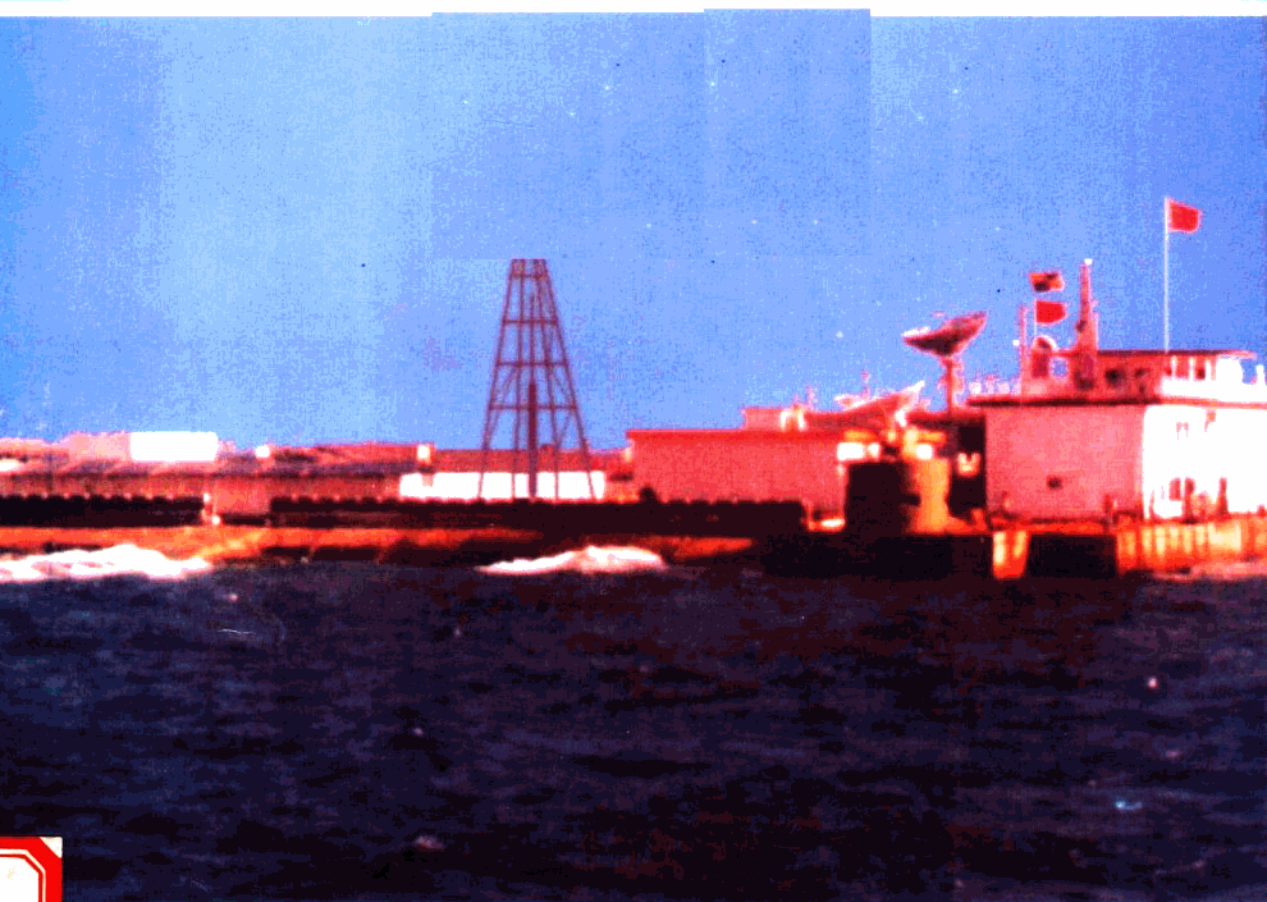


# 南沙群岛永暑礁新生代珊瑚礁地质

## Cenozoic Coral Reef Geology of Yongshu Reef, Nansha Islands

中国科学院南沙综合科学考察队

朱袁智 沙庆安 郭丽芬等 著



科学出版社

PDG

# 南沙群岛 永暑礁新生代珊瑚礁地质

CENOZOIC CORAL REEF GEOLOGY OF YONGSHU REEF IN NANSHA ISLANDS

中国科学院南沙综合科学考察队

朱袁智 沙庆安 郭丽芬等著

科学出版社

1997

(京)新登字 092 号

## 内 容 简 介

本书是“八五”国家专项——南沙群岛及其邻近海区综合科学考察系列成果专著之一。作者通过分析研究南沙群岛永暑礁南永 2 井的岩心资料,论述了南沙群岛生物礁岩岩石结构类型、生物组分和矿物成分;建立了南沙群岛珊瑚礁区第 1 个晚第三系与第四系地层柱;深入分析了沉积岩石学特征中的“红色沉积事件”、“黑色沉积事件”和白云岩问题;还探讨了元素地球化学特征以及礁体发育演变与海平面变化的关系等问题。全书内容丰富、资料翔实,可供地质、地理、沉积、海洋和石油勘探等领域的科技人员以及大专院校相关专业师生阅读。

### 南沙群岛永暑礁新生代珊瑚礁地质

CENOZOIC CORAL REEF GEOLOGY OF YONGSHU REEF IN NANSHA ISLANDS

中国科学院南沙综合科学考察队

朱袁智 沙庆安 郭丽芬等著

责任编辑 钟如松

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

(邮政编码 100717)

广东省出版技工学校南海市河东联营彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1997 年 6 月第 1 版 开本: 787×1092 1/16

1997 年 6 月第 1 次印刷 印张: 9 1/4

印数: 001—500 字数: 219000

ISBN 7-03-005896-8/P·977

定价: 20.00 元

## 前 言

1993年“南沙群岛及其邻近海区综合科学考察”项目领导批准“南沙群岛新生代生物礁地质特征与演化”专题研究组的申请,在南沙群岛永暑礁开展第2次钻探工程,进行生物礁地质研究。

此前,中国科学院南沙综合科学考察队于1990年在永暑礁打过1口全取心地质研究钻井——南永1井,总进尺152.1 m,所属地质时代为第四纪,最下部大致为早更新世晚期的岩层。通过研究南永1井岩心,对南沙群岛早更新世以来珊瑚礁成长发育及相关方面有了翔实系统的认识,并于1992年出版了《南沙群岛永暑礁第四纪珊瑚礁地质》专著。

为进一步更完整地认识南沙群岛第四纪珊瑚礁和深入探讨第三纪生物礁的特征,以全面、系统地了解晚第三纪以来礁相地质演化、古气候和古海面变化等,设计南永2井井深300—500 m,将穿透第四系进入第三系。1994年6—7月完成总进尺413.69 m全取心钻探和现场观察编录工作,接着的研究结果表明南永2井已钻进到中新统上部地层。

