

华南海西-印支期放射虫生态环境*

张 宁 夏文臣 张素新

(中国地质大学, 湖北武汉 430074)

在系统鉴定各时代放射虫化石的丰度、种属组合、化石分异度和生态结构特征的基础上, 讨论了鉴别放射虫生态环境的主要标志, 划分出了 5 种放射虫生态环境, 即水深 50~200 m 的浅海环境, 水深 200~1000 m 的中深海环境, 水深大于 1000 m 的深海环境, 以及局限裂谷槽环境和连通性裂谷槽环境。华南海西-印支阶段各时代的放射虫化石构成了 3 个演替旋回: 中泥盆世至早石炭世演替旋回反映了残留海槽的再扩张过程; 中二叠世演替旋回代表了开阔伸展裂谷海环境; 晚二叠世至中三叠世的放射虫组合构成了一个由龙潭期局限裂谷槽, 到长兴期连通性裂谷槽, 再到早、中三叠世开阔深海型化石组合。

关键词 华南 放射虫 生态环境 演替旋回

第一作者简介 张 宁 女 32 岁 助理研究员(硕士) 沉积学

本世纪初至 70 年代, 人们普遍认为放射虫硅质岩是深海(深于 4000 m)环境的标志之一。70 年代以后, 在浅水标志十分明显的地层中也发现硅质放射虫化石, 因而对放射虫的生态环境产生了不同的看法。最近 10 多年对古代放射虫的研究又出现新的高潮, 先后报道了许多有价值的研究成果^[1~7]。尽管目前对放射虫硅质岩形成环境的认识还存在分歧, 但是综合现有的研究成果, 至少在如下 4 个方面有接近的意见。(1) 蛇绿岩序列中的放射虫硅质岩及红色放射虫燧石岩通常形成于海洋盆地的 CCD(碳酸盐补偿深度)界面之下, 而 CCD 界面随地质时代不同而变化。晚侏罗世之前, CCD 界面较浅^[8], 放射虫岩不一定都形成于 4000 m 深度之下的开阔海洋环境之中, 在小型海洋盆地中也会出现深海放射虫组合。晚侏罗世之后, 由于钙质浮游有孔虫和超微浮游生物的突然繁盛, CCD 界面下降至 2500 m, 甚至 4000 m 之下, 蛇绿岩序列中的放射虫硅质岩及红色放射虫燧石岩通常形成于开阔深海环境之中。(2) 在因海底火山喷发和火山岩海解而被“污染”的局部构造古地理单元内(如伸展裂谷海槽), 可能会出现适于放射虫繁衍的生态环境, 形成特殊类型的放射虫化石组合。(3) 在海泛过程中, 由于洋流上涌, 也会在陆块边缘陆架环境中出现硅质放射虫化石组合。(4) 沉积到海底的放射虫在埋藏前和埋藏后的短期内继续溶解, 因此放射虫保存完好的地方通常是沉积速率较高之处。

1 化石采集

在泥盆纪至三叠纪地层中, 我们分层采集了样品并在室内系统磨片进行岩石学鉴定, 在一

* 国家自然科学基金资助项目(49272117 项)成果之一

收稿日期: 1997-06-20

些硅质岩、硅质泥岩和残余凝灰结构硅质岩中都发现有多晶的放射虫化石, 然后选择含放射虫的硅质岩样品进行氢氟酸分离。除下泥盆统、上石炭统和下二叠统之外, 各时代地层中都获取了相当数量的放射虫化石。中、上泥盆统的放射虫化石采自广西南宁附近的硅质岩夹凝灰质泥岩剖面中。下石炭统和中二叠统的化石(图版 I - 1~ 5, 7 和图版 I - 11~ 18) 采自广西小董的硅质岩层序中。上二叠统龙潭阶的化石(图版 I - 19) 采自广西灵塘的硅质岩层序中。上二叠统长兴阶的化石(图版 I - 6, 8~ 10) 分别采自广西合山马滩、南丹雍里和贵州黄良剖面, 为硅质岩夹凝灰岩或硅质岩夹灰岩型层序。下三叠统的化石(图版 II - 17~ 19) 分别采自广西巴马的准蛇绿岩层序、百色的泥岩夹硅质岩层序和湖南嘉禾的灰岩夹硅质岩层序之中。中三叠统的化石(图版 II - 1~ 16) 采自贵州紫云的浊积岩夹硅质岩层序之中。化石产出层位超出前人的报道^[4~ 11] 范畴, 化石名单列下(表 1)。

