

P 736.21
C723

 国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



生物礁生态系统演化 和全球环境变化历史

齐文同 编著

北京大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

生物礁生态系统演化和全球环境变化历史/齐文同著. —北京:北京大学出版社,2002.2
ISBN 7-301-05476-9

I. 生… II. 齐… III. 生物礁-生态系统-进化-关系-全球环境 IV. P736.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 003374 号

书 名: 生物礁生态系统演化和全球环境变化历史

著作责任者: 齐文同 编著

责任编辑: 马 纪

标准书号: ISBN 7-301-05476-9/P·0055

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电 话: 出版部 62752015 发行部 62754140 编辑部 62752032

电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

排版者: 北京高新特激光照排中心 62637627

印刷者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 284 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 元

内 容 提 要

本书系统阐述世界上生物礁的时代分布、兴衰、消失和再发育的历史过程,以及生物礁群落和生态系统的演化历史,追溯生物礁特别是造礁生物的兴衰绝灭与全球环境变化之间的密切关系和相互作用的历程,为深入研究全球变化的历史和规律,恢复地质历史时期地球系统中的生物圈、水圈、大气圈及岩石圈等各个层圈之间的相互作用提供新的资料。本书概念明确,文字浅显,图文并茂,便于读者阅读和掌握。

本书以关心环境保护问题和全球环境变化的教学和科学研究人员为主要读者对象,并且可以供有关部门的领导、实际工作者和广大青年读者阅读和使用。

序 一

当前国际地质科学发展的一个重要趋势,就是从单一层圈的研究发展到研究地球各层圈之间的相互作用及其发展历史。随着人们环境和生态意识的提高,以及对地质历史时期自然环境变化过程的深入研究,人们对于生物圈在地球系统中的重要性、生物指示环境的作用及生物对环境的影响,也有了更加全面的认识。当前有人提出,生物地质学(Biogeology)是未来最诱人的领域(C. Allegre, 2000);著名的美国地球物理学会最近成立生物地学(biogeoscience)分部。提倡地球和行星科学同生物学的交叉开展重大科学问题的研究。

现代的珊瑚礁和古代的生物礁是由多种生物构筑而成的独特地质体。最古老的生物礁的形成已经有十几亿年的历史。而现代澳大利亚 2000 多公里长的大堡礁和红海 3800 多公里长的岸礁,则是地球上主要由生物建造形成的最大地质体,说明生物礁具有很大的经济和环境意义。埋藏在地下的古代生物礁中还可以储藏丰富的石油天然气和金属矿产。因而近年来各国对生物礁的研究发展很快。

现代的主要造礁珊瑚等生物对于海水环境,包括温度、深度、清澈度、盐度、波浪和光线等都有很严格的要求,表明造礁生物的兴衰与其生存环境密切相关。因此生物礁的发育状况和地理分布,成为恢复地质历史时期全球环境的一项重要指征。造礁生物的多次绝灭和绝灭之后的复兴,以及造礁生物类群的更替,则是生物进化历史上的大绝灭和大复苏事件的一部分。这些情况表明,生物圈与其环境是密切相关的。

我国是世界上生物礁发育的国家之一,在时间和空间上均分布甚广,为研究生物礁提供了非常有利的条件。我国古代生物礁的研究硕果累累,已经发表了十几部专著和 300 多篇研究论文,在世界地学界占有一席之地。我国的生物礁研究大有可为。

齐文同教授所著的《生物礁生态系统演化和全球环境变化历史》一书,是我国自然科学基金资助研究项目的新成果之一。该书从全球环境的角度,系统总结了地质历史时期全世界生物礁的时代分布、主要造礁生物的演化、生物礁群落和生态系统的演化历史,大大丰富了我国生物礁研究的内容,并且从一个方面为我们揭示了全球环境变化的历史。本书还提出,巨大生物礁的发育对于海洋的水动力状况,以至沉积作用和海岸的保护也有不可忽视的影响,说明生物界对于其生存环境,乃至生物圈对于水圈和岩石圈具有一定的能动作用。本书还阐述了非常迫切的生物礁保护和可持续发展问题。希望本书的出版将对发展我国的生物礁和全球变化历史研究起到促进作用。

陈松

2001 年 12 月

序 二

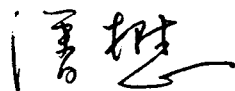
注重全球环境变化历史的研究,是当前地球科学的一个重要发展趋向。通过多学科交叉和综合,研究地质历史时期自然环境的演变过程,取得了许多突破性的进展。本书从全球环境变化历史的角度,系统阐述了全世界生物礁的时代分布、发育条件、群落和生态系统演化,能为研究全球环境变化的历史和规律提供资料,并且为深入研究地球系统——岩石圈、生物圈、水圈和气圈之间相互作用的过程和机制提供资料和例证。