对南永2井岩心进行的分析研究包括:全孔岩心按岩石结构类型、生物组分和矿物成分进行分层描述;珊瑚属种鉴定与地层分析;有孔虫属种鉴定与地层分析;古地磁测试与研究; $^{14}\text{C}$ 测年;综合分析生物地层、古地磁、 $^{14}\text{C}$ 年龄和沉积特征,建立了南沙群岛第一个新生代生物礁地层柱;沉积岩石学方面重点研究了岩心中出现的“黑色沉积事件”、“红色沉积事件”和白云岩问题;生物组分;元素地球化学特征;永暑礁中新世晚期以来生物礁沉积相发育演变和海面变化关系。在上述几个方面的研究工作中,取得了一些新进展、新认识,但也还有不少问题需要进一步研究。

在此衷心感谢南沙综合科学考察项目总负责人陈清潮研究员的大力支持和指导,并向给予南永2井施工鼎力支持和提供各种方便条件的中国人民解放军南海舰队的各级领导,负责钻井设备和岩心的海上运输以及钻探队人员接送的南海舰队湛江基地官兵,给予钻井队员生活上无微不至的关心和工作中全力支持的中国解放军南沙巡防区永暑礁驻军官兵,承担并完成南永2井施工的广东金东基础工程公司和广东有色地质勘查局937队领导和钻探队员表示衷心的感谢!

本项专题研究成果由下列单位和人员共同努力完成:中国科学院南海海洋研究所朱袁智、郭丽芬、余克服、赵焕庭、汤贤赞、涂霞、王有强、蓝兴华、郑范、王保贵;中国科学院地质研究所沙庆安;中国科学院南京地质古生物研究所廖卫华、何炎。

此外,工作中还得到中国科学院南海海洋研究所宋朝景、郑德延同志的帮助,殷佩英清绘图件,深表感谢。

中国科学院自然与社会协调发展局组织了院内外知名科技及管理专家对本项研究成果进行了验收和鉴定,给予了很高评价,此记。

专题组长:朱袁智 副组长:沙庆安、郭丽芬

1996年7月10日

# 目 录

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 前 言                   | ( III ) |
| 第一章 绪 论               | ( 1 )   |
| 第一节 南海珊瑚礁调查简介         | ( 1 )   |
| 第二节 南永2井计划与实施         | ( 2 )   |
| 第三节 永暑礁自然地理概况         | ( 3 )   |
| 第二章 南永2井岩心分层描述        | ( 13 )  |
| 第一节 礁岩结构类型与岩石类型划分     | ( 13 )  |
| 第二节 岩心分层              | ( 16 )  |
| 第三章 地层柱的建立            | ( 23 )  |
| 第一节 造礁珊瑚的地层意义         | ( 23 )  |
| 第二节 有孔虫分析             | ( 26 )  |
| 第三节 古地磁学研究            | ( 30 )  |
| 第四节 地层综合分析            | ( 39 )  |
| 第四章 南永2井岩心的生物组分       | ( 43 )  |
| 第一节 造礁和附礁生物           | ( 43 )  |
| 第二节 造礁和附礁生物的垂向分布      | ( 44 )  |
| 第三节 生物组分的指相意义及相带划分    | ( 50 )  |
| 第五章 沉积岩石学             | ( 53 )  |
| 第一节 “黑色沉积事件”与“红色沉积事件” | ( 53 )  |
| 第二节 白云石化作用            | ( 63 )  |
| 第六章 元素地球化学            | ( 71 )  |
| 第一节 元素的分布             | ( 71 )  |
| 第二节 元素含量变化与古气候变迁      | ( 98 )  |
| 第三节 火山活动的影响           | ( 99 )  |
| 第四节 岩心元素地球化学层段划分      | ( 104 ) |
| 第五节 元素的组合特征           | ( 104 ) |
| 第七章 礁体演化与古环境分析        | ( 107 ) |
| 第一节 概述                | ( 107 ) |
| 第二节 礁体发育演化            | ( 110 ) |
| 第三节 永暑礁与周围珊瑚礁的比较      | ( 116 ) |
| 第八章 结束语               | ( 120 ) |
| 参考文献                  | ( 124 ) |
| Abstract              | ( 127 ) |
| 图版说明                  | ( 133 ) |
| 图版                    |         |

# Contents

|                                                                                |         |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Preface .....                                                                  | ( III ) |
| Chapter 1 Introduction .....                                                   | ( 1 )   |
| 1. Brief introduction to coral reef investigation in South China Sea .....     | ( 1 )   |
| 2. Drilling plan and implement of well Nanyong-2 .....                         | ( 2 )   |
| 3. General situation of physical geography in Yongshu Reef .....               | ( 3 )   |
| Chapter 2 Lithologic layering and description of well Nanyong-2 .....          | ( 13 )  |
| 1. Texture types of reef rock and classification of rock types .....           | ( 13 )  |
| 2. Lithologic layering .....                                                   | ( 16 )  |
| Chapter 3 Establishment of stratigraphic column .....                          | ( 23 )  |
| 1. Stratigraphic significance of reef-building corals .....                    | ( 23 )  |
| 2. Analysis on foraminifera .....                                              | ( 26 )  |
| 3. Study on palaeomagnetism .....                                              | ( 30 )  |
| 4. Synthetic analysis of stratigraphy .....                                    | ( 39 )  |
| Chapter 4 Variation of organism components .....                               | ( 43 )  |
| 1. Reef-building and reef-adhering organisms .....                             | ( 43 )  |
| 2. Vertical distribution of reef-building and reef-adhering organisms .....    | ( 44 )  |
| 3. Facies significance of organism composition and division of facies .....    | ( 50 )  |
| Chapter 5 Sedimentary petrology .....                                          | ( 53 )  |
| 1. "Black-colored sedimentary event" and "Red-colored sedimentary event" ..... | ( 53 )  |
| 2. Dolomitization .....                                                        | ( 63 )  |
| Chapter 6 Element geochemistry .....                                           | ( 71 )  |
| 1. Vertical distribution of elements .....                                     | ( 71 )  |
| 2. Variation of element content and change of palaeoclimate .....              | ( 98 )  |
| 3. Influence of volcanic activity .....                                        | ( 99 )  |
| 4. Division of element geochemical layers .....                                | ( 104 ) |
| 5. Characteristics of element association .....                                | ( 104 ) |
| Chapter 7 Evolution of reef and analysis of palaeo-environment .....           | ( 107 ) |
| 1. Briefs .....                                                                | ( 107 ) |
| 2. Development and evolution of reef .....                                     | ( 110 ) |
| 3. Comparison between Yongshu Reef and its neighbouring coral reefs .....      | ( 116 ) |
| Chapter 8 Concluding remarks .....                                             | ( 120 ) |
| References .....                                                               | ( 124 ) |
| Abstract .....                                                                 | ( 127 ) |
| Plate Captions .....                                                           | ( 133 ) |
| Plates                                                                         |         |

