

南海 珊瑚礁区 沉积学

◇ 王国忠 著



海洋出版社

南海珊瑚礁区沉积学

王国忠 著

海洋出版社

2001年·北京

内 容 简 介

本书全面、系统地总结了南海珊瑚礁区沉积学方面的研究成果,详细论述了礁区的碳酸盐沉积作用、混合沉积作用和成岩作用及其分布规律,提出了多种沉积相模式,探讨了礁相沉积领域中的基本问题。书中对珊瑚礁进行了合理的系统分类,南海是产出大陆架珊瑚礁、大陆坡珊瑚礁和大洋型珊瑚礁完整体系的惟一海域。

全书贯串了沉积动力学的控制作用,重点讨论了沉积环境与沉积相的辩证关系,大陆坡珊瑚礁的特征及其在季风控制下的形成机理,生物礁的生态学、埋藏学和沉积学的相互关系,以及比较沉积学的应用等。书中在礁相沉积作用、混合沉积作用、环境与相的辩证关系、大陆坡环礁的特殊地位和双向成礁模式、珊瑚礁和岛的分类与演化、现代白云岩和岛屿磷块岩的成因等方面均有创新认识。

本书可为珊瑚礁监测、开发、利用,以及比较沉积学提供依据,可为勘查和研究石油、天然气等沉积矿床作借鉴。本书可供海洋地质学、地质学、石油地质学等研究工作者参考,也可作为大专院校地球科学系统师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

南海珊瑚礁区沉积学/王国忠著. —北京:海洋出版社,2001.2

ISBN 7-5027-5216-1

I. 南… II. 王… III. 珊瑚礁—沉积学—南海
IV. P737.272.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 05575 号

责任编辑:宋 敏

责任校对:张丽萍

责任印制:严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京建筑工业印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:20.75 插页:6

字数:544 千字 印数:1~500 册

定价:48.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

同济大学海洋地质系王国忠教授领导的碳酸盐研究组在 1978~1990 年连续 10 余年分赴海南岛、涠洲岛和西沙群岛等地进行了 14 次野外调查和潜水作业,取得了有关珊瑚礁生态学、形态学和沉积相等方面的宝贵资料。在外业工作的基础上又精确地进行了有关沉积学、生物学、年代学和分析化学方面的实验室分析与测定工作,充分体现了宏观与微观、野外与室内相结合的技术路线。

本书就是在上述之大量实际工作的基础上撰写的,也是对过去研究工作的总结和理论上的提高。在撰写过程中,作者充分引用了有关南海海区地质、地貌、水文、气象等方面的文献资料,同时特别注意了与世界上其他地区的生物礁和礁相沉积与成岩作用之间的对比研究。可以说,本书是一部全面系统地论述南海珊瑚礁区沉积学的区域性研究专著。

本书内容十分丰富,涉及的学科领域也比较广泛,主要包括了以下几项重点内容:

(1) 全书以礁相碳酸盐沉积学为主线,同时论述了陆架区礁源沉积和陆源碎屑的混合沉积作用及其普遍性、形成条件、产状鉴别特征等。

(2) 作者强调形成于南海大陆坡的珊瑚礁具有良好沉积环境和很高的沉积速率。它们以季风区内的双向成礁模式区别于大多数位于信风区内生物礁的单向成礁模式。

(3) 作者对南海珊瑚礁进行了系统的分类。

(4) 书中对生物礁的生态学、埋藏学和沉积学的相互关系和差异进行了详细讨论,提出了现代礁区沉积相综合模式。

(5) 作者对礁区的早期成岩作用和岩石类型进行了全面论述,并对骨针岩、海滩岩以及白云岩等的成岩作用机理提出了颇有新意的看法。

(6) 以剖析典型珊瑚礁入手,阐明了礁体的结构构造、生物组分、沉积相带的空间分布及其发育演化过程等。

王国忠教授治学严谨,知识面广,有很强的敬业精神。他和他的同事们经过长时间的艰苦努力,今天终于开花结果。我相信,此书的出版将是对我国海洋地质学和海洋沉积学的重要贡献,并必将进一步推动南海海洋科学的向前发展,我愿藉此机会向王国忠教授及研究组的其他同志们表示衷心的祝贺。

中国科学院院士、教授 **秦蕴珊**

2000 年 7 月

前 言

珊瑚礁是大洋沙漠中的绿洲。海洋是富饶的,但是远离陆地的深海、远洋却异常荒芜。就像富饶的中国大地上有着物产丰富的江南水乡、热带雨林,也有“死亡之海”的戈壁沙漠一样。

美丽的珊瑚礁之所以给寂寞的航海者带来无限的生机和希望,不仅是因为它的景色优美,而且更主要的是珊瑚礁区有美味的海鲜,可能有生命中最宝贵的淡水,以及保护船舶和人身安全的避风港。

珊瑚礁是海洋中一个完整的海洋食物链。这里,初级生产者——各种浮游植物、藻类吸收海水中的营养成分,通过光合作用繁衍生息,初级消费者——虾类、桡足类、翼足类等以吞食浮游植物和藻类为生,次级或三级消费者——水母类、甲壳类、漂浮动物和鱼类等则是“大鱼吃小鱼,小鱼吃虾米”地互相依存,它们死亡、腐烂、分解后又成为浮游植物的养料,如此周而复始,发育壮大。珊瑚礁是海洋食物链演化过程中的产物。珊瑚礁枝杈交错,格架多孔,具有抵御风浪的特性;其复杂多变的形态,温暖的浅水环境,成为海洋食物链的最好宿主。珊瑚礁是近百万种使人眼花缭乱的海洋生物的家,3 000余种生物能同时栖居在单个礁体中,而鱼类的密度大于海洋中平均值的100倍^①。珊瑚礁区的净初级生产量为4 000g/(m²·a),是世界上最高的产区,因为热带雨林、耕地的最高净初级生产量也只有3 500g/(m²·a), (曾昭璇,1984)。

