

弹性思维在珊瑚礁资源管护中的应用^{*}

张振冬，温 泉，樊景凤，梁 斌，蔡悦荫，郭 皓

(国家海洋环境监测中心 大连 116023)

摘 要：文章从生态弹性理论出发，分析了生态弹性的内涵、特征和影响因素，阐释了生态弹性对于维持社会—生态系统的稳定和生态服务功能的持续发挥具有重要意义。通过分析珊瑚礁生态系统在经历多重干扰后发生生态势转换，说明生态弹性对于维持系统的稳定和可持续性至关重要。而在诸多决定珊瑚礁生态系统弹性的因素中，生物多样性的丧失会导致系统更容易受到外界干扰的影响而不断退化。在国内外相关研究工作的基础上，结合我国珊瑚礁生态系统监测能力，提出了一套针对我国珊瑚礁生态系统的弹性评价指标体系，为深入了解我国珊瑚礁生态系统的弹性提供参考，建立以保障和提高珊瑚礁生态系统弹性为宗旨的管理方式，将为解决珊瑚礁资源退化问题提供更多的选择。

关 键 词：生态弹性；珊瑚礁生态系统；态势转换；生物多样性

1 生态弹性与系统可持续发展

生态学的弹性思维是国际恢复联盟（resilience alliance）在可持续发展背景下提出的新的资源管理思维方式，是近年来可持续发展研究中比较热点的领域，并被许多学者认为是可持续发展管理的理论基础^[1]。生态弹性（ecological resilience）是指生态系统受外界干扰和影响后，通过自身的重塑来调节、适应这种压力和扰动，依然保持其原有的结构和生态功能^[2]。本研究谈及的弹性并不是指系统受到干扰后恢复到以前状态的速度，而是指系统受到干扰后仍然保持原有属性的能力。包括人类在内的任何个体或系统，都必须保持有一定的弹性能力，来缓解各种压力与干扰的影响而保持系统不崩溃。目前，生态弹性理论已成为可持续发展研究的新视角。

生态弹性是维持系统在遭受干扰后不发生生态势转换的能力。这种特性已经被越来越多的科学家认为是系统可持续发展的基石。一个具有弹性的社会—生态系统在受到外界干扰时，避免发生生态势转换的能力更强，进而为人类持续提供供给、调节和支撑的生态服务能力也就

更强。此外，一个具有弹性的社会—生态系统除了保持自身的生态服务功能之外，能够随着整个世界的变化而变化，并能应对由于管理失误而引发的问题。在自然生态系统中，一场干旱可能会导致一片农场严重退化，但对另一片农场的影响并不大，那是因为后一个农场生态系统的弹性比前一个更强，能在遭受干旱的干扰后继续保持其基本结构和功能。可持续发展需要创新的思维，运用弹性思维管理我们赖以生存的社会—生态系统，要求我们尽可能深入了解社会—生态系统作为一个整体的运作方式和内在机理，明确人类是与自然相互联系的系统中的一分子，并将诸多问题置于一个具有弹性的生态系统去思考，进而制订和实施旨在保持系统弹性的管理方式。

2 珊瑚礁生态系统弹性

珊瑚礁生态系统是大自然赐予人类宝贵的资源，这里的生物多样性极为丰富，是天然的物种库，被称为海洋中的“热带雨林”，为人类的生产和生活提供丰富的海产品、药品和工业原材料，并在防浪护岸、生态旅游和科学研究等方面具有重要的生态服务价值。最新的研究

^{*} 基金项目：海洋行业公益项目（200905005）、（200905011）和（201305030）；国家海洋局全国近岸生态监控区监测专项。

结果表明，珊瑚礁生态系统比其他海洋栖息地更容易产生新的物种，是物种进化的摇篮^[3]。同时，珊瑚礁生态系统也是全球较为脆弱的生态系统之一，对于海洋环境的变化和外界的干扰相对比较敏感。近几十年来，全球大约 20% 的珊瑚礁已经消失，还有 20% 的珊瑚礁正遭受人为和自然的多重威胁而处于严重的退化状态^[4]。近日召开的世界珊瑚礁大会的报告称，亚洲珊瑚大三角（coral triangle）地区 85% 的珊瑚礁正直接受到沿岸开发、流域污染和过度捕捞等人类活动的威胁。

