

# 信息函数与牙形石古生态研究

王安德 汪恒定

(浙江大学地质系, 杭州)

本文以苏浙皖毗邻地区晚二叠世长兴期地层为岩石单元, 该单元从研究区东南向西北依次划分为近滩潮坪相、浅水碳酸盐台地相、台前碳酸盐凹陷相及近台边缘硅质岩盆地相。对该岩石单元不同相带剖面牙形石产出量进行研究, 用信息函数论方法对数据进行计算机处理, 发现研究区不同相带牙形石产出频率、分异度、产出量、均衡度及牙形石种类和形态等与沉积相、共生矿物、水深、盐度水动力条件等有密切关系。通过综合研究得出: (1) 最适合牙形石动物繁衍生息的环境是浅水碳酸盐岩台地相和台前凹陷相, 尤以台前凹陷相最宜。(2) 水体较浅的近滩潮坪相和水体较深的近台边缘硅质岩盆地相则不宜牙形石动物生存。(3) 广布的单分子器官属*Neogondolella*营浮游生态类型。分布局限的多分子器官属*Prioniodella*、*Hibbardella*、*Enantiognathus*, 为底栖底游生态类型。

牙形石是一类已灭绝的海洋微体古生物, 它生存在寒武纪至早三叠世的海洋里, 多被肢解成微小个体保存在岩层中, 利用酸解法在实验室处理碳酸盐岩样品可获得牙形石个体。一般说来在野外无法直接观察牙形石产出状况, 对其古生态研究更无从下手。因此, 充分利用实验室酸解碳酸盐岩样品从所获牙形石种类、数量提取有用信息, 采用数学方法对其古生态进行研究是当前牙形石古生态研究所面临的首要问题。而化石群的分异度及均衡度在微体化石古生态研究中简便易行, 广为应用。本文就是用信息函数对牙形石古生态进行研究的一种尝试。

## 一、化石的分异度及均衡度

化石的分异度是指地层中化石群的分类单元(属、种)多样性程度, 有的地层中含化石数量较多而属种单调, 有的则含化石数量较少但属种繁多, 这就是化石分异度的不同。分异度大小与生物当时生存环境有关, 如现代海洋生物与水深、温度、盐度、底质等环境条件有密切关系。如从潮间带至陆架外缘, 有孔虫、软体动物等许多门类的分异度逐渐增高。又如我国广西北海围州岛由于受高温、高盐度海水的影响, 发育了一些典型热带种的软体动物, 具热带与亚热带特征, 而有别于邻近的北部湾北部沿岸潮间带; 从里海、黑海至地中海, 海相生物的分异度随盐度升高而依次增加。因此, 在化石鉴定的基础上进行分异度统计, 可为古地理研究提供有用的参考数据。

简单分异度( $S$ ): 是用属种数目来表示的分异度。如杭州湾现代沉积样品中, 一般只含一、二十种有孔虫, 而东海陆架外缘达数十至近百种; 里海的腹足类只有26种, 到黑海增加至74种, 这均反映了盐度的差异。简单分异度最易取得, 它不要求对化石做定量分析。但受样品多少影响很大, 统计的样品个数越多, 则属种数目越大。如同样两

个有100枚个体10个种的样品，如果甲样品中一个种占91%，其余每种各占1%，但乙样品中各种都占10%，显然乙比甲的分异度高。这种差别用简单分异度很难区别。由此提出采用各种复合分异度来表示化石群的复杂性程度。复合分异度不仅考虑到化石群内属种的多少，而且也反映了每种个数的分配是否均匀。辛普森指数和信息函数值就是比较好的两种。

### 1. 辛普森指数

根据概率统计学原理，从全群的个体中任抽两枚个体，计算为能得到同属一个种的一对个体所需抽取的次数，用这个数值表征分异度，就是辛普森指数。

$$D = \frac{N(N-1)}{s \sum_{i=1}^s n_i(n_i-1)}$$

辛普森指数不受预定数学模式的限制，在古生态研究中应用较广。但此法受优势种影响较大，对罕见种考虑较少，并且还受样品多少、个体丰度的影响。因此多采用信息函数熵 $H(S)$ 。

