

湘西北晚二叠世—早三叠世早期 牙形石古生态

田 树 刚

(中国地质大学, 北京 100083)

内 容 提 要

通过对牙形石器官的对称性、相分布和地球化学特征的研究,探讨湘西北晚二叠世至三叠纪初牙形动物的生态分布。按器官所包括不同对称型分子的比例,牙形动物器官的对称性可分为4级,器官的对称性越高,动物运动能力越强。湘西北晚二叠世—三叠纪初地层可分为6种沉积相,即盆地相、盆缘-台坡相、开阔台地相、边缘浅滩相、局限台地相和泥坪相。具不同对称级器官的属种在6种沉积相中的差异分布,反映了牙形动物的3种生态类型:自由游泳型、浮游型和底栖型。牙形石地球化学组分的变化与当时环境演变相吻合。随水深增加,化石中的P含量升高,而Ca、S、Sr的含量降低;Al、Fe和Ba在近岸浅水环境的牙形石中富集;而Mg的富集指示高盐环境。基于上述研究,划分了4个牙形石相,建立了一个组合横向替代的牙形动物生态分布模式。

关键词 牙形石 沉积相 地球化学 古生态

目前牙形石古生态的研究仍处于初期阶段,研究个体形态功能、共生生物生态及围岩沉积环境,从牙形石相分布特征推断其生态习性。湘西北地区晚二叠世至早三叠世环境多样、变化迅速、生物丰富,是研究牙形石古生态的良好地区。基于大量的研究材料,本文将各类牙形石的器官对称系列分为4级;分出牙形石的3种生态类型、4种牙形石生物相;认为牙形石的相分布为群落横向替代模式。本文还详细研究了牙形石的地球化学特征,证实牙形石的地球化学分析是古生态研究的重要手段之一。

本文是笔者博士论文的一部分,是在杨遵仪教授和聂泽同副教授的悉心指导下完成的。钟晓流、薛子俭和张扬胜参加了野外工作,王乃文代为鉴定放射虫标本。中国地质科学院矿床研究所探针室承做样品测试,地质研究所电镜室和中国地质大学(北京)照相室为标本照相。笔者在此表示衷心感谢。

牙形石器官对称系列的对称性

随着资料积累,现在普遍认为牙形石是动物头部的滤食或觅食器官,或对此类器官起支撑作用(Lindström, 1973, 1974; Conway-Morris, 1976; Briggs *et al.*, 1983; Sweet, 1981),牙形石个体的两侧对称与动物的生态习性密切相关。Lindström (1964)认为牙形石个体的两侧对称有益于自由游泳,而不对称的个体可能是被动漂浮,甚至是底栖的。Lane (1968)讨论了牙形石个体的两侧对称性,划分了牙形石的4个对生对称级。Druce (1973)将晚古生代至三叠纪的牙形石各属分别归入Lane的4个对称级,发现在他识别出的3种牙形石生物

相中,近岸极浅水的相 I 以四级对称型为特征,相 II (深 50m 以上)以一级对称型和二级对称
中对称性较高的类型为主,相 III (深 50m 以下)内为二级对称型和三级对称型。

本文重点研究了舟牙形石类 (gondolellids) 和 *Hindeodus* 及 *Isarcicella* 两属的器官
组成对称系列的对称性,将它们分为 4 个对称级。舟牙形石类的个体依据整体与齿脊的拱曲
方向和齿脊末端交汇于齿台后缘的位置划分左(旋)型和右(旋)型,以及对称性。标本齿片向
上放置,左凸右凹者为左型,左凹右凸者为右型;齿脊末端交汇于齿台后缘中部者为对称型,交
汇点偏离中部者为不对称型,齿台后内侧角强烈侧突而且交汇点位后内侧角者为极不对称型。
Hindeodus 和 *Isarcicella* 两属的器官构成 Sweet (1981) 和 Matsuda (1981) 等已有论述,
这里不再重复。

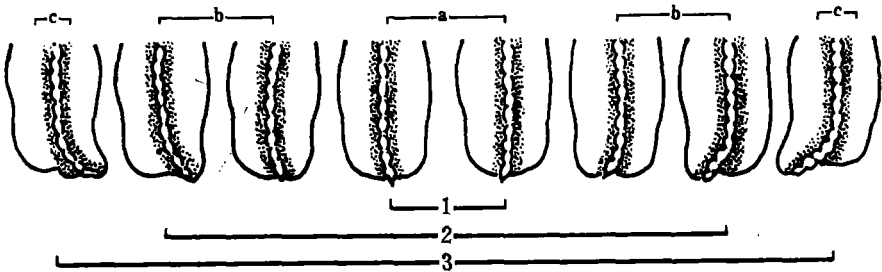


插图 1 *Neogondolella* 属器官构成对称系列图
A text-figure of the systematic series of *Neogondolella* apparatus
a. 对称型个体, b. 不对称型个体, c. 极不对称型个体
1.一级对称型, 2.二级对称型, 3.三级对称型

4 级对称类型中前 3 级为舟牙形石类。一级对称型指对称个体的对生对称系列;二级对
称型指对称个体与不对称个体的对生对称系列;三级对称型指对称个体、不对称个体和极不对
称个体组成的对生对称系列。第四级对称型指 *Hindeodus* 六分子器官的复杂对称,及 *Isarci-
cella* 由口面装饰构成的多分子对称系列。下面论述说明牙形石器官构成的对称性是体现动
物生态习性的一个重要特征。工作区这 4 级对称型包括的属称见表 I。

表 I 牙形石器官对称性划分表
Conodont division on the apparatus symmetries

一级对称型		二级对称型	三级对称型	四级对称型
<i>Neogondolella carinata</i>	<i>N. parallela</i>	<i>Neogondolella deflecta</i>	<i>Neogondolella idahoensis</i>	<i>Hindeodus minutus</i>
<i>N. Planata</i>	<i>N. mediconstricta</i>	<i>N. cf. deflecta</i>	<i>N. serrata</i>	<i>H. typicalis</i>
<i>N. nevadensis</i>	<i>N. leveni</i>	<i>N. postserrata</i>	<i>Dicerogondolella prorosenkranzi</i>	<i>H. parvus</i>
<i>N. guangyuanensis</i>	<i>N. bitteri</i>	<i>N. aserrata</i>		<i>Isarcicella</i>
<i>N. xiangxiensis</i>	<i>N. changxingensis</i>	<i>N. babcocki</i>		
<i>N. postwangi</i>	<i>N. liangshanensis</i>	<i>Dicerogondolella dicerocarinata</i>		
<i>N. subcarinata</i>	<i>N. wilcoxi</i>	<i>D. monoica</i>		
<i>N. wangi</i>	<i>N. denticulata</i>	<i>D. sp.</i>		
<i>N. orientalis</i>		<i>D. rosenkranzi</i>		

