

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201803029



福建沙县船山组筳类生物演化与 海平面变化的耦合关系

李建成¹, 况代智², 洪祖寅², 张祖辉¹

(1. 泉州师范学院 资源与环境研究所, 福建 泉州 362000;
2. 福州大学 环境与资源学院, 福建 福州 350002)

摘要: 在福建沙县高地船山组筳类及其生物地层研究的基础上,分析船山组地层碳酸盐岩的微相及沉积环境,结合对该地层筳类生物化石分布特征的定量研究,探讨筳类生物的演化与海平面变化之间的关系.研究表明:本区晚石炭世道遥期海平面总体处于上升期,形成海侵层序,筳类属种以小纺锤形为主,分异度小;早二叠世紫松期的海平面总体趋于稳定后缓慢下降,筳类属种以壳体较大的球形或亚球形为主,分异度大;之后,海平面继续下降,筳类属种又以中小纺锤形为主,分异度小,物种逐渐衰退.

关键词: 筳类; 船山组; 沉积环境; 属种分异度; 福建省; 沙县

中图分类号: P 534.45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2018)05-0781-06

Coupling Relationship Between Fusulinids Evolution Form Chuanshan Formation and Sea-Level Change in Sha County, Fujian Province

LI Jiancheng¹, KUANG Daizhi², HONG Zuyin², ZHANG Zuhui¹

(1. Institute of Resource and Environment, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China;
2. College of Environment and Resource, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Based on the Chuanshan formation fusulinid fauna and biostratigraphic studies in the highlands of Sha County, Fujian province, a detailed investigation has been conducted to study the microfacies and sedimentary environment of carbonate rocks in Chuanshan formation. Combined with the quantitative research of the fusulinid fossil distribution, relationship between the evolution of fusulinid fauna and sea level change has been discussed. According to the study, the sea level of the late Carboniferous period in the region is generally on the rise, forming a sequence of invasion, and the genera of fusulinid fauna are mainly shaped by small spindles, with small differences. In the early Permian period, the sea level generally stabilized and decreased slowly, and the genera are mainly shaped by big spheroid or subspheroid, with big differences. Since then, the sea level has continued to fall, and the species have been declined by small and medium spindles with small differences.

Keywords: fusulinid; Chuanshan formation; sedimentary environment; genus diversity; Fujian Province; Sha County

地质历史时期生物的演化与其当时所处的地球环境密切相关.海平面变化所导致的海洋环境条件变迁,必将影响海洋生物的生存、演化和发展.筳类动物群的地理分布广、演化速度快,是石炭-二叠纪海

收稿日期: 2018-03-24

通信作者: 李建成(1961-),男,教授,主要从事地层古生物学的研究. E-mail: ljc6108@163.com.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2015J01171);福建省泉州市科技计划项目(2016Z072)

生无脊椎动物的一个重要类群,也是石炭-二叠系地层最重要的标准化石之一.通过对筳类生物化石所赋存的碳酸盐岩沉积环境进行分析,结合筳类生物化石在碳酸盐岩地层的演化规律,研究筳类生物演化与海洋环境的相互关系,对于进一步认识地球环境变化对生物演化的影响,探索地史时期生命与环境之间的协调演化规律具有重要意义.近十年来,我国学者利用石炭-二叠纪丰富的筳类生物地层资料,建立了筳类化石复合标准系列,在筳类演化形式、物种分异度、新生和绝灭过程及其与海平面变化的联系等方面,做了大量的研究工作,并取得了重要研究成果^[1-5].本文借鉴以上研究方法,在福建沙县晚石炭世-早二叠世船山组剖面的筳类及其生物地层进行前期研究^[6-7]的基础上,从碳酸盐岩微相和筳类化石定量分析入手,进一步研究筳类生物演化与海平面变化的相关关系.

1 地层剖面简介

福建沙县船山组地层剖面位于福建省沙县城关西北约 15 km 的高地村石灰岩矿区的中部,系 ZK302 钻孔剖面,如图 1 所示.该地层剖面为海相碳酸盐连续沉积层,总厚度为 83.18 m,是福建省石炭-二叠系界线地层的典型剖面之一.

