我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度研究

李福柱，贾苗真

（中国海洋大学经济学院 青岛 266100）

摘要：判断我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展态势对促进我国海洋经济高质量发展具有重要的战略决策参考价值。文章运用耦合协调度模型测度 2006—2019 年我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度水平，并采用障碍度模型分析其主要障碍因子。研究发现：我国海洋经济子系统和社会子系统综合发展指数均呈显著上升趋势，生态子系统综合发展指数最高但未表现出显著增长态势；2006—2019 年我国沿海地区整体耦合协调度水平呈上升趋势，耦合协调等级由勉强协调上升为中度协调，三大海洋经济圈耦合协调度水平由高到低依次为东部海洋经济圈、北部海洋经济圈和南部海洋经济圈；海洋劳动生产率、居民人均消费支出、海洋专业专科及以上在校学生数和治理废水项目完成投资额等是制约我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展的主要障碍因子。

关键词：海洋经济-社会-生态系统；耦合协调度；障碍因子

中图分类号：P74 **文献标志码：**A **文章编号：**1005－9857(2023)04－0070－09

The Coupling Coordination Degree of Marine Economy-Society-Ecology System in China

LI Fuzhu，JIA Miaozhen

(School of Economics，Ocean University of China，Qingdao 266100，China)

Abstract：Judging the coordinated development trend of China′s marine economy-society-ecology system has important strategic decision-making reference value for promoting the high-quality development of China′s marine economy. The coupling coordination degree model was employed to measure the coupling coordination degree of China′s marine economy-society-ecology system from 2006 to 2019，and the obstacle degree model was used to analyze its main obstacle factors. The results showed that：The comprehensive development indexes of China′s marine economic subsystem and social subsystem both showed a significant upward trend，and the comprehensive development index of ecological subsystem was the highest but did not show an indigenous growth trend. From 2006 to 2019，the overall coupling coordination level of coastal areas in China showed an upward trend，and the coupling coordination level increased from bare coordination to moderate coordination；the coupling coordination degrees of the three marine e-

收稿日期：2022-08-22；**修订日期：**2023-02-09

作者简介：李福柱，教授，博士，研究方向为区域经济理论与政策

conomic circles from high to low were the eastern region, the northern region and the southern region. Marine labor productivity, per capita consumption expenditure, the number of college students majoring in marine and the investment in wastewater treatment projects were the main obstacles to the coordinated development of China's marine economy-society-ecology system.

Keywords: Marine economy-society-ecology system, Coupling coordination degree, Obstacle factors

0　引言

21 世纪是人类全面认识、开发、利用和保护海洋的新世纪，海洋经济成为拉动我国沿海地区国民经济增长的重要引擎[1]。但我国海洋经济快速发展也对海洋生态环境产生相应的损害，并由此引发诸多社会矛盾，造成海洋社会效益损失[2]。海洋经济发展是海洋社会福祉得以实现的物质基础，海洋社会效益提升是海洋经济发展和海洋生态保护的最终目标，可持续的海洋生态系统是海洋经济高质量发展和海洋社会福祉提升的重要保障。如何在保持海洋经济子系统高质量发展的基础上，兼顾海洋社会子系统平稳高效运行和海洋生态子系统可持续发展，是新时代海洋经济高质量发展面临的主要问题。因此，研究我国海洋经济-社会-生态系统的耦合协调度水平具有极为重要的理论与实践意义。

作为复杂的多元复合系统，海洋各子系统相互联系、相互影响，应将各子系统作为整体进行考察。国内外学者最先考察海洋经济子系统与海洋生态环境子系统的耦合协调关系，如国外学者 Di 等[3]、Lopes 等[4]分别对新英格兰和巴西沿海地区海洋经济与海洋生态环境的耦合协调度进行测度分析，国内学者纪建悦等[5]、郑华敏等[6]、柴媛等[7]、刘波等[8]、Xiao 等[9]分别测度中国环渤海地区、北部湾城市群、上海市、江苏省、广东省等地海洋经济与海洋生态环境的耦合协调度水平。随着我国海洋强国战略的提出，国内部分学者将海洋科技子系统纳入海洋系统耦合协调研究，开始探究海洋科技、海洋经济与海洋生态环境的耦合协调关系[10-11]；此外，Wang 等[12]测度中国海洋科技创新、海洋金融与海洋高等教育的耦合协调度水平。但鲜有学者将海洋社会子系统纳入海洋系统耦合协调研究，仅有少数学者对海洋经济-社会-生态系统进行定性分析，如国内学者马世俊等[13]最早将社会、经济和自然作为复合系统进行研究，国外学者 Costanza[14]系统分析海洋生态、经济与社会的重要性，认为海洋生态可持续、海洋经济效益和海洋社会福祉是全人类的共同遗产。

