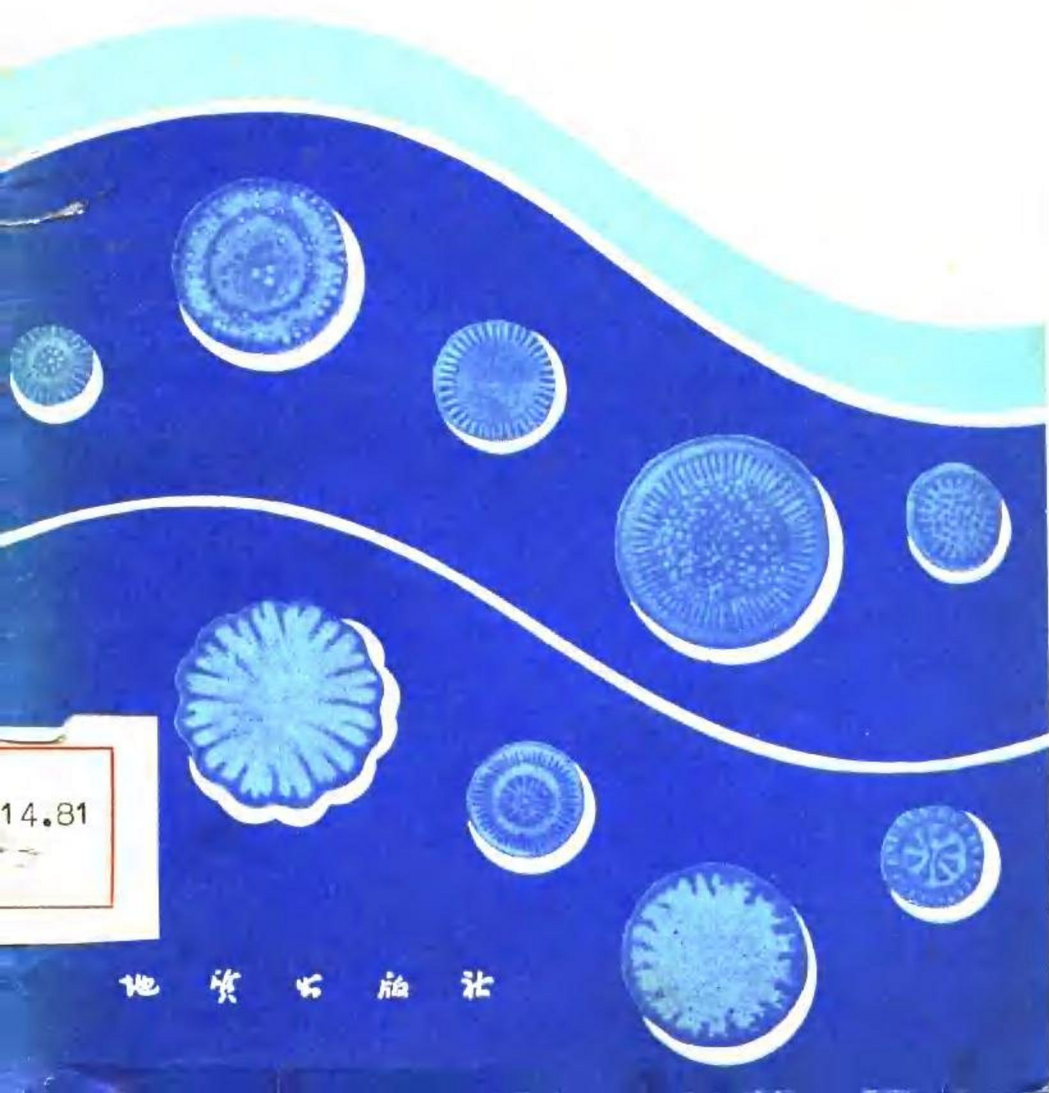


# 硅藻

GU I ZAO

(日)小泉 格 编



14.81

地质出版社

## 内 容 提 要

本书为日本浅野清主编的《微古生物学》(朝仓书店, 1976年初版)的“硅藻”部分, 由大阪大学小泉格执笔。书中概括地介绍了硅藻形态、分类、生态, 硅藻化石古地理分析及硅藻化石地层学, 涉及内容颇广, 且相当广泛地搜集了世界各国最新研究成果, 汇总了不少新的资料、图表, 不仅对于学习硅藻及硅藻化石的一般知识颇有裨益, 而且对于了解硅藻化石的研究历史、发展现状、研究动态等也很有参考价值。现代硅藻分布极为广泛, 而化石硅藻亦广泛出现于中生代晚期以来的海相、陆相及海陆过渡相的沉积层中, 它对于进行新生代地层对比, 查明岩相类型, 研究古气候、古地理变迁, 都具有重要意义。

本书可供生物、古生物 地层、第四纪地质、石油地质、海洋地质工作者及有关专业教学参考。

## 硅 藻

〔日〕小泉 格 编

王开发 郭蕃民 译

闵 馨 校

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑: 张毓崧

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本:  $850 \times 1168 \cdot \frac{1}{32}$  印张:  $3\frac{5}{16}$  字数: 79,000  
1984年8月北京第一版·1984年8月北京第一次印刷