生物礁主要由生物构筑而成,其生物的数量和种类十分丰富,构成了生物礁的群落和生态系统。生物礁的形成和发育所要求的环境条件非常严格,因而生物礁的兴衰和绝灭的历史,成为地质环境的灵敏指示。所以本书对于全球环境变化和全球系统研究,也有较高的学术价值。

埋藏在地下的生物礁中蕴藏着丰富的石油和天然气资源。美国、加拿大和中东等地丰富的油气藏,很多与生物礁有关。我国南海也发现了第三纪的生物礁油气藏。研究生物礁的发育和分布规律,将有助于在我国生物礁油气藏的勘探取得更大突破。我国南海和台湾的现代生物礁地位非常重要,并且拥有丰富的水产、矿产和旅游资源。本书论述了现代生物礁面临的资源保护和可持续利用问题,使这部著作具有较大的实际意义。

我国近年出版了几部生物礁研究的综合性专著,如曾鼎乾等(1984)著的《中国各地质历史时期生物礁》、范嘉松(1996)主编的《中国生物礁与油气》和金善燊等(1998)著的《中国南方震旦纪-三叠纪生物礁分布特征、成因及储集性能的研究》等,此外还有不少专门研究某一地质时期生物礁的专著和300多篇研究论文。与这些成果相比较,本书具有以下特色:首先,本书系统阐述了生物礁的群落和生态系统的发展历史;其次,本书是从全球环境变化的角度研究生物礁的发生和发展历史,强调全球环境的重大变化和造礁生物的演化,是决定世界生物礁类型和发育特征的首要因素;再次,本书还将生物礁作为全球环境变化的一项指标,并作为恢复海洋环境变化历史过程的重要依据。此外,本书也强调生物对于环境具有能动作用,生物礁的发育对海洋环境的水动力状况、沉积作用和生物多样性等也有很大的影响。

本书的内容广泛,不但综述了全世界各个地质时代的生物礁,而且对于前人较少涉及的生物礁的时代分布、造礁生物群落和生态系统演化,都从全球变化的角度加以分析和总结。此外本书还增加了现代生物礁保护和可持续性利用的章节。希望本书的出版,能为我国正在发展中的生物礁研究和全球变化研究起到较大的促进作用。



2001年12月

前 言

现代生物礁主要是由六射珊瑚构筑的珊瑚礁,广泛分布在南北纬 30°之间的热带海域。我国南海诸岛绝大多数都是由珊瑚礁形成的岛屿。澳大利亚 2000 多公里长的大堡礁和红海 3800 多公里长的岸礁,是由生物构筑而成的最大地质体,对于海洋环境也有很大的影响。

现代珊瑚礁主要发育于年平均水温 20℃ 以上的热带浅海,水深 50 m 以内至平均海平面,波浪冲激的环境下,还要求海水盐度正常,底质坚硬。因而生物礁成为海洋环境的灵敏指示;全世界地质时期生物礁的发育状况,则成为全球环境变化历史的一项重要指征。

现代珊瑚礁拥有海洋中最丰富多样的生物群落,是生物圈的一个重要组成部分。如大堡礁栖居着 1500 多种鱼,相当于整个大西洋的总和。现代珊瑚礁中的珊瑚和钙藻等造礁生物、软体动物和鱼类等礁栖生物,加上钻穴生物和鹦鵒嘴鱼等生物礁的破坏者,与环境共同组成生物礁生态系统。热带生物礁是个非常复杂的脆弱生态系统,一旦环境恶化,整个礁生态系统就会瓦解,妨碍甚至阻止生物礁的发育。在有利的环境条件下,生物礁的生态系统可以复苏或新生。研究全球生物造礁作用的发展和演化、生物礁的群落和生态系统的构成和兴衰历史,对探明全球变化的过程和发展趋向,具有重要作用。

现代的生物礁具有丰富的水产和旅游资源,埋藏地下的古代生物礁蕴藏着丰富的石油天然气资源,因此生物礁的研究还具有很大的经济意义。

本书系统阐述世界上生物礁的时代分布、兴衰、消失和再发育的历史过程,以及生物礁群落和生态系统的演化历史,追溯生物礁特别是造礁生物的兴衰绝灭与全球环境变化之间的密切关系和相互作用的历程,为深入研究全球变化的历史和规律,恢复地质历史时期地球系统中的生物圈、水圈、大气圈及岩石圈等各个层圈之间的相互作用提供新的资料。

书中介绍了生物礁的构成、相带分布、主要类型、成因和资源;我国和国际上生物礁研究的进展,以及生物礁研究的新理论和模式。生物礁的发育与环境之间的关系密切。生物礁不但成为地史时期海洋环境灵敏可靠的指征,同时也应看到,生物礁具有改造海洋环境的作用,代表生物圈对于全球环境作用的一个重要方面。本书以现代生物礁群落的主要类群和空间分布为基础,综述地质历史时期生物礁群落演化的过程,强调生物进化以及生物礁群落的大规模绝灭和重新发生对生物礁的演化有重要作用。生物礁的生态系统代表生物礁的群落与其生态环境的统一体,在我国的文献中叙述得比较少,因此本书有两章重点叙述现代生物礁的生态系统以及生物礁生态系统的历史演化。全球变化中的生物礁演化是本书的又一重点,表述与生物礁的发育有关的全球环境变化的性质、生物礁是古环境的重要指征,以及从生物礁认识全球环境变化。最后一章专门讲述现代生物礁的环境保护和可持续发展,分析人类活动和自然因素对于生物礁的灾难性影响,并且就保护和开发生物礁资源问题提出了建议。

