

刘旭, 邓永智, 蔡文博, 等. 基于三种方法评估填海工程对海洋生态系统服务功能损耗方法研究[J]. 生态科学, 2015, 34(4): 137-143.

Liu Xu, Deng Yongzhi, Cai Wenbo, et al. Evaluation technique of the loss of coastal ecosystem services caused by sea reclamation project with three methods[J]. Ecological Science, 2015, 34(4): 137-143.

基于三种方法评估填海工程对海洋生态系统服务功能损耗方法研究

刘旭¹, 邓永智², 蔡文博¹, 梁颖祺¹, 杨任屹¹, 田杰¹, 付敏¹

1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081
2. 厦门大学海洋与地球学院, 厦门 361005

【摘要】在分析填海工程对海洋环境影响的基础上, 结合《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T 28058-2011)综合构建了填海工程对海洋生态系统服务功能损耗评估指标体系。分别采用价值评估法、能值分析法和物种丰度经验公式法对生态损耗进行价值评估, 以福鼎市塔下新建填海工程为分析对象进行了实证评估, 生态系统服务价值总损失量分别为 672.0 万元·年⁻¹、809.2 万元·年⁻¹和 133.3 万元·年⁻¹。通过与国内相关研究成果进行比较, 分析三种评估方法的可行性和适用性, 以期在实际环境影响评价工作中将工程外部成本纳入项目经济损益分析, 为海岸带经济可持续发展提供技术支撑。

关键词: 海洋生态系统服务; 价值评估; 能值分析; 生物多样性; 填海工程

doi:10.14108/j.cnki.1008-8873.2015.04.022 中图分类号: 文献标识码:A 文章编号:1008-8873(2015)04-137-07

Evaluation technique of the loss of coastal ecosystem services caused by sea reclamation project with three methods

LIU Xu¹, DENG Yongzhi², CAI Wenbo¹, LIANG Yingqi¹, YANG Renyi¹, TIAN Jie¹, FU Min¹

1. National Marine Environmental Forecasting center, Beijing 100081, China
2. College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Fujian Province Xiamen 361005, China

Abstract: Based on the effects of marine environment caused by sea reclamation and *Technical Directives for Marine Ecological Capital Assessment* (GB/T 28058-2011), the indexes of the losses of coastal ecosystem services caused by sea reclamation were built. The lost value of sea reclamation was calculated with three methods including economic evaluation, energy analysis and biodiversity experiential formula which were applied in the new sea reclamation in Taxia Fuding Fujian Province separately, and the total ecosystem lost value was $672.0 \times 10^4 \text{ yuan} \cdot \text{a}^{-1}$, $809.2 \times 10^4 \text{ yuan} \cdot \text{a}^{-1}$, and $133.3 \times 10^4 \text{ yuan} \cdot \text{a}^{-1}$ correspondingly. Compared with other relevant researches, the methods are expected to apply in EIA economic evaluation in order to consider external cost and to apply in coastal economic sustainable development.

Key words: marine ecosystem services; evaluation; energy analysis; biodiversity; sea reclamation

1 前言

虽然填海工程可以解决沿海地区人多地少的矛盾, 但是也造成海岸带生态系统自然属性的永久

性改变^[1]。环境影响评价作为海洋工程环境监督管理的首要环节, 对于实现海洋资源可持续利用具有重要意义。然而, 目前生态损耗尚未纳入经济损益分析, 使得填海工程的项目成本分析缺乏环境负外

收稿日期: 2014-07-25; 修订日期: 2014-12-05

基金项目: 海洋渔业安全环境保障服务系统关键技术研究及示范应用(201205006)

作者简介: 刘旭(1986—), 女, 北京, 硕士研究生, 研究方向为海洋环境风险评估, E-mail: fairyjube@126.com

部成本,从而整体低估了项目的实际成本。近年来有关生态系统服务的研究成果呈指数递增^[2],但是主要集中在生态系统服务价值的存量研究,对驱动力下生态系统服务价值变化量的研究尚不多见^[3-6],尤其是对海洋生态系统价值量变化的研究更是凤毛麟角^[7-10]。能值分析法作为评估生态经济复合系统已经在城市生态系统^[11]、农业生态系统^[12-14]和生态工程^[15-18]等领域有了广泛的应用,但是对于海洋生态系统还有待探讨和分析。本研究着眼于填海工程对海洋生态系统服务功能损耗评估,以期为实际的填海工程环境影响评价项目成本估算提供技术支撑。

