

# 碳酸盐岩有机岩石学

——显微组分特征、成因、  
演化及其与油气关系

钟宁宁 秦 勇 著

科学出版社

京)

44

# 碳酸盐岩有机岩石学

——显微组分特征、成因、演化  
及其与油气关系

钟宁宁 秦 勇 著

科学出版社

1 9 9 5

(京)新登字 092 号

## 内 容 简 介

本书是“八五”国家重点科技攻关项目的科研成果。作者采用光学显微镜、电子显微镜等多种微区、微束分析方法,由宏观而及微观-亚微观,并结合有关可溶有机质组成分布及演化特征研究的有机地球化学方法,以显微组分成因演化为线索,从不同的物质层次上探索碳酸盐岩有机质的分布特征、生烃演化历史、碳酸盐岩油气生成机制的特殊性以及客观评价碳酸盐岩有机成熟作用及生烃潜力的有机岩石学标志和参数等一系列问题。

在对碳酸盐岩显微组分特征全面了解和显微组分概念沿革和厘定的基础上,建立了碳酸盐岩显微组分分类及其描述体系;深入论述了海相镜质组成因、晶包作用与晶析作用对有机质保存与破坏的对立统一关系、动物有机碎屑组分光性特征以及包裹有机体的微量和微区分析方法等问题;结合实例着重从煤的比较研究中认识碳酸盐岩有机质演化的特殊性及其生烃演化历程。

本书可供从事化石燃料(石油、天然气、煤)勘探与开发和沉积学、地球化学的科研、生产人员以及有关院校师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩有机岩石学/钟宁宁,秦勇著. —北京:  
科学出版社,1995

ISBN 7-03-004650-1

I. 碳… I. ①钟… ②秦… III. 碳酸盐岩-  
有机质含量-研究 IV. P588.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 17355 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1995 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16  
1995 年 11 月第一次印刷 印张: 13 1/4 插页: 8  
印数: 1—570 字数: 290 000

定 价: 38.00 元

# 前 言

碳酸盐岩的分布面积占全球沉积岩分布面积的 20%，我国碳酸盐岩的分布面积达三百万平方公里，累计地层厚度逾万米。自四川盆地碳酸盐岩成因油气藏发现之后，经多年沉寂，近年相继在塔里木盆地和鄂尔多斯盆地发现了大油气田，显示了在碳酸盐岩中找油找气大有可为，重新唤起了人们对碳酸盐岩的注意。但碳酸盐岩生油仍是当前油气成因研究中尚未解决的重要问题之一。

在我国，目前发现的绝大部分含油气盆地都是陆相碎屑岩沉积盆地，石油地质工作者数十年来日积月累形成了具有中国特色的“陆相生油理论”。比较起来，碳酸盐岩作为生油岩的研究深度和广度，尚难以与之相提并论。我国的海相碳酸盐岩具有成熟度偏高、有机质丰度低的特点，海相碳酸盐岩，尤其是下古生界海相碳酸盐岩的有机显微组分特征、成熟作用评价是长期困扰人们的问题之一。以往有机岩石学研究主要集中在有机显微组分特征、类型和有机质热演化指标两个方面，基本上停留在利用干酪根富集物的有机类型分析水平和以干酪根类型为基础的“物质相”体系有机相研究水平。对有机质赋存状态、成熟作用的特殊性依然认识不清。

著名学者傅家谟等(1989)的《碳酸盐岩有机地球化学》和郝石生等(1990,1993)的《华北北部中—上元古界石油地质学》、《碳酸盐岩油气生成》的出版，把碳酸盐岩油气地球化学的研究推进了一大步。海相碳酸盐岩的成烃潜力与成烃机制是碳酸盐岩油气生成理论研究的核心问题。解决问题的有效途径之一是以“看得见”(有机岩石学研究)和“摸得着”(有机地球化学研究)两种手段双管齐下，互相补充，由宏观而及微观、亚微观再及分子世界，从不同物质层次认识碳酸盐岩有机质的赋存状态、组成特征、演化规律及油气生成。如果说碳酸盐岩有机地球化学研究是相对落后于碎屑岩生油岩的地球化学研究的话，可以说，碳酸盐岩系统有机岩石学研究在国内外都基本上处于空白状态。

本书是“八五”国家重点科技攻关专题“85-102-02-07-03”的科研成果。专题研究选择了我国北方塔里木盆地、鄂尔多斯盆地和华北盆地(东部)的古生界海相碳酸盐岩为重点剖析对象，并选择南方浙赣边界的海相奥陶系样品作为对比。采用光学显微镜、电子显微镜等多种微区、微束分析技术方法，由宏观而及微观-亚微观、并结合可溶有机质组成分布及演化特征研究的有机地球化学方法，以显微组分成因演化为线索，从不同的物质层次上探索碳酸盐岩有机质的分布特征、生烃演化历史、碳酸盐岩油气生成机制特殊性以及客观评价碳酸盐岩有机成熟作用及生烃潜力的有机岩石学标志和参数等一系列问题。

国家科技攻关专题由钟宁宁、秦勇和王士俊负责。参加专题研究工作的还有徐中一、张友生、朱俊章、李淑琴、秦胜飞、陈奇和金法礼等。成果报告由钟宁宁、秦勇执笔完成。

本书是迄今为止国内外第一部碳酸盐岩有机岩石学方面的专著。作者仅以其为抛砖引玉之作，希望对建立起碳酸盐岩有机岩石学的理论体系和探索适合碳酸盐岩研究的有

机岩石学方法有一定的推动作用。全书共九章,插图 131 幅,附表 67 张,图版 15 幅(共 219 张照片),主要包括以下几个方面内容:

(1) 在全面比较有机岩石学研究方法的基础上,从中筛选出适合于碳酸盐岩有机岩石学研究的以包裹有机体成分分析、动物有机碎屑组分的分离鉴定、干酪根大分子结构单元分析及其相应的微区、微束技术为核心的分析技术,为碳酸盐岩有机岩石学研究奠定方法学基础。

(2) 在对碳酸盐岩显微组分特征全面了解和显微组分概念沿革与厘定的基础上,建立了碳酸盐岩显微组分分类及其描述体系。划分出内源类、外源类和次生类显微组分,把碳酸盐岩的无机矿物成分和显微组分作为碳酸盐岩岩石组构的统一整体加以考虑,使显微组分分类具有强烈的成因色彩,既突出了碳酸盐岩有机组分和无机组分的生成联系,更突出了碳酸盐岩区别于碎屑岩的特殊性。首次确立了海相镜质组、动物有机碎屑组的成因分类位置,并详细描述了这两组显微组分的鉴别特征及其他显微组分的比较特征。

(3) 从宏观、微观-亚微观和可抽提三个层次,讨论了碳酸盐岩有机质空间分布特征与矿物晶体的相互关系、有机质的物质组成、相态及残余生物结构等赋存特征。指出了四“类”十一“型”有机质的赋存形式及相应的观察尺度。从显微组分分布角度认识了碳酸盐岩有机质细而分散的特点,剖析了亚显微有机颗粒分布对有机质丰度评价的影响。不仅为游离沥青、包裹沥青及束缚沥青的萃取以及化学组成研究,也为全面了解可溶有机质在碳酸盐岩中的性状提供了科学依据。

(4) 从生源和沉积成岩作用等方面入手,探讨了碳酸盐岩显微组分的成因。着重论述了海洋环境中的腐殖化作用与海相镜质组成因问题,根据显微组分分析、碳同位素组成、H/C 组成等证实了海洋腐殖物质与海相镜质组的因果关系,指出低等水生生物物质经过腐殖化作用或腐泥化作用可以转变成两类性质完全不同的地质聚合物,从而构成腐殖型和腐泥型显微组分的共同先质。对海相镜质组的认识使碳酸盐岩有机成熟作用评价有了可靠的物质基础。把海洋腐殖物质形成海相镜质组的凝胶化作用特征与海相碳酸盐岩特殊的沉积成岩环境联系起来,提出相对欠压实的成岩环境下的凝胶化作用可能是碳酸盐岩有机质“迟熟”的最初原因。此外,根据表面物理学原理,讨论了碳酸盐矿物晶包作用和晶析作用对有机质保存与破坏的对立统一关系。

(5) 着重研究了碳酸盐岩中具有特殊意义的显微组分——包裹有机体。介绍流体烃类包裹体的荧光显微探针、傅里叶红外显微探针和爆裂-气相色谱联机及爆裂-气相色谱-质谱分析等微区、微量分析方法。

(6) 在系统研究以笔石表皮体为代表的动物有机碎屑组分反射光性和牙形刺的荧光光性的基础之上,从反射率色散效应、反射率各向异性及热演化等方面,证实了笔石表皮体与镜质组、固体沥青的可比性。揭示了牙形刺荧光性与镜质组反射率的相关关系。肯定了动物有机碎屑组分光性参数作为有机成熟作用参数的可能性,并且从 QK1 井、L1 井和浙赣边区下古生界的实例研究中证实了动物有机碎屑组分光性参数表征有机成熟度的合理性和适用性。

(7) 从与煤这种研究程度较高的典型陆相有机物的比较研究中,充分认识了碳酸盐岩有机质演化的特殊性。从对显微组分演化特征相互比较的广度上,研究了碳酸盐岩有机质的差异演化规律;在干酪根大分子结构单元演化特征的深度之上,探讨了碳酸盐岩有机

质演化的实质。广泛运用与透射电子显微术和 X 射线衍射有关的微区微束分析技术,研究了碳酸盐岩显微组分的化学结构(尤其是碳骨架结构)。全面分析了碳酸盐岩有机质演化的阶段性和“迟滞”性,指出有机质演化“迟滞”的实质乃是大分子结构整体秩序性的发展相对缓慢的结果。根据碳酸盐岩有机质成熟作用的阶跃特性,采用多种参数,划分出有机质演化的五个阶段。基于比较研究和对碳酸盐岩有机质演化特殊性的认识,讨论表征碳酸盐岩本身有机质成熟作用的标准尺度以及各种显微组分光性参数的相互关系。

(8) 以华北石炭系碳酸盐岩为例,比较分析不同演化阶段全沥青、游离沥青、束缚沥青、包裹沥青组成变化及相互转化关系,进而研究碳酸盐岩有机质的生烃演化历程,揭示出碳酸盐岩在有机质成烃演化方面有别于其他岩类的特殊性。