本书每个章节集中说明一个方面的问题,可以独立成篇,便于读者把握和应用。在写作上力求概念清楚,文字浅显,图文并茂,易于阅读和理解。

本书以关心环境保护问题和全球环境变化的教学和科学研究人员为主要读者对象,并且可以供有关部门的领导、实际工作者和广大青年读者阅读和使用。

本书是国家自然科学基金项目《六射珊瑚的兴衰绝灭、生物礁分布与全球变化研究(批准号 49572085)》的研究成果,并有幸得到国家自然科学基金资助出版,国家自然科学基金委员会马福臣教授、柴育成教授、钱祥麟教授、姚玉鹏教授和刘羽教授给予作者很大帮助和鼓励,谨致谢忱。在此书写作过程中作者参考了生物礁的大量国内外文献以及六射珊瑚的资料,进行了各地质时期生物礁的归纳,并且首次建立了在 FOXPRO 下的六射珊瑚的数据库和文献库。书中引用了许多国内外作者的专著和文章,在此一并致谢。中国科学院孙枢院士和北京大学地球与空间科学学院潘懋教授为本书作序;在写作过程中,何国琦教授、范嘉松研究员、郝守刚教授、白志强教授和马学平教授与作者进行了有益的讨论;石油工业出版社马纪副编审修改文稿,谨致谢忱。

作者谨识

2001 年 12 月

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 生物礁的基本特征	(1)
1. 生物礁的定义	(1)
2. 生物礁的相带分布	(2)
第二节 生物礁的主要类型	(3)
1. 生物礁的经典分类	(3)
2. 生物礁的形成机制分类	(3)
第三节 现代生物礁的地理分布	(4)
1. 浅水珊瑚礁	(4)
2. 深水珊瑚滩	(4)
第四节 生物礁的成因说	(5)
1. 达尔文的沉降说	(5)
2. 戴利的冰川控制说	(5)
3. 库奈的冰期成因沉降说	(5)
第五节 古代生物礁的资源	(7)
1. 生物礁是石油天然气资源的宝库	(7)
2. 生物礁的金属矿产	(7)
第二章 我国生物礁研究的进展	(8)
第一节 我国生物礁研究的概况	(8)
1. 我国早期对生物礁的认识	(8)
2. 我国 1949 年以来的生物礁研究	(8)
第二节 我国生物礁的群落和生态	(9)
1. 震旦纪的叠层石礁	(9)
2. 早寒武世的古杯礁和藻礁	(10)
3. 奥陶纪生物礁的出现及造礁生物演替	(12)
4. 早志留世生物礁丘的复苏	(19)
5. 泥盆纪生物礁的发展	(21)
6. 石炭纪点礁的形成	(28)
7. 二叠纪海绵礁的发育	(31)
8. 三叠纪生物礁的复苏	(38)
9. 我国第三纪生物礁的发现	(38)
第三章 生物礁的发育与环境	(40)

第一节 现代珊瑚礁发育的环境条件	(40)
1. 水温条件	(40)
2. 海水的扰动	(42)
3. 无光带的生物礁	(43)
4. 海水的化学成分	(44)
5. 海水的深度	(45)
6. 碎屑物对珊瑚礁的影响	(46)
7. 珊瑚礁形成的地质背景	(46)
第二节 珊瑚礁改造海洋环境	(47)
1. 珊瑚礁是海洋中的绿洲	(47)
2. 珊瑚礁是保护陆缘区的屏障	(48)
3. 珊瑚礁碳酸盐岩的沉积作用	(49)
第四章 生物礁的群落演化	(50)
第一节 现代珊瑚礁的群落	(50)
1. 群落的基本概念	(50)
2. 现代珊瑚礁的群落	(51)
3. 造礁生物	(51)
4. 喜礁生物	(55)
5. 钻蚀生物和珊瑚礁的破坏	(55)
第二节 生物礁群落的时间演替序列	(56)
1. 生物礁的群落演替	(56)
2. 生物礁群落演替的物种特征	(59)
3. 生物礁群落演替的群落特征	(61)
第三节 生物礁群落的多样性演化	(64)
1. 近代生物礁群落的多样性	(64)
2. 化石生物礁群落的多样性	(66)
3. 大绝灭对生物礁群落多样性的影响	(70)
第四节 主要造礁生物门类的演化	(71)
1. 藻类的演化与造礁作用	(71)
2. 海绵造礁作用的演化	(74)
3. 腔肠动物门的演化与造礁作用	(77)
4. 苔藓动物的演化与造礁作用	(79)
5. 腕足动物的造礁作用	(80)
6. 厚壳蛤双壳类的造礁作用高峰	(81)
7. 海百合纲的造礁作用	(83)
第五章 现代珊瑚礁的生态系统	(85)
第一节 现代生物的生态系统研究	(85)
1. 现代生物的生态系统	(85)
2. 生态系统研究的发展趋向	(86)