牙形石相分布

1. 上二叠统至下三叠统底部沉积相的划分

工作区内上二叠统至下三叠统底部以慈利县江垭至余家嘴一线为界分为 2 个相区。西部为龙潭-大隆相区,以桑植县仁村坪和小埠头两剖面为代表;东部为吴家坪-长兴相区,以慈利县黄莲峪剖面为代表;界线两侧的过渡带以慈利县江垭剖面为代表。本文采用碳酸盐的结构成因分类(曾允孚,1981),参考了 Willson (1975) 碳酸盐微相划分标准,按岩石特征、沉积构造和生物组合,将剖面分为 6 种沉积相。

盆地相 盆地相分布于龙潭-大隆相区大隆组及过渡带的大隆组上段。岩性以薄层、板状硅质岩,硅质页岩为主,夹大量的硅质灰岩透镜体。地层由硅质岩-硅质页岩-粘土岩叠覆的韵律层组成,具明显的纹层理。生物化石完全为浮游类型,即菊石、牙形石、放射虫、平卷式有孔虫和小个体腕足类等。还见有大量的体小枝细的遗迹化石 *Chondrites* sp., 这类遗迹常见于滞流水体,强还原环境中。地层内含有丰富的黄铁矿晶体,化石明显的黄铁矿化,说明当时盆地底部确为强还原环境。但到过渡带,地层中虽仍含一定量的黄铁矿晶体,但化石未见黄铁矿化,上述遗迹化石也少见。这套地层厚度小,从西向东渐薄(仁村坪为 9.3m, 江垭为 5.17m); 沉积开始的时代从西向东渐晚,形成明显的穿时现象,仁村坪开始于长兴下亚阶的顶部,江垭为长兴上亚阶中部,到黄莲峪盆地相消失。

盆缘-台坡相 这一相带除一些层位发现放射虫“白球灰岩”外,未发现其它坡积特征,盆缘相与台坡相未能分开,可能当时地形坡度平缓所致。相带分布于全区大隆组下部和长兴组下部。岩性以薄、中层泥晶灰岩夹钙质页岩为特征。岩层由中层灰岩-薄层灰岩-页岩的韵律层组成,纹层理发育,夹有大量的灰岩透镜体和层面波状起伏的似透镜状灰岩层,都是深而稳定水体的沉积特征。化石组合基本为浮游类型,即菊石、牙形石、放射虫和小个体腕足类等,还见有个别体大壳厚的腕足类。该相带在龙潭-大隆相区较薄(仁村坪 5.2m),向东渐厚(黄莲峪为 14.49m)。

有关盆地相和盆缘-台坡相的大致水深,从指相化石放射虫的资料可以推断。从湘西北区获得的大量而保存完美的放射虫属泡沫虫亚目,主要有 *Entactina parapyroclada* Nazarov et Omiston, *E. tyrrelli* Nazarov et Omiston, *Polyentactina* cf. *centrata* Nazarov et Omiston, *Octatortum*? sp. 等,这些化石广布于美国二叠纪的深水沉积中。我国二叠纪放射虫的研究资料(宋天锐等,1977;童玉明等,1985;金若谷,1987)证明含这类放射虫的沉积形成于水下约 100—300m。现代泡沫虫亚目的放射虫控制着海洋中的透光带,即小于 200m 深度 (Brasier, 1980)。此外,含这类放射虫的灰岩透镜体被认为形成于 150—200m 或以下的外陆棚和斜坡环境(Mullins *et al.*, 1980; Jenkyns, 1974)。湘西北区放射虫分布以盆缘-台坡相最丰富(含量占岩石的 50%—60%),指示了放射虫的最适深度;其次为盆地相,含量为 15%—25%。总之,基于上述资料,湘西北区当时盆地深度为 150—250m 左右,盆缘-台坡环境约为 100—150m。

开阔台地相 属潮下浅海陆棚环境。主要分布于长兴组上部,吴家坪组和龙潭组下部。岩性以中、厚层燧石灰岩、白云质灰岩为主。化石组合为典型的底栖类型,有珊瑚,腕足类,苔藓虫、海百合、鲃类、头足类和牙形石等。

边缘浅滩相 属潮间和潮下浅水高能带。分布于龙潭组底部和吴家坪组顶部。岩性为

泥、砂胶结的介壳或角砾堆积,或碳酸盐砂屑颗粒堆积层。化石均为底栖类型,破碎、磨损显著。

局限台地相 属半封闭的近岸浅水环境,含盐度不正常,局部水底为还原环境。分布于全区大冶组底部。岩性为白云岩化泥晶、微晶灰岩和白云岩。岩层由薄层灰岩(白云岩)-粉砂泥页岩-粘土岩的韵律层组成,层内见有大量的黄铁矿晶体。生物化石以浮游类型为主,有蛇菊石类,小腕足类,克氏蛤类和牙形石。

泥坪相 属低能潮坪环境,分布于龙潭组上段。岩性以粉砂泥,页岩为主,夹薄层白云岩、白云质灰岩和煤层。层内见有大量的泥裂和泥砾,桑植小埠头见有石膏夹层。生物化石有植物碎片、腕足类、头足类等,破碎显著。

