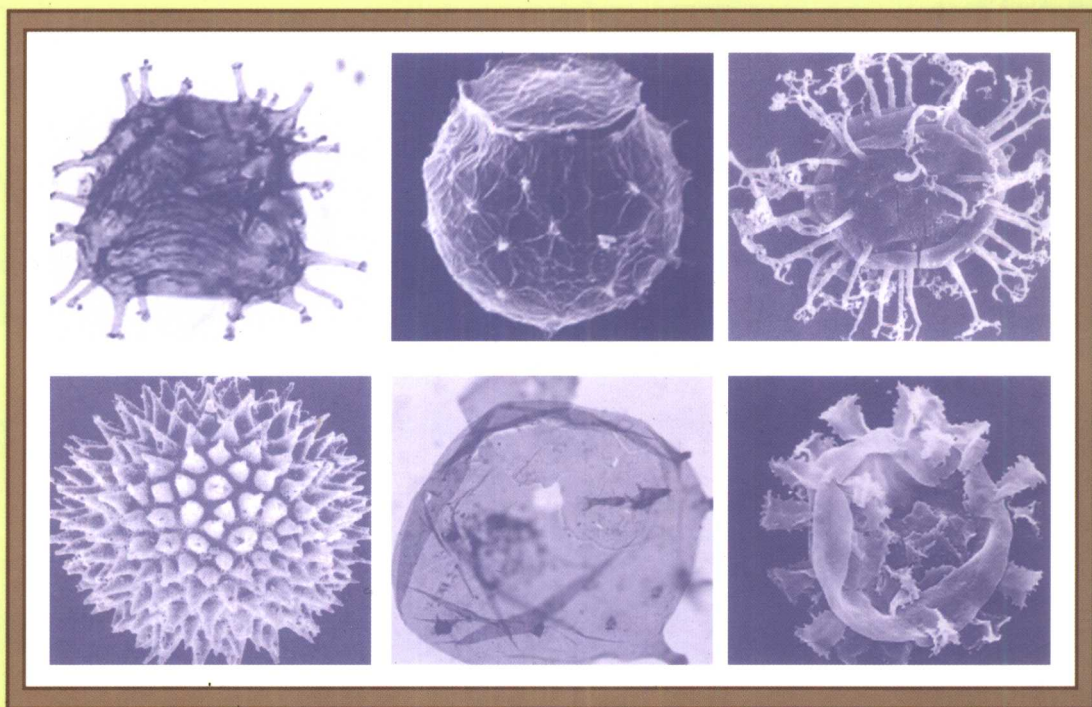


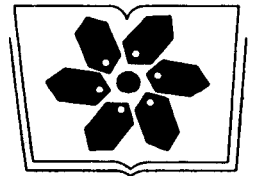
中国疑源类化石

尹磊明 编著



科学出版社

www.sciencep.com



中国科学院科学出版基金资助出版

中国疑源类化石

尹磊明 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是对我国前寒武纪、古生代海洋微体浮游生物化石(疑源类)的系统总结。作者在着重整理多年来我国疑源类化石研究资料的同时,参阅了大量国外相关文献,并结合多年的实践和应用,以及近年来不断涌现的新发现、新认识和新技术方法,分别对疑源类化石的一般形态学、它们的保存及研究方法、生物意义和生物地层应用等进行了详细阐述。

疑源类化石在我国乃至国外主要分布和收集自古生代海相地层,随着资料不断丰富及无脊椎动物化石的佐证,它们在生物地层应用,尤其是钻井古生代地层的划分、对比方面日益显现其重要价值。与此同时,这些海洋微体浮游生物化石作为基础食物链的记录为不同地质时期中不同区域乃至洲际的古地理、古生态环境的恢复和重建提供了有意义的证据。另外,我国前寒武纪地层发育良好、广泛出露,目前已知自太古宙至新元古代地层都保存丰富的疑源类及多种微体化石,它们是探究地球历史早期生物物种发生及演化的极其重要的证据。本书对不同地质时期重要疑源类属、种类型(计83属、136种)进行了属、种征介绍、形态描述和详细讨论,书后附图版52幅。本书供广大微体古生物工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国疑源类化石/尹磊明编著. —北京:科学出版社, 2006

ISBN 7-03-016938-7

I. 中… II. 尹… III. ①前寒武纪-疑源类-化石-研究-中国②古生代-疑源类-化石-研究-中国 IV. Q915.81

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第013272号

责任编辑:胡晓春 林彩华/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2006年6月第一次印刷 印张:14 1/2 插页:26

印数:1—1 000 字数:329 000

定价:69.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

资 助 单 位

国家自然科学基金委员会
中华人民共和国科学技术部
中国科学院科学出版基金委员会
中国科学院南京地质古生物研究所

前 言

我国关于有机质壁保存的微体化石（疑源类）的研究已长达近半个世纪，发表的文章和专著达数百篇之多，这些主要以海洋微体浮游植物为主的化石，记录了从太古代至新生代长达 25 亿~27 亿年的海洋基础食物链的演变历程。对它们详细和深入的研究，不仅是生物地层，特别是前寒武纪、早古生代地层划分、对比的迫切需要；也是探究地球早期生命起源和演化，恢复地质早期海洋生态环境的极其重要的信息依据。

