

微体古生物学教程

郝诒纯 茅绍智 主编

中国地质大学出版社

1989

9507/62

微体古生物教程

郝治纯 茅绍智 主编

责任编辑 周修高

•

中国地质大学出版社出版

中国地质大学出版社印刷厂印刷发行

开本787×1092 1/16 印张22.75 图版6 插页2 字数500千字

1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

ISBN 7-5625-0176-9/p·54

印数1—1000册 定价：6.30元

前 言

本教程主要为石油地质及勘探专业本科四年制必修课程“微体古生物学”所编,是根据专业培养计划必须具备的教材。本教材以经过十余年教学实践检验的该课程的教学大纲及授课讲义为基础,结合十多年来石油勘探和海洋地质调查工作中积累的微体古生物新资料、新研究成果以及对微体古生物学提出的新要求,进行了较大幅度的补充和修改,对地层意义较大且常见的八大类微体化石作较为详细的介绍,对其余的门类仅作一般性介绍。

由于微体古生物学本身既不是按古生物的系统分类,也不是根据古生物的进化谱系建立的学科,而是由于研究对象体积微小导致研究方法和手段特殊而形成的独立学科,因此本教程在内容安排上根据微体化石的化学成分编排篇、章,当某一类化石的成分不限于一种时,据其主要成分纳入有关的篇、章。为了体现为石油勘探及海洋地质调查服务的宗旨,对各类微体生物的生态及微体化石的古生态尽量根据现有最新资料作较为详细的介绍。近二十年来,微体古生物学发展十分迅速,新资料大量积累,相当丰富,由于教材的篇幅有限,故在每章之后列出“建议阅读的文献”,为有兴趣或需要更深入钻研的读者提供进一步学习的线索和方向。为加强实用性,教程编有附录一:常见化石属的描述(附图)和附录二:重要类别化石的实验室处理方法,以供学生实习课使用。

本教程除适用于石油地质勘探专业外,还适用于地层古生物专业和海洋地质专业,也可供从事油气找矿勘探和海洋调查与勘探的一般地质人员及有关科研人员参考。

本教程在郝诒纯教授总的指导下进行编写,茅绍智负责组织,由中国地质大学古生物、地史教研室(武汉)和地层古生物研究室(北京)参加编著的同志共同完成。全书共分四篇十一章,分工如下:第一篇—郝诒纯;第二篇 第一章—李晓池;第二章—阮培华;第三章—陈亿元、李晓池;第四章—徐钰林;第五章—周修高;第六章—丁梅华;第三篇 第七章—周修高、王玫;第八章—刘金华;第四篇 第九章—童林芬、茅绍智;第十、十一章—茅绍智。

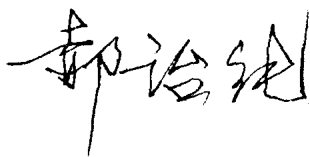
因李晓池出国学习,曾学鲁对第一章的修改提出了宝贵的意见,并亲自修改了部分内容。图件的清绘由肖诗宇、刘金华、王润斋等完成,古生物教研室的其他同志也参加了许多整理工作,在此一并致谢。

本书在初稿完成后,由郝诒纯教授最终审阅、修订。

由于水平有限,经验不足,请读者提出批评指正。

编著者

一九八八年六月



目 录

第一篇 绪 论

一、微体古生物学及其内容与任务	(1)
二、微体古生物学的研究对象——微体化石	(1)
三、微体化石研究史梗概	(2)
四、微体古生物学的应用意义	(6)

第二篇 钙质类微体化石

第一章 有孔虫(Foraminifera) 附丁丁虫(Tintinnids)	(11)
第一节 有孔虫的一般特征	(11)
第二节 有孔虫壳体房室的排列方式	(13)
一、单房室壳	(13)
二、双房室壳	(13)
三、多房室壳	(14)
第三节 有孔虫壳体的构造	(18)
一、壳壁的成分	(18)
二、壳壁微细构造	(19)
三、口孔、隔壁孔和壳壁微孔	(19)
四、壳壁、隔壁的分层性及管系	(22)
第四节 有孔虫的分类	(24)
一、有孔虫分类研究简史	(24)
二、有孔虫分类的依据	(25)
三、各亚目及超科的主要特征	(25)
第五节 有孔虫的演化	(27)
一、演化理论的研究现状	(27)
二、有孔虫系统演化的谱系	(27)
三、某些可能的演化趋势	(28)
第六节 有孔虫的地史分布	(30)
一、寒武纪—泥盆纪 有孔虫发展的初期阶段	(30)
二、石炭纪—二叠纪 有孔虫发展的第一个繁盛时期	(30)
三、三叠纪—侏罗纪 有孔虫的复苏期	(31)
四、白垩纪 有孔虫演化史中第二个繁盛时期	(32)
五、第三纪 有孔虫的第三个繁盛时期	(32)
第七节 有孔虫的生态	(33)
一、有孔虫的一般生态特征	(33)
二、有孔虫生态的控制因素	(35)
三、有孔虫生态研究的地质意义	(41)
建议阅读的文献(有孔虫)	(43)

