西沙中新世生物礁演化与藻类的造礁作用

许 红 蔡 峰 王玉净④ 龚建明
勾韵娴④ 孙 萍 章炳高④ 周良勇
(国土资源部海洋地质研究所, 青岛 266071; 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

摘要 提供了西琛一井455.25m岩芯的岩石学、矿物学、岩石化学、古生物-古生态学的资料, 论述了9属43种钙藻不同种群的化石埋藏学和造礁作用的特征、类型或模式; 恢复了藻生态系统由群落演替到群落取代的演化过程, 进一步指出生物演化(红藻门珊瑚藻 *Ae. nanhaiensis* 群落为绿藻门仙掌藻*Halimeda* 群落所取代)与早中新世晚期~中中新世南海古海洋变化(海退135.51m)具有因果关系. 这一结论与全球层序旋回曲线一致, 但却有别于针对南海北部沉积盆地区的研究认识.

关键词 **中新世 西沙生物礁 钙藻 造礁作用 群落演替与取代**

植物的造礁作用是生物礁成因研究、尤其是西沙陆架外缘海岛礁区中新世生物礁成因研究中长期被忽视的环节, 并形成学术争论[1], 目前国内相关的研究实例还不多. 自70年代国内学术界出现一系列针对植物钙藻的研究和系统报道(邢裕盛, 1973, 1980, 1982A, 1982B; 王玉净, 1976, 1981, 1996; 朱浩然, 1978, 1979; 穆西南, 1979, 1982, 1984, 1997; 刘志礼, 1981, 1982, 1988, 1990; 钱凯, 1980, 1986; 曾鼎乾, 1981, 1988, 1996; 陈斯忠, 1987, 1995; 胡平忠, 1987, 1996; 许红, 1988, 1992, 1996; 杜韫华, 1990, 1996; 徐克定等, 1996; 郑荣才, 1996; 范嘉松, 1997; 朱袁智, 沙庆安等, 1997)以来, 朱浩然[2]在我国胜利平方王油田沙四段发现礁灰岩的主要造架生物是绿藻门(Chlorophyts)管藻目(Siphonales)独囊藻科(Derbesiaceae)枝管藻属(*Cladosiphonia*)中国枝管藻(*Sinensis*), 具有突破性意义, 该发现及其后续研究肯定了直立管状绿藻类植物对于生物礁形成的贡献, 这与国外诸多研究实例一致[3~5]. 库兹涅佐夫[5]曾认为新生代红藻属于表壳生物和覆盖生物, 国内的研究发现也集中在壳状珊瑚藻方面[6~9], 迄今尚无发现直立枝状珊瑚藻的报道.

1985年, 针对中新世井段的研究发现大量钙质红藻(鉴定到属); 几乎同时(1984. 10~1989), 在珠江口盆地相继发现HZ33-1, LF15-1, LF22-1, LH11-1, LH4-1生物礁型油田(藏). 陈斯忠等在HZ33-1-1井发现7属16种钙质红藻; 1995年发表了惠州凹陷十几个井区中新世珊瑚藻分布图. 最近, 朱袁智等人[9]在永暑礁南永二井(深403.69m)全取芯岩心中发现7属钙藻, 认为它们属于造礁生物大类的粘结生物群团.

本文利用的研究材料是西琛一井346.92~802.17m计455.25m岩芯, 共发现9属43种钙藻, 包括8属42种红藻(2个未定种, 1个新种)和绿藻门仙掌藻(*Halimeda*, 未定种), 其中具有特殊价值的发现, 是红藻门(Phodophyta)隐丝藻目(Cryptonemiales)珊瑚藻科(Corallinaceae)奇石藻属(*Aethesolithon*)新种, 定名为南海奇石藻(*Ae. nanhaiensis*)[10], 该藻以直立分枝状圆柱形簇丛式生态构成典型生物礁格架. 这是迄今我国在海域古礁研究中发现的唯一直立分枝状格架型藻类, 对生物礁成因和古海洋学的基础理论研究具有重要意义.

