

李博, 史钊源, 田闯, 等. 中国人海经济系统环境适应性演化及预警[J]. 地理科学, 2019, 39(4): 533-540. [Li Bo, Shi Zhaoyuan, Tian Chuang et al. Environmental Adaptability Evolution and Early-warning of Human-sea Economic System in China. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(4): 533-540.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2019.04.002

中国人海经济系统环境适应性演化及预警

李博¹, 史钊源¹, 田闯¹, 苏飞², 彭飞¹

(1. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁 大连 116029; 2. 浙江工商大学旅游与城乡规划学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 基于敏感性-稳定性-响应3维要素构建指标体系, 运用熵值法和ARIMA-BP组合预测模型研究中国人海经济系统环境适应性的演化及预警。结果表明: ① 2001~2016年中国人海经济系统环境适应性呈稳定上升趋势, 总体集中于中警状态, 期间经历了“人海环境系统比较优势阶段→耦合协调阶段→人海经济系统比较优势阶段”的双螺旋适应过程, 预计2017~2020年再次进入相互契合的轻警状态; ② 16 a间中国人海经济系统环境适应性波动存在上升期短-衰退期长现象, 预计未来4 a人海经济系统环境适应性在经济下行和生态约束背景下的速率不容乐观; ③ 权衡人海经济系统和人海环境系统的关系, 追求总体效益最大化, 延长适应性周期波动中扩张期活动, 差别化和灵活性的适应行为是未来主要排警对策。

关键词: 人海经济系统; 环境适应性; 环境适应性预警; ARIMA-BP模型

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2019)04-0533-08

适应性作为应对全球气候变化的前沿和热点问题而备受关注^[1], 目前陆域适应性在社会-生态系统(SES)^[2]、景观-生态系统^[3]、产业-生态系统^[4]、土地-生计系统^[5]等耦合系统研究中不断充实。海域适应性的研究集中在受海平面上升和海洋灾害影响剧烈的沿海发达地区的政策制定中兴起^[6]。欧盟^[7]、澳大利亚^[8]等发达国家以及国际海底管理局^[9]等部门率先倡导沿海适应的管理战略, 在边做、边调整的决策和管理方式下分阶段跟进适应行动。关注焦点集中在海洋生物的生境适宜性^[10]、海洋自然灾害的适应性管理^[11]等方面, 而海域适应性的经济影响一直是被忽视的领域。相比海域自然适应性研究, 海域经济适应性研究更加侧重于海洋生态经济、海洋资源经济和海洋产业经济的适应, 这种适应足以改变系统本身, 有时将系统推向新的态势转变。

21世纪以来, 中国海洋经济以年均两位数的快速增长速度成为经济发展的重要引擎^[12], 但大量高

强度的海洋污染排放、高风险的海洋环境突发事件使沿海地区不可避免地成为了海洋生态环境问题突出的敏感区和“重灾区”。习近平总书记在党的十九大报告中明确要求“坚持陆海统筹, 加快建设海洋强国”, 为建设海洋强国再一次吹响了号角。海洋经济发展重心应向质量效益型升级, 迫切需要解决当前中国人与海之间、人海经济系统和人海环境系统之间的不适应性和不可持续性。在风险难以控制而人为因素可调节的现实背景下, 各沿海城市如何充分考量自身资源比较优势, 前瞻性地科学选择和集中培育符合未来海洋经济发展趋向的产业, 如何有效缓解海洋多元主体利益竞合的空间博弈及海洋过度开发与开发不足并存等矛盾, 迫切需要进行人海经济系统环境适应性监测预警研究, 既是适应性研究和海域研究的新领域, 其结果可为沿海开发决策提供参考。目前在海洋预警方面, 大多集中在海洋经济景气^[12]、海洋渔业^[13]及滨海旅游^[14]等具体研究, 缺

收稿日期: 2018-03-28; **修订日期:** 2018-07-15

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(41201114)、教育部人文社会科学重点研究基地重大课题(16JJD790021)、辽宁省教育厅基地重点项目(JZ201783604)、大连市青年科技之星项目支持计划(2016RQ048)资助。[Foundation: National Natural Science Youth Foundation of China (41201114), The MOE Project of Key Research Institute of Humanities and Social Sciences in University (16JJD790021), Educational Commission of Liaoning Province of China (JZ201783604), Dalian Youth Science and Technology Star Project Support Plan (2016RQ048).]

