

# 印度洋拉克沙珊瑚岛的地貌学与物理海洋学

Geomorphology and Physical Oceanography of the  
Lakshadweep Coral Islands in the Indian Ocean

T.N. 普拉卡什

[印] L. 席拉·奈尔 / 著

T.S. 沙胡尔·哈密德

林恢勇 / 译

# 印度洋拉克沙珊瑚岛的 地貌学与物理海洋学

T. N. 普拉卡什  
[印] L. 席拉·奈尔 著  
T. S. 沙胡尔·哈密德  
林恢勇 译



海洋出版社

2017年·北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

印度洋拉克沙珊瑚岛的地貌学与物理海洋学/ (印) T. N. 普拉卡什 (T. N. Prakash), (印) L. 席拉·奈尔 (L. Sheela Nair), (印) T. S. 沙胡尔·哈米德 (T. S. Shahul Hameed) 著; 林恢勇译. —北京: 海洋出版社, 2017. 11

书名原文: Geomorphology and Physical Oceanography of the Lakshadweep Coral Islands in the Indian Ocean

ISBN 978-7-5027-9979-3

I. ①印… II. ①T… ②L… ③T… ④林… III. ①印度洋-珊瑚岛-地貌学-研究②印度洋-海洋物理学-研究 IV. ①P737.2②P733

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 279376 号

图字: 01-2017-4836

Translation from English language edition: Geomorphology and Physical Oceanography of the Lakshadweep Coral Islands in the Indian Ocean by T. N. Prakash, L. Sheela Nair, and T. S. Shahul Hameed

Copyright © 2015 The Author (s)

Springer International Publishing is a part of Springer Science+Business Media.  
All Rights Reserved by the Publisher.

责任编辑: 王 溪

责任印制: 赵麟芬

海洋出版社 出版发行

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

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 7.75

字数: 118 千字 定价: 48.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

# 序

位于距印度西海岸约 400 km 阿拉伯海里的拉克沙群岛（小珊瑚岛群）在战略上和经济上已经成为该国最重要地区之一，这些岛屿的特点是其水生生物多样性和蓝色潟湖浅水区的珊瑚沙，它覆盖近  $40 \times 10^4 \text{ km}^2$  的专属经济区（EEZ）。在过去 20 年里，由于港口开发、海滨保护、休闲活动的开展，沿岸开发活动大幅度增多，这些活动以及它们与海岸过程的相互作用使很多地区出现侵蚀现象，侵蚀主要由西南季风期间的大浪产生。

印度国家地球科学研究中心（NCESS，原 CESS）已经进行了大量的研究工作，包括系统地采集侵蚀/冲积和波浪测量的基础数据。根据这些有价值的研究成果编写的本专著将对沙滩变迁、波候和海岸过程带来重大的贡献，而后者将最终影响到海岸线变迁和需要加以保护的地区的选择。该专著还涉及海岸过程的模拟工作，该模拟工作可以有效地通过数学模型完成。该书首次推出海岸带综合管理计划（ICZM），它涉及有效采取减灾措施和海岛海岸线可持续管理的内容。此外，书中还介绍了岛上的能源状况，作为一种技术上和经济上可行的岛上替代能源，介绍了一种多能源发电系统方案。

我确信，本书将为计划人员、研究人员和大学生提供有关拉克沙群岛有价值的基础数据，它一定会将全面开发这些岛屿的计划向前推进一步。

沙伊勒什·纳亚克



(Shailesh Nayak)

# 前 言

岛屿经常受到生态、经济和自然等方面的损害。印度洋中的拉克沙(Lakshadweep)群岛(小珊瑚岛群)由于其所处位置,比较少受诸如飓风、风暴潮、海啸等自然灾害的影响,但是从长期威胁方面考虑,海平面上升问题对这些岛屿来说,是一个重要的自然危险因素。由于拉克沙群岛面积小、地势低洼,在自然危险因素中,海岸侵蚀问题是这些岛屿面临的最严重威胁。岛屿侵蚀是由于自然和人为活动产生的。引起侵蚀的自然因素有大浪、强风、海流;而人为活动主要包括人类破坏珊瑚、建造防波堤和包括海岸保护在内的其他硬体建筑;岛屿侵蚀还受到沿岸海流的作用而产生的海滩沉积物搬运、波浪绕射在某个区段造成的能量聚集、长期积累下来的礁盘边缘高度降低等因素的影响。海岛较低的高程使它更容易受到大浪、极端天气条件造成的泛滥的影响。虽然联邦领土委员会在这些岛屿上已修建了海滨保护设施,但是很有必要进行长期监测研究,以便精确地确定侵蚀所造成的海岸线位置。需要进行综合的波候、海岸过程研究,以便探明影响海岸线变化的因素和确定需要进行保护的地段。通过数学模型可以有效地模拟海岸变化过程,海岛侵蚀的影响也能够很好地通过这个工具进行演示。模拟的结果能够为有效地建立灾害缓解机制和管理机制提供关键的信息。

