



钙藻

CALCAREOUS ALGAE

约翰·李·瑞 著

地质出版社

914.81

内 容 提 要

钙藻化石大量发现于碳酸岩地层中, 不仅数量丰富、类型繁多, 而且地质时代延续广。在古生物学内已形成一个主要的研究内容, 而且对于确定碳酸盐的组分, 碳酸盐地层的对比, 以及恢复古代沉积环境方面都十分重要。

本书分为三部分: (一) 钙藻生长、发育的基本特征, 包括形态、生长方式以及钙化作用; (二) 系统论述各类钙藻; (三) 探讨钙藻生长的环境因素, 并进而讨论含钙藻沉积物的沉积环境。同时作者还从地质发展角度总结了各时代的钙藻组合, 以及钙藻对于石油、天然气等矿床勘探中所起的作用。

本书适用于沉积学家、古生物学家、岩石学家、地层学家以及有关专业工作者和院校师生。

CALCAREOUS ALGAE

John L. Wray

ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY

Amsterdam Oxford New York 1977

钙 藻

约翰·李·瑞 著

李菊英 等译

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

沧州地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: $7 \frac{3}{8}$ 字数: 163,000

1982年2月北京第一版·1982年2月北京第一次印刷

印数1—1,480册·定价0.90元

统一书号: 15038·新765

译者的话

随着我国碳酸岩研究的进展,在碳酸盐岩地层中不断地发现了大量钙藻化石。它们不仅数量丰富、类型繁多,而且地质时代延续广,因此钙藻化石不仅在古生物学内已形成一个重要研究领域,而且对于确定碳酸盐岩石的组分,碳酸盐岩地层的对比、以及恢复古代沉积环境方面都是十分重要的。但是,长期以来还没有一本系统论述钙藻的书藉问世。现在,美国马拉松石油公司约翰·李·瑞《钙藻》一书的出版,堪称为一本良好的钙藻入门书。

本书主要内容基本上可分为三部分:(一)钙藻生长、发育的基本特征,包括形态、生长方式以及钙化作用;(二)系统论述各类钙藻,包括蓝绿藻、红藻及绿藻、藻类叠层石等;(三)探讨钙藻生长的环境因素,并进而讨论含钙藻沉积物的沉积环境。同时作者又从地质发展角度总结了各时代的钙藻组合,以及钙藻对于石油、天然气和金属矿床勘探中所起的作用。因此,这是一本全面论述钙藻的重要参改文献,它将有助于我国钙藻化石的研究,并将起到积极推动的作用。

本书的序言由黄育才译、范嘉松校;第一、三章由侯奎译、潘正莆、戴永定校;第四、五章由李菊英译、潘正莆校;第二、六、七、八、九章由李菊英译,范嘉松校;最后李凤麟对全书作了统校。

由于我们对钙藻研究较少,水平有限,因此在译文中无疑还存在着不少的错误与缺点,望广大读者不吝指教,提出批评。

译者

1980年

作者序

在地球科学的许多分支中，不管从那个角度来看，钙藻形成了一个专门的学科。作为一个大类而言，在地球的有历史记载的大部分期间，钙藻到处可以出现。它们在沉积过程中，有一些已起了重要的影响；同时大量的、丰富的钙藻骨骼残骸广泛分布于各种类型和不同时代的沉积物中。在古生物学上，作为古代生命的记录，钙藻是很重要的，它们可用于生物地层学和恢复古环境。此外，研究钙藻对于了解碳酸盐沉积学现代进展来说，也是至关重要的。

今天，在地质学上，钙藻处于奇妙的位置。作为一类常见的化石钙藻易于被人们所承认，但是在古生物学教程内还很难详细探讨。而且，除了在某些沉积学内有所考虑外，在地球科学全部学科中通常被忽略了，这样对待钙藻与知识水平很不相称，其结果是一般学生对钙藻化石了解较差，专业地质学家们也是如此。

这本书是为地质学家、古生物学家、岩石学家、沉积学家以及地层学家而写的。本书主要探讨钙藻地质学，包括活着的种属和近代的记载。关于钙藻，现已积累了大量的资料，其中有一些是过去二十年间碳酸盐沉积学领域内取得重大进展的结果，但是至今还没有专著出版。因此，我想把我们对钙藻所取得的知识进行综合，并以综合性介绍方式提供出来；本书不打算全部介绍已知钙藻和藻类碳酸盐，其内容比较自然地划分为两部分：第一部分是系统论述有代表性的造骨骼钙藻和藻纹层状沉积构造；第二部分考虑藻类在应用地质学（沉积学、古生态学、以及生物地层学）包括石油勘探、矿物资源勘探中所起的作用。

在本书内，对于古生物学的习惯只保持在极其简单的程度。我的意图并不是不让大家对藻类化石进行精确分类，而是使这些资料对广大读者更为有用。同样地，我也不打算详细叙述钙藻生物学，因为这对于鉴定化石和对古环境的解释不一定是必要的。对于了解钙藻地质学来说，更多的有用的生物学资料会得到欢迎，但遗憾的是这些钙质植物由于各种原因已被植物学家们忽视了，同时定量的生态学研究，也很缺乏。

