

序

太平洋岛国是镶嵌在浩瀚蔚蓝海洋中的璀璨明珠，在全球气候变化的大环境下，同一个地球村的人都十分关注这颗大洋明珠的生态健康状况。长期以来，太平洋岛国受制于地理区位偏远、岛陆分散、科技力量薄弱等，监测和认知其生态环境时空演变过程一直面临着巨大挑战。一是难在太远，远到大多数科研人员终其一生也难得亲临几次；二是难在太散，上万个岛屿星罗棋布，靠地面调查逐点覆盖，即便财力雄厚也几乎不可能。这两个“难”字，恰恰是卫星遥感大有可为之处。

卫星海洋环境监测预警全国重点实验室的张华国研究员急地球村人之所急，想地球村人之所想，胸怀海洋命运共同体大局，带领团队聚焦太平洋岛国的生态环境监测与科学认知，沉下心来做了几件硬事、实事。首先，研究团队基于“高分”（GF）系列、“资源”系列（ZY）、“海洋”（HY）系列、中巴地球资源卫星（CBERS）系列等自主国产卫星数据，同时融合国际上共享的卫星数据开展监测研究，他们没有停留在看图说事，比如对海岸线位置的逐段解译，并不是简单用自动提取算法跑一遍，而是结合了潮位校正、岸线类型分异和人工干预修正。再如，对岛礁浅海底栖生境进行定量评估与时序分析，揭示珊瑚礁健康状况演化特征，这些工作的体量和难度，做过海岸带遥感的人都清楚。这种扎实的大数据基础积累和反演的精准到位，正是中国数据和中国技术走向国际应用的必经之路。

其次，科学问题聚焦，重点突出。该书聚焦了五个议题—海岸变迁、岛陆生态、典型海洋生态系统、海洋环境和灾害响应。从这五个议题，能看出一个逻辑：从“陆地与海洋的边界”（海岸线及其变迁）出发，到“陆地本身在变什么”（地表覆盖），再到“水面以下的生命支撑系统”（红树林、珊瑚礁、海草床），然后扩展到“整个海域的背景场”（温度、叶绿素 a、盐度、净初级生产力等），最后落到“极端事件来了怎么办”（海洋灾害）。这些新认知是由研究团队与国际合作伙伴反复碰撞出来的。我特别留意到，该书对海岸侵蚀、珊瑚白化、海草床退化等风险与生态压力的评估，直接回应了太平洋岛国最焦虑的问题—海平面上升与渔业资源萎缩，该书的完整研究链成果为其提供了空间分布和时间演变的客观证据。

此外，研究团队做了一件有长远意义的能力建设实事—通过与太平洋岛国深度合作，搭建了太平洋岛国近海与海岸带遥感监测分析服务系统，而且把长时序数据产品面向太平洋岛国开放使用。这意味着，当地技术人员以后不用从头学遥感原理、不用自己买遥感数据、不用搭建高门槛的处理流程，可以直接利用这套系统查询自己国家及周边海域的海岸线变化、查看珊瑚礁健康状况、追踪台风过后的灾损。研究团队在真正落实到实际应用中的“能力建设”方面取得了卓有成效的进展，同时正在为未来海平面上升情景下太平洋岛国淹没风险精准预警埋头攻关，为国际海洋科技合作开启高效务实的新阶段作出更大贡献。

该书见证了中国从拥有独立自主的遥感系列卫星，到服务太平洋岛国等“一带一路”国家的历程，是中国遥感技术走出国门的一个缩影和亮点。意义不仅在于为太平洋岛国提供了一份二十余年生态环境变化的“体检报告”，同时还证明了一条路—中国的

自主卫星数据和遥感技术可以在国际舞台上解决真问题、服务真需求。

愿这部专著的读者，无论来自院校、科研机构还是国际组织，都能从中读出中国遥感科技工作者的诚意与功夫。希望中国遥感领域的青年科技人员再接再厉，更上一层楼，让中国遥感智慧之花在人类命运共同体构建中绚丽绽放。

潘德炉

潘德炉

中国工程院院士

2026年5月

前言

浩瀚无垠的太平洋是地球生命的摇篮，也是人类文明交流的纽带。在这片占全球表面积三分之一的蔚蓝水域中，星罗棋布地散落着上万个岛屿和礁盘，它们如同璀璨的珍珠，构成了独特的生态区域，也孕育了 20 余个各具特色的小岛屿国家和地区，被称为太平洋岛国。太平洋岛国不仅拥有得天独厚的海洋资源、举世无双的生物多样性和绚丽多彩的文化传统，还在空间尺度上呈现出陆域狭小、分布离散、海陆高度耦合的显著特征，使其生态系统对外界扰动尤为敏感。同时，太平洋岛国普遍位于全球气候系统最敏感和地质活动最活跃的前沿地带。然而，在全球气候变化与人类活动加剧的双重压力下，太平洋岛国正面临着一系列严峻的生态环境挑战：海平面上升侵蚀着珍贵的土地，日益频发的极端灾害和气候事件威胁着家园安全，珊瑚白化与海洋酸化危及赖以生存的渔业资源，不均衡的区域发展也在悄然重塑海岛的自然面貌。上述挑战相互交织，深刻影响着太平洋岛国的生态安全、经济社会可持续发展乃至国家存续。

对如此广阔、动态变化且脆弱的区域进行长期、系统、科学的生态环境监测，系统认识这些变化的时空格局及其演变特征，是理解区域变化机制、评估潜在风险并制定适应性科学策略的基石。然而，太平洋岛国大多人口稀少、岛陆分散、基础设施有限、科技力量相对薄弱，传统依赖地面调查的生态环境监测手段普遍面临着成本高昂、空间覆盖受限、长期连续性不足等现实困难。在此背景下，亟须一种能够在区域尺度和长期尺度上提供一致、客观观测信息的技术手段。卫星遥感技术以其宏观、快速、客观、有周期性的独特优势，成为俯瞰这片“蓝色大陆”、洞察其生态脉搏不可替代的“天眼”。

基于上述现实需求，国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”重点专项在中国-地球观测组织（Group on Earth Observation, GEO）合作框架下设立了“太平洋岛屿国家海洋与岸带生态环境典型要素监测与能力建设”（编号：2021YFE0117600）项目。该项目由自然资源部第二海洋研究所牵头，联合中国资源卫星应用中心，并与太平洋区域环境规划署秘书处（SPREP）等国际伙伴共同实施。项目旨在系统利用中国自主发展的卫星遥感资源与技术体系，提升太平洋岛国在海洋与海岸带生态环境及灾害监测方面的能力，为区域生态环境评估与风险管理提供科学支撑。