岛上能源主要依赖柴油机,燃料必须大量从陆地运过来,装在油桶里,在燃油泄漏的情况下,敏感的岛屿环境可能受到影响。由于燃油的运输,与陆地相比,发电费用高得多。非常规能源,诸如太阳能、波浪能、风能等可以是岛上的替代能源。由于该岛的地理位置,除了季风季节外,全年都有太阳能。在季风季节里,波浪能和风能最大,可以加以利用。此外,拉克沙海的潜在波浪能大于沿岸海域的波浪能;同理,由于是开阔地带,岛上的风能也比陆地上要大。对能源经济性的初步研究表明,波浪/风力发电的成本与从陆地运过来的燃油发电的成本差不多,在岛上建立多能源综合发电系统是技术上、经济上可行的能源替代

方案。

虽然这些岛屿长期以来被想象为“天堂”，但是它们令人神往的潟湖、珊瑚礁却面临越来越大的压力。岛上居民正在努力提高他们的生活水平，随着人口的增加，存在着干扰脆弱的生态系统的趋势，而对于岛屿来说，生态系统是它最宝贵的资源。随着时间的推移，人们趋向于过度开发自然资源，从而破坏环境。另一方面，全球变暖导致海平面升高，这可能破坏沿岸地区，甚至淹没掉一些地势较低的岛屿。这些因素都必然给岛屿的经济带来负面的影响，包括财产、渔业、旅游业、珊瑚礁以及淡水资源等。岛屿还对全球生物多样性做出重要的贡献，因为潟湖和珊瑚礁是很多稀有种群的栖息地。有迹象表明，这些从环境方面看属于敏感的栖息地正在遭受越来越大的压力，它给岛上的动植物种群带来很坏的影响，对于某些本地濒临灭绝的种群来说，它可能带来无可挽回的损失。为了全面地考虑这些活动，必须执行一项海岸带综合管理计划（ICZM），它将对岛屿进行可持续的管理提供帮助。

T. N. 普拉卡什

L. 席拉·奈尔

T. S. 沙胡尔·哈密德

## 致 谢

我们感谢印度政府地球科学部秘书沙伊勒什·纳亚克 (Shailesh Nayak) 博士批准这本书出版, 还为它写了序言; 我们十分感激特里凡得琅 (Trivandrum) 国家地球科学研究中心主任 N. P. 库里安 (N. P. Kurian) 博士, 他为我们提供必要的设备, 并对我们的手稿提出宝贵的评价; 我们诚挚地感谢地球科学部 (MoES) 的 M. 索马桑达尔 (M. Somasundar) 博士, 他是主持这次出版的执行主任; 作者还感谢巴巴 (Baba) 博士 (已退休), 他是启动拉克沙群岛很多研究项目的原主任; 我们真诚地感谢印度政府拉克沙岛联邦地区行政官, 他在从 1989 年起的不同阶段里, 为拉克沙岛的研究项目提供了资助。

下列部门和组织通过他们的承诺帮助岛上居民, 多年来不知疲倦地支持我们的研究工作: 拉克沙岛联邦地区卡瓦拉蒂 (Kavaratti) 岛科技部; 印度政府环境和森林部; 新德里印度气象局; 金奈 (Chennai) 国家海洋技术研究所; 金奈 ICMAN PD 地球科学部; 拉克沙岛联邦地区村委员会主席和成员; 拉克沙岛联邦地区港口工程、电力和公共设施局; 卡瓦拉蒂岛科技部技术官员和环境区长; 高知县 (Kochi) 阿鲁瓦 (Aluva) 计划人员和建设者卡普斯通 (Kapston) 女士。