1 西沙中新世造礁钙藻化石埋藏学

(1) 4种机械作用下的钙藻化石埋藏学特征. ( ) 早中新世晚期藻体变位原地埋藏: *Ae. nanhaiensis* 具有这种埋藏特征. 其变位非移动, 而是在藻体折断、倒伏基础上的原始生态变动, 保持鲜明原地埋藏特征, 多种产状, 垂向上互相接触, 横向上具一定间距. 最密集藻体间距2mm, 可交叉状, 呈40°, 90°和150°交角; 圆柱形藻体具同心圆结构, 粗细相间, 直径1~ 6mm. 至顶部藻体变细, 直径1~ 3.5mm, 数量减少. 保持典型原始直立生长型埋藏状态; ( ) 早中新世晚期末藻体原地埋藏: *Ae. guatemalaensum* (危地马拉奇石藻) 为代表的厚壳状盖覆型红藻埋藏特征, 未发现变位、搬运痕迹. 尤其 *Lp. prelichenoides* (似前地衣石叶藻) 边叶状体得以较好保存, 证实了它们几乎不存在破碎、解体的可能, 其埋藏态就是其原始生态; ( ) 中中新世藻体解体、破碎、叠置原地埋藏: *Halimeda* 在连接藻体的软体组织腐烂之后, 节片脱离原始母体, 形成典型钙藻节片叠置埋藏特征; 在密集层段的切片中发现, 除了少数节片断裂, 碎裂为2块或多块之外, 大多数节片呈杂乱无章状叠置, 未见节片方向性排列的现象, 说明受水流(潮夕流和波浪流) 改造作用较弱; 多层位分布, 见于447.9~387 m; ( ) 藻体解体位移埋藏: 珊瑚藻属椭圆珊瑚藻(*C. elliptica*)、纽谢洛珊瑚藻(*C. neuschelorum*)、长珊瑚藻(*C. cf. elongata*) 等与 *Halimeda* 相同, 但解体之后的节片散离藻体, 非密集式叠置, 数量少, 分布区间小, 存在水流搬运或扰动痕迹, 具有礁区近原地藻体分散状埋藏的特征.

(2) 化学埋藏特征与早期成岩作用. 根据藻体原初始矿物相构成, 藻体与成岩介质及保存难易程度有如下排序: 石枝藻属(*Lithothamnium*)、石叶藻属(*Lithophyllum*)、奇石藻属(*Aethesolithon*)、珊瑚藻属(*Corallina*) 和仙掌藻属(*Halimeda*). 阴极发光和电子探针分析表明, *Ae. nanhaiensis* 钙化的皮层、藻体细胞层、胞内填隙物和围岩具有不同的化学成分组成(图1), 沿礁序列水体介质及沉积物出现变化.

(3) 植物钙藻的埋藏学类型: ( ) 生物成因埋藏类型; ( ) 环境—生物成因埋藏类型; ( ) 生物成因早期自体埋藏类型.

