

高等学校教材

微体古生物学教程

(第二版)

郝诒纯 茅绍智 主编

中国地质大学出版社

• (鄂)新登字第 12 号 •

内 容 简 介

本书在第一版的基础上吸收了新的成果,调整了部分内容。全书分四篇十一章,包括了各种门类的微体超微体化石。突出了各门类的基本理论、研究方法及地质意义,并附有实习指导及化石处理方法。本书可作为高校地层古生物专业、石油地质专业和地质专业的教学使用,也可供地质、石油、煤炭、冶金等生产和科研人员参考。

微体古生物学教程 (第二版)

©

郝诒纯 茅绍智 主编

出 版 中国地质大学出版社 (武汉市·喻家山·邮政编码 430074)
责任编辑 褚松和 责任校对 杨 霖 版面设计 屈文杰
印 刷 中国地质大学印刷厂
发 行 湖北省新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 21.125 插页 1 附图 6 字数 540 千字
1993 年 1 月第 2 版 1993 年 1 月第 1 次印刷 印数 1001—2000 册

ISBN 7-5625-0677-9/P·241 定价: 9.85 元

再 版 前 言

本教程第一版于1989年出版以来,深受各地质院校师生的欢迎,在微体古生物学的教学中发挥了作用。这次再版基本上保持了第一版的特色,即着重于各生物门类的基本理论、分类、演化以及在地质、能源、古海洋、古环境等方面的应用。另外增加了自第一版出版以来国内、外发表的一些新资料、新观点,少数章节还作了较大幅度的修改和补充,如第二篇第一章的有孔虫等。故本书再版以力求重点突出,论述清晰,图文紧密配合,尽量反映当前国内、外的研究现状和水平。

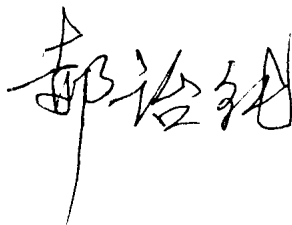
本书再版工作仍由郝诒纯、茅绍智负责,在郝诒纯教授的指导下由茅绍智具体组织实施,各章编著者分工如下:第一篇—郝诒纯;第二篇 第一章—郝诒纯、李晓池;第二章—阮培华;第三章—陈忆元、李晓池;第四章—徐钰林;第五章—周修高;第六章—丁梅华;第三篇 第七章—周修高、王玫、冯庆来;第八章—刘金华;第四篇 第九章—童林芬、茅绍智;第十、十一章—茅绍智。

在修改本教程过程中,中国地质大学绘图室承担了部分图件的清绘,中国地质大学出版社给予了热情支持和关心,在此一并致谢。

本书在修改完成后,由郝诒纯教授最终审阅、修订。

编著者

1992年3月



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：重要化石属描述（实习指导）和附录二：微体化石的处理，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。郝诒纯

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—陈忆元、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)	三、微体化石研究史梗概	(2)
二、微体古生物学的研究对象——微体化石	(1)	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)

第一节 有孔虫的一般特征	(11)	二、石炭纪—二叠纪 有孔虫发展的第一个繁盛期	(28)
第二节 有孔虫壳体成分、构造及形态	(13)	三、三叠纪—侏罗纪 有孔虫的复苏期	(29)
一、房室数目及排列方式	(13)	四、白垩纪 有孔虫发展的第二个繁盛期	(29)
二、壳壁的成分	(17)	五、第三纪 有孔虫发展的第三个繁盛期	(30)
三、壳壁微细构造	(18)	第六节 有孔虫的生态	(30)
四、口孔、隔壁孔和壳壁微孔	(18)	一、有孔虫的一般生态特征	(30)
五、壳壁、隔壁的分层性及管系	(21)	二、有孔虫生态的控制因素	(32)
第三节 有孔虫的分类	(22)	三、有孔虫生态研究的地质意义	(37)
一、有孔虫分类研究简史	(22)	建议阅读的文献	(39)
二、有孔虫分类的依据	(23)	附 丁丁虫类	(39)
三、各亚目及超科的主要特征	(24)	一、虫体构造	(39)
第四节 有孔虫的演化	(24)	二、硬体构造	(40)
一、演化理论的研究现状	(24)	三、生态及化石保存	(40)
二、有孔虫系统演化的谱系	(25)	四、地史分布	(40)
三、某些可能的演化趋势	(26)	五、研究方法	(42)
第五节 有孔虫的地史分布	(28)	建议阅读的文献	(42)
一、寒武纪—泥盆纪 有孔虫发展的初期阶段	(28)		