还有很多公认的人物通过他们的个人努力用不同的方式为我们的工作提供帮助, 特别值得一提的是, 新德里科技部已故顾问 K. R. 古普塔 (K. R. Gupta) 博士的眼光, 他与我们有过很多互动, 并鼓励我们出版有关拉克沙岛的专著。

本书得到很多个人的帮助, 他们使本书的出版成为可能: 渥太华大学副教授泰德穆尔蒂 (Tad Murty); 特里凡得琅 NCESS 海岸过程研究组组长 K. V. 托马斯 (K. V. Thomas) 博士; 拉克沙岛联邦地区科技部部长 (已退休) M. S. 赛义德·伊斯梅尔·高野 (M. S. Syed Ismail Koya) 博士; 印度地质调查局局长 (已退休) T. K. 马利克 (T. K. Mallik) 博士; 班加罗尔卡纳塔克邦 (Bangalore Karnataka) 科技委员会执行秘书

普里特维·拉吉 (M. Prithvi Raj) 博士; CESS 已故顾问 K. K. 拉马钱德兰 (K. K. Ramachandran) 博士; 果阿 (Goa) 国家海洋研究所科学家 M. 瓦法 (M. Wafar) 博士 (已退休); 印度政府环境和森林部 (MoEF) 主任 A. 圣提尔威尔 (A. Senthilvel) 博士; 喀拉拉邦高知县 (Kochi Kerala) 渔业与海洋研究大学 (KUFOS) 副校长马德胡苏达纳·库鲁普 (Madhusoodana Kurup) 教授。

很多职员提供了室内与现场支持, 特别是如下技术人员: D. 拉朱 (D. Raju) 先生、阿吉特·库马尔 (Ajith Kumar) 先生、威加亚库马兰·奈尔 (A. Vijayakumaran Nair) 先生、M. K. 斯里拉吉 (M. K. Sreeraj) 先生以及下列 NCESS 研究人员: 提朱·艾·瓦伊斯 (Tiju I. Varghese) 先生、V. R. 沙姆吉 (V. R. Shamji) 先生、R. 普拉萨德 (R. Prasad) 先生、阿尼什·S. 阿南德 (Anish S. Anand) 先生、R. 拉维什 (R. Raveesh) 先生、S. 阿比拉什 (S. Abhilash) 先生、施尼娅·约瑟夫 (Shinija Joseph) 小姐、姆里纳尔·森 (Mrinal Sen) 女士和 E. K. 萨拉特·拉吉 (E. K. Sarath Raj) 先生, 他们为本书的出版做出了贡献。

# 目 录

第 1 章 拉克沙群岛 .....	(1)
1.1 概述 .....	(1)
1.2 岛屿的由来 .....	(4)
1.3 岛屿的地质和地貌概况 .....	(5)
1.4 历史简况 .....	(7)
1.5 社会经济现状 .....	(7)
1.6 岛上生活 .....	(8)
1.7 管理机构 .....	(9)
1.7.1 潘查亚特制度 .....	(10)
1.7.2 司法制度 .....	(10)
1.8 地势和地表特征 .....	(10)
1.9 地下水资源 .....	(11)
1.10 岛屿的生态现状 .....	(12)
1.10.1 珊瑚礁 .....	(13)
1.10.2 珊瑚礁的状态 .....	(13)
1.11 自然灾害 .....	(14)
参考文献 .....	(16)
第 2 章 拉克沙海的流体动力学 .....	(19)
2.1 概述 .....	(19)
2.2 波浪 .....	(19)
2.2.1 波高 .....	(20)
2.2.2 波周期 .....	(23)
2.3 波向 .....	(26)
2.4 海流 .....	(28)
2.4.1 开阔海域 .....	(28)
2.4.2 潟湖内 .....	(28)

