

湖北宜昌地区下奥陶统生物礁古生态学研究

肖传桃^{1,2)} 崔江利³⁾ 朱忠德²⁾ 李相明²⁾ 龚文平²⁾ 胡明毅²⁾

1) 中国地质大学地球科学学院, 武汉, 430074; 2) 长江大学地球科学学院, 湖北荆州, 434023

3) 华北水利水电学院岩土工程系, 郑州, 450011

内容提要 宜昌地区下奥陶统主要为一套台地相碳酸盐沉积, 间夹页岩, 其中的特征沉积为发育有较多的生物礁。造礁生物主要有海绵类、瓶筐石类、有柄棘皮类、苔藓虫及蓝细菌和 *Pulchrammina* 等。在下奥陶统含礁层系中识别出四种生物相: (1) 壳类生物相: 发育有 *Tritoechia*—*Pelmatozans* 群落和 *Tritoechia*—*Pomatotrema* 群落; (2) 礁生物相: 包括 *Batostoma* 群落、*Calathium*—*Archeoscyphia* 群落、*Pelmatozoans*—*Batostoma* 群落、*Archeoscyphia* 群落和 *Calathium*—*Cyanobacteria* 群落; (3) 静水生物相: 发育有 *Acanthograptus*—*Dendrograptus* 群落和 *Yichangopora* 群落; (4) 异地生物相: 产有异地埋藏群, 即 *Nanorthis*—*Psiloecephalina* 埋藏群。含礁层系存在四个海平面变化旋回, 生物礁的发育明显受海平面的升降速率与容纳空间增长速率的控制。生物礁多形成于高海平面时期。由于本区的海平面在上升过程中存在多个次一级旋回, 致使生物礁具有数量多、分布广以及厚度薄和规模小等特点。造礁群落存在着演替和取代两种形式, 前者有利于生物礁的发育, 后者则表现为礁体的衰亡。

关键词 生物礁 古生态学 海平面变化 下奥陶统 宜昌

研究区位于扬子地台区中部, 居黄陵背斜的东翼, 东部及南部毗邻江汉盆地, 为著名的长江三峡以东奥陶系层型剖面所在地(图1)。研究区奥陶系以碳酸盐岩沉积为主, 总厚约为336 m。奥陶纪经历了局限台地、开阔台地、沉没台地、广海陆棚以及奥陶纪末期的深水盆地环境的演化过程(肖传桃等, 1996)。其中分乡期至红花园期发育生物礁(朱忠德等, 1993, 1994; 肖传桃等, 1993), 礁体见于多处, 形成了本区早奥陶世最具特征的沉积历史。本区礁体以数量多、分布广、厚度薄和规模小为特征, 并且在剖面中成群、成带断续分布, 在野外易于识别。单个礁体厚度变化较大, 小者0.5 m, 大者11.5 m, 长度在1~130 m不等, 但在横向上广泛分布, 造礁生物含量较高, 占岩石体积40%~75%不等。其中, 分乡组自下而上可分为鲕粒段、礁段、互层段和夹层段(图2)。

含礁地层中以海绵类、苔藓虫类、有柄棘皮动物以及瓶筐石类等造礁生物最为发育, 且生物化石大多数具有原地保存和埋藏特征。原地保存者以生物礁中最为典型, 非礁地层中仅介壳类可能具有短距离搬运现象, 尽管如此, 但它们未脱离其生态环境,

故仍具有指相意义。本文重点研究分乡组含礁层系的生物相及群落特征、生物相演变与海平面变化以及造礁生物群落演化。

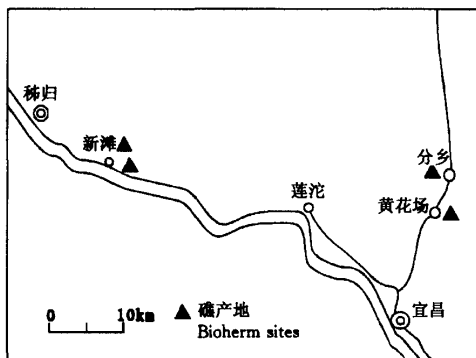


图1 湖北宜昌地区下奥陶统生物礁分布图

Fig. 1 Distribution of organic reef
in Yichang area, Hubei

注: 本文为中国石油天然气集团公司中青年创新基金项目和湖北省教育厅重点科技项目的成果。

收稿日期: 2003-08-05; 改回日期: 2004-02-09; 责任编辑: 王思恩。

作者简介: 肖传桃, 男, 1965年生, 1989年毕业于中国地质大学, 获硕士学位。现为长江大学地球科学学院教授、中国地质大学在读博士。主要从事古生态学、综合地层学及沉积学研究。通讯地址: 434023, 湖北荆州长江大学(东校区)地球科学学院; Email: ctxiao188@yahoo.com.cn。

1 生物相及群落划分

生物相是指能反映特定古环境的生物生态和沉积特征的组合。众多研究表明,生物及其组合在地层中的纵向和横向分布是严格受其生活方式和环境条件(如水深、水温、盐度、水动力条件、氧的含量、基底性质及营养物质丰度和种类等)控制的。本区下奥陶统含礁地层可划分出四大类生物相(表1),各生物相中又含有不同的生物群落。

1.1 壳类生物相

该生物相在地层中表现为一个以富含底栖生物为特征的开阔台地碳酸盐岩沉积,主要发育于本区分乡组礁段和夹层段中(图2),且以腕足类动物和有柄棘皮类动物为其主要组合。前者以 *Tritoechia* 和 *Pomatotrema* 两属为特征,它们以肉茎固着于硬底

上生活,后者以 *Pelmatozoans* 的柄或基为主,营底栖固着生活。该生物相中生物虽受到一定程度的搬运,但仍未脱离其生态环境,据其在含礁地层中的分布和生物组合的不同,可识别出两个生物群落(表1)。

1.1.1 *Tritoechia*—*Pelmatozoans* 群落

本群落广泛分布于研究区分乡组礁段中,尤以宜昌黄花场最为典型。

组成:该群落组成有腕足类 *Tritoechia subconis*, *T. obesa*, *Eopunctata mamagouensis*, *Punctolira* sp.; 棘皮类 *Pelmatozoans*; 三叶虫 *Psilcephalina* sp. 及少量头足类等。

结构:在本群落中,以 *Tritoechia* 和 *Pelmatozoans* 占优势,其丰度约为50%,其中,前者同时为遍布分子,它们均营底栖固着方式生活,以滤食为捕食方式。*Eopunctata* 为本群落的递变分子,

Punctolira 为偶见分子,它们也属底栖固着滤食性生物。其中,头足类均具较大的体管,较大的体管由于沉积物较多、不利于在深水中快速运动,而营较浅水的底栖游泳方式生活(肖传桃等,1997;徐光洪等,1988)。