第二章 介形虫 (Ostracods)

第一节 概述	(44)	六、边缘构造	(53)
第二节 现代介形虫	(45)	七、壳的定向	(53)
一、软体	(45)	第四节 介形虫的系统分类	(54)
二、繁殖和个体发育	(46)	一、高肌介目	(56)
第三节 介形虫的壳	(47)	二、豆石介目	(57)
一、壳的成分与构造	(47)	三、古足介目	(57)
二、壳面分区与壳的度量	(48)	四、速足介目	(57)
三、壳的外形、壳饰及双形现象	(48)	五、丽足介目	(59)
四、肌痕	(51)	第五节 介形虫的地质历程及在我国的分布	(60)
五、铰合	(52)	第六节 介形虫的生态	(63)

建议阅读的文献	(67)
---------------	------

第三章 早期骨骼化石 (即小壳化石) (Earliest Skeletal Fossils)

第一节 概述	(68)	四、喙壳类	(73)
第二节 分论	(68)	五、分类位置未定的早期骨骼化石	(74)
一、软舌螺类	(68)	第三节 地史分布、意义和研究方法	(82)
二、单板类	(72)	建议阅读的文献	(84)
三、腹足类	(73)		

第四章 钙质超微化石 (Calcareous Nannofossils)

第一节 概述	(85)	四、塔潘的分类	(95)
第二节 一般特征	(85)	第四节 地史分布和演化	(96)
一、现生颗石简介	(85)	第五节 钙质超微化石的生态	(102)
二、钙质超微化石的形态与构造	(87)	第六节 地质应用	(105)
第三节 分类	(91)	一、生物地层学上的应用	(105)
一、德弗兰的分类	(91)	二、古海洋学上的应用	(112)
二、哈伊的分类	(91)	建议阅读的文献	(114)
三、哈克等的分类	(94)		

第五章 轮藻及其它钙藻 (Charophyta and other Calcareous Algae)

第一节 概述	(115)	五、古生态与埋藏	(136)
第二节 轮藻	(117)	第三节 其它钙藻	(137)
一、现生轮藻简介	(118)	一、钙质蓝藻	(137)
二、轮藻化石的一般特征	(120)	二、钙质绿藻	(138)
三、分类与演化	(124)	三、钙质红藻	(140)
四、地史分布	(133)	建议阅读的文献	(143)

第六章 牙形石 (Conodonts)

第一节 概述	(144)	第五节 牙形石动物的生物分类位置	(159)
第二节 牙形石骨骼分子的形态及构造术语	(145)	第六节 牙形石分类	(160)
一、主要形态类型	(145)	第七节 牙形石的古生态学	(163)
二、内部构造	(151)	一、牙形石动物的生活方式或生活习性	(163)
第三节 牙形石骨骼分子的物理化学性质和有机变质程度	(153)	二、生态模式	(164)
一、物理性质	(153)	三、温度和盐度对牙形石分布的影响	(165)
二、化学性质	(154)	四、牙形石骨骼分子形态与古生态	(165)
三、牙形石骨骼分子的有机变质程度	(155)	第八节 牙形石动物的地史分布及演化趋向	(165)
第四节 自然群集和牙形石动物的骨骼器官	(156)	建议阅读的文献	(167)

第三篇 硅质类微体化石

第七章 放射虫 (Radiolaria)

第一节 概述	(168)	二、营养与繁殖	(169)
第二节 现代放射虫	(169)	三、骨骼	(170)
一、细胞及其内含物	(169)	四、分布与生态	(174)

第三节 放射虫的分类	(175)	一、在古气候研究中的应用	(186)
第四节 放射虫的地史分布与进化	(181)	二、在古地理与沉积相研究中的应用	(186)
一、地史分布	(181)	三、在大地构造研究中的应用	(186)
二、进化	(184)	建议阅读的文献	(187)
第五节 放射虫化石在地质学研究中的应用	(186)		

第八章 硅藻和硅鞭藻 (Diatoms and Silicoflagellates)

第一节 硅藻	(188)	第二节 硅鞭藻类	(195)
一、概述	(188)	一、概述	(195)
二、硅藻的细胞壁	(188)	二、硅鞭藻骨架构造	(196)
三、硅藻的分类和化石代表	(190)	三、硅鞭藻化石	(196)
四、硅藻的生态和地史分布	(193)	四、硅鞭藻的生态及地质意义	(198)
五、硅藻化石的地质意义	(194)	建议阅读的文献	(199)
建议阅读的文献	(195)		