珊瑚礁是鱼、虾、贝类、海参等珍贵海鲜的天然蛋白质的源地,它是各种装饰品的产地,它是一些重要药品的潜在产地,它是旅游和潜泳的圣地,它是抵御风浪的天然避风港,它又是建筑材料的产地。

珊瑚礁是热带海洋中特定的浅水环境的产物,所以它能成为古气候学、古海洋学等古环境因素演变的忠实见证和历史记录,它又是当今全球环境现状的灵敏指示物。地球环境已成为当今科学界最重要的研究领域,科学家利用珊瑚礁可以了解过去、认识现在、预测未来地球环境的演变。现代珊瑚礁沉积学是比较岩石学“将今论古”的钥匙。

珊瑚礁是微细生物建造的宏伟的自然建筑物,其高度为数十米,数百米,甚至高达数千米,环礁的直径从数百米到数十千米或百余千米,最长的礁体延绵达2 000余千米。珊瑚礁能使人类宏伟的建筑物相形见绌。

生物礁是石油、天然气和其他沉积矿产的储集体,尤其是礁型油气田具有富集、高产和便于寻找的特点,因而是地质勘查的重要目标,正是世界油气田的勘探、开发实践推动了生物礁研究的蓬勃发展和不断深化。

在怎样的环境中,是什么原因使珊瑚礁具有如此重要的作用,造就了如此伟大的成就?珊瑚礁的生态条件如何?其内部结构、构造、发育、演化和空间分布规律又如何?这些正是珊瑚礁区沉积学研究的任务。南海珊瑚礁有别于一般海洋中的珊瑚礁。除了珊瑚礁的共性

^① R. G. Ginsburg, 1996, IYOR, '97(1997 国际珊瑚礁年)。

以外,有它许多独特之处:首先,南海是一个次大洋,它集世界珊瑚礁之大成,既有大陆架珊瑚礁,又有大陆坡珊瑚礁,还有大洋型珊瑚礁。其次,南海大陆坡珊瑚环礁和台礁发育最好,这是其他热带海洋里所没有的一类生物礁。南海珊瑚礁是我国广大科学工作者和师生的教学科研基地。

研究历史和现状 我国研究、利用、开发珊瑚礁的历史悠久。据曾昭璇教授考证,早在2 000余年前的汉代,就有人将珊瑚(称烽火树)进贡皇帝。1 700余年前的《扶南传》中有珊瑚岛礁的记录。唐、宋时已对珊瑚环礁(石塘、石床)地形有所研究。宋、明两代已绘出珊瑚礁岛的地图,明初的《郑和航海图》已达到“详而不诬”的精度。民间广为传抄的“更路簿”或“水路簿”则是渔民捕鱼作业,开发珊瑚礁的航海图(曾昭璇,1984)。

清代康熙丙申年(1716年)经过实测编绘的《皇清中外天下全图》以及嘉庆二十三年(1818年)《大清一统天下全图》等,均已将西沙群岛与南沙群岛列入清代的版图内。1936年白眉初著《中华建设新图》完整地标绘了南海诸岛在内的中国疆界范围线,并为1946年民国政府内政部方舆司确认(林金枝,1980;赵焕庭,1996)。

我国近代对南海珊瑚礁的科学研究的开创性工作有:1936年马廷英先生关于沿海珊瑚礁的生长率的研究,1946年的澎湖列岛珊瑚礁考察和1947年《水温效应对珊瑚生长率的研究》,郭令智的《中国南沙群岛郑和群礁的地貌学》(1947),李毓英的《南沙群岛太平岛地质概况》(1948),穆恩之的《西沙群岛永兴岛与石岛地质述略》(1948)等。

第二次世界大战后,在中东、北美生物礁高产油气田大量开发的激励下,国际上开始了以巴哈马、波斯湾和大堡礁等地为中心的现代碳酸盐沉积学的研究工作,着重于今、古生物礁和碳酸盐沉积相的研究,取得了长足的发展和丰硕的成果,它们成为我国生物礁研究的示范和借鉴。

新中国成立后,50年代对西沙群岛开展了以勘查岛粪磷矿为主的地质调查工作,60年代初,中国科学院以南海海洋研究所为主进行了海南岛珊瑚礁海岸的系统调查研究,为以后的岸礁研究奠定基础。70年代起,由于中国近海油气资源勘查和陆上油气勘探研究工作的形势所迫,南海海洋地质和石油地质,包括珊瑚礁调查研究和勘探工作进入高潮。各教学、科研和生产单位投入大量人力、物力,开展了各方面的考察、调查和研究。参加这一时期研究工作的科研单位有中国科学院南海海洋研究所、地质研究所,原地矿部青岛海洋地质研究所等;高等院校中,主要有同济大学海洋地质系、华南师范大学地理系、原山东海洋学院等;地质勘探单位有南海西部石油公司、南海东部石油公司、原地矿部第二海洋地质大队等。

