

我国海洋资源环境经济复合系统演化研究 ——基于 Logistic 模型的实证分析

宋泽明^{1,2}, 宁 凌²

(1. 广东工业大学管理学院, 广东 广州 510520; 2. 广东沿海经济带发展研究院 广东海洋大学, 广东 湛江 524088)

摘要: 随着我国各项海洋事业和活动有序推进, 实现海洋资源、环境、经济协调可持续, 对海洋高质量发展具有重要意义。从资源、环境和经济 3 个层面构建我国海洋复合系统, 运用熵权 TOPSIS 方法进行测算, 通过建立 Logistic 模型, 对我国海洋资源环境经济复合系统演化过程进行拟合分析和趋势预测。得到相关研究结论: 海洋资源环境经济复合系统是基于海洋资源、环境、经济相互作用、相互制约而形成的, 其系统演化过程受到经济增长机制和生态平衡机制的影响; 海洋资源环境经济复合系统及其子系统的演化规律符合 Logistic 法则, 海洋资源子系统最大演化度高于海洋环境、经济子系统; 海洋资源环境经济复合系统及海洋资源、经济子系统演化度的增长率较大, 正处于成熟阶段, 而海洋环境子系统演化度达到饱和状态, 正处于衰退阶段。基于上述研究结论, 提出有效措施建议。

关键词: 海洋资源环境经济复合系统; 演化; Logistic 模型

中图分类号: F124.5; F205 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)08-0021-13

DOI: 10.11759/hyxx20200625001

近年来, 习近平总书记多次在不同场合提及“海洋是高质量发展战略要地”的重要论述, 充分表明海洋经济高质量发展已经成为我国海洋工作的重要任务之一。然而, 在实践中, 我国海洋经济高质量发展仍面临许多问题, 包括资源协调不足、配套政策不完善、产能过剩、效益低下和环境污染等。因此, 通过研究海洋资源环境经济复合系统演化过程, 分析其演化机理, 进而探索我国海洋经济高质量发展、海洋生态文明建设未来方向。

1 研究概况

对于海洋复合系统相关研究, 国内研究成果比较丰富。在系统构建与评价方面, 高乐华等^[1]根据生态经济系统基本内涵, 展开系统研究; 李帅帅等^[2]研究海洋经济系统构成及其互动规律, 提出了蓝色经济空间拓展路径; 丁黎黎^[3]从“对象-理念-层次”三个维度阐述了海洋经济高质量发展的内涵, 构建海洋经济高质量发展评判体系。在系统协调与优化方面, 孙伯良等^[4]基于浙江省海洋经济、资源、环境现状, 测算其对应系统的协调水平; 盖美等^[5]借助三元协调发展模型对海洋资源环境经济复合系统承载力进行协调发展测度; 高强等^[6]基于协同学理论, 对海

南省海洋生态经济系统协调度进行测算, 明确海南省海洋生态经济系统协调发展阶段。在系统动力与稳定方面, 狄乾斌等^[7]将系统动力学模型应用到海洋研究领域; 姜旭朝等^[8]从系统论的角度深化研究海洋经济, 从微观、中观和宏观层面分析不同要素的海洋经济系统动力演进机制; 王泽宇等^[9]采用综合评估模型测算了中国沿海 11 个省市的海洋经济系统稳定性指数, 引入障碍度诊断模型, 有针对性地提出中国海洋经济发展方向。

综上所述, 国内学者以协同学、系统动力学为研究理论基础, 对我国海洋资源、环境和经济发展进行

收稿日期: 2020-06-25; 修回日期: 2020-10-08

基金项目: 2019 年广东省自然科学基金项目(2019A1515011886); 2019 年广东省科技计划项目(2019B101003022); 2019 年广东大学生科技创新培育专项资金项目(pdjh2019a0229)

[Foundation: 2019 Natural Science Foundation of Guangdong Province, No. 2019A1515011886; 2019 Science and Technology Plan of Guangdong Province, No. 2019B101003022; Special Funds for the Cultivation of Guangdong College Students' Scientific and Technological Innovation, No. pdjh2019a0229]

作者简介: 宋泽明(1996—), 男, 广东广州人, 博士研究生, 主要从事海洋区域经济、海洋管理与政策、颠覆性创新研究, E-mail: Song_zeming@126.com; 宁凌(1967—), 通信作者, 博士, 教授, 博士生导师, 广东海洋大学副校长, 广东沿海经济带发展研究院执行院长, 主要从事产业经济与发展、海洋经济与管理研究, E-mail: ningling00@126.com

了深入的探讨和研究。然而，现阶段大部分研究成果较少涉及海洋复合系统的演化规律、演化路径等领域。本文从资源、环境和经济 3 个层面构建我国海洋复合系统，运用熵权 TOPSIS 方法进行测算，通过建立 Logistic 模型，对我国海洋资源环境经济复合系统演化过程进行拟合分析和趋势预测。

2 海洋资源环境经济复合系统构建

2.1 海洋资源环境经济复合系统

海洋经济发展会对海洋资源和海洋环境带来影响，海洋资源和海洋环境也会在一定程度上对海洋经济发展产生作用。图 1 表示海洋资源环境经济复合系统概念模型，从相互作用、相互制约关系来说，海洋经济活动对海洋资源、环境的负面影响是复合系统的压力；海洋资源、环境为海洋经济发展提供的支持是复合系统的承压；而海洋资源和海洋环境的自身恢复、海洋经济的正向促进作用是复合系统的弹力。在压力-承压-弹力综合作用下，复合系统不断进行自我调整，保持系统稳定性。

深入研究海洋资源环境经济复合系统，一方面可以探索海洋资源、环境和经济的相互作用、相互制约关系，进而调控其协调发展模式，对于影响系统稳定性的干扰因素，采取合理科学措施，提高整体协调水平，实现海洋资源、环境和经济可持续发展；而另一方面，借助海洋资源环境经济复合系统能够反映海洋资源、环境和经济演化规律，从而进行拟合分析和趋势预测。在此基础上，通过对复合系统的结构进行调整和优化，转变传统单一的发展方式，实现海洋资源、环境和经济高质量发展。

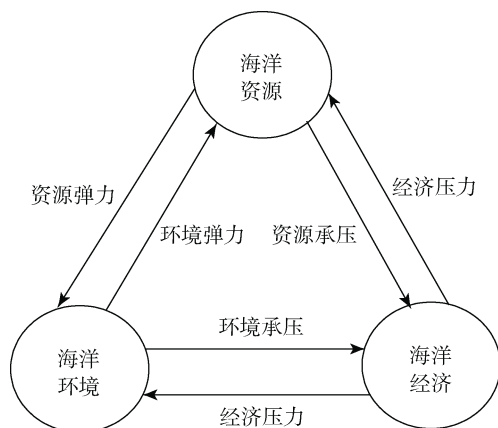


图 1 海洋资源环境经济复合系统

Fig. 1 Marine resources, environment, and economy complex system

2.2 评价指标的选取

在总结荀露峰等^[10]、鲁亚运等^[11]、赵玉杰^[12]等学者现有研究成果的基础上，结合经济的实际情况和发展阶段，遵循客观性、可行性和可比性的原则^[13]，构建评价指标体系，如表 1 所示。

