

李博,杨智,苏飞,等.基于集对分析的中国海洋经济系统脆弱性研究[J].地理科学,2016,36(1):47-54.[Li Bo, Yang Zhi, Su Fei et al. Vulnerability Measurement of Chinese Marine Economic System Based on Set Pair Analysis. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(1): 47-54.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.01.006

# 基于集对分析的中国海洋经济系统脆弱性研究

李博<sup>1</sup>, 杨智<sup>1</sup>, 苏飞<sup>2</sup>, 孙才志<sup>1</sup>, 许妍<sup>3</sup>, 郭建科<sup>1</sup>, 王泽宇<sup>1</sup>

(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市管理学院, 浙江 杭州 310018; 3. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

**摘要:**从海洋经济脆弱性内涵出发,构建敏感性和应对性指标,运用主、客观相结合的组合赋权法确定指标权重,并结合集对分析法,分析1996~2012年中国海洋经济系统脆弱性的演变趋势及影响因素。结果表明:① 中国海洋经济系统对不利扰动的敏感性呈下降趋势,对内、外冲击的应对能力表现出增强趋势,脆弱性不断下降;② 运用回归分析法分析海洋经济系统敏感性、应对能力与脆弱性之间的关系,得出应对性的强弱对脆弱性的影响居于主导地位;③ 提出相应的降低海洋经济脆弱性的对策,包括充分合理利用海洋资源,改变经济增长方式;加强陆海统筹,优化产业结构;推进科学技术创新和人才培养;加强海洋环境保护和污染治理等。

**关键词:**海洋经济系统;脆弱性;集对分析

**中图分类号:**K902      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-0690(2016)01-0047-08

随着海洋经济在国民经济中发挥着越来越重要的作用,其发展已经成为经济增长无可替代的推动力,重视海洋经济发展已成为共识。但作为特殊类型的开放巨系统,海洋经济在快速发展过程中不可避免受到外界的干扰和胁迫及系统自身内部结构先天不稳定的影响,使得海洋经济在未来面临诸多不确定性因素影响而显现出脆弱性<sup>[1]</sup>。具体表现为海洋灾害频发<sup>[2,3]</sup>、近海资源环境承载力不断降低<sup>[4,5]</sup>以及部分海域专属经济区和海岛主权争议<sup>[6]</sup>等致使海洋安全和生态环境系统功能破坏而对经济系统产生胁迫性脆弱;用海规划不够科学和资源开发利用过度<sup>[7]</sup>,科技创新不足<sup>[8]</sup>使得未能有效寻求新的可替代资源导致可利用资源匮乏,过度依赖海洋资源而形成的刚性产业结构,新型多样性经济结构不成熟,海洋基础设施支撑力不强<sup>[7]</sup>等导致经济系统产生结构累积性脆弱。因此,要实现海洋经济可持续发展需要科学分析脆弱性变化趋势,找出影响脆弱性变化因素从而制定合理对策。

## 1 海洋经济系统脆弱性内涵

脆弱性分析源于对自然灾害的研究<sup>[9]</sup>,由于其理论方法独特,而被广泛用于其他领域。特别是对经济脆弱性的研究,如对不同地区(旅游经济<sup>[10]</sup>、家庭经济<sup>[11]</sup>)、不同地域(沿海城市<sup>[12]</sup>、内陆地区<sup>[13]</sup>)等经济脆弱性的研究,已经引起众多学者的关注。对经济系统脆弱性研究可以概括为3个阶段<sup>[14]</sup>:第一阶段,认识到由于自然灾害和突发灾难事件等外部因素对区域经济造成损害而产生经济系统脆弱性;第二阶段,学者关注到除了外部胁迫和扰动等因素外,经济系统自身内部经济结构也是产生经济脆弱性的主要因素;第三阶段,研究特殊类型经济系统脆弱性对整体经济实力的影响。

国内外关于海洋经济脆弱性研究的相关文献较少,仅有的也只是零星分布在与海洋相关的某个方面<sup>[15-19]</sup>,如小岛屿国家经济脆弱性的分析。国内学者对海洋经济脆弱性的研究主要集中在自然灾害对经济产生的影响<sup>[20-22]</sup>。

**收稿日期:**2014-11-12; **修订日期:**2015-01-10

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41201114, 41301079, 41401176, 41201160), 2015年辽宁省教育厅人文社会科学重点研究基地专项项目(ZJ2015033), 省社科联2016年度辽宁经济社会发展立项课题(2016slsktztzian-20), 浙江省哲学社会科学规划课题(16NDJC185YB)资助。[Foundation: National Nature Science Foundation of China (41201114, 41301079, 41401176, 41201160), Key Research Base Projects of Humanities and Social Science in Liaoning Province in 2015 (ZJ2015033), Economic and Social Development Planning Project of Liaoning Province in 2016 (2016slsktztzian-20), Philosophy Social Sciences Planning Project of Zhejiang Province (16NDJC185YB).]