在 20 世纪五六十年代，我国少数地层古生物工作者开始着手调查和研究前寒武纪沉积地层中，以有机质壁保存的微体化石。由于对该类微体化石的生物亲缘，外壁成分、结构及其它形态特征知之甚少，而推测它们可能代表了不具萌发缝的“古孢子”，或是未知单细胞藻类的“微体古植物”化石。自 20 世纪 60 年代，少数从事化石孢粉学研究的工作者分别对我国南、北方“震旦纪”地层展开了较系统的化石标本收集和研究，当时主要根据苏联学者已有的研究成果和出版物进行形态分类和命名。邢裕盛和刘桂芝（1973）、欧阳舒等（1974a, b）分别在“燕辽地区震旦纪微古植物群及其地质意义”、“西南地区震旦纪古孢子”、“西南地区寒武纪古孢子”文章中，描述和报道了我国寒武纪及其更古老地层中的有机质壁保存的微体化石。这些著作作为我国寒武纪及其更古老地层增添了新的微体古生物化石证据；在凭借生物-物理环境共同营造的叠层石作为划分、对比依据的同时，开创了以实体保存的微体化石为证据去调查和研究我国前寒武纪生物地层的新局面。在对我国西南地区鄂、陕、川、滇、黔等省的 17 条震旦系及震旦-寒武系界线剖面系统采集样品和详细研究其中保存的有机质壁微体化石的基础上，尹磊明和李再平（1978）发表了“西南地区前寒武纪微体植物群及其地层意义”一文，该文在基于岩石、叠层石划分的框架上，对所研究剖面的有机质壁微体化石组合进行了对比；在参阅原苏联文献资料之外，引入欧、美西方学者的研究成果，讨论了所获微体化石的生物、地层意义；并首次从震旦系陡山沱组碳酸盐岩夹含的燧石中发现和描述了原位保存的大型（大于 100 μm ）复杂（具刺状突起）的微体化石。进入 80 年代，随着我国区域地质调查工作不断深入和对前寒武纪地层划分、对比的迫切需求，收集和 research 前寒武纪不同岩相地层的微体化石达到前所未有的高潮，除台湾、西藏外的几乎所有省、区都相继有“微体古植物”化石名单在前寒武纪地层划分表中刊出。由中国地质科学院天津地质矿产研究所（1980）主编的《中国震旦亚界》一书集中反映了当时我国前寒武纪地层及其古生物化石证据研究状况。与此同时，随着研究视野的拓宽，以及我国实施的改革开放政策带来更多与国外学者交流和合作的机会，有力地促进和提高了我国在该学科的研究水平，并取得了丰硕成果。如从南方震旦系陡山沱组发现、报道了更多大型复杂的疑源类标本（张忠英，1981；Yin Leiming, 1985a, 1987；Awramik *et al.*, 1985）；从河北燕山、天津蓟县等地前寒武纪地层（主要是高于庄组、雾迷山组）以常规化石孢粉浸渍法自页岩，及以岩石薄片法自燧石中，分别收集和发现了丰富的微体化石（Zhang Yun, 1981, 1984, 1985；Zhang Zhongying, 1986；刘志礼，1982；朱士兴，

1982; 张鹏远, 1983; 徐兆良, 1984; 罗其玲等, 1981); 同时涉及微体化石生物亲缘关系、保存状态和环境等方面的研究和讨论的文章在这时期也明显增加, 其中张昀 (Zhang Yun, 1985) 详细研究了北京十三陵雾迷山组叠层石中保存的微体化石, 据化石形态和保存状况, 分出营造藻席、长居类型及外来 (或浮游) 类型。尹磊明 (1981) 在“河北曲阳地区震旦系高于庄组的微体化石和假化石”一文中, 记述和讨论了河北曲阳地区高于庄组硅化碳酸盐岩中的球形微体化石的保存及降解、离散、重新形成的次生 (假) 化石结构。朱浩然等 (1981) 以殷实的现代生物学知识, 在“关于前寒武纪原核和真核古植物的讨论”一文中, 详细阐述了化石记录中真核生物与原核生物的一般形态区别; 指出应以现代生物的形态和发生学知识分析、判断前寒武纪生物化石, 并用生物地球化学方法加以甄别。另一方面, 随着化石标本增多和文献资料的不断涌现, 对有机质壁微体化石的描述、分类和命名等也呈现愈来愈多的问题, 乃至混乱。为此, 在一些相关著作中, 就规范微体植物化石的分类, 形态属、种的描述、命名等做了介绍和尝试。如《中国晚前寒武纪古生物》(邢裕盛等, 1985) 一书中, 提出微体植物化石分类方案的倾向性意见。尹磊明 (Yin Leiming, 1987; 尹磊明, 1999) 分别在“Microbiotas of latest Precambrian sequences in China”、“论我国新元古代微体浮游植物化石及其生物地层意义”等文章中, 回顾和讨论了我国前寒武纪微体植物化石已有资料, 其中提到在我国微体植物化石研究中, 仍然存在对化石标本的形态描述过于简单, 缺乏与国内外已知类型的比较讨论, 以致产生“同物异名”或“异物重名”的混乱状况。把原本由于前寒武纪微体植物化石一般保存欠佳、形态特征不明显等缺憾, 更加人为复杂化, 使其难以应用于区域、乃至洲际的生物地层划分和对比。另外值得提及的是, 我国已知前寒武纪微体植物化石标本—多应用化石孢粉的浸渍处理方法从碎屑岩收集获得, 因此, 避免和识别外来污染及次生结构物, 是至关重要的环节。张忠英和刘双 (Zhang and Liu, 1991) 在“Post-burial contraction cracks in Precambrian acritarchs”一文中提出不能把埋葬后次生的裂纹作为化石标本的形态特征或疑源类的脱囊开口加以记述。显然, 该项研究是深入认识地质时期中海洋微体浮游植物埋葬、保存及其降解过程的有意义的尝试。