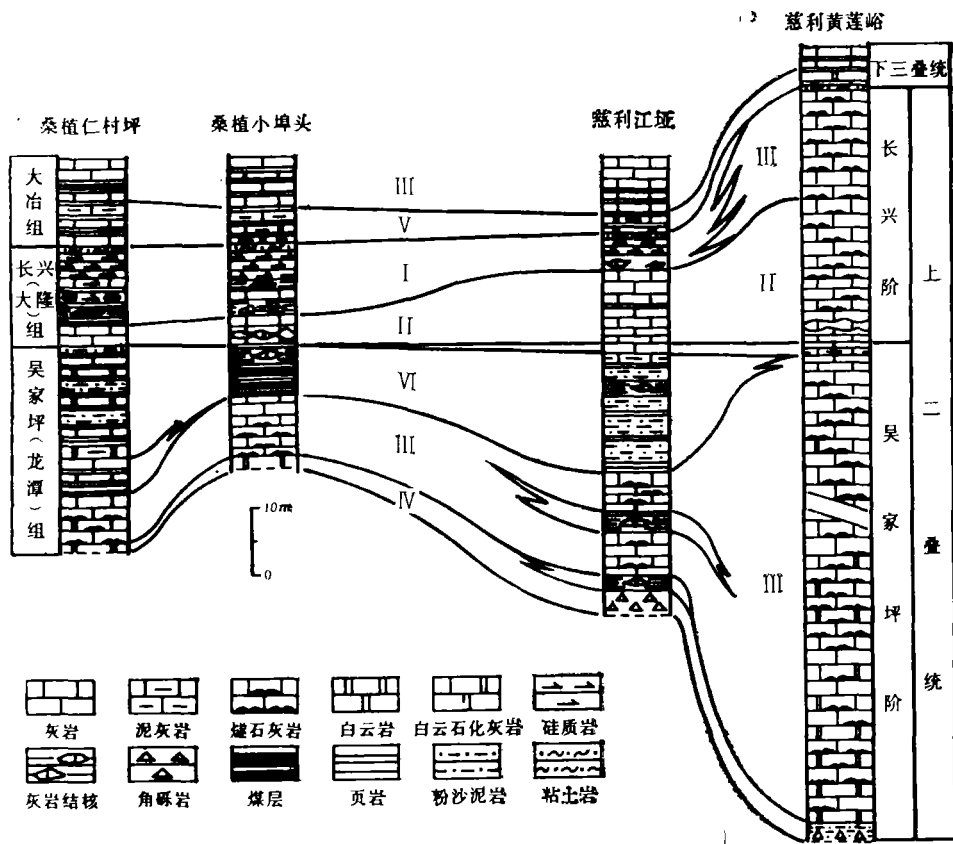


插图 2 湘西北上二叠统一下三叠统底部相分布图

(吴家坪组据《桑植幅》1/20 万地质资料)

The distribution of facies from the Upper Permian to the lowermost Triassic in the northwest of Hunan

I. 盆地相, II. 盆缘-台坡相, III. 开阔台地相, IV. 边缘浅滩相, V. 局限台地相, VI. 泥坪相

2. 牙形石相分布

将上述牙形石器官的四级对称型分为 3 类,即一级对称型、二级与三级对称型、四级对称型。观察它们在上述各相带内的丰度百分比、种密度和个体丰度,可以发现它们分别代表 3 种生态类型(表 II—IV)。

表 II 牙形石各生态类型丰度百分比统计表(生态类型个体/总个体)

Statistics on the richness percentages of ecologic types (ecologic type/specimens)

剖面 地 层		桑植仁村坪			桑植小埠头			慈利江垭			慈利黄莲峪			
		生态类型 ¹⁾	一	二	三	一	二	三	一	二	三	一	二	三
大 冶 组			0.06		0.92	0.04		0.93			1.00			1.00
大隆组		上段	0.48	0.07		0.57	0.05		0.65	0.15	0.03	0.31	0.08	0.38
长兴组		下段	0.77	0.02		0.52			0.72	0.03	0.04	0.94	0.05	0.02
龙潭组		上段							0.62	0.004	0.03	0.89	0.006	0.03
		中段	0.75		0.05	0.89	0.006	0.003	0.84	0.02	0.02			
吴家坪组		下段	0.71		0.08	0.69		0.04	0.87	0.03	0.04			

1) 生态类型: 一、自由游泳类(器官一级对称型), 二、浮游或底游类(器官二级对称与三级对称型), 三、底游类(器官四级对称型);下表相同。

表 III 牙形石各生态类型种密度统计表(物种数/样品数)

Statistics on the species densities of ecologic types (species/samples)

剖面 地 层		生态类型	桑植仁村坪			桑植小埠头			慈利江垭			慈利黄莲峪		
			一	二	三	一	二	三	一	二	三	一	二	三
大 冶 组			2/10		4/10	3/22		3/22			3/7			3/8
大隆组		上段	4/8	2/8		3/8	1/8		5/2	2/2	1/2	4/25	2/25	1/25
长兴组		下段	3/3	2/3		3/6			8/12	2/12	1/12	6/15	2/15	1/15
龙潭组		上段							4/6	1/6	1/6	6/9	2/9	1/9
吴家坪组		中段	4/9		1/9	3/2	1/2	1/2	4/7	1/7	1/7			
		下段	2/6		1/6	3/5		1/5	2/5	2/5	1/5			

器官一级对称型的个体在盆缘-台坡相和低能台地相的稳定水体中含量最高,在桑植仁村坪和小埠头大冶组底部非正常盐度的沉积环境中极少出现,在慈利江垭和黄莲峪大冶组底部含盐度较高的环境沉积中消失。说明这类动物为活动能力强的自由游泳型,是窄盐性的,它们可以分布到正常盐度的各种海洋环境。二级与三级对称型的个体在盆地相内含量较高,其它相带显著减少,含盐度不正常的环境中未出现。证明这类动物适应于深水环境,游泳能力较

表 IV 牙形石各生态类型个体丰度统计表(标本总数/样品数)
Statistics on the specimen richnesses of ecologic types (specimens/samples)

地 层	剖 面 生态类型	桑植仁村坪			桑植小埠头			慈利江垭			慈利黄连峪		
		一	二	三	一	二	三	一	二	三	一	二	三
大 冶 组		1		7	1		9			7			26
大隆组	上段	12	2		5	1		27	7	1	5	2	7
长兴组	下段	64	1		28			124	6	7	30	12	2
龙潭组	上段							750	18	30	187	1	6
吴家坪组	中段	82		6	160	1	1	60	1	1			
	下段	20		1	58		3	54	2	2			

