

南沙群岛珊瑚礁地貌研究

Geomorphology Research of Coral Reef of Nansha Islands

中国科学院南沙综合科学考察队

钟晋樑 陈欣树 张乔民 孙宗勋著



科学出版社

南沙群岛珊瑚礁地貌研究

Geomorphology Research of Coral Reef of Nansha Islands

中国科学院南沙综合科学考察队

钟晋樑 陈欣树 张乔民 孙宗勋 著

科学出版社

1996

25891

16.386/627

地质学 海洋地质 珊瑚礁 南沙群岛

(京)新登字(092)号

内 容 简 介

本书是南沙综合科学考察系列成果之一。作者根据多年从事南沙群岛珊瑚礁调查获得的第一手资料,结合遥感资料和先进的仪器观测,论述了南沙群岛珊瑚礁的地貌形态、结构和成因,并通过数理分析探讨其发育规律。本书对我国今后继续开展南沙综合考察,维护我国对南沙群岛的海洋权益,发展南沙群岛及其邻近海域的海防建设和资源开发,均具有重要的参考价值。

本书可供从事海洋科学、地理科学、国土资源管理等部门的研究人员以及有关院校师生参阅。

南沙群岛珊瑚礁地貌研究

Geomorphology Research of Coral Reef of Nansha Islands

中国科学院南沙综合科学考察队

钟晋樑 陈欣树 张乔民 孙宗勋著

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)

华南农业大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1996年3月第1版 开本: 787×1092 1/16

1996年3月第1次印刷 印张: 6

印数: 500 字数: 140 000

ISBN 7-03-005342-7/P·910

定价: 25.00元

序 言

1995年冬,钟晋樑等以新著《南沙群岛珊瑚礁地貌研究》示余,嘱余为序,余与钟君共研珊瑚礁40多年,感想殊多,故乐为序。

珊瑚礁地貌是地貌学空白部门,国际研究珊瑚礁多从地质学、生物学角度去研究,从地貌学研究则人数大减,我国情况也不例外。建国前予考察台湾海岸珊瑚礁地貌(包括隆起礁等)即觉我国应有此学,以南海面积广大,全属珊瑚礁分布区,而地质、生物学者均已着意研究。建国后,予即在国家科委海洋规划中建议立项研究,于是各研究单位(中国科学院海洋研究所、南海海洋研究所、地质矿产部海洋地质研究所等单位以及同济大学、华南师范大学等高校)纷纷立项研究,如青岛海洋所蔡爱智教授、南海海洋所黄金森教授等凤毛麟角矣,而钟君晋樑即其中之翘楚焉。

余与钟君即乞为共事研究珊瑚礁者也。40多年来,余以诸事缠身,时作时辍,而钟君则由始至终,即以珊瑚礁为研究职责,稳步前进,由沿海海岸而进军西沙群岛、中沙群岛,今且进入广阔的南沙群岛范围,考察之广,次数之多,想地貌界同人,未有如钟君者。如南沙群岛,恐数十年来,我国地貌学者研究不多,为地质、生物学者专美矣。钟君青年时在广州地理研究所工作,从事地貌研究,亦为学者必备之条件。调南海海洋所后,即与黄君金森共建珊瑚礁组于海岸室中,定为该所方向之一,钟君即专心从事珊瑚礁地貌工作,与黄兄共事十多年,成绩卓著,余知联合国出版《国际珊瑚礁研究学者》一书中,地貌学者入选不多,而黄君、钟君俱入册中,可见其成绩为国际人士赏识。予常谓珊瑚礁地貌学是我国建国一大成绩,填补了南海珊瑚礁研究的空白,把珊瑚礁地貌学推向世界水平,人才不断涌现,蔡君爱智开其端,惜后转入厦门大学海洋系教授,未及深入。而继之者黄君金森教授足迹遍中、西沙各岛礁,又组织中国第四纪研究委员会珊瑚礁分会,推动我国珊瑚礁研究事业,至有开创性,然天不假年,正当事业兴旺之时,遂归道山,虽功绩犹存,但如多作几年,我国珊瑚礁地貌成绩,当大有进展也。

钟君幸能发扬斯学,他曾为中国第四纪研究委员会珊瑚礁分会秘书,具体推动我国珊瑚礁研究,如组织全国第一次珊瑚礁学术讨论会(1983)、组织了珊瑚礁分委员会委员达20人,出版了讨论会论文集,对全国珊瑚礁学术研究推进了一大步。此后,还征集了委员们研究成果,总结为《成果目录汇编》(1993),向广州1993年中国第四纪研究会年会汇报,计得知此时我国珊瑚礁研究又有新发展,论文252篇(外文26篇不计入)。钟君一生即为建立我国珊瑚礁地貌研究不遗余力,尤以近年从事南沙群岛地貌考察,至有成果,能组织一些学者参与研究工作,如陈欣树副研究员,虽以海岸地貌为职责,并以编制海岸地貌图著名,但南沙、西沙考察亦多有参加,故当此“八五”南沙综考丛书中,即与钟兄共事,使《南沙群岛珊瑚礁地貌研究》一书生色不少;张乔民副研究员,毕业后即分配南海所工作,勤恳钻研,对海岸及海洋地貌至有研究,并提升为海岸室主任,亦参加本书的写作;孙君乃有为青年学者,4位学者皆身历多次考察旅行,学问丰富。

故本书之成，予拜读后，至为敬佩。诚建国以来第一本珊瑚礁地貌专著，不止是全国一流水平之作，即在国际交流中，亦无愧色。因为一则近年南沙地区专著甚少，而地貌学之专著更加少见，国外同行友人，常有鱼雁沟通，亦无提及，则是书刊布，诚为我国科技争光之大事也。愿能给以公开发行，使我国珊瑚礁地貌学之水平，能为国际学者所引用。