在海洋资源方面，不仅包括自然资源，而且包括人为资源。选取人均海域面积、人均海洋捕捞量、人均海水养殖面积、人均沿海湿地面积、人均海洋渔业资源、人均海洋盐业资源和人均海洋矿业资源，反映海洋自然资源情况；选取港口码头长度、港口泊位个数和涉海就业人员指标，反映海洋人为资源情况。

在海洋环境方面，从环境污染、治理、保护和监测角度，综合反映海洋环境情况。具体而言，在环境污染上，根据污染种类分为固体污染和水污染，所以选取万元海洋生产总值工业废水排放量、万元海洋生产总值工业固体废物排放量等指标；在环境治理上，针对不同的污染以项目的形式推进污染的治理，因此选取治理固体废物当年竣工项目、治理废水当年竣工项目等指标；在环境保护上，自然保护区作为环境保护的直接表现形式，能够反映出环境保护的效果，因此选取自然保护区总面积、自然保护区个数等指标；在环境监测上，水质达标率是海洋环境重要监测指标之一，因此选取近岸海域功能区水质达标率、近岸海域一、二类海水比例、海洋工业废水排放达标率和海洋工业固体废物综合利用率等指标。

在海洋经济方面，选取能够反映海洋经济规模情况相关指标，包括人均海洋生产总值、人均海洋产业产值；选取能够反映海洋经济变化情况相关指标，包括海洋生产总值增长率、海洋产业产值增长率；选取能够反映海洋经济结构情况相关指标，包括海洋生产总值占地区生产总值比重、第三产业产值占海洋生产总值比重；选取能够反映海洋经济开放情况相关指标，包括地区沿海港口货物吞吐量、地区沿海港口旅客吞吐量、地区沿海港口集装箱吞吐量和地区沿海城市国际旅游收入。

2.3 数据的来源

本文以 2006—2018 年为研究时段，以我国 11 个沿海省市为研究对象，建立海洋资源环境经济复合系统。相关数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国海洋统计年鉴》和 11 个沿海省市的地方统计年鉴、海洋环境状况公报等。个别数据经过相应的公式运算后得出。各指标的统计性描述结果，如表 2 所示。

表 1 海洋资源环境经济复合系统发展评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system for the development of marine resources, environment, and economy complex system

系统层	准则层	指标层	单位	正、逆向
海洋资源环境 经济复合系统 (A ₁)	海洋资源 (B ₁)	人均海域面积(C ₁)	m ² ·人 ⁻¹	正
		人均海洋捕捞量(C ₂)	t·人 ⁻¹	正
		人均海水养殖面积(C ₃)	m ² ·人 ⁻¹	正
		人均沿海湿地面积(C ₄)	m ² ·人 ⁻¹	正
		人均海洋渔业资源(C ₅)	t·人 ⁻¹	正
		人均海洋盐业资源(C ₆)	t·人 ⁻¹	正
		人均海洋矿业资源(C ₇)	t·人 ⁻¹	正
		港口码头长度(C ₈)	m	正
		港口泊位个数(C ₉)	个	正
		涉海就业人员(C ₁₀)	人	正
	海洋环境 (B ₂)	万元海洋生产总值工业废水排放量(C ₁₁)	t	负
		万元海洋生产总值工业固体废物排放量(C ₁₂)	t	负
		治理废水当年竣工项目(C ₁₃)	个	正
		治理固体废物当年竣工项目(C ₁₄)	个	正
		自然保护区个数(C ₁₅)	个	正
		自然保护区总面积(C ₁₆)	km ²	正
		近岸海域功能区水质达标率(C ₁₇)	%	正
		近岸海域一、二类海水比例(C ₁₈)	%	正
		海洋工业废水排放达标率(C ₁₉)	%	正
		海洋工业固体废物综合利用率(C ₂₀)	%	正
	海洋经济 (B ₃)	人均海洋生产总值(C ₂₁)	元·人 ⁻¹	正
		人均海洋产业产值(C ₂₂)	元·人 ⁻¹	正
		海洋生产总值增长率(C ₂₃)	%	正
		海洋产业产值增长率(C ₂₄)	%	正
		海洋生产总值占地区生产总值比重(C ₂₅)	%	正
		海洋第三产业产值占海洋生产总值比重(C ₂₆)	%	正
		地区沿海港口货物吞吐量(C ₂₇)	10 ⁴ t	正
		地区沿海港口旅客吞吐量(C ₂₈)	10 ⁴ 人次	正
		地区沿海港口集装箱吞吐量(C ₂₉)	10 ⁴ 标准箱	正
		地区沿海城市国际旅游收入(C ₃₀)	万美元	正

3 基于熵权 TOPSIS 的海洋资源环境经济复合系统发展指数测算

3.1 基于熵权法的指标权重确定

熵值法按照各个指标之间数值离散程度，计算对应权重，从而进行客观赋权^[14]。本文所选指标均为各沿海省市海洋领域重要指标，通过运用熵值法可以在实现客观评价的同时，避免重要信息的遗漏。因此，本文基于熵值法来确定海洋资源环境经济复合系统评价指标体系中不同评价指标的权重。

1) 标准化矩阵构建

X_{ij} 表示第*i*项指标的第*j*年的初始值, $i=1, 2, 3, \dots, n$, n 表示评价指标数; $j=1, 2, 3, \dots, m$, m 表示评价年份数。

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

各个被选取指标有不同量纲，难以简单比较，需要分为正向、逆向指标^[15]；然后，再运用极值变化法进行标准化处理。具体公式如下：

表 2 指标统计性描述结果

Tab. 2 Statistical description results of indicators

指标	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数
C_1	143	22 814.58	65 539.55	94.28	239 234.50	2.87
C_2	143	0.03	0.04	0.00	0.15	1.15
C_3	143	0.03	0.03	0.00	0.11	0.98
C_4	143	192.70	10.43	176.82	213.84	0.05
C_5	143	0.08	0.05	0.01	0.22	0.65
C_6	143	8.96	28.28	0.00	98.80	3.16
C_7	143	16.60	36.70	0.00	98.60	2.21
C_8	143	60 014.03	7 306.29	49 871.23	70 192.23	0.12
C_9	143	454.16	30.04	410.27	503.71	0.07
C_{10}	143	304.71	29.68	243.71	342.87	0.10
C_{11}	143	8.22	9.41	1.15	57.05	1.14
C_{12}	143	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70
C_{13}	143	158.32	154.82	1.00	710.00	0.98
C_{14}	143	17.65	22.40	0.00	115.00	1.27
C_{15}	143	13.50	15.80	1.00	68.00	1.17
C_{16}	143	7 250.00	22 300.00	110.00	184 000.00	3.08
C_{17}	143	68.07	28.69	2.35	97.10	0.42
C_{18}	143	64.61	31.12	0.00	100.00	0.48
C_{19}	143	96.33	3.41	84.90	100.00	0.04
C_{20}	143	81.17	18.72	38.00	99.00	0.23
C_{21}	143	12 430.77	4 152.93	6 495.56	19 402.66	0.33
C_{22}	143	13.90	8.63	-35.31	40.01	0.62
C_{23}	143	13.51	4.40	9.41	22.87	0.33
C_{24}	143	15.06	7.87	4.92	25.84	0.52
C_{25}	143	18.08	9.08	5.20	38.50	0.50
C_{26}	143	47.40	7.94	19.40	67.30	0.17
C_{27}	143	60 358.78	17 836.20	32 184.64	84 848.37	0.30
C_{28}	143	717.25	30.43	666.55	754.82	0.04
C_{29}	143	1 425.90	414.71	778.39	2 090.00	0.29
C_{30}	143	293 476.20	87 381.68	151 821.90	407 689.20	0.30

