

# 南沙群岛永暑礁 90 多万年以来的海平面变化\*

赵焕庭 孙宗勋 宋朝景 朱袁智 陈欣树 沙庆安<sup>†</sup>

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

<sup>†</sup>(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

**提要** 于1990年5—6月在永暑礁礁坪上打一全采芯的地质研究钻井, 编号为南永1井, 总进尺为152.07m, 对岩芯详细的地质年代学、地层学、相学和岩石学等进行多学科的分析研究。结果表明, 永暑礁地区的海平面自早更新世晚期以来经历了4次上升和间隔的3次下降, 形成了4个沉积旋回及其间的3个沉积间断。海平面呈波动式上升趋势。

**关键词** 南沙群岛 永暑礁 海平面变化 古气候 新构造运动

构造地质学家探讨过地史上南沙群岛的海陆位置(中国科学院南沙综合科学考察队, 1989), 但南沙群岛的海平面变化研究尚未见报道。1990年5—6月作者参加了中国科学院南沙综合科学考察队第12航次调查工作, 在永暑礁礁坪上打下了一口全采芯的地质研究钻井, 编号为南永1井, 总进尺为152.07m, 在对全部岩芯进行综合研究的基础上(中国科学院南沙综合科学考察队, 1992), 本文专门讨论永暑礁90多万年以来的海平面变化问题, 再现永暑礁自早更新世晚期以来的海平面变化和礁体发育过程, 为南沙群岛和南海的古气候、古海洋学研究提供新的依据。

## 1 研究区域概况和研究方法

永暑礁系一座从2000多米深的海底拔起的环礁, 周围的礁坪在低潮时仍多被淹没, 只有几块断续出露, 中间南湾泻湖通道口多, 主要向东南敞开(图1), 为开放型环礁(赵焕庭等, 1992)。南永1井除井深130.3—132.3m及135.5—142.0m是溶洞外, 全部岩芯是碳酸盐生物骨壳沉积, 并以造礁珊瑚为主, 为珊瑚礁。0—17.3m为未发生成岩作用的松散堆积物, 划为全新统南海组; 17.3—152.07m(未到底)为更新统南沙组; 其中89.8m为一沉积间断面, 将90—152m(未到底)划为下更新统; 据现有资料还不能确定中、上更新统的界线, 故将90—17.3m划为中—上更新统(中国科学院南沙综合科学考察队, 1992)。

本文利用南永1井岩芯详细的地质年代学、地层学、相学和岩石学等多学科的资料, 礁体地貌实测资料及其它资料, 分析研究海平面变化问题。

## 2 研究结果

### 2.1 永暑礁古海平面变化证据的分析

\* 中国科学院南沙综合科学考察队调查研究报告D-00042号。赵焕庭, 男, 出生于1937年3月, 研究员。

收稿日期: 1993年2月8日, 接受日期: 1995年6月19日。

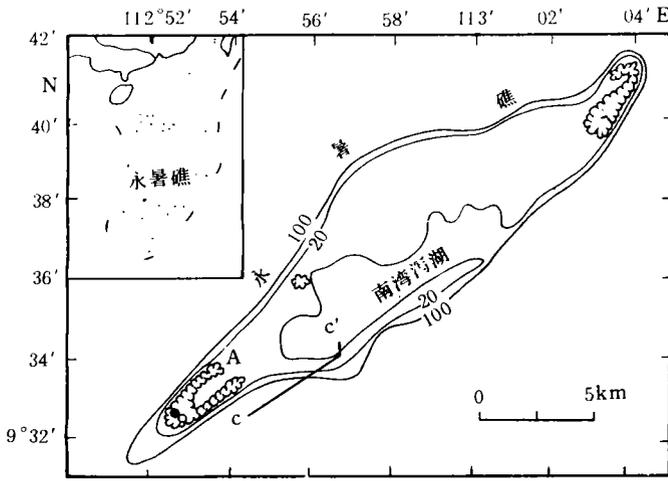


图1 永暑礁地形

Fig.1 Topographic map of Yongshu Reef

南永1井钻孔位置；○海洋观测站；c—c'为断面；A为侵蚀面。

**2.1.1 水下阶地** 整理航迹与测深记录，发现在永暑礁东南坡有6级水下阶地(图2)，其较浅的-140m，-50m和-25m阶地可与南海北部珠江口外陆架-127—-134m(陈欣树等，1990)，-50m和-20m(陈俊仁等，1983；1985)古海岸线相当。