国家兴旺发展的标志不仅在于经济的发展，更在于社会的进步。增进海洋福祉、提升海洋发展的社会效益是海洋强国建设的重要一环，也是海洋发展的出发点和落脚点[15]。推进海洋强国建设与海洋高质量发展需要形成公众共同参与、社会全面推进的大格局，探索提升海洋社会效益的有效路径，着力提升人民群众的获得感、幸福感、安全感[16]。但现有研究侧重于海洋经济子系统与海洋生态子系统的耦合协调度水平测度，忽视对海洋社会子系统的研究。鉴于此，本研究将海洋社会子系统纳入海洋系统耦合协调研究，以我国 11 个沿海地区为研究对象，运用耦合协调度模型测算 2006—2019 年我国海洋经济-社会-生态系统的耦合协调度水平，并采用障碍度模型分析影响其耦合协调发展的障碍因子，以期为我国海洋经济高质量耦合协调发展和海洋强国建设提供辅助决策参考。

1　研究设计

1.1　研究方法

1.1.1　熵值法

熵值法是用于确定评价指标权重的方法，不仅具有计算上的客观性，且对所选评价指标没有数量限制。本研究采用熵值法计算我国海洋经济-社会-生态系统各评价指标权重，并根据各指标权重计算海洋经济子系统、社会子系统和生态子系统的综合发展指数。

采用极差法对评价指标体系中的数据进行标

准化处理，正向指标和负向指标的标准化方法分别为：

$$X_{ij}=\frac{x_{ij}-\min(x_{1j},x_{2j},\cdots,x_{nj})}{\max(x_{1j},x_{2j},\cdots,x_{nj})-\min(x_{1j},x_{2j},\cdots,x_{nj})}$$

$$X_{ij}=\frac{\max(x_{1j},x_{2j},\cdots,x_{nj})-x_{ij}}{\max(x_{1j},x_{2j},\cdots,x_{nj})-\min(x_{1j},x_{2j},\cdots,x_{nj})}$$

为避免出现 0 值为后续对数计算带来不便，将标准化后的指标全部增加 0.000 1。

计算各评价指标信息熵：

$$E_j=-\frac{1}{\ln n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}X_{ij}}\ln\frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}X_{ij}}\right)$$

计算各评价指标权重：

$$W_j=\frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^{m}(1-E_j)}$$

计算综合发展指数：

$$Y_i=\sum_{j=1}^{m}W_j X_{ij}$$

式中：x_{ij} 表示第 i 年第 j 项评价指标数值；m 代表指标数量；n 代表年份数量。

Y_i 的取值范围为[0，1]，Y_i 的值越大代表综合发展指数越高，反之综合发展指数越低。

1.1.2 耦合协调度模型

运用耦合协调度模型研究海洋经济子系统、社会子系统和生态子系统的耦合协调度水平。其中，耦合度用于反映各子系统间的相互影响程度，耦合度越小，说明各子系统间的相互影响程度越低，反之则说明各子系统间的相互影响程度越高。耦合度的计算公式为：

$$C=n\left[\frac{\prod_{i=1}^{n}Y_i}{(Y_1+Y_2+\cdots+Y_n)^n}\right]^{\frac{1}{n}}$$

式中：$Y_i(i=1,2,\cdots,n)$ 为各子系统综合发展指数，在本研究中表示为海洋经济子系统、社会子系统和生态子系统综合发展指数。

耦合度水平只能用于判断各子系统的相互影响程度，无法判断各子系统间的协调水平。因此，运用耦合协调度模型研究海洋经济子系统、社会子系统和生态子系统的耦合协调度水平，耦合协调度计算公式为：

$$D=\sqrt{C\times T}$$

$$T=\sum_{i=1}^{n}\alpha_i Y_i$$

式中：α_i 为各子系统对海洋经济-社会-生态系统的贡献份额，本研究认为海洋经济子系统、社会子系统和生态子系统具有同等重要的地位，因此令 $\alpha_1=\alpha_2=\alpha_3=1/3$。

参考汪永生等[10]的研究，将耦合协调度分为 10 个等级（表 1）。

表 1 耦合协调等级划分

Table 1 Coupling coordination level division

耦合协调度	耦合协调等级
[0，0.1]	极度失调
(0.1，0.2]	严重失调
(0.2，0.3]	中度失调
(0.3，0.4]	轻度失调
(0.4，0.5]	濒临失调
(0.5，0.6]	勉强协调
(0.6，0.7]	初级协调
(0.7，0.8]	中度协调
(0.8，0.9]	良好协调
(0.9，1]	优质协调

1.1.3 障碍度模型

海洋经济-社会-生态系统耦合协调度评价既在于对我国沿海地区海洋经济-社会-生态系统耦合协调度水平进行评判，更重要的在于厘清影响我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展的障碍因子，明晰各关键障碍因子的影响程度，以便政府有针对性地调整海洋开发与管理政策，因地制宜为各地区海洋高质量耦合协调发展提供决策参考。因此，需进一步对海洋经济-社会-生态系统耦合协调度进行“病理诊断”。