作者简介: 李博(1983-), 女, 吉林长春人, 副教授, 博士, 主要从事区域发展和海洋经济地理研究。E-mail: libo_ok@126.com

乏多学科、宽领域、高层次的综合集成研究。鉴于此,本研究以适应性思想指导海洋经济活动,将预警理论运用到人海经济系统环境适应性的研究中,评价中国人海经济系统环境适应性阶段性差异,及时发出预警信号,以期为中国海洋经济的可持续发展提供决策依据,推进海洋强国战略的实现。

1 研究方法

1.1 内涵界定和指标体系

结合适应性科学内涵和特征^[1],界定人海经济系统环境适应性内涵。人海经济系统环境适应性是立足海洋资源环境的供求、技术、开发与管理现状,对当前海洋经济功能进行定位,旨在谋求人海经济系统内外各要素之间在结构和功能上的相对平衡,减少敏感性,保持稳定状态,确保有效的风险响应,促进人海经济系统有序健康发展。其中,人海经济系统是适应主体,人海环境系统是适应对象,适应性构成要素是适应行为,具体表现为人海经济系统和人海环境系统在敏感性-稳定性-响应等适应性因素交互胁迫下,不断地在适应性双向调整下循环渐进的过程。

敏感性-稳定性-响应三维要素贯彻了地理学中强调的“压力胁迫-静态格局-动态持续”这一路径,深刻的反映了系统内外各要素之间交互胁迫和代谢循环的因果关系,有利于对系统进行有效的统筹配置和优化(图1)。敏感性(sensitivity)指系统受环境潜在的或显现的扰动的正反作用程度,例如海洋经济(渔业和港口等)的发展、产业结构、对外交流、海洋(水质、污染排放、海平面上升、海洋灾害、捕捞结构等)环境污染此类暴露于风险扰动中的指标,并与适应性呈反向关系^[15]。稳定性(stability)指系统内外发展环境发生变化时能够吸收干扰、保持原有状态的能力,强调海洋各产业发展的综合现状和海洋生物、矿产、空间资源和环境现状等自我调控水平。响应(response)是先于干扰而存在的一种系统属性,作为系统应对干扰而达到趋利避害目的的一种调整能力,以及面对系统发生转型时的应对能力^[16,17],表征海洋科教、就业和资源环境监测、保护、开发等自组织和恢复性行为能力。而适应性区别于响应,是系统响应之后的结构重组过程的特性。

人海经济系统环境适应性的模型构建是提炼

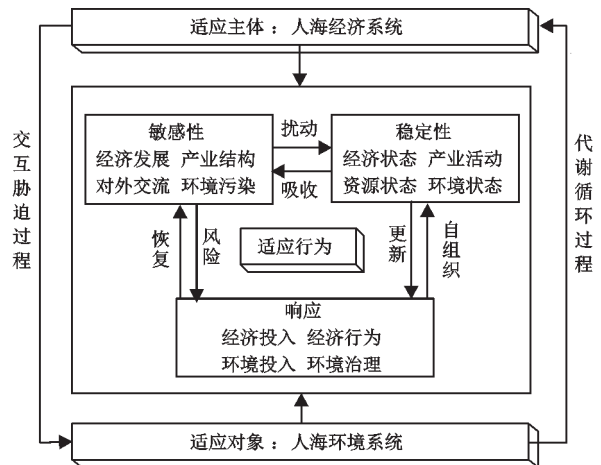


图1 人海经济系统环境适应性逻辑框架

Fig.1 Environmental adaptability framework of human-sea economic system

综合评价与预警研究相连的因果关系链和反馈回路,基于人海经济系统环境适应性内涵界定和指标选取原则构建人海经济系统环境适应性指标体系(表1)。数据来源于《中国海洋统计年鉴》^[18],以及中国海洋经济统计公报、中国海洋环境质量(状况)公报、中国海洋灾害公报、中国海平面公报以及全国海水里利用报告(中国海洋信息网 <http://www.nmdis.org.cn/>),缺失的个别年份数据采用移动平滑和趋势外推的方法获得。基于数据可得性问题,本研究不包含港澳台数据。

1.2 测算方法

通过熵值法^[19]对指标权重进行客观赋值,采用递阶多层次综合评价方法得出人海经济系统和人海环境系统适应性指数,突出反映各评价单元之间的差异。计算公式为:

$$AD_k = \prod \left[\sum (y_{ij} w_j) \right]^{w_r} \quad (1)$$

式中, AD_k 为子系统适应性指数; y_{ij} 为各具体指标的标准化值; w_j 为各具体指标的权重值; w_r 为准则层指标的权重值。

由于适应性综合评价是各系统适应性效应的结果,各系统对整体适应能力的贡献不同,故采用加权求和方法计算人海经济系统环境适应性综合指数:

$$AD = \sum_{k=1}^2 (AD_k W_k) \quad (2)$$

式中, AD 为人海经济系统环境适应性综合指数, W_k 为

表1 人海经济系统环境适应性评价指标体系

Table 1 Environmental adaptability indicators of human-sea economic system

系统层	准则层	指标和权重
人海经济系统 适应性 (0.588)	敏感性(0.323)	海洋产业系统结构熵(0.040) ^① ;海洋生产总值(0.047);海洋渔业增加值(0.049);沿海港口吞吐量(0.047);旅游外汇收入(0.042)
	稳定性(0.380)	海洋油气业增加值(0.051);海洋矿业增加值(0.053);海洋盐业增加值(0.042);海洋化工业增加值(0.050);海洋生物医药业增加值(0.054);海洋电力业增加值(0.066);海水利用业增加值(0.046);海洋船舶工业增加值(0.060);海洋工程建筑业增加值(0.053);海洋交通运输业增加值(0.041);滨海旅游业增加值(0.048);海洋新兴产业增加值年均增速(0.039)
	响应 (0.297)	海洋博士研究生数量(0.047);涉海就业人员数(0.033);海洋科研教育管理服务业增加值(0.042);海洋全员劳动生产率(0.049)
人海环境系统 适应性 (0.412)	敏感性(0.304)	赤潮累计面积(0.071);全海域未达到清洁海域水质标准的面积(0.112);海洋油气平台含油污水排海量(0.079);海平面上升(0.065);疏浚物海洋倾倒量(0.062);海洋灾害总经济损失(0.049);海水捕捞/海水养殖(0.056)
	稳定性(0.361)	海洋生物资源量 ^② (0.093);海洋矿产资源系数 ^③ (0.088);人均海域面积(0.069)
	响应 (0.335)	海洋监控站位个数(0.077);海洋类型自然保护区个数(0.061);全国海水淡化工程规模(0.118)

注: ① 海洋产业系统结构熵 $= \sum_{j=1}^n p_j \times (1/\ln p_j)$, p_j 为第 j 种产业比重, n 为产业 j 数量; ② 海洋生物资源量 $= \sum w_i p_i$, i 包含海洋捕捞和海洋养殖产量, p_i 为标准化处理后的数据, w_i 为权重; ③ 海洋矿产资源系数公式同②, i 包含海洋原油、海洋原盐、海洋天然气和海洋砂矿产量。

系统层权重。

1.3 预警方法

由于适应性时间序列同时具有线性和非线性时序规律的复杂特征,单纯使用任何一种模型都难以表达理想的预测效果。而ARIMA(p, d, q)模型^[19]是时间序列分析中精确处理动态数据的一种线性预测方法,BP神经网络模型^[20]是能灵活挖掘、学习和处理复杂非线性数据的方法。因此,可先使用ARIMA模型预测适应性历史数据,使其线性规律包含在ARIMA模型的预测结果中,非线性规律包含在ARIMA模型的预测误差中。继而通过BP神经网络预测ARIMA模型的计算误差,使非线性规律包含在BP神经网络的预测结果中。最后将两模型的预测结果相加,得到组合模型的预测值^[21,22]。

1) ARIMA模型。① 数据平稳化分析。通过数据的自相关(ACF)和偏相关(PACF)系数判断其平稳性,在非平稳基础上对序列进行差分处理,单位根检验结果显示二阶差分序列通过0.05显著性检验,故差分次数 $d=2$ 。② 模型识别。差分后序列的ACF在1次滞后呈现几何速度递减,PACF在滞后阶数等于1和2时显著不为零,之后很快趋于0即2阶截尾,故可考虑滑动平均项数 $q=1$ 、自回归项数 $p=1$ 或2,结合AIC、BIC信息准则最终得到

ARIMA(2, 2, 1)模型。对残差进行纯随机性检验,显示没有任何ACF和PACF是显著的,估计出来的残差是纯随机的白噪声序列,拟合模型有效。③ 模型估计。利用ARIMA(2, 2, 1)模型对数据进行拟合,估算的模型是平稳的,其瞬时响应渐近于零,而积累的响应渐近于长期值,因此模拟效果较好。

2) BP神经网络模型。本文先单步预测,然后再将输出反馈给输入端作为网络输入的一部分,构建了滚动神经网络预测模型。以2003~2016年适应性ARIMA模型预测误差为样本,对2003~2005年、2004~2006年、……、2013~2015年数据分组作为网络输入,以2006年、2007年、……、2016年数据作为理想输出,组成样本数据在Matlab2016a中对网络进行训练。经研究,网络结构采用3-8-1的莱温博格-马克沃特(L-M: Levenberg-Marquardt)算法BP神经网络。设定网络训练误差要求为 10^{-8} ,经过35次训练,网络训练 R^2 达到0.99,训练输出值和实际值基本吻合,模型具有较好的泛化能力。

1.4 灯显机制

考虑人海经济系统环境适应性的动态性,即适应计划本身必须是“适应性的”,为确保长期采

取的行动是适当的,按照3 δ 准则^[12,14],比较预警期望值(平均值 X)与标准差(δ)的偏离程度,选择2倍标准差(2δ)作为异常与否的临界参考值,将适应性警度划分为5个标准体现在灯显机制中(表2)。