**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

正如李晓琴<sup>[23]</sup>等在海洋脆弱性综述中提到,目前国内外专家或政府都没有对海洋经济脆弱性的定义给出具体表述。本研究认为海洋经济系统脆弱性是指:海洋经济系统由于受内部结构制约,加之外部的胁迫和扰动冲击敏感性的影响,以及恢复应对能力不足而使系统受损,是内外因共同起作用的结果<sup>[24]</sup>。脆弱性作为海洋经济系统的一种本质属性,始终存在经济发展过程中,并随着敏感性和应对性的改变而变化,是一个动态演变过程。当受内、外冲击较大且应对能力较弱时,其脆弱性表现较为明显;当受内、外干扰较小且应对能力较强时,其脆弱性表现不明显。本研究选择从脆弱性的角度进行探讨,不仅拓宽了经济脆弱性研究范围,而且也探讨了海洋经济实现可持续发展提供了新思路。

## 2 指标体系的构建与权重的确定

### 2.1 指标体系的构建

依据脆弱性内涵,指标设计包括敏感性和应对性。敏感性是指海洋经济系统在受到外部扰动或自身变化(①自然界不可抗力因素,如风暴潮、海啸等影响;②人类不合理活动;③系统间不协调发展或系统自身无法适应环境变化)的影响下,表现出的抗压能力。对于敏感性指标,当指标性质为正,其值越大,表明系统受到的扰动冲击力越强,则海洋经济系统敏感性越强,反之则反是。应对性是指使海洋经济系统从较弱状况调整到较强状况所表现出的能力,包括系统自身的恢复适应能力和人们维护系统采取的措施。对于应对性指标,当指标性质为正,其值越大,表明系统具有较强的适应能力和恢复能力,则海洋经济系统应对性越强,反之则反是。

依据脆弱性内涵,在借鉴海洋经济可持续发展研究成果基础上,遵循科学严谨、数据可获取、可操作等原则下,从资源、环境、经济、科技和社会因素等方面选取21个指标,分别从正、负两方面反映其对海洋经济系统的影响构建海洋经济脆弱性评价指标体系(表1)。资源是经济发展的前提,指标选取开发利用较多、容易遭到破坏敏感性较强的生物资源、矿产资源作为脆弱性指标。经济指标则分别选取旅游外汇收入、海洋第三产业增长弹性系数、非渔产业结构指数、主要海洋产业生产总值年增长率、海洋生产总值占GDP比重等指标,以求从不同层次来分析海洋经济发展状况。环境

系统既可以阻碍又可以促进经济发展,沿海地区80%以上近海污染是陆域污染物或沿海城市排污口排放污染物造成,是环境系统脆弱性产生主要原因,选取沿海地区海洋经济万元GDP入海废水量、入海固体废弃物量、工业废水排放达标率、固体废弃物综合利用量、年治理废水、固体废弃物污染项目治理数作为环境评价指标。此外,由于环渤海地区容易遭受赤潮、海冰等海洋灾害影响,选取海洋灾害损失作为指标。社会系统分别选取海洋专业博士、研究生点数、海洋科技活动专业技术人员数、海洋科技成果及专利数、海洋科技课题总量数、海洋科研机构数分别反映科技力量和人才资源;以生产用码头泊位数、滨海观测台数、海洋风暴潮预报次数作指标反映海洋基础设施状况。指标的选取尽可能全面、真实反映海洋经济系统发展过程中受到的干扰因素,但仍无法避免一些实际对海洋经济系统产生影响而无法用数值做出衡量的指标,如专属经济区及海岛主权争议等。

资料来源于1997~2013年《中国海洋统计年鉴》<sup>[25]</sup>的相关数据。

### 2.2 权重确定

为了科学评价中国海洋经济系统脆弱性,给各个评价指标赋予权重以反映其对海洋经济系统脆弱性产生的影响。为了达到主客观相统一,采用主观赋权(AHP)和客观赋权(熵值法)相结合的组合赋权法确定指标权重<sup>[26-29]</sup>。

## 3 海洋经济系统脆弱性评价

### 3.1 评价模型及步骤

集对分析主要用于解决多目标决策和多属性评价<sup>[30]</sup>。海洋经济系统受诸多因素的影响,具有典型的非确定性特征,而脆弱性是海洋经济系统的属性之一。借用集对分析法来评估海洋经济系统的脆弱性的变化,以科学分析1996~2012年中国海洋经济系统的脆弱性演变。

将有关联的集合 $Q$ 、 $T$ 看成一个集对 $B$ ,并按照集对的某一特性在问题 $E$ 的背景下,建立这两个集合的同一、差异、对立的联系度表达式。通过对集对 $B$ 分析,共得到 $N$ 个特性,其中 $S$ 个为集合 $Q$ 、 $T$ 所共有, $P$ 个相对立,剩余 $F=N-S-P$ 个关系不确定,则集合 $Q$ 、 $T$ 的联系度用公式表示为:

$$m = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j = a + bi + cj \quad (1)$$