本书前言、第三章、第四章、第五章、第六章由钟宁宁执笔,第一章、第二章、第七章、第八章、第九章由秦勇执笔。

金奎励教授、黄第藩教授、任德貽教授、张爱云教授、王铁冠教授、程克明教授对本书的研究工作给予了多方面的指导和帮助,并审阅了本书初稿,作者从中得到了鼓励与支持。

王培荣教授对本书实验分析工作给予了热情帮助。

黄光辉讲师在气相色谱-质谱资料解释方面给予了帮助。

曹作华工程师、穆惠珍工程师誊抄了作者手稿,为本书初稿做了细致的校对工作,尤其是默默无闻主持家政,作出了巨大牺牲,使作者得以全身心投入本书的研究和写作。

承蒙韩秀菊小姐清绘了本书全部图件。

本书的研究和实验分析工作得到了江汉石油学院测试中心、中国矿业大学地质系、北京大学化学系红外光谱室和电镜室的大力帮助。

在此,作者表示崇高的敬意和深切谢忱。

# 目 录

## 前言

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| <b>第一章 碳酸盐岩有机岩石学研究方法</b> .....   | <b>1</b>  |
| 第一节 常规有机岩石学研究方法.....             | 2         |
| 一、样品处理与制备 .....                  | 2         |
| 二、光学显微镜方法 .....                  | 2         |
| 三、显微镜光度术 .....                   | 2         |
| 第二节 显微组分生物先质的古生物学分析.....         | 3         |
| 一、显微组分生物先质分析方法及比较 .....          | 3         |
| 二、动物有机碎屑的分离与鉴定 .....             | 5         |
| 第三节 包裹体矿物学研究及其有机成分和化学结构分析方法..... | 7         |
| 一、包裹体矿物学研究方法 .....               | 7         |
| 二、包裹体的有机成分及化学结构分析方法 .....        | 8         |
| 第四节 微区及微束分析方法 .....              | 10        |
| 一、傅里叶红外显微探针 .....                | 10        |
| 二、透射电子显微术 .....                  | 11        |
| 三、选区电子衍射 .....                   | 12        |
| 四、其它微区微束方法 .....                 | 13        |
| <b>第二章 碳酸盐岩显微组分</b> .....        | <b>14</b> |
| 第一节 显微组分分类 .....                 | 14        |
| 一、显微组分概念的沿革与厘定 .....             | 14        |
| 二、分类与描述系统 .....                  | 15        |
| 第二节 外源显微组分、腐泥组和次生组的描述与界定.....    | 18        |
| 一、外源显微组分 .....                   | 18        |
| 二、腐泥组 .....                      | 19        |
| 三、次生组 .....                      | 21        |
| 第三节 海相镜质组的描述与界定 .....            | 26        |
| 一、海相镜质组分定义 .....                 | 26        |
| 二、海相镜质组一般特征 .....                | 26        |
| 三、海相镜质组镜下特征分述 .....              | 28        |
| 第四节 动物有机碎屑组的描述与界定 .....          | 30        |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 一、动物有机碎屑体定义·····                       | 30        |
| 二、笔石表皮体·····                           | 31        |
| 三、几丁虫壳壁体·····                          | 32        |
| 四、其它动物有机碎屑显微组分·····                    | 33        |
| <b>第三章 碳酸盐岩有机质赋存形式及其组成</b> ·····       | <b>34</b> |
| 第一节 有机质的赋存形式·····                      | 34        |
| 一、包裹类有机质·····                          | 35        |
| 二、充填类有机质·····                          | 36        |
| 三、碎屑类有机质·····                          | 36        |
| 四、无定形类有机质·····                         | 37        |
| 第二节 占据宏观空间的有机质及其物态组成·····              | 38        |
| 第三节 显微镜下有机质的分布特征及显微组分组成·····           | 39        |
| 一、显微组分分布的特殊性及其影响·····                  | 40        |
| 二、显微组分含量“亏损”有机质的实质·····                | 41        |
| 第四节 可抽提有机质在岩石中的性状及其化学组成·····           | 44        |
| 一、可溶有机质的分布·····                        | 44        |
| 二、可溶有机质的总体化学组成·····                    | 46        |
| <b>第四章 碳酸盐岩显微组分成因及影响其分布的地质因素</b> ····· | <b>50</b> |
| 第一节 显微组分对生物先质的继承性·····                 | 50        |
| 一、显微组分对生物物质的选择性继承·····                 | 50        |
| 二、生物进化对显微组分层域分布的影响·····                | 54        |
| 三、古生物生态环境、生物相对显微组分地域分布的影响·····         | 56        |
| 第二节 沉积作用对显微组分形成与聚积的影响·····             | 56        |
| 一、沉积环境中降解作用与缩聚作用的关系·····               | 57        |
| 二、外源有机碎屑的搬运与沉积作用·····                  | 57        |
| 第三节 海洋环境中的腐殖化作用及海相镜质质成因·····           | 58        |
| 一、海相碳酸盐岩中的类镜质组问题·····                  | 58        |
| 二、海洋环境腐殖化作用特征·····                     | 59        |
| 三、海相镜质质成因·····                         | 61        |
| 第四节 成岩作用对显微组分的影响·····                  | 65        |
| 一、海洋腐殖物质的凝胶化作用·····                    | 65        |
| 二、成岩作用对有机质的保护·····                     | 67        |
| 三、重结晶作用对有机质的影响——晶包作用与晶析作用·····         | 68        |
| <b>第五章 碳酸盐岩流体烃类包裹体</b> ·····           | <b>72</b> |
| 第一节 流体烃类包裹体的表观物理性状·····                | 72        |
| 一、流体烃类包裹体的大小与形态·····                   | 72        |
| 二、流体烃类包裹体的相比率·····                     | 73        |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| 三、流体烃类包裹体的均化温度 .....                    | 77         |
| 第二节 流体烃类包裹体的光学显微探针分析 .....              | 78         |
| 一、荧光显微探针分析 .....                        | 78         |
| 二、傅里叶红外显微探针分析 .....                     | 85         |
| 第三节 流体烃类包裹体爆裂-气相色谱联机及爆裂-气相色谱-质谱分析 ..... | 94         |
| 一、流体烃类包裹体中的饱和烃 .....                    | 94         |
| 二、流体烃类包裹体中的常规多环芳烃 .....                 | 106        |
| 三、流体烃类包裹体中的含杂原子芳烃 .....                 | 111        |
| <b>第六章 动物有机碎屑组分的光学性质及其石油地质意义 .....</b>  | <b>115</b> |
| 第一节 动物有机碎屑组分的反射光光性 .....                | 115        |
| 一、笔石表皮体的反射力 .....                       | 115        |
| 二、笔石表皮体反射率与其光学结构的关系 .....               | 116        |
| 三、笔石表皮体反射率色散效应 .....                    | 118        |
| 四、切面方向对笔石表皮体反射率的影响——反射率各向异性 .....       | 121        |
| 五、其他动物有机碎屑显微组分的反射光性 .....               | 122        |
| 第二节 动物有机碎屑组分的荧光性 .....                  | 122        |
| 一、样品选择和荧光光性测量 .....                     | 123        |
| 二、牙形刺的荧光色度特征 .....                      | 124        |
| 三、牙形刺的荧光强度特征 .....                      | 124        |
| 第三节 动物有机碎屑组分光性参数作为有机质成熟度参数的可能性 .....    | 125        |
| 一、动物有机碎屑组分光性与镜质组、沥青体的可比性 .....          | 126        |
| 二、动物有机碎屑组分光性参数随深度的变化规律 .....            | 127        |
| 三、动物有机碎屑组分光性参数的阶跃特征 .....               | 129        |
| <b>第七章 碳酸盐岩有机质演化的特殊性 .....</b>          | <b>130</b> |
| 第一节 显微组分的差异演化 .....                     | 130        |
| 一、显微组分反射率的差异演化 .....                    | 130        |
| 二、显微组分荧光性的差异演化 .....                    | 133        |
| 三、海相镜质组与基质腐泥体之间差异演化的原因 .....            | 134        |
| 第二节 干酪根基本结构单元演化的阶跃历程 .....              | 135        |
| 一、富海相镜质组碳酸盐岩干酪根的基本结构单元 .....            | 135        |
| 二、基本结构单元演化的阶跃性 .....                    | 137        |
| 三、基本结构单元非均质性的发展 .....                   | 140        |
| 四、基本结构单元秩序性的演化 .....                    | 143        |
| 第三节 有机成熟作用的迟滞性及阶段性 .....                | 145        |
| 一、迟滞性的参照系统及显现特征 .....                   | 145        |
| 二、迟滞效应的实质 .....                         | 149        |
| 三、碳酸盐岩显微组分成熟作用阶跃与煤化作用跃变的对比 .....        | 153        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>第八章 碳酸盐岩有机质成熟作用评价的光性标志</b>  | <b>156</b> |
| 第一节 光性标志选择                     | 156        |
| 第二节 有机成熟度光性参数图版                | 157        |
| 一、换算图版及方程                      | 157        |
| 二、换算方程的显著性检验                   | 161        |
| 三、演化阶段划分的光性参数综合图解              | 162        |
| 第三节 光性标志实用性的设例分析               | 164        |
| 一、鄂尔多斯盆地东部 Y9 井奥陶系有机质成熟度及相关问题  | 164        |
| 二、鄂尔多斯盆地西部 L1 井奥陶系海相碳酸盐岩有机质成熟度 | 167        |
| 三、浙江常山黄泥塘下奥陶统宁国组有机质成熟度换算       | 167        |
| <b>第九章 碳酸盐岩显微组分的成烃演化</b>       | <b>168</b> |
| 第一节 石油地质基本特征                   | 168        |
| 一、沉积环境及碳酸盐岩微相                  | 168        |
| 二、显微组分生源分析                     | 170        |
| 第二节 烃类生成与释放                    | 172        |
| 一、沥青转化率和烃转化率                   | 173        |
| 二、沥青族组成的演化规律                   | 175        |
| 三、各类沥青的成因及相互转变                 | 178        |
| 第三节 成烃演化模式                     | 179        |
| 一、成烃演化阶段性                      | 179        |
| 二、成烃演化模式                       | 182        |
| <b>参考文献</b>                    | <b>184</b> |
| <b>图版说明</b>                    | <b>191</b> |