障碍度模型能够精准测度各评价指标的障碍度水平，确定影响我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展的关键因素，为政府制定海洋发展相关政策提供科学依据。因此，本研究采用障碍度模型分析影响我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展的障碍因子。障碍度模型为：

$$h_{ij}=\frac{W_j(1-X_{ij})}{\sum_{j=1}^{m}W_j(1-X_{ij})}\times 100\%$$

式中：h_{ij} 为指标障碍度，表示单项指标对海洋经济-社会-生态系统耦合协调度的影响程度，指标障碍度越高，表明该指标对海洋高质量耦合协调发展的影响程度越大；X_{ij} 为指标标准化值，采用极差法计算得出；$(1-X_{ij})$ 为指标偏离度，即单项指标与海洋经济-社会-生态系统耦合协调目标之间的差距；W_j 为因子贡献度，即单项指标权重，通过熵值法计算得出。

1.2　评价指标体系

本研究从海洋经济子系统、社会子系统和生态子系统的耦合协调关系出发，结合已有研究和数据可得性，共选取 18 个指标构建我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度评价指标体系，并采用熵值法计算各指标权重（表 2）。

表 2　我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度评价指标体系及指标权重

Table 2　Evaluation index system and weight of marine economy-society-ecology system coupling coordination degree in China

目标层	准则层	指标层	权重
海洋经济-社会-生态系统耦合协调度	经济子系统	人均海洋生产总值（X_1）	0.153 3
		海洋生产总值占 GDP 比重（X_2）	0.164 5
		海洋劳动生产率（X_3）	0.160 9
		海洋第三产业增加值占海洋生产总值比重（X_4）	0.176 3
		港口货物吞吐量（X_5）	0.163 6
		海洋经济增长率（X_6）	0.181 4
	社会子系统	人口城镇化率（Y_1）	0.180 8
		居民人均消费支出（Y_2）	0.174 9
		海洋科研机构发明专利授权数（Y_3）	0.123 6
		海洋专业专科及以上在校学生数（Y_4）	0.171 8
		国内旅游人次（Y_5）	0.169 5
		万人拥有医疗床位数（Y_6）	0.179 5
	生态子系统	一、二类水质海域面积比重（Z_1）	0.190 3
		近海与海岸湿地总面积比重（Z_2）	0.137 5
		工业废水直排入海量（Z_3）	0.200 0
		单位岸线灾害损失（Z_4）	0.200 5
		治理废水项目完成投资额（Z_5）	0.167 5
		海洋自然保护区面积比重（Z_6）	0.104 2

注：除“工业废水直排入海量”和“单位岸线灾害损失”2 项指标为负向指标外，其他指标均为正向指标。

鉴于鲜有研究构建“海洋社会子系统”评价指标体系，本研究特对此进行说明。首先，海洋社会子系统的评价指标应集中体现海洋发展带来的社会效益和民生福祉，主要表现在社会发展水平、居民生活水平以及科教文卫事业发展水平等方面。其中，社会发展水平和居民生活水平是衡量社会效益的核心指标，而科教文卫事业的发展事关人民福祉和国家未来，是社会效益的集中体现。因此，本研究选取 Y_1～Y_6 共 6 个指标，分别用于反映沿海地区社会发展水平、居民生活水平、科学技术水平、教育水平、文化发展水平和卫生服务水平。此外，《中国海洋统计年鉴》、各地区海洋统计公报以及统计年鉴中的海洋社会效益相关指标数量有限，部分指标数据严重缺失，排除相似指标后，本研究选取上述 6 个指标衡量“海洋社会子系统”综合发展指数。

研究数据主要来源于 2007—2020 年《中国海洋统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》、各地区海洋环境公报和统计年鉴，其中海洋生产总值经 GDP 指数折算成以 2006 年为基期的实际海洋生产总值，其他金额类数据均经 CPI 平减为以 2006 年为基期的实际价格。