表 1 各时代的放射虫化石及生态环境

地层 单位	放射虫化石	生态环境
中三叠统	罩笼虫亚目化石有: <i>Triassocampe deweveri</i> Nakaseko et Nishimura; <i>T. scalaris</i> Dumitrica, Kozur et Mock; <i>T. sulovens</i> Kozur et Mock; <i>T. sp. cf. T. nova</i> Yao; <i>Poulpus sp. cf. P. phamatodes</i> de Wever; <i>Yeharaiia sp. A</i> ; <i>Y. sp. B</i> ; <i>Lithomelissa sp. cf. L. panus</i> de Wever; <i>Canoptum sp. A</i> ; <i>Dectyomitra sp.</i> ; <i>Hozmadia reticulata</i> Dumitrica, Kozur et Mostler, <i>Xipha sp. cf. X. pessagno</i> i (Nakaseko et Nishimura); <i>Ruestcyrtium longum</i> Kozur et Mostler; <i>Goestlingella sp. cf. G. illgrica</i> Kozur; <i>Silicarmiger sp.</i> 泡沫虫亚目化石有: <i>Pseudostylosphaera japonica</i> Nakaseko et Nishimura; <i>P. compacta</i> (Nakaseko et Nishimura); <i>Stylosphaera sp.</i> ; <i>Betraccium sp.</i> ; <i>Conosphaera (?) fleuce</i> de Wever; <i>Eptingium manfredi</i> Dumitrica; <i>Gorgansiam sp. cf. G. thayen</i> Yeh; <i>Ferresium sp.</i>	深海环境, 以深海型罩笼虫为主
下三叠统	<i>Quasipetatus sp.</i> ; <i>Nassellaria</i> gen. and sp. indet.; <i>Spongodiscus punctus</i> Hinde; <i>Entactinia sp.</i> ; <i>Phaenicosphaera sp.</i> 受 P-T 生物灭绝事件影响, 放射虫种属大量减少。	深海环境, 有准蛇绿岩层序
上二叠统	长兴阶浅海组合: <i>Copicyntroides asteriformis</i> Nazarov et Ormiston; <i>Copicyntira dikawaensis</i> Sachida et Tanishi; <i>Stauroplegma nanjingensis</i> Zhang et al. <i>Quingueremis robusta</i> Nazarov et Ormiston; <i>Entactinosphaera? echinata</i> (Hinde). 长兴阶裂谷海组合: <i>Nazarovella phlogides</i> Wang; <i>Astrocentrus sp.</i> ; <i>Archaeospongoprunum sp.</i> , <i>Spongodiscus punctus</i> Hinde, <i>Zartus sp.</i> ; <i>Entactinosphaera sp.</i> ; <i>Nassellaria</i> gen. and sp. indet. 龙潭阶化石: <i>Phaenicosphaera sp.</i> ; <i>Spongodiscus punctus</i> Hinde; <i>Archaeospongoprunum sp.</i>	浅海环境 连通性好的裂谷槽 局限裂谷槽
中二叠统	阿尔拜虫亚目化石: <i>Albaillella sinuata</i> Ishiga et Watase; <i>A. asymmetica</i> Ishiga et Imoto; <i>Pseudalbaillella longtanensis</i> Sheng et Wang; <i>P. scaprata</i> Holdsworth et Jones; <i>P. elegans</i> Ishiga et Imoto; <i>P. sakmarensis</i> Kozur; <i>P. fusiformis</i> Holdsworth et Jones; <i>P. globosa</i> Ishiga et Imoto; <i>P. convexus</i> Rudenko et Panasenka; <i>P. (?) cona</i> comel et Simpson; <i>P. sp. cf. P. longicornis</i> Ishiga et Imoto; <i>P. sp.</i> ; <i>Follicucullus shalaticus</i> Ishiga et Imoto; <i>F. carveti</i> Caridroit et de Wever. 隐管虫超科化石: <i>Latentifistule texana</i> Nazarov et Ormiston; <i>L. sp.</i> ; <i>Nazarovella gracilis</i> de Wever et Caridroit; <i>Deflandrella sp.</i> 泡沫虫亚目: <i>Phaenicosphaera mammilla</i> Sheng et Wang; <i>Entactinosphaera sp.</i> ; <i>Entactinia sp.</i> ; <i>Ruzhencevisponus wralicus</i> Kozur	深海环境, 以阿尔拜虫、假阿尔拜虫和隐管虫为主
下石炭统	<i>Archocyrtium lagabriellei</i> Gourmelon; <i>A. diductum</i> Deflandre; <i>A. clinoceras</i> Deflandre; <i>A. sp.</i> ; <i>Popofskyellum undulatum</i> Deflandre; <i>P. sp.</i> , <i>Holoeisciscus quasiauiceps</i> Wang; <i>H. sp.</i> ; <i>Albaillella sp.</i> ; <i>Gedouia sp.</i> ; <i>Entactinosphaera palimbola</i> Foreman; <i>E. inusitata</i> Foreman; <i>E. trendalli</i> Foreman; <i>E. egindyens</i> Foreman; <i>Entactinia aipaiensis</i> Nazarov; <i>E. tortispina</i> Ormiston et Lane	中深海-深海环境, 不同层段放射虫生态组合不同