除应用化石孢粉的浸渍处理方法收集有机质壁保存的海洋微体浮游植物化石 (疑源类) 外, 针对我国早寒武世、前寒武纪碳酸盐岩多夹含硅质燧石层或结核的特点, 以岩石薄片法发现和观察原位保存的渗透矿化微体化石, 成为另一种重要的研究方法。这不仅从我国北方前寒武纪、南方“震旦纪”地层中发现和记述了大量有重要价值的微体化石, 有力地补充了我国前寒武纪地层划分、对比的生物化石证据; 而且, 为探讨早期生命的起源和演化及了解沉积、埋葬环境提供了比浸渍法所获化石更为珍贵的资料, 也促使从事该学科调查、研究的古生物工作者, 一改原先偏向于一般的形态分类、命名, 满足生物地层划分的状况, 而着眼于与现生生物的比较讨论, 去探求生物化石间的联系, 从而为填补不同地质时期物种间的重要演化序列提供证据。当前对最早真核生物化石证据的积极探寻, 以及关于震旦系陡山沱组出现的大壳体微体化石的生物亲缘关系的热烈讨论, 就是显例。对此本书将专辟一节加以阐述。

上面简要的回顾, 明显表明我国对有机质壁保存的海洋微体浮游植物化石 (疑源类) 的研究是从针对前寒武纪地层开始的, 是从偏重于原苏联的文献资料及分类命名起步, 经过多年不断调查研究, 在日渐丰富的化石资料基础上, 逐步在区域、乃至全国建

立或完善前寒武纪,尤其是新元古代的疑源类化石组合;并由此而兴起和推动我国对有机质壁保存的海洋微体浮游植物化石的研究。

随着我国石油勘探事业的发展,疑源类作为有机质壁保存的微体化石成为钻井地层划分、对比的重要依据。同时在地质断代和界线地层研究工作中,疑源类与其它孢粉型(palynomorph)化石,如胞石(几丁虫)等,日益成为显生宙、尤其是早古生代生物地层除无脊椎动物化石和牙形刺以外的重要微体古生物证据。20世纪70年代末,在我国西南地区下寒武统(欧阳舒等,1974b)、广西六井下泥盆统(高联达,1978)、渤海沿岸第三系(宋之琛等,1978)开始有显生宙疑源类的记述,至80年代,从显生宙、尤其古生代地层中相继有愈来愈多的疑源类化石的描述和报道。其中邢裕盛(1982)、李再平(1982)、高联达(1984,1988)、尹磊明(Yin Leiming,1985b,1986)、Martin和Yin Leiming(1988)、王福星(Wang Fuxing,1985)、卢礼昌(1987)、方晓思(1986,1990)、胡云绪(1986)、付嘉媛(1986)、李军(Li Jun,1987)等对我国广大地区古生代、尤其是奥陶纪疑源类的研究,不仅初步建立了疑源类组合及少数化石带,参与生物地层的划分、对比;而且为不同地质时期古地理的恢复及岩石圈构造演化的讨论提供了极有价值的资料。可以说,这是我国古生物工作者在长期收集、记述前寒武纪形态简单的有机质壁微体化石以来,真正意义上的疑源类形态多样性研究的开始。自此,贯穿前寒武纪、显生宙不同地质时期的疑源类化石及其组合的调查和研究工作在我国蓬勃开展,取得的成果已广泛应用于对生物地层的时代确定和划分,对含矿沉积地层的成矿作用研究,对中、轻度变质地层的时代甄别及热变质作用探讨,以及对钻井地层的划分、对比及油、气矿床形成和分布的研究。

早在20世纪80年代初,美国著名微体古生物学家Tappan(1980)在《植物原生生物的古生物学》(The Paleobiology of Plant Protists)巨著中,较详细地介绍了海洋微体浮游生物化石(疑源类)及其地质分布,嗣后,Mendelson(1992)、Martin(1993)、Strother(1996)、Molyneux等(1996)都相继在不同出版物中对疑源类化石和归属绿枝藻(prasinophyta)的藻囊胞(phycomata)类型的一般形态特征、地层分布及一些典型化石和组合进行了回顾和总结。与此同时,加拿大学者Fensome等(1990)在“美洲地层古生物学家基金会”(AASP)的出版丛中,以《疑源类和化石绿枝藻:属、种及同物种类型之索引》为题,将他们所掌握的截至1990年1月1日全世界公开发表的疑源类、化石绿枝藻的属、种、亚种、变种及变形,一并根据国际植物命名法规加以讨论和按字母排序。这是一部前所未有的、大量文献资料的汇编,它提供疑源类、化石绿枝藻属种更为客观、详细的索引。而由美国学者Schopf和Klein(1992)主编,世界多位著名前寒武系研究专家、学者撰写的《元古宙生物圈》(The Proterozoic Biosphere)一书,对元古宙地质、地层及包括疑源类在内的几乎所有生物化石和遗迹做了详细讨论、清理和总结。此外,原苏联学者Janekauskas等(1989)主编了《苏联前寒武纪微体化石》(Precambrian Microfossils of the USSR)一书,书中着重对20世纪50年代以来苏联老一辈微体古生物工作者记述的大量元古宙地层中的疑源类化石标本进行了清理,对其中的许多形态属、种特征给予修订、订正,从而归并或废弃了不少球形疑源类的同义名和裸名。

以上这些阶段总结性的著作作为我们认识疑源类化石,了解它们的生物地层、古生

态、古环境意义以及研究现状等，提供了更加系统、更为全面的知识。在此基础上，本书全面回顾我国疑源类化石研究状况，在介绍不同地质时期典型疑源类化石组合及类型的同时，对疑源类的分类、命名及应用等方面所存在的问题加以讨论和必要的修正，以利该学科在我国顺利发展。

鉴此，笔者着重从国内外疑源类研究历史，疑源类重要形态特征（膜壳、突起、脱囊开口等）和分类命名方案，它们的生物、地质意义，我国疑源类研究所取得的成果及现状，国际上被公认各地质时期的典型疑源类组合及与我国已知资料的比较和讨论，疑源类的古地理、古环境意义，以及海洋微体浮游生物的成矿作用等方面加以叙述和概述。其中有关疑源类的一般介绍，笔者在比较了多位作者的相关出版物后，主要参阅 Strother (1996) 的“Acritarchs”一文。而有关各地质时期的典型疑源类组合资料主要引用自 Molyneux 等 (1996) 所著的“Paleozoic Phytoplankton”。这里要说明的是，疑源类在中、新生代地层虽有出现，但其数量和类型分异已显著下降，它们的生物、地质意义已逊于其它微体化石（孢粉，沟鞭藻，颗石藻，有孔虫等），况且我国已知中、新生代疑源类资料零星、稀少，故此本书没有涉及和撰写。另外，由于篇幅有限，加之多数疑源类属、种已在国内刊出，因而本书选取重要疑源类属、种记述和讨论。

