

# 化石精英——牙形刺

王成源

(中国科学院南京地质古生物研究所)

地质历史时期的化石是多种多样的,但各类化石的作用是不同的,这是公认的事实。各类化石生物演化速率不同,地层价值不同,应用价值也不同,然而不论从那一个方面看,牙形刺都堪称化石的精英。没有哪一个化石门类能在演化速率、地层划分、石油地质、生物进化意义等方面,可与牙形刺媲美。

牙形刺是一类已经灭绝的牙形动物的骨骼,存在于寒武纪到三叠纪的海相地层中。牙形刺形体很小,一般只有 1mm 左右,最大也不过 7mm。形态多变,颜色各异,在海相地层中广泛分布,在生产实践上具有重大的实用价值,在生物演化上也占有极重要的位置。

## 生物地层的主帅

现代地层学包括生物地层学、岩石地层学、化学地层学、生态地层学、地震地层学、同位素地层学、体地层学等等,然而最重要的还是生物地层学。因为生物的演化是不可逆的,是地质历史演化的最重要的证据。是区域地质调查的核心内容,也是构造地质研究的基础。

自新中国成立的半个多世纪以来,我国的区域地质调查工作一直卓有成效地进行着,取得了举世瞩目的成就。区域地质调查工作中的重要内容之一就是解决地层的时代,在这方面同样取得了许多突破性的进展。

从世界范围来看,近半个世纪以来,地层古生物工作已有很大的变化,从 70 年代以来,在国际地层委员会的推动下,对显生宙的各个纪,都开始建立各系、统、阶的界线层型,寻求地层对比的共同语言。界线层型的研究,推动了生物地层学等相关学科的发展,为寻求世界对比的共同语言,界线层型的定义(即金钉子的定义),必须选择演化快、分布广、特征明显的化石作为层型剖面界线点位的定义。这样在显生宙的各地质时代就逐渐选定了主导化石门类(leading fossil groups),即每个地质时代生物地层挂帅

的门类,也就是确定各阶的定义和界线层型的化石门类。每个地质时代的主导化石门类都是经过世界各国地层古生物学家反复研究比较,逐步得到共识的。七十年代以前,有些地质年代的正年代地层单位,都是依据大化石确定的,如泥盆纪、三叠纪的菊石,实际上也是当时的主导化石门类。七十年代以后,地质时代的主导化石门类发生了变化,所有地质时代的主导化石门类都是以浮游生物、微体化石为准,而不是以底栖生物、大化石为准。同时,国际年代地层表也发生了重大变化。志留系由原来的三个统,改为现在的四个统;石炭系由三统改为二统;二叠系由二统改为三统。新的地质年表的变化,对地质时代的确定也提出了新的要求。再不能用“上志留统”,而必须确定是罗德洛统还是普里道利统,再不能用传统的上二叠统或下二叠统,而必须考虑是否有中二叠统。

我国的区域地质工作,也逐步重视主导化石门类。广西区域地质调查院,多年来非常重视用泥盆纪的主导化石门类牙形刺解决泥盆纪的地层时代和对比,取得了非常好的效果。西藏的区域地质调查工作,近年来也重视主导化石门类的采集,也取得了很好的效果。各时代的主导化石门类和重要化石门类以及主导化石门类的分带情况,见表 1。

从这个表中可以看到,牙形刺已成为寒武纪、奥陶纪、志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪和三叠纪七个地质时代的主导化石门类,可以说整个古生代和三叠纪,牙形刺都是主导化石门类,特别是泥盆纪、石炭纪、二叠纪和三叠纪。奥陶纪和志留纪的第一主导化石门类是笔石,但笔石分布范围有限,在广泛分布的碳酸岩相区,实际起作用的还是牙形刺。生物地层划分的详细程度,经常是以生物带的多少统计的。至今,古生代和三叠纪的牙形刺带在“深水相区”已划分出 180 多个带,如果加上在浅水相区的牙形刺化石带,牙形刺化石带已有 200 多个。除带化

# 化石揭秘

表1 显生宙各时代的主导化石门类 and 主要化石门类 (据王成源, 2000)