2 生态环境的鉴别标志

从华南泥盆纪至三叠纪放射虫的时空组合及所产化石地层的环境分析结果来看, 古代放射虫化石并非都是深海成因的, 从浅海到中深海和深海都可能出现放射虫化石。不同生态环

境的放射虫种属组合、生态结构和分异度的巨大差别才是区分生态环境的关键。

2.1 生态组合

放射虫化石的垂向分带是放射虫动物群及生态环境演替的必然结果,而生态环境的演化和放射虫动物群的兴衰时常与古海洋的缺氧事件和海平面变化有关。同其它生物群一样,放射虫化石的空间分布也随古地理环境的不同而表现出明显的差异,同时代不同空间位置也会出现不同的化石组合,如同属中二叠统孤峰组的硅质岩系在桂东南钦州地区出现了种属组合十分复杂、生态结构纤细的深海放射虫组合(图版 I - 11~18),含放射虫硅质岩系多为浅红色、灰白色燧石层,属开阔深海环境;而在浙西桐庐只发现了种属单调、壳面结构粗糙的浅-中深海放射虫化石,含放射虫硅质岩系以深灰-黑灰色硅质泥岩或碳质硅质岩为主,代表裂谷槽环境。大量事实说明放射虫化石的生态组合是鉴别古生态环境的重要标志,所谓生态组合特征是指化石的种属组合类型、分异度及种属复杂程度等。每个地质时期的放射虫化石都可区分出远洋型分子、中深海型分子、浅海分子和陆内裂谷槽型分子4种类型。远洋型分子通常具有全球性时代对比意义,如晚古生代的大多数始笼虫、阿尔拜虫、丑币虫和隐管虫及三叠纪的各类罩笼虫。远洋分子在所分离的放射虫化石中所占比例越大(分异度越高),越能指示深海环境。中深海分子多数繁衍和保存在水深200~1000 m的开阔陆架或斜坡带环境之中,有一定的时代对比意义,但化石组合带的时限较长,常见有内射虫、内射球虫、显球虫、古李子虫等。浅海型分子种属简单,二叠系常以多内壳虫和编枝虫为主。裂谷槽型分子无时代意义,常见有海绵盘虫和显球虫类。

2.2 生态结构

放射虫化石的壳面纹饰结构及保存完好程度也是鉴别生态环境的重要标志之一。泡沫虫类的壳面结构通常分海绵状和网格状两种,前者指示浅海环境,后者指示中深-深海环境。在相同的生态组合中,化石形态越完整,针刺和壳面纹饰保存越好,越能代表平静的深海环境。当然影响化石完整程度和结构特征的因素很多,除生态环境之外,还有化石被埋藏的速度、成岩过程和酸处理技术等。所以在对比不同时代或不同地区的放射虫化石的生态结构特征时,尽量达到非生态环境条件的一致性。

2.3 丰度

放射虫化石在岩石中含量的多少时常被视为鉴别生态环境的重要标志,甚至有人认为放射虫含量高达50%以上构成“放射虫岩”就代表深水环境^[12]。我们的研究结果并不支持这种观点,含量多少不是鉴别生态环境的重要标志,在浅海环境中也有放射虫含量很高的硅质岩。广西灵塘上二叠统和湖南嘉禾下三叠统的硅质岩中放射虫化石含量都达50%~60%,但化石种属组合十分单调、壳面结构粗糙,明显指示裂谷海或浅海环境(图版 I - 19)。与其相反,一些富含远洋放射虫组合的硅质岩中,放射虫化石含量低于50%,如贵州紫云中三叠统的硅质岩夹层和广西小董中二叠统的含放射虫硅质岩。放射虫化石的含量多少,只决定于放射虫自身的繁衍程度和保存条件,并不受生物组合和生态环境的影响。因此放射虫化石在含放射虫硅质岩中的丰度不是判别生态环境的重要标志。当然在同样的生态组合和生态结构的条件下,也许化石含量越高,水深越大。