本书篇幅不大，但精练而无虚言，诚佳作也。故细心稍读，有足称赞，因述如下。

本书以钟君晋樑为首，组合 3 位知名学者合作，取长补短，使本书质量大有保证。我意见是《南沙群岛珊瑚礁地貌研究》为我国第一本最系统而全面地论述南沙群岛珊瑚礁地貌的科学专著。著者作为中国科学院南沙综合科学考察队的成员，自 1984 年开始考察南沙群岛，经过 10 多年的现场调查和室内分析研究，应用了较先进的科学手段，如旁侧声呐与浅地层剖面仪作地貌扫描，应用 GPS 和电脑系统为小船考察导航定位，借助 MSS 和 TM 卫星影像识别各类型礁体，还应用水下电视对珊瑚礁体的海底地貌作详细观察。因此作者掌握了丰富的第一手材料，故该书图文并茂，论著的可靠性和可信性很高。

该书对南沙群岛环礁、灰沙岛的地貌结构、类型、发育指数和演化模式等的分析和论述，观点新颖、有独特见解、水平较高，为目前国内同类作品所不及。该书还提出了开发利用和保护珊瑚礁的具体建议，也是可贵的。实为今后继续考察研究南沙群岛地貌必读之书也。

南沙群岛现在已为世人所关注，该书出版很适宜，不仅对科研、教学很有参考价值，而且对维护我国南沙群岛主权和开发利用南沙群岛提供了科学依据。

总之，予认为本书是“八五”期间总结出来的南沙综考专著，水平至高应予奖励之著作也。

中国第四纪研究委员会
珊瑚礁分会前主任委员 曾昭璇
华南师范大学教授

1995 年 12 月 18 日

前 言

南沙群岛自古以来就是我国领土的一部分。该群岛除个别超过 200 多米的深滩外,其余绝大多数由珊瑚礁组成。它们散布在广阔南沙群岛海域之中。南沙群岛海域位于南海南部,即 12°N 以南的中国断续国界线范围以内的海域,面积 $706\,800\text{km}^2$ (谢以萱, 1991)。在南海的中国断续国界线共 9 段,其中 5 段位于南沙群岛海域。该海域北与南海中央海盆相通,东隔南沙海槽(巴拉望海槽)与菲律宾的巴拉望岛和马来西亚的沙巴海岸毗连,南接文莱与马来西亚的沙捞越海岸,西南与印度尼西亚的纳土纳群岛相望,西邻越南海岸。

南沙群岛与西沙群岛、东沙群岛和中沙群岛一起组成了我国南海诸岛。4 大群岛中除西沙的高尖石为火山岛,以及一些深水海山(滩)有待证实外,其余均由珊瑚礁组成。其中南沙群岛的珊瑚礁分布最广,礁体数量最多,其总数达 113 座,其中环礁 61 座,台礁 23 座,塔礁 20 座,陆坡潮下生物礁滩 5 座,陆架礁丘 4 座。

南沙群岛珊瑚礁是随着南海的海底扩张、形成与演化而逐渐发育起来的。首先它受到南沙地块地质构造的控制,主要是受北东向和北西向构造的控制,其次是受南海热带季风气候的控制和台风的影响。此外,古环境和海平面的变化也制约着南沙群岛珊瑚礁的地貌发育。

我国人民对南沙群岛珊瑚礁很早就有了认识。这种认识是长期在南海进行航海作业时,尤其是在南沙群岛海域从事渔业生产时所取得的。早在唐代人们就把环礁地貌称为“石塘”(曾昭璇, 1985)。古代渔民在南海航行作业使用的《更路簿》,亦在明代开始形成(林金枝, 吴凤斌, 1988)。海南岛渔民早已认识了南沙群岛的岛礁分布,并按岛礁分布特点,分东、西、中 3 条航路进行渔业生产。我国最早对南沙群岛珊瑚礁地貌开展现代科学研究,是地学界著名老前辈郭令智教授。1947 年他作为当时中国政府组织到南沙群岛进行综合科学调查的科学家之一,对郑和群礁进行地貌考察,于 1948 年在《台湾地质》发表了“中国南沙群岛郑和群礁的地貌学”,开创了我国南沙群岛地貌学研究的先河。

从 1984 年起,中国科学院南海海洋研究所对南沙群岛及其邻近海域开展了多学科的综合考察,其中由本书第一作者负责开展南沙群岛珊瑚礁地貌研究。通过卫星定位、回声测深、旁测声呐地貌扫描和浅地层探测,调查了曾母暗沙及其附近潮下珊瑚礁丘的地形地貌,绘制了 $1:1$ 万的曾母暗沙水深地形图,并制作了曾母暗沙的立体模型。1987 年,中国科学院南海海洋研究所发表了《曾母暗沙——中国南疆综合调查报告》专著,其中反映了地貌学的考察研究成果。

1987 年以后,由中国科学院牵头,全国 10 多个部委的研究单位参加,开展了大规模的南沙群岛及其邻近海区综合科学考察,先后调查了近 40 座岛礁。1989 年出版了《南沙群岛及其邻近海区综合调查报告》(一)上、下卷,其中有对南沙群岛东北 10 座珊瑚礁体的地貌考察研究成果。1991 年出版了《南沙群岛及其邻近海区地质地球物理及岛礁研

究论文集(一)》,其中有对水下大环礁礼乐滩及其附近礁体的地形地貌与地质的研究成果,同时还反映了中南部10多座珊瑚礁体的地质地貌研究成果。1994年出版了《南沙群岛及其邻近海区地质地球物理及岛礁研究论文集(二)》,其中有南沙群岛7座环礁的地貌声图分析,可见环礁向海坡、礁坪、潟湖坡和潟湖底在旁侧扫描声呐图上的差异。

1990年和1994年,南沙综合科学考察队先后在永暑礁钻探了152m的“南永1井”和413m的“南永2井”,并于1993年出版了《南沙群岛永暑礁第四纪珊瑚礁地质》专著。这两口钻井的研究成果,对解释南沙群岛珊瑚礁地貌发育提供了有说服力的证据。本书是根据笔者实地考察取得的第一手资料,结合MSS卫星照片与TM卫星照片资料和中国科学院南沙综合科学考察队的科研成果,以及前人有关南沙群岛的记载等撰写而成。参加过南沙群岛地貌考察的除本书作者外,还有朱袁智、宋朝景、刘万泉、梁添明、葛宜瑞、黄成发、陈汉权、赵焕庭和倪海祥等;在考察过程中得到“实验3”号和“实验2”号船长和船员的积极配合和支持;在此一并致谢。此外要特别提及的是在南沙地貌考察中还多次得到1946年代表中国政府接收南沙群岛的麦蕴瑜老先生的关注和鼓励,也得到南海海洋研究所陈史坚先生的帮助和支持,我们均表谢意。