2　实证结果

2.1　子系统综合发展指数

基于熵值法计算得出的指标权重，测度 2006—2019 年我国海洋经济子系统、社会子系统和生态子系统综合发展指数（图 1）。

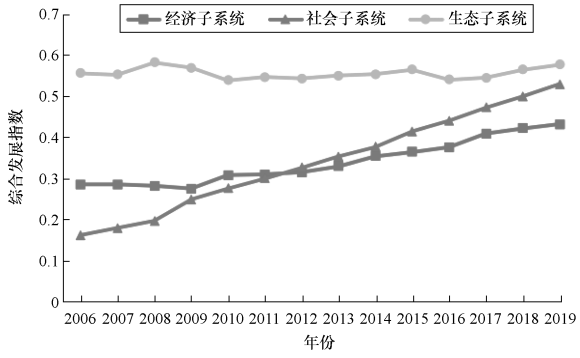

图 1　子系统综合发展指数变化趋势

Fig.1　Trend of subsystems comprehensive development index

将沿海 11 个地区划分为北部、东部和南部三大海洋经济圈，分别计算经济子系统、社会子系统和生态子系统综合发展指数（图 2 至图 4）。

从沿海地区整体来看，样本期内我国海洋经济子系统和社会子系统综合发展指数均呈现波动上

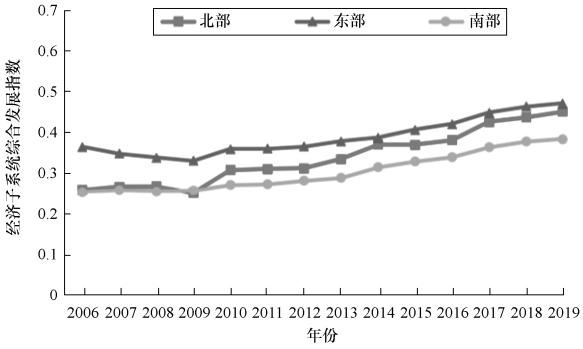

图 2 三大海洋经济圈经济子系统综合发展指数变化趋势

Fig.2 Trend of comprehensive development index of economic subsystem in three marine economic circles

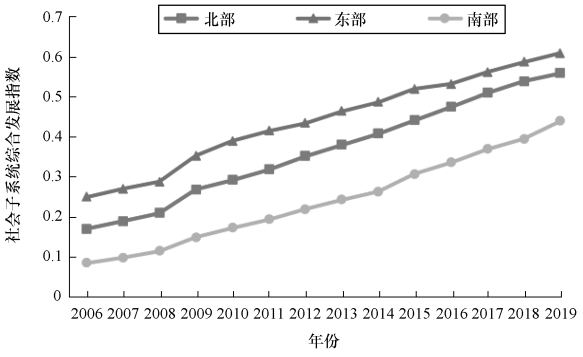

图 3 三大海洋经济圈社会子系统综合发展指数变化趋势

Fig.3 Trend of comprehensive development index of social subsystem in three marine economic circles

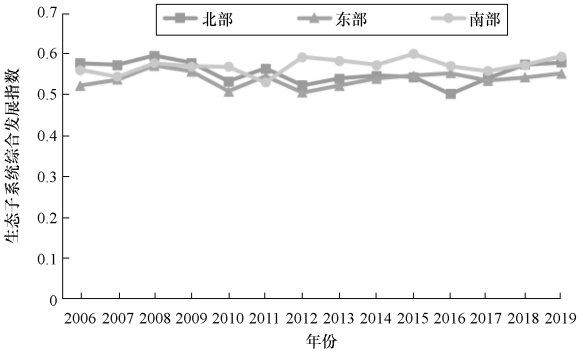

图 4 三大海洋经济圈生态子系统综合发展指数变化趋势

Fig.4 Trend of comprehensive development index of ecological subsystem in three marine economic circles

升趋势，海洋生态子系统综合发展指数明显高于经济子系统和社会子系统。其中，经济子系统综合发展指数由 0.286 2 增至 0.432 5，增幅达 51.12%；社会子系统综合发展指数由 0.163 0 增至 0.529 2，增幅高达 224.75%；生态子系统综合发展指数在样本期内始终在高位波动，但波动幅度较小，未呈现显著上升或下降趋势。这表明近年来我国海洋发展带动社会效益和经济效益显著提升，但生态效益未出现显著变化，在今后的海洋事业发展中，应坚持生态优先，聚焦海洋生态环境改善，加大海洋生态环境保护力度。

分区域来看，样本期内三大海洋经济圈经济子系统综合发展指数均呈现波动上升趋势，且经济子系统综合发展指数由高到低依次为东部、北部和南部海洋经济圈，均值分别为 0.388 8、0.339 3 和 0.303 8；三大海洋经济圈 2006—2019 年社会子系统综合发展指数均逐年增长，且社会子系统综合发展指数由高到低依次为东部、北部和南部海洋经济圈，均值分别为 0.440 4、0.365 9 和 0.243 2；三大海洋经济圈生态子系统综合发展指数在样本期内均无大幅波动，且生态子系统综合发展指数由高到低依次为南部、北部和东部海洋经济圈，均值分别为 0.570 8、0.554 9 和 0.538 2。这表明东部海洋经济圈海洋发展在带来显著经济效益和社会效益的同时，对海洋生态环境带来显著负外部性影响，东部海洋经济圈应树立绿色发展理念，加强海洋生态保护，合理利用海洋资源以实现海洋可持续发展；南部海洋经济圈海洋生态环境良好，但未充分利用海洋优势带动经济与社会发展，今后应在持续完善海洋生态保护体系的基础上，充分发挥海洋优势，促进海洋经济效益和社会效益提升；北部海洋经济圈海洋经济子系统、社会子系统和生态子系统综合发展指数均位于中等水平，今后应继续推动海洋经济、社会、生态系统协调发展，提高三者耦合协调发展水平。

2.2 耦合协调度

根据耦合协调度模型测算得出 2006—2019 年我国 11 个沿海地区海洋经济-社会-生态系统耦合协调度（表 3），并绘制三大海洋经济圈 2006—

2019 年耦合协调度均值变化趋势图(图 5)。

表 3　我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度

Table 3　Coupling coordination degree of marine economy-society-ecology system in China