# 第一章 绪 论\*

## 第一节 南海珊瑚礁调查简介

生物礁中的珊瑚礁景观、珊瑚礁地貌、珊瑚礁成因探讨,早在19世纪已为探险家和地质学家所论述。本世纪50年代以来,在生物礁中发现了丰富的石油和天然气,引起石油地质学家高度重视,掀起了生物礁调研热潮,发表了许多著作。现今,科学家为预测人们赖以生存的地球的未来变化,寻找对策。珊瑚礁的发育受环境和海面控制,珊瑚礁中储存着丰富的古环境与古海洋信息,因而珊瑚礁研究又成为地质学家研究环境演化,预测未来的气候与海平面变化的一个重点。

南海地处热带,不仅周边海岸珊瑚岸礁发育,而且自古以来就是我国领土的南沙群岛、西沙群岛、中沙群岛和东沙群岛(除个别岛为火山岩岛外)均为珊瑚礁岛。我国台湾岛、澎湖列岛、雷州半岛、涠洲岛和海南岛海岸都有珊瑚岸礁分布。是我国研究珊瑚礁的良好基地。

我国政府在本世纪上半世纪就多次组织调查研究南海诸岛的珊瑚礁地貌、沉积、资源和造礁珊瑚生长率等,发表了一些论著,如:《粤东查勘西沙群岛小记》节录,1910;朱庭祐,1928;沈鹏飞,1930;马廷英,1936,1937;王本葵、高存礼,1947;穆恩之,1948;席连之,1947;李毓英,1948;郭令智,1948,等等。

本世纪下半世纪,我国许多地学科科研和教学单位以及地质队相继对华南海岸和南海诸岛珊瑚礁进行了多学科调查研究,撰写了许多论文。限于条件,只调查研究现代或全新世珊瑚礁,涉及更新世及其以前的则很少。中国科学院南海海洋研究所于1961年成立了珊瑚礁研究学科组,60年代调查了海南岛珊瑚礁,1973—1983年重点调查了西沙群岛、中沙群岛(含黄岩岛)珊瑚礁,1984年开始调查研究南沙群岛珊瑚礁,先后发表了一大批论文和专著。很多单位也调查研究海南岛和西沙群岛珊瑚礁,如中国科学院海洋研究所、地质研究所、南京地质古生物研究所、地球化学研究所、兰州地质研究所、同济大学海洋地质系、华南师范大学地理系、地质矿产部海洋地质研究所等,也发表了许多论文。他们论述了珊瑚礁地貌、沉积和沉积相带划分、成岩作用、元素地球化学、礁坪或灰沙(砾)岛形成时代、礁体发育演化与海平面变化、造礁珊瑚生长率与表层海水温度关系等。

有关更新世及其以前的南海诸岛珊瑚礁区钻探与研究的有:①广东省海南岛地质队于1968年在西沙群岛永兴岛和东岛打了8口水文地质钻孔,最大孔深为111.8 m,成果未刊;②石油工业部南海石油勘探筹备处于1973—1974年在西沙群岛永兴岛打了一口深1 384.68 m钻孔,揭露礁体厚度为1 251 m,基底为前寒武纪变质岩系(曾鼎乾,1977)或

---

\* 朱袁智、沙庆安、赵焕庭执笔。

古生代变质岩系(孙嘉谋,1987),该井称“西永1井”,据微体古生物分析鉴定结果,底部生物礁沉积时代为中新世(吴作基、余金凤,1982),划分了该井生物地层(王崇友等,1979,秦国权,1987),论述了岩石学(沙庆安,1987);③地质矿产部海洋地质研究所于1983年11月至1984年10月在西沙群岛共打了3口井,即琛航岛西琛1井,井深802.17 m,永兴岛西永2井,井深为600.02 m,石岛西石1井,井深200.63 m。发表了一些文章和专著(张明书等,1989)。主要依据岩心的有孔虫、碳氧同位素、 $MgO$ 、 $CaO$ 、 $SrO$ 、 $P_2O_5$ 和有机质分析、铀系法和ESR测年等资料划分地层,还讨论了古环境。菲律宾当局为寻找石油在我国礼乐滩沉积盆地打了8口井,其中桑帕吉塔1井深度为4 125 m,钻进到下白垩系地层,揭示从晚渐新世至今以碳酸盐沉积为特征,但未论述新第三纪和第四纪生物礁地质特征。

中国科学院南沙综合科学考察队于1990年5月17日至6月25日在南沙群岛永暑礁打了第一口研究第四纪珊瑚礁的钻孔,编号为南永1井,井深152.07 m,全取心。研究结果证明,该井已钻进到下更新统上部。对岩心进行多学科系统分析、鉴定、测试和研究,撰写了《南沙群岛永暑礁第四纪珊瑚礁地质》专著(中国科学院南沙综合科学考察队,1992)和数篇论文(赵焕庭等,1992;郭丽芬等,1993;朱袁智等,1994;于津生等,1994;汤贤赞等,1995),著述内容包括:岩心的详细分层描述,多方法测定岩心年龄和综合分析建立南沙地区第一个第四纪珊瑚礁地层柱,生物组分,沉积岩石学、元素地球化学、同位素地球化学、岩石物理力学性质,沉积声学 and 工程地质学、沉积相和沉积旋回,永暑礁发育演变、古气候和古海平面变化。南永1井是研究南海第四纪珊瑚礁全面和系统的钻孔。

## 第二节 南永2井计划与实施

在南永1井研究的基础上,为完整地认识南沙群岛第四纪珊瑚礁的全貌和深入地了解南沙群岛第三纪生物礁的发育演化特点,“八五南沙群岛及其邻近海区综合科学考察”项目中的“南沙群岛岛礁地质与自然地理特征”课题中的“南沙群岛新生代生物礁地质特征与演化”专题(编号85-927-01-02)申请在南沙群岛珊瑚礁上打一口井深300—500m的全取心生物礁研究井,得到课题负责人积极支持和项目主持人批准。在实施过程中得到海军南海舰队大力协助,计划得以实现。

由于我国海军在南沙群岛驻守的人工岛,只有永暑礁可解决钻井队员食宿生活和可供钻井场地,故我们在南沙群岛打的第二口井,仍在永暑礁,称南永2井。

钻井施工日程:1994年5月29日全体队员及钻井设备全部到达湛江,6月1日钻井设备装船,6月2日全体队员上船,6月3日起航,6月6日到达永暑礁,6月7日—6月9日安装钻井设备和钻塔,6月10日开钻,7月22日上午终孔,7月22日下午—7月25日拆卸钻塔和钻机,7月26日—8月5日候船,8月6日岩心和钻井设备装船,8月7日全体队员上船并返航,8月10日抵湛江海军码头,岩心立即装车运回广州中国科学院南海海洋研究所。8月11日钻井设备卸船装车,设备及广东有色地质勘查局937队队员全部回部队。