在钙藻领域内，存在着许多疑难问题和无法回答的问题，并且在综合工作中，需要进一步调查研究的范围是显而易见的。在钙藻化石的整个研究历史过程中，钙藻化石经常被错误地解释，而且对于那些各种不能鉴定的，推测可能属于藻类的生物组份和非生物组份往往都归置于藻类内，好像一只“废纸篓”那样对待它们。此外，我们对于一些常见种属的时间和空间的分布还不够了解，同时许多藻类的生物学亲缘关系还存在着严重的问题。

尽管存在着这些问题，同时又对已经取得的资料缺乏交流，但是许多地质学家热心于钙藻研究，因为通过钙藻似乎能更好地了解含有这些化石的那些岩石。我想这本书能提供一些钙藻资料，同时应用钙藻来说明地球历史时，要适当地估计它的重要性和局限性。

约翰·李·瑞 (John L. Wray)

1976年7月

科罗拉多州利特尔顿。

目 录

第一章 前言

历史的评述.....	(1)
概念和定义.....	(3)
方法.....	(5)
非钙质藻类化石.....	(5)
钙藻的地质学.....	(5)

第二章 造骨骼的钙藻

形态和生长.....	(7)
生长形态和外部的几何特征.....	(8)
内部构造.....	(9)
骨骼的显微结构.....	(10)
生长速度.....	(11)
钙化作用.....	(13)
骨骼碳酸盐的性质和成因.....	(14)
矿物成分.....	(15)
分类.....	(16)
钙藻化石植物区系.....	(18)

第三章 钙质蓝绿藻 (蓝藻门Cyanophyta)

特征.....	(20)
分类.....	(21)
代表属.....	(21)
葛万藻 (<i>Girvanella</i>)	(22)
球松藻 (<i>Sphaerocodium</i>)	(22)
奥尔通藻(<i>Ortonella</i>)和类似的藻.....	(23)
有问题的蓝绿藻.....	(24)
肾形藻 (<i>Renalcis</i>)	(24)
表附藻 (<i>Epiphyton</i>)	(25)
灌丛藻 (<i>Frutexitis</i>)	(26)
地质时代范围.....	(26)
环境分布.....	(26)

第四章 钙质红藻 (红藻门Rhodophyta)

管孔藻科 (Solenoporaceae).....	(28)
特征.....	(28)
分类.....	(29)
代表属.....	(29)
管孔藻 (<i>Solenopora</i>).....	(30)
拟刺毛藻 (<i>Parachaetetes</i>)	(30)
管节藻 (<i>Solenomeris</i>)	(30)
地质时代范围.....	(30)
环境分布.....	(31)
裸松藻科 (Gymnocodiaeae).....	(31)
特征与分类.....	(31)
地质时代范围和环境分布.....	(32)
鳞藻科 <i>Sguamariaceae</i>	(32)
特征.....	(32)
地质时代范围和环境分布.....	(34)
珊瑚藻科 <i>Corallinaceae</i>	(34)
特征.....	(34)
生长形态.....	(35)
细胞组织.....	(35)
生殖构造.....	(36)
分类.....	(37)
壳状珊瑚藻 (直链藻亚科 <i>Melobesoideae</i>)	(37)
古石枝藻 (<i>Archaeolithothamnium</i>)	(38)
石枝藻 (<i>Lithothamnium</i>)	(39)
中叶藻 (<i>Mesophyllum</i>).....	(39)
红箕藻 (<i>Mesobesia</i>).....	(39)
谭氏藻 (<i>Tenarea</i>)	(39)
石叶藻 (<i>Lithophyllum</i>).....	(40)
小石孔藻 (<i>Lithophoreua</i>)	(40)
新角石藻 (<i>Neogoniolithon</i>).....	(41)
孔石藻 (<i>Porolithon</i>)	(41)
分节珊瑚藻 (珊瑚藻亚科 <i>Corallinoideae</i>)	(42)
蟹平藻 (<i>Amphiroa</i>).....	(42)
节心藻 (<i>Arthrocardia</i>)	(42)
让氏藻 (<i>Jania</i>)	(42)
珊瑚藻 (<i>Corallina</i>)	(43)
美节藻 (<i>Calliathcn</i>)	(43)
地质时代范围	(44)

