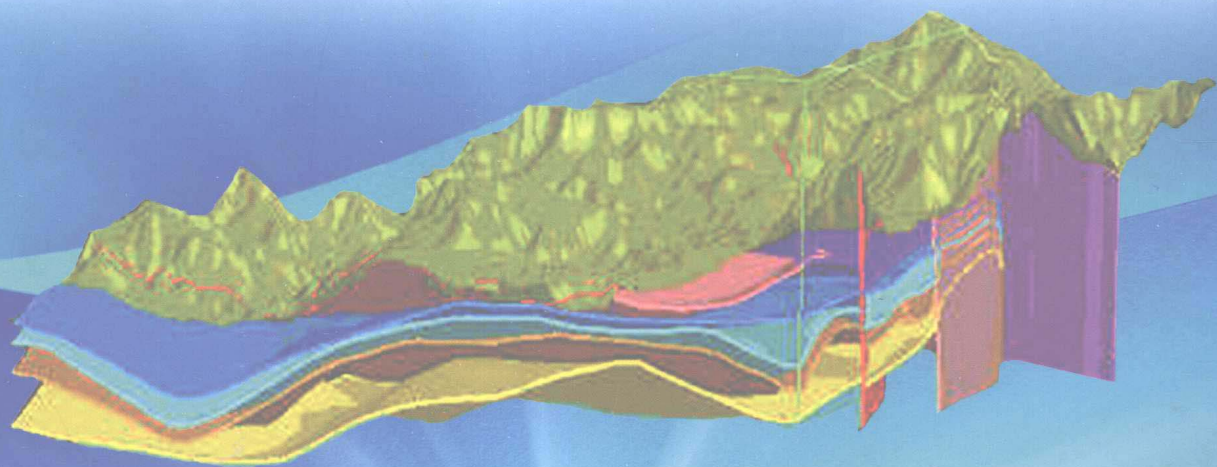


高等学校教材

储层沉积相

张金亮 谢俊 主编

Edited by Zhang Jinliang and Xie Jun



RESERVOIR FACIES MODELS

石油工业出版社

高等学校教材

储层沉积相
Reservoir Facies Models

张金亮 谢俊 主编

Edited by Zhang Jinliang and Xie Jun

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在广泛收集国内外已有的文献资料基础上,结合编者多年来在储层相模式方面的研究成果,从储层的沉积作用理论、沉积相标志入手,翔实地论述了冲积扇、河流、末端扇、三角洲、扇三角洲、风成沙漠、冰川、碎屑滨岸和浅海、碎屑深海、海洋碳酸盐和湖泊沉积等多种沉积相模式,形成了一个较完整的储层沉积体系结构。本教材既体现了现代储层沉积学的基础研究,又反映了前缘的研究领域,并突出以相标志和相层序为依据进行沉积相研究和强调全面系统的综合分析。

本书可作为高等院校资源勘查工程、勘查技术与工程、地球信息科学与技术、地质资源与地质工程等专业的本科生和研究生教材,也可供生产和科研单位的石油地质工作者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

储层沉积相 / 张金亮, 谢俊主编.
北京: 石油工业出版社, 2008. 10
ISBN 978 - 7 - 5021 - 6694 - 6

- I. 储…
- II. ①张… ②谢…
- III. 油气藏 - 储集层 - 沉积相
- IV. P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 109761 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.com.cn
编辑部: (010) 64523540
发行部: (010) 64523620
经 销: 全国新华书店
印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷
787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 24.25
字数: 600 千字 印数: 1—2000 册

定价: 65.00 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

序

19世纪中叶人们利用偏光显微镜对沉积岩的观察标志着沉积岩石学的诞生，20世纪30年代德国人瓦特尔特创造了沉积学这一术语，标志着人类对沉积岩的认识步入了从特征描述到成因研究的阶段，从此沉积学成了一门独立的学科。20世纪中后期以来，沉积学的基本理论和原理更加完善，在油气和其他矿产资源勘探开发和环境保护中已得到广泛的应用。储层沉积学是从应用角度，从沉积学派生出来的一个分支，第十三届国际沉积学大会正式应用并引入文献，表明沉积学与油气勘探开发的关系十分密切，阐明油气藏的分布规律均需借助沉积学理论的指导。

储层沉积学是沉积学的一个分支，是研究油气储层沉积特征和沉积作用的科学。早在20世纪50年代世界各大石油公司倡导对大型现代三角洲、河流沉积物和碳酸盐沉积物等进行研究，来推测地下油气储层的沉积特征，标志着储层沉积学研究的开始。1976年，美国石油工程师协会年会上曾专门设两个小组来讨论油气储层的沉积学问题。1990年召开的第十三届国际沉积学大会正式应用了储层沉积学（Reservoir Sedimentology）这一术语。从此人们把储层沉积学作为提高石油采收率的重要技术之一。我国储层沉积学研究始于20世纪60年代的大庆油田的勘探开发，到80年代中期由原中国石油天然气总公司设立了“中国油气储层研究”课题，讨论了油气开发中提高采收率问题及油气勘探中储层沉积学问题，表明我国储层沉积学研究在不断发展并逐步走向成熟。

