

DOI: 10.5846/stxb201402250320

饶欢欢, 彭本荣, 刘岩, 郑苗壮. 海洋工程生态损害评估与补偿——以厦门杏林跨海大桥为例. 生态学报, 2015, 35(16): 5467-5476.

Rao H H, Peng B R, Liu Y, Zheng M Z. Ecological damage assessment and compensation of marine engineering: case study of Xinglin sea-crossing bridge, Xiamen. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(16): 5467-5476.

海洋工程生态损害评估与补偿 ——以厦门杏林跨海大桥为例

饶欢欢¹, 彭本荣^{1,*}, 刘岩², 郑苗壮²

¹ 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361005

² 国家海洋局海洋发展战略研究所, 北京 100860

摘要: 随着海岸带地区经济的发展、人口的增加和城市化程度的加快, 日益增多的各类海洋工程已经或者正在损害海洋与海岸带生态系统为人类提供各种产品和服务的能力, 严重威胁到人类健康和海洋经济的可持续发展。实施海洋生态损害补偿制度, 即让生态损害责任方承担生态损害的全部成本, 是解决海洋生态损害问题的有效途径之一。建立了海洋工程生态损害评估框架和生态损害补偿标准估算模型, 并成功运用于厦门杏林跨海大桥的案例研究。结果表明, 在 2% 的贴现率下, 杏林大桥生态补偿标准为 1739 万元, 远高于政府实际征收的补偿金额 600 万元。该评估框架信息需求小, 成本低且简单易行, 在小规模海洋工程的生态损害评估与补偿方面有良好的应用前景。

关键词: 海洋工程; 生态补偿; 损害评估; 杏林大桥

Ecological damage assessment and compensation of marine engineering: case study of Xinglin sea-crossing bridge, Xiamen

RAO Huanhuan¹, PENG Benrong^{1,*}, LIU Yan², ZHENG Miaozhuang²

¹ College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361005, China

² Chinese Institute for Marine Affairs, State Oceanic Administration, Beijing 100860, China

Abstract: With fast economic growth, population increase, and urbanization in coastal zones, an increasing number of marine engineering projects have diminished or are diminishing the capacity of ocean and coastal ecosystems to provide goods and services for mankind, threatening the health of local populations and the sustainable development of marine economies. To prevent marine ecological damage and to ensure sustainable development in coastal regions, market-based incentives, such as marine ecological damage compensation (MEDC), have been introduced due to their high efficiency and flexibility. The basic premise of this approach is to make the responsible parties pay the full costs associated with the ocean space development activities, i.e., the ocean users should pay the private costs as well as the cost of marine ecological damage, so that excessive development activities can be curbed. While there are many studies about the ecological damage and compensation of spills of oil or other hazardous substances, coastal reclamation or wetland drainage, there have been few attempts in the academic community to research the ecological damage of marine engineering such as the construction of a sea-crossing bridge and marine culture. In practice, marine engineering gets approval from the relevant government agencies, and pays fees for the use of sea areas, which may make them ignore ecological damage compensation. However, these damages are typically long lasting and have considerable cumulative effects on marine habitats and

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项项目“海洋工程和海上溢油生态补偿/赔偿关键技术研究示范”(#201105006)

收稿日期: 2014-02-25; **网络出版日期:** 2014-12-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: brpeng@xmu.edu.cn

environment. Thus, the development of a framework for ecological damage assessment caused by marine engineering is urgently needed, to ensure the marine ecosystems been compensated.

This paper presents a framework for ecological damage assessment and a model for the development of a MEDC standard. The value of ecosystem services in the affected sea area and the severity of damage to various ecosystem services in various sea area use patterns related to the marine engineering are systematically assembled in the established model. The established framework and model are employed in the Xinglin sea-crossing bridge, Xiamen. Results show that the ecological damage and therefore the ecological damage compensation of Xinglin sea-crossing bridge is 17.39 million yuan with the discount rate 2%. The amount of ecological damage is 12.76 million yuan even with a high discount rate, 4%, which is far more than the amount of compensation, 6 million yuan, which was actually imposed by local government. Xiamen municipality needs to re-examine its compensation standard to reflect the real damage of marine engineering and to ensure to collect enough money to restore the damaged ecosystems.

Key Words: marine engineering; ecological compensation; damage assessment; Xinling sea-crossing bridge

海洋与海岸带生态系统是人类赖以生存和发展的基础。它不仅为人类提供自然资源,如渔产品、原材料以及生产和生活空间等,还为人类提供了多种多样的服务,如调节气候、接纳和净化污染物、供人类休闲娱乐等。海岸带地区由于高的生物生产力和便利的交通条件,已成为人类活动的中心^[1]。世界上半以上的人口、生产和消费活动都集中在面积不到 10% 的海岸带地区^[2]。然而,随着海岸带地区社会经济的发展和人口的增加,人类开发利用海洋的各类海洋工程,如港口航运、围填海、大型海水养殖场、人工岛、跨海桥梁、滨海电厂、海水淡化等已经或正在损害海洋与海岸带生态系统为人类提供各种产品和服务的能力,严重威胁到人类健康和海洋经济的可持续发展。解决海洋生态损害问题的办法之一是将损害生态系统的外部性行为内部化,让生态损害的责任方承担生态损害的全部成本,即实施海洋生态损害补偿制度,用经济的手段来调节人们利用海洋生态系统的行为。

