

The background of the cover is a microscopic image of carbonate rock, showing various textures and structures. There are several labels scattered across the image: 'S' in a small box at the top left, 'M' in a small box at the top center, and 'B' in several locations (bottom right, bottom center, and bottom left).

# 碳酸盐岩微相

——分析、解释及应用

马永生 主译

GF 地质出版社

Erik Flügel

# 碳酸盐岩微相

## ——分析、解释及应用

马永生 主译

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本书主要内容包括：碳酸盐岩沉积和成岩史分析；各种碳酸盐岩沉积环境（海相、非海相、热带暖水、非热带冷水）的描述和分析；现存的成岩特征，并强调微相识别标志的重要性；注重阐述生物对碳酸盐岩沉积发育的控制作用，并概述了岩石薄片中最常见的生物化石；特别讨论了成岩作用、白云石化作用与孔隙度、储油物性之间的关系；说明了沉积微相相对建立和预测层序地层学格架和沉积模式的重要意义；强调了沉积微相在分析古气候变化及追踪台地、盆地演化方面的重要意义；阐述微相分析在储层评价和石灰岩烃源岩评价中的作用以及在考古研究中的实用价值。

本书含 330 幅插图与 151 幅图版，部分为彩色。

Translation from the English language edition:  
*Microfacies of Carbonate Rocks* by Erik Flügel  
Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004  
Springer is a part of Springer Science+Business Media  
All Rights Reserved

### 图书在版编目 (CIP) 数据

碳酸盐岩微相：分析、解释及应用 / (德) 福里格著；  
马永生主译. —北京：地质出版社，2006.10  
ISBN 7-116-05006-X

I. 碳... II. ①福...②马... III. 碳酸盐岩—岩相  
分析 IV. P588.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 114137 号

TANSUANYANYAN WEIXIANG: FENXI JIESHI JI YINGYONG

责任编辑：刘亚军 祁向雷 李 莉 等

责任校对：田建茹 郑淑艳

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路 31 号，100083

电 话：(010)82324578 (编辑室)；(010)82324508 (邮购部)

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：zbs@ gph.com.cn

传 真：(010)82310759

印 刷：北京中科印刷有限公司

开 本：889mm × 1194mm  $\frac{1}{16}$

印 张：57

字 数：2300 千字

印 数：1—1000 册

版 次：2006 年 10 月第一版·第一次印刷

图 字：01-2006-3540 号

定 价：200.00 元

书 号：ISBN 7-116-05006-X/P·2732

(凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社出版处负责调换)

## 译者简介



梅冥相，男，1965年1月生，教授，理学博士，博士生导师。曾主持和参加多项国家自然科学基金资助项目、国家科技部“攀登专项”和“973”项目、中国石油化工集团重点科技工程项目等，在地质学报、地球科学、沉积学报、地球学报、地层学杂志等刊物上发表论文93篇；出版专著、译著《碳酸盐岩旋回与层序》、《碳酸盐岩沉积学导论》、《岩石地层的相分析方法与原理》等5部。在沉积学和层序地层学领域具有一定专长，对米级旋回层序进行了系统分类，提出了地层记录的四大特性和地层记录中的两种相变面和两种穿时性，发现了塔里木库车盆地中的风成砂岩以及羌塘盆地侏罗系白云岩古油藏等，并初步总结出从旋回到层序的工作方法体系，提出并建立了“雾迷山旋回层”的基本相序模式以及开展地层记录中的米兰科维奇旋回研究等。



金振奎，男，山东省昌邑县人，1963年3月生，博士（后），教授。1983年毕业于华东石油学院，获学士学位；1987年毕业于加拿大CALGARY大学，获硕士学位；1992年毕业于石油大学（北京），获博士学位，1994年毕业于中国地质科学院，博士后。从1994年起在石油大学（北京）任教师，从事沉积学、层序地层学、储层地质学等方面的教学和科研工作。现任中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室副主任，资源与信息学院地球科学系副主任，《古地理学报》编委兼英文编辑，中国地质学会沉积学专业委员会理事，中国矿物岩石地球化学协会沉积地质专业委员会理事。在地质论评、地质科学、沉积学报、古地理学报等期刊上发表论文50余篇，合著8部专著、2部教材、1部译著，获部级奖2项。



牟传龙，男，1965年1月生，博士、研究员、博士生导师。现就职于成都地质矿产研究所，主要从事沉积地质学、层序地层学和含油气沉积盆地分析等研究工作。主持完成或作为骨干参与完成了国家攀登、国家攻关、省部级及国际合作项目等30余项。在沉积地质学研究领域获得了一系列的成果，尤其在盆地分析和层序地层方面具有较高的学术造诣。首次提出了风暴成矿模式，创立了“层序岩相古地理编图原则、思路和方法”，率先对火山沉积盆地开展了层序地层、岩相古地理和盆地分析工作，提出了如何将层序地层与油气勘探工作紧密结合的研究思路和工作模式。编写、出版专著7部，译著1部，科研报告10部。在Rare metals、Chinese Journal of geochemistry、Terra Nostra、Gondwana Research、沉积学报、地层学杂志、石油与天然气地质、地质学报等核心地学刊物上发表论文70余篇。



蔡勋育，男，1963年生，博士，教授级高级工程师。长期从事石油天然气勘探综合研究与勘探实践，主持完成国家级及省部级项目“百色盆地油气地质综合研究”及“百色盆地成烃成藏基础理论研究”、“中下扬子北缘地区气藏描述技术研究”等项目，获得省部级科技进步一等奖二次，三等奖一次。

