

张明书 何起祥 业治铮 韩春瑞 著
李 浩 吴建政 鞠连军

西沙生物礁碳酸盐 沉积地质学研究

科学出版社



200357032

38796



00287425

西沙生物礁碳酸盐 沉积地质学研究

张明书 何起祥 业治铮 韩春瑞 著
李浩 吴建政 鞠连军



科学出版社

1989

内 容 简 介

本书以中新世至晚更新世的生物礁岩石地层剖面为基础,结合碳、氧同位素和地球化学分析资料,从三维格局阐明了西沙生物礁自中新世初形成以来的沉积地质学问题。书中着重分析了连续的与不连续的、均变的与事件性的沉积作用,总结了生物礁的地方性沉积模式,讨论了西沙生物礁区若干第四纪地质问题。书中还提出了新的生物礁分类方案,并用比较沉积学观点探讨了古礁的判别问题。作者提出的许多观点和结论,有一定的独立见解。

本书可供第四纪地质、石油地质和沉积学等专业的师生参考,更是从事生物礁油气藏探查、研究的科技工作者难得的资料。

西沙生物礁碳酸盐 沉积地质学研究

何起祥 业治铮 韩春瑞
张明书 李 浩 吴建政 鞠连军 著

责任编辑 吴寅泰 胡晓春

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1989 年 6 月第 一 版	开本: 787×1092 1/16
1989 年 6 月第一次印刷	印张: 7 3/4 插页: 18
印数: 0001—880	字数: 173,000

ISBN 7-03-001220-8/P·220

定价: 13.20 元

前言

自从达尔文提出环礁成因假说以来,国际地学界对生物礁的调查研究热情从来没有减退过。二次世界大战以来,反而有愈益增强的趋势。原因很简单,从理论上说,达尔文的假说并没有解决复杂的生物礁成因问题;从实践上说,生物礁不仅是重要的油气储集层,而且是许多层控矿床的捕集体。同时,世界旅游业的发展,也为生物礁的研究增加了活力。

古礁相地层分析和找矿实践都提出了大量与生物礁有关的沉积地质学问题,而解决这些问题的钥匙,根据赫顿和莱伊尔提出的现实主义原理,应当是对现代生物礁的研究。但是,要真正做到将今论古,仅有现代生物礁生长过程的研究是远远不够的,只有设法揭示现代生物礁区在晚近地质时期的演化历史,才能找出正确的答案。历史过程要用现代作用来解释,而根据现代作用提出的模式,也必须在历史的沉积地质体中得到验证,这才是辩证的现实主义原理。因此,实施一些深孔,以钻穿生物礁的沉积剖面,曾是几代学者的梦想。于是从19世纪以来,陆续有了一些钻孔,分布在蓝色大海中的孤立礁岛上。但由于钻孔大多选择在深海大洋型环礁上,故大陆边缘海和陆架外缘海生物礁问题,依然有如山积。

地质矿产部,尤其是石油地质-海洋地质局以其远见卓识,毅然决定在西沙生物礁区的琛航、永兴、石岛三个礁岛上施工三个钻孔,以研究生物礁的沉积地质学规律。这是一项智力投资,也是对我国基础地质研究的一大贡献。这一任务落到了年青的海洋地质研究所身上。

本书是“海南-西沙礁相第四纪地质研究”课题成果的一部分,与已出版的《中国西沙礁相地质》(科学出版社,1986)、“西沙礁相第四纪地质”(《海洋地质研究所集刊》(一),山东科学技术出版社,1987)、科教录相片《中国西沙现代礁相沉积》和《风成石灰岩》(中、英文版,科学出版社,1986)、《海南岛珊瑚礁的初步研究》(待刊)等属于同一系列。用系列出版物的形式提交科技成果,是我们在改革浪潮中的一种探索和尝试,希望得到学术界的支持和认可。

本书力图从三维格局研究生物礁碳酸盐沉积物的沉积地质学。沉积地质学是沉积学与地层学的有机结合,其目的是在沉积作用的研究中加上时间坐标,以认识沉积作用的基本规律。作者认为,这是解决生物礁沉积学问题的唯一有效途径。有鉴于此,本书提供了从中新世晚期到晚更新世的生物礁岩石地层剖面,碳、氧稳定同位素曲线及有关的地球化学资料,并以这些资料为基础,分析了连续的和间断的、均变的和事件性的沉积作用,总结了生物礁的地方性沉积模式,建立了第四纪礁相碳酸盐地层剖面。书中的许多观点和结论,是作者的独立见解,与前人的认识不尽相同,甚至有大相径庭之处。讲真话是科学家的责任,矛盾和争论是无法避免的。我们愿意将自己的“三孔”之见,提出来就教于同行专家,本意是想在发展我国生物礁沉积地质学的实践中稍尽绵薄。

本书由张明书、何起祥执笔。其中第一章、第二章、第三章、第六章和第七章由张明书

撰写;第四章和第五章由何起祥撰写;第八章由张明书、何起祥共同完成。本书定稿前曾经地质矿产部成果评审组评审并提出宝贵意见。

业治铮教授作为本项目的指导,自始至终关心着项目的进展,并参加了部分野外工作、资料分析和问题讨论;韩春瑞、李浩、吴建政、鞠连军参加了研究工作的全过程,并完成了部分资料的整理;高鹤珠完成了全部图件清绘;陈报章、刘健协助完成了图件的植字工作。

