

文章编号: 1674- 6139(2009) 11- 0001- 05

溢油事故造成的海湾生态系统服务损失的货币化评估

陈锋, 陈伟琪, 王萱

(福建省教育部共建海洋环境科学联合重点实验室 厦门大学, 福建 厦门 361005)

摘要: 海湾是人类活动的密集地带, 它以其特有的生态系统为人类的生产和生活提供了物质和精神方面的多种服务。从海湾生态系统服务的分类入手, 在分析溢油事故可能给海湾生态系统的供给、调节、文化和支持服务带来的各种负面影响的基础上, 运用市场价值法、替代市场法、调查评价法和成果参照法, 构建了海湾生态系统服务(子服务)损失货币化评估的相应计量模型。

关键词: 溢油; 海湾; 生态系统服务; 损害; 货币化评估

中图分类号: X 171.4

文献标识码: A

Monetary Evaluation on losses of Gulf Ecosystem Services Caused by Oil Spill

Chen Feng, Chen Weiqi, Wang Xuan

(Joint Key Laboratory of Coastal Study, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract Gulf is a dense human activity zone and offers various material and spiritual services for the production and living of human beings on the basis of its unique ecosystem. To start with, this paper discusses the classification of gulf ecosystem services and divides them into supply service, regulation service, culture service and support service. Then, it analyzes a variety of negative impacts on each service and its sub-services caused by oil spill. On this basis, the paper builds the relevant models for evaluating the losses of gulf ecosystem services using Conventional Market Approach, Replacing Market Approach, Experimental Market or Pseudo-Market Approach and Benefit Transfer method.

Key words oil spill, gulf ecosystem services, losses, monetary evaluation

随着人们对燃料、能源需求量的日益增大, 石油在生产和生活中的重要性越来越凸显, 与此同时带来了海上石油开采业和运输业的蓬勃发展, 与之相配套的大型油库和油码头也应运而生。海上石油开采规模和船舶(特别是油轮)数量大幅度增加, 加大了海上溢油事故的发生概率, 这一潜在风险对海洋生态系统构成的威胁不容忽视。

海湾是人类活动的密集地带, 它以其特有的生态系统为人类的生产和生活提供了物质和精神方面的多种服务。作为海上交通枢纽, 海湾往往是溢油事故的高发区域。由于其独特的半封闭水域特征, 溢油事故一旦发生, 对海湾生态系统的负面效应在

短时期内难以消除, 后果相当严重(如: 破坏海湾整体生态系统的平衡、使海湾一些生物“致死、致畸、致突变”、导致海湾生态系统提供的多种服务尤其是供给服务受损, 等等), 进而对人类的生产和生活造成重大影响。

目前, 基于生态系统服务的海上溢油损害的货币化评估研究, 国内外尚罕见报道。有关溢油事故的海洋生态环境损害的货币化评估研究, 尽管国内外学者和一些相关机构已作了不少工作^[1-4], 但总体而言, 难以量化的生态损害的评估技术尚不成熟、不完善, 致使许多溢油事故无法得到充分赔偿。相对于国外, 国内的评估技术更为薄弱, 溢油事故赔偿不充分的问题也更加突出。因而, 本论文的研究不仅有学术价值, 而且有明显的现实意义。

1 海湾生态系统服务的分类

1970年, 紧急环境问题研究小组(Study of Critical Environmental Problems)在《人类对全球环境影

收稿日期: 2009-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(70771098), 福州市环保局委托项目(环罗源湾区域环境规划)

作者简介: 陈锋(1983-), 男, 福建福州人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境经济学。

通讯联系人: 陈伟琪

响》^[5] 报告中首次使用了生态系统服务一词, 并将自然生态系统对人类的服务归为害虫控制、昆虫传粉、渔业、土壤形成、水土保持、气候调节、洪水控制、物质循环与大气组成等几类。从此, “生态系统服务”引起了学术界的广泛重视^[6-10]。