# ORGANIC PETROLOGY OF CARBONATE ROCKS

Characteristics, Origin and Evolution of Macerals  
with Respects to Hydrocarbon Generation

## CONTENTS

### Foreword

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Chapter 1 Research Methods of Organic Petrology Peculiar to Carbonate Rock</b>             | <b>1</b>  |
| 1.1 Conventional methods of organic petrology                                                 | 2         |
| 1.1.1 sample preparation                                                                      | 2         |
| 1.1.2 microscopy                                                                              | 2         |
| 1.1.3 microscope photometry                                                                   | 2         |
| 1.2 Palaeontological analyses of bio-precursor of the macerals                                | 3         |
| 1.2.1 analyses methods of bio-precursor of the macerals                                       | 3         |
| 1.2.2 isolation and examination of organozooeclastics                                         | 5         |
| 1.3 Mineralogy, analyses of organic constituents and chemical structure of the inclusions     | 7         |
| 1.3.1 mineralogy of the inclusions                                                            | 7         |
| 1.3.2 analyses methods of constituents and structures of the organic matters in the inclusion | 8         |
| 1.4 Microarea and microbeam analyses                                                          | 10        |
| 1.4.1 FT-IR microprobe                                                                        | 10        |
| 1.4.2 transmission electronic microscopy                                                      | 11        |
| 1.4.3 selected area diffraction                                                               | 12        |
| 1.4.4 other methods of microarea and microbeam analyses                                       | 13        |
| <b>Chapter 2 Macerals in Carbonate Rocks</b>                                                  | <b>14</b> |
| 2.1 Classification of macerals                                                                | 14        |
| 2.1.1 concept of the maceral; history and definition                                          | 14        |
| 2.1.2 system of the classification and description                                            | 15        |
| 2.2 Description and definition of the allogenic macerals, sapropelinite and secondary groups  | 18        |
| 2.2.1 allogenic macerals                                                                      | 18        |
| 2.2.2 sapropelinite group                                                                     | 19        |
| 2.2.3 secondary group                                                                         | 21        |