我们在工作中始终得到地质矿产部石油地质-海洋地质局、地质矿产部海洋地质研究所领导和同志们的支持;兄弟单位的许多专家、同行也给予了热情的帮助,在此一并致谢。

“学然后知不足”。值此书出版之际,高兴之余,我们确有惶惶然之感。作者深知,我们的研究工作尚有许多不足之处,错误在所难免。然而,面前并无现成的路,只能一步一步地去探索。屈原说:路漫漫其修远兮,吾将上下而求索。似乎道出了我们现在的感受。

作者谨识

1988年10月

目 录

前言	
第一章 概述	1
第二章 西沙生物礁的发育演化过程及基本特征	7
一、西沙生物礁形成的地质背景	7
二、西沙生物礁的发育过程与演化阶段	9
三、西沙生物礁的类型	12
四、对古礁的判别	15
第三章 西沙礁相地层研究	18
一、岩石地层单位与划分	19
二、生物地层划分	30
三、气候地层学划分与编年时限	40
四、地球化学地层学特征	47
五、礁相地层综述	49
第四章 西沙生物礁碳酸盐的岩石学和微相特征	52
一、西沙生物礁碳酸盐沉积物的组分组成	52
二、礁区碳酸盐沉积物的分类	54
三、主要岩石类型简述	56
四、西沙生物礁复礁体的微相	61
第五章 西沙生物礁碳酸盐的沉积环境和沉积相	63
一、西沙生物礁区沉积环境的主要特点	63
二、西沙生物礁区的沉积亚环境	63
三、远洋环礁相序发育的控制因素	66
四、西沙生物礁复礁体的解析模式	70
五、西沙生物礁复礁体的地方性相模式	73
第六章 西沙生物礁碳酸盐沉积的成岩作用	77
一、一般特征和有关概念讨论	77
二、成岩作用种类及其特点	80
三、孔隙类型及其变化	87
四、西沙生物礁碳酸盐岩成岩作用分述	89
第七章 生物礁研究与资源探查	90
一、油气资源	90
二、非油气资源	94
第八章 关于几个问题的讨论	98
一、关于生物礁研究的古海洋学意义	98

二、关于中新世晚期以来的气候和海平面变化·····	100
三、关于西沙海域新构造运动问题·····	105
四、关于岛屿形成时代问题·····	106
五、关于西沙生物礁造礁生物性质问题·····	107
六、关于西永1井地层划分问题·····	108
主要参考文献 ·····	112
图版说明 ·····	114

第一章 概 述

人类对生物礁的观察,几乎始于对海洋研究的同时,但真正具有科学价值的研究,则是一百多年以前开始的。1837年,达尔文根据他在 Beagle 号巡洋舰环球航行中的观察,首次提出了比较系统的环礁成因假说,认为裙礁和环礁,不过是同一生长过程中的不同阶段。1910年, Daly 以大量事实揭示了生物礁的生长与第四纪气候及海平面变化的关系,提出了生物礁生长的冰川控制说。

二次大战后,随着生物礁油气藏及与生物礁有关的层控矿床的发现,生物礁沉积学成为广大沉积学家所关心的命题,地区性的生物礁研究成果不断涌现。1950年, Link 首先提出海侵礁和海退礁的概念,揭示了生物礁的迁移规律。随后, Henson (1950) 和 Fairbridge (1950) 又提出了生物礁复礁体的概念,将生物礁放到时空格架中来考虑其总体特征,使人们对生物礁的认识大大向前迈进了一步。

然而,无论是达尔文的假说,还是后人的发展,都不是没有争议的。要解决这些问题,必须从现代沉积着手,以钻探取芯和潜水器取样来研究仍在生长的生物礁沉积。

关于用钻孔研究生物礁的重要性,达尔文早就认识到了,他在 1881 年写给他的好友 Agassiz 的信中写道:我希望有那么一个百万富翁能在太平洋的环礁上钻井。在二次世界大战以前,人们已经在富纳富提环礁和 Kita Daitis Gima 环礁上钻了一些钻孔,但是较多的钻探活动,则是在二次世界大战以后。1946 年在比基尼岛钻了几个钻孔,1952 年又在埃尼威托克岛上打了两个钻孔。但遗憾的是,这些钻孔并未能解决生物礁的沉积学问题。

随着科学技术的进步,利用载人深潜器研究生物礁将是一个重要方向。它不仅可以直观地观察和研究生物礁的发展演化阶段,取得钻探取芯无法解决的宏观研究资料,而且能更好的选择采样位置,有利于总结生物礁生长在时空格局中的变化规律。

与此同时,沉积学也取得了长足的进展。在地质学发展的早期,沉积岩石学只是地层学的一个组成部分。以后,沉积岩石学逐渐形成独立学科。由于沉积作用研究的需要,沉积学发展成为独立的分枝学科。近十多年来,沉积学与地层学又有结合的趋势,于是有沉积地质学的出现。这一发展历史,揭示了人们对沉积物的研究,从物质到作用再到时空格局的发展趋势。

毫无疑问,沉积学的发展,乃至模拟实验沉积学的渗入,必将促进生物礁的研究。事实证明,如果没有正确的科学哲学指导,单纯依靠钻孔和其他手段去研究生物礁沉积,亦不足以解决生物礁的成因问题。

我国具有广泛的古相生物礁沉积,有着巨大的含油气前景,与生物礁有关的油气藏,理应在我国油气资源中占有一定比重。然而迄今为止,与生物礁有关的油气藏勘探工作,还处在低级阶段,这不能说与生物礁研究的深度和广度无关。因此,深入研究现代生物礁沉积,进而比较研究古礁是理所当然的。

