期著作中就提出要试图解决这一沉积学困境 (Shanmugam, 2006a)。本书延续了这一目的,试图给出足够清晰的解释,来解决一贯盛行的将深水砂岩解释为浊积岩的根本问题,通过水下照片、侧向声呐扫描图像、速度测量、岩心和露头数据的系统文献编录,对现代海洋过程及其地质历史中的沉积物提供备选解释方案。

1.1 何为“深水”

何为“深水”? 争议仍然很多,主要围绕在将古砂岩解释为深水成因 (Mulder 等, 2009a; Higgs, 2010; Muler 等, 2010)。对于石油地质家和钻井工程师来说,“深水”具有不同的含义。地质家所谓的深水是指地下油气藏的深水沉积成因,而钻井工程师则是指目的层的现今钻探深度,即使钻探目标是浅水沉积 (见附录 A 中的“深水”)。

通常说来,“深水”是指水深大于 200m 范围的区域,向海方向为陆架坡折、陆坡、陆隆及海盆环境。然而,对“深水”水深的精确定义并未达成共识, Pickering 等 (1989) 认为“深水”专指风暴浪底之下的环境。“风暴浪底”的深度并非恒定值,而是随热带气旋的风速变化而变化。气旋的最大持续风速从 61km/h 的“热带低气压”到超过 249km/h 的萨菲尔—辛普森暴风分级表的“5 级飓风”(见附录 A 中的“热带气旋”)。一般而言,弱气旋期,风暴浪底在 20 ~ 30m

的水深范围,而在强气旋期,风暴浪底可能达到陆架坡折处或者更深(大于 200m),使得沉积物可以搬运至陆架边缘之外(第 5 章)。也就是说,风暴浪底从 20m 至大于 200m,并不是一个客观的标准。另外,丘状交错层理常被用作建立风暴浪底的标准,但其有效性仍有争议(Mulder 等,2009a;Higgs,2010)。

墨西哥湾深、浅水的分界值为 200 ~ 457m(Richardson 等,2004)。美国内务部用“深水”和“超深水”分别表示水深超过 1000ft(305m)和 5000ft(1524m)(Nixon 等,2009)。Gore(1992)认为陆架是水深小于 180m 的范围。西北非的大陆边缘,陆架坡折在 100 ~ 110m 之间的水深范围(Seibold 和 Hinz,1974)。Hesse 和 Schacht(2011)为了把海平面低位期的上陆坡沉积排除在外,将水深 500m 定义为深水。湖盆中可能没有很明显的陆架坡折,深水的定义标准就存在问题。要解决这些基本问题,建议遵守以下准则:

(1) 由于陆架边缘对大陆边缘沉积作用起着关键作用(Stanley 和 Moore,1983),建议将陆架边缘作为定义现代海洋深水环境的标准。实例有墨西哥湾(图 1.2)、美国大西洋边缘(图 1.3)和其他。然而,海底地形(图 1.3)和水深的相应变化极其复杂、不可预知(图 1.4)。陆架边缘在区别浅水和深水环境时,是有效的地貌学边界。这是因为浅水陆架环境以波浪作用和潮汐作用为主,而深水陆坡环境以重力驱动过程为主。虽然古地层中的绝对水深难以解释,但陆棚相和陆坡相是可以合理解释的。