我们深知，一项有价值的科学研究，不仅在于技术的先进，更在于其能否精准回应现实需求。因此，在项目设计阶段，我们充分践行 GEO 倡导的开放数据共享与协同研究理念，通过与 SPREP 及太平洋岛国相关机构的持续沟通和需求对接，将研究重点聚焦具有区域代表性和现实紧迫性的五大核心议题，即海岸变迁、岛陆生态、关键海洋生态系统、海洋环境以及典型灾害响应。围绕上述议题，项目重点开展了太平洋岛国的海洋与海岸带生态要素遥感监测关键技术攻关和适应性评估，研制了太平洋岛国近海与海岸带遥感监测分析服务系统（PI-ReSOC），并构建了长时序遥感信息产品数据集，为太平洋岛国提供了海洋灾害遥感应急监测服务，通过国际培训与技术交流，推动遥感监测成果在区域层面的应用与传播。该项工作是中国深度参与 GEO 全球合作倡议的重要实践，彰显了以科技合作助力落实《2030 年可持续发展议程》、推动构建人类命运共同体的责任担当。

本书的诞生，正是源于上述践行国际合作、分享科技福祉、应对共同挑战的使命。本书所呈现的成果，鲜明地体现了中国自主遥感技术的进步与系统化应用能力。我们综合利用“高分”（GF）系列、“资源”（ZY）系列、“海洋”（HY）系列以及中巴地球资源卫星（CBERS）系列等多源国产卫星数据，结合国际公开数据，构建了覆盖太平洋岛国区域、跨越 20 余年的长时间序列遥感数据集。以此为基础，本书从整体和国别两个尺度对太平洋岛国生态环境及灾害状况进行了系统的时空特征分析，以期认识太平洋岛国生态环境的过去与现状提供科学参考。

全书沿着“海陆交互-岛陆演变-典型生态系统-海洋环境背景-极端事件响应”的认知主线展开，基于这一逻辑系统呈现研究成果。全书共有 8 章。第 1 章引言，简要阐述太平洋岛国概况、研究背景与意义以及监测内容与范围；第 2 章海岸变化，聚焦海陆交锋的最前沿——海岸，对海岸位置进行了精确解译与定量分析，揭示了侵蚀与淤积的空间格局、演变速率及潜在驱动因素；第 3 章海岛地表覆盖，深入岛屿陆地，剖析其“肌肤”的变化，重点聚焦不透水面、植被、水体及潮滩四类关键覆盖类型，刻画太平洋岛国地表景观的沧桑变迁；第 4 章典型海洋生态系统，潜入蔚蓝之下，关注维系海洋生命的核心单元——红树林、珊瑚礁和海草床，有效地评估了其生态环境压力与变化趋势；第 5 章海洋生态环境，则将视角放大至环绕岛屿的广阔海域，从海表温度、海表叶绿素 a 浓度、海洋净初级生产力、海水透明度，到海表盐度、海平面异常以及海表二氧化碳分压，全面描绘了海洋物理状态、生物地球化学循环及气候变化响应的多维图景；第 6 章海洋灾害，直面太平洋岛国“高风险”的现实，选取 2022~2024 年发生的火山爆发、热带气旋、地震及山体滑坡等典型案例，生动展示了卫星遥感在灾害应急响应中的“千里眼”作用；第 7 章主要结论与建议，概括总结主要结论，并就进一步的技术研究、成果应用和国际合作提出了建议；第 8 章数据、方法与缩写说明，给出了数据来源、处理方法以及书中涉及的缩写等。

全书由张华国和曹雯婷统稿，其中第 1 章由张华国、曹雯婷、王晨等撰写，第 2 章由曹雯婷、陈卫荣、李六彤、厉冬玲等撰写，第 3 章由曹雯婷、王晨、厉冬玲、陈卫荣、李六彤等撰写，第 4 章由张华国、马蕴涵、楼琇林、韩通、高通等撰写，第 5 章由李腾、陈双玲、王晨、楼琇林等撰写，第 6 章由张华国、陈卫荣、王晨、黄树松、王志刚等撰写，第 7 章由张华国、曹雯婷等撰写，第 8 章由曹雯婷、王晨等撰写。

我们衷心感谢科技部中国科学技术交流中心（GEO 中国秘书处）、自然资源部国际合作司、中国海洋发展基金会等给予指导和提供参与 GEO 国际合作与交流的机会，感谢 SPREP 在需求对接、数据验证和成果传播中给予的支持，感谢所有参与项目研究的中国与太平洋岛国的科学家、工程师和学生付出的卓越努力。本书还得到了王其茂、苏奋振、柳钦火、李炎、刘仁义、李雪草等项目咨询专家的指导和建议，在此表示由衷感谢！

最后，我们必须承认，遥感监测虽视野宏大，但仍需与现场观测、社会调查等手段深度融合。我们的研究虽力求全面，但面对太平洋的浩瀚与生态系统的复杂，仍有诸多未知领域亟待探索。本书难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

2025 年秋于杭州

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 太平洋岛国概况	1
1.2 研究背景与意义	5
1.3 监测内容与范围	6
第 2 章 海岸变化	9
2.1 海岸变化基本情况	9
2.2 巴布亚新几内亚海岸变化	11
2.3 斐济海岸变化	14
2.4 基里巴斯海岸变化	19
2.5 库克群岛海岸变化	24
2.6 密克罗尼西亚联邦海岸变化	26
2.7 瑙鲁海岸变化	30
2.8 萨摩亚海岸变化	32
2.9 所罗门群岛海岸变化	37
2.10 汤加海岸变化	41
2.11 瓦努阿图海岸变化	45
第 3 章 海岛地表覆盖	49
3.1 海岛地表覆盖基本状况	49
3.1.1 不透水面	49
3.1.2 植被	54
3.1.3 水体	54
3.1.4 潮滩	60
3.2 巴布亚新几内亚不透水面	63
3.3 斐济不透水面	65
3.4 基里巴斯不透水面	69
3.5 库克群岛不透水面	71
3.6 密克罗尼西亚联邦不透水面	73
3.7 瑙鲁不透水面	75
3.8 纽埃不透水面	77
3.9 萨摩亚不透水面	79
3.10 所罗门群岛不透水面	81

3.11	汤加不透水面	83
3.12	瓦努阿图不透水面	85
第4章	典型海洋生态系统	88
4.1	典型海洋生态系统的基本状况	88
4.1.1	红树林	88
4.1.2	珊瑚礁	90
4.1.3	海草床	93
4.2	巴布亚新几内亚典型海洋生态系统	94
4.2.1	红树林	94
4.2.2	珊瑚礁	97
4.3	斐济典型海洋生态系统	102
4.3.1	红树林	102
4.3.2	珊瑚礁	102
4.4	基里巴斯典型海洋生态系统	109
4.4.1	红树林	109
4.4.2	珊瑚礁	111
4.5	库克群岛典型海洋生态系统——珊瑚礁	119
4.6	密克罗尼西亚联邦典型海洋生态系统	122
4.6.1	红树林	122
4.6.2	珊瑚礁	126
4.7	瑙鲁典型海洋生态系统	130
4.7.1	珊瑚礁	130
4.8	纽埃典型海洋生态系统	131
4.8.1	珊瑚礁	131
4.9	萨摩亚典型海洋生态系统	134
4.9.1	红树林	134
4.9.2	珊瑚礁	134
4.10	所罗门群岛典型海洋生态系统	138
4.10.1	红树林	138
4.10.2	珊瑚礁	141
4.11	汤加典型海洋生态系统	148
4.11.1	红树林	148
4.11.2	珊瑚礁	152
4.11.3	海草床	154
4.12	瓦努阿图典型海洋生态系统	156
4.12.1	红树林	156
4.12.2	珊瑚礁	156

