

基于资源等价分析法的海洋溢油生态损害评估模型及应用

李京梅, 王晓玲

(中国海洋大学 经济学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 采用资源等价分析法构建溢油海洋生态损害评估的模型, 重新对 2002 年渤海塔斯曼溢油事件的潮间带生物损害进行定量评估, 得出补偿修复工程的规模从而估算出针对潮间带受损资源的赔偿额度。资源等价分析法的研究与应用填补了国内在该类方法研究领域的空白, 进一步完善了中国溢油生态损害评估方面的研究, 为各类溢油损害计算提供参考和补偿依据。

关键词: 资源等价分析法; 溢油; 海洋生态损害; 生态损害评估

中图分类号: X826 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)05-0098-05

海洋溢油生态损害是指因海洋石油和天然气勘探开发、海底输油管道、石油运输、船舶碰撞以及其他突发事故造成的石油或其制成品在海洋中泄漏而导致海域环境的下降、海洋生物群落结构破坏及海洋服务功能减弱的损害^[1]。海洋溢油造成的生态损害范围十分广泛, 不但包括对海洋生物的伤害, 还包括对海洋生境(或海洋生态系统的非生物环境)的伤害, 甚至对人类健康都会造成直接或间接影响。近年来中国每年排入大海的石油约 12 万 t, 中国近海海域石油的平均质量浓度已达到 0.055 mg/L, 而且污染正日趋加剧。2010 年 7 月, 大连石油管线爆炸致 1 500 t 原油泄漏入海, 覆盖在海面上的原油形成隔离空气的油膜, 加剧了海洋功能的损害。2011 年 6 月初, 蓬莱 19-3 油田发生溢油事故, 相关海域的单日溢油最大分布面积达到 158 km², 造成油田周边海域 840 km² 的海水由 1 类水质恶化为劣 4 类水质, 对渤海湾的海洋生态环境以及附近渔业造成了严重的破坏, 对渤海海域生态系统将产生长期影响^[1]。随着溢油事故的频繁发生及对海洋生态环境的严重损害, 亟需对溢油的生态损害进行评估, 为保护生态环境, 建立溢油生态赔偿机制提供技术依据。

国外对于溢油污染事故损害赔偿的研究和管理实践开展得较早。美国最早在 1990 年的《1990 石油污染法》中就建立了溢油生态损失评估体系。各州也都提出了相应的评估方法, 其中较著名的有华盛顿评估公式、佛罗里达评估公式模型等。1995 年初, 美国国家海洋和大气管理局(NOAA)开始使用生境等价分析(HEA)技术, 并将其应用于船舶搁浅、溢油

事故发生和有害废料排放等造成的生境损害评价。自然资源损害评价程序(NRDA)是美国国家大气与海洋管理局(NOAA)所推荐采取的一种技术, 包括条件价值法(CVM)、生境等价分析法(HEA)以及资源等价分析法(resource equivalency analysis method, 简称 REA 方法)。

中国关于溢油生态损害评估的研究始于 20 世纪 90 年代, 其研究成果主要体现为以下几个方面: (1)建立船舶溢油风险评价方法。多名学者^[2-5]应用概率与数理统计理论、灰色统计理论、人工神经网络理论、线性规划理论以及层次分析法等对船舶溢油风险评价与应用进行研究。(2)开发船舶油污损害赔偿和索赔评估软件系统, 建立了大连湾船舶溢油损害评估及索赔系统^[6]。(3)初步开展海洋溢油环境与生态损害评估方法研究。高振会等^[7-9]针对塔斯曼海轮溢油事故, 运用生境等价分析法、影子工程法等对生态损害进行了评估。2007 年, 国家海洋局发布了《海洋溢油生态损害评估技术导则》。该项评估导则是专门针对海洋溢油的生态损害进行评估的重要技术依据^[10]。国内的研究大多侧重于对溢油风险和油污损害的技术方法评估方面, 对溢油损害的评估主

收稿日期: 2011-11-10; 修回日期: 2012-03-07

基金项目: 教育部人文社会科学基地重大项目(2012JDPY03); 2012 国家社科基金项目(12BJY064)