|                                                                                                                |                                                                                                     |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3                                                                                                            | Description and definition of the marine vitrinite group .....                                      | 26        |
| 2.3.1                                                                                                          | definition of the marine vitrinite .....                                                            | 26        |
| 2.3.2                                                                                                          | general features of the marine vitrinites .....                                                     | 26        |
| 2.3.3                                                                                                          | characteristics of individual marine vitrinite maceral under microscopy .....                       | 28        |
| 2.4                                                                                                            | Description and definition of the organozooecialite group .....                                     | 30        |
| 2.4.1                                                                                                          | definition of the organozooecialite .....                                                           | 30        |
| 2.4.2                                                                                                          | fragments of graptolites .....                                                                      | 31        |
| 2.4.3                                                                                                          | fragments of chitinozoa .....                                                                       | 32        |
| 2.4.4                                                                                                          | other organozooecialite-derived macerals .....                                                      | 33        |
| <b>Chapter 3 Occurrences and the Composition of the Organic matters in Carbonate Rocks .....</b>               |                                                                                                     | <b>34</b> |
| 3.1                                                                                                            | Existing state of the organic matters .....                                                         | 34        |
| 3.1.1                                                                                                          | included .....                                                                                      | 35        |
| 3.1.2                                                                                                          | filled .....                                                                                        | 36        |
| 3.1.3                                                                                                          | clastic .....                                                                                       | 36        |
| 3.1.4                                                                                                          | amorphous .....                                                                                     | 37        |
| 3.2                                                                                                            | Organic matters in macroscopic scale and their state .....                                          | 38        |
| 3.3                                                                                                            | Microscopic occurrences and maceral composition of the organic matters .....                        | 39        |
| 3.3.1                                                                                                          | maceral distribution and its effects peculiar to carbonate rocks .....                              | 40        |
| 3.3.2                                                                                                          | reasons for the organic matter "loses" in the maceral content .....                                 | 41        |
| 3.4                                                                                                            | Properties and compositions of extractable organic matters in carbonate rocks .....                 | 44        |
| 3.4.1                                                                                                          | occurrences of EOM .....                                                                            | 44        |
| 3.4.2                                                                                                          | Bulk chemical composition of EOM .....                                                              | 46        |
| <b>Chapter 4 Origin of the Macerals and the Geological Factors Impact on the Occurrences of Macerals .....</b> |                                                                                                     | <b>50</b> |
| 4.1                                                                                                            | Inheritance of the macerals from the bio-precursors .....                                           | 50        |
| 4.1.1                                                                                                          | selected inheritance of the macerals from the biomasses .....                                       | 50        |
| 4.1.2                                                                                                          | biogenic derivation impact on the profile distributions of the macerals .....                       | 54        |
| 4.1.3                                                                                                          | ecologic environments and biologic facies impact on the lateral distributions of the macerals ..... | 56        |
| 4.2                                                                                                            | Sedimentation influenced on the formation and accumulation of the macerals .....                    | 56        |
| 4.2.1                                                                                                          | relationship between the degradation and polymerization in the sedimentary environment .....        | 57        |
| 4.2.2                                                                                                          | transportation and sedimentation of the allochthonous organic clastics .....                        | 57        |
| 4.3                                                                                                            | Humification in oceanic environments and the origin of the marine vitrinites .....                  | 58        |
| 4.3.1                                                                                                          | problems of vitrinite-like maceral in marine carbonate rocks .....                                  | 58        |
| 4.3.2                                                                                                          | characteristics of humification in oceanic environments .....                                       | 59        |
| 4.3.3                                                                                                          | origin of the marine vitrinites .....                                                               | 61        |
| 4.4                                                                                                            | Diagenesis effects on the macerals .....                                                            | 65        |