4.12.3	海草床	162
第 5 章	海洋生态环境	169
5.1	海洋生态环境基本状况	169
5.2	巴布亚新几内亚海洋生态环境	170
5.2.1	海表温度	170
5.2.2	海表叶绿素 a 浓度	172
5.2.3	海洋净初级生产力	172
5.2.4	海水透明度	174
5.2.5	海表盐度	176
5.2.6	海平面异常	176
5.2.7	海表二氧化碳分压	178
5.2.8	莫尔斯比港附近海域生态环境特征	178
5.3	斐济海洋生态环境	180
5.3.1	海表温度	180
5.3.2	海表叶绿素 a 浓度	180
5.3.3	海洋净初级生产力	182
5.3.4	海水透明度	182
5.3.5	海表盐度	184
5.3.6	海平面异常	184
5.3.7	海表二氧化碳分压	192
5.3.8	苏瓦附近海域生态环境特征	192
5.4	基里巴斯海洋生态环境	192
5.4.1	海表温度	192
5.4.2	海表叶绿素 a 浓度	194
5.4.3	海洋净初级生产力	196
5.4.4	海水透明度	196
5.4.5	海表盐度	198
5.4.6	海平面异常	198
5.4.7	海表二氧化碳分压	200
5.4.8	塔拉瓦附近海域生态环境特征	202
5.5	库克群岛海洋生态环境	202
5.5.1	海表温度	202
5.5.2	海表叶绿素 a 浓度	204
5.5.3	海洋净初级生产力	204
5.5.4	海水透明度	204
5.5.5	海表盐度	206
5.5.6	海平面异常	206

5.5.7	海表二氧化碳分压	206
5.5.8	阿瓦鲁阿附近海域生态环境特征	216
5.6	密克罗尼西亚联邦海洋生态环境	217
5.6.1	海表温度	217
5.6.2	海表叶绿素 a 浓度	218
5.6.3	海洋净初级生产力	220
5.6.4	海水透明度	222
5.6.5	海表盐度	224
5.6.6	海平面异常	226
5.6.7	海表二氧化碳分压	228
5.6.8	帕利基尔附近海域生态环境特征	228
5.7	瑙鲁海洋生态环境	231
5.7.1	海表温度	231
5.7.2	海表叶绿素 a 浓度	231
5.7.3	海洋净初级生产力	231
5.7.4	海水透明度	231
5.7.5	海表盐度	236
5.7.6	海平面异常	236
5.7.7	海表二氧化碳分压	236
5.7.8	亚伦附近海域生态环境特征	236
5.8	纽埃海洋生态环境	240
5.8.1	海表温度	240
5.8.2	海表叶绿素 a 浓度	240
5.8.3	海洋净初级生产力	241
5.8.4	海水透明度	241
5.8.5	海表盐度	245
5.8.6	海平面异常	245
5.8.7	海表二氧化碳分压	245
5.8.8	阿洛菲附近海域生态环境特征	249
5.9	萨摩亚海洋生态环境	250
5.9.1	海表温度	250
5.9.2	海表叶绿素 a 浓度	250
5.9.3	海洋净初级生产力	250
5.9.4	海水透明度	250
5.9.5	海表盐度	255
5.9.6	海平面异常	255
5.9.7	海表二氧化碳分压	255
5.9.8	阿皮亚附近海域生态环境特征	255

5.10	所罗门群岛海洋生态环境	259
5.10.1	海表温度	259
5.10.2	海表叶绿素 a 浓度	261
5.10.3	海洋净初级生产力	261
5.10.4	海水透明度	261
5.10.5	海表盐度	263
5.10.6	海平面异常	263
5.10.7	海表二氧化碳分压	263
5.10.8	霍尼亚拉附近海域生态环境特征	265
5.11	汤加海洋生态环境	265
5.11.1	海表温度	265
5.11.2	海表叶绿素 a 浓度	267
5.11.3	海洋净初级生产力	267
5.11.4	海水透明度	269
5.11.5	海表盐度	269
5.11.6	海平面异常	269
5.11.7	海表二氧化碳分压	271
5.11.8	努库阿洛法附近海域生态环境特征	281
5.12	瓦努阿图海洋生态环境	282
5.12.1	海表温度	282
5.12.2	海表叶绿素 a 浓度	282
5.12.3	海洋净初级生产力	282
5.12.4	海水透明度	286
5.12.5	海表盐度	286
5.12.6	海平面异常	286
5.12.7	海表二氧化碳分压	286
5.12.8	维拉港附近海域生态环境特征	289
第 6 章	海洋灾害	292
6.1	海洋灾害的基本状况	292
6.1.1	地质灾害	292
6.1.2	气象灾害	293
6.2	海洋灾害遥感监测的典型案例分析	295
6.2.1	汤加火山爆发	295
6.2.2	瓦努阿图热带气旋	300
6.2.3	巴布亚新几内亚地震	301
6.2.4	巴布亚新几内亚山体滑坡	303
6.2.5	瓦努阿图地震	303

第 7 章 主要结论与建议	307
7.1 主要结论	307
7.2 建议	308
第 8 章 数据、方法与缩写说明	309
8.1 数据与方法概述	309
8.1.1 海岸变化	309
8.1.2 不透水面	309
8.1.3 植被	310
8.1.4 水体	310
8.1.5 潮滩	310
8.1.6 红树林	311
8.1.7 珊瑚礁和海草床	312
8.1.8 海表温度	314
8.1.9 海表叶绿素 a 浓度	314
8.1.10 海洋净初级生产力	315
8.1.11 海水透明度	315
8.1.12 海表盐度	316
8.1.13 海平面异常	316
8.1.14 海表二氧化碳分压	316
8.1.15 海洋生态环境要素统计方法	317
8.1.16 海洋灾害遥感监测数据源	318
8.2 太平洋岛屿国家和地区名称缩写	319
8.3 专有名词缩写	320
参考文献	322