本书由黄少敏教授审稿,又经陈汉宗副研究员和黄羽庭高工审阅,幸得曾昭璇教授书序;本书初稿由刘海红打印,插图由殷佩英、许跃萌清绘,部分水下照片由黎同寿提供,一并致谢。

目 录

序言	(i)
前言	(iv)
第一章 地质构造背景及其与珊瑚礁发育的关系	(1)
一、北部岛礁隆起区	(1)
二、中部差异沉降区	(3)
三、南部边缘碰撞-推覆带	(3)
第二章 南沙群岛海域的生态环境	(4)
一、海水温度、盐度及其季节变化	(4)
二、海水的透光度	(4)
三、季风与上层海流的变化	(7)
四、热带气旋及其频率	(9)
五、海平面变化的影响	(9)
第三章 珊瑚礁的主要生物组分及礁体的分布	(11)
一、南沙群岛珊瑚礁的主要生物组分	(11)
二、造礁石珊瑚群落与礁组合	(20)
三、南沙群岛海域礁体的分布	(22)
第四章 礁体地貌类型	(30)
一、类型划分依据	(30)
二、各类型的论述	(30)
三、各类型的统计	(42)
第五章 环礁	(44)
一、环礁的地貌结构	(44)
二、环礁的分类	(53)
三、环礁的形成、发育和演化	(56)
第六章 潮上灰沙岛的发育	(65)
一、灰沙岛形成的物质来源和动力因素	(65)
二、灰沙岛发育过程中的主要地貌类型	(66)
三、南沙群岛的主要岛屿	(69)
四、保护灰沙岛上的鸟粪层	(75)
五、灰沙岛的开发前景	(75)
第七章 南沙群岛珊瑚礁的若干特征	(76)
第八章 珊瑚礁的保护	(78)
参考文献	(80)
图版 I—VI 及图版说明	(83)

第一章 地质构造背景及其与珊瑚礁发育的关系

南海的扩张沉降与喜马拉雅山的隆起和形成是亚洲东南部同时进行的负向与正向变化的两大地质作用过程。它们为新生代产物，且对东亚环境产生了巨大影响。

南沙群岛的珊瑚礁随着南海的海底扩张、形成、演化而逐渐发育起来。在白垩纪末，南沙群岛地区原是亚洲东南部大陆的一部分，与华南-印支陆块连在一起，至古新世开始海侵，沉积了广泛而厚度较薄的陆架型碳酸盐岩。在早渐新世，即约距今 $33\text{Ma}^{(1)}$ ，南海海盆发生海底扩张，即从华南陆块分离出来的陆壳碎块便成为南沙群岛珊瑚礁发育的基底。如礼乐滩微陆块是自渐新世以来，从 18°N 向南漂移到今天 12°N 以南位置的（吴进民，1987；何廉声，1987），它的迁移与黄岩海山-珍贝海山扩张轴的活动有关（梁德华，1987）。

夏戡原等长期对南沙群岛海域进行地球物理调查研究后认为，南沙地块的地壳厚度为 $16-24\text{ km}$ ，地层结构可分为结晶基底和沉积盖层两大部分，前者为前石炭纪变质岩系，后者由二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古新统一始新统、渐新统一第四系组成；又据区域地球物理特征、构造与地层的发育、地层的形变特征和断裂性质等认为：南沙地块的构造分区可划分为属于南海中央海盆以及属于南沙地块的北部岛礁隆起区、中部差异沉降区和南部碰撞-推覆带和古晋带（图 1）⁽²⁾。其中，在南海中央海盆西南部的次海盆，由于没有岛礁分布，故不予论述。另外，南部碰撞-推覆带和古晋带都在马来西亚的沙捞越和沙巴内，故也不作解说。由于南沙地块的北部岛礁隆起区是南沙群岛的主要分布区，中部差异沉降区也有岛礁分布，故以下仅对这两区的地质构造作一介绍。

一、北部岛礁隆起区

该区主要构造是由北东走向的不连续断隆与断坳相间排列组成，平行排列的 3 列断隆如下：

- (1) 康泰滩-广雅滩-万安滩断隆。
- (2) 中北部礁群(双子群礁、郑和群礁、九章群礁等)-永暑礁-尹庆群礁-南薇滩断隆。
- (3) 海口礁-司令礁-榆亚暗滩-安渡滩-弹丸礁-皇路礁断隆。