船山组地层与上覆含生物碎屑泥晶灰岩的栖霞组(P_{1q})呈整合接触,以角度不整合超覆于林地组(C_{31})石英砂岩之上,自下而上分为 27 层.第 1~5 层的厚度为 12.53 m,岩性以中-厚层状含生物碎屑泥晶灰岩为主,泥晶灰岩中有少量的砂,即粉砂级碎屑,含筳类化石并建立 *Triticites shikhanensis compactus* 化石带.此外,还含有一定数量的非筳有孔虫、介形虫、海百合茎、腕足类、瓣鳃类和藻类.第 6~19 层的厚度为 49.40 m,岩性以深灰色厚-巨厚层状生物碎屑泥晶灰岩为主,含丰富的生物化石,主要有筳类、非筳有孔虫、腕足类、腹足类、珊瑚类、棘皮类等.其中,筳类化石自下而上建立了 *Pseudoschwagerina miharanoensis*, *Zellia chengkungensis*, *Sphaeroschwagerina sphaerica* 3 个化石带.第 20~27 层的厚度为 21.25 m,岩性多为灰黑色厚层状含管状藻生物碎屑泥晶灰岩,含丰富的藻类、筳类、非筳有孔虫和棘皮类等化石,筳类已建立了 *Eoparafusulina pararegularis* 化石带.

根据该地层剖面筳类化石带的分布特征,福建沙县高地船山组的地层时代分别归属于晚石炭世和早二叠世,它们分别相当于中国区域年代地层(地质年代)表的逍遥阶和紫松阶^[8].

2 微相和沉积环境分析

2.1 碳酸盐岩微相类型及特征

碳酸盐岩微相及其对沉积相的指示^[9]表明:微相特征是恢复岩相古地理环境的重要依据.通过岩组分与粒度标志的定量统计分也被应用于沉积环境分析中^[10].

根据福建沙县船山组地层剖面的碳酸盐岩岩性和生物组合,结合碳酸盐岩的颗粒类型、基质类型、颗粒/基质体积分数的比例等特征,采用 Dunham^[11]提出的分类方案,同时与 Flüge^[12]总结的古生代缓坡碳酸盐常见的微相类型进行初步比较,将该地层碳酸盐岩微相主要划分为 3 种类型,如图 2 所示.

1) 含不同种生物碎屑的颗粒质灰泥灰岩,即灰泥质颗粒灰岩(RMF14).碳酸盐岩的岩性以深灰色中-厚层状含生物碎屑泥晶灰岩为主.微相颗粒以生物碎屑为主,其次为球粒,局部含有少量的砂,即粉砂级碎屑.各组分的体积分数分别为:生物碎屑约 10%~25%;球粒约 5%~10%;碎屑约 5%.基质多为粉砂级生物碎屑泥晶基质.生物种类以个体较小的有孔虫、介形虫为主,其他生物碎屑有腕足类、瓣鳃类,属种组合单调,生物碎屑保存程度以半自形为多,少量为自形和他形,异地搬运(图 2(a)).

2) 含大壳体有孔虫的颗粒质泥灰灰岩,即泥粒灰岩(RMF13).碳酸盐岩的岩性以黑灰色厚-巨厚层状生物碎屑泥晶灰岩为主,由微晶方解石及 20%~45%左右的生物碎屑组成,含有少量的粉砂级碎屑.

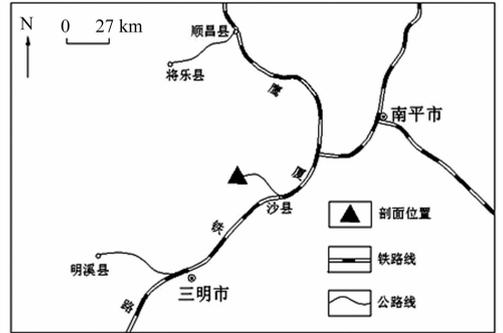


图 1 福建沙县船山组地层剖面位置图

Fig. 1 Stratigraphic section location of Chuanshan formation in Sha County, Fujian Province

