

# 基于生态系统健康的浙江省海洋生态承载力评价<sup>\*1</sup>

余璇 胡求光

(宁波大学商学院, 浙江宁波 315211)

**【摘要】**:基于生态系统健康与海洋生态承载力的具体理论,构建海洋生态承载力指标体系,根据具体的计量方法与评价标准,对2004年至2013年浙江省海洋生态承载力进行深入分析。结果表明,在评价期内浙江省海洋生态承载力呈现先快速下降后缓慢上升的变化情况,其对应的海洋生态系统健康水平从亚健康降到不健康再过渡到亚健康。其中,资源环境承载力长期处于亚健康状态,生态弹性力基本处于亚健康状态,人类活动潜力从不健康过渡到亚健康状态。最后根据研究结果,从海洋资源利用、海洋生态建设、海洋科研管理三方面为推动浙江省海洋生态环境保护 and 海洋经济可持续发展提出对策建议。

**【关键词】**:海洋生态系统;承载力;健康水平

DOI:10.14059/j.cnki.cn32-1276n.2017.02.010

## 0 引言

随着人口数量的增加,陆域资源的减少和科技水平的提高,人们开始逐渐关注海洋对人类经济和社会发展的重要性。近年来随着建设海洋经济强省战略的提出,浙江省海洋经济蓬勃发展,但是,对海洋资源的掠夺式开发和对海洋环境保护重视不够,使得浙江省沿海海域出现了生态破坏和环境污染等问题,影响了海洋生态承载力的变化。由于海洋生态承载力的变化与海洋经济的可持续发展、海洋生态环境的保护等问题息息相关,因此,研究探讨海洋生态承载力的问题具有一定的现实意义。本文将生态承载力的概念引入到海洋生态环境问题的研究当中,将海洋生态承载力与生态系统健康结合起来,构建了海洋生态承载力评价指标体系,借鉴国内相关领域专家学者提出的海洋生态承载力计量模型及海洋生态系统健康评价标准,分析了浙江省海洋生态承载力状况及其健康水平。

## 1 模型构建与解释

### 1.1 海洋生态承载力

海洋生态承载力是指在一定空间的海洋资源基础和某个规定的基本生活标准下,以海洋资源可持续利用和海洋生态环境良性循环为前提,海洋生态系统的自我维持、自我调节能力及对沿海地区社会经济发展规模和人口数量的最大支持力<sup>[1-8]</sup>。基于生态系统健康的海洋生态承载力是指在一定社会经济条件下,海洋生态系统维持其服务功能和自身健康的潜在能力。它将海洋生

<sup>1</sup>**基金项目**:国家人文社会科学基金项目——“海洋生态损害补偿制度及公共治理机制研究——以中国东海为例”(项目编号:16ZDA050;项目负责人:沈满洪)成果之一。

**作者简介**:余璇,宁波大学商学院硕士研究生,研究方向:海洋生态、海洋经济;胡求光,宁波大学商学院教授,研究方向:渔业经济、海洋生态。

态承载力与生态系统健康状态有机联系起来，由资源环境承载力、生态系统恢复力和人类活动潜力三部分组成<sup>[9-10]</sup>。

### 1.2 模型选择

在对某一区域海洋生态承载力进行评价时，需要将它定量地进行描述和测度，为此需要采用合适的研究模型对海洋生态承载力进行定量研究。本文主要借鉴狄乾斌等(2014)提出的计量方法对海洋生态承载力进行计算。

