

探索与发现

珊瑚礁是海底世界的一大奇观，以其美丽和多样性闻名于世。与陆地上热带雨林聚集着许多生物一样，它也会吸引大量海洋生物。据统计，虽然珊瑚礁仅占海洋面积的0.25%，却有四分之一的海洋生物依赖其生存。近年来，中国加大了对海洋珊瑚礁的保护力度，一批批科学家潜入海底“植树造林”，在我国南海开展了大规模的珊瑚礁人工修复工作，截至目前已成功种植和修复珊瑚礁约30万平方米。

那么，珊瑚礁对海洋生态系统有何重要意义？海底“植树造林”是怎么进行的？未来我国将如何保护珊瑚礁生态系统？今天我们来聊聊这个话题。



南海海底“植树造林”保护珊瑚礁

■刘骑跃

中国南海是珊瑚礁主分布区

东汉文学家班固在《西都赋》中写道：“珊瑚碧树，周阿而生”，“珊瑚”一词便出自于此。可以想象那样的场景：在神秘的海洋深处，小小的珊瑚虫成群聚集，经过一代代的繁衍，它们分泌出的石灰质成为了保护自己的外壳，再历经千万年海水的洗礼，最终形成了五彩斑斓的岛礁。

珊瑚礁是由珊瑚虫、珊瑚藻、软体动物外壳及有孔虫等钙质生物的石灰质骨骼残体，经世代不断堆积形成的一种岩石体，以造礁珊瑚的碳酸钙骨骼为主体。其中，最主要的造礁珊瑚是造礁石珊瑚，它与虫黄藻共生，能分泌碳酸钙，具有强大的造礁功能。

科学家把以珊瑚礁岩体为依托发育而成的生物群落及其所处生态环境形成的统一整体，称为珊瑚礁生态系统。它作为热带亚热带最突出的代表性海洋生态系统，素有“海洋热带雨林”的美誉，且对维持海洋生态平衡、渔业资源再生、生态旅游观光、海洋药物开发及保护海岸线等至关重要，具有突出的生态学功能和社会经济价值。

虽然珊瑚礁生态系统占据的海洋面积很小，却孕育着四分之一的海洋生物，唯一的“缺点”就是对生长环境很“挑剔”。造礁石珊瑚的生长发育对环境要求极为严格，适合其生长的温度范围为20℃-28℃，超过这个范围，与珊瑚共生的虫黄藻便可能因受到影响而逸出，从而表现为珊瑚白化。一般认为，年最低月平均水温18℃为珊瑚礁分布的界限，低于此温度就无法形成。此外，造礁石珊瑚生长所需的盐度范围为27‰-40‰，对光照强度的要求使其通常生长于水深小于30米、且底质稳固、具有清澈和低营养水体的海区。

全球珊瑚礁总面积约有28万至60万平方公里，集中分布于印度-太平洋区系和大西洋-加勒比海区两个海区。其中，前者是造礁石珊瑚种类多样性最高的区域，大约有1200种。

我国南海珊瑚礁正是印度-太平洋区系的重要组成部分，总面积约38461平方公里，主要分布在华南大陆沿岸、台湾岛和海南岛沿岸，以及南海的东沙群岛、西沙群岛、南沙群岛。目前，中国共记录造礁石珊瑚445种，其中西沙群岛分布的造礁石珊瑚种类占到总数的50%以上，共有251种；而南沙群岛分布的造礁石珊瑚种类占到总数的85%以上，共有386种。

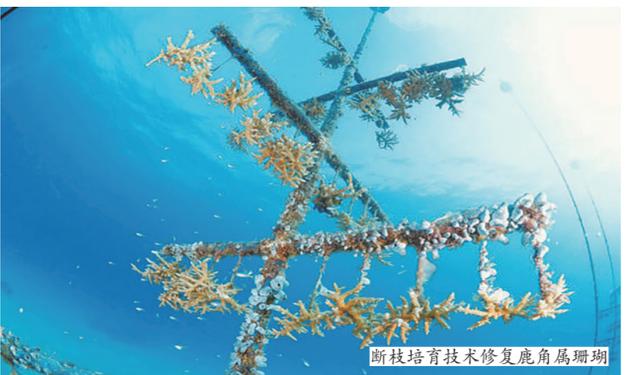
环境与人为因素严重危及珊瑚

作为具有丰富生物多样性与高生产力的生态系统，珊瑚礁不仅能为人类提供大量的食物、原材料，还能通过削弱海浪能量的方式防止海岸受到侵蚀，同时也为人类提供了宝贵的旅游资源。

