

陈韶阳, 肖利, 刘娜, 龚彦维, 肖云. 2022. 可持续发展视角下的南海岛礁评估分类. 热带地理, 42 (7): 1039-1049.
Chen Shaoyang, Xiao Li, Liu Na, Gong Yanwei and Xiao Yun. 2022. Classificatory Assessment of Islands and Reefs in the South China Sea from the Perspective of Sustainable Development. *Tropical Geography*, 42 (7): 1039-1049.

可持续发展视角下的南海岛礁评估分类

陈韶阳¹, 肖利¹, 刘娜¹, 龚彦维¹, 肖云²

(1. 天津大学海洋科学与技术学院, 天津 300072; 2. 西安测绘研究所, 西安 710119)

摘要: 南海岛礁是南海海上合作和海洋治理的重要支点。南海岛礁的可持续发展是实现南海域内协同发展、合作治理的基石。为了多维度诊断南海岛礁可持续发展的现状, 辅助岛礁科学规划, 提升海洋治理能力, 文章基于模糊层次分析法、熵权法与组合求权方法形成主-客观耦合求权的南海岛礁可持续发展评价方法, 以永兴岛、赵述岛、南薰礁、美济礁、渚碧礁、永暑礁等南海岛礁为例, 探究其可持续发展的潜力。结果表明, 6个岛礁的可持续发展价值量排序为: 永兴岛 > 永暑礁 > 美济礁 > 渚碧礁 > 赵述岛 > 南薰礁。6个岛礁均具备可持续发展的潜力, 但各个岛礁的发展状态差异很大, 各维度的发展程度各不相同。综合评价结果和岛礁实地状况, 分析南海岛礁发展的优势领域与薄弱环节, 为南海岛礁规划了区域性中心、综合保障、特色产业、国防维权的发展方向。建议永兴岛和永暑礁发展为区域性现代化与智能化的绿色示范岛礁; 美济礁发展海洋产业与后勤保障, 完善海上交通设施建设, 提供国际公共产品与服务; 赵述岛与渚碧礁以渔业发展为中心, 注重产业结构与布局规划, 形成特色产业模式; 南薰礁提升安全维护能力, 完善岛礁建设, 提升国防维权功能。

关键词: 可持续发展; 南海岛礁; 综合评价; 社会治理; 南海海洋治理

中图分类号: X22

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2022)07-1039-11

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003511

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



可持续发展理念于1987年在《我们共同的未来》中被正式确认(WCED, 1987), 该理念注重事物在社会、经济、文化、资源、环境、生活等多方面的协调发展。可持续发展催化了海洋治理框架、内涵、模式等的动态发展, 并丰厚了全球发展的认知与方向(朱璇, 2020)。随着1992年《岛屿》(*Island*)杂志的创办和《21世纪议程》(*Agenda 21*)的拟定, 海岛可持续发展开始进入学者的研究视野, 海岛逐步发展为城市向海扩张与区域发展增长的战略重点(Zheng et al., 2020)。海岛可持续发展能加速构建经济、生态的协调关系, 还能拓展蓝色经济空间, 为各类海上合作提供陆上条件。

已有海岛可持续发展研究注重与生态保护、特色产业(Zhao et al., 2020)、旅游经济(Ocampo et al., 2018; Walker et al., 2021)、资源利用(Brilhante et al., 2021; Serrano-Tovar et al., 2019)、互联网技术

(常立侠等, 2019)等多个领域的交叉, 引入生态足迹(Wu et al., 2020)、环境承载力(Cheng et al., 2019)等模型评估海岛生态环境。国内外学者相继构建不同地区岛屿的可持续发展评价指标体系(李金克等, 2004; Kondyli, 2010; Long et al., 2020; Horan, 2020; Xu et al., 2020), 在遵循因地制宜原则的基础上, 主要采用以层次分析法为代表的隶属关系指标组织方法和PSR、DSR、DPSIR等模型在内的因果链指标组织方法(Horan, 2020)。评价模型的发展已有所成效, 注重对已有模型的完善和方法的综合(成王玉等, 2013; 柯丽娜等, 2013; Polido et al., 2016; Yan et al., 2020), 如可变模糊集合理论综合评价模型, 但仍存在评价范围受限、缺乏数据佐证等不足。

南海岛礁是南海区域经济发展、海上合作的重要支撑。依托南海岛礁发展海产养殖、能源储备等

收稿日期: 2022-02-15; 修回日期: 2022-05-15

基金项目: 2020天津哲学社会科学规划课题(TJKS20XSX-015); 国家社科基金“新时代海洋强国建设”重大研究专项(20VHQ002); 教育部哲学社会科学重大课题攻关项目(18JZD059); 广州市院士专家工作站项目(20200115-8)

作者简介: 陈韶阳(1984—), 男, 天津人, 副教授, 博士生导师, 主要研究方向为海洋管理技术、国际海洋事务与海洋战略、海岛环境评价, (E-mail) chenshaoyang@tju.edu.cn.

海岛特色经济,可为海洋捕捞、油气资源开采等海洋产业提供便利条件(余敏友等,2019),并加快推动南海自由贸易区的建设。同时,南海岛礁的可持续发展能推动区域公共产品增量提质与加大对海洋生态环境的保护力度等,以提升中国在南海海洋秩序中的话语权与主导力,并形成以岛礁为基点的南海海洋治理合作机制网络,推进构建南海海洋治理体系,进一步实现南海域内协同发展与合作治理。

但现阶段南海岛礁可持续发展面临较多的挑战。首先,南海岛礁的基础设施建设较不完善,且岛礁发展模式单一。岛礁以发展国防功能为主以应对复杂的地缘环境,这导致在物质供应上对大陆的依赖度高,容易使整体发展失衡。其次,南海岛礁生态脆弱性明显,仍存在条件艰苦、淡水资源匮乏等问题,如南薰礁气候恶劣多变、永兴岛地下水受到鸟粪污染等。最后,岛礁容易受到人为因素的干扰(Benitez-Capistros et al., 2014; Chi et al., 2017),许多建设活动使岛礁的生态系统压力增大,可能会导致海水富营养化等(Chi et al., 2020)。而南海岛礁的可持续发展评价是应对这些挑战的有效手段,有助于明确南海岛礁发展的薄弱环节,科学制定管理措施与策略,实现南海岛礁社会治理与生态保护的有机统一。但由于位置偏远、地缘格局复杂等诸多因素,南海岛礁长期处于脱离社会管理、发展进程缓慢的状态,因而与其相关的可持续发展的研究较少。部分学者开展了中国南海岛礁的建设合理性(余敏友等,2019)、价值评价(陈韶阳,2011;成王玉等,2013;张荷霞等,2014)、救助力量部署(潘涛,2020)、港口可达性(石伟等,2014)等实证研究。其中,南海岛礁的价值评价主要关注战略价值,并从不同维度构建指标体系。随着技术的进步与政策支持力度的加大,南海岛礁发生了“质”的变化。各岛礁基础设施逐渐齐全,经济、社会等方面的功能日益突出。已有南海岛礁的价值评价并不能有效反映南海岛礁的发展现状,并且对岛礁建设策略也缺乏深入探讨。此外,“一刀切”的管理方式并不适合海岛独特的发展需求(Zhong et al., 2020),因此需依据可持续发展理论和岛礁的实际发展水平,采取“一岛一策”的分类特色化管理模式。

