

高等学校古生物学教材

牙形石

蒋武等编著



西南石油学院

高等学校古生物学教材

牙 形 石

蒋 武 张 放 周希云
熊剑飞 戴进业 钟 端 编 著

西 南 石 油 学 院

一 九 八 五、三

CONODONTS

—palaeontology

Author.	Jiang wu
Co—author.	Zhang fang
	Zhou Xiyun
	Xiong Jianfei
	Dai Jinyie
	Zhong Duan

Southwestern Petroleum Institute

March, 1986.

前 言

牙形石是一类海相微体化石，分布广泛，易于发现，它在地层划分对比和沉积相研究中起着重要作用。牙形石的颜色变化可以反映地层里有机质变质作用程度，是研究碳酸盐岩油气成熟度的良好标志。

十几年来，我国牙形石研究工作发展迅速，积累了丰富资料，基本理论日趋完善。本书力求反映国内外最新研究成果。目前牙形石的生物分类位置虽不明确，但国际上已普遍采用自然分类即器官属，形态分类已不太适用，故在总论里详细介绍了器官属的概念、术语及研究方法等。各论是按时代顺序，以我国已发现的主要属种进行描述和分带、并与国际上对比。寒武纪和奥陶纪采用了器官属，志留纪至三叠纪仍采用形态属。古生态和颜色变化两章除论述基本原理外，并结合我国的研究成果，突出了在油气勘探上的应用。

本书由蒋武主编，共分十章。第一、十章由西南石油学院蒋武编写，第二、三章由华北油田勘探开发研究院张放编写，第四章和五、六章分别由西南石油地质局○五项目工程处周希云及熊剑飞编写，第七、八章由地质矿产部石油局戴进业编写，第九章由云南石油地质研究所钟端编写。全书30万字、插图171幅、图版23个，共描述了210个属种。本书可作古生物地质专业研究生、古专和地质专业本科生教材；亦可作为教学、科研和生产人员的重要参考书和工具书。

在编写过程中，得到了西南石油学院地质系、科研处、教务处和普地教研室的领导和大力支持。林刚、邓涛、陆廷清、胡明、冯建华和胡祖修帮助翻译资料，杨济林清绘插图，封面设计冯文剑。常建民、郭丽、张廷山、何德全和陈蓉帮助校稿。西南石油学院印刷厂印刷，教材科出版发行，在此一并致谢！由于水平和时间所限，书中错误之处，敬希读者批评指正。

编 著 者

1986.3

PREFACE

Conodont is one kind of marine microfossils, which is Wide-spread and discovered easily. It plays an important role in the division and correlation of strata and in the research of sedimentary facies. The change in color of conodont can indicate the degrees of organic metamorphism in sedimentary rocks. Therefore, the color of conodont is a good indicator of the maturity of gas and oil in carbonate rocks.

In the past ten years or so, China's research work on conodont has progressed rapidly, and a great number of data have been collected. The fundamental theory is becoming complete day by day. This book tries to embody recent developments of researches on conodont both at home and abroad.

Although it is not clear at present what kind of animals it belongs to, the natural classification of conodont, that is, apparatus—classification, is being adopted world—widely. The morphologic classification is not so prevailing as before, so we put an emphasis on the concept, terminology and analysis methods of apparatus in the introduction of the book.

In later chapters which are arranged in chronologic order, the chief genus and species discovered in China have been described in detail. Their zones and world-wide correlation have also been introduced. The classification of conodont from Cambrian to Ordovician is based on their apparatus, and that from Silurian to Triassic is still based on genomorph.

In the two chapters on the palaeoecology and color of conodont, the basic theory of them is dealt with, and their application to hydrocarbon exploration is emphasized on the basis of our research achievements.

Authors

March, 1986

目 录

第一章 总 论

第一节 概 述	1
一、牙形石的概念	1
二、研究牙形石的意义	1
三、牙形石的研究史	1
第二节 牙形石分子的形态和构造	5
一、外部形态、构造特征和定向	5
二、牙形石分子的显微构造	13
第三节 牙形石的化学、矿物和物理性质	21
一、无机化学和矿物学	22
二、有机化学	22
三、物理性质	22
第四节 牙形石的自然群集和器官属	23
一、自然群集的概念	23
二、器官属 (apparatus)	23
第五节 牙形动物的分类位置	30
一、牙索动物假说	31
二、触手环假说	32
三、牙形动物假说	33
第六节 牙形石分类	34
第七节 牙形石样品的采集和处理	43

第二章 寒武纪的牙形石

第一节 寒武纪牙形石的研究概况	44
一、寒武纪牙形石的发现	44
二、寒武纪牙形石的研究概况	44
三、我国寒武纪牙形石的研究	45
第二节 寒武纪牙形石主要属种	46
第三节 寒武纪牙形石动物群特征和带的划分	57
第四节 牙形石对寒武系底、顶界线的划分	63
第五节 寒武系牙形石地层的对比	64
第六节 寒武纪牙形石的演化	66