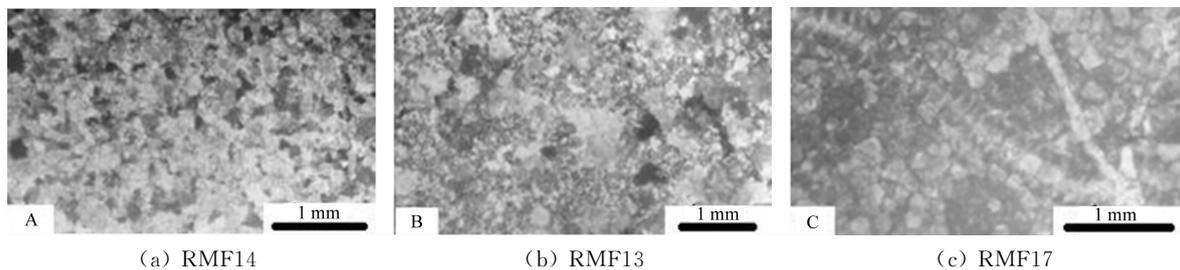


图 2 福建沙县船山组碳酸盐岩微相类型

Fig. 2 Microfacies types of carbonate rock of Chuanshan formation in Sha County, Fujian Province

微相颗粒主要为生物碎屑. 生物化石含量丰富, 属种较多, 除富含壳体较大的有孔虫外, 常见有筳类、腕足类、腹足类、珊瑚类和棘皮类等. 其中, 筳类化石十分丰富, 以壳体较大的圆球形, 即亚球形属种为盛. 生物碎屑大多保存程度较高, 呈为自形-半自形(图 2(b)). 该微相类型的主要特征是含有个体较大的有孔虫和丰富且保存较好的生物化石组合, 应属于比较典型的内缓坡开阔海环境沉积的产物.

3) 含粗枝的生物碎屑颗粒质灰泥灰岩(RMF17). 碳酸盐岩的岩性以灰黑色厚层状含管状藻生物碎屑泥晶灰岩为主. 主要由微晶方解石及 50%左右的藻屑和生物碎屑组成, 有机质含量丰富, 顶部见香肠状微细层理. 微相颗粒主要以藻屑为主, 其次是生物碎屑. 藻屑多为管状、柱状和树枝状, 有的以藻迹与藻斑点出现, 呈团块状, 局部有孔虫碎片, 其体积分数约 20%~40%. 生物碎屑主要有筳类、非筳有孔虫、棘皮类等, 含量较少, 其体积分数约为 10%(图 2(c)). 该微相类型最主要的特征是含有大量藻屑, 而藻类生物具有广盐性的特点, 可以在盐分相对较高的局限海生存. 因此, 该微相应该是内缓坡局限海的产物.

2.2 沉积环境分析

在上述碳酸盐岩微相特征和野外宏观观察的基础上, 对照 Flüge 的碳酸盐岩缓坡相沉积模式, 将福建沙县船山组剖面划分为 3 种沉积亚相, 如图 3 所示.