印数: 1—2,320册 定价: 0.70元

统一书号: 15038·新1009

# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 一、序言               | 1  |
| 二、现代硅藻的生活          | 2  |
| (一) 光合作用           | 2  |
| (二) 生活史 (生殖)       | 3  |
| 三、硅藻壳的形态和构造        | 5  |
| (一) 硅藻壳的形态         | 5  |
| (二) 圆心目硅藻和羽纹目硅藻    | 7  |
| (三) 圆心目硅藻壳面的构造     | 7  |
| (四) 羽纹目硅藻壳面的构造     | 11 |
| (五) 电子显微镜下壳孔和壳壁的构造 | 17 |
| 四、硅藻的分类系统          | 20 |
| 分类概要               | 23 |
| 五、现代硅藻的生态和分布       | 42 |
| (一) 硅藻的生态划分及其分布    | 42 |
| (二) 淡水硅藻           | 44 |
| (三) 半咸水硅藻          | 46 |
| (四) 海水硅藻           | 47 |
| (五) 环境因素影响下的形态变异   | 50 |
| 六、硅藻遗体的沉积和分布       | 52 |
| (一) 从活体到遗体         | 52 |
| (二) 硅藻遗体的水平分布      | 56 |
| (三) 硅藻遗体的垂直分布      | 63 |
| (四) 异地硅藻遗体         | 69 |
| (五) 硅藻埋藏群的意义       | 70 |
| (六) 湖相层中的硅藻遗体群     | 70 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 七、硅藻化石群的古环境分析..... | 73 |
| 八、硅藻化石地层学.....     | 75 |
| (一) 硅藻地层学的发展.....  | 75 |
| (二) 现阶段的硅藻地层学..... | 77 |
| 九、海生硅藻的今后研究任务..... | 92 |
| 参考文献.....          | 93 |
| 图版及说明.....         | 95 |

# 一、序 言

硅藻是属于黄褐色植物门 (Chromophyta) 硅藻纲 (Bacillariophyceae) 的单细胞藻类, 具硅质壳壁, 壳壁内包裹原生质。硅藻无论在海水、半咸水或淡水中, 都呈浮游或底栖状态, 对于盐分、温度和各种无机盐类等反应敏锐。硅藻含有色素体, 因此, 能在有光带进行光合作用。

硅藻的分类主要根据内、外二个壳壁的形状和壳壁的各种纹饰。生物学家对残留在微体化石当中的生物硅藻, 作了最为详细的分类, 因而化石硅藻的分类除了一部分属和种外, 是使用生物学者所用的分类系统, 现在一般是使用胡斯特德 (Hustedt 1956) 所确立的分类系统, 这个分类将现代硅藻和化石硅藻划分为16科约 190 属, 最近由于弄清楚了属和科之间在发生上的关系, 从而推进了建立更自然的分类研究工作。

硅藻增殖后死亡, 其遗骸除经过分解、破坏、溶解过程而沉积以外, 同时还有被浮游动物捕食之后包裹在粪便中沉积的。底质中的遗骸群能充分反映活体群的种的组成, 然而壳壁薄的硅藻死后, 在未沉积下来以前就被溶解, 因此, 这些遗骸在堆积物中没有残存。有关遗骸群中的种和种组成的地理分布及其特点以北太平洋区域研究得最好。

硅藻的最老记录是在侏罗纪初期, 但含大量硅藻最老地层主要见于加利福尼亚、乌拉尔地区的上白垩系。对环太平洋区域的第三系硅藻化石层位, 自二十世纪初期开始, 已在北美、爪哇、苏联、日本等地进行研究, 最近根据深海钻探计划 (DSDP) 又对全世界海区第三系硅藻化石层位进行了研究, 目前借助硅藻化石已有可能识别和对比第三系比统小的地层单位。特别是北太平洋海底, 由于海水很深几乎不含石灰质微体化石, 因而硅藻为划分那里的第三系和第四系地层提供了唯一的古生物标志。

## 二、现代硅藻的生活

硅藻细胞是由活体的原生质和保护它的介壳所构成。通常细胞内部充满着液胞，在中央部分有原生质的主块，细胞壁的内侧有原生质的薄层，它们之间由原生质丝连结起来。中央的原生质主块之中有一个细胞核，在壳壁内侧的原生质中有色素体（图1）。色素体的形状、数目、排列方式依硅藻的种类而异，所以以前曾被作为硅藻分类的基准（Pfitzer 1871, Petit 1877）。在所有硅藻的原生质和色素体中，存在着大小不一的球形油粒，它是光合作用的生成物，储藏着营养。油粒的生成也和硅藻的浮游有关，其生成使细胞的比重增加。

### （一）光 合 作 用

现已发现有些硅藻是利用乳酸盐和葡萄糖等有机质的异养硅藻，如舟形藻（*Navicula*）菱形藻（*Nitzschia*）、卵形藻（*Cocconeis*）属的一些种，但许多硅藻可将水和二氧化碳的无机化合物合成为有机化合物的自养硅藻。供有机物合成的能量是靠色素体中的叶绿素a和辅助色素（叶红素）所吸收的光。对于光合作用最适宜的光强和光量依硅藻的种类而异，一般是随光加强而光合作用也活跃起来。然而有一饱和点，如果光的强度超过了这饱和点，光合作用反而下降，因此，太阳光强时，硅藻的生息密度在水面以下数米深处最大。一般情况硅藻发育最盛期间浮力最强，能长时间地停留在光合层中，随着衰老乃逐渐下沉，色素方面的不同波长吸收率也发生变化，因而即使在光强非常弱的有光带下部也在进行光合作用（Smayda 和 Boleyn 1956）。

光合作用也和温度有关，在水温较高的水域和季节中，与水

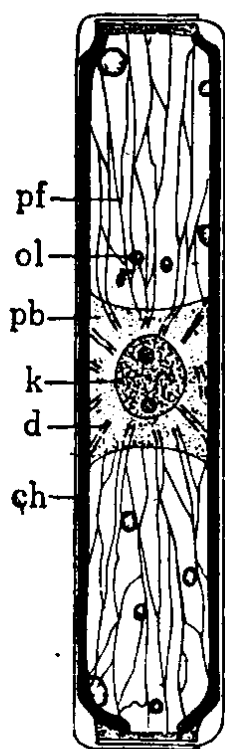


图 1 大羽纹藻(*Pinnularia major*)的壳环面  
(约250倍)(据Hustedde 1956年)  
pf—原生质丝; ol—油粒; pb—中  
央原生质块; k—核; d—双杆;  
ch—色素体

温大致相等的温度是适宜光合作用的温度，而低水温的水域和季节中，比水温相当高的温度才适宜于光合作用，因此，南极海区水温虽然很低，而光合作用却反而很活跃 (Bunt 1964)。