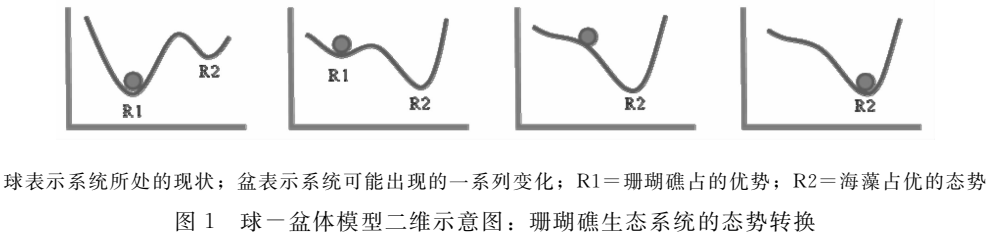
珊瑚礁生物减少，造礁珊瑚覆盖率降低，导致珊瑚礁生态系统弹性及其提供的生态服务能力也日益降低。生态弹性的降低，会导致系统在受到一定的干扰时发生生态势转换，进入到一种我们不希望的生产力和生态服务水平较低的态势。如今的加勒比海珊瑚礁生态系统在经历一场飓风的袭击时将饱受摧残，但在几百年前，同样级别的飓风却并不能对这里的珊瑚礁产生多大的破坏。正是由于加勒比海珊瑚礁生态系统赖以系系的许多重要功能群生物在旅游开发、过度捕捞、陆源污染以及气候变化的多重压力下大量丧失，导致该系统的生态弹性大大降低^[1]。

西沙珊瑚礁是我国现存珊瑚礁群落中最古老最原始的群落，也是我国近海海域保存相当完好和珍贵的珊瑚礁区域。但是随着全球变暖和人类活动的影响，西沙珊瑚礁生态系统退化严重。调查表明，西沙珊瑚礁生态监控区内的造礁珊瑚种类逐年下降，由 2006 年记录的 87 种

减少到了 2011 年的 25 种，造礁珊瑚的平均覆盖度也呈现明显的下降趋势，从 2005—2006 年的 70% 左右下降到了 2011 年的 2.3%。随着造礁珊瑚种类和覆盖度的下降，珊瑚礁鱼类的种群密度呈现了明显的下降趋势，由 2005 年的 310 尾/100 m² 下降到 2009 年的 106 尾/100 m²，下降了 65.8%。由此可见，西沙珊瑚礁生态系统关键物种种群数量的下降，大大降低了系统的生态弹性，在我国南海海域夏季表层海水温度升高的压力下，该地区的珊瑚礁生态系统面临着发生生态势转换的风险。

3 生物多样性对生态系统弹性的作用

研究表明，生物多样性状况对于维持系统的生态弹性是非常重要的^[5-6]。加勒比海区曾有世界上最为壮丽的珊瑚礁生态系统。由于多年来海岸带开发活动和过度捕捞的影响，加之混乱的生态保护和管理，导致了该地区珊瑚礁生态系统的生物多样性下降，最终引起了系统弹性的降低。在过去的 30 多年里，这里 80% 的珊瑚礁已经消失，而现存的珊瑚礁处境也很危险。研究表明，由于过度捕捞导致了生活在加勒比海域的鲨鱼、梭鱼和其他大型鱼类数量不断下降，其中在珊瑚礁区以藻类为食的鹦嘴鱼种群数量也在逐渐减少^[7]。此外，再加上陆源污染物刺激了藻类的过度生长，使得该海区的藻类在和珊瑚的竞争胜出，原来占优势的硬珊瑚逐渐被肉质海藻所取代，生态系统发生了态势转换（regime shift）（图 1）。