2 理论依据-海洋生态系统服务功能的内涵界定

根据《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T 28058-2011),将海洋生态系统服务定义为人类从海洋生态系统获得的效益,包括海洋供给服务、海洋调节服务、海洋文化服务和海洋支持服务。海洋生态系统服务价值定义为一定时期内海洋生态系统服务的货币化价值,包括海洋供给服务价值、海洋调节服务价值、海洋文化服务价值和海洋支持服务价值^[19]。

《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T 28058-2011)仅指出了海洋生态系统服务和海洋生态系统服务价值的定义,尚未对其内涵进行解释说明。本研究认为海洋生态系统是以人类为中心的。换句话说,海洋生态系统服务功能的享用者是人类,以福利经济学的价值标准判断海洋生态系统服务功能的有用性。因此,海洋生态系统服务仅包含海洋生态系统为人类提供的正效益,海洋灾害产生的负效益尚不纳入本研究范畴。

另外,海洋生态系统服务特指由生物组分自身

产生的和生物组分与其周围的非生物环境相互作用的过程中产生的产品和服务,仅仅依靠海洋物理和化学作用形成的服务功能尚未纳入本研究范畴。例如航运功能和排除生物作用的海洋-大气溶解平衡系统和热平衡等尚不纳入研究范畴。

3 评估模型

3.1 建立填海工程对海洋环境影响评价体系

依据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T 19485-2004)^[20],结合填海工程对生态环境影响的研究成果^[7-8]和实际工作经验,综合建立填海工程对海洋环境影响评价体系,参见表 1。

3.2 海洋生态系统服务功能的经济价值评估模型

根据《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T 28058-2011),将海洋生态系统服务划分为海洋供给服务、海洋调节服务、海洋文化服务和海洋支持服务四大类。海洋供给服务是指一定时期内海洋生态系统提供的物质性产品和产出,包括食品生产、原料生产、氧气生产和基因资源提供。海洋调节服务是指一定时期内海洋生态系统服务提供的调节人类生存环境质量的的服务,包括气候调节、废弃物处理、干扰调节和生物控制。海洋文化服务是指一定时期内海洋生态系统提供文化性产品的场所和材料,包括休闲娱乐、科研服务和文化用途。海洋支持服务是指保证海洋生态系统提供供给、调节和文化三项服务所必需的基础服务^[19]。

根据本研究界定的海洋生态系统服务功能内涵,参照《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T 28058-

表 1 填海工程对海洋环境评价影响评价体系

Tab. 1 Indexes of the coastal impact of sea reclamation

直接危害	潜在危害	程度	定量评价指标
原有生境破坏	生物多样性降低	■	生物多样性丰度和珍稀物种种类
	底栖动植物掩埋死亡	■	底栖生物密度
	食品产出下降(渔场外移)	□	经济品种产量
	育苗功能(潜在食品供应)丧失	□	鱼苗量
	CO ₂ -O ₂ 调节丧失	●	净初级生产力和海气交换通量
水动力交换	潮间带减小	■	潮间带面积
	海水水质变差	●	主要污染物种类和浓度
	海底淤积严重	■	海水泥沙含量和潮流速度
	海水中悬浮物增加	■	海水泥沙含量
社会问题	抵御台风能力减弱	□	岸线长度
	同一海域多个项目征填海	●	填海项目个数
	赔偿问题	●	海域使用赔偿金

注: □/○: 长期不利/短期不利影响; 黑/白: 较大/较小影响, 依据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T 19485-2004)。

2011)^[19], 结合填海工程对海洋环境影响的特点和数据的可获得性, 综合建立填海工程对海洋生态系统服务功能损耗评估体系, 参见表 2。依据《全国海域分等和海域使用金标准制定成果报告》^[21], 采用德尔菲打分法^[22]计算出填海工程对海洋生态系统服务功能的影响权重。采用市场价值法、替代成本法、意愿调查法等多种环境经济学评估技术对损耗特征量进行货币化。将各项生态系统服务损耗价值权重校正后, 估算填海工程的环境外部成本。其中, 一般评估海域多数为未知环境容量的海域, 不能直接通