附 丁丁虫类·····	(43)
一、虫体构造·····	(44)
二、硬体构造·····	(44)
三、生态及化石保存·····	(44)
四、地史分布·····	(45)
五、研究方法·····	(45)
建议阅读的文献(丁丁虫)·····	(47)
第二章 介形虫(Ostracoda)·····	(48)
第一节 概述·····	(48)
第二节 现代介形虫·····	(49)
一、软体·····	(49)
二、繁殖和个体发育·····	(50)
第三节 介形虫的壳·····	(50)
一、壳的成分与构造·····	(50)
二、壳面分区与壳的度量·····	(53)
三、壳的外形、壳饰及双形现象·····	(53)
四、肌痕·····	(56)
五、铰合·····	(57)
六、边缘构造·····	(58)
七、壳的定向·····	(59)
第四节 介形虫的系统分类·····	(59)
一、高肌介目·····	(62)
二、豆石介目·····	(63)
三、古足介目·····	(63)
四、速足介目·····	(63)
五、丽足介目·····	(66)
第五节 介形虫的地质历程及在我国的分布·····	(66)
第六节 介形虫的生态·····	(70)
建议阅读的文献·····	(74)
第三章 早期骨骼化石(即小壳化石)·····	(75)
第一节 概述·····	(75)
第二节 分论·····	(75)
一、软舌螺类·····	(75)
二、单板类·····	(79)
三、腹足类·····	(80)
四、喙壳类·····	(81)
五、分类位置未定的早期骨骼化石·····	(81)
第三节 地史分布、意义和研究方法·····	(87)
建议阅读的文献·····	(89)

第四章 钙质超微化石	(90)
第一节 概述	(90)
第二节 一般特征	(90)
一、现生颗石简介	(90)
二、钙质超微化石的形态与构造	(92)
第三节 分类	(97)
一、德弗兰的分类	(97)
二、哈伊的分类	(97)
三、哈克等的分类	(100)
四、塔彭的分类	(101)
第四节 地史分布和演化	(102)
第五节 钙质超微化石的生态	(107)
第六节 地质应用	(110)
一、生物地层学上的应用	(110)
二、古海洋学上的应用	(116)
建议阅读的文献	(120)
第五章 轮藻及其它钙藻	(122)
第一节 概述	(122)
第二节 轮藻(Charophyta)	(124)
一、现生轮藻简介	(124)
二、轮藻化石的一般特征	(127)
三、分类与演化	(132)
四、地史分布	(144)
五、古生态与埋藏	(146)
第三节 其它钙藻	(147)
一、钙质蓝藻	(147)
二、钙质绿藻	(148)
三、钙质红藻	(150)
建议阅读的文献	(153)
第六章 牙形石(Conodonts)	(155)
第一节 概述	(155)
第二节 牙形石骨骼分子的形态及构造术语	(155)
一、主要形态类型	(155)
二、内部构造	(160)
第三节 自然群集和牙形石动物的骨骼器官	(163)
第四节 牙形石骨骼分子的物理化学性质和有机变质程度	(165)
一、物理性质	(165)
二、化学性质	(165)
三、牙形石骨骼分子的有机变质程度	(165)
第五节 牙形石的古生态学	(166)

一、牙形石动物的生活方式	(166)
二、温度和盐度对牙形石分布的影响	(167)
三、牙形石骨骼分子形态与古生态	(168)
第六节 牙形石动物的生物分类位置	(168)
一、牙索动物假设	(168)
二、牙形石动物假设	(169)
第七节 牙形石分类	(169)
第八节 牙形石动物的地史分布及演化趋向	(171)
建议阅读的文献	(173)

第三篇 硅质类微体化石

第七章 放射虫(Radiolaria)	(174)
第一节 概述	(174)
第二节 现代放射虫	(175)
一、细胞及其内含物	(175)
二、营养与繁殖	(175)
三、骨骼	(177)
四、分布与生态	(180)
第三节 放射虫的分类	(181)
一、分类根据	(181)
二、主要的分类系统	(183)
三、放射虫的主要类群	(184)
第四节 放射虫的地史分布与进化	(189)
一、地史分布	(189)
二、进化	(192)
第五节 放射虫化石在地质学研究中的应用	(193)
一、在古气候研究中的应用	(194)
二、在古地理与沉积相研究中的应用	(194)
三、在大地构造研究中的应用	(195)
建议阅读的文献	(195)
第八章 硅藻与硅鞭藻(Diatoms and Silicoflagellates)	(196)
第一节 硅藻	(196)
一、概述	(196)
二、硅藻的细胞壁	(196)
三、硅藻的分类和化石代表	(199)
四、硅藻的生态和地史分布	(202)
五、硅藻化石的地质意义	(202)
建议阅读的文献	(203)
第二节 硅鞭藻类	(204)
一、概述	(204)

二、硅鞭藻骨架构造	(204)
三、硅鞭藻化石	(205)
四、硅鞭藻的生态及地质意义	(206)
建议阅读的文獻	(208)