1.1 太平洋岛国概况

太平洋岛国横跨东西和南北半球，绵延数千千米，占据了太平洋的广大区域（图 1-1），大致位于 $30^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{S}$ ， $130^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{W}$ ，覆盖热带、副热带及部分温带地区。该区域主要由美拉尼西亚、密克罗尼西亚和波利尼西亚三大群岛组成，包含超过 3 000 个大小各异的岛屿和珊瑚环礁。虽然陆地总面积仅约 55 万 km^2 ，但其海洋专属经济区（EEZ）极为辽阔，覆盖海域面积超过 3 000 万 km^2 ，蕴含丰富的渔业和海洋矿产资源。

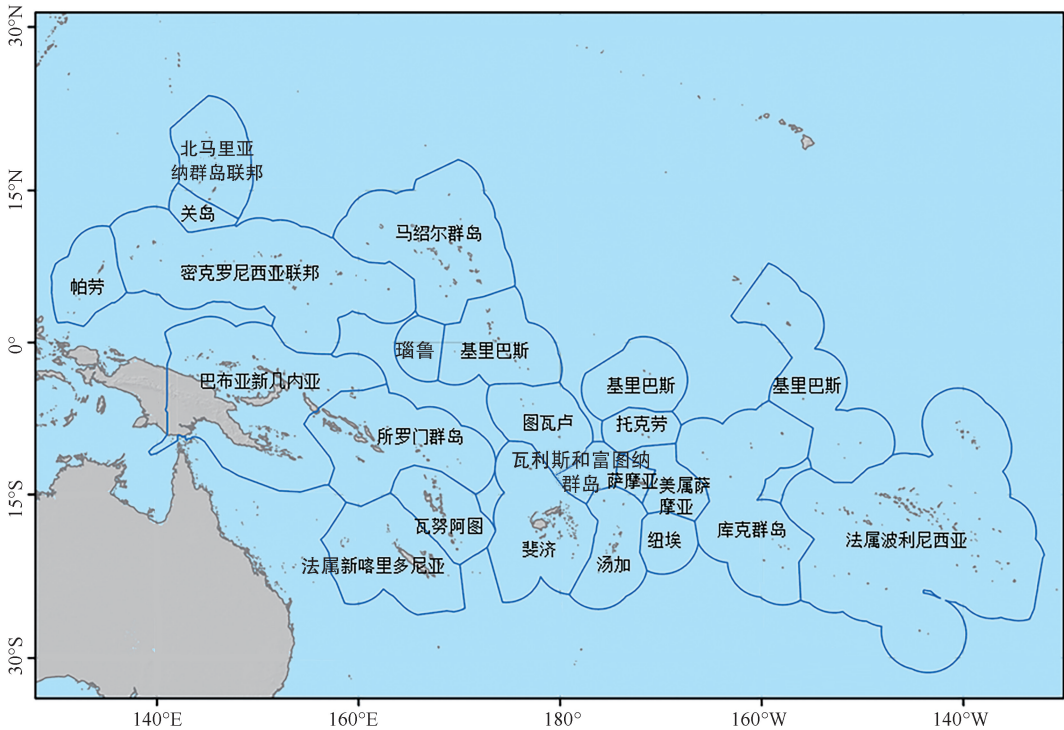


图 1-1 太平洋岛国的地理位置

蓝色区域为海洋专属经济区

图片来源：<https://pacific-data.sprep.org/dataset/sprep-maps>

在气候方面，太平洋岛国整体以热带海洋性气候为主，普遍呈现高温高湿、季风与信风显著、降水充沛的特点。但由于地理位置和岛屿类型存在差异，各岛屿的气候条件

仍存在一定区域差异。

在全球地理格局中，太平洋岛国占据着独特而重要的位置。首先，其位于连接亚洲、美洲和大洋洲的重要海上通道，是国际贸易与航运的重要枢纽。其次，广阔的海域赋予该区域在全球渔业生产、海洋运输以及深海资源开发中的重要战略地位。最后，其拥有丰富的热带海洋生态系统和旅游资源，如珊瑚礁、热带雨林和独特的海岛文化，使其在全球生态保护与旅游业发展中均占据重要地位。

太平洋岛国包括库克群岛（COK）、密克罗尼西亚联邦（FSM）、斐济（FJI）、基里巴斯（KIR）、马绍尔群岛（MHL）、瑙鲁（NRU）、纽埃（NIU）、帕劳（PLW）、巴布亚新几内亚（PNG）、萨摩亚（WSM）、所罗门群岛（SLB）、汤加（TON）、图瓦卢（TUV）和瓦努阿图（VUT）等国家，以及美属萨摩亚（ASM）、关岛（GUM）、北马里亚纳群岛联邦（MNP）、法属新喀里多尼亚（NCL）、法属波利尼西亚（PYF）、托克劳（TKL）和瓦利斯和富图纳群岛（WLF）等地区。本书重点对以下 11 个国家开展专题研究。

（1）巴布亚新几内亚

巴布亚新几内亚位于赤道以南的西南太平洋，西边与印度尼西亚的巴布亚省接壤，南边隔着托雷斯海峡与澳大利亚相望，东南部与所罗门群岛隔海相望。

巴布亚新几内亚的陆地面积为 46.28 万 km²，海岸线长 8 300km，海洋专属经济区面积超过 240 万 km²（韩锋和赵江林，2018）。巴布亚新几内亚拥有 600 多个岛屿，其中包括新不列颠岛、新爱尔兰岛、马努斯岛和布干维尔岛。巴布亚新几内亚的首都为莫尔斯比港（Port Moresby），位于新几内亚岛东南巴布亚湾沿岸。截至 2024 年，全国人口为 1 057.7 万人。

巴布亚新几内亚位于太平洋沿岸西侧的板块不稳定区域，地质构造活动频繁，境内分布有多座火山并多发地震，地形整体较为复杂。河流均发源于中部山脉，主要有弗莱河（Fly River）、塞皮克河（Sepik River）、普拉里河（Purari River）和拉穆河（Ramu River）。大部分地区属于赤道多雨气候和热带湿润气候，全年气温高且降水量大。

（2）斐济

斐济的全称是斐济共和国，位于西南太平洋的中心区域，地处瓦努阿图以东、汤加以西、图瓦卢以南。

斐济的陆地面积为 1.83 万 km²，海洋专属经济区面积达 129 万 km²（吕桂霞，2015）。斐济由 332 个岛屿组成，其中 106 个岛屿为永久性居民聚居地。岛屿多为珊瑚礁环绕的火山岛，主要有维提岛（Viti Levu）、瓦努阿岛（Vanua Levu）等。苏瓦（Suva）是斐济的首都，也是斐济最大的城市，位于维提岛的东南部。截至 2024 年，全国人口为 92.9 万人。

斐济属于热带海洋性气候，年平均气温为 22~30℃，并经常遭受热带气旋（飓风）侵袭。森林覆盖面积广阔，达 9 350km²，约占全国陆地面积的一半。矿产资源丰富，拥有多种矿藏，有两处金矿，还有少量的铜和银资源，铝土矿和石油资源正在勘探中。渔业资源也很丰富，有大量金枪鱼，其北部和南部海域是优质的金枪鱼捕捞区。