年份	北部海洋经济圈				东部海洋经济圈			南部海洋经济圈			
	天津	河北	辽宁	山东	上海	江苏	浙江	福建	广东	广西	海南
2006	0.582 6	0.439 3	0.545 6	0.559 8	0.675 2	0.564 3	0.547 4	0.516 9	0.570 0	0.196 0	0.441 4
2007	0.587 5	0.462 3	0.550 0	0.584 0	0.683 3	0.562 3	0.555 1	0.508 2	0.573 9	0.342 4	0.460 9
2008	0.595 2	0.484 1	0.563 5	0.600 8	0.697 3	0.566 7	0.557 8	0.538 7	0.586 4	0.385 7	0.473 1
2009	0.621 8	0.462 7	0.586 8	0.633 2	0.713 8	0.583 9	0.579 0	0.549 1	0.605 5	0.429 7	0.484 7
2010	0.615 9	0.511 7	0.606 2	0.651 6	0.733 2	0.588 1	0.580 6	0.563 6	0.629 6	0.459 2	0.497 5
2011	0.613 8	0.539 1	0.623 5	0.674 0	0.744 3	0.604 8	0.598 6	0.550 4	0.624 9	0.466 5	0.518 6
2012	0.613 3	0.526 2	0.634 5	0.688 0	0.734 2	0.603 1	0.605 0	0.597 1	0.647 4	0.498 9	0.530 0
2013	0.634 2	0.561 6	0.658 2	0.685 7	0.759 2	0.615 1	0.611 3	0.615 3	0.651 6	0.509 2	0.537 7
2014	0.651 4	0.587 3	0.680 2	0.702 4	0.763 4	0.621 5	0.639 6	0.634 7	0.672 2	0.523 6	0.545 1
2015	0.657 9	0.594 5	0.690 2	0.710 5	0.778 9	0.633 4	0.652 7	0.654 1	0.710 1	0.541 5	0.566 9
2016	0.669 3	0.580 9	0.681 7	0.735 2	0.769 4	0.647 5	0.672 3	0.651 6	0.716 9	0.557 1	0.573 2
2017	0.687 2	0.659 1	0.696 9	0.743 4	0.787 0	0.651 1	0.683 5	0.672 0	0.723 0	0.573 4	0.588 1
2018	0.707 6	0.679 7	0.706 2	0.760 9	0.784 9	0.667 0	0.703 7	0.683 1	0.739 3	0.595 4	0.601 7
2019	0.727 0	0.690 2	0.717 0	0.757 7	0.795 1	0.672 9	0.706 8	0.693 4	0.754 2	0.611 7	0.631 1
均值	0.640 3	0.555 6	0.638 6	0.677 7	0.744 2	0.613 0	0.621 0	0.602 0	0.657 5	0.477 9	0.532 2

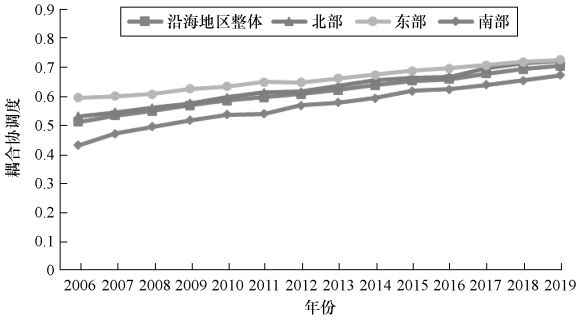

图 5　三大海洋经济圈海洋经济-社会-生态系统耦合协调度变化趋势

Fig.5　Trend of marine economy-society-ecology system coupling coordination degree in the three marine economic circles

我国沿海地区整体耦合协调度水平逐年递增，耦合协调度由 0.512 6 增至 0.705 2，耦合协调等级由勉强协调转变为中度协调，表明我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度水平不断提升。三大海洋经济圈耦合协调度水平由高到低依次为东部、北部和南部海洋经济圈，其中东部海洋经济圈耦合协调度由 0.595 7 增至 0.724 9，北部海洋经济圈耦合协调度由 0.531 8 增至 0.722 9，南部海洋经济圈耦合协调度由 0.431 1 增至 0.676 2，即东部和北部海洋经济圈耦合协调等级均由勉强协调转变为中度协调，南部海洋经济圈仍处于初级协调阶段。

进一步分析三大海洋经济圈内部地区的耦合协调度水平。耦合协调等级处于初级协调和中度协调阶段的地区分别有 5 个和 6 个。其中，北部海洋经济圈中处于初级协调阶段的地区仅有河北，其他 3 个地区均处于中度协调阶段，山东耦合协调度水平在区域内长期保持领先地位；位于东部海洋经济圈的上海耦合协调度水平最高，处于中度协调阶段，江苏和浙江耦合协调度分别处于初级协调阶段和中度协调阶段，表明东部海洋经济圈在推动海洋发展进程中能统筹协调经济发展、社会发展与生态保护，促进海洋高质量耦合协调发展；南部海洋经济圈中广西耦合协调度水平最低，但耦合协调度增幅最大，表明在样本期内广西海洋经济-社会-生态系统耦合协调关系得到明显改善。