近年来我国的石油工作者在油气勘探开发中运用储层沉积学理论不断取得成功，并补充了一些新理论，极大地推动了储层沉积学的发展。可以说，今天储层沉积学的应用已遍布储层综合评价的各个阶段，但纵观相关书籍，很少有一本能全面、系统、翔实地论述油气储层沉积学的教材。由张金亮教授和谢俊教授主编完成的《储层沉积相》教材，突出了储层沉积学的核心内容——相模式，并针对石油工业人才的需求，从储层的沉积作用理论、沉积相标志入手，翔实地论述了冲积扇、河流、末端扇、风成沙漠、冰川、三角洲、扇三角洲、河口湾、碎屑滨岸和浅海、碎屑深海、海洋碳酸盐沉积和湖泊沉积等多种储层沉积相模式，在保留传统理论精髓的同时，吸取了国内外的新资料和新理论，并配以作者多年来油气储层相模式研究的成果，形成了一个较为完整的储层沉积体系结构。

我认为，张金亮教授和谢俊教授的《储层沉积相》是有很大进展的，对同行有重要参考意义。作为一个沉积地质工作者，值此教材出版之际，热诚向广大读者推荐，并表祝贺之忱。

中国科学院院士、教授

刘济远

2006年12月5日

前 言

石油天然气关系国家的经济发展与安全战略，随着油气勘探的不断深入，油气储层的空间展布及其特征已成为人们研究的重点。众所周知，世界上 90% 以上的油气储藏在沉积岩中，我国更是如此。从沉积岩石学、沉积学和岩相古地理学角度出发，对各类油气储层形成机理及其特征进行研究，可以为油气勘探开发提供科学依据，从而有效地指导油气勘探与开发。进入二十一世纪，随着油气勘探开发难度的增加，储层沉积学的研究日趋重要，并将发挥越来越大的作用。我国在储层沉积学方面，相继开展了沉积相与沉积模式、储层成岩作用与储层评价、储层非均质性、储层地质建模和数值模拟研究，成果显著。其中储层沉积相的研究贯穿于油气勘探开发的全过程，是储层沉积学研究的基础和核心。

储层沉积学的任务是从沉积学的角度对油气储层的形态、内部结构、物性与非均质性、储集空间的结构及成因进行描述、评价和预测，建立相应的沉积模式和地质模型，以便提高油气田的勘探开发效果。张金亮教授经过 20 年的教学与研究实践，在油气储层沉积学方面积累了一些心得和体会，因此希望在储层沉积学方面写一本综合性的教科书，目的是通过高等学校和生产单位的应用，推动这一学科更好地为石油及相关专业所利用。为此，张金亮教授经过三年的时间，编写了《储层沉积学》讲义，系统介绍了储层沉积相模式、成岩作用及储层评价、储层地质模型等内容，并加重了各类储层的储集性能的主要控制因素、储层的预测技术和储层综合评价等内容；同时又融入了我国各类储层油气勘探领域的翔实材料，以典型实例将沉积相、地震相、测井相，以及地震层序到沉积层序等内容系统化，总体上反映了我国目前在储层沉积学研究领域中取得的新进展。在本次教材出版中，为适应教学改革对本课程的性质、任务及功能的要求，考虑到教材内容的科学性和系统性，并参考多位审稿人的意见，对文稿进行了削减，将沉积相模式部分独立成书并进行修改，定名为《储层沉积相》。

本教材广泛收集了国内外已有论著的研究成果，在保留传统精髓内容的同时，融入了大量科研实践资料 and 新兴理论，以及张金亮教授多年来在储层沉积相模式方面的研究成果，从储层的沉积作用理论、沉积相标志入手，翔实地论述了冲积扇、河流、末端扇、三角洲、扇三角洲、风成沙漠、冰川、碎屑滨岸和浅海、碎屑深海、海洋碳酸盐和湖泊沉积等多种沉积相模式，形成了一套较完整的储层沉积体系结构。本教材既体现了现代沉积地质学的基础研究，又反映了前缘的研究领域。本教材特别是在反映沉积地质研究关键问题前缘动态的基础上，突出以相标志和相层序为依据进行沉积相研究，强调全面系统的综合分析，并启迪创新意识。本教材在使用过程中，始终贯穿启发式、讨论式教学，鼓励持不同认识、不同见解的学生进行现场争论，实施具有挑战性的探究学习。为了提高教学效果，教材配置了相应的多媒体教材和 400 余块颇具特色的教学标本，以利教学使用和增加学习兴趣。

本书由张金亮教授、谢俊教授担任主编，并有多位博士后、博士生和硕士生协助完成了本书的后期文字编写和图件绘制工作。其中司学强参加了第一章、第五章、第六章、第十四章和第十五章的编写，张鑫参加了第二章、第八章和第十三章的编写，刘晓林参加了第十