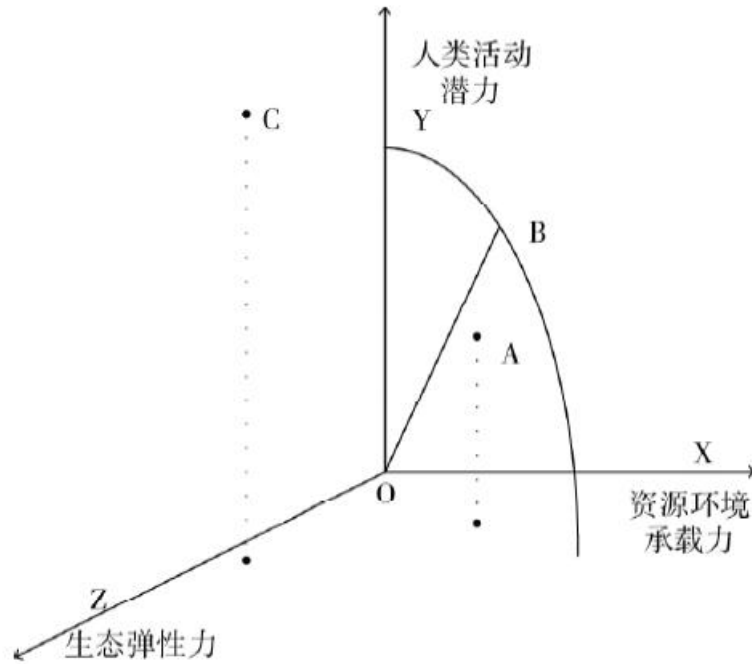


图1 海洋生态承载力计量模型示意图

如图1所示，一定时空尺度内海洋生态系统内任何一种承载状况都可以用状态空间内一点来表示，原点O与状态点构成的矢量模(如OB)代表海洋生态承载力的量值。假设X、Y、Z为海洋生态系统处于健康等级时的资源环境承载力(资源环境子系统的供容能力)、人类活动潜力(与生态系统有关的人类活动影响力)和生态弹性力(生态系统的自我维持与自我调节能力)的数值，则曲面XYZ为海洋生态系统健康水平下的海洋生态承载力曲面。随着海洋生态系统健康状态的提高，资源环境承载力、人类活动潜力和生态弹性力的健康状态也随之提高，因此，任何低于曲面XYZ的点(如A点)表示其海洋生态承载力对应的海洋生态系统处于健康水平之下，任何高于曲面XYZ的点(如C点)表示该海洋生态承载力对应的海洋生态系统处于健康水平之上。其数学表达式为：

$$U_r = |M_r| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i E_{ir})^2 + \sum_{j=1}^n (w_j R_{jr})^2 + \sum_{k=1}^n (w_k H_{kr})^2} \quad (1)$$

式中： $U_r$ 为海洋生态承载力； $M_r$ 为海洋生态承载力空间向量的模； $E_{ir}$ 为r区域第i个资源环境指标在空间坐标轴上的投影； $R_{jr}$ 为r区域第j个生态弹性力指标在空间坐标轴上的投影； $H_{kr}$ 为r区域第k个人类活动潜力指标在空间坐标轴上的投影； $w_i$ 、 $w_j$ 和 $w_k$ 分别为第i、j、k个指标对应的权重。

将所得数据进行标准化处理，再根据公式(1)计算出各项数值后，需要根据一定的评价标准确定海洋生态系统的健康状态。确定海洋生态系统健康的评价标准难度较大，并且具有一定的主观性，根据海洋生态系统与海洋生态承载力的关系，本文主要引用狄乾斌等(2014)所制定的基于生态系统健康的海洋生态承载力标准，根据不同的数值范围将生态系统健康划分非常健康、健康、亚健康、不健康、病态五个等级，具体如表1所示。

表1 基于生态系统健康的海洋生态承载力标准<sup>[4]</sup>

指数	病态	不健康	亚健康	健康	非常健康
资源环境承载力	(0,0.001 5]	(0.001 5,0.045 1]	(0.045 1,0.169 7]	(0.169 7,0.246 2]	(0.246 2,+∞)
生态弹性力	(0,0.026 4]	(0.026 4,0.046 9]	(0.046 9,0.118 9]	(0.118 9,0.345 7]	(0.345 7,+∞)
人类活动潜力	(0,0.016 2]	(0.016 2,0.063 5]	(0.063 5,0.266 4]	(0.266 4,0.276 9]	(0.276 9,+∞)
海洋生态承载力	(0,0.048 3]	(0.048 3,0.137 1]	(0.137 1,0.260 4]	(0.260 4,0.395 9]	(0.395 9,+∞)

## 2 指标选取与数据处理

### 2.1 指标选取

目前国内尚无统一的评价海洋生态承载力的指标体系，根据前文提出的理论和模型，借鉴前人已有研究成果<sup>[1-4]</sup>，遵循综合性、尺度适合性、指标可得性和可操作性原则，本文从资源环境承载力、生态弹性力以及人类活动潜力三方面确定了衡量区域海洋生态承载力指标体系(见表2)。