上述 3 列不连续的断隆之间为断坳。这些断隆和断坳又被大断裂切割，该区主要断裂有 3 条：

1) 王春修，1992，南海新生代构造运动及与南海演化的关系，石油地质专辑，16 期。

2) 夏戡原，1994，南沙海区实测地球物理资料的地质解释及综合研究，南沙群岛及其邻近海区调查研究论文，1-27。

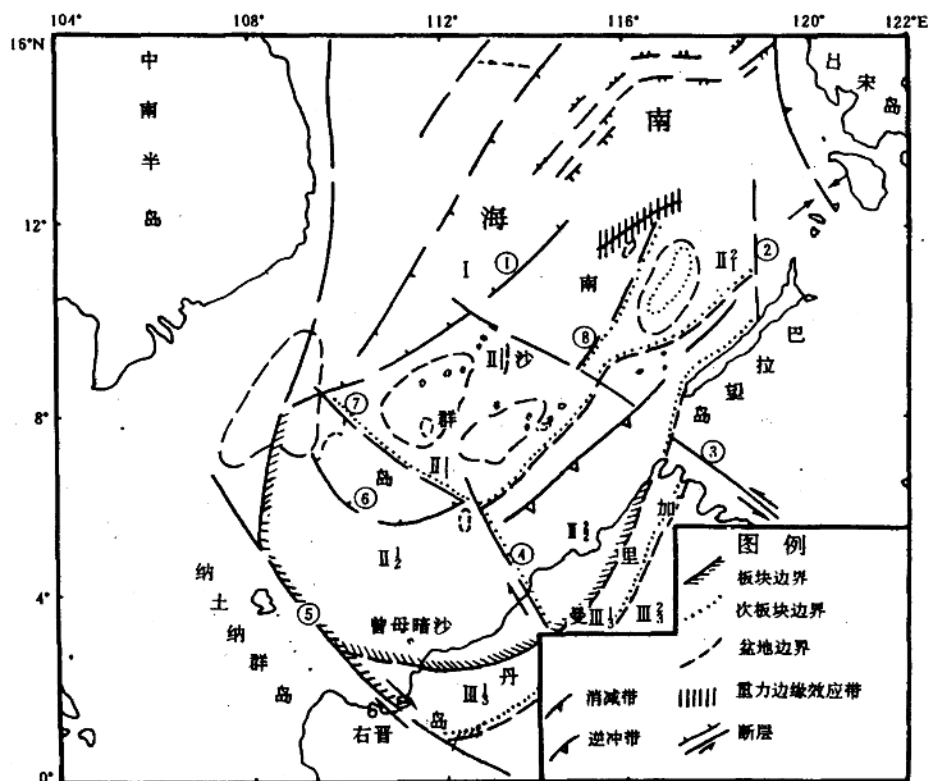


图 1.1 南沙地块构造分区图

(据夏载原, 1994)

I 南海中央海盆西南次海盆。II 南沙地块；II₁ 北部岛礁隆起区；II₂ 礼乐滩-北巴拉望微地块；II₃ 岛礁块断掀斜隆起带；II₄ 中部差异沉降区；II₅ 南沙海槽沉降带；II₆ 曾母盆地坳陷带。

III 加里曼丹陆块；III₁ 拉姜-克罗克碰撞推覆带；III₂ 古晋带。

① 地块西北边缘断裂；② 乌鲁干断裂；③ 巴拉巴克断裂；④ 廷贾-北康断裂；⑤ 卢帕尔断裂；

⑥ 曾母盆地陆架边缘断裂；⑦ 北康-万安断裂；⑧ 仙娥礁西断裂。

(1) 礼乐滩西侧至仙娥礁西侧与中北部群礁（郑和群礁等）东侧之间的大断裂，呈 NNE 走向，断距逾 1 000 m。

(2) 南华-巴拉巴克断裂，即大现礁-赤瓜礁与毕生礁-南华礁之间的断裂槽，走向 NW，是南华水道形成的地质构造基础。

(3) 北康-廷贾断裂，即从北康暗沙东侧经南沙海槽（巴拉望海槽）南端至加里曼丹岛上的廷贾，走向 NW，成为南沙海槽与曾母盆地的构造单元分界线。

这 3 条断裂使南沙岛礁区分为礼乐滩微地块、岛礁块断掀斜隆起带、曾母盆地坳陷带。

礼乐滩潮下大环礁就发育在礼乐滩微地块的隆起台地上。其地壳厚度为 24 km。礼乐

滩基底为高密度低磁性的变质岩及部分中生代沉积岩。礼乐滩微地块还包括南方浅滩、棕滩和海马滩等。从棕滩高值磁异常推断,其生物礁附着的基底为玄武质海山。海马滩和仙后滩的附着基底为礼乐滩微地块与南沙海槽之间的边缘隆起。

岛礁块断掀斜隆起带,包括南沙群岛北部和中部,它包含了大部分岛礁。据地球物理探测为低值重磁异常区,反映该区基底物质为中生代沉积岩或变质岩,局部地区有低磁性岩浆物质的侵入与喷出。南薇滩也发育在隆起上,其新生界地层最厚达 6.2 km。从岛礁地区磁性层下界面埋深 19—23 km,反映岛区为减薄的地壳¹⁾。

二、中部差异沉降区

该区包括南沙群岛海域东翼和南翼两部分,即南沙海槽沉降带与曾母盆地拗陷带。由于重力负载导致下挠作用而形成了南沙海槽¹⁾,在海槽上缘和边坡也发育了一些珊瑚礁体,如蓬勃暗沙和舰长礁等,即使在海槽底部仍有个别塔礁发育,如碎浪暗沙²⁾等。曾母盆地的“北部拗陷带最大地层厚度约 4.5 km,中央隆起第三纪地层厚度一般在 3 km 左右”³⁾。整个曾母盆地可分为 3 个拗陷带和 4 个隆起区³⁾,但它的南部已超出我国的南海南部断续国界线。曾母盆地的部分隆起区有生物礁发育,如南康低隆起区的北部发育了北康暗沙和南康暗沙珊瑚礁群;中央隆起区的局部地段发育了曾母暗沙等 3 座生物礁丘,而曾母暗沙礁丘的基底为上新世玄武岩(梁德华,1987)。

三、南部边缘碰撞-推覆带

该带已超出我国南沙群岛海域而在马来西亚国土上了,故不作阐述。

总之,南沙群岛海域的地质构造是南沙群岛珊瑚礁地貌发育的基础,南沙群岛海域的珊瑚礁大部分展布于北部岛礁隆起区。该区是南沙地块的一部分,属减薄的地壳,它的断隆与断拗构造为珊瑚礁和海谷的发育提供了良好的构造基础。隆起区利于珊瑚固着生长和发育并形成礁体,拗陷或断陷区形成大水道或大海谷,如中央水道和华阳礁与柏礁之间大海谷等。切割断隆与断拗的大断裂也成为大水道或大海谷的发育基础,如南华水道等。在中部差异沉降区,虽然大部分是沉降带(南沙海槽)和拗陷带(曾母盆地),但是其中也有局部隆起部分,如发育在南沙海槽的几座塔礁和环礁的固着基底,又如曾母盆地的南康暗沙和北康暗沙珊瑚礁群发育的基底为南康低隆起。至于南部边缘碰撞-推覆带处于南沙地块与加里曼丹地块之间,它已在南沙群岛海域的外围了。南沙群岛区域地质构造的演化制约着南沙群岛珊瑚礁地貌的发育。