岛礁课题计划南永2井深度为300—500m,如上所述,目的是穿透第四系和探讨上第三系生物礁特征。实际完成进尺413.69m,研究结果表明,已穿透第四系和上新统,进入中新统上部(或上中新统),已达到专题的研究目的。但未达到500m的最高指标。原因是井

深265m以下的岩层,多为生物碎屑岩,胶结差、易碎,钻进过程中经常发生井壁塌落、掉块、导致卡钻,另外,钻井队带去的套管不多,下至井深148.6m以后,无套管可下,又远离大陆,交通不便,无法补充,钻进到413.69m时,井底沉砂厚达10多米,捞砂时就卡钻,不能继续钻进,因而终孔。

南永2井与南永1井位于同一礁坪,相距100 m,而南永2井近海,距礁缘100 m。从井深140 m以上的宏观分层描述看,两井岩石类型和大生物组分大同小异,但沉积相不尽相同,如礁坪相前者比后者发育,潟湖相则后者比前者发育。考虑到时间和经费紧张,又有南永1井研究成果可供参考,决定“南永2井”岩心的实验分析测试和显微镜鉴定做井深135 m以下的样品,井深135 m以上暂不取样做生物组分、有孔虫和岩石薄片鉴定、化学元素和矿物X射线衍射分析。占地磁测量从井深90 m至263 m。因90 m以上和263 m以下岩心破碎,90 m以上引用南永1井占地磁资料。取样密度,除“红色沉积”和“黑色沉积”加密外,基本按1 m间距取1个样。

专题研究成果报告于1995年12月底完成。1996年1月5日中国科学院组织专家组对成果报告书进行了验收评议,并写下了验收结论;3月8日,中国科学院又组织专家组对成果报告书进行了鉴定,鉴定认为该专著取得如下主要成绩。

(1)成功地钻探了南永2井,获得了413.69 m岩心,该钻孔揭露的生物礁岩(南沙群岛新第三纪与第四纪造礁生物)均以造礁珊瑚为主,即整体是珊瑚礁。

(2)应用造礁珊瑚和有孔虫的生物地层划分法、占地磁极性事件定年法和 $^{14}\text{C}$ 测年结果,综合分析建立了南沙群岛我国第一个上第三系与第四系的珊瑚礁地层柱。

(3)在沉积岩石学上,根据地层柱的岩性特征,并研究了中新统上部到下更新统下部礁灰岩受混合水引起的白云石化作用。提出了“黑色沉积事件”与“红色沉积事件”的特征及其环境意义的解释。此种极其特殊的但不影响珊瑚礁发育的突发性事件乃为附近古火山喷发与古地震活动的记录。

(4)元素地球化学的垂直分带与古气候、各种环境因素的关系。

这些研究成果可供研究古代生物礁沉积环境、划分沉积相带,指导寻找礁相油气田作参考;也为南沙群岛基本建设、资源开发利用提供了必要的地质资料。若能加强南永1井与2井的对比,此专题研究则更为完美。

这些成果反映了研究工作有不少属于新的开拓性的,有许多新的发现,它是迄今南沙群岛新生代生物礁地质与环境研究论述最详尽、内容最丰富的研究成果。

本专著是在专题研究成果报告书的基础上进一步修改补充整理而成的。

### 第三节 永暑礁自然地理概况

#### 一、地理位置和地形

永暑礁位于 $9^{\circ}32' - 9^{\circ}42'\text{N}$ ,  $112^{\circ}52' - 113^{\circ}04'\text{E}$ ,是南沙群岛西南群西南组的组成部分之一。它处于香港-新加坡国际航线的东南侧(图1.1),北北东至香港1400 km,北至

西沙群岛永兴岛800 km, 北北西至湛江1 350 km, 西北至越南海军基地金兰湾470 km。在南沙群岛内, 东至太平岛180 km, 西南至南威岛140 km, 南至曾母暗沙600 km。

永暑礁是一座从水深2 000 m 的海底拔起的珊瑚礁, 礁顶长轴呈 NEE-SWW 向, 长约 25 km, 短轴 NW-SE 向, 长约6 km, 面积110 km<sup>2</sup>(图1. 2, 表1. 1)。它高潮被淹没, 低潮时断续出露几处礁坪。礁顶中部为一开敞式潟湖, 称南湾, 面积约105 km<sup>2</sup>, 水深达25—30 m。

表1. 1 永暑礁地貌特征值

Tab. 1. 1 Geomorphic proper value of Yongshu Reef

| 礁顶面积 (km <sup>2</sup> ) | 礁坪面积 (km <sup>2</sup> ) | 潟湖面积 (km <sup>2</sup> ) | 潟湖水深 (m) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|
| 110. 4                  | 4. 78                   | 105. 62                 | 25—30    |

永暑礁人工岛位于礁顶的西南部, 离西南端数百米。它是1988年建成的。人工岛呈长方形, 南北长, 东西略窄, 面积近1×10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>。地面高出高潮面以上。岛东面为一人工开挖的港池及进港航道, 可靠泊千吨级舰船, 其它三面为礁坪。从人工岛向南筑有一条伸至礁缘的防波堤, 长约 80 m, 以挡西南向波浪。我国国家海洋局在岛上设置永暑礁海洋气象观测站, 定时观测记录气象水文资料。

二、永暑礁环礁地貌与现代沉积

永暑礁系一座环礁, 呈橄榄核形, 东北部和西南部两端窄小, 中间略为宽大。周围系低潮干出、或适淹、或仍淹没的礁坪, 中间系潟湖, 潟湖通道口多, 是半开放型环礁(图1. 2)。

永暑礁环礁周围的礁坪的高度不一, 不少部分水深1—5m, 低潮时未能全部出露, 外观是不连续的。低潮时干出有3部分, 宽100—800 m, 以东北部和西南部的礁坪最大, 西北部那块最小。西南部礁坪既大又较高, 现人工岛位置处于原高潮时水深1—2 m, 有一块高潮时仍高出水面0. 6 m 的礁石。根据1978年5月11日美国陆地卫星 MSS4波段片进行计算机图像处理后的图像可见, 西南部礁坪长约4. 5 km, 宽约1. 3 km, 低潮全部出露; 东北部礁坪, 涨潮水深1—3 m 不等, 退潮时出露。在图像上, 永暑礁呈现为一座完整的环礁, 水深5 m 以浅礁顶可标出6块, 其余部分礁顶水深10 m 以浅(刘盛芳等, 1991)。中部潟湖的周边极不规则, 由于周围礁坪出露的连续性差, 许多段落处于水下, 多方通海, 其东南部向大海敞开。