（3）基里巴斯

基里巴斯的全称是基里巴斯共和国，是英联邦成员之一。它位于密克罗尼西亚群岛

的东南部,是唯一一个跨越赤道的太平洋岛国,北邻马绍尔群岛,西接瑙鲁,南邻图瓦卢、托克劳、库克群岛和法属波利尼西亚。

基里巴斯由33个岛屿组成,陆地面积为811km²,海洋专属经济区面积近335万km²(徐美莉,2016)。基里巴斯的最高点仅高出海平面2m,大部分岛屿都是低矮、平坦的珊瑚岛,土地贫瘠多沙,无河流湖泊。塔拉瓦(Tarawa)是基里巴斯的首都,位于塔拉瓦环礁(Tarawa Atoll)南部。截至2024年,全国人口为13.5万人。

基里巴斯属于典型的热带海洋性气候,年平均气温约为27℃,年平均降水量为1600mm,12月至次年5月降水量较多,较为湿润,6~11月降水量较少,较为干燥。自20世纪以来,在全球气候变化背景下,基里巴斯呈现气温升高、降水减少及风浪增强等变化趋势。

(4) 库克群岛

库克群岛是位于波利尼西亚群岛的一个岛国,介于美属萨摩亚和法属波利尼西亚之间,由15个岛屿组成,总面积约为236.7km²,海洋专属经济区面积约为196万km²(王作成,2017)。岛屿是由火山活动形成的,北部群岛年代更久远,由6个环礁组成,这些环礁是被海水淹没的火山顶部覆盖着珊瑚形成的。阿瓦鲁阿(Avarua)是库克群岛的首都,位于拉罗汤加岛(Rarotonga Island)北部。截至2024年,全国人口为1.4万人。

(5) 密克罗尼西亚联邦

密克罗尼西亚联邦位于赤道以北、西太平洋密克罗尼西亚群岛的加罗林群岛,共有607个岛屿,其中65个岛屿有人居住。密克罗尼西亚联邦的陆地面积为702km²,海洋专属经济区面积约为298万km²,从北到南宽约900km,从东到西长约2700km(丁海彬,2016)。帕利基尔(Palikir)是密克罗尼西亚联邦的首都,位于波纳佩岛(Pohnpei Island)。截至2024年,全国人口为13.3万人。

密克罗尼西亚联邦地形特征为多山,每个州的主要岛屿均为火山岛,而围绕主岛分布的较小岛屿则大多是珊瑚环礁。密克罗尼西亚联邦属于典型的热带海洋性气候,年平均降水量约为2000mm,年平均气温为27℃。

(6) 瑙鲁

瑙鲁的全称是瑙鲁共和国,位于南太平洋密克罗尼西亚群岛,地处图瓦卢西北方向,距基里巴斯的巴纳巴岛仅约300km。

瑙鲁由单一的珊瑚礁岛屿及其周边水域组成,岛屿呈近椭圆形,长约6km、宽约4km,海岸线总长约30km,陆地面积为21.1km²,海洋专属经济区面积为32万km²。截至2024年,全国人口为1.2万人。瑙鲁属于热带雨林气候,年平均气温为24~38℃,年平均降水量为1500mm。

(7) 纽埃

纽埃位于南太平洋地区,西邻汤加,北接美属萨摩亚,东邻库克群岛。纽埃的陆地面积为260km²,海洋专属经济区面积约为39万km²(刘风山,2017)。纽埃由椭圆形珊瑚礁组成,南北两端相距27km,海岸线总长65km。阿洛菲(Alofi)是纽埃的首都。截至2024年,全国人口为1819人。

纽埃属于热带海洋性气候，温和宜人。旱季从5月持续至10月，降水量少，平均气温为23℃，雨季从11月持续至次年4月，平均降水量为2000mm。

(8) 萨摩亚

萨摩亚的全称是萨摩亚独立国，位于南太平洋地区、萨摩亚群岛西部，东距美属萨摩亚64km，南距汤加889km，西距瓦利斯和富图纳群岛483km，北距托克劳519km。

萨摩亚由乌波卢岛（Upolu Island）和萨瓦伊岛（Savai'i Island）两个主要岛屿，以及8个较小的岛屿组成。萨摩亚的陆地面积为2934km²，海洋专属经济区面积为12万km²（倪学德，2015）。阿皮亚（Apia）是萨摩亚的首都，也是全国最大城市及主要港口，位于乌波卢岛的北岸中部。截至2024年，全国人口为21.8万人。

萨摩亚为热带雨林气候，年平均气温为28℃。旱季从5月持续到10月，雨季从11月持续到次年4月，年平均降水量为2000~3500mm。

(9) 所罗门群岛

所罗门群岛位于太平洋西南部，属于美拉尼西亚群岛，地处澳大利亚东北部、巴布亚新几内亚东部以及瓦努阿图西北部，呈东南-西北走向，南北距离约1500km。

所罗门群岛的陆地面积为28450km²，海洋专属经济区面积达134万km²，海岸线长达5313km（张勇，2016）。所罗门群岛由900多个岛屿组成，地形特征为多山，岛屿周边的平原较为狭窄。所罗门群岛共有34座火山，但这些火山相对稳定，没有出现过于剧烈的火山活动。霍尼亚拉（Honiara）是所罗门群岛的首都，位于瓜达尔卡纳尔岛北部。截至2024年，全国人口为81.9万人。

所罗门群岛属于典型的热带雨林气候，年平均气温约为26.5℃，7月和8月的气温略低。所罗门群岛降水量充沛，年平均降水量约为3050mm，从11月到次年4月，西北风的来临会显著增加降水量，有时还会伴有风暴或热带气旋。

(10) 汤加

汤加的全称是汤加王国，位于南太平洋西部，西邻斐济，北邻萨摩亚，东邻纽埃。

汤加的陆地面积为747km²，海洋专属经济区面积达66.4万km²，海岸线长419km（王敬媛和陈万会，2017）。该国主要由三个群岛组成，即汤加塔布群岛（Tongatapu Islands）、哈派群岛（Ha'apai Islands）和瓦瓦乌群岛（Vava'u Islands），还有许多小岛，总计176个岛屿，其中40个有人居住。努库阿洛法（Nuku'alofa）是汤加的首都，也是汤加最大的城市及政治、经济和文化中心，位于汤加岛群最南端的汤加塔布岛（Tongatapu Island）的北部海岸。截至2024年，全国人口为10.4万人。