## 译者的话

川东北普光气田（四川盆地目前最大的气田）的发现，得益于寻找（构造）岩性（复合）油气藏勘探思路的转变，得益于勘探技术的进一步提高，也得益于对川东北地区下三叠统碳酸盐岩沉积环境、沉积微相的大胆的科学的论断。也就是说，碳酸盐岩微相的分析、解释及应用，在碳酸盐岩油气勘探中具有很重要的意义；同时，根据近几年的研究发现，碳酸盐岩的微相变化还是相当复杂的，不仅引发了争论，也影响迫切的勘探部署。但如何加强沉积微相的研究呢？正是在这个时候，译者在出国考察期间，发现了这部2004年出版的《碳酸盐岩微相——分析、解释及应用》巨著，大有雪中送炭、如获至宝之感。

再读书中内容，更感觉这部书犹如碳酸盐岩岩石学之百科全书。从微相分析角度而言，其提供了一整套的综合研究方法：从沉积环境、沉积物的形成到成岩演化，从岩石的矿物成分、结构组分到岩石结构组构的演化，从岩石结构、成岩演化到储层物性的演化和分布，从微相特征、微相分布、沉积模式到环境层序的演化变迁，从定性分析、定量分析到综合分析，从一点（微相）向空间（各种微相特征）辐射，又从空间（各种微相特征）集中到一点（微相），再到应用实例，分析与综合、归纳与演绎，浑然一体。可以说，这是目前所见到的非常丰富的、全面的、系统的一部碳酸盐岩微相巨著。

正如作者在开篇中所言：“人们对碳酸盐岩的了解和认识，在20世纪50年代中后期曾发生过一次革命性的进步，其原因就是在全世界范围内到处都发现了碳酸盐岩油气藏，从而也引发了人们对现代碳酸盐岩沉积物的深入研究”。那么，我们今天之所以对碳酸盐岩微相倍加关注，也是因为我们今天的碳酸盐岩油气勘探，也是因为我们要在我国海相（碳酸盐岩）油气勘探中进行第二次创业，需要，特别需要对碳酸盐岩微相的深入研究。

微相一词最早是由Brown（1943）定义的，1952年Cuvillier又重新进行了定义。微相一词原仅在岩石薄片鉴定中，用来描述岩类学和古生物学特征的一个术语。现在，微相一词已经是一个综合性的术语了，既可描述岩石的物理特征，也可描述岩石的成岩过程，还可描述岩石的沉积环境。

为此，译者一回到国内就决定，尽快将这部巨著译成中文本出版，以飨国内

之广大读者。可喜的是，目前在国内，特别是在中国（南方）海相油气勘探战场上，活跃着许多有志于碳酸盐岩（微相）研究和油气勘探的专家、学者，他们无不积极响应。在将近10个月的时间里，他们夜以继日，奋力工作，终于完成了本书的翻译工作。

参加本书翻译工作的人员主要有：马永生负责前言、第1、2、3、18章，田海芹、蔡勋育、邵龙义负责第14、15、19章，陈洪德负责第4、11、12、13章，金振奎负责第9、10章，邵龙义负责第16、17章，梅冥相负责第5、6章，牟传龙负责第7、8章。最后，马永生、田海芹、蔡勋育对全书进行了统稿和校订工作。

但本书能得以尽快翻译出版，在首先感谢作者 Erik Flügel 的妻子 Erentraud Flügel-Kahler 女士惠准该书在中国的翻译和出版的同时，我们更加怀念 Erik Flügel 先生。也非常感谢地质出版社领导及刘亚军同志为本书高质量的出版所付出的辛勤劳动。

由于本书内容丰富，涉及面广，特别是有关生物化石的结构、构造和种属名称繁杂，给翻译工作带来了很大困难，再加之时间比较仓促及水平有限，在翻译工作中难免有不当之处，敬请读者原谅和批评指正。另外，原书后面还附有较大篇幅的索引部分（并配有一张光盘资料），在翻译出版时也暂且节略了，也请读者原谅。

本书可供从事碳酸盐岩岩石学、沉积学、石油地质学、油藏地质学的教学、科研、生产和有关人员参考，也可作为高校高年级学生及研究生的教材和参考书，还可供建筑、化工、考古等有关人员参考。

马永生

2005年9月29日

# 英文版前言

出版《碳酸盐岩微相》一书的目的，就是想为研究碳酸盐岩微相的人们，提供一整套的综合研究方法，同时也想说明碳酸盐岩微相研究的应用是如何推动碳酸盐岩地质学进展和发展的。与有关的碳酸盐岩沉积学的专著及教科书略有不同，本书所强调的主要是有关碳酸盐岩结构组分、结构和构造方面的内容。因为只有碳酸盐岩的结构和构造（组构），才能真正反映碳酸盐岩的沉积过程和成岩史，才能真正决定碳酸盐岩（微相研究）的应用价值。

本书内容是这样安排的：每一章，都可以作为高校高年级学生或研究生的教材或更高水平的参考教材或参考书。同时，本书有相当大一部分内容，实际上就是专门为相关研究人员和（油气）勘探地质学家们所写的，从本书中他们可以了解到有关碳酸盐岩微相分析方法、进展和应用等方面的信息。