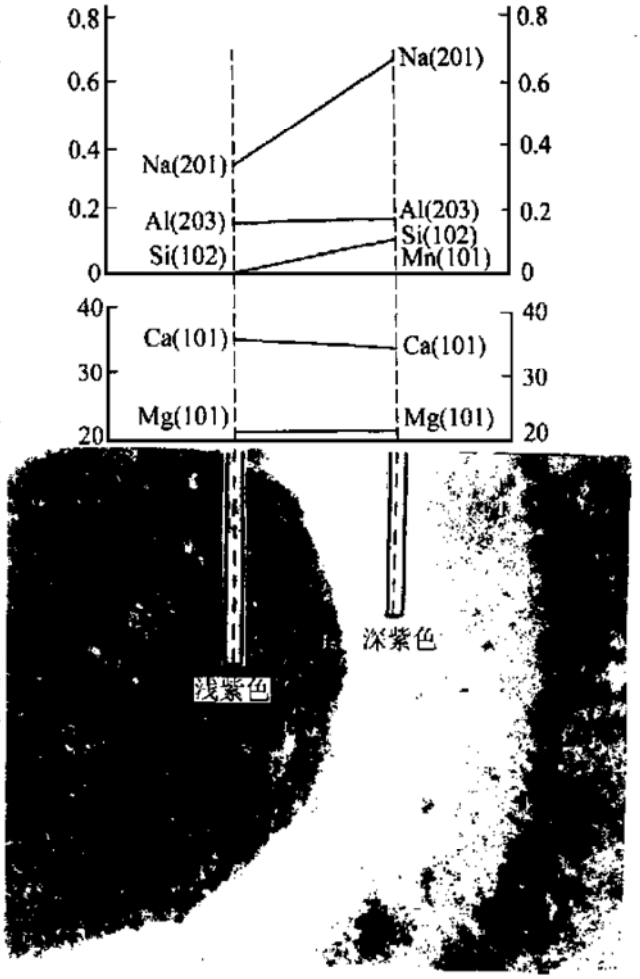

图1 阴极发光下南海奇石藻藻体颜色与电子探针分析数据对应关系

2 礁沉积序列中藻生态系统的演化

图2是对西琛一井沉积相、生物发育、化石群落、岩石剖面、生物化石和绝灭事件的综合分析图, 构成中新世礁沉积序列中古生态系统的演化成果.

(1) 藻类化石群落. 由于一个生物化石群落代表一个具有独特成分、结构构造与形态功能的古生态系统, 具有自己特征性的种和古群落结构, 并在礁序列存在特定的群落演替过程,