有关生态系统产品、服务或功能的定义和分类, 国外不少学者已作了分析探讨。Costanza 等 (1997) 将生态系统提供的产品 (goods) 和服务 (services) 统称为生态系统服务 (ecosystem service), 并将生态系统服务分为 17 个类型: 气体调节、气候调节、扰动调节、水调节、水供给、控制侵蚀和保持沉积物、土壤形成、养分循环、废物处理、传粉、生物控制、避难所、食物生产、原材料、基因资源、休闲、文化功能; DeGroot 等人 (2002) 将生态系统功能定义为“提供满足人类需要的产品和服务能力的自然过程和组成”, 并描述了调节、生境、生产和信息四大类生态系统功能, 共包括 23 个子功能; 千年生态系统评估小组 (2003) 在《千年生态系统评估》(Millennium Ecosystem Assessment) 一书中将生态系统服务定义为: 人类从生态系统中获得的收益, 包括生态系统对人类可以产生直接影响的供给服务、调节服务和文化服务以及对维持生态系统这些服务具有重要作用的支持服务。他们认为: 供给服务是生态系统为人类提供的食物、水、木材以及纤维等物质基础; 调节服务指生态系统在气候调节、洪水、疾病、废弃物以及水质等调节方面做出的贡献; 文化服务代表人类从生态系统中获得的娱乐、美学享受以及精神方面的收益; 支持服务是生态系统为了保证以上三个收益的正常获得而提供的土壤形成、光合作用和养分循环等方面的基础支持。千年生态系统评估小组对“生态系统服务”的定义和分类获得国内外大多数学者的认同。

《联合国海洋法公约》(1982 年) 对海湾做出界定^[11]: 海湾是深入陆地所形成的明显的水曲, 接壤陆地和海洋。本文认为海湾在地理上包含了近海水域、潮间带和近岸陆域, 是一个由海水、水盆、邻近陆域及其空间共同组成的综合自然体, 而海湾生态系统是由其地理范围内多样的生态类型 (如: 属于由海滨、岩岸、潮间带、红树林、珊瑚礁、岛屿、滨海沙丘、近海水域等) 构成的复合生态系统。海湾是人类活动最频繁的区域, 它不仅为人类提供丰富的资源 (如海产品、原材料、海洋矿产等) 以及生产和生活空间, 从而满足人类生产和生存的需要; 而且以其复合生态系统本身固有的功能属性为人类提供一系

列的服务: 消纳人类活动产生的废弃物、稳定岸线、防洪泄洪、气候 (体) 调节、滨海观光与休闲娱乐等等。此外, 海湾地带还养育了多样化的文化生活, 海湾生态系统在为商业性海洋生物提供栖息和繁殖场所的同时, 也为维持地球生物或基因多样性提供了仓库。

沿用千年生态系统评估小组的提法, 将海湾生态系统服务分为供给、调节、文化和支持四类服务。海岸带生态系统服务的分类及各类服务包含的具体子服务见图 1。

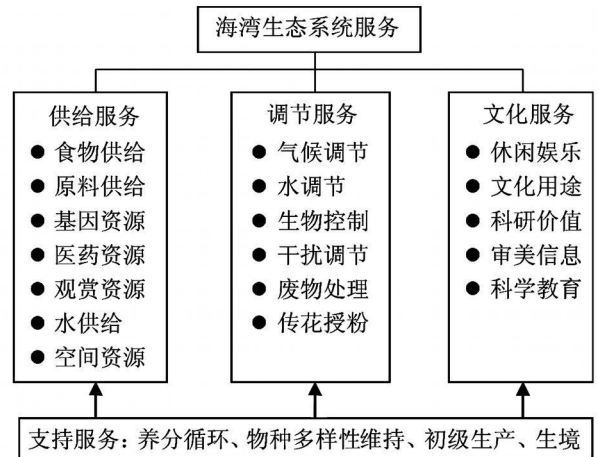


图 1 海湾生态系统服务的分类

2 溢油事故对海湾生态系统服务损害的货币化评估

溢油事故一旦在海湾内发生, 由于其突发性和超常规的排污强度, 在一段时期内对海湾生态系统及其提供的服务影响显著。就长期效应而言, 由于溢油在海湾生态系统内的作用机制相当复杂, 其造成的损害程度、后果及时间尺度等往往难以定量预测。因而, 本文的货币化评估不考虑长期的影响。

2.1 供给服务

(1) 食物

食物主要指海湾生态系统为人类提供的鱼类、虾蟹、贝类和海藻等海产品。溢油事故发生后, 海水中的油类浓度一般大于 0.05 mg/L, 超过适用于海洋渔业和水产养殖的海水水质 I 类和 II 类标准 (GB3097-1997), 若溢油量较大, 海水的油含量甚至会超过海洋生物的致死浓度。在溢油的影响范围内, 游泳生物中成年鱼和虾蟹有一部分因来不及回避而被污染, 失去食用价值或死亡; 幼体游泳能力较弱, 死亡率估计占 70%^[12]; 海藻和贝类等不具备游泳能力的生物, 全部受影响。溢油对食物供给造成