20余年来,全国许多单位在各方面的研究工作,使我国在珊瑚礁研究领域积累了丰富的资料,发表了大量论文和专著,缩短了生物礁研究领域与国际上的差距。

在以往珊瑚礁研究工作和已发表的论文、专著中,可以发现各个研究领域的发展是不平衡的。例如,关于珊瑚礁地貌形态方面的论述较多,礁区或岛上地面工作较细,海底沉积表层的取样和分析工作较多,而关于水下环境、各沉积相带的描述研究等过细的工作较少。在礁区已钻探了不少钻井,为了解生物礁的发育演化历史,为礁区地层学和沉积环境演化提供了极宝贵的资料,但一孔之见也受到井位的局限性,往往只能穿过一两个相带,不能了解各发育阶段的沉积全貌;在成岩作用、孔隙演化过程等方面也缺乏深入的研究;珊瑚礁研究领域的国际交流很缺乏,国外学者对南海珊瑚礁还知之甚少。以往研究工作的缺点之一是珊瑚礁开发、管理、监控等方面结合不够,缺乏指导作用,对生态环境保护的宣传、呼吁不力,

因而造成大量珊瑚礁被毁坏,酿成难以挽回的损失。当务之急是分析以往工作得失,总结提高,明确方向,急起直追。这一重任有待于珊瑚礁研究者来继续完成。

本书宗旨 从实际资料出发,充分利用现有文献,全面系统总结南海珊瑚礁调查研究成果,吸收国外新成果、新认识进行对比解释,正确全面地认识南海珊瑚礁沉积学规律,同时探讨沉积学领域的一些基本问题,为现代珊瑚礁的开发、利用、监测,为比较沉积学研究以及石油、天然气和其他沉积矿产的勘查提供依据,为建立我国海洋碳酸盐教学研究基地铺路架桥,为将来珊瑚礁研究赶超世界先进水平奠定基础。

本书结构 第一章,论述沉积环境,简要列举南海中控制珊瑚礁形成、发育的环境因素,尤其是各类地质构造和海底地貌齐全的次洋盆环境;第二章,详细介绍珊瑚礁的生态、结构、造礁生物和附礁生物的特征,南海各类珊瑚礁的空间展布;第三章,在详细论述大陆架典型珊瑚礁的基础上,阐明礁相沉积学的一些基本问题,总结岸礁沉积相模式,以及礁源和陆源混合沉积的普遍性和分布规律;第四章,重点论述南海中最特殊的,也是世界海洋中独有的大陆坡珊瑚环礁和台礁沉积学,探讨环礁的成熟度、分类及其演化规律和环礁的双向发育成礁模式;第五章,介绍形成于深海盆中火山岩海山之上的大洋型珊瑚环礁及其与大陆坡环礁和大洋环礁的异同;第六章,总结南海礁相碳酸盐沉积学特征,探讨礁相沉积的比较沉积学及其应用;第七章,碳酸盐早期成岩作用是沉积学中的一个重要课题,将结合实例探讨其分布规律、成岩机理和比较岩石学的应用。

本书是同济大学海洋地质教育部重点实验室“南海珊瑚礁区沉积学”研究课题的成果,获得实验室资助;本书又作为同济大学海洋地质系现代珊瑚礁和碳酸盐研究组的研究成果之一,先后得到同济大学校部和海洋地质系,以及中国科学院科学基金和国家自然科学基金等的资助。自1978年以来,参加该项研究工作的还有吕炳全、全松青、王平海、姜锡祥、周福根、李前裕,以及本系研究生和本科生蒋盘良、瞿建忠、孙志国、张光威、王志伟、姜建耀、郑平、胡振邦、张锐慧、何执兼、张健、李永祥等。现代珊瑚礁和碳酸盐研究组在现场工作时得到中国人民解放军有关军种、海南省西沙办事处和广西壮族自治区涠洲岛等地各级政府、驻军和当地渔民在生活、交通、工作等各方面的全力协助,尤其是海军救护大队李金秀、商学礼、戴宝峰等协助进行多次潜水作业。本书在编写过程中得到同济大学海洋地质系和海洋地质教育部重点实验室的同志们多方面的鼓励和支持,王秀雅和余明兰帮助清绘图件。本书封面照片由中国科学院南海海洋研究所陈清潮研究员提供。并得到我夫人李明娟和子女们全家的支持与帮助。此外,非常荣幸地得到中国科学院院士秦蕴珊教授书序。在此一并表示衷心的感谢!

作 者

目 次

序	(1)
前言	(9)
第一章 沉积环境	(1)
第一节 地质地貌背景	(1)
一、深海盆、大洋型地壳、南海的形成	(1)
二、大陆坡、过渡型地壳	(5)
三、大陆架、大陆型地壳	(8)
第二节 海洋热力学和动力学	(9)
一、海洋热力学	(9)
二、海洋动力学	(10)
第三节 陆源物质供应	(12)
第四节 古环境与珊瑚礁	(15)
第二章 珊瑚礁类型及其空间分布	(17)
第一节 生物礁与礁结构	(17)
一、生物沉积类型	(18)
二、礁的形成过程	(19)
三、生物礁的组构	(19)
第二节 造礁生物和附礁生物	(24)
一、浅水造礁石珊瑚	(24)
二、珊瑚藻科	(37)
三、微生物	(39)
四、附礁生物	(41)
第三节 珊瑚礁类型及其分布	(43)
一、常见的几种分类	(43)
二、南海珊瑚礁的分类	(45)
三、南海珊瑚礁的分布	(47)
第三章 大陆架珊瑚礁	(48)
第一节 海南岛鹿回头珊瑚岸礁区——水动力条件与岸礁发育	(48)
一、地质背景和水文气象条件	(48)
二、东瑁岛珊瑚岸礁	(51)
三、鹿回头岸礁发育与连岛沙形成	(55)
四、珊瑚岸礁沉积相	(58)
五、关于珊瑚礁的一些基本问题	(69)
第二节 涠洲岛珊瑚岸礁——海岸地貌类型与岸礁发育	(73)
一、地理位置与水文气象条件	(73)