章、第十一章和第十二章的编写，张晓华参加了第三章和第四章的编写，杨子成和蒋一鸣参加了第七章的编写，张中杰参加了第九章的编写，张伟、覃利娟和贾瀛完成了部分章节的文字整理工作，孙婧、王建飞、董刚、李利、徐淑娟、马学萍、李德勇、石良、石宁、李存磊、史超群、赵红娟、王山章等人担任了图件绘制工作。最后由张金亮教授负责全书文字和图件审定统稿工作。

本书的编写得到了许多个人和单位的关心和帮助，许多教授和学者提供了许多国内外新成果和新资料，为本书增色。中国海洋大学教务处及教材建设办公室组织了教材初稿审查，并提出了修改意见，对教材的编写和出版给予了大力支持。在本课程讲义的5轮试用中，中国海洋大学地球科学学院2002—2006级研究生对讲义提出了不少修正建议。对于所有关心、帮助本书编写工作的个人和单位，在此一并致谢。最后感谢中国科学院院士刘宝珺教授为本教材撰写序言！

本书由中国海洋大学教材建设基金和中国海洋大学教材出版基金资助。

书中不妥和不足之处，敬请读者批评指正。

2007年11月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 沉积环境和沉积相的概念	(1)
第二节 相标志	(8)
第三节 储层沉积相研究的发展与展望	(30)
第二章 冲积扇沉积	(34)
第一节 冲积扇的概念及类型	(34)
第二节 冲积扇的沉积作用类型及其特征	(40)
第三节 冲积扇沉积相的划分与沉积层序	(43)
第四节 辫状河扇沉积特征	(50)
第五节 关于低弯度曲流河扇	(53)
第三章 河流沉积	(55)
第一节 概述	(55)
第二节 曲流河沉积相	(57)
第三节 辫状河沉积相	(68)
第四节 网状河沉积相	(76)
第四章 末端扇沉积	(81)
第一节 概述	(81)
第二节 末端扇沉积环境和沉积相	(82)
第三节 末端扇沉积相模式	(92)
第五章 风成沙漠沉积	(99)
第一节 概述	(99)
第二节 风成沉积物的搬运和沉积过程	(100)
第三节 现代沙漠沉积物	(102)
第四节 古代沙漠沉积物	(109)
第六章 冰川沉积	(114)
第一节 概述	(114)
第二节 冰川环境中沉积物的搬运和沉积	(115)
第三节 冰川沉积相	(117)
第七章 三角洲沉积	(125)
第一节 概述	(125)

第二节	三角洲的分类	(130)
第三节	河控三角洲	(135)
第四节	浪控三角洲	(148)
第五节	潮控三角洲	(152)
第六节	其他类型的三角洲	(156)
第七节	三角洲的废弃与三角洲旋回	(163)
第八节	三角洲沉积的识别标志	(168)
第八章	扇三角洲沉积	(174)
第一节	概述	(174)
第二节	扇三角洲沉积相	(176)
第三节	扇三角洲沉积相模式	(185)
第四节	辫状三角洲	(195)
第九章	河口湾沉积	(202)
第一节	概述	(202)
第二节	河口湾沉积相	(204)
第三节	河口湾相的识别	(211)
第十章	潮坪沉积	(214)
第一节	概述	(214)
第二节	沉积作用和环境划分	(214)
第三节	沉积物与沉积构造	(217)
第四节	沉积相序列	(224)
第十一章	滨岸平原和障壁岛沉积	(227)
第一节	概述	(227)
第二节	滨岸平原沉积相	(230)
第三节	障壁岛—泻湖沉积	(236)
第十二章	碎屑浅海沉积	(244)
第一节	概述	(244)
第二节	潮控浅海沉积	(245)
第三节	风暴浪控制的浅海沉积	(252)
第四节	洋流控制的浅海沉积	(256)
第十三章	深海碎屑沉积	(260)
第一节	概述	(260)
第二节	深海重力流沉积作用与沉积类型	(261)
第三节	浊流沉积层序	(267)

第四节	浊积岩体及沉积模式	(271)
第十四章	海洋碳酸盐沉积	(288)
第一节	概述	(288)
第二节	现代碳酸盐沉积实例	(293)
第三节	生物礁与礁相	(297)
第四节	碳酸盐陆架沉积	(306)
第五节	台地斜坡/盆地碳酸盐沉积	(315)
第六节	碳酸盐岩综合相模式	(317)
第七节	碳酸盐碎屑和硅质碎屑混合沉积体系	(321)
第十五章	湖泊沉积	(323)
第一节	概述	(323)
第二节	湖泊相带的划分及其特点	(328)
第三节	湖泊储集砂体	(337)
第四节	湖泊演化模式	(364)
参考文献	(368)

第一章 绪 论

第一节 沉积环境和沉积相的概念

一、沉积环境

沉积环境 (sedimentary environment or depositional environment) 有着各式各样的定义方式, 但无论哪种定义方式都强调了环境的物理、化学和生物参数的重要性。按沉积学的意义, 沉积环境是指沉积作用进行的自然地理环境, 可见沉积环境本质上是个地貌的概念, 因此沉积环境可定义为在物理上、化学上和生物学上均有别于相邻地区的一块地球表面 (R. C. Selly, 1976)。