正向指标: $X'_{ij} = (X_{ij} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin})$, (2)

负向指标: $X'_{ij} = (X_{imax} - X_{ij}) / (X_{imax} - X_{imin})$. (3)

其中, X_{imax} 表示第 i 个指标中所有年份的最大值; X_{imin} 表示在第 i 个指标中所有年份的最小值, X'_{ij} 表示 X_{ij} 经过标准化处理得到的数据。同时, 由于标准化处理后的 X'_{ij} 可能为零, 而对数的底数应非负数, 标准化结果需要进一步处理:

$$R_{ij} = X'_{ij} + 0.01. \quad (4)$$

根据标准化的结果, 构建标准化矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdot & \cdot & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \cdot & \cdot & R_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdot & \cdot & R_{nm} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

2) 熵值法赋权

计算第 i 项指标在第 j 年的样本值比重:

$$p_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^m R_{ij}} \quad (6)$$

计算第 i 项指标的熵值 e_i : m 是年数, n 是指标总数

$$e_i = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (7)$$

其中, $e_i > 0, k > 0$, 假设 R_{ij} 全部相等, 令 $k = \frac{1}{\ln m}$, 则此时的 e_i 为极大值:

$$e_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (8)$$

计算信息权重 w_i :

$$w_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n 1 - e_i} \quad (9)$$

3) 多层次评价系统的评价

由于熵具有可加性特征, 因此通过计算下层结构指标信息效用值, 得出上层结构权重。用 $H_k (k=1, 2, 3, \dots, k)$ 表示指标效用值, 用 H 表示全部指标效用值总和。

$$H = \sum_{k=1}^n H_k \quad (10)$$

则相应类指数的权重为:

$$w = H_k / H \quad (11)$$

4) 基于熵值的评价矩阵构建

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} \cdot w_1 & R_{12} \cdot w_1 & \dots & R_{1m} \cdot w_1 \\ R_{21} \cdot w_2 & R_{22} \cdot w_2 & \dots & R_{2m} \cdot w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} \cdot w_n & R_{n2} \cdot w_n & \dots & R_{nm} \cdot w_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

经过熵值法客观赋权后, 反映出各个评价指标之间不同的重要程度^[16], 得到不同指标权重下的海洋资源环境经济复合系统评价矩阵。

3.2 基于 TOPSIS 法的系统评价

TOPSIS 模型适用于对多项指标、多个方案进行选择^[17]。通过运用 TOPSIS 模型, 能够得到较为客观

的评价。

1) 正负理想解确定

z_i^+ 是第 i 个指标在 j 年期间的最大值, 将 z_i^+ 设定为正最理想解; z_i^- 是第 i 个指标在 j 年期间的最小值, 将 z_i^- 设定为负最理想解, 对应具体公式为:

$$z^+ = \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} z_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, n \right\} = \{z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+\} \quad (13)$$

$$z^- = \left\{ \min_{1 \leq i \leq n} z_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, n \right\} = \{z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-\} \quad (14)$$

2) TOPSIS 确定指标到正、负理想值之间的距离

采用欧氏算法, 确定指标到正、负理想值的距离, 令 D_j^+ 为第 i 个指标与 z_i^+ 的距离, 令 D_j^- 为第 i 个指标与 z_i^- 的距离, 计算公式为:

到正理想解之间的距离:

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i^+ - z_{ij})^2} \quad (15)$$

到负理想解之间的距离:

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i^- - z_{ij})^2} \quad (16)$$

3) 计算综合评价指数

M_j 代表第 j 年综合评价指数, 取值区间: (0, 1]。指数数值越接近 1 表示综合评价的得分越高, 而越接近 0 则表示综合评价得分越低。评价指数的计算公式如下所示:

$$M_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (17)$$

3.3 海洋资源环境经济复合系统综合指数测算

由于各个系统的综合指数对等, 可以进一步计算出海洋资源环境经济复合系统综合指数, 具体情况见表 3。

从上述海洋资源环境经济复合系统及其子系统综合指数的变化情况可知, 2006—2018 年期间, 我国海洋资源、经济子系统综合指数总体水平较高, 呈现明显上升趋势, 这表明由于我国各项海洋活动、事业快速推进, 海洋资源、经济发展取得显著成效。相比之下, 海洋环境子系统综合指数总体水平较低, 而且存在波动情况, 这表明我国海洋环境污染问题较为严重, 海洋生态调节功能弱化。因此, 在 3 个子系统相互作用下, 我国海洋资源环境经济复合系统综合指数不高, 状态较为稳定, 仍有一定的提升空间。

表 3 海洋资源环境经济复合系统及其子系统综合指数

Tab. 3 Composite system of marine resources, environment, and economy and its subsystems

年份	海洋资源子系统	海洋环境子系统	海洋经济子系统	海洋复合系统
2006	0.409 8	0.518 0	0.483 2	0.470 3
2007	0.495 5	0.547 0	0.542 7	0.528 4
2008	0.497 5	0.647 4	0.579 7	0.574 9
2009	0.524 4	0.695 4	0.580 7	0.600 1
2010	0.564 1	0.634 6	0.591 9	0.596 9
2011	0.600 1	0.601 1	0.590 3	0.597 2
2012	0.695 3	0.607 3	0.592 3	0.631 6
2013	0.689 1	0.619 8	0.593 0	0.634 0
2014	0.617 5	0.605 1	0.624 1	0.615 6
2015	0.661 7	0.635 4	0.560 4	0.619 2
2016	0.653 9	0.677 7	0.625 6	0.652 4
2017	0.686 8	0.605 5	0.648 5	0.646 9
2018	0.722 9	0.641 5	0.672 1	0.678 8

4 海洋资源环境经济复合系统演化实证研究

4.1 海洋资源环境经济复合系统的 Logistic 模型

Logistic 模型作为一种重要分析工具,能够描述一般系统发展演化过程^[18]。依据 Verhulst^[19]所构建的 Logistic 增长模型,参照陈海波等^[20]、周凌云等^[21]、周韬^[22]等学者的研究成果,海洋资源环境经济复合系统演化路径数学模型为:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = kX \times \left(1 - \frac{X}{N}\right), \\ X_{(0)} = X_0 \end{cases} \quad (18)$$

其中, dX/dt 表示海洋资源环境经济复合系统在 t 时刻下发展速度; k 表示为复合系统内在增长率,与内部耦合度具有关联性; N 为海洋资源经济复合系统最大承载值,与地区海洋经济、资源水平存在一定关系; 每个个体平均所占占有资源量为 $1/N$, X/N 为消耗总资源; $[1-X/N]$ 为剩余资源,代表 Logistic 系数; X_0 为初始时刻系统总量。