2.4 其他影响因素

影响放射虫动物繁衍的因素除古海洋的水深和连通性之外,还有其它条件,如海底火山作用和海底火山物质的分解等都会改变古海洋的水化学条件。海底火山作用既可以向古海水提

供放射虫动物生存的营养物质—— SiO_2 , 又可能对海水“污染”改变放射虫的生态环境。通常在基性海底火山喷发十分强烈的时期, 放射虫难以生存, 在海底火山作用微弱或停息之后才逐渐出现适宜放射虫繁衍的环境。因此在蛇绿岩和准蛇绿岩层序中, 放射虫化石多出现在玄武岩之上的凝灰岩及硅质岩岩系之中, 而且越往上放射虫丰度越高、种属组合越完善。在空间上, 也往往是火山岩厚度最大的火山喷发中心地区不含或只含极少量放射虫化石, 而远离喷发中心的凝灰岩-硅质岩中化石比较丰富。海平面变化和缺氧过程同样会影响放射虫的兴衰。Erbacher 等^[13] 研究结果表明, 最大海泛时期的缺氧过程和低水位阶段的陆源有机碳注入, 都会产生相应的黑色页岩或黑色硅质岩层, 但前者时常导致放射虫动物的灭绝, 后者通常不影响放射虫动物繁衍。因此, 同是暗色硅质岩或泥岩, 保存放射虫化石的条件差别很大。

3 生态环境类型

Kozur^[14] 根据二叠纪放射虫的种属组合对其生态环境做了如下划分: 在水深小于 50 m 的浅海区, 多内壳虫科 (Copicyntridae) 独占优势; 水深为 50~200 m 的浅海区, 以内射虫科 (Entactiniidae) 占优势, 伴生有浅海分子多内壳虫科 (Copicyntridae); 在水深为 200~500 m 的中深海区, 也以内射虫科 (Entactiniidae) 占优势, 但开始出现少量阿尔拜虫科 (Albaillellidae); 水深大于 500 m 的深海区, 阿尔拜虫科 (Albaillellidae) 占优势, 伴生有数量可变的内射虫科 (Entactiniidae)、鲁曾采夫海绵虫属 (*Ruzhencevispongius*) 及显球虫属 (*Phaenicosphaera*), 由盆缘向中心, 内射虫科含量减少而阿尔拜虫类和显球虫类含量增加。另外, 日本学者营野耕三根据窄深性放射虫种属的分布划分为上部表层型、下部表层型、中深层型、渐深层型和深海型 5 种生态环境^[15], 中深层型水深标定为 200~1 000 m。

就华南而言, 与泥盆系至中三叠统硅质岩系共生的滨浅海沉积多为碳酸盐和陆源碎屑体系, 至今未发现放射虫和其它浮游生物化石, 因此水深小于 50 m 的放射虫组合并不存在。根