环境分布	(45)
其它的钙质红藻 (真正的和有问题的)	(47)
先驱的珊瑚藻 (<i>Ancestral corallines</i>)	(47)
古石叶藻 <i>Archaeolithophyllum</i>	(47)
楔形藻 <i>Cuneiphycus</i>	(47)
有问题的红藻	(19)
<i>Komia</i> 及其他	(49)
古小石孔藻 <i>Archaeolithoporella</i>	(50)
地质时代范围和环境分布	(50)
第五章 钙质绿藻 (绿藻门Chlorophyta)	
松藻科 Codiaceae	(52)
特征	(52)
分类	(53)
代表属	(53)
古孔藻 <i>palaeoporella</i>	(53)
双管藻 <i>Dimorphosiphon</i>	(54)
里坦藻 <i>Lifanalia</i>	(54)
真果叶藻 <i>Eugonophyllum</i> 和伊凡诺夫藻 <i>Ivanovia</i>	(54)
希柯松藻 <i>Hierocodium</i>	(55)
液海松藻 <i>Succodium</i>	(55)
卵石藻 <i>Ooulites</i>	(55)
仙人掌藻 <i>Halimeda</i>	(56)
有问题的松藻	(56)
微海松藻 <i>Microcodium</i>	(56)
那氏藻 <i>Nuia</i>	(58)
地质时代范围	(58)
环境分布	(58)
粗枝藻科 Dasycladaceae	(60)
特征	(60)
分类	(61)
代表属	(62)
阿姆卡藻 <i>Amgaella</i>	(63)
棒孔藻 <i>Rhabdoporella</i> 和蠕孔藻 <i>Vermiporella</i>	(63)
环毛藻 <i>Cyclocrinites</i>	(63)
表乳孔藻 <i>Epimastopora</i>	(63)
米齐藻 <i>Mizzia</i>	(64)
贝列斯藻 <i>Beresella</i> 、德维纳藻 <i>Dvinella</i> 和卡玛藻 <i>Kamaena</i>	(64)
康氏孔藻 <i>Koninckopora</i>	(64)

双孔藻 <i>Diplopora</i>	(65)
巨孔藻 <i>Macroporella</i>	(65)
圆孔藻 <i>Clypeina</i>	(65)
环毛藻 <i>Cylindroporella</i>	(66)
三枝藻 <i>Trinocladus</i>	(66)
古粗枝藻 <i>palaeodasycladus</i>	(67)
小眼藻 <i>Neomeris</i>	(67)
伞轴藻 <i>Cymopolia</i>	(67)
伞藻 <i>Acetabularia</i> 和尖刺藻 <i>Acicularia</i>	(68)
托盘藻—(粗枝) <i>Receptaculitids-dasycladacean algae</i>	(68)
钙球 <i>Calcispheres</i>	(69)
地质时代范围	(69)
环境分布	(71)
轮藻科 (Charophyceae)	(71)
特征	(72)
分类	(73)
地质时代范围	(73)
环境分布	(74)
第六章 叠层纹状沉积物和叠层石	
藻的作用	(75)
藻叠层石的特征	(76)
形态和分类	(76)
近代叠层石	(79)
叠层石的地层学	(80)
环境分布	(80)
第七章 钙藻及其沉积环境	
环境因素	(82)
光的强度和特性	(82)
温度	(83)
水的运动状况	(83)
底质	(84)
分布形式	(85)
生态观察	(86)
古代沉积环境	(88)
泥盆纪生物礁组合	(88)
上石炭统 (宾夕法尼亚统) 藻滩	(89)
新生代早期碳酸盐台地	(90)
始新世湖泊相叠层石	(91)

第八章 形成沉积物的藻类

现代碳酸盐沉积作用.....	(93)
形成沉积物的现生藻类和藻类化石.....	(94)
珊瑚藻格架—生物礁和滩.....	(94)
仙掌藻砂.....	(95)
松藻灰泥.....	(96)
颗石藻白垩—远洋碳酸盐.....	(97)
古代的记载.....	(97)

第九章 地质时代中的藻相

各时代具有特征的藻类组合.....	(99)
寒武纪.....	(99)
奥陶纪.....	(99)
志留纪.....	(100)
泥盆纪.....	(100)
石炭纪.....	(101)
二叠纪.....	(101)
三叠纪.....	(101)
侏罗纪.....	(102)
白垩纪.....	(102)
新生代.....	(103)
石油的储层和藻相.....	(103)
加拿大西部的泥盆纪.....	(103)
美国西南部的宾夕法尼亚统.....	(103)
利比亚的古新统.....	(105)
金属矿的分布和藻相.....	(106)
前寒武纪叠层石和成矿作用.....	(106)
密苏里铅矿区.....	(106)

第一章 前言

藻类是一类庞大而变化多样的水生植物，含叶绿素、不具维管。其大小从仅数微米的显微细胞到长达数十米的巨大底栖海藻。这一简单的定义忽视了恰当地把藻划为一个门类的生物学问题，但是仍然表示了大多数类型的特征。在这种庞大的植物组合内，完全人为地将钙藻归为一类，包括有：

- 各种底栖和浮游的藻类，其叶状体含有生物化学沉淀的钙质骨骼物质。
- 藻类引起的碳酸钙机械堆积物（生物作用和物理作用通常是相互影响的）称为叠层石和藻层纹沉积物。

