

# 钙质超微化石

同济大学海洋微体古生物室 编



海 洋 出 版 社

# 钙质超微石

同济大学海洋微体古生物室 编

海洋出版社

一九八二年·北京

## 内 容 简 介

钙质超微化石是近年来海洋地质工作广泛应用的化石门类,在海上石油勘探和深海地质研究中尤其重要。本书简要地对钙质超微化石的基本知识进行系统介绍,诸如研究历史、方法、生物学特征、基本构造、分类、演化、地层意义、生态分布、古海洋学应用等。分类部分着重介绍常见的 20 科 38 属,并附有插图和部分电镜照片。

本书对于需要运用超微化石资料或准备从事超微化石工作的海洋地质工作者和古生物工作者,以及希望获得关于超微化石一般知识的地质、地理、海洋工作者和有关大专院校师生,都有一定参考价值。

### 钙 质 超 微 化 石

同济大学海洋微体古生物室 编

\*

海 洋 出 版 社 出 版

北京复兴门海贸大楼

国防科委印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1982 年 1 月第 1 版 1982 年 1 月第一次印刷

开本:  $787 \times 1092^{1/32}$  印张:  $2^{1/2}$

字数: 50,000 印数: 1—971

统一书号: 13193·0088 定价: 0.38 元

# 目 录

|            |        |
|------------|--------|
| 一、前言       | ( 1 )  |
| 二、研究历史     | ( 3 )  |
| 三、方法       | ( 6 )  |
| 四、生物学      | ( 14 ) |
| 五、构造       | ( 18 ) |
| 六、分类       | ( 24 ) |
| 七、演化       | ( 39 ) |
| 八、地层意义     | ( 44 ) |
| 九、生态与分布    | ( 52 ) |
| 十、古海洋学中的应用 | ( 60 ) |
| 附录 术名对照表   | ( 68 ) |
| 主要参考文献     | ( 72 ) |

## 一、前 言

化石的大小十分悬殊。一般说，用肉眼能见的化石，称为大化石；细小到需用显微镜观察的化石，属于微体化石；更加细小而只有靠电子显微镜才能看得清的化石，叫做超微化石 (nannofossils)。超微化石有钙质和硅质两类。硅质超微化石即硅鞭藻 (silicoflagellata) 的化石，种类不多，而平常所说的“超微化石”主要是指钙质超微化石，它们种类繁多、数量极大，近十余年来引起了国际地质界、主要是海洋地质界的极大重视。钙质超微化石的大小只有1—35微米( $\mu$ )左右，近于光学显微镜所能辨认的极限，常常需要用电子显微镜加以研究。钙质超微化石首先是指颗石类 (coccoliths)，颗石已经查明是颗石藻 (Coccolithophorida) 身上的骨骼，这是一类具有鞭毛的单细胞浮游生物，现在海洋中有大量分布；因此，产生钙质超微化石的生物常称为钙质超微浮游生物 (calcareous nannoplankton)。另一些与颗石类大小相近、通常共同产出的钙质化石如第三纪的盘星类 (discoasters)、白垩纪的微锥类 (nannoconids) 等，也都列在钙质超微化石之中，被认为是和颗石藻同一类单细胞生物的遗骸，虽然这些绝灭生物的亲缘关系远未查明。

钙质超微化石分布于侏罗纪以来的海相地层中，由于数量极多、分布广泛、演化迅速、并能反映海水温度等环境变化，是海洋地层和古海洋学研究的好材料。运用钙质超微化

石，可以将热带海区的新生代地层划分出56个化石带，其细致程度超过任何其他化石门类；在海洋钻探中，往往在取上岩心后只需十余分钟的分析、观察便可得到超微化石指示的地层年龄，分析速度之快也可以超过任何其他微体化石门类。钙质超微化石虽然早在百余年前就已发现，但只是在六十年代后期以来才受到学术界和企业界的特殊重视。这一方面是电子显微技术（特别是扫描电子显微技术）的发展和应用提供了深入研究超微化石的可能性，另一方面也是海上石油勘探、深海调查的开展，提出了研究超微化石的迫切必要性。目前，超微化石已经成为各国石油勘探和海洋研究中经常使用的一个化石门类。

