

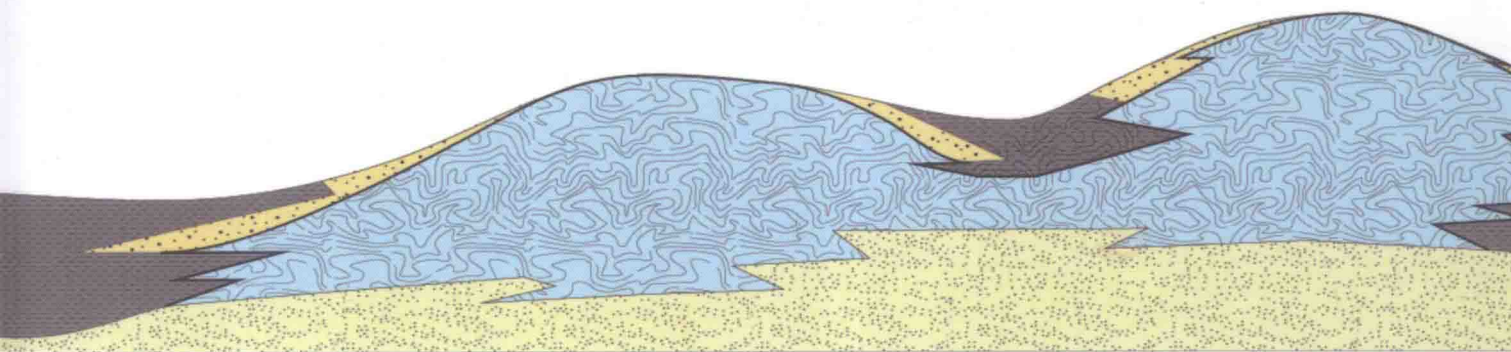
MUD MOUND SYSTEMS

CLASSIFICATION AND PETROLEUM GEOLOGICAL FEATURES

灰泥丘系统

分类及石油地质特征

刘静江 张宝民 周 慧 等著



石油工业出版社

MUD MOUND SYSTEMS

CLASSIFICATION AND PETROLEUM GEOLOGICAL FEATURES

灰泥丘系统分类及石油地质特征

刘静江 张宝民 周 慧 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从沉积体内部构造研究出发,详细论述了碳酸盐生物礁、颗粒滩和灰泥丘的区别,初步建立了我国碳酸盐灰泥丘分类系统,并把灰泥丘系统的形成与碳酸盐台地类型联系起来,总结了不同台地类型灰泥丘组合、沉积、储层特征和其他石油地质特征,可以为灰泥丘系统石油地质评价和油气勘探决策提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

灰泥丘系统分类及石油地质特征 / 刘静江, 张宝民, 周慧等著.
北京: 石油工业出版社, 2016.4
ISBN 978-7-5183-0978-8

I. 灰…

II. ①刘…②张…③周…

III. ①盐丘构造—分类②盐丘构造—石油地质学

IV. P542

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 267696 号

出版发行: 石油工业出版社有限公司
(北京朝阳区安定门外安华里 2 区 1 号 100011)
网 址: www.petropub.com
编辑部: (010) 64523553
图书营销中心: (010) 64523633

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

2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷
889 毫米 × 1194 毫米 开本: 1/16 印张: 12.75
字数: 230 千字

定价: 100.00 元
(如出现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)
版权所有, 翻印必究

《灰泥丘系统分类及石油地质特征》

编写人员

刘静江 张宝民 周 慧 单秀琴 王拥军

张 静 刘银河 王晓波 霍元申 刘玉娥

前言

灰泥丘是广泛分布于碳酸盐台地的微生物碳酸盐灰泥建造。灰泥丘 (mud mound, lime mud mounds, carbonate mounds, organic mounds), 在地质历史中所占的比例要远大于格架礁 (Krainer, 1995)。由于其沉积特征和成因与生物礁相似, 但又有很多明显的区别, 因而在对生物礁进行研究的同时, 灰泥丘也得到了广泛的关注和研究 (Monty C L V et al., 1995)。