笔者在整理、撰写过程中，得到国内外多位专家、学者的热诚帮助，并提供重要化石标本的图像等资料；中国科学院南京地质古生物研究所化石孢粉实验室、照相室、磨片室等在化石标本、图像的制备等方面提供了技术支持；在意大利比萨（Pisa）大学地球科学系与 Tongiorgi 教授合作研究期间，得到该校、系有关实验室工作人员的热忱帮助，在此一并表示衷心地感谢。

由于笔者个人资料有限，对不同作者记述、报道的疑源类属、种标本未能悉数观察和讨论，因此，在本书中对一些属、种名的引用和讨论不免会有疏漏或错误；加之个人研究水平所限，书中的一些认识和观点尚待同仁们和相关专家、学者加以修正和补充。

本书在整理、撰写，以及付诸编辑和出版过程中，得到中华人民共和国科学技术部基础性工作专项（编号：2001 DEB 20056）、中国科学院科学出版基金、国家重点基础研究发展规划项目（编号：G2000077701）、国际合作重点项目（编号：2003CB716805）、中国科学院知识创新项目（编号：KZCX2-116）和国家自然科学基金项目（批准号：49972006；40472003），以及现代古生物学和地层学国家重点实验室（中国科学院南京地质古生物研究所）等多项研究课题基金和出版基金的资助，深表谢忱！

目 录

前言

第一章 疑源类化石概述	1
一、研究简史.....	2
二、一般形态学及应用术语.....	3
(一)膜壳	4
(二)壁结构	7
(三)突起	8
(四)脱囊结构	10
三、疑源类分类命名	13
第二章 疑源类保存及研究方法	21
一、细碎屑岩中的保存	21
二、燧石中的保存	21
三、磷酸盐沉积岩中的保存	22
四、疑源类研究的技术方法	23
(一)常规方法	23
(二)改进的技术方法	23
第三章 疑源类的生物意义	26
一、地质历史早期生物演化的化石证据	26
二、疑源类生物亲缘的讨论	29
第四章 疑源类生物地层应用	34
一、我国疑源类生物地层研究	35
(一)古元古代晚期	36
(二)中元古代	36
(三)新元古代	37
(四)早古生代	42
(五)晚古生代	46
二、国外疑源类生物地层研究	47
(一)前寒武纪	47
(二)早古生代	48
(三)晚古生代	59
三、国内外疑源类生物地层对比	62
(一)前寒武纪	62
(二)古生代	65
四、疑源类的古生态和古地理	69

五、疑源类在金属矿和石油形成、富集中的生物成矿作用	77
第五章 重要疑源类属、种记述	79
参考文献	160
中、拉学名索引	183
拉、中学名索引	189
英文摘要	195
图版说明	205

第一章 疑源类化石概述

“Acritarcha”一词由 Evitt (1963a, b) 作为非正式术语提出, 以收容在许多刺球类 (hestrichospheres) 转移归属甲藻以后所留下的类型。按其词意 (akritos = 不确定, 混合, 困惑; arche = 开始, 起源), 中文译为“疑源类”。从字面而言, “疑源”意即亲属关系不明, 如此岂不是凡生物亲缘关系不明的化石类型皆归放其中? 为此, Evitt (1963a, b) 将“疑源类”定义为: “未知或可能多样生物亲缘关系的小型微体化石, 由单一或多层有机成分的壁包封的中央腔组成; 对称性、形状、结构和装饰多种多样, 中央腔封闭或以孔、撕裂状不规则破裂、圆形开口 (圆口) 等多种方式与外部相通”。它们是一个未知或不确定生物亲缘关系的有机质壁微体化石类群, 据目前研究获知, 它们可能代表包括海生杂色藻、绿藻和单细胞原生物的化石化有机质壁囊胞, 以及一些真菌孢型、高等生物的卵及其它非海相形态类型; 此外, 一些不能确定生物亲缘关系的定形、非定形集合体或多细胞微体化石也常归为疑源类。它们贯穿整个地质时期, 在古生代中期呈现类型分异高峰, 晚泥盆世后期明显衰减。由于疑源类代表了地质时期海洋食物链基础生物的化石证据, 记录了生氧自养生物的历史, 因此它们对研究不同地质时期大气圈的组成和生命的连续演化有着重要意义。它们在定量生物地层和古生物研究中有重要应用价值, 同时对恢复不同地质时期的古地理和古环境也有不可低估的作用。

疑源类的形态多变, 可能正反映它们的异源发生。大多数疑源类化石由单层、中空膜壳 (或囊膜) 构成, 可以装饰有突起 (通常是刺或隔墙) 和表面雕饰。膜壳对称性从球形、辐射形至两极、或不规则形。以单个膜壳保存的疑源类化石, 可能意味着源自单细胞生物。许多疑源类显现简单的脱囊开口结构, 此更支持它们是藻类囊胞的意见。对从前寒武纪至显生宙地层出现的非具刺疑源类, 除部分可能系单细胞真核藻类 (如淡水绿藻等) 或代表囊胞化石外, 不能排除有少数原核生物保存的可能性, Butterfield 等 (1988)、Strother (1994) 对从元古宙页岩浸解获得的蓝细菌衣鞘的恢复, 揭示这些原核生物可以产生如同新鲜孢粉类那样具抵抗力的有机壁结构物。