作者简介: 李京梅(1966-), 女, 河北冀县人, 教授, 主要研究方向为环境与贸易、海洋经济、海洋环境资源可持续利用的经济管理等, 电话: 0532-66786321, E-mail: jingmeili66@163.com; 王晓玲(1988-), 女, 山东胶南人, 硕士研究生, 主要研究方向为资源环境、贸易战略与政策, 电话: 18766205027, E-mail: zuiailingzi@126.com

要集中在清污费用、渔业经济损失、财产损失等几个方面。在海洋生物资源的损害评估方面大多是在溢油发生时所受到的损害,并没有考虑到之后一段时间的生态功能损失。REA 方法是近年来在国外得到广泛引用的生态损害评估方法之一,该方法基于对受损资源进行补偿性修复,通过估算修复规模,间接评估溢油造成的海洋生态损害,同时避免直接计算受损资源的货币价值而存在的替代价格选择是否得当的争议。本文用 REA 方法对 2002 年渤海塔斯曼溢油事件进行实证分析,并讨论用 REA 方法估算溢油生态损害量的可操作性。

1 REA 方法模型

REA 方法通过确定一个补偿性修复工程,并基于修复工程提供的资源和受损资源是对等的假设,估算补偿修复工程的规模从而评估出资源受损金额。生态资源的货币价值一般不容易估算,而资源等价分析法能够通过对受损资源的替代避免直接计算受损资源的货币价值。

1.1 REA 方法基本步骤

REA 方法在评估自然环境损失的过程中主要涉及两个步骤。第一步是量化自然资源受损规模,这要利用有关损害程度(例如,每单位面积的影响)、损害持续时间(例如,资源恢复所需的时间)以及损害的空间范围(例如,面积、河流的长度、或是受到影响的鸟类数量)等指标。第二步是确定一项合适的修复方案(通常是地点),并对它能提供的生态利益的程度和持续时间进行测量。然后确定这项工程的范围,以使从修复工程得到的生态服务总收益能抵消自然资源的损害。

最简单的公式为:

$$V_I A_I I (1+r)^{-t_I} = V_R A_R R (1+r)^{-t_R} \quad (1)$$

式中 A_I 是损害的空间范围, t_I 是损害的时间, I 是损害在 t_I 时点跨越 A_I 范围上的损害程度(损害跨越空间的严重程度), t_R 是补偿性修复工程提供收益的时间, A_R 是修复工程的规模(空间范围), R 是修复工程在 t_R 时点跨越 A_R 范围提供改善的大小(修复收益/改进的量级), r 是贴现率, V_I 是单位资源的受损值, V_R 是单位资源的恢复成本。当上式成立时, A_R 规模的修复工程成本就能估算出来,这也是对生态损害的测度。

多重时间周期函数则是根据时间是否连续形成的变体,其公式为:

$$A_I \sum_{t=1}^{T_I} (1+r)^{-t} I_t = A_R \sum_{t=1}^{T_R} (1+r)^{-t} R_t \quad (2)$$

T_I 是损害结束的时间, T_R 是修复工程计算结束的时间。当上式成立时,修复工程的规模 A_R 就能估算出来,根据修复工程成本,确定溢油所造成的生态损害^[11]。

1.2 REA 模型

1.2.1 确定资源受损期间服务损失的现值

例如,一起溢油突发事故污染了一定面积海域,使其生态服务功能受损。如图 1 所示。

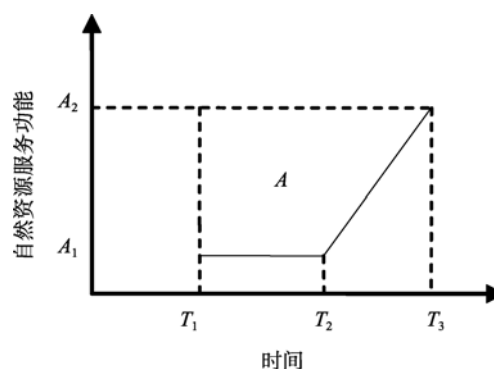


图 1 损害规模的估算

Fig. 1 Damage estimation

假设资源受损前的功能是 A_2 , 在 T_1 时刻, 事故发生导致自然资源受损, 自然资源的服务功能下降到 A_1 , 随着时间的推移, 其功能恢复的变化如图中曲线, 在 T_2 时刻开始自然恢复, 直至 T_3 时刻恢复到受损前的功能。从自然资源受损开始到完全恢复到初始功能, 需要较长的一短时间, 在这段时间内自然资源不能够提供原先正常状态的海洋生态服务功能(资源受损的后果), 这部分损失便是由于溢油污染而导致的生态损害。