的损失主要反映在海洋捕捞业上,可采用市场价值法,通过调查溢油前 3~5 年内的年均捕捞量以及溢油影响期内的捕捞量,参照海洋捕捞的平均利润,估算溢油对食物供给服务造成的损失。评估模型为:

$$D_f = \sum P_i \times V_i \times \left(\frac{t}{365} Y_{i0} - Y_i\right) \quad (1)$$

式中: D_f 为溢油对食物供给造成的损失(元); P_i 表示第 i 种海产品的市场价格(元/kg); V_i 表示第 i 种海产品的平均利润率(%); Y_{i0} 表示第 i 种海产品溢油前 3~5 年的年均捕捞量^[13](kg/a); Y_i 表示第 i 种海产品在溢油影响期内的捕捞量(kg); t 表示溢油影响的天数(d)。

(2) 原材料

原材料主要包括矿材、建筑原料以及制盐材料等。溢油对矿材、建料等原材料的影响不明显,可不予考虑。这里主要考虑溢油影响期内海湾制盐业的损失。溢油事故发生后,水体污染,油污覆盖滩涂,可能导致制盐业的产量下降或生产成本增大,净收益减少,这部分损失可采用市场价值法进行估算。评估模型为:

$$D_m = \frac{t}{365} (PY_0 - Y_0 C_0) - (PY_1 - Y_1 C_1) \quad (2)$$

式中: D_m 为溢油对原材料供给造成的损失(元); P 表示海盐的市场价格(元/kg); Y_0 和 C_0 分别表示溢油发生前海盐的年均产量(kg/a)和单位生产成本(元/kg); Y_1 和 C_1 分别表示溢油影响期内海盐的产量(kg)和单位生产成本(元/kg); t 表示溢油影响的天数(d)。

(3) 基因资源

溢油对海湾基因资源的影响主要表现在对海洋生物产生的致畸、致死、致突变,而三致效应对基因资源的影响通常要通过几代生物长期的基因遗传和表达才能体现出来,短期内无法观察到,因此不予考虑。

(4) 医药资源

医药资源主要指海湾生态系统提供的具有医药价值的动植物等资源。溢油对医药资源供给造成的损失可采用市场价值法进行估算,评估方法与模型类似原材料供给。

(5) 观赏资源

为避免与文化服务中审美信息和休闲旅游的交叉重复,仅考虑消耗性的观赏资源,如珊瑚、贝壳等,溢油对这些参与市场交易的消耗性观赏资源造成的损失可从市场信息中获得,其评估方法与模型类似

原材料供给。

(6) 水供给

滨海湿地等生态系统可为人类活动提供水资源。油污一旦入侵到滨海湿地,将影响其生态系统的正常运作,降低其水质净化能力,进而污染滨海湿地供给的水资源。海湾溢油对滨海湿地水供给造成的损失可用恢复费用法进行估算,评估模型为:

$$D_{ws} = Q \cdot (C_2 - C_1) \cdot S \cdot t \quad (3)$$

式中: D_{ws} 为海湾溢油造成的水供给服务的损失(元); Q 为单位面积湿地日供水量($t/m^2 d$); C_1 为溢油发生前从湿地取水的成本(元/t); C_2 为溢油影响期内水处理成本与取水成本之和(元/t); S 为受油污影响的湿地面积(m^2); t 为溢油影响的天数(d)。

(7) 空间资源

海湾为浅海和滩涂养殖(主要是鱼类、虾蟹、贝类和海藻等)提供了生产空间和物质条件。在正常情况下,空间资源作为水产养殖不可或缺的生产要素可对海洋经济做出持续的贡献。根据海水水质 II 类标准(GB3097-1997),水产养殖区海水中的油类浓度须 $\leq 0.05 \text{ mg/L}$ 。溢油事故发生后,水体污染,油污覆盖滩涂,空间资源的品质无保障。溢油一旦进入养殖环境,网箱和吊养的生物以及滩涂养殖的贝类无法回避,将被污染失去食用价值或死亡,从而导致水产养殖业的产量下降、净收益减少,该损失可采用市场价值法进行估算。评估模型为:

$$D_r = \frac{t}{365} \sum P_i \cdot V_i \cdot Y_i \quad (4)$$

式中: D_r 为溢油对空间资源供给造成的损失(元); P_i 为第 i 种水产养殖产品的市场价格(元/kg); V_i 表示第 i 种水产养殖产品的平均利润率(%); Y_i 表示第 i 种水产养殖产品溢油前 3~5 年的平均养殖产量(kg/a), t 为溢油影响的天数(d)。