二、火山岛基底与海岸地貌类型	(74)
三、珊瑚岸礁形成及其发育阶段	(78)
四、礁源与陆源碎屑的混合沉积作用	(82)
五、问题讨论	(86)
第三节 沙老—潭门珊瑚岸礁——平直海岸岸礁及其沉积特征	(88)
一、沉积环境	(88)
二、珊瑚岸礁沉积相	(91)
三、平直海岸岸礁特征	(94)
第四节 新村潟湖岸礁——海岸潟湖的成礁条件与沉积特征	(95)
一、海岸潟湖环境	(95)
二、造礁珊瑚属种和潟湖沉积相	(96)
三、海岸潟湖岸礁特征	(99)
第五节 大铲珊瑚堡礁区——清水、浑水沉积环境与礁源沉积、陆源沉积及两者 的混合沉积相	(101)
一、清水、浑水沉积环境并存	(102)
二、清水沉积域	(104)
三、浑水沉积域	(108)
四、堡礁区现代沉积演化史	(114)
五、问题讨论	(116)
第六节 大陆架珊瑚环礁、台礁和珊瑚丘——内、外陆架边缘珊瑚礁特征	(119)
一、南部大陆架概况	(119)
二、水文、气象条件	(120)
三、内陆架珊瑚丘	(120)
四、外陆架边缘环礁和台礁	(122)
五、问题讨论	(123)
第七节 大陆架珊瑚礁的成礁规律和沉积相模式	(126)
一、珊瑚礁类型齐全, 基底多样	(126)
二、陆源物质供应与大陆架珊瑚礁分布	(127)
三、水动力条件强弱与珊瑚礁发育	(127)
四、海岸地貌的成熟度与岸礁发育	(128)
五、岸礁的平面分布规律	(128)
六、冬季低温对珊瑚礁的影响	(129)
七、大陆架现代珊瑚礁的成礁年代	(129)
八、造礁珊瑚的优势属种和抗浪性问题	(130)
九、岸礁、堡礁区碎屑组分以珊屑和介屑占优势	(130)
十、岸礁、堡礁区有孔虫的指相意义	(131)
十一、岸礁、堡礁区的混合沉积特征和分布规律	(131)
十二、珊瑚岸礁沉积相模式	(134)
十三、上升岸礁、沉溺岸礁和埋藏礁	(136)

第四章 大陆坡珊瑚环礁和台礁	(137)
第一节 华光珊瑚环礁——连续礁墙围成的半开放型环礁	(138)
一、地质、地貌背景.....	(139)
二、气象、水文条件.....	(139)
三、珊瑚环礁沉积相.....	(140)
四、幼年期大陆坡半开放型环礁的特征.....	(144)
第二节 盘石屿珊瑚环礁——连续礁墙围成的封闭型环礁	(146)
一、基本特征.....	(146)
二、主要沉积相.....	(146)
三、环礁的成熟度问题.....	(148)
第三节 永暑珊瑚环礁——连续礁墙围成的开放型环礁	(149)
一、地理位置、构造背景.....	(149)
二、水文、气象条件.....	(150)
三、沉积相带.....	(151)
四、礁体发育与演化.....	(153)
五、问题讨论.....	(155)
第四节 永乐珊瑚环礁——众多礁岛围绕中央潟湖的开放型环礁	(157)
一、概况.....	(157)
二、基座与地形.....	(157)
三、水文、气象条件.....	(158)
四、珊瑚礁格架沉积相.....	(159)
五、礁坪沉积相.....	(161)
六、羚羊鬃礁.....	(162)
七、灰沙岛沉积相.....	(163)
八、环礁潟湖沉积相.....	(164)
九、环礁特征和问题讨论.....	(167)
第五节 永兴珊瑚台礁——组成宣德马蹄形环礁的一个大型台礁	(171)
一、水文、气象条件.....	(171)
二、宣德马蹄形环礁.....	(173)
三、环礁基底和前全新世礁相.....	(174)
四、台礁沉积相.....	(176)
五、礁区碎屑沉积组分和有孔虫属种分布.....	(186)
六、石岛的沉积学.....	(188)
七、问题讨论.....	(192)
第六节 金银岛珊瑚台礁——独立的珊瑚台礁	(196)
一、位置和地形.....	(196)
二、台礁礁缘砾石-粘结岩相和藻脊.....	(197)
三、礁坪沉积相.....	(198)