生态环境分析:本群落中,营底栖固着生活的生物约占70%,其次为底栖移动的三叶虫和底栖游泳的头足类,且本群落多以介壳层形式保存,但其岩石属泥晶胶结,因此,该群落代表的生态环境大致位于台地浅滩边缘相对宁静的浅水区。

1.1.2 *Tritoechia*—*Pomatotrema* 群落

该群落主要见于宜昌黄花场分乡组夹层段,其上为礁生物相。

组成:本群落组成较单调,以多房科腕足类为特征,且以 *Tritoechia* 为主,其次有 *Pomatotrema* 及 *Nanorthis* 等。

结构:该群落中以 *Tritoechia* 为优势分子,其丰度可达80%,*Pomatotrema* 为亚优势分子,它们均为底栖固着滤食性生物,*Nanorthis* 为本群落的

表 1 湖北宜昌地区早奥陶世含礁层段生物相及群落序列
Table 1 Early Ordovician biofacies and community sequence of reefs-bearing strata in Yichang area, Hubei

组	段	生物相	生物群落序列	演化形式
红花园组		礁生物相	<i>Calathium</i> — Cyanobacteria 群落	演替
			<i>Calathium</i> — <i>Achaeoscyphia</i> 群落	
分乡组	夹层段	礁生物相	<i>Calathium</i> — <i>Archaeoscyphia</i> 群落	取代
			<i>Archaeoscyphia</i> 群落	
	互层段	壳类生物相	<i>Tritoechia</i> — <i>Pomatotrema</i> 群落	取代
		异地生物相	<i>Nanorthis</i> — <i>Psilcephalina</i> 群落	
			<i>Yichangopora</i> 群落	
		静水生物相	<i>Acanthograptu</i> — <i>Dendrograptu</i> 群落	
礁段		礁生物相	<i>Pelmatozans</i> — <i>Batostoma</i> 群落 <i>Calathium</i> — <i>Archaeoscyphia</i> 群落 <i>Batostoma</i> 群落 \ <i>Calathium</i> — <i>Archaeoscyphia</i> 群落 <i>Batostoma</i> 群落	取代 演替 演替 取代
			<i>Tritoechia</i> — <i>Pelmatozoans</i> 群落	
		壳类生物相	<i>Tritoechia</i> — <i>Pelmatozoans</i> 群落	
鲕粒段				

注:表中的“\”表示生物相或群落在时间和空间上存在渐变关系(不排除有同时异相的可能)

偶见分子,丰度较少,约5%~10%。由于组成单调,分异度较低。

生态环境分析:本群落的组成分子虽均为底栖固着滤食性生物,但它们在保存状态上常密集成层,并构成介壳层,且多以凸面朝上相互叠覆,这种现象反映它们受到水动力的搬运和改造,推测其生态环境位于台地浅滩边缘相对宁静的浅水区。

1.2 礁生物相

该生物相广泛发育于分乡组至红花园组中(表1),表现为富含底栖固着并呈原地埋藏的生物丘状碳酸盐岩沉积体。其中的生物组成有苔藓虫类 *Batostoma*、瓶筐石类 *Calathium*、海绵类 *Archaeoscyphia* 及有柄棘皮类 *Pelmatozoans* 等。由于它们的固着生长,或被藻类缠绕而形成不同类型的礁体。其共同特点有:① 具典型的生物障积骨架结

构;② 礁体小而分散,与围岩相互穿插、截切,界线清晰,且明显高于同期礁间沉积物,并具有显著的抗浪特征;③ 与壳类生物相的群落间呈镶嵌、叠合或相变关系。根据造礁生物的共生组合关系,该生物相中可识别出以下5个造礁群落。

1.2.1 *Batostoma* 群落

分布于宜昌黄花场分乡组礁段底部,且在剖面中重复出现,其边界清晰,常发育成较大的面包状或透镜状礁体,以 *Batostoma* 的大量出现和繁盛为特征(图3),其边界清晰。

组成:有苔藓虫 *Batostoma* cf. *jinhongshanense*; 瓶筐石类 *Calathium* sp., 蓝细菌; 头足类 *Proterocameroceras*, *Hopeioceras yichangense*; 腕足类 *Tritoechia obesa*, *T. subconis*; 腹足类 *Ophileta* sp., *Ecculiomphalus* sp. 及棘皮动物等。

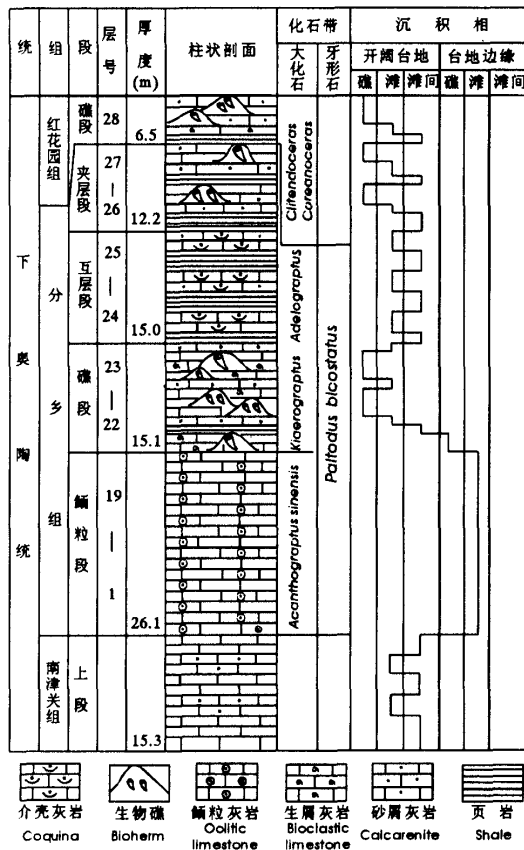


图2 湖北宜昌黄花场下奥陶统含礁层段沉积层序
Fig. 2 Lower Ordovician sedimentary sequence of reef-bearing strata in Huanghuachang area of Yichang, Hubei