第四篇 有机质类微体化石

第九章 孢子及花粉 (Spores and Pollen)

第一节 概论	(200)	第五节 各地质时期孢粉组合简介	(215)
一、孢子和花粉	(200)	、中、晚元古代及早古生代微古植物组合	(215)
二、孢粉学的内容和研究对象	(200)	二、晚古生代孢粉组合	(215)
三、陆生植物的生活史及孢粉粒的形成	(200)	三、中生代孢粉组合	(218)
第二节 孢子花粉的形态及壁部构造	(202)	四、新生代孢粉组合	(221)
一、孢子花粉的外部形态特征	(202)	第六节 孢子花粉在石油地质勘探中的应用	(226)
二、孢子花粉的壁部构造及纹饰	(204)	一、地层的划分、对比和时代的确定	(226)
三、各大类高等植物孢粉的主要形态特征	(207)	二、古植被、古气候、古地理的恢复	(227)
第三节 孢粉分析的原理	(210)	三、生油岩系的确定	(230)
第四节 化石孢粉的分类和命名	(212)	四、生成油气成熟度的判断	(230)
一、纳乌莫娃的分类	(213)	五、孢粉相的意义和应用	(231)
二、鲍尔霍维金娜的分类	(213)	建议阅读的文献	(231)
三、波托尼等的分类	(213)		

第十章 沟鞭藻与疑源类 (Dinoflagellates and Acritarchs)

第一节 概述	(232)	六、脐或堆积体	(246)
第二节 一般的生物学特征	(232)	第四节 化石沟鞭藻的分类	(246)
一、细胞的基本特征及结构	(232)	第五节 沟鞭藻的起源、演化及地史分布	(248)
二、繁殖和生活周期	(233)	一、起源及演化	(248)
三、现代动细胞甲	(234)	二、地史分布	(248)
四、生态学	(235)	三、非海相沉积中的沟鞭藻	(250)
第三节 孢囊的形态学	(236)	第六节 疑源类及其他有机微植物化石	(250)
一、孢囊的外部形态	(236)	一、疑源类	(250)
二、孢囊的壁部构造及纹饰	(237)	二、其他有机质壁的微体化石	(254)
三、孢囊的形态类型	(238)	第七节 孢粉古生态学	(256)
四、孢囊的板式——反映板式	(239)	一、海、陆和过渡相的鉴别和海相的进一步划分	(256)
五、古口	(242)		

二、海岸线和离岸远近的确定	(256)	建议阅读的文献	(258)
三、古温度的推测	(257)		

第十一章 几丁虫 (Chitinozoans)

第一节 概述	(259)	四、反口端的特征	(261)
第二节 胞囊的形态学	(259)	第三节 分类	(261)
一、外形及一般结构	(259)	第四节 地史分布和演化趋势	(262)
二、外壁	(260)	建议阅读的文献	(262)
三、口盖和前体或前体组合	(260)		

附录一 实习指导：重要化石属描述

一、有孔虫	(263)	五、牙形石	(291)
二、介形虫	(270)	六、放射虫	(299)
三、钙质超微化石	(284)	七、孢子及花粉	(303)
四、轮藻	(287)	八、沟鞭藻	(314)

附录二 微体化石的处理

第一节 采样	(324)	三、早期骨骼化石	(326)
第二节 样品处理	(324)	四、牙形石	(326)
一、有孔虫、介形虫和轮藻化石	(325)	五、放射虫、硅藻和硅鞭藻	(327)
二、钙质超微化石	(326)	六、孢子、花粉、沟鞭藻和疑源类等	(329)

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。只是因为化石个体微小这个共同特点，对其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；另一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、腕足动物、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，其成分为磷酸钙或以磷酸钙为主，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

（Protozoa），前者如裂殖细菌、蓝绿藻，后者如甲藻、矽藻、矽鞭藻、矽沟鞭藻、颗石藻、部分绿

藻、微体动物等，后者如低等植物、菌藻、植物花粉和孢囊等。在取用放射线、鞘变形虫和丁丁虫等类属化石在

地史中分布广泛，且能指示地层的年代。在微体化石中，以蓝绿藻、甲藻、矽藻、矽鞭藻、矽沟鞭藻、颗石藻、部分绿藻、微体动物等最为重要。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