代	系	主导化石门类	重要化石门类	主导化石门类化石带
新生界	第四系	钙质超微化石, 浮游有孔虫	哺乳动物, 孢粉, 介形类	浮游有孔虫 5带 钙质超微 2带
	新近系	浮游有孔虫, 钙质超微化石	哺乳动物, 孢粉, 介形类, 沟鞭藻	浮游有孔虫 21带 钙质超微 18带
	古近系	浮游有孔虫, 钙质超微化石	哺乳动物, 孢粉, 介形类, 轮藻, 双壳类	浮游有孔虫 23带 钙质超微 25带
中生界	白垩系	菊石, 浮游有孔虫, 钙质超微化石, 双壳类	孢粉, 介形类, 海百合, 沟鞭藻, 箭石, 轮藻, 鱼, 鸟, 爬形类	菊石 24带 浮游有孔虫 29带
	侏罗系	菊石	有孔虫, 放射虫, 胸足类, 双壳类, 孢粉, 介形类等	菊石 (24带或组合)
	三叠系	牙形刺, 菊石	浮游有孔虫, 孢粉, 叶肢介, 双壳类, 介形类	牙形刺 28带 菊石 27带
古生界	二叠系	牙形刺	菊石, 蜓, 非蜓有孔虫	牙形刺 23 - 33带
	石炭系	牙形刺	菊石, 蜓, 非蜓有孔虫	牙形刺 19带
	泥盆系	牙形刺	笔石, 竹节石, 三叶虫, 腕足类	牙形刺 57带
	志留系	笔石, 牙形刺	几丁虫, 疑源类, 脊椎微体	笔石 29带 牙形刺 15带
	奥陶系	笔石, 牙形刺	几丁虫, 三叶虫, 鹦鹉螺, 腕足类	笔石 29带 牙形刺 24带
	寒武系	三叶虫, 牙形刺	疑源类, 小壳化石	三叶虫 41带 牙形刺 11带

石外, 还有很多标准化石, 仅晚泥盆世就有 120 多种牙形刺的标准化石, 只要发现一个, 地层时代就能得到精确确定。牙形刺实际就是古生代和三叠纪生物地层的主帅。这是任何其它化石门类所不能比拟的。

### 生物演化的先锋

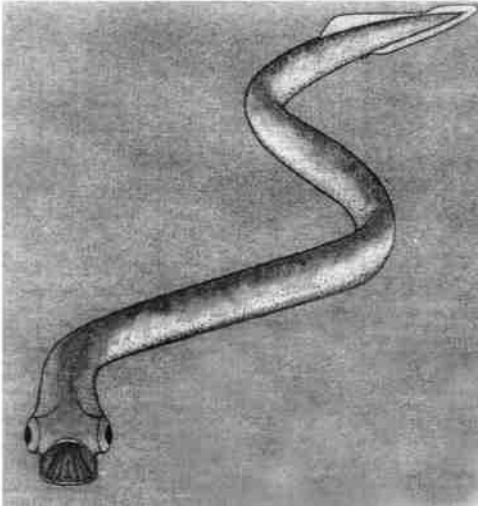
牙形刺是显生宙最早出现的生物门类之一。广义地说, 牙形刺可分为三类: 原牙形类出现于前寒武纪, 副牙形类始于早寒武世, 而真牙形类始于晚寒武世。现代研究证明, 真牙形类来源于副牙形类, 而副牙形类可能来源于原牙形类。如下所述, 多数牙形刺专家都认为, 牙形刺, 特别

是真牙形类是脊椎动物的祖先, 出现于晚寒武世, 在脊椎动物演化上处于领先的地位。

各类生物在地质历史时期的演化速率是不同的, 不仅在相对“稳定”的地质时期不同, 在“多事之秋”的剧烈变化的地质时期更是如此。近年来, 我国古生物学家对地质历史时期重大事件的研究充分证明了这一点。对古生代重大灭绝事件的研究表明, 泥盆纪的 F/F (弗拉阶/ 法门阶) 事件, 牙形刺的集群灭绝规律与底栖生物, 特别是底栖珊瑚完全不同。底栖造礁的珊瑚总是最早灭绝, 灭绝期的时间也最长; 相反, 牙形刺在大灭绝期间的集群灭绝总是

最后发生, 灭绝的时间间隔也最短。大灭绝之后, 牙形刺最早进入复苏期, 复苏期可能只有 0.35 百万年, 而底栖生物要比牙形刺滞后 9 百万年才进入复苏期和辐射期。在生物的演化上, 牙形刺是真正的演化先锋。因此, 被地层学家称为生物地层的计时器。

在二叠纪-三叠纪集群灭绝事件中, 全球 90% 以上的海洋无脊椎动物和大约 70% 的陆生脊椎动物都告灭绝。多数门类, 很难追索到连续的演化系列。牙形刺没有科级和属级的灭绝事件发生, 就是种级的灭绝事件也不明显, 只是牙形刺的丰度有极大的变化, 但在世界范围内都可以追