设 A 为该受损资源生态服务功能损失的现值; T_1 为溢油事故发生的时刻, 也就是该资源受损的时间; T_3 为受损的自然资源功能恢复到受损前的状态的时间, 也就是所要计算的该资源生态服务功能损失持续的时间。 $Q(t)$ 为 t 时刻该资源受损的面积; I 是损害在 t_1 时点跨越 A_1 范围上的损害程度(损害跨越空间的严重程度); r 为资源服务价值的贴现率。则有:

$$A = \sum_{t=T_1+1}^{T_3} Q(t) I V_I \frac{1}{(1+r)^{t-T_1}} \quad (3)$$

1.2.2 估算指定补偿修复工程所能提供的服务及服务水平

在对自然资源进行修复时, 主要包括两方面的

工作,首先是在考虑自然恢复的条件下,将受损资源恢复到受损之前的状态。而在这个修复过程中可能需要很长一段时间,那么在恢复期间,自然资源的生态服务功能就会丧失,所以不仅仅是将受损资源恢复到受损前状态还要考虑恢复期间的资源服务的损失,这就需要受损资源进行额外修复。这就考虑到运用贴现的办法来计算修复规模。对于一些自然恢复的速度比较快的自然资源,受损资源恢复期较短,临时损失较小,补偿修复的数量也将会很小。但是对于自然恢复需要的时间很长的受损海洋资源,如珊瑚礁和红树林,补偿修复的数量将会很大。

在溢油事件从发生到资源完全恢复这一段时间,会产生额外服务的损失。而对这一部分的损失进行的修复称之为补偿性修复^[12]。在其自然恢复到原有状态的基础上进行的补偿性修复工程所能提供的服务如图 2 所示

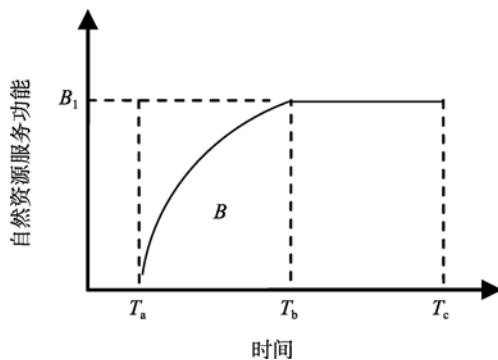


图 2 修复规模的估算

Fig. 2 Reparation estimation

其中 B_1 为所需要补偿修复损失而增加的服务功能; T_a 为补偿修复项目即开始恢复受损资源的时间; T_b 为修复工程提供的资源达到最大生态服务功能的时间; T_c 为补偿修复项目所提供的服务正好能够补偿资源受到污染的损失的时间; 设 Q_2 为所需补偿的资源的面积; R 是修复工程在 t_R 时点跨越 A_R 范围提供改善的大小(修复收益/改进的量级), 则有:

$$B = \sum_{t=T_a+1}^{T_c} Q_2 RV_R \frac{1}{(1+r)^{t-T_a}} \quad (4)$$

1.2.3 估算补偿性修复项目的总体规模

根据制定的修复性补偿项目所提供的服务所需等于石油泄漏造成的资源生态服务损失,从而确定补偿性修复工程所需的规模。有:

$$A=B$$

$$\text{即 } \sum_{t=T_1+1}^{T_3} Q(t)IV_1 \frac{1}{(1+r)^{t-T_1}} = \sum_{t=T_a+1}^{T_c} Q_2 RV_R \frac{1}{(1+r)^{t-T_a}} \quad (5)$$

通过以上 3 个步骤,可以初步得出基于受损资源生态服务损失的补偿修复工程的规模。确定补偿性修复工程的规模即面积 Q_2 以后,根据单位工程量可以计算出所需要的向相关利益方补偿的金额,科学合理地为环境损害赔偿提供依据^[13-15]。