### 2. 信息函数熵 $H(S)$

实践证明，化石群复合分异度最好的指标是信息函数 $H(s)$ 值。随着信息论在科学技术上的推广，50年代起在生物学上开始应用，为分异度的计算开辟了新的途径。如汪品先等(1980)对上海和长江口地区第四纪钻孔中有孔虫化石群 $H(S)$ 的研究，就用信息函数熵发现了它能很好的反映古盐度和古深度环境。

信息论中的信息函数熵 $H(S)$ ，代表着概率空间的不肯定程度，它可以用来表示生物群(或化石群)的分异度。假如从一个生物群中任意抽出一个个体，预先猜到它属于哪个种的困难程度并不一致。种数越多，每种个数的分配越均匀、猜到的不肯定程度就越大，也就是分异度越高。反之，如果生物群中只有一个种，那就完全可以断定抽到的一定是这个种，不肯定程度消失，分异度最小。

因此，熵 $H(S)$ 是生物群或化石群复合分异度的良好指标。由于它具有一系列重要优越性，已成为近年来国际上应用最广、最受欢迎的一种分异度指标。

根据信息论的基本公式，生物群中 $(S)$ 的熵 $H(S)$ 可依下式求得：

$$H(S) = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中 $P_i$ 是第 $i$ 个种的个数 $(n_i)$ 在全群总个数 $(N)$ 中所占的比例 $(P_i = n_i/N)$ ， $\ln P_i$ 是 $P_i$ 的自然对数。对于生物群，化石群来说，熵 $H(S)$ 也就是种的分异度。由于这种函数由香农提出来的， $H(S)$ 亦可称香农函数。

$H(S)$ 值的大小，取决于种数 $S$ 值及 $P_i \ln P_i$ 值的大小。 $H(S)$ 值既不象简单分异度 $S$ 值那样受罕见种的影响过大，又不象辛普森指数 $D$ 值那样受优势种的影响太重，而能比较全面和恰当地反映分异度。

### 3. 均衡度

均衡度 $E$ 指化石群中每种个体数量分配的均匀程度，用下式计算。

$$E = e^{H(S)}/S$$

由于分异度 $H(S)$ 值实际上是由样品的种数 $(S)$ 和每种间个体分配的情况 $(E)$ 两个因素所决定, 均衡度 $E$ 值在古生态分析时可用做分异度的补充。

以上是运用信息论原理在微体化石群古生态研究中的概略介绍。当数据较多时可用计算机进行自动处理。本文参考Fortran语言自编程序如下:

程序中标识符说明:

$N(I)$  ——不同地区剖面中每一个种所含牙形石个数

$I(S)$  ——牙形石种的个数, 简单分异度

$M$  ——每一剖面中所产牙形石总个数

$D$  ——辛普森指数

$H(S)$  ——信息函数熵

$E$  ——均衡度

该程序在Honeywell机上运行, 运用DPS8操作指令, 程序如下:

```
PROGRAM OF DIVERSITY
```

```
DIMENSION N ( 40 )
```

```
INO = 0
```

```
414 READ ( 30, 12, EDN = 5555 ) ( N ( I ), I = 1, 40 )
```

```
INO = INO + 1
```

```
WRITE ( 40, 1030 ) INO
```

```
IS = 0
```

```
M = 0
```

```
DO 66 I = 1, 40
```

```
IF ( N ( I ) .NE. 0 ) IS = IS + 1
```

```
M = M + N ( I )
```

```
69 CONTINUE
```

```
WRITE ( 40, 1050 ) M, IS
```

```
1050 FORMAT ( 13X, 'M = ', I6.5, 5X, 'IS = ' I3 / )
```

```
1010 FORMAT ( 2X, 1014 )
```

```
PP = 0
```

```
DO 1 I = 1, 40
```

```
1 PP = PP + N ( I ) * ( N ( I ) - 1 )
```

```
D = M * ( M - 1 ) / PP
```

```
PP = 0
```

```
DO 2 I = 1, 40
```

```
IF ( N ( I ) .EQ. 0 ) GOTO 2
```

```
PI = FLOAT ( N ( I ) ) / M
```

```
PP = PP + PI * ALOG ( PI )
```

```
2 CONTINUE
```

```

HS = -PP
E = EXP ( HS ) / IS
1030 FORMAT ( 3×, '*** ** SECTION, 'I2', *** **' )
WRITE ( 40, 13 ) D, HS, E
GOTO 144
13  FORMAT ( 13×, 'D=' , F10.4, 5×, 'H ( S ) =' F10.4, 5×,
      'E=' , F10.41 )
11  FORMAT ( I4, I3 )
12  FORMAT ( 10I5 )
5555 STOP
      END

```

## 二、研究实例

苏浙皖毗邻地区晚二叠世晚期是一西濒淮阳古陆东临华夏古陆之古海域。具有近滩潮坪、浅水台地，台前凹陷、边缘盆地等各种沉积类型。

长兴组地层在该区覆盖面大，时限短，不失为研究该区牙形石分布格局之理想地层单元。长兴灰岩及其相当地层由南东向北西被限制在较好的深度梯度之中。几年来，我们分别在该区不同相带测制长兴组地层剖面，共采集牙形石样品200余块。经酸解处理后获得大量牙形石。本项研究基于200多块样品中产出的36个牙形石分子类型。其中以 *Neogondolella* 动物群最为特征。属种编号见表1。不同相带的剖面中牙形石产出量见表2。

表1 牙形石属种及编号

编号	牙形石属种名称	编号	牙形石属种名称
1	<i>Neogondolella elongata</i>	10	<i>Hibbarddlla sp.</i>
2	<i>Neogondolella changxingensis</i>	11	<i>Ozarkodina tortilis</i>
3	<i>Neogondolella subcarinata</i>	12	<i>Anchignathodus minutus</i>
4	<i>Neogondolella deflecta</i>	13	<i>Prioniodina "prioniodelloides"</i>
5	<i>Ellisonia teichecti</i>	14	<i>Cypridodella subsymmetrica</i>
6	<i>Lonchodina mülleri</i>	15	<i>Hibbardelloides sp.</i>
7	<i>Enatignathus zieglerei</i>	16	<i>Hibbardelloides sp.A</i>
8	<i>Prioniodina decrescens</i>	17	<i>Anchignathodus cf. typicalis</i>
9	<i>Xaniognathus elongatus</i>	18	<i>Xaniognathodus bidentatus</i>

续表 1

编号	牙形石属种名称	编号	牙形石属种名称
19	<i>Lonchodina</i> sp.	28	<i>Prioniodella</i> <i>ctenoides</i>
20	<i>Neogondolella</i> <i>carinata</i>	29	<i>Prioniodella</i> <i>informata</i>
21	<i>Neogondolella</i> sp.	30	<i>Neogondolella</i> <i>dicerocarinata</i>
22	<i>Ellisonia</i> sp.	31	<i>Neogondolella</i> <i>lanceolata</i> (sp. nov.)
23	<i>E. teichertii</i> U-elements	32	<i>Metalonchodina</i> <i>mediocerisa</i>
24	<i>Ozarkodina</i> sp.	33	<i>Prioniodella</i> sp.
25	<i>Oncodella</i> sp.	34	<i>Diplododella</i> sp.
26	<i>Anchignathodus</i> sp.	35	<i>Cypridodella</i> <i>conflexa</i>
27	<i>Hindeodella</i> sp.	36	<i>Neogondolella</i> <i>Orientalis</i>