1) 王春修, 1992, 南海新生代构造运动及与南海演化的关系, 石油地质专刊, 16 期。

2) 1988 年 7 月 28 日和 8 月 3 日, 笔者乘“实验 3”考察船, 两次用回声测深仪按海图标示的地理坐标范围去寻找, 经 1 小时反复航行仍未遇上。

3) 夏戡原, 1994, 南海海区实测地球物理资料的地质解释及综合研究, 南沙群岛及其邻近海区调查研究论文, 1—27。

第二章 南沙群岛海域的生态环境

南沙群岛是以珊瑚为主体的造礁生物和礁栖生物构成的,因此研究有关生物的生存环境就很有必要。首先海水的温度、盐度和溶解氧的含量均直接影响珊瑚的生长,是造礁生物和礁栖生物的最重要生态因子。其次,造礁石珊瑚的生长深度与太阳辐射和海水透光度密切相关(Stoddart, 1969)。此外,南海的季风、海流、热带气旋作用和海平面变化对珊瑚礁体的形成、发育和演化也有密切关系。

一、海水温度、盐度及其季节变化

浅水造礁石珊瑚生长的最适宜海水温度为 $25-28^{\circ}\text{C}$, 低于 18°C 或高于 29°C 生长就受到抑制, 低于 13°C 或高于 36°C 就死亡。南沙群岛海域表层水温 2 月份为 $25-28^{\circ}\text{C}$, 8 月份为 $28-29^{\circ}\text{C}$ (中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1979), 年平均表层水温为 27.5°C 至 28°C 多(陈史坚、钟晋樑, 1989)。中国科学院南海海洋研究所水文研究室自 1984—1990 年南沙群岛海域共进行了 7 个航次, 在不同月份(4—5 月, 5—6 月, 7 月, 12 月)共 488 个站点作了现场海水温度实测, 取得大量水温数据。现选取其 10m 水深的温度状况简述如下: 据 1986 和 1987 年 4—5 月份实测, 南沙群岛海区大部分水温在 $28.5-30.5^{\circ}\text{C}$ (图 2.1, a); 据 1988—1990 年 7 月份实测, 南沙群岛海区水温大多在 $29-30^{\circ}\text{C}$ (图 2.1, b); 又据 1989 年 12 月份实测, 南沙群岛海区水温在 $26.5-28^{\circ}\text{C}$ (图 2.1, c)。由此可见, 南沙群岛海区全年水温都在造礁石珊瑚最适宜的水温之中。

浅水造礁石珊瑚的生长深度, 不仅受透光度的影响, 还受水温垂直分布的影响。据 1987 年春季实测在 60m 以下水温低于 25°C , 100m 以深水温就低于 20°C 了(图 2.1, d)。

浅水造礁石珊瑚对海水盐度的适应范围是 $27-40$, 最适宜为 36 。南沙群岛海区 10m 水深的盐度, 据 1986 和 1987 年春季实测, 大部分为 $33-34$ (图 2.2, a, e); 据 1988 年 7 月实测, 大部分为 $33.25-33.75$ (图 2.2, b); 据 1989 年 12 月实测大部分为 $33-33.25$ (图 2.2, d); 据 1990 年夏季实测为 $33.5-33.75$ (图 2.2, c); 可见南沙群岛海区表层盐度适于浅水造礁石珊瑚生长。在雨季, 表层盐度会稍为降低, 可降低 0.25 左右。该海区盐度的垂直变化很小, 只有 $0.5-1.0$ (图 2.2, f; 黄企洲, 1994)。

造礁石珊瑚生长所需要的海水溶解氧为 $4.9-5.0\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ 。根据中国科学院南沙综合科学考察队的现场实测研究结果, 认为南沙群岛海区表层 ($0-75\text{m}$) 水的溶解氧大于 $4\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$, 而次表层 ($75-250\text{m}$) 为 $2.2-4\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ (韩舞鹰等, 1989), 后者是造礁石珊瑚生长深度受到限制的原因之一。