牙形动物复原图 有两只大眼,两侧对称(据 Purnell et al., 1995)

索到牙形刺的连续的演化系列,这一特征使它在二叠纪-三叠纪界线地层研究中发挥了关键性的作用。

在集群灭绝事件中,仍保持连续的不间断的演化系列,这在地质时期的各门类化石中是不多见的。牙形刺出现得早,不仅在平稳的地质时期演化得快,在重大地质转折时期,也存在连续的演化系列,与其它生物门类,特别是底栖生物门类相比,始终处于演化的先锋地位。

牙形刺为什么演化得快?这可能与牙形刺的功能有关。依据拉马克的“用进废退”学说,现在已证明了牙形刺是牙形动物口咽器官,起牙齿作用的台型牙形刺和起过滤作用的复合型牙形刺总是牙形动物体内最活动的器官,天天进食,时刻运动,随着地质历史时期食物链的变化,牙形刺进化的速度也最快。在地质历史时期,不仅是牙形刺,中生代鱼类的牙齿,大象、猛犸象的牙齿,啮齿类的牙齿,都是演化最快的,都是生物地层的最好的标志或良好的带化石。可以说动物界中牙齿的演化已构成了生物地层中生物演化的主线。而在植物界中,生殖器官的演化是最为迅速的。

#### 石油地质的尖兵

牙形刺不仅在生物地层中是主导化石,是主帅,而且在石油地质研究中也是重要的尖兵。牙形刺的颜色是有机变质的重要标志。依据牙形刺的颜色可

以判断石油有机成熟度,圈定油气远景区。

牙形刺是由碳磷灰石、细晶磷灰石组成的,含有微量的有机质和氨基酸。美国科学家首先用实验证实了牙形刺的不同颜色与有机变质程度有直接的关系,这种变化与温度、埋藏深度和时间有关。这种颜色的变化由浅到深,逐渐变化,不可逆,这种颜色变化指标称为 CAI,常用的可分为 5 级,CAI = 1 (琥珀色) - 5 (黑色) 是牙形刺内固定碳增加的过程;CAI = 5 (黑色) - 8 (白色) 是固定碳从牙形刺中失去的过程。通过阿伦厄尼斯坐标可以换算 CAI 值与温度和埋藏深度的关系。用有机变质温度就可以圈定出石油和天然气的未成熟区、成熟区和过成熟区,就可以知道哪些地区可能有(石)油有(天然)气,哪些地区无油有气,哪些地区无油无气。这对石油地质勘探有非常重要的指导意义。美国曾用这种方法在阿拉斯加圈定并找到重要的油气藏,我国也用此方法大致圈定了华南华北油气勘探区。

牙形刺是由磷灰石构成的,利用荧光反应可以帮助确定在低温下的变质程度。

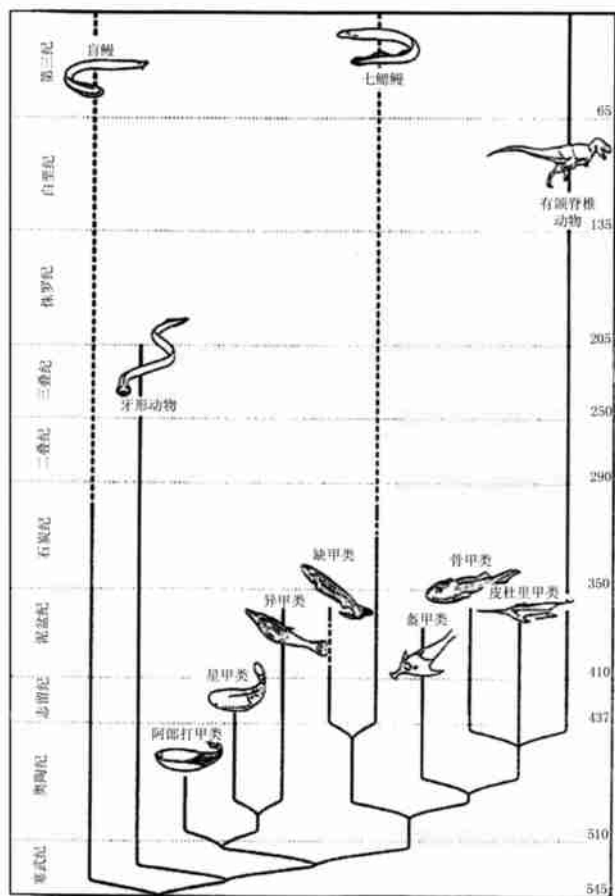
当岩石的变质温度较高,特别是大于 300 时,可以用测定牙形刺磷灰石结晶颗粒大小的方法,确定岩石的变质温度。在扫描电镜下,放大 5000 倍,拍成照片,就可以清楚看到牙形刺磷灰石晶粒,测定晶粒的大小。