表1 中国海洋经济系统脆弱性指标及权重

Table 1 Indicator system and weight for the vulnerability of marine economic system of China

目标层	准则层	代码	指标名称及单位	指标含义解释及性质	权重		
					熵值法	AHP法	合成法
海洋经济系统脆弱性	敏感性	$S_1$	海洋矿产资源标准量	根据公式①计算(-)	0.0243	0.0315	0.0288
		$S_2$	海洋生物产量(万t)	海洋捕捞产量和海水养殖产量之和(-)	0.0458	0.0594	0.0543
		$S_3$	海洋旅游国际外汇收入(亿美元)	反映旅游吸引力(-)	0.0281	0.0569	0.0417
		$S_4$	海洋生产总值占GDP比重(%)	反映海洋经济对GDP的贡献度(-)	0.0457	0.0276	0.0370
		$S_5$	主要海洋产业产值年增长率(%)	反映主要海洋产业发展状况(-)	0.0566	0.0276	0.0412
		$S_6$	非渔产业结构指数	反映海洋二、三产业产值之和与海洋就业人口的比例(-)	0.0630	0.1301	0.0943
	应对性	$S_7$	海洋第三产业增长弹性系数	海洋三产增长率/海洋生产总值增长率(-)	0.0358	0.0831	0.0568
		$S_8$	海洋灾害直接经济损失(亿元)	反映海洋灾害对经济的影响(+)	0.0343	0.0804	0.0547
		$S_9$	海洋经济万元GDP入海废水量(万t)	反映发展海洋经济牺牲环境代价(+)	0.0246	0.0307	0.0286
		$S_{10}$	入海固体废弃物量(万t)	反映海洋环境污染现状(+)	0.0476	0.0480	0.0498
		$R_1$	工业废水排放达标率(%)	反映环境保护现状(+)	0.0375	0.0274	0.0334
		$R_2$	固体废弃物综合利用量(万t)	反映废物循环利用能力(+)	0.0310	0.0274	0.0304
		$R_3$	年治理废水、固体废弃物竣工数(个)	反映环境治理力度(+)	0.0553	0.0220	0.0363
		$R_4$	海洋科研机构数(个)	反映科技对海洋经济支持力度(+)	0.0721	0.0509	0.0631
		$R_5$	海洋科技课题总量(个)	反映海洋科技研究情况(+)	0.0618	0.0948	0.0798
		$R_6$	海洋科技活动专业技术人员数(人)	反映发展海洋人才素质情况(+)	0.0683	0.0325	0.0491
		$R_7$	海洋科技成果及专利数(项)	反映海洋科技创新力度(+)	0.0761	0.0428	0.0595
		$R_8$	生产用码头泊位数(个)	反映港口吞吐能力(+)	0.0489	0.0334	0.0421
		$R_9$	海洋观测台站数(台)	反映海洋基础设施建设(+)	0.0429	0.0179	0.0289
		$R_{10}$	海洋风暴潮预报次数(次)	反映海洋公共服务支持力(+)	0.0333	0.0179	0.0254
		$R_{11}$	海洋专业博士、研究生点数(个)	反映教育对海洋经发展的支持力度(+)	0.0670	0.0577	0.0648

注:公式①为 $\sum w_{pi}, i=1,2,3,4$ 分别表示海洋原油产量、原盐产量、海洋天然气产量和海洋砂矿产量, $p_i$ 为标准化处理后数据, $w_i$ 为指标权重。

式中, $a, b, c$ 分别为集合 $Q, T$ 在问题 $E$ 背景下的同一度、差异度和对立度,且 $a+b+c=1$ 。 $i$ 和 $j$ 是差异度和对立度的系数,规定 $i$ 取值 $[-1, 1]$ , $j$ 值恒为 $-1$ <sup>[30]</sup>。

根据集对分析思想,构造中国海洋经济系统脆弱性矩阵。设海洋经济系统脆弱性问题为 $E=\{H, I, W, X\}$ ,有 $m$ 个评价方案 $H=\{h_1, h_2, \dots, h_m\}$  ( $m=17$ ),每个评价方案有 $n$ 个指标 $I=\{i_1, i_2, \dots, i_n\}$  ( $n=21$ ),指标权重 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_p, \dots, w_n\}$ ,评估指标的值记为 $d_{kp}$  ( $k=1, 2, \dots, m; p=1, 2, \dots, n$ ),则问题 $E$ 的评价矩阵 $D$ 为:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

确定最优方案集 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_n\}$ 和最劣方案集 $Y=\{y_1, y_2, \dots, y_p, \dots, y_n\}$ 。集对 $B\{H_k, U\}$ 在区间