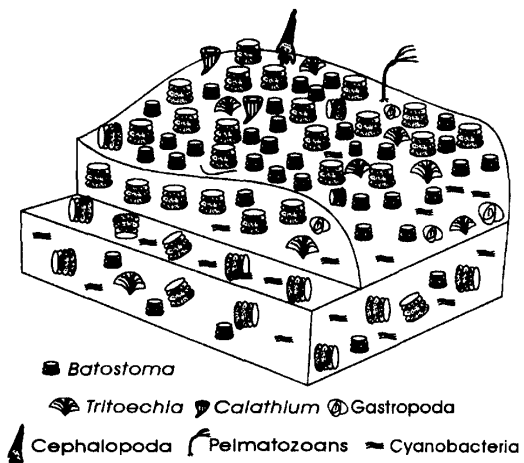


图3 *Batostoma* 群落示意图
Fig. 3 *Batostoma* community

结构:该群落中, *Batostoma* 为特征分子,也是优势分子,其丰度达74.3%,呈凹面朝上的皮壳状向上直立生长,少数为倾斜状态,躺卧者偶见。它在群落中的功能是抗浪,为群落提供稳定的生态环境,在生物礁建设中起障积灰泥的作用;腕足类 *Tritoechia* 构成了该群落的亚优势分子,属于居礁生物,其丰度为12.5%,个体保存完整,营底栖固着生活;头足类为该群落的递变分子,营底栖游泳生活,其丰度为3.5%; *Calathium* 为该群落的偶见分子,其含量虽少,但功能与 *Batostoma* 相同,属造礁生物;腹足类属毁礁生物,为该群落的遍布分子,其丰度为5.6%,

营底栖爬行、钻孔生活,起着破坏生物礁、改变生态环境的作用。

生态环境分析:该群落中营底栖固着生活的生物含量为88.9%,底栖游泳者为4.1%,底栖爬行者为6.7%,属典型的底栖固着型群落的生态环境。*Batostoma* 是一种群体生物,靠从流动的水体中滤食微生物为生,当水体变浊时,其口盖便将虫室盖上,以保护软体组织(肖传桃等,1993)。由此可知,大量造礁的 *Batostoma* 要求的生态环境为温暖、清洁、氧气充足、循环较好的正常浅海,水深约为15~25 m。

1.2.2 *Calathium*—*Archaeoscyphia* 群落

本群落广泛见于研究区红花园组下部和分乡组夹层段和礁段中部。

组成:该群落的组成有瓶筐类 *Calathium* sp.;海绵 *Archaeoscyphia chihliensis*, 腕足类 *Tritoechia alata*, *T.* sp.; 头足类 *Teratoceroïdes* sp., *Manchuroceroides* sp.; 三叶虫 *Asaphopsis* sp. 以及蓝细菌等(图4)。

结构:该群落中 *Calathium* 为优势分子,其丰度为20%~30%,它呈开口端朝上垂直层面保存,少数为倾斜状态,它是群落的建设者,原地固着生长,并形成坚实的抗浪格架。*Archaeoscyphia* 为群落的特征分子,其丰度为5%左右,其功能与 *Calathium* 相似,亦呈原地生活状态保存。蓝细菌构成群落的亚优势分子,多呈丝状、纹层状形式存在,其功能是吸附粘结灰泥,缠绕 *Calathium* 和 *Archaeoscyphia* 等障积生物,形成抗浪格架。*Manchuroceroides* 为本群落的

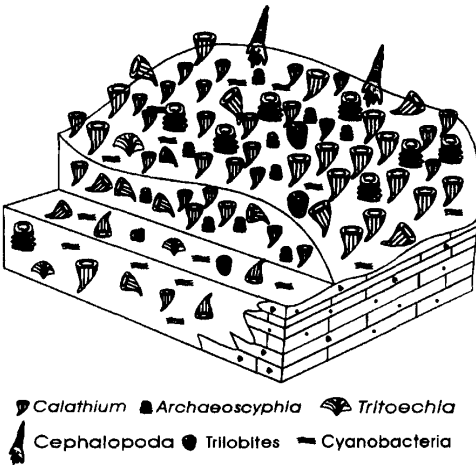


图 4 *Calathium*—*Archaeoscyphia* 群落示意图
Fig. 4 *Calathium*—*Archaeoscyphia* community

遍布分子,营底栖游泳生活。

生态环境:本群落中营底栖固着生活的生物含量占70%,底栖爬行者为5%,底栖游泳者为7%,其它为蓝细菌,总体上来看,该群落属底栖固着生态型,在底栖固着生物中,*Calathium* 和 *Archaeoscyphia* 占绝对优势,由它们的身体结构和生活方式以及蓝细菌的存在,可知群落要求的生态环境亦温暖、清洁、光线和氧气充足,循环较好的正常浅海,水深约为5~15 m。

1.2.3 *Pelmatozoans*—*Batostoma* 群落

该群落产于宜昌黄花场下奥陶统分乡组礁段顶部(表1),其边界清晰可见,以 *Pelmatozoans* 和 *Batostoma* 突发性繁盛和出现为特征,并构成了分乡造礁期早期造礁群落。

组成:主要为有柄棘皮动物 *Pelmatozoans*;苔藓虫 *Batostoma* cf. *jinhongshanense*;腕足类 *Tritoechia obsa*, *T. resta*;头足类 *Hopeioceras yichangense*;腹足类 *Ophileta* sp. 以及蓝细菌等(图5)。

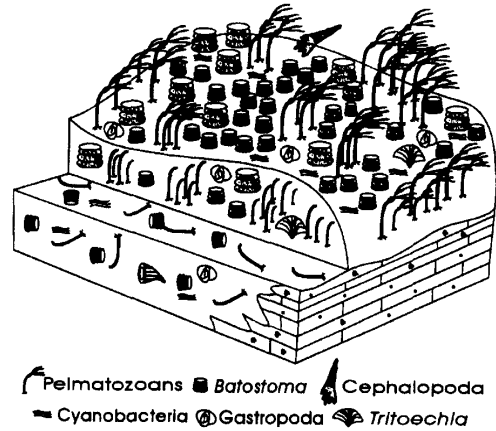


图 5 *Pelmatozoans*—*Batostoma* 群落示意图
Fig. 5 *Pelmatozoans*—*Batostoma* community

结构:在该群落中,*Pelmatozoans* 和 *Batostoma* 具有一定的消长关系,在横向上表现最为明显。早期,以 *Pelmatozoans* 为优势分子,丰度为60%~70%,*Batostoma* 为亚优势分子,丰度为10%~20%;晚期,以 *Batostoma* 为优势分子,丰度为50%~60%,*Pelmatozoans* 为亚优势分子,丰度为30%~40%。其中,*Pelmatozoans* 是枝状固着生活的动物,其密集的固着生长能起到抵抗风浪的作用;*Batostoma* 是一种固着生活的群体动物,其群体呈皮壳状向上生长,其皮壳系阶段生长的产物,它与

Pelmatozoans 均为群落的建设者。化石的保存特征为密集的棘皮动物根座相互联结、叠覆形成根簇或集丛,其间以苔藓虫或海绵类、蓝细菌为主,它们一起构成障积群团。形成的礁体一般较小,形状不规则且边坡较陡,常成群分布。围岩颗粒粗大、具大型交错层理,其中海百合茎环颗粒往往可占岩石组分的60%以上。