从20世纪80年代开始，珊瑚礁的重要性及其面临的危机逐步引起了国际社会的广泛关注，1997年至1998年海水温度异常升高引起的珊瑚礁大面积白化事件更是给全世界敲响了警钟。此后，许多国家加强了对珊瑚礁的保护，并在珊瑚礁保护修复方面进行了探索尝试，如立法保护、划建保护区、人工修复等。

随着全球气候变化与人类活动的影响，我国大陆海域造礁石珊瑚在过去的30年里经历了快速退化过程，将近80%的活珊瑚被破坏。据资料统计，海南岛近些年有80%-95%的珊瑚礁退化，其中，三亚鹿回头珊瑚资源覆盖率从1990年的30%-40%下降到2002年的23%左右，2002年至2003年该海域长棘海星的爆发又使珊瑚覆盖率急剧下降到15%，因为长棘海星可以直接摄食造礁石珊瑚导致其退化。

虽然中国南海海域的珊瑚礁不在近岸，但受近些年破坏性渔业捕捞、海岸建设、珊瑚疾病爆发、长棘海星爆发等因素影响，该区域珊瑚礁也出现了严重退化现象。在过去10年至15年，南海各岛礁的珊瑚平均覆盖率从超过60%下滑到20%左右，下滑速度甚至远大于近岸珊瑚礁的退化速度。其中，东沙群岛在1994年时北部造礁石珊瑚覆盖率为80%-95%，南部覆盖率为15%-20%，后因破坏性捕鱼行为导致造礁石珊瑚覆盖率在1998年时下降了60%-99%，2008年该区域潟湖内的造礁石珊瑚因白化事件大面积衰退，珊瑚覆盖率降至不足10%。西沙群岛海域的珊瑚礁也因军事活动、珊瑚开采、破坏性捕鱼作业等的干扰而出现退化。



断枝培育技术修复鹿角属珊瑚

科学家海底挽救珊瑚出奇招

珊瑚礁资源因人类活动、环境变化等因素而出现的快速衰退现象，会直接影响到海岸生态系统的稳定、渔业的持续、海岸带的水土保持和旅游业的发展。因此，为防止珊瑚礁资源进一步退化，中国科学家实施了多种针对性保护措施，其中，修复措施对受损珊瑚礁生态系统的恢复起到了关键作用。

现任中国科学院南海海洋研究所南海热带海洋生物实验站站长的黄晖研究员早在上世纪90年代便开始带领团队进行珊瑚礁生态修复的研究和试验工作，其研究团队获得国家发明专利数十项，并主持撰写了我国首个珊瑚礁生态修复的国家标准。研究团队在广东广州和海南三亚、万宁，以及西沙群岛、南沙群岛开展珊瑚礁修复，移植珊瑚在10万株以上，修复退化珊瑚礁面积超30万平方米。

基于我国目前取得的珊瑚礁修复研究结果，主流的有效修复技术包括3种：造礁石珊瑚的有性繁殖、断枝培育和底播移植。

1.有性繁殖技术 这种技术主要是利用珊瑚的繁殖生物学特性，在其繁殖期通过促进珊瑚生殖配子结合形成受精卵，提高受精率；随后对其培育至浮浪幼虫阶段，通过放入附着基或附着诱导物促使珊瑚浮浪幼虫附着变态形成珊瑚幼体；再通过移植对珊瑚幼体的人工培育，提高幼体存活率，使其生长至合适的大小。通过这种人工技术的辅助，可以降低珊瑚繁殖过程中限制因素的影响，大大提高珊瑚受精发育至幼体的比例。

2.断枝培育技术 断枝培育技术就是通过造礁石珊瑚的无性增殖特点，利用人工培育条件或野外培育技术促进造礁石珊瑚断枝的增长，达到移植所需大小。珊瑚断枝培育方法主要分为珊瑚断枝培育法、浮床断枝培育法、缆绳断枝培育法。在选择具体方法时，需要综合考虑修复区域的原生造礁石珊瑚种类、底质类型、台风和海浪发生频次等情况。人工条件下的无性培育技术关键在于严格控制培育环境以适合珊瑚生长，其中包括光照、温度、盐度、海水pH值与酸度、离子浓度等多个方面，甚至还包括生物因素的控制，成本十分昂贵。而野外培育虽然成本较低，但对环境条件的控制不足，无法去除恶劣环境条件与生物因素的影响，可能造成培育失败。