可能大家都知道，要进行微相分析，那么岩石薄片的鉴定和图版是少不了的。因此，本书制作了大量具有指导性作用的图版，并且每张照片还附有详尽的解释和说明。这也是本书内容的一个突出特点。同时，每个图版也基本上是关于内容的一个小结，其中，有一个符号“一”，可以引导读者找到图版中相应的照片。显微照片的描述采用较小字号排版印刷，但请十分注意那些“箭头或字母”，常常提示拍摄这些照片的主要目的。因而，读者可从这些照片中获得最大有用的信息。

这本书可不只是 Flügel (1982)《石灰岩微相分析》的再版，因为现在的这本《碳酸盐岩微相》是一部新书。这部书是根据全新的概念，对有关碳酸盐岩微相的描述、解释以及如何把这些资料应用到盆地分析中，提出了指导性建议。与传统经典的沉积学方法相比，本书微相分析的最大特点或优点，就是它是多学科交叉的、综合的，它综合了沉积学、古生物学和地球化学方面的各种研究方法。

本书的主要内容包括：

- 碳酸盐岩沉积和成岩史分析；
- 各种碳酸盐岩沉积环境的描述和分析：海相环境、非海相环境，热带温（暖）水环境、非热带冷水环境；
- 现存的成岩特征，并特别强调微相识别标志、标准的重要性；
- 着重强调了生物对碳酸盐岩沉积发育的控制作用，同时概述了在岩石薄片中最常见的生物化石；
- 特别讨论了成岩作用、白云石化作用与孔隙度、储油物性之间的关系；
- 说明了沉积微相对建立和预测层序地层学格架和沉积模式的重要意义；
- 强调了沉积微相在分析古气候变化及追踪台地-盆地演化方面的重要意义；
- 说明了微相分析在储层评价和石灰岩烃源岩评价中的作用以及在有关考古研究领域中的实用价值。

## 本书的结构

第1章，相当于总论或绪论；第2章，对现代碳酸盐岩沉积物研究进行了一个综述；接下来的17章分成了三大部分：

微相分析（第3~10章），总结了碳酸盐岩微相分析的各种方法，讨论了沉积微相类型模式，同时也讨论了在岩石薄片中所观察到的各种沉积和成岩特征，以及如何定性定量描述鉴定的问题和应用。

微相解释（第11~16章），是关于沉积微相研究在古环境恢复和沉积体系解释方面的重要意义。

微相实际应用(第17~19章),说明了沉积微相研究,在油气地质勘探和矿床地质勘探中的重要作用;同时,也列举了一些有关碳酸盐岩烃源岩与其微相和储层岩石物性之间关系研究方面的实例;然后,还说明了碳酸盐岩微相研究在考古学方面的重要价值。

此外,在每章的后面或重点节段的后面,还附有一些重要的参考文献,放在“基本读物”标题之后。以“K…”开头的编码和关键词,可以引导读者在CD上找到自己关心的参考资料(参见CD),如K021(冷水碳酸盐岩)、K078(微晶(方解石或石灰岩))或K200(烃源岩)等。<sup>\*</sup>

本书还附有一张CD,主要包括<sup>\*</sup>:

- 有关碳酸盐岩方面的参考文献 14,000 篇,以英文字母为序列出(参见附录)。
- 可视化百分比评价对比图。

## 本书目录的提纲

第1章:碳酸盐岩微相研究进展与展望。本章对碳酸盐岩微相的认识不仅仅局限在薄片尺度上,因为微相能提供有关沉积条件和环境控制因素以及岩性的宝贵信息,因此微相研究不仅有助于认识层序地层样式,而且对碳酸盐储层和烃源岩评价有着重要的经济意义。

第2章:现代碳酸盐沉积环境。认识现代碳酸盐沉积环境是研究古代碳酸盐岩的必要条件,现代碳酸盐沉积环境多样,包括陆地和海洋、深海和浅海、热带和非热带地区等,但现代碳酸盐沉积环境不能完全和古代碳酸盐岩类比。

### 微相分析部分

第3章:微相分析方法。本章介绍了适用于微相研究的方法和技术,包括样品采集方法、样品如何获得、实验室技术以及其他技术。

第4章:岩石结构即杂基和颗粒组成分析。本章就岩石结构分析提出了实用的方案并对薄片特征的描述和解释作了研究,并根据杂基和颗粒的特征、来源及其意义分别论述了杂基类型和颗粒分类。

第5章:岩石组构分析。灰岩中典型的沉积和成岩组构反映了岩石经历的历史,指示沉积间断和沉积变化的岩相特征对精细划分层序地层边界十分重要。岩石内不同大小的裂缝、微裂纹和角砾可用来解释岩石在同沉积期和沉积后所受的破坏作用。

第6章:微相定量分析。前面各章节定性分析了岩性,而本章主要是定量分析岩性,包括粒径分析、频率分析、多元分析。颗粒类型的组成分析及其分布样式是重建古环境和沉积背景的重要工具。

第7章:成岩作用、孔隙度和白云石化作用。认识成岩作用及其产物的经济意义重大,成岩相反映了沉积物石化过程中经历的变化;本章主要讨论孔隙类型、碳酸盐胶结物、包括由压实和压溶形成的成岩组构、白云石化作用/去白云石化作用、白云岩结构等,本章最后一部分研究了变质碳酸盐岩和大理岩的薄片特征。