过仲裁法进行评估^[19, 23]。本研究采用调查法, 测定浮游生物、大型藻类和底栖类生物 N、P 固定量^[24], 评估环境容量降低的损失, 再采用替代市场法估算填海工程对影响区域海域环境容量降低的价值损耗。

3.3 海洋生态系统服务功能能值分析评估模型

能值(Emergy)是由美国著名生态学家和系统理论学家 Odum 创立的科学名词。Odum 将能值定义为: 流动或储存的能量所包含另一种类别能量的数量, 称为该能量的能值。他还进一步对能值进行了解释: 产品或劳务形成过程直接或间接投入应用

表 2 填海工程对海洋生态系统服务功能损耗评估体系

Tab. 2 Indexes of the loss of coastal ecosystem services caused by sea reclamation

一级指标	二级指标	损害影响	影响程度	权重	定量评价指标 ^[21-22]	评估方法	结果/万元	实例研究计算依据
供给功能	食品供给	产量下降	□	0.1	捕捞海产品种类和数量	市场价值法	-	无捕捞作业
					养殖海产品种类和数量	市场价值法	670	人工养殖区总收入
	原材料供给	产量下降	□	0.1	碘产量	市场价值法	-	无交易记录
					甘露醇产量	市场价值法	-	
调节功能	气候调节	CO ₂ 吸收量降低	□	0.05	可产生特殊生产性原料产量	市场价值法	-	经调查浮游植物损失: 1.34×10 ¹³ 个; 初级生产力损失: 18.65tC·a ⁻¹ ; CO ₂ 减少量: 30.405tC·a ⁻¹ ; 瑞典碳税率: 945 元·tC ⁻¹ ^[22]
					浮游植物初级生产 CO ₂ 固定量	替代市场法	3.1	
	空气质量调节	O ₂ 吸收率降低	□	0.05	大型藻类 CO ₂ 固定量	替代市场法	-	经调查未发现大型藻类
					浮游生物初级生产 O ₂ 释放量	替代市场法	0.8	初级生产力损失: 18.65t·a ⁻¹ ; O ₂ 减少量: 22.19t·a ⁻¹ ; 工业制氧成本约: 400 元·t ⁻¹ ^[22]
	水质净化调节	海洋环境容量降低	●	0.2	浮游生物 N、P 固定量	替代市场法	-	经调查首要污染物为无机氮和活性磷酸盐, 各站点监测结果均超过第二类海水水质标准, 判定该区域在填海工程前污染物浓度已经超过环境容量。因此, 正效益没有通过水质指标体现出来, 不符合本研究海洋生态系统服务功能的内涵。
					大型藻类 N、P 固定量	替代市场法	-	
	干扰调节	抵御风暴潮能力降低	□	0.1	底栖类生物 N、P 固定量	替代市场法	-	经调查仅在 1962 年受到风暴潮侵袭。填海区域由自然滩涂改为人工养殖区后, 转变为易受风暴潮影响的敏感区域。干扰调节功能的正效益伴随着海域使用的变化而丧失, 不符合本研究海洋生态系统服务功能的内涵。
					岸线改变长度	替代市场法	-	
文化功能	科研教育	场所消失	□	0.1	风暴潮次数	替代市场法	-	以“福鼎市”和“海洋”为关键词在中国期刊全文数据库进行全文模糊搜索, 尚未搜索到对该海域的科学研究。
					科研成果数量	意愿调查法	-	
	精神文化	载体消失	□	0.1	海洋美学旅游收入	意愿调查法	-	填海之前该海域的使用功能主要为人工养殖, 已经丧失精神文化载体功能。
海洋文化旅游收入					意愿调查法	-		
支持功能	生物多样性	物种丰富度指数下降	●	0.2	生物多样性指数	意愿调查法	-	根据 MA 最新的研究成果, 支持服务功能的价值已经通过其他的服务功能体现出来。因此 MA 建议当已经计算供给、调节和文化功能时, 不再对支持功能进行评估, 以免造成重复计算 ^[6] 。
					珍稀物种	意愿调查法	-	

注: / : 长期不利/短期不利影响; 黑/白: 较大/较小影响; 权重系数引自《全国海域分等和海域使用金标准制定成果报告》^[21]; 影响程度参照《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T19485-2004)^[20]。