从永暑礁西半部地形图(图1. 2)及 NE-SW、NW-SW 两条地形断面图(图1. 3, 1. 4)可见, 礁体向海坡陡, 尤以东南坡和西北坡为甚, 坡比达1:1, 以45°坡角直插入深海。现场观察到, 礁体向海坡20 m 以浅的坡面上, 沟槽发育, 沟宽1—3 m, 深0. 5—1 m; 或呈免唇状割入礁坪, 地势崎岖。西南端的礁体向海坡, 20 m 以上的坡面同西北坡与东南坡差不多, 20—100 m 的坡段则变缓, 存在18—20, 64—66, 83—85, 96—98 m 等数级水下阶地(图1. 3)。

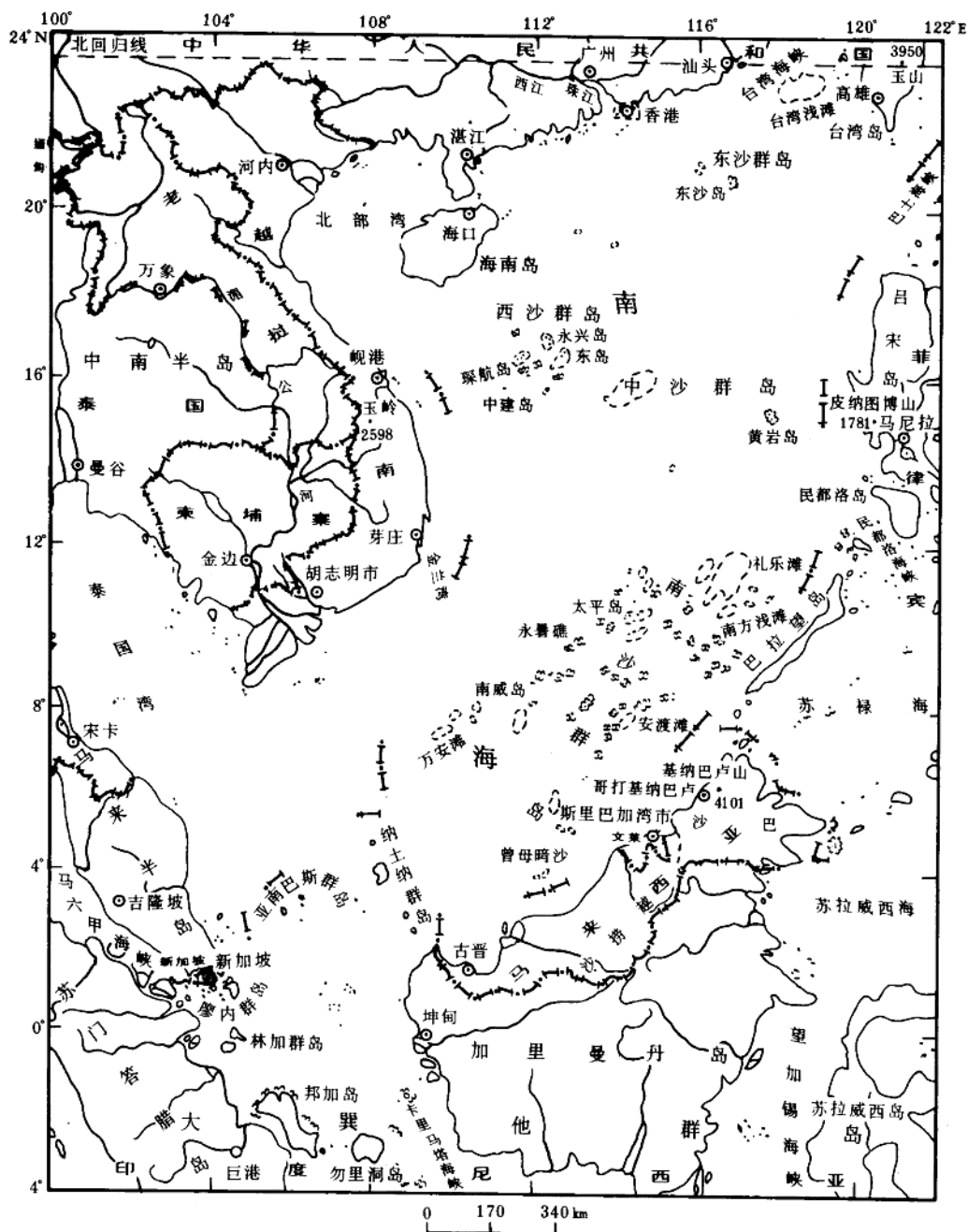


图1.1 永暑礁地理位置

Fig. 1.1 Geographic location of Yongshu Reef

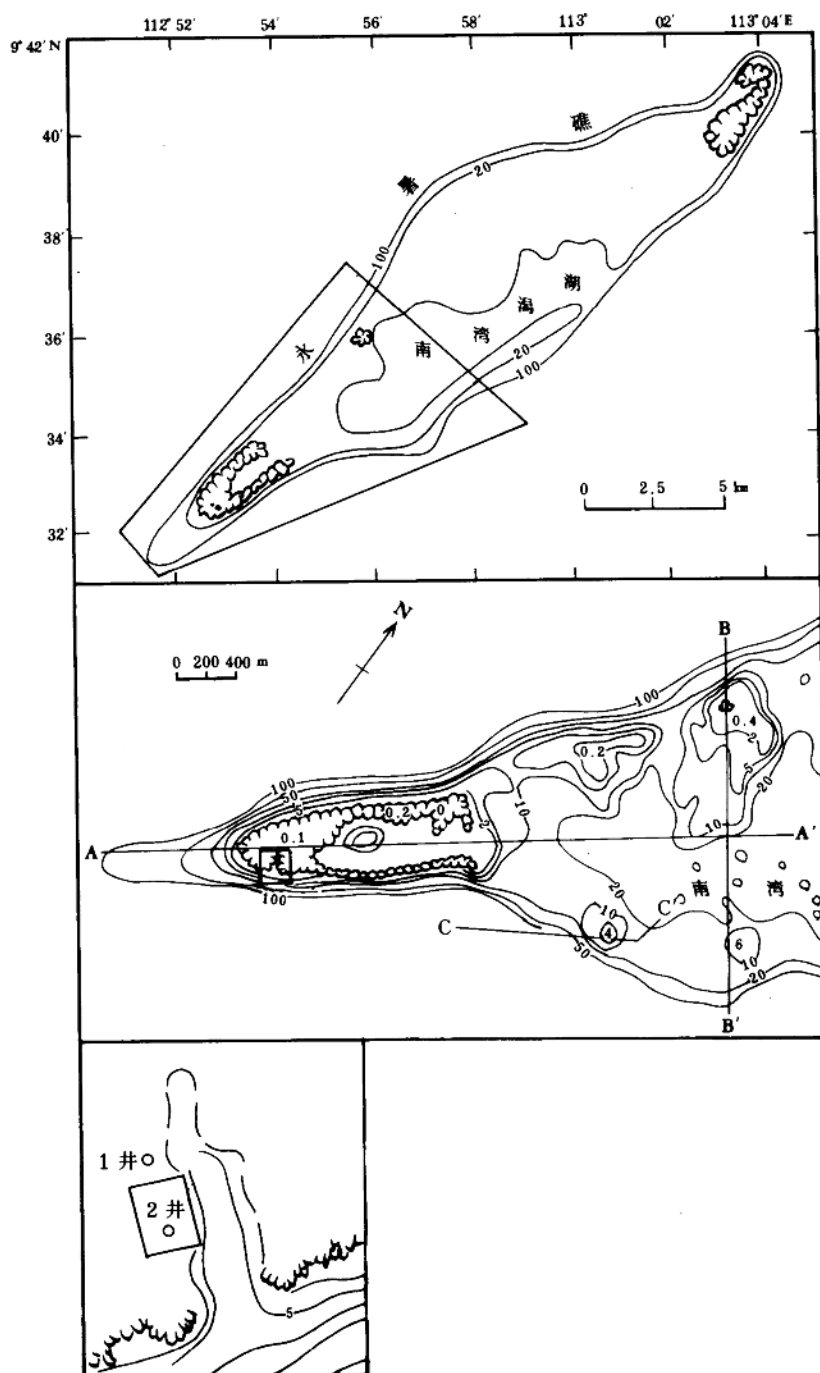


图1.2 南永2井位置

Fig. 1.2 Location of well Nanyong-2

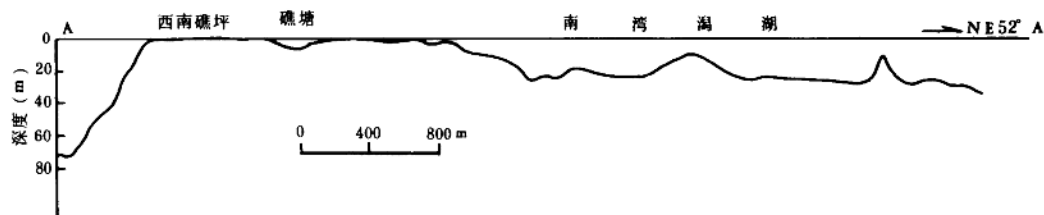


图1.3 永暑礁西半部地形纵断面

Fig. 1.3 Relief vertical section in western Yongshu Reef

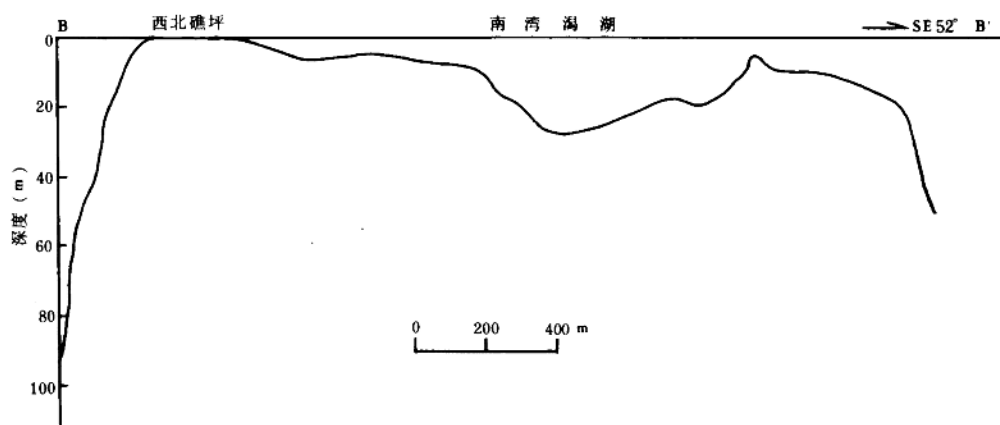


图1.4 永暑礁西半部地形横断面

Fig. 1.4 Relief cross section in western Yongshu Reef