第四篇 有机质类微体化石

第九章 孢子及花粉	(209)
第一节 概述	(209)
一、孢子和花粉	(209)
二、孢粉学的内容和研究对象	(209)
第二节 孢粉分析的原理	(209)
第三节 孢子花粉的形态及壁部构造	(212)
一、孢子花粉的外部形态特征	(212)
二、孢子花粉的壁部构造及纹饰	(216)
三、各大类高等植物孢粉的主要形态特征	(218)
第四节 化石孢粉的分类和命名	(222)
一、纳乌莫娃的分类	(222)
二、鲍尔霍维金娜的分类	(224)
三、波托尼等的分类	(225)
第五节 各地质时期孢粉组合简介	(226)
一、中、晚元古代及早古生代微古植物组合	(226)
二、晚古生代孢粉组合	(226)
三、中生代孢粉组合	(229)
四、新生代孢粉组合	(232)
第六节 孢子花粉在石油地质勘探中的应用	(237)
一、地层的划分、对比和时代的确定	(237)
二、古植被、古气候、古地理的恢复	(239)
三、生油岩系的确定	(242)
四、生成油气成熟度的判断	(242)
建议阅读的文獻	(242)
第十章 沟鞭藻与疑源类(Dinoflagellates and Acritarchs)	(244)
第一节 概述	(244)
第二节 一般的生物学特征	(244)
一、细胞的基本特征及结构	(244)
二、繁殖和生活周期	(245)
三、现代动细胞的甲	(246)
四、生态学	(248)
第三节 孢囊的形态学	(249)
一、孢囊的外部形态	(249)
二、孢囊的壁部构造及纹饰	(250)
三、孢囊的形态类型	(252)

四、孢囊的板式——反映板式	(254)
五、古口	(255)
六、脐或堆积体	(258)
第四节 化石沟鞭藻的分类	(258)
第五节 沟鞭藻的起源、演化及地史分布	(261)
一、起源及演化	(261)
二、地史分布	(262)
三、非海相沉积中的沟鞭藻	(263)
第六节 疑源类及其他有机微植物化石	(263)
一、疑源类	(263)
二、其他有机质壁的微体化石	(268)
第七节 孢粉古生态学	(269)
一、海、陆和过渡相的鉴别和海相的进一步划分	(269)
二、海岸线和离岸远近的确定	(270)
三、古温度的推测	(272)
建议阅读的文献	(272)
第十一章 几丁虫(Chitinozoa)	(273)
第一节 概述	(273)
第二节 胞囊的形态学	(273)
一、外形及一般结构	(273)
二、外壁	(273)
三、口盖和前体或前体组合	(274)
四、反口端的特征	(274)
第三节 分类	(275)
第四节 地史分布和演化趋势	(276)
建议阅读的文献	(277)
附录一 重要化石属描述 (实习指导)	(278)
一、有孔虫	(278)
二、介形虫	(287)
三、钙质超微化石	(303)
四、轮藻	(306)
五、牙形石	(310)
六、放射虫	(317)
七、孢子及花粉	(321)
八、沟鞭藻	(332)
附录二 微体化石的处理	(344)
第一节 采样	(344)
第二节 样品处理	(345)
一、有孔虫、介形虫和轮藻化石	(345)
二、钙质超微化石	(346)

三、小壳化石	(347)
四、牙形石	(347)
五、放射虫、硅藻和硅鞭藻	(349)
六、孢子、花粉、沟鞭藻和疑源类等	(349)

第一篇 绪 论

一、微体古生物学及其内容与任务

微体古生物学是研究微体化石的学科，是古生物学的一个重要分支。由于微体化石隶属于许多在系统发生上互不连续的类别和一些生物学分类位置至今尚未查明的类别，所以微体古生物学不是按生物系统分类建立的学科。只是因为个体微小这个共同特点，使微体化石的研究要求一套特殊的方法、技术和共同的特殊工具，从而形成了微体古生物学这门独立的学科。

微体古生物学研究的内容包括各类微体化石的形态、构造、化学成分、生物学和生态学特征、系统发生、系统分类、地质历程与地理分布等方面以及某些特殊问题的探讨。研究这些内容是为了更加系统全面地掌握关于各类微体化石的知识，一方面运用于微体古生物学的理论研究，以提高本学科的水平；另方面应用于地质学的理论研究和生产实践，为地质学服务，特别是为地质生产实践服务，是研究微体古生物学的一大重要任务。

二、微体古生物学的研究对象——微体化石

微体化石是各地质时代沉积岩层中所保存的，肉眼不能识别的微小古生物化石，必须用显微镜或电子显微镜观察、研究。和大化石一样，微体化石也包括两类，即遗体化石和遗迹化石。前者指微小古生物的本体或古生物身体的微小部分，其软组织一般都在变成化石的过程中被破坏，保存下来的为硬体部分；后者为微小古生物生活活动留下的痕迹或其排泄物，如微潜穴、微钻孔、微爬痕，微粪粒等。有人主张给专门研究微遗迹化石建立一个独立学科——微遗迹化石学 (Micropalichnology)，既是微体古生物学的一个分支，也是遗迹化石学 (Palichnology) 的一个分支。

微体化石按其个体大小也可分为两类：一是微化石 (microfossils)，其度量以毫米 (mm) 为单位；二是超微化石 (nannofossils)，其度量以微米 (μm) 为单位。