第二节 现代珊瑚礁生态系统特征	(87)
1. 现代珊瑚礁生态系统的结构	(87)
2. 现代珊瑚礁的食物网结构	(90)
3. 现代珊瑚礁的初级生产率	(95)
4. 现代珊瑚礁的生物扰动	(96)
第三节 太平洋东部的现代珊瑚礁生态系统	(98)
1. 一般特征	(98)
2. 珊瑚的再定植	(99)
第六章 生物礁生态系统的历史演化	(101)
第一节 前寒武纪的叠层石礁生态系统	(101)
1. 概述	(101)
2. 叠层石礁生态系统	(102)
第二节 古生代生物礁生态系统的演化	(103)
1. 早寒武世的古杯礁生态系统	(103)
2. 中寒武世-早奥陶世的藻礁生态系统	(109)
3. 中-晚奥陶世的多种生物礁生态系统	(110)
4. 志留纪和泥盆纪的层孔虫-床板珊瑚礁生态系统	(113)
5. 石炭纪和二叠纪的苔藓虫礁和海绵礁生态系统	(116)
第三节 中生代生物礁生态系统的复兴和演化	(122)
1. 中三叠世生物礁生态系统的复苏	(122)
2. 中三叠世的生物礁群落	(123)
3. 中三叠世六射珊瑚的出现	(125)
4. 晚三叠世的生物礁群落	(126)
5. 早侏罗世生物礁群落的新生	(129)
6. 晚侏罗世的生物礁生态系统	(131)
7. 白垩纪厚壳蛤礁生态系统的发展	(133)
第四节 新生代生物礁生态系统的现代化	(137)
1. 第三纪生物礁生态系统的新生	(137)
2. 第四纪珊瑚礁的现代化	(138)
第七章 全球变化中的生物礁演化	(140)
第一节 生物礁是古环境的重要指征	(140)
1. 古海洋温度的指示	(140)
2. 珊瑚礁指示海平面变化	(141)
3. 板块运动与构造活动的指示	(142)
4. 全球温度变化与生物礁群落多样性	(143)
5. 生物因素对生物礁群落多样性的影响	(144)
第二节 从生物礁演化认识全球变化历史	(144)
1. 前寒武纪的生物礁发育	(145)
2. 古生代的生物礁发育	(145)

3. 中生代的生物礁发育	(146)
4. 新生代珊瑚礁的演化	(148)
第三节 加拿大生物礁的时代及其古环境	(148)
1. 加拿大的生物礁发育	(148)
2. 加拿大前寒武纪生物礁	(150)
3. 加拿大早古生代生物礁	(150)
4. 加拿大晚古生代生物礁发育的新阶段	(151)
5. 加拿大中生代多种生物礁的环境	(155)
第八章 现代珊瑚礁的环境保护和可持续发展	(156)
第一节 人类活动对珊瑚礁的破坏	(156)
1. 环境污染对珊瑚礁的危害	(156)
2. 采集珊瑚和贝类对珊瑚礁的破坏	(157)
3. 渔业对珊瑚礁的破坏	(158)
4. 旅游业对珊瑚礁的影响	(159)
第二节 自然因素对珊瑚礁的破坏	(159)
1. 海平面变化和构造运动造成沉溺礁	(159)
2. 珊瑚虫漂白和死亡的危害	(160)
3. 风暴对珊瑚礁的冲击	(160)
4. 低温使珊瑚礁死亡	(161)
第三节 现代珊瑚礁的可持续利用	(161)
1. 防止污染和人为破坏珊瑚礁	(161)
2. 红树林的保护	(161)
3. 珊瑚礁区的可持续渔业	(162)
4. 珊瑚礁的生态旅游	(162)
主要参考文献	(164)

第一章 总 论

第一节 生物礁的基本特征

1. 生物礁的定义

生物礁是主要由生物构筑而成的一种特殊碳酸盐构造体。近代的生物礁和古代的一些生物礁中,珊瑚骨骼对于礁体的形成有很大的作用,因此生物礁也常称为珊瑚礁。但真正的珊瑚礁应当是指主要由珊瑚骨骼构成生物礁的骨架,并且珊瑚骨骼体积占有相当比例的礁体。