2.3　障碍因子

根据障碍度模型计算各指标的障碍度，各地区年均障碍度排名前 3 的障碍因子及其障碍度如表 4 所示。

表 4　我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度的主要障碍因子及其障碍度

Table 4　Main obstacle factors and obstacle degree of coupling coordination degree of marine economy-society-ecology system in China

%

主要障碍因子		天津	河北	辽宁	上海	江苏	浙江	福建	山东	广东	广西	海南
经济子系统	第一障碍因子	X4	X2	X3	X6	X2	X3	X3	X1	X3	X2	X5
	障碍度	7.59	8.05	8.33	8.90	8.61	7.85	7.51	8.57	8.39	7.68	8.39
	第二障碍因子	X5	X1	X1	X5	X5	X1	X5	X3	X1	X5	X3
	障碍度	7.19	7.57	7.87	8.34	8.46	7.46	6.92	8.13	8.02	7.42	8.23
	第三障碍因子	X3	X6	X2	X3	X1	X2	X1	X6	X6	X3	X1
	障碍度	6.48	5.97	7.00	3.57	8.22	6.89	6.51	7.40	6.85	7.34	7.02
社会子系统	第一障碍因子	Y5	Y4	Y2	Y5	Y3	Y4	Y5	Y2	Y6	Y2	Y5
	障碍度	8.47	7.85	7.44	9.69	6.61	6.77	6.95	9.08	8.30	7.41	8.80
	第二障碍因子	Y4	Y2	Y5	Y4	Y2	Y3	Y6	Y1	Y5	Y4	Y4
	障碍度	7.55	7.52	5.95	9.17	6.59	6.34	6.69	7.69	7.36	7.31	8.72
	第三障碍因子	Y3	Y1	Y3	Y3	Y6	Y6	Y2	Y3	Y4	Y1	Y2
	障碍度	6.82	6.93	5.35	6.40	5.77	6.12	6.56	6.03	7.23	7.17	7.91
生态子系统	第一障碍因子	Z5	Z5	Z5	Z1	Z2	Z1	Z5	Z2	Z2	Z5	Z5
	障碍度	9.09	7.66	8.80	13.12	6.76	8.17	7.21	8.34	7.94	7.12	8.87
	第二障碍因子	Z2	Z2	Z2	Z5	Z5	Z2	Z2	Z6	Z5	Z2	Z2
	障碍度	7.10	7.09	7.59	11.86	6.48	7.01	7.11	6.78	7.84	6.64	6.48
	第三障碍因子	Z1	Z6	Z6	Z6	Z6	Z5	Z6	Z5	Z6	Z6	Z6
	障碍度	6.87	5.39	5.92	7.36	5.90	6.58	5.63	5.42	6.37	5.04	3.41

(1)在经济子系统中，出现频率最高的障碍因

子为海洋劳动生产率(X_3,9 次),表明海洋劳动生产率是影响我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度的最关键因素,未来沿海地区应着力提高海洋劳动生产率,促进海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展。人均海洋生产总值(X_1,8 次)和港口货物吞吐量(X_5,6 次)也是制约我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调度提升的主要指标,因此应加快海洋港口基础设施建设,提升沿岸港口运输便利度,促进海洋经济发展。

(2)在社会子系统中,居民人均消费支出(Y_2,7 次)和海洋专业专科及以上在校学生数(Y_4,7 次)是出现频率最高的障碍因子,表明居民人均消费支出和海洋专业专科及以上在校学生数是制约我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展的最关键因素,未来沿海地区应持续拓宽居民增收渠道,完善收入分配制度以刺激消费需求增长,同时地方政府需积极推动高校海洋专业学科建设,打造海洋特色优势学科,建设全球海洋智库,为海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展提供人才储备。海洋科研机构发明专利授权数(Y_3,6 次)和国内旅游人次(Y_5,6 次)也是主要制约因素,政府应努力营造海洋科研创新环境,加大科研投入力度,鼓励海洋科技发明创造,同时继续完善旅游基础设施建设,提升居民获得感、幸福感、安全感。

(3)在生态子系统中,治理废水项目完成投资额(Z_5,11 次)是出现频率最高的障碍因子,表明治理废水项目完成投资额是我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展的最主要制约因素,沿海地区应持续加大治理废水项目投资,助力海洋生态环境改善。近海与海岸湿地总面积比重(Z_2,10 次)和海洋自然保护区面积比重(Z_6,9 次)也是主要影响因素,今后应重视近海与海岸湿地以及海洋自然保护区恢复与建设,不断优化海洋生态环境,为海洋高质量耦合协调发展奠定基础。