海洋生态损害评估是实施海洋生态损害补偿制度的基础和前提。目前国内外学术界关于海洋生态损害评估及生态损害补偿的研究较多,但大都集中在溢油或危险化学品泄漏的生态损害评估^[3-11]。关于海洋工程生态损害评估的研究,主要集中在围填海^[12-17],较少涉及跨海桥梁、大型海水养殖场、港口与航运等海洋工程。在实践中,海洋工程项目基本上都履行了法定审批程序,并缴纳海域使用金,获得行政部门的许可。而我国目前的海域使用金标准偏低,不仅没有包括生态损害补偿金额,甚至低于海洋空间资源的价值^[16]。理论研究和政策的差距往往导致海洋工程带来的生态损害被忽略,而这些损害日积月累,将给海洋栖息地及环境带来不容忽视的影响。因此,有必要建立海洋工程生态损害的评估方法,在此基础上制定海洋工程生态损害补偿标准,利用经济的杠杆调整海洋开发利用行为,并为海洋资源与生态系统的修复筹措资金。

1 方法与模型

目前学术界建立的关于海洋生态损害的评估方法可以分为两大类^[18]:一是基于经济价值的评估,即评估受损海洋生态系统服务的货币价值;二是基于受损资源修复成本的评估,即评估受损海洋资源及生态系统修复到基线状态的成本^[19-20]。以上方法都涉及到通过现场调查、实验室研究和模型模拟来建立人类活动与海洋生态损害的因果关系、量化受损的生态系统及其服务,进而评估受损生态系统的服务价值和修复成本。这需要大量的、长时间的观察数据,同时实验室试验和模型模拟需要强而有力的技术支撑。另一方面,上述两类方法主要适用于事后评估。而海洋工程生态损害评估是一种事前评估,无法通过现场观察来评估受损生态系统及其服务,也很难通过模型准确模拟海洋工程损害的生态系统及其服务,特别是对于小规模海洋工程更是如此。同时,若等工程完成后再进行基于修复的评估,耗时长而且成本高,不利于迅速获得修复受损海洋生态所需要的资金。鉴于此,海洋工程生态损害评估必须寻找易操作、成本低的新途径。

1.1 基本框架和程序

本文建立生态损害评估方法的基本思路是首先识别、评估工程影响海域生态系统服务的价值,然后评估海洋工程各种用海方式对受影响海域各种生态系统服务的损害程度,在此基础上评估海洋工程生态损害及补偿标准。具体的评估框架如图 1 所示,主要包括以下 5 个步骤:

1) 工程对海域的影响分析 由于不同海域包括的生态系统类型不同,而且不同用海方式对各种海洋生态系统及其服务的损害程度也不一样。因此,生态损害评估首先必须通过工程分析,评估海洋工程所影响的海域的位置、范围、面积以及识别海洋工程的用海方式;

2) 受影响海域生态系统及其服务识别 为评估生态损害的货币价值,必须通过现场调查,识别受影响海域包括的海洋生态系统及其服务;

3) 生态系统服务价值评估 利用环境与自然经济学的理论和方法,评估受影响海域的海洋生态系统服务的经济价值;

4) 生态系统服务的损害程度评估 海洋工程涉及到多种海域使用方式,而不同的海域使用方式对生态系统服务的损害程度不同。海域使用方式对海洋生态系统服务的损害程度可以通过模型和现场调查得到,而现场调查需工程完成后才能进行,且耗时长、成本高;模型模拟则需要较高的技术支撑,得到结果也不一定准确。本文采用快速且成本低的专家调查法来评估各种用海方式对生态系统服务的损害程度。

5) 海洋工程生态损害补偿标准估算 利用以上 4 个步骤得到的结果,估算海洋海洋工程生态损害补偿标准。

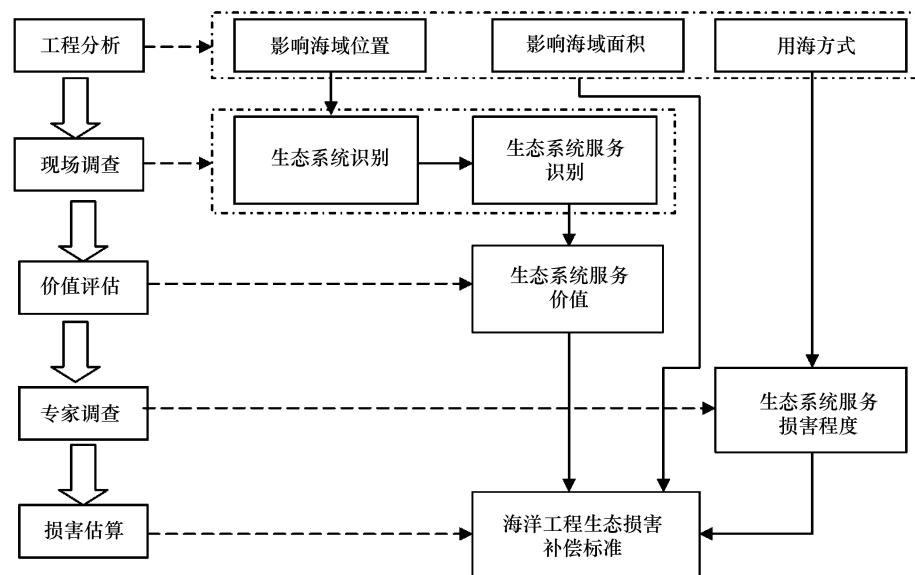


图 1 海洋工程生态损害评估基本程序

Fig.1 The framework of ecological damage assessment for marine engineering

1.2 估算模型

海洋工程涉及的不同用海方式其用海时间也不同,如填海造地属于永久性用海,透水或非透水构筑物用海时间为 50a,而临时用海只有几个月到几年。因此,必须分别计算不同用海方式的生态损害价值。在得到海洋工程各用海方式影响的海域面积、受影响的海域其单位面积的生态系统服务价值、各用海方式对各种生态系统服务造成的损害程度后,各用海方式生态损害的货币价值(即生态损害补偿标准)可用以下模型估算:

$$ED_k = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J v_{ij} d_{kj} S_{ik} \quad (1)$$