西沙生物礁是我国南海北东向生物礁带的重要组成部分,具有两千万年的发育演化

历史,礁相沉积厚度大,连续性好,是全球罕见的海侵型生物礁。由于礁体大部分沉溺于水下,其纵向序列的研究需仰赖于钻孔岩芯,因此,在西沙群岛施工了三个全取芯钻孔(图1)。这是我国首次利用比较深的钻孔取芯研究生物礁,意义将是深远的。三个钻孔均采用红旗1000型钻机单管钻进,开孔孔径167毫米,终孔孔径91毫米,采取率从65%至85%不等(图2)。

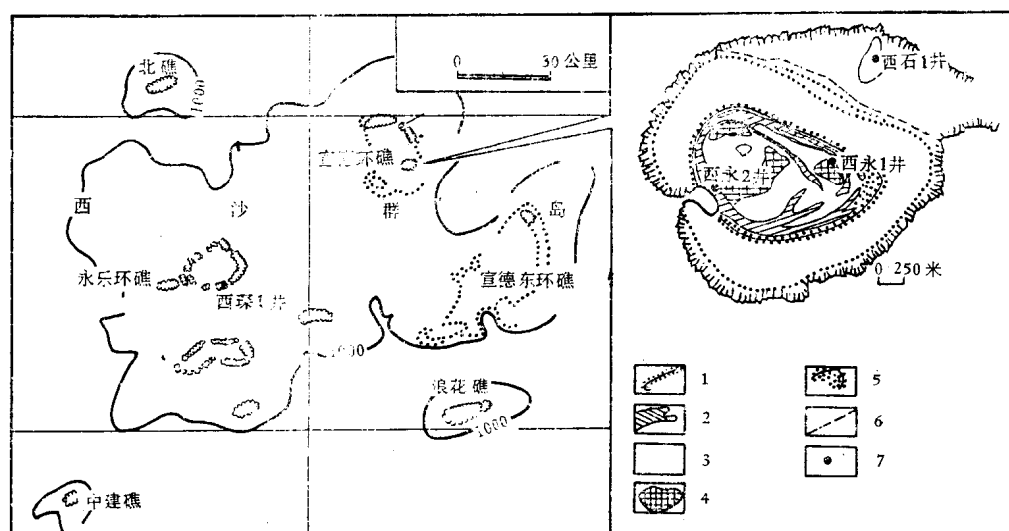


图1 西沙群岛钻孔位置图

1. 海滩及海滩岩 2. 沙堤 3. 沙平台 4. 洼地 5. 沙嘴 6. 礁坪与浪蚀平台界线 7. 钻孔位置

三个钻孔分别布置在永乐环礁的琛航岛西南侧(西琛1井, 终孔深度802.17米)、宣德环礁的永兴岛西南缘(西永2井, 孔深600.02米)、石岛的东南侧(西石1井, 孔深200.63米)。石油工业部1974年在永兴岛东北侧施工的西永1井, 位于西石1井与西永2井之间, 构成一折线形剖面, 对从宏观上了解礁体的演化特征极为有利。

西琛1井和西永2井400米以下井段的研究工作, 由本所石油地质室负责完成。

承蒙南海西部石油公司开发研究院的支持, 1987年11月我们收集到西永1井340米以上井段的岩屑样171个, 样品间距为2米, 每个样重在50克上下。

钻孔岩芯处理是在野外现场编录的基础上, 按回次取芯剖样, 先进行整体照相, 然后对固结岩芯用切片机剖开, 进行描述、划分和取样。各个钻孔所进行的主要测试项目与数量等列于表1。

钻孔岩芯的纵向序列研究, 提供了生物礁碳酸盐岩石学、沉积学和沉积地质学的大量信息, 为生物礁的比较沉积学研究奠定了基础, 对礁相地层特别是礁相第四纪地层的研究, 也具有不可低估的实际意义和理论意义。

本书集中反映了钻孔岩芯纵向序列研究的新进展, 也适当讨论了一些沉积学界普遍关心的理论问题。其主要成果表现在:

(1) 勾绘了西沙生物礁的基本特点。西沙是我国著名的珊瑚礁区, 岛屿多而集中, 它既与印度洋-太平洋的珊瑚礁有所不同, 也与加勒比海和巴哈马等地的珊瑚礁有一定的差异(表2, 表3, 图3)。