为检验上述结论的稳健性,本研究将各地区年均障碍度加总得到各指标总障碍度(表 5),并将各障碍因子出现频率排名和总障碍度排名进行对比(表 6)。

表 5 各指标总障碍度

Table 5 Total obstacle degree of indicators

障碍因子	总障碍度	障碍因子	总障碍度	障碍因子	总障碍度
X_1	76.53	Y_1	54.01	Z_1	42.62
X_2	62.92	Y_2	73.58	Z_2	73.42
X_3	77.93	Y_3	67.31	Z_3	10.47
X_4	53.32	Y_4	73.33	Z_4	7.11
X_5	67.41	Y_5	72.49	Z_5	86.93
X_6	70.83	Y_6	66.33	Z_6	63.44

表 6 各障碍因子出现频率排名和总障碍度排名

Table 6 Occurrence frequency and total obstacle degree of each obstacle factor

障碍因子	出现频率排名	总障碍度排名	障碍因子	出现频率排名	总障碍度排名	障碍因子	出现频率排名	总障碍度排名
X_1	2	2	Y_1	6	6	Z_1	4	4
X_2	4	5	Y_2	1	1	Z_2	2	2
X_3	1	1	Y_3	5	5	Z_3	5	5
X_4	6	6	Y_4	3	4	Z_4	6	6
X_5	3	4	Y_5	4	3	Z_5	1	1
X_6	5	3	Y_6	2	2	Z_6	3	3

除 X_2、X_5、X_6、Y_4 和 Y_5 这 5 个障碍因子外,其他障碍因子在 2 种情况下的排名均未发生改变,且排名发生变动的障碍因子其变动幅度均小于 2。同时,经济子系统中总障碍度最高的指标为海洋劳动生产率(X_3,77.93),社会子系统中总障碍度最高的指标为居民人均消费支出(Y_2,73.58),生态子系统中治理废水项目完成投资额(Z_5,86.93)为总障碍度最高的指标,这与前文结论保持一致,表明本研究结论具有一定的稳健性与可靠性。

3 结论与建议

3.1 研究结论

本研究通过构建海洋经济-社会-生态系统耦合协调度评价指标体系,运用耦合协调度模型测度 2006—2019 年我国沿海地区海洋经济-社会-生态系统的耦合协调度水平,并采用障碍度模型分析其主要障碍因子,得到 3 项研究结论。①我国海洋经济子系统和社会子系统综合发展指数均呈显著上升

趋势，生态子系统综合发展指数未表现出显著变化；三大海洋经济圈经济子系统和社会子系统综合发展指数均呈现波动上升趋势，综合发展指数由高到低依次为东部、北部和南部海洋经济圈；三大海洋经济圈生态子系统综合发展指数均未发生显著变化，综合发展指数由高到低依次为南部、北部和东部海洋经济圈。②2006—2019 年我国沿海地区整体耦合协调度水平逐年递增，耦合协调等级由勉强协调上升为中度协调；三大海洋经济圈耦合协调度水平由高到低依次为东部、北部和南部海洋经济圈，其中东部和北部海洋经济圈耦合协调度均处于中度协调阶段，南部海洋经济圈仍处于初级协调阶段。③海洋劳动生产率、居民人均消费支出、海洋专业专科及以上在校学生数和治理废水项目完成投资额是制约我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展的主要障碍因子。

3.2　政策建议

基于上述结论，本研究提出 3 项政策建议。①三大海洋经济圈应因地制宜推动海洋各子系统高质量发展。东部海洋经济圈应秉持绿色发展理念，加强海洋生态环境保护，合理利用海洋资源以实现海洋可持续发展；南部海洋经济圈应在持续完善海洋生态保护体系的基础上充分发挥海洋优势，促进海洋经济效益和社会效益协同提升；北部海洋经济圈应继续推动海洋经济、社会、生态系统协调发展，提高三者耦合协调发展水平。②充分认识到我国海洋经济-社会-生态系统耦合协调状况正不断改善，但当前刚步入中度协调阶段，存在较大提升空间，因此应在提升海洋经济效益和社会效益的同时继续加大生态环境保护力度，促进海洋经济-社会-生态系统高质量耦合协调发展；由于海洋经济发展相对滞后、海洋社会效益提升缓慢，南部海洋经济圈耦合协调度仍处于初级协调阶段，应积极依托粤港澳大湾区国家战略框架，构建现代化海洋产业体系，优化海洋产业结构，培育海洋优势产业，带动海洋经济发展和社会福祉提升。③助推海洋科技创新和海洋产业升级，积极推动高校海洋专业学科建设，为海洋经济-社会-生态系统耦合协调发展提供人才储备，提高海洋产业人力资本水平，进而促进海洋劳动生产率提升；拓宽居民增收渠道，完善收入分配制度以刺激消费需求增长，充分发挥消费对经济增长和社会发展的积极拉动作用；持续增加治理废水项目投资，加大海洋生态环境污染治理力度，以更优的海洋生态环境助力提升海洋经济-社会-生态系统耦合协调度水平。

参考文献(References)：

[1] 邹玮，孙才志，覃雄合.基于 Bootstrap-DEA 模型环渤海地区海洋经济效率空间演化与影响因素分析[J].地理科学，2017，37(6)：859－867.
ZOU Wei, SUN Caizhi, QIN Xionghe. Spatial evolution of marine economic efficiency and its influential factors in Bohai Sea Ring Area based on Bootstrap-DEA Model[J]. Scientia Geographica Sinica，2017，37(6)：859－867.