第8章:碳酸盐岩分类与命名。岩石的分类与命名只是一种描述岩石的方法,而不是结论。因此,岩石名称不能替代意义明确的微相类型,但岩石命名对样品分类十分重要。在众多的碳酸盐岩分类方案中,邓哈姆和福克的结构分类法最为实用。碳酸盐岩更细致的命名应分别在礁灰岩、非海相碳酸盐岩、重结晶碳酸盐岩和硅屑-碳酸盐混积岩等大类前提下进行。

第9章:灰岩的生物成因。本章重点介绍了生物对碳酸盐沉积的控制作用。不同于硅屑岩,绝大多数灰岩的形成和破坏都直接或间接地受到生物的影响或控制,微生物、结壳生物、大型和小型钻孔生物均带有古环境、沉积条件和碳酸盐生成的信息。

第10章:灰岩薄片中的生物化石。本章介绍了灰岩薄片中的最常见化石,包括它们的鉴定标志、

<sup>\*</sup> 中文版未附CD,中译本中涉及此部分时均删略——译者注



生态环境和时空分布及化石的意义。识别生物主群尤其是藻类、有孔虫、固着无脊椎动物、带壳生物的特征是快速鉴定薄片化石的简易方法。本章的大量图版有助于读者认识、区分薄片中的骨屑。

## 微相解释部分

第11章：微相类型。本章介绍了用来合理划分微相的岩相资料、岩相标志和颗粒类型以及微相实例和微相类型。

第12章：古环境条件推测。碳酸盐沉积物对环境变化响应特别敏感，碳酸盐岩微相和生物化石能很好地反映水动力条件、风暴的影响、海底条件、海水中光强、海水盐度、海水温度及海水含氧量等，暖水和冷水环境碳酸盐岩生物颗粒组合的重要差别，可用来判断古气候变化，同时根据微相还可推测古水深。

第13章：沉积微相综合分析。认识碳酸盐岩的形成和成岩过程需要综合分析微相、岩石矿物和地球化学资料。本章研究了碳酸盐岩中不溶于酸的残留物和自生矿物，探讨了微量元素和稳定性同位素对追踪碳酸盐岩沉积和成岩史的作用，并研究了根据岩石中有机质分析微相的潜力。

第14章：沉积模式。相带和标准微相，微相对建立沉积模式和划分相区十分重要，生物分带样式和通过归纳总结岩相标志划分的标准微相（SMF）类型分布反映在沉积相带上，沉积相模式有助于认识沉积史，过陆架-斜坡-盆地剖面沉积特征和生物的变化是建立碳酸盐台地、缓坡和碳酸盐陆架一般相模式的基础。本章介绍了台地和缓坡碳酸盐岩SMF划分的岩相标志并针对SMF概念提出了需解决的难题，经修正和改进的SMF类型对相带划分很有意义，但在使用时仍需慎重，碳酸盐缓坡常见微相（缓坡微相类型）只相当于镶边台地的部分微相。

第15章：盆地沉积环境分析。本章介绍了不同碳酸盐体系的灰岩识别标志，并用实例说明了如何根据微相认识古沉积环境，对非海相土壤化碳酸盐岩、古喀斯特沉积、古溶洞沉积物、石灰华沉积和湖泊碳酸盐岩，根据它们特有的微相类型可成功重建其沉积环境，海相碳酸盐沉积环境可分为潮缘带、台地和缓坡、台地-斜坡-盆地过渡带、深海盆地等。利用颗粒组成曲线对追踪台地-盆地演化轨迹特别有效。

第16章：沉积控制因素和沉积过程。本章内容包括：

- 微相在层序地层上的应用。由于沉积旋回样式和地层层序的变化反映在微相上，因此微相研究有助于识别层序边界、准层序、体系域以及高频海平面变化。

- 礁灰岩识别标志，不同礁型的生物、基质、沉积物、胶结物不同，本章采用岩屑分析法对斜坡和盆地上异地礁屑进行分析，并在此基础上重建了被剥蚀台地礁。

- 古代冷水碳酸盐岩识别标志。冷水陆架碳酸盐岩和冷水碳酸盐礁有其特殊生物类型、组成和成岩特征；

- 通过实例介绍了古代流泉碳酸盐岩岩相标志。

- 碳酸盐-硅屑混积物研究及灰岩-泥灰岩层序解释。

- 探讨了碳酸盐沉积控制因素的长期变化。

另外，本章还举例说明了微相研究对沉积控制因素分析的作用。

## 微相应用部分

第17章：碳酸盐储集岩和矿产围岩。碳酸盐岩可作为重要的油气储层和矿产围岩，灰岩和白云岩储集了世界50%以上的油气。不同沉积环境储层的储集性能不同，这主要取决于沉积作用和成岩史。岩心和岩屑的微相研究有助于将岩性转化成岩石物理信息，基于微相的碳酸盐岩露头对比研究可确定岩体内部孔隙度和渗透率变化尺度。微相分析还有助于以碳酸盐岩为围岩的相控碱金属矿藏的成因解释。

第18章：碳酸盐岩资源、岩相控制因素和岩石物性。碳酸盐岩是化学和建筑业重要的原材料，无论是在数量和工业价值上，它都排在可采矿产资源前列。由于沉积和成岩相控制着与开采工艺有关的岩石物化性质以及抗风化和抗腐蚀性能，因此研究沉积和成岩相的关系有助于勘探和开采高质量的碳酸盐岩。在保存和维护碳酸盐岩工艺品和建筑材料之前，应通过薄片研究它们的结构、成岩特征、孔隙度和渗透率。