汤加的西部岛屿多为火山岛，地势较高且多山，最高处海拔1046m；东部岛屿多为珊瑚岛，为石灰岩质地，由珊瑚礁地势上升形成。汤加属于热带雨林气候，北部年平均气温为27℃，南部年平均气温为23℃。年平均降水量为1793mm，1月平均湿度最高为80%，一年中最干燥的时期集中在5月，5月平均降水量仅263mm。

(11) 瓦努阿图

瓦努阿图的全称是瓦努阿图共和国，位于南太平洋西部，属于美拉尼西亚群岛，东邻斐济，西南邻法属新喀里多尼亚，北邻所罗门群岛。

瓦努阿图的陆地面积为1.22万km²，海洋专属经济区面积为68万km²，由83个岛

屿组成(韩玉平, 2016)。维拉港(Port Vila)是瓦努阿图的首都, 位于埃法特岛(Éfaté Island)西部。截至2024年, 全国人口为32.8万人。

瓦努阿图北部属于潮湿的热带气候, 南部属于亚热带气候, 年平均气温为25.3℃。在12月、1月和2月, 瓦努阿图以东和以北的岛屿经常遭受热带气旋的袭击。

1.2 研究背景与意义

在全球气候变化和人类活动的叠加影响下, 太平洋岛国正面临着日益严峻的生态环境威胁。该地区位于珊瑚礁集中分布区和印太暖池核心带, 特殊的地理位置使其极易受到海平面上升、全球变暖、海洋酸化、热带气旋以及厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)等自然压力的冲击。同时, 沿海开发、森林砍伐与资源过度利用等人为活动进一步加剧了上述环境压力。这些多重胁迫共同导致海岸侵蚀、红树林退化以及水资源短缺等一系列生态环境问题, 对当地生态系统稳定和居民生计构成持续挑战。

应对这些挑战已成为国际社会的共同关切。1992年联合国环境与发展会议首次将小岛屿发展中国家确定为独特的发展群体, 其后在《21世纪议程》和《2030年可持续发展议程》等全球议程中, 均专门设置了针对其可持续发展的目标和措施。中国历来重视与太平洋岛国的友好关系, 积极推动联合国发展议程, 自2006年以来, 已举办三届中国—太平洋岛国经济发展合作论坛, 推动双方合作不断深化。近年来, 高层交往更加密切, 互信不断增强, 推动合作迈向更高水平。太平洋岛国已成为中国“21世纪海上丝绸之路”和外交安全格局的重要组成部分, 也是防灾减灾、科技与生态合作的重要方向。基于中国自主卫星遥感技术提升太平洋岛国生态环境与灾害监测能力, 是中国履行大国责任、落实人类命运共同体、实现联合国2030年可持续发展目标的应有之义。

太平洋岛国陆地规模小、人口少、经济基础薄弱, 对气候变化极为敏感, 生存与发展面临严重威胁。受自身观测技术与业务能力的限制, 这些国家和地区主要借助外交合作与国际援助应对全球气候变化。由美国主导的综合海洋观测系统(IOOS)、联合国推动的全球海洋观测系统(GOOS)以及全球海洋酸化观测网络(GOA-ON)等, 已在或计划在该区域部署各自的区域性观测系统, 如太平洋岛屿海洋观测系统(PacIOOS)、太平洋岛屿全球海洋观测系统(PI-GOOS)和太平洋岛屿海洋酸化观测网络(PI-TOA)。此外, 基于Planet星群遥感数据构建的艾伦珊瑚图集(Allen Coral Atlas)、澳大利亚负责建设的海平面监测系统也已覆盖了该区域。2020年11月, 联合国环境规划署(UNEP)发起建设“气候海洋信息和灾害预警服务系统”新计划, 旨在进一步加强对部分太平洋岛国的气候信息服务。尽管已有上述多项国际合作观测计划, 但总体而言, 太平洋岛屿区域的海洋观测系统尚未形成完整体系, 目前正处于持续发展阶段, 正在逐步拓展覆盖区域、加强海岸带观测并提升卫星观测数据应用水平。2019年举办的“支持太平洋岛国环境、气候和生计需求的地球观测平台”咨询研讨会提出, 需要加强太平洋岛国的地球观测数据的应用能力建设。

遥感技术凭借大范围覆盖、高时空分辨率及多维观测的优势, 已成为监测环境变化与自然灾害的重要工具。相较于传统地面监测, 遥感能够在短时间内获取大范围区域

的数据,并通过多源、多平台、多波段的观测,实现从大气、陆地到海洋的综合信息提取。这一特点对于地理分散、交通与通信条件受限的地区具有不可替代的价值。太平洋岛国地理分布零散、岛屿面积狭小,海域广阔、自然环境复杂,地面观测网络不健全,传统手段在空间覆盖度、时间连续性和灾害应急响应方面存在明显不足,而遥感技术能够有效突破这些局限:合成孔径雷达(SAR)可以穿透云雨,在热带气旋等恶劣天气下提供稳定观测;光学与高光谱遥感可精细刻画海岸侵蚀、红树林退化、珊瑚礁健康状况等生态环境特征;多源卫星数据协同支持海平面变化、海啸淹没范围以及灾损评估的快速制图。随着遥感大数据和人工智能技术的发展,基于多时相卫星影像的动态监测与预测模型逐渐成熟,使太平洋岛国能够在灾害前获得风险预警,在灾中实现快速监测,在灾后开展损失评估与恢复指导。因此,遥感技术不仅是科学研究的重要支撑,更是提升太平洋岛国灾害应对能力和推动可持续发展的关键技术手段。

从长远发展视角来看,健康的海洋生态环境是太平洋岛国实现可持续发展的基石。渔业、旅游业与蓝碳经济作为其主要支柱产业,高度依赖海洋生态系统的稳定。通过加强海洋生态环境与灾害要素的遥感监测,可为太平洋岛国及国际社会提供科学依据,推动政策优化和区域合作,提高太平洋岛国在应对气候变化和自然灾害中的韧性。这不仅关乎当地居民的福祉,还对全球海洋治理和气候调控具有重要意义。

1.3 监测内容与范围

为了充分利用遥感观测优势,为太平洋岛国生态环境监测提供服务,本书利用遥感资料,制作了长时间序列的海岛海岸带、典型海洋生态系统和海洋生态环境遥感产品,以及海洋灾害应急监测产品,分析在气候变化和人为活动背景下太平洋岛国生态环境的特征及变化趋势(图 1-2)。这些成果不仅揭示了生态环境要素的长期变化趋势,还为政策制定者应对气候变化和制定防灾减灾策略提供了重要的科学依据,助力更具针对性的政策制定。