的一种有效能总量, 即其所具有的能值。由于任何能量都始于太阳能, 故以太阳能值为标准, 衡量其他类别的能量。因此在实际应用中, 能值被进一步定义为: 任何流动或储存的能量所包含的太阳能, 即为该能量的太阳能值, 单位为太阳能焦耳(solar emjoules, sej)^[25-26]。Odum 和其他各国研究人员基于大量的实践研究, 对自然界和人类社会主要能量类型的太阳能值转换率进行了计算^[27]。虽然不同生产水平下, 产品和服务的能值转换率有所差别, 但由于能值转换率计算的复杂性和不确定性, 实证分析中往往使用已经确定的能值转换率进行评估^[28-29]。

将能值分析法应用于填海工程对海洋生态系统服务功能损耗评估, 有助于从系统的角度了解海洋生态系统结构改变的损失量, 为科学管理海域使用提供科学依据。遵循 Odum 创立的能量系统语言规范和评估原则^[26], 结合表1和表2评价指标的一致性, 综合绘制填海工程对海洋生态系统服务的能量系统图, 参见图1。

由于填海工程对海洋生态系统服务功能的影响机制尚未清楚, 各类生态过程还难以量化, 将海洋生态系统内部要素之间的关系简化, 仅将海洋生态系统的能量输入和输出两个基本要素纳入评估范围。为了计算简便, 将食品供给、气候调节和空气质量调节以初级生产力为参数进行量化的服务功能统一为生物质能。反馈能值为填海工程的总投入价值。

3.4 海洋生态系统服务的生物多样性经验公式评估

随着生态系统服务功能概念的提出, 对生物多样性的研究也扩展到了生物多样性与生态系统服务功能的领域^[30-31]。Costanza等人(1998)建立了净初级生产力与总生态系统服务价值的关系。通过测量净初级生产力, 计算出相应的生态系统服务价值^[30]。Costanza等人(2007)进一步建立了净初级生产力与生物多样性之间的函数关系^[31]。需要指出的是, 浮游植物净初级生产力或生态系统服务功能中食品供给的

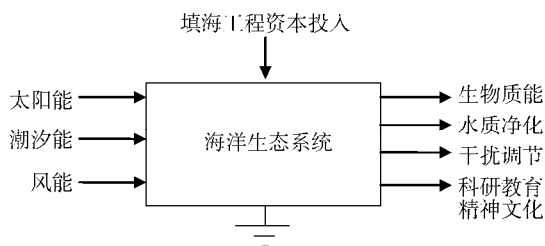


图1 填海工程对海洋生态系统服务功能损耗能量系统图
Fig. 1 Energy flow in the loss of coastal ecosystem services led by sea reclamation

净初级生产力不能代替净初级生产力进行直接计算。因为, 测量值很可能是由某一种或某几种生物产生, 可能减弱生物多样性与初级生产力之间的相关性。

采用逐步回归分析, 平均温度高于13.0 时, 两者为正相关, 满足公式^[31]:

$$NPP = -1011.8 + 9.62T + 333.3 \ln(P) + 184.3 \ln(BD) \quad (\text{公式1})$$

其中 NPP 为净初级生产力, 单位为 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$

T 为平均温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$;

P 为平均降雨量, 单位为 $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$;

BD 为生物多样性丰度, 单位为物种个数 $\cdot 10^{-4} \text{km}^{-2}$ 。

将 NPP 取自然对数带入公式^[30]:

$$\ln(V) = -12.057 + 2.599 \ln(NPP) \quad (\text{公式2})$$

其中 V 为年平均生态系统服务总价值量, 单位为 $\text{US} \cdot 10^{-4} \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

根据公式2, $\ln(V)$ 可计算出研究区域生态系统服务总价值。

4 实例研究

4.1 研究海域填海工程对海洋环境的影响

根据实地调查和《福鼎市塔下新区新建填海工程环境影响评价报告书》, 分析填海工程对生态系统服务功能的影响, 以期将工程的环境外部成本纳入经济损益分析, 为可持续海域管理提供技术借鉴。