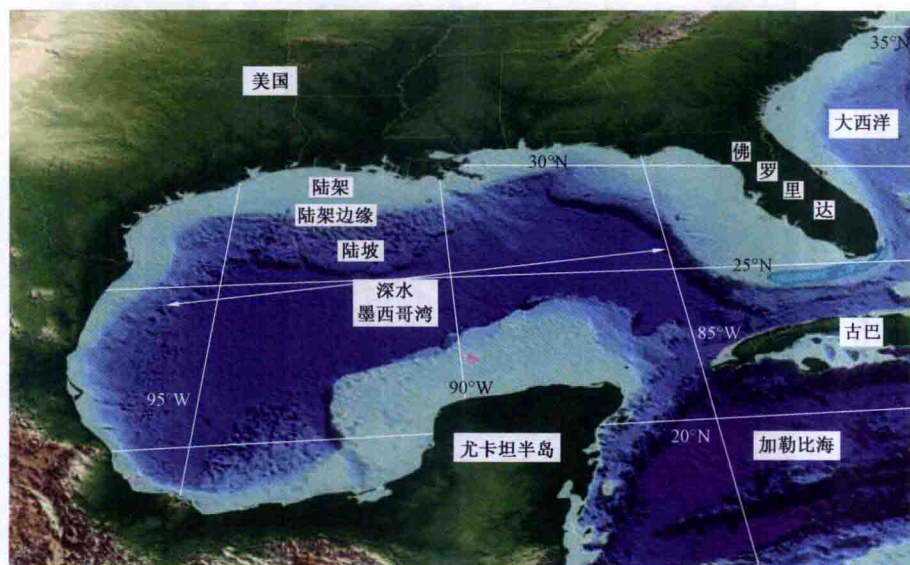


图 1.2 墨西哥湾海洋测深与海底地形三维透视图

“深水”用来表示陆架边缘向海方向的区域。墨西哥湾的详细地质资料见 Antonie(1972)、Uchupi(1975)、Gore(1992)。图件来源:美国国家商务部,海洋与大气管理局。http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/tools/mapping/media/gis_gulf.html. 2011 年 3 月 27 日登录

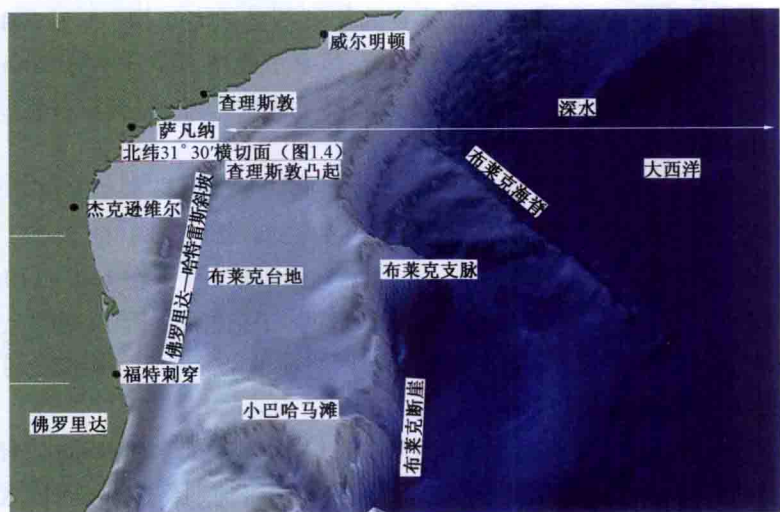


图 1.3 美国大西洋边缘陆架边缘和“深水”区域

注意复杂的海底地形。“北纬 31°30’横切面”的线从乔治亚海岸延伸到 2000m 水深(见图 1.4 海洋测深剖面图)。图件获 SCDNR 的 P. Weinbach 许可。图件来源:美国国家商务部,海洋与大气管理局。<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/04etta/background/plan/media/sig.html>。2011 年 3 月 27 日登录

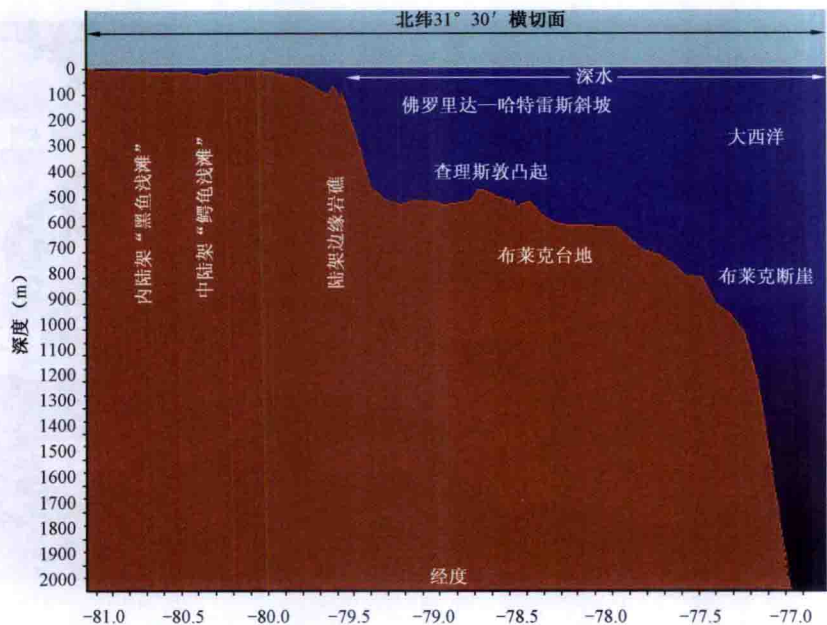


图 1.4 “北纬 31°30’横切面”海洋测深剖面图(剖面位置见图 1.3)