中国灰泥丘研究开始于 20 世纪 90 年代关于江西玉山上奥陶统三衢山组的研究 (俞剑华等, 1992; 方一亭, 边立增等, 1993; 范嘉松, 1996), 其研究成果又指导了塔里木盆地上奥陶统良里塔格组生物礁、灰泥丘的研究和当时的油气勘探 (张宝民等, 1997)。尽管如此, 中国灰泥丘的研究程度仍然是比较低的, 公开发表的论文迄今也不过 20 余篇 (俞剑华等, 1992; 方一亭等, 1993; 范嘉松, 1996; 吴光红等, 1999; 张廷山等, 2000, 2002; 张宝民等, 2001, 2004; 章雨旭等, 2005; 李凌, 2014; 等等)。这些研究大多限于一般性的描述和简单的成因分析, 缺少较为全面的总结、系统的分类和更为系统的石油地质评价, 对油气勘探的指导意义有限。

国外碳酸盐岩灰泥丘的研究已有 50 ~ 60 年的历史, 在灰泥丘中发现油气并进行规模性的开发也有 40 多年历史, 勘探开发效果较好的墨西哥湾 Vocation 油田自 1975 年发现至 2001 年, 在侏罗系灰泥丘中的石油总产量已经超过 $0.3 \times 10^8 \text{ bbl}$ 。国内灰泥丘研究和勘探起步较晚, 有目的地针对灰泥丘的勘探始于 2009 年。在灰泥丘中首先取得勘探突破的是塔里木盆地, 继塔中 I 号构造带台地边缘生物礁滩勘探取得突破之后, 在塔中奥陶系碳酸盐台地内部丘滩复合体上钻探中古 15 井获得成功, 日产原油 216 m^3 , 天然气 $5.8 \times 10^4 \text{ m}^3$; 2011 年, 四川盆地在川中高石梯构造钻探高石 1 井, 于震旦系灯影组白云岩日产天然气 $102 \times 10^4 \text{ m}^3$, 产气层段为菌藻类微生物灰泥丘。这些勘探成果表明, 我国碳酸盐灰泥丘可以作为一种很好的油气勘探对象。

目前, 国内外碳酸盐岩油气勘探都面临着向深部发展的问题, 下古生界以至于中—新元古界碳酸盐岩都将会成为越来越重要的勘探目标, 而下古生界至中—新元古界缺少宏观骨骼生物建造的生物礁, 主要发育菌藻类微生物形成的灰泥丘, 这种灰泥丘具

有其特别的石油地质属性，因而灰泥丘的研究对于我们所面临的深部油气勘探更具有现实意义。

碳酸盐岩油气勘探经历了从早期的礁滩型碳酸盐岩油气勘探到岩溶型碳酸盐岩油气勘探的历史，目前礁滩和岩溶型碳酸盐岩勘探程度已经很高，新的勘探目标已经很难寻找，碳酸盐岩油气勘探很需要开拓新的领域。灰泥丘系统以其较好的储集性能、良好的生储盖匹配条件，以及比生物礁更广泛的分布，可以成为一个很好的油气勘探新领域。可以认为，碳酸盐岩油气勘探目前正处于一个新的勘探阶段——一个灰泥丘油气勘探阶段。

由于目前对灰泥丘研究还比较少，对灰泥丘勘探价值的认识还不充分，很需要解决以下关键问题：

- (1) 灰泥丘类型划分、系统定义、建模；
- (2) 灰泥丘系统石油地质特征综合描述和油气勘探前景评价。

本书对国内四川、塔里木、鄂尔多斯—华北地区的三种台地类型典型碳酸盐灰泥丘进行了系统描述、分类和石油地质建模，以期在灰泥丘油气勘探中发挥一定作用。

在本书编写的过程中，得到了中国石油西南油气田公司、中国石油塔里木油田公司、中国石油勘探开发研究院杭州分院、西南石油大学、西北大学，以及中国石油勘探开发研究院实验研究中心的大力协助与支持，在此一并表示衷心的感谢！

作者

2015年10月

PREFACE

Mud mounds are microbial lime-mud buildups distributed extensively in carbonate platforms. The percentage of mud mounds was larger than that of frame reefs in geologic history (Krainer, 1995), and they had similar but also distinct characteristics and genesis, so the mud mounds were given extensive attention to during studying organic reefs (MontyCLVet al., 1995) .