可惜，我国超微化石研究尚属空白，甚至尚未引起一部分有关海洋地质单位的重视。为此，我们根据对东海、南海第四纪和第三纪钙质超微化石进行初步工作的体会，结合国外的有关材料编写了这一本小册子，供有关古生物工作者和海洋地质工作者参考。鉴于我国以东部海区目前应用的范围，编写时着重在晚第三纪和第四纪。书后附有学术名称对照表和主要参考文献，以供读者进一步查阅国外文献时使用。由于我们对超微化石的研究尚处于开始阶段，编写中定有许多不足之处，恳请读者批评指正。

本书插图由中山大学李前裕同志清绘，东海标本的扫描电镜摄影由石油勘探开发科学研究院缪欣同志完成，特此致谢。

## 二、研究历史

钙质超微化石的研究始于欧洲。最早是德国的 Ehrenberg (1836年) 在显微镜下观察波罗的海沿岸吕根岛的白垩时, 发现有无数细小的椭圆形物体, 他把这叫做“形石”(morpholithe), 以为是无机成因的。1857年, Hexley 在大西洋现代沉积物中发现了它们, 而且觉得和绿藻类 *Protococcus* 的外形相似, 便取了“颗石”(Coccolith) 的名称, 一直沿用到现在。接着, Wallich (1860—1861年) 发现这些颗石组合成圆球, 他把这种圆球叫“颗石圈”(Coccosphaere)。1861年 Sorby 在英国白垩中发现了保存完好的颗石圈。这样就证明了白垩纪的“形石”不是无机成因的, 而是和现代“颗石”一样是颗石圈的组成成分。

接着, 不少欧洲学者对于地层中和现代的颗石类的描述、分类、生态等方面做了许多工作。1891年, J. Murray 等在著名的《H. M. S. 挑战者号》深海沉积物调查报告中报道了若干超微化石及其分布。由于上世纪末发现颗石藻类是海洋营养链中重要的初始生产者, 引起了生物学界、渔业界的重视, 推进了颗石类的研究。中欧诸国的 Lohmann, Schiller, Kamptner, Bernard 和 Deflandre 等都在钙质超微化石的古生物学、生物学方面作出重要贡献, Kamptner 还提出过“超微古生物学”(nanno-paleontology) 的名称。这里还需要特别指出印尼华侨 Tan Sin Hok 的工作, 他在 1927 年第

一个描述并且命名了第三纪最重要的钙质超微化石——盘星类 (*Discoaster*)。三十年代后期，现生颗石类的研究中心从中欧移到了北欧，挪威的 Braarud 及其同事们开始人工培育颗石藻，调查了颗石藻的生活周期及其生理特征。后来，英国在颗石藻的人工培育方面也开展了许多工作。

然而，钙质超微化石受到广泛重视和深入研究，还是应用电子显微技术和开展深海地质调查的结果，也就是本世纪下半叶，特别是六十年代后期以来的事。远洋沉积物和海相地层的研究，表明钙质超微化石在大洋碳酸盐沉积中起着重要作用，这种作用在白垩、第三纪时更加明显，而且它们的类型又随时代有迅速的变化。首先，美国的 Bramlette 和 Riedel (1954 年) 指出盘星类对于第三纪具有地层意义，后来 (1967 年) 又提出用它们划分化石带的建议。德国的 Martin<sub>1</sub> (1970) 正式提出晚第三纪分成 21 个超微化石带 (NNI-NN21) 的方案，并与浮游有孔虫带进行对比。近年来，超微化石化石带已经在深海钻探中广泛使用，和有孔虫、放射虫、硅藻等综合起来进行地层划分和对比。

当前，钙质超微化石研究最广的国家是美国，欧洲各国和日本也进行大量工作。1970 年在罗马召开的第二届国际浮游生物会议期间，举行了钙质超微浮游生物的圆桌会议；1973 年，在美国休斯敦又举行过“钙质超微化石讨论会”。现在的超微化石工作者不仅研究超微化石在地层中的垂向分布，而且还大规模调查海洋沉积物和水层中颗石和颗石藻的水平分布，研究超微化石群对海水温度、深度、碳酸盐溶解度等种种环境因素的反映。目前，颗石类已经是古海洋学研究的重要依据之一。

由于对钙质超微化石的大规模研究历史不长，还缺乏总结性的专著。美国 Hay (1977) 的“钙质超微化石”专文，是一篇较新的总结；作为微体古生物教科书中的一章，日本高山俊昭 (1976) 和美国 Haq (1978) 都对钙质超微化石作了很好的介绍。作为属种鉴定参考和检索用，有美国 Loeblich and Tappan (1966—1973) 编录的分类学名索引和文献目录，和意大利 Farinacci (1969—1976) 编辑的九册属种卡片。