具有钙质骨骼的藻和非钙质骨骼的藻一起，偶然分散在几个主要门中，在形态上和钙化的性质与程度上变化很大。钙化的矿物学和程度是化石化作用的主要因素。钙藻已有长而连续的地质年代记录，包括一些已知的最古老化石。它们一直很成功地适应各种海洋和非海洋环境，但是它们的残骸主要保存在碳酸盐沉积物中。钙藻化石的研究需要学科间的探讨，一方面涉及生物学和古生物学，另一方面又涉及沉积学。因此，我们首先把钙藻看作为在时间和空间上广泛分布的骨骼物质和生物沉积构造的非均匀组合。

历史的评述

数百年前，活着的海洋钙藻曾引起好奇的观察者的注意，虽然古代最早发表的文献可能散失。到十七世纪初，几个常见的类型已是欧洲科学描述的对象。例如，首次记录的钙质绿藻仙掌藻 *Halimeda*（命名为 *Sertolara*），出现在“Dell的自然史”（*Dell'Historia Naturale*）上，该著作由Imperato编写，1599年在那不勒斯出版，附有简短描述和很好的插图（Barfon, 1901），Sloane（1907）在他的牙买加自然史讨论中，描述了各种珊瑚藻和仙掌藻，Ellis（1755）描述了英伦诸岛的一组珊瑚藻和其他类型。按照Migula（1897）的意见，淡水钙藻轮藻（*Chara*）的一张图最初在1623年发表，尽管它当时被认为属于 *Equisetum* 的一个类型。

十八世纪的大部分作者，包括十八世纪中叶编辑描述世界已知动植物百科全书的林奈（Linnaeus）都断定海生具骨骼的钙藻属于动物界，他们认为钙质的存在排除了将它划归植物的可能性。

1812和1816年法国博物学家Lamouroux的经典著作中建立了许多今天还公认的常见属，包括蟹手藻（*Amphiroa*）^①，珊瑚藻（*Corallina*），让氏藻（*Jania*），仙掌藻，海扇藻（*Udotea*），伞藻（*Acetabularia*），伞轴藻（*Cymopolia*）和小眼藻（*Neomeris*）。Lamouroux等人仍坚持认为钙化生物不是植物而属于珊瑚或类珊瑚动物。他的著作的英文选译

^①有人译为叉节藻——译者

本在1824年出版，说明当时对这个课题普遍感到兴趣。在译者的序言中我们读到，该书的目的是为那些“对自然史感兴趣而学习语言又不熟练的人提供一本手册。这本书除了腔肠动物和海绵动物外，大概包括了他所确定的全部钙质红藻和绿藻的种的描述（57属624种；其中许多表示在19个图版上）。

1837年Philippi确定了壳状珊瑚藻（红藻）的植物亲缘性，他所创的属名石枝藻（*Lithothamnium*）和石叶藻（*Lithophyllum*）一直被沿用。把钙质绿藻仙人掌藻包括在植物界的首次确切记载是含糊不清的，但是（1901）认为它可能记载在Targioni-Tozzetti 1819年写的未出版的手稿里。这个属的植物性质，同钙质绿藻海扇藻与伞藻和有节的珊瑚藻属——珊瑚藻一起，后来被Link（1834）所证实。因此上世纪中叶以前，欧洲的博物学家已发展到能相当好地鉴定活的骨骼钙藻的一般性质及其在生命系统中的位置。在低级社会里的人们曾得出类似的结论。例如，早期夏威夷人认为仙人掌藻和有节的珊瑚藻是“Lium”或海草，虽然壳状珊瑚藻没有夏威夷的名称——大概因为没有考虑到它们是植物或是动物Soegiarto，（1973）。

最早描述的一些钙藻化石，好像是巴黎盆地始新世的钙质绿藻卵石藻（*Ovulites*）（Lamarck, 1816）和尖刺藻（*Acicularia*）（d'Archia, 1843）。这些化石原先被放在动物界的各门类中，但是后来Munier-chalmas（1879）证实它们是藻类，同现生的属相似。1858年Unger已认识到维也纳盆地中新世Leithakalk组中，作为骨骼成分的壳状珊瑚藻（红藻）的重要性。1878年（Nicolson和Etheridge）描述了苏格兰奥陶系结核里的一些微管状构造，他们将其命名为葛万藻（*Girvanella*）这些较常见化石的生物亲缘性总是不确定的，但是它一般被归入蓝绿藻。

十九世纪九十年代和二十世纪初期，Rothpletz描述和解释了欧洲地区各个时代不同类型的钙藻，因而对钙藻化石的认识作出重大贡献。值得注意的是他在珊瑚藻方面的著作。Rothpletz（1891）用生殖器官来划分珊瑚藻类化石，随后这个标准应用于现生类型，现在是分类方案的基础。Rothpletz同时代的植物学者弗Foslie（其著作在1881—1909年期间出版），对挪威和世界其它地区现生壳状珊瑚藻（红藻）做了大量分类研究。