表1.2 永暑礁东南礁前水下阶地

Tab 1.2 Underwater terraces of seaward in southeast Yongshu Reef

| 阶地序号 | 水深 (m) | 宽度 (m) | 特征          | 阶缘坡度 |
|------|--------|--------|-------------|------|
| I    | 25     | >100   | 较平坦宽大       | >80° |
| II   | 50     | 223    | 平整宽大        | >80° |
| III  | 140    | 62     | 切割起伏        | 30°  |
| IV   | 250    | 28     | 和缓起伏, 内缘起伏大 | 18°  |
| V    | 380    | 28     | 较平整, 内缘切割   | 19°  |
| VI   | 620    | 40     | 缓起伏         |      |

\* 宋朝景, 1990。

1990年5月17日“实验3”轮自永暑礁西南礁前锚地转移去南湾潟湖锚地。根据船上定位仪(美国造 MX1102型)的航迹记录和测深仪(上海无线电二十二厂造 2202型)的水深记录, 并经计算机处理绘成地形断面图, 择取东南礁前长2.2 km 的断面

(图1.5)，该断面线方位与地形走向斜交，经校正得出各级阶地宽度（表1.2）。各级阶地的宽度不一，起伏程度也不一样，其中Ⅰ和Ⅱ级以其较宽大、平整而最明显<sup>①</sup>。