对其系数分析可知:若海洋资源环境经济复合系统总量趋近于 0,则 $[1-X/N]$ 就接近 1,表明复合系统中资源尚未被利用,系统演化趋势呈指数增长;若复合系统总量 X 趋近于 N ,则 $[1-X/N]$ 就接近 0,表明复合系统中资源被充分利用,此时复合系统演化趋势呈饱和状态;当复合系统总量由 0 逐渐上升到 N 时, $[1-X/N]$ 由 1 逐渐下降到 0,表明剩余资源逐渐变小。

对公式(18)进行求解,可得:

$$X = \frac{N}{1 + C \times \exp(-kNt)}. \quad (19)$$

其中, C 为常数,数值随系统演化阶段的变化而变化。

设 $X(0)=\alpha$ 为初始状态,其中 $0 < \alpha < N$, 则:

$$X = \frac{N}{1 + \frac{N}{\alpha - 1} \exp(-kNt)}. \quad (20)$$

公式(18)表示海洋资源环境经济复合系统在任一时刻的增长速度,可称之为复合系统成长速度方程。公式(19)表示海洋资源环境经济复合系统演化动态变化轨迹,是复合系统状态演化方程。

对公式(18)求导,可得:

$$\frac{d^2X}{dt^2} = k^2 X \left(1 - \frac{X}{N}\right) \left(1 - \frac{2X}{N}\right). \quad (21)$$

公式(21)用来表示海洋资源环境经济复合系统任何一时刻加速度。令 $d^2X/dt^2=0$,可以得到复合系统状态演化曲线拐点: $X_1=0$, $X_2=N/2$ 和 $X_3=N$ 。由于 $0 < X < N$, 所以拐点为 $X=N/2$ 。此时,复合系统成长速度曲线达到最大值 $kN/4$ 。

对公式(21)求导,可得:

$$\frac{d^3X}{dt^3} = k^3 X \left(1 - \frac{X}{N}\right) \left(\frac{6X^2}{N^2} - \frac{6X}{N} + 1\right). \quad (22)$$

令 $d^3X/dt^3=0$, 得到拐点 $(3-\sqrt{3})N/6$ 和 $(3+\sqrt{3})N/6$ 。此时,复合系统成长速度曲线数值为 $kN/6$ 。经过推导,复合系统成长速度曲线和状态演化曲线的特征,如图 2 所示。

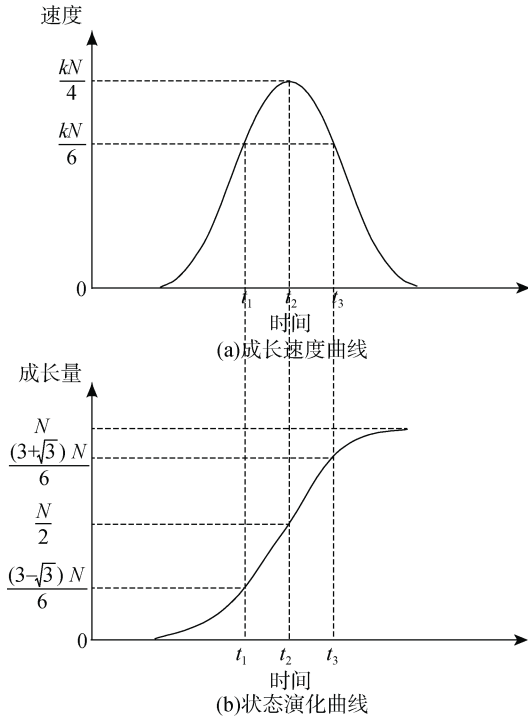


图 2 海洋资源环境经济复合系统演化曲线和成长速度曲线
Fig. 2 Evolution curve and growth rate curve of marine resources, environment, and economy complex system

由图 2 可得, 海洋资源环境经济复合系统随着时间以 S 型曲线增长, 上界渐进线 $X=N(t, \infty)$, 根据增长情况, 可以将演化过程可以分为四个阶段, 其具体演化特征如表 4 所示。

表 4 海洋资源环境经济复合系统演化路径特征
Tab. 4 Evolution Path characteristics of marine resources, environment, and economy complex system

阶段	时间	X	dX/dt
初步	$0 < t < t_1$	缓慢上升	快速上升
	t_1	$\frac{(3-\sqrt{3})N}{6}$	$\frac{kN}{6}$
成长	$t_1 < t < t_2$	快速上升	缓慢上升
	t_2	$\frac{N}{2}$	$\frac{kN}{4}$
成熟	$t_2 < t < t_3$	快速上升	缓慢下降
	t_3	$\frac{(3+\sqrt{3})N}{6}$	$\frac{kN}{6}$
衰退	$t_3 < t < +\infty$	趋于平稳	快速下降

1) 第一阶段($0 < t < t_1$): 海洋资源环境经济复合系统限制较小, 虽然总体发展程度较低, 但发展速度逐步提升。在这一阶段, 复合系统成长量呈现指数增长。在 t_1 处, 速度为 $kN/6$, 此时加速度达到最大值,

影响海洋资源环境经济复合系统的各种因素累计最大, 系统成长量达到 $(3-\sqrt{3})N/6$, 系统处于发展的初步阶段。

2) 第二阶段($t_1 < t < t_2$): 海洋资源、环境、经济规模增加迅速, 复合系统活力增强、发展空间大。在这一阶段, 复合系统发展速度递增, 加速度减少, 属于准线性增长。在 t_2 处, 速度为 $kN/4$, 成长量为 $N/2$, 成长速度达到最大, 系统处于发展的成长阶段。

3) 第三阶段($t_2 < t < t_3$): 海洋资源环境经济复合系统增长动力减弱, 系统受到资源、空间制约。在这一阶段, 复合系统成长速度和加速度均减小, 但仍属于准线性增长。在 t_3 处, 速度为 $kN/6$, 成长量为 $(3+\sqrt{3})N/6$, 系统处于发展的成熟阶段。

4) 第四阶段($t_3 < t < +\infty$): 海洋资源环境经济复合系统趋于平稳, 接近市场需求最大值。在这一阶段, 复合系统成长速度递减, 加速度递增。在 t_3 处, 速度小于 $kN/6$, 成长量大于 $(3+\sqrt{3})N/6$, 逐渐达到极限值 N , 系统处于发展的衰退阶段。

4.2 海洋资源环境经济复合系统演化方程分析

为了进行 Logistic 法则参数估计, 将公式(20)进一步转换成:

$$E = a/[1 + b \exp(-ct)]. \quad (23)$$

E 代表我国 t 年的海洋资源环境经济系统演化程度, a 、 b 、 c 为待估参数: a 为复合系统演化度能够达到的最大值; b 为积分常数; c 为复合系统的增长率。通过三段和值法确定参数 a 、 b 和 c 的初始值, 使用计量经济软件 Origin 进行拟合和参数估计, 计算结果如表 5。

根据表 4 中的 Logistic 法则参数估计结果, 得到海洋资源环境经济复合系统及其子系统的估计方程。

海洋资源子系统:

$$X = \frac{0.7097}{1 + 0.9364 \times \exp[-0.2893 \times (t - 2005)]}. \quad (24)$$

海洋环境子系统:

$$X = \frac{0.6329}{1 + 0.7853 \times \exp[-1.1630 \times (t - 2005)]}. \quad (25)$$