福鼎市桐城塔下新区填海工程建设规模面积 47.12 hm^2 , 占用岸线 601.7 m , 新形成岸线 1404 m , 总投资 12685.1 万元施工区域主要为鱼塘村拦网人工养殖区, 东侧紧邻塔下对虾养殖场, 南侧紧邻塔下村滩涂养殖区, 三个受影响的养殖场年总收益为 670 万元。

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T19485-2004)^[20]对填埋海域进行资源概况调查, 包括气象与气候、海洋水文、自然灾害、旅游资源等方面; 对填埋海域现状进行调查, 包括海域冲淤、海域水质环境质量、海域生态环境质量等方面; 对填埋海域环境影响进行预测, 包括海域水动力影响、海域冲淤和泥沙流失影响、海域生态环境质量影响等方面。

采用数值模拟技术分析填埋海域水动力条件和泥沙流失的影响, 纳潮量最大减少值仅为总纳潮量的 0.25% , 对水动力影响较小。施工区 SPM 人为增量超过 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的范围约为 0.028 km^2 , 对填埋附近海域影响范围较小, 因此将评估范围设定为填埋区 47.12 hm^2 。

根据环境影响评价海域生态环境质量现状调查,

填埋海域共有浮游植物种类数为4 门49 种, 浮游动物种类及其幼虫为45 种, 底栖生物种类数为6 门34 种, 渔获种类为73 种, 仔稚鱼为2 种, 鱼卵为5 种。浮游植物损失为 1.34×10^{13} 个, 浮游动物损失为260.66 kg, 初级生产力损失 $51.09 \text{ kgC} \cdot \text{d}^{-1}$, 潮间带底栖生物损失共23.67 t, 潮下带底栖生物损失共11.92 t, 鱼卵损失 1.21×10^6 个, 仔鱼损失 1.91×10^4 个, 游泳动物损失共为1.54 kg。

4.2 研究海域生态系统服务功能损耗价值评估

基于调查和预测结果, 对研究海域海洋生态系统服务功能损耗的各项指标进行评估, 参见表2, 实际评估了填埋海域食品供给、气候调节和空气质量调节3项指标。根据权重比例, 将各项服务价值进行汇总, 总价值损失量约为672.0 万元, 填海总投资为12685.1 万元, 环境负外部成本占总成本为5.03%。

4.3 研究海域生态系统服务功能损耗能值分析评估

根据塔下新建填海工程对环境影响的分析结果, 仅将生物质能纳入能量输出, 图1中能量输出包括的水质净化、干扰调节、科研教育和精神文化根据内涵界定和工程影响(参见表2)不纳入评估体系。根据本项目能量流动, 编制能值分析表, 参见表3。

根据表1, 填海工程对海洋环境的影响, 太阳能和风能基本不受填海工程影响。填海后纳潮量减少0.25%, 则潮汐能的货币能值价值降低了0.01 万元。填海工程后, 资本投资为12685.1 万元。假设填海后, 输出能值为零, 即浮游生物、底栖生物和人工养殖生物全部消失

后生物质能为0, 并且不考虑其他新的能量输出途径。填海后能值分析参见表4。因此, 填海工程后能量输入的能值货币减少值为0.01 万元, 能量输出的能值货币减少值为809.17 万元。填海工程后, 系统能量输入的能值货币为3.47万元, 系统能量输出的能值货币为0 万元。

按照能值分析法综合指标定义, 计算能值投资率和净能值产出率。

$$\text{能值投资率} = \frac{\text{投资}}{\text{能值输入}} = \frac{12685.1}{3.47} = 3655.6$$

$$\text{净能值产出率} = \frac{\text{能值输出}}{\text{投资}} = \frac{809.17}{12685.1} = 0.064$$

塔下新建填海项目总投资为12685.1 万元, 环境外部成本主要为生物质能输出, 合计为809.2 万元, 总成本为13494.3 万元。环境负外部成本约占总成本6.0%。福建省平均能值投资率为0.21, 本研究系统的能值投资率大大高于平均水平。根据能值投资率的含义, 说明该项目可能超过了当地环境的承受能力。