弱,可能是浮游生活,少数是底栖游泳,属窄盐性。四级对称型个体主要繁盛于高能浅海,在大冶组底部含盐度不正常的局限台地中可以单独繁盛,但在台坡以下的深水环境中极少见到。证明它们适应于近岸浅水的动荡环境,分布局限,可能底栖游泳生活,属广盐性生物。龙潭组上段为潮坪环境,未见到牙形石,显然不适合牙形动物生存。

据以上统计结果,湘西北区的牙形石分布可以综合为下述 4 个牙形石相带:

浮游舟牙形石相 分布于深水底部呈还原环境的盆地。牙形石以浮游类型占一定比例为特征;自由游泳类型的个体虽占优势,但分异度和数量较下述游泳舟牙形石相低得多。

游泳舟牙形石相 分布于盆缘-台坡和低能台地环境。牙形石以自由游泳类型占绝对优势,浮游类型较盆地内显著减少。底栖游泳的 *Hindeodus* 的个体在低能台地虽有少量出现,但体小、枝细、基腔窄,特征明显。这一相带牙形石最丰富,类型多,分异高,慈利县江垭剖面的 1kg 样品中曾得到数千个体。

***Hindeodus* 相** 分布于高能の開阔台地环境。牙形石以 *Hindeodus* 属的个体占优势,舟牙形石类则变为少数类别。*Hindeodus* 属的 Pa 分子体大、侧面轮廓三角形、基腔膨大;其它分子枝体粗壮。

***Hindeodus-Isarcicella* 相** 分布于局限台地的半封闭环境。以底栖游泳的 *Hindeodus* 和 *Isarcicella* 近乎单独繁盛为特征,两者演化快、分异高、数量多,显示了它们对环境的高度适应。

3. 牙形石的相分布模式

相控制因素是影响牙形石动物分布的主要原因。Merriell (1965) 曾指出含盐度是影响相分布的因素之一。Seddon (1970) 提出牙形石的深度分层现象证实深度是相控制因素。Druce (1973) 则认为含盐度和深度是决定牙形石深度分层的因素。笔者认为牙形石的相分布是各种环境因素综合作用的结果,含盐度、深度、水动力强度和食物供应等都是相控制因素,

一时一地,一或二种因素会占主导地位。如湘西北地区大冶组底部从西到东白云质含量逐渐增高,西部见有零星舟牙形石类的个体出现,到东部就只剩下 *Hindeodus* 和 *Isarcicella* 两属的个体了,这是含盐度在起决定作用。又如龙潭组下部和长兴组上部同为潮下浅水沉积,但前者低能,以舟牙形石类占绝对优势;后者高能, *Hindeodus* 属的个体含量最高。

对牙形石的相分布模式,目前有两种推论。Druce(1973), Seddon 和 Sweet (1971) 等认为牙形石游泳或浮游生活,为深度分层群落按不同深度分布,可出现于各种沉积相带。Barnes 和 Fähræus (1975) 等认为牙形石有底栖群落或底游群落,横向上有一个组合被另一个组合替代的趋势。从湘西北的材料看,各类牙形石的分布有局限性,受动物本身的生态习性和某种环境因素限制,出现在一定相带中。因此,笔者赞同后一种结论。

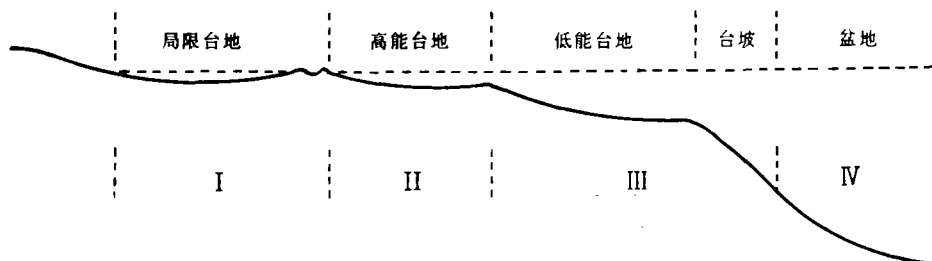


插图 3 牙形石相分布示意图

Conodont biofacies and distribution

I. *Hindeodus*-*Isarcicella* 相, II. *Hindeodus* 相, III. 游泳舟牙形石相, IV. 浮游舟牙形石相

牙形石地球化学特征的指相意义

牙形石的地球化学是研究其矿物组成的化学成分。由于环境化学作用和生物化学作用决定生物骨骼组成,使我们能用化石的地球化学特征推断生物生存环境。牙形石的主要成分是磷酸钙,而成岩后生作用中主要起作用的碳酸和草酸,它们不能分解磷酸盐,所以牙形石受成岩后生作用很小,用它的地球化学特征来推断古环境比较可靠。

笔者选择湘西北区 3 个代表剖面的一些标本,用电子探针分析它们的化学成分。其中,仁村坪剖面代表龙潭-大隆相,江垭剖面代表过渡相,黄莲峪剖面代表吴家坪-长兴相。标本的选择兼顾层位、环境和生物生态 3 方面因素,仁村坪和江垭剖面全部采用 *Neogondolella* 属两侧对称型的标本,黄莲峪剖面完全选用 *Hindeodus* 属 Pa 分子的标本,以尽可能减少生物化学作用对测试结果的影响。将测试数据绘制成图(插图 4—6),使结果表达了。现对各组成元素的变化分述如下。

1. 磷 (P)

磷是牙形石的重要组成元素,占总含量的 20—30%。磷在海水中的分布主要受有机营力的控制,浅层海水和浅海中生物繁盛,磷含量较低;水深增加,生物减少,磷含量增加。此外,随水加深, CO_2 含量减少;还原环境中有机质增加,都会导致 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 饱和度降低, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 分解释放出磷,增加水中磷的含量。牙形石中磷的含量,随水体加深而逐渐增高,与上述规律相符。

2. 钙 (Ca)