海洋经济子系统:

$$X = \frac{0.6485}{1 + 0.3292 \times \exp[-0.2087 \times (t - 2005)]}. \quad (26)$$

表 5 Logistic 法则参数估计值

Tab. 5 Estimate of logistic rule parameters

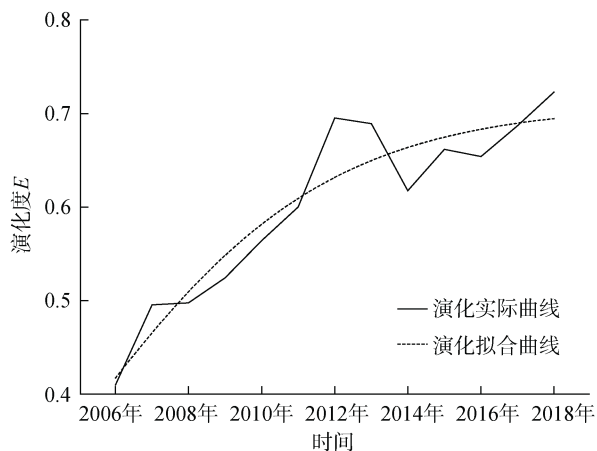
参数	海洋资源子系统			海洋环境子系统			海洋经济子系统			海洋资源环境经济复合系统		
	估计值	95%置信区间		估计值	95%置信区间		估计值	95%置信区间		估计值	95%置信区间	
		下限	上限		下限	上限		下限	上限		下限	上限
a	0.709 7	0.676 8	0.742 6	0.632 9	0.621 1	0.644 6	0.648 5	0.607 7	0.689 3	0.647 8	0.637 3	0.658 4
b	0.936 4	0.771 4	1.101 4	0.785 3	0.036 8	1.533 9	0.329 2	0.250 7	0.407 7	0.512 0	0.423 4	0.600 6
c	0.289 3	0.203 7	0.375 0	1.163 0	0.367 6	1.958 4	0.208 7	0.063 6	0.353 7	0.391 2	0.297 3	0.485 0
R^2	0.895 3			0.940 5			0.904 1			0.910 3		
Adjusted R^2	0.874 4			0.848 6			0.844 9			0.892 3		

海洋资源环境经济复合系统:

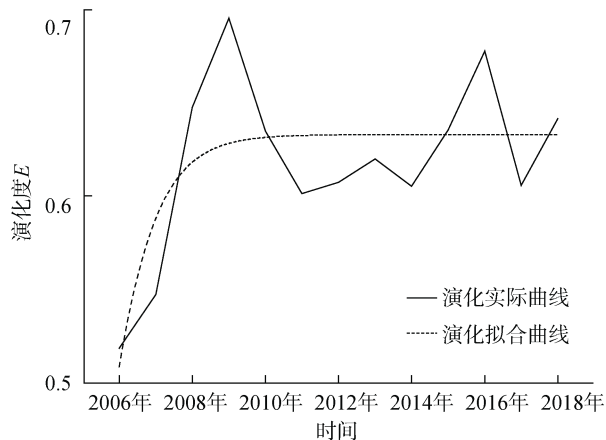
$$X = \frac{0.6478}{1 + 0.5120 \times \exp[-0.3912 \times (t - 2005)]} \quad (27)$$

由参数估计结果可知, 系统拟合度 R 分别为: 0.874 4、0.848 6、0.844 9、0.892 3, 参数检验比较显著, 拟合度比较理想, 分别绘制各系统的 Logistic 演化发展曲线。

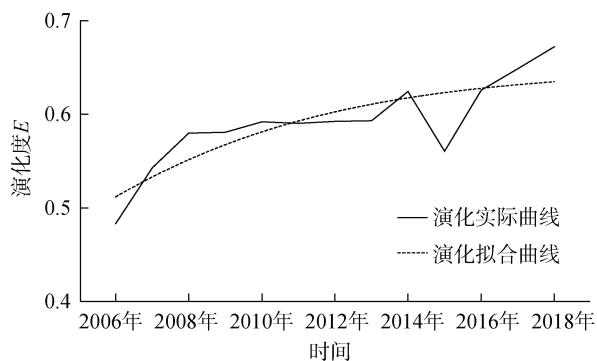
在图 3 中, 实线表示 2006—2018 年海洋资源环境经济复合系统及其子系统演化实际曲线, 反映出我国海洋资源、环境、经济实际演化过程; 而虚线则表示拟合曲线, 反映出海洋资源环境经济复合系统及其子系统的 Logistic 方程拟合结果。演化实际曲线、拟合曲线基本吻合, 这表明海洋资源环境经济复合系统及其子系统的演化规律符合 Logistic 法则。



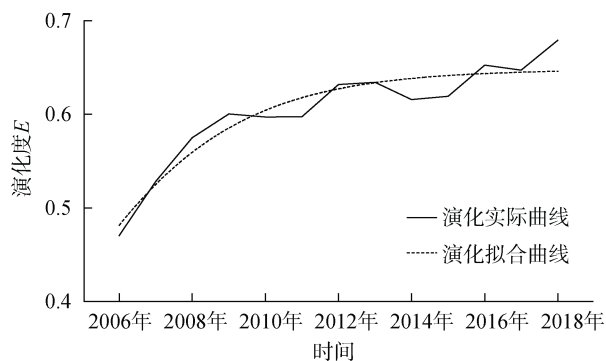
(a) 2006—2018年海洋资源子系统演化曲线



(b) 2006—2018年海洋环境子系统演化曲线



(c) 2006—2018年海洋经济子系统演化曲线



(d) 2006—2018年海洋资源环境经济复合系统演化曲线

图 3 2006—2018 年海洋资源环境经济复合系统及其子系统演化曲线

Fig. 3 Evolution curve of the marine resources, environment, and economy complex system and its subsystems from 2006 to 2018

通过比较可以发现, 2011—2013 年期间, 海洋资源子系统演化实际曲线明显高于演化拟合曲线, 这可能是我国 2011 年制定的《全国海洋功能区划》有效地指导沿海地区海洋资源开发活动。我国 11 个沿海省市陆续制定和公布地方海洋功能区划, 明确海洋资源开发利用的相关法律法规、管理制度、技术手段和监督评价机制, 海洋资源利用效率有所提高。因而, 在此期间我国海洋资源子系统的演化实际曲线高于拟合曲线。然而, 受制于传统治理观念、治理手段单一等因素的影响, 海洋功能区划的措施实施成效有待提高, 同时我国沿海地区海洋渔业过度捕捞问题越来越严峻, 大型海洋钻井平台数量不断增加。所以, 2014—2017 年海洋资源子系统的演化实际曲线低于拟合曲线。2018 年, 我国沿海省市加强对海洋生态红线监管力度, 有效引导海洋资源开发活动, 海洋资源子系统演化实际曲线呈现上升趋势。总体上看, 海洋资源开发利用仍有一定改善空间。

