

溢油对海洋生态系统内在价值损害的评估 ——以“塔斯曼海”轮溢油事故为例

严志宇, 孙冰, 付红蕊, 任杰

(大连海事大学 环境科学与工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 作者籍以能值和生态炯分析, 将海洋生态内在价值补充到溢油损害评估中, 并以“塔斯曼海”轮溢油事故为例, 分析了生态系统内在价值损害评估的特点。结果表明溢油生态内在价值损害大于对生态服务价值的损害, 前者是后者的 6.9 倍; 能值变化反映对资本积累的损害, 生态炯更突出了溢油对初级生产力的生态系统的影响。本评价是现有溢油损害评价的补充, 可为彻底、有效环境治理、生态修复提供保障, 对海洋开发管理决策和公众环保意识的提高将有积极的影响。

关键词: 溢油损害; 海洋生态内在价值; 能值; 生态炯

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2020)04-0085-05

DOI: 10.11759/hyxx20190906003

溢油对海洋生态环境的影响是巨大的, 溢油事故损害评估可为索赔提供技术依据, 索赔的及时性和充分性关系到溢油清除、环境恢复等海洋治理的效率和水平。更重要的是, 合理的评估结果对海洋开发与管理、公众的生态保护意识有着深远影响。从溢油损害评估的发展可看出中国对生态认识逐渐重视和清晰, 以前主要是对清理油污的费用、财产方面的经济损失进行评估, 后来开展了对生态生物资源损害评估^[1], 生态服务价值的损害^[2], 进而对生境、生物质量进行价值损失评估研究^[3]。随着溢油成本在扩大, 对其损失的评估范围和深度也应重新认识, 需要对生态价值有全面和客观的认识, 并研究出合理的核算方式。目前人们对于海洋生态价值的认识及其对决策支持的研究一般基于生态系统服务价值考虑, 这是以人类效用的角度衡量生态系统的价值^[4]。一些重要研究已开始关注生态系统的内在价值^[5-7](或称自然资本价值^[8])。所谓内在价值是指事物自身的、内含的价值, 与其是否有用无关^[9]。这一种非功利主义的价值是其存在价值。作者以溢油的生态损害评估为切入点, 籍以能值(emergy)理论、生态炯(eco-exergy)理论, 探讨生态系统内在价值的损害评估方法, 将其补充到传统的溢油损害评估中, 使得海洋生态内在价值的考虑融入到海洋治理决策制定之中。

1 海洋生态内在价值损害的评估

1.1 评估理论

为避免以人的主观为价值判断标准、以效用论

为基础的评价, 需要从生态系统的内在本性判断其存在价值, 建立所谓生态中心主义的评价体系。能量是生态系统运行的动力, 生态系统的成分、结构、过程及功能都与之有关。能值, 就是进入系统流动和贮存的某种能量, 一般生态系统中所贮存的多为太阳能。以能值为基准, 将所有成分的量转化为太阳能值, 生态系统结构中的种类组成和物种多样性、群落的空间结构和营养结构就都有了“归一性”的量化。溢油发生后, 这种“归一性”的量值的变化可以评价生态系统在规模上受到的影响, 它反映的是存贮价值或维系价值的损害。

从热力学角度, 生态系统是一个动态耗散结构系统。“炯”或称“炯”(exergy), 是指系统从给定状态到与其周围介质达到平衡所能做的最大功^[10]。在生态系统研究中, “炯”被称之为生态炯(eco-exergy), 它考虑了有机物中的化学能和生物体中的遗传信息, 提供了生态系统组织水平的衡量标准^[11]。在溢油损害

收稿日期: 2019-09-06; 修回日期: 2019-12-30

基金项目: 国家社科基金重大项目(17ZDA172); 国家重点研发计划子课题(2016YFC1402301); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(3132019329)

[Foundation: Major Projects of the National Social Science Fund of China, No.17ZDA172; National Key Research and Development Program, No. 2016YFC1402301; Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.3132019329]

作者简介: 严志宇(1970-), 女, 浙江温州人, 博士, 主要从事污水治理和海洋环境保护研究, E-mail: yanzy@dlnu.edu.cn; 孙冰, 通信作者, E-mail: sunb88@dlnu.edu.cn