就其本质而言，微体化石可分以下几种类型：

1. 微小古生物的完整个体 (硬体)，如有孔虫、介形虫、放射虫、硅藻、沟鞭藻、硅鞭藻、竹节石、软舌螺、苔藓虫、层孔虫等，苔藓虫和层孔虫则由许多个体群集而生，形成群体，上述其它类别都是单体生物。
2. 大古生物中的侏儒型类别，例如双壳类、腹足类、棘皮动物等，总体上都是肉眼能够识别的大型生物，但它们的少数类群个体微小，需在显微镜下观察研究。
3. 古生物的微小器官或者身体的某些微小部分与本体分开保存，成为微体化石。例如轮藻的藏卵器和孢子花粉都是植物的生殖器官，虫颚是环节动物的颚器，颚石则是构成颚石藻硬体的钙质小片或小颗粒。此外，棘皮动物的骨板，特别是海参的骨片，若分散保存，其微小者，也需要在显微镜下研究。

微体化石若按其化学成分，可分以下几类：

钙质微体化石,其成分为碳酸钙或以碳酸钙为主,杂有一定比例的碳酸镁,少数类别以碳酸镁为主。一般情况是碳酸钙结晶为方解石,碳酸镁结晶为霏石。

硅质微体化石,其成分为二氧化硅,目前已知,在多数类别中形成蛋白石。

磷质微体化石,其成分为磷酸钙,一般结晶为磷灰石。

有机质微体化石,其化学成分为复杂的植物质或几丁质,常常因为在化石化过程中,其中容易挥发的组分逸散,使原有的碳氢比例改变或仅仅保留了碳元素,形成了碳质化石。

此外,如有孔虫、鞘变形虫和丁丁虫类中有少数类群,由软体分泌胶结物质,将外界的矿物、岩石碎屑及生物碎壳粘连起来,形成一种成分复杂的外壳,叫做胶结型壳。

研究微体化石,准确识别其化学成分非常重要,因为对于不同成分的微体化石需要采用不同的处理方法,从其围岩中分离出来。各重要微体化石类别的化学成分,分类位置,保存特点,生态概况及地史分布见表1。

目前已知的微体化石以低等生物占优势,多数属于单细胞的原核生物(Monera)和原生生物(Protista),前者如裂殖细菌、蓝绿藻;后者如甲藻、硅藻、硅鞭藻、硅沟鞭藻、颗石藻、部分绿藻和红藻、有孔虫、放射虫、鞘变形虫和丁丁虫等。轮藻为低等植物。微体动物化石中也以低等无脊椎动物居多数。孢子花粉虽属高等植物,牙形石可能属于原索动物,但都是高等生物的微小器官(图1)。由此可见,个体由小到大的发展是生物进化的方向之一。

三、微体化石研究史梗概

微体化石的发现最早可以溯源到公元前5世纪,Herodotus曾在其记述中提到建造埃及金字塔的第三纪块状灰岩中的底栖大有孔虫——货币虫(*Nummulites*),而较系统的微体化石研究开始于1660年Antonie van Leeuwenhock发现显微镜在这方面的功能之后,截至目前,微体化石的研究大体经历与发展的阶段如下。

1660年以后,许多微体化石类别被陆续发现和初步研究,主要工作限于形态特征研究,属种描述和分类归属的探讨。最先引起科学家们注意的是有孔虫,早在16世纪已经有人简单介绍了一些有孔虫化石并附有图示,但诸多其它类别的大量研究工作则开始于林奈的《自然分类》(*Systema nature*)第十版问世之后。A. d'Orbigny(1802—1875)通过详细研究,于1826年提出有孔虫的综合分类,但根据有孔虫壳体结构与鸚鵡螺类似,将其归入头足类。与他同时的艾伦贝格C. G. Ehrenberg),杰出的微体古生物学家,他先后发现并第一个描述了硅鞭藻(*Silicoflagellates*)、硅沟鞭藻(*Ebridians*)、颗石(*Coccoliths*)、盘星石(*Discasters*)和沟鞭藻(*Dinoflagellates*)等类微体化石,并报导了许多现生原生生物,如放射虫,有孔虫和硅藻等。此外,F. V. F. Meyen于1834年第一个描述放射虫,E. Haeckel于1862—1887年进行了较系统的放射虫研究,G. D. Sars于1866年作出了介形虫的基础分类,都是首创性的工作。分类归属的讨论集中针对有孔虫,F. Dujardin不同意d'Orbigny的归类,他观察到现代有孔虫由原生质伸出根状伪足捕食和运动,将其命名为根足虫类(*Rhizopodes*),艾伦贝格则认为有孔虫是苔藓动物。

在此阶段,特别是后期,随着鉴定及分类工作的进展,学者们逐渐认识到微体化石的地层学意义。早在1823年A. Brongniart已经利用货币虫划分地层;E. Forbes于1850年提出以介形虫作为波倍克层(*Purbeckian*)的分层依据;A. E. Reuss开展了普鲁士白垩纪和第三纪的有孔虫生物地层研究。