2.5	潮汐 .....	(31)
2.6	风 .....	(31)
2.7	总结 .....	(32)
	参考文献 .....	(33)
<b>第3章</b>	<b>海滩形态 .....</b>	<b>(35)</b>
3.1	概述 .....	(35)
3.2	拉克沙岛的海滩 .....	(36)
3.3	海滩监测计划 .....	(36)
3.4	海滩形态变化 .....	(37)
3.4.1	长期变化 .....	(37)
3.4.2	短期变化 .....	(41)
3.5	海滩沉积物特性 .....	(58)
3.6	海岸保护措施 .....	(60)
3.7	总结 .....	(60)
	参考文献 .....	(62)
<b>第4章</b>	<b>卡瓦拉蒂岛海岸过程的数字模拟 .....</b>	<b>(63)</b>
4.1	概述 .....	(63)
4.2	数字模型研究:应用的模型 .....	(64)
4.3	MIKE21 海流模型(MIKE21-FM) .....	(65)
4.4	建模 .....	(66)
4.5	模型校准与验证 .....	(66)
4.6	结果与讨论 .....	(67)
4.6.1	模拟的波浪参数 .....	(67)
4.6.2	波浪绕射 .....	(67)
4.6.3	海岸环流 .....	(72)
4.6.4	沉积物搬运 .....	(75)
4.6.5	海底高程变化 .....	(78)
4.6.6	人为活动的影响 .....	(85)
4.6.7	海岸保护措施 .....	(86)
4.6.8	岛屿北部礁盘的加固 .....	(86)
4.7	总结 .....	(86)
	参考文献 .....	(87)
<b>第5章</b>	<b>能源 .....</b>	<b>(88)</b>

5.1	概述 .....	(88)
5.2	发电现状 .....	(89)
5.3	发电的经济性 .....	(92)
5.4	波浪能的潜力 .....	(93)
5.5	风能的潜力 .....	(95)
5.6	可再生能源的优点 .....	(96)
5.7	总结 .....	(98)
	参考文献 .....	(98)
<b>第6章</b>	<b>拉克沙岛海岸带综合管理计划 .....</b>	<b>(100)</b>
6.1	概述 .....	(100)
6.2	拉克沙岛海岸带管理 .....	(101)
6.2.1	现有的管理规范 .....	(101)
6.2.2	当地计划 .....	(101)
6.2.3	海岸带管理计划(CZMP) .....	(102)
6.3	制订海岸带综合管理计划的方法 .....	(102)
6.4	岛屿物理-环境特征(资源) .....	(102)
6.5	岛屿存在的问题 .....	(103)
6.5.1	海岸侵蚀与海滨保护 .....	(103)
6.5.2	淡水管理 .....	(104)
6.5.3	珊瑚礁/红树林保护 .....	(104)
6.5.4	渔业资源开发与加大捕捞 .....	(105)
6.5.5	污水与固体废物的处理 .....	(106)
6.5.6	旅游 .....	(107)
6.5.7	对人民进行环境教育 .....	(108)
6.6	岛上相关利益者的矛盾与看法 .....	(109)
6.7	海岸带综合管理计划(ICZMP) .....	(109)
6.8	总结 .....	(111)
	参考文献 .....	(111)

# 第 1 章

## 拉克沙群岛

**摘 要** 拉克沙群岛是一群位于印度洋的珊瑚岛，它拥有很多岛屿和小岛，包括水下浅滩，其覆盖的地理面积为 32 km<sup>2</sup>。这些岛屿分为三个群体，各自的名称为拉克代夫（Laccadive）岛、阿明迪维（Aminidivi）岛和米尼科伊（Minicoy）岛，由有人居住和无人居住的岛屿组成。本章将介绍这些群岛的由来、地质和地貌环境、历史简况、社会经济和生态现状、资源、管理机构，包括自然灾害的历史。

**关键词** 拉克沙群岛 珊瑚岛 由来 岛屿的地貌和历史 珊瑚礁 自然灾害

### 1.1 概述

位于印度西海岸阿拉伯海的拉克沙群岛是一个珊瑚岛群，它构成印度洋中查戈斯-马尔代夫-拉克代夫（Chagos-Maldives-Laccadive）山脉的一部分（图 1.1）。拉克沙群岛是印度最小的联邦属地，它拥有 36 个岛屿和小岛，由 12 个珊瑚环礁、3 个暗礁和 5 个水下浅滩组成，位于 8°—12°30'N，71°—74°E 之间<sup>[1]</sup>，是马尔代夫岛链向南的延伸，整个群岛的总地理区域面积为 32 km<sup>2</sup>，海岸线长度为 132 km，潟湖面积为 4 200 km<sup>2</sup>，群岛分为 3 个群体，各自的名称为拉克代夫岛、阿明迪维岛和米尼科伊岛，每个群体的岛屿（包括有人居住和无人居住）的信息列于表 1.1 中。