第19章：碳酸盐岩微相与考古学。结合地化资料，微相分析在追索考古发现发源地方面潜力巨大。薄片可揭示建筑材料、镶嵌工艺品和其他艺术品材料的来源，分析古代陶器材料的微相有助于确定它们的来源和产地。最后但并非不重要，微相研究甚至能揭开安东尼和克利奥帕特拉风流韵事之谜。

## 致 谢

我要真诚感谢以下作者，他们提供的珍贵照片和资料以及宝贵建议使本书内容更加详实完美：

Gernot Arp (Göttingen)、Martina Bachmann (不来梅)、Benoit Beauchamp (卡尔加里)、Thilo Bechstädt (海德堡)、Michaela Bernecker (爱尔兰根)、Joachim Blau (吉森)、Florian Böhm (基尔)、Thomas Brachert (美因兹)、Ioan Bucur (克鲁日-Napoca)、Werner Buggisch (爱尔兰根)、Thomas Clausing (哈雷)、Wolf-Christian Dullo (基尔)、Paul Enos (堪萨斯州劳伦斯)、Gerd Flajs (Aachen)、Christof Flügel (München)、Helmut Flügel (格拉茨)、Beate Fohrer (爱尔兰根)、Holger Forke (柏林)、André Freiwald (爱尔兰根)、Robert van Geldern (爱尔兰根)、Markus Geiger (不来梅)、Gisela Gerdes (奥尔登堡)、Eberhard Gischler (法兰克福)、Dirk von Gosen (德国爱尔兰根)、Jürgen Grötsch (大马士革)、Hans-Georg Herbig (Köln)、Richard Höfling (爱尔兰根)、Bernhard Hubmann (格拉茨)、Andi Imran (Makassar)、Michael Joachimski (爱尔兰根)、Josef Kazmierczak (华沙)、Martin Keller (爱尔兰根)、Stephan Kempe (达姆施塔特)、Helmut Keupp (柏林)、Wolfgang Kiessling (柏林)、Roman Koch (爱尔兰根)、Karl Krainer (因斯布鲁克)、Jochen Kuss (不来梅)、Michael Link (爱尔兰根)、Heinz Lorenz (爱尔兰根)、Ulrich Michel (Nürnberg)、Axel Munnecke (爱尔兰根)、Fritz Neuweiler (Göttingen)、Alexander Nützel (爱尔兰根)、Joachim Reitner (Göttingen)、Jürgen Remane (纽沙特)、Elias Samankassou (Fribourg)、Diethard Sanders (因斯布鲁克)、Chris Schulbert (爱尔兰根)、Baba Senowbari-Daryan (爱尔兰根)、Robert J. Stanton (加利福尼亚州橡木城)、Torsten Steiger (Bad Blankenburg)、Thomas Steuber (波鸿)、Harald Tragelehn (Köln)、Jörg Trappe (波恩)、Dragica Turnsek (卢布尔雅那)、Andreas Wetzel (Tübingen)。

同时我还要十分感谢 Birgit Leipner-Mata 和 Marieluise Neufert (德国爱尔兰根古生物研究所)，除了提供大量图片之外，他们还做了卓有成效的实验工作；Chris Schulbert (古生物研究所) 在计算机方面给予了大力支持。

我的好友 Johann Georg Haditsch (Graz) 审阅了本书，Karen Christenson (Nürnberg-Kraftshof) 对书中的文字和疏漏做了校正和补充。

本书的编辑、版式设计、制图以及插图和图版的准备均由我的妻子 Erentraud Flügel-Kahler 完成，对她的长期鼓励和无微不至的帮助我尤为感激。

本书引用了多家科研机构已发表的材料，对他们的允许表示衷心的感谢，同时我还要感谢 Springer Verlag 公司全体员工尤其是 Wolfgang Engel 博士对本人的大力支持和 J. Witschel 博士为本书出版给予的无私帮助。