鉴于此,本文拟从自然、经济、社会、资源、生态、文化和战略7个维度扩展可持续发展理念,构建南海岛礁可持续发展评价体系,采用模糊层次

分析法、熵权法进行组合求权,求取主、客观组合权重,评价南海典型岛礁的可持续发展现状。并结合评价结果,分析南海岛礁的发展定位与具体措施,探讨“一岛一策”、社会治理的南海岛礁可持续发展模式。以期为推进南海岛礁建设与形成南海岛礁社会治理现代化体系提供参考。

1 研究区域

本文研究区域为南海岛礁及其附近海域,位于 $03^{\circ}58' - 21^{\circ}04' N$ 、 $109^{\circ}36' - 117^{\circ}50' E$ 之间(司徒尚纪,2007)。南海岛礁散布其间,对南海通航安全与区域发展起重要作用。南海岛礁主要指东、西、南、中沙四大群岛,包括280多个岛礁(中国地名委员会,1983)。自2013年起,中国积极推进南海岛礁建设,在享有主权并实际控制的南海岛礁上修建通讯与雷达设备、机场、医院、住宅、生态农场、科研基地、灯塔和海上救助中心等。2020年4月,设立海南省三沙市南沙区,区人民政府驻永暑岛。随着各岛礁建设工程的陆续完工,各岛礁的功能作用也逐渐显现。

选取西沙群岛中的永兴岛和赵述岛,南沙群岛中的南薰礁、美济礁、渚碧礁与永暑礁为研究对象(图1)。这6个岛礁面积较大、具有一定的生态系统,地理位置价值高,周边资源相对丰富,岛礁建设水平相对较高,对其进行可持续发展评价有助于更好地了解南海岛礁的发展现状和整体建设水平。

2 方法

2.1 评价模型整体框架

南海岛礁可持续发展评价模型主要包括4个处理模块,分别是指标体系构建与数据处理、评价体系权重的确定、指标因子综合处理和结果检验(图2)。

2.2 指标体系的构建

依据西沙永兴岛、赵述岛,南沙南薰礁、美济礁、渚碧礁、永暑礁在自然条件、经济活动、社会发展、资源状况等方面的价值特征,综合岛礁战略价值重要等特殊属性,契合可持续发展理念,依照层次结构模型构建南海岛礁可持续发展评价指标体系。首先,主要选取自然、经济、社会、资源、生态、文化、战略7个维度作为目标层,系统层中包含地理条件、气候条件、产业建设、社区建设等26个二级指标,其次,结合文献资料指标(高俊国

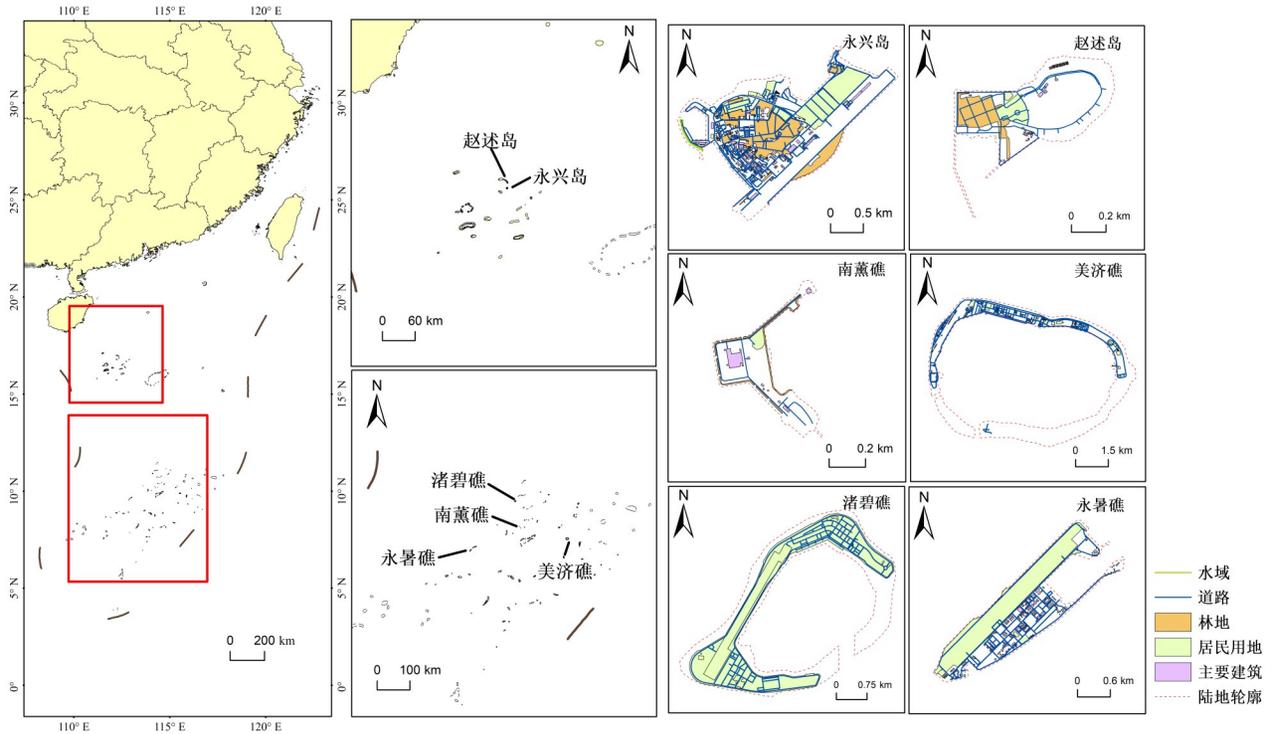


图1 研究区域与对象
Fig.1 Study area and objects

注：岛礁建设的矢量数据来自 <https://extract.bbbike.org/>

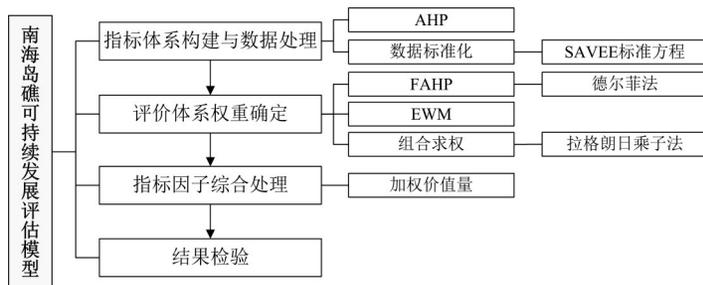


图2 南海岛礁可持续发展评价模型框架
Fig.2 The framework of assessment model for sustainable development of islands and reefs in the South China Sea

等，2009；陈韶阳，2011）、南海岛礁属性判别等方式归纳出60个具体指标（表1）。60个指标包含定量测定因子与定性评价因子。定量测定因子有多种数据来源，包括开放数据集、遥感影像、官方新闻、文献资料等。定性评价因子依据因子属性与实际状况设立“低、较低、中、较高、高”5个评价等级，满分为10分，满足等级条件即可获取对应分值。表2中显示了数据组成，包括来源、确定方法与数据名称。表3为定性因

表1 南海岛礁可持续发展评价指标体系与权重结果

Table 1 The indicator system and weight results of sustainable development of islands and reefs in the South China Sea