表2 基于生态系统健康的  
海洋生态承载力评价指标和权重

系统层 A	准则层 B	指标层 C	权重
资源环境承载力指标 A1	资源利用 B1	人均海域面积 C1 (平方千米/人)	0.004 3
		人均海洋水产品产量 C2 (吨/人)	0.014 3
		人均海洋盐业产量 C3 (吨/人)	0.128 2
		人均海洋矿业产量 C4 (吨/人)	0.082 3
		海岸经济密度 C5 (万元/平方千米)	0.095 9
	资源消耗 B2	万元 GDP 能耗 C6 (吨标准煤/万元)	0.048 7
		万元 GDP 水耗 C7 (立方米/万元)	0.085 5
	环境质量 B3	工业重复用水率 C8	0.042 3
		固体废弃物综合利用率 C9	0.008 0
生态弹性力指标 A2	气候条件 B4	年平均气温 C10 (°C)	0.005 7
		年平均降水量 C11 (mm)	0.040 6
	生物多样性 B5	浮游植物多样性指数 C12	0.016 4
		浮游动物多样性指数 C13	0.043 7
	生态质量 B6	湿地面积比例 C14	0.025 4
		海水养殖面积 C15 (平方公里)	0.022 8
		森林覆盖率 C16	0.001 4
人类活动潜力指标 A3	科技水平 B7	海洋科技课题数量 C18	0.057 2
		海洋科技人员比重 C19	0.056 0
	生活质量及教育水平 B8	恩格尔系数 C20	0.006 4
		在校生占全省人口比例 C21	0.011 3
	系统交流 B9	海洋货运周转量 C22 (亿吨/公里)	0.092 1
		海洋客运周转量 C23 (亿人/公里)	0.030 1

## 2. 2 指标权重确立

由于各评价指标在总体中所起的作用不同，所以要将指标权重考虑进去。本文主要采用变异系数法确立指标权重。变异系数法是直接利用各项指标所包含的信息，通过计算得到指标的权重，是一种客观赋权的方法。其具体计算方法是首先计算出各项指标的变异系数：

$$V_i = \sigma_i / \bar{x}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中  $V_i$  是第  $i$  项指标的变异系数，也称为标准差系数； $\sigma_i$  是第  $i$  项指标的标准差； $\bar{x}_i$  是第  $i$  项指标的平均数。再根据公式 (3) 计算各项指标的权重：

$$w_i = V_i / \sum_{i=1}^n V_i \quad (3)$$

## 2. 3 数据处理

为消除不同指标量纲和数量级差对于评价的影响，需要对各项评价指标的原始数据进行规范化处理。正指标和逆指标分别按公式(4)和(5)处理，式中  $X_{jmax}$  和  $X_{jmin}$  分别为指标  $X_j$  的最大值和最小值。

$$Z_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin}) \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$Z_{ij} = (X_{jmax} - X_{ij}) / (X_{jmax} - X_{jmin}) \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

### 3 实证检验及结果评价

将处理过的标准化数据代入基于生态系统健康的海洋生态承载力评价模型中，再将所得指数值对应到表 1 的评价标准中，结果见表 3 和图 2。

表 3 浙江省海洋生态承载力各指数测度值及对应的生态系统健康状态

年份	资源环境承载力		生态弹性力		人类活动潜力		海洋生态承载力	
	指数	健康状态	指数	健康状态	指数	健康状态	指数	健康状态
2004	0.153 1	亚健康	0.051 0	亚健康	0.027 2	不健康	0.163 7	亚健康
2005	0.100 6	亚健康	0.059 5	亚健康	0.035 7	不健康	0.122 2	不健康
2006	0.082 2	亚健康	0.053 4	亚健康	0.036 7	不健康	0.104 7	不健康
2007	0.087 9	亚健康	0.052 8	亚健康	0.048 8	不健康	0.113 6	不健康
2008	0.091 2	亚健康	0.089 7	亚健康	0.046 8	不健康	0.136 2	不健康
2009	0.102 3	亚健康	0.050 9	亚健康	0.075 5	亚健康	0.136 9	亚健康
2010	0.102 0	亚健康	0.057 8	亚健康	0.072 9	亚健康	0.137 5	亚健康
2011	0.123 0	亚健康	0.031 5	不健康	0.100 6	亚健康	0.162 0	亚健康
2012	0.136 9	亚健康	0.047 3	亚健康	0.112 4	亚健康	0.183 4	亚健康
2013	0.144 2	亚健康	0.057 9	亚健康	0.122 0	亚健康	0.197 6	亚健康