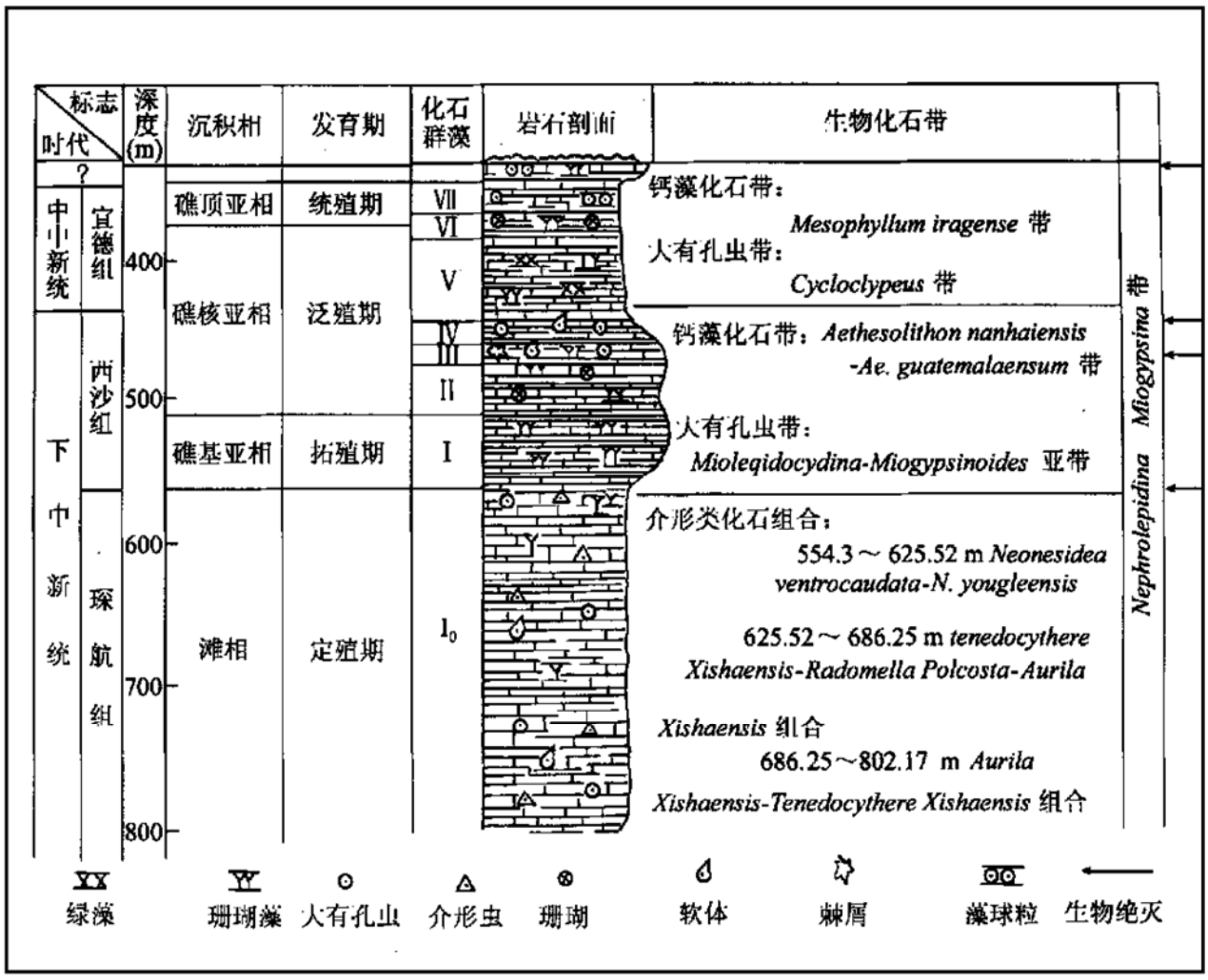

图2 西琛一井中新世生物礁发育演化剖面

所以当环境-古海洋发生变化, 生物群落的分异将由群落演替到群落取代. 换言之, 下述西琛一井生物化石群落(如 *Ae. nanhaiensis* 群落) 由盛到衰(演替过程) 到绝灭(被优势种群如 *Halimeda* 取代), 呈典型的"渐变"到"点断"关系, 反映了从群落建立, 生态域扩大到生态演替和群落取代[11]的演化过程, 这确是中新世西沙古海洋局部脉动与全球冰川水退型古海洋变化的必然结果.

ⅳ 540~ 503m, *Ae. nanhaiensis* 群落: 下部以直立长分枝 *Ae. nanhaiensis* 为主, 壳状珊瑚藻次之, 上部后者增多, 发现钙藻 4 属 11 种(以出现先后排序, 下同);

㈦ 503~ 470m, 红藻群落: *Ae. nanhaiensis* 减少并绝迹, 包覆状、不规则条带状、结核状红藻增多, 发现钙藻 8 属 21 种, 新发现 4 属 13 种;

㈣ 470~ 458m, *Ae. guatemalaensum* 群落: 红藻以厚叠层状 *Ae. guatemalaensum* 为主, 发现钙藻 5 属 10 种, 新发现 2 属 2 种;

㈤ 458~ 445m, 红藻-绿藻群落: 首次出现绿藻门仙掌藻 *Halimeda*, 发现红藻 6 属 8 种, 新发现 2 属 2 种;

㈨ 445~ 387m, 绿藻-红藻群落: *Halimeda* 大量出现, 节片呈无序堆积, 与红藻共生, 可见二者呈叠置状, 或前者为后者缠绕包裹. 发现钙藻 8 属 23 种, 新发现红藻 4 属 8 种;

ⅴ 387~ 378mm, 红藻群落: 以带状、缠绕状、结核状红藻为主, 发现7属13种, 新发现1

属 1 种;

378~ 352m, 红藻群落: 条带缠绕状, 少数柱状, 发现 8 属 21 种, 新发现 3 属 5 种.