如上所述, 疑源类在生物地层应用方面有很大价值, 尤其对古生代生物地层而言, 疑源类是显而易见的选择, 但对没有精确定年的前寒武纪地层和以没有精确分类的球形疑源类为主的前寒武纪组合来说, 它们的潜在作用还有待更广泛和深入的调查研究。

疑源类化石在沉积地层中大量保存, 据英国著名学者 Downie (1958) 对早奥陶世 Shineton 页岩的估算, 每克岩石约含十万粒疑源类化石标本, 因此, 疑源类是古生物信息的重要来源, 也是从事定量生物地层研究的很有吸引力的化石证据。同时疑源类在恢复古地理、古环境的研究中, 也是不可忽视的重要海洋微体生物化石证据。但目前由于我们缺乏对疑源类与现代海洋微体浮游生物 (尤其是藻类) 之间系统关系的了解, 因而难于对其古生态作出确切的论述。

一、研究简史

在一个半世纪前或更早,德国学者 Ehrenberg (1838) 从白垩纪燧石薄片发现并描述了微体化石,他将其中具刺的类型归入多棘鼓藻属 (*Xanthidium*), 并认为它们代表绿藻中带藻的接合孢子。英国学者 Mantell (1845) 在他人应用酸浸渍从燧石母岩中取出多棘鼓藻 (*Xanthidia*) 后,明显证明所收集的化石是有机质壁的,并首次将这些微体化石作为分散孢粉型加以观察。稍晚,美国学者 White (1862) 描述了采自美国纽约州古生代燧石中的微体化石,并如同 Ehrenberg 一样,将它们归入多棘鼓藻,但是,他难于解释原有机质壁保存与化石的最初或二次矿化作用之间的关系。而美国的另一位学者 Dana (1895), 认为 White 的某些标本具有硅藻 (diatom)、多棘鼓藻及带藻孢子状态的特征。Dana 所指具硅藻特征的类型显然是化石翼球藻 (*Pterospermella*), 而识别为“海绵骨针”的标本可能是稀刺藻 (*Verhachium*)。同时他还给出了类似花边球藻 (*Cymatiosphaera*) 和埃维特藻 (*Evittia*) 的画图。可见 Dana 此时仍然持续混淆了矿化的和有机质壁不同保存的微体化石。至 20 世纪 30 年代,德国学者 Wetzel (1933) 将包括早先由 Ehrenberg (1838) 记述的标本在内的微体化石,视为有机质壁保存的刺球类 (hystrichosperes) 的一部分。可见,许多基础性和系统的疑源类研究出自欧洲,其中德国著名学者 Eisenack (1938, 1958) 描述了很多常见属,如 *Baltisphaeridium*, *Leiofusa* 和 *Leiosphaeridia* 等,并在 70 年代系统研究、连续编著了《沟鞭藻、刺球类及相关微体化石索引》(Katalog der fossilen Dinoflagellaten, Hystrichoapharen und verwandten Mikro-fossilien) (Eisenack *et al.*, 1973, 1976, 1979a, b), 这些索引为疑源类及其它有机质壁保存微体化石的分类命名,提供了包括属、种特征,化石标本图像,地域及时代分布等的详细资料,这是一项浩繁而意义重大的工作。法国学者 Deflandre 于 1937 年描述和建立了广泛分布的小刺藻 (*Micrhystridium*), 并记述了古、中生代的许多其它疑源类类型,对早期的疑源类系统研究产生了积极影响。之后,法国另一位学者 Deunff 在 1954 年描述了稀刺藻 (*Verhachium*)。至 60~70 年代,疑源类的系统调查和研究在欧洲更广泛展开,在比利时 (Martin, 1974)、英国 (Lister, 1970) 和西班牙 (Cramer *et al.*, 1972) 都相继描述和报道了古生代的疑源类化石及组合。

在北美,以 Loeblich 和 Tappan 为代表的微体古生物学家应用高清晰度的电子扫描显微镜详细观察和描述了产自北美古生代地层的疑源类化石 (Loeblich and Tappan, 1969; Loeblich, 1970; Loeblich and Wicander, 1976)。他们的出版物中化石标本图像格外清晰,形态特征描述精细;此为该学科引入高、新技术方法,并以一丝不苟的科学态度进行研究开创了先河。而 Playford (1977) 对澳大利亚西部泥盆—石炭纪及加拿大安大略省中泥盆世疑源类化石组合的研究,将疑源类的形态学研究推向规范、精细的更高层次。

与此同时,苏联学者 Naumova (1961)、Timofeev (1959, 1966) 记述了前寒武系和下古生界的大量疑源类标本,建立了许多形态属、种,但其中很多属、种名由于缺少清晰化石标本图像或仅有画图,加之形态特征描述过于简单,或没有指定模式标本等缘故,相继被确定为无效的同义名或裸名 (详见 Jancauskas *et al.*, 1989; Fensome *et al.*,

1991)。以后通过 Volkova 等 (1979)、Jankauskas 等 (1989) 的清理和规范, 以及对部分元古宙常见类型的重新研究 (Vidal, 1976, 1981), 遂使许多化石资料和标本收编入 Schopf 和 Klein (1992) 主编的《元古宙生物圈》(The Proterozoic Biosphere) 一书, 成为元古宙不同时期疑源类化石组合的代表类型。

显然, 以欧、美西方国家为代表的一方, 从一开始就着力于有机质壁保存微体化石的生物亲缘关系的讨论和研究, 加之较早引入高、新技术, 不断提高对该类化石的形态特征的认识和描述, 逐步形成更加完善、合理的形态分类、命名方案。而以原苏联为代表的另一方, 偏重于“地层孢粉学”, 加之研究的技术方法相对保守, 没有或未能足够进行详细的形态学研究, 以致长期停留在一般的形态分类及地层的划分和对比应用上。