该横切面是 NOAA“河口到深海:沿北纬 31°30’勘探”考察(2004 年 8 月 20 至 9 月 1 日)的一部分。目的是运用各种抽样程序,将剖面延伸到水深 2000m 范围(首席专家:George Sedberry)。注意:陆架边缘位于剖面上深度约 100m 的位置。海底由于诸如查理斯敦凸起之类的水底浅滩而极不规则。查理斯敦凸起使墨西哥暖流发生偏转,形成涡流。图件来源:美国国家商务部,海洋与大气管理局。<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/04etta/background/plan/media/profiles.html>。2011 年 3 月 27 日登录

(2) 陆架边缘标志有其局限性。首先,类似于印度尼西亚海地区,一系列复杂航道连接了浅海和深海,并因印度尼西亚径流 (Indonesian Throughflow, ITF) 和潮汐能量耗散作用复杂化 (Gordon 等, 2010), 在相应的古代地层中很难区分陆棚相和陆坡相 (参见第 4 章 4.8.5 部分)。其次,在海底峡谷环境中,陆架边缘标志不适用,因为陆架坡折在海底峡谷内并不存在。峡谷作为单一环境实体,自河口至峡谷水深不断增加 (如扎伊尔峡谷和西非,参见第 4 章 4.7.1 部分), 不存在陆棚相和陆坡相。但在峡谷之外,陆架坡折是两大主要海底区域 (即陆棚和陆坡) 的重要地貌学边界 (Vanne 和 Stanley, 1983)。大多峡谷充填沉积由块体搬运沉积 (Mass - Transport Deposit, 简称 MTD) 和潮汐沉积组成,分别相当于深水相和浅水相 (Shanmugam, 2003)。

(3) 现代白令海 (图 1.5) 的陆架坡折在水深 150 ~ 175m 之间 (Carlson 和 Karl, 1988)。白令海边缘的意义在于它包含了世界上最大的海底峡谷, 体积为 5800km^3 的物质从陆架被搬运到陆坡 (Carlson 和 Karl, 1988)。1400km 长的白令海陆坡向南延伸到阿留申 (Aleutian) 群岛, 向北到西伯利亚边缘 (图 1.5)。陡峭的白令海陆坡平均坡度为 5° , 分隔了东部浅水 (水深小于 150m) 白令陆架和西部深水 (水深大于 3600m) 的阿留申盆地。南部地震多发的阿留申海沟 (图 1.6) 使得情况更加复杂化。在此复杂背景下,深水相和浅水相有可能发生严重变形,从而形成砂岩侵入体 (第 6 章 6.8 部分)。