生态环境分析:该群落属典型底栖固着型群落,其中的底栖固着生物含量为90%,且主要为 Pelmatozoans 和 *Batostoma*,它们均为底栖固着以滤食为生活方式的生物(肖传桃等,1993),从它们的建礁功能及生活方式可知,该群落要求的生态环境为温暖、清洁、光线和氧气充足,循环较好的正常浅海,水深为15~25 m。

1.2.4 *Archaeoscyphia* 群落

该群落出现于黄花场分乡组夹层段(表1)。

组成:有海绵类 *Archaeoscyphia* sp. 和硅化海绵;瓶筐类 *Calathium* sp.;蓝细菌类: *Pulchrilamina spinosa*, *Girvanella* sp.;腕足类 *Tritoechia obesa*, *T. subconis*;腹足类 *Ophileta* sp., *Ecculiomphalus* sp. 及有柄亚门和头足类等。

结构: *Archaeoscyphia* 为该群落的优势分子,其含量突然增加,并大量繁盛,形成抗浪格架,丰度为50%。该属多为单体,外形呈不规则的杯状,纵切面形态不规则。曾一度繁盛的 *Calathium* 在该群落中则成为偶见分子,且与 *Archaeoscyphia* 一起抵抗波浪。 *Pulchrilamina* 为该群落的特征分子,其丰度为

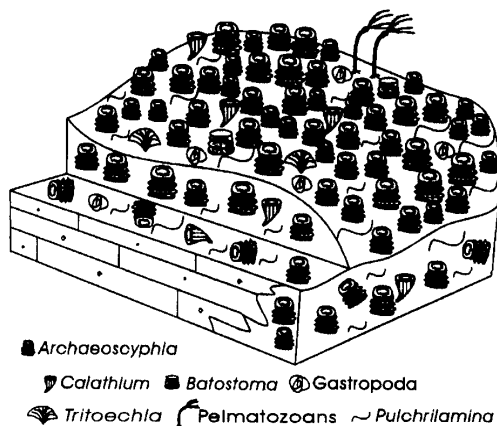


图6 *Archaeoscyphia* 群落示意图

Fig. 6 *Archaeoscyphia* community

20%,它多呈纹层状,其生态功能为缠绕造礁生物,并联结成生物格架,在生物礁建设中起吸附和粘结灰泥的作用。腕足类、头足类仍属于居礁生物,腹足类为毁礁生物。

生态环境分析:该群落中,底栖固着者为60%(其中 *Archaeoscyphia* 占90%),底栖爬行者为10%,底栖游泳者为6%。*Archaeoscyphia* 的身体结构和生活方式决定了群落的生态环境为清洁、温暖、中等能量的正常浅海,水深为10~20 m。

1.2.5 *Calathium*—*Cyanobacteria* 群落

本群落见于研究区红花园组中(表1)。

组成:有瓶筐石类 *Calathium* sp.;蓝细菌类 *Cyanobacteria*; *Pulchrilamina* sp., *Girvanella* sp.;海绵类 *Archaeoscyphia chihliensis*,硅化海绵;腕足类 *Tritoechia obesa*, *T. recta*, *Punctolira huanghuaensis*;头足类 *Hopeioceras* sp., *Proterocameroceras* sp.;介形虫 *Lepiditella* sp., *L. subsymmetrica*;腹足类 *Ophileta* sp., *Ecculiomphalus* sp.,苔藓虫 *Batostoma* sp. 及有柄亚门等(图7)。

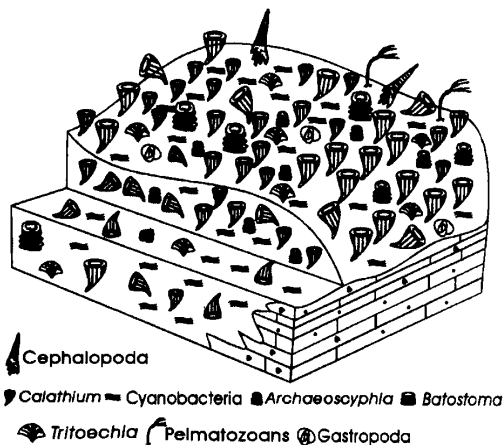


图7 *Calathium*—*Cyanobacteria* 群落示意图

Fig. 7 *Calathium*—*Cyanobacteria* community

结构:该群落中的优势分子为 *Calathium*,它以较突发性的增长到达繁盛期,丰度为30%,呈杯状、亚杯状,小而尖的一端朝下,大而粗的一端朝上,横断面呈圆形、椭圆形等,直径多数为2~5 cm 之间,小者1 cm,大者达20 cm 以上;保存状态多数为直立的,少数为倾斜的及躺卧的。*Calathium* 在群落中的功能为抵抗波浪,在生物礁建设中起障积灰泥的作

用。该群落的亚优势分子为蓝细菌,丰度为25%,大多数呈纹层状、丝状体形式存在,其主要功能为联结缠绕造礁生物,形成坚实的生物格架,使得生态环境更为稳定,在生物礁建设中起着吸附粘结灰泥的作用。*Pulchrilamina* 为该群落的特征分子,丰度为10%,其功能与蓝细菌相同。*Batostoma* 在该群落中含量很少,为偶见分子。*Tritoechia* 为该群落的遍布分子,其丰度为12%,属居礁生物,腹足类在该群落中仍起破坏生态环境的作用,属毁礁生物。

生态环境分析:该群落中营底栖游泳生活的生物占9.8%,底栖爬行者为10%,底栖固着者约为50%,在底栖固着型生物中,*Calathium* 含量占80%,它靠流动的水体将食物由体壁孔带进中央腔并滤食其中的微生物,然后将废物从中央腔上方的口中排出。由 *Calathium* 的结构特点和生活方式以及较多蓝细菌的存在,说明该群落代表的生态环境为清洁、温暖、光线及氧气充足、循环较好的正常浅海,水深为5~15 m。

1.3 台地内深水生物相

该类生物相主要分布于研究区分乡组中至上部,在沉积特征上往往表现为厚度不等的黄绿色页(泥)岩夹薄层泥晶灰岩和生屑灰岩,或黄绿色页岩与薄层泥晶灰岩互层。其中,页岩中局部可见黄铁矿晶粒。本生物相中化石以笔石 *Acanthograptus*、*Dendrograptus*、*Adelograptus*、*Kiaerograptus* 等为主,其次为小型腕足类 *Nanorthis* 以及三叶虫 *Psilocephalina* 等。在本区分乡组中,页岩厚度与层位不稳定,且在纵向上与灰岩有明显的交替变化,此外,本区分乡组页岩具有由南向北厚度逐渐减少和层位逐渐变高的规律,该现象在松滋至宜昌一线上表现最为明显,造成这种现象的原因可能是由于由南向北方向的海侵导致海平面上升的穿时的结果。根据该生物相中的生物的共生组合和保存特征,可识别出2个生物群落。