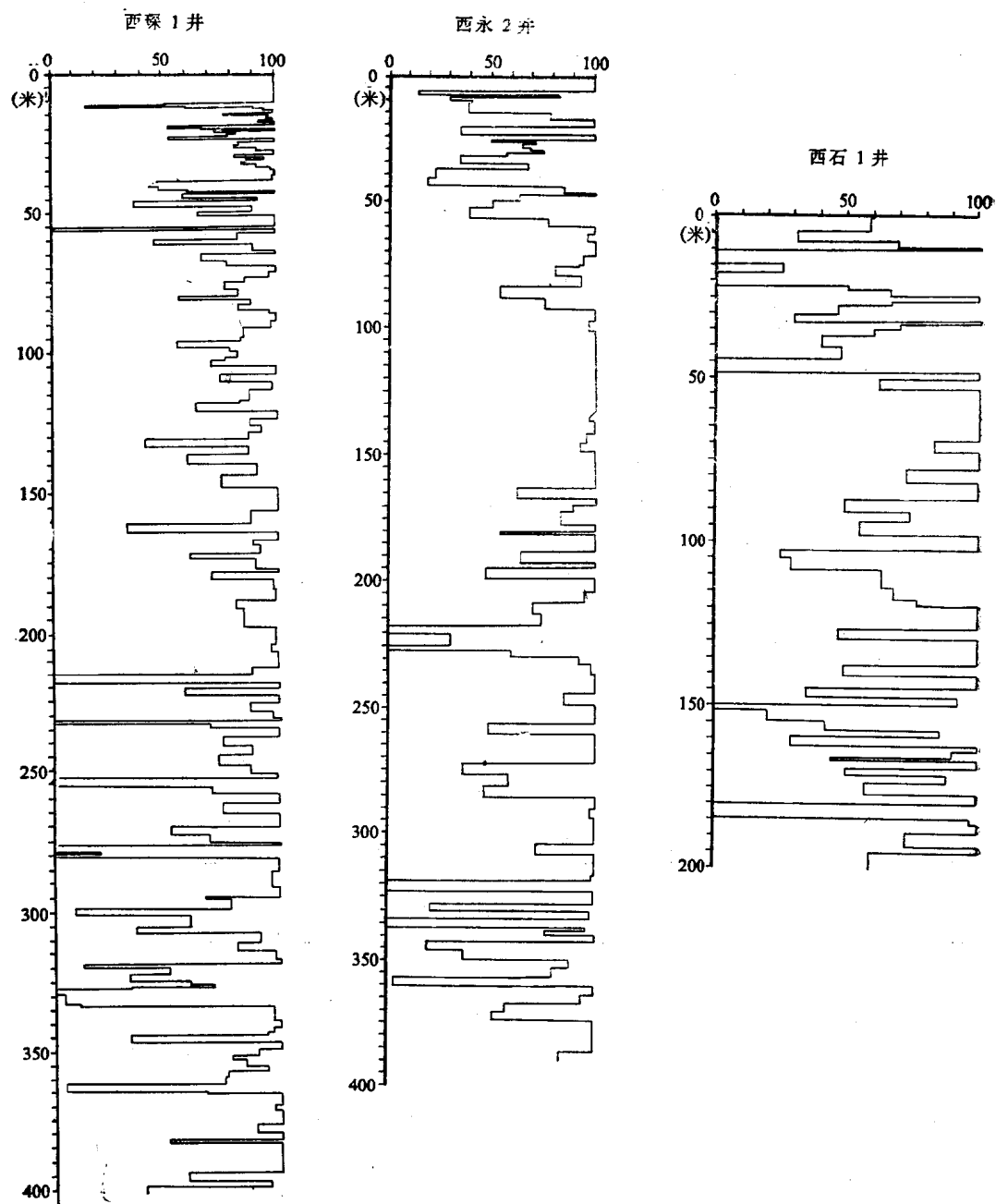


图 2 钻孔采取率图

表 1 钻孔岩芯主要测试项目和数量表

孔 号 测试项目	西石 1 井	西永 2 井	西琛 1 井	西永 1 井
^{14}C 测年	12		6	2
铀系测年	12	5	3	2
有孔虫、介形虫鉴定	132	211	335	
碳、氧稳定同位素测定	360	345	484	171
化学多项分析	56	208	413	100
X 光衍射	12	109	395	

表 2 西沙珊瑚礁与印度洋-太平洋、加勒比海珊瑚礁比较表

	印度洋-太平洋	西 沙	加勒比海
1	约 700 个珊瑚种	约 150—200 个珊瑚种	约 50 个珊瑚种
2	叶状珊瑚常在低能环境发育,壳状珊瑚在高能环境,枝状珊瑚见于潟湖环境	叶状、壳状、枝状珊瑚均可见于高能环境,只有细枝状珊瑚在低能环境和潟湖环境	叶状和壳状珊瑚见于低能环境,枝状和块状珊瑚见于高能环境
3	许多珊瑚长期暴露在大氣中,只要常被浪花溅湿,仍可成为活体	同左	同左
4	在许多迎风的外礁坪上出现藻脊	所有礁坪上均无藻脊	有的礁有藻脊,有的礁出现千孔螭带
5	珊瑚藻常常长满了礁坪,形成相当光滑的和浅的礁坪	前礁坪珊瑚藻繁盛,出现光滑的礁坪,礁坪上交织有许多斑点礁	珊瑚藻通常不那么繁盛,礁坪也不甚坚固
6	礁坪沉积物以珊瑚和底栖有孔虫占优势	礁坪沉积物以珊瑚、珊瑚藻和有孔虫占优势,仙人掌藻不常见	礁坪沉积物以珊瑚、珊瑚藻和仙人掌藻碎屑占优势
7	灰砂岛主要在迎风礁坪上发育	灰砂岛多出现在礁坪的背风侧	灰砂岛出现在比较背风的礁坪上
8	潟湖的深度往往同环礁的直径有关,大环礁可以具有深度在 50 米以上的潟湖	潟湖水深与环礁直径密切相关,小环礁水深不大于 20 米,大环礁水深一般都大于 50 米	潟湖一般浅于 15 米
9	大部分潟湖沉积物是生物成因的	滩和潟湖沉积物均为生物成因	滩和潟湖沉积物多为非骨骼颗粒组分
10	大潟湖具有与深度有关的各种沉积相	潟湖中的沉积相取决于潟湖的发育程度	潟湖相通常类似于在边缘礁发现的那些相,或与斑点礁的沉积作用有关
11	背风礁往往发育得好	发育不平衡,时好时坏,取决于环境条件	背风礁通常发育不好,造成相当开阔的潟湖
12	有 300 多个环礁和广泛的堡礁	8 个环礁,10 个平台礁(其中 8 个沉溺于水下)	约 10 个环礁和仅 2 个容易辨认的堡礁