“礁”(reef)一词来源于挪威语“rif”,是航海者对海洋中突出于海底之上的狭窄隆脊的称谓。那些礁往往接近海面或露出一部分,航船触礁常常沉没或搁浅,造成灾害。地质学家将“礁”一词引伸为主要由珊瑚构筑成的高于海底的地质体,这些分枝状的珊瑚能聚集碳酸钙质的碎屑物,Lowenstam (1950)和 Newell 等(1953)进一步强调生物礁由珊瑚构成骨架,以红藻等联结起来,能抵抗风浪的冲激。

生物丘(bioherm)是由 Cumings(1932)创造的名词,指的是由生物形成的圆丘状构造,位于沉积岩或沉积物的包围之中。Nelson 等(1962)主张,生物丘是原地的生物堆积。因此生物丘实际上就是生物礁。

Dunham(1970)年提出了生态礁与地层礁的双重礁概念,以适应当时一些人将礁的概念扩大,形成广义与狭义礁的混乱状况。生态礁(ecologic reef)中具有各种造架生物、包覆生物和由其包覆的颗粒,由于生物的包覆作用将颗粒胶结或联结起来;生物对礁体的形成和地貌发育起控制作用。因此生态礁的概念与生物礁是相当的。至于地层礁(stratigraphic reef)则是全部或大部由碳酸盐岩形成的三度空间的几何体,其侧向延伸不远。亮晶方解石胶结各种砾块和碎屑物,构成地层礁的主体。

赫克尔(Heckel)1974 年对生物礁的环境因素作了如下规定:礁应能抗风浪作用,因而能在动荡的海水中发育,即由生物或非生物的作用联结生物和生物屑。礁体的抗浪作用标志是具有由礁的碎块组成的礁角砾堆积,这种礁称为骨架礁(framework reef)。胶结物中的渗滤粉砂构造说明其胶结物形成于沉积作用早期,也可以成为礁体抗浪的证据。

建隆(buildup)又称岩隆,是斯坦顿(Stanton)1967 年首先提出来的,他主张建隆是由有骨骼的生物所形成的原地碳酸盐堆积,在其形成时高于旁边的海底,其涵义包括礁、生物丘、生物礁和丘等概念。赫克尔 1974 年则规定建隆是正向的地貌隆起,其成分和结构与周围的岩石明显不同,厚度大于同期沉积物,并且形成于海底地形的高处。因此建隆是一个三度空间的几何体,其成因可能包括生物、波浪如水动力等多种因素。这一个成因与结构比较笼统的概念应用起来比较灵活,文献中使用相当广泛。

由于礁的名词定义有长期的演变过程,使用者往往在文中必须阐明自己对“礁”一词的定

义和认识,使这个广泛应用的术语更加难以把握和理解。笔者认为,与生物的长期演化、绝灭和复苏密切相关,反映环境特征甚至全球环境变化的应当是生物礁,即由生物构成,包括造架生物、联结包覆生物和礁栖生物的可以称为生物礁。有些生物礁中的生物组分比较少,而灰泥和胶结物所占的比例则比较大。至于由灰泥组成的灰泥丘则可以称为丘,而不宜冠以礁之名。

典型的生物礁还应当构成隆突的地质体,具有抗浪特征,形成于海底的高处。它的这些特征,与化石丰富的生物滩或滩(organic bank or bank; Lowenstam, 1950)也是可以从形态和分布状况上明显区分的。生物层(biostrome)在形成时没有地貌隆起,侧向伸展很远,主要由完整或破碎的生物骨骼构成。生物层的形成环境及生物组分常与生物礁不同,本书不准备详细讨论。

2. 生物礁的相带分布

生物礁可以分为下列几个相带,其生物组成、沉积物成分和微地貌特征各不相同。礁骨架相是礁相组合当中最关键的相带,其生物数量最丰富,种类最多样,并且提供了礁前和礁后相的物质来源。礁骨架相不但构成了生物礁生态系统的主体,而且其构造复杂,变化迅速,成为生物礁研究的重点。

(1) 礁核相

礁骨架相主要由原地造架生物组成,由生物骨骼构成礁的骨架,以钙藻等包覆生物相联结。在现代生物礁的骨架相表面,造架生物的数量很多,覆盖面积可占 50%~100%。但是由于生物作用和机械作用,再加上成岩后生作用的破坏,古代礁的礁核相中生物骨架的含量可能只占 10%~70%,平均不到 30%。

礁核相的生物种类非常繁盛,其温暖浅水、充足的阳光和食物供应,再加上生物多种形态的生长方式,使其成为最丰富多样的海洋生物生境。如大堡礁就有 300 多种造礁的六射珊瑚和多种的藻类等。有人认为,珊瑚礁的生物多样性超过了热带雨林。

(2) 礁顶相

礁顶相是礁体最高部位,海水最浅,有些在落潮时露出水面,其珊瑚的数量较少,有些珊瑚成扁平形。还有些礁的礁顶相由珊瑚骨骼碎块堆积而成。这些由构架珊瑚破碎而成的珊瑚砾石和珊瑚砂,常受钻孔生物钻蚀或藻类等生物包覆。