### 三、方 法

钙质超微化石因个体微小、结构纤细，无论采样、处理和观察研究的方法都和一般微体化石不同。因此，需要作比较具体的介绍。

#### (一)采样:

侏罗纪以来的正常海相地层，无论是碎屑岩或者碳酸盐岩都可以含有钙质超微化石，然而并非所有的样品都能分析成功。归结起来，可以指出下列原则作为采样时参考：

1. 粒级：用来分析钙质超微化石的样品应当含有和这些化石大小相当的粒级，即  $1-35\mu$  的颗粒，因此过粗的沉积物不利于分析。经验表明，一般在粉砂、泥或白垩质沉积中钙质超微化石最为丰富，而在含泥质的砂岩中也可以有甚高的含量。大概由于泥质颗粒可以保护化石不受地层水的溶解和再结晶作用，粘土常常有利于超微化石纤细构造的保存。

2. 固结：一般松软的地层中钙质超微化石较易保存，白垩虽往往由超微化石组成，但只在松软的白垩层中方才保存良好，而坚硬的石化岩层中常已重新结晶。

3. 含钙：只有含钙质的沉积中才有可能富含钙质超微化石，因此采样时可以滴酸检验，选取含钙的岩层。

4. 共生化石：浮游有孔虫和钙质超微浮游生物通常共生，因此浮游有孔虫含量丰富、保存良好的地层，也含有丰

富而保存良好的钙质超微化石。

由于超微化石的含量极高，一般地层只需用样 1 克左右已够分析，因此大为有利于海底钻井中使用。早在 1873 年 Gumbel 便曾计算过德国始新统泥灰岩中超微化石的含量，结果为每立方米  $8 \times 10^{11}$  枚，即每立方厘米 80 万枚。现在看来，这种样品的含量并不算高，现代大洋沉积物一立方厘米中可以多达 1 万亿枚。由于超微化石细小而众多，所以充填或者包围大化石的岩石，甚至于有孔虫等微体化石上粘附的一点沉积物，也可以用来分析超微化石，更不用说岩心、井壁取心和岩屑了。这样，有些许多年前采集的化石原产地已不能采样，仍然可以用化石上粘附的岩石分析超微化石、得出化石组合和地层年代。

然而分析超微化石最大的问题在于混样。钻井泥浆中含有的超微化石可以随泥皮附着在岩心、岩屑的表面，而且在钻进过程中超微化石始终随着泥浆来回循环，随着进尺而陆续增添越来越老的属种。因此，无论采集岩心或岩屑，都必须将表层刮削干净。露头采样也有同样的问题，有时上复地层中的超微化石会随水流冲到下伏地层的各种缝隙中去，同样必须将样品碎块的表面刮净。采样时手指、指甲中都会带有超微化石而造成混样，需要比采集一般微体化石分析样品时更加细心。

## (二)处理:

钙质超微化石样品处理是十分简便的，但也是相当特殊的。因为它们质地细弱、个体微小，不可使用剧烈的化学药品，只能依靠重力分异等方法处理。处理过程，无非是散样和富集两步。

1. 散样：使样品充分散开，以便析出超微化石大小的颗粒。方法是：

(1) 取样品一、二颗，投入水中浸泡扩散，或先加二甲苯浸湿后投入水中。如样品已固结者，可先在研钵中用杵槌研碎（用力需均匀）。

(2) 如浸泡不易扩散，可将样品在水中煮沸，或者将泡有样品的小烧杯或试管置于超声波震动器上震动数分钟至二、三十分钟，促使扩散。

(3) 如样品中粘土含量较高而不易散开，可以加入少量碳酸钠  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  煮沸。