(2) 藻生态系统的演化. 1) 古海洋环境变迁: 西琛一井 9 属 43 种钙藻除新种外, 现生种适应的水深从 3~ 100m, 礁序列早中新世早期(551. 85m 以深) 为正常热带-亚热带浅海环境[10]; 早中新世晚期以来环境改变, 457. 84~ 459. 93m 左右出现高能环境; 海水变浅、盐度趋于不正常, 特别是井深 448m 开始出现 *Halimeda*, 形成多层 *Halimeda* 富集灰岩层段, 表明这时早期的红藻化石群落在古海洋变化的大背景下, 已逐渐为晚期的以绿藻为主的化石群落所取代, 完成了浅海相沉积环境向泻湖相环境的转变. 从 445m 开始到 352m 结束, 共发现 19 层白垩, 沉积间隔 0. 5~ 20m, 一般 2~ 4m, 厚几厘米至几十厘米, 吸水粘舌。同期生物礁沉积减缓, 沉积速率为 1. 5mm/ a; 颜色浅灰白色, 与下伏(448m 以深) 土黄色相区别。代表了时深时浅, 比较动荡, 与海连通泻湖相-礁后平台的沉积特征.

2) 海退的规模: 初步礁白云岩 Sr 含量(表 1) 分析可见规律性变化, 从 349. 07~ 544. 62m 区间, Sr 含量变化低于白云岩含量的合理界线(Jan Veizer, 1983), 约有 3 个层段, 总厚度约 135. 51m; 换言之, 目前研究程度所能认定的海退深度为 135. 51m, 可能要比实际情况少.

表 1 西琛一井部分白云岩的 Sr 含量统计

钻井深度/ m	Sr 含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$	钻井深度/ m	Sr 含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$
349. 07~ 349. 17	470	443. 15~ 443. 25	300
355. 07~ 355. 22	400	454. 93~ 455. 01	300
365. 54~ 365. 67	300	462. 85~ 462. 97	470
373. 2~ 373. 35	470	473. 73~ 473. 83	500
383. 57~ 383. 67	400	483. 8~ 483. 9	300
391. 20~ 391. 36	500	493. 82~ 493. 91	620
401. 98~ 402. 14	150	506. 24~ 506. 34	400
412. 54~ 412. 64	400	517. 82~ 517. 91	500
421. 14~ 421. 26	200	527. 89~ 528. 0	600

如果按照 Land[12] 数据, 可计算 401. 98~ 455. 01m(早中新世晚期~ 中中新世早期) 之间 53. 03m白云岩的形成至少需要 593~ 1185ka(设宣德环礁、永乐环礁淡水汇集面积为 900km^2, 水深 5~ 10m), 其间淡水一般保持的水体体积为 4. 5~ 9km^3; 在这几十万年至上百万年期间, 至少存在过数万次到十多万次水体更新的过程: 该过程可能是多期次的. Haq 等人[13] 曾通过全球层序旋回图揭示早中新世至中中新世末存在 9 次海平面升降旋回, 秦国权[14] 证实南海北部有过 10 次这样的过程; 但在 19~ 16. 5 和 14. 5~ 10. 5Ma 出现异常, 并且整体呈海进趋势: 这有别于 Haq 与西沙的资料. 鉴于此, 有必要进行西沙生物礁高分辨率层序地层学的深层次对比研究.

3 藻类的造礁作用和西沙中新世生物礁成因模式[15]

(1) 藻类对生物礁形成有下述 5 大贡献: ( ) 生物礁区微小碳酸盐颗粒沉积物最为重要的供应者群团; ( ) 生物礁区环境的重要开拓者群团; ( ) 生物礁区最主要的保护者群团; ( ) 生物礁的主要造架者群团; ( ) 生物礁最为重要的粘结者群团.

(2) 西沙中新世生物礁成因模式. ( ) 20 种厚壳状钙质红藻(表 2): 强烈风浪作用地带→壳状珊瑚藻→生物成因早期自体埋藏类型→生物粘结~ 生物捆扎结构→钙藻长垣→粘结岩~ 捆扎岩→粘结作用~ 捆扎作用; ( ) 有节类钙质红藻或绿藻: 泻湖区~ 礁后平台→*Hal-*