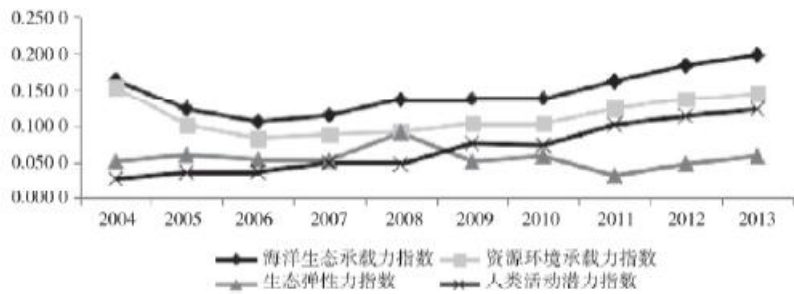


图 2 浙江省海洋生态承载力各指数变化图

如表 3 和图 2 所示，最近十年浙江省海洋生态承载力指数存在先迅速下降后缓慢上升的变化情况，2013 年较 2004 年高，所以从总体上来看处在上升的状态。2004 年到 2006 年，海洋生态承载力指数从 0.1637 下降到 0.1047，2006 年到 2013 年，海洋生态承载力指数从 0.1047 上升到 0.1976，其对应的健康状态整体上呈现出从亚健康降到不健康再过渡到亚健康的变化过程。从浙江省沿海地区水质变化过程可以直观反映这一变化情况，2004 年浙江省所处的东海较清洁的海水面积为 2.16 万 km<sup>2</sup>，2006 年下降到 2.09 万 km<sup>2</sup>。2004 年浙江省工业废水排放量为 50003 万吨，直排入海 3397 万吨，2006 年浙江省工业废水排放量激增为 199593 万吨，增长率高达 300%，其中直排入海 9136 万吨，增长率为 169%。2013 年东海第一、二类海水水质海域面积增长到

3. 78 万 km<sup>2</sup>, 浙江省工业废水排放量下降到 163674 万吨, 直排入海量下降到 7670 万吨。这些结果表明浙江省在发展海洋经济初期, 一方面对海洋过度开发利用, 另一方面不注重海洋环境的保护, 严重破坏了海洋生态系统的健康状态, 而随着人们生活水平的提高, 科学技术的不断完善, 人们在发展经济的同时更加关注生态环境的保护问题, 海洋生态环境得到改善。

对于这一变化情况的产生, 我们可以从海洋生态承载力的三个具体组成部分来分析。

资源环境承载力指数呈现出先下降后上升的变化情况。从 2004 年的 0.1531 下降到 2006 年的 0.0822, 再缓慢上升到 2013 年的 0.1442, 健康等级一直处于亚健康状态。表明浙江省在评价时间初期, 人类活动对于资源环境造成的负荷很大, 在评价时间中后期, 人类活动对资源环境造成的负荷在不断减少。资源利用方面, 海洋经济密度上涨了 367%, 资源消耗方面, 相比 2004 年, 2013 年浙江省万元 GDP 能耗和水耗分别下降了 46.2% 和 66.5%, 环境质量方面, 工业重复用水率和工业废弃物综合利用率分别上升了 28.78% 和 11.17%。究其原因, 一方面, 2004 年, 浙江省海洋生产总值为 1925.9 亿元, 2013 年上升到了 5257.9 亿元, 平均每年增速高达 17.3%, 其中一二三产业比重分别为 7%、43% 和 50%, 海洋产业结构不断趋于合理化, 从“一二三”的初级阶段迈向了“三二一”的高级阶段, 海洋第一产业比重的减少降低了海洋经济发展对海洋资源的依赖程度。另一方面, 人们对海洋环境保护的问题越来越重视, 资源消耗型的海洋产业有所减少, 以过度消耗资源来换取海洋经济发展的趋势得到一定的遏制。对于 2004 年资源环境承载力指数处于较高的水平, 笔者认为主要原因是在海洋经济发展初期, 由于海洋资源还并未充分开发, 海洋资源较为丰富, 资源环境对人类经济活动的支撑力较强, 从数据也可以看出, 2004 年, 浙江省人均海洋水产品产量、人均海域面积、人均海洋盐业产量和人均海洋矿业产量均处于较高的水平, 特别是海洋矿业, 这在很大程度上提高了资源环境对人类活动的支持力。而在随后的两年中, 由于资源的过度开发, 这些海洋资源的产量不断下降, 所以在 2004 年到 2006 年, 资源环境承载力指数呈现出下降的态势。所以说, 单纯依靠海洋资源和过度开发海洋资源这两种方式对于推进海洋经济的可持续发展都是不利的。