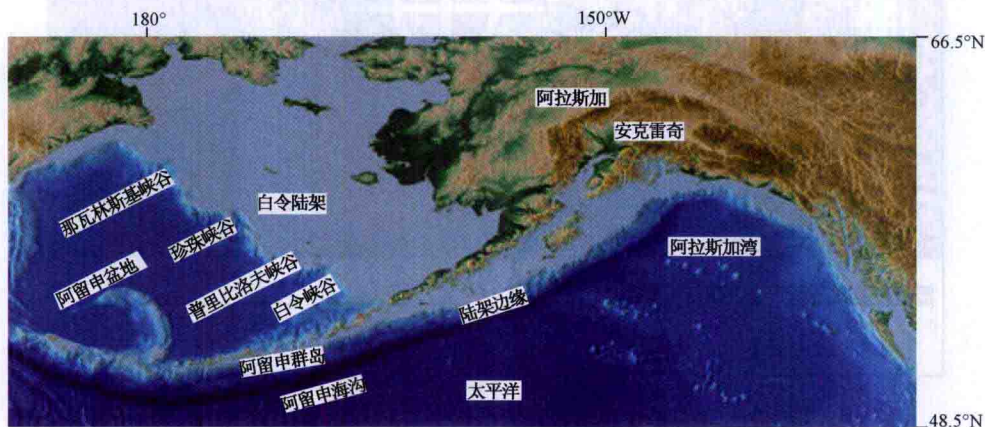


图 1.5 南阿拉斯加海岸地形模式

包括阿拉斯加湾、白令海、阿留申群岛和安克雷奇市。主要海底峡谷 (那瓦林斯基 (Navarinsky)、珍珠 (Zhemchug)、普里比洛夫 (Pribilof) 和白令峡谷) 的大概位置依据 Carlson 和 Kail (1988)。该地形模式根据多种原始数据而建立, 数据来源于美国国家地球物理数据中心、美国国家海洋服务处 (National Ocean Service)、美国地质调查局、美国国家航空空间管理局和其他美国国家办事机构。图件来源: Lim, E., B. W. Eakins, 和 R. Wigley, 南阿拉斯加海岸地形模式, 国家地球物理数据中心, NESDIS, 美国海洋与大气管理局, 2009。http://www.ngdc.noaa.

gov/mgg/coastal/s_alaska.html. 2011 年 3 月 31 日登录

(4) 一般而言,深水相通过岩石中的物理、生物和化学参数加以区分 (Rich, 1950; Krumbein 和 Sloss, 1963; Benedict 和 Walker, 1978; Shanmugam 和 Benedict, 1983)。地层层位 (Krumbein 和 Sloss, 1963; Shanmugam, 1978; Shanmugam 和 Walker, 1978) 和相组合 (Reading, 2001) 通常用于推断古沉积环境。尽管各种同位素也用于重建古气候和古海洋环流,但并不揭示水深信息。

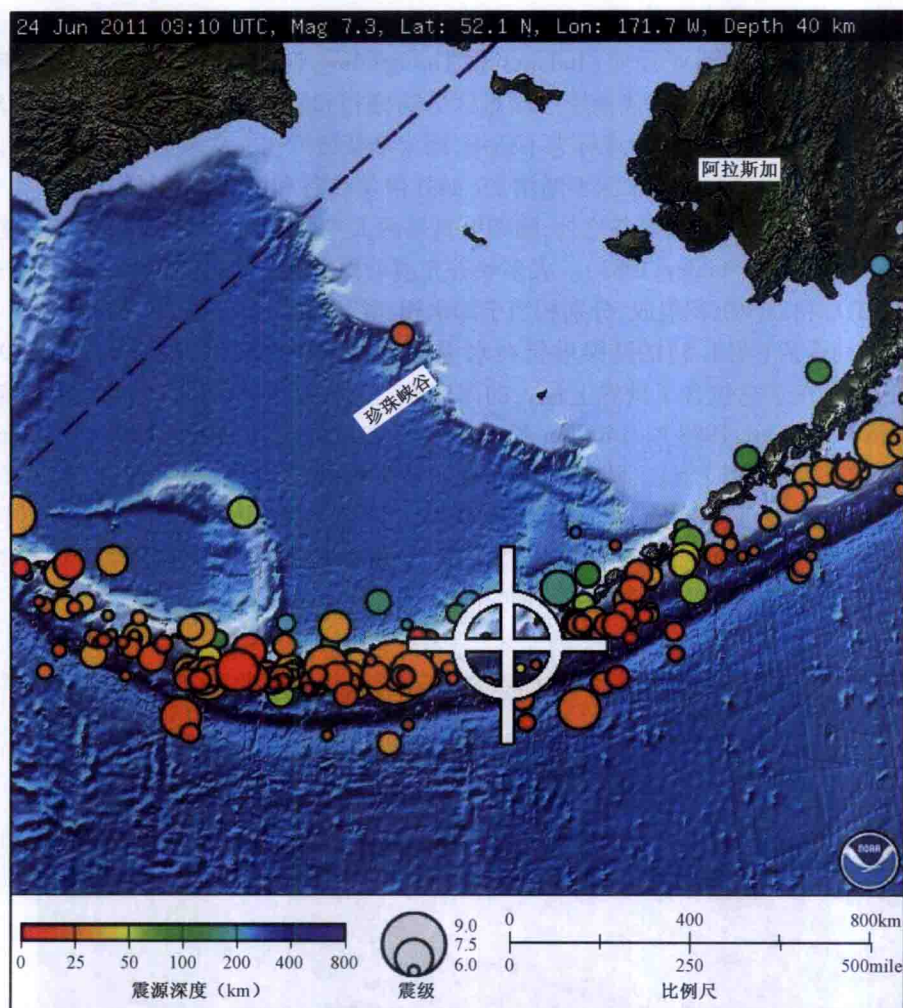


图 1.6 沿南阿拉斯加海岸地形模式中阿留申海沟及附近地区的地震点分布图
本图为 2011 年 6 月 24 日发生的阿留申群岛中福克斯(Fox)群岛 7.3 级地震的海啸预警 001 号公报中的一部分。注意震中位于珍珠峡谷附近。<http://ptwc.weather.gov/ptwc/?region=1&id=pacific>。