表 3 西沙与巴哈马礁区条件比较表

	巴 哈 马	西 沙
1	平均水温 27.9℃,盐度 36—46‰,潮差 2.6 米	平均水温 26.8℃,盐度 33.14—34.24‰,潮差小于 1.5 米
2	位于陆架外缘海,纬度偏北,22—27°N	位于陆架外缘海,15—18°N
3	发育期长,始自白垩纪	自渐新世末或中新世初开始发育礁
4	礁区范围大,南北长 700 公里,东西宽 300 余公里,面积逾 20 万平方公里。	礁区范围小,约 5 万平方公里(连同南沙、中沙、东沙一起,范围超过巴哈马)
5	岛屿多,总数在 3000 个以上,岛屿海拔高程大,逾 30 米	岛屿小而少,只有 31 个岛屿,海拔最高 15 米
6	巴哈马周围海峡多,最大水深 3500 米	西沙北海槽水深 2700 米
7	巴哈马滩多、礁少	西沙滩少礁多
8	巴哈马礁相沉积物中,非骨骼组分含量多,尤以鲕粒为甚,礁体形态不规整	西沙礁相沉积物中非骨骼组分罕见,没有鲕粒成分,礁体形态完整

西沙是南海海域北东向礁带的组成部分,与南海海盆在成因上有一定的内在联系。珊瑚礁的分布和演化,反映了南海海盆具有大陆裂谷盆地的特征。

(2) 钻孔岩芯纵向序列和氧同位素的研究表明,西沙群岛的主要灰砂岛,象永兴、琛航等植被茂密的岛屿,如同石岛的风成沉积一样,也是在末次冰期阶段形成的。

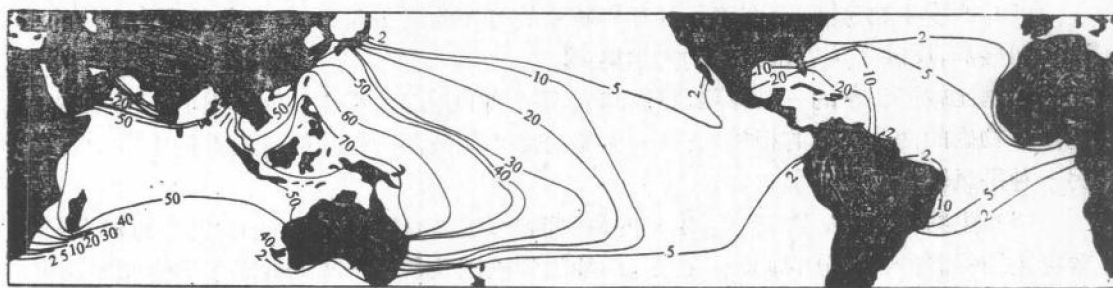


图3 世界生物礁造礁生物种属等值线图

(3) 进一步肯定了西沙生物礁自中新世初期发育以来,经历了若干阶段,形成了一些逐步缩小的宝塔形珊瑚礁隆起台地。说明总体上长期沉降的生物礁演化历史,具有明显的阶段性特点,礁体的成因类型也有变化。就珊瑚礁的发育与海平面振荡之间的相对关系而言,存在着三种基本形式:一种是礁体的生长滞后于海平面上升而被淹没,称为海侵型或滞后型,往往形成退积序列,最后为硬底表面或半深海沉积所覆盖。第二种是礁体始终与海平面保持大致平衡关系,可称之为平衡型或适应型,其沉积物的有序性不很显著。适应型生物礁需要特殊的条件,一般是暂时的,比较少见的。第三种是生物礁的生长速度大于海平面的上升速度,礁体受到侵蚀,可称为海退型或残余型。划分礁体的类型,是生物礁沉积地质学研究的基础,对油气勘探具有很大的实用性。滞后型礁体具有良好的圈闭条件,常成为油气的储体,是最值得重视的一类礁体。

(4) 研究认为,生物礁的初始环境是侵蚀环境或平衡环境。每一期生物礁的发育都是从不成熟期到成熟期再到超成熟期的过程。不成熟期的标志是礁体形态受基底地形的控制,相序简单,礁格架杂乱无序,形态不固定,典型代表为滩礁。成熟期具有与海面振荡相适应的礁格架,相序较完整。超成熟期的礁体不再受基底地形的控制,相序发育较为完整,随着生物礁成熟度的变化,其沉积作用方式也有明显的区别。研究表明,将成熟度和礁格架性质、环境条件等纳入生物礁分类依据是必要的。作者在以往形态分类的基础上,制定了一个新的生物礁分类方案,有利于弥补以往分类的不足,对古礁油气探查工作亦不无助益。

(5) 研究表明,生物礁碳酸盐的岩石学是一个比较复杂的问题,西沙生物礁碳酸盐沉积物的组分,除了格架相组分外,还有大量碎屑组分及藻类沉积,它们都受制于生物礁环境所特有的动力学系统。现代生物礁碳酸盐沉积的研究中,分类方案是不完备的,笔者从西沙的具体情况出发,结合世界上其他地区的资料,在沉积作用方式和支撑类型的基础上,结合颗粒组分和泥屑成分的量比,提出了一个分类方案,对环境条件的判别颇有助益。