生态弹性力指数较为稳定, 基本处于 0.05 左右, 其对应的健康状态也基本处于亚健康水平。气候条件方面, 年平均气温和年平均降水量较为稳定, 波动性不大; 生物多样性方面, 浮游植物指数逐年升高, 浮游动物指数波动较大, 2011 和 2012 年偏低; 生态质量问题上, 一方面湿地面积、森林面积增加, 另一方面, 海水养殖面积逐年减少, 这都对生态质量的改善起到了促进作用, 通过计算我们可以看出, 2008 年和 2011 年生态弹性力指数出现了一个最大值和一个最小值, 2011 年浙江省海洋生态承载力健康情况甚至出现了不健康的情况, 笔者认为主要是因为海洋自然保护区建设对生态弹性力的影响导致的。2008 年, 为了迎接奥运会, 国家对于环境保护问题十分重视, 国家出台一系列政策加强对环境的保护工作, 当年, 浙江省新建海洋类型自然保护区 3 个, 合计达到 9 个, 海洋自然保护区面积比重增加到了 2.2%, 是近十年中的最大值。而相比较 2011 和 2012 年, 海洋类型自然保护区下降到 3 个, 海洋自然保护区面积也只占 0.68%, 其浮游动物多样性指数也是近十年的最低值。所以, 海洋自然保护区的建立对于地区海洋生态弹性力有着非常大的促进作用。

人类活动潜力指数稳步上升, 其对应的健康状况从不健康过渡到亚健康。科技水平方面, 海洋科技项目数量和海洋科技人员比重均在逐年提升; 生活质量方面, 居民恩格尔系数不断下降, 表明人们收入不断增长, 生活质量显著提高; 教育方面, 在校生占人口比重略微下降; 区域交流能力上, 海洋货运周转量提升明显, 从 2004 年的 1811.83 亿吨公里上升到 2013 年的 7009 亿吨公里, 而相比较下海洋客运周转量有些下滑。综合来看, 科技水平对于海洋生态环境的保护显得尤为重要。

## 4 启示与对策

基于生态系统健康对某一区域海洋生态承载力进行定量研究和评价不仅可以了解区域海洋生态状况, 而且可以根据其变化情况为保护海洋生态环境得出一些启示。通过分析我们可以看出, 浙江省海洋生态系统正处在一个亚健康的状态, 距离健康和非常健康还有一定的差距。在对浙江省海洋生态承载力的变化情况和结果分析的基础上, 今后我们在推进浙江省海洋生态环境保护和海洋经济可持续发展的过程中应该注意以下几个方面的问题。

第一, 合理利用海洋资源。浙江在发展海洋经济的过程中, 一方面不能过度开发海洋资源, 防止资源枯竭。浙江省虽然是海洋大省, 海洋资源丰富, 但有些资源仍然属于不可再生资源, 如滨海砂矿, 浙江省的人均矿业产量从2004年的1.35吨/人下降到了2013年的0.44吨/人, 下降幅度达三倍。另一方面, 不能单纯依赖某一类海洋资源, 要实现资源的多元化。在开发和利用不可再生的化石能源的同时, 也可以加大对风能、潮汐能等可再生清洁能源的利用, 同时, 沿海地区旅游资源的利用也能对海洋经济的可持续发展起到很好的推动作用, 除滨海旅游、海岛开发等传统旅游项目外, 也应加大对休闲渔业、生态渔业等新型旅游方式的投资开发力度。