目标层A	系统层B	指标层C	因子类别	FAHP	EWM	组合权重
自然 A1 0.102 1	地理条件 B1	岛礁面积 C1	+↑	0.017 4	0.015 5	0.018 7
		岛礁地理位置 C2	+↑	0.030 7	0.014 7	0.024 2
		岸线长度 C3	+↑	0.010 0	0.014 5	0.013 7
		最高高程 C4	+↑	0.009 8	0.013 2	0.013 0
	气候条件 B2	平均年降水量 C5	Y	0.003 0	0.040 2	0.012 5
		年平均气温 C6	Y	0.003 1	0.019 8	0.008 9
		自然灾害 C7	+↓	0.007 8	0.012 1	0.011 1
经济 A2 0.110 6	产业建设 B3	工业设施 C8	⊖	0.005 5	0.014 7	0.010 3
		渔业养殖 C9	⊖	0.008 6	0.010 8	0.010 9
		旅游业发展 C10	+↑	0.007 6	0.028 1	0.016 6

(转下页)

续表1

目标层A	系统层B	指标层C	因子类别	FAHP	EWM	组合权重
社会 A3 0.170 5	设施建设 B4	港口建设 C11	+↑	0.002 2	0.021 0	0.007 8
		机场建设 C12	+↑	0.025 5	0.020 9	0.026 3
	土地 B5	土地利用 C13	r	0.027 2	0.010 1	0.018 9
	食品 B6	食品供应 C14	⊖	0.029 2	0.010 4	0.019 8
	社区建设 B7	民事行政管理 C15	+↑	0.006 8	0.027 0	0.015 4
		岛上交通条件 C16	+↑	0.006 4	0.011 6	0.009 8
		住房情况 C17	+↑	0.004 4	0.016 0	0.009 6
		教育 C18	+↑	0.004 1	0.021 0	0.010 6
		医疗 C19	+↑	0.004 8	0.019 1	0.010 9
		社会福利 C20	⊖	0.003 6	0.012 9	0.007 8
公共设施 B8	体育场数量 C21	+↑	0.001 8	0.017 5	0.006 4	
	体育场规模 C22	+↑	0.010 2	0.016 9	0.014 9	
	生活服务场所 C23	⊖	0.020 2	0.011 2	0.017 1	
科研建设 B9	实验基地规模 C24	⊖	0.004 1	0.014 2	0.008 7	
	观测站建设 C25	+↑	0.014 8	0.0130	0.015 8	
海上联合搜救 B10	海上搜救组织 C26	+↑	0.005 9	0.028 1	0.014 7	
	海上搜救能力 C27	-↑	0.040 9	0.015 7	0.028 8	
资源 A4 0.207 8	海岛资源 B11	植被覆盖面积 C28	+↑	0.018 0	0.009 6	0.014 9
		鸟粪磷矿 C29	⊖	0.009 7	0.014 5	0.013 6
		底栖生物多样性 C30	+↑	0.008 6	0.028 1	0.017 7
	渔业资源 B12	鱼类物种 C31	+↑	0.009 4	0.013 1	0.012 7
		渔场建设 C32	+↑	0.028 6	0.021 5	0.028 3
	淡水资源 B13	淡水处理厂 C33	+↑	0.017 4	0.014 4	0.018 0
		岛上水库 C34	+↑	0.013 4	0.017 6	0.017 6
		淡水透镜体潜质 C35	+↑	0.008 1	0.028 1	0.017 2
	矿产资源 B14	矿产丰富度 C36	⊖	0.028 1	0.021 4	0.027 9
	油气资源 B15	油气田分布 C37	-↑	0.034 2	0.012 4	0.023 5
可再生能源 B16	可再生能源利用程度 C38	⊖	0.017 6	0.011 8	0.016 4	
生态 A5 0.097 0	水质 B17	悬浮物含量 C39	-↑	0.031 6	0.010 6	0.020 9
		周边叶绿素含量 C40	+↑	0.031 6	0.017 5	0.026 8
	污水排放 B18	生活污水排放 C41	⊖	0.016 7	0.013 7	0.017 2
		产业废水排放 C42	⊖	0.074 3	0.010 7	0.032 1
文化 A6 0.082 1	历史文化 B19	历史文化遗产数量 C43	+↑	0.034 6	0.015 3	0.026 2
		历史文化遗产价值 C44	⊖	0.053 4	0.016 6	0.034 0
	民俗文化 B20	非物质文化遗产 C45	+↑	0.013 1	0.028 1	0.021 9
战略 A7 0.230 1	辐射能力 B21	辐射岛礁数量 C46	+↑	0.046 0	0.010 5	0.025 1
		船舶交通密度 C47	⊖	0.014 6	0.012 7	0.015 5
	交通区位 B22	与航道距离 C48	-↑	0.033 2	0.011 8	0.022 6
		锚地水深 C49	+↑	0.011 8	0.016 3	0.015 8
	锚地条件 B23	锚地地质 C50	⊖	0.025 8	0.018 0	0.024 5
		周边航线数量 C51	+↑	0.003 6	0.010 3	0.007 0
	航行条件 B24	航道平均水深 C52	+↑	0.000 8	0.020 9	0.004 7
		灯塔数量 C53	+↑	0.001 0	0.015 6	0.004 4
		码头吨位 C54	+↑	0.003 8	0.014 1	0.008 3
		港池面积 C55	+↑	0.003 9	0.017 3	0.009 3
避风条件 C56		⊖	0.004 8	0.013 1	0.009 0	
军事建设 B25		军事用地占比 C57	+↑	0.013 5	0.013 2	0.015 2
周边安全形势 B26	军用设施 C58	⊖	0.030 1	0.015 6	0.024 7	
	敌占岛礁数量 C59	-↑	0.014 7	0.017 5	0.018 2	
		敌占岛礁综合能力值 C60	⊖	0.028 5	0.018 0	0.025 8

注：正向积极因子记为“+↑”；负向积极因子记为“-↑”；正向消极因子记为“+↓”；正态因子记为“r”；定性因子记为“⊖”

表2 数据集与来源
Table 2 Database and source

来源	确定方法	数据名称
遥感影像 (LocaSpace Viewer)	人工目视解译与测量	岛礁面积、岛礁地理位置、岸线长度、港口建设、机场建设、土地利用、岛上交通条件、住房情况、体育场数量、体育场规模、海上搜救能力、植被覆盖面积、岛上水库、辐射岛礁数量、港池面积、军事用地占比
	定性评价	军用设施
	数量统计	敌占岛礁数量
文献资料	资料数值	最高高程(高俊国等, 2009)、底栖生物多样性(李新正等, 2002)、鱼类物种(李媛洁, 2020)
	定性评价	鸟粪磷矿(中国科学院南京土壤研究所考察组, 1976)、矿产丰富度(杨慧宁等, 2002)
	数量统计	淡水透镜体潜质(Sheng et al., 2020)
	定量测量	与航道距离(Wang et al., 2014)、周边航线数量(Wang et al., 2014)
官方新闻 ¹⁾	定性评价	工业设施、渔业养殖、食品供应、社会福利、生活服务场所、实验基地规模、可再生能源利用程度、生活污水排放、产业废水排放、历史文化遗产价值、避风条件、敌占岛礁综合能力值
	数量统计	旅游业发展、民事行政管理、教育、医疗、观测站建设、海上搜救组织、渔场建设、淡水污水处理厂、历史文化遗产数量、非物质文化遗产
	资料数值	码头吨位
专题图集 ²⁾	定量测量	油气田分布
数据库产品/网站	平均数值	平均年降水量 ³⁾ 、年平均气温 ⁴⁾ 、悬浮物含量 ⁵⁾ 、周边叶绿素含量 ⁵⁾ 、锚地水深 ⁶⁾ 、航道平均水深 ⁶⁾
	数量统计	自然灾害 ⁷⁾ 、灯塔数量 ⁶⁾
	定性评价	锚地地质 ⁶⁾ 、船舶交通密度 ⁸⁾