硅藻的光合作用除了受光和温度的物理因素影响外，也受水中的二氧化碳和各种营养盐等化学因素的影响。外洋水中含多量的二氧化碳，所以光合作用不受限制，但在硅藻生活的近表层部分，营养盐类浓度比深层低得多，如果没有来自营养盐类丰富的深层部分，或其他方面的充分补给，光合作用和增殖将受到限制。

## (二) 生活史 (生殖)

硅藻随着细胞分裂，壳也分离成外壳和内壳。由于新壳是在旧壳的内侧生成的，所以由分裂而产生的2个子细胞，其中一个与母细胞同样大，另一个直径比母细胞小壳壁厚度的二倍。如此连续分裂的结果，以旧内壳作为外壳的细胞，便渐渐缩小。当到了再也不能维持细胞应有机能的大小时，便实行有性生殖，形成增大孢子，以恢复其大小，借增大孢子生成的大形细胞，相对于最小细胞，比 *Melosira varians* 大 20 倍，比 *Coscinodiscus curvatulus* 大 12 倍 (Stosch 1965)，比 *Rhizosolenia setigera* 大 4 倍 (江草1957)。休眠孢子的形成也是无性生殖的一种。圆心目的

冠盖藻属 (*Stephanopyxis*) 和角刺藻属 (*Chaetoceros*) 中的沿岸性种, 因湿度、盐分、营养盐类有显著变化, 而生活条件恶化时, 就借坚硬的胞壳, 来对付不适的环境。

关于硅藻的有性生殖, 在羽纹目硅藻方面, 人们很早就知道了 (Geitler 1932)。可是在圆心目硅藻方面, 长时间认为增大孢子是借无性生殖产生的, 这无非是对微小孢子作了不确切的观察。自斯托奇 (Stosch 1951) 开始发现直链藻 (*Melosira*) 的卵和精虫的受精而产生增大孢子以后, 许多种类的有性生殖被查明了, 如圆心目的直链藻 (*Melosira*)、冠盖藻 (*Stephanopyxis*)、盒形藻 (*Biddulphia*)、骨条藻 (*Skeletonema*)、辐轩藻 (*Bacteriastrium*)、小环藻 (*Cyclotella*)、沟盘藻 (*Aulacodiscus*)、辐裯藻 (*Actinopterychus*)、圆筛藻 (*Coscinodiscus*)、根管藻 (*Rhizosolenia*)、角刺藻 (*Chaetoceros*) 等属。 *Melosira varians* 的营养细胞是链状群体, 发生有性生殖时, 在减数分裂之后, 从某个细胞生出具有一根鞭毛的 4 个精虫, 从其他细胞产生一个卵, 精虫和卵结合时, 受精卵增大成为增大孢子, 形成新的壳, 就成了新个体 (Sterch 1951)。羽纹目硅藻方面, 卵形藻 (*Cocconeis*)、棒杆藻 (*Rhobalodia*)、杆线藻 (*Rhabdonema*)、布纹藻 (*Grammatophora*) 等属为有性生殖, 当二分裂使细胞达到很小时, 就抛弃了原生质的壳, 进行减数分裂, 从各细胞生出一个或二个雄性和雌性的同形配偶子, 它们的结合体增大容积而成为增大孢子之后, 也形成壳, 形成新的个体 (丸茂 1974)。

### 三、硅藻壳的形态和构造

#### (一) 硅藻壳的形态

硅藻壳象贝壳那样，也有两个上下重合的壳片，分别称为上壳和下壳。每个壳片又可分为盖面、底面的壳面和遮覆侧面的侧带。在壳面和侧面之间还有一个中间带，壳面周边向侧面弯折的边缘部分称为壳带，两个壳片的侧带所遮覆的部分称为壳环（图2,3）。

轴可分为贯穿两个壳面的贯壳轴和壳面上的直径。如壳面不是圆形的，又分为顶轴和切顶轴。面可分为平行于壳面的面称为盖壳面，平行于长轴和短轴直交的面为长轴面；平行于短轴和长轴直交的面为短轴面（如图4）。因此，观察硅藻时，便有从壳面观察的壳面观；和从壳环观察的壳环观之分。壳环观中又分目视长轴面的宽壳环观；和目视短轴面的狭壳环观。

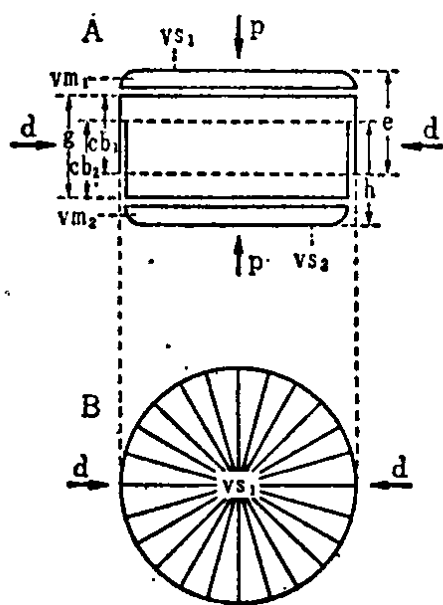


图 2 圆心目硅藻圆筛藻属 (*Coscinodiscus*) 的壳的模式图

(据Cupp 1943 年)

A—壳环面；B—盖壳面；C—贯壳轴；d—直径；e—上壳；h—下壳；cb<sub>1</sub>—上壳的侧带；cb<sub>2</sub>—下壳的侧带；g—壳环；vs<sub>1</sub>—盖面；vs<sub>2</sub>—底面；vm<sub>1</sub>—上壳的壳带；vm<sub>2</sub>—下壳的壳带