第二, 完善海洋生态建设。从结果中我们可以看出, 生物多样性和湿地对于浙江省海洋生态弹性力的影响十分显著, 结合海洋生态建设中保护与修复两方面的内容, 今后浙江省在海洋生态建设方面应注意以下几个问题。首先在海洋生态保护方面, 要加强沿海防护林和海洋自然保护区建设, 保护海洋生物多样性。同时, 建立海洋生态文明建设示范区, 为探索海洋生态文明建设模式提供有益借鉴。其次在海洋生态修复方面, 对于受损岸滩, 可以通过人工补砂、植被固沙、退养还滩等手段修复; 对于受破坏的湿地, 可以依据国家“南红北柳”湿地修复工程计划种植红树林, 恢复湿地生态系统; 对于生态破坏严重的海岛, 可以通过制定海岛保护名录、实施物种登记、开展整治修复的过程进行修复。

第三, 加强海洋科研管理。从结果中我们可以看出, 科技水平对于海洋生态承载力中人类活动潜力的影响十分显著, 不仅体现在对现有污染的治理上, 还体现在对于海洋环境的监测与预警上。今后浙江省在海洋经济可持续发展的过程中一方面可以依托高校资源, 如沿海地区的浙江海洋大学、宁波大学等, 加大对海洋专业领域的人才培养和技术研究。另一方面在海洋管理上, 首先要在重点海湾、入海河流、排污口等地布设在线监测设备, 完善海洋环境动态监测体系; 其次, 实施污染物入海总量控制和海洋生态红线制度, 针对沿海企业实施海洋排污许可证制度; 最后, 完善相关法律, 加强海洋监督执法, 对工厂的污染状况进行严格审查, 对违法行为进行严厉查处, 情节严重的可以吊销排污许可证和营业执照, 杜绝乱排乱放的现象发生。

#### 参考文献:

- [1] 狄乾斌, 张洁, 吴佳璐. 基于生态系统健康的辽宁省海洋生态承载力评价[J]. 自然资源学报, 2014, 29(2): 256-264.
- [2] 韩增林, 狄乾斌, 刘锴. 海域承载力的理论与评价方法[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(1): 1-5.
- [3] 韩立民, 任新君. 海域承载力与海洋产业布局关系初探[J]. 太平洋学报, 2009(2): 80-84.
- [4] 苗丽娟, 王玉广, 张永华, 王权明. 海洋生态环境承载力评价指标体系研究[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(3): 75-77.
- [5] 狄乾斌, 王萌, 孟雪. 海洋产业结构与海域承载力的匹配关系探讨——以辽宁省为例[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(4): 14-18.
- [6] 孙才志, 于广华, 王泽宇, 等. 环渤海地区海域承载力测度与时空分异分析[J]. 地理科学, 2014, (5): 513-521.
- [7] RICHARD M SIBLY, TIMOTHY D Williams, Malcolm B Jones. How environmental stress affects density dependence and carrying capacity in a marine copepod[J]. Journal of Applied Ecology, 2000(37): 388-391.
- [8] SAMUEL SHEPHARD, DEIRDRE BROPHY, DAVID G REID. Can bottom trawling indirectly diminish carrying capacity in a marine ecosystem? [J]. Marine Biology, 2010 (157): 2375-2381.
- [9] 杨志峰, 隋欣. 基于生态系统健康的生态承载力评价[J]. 环境科学学报, 2005, 25(5): 586-594.

- 
- [10] 吴冠岑, 刘友兆. 基于生态健康的农地生态承载力评价 [J]. 中国人口. 资源与环境, 2007, 17(5) : 112-117.
- [11] 韩立民, 罗青霞. 海域环境承载力的评价指标体系及评价方法初探 [J]. 海洋环境科学, 2010, 29(3) : 446-450.
- [12] 王志文, 谢寿华. 浙江省海洋经济发展现状分析 [J]. 海洋经济, 2014, 4(3) : 29-37.