注：1) <http://www.sansha.gov.cn/>; <http://www.hainan.gov.cn/>; <http://www.81.cn/>; <http://www.hinews.cn/>; <http://kaogu.cssn.cn/>。2) <https://www.eia.gov/>。3) GPCP降水数据集 V 2.3 (GPCP Version 2.3 Combined Precipitation Data Set)。4) COBE海表面温度与海冰 (COBE SST2 and Sea-Ice)。5) 美国NASA的OceanColor网站；6) 海图在线 (<http://map.enclive.cn/>)；7) 国际气候管理最佳路径档案 (International Best Track Archive for Climate Stewardship)；8) 船讯网 (<http://www.shipxy.com/>)

子的判断标准与评价等级的对应情况。

2.3 数据标准化

参考SAVEE标准化方程对所获取的定量数据进行归一化处理(陈韶阳, 2011), 即积极因子取值为[0, 1], 消极因子取值为[-1, 0]。定性指标依据因子的自身属性与实际状况, 设定判断标准与评分等级进行取值, 无需利用SAVEE方程进行标准化。

正向积极因子指因子取值越大, 增加评价对象的价值量越多; 负向积极因子指因子同样能够增加评价对象的价值量, 但其取值越大, 增加的价值量越少。而正向消极因子指因子会减少评价对象的价值量, 其取值越大, 减少的价值量越多。正态因子指因子对评价对象价值量的影响呈正态分布。各类因子方程为:

正向积极因子:

$$y = 1 - e^{-K(\frac{b+1}{A})} \quad (1)$$

负向积极因子:

$$y = e^{-\frac{b+1}{A}} \quad (2)$$

正向消极因子:

$$y = e^{K(\frac{b+1}{A})} - 1 \quad (3)$$

正态因子:

$$y = e^{-\frac{K(b-\mu)}{\mu}} \quad (4)$$

式中: y 为归一化的价值量; b 为定量指标的原始数据; A 为依据指标实际情况所设置的阈值; K 表示指标原始数据的离散程度, K 取值越大, 离散程度越大, $K = \{1, 2, 3, 4, 5\}$; μ 为原始数据均值。

最终, y 的取值将统一为[-100, 100]的整数区间, 构成标准化后的数值行向量。

2.4 评价体系权重的确定

2.4.1 模糊层次分析法 模糊层次分析法能够减少主观赋权的模糊性, 可用于处理可持续性问题的(Mardani et al., 2015; Diaz-Balteiro et al., 2017)。通过德尔菲法构造三角模糊判断矩阵, 求算第 p 个对象(S_p)的模糊综合程度, 再逐一计算 $S_p \geq S_q$ 的可能性, 得出 S_p 与其余($N-1$)个三角模糊数都大的可能性, 最后求取权重列向量 w_1 :

表3 定性因子的判断标准与评价等级的对应情况

Table 3 Correspondence between judging criteria and assessment grades of qualitative factors

指标	评价等级				
	低(1~2分)	较低(3~4分)	中(5~6分)	较高(7~8分)	高(9~10分)
工业设施 C8	无工业设施	海水淡化厂等工业设施少	海水淡化厂等工业设施较少	海水淡化厂等工业设施较多	海水淡化厂等工业设施多
渔业养殖 C9	气候恶劣,渔业资源较少	气候适宜,渔业资源丰富	渔业资源丰富,渔民打渔为生	建有渔业基地	渔业产业化,生产规模大
食品供应 C14	生态环境差,暂不适宜农牧作业	有一定的养殖基础	农牧作业设施较齐全	农牧作业设施较齐全,有一定的现代化生产条件	农牧作业设施齐全,现代化水平高
社会福利 C20	岛礁上生活保障少	岛礁上生活保障较少	岛礁上有一定的生活保障	岛礁上形成居民社区	岛礁上形成居民社区,福利机制完善
生活服务场所 C23	暂无超市、电影院等服务场所	存在个别超市、电影院等服务场所	超市、电影院等服务场所较少	超市、电影院等服务场所较齐全	超市、电影院等服务场所齐全
实验基地规模 C24	无实验基地	实验基地数量少	实验基地数量较少	实验基地数量较多	实验基地数量多
鸟粪磷矿 C29	生物气候条件差,土壤含磷量少	生物气候条件较差,土壤含磷量少	生物气候条件一般,土壤含磷量一般	生物气候条件较好,土壤含磷量较多	生物气候条件好,土壤含磷量多
矿产丰富度 C36	矿产资源贫乏	矿产资源较少	矿产资源欠丰富	矿产资源较丰富	矿产资源丰富
可再生能源利用程度 C38	利用程度低	利用程度较低	利用程度一般	利用程度较高	利用程度高
生活污水排放 C41	排放少	排放较少	排放一般	排放较多	排放多
产业废水排放 C42	排放少	排放较少	排放一般	排放较多	排放多
历史文化遗产价值 C44	时间近、规模小	时间较近、规模较小	时间较久远、规模一般	时间较久远、规模较大	时间久远、规模大
船舶交通密度 C47	船舶来往数量少,交通密度小	船舶来往数量较少,交通密度较小	船舶来往数量一般,交通密度一般	船舶来往数量较多,交通密度较大	船舶来往数量多,交通密度大
锚地地质 C50	差	较差	中	良	优
避风条件 C56	较弱	弱	中	较强	强
军用设施 C58	礁堡、雷达等设施少	礁堡、雷达等设施较少	礁堡、雷达等设施一般	礁堡、雷达等设施较多	礁堡、雷达等设施多
敌占岛礁综合能力值 C60	无居民居住;派遣巡航艇巡航	有居民居住;派遣巡航艇巡航	有驻守部队;有居民居住;派遣巡航艇巡航	周边岛礁为军事基地;军用设施布设较严密;有驻守部队;有居民居住;派遣巡航艇巡航	周边岛礁为军事基地;军用设施布设严密;有驻守部队;有居民居住;派遣巡航艇巡航

$$w_1 = \frac{P(S_p \geq S_q) | q = 1, 2, \dots, N; p \neq q}{\sum_{k=1}^n P(S_k \geq S_q) | q = 1, 2, \dots, N; k \neq q},$$

$$p = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

2.4.2 熵权法 根据信息熵原理,某项指标的变异程度越大,信息熵越小,在评价中所起的作用越大,即权重越大;反之权重则越小(胡国强等,2019)。依据样本数据,构造判断矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$,并对 r_{ij} 进行标准化处理,其次计算第 j 项指标的信息熵 e_j ,最后求算各项指标的权重列向量 w_2 :

$$w_2 = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (6)$$

2.4.3 组合求权 组合权重列向量 W 由拉格朗日乘子法组合模糊层次分析法、熵权法求算的权重向量 w_1 、 w_2 得出:

$$W = \frac{(w_{1k} w_{2k})^{1/2}}{\sum_{k=1}^n (w_{1k} w_{2k})^{1/2}} \quad (7)$$