Research on mud mounds in China began with the study of Upper Ordovician Sanqushan Formation in Yushan of Jiangxi province in 1990s (Yu et al., 1992; Fang et al., 1993; Fan, 1996), which guided the research on and petroleum exploration of reefs and mud mounds of Upper Ordovician Lianglitage Formation in Tarim Basin (Zhang et al., 1997). Even so, mud mounds are less studied in China, with the amount of publicly published papers about 20(Yu et al., 1992; Fang et al., 1993; Fan, 1996; Wu et al., 1999; Zhang et al., 2000; Zhang et al., 2001, 2004; Zhang et al., 2005; Li, 2014; et al.). Most of the researches are limited to general descriptions and simple genesis analysis, lacking of comprehensive summary, systematic classification and evaluation of petroleum geology, therefore they have limited guiding significance for petroleum exploration.

There is a 50~60 year's history of studies on carbonate mounds abroad, and more than 40 years since petroleum discovery and development with large scale in mounds. The total production of Vocation oilfield in Gulf of Mexico, with high effect exploration and development in Jurassic mud mounds , had reached more than 30 Million barrels from year 1975 to 2001. The research and exploration of mud mounds in China started later, and aimed exploration of mud mounds began in 2009. Breakthrough of exploration in mud mounds was made firstly in Tarim Basin. Following reef and shoal exploration of No. 1 platform margin belt in central Tarim Basin, well Zhonggu 15 was drilled in platform interior mud-mound of Ordovician in central Tarim Basin and 216m³/d crude oil and 5.8×10^4 m³/d natural gas were produced. In year 2011, well Gaoshi 1 was drilled in Gaoshiti structure in central Sichuan Basin, and 102×10^4 m³/d natural gas was obtained in microbial carbonate mounds in Upper Sinian Dengying Formation. These successful explorations suggest that carbonate mound in China can be regarded as a good petroleum exploration object.

At present, petroleum exploration of carbonate at home and abroad faced the problem of oil and

gas prospecting going deeper and deeper, Lower Paleozoic, even Middle and Upper Proterozoic carbonate will become more and more important exploration targets, when microbial mounds were mainly developed and skeleton organisms were lacked, so the research on mud mounds has practical significance for deep exploration faced by us.

Petroleum exploration in carbonate has gone through the history of early reef and shoal reservoir exploration and karst reservoir exploration and now, the exploration degree of these reservoirs is very high, and it's hard to discover new exploration objects, so it's necessary to pioneer new fields for petroleum exploration in carbonate. Because of good reservoir performance, favorable source-reservoir-caprock matching condition, and broader distribution than reef, mud mound can become a new good prospecting target. It may be thought that petroleum exploration in carbonate is now at a new stage, is mud mound exploration.

Due to less studied on mud mound at present, the exploration value of them can't be understood completely, so there are several key problems to be solved. They are:

- (1) Type classification, systemic definition and modeling of mud mounds.
- (2) Comprehensive description of petroleum geology features and evaluation of petroleum prospect in mud mounds.

This book is to systematically describe, classify and model typical mud mounds in three types of carbonate platforms in Sichuan, Tarim, Ordos Basin and northern China, aiming to play a role in petroleum exploration in mud mounds.

We are grateful to Southwest Oil & Gasfield Company, Tarim Oilfield Company of PetroChina, PetroChina Hangzhou Institute of Geology, and Petroleum Geology Research and Laboratory Center of Research Institute of Petroleum Exploration and Development (RIPED).