从表2中可看出不同相区古地理位置牙形石产出量相差悬殊。其中浅水台地相和台前凹陷相牙形石产出量较多，而近滩潮坪相和边缘盆地相则产出量较少，这种分布格局受其古环境限制。根据本区不同相带牙形石产出量，经用前述程序进行计算机处理可分别算出不同剖面牙形石产出频率、产出量、均衡度及分异度等数据（表3）。结合岩相古地理、沉积环境，发现该区牙形石分异度与沉积相、水深、盐度、温度、底质等有密切关系，现简述如下：

### 1. 产出频率

产出频率指总样品中含牙形石样品所占比例大小，用百分数表示。分析结果表明，从潮坪近滩（苏州西山岛）向浅水台地（吴兴黄芝山）再至台前凹陷（长兴葆青、广德独山）。产出频率由15%增至55%，最高达87%。继续向北西达边缘盆地（铜陵塘山）产出频率减至22%。说明牙形石产出量向深度梯度方向增加，但超过一定深度界限又有减低。

### 2. 分异度与均衡度

分异度基本与牙形石产出频率相符，均衡度是分异度的辅助因素。从表3中可看出近滩潮坪和边缘盆地分异度较低，分别为1.264和1.810。而浅水台地和台前凹陷均高达2.527和2.392。说明浅水台地和台前凹陷最适宜牙形石生存，这里海水深度适中，盐度正常，透光性好。均衡度从近滩潮坪至台前凹陷在0.41至0.65间变化，其规律是向深水方向增加，浅水方向递减，符合分异度所提示的牙形石生活环境。

### 3. 种类和形态

种类是指牙形石属种类别，形态是指平台型、复合型、单锥型。本区所产牙形石以平台型和复合型为主。尤以平台型单分子种*Neogondolella*动物群最富，并兼存各类复合型多分子种。如表1所列5、6、7、8、9、10、11号分子。但在近滩潮坪中仅见*Neogondolella*和*Anchignathodus*，为广海浮游型，个体形态粗壮，具一定抗浪性。以浅水台地和台前凹陷为主要生活环境。在近滩潮坪较浅水环境中也见有*Neogondolella*，*Anchignathodus*，但均为成年种，未见幼年种。反之，在浅水台地和台前凹陷出现的上述两分子，

表2 苏浙皖地区长兴期主要剖面牙形石分布表

种号 剖面	个 数																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
太湖面山岛	0	11	0	1	1	0	4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
吴兴黄芝山	3	13	3	9	15	5	1	1	5	1	1	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	1	4	1	1	5	0	0	0	0	0	
长兴葆菁	163	249	59	21	28	18	62	127	79	48	165	21	12	21	5	1	5	1	1	2	1	2	4	3	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
广德荠麦岗	1	12	1	2	0	2	3	2	3	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	10	0	0	1	1	0	0	0		
广德独山	0	34	4	18	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	17	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	8	0	1	0	0	
广德东川岭	34	98	0	1	1	0	4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	2	0	0	0	1	2	0
巢湖马家山	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	2	0	0	0	0	0
长兴葆菁*	0	247	276	43	5	0	66	49	122	24	6	13	5	0	0	0	0	3	1	43	4	0	0	1	2	0	0	43	1	4	0	2	0	2	0	4	7

注：表中的\*号系引用张克信（1987）数据

表3 苏浙皖地区长兴组牙形石分异度及均衡度统计表

剖面	项目 牙形石 产出频率	牙形石 产出总数 (M)	均衡度 (E)	分 异 度		
				简单分异度 (S)	复合分异度 (D)	信息函数 [H(S)]
太湖西山岛	15%	19	0.590	6	2.803	1.264
吴兴黄芝山	55%	94	0.659	19	10.661	2.527
长兴葆青	87%	1103	0.421	26	8.138	2.392
广德芥麦岗	41%	44	0.653	14	7.508	2.213
广德独山	28%	91	0.503	12	4.612	1.797
广德东川岭	56%	218	0.413	17	4.154	1.949
铜陵塘山	22%	—	—	—	4.500	1.810
巢湖马家山	25%	19	0.568	5	2.138	1.044