四、灰沙岛沉积相·····	(199)
五、问题讨论·····	(200)
第七节 大陆坡珊瑚礁的结构、构造和沉积相模式·····	(200)
一、礁的基底和成礁时代·····	(200)
二、礁组合的地形、结构和构造·····	(201)
三、生物礁发育的继承性、阶段性和复合礁体的形成·····	(201)
四、大陆坡珊瑚礁的沉积相模式·····	(203)
第八节 大陆坡珊瑚礁的分类及其演化·····	(209)
一、大陆坡珊瑚礁的分级·····	(211)
二、大陆坡珊瑚礁的成熟度·····	(213)
三、大陆坡珊瑚礁双向成礁模式——构造和季风的控制作用·····	(216)
第五章 大洋型珊瑚环礁·····	(221)
第一节 黄岩岛珊瑚环礁·····	(221)
一、地理位置、地质构造·····	(221)
二、沉积环境与沉积相·····	(222)
第二节 黄岩环礁与大陆坡环礁和大洋环礁对比·····	(224)
一、全球环礁的分布·····	(224)
二、环礁基座对比·····	(225)
三、环礁的形成时代、礁相沉积厚度及规模等对比·····	(226)
四、沉积环境和形成机理对比·····	(227)
第六章 珊瑚礁区沉积学特征与比较沉积学·····	(229)
第一节 礁区沉积学特征·····	(229)
一、礁的分类系统·····	(229)
二、礁源沉积物特征·····	(231)
三、南海礁区潟湖类型和潟湖沉积·····	(233)
四、南海珊瑚礁岛的发育演化·····	(236)
五、南海造礁生物种类、优势属种和抗浪性问题·····	(244)
第二节 礁相沉积的比较沉积学·····	(247)
一、一孔之见的重大意义和生物礁型之争·····	(247)
二、造礁生物的生态学和埋葬学·····	(248)
三、现代礁区沉积相综合模式·····	(257)
第七章 南海礁区沉积物的成岩作用·····	(259)
第一节 成岩阶段和成岩环境·····	(259)
第二节 成岩作用类型·····	(262)
一、粘结作用·····	(262)
二、碎解作用·····	(263)
三、微晶化作用·····	(264)
四、内沉积物·····	(267)
五、溶解、溶蚀作用·····	(268)

六、新生变形作用·····	(269)
七、胶结作用·····	(271)
八、白云石化作用·····	(273)
九、胶磷矿化作用 - 交代作用·····	(273)
第三节 典型岩石类型·····	(273)
一、原地珊瑚礁灰岩·····	(273)
二、礁坪砾屑灰岩·····	(275)
三、礁缘粘结岩·····	(276)
四、四射珊瑚骨针岩·····	(276)
五、海滩岩——海滩砾砂屑灰岩·····	(278)
六、排浦白云岩——砂质白云岩、白云质砾岩等·····	(281)
七、岛屿磷块岩·····	(288)
八、上升海滩岩·····	(291)
九、沙堤、沙丘砂屑灰岩·····	(294)
十、沙丘间含生物砂屑微晶灰岩·····	(299)
参考文献 ·····	(300)
图版说明 ·····	(311)
图版 ·····	(314)

第一章 沉积环境

沉积环境决定着沉积作用的性质和类型。珊瑚礁的沉积环境,既包括生物赖以附着生长的基底条件,又包括其生存、发育的海水的水质、水动力条件,以及周边陆源物质的供应条件。本章将从地质、地貌背景,海洋热力学和动力学,以及陆源物质供应等三方面来论述。

第一节 地质地貌背景

南海是西太平洋一个特殊的边缘海,称为次大洋盆地或小洋盆,其中发育着深海盆、大陆坡和大陆架等典型的主要洋底地貌单元,以及与之相应的海洋地质构造。

南海南北边界走向呈 NE-SW 向,东西边界呈 S-N 向,组成一菱形海盆(见图 1-1),其长轴走向为 NE30°,长约 3 100 km, NW 向宽约 1 200 km,总面积为 $350 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其中,中央深海盆的面积为 $55.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的 15.74%;大陆坡的面积为 $126.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,占 36.11%;大陆架的面积为 $168.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,占 48.14% (谢以萱, 1988)。南海各种海底地貌单元间高差悬殊,多数礁岛的相对高差为 1 000~2 000 m,有些礁岛,如中沙群岛和黄岩岛的相对高差在 4 000 m 左右(见图 1-2)。

南海地壳构造剖面图示于图 1-3,其剖面线位置见图 1-1。

一、深海盆、大洋型地壳、南海的形成

南海深海盆位于中部偏东,略呈菱形(见图 1-1)。北部水深 3 000 m,南部为 4 400 m,大致为 4 000 m 等深线所包围,北东向长约 1 600 km,东西向宽约 700 km。姚伯初、曾维军(1994)和姚伯初(1996)根据水深和海底地形地貌特征,将其细分为 3 个小海盆,即西北海盆、西南海盆和中央海盆(见图 1-1 和图 1-4)。

1. 西北海盆

位于西沙海槽以东、中沙群岛以北,水深为 3 000~3 800 m,面积约 $8 000 \text{ km}^2$ 。海底自西向东微倾,平均坡度为 $(0.3 \sim 0.4) \times 10^{-3}$ 。海盆中有双峰海山,走向 NE,最大相对高差 1 100 m,沉积层厚 1~2 km,地壳厚度为 5.0~5.8 km,其等厚线也呈 NE 向延伸;磁力异常在剖面上为正负相间的波状异常,在平面上呈条带状,反映了洋壳磁异常之特征,可找出 NE 向磁异常条带和残留扩张中心,但难以鉴别其扩张时代。

2. 西南海盆

略呈三角形,NE 向展布,水深为 4 300~4 400 m,最深处为 4 577 m,是南海中最深的海盆。海盆面积约 $11.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆底平坦,中间分布着 NE 向的长龙海山,长 300 km,地壳厚度为 5~8 km。磁力异常在平面上正负相间排列,NE 向展布,姚伯初、曾维军等(1994)定为 13~17 号磁异常条带,对应年代为 42~35 Ma BP。

3. 中央海盆

位于南海中部,呈长方形,南北长 900 km,东西宽 450 km,面积为 $40 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。海盆底部为平坦的深海平原,海盆下为大洋型地壳(硅镁层),由基性、超基性玄武岩、安山岩、橄榄岩等组成。地壳厚度为 5~8.5 km,由沉积层、大洋层 2 和大洋层 3 组成,层