通过上述方法与步骤最终求得南海岛礁可持续发展评价各指标的权重值。

2.5 指标因子综合处理

通过主-客观耦合求权求算得出组合权重 W ,与标准化后的数值矩阵 Y 进行运算,计算南海岛礁可持续发展价值量矩阵 Z 。因此,南海岛礁可持续发展价值量计算公式为:

$$Z = W \cdot Y \quad (8)$$

2.6 权重结果

基于模糊层次分析法与熵权法的组合求权,最终确定目标层与指标层各因子的组合权重值。权重结果如表2所示,其中战略维度的权重最大,在整个评价体系中占据重要地位,符合南海岛礁地理区位特殊的性质。

3 结果分析

各岛礁的可持续发展价值量见表4所示。其中,永兴岛的价值量最高,达到64.19;永暑礁、美济礁次之,可持续发展程度较高;渚碧礁与赵述岛的价值量接近;而南薰礁的价值量最低,可持续发展程度最低。文献资料(张增湘,2018)与三沙市人

表4 南海岛礁价值量

维度	永兴岛	赵述岛	南薰礁	美济礁	渚碧礁	永暑礁
自然A1	5.41	4.12	3.84	5.84	5.41	5.12
经济A2	9.56	5.07	2.78	6.70	7.43	6.75
社会A3	13.02	8.67	5.93	9.07	8.11	9.25
资源A4	15.01	11.82	8.27	9.27	8.98	12.88
生态A5	-0.97	0.40	2.23	1.99	1.98	1.82
文化A6	6.85	5.17	2.30	1.36	1.36	1.96
战略A7	15.32	11.81	13.49	14.78	14.55	15.02
价值量	64.19	47.07	38.84	49.01	47.84	52.80

民政府网等网站的官方报道（三沙市人民政府网，2013；2016）也表明，永兴岛的社会发展更全面，且地理区位优势明显，因而实际可持续发展程度最高；永暑礁比美济礁建设更完备，且地理区位更优，因而永暑礁的实际可持续发展程度与优势高于美济礁；渚碧礁与赵述岛的功能定位一致，二者的整体发展程度也较为接近；而南薰礁因气候条件恶劣、生态环境脆弱等，岛礁建设难度较大，实际可持续发展水平最低。由此可见，计算所得的岛礁价值量与实际情况差异不大，验证了评价体系具有一定的客观准确性。

为了多层次分析南海岛礁的可持续发展现状，分别计算各岛礁在自然、经济、社会、资源、生态、文化、战略7个维度的价值量（见表4）。结果发现，6个岛礁的战略价值均较高，其中永兴岛、永暑礁、美济礁的战略价值相对较高。生态价值量较低也是6个岛礁的共同特征，其中永兴岛表现得更为明显。永兴岛是三沙市的行政中心，资源丰富、交通区位优势突出，因而在社会、资源与战略的价值量较高；但该岛礁生产力水平较高，对环境造成一定压力，因而生态的价值量呈负值。赵述岛在资源与战略价值量较高，主要体现在渔业资源和区位优势；但岛上常住居民较多，其渔业养殖等生产生活产生一定的生活污水与产业废水，使得赵述岛生态的价值量较低。南薰礁由于岛礁辐射能力强，战略的价值量相对较高；同时因尚未出现超出该岛承载力的高强度开发，因而生态价值量最高。美济礁、渚碧礁因机场、港口等基础设施建设完善，其战略价值量较高；但因岛礁位置偏远、人口稀少等，这些岛礁文化层面的发展相对缓慢。永暑礁航行条件优越，其资源、战略的价值量较高，而生态价值量还需进一步提高。

4 基于评价结果的岛礁分类

综上，各岛礁的发展程度各不相同，且优、劣

势领域明显。基于“一岛一策”的原则，对南海岛礁可持续发展进行科学定位。并依据岛礁各维度的价值量高低，明确6个南海岛礁的优势领域，提出区域性中心、综合保障、特色产业、国防维权的发展方向，进一步构建岛礁治理范式。

4.1 区域性中心型岛礁

永兴岛与永暑礁是区域性中心型岛礁的典型代表，注重军民融合、资源利用、生态保护等多方协同发展。这类岛礁既有国防军事价值，又能发挥民用功能，还能有效推动岛礁城市化建设。结合南海岛礁的评价结果，永兴岛与永暑礁的总价值量排名前二，发展水平较为均衡，但生态维度较为脆弱。永兴岛和永暑礁分别作为西沙区和南沙区的行政中心，对区域内其余南海岛礁建设起到先行示范作用，同时永兴岛和永暑礁亟需提高资源利用、发展绿色生产，因而可发展为现代化与智能化的绿色示范岛礁。岛礁内部应注重民生管理，完善社会结构；外部辐射西沙与南沙区岛礁，加快实现海上快速响应与调度。未来可在以下方面加强建设：1) 军民融合发展民生。可通过军民融合方式强化岛上社区建设，同时加强港口、道路、机场等交通设施的军民两用，形成高效海陆空运输网。2) 建设海上补给基地。可建设海上补给基地，统筹岛—陆、岛—岛之间的物资集散。3) 规划资源综合利用方案。可推广修建双模式海水淡化厂、智能微电网、移动平台式生态农场，构建高效、智慧、绿色的水—能源—农牧作物综合利用体系，实现海岛自主供应与成本节约。4) 注重岛礁生态与海洋生态保护。可开发污水生态循环利用技术，并定期评估生态承载力，同时加大对生态环境修复的投资。

4.2 综合保障型岛礁

美济礁的可持续发展价值量排名第三，其中自然、生态、战略维度的价值量较高，是最具综合保障型岛礁发展潜力的岛礁。该岛礁能实现生产自营，且能为周边海域与过往船只提供国际公共产品与服务。但现阶段美济礁仍处于半开发状态，岛上后勤保障与道路建设均不能满足岛民的生产生活需求。因此，未来可从以下几个方面提高美济礁的综合保障能力：1) 发展海洋产业，提供经济保障。可适当建设大型海洋水产养殖基地与扩大网箱养殖渔业的规模，并开辟热带珍稀鱼类的国内外贸易市场。2) 改善后勤保障，减少补给依赖。可发展基于智能微电网的水—能源—农牧作物体系，形成资源高效运转与循环利用，实现岛礁补给自主供应。3)

完善海上交通设施建设。包括合理划定美济礁岛上道路、周边航道,规划港口的位置与规模,同时加大码头吨位及增设浮标等助航设施等。4) 提供海上公共服务。可构建通信-导航-预警一体的监测系统,开发气象、海洋要素等观测数据的公共产品,并实时发布岛礁周边环境预警信息。同时,该岛礁应建设应急救助系统,升级岛上医疗设备,打造海上综合医院,提供良好的救助条件。