表1 重要的微体化石类别

名 称	分 类 位 置	硬 体 成 份	保 存 特 点	生 态	地 史 分 布
Schizomycophytes 裂殖细菌	原核单细胞生物	有机质	微小个体	海水、淡水、空气中	太古代—现代
Cyanophytes 蓝绿藻	原核单细胞植物	有机质或被钙化	微小个体、组成群体	海水、淡水、群体为主如叠层石(stromatolites)	太古代—现代
Acritarchs 疑源类	起源未知的低等植物	有机质	微小个体	海生浮游为主	元古代—第四纪
Dinoflagellates 沟鞭藻类	真核单细胞低等植物	有机质	微小个体	海水、半咸水、淡水浮游	二叠纪—现代
Silicoflagellates 硅鞭藻	真核单细胞低等植物	硅质	微小个体、少数群体	海生浮游	白垩纪—现代
Ebridians 硅沟鞭藻	真核单细胞低等植物	硅质	微小个体	海生浮游	古新世—现代
Bacillariophytes 硅藻(Diatoms)	真核单细胞低等植物	硅质	微小个体	海水、半咸水、淡水浮游或底栖	晚侏罗世(?) 白垩纪—现代
Calcareous Nannofossils 钙质微体化石	Coccolithophores 颗石藻	钙质	构成硬体的钙质薄片或颗粒	海生浮游	侏罗纪—现代
	Discaster 盘星石	不明	构成钙质硬体的单元	海生浮游	古新世—上新世
	Braarudosphores 布拉鲁德石	钙质	构成钙质硬体的小片	海生浮游	白垩纪—现代
	Nannoconus 微锥石	不明	钙质锥体(硬体的一部份)	海生浮游	晚侏罗世—晚白垩世
Chlorophytes 绿藻	单一多细胞低等植物	有机质或被钙化	微小个体或群体的一部份	淡水为主、海水、半咸水、漂浮	寒武纪—现代
Rhodophytes 红藻	单一多细胞低等植物	钙化、有机质	微小个体形成群体	海生为主、淡水中少漂浮	震旦纪—现代
Charophytes 轮藻	多细胞低等植物	钙化	繁殖器官——藏卵器及植物体	淡水为主、半咸水少、底栖	泥盆纪—现代
Spore and Pollen 孢子花粉	高等植物	有机质	繁殖器官	陆相、陆生或水生	震旦纪? 寒武纪—现代
Thecamoebians 鞘变形虫	原生动物	有机质、硅质钙质、胶结壳	微小个体	淡水为主、海水少底栖	始新世—现代
Tintinids 丁丁虫(包括瓮甲虫类)Capionellids	原生动物	有机质钙质(瓮甲虫类)	微小个体	海生为主、淡水少浮游	奥陶纪—泥盆纪三叠纪—现代
Foraminifera 有孔虫	原生动物	钙质、胶结壳、硅质(少)	微小个体	海生为主、淡水少底栖及浮游	寒武纪—现代
Radiolaria 放射虫	原生动物	硅质	微小个体	海生、浮游	寒武纪—现代
Sponges 海绵	海绵动物	钙质为主硅质、有机质	部份骨骼、骨针	海水、淡水、底栖	寒武纪—现代
Anthozoans 珊瑚	腔肠动物	钙质	群体骨骼碎片骨针或礁体	海生、底栖单体或群体	奥陶纪—现代
Stromatoporoids 层孔虫	腔肠动物	钙质	群体骨骼礁体或碎片	海生、底栖、群体	寒武纪—现代
Bryozoans 苔藓虫	苔藓动物	钙质为主	群体骨骼或碎片	海生为主、底栖、群体	奥陶纪—现代
Scolecidents 虫虱	环节动物	有机质	微小器官(颚器)	海生、底栖	奥陶纪—现代
Ostracods 介形虫	节肢动物	钙质为主	微小个体	海水、淡水、半咸水底栖、游泳或浮游	奥陶纪—现代
Bradoricopodes 高肌介	节肢动物	几丁质、磷质、钙质	微小个体	海生、底栖、短距游泳	寒武纪
Echinoderms 棘皮动物	棘皮动物	钙质	骨板、骨片	海生、底栖	寒武纪—现代
Pteropods 翼足类	软体动物腹足类	钙质	微小个体	海生、游泳	中生代—现代
Tentaculites 竹节石	软体动物(?)	钙质	微小个体	海生、游泳或浮游	奥陶纪—泥盆纪
Hyolithes 软舌螺	软体动物	磷质	微小个体	海生、底栖游泳或浮游(?)	寒武纪—二叠纪
Chitinozoans 几丁虫	不明	有机质(几丁质)	微小个体	海生浅水可能浮游或漂浮	前寒武纪(?) 奥陶纪—石炭纪
Conodonts 牙形石	不明	磷质	微小器官	海生、可能游泳	寒武纪—三叠纪
Microtrace fossils 微体遗迹化石	属古遗迹化石学 Micropalichnology 研究范围, 如微粪粒、微潜穴、微钻孔等				

从上个世纪末到本世纪初开始了微体化石的分类综合研究,内容涉及每个重要类别的形态构造、生物学特征、亲缘关系、生态特点及时空分布等多方面,在此基础上,进入“自然分类”的研究,并且促进微体化石在生物地层学方面的应用。