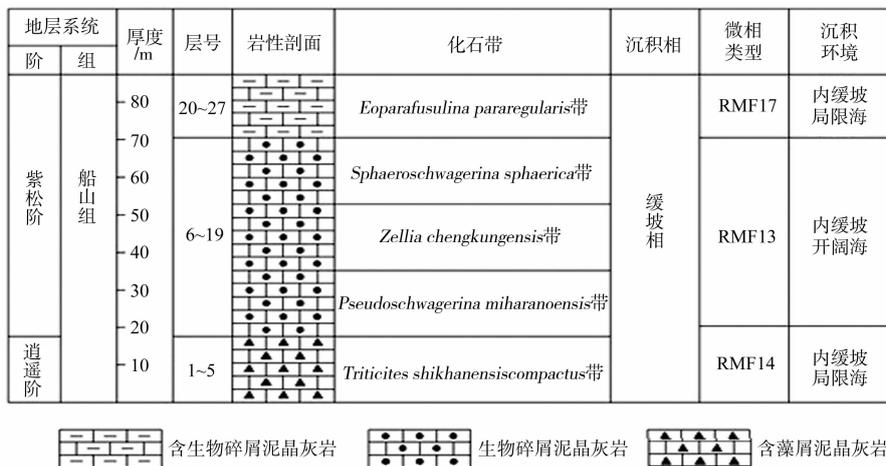


图 3 福建沙县船山组沉积相

Fig. 3 Sedimentary facies of Chuanshan formation in Sha County, Fujian Province

1) 内缓坡局限海, 即开阔海过渡亚相. 地层剖面的第 1~5 层, 厚度为 12.53 m. 岩性以中-厚层状含生物碎屑泥晶灰岩为主, 微相以 RMF17, RMF14 为主. 前者以生物碎屑为主, 其次为球粒; 后者以藻屑为主, 其次为生物碎屑. 由以上微相类型及特征可知: 该地层碳酸盐岩具有内缓坡局限海, 即开阔海过渡相的特征, 可能形成于内缓坡海侵环境, 代表 1 个初始海侵相对较深、低能水环境形成的产物.

2) 内缓坡开阔海亚相. 地层剖面的第 6~19 层, 厚度为 49.40 m. 岩性以深灰色厚-巨厚层状生物碎屑泥晶灰岩为主, 微相以 RMF13 为主. 生物碎屑含量丰富, 属种较多, 常见有筳类、腕足类、腹足类、棘皮类等. 其中, 筳类化石十分丰富, 以壳体较大的圆球形, 即亚球形的假希瓦格筳亚科属种新生为标志. 由以上碳酸盐岩微相特征可知: 该地层碳酸盐岩具有明显的内缓坡开阔海沉积特征, 可能指示着 1 个地壳相对稳定, 由海侵转为缓慢海退的内缓坡开阔海的高能沉积环境.

3) 内缓坡局限海亚相. 地层剖面的第20~27层, 厚度为21.25 m. 岩性多为灰黑色厚层状含管状藻生物碎屑泥晶灰岩, 微相以RMF17为主. 该微相的生物组合特征为: 富含粗枝藻类和筳类、腕足类和介形虫等, 生物组合单调. 从具有广盐性的藻类生物生态和单调的生物组合分析, 其碳酸盐岩的沉积环境应当属于内缓坡局限海.

福建沙县船山组地层碳酸盐岩微相和沉积亚相分析表明: 本区晚石炭世逍遥期开始接受海侵, 海平面快速上升, 沉积环境由局限海向开阔海过渡; 早二叠世紫松期早期, 海平面相对稳定而后转为缓慢海退阶段, 期间内缓坡主要形成开阔的海洋环境; 至紫松期晚期, 随着海退的进行, 内缓坡沉积环境由开阔海逐渐过渡为局限海. 由此可见, 本区船山组地层实际上包含下部的海侵层序和中上部的海退层序, 构成相对较为完整的沉积旋回, 代表海平面由上升转为下降的自然过程.

3 筳类动物群的演化特征

3.1 筳类化石的总体面貌

福建沙县船山组地层剖面共鉴定和描述筳类动物群化石13属70种. 根据筳类化石在地层中的垂向分布特征, 自下而上建立了 *Triticites shikhanensis compactus*, *Pseudoschwagerina miharanoensis*, *Zellia chengkungensis*, *Sphaeroschwagerina sphaerica* 和 *Eoparafusulina pararegularis* 5个化石带. 下部(1~5层)含 *Triticites shikhanensis compactus* 化石带, 筳类化石以单调的 *Triticites* 分子产出为标志, 属种多数呈小纺锤形, 轴率较小、隔壁褶皱弱, 生物组合单调. 该带与闽西南宁化、龙岩等地石炭系 *Triticites* 带总体面貌相似^[13]. 中部(6~19层)含 *Pseudoschwagerina miharanoensis*, *Zellia chengkungensis*, *Sphaeroschwagerina sphaerica* 3个化石带, 筳类化石以壳体较大、亚球形外壳、包卷内紧外松的假希瓦格筳亚科分子的始现并迅速繁荣为特征, 生物组合复杂. 下部(20~27层)含 *Eoparafusulina pararegularis* 化石带, 生物组合较单一. 筳类以亚球形外壳的假希瓦格筳亚科分子绝灭为标志, 而始拟纺锤筳属种产出相对集中, 他们大多以纺锤形、包卷均匀、隔壁褶皱较规则为特征.