3.底播移植技术 底播移植技术是将野外采集或培育的珊瑚断枝固定在需修复的珊瑚礁底质上，针对不同的珊瑚礁底质采用相适应的底播移植方法。其目的是使珊瑚断枝稳固在底质或礁体上，避免被海浪打翻或造成脱落。目前采用的主要底播移植技术有铆钉珊瑚移植技术、生物粘合剂珊瑚移植技术和生态礁珊瑚移植技术。具体来说，铆钉珊瑚移植一般应用在珊瑚礁底质的区域；生物粘合剂珊瑚移植技术一般应用在坚硬的岩石底质区域；生态礁珊瑚移植则大多应用在泥沙等无法直接进行珊瑚固定的底质区域。

未来珊瑚物种保护的技术方向

经过20多年的野外实践和室内研究，中国科学院南海海洋研究所珊瑚生物学与珊瑚礁生态学学科团队在珊瑚礁生态修复方面积累了丰富经验。团队通过人工育苗、珊瑚底播移植、珊瑚礁重建和生境恢复等方法，在广东和海南开展了系列受损珊瑚礁修复项目。其中，在海南修复海域包括南沙群岛、西沙群岛，以及三亚的亚龙湾、西岛、东罗岛、凤凰岛、小洲岛、鹿回头、蜈支洲岛，万宁的日月湾和大洲岛等，修复面积超过30万平方米。

从国家层面来看，近年来政府高度重视珊瑚保护工作，先后通过加入并履行国际公约、加强立法和规划、建立保护区、开展科研监测和生态修复、加强宣传教育和国际合作等，深入推进珊瑚物种保护，取得了一定的成效。

1.履行国际公约加强立法 为切实保护濒危物种，中国加入了《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)和《生物多样性公约》，将列入CITES的珊瑚物种对应国家二级重点保护动物级别进行管理，并于2018年将珊瑚物种核准为国家二级重点保护动物。我国还出台了多项有关珊瑚保护的法律法规，如《中华人民共和国渔业法》《中华人民共和国野生动物保护法》《中华人民共和国海洋环境保护法》等。

2.为珊瑚栖息地建立保护区 我国建立了6个珊瑚保护区，分别是海南三亚、广东徐闻和广西涠洲岛3个国家级自然保护区；福建东山省级自然保护区；珠海庙湾和儋州磷枪石岛2个市县级保护区。此外，雷州珍稀海洋生物国家级自然保护区、广东南澎列岛国家级自然保护区、海南万宁大洲岛国家级海洋生态自然保护区、西南中沙省级水产资源自然保护区、广东大亚湾水产资源省级自然保护区也将珊瑚列为重要保护对象。以上保护区的成立，对于我国珊瑚物种及其栖息地的保护起到了巨大的推动作用。

3.开展科研监测和生态修复 为了明晰中国珊瑚物种资源状况，加强保护管理，我国从2004年起跟国际接轨，采用国际标准或通用方法开展珊瑚物种栖息地监测工作，在福建、广东、广西和海南等相关海域进行了珊瑚礁生态监测调查、珊瑚礁普查以及调查评估等，为后续开展珊瑚礁生态修复积累了大量数据。未来，我国科学家将聚焦珊瑚断枝高效、快速、规模化培育技术，以及珊瑚礁景观生境构建技术、造礁石珊瑚强化技术等，为珊瑚礁生态系统的科学、合理、高效恢复提供理论依据。

总的来看，当今世界珊瑚保护都面临着同样的问题，如非法贸易、非法礁盘渔业与过度捕捞、海岸工程、旅游压力、异常升温导致珊瑚白化、珊瑚“天敌”长棘海星爆发等。虽然珊瑚礁只是海洋生态链的一环，但是牵一发而动全身，为了维护整个海洋生态系统的平衡，保护海洋生物的多样性，对于珊瑚礁的保护不能放弃，仍需继续。保护珊瑚礁，就是保护海洋家园，这是全人类都需要认真对待的一门必修课。

(据《北京日报》)

科技与新知

人工智能有助于开发神奇材料

■王雨珂

目前，谷歌一家人工智能企业创建的人工智能，已预测出200多万种可能性材料，有助于彻底改变材料科学，为制造更好的电池、太阳能电池板和更多重要技术提供新方法。

在国际科技期刊《自然》近日发表的“为材料发现扩展深度学习”一文中，研究者扩大了机器学习在材料探索方面的应用，首次建立了能够准确预测稳定性的模型，从而为新材料探索提供指导。

这种人工智能模型被称为“材料探索图网络”(GNOME)，旨在预测无机晶体结构。这种结构是原子的重复排列，使材料具有特殊属性。从新能源汽车电池到太阳能电池，一旦发现新材料无疑将加速技术层面的突破。已知的无机晶