截至二十世纪六十年代,反映单门类微体化石综合研究的成果,最主要的有,美国R. G. Moore主编的《无脊椎古生物学论丛》(Treatise on Invertebrate Palaeontology)中的有孔虫、鞘变形虫、放射虫、丁丁虫(Tintinnia)、苔藓虫、介形虫和牙形石等部分(A. S. Campbell, A. R. Loeblich, H. Tappan, R. S. Bassler, H. W. Scott, P. C. Sylvester-Bradley, H. V. Howe, R. V. Kesling, R. H. Benson, W. H. Hass及D. W. Fisher等, 1954—1964);苏联Ю. А. Орлов主编的系列丛书《古生物学基础》(Основы палеонтологии)中的有孔虫、介形虫、苔藓虫等部分(Д. М. Раузер—Черноусова, А. В. Фурсенко, Т. Г. Сарычева, И. Е. Занина, Е. Н. Поленова等, 1959—1960)。

这一阶段,在综合剖析一些研究程度较高的类别的同时,还开始了某些新类别的研究,如A. Eisenack发现几丁虫(Chitinozoa)化石并开始研究(1931), W. R. Evitt研究一些分类位置不明而类似沟鞭藻或刺球藻(Hystrichosphaera)的化石,将它们归为疑源类(Acritarchs)(1963)等。各类微体古生物的研究都与解决地层问题密切结合,特别是与寻找和勘探能源中的地层问题相结合,促使微体化石的生物地层学研究迅速发展。

六十年代后期,微体古生物学的研究和应用范围日益广泛,与其它学科的结合或交叉也越来越多,标志着又一个发展阶段的开始。例如发现于1800年以前的钙藻化石,长期没有引起研究者的重视,近二十多年来,碳酸盐岩沉积学研究获得的大量信息反映出钙藻对碳酸盐岩的生成与发育起着重要作用,从而促进了钙藻的系统分类与地质学意义的研究,其成果为阐明碳酸盐岩成因及其沉积环境提供了有力的依据。微体古生物学与沉积岩石学和沉积学相结合的研究已经成为进行“相”分析,探查古沉积环境,进而恢复古地理和研究沉积矿产成因与分布规律的重要方法和手段。

自从1968年深海钻探计划(DSDP)实施以来,大量钻孔中微体化石的发现与研究,进一步密切了微体古生物学与海洋学、海洋地质学的关系。当前,微体古生物学研究不但在探明古海洋深度分带、气候与沉积分区等方面起着重要作用,在验证海底扩张与板块运动学说及探查海盆形成与发展历史方面 also 具有重要意义。这些领域的研究不仅是进一步探明地球历史,而且是寻找海洋矿产资源及探索其分布规律的基础工作。

微体化石的生物地层学研究仍是一个重要领域,由于得到大量海洋钻探资料的补充,某些类别新建了大区域对比或洲际对比化石带,例如钙质超微化石和沟鞭藻、放射虫等;原来已经划分了化石带的类别,补充修改了分带方案,例如浮游有孔虫等。微体化石在研究非海相地层方面的作用虽然早在西欧开始研究波倍克和韦尔登层时,已经为人们所发现,但由于在一些地质学发展较早的欧美国家,非海相地层不很发育,分布零星,没有引起重视,非海相微体化石研究因而长期进展缓慢。二十世纪以来,由于工业发展对能源的需求量越来越大,首先是发现了孢子花粉在煤炭找矿勘探方面的重要意义,从50年代开始非海相含油气地层的发现日益增多,特别是我国陆相和过渡相含油地层的陆续发现,大大促进了非海相微体化石如淡水与半咸水介形虫、轮藻等类的研究。总之,其成果在解决石油找矿勘探中的地层问题、进行岩相分析和推断古沉积环境等方面起了重大的作用,另方面随着前寒武纪地质研究的加强和研究技术方法的进步,古老岩系中不断发现古生物化石,绝大多数是微体化石,例

如蓝绿藻、细菌和疑源类等。寒武纪初期突发式出现的多类别的带壳动物群,其个体都十分微小,这些发现不但为古老地层的时代确定、划分对比与重要分界问题的解决提供了生物地层学依据。而且是研究生命起源和生物界早期发展的重要线索。

因此,当前的微体古生物学,不仅研究各类微体化石的形态、构造、其它生物学特征和系统分类,还必须在此基础上,研究它们的古生态以及在地质学与生物学理论研究和地质生产实践方面的应用。微体古生物学研究已与许多其它学科相结合或相交叉,这是个应予重视的新趋向,它将加速微体古生物学的发展,促进新的交叉学科的产生。