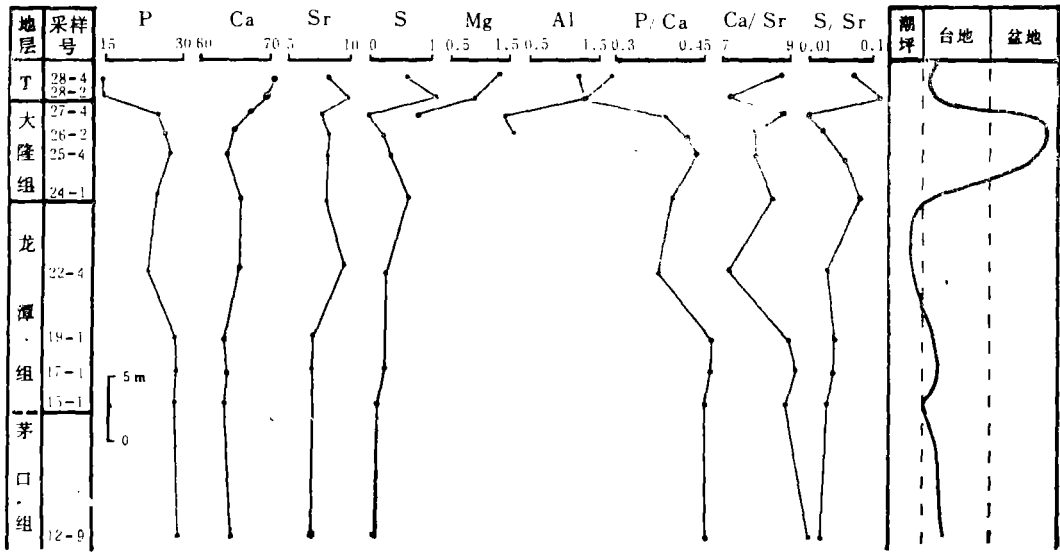


插图 4 桑植仁村坪剖面牙形石组成元素(氧化物)百分含量曲线图
The percentage curves of conodont chemical elements (oxides) in the section of Rencunpin, Sangzhi County

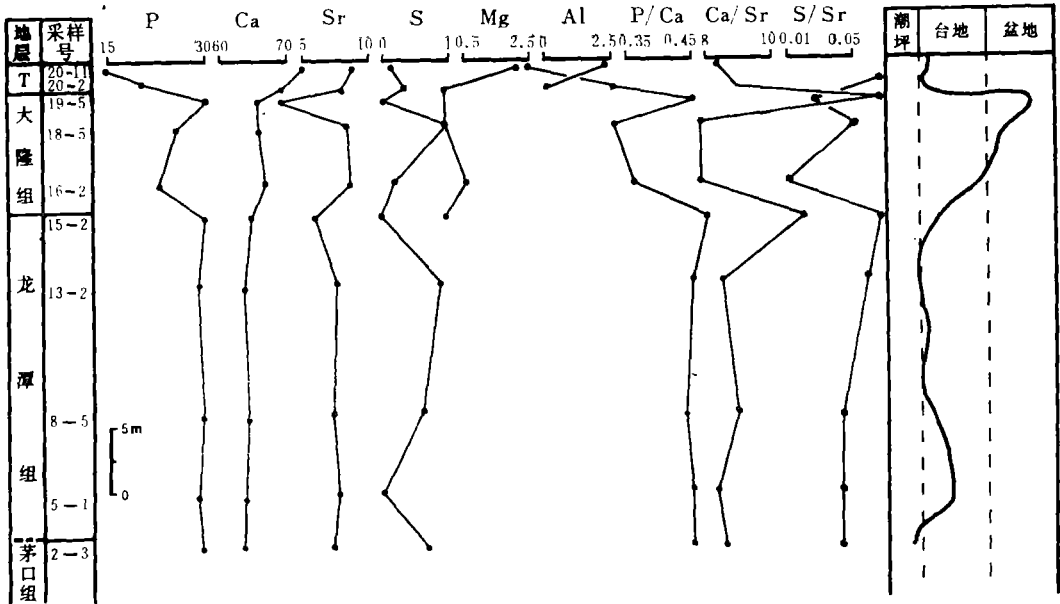


插图 5 慈利江垭剖面牙形石组成元素(氧化物)百分含量曲线图
The percentage curves of conodont chemical elements (oxides) in the section of Jiangya, Cili County

钙是牙形石中含量最高的元素,占 60%—70%。温度和水深是决定 CaCO_3 饱和度的主要因素,其次还有 CO_2 含量、pH 值、压力和含盐度等。水越浅,温度升高, CO_2 含量减少, CaCO_3 在海水中趋于饱和;相反, CaCO_3 的溶解度增加。 CaCO_3 的饱和易于动物的吸收。测试结果

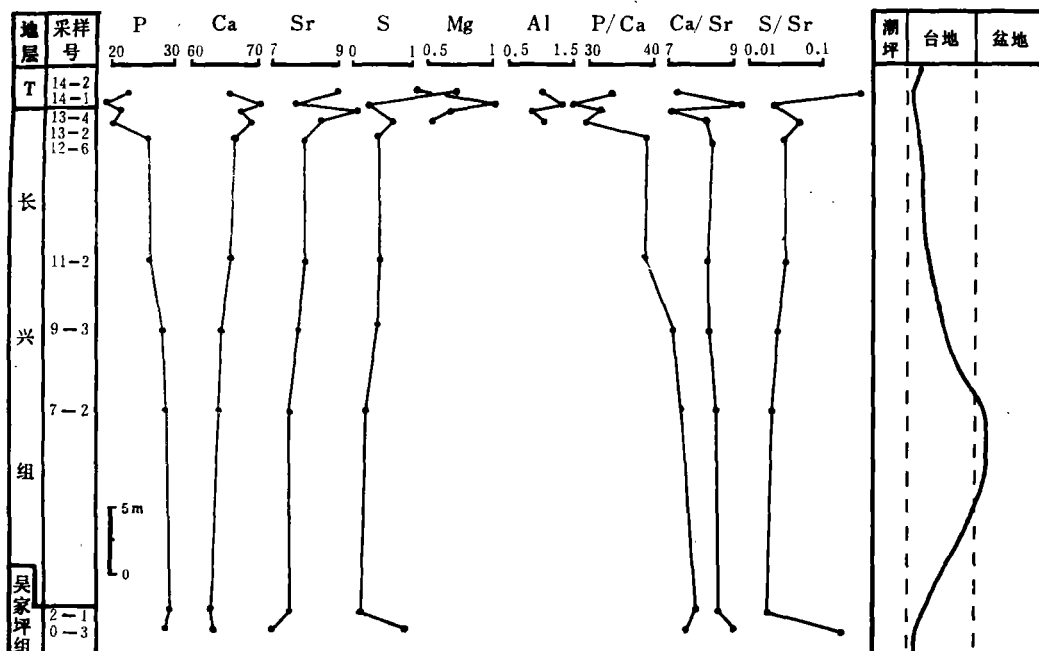


插图 6 慈利黄莲峪剖面牙形石组成元素(氧化物)百分含量曲线图

The percentage curves of conodont chemical elements (oxides) in the section of Huanglianyu, Cili County