式中, i ($=1, 2, 3, \dots, I$) 为海洋工程影响的海域的代码; j ($=1, 2, 3, \dots, J$) 为受影响海域的生态系统服务类型

的代码; k ($=1, 2, 3, \dots, K$) 为海洋工程不同用海方式的代码; v_{ij} 为单位面积 i 海域第 j 种生态系统服务的价值; d_{kj} 为 k 用海方式对第 j 种生态系统服务造成的损害程度; S_{ik} 为 i 海域受 k 用海方式影响的面积; ED_k 海洋工程 k 用海方式造成的生态损害的价值。

模型(1)估算得到的是 k 用海方式的年生态损害补偿标准,而在管理实践中,海洋工程生态损害补偿金一般是一次性征收。通过年金公式可将年征收标准转化为一次性征收标准,计算模型如下:

$$ED^{LS} = \sum_{k=1}^K \frac{(1+r)^{n_k}-1}{(1+r)^{n_k}r} ED_k \quad (2)$$

式中, ED^{LS} 为一次性征收的海洋工程各种用海方式生态损害补偿的总金额, r 为社会贴现率, n_k 为 k 种用海方式的用海年限。

实际操作中,海洋工程影响的海域、受影响海域生态系统及其服务的识别比较容易,海洋生态系统服务价值的评估方法也较成熟,而且借助于海洋生态、海洋工程、海洋环境、海洋经济、海洋管理等多领域的专家评判,能够比较准确反映各种用海方式对不同海洋生态系统服务的损害程度。因此,本文建立的方法避开了现场调查、模型模拟量化生态系统及其服务损害的困难,并且具有速度快、成本低、易操作的优势。

2 案例研究

厦门位于福建省东南部,中国台湾海峡西岸。陆域面积 1565 km²,海域面积 390 km²。自 1980 年建立经济特区以来,厦门人口从 1980 年不到 100 万人增加到 2012 年的 367 万人。为缓解日益增加的交通压力,厦门市先后建立了厦门大桥、海沧大桥、杏林大桥、集美大桥、同安大桥、新阳大桥和厦漳大桥等七座跨海大桥。高密度的跨海桥梁的建设在促进厦门社会经济发展、改善交通条件的同时,也对厦门赖以生存和发展的海洋与海岸带生态系统造成了损害。评估这些跨海桥梁的生态损害,让责任方进行生态损害补偿和生态修复对厦门海岸带的可持续发展具有重要的意义。

论文选择杏林跨海大桥为研究对象,利用以上建立的框架和模型评估该大桥的生态损害。该大桥是厦门最长的跨海大桥,为公路桥与铁路桥平层合建的公铁大桥。杏林大桥经过的海域位于国家级中华白海豚自然保护区内,其建设不仅影响自然保护区,还对红树林和滩涂生态系统造成破坏。

2.1 影响海域分析

杏林大桥经过的海域主要为厦门西海域。根据杏林大桥影响海域的关键生境、资源和自然特点,将大桥影响的海域细分为高崎海岸带、高浦海岸带和大桥经过的西海域其他水域(图 2)。

(1) 用海方式

杏林大桥工程包括建设期和营运期两个阶段。国家海洋局颁布的《海域使用分类体系》将海域使用方式分为填海造地、构筑物、围海、开放式和其它 5 大类 20 小类^[21]。根据这一分类体系,杏林大桥建设期的用海为其他开放式用海中的临时施工用海,在营运期的用海方式为跨海桥梁。

(2) 影响海域面积

杏林大桥全长 7.48 km,其中主桥长 4.151 km,跨海桥段长 4900 m。公路桥面宽度为 32 m,铁路桥面宽度为 11.8 m,公路和铁路之间距离为 5.2 m,合计宽度为 49 m^[22],加上桥的垂直投影线两侧各延伸 10 m,共计 69 m。因此,按照目前审批的用海范围来确定杏林大桥影响的海域面积(表 1)。

杏林大桥影响的高崎海岸带和高浦海岸带向海延伸的宽度分别为 850 m 和 400 m,由此计算得到杏林大桥影响各海域的面积。大桥建设期影响海域面积比营运期影响海域面积更大,由于施工影响海域面积无法准确估算,本论文按照营运期影响海域面积的 1.1 倍计算(表 1)。

2.2 受影响海域生态系统及其服务识别

彭本荣和洪华生^[23]综合利用 CSE 和 LOICZ 分类学体系建立了海洋与海岸带生态系统及其提供的各种生态系统服务的识别和分类体系。根据这一识别和分类体系,结合现场调查,杏林大桥影响的各海域的生态

系统及其服务见表 2。从表 2 可看出,杏林大桥影响的海洋生态系统主要包括红树林、泥滩和近岸水体,影响的海洋生态系统服务主要包括气候调节和维持空气质量、防洪、防潮、稳定岸线、养分调节、污染处理与控制、繁殖与栖息地、渔业资源、生物多样性维护、休闲娱乐服务、景观服务、科学研究和教育服务等 10 大类。