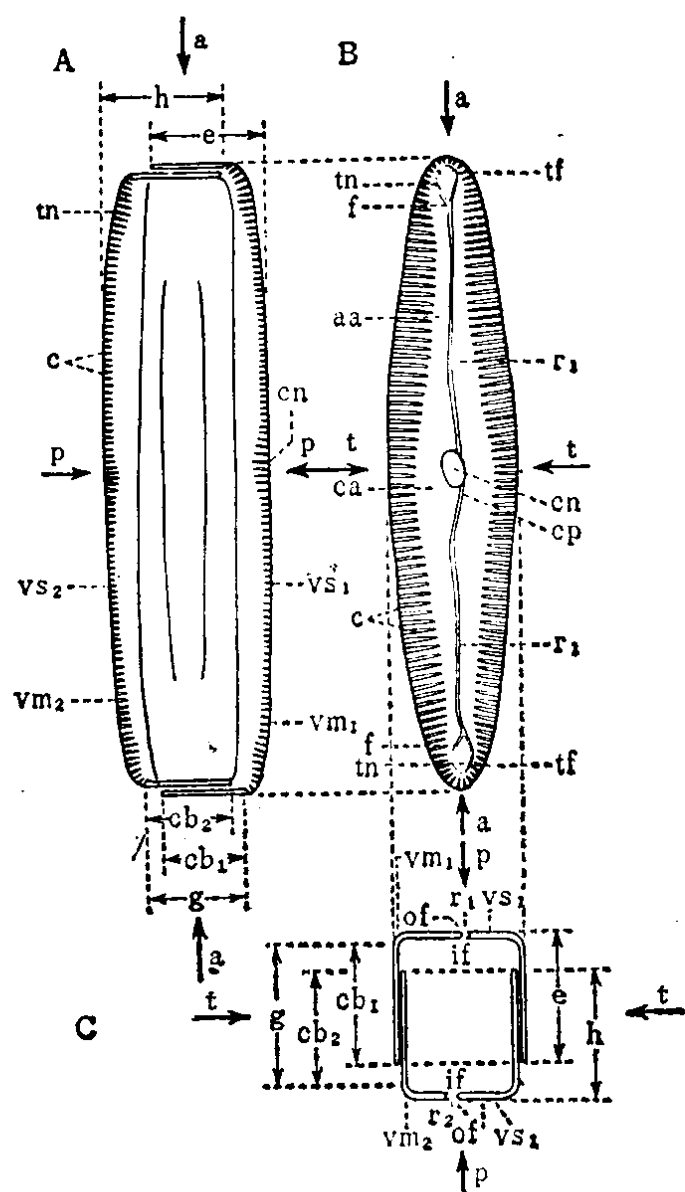


图 3 羽纹目硅藻舟形藻科 (Naviculaceae) 的壳的模式和构造图

(据Cupp 1943年)

A—长轴面； B—盖壳面； C—短轴面； a—顶轴； p—贯壳轴； t—切顶轴； e—上壳； h—下壳； r<sub>2</sub>—下壳的纵沟； f—漏斗隙； cb<sub>1</sub>—上壳的侧带； cb<sub>2</sub>—下壳的侧带； g—壳环； tn—极结节； cn—中央结节； cp—中心孔； r<sub>1</sub>—上壳的纵沟； tf—极隙； aa—轴区； ca—中央区； vs<sub>1</sub>—盖面； vs<sub>2</sub>—底面； vm<sub>1</sub>—上壳壳带； vm<sub>2</sub>—下壳壳带； of—纵沟的外裂隙； if—内裂隙； c—肋

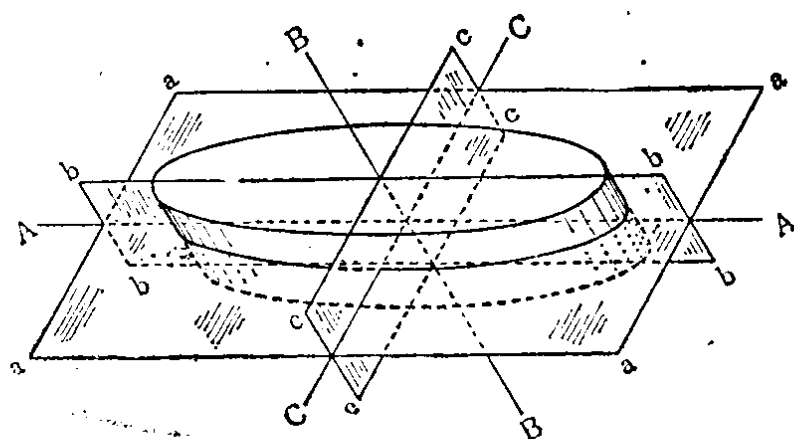


图 4 硅藻细胞的轴和面

(据Hendey 1960年)