证明,浅水中的牙形石个体钙含量高,深水中的个体含量低。

3. 锶 (Sr)

锶是牙形石中含量较高的微量元素,占5%—10%。影响海水中锶含量的因素主要有:文石和方解石的含量(Sr^{2+} 离子可以进含 Ca^{2+} 离子的矿物,替代 Ca^{2+} 离子,形成矿物的类质同像),及生物的吸附作用、温度和含盐度等。一般水越深,文石和方解石减少,温度降低,生物趋于贫乏,锶的含量会越高。但牙形石的锶含量与这一规律相反,即越是浅水中的个体,锶含量越高。这可能是浅水中的动物对锶的偏爱性吸收造成的。

4. 硫 (S)

硫在牙形石中有一定含量(<1%)。现代海洋中,水深约150m以下就开始缺氧,180m以下开始出现 H_2S , H_2S 经电解作用会产生游离的 S^{2-} 离子,有随深度增加硫含量增多的趋势。尤其在滞流和有机质丰富的环境中,硫含量会显著增高。但牙形石中硫的含量与海水中硫含量变化趋势相反,这可能也与动物的生理作用有关。

5. 其它元素

牙形石中还含有少量镁(Mg)、铝(Al)、钡(Ba)和铁(Fe)等。这些元素在牙形石中含量很低,只是在近岸浅水环境下,它们才在牙形石中富集,达到仪器可测出的丰度。镁在海洋中的含量相对稳定,只是在潟湖或近岸浅水带的温度高、蒸发作用强烈的条件下,在这些水域富集。钡、铝和铁都源于陆地,以胶体状态被搬运入海,胶体遇海水发生电解作用,在近岸的滨、浅海带沉淀富集,并且水越浅,水中这些元素的含量越高。水中这些元素的富集,必然会表现在生物的骨骼构成上,所以这几种元素具特殊的指相意义。

本文还采用两个元素的比值 (P/Ca, Ca/Sr, S/Sr) 来表现元素含量的变化规律,这样可以消除样品选择和测试过程中出现的一些偏差。从 3 个曲线图(插图 4—6)上可以看出,两元素的比值变化曲线比单一元素的含量曲线更接近于图右侧的环境变化曲线,说明用两元素比值表现变化的方法更具优越性。

应用牙形石地球化学特征推断古环境要注意以下两个方面。首先是不同生态类别的牙形石个体,即使在同一环境中,它们的各元素含量也不同。底栖游泳类型趋近于浅水的元素含量,而自由游泳和浮游类型趋近于深水的元素含量。如表 V,同一块样品中的牙形石个体,底栖游泳型的 *Hindeodus* 多 Ca, Sr, S, Mg, Al, Mn, 自由游泳型的 *Neogondolella* 多 P。这可能是动物的生物化学作用不同造成的。其次是牙形石的不同生长阶段各元素含量不同,幼年阶段趋近于浅水的元素含量,成年阶段趋近于深水的元素含量。表 VI 是根据牙形石叠覆

表 V 牙形石不同生态类型组成元素百分含量对比表
The content contrast between the chemical elements of conodonts
in different ecological types

层 位	属 名	氧 化 物 (%)						
		P	Ca	Sr	S	Mg	Al	Mn
H13-4	<i>Neogondolella</i>	21.45	68.56	8.43		0.07	0.70	
	<i>Hindeodus</i> (Pa)	21.28	67.08	9.58		0.78	0.78	0.42
J15-2	<i>Neogondolella</i>	29.92	64.16	5.88				
	<i>Hindeodus</i> (Pa)	25.91	65.36	8.51	0.22			

表 VI 牙形石不同生长阶段个体组成元素百分含量对比表
The content contrast among the chemical elements of conodonts
in different growth stages

层 位	属 名	生长阶段	氧 化 物 (%)						
			P	Ca	Sr	S	Mg	Al	Mn
J15-2	<i>Neogondolella</i>	成年	29.92	64.16	5.88				
		中年	29.91	64.04	6.05				
		幼年	29.85	63.96	6.06				
	<i>Hindeodus</i> (Pa)	成年	25.91	65.36	8.51	0.22			
		中年	10.34	68.99	11.74	0.92	3.51	0.51	3.83
		幼年	17.30	70.79	8.37		0.65		1.43

生长原理,从一个标本的切片上,从内向外测试的数据,幼年阶级与成年阶段的元素含量差异明显。造成不同生长阶段各元素含量不同的原因,究竟是因为生态习性不同,还是生理化学作用的不同,是一个尚待研究的问题。