## 译者简介



**马永生**，男，1961年10月生，理学博士，教授级高级工程师，国务院批准的政府特殊津贴获得者，中国石化系统有突出贡献的科技和管理专家。曾任中国石油塔里木石油勘探指挥部勘探开发研究中心综合研究室主任，中国石油勘探开发科学研究院地质研究所碳酸盐岩研究室主任，中国石化油田勘探开发事业部南方海相油气勘探项目经理部经理，中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司总地质师，现任中石化南方勘探开发分公司常务副经理兼总地质师。先后被聘为北京大学、同济大学、中国地质大学、中国石油大学、西南石油学院兼职教授和中国地质大学博士生导师。长期从事（碳酸盐岩）储层沉积学、盆地分析、石油地质综合研究及石油和天然气勘探工作。美国石油地质学家协会（AAPG）活跃会员、国际沉积学会（ISA）会员、中国石油学会会员、中国地质学会会员、云南省石油学会副理事长、云南省地球物理学会副理事长、云南省科学技术协会委员。出版《碳酸盐岩储层沉积学》、《碳酸盐岩油气勘探》、《华北盆地北部深层层序古地理与油气地质综合研究》等专著5部，出版《碳酸盐岩层序地层学》等译著2部。在科学通报、中国科学（B辑）、地质学报、地质论评、石油与天然气地质、沉积学报、中国地质等国家级核心期刊上发表“华北北部晚寒武世碳酸盐岩等时性研究”、“鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系马五1-4碳酸盐岩微相特征与储层不均质性研究”、“四川盆地东北部长兴期沉积特征与沉积格局”、“四川宣汉盘龙洞晚二叠世生物礁古油藏的发现及其重要意义”、“川东北高含H<sub>2</sub>S气藏特征与TSR对烃类的消耗作用”等学术论文40余篇，其中有多篇被SCI、EI收录。承担国家973、国家攻关、省部级科研攻关项目等30余项，“塔里木盆地石炭系油气藏分布规律与勘探方向”获中国石油天然气总公司科技进步三等奖，“内源盆地沉积研究”获原地质矿产部科技进步三等奖，“宣汉—达县地区石炭系—三叠系油气地质综合研究与勘探目标优选”、“川东北、鄂西渝东区块有效储层预测研究”获中国石油化工集团公司科技进步一等奖，“电磁方法在鄂西山区油气勘探中的应用研究”获中国石油化学工业协会科技进步一等奖，获中石化“普光构造天然气勘探特等奖”、“四川盆地北部天然气勘探发现奖”。2006年4月，中石化正式宣布，在川东北地区发现了迄今为止中国规模最大、丰度最高的特大型整装海相气田——普光气田。截至2005年末，普光气田累计探明可采储量为2510.75亿m<sup>3</sup>，技术可采储量为1883.04亿m<sup>3</sup>（正申报国家奖）。普光气田川东北项目已被中石化列为“十一五”1号工程项目。

## 译者简介



田海芹, 男, 1958年11月19日生, 博士, 教授, 中石化南方公司副总地质师。主要从事碳酸盐岩、沉积学、层序地层学、矿物学、岩石学及油气勘探开发综合研究等工作。独立、合作出版专著《中国南方寒武纪定量岩相古地理研究及编图》、《碳酸盐岩油气勘探》、《华北盆地北部深层层序古地理与油气地质综合研究》及教材《矿物岩石学实验技术》等7部, 在岩石学报、石油大学学报等刊物上发表“论泥晶套与次生白云岩原岩结构特征的恢复及意义”、“山东昌乐—临朐火成岩孔隙系统研究”、“中国古生代扬子、华北及塔里木克拉通统一体特征”等论文30余篇, 其中有多篇被SCI、EI收录。承担国家973、国家“八五”、“九五”、“十五”及中国石油天然气总公司、中石油、中石化、中海油等省部级攻关项目10余项, 承担胜利、塔里木、长庆等油田项目10余项, 其中20余个项目为第一负责人。获国家级奖励2项, 省部级奖励3项, “中国寒武纪和奥陶纪岩相古地理研究及编图”2004年获国家科学技术二等奖; 2004“中国南方海相油气成藏理论研究”2004年获中国石化科技进步二等奖。



陈洪德, 1988年毕业于成都地质学院沉积地质研究所沉积学专业, 获博士学位。1991—1992年赴德国访问进修。1996年被原地矿部(现国土资源部)破格晋升为教授, 1998年增列为博士生导师。现任成都理工大学沉积地质研究院院长。主要从事沉积地质学和石油地质学领域的教学和研究工作。主持承担国家攻关课题、自然科学基金、国家973课题、省部级重点项目40余项, 形成了在国内和国际上都具有一定特色和优势的研究方向, 即层序地层学、古岩溶储层学和大陆边缘盆地沉积成矿作用。先后发表论文80余篇(其中8篇被SCI、EI收录), 主编研究生教材1部, 专著9部。科研成果获省部级二等奖5项。2001年获国家政府特殊津贴, 2002年被评为“四川省学术和技术带头人”, 2003年聘为四川省政府科技顾问团顾问。成都理工大学“矿产普查与勘探”国家重点学科含油气沉积盆地分析方向的学术带头人, 部级重点学科“沉积地质学”学科带头人, 四川省重点学科“构造地质学”的学科带头人。



邵龙义, 1964年2月生, 教授, 博士生导师。1989年于中国矿业大学北京研究生部获得博士学位, 1990年起任教于中国矿业大学(北京)。曾于1995—1996年及2001—2002年度在英国Cardiff大学作博士后及客座教授。研究方向为沉积学及高分辨率层序地层学, 曾主持国家自然科学基金项目5项以及教育部新世纪优秀人才基金及高等学校科技创新工程重大项目培育资金、科技部中英合作基金、英国皇家学会项目等多项科研任务。参加撰写专著5部, 发表论文150余篇(SCI收录18篇)。