1.3.1 *Acanthograptus*—*Dendrograptus* 群落

本群落广布于研究区分乡组中—上部(表1)。

组成:该群落以树形笔石为主要特征,其次为正笔石类,其组成有 *Acanthograptus*、*Dendrograptus*、*Adelograptus*、*Kiaerograptus*、*Didymograptus*、*Dictyonema* 等,此外,共生有少量小型腕足类。

结构:本群落中以 *Acanthograptus* 占优势,其丰度约为40~60%,构成优势分子,且为遍布分子,其次为 *Dendrograptus* 和 *Kiaerograptus*,前者为递变分子。*Dictyonema* 为偶见分子,它们一起构成了一

个底栖—漂游型群落。

生态环境分析:本群落中的 *Acanthograptus* 和 *Dendrograptus* 生活时是以胎管固着海底,笔石枝向上生长,据研究(Boucot, 1981),它们是能在正常浅海底生活,而 *Kiaerograptus*、*Didymograptus* 及 *Adelograptus* 则属漂游生活方式。本群落中共生生物主要为少量小型腕足类。由上述笔石的生活方式及本区页岩上下的相序关系可知,本群落应生活于台地内相对较深水环境。

1.3.2 *Yichangopora* 群落

该群落主要分布于宜昌黄花场分乡组互层段的薄层泥灰岩夹层中。

组成:有苔藓虫类 *Yichangopora*?;腕足类: *Nanorthis*、*Eopunctata* 以及少量三叶虫。

结构:该群落中以 *Yichangopora*? 为特征,且为优势分子,其丰度为50%~60%,其次为 *Nanorthis*,丰度为20%。前者呈细枝状,营底栖固着方式生活,以滤食为其捕食方式,且以密集细枝状完好保存,共生生物为少量三叶虫。

生态环境分析:本群落中以固着生活的生物占优势,约为70%~80%,且以化石保存完整,分异度不高,共生生物较少。从生物的生态特征、岩性及上下相序来看,其生态环境可能为台地内较深水环境。

1.4 异地生物相

该生物相较罕见,主要分布于宜昌黄花场分乡组互层段(表1),以异地搬运来的生物为特征。可构成一个异地埋藏即 *Nanorthis*—*Psilocephalina* 异地埋藏群,其中以腕足类 *Nanorthis* 和三叶虫 *Psilocephalus* 以及 *Tungtzuella* 为特征,且具有分异度低和丰度极高的特征,它们多数为分散的壳瓣和甲片,往往集中形成厚1~3 cm 的介壳层,夹于化石稀少的页岩中,显示了异地埋藏的特点,在浅水区,它们往往生活于分异度较高的群落中,造成这种异地埋藏的原因可能是由于风暴流作用的结果。

2 海平面变化与生物相更替、生物礁的兴衰

对本区含礁层系的沉积特征和生态特征研究表明,该时期存在着四个海平面变化旋回,第一旋回发生于分乡组礁段;第二旋回发生于分乡组互层段;第三旋回发生于分乡组夹层段至红花园组下部;第四个旋回发生于红花园组上部至大湾组底部。上述海平面变化特征在宜昌黄花场地区最为典型,分述如下。

2.1 旋回 I

继海平面在分乡期到达高海平面时期并形成分乡组鲕粒段的鲕粒灰岩之后,本区发生了含礁层系的第一次海平面上升事件,并形成了多个有黄绿色页岩与砂屑灰岩互层组成的副层序叠置体,多个互层的存在反映了该海平面上升过程中存在多个次一级的海平面升降事件(四级),由页岩单层往上逐渐变厚可知,其副层序呈退积型堆积方式。到达高海平面时期,发育了壳类生物相 *Tritoechia*—*Pelmatozoans* 群落,这是由于在高海平面时期,容纳空间增长速率与碳酸盐产率相等,海水循环变得而稳定,致使底栖生物开始繁殖并生存。随着生态环境的进一步稳定,且光线和氧的含量逐渐充足地供给,因本区地处热带地理位置,使得造礁生物如 *Batostoma*, *Calathium* 等得以大量生长并组成了礁生物相和礁群落,进而形成障积格架和礁体,礁体具有厚度薄和规模小等特点,且礁体之间有黄绿色页岩或泥晶灰岩夹层,这是由高海平面时期海平面的变化特点所决定的。

在高海平面时期,由于海平面处于不稳定上升状态,表现为海平面不定期相对快速上升,致使容纳空间增长速率大于或略大于生物礁的生长速率,从而使礁体无法生长,形成了黄绿色页岩夹层或泥晶灰岩的夹层,也正是由于海平面不定期地处于稳定缓慢上升或相对快速的上升,才导致本区分乡组礁段形成了多套厚度不大的礁体,并形成了造礁生物相和多个造礁群落(表1),最终由于本区含礁层系的第二次海平面上升而结束了第一个成礁期。

2.2 旋回 II

在本旋回过程中,形成了多个由黄绿色页岩与灰色薄层含砾生屑砂屑灰岩互层组成的副层序叠置体,由该互层中页岩厚度向上逐渐变厚可知,其副层序呈退积型构筑方式,也正是由于该时期海平面的广泛上升,才致使广布性的台地内深水生物相特别是 *Acanthograptus*—*Dendrograptus* 群落在本区的广泛分布。其中,页岩的形成方式与旋回 I 相似,是在海平面较快速上升过程中,由于容纳空间增长速率大于碳酸盐产率,抑制了碳酸盐的发育,取而代之的是极细的陆源沉积物在研究区沉积并形成页岩。异地生物相 *Nanorthis*—*Psiloecephalina* 异地埋藏群的存在说明,在本次海平面上升过程中,可能存在风暴流的作用。在高海平面时期,因容纳空间增长速率的减慢并趋于稳定,使得海水逐渐变浅,且循环良好,氧充足,从而形成了薄层亮晶生屑灰岩及小型

Calathium—*Archaeoscyphia* 障积礁。由于本区含礁层系的第3次海平面快速上升,破坏了碳酸盐的生长环境,致使礁体不发育。这样,便结束了本区第二个海平面变化旋回。

2.3 旋回 III

本次海平面上升事件在中扬子台地具有广泛性和普遍性,且上升过程时间较短。随着短暂的海平面上升后,本区海平面发展为高海平面阶段,因该时期容纳空间增长速率的减慢,并与沉积物堆积速率近于相等,从而形成了平衡型(keep-up)亮晶砂屑或鲕粒灰岩沉积体,又因此时期海水循环变得良好而稳定,光线和氧供给充足,使得造礁生物 *Calathium* 和 *Archaeoscyphia* 以及蓝细菌的大量繁殖和生长,形成了分乡组夹层段和红花园组下部礁生物相和障积格架岩。由于第四次海平面的快速上升致使礁体发育受到限制而衰亡。