$\{X, Y\}$ 上的联系度 $\mu$ 为:

$$\begin{cases} \mu_{(H_k, U)} = a_k + b_k i + c_k j \\ a_k = \sum w_p a_{kp} \\ c_k = \sum w_p c_{kp} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $a_k, b_k, c_k$ 分别为最优方案集合和最劣方案集合的同一度、差异度和对立度。 $a_{kp}, c_{kp}$ 分别为评价矩阵 $D$ 中的 $d_{kp}$ 与集合 $\{X, Y\}$ 的同一度和对立度。方案 $H_k$ 与最优方案的贴进度 $r_k$ 定义式为:

$$\begin{cases} \text{当评价指标}(d_{kp})\text{为正向时} & \begin{cases} a_{kp} = \frac{d_{kp}}{x_p + y_p} \\ c_{kp} = \frac{x_p y_p}{d_{kp}(x_p + y_p)} \end{cases} \\ \text{当评价指标}(d_{kp})\text{为负向时} & \begin{cases} a_{kp} = \frac{x_p y_p}{d_{kp}(x_p + y_p)} \\ c_{kp} = \frac{d_{kp}}{x_p + y_p} \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$



$$r_k = \frac{a_k}{a_k + c_k} \quad (5)$$

$r_k$ 指数反映了被评价方案 $H_k$ 与最优方案集合 $X$ 的贴近度。 $r_k$ 越大表明贴近度越高,则待评价对象就越接近最优评价标准。本文用 $r_k$ 指数反映中国海洋经济系统脆弱性的强弱程度,当 $r_k$ 指数较小时表示系统脆弱性较低<sup>[31,32]</sup>。

### 3.2 评价结果及分析

运用集对分析法,分别计算得到1996~2012年中国海洋经济系统的敏感性指数、应对性指数和脆弱性指数(表2)。

从表2可知,1996~2012年中国海洋经济系统脆弱性指数变化的两个特点:①下降态势较为明显。由1996年的0.729 8降至2012年的0.294 2,总体下降幅度较大,说明中国海洋经济系统整体发展态势稳定,可持续发展能力显著增强;②阶段性较强。1996~2001年、2005~2006年和2008~2010年这3个阶段脆弱性指数下降较明显;2001~2005年、2006~2008年和2010~2012年这3个阶段具有相同的特点,其脆弱性指数变化不大,较为稳定。

敏感性指数总体由1996年的0.688降至2012年的0.379,在2011年达到最低值0.332。虽然经历了几次小幅度波动,但整体下降趋势较为明显,可分2个阶段。1996~2002年是第一阶段,敏感性指数下降趋势较快,特别是2000~2001年下降幅度最大。这一时期处于海洋开发的初期,海洋资源丰富,海洋产业发展迅速,海洋经济增长速度快,前景广阔,海洋经济敏感性指数下降较快。但由于缺乏资金投入以及技术条件不成熟,海洋产业以海洋水产为主、海洋运输和滨海旅游为辅。海洋产业结构是“一、三、二”的格局,海洋水产占主要海洋产值比重达50%以上,三次产业畸形发展,“质”是低水平的,以生产和加工初级产品为主,附加值不高,产业整体效益低下,其海洋经济内部结构是制约敏感性下降的主要因素。

2002~2012年是第二阶段,这一阶段敏感性指数虽然较小,但波动频繁。海洋产业在实现了以海洋渔业、海洋油气业、滨海旅游业、海洋船舶业、海洋交通运输业和海洋化工等为主体传统产的现代化的同时,还培育了代表未来海洋经济新增长

表2 1996~2012年中国海洋经济系统脆弱性评价

Table 2 The results of the vulnerability in marine economic system of China from 1996 to 2012

年份	敏感性			应对性			脆弱性		
	$a_m$ 敏感	$c_m$ 敏感	$r_m$ 敏感	$a_m$ 应对	$c_m$ 应对	$r_m$ 应对	$a_m$ 脆弱	$c_m$ 脆弱	$r_m$ 脆弱
1996	0.3209	0.1141	0.7378	0.1215	0.3154	0.2781	0.6364	0.2356	0.7298
1997	0.3083	0.1126	0.7325	0.1332	0.2846	0.3188	0.5929	0.2458	0.7070
1998	0.2739	0.1636	0.6261	0.1241	0.2903	0.2995	0.5642	0.2877	0.6623
1999	0.2565	0.1466	0.6364	0.1384	0.3038	0.3131	0.5603	0.2850	0.6628
2000	0.2424	0.1586	0.6044	0.1458	0.2907	0.3340	0.5330	0.3044	0.6365
2001	0.1800	0.2464	0.4221	0.1377	0.2907	0.3214	0.4708	0.3841	0.5507
2002	0.1479	0.2589	0.3635	0.1258	0.2881	0.3040	0.4359	0.3847	0.5312
2003	0.1961	0.1969	0.4991	0.1675	0.2466	0.4045	0.4427	0.3643	0.5486
2004	0.1507	0.2215	0.4048	0.1503	0.2496	0.3758	0.4003	0.3718	0.5184
2005	0.1822	0.2292	0.4429	0.1639	0.2407	0.4052	0.4229	0.3932	0.5182
2006	0.1676	0.2158	0.4372	0.2152	0.1658	0.5648	0.3334	0.4310	0.4362
2007	0.1466	0.2245	0.3950	0.2207	0.2001	0.5246	0.3467	0.4453	0.4378
2008	0.1661	0.2130	0.4381	0.2347	0.1739	0.5744	0.3399	0.4477	0.4316
2009	0.1629	0.2287	0.4159	0.3412	0.1141	0.7494	0.2770	0.5699	0.3270
2010	0.1387	0.2521	0.3549	0.3762	0.1083	0.7764	0.2470	0.6282	0.2822
2011	0.1293	0.2602	0.3320	0.3760	0.1086	0.7759	0.2379	0.6362	0.2722
2012	0.1552	0.2539	0.3794	0.3773	0.1078	0.7777	0.2630	0.6312	0.2942