4.3 特色产业型岛礁

赵述岛和渚碧礁均具备发展特色产业的良好条件,在资源与战略维度均发展较好,且发展现状契合特色产业的发展方向。特色产业型岛礁需充分发挥自身的资源优势,根据岛礁自身的特点发展不同的产业,同时注重产业结构与布局规划。结合赵述岛与渚碧礁的实际情况,赵述岛可发展渔业-加工-旅游模式,而渚碧礁可发展渔业-种植-运输模式。其中,发展低碳化海洋渔业是中国渔业可持续发展的新途径,成为推动海洋碳汇的重要举措。赵述岛和渚碧礁可运用碳汇渔业的生产机理与固碳技术,优化渔业养殖结构。赵述岛还可以渔业发展为中心,打造主题旅游海岛,并加强与对口企业、沿海省份的产业对接与贸易合作。渚碧礁可重点发展渔业,同时可推动生物链循环工程建设。由于渚碧礁周边航线数量较多,具备发展成为南沙区核心物流岛的潜力,可规划定期班轮航线,向周边岛礁或大陆输出养殖产品,成为物资集散与中转的基地。

4.4 国防维权型岛礁

南薰礁在战略维度的价值量明显高于其他维度,区位优势突出,是国防维权型岛礁的典型代表。近年来经过建设,南薰礁的生存条件得到改善,但礁上食物与淡水仍依赖外地补给,生活条件较为艰苦,因而只有军队人员驻守。因此,以南薰礁为代表的国防维权型岛礁可从安全维护、岛礁建设两方面来提升岛礁的国防维权功能:1) 南薰礁守备队伍正规化建设。强化驻守人员素质,制定维权维稳等预案,并规范海空情处置流程。2) 保障礁上通信的安全顺畅。驻守人员应加强区块化管理,做好规范通信设施的维护保养工作。3) 增大南薰礁礁体面积。政府应当考虑适度吹沙填岛,进一步扩大建筑用地与设施布设。4) 优化南薰礁淡水存储。礁上应当增设水库与雨水收集装置,实现部分淡水自给自足。

5 结论与讨论

南海岛礁类型与数量繁杂,且岛礁发展条件差异大,因而科学评估岛礁发展是促进其可持续发展的重要举措。本研究构建了南海岛礁发展现状的评价模型,并对其6个岛礁进行评价。结果表明:首先,6个岛礁均具备可持续发展的潜力,其中永兴岛的可持续发展水平最高,而南薰礁发展程度最低,但各岛礁多个维度的发展仍有待提高。现阶段南海岛礁的发展重心在社会、资源、战略3个维度,还需加强自然、经济、生态、文化维度的建设。其次,各个岛礁的可持续发展状态差异很大,各维度的发展程度也各不相同。如永兴岛可持续发展状态较好,社会、资源与战略的价值量较高,但其生态的价值量为负值。在此基础上,本研究分析了南海岛礁的发展重心与薄弱领域,为南海岛礁规划了区域性中心、综合保障、特色产业、国防维权的发展方向,提出了“一岛一策”、社会治理的发展思路与建议。其中,永兴岛和永暑礁可发展为区域性现代化与智能化的绿色示范岛礁,提高资源利用、发展绿色生产;美济礁可发展海洋产业与后勤保障,完善海上交通设施建设,提供国际公共产品与服务;赵述岛与渚碧礁可以渔业发展为中心,注重产业结构与布局规划,形成特色产业模式;南薰礁可提升安全维护能力,完善岛礁建设,提升国防维权功能。

本研究从自然、经济、社会、资源、生态、文化、战略7个维度构建南海岛礁的可持续发展评价体系,通过文献资料指标比较、南海岛礁属性判别等方式全面归纳出60个具体指标,可有效反映南海岛礁的发展现状及其可持续发展程度。同时,组合权重能够更为科学地反映各个指标的重要程度,评价结果也更为合理。岛礁分类中,形成以6个南海岛礁为代表的南海岛礁发展模式,并从资源利用、基础建设、海上服务等方面提出社会治理措施。这将有助于推动南海岛礁可持续发展,从而促进南海区域蓝色经济发展,为“一带一路”建设、海上合作提供安全保障,为南海海洋治理注入中国力量。

本研究仍存在一些不足。首先,模型的运算步骤繁琐,未来需对模型进行优化,探索简便且有效的评价模型。其次,定量数据的精度较低,且定性数据易受到主观判断的影响。未来可优化数据获取方式,主要包括深化南海岛礁基础科学研究、开发多源数据获取渠道等。此外,由于南海岛礁众多且发展态势不一,评价模型与定位类型在南海区域的

适用性需进一步验证。最后，南海岛礁可持续发展存在较大的规划空间。在遵循自然规律的基础上，未来需注重南海岛礁发展的顶层设计，协同落实规划以保证岛礁的自给自足，进一步探索南海岛礁可持续发展的年际变化。同时，未来研究可与碳汇估算、生态修复、岛礁城镇化和陆海经济一体化等方向交叉。

参考文献 (References):