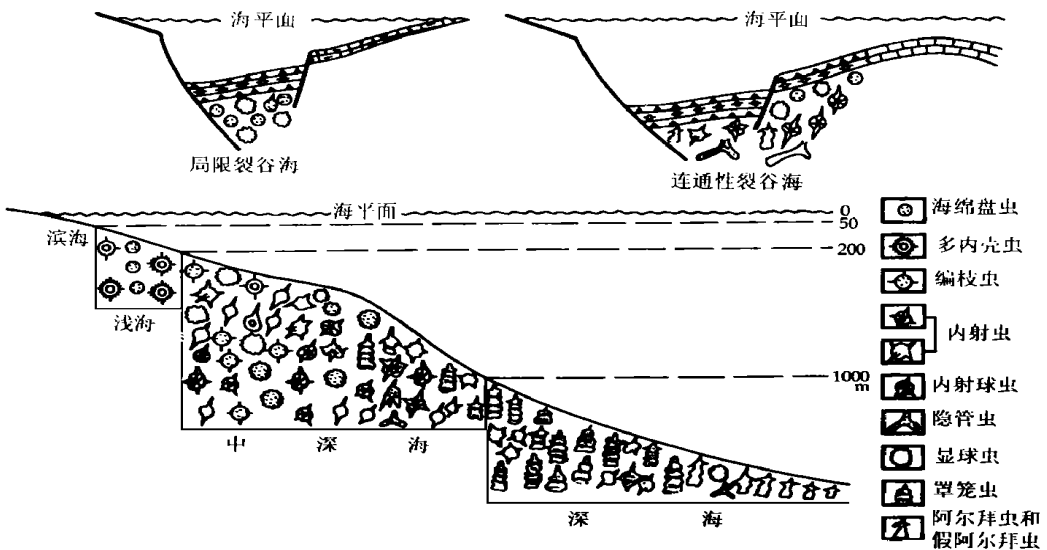


图 1 华南海西-印支阶段放射虫生态环境模式图

据上述原则, 同时参考放射虫化石的丰度及生态结构特征, 我们将华南晚古生代和早中生代的放射虫生态环境划分为 5 种类型(图 1)。

3.1 水深 50~200 m 的浅海环境

放射虫化石的含量中等至较高,但种属组合十分单调,或以多内壳虫科(*Copicyntridae*)化石独占优势,或只出现海绵盘虫属(*Spongodiscus*)和少量内射球虫属(*Entactinosphaera*)。壳面结构粗糙,海绵状纹饰为主,针刺保存较差。时常伴生有海绵骨针及有孔虫类。湖南嘉禾下三叠统大冶组的硅质岩夹层中的放射虫及南京湖山上二叠统大隆组的放射虫组合^[16]均指示了此种生态环境。

3.2 水深为 200~1 000 m 的中深海环境

放射虫化石含量较高,种属组合较复杂。在石炭系通常以内射球虫属(*Entactinosphaera*)和内射虫科的其它种属占优势,伴生有一定数量的始笼虫科(*Archocyrtidae*)和阿尔拜虫科(*Albaillellidae*),放射虫保存完好,壳面结构以网格状为主。广西小董下石炭统杜内阶的放射虫化石组合为此种类型的代表(图版 I:1~5,7)。在二叠-三叠系,通常以显球虫属(*Phaenicosphaera*)和海绵盘虫属(*Spongodiscus*)占优势,伴生有一定数量的阿尔拜虫科(*Albaillellidae*)或罩笼虫亚目(*Nessellariina*)。广西巴马下三叠统的放射虫化石可能形成于此类环境之中(图版 II:17~18)。

3.3 水深大于 1 000 m 的深海环境

放射虫含量通常较高,种属组合十分丰富。在晚古生代以阿尔拜虫科(*Albaillellidae*)、隐管虫科(*Latentifistulidae*)为主,伴生有一定数量的内射虫科(*Entactiniidae*)和显球虫属(*Phaenicosphaera*)。化石保存完好,网格状壳饰。含放射虫硅质岩质纯、硅质矿物含量高,多为化学沉淀或生物化学成因的。广西小董中二叠统的放射虫化石组合(图版 I:11~16),指示了此种生态环境。在三叠系则以罩笼虫亚目(*Nessellariina*)中的各类化石占优势,伴生有内射虫科(*Entactiniidae*)、古李子虫属(*Archaeospongoprunum*),化石保存完好,生态结构纤细。贵州紫云中三叠统边阳组浊积岩系的硅质岩夹层中,发现大量指示深海环境的放射虫化石(图版 II:1~16)。

3.4 受限制的裂谷槽环境(水深 50~200 m)

含放射虫硅质岩通常与火山熔岩、凝灰岩共生。放射虫化石含量高达 40%~70%,但种属组合十分单调,以显球虫属(*Phaenicosphaera*)和海绵盘虫属(*Spongodiscus*)为主,伴生有少量内射球虫。很少出现深海型化石分子。化石保存不够完好,壳面结构较粗糙,代表与广阔海洋连通性较差的陆内初始裂谷槽环境。广西灵塘上二叠统龙潭阶的放射虫化石(图版 I:19)指示了这种生态环境。

3.5 连通性好的裂谷槽环境(水深大于 200 m)

放射虫含量中等至较高,种属组合较复杂。除了出现陆内裂谷海型放射虫化石分子,如海绵盘虫、显球虫之外,还出现广海型分子,如纳扎罗夫虫属(*Nazarovella*)、显球虫属(*Phaenicosphaera*)和少量罩笼虫。化石保存中等-较好,壳面结构较纤细,网格状和规则细孔状结构为主,两种类型的化石共生表明陆内裂隙槽规模较大并与广阔海洋连通。广西合山马滩和南丹以及贵州黄良上二叠统长兴阶剖面的化石组合指示了这种生态环境(图版 I:6,8~10)。

根据各时代化石组合和生态结构特征可以划分 3 个放射虫演替旋回,中泥盆世至早石炭世演替旋回的放射虫动物群主要发育在桂东南和湘南地区(钦防海槽区)。不同化石组合的垂向分布表现了由中深海到深海再到中深海的演化过程,说明钦防裂谷槽经受了一次再扩张的过程。中二叠世演替旋回的放射虫生物分布范围广,包括桂东南、湘东南、赣西北、皖东南、浙