注: $a_m$ 敏感、 $c_m$ 敏感和 $r_m$ 敏感分别为海洋经济系统敏感性的同一度、对立度和相对贴近度; $a_m$ 应对、 $c_m$ 应对和 $r_m$ 应对分别为海洋经济系统应对能力的同一度、对立度和相对贴近度; $a_m$ 脆弱、 $c_m$ 脆弱和 $r_m$ 脆弱分别为海洋经济系统脆弱性的同一度、对立度和相对贴近度。

点的高新技术产业,促进了海洋产业协调和集约发展,海洋经济由注重“量”向“质”和“量”同时发展,海洋经济内部结构逐渐得到提升。但海洋资源贫乏,经济发展过程中因缺乏对环境合理有效的保护,赤潮、风暴潮和溢油等海域污染损害事件不断,破坏着海洋的生态平衡、海洋灾害和领海纠纷等制约经济发展难题愈发显现,是产生敏感性的主要原因。2003年的“非典”和2008年的“经济危机”导致敏感性指数出现反弹,说明中国海洋经济对外依赖性较大,容易受外在因素影响。

应对性指数总体变化较为明显,阶段性强,可分为徘徊期和增长期。1996~2002年、2008~2012年是徘徊期,这些年份应对性指数变动平稳。1996~2002年这一阶段海洋产业以海洋原始资源开发为主,海洋科学研究基础薄弱,海洋专业人才稀少,科技创新对经济发展贡献度还不到30%,对海洋第二、三产业发展的推动力不够,且发展海洋经济的各项基础设施落后(如港口基础配套设施),成为制约经济发展的主要“瓶颈”;2008~2012年虽然也是徘徊期,但应对能力较高。2008年发布的《全国科技兴海规划纲要(2008~2015年)》明确将海洋科学与技术发展水平作为“第一生产力”,特别是海洋高新技术,其研究内容从最初的海洋基础研究,逐渐向海海洋生物、海洋能源与资源开发技术和海水淡化等技术的研究。科学技术是提高应对能力的核心因素,对减弱海洋经济脆弱性起着重要作用。且随着中国海洋经济持续发展和国民海洋意识不断强化,沿海各省(市)更加重视海洋高科技人才培养以及海洋基础设施建设。2002~2008年应对性指数上升幅度较大且上升速度快。进入21世纪以后,中国的传统海洋产业和新兴产业的增加值一直呈快速增长的趋势,但传统产业总增加值占海洋产业总增加值的比重一直呈稳步下降的趋势,而新兴海洋产业总增加值占海洋产业总增加值的比重保持在21%左右。海洋第一产业的比重大为下降,第二、三产业占海洋产业的比重保持稳步上涨的趋势。虽然应对能力在不断提高,但问题仍然突出。如长期以来依赖海洋资源而形成的产业结构未得到解决,多样性海洋经济结构不成熟,高新技术产业还处于幼期,粗放型经济发展模式未得到根本改善等都制约着应对能力的提升。

### 3.3 脆弱性回归分析

对1996~2012年敏感性指数、应对性指数与脆

弱性指数进行回归分析,进一步揭示中国海洋经济系统敏感性与应对性对脆弱性的影响程度。其结果:

$$V=0.512+0.491S-0.518R \quad (R^2=0.999) \quad (6)$$

式中, $V$ 、 $S$ 和 $R$ 分别代表海洋经济系统脆弱性、敏感性和应对性。当敏感性指数上升1单位,脆弱性指数增加0.491;当应对性指数上升1单位,脆弱性指数降低0.518。可见,单位应对性对经济系统脆弱性的影响程度大于单位敏感性对经济系统脆弱性的影响。

## 4 结论与讨论

将脆弱性和集对分析法相结合,探讨中国海洋经济系统脆弱性发展趋势及主要影响因素。结果显示1996~2012年中国海洋经济系统敏感性不断下降,应对能力提升较大,脆弱性呈现不断下降态势,可持续发展能力不断增强。回归分析表明单位应对性对中国海洋经济系统脆弱性程度的影响居于主导地位。

针对以上问题,降低中国海洋经济系统脆弱性应做好以下几点:

1) 从外部降低海洋经济系统敏感性要充分利用海洋资源,改变经济增长方式。依靠资金投入与技术进步培育可再生资源 and 加强非再生资源的勘探是基础,发展资源综合利用产业,提高资源开发利用的广度和深度是根本。加强对不可再生资源优化利用和对可再生能源可持续地利用,倡导发展海洋低碳循环经济,逐步形成“资源节约型、资源高效利用型”海洋经济发展格局。

2) 从内部降低海洋经济系统敏感性要加强陆海统筹,优化海洋产业结构。海洋产业结构升级主要包括海洋产业结构的高度化和协调化;海洋产业结构升级要以实现高技术化、高制度化、高知识化、高技术化和高附加值化为最终目的;海洋产业结构的协调化是指通过优化资源配置,协调海洋产业比例关系。中国海洋经济发展要在加强陆海统筹的基础上,通过资金投入、管理经验提升和技术创新协调推进,不断推进海洋产业结构优化升级,加快形成以第三产业为主、第二产业鲜明、第一产业为辅的产业结构模式。

3) 从外部提高海洋经济系统应对性要加快海洋人才培养。海洋经济未来发展质量的提高,特别需要高层次创新型人才和海洋高技能人才的

支撑带动作用。通过增加政府和涉海企业的人才投入,以海洋人才市场需求为导向,建立培训基地,培养兼海洋专业技术化、海洋管理服务化和海洋产业化的高科技人才队伍,保证人才效益的提升及结构的优化,充分发挥海洋人才第一资源作用,为海洋经济未来化和可持续化提供保障。

4) 从内部提高海洋经济系统应对性要推进海洋科学技术创新。现代海洋经济的发展是以海洋科学知识创新和海洋高新技术发展为依托,科学技术在海洋经济发展中的重要作用已成共识。要实传统产业的现代化和发展“高、精、尖”的新型海洋产业,科学技术创新是关键。特别要提高海洋资源、能源开发利用、环境保护、灾害监测预警、产业循环和经济利用等技术水平。在加大海洋科技研发资金投入力度,加大科研力度的同时,鼓励企业和科研单位相结合,倡导自主创新同国内外引进相结合。其次,要注重科技成果的转化,依靠科技成果转化培育和发展新型海洋产业,不仅增加海洋经济总产量还优化海洋产业结构。

5) 加快海洋污染治理,保护海洋环境。认清海洋污染的现状和海洋污染严重影响,积极调动各方积极性加快污染治理。相关部门要加大对海洋污染治理投资力度,加强对废水、固体废弃物污染项目的治理,加快重点海域污染;控制陆源污染物排海,做好对海上流动污染治理和海岸与海岛环境保护。企业应以发展节能减排和发展低碳循环经济为己任,提高资源利用效率,转变经济增长方式,从根本上解决经济发展过程中与环境保护之间的矛盾,做到经济系统、资源环境系统和社会系统三者间的协调发展。政府应加强引导公众增强海洋资源和环境保护的意识,共同构筑和谐的人海关系。

海洋经济系统是复杂巨系统,其协调可持续发展受到自组织、人为因素及外部环境等多重影响,具有极强的不确定性,将脆弱性评价和集对分析相结合,通过多要素、多尺度、和多重循环特性探其发展趋势及影响因素,为提升海洋经济可持续发展能力提供依据,并为人海关系地域耦合系统研究提供了一个新的研究范式。在面对多重因素扰动下海洋经济系统的复杂相互作用机理刻画的具体操作中难免存在一定主观性。区域脆弱性的综合测度仍然处在探索阶段,特别是形成全面监测、综合评价与合理的趋势预测研究框架是脆