2011.06.23.032024&msg. 2011 年 7 月 8 日登录

(5) 由于墨西哥湾 (McAdoo 等, 2000) 和美国大西洋边缘 (Twichell 等, 2009) 及其他现代深水陆坡环境都是以 MTD 为特征, 所以在岩石记录中水下 MTD 为优势相可以用作解释古深水海洋环境的标志。

(6) 大多湖相盆地是地势平缓的浅水环境, 但也有以块体搬运沉积物为主的高陡地形的深水湖相环境 (Link 和 Osborne, 1978)。在全球最深的贝加尔湖 (最大水深 1637m), 水深 675m 处取得的岩心显示为砂质滑塌沉积 (Charlet 等, 2005)。在北美俄勒冈的全球第二深的火山口 (Crater) 湖 (622m), 大陆坡脚裙以块体搬运过程沉积的粗粒相为特征, 块体搬运过程包括岩崩、滑坡、滑塌、颗粒流、碎屑流 (Nelson 等, 1986)。因此, MTD 的存在也是解释古深水湖相的合理标志。

1.2 有缺陷的“浊流模式”

浊流模式在过去 60 年里已颇具影响(图 1.7)。然而,该模式存在缺陷,该模式的建立大部分是靠古岩石记录中得来的相模式(如“鲍马序列”,见附录 A),而不是基于现代海洋中“浊流”的经验数据。不同的浊流模式曾深入地质家的脑海,使他们认为各种深水砂岩都可以解

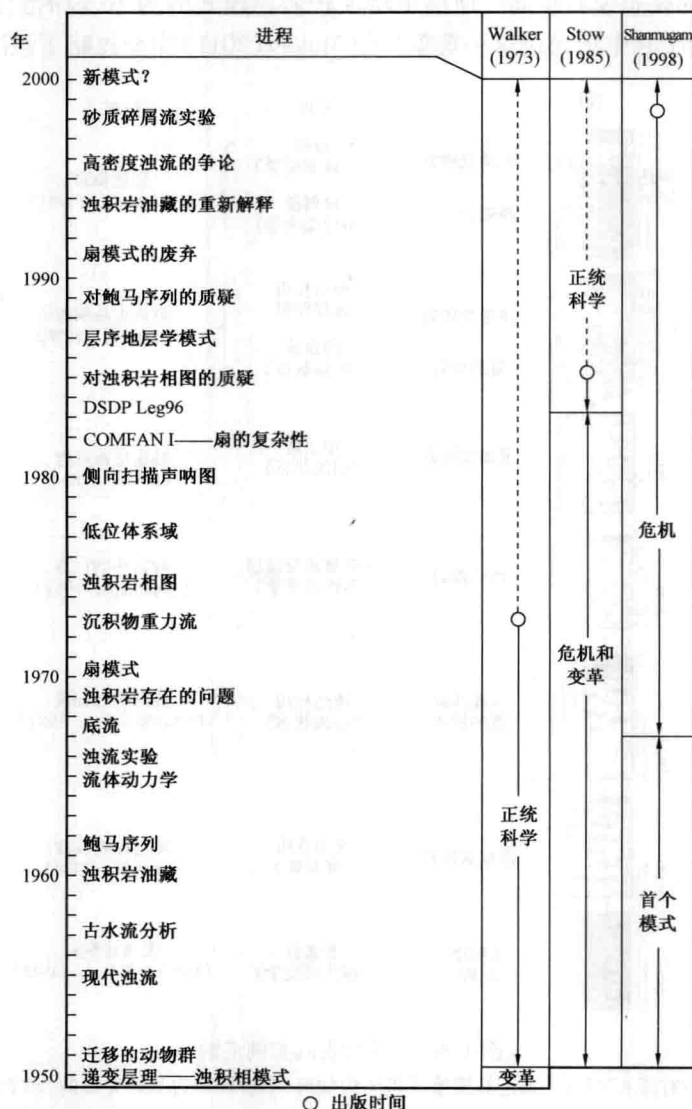


图 1.7 浊积岩相模式历史简图

注意深水研究不同阶段的不同观点。Walker(1973)和 Stow(1985)认为在 1950 年和 1983 年达到了 Kuhn(1996)科学发展阶段论的正统科学阶段。Shanmugam 坚决主张目前仍处于危机阶段。据 Shanmugam(2002),获 Elsevier 复制许可