[2] 盖美，何亚宁，柯丽娜.中国海洋经济发展质量研究[J].自然资源学报，2022，37(4)：942－965.
GAI Mei，HE Yaning，KE Li′na.Research on the development quality of China′s marine economy[J].Journal of Natural Resources，2022，37(4)：942－965.

[3] DI J，HOAGLAND P，DALTON T M.Linking economic and ecological models for a marine ecosystem[J].Ecological Economics，2003，46：367－385.

[4] LOPES P F M，PACHECO S，CLAUZET M，et al.Fisheries，tourism，and marine protected areas：conflicting or synergistic interactions[J].Ecosystem Services，2015，16：333－340.

[5] 纪建悦，于富洋，方胜民.环渤海地区经济与海洋环境的耦合度研究[J].海洋环境科学，2012，31(6)：847－850.
JI Jianyue，YU Fuyang，FANG Shengmin.Study on coupling degree between economy and marine environment in Bohai Sea Rim[J]. Marine Environmental Science，2012，31(6)：847－850.

[6] 郑华敏，张建兵，周游游，等.北部湾城市群海洋环境与经济发展耦合特征及其时空格局分析[J].海洋环境科学，2019，38(5)：681－689.
ZHENG Huamin，ZHANG Jianbing，ZHOU Youyou，et al.Analysis on the coupling characteristics and their spatio-temporal dynamics between marine environment and economic development in the urban agglomeration of Beibu Gulf[J].Marine Environmental Science，2019，38(5)：681－689.

[7] 柴媛，张伟，黄硕琳.海洋经济系统与海洋生态环境系统耦合度协调分析：以上海市为例分析[J].中国渔业经济，2019，37(4)：50－56.
CHAI Yuan，ZHANG Wei，HUANG Shuolin.Research on the dynamic coupling degree of coordination between the marine e-

conomic system and the ecological system: take Shanghai as an example[J]. Chinese Fisheries Economics, 2019, 37(4): 50-56.

[8] 刘波,龙如银,朱传耿,等.海洋经济与生态环境协同发展水平测度[J].经济问题探索,2020(12):55-65.
LIU Bo, LONG Ruyin, ZHU Chuangeng, et al. Measurement of coordinated development level of marine economy and ecological environment[J]. Inquiry into Economic Issues, 2020(12): 55-65.

[9] XIAO Jianhua, GUO Shihui. Analysis on the coordinated development of marine economy and ecological environment coupling in Guangdong Province[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1774(1): 12-21.

[10] 汪永生,李宇航,揭晓蒙,等.中国海洋科技-经济-环境系统耦合协调的时空演化[J].中国人口·资源与环境,2020,30(8):168-176.
WANG Yongsheng, LI Yuhang, JIE Xiaomeng, et al. Coupling between marine technology, economy and environment systems in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(8): 168-176.

[11] 李璟瑶,陈璇.我国沿海地区海洋经济、海洋科技创新和海洋生态环境的耦合协调关系探究[J].海洋开发与管理,2020,37(10):56-61.
LI Jingyao, CHEN Xuan. The coupling relationship between marine economy, scientific and technological innovation and ecological environment in coastal area of China[J]. Ocean Development and Management, 2020, 37(10): 56-61.

[12] WANG Juying, SHI Xiao, DU Yuanwei. Exploring the relationship among marine science and technology innovation, marine finance, and marine higher education using a coupling analysis: a case study of China's coastal areas[J]. Marine Policy, 2021, 132: 1-14.

[13] 马世骏,王如松.社会-经济-自然复合生态系统[J].生态学报,1984,4(1):1-8.
MA Shijun, WANG Rusong. The social-economic-natural complex ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 1984, 4(1): 1-8.

[14] COSTANZA R. The ecological, economic, and social importance of the oceans[J]. Ecological Economics, 1999, 2(31): 199-213.

[15] 同春芬,严煜.建设海洋强国背景下实施海洋社会政策的基本设想[J].上海行政学院学报,2016,17(6):103-109.
TONG Chunfen, YAN Yu. The basic ideas of implementing the marine social policy in the background of the construction of maritime power [J]. The Journal of Shanghai Administration Institute, 2016, 17(6): 103-109.

[16] 张一,马雪莹.海洋生态文明建设目标:社会效益及路径选择[J].中国海洋大学学报(社会科学版),2019(4):23-27.
ZHANG Yi, MA Xueying. The goal of marine ecological civilization construction: social benefits and path choice[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences), 2019(4): 23-27.