(3) 礁斜坡相

礁斜坡位于礁核相前方,常成 50°~90°向广海倾斜,水深约几十米。因海水能量低,光照弱,六射珊瑚数量较少,生长受限制,常呈扁平状。现代礁的斜坡相常有丰富的八射珊瑚及少量的硬海绵。礁斜坡相的沉积物多为珊瑚等生物的骨骼碎屑,粗细不一,混杂,粒径分选性较差或中等。

礁斜坡相的上限约为 30 m 左右,与礁核相成过渡关系,下限为斜坡变缓处,深度 100~200 m 左右。

(4) 近礁角砾堆 (proximal talus)

在礁体碎块和珊瑚骨骼碎片堆积的缓坡上,由几米直径的礁碎块与珊瑚等生物骨骼的碎片以及仙掌藻和红藻等生物的碎屑覆盖,硬底质少,生物稀少。

(5) 礁坪相

礁坪相位于礁顶相后方,水深一般 1~2 m,宽约几米到 100 m 以上。礁坪相的表面由于波

浪和水流能量比较低,珊瑚等生物比礁核和礁顶部位少,但局部的珊瑚可以繁盛生长,甚至成为点礁。礁坪的沉积物主要是珊瑚等生物骨骼的碎块,灰泥沉积物常被水流冲走。

(6) 礁后砂相

珊瑚和钙藻等生物的碎屑,以及破碎的棘皮动物、软体动物和有孔虫等堆积在礁后部位,分选中等到良好,灰泥很少。礁后砂相深度一般 1~5 m,有的可达 10 m 左右;宽度约几十米,有时当海平面稳定时则可以达到几公里宽。

(7) 泻湖相

泻湖位于礁后海水流动较差的部位,主要沉积由生物碎屑形成的泥和细砂等,分选性不好,有些可含有陆源碎屑物质。生物碎屑主要有软体动物、有孔虫及仙掌藻碎屑等,泻湖相沉积层常有生物钻穴和掘穴,以及钻穴生物的骨骼碎片。

第二节 生物礁的主要类型

生物礁的分类是为了满足研究和交流的需要。随着生物礁研究工作的深入,针对生物礁不同方面的特征,可以有不同的生物礁分类方案。

1. 生物礁的经典分类

生物进化论的奠基者达尔文具有渊博的地质知识,他发表的《珊瑚礁的构造和分布》一书,不仅系统描述了印度洋和太平洋的珊瑚礁,而且将其分为岸礁、堤礁(即堡礁)和环礁,进而解释了生物礁的成因,获得了举世公认。

(1) 岸礁(fringing reef)

岸礁位于大陆或海岛沿岸的水下斜坡上,成线状分布,是由造礁生物的骨骼生长和堆积形成的。岸礁一般由浅水部位向海面和外海边缘方向生长,接近或偶然高于低潮水面。

(2) 堡礁或堤礁(barrier reef)

位于大陆或海岛附近,其与陆地之间有泻湖相隔。澳大利亚著名的大堡礁长达 2000 km 以上,宽达 1~150 km。

(3) 环礁(atoll),又称马蹄形礁

环礁分布在广阔海洋中,略呈环形,礁内环绕的是中央泻湖。环礁内的泻湖由礁的缺口与大洋相通,使其成为天然良港。

此外,根据礁的形态特征,后来还划分出了点礁或斑礁,以及塔礁(pinnacle reef),它们的规模较小,生于浅海或泻湖中,孤立或成群出现。

2. 生物礁的形成机制分类

(1) 构架礁

造礁生物的数量丰富,并且由原地的造礁生物构成生物礁的骨架结构,如珊瑚礁、海绵礁等。

(2) 障积礁

由一些障积生物减弱海浪冲激作用,使生物碎屑及灰泥等沉积下来,形成礁体,具有障积结构。

(3) 叠层石礁

由菌藻类生成的叠层石粘结或包覆碳酸盐物质,形成叠层石礁,其规模有的可以达到几百米。

灰泥丘中很少有造架生物或障积生物,但可以由海浪作用或海底地形等因素形成,其成分以灰泥为主。严格说来,灰泥丘并不是生物礁,生物造礁作用也不明显;但由于不同研究者的认识 and 标准不同,有的人将含有少量生物骨架构造或障积作用构造的灰泥丘也称为“礁”,例如称之为灰泥丘型礁。

第三节 现代生物礁的地理分布

1. 浅水珊瑚礁

现代生物礁的分布状况与主要造礁生物所要求的生活条件有关,如水温、水化学、海水深度、水动力条件及碎屑物的含量等。研究现代生物礁的分布状况,有助于恢复地质历史时期全球的环境和其变化。