A—顶轴； B—壳轴； C—切顶轴； a—盖壳面； b—长轴面； c—短轴面

## (二) 圆心目硅藻和羽纹目硅藻

硅藻根据壳面观的形态，可区分为如下两大类（目）。

1. 壳面呈圆形、椭圆形、三角形、五角形、六角形等，表面具有同心状或辐射状排列的纹饰为圆心目，这个目的硅藻没有纵沟和羽纹构造。

2. 壳面呈舟形、楔形、棒形、堤形等，表面纹饰具有左右对称形式的硅藻为羽纹目，这个目的硅藻具有纵沟。

## (三) 圆心目硅藻壳面的构造

圆心目硅藻的壳面上有圆形或多角形以及蜂窝状的点纹、孔纹或肋，它们排列成辐射状或同心状。壳面的中心部分，有的无

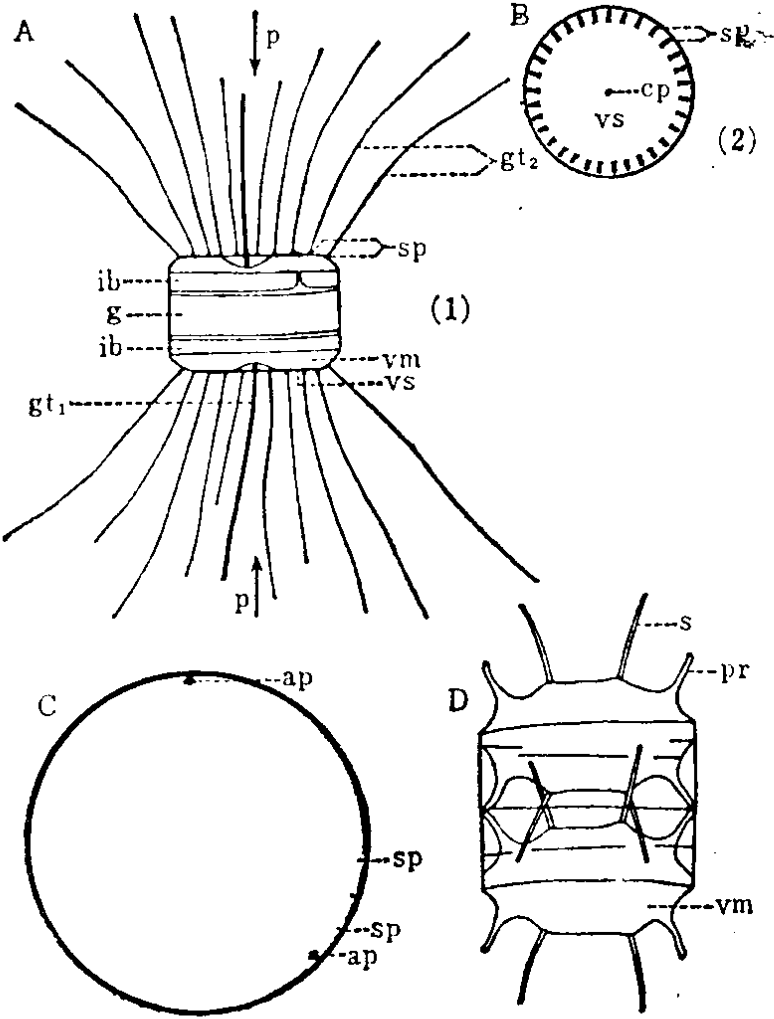


图 5 圆心目硅藻的壳的构造

(据Cupp 1943年)

A. B—*Thalassiosira aestivalis* (1)壳环面；(2)盖壳面；C—*Coscinodiscus centralis* var *pacifica* (盖壳面)；D—*Biddulphia mobiliensis* (盖壳面)；p—贯壳轴；

gt<sub>1</sub>—连结细胞的肥大原生质丝；gt<sub>2</sub>—由壳缘小棘生成的细的原生质丝；sp—壳缘小棘；ib—中间带；g—壳环；vm—壳带；vs—壳面；cp—中心粘液孔；ap—小突起；s—棘毛；pr—突起

斑纹，呈透明平滑的中心区，有的中央有很大的斑纹，叫中央花纹。壳面的周缘部可见到棘状突起或隅角突起（图 5）。

1. 壳孔（图 6）

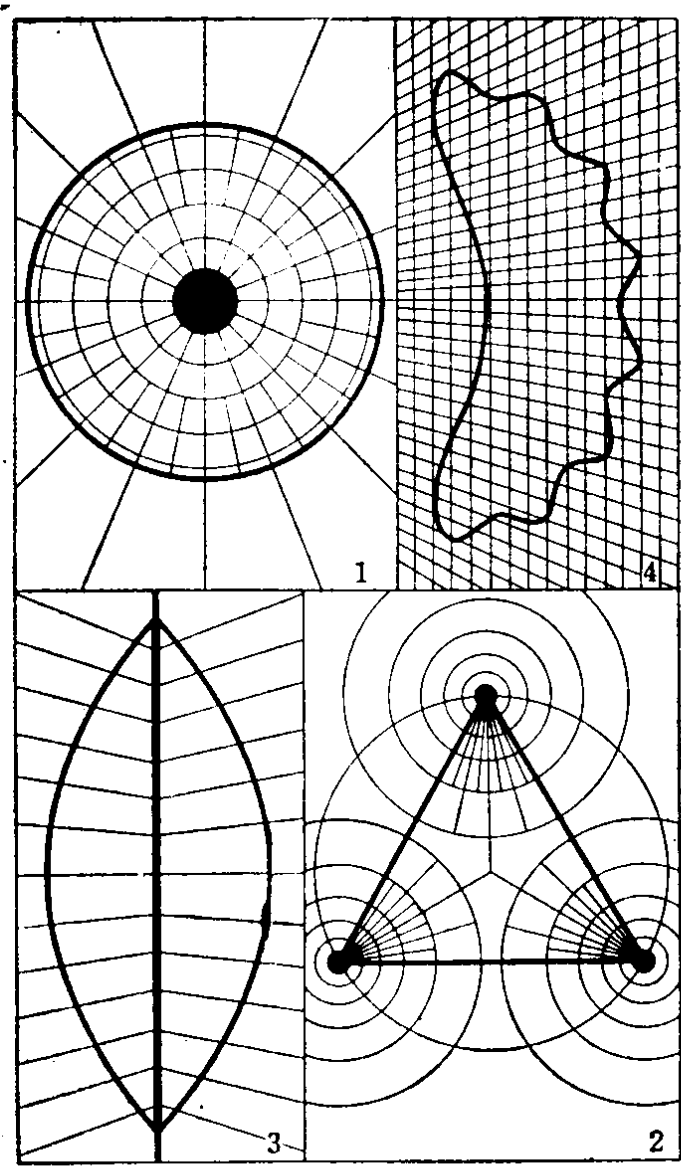


图 6 硅藻壳和壳面上的构造排列的基本形式

（据Hendey 1964年）

1—球心状；2—具有一定角度的辐射状；3—羽状；4—格子状

从光学显微镜观察是点纹或孔纹，而在电子显微镜下却是贯穿壳壁的壳孔。硅藻的壳孔是细胞内的原生质和细胞外的水之间进行物质交换的通道。

点纹呈分散不规则的小点纹状纹饰，或表现为直线、弯曲、交叉、辐射状等规则的排列。规则的排列称为条线。有时点纹非

常小，不能分辨，条线则形成文字般的线。至于线的大小，大的直径  $1\mu$ ，大多数约  $0.5\mu$ 。点纹可分为以下两种：（1）细孔——开口的小孔；（2）类似孔——不开口而被膜遮覆的小孔。