第三章 奥陶纪的牙形石

第一节 奥陶纪牙形石的研究概况	68
一、奥陶纪牙形石的发现	68
二、国际奥陶纪牙形石的研究概况	68
三、我国奥陶纪牙形石的研究概况	69
第二节 奥陶纪牙形石主要属种	70
第三节 奥陶纪牙形石生物地理分布	92
第四节 奥陶纪牙形石生物地层和演化	93
第五节 我国奥陶纪牙形石带与有关地区的对比	102

第四章 志留纪的牙形石

第一节 志留纪牙形石的发现	105
一、世界志留纪牙形石研究概况	105
二、我国志留纪牙形石研究现状	106
第二节 志留纪重要牙形石属	107
第三节 志留纪牙形石的地史分布	115

第五章 泥盆纪的牙形石

第一节 泥盆纪牙形石的发现	120
第二节 泥盆纪牙形石的面貌和特征	121
第三节 国际和我国泥盆纪牙形石的分带情况	123
第四节 泥盆系与志留系分界及其统间分界的牙形石特征	123
第五节 泥盆纪牙形石的演化系列	127
第六节 泥盆纪牙形石的主要属种	131

第六章 石炭纪的牙形石

第一节 石炭纪牙形石的发现	144
第二节 石炭纪牙形石的面貌、特征和演化	145
第三节 国际和我国石炭纪牙形石的分带情况	148
第四节 石炭纪与泥盆纪分界及其分界的牙形石特征	148
第五节 石炭纪牙形石的主要属种	150

第七章 二叠纪的牙形石

第一节 二叠纪牙形石研究概况	160
----------------	-----

一、二叠纪牙形石研究简史	160
二、我国二叠纪牙形石研究现状	160
第二节 二叠纪牙形石的主要属种	161
第三节 二叠纪牙形石地史分布	161
一、二叠纪牙形石的分布和演化特点	173
二、我国二叠纪牙形石生物地层序列及对比	175

第八章 三叠纪的牙形石

第一节 三叠纪牙形石研究概况	178
一、三叠纪牙形石研究简史	178
二、我国三叠纪牙形石研究现状	179
第二节 三叠纪牙形石的主要属种	180
第三节 三叠纪牙形石地史分布	190
一、三叠纪牙形石地史分布和演化特点	190
二、我国三叠纪牙形石生物地层序列及对比	191

第九章 牙形石古生态

第一节 牙形石古生态概述	197
第二节 各期牙形动物的古生态	200
第三节 牙形石古生态的研究方法	214
第四节 牙形石古生态研究的意义	221

第十章 牙形石色变及其应用

第一节 牙形石色变的实验及其色变的原因	226
第二节 四川盆地二、三叠系牙形石色变指标CAI	227
第三节 牙形石色变热效应阿里尼厄斯坐标	229
第四节 牙形石色变热效应阿里尼厄斯坐标的理论依据	230
第五节 应用牙形石色变热效应阿里尼厄斯坐标应该注意的问题	232
第六节 几种等值线图的编制方法	232
附：中国牙形石图版说明	241
中国寒武纪牙形石图版	265
中国奥陶纪牙形石图版	268
中国志留纪牙形石图版	272
中国泥盆纪牙形石图版	277
中国石炭纪牙形石图版	281
中国二叠纪牙形石图版	285
中国三叠纪牙形石图版	286

第一章 总 论

第一节 概 述

一、牙形石的概念

1856年俄国人潘 德尔 (Pander) 首次发现牙形石并创名为Conodonts, 一世纪多来人们对牙形石进行了详细研究, 有了更深的认识。“Conodonts”一词, 在我国最早译为牙形石, 近十多年以来, 王成源等同志译为牙形刺。Conodonts中的“Con”来自希腊字“相同”的意思, “odont”是“牙齿”的意思。近年来古生物学家研究, 牙形石与鱼类无关。什么叫牙形石呢? 牙形石 (Conodonts) 是一类分类位置尚未明确的, 现已绝灭了, 非常微小的、形如齿状的海生动物所遗留下来的器官, 组成这些器官的微小分子分散的或成集群的保存为化石。牙形石分子个体微小, 通常在0.1—0.5毫米之间, 最大可达2毫米左右, 只有借助于显微镜才能研究。未变质的牙形石是半透明的琥珀褐色并呈腊状光泽, 经热力变质后为灰、黑、白色甚至结晶透明。化学成分为磷酸钙, 质地坚硬, 溶于稀盐酸, 但不溶于弱酸,