二、海水的透光度

南沙群岛海域位于低纬度, 跨 $3^{\circ}26'-12^{\circ}\text{N}$, 太阳入射角较大, 辐射较强, 但往往

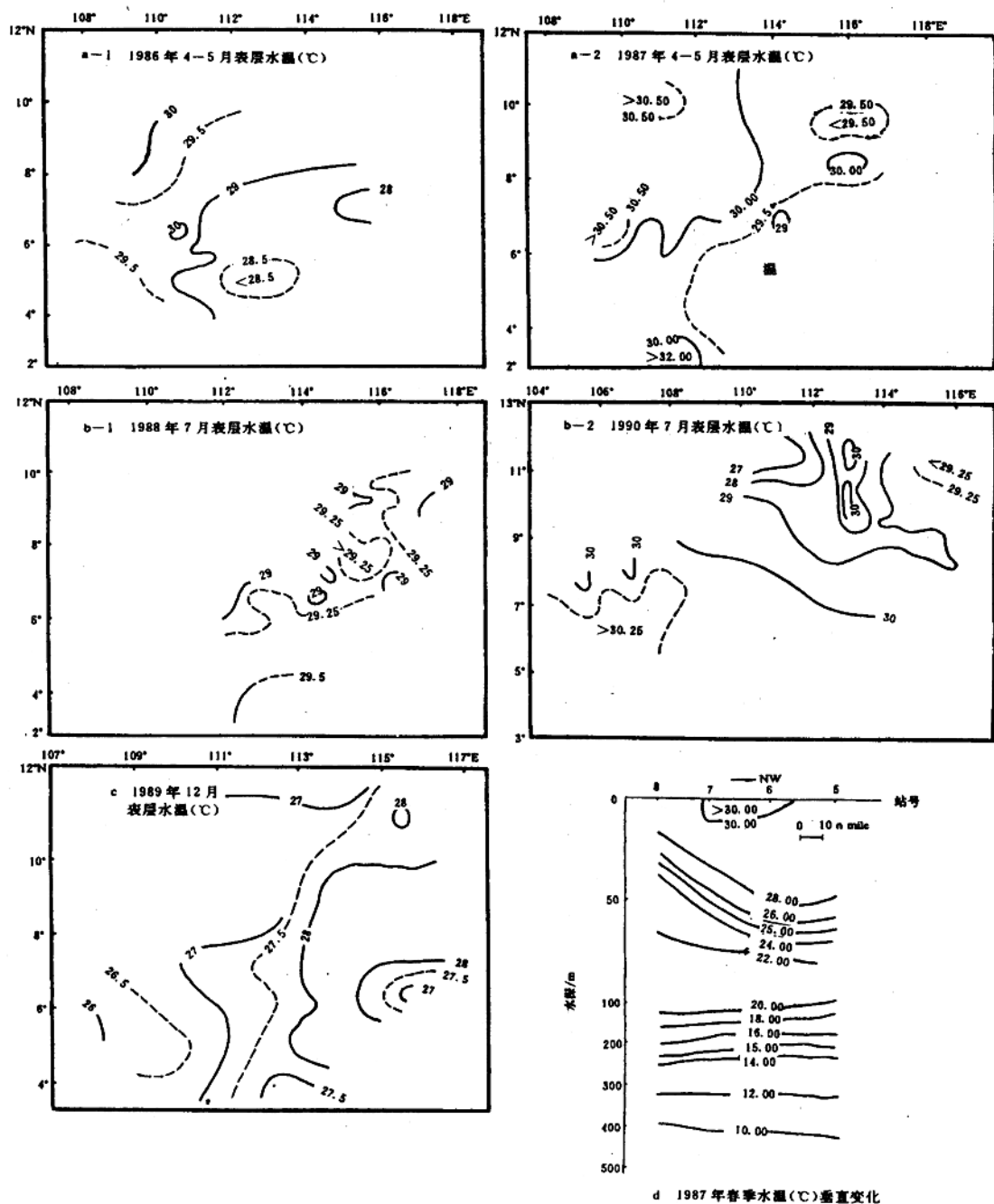


图 2.1 海水温度及其季节变化

(据黄企洲, 1994)

云量较大, 使太阳辐射稍有减弱。海水透光度可用海水透光带的深度来表示, 即海水面照度的 $1/100$ (即 $Z_{0.01}$ 值) 所在的深度, 据现场用透明度圆盘读数测定, 可见光不同波段在南沙群岛海域的 $Z_{0.01}$ 值的深度有明显的差异: 红光一般到 10m 深, 最大达 20m ; 蓝光

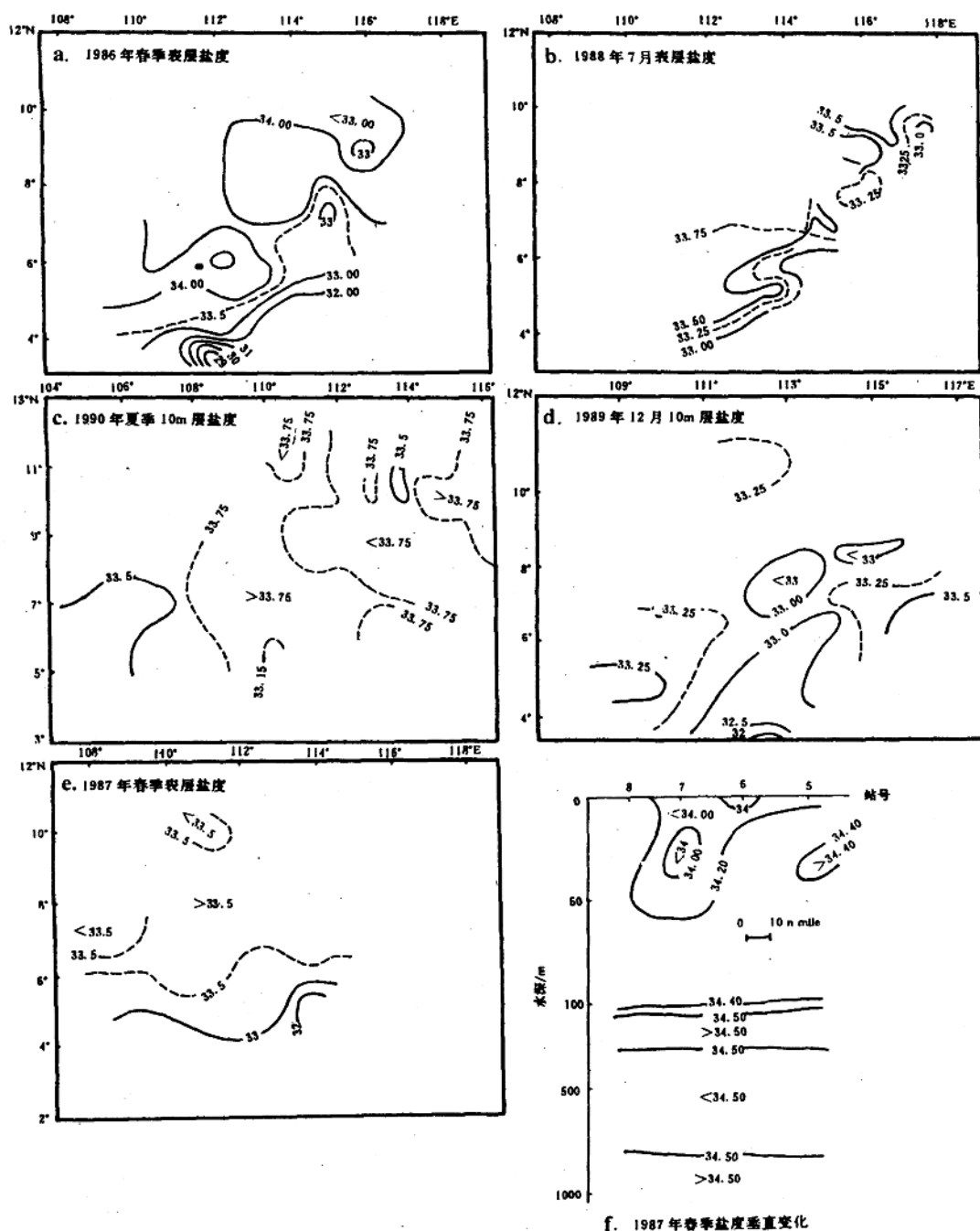


图 2.2 海水盐度及其季节变化
(黄企洲, 1994)