2 结果分析

2.1 适应性状态演化及预警

2.1.1 人海经济系统适应性状态演化及预警

2001~2016年中国人海经济系统适应性快速发展,警度由重警上升至轻警,指示灯由橙变蓝(图2)。2001~2006年人海经济系统处于较不适应的重警状态,一方面随着中国加入世贸组织为沿海经济创造了良好的发展环境,海洋经济从尚待开发状态转向全面发展;另一方面中国海洋经济正处于起步阶段,以资源依赖型、劳动密集型和自给自足型的小规模单一海洋产业为主,造成人海经济系统的粗放和残缺。2007~2014年人海经济系统处在临界适应的中警状态下,维持和修复自身状态的稳定能力快速发展,期间中国海洋矿业、海洋生物医药业、海洋电力业增加值年均增长约25%、31%和53%,海洋市场活跃;科技兴海效果初步显现,海洋博士研究生数量由3 666人增加到8 277人,一批高素质海洋科技队伍也在建成。2015~2016年人海经济系统处于较适应轻警状态,海洋产业结构趋于合理,初步形成了“大进大出”的临港工业体系,滨海旅游及海洋产品的跨国交易等使海洋经济呈现欣欣向荣之势,海洋生物医药、电力、海水利用等高新技术集成业飞速发展,新兴海洋产业异军突起,人海经济系统的响应能力在海洋人才战略部署、科技兴海以及吸引和解决

劳动力问题上表现的尤为出色,仅2016年海洋科研教育管理服务业增加值就增长近20%。预计2017~2020年人海经济系统适应性将一路蓝灯的发展,但上升趋势将于2019年打破。未来人海经济系统适应性机遇与挑战并存,要抓住适应发展机遇,发展质量效益型、科技主导型、竞争力稳健型人海经济系统,发掘适应潜力更加适应海陆一体化的多元海洋大产业。

2.1.2 人海环境系统适应性状态演化及预警

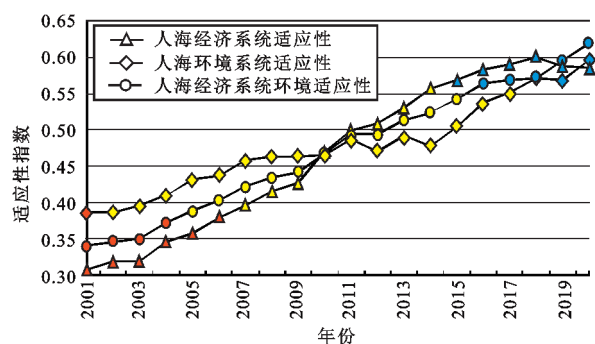
2001~2016年中国人海环境系统适应性波动上升,警度由重警上升至中警,指示灯由橙变黄(图2)。人海环境系统在2001年处于较不适应的重警状态,海洋活动发展初期仅注重经济增长,人海环境系统较为敏感且缺乏一定的响应能力。2002~2016年人海环境系统持续在临界适应的中警状态下波动起伏,反弹现象比较明显。其中2002~2008年人海环境系统适应性缓慢上升,开始响应海洋活动的扰动,海洋监测站位数增长7倍,初步建立了海洋资源环境和防灾减灾的综合监测体系,为信息共享和决策支持提供基础保障;增加107个海洋自然保护区,完善了海洋生物保护后备资源;同时海洋生态风险也在这一时期凸显,2005年赤潮累计面积和海洋灾害经济损失为研究期内最高,海洋水质恶化、海水倾倒入海增加、渔业生产结构有待转型等问题使沿海地区面临多因素叠加的威胁。2009~2016年人海环境系统适应性波动明显,环境问题的多重属性造成人海环境系统活动剧烈。虽然赤潮面积和海洋灾害损失等得到有效控制,渔业综合生产能力在由养殖代替捕捞、由近海向远洋发展过程中不断优

表2 适应性预警等级划分标准

Table 2 Environmental adaptability early-warning classification of human-sea economic system

警度	警限	警情特征	指示灯
巨警(Ⅰ级)	$[-\infty, X-2\delta]$	系统处于极不适应状态,系统结构粗放并残缺不全,敏感性、脆弱性问题显著,自组织自适应能力丧失,人海经济系统和人海环境系统难以协调发展	红色
重警(Ⅱ级)	$(X-2\delta, X-\delta]$	系统处于较不适应状态,代谢循环和免疫功能存在健康问题,充满不确定性和多样性等风险,人海经济系统和人海环境系统契合程度低	橙色
中警(Ⅲ级)	$(X-\delta, X+\delta]$	系统处于临界适应状态,系统结构继续敏感恶化,但尚能维持稳定状态,风险管理响应能力趋于整合,人海经济系统和人海环境系统冲突减缓	黄色
轻警(Ⅳ级)	$(X+\delta, X+2\delta]$	系统处于较适应状态,系统结构弹性增加,恢复力涌现,开始了自发的、计划的适应性风险规避,人海经济系统和人海环境系统向平衡方向演化	蓝色
无警(Ⅴ级)	$(X+2\delta, \infty]$	系统处于自适应状态,不断涌现新功能,整体生命力增强,行为能力和组织结构完善,人海经济系统和人海环境系统积极配合、螺旋式上升	绿色