在同一块样品中成年种和幼年种并存。在此环境中产出的多分子复合型分子 *Ellisonia Teicherti* (5), *Lonchodina mülleri* (6), *Enantignathodus Ziegleri* (7), *Prioniodella decresens* (8), *Xaniognathus elongatus* (9), *Hibbardella sp.* (10), *Ozarkodina tortilis* (11) 等分子, 多数具纤细齿片, 有明显地方性色彩, 为底栖和底游型。适宜安静低能环境。

### 三、几点认识

综上所述, 苏浙皖毗邻地区晚二叠世长兴期牙形石古生态, 基本受水深、离岸距离、水动力条件、盐度等主要因素控制。依其分布格局, 结合岩相古地理, 其生态大致有以下规律:

1. 牙形石分布与沉积相关系十分密切, 现将本区各相带牙形石产出频率、共生生物、分异度、均衡度等综列表4。

2. 牙形石产出量由近岸、浅水至深水递增; 水动力条件由高能至低能递增。其中潮下浅水台地和台前凹陷为牙形石喜居场所。

3. 从本区牙形石功能形态分析, 可划分两种生态类型: 一为广布的浮游型, 具一定抗浪性, 以单分子属 *Neogondolella* 和多分子属 *Anchignathodus* 为代表。另为底栖和底游型, 以多分子种 *Prioniodina decresens*, *Xaniognathus elongatus*, *Hibbardella* 为代表。

4. 牙形石大致生存在正常盐度温暖的海水中, 水深一般70—200m, 即浪基面以下。

表4 苏浙皖地区长兴期牙形石动物群与沉积相的关系表

沉积相区	沉积相带	代表剖面	牙形石产出频率(%)	牙形石主要属种	牙形石类型	牙保存状况	共生生物	牙形石分异度曲线			均衡度 E
								种数 S	辛普森指数, D	信息熵 H(S)	
								5 20	5 10	1.5 2.5	0.25 0.75
台地	近滩湖坪	太湖西山岛	15	<i>Neogondolella changxingensis</i> <i>Anchignathodus minutus</i>	平台型为主	较差	腕足类 笔石 有孔虫				
	浅水台地	吴兴黄芝山	55	<i>Anchignathodus minutus</i> <i>Ellisonia teichertii</i> <i>Neogondolella changxingensis</i> <i>N. sp.</i> <i>N. subcarinata</i> <i>Lonchodina milleri</i>	平台型和各种 细枝型	较差	腕足类 珊瑚 钙质海绵 有孔虫				
	台前	长兴葆青	87	<i>Neogondolella changxingensis</i> <i>Anchignathodus minutus</i> <i>Ellisonia teichertii</i> <i>Enantiognathus ziegleri</i> <i>Prionodella sp.</i> <i>Xanognathus elongatus</i> <i>Lonchodina milleri</i>	平台型为主, 各种细 枝型发育	好	头足类 腕足类 海绵 介形, 棘皮, 海藤				
		宜兴湖汊	25	<i>N. changxingensis</i> <i>Lonchodina milleri</i>	平台型和 细枝型	好	头足类 腕足类 有孔虫				
	台后	广德荞麦岗	41	<i>N. changxingensis</i> <i>Prionodella ctenoides</i>	平台型和 细枝型	一般	头足类 腕足类 有孔虫				
		广德独山	28	<i>Anchignathodus minutus</i> <i>Neogondolella spp.</i>	平台型为主	一般	头足类 腕足类 有孔虫 腕足类				
		广德东川岭	56	<i>N. changxingensis</i> <i>Prionodella spp.</i>	平台型和 细枝型	好	头足类, 有孔虫, 笔石 海藤, 介形 钙质海绵				
盆地硅质岩相区	近台边缘	铜陵塘山	22	<i>Neogondolella subcarinata</i> <i>Prionodella decrescens</i>	平台型和 细枝型	好	头足类 放射虫				
	盆地	巢湖马家山	25	<i>Prionodella ctenoides</i>	细枝型为主	一般	头足类 海绵				