二、研究牙形石的意义

牙形石在世界各地分布广泛, 从寒武系到三叠系的海相地层里均有发现, 目前已有报导, 在前寒武纪地层中也发现了牙形石, 但在非海相地层里至今尚未见到过。各类岩石中均有, 尤以碳酸盐岩中最为丰富。由于它们的形态多变, 个体微小, 数量丰富, 质地坚韧, 不易损坏, 处理方便, 速度快, 成本低, 效果好, 很多属种的垂直分布短而地理分布广, 各个地质时代有着不同面貌, 国内外进行了详细分带, 牙形石已成为地层划分对比的标准化石, 特别是在解决石油钻井地质、“哑地层”的时代问题, 效果更为显著。牙形石的色变是有机质变质作用的新指标, 它能够有效地反应油气生成的成熟度, 特别是反映碳酸盐岩地层中油气形成的变质指标更为有效。近年来, 对牙形石的古生态也进行广泛研究, 越来越多的事实证明, 牙形石的生存和丰度, 受沉积环境和沉积相的严格控制, 利用牙形石的保存和分布可以推测含牙形石地层的沉积环境。

三、牙形石的研究史

自1856年潘德尔 (Pander) 首次描述牙形石以来, 至今已有128年的研究历史了, 在这一个多世纪中, 各国的牙形石古生物工作者, 做出了很大贡献, 牙形石研究史可以

粗略地划分为以下几个发展阶段。

第一个阶段(1856—1928年): 初期研究阶段

首次研究牙形石的是俄国人潘德尔(Pander), 他在1856年出版了《俄罗斯波罗的海沿岸志留系鱼化石》, 创名Conodonts(牙形石)一词, 描述了牙形石许多种和属, 他从爱沙尼亚和圣彼得堡西南部早奥陶世的绿色砂岩中, 处理出丰富的牙形石和很好的牙形石构造, 潘德尔对牙形石的有关构造知识一开始就认识得相当精确, 他所留下来的大部分意见至今仍还有用。他的资料大部分属简单类型, 使人看来很象鱼牙, 他把牙形石当成鱼类的残留物。但是, 潘德尔对牙形石的薄层生长方式的错误认识, 他认为一个薄层迭加在另一层里面生长, 于是最外面的薄层最老。脊椎动物牙齿珐琅质的齿层迭加方式的确如此。经以后研究证明, 牙形石的生长是, 从小的一方开始, 一个薄层增加在另一个的外面, 最外面的薄层最新。

1861年英国古生物学家哈利(Harley)从著名的泥盆纪最早期罗得洛(Ludlow)层采了一些碎片, 描述了一些牙形石, 他认为牙形石是甲壳类的碎片, 这些甲壳类与现代的刺蛄、蟹和海虾有亲缘的关系。1979年欣德(Hinde)出版了一部十分重要的牙形石著作。论述了北美寒武纪——泥盆纪的牙形石(实际上只限于泥盆纪的牙形石), 欣德的最大贡献不在于描述了一些新属种, 而在于预见了今天称为牙形石集群的概念。欣德当时认为外部形态很不相似的牙形石看做是同一个动物种(集群种), 欣德定的*Polygnathus dubius*是一个牙形石集群, 这个集群现在至少包括四个形态属(*Bryantodus*, *Hindeodella*, *Polygnathus*和*Prioniodina*)。当时或许认为是荒唐的, 但是不同形态的牙形石可能属于同一个动物的想法是正确的, 它已被现代的研究所承认。它是牙形石系统的入门, 也是当代牙形石研究重大课题的预见。

在1900—1907年苏格兰的业余古生物工作者史密斯(Smith)发表的文章里, 命名了相当数量的牙形石种, 它的最大功劳是在多处发现大量的牙形石, 但是他的不足是把同一种类型的牙形石碎片和受构造变形的牙形石授于不同的种和属名, 致使他所描述的奥陶纪牙形石用途少。然而它使古生物工作者注意到许多产地, 至今那些地方有丰富的牙形动物群。1913年哈丁(Hadding)在瑞典最南瑞中奥陶世的黑色页岩里, 获得了丰富的牙形石。在这些地层里同时产有笔石和无铰腕足类。所以, 哈丁最大的贡献是, 他把这些化石和牙形石结合起来, 证明了牙形石对于地层对比有着很大价值,

牙形石研究传到北美, 在北美牙形石的研究发展很快, 这是由于微体古生物学在石油勘探上扩大了应用, 特别是人们对牙形石引起了兴趣。另一个条件是在美国的中、古生代的黑色页岩中, 保存有大量的十分精美的各种类型的牙形石, 这就刺激了对牙形石研究的兴趣, 把牙形石作为标准化石用于钻井工业上。1921年布赖恩特(Bryant)发表了一篇纽约州晚泥盆世牙形石的论文, 带有牙形石照片和描述。1926年乌尔里克和巴斯勒(Ulrich and Bassler)出版了他们的著作《齿状化石(牙形石)的分类及美国泥盆系和密西西比系种的描述》, 并附有大量照片和插图, 他们认为牙形石可能属于一群已经灭绝了的原始鱼的牙齿。与欣德相反, 认为一个有机体是不会具有一种以上的牙形石。他们不了解牙形石的变异性, 继续提出了一大串新种名。由于他们不能从三度空间观察牙形石, 仅看到一个侧面, 因此引起鉴定中的错误。1928年霍姆斯(Holmes)出版了从