释为或曾经解释为某种浊积岩(图 1.8)。浊流模式影响如此之深,即使是碎屑流沉积物也被称为浊积岩(图 1.9)。由于浊积相模式和相关的思维倾向,野外地质的基本原则(即保持观察与解释的区别),也不再被秉持(Shanmugam,1997a)。Mulder(2011)最近的书中就有一个这样的浊积岩思维倾向极端实例。Mulder(2011)再次使用了 Shanmugam 的一幅插图(图 1.10)来说明理想浊积岩 16 分的可能性。有趣的是,Shanmugam 绘制此图是对比 Lowe(1982)、Bouma(1962)、Stow 和 Shanmugam(1980)三种浊积相模式,以说明理想浊积岩应由 16 个部分组成(图 1.10)。其目的是想说明在同一地层中将浊积岩相模式分为 16 段的荒谬,因为没有人地质记录中或水槽实验中记录过这一现象!但 Mulder(2011)完全忽略了该图的原始意图。

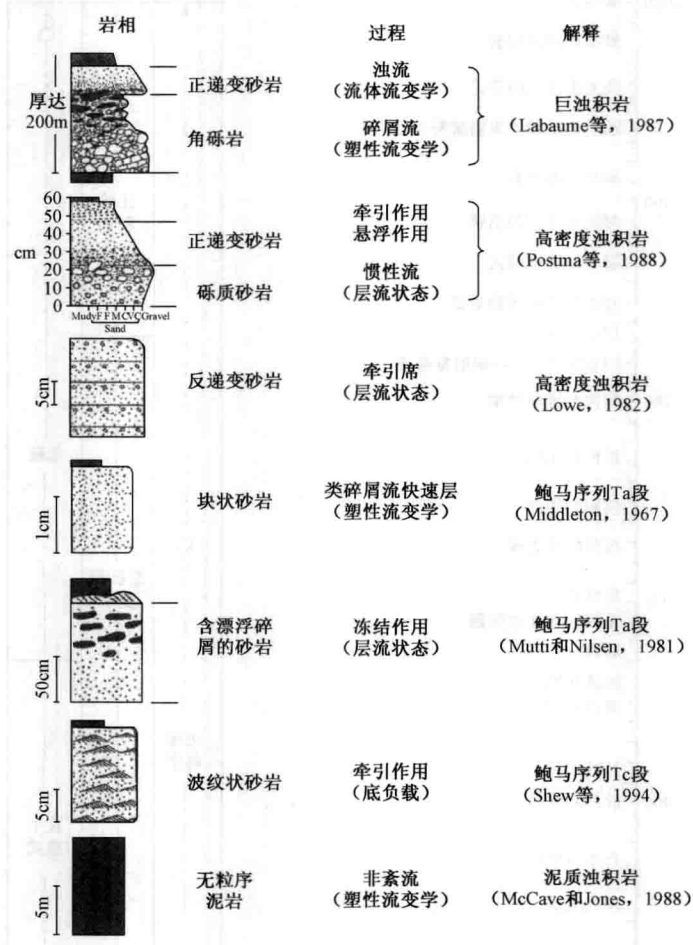


图 1.8 公开发表的实例汇编

所有深水沉积物,无论其原始沉积结构如何,都被解释为某种类型的“浊积岩”。左边一列为发表实例的不同岩相和相关特征。中间一列为原作者解释的沉积过程。右侧一列为原作者给出的浊积岩解释。Shanmugam 增加了块状砂岩、波纹状砂岩、无粒序泥岩的岩相图,以及流体流变学、流动状态及沉积物负载性质等附加信息(中间一列中括弧里的内容)。注意:正递变砂岩和反递变砂岩都曾被解释为浊积岩。据 Shanmugam(1997a),获 Elsevier 复制许可