2.4 旋回 IV

该海平面的变化旋回与旋回 III 具有相似特点,即在短暂而快速海平面上升后,便达到高海平面阶段,在海平面上升时期,均发育了广布性生物相,也以笔石 *Acanthograptus*—*Denchograptus* 群落为特征。在高海平面时期沉积物以亮晶砾、砂屑灰岩为特征,在此基础上发育礁生物相 *Calathium*—*Archaeoscyphia* 群落和 *Calathium*—*Cyanobacteria* 群落,并形成了生物礁。由于大湾期的海平面广泛上升而结束了本区最后一次造礁期。

3 生物群落的分布与环境因素的关系

众所周知,生物的生存离不开适宜的生态环境,而群落更是如此,任何一个环境因素,如温度、盐度、清洁度、食物、水深、水动力强度、含氧量等的变化,必将导致群落内部组分的变化,甚至引起群落的演变。因为群落是生物群的自然组合,它对环境的灵敏度一般比单个属种高(Boucot, 1981; 陈源仁, 1992; 肖传桃, 1991, 1993)。本区早奥陶世生物礁中生物群落的横向和纵向分布充分体现上述特点。分乡期和红花园期整个扬子地区基本上是统一的碳酸盐台地,峡东地区位于该台地的中部。从横向上看,生物礁具有分布广、规模小、厚度小以及数量多等特点,且基本上是构筑于亮晶砂屑生屑、鲕粒灰岩之上,其间往往发育泥晶灰岩或黄绿色页岩,礁岩中发育 *Calathium*、*Batostoma*、*Archeoscyphia* 以及蓝细菌等组成的化石群落,代表温暖、清洁、光线、氧气充足,循环较好的正常浅海环境。礁岩之间(横向上)多

发育头足类、腕足类以及笔石等化石群落,代表温度、盐度正常的浅海。但清洁度和水体能量不高,这说明该时期的台地并非是一平坦的基底,而是由许多中等能量的浅滩和相对安静的滩间海亚环境组成,对环境要求严格的 *Calathium*、*Batostoma*、*Archeoscyphia* 等则适宜于光线和氧气充足、清洁度高、盐度正常,循环较好的较坚硬的基底上固着生活,并形成障积礁。从纵向上来看,峡东地区生物礁内生物群落演替较快,这说明了各生物群落虽然要求大体相似的环境因素,但任何一个环境因素的变化对上述造礁群落的影响稍有不同。由各群落的组成可知,在 *Batostoma* 群落和 *Archeoscyphia* 群落中蓝细菌的含量很少,而 *Calathium* 与蓝细菌则经常共生,这说明前两个群落对光线的要求不如 *Calathium* 和蓝细菌群落严格,相应地,水深也会稍有差异。生物礁的衰亡往往是由于环境较大变化而造成的,峡东地区的生物礁衰亡基本上是由于水深和浑浊度加大造成的。因此,生物群落的在横向和纵向上的分布是严格受环境因子控制的,峡东地区早奥陶世生物礁古生态研究表明,只要有相似的环境条件存在,群落同一地区纵向上可以重复地出现,也可以出现于不同的地区。

4 造礁生物群落的演化

生物群落的演化存在着两种形式,一种是演替,另一种是取代(陈源仁,1992;肖传桃,1991,1993)。演替的动力主要来自群落内部的生存竞争,而取代则主要是由于外界环境较突然的变化而发生的。

本区早奥陶世生物礁内部的生物群落之间的演化形式均体现为演替,而各个群落的演替阶段分别体现了礁不同发展阶段,礁的衰亡表现为群落的取代形式,以下简述峡东地区早奥陶世造礁生物群落的演化(表1)。

4.1 分乡期造礁期

进入分乡初期,研究区均发育了一套高能鲕粒灰岩,体现了研究区处于一种高能浅滩环境中,随着海平面的上升,发育了以三房贝类为代表的壳相群落。由于研究区沉降速率或盆地地形等的不均一性,导致了区内出现了浅滩和滩间海的亚环境。在砂屑、生物屑浅滩基底上,首先发育了底栖固着型 *Batostoma* 群落,由于群居生物 *Batostoma* 大量密集的固着生长,从而具有抵抗波浪和障积灰泥的能力,并形成了障积礁。*Batostoma* 群落严格受环境条件制约,其群落多呈叠置的皮壳状向上生长,每一个叠置

的皮壳都是礁体生长阶段的产物,同时也反映了沉积基底稳定下降的每一个阶段。*Batostoma* 障积礁不断生长反映了其生长速率与沉积盆地的下降速率处于一种动态的平衡状态。随着时间的推移, *Batostoma* 群落被 *Calathium*—*Archeoscyphia* 群落所取代,这种群落取代是由于环境较突然的变化所致,表现在岩石特征上是 *Batostoma* 群落与 *Calathium*—*Archeoscyphia* 群落之间发育薄层黄绿色页岩,取代的原因主要是由于水体的加深,浑浊度的加大等环境因素的变化所造成。当水体变浅,在新的基底上发育了新的群落 *Calathium*—*Archeoscyphia* 群落,并形成了 *Calathium*、*Archeoscyphia* 障积及蓝细菌粘结的粘结—障积礁。由于蓝细菌的发育与繁盛,生物礁的发展进入了粘结—障积阶段。在该阶段中,横向上 *Calathium*—*Archeoscyphia* 群落可渐变为 *Batostoma* 群落,它们可能无明显的上下关系(表1中二者用斜线表示)。最终, *Calathium*—*Archeoscyphia* 群落演替为 *Pelmatozoans*—*Batostoma* 群落,该群落演替可能与水体逐渐加深和 *Batostoma*、*Pelmatozoans* 逐渐增加密切相关。*Pelmatozoans* 和 *Batostoma* 属典型的障积型生物,很少与蓝细菌等粘结生物共生,反映了它们适应于相对较深的水体,它们原地固着生长,形成了障积礁。随着时间的推移,海平面的上升到达了最高水位,沉积物容纳空间增长速率逐渐减慢,水体能量增强,致使造礁生物难以生存,从而结束了分乡组礁段的主要造礁史。

进入了分乡组互层段沉积期,海平面变化经历了多个次一级升降旋回,在海平面相对快速上升期,由于沉积物容纳空间较快速增长和水体浑浊度的提高,抑制了碳酸盐的沉积,发育发以黄绿色页岩为代表的海进期沉积;在海平面上升至高水位期间,由于容纳增长速率的减慢和清洁度的增加,发育以生物屑或砂屑灰岩为代表的高水位沉积,在适宜的环境下,其中发育有 *Calathium*—*Archeoscyphia* 群落,并形成了障积礁。互层段礁体发育较差可能与海平面频繁升降有关。且礁体的衰亡与海平面上升和浑浊度加大有密切关系。