Authors

October 2015

目 录

第一章 灰泥丘概念及分类	1
第一节 灰泥丘概念	1
一、关键术语	1
二、灰泥丘定义	16
三、礁、丘、滩的识别	19
第二节 灰泥丘分类	21
一、灰泥丘时代特征	21
二、灰泥丘形态和构造特征	32
三、灰泥丘分类系统	48
第二章 不同类型碳酸盐台地的灰泥丘系统	52
第一节 浅水台地灰泥丘系统	53
一、上扬子地区震旦系出露情况	53
二、地层系统	53
三、沉积古地理环境	56
四、灰泥丘组合与沉积模式	65
五、地层序列中的灰泥丘	69
第二节 深水台地灰泥丘系统	80
一、地层系统	80
二、沉积古地理环境	85
三、沉积类型	99
四、沉积模式	108
五、地层序列中的灰泥丘	108
六、灰泥丘的地震特征	118
第三节 碳酸盐缓坡灰泥丘系统	120
一、地层系统	122

二、沉积古地理格局	123
三、沉积特征	128
四、碳酸盐缓坡灰泥丘沉积模式	134
五、典型灰泥丘沉积序列	137
第三章 灰泥丘系统石油地质特征	142
第一节 灰泥丘系统概念	142
第二节 灰泥丘系统储层特征	143
一、四川盆地震旦系浅水台地灰泥丘系统储层特征	143
二、塔里木盆地奥陶系深水台地灰泥丘系统储层特征	154
三、龙王庙组碳酸盐缓坡灰泥丘系统储层特征	161
第三节 灰泥丘系统烃源岩发育特征	172
第四章 总结	174
附图 本书所用岩性符号图例	175
参考文献	176

CONTENTS

CHAPTER I CONCEPT AND CLASSIFICATION OF MUD MOUNDS	1
SECTION I CONCEPT OF MUD MOUND.....	1
1. Key terms and concepts	1
2. Definition of mud mound	16
3. Identification of reef, mound and bank	19
SECTION II CLASSIFICATION OF MUD MOUND	21
1. Mud mounds in geological history	21
2. Morphological and structural features of mud mounds	32
3. Classification systems of mud mounds.....	48
 CHAPTER II MUD MOUND SYSTEMS OF DIFFERENT TYPES	
OF CARBONATE PLATFORMS	52
SECTION I MUD MOUND SYSTEMS OF SHALLOW WATER	
PLATFORM	53
1. Sinian outcrop of upper yangtze region	53
2. Stratigraphic system	53
3. Sedimentary paleogeographic environment	56
4. Mud mound combination and sedimentary model	65
5. Mud mounds in stratal succession	69
SECTION II MUD MOUND SYSTEMS OF DEEP WATER PLATFORM ...	80
1. Stratigraphic system	80
2. Sedimentary paleogeographic environment	85
3. Sedimentary type	99
4. Sedimentary model	108
5. Mud mounds in stratal succession	108
6. Seismic reflection features of mud mound	118
SECTION III MUD MOUNDS OF CARBONATE GENTLE SLOPE	120
1. Stratigraphic system	122
2. Sedimentary paleogeographic environment	123

3. Sedimentary features	128
4. Sedimentary model	134
5. Typical mud mounds in succession	137

CHAPTER III PETROLEUM GEOLOGICAL FEATURES OF MUD

MOUND SYSTEMS	142
SECTION I MUD MOUND SYSTEM CONCEPT	142
SECTION II RESERVOIR FEATURES OF MUD MOUND SYSTEMS	143
1. Reservoir features of the mud mound system of the shallow water platform	143
2. Reservoir features of the mud mound system of the deep water platform	154
3. Reservoir features of the mud mound system of the carbonate gentle slope	161
SECTION III DEVELOPMENT FEATURES OF THE SOURCE ROCKS OF MUD MOUND SYSTEM	172

CHAPTER IV SUMMARY..... 174

FIGURT LEGENDS OF THIS BOOK 175

REFERENCES 176

第一章 灰泥丘概念及分类

第一节 灰泥丘概念

一、关键术语

(一) 碳酸盐岩与碳酸盐沉积体

根据成因，沉积碳酸盐岩可以划分为化学碳酸盐岩、生物碳酸盐岩和颗粒碳酸盐岩三大类（图 1-1），其中前两者为原生碳酸盐岩，后者为次生碳酸盐岩，可由前两者通过机械破碎作用及生物—化学作用形成。研究表明，绝大部分沉积碳酸盐岩是生物成因的碳酸盐岩，现代远洋碳酸盐沉积物中生物来源的碳酸盐约占 95%（G. V. Chilingar, 1967；贾振远，1989）。