**2.1.2 埋藏溶洞** 海面下降，会使先期形成的生物礁沉积层处于大气淡水环境之中，而发生一系列的溶解作用，潜流带内的碳酸盐岩中可能形成溶洞。海面上升，这些溶洞就成为埋藏溶洞。在南永1井井深130.3—132.3m处有1个2.0m高的溶洞，在井深133.5—142.0m处有1个高8.5m的溶洞(图3)，推测是同一溶洞的上、下两部分，它们成为永暑礁地区海平面曾有过上升复下降的证据。

**2.1.3 沉积旋回** 南永1井剖面可分为4个沉积旋回(图3)，由于连续沉积的泻湖盆相到外礁坪相组成一个沉积旋回，每个旋回反映了海平面上升期生物礁礁体正常发育的完整过程。第I旋回位于井深152.0—142.0m，形成于早更新世；第II沉积旋回位于井深130.3—89.8m，形成于早更新世晚期；第III沉积旋回位于井深89.8—17.3m，形成于中、晚更新世；第IV沉积旋回位于井深17.3—0m，形成于全新世。

**2.1.4 侵蚀面** 南永1井的4个沉积旋回被3个侵蚀面分隔：17.3m，89.9m和142.0m(图3)。这3个侵蚀面表示永暑礁曾3次出露成岛，暴露于大气环境中，遭受风化剥蚀、溶蚀和侵蚀作用。海平面上升，在侵蚀面上又一次沉积了新的沉积建造，侵蚀面也

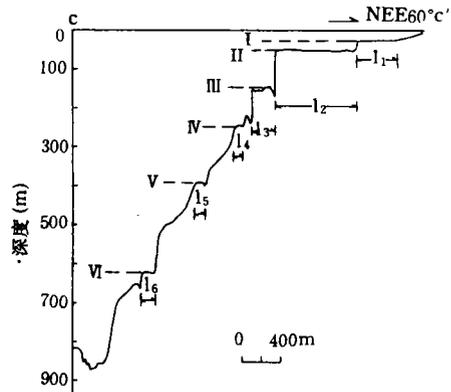


图2 永暑礁东南坡地形断面(断面位置见图1)

Fig.2 Relief section of southeast outer slope of Yongshu Reef

阶地宽度： $l_1 > 100m$ ； $l_2$  223m； $l_3$  62m； $l_4$  28m； $l_5$  30m； $l_6$  40m。