牙形刺的颜色,结晶颗粒和荧光反应都可以测定岩石的变质温度,牙形刺不仅是生物地层的计时器也是岩石地层的地温温度计,更是石油地质的尖兵。

近年来,美国科学家正在研究牙形刺 CAI 值与卡琳型金矿的关系,可以肯定牙形刺在寻找碳酸岩地区卡琳型金矿方面,同样会起到重要作用。

牙形刺化石,虽然形态多变,颜色斑斓,但内部构造相对简单。没有高等脊椎动物牙齿所具有的神经和血管系统,完全由疏密相间的齿层构成。除寒武纪牙形刺外,牙形刺鉴定一般不需要研究内部构造,相对要简单易行。但牙形刺的鉴定要求很高,近年来,我国已发生几次由于牙形刺化石鉴定错误导致地层时代结论错误的实例。

由于牙形刺的生物地层研究精度高,在碳酸岩地层区的石油地质勘探中,特别是在确定碳酸岩地层的缺失、古隆起区井下碳酸岩地层和储油层的对比上,是绝对不可缺少的手段。这在新疆石油地质



早期脊椎动物的演化谱系 (据 Purnell et al., 1995)

的研究中已得到充分的证明。

正因为牙形刺在生物地层和石油地质上的突出作用,所以有人给牙形刺写了一副对联:

形似牙,纵载千秋史话  
色如玉,横标万里油花  
横幅是

形色俱佳

还有一副楹联,也是赞扬它的作用和品德的:

最好的统帅,勇敢的尖兵,融  
统帅尖兵于一身

多彩的外表,诚实的内心,俱  
外表内心的统一

### 脊椎动物的祖先

自从潘德尔 1856 年在波罗地海地区发现牙形刺以来,有关牙形刺的生物属性的争论就从来没有停止过,这种奇怪的多刺的齿状化石曾被归入到鱼类、环节动物、节肢动物、头足动物、袋虫类、腹毛类、毛颚类、动物类,甚至植物等十八种不同的生物门类,可以说,没有任何一种化石门类像牙形刺那样使人迷惑不解,扑朔迷离。但是占主要地位的假说,在八十年代以前是鱼类假说和环节动物假说。自 1983 年在

苏格兰的下石炭统发现牙形动物软体化石以后,牙形动物就被归入到最早期的脊椎动物。它与现代的七鳃鳗(八目鳗)很相似,两侧对称,肛门后位,有尾鳍,背鳍,并有鳍条,有两个大眼睛,有肌节(并发现纤维肌肉组织)和脊索,重要的是牙形刺中有与脊椎动物牙齿相似的齿质(牙本质)存在,并在牙形刺的口面,特别是台型牙形刺的口面发现微磨损,证明牙形刺是牙齿,起粉碎、剪切食物的作用,是食大粒食物的,牙形刺是牙形动物的口咽器官,两侧咬合,因此,英国的几位最著名的牙形刺专家都认为牙形动物有良好的视力,两侧对称,能像鳗类一样快速游泳,并且很可能是积极捕食的,能适应于不同的生境,他们将牙形动物归入到最早期的脊椎动物,可能来源于盲鳗类或七鳃鳗类,具有钙化的骨骼,属脊椎动物中最原始的颌口类(Gnathostomata)。狭义的牙形刺或牙形动物(真牙形类)起源于晚寒武纪,处于脊椎动物演化的早期,是脊椎动物的祖先,而真牙形类的祖先很可能是来源与早寒武世多细胞动物的大辐射。没有牙形动物,就没有现代的脊椎动物,也没有人类,它是人类的远祖。这已成为牙形刺专家的主流看法。但也有人认为牙形动物不属于脊椎动物而属原索动物,或是脊椎动物的姊妹群,但仍属脊索动物。最近美国著名古生物学家诺尔教授发表文章,完全肯定牙形动物为脊椎动物。我国牙形刺专家北京大学董熙平教授通过对寒武纪牙形刺组织学的研究,也完全赞同牙形动物是脊椎动物的祖先的学说。