西和苏南一带^[17,18]。放射虫化石组合中远洋分子(阿尔拜虫属和假阿尔拜虫属)比较丰富,总体代表伸展裂谷海环境。各个地区化石组合的差异反映了生态环境的空间变化。桂东南地区,远洋型化石分子占主导,化石种属复杂,生态结构纤细,代表开阔深海环境。皖东南和苏南地区,远洋化石分子也较丰富,但化石组合不如桂东南复杂,代表与古秦岭-大别海槽连通的裂谷海环境。浙西、赣西北和湘东南区,远洋化石分子数量较少,中深海和浅海化石分子为主,代表陆内裂谷槽环境。晚二叠世至中三叠世演替旋回的放射虫生物群明显向西移至黔南、桂北和桂西南一带。龙潭阶化石种属单调,生态结构粗糙,代表局限裂谷海槽环境。长兴阶化石种属明显增多,而且开始出现广海型化石分子,说明裂谷海槽已经扩展,并与广阔海洋连通。下三叠统放射虫石丰度虽低,种属组合较简单,但准蛇绿岩层序的鉴别及大量海底喷发玄武岩的出现(研究成果将另文发表)说明裂谷海槽已扩展为小洋盆。中三叠统发现了丰度高、种属多样的远洋型化石分子,以罩笼虫中的各种属为主导,伴生的泡沫虫化石结构纤细,保存完好,硅质岩又与深海浊积岩共生,明显代表开阔深海环境。晚二叠世至中三叠世放射虫生物群的演替旋回反映了由地裂运动产生的伸展裂谷盆地的演化过程。

4 结论

(1) 古代放射虫化石虽然不一定都指示深海环境,但认真研究各时代化石的丰度、种属、组合和生态、结构特征,仍然可以较准确地解释含放射虫岩系的生态环境。

(2) 华南泥盆纪至三叠纪的含放射虫硅质岩系可识别出5种生态环境,即水深50~200 m的浅海环境,水深200~1 000 m的中深海环境,水深大于1 000 m的深海环境,局限裂谷槽环境和连通性好的裂谷槽环境。

(3) 华南泥盆纪至中三叠世的放射虫化石构成3个演替旋回:中泥盆世至早石炭世的再扩张残留海槽演替旋回,中二叠世的伸展裂谷海演替旋回以及晚二叠世至中三叠世的伸展裂谷海演替旋回。

参 考 文 献

- 1 Blome C D, Reed K M. Permian and Early Triassic radiolarian faunas from the Grindstone Terrane, Central Oregon. *Journal of Paleontology*, 1992, 66(3): 351~383
- 2 Ishiga H, Watase H, Naka T. Permian radiolarians from Nishiki Group in Sangun-Chugoku belt, Southwest Japan. *Earth Science*, 1980, 31(6): 333~345
- 3 Kishida Y, Sugano K. Radiolarian zonation of Triassic and Jurassic in outer side of Southwest Japan. *News of Osaka Micropaleontologist*, 1982, Spec 5: 271~288
- 4 de Wever P, Sanfilippo A, Gruber B. Triassic radiolarians from Greece, Sicily and Turkey. *Micropaleontology*, 1979, 25(1): 75~110
- 5 盛金章, 王玉净. 湖南新田县中泥盆统棋子桥组的一些放射虫. *古生物学报*, 1985, 24(2): 170~180
- 6 冯庆来, 刘本培. 滇西南晚二叠世和下、中三叠世放射虫研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 1993, 18(5): 540~552
- 7 王玉净, 李敦伦. 苏皖南部孤峰组放射虫动物群. *微体古生物学报*, 1995, 12(4): 374~387
- 8 Jenkyns H C. Pelagic environments. In: Reading H C, ed. *Sedimentary environments and facies*. Oxford: Blackwell Scien Publ, 1986. 343~398
- 9 王玉净. 中国古生代放射虫十年研究的进展. *微体古生物学报*, 1991, 8(3): 237~251
- 10 吴浩若, 咸向阳, 邝国敦. 广西南部晚古生代放射虫组合及其地质意义. *地质科学*, 1994, 29(4): 339~344
- 11 李西兴, 王玉净. 桂东南晚泥盆世一个弗拉斯期放射虫动物群. *微体古生物学报*, 1991, 8(4): 395~404
- 12 宋天锐, 王乃文. 广东曲江-仁化地区早二叠世“当冲层”放射虫岩. *地质科学*, 1977, 12(4): 390~392
- 13 Erbacher J, Thürow J, Littke R. Evolution patterns of radiolaria and organic matter variations: a new approach to identify sea

level changes in mid-Cretaceous pelagic environments. *Geology*, 1996, 24(6): 499~ 503