Seward经典的四卷本“植物化石”（第一卷，1898）全面评述了十九世纪末藻类化石领域的研究水平。这本书值得注意，因为它包含的钙藻化石资料比最流行的古植物学书籍还多。Seward大约用80页的篇幅来写藻类化石，约有一半涉及到钙藻。他对鉴定藻类化石和钙藻在沉积学中的作用评价如下：

可以认为，古生物学者一直有个习惯，爱把岩石中那种不能很好地包括在任一门类的压痕或印痕归类于藻。

“藻类化石”经常是感到困憾的学者的最后手段Seward, (1898, P.139)。

有些灰岩的全部或部分是由大量钙藻形成的，它们以海下滩形式或在珊瑚礁上生长。偶然，这些藻的遗骸被清晰地保存下来，但是植物构造的全部标志经常被毁掉Seward, (1898, P.26)。

1913年，Garwood论述了钙藻化石的重要性，特别是它们起着“造岩者”的作用。虽然他没有直接涉及到大量钙藻的研究，但是他的影响有助于在地质学家和古生物学家中间促进对本课题的兴趣。18年后，作为伦敦地质学会主席的Garwood（1931）向学会致词，概括了这时期钙藻化石知识的重要进展。

Paul Lemoine的研究工作延续半个世纪（1909—1958），她极大地增进我们对壳状珊瑚藻的构造、分类和地质与地理分布方面的知识。她在巴黎盆地的研究涉及到化石的和现生的

类型，她强调它们在沉积学中的作用。Adey和Macintyre (1973) 估计，在1910—1940年间有关壳状珊瑚藻论文的75%是Lemoine发表的。

约在同一时期，Pia在奥地利，Lucien和Jean Morellet在法国，对各种钙藻化石进行广泛研究，特别是粗枝藻科绿藻。Pia在1920年发表的有关伞藻科化石的论文和后来的古植物学著作 (Pia, 1926) 中有伞藻科植物的很好复原图，它已被广泛地引用。

从二十世纪三十年代开始，钙藻化石的主要研究，从西欧扩展到美国 and 苏联。特别是美国的Johnson和苏联的 (Maslov) 一直到二十世纪六十年代后期，这两个人留下了丰富的记载。Johnson描述了几乎代表所有主要门类的许多化石。他还作了有关此课题的大量目录和评论文章，以及三本注释书目 (Johnson, 1943, 1957, 1967)。Johnson的“造灰岩藻和藻灰岩”一书 (1961) 代表钙藻化石分类学最综合性的论述。和Johnson一样，Maslov的研究涉及到不同的钙藻门类，并且包括两部现代综合性著作 (Maslov, 1956; Maslove tall, 1963)。

五十年代和六十年代的二十年间，关于古代和现代碳酸盐沉积物研究方面的巨大进展，而且今天在研究和应用方面仍继续处在高水平，这一切又引起对碳酸盐沉积学中更好地认识骨骼藻和非骨骼藻的极大关心。石油工业直接或间接地鼓励了这个时期对碳酸盐岩研究的全面努力，因为灰岩和白云岩作为碳氢化合物的储层有很大的意义。

由藻类引起的生物沉积和构造 (叠层石和藻层纹沉积物) 的概念演化要晚得多，并且沿着不同路线进行。Hall (1883) 首次描述了纽约寒武系岩石中的各种钙质层纹状构造，并且认为是动物成因的。Kalkowski (1908) 命名这种构造为叠层石。Walcott (1944) 认为蒙大拿的元古代叠层石可以同蓝绿藻形成的淡水灰华相比较。由于Black (1933) 在巴哈马对现代沉积物进行研究，首先认识叠层石是机械沉积和蓝绿藻丛相互作用的产物。Giusburg (1955) 把Black的研究工作扩大到南佛罗里达，并且直接注意到现代粘结沉积物的藻和古代叠层石类似。Logan (1961) 在西澳大利亚沙克湾描述了独特的圆柱状叠层石，对认识各种现代叠层石类型作出进一步贡献。在二十世纪六十年代和七十年代初期，古代和现代叠层石和其他各种藻层纹沉积物的研究迅速发展，关于它们的生物学，环境意义和生物地层学方面的出版刊物大量出现。

目前世界各地的古生物学家、沉积学家、生物学家正在从事骨骼钙藻和叠层石的研究。我们对现生骨骼钙藻的知识仍旧由于植物学者不予适当注意而受到损害。然而当代Adey的工作是个例外，自1964年以来，他对现代壳状珊瑚藻的分类和分布作出重要的补充。他对北大西洋壳状珊瑚藻生态学的研究在广度和深度上都是无可比拟的，提供了一些解释古代珊瑚藻环境分布的基本参数。

钙藻化石的分类研究依旧是零碎的，主要由各专家孤立地进行，并且经常同古生物学和沉积学的主要方面不一致。尽管有这些困难，但是可以通过积累不同来源的大量知识进行分类，收集易认识的钙藻图片以及它们在解释地质过程和地球历史中的应用。