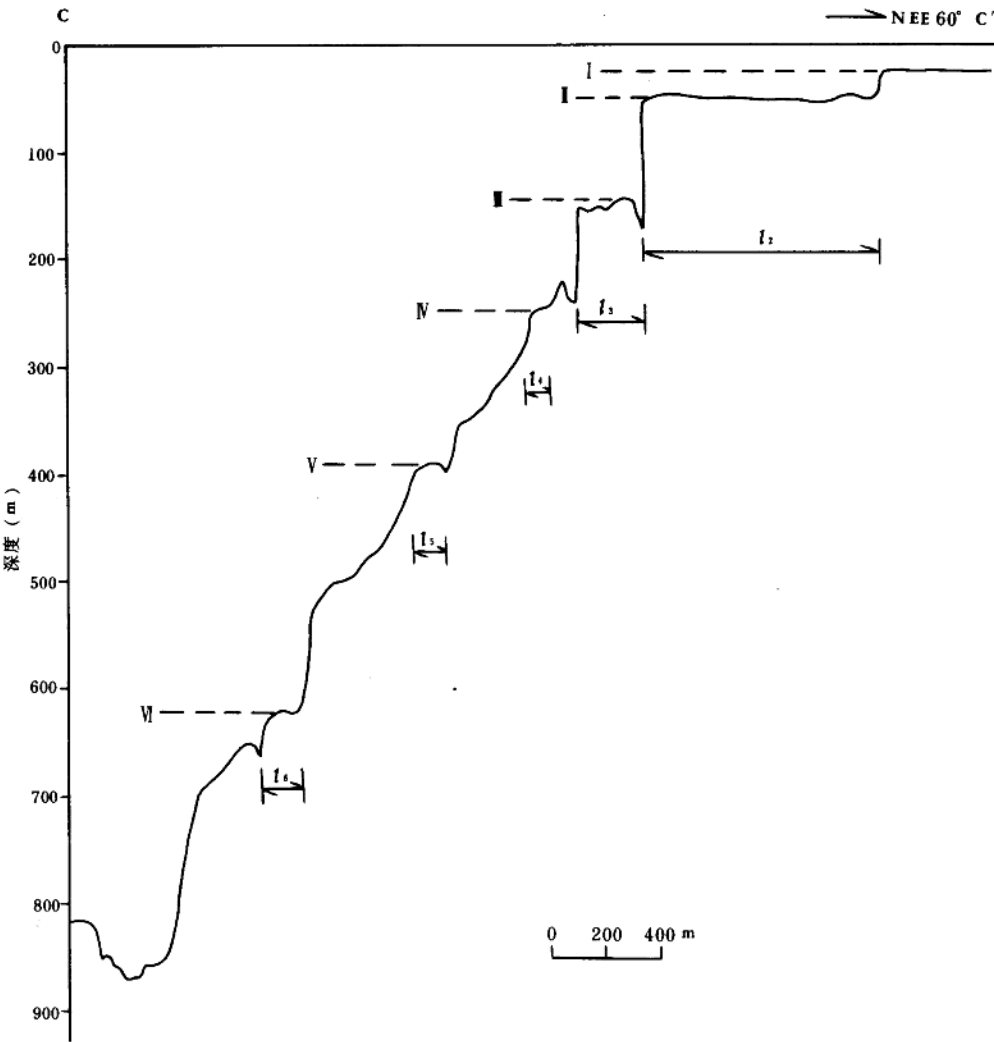


图1.5 永暑礁东南礁前向海坡地形断面

据宋朝景，1990

Fig. 1.5 Relief cross section of seaward in southeast Yongshu Reef

① 宋朝景等，1990，南沙群岛的锚地、水道考察。

现场观察到永暑礁表层沉积物具有分带性, 肉眼透过清澈的海水可见, 向海坡的上部20 m 以浅, 坡陡, 珊瑚和藻类繁生, 只有在连接外礁坪槽沟口才见到一些“露头”, 底部为粗大的珊瑚和贝壳质碎屑。礁坪上的物质混杂, 有各种珊瑚、软体动物和藻类等生物遗骸, 碎屑有巨砾至细砂各种粒级。粒级一般由外礁坪向内礁坪变细。礁缘上散布着一些巨大的礁块, 地势也比较高亢, 活珊瑚很少。内礁坪比较低平, 洼坑地方长有鹿角珊瑚等, 还能见到斑状分布薄层(厚数厘米)的松散的白色碎屑。潟湖陡坡及点礁上长满珊瑚, 潟湖底出露的砂屑沉积物的面积较大, 松散沉积物较多, 也较厚, 粒径较细, 为砂和粉砂。

永暑礁表层沉积物的组分, 挑选2—1 mm 和1—0.5 mm 粒级分析的结果, 生物组分以造礁珊瑚为主, 软体动物和珊瑚藻为次, 矿物成分以文石质生物为主, 镁方解石质生物为次(表1.3)。但不同的地貌单元有不同的沉积物, 生物组分与矿物成分的含量仍有显著的不同。如向海坡上底栖有孔虫占重要地位, 还有方解石质生物占一定比例(朱袁智等, 1991)。

表1.3 永暑礁表层沉积物生物组分与矿物成分

Tab 1.3 Organic composition and mineral content of surface sediments of Yongshu Reef

| 地貌          | 粒径<br>(mm) | 文石质生物(%) |       |      |       |            | 镁方解石质生物(%) |                 |       |            | 方解石质生物    |            | 其它   |
|-------------|------------|----------|-------|------|-------|------------|------------|-----------------|-------|------------|-----------|------------|------|
|             |            | 造礁珊瑚     | 软体动物  | 仙人掌藻 | 合计    | 矿物<br>(全样) | 珊瑚藻        | 底栖<br>有孔虫       | 合计    | 矿物<br>(全样) | 浮游<br>有孔虫 | 矿物<br>(全样) |      |
| 向海坡<br>45 m | 2—1        | 9.02     | 9.39  | 1.96 | 20.37 |            | 13.6       | 60.11           | 73.17 |            |           | 26.89      | 6.46 |
|             | 1—0.5      | 34.28    | 14.68 | 2.68 | 51.64 | 25.06      | 10.94      | 29.79<br>2.25** | 42.98 | 48.06      |           |            |      |
| 礁坪          | 2—1        | 32.52    | 12.48 | 1.34 | 46.34 | 54.46      | 51.12      | 1.68            | 52.80 | 43.58      |           |            | 0.86 |
| 潟湖          | 2—1        | 68.58    | 9.42  | 1.66 | 79.66 | 55.01      | 16.63      |                 | 16.63 | 44.99      |           |            | 3.71 |

\* 朱袁智、聂宝符, 1990。

\*\* 苔藓虫。

### 三、永暑礁的自然区划归属

永暑礁的自然区划属于中国东部季风区(一级区域)、华南热带湿润地区(二级区域)、南海热带海洋和南海诸岛热带岛屿常绿林自然区(三级区域)、南沙群岛北部热带深海和灰沙岛常绿林自然亚区(四级区域)、南沙群岛北部灰沙岛常绿林自然小区(五级区域)。

从区域资料分析, 永暑礁的气候属于热带海洋季风气候, 太阳辐射强, 全年高温多雨, 盛行季风, 有时受台风和热带低压的影响, 干湿季较明显。永暑礁海洋气象观测站落成后, 从1988年10月正式开始观测, 记录气象、水文诸因素, 每月均作月报, 但至今未正式刊出。有人统计永暑礁全年日照数2 304 h, 日照率52.6%, 推算全年总辐射为5 734 MJ/m<sup>2</sup>①。永暑礁年平均气温为27.9℃, 最热月5月份为29.6℃, 最冷月1月份为26.7℃, 极

① 李润珊, 南沙群岛海区的风能、太阳能资源及其利用, 1992。

端最高气温为33.9℃,极端最低气温为18.5℃,相对湿度平均值为81.08%,极端最低值为51.0%;年平均雨量为1998.4mm,平均降雨日占全年总天数为45.6%<sup>①</sup>。永暑礁观测站月平均表层水温,1月份最低,为26.6℃,5月份最高,为30.2℃,年变化幅度3.6℃<sup>②</sup>。