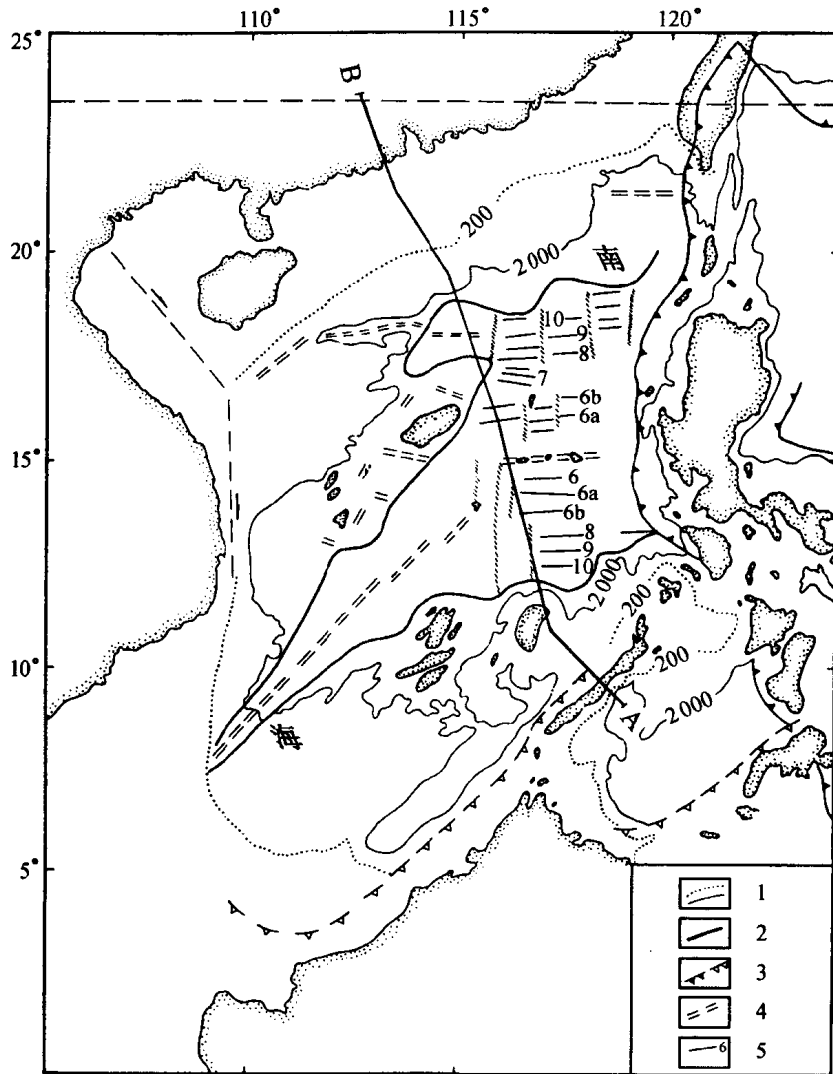


图 1-1 南海地貌和地质构造图

(据 Taylor 等, 1983; 姚伯初等, 1994)

1. 海岸线或礁界; 2. 深海盆界线; 3. 俯冲带; 4. 扩张脊; 5. 磁异常带

3 之下为上地幔。沉积层平均厚度为 1.76 km, 层 2 的平均厚度为 1.99 km, 与西北太平洋的相当, 而层 3 比一般洋盆中的厚度约小 2 km, 至地幔的深度比一般的浅约 1~2 km (见表 1-1)。中央海盆中分布着一系列海山、海丘。有些海山受海底扩张组结构的控制, 排列呈链状或线状, 排列方向有东西向、北东向、南北向和北西向。如在 15°N 附近的黄岩海山链, 东西长 240 km, 南北宽 40~60 km, 山体相对高差达 4 000 m, 直达海面; 海山主要由基性火山岩组成, 如石英拉斑玄武岩、橄榄拉斑玄武岩, 也有碱性玄武岩等; 其岩石化学特征与取自其他大洋盆地扩张中心处海山的样品相似 (Taylor 和 Hayes, 1983)。黄岩海山顶部发育的珊瑚环礁属于大洋型环礁。中央海盆内磁异常在剖面上呈波状, 平面上呈条带状, 走向东西。磁异常条带属 5d~11 号, 对应年代为 32~17 Ma BP。姚伯初 (1996) 修正了 Taylor 和 Hayes (1983) 关于南海海盆的演化模式, 认为现代南海是新生

代期间两次海底扩张的产物：大约在 45 Ma BP，印度板块开始和欧亚大陆碰撞，太平洋板块向亚洲大陆边缘俯冲，从而导致一系列新的构造运动。

表 1-1 南海、西北太平洋洋壳厚度 (km) 对比*

	沉积层 (H ₁)	层 2 (H ₂)	层 3 (H ₃)
南海海盆	1.76	1.99	3.22
西北太平洋		2.05	5.08

* 据 Ludwig 等, 1979; 姚伯初等, 1994。

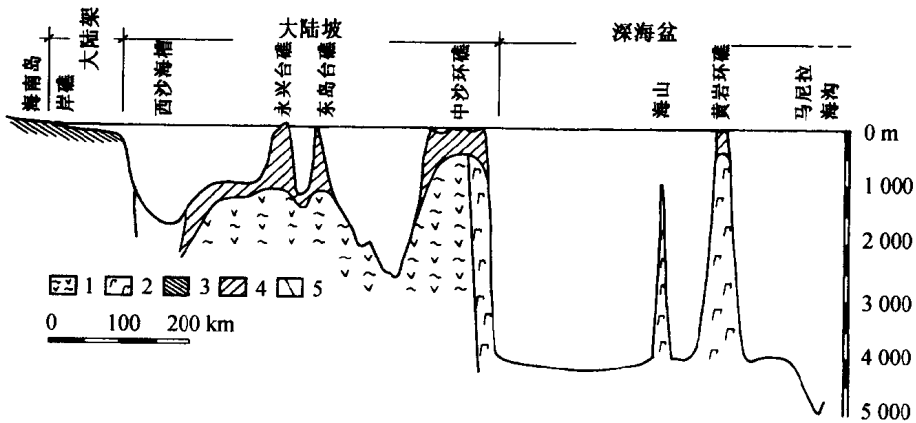


图 1-2 南海北部大陆架—大陆坡—深海盆地貌剖面示意图

(据冯文科等, 1988; 姚伯初等, 1994; 改编)