研究现代沉积环境是通过直接观测其物理参数、化学参数和生物参数以及沉积物特征、沉积过程等作综合分析来进行的。其中物理、化学、生物 3 项环境参数是对沉积环境的直接反映, 而沉积物特征是沉积环境的物质表现。物理参数包括静态参数和动态参数两方面。静态参数主要为盆地的几何形状, 沉积物的性质、水深和温度等; 动态参数则包括风、浪和流水的速度、方向、能量及其变化, 温度、降水量和湿度等天气变化, 等等。化学参数包括水或空气的成分及其各项指标 (盐度、pH 值、Eh 值等), 陆地环境汇水区岩石的地球化学性质等。生物参数包括动物和植物两类生物的作用。

对地质历史中的古代沉积环境已不可能再用直接观测环境参数的方法来研究它们, 而只能通过分析在这些古环境中形成的沉积岩所具有的那些能反映古环境参数的各种特征来推断、解释古环境。

二、沉积相

沉积学中的“相” (facies) 或“沉积相” (sedimentary facies) 是地质学中的一个基本概念, 然而也是一个长期有争议的概念。在地质学发展的早期, “相” 这个术语就被丹麦学者斯丹诺 (N. Steno, 1669) 引入到地质文献中来了。当时斯丹诺只是从地层学的意义上用“相” 来表示“时期” 和“阶段”。最早赋予“相” 以沉积学含义的是瑞士学者格列斯利 (A. Gressly, 1838)。当时格列斯利在研究瑞士西北部侏罗纪地层时, 发现该地层在岩性和古生物面貌方面有极大的变化。于是, 格列斯利就用“相” 来描述这种变化。他认为地层单位的“相” 或“象” (aspect) 的种种变化具有两个主要特点: 一是岩性相似的地层单位必然具有相同的古生物组合; 另一点是不同岩性的地层单位不可能具有同一属种的生物群 (G. V. Miodleton, 1978)。然而, 后来的地质学家在用“相” 这个术语时却发生了混乱, 出现了种种不同的理解。有的指地层的岩石类型, 如“砂岩相”、“灰岩相” 等; 有的指岩石的成因作用类型, 如“浊积岩相”、“生物礁相” 等; 有的指沉积环境, 如“河流相”、“滨海相” 等, 还有的与构造环境联系起来, 如“磨拉石相”、“复理石相” 等, 却很少有人再使用“相” 作为地层学中的一个地层单位。由于“相” 这个术语的含义比较混乱, 有人曾

主张在使用“相”的术语时，“只要明确指出这个词的含义，那么，‘相’这个术语的各种用法都是可行的”（H. G. Rending, 1986）。

近些年来，随着沉积学飞速的发展，人们对“相”的认识也逐渐趋向统一。当前国内外地质界多数人的认识是把“相”或沉积相看作是沉积环境的物质表现。在一定的沉积环境中进行着一定的沉积作用，并形成一定的沉积组合。沉积环境和沉积作用的各种特点，必然会在这些沉积产物中留下某些记录。这些记录主要表现为岩石组分、几何形态、结构、构造、生物化石等方面的差异。所以“相”应是能表明沉积条件的岩性特征和古生物特征的规律综合（Л. Б. Рухин, 1953, 1959; H. E. Peineck 和 I. B. Singh, 1980）。根据这个定义，“相”与“环境”不是同一的概念。“环境”是条件、原因，而“相”是环境中诸作用的产物、结果。

可见，沉积环境是形成沉积岩特征的决定因素，沉积岩特征则是沉积环境的物质表现。换句话说，前者是形成后者的基本原因，后者乃是前者发展的必然结果。

随着研究的深入，人们习惯在沉积相基础上进一步划分出“亚相”和“微相”。“亚相”是对某一沉积相的进一步细分，现今“微相”术语与其最初的含义有所不同。现今的“微相”多指对“亚相”的进一步细分，是用来表示较大相环境中发育较小的相。在沉积相研究的早期，“微相”这一术语代表了“结构相”的含义。Brown（1943）提出了“微相”这一术语，用以表示在显微镜下所显示出来的微环境特征。也就是说，“微相”是在薄片、揭片和光片中能够被分类的所有古生物学和沉积学标志的总和。但这一定义要具备以下条件：对薄片、揭片和光片的研究所用的显微镜放大倍数可达到近 200 倍；古生物学的标志和沉积学的标志同等考虑；按定性和定量标志进行资料的分类（例如生物组合、石灰岩分类和形态组分）；通过野外地质资料、古生态学解释以及或许有地球化学标志的对比来检验微相分类。