2 基于 REA 方法的溢油生态损害的案例研究

2002 年满载原油的马耳他籍油轮“塔斯曼海”轮与中国大连的“顺凯一号”轮在天津大沽口东部海域 23 n mile 处发生碰撞,有原油溢出。随后几小时,海上的油污在海风的作用下形成长约 2.5 n mile、宽 1.4 n mile 的溢油漂流带,呈东西-西北方向斜卧在曹妃甸南部海域。这给中国渤海海域造成了严重的污染,对海洋生态环境也构成了严重的威胁。抵达潮间带的原油破坏了潮间带生物的栖息环境,致使大量潮间带生物死亡,改变了潮间带生物的群落结构。同时,漂浮在海面上的油污减少了海洋对陆地污染物质如工业废水、生活污水入海的缓冲和稀释作用,从而加剧了其对近海海洋生态环境的压力。塔斯曼海轮这次溢油事件对潮间带生物资源的影响自然消除需要数年甚至数十年,会对潮间带生物生境造成长期潜在危害。因此很有必要进行生态损害索赔,以进行补偿修复。下面运用 REA 方法对“塔斯曼海”轮溢油事故对潮间带资源造成的损害进行评估。

2.1 受损初始条件的设定

2003 年 3 月经确定,此次溢油事故造成的潮滩污染面积为 154 km²。假设潮滩生物资源自然恢复的时间为 8 a,即到 2011 年受损资源的生态功能恢复到基线水平。一般情况下,自然恢复的时间越长,资源所提供的服务损失将越大。在制定生境补偿计划时,参考发生在美国路易斯安娜州巴列湖近岸的一次溢油事故,当地政府提出通过种植盐沼植物的方法,来恢复受损的潮间带资源。本文假设在确定受损面积的第二年开始实施修复工程,同时假定通过补偿性修复工程种植的盐沼植物会一直保持良好的生态服务功能,其提供的期限无限大。

2.2 估算潮滩生物资源遭受污染所造成的服务功能损失的现值

根据公式(3), $T_1=2003$, $T_3=2011$, 假设受损区域

根据线性规律自然恢复, 则 $Q(t)=154 - 19.25(t - 2003)$ 。溢油损害开始于 2002 年, 溢油事故发生后, 潮间带湿地生境即损失了 30% 的服务水平, 即 I 为 30%。根据国家海洋局《海洋溢油生态损害评估技术导则》的规定, 取社会折现率为 3%, 则在潮滩生物资源自然恢复期间由溢油造成的生态服务价值损失贴现到 2003 年, 可将公式(3)简化为

$$A = \sum_{t=2004}^{2011} IV_1 \frac{154 - 19.25(t - 2003)}{1.03^{t-2003}}$$

2.3 估算补偿性修复项目所提供的服务的现值

假设补偿性修复在确定受损面积第 2 年开始(污染清除、规划、设计、评估需要是合理的)^[14]。

根据前面假定通过补偿性修复工程种植的盐沼植物会一直保持良好的生态服务功能, 其提供服务的期限无限大, 则根据公式(4)有:

$$B = \sum_{t=2005}^{\infty} Q_2 V_R \frac{1}{1.03^{t-2004}}$$

2.4 估算补偿性修复项目的规模

补偿性修复的适宜规模由受损资源不能提供生态服务的贴现值与补偿修复项目能够提供的服务价值的贴现值相等来确定。即 $A=B$, 同时假定 $V_1=V_R$, 从而得出,

$$\sum_{t=2004}^{2011} \frac{154 - 19.25(t - 2003)}{1.03^{t-2003}} \times 30\% = \sum_{t=2005}^{\infty} Q_2 \frac{1}{1.03^{t-2004}}$$

求得 $Q_2=5.83 \text{ km}^2$

2.5 计算补偿性修复项目的总费用

基于 REA 模型的计算, 得出需要种植大约 5.83 km^2 的盐沼植物来补偿潮滩资源恢复期间的临时损失。参照海洋生态系统平均公益价值表(表 1), 结合该生

表 1 不同类型海洋生态系统的平均公益价值
Tab. 1 The average public welfare values of different ocean ecosystems

生态系统类型	公益价值(万元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$))
河口海湾	18.295 02
海草床	15.583 28
珊瑚礁	4.825 7
大陆架	12.644 4
潮滩	11.913 78
红树林	7.824 44