2.2 调节服务

(1) 气候调节

海湾生态系统的气候调节主要包括气体调节、热量调节和水汽调节。后二者的评估技术目前尚不成熟,因此只考虑溢油对气体调节造成的损失。

海湾生态系统通过吸收 CO_2 , 释放 O_2 的过程起到气体调节作用。溢油事故发生后,海湾内覆盖的油膜会阻碍不同生态类型的光合作用,进而影响气体调节。

由光合作用方程式^[14]可知,固定 1 g CO_2 将释放 0.73 g 的 O_2 。运用替代市场法,参照固定 CO_2 的成本和生产 O_2 的成本,通过调查海湾不同生态类型

单位时间单位面积固定 CO₂ 的量,可估算溢油对气体调节服务造成的损失。该评估模型为:

$$D_{ga} = (P_{CO_2} + 0.73P_{O_2})t \sum C_{iCO_2} \cdot S_i \times 10^{-9} \quad (5)$$

式中: D_{ga} 为海湾溢油对气体调节服务造成的损失(元); P_{CO_2} 为固定 CO₂ 的成本(元/t); P_{O_2} 为生产 O₂ 的成本(元/t); t 为油膜持续的时间(d); C_{iCO_2} 为第 i 种生态类型单位时间单位面积固定 CO₂ 的量(mg/m²d); S_i 为第 i 种生态类型被油膜覆盖的面积(m²)。

(2) 水调节

溢油不会改变海湾区域的水文状况,因此水调节可不予考虑。

(3) 生物控制

海湾生态系统中的生物之间形成的营养、竞争和捕食的关系维持着海洋自身的生态平衡,抑制了病虫害的发生。溢油对海洋生物的致死效应可能破坏生物间的相互制约作用,提高病虫害的发生几率,但短期内的影响并不明显。因此,溢油对生物控制的损害不予考虑。

(4) 干扰调节

海湾生态系统的沼草群落、红树林等对海洋风暴潮、台风及洪涝等自然灾害具有一定容量以及衰减作用。溢油发生后,油膜可能附着于红树林等植物表面,但对其干扰调节作用一般不造成影响,可不予考虑。

(5) 废物处理

海湾生态系统具有自然缓冲、同化和净化排海废弃物(污染物)的能力,在特定的时间内对某种(类)污染物有一定的承受量或负荷量,通常被称为海湾环境容量,亦即海湾生态系统提供的废物处理服务。溢油事故发生后,溢油不仅占用了海湾油类的环境容量,而且可能削弱海洋生物对其他污染物的生物降解能力。溢油对废物处理服务造成的损失可采用恢复费用法,通过估算去除海湾内泄漏的油污所投入的费用进行评估。评估模型为:

$$D_w = P \times Q \quad (6)$$

式中: D_w 为溢油对废物处理服务造成的损失(元); P 为油污的去除费用(元/t); Q 为溢油量(t)。

(6) 传花授粉

溢油通过各种途径可能附着于海岸植被,但对海湾生态系统中传粉者的影响甚微,因此溢油对传花授粉服务的影响可忽略。

2.3 文化服务

(1) 休闲娱乐

海湾独特的生态系统可为人们提供滨海观光、旅游和休闲娱乐服务。溢油事故发生后,在风浪和潮汐作用下浮油在海面上扩散,可能漂向海岸或堆积于海滩,形成厚厚的油沙混合层,使滨海旅游资源的价值下降,影响休闲娱乐相关行业(包括住宿、餐饮、交通、娱乐、购物和导游等)的经营收入。溢油对海湾休闲娱乐服务造成的损失可采用替代市场法,通过调查旅游娱乐的净产值进行估算。评估模型为:

$$D_{en} = \frac{t}{365} \times V_0 - V_t \quad (7)$$

式中: D_{en} 为海湾溢油对休闲娱乐服务造成的损失(元); V_0 为海湾溢油发生前 3~5 年的旅游娱乐平均净产值(元/a); V_t 为溢油影响期内旅游娱乐净产值(元); t 表示溢油影响时间(d)。

(2) 文化用途、科研价值和科学教育

文化用途、科研价值和科学教育是海湾生态系统为人类提供的精神层面的服务,溢油对这些服务的影响难以货币化。可以采用成果参照法,根据相似地区已有的研究成果进行估算。

(3) 审美信息

滨海风光、海洋动物和一些海洋生态景观(如珊瑚礁、红树林等)构成海湾的风景线。溢油影响期内,海湾的景观和生态美感被破坏,造成视觉污染。该损失可采用或然价值法,通过调查利益相关者对于溢油导致审美信息受损而愿意接受赔偿的意愿进行评估。评估模型如下:

$$D_b = t \sum_{i=1}^n W \quad (8)$$

式中: D_b 为海湾溢油对审美信息服务造成的损失(元); t 表示溢油影响时间(d); W 为第 i 个利益相关者对审美信息服务受损愿意接受补偿的金额(元/人d); n 为利益相关者的数量(人)。