1856年到1928年的牙形石书目，收集了30篇文章，35个属和300多个种。

以上是牙形石研究的初期阶段，发表的论文和描述的属种数量都比较少。

第二阶段（1933—1950年）：重大突破阶段

廿世纪卅年代，在牙形石的研究方面有了重大突破，主要表现在：解决了样品处理，化石的分离，醋酸的使用；自然群集（natural assemblage）的发现；对牙形石结构和化学成分的研究。1934年布兰森和梅尔（Branson and mehl, 1933—1934）出版了四部巨著，系统地描述了北美奥陶纪至石炭纪的牙形石，附有照片。他们采用水煮法从页岩中冲洗出完整的个体，便于从三度空间进行观察。后来又发明了使用稀释的醋酸溶蚀石灰岩为牙形石研究开创了新方法。他们的研究成果为牙形石的应用奠定了基础。1934年施米特（Schmidt）在德国，斯科特（Scott, 1934）在美国各自都发现了牙形石自然群集，开始对自然群集进行了激烈地争论，经过研究统一了认识，在中、古生代每一个含有牙形石动物，包含不同种类的牙形石分子。自然群集的发现，加深了对牙形石性质的认识，但它们的分类位置仍未解决。1944年埃利森（Ellison）对牙形石的化学和矿物性质研究清楚了，他发现牙形石主要由磷灰石型的磷酸钙组成的。许多作者指出这是一个重要特点，和脊椎动物的骨骼成分相同，但也有人指出这种矿物组合在非脊椎动物中也有发现。

1941年哈斯（Hass）对牙形石的形态和结构进行了一次仔细研究。他确认了Pander的工作，他证实了弗什尼（Furnish, 1938）发现的关于牙形石具有使残断部分再生能力，这意味着牙形石的薄层是一层在另一层的外面增长，牙形石最外的薄层生长最晚，由于推断牙形石不是裸露牙齿，其外表是被软体所包围的。

1946年艾歇尔（Eicher）在埃及三迭系里发现了牙形石，确定了牙形石在中生代早期也存在。大约在1950年，发现北美的牙形石和欧洲、非洲、澳洲的不同。在北美从下、中奥陶统至二迭系都产牙形石。牙形石分布广泛，但对牙形动物群的演化仍然了解甚少。

第三阶段（廿世纪50—60年代）：牙形石生物地层学的研究

牙形石资料的积累，醋酸溶解石灰岩样品的广泛应用，主要集中在牙形石生物地层上的研究。1952年弗伊（Fay）出版了一本牙形石目录，比1928年霍姆斯出版的牙形石书目进了一大步。他收集了1948年以前有关牙形石文章620多篇，100多个属，1000多个种。1958年他又发表了牙形石属和亚属的检索表，补充了1949—1958年所发表的85篇文章，建立了34个属，355个种。

50年代以后随着石油工业的发展和处理牙形石方法的更新，使牙形石在世界范围内得到了飞速的发展。如果说50年代以前是以描述属种为主的话，那么60年代主要是集中研究牙形石的生物地层学，其主要成果反映在1969年由美国地质学会北部分会和潘德尔学会共同主办召开的牙形石生物地层学会，这是一次国际性会议，会议对各时代牙形石生物地层概况做了总结，并于1971年在美国地质学会录127期上发表了。

第四阶段（廿世纪70年代以后）：牙形石研究推向现代化

牙形石研究工作随着世界第三次工业革命浪潮——信息革命，推向了新的高潮，它在生物学，石油工业发展，生物地层学和沉积学方面都扮演着越来越重要的角色。牙形

石研究的现代化具体表现在以下几个方面:

1. 70年代以后, 不仅牙形石生物地层学研究有很大进展更重要的对牙形石的性质和生物分类位置的研究有了新的认识, 例如比肖夫 (Bischolf, 1973) 提出了锥石假说, 林斯特龙 (Lindstrom, 1973, 1974) 提出的触手环假说, 梅尔顿 (Melton) 和斯科特 (1973) 提出的脊索动物门牙形动物亚门的假说, 1983年布里格斯 (D.G. Bligson) 等根据苏格兰爱丁堡区下石炭统一块小的, 长圆形的, 带软体的动物标本, 经研究认为是牙形石动物完整个体, 它与脊索动物相似, 也与毛颚类相似, 他把它归入独立的动物门——牙形动物门 (Conodonta)。