即使作为全球保护最好的珊瑚礁生态系统澳大利亚的大堡礁，在过去 50 年里也折损了 50%，但并没有出现像加勒比海珊瑚礁那样灾难性的衰退。其中部分原因在于大堡礁没有遭受相同强度的渔业捕捞压力和陆源污染，而另

外一个更为重要的原因在于大堡礁具有更高的物种多样性，那里的珊瑚礁种类和鱼类种群比加勒比海区丰富得多。澳大利亚的大堡礁有造礁珊瑚有 350 多种，海洋鱼类有 1 500~2 000 种，软体动物超过 4 000 种。加勒比海区的珊瑚

礁种类仅占大堡礁的 14%左右，鱼类种群约为大堡礁珊瑚礁鱼类的 28%^[1]。

由此可见，澳大利亚大堡礁由于丰富的生物多样性和相对完善的生态保护管理，保证了那里的珊瑚礁生态系统具有较强的弹性能力，能更好地维持生态系统的功能并能有效地应对外界干扰。因此，通过提高系统生物多样性来恢复和增强生态系统的弹性能力，有利于珊瑚礁生态系统应对人类活动和气候变化的干扰。而在进行生态系统弹性能力的恢复和构建过程中，关键的一点就是对生物多样性的保护和恢复。

4 珊瑚礁生态系统弹性评价指标体系

生态弹性对于维持系统的稳定具有重要的意义，是系统可持续性的基石，因此，分析评价一个系统的弹性大小对于我们运用弹性思维深入了解和管理社会—生态系统至关重要。目前有关生态弹性评价的研究已经逐渐吸引了国内外学者的目光。Cabell^[8]将社会—生态系统的弹性理论应用到农业生态系统中，提出了 13 个指标用于对复杂农业生态系统的弹性进行评价。高江波等^[6]为了分析青藏铁路穿越区生态系统的弹性，选择物种多样性、植被覆盖度、群落生物量作为弹性评价指标，利用基于 GIS 的均方差决策法对青藏铁路穿越区生态系统的弹性能力进行了定量评估，并认为通过对生态系统弹性能力的评价研究，可找出生态系统对外界干扰的薄弱环节，并确定从哪些方面入手进行恢复更有效，以尽量减少人为和自然干扰对生态系统造成的不利影响。在珊瑚礁生态系统弹性评价方面，世界自然保护联盟的报告称珊瑚礁生态系统的健康状况主要是由其承受外界干扰并保持其原有结构和功能的弹性能力所决定的，并建立了一套用于珊瑚礁生态弹性评价的指标体系^[9]。本研究在参考世界自然保护联盟的珊瑚礁生态弹性评价指标体系的基础上，结合我国目前在珊瑚礁生态系统监测与评价方面的工作基础，提出了一套适用于我国珊瑚礁生态系统弹性评价的指标体系（表 1）。

表 1 珊瑚礁生态系统弹性评价指标体系

目标层	准则层	指标层
珊瑚礁生态系统弹性评价指标体系	底栖覆盖度	硬珊瑚
		软珊瑚
		大型藻类
	珊瑚礁群落	造礁珊瑚种类
		硬珊瑚补充量
		珊瑚礁白化
		珊瑚礁病害
	珊瑚礁生物	草食性鱼类种群
		小热带鱼种群
		敌害生物
	环境状况	温度
		pH
		海水可见度
		底质类型
	人类活动	过度捕捞
		污染物排放