三、岩相与生物相

“相”或“沉积相”对恢复古环境来说，应是一种解释性的术语。在实际工作中常遇到这样一些情况：或者由于地质记录的不完备和特征性的标志没有暴露，“相”的类型无法确定；或者由于人们认识上的差异，对同一现象常有不同的解释，从而导致在确定“相”类型时常出现意见分歧。为此，曾有人主张引入“岩相”（lithofacies）和“生物相”（biofacies）两个术语为描述意义的相（description facies），用以表示沉积岩体中可观察到的特征。“岩相”是表示岩石综合特征的岩石单位，单个岩相是一个岩石单位，它依其独特的岩性特征（包括组分、粒径、层理特征和沉积构造）而定义。每一个岩相都代表了一个单独的沉积事件。若干岩相可组成一个岩相组合（lithofacies association 或 assemblage），代表一种特殊沉积环境的特征。这些组合是建立岩相模式的基础，它们常具旋回性。“生物相”则是表示生物特征的岩石单位。一个生物相是据化石的组分（既包括实体化石也包括遗迹化石）而定义的。

一个岩相或生物相的规模大小取决于定义相时考虑其细节的详细程度，也取决于岩层的变化程度、研究工作的性质（盆地范围的踏勘还是局部的详细研究）及岩石样品可否获得。为沉积学研究之需，一个沉积体可被划分为一系列的相，每个相都展示了独特的岩性特征或生物特征的集合。这些相可为厚仅几毫米的单层，也可为几十米到几百米厚的一个层序。例如，一个河流沉积体可以由几十厘米厚的“砾岩相”和与之互层的“交错层砂岩相”构成。这种描述可以与描述许多早古生代大型盆地充填体时所用的生物相形成对照，大型盆地充填体常

被划为厚达数百米的一些相,如包含腕足动物和三叶虫化石的“贝壳相”和“笔石相”。

沉积学中,一些基本岩相和生物相在一定范围内有所变化,这种变化主要反映了小幅度的随机性环境变迁,正是这些天然变化的存在使得进行相分析、归纳相模式和重塑古地理工作成为可能。例如,若干年来,沉积学家把大多数深海沉积物仅归结为5个基本岩相,即经典的 Bouma 浊积岩序列中 A、B、C、D 和 E 段 (Bouma, 1962)。

Miall (1977, 1978) 指出,用大约 20 种岩相类型就可描述大多数辫状河流沉积物。此方案可用于大多数种类的河流沉积和三角洲序列的河流成因部分。表 1-1 列出了这些岩相,并标明了做记录用的相符号和每个相的沉积学解释。岩相符号由两部分组成,一个是大写字母,表示粒径众数 (G 等于砾, S 等于砂, F 等于细的); 另外部分是一个或多个小写字母,表示每一个岩相特殊结构或构造。

表 1-1 用于河流沉积物的岩相划分方案 (据 Miall, 1978)

相符号	岩相	沉积构造	解释
Gms	块状、基质支撑的砾	无	碎屑流沉积
Gm	块状或大致呈层状的砾	水平层理, 叠瓦状构造	纵沙坝, 滞留沉积, 筛积
Gt	层状砾	槽状交错层理	小型河道充填
Gp	层状砾	板状交错层理	舌形沙坝或有老沙坝上生长的三角形沙坝
St	中砂至极粗砂, 可含卵石	孤立的或成群的槽状交错层理	沙丘 (低流态)
Sp	中砂至极粗砂, 可含卵石	孤立的或成群的板状交错层理	舌形沙坝, 横沙坝, 沙波 (低流态)
Sr	极细砂至粗砂	各种波痕	波痕 (低流态)
Sh	极细砂至极粗砂, 可含砾石	水平纹理, 剥离线理	面状底流 (高或低流态)
Sl	细砂	低角度 (< 10°) 交错层理	流槽充填, 决口扇
Se	具内碎屑的冲蚀槽	粗交错层理	流槽充填
Ss	细至粗砂, 可含卵石	宽而浅的冲蚀槽, 包括 η 型交错层理	流槽充填
See, She, Spe	砂	同 Ss, Sh, Sp	风积
Fe	砂、粉砂、泥	细纹理, 很小的波痕	越岸沉积或退洪沉积
Fsc	粉砂、泥	纹理状至块状	河漫滩沼泽沉积
Fcf	泥	块状, 含淡水软体动物	河漫滩沼泽沉积
Fm	泥、粉砂	块状, 泥裂	越岸沉积或披覆沉积
Fl	粉砂、泥	枝根	根土
C	煤、碳质泥	植物, 泥质膜	沼泽沉积
P	碳酸盐	成土化特征	土壤

Smith (1980) 曾收入另外的沉积构造和有关粒径的信息, 从而进一步发展了这个河流岩相划分方案。图 1-1 为应用 Miall 的划分方案绘制的地层剖面。

Wilson (1975) 在综述显生宙碳酸盐岩时得出结论, 认为仅用其提出的 24 个标准微相的一部分即可描述大多数碳酸盐岩。图 1-2 为其标准图例、微相序号和简要描述。图 1-3 为应用此方案绘制的地层剖面。Eyles 等 (1983) 提出了一个简明的岩相分类表, 用以描述冰海和冰湖沉积物。