至分乡组夹层段沉积期,虽然灰岩厚度大于页岩厚度,但页岩夹层数量多,亦反映了海平面的频繁升降。与互层段不同的是海平面上升期的时间短,故而该段礁体发育较差和生物群落演化不明显。在该段顶部的两个高水位期间发育了 *Archeoscyphia* 和 *Calathium*—*Archeoscyphia* 造礁群落,它们的原地

固着生长形成了障积礁。*Archaeoscyphia* 群落最终被 *Calathium*—*Archaeoscyphia* 群落取代,取代的原因是由于海平面的上升和水体深浊度的加大所致。*Calathium*—*Archaeoscyphia* 群落衰亡也是如此,从而结束了分乡组夹层段造礁史。

4.2 红花园期造礁期

进入红花园期,由于环境又恢复了分乡造礁期的生态条件,于是,造礁生物群落又开始再度繁盛,形成了研究区早奥陶世第四个造礁旋回,且经历了障积阶段和粘结—障积阶段。早期以发育 *Calathium*—*Archaeoscyphia* 群落为特征,并形成了障积礁,且具有一定的规模,随着时间的推移, *Calathium*—*Archaeoscyphia* 群落演替为 *Calathium*—*Cyanobacteria* 群落,该群落演替的动力主要来源于 *Archaeoscyphia* 和 *Cyanobacteria* (蓝细菌)之间的生存竞争,而非环境的突然变化,由于蓝细菌的不断增长,水体的循环逐渐减弱,靠从流动的水体中滤食的 *Archaeoscyphia* 则受到一定的限制,随着蓝细菌含量不断增加,久而久之, *Archaeoscyphia* 大量减少,于是 *Calathium*—*Archaeoscyphia* 群落演替为 *Calathium*—*Cyanobacteria* 群落,并形成了粘结障积礁。随着时间的推移,由于水体的进一步加深,相应地氧含量和光线也减弱,导致了群落的解体 and 衰亡,从而结束了宜昌地区早奥陶世生物礁的第四旋回。

由上述分析可知,生物群落的演化形式与生物礁的发展阶段密切相关,但两者都严格地受海平面变化和生态环境所制约。

5 结语

(1) 在生物礁的发展过程中,群落的演替往往是生物礁演化阶段的反映,而群落的取代则往往标志着生物礁发展的开始或衰亡。

(2) 在生态环境近似的情况下,同一造礁群落 在同一剖面上可以重复出现。

(3) 生物礁的厚度、规模大小与海平面变化密切相关。在海平面变化过程中,由于存在多个次一级的旋回,而导致本区下奥陶统生物礁具有规模小、厚度薄以及数量多和分布广等特征。

(4) 生物礁的横向延展性与环境的横向分异性关系密切。正是由于中扬子台地区中的浅滩与滩间环境的频繁交替出现,才致使本区及中扬子台地下奥陶统生物礁横向分布的不稳定性。

参 考 文 献

- 朱忠德. 1993. 峡东宜昌黄花场下奥陶统生物礁研究. 地质科学, 28(1): 1~9.
- 朱忠德, 刘秉理, 李相明, 等. 1994. 湖北宜昌黄花场早奥陶世 *Pelmatozans* 障积丘的发现. 科学通报, 39(12): 1106~1109.
- 陈源仁. 1992. 生态地层学原理. 北京: 地质出版社, 51~78.
- 肖传桃, 姜衍文, 朱忠德, 等. 1996. 湖北宜昌地区奥陶纪层序地层及扬子地区五峰组沉积环境的讨论. 高校地质学报, 3(2): 339~346.
- 肖传桃, 姜衍文, 刘秉理, 等. 1993. 中扬子地区早奥陶世早中期 *Batostoma* 属的发现及其地质功能和生态学研究. 科学通报, 38(14): 1314~1315.
- 肖传桃, 潘云唐. 1997. 江汉盆地西缘奥陶纪足类生物相. 大自然探索, 16(3): 83~85.
- 肖传桃. 1991. 生态地层学及其研究进展. 地球科学进展, 31(1): 40~48.
- 肖传桃, 李维峰, 朱忠德, 等. 1993. 中扬子地区下奥陶统分乡组生物礁古生态特征. 江汉石油学院学报, 15(1): 8~13.
- 徐光洪, 徐安武. 1988. 论长江三峡东部地区奥陶系红花园组和宝塔—临湘组中下部头足类的生态与环境. 地质评论, 34(2): 97~104.

References

- Boucot A J. 1981. Principles of Benthic Marine Paleocology. New York: Academic Press, 251~463.
- Xiao Chuantao, Jiang Yanwen, Zhu Zhongde, et al. 1996. Ordovician sequence stratigraphy of Yichang area, Hubei province, and a discussion on depositional environment of Wufeng Formation of Yangtze area. Geological Journal of China Universities. 3(2): 339~346(in Chinese with English abstract).
- Xiao Chuantao, Jiang Yanwen, Liu Bingli, et al. 1993. The discovery of *Batostoma* of early Ordovician from the Middle-Yangtze area and study on its paleocology. Chinese Science Bulletin, 38(14): 1314~1315(in Chinese).
- Xiao Chuantao, Pan Yuntang. 1997. Ordovician Cephalopoda biofacies of western margin of Jiangnan basin. Exploration of Nature. 16(3): 83~85(in Chinese with English abstract).
- Xiao Chuantao. 1990. Ecostratigraphy and its advance. Advance in Earth Sciences. 31(1): 40~48(in Chinese with English abstract).
- Xiao Chuantao, Pan Yuntang, Xu Lunxun. 1994. Early Cambrian trilobite biofacies of south China and their provincialization. Scientia Geologica Sinica, 3(4): 469~478.
- Xiao Chuantao, Li Weifeng, Zhu Zhongde. 1993. Paleocological characteristics of organic reefs in Fenxiang Formation of lower Ordovician in Middle-Yangtze area. Journal of Jiangnan Petroleum Institute. 15(1): 8~13(in Chinese with English abstract).
- Xu Guanghong, Xu Anwu. 1988. On the paleocology and environment of Cephalopoda in Honghuayuan Formation and Baota Formation to Linxiang Formation of Ordovician from East area of the Yangtze Gorge. Geological Review, 34(2): 97~104(in Chinese with English abstract).
- Zhu Zhongde, Guo Chengxian, Liu Bingli, et al. 1993. Lower Ordovician Reefs at Huanghuachang, Yichang, East of the Yangtze Gorge. Scientia Geologica Sinica, 2(1): 79~90.