4.4 研究海域生态系统服务损耗生物多样性经验公式评估

在对评估精度要求不高的情况下, 确定填海工程对环境影响的研究区域后, 收集研究区域内平均温度和降水量的资料, 经现状调查计算生物多样性丰度。将变量带入公式1, 计算净初级生产力, 再将计算结果带入公式2 计算海洋生态系统服务总价值, 并按照汇率算成人民币价值量。根据资源概况调查, 填海区域平均气温 18.5 , 平均年降水量为1688.0 mm。根据现状调查, 物种数为208 种。

表3 塔下填海新区填海前能值分析表

Tab. 3 Emergy analysis of Taxia before sea reclamation

项目	原始数据	能值转换率 ^[25-27]	太阳能值/sej	能值货币价值/万元
太阳能输入	$2.5 \times 10^{15} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$	1	2.5×10^{15}	0.2
风能输入	$5.09 \times 10^{10} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$	1496	7.61×10^{13}	0.01
潮汐能输入	$1.37 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$	30550	4.19×10^{16}	3.27
浮游生物输出	$5.7 \times 10^6 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$	8.1×10^7	4.62×10^{14}	0.04
底栖生物输出	$3.56 \times 10^7 \text{ g}$	5.0×10^{11}	1.78×10^{18}	139.13
人工养殖输出	670 万元	-	-	670

表4 塔下填海新区填海后能值分析表

Tab. 4 Emergy analysis of Taxia after sea reclamation

项目	原始数据	能值转换率 ^[25-27]	太阳能值/sej	能值货币价值/万元
太阳能输入	$2.5 \times 10^{15} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$	1	2.5×10^{15}	0.2
风能输入	$5.09 \times 10^{10} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$	1496	7.61×10^{13}	0.01
潮汐能输入	$1.37 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{a}^{-1}$	30550	4.19×10^{16}	3.26
投资	-	-	-	12685.1

带入公式1, NPP 为 $2626.73 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。将 NPP 带入公式2, 生态服务总价值为 $4491.76 \text{ \$US}\cdot 10^{-2}\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 按照人民币汇率6.3计算, 填海区域每年生态服务总价值损失量为133.3万元。

5 讨论与结论

5.1 讨论

5.1.1 三种评估方法的特点及适用性的对比

对生态系统服务的合理估价, 有助于我们发现资源利用方式的不足, 为管理决策提供定量化依据, 进而提高资源的利用效率实现资源的可持续利用。通过货币表现的生态系统服务价值, 有助于使决策者和普通民众直观地感受到保护生态系统服务功能的益处和服务功能受损后的损失。三种评估方法都需要建立在前期资料收集和现状调查的基础上, 根据评估的参数不同, 在准备阶段各有侧重点。三种方法的共同点是基于海洋环评, 根据数值模拟技术和现状调查首先确定评估范围。

经济价值评估法主要采用市场价值法、替代市场法、意愿调查法和成果参照法进行货币化评估, 将评估结果再根据损害影响权重进行汇总, 最终评估填海工程的环境负外部性成本。目前, 经济价值评估法在生态系统服务价值评估应用较为广泛, 国外对于不同生态系统服务价值给出了适宜的评价方法和指标体系, 一定程度上为我国生态系统服务价值评估提供了参考^[2]。目前, 我国颁布了《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T 28058-2011), 对海洋生态系统服务价值评估的指标和方法进行了规范。与其他两个方法相比较, 采用价值评估法更容易体现出各项生态系统服务价值的变化, 从而体现出驱动力下生态系统服务功能结构的变化。评估结果除了为决策者提供总价值变化外, 还可以提供生态系统结构变化, 为决策者提供更为细节的信息支撑。

能值分析法从海洋生态系统能量输入和生态系统服务能量输出的角度对损耗进行分析, 通过能值货币转换率将能值换算成经济价值, 计算填海工程对环境的负外部性成本。能值分析法用于生态系统服务价值的研究成果尚不多见, 本研究尝试采用能值分析法应用于生态系统服务价值损耗评估, 探索方法的可行性。能值分析法基于系统理论发展而成, 在描述复杂生态问题时具有一定的优势。在系统分析中, 通过把不同类别、不可比较的能量转化为能值, 可以间接衡量和比较生态系统中不同等级能量

的价值与贡献^[27]。能值分析为定量评价自然生态环境和人类社会环境提供了共同的标准, 可以用于综合评价生态经济系统的结构和功能, 为评估生态系统服务价值提供新的理论方法和评估技术, 从而为指导生态系统可持续发展提供科学依据^[32-33]。