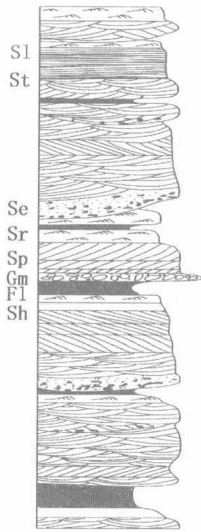


图 1-1 使用表 1-1 所示的河流岩相划分方案绘制的一段辫状河流沉积剖面(据 Miall, 1978)



图 1-2 Wilson (1975) 提出的标准碳酸盐岩微相划分方案

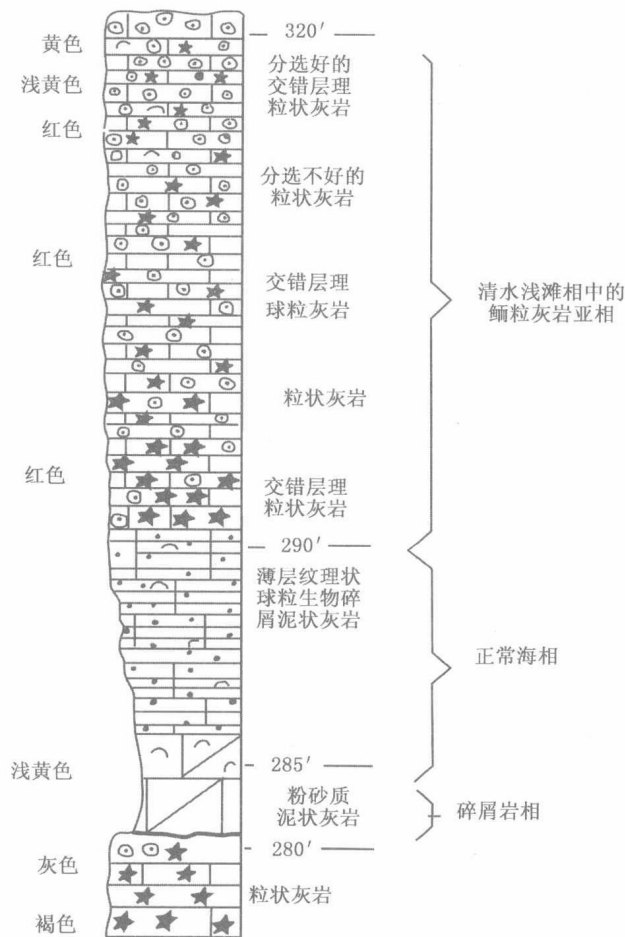


图 1-3 使用碳酸盐岩微相划分方案绘制的一段石灰岩剖面 (据 J. L. Wilson, 1975)

四、沃尔索相律

相在地表相邻的环境之间是逐渐过渡的，它们依照一定的规律分布排列，因此，某一研究区内各相带的平面展布也表现出这种规律。另一方面，随着时间的推移，沉积环境会发生变化，使得在一段时期内形成的不同的相按一定的顺序互相重叠。沃尔索 (Walther, 1894) 最早认识到沉积相在时间和空间上的有序性，提出了“相序递变规律”，简称为“相律” (图 1-4)。在连续的没有间断的地层剖面中，垂向上几种有成因联系的沉积相相互叠置出现的顺序与它们在横向上出现的顺序是一致的，也即是说只有那些在横向上没有间断的、现在可以看到的彼此相邻的沉积相才能在连续的地层剖面上重叠在一起。在一连续地层剖面中出现的沉积相的排列称为“相序”，它反映了某地质时期内研究区沉积环境的变化过程。

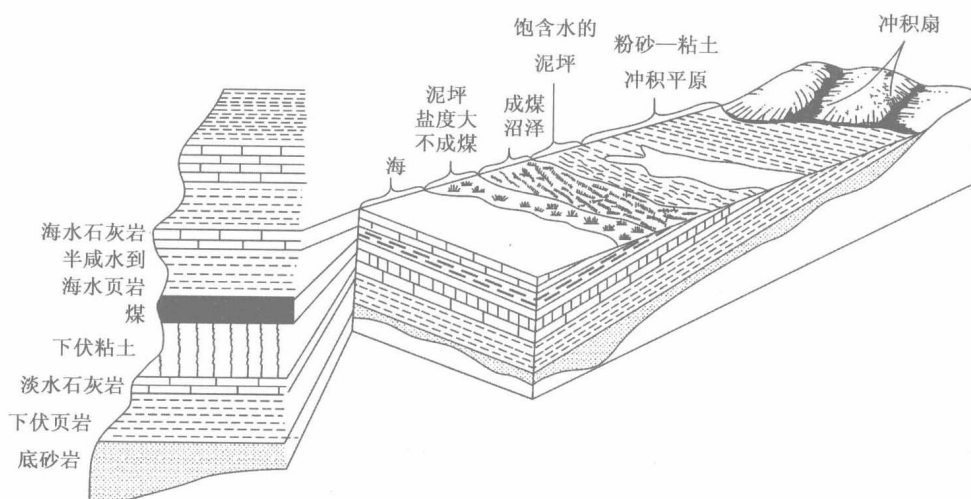


图 1-4 沃尔索相序递变规律示意图 (海进层序)