概 念 和 定 义

首先区别钙藻的三种成因类型是绝对必要的。

• 骨骼钙藻

- 主要由无骨骼藻引起的钙质层纹状构造（叠层石）。
- 淡水灰华。

多年的习惯将术语“钙藻”用来代表所有这三类。但是三者的区别和差别的意义总是没有认识到。

骨骼钙藻包括在分类学上不同的藻类组合，碳酸钙沉积是新陈代谢和生物化学作用的产物。碳酸钙沉积。骨骼碳酸钙可以各种习性和浓度出现在整个植物体内部和外部，或仅仅局限于植物的某一部分上。也就是说，骨骼物质仅是从整个植物的各种构造中分出的，可以直接或间接地代表叶状体、内组织或各种器官。许多骨骼钙藻的化石遗骸可以确认为与现生门类有关的生物实体；因而，大多数化石类型服从植物命名法则，并且可以在现存的分类方案中处理。另一方面，有些骨骼钙藻化石的生物亲缘性不确定，因为它们没有保存鉴定特征，并且同现代的后裔或形态相似的种属无关。

钙质层纹状构造归因于藻的活动，主要由细粒碳酸盐沉积物在由非骨骼丝状体和球石藻群体生成的有机膜或藻席上机械堆积而成。显然无骨骼藻席和物理沉积作用周期性的相互作用产生了层纹状生物沉积构造。术语“叠层石”适用于具有明显垂直凸起的类型，而具有平卧层纹的类型一般叫“藻层纹沉积物”。叠层石可根据生物学或非生物学分类，大部分工作者现在同意叠层石不能根据生物学分类，因为它们基本上是沉积构造，但是它们服从于根据几何参数的经验分类。

淡水灰华是由无骨骼蓝绿藻形成的。在湖泊和河流里灰华结核和包壳的生长可能是作为藻类光合作用产物的。碳酸钙原地沉淀作用造成的。藻灰华的同心层纹类似于藻叠层石的内部特征，但是灰华的物质一般较致密，因为它是生物化学成因的。

在大多数实例中，这三种钙藻类型在形态上和成因上都能清楚地把它们分开。骨骼藻和藻层纹构造在古代沉积物中是相当重要的，而灰华沉积物少见，并且环境局限。

骨骼藻和无骨骼藻可以密切共生。在这种情况下可能难于确定整个构造发育中骨骼藻类生物成因的生长作用和无骨骼藻席粘结沉积物作用的相对重要性。还有一些骨骼藻类化石（例如球松藻 *Sphaerocodium*）构成群体的生长形态，极象由无骨骼藻形成的柱状叠层石。最后，灰华，叠层石和其他藻层纹沉积物看来好象是无机形成的构造，例如钙质层（在渗流带形成一种钙质土壤沉积物）、灰华（travertine）、海滩岩和其他的碳酸钙的无机化学沉积主要由蒸发作用形成。因而，如果对这种沉积物的地质学没有很好地了解，要把这种构造和藻构造区别开，实际上是不可能的。

对骨骼钙藻作古生物学的探讨经常比作“分类学”的探讨少。由于它们的植物亲缘性，所以把它们放在古植物学的广泛范围内研究是适当的，而很少有传统的古植物学家（致力于维管植物的那些学者）关心这些化石。因此，钙藻化石的分类学一直主要是留给无脊椎古生物学家，他们经常是底栖有孔虫专家。这里有一个逻辑，因为大多数保存下来的骨骼钙藻产于海相灰岩，同无脊椎动物群共生，并且主要是在薄片中研究的显微组分。严肃的钙藻化石学者一般都是融会了各种生物组分岩石学和现生藻类形态学知识的自学者。不幸的是，在文献中有许多无效的化石阶元（包括非藻和非生物的成分），对于不熟悉这些问题的地质学家来说，这种模糊状态降低了真正的属和种的有效性。描述骨骼钙藻化石的名单中可分为“已知的”（指那些可以根据类似的现生类型鉴定的门类）和“可疑的藻”（假定是藻但缺乏现

生阶元的形态鉴定标准)两类。虽然可疑藻在生物学上不能进行分类,但是有些很特征,并且很容易根据独特的性质鉴定出来,因此它们在生物地层学和生物相分析中是有用的。

绝大多数的骨骼钙藻是海洋植物,因此它们的化石遗骸被保存在海洋沉积物中。主要的例外是轮藻纲(Charophyceae),它今天生活在淡水和半咸水生境中,推测在过去也产于类似的非海洋环境。和骨骼钙藻相反,叠层石和藻层纹沉积物在海洋和非海洋环境中都产出,但是它们趋向于集中在海洋盆地和盐湖边缘浅水中。