2.4 支持服务

(1) 养分循环

养分循环即营养物质的获取、储存和循环,主要指海湾生态系统通过垂直混和、水平输运和大气沉降等途径汇集碳、氮、磷等各种营养元素,并经过微生物、浮游动植物等生物的生化作用,使这些无机盐在无机形态和有机形态之间进行转换,进而通过食物链循环、传递。

(2) 物种多样性维持

海湾环境多样的生态类型为养育和维持丰富的生物多样性提供了食物来源等基础条件。

(3) 初级生产

初级生产主要指海湾初级生产者通过光合作用为海湾生命系统的各种活动及过程提供所需的能量和物质基础。

(4) 生境功能

海湾生态系统是由海湾地理范围内多样的生态类型构成的复合生态系统,为海湾内各种各样的生物提供了食物来源、栖息场所以及庇护场所,支持了海湾生物的世代繁衍,养育了多样化的物种。

溢油事故一旦在海湾发生,不可避免地会对支持服务的养分循环、物种多样性维持、初级生产和生境功能等子服务造成直接或间接地损害。但根据千年生态系统评估小组对生态系统服务的界定^[10]:支持服务是生态系统供给、调节和文化等服务正常提供的保障,考虑到支持服务与其他服务之间存在交叉重叠,为避免重复计算,故对支持服务不作评估。

3 小结

随着石油在生产 and 生活中的重要性越来越凸显,海上溢油事故的发生概率呈增大趋势。海湾以其特有的生态系统为人类的生产和生活提供了包括物质和精神方面的多种服务,是人类活动的密集地带。作为海上交通枢纽,海湾往往是溢油事故的高发区。由于其独特的半封闭水域特征,溢油事故一旦发生,对海湾生态系统产生的负面效应相当严重,不容忽视。因而,开展“溢油事故对海湾生态系统服务损害的货币化评估”十分必要和重要。

基于相关的研究成果,本文提出:海湾在地理上包含了近海水域、潮间带和近岸陆域,海湾生态系统是由其地理范围内多样的生态类型(如:属于由海滨、岩岸、潮间带、红树林、珊瑚礁、岛屿、滨海沙丘、近海水域等)构成的复合生态系统,并将海湾生态系统服务分为供给、调节、文化和支持服务四大类,进而对各类服务包含的具体子服务加以识别。

在分析溢油事故可能给海湾生态系统服务带来的各种损害的基础上,运用直接市场法、替代市场

法、调查评价法和成果参照法,构建了海湾生态系统服务(子服务)损失货币化评估的相应计量模型。

本研究成果可望为海上溢油事故的生态损害的全面货币化评估提供帮助,将有利于改变溢油事故赔偿不充分的现状,同时可为相关研究提供参考借鉴。

参考文献:

- [1] M cCay D. Development and application of damage assessment modeling example assessment for the North Cape Oil Spill[J]. Marine Resolutions Bulletin, 2003, 47(9): 341-359
- [2] Deborah French M cCay. Estimation of potential impacts and natural resource damages of oil[J]. Journal of Hazardous Materials, 2004, 11-25
- [3] 高振会, 杨建强, 张继民. 溢油对海洋生态环境污染评估程序、内容及技术研究[D]. 中国环境保护优秀论文集, 2006
- [4] 徐国平. 船舶油污中长期损失赔偿[J]. 上海海事大学学报, 2007, 9(3): 88-94
- [5] Study of Critical Environmental Problems Man's Impact on the Global Environment[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1970
- [6] Cairns J. Defining Goals and Conditions for a Sustainable World[J]. Environmental Health Perspectives, 1997, 105: 1164-1170
- [7] Daily G. C. Natures Services Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997
- [8] Costanza R, Agre R, Groot et al. The Value of The World's Ecosystem and Natural Capital[J]. Nature, 1997
- [9] De Groot R S, 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
- [10] Millennium Ecosystem Assessment Group. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment[M]. Washington: Island Press, 2003
- [11] 联合国海洋法公约. www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/uncbs/uncbs_c.pdf[OL]. 1982
- [12] 沈新强, 丁跃平, 袁骥. 海洋溢油事故对天然渔业资源损害评估[J]. 中国农业科技导报, 2008, 10(1): 93-97
- [13] 中华人民共和国农业部. 水域污染事故渔业损失计算方法规定[S]. 1996
- [14] 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[M]. 北京: 海洋出版社, 2006(1): 149-150