五、相模式

以相序递变规律为基础，以现代沉积环境和沉积物特征的研究为依据，从大量的研究实例中，对沉积相的发育和演化加以高度的概况，归纳出带有普遍意义的沉积相的空间组合形式，称为“相模式”。

从 20 世纪 60 年代以来，由于利用钻井和坑道对现代沉积层的揭露和研究，人们对沉积相在三度空间的变化及其形成过程有了更详细的了解，从而建立了自然界各种沉积环境的沉积相模式。沉积相模式的建立是现代沉积学研究所取得的重要成就。沉积相模式的建立是一项基础性研究工作。某类沉积环境的相模式的建立均需选择具有典型的现代沉积地区，对该地区内沉积环境的各种沉积作用及沉积特征进行全面和系统的研究。

沉积相模式或相模式就是根据现代沉积环境及古代沉积相研究，对沉积作用机理所做出的一种成因解释模型。沃克 (Walker, 1976) 认为，沉积相模式就是“删去其地方性的细节，而保留其纯粹本质的东西。”所以，沉积相模式就是对沉积环境及其沉积产物、沉积过程的高度概况，它应具有广泛概况性和代表性。沃克 (Walker, 1976) 认为标准相模式应起到以下四方面的作用：①从比较的目的来说，它必须起到一个标准的作用；②对进一步观察来说，它必须起到提纲和指南的作用；③对于新的研究地区来说，它必须起到预测的作用；

④对于所代表的环境或系统的水力学解释来说，它必须起一个基础的作用。

沉积相模式可以采用以下表示方法加以说明 (H. G. Reading, 1978): ①直观模式 (visual model): 以简化的图式直观地表现出沉积环境、沉积作用过程和最终沉积产物之间的复杂关系; ②实际模式 (actual models): 以现代具有代表性的地区或古代沉积岩层的相序为基础而建立的模式; ③动态模式 (dynamic models): 能表示形成特征的地区或古代沉积作用全过程的沉积模式, 例如曲流河点沙坝向上变细的序列模式; ④静态模式 (static models): 表示在一个特定时间的沉积层内沉积环境特征和沉积物的相变规律; ⑤比拟实验模式 (scaled experimental models): 以比拟实验获得的沉积特征为基础而制作的沉积模式; ⑥数学模式 (mathematical models): 以数学方法模拟复杂的地质过程的模式。

六、沉积体系

沉积体系 (depositional system) 是美国沉积学家在墨西哥湾的石油勘探实践中因古环境重建和盆地分析的需要而发展起来的一个解释性概念 (Fisher, Brown, McGowen, Galloway, Frazier, 以及 Weimer, Busch, Crowell, Ferm, Lowenstam, Newell, Wanless 等)。尽管这一概念在石油地质界, 尤其是在美国得克萨斯州的石油地质界, 已经应用多年, 但对它的理解却并不一致。Davis (1983, 1992) 出版的《沉积体系: 沉积学和地层学导论》一书, 对这一重要的沉积学概念进行了总结。

按照 Scott 和 Fisher (1969) 的定义, 沉积体系是由沉积作用维系在一起的沉积环境的组合。一个沉积体系可能包括多个沉积环境, 每一个沉积环境都有其特征的沉积物、生物组合和沉积作用。沉积体系的基本组成单元是代表某种特殊沉积环境的相的组合, 称为环境的构架组分。任何一个沉积体系都是由一些成因上有联系的单元组成的。Mail (1984) 指出, 沉积体系的概念是沃尔索相律的延伸。按照沃尔索相律, 沉积序列的纵向关系就是其横向关系的反映。比如, 一个三角洲沉积体由前三角洲、三角洲前缘和水上三角洲三部分组成, 每一部分都是一个在岩性、沉积构造和生物面貌诸方面不同于周围沉积物的沉积相, 分别代表 3 个不同的沉积环境。但是, 三者的横向关系与纵向序列完全统一, 它们一起组成一个沉积体系。因此, 他把沉积体系定义为一组环境及其沉积产物 (即沉积相) 的完整组合, 上下或为不整合, 或为成因上完全无关的另一个沉积体系所限定。一个沉积体系内部的沉积相, 服从沃尔索相律, 它们之间的关系都是整合的。但在沉积体系之间却并不存在沉积作用或其产物的连续性。三角洲沉积在进积的过程中既可以覆盖在滨海沉积物上, 也可以覆盖在浅海沉积物上, 就是一个很好的例子。

Posamentier 等 (1988) 则认为, 沉积体系是由沉积作用或沉积环境联系在一起的岩相的三维组合, 它既包含沉积环境的概念, 又包含沉积作用的概念。同时形成并在自然地理的空间格架内占有同等地位的沉积体系联系在一起, 组成沉积体系域 (depositional system tract)。不同的沉积体系域相对于海平面来说, 其产出的位置不同。据此, 体系域可以分为低位体系域 (lowstand system tract, 或 LST)、海侵体系域 (transgressive system tract, 或 TST) 和高位体系域 (high stand system tract, 或 HST) 3 类。也有人将海退过程中形成的沉积体列出, 称为海退体系域 (刘招君等, 2002)。体系域是在地域分布上密切共生的沉积体系的组合。任何一个沉积体系域都是等时的。生物化石或同位素资料是确定等时面的主要工具, 但在实践中一般都是用间断面来确定的。