随着国际间关于不同地质时期地层界线调查研究的深入, 以及石油勘探事业的蓬勃发展, 包括疑源类在内的有机质壁保存的微体化石日渐成为重要的生物地层划分依据。为此, 依托不同地质时期较高研究水平的无脊椎动物化石及其地层分布资料, 系统收集、研究疑源类化石, 建立应用于区域、乃至洲际间对比的疑源类化石组合, 为该学科迅速发展带来契机。如 Moczyłowska (1991)、Martin 和 Dean (1981)、Yin Leiming (1985b, 1986)、Martin (1992)、Le Herisse (1989)、Molyneux (1987)、Playford (1977, 1981)、Wicander (1974, 1983) 等有关古生代各纪地层或界线地层疑源类化石组合研究的成果相继推出, 使疑源类化石研究愈加成熟。另一方面, 随着前寒武纪地层发现和收集的微体化石证据的日渐丰富 (如 Knoll, 1984, 1985; Yin Leiming, 1985a, 1987, 1997a, b; Awramik *et al.*, 1985; Zang and Walter, 1992; Butterfield *et al.*, 1988), 以及从世界不同国家和地区的新元古代及更古老地层中, 具刺或其它复杂装饰的疑源类的陆续报道和描述, 不断更新着人们早先对前寒武纪是以简单球形疑源类为代表的组合面貌的认识。与此同时, 随着不同地区、不同地质时期疑源类组合资料的日渐丰富, 对疑源类化石及组合的古生态环境和古地理分布的认识不断深入。由于应用了高新科学技术和精密仪器, 对疑源类化石壳壁的超微结构、表面基理纹饰及化学组成成分等的研究更加精细; 而以生物地球化学测试为辅助手段, 对疑源类在生物演化谱系中的位置及其生物属性的认识, 亦将愈加清晰。

二、一般形态学及应用术语

精确的形态学描述是疑源类研究的鉴别标准, 在此基础上, 才能建立一致和客观的分类命名, 为综合的古生态学、古地理学、地层学和进化模式提供可靠化石证据。

在实际应用中, 疑源类的形态学, 即对它的各种组分的几何排列或拓扑学 (topology) 的研究显得格外重要, 如突起附生物和雕饰在膜壳上的位置分布及式样, 是作为描述的重要形态特征, 而明显壳壁分层、内体及膜状包被物等也都是疑源类拓扑学所关注的方面, 对多层壁的精确描述可以证明原有机体的无性和有性繁殖状态间的关系。由于大多数疑源类代表浮游植物的囊胞, 其脱囊开口 (膜壳壁裂缝和孔) 的位置和形式也是显著的形态特征。另外, 膜壳壁超微构造特征也许反映潜在的、基本的分类 (生物种) 区别, 但由于超微构造鉴别通常需要借助透射电子显微镜 (TEM), 将该技术用于一般的形态描述工作是不切实际的。

目前已知大多数疑源类是真核浮游植物，它们的有机质壁荚膜（又称膜壳或中央体）由纤维素和孢粉质两种形式的高分子聚合物构成，纤维素在植物细胞壁中是普遍存在的，但它的大分子结构物通常不能幸存于成岩作用。孢粉质是一种与酯相关的类胡萝卜素派生物，它是疑源类幸存于成岩作用的主要化学组分（Brooks *et al.*, 1971）。从理论上说，疑源类的壳壁化学组分的变化对分类命名有着潜在作用。只是由于不容易获得单一疑源类形态种足够数量的标本，以致难于对疑源类化学组分进行比较研究，况且成岩作用，及随埋葬时间而丢失的易挥发组分，使壁原先的化学组分有所变化，因此，往往不能如愿地揭示分类单元间的化学组分别。

通常疑源类的形态学鉴别是着重于膜壳、壁的结构、附生物（突起等）、脱囊开口等的多样性或不同特征（图 1.1）。

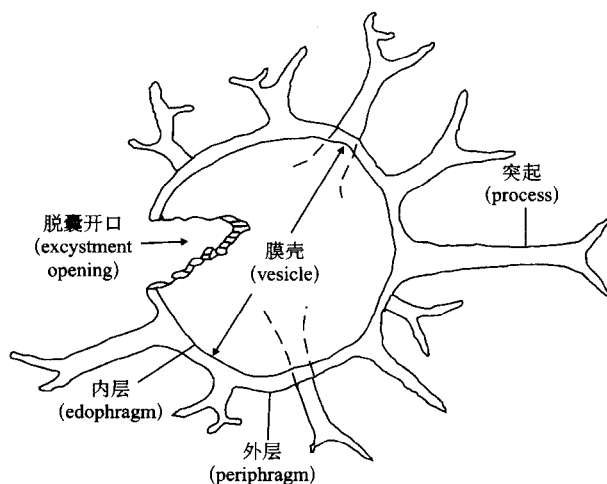


图 1.1 疑源类的重要形态特征

（一）膜壳（vesicle）

疑源类的膜壳中空，从小于 $20\mu\text{m}$ 至大于 $250\mu\text{m}$ ，通常显生宙地层常见类型在 $50\sim 100\mu\text{m}$ ；前寒武纪简单的球形类型，直径从几微米至像 *Chuarina* 那样，达 $0.5\sim 5\text{mm}$ 。膜壳直径、突起长度和总体大小是描述疑源类的重要形态特征。在分类命名和描述中，大小通常是以平均值表示（如膜壳直径或突起长度）；或以平均值变化为横轴，以所测标本数为竖轴的直方图表示。

大多数疑源类的膜壳原本是球形，由于碎屑岩（页岩）成岩作用及物理挤压，一般呈扁平的平板状保存。仅在碳酸盐岩或被硅、磷等渗透矿化情形下，能收集和见到呈三维保存的“立体”标本。除球形外，疑源类的形态多样性很高，以地质时期中疑源类出现高峰的晚奥陶世为例，已知类型就有球形，椭球形，纺锤形，新月形，衬垫形，豆形，蛋形，枕垫形等。此外还有圆柱形，长颈瓶形，梨形及星形等。显然，疑源类的形状是对膜壳对称性的描绘，是膜壳轮廓的形状和膜壳壁上的突起及其它延伸物的相对布局的表现。正由于大多数疑源类被视为三维体的压平遗迹，因此，膜壳的对称性是在对