总之,研究证明牙形石的组成元素含量的变化能准确地反映环境的演替,指示特定的环境,牙形石地球化学特征分析是研究古生态学的重要手段之一。

参 考 文 献

- 王成源、王志浩, 1979: 浙江长兴地区二叠纪龙潭组、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集, 第 114—120 页。
- 田树刚, 1992: *Dicrerogondolella* (gen. nov.)——一个牙形石新属。中国地质科学院地质研究所所刊, 第 23 期。
- 田树刚, 1992: 牙形石 *Neogondolella*, *Hindeodus* 和 *Isarcicella* 属的演化。地层古生物论文集, 第 24 辑。
- 刘英俊、曹励明、李兆麟等, 1984: 元素地球化学。科学出版社。
- 宋天锐、王乃文, 1977: 广东曲江一仁化地区早二叠世“当冲层”的放射虫岩。地质科学, (4): 390—393。
- 金若谷, 1987: 四川龙门山北段晚二叠世大隆组放射虫岩及其形成环境。地质论评, 33(3): 238—247。
- 董玉明、周祖勋, 1985: 鄂东南下二叠统茅口组放射虫硅质岩的成因初探。沉积学报, 3(2): 67—74。
- Aldridge, R. J. (ed.), 1987: Palaeobiology of conodonts. British Micropalaeont. Soc. Series, 1987.
- Babcock, L. C., 1976: Conodont paleoecology of the Lamar Limestone (Permian), Delaware Basin, west Texas. In Barnard, C. R. (ed.): Conodont Paleocology. Geol. Soc. Can., Spec. Pap. 15: 279—294.
- Barners, C. R. and Fähræus, L. E., 1975: Provinces, communities and the proposed nektonic habit of Ordovician conodontophorids, Lethaia, 8: 133—149.
- Bitter, P. H. von, 1972: Environmental control of conodont distribution in the shawnee Group (Upper Pennsylvanian) of eastern Kansas. Univ. Kansas Paleont. Contr. Art., 59: 1—105.
- Brasier, M. D., 1980: Microfossils, Billing and Sons Ltd, Guildford, London and Worcester.
- Briggs, D. E. G., Clarkson, E. N. K. and Aldridge, R. J., 1983: The conodont animal. Lethaia, 16: 1—14.
- Clark, D. L. (ed.), 1984: Conodont biofacies and provincialism. Spec. Pap. Geol. Soc. Amer., 196: 1—340.
- Clark, D. L. and Hatlberg, E. W., 1983: Paleoenvironmental factors and the distribution of conodonts in the Lower Triassic of Svalbard and Nepal. Fossil and Strata, 15: 171—175.
- Conway Morris, 1976: A new Cambrian lophophorate from the Burgess Shale of British Columbia. Palaeontology, 19: 199—222.
- Druce, E. C., 1973: Upper Paleozoic and Triassic conodont distribution and the recognition of biofacies. Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., 141: 192—237.
- Jenkyns, H. C., 1974: Origin of red nodular limestone (Ammonitico Rosso, Knollenkalke) in the Mediterranean Jurassic: A diagenetic model. In Hsu, K. J. and Jenkyns, H. C. (eds.): Pelagic sediments of land and under the sea. Int. Assoc. Sedimentologists Spec. Pub., 1: 249—271.
- Lane, H. R., 1968: Symmetry in conodont element-pairs. J. Paleont., 42(4): 1258—1263.
- Lindström, M., 1964: Conodonts, Elsevier Publishing Co. (Amsterdam).
- Lindström, M., 1973: On the affinities of conodonts. In Rhodes, F. H. T. (ed.): Conodont palaeozoology. Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., 141: 85—102.
- Lindström, M., 1974: The conodont apparatus as a food-gathering mechanism. Palaeontology, 17: 729—744.
- Matsuda, T., 1981: Early Triassic conodonts from Kashmir, India, Part 1: *Hindeodus* and *Isarcicella*, J. Geosc., Osaka City Univ., 24(3): 75—108.
- Merrill, G. K., 1965: Conodonts from the Burnam Limestone of Central Texas. Texas J. Sci., 17: 345—403.
- Mullins H. T., Neumann, A. C., Wilbur, R. J. and Boadman, M. R., 1980: Nodular limestones carbonate sediment on Bahamian slopes: possible precursors to nodular limestones, J. Sed. Petrology, 50: 117—131.
- Seddon, G., 1970: Devonian conodont biofacies in the Canning Basin, Western Australia. Abstr. Proc. 4th Ann. Mrg. N. Cent. Sec., Geol. Soc. Amer. p. 404—405.
- Seddon, G. and Sweet, W. C., 1971: An ecologic model for conodonts. J. Paleont., 45: 869—880.
- Sweet, W. C., 1981: Morphology and composition of elements, macromorphology of elements and apparatuses. In Treatise on invertebrate paleontology, W, Suppl. 2, Conodonts, p. 5—20.
- Teichert, C., Kummel, B. and Sweet, W. C., 1973: Permian—Triassic strata, Kuh-E-Ali Bashi, Northwestern Iran. Bull. Mus. Comp. Zool. Harvard Univ., 145(8): 359—472.
- Willson, J. L., 1975: Carbonate facies in Geologic History. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.

[1989 年 10 月 28 日收到, 1992 年 11 月修改]

LATE PERMIAN—EARLIEST TRIASSIC CONODONT PALAEOECOLOGY IN NORTHWESTERN HUNAN

Tian Shu-gang

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words conodont, facies, geochemistry, palaeoecology

Summary

Northwestern Hunan is one of the best areas for studying conodont palaeoecology, provided with abundant conodonts and other kinds of fossils, well-developed Permian and Triassic strata under varied sedimentary environments. This paper makes a discourse on the conodont biofacies distribution and the available geochemical characters.

Based on the apparatus classification of conodonts, the symmetries of the apparatus series have been divided into four grades. The former three grades are erected for gondolellids, including the first-grade symmetric series arranged by the units only with the symmetric posterior-end of platform, the second-grade symmetric series formed by two kinds of units with symmetric and asymmetric posterior-ends of platforms; and the third grade symmetric series composed of three kinds of units with symmetric, asymmetric and extra-asymmetric posterior-ends of platforms. The fourth-grade symmetric series includes some complex series, i.e. the six-element series of *Hindeodus* and the multi-element series of *Isarcicella* with different oral ornaments. The apparatus symmetry can reflect moving abilities of the animal.

Six facies have been recognized in the working area based on characters of fossil assemblages, rocks and sedimentary structures, namely, basin facies, basin margin and slope facies, open platform facies, tidal bank facies, restricted platform facies and mud flat facies.

By observing the distribution of conodonts in the four symmetric grades (Tables II, III, IV), it can be found that the four symmetric grades represent three ecologic types, i.e. free swimmer type (first-grade), plankton-benthonic swimmer type (second and third grades), and benthonic swimmer type (fourth grade). Moreover, four conodont biofacies have been distinguished as follows: I. *Hindeodus-Isarcicella* biofacies, II. *Hindeodus* biofacies, III. free swimming gondolellids biofacies and IV. planktonic gondolellids biofacies. The distributional model of these biofacies is shown in Text-fig. 3. As for the model, this paper considers that there exists the benthonic swimming community among the conodonts, and one conodont assemblage can be replaced by another horizontally.