注: δ 为标准差, X 为预警期望值平均值。



不包含港澳台数据;橙色、黄色、蓝色分别代表重警、中警、轻警

图2 中国人海经济系统环境适应性状态

Fig.2 The state of environmental adaptability of human-sea economic system in China

化,海洋生物、矿产资源等本底条件维持了人海环境系统的稳定性,海水淡化工程和技术为系统水安全提供了保障,为海洋科技应用 in 环境供给、保护并转化为现实生产力上起到很好的示范作用,但海域水质问题、海洋含油污水排放、海洋倾倒以及海平面上升等问题依旧严重,这种环境治理与污染并存造成了适应性的波动。预计2017~2020年人海环境系统适应性将从中警进入轻警状态,在不断地加强海洋环境安全保障的同时,仍然要注意海洋资源的开发与保护并重,坚持以人为本、绿色发展和生态优先的理念。

2.1.3 人海经济系统环境适应性状态演化及预警

2001~2016年中国人海经济系统环境适应性整体呈现稳定上升的良好态势,警度由较不适应的重警状态上升至较适应轻警状态,指示灯由橙变蓝,近70%的年份处于中警状态(图2)。人海经济系统环境适应性预警状态演变实质是人海经济系统和人海环境系统的权衡过程,两者作为总体目标的双链条,以双螺旋形式有序演进,在时间和空间上存在耦合协调,在实践中交互适应,互为前进动力(图3)。在双头拉动人海经济系统环境适应性过程中,双链条具有时间上的“传导性”和在相应阈值内的“复合性”规律。2001~2009年中国人海经济系统环境适应性由重警向中警状态发展,处于高人海环境系统适应性、低人海经济系统适应性的阶段,两系统适应性从初期差别发展逐渐转向相互适应。2010~2015年中国人海经济系统环境适应性从中警状态发展到2016年的轻警状态,此时的人海经济系统适应性具有了比较优势,

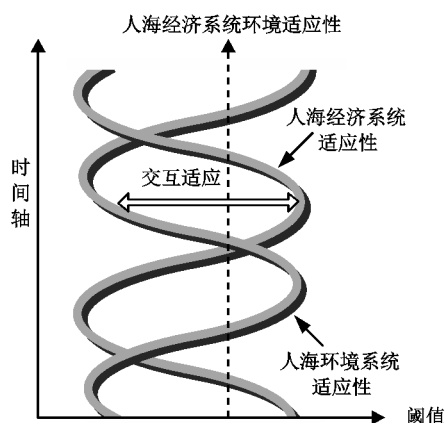


图3 中国人海经济系统环境适应性演变规律

Fig.3 Environmental adaptability evolution law of human-sea economic system in China

两系统适应性再次错位交替,远离平衡态。预计未来4 a,中国人海经济系统和人海环境系统适应性矛盾缓和,使人海经济系统环境适应性在轻警状态中向两系统动态平衡演进。这种阶段性特征中表现出的多主体非线性本质就是双螺旋适应模式。因此,未来对人海经济系统和人海环境系统的选择偏好依旧是相当长时期海洋工作面临的主要问题,有关部门应针对弱势系统制定针对性和限制性策略,灵活调整双螺旋部分与整体、长期与近期、理论与实践的发展政策。

2.2 适应性波动演化及预警

状态预警只能反映适应性的累积量是否处于报警状态,而波动预警能够对适应性增长速率的快慢与前景进行分析,判断适应性发展方向是否存在恶化趋势。通过计算适应性增长率,绘制人海经济系统环境适应性波动演化(2002~2016年)及预警(2017~2020年)图(图4),才能较为完整的进行监测预警。

2.2.1 人海经济系统适应性波动演化及预警

中国人海经济系统适应性波动呈“前高后低”的增长型走势,周期性特征明显。同经济增长周期相似,人海经济系统适应性增长也经历了有规律的扩张和收缩的周期波动过程,借鉴“谷-谷”法^[12]将人海经济系统适应性波动划分为2个周期。2002~2009年为第一个周期,峰值8.5%、谷值0.1%,海洋经济作为沿海省份经济跃升的新动能,受城市经济空间蔓延以及全球经济一体化影响,初期发展效果显著,之后受国内宏观经济影响出