- Benitez-Capistrós F, Hugé J and Koedam N. 2014. Environmental Impacts on the Galapagos Islands: Identification of Interactions, Perceptions and Steps Ahead. *Ecological Indicators*, 38: 113-123.
- Brilhante M, Varela E, Essoh A P, Fortes A, Duarte M C, Monteiro F, Ferreira V, Correia A M, Duarte M P and Romeiras M M. 2021. Tackling Food Insecurity in Cabo Verde Islands: The Nutritional, Agricultural and Environmental Values of the Legume Species. *Foods*, 10(2): 206.
- 常立侠, 张海杰, 张飞宇, 陈昌亮, 黄蓓, 周厚诚, 张振克, 彭少麟. 2019. 海岛生态物联网建设: 概念和模型. *生态学报*, 39(10): 3416-3425. [Chang Lixia, Zhang Haijie, Zhang Feiyu, Chen Changliang, Huang Bei, Zhou Houcheng, Zhang Zhenke and Peng Shaolin. 2019. An Ecological Internet of Things for Islands: Concept and Model. *Acta Ecologica Sinica*, 39(10): 3416-3425.]
- 陈韶阳. 2011. 南沙群岛价值分类评价和开发策略研究. 青岛: 中国海洋大学. [Chen Shaoyang. 2013. *Research on Classified Value Evaluation and Development Strategy of Nansha Islands*. Qingdao: Ocean University of China.]
- Cheng F, Su F Z, Chen M, Wang Q, Jiang H P and Wang X G. 2019. An Evolving Assessment Model for Environmental Carrying Capacity: A Case Study of Coral Reef Islands. *Journal of Environmental Management*, 233: 543-552.
- 成王玉, 刘永学, 李满春, 陈振杰, 李飞雪. 2013. 基于AHP与模糊综合评价方法的南沙东部岛礁战略价值评价. *热带地理*, 33(4): 381-386. [Cheng Wangyu, Liu Yongxue, Li Manchun, Chen Zhenjie and Li Feixue. 2013. Strategic Value Evaluation of the Atolls in the Eastern Nansha Islands Based on AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method. *Tropical Geography*, 33(4): 381-386.]
- Chi Y, Shi H H, Wang Y Y, Guo Z and Wang E K. 2017. Evaluation on Island Ecological Vulnerability and Its Spatial Heterogeneity. *Marine Pollution Bulletin*, 125: 216-241.
- Chi Y, Zhang Z W, Xie Z L and Wang J. 2020. How Human Activities Influence the Island Ecosystem through Damaging the Natural Ecosystem and Supporting the Social Ecosystem?. *Journal of Cleaner Production*, 248: 119203.
- Diaz-Balteiro L, González-Pachón J and Romero C. 2017. Measuring Systems Sustainability with Multi-Criteria Methods: A Critical Review. *European Journal of Operational Research*, 258(2): 607-616.
- 高俊国, 刘宝银. 2009. 南沙群岛空间融合信息分析与示警: 群礁发育, 军事区位, 警示系统. 北京: 海洋出版社. [Gao Junguo and Liu Baoyin. 2009. *Analysis and Warning of Spatial Fusion Information in the Nansha Islands: Development of Reefs, Military Location, Warning System*. Beijing: Ocean Press.]
- Horan D. 2020. National Baselines for Integrated Implementation of an Environmental Sustainable Development Goal Assessed in a New Integrated SDG Index. *Sustainability*, 12: 6955.
- 胡国强, 弋顺超. 2019. 基于层次分析法和熵权法的高校教师教学质量评价——以学生评价教师为例. 内蒙古师范大学学报(教育科学版), 32(8): 62-66. [Hu Guoqiang and Ge Shunchao. 2019. An Evaluation of College Teachers Teaching Quality Based on Analytic Hierarchy Process and Entropy Weight Method: A Study of Students' Evaluation of Teachers. *Journal of Inner Mongolia Normal University(Educational Science)*, 32(8): 62-66.]
- 柯丽娜, 王权明, 李永化, 曹永强. 2013. 基于可变模糊集理论的海岛可持续发展评价模型——以辽宁省长海县为例. *自然资源学报*, 28(5): 832-843. [Ke Lina, Wang Quanming, Li Yonghua and Cao Yongqiang. 2013. The Evaluation Model of Island Sustainable Development Based on Multi-Objective Variable Fuzzy Set Theory: Taking Changhai County in Liaoning Province as an Example. *Journal of Natural Resources*, 28(5): 823-843.]
- Kondyli J. 2010. Measurement and Evaluation of Sustainable Development: A Composite Indicator for the Islands of the North Aegean Region, Greece. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(6): 347-356.
- 李金克, 王广成. 2004. 海岛可持续发展评价指标体系的建立与探讨. *海洋环境科学*, 23(1): 54-57. [Li Jinke and Wang Guangcheng. 2004. Establishment and Discussion of Appraisal Indicators System of Islands Sustainable Development. *Marine Environmental Science*, 23(1): 54-57.]
- 李新正, 王永强. 2002. 南沙群岛与西沙群岛及其邻近海域海洋底栖生物种类对比. *海洋科学集刊*, (44): 74-79. [Li Xinzheng and Wang Yongqiang. Comparison between Benthos of Nansha Islands and Xisha Islands, South China Sea. *Studia Marina Sinica*, (44): 74-79.]
- 李媛洁. 2020. 南海典型岛礁鱼类多样性及优势种生物学特征研究. 上海: 上海海洋大学. [Li Yuanjie. 2020. *Biodiversity and Biological Characteristics of Dominant Fish Species of Typical Reef Fishes in South China Sea*. Shanghai: Shanghai Ocean University.]
- Long X Y, Yu H J, Sun M X, Wang X C, Klemes J J, Xie W, Wang C D, Li W Q and Wang Y T. 2020. Sustainability Evaluation Based on the Three-Dimensional Ecological Footprint and Human Development Index: A Case Study on the Four Island Regions in China. *Journal of Environmental Management*, 265: 110509.
- Mardani A, Jusoh A and Zavadskas E K. 2015. Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Techniques and Applications-Two Decades Review from 1994 to 2014. *Expert Systems With Applications*, 42(8): 4126-4148.
- Ocampo L, Ebisa J A, Ombe J and Escoto M G. 2018. Sustainable Ecotourism Indicators with Fuzzy Delphi Method-A Philippine