生物多样性经验公式法通过温度、降水量和生物丰富度三个参数, 计算净初级生产力, 进而评估生态系统服务价值。经验公式法与价值评估法和能值分析法相比, 计算过程简单, 数据容易获得, 在精度不高的情况下, 可以作为快捷计算的方法。当然, 直接套用 Costanza 等人的研究成果, 只是该方法应用的探索和尝试。在下一步的研究工作中, 还需要针对海洋生态系统进行调查和分析, 建立专门针对海洋生态系统的生态系统服务价值计算经验公式, 为项目评估和决策提供更为有效的信息支撑。

5.1.2 三种评估方法的结果对比

采用经济价值评估法、能值分析法和生物多样性经验公式法进行了实例评估, 评估结果分别为 $672.0 \text{ 万元}\cdot\text{年}^{-1}$ 、 $809.2 \text{ 万元}\cdot\text{年}^{-1}$ 和 $133 \text{ 万元}\cdot\text{年}^{-1}$ 。将三种评估结果进行对比发现, 前两种方法评估结果较为相近。这可能与填海海域为人工养殖有关, 由于人工养殖已经造成生物多样性的减少, 采用生物多样性经验公式评估生态系统服务价值的损耗实际上评估的是生物多样性的第二次损失程度。

能值分析法的评估结果略高于经济价值评估法, 通过对比表3和表2中的定量指标, 表3专门对底栖生物的能值做了定量分析, 被掩埋的底栖生物的货币能值损失量约为两种方法的评估结果差值。采用经济价值评估法计算的环境负外部性成本构成中, 人工养殖成本占大部分。调节功能和文化功能的总损失价值不到5%。这可能与填海前该区域用海为人工养殖有关。能值分析法的评估结果也主要为由于人工养殖损失造成的环境负外部性成本。

5.1.3 与其他相关研究结果进行比较

检索到的相关研究成果一般采用经济价值评估法进行货币化, 因此本研究采用该方法的评估结果与其他研究成果进行比较。本研究采用经济价值评估填海环境成本平均为 $14.26 \text{ 万元}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。彭本荣等人对厦门西海域填海环境成本的评估结果为 $5.97 \text{ 万元}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[8], 李铁军对青岛前湾填海评估结果为 $3.01 \text{ 万元}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[9], 张慧和孙英兰对青岛前湾填海的评估结果为 $4.39 \text{ 万元}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[10]。

本研究评估的填海成本高于其他三项评估成果,

可能是填海前填埋区主要为人工养殖区, 食品供给价值造成了总服务价值偏高。对比生态系统服务价值损失量的结构, 本研究食品供给的损失量占总价值损失量的99.7%。彭本荣等人的研究成果, 食品供给损失量比重为39.4%, 旅游娱乐占第二大比重为15.7%^[8]; 李铁军的研究成果, 食品供给损失量比重为22.0%, 水质净化功能占第一大比重为30.2%^[9]; 张慧和孙英兰的研究成果, 食品供给损失量占比重为54.5%, 水质净化占第二大比重为33.0%^[10]。

5.2 结论

基于实地调查和相关研究成果梳理, 建立了填海工程对海洋生态系统服务功能损耗指标体系, 明确了各项生态系统服务功能的量化指标和受影响权重, 采用经济价值评估法、能值分析法和物种丰度经验公式法对填海工程的环境成本进行了实例评估, 积极探索了海洋环评对生态系统服务功能损耗重视不足的解决方法 and 应用价值。

下一步的研究过程中, 还需要进一步深入研究填海工程影响下, 与海洋生态系统结构和生态功能密切相关的动态变化过程, 深入探讨人类驱动下海洋生态变化的内在复杂性, 才有可能建立科学合理的填海工程对海洋生态系统服务功能损耗评估体系和评估方法。另外, 如何将海洋生态系统服务价值的研究成果应用于海岸带管理, 体现其应用价值也是亟需解决的问题之一。