在整个处理过程中需要特别注意的是处理液的酸碱度。这一方面是为了避免超微化石纤弱的钙质构造在 pH 偏低的液体中溶解破坏，另一方面也因为碱性介质能够使粘土保持分散状态而便于处理。对于饱含空气的水来说， $\text{CaCO}_3$  饱和溶液的 pH 值是 8—8.5，而最有利于粘土扩散的 pH 值是 9.4。为此，需要在用来处理钙质超微化石的蒸馏水中加  $\text{NaHCO}_3$ （每 20 立升水中加 4 克），并加入  $\text{NaCO}_3$ （约 3 克）使 pH 值达 9.4，而不宜直接使用自来水或者蒸馏水，因为它们 pH 值常常低于 7，也不应使用六偏磷酸钠 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 扩散，因为其溶液的 pH 值低于 8，并且会在化石表面沉淀一层  $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ ，而有碍于制作电子显微镜用的揭片。加  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{NaCO}_3$  的溶液 pH 值比较稳定，只加  $\text{NaCO}_3$ 、不加  $\text{NaHCO}_3$  的溶液会在几天后因吸收空气中的  $\text{CO}_2$  而使 pH 值下降。即使是这种比较稳定的溶液，一、二个月以后 pH 值也还可能下降，这或许是因为样品中有机质未除去，或许是因为玻璃容器表面硅的溶解所造成的。

2. 富集：将超微化石与过粗、过细的颗粒和有机物质等分开，是处理过程中主要的步骤。

如果样品中含有较多的有机质，则首先必须将它除去。方法是在样品处理液中加入  $H_2O_2$  的 30% 溶液（并需加  $NaHCO_3$  以保持 pH 值在 9.4 左右），加热一小时以后如深色的样品变成浅灰色，就说明有机质业已氧化，便可离心后将上复液倾去，加入碳酸钠溶液清洗，然后再行离心，如此重复多次。假若有机质含量不高，此项步骤可以省去。

为了把过粗的颗粒除去，可以使用筛析法。将已扩散开的样品置于孔径为 0.035mm 或 0.04mm（即 300 目）的细筛上冲洗（每次冲洗后，网筛需用 5% 的稀醋酸洗过，以免化石混入下一样品），留在筛上的粗粒物弃去不用，取筛下冲出的液体作进一步分析。也可以用沉降法，即把已研碎的样品在水中沉淀一、二分钟，将沉淀物弃去，取其上液体作进一步分析。这进一步的富集过程，可以在三种不同的方法中选用一种：

（1）烧杯法：将上述液体装在第一个烧杯中使液柱高约 2 厘米，搅拌后沉淀 2 分钟；将上复清液倾入第二个烧杯中，沉淀 15 分钟；再将第二个烧杯中的上复清液倾入第三个烧杯，沉淀一小时，弃去上复清液。这样，第一烧杯沉淀物中含有普通微体化石的小个体以及最大型的超微化石；第二烧杯沉淀物中含有的超微化石大小中等，可适于光学显微镜观察；第三烧杯沉淀物中的超微化石极小，只能用电子显微镜方可看清。——但是沉淀多少时间，不同的样品会有所不同，需要具体测定。

（2）滴管法：取 1 米左右长的滴管一个，将上述液体从

管顶注入，由于不同粒级的颗粒不同时间到达管底，只需选适当时间旋开滴管放出底部沉淀物，便可将超微化石与其他粒级的颗粒分开。此法不仅可以富集超微化石，而且可以把不同大小等级（因此为不同属种）的超微化石分开。但是，超微化石的沉降速度太慢（颗石的沉降速度约为每 10—20 小时-米），费时过长。我们在处理东海、南海样品时，只取 10—20 毫升的液体注入空滴管，造成高度仅 10—20 厘米的液柱，取沉淀 8—15 分钟的粒级，便可有大量超微化石富集，显然，选用的时间需视滴管长管（液柱高度）、化石大小等各种因素而异。

（3）滤纸法：将上述清液过滤，在滤纸上得出富集的超微化石。在各种处理方法中这是速度最快的一种。

此外，Bramlette and Sullivan (1961) 曾提倡用氢氟酸处理样品以除去粘土并将钙质超微化石变为萤石（其折光率  $n=1.43$ ），以便照相时可以得出更好的效果。不过氟化时超微化石会失去少许细微构造并变成各向同性而不能再用正交偏光观察。

### （三）制片：

为在光学显微镜下观察研究，需要制作玻璃薄片，制作的方法是：取超微化石浓集液数滴，涂于盖玻片上，将盖玻片在酒精灯或电热板上加热烤干（但薄片不可接触火焰），并反转覆盖在涂有封片剂的载玻片上，薄片即成\*。具体做法，又视固定片或活动片而异：