1. 基岩; 2. 玄武岩; 3. 砂泥岩; 4. 礁灰岩; 5. 断层

新生代早期，亚洲大陆东南陆缘发生一次张性构造运动，称为神狐运动。它使亚洲大陆及古南海向东南运动，后者向加里曼丹—西南巴拉望地块之下俯冲；亚洲大陆边缘上则产生了 NE 向断裂，形成一系列彼此分割的 NE 向断陷，大都属半地堑（图 1-4, a）。

始新世晚期，南海地区又发生一次构造运动，称为南海运动。在这次运动中，中沙—西沙—南沙地块向 SE 方向运动，在中沙地块后面，由海底扩张产生了南海西北海盆（图 1-4, b）。这次海底扩张运动始于晚始新世（约 42 Ma BP），早渐新世时南沙地块与加里曼丹—西南巴拉望地块发生碰撞使第一次海底扩张停止（图 1-4, b）。

晚渐新世（约 32 Ma BP）时，南海地区又发生一次南北向的海底扩张运动，礼乐—东北巴拉望地块与亚洲大陆破裂、分离。古南海继续向南运动俯冲于加里曼丹—西南巴拉望地块之下（图 1-4, c）。

早中新世时，向南运动的礼乐—东北巴拉望地块与加里曼丹—西南巴拉望地块碰撞，使海底扩张停止，诞生了南海中央海盆（图 1-4, d）。到上新世时，菲律宾岛弧逆时针方向转动到今天的位置，于是南海海盆成为一个半封闭的边缘海。上新世晚期，菲律宾岛弧的北端与亚洲大陆碰撞，将陆缘抬起、压缩，造成台湾岛。

中新世至今，由于连续的热收缩，引起南海盆底及其边缘大幅度的沉降（Taylor 等, 1983）。陆源碎屑沉积充填补偿，大型三角洲在大陆边缘形成，在有利的海域形成珊瑚礁体，一部分礁体跟随海面上升直到现代海平面。现代南海的景观最终形成。

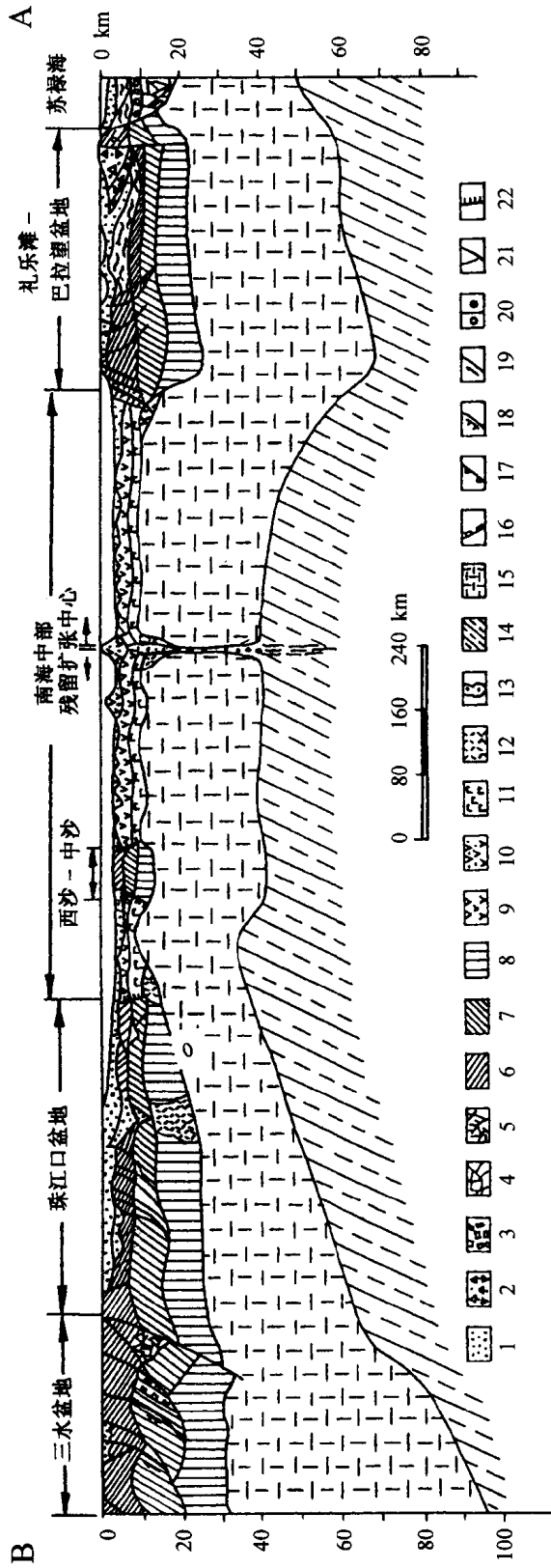


图 1-3 南海地壳构造剖面图 (据曾维军, 1991)