从 2008 年开始, 海洋环境子系统演化实际曲线明显波动, 这可能是由于赤潮等海洋环境灾害增多, 影响我国沿海海域生态健康。近年来, 我国近海海洋环境灾害呈现出增加趋势, 海上重大污染事故频发, 近海灾害性风暴潮偏多。2008—2013 年我国近岸海域四类和劣四类海水比例从 18.3% 上升到 25.6%, 海洋环境灾害造成部分沿海海域海水富营养化程度较为严重, 降低我国沿海海域水体质量。除此之外, 海洋污染过度排放等问题日益突显, 也造成了系统演化实际曲线的波动。2008 年直排海污染源污水排放总量为 45.65 亿吨; 2013 年为 63.84 亿吨, 上升幅度较大。海洋污染物过度排放超过海洋环境承载力, 造成海洋生物大量死亡, 降低海洋环境生态修复能力。从整体情况上看, 海洋环境问题不断凸显。

2014—2016 年, 海洋经济子系统的演化实际曲线明显低于演化拟合曲线, 这可能是我国海洋经济进入新常态, 增速有所放缓, 海洋产业转型升级紧迫, 海洋经济发展面临资源、劳动力、资金、环境等方面的压力。我国海洋产业主体仍是传统海洋产业, 海洋战略性新兴产业发展规模还比较小, 产值较低。过于依赖传统海洋产业的“粗放”型海洋经济发展模式, 导致海洋经济子系统演化实际曲线偏低。2016 年, 国家战略性新兴产业规划出台, 明确海水淡化、海洋生物医药、海洋工程装备等海洋战

略性新兴产业为今后海洋经济重点发展方向; 各沿海省市如广东省、福建省、上海市等也提出涉及海洋战略性新兴产业发展的相关规划和实施方案。2017—2018 年, 由于海洋战略性新兴产业的发展为我国海洋经济提供增长空间, 海洋经济子系统演化实际曲线上升。

海洋资源环境经济复合系统的演化实际曲线在 2006—2016 年期间, 总体低于演化拟合曲线。在此期间, 我国海洋经济的发展还处在初级阶段, 存在着海洋资源消耗较大和海洋环境污染严重等问题, 海洋生态环境承载能力整体较差。从 2016 年开始, 海洋资源环境经济复合系统中的演化实际曲线呈现出缓慢上升的趋势, 这可能是由于进入“十三五”时期, 各沿海省市合理配置海域资源、大力推进海洋生态文明建设, 加强完善近岸海域使用和管理, 通过建设“海洋生态文明示范区”和打造“美丽海湾”等一系列的措施和方法, 加大对海洋环境的保护和治理, 改善海洋环境质量, 有效促进海洋资源、环境、经济统筹协调发展。

4.3 海洋资源环境经济复合系统演化预测分析

根据海洋资源环境经济复合系统及其子系统的演化方程, 得出各系统到 2050 年的演化预测曲线, 如图 4 所示。

由海洋资源子系统演化预测曲线可知, 我国传统海洋资源开发已经进入成熟期, 总体发展速度缓慢; 在 2020—2050 年期间, 传统海洋资源开发利用将会达到饱和状态。目前, 我国各科研院所正积极对“可燃冰”等海洋蓝色能源的开采和利用展开技术攻关。2017 年, 我国已经掌握海洋“可燃冰”固态流化开采技术。但是, 现阶段的技术水平难以达到大量、高效、安全开采“可燃冰”的目标。随着未来技术发展和进步, 我国海洋资源开发将会从传统海洋资源转向蓝色海洋资源, “可燃冰”等海洋蓝色能源产业发展将会上升到国家战略高度, 最终实现工业化开采, 形成由浅海至深海的多层次立体海洋资源开发格局。

由海洋环境子系统演化预测曲线可知, 从 2010 年开始我国海洋环境子系统发展速度基本停滞, 这反映出我国海洋环境污染问题十分严峻、海洋生态调节功能弱化的现实情况; 在 2020—2050 年期间, 我国海洋环境子系统仍会处于成熟阶段。近些年来,

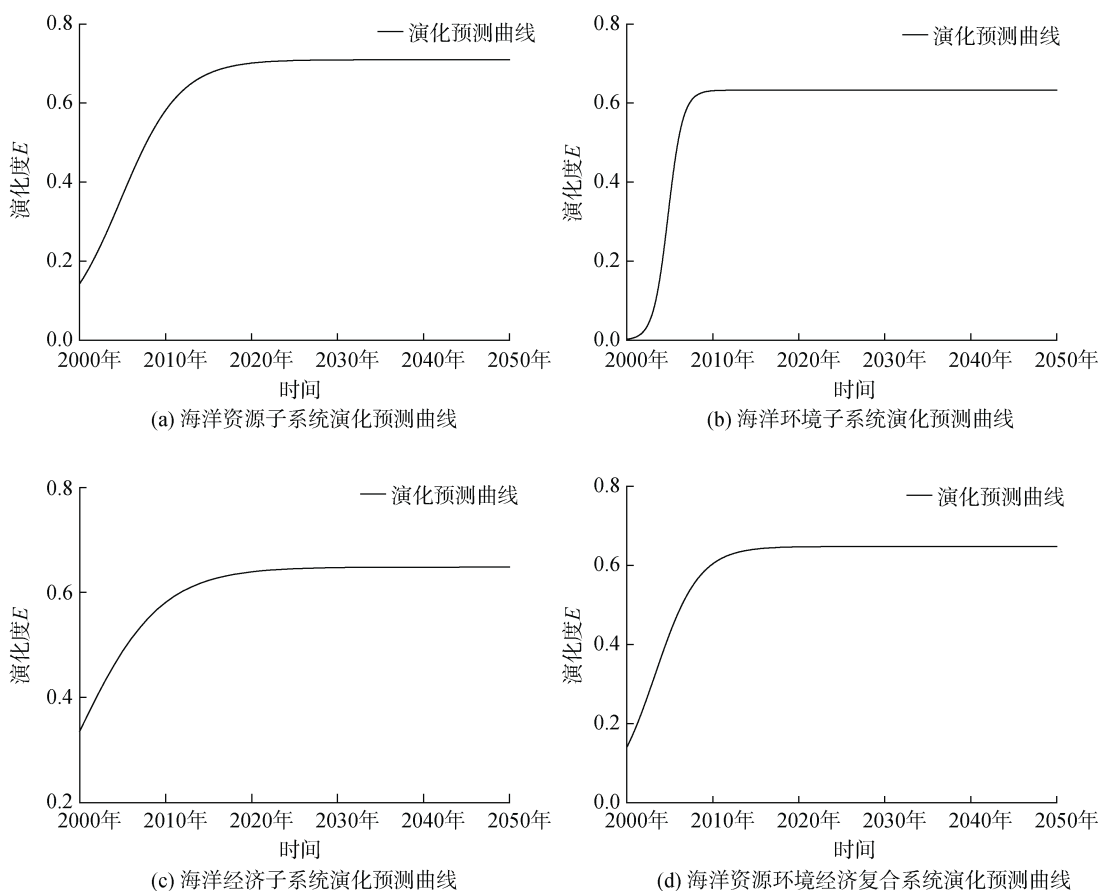


图4 海洋资源环境经济复合系统及其子系统演化预测曲线

Fig. 4 Evolution prediction curve of the marine resources, environment, and economy complex system and its subsystems