---

\* 美国等国家制作超微、孢粉、硅质微体化石等薄片时，均将化石置在长方形大盖玻片上，将封片剂置载玻片上，这样可使化石紧贴盖玻片下而不受封片剂多寡之影响，在镜下观察时无需因化石与盖片的距离不等而经常变换焦距。我国以往将化石置于载玻片上制片的习惯方法，亦可使用。

1. 活动片：取两滴浓液涂于盖玻片上，干却后用刀片将已干的样品薄膜刮起并集中到盖玻片中央，并捣碎膜块，加硅油 (Silicon oil) 或粘性介质（粘度为30,000厘沱的“viscasil”），将盖玻片反转盖于载玻片上即得。如系临时检查处理的样品，直接将浓液涂于片子上不经烤干亦可观察。

2. 固定片：最好在浓集液中先加入几滴扩散剂聚乙烯酒精，搅浑后取出数滴涂于盖玻片上，将封片剂加于载玻片上，两片相合，干后即得。使用的封片剂必须具有合适的折光率与 pH 值，可以使用天然加拿大树胶（软质），人工合成加拿大树胶，或者 castolite-AP 等。

#### (四) 观察

超微化石的研究，使用光学显微镜与电子显微镜进行。光学显微镜下的观察有三种方法：

1. 普通透射光：是观察超微化石最早使用的方法，也是 1854 年起几乎一百年中使用的唯一方法。在观察、鉴定一部分超微化石（如盘星类等）时效果良好，但对许多类型（如颗石等）难以适用，不仅鉴定所需的细节不能辨别，有时甚至连化石本身都难以发现。

2. 正交偏光：1952 年 Kamptner 首先使用正交偏光观察超微化石，发现不同类型具有不同的干涉图象。现在，正交偏光下的干涉图象已成为许多超微化石鉴定分类必不可少的特征，而偏光显微镜已经是生产实践中观察超微化石的主要工具。由于正交偏光下出现的特殊消光图象，许多在普通透射光下不能发现的颗石类在偏光下十分容易识别。

3. 相衬显微技术：相衬显微技术在细胞学研究中取得良好效果，用于超微化石也使得观察与照相效果大为提高。

自从 Deflandre 与 Fert 1954 年广泛应用以来, 1964 年以后已经成为超微化石图版的常用形式之一。

总之, 在日常生物地层研究中, 在光学显微镜下放大一千倍左右就可以进行超微化石的鉴定工作。但是, 一千倍还远远不能揭示超微化石的细微构造, 只有应用电子显微镜以后, 才使其分类、鉴定达到新的水平。

### (五) 电子显微技术的应用

目前, 透射电子显微镜和扫描电子显微镜, 是超微化石观察和照相的最好工具。

1. 透射电子显微镜: 1957 年开始用于超微化石。此法的优点是高倍放大 (数万倍以上), 图象清晰; 缺点是准备工作复杂 (喷碳后需用盐酸、硫酸、氢氟酸溶去化石及粘土, 至少要经过一天, 甚至一周的处理), 原来标本需溶解除去, 连揭片也因电子束污染而弄坏。处理过程包括在云母片上涂样品液, 干燥后在真空中用碳雾喷涂, 再将碳质揭片取下, 用酸将化石及粘土除去, 等等。虽然操作过程复杂, 但由于效果良好, 仍然经常使用。还有人使用一对不同角度的照片, 在立体镜下观察可以得到立体的效果。

2. 扫描电子显微镜: 六十年代后期起扫描电子显微镜应用于超微化石, 从此可以直接观察超微化石的细节, 准备工作简单 (只需在真空中喷金), 又不损坏标本, 甚至可用扫描电子镜直接观察岩石表面的超微化石。缺点是取得的图象不及透射电子显微镜下那样清晰, 不过在镜子最佳的分辨力条件下, 同样可以看到一切所需的构造细节。

同一个超微化石, 在普遍透射光、正交偏光、透射电子显微镜与扫描电子显微镜下观察的效果完全不同。下面封里

的图1，选印了同一种钙质超微化石（日本海石 *Pontosphaera japonica Tan Sin Hok*）在不同显微镜的图象进行比较。在普通透射光下，即使运用了相衬技术，也只能看到化石的轮廓（图1★ 3-4）；正交偏光下显示出特殊的干涉图象（图1-5-6）；扫描电子显微照相提供细致而立体的形象（图1-1）；透射电子显微照相揭示的构造细节更加清晰，但失去立体性（图1-2）。



图1-1 扫描电子显微照相 图1-2 透射电子显微照相