2. 在牙形石的分类上, 人们逐渐放弃了形态分类, 对牙形石器官的研究, 采用生物分类。1970年林斯特龙根据自然群集, 地质历程, 演化系列, 形态分子, 内部构造, 化学成分和基部充填等特征, 将牙形石分为2个目八个超科, 放弃了哈斯 (1962) 的实用分类。1973——1983年齐格勒 (Ziegler) 出版了牙形石目1——4卷, 总结了牙形石在生物地层学方面的成果, 他也应用了器官属多分子种的概念。

3. 近年来牙形石的研究也引进了电子计算机, 扫描电子显微镜等新技术, 对牙形石内部细微构造有了更深入的认识。牙形石的色变也广泛应用在油气勘探, 作为有机质成熟度的新指标, 特别是对碳酸盐地层意义更大, 数理统计在牙形石研究上也越来越显得重要。对牙形石古生态研究为沉积相研究提供了有力的证据, 近年来人们对牙形石古生态研究也做了大量工作, 已取得一定成效。

4. 牙形石在微体古生物学中已逐渐形成为一门独立的学科——牙形石学 (Conodontology)。世界各国牙形石工作者不断增多, 牙形石国际性机构——潘德尔学会, 现有30多个国家参加, 300多名会员。近20年来, 牙形石文献聚增, 有关杂志达110多种。

我国牙形石研究开始得晚, 但近十几年来发展非常快, 并取得了很大成果。1960年金玉玕 (1960) 发表的“南京龙潭孤峰组牙形类化石”一文, 描述了7属10种, 为我国填补了古生物门类的空白。全面发展牙形石研究是在70年代以后, 首先是在牙形石生物地层学的研究方面取得了全国性的成果, 发表了大量文章, 截止1983年为止共有200余篇, 其中安泰痒的《Study on the Cambrian Conodonts from North and Northeast China》1982, 《华北及邻区牙形石》等著作, 对我国寒武, 奥陶系的牙形石进行系统研究。王成源, 王志浩, 周希云, 熊剑飞, 白顺良, 万世绿, 丁惠等对我国志留系, 泥盆系, 石炭系进行了系统研究, 王成源, 王志浩, 田传荣, 戴进业, 蒋武等, 对我国二叠——三叠系做了不少工作。对我国各时代牙形石积累了大量资料, 奠定了牙形石生物地层学基础, 共建了77牙形石带, 解决了生产、科研和教学的急需问题。第二, 在牙形石色变研究方面, 随着石油工业的飞速发展也做了不少工作, 1980年蒋武发表了《贵州边阳地区下、中三叠统牙形石及其环境分析——兼论有机质变质作用的新指标》, 1980年周希云《贵州志留系牙形刺的颜色及其石油地质意义》, 1982年钟端, 董致中《牙形石色变指标的研究及其对南盘江地区的找油意义》, 还有杜国清, 张放, 蔺连弟, 姜怀成, 包德宪, 王元顺等石油单位的同志, 对牙形石色变在油气工业上的意义方面做了许多工作, 为我国研究牙形石色变作出了贡献。第三, 牙形石古生态的研究也是当代牙形石研究的重要课题。在我国目前这一工作还做得不多。1979年钟端, 蒋武发表了《西南地区早、

中三迭世牙形刺古生态的初步探讨》，1984年钟端《南盘江地区二迭纪牙形刺古生态及其指相意义》，对牙形石的古生态进行了探讨。第四，在牙形石人才培养方面，各高等院校的古生物课新加了牙形石专题，分期分批开办了培训班，我国专业牙形石工作者已达100余人，而且队伍日驱壮大。1983年11月在成都召开了《牙形类学科组成立大会及第一次学术讨论会》，与会代表94名，收到论文60余篇，选举产生了以安泰庠为组长，王成源为副组长由11人组成的牙形类学科组领导小组，牙形石研究工作在学科组的领导下，将会取得更大成绩，为祖国“四化”将会做出应有的贡献。

第二节 牙形石分子的形态和构造

一、外部形态、构造特征和定向

牙形石是一种齿状微体化石，外部形态变化繁多，它的形态好像是一个大的兵器库，矛、锤、弓、弩、鞭、铜、刀、剑、戟，也有像潜水艇，喷气式战斗机等。形态各异，变化多端。但牙形石化石是一种海生微小动物骨骼器官，这些器官是由一些单个的，不同形态的石化了的分子所组成。大多数是成对或成群作为器官或器官的支撑。牙形石的分类是建立在分离的骨骼分子和牙形石的自然群集的基础上。分离的骨骼分子又为有机体提供了宝贵证据。