现代的浅水生物礁主要由礁型六射珊瑚构成骨架,以红藻等包覆生长联结构筑成礁的抗浪构造。因此,现代礁型六射珊瑚最适宜的生活条件就成为现代珊瑚礁分布的主要条件。

现代珊瑚礁主要分布在南北纬 30°之间,海水温暖清彻、含盐度正常,深度大约 50 m 之内。其中尤其以热带海洋中的珊瑚礁最发育。

我国南海诸岛绝大多数是珊瑚岛,包括众多的岸礁、环礁和点礁等。岸礁主要发育在海南岛的南部沿岸;台湾岛的海岸和澎湖群岛则代表我国东海的珊瑚礁。

2. 深水珊瑚滩

现代的深水中生活着很多非礁型珊瑚,其软体内没有动物黄藻共生,因此其生存条件的范围远远广于礁型珊瑚。现代非礁型六射珊瑚的深度范围可达 0~6200 m,从北纬 70°左右的挪威海域到南极洲的罗斯海(南纬 78°24′)都可以见到非礁型的六射珊瑚生存。我国的科学工作者就曾经从罗斯海捞出过六射珊瑚(Cairns 和 Stanley, 1981; 齐文同, 1989)。非礁型六射珊瑚所构筑的礁状构造,分布在大西洋东部的中非直到北欧的海岸附近,以及南美洲的南端和大洋洲的新西兰附近海域,海水深度 60~1500 m 左右,水温只有 4~20℃的海里。由于在深水中非礁型珊瑚的生长缓慢,深水珊瑚滩难于生长构筑成突出海底的正地形和抗浪构造,也难形成厚凸的礁体。但是,如何识别由这些非礁型珊瑚构成的古代“珊瑚礁”,对于恢复古环境和生物礁发育的历史是很重要的。

Teichert(1958)提出了识别古代深水珊瑚滩的几项标志:①藻类没有或者很少;②缺少侧向延伸的浅水沉积相标志;③珊瑚枝折断主要是由于生物剥蚀作用,而不是风浪作用;④珊瑚动物群的种类分异度低;⑤珊瑚动物群中含有远洋浮游生物及深海生物的化石;⑥出现于古代高纬度地区;⑦其形状轮廓呈透镜状或丘状。此外,根据珊瑚的复体形态特征和氧碳同位素比,也可以区分礁型与非礁型珊瑚(齐文同, 1987)。

第四节 生物礁的成因说

主要的造礁生物——礁型六射珊瑚,其生长深度不过 250 m,多数在水深 50~100 m 之内。但是有些大洋中的珊瑚礁却常分布在深度远远超过 250 m 的部位,甚至有些珊瑚礁的基底深达上千米。如何解释巨厚的生物礁的形成,就成为研究珊瑚礁的成因和恢复古代环境的一个争论焦点。

1. 达尔文的沉降说

达尔文查明珊瑚只能生活在 90 m 水深之内,在水深 20~40 m 时生长发育最好。那么怎样解释珊瑚礁是从深水中升起来的呢?达尔文的解释是根据南美洲东西海岸地壳上升的证据,结合现代荷兰海岸的下沉,以及南美洲附近太平洋中的土阿莫土群岛一座火山岛周围有堡礁和泻湖环绕得出来的。他写道:“我们必须把一个礁湖岛看做是一座被亿万个小建筑师所建造起来的纪念碑,它标明这里有一块以前的陆地,正掩在海面之下,大洋的深处。”

达尔文认为,海洋中的环礁形成经历了三个阶段(图 1-1):① 在岛屿的沿岸如火山岛周围生出岸礁,与陆地相连;② 岛屿略微下沉,珊瑚礁向上生长。由于外海的海水中氧气与食物丰富,珊瑚礁向外扩展,与海岸隔开,形成泻湖,岸礁变成堡礁;③ 岛屿完全沉于海平面以下,珊瑚继续向上生长,成为环礁,包围着泻湖。

达尔文切望用钻探来证实自己的环礁成因理论,希望有位百万富翁来为此投资钻探。但长期以来英国皇家学会对太平洋富纳富提环礁及日本学者对环礁的钻探,以至美国人对比基尼岛的钻探虽深达 340~779 m,仍未取到火山岩岩心。直到 1952 年,美国学者在埃尼威托克环礁钻探,终于在钻穿 1287 m 的珊瑚礁石灰岩之后,达到了火山岩基底,证实该岛的火山“基座”高出海底达 3000 m 多。由此证明,该火山岛在珊瑚虫造礁之后已经下沉了一千多米,大大超出了达尔文的设想。

2. 戴利的冰川控制说

戴利根据大陆冰川广泛发育和海平面变化的证据,认为冰期与间冰期的交替,发生相应的海平面变化,是环礁形成的原因。

戴利主张,几百万年以来,近期发生的几次大陆冰川活动使海平面反复下降,达 100 m 左右,大陆剥蚀作用加剧,使海水中的悬浮泥砂增加,海水温度下降,当时生长的珊瑚死亡;侵蚀作用破坏了原来的珊瑚岛和岸礁,原来的岛顶和滩地被夷平。冰期过后,海水温度回升,海面上升,适合珊瑚虫生长繁殖。由于台地的边缘更适合珊瑚生长,所以堡礁和环礁在台地边缘生长发育起来,泻湖是淹没的台地,其中的沉积物来自环礁周缘。