- Perspective. *Ecological Indicators*, 93: 874-888.
- 潘涛. 2020. 基于模糊决策的南海岛礁救助力量部署研究. 辽宁: 大连海事大学. [Pan Tao. 2020. *Research on Rescue Force Development of Islands and Reefs in the South China Sea Based on Fuzzy Decision*. Liaoning: Dalian Maritime University.]
- Polido A, Joao E and Ramos T B. 2016. Exploring Experts' Views and Perspectives on the Enhancement of Strategic Environmental Assessment in European Small Islands. *Environmental Impact Assessment Review*, 58: 25-33.
- 三沙市人民政府网. 2013. 三沙市永兴岛见闻: 这里的夜晚不寂寞. (2013-12-28) [2021-01-12]. <http://www.sansha.gov.cn/sansha/mtjjs/201312/5a819f48e12e414388e40754066a334a.shtml>. [Sansha City People's Government Website. 2013. The Experience on Yongxing Dao in Sansha City: the Night Here Is not Lonely. (2013-12-28) [2021-01-12]. <http://www.sansha.gov.cn/sansha/mtjjs/201312/5a819f48e12e414388e40754066a334a.shtml>.]
- 三沙市人民政府网. 2016. CCTV-13 海南三沙: 永兴岛一批民生工程建成启用. (2016-07-25) [2021-01-12]. <http://www.sansha.gov.cn/sansha/mtjjs/201607/472c421124bd4dfea5bce5bdcfb88bba.shtml>. [Sansha City People's Government Website. 2016. CCTV-13 Sansha, Hainan: A Batch of Livelihood Projects on Yongxing Dao Were Completed and Put into Use. (2016-07-25) [2021-01-12]. <http://www.sansha.gov.cn/sansha/mtjjs/201607/472c421124bd4dfea5bce5bdcfb88bba.shtml>.]
- Serrano-Tovar T, Suarez B P, Musicki A, Bencomo J A D, Cabello V and Giampietro M. 2019. Structuring an Integrated Water-Energy-Food Nexus Assessment of a Local Wind Energy Desalination System for Irrigation. *Science of the Total Environment*, 689: 945-957.
- Sheng C, Han D M, Xu H H, Li F C, Zhang Y F and Shen Y Q. 2020. Evaluating Dynamic Mechanisms and Formation Process of Freshwater Lenses on Reclaimed Atoll Islands in the South China Sea. *Journal of Hydrology*, 584: 124641.
- 石伟, 苏奋振, 周成虎, 吴文周. 2014. 南沙岛礁及周边港口可达性评价模型研究. *地理学报*, 69 (10): 1510-1520. [Shi Wei, Su Fenzhen, Zhou Chenghu and Wu Wenzhou. Research on Accessibility Model of Nansha Islands and Surrounding Seaports. *Acta Geographica Sinica*, 69(10): 1510-1520.]
- 司徒尚纪. 2007. 中国南海海洋国土. 广东: 广东经济出版社. [Situ Shangji. 2007. *Maritime Territory of the South China Sea*. Guangdong: Guangdong Economy Press.]
- Xu C B, Li X and Wu X H. 2020. Evaluation of Island Tourism Sustainable Development in the Context of Smart Tourism. *Journal of Coastal Research*, 103(S1): 1098-1101.
- Yan H L, Qiao G H, Xiong H and Prideaux B. 2020. Understanding the Local Sustainable Economic Development from New "3D" Perspective: Case of Hainan Island. *Sustainability*, 12(24): 379.
- 杨慧宁, 陈忠, 颜文, 古森昌. 2002. 南海海域固体矿产资源与分布//《专项勘测研究论文集》编委会. 我国专属经济区和大陆架勘测研究专项学术交流会议论文集. 北京: 海洋出版社. [Yang Huining, Chen Zhong, Yan Wen and Gu Senchang. 2002. The Solid Mineral Resources and Distribution in the South China Sea. In: Editorial Board of Proceedings of the Special Investigation and Research. *Proceedings of the Special Academic Exchange Conference on Investigation and Research of Exclusive Economic Zone and Continental Shelf in China*. Beijing: Ocean Press.]
- 余敏友, 张琪悦. 2019. 南海岛礁建设对维护我国南海主权与海洋权益的多重意义. *边界与海洋研究*, 4 (2): 34-55. [Yu Minyou and Zhang Qiyue. 2019. China's Island-Building Activities in the South China Sea: Multiple Significances for Safeguarding China's Territorial Sovereignty and Maritime Rights. *Journal of Boundary and Ocean Studies*, 4(2): 34-55.]
- Walker T B, Lee T J and Li X B. 2021. Sustainable Development for Small Island Tourism: Developing Slow Tourism in the Caribbean. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 38(1): 1-15.
- Wang J S, Li M C, Liu Y X, Zhang H X, Zou W and Cheng L. 2014. Safety Assessment of Shipping Routes in the South China Sea Based on the Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Safety Science*, 62: 46-57.
- WCED. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development. (1987-03-20) [2021-01-09]. <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced>.
- Wu Y Z, Zhang T C, Zhang H, Pan T, Ni X L, Grydehoj A and Zhang J M. 2020. Factors Influencing the Ecological Security of Island Cities: A Neighborhood-Scale Study of Zhoushan Island, China. *Sustainable Cities and Society*, 55: 102029.
- 张荷霞, 刘永学, 李满春, 赵赛帅, 程亮. 2014. 基于 AHP 和 EWCM 的部分南沙岛礁战略价值模糊综合评价. *海洋通报*, 33 (4): 377-382. [Zhang Hexia, Liu Yongxue, Li Manchun, Zhao Saishuai and Cheng Liang. 2014. Fuzzy Comprehensive Evaluation of the Strategic Value for Several Reefs in the Spratly Islands Based on AHP and EWCM. *Marine Science Bulletin*, 33 (4): 377-382.]
- 张增湘. 2018. 三沙市永兴社区建设与治理问题研究. 海南: 海南大学. [Zhang Zengxiang. 2018. *Study on the Problems of Community Construction and Governance of Yongxing in Sansha City*. Hainan: Hainan University.]
- Zhao C P, Fang C, Gong Y and Lu Z D. 2020. The Economic Feasibility of Blue Carbon Cooperation in the South China Sea Region. *Marine Policy*, 113: 103788.
- Zheng W H, Cai F, Chen S L, Zhu J, Qi H S, Zhao S H and Liu J H. 2020. Ecological Suitability of Island Development Based on Ecosystem Services Value, Biocapacity and Ecological Footprint: A Case Study of Pingtan Island, Fujian, China. *Sustainability*, 12 (6): 2553.
- 中国地名委员会. 1983. 我国南海诸岛部分标准地名. 北京: 地名委员会. [China Committee on Geographical Names. 1983. *Part of the Standard Names of Islands in the South China Sea*. Beijing: Committee on Geographical Names.]
- 中国科学院南京土壤研究所考察组. 1976. 南海诸岛的土壤和鸟粪磷矿. *土壤*, (3): 125-131, 124. [The Study Group of Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. 1976. The Soil and Guano Phosphatic Deposit of The South China Sea Islands. *Soils*, (3): 125-131, 124.]
- Zhong S N and Wu X L. 2020. Indian Ocean Island Sustainable Development in the Context of the 21st-Century Maritime Silk

Road. *Island Studies Journal*, 15(2): 119-130.

朱璇. 2020. 可持续发展系列峰会海洋治理的若干影响. 中国海洋大学学报 (社会科学版), (4): 56-67. [Zhu Xuan. 2020. The Impacts of Sustainable Development Summits on Ocean Governance. *Journal of Ocean University of China (Social Sciences)*, (4): 56-67.]

作者贡献声明:

陈韶阳、肖利: 论文写作, 理论与方法支撑, 数据采集、处理与分析, 绘图, 论文修改;

刘娜、龚彦维: 数据采集, 论文修改和提升;

肖云: 论文修改和提升。

Classificatory Assessment of Islands and Reefs in the South China Sea from the Perspective of Sustainable Development

Chen Shaoyang¹, Xiao Li¹, Liu Na¹, Gong Yanwei¹ and Xiao Yun²

(1. School of Marine Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, Xi'an 710119, China)

Abstract: Islands and reefs in the South China Sea (SCSIRs) are important components of maritime cooperation and ocean governance in the South China Sea (SCS), providing land conditions for a variety of maritime cooperation. The sustainable development of SCSIRs is a cornerstone of coordinated development and cooperative governance in the SCS. As most SCSIRs are coral reefs with a fragile ecological environment and simplified development models, this study aims to quantitatively and multi-dimensionally explore the current status of their sustainable development to add scientific development planning and improve China's own ocean governance capabilities. The scientific assessment of island and reef development is the inevitable choice for sustainable development of SCSIRs. Based on the method of the Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Entropy Weight Method, and combined weight, a subject-objective weight coupling evaluation method for the sustainable development of SCSIRs was developed that can reflect their development status relatively objectively and comprehensively. In addition, the Yongxing Dao (the Yongxing Island), the Zhaoshu Dao (the Zhaoshu Island), the Nanxun Jiao (the Gaven Reef), the Meiji Jiao (the Mischief Reef), the Zhubi Jiao (the Subi Reef), and the Yongshu Jiao (the Fiery Cross Reef) were used as case studies to explore the potential of sustainable development of SCSIRs. The results showed that all six SCSIRs had the potential for sustainable development, and the development focus of the SCSIRs was mainly on the three levels of society, resources, and strategy. The ranking of the sustainable development value of the six islands and reefs is Yongxing Dao > Yongshu Jiao > Meiji Jiao > Zhubi Jiao > Zhaoshu Dao > Nanxun Jiao, among which Yongxing Dao has the highest level of sustainable development (64.19) and a clear advantage in terms of social development and geographical location, while Nanxun Jiao has the lowest level of sustainable development (38.84) due to harsh weather conditions and fragile ecological environment, leading to difficult circumstances when building and living on the reef. Based on the evaluation results and the actual situation, this study comprehensively analyzes the strengths and weaknesses in the development of SCSIRs and proposes the development of regional centers, comprehensive guarantees, characteristic industries, and national defense and rights safeguarding for the development of SCSIRs. Moreover, the study distinguishes the types of islands and reefs along four dimensions and provides social governance strategies and recommendations regarding resource utilization, infrastructure, and maritime cooperation. In these cases, this study can facilitate the formation of high-quality and high-efficiency application pilots for SCSIRs and promote their sustainable development. Thus, it furthers the construction of a modern system for the social governance of SCSIRs, advances the development of the blue economy in the SCS region, provides security for the construction of the Belt and Road Initiative and maritime cooperation, and makes China a strong promoter in the construction of a community of common destiny in the SCS.

Keywords: sustainable development; Islands and reefs in the South China Sea (SCSIRs); comprehensive assessment; social governance; ocean governance in the South China Sea (SCS)