其三维体复原后，参照旋转轴与膜壳各部分的对应关系加以描述的。但是，有些疑源类在沉积压实之前原本就是扁平的，或呈铁饼形，例如，Le Hérisse (1989) 记述的 *Duvernaysphaera*，其原本明显是扁平形。*Veryhachium* 和 *Neoveryhachium* 的一些种原本也是扁平的。压扁的膜壳轮廓由于角度或凹凸程度的变化，而表现为圆形、椭圆形、纺锤形至多角形。这些基本形状常过渡，最常见的是从球形至多角形。

膜壳壁上的突起及其它延伸物的分布通常显现对称性，它们在膜壳上的不同分布使总体形状呈现多种式样。Eisenack 等 (1973) 应用突起的分布曾定义了三种对称方式：

(1) “半球形对称：疑源类突起或装饰分子的分布为两极对称，有明显突起或装饰覆盖的一极，而有别于另一极……”

(2) “全角对称：疑源类突起或装饰分子的分布为两极对称，两极有着实质上相同的突起或装饰分子……”

(3) “规则对称：疑源类突起或装饰对称分布，对中央体的任何一处而言，没有明显特定部位，即突起或装饰并非集中于极部及赤道等。”

一般两极对称是单一旋转轴的对称。在全对称的类型 (holomorphic) 中，如 *Eupoikilofusa*，相对两极轴有一个附加的小平面。在 *Veryhachium* 的一些标本中，围绕一个垂直于压扁膜壳平面的轴，表现不同程度的旋转对称。大多数疑源类是辐射对称 (如同 Eisenack 的规则对称) 的形态 (Tappan, 1980)。这里的所谓辐射对称，是指有机体可以通过它们中心的三直角轴旋转，而没有任何偏重方向，以致这些球形疑源类的任何半径的形态近相似。少数情形可发现奇异形态，例如 *Geron* 是辐射对称的，但在其极部的膜状物尾或缘膜使之呈现半球形。有时膜壳的脱囊开口也可破坏辐射对称，而产生旋转的双极轴，如在 *Axisphaeridium* (Tappan, 1980) 和 *Priscogalea* 中所见的那样。具有赤道边缘的疑源类，如 *Pterospermella*，仅在赤道面为辐射对称，而非三叠辐射对称。另有些疑源类，其附生突起在膜壳表面不规则分布，以致缺乏旋转轴及所对应的小平面。许多具有 4 个以上突起的 *Veryhachium* 是这样，一些具少数突起的 *Baltisphaeridium* 和 *Multiplicisphaeridium* 的标本亦如此。有些带有宽大基部锥形刺的类型 (如 *Estiastra*, *Picostella*)，由于膜壳和突起之间呈渐变关系，以致难于指定这些疑源类的形状。

另外，在疑源类中，朝向顶端或轴向生长的形态学特征不明显，这支持这样的推测：疑源类大多应是单细胞有机体的残留物，它们不像多细胞的螺旋形体和丝状体那样，经常呈现相伴或联接的系列生长。不过，也有少数两端具有开口和孔洞的类型，被推测为是多细胞连接的藻类丝体。最近，Uutela 和 Sarjeant (2000) 在对 Tynni (1982) 记述自芬兰 Aland 岛奥陶系的 *Tranvikium polygonale* 的形态特征 (膜壳一端有大的释放开口，另一端有小的孔洞) 再次研究后，提出该类型可以是绿藻、褐藻和红藻的异丝体的藻类丝体或可以与绒枝藻所产生的配子囊柄比较。

尽管在疑源类的分类命名中，膜壳形状不是那么有效，但显然是实用的分类特征。在 Downie (1963) 的属以上的分类中，形状是基本特征之一，但有许多疑源类的形状介于这些分类级别之间。

图 1.2 是从已知疑源类化石组合挑选的具代表意义和常见的形态类型。

疑源类的膜壳表面，除部分光滑，无明显雕饰外，都显现不同大小及形态的雕饰。

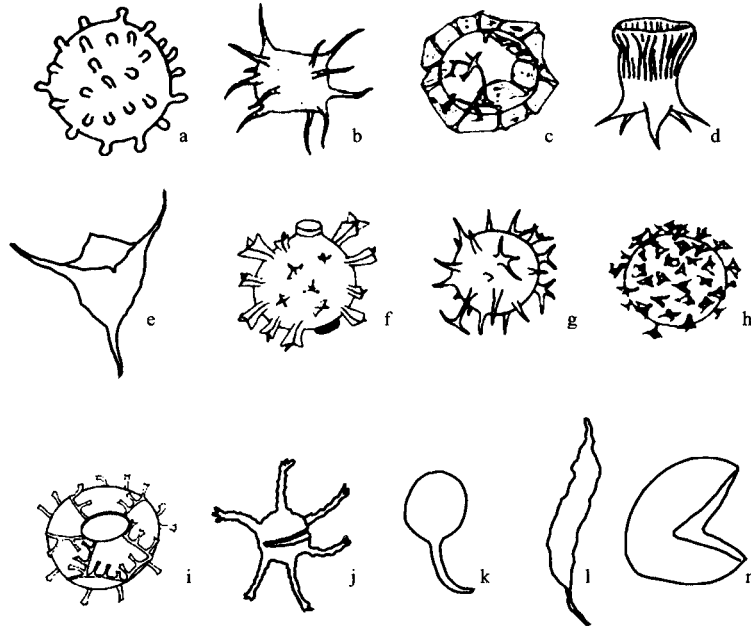


图 1.2 疑源类常见形态类型

- a. *Buedingiisphaeridium tremadocum*; b. *Actinotodissus achrasi*; c. *Cymatiogalea* sp.;
d. *Corolasphaeridium wilcoxianum*; e. *Veryhachium* sp.; f. *Polyancistrodorus* sp.;
g. *Multiplicisphaeridium abnorme*; h. *Vulcanisphaera* cf. *africana*; i. *Cymatiogalea* sp.;
j. *Dixallophasis* sp.; k. *Deunffia brevispinosa*; l. *Leiofusa* cf. *rhikne*; m. *Leiosphaeridia* sp.