|                  |                                                                                                                                  |            |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4. 4. 1          | gelification of the ocean humic matters .....                                                                                    | 65         |
| 4. 4. 2          | protective action of diagenesis on the organic matters .....                                                                     | 67         |
| 4. 4. 3          | recrystallization effects on the organic matter — the including and expelling of the<br>crystallization .....                    | 68         |
| <b>Chapter 5</b> | <b>Fluid Hydrocarbons Inclusions of Carbonate Rocks .....</b>                                                                    | <b>72</b>  |
| 5. 1             | Apparent physical properties of the fluid hydrocarbons inclusions .....                                                          | 72         |
| 5. 1. 1          | size and shape of the fluid hydrocarbon inclusion .....                                                                          | 72         |
| 5. 1. 2          | phases ratio of the fluid hydrocarbon inclusion .....                                                                            | 73         |
| 5. 1. 3          | homogenization temperatures of the fluid hydrocarbon inclusion .....                                                             | 77         |
| 5. 2             | Optical microprobe analysis of the fluid hydrocarbon inclusion .....                                                             | 78         |
| 5. 2. 1          | fluorescence microprobe .....                                                                                                    | 78         |
| 5. 2. 2          | FT-IR microprobe .....                                                                                                           | 85         |
| 5. 3             | Detection of fluid hydrocarbon inclusion by the decrepitation-GC and decrepi-<br>tation-GC-MS methods .....                      | 94         |
| 5. 3. 1          | saturated hydrocarbons in the fluid hydrocarbon inclusions .....                                                                 | 94         |
| 5. 3. 2          | conventional polycyclic aromatic hydrocarbons in the fluid hydrocarbons inclusions<br>.....                                      | 106        |
| 5. 3. 3          | heteroaromatic compounds in the fluid hydrocarbons inclusions .....                                                              | 111        |
| <b>Chapter 6</b> | <b>Optical Properties of the Organozooclastinite Macerals and Their Signifi-<br/>cance of Petroleum Geology .....</b>            | <b>115</b> |
| 6. 1             | Reflectivities of the organozooclastic-derived macerals .....                                                                    | 115        |
| 6. 1. 1          | reflectivity of the graptolite fragments .....                                                                                   | 115        |
| 6. 1. 2          | reflectances of the graptolite fragment correlated to the optical structures .....                                               | 116        |
| 6. 1. 3          | reflectance dispersion effects of the graptolite fragments .....                                                                 | 118        |
| 6. 1. 4          | effect of section orientation on the reflectance of graptolite fragments — anisotropy<br>of reflectance .....                    | 121        |
| 6. 1. 5          | reflectivities of other organozooclastic-derived macerals .....                                                                  | 122        |
| 6. 2             | Fluorescence of organozooclastic-derived macerals .....                                                                          | 122        |
| 6. 2. 1          | sampling and fluorescence measurement .....                                                                                      | 123        |
| 6. 2. 2          | fluorescence chromaticities of conodonts .....                                                                                   | 124        |
| 6. 2. 3          | fluorescence intensities of conodonts .....                                                                                      | 124        |
| 6. 3             | Possibilities of the optical parameters of the organozooclastic-derived macerals<br>as organic maturation indicators .....       | 125        |
| 6. 3. 1          | comparabilities between the organozooclastic-derived macerals and the vitrinites<br>and bitumens in the optical properties ..... | 126        |
| 6. 3. 2          | role of the optical properties evolution with the burial depth of the organozo-<br>clastic-derived macerals .....                | 127        |
| 6. 3. 3          | step changes of the optical parameters of the organozooclastic-derived macerals<br>.....                                         | 129        |
| <b>Chapter 7</b> | <b>Specificities of the Organic Maturation of Carbonate Rocks .....</b>                                                          | <b>130</b> |
| 7. 1             | Differential maturation of the macerals .....                                                                                    | 130        |
| 7. 1. 1          | differential evolution of the maceral reflectance .....                                                                          | 130        |
| 7. 1. 2          | differential evolution of the maceral fluorescence .....                                                                         | 133        |

|                   |                                                                                                                    |            |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.1.3             | substances of differential maturation between vitrinites and desmoalginite .....                                   | 134        |
| 7.2               | Step change course of basis structural unit evolution of the kerogen .....                                         | 135        |
| 7.2.1             | BSU of the kerogen from the carbonate rocks rich in marine vitrinites .....                                        | 135        |
| 7.2.2             | step changes of BSU evolution .....                                                                                | 137        |
| 7.2.3             | development of heterogeneity of the BSU .....                                                                      | 140        |
| 7.2.4             | evolution of the BSU ordering .....                                                                                | 143        |
| 7.3               | Lagging and the stages of organic maturation .....                                                                 | 145        |
| 7.3.1             | reference system and apparent features of the lagging .....                                                        | 145        |
| 7.3.2             | substances of the lagging effects .....                                                                            | 149        |
| 7.3.3             | comparison between the maturation step change of the carbonate rock macerals<br>and the coalification jump .....   | 153        |
| <b>Chapter 8</b>  | <b>Optical Properties as the Indicators of the Organic Maturation Assessment<br/>of Carbonate Rocks .....</b>      | <b>156</b> |
| 8.1               | Selection of the optical parameters .....                                                                          | 156        |
| 8.2               | Optical parameter graticule of the organic maturation .....                                                        | 157        |
| 8.2.1             | graticules and equations .....                                                                                     | 157        |
| 8.2.2             | significance test of the equations .....                                                                           | 161        |
| 8.2.3             | synthetic graphic interpretations dividing the evolution stages .....                                              | 162        |
| 8.3               | Case studies of the applicability of the optical parameters .....                                                  | 164        |
| 8.3.1             | Ordovician organic maturity and its relative problems of Well Y9 in the east<br>Ordos Basin .....                  | 164        |
| 8.3.2             | maturity of Ordovician marine carbonate rocks of Well L1 in the west Ordos<br>Basin .....                          | 167        |
| 8.3.3             | maturity calculation of the Ningguo Formation of the Lower Ordovician in<br>Huangnitang, Changshan, Zhejiang ..... | 167        |
| <b>Chapter 9</b>  | <b>Hydrocarbons Generation of the Macerals in the Carbonate Rocks .....</b>                                        | <b>168</b> |
| 9.1               | General features of petroleum geology .....                                                                        | 168        |
| 9.1.1             | sedimentary environments and the microfacies of the carbonate rocks .....                                          | 168        |
| 9.1.2             | bio-precursors analysis of the macerals .....                                                                      | 170        |
| 9.2               | Generation and release of hydrocarbons .....                                                                       | 172        |
| 9.2.1             | conversion efficiency of the bitumens and hydrocarbons in the carbonate rocks<br>.....                             | 173        |
| 9.2.2             | evolution processes of bulk of chemical composition of the bitumens .....                                          | 175        |
| 9.2.3             | origins and conversions of the bitumens .....                                                                      | 178        |
| 9.3               | Hydrocarbon generation pattern .....                                                                               | 179        |
| 9.3.1             | stages of the hydrocarbon generation .....                                                                         | 179        |
| 9.3.2             | hydrocarbon generation pattern .....                                                                               | 182        |
| <b>References</b> | .....                                                                                                              | <b>184</b> |
| <b>Plates</b>     | .....                                                                                                              | <b>191</b> |