14 Kozur H. Upper Permian radiolarians from the Sosio Valley area, eastern Sicily (Italy) and from uppermost Lamar Limestone of west Texas. *G Jb Geol*, 1993, 136: 99~ 123

15 中世古幸次郎, 营野耕三. 放散虫类. 见: 浅野清, 编. 微古生物学(中卷). 东京: 朝仓书店, 1976. 66~ 137

16 张克信, 吴顺宝, 刘勇勤. 南京湖山大隆组放射虫和牙形石及其指相意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 1992, 17(3): 295~ 301

17 王汝建. 安徽巢湖孤峰组的放射虫化石. *古生物学报*, 1993, 32(4): 442~ 457

18 王汝建. 南京湖山孤峰组的放射虫化石. *微体古生物学报*, 1993, 10(4): 459~ 468

图版 I 说明

1, 2 *Archocyrtium lagabrieliei* Geourmelon, × 150, 130, 广西小董, 下石炭统: 8 304(B56), 8 305(B56)

3 *Holoeisus* sp., × 220, 广西小董, 下石炭统: 8 415(B56), 8 369(D34)

4, 5 *Popof skyellum undulatum* Deflandre, × 280, 180, 广西小董, 下石炭统: 8 367(D34), 8 369(D34)

6 *Nassellaria* gen. and sp. indet., × 230, 贵州黄梁, 长兴阶: 8 003(DZ96)

7 *Entactinosphaera inustitata* Foreman, × 220, 广西小董, 下石炭统: 4 192(Xb13)

8 *Stauroplegma* sp., × 200, 广西合山, 长兴阶: 4 191(HM57)

9 *Zartus* (?)sp., × 220, 广西合山, 长兴阶: 4 186(HM57)

10 *Nazarovella phlogides* Wang, × 160, 广西南丹, 长兴阶: 6 576(YP2- 12)

11 *Albaillella sinuate* Ishiga et Watase, × 150, 广西小董, 中二叠统: 8 456(B1- 17)

12 *Albaillella asymmetrica* Ishiga et Imoto, × 230, 广西小董, 中二叠统: 8 472(B1- 17)

13, 14 *Pseudoalbaillella bandhengensis* Xia et Zhang n. sp., × 130, 100, 广西小董, 中二叠统: 8 245(B1- 14), 8 240(B1- 14)

15 *Pseudoalbaillella sakmarensis* Kozur, × 150, 广西小董, 中二叠统: 8 158(B1- 20)

16 *Pseudoalbaillella* sp. aff. *P. longicornis* Ishiga et Imoto, × 230, 广西小董, 中二叠统: 8 192(B1- 20)

17 *Pseudoalbaillella fusiformis* Holdsworth et Jones, × 150, 广西小董, 中二叠统: 8 171(B1- 20)

18 *Letentifistula texana* Nazarov et Ormiston, × 100, 广西小董, 中二叠统: 4 147(B1- 20)

19 *Phaenicosphaera mammilla* Sheng et Wang, × 200, 广西灵塘, 龙潭阶: 4 586(LT31)

图版 II 说明

1, 2 *Triassocampe scalaris* Dumitrica Kozur et Mosler, × 140, 190; 贵州紫云, 中三叠统: 8 053(ZT2- 52), 8 105(ZT2- 52)

3, 4 *Triassocampe sulovensis* Kozur et Mock, × 200, 150; 贵州紫云, 中三叠统: 8 084(ZT2- 52), 8 086(ZT2- 52)

5 *Triassocampe deweveri* (Nakaseko et Nishimura), × 220, 贵州紫云, 中三叠统: 7 214(ZT2- 52)

6 *Triassocampe* sp. cf. *T. nova* Yao, × 160, 贵州紫云, 中三叠统: 8 109(ZT2- 52)

7 *Yeharzia* sp., × 230, 贵州紫云, 中三叠统: 8 167(ZT2- 52)

8 *Lithomelissa* sp., × 240, 贵州紫云, 中三叠统: 4 276(ZT2- 52)

9 *Canoptum* sp. A, × 180, 贵州紫云, 中三叠统: 8 164(ZT2- 52)

10 *Rusticyrtium longum* Kozur et Mosler, × 200, 贵州紫云, 中三叠统: 7 194(ZT2- 52)

11 *Dectyomitra* sp., × 210, 贵州紫云, 中三叠统: 8 065(ZT2- 52)

12 *Xipha* sp. cf. *X. pessagnoii* (Nakaseko et Nishimura), × 200, 贵州紫云, 中三叠统: 8 549(ZT2- 52)

13 *Goestingella illyrica* Kozur, × 250, 贵州紫云, 中三叠统: 4 251(ZT2- 52)