关于牙形石的形态术语、形态分类和形态种类的命名必须按照林奈分类法，应该方便器官属鉴定、命名、描述和对比。

牙形石形态虽然繁多，按传统习惯可以归为三大类型：单锥型（Simple——Cone type），复合型（Compound type），平台型（Platform type）。按牙形石形态分子就分得更加详细。其主要类型如表1—1。

牙形石分子的主要形态类型 表1—1

习惯形态分类	器官属分子形态	形态类型
单锥型	锥型 Coniform (单锥)	膝曲状 (Geniculate) 非膝曲状 (Nongeniculate)
复合型	分枝型 Ramiform (棒状)	翼状 (Alate)、三足状 (Tertiopedate) 双扭曲状 (Digyrate)、双羽状 (Bipennate) 斧状 (Dolobrate)、四足状 (Quadriramate) 多枝状 (Multiramate)
平台型	梳齿型 Pectiniform (齿片、板状、平台)	星状 (Stellate) 园珠状 (Pastinate) 舟颞状 (Carminate) 角尖状 (Angulate) 切片状 (Segminata)

(一) 单锥分子

单锥分子的主要类型如图 1—1；它的定向和术语如图 1—2。单锥分子（或叫单锥型）呈简单的齿锥状，形如牛角状，或多或少发生弯曲，向锥的一端缓慢收缩为一顶尖（apex）。单锥分子的定向（图 1—2）齿锥顶为上，基部上缘近水平，中平面是假想面，此面包括齿锥顶尖，基缘的最高点叫**后基角**（Posterobasal Corner），基缘最低点叫做**前基角**（anterobasal Corner）。中平面任何一边的部份称为**侧或侧面**。锥体的**前缘**（anterior margin），**后缘**（Posterior margin）是侧面在中平面上的轨迹。在大多数单锥分子中，侧视后缘是凹进去的，前缘是凸出来的。

单锥分子基本上由膨大的**基部**（base）和**齿锥**（Cusp）两部分组成。基部朝向牙形石的基缘，它与齿锥相连，常突出放宽，膨胀的程度可微可烈。基部下方，有一个大小，深浅不同的亚锥形的空腔或穴，称为**基腔**（basal Cavity）或**髓腔**（Pulp Cavity）。基腔是基部的一部份，它的轮廓可以通过基部的薄壁见到，它的大小和形状变化较大。在大多数单锥分子中，基腔为缓圆锥形状，顶尖通常指向前缘。基腔一般只占据小于半个个体空间，但少数单锥分子中整个分子都是空心的。

齿锥是基腔顶尖上的坚硬部分，按照齿锥与基部的关系，可以描述为，**前倾**（Proclined），**直立**（erect），**反倾**（reclined），**反曲**（recurved）（如图 1—2）。在少数单锥分子中可见**白色物质**（white matter），所谓白色物质是不透明的，乳白色的不成层的磷酸钙物质，与透明的或成层物质（磁白体）大小相同。通常在齿锥内部有一条始于基腔顶尖，通过每片齿层顶尖，最后终于齿锥顶尖的生长轴（growth）。通常生长轴的弯曲明显小于齿锥的前缘弯曲。单锥分子的前、后、侧面一般是光滑的，纵向上有纵向**脊线**（ridge），或粗糙纵向刻痕，如果它们是宽圆的突起称为**隆脊**（Carirra）；如果窄圆或棱脊状的突起称**肋脊**（Costa）；如果为表面的纵向凹陷称**槽或沟线**（grooves）；沿前缘或后缘的尖锐棱脊称**龙脊**（Keel）。

单锥分子又分为**膝曲状**和**非膝曲状**（图 1—1）。所谓膝曲状即齿锥的后缘连接基部的上基棱脊呈一个锐角。非膝曲状即从齿锥后缘到上基棱脊是圆滑的转折。这两种类型是天然的，但在描述时不适用。



图 1—1 单锥型的形状
（据Lindström, 1964）

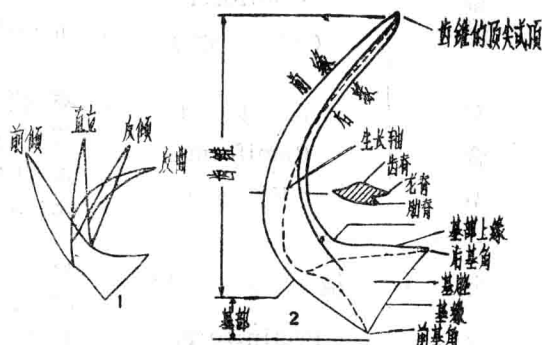


图 1—2 单锥型分子的定向和形态
（据Lindström, 1955）

(二) 分枝型分子

所谓分枝型分子，相当于习惯上的“复合型”，它至少在一侧面上具有一条或在基部具有向侧面延伸的棱脊构造。分枝型分子是由几个突起 (Process) 组成，至少在一个突起的棱脊上有锯齿 (denticle)，锯齿的长度和宽度可以小于主齿 (Cusp)，也可以赶上或超过主齿。有带锯齿的突起称为锯齿型，没有锯齿的称为无锯齿型。锯齿又可分为：分离锯齿，融合锯齿，在棱脊上锯齿不明显，但其轮廓可见，称为丛生锯齿或潜没锯齿。分枝型分子由基部 (包括基腔) 和主齿组成。脊线、肋脊和龙脊交叉延伸。