中央和地方政府积极加大海洋环境治理力度,通过制定海洋功能区划、划定海洋生态红线等一系列措施来改善海洋环境,但海洋生态环境承载能力整体仍然较差。随着政策工具和手段的丰富和发展,中央和地方将会继续出台海洋环境治理相关措施制度,以海洋环境治理修复工程为抓手,借助海洋环境税费、污染控制指标转让等市场激励型海洋环境规制工具,显著提升海洋环境治理成效。

由海洋经济子系统演化预测曲线可知,在新常态背景下,我国海洋经济发展增速放缓,海洋经济子系统也处于成熟阶段;在2020—2050年期间,我国传统海洋产业的发展已经达到饱和状态。“十二五”期间,我国已经基本形成海洋新兴产业体系,海洋战略性新兴产业链条不断延伸、产业规模日益扩大。在未来一段时间内,我国海洋生物医药、海洋电力、滨海旅游等海洋战略性新兴产业产值将会大幅度提高,同比增速将会维持在较高水平。借助海洋产业转型升级和现代海洋产业体系构建,依靠创

新驱动、技术引领,我国海洋经济将会迎来高质量发展时期。

从整体上看,在资源、环境、空间等基本条件不改变的前提下,我国海洋资源环境经济复合系统演化已经达到基本饱和。然而,随着我国陆海统筹、区域协调发展等国家战略的实施,陆海联系、区域联动将会得到加强。未来,为打破各行政区发展经济带的局限,将从国家层面统筹北部、东部、南部沿海经济带建设,形成自北向南连续、统一的海洋经济带发展新格局。随着现代化沿海经济带建设的推进,我国海洋资源、环境和经济的相互作用、协调耦合将会得到加强和改善,海洋资源环境经济复合系统的演化也会从较低层次向较高层次跃进。

5 结论与建议

5.1 结论

从资源、环境和经济三个层面构建我国海洋复合系统,运用熵权TOPSIS方法进行测算,通过建立

Logistic 模型, 对我国海洋资源环境经济复合系统发展过程进行拟合分析和趋势预测。得到相关研究结论: 1) 海洋资源环境经济复合系统是基于海洋资源、环境、经济相互作用、相互制约而形成的, 其系统演化过程受到经济增长机制和生态平衡机制的影响。2) 海洋资源环境经济复合系统及其子系统的演化规律符合 Logistic 法则, 海洋资源子系统最大演化度高于海洋环境、经济子系统。3) 海洋资源环境经济复合系统及海洋资源、经济子系统演化度的增长率较大, 正处于成熟阶段, 而海洋环境子系统演化度达到饱和状态, 正处于衰退阶段。

5.2 建议

基于上述研究结论, 围绕均衡海洋资源开发利用、优化海洋空间规划体系、打造海洋特色产业集群和建立海洋互动协作机制这四个方面, 提出以下措施建议:

从近海到深海, 均衡海洋资源开发利用。各沿海省市应在开展海洋活动、推进海洋事业过程中, 坚持合法、合理、科学原则, 加大海岸、海岛等近海资源的开发利用, 将海岸生态修复工程与滨海旅游产业相结合。海岸修复项目应该要结合海岸自然特征, 以海岸空间养护、海岸自然景观恢复等为主, 在修复生态环境的同时, 提升旅游休闲功能。在深海资源方面, 应该加大海洋资源开发技术研发投入力度, 从单项开发转向立体开发、综合开发, 丰富海洋资源利用手段、途径; 从近海走向深海, 通过借助深海勘探装备和工具, 积极探索和开发各类深海资源。

积极探索“多规合一”, 优化海洋空间规划体系。政府部门应该扮演“多规合一”的主导角色, 制定、落实海洋区划配套支持制度, 依靠政策工具和手段, 积极对各类社会力量的涉海活动进行引导。“多规合一”的探索应该以省级规划试点展开, 这样既能够将国家宏观规划具体化, 又能够指导监督基层规划, 将各类海洋规划向基层推进。优化海洋空间规划体系, 应该理清海洋空间规划层级、主体之间关系, 应该坚持海洋生态红线不动摇, 通过上位规划指导下位规划, 构建一个“多规合一”的海洋空间规划体系。

创新驱动海洋经济发展, 打造海洋特色产业集群。各涉海主体应该通过推动海洋科技研发、体制机制、管理制度等方面的有效创新, 为海洋经济注入新的活力。涉海部门、涉海企业应该加大科技研发投入, 针对战略要求和市场需求, 建设和发展一批

重点海洋高新技术产业, 打造海洋特色产业集群。一方面, 应该加快海洋经济三大产业协同发展, 打造国际一流海洋服务业基地; 另一方面, 应该根据地方资源禀赋情况, 打造海洋装备、海洋生物制药、滨海旅游等特色产业集群, 形成较为完备的现代海洋产业组织和分工体系。

推动成立地方海洋委员会, 建立海洋互动协作机制。各沿海省市应该成立地方海洋委员会, 从而有效发挥协调和监管职能, 实现区域海洋事务宏观管理, 加强对区域海洋统筹发展的总体协调和战略指导。为了进一步建立海洋互动协作机制, 在基础设施建设、生态环境治理等过程中, 应该建立跨部门、跨省市的行政管理体制; 在人才、资金等资源配置上, 应该建立和完善区域内外交流网络, 以推动区域间的交流与合作。各级地方海洋委员会应该通过相应的政策激励与约束手段, 构建海洋开发深度合作平台, 建立海洋互动协作机制, 实现海洋持续健康发展。

参考文献:

- [1] 高乐华, 高强. 海洋生态经济系统界定与构成研究[J]. 生态经济, 2012(2): 62-66.
GAO Lehua, GAO Qiang. Research on the definition and composition of marine ecological economic system[J]. Ecological Economy, 2012(2): 62-66.
- [2] 李帅帅, 施晓铭, 沈体雁. 海洋经济系统构建与蓝色经济空间拓展路径研究[J]. 海洋经济, 2019, 9(1): 3-7.
LI Shuaishuai, SHI Xiaoming, SHEN Tiyan. Construction of marine economic system and research on spatial expansion path of blue economy[J]. Marine Economy, 2019, 9(1): 3-7.
- [3] 丁黎黎. 海洋经济高质量发展的内涵与评判体系研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2020(3): 12-20.
DING Lili. Connotation and evaluation system of high-quality development of marine economy[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences), 2020(3): 12-20.
- [4] 孙伯良, 王爱民. 浙江省海洋经济-资源-环境系统协调性的定量测评[J]. 中国科技论坛, 2012(2): 95-101.
SUN Boliang, WANG Aimin. Quantitative evaluation of the coordination of marine economy-resource-environment system in Zhejiang Province[J]. Forum on Science and Technology in China, 2012(2): 95-101.
- [5] 盖美, 钟利达, 柯丽娜. 中国海洋资源环境经济系统承载力及协调性的时空演变[J]. 生态学报, 2018, 38(22): 7921-7932.
GAI Mei, ZHONG Lida, KE Lina. Spatial-temporal evolution of carrying capacity and coordination of China's