# 第一章 碳酸盐岩有机岩石学研究方法

有机岩石学起源于煤岩学和孢粉学,其基本研究方法是以全岩、岩屑及干酪根的光片、薄片及薄光片等为对象的常规光学方法。然而,对于碳酸盐岩及前泥盆纪烃源岩而言,由于其有机质赋存形式特殊以及有机成熟度常规光性标志普遍缺乏,故必须采用某些行之有效的非常规研究方法,以全面查明有机质的成因、赋存特征以及成烃演化规律。同时,也需要采用微区及微束分析等先进方法,从分子级水平及亚显微碎屑角度评价有机质分布、聚集及保存的高度非均质性,为深入研究成烃机制提供科学依据。

总而言之,碳酸盐岩有机岩石学研究方法需要承先启后,在尽可能不破坏碳酸盐岩有机质原始产状和有机-无机物之间成因联系的前提下,微观(光学显微术)和亚微观(电子显微术)并重、形态结构分析与成分分析相结合。图 1-1 将其概括为 6 个方面、20 项分析

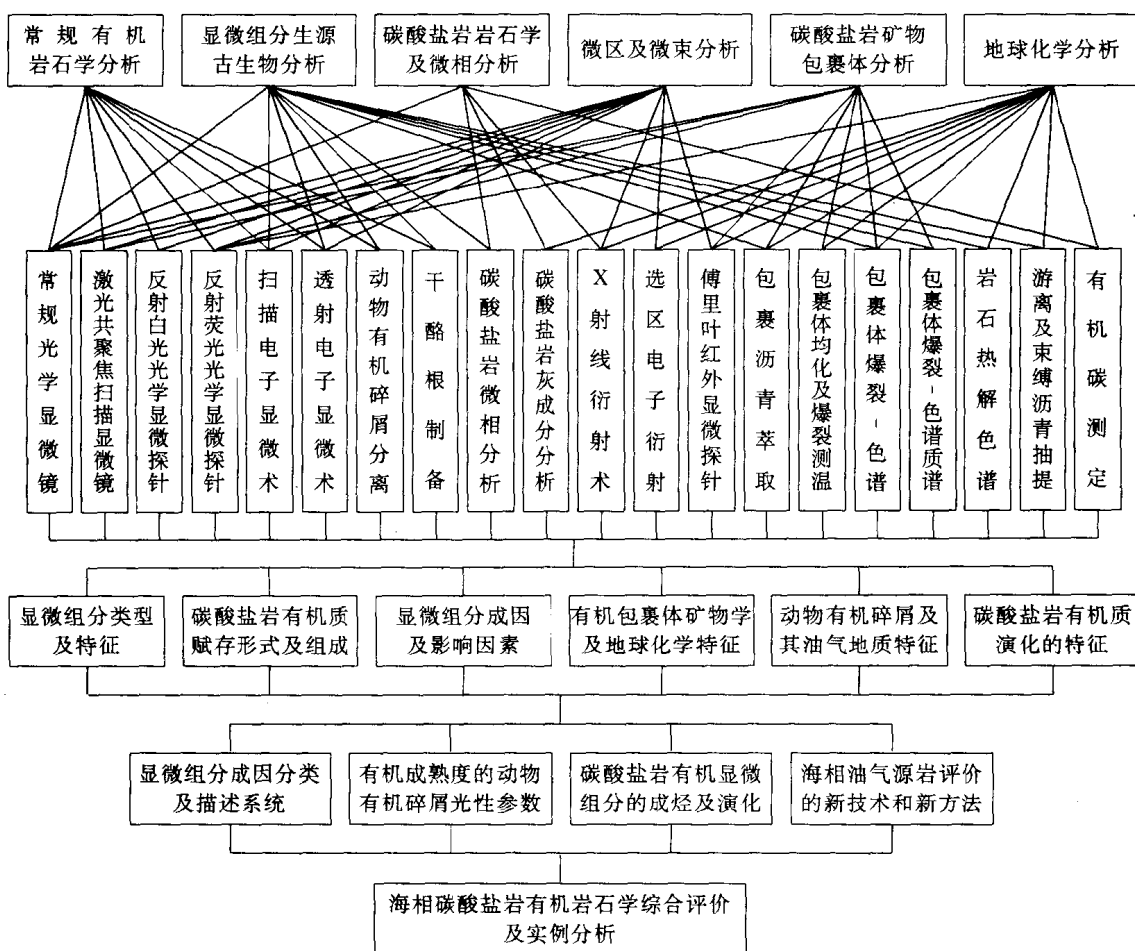


图1-1 碳酸盐岩有机岩石学研究方法及流程示意图

测试技术,工作流程及相应的研究内容和研究目的。

## 第一节 常规有机岩石学研究方法

有机岩石学的常规研究包括对岩石中有机质和无机质的宏观观察及光学显微镜检测,目的是查明有机质的丰度、类型、成熟度和保存、聚集、产状等特征以及它们与无机质产出特征之间的相互关系。