由碳酸盐岩形成的沉积体可以划分为生物礁、灰泥丘和颗粒滩。由碳酸盐颗粒形成的沉积体为颗粒滩，由宏观生物为主形成的碳酸盐沉积体称为生物礁，由微生物作用形成的碳酸盐沉积体为灰泥丘。

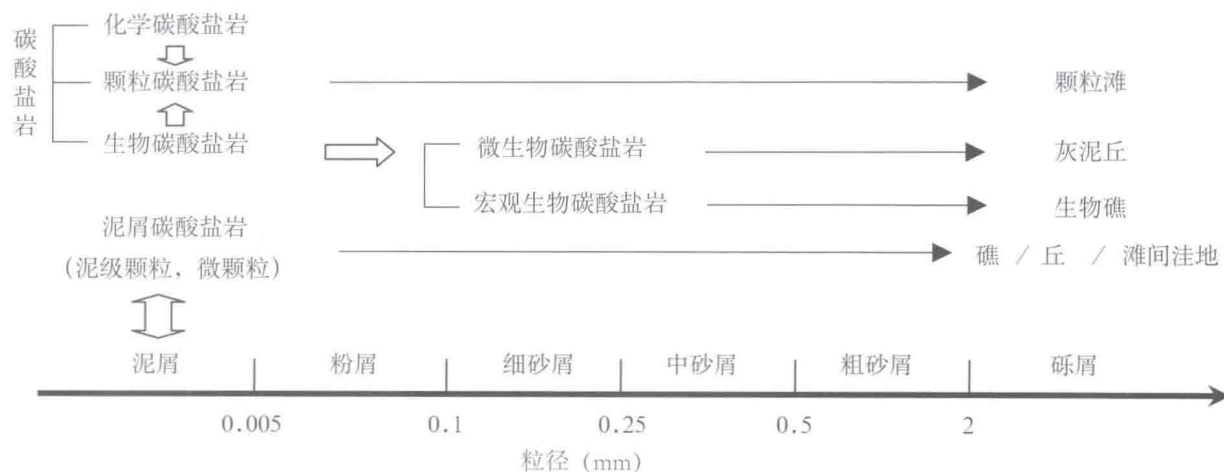


图 1-1 碳酸盐岩与碳酸盐沉积体分类
颗粒分级据冯增昭，1994

此外，还有一种泥屑碳酸盐岩（Grabau, 1904, 1931；冯增昭，1994），主要由颗粒直径小于 0.005mm 的微颗粒碳酸盐岩组成，一般混有其他粒径的碳酸盐岩颗粒，如粉屑、砂屑、砾屑或者生物碎屑、鲕粒等，对应于邓哈姆碳酸盐岩分类（1962）的

粒泥岩或泥粒岩，为灰泥丘、生物礁或颗粒滩间相对低能的洼地沉积，其主要物质来源为邻近的灰泥丘或生物礁。

（二）颗粒、颗粒滩与生物滩

碳酸盐颗粒包括砂屑、砾屑、粉屑、生物碎屑、球粒、鲕粒、核形石等。

砂屑、砾屑、粉屑：主要为盆地内部准同生期弱固结的碳酸盐沉积物机械破碎或生物活动形成的不同粒级的碎屑，也称为内碎屑。这些颗粒可以由多个颗粒通过菌藻类或化学粘结作用连接在一块，形成各种集合粒，如团粒、葡萄石等。

球粒：主要指生物粪便钙化形成的粪球粒，一般为微晶碳酸盐软泥的椭球形聚集颗粒，没有明显的内部结构，它的形状和粒径一般都是均匀的，粒径一般小于 0.15mm (R. L. Folk, 1962)。福克认为有些较大的球粒状的微晶颗粒可能是由弱固结的灰泥破碎滚动形成的，应该划归内碎屑范畴。还有一种微生物成因的球粒，见第二章第一节。