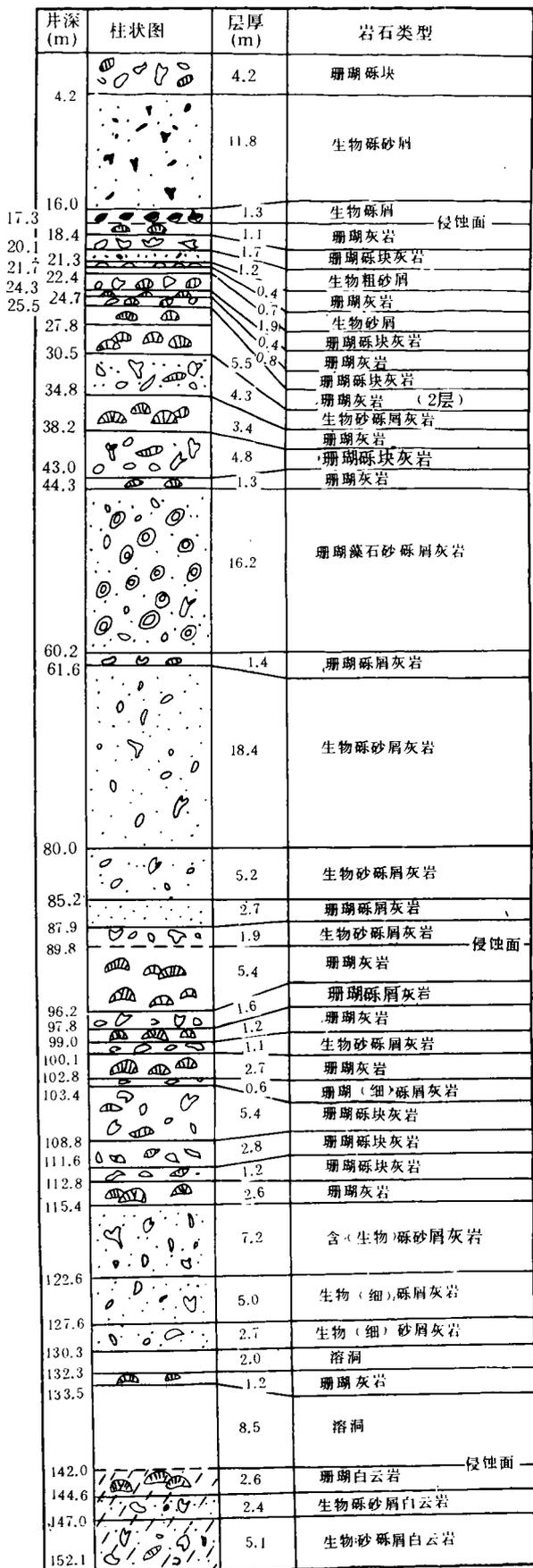


图3 南永1井柱状图

Fig.3 Columnar section of core  
Nanyong-1 in Yongshu Reef

就成为当时海平面开始下降所处位置的证据。

**2.1.5 成岩变化** 碳酸盐沉积物中矿物成分的变化和胶结类型都能反映其当时的环境。南永 1 井 152—142m 的礁灰岩先发生方解石化, 后又发生了白云岩化。方解石化是在淡水环境发生的, 白云岩化是在咸淡水混合带形成的, 说明该岩段沉积后发生两次环境变化, 130.3—89.9m 段礁灰岩溶孔中在方解石胶结层处又发育纤维状高镁方解石环边, 这是一种潮间带环境的胶结类型。高镁方解石胶结层处, 局部又充填方解石胶结物, 表明该段沉积后两次出露海面; 89.8—17.3m 段礁灰岩发生了方解石化, 形成了粒状方解石胶结和叶状方解石环边胶结物, 表明该段岩芯由于海面下降一度处于淡水环境。17.3m 以上岩芯为松散的碳酸盐堆积, 没有发生成岩变化, 表示该段沉积物一直处于海面之下而从未出露过。

## 2.2 永暑礁古海平面变化过程

**2.2.1 早更新世晚期海平面上升** 古地磁年龄距今约 970ka 时, 海平面从井深 -152m 以下某处起上升, 距今约 900ka 时海平面到达 -142.2m。升至 -142m 时发生停顿, 形成 -142m 的侵蚀面, 然后海面又上升, 距今 800ka 时到达 -130.3m。以后可能继续上升, 超过 -130.3m, 但何时到达某个高程则不可考证。这时段形成了第 I 沉积旋回。

**2.2.2 早更新世晚期海平面下降** 海平面上升高过 -130.3m 以后转下降, 下降至 -152m 以下某处, 使第 I 旋回沉积层暴露于大气环境, 发生方解石化, 在孔隙中结晶出粒状方解石胶结物。

**2.2.3 早更新世末—中更新世初海面上升** 估计距今 790ka 时, 海平面又已升到 -130m, 推算距今 782.2ka 时, 已升至 -122.6m 处; 进入中更新世初, 距今 730ka 时升至 -100m 处; 推算距今约 706.7ka 时已升至 -89.8m, 还继续上升至某高程。该时段形成了沉积旋回 II。

**2.2.4 中更新世中期海平面下降** 经历第二次海面上升之后又一次下降, 海面可能下降至 -142m, 本礁再次成为岛屿, 使得第 II 旋回沉积层处于渗流带, 溶解作用、粒状方解石胶结发生; 第 I 旋回沉积层其上部 142—130m 处于潜流带, 在溶孔中形成叶状方解石环边, 大溶洞可能形成于此时, 而下部 152—142m 段则处于混合水带, 生物灰岩白云岩化。高 8.5m 的大溶洞的底板与白云岩面合一, 为 -142m。

**2.2.5 中更新世末—晚更新世初海面上升** 中更新世中期以后, 海面上升, 推算海平面在距今 471ka 时已超过 -89.8m。海面上升过程中, 在第 II 旋回沉积层中的一些溶孔中形成了一种潮间带环境的胶结类型纤维状高镁方解石环边。-89.8m 的侵蚀面可能是本次海面上升过程中或上次海面下降过程中发生停顿的产物。距今 295ka 时海面升至 -50m, 距今 183ka 时海面上升到 -24.7m, 至晚更新世初距今 108ka 时升至 -17.8m。该时段形成了沉积旋回 III。

**2.2.6 晚更新世末海平面下降** 末次冰期时, 海面下降, 在南海北部珠江口外陆架上距今 13.7ka 降至 -131m, 在本礁区下降至 -140m 而形成的水下阶地, 永暑礁又一次成为岛屿, 使第 III 旋回沉积层处于渗流带, 发生溶解、粒状方解石胶结和叶状方解石环边胶结, 形成大溶洞(或者将第 II' 海面下降时形成的溶洞进一步发展定形)。