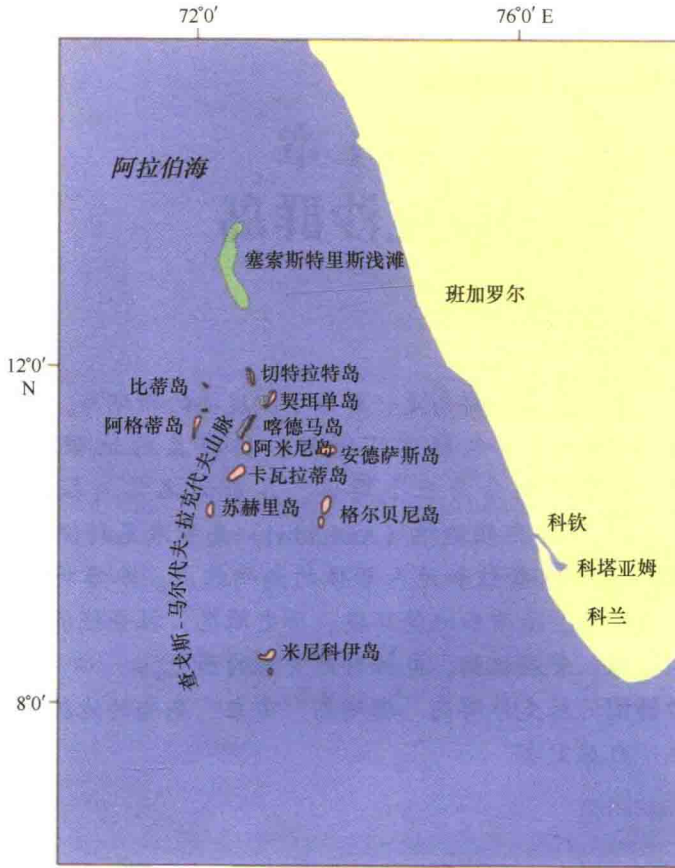


图 1.1 拉克沙群岛的地理位置

表 1.1 各群岛屿的细节

组号	岛群名称	岛群中各岛名称
1	阿明迪维岛	有人居住：阿米尼岛 (Amini)，喀德马岛 (Kadmat)，契珥单岛 (Kiltan)，切特拉特岛 (Chetlat) 和比蒂岛 (Birta)
2	拉克代夫岛	有人居住：安德萨斯岛 (Andrott)，卡瓦拉蒂岛，阿格蒂岛 (Agatti)，和格尔贝尼岛 (Kalpeni)； 无人居住：卡尔佩蒂岛 (Kalpetti)，班加拉姆岛 (Bangaram)，提那卡拉岛 (Tinnakkara)，帕拉里岛 (Parali)，提拉卡姆岛 (Tilakkam)，皮蒂岛 (Pitti)，切里亚姆岛 (Cheriyam)，苏赫里岛 (Suheli)，帕克施·皮蒂岛 (Pakshi Pitti) 和科蒂塔拉岛 (Kodithala)。
3	米尼科伊岛	有人居住：米尼科伊岛； 无人居住：科蒂塔拉岛 (Viringili)

在 36 个岛屿中, 只有 10 个岛有人居住, 即阿格蒂岛、阿米尼岛、安德萨斯岛、比蒂岛、切特拉特岛、喀德马岛、格尔贝尼岛、卡瓦拉蒂岛、契珥单岛和米尼科伊岛 (表 1.2)。除了安德萨斯岛为东西向外, 本组岛屿均为东北—西南向, 而且安德萨斯岛上没有潟湖。所有岛屿均有新月形浅滩, 东面海滨较陡, 西面有浅潟湖。岛屿的暗礁来自环形珊瑚岛和浅海台地, 其他有关特征是礁坪、珊瑚架、珊瑚头、礁块和活珊瑚台地、暗礁上的沙和沙洲。所有岛屿的礁坪总面积为  $136.5 \text{ km}^2$ <sup>[2]</sup>。所有岛屿有一个共同的特点, 那就是潟湖, 它本质上是西部水下暗礁的一部分。潟湖的面积和形状各异, 且处于不同的发育阶段。潟湖一般呈浅碟状, 中间较宽, 南北向较窄 (图 1.2)。在 10 个岛屿中, 切特拉特岛、契珥单岛、阿米尼岛和喀德马岛都有潟湖, 深度为 1.0~2.5 m, 几乎填满沉积物。潟湖的底层沉积物主要是珊瑚残骸和钙质沙子<sup>[3]</sup>。比蒂岛、班加拉姆岛、苏赫里岛和米尼科伊岛的潟湖较大和较深, 深度达 10 m。潟湖的面积介于  $1.6\sim 46.25 \text{ km}^2$  之间。