#### 四、永暑礁地质

根据南沙群岛区域地质地貌资料,南沙地块在新生代开始时脱离华南大陆,分阶段向南南东漂移至此。永暑礁在地貌上位于南沙台阶西南部,其西北面系南海中央深海盆连续转变为西南向的海谷,水深2500—3000m,东面为北北东向华阳海谷,水深为2000—3000m。它在构造地质区划上位于南沙断块区西南部的次级构造单元尹庆断隆的北端,其西北边以南沙北缘岩石圈断裂同南海中央海盆分野,其东北边和东面为南沙台阶内NW向和N-S向基底断裂,同南沙断块内其他次级构造单元西北部的太平断隆和东南部的南华断块盆地分开。据现有地质图,附近海区分布元古界;尹庆断隆的四周分布有新生代盆地,北面中业盆地(位于与中央深海盆连接的西南海谷中),西北面为中越盆地(在西南海谷的西北侧),西面为万安西盆地(湄公河口外大陆坡上部),南面为曾母盆地,东南面为南华盆地(南华断块盆地),东北面为郑和盆地(太平断隆的东南部)(金庆焕等,1989)。推测永暑礁的基座可能类似西沙群岛的基座和南海北部大陆架的基底,为古生代甚至元古界变质岩和中生代岩浆岩。从白垩纪晚期至渐新世早期,沉积了滨海相碎屑岩,至后来由于区域性隆起发生沉积间断,渐新世晚期以后区域性下降,珊瑚丛生和珊瑚礁发育,沉积了渐新世至第四纪的礁灰岩;在构造下降过程中叠加第四纪冰期与间冰期的古气候变化引起的古海面振荡,使礁灰岩中有多次沉积间断。

永暑礁的南永1井是我国在我国领土最南端的第一口地质勘探钻井。取得了南永1井丰富的地质鉴定、分析、测试资料,并经系统分析和综合研究,对永暑礁第四纪珊瑚礁体地质开始有了比较深入的认识,填补了地区的空白。所取得的实际材料和获得的认识具有一定的理论与实际意义。

在永暑礁西南部距礁缘约200m的内礁坪上的南永1井钻孔,进尺152.07m,全采心,根据其最底部(152—142m)的10m已出现相当丰富的造礁珊瑚,共13属,并有第四纪才出现的珊瑚2个属 *Lobophyllia* 和 *Merulina*, 古地磁定年和氧同位素编年都在1Ma以内,ESR和铀系测年也不超过1.5Ma,所以该井剖面属第四系。根据<sup>14</sup>C、氨基酸、铀系测年和古地磁定年,测定了岩心97万年以来多个年龄数据,又结合岩性与成岩变化、沉积间断面的分析,及区域地质资料对比,确定该剖面自上而下分为:0—17.3m,全新统;17.3—89.8m,上一中更新统;89.8—152.07m(未到底),下更新统。建立了我国南沙群岛第一个第四纪珊瑚礁地层年表,这在国内尚属首次。南永1井岩心反映了永暑礁自早更新世晚期以来的地质历史。

① 据林锡贵资料。

② 据徐锡桢等资料。

岩心的生物组分鉴定表明,早更新世晚期以来永暑礁的造礁生物主要是造礁珊瑚类。六射珊瑚的造礁型珊瑚部分,即滨珊瑚、蜂房珊瑚科的若干属和其它一些大型珊瑚(如叶状珊瑚、合叶珊瑚等等),是造礁骨架生物。一些枝状、片状或其它脆性的珊瑚群体,小型动物壳体和藻类,为常见的堆积、充填生物,尤以鹿角珊瑚属种类多,数量大,产生碎屑也最多。八射珊瑚中的笙珊瑚和苍珊瑚、水螅纲的多孔螅,绿藻门的仙掌藻,它们也是碳酸盐物质的主要提供者。另一类造礁生物是红藻门的珊瑚藻科各属,它们既是碳酸盐物质的重要提供者,又是碳酸盐松散颗粒的粘结者。附礁生物中最常见、种类最多、门类最大的软体动物为各种腹足类和瓣鳃类(主要为砗磲、牡蛎、蛤、螺、贝类等),还有种类多、数量大、但个体小的原生动物有孔虫(绝大部分是底栖型,其中大的底栖有孔虫又占绝对优势)、柳珊瑚(竹节柳珊瑚)和软珊瑚、苔藓虫和介形虫等等,也可提供碳酸盐物质。不少生物还具指相意义。在逐层研究了南永1井岩心的生物组分,并探讨其组合变化,反映了礁坪相(外礁坪和内礁坪)及潟湖相(潟湖坡和潟湖盆)在垂直方向上相带的变化。这方面的工作在国内新生代生物礁岩心研究中也是前所未详的。

对南永1井岩心分层取样作化学元素的常量分析和等离子体发射光谱分析,分别按受碳酸盐矿物控制的元素、成岩作用变化明显的元素、主要受碎屑矿物控制的元素,论述各种元素的垂向分布规模,讨论了成岩过程中由于环境的变化、组成生物骨壳的矿物发生了改变等而引起的元素变化。探讨了南永1井元素的相带和4次围区火山活动的影响,以及气候冷暖的影响,并根据元素地球化学特征进行分层,分出了3个微量元素聚集带,并划分出反映成岩变化的元素组合,受火山活动影响的元素组合,反映沉积间断面、侵蚀面等较特殊环境的组合,以及具有环境变化的元素组合。南永1井锰元素阶段与我国西北地区某地的有机碳阶段、黄土的古气候旋回以及深海钻孔的氧同位素阶段是一致的,锰含量变化反映了古气候变迁。

详细研究了岩心的沉积岩石学,归纳了礁岩的结构类型,作出礁岩的分类:珊瑚灰岩、珊瑚砾块灰岩、生物砂砾块灰岩、珊瑚砾屑灰岩、生物砂砾屑灰岩、珊瑚藻石砂砾屑灰岩、生物砾砂屑灰岩、含砾砂屑灰岩和生物砂屑灰岩,确定了各类型礁岩及其组合的环境意义。通过显微镜鉴定、染色试验、电镜扫描和X射线衍射分析,确定全部岩心由碳酸盐矿物组成。根据岩心的矿物成分变化,自上而下分为:0—17.3m为高镁方解石文石层,17.3—133.52m为方解石层,141.97—152.1m为白云石层。细致深入地研究了礁灰岩的成岩作用:文石的转化作用和方解石的交代作用(高镁方解石向低镁方解石的变化)、胶结作用、溶解-充填作用、白云石化作用、溶蚀作用,礁灰岩中的孔隙类型和孔隙度。侧重讨论了礁灰岩中比较大的成岩事件,划分出4个成岩作用层段。推断中更新世中期海面下降至井深142m时的停顿,永暑礁暴露于大气中,接受降水,部分转为地下水,在渗流带溶蚀成许多孔洞,在潜流带溶蚀成喀斯特洞,在井深142—152m处的咸淡水的“混合水带”导致白云石化。对第四纪礁岩全面系统的岩石学研究在国内尚属首次。

岩心分砂土和礁灰岩两类,对砂土样品作了粒度成分、含水量、比重、容重、孔隙度和相对密度等项物理性质测定,以及休止角力学性质测试,对礁灰岩的容重、含水量和点荷载等物理力学试验,并求出各项力学指标。这是我国生物礁岩土物理力学首批完整的、全新的资料。同时还专门作了声学物理测试和沉积声学物理特征讨论,对工程地质条