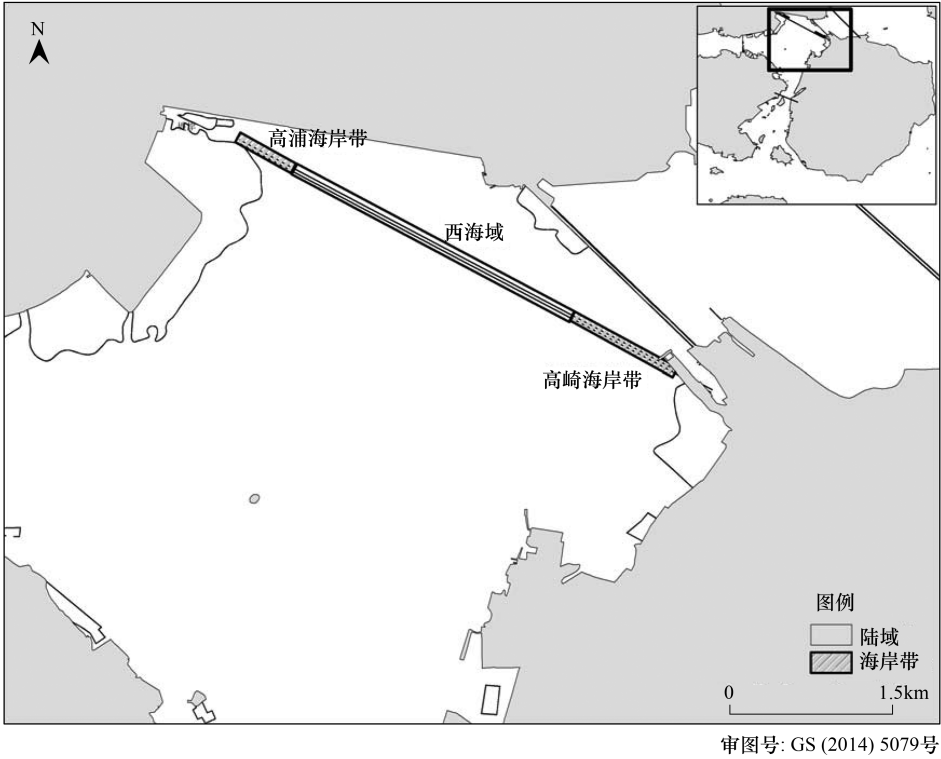


图 2 杏林大桥影响海域

Fig.2 The affected sea area by the construction of Xinglin sea-crossing bridge

表 1 影响海域面积

Table 1 The area of affected sea area

影响海域 Affected sea area	营运期 Operation period			建设期 Construction period
	长度 Length/m	宽度 Width/m	影响的面积 Affected area/m ²	影响的面积 Affected area/m ²
高崎海岸带 Gaoqi coastal zone	850	69	58650	64515
高浦海岸带 Gaopu coastal zone	400	69	27600	30360
西海域其他水域 Others	3650	69	251850	277035
合计 Total	4900		338100	371910

表 2 杏林大桥影响海域海洋生态系统及其服务

Table 2 The affected marine ecosystems and ecosystem services caused by Xinglin sea-crossing bridge

	影响海域 Affected sea area		
	高崎海岸带 Gaoqi coastal zone	高浦海岸带 Gaopu coastal zone	西海域其他水域 Others
生态系统识别 Identification of ecosystems			
泥滩、红树林 Mudflat and mangrove	泥滩、红树林 Mudflat and mangrove	近岸水体 Coastal water	
生态系统服务识别 Identification of ecosystem services			
气候调节/维持空气质量 Climate regulation and air quality maintenance	•	•	•

续表

	影响海域 Affected sea area		
	高崎海岸带 Gaoqi coastal zone	高浦海岸带 Gaopu coastal zone	西海域其他水域 Others
防洪/稳定岸线 Flood control and shoreline protection	•	•	•
养分调节 Nutrient regulation	•	•	•
污染处理与控制 Waste treatment	•	•	•
生态控制/繁殖与栖息地 Nursery/habitats	•	•	•
渔业资源 Fishery	•	•	•
生物多样性 Biodiversity	•	•	•
休闲娱乐 Recreation	•	•	•
景观服务 Esthetic value	•	•	•
科学研究和教育 Scientific research and education	•	•	•

• 代表生态系统服务受到影响

2.3 受影响海域的生态系统服务价值评估

根据数据可得性和各种生态系统服务的特点,学术界已经研究出评估不同的生态系统服务价值的方法和模型(表3)。利用表3建立的各种生态系统服务价值评估模型,并收集研究区域的相关数据,对杏林大桥影响的各海域的生态系统服务价值进行评估。

数据来源主要包括:现有的研究文献、政府公报、统计年鉴、未出版的研究报告以及实地考察,具体数据及其来源见表4最后一列。参考彭本荣和洪华生关于海洋生态系统服务价值详细评估过程^[23],为避免重复,论文未给出详细评估过程。受杏林大桥影响的各海域其生态系统服务价值的评估结果列于表4。

表3 海洋生态系统服务经济价值评估方法与模型
Table 3 The approach and models of evaluating the marine ecosystem services