指标体系主要包括底栖覆盖度、珊瑚礁群落、珊瑚礁生物、环境状况和人类活动影响等五大方面。底栖覆盖度方面选择了硬珊瑚、软珊瑚和大型藻类盖度等 3 个指标来反映珊瑚礁和藻类之间的平衡状况，是表征珊瑚礁生态系统健康程度最基本的指标；珊瑚礁群落方面选择了造礁珊瑚种类、硬珊瑚补充量、珊瑚礁白化和珊瑚礁病害情况来具体反映珊瑚礁的群落结构和健康水平；在珊瑚礁生物方面选择了草食性鱼类种群、小热带鱼种群以及敌害生物状况来反映珊瑚礁生态系统食物链上关键物种的群落结构，这些生活在珊瑚礁区关键物种的种群数量对于珊瑚礁生态系统保持弹性和活力至关重要；在环境状况方面选择了温度、pH、海水可见度以及底质类型来反映珊瑚礁生长繁殖的环境适宜程度；人类活动方面主要选择了目前对于珊瑚礁生态系统威胁较大的过度捕捞和污染物排放两个指标，来反映人类活动对于珊瑚礁生态系统的压力。

我国的珊瑚礁资源较为丰富，珊瑚礁总面积达到了 7 300 km²，占全球珊瑚礁总面积的 2.57%，位居世界第八位。富有弹性的浅海珊瑚礁生态系统是构成强健的海洋生态系统和保

障沿海社会经济可持续发展的一个关键因素。但随着沿海地区经济的高速发展，我国的珊瑚礁生态系统承受了前所未有的压力，在陆源污染、过度捕捞、旅游开发和敌害生物爆发等多重干扰的影响下，我国的珊瑚礁生态系统呈现了严重的退化趋势，其生产力水平和生态服务功能显著下降，承受各种压力与干扰的能力也越发薄弱。旨在保持系统弹性的管理方式，提倡将诸多问题置于一个具有弹性的生态系统中去思考，并将人类视同系统中的一分子，通过深入分析影响系统弹性的要素特征确定系统所处的态势和弹性的大小。在这一过程中可发现系统对外界干扰的薄弱环节，通过制订和实施相应的恢复措施，巩固和提高系统的弹性能力，从而保障系统的可持续性。

国家海洋局已对我国多个珊瑚礁重点区域开展了连续多年的珊瑚礁生态系统健康监测与评价工作，在此基础上于 2011 年开展了我国典型珊瑚礁生态系统物种多样性状况及变化趋势的监测工作。珊瑚礁生态系统的生物多样性状况与系统的弹性密切相关，特别是不同功能群的物种多样性直接影响系统的弹性。因此，在科学发展观的统领下，我们应认真开展珊瑚礁生态系统的生物多样性监测与评价工作，制订和实施提高我国珊瑚礁生态系统弹性的方法措施，从而实现我国珊瑚礁资源的可持续利用。

参考文献

[1] WALKER B H, SALT D . Resilience thinking;

sustaining ecosystems and people in a changing world[M]. Washington: Island Press, 2006: 12—72.

[2] 武春友. 资源效率与生态规划管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 28.

[3] KIESSLING W, SIMPSON C, FOOTE M. Reefs as cradles of evolution and sources of biodiversity in the Phanerozoic [J]. Science, 2010, 327 (5962): 196—198.

[4] 赵士洞, 张永民 . 生态系统与人类福祉: 千年生态系统评估的成就、贡献和展望[J]. 地球科学进展 2006, 21(9): 895—902.

[5] BENGTSSON J. Disturbance and resilience in soil animal communities[J]. European Journal of Soil Biology, 2002, 38: 119—125.

[6] 高江波, 赵志强, 李双成 . 基于地理信息系统的青藏铁路穿越区生态系统恢复力评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2473—2479

[7] STALLINGS C D. Fishery-independent data reveal negative effect of human population density on caribbean predatory fish communities[J]. PloS ONE, 2009, 4(5): 5333.

[8] CABELL J F, OELOFSE M. An indicator framework for assessing agroecosystem resilience[J]. Ecology and Society, 2012, 17(1): 18.

[9] IUCN. Coral reef resilience assessment of the bonaire national marine park, netherlands antilles[M]. Gland: IUCN, 2011: 16.