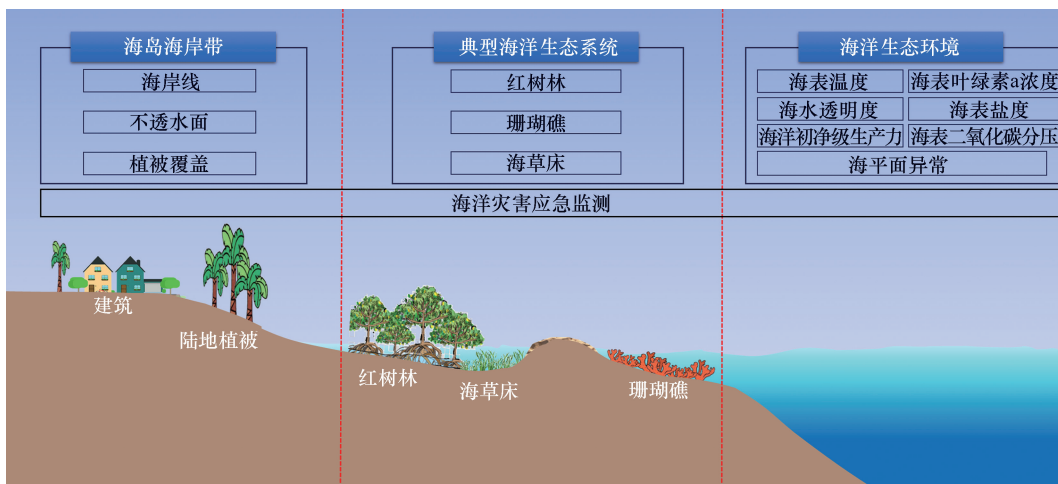


图 1-2 监测内容

(1) 海岸变化

海岸线是大潮高潮位时的海陆分界线，海岸变化包括海岸侵蚀和海岸扩张。监测范围覆盖 14 个太平洋岛屿国家和 7 个地区，监测时间为 2000 年、2010 年、2015 年、2020 年和 2023 年。

(2) 海岛地表覆盖

海岛地表覆盖包括不透水面、植被、水体和潮滩。

不透水面是指屋顶、道路和广场等由不透水建筑材料所覆盖的表面，是表征岛屿陆地表面人工化程度和人类活动强度的重要指标。监测范围覆盖 14 个太平洋岛屿国家和 7 个地区，监测时间为 2000~2023 年。

植被是表征陆域植被生态系统生长状况的重要参数，能够反映植被对周边环境变化的响应。监测范围覆盖 14 个太平洋岛屿国家和 7 个地区，监测时间为 2000 年、2010 年、2020 年和 2023 年。

水体包括岛屿陆地范围内的河流、湖泊、水库及潟湖等地表水资源，是维系岛屿生态系统健康、淡水资源安全与气候调节的重要组成部分。监测范围覆盖 14 个太平洋岛屿国家和 7 个地区，监测时间为 2000 年、2010 年、2020 年和 2023 年。

潮滩位于海陆交互带，在高潮时被海水淹没而低潮时裸露，具有极高的生物多样性，是沿海生态系统的重要缓冲区和宝贵空间资源。监测范围覆盖 14 个太平洋岛屿国家和 7 个地区，监测时间为 2000 年、2010 年、2020 年和 2023 年。

(3) 典型海洋生态系统

典型海洋生态系统包括红树林、珊瑚礁和海草床。

红树林是生长在海岸潮间带的木本植物群落，能够稳固海岸线、防风护堤，被称为“海岸卫士”。监测范围覆盖 14 个太平洋岛屿国家和 7 个地区，监测时间为 2000 年、2010 年、2020 年和 2023 年。

珊瑚礁和海草床不仅对区域生物多样性至关重要，还在维持海洋生态平衡、保护海岸线及促进渔业资源可持续利用等方面发挥着重要作用。虽然其面积仅占海洋面积的 0.01%，但它们为 25% 以上的海洋物种提供了栖息地，被誉为“海洋中的热带雨林”。监测内容主要是珊瑚礁和海草床本身及其所处的水环境，包括对水深、底质反射率、叶绿素 a 浓度和海水透明度等参数的定量反演。监测范围主要是太平洋岛国的典型区域，监测时间为 2022~2024 年。

(4) 海洋生态环境

海洋生态环境参数包括海表温度、海表叶绿素 a 浓度、海洋初级生产力、海水透明度、海表盐度、海平面异常和海表二氧化碳分压。

海表温度是海洋生态环境的基本物理参数，监测范围覆盖太平洋岛国海域，监测时间为 1998~2023 年。

海表叶绿素 a 浓度是评估海洋上层浮游植物生物量的重要参数，监测范围覆盖太平洋岛国海域，监测时间为 1998~2023 年。

海洋净初级生产力是研究海洋碳循环和生物碳泵的重要参数，监测范围覆盖太平洋岛国海域，监测时间为 1998~2023 年。

海水透明度直接反映光在海水中的穿透能力，是研究海洋生态环境的重要参数，监测范围覆盖太平洋岛国海域，监测时间为 1998~2023 年。

海表盐度是物理海洋研究中的基本参数，监测范围覆盖太平洋岛国海域，监测时间为 2010~2023 年。

海平面异常是表征海平面变化的重要参数，监测范围覆盖太平洋岛国海域，监测时间为 1993~2023 年。

海表二氧化碳分压是研究海洋对大气二氧化碳吸收能力及海洋酸化程度的重要参数，监测范围覆盖太平洋岛国海域，监测时间为 1998~2023 年。

（5）海洋灾害

受地质构造活动与热带气候系统的共同影响，太平洋岛国是全球自然灾害高度易发和多发的区域。选取 2022~2024 年太平洋岛国发生的多起典型海洋及相关灾害事件，涵盖火山爆发、热带气旋、地震及其诱发的山体滑坡等类型，系统展示卫星遥感在灾害快速响应、灾情识别、空间分布刻画及次生影响评估等方面的应用能力。

第2章

海岸变化

监测海岸动态变化对于保护滨海生态系统和保障沿岸人类活动安全至关重要。海岸的侵蚀和扩张不仅改变自然地貌，还深刻影响周边社区的经济社会发展和生态安全。开展系统性的海岸变化监测，能够为海岸带综合管理提供科学依据，从而提升沿海地区生态环境的可持续性 with 气候韧性。这不仅有助于保护生物多样性、降低自然灾害风险，还为应对海平面上升等长期气候变化的影响奠定了重要的适应基础。

2.1 海岸变化基本情况

2000~2023 年太平洋岛国海岸扩张和海岸侵蚀空间分布分别如图 2-1 和图 2-2 所示。整体而言，该区域海岸侵蚀更为普遍且强度更高，多数国家和地区的海岸线出现不同强度的蚀退。其中，巴布亚新几内亚的海岸侵蚀最为突出，在其北部沿岸以及与所罗门群岛相邻海域形成范围广阔、强度显著的连续侵蚀带；所罗门群岛和斐济周边也出现了明显的侵蚀集中区。相比之下，海岸扩张则表现出较强的局地性和分散性特征，扩张斑块多为低强度、零散分布，主要分布于斐济、法属新喀里多尼亚、法属波利尼西亚等区