孔纹为蜂窝状，壳壁中有具有侧壁的小室构造，壳面上呈网眼的花纹，也称为网眼隙。其形态则有 *Coscinodiscus* 属的六角形，*Ithmia* 属的长圆形，*Pinnularia* 属的长椭圆形以及棒形等。特别是 *Pinnularia* 属 可以看到一种伸长孔纹的沟状构造，称为孔房。孔纹有许多形状的排列，可归纳为下面 4 种基本形状：（1）由中心点放射的球心状或辐射状；（2）具有一定角度的辐射状；（3）羽状，以中心线为准左右对称的；（4）排列一样的格子状。

2. 顶域、周缘域（图 7）

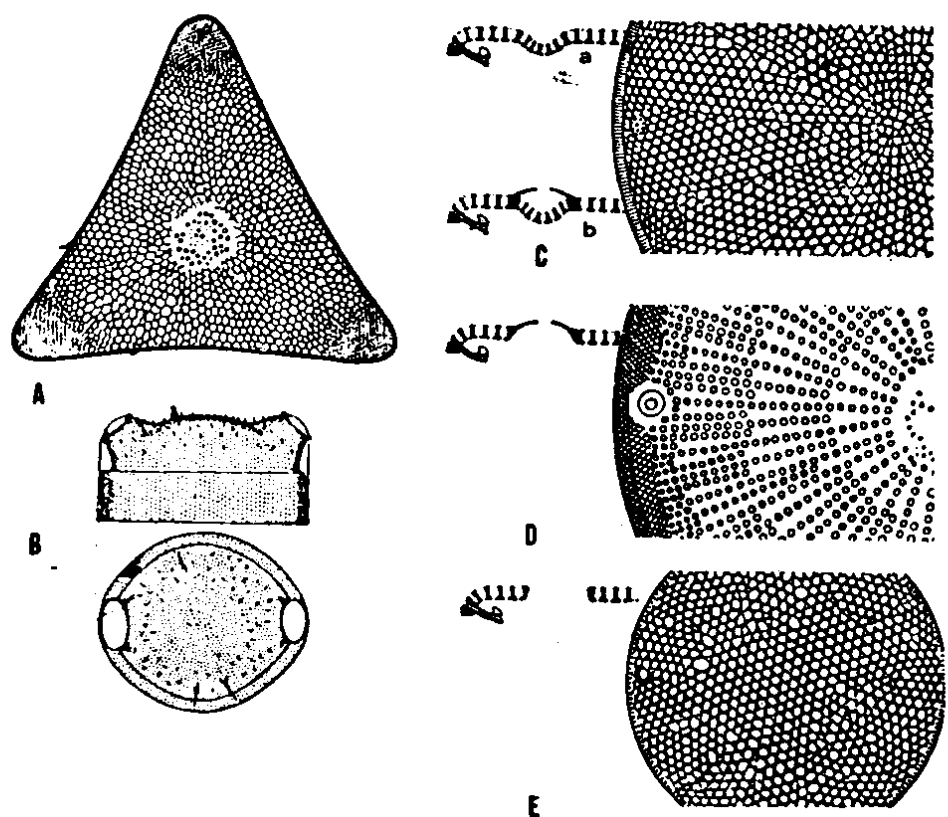


图 7

（据Hasle 等 1975年）

A—拟眼纹 (*Trigonium*)；B—眼纹 (*Odontella*)；C—(a) 孔纹；(b) 双有盖的拟结节 (*Actinocyclus*)；D—双有盖的拟结节 (*Actinocyclus*)；E—无盖的双（内腔）拟结节 (*Roperia*)