弱性下一步研究的重要方向。

## 参考文献(References):

- [1] 韩增林,李博.中国沿海地区人海关系地域系统脆弱性研究进展[J].海洋经济,2013,3(2):1-6. [Han Zenglin, Li Bo. Review on vulnerability in the human-sea territorial system of coastal cities in China. Marine Economy, 2013, 3(2): 1-6.]
- [2] 殷杰,尹占娥,于大鹏,等.风暴洪水主要承灾体脆弱性分析[J].地理科学,2012,32(9):1155-1160. [Yin Jie, Yin Zhan'e, Yu Dapeng, et al. Vulnerability analysis for storm induced flood: A case study of Huangpu River basin. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(9): 1155-1160.]
- [3] 石先武,谭骏,国志兴,等.风暴潮灾害风险评估研究综述[J].地球科学进展,2013,28(8):866-874. [Shi Xianwu, Tan Jun, Guo Zhixing, et al. A review of risk assessment of storm surge disaster. Advances in Earth Science, 2013, 28(8): 866-874.]
- [4] 狄乾斌,韩增林,刘锴.海域承载力研究的若干问题[J].地理与地理信息科学,2004,20(5):50-54. [Di Qianbin, Han Zenglin, Liu Kai. Some questions of research on carrying capacity of marine space. Geography and Geo-Information Science, 2004, 20(5): 50-54.]
- [5] 周健,王其翔,刘洪军,等.海域承载力研究进展[J].海岸工程,2013,32(3):59-67. [Zhou Jian, Wang Qixiang, Liu Hongjun, et al. Advances carrying capacity of marine region. Coastal Engineering, 2013, 32(3): 59-67.]
- [6] 朱坚真,刘汉斌.中国海洋经济安全监测指标体系研究[J].太平洋学报,2013,21(1):86-93. [Zhu Jianzhen, Liu Hanbin. Exploring the monitoring index system for measuring China's marine economic security. Pacific Journal, 2013, 21(1): 86-93.]
- [7] 刘明.影响我国海洋经济可持续发展的重大问题分析[J].宏观经济研究,2010,(5):34-38. [Liu Ming. Analysis of major issues affecting the sustainable development of marine economy in China. Macroeconomics, 2010, (5): 34-38.]
- [8] 张耀光,胡新华,高辛萍.中国海洋经济高新技术的“瓶颈”制约及对策[J].人文地理,2002,17(3):90-92. [Zhang Yaoguang, Hu Xinhua, Gao Xinping. The “Bottleneck” restriction and countermeasure of high new-technology of marine economy in China. Human Geography, 2002, 17(3): 90-92.]
- [9] Janssen M A, Schoon M L, Ke W M et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation with in the human dimensions of global environmental change[J]. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 240-252.
- [10] 苏飞,陈媛,张平宇.基于集对分析的旅游城市经济系统脆弱性评价——以舟山市为例[J].地理科学,2013, 33(5):538-544. [Su Fei, Chen Yuan, Zhang Pingyu. Vulnerability assessment of tourism city's economic system based on the set pair analysis: A case study of Zhoushan city. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(5): 538-544.]
- [11] 解垚.中国老年家庭的经济脆弱性与贫困[J].人口与发展,2014,20(2):67-75. [Xie E. Economic vulnerability and poverty of elderly in China. Population and Development, 2014, 20(2):



- 67-75.]
- [12] 李博,韩增林.基于三角图法的沿海城市系统脆弱性分类方法研究[J].海洋开发与管理,2011,(11):99-102. [Li Bo, Han Zenglin. Vulnerability classification in human-sea territorial system of costal cities: Based on triangle methodology. Ocean Development and Management, 2011, (11): 99-102.]
- [13] 郭永杰,米文宝,赵莹,等.基于集对分析的宁夏限制开发生态区经济脆弱性评价[J].干旱区资源与环境, 2014,25(2):49-53. [Guo Yongjie, Mi Wenbao, Zhao Ying, et al. The evaluation on economic system vulnerability of limited developing ecological zones in Ningxia. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 25(2): 49-53.]
- [14] 储毓婷,苏飞.国内外经济脆弱性研究述评[J].生态经济,2013,(2): 122-125. [Chu Yuting, Su Fei. Progress of economic vulnerability at home and abroad. Ecological Economy, 2013, (2): 122-125.]
- [15] Adrianto L, Matsuda Y. Developing economic vulnerability indices of environmental disasters in small island regions[J].Environmental Impact Assessment Review, 2002, 22(4): 393-414.
- [16] Adrianto L, Yoshiaki Matsuda. Study on assessing economic vulnerability of small island regions[J]. Environment, Development and Sustainability, 2004, 6(3): 317-336.
- [17] Guillaumont P. An economic vulnerability index: It's design and use for international development policy[J]. Oxford Development Studies, 2009, 37(3):193-228.
- [18] Guillaumont P. Assessing the economic vulnerability of Small island developing states and the least developed countries[J]. Journal of Development Studies,2010,46(5):828-854.
- [19] Scott D, Dawson J, Jones B. Climate change vulnerability of the US northeast winter recreation-tourism sector[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2008, 13(5): 577-596.
- [20] 杨林,李渊.海洋灾害脆弱性综合评价指标体系的设计[J].海洋技术,2013,32(3):133-137. [Yang Lin, Li Yuan. Design of marine disaster vulnerability evaluation index system. Ocean Technology, 2013, 32(3): 133-137.]
- [21] 赵昕,肖凡.沿海地区经济系统海洋灾害脆弱性评价研究——以山东省台风灾害为例[J].海洋经济,2013,3(3):21-25. [Zhao Xin, Xiao Fan. Evaluation research about the marine disaster vulnerability of coastal areas-In the case of the typhoon disasters in Shandong province. Marine Economy, 2013, 3(3): 21-25.]
- [22] 赵国杰,张炜熙.海岸带社会经济脆弱性研究[J].统计与决策, 2006,(3):12-14. [Zhao guojie, Zhang weixi. Coastal socio-economic vulnerability research. Statistics and Decision, 2006, (3): 12-14.]
- [23] 李晓琴,张炜熙.海洋经济脆弱性的研究综述[J].海洋经济, 2014,4(1): 44-49. [Li Xiaoqin, Zhang Weixi. Research on the vulnerability of marine economy. Marine Economy, 2014, 4(1): 44-49.]
- [24] 李鹤,张平宇,程叶青.脆弱性的概念及其评价方法[J].地理科学进展,2008,27(2):18-25. [Li He, Zhang Pingyu, Cheng Yeqing. Concepts and assessment methods of vulnerability. Progress in Geography, 2008, 27(2):18-25.]
- [25] 国家海洋局.中国海洋统计年鉴[Z].北京:海洋出版社, 1997-2013.[State Oceanic Administration, Peoples Republic of China. China Oceanographic Statistical Yearbook (1997-2013). Beijing: China Ocean Press, 1997-2013.]
- [26] 王泽宇,郭萌雨,韩增林.基于集对分析的海洋综合实力评价研究 [J]. 资源科学,2014,36(2):351-360. [Wang Zeyu, Guo Mengyu, Han Zenglin. Evaluation of marine comprehensive strength based on set pair analysis. Resources Science, 2014, 36 (2): 351-360.]
- [27] 吴开亚,金菊良.区域生态安全评价的熵组合权重属性识别模型[J].地理科学,2008,28(6):754-758. [Wu Kaiya, Jin Juliang. Attribute recognition method of regional ecological security evaluation based on combined weight on principle of relative entropy. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(6): 754-758.]
- [28] 丁圆婷,于吉涛,宋鄂平.基于AHP-GA的地质旅游资源评价研究[J].湖北民族学院学报,2014,32(2): 230-236. [Ding Yuan-ting, Yu Jitao, Song Eping. Study on geological tourism resources evaluation based on AHP and GA. Journal of Hubei University for Nationalities Natural Science Edition, 2014, 32(2): 230-236.]
- [29] 李博.辽宁沿海地区人海经济系统脆弱性评价[J].地理科学, 2014,34(6):711-716. [Li Bo. Vulnerability in human-sea economic system of Liaoning coastal area in China. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(6): 711-716.]
- [30] 赵克勤.集对分析及其初步应用[J].大自然探索,1994,13(47): 67-72. [Zhao Keqin. Set pair analysis and its preliminary application. Exploration of Nature, 1994, 13(47): 67-72.]
- [31] 李锋.基于集对分析法(SPA)的中国旅游经济系统脆弱性测度研究[J].旅游科学,2013,27(1):17-28. [Li Feng. Study of vulnerability measurement of Chinese tourism economic system: Based on SPA. Tourism Science, 2013, 27(1): 15-28.]
- [32] 韩瑞玲,佟连军,佟伟铭,等.基于集对分析的鞍山市人地系统脆弱性评估[J].地理科学进展,2012,31(3): 343-352. [Han Ruiling, Tong Lianjun, Tong Weiming, et al. Research on vulnerability assessment of human-land system of Anshan city based on set pair analysis. Progress in Geography, 2012, 31(3): 343-352.]