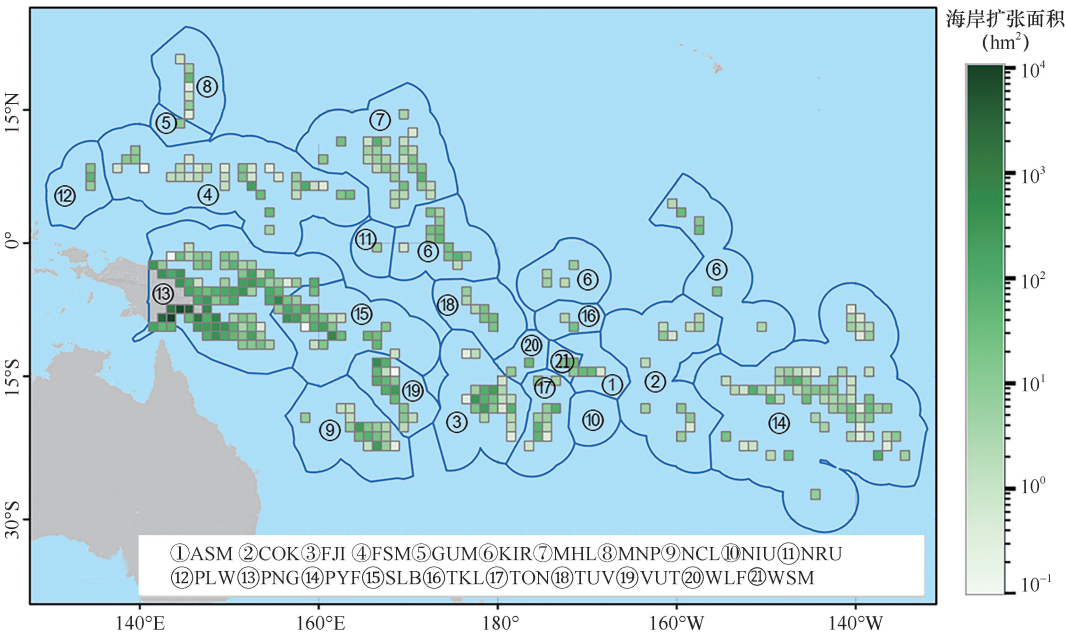


图 2-1 2000~2023 年太平洋岛国海岸扩张空间分布 (1° 网格)

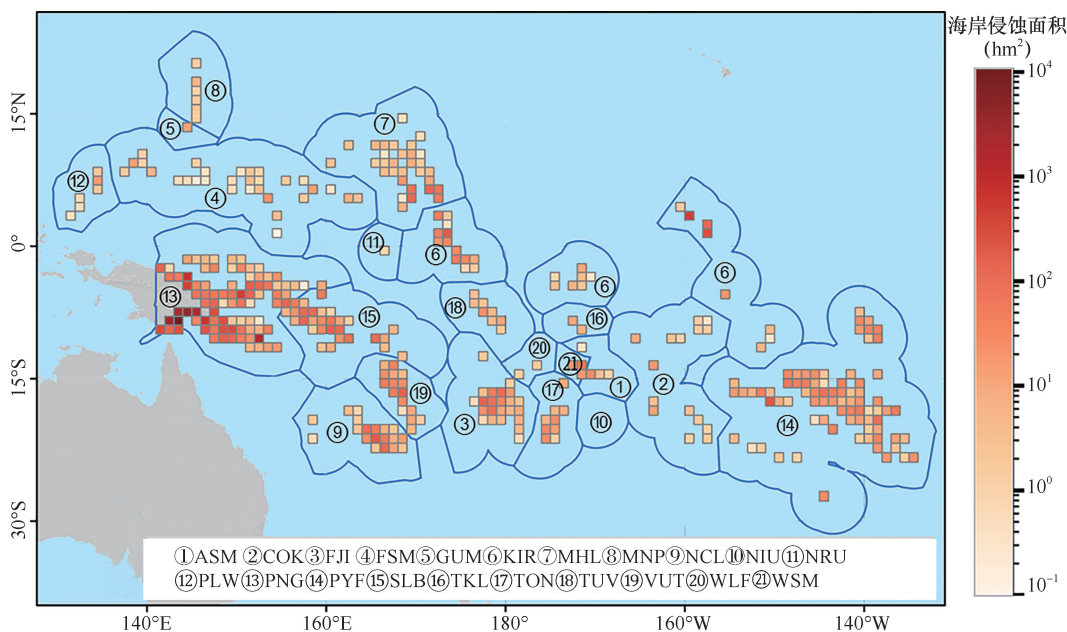


图 2-2 2000~2023 年太平洋岛国海岸侵蚀空间分布（1° 网格）

域，通常与河口泥沙淤积或人工填海等局地过程相关。综上所述，2000~2023 年太平洋岛国的海岸变化呈现“广泛侵蚀、局部扩张”的空间格局。

2000~2023 年太平洋岛国海岸变化面积统计如图 2-3 所示。其中，巴布亚新几内亚、基里巴斯、马绍尔群岛和法属波利尼西亚的海岸侵蚀面积较为显著，面临较高的侵蚀风险；而斐济、所罗门群岛、密克罗尼西亚联邦和瓦努阿图则表现出海岸扩张占主导的趋势。值得注意的是，巴布亚新几内亚虽然海岸侵蚀最为突出，但其海岸扩张的总面积在所有太平洋岛国中也居于首位。

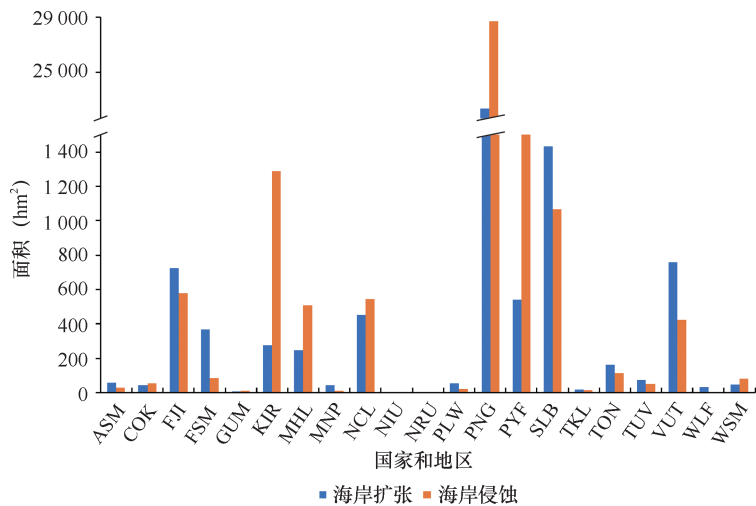


图 2-3 2000~2023 年太平洋岛国海岸变化面积统计