3.2 筳类化石的分异度变化

由筳类化石的采样点与相应的地层层位对照可知: 本区船山组地层剖面筳类化石在同一化石带内, 筳类动物群的属种分异度较高, 其首现种数和绝灭种数也较高; 反之, 首现种数和绝灭种数也较低. 在不同化石带之间, 其种的分异度、首现种数和绝灭种数自下而上存在较大的差别, 如表1所示.

表1 福建沙县船山组筳类动物群种的分异度统计表

Tab. 1 Statistics of genus diversity of Chuanshan formation fusulinid fauna in Sha County, Fujian Province

年代地层	筳类化石带	种的分异度	首现种数	绝灭种数
紫松阶	<i>Eoparafusulina pararegularis</i>	27	4	7
	<i>Sphaeroschwagerina sphaerica</i>	50	20	20
	<i>Zellia chengkungensis</i>	55	21	19
	<i>Pseudoschwagerina miharanoensis</i>	48	20	17
逍遥阶	<i>Triticites shikhanensis compactus</i>	29	5	7

由表1可知: *Triticites shikhanensis compactus* 带生物组合单调, 种的分异度不高且首现种数小于绝灭种数; *Pseudoschwagerina miharanoensis*, *Zellia chengkungensis*, *Sphaeroschwagerina sphaerica* 带生物组合复杂, 种的分异度较高且首现种数大于绝灭种数; 而 *Eoparafusulina pararegularis* 带的生物组合也较为单调, 种的分异度不高且首现种数小于绝灭种数.

3.3 筳类化石的大小和形态变化

筳类化石的大小和形态通常可用壳体的轴长和轴率表示^[14]. 一般而言, 轴长越大, 壳体也越大, 轴率(壳体的长宽之比)为1时, 壳体近圆形, 随着轴率的逐渐增大, 壳体由粗纺锤形变为长纺锤形.

在对本区船山组地层剖面各筳类化石带中种的轴长和轴率统计的基础上, 进一步研究表明, 各筳类化石带中种的轴长和轴率存在着较大差异, 如表2所示.

由表2可知: 在 *Triticites shikhanensis compactus* 带中, 壳体轴长多小于3 mm, 轴率均大于2, 以小纺锤形为主; 在 *Pseudoschwagerina miharanoensis*, *Zellia chengkungensis* 和 *Sphaeroschwagerina*

sphaerica 带中,壳体轴长多大于 5 mm,部分在 3~5 mm,轴率集中在 1~2,呈球形、亚球形,壳体较大;而在 *Eoparafusulina pararegularis* 带中,壳体轴长多在 2~4 mm,轴率均大于 2,以中小纺锤形为主.

表 2 福建沙县船山组筳类动物群种的轴长和轴率统计表

Tab. 2 Statistics of length and form ratio of Chuanshan formation fusulinid fauna in Sha County, Fujian Province

年代地层	筳类化石带	种的轴长/mm			种的轴率		
		<3	3~5	>5	<1	1~2	>2
紫松阶	<i>Eoparafusulina pararegularis</i>	2	2	0	0	0	4
	<i>Sphaeroschwagerina sphaerica</i>	0	3	17	1	20	0
	<i>Zellia chengkungensis</i>	0	7	14	0	21	0
	<i>Pseudoschwagerina miharanoensis</i>	0	9	11	0	18	2
逍遥阶	<i>Triticites shikhanensis compactus</i>	4	1	0	0	0	5

综上所述,本区晚石炭世逍遥期,即早二叠世紫松期筳类动物群的演化大致可分为 3 个明显阶段。*Triticites shikhanensis compactus* 带演化阶段的主要特征是筳类属种个体较小、多以纺锤形为主,生物组合单调,种的分异度不高且首现种数小于绝灭种数,说明筳类演化处于相对衰退期;*Pseudoschwagerina miharanoensis*, *Zellia chengkungensis*, *Sphaeroschwagerina sphaerica* 带演化阶段以壳体较大、亚球形外壳、包卷内紧外松的假希瓦格筳亚科分子的始现并迅速繁荣为特征,生物组合复杂,种的分异度较高且首现种数大于绝灭种数,说明筳类演化处于新生期;而 *Eoparafusulina pararegularis* 带演化阶段,因生物组合单调,种的分异度不高且首现种数小于绝灭种数,筳类演化表现为衰退期所出现的特征。由此可见,本区晚石炭世逍遥期,即早二叠世紫松期筳类动物群的演化经历了由衰退到繁盛再到衰退的演化历程,它与邻区福建顺昌石炭-二叠系界限附近的筳类动物群的演化特征相似^[15]。