(收稿日期: 1988年9月18日)

参 考 文 献

- (1) 汪品先等, 1980, 信息函数与古生态研究, 教学地质专辑(一)。
- (2) 王成源等, 1981, 浙江长兴地区二叠纪龙谭组、长兴组牙形刺及其生态和地层意义, 中国微体古生物学会第一次学术会议论文选集, 科学出版社, 114—120页。
- (3) 赵金科等, 1981, 中国南部长兴阶和二叠系与三叠系的界线, 南京地质古生物研究所丛刊。
- (4) 钟端等, 1981, 西南地区早、中三叠世牙形刺古生态的初步探讨, 中国微体古生物学会论文选集, 科学出版社, 121—126页。
- (5) 王安德等, 1983, 浙江北部长兴阶的牙形刺, 浙江大学学报, 16卷3期, 121—133页。
- (9) 周希云, 1986, 贵州志留纪的牙形石分布与沉积环境关系的初步研究, 贵州地质, 4期, 425—432页。
- (7) 吴顺宝等, 1986, 晚二叠世长兴组灰岩在长兴地区的变化及其控制因素, 地质论评, 32卷5期, 419—425页。
- (8) 包德亮, 1986, 论牙形石的发展与条件, 西南石油学院学报, 1期, 27—35页。
- (9) 王安德等, 1987, 数理统计在牙形石研究中的应用, 科技通报, 3卷3期, 19—22页。
- (10) 李晓池等, 1987, 华南上二叠统长兴阶有孔虫与牙形石带(组合)的对比分析, 地质论评, 33卷5期, 395—401页。

- (11) 张克信, 1987, 浙江长兴地区二叠纪与三叠纪之交牙形石动物群及地层意义, 地球科学(武汉地院报), 12卷2期, 193—200页。
- (12) Austin, R.L., 1987, *Conodonts, Investigative and Application Techniques*. Publ Ellis Horwood Ltd.
- (13) Brarnes, C.R., 1978, *Conodont Paleocology Geol. Assoc. Canada Special Paper 15*, P.279—294.
- (14) Higgins A.C., Austin R.L., 1985, *A Stratigraphical Index of Conodonts*, Publ Ellis Horwood limited, P.22—23.

## APPROACH ON INFORMATION FUNCTIONS AND CONODONT PALAEOECOLOGY

Wang Ande      Wang Hengding

(Geology Department of Zhejiang University)

### Abstract

The strata in the adjacent area of Su-Zhe-Wan (the provinces of Jiangsu, Zhejang, and Anhui) area dated from Changxing period of the late Permian are taken as a rock unit, which, from southeast to northwest of the study area, are successively divided into peri-beach tide-flat facies, shallow water carbonate platform facies, platform - front carbonate depression facies and peri-platform margin siliceous rock facies. The yields of conodonts from the sections of different facies belts are studied, and the data are processed on computer with the method of information functions. It has been found that the yield frequency, differential index, yields, isostatics, the species and forms of conodonts from different facies belts are all closely related to sedimentary facies, paragenetic minerals, water depths, salinity and hydrodynamic conditions. The synthetical study shows that 1. the environments favourable for the breeding and living of conodont animals are shallow - water carbonate platform facies and platform front depression facies, especially the latter; 2. peri-beach tide flat facies with shallow water body and peri-platform margin siliceous rock basin facies with deeper water body are unfavourable for the living of conodont animals; 3. the extensively distributed monomolecular organs belong to the plankton ecological type of Neogondodella, while the limitedly distributed polymolecular organs belong to the benthic ecological type of Prioniodella, Hibbardella, and Enantiognathus.