生态系统服务 Ecosystem services	适用评估方法 Applied valuation method	模型 Model	参数解释 Parameters explanation
气候调节和维持空气质量服务 Climate regulation and air quality maintenance	重置成本法	$V_{ar} = (1.73C_{CO_2} + 1.19C_{O_2})X \times 10^{-6}$	V_{ar} 为单位面积海域每年所提供的气候调节和维持空气质量服务的经济价值(元 $m^{-2}a^{-1}$); C_{CO_2} 为固定 CO_2 的成本(元/t); C_{O_2} 为生产 O_2 的成本(元/t); X 为单位面积近岸海域初级生产力($tC\ m^{-2}\ a^{-1}$)
防洪防潮稳定岸线服务 Flood control and shoreline protection	避免成本法	$V_{dr} = B_h/S_e$	V_{dr} 为稳定岸线、洪水防护服务的价值(元 $m^{-2}a^{-1}$); B_h 为由于珊瑚礁、海草床或红树林提供的洪水控制而避免的财产损失(元/a); S_e 为所在海域红树林、珊瑚礁或海草床的面积(m^2)
养分调节服务 Nutrient regulation	替代成本法	$V_{nr} = \frac{QC_n}{S}$	V_{nr} 为海域养分调节服务的价值(元 $m^{-2}a^{-1}$); Q 是海域所接纳的含N、P污水量(m^3/a); C_n 是单位体积污水中N、P的去除成本(元/ m^3); S 为海域面积(m^2)
污染处理与控制服务 Waste treatment	替代成本法	$V_{wt} = H \sum_{i=1}^{i=n} M_i C_i$	V_{wt} 为海域污染处理与控制服务的价值(元 $m^{-2}a^{-1}$); H 为海域的平均水深(m); M_i 为第 <i>i</i> 种污染物每年的环境容量($g\ m^{-3}\ a^{-1}$); C_i 为第 <i>i</i> 种污染物的单位处理成本(元/g); n 为海域所处理的污染物种类数
繁殖与栖息地服务 Nursery/habitats	市场价值法	$V_{nh} = \frac{XE\sigma}{\delta} P_s \rho_s$	V_{nh} 为海域繁殖与栖息地服务的价值(元 $m^{-2}a^{-1}$); X 为单位面积近岸海域初级生产力($kgC\ m^{-2}\ a^{-1}$); E 为转化效率,即初级生产力转化为软体动物的效率; σ 为贝类重量与软体组织重量的比; δ 为贝类产品混合含碳率(%); P_s 为贝类产品平均市场价格(元/kg); ρ_s 为贝类产品销售利润率(%)
渔业资源价值 Fishery	市场价值法	$V_{mf} = \frac{B_{mf} \cdot \rho_{mf}}{S}$	V_{mf} 为海域渔业资源的价值(元 $m^{-2}a^{-1}$); B_{mf} 为海域海洋捕捞的收益(元/a); ρ_{mf} 为海洋捕捞的平均利润率(%); S 为海域面积(m^2)

续表			
生态系统服务 Ecosystem services	适用评估方法 Applied valuation method	模型 Model	参数解释 Parameters explanation
生物多样性服务 Biodiversity	或然价值法	$v_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=2}^n a_{ij}^2} \times \frac{TV_j}{TS}$ $v_d = \sum_{j=1} v_{ij} \quad (1)$ $v_d = \sum_{j=1} v_{ij} \quad (2)$	V_{ij} 为 <i>i</i> 海区 <i>j</i> 物种单位面积的生物多样性价值(元 $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$); $a_{ij}(i=1,2,3,\cdots,n)$ 为 <i>i</i> 海区对保护物种 <i>j</i> 的贡献率(%); TV_j 为海洋保护区保护的濒危物种 <i>j</i> 的总价值(元/a); TS_j 为对濒危物种有贡献的海区总面积(m^2); V_d 为海域生物多样性服务的价值(元 $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$)
休闲娱乐、景观服务 Recreation and esthetic value	旅行费用法/支付意愿法	$v_{re} = \frac{TV_{re}}{S}$	V_{re} 为海域休闲娱乐、景观服务的价值(元 $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$); TV_{re} 是通过旅行费用法或支付意愿法调查的海域休闲娱乐、景观服务的总价值(元/a); S 为海域面积(m^2)
科学研究和教育服务 Scientific research and education	收益转移法	$V_{ed} = V_{edr} \cdot \alpha$	V_{ed} 为海域科学研究和教育服务的价值(元 $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$); V_{edr} 是可参照的单位面积海域科学研究和教育服务的价值; α 为区域调整系数,通过地区 GDP、人均可支配收入或教育程度等进行调整

表 4 杏林大桥影响海域生态系统服务的价值/(元 $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$)

Table 4 The value of marine ecosystem services in affected sea area caused by Xinglin sea-crossing bridge

生态系统服务 Ecosystem services	高崎海岸带 Gaoqi coastal zone	高浦海岸带 Gaopu coastal zone	西海域其他水域 Others	主要数据及来源 Data and sources
气候调节/维持空气质量 Climate regulation and air quality maintenance	0.28	0.28	0.06	初级生产力 ^[24-27] ;企业调查得到的制 O_2 成本; CO_2 的成本 ^[28-29]
防洪/稳定岸线 Flood control and shoreline protection	1.04	1.04	0	减灾收益 ^[30] 、物价指数 ^[31]
养分调节 Nutrient regulation	1.37	1.37	1.37	营养盐处理量 ^[32-33] 、处理成本 ^[34]
污染处理与控制 Waste treatment	0.6	0.6	0.6	废物及水环境容量 ^[35-36] 、处理成本 ^[37]
繁殖与栖息地 Nursery/habitats	2.01	2.01	1.48	初级生产力 ^[25] 、转化效率 ^[38-39] 、销售价格与销售利润率 ^[16]
渔业资源 Fishery	0.16	0.16	0.16	渔获量、销售收入、成本、面积 ^[40]
生物多样性服务 Biodiversity	2.07	2.07	2.07	总价值、贡献率、面积 ^[34]
休闲娱乐 Recreation	0.43	0.43	0.43	旅游及娱乐价值、面积 ^[41-42]
景观服务 Esthetic value	0.91	0.91	0.91	景观价值、面积 ^[43]
科学研究和教育 Scientific research and education	0.05	0.05	0.05	科学研究和教育的价值 ^[44]
合计 Total	8.92	8.92	7.13	