(6) 论证了西沙生物礁碳酸盐沉积物成岩作用的性质、类型、成岩环境与沉积环境的关系以及成岩作用等。

西沙生物礁沉积中,白云石化是最重要的一种成岩作用类型。白云石化的强化位有一定的时限,其形成的白云岩楔状体集中分布在中新统与上新统间断面之下和上新统与更新统分界面之下,标志着两次重要的古海洋学事件。白云石化层具有低钠、低锶特征,且无蒸发岩伴生,表明沉淀时介质的盐度不高,是比较典型的水混合作用模式的产物。

(7) 西沙生物礁区,存在着几种互相联系的有序的沉积亚环境,各个亚环境产物的三度空间格局,反映了风、浪、流的动力学格局。

根据比较沉积学的一般原理,在纵向岩石序列的矩阵计算统计的基础上,我们总结出西沙生物礁的两种基本的相模式:一种是由海平面振荡所控制的生物礁复礁体相模式;另一种是风驱生物礁相模式。

(8) 生物骨骼的矿物成分因生物的属种而异,这是众所周知的事实,因而也成为生命效应控制骨骼矿物成分的佐证。但是,西沙生物礁碳酸盐沉积物的地球化学研究却表明,造礁生物与附生生物随着干冷、湿暖气候的更迭,其骨骼中某些元素和碳、氧稳定同位素的分配、分布均呈规律性变化。例如, CaO 、 MgO 、 SrO 、 P_2O_5 、有机质含量及它们的比值等,均与碳、氧稳定同位素值有关,都反映气候的变化,对礁相地层划分具有很高的分辨率。因此,地球化学地层学也是礁相地层学研究的发展方向之一,具有良好的前景。

(9) 西沙生物礁地层学研究获得良好的效果,400米孔深已进入中新世,礁相第四纪地层厚度逾200米,底界明确,更新世三分清楚,早更新世永兴组,厚119—149米,底界根据有孔虫确定,相当于磁性地层的松山极性时与高斯极性时的分界位。中更新世琛航组,厚65—73米,底界相当于布容极性时与松山极性时的分界位。晚更新世石岛组,厚度大于30米,铀系测定在20万年内,相当于氧同位素期的2—5期,也就是末次间冰期初始位至末次冰期終了,底界时限为13万年。全新世西沙洲组,厚度小于10米,底界时限1万年。

(10) 初步总结出生物礁比较沉积学研究的方法与判别标志,弄清了川东北晚二叠世长兴组生物礁的类型和成礁期,并提出了对气藏的探查意见。同时,对在全国范围内寻找生物礁型油气藏提出了初步建议。

(11) 钻孔岩芯的纵向序列研究,还初步总结了西沙海域中新世以来的气候演化和海平面变化,以及重要的古海洋学事件。

第二章 西沙生物礁的发育演化过程 及基本特征

现代生物礁是热带海域中由生物生长作用营造起来的具有特定相序并高出同期海底的阻波地质体组成。其最基本的特征是有一个刚硬坚固的礁格架。因此,任何一个生物礁的形成,都离不开以造礁生物建造作用为主体,同时伴生有特定的生物化学作用和机械沉积作用的沉积作用体系。生物礁的发育与演化是礁地质学研究的重要内容,也是生物礁比较沉积学研究不可或缺的部分。

现代生物礁的发育、演化过程及其特征的研究,有助于古礁的判别和认识。在西沙地表礁岛地质研究中,张明书等(1987)根据不同时期礁区范围、礁体规模与特征对西沙礁区的生物礁发育、演化等做过一些论述,虽然一些阶段的时限不够确切,但主要结论还是正确的,这里再做些补充性阐述。

一、西沙生物礁形成的地质背景

西沙寓于南海礁带,其成礁地质背景与南海海盆的形成息息相关。关于南海海盆的成因,众说纷纭。从成礁角度解释南海成因,更多的是注重礁体演化事实,当然难免出现倾向性。诸如文献上有南海位于三大板块聚合部位之说,但现今的南海海盆既未与印度洋-澳大利亚板块直接接触,也不位于与太平洋板块的碰撞带,聚合之说似难以成立。事实上,它寓于欧亚板块之中,是一个板缘(内)盆地。对于这样一个盆地,如果用出现初始洋壳的板缘大陆裂谷带来解释,或许能够比较贴切地说明事实和吻合概念。

(1) 南海海盆除盆地中心深水带为大洋性地壳外,周缘都属大陆性地壳。菲律宾、马来西亚以及南沙群岛的基底,同海盆另一侧的海南岛-越南陆架基底,同属一块大陆。即使南海中央海盆具有大洋壳性质的区域中,仍然有残留的陆壳性质的海山。

(2) 根据西沙、中沙群岛区布格重力异常值二次趋势面分析剩余偏差等值线图(图4)可以看出,这两个群岛都处于高负值区,表明地壳上部有质量缺失,显然与低密度的沉积物,尤其是礁相沉积物有关(黎昌,1985)。这两个群岛的莫霍面深度都在25公里以上,属大陆性地壳,南沙群岛的莫霍面深度恐怕亦在20公里以上,同样属厚度较大的大陆性地壳。

(3) 南海海盆具洋壳性质的海底区,在平面形态上呈南北两端尖灭,中部膨大的纺锤形,且局部有分叉,构成一个交织的裂谷体系。裂谷体系的北端与台湾岛区相接,其南端与马来西亚半岛和加里曼丹岛区相连,是构造断裂收敛、应力消失部位,而现今南海中央海盆则是应力集中部位。断裂切至地幔,造成地幔岩浆上涌,挤开陆壳,形成补钉状初始洋壳。磁异常和热流值都与上涌部位和上涌形成的不同方向展布的洋壳相适应。