14 *Hœmadia* sp., × 350, 贵州紫云, 中三叠统: 7 200(ZT2- 52)

15 *Poulpus* sp. cf. *P. phasmatodes* de Wever, × 200, 贵州紫云, 中三叠统: 8 184(ZT2- 52)

16 *Silicarimiger* sp., × 220, 贵州紫云, 中三叠统: 8 037(ZT2- 52)

17 *Nassellaria* gen. and sp. indet., × 350, 广西巴马, 下三叠统: 4 605(BJ45)

18, 19 *Quasipetasus* sp., × 400, 400, 广西巴马, 下三叠统: 4 604(BJ45), 4606(BJ45)

HABITATS OF HERCYNIAN – INDOSINIAN RADIOLARIANS
IN SOUTH CHINA

Zhang Ning Xia Wenchen Zhang Suxin
(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Abstract

Based on the study of radiolarian abundance, fossil differentiation, genus and species assemblage and bioecologic texture, the main indicators for recognizing the radiolarian bioecologic environment were discussed. The radiolarian habitats of South China during Hercynian-Indosinian could be classified into 5 types: (1) shallow sea habitat type of 50–200 m water depth, (2) sime-deep sea habitat type of 200–1 000 m water depth, (3) deep sea environment with more than 1 000 m water depth, (4) restrict rift sea habitat type of 50–200 m water depth, and (5) connected rifted sea habitat type of more than 200 m water depth.

The radiolarian could be divided into three succession cycles according to the evolution of radiolarian assemblages in every stratigraphic unit. The radiolarian succession cycle of Middle Devonian–Early Carboniferous reflects a respreading process of the relict ocean trough. The Middle Permian radiolarian succession shows a open rifted oceanic environment. The radiolarian succession cycle of Late Permian–Middle Triassic indicates a development process of restricted rift trough→connected rift trough→open deep ocean.

鄂深1井井下裂隙层特征

高尚海 韩定坤

(中南石油地质局油气勘探开发研究院, 湖南长沙 410117)

鄂中坳陷的鄂深1井在2 695~2 848 m井段, 发生严重井漏, 最大漏失速度达 $42.3 \text{ m}^3/\text{h}$, 同时钻时下降。录井岩屑中, 白色透明的结晶方解石含量增加, 可高达20% (一般仅3%~5%)。岩芯中, 纵横交错的裂缝非常发育, 裂缝宽度一般为1~5 mm, 其中40%的裂隙被方解石充填, 其余裂缝大都呈半充填状态。

在深、浅侧向测井曲线上, 该井段表现为深侧向电阻率明显大于浅侧向电阻率, 为正差异异常, 这可能与泥浆沿裂缝侵入较深有关; 在探测深度相对较大的邻近侧向测井曲线上, 视电阻率降低, 表明地下裂缝被高矿化度水充填; 在自然伽马、补偿中子、补偿密度测井曲线上, 读数都变小, 如自然伽马曲线上, 读数一般小于100 API; 在补偿声波测井曲线上, 出现明显的周波跳跃现象; 在井径曲线上, 出现明显的井径扩大。

在通过鄂深1井的MH-719地震测线上, 与该井段大体相当的部位也有较明显的反映。叠加剖面上出现同相轴分叉, 顶界上翘、底界下弯, 形成类似于透镜体的反射波形态, 且连续性变差, 形态不规则。在经虚速度处理的地震剖面上, 表现为明显的低速异常, 最低速度为 $4\,300 \text{ m/s}$, 而鄂深1井两侧与该井段对应地层的速度大都为 $4\,500\sim 5\,000 \text{ m/s}$, 速度差约 $200\sim 700 \text{ m/s}$ 。不仅如此, 该井段的速度与上下岩层的速度相比也要低 $200\sim 700 \text{ m/s}$ 。在经真振幅和高保真处理的“亮点”剖面上显示为“暗点”, 反映该井段因为裂缝发育使岩层的密度变小, 出现低速、弱反射振幅。

另外, 裂缝发育的岩层中能量加权平均频率低, 峰值频率低, 吸收系数明显增大, 可达 $24\times 10^{-4} \text{ db/m}$ 。而围岩的吸收系数值一般只有 $2\times 10^{-4}\sim 7\times 10^{-4} \text{ db/m}$ 。

裂缝发育的原因可能有二: (1) 该井段主要为下三叠统白云岩、白云质灰岩, 岩性决定它较其他岩层有更多的裂缝。(2) 鄂深1井处在构造高部位, 即构造曲度最大的地方, 造成裂缝较周围更为发育。