分枝型分子的定向与单锥分子相同，主齿顶尖为上，主齿凹进去的一侧为后侧，基腔正好在其顶尖下面向内凹。主齿后侧或后缘延续的一个突起叫后突起，其长轴定为水平方向，前突起是主齿前面或前缘附近的延续；侧突起是主齿侧面之一的延续 (图1—3)。

分枝型分子比单锥分子复杂得多，基缘与下棱脊重合。基部的上界由所有突起的上缘和基腔之上任何突起区域的外表面共同确定的不规则的面。基腔是一个亚锥形的空间，其大小和范围变化比较大。在主齿的下方有它的顶尖，沿突起的下侧具槽沟。在多数分枝型分子中，基腔宽敞，槽沟明显并延至突起的末端。但在个别分子中，基腔开口限于主齿之下形成比基腔较小的构造称为基坑 (basal pit)。突起下边有平的也有尖锐的棱脊。基腔顶尖附近通过向外叠加薄层而形成。基腔的内侧可以见到薄层的边缘。但某些牙形石薄层的边缘暴露在基腔的外边呈平行纹筛，这就叫做反转基腔 (inverted basa Cavity)，也称为附着痕，这种构造一般见于复合型和平台型。基腔的形状，大小是鉴定牙形石的重要依据之一。

分枝型分子，根据形态变化又可划分为以下类型：

1. 翼状分子 (Alale elements)，图1—3：

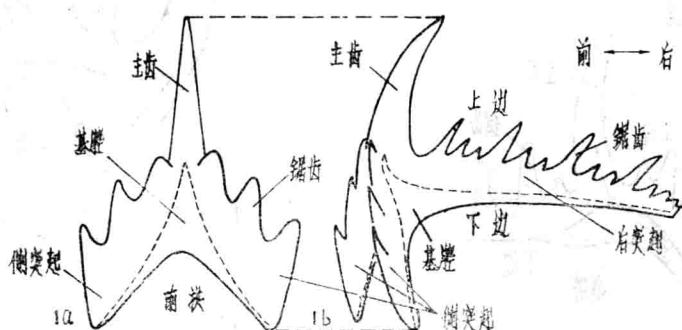


图1—3 翼状分枝型分子形态1a前视，1b侧视据 (据Sweet, n)

在主齿各边有后突起和侧突起而缺少前突起而两边对称的分子。侧突起通常直接朝前下边延伸。前、后形成一个拱形构造称为前拱 (anterior arch)。有的后突起长而带锯齿，有的短而无锯齿，有个别分子无明显后突起，仅主齿部分轻微膨大。

2. 三足状分子 (Tertiopedat elements)，图1—4：

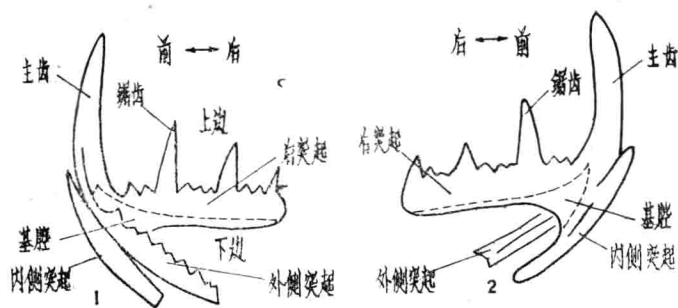


图 1—4 三足状分枝型分子形态, 1. 外边视, 2. 内边视 (Sweet, n)