方 法

钙藻化石一般在岩石薄片研究中。在透射光下放大10—150倍观察,就看到整个形状和显微骨骼的细节。大多数底栖钙藻是宏观植物,大小从几毫米到几十厘米,但是它们经常被当作微体化石处理,因为它们在沉积环境里分散成小碎片或破碎成小质点。扫描电镜(SEM)能用于检查现生骨骼钙藻的表面特征和内部结构。这种仪器提供了观察某一些骨骼钙藻微细构造单位的新手段,但是对于更好地研究它们的分类迄今没有重大贡献。扫描电镜在研究埋藏在经受成岩作用变化的固结岩石和标本中的钙藻化石价值有限。

照例,骨骼钙藻化石的研究仅包括底栖的种类,因而排除了海洋浮游钙藻——微小的球石藻。由于根本不同的分析程序和解释结果,这种分割还在继续。大多数底栖钙藻研究的目的和碳酸盐岩相的岩石学和古环境解释有关,反之,尽管球石藻是白垩纪和新生代白垩的重要“造岩”成分,但球石藻主要是用于生物地层分带。

非钙质藻类化石

有许多种类的非钙质藻类化石不在这里考虑,其中包括钻孔藻、几个主要的浮游植物门类(如硅藻和由稳定有机化合物组成的沟鞭藻),还有偶然记录的、肉眼可见的褐藻、红藻和绿藻的印痕和炭质膜前寒武纪和显生宙沉积物中报导过保存在燧石中或成岩交代的非钙质丝状和小球状(Coccoid)类型。值得注意的发现是在中上前寒武统(Barghoorn和Tyfer 1965; Schopf, 1968)和泥盆系沉积物中(Fairchild et al, 1973; Wicamdes和Schopf, 1974)的叠层石燧石。

钻孔的和石内的(endolithic)微生物属于几个主要的藻类和真菌类。这些微生物栖居在现代环境中的各种碳酸盐底质中,如贝壳和其他骨骼颗粒,而在化石物质中也被鉴定出来。钻孔藻可以作为古形态学的标志(Golubice et al, 1975),因此认识它们对碳酸盐颗粒的破坏作用和对成岩作用的影响是很重要的。

推测为化石的非钙质藻已在古代灰岩的不熔残余中找到它的有机丝状体(de Meijer, 1969; Corou and Textoris, 1974)。这些残余是属于造沉积物的藻还是钻孔藻没有确定。关于这种植物残余是否为古代的,可能还有一些问题,因为它们可能是侵入露头的现代石内藻。

钙藻的地质学

钙藻的地质学任务多而不同,应用范围广泛,从系统的古生物学到实用沉积学,都直接

和间接地涉及到。在古生物学领域，主要有三个最有意义的实用领域。

- 系统的古生物学，探讨骨骼钙藻的分类、分类法、演化和机能形态。
- 生物地层学：应用地层年代局限的门类，以确定和对比岩石地层。

古生态学：应用环境适应和空间分布局限的骨骼藻和藻层纹构造，以解释沉积环境和表示生物相特征。

在恢复古代碳酸盐沉积环境方面钙藻有极大的价值。在划定海洋生物相时，它们为其它底栖生物提供重要补充，因为钙藻在陆棚环境里分布广泛而且丰富，然而许多单个种类限于狭窄的生态小生境里。大多数底栖骨骼钙藻有较长的地质时间范围，尽管在部分沉积柱状图上有少数可作为标志层，但对确定时代和地层分带价值较小。由于许多原因，底栖钙藻也是很好的环境指标，但对区域地层对比是无用的。

钙藻的知识在许多方面可以应用于碳酸盐沉积学，包括如下方面：

- 碳酸盐沉积物的产生：骨骼钙藻在古代和现代都是粗粒沉积物、砂、粉砂和粘土粒级碳酸盐质点很重要的来源，在有些环境中造成大量细粒沉积物。
- 藻—沉积物的相互作用：这包括几种不同的关系，例如，由各种藻席和垂直生长的藻类阻积、圈捕和粘结微粒沉积物。最重要的过程是有粘性的藻席和物理沉积作用周期性的相互作用，结果发展成叠层石和其他藻层纹沉积构造。
- 骨骼格架：一些骨骼钙藻，例如新生代的壳珊瑚藻，具有直立坚硬的自撑格架，并且有力地和其他生物成分（特别是珊瑚）胶结在一起，建造生物岩隆，如礁和滩。这种过程的一种变异是借助包壳珊瑚藻发育成坚硬的海底或铺面（pavements）。
- 石油储层和金属矿物的赋存：富藻相为各时代碳氢化合物的聚集提供了多孔而渗透的储集层，在少数例子中，藻相可作为主要的金属矿化的母岩。

第二章 造骨骼的钙藻

在许多藻类中，碳酸盐骨骼可起支撑作用、保护作用、或格架作用。但在另外一些藻类中，这种物质对于生物的生命活动来说，似乎是外来的，或大多存在于植物中。但是，“骨骼”这一术语是一种有效而有用的术语，它可以把那些具有钙质“硬体”的藻类（可产生沉积物的组份，而且经常作为化石保存下来）与正常情况下不能分泌碳酸钙的藻类区分开来。由于藻类以生物化学作用方式将碳酸钙沉积物沉淀下来，因此，它们可以形成一类人为的生物组合，这一组合完全不同于生物分类界限，然而它们组成了在地质上完全实用的组合。