**2.2.7 全新世海平面上升** 冰后期海面从约  $-140\text{m}$  处上升, 估计距今约  $12-11\text{ka}$  时, 海面上升至  $-40-50\text{m}$  时曾一度停顿, 形成  $-50\text{m}$  的波切台, 估计在距今  $8\text{ka}$  时, 形成了  $-25\text{m}$  波切台和南永 1 井  $17.3\text{m}$  侵蚀面。距今  $7.3\text{ka}$  时, 海水升至井深  $-16.8\text{m}$ , 距今  $4.7\text{ka}$  时升至  $-12.1\text{m}$ , 继续上升达到目前的海面。该时段形成了沉积旋回 IV, 其沉积物的矿物成分未发生变化。这次海面上升的平均速度, 其前段从距今  $13700\text{a}$  至约  $7500\text{a}$  由  $-140-17.3\text{m}$  计, 为  $19.8\text{mm/a}$ , 相当于造礁珊瑚的最大生长率, 其后段从距今  $7350\text{a}$  至今由  $-16.8-0\text{m}$ , 为  $2.28\text{mm/a}$ 。

## 2.3 永暑礁古海平面变化的原因

**2.3.1 受全球冰期和间冰期古气候变化制约** 永暑礁的古海平面变化主要受世界古气候变化的影响, 间冰期气候暖热期, 海平面上升; 冰期气候寒冷期, 海平面下降。第四纪气候冷暖变化频繁, 多次交替冰期和间冰期。深海沉积物岩芯氧同位素研究的结果, 将第四纪划分出 30 多个冷暖相间的气候期。深海钻探 V28-239 岩芯的同位素和古气候研究表明, 大概在距今  $800\text{ka}$  内有 10 个冰期间冰期的旋回(同济大学海洋地质系, 1989)。南永 1 井碳酸盐全岩氧、碳同位素分析资料, 采用  $\delta^{18}\text{O}$  的  $-3 \times 10^{-3}$  值和  $\delta^{13}\text{C}$  的  $-2 \times 10^{-3}$  值作为冷暖期分界, 同全球性布容期古温度变化和相应的冰期、间冰期(Emilian, 1970)以及黄土高原古土壤、柴达木盆地碳元素、南永 1 井锰元素分析资料(中国科学院南沙综合科学考察队, 1992), 西沙群岛第四纪气候曲线(张明书等, 1989) 均可对比, 变化规律基本一致。

永暑礁长期处于热带气候条件下, 只是在世界冰期时偏凉, 即使在早更新世晚期, 距今  $900\text{ka}$  前的一段, 是本区最冷时期, 但造礁珊瑚仍可生长。

**2.3.2 新构造运动的影响** 距今  $970\text{ka}$  以来, 海平面呈波动式上升, 总的呈上升趋势, 反映了永暑礁地壳长期处于相对下沉状态, 只有在世界气候变冷、海面下降时它才暂时出露成陆。

加勒比海生物礁上有末次间冰期海拔  $10\text{m}$  左右的高海面(同济大学海洋地质系, 1989)。南海南部围区沿海高出海面  $1-5\text{m}$  的全新世中期古海面, 如加里曼丹岛北部的文莱和东马来西亚, 有 1 条高出现在海面  $1\text{m}$  的古滨线,  $^{14}\text{C}$  年龄为距今  $2170 \pm 150\text{a}$ ; 另 1 个高  $1.8\text{m}$  的阶地,  $^{14}\text{C}$  年龄为距今  $4500-5400\text{a}$ , 林邦河谷下游冲积平原内缘的古海滩含海相贝壳, 测年为公元前  $3400\text{a}$ , 这些古海滩比文莱湾现代海滩高  $1.82\text{m}$  (Wilford, 1967)。越南南部泰国湾的一些小岛分布有海拔  $1-2\text{m}$  和  $4-5\text{m}$  的海积阶地, 阶地面上堆积着珊瑚、贝壳, 仍然附着牡蛎壳的岩石, 有海蚀洞和海蚀刻痕, 并有海滩岩。嘎那角附近  $4-5\text{m}$  阶地已被定年为  $4500 \pm 350\text{a}$ ,  $1-2\text{m}$  阶地的考古学证据年龄为距今  $2300\text{a}$ ; 柬埔寨海岸上有高  $1.5-2\text{m}$  的全新世海成阶地; 泰国南部拿空是贪玛叻(洛坤)和宋卡之间有全新世高海面的证据(Eric et al., 1985)。马来半岛东岸高海面的证据是一些广泛分布的高搁的蚝床, 其中许多测年小于  $5000\text{a}$ 。新加坡的群岛发现平均海平面以上  $1.6\text{m}$  的各种侵蚀和残留特征, 被归因于近代海面变化(Eric et al., 1985)。根据马六甲海峡和泰国湾几个岩芯泥炭的  $^{14}\text{C}$  年龄资料, 距今  $8000-4000\text{a}$ , 海平面从相对现今的  $-13\text{m}$  上升到  $+5\text{m}$ , 随后接近现今海面(盖赫, 1979)。