体结构约有4.8万种，它们提供了具有各种特性的材料，虽然其中一些新结构可能会衰变成更稳定的形式，或者根本不可能被创造出来，但有700多项预测已在实验室中实现。

谷歌这家企业人工智能的研发团队，在现有的已知无机晶体数据库上训练GNOME，并利用它通过改变元素或利用已知晶体的对称性生成新的可能晶体，还预测了新晶体的能量，这是衡量晶体稳定性的一个标准。

研究人员利用量子力学模拟来评估这些能量预测的准确性，然后将这些结果反馈到GNOME结构预测中。每一轮预测，模型对新晶体结构的普适性都越来越好。(据《科普时报》)

南极海冰连续3年创新低

■王方



环绕南极洲的海冰连续第三年接近历史最低水平，这引发了人们的忧虑，即在气候变化的推动下，冰层正在经历一种永久性的“稳态转换”。这将给冰架、南极生态系统和全球气候带来令人担忧的后果。

研究人员表示，目前尚不清楚这种转变是否已经发生，但可能会在几个月内看到更多证据。

长期以来，南极海冰一直与人们的预期背道而驰。2015年，即使北极海冰减少，南极海冰覆盖面积也增加了，这让预测其下降的建模者感到困惑。然而，第二年海冰覆盖面积大幅下降至平均水平以下，到2017年初达到创纪录的低点。随着冰层在2022年、2023年初相继再创新低，这一切开始看起来像是一种趋势。

澳大利亚塔斯马尼亚大学的Edward Doddridge说，当去年年中南极冬季的冰层没有恢复时，研究人员感到震惊，因为它远远低于平均水平，以至于“我们的统计模型再也起不了作用”。

根据美国国家冰雪数据中心的数据库，2024年，南极海冰覆盖率再次降至接近历史最低水平，2月20日面积最小仅为199万平方公里，这是有记录以来第二低的数字。

Doddridge说：“现在，所有的目光都集中在冬季海冰上。如果2024年像去年一样，将有大量证据表明南极海冰已经发生了变化，而且可能是不可逆转的。”

不过，美国伍兹霍尔海洋研究所的Catherine Walker表示，海冰持续减少是否代表了气候变化带来的永久性变化，目前尚不清楚。“这是一种趋势，还是一个短暂现象，抑或是一种‘稳态转换’？”

存在不确定性的一个缘由是南极海冰覆盖的短卫星记录，该记录仅可追溯到1979年。这种有限的观测使人们很难确定，目前海冰的波动在多大程度上是南极自然变化的一部分，还是对气候变化的反应。英国南极调查局的Caroline Holmes认为，海冰变化的幅度表明

这是二者的结合。

研究人员尚不确定大气和海洋是如何推动海冰变化的，而这正是理解为何会发生这种变化的重要部分。Walker说，极端的温度和风向变化确实导致去年冬天观测到的冰层低得惊人。但Doddridge和同事最近的一项研究发现，大气中的这些变化不足以解释过去10年海冰的变化。

美国斯坦福大学的Zachary Kaufman说，海洋温度和盐度的变化也会引起海冰覆盖的变化，但评估这些因素复杂的相互作用是一个“无底洞”，目前的模型无法解决。此外，还有其他难以建模的因素需要考虑，比如通常固定海冰的大型冰山的快速融化。

低水平的海冰覆盖也可能引发变暖反馈，因为开放水域吸收了通常会被冰反射的辐射。Doddridge在2月于路易斯安那州举行的美国地球物理联合会海洋科学会议上发表的研究结果显示，这种热量“记忆”可能在南大洋持续3年之久，且每年都会加剧热量。可能发生的“稳态转换”是这次会议的一个关键话题。

如果冰层永久转变，其后果可能对南极洲和全球气候产生重大影响。Holmes说，在当地，海冰是南极生态系统的重要组成部分。例如，被称为冰间湖的海冰开口提供了丰富的区域，支撑着从浮游生物到企鹅乃至捕食者的整个食物链。

海冰减少还意味着从南极冰盖边缘延伸到大海的冰架将更多暴露在海浪中，导致额外的破裂和融化，进而引发海平面上升。Holmes说：“如果你用波浪拍打它，一些东西更容易受到影响。”

海冰减少甚至会改变从南极洲到全球海洋的冷水流，从而对全球气候产生连锁反应。海冰通过产生在南极洲附近下沉的高密水，以及当它从大陆融化时添加淡水，帮助推动了这种循环。Walker说：“减缓或切断这种循环可能对各地的气候产生巨大影响。”

(据《中国科学报》)