1. 新生界; 2. 中新世混杂岩; 3. 中、新生代混杂岩; 4. 中生代蛇绿岩; 5. 早古生代蛇绿岩;
6. 上地壳层; 7. 中地壳层; 8. 下地壳层; 9. 大洋层; 10. 扩张期后玄武质喷发岩; 11. 大洋层;
12. 异常地壳; 13. 岩浆通道; 14. 上地幔软流层; 15. 上地幔岩石圈; 16. 新生代聚敛带; 17. 古生代聚敛带; 18. 中生代仰冲断层; 19. 新生代逆冲断层; 20. 走滑断层; 21. 拆离断层; 22. 洋-陆边界

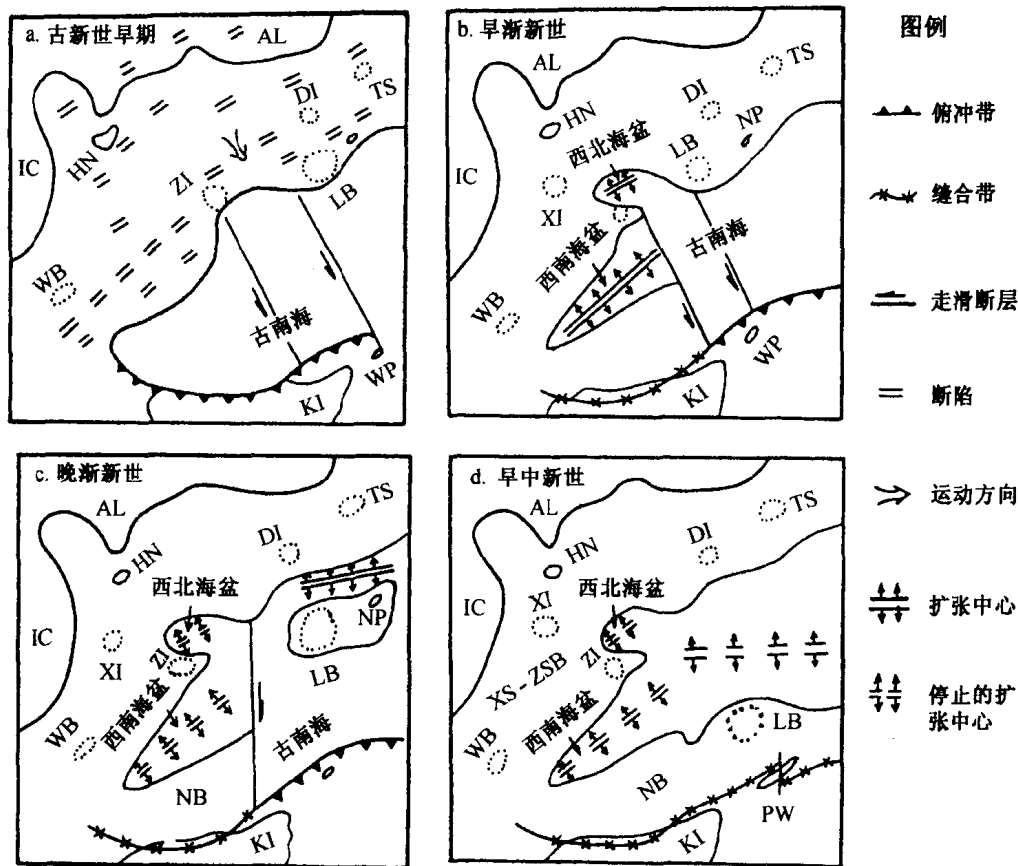


图 1-4 新生代南海海盆构造演化示意图 (据姚伯初, 1996)

AL. 亚洲大陆; IC. 印度支那; HN. 海南岛; XI. 西沙群岛; WB. 万安滩; ZI. 中沙群岛; DI. 东沙群岛; TS. 台湾浅滩; LB. 礼乐地块; NP. 东北巴拉望; WP. 西南巴拉望; KI. 加里曼丹岛; XS-ZSB. 西沙-中沙地块; NB. 南沙地块; PW. 巴拉望岛

二、大陆坡、过渡型地壳

大陆坡是从大陆架转折处开始向下延伸到深海盆为止的整个陡坡区。南海大陆坡的水深各处不一，一般变化于 150~3 500 m。大陆坡之下是介于大陆地壳和大洋型地壳之间的过渡型地壳。南海大陆坡的地形变化复杂：因其本身由 2~5 级台阶组成，而且既受海槽或海底峡谷的切割，又有海山或海丘的穿插；而奠基于大陆坡上的珊瑚礁、岛、暗沙、浅滩又进一步扩大了其地形的反差。南海北、西、南三面大陆坡都很宽广，惟东部大陆坡较狭窄。

1. 北部大陆坡

这是指位于南海北部西沙北海槽以北的大陆坡。南海北部陆缘属新生代被动大陆边缘。神狐运动和南海运动在古大陆边缘造成一系列 NE 向断裂、地堑和地垒，并发育成断陷盆地，相继充填了巨厚的新生代陆相、海陆过渡相和海相沉积，形成现在的大陆坡。它呈 NE 向展布，东至台湾以南，基本上与海岸线或地质构造线平行；宽 140~280 km，中部宽广，两端收敛。大陆坡平均坡度为 $0^{\circ}35' \sim 1^{\circ}20'$ ，其内缘与大陆架相接处为一陡坡，坡度一般为 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，东端台湾浅滩以南达 $4^{\circ}41'$ ；大陆坡外缘存在另一个陡坡，为 $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ ；介于两者之间呈现 3 级平面上不连续的台阶：第一级为水深 300~400 m 的东沙台阶，第