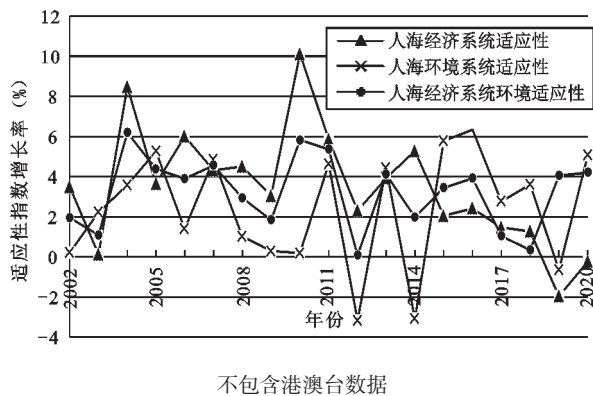


图4 中国人海经济系统环境适应性波动

Fig.4 The fluctuation of environmental adaptability of human-sea economic system in China

现下滑。2009~2020年为第二个周期,经济危机过后适应性迅速回升,于2010年达到峰值,其海洋生产总值增速达到21世纪以来最高,海洋基础产业、海洋支柱产业、海洋主导产业全面复苏;2010年以后适应性增速平稳下降,衰退期变长,海洋经济发展方式进入深度调整期,主动适应经济新常态,着重发展质量效益型、循环利用型和创新引领型海洋经济。预计2019年走入低谷,打破增长型波动。发挥沿海城市辐射带动作用,加快拓展蓝色经济空间,厘清海洋经济发展数量和质的关系是海洋经济的未来发展方向,为塑造一个开放、抵抗力强、厚积薄发的人海经济系统的跨越式发展蓄势。

2.2.2 人海环境系统适应性波动演化及预警

中国人海环境系统适应性增长波动剧烈,具有不规则性。2002~2009年振幅较小(0~5.3%),2010~2016年活动剧烈(-3.2%~6.3%),且振幅宽度收窄。2012年谷位出现-3.2%,海域水质时好时坏,“反弹”现象严重,人均海域面积严重缩小,各涉海行业存在用海矛盾,不同行业在分配使用岸线等海洋空间资源方面存在冲突,在海平面上升速率高达54%、海洋灾害经济损失严重等紧迫形势下,人海环境系统适应性出现负增长。2013年触底反弹后又迅速在2014年跌落为-3.1%,海洋防污减污、防灾减灾能力较弱,海洋赤潮面积的增加也意味着海洋生态农业建设效果不佳。预计2016年适应性回升至峰位后马上进入衰退期,2020年才会出现反弹。随着开发过程中无序、无度、无偿现象的井喷式爆发,海洋资源和海洋环境状况频频告急,目前的人海环境系统不足以应对各种外

部风险和冲突,适应性成为人类应对海洋环境变化能力的一大挑战,需继续加强海洋生态文明建设,把破坏降低到最低限度,拒绝环境治理效果的“反弹”现象,减少生态瓶颈的约束对海洋经济和海洋强国建设的阻碍。

2.2.3 人海经济系统环境适应性波动演化及预警

中国人海经济系统环境适应性呈上升期短、衰退期长的周期波动现象。大致经历了3个周期,2002~2009年为第一个周期,2009~2012年为第二个周期,2012~2016年为第三个周期,每一个周期的快速上升期只有1 a,分别是2004年、2010年和2013年,而此后数年皆为衰退期,人海经济系统环境适应性发展的后劲和持续性不足。预计到2018年仍为第三个周期的下行阶段,2019年走出低谷,进入第四个周期。未来在经济下行和生态约束的影响下双螺旋上升速率减慢,因此要延长适应性周期波动中扩张期的活动,避免人海经济系统环境适应性零增长的发展,防止陷入建设与保护两难的境遇,主动学习和寻找结构合理、速率适当的适应方案。

3 结论与讨论

对人海经济系统环境适应性预警的目的在于预防区域系统在运行和发展过程中偏离可持续发展的轨道,防止海洋经济发展和海洋生态文明建设之间发生严重冲突,合理核算适应的代价和效果。研究表明:

1) 2001~2016年中国人海经济系统环境适应性呈现持续上升的发展态势,警度由重警上升至轻警,指示灯由橙变蓝,近70%的年份处于中警状态。人海经济系统环境适应性演化是一个人海经济系统和人海环境系统适应性耦合发展的双螺旋适应过程,受联结作用的两者在作用程度上存有时差的差别,经历了错位发展到耦合协调再到差别发展的交互适应阶段;预计在2017~2020年,人海经济系统环境适应性在轻警状态中向两系统动态平衡演化。其独特的适应过程表明,适应的人海系统类型不同、空间范围不同决定了适应的目的、计划、行动和所处阶段的异质性。要求充分考虑适应风险演变路径、弱势系统及主要致警因子,从非主动干预、调节、保护、回避/撤退4种沿海适应方案中遴选并制定出具有针对性的差别化调控措施,追求总体效益的最大化。