达80 m,绿光达70 m(钟其英等,1989)。蓝、绿光到达的深度成为造礁石珊瑚生长的极限深度。由于在约60 m深处存在物理海洋学的跃层,浮游生物聚集,使光速明显衰减。

浅水造礁石珊瑚只能在透光带内生长,其机理在于造礁石珊瑚必须与虫黄藻属 *Symbiodinium* 的单细胞虫黄藻共生。在浅水石珊瑚虫体的内胚层生长着大量虫黄藻,其身长约5—8 μm 。虫黄藻要进行光合作用,必须利用宿主石珊瑚的代谢废物如氮、磷和二氧化碳等合成有机物质来维持生命,同时放出氧和碳水化合物供宿主利用,从而加速了宿主的代谢和生长速度,尤其对珊瑚的骨骼发育特别有利,两者构成了互利共生的关系(潘正菁等,1984)。当无光线或生长环境恶化时,虫黄藻会自动离开宿主¹⁾,石珊瑚也就会逐渐衰亡。这就是浅水造礁石珊瑚为什么只能生长在透光带内的机理。所以南沙群岛浅水造礁石珊瑚的生长深度为70m以浅,而生长繁茂的深度是在20 m以浅。

三、季风与上层海流的变化

海水的流动有利于珊瑚的有性繁殖,珊瑚的浮浪幼虫随海水的流动而传播,漂泊到适宜的环境而固着生长繁衍。因此,海水的流动会直接影响珊瑚和其它造礁与附礁生物的生态环境,使海水温度、盐度、溶解氧和营养物质发生交换与变化。南沙群岛海区的季风海流在该海区具有明显的宏观上的节奏性,它对珊瑚礁的发育有重要影响。随季节变化的季风驱动了表层海水的运移,形成季风海流(季风漂流)。

南海是受东南亚季风控制的热带海洋。每年10月至次年3月吹强劲东北风,平均风速5级以上,形成南海西部强大的南下漂流,表层流速达0.8—2节,成为冬季表层环流的主要部分。它的上层水大部分经由卡里马塔海峡和加斯帕海峡流入爪哇海;还有部分因受巽他陆架的阻挡,被迫转折向东流经加里曼丹岛西北沿岸向北流去,形成一股流速约0.5节的北上逆流。这就构成了南海冬季的表层环流。每年3月中至5月底,较稳定的西南季风由南向北逐渐取代东北季风,并在6—8月为盛行期。这时爪哇海通过卡里马塔海峡和加斯帕海峡向南海南部大量输水,并通过巽他陆架汇入南海西部的北上漂流中去,其流速为0.5—1节,在越南沿海流速达1.5节以上。在南海中部则形成一支南下逆流,以补南部海区因北流失去的海水。该逆流是由东、西两侧的回流合成,其流速大于0.3节(图2.3,陈史坚、陈特固等,1985)。这就形成南海夏季的表层环流。

南沙群岛海区在2月和8月表层海流也有相应的变化(图2.4)。

每年的4—5月份和9—10月份,是由东北季风转为西南季风及由西南季风转为东北季风的转换期。由于海上风力弱而风向多变,表层流(漂流)仅出现在局部海区,而广大海区的海流主要受密度流控制。

在宏观上,南沙群岛海区表层季风海流在冬季呈气旋式环流;在夏季,除东侧外呈反气旋式环流(图2.3,b)。这对珊瑚浮浪幼虫及其它造礁生物和附礁生物的传播和繁衍都很有利。只要有适宜的附着基底,珊瑚礁就能发育。由于大环境基本一致,故南沙群岛海区内的造礁生物和附礁生物生长旺盛,种群差异很小,而且岛礁也十分发育,其中的