微体化石的保存特点，主要取决于化石的化学成分和埋藏环境。一般来说，有机质化石的保存较差，而无机质化石的保存较好。

微体化石的地史分布，主要取决于化石的生存年代和埋藏环境。一般来说，有机质化石的分布范围较窄，而无机质化石的分布范围较广。

微体化石的研究，对于了解地球历史、生物进化、环境变化等方面具有重要意义。随着科学技术的进步，微体化石的研究将越来越深入。

微体化石的分离方法，根据化石的化学成分，分为物理法和化学法。物理法包括筛分、离心、浮选、磁选等；化学法包括酸溶、碱溶、氧化、还原等。

表 1 重要的微体化石类别

名 称		分类位置	硬体成分	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	Ar—Rec.
Cyanophytes 蓝绿藻		原核单细胞植物	有机质或钙化	微小个体、组成群体	海水、淡水、群体 为主如叠层石 (Stromatolites)	Ar—Rec.
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	Pt—Q
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	P—Rec
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	K—Rec.
Ebridians 硅沟鞭藻		真核单细胞低等植物	硅质	微小个体	海生浮游	E ₁ —Rec.
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	J ₃ (?)K—Rec.
Calcareous Nannofossils 钙质超微化石	Coccolithids 颗石类	真核单细胞低等植物	钙质	构成硬体的薄片或 颗粒	海生浮游	J—Rec.
	Discoasterids 盘星石类	不明	钙质	构成硬体的微小单 元	海生浮游	E ₁ —N ₂
	Braarudospherids 五边石类	真核单细胞低等植物	钙质	构成硬体的小片	海生浮游	K—Rec.
	Ceratolithids 角状石类	不明	钙质	微小的角状单元	海生浮游	K—R—Rec. (?)
	Spherolithids 楔石类	不明	钙质	微小的楔形单元	海生浮游	R
	Fasciculithids 簇石类	不明	钙质	一束楔形晶粒组成 的圆柱体	海生浮游	E ₁
	Heliolithids 太阳石类	不明	钙质	一对圆形或椭圆形 单元	海生浮游	E
	Nannoconus 微锥石类	不明	钙质	微小的圆锥形或近 球形单元	海生浮游	J—K
	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 部分	淡水为主、海水、半 咸水、漂浮	Є—Rec.
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	Z—Rec.	
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	S ₃ —Rec.	
Spores and Pollen 孢子花粉	高等植物	有机质	繁殖器官	陆相、陆生或水生	Z? Є—Rec.	
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	E ₂ —Rec.	
Tintinids 丁丁虫 (包括瓮甲虫类)Capionel- lids	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	O—D T—Rec.	
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	Є—Rec	
Radiolaria 放射虫	原生动物	硅质	微小个体	海生、浮游	Є—Rec.	
Sponges 海绵	海绵动物	钙质为主硅质、 有机质	部分骨骼、骨针	海生、淡水、底栖	Є—Rec.	
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	O—Rec.	
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	Є—Rec.	
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	O—Rec.	
Scolecodents 虫虱	环节动物	有机质	微小器官(颚器)	海生、底栖	O—Rec.	
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	O—Rec.	

续表 1

名 称	分类位置	硬体成分	保存特点	生 态	地史分布
Bradorioids 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	Є
Echinoderms 棘皮动物	棘皮动物	钙质	骨板、骨片	海生、底栖	Є—Rec.
Pteropods 翼足类	软体动物腹足类	钙质	微小个体	海生、游泳	M ₂ —Rec.
Tentaculites 竹节石	软体动物(?)	钙质	微小个体	海生、游泳或浮游	O—D
Hyolithes 软舌螺	软体动物	磷质	微小个体	海生、底栖游泳或 浮游(?)	Є—P
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	PreЄ
Conodonts 牙形石	不明	磷质	微小器官	海生、可能游泳	
Microtrace fossils 微体遗迹化石	属古遗迹化石学				

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. Evitt 研究一些分类位置不明而类似沟鞭藻或刺球藻(Hystriochosphaera)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,特别是与解决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。

60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20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古海洋学、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也具有重要意义。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。20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方面的实用价值,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的J. 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。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. Coryell和F. Whitney先后分别在密苏里矿业学院、哥伦比亚大学和得克萨斯大学讲授了“微体古生物学”。1945年著名古生物学家M. Glaessner的《微体古生物学原理》(Principles of Micropaleontology)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。乐森珥教授先后翻译出版了D. Jones的《微体化石概论》(Introduction of Microfossils, 1956)和H. 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原东德50年代关于微体古生物学的系统总结。