表 1.2 各岛位置及面积

序号	岛屿	陆地面积 ( $\text{km}^2$ )	潟湖面积 ( $\text{km}^2$ )	距大陆科钦 (Cochin) 的距离 (km)	2011 年人口 调查时的人口数
1	阿格蒂岛	3.84	17.50	459	7 560
2	阿米尼岛	2.59	_a	407	7 656
3	安德萨斯岛	4.90	_b	293	11 191
4	比蒂岛	0.10	45.61	483	271
5	切特拉特岛	1.14	1.60	432	2 345
6	喀德马岛	3.20	37.50	407	5 389
7	格尔贝尼岛	2.79	25.60	287	4 418
8	卡瓦拉蒂岛	3.63	4.96	404	11 210
9	契珥单岛	2.20	1.76	394	3 945
10	米尼科伊岛	4.80	30.60	398	10 444

a. 在以前地质变迁中沉没。

b. 没有潟湖。



图 1.2 岛屿西面典型潟湖形状

## 1.2 岛屿的由来

拉克沙群岛的演变可以用著名进化论学者查尔斯·达尔文 (Charles Darwin) 爵士提出的理论来解释, 这些岛屿的形成可以追溯到某些火山山脊逐步淹没到印度洋里, 随后在其火山口山顶上堆积了珊瑚残骸 (图 1.3), 随着时间的推移, 在沉没的山顶上逐步形成珊瑚岛。每个岛屿的边缘堆积了珊瑚, 在其西边形成风平浪静的潟湖。这些岛屿与潟湖、边缘的珊瑚礁一道形成环状珊瑚岛。环形珊瑚岛的形成还可以用更简单的方法解释: 根据达尔文的理论, 环形珊瑚岛形成之初, 在岛屿的四周生成一些礁盘, 然后这些岛屿慢慢地被淹没, 留下环绕潟湖的环状礁盘。根据穆雷 (Murray) 的理论, 环形珊瑚岛形成的开始阶段, 在海底上形成的小山或台地的顶部, 开始造礁过程, 外边缘的活珊瑚迅速成长, 达到海平面, 从而形成潟湖。

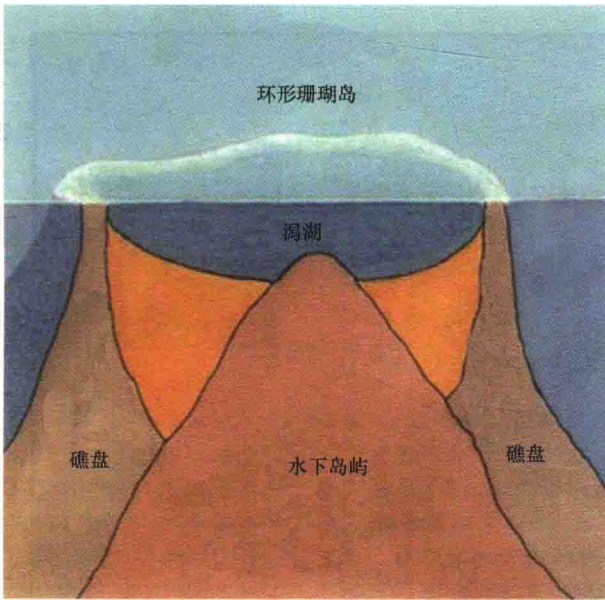


图 1.3 在火山台地上环形珊瑚岛的生成

### 1.3 岛屿的地质和地貌概况

查戈斯-马尔代夫-拉克代夫海岭（图 1.4）是阿拉伯海的一个重要水下特征<sup>[4]</sup>，它在南北方向上延伸，长达 2 350 km，范围从查戈斯群岛南端（9°N<sup>①</sup>）到阿达斯（Adas）浅滩（14°N）。拉克沙海山脉的东侧水深为 2 000~2 700 m，西侧为 4 000 m，由大陆性/过渡性地壳构成<sup>[5]</sup>。山脉的东侧比西侧显得陡峭些。该海岭还有一些断层，特别是在 9°处的海沟，它把米尼科伊岛（该群岛的最南端）与拉克沙群岛的其他岛屿隔离开来。