(4) 南海海域基底断裂以张性正断层为特征,成群出现。盆地西北侧的正断层,断面

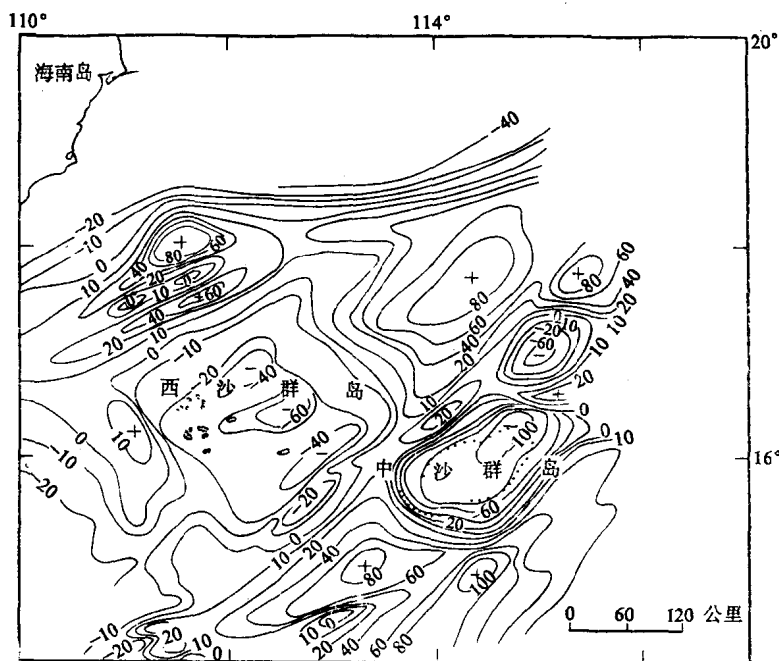


图4 西沙布格重力异常值二次趋势面分析剩余偏差等值线图(据黎昌, 1985)

向东南倾斜,而盆地东南侧的正断层,断面向西北方向倾斜,它们又都是上陡下缓,呈V形对应的铲式断层 (listric faults)¹⁾。这些铲式断层的特点说明南海裂谷系尚处于地幔岩浆上涌的发育阶段。因为地壳下部边蚀薄,边向两侧做塑性流动,在区域上两侧被错动式拉开,产生两组断面倾向相对的断块组合,倾角由上往下逐渐变小,在蚀薄位便消亡在上地幔塑性流动带中。两组断块的交汇部位,就是应力集中部位,同时也是地壳最终被拉断、地幔岩浆涌出的部位,下陷最大,所以成为盆地中心。

地幔岩浆上涌活动大约在中生代晚期已经开始,至渐新世时陆壳被拉开,逐渐解体。渐新世后期,海水侵进,使现今的南海海盆区在河湖相沉积的基础上,接受了海相沉积。随着海侵的迅速发展,基底隆起较高部位,已经成为岛屿。至渐新世末期,在岛缘开始产生岸礁礁体,隆起更高的部位,则从中新世初才开始生成礁体。海侵方向由南东而西北,因此南沙礁区生物礁的发育应早于西沙。

综上所述,整个南海的生物礁,就是两组倾向相对的正断层分隔出的不同规模陆块,于不同沉降速率的背景上,在海平面振荡作用的累积效应下发育起来的,随着成熟度的不断提高,在形态上经历了由岸礁到堡礁,再到台礁或环礁复礁体的过程,具有从不成熟到成熟,乃至超成熟的演化模式。

顺便指出,南海生物礁的基底岩层多为变质岩,其时代随着工作的深入,资料的积累而出现争议,争论的焦点在于对各种测年资料的解释。目前最大的测年数据仍然是西沙的西永1井,那里的基底片麻岩经铷锶法测年为6.27亿年,矿物铷锶等时线年龄为14.65亿年(任纪舜, 1986),而分布在片麻岩中的脉岩年代值,却只有68.9百万年。在南沙礼乐滩西南侧海底出露的片麻岩,已部分被锰结壳覆盖,片麻岩中白云母的钾氩测定年龄为

1) 有人译为犁式断层。

122 百万年,而用黑云母测定的年龄为 116 和 104 百万年;礼乐滩北端海底的云母片岩和角闪岩,亦进行过年代测定。片岩中的白云母,钾氩年龄为 113 百万年,角闪岩中角闪石的钾氩年龄为 146 百万年。此外,在礼乐滩上的若干钻孔中,已发现未变质的早白垩世含煤粉砂岩和页岩。

西沙与南沙基底的变质岩系,理应属同一陆壳,然而不同部位、不同方法所得到的测年数据反映出的变质年代,却有很大的差异,从而使构造岩浆演化时代讨论趋向复杂化。不过,从成礁地质背景来说,生物礁的基底可以肯定是大陆壳变质岩石,其变质时代限定在前寒武纪以后、早白垩世以前这一极宽的时限里应当是比较现实的结论。

二、西沙生物礁的发育过程与演化阶段

(一) 一般概况

西沙生物礁的基底顶面位于现今水面下 1250 余米,风化残积层厚达 20 余米,成礁前是一个遭受强烈侵蚀破坏的正地形发育区。生物礁的初始发育时代为中新世初期,略晚于南沙群岛的生物礁,西沙与南沙是在裂开分离后成礁的,并非成礁后分离。