顶域是与壳面上的主要构造花纹不同的区域，周缘域为具有比壳面上主要部分的孔纹还要小的孔纹（拟眼纹）区，它具有变厚的无构造边缘的眼纹以及拟结节等。

### 3. 突起（图 8）

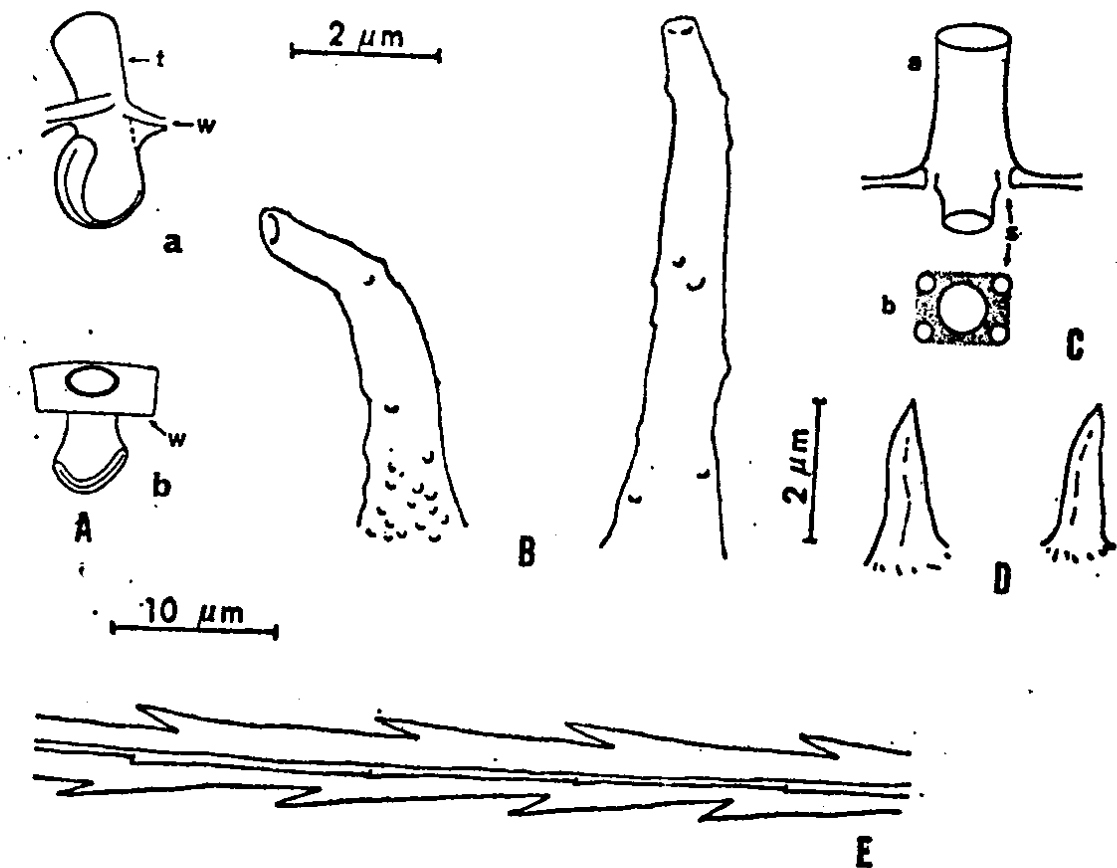


图 8

（据Hasle 等 1975年）

A—唇形突起，a—具有外管(t)的唇形突起 (*Lauderia*)； b—没有外管的唇形突起 (*Thalassiosira*)；B—闭塞突起 (*Thalassiosira*)；C—支柱突起—辅助细胞 (S)； a—纵断面； b—横断面； D—棘状突起 (*Thalassiosira*)； E—刺状突起 (*Corethrom*)

均质硅质化壳壁的突起，可分为四种类型：

- （1）唇形突起：壳壁内侧坍塌而成的管，或被两片唇瓣包围纵向裂缝状的管，或开口。
- （2）闭塞突起：一端闭塞中空的管。
- （3）支柱突起：由于壳壁内侧的弓形支柱而形成的2—5个室的管，或被细孔包围的管。
- （4）棘状突起：有突出于壳壁非中空的突起和非常小的

棘，壳面上小而圆的突起，以及爪状的棘等。

#### (四) 羽纹目硅藻壳面的构造

羽纹目硅藻的壳面，在长轴两侧排列着由孔房或点纹以及小纹构成的羽状线条。羽纹构造并不达到长轴的轴部，而在壳面中央沿长轴构成一个称为轴区的细长透明部分。在中央部分由于孔房或线条稍短而略宽阔，为中央区。从 *Navicula lyra* 可看到相当宽广的透明区，就是这个中央区扩大了的部分。中央区有时存有独特的点纹和各式各样的花纹。假两肋藻属 (*Pseudoamphiprora*) 具有十字结节，那是横断面的中央结节扩大的部分。通常轴区正中有沿长轴方向的纵沟，纵沟也有偏向壳面边缘部分的，如菱形藻属 (*Nitzschia*) 和双菱藻属 (*Surirella*) 等。轴区显著狭小，以致外观类似纵沟，所以一度曾称它为拟纵沟，但现在已不使用了。

##### 1. 纵沟

羽纹目硅藻多数为上下两个壳面并均有纵沟，少数只有一个壳面上有，还有完全不具纵沟的。壳面中央部分纵沟中断而加厚部分为中央结节，纵沟两端增厚部分称极结节，纵沟在断面上呈>形裂隙，其上半部称为外裂隙，下半部称内裂隙，纵沟是原生质流动的通道，纵沟的形状按照它的裂缝为线状、灯丝状、捻线状等(图9)。在中部结节部分，纵沟的外裂隙一端称外中央孔，内裂隙一端叫内中央孔，通过联络管来联络(图10)。极结节为透明的大凹陷，它的外裂隙的末端钩状弯曲部分称极隙，内裂隙因为朝内侧成漏斗状的，所以称为漏斗隙(图11)，在壳的一边(裂隙)朝彼此相反的方向弯曲，而壳的两边则弯曲方向一致。

原生质流动是从外裂隙的极隙开始，沿着纵沟外面向后，通过前方的中央结节的垂直孔，进入细胞内部之后，再经过联络管而由后方的中央结节的垂直孔上升，再沿着外裂隙转向后方极结节的极隙。原生质的流动补偿是沿着纵沟内裂隙反方向流动的，

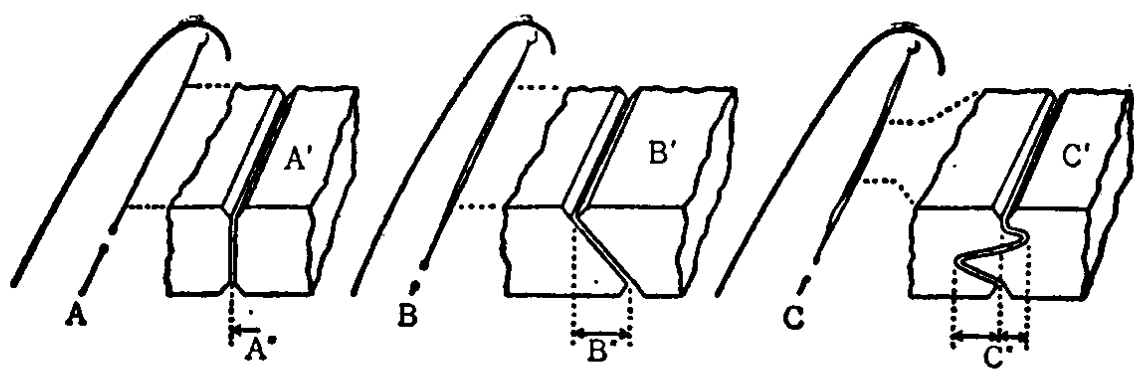


图 9 纵沟的形态和构造

(据 Werff 和 Huls 1957 年)