微体古生物学发展成为一门独立的学科,开端于第一次世界大战期间,其发展是与石油工业的发展密切相关的。本世纪初,一些工业先进国家的经济建设需要大量能源,在用钻探手段寻找和勘探石油的过程中,认识到微体化石,在当时主要是有孔虫化石,在确定钻井地层时代及进行地层划分对比的实用价值,因而激发了微体化石的研究热潮。1911年,美国奥古斯塔纳学院(Augustana College)的J. A. Udden教授着重介绍了微体化石在研究伊利诺伊州水井地层中所起的重要作用,并呼吁各石油公司重视微体化石在解决钻井地层问题方面的重要性。第一次世界大战期间美国是世界列强中受战争影响最小的国家,工业得以快速发展,适应工业发展而加强的石油找矿勘探促进着微体化石的研究。就在这时“微体古生物学”被作为独立的学科正式列入了高等学校的课程表,J. Bridge, H. N. Coryell和F. L. Whitney先后分别在密苏里矿业学院(Missouri School of Mines),哥伦比亚大学(Columbia University)和得克萨斯大学(University of Texas)讲授了“微体古生物学”。1945年著名古生物学家M. F. Glaessner的《微体古生物学原理》(Principles of Micropalaontology)问世,是第一本正式出版的微体古生物学教科书。此后,不少较先进的国家陆续在高等学府设置了微体古生物学课程并出版了这方面的教材。乐森琚教授先后翻译出版了D. J. Jones的《微体化石概论》(Introduction of Microfossils, 1956)和H. W. Matthes的《微体古生物学导论》(Einführung in die Micropalaontologie, 1956)的中文译本,第一个向国内介绍了美国和东德五十年代关于微体古生物学的系统总结。

我国由于自鸦片战争以后,曾长期沦为倍受帝国主义侵略的半殖民地国家,工业落后,经济凋敝,科学技术得不到发展。解放前只有少数专家从事过个别门类的微体化石研究。除李四光教授为主的石炭一二叠纪笔石类研究成果卓著,三十年代业已蜚声中外,其它都是零星化石资料的报导。微体古生物学的发展开始于新中国诞生以后,特别是自五十年代末期以来,多处中、新生代陆相和过渡相油田的发现,大大促进了非海相微体化石的研究,特别是淡水和半咸水介形虫、轮藻、沟鞭藻、孢子花粉等主要类别的研究,进展迅速,成果累累,在能源及其它沉积矿产的找矿勘探工作中发挥了重要作用。有的类别在研究广度与深度上已跨入国际先进行列。七十年代以来我国地质资源调查和能源开发向海洋进军,又促进了海洋微体古生物,如有孔虫、放射虫、海相介形虫、钙质超微化石、硅藻及其它藻类的深入研究。随着油气找矿勘探向地下深部古老地层发展,古生代或更古老的微体化石研究重新受到重视,有些类别如牙形石、疑源类的研究,在我国起步虽晚,进展十分迅速。

目前,国际上已经开展研究的微体古生物类别,绝大多数已在我国发现并开展了研究,有的类别化石保存之丰富与完好和学术研究与实用意义之重要都非其他国家同类资料可比拟,只要我们加强研究,即可取得世界领先地位。

“微体古生物学”在我国,首先于六十年代初,由北京地质学院列为地层古生物专业和石油地质专业的专业课程,目前已有十多所地质院校和综合性大学的地质系开设了这门课程。

四、微体古生物学的应用意义

微体古生物学的研究具有地质学和生物学两方面的应用意义。

许多地质学理论研究和生产实践提出的问题需要应用微体古生物学的研究谋求解决。特别是自本世纪以来,由于技术的进步,越来越多地运用钻探手段探索地下及深海基地的地质奥秘,勘测矿产资源。小小的钻井岩芯或细粒的岩屑不可能提供大量的和保存完好的大化石,但可以从中获取丰富的微体化石,所以微体化石的应用范围比大化石广泛,微体古生物学的应用价值也更重要。在地质学上的应用有以下几个重要方面。

1. 微体化石是划分和对比地层,进行地质年代学研究的重要依据 在这方面所起的作用超过大化石,因为最古老的岩层和深海沉积岩层中的生物遗体都以微体化石为主而缺乏大化石,微体化石可为制定地质年表提供更完备的依据。微体生物对生活环境的适应性较强;在不利于生存的条件下,一般生物濒于绝迹,某些微体生物却能够生存。在这类环境中沉积的岩层往往只保存了微体化石。同时微体生物容易由风、昆虫、鸟类等动力传播,被带到不利于生物生存的环境,保存成为化石。例如在我国分布颇广的中、新生代陆相红色地层含大化石很少,主要依靠微体化石如介形虫、孢子花粉等确定其地质时代和进行分层对比。

微体化石中有许多指示地质时代的标准类群。例如有孔虫中的筴类(*Fusulinids*)仅发现于早石炭世至晚二叠世地层;浮游有孔虫中的异卷虫类(*Heterohellicids*)仅发现于中及上侏罗统;轮孔虫类(*Rotaliporiids*)从早白垩世晚期延续到晚白垩世末,而截球虫类(*Globotruncariids*)为仅仅生活于晚白垩世的类群。钙质超微化石中盘星石类(*Discoasterids*)是第三纪的标准类群,微锥石类(*Nannoconus*)是白垩纪的标准类群,其先驱出现于侏罗纪末的提唐阶。又如介形虫中的高肌虫(*Bradoriida*)迄今仅发现于寒武系和奥陶系,由多类原始贝壳生物组成的小壳动物群(*small shelly fauna*)为早寒武世的标准类群。像这样的标准类群还很多,这里仅以少数实例说明微体化石的标准类群在确定地质时代方面的重要性。

需要着重指出的是,自从古生态学开展对比化石居群、群落及其时空分布变化的研究以来,运用这方面的成果于生物地层学研究,改变了过去单纯依靠“标准化石”或“标准类群”确定地层时代和划分对比地层的原则与方法,目前已普遍运用化石组合对比、划分化石组合带及各种生物带等综合分析方法进行生物地层学研究。