# 目 录

1	碳酸盐岩微相研究新进展与展望	1
1.1	碳酸盐岩微相的概念	1
1.2	碳酸盐岩微相研究与应用的新进展	1
2	碳酸盐岩沉积环境	7
2.1	引言	7
2.1.1	碳酸盐岩主要为内源而非外源沉积物	7
2.1.2	“Sorby 原理”: 石灰岩主要由生物沉积物组成	7
2.1.3	现代碳酸盐岩必读材料	7
2.2	海陆碳酸盐岩沉积	8
2.3	海洋沉积环境分区	8
2.3.1	海洋环境划分界线	9
2.3.2	海洋环境垂向和横向分区	9
2.3.2.1	垂向分区	9
2.3.2.2	横向分区	9
2.4	现代碳酸盐岩沉积环境综述	10
2.4.1	非海相碳酸盐岩形成环境	10
2.4.1.1	土壤碳酸盐岩、古土壤、钙质壳 / 钙积层	11
2.4.1.2	沼泽碳酸盐岩	12
2.4.1.3	洞穴碳酸盐岩、洞穴沉淀物和喀斯特	12
2.4.1.4	风成碳酸盐岩	13
2.4.1.5	冰川碳酸盐岩	13
2.4.1.6	淡水碳酸盐岩石灰华和钙质泉华	13
2.4.1.7	湖泊碳酸盐岩	15
2.4.1.8	河流碳酸盐岩	19
2.4.2	滨岸和潮缘海陆过渡环境	22
2.4.2.1	海滩(前滨)、障壁岛和滨岸潟湖	22
2.4.2.2	潮缘环境	22
2.4.3	浅海“浅水”和“深水”沉积环境	23
2.4.3.1	陆缘海和陆表浅海	23
2.4.3.2	碳酸盐岩陆架、缓坡和台地碳酸盐岩	24
2.4.3.3	陆架边缘带	26
2.4.3.4	礁	27
2.4.4	热带和非热带地区碳酸盐岩组成、控制因素及其意义的差别	28
2.4.4.1	热带和非热带碳酸盐岩纬度分带及识别标志	28
2.4.4.2	热带和亚热带浅海碳酸盐岩	33
2.4.4.3	非热带陆架碳酸盐岩和礁	36
2.4.5	深海碳酸盐岩	42

2.4.5.1	深海环境	42
2.4.5.2	沉积作用过程	42
2.4.5.3	深海沉积物	43
2.4.5.4	深海再沉积物(“异地碳酸盐岩”)	43
2.4.5.5	碳酸盐岩浮游生物和碳酸盐岩软泥	44
2.4.5.6	碳酸盐岩保存和溶解深度界线	44
2.4.5.7	碳酸盐岩陆坡、台地周围碳酸盐岩和碳酸盐岩裙	44
2.4.6	冷泉口和热泉口碳酸盐岩	46

## 微相分析

<b>3</b>	<b>研究方法</b>	49
3.1	野外工作及采样	49
3.1.1	野外观察	49
3.1.1.1	岩性、岩石构造和颜色	49
3.1.1.2	层理和层、沉积构造和成岩特征	51
3.1.1.3	化石和生物构造	54
3.1.2	采样	57
3.1.2.1	样品研究和统计	57
3.1.2.2	采多少样?	58
3.1.2.3	微相采样实用方案	58
3.2	实验技术	60
3.2.1	切片、揭片和薄片	60
3.2.2	铸体、刻蚀和染色	61
3.2.3	显微镜技术	61
3.2.3.1	岩石学显微镜	61
3.2.3.2	立体扫描电子显微镜	61
3.2.3.3	荧光、阴极发光和流体包裹体显微镜	62
3.2.4	矿物学和地球化学	64
3.2.5	痕量元素和稳定同位素分析	65
<b>4</b>	<b>微相资料: 基质和颗粒</b>	69
4.1	细粒的碳酸盐基质: 泥晶(隐晶、灰泥)、微亮晶、粉砂屑	69
4.1.1	泥晶	70
4.1.2	泥晶和其他类型细粒基质的形成模式	72
4.1.3	微亮晶	86
4.1.4	粉屑灰岩	88
4.1.5	描述和解释细粒灰岩的实用指南	88
4.1.6	细粒碳酸盐岩的重要意义	88
4.2	碳酸盐岩颗粒	92
4.2.1	生物碎屑(骨粒)	92
4.2.2	似球粒: 仅仅是被忽视的术语?	102

4.2.3	包(皮)粒——具有泥晶套的碳酸盐岩颗粒	108
4.2.4	核形石和红藻石	111
4.2.4.1	核形石	114
4.2.4.2	红藻石和巨粒核形石	126
4.2.5	鲕粒	130
4.2.6	豆粒和渗流豆——简单的“大鲕粒”或独立的碳酸盐岩颗粒?	140
4.2.7	集合颗粒: 葡萄石, 团块和其他复合颗粒	149
4.2.8	再沉积物: 内源的、外源的和岩石碎屑——内部的和外来的	151
4.2.8.1	内碎屑: 成因和相——成岩类型	152
4.2.8.2	外碎屑: 奇怪的外来者	156
4.3	碳酸盐颗粒的形态学	159
4.3.1	目的和方法	160
4.3.2	碳酸盐颗粒形态学数据的重要性	161
<b>5</b>	<b>微相资料: 组构</b>	<b>164</b>
5.1	沉积和成岩组构	164
5.1.1	示顶底组构	164
5.1.2	生物组构和晶粒定向	168
5.1.3	层理与纹理组构	169
5.1.4	生物潜穴和生物扰动组构	172
5.1.5	鸟眼、窗格组构和平底晶洞	176
5.1.5.1	鸟眼构造	176
5.1.5.2	窗格组构	177
5.1.5.3	平底晶洞	178
5.1.5.4	鸟眼、窗格组构和平底晶洞的意义	183
5.1.6	结核状组构	184
5.2	不连续面: 从微相到层序地层学	189
5.2.1	不连续性面的分类	189
5.2.2	不连续面的主要标志	190
5.2.3	暴露面的微相标准和意义	191
5.2.4	凝缩面和硬底的微相标准及意义	192
5.2.4.1	硬底	192
5.2.4.2	凝缩作用面和凝缩段	197
5.2.5	不连续面和层序地层学	201
5.3	同沉积期和沉积期后特征: 裂隙、脉和角砾	202
5.3.1	沉积物充填的裂隙: 神秘的岩墙和裂隙的充填	202
5.3.1.1	沉积裂隙的成因、发育和充填作用	203
5.3.1.2	神秘岩墙的微相分析	204
5.3.1.3	碳酸盐中神秘岩墙的研究实例	207
5.3.1.4	充填沉积物的裂隙的重要意义	208
5.3.2	微裂缝和脉(方解石矿脉)	209