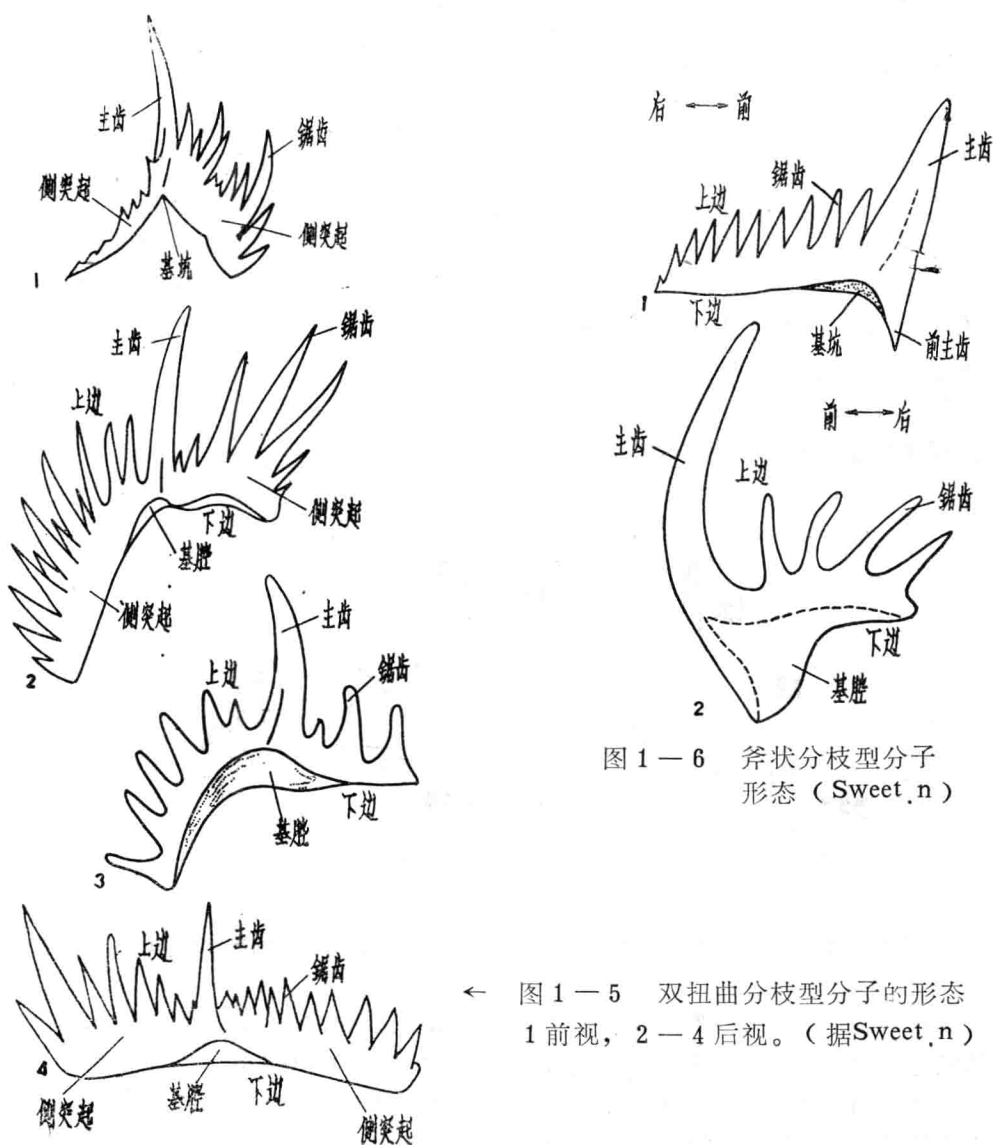


图 1—6 斧状分枝型分子形态 (Sweet, n)

← 图 1—5 双扭曲分枝型分子的形态
1 前视, 2—4 后视。(据Sweet, n)

具有一个后突起和两个侧突起，相对于中平面而言，侧突起不对称，后突起通常长而有锯齿。

3. 双扭曲状分子 (digyrata elements), 图 1—5;

具前突起和后突起，中平面不是一个两边对称的面，后突起短有锯齿，前突起通常极度扭曲。

4. 双羽状分子 (Bipennate elements), 图 1—7;

具有前突起和后突起，一端与双扭曲状相同，另一端与斧状相同。后突起很特征地比前突起长。在大多数双羽状分子中，仍然向一侧弯曲，转折或偏斜，均有锯齿。

5. 斧状分子 (dolabrate elements), 图 1—6;

只有一个后突起，在侧向上通常是鹤嘴形的，在一些斧状分子中，基缘前部有一个向下拉长的突出部分，形成一个明显的构造称为反主齿 (anticup)。

6. 四足状分子 (quadriramate elements), 图 1—8;



图 1—7 双羽状分枝型分子形态、内边观 (Sweet, n)



图 1—8 四足状分枝型分子形态 (Sweet, n)

具有三个以上突起的分枝型分子是少的，已知的只有几个，可能还会发现一些，但在分类位置上应该保留它的位置。例如四足状分子就具有四个突起（在主齿的每一侧有侧突起，前突起和后突起）。

多枝状分子 (multiramate elements);

具有多于四个基本突起的分枝型分子。

(三) 梳齿分子

“梳齿状牙形石”术语是欣德 (Hinde 1879) 创造的，后来普遍描述为“齿片状”。由于形态变化的复杂，又把它称为“板片型” (elaborte type) 或“平台型” (platform)。梳齿状分子按其形态又可以划分为五种类型，即星状 (Stellate)、园珠状 (Pastinate)、