由于疑源类的雕饰分子与化石花粉粒、孢子及沟鞭藻的表面雕饰相似，因此，对疑源类壳壁表面雕饰的描述大多沿用以上微体化石类群业已建立的术语。其中许多术语与孢粉学的一般术语相同 (Erdtman 1943; Faegri and Iversen, 1950; Tschudy and Scott, 1969; Traverse, 1988; Kremp, 1965; Williams *et al.*, 1978)。

Eisenack 等 (1973) 曾给出常见疑源类的壳壁表面雕饰类型：光滑 (psilate)，皱纹 (rugulate)，粗糙 (scabrate)，条纹 (striate)，网状 (reticulate)，丝状 (filose) 或纤毛状 (ciliate)，颗粒 (granulate)，齿状 (denticulate) 或棘刺 (echinate)，疣 (verrucate)，棒杆 (baculate) 或基柱 (pilate)，棒瘤 (clavate)，鲛粒 (shagrinate) 等。Mendelson (1992) 概括、描绘了疑源类和绿枝藻膜壳壁表面小于 $5\mu\text{m}$ 的重要雕饰分子，如图 1.3 所示。

以上膜壳表面雕饰描述的术语，主要是在光学生物镜下观察应用，在电子显微镜下，可观察到直径或宽度小于 $1\mu\text{m}$ 的“超微”雕饰分子。Tappan 和 Loeblich (1971) 应用扫描电子显微镜在 3000 至 20000 倍下，对早古生代疑源类壳壁表面超微雕饰分子进行了详细观察研究。他们认为壳壁表面的超微雕饰与大的突起、开口或壳体形态特征相比较，更少受环境的影响，是鉴别疑源类类型特征的可靠依据。

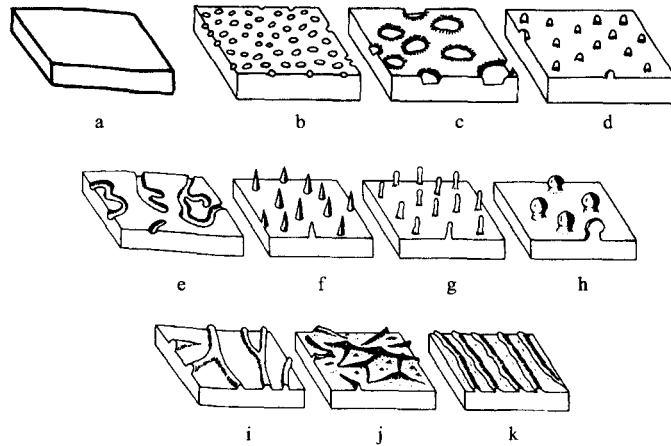


图 1.3 疑源类膜壳表面常见雕饰

- a. 光滑 (laevigate); b. 点穴 (punctate); c. 网穴 (foveolate); d. 颗粒 (granulate);
 e. 坑窝 (fossulate); f. 棘刺 (echinate); g. 棒杆 (baculate); h. 芽形瘤 (gemmate);
 i. 皱纹 (rugulate); j. 鸡冠状突起 (cristate); k. 肋脊 (costate)

(二) 壁结构 (wall structure)

壁结构涉及内部超微结构和疑源类壁的化学组分。通常疑源类保存原始有机成分，而没有被矿物替代或石化。它所含的孢粉质产物能在不利环境条件下胜任保存生命原生质体。对陆生植物而言，孢粉质对环境的适应性使水得以在孢粉颗粒中存留。对完全水生生物而言，孢粉质使内囊原生质体与周围水的长时期渗滤作用隔离，从而阻止有毒物质渗入壳壁内。

透射光学显微镜可以揭示疑源类壁的厚度、光学致密度和颜色，用以区别绿枝藻如 *Tasmanites* 厚壁上具有的辐射孔，在 *Salopidium* 壁上的小点，以及 *Baltisphaeridium* 有时存在的两层壁等特征。但是，传统的光学显微镜仅限于 $0.2\mu\text{m}$ 的理论鉴别，因此不能满足对大多数在 $1\mu\text{m}$ 或更小厚度的疑源类壁内部结构的确定。

Tappan (1980) 将多层壁作为一种壁结构式样，认为分隔的不同层可以反映它们不同的发生。Jux (1968, 1971) 应用透射电镜察看了 *Baltisphaeridium longispinosum*, *B. pachyacanthum*, *B. multipilosum*, *Peteinosphaeridium trifurcatum*, *Goniosphaeridium balticum* 和 *Acanthodiacrodiium divisu* 的壁结构，他在所有以上标本都发现与塔斯曼尼藻 (*Tasmanites*) 及其现生海球藻 (*Halosphaera*) 相比较的辐射孔。据此，Downie (1973) 引伸认为 *Baltisphaeridium* 具有塔斯曼尼藻的壁结构，与塔斯曼尼藻一样是与绿枝藻亲缘。Staplin 等 (1965) 应用光学显微镜描述 *Baltisphaeridium* 的膜壳壁“有时是细孔或具有管道”，他们的观察也支持 *Baltisphaeridium* 是塔斯曼尼藻的壁结构。但是，值得注意的是，在解释透射电子显微镜从疑源类壁的横断面获得的图像时，不能忽视有机质壁在埋葬、成岩过程中经受的降解作用，在很多这样的透射电镜图像中，都显