高崎海岸带和高浦海岸带生态系统各种服务的总价值均为 8.92 元 $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$,西海域其他水域生态系统各种服务的总价值为 7.13 元 $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 。从表 4 中可见,在杏林大桥所经过的海域其生态系统服务价值中,生物多样性价值和繁殖与栖息地价值量相对较大,这是由于杏林大桥涉及的海域为国家级珍稀物种自然保护区的核心区,有相对丰富的生物多样性,能为海洋生物提供良好的繁殖与栖息地。

2.4 生态系统服务损害程度

杏林大桥涉及到两种用海方式:建设期的临时施工用海以及运营期的跨海桥梁用海。通过专家问卷调查

法来确定不同利用方式对生态系统各种服务的损害程度。为了真实反映海洋工程对生态系统服务的损害程度,受调查的专家不少于 30 人,并熟悉工程所涉及的海洋和海岸带;而且包括海洋环境、海洋生态、海洋经济、海洋工程、海洋法律和海洋管理等多领域的专家。为了减少统计的方差,在第 1 轮调查结束后,要进行统计分析和一致性检验,并将统计结果反馈给专家,进行第 2 次、第 3 次调查,直到通过专家打分的一致性检验。依据各专家对不同用海方式对生态系统不同服务损害程度的打分,综合得出海域不同的利用方式对生态系统不同服务的损害程度。

本文作者依据财政部、国家海洋局《关于加强海域使用金征收管理的通知》中用海类型的界定^[21],通过对 32 位包括海洋环境、海洋生态、海洋经济、海洋工程、海洋法律和海洋管理等领域专家进行问卷调查,已获得厦门海域各种用海方式对生态系统不同服务的损害程度^[34],其中临时施工和跨海桥梁的生态损害程度结果见表 5。

表 5 人类活动对厦门海洋生态系统损害程度

Table 5 Damage severity to Xiamen marine ecosystem by ocean uses

生态系统服务类型 Ecosystem services	临时用海 Temporary sea area use	跨海桥梁 Sea bridge
气候调节/维持空气质量 Climate regulation and air quality maintenance	0.12	0.00
防洪/稳定岸线 Flood control and shoreline protection	0.12	0.09
养分调节 Nutrient regulation	0.14	0.00
污染处理及控制 Waste treatment	0.24	0.00
繁殖与栖息地 Nursery/habitats	0.31	0.25
渔业资源 Fishery	0.3	0.22
生物多样性 Biodiversity	0.25	0.35
休闲娱乐 Recreation	0.35	0.12
景观服务 Esthetic value	0.34	0.08
科学研究和教育 Scientific research and education	0.23	0.16

2.5 生态损害补偿标准

将生态系统服务价值、生态损害程度及受影响的海域面积等数据代入模型 1 中,并进行一定的贴现处理(模型 2),估算出杏林大桥生态损害补偿标准,结果见表 6。

表 6 杏林大桥生态损害补偿标准

Table 6 Ecological damage compensation of Xinglin sea-crossing bridge

影响海域 Affected sea area	单位面积生态损害价值 Ecological damage per unit/ (元 $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$)		年补偿标准 Annually compensation standard/(万元/a)		一次性补偿标准 Lump-sum payment/(万元/a)			
					贴现率 Discount rate 2%		贴现率 Discount rate 4%	
	营运期 Operation period	建设期 Construction period	营运期 Operation period	建设期 Construction period	营运期 Operation period *	建设期 Construction period **	营运期 Operation period	建设期 Construction period
高崎海岸带 Gaoqi coastal zone	1.49	2.15	8.73	13.90	274	66	188	62
高浦海岸带 Gaopu coastal zone	1.49	2.15	4.11	6.54	129	31	88	29
西海域其他 Others	1.26	1.84	31.79	50.94	999	240	683	227
小计 Subtotal	4.24	6.15	44.62	71.38	1402	336	959	317
合计 Total					1739		1276	

* 用海年限为 50a; ** 用海年限取 5a

由表 6 可见,大桥建设期比营运期单位面积用海生态损害的价值要大,分别为 $6.15 \text{ 元 m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 和 $4.24 \text{ 元 m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 。与此相应,大桥建设期比营运期年生态损害补偿的标准要高,分别为 71.38 万元/a 和 44.62 万元/a。究其原因,正是因为大桥建设期对生态系统各种服务的损害程度比营运期要高得多(表 5)。

然而建设期比运营期的时间要短得多,所以计算出来的一次性生态损害补偿标准运营期比建设期要高的多。采用 2% 和 4% 的贴现率,杏林大桥生态损害补偿标准分别为 1739 万元和 1276 万元。

由于海洋生态系统可为人类提供持久性的服务,将惠及下一代以及之后好几代人。使用较低的社会贴现率更能体现后代人的利益,所以在估算生态损害补偿标准时应该采用较低的社会贴现率。