海相微体化石属于浮游类型的居多,在全球的类似环境中分布广泛,加上演化迅速,在不同层位的沉积岩层中留下了不同的化石群,据此划分的生物带,可做为洲际地层对比的依据。

生物地层分带研究最早的微体化石类别是浮游有孔虫,早在50年代中晚期已经有人做出了一些地区性的分带,如北非白垩系的分带(*Dalbiez, 1955*)和特立尼达白垩系及下第三系的分带(*H. M. Bolli, 1957, 1958*),60年代发表了更多地区的分带研究成果:*H. M. Bolli*与*W. H. Below*先后做出了渐新统一第四系的综合分带(1966, 1969),*J. A. Postuma*研究上白垩统一第四系的浮游有孔虫生物地层,划分出48个综合分带(1971)。*R. M. Stainforth*等于1975年著文,划分出38个新生界的浮游有孔虫带。

牙形石的生物地层学研究在70年代进展很快。美国*W. C. Sweet*等已作出三叠系牙形石的国际综合分带。在我国、北美和欧洲都已作出区域性的奥陶系、志留系、泥盆系等的牙形石分带。此外英国埃文(*Avon*)地区、美国密西西比地区下石炭统、美国西部中、上石

炭统和二叠系都比较细致地划分了牙形石带。我国已经划分出南方上二叠统的牙形石组合带和下三叠统的牙形石带。

钙质超微化石的生物地层学研究,近二十年来取得了迅速的进展。70年代已经作出从侏罗系到第四系的综合分带,其中侏罗系21带、白垩系19带,下第三系25带、上第三系18带,第四系3带(T. Barnard, W. W. Hay, H. R. Thierstein, H. Manivit, E. Martin等1971—1977),并将侏罗系与白垩系的界线置于启莫里支阶(Kimmeridgian)与提通阶(Tithonian)之间。

此外,随着深海钻探计划(DSDP)的实施,对一些硅质微体化石如放射虫、硅藻、硅鞭藻等也开展了生物地层学研究和分带工作。例如,W. R. Riedel等将赤道太平洋与加勒比海第三纪始新统到上新统的放射虫划分为25个带。这些分带工作的成果以及不同区域和不同类别分带对比关系的研究,大大提高了地层划分和对比的精度和广度。

2. 微体化石可以作为推断古环境和恢复古地理的标志 准确地推断古环境及同时期古环境的空间变化是有效地恢复古地理并研究古地理变迁的基础工作。推断古环境主要靠两方面的依据:一是古生物化石;二是含化石的沉积岩层。通过古生态学和埋藏学研究,化石和化石群落可以作为指示古环境的标志。

生态学的研究积累了关于现代生物生活方式、习性、形态功能以及生活环境、居群(Population)和群落(Community)结构与分布诸方面的丰富知识。古生态学按照“将今论古”的现实主义原理,通过直接或间接类比,运用这些知识研究化石资料以推断古环境,进而恢复古地理。

前面提到对于开展古生物学研究,微体化石具有超过大化石的优越条件,那些条件同样有利于开展古生态研究。特别是微体化石的数量丰富,有利于在定性研究的同时作定量研究。定性与定量研究并行才能获得古生态研究的准确结论。微体化石中海洋浮游类别较多,是大区域或洲际生态地层对比和研究全球性古地理及古气候的重要生物标志。深海沉积中丰富的微体化石对了解深海环境和海盆发育历史具有重要意义。此外,微体生物硬体的矿物成份多样,可以从地球化学角度提供较多的反映环境特征的信息。

目前应用微体化石资料推断古环境和恢复古地理的研究已经普遍开展,并且为广大地质学家和经济地质学家所深感兴趣与关注,其重要的实践体现于以下几方面。

1) 通过宏观的群落分析推断宏观的环境。例如,淡水介形虫(以金星介类为主)、淡水硅藻及轮藻等指示陆相环境,底栖大有孔虫、海生介形虫(中、新生代以浪花介类为主)指示大陆架正常浅海环境,浮游有孔虫、颗石藻和放射虫指示远岸海洋环境,海生底栖硅藻指示滨海环境,浮游硅藻指示远洋环境,孢子花粉含量和颗粒大小若同时朝一个方向递减,往往代表从大陆向近岸海洋的环境变化。淡水、半咸水介形虫,半咸水有孔虫和轮藻混生的生物群落往往指示陆海过渡型环境。所以根据古生物群落进行的古环境的宏观分析,可以阐明古海陆分布的格局,为恢复古地理提供基础资料。

2) 从属、种分析或微观群落研究推断微观环境。微观环境是一个宏观环境中因环境因素变化,而产生的环境分异,对于生物可以说是生境(habitat)中的小生境(niches)分异。例如海洋环境中滨海、浅海、半深海、深海及远洋之分,大陆环境中山区、丘陵、平原、河流、湖泊、沼泽之分。水深在200m以内的浅海,所处的纬度和水的深度不同,具体环境条件就不一样。不同的环境条件下,发育不同的生物群落。近30年来据Phleger, Walton, Wales, Stevenson, Lauff等研究北美、西欧的滨海环境,分高能环境与低能环境两