鲕粒、核形石：莱顿 (M.W. Leighton, 1962；冯增昭, 1994) 把鲕粒、核形石统称为包粒，主要为菌藻类微生物薄膜包绕微晶灰泥而成的颗粒，一般具有内碎屑、生物碎屑或其他碎屑形成的核心。冯增昭 (1994) 把核形石称为藻灰结核。鲕粒和核形石的区别仅在于颗粒的大小。

颗粒滩：碳酸盐滩是高能环境的粗颗粒沉积 (冯增昭, 1989)。颗粒滩可以由多种颗粒组成，也可以由单一颗粒组成，如砂屑滩、生物碎屑滩、鲕粒滩等。

生物滩：颗粒滩往往并不全由颗粒组成，常混有富含有机质的灰泥，成为一些滩生生物生存繁衍的场所，如一些海草、贝类、蛤蜊、仙掌藻等 (Orme, 1978；Phipps, 1985；Roberts 等, 1985, 1987)，这种滩在许多碳酸盐岩分类中被称为生物滩 (Lowenstam, 1950)，也有人称之为生物层 (Cumings, 1932)。

滩的一般特征可归纳为以下几点：

- (1) 滩，即颗粒滩；
- (2) 滩的颗粒组成：粉屑、砂屑、砾屑、生物碎屑、球粒、鲕粒、核形石等；
- (3) 滩的结构特征：各种粒级的碳酸盐岩颗粒，较少含泥级成分；
- (4) 滩的构造特征：具有陆源碎屑滩的水成构造特征，可以有各种层理；
- (5) 滩的生物学特征：生物大都以碎屑成分存在，或有原地滩生生物；
- (6) 滩的环境特征：高能或相对高能环境。

(三) 生物、生物格架、生物礁与微生物岩

生物：到目前为止，古生物学研究在几乎所有时代的碳酸盐岩地层中都发现了生物或生物存在的迹象。显生宙的生物在地层中一般保存比较好，很多可以鉴定到种或属；前寒武纪主要发育菌藻类微体古生物，由于时代久远，缺少硬体骨骼保护，大多保存欠佳，很多只能鉴定到形态属。总的来说，碳酸盐岩中的生物根据其建造碳酸盐岩的方式可以分为宏观骨骼生物和微生物两大类。宏观钙质骨骼生物主要以骨骼钙化堆积方式形成碳酸盐岩。研究表明：生物礁中钙质生物硬体约占 30% ~ 50% (冯增昭, 1989)；太平洋礁区砂屑滩中生物碎屑占 10% ~ 12%；加勒比海礁区为 5% ~ 15% (Millam, 1974)；海南岛岸礁区砂屑滩介壳碎屑可达 30% 以上，甚至成为最主要的组分 (王国忠等, 1994)。

微体菌藻类则以改变周围的物理—化学环境方式导致水体中的钙质发生沉淀 (Burne, 1987)。Millam (1974) 认为，瓣鳃类和腹足类等软体动物也可以通过改变周围环境使水体中的钙质形成碳酸钙沉淀，根据 Chave (1972) 计算，珊瑚礁区软体动物的碳酸钙潜在年产量为 $1 \times 10^4 \text{ g} / (\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

宏观骨骼生物可以见于显生宙以来的各种碳酸盐岩中，是晚古生代至今最重要的造岩生物，如分布于许多地层中的生物礁都是宏观生物的杰作；微生物主要为细菌和微体藻类，是前寒武纪至早古生代沉积碳酸盐岩的主要建造者，特别是元古宙至早古生代早期的碳酸盐岩大部分都是菌藻类成因的；不仅如此，显生宙以来的各种碳酸盐沉积体的建造也都有菌藻类的参与，还有的沉积体主要为菌藻类微生物所建造，比如灰泥丘。