我国自鸦片战争以后,曾经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,战乱频仍,民不聊生,科学技术工作得不到重视与支持。因此,虽然我国古代学者朱熹早在1227年的南宋时代,已经在全世界第一个正确地阐述了化石的性质,我国开展微体化石的研究却大大落后于西方发达国家,解放前只有少数专家对个别门类进行了研究。除以李四光教授为主的石炭一二叠纪藻类的系统研究,成绩卓著,30年代业已蜚声中外,赢得国内外同行的高度评价,其它都是比较零星的成果,例如,李四光和陈旭的中石炭统小型有孔虫研究(1930),乐森珥对下二叠统灰岩中苔藓动物的研究(1931),卢衍豪对新疆第三纪(1944)和云南泥盆纪(1945)轮藻化石的研究等,代表我国老一辈地质、古生物学家,在极其艰苦的条件下取得的微体古生物学研究的初期成果。

我国微体古生物学的发展开始于新中国诞生以后,特别是50年代末期以来,多处中、新生代陆相和过渡相油气田的发现,大大促进了非海相微体化石的发现与研究,淡水和半咸水介形虫、轮藻、孢子花粉等主要类别研究的进展尤为迅速,成果累累。在能源及其它沉积矿产的找矿勘探工作中和深入全面了解华夏大陆中、新生代地质历史的研究中发挥着重要作用,有的类别在研究的广度与深度上现已跨入国际先进行列。

70年代以来,特别是从70年代晚期至今,我国地质学研究和矿产资源勘探的时空领域不断扩大,大大促进了微体古生物学的发展。地质资源调查和能源开发向海洋进军,为海洋微体古生物学研究提供了广阔的用武之地,有孔虫,尤其是浮游有孔虫、放射虫、海相介形虫、钙质超微化石、沟鞭藻、海相硅藻及其它藻类的研究,近十多年来获得了迅速的发展;油气勘探开发向地下深部老地层进展,促进了牙形石、古藻类、疑源类以及古生代小型有孔虫的研究;地质找矿勘探工作向待开发的边远地区和古老地层扩展,使中生代浮游有孔虫和钙质超微化石、白垩纪、早第三纪底栖小有孔虫、早第三纪大型底栖有孔虫、晚古生代放射虫、寒武纪、奥陶纪高肌虫以及寒武纪初期小壳化石群等类的研究填补了过去微体古生物学研究的一些空白。最近,由于向古生物礁、礁

岩寻找油气的需要, 已对造礁微体古生物中的纤维海绵、串管海绵、板海棉等钙质海绵以及水螅化石开展了研究。

目前, 国际上已经开展研究的微体化石类别, 绝大多数已在我国发现并开展了研究, 有些类别的化石保存之丰富与完好, 学术研究与实用意义之重要都非其它国家同类资料可比拟, 只要我们加强研究, 即可取得领先世界的成果。

“微体古生物学”在我国, 首先于 60 年代初, 由北京地质学院列为地层古生物学专业和石油地质专业的专业课程, 目前已有多所地质院校和综合性大学的地质系开设这门课程。

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底的地质奥秘, 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, 但可以从中获得丰富的微体化石, 使微体化石的应用范围超过了大化石, 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。例如有孔虫中的筳类 (*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。又如介形虫的高肌虫 (*Bradoriida*) 迄今仅发现于寒武系和奥陶系, 由多类原始具壳生物组成的小壳动物群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. Bolli*, 1957, 1958), 60 年代发表了更多地区的分带研究成果: *H. Bolli* 与 *W. Below* 先后做出了渐新统一第四系的综合分带 (1966, 1969), *J. 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. Stainforth* 等于 1975 年著文, 划分出 38 个新生界的

浮游有孔虫带。

牙形虫的生物地层学研究在 70 年代进展很快。美国 W. Sweet 等已作出了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古炭统、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。另外,我国已经划分出南方上二叠统和下三叠统的牙形石带,以及北方上寒武统的牙形石带。

钙质超微化石的生物地层学研究,近 20 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. Hay, H. Thierstein, H. Manivit, E. Martini 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,随着深海钻探计划和大洋钻探计划(ODP)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. 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分多样,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类,前者主要为沙滩和岩石海岸,后者包括各种类型潮水沼泽、红树林沼泽、潮坪、各种类型的泻湖,此外还有既可属高能环境又可属低能环境的滨海河口,这些不同的小生境中各有独特的底栖小有孔虫群落。掌握了这些群落的特点,作为化石群落的类比模式,就可以帮助我们推断化石群落的生活环境。