境的具体特点, 其平均公益价值应接近于潮滩生态系统, 其值取 $11.913 \text{ 78 万元}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 则修复补偿的费用为 6 945.73 万元。资源修复的成本不仅仅包括所需种植的盐沼植物的成本, 还包括污染清除、响应成本、修复计划的制定以及评估等。在这里, 仅对其补偿修复工程的价值进行评估^[16-17]。

3 结论与探讨

(1) REA 方法是基于对受损资源进行补偿性修复从而评估溢油导致的生态损失。其核心是公式(2)。REA 模型主要是通过对受损量、补偿量、补偿规模三个关键量的确定, 从而估算出对污染所造成的损失金额。

(2) 运用 REA 方法重新对“塔斯曼海”轮溢油事故潮间带损害进行评估, 估算修复面积 5.83 km^2 , 损失费用为 6 945.73 万元, 该数额比原有学者计算的受损资源的补偿金额要大, 主要是由于该方法考虑了在受损资源自然恢复期间的服务功能损失以及所选取的贴现年限的不同。

(3) 当然 REA 方法也存在一些问题, 例如如何确定基线状态资源和受损害的资源, 再如修复的资源之间是否存在对等以及什么时候达到资源基线水平等, 这些问题的确定是非常困难的, 有待于日后做进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] 罗沙, 李芊丽. B、C 平台溢油污染 840 平方公里海水[N]. 成都日报, 2011-07-06(10).
- [2] 朱鸣鹤, 丁永生, 殷佩海, 等. BP 神经网络在船舶油污事故损害赔偿评估中的应用[J]. 航海技术, 2005, 1: 65-69.
- [3] 熊德琪, 廖国祥, 姜玲玲, 等. 溢油污染对海洋生物资源损害的数值评估模式[J]. 大连海事大学学报, 2007, 33(3): 68-72.
- [4] 肖井坤, 殷佩海, 林建国, 等. 船舶区域溢油风险程度甄别的人工神经网络方法[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(4): 42-45.
- [5] 杨伟华, 施欣, 俞成国. 基于层次分析法的船舶溢油污染危害程度评估[J]. 水运管理, 2006, 28(5): 13-16.
- [6] 王瑞军. 大连湾船舶溢油损害评估及索赔系统[D]. 大连: 大连海事大学, 2001.
- [7] 高振会, 杨建强, 王培刚, 等. 海洋溢油生态损害评估的理论、方法及案例研究[M]. 北京: 海洋出版社,

- 2007.
- [8] 于桂峰. 船舶溢油对海洋生态损害评估研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2007.
- [9] 张秋艳. 海洋溢油生态损害快速预评估模式研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010: 6-14.
- [10] HY/T 095-2007, 海洋溢油生态损害评估技术导则[S].
- [11] Zafonte M, Hampton S. Exploring welfare implications of resource equivalency analysis in natural resource damage assessments[J]. *Ecological Economics*, 2007, 61: 134-145.
- [12] 黄明娜. 海洋资源损害补偿机制[D]. 厦门: 厦门大学, 2008.
- [13] Ginn T C. The use of habitat equivalency analysis in natural resource damage assessments [J]. *Ecological Economics*, 2004, 8(4): 49-70.
- [14] McCay F D, Rowe J J. Estimation of potential impacts and natural resource damages of oil [J]. *Journal of Hazard Materials*, 2004, 107: 11-25.
- [15] Thur S M. Refining the use of habitat equivalency analysis[J]. *Environmental Management*, 2007, 40: 161-170.
- [16] 姜晓娜. 海洋溢油生态损害评估标准及方法学研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2010.
- [17] 张思峰, 余平, 孙博. 基于 HEA 方法的陕西省受损植被生态服务功能补偿评估 [J]. *资源科学*, 2007, 29(6): 62-64.

A model based on the resource equivalency analysis method to evaluate marine ecological damage by oil spill

LI Jing-mei, WANG Xiao-ling

(Economic College, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Received: Nov., 10, 2011

Key words: resource equivalency analysis method; oil spill; marine ecological damage; Ecological damage assess

Abstract: We built a marine ecological damage assessment model based on the resource equivalency analysis (REA) method. The ecological damage of intertidal biological in the “Tasman Sea” accident happened in the Bohai Sea in 2002 was assessed. Compensation was estimated on the basis of the scale of restoration. This research provided a basis for oil spill damages evaluation and compensation.

(本文编辑: 刘珊珊)