2) 过去16 a中国人海经济系统环境适应性

增长存在上升期短-衰退期长现象。人海经济系统环境适应性发展的后劲和持续性不足是现阶段主要问题。分系统看,人海经济系统适应性波动呈现“前高后低”的增长型走势,周期性特征明显;人海环境系统适应性增长波动剧烈,具有不规则性。未来在经济下行和生态约束的双重影响下,人海经济系统环境适应性发展不容乐观。未来在适应性动态变化中,随着沿海适应风险不确定性和适应需求的增加,难免陷入系统的恶性循环,需要进一步突破一系列科学难题和关键技术,如双螺旋适应模式的阈值计算、适应性警情的溯源与追因、各构成要素之间的相互依存关系和尺度转换特征,实现定期监测、定期评估、定期预警,在边做、边学、边调整中灵活地为各级各类海洋空间规划编制、区域海洋政策制定提供速率适当的沿海适应行动策略。

参考文献(References):

- [1] Smit B, Burton I, Klein R J T et al. The science of adaptation: A framework for assessment[J]. *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 1999, 4(3-4):199-213.
- [2] 温晓金,杨新军,王子侨.多适应目标下的山地城市社会-生态系统脆弱性评价[J].*地理研究*,2016,35(2):299-312.[Wen Xiaojin, Yang Xinjun, Wang Ziqiao. Assessment on the vulnerability of social-ecological systems in a mountainous city depending on multi-targets adaption. *Geographical Research*, 2016, 35(2): 299-312.]
- [3] 张小飞,彭建,王仰麟,等.全球变化背景下景观生态适应性特征[J].*地理科学进展*,2017,36(9):1167-1175.[Chang Hsiaofei, Peng Jian, Wang Yanglin et al. Characteristics of landscape system in the context of global change. *Progress in Geography*, 2017, 36(9):1167-1175.]
- [4] 李博,张志强,苏飞,等.环渤海地区海洋产业生态系统适应性时空演变及影响因素[J].*地理科学*,2017,37(5):701-708.[Li Bo, Zhang Zhiqiang, Su Fei et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of marine industrial ecosystem adaptability in the Bohai Sea Region. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(5):701-708.]
- [5] 黎洁.陕西安康移民搬迁农户的生计适应策略与适应力感知[J].*中国人口·资源与环境*,2016,26(9):44-52.[Li Jie. Livelihood adaptation strategy and perceived adaptive capacity of rural relocated households in Southern Shaanxi province, China. *China Population Resources and Environment*, 2016, 26(9):44-52.]
- [6] Bradley M, Putten I V, Sheaves M. The pace and progress of adaptation: Marine climate change preparedness in Australia's coastal communities[J]. *Marine Policy*, 2015, 53:13-20.
- [7] Alfieri L, Feyen L, Baldassarre G D. Increasing flood risk under climate change: A pan-European assessment of the benefits of four adaptation strategies[J]. *Climatic Change*, 2016, 136(3-4):507-521.
- [8] Stewart M G. Risk and economic viability of housing climate adaptation strategies for wind hazards in southeast Australia[J]. *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 2015, 20(4):1-22.
- [9] 薛桂芳,徐向欣.国际海底管理局适应性管理办法的推行及中国的应对[J].*中国海商法研究*,2017,28(2):52-59.[Xue Guifang, Xu Xiangxin. Adaptive management in ISA and China's response. *Chinese Journal of Maritime Law*, 2017, 28(2):52-59.]
- [10] Holbrook N J, Johnson J E. Climate change impacts and adaptation of commercial marine fisheries in Australia: A review of the science[J]. *Climatic Change*, 2014, 124(4):703-715.
- [11] Mokrech M, Kebede A S, Nicholls R J et al. An integrated approach for assessing flood impacts due to future climate and socio-economic conditions and the scope of adaptation in Europe[J]. *Climatic Change*, 2015, 128(3-4):245-260.
- [12] 殷克东.中国海洋经济周期波动监测预警研究[M].北京:人民出版社,2016.[Yin Kedong. The research on the monitoring and warning of marine business cycle fluctuation in China. Beijing: People's Publishing House, 2016.]
- [13] 倪海儿,周瑞娟.舟山渔场渔业资源可持续利用水平的灰色评价与预测[J].*海洋与湖沼*,2009,40(3):319-324.[Ni Haier, Zhou Ruijuan. Grey evaluation and forecast of sustainable use of fisheries resources in Zhoushan fisheries ground. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(3):319-324.]
- [14] 王佳,黄细嘉,张广海,等.我国沿海地区旅游经济预警评价时空差异研究[J].*商业经济与管理*,2015,281(3):64-74.[Wang Jia, Huang Xijia, Zhang Guanghai et al. The spatial and temporal differences of tourism economic early warning evaluation in coastal areas in China. *Journal of Business Economics*, 2015, 281(3):64-74.]
- [15] 郭付友,佟连军,魏强,等.吉林省松花江流域产业系统环境适应性时空分异与影响因素[J].*地理学报*,2016,71(3):459-470.[Guo Fuyou, Tong Lianjun, Wei Qiang et al. Spatio-temporal difference and influencing factors of environmental adaptability assessment of industrial system in the Songhua River Basin of Jilin Province. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3):459-470.]
- [16] 方修琦,殷培红.弹性、脆弱性和适应——IHDP三个核心概念综述[J].*地理科学进展*,2007,26(5):11-22.[Fang Xiuqi, Yin Peihong. Review on the three key concepts of resilience, vulnerability and adaptation in the research of global environmental change. *Progress in Geography*, 2007, 26(5):11-22.]
- [17] Gallopin G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3):293-303.
- [18] 国家海洋局.中国海洋统计年鉴[M].北京:海洋出版社,2001-2015.[State Oceanic Administration. China marine statistical yearbook. Beijing: China Ocean Press, 2001-2015.]
- [19] 韩瑞玲,佟连军,朱绍华,等.基于ARMA模型的沈阳经济区经济与环境协调发展研究[J].*地理科学*,2014,34(1):32-39.[Han Ruiling, Tong Lianjun, Zhu Shaohua et al. The coordinated de-