### 一、样品处理与制备

干酪根分离应遵循原石油工业部部颁标准进行。

岩石及干酪根的光片、薄片和薄光片制备应采用无(弱)荧光性不饱和树脂浸渍成型的冷处理方法,以最大限度地保持样品有机质光性和产状的原始性质。

矿物包裹体镜检应采用双面抛光薄光片,以避免由于光面缺陷的光折射现象可能引起的分析误差。

### 二、光学显微镜方法

研究中应采用透反两用偏光光学显微镜,空气或油浸介质,配备非偏或单偏光和不完全交叉偏光或正交偏光系统,自动显微摄影装置。

显微组分定量统计可采用国际标准化组织标准草案(ISO/DIS 7401/3)推荐的点计法,得出显微组分的体积百分含量。由于碳酸岩有机质丰度较低,故对每个样品需统计3~4个光片,有效统计点数大于1000。

### 三、显微镜光度术

显微镜光度术也称为可见光光学探针,用来定量地确定显微组分在可见光区的光学性质。显微镜光度术包括显微吸收光度术及显微反射光度术,两者中又各由显微白光光度术和显微荧光光度术两个部分组成,由此构成了吸收白光光度术、吸收荧光光度术、反射白光光度术及反射荧光光度术四类基本研究方法。

反射白光光度术是根据显微组分对白光光源的反射特征,通过与标准样品反射率的比较来定量测定显微组分反射率的大小。根据中国国家标准 GB6948-86 的规程与要求,测定显微组分的油浸最大反射率(简记  $R_{\max}^{\circ}$ )、油浸最小反射率( $R_{\min}^{\circ}$ )和油浸随机反射率(Random Reflectance,简记  $R_{\text{ran}}^{\circ}$ )三个基本光性参数,并由此换算出双反射率(Bireflectance,简记  $R_b$ )和反射率各向异性指数(Index of Reflectance Anisotropy,简记  $A_R$ )等间接参数。

反射荧光光度术不仅是识别烃源岩中富氢显微组分的重要方法,而且是定量测定有机显微组分在紫外光、蓝光等激发光源作用下发射荧光特征的唯一途径,包括荧光强度(如  $I_{546}$ ,  $I_{\max}$ ,  $I_{650}$ )、荧光波谱(如  $\lambda_{\max}$ ,  $Q$ ,  $Q_{\max}$ )和荧光光变( $A_f^*$ )三类基本参数。荧光强度指示显微组分荧光性的相对强度,荧光波谱指示显微组分荧光的色度特征,荧光光变则显示

显微组分荧光性随光源激发时间加长而兴衰的程度。

反射白光光度术分析的一般条件为:油浸,物镜倍率 32~50 倍,光电倍增管管压 6~12kV,管信号放大倍率 10~100 倍;双标法,滤光片波长 546nm。反射荧光光度术分析的一般条件为:空气介质,物镜倍率 25~50 倍,管压 6~12kV,管信号放大倍率 10~100 倍,超高压汞灯功率 100~200W,紫外光(365nm±)和蓝光(430nm±)激发,发射荧光测定范围 400~700nm;荧光强度测量使用 Jacob 铈酰玻璃标样。

## 第二节 显微组分生物先质的古生物学分析

烃源岩有机质的生物先质由植物和动物两大门类构成。由于高等植物先质仅在中泥盆世以后的沉积物中才可见到,动物有机碎屑则多见于海相烃源岩,因而本书以海相碳酸盐岩及下古生界源岩为主要研究对象,本节着重阐述与显微组分生物先质有关的动物有机碎屑及低等植物先质的鉴定特征及分析流程。

### 一、显微组分生物先质分析方法及比较

显微组分生物先质的鉴别方法有两种,即有机岩石学方法和有机地球化学方法。二者之间的取长补短和相互印证是近年来烃源岩研究的重要进展之一。分析方法及流程见图 1-2。

#### 1. 有机地球化学方法

有机地球化学方法是鉴别沉积有机质生物先质的常用方法,其特点是从生物分子化石指纹的视角,通过特定类别生物先质的特有生物标志物对生物先质进行追踪与鉴定,并在高度降解有机质、可溶有机质及气态产物的生源鉴别方面有着其他方法无法代替的优势。目前,新的生物标志物仍在不断被发现,其生源意义也在不断被加以厘定。然而,由于下列因素的影响,在一定程度上限制了其在生物先质深入研究中的进一步运用。

首先,有机地球化学方法是一种间接的方法,它通过对生物化合物的特定地质衍生物(生物标志物)的识别来分析生物先质,但某些生物标志物的生源意义或者具有多解性,或者其生源意义目前还不甚明确。例如, $C_{29}$ 甾烷不仅可以来源于陆生高等植物,而且可能源自蓝绿藻(Mastumoto *et al.*, 1982)和褐藻(Goodwin, 1973)等低等植物。再如,三环萜烷系列的确切生源意义以及烷基环己烷系列的成因目前尚无定论(包建平, 1994)。

第二,有机地球化学方法是一种平均的方法,其数据一般取决于样品的整体性质,难以兼顾样品中普遍存在的沉积有机质(或显微组分)的高度非均质性,往往无法对特定生物先质在特定显微组分中的贡献做出确切评价。尽管可以采用化学的或物理的分离方法使显微组分相对富集,但过程繁杂,往往难以达到某种类型有机质对纯度的要求,况且目前的分离技术难以将各类显微组分均分离开来。

第三,有机地球化学分子化石指纹技术尽管在可溶有机质及气态烃的生源分析中有着特定优势,但对固态有机质的生源分析则优势不甚明显。尽管通过热解-气相色谱或热解-气相色谱-质谱方法可得出固态有机质的某些生源信息,但目前对有机质热解过程的