5.3.2.1	方解石脉的成因和分类	209
5.3.2.2	方解石充填的微裂缝的描述标志	210
5.3.2.3	碳酸盐岩中微裂缝的意义	211
5.3.3	碳酸盐角砾岩和砾岩	212
5.3.3.1	术语	212
5.3.3.2	怎样描述碳酸盐角砾岩	214
5.3.3.3	碳酸盐角砾岩的类型：成因、分类和标志	218
5.3.3.4	碳酸盐岩砾岩	224
5.3.3.5	碳酸盐岩角砾岩和砾岩的重要性	224
<b>6</b>	<b>定量微相分析</b>	<b>228</b>
6.1	粒度分析	228
6.1.1	粒度分析：方法和目的	229
6.1.1.1	粒度的测量和粒度分布的描述	229
6.1.1.2	对粒度分析资料进行环境解释的方法	231
6.1.1.3	薄片中的粒度分析	232
6.1.2	现代和古代碳酸盐岩的粒度研究	232
6.1.2.1	现代碳酸盐岩沉积物的粒度研究	232
6.1.2.2	碳酸盐岩粒度分布的应用	235
6.1.2.3	碳酸盐岩粒度研究的意义	238
6.2	微相数据的频率分析	238
6.2.1	频率分析的方法	239
6.2.1.1	计数	239
6.2.1.2	估计	241
6.2.1.3	图像分析	242
6.2.1.4	组分排列、多样性和成熟度	243
6.2.1.5	礁碳酸盐岩的综合频率研究	244
6.2.2	实用性的建议	244
6.3	综合微相研究	246
6.3.1	方法：成分间和样品间的变化	246
6.3.2	综合研究的意义：组分分析是环境条件和沉积背景的一个线索	249
<b>7</b>	<b>成岩作用、孔隙度和白云石化作用</b>	<b>251</b>
7.1	碳酸盐岩矿物学和成岩过程	251
7.1.1	现代碳酸盐矿物的沉积与古代碳酸盐岩	251
7.1.2	常见的碳酸盐矿物	252
7.1.3	成岩作用和控制因素	255
7.1.4	从沉积物到岩石	255
7.1.5	显生宙碳酸盐岩矿物的周期性脉动变化趋向	256
7.1.5.1	长期的变化	256
7.1.5.2	在古代低镁方解石灰岩中如何识别早期存在的文石和镁方解石矿物	256



7.2	主要的成岩环境 .....	258
7.2.1	大气淡水、海底和埋藏成岩环境 .....	258
7.2.1.1	大气(淡)水成岩环境 .....	258
7.2.1.2	混合带和海水渗流环境 .....	260
7.2.1.3	海底成岩作用 .....	260
7.2.1.4	埋藏成岩作用 .....	260
7.2.2	早期成岩作用和晚期成岩作用 .....	261
7.3	碳酸盐岩的孔隙度 .....	262
7.3.1	孔隙分类、孔隙几何特征和孔隙的渗透率 .....	262
7.3.1.1	基本定义 .....	262
7.3.1.2	孔隙的几何特征和渗透率 .....	263
7.3.1.3	薄片中的孔隙度测量和孔隙类型 .....	263
7.3.2	孔隙的术语和分类 .....	266
7.3.3	石灰岩和白云岩中的孔隙 .....	270
7.4	孔隙充填过程:胶结作用 .....	271
7.4.1	碳酸盐岩胶结物的控制因素 .....	272
7.4.2	胶结物类型的形态和组构 .....	273
7.4.2.1	胶结物类型 .....	273
7.4.2.2	胶结物组构 .....	284
7.4.3	胶结物类型和成岩环境 .....	284
7.4.4	微相控制的成岩作用 .....	287
7.4.4.1	碳酸盐岩台地和缓坡 .....	287
7.4.4.2	礁 .....	288
7.4.4.3	温水和冷水成岩作用的对比 .....	288
7.4.5	成岩作用的路线及模式 .....	290
7.5	成岩结构 .....	291
7.5.1	机械压实作用: .....	291
7.5.2	化学压实作用:压溶和缝合作用 .....	296
7.5.3	压实和压溶作用的意义 .....	302
7.6	新生变形作用:矿物转化和重结晶作用 .....	302
7.6.1	重结晶碳酸盐岩 .....	302
7.6.2	重结晶碳酸盐岩的分类 .....	303
7.7	亮晶:重结晶成因的或碳酸盐岩胶结物? .....	303
7.8	白云石化和去白云石化作用 .....	304
7.8.1	白云岩组构特征及其描述性术语 .....	305
7.8.1.1	白云岩薄片特征及其分类命名 .....	305
7.8.1.2	白云石胶结物 .....	305
7.8.1.3	白云岩结构的意义 .....	306
7.8.2	几个重要的白云化作用模式 .....	306
7.8.2.1	与蒸发作用有关的白云岩 .....	309
7.8.2.2	混合水和海水白云化作用模式 .....	310