参考文献

- [1] 张明亮. 海洋开发新思维[M]. 北京: 海洋出版社, 2011: 16-31.
- [2] 刘旭, 赵桂慎, 邓永智, 等. 区域生态系统服务价值评估方法与 GIS 表达[J]. 生态经济, 2012, 253(5): 381-385.
- [3] COSTANZA R, DARGE R, DEGROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387 (6630): 253-260.
- [4] DAILY G C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997: 78-112.
- [5] DE GROOT R, WILSON M A, BOUMANS R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological Economics, 2002, 41(3): 393-408.
- [6] MILLENNIUM E A. Millennium ecosystem assessment: Biodiversity synthesis report[M]. Washington D C: World Resources Institute, 2005: 1-28.
- [7] 孙志霞. 填海工程海洋环境影响评价实例研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 3-10.
- [8] 彭本荣, 洪华生, 陈伟琪, 等. 填海造地生态损害评估: 理论、方法及应用研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 716-726.
- [9] 李铁军. 海洋生态系统服务功能价值评估研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007: 10-60.
- [10] 张慧, 孙英兰. 青岛前湾填海造地海洋生态系统服务功能价值损失的估算[J]. 海洋湖沼通报, 2009, (3): 34-38.
- [11] 隋春花, 蓝盛芳. 城市生态系统能值分析(ema)的原理与步骤[J]. 重庆环境科学, 1999, 21(2): 13-15.
- [12] 刘新茂, 蓝盛芳, 陈飞鹏. 广东省种植业系统能值分析[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(4): 111-115.
- [13] 严茂超, 李海涛, 程鸿, 等. 中国农林牧渔业主要产品的能值分析与评估[J]. 北京林业大学学报, 2001, 21(6): 66-69.
- [14] 沈善瑞, 陆宏芳, 蓝盛芳, 等. 三水市农业生态系统经济能值投入产出分析[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 612-615.
- [15] 张晟途, 钦佩, 万树文. 从能值效益角度研究互花米草生态工程资源配置[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 1045-1049.
- [16] 刘兆普, 邓力群, 刘友兆, 等. 海涂人工湿地不同利用方式能值特征与生态效应[J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(4): 51-55.
- [17] 李加林, 许继琴, 张殿发, 等. 杭州湾南岸互花米草盐沼生态系统服务价值评估[J]. 地域研究与开发, 2005, 24(5): 58-62.
- [18] 孙东林, 刘圣, 姚成, 等. 用能值分析理论修改生物承载力的计算方法—以苏北互花米草生态系统为例[J]. 南京大学学报, 2007, 43(5): 501-508.
- [19] GB/T 28058-2011, 海洋生态资本评估技术导则[S].
- [20] GB/T 19485-2004, 海洋工程环境影响评价技术导则[S].
- [21] 国家海洋局. 全国海域分等和海域使用金标准制定成果报告[R]. 北京: 国家海洋局, 2007: 1-13.
- [22] 王其翔. 黄海海洋生态系统服务评估[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 7-15.
- [23] 陈尚, 张朝晖, 马艳, 等. 我国海洋生态系统服务功能及其价值评估研究计划[J]. 地球科学进展, 2006, 21: (11): 1127-1133.
- [24] 刘旭, 邓永智. 近岸海域生态系统服务功能监测的指标体系研究[J]. 海洋环境科学, 2011, 05: 719-723.
- [25] ODUM H T. Concepts and methods of ecological engineering[J]. Ecological Engineering, 2003, 20(5): 339-361.
- [26] ODUM H T. The prosperous way down[J]. Energy, 2006, 31(1): 21-32.
- [27] 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 129-131.
- [28] BROWN M T, BURANAKARN V. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2003, 38(1): 1-22.
- [29] BROWN M T, ODUM H T, JORGENSEN S E. Energy hierarchy and transformity in the universe[J]. Ecological Modelling, 2004, 178(1-2): 17-28.
- [30] COSTANZA R, RUTH M. Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus[J]. Environmental Management, 1998, 22(2): 183-195.
- [31] COSTANZA R, FISHER B, MULDER K, et al. Biodiversity and ecosystem services: A multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production[J]. Ecological Economics, 2007, 61(2-3): 478-491.
- [32] TON S, ODUM H T, DELFINO J J. Ecological economic evaluation of wetland management alternatives[J]. Ecological Engineering, 1998, 11(1-4): 291-302.
- [33] PENG J, WANG Y, WU J, et al. Evaluation for regional ecosystem health: Methodology and research progress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4877-4885.