Through probing the chemical elements of conodonts, a study have been made on their geochemical characters. The phosphorus content of conodonts is getting higher with the deepening of water mass, while the contents of calcium, sulphur and strontium are rising with the shallowing of sea water. The contents of aluminium, iron and barium are rich only in the nearshore shallow water, and the abundance of magnesium content indicates the high salt contained in the water body. The content curves coincide with the curves of environment changes. In short, to make clear the geochemical characters of conodonts is an important method in palaeoecological research.

图 版 说 明

标本保存在中国地质大学(北京)。

图 版 I

- 1—4. *Neogondolella serrata* (Clark et Ethington)
×50,三级对称系列。1.对称左型,2,3.不对称右型,4.极不对称右型;野外号: HRO-1。桑植县仁村坪栖霞阶顶部。
- 5,6. *Neogondolella changxingensis* Wang et Z. H. Wang 和 *Neogondolella deflecta* Wang et Z. H. Wang
×50,两种可能属同一器官种,二级对称系列。5.对称左型,6.不对称右型。野外号: HH11-2。慈利县黄莲峪长兴阶上部。
- 7—10. *Neogondolella babcocki* Clark et Behnken
×50,二级对称系列。7,10.不对称左、右型,8,9.对称左、右型,野外号: HR12-1。桑植县仁村坪茅口组上部。
- 11,12. *Neogondolella subcarinata* Sweet
×50,一级对称系列。11.对称左型,12.对称右型;野外号: HJ15-3。慈利县江垭长兴阶底部。
- 13—21. *Hindeodus typicalis* (Sweet)
×60,四级对称系列。13. Pa 分子左型,野外号: HH12-1; 14,15. M 分子左、右型,野外号: HH12-1; 16,21. Pb 分子左、右型,野外号: HH12-1; 17. Sa 分子,野外号: HH8-4; 18. Sb 分子右型,野外号: HH9-3; 19,20. Sc 分子左、右型,野外号: HH12-1。慈利黄莲峪长兴阶上部。
- 22—25. *Isarcicella isarcica* (Huckriede)
四级对称系列。22.外侧单齿左型; 23,24.外侧双齿左、右型;野外号: HH3-3。桑植县红沙溪格里斯巴赫阶。25.两侧齿脊右型;野外号: HJ22-3; 慈利县江垭格里斯巴赫阶。

图 版 II

1. *Entactinia parapychnoclada* Nazarov et Ormiston
×130,野外号: HR25-2。桑植县仁村坪大隆组下部。
- 2—4. *Entactinia tyrrelli* Nazarov et Ormiston
×130,野外号: HR25-2。产地层位同上。
- 5—7. *Polyentactinia cf. centrata* Nazarov et Ormiston
×150,野外号: HR25-2。产地层位同上。
- 8,9. *Octatortum?* sp.
×90,野外号: HH7-2。慈利县黄莲峪长兴组下部。
- 10,11. *Entactinia* sp.
×150,野外号: HH7-2。产地层位同上。
- 12, 14. *Robuloides* sp.
×50,野外号: HR24-6。桑植县仁村坪大隆组。
13. *Geinitzia* sp.
×85,野外号: HH11-1。慈利县黄莲峪长兴组上部。
15. *Eolasiiodiscus* sp.
×50,野外号: HR26-2。桑植县仁村坪大隆组。
16. *Geinitzia* sp.
×85,野外号: HH11-1。慈利县黄莲峪长兴组上部。
17. *Dagmarita* sp.
×85,野外号: HH11-1。产地层位同上。
18. *Glomospira* sp.
×40,野外号: HH11-1。产地层位同上。
19. *Endothyranopsis* sp.
×120,野外号: HH11-1。产地层位同上。
20. *Nodosorinea*
×85,野外号: HH11-1。产地层位同上。
21. *Nodosaria* sp.
×85,野外号: HH11-1。产地层位同上。
- 22,23. *Chondrites* Von Sternberg (丛藻迹)

规模小,常见于滞流水体的还原环境中;野外号: HR-27。桑植县仁村坪大隆组。

24. *Ophimorpha* Lundgren (蛇形迹)

近岸浅水环境;野外号: Hh-2。桑植县红沙溪大冶组底部。

25. 泥裂

泥坪环境;野外号: HR-21。桑植县仁村坪龙潭组上部。

图 版 III

1. 含泥白云石化微晶灰岩-局限台地相
泥质占 5—10%,白云石占 10% 左右;野外号: HR28-10。桑植县仁村坪大冶组底部。
2. 泥质细晶颗粒白云岩-泥坪相
泥质胶结物占 10—20%,白云石占 80% 左右;野外号: HR22-2。桑植县仁村坪龙潭组上部。
3. 生物屑细晶颗粒白云岩-边缘浅滩相
生物屑占 20—25%,白云石占 75—80%,钙质胶结松散;野外号: HR13-1。桑植县仁村坪龙潭组底部。
4. 亮晶生物屑灰岩-高能台地相
生物屑 50% 左右,方解石颗粒 30% 左右,亮晶胶结;野外号: HH13-4。慈利县黄连峪长兴组顶部。
5. 生物屑泥晶灰岩-低能台地相
生物屑占 30—40%,泥晶占 60—70%;野外号: HR15-2。桑植县仁村坪龙潭组下部。
6. 泥晶放射虫灰岩-盆缘-台坡相
放射虫等生物屑占 50—60%,泥晶占 40—50%;野外号: HH7-2。慈利县黄连峪长兴组下部。
7. 放射虫硅质灰岩(透镜体)-盆地相
黄铁矿化放射虫占 35—40%,有孔虫占 5%;野外号: HR25-3。桑植县仁村坪大隆组下部。
8. 薄层灰岩中的灰岩透镜体
盆缘-台坡相;野外号: HX-3。桑植县小埠头大隆组下部。
9. 中层灰岩中的波状层面构造
盆缘-台坡相;野外号: HH-3。慈利县黄连峪长兴组下部。
10. 硅质岩中的硅质灰岩透镜体
盆地相;野外号: HR-26。桑植县仁村坪大隆组中部。