各类生物中都有对环境因素敏感的属种,微体生物也不例外,有的属种对温度敏感,要在一定的温度范围内才能生存,有的对水体咸度或深度敏感,要在一定的咸度或深度范围内才能生存,是狭温性、狭咸性或狭深性属种,可以作为指示温度、咸度或深度的标志。例如海生底栖硅藻其分布深度一般限于滨海带,海生介形虫中的 *Abyssocythere*, *Agrenocythere*, *Bythoceratina* 及 *Cytheropteron* 等属分布在深度超过 500m,水温低于 10℃ 的深海冷水圈。底栖大有孔虫 *Amphistegina* 所适应的生活环境为水深 5—20m,咸度 34—39‰,水温 25—26℃。这类的实例还很多,都是能够反映具体环境因素,有助于了解微观环境的重要依据(图 1)。

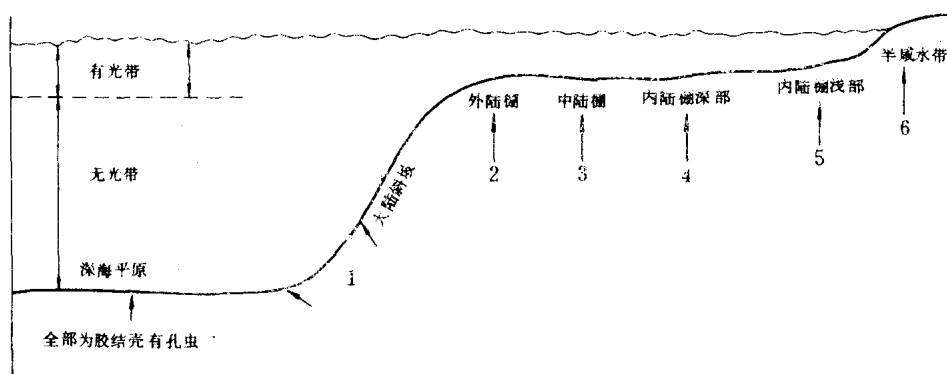


图 1 海底深度分区及不同深度区中代表性的有孔虫属的组合(以数字代表)示意图,表示不同的属群指示不同的微观环境,各组化石为:

1. *Globigerina*, *Globorotalia*, *Globigerinoides*, *Pyrgo*, *Nodosariids*, *Epistominella*; 2. *Buccella*, *Buccella*, *Discorthis*, *Nodosaria*, *Globigerina*; 3. *Lenticulina*, *Liebusella*; 4. *Discorbinella*, *Eponides*, *Lenticulina*, *Tecularia*; 5. *Nommonella*, *Siphonina*, *Trochammina*, *Ammonia*, *Quinqueloculina*; 6. *Trochammina*, *Verrucinaria*, *Ammonia*.

3)微体化石在研究古气候方面的作用。气候是重要的环境因素之一,对生物界的发展、沉积发育和成岩作用都有影响,巨大的气候变化还影响到冰川活动、地貌变化和海陆变迁。微体化石在研究古气候方面起着重要作用。特别值得提出的是,近期以来,利用微体化石资料研究中、新生代以来全球性或大区域性因气候带迁移所引起的气候变化,颇有成就。这项研究主要以现代海洋浮游生物群落的纬度分带为类比模式,特别是现代浮游有孔虫和颗石藻的纬度分带研究颇细。太平洋和大西洋浮游有孔虫的纬度分布研究最细,北半球划分了热带、亚热带、过渡带、亚极区和极区五个纬度生物区,近期以来印度洋、南太平洋与南大西洋的浮游有孔虫研究成果表明,它们在南半球的分布基本上与北半球对称,并且发现南北回归线之间的热带海域浮游有孔虫为同一个群落。所以北纬 30°—南纬 30°之间构成一个统一的生物区。A. McIntyre 和 Allen Be 研究大西洋的微浮游植物,分出五个不完全连续的颗石藻纬度气候组合,即热带组合、亚热带组合、过渡带组合、近极区组合与近南极区组合。他们又以上述两个生物分带为类比模式,逐层研究北大西洋高纬度地区一系列钻井中取得的上更新统颗石藻与浮游有孔虫,总结出晚更新世 225 000 年间,北极圈六次向南移,古气候变化超过十个纬度。又如有人研究北大西洋古新世和始新世的浮游有孔虫,根据喜暖的低纬居群的分布范围不断向北扩展的现象,总结出从古新世到中新世气候明显变暖,这一结论与利用有孔虫壳