Zhu Zhongde. 1993. Lower Ordovician reefs at Huanghuachang, Yichang, east of the Yangtze Gorge. *Scientia Geologica Sinica*, 28 (1): 1~9(in Chinese with English abstract).

Zhu Zhongde, Liu Bingli, Li Xiangming, et al. 1994. The discovery

of Early Ordovician Pelmatozoans build-up of Huanghuachang area, Yichang County, Hubei Province. *Chinese Science Bulletin*, 39 (12): 1106~1109(in Chinese).

A Study on Palaeoecology of the Lower Ordovician Reefs in the Yichang Area , Hubei

XIAO Chuantao^{1,2)}, CUI Jiangli³⁾, ZHU Zhongde²⁾, LI Xiangming²⁾, GONG Wenping²⁾, HU Mingyi²⁾

1) *China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, 430074*

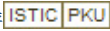
2) *Geosciences College of Yangtze University, Jingzhou, Hubei, 434023*

3) *Department of Rock and Earth Engineering, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou, Henan, 450011*

Abstract

The Lower Ordovician is composed mainly of a series of carbonate platform deposits interbedded with shale and is especially characterized by a large number of organic reefs or buildups that occur widely in the research area. The reefs have different thicknesses ranging from 0.5 m to 11.5 m and lengths varying from 1 m to 130 m, and the most important is that the reefs are characterized by a great quantity, wide distribution, thin thickness and small scale. The reef-building organisms are *Archaeoscyphia*, *Receptaculitids*, *Batostoma*, Cyanobacteria, *Pulchrilamina* and so on. Through the study of the characteristics of the reef-bearing strata of the Lower Ordovician in the Yichang area, four sorts of Biofacies are recognized, which are (1) Shelly Biofacies: containing *Tritoechia*—Pelmatozoans community and *Tritoechia*—*Pomatotrema* community; (2) Reef Biofacies: including *Batostoma* community, *Calathium*—*Archaeoscyphia* community, Pelmatozoans—*Batostoma* community, *Archeoscyphia* community and *Calathium*—Cyanobacteria community; (3) Standing—water Biofacies: including *Acanthograptus*—*Dendrograptus* community and *Yichangopora* community; and (4) Allochthonous Facies: containing *Nanorthis*—*Psilcephalina taphocoense*. The analysis of sea-level changes indicate that there are four cycles of sea-level change during the period when reef-bearing strata were formed in this area, and the development of reefs is obviously controlled by the velocity of sea-level changes and the growing velocity of accommodation space. The authors hold that reefs mostly formed in the period of high sea level. Because of the development of several subordinate cycles while the sea-level rising, the reefs are characterized by a great quantity, wide distribution, thin thickness and small scale. The research of evolution of community shows that succession and replacement are the main forms. The former is favourable to the development of reefs and the latter indicates the disappearance of reefs.

Key words: Organic Reefs; palaeoecology; sea-level changes; Lower Ordovician; Yichang Area

作者: 肖传桃, 崔江利, 朱忠德, 李相明, 龚文平, 胡明毅
作者单位: 肖传桃(中国地质大学地球科学学院, 武汉, 430074; 长江大学地球科学学院, 湖北, 荆州, 434023), 崔江利(华北水利水电学院岩土工程系, 郑州, 450011), 朱忠德, 李相明, 龚文平, 胡明毅(长江大学地球科学学院, 湖北, 荆州, 434023)
刊名: 地质论评 
英文刊名: GEOLOGICAL REVIEW
年, 卷(期): 2004, 50(5)

参考文献(20条)

- 肖传桃;姜衍文;刘秉理 [中扬子地区早奥陶世早中期Batostoma属的发现及其地质功能和生态学研究](#) 1993(14)
- 肖传桃;姜衍文;朱忠德 [湖北宜昌地区奥陶纪层序地层及扬子地区五峰组沉积环境的讨论](#) 1996(02)
- 陈源仁 [生态地层学原理](#) 1992
- 朱忠德;刘秉理;李相明 [湖北宜昌黄花场早奥陶世Pelmatozoan障积丘的发现](#) 1994(12)
- 朱忠德 [峡东宜昌黄花场下奥陶统生物礁研究](#) 1993(01)
- Boucot A J [Principles of Benthic Marine Paleocology](#) 1981
- 徐光洪;徐安武 [论长江三峡东部地区奥陶系红花园组和宝塔-临湘组中下部头足类的生态与环境\[期刊论文\]-地质评论](#) 1988(02)
- 肖传桃;李维峰;朱忠德 [中扬子地区下奥陶统分乡组生物礁古生态特征\[期刊论文\]-江汉石油学院学报](#) 1993(01)
- 肖传桃 [生态地层学及其研究进展](#) 1991(01)
- 肖传桃;潘云唐 [江汉盆地西缘奥陶纪头足类生物相\[期刊论文\]-大自然探索](#) 1997(03)
- Zhu zhongde;Liu Bingli;Li Xiangming [The discovery of Early Ordovician Pelmatozoans build-up of Huanghuachang area, Yichang County, Hubei Province](#) 1994(12)
- Zhu zhongde [Lower Ordovician reefs at Huanghuachang Yichang east of the Yangtze Gorge](#) 1993(01)
- Zhu zhongde;Guo Chengxian;Liu Bingli [Lower Ordovician Reefs at Huanghuachang Yichang East of the Yangtze Gorge](#) 1993(01)
- Xu Guanghong;Xu Anwu [On the paleoecology and environment of Cephalopoda in Honghuayuan Formation and Baota Formation to Linxiang Formation of Ordovician from East area of the Yangtze Gorge](#) 1988(02)
- Xiao Chuantao;Li Weifeng;Zhu Zhongde [Paleoecological characteristics of organic reefs in Fenxiang Formation of lower Ordovician in Middle-Yangtze area](#) 1993(01)
- Xiao Chuantao;Pan Yuntang;Xu Lunxun [Early Cambrian trilobite biofacies of south China and their provincialization](#) 1994(04)
- Xiao Chuantao [Ecostratigraphy and its advance](#) 1990(01)
- Xiao Chuantao;Pan Yuntang [Ordovician Cephalopoda biofacies of western margin of Jiangnan basin](#) 1997(03)
- Xiao Chuantao;Jiang Yanwen;Liu Bingli [The discovery of Batostoma of early Ordovician from the Middle-Yangtze area and study on its paleoecology](#) 1993(14)
- Xiao Chuantao;Jiang Yanwen;Zhu Zhongde [Ordovician sequence stratigraphy of Yichang area, Hubei province, and a discussion on depositional environment of Wufeng Formation of Yangtze area](#) 1996(02)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzlp200405011.aspx