4 筳类生物演化与海平面变化关系

由沉积环境和筳类动物群演化特征分析可知:筳类生物演化与沉积环境,特别是海平面变化存在着一定的耦合关系,如图 4 所示。换言之,海平面变化所引起的海洋沉积环境变化是造成筳类生物化石的分异度、属种新生和绝灭等生物事件的主要原因之一。

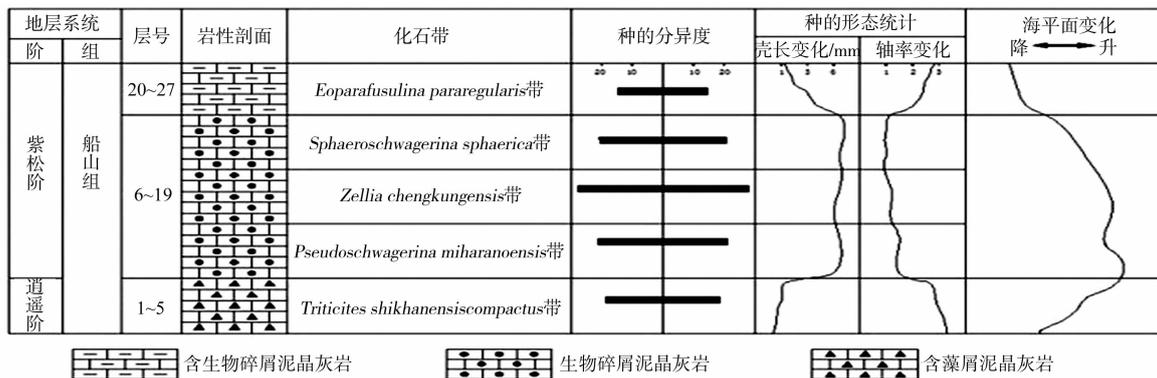


图 4 福建沙县船山组筳类生物演化与海平面变化的关系

Fig. 4 Relationship between Chuanshan foamation fusulinid fauna evolution and sea-level change in Sha County, Fujian Province

晚石炭世逍遥期早期,本区地处闽西南海湾区的北部,地面出露上石炭统林地组石英砂岩;逍遥期中晚期,开始接受快速而又广泛的海侵,在开阔内缓坡相对低能的沉积环境下沉积的一套含砂屑和生物碎屑的泥晶灰岩(1~5 层),这一时期的筳类生物进入第 1 个演化阶段,筳类属种以小纺锤形为主,生物组合单调,种的分异度、首现种数和绝灭种数均较小. 这说明筳类生物难以适应因海平面快速上升,导致海水深度、温度、含氧量等突然发生变化的海洋生态环境。

进入早二叠世紫松期,本区海平面在经历相对较长的稳定期后开始缓慢下降,形成相对稳定的内缓坡开阔海沉积环境,在相对高能的内缓坡开阔海沉积了一套生物碎屑泥晶灰岩(6~19 层),与之相对应的筳类生物进入第 2 个演化阶段,这一时期的筳类生物以壳体较大、球形或亚球形的假希瓦格筳亚科分

子的始现并迅速繁荣为特征,种的分异度、首现种数、绝灭种数均较高.说明海平面相对稳定后缓慢下降形成内缓坡开阔海环境,海水的深度、温度、含氧量等生态环境条件逐渐恢复正常,筳类生物的适应能力也随之增强,筳类生物生存和发展进入繁盛期.