戴利的冰期控制说可以解释为何堡礁与环礁的泻湖深度不到 100 m,但不能说明为何有些珊瑚礁的珊瑚出现在超过几百米的深部。

3. 库奈的冰期成因沉降说

库奈于 1933 年提出的冰期成因沉降说,将达尔文的沉降成因说与戴利的冰川控制说结合起来。

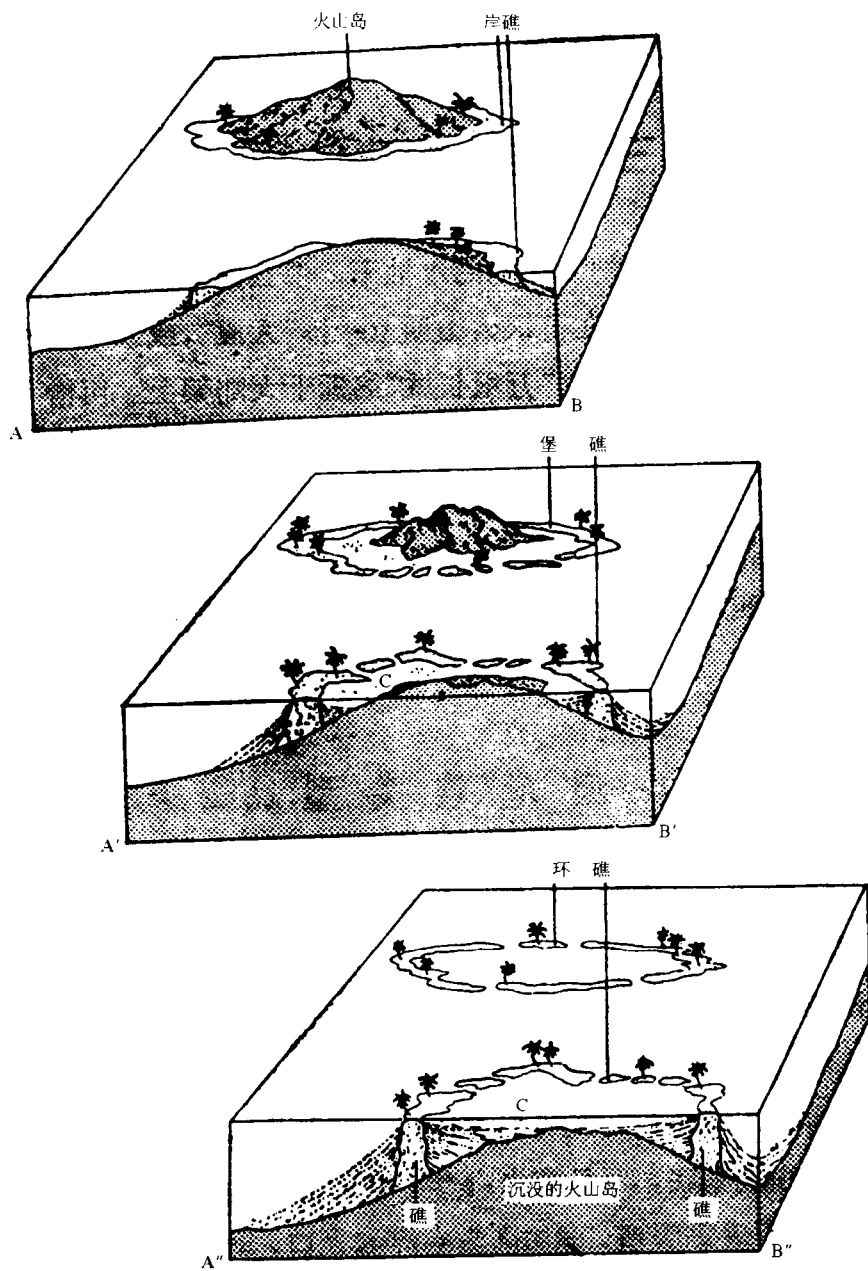


图 1-1 达尔文在贝格尔号航行记中所提出的环礁发育序列
A-B 岸礁，A'-B' 堡礁，A''-B'' 环礁，C 泻湖

库奈承认沉降说基本上是正确的，因为那时相继发现一些堡礁和环礁是由于基底缓慢下沉而形成的。但他认为，在冰期海平面下降的时期，强烈的海浪和化学溶蚀作用，足以把露在海平面以上的珊瑚礁完全夷为平地。现代珊瑚礁旁边的通道代表的是冰期的珊瑚边缘；一些深达 150~200 m 的泻湖则说明海底迅速沉降。

但是经过仔细研究，科学家们发现，海浪在海平面附近每年只能冲刷掉 1 mm 宽的石灰