- marine resources, environment and economy system[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 38(22): 7921-7932.
- [6] 高强, 刘韬, 王妍, 等. 海洋生态经济系统协调发展评价研究——以海南省为例[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(4): 568-574.
GAO Qiang, LIU Tao, WANG Yan, et al. Evaluation of the coordinated development of marine ecological economic system—a case study of Hainan province[J]. *Marine Environmental Science*, 2019, 38(4): 568-574.
- [7] 狄乾斌, 徐东升, 周乐萍. 基于 STELLA 软件的海洋经济可持续发展系统动力学模型研究[J]. *海洋开发与管理*, 2012, 29(3): 90-94.
DI Qianbin, XU Dongsheng, ZHOU Leping. Dynamics model of sustainable development system of ocean economy based on STELLA software[J]. *Ocean Development and Management*, 2012, 29(3): 90-94.
- [8] 姜旭朝, 刘铁鹰. 海洋经济系统: 概念、特征与动力机制研究[J]. *社会科学辑刊*, 2013(4): 72-80.
JIANG Xuchao, LIU Tiesheng. Marine economic system: concept, characteristics and dynamic mechanism research[J]. *Social Science Journal*, 2013(4): 72-80.
- [9] 王泽宇, 卢函, 孙才志, 等. 中国海洋经济系统稳定性评价与空间分异[J]. *资源科学*, 2017, 39(3): 566-576.
WANG Zeyu, LU Han, SUN Caizhi, et al. Stability evaluation and spatial differentiation of China's marine economic system[J]. *Resources Science*, 2017, 39(3): 566-576.
- [10] 苟露峰, 汪艳涛, 金炜博. 基于熵权 TOPSIS 模型的青岛市海洋资源环境承载力评价研究[J]. *海洋环境科学*, 2018, 37(4): 586-594.
GOU Lufeng, WANG Yantao, JIN Weibo. Evaluation of marine resources and environmental carrying capacity in Qingdao based on entropy Weight TOPSIS Model[J]. *Marine Environmental Science*, 2018, 37(4): 586-594.
- [11] 鲁亚运, 原峰, 李杏筠. 我国海洋经济高质量发展评价指标体系构建及应用研究——基于五大发展理念的视角[J]. *企业经济*, 2019, 38(12): 122-130.
LU Yayun, YUAN Feng, LI Xingyun. Construction and application of evaluation index system for high quality development of marine economy in China: from the perspective of five development concepts[J]. *Enterprise Economy*, 2019, 38(12): 122-130.
- [12] 赵玉杰. 基于生态文明建设的海洋经济发展研究[J]. *生态经济*, 2020, 36(1): 211-217.
ZHAO Yujie. Research on marine economic development based on ecological civilization construction[J]. *Ecological Economy*, 2020, 36(1): 211-217.
- [13] 殷克东, 房会会. 中国海洋综合实力测评研究[J]. *海洋经济*, 2012(4): 6-12.
YIN Kedong, FANG Huihui. Research on China's marine comprehensive strength evaluation[J]. *Marine Economy*, 2012(4): 6-12.
- [14] 高红贵, 王如琦. 我国省域生态文明建设与经济建设融合发展水平评价研究[J]. *生态经济*, 2017(9): 204-209.
GAO Honggui, WANG Ruqi. Research on integrated development level evaluation of China's provincial ecological civilization construction and economic construction[J]. *Ecological Economy*, 2017(9): 204-209.
- [15] 冯江茹, 范新英. 中国区域协调发展水平综合评价及测度[J]. *企业经济*, 2014(8): 136-139.
FENG Jiangru, FAN Xinying. Comprehensive evaluation and measurement of China's regional coordinated development level[J]. *Enterprise Economy*, 2014(8): 136-139.
- [16] 李旭辉, 朱启贵. 基于“五位一体”总布局的省域经济社会发展综合评价体系研究[J]. *中央财经大学学报*, 2018(9): 107-117.
LI Xuhui, ZHU Qigui. Research on the comprehensive evaluation system of provincial economic and social development based on the “Five-in-one” general layout[J]. *Journal of Central University of Finance & Economics*, 2018(9): 107-117.
- [17] 赵领娣, 王海霞, 乔石, 等. 用熵权的 TOPSIS 法评价城市经济实力[J]. *数学的实践与认识*, 2017(24): 301-306.
ZHAO Lingdi, WANG Haixia, QIAO Shi, et al. Evaluation of urban economic strength by TOPSIS method of entropy Weight[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2017(24): 301-306.
- [18] 刘奕, 贾元华, 税常峰. 区域运输结构的自组织演化机制研究——基于 logistic 模型的分析[J]. *技术经济与管理研究*, 2011(9): 3-6.
LIU Yi, JIA Yuanhua, SHUI Changfeng. Study on self-organization evolution mechanism of regional transport structure—analysis based on Logistic Model[J]. *Journal of Technical Economics & Management*, 2011(9): 3-6.
- [19] VERHULST P F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement[J]. *Correspondences Mathématiques et Physiques*, 1838(10): 113-121.
- [20] 陈海波, 李雨婧, 陈芳. 基于 Logistic 曲线模型的我国 R&D 投入规律及战略思考[J]. *科技管理研究*, 2010, 30(9): 25-27, 53.
CHEN Haibo, LI Yujing, CHEN Fang. Law of R&D investment and strategic thinking in China based on Logistic curve model[J]. *Science and Technology Management Research*, 2010, 30(9): 25-27, 53.
- [21] 周凌云, 周君. 基于复合 Logistic 发展机制的区域物流生态系统演化机理[J]. *生态经济*, 2014, 30(6): 142-145.
ZHOU Lingyun, ZHOU Jun. Evolution mechanism of regional logistics ecosystem based on composite Logistic development mechanism[J]. *Ecological Economy*,

2014, 30(6): 142-145.
 [22] 周韬. 基于 Logistic 模型的城市空间演化研究[J]. 生态经济, 2015, 31(8): 155-158, 172.

ZHOU Tao. Study on urban spatial evolution based on Logistic model[J]. Ecological Economy, 2015, 31(8): 155-158, 172.

Evolution of China's marine resources, environmental, and economic complex system —an empirical analysis based on the logistic model

SONG Ze-ming^{1, 2}, NING Ling²

(1. School of Management, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China; 2. Guangdong Coastal Economic Belt Development Research Institute, Zhanjiang 524088, China)

Received: Jun. 25, 2020

Key words: marine resources and environmental economic complex system; evolution; Logistic model

Abstract: With the orderly progress of various marine undertakings and activities in China, the coordinated and sustainable development of marine resources, environment, and economy is of great significance to high-quality marine development. China's marine composite system is constructed from those three disciplines. Entropy weight TOPSIS method was used to calculate, and the logistic model was established to conduct fitting analysis and trend prediction on the evolution process of the composite system of marine resources, environment, and economy. The relevant research conclusions are as follows: the marine resources/environment/economy complex system is formed based on the interaction and mutual restriction of those three fields, and their evolutionary process is influenced by the mechanism of economic growth and ecological balance. The evolution of the composite system and its subsystems conforms to the logistic law, and the maximum evolutionary degree of the marine resources subsystem is higher than those of the environmental and economic subsystems. The marine resources/environment/economy complex system and the resources/economy subsystem show large growth rates and are in the mature stages, whereas the environment subsystem has reached a state of saturation and decline. Based on the above research conclusions, effective measures are proposed.

(本文编辑: 杨 悦)