拉克沙群岛以珊瑚岛、浅滩和沙洲、地形隆起、小山、山谷和海丘为其特征，环形珊瑚岛面向大海一侧有一些成型的阶梯状平台，它们是第四纪期间海平面变迁的明证<sup>[6]</sup>。根据结构的特征、各个岛屿的走向、地球物理异常特征和有关断层错位情况，拉克沙群岛可以分为 3 个区块，即北区、中区和南区<sup>[7]</sup>。所有重要岛屿坐落在中区，由北边的佩德

① 原著给出的纬度是 9°S，中译本更正为 9°N。——译者注

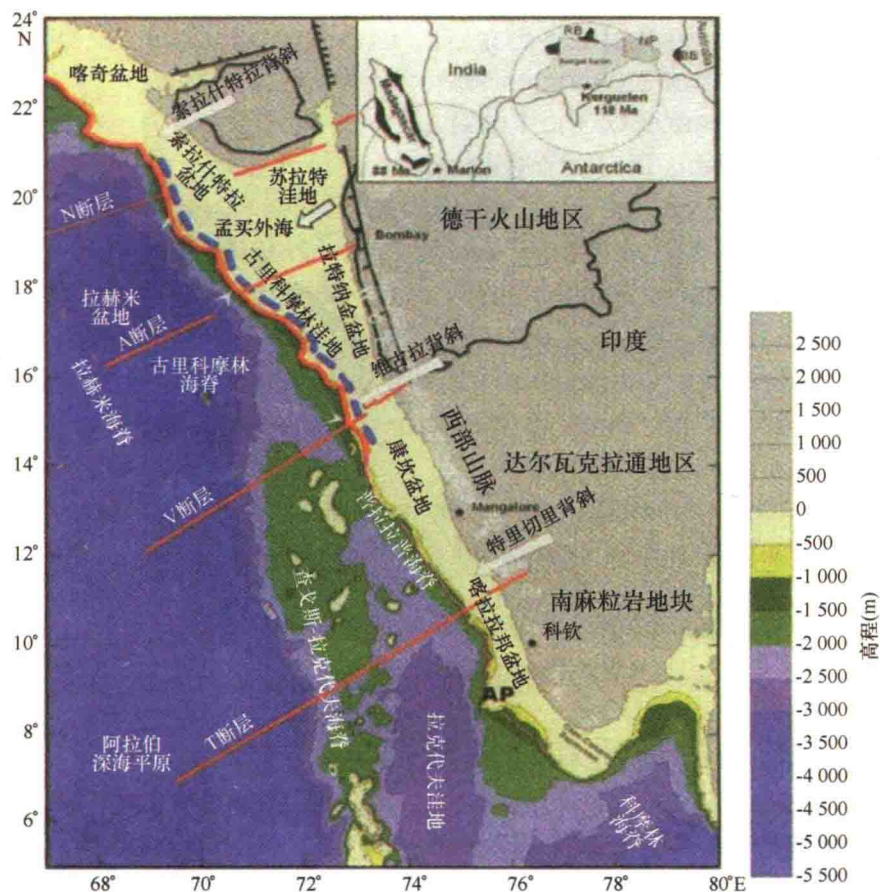


图 1.4 阿拉伯海的水下地貌  
(选自国家关于拉克沙群岛环境的报告)

罗 (Pedro) 礁和南边的北北东—南南西方向的山谷隔开。北区主要是珊瑚浅滩，而南区则有几个岛屿和小的浅滩。在斜坡地段形成约 500~1 300 m 的地形隆起；在很多地段，斜坡与深海平原之间有断层<sup>[8]</sup>。

所有岛屿的表层铺满约 1~2 m 厚的珊瑚残骸层，下面为结实多孔的石灰砾岩，再下面就是一层细砂，它是一个渗透层，淡水就是通过它进行过滤的。总的说来，在 300 m 以浅地带是更新世到古新世阶段的沉积物，再下面就是火山岩<sup>[9]</sup>。