永暑礁没有高出现代海面的原生礁, 且井深  $0-17.3\text{m}$  为距今至少  $7.3\text{ka}$  以来为连

续沉积,  $-17.3\text{m}$  的侵蚀面下  $-17.8\text{m}$  礁岩的年龄为距今  $108\text{ka}$ , 距今  $120\text{ka}$  末次间冰期的产物当在其下, 而其下井深  $24.7\text{m}$  为距今  $155 \pm 15\text{ka}$  的连续的礁灰岩沉积。由于钻井剖面和礁顶地质地貌均无末次间冰期和全新世中期这两次高海面的证据, 说明早更新世末以来, 本区地壳最新构造运动长期处于沉降运动过程中。同一时期低海面在南海各地的位置有所不同, 末次冰期鼎盛时的低海面, 珠江口位于  $-127 - -134\text{m}$ , 而永暑礁则在  $-140\text{m}$ , 反映了末次冰期后永暑礁比珠江口陆架下沉了  $6 - 13\text{m}$ , 如果与珠江口外陆架  $-131\text{m}$  低海面堆积比较,  $13.7\text{ka}$  以来, 永暑礁相对沉降率达  $0.65\text{mm/a}$ 。距今约  $8\text{ka}$  的古海面所形成的侵蚀面在西沙群岛位于  $-16.8\text{m}$  (张明书等, 1989), 而在永暑礁, 这个侵蚀面则位于  $-17.3\text{m}$ , 比西沙群岛下沉了  $0.5\text{m}$ , 平均相对沉降率为  $0.06\text{mm/a}$ 。

### 3 结语

永暑礁地区的海平面自早更新世晚期以来经历了4次上升和间隔的3次下降。海平面呈波动式上升趋势。本区海平面变化受全球气候变化制约和本地新构造运动的影响。

### 参 考 文 献

- 中国科学院南沙综合科学考察队, 1989, 南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告(一), 上卷, 科学出版社(北京), 116—274。
- 中国科学院南沙综合科学考察队, 1992, 南沙群岛永暑礁第四纪珊瑚礁地质, 海洋出版社(北京), 1—264。
- 同济大学海洋地质系, 1989, 古海洋学概论, 同济大学出版社(上海), 41—42, 92, 247。
- 陈欣树等, 1990, 热带海洋, 9(4): 73—77。
- 陈俊仁等, 1983, 地理学报, 38(2): 176—187。
- 陈俊仁等, 1985, 南海北部-20m古海岸线之研究, 中国第四纪海岸线学术讨论会论文集, 海洋出版社(北京), 230—240。
- 张明书等, 1989, 西沙生物礁碳酸盐沉积地质学研究, 科学出版社(北京), 101—104。
- 赵焕庭等, 1992, 第四纪研究, 4: 203—221。
- 盖赫, M. A., 1979, (黄少辉译, 1986), 马六甲海峡晚更新世和全新世的海平面变化, 科学普及出版社广州分社(广州), 301—304。
- Emilian, C., 1970, *Epsl.*, 37: 349—352。
- Eric, C. B. et al., 1985, *The World's Coastline*, Van Norstrand Reinhold Co. (New York), pp. 771—787, 789—795, 797—801, 803—811。
- Wilford, C. E., 1967, *J. Tropic. Geogr.*, 24: 50—56。

## THE CHANGE OF SEA-LEVEL OF YONGSHU REEF IN NANSHA ISLANDS SINCE 900 000 YEARS B.P.

Zhao Huanting, Sun Zongxun, Song Chaojing, Zhu Yuanzhi,  
Chen Xinshu, Sha Qingan<sup>†</sup>

(*South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301*)

<sup>†</sup> (*Geological Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

**Abstract** During May and June, 1990, a geological research core at Yongshu Reef flat named core Nanyong-1 (152.07m deep) was drilled. According to the detailed and multidisciplinary data of geochronology, stratigraphy, facies and petrology of core Nanyong-1, the changing curve of sea-level of Yongshu areas since 900 000 years B.P. was drewed. Analytical result showed that the sea-level had 4 rises and 3 falls intermediately since late stage of Early Pleistocene, and formed 4 sedimentary cycles and 3 sedimentary interrupted surfaces. Generally, the sea-level rose fluctuatedly.

**Key words** Nansha Islands Yongshu Reef Change of sea-level Palaeoclimate Neotectonic movement