生物格架：主要是指原地生长的群体生物，如珊瑚、苔藓虫、海绵类、层孔虫等，一些具有钙质骨骼的宏观藻类，如珊瑚藻、叶状藻等，以其坚硬的钙质骨骼所形成的骨骼格架 (图 1-2)。生物格架主要存在于生物礁中。在古代生物礁中，生物格架一般为 30% 左右，超过 50% 的不多 (?)；在现生物礁中，生物格架亦不过 50% 左右 (冯增昭, 1989)。

通常来说，格架是一种由硬质材料拼合形成的具有支撑和保护作用的框架。对应的英文名词为 Framework，美国传统词典释义为：A structure for supporting or enclosing something else, especially a skeletal support used as the basis for something being constructed. 意为：支撑或包围其他物体的结构，尤指用作建筑物基础的支撑框架。可以说，支撑和保护作用是格架产生的基础和存在的依据。有人把格架等同于骨架。实际上在英语里，格架和骨架具有明确的区别，格架为 Framework，而骨架为 Skeleton；在功能上，骨架主要起支撑作用，而格架则作为一个整体不但起支撑作用，还可以对架构内的物体起包容、保护作用。可以以一个图式对比来理解格架与骨架的不同 (图 1-3)。



图 1-2 多种骨骼生物共同构成的生物格架

A—塔里木盆地巴楚奥陶系一间房组，托盘类生物礁；B—现代生物礁（Peter A, 1991）

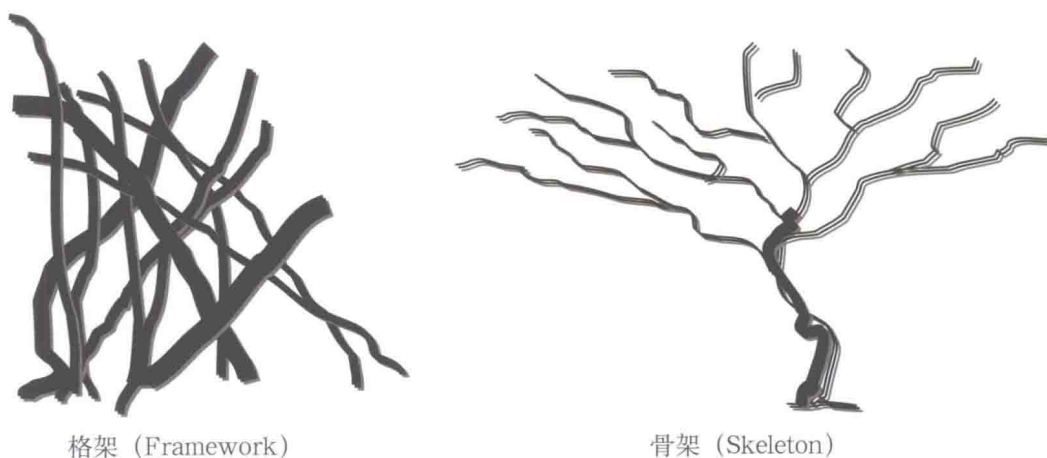


图 1-3 格架和骨架的区别示意图

生物格架也应该具有一般格架相应的构成和作用，因此可以定义：生物格架是由不同（主要是不同）生物骨骼通过粘结作用形成的具有一定孔隙空间的生物结构。该定义中的生物主要是宏观骨骼生物，因为只有骨骼生物才能形成具有一定强度的支架。生物骨骼之间的连接主要是由微体菌藻类分泌的钙质粘结形成（Camoin, Montaggioni, 1994），这种粘结实际上在生物活体生存期间就已经形成，如现今珊瑚礁之珊瑚与珊瑚或珊瑚与其他骨骼生物之间的连接。另一种粘结作用是在准同生期或成岩以后，即在浅埋藏海水或地下水作用下在生物钙质骨骼之间形成的针状或亮晶方解石胶结。生物格架的存在使拥有生物格架的碳酸盐沉积体具备了良好的孔隙空间，可以成为地下水或石油、天然气等流体矿产很好的储集体或容矿空间。