众所周知,控制生物礁形成的因素很多,但其中化学、物理、生物三大基本因素是任何生物礁生长发育都不可或缺的,在化学因素方面主要是温度、盐度、混浊度、氧及营养组分丰度、光照度等;在物理因素方面象原始地形、基底升降、陆源物质带入量和波浪、潮汐、水流等;生物因素或许更为重要,如生物属种及其形成格架的能力。三者相互联系,互相制约,又都受到气候条件的影响。生物礁控制因素的配置关系不同,对生物礁发育演化过程的影响极大。

无论在现代生物礁研究,还是将今论古的生物礁比较研究中,对于生物礁和非礁碳酸盐堆积体的概念和区分标志常常出现争议。生物礁是在适宜生态条件下发育起来的,必然拥有大量生物骨骼成分,而一些在适宜生态条件下堆积起来的碳酸盐沉积物,也可以富含大量生物骨骼。因此在古礁相沉积中,礁与非礁的区别仅以生物骨骼成分的量是不足以做出判别的。研究表明,生物礁与非礁碳酸盐堆积体之间应该是易于区别的,可从三方面考虑:一是生物礁一定要具有生长的格架结构,无论格架形态、规模如何不同,只要具备造架生物生长营造特征,就可判别为礁。组成格架的主要生物门类,就是这个礁的生物命名依据,如造礁生物是层孔虫,即称层孔虫礁,造礁生物是海绵者称为海绵礁。通常所称的珊瑚礁,就是因为形成礁格架的生物主要是石珊瑚的缘故。二是生物礁在原始地形上总是高于周围的同期沉积物。这种高出可以是整体高出,也可以是局部高起,其幅度与范围不影响判别。第三是具有因此而产生的特定的相序。任何生物礁,即便是低成熟度的礁,至少有礁前、礁格架和礁后等不同的沉积亚环境,而其它非礁碳酸盐沉积地质体,则往往以单一沉积相为主,或相序组合有本质上的不同。这三条判别标志是明确的,在古礁调查中比较适用。

在判别中要注意区别原生的生物礁构造和由于差异压实作用而形成的碳酸盐堆积体。后者虽然也是形态上突出于基底之上的生物骨骼堆积,而且也可以成为油气的储集层,但因为不是由生物的建造作用所形成,故不能列为生物礁一类。其次, Cumings(1932)

将生物礁分为 bioherm 和 biostrome 两类,后者常译作层状生物礁,主要系指层状的叠层石或生物碎屑层。严格地说,后者亦非生物礁,只能看作是广义的礁概念的延拓,不能与生物礁同日而语。

James 将生物礁的发生与发展划分为四个阶段,开始叫定殖阶段,也就是礁格架发育之前的阶段,各个门类的生物繁衍增生,其骨屑堆积成滩,由藻类、海草或有柄棘皮类将其粘结固定,逐步形成稳定的基座。当造礁生物开始营造格架,而且格架的规模亦是由小而大时,即逐步进入拓殖阶段,此时礁格架规模小,生物种属少,且常以块状或层状的造礁生物为主。礁体进一步增生就进入泛殖阶段,此时格架灰岩发育,生物分异度高。最后再到统殖阶段,生物礁的发育进入衰败阶段,破坏作用明显增强,粘结作用亦有所加强。

生物礁随着海平面的上升而不断增殖,横向相序的发育也趋向完整。造礁生物生长与海平面上升相适应的阶段,是生物礁增生的主要时期。James 生物礁发育阶段的划分,在实际应用中比较困难,尤其是在古礁中,更加难以找出各个阶段的判据,但这种阶段论启发人们认识到,生物礁的发育,是一个漫长而又复杂的过程,随着各种控制因素和环境条件的改变,会有很大的不同。

Longman (1981) 最先将成熟度这一概念引进生物礁,他根据礁体形态随时间变化对各种因素反映的敏感程度,确定生物礁的成熟度。这种方法对于从宏观角度描绘生物礁的发育过程有一定的优越性,而且对将今论古的比较研究也有积极意义,问题是要有识别礁体成熟度的可靠标志。笔者在 Longman 的基础上,结合 James 对生物礁发育阶段的分期的论述及西沙的实际资料,进一步综合归纳出一些赖以判断生物礁成熟度的判别标志:

- (1) 生物礁的形态与原始地形关系越密切的,其成熟度越低,反之成熟度高。
- (2) 生物门类和种属少的生物礁,成熟度低。造礁生物与附生生物门类越多、越复杂,成熟度越高。
- (3) 环境分异明显,相序多而完整的生物礁成熟度高,反之成熟度低。礁后岛屿相的出现是生物礁达到超成熟的表现。
- (4) 机械破坏作用、生物破坏作用越剧烈的生物礁,成熟度越高,反之成熟度低。
- (5) 在生物礁发育演化的过程中,生物粘结成岩作用越发育者,成熟度越高,反之成熟度低。
- (6) 发育历史越长,越连续的生物礁,成熟度越高,反之成熟度低。
- (7) 生物礁在三度空间的形态越复杂,成熟度越高,反之成熟度低。
- (8) 礁格架发育有序的生物礁,成熟度高,反之成熟度低。同类礁体,格架相发育者,成熟度相对要高。
- (9) 邻近海盆的生物礁或称邻近深水相的生物礁,成熟度高。

南海四沙现今的生物礁均为成熟或超成熟的复礁体,具有从盆地相至礁后相乃至岛屿相的完整相序,是比较研究古礁的良佳借鉴。西沙生物礁从不成熟到成熟乃至超成熟的发育演化过程,为将今论古的比较研究,奠定了很好的基础。

(二) 西沙生物礁的发育演化过程

西沙海域自中新世初成礁以来,始终保持礁区环境,其间虽有海平面频繁升降,但从