至早二叠世紫松期晚期,随着海平面继续下降,在内缓坡局限海环境下沉积了一套含大量藻类的生物碎屑泥晶灰岩(20~27层),筳类生物进入第3个演化阶段,筳类属种以中小纺锤形为主,生物组合相对单一,种的分异度、首现种数和绝灭种数逐渐较少.筳类生物的生存和发展也受到一定的制约并迅速进入衰退期.

5 结束语

通过对福建沙县船山组碳酸盐岩微相及其筳类的演化特征分析,可以确定筳类生物的演化与当时海平面变化密切相关.研究表明:晚石炭世逍遥期,即早二叠世紫松期,本区海平面经历了一次由快速上升-稳定-下降的变化,与之相对应的筳类动物群的演化经历了由衰退-繁荣-衰退的演化周期,从而表明了海平面变化与筳类生物演化存在着一定的耦合关系,这个耦合关系可以为研究地史时期生命,即环境协同演化规律提供佐证.

参考文献:

- [1] 杨湘宁,周建平,刘家润,等.二叠纪“茅口期”筳类动物的演化型式[J].中国科学(D辑:地球科学),1999,29(2):129-136. DOI:10.3969/j.issn.1674-7240.1999.02.005.
- [2] 杨湘宁,史宇坤,朱李鸣,等.华南早-中二叠世筳类分异度变化过程的对比研究[J].古生物学报,2003,42(4):517-524. DOI:10.3969/j.issn.0001-6616.2003.04.003.
- [3] 史宇坤,杨湘宁.华南早-中二叠世筳类物种分异度变化过程的统计验证[J].中国科学(D辑:地球科学),2004,34(11):1041-1046. DOI:10.3969/j.issn.1674-7240.2004.11.006.
- [4] 张海军,王训练,丁林,等.陕西镇安西口石炭-二叠系界限剖面筳类生物多样性与高频海平面变化[J].中国科学(D辑:地球科学),2006,36(3):233-241. DOI:10.3969/j.issn.1674-7240.2006.03.004.
- [5] XIA Wenchen, ZHANG Ning, WANG Guoqing, *et al.* Mid-upper Permian conodont biozones four stratotype boundaries at the Xiakou section, western Hubei, South China[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2007, 18: 431-433.
- [6] 李建成,洪祖寅.福建沙县船山组的筳类[J].微体古生物学报,2004,21(2):148-173. DOI:10.3969/j.issn.1000-0674.2004.02.004.
- [7] 李建成,洪祖寅.福建沙县船山组筳类生物地层:兼论石炭系-二叠系界线[J].地质学杂志,2003,27(3):185-192. DOI:10.3969/j.issn.0253-4959.2003.03.003.
- [8] 全国地层委员会.中国区域年代地层(地质年代)表说明书[M].北京:地质出版社,2002.
- [9] 程成,李双应,赵万万,等.安徽宿松坐山中二叠统栖霞组碳酸盐岩微相和黏土矿物特征及其对沉积相和古气候的指示[J].地质学报,2016,90(6):1208-1219. DOI:10.3969/j.issn.0001-5717.2016.06.011.
- [10] 俞平利.图像分析在京西窑坡组沉积环境分析中的应用[J].华侨大学学报(自然科学版),1998,19(1):35-39. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.1998.01.0035.
- [11] DUNHAM R J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture[J]. Amer Ass Petrol Geol Mem, 1962, 1: 108-121.
- [12] FLÜGE E. 碳酸盐岩微相:分析、解释及应用[M].马永生,译.北京:地质出版社,2006.
- [13] 李建成,张祖辉,李文实,等.闽西南上石炭统白云岩层的空间分布特征[J].华侨大学学报(自然科学版),2008,29(1):138-142. DOI:10.11830/issn.1000-5013.2008.01.0138.
- [14] 黄浩.基于居群变异的筳种鉴定:以 *Eopolydixodina* 为例[J].中国科学(D辑:地球科学),2011,41(10):1416-1423.
- [15] 李建成,张祖辉,李文实,等.福建顺昌石炭-二叠系界限附近的筳类动物群[J].地质科技情报,2010,29(1):9-16. DOI:10.3969/j.issn.1000-7849.2010.01.002.

(责任编辑:钱筠 英文审校:刘源岗)