七、沉积相的分类

沉积相的划分应该依据自然地理条件或地貌特征及沉积物综合特征，并且要遵循简单易行、便于记忆和理解的原则。本书依据沉积背景、沉积体系及储层相类型 3 个级次对沉积相进行划分（表 1-2），进而还可以根据各相类型中亚环境、微环境及沉积物特征，确定出相应的沉积亚相和微相。

表 1-2 沉积相的分类

沉积背景	沉积体系	储层相类型	
大陆	冲积扇	泥石流扇	
		辫状河扇	
		低弯度曲流河扇	
	河流	曲流河	
		辫状河	
		网状河	
	末端扇		
	风成沙漠		
	冰川		
	湖泊		扇三角洲
			辫状三角洲
			三角洲
			滩坝
浊流			
风暴			
海陆过渡	三角洲海岸	扇三角洲和辫状三角洲	
		河控三角洲	
		浪控三角洲	
		潮控三角洲	
	非三角洲海岸	潮坪	
		河口湾	
		海岸平原和障壁岛	
海洋	浅海	潮控浅海	
		风暴浪控浅海	
		洋流控制浅海	
	半深海—深海沉积	浊积扇和非扇浊积相	
	海洋碳酸盐	生物礁	
		碳酸盐陆架	
		台地斜坡、盆地	

第二节 相标志

Selly (1970) 曾经提出应该从沉积岩体几何形态、岩石学特征、古生物特征、沉积物构造特征和古流向特征来限定沉积相。Selly 指出的一系列标志均能反映沉积相,它是相分析及岩相古地理研究的基础,称之为相标志。一般来说,相标志可分为岩性、古生物和地球化学等3类。岩性标志主要包括沉积岩的颜色、类型、结构和构造等;古生物标志是指生物活动或生长等作用形成的各种特征;地球化学标志是指沉积物在其搬运、沉积过程中由于化学作用而形成的特征。大部分的相标志在其形成时均遭受强度不等的水动力的影响,因此水动力学乃是分析相标志的基础。

一、流体的基本知识和概念

流体是一种可以在外力作用下随意连续改变其外形的物质。对地质学来讲,空气、水等流体的意义较大。

1. 层流和紊流

由于流速和粘度的不同,流体流动时显示两种模式。试验表明:当薄层水流注入低流速的单向流体后仍然连贯沿直线流动,并且保持一定的宽度,薄层水的这种运动方式叫做层流。层流可以被形象地解释为一系列的平行薄层或是细丝,流体分子沿其表面不停地以不断摆动和平移的方式向前运动(图1-5 a、b)。如果薄层水的速度增大或是粘度降低,其连贯性被破坏而变得高度不规则,薄层水的大小和流动方向随时间不断地改变(图1-5c),这种类型的流动方式称为紊流。紊流的运动方向是随机的,高紊流水体容易形成涡流。除了冰和泥质支撑的碎屑(非牛顿流体)以层流形式运动外,水和空气等主要流体在自然条件下均以紊流形式运动。

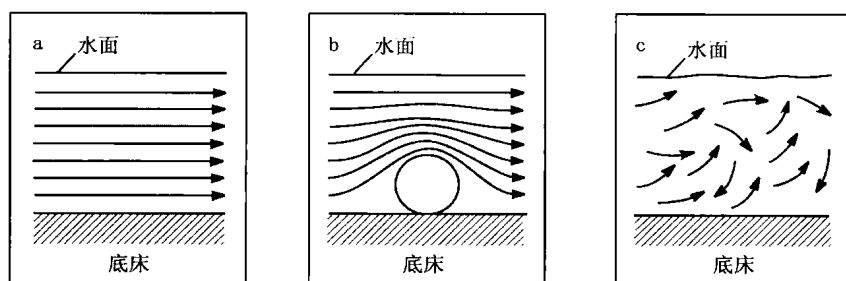


图1-5 层流和紊流的示意图(据 Sam Boggs, 1995)

a. 流经平滑基底上的层流; b. 流经平滑基底上球形颗粒的层流; c. 流经平滑基底的紊流。箭头表示流体的流动路径

紊流中水体的向上运动势必延缓沉积颗粒的下沉,从而降低它们的沉降速率。漩涡也增强了紊流对沉积基底上颗粒的侵蚀和携带能力。紊流对沉积搬运有重要意义,所以全面了解紊流的性质是很有必要的。层流中某一点的速度在一段时间内保持不变,与此相反,紊流中某一点的速度在相当长的时间内趋向一个平均值,但是瞬时值时时刻刻都在改变。因此,我们引入可以计算的变量——雷诺数来描述边界情况,从而区分层流和紊流。

2. 雷诺数

层流和紊流的本质上的差别在于惯性力的比率不同。惯性力与流体的数量、速度以及可