## Vulnerability Measurement of Chinese Marine Economic System Based on Set Pair Analysis

Li Bo<sup>1</sup>, Yang Zhi<sup>1</sup>, Su Fei<sup>2</sup>, Sun Caizhi<sup>1</sup>, Xu Yan<sup>3</sup>, Guo Jianke<sup>1</sup>, Wang Zeyu<sup>1</sup>

(1. *Study Center of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;*

2. *School of Tourism and City Administration, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, Zhejiang, China;*

3. *National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116029, Liaoning, China)*

**Abstract:** Vulnerability assessment is an important method to reveal the economic development "bottleneck" factors, and has great significance to analyze the major restricted factors to achieve economic development. Based on a detailed description about the vulnerability of marine economic system (MESV), the article establishes a vulnerability assessment model of marine economic system in China from the aspects of sensitivity and response capacity. Then it combines the methods of set pair analysis and vulnerability assessment, and uses combination weight method to evaluate the indicators and to calculate their weights, then analyzes the evolution trends and major influencing factors of vulnerability in marine economic system from 1996 to 2012. At last, it puts forward corresponding development countermeasures. The results indicate that the vulnerability in marine economic system of China during the past 17 years, shows a declining trend, and the sensitivity to adverse disturbance takes on a declining trend and response capacity sometimes presents a wandering period, sometimes in a growth phase for internal and external shocks. The MESV has two characteristics: 1) the MESV declined rapidly in 1996-2001, 2005-2006, and 2008-2010; 2) the MESV showed little change, more stable in 2001-2005, 2006-2008, and 2010-2012. The evolution of sensitivity can be divided into two stages: decreased obviously from 1996 to 2002, fluctuating frequently from 2002 to 2012. The evolution of response capacity fluctuated slightly in 1996-2002 and 2008-2012, and then went up steadily from 2002 to 2012. The influence of sensitivity plays a leading role to the vulnerability in marine economic system of China among the sensitivity, response capacity and vulnerability by using regression analysis. It suggests that in improving response capacity and reducing the vulnerability in marine economic system of China, the style of economic growth should be changed, including controlling over-exploitation and rational utilization of marine resources, developing science and technology and cultivation of talents. At the same time, it is also important to strengthen marine of pollution and to control environmental protection measures.

**Key words:** marine economic system; vulnerability; set pair analysis