微体菌藻类“格架”（习惯上称之为“藻格架”）是不是生物格架？从生物格架的定义来看，细菌或微体藻类特别是远古时代的菌藻类一般没有钙质骨骼，甚至没有

真正的细胞核，不具备形成骨骼支撑的条件；这些微体菌藻类多以薄膜状、毯状、簇状或基团状群体出现，在岩层中多以“藻纹层”、“藻斑块”、“雪花状构造”、“格架状构造”等特殊构造存在，这些纹层、斑块和格架状构造只是不同形态的菌藻席在同生期腐烂后形成的群体性体腔铸模孔。可以明确地认为，体腔铸模孔不是生物格架孔，因此由菌藻席形成的类似“格架”的构造，也不是生物格架构造。但是这种类似格架的构造也具有真正生物格架所具有的孔隙空间（体腔铸模孔），可以是很好的油气储集空间（图 1-4）。

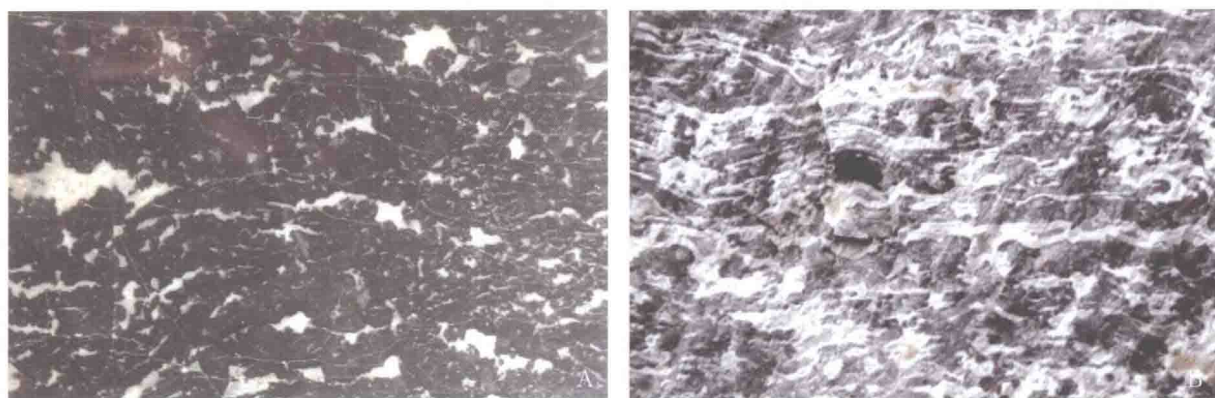


图 1-4 藻格架

非真实生物格架，为藻席腐烂形成的体腔铸模孔

A—雪花状构造；B—藻纹层，皆为白云石充填或半充填，四川震旦系

生物礁：礁，本来是海水里突出的岩石，影响船舶航行的障碍，但是自达尔文时代发现一些礁具有生物学特性之后，很快便引起了众多生物学家、生态学家、地质学家的注意和广泛研究，生物礁概念也自此兴起。由于研究者不同，研究对象的差别，研究目的不同使得人们对生物礁的认识和定义千差万别，众说纷纭。到目前为止，关于生物礁的术语有：生物礁 (Reef, 别林斯高津, 1831; 达尔文, 1837)、生物丘 (Bioherm, Cumings, Shrock, 1928)、生物丘块 (米哈鲁巴, 1974)、地层礁、生态礁 (Dunham, 1970)、碳酸盐建隆 (Buildup, Stanton, 1967; Heckel, 1974)、有机礁 (Organic reef, 库兹涅佐夫, 1978)、礁丘 (Reef-mound, James, 1980, 1992)、真礁 (True reef, Flügel, 2002)，等等。

对于礁的定义一般认为应包括造礁生物、形态或抗浪性以及对外环境的影响几个方面。如 H. A. Lowenstam (1951) 和 N. D. Newll 等 (1953) 对于生物礁的定义为：生物礁是由造架生物和联结生物组成，它们有足够的力量形成坚固的抗浪构造。1967 年 Stanton 提出碳酸盐建隆的观点，认为碳酸盐建隆包括三个方面的内容：（1）由骨骼生