3 结论与讨论

随着沿海地区经济的发展、人口的增加和城市化进程加快,跨海桥梁、围填海、海上堤坝、港口航道、大型海水养殖场、人工岛、滨海电厂等海洋工程愈来愈多。海洋工程在促进海岸带地区的社会经济发展的同时,也对海洋资源和生态系统的完整性造成严重破坏,降低了海洋与海岸带生态系统为人类提供服务的能力。实施生态损害补偿,即评估海洋工程生态损害,要求生态损害的责任方承担生态损害的全部成本,是解决海洋工程所带来的海洋生态损害问题的有效经济刺激手段。

本文建立的海洋工程生态损害评估框架和生态损害补偿标准估算模型,与现有自然资源损害评估(NRDA)方法相比^[18,20,45-47],具有速度快、成本低、易操作的优势,并可用于海洋工程事前的生态损害评估。尽管本方法的评估结果可能不是很精确,但是任何的评估都不能保证完全准确。评估必须在准确性与评估所耗时间和成本之间进行权衡。评估的一个重要目的是给出一个经济信号,告诉责任方在决策时必须考虑环境损害的成本。

利用建立的模型对厦门杏林跨海大桥的生态损害进行评估,结果显示,在贴现率为 2% 时,杏林跨海大桥生态损害补偿金额为 1736 万元,即使采用较高的贴现率 4%,生态补偿金额也达到 1276 万元,远远高于政府实际征收的补偿金额 600 万元。目前征收的生态损害补偿金远远不足以修复因大桥建设而损害的生态系统。

需要指出的是,实施海洋工程生态损害补偿需要完善现有的法律制度。尽管《中华人民共和国海洋环境保护法》(以下简称《海环法》)第 90 条第二款规定:对破坏海洋生态、海洋水产资源、海洋保护区,给国家造成重大损失的,由依照本法规定行使海洋环境监督管理权的部门代表国家对责任者提出损害赔偿要求。但是《海环法》规范的是过错行为造成的海洋生态损害的“赔偿”,而海洋工程一般都经过政府批准,是“合法”行为造成的海洋生态损害,不属于《海环法》规范的范畴。目前我国有些地方已经开始了海洋工程生态损害补偿的立法实践,但在国家层面还没有实施生态损害补偿的法律依据,亟待完善。另外,海洋工程用海项目一般都缴纳了海域使用金,一些学者认为海域使用金中包含了生态损害补偿,导致海洋工程生态损害补偿实施起来困难重重。实际上,海域使用金和生态损害补偿是经济性质和法律性质完全不同的两种海洋管理经济手段^[48],必须在理论上进行区别。

参考文献(References):

- [1] World Resource Institute. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems. Washington, DC: WRI Publication, 2001.
- [2] Pernetta J, Elder D, Humphrey S. Cross-Sectoral, Integrated Coastal Area Planning (CICAP): Guidelines and Principles for Coastal Area Development. Gland, Switzerland: International Union for the Conservation of Nature (IUCN), 1993.
- [3] Carson R T, Mitchell R C, Hanemann W M, Kopp R J, Presser S, Ruud P A. Contingent Valuation and Lost Passive Use: Damages from the Exxon Valdez Oil Spill. *Environmental and Resource Economics*, 2003, 25(3): 257-286.
- [4] Cohen M J. Technological disasters and natural resource damage assessment: an evaluation of the Exxon Valdez oil spill. *Land Economics*, 1995, 71(1): 65-82.
- [5] Mason M. Civil liability for oil pollution damage: examining the evolving scope for environmental compensation in the international regime. *Marine Policy*, 2003, 27(1): 1-12.
- [6] McCay D P F, Whittier N, Ward M, Santos C. Spill hazard evaluation for chemicals shipped in bulk using modeling. *Environmental Modelling & Software*, 2006, 21(2): 156-169.
- [7] Ronza A, Lázaro-Touza L, Carol S, Casal J. Economic valuation of damages originated by major accidents in port areas. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2009, 22(5): 639-648.
- [8] 李亚楠, 张燕, 马成东. 我国海洋灾害经济损失评估模型研究. *海洋环境科学*, 2000, 19(3): 60-63.
- [9] 张继伟, 杨志峰, 汤军健, 陈楚汉. 基于环境风险的海洋生态补偿标准研究. *海洋环境科学*, 2010, 29(5): 751-757.