- velopment of economy and environment based on ARMA model in Shenyang economic zone. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(1):32-39.]
- [20] 陈晓红,吴广斌,万鲁河.基于BP的城市化与生态环境耦合脆弱性与协调性动态模拟研究——以黑龙江省东部煤电化基地为例[J].*地理科学*,2014,34(11):1337-1343.[Chen Xiaohong, Wu Guangbin, Wan Luhe. Dynamic simulation of vulnerability and coordination of the coupling of urban and ecological environment based on BP: A case of the coal-electricity base in the Eastern Heilongjiang Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(11):1337-1343.]
- [21] 雷可为,陈瑛.基于BP神经网络和ARIMA组合模型的中国入境游客量预测[J].*旅游学刊*,2007,22(4):20-25.[Lei Kewei, Chen Ying. Forecast of inbound tourists to China based on BP neural network and ARIMA combined model. *Tourism Tribune*, 2007, 22(4):20-25.]
- [22] 赵成柏,毛春梅.基于ARIMA和BP神经网络组合模型的我国碳排放强度预测[J].*长江流域资源与环境*,2012,21(6):665-671.[Zhao Chengbai, Mao Chunmei. Forecast of intensity of carbon emission to China based on BP neural network and ARIMA combined mode. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(6):665-671.]

Environmental Adaptability Evolution and Early-warning of Human-sea Economic System in China

Li Bo¹, Shi Zhaoyuan¹, Tian Chuang¹, Su Fei², Peng Fei¹

(1. Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China; 2. School of Tourism Urban-rural Planning, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, Zhejiang, China)

Abstract: Constructing environmental adaptability index system of human-sea economic system based on adaptability factors of sensitivity, stability and response. The entropy method was used to measure the environmental adaptability of human-sea economic system from 2001 to 2016. Combined with ARIMA-BP combined forecasting model, this article forecasts the environmental adaptability of the Chinese human-sea economic system from 2017 to 2020 and makes a detailed analysis of the light display mechanism. The results show that: 1) The environmental adaptability of the Chinese human-sea economic system continued to increase from 2001 to 2016, the warning degree rose from serious alert to slight alert and the indicator lamp turned from orange lamp to blue lamp, and 70% of the years in the medium alert. The environmental adaptability evolutionary process of human-sea economic system is a trade-off between human-sea economic system and the human-sea environment system, which experienced a comparative advantage phase of human-sea environment system→coupling and coordination stage→the comparative advantage phase of human-sea economic system. It is estimated that it will re-enter the highly coordinated phase of slight alert state from 2017 to 2020. 2) From 2001 to 2016, there was a short rise period and a long decline in the environmental adaptability of the Chinese human-sea economic system. It is estimated that the rate of environmental adaptability fluctuation of the Chinese human-sea economic system will not be optimistic in the context of economic downturn and ecological constraints from 2017 to 2020. 3) The ARIMA-BP combination forecasting model has a good simulation effect, and it is feasible to apply it to the environmental adaptability pre-warning study of the human-sea economic system. 4) The environmental adaptability evolutionary process of human-sea economic system is unique and dynamic, thus, it is the main policing strategy for the future to weigh the relationship between the human-sea economic system and the human-sea environment system in pursuit of maximizing the overall efficiency and extending the expansion period of adaptive cyclical fluctuations, and to develop a differentiated and flexible adaptation action policy.

Key words: human-sea economic system; environmental adaptability; environmental adaptability early-warning; ARIMA-BP model