表 2 形成典型粘结—捆扎结构的 6 属 20 种钙藻

属 名	种 名
奇石藻属 *Aethesolithon*	危地马拉奇石藻 *Ae. guatemalaensum*
古石枝藻属 *Archaeolithothamnium*	台湾古石枝藻 *A. taiwanensis*、中间古石枝藻 *A. intermedium*、吕氏古石枝藻 *A. lugeoni*、亲近古石枝藻 *A. aff. affine*、尔沃维克古石枝藻 *A. lvovicum*
中叶藻 *Mesophyllum*	荒仓中叶藻 *M. arakuraensis*、普通中叶藻 *M. commune*、伊拉克中叶藻 *M. iraqense*、秩父中叶藻 *M. chichibuensis*
石枝藻 *Lithothamnium*	新井石枝藻 *Lt. araii*、前小灌木状石枝藻 *Lt. prafructiculosum*、托尔特克石枝藻 *Lt. toltecensum*、巨大石枝藻 *Lt. magnum*
石叶藻 *Lithophyllum*	约翰逊石叶藻 *Lp. johnsoni*、久保石叶藻 *Lp. kuboiensis*、凯普德石叶藻 *Lp. capederi*、不规则石叶藻 *Lp. irregularis*、坚固石叶藻 *Lp. pactum*
石孔藻 *Lithoporella*	箕状石孔藻 *L. melobesioides*

imeda sp.~ 有节类珊瑚藻→环境~ 生物成因埋藏类型→生物节片结构→节片岩→节片堆积沉积作用;( ) 直立分枝状-圆柱状钙质红藻: 正常浅海沉积环境→*Ae. nanhaiensis*~ 长分枝、圆柱状生长型钙藻→生物成因埋藏类型→生物格架~ 生物障积结构→(格) 骨架岩~ 障积岩→障积作用~ 格架作用.

致谢 对曾呈奎、汪品先院士、李思田、刘志礼、宋志敏、Noah. Smith 教授的支持和帮助, 作者深表谢意. 本工作为国家自然科学基金(批准号: 49206061) 和国家自然科学优秀研究成果出版专项基金资助项目.

参 考 文 献

1 张明书, 何起祥, 业治净, 等. 西沙生物礁碳酸盐沉积地质学研究. 北京: 科学出版社, 1989
2 朱浩然. 山东滨县下第三系沙河街组的藻类化石. 古生物学, 1979, 18(4): 327~ 346
3 刘志礼. 化石藻类学导论. 北京: 高等教育出版社, 1990
4 B. 福迪. 藻类学. 罗迪安译. 上海: 科学技术出版社, 1980
5 B. Г. 库兹涅佐夫. 礁地质学及礁的含油气性. 李建温译. 北京: 石油工业出版社, 1983
6 陈斯忠, 胡平忠. 珠江口盆地第三纪生物礁及其找油意义. 中国海上油气, 1987, 1(1): 3~ 10
7 曾鼎乾. 南海北部大陆架第三系. 广州: 广东科技出版社, 1981
8 范嘉松. 中国生物礁与油气. 北京: 科学出版社, 1996
9 朱袁智, 沙庆安, 袁丽芬, 等. 南沙群岛永署礁新生代珊瑚礁地质. 北京: 科学出版社, 1997
10 王玉净, 章炳高, 勾韵娴, 等. 西沙群岛西琛 1 井中新世地层、古生物群和古环境研究. 微体古生物学报, 1996, 13(3): 215~ 224
11 Miller W Ⅲ Paleoecology of benthic community replacement. Lethaia, 1986, 19: 225~ 231
12 Land L S., Dolomitization. AAPG Education Course Note eries, 1983, 24: 1~ 20
13 Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea level since the Triassic. Science, 1987, 235: 1156~ 1167
14 秦国权. 微体古生物在珠江口盆地新生代晚期层序地层学研究中的应用. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(4): 1~ 18
15 许 红, 王玉净, 蔡 峰, 等. 西沙中新世生物地层, 藻类的造礁作用与生物礁演变特征。北京: 科学出版社, 1999

(1998-03-26 收稿, 1999-01-04 收修改稿)