- [10] 李京梅, 曹婷婷. HEA 方法在我国溢油海洋生态损害评估中的应用. 中国渔业经济, 2011, 29(3): 80-86.
- [11] 李京梅, 侯怀洲, 姚海燕, 王晓玲. 基于资源等价分析法的海洋溢油生物资源损害评估. 生态学报, 2014, 34(13): 3762-3770.
- [12] Cendrero A, de Terán J R D, Salinas J M. Environmental-economic evaluation of the filling and reclamation process in the bay of Santander, Spain. *Environmental Geology*, 1981, 3(6): 325-336.
- [13] de Mulder E F J, van Bruchem A J, Claessen F A M, Hannink G, Hulsbergen J G, Satijn H M C. Environmental impact assessment on land reclamation projects in the Netherlands: a case history. *Engineering Geology*, 1994, 37(1): 15-23.
- [14] Elliott M, Cutts N D. Marine habitats: loss and gain, mitigation and compensation. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(9/10): 671-674.
- [15] 彭本荣, 洪华生, 陈伟琪, 薛雄志, 曹秀丽, 彭晋平. 填海造地生态损害评估: 理论、方法及应用研究. 自然资源学报, 2005, 20(5): 714-726.
- [16] Peng B R, Chen W Q, Hong H S. Integrating ecological damages into the user charge for land reclamation: a case study of Xiamen, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2011, 25(3): 341-351.
- [17] 李京梅, 刘铁鹰. 基于生境等价分析法的胶州湾围填海造地生态损害评估. 生态学报, 2012, 32(22): 7146-7155.
- [18] Management of Marine Pollution in the East Asian Seas (MPP-EAS). Natural resource damage assessment manual. GEF/ UNDP/ IMO Regional Programme for the Prevention Management of Marine Pollution in the East Asian Seas, Quezon City, Philippines, 1999.
- [19] The Committee Maritime International (CMI). Guidelines on Oil Pollution Damage. (1994) [2014-03-27]. <http://comitemaritime.org/Guidelines-on-Oil-Pollution-Damage/0,2726,12632,00.html>.
- [20] Penn T. A summary of the natural resource damage assessment regulations under the United States Oil Pollution Act. (2000) [2014-12-29]. www.ec.europa.eu/environment/legal/liability/pdf/tp_enveco.pdf.
- [21] 国家海洋局. 关于印发《海域使用分类体系》和《海籍调查规范》的通知(国海管字[2008]273号). (2008-08-14) [2014-03-27]. http://www.soa.gov.cn/zwgk/gjhyjw/hysygl/201211/t20121105_5326.html.
- [22] 国家海洋局第三海洋研究所. 福厦铁路厦门公铁大桥海洋环境影响专题报告. 厦门, 2006.
- [23] 彭本荣, 洪华生. 海岸带生态系统服务价值评估: 理论与应用研究. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [24] 陈兴群, 陈其焕, 张明. 厦门东侧水道海域的初级生产力. 台湾海峡, 2002, 21(2): 217-223.
- [25] 厦门市海岛资源综合调查开发试验领导小组办公室. 厦门市海岛资源综合调查研究报告. 北京: 海洋出版社, 1996.
- [26] 福建省水利厅. 福建省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社, 1990.
- [27] 何斌源, 范航清, 王瑁, 赖廷和, 王文卿. 中国红树林湿地物种多样性及其形成. 生态学报, 2007, 27(11): 4859-4870.
- [28] Sumner J, Bird L, Dobos H. Carbon taxes: a review of experience and policy design considerations. *Climate Policy*, 2011, 11(2): 922-943.
- [29] Wikipedia. European Union Emission Trading Scheme. (2014-03-23) [2014-03-27]. Available at http://en.wikipedia.org/wiki/European_Union_Emission_Trading_Scheme.
- [30] 韩维栋, 高秀梅, 卢昌义, 林鹏. 中国红树林生态系统生态价值评估. 生态科学, 2000, 19(1): 40-46.
- [31] 国家统计局. 中国统计年鉴(2000-2013). [2014-03-27]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.
- [32] 福建省海洋开发管理领导小组办公室. 近海海洋环境科学国家重点实验室. 近岸海域环境容量的价值及其价值量评估. 厦门, 2006.
- [33] 国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室. 第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册. (2008-03) [2014-12-29]. <http://www.docin.com/p-393983353.html>
- [34] Rao H H, Lin C C, Kong H, Jin D, Peng B R. Ecological damage compensation for coastal sea area uses. *Ecological Indicators*, 2014, 38: 149-158.
- [35] 福建省海洋研究所, 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室. 厦门西海域、同安湾海域(围填海)面积总量控制研究. 厦门, 2005.
- [36] 国家海洋局第三海洋研究所. 厦门海域环境容量研究. 厦门, 1995.
- [37] 王萱, 陈伟琪, 江毓武, 张路平. 基于数值模拟的海湾环境容量价值损失的预测评估——以厦门同安湾围填海为例. 中国环境科学, 2010, 30(3): 420-425.
- [38] Tait R V. *Elements of Marine Ecology: An Introductory Course*. 3rd ed. London: Butterworths, 1981.
- [39] 卢振彬, 杜琦, 颜尤明, 刘伟斌. 厦门沿岸海域贝类适养面积和可养量的估算. 台湾海峡, 1999, 18(2): 199-204.
- [40] 厦门市海洋与渔业局. 厦门市西部和东部海域捕捞情况调研报告. 厦门, 2004.
- [41] 厦门大学海洋与环境学院. 厦门市海洋自然保护区环境资源价值调查报告. 厦门, 2009.
- [42] 彭本荣, 洪华生, 陈伟琪. 海岸带环境资源价值评估——理论方法与案例研究. 厦门大学学报: 自然科学版, 2004, 43(S1): 184-189.
- [43] 厦门大学环境科学研究中心. 厦门西海域综合整治社会经济效益分析. 厦门, 2004.
- [44] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [45] Dunford R W, Ginn T C, Desvousges W H. The use of habitat equivalency analysis in natural resource damage assessments. *Ecological Economics*, 2004, 48(1): 49-70.
- [46] Roach B, Wade W W. Policy evaluation of natural resource injuries using habitat equivalency analysis. *Ecological Economics*, 2006, 58(2): 421-433.
- [47] Mazzotta M J, Opaluch J J, Grigalunas T A. Natural resource damage assessment: the role of resource restoration. *Natural Resources Journal*, 2009, 34(1): 153-178.
- [48] 彭本荣, 虞杰, 刘岩. 海洋管理经济刺激手段性质剖析. 海洋开发与管理, 2011, (11): 28-30.