1) 邹仁林,单细胞虫黄藻的种类识别,南海研究与开发,1990,(2):1—5。

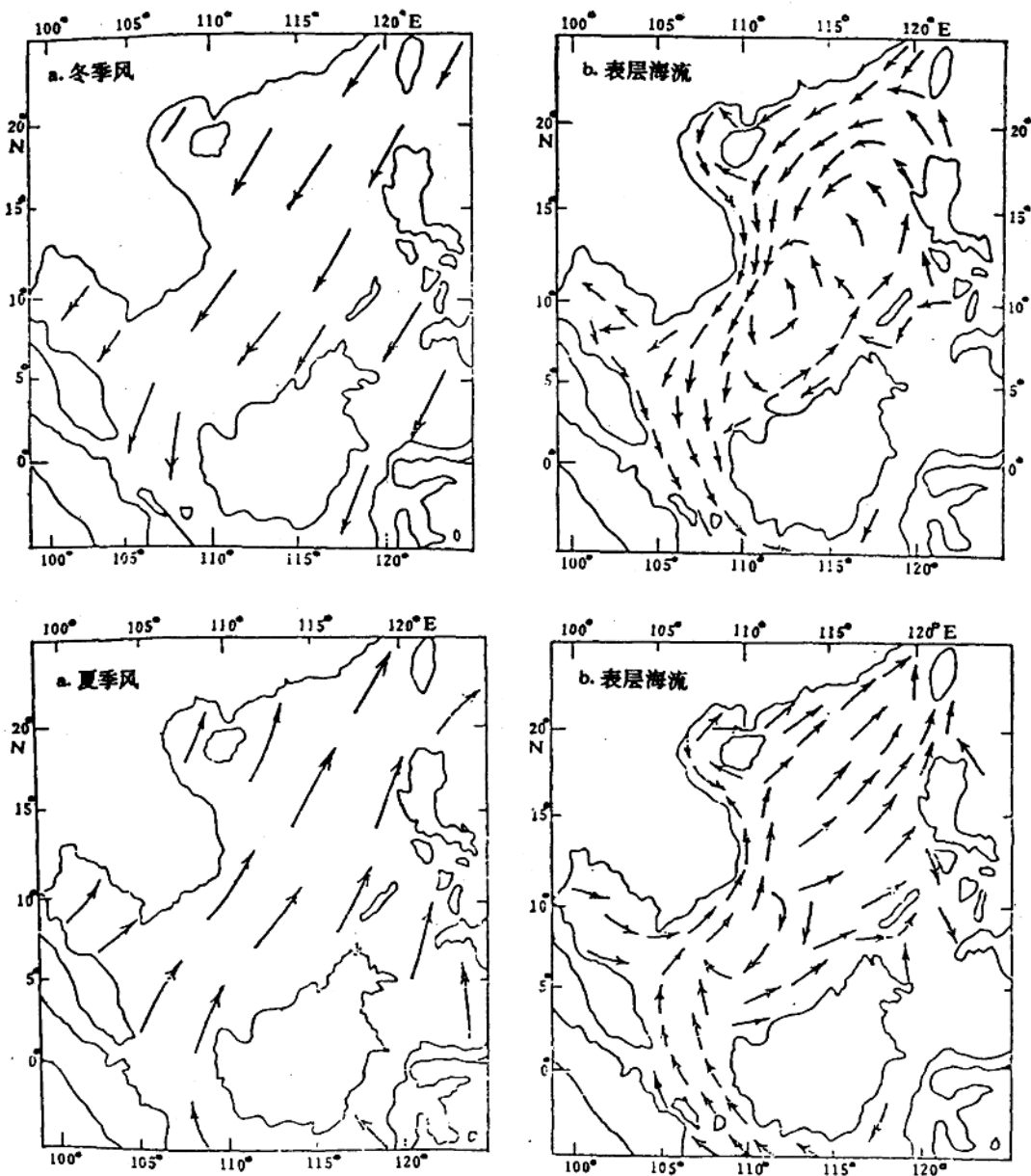


图2.3 南海季风及表层季风海流图

(据陈史坚、陈特固等, 1985)

上: 冬季; 下: 夏季

一个重要因素是季风环流起了促进作用。

季风的交替变换有利于环礁的发育, 使不同方向的向海坡都有机会处于迎风面和背风面, 有利于适应高能环境和低能环境的造礁和礁栖生物在同一地点交替迅速生长, 促进环礁向外扩展和发育。这是造成南沙群岛的礁体发育以环礁占优势的重要因素。

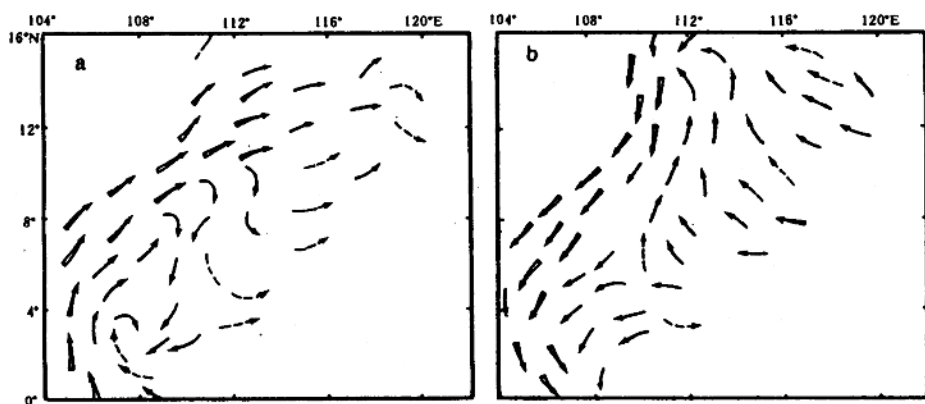


图2.4 南沙群岛海域8月 (a) 和2月 (b) 表层海流

(据《南海诸岛志略》，1989)

南沙群岛海区还有地转流和潮流，其变化都比较复杂，在此暂不论述。

四、热带气旋及其频率

热带气旋活动（风暴）对珊瑚礁具有强大的改造力量，构成非生命力对生命产物的塑造。风暴掀起狂浪，把礁体前缘的珊瑚击碎并推到礁坪上或冲到水下岸坡转折处。那些堆积在礁坪上破碎的珊瑚砾块及枝屑，就成为灰沙岛发育的主要物质来源。产生热带气旋的源地有本海区、 12°N 以北的南海、苏禄海和热带西北太平洋。据统计，1949—1987年影响南海的热带气旋共601个，其中105个影响南沙群岛海区，占总数的17.47%。其中影响南海的热带低压62个，强热带气旋（风力大于8级）43个，分别占热带低压（201个）的30.85%和强热带气旋（400个）的10.75%。南沙群岛海区受热带气旋影响较少。它受影响的仅占整个热带西北太平洋（含南海）生成的热带气旋数量的7.23%。其中热带低压占16.99%，强热带气旋占3.95%（林锡贵，1994）。即使影响到本区的热带气旋，也是弱的占多数。与此相比，西沙群岛海区受热带气旋影响要大得多，据广东省气象局1951—1980年共30年的热带气旋资料统计表明，西沙群岛每年6—12月份都会受热带气旋侵袭，累年每月平均0.2—0.6次，而南沙群岛海区仅在10—12月份会受热带气旋侵袭，1—4月份在南沙群岛海区东北部也略有热带气旋影响。南沙群岛海区直接受热带气旋影响累年每月平均0.1—0.3次，且多在 9°N 以北的中北区，故南沙群岛的灰沙岛的生成大部分集中在 9°N 以北，仅南威岛和安波沙洲分别在 9°N 南侧和 8°N 南侧。正是这个原因，所以西沙群岛的灰沙岛（岛屿和沙洲）总面积是南沙群岛灰沙岛的4倍多，数量也多近10个。由此可见，热带气旋对珊瑚礁地貌的发育有着重要影响。

五、海平面变化的影响

由于造礁石珊瑚是潮下带透光海域内生长的腔肠动物，因此对海平面的变化很敏感，