A—线状；B—带状；C—灯丝状；A'—B'—C'—纵沟的横剖面；A''—B''—C''—示纵沟部分

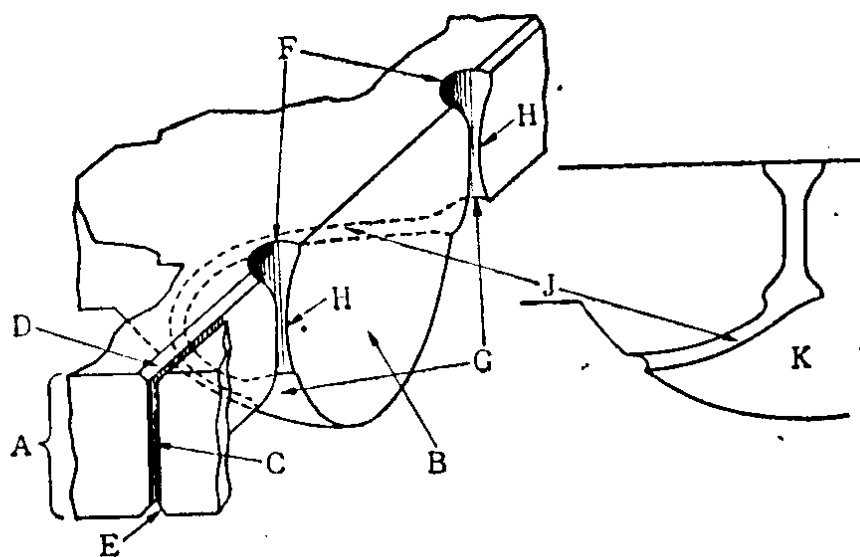


图 10 羽纹硅藻属 (*Pinnularia*) 的中央结节的构造

(据 Werff 和 Huls 1957 年)

A—壳壁；B—中央结节；C—纵沟隙；D—外裂隙；E—内裂隙；F—外中央孔；G—内中央孔；H—垂直孔；J—连络管；K—中央结节为朝细胞内部圆筒状的突起

原生质完整地来回流动，是通过内外两裂隙进行的。由于原生质流向外界和水发生摩擦，使硅藻能实现前进运动，因此有纵沟的羽纹硅藻被看成比没有纵沟者高一等。

## 2. 管状纵沟

所谓管状纵沟是指因硅质板（肋骨）使壳的内部分离出现空腔，在空腔内侧具有管状通道的纵沟（图12）。过去一直称为龙

骨点，其实就是腓骨。结节虽已几乎退化，很难看出中心孔，可是确还存在。

网眼藻属 (*Epithemia*) 和细齿状藻属 (*Denticula*) 的管状纵沟，外部为裂孔，内部由很多圆孔构成，而网眼藻属 (*Epithemia*) 的壳面隆起比细齿状藻属 (*Denticula*) 稍微隆起(图13)。

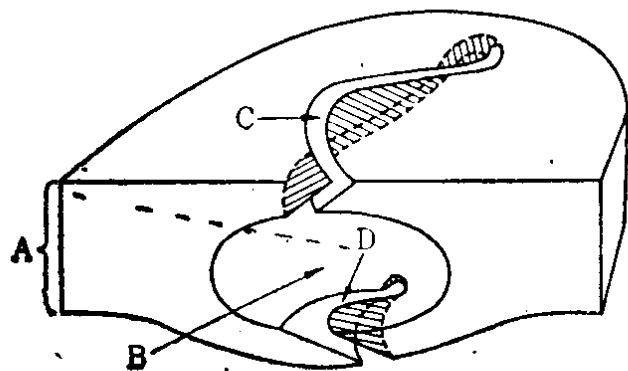


图 11 羽纹硅藻 (*Pinnularia*)  
极结节的构造  
(据 Werff 和 Huls 1957年)  
A—壳壁；B—空洞；C—外裂隙的极隙；  
D—内裂隙的漏斗隙

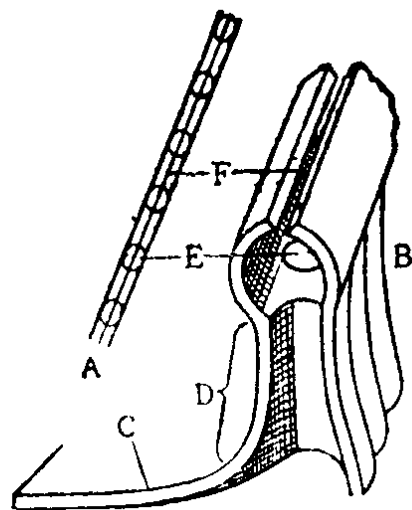


图 12 管状纵沟的构造  
(据 Werff 和 Huls 1957年)  
A—管状纵沟；B—壳带；  
C—壳壁；D—龙骨；E—腓骨上的穴；F—纵沟

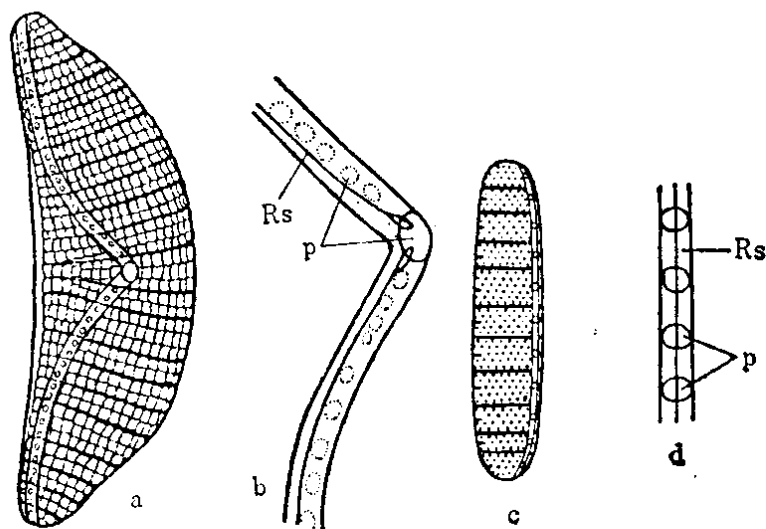


图 13 网眼藻属 (*Epithemia*) 和细齿状藻属 (*Denticula*) 的管状纵沟

(据Hustedt, 1965年)  
a.b—网眼藻属 (*Epithemia*)；c.d—细齿状藻属 (*Denticula*)；  
P—腓骨上的穴 (内部)；Rs—纵沟 (外部)