本章将讨论骨骼钙藻的一般情况—形态和生长、钙化作用的性质和成因以及钙藻的分类。在详细地叙述各类钙藻以前，我们首先介绍一下大多数骨骼钙藻的共同特征。

形态和生长

骨骼钙藻的形态变化非常巨大，从极简单的形状以至外部和内部骨骼单元的排列特征均十分复杂。事实上，这些藻类远比高等植物和大部分无脊椎动物类型多得多。

现在有几本讨论钙藻的生物学论文集，但它们讨论详细程度有所不同。在藻类的领域中，基本著作是由Fritch（1935，1945）汇编的两大卷本全世界有关这类植物的形态和生殖方面的文献。虽然这一工作显然缺乏关于钙藻生理学和分类方面的近代进展，但它仍不失为有实用价值和内容丰富的参考书。Dawson（1966）编了一本最新的教科书，在这本书中概述了海洋钙藻的地理分布、生理学、生态学。对于地质学家来说，这本书提供了一种有用的生物展望，因为它涉及到整个植物界中底栖钙藻的各个方面。

从生物学方面来看，钙藻具有以下这些特征：所有的钙藻生活在水中或潮湿的环境。它们营光合作用（需要阳光），因此它们能够制造它自己所需的食物（自养的）。所有的钙藻含有叶绿素 α ，但它们因其它色素的存在而使其获得如此明显的颜色，因此这些颜色就成为分类的重要基础。在进行光合作用时，它们放出氧，在呼吸时又需要氧，因此不同于细菌的厌氧光合作用，而与高等植物颇为相似。藻类的植物体称叶状体，它缺乏营养组织（非维管），而且无法区分真正的根、茎、和叶。除了少数的例外，在一个植物内，几乎所有的细胞都能进行光合作用。除了上述这些常见的属性以外，钙藻还能形成不同的类型，它们在大小、形状、细胞组织、生殖和生物化学方面都有很大的变化。钙藻包括细胞组织性质根本不同的两类——原始的原核生物和特殊的真核生物。在原核生物的蓝绿藻（蓝藻门）中，属于植物生殖。在所有其它钙藻（属真核生物）中，则为植物生殖、无性生殖和有性生殖。

在现生的藻类内，叶状体由各种各样内部组织组成，包括单细胞，单细胞的群体、不分叉的丝状体和分叉的丝状体、一种以上的丝状体和细胞组织。在钙藻内，大多数门类在生长习性和内部构造上，具较广的范围。但少数造骨骼钙藻变化较少。

为了便于讨论骨骼钙藻的形态起见，现按照一般经验来论述下列这些论题：

- 生长形态和外部的几何特征。
- 内部构造。
- 骨骼的显微结构

不仅外部形态，而且可被保存下来的内部组织或其它构造单元均可成为每一钙藻门类的特征。骨骼的显微结构（有时叫超微结构）讨论构成骨骼外壁的矿物结构或组构（Horowitz和Potter, 1971年），这些显微结构对于系统鉴定不太重要。

生长形态和外部的几何特征

骨骼钙藻的生长习性上的变化表现为以下这些形态：直立生长，其分枝状态象高等植物，光壳状；简单的细丝状体。在沉积记录中，某些骨骼残骸的形状很少能反映出亲本植物总的生长习性，这是因为原始骨骼已经被分离或被分解的缘故。另外，所有的骨骼物质的岩石学存在着固有的问题，即一个三度空间的物体，在薄片上只能见到它的两度视域。有一些藻类化石仅能取得骨骼碎片或分离的节片，这样就难以恢复其生长习性，特别是对于那些没有现生的相似形状的藻类化石。

在骨骼钙藻中，其外部形态，大多数属于下列三种主要种类：

- 包覆状
- 直立状
- 丝状

• 包覆状骨骼钙藻包括光壳和不规则的壳，结核状和坚固的分枝状。其大小由数毫米到几厘米。这种形状的代表出现于红藻的各个科中。

具有直立生长习性的造骨骼藻类通常呈分节状、连结状、以及分枝状植物（高达数厘米）。这些藻类几乎总是分裂成单个节片，其外部几何形态可以呈板状、圆柱状、和它的形状，其大小小于一个毫米或几个毫米。直立状生长习性主要出现于连结珊瑚藻类红藻、松藻（仙人掌藻）*Halimeda*是著名的实例）类以及粗枝藻类绿藻。

具有丝状体习性的骨骼钙藻主要出现于蓝绿藻中。丝状体的直径通常只有数十微米（ μ ）。但是，要注意到，在许多骨骼藻类中，其内部构造是由各种大小近似的丝状体组成的，这样在保存较差的材料中，它们可能与丝状体生长习性的混淆不清，这一点是很重要的。



图1 包覆状生长习性。从左到右为：不规则的包壳，结核，和坚硬分枝形态