评估中,其变化值可反映结构、功能的损害,属于创造价值或生物信息价值的损害^[12]。

能值和生态熵相结合,可以从生态系统自身存在、运行发展的角度上共同评价其内在价值。在溢油评价中可以将其补充到基于市场标准的经济评价中,从而支持面向海洋资源可持续管理的决策过程。

1.2 计算方法

能值的计算在于将不同物质转化为能量,并货币化。以下是生态系统中能值计算公式,和文献相比,形式上略有调整^[13]:

$$E_n = \sum_{i=1}^N H_i \cdot M_i \quad (1)$$

$$E_m = E_n \cdot \tau \quad (2)$$

$$E_{m\$} = E_m / E_{mR} \quad (3)$$

式中: E_n 为能量(J); M_i 为评价范围内生物 i 的干质量(g); N 为评价范围内的生物种类; H_i 为生物 i 的热值(J/g); E_m 为能值(sej); τ 为能值转换率(sej/g); $E_{m\$}$ 为能值的货币价值(美元); E_{mR} 为能值的货币比率(sej/美元)。

评价范围内的生态系统的生态熵的计算如下^[10],与文献中的形式略有调整:

$$E_x = E_d \cdot \sum_{i=1}^N \beta_i \cdot R_i \cdot t \cdot M_i \quad (4)$$

$$E_{x\$} = E_x \cdot E_{xR} \quad (5)$$

式中: E_x 为生态系统在评价范围和评价期间内的生态熵值(kJ); E_d 为单位质量生物碎屑的自由能(kJ/g); β_i 为单位质量的生物 i 转化为生物碎屑的质量; R_i 为生物 i 的周转率(a⁻¹); t 为评价时间(a); $E_{m\$}$ 为生态熵的货币价值(美元); E_{xR} 为生态熵的货币比率(美元/kJ)。

上述值的变化量用来进行溢油对生态内在价值的损害评估,即:

$$\Delta E_S = \Delta E_{m\$} + \Delta E_{x\$} = \left(\sum_{i=1}^N H_i \cdot \Delta M_i \right) / E_{mR} + \left(E_d \cdot \sum_{i=1}^N \beta_i \cdot R_i \cdot t \cdot \Delta M_i \right) \cdot E_{xR} \quad (6)$$

非生物成分的能量包括太阳能、风能、雨水(化学能)、潮汐能、波能,无机营养物质的能值,在溢油损害评估中,暂不考虑其变化。

1.3 参数确定

上述公式中的一些参数,可根据文献确定:所得生物质量数据为湿质量 M' 时,则干质量 $M_i = M'_i \times 0.2$ ^[14]; H_i 一般取 4 kcal/g \times 4186 J/kcal, 鱼类取

5.5 kcal/g \times 4186 J/kcal, 浮游动物 2 \times 10⁴ J/g^[12]; τ 数据来自文献[15]; 全球范围内物种的太阳能值转换率为 1.26 \times 10²⁵ sej/种^[16], 评价范围内则为 1.26 \times 10²⁵ sej/种 \times (评价面积/全球面积); E_{mR} 取 8.70 \times 10¹² sej/美元^[16]; E_d 一般取 18.7 kJ/g^[12]; β_i 来自文献; 货币比率为 1.40 \times 10⁻⁵ 美元/kJ^[18]。

2 塔斯曼海轮溢油事故评价示例

2002 年 11 月 23 日在天津大沽口东部海域马耳他籍邮轮“塔斯曼海”轮发生原油泄漏事故。该事故调查和赔偿结果已被公开^[19]。作者以此为示例,评价该溢油事故的生态内在价值损失,并与其他损失进行比较,探讨生态内在价值评价的意义。

2.1 评价边界

空间范围上,污染面积按 260 km² 计算,评价面积/全球面积=5.10 \times 10⁻⁷, 深度取渤海平均深度 18 m。溢油后的生物值获取时间是不同的,浮游生物是溢油后 1 周监测值,其他是十几个月后。本着尽量不高估损失的准则,生态熵的评价时间范围定为 1 周。利用可获得的公开数据中的生物监测数据进行评价,包括:浮游生物、底栖生物和天然鱼类资源等;生物多样性仅有浮游植物的数据。

2.2 计算结果

表 1、2 分别是根据可获得数据^[19]进行的能值损失、生态熵损失评价结果。表 1 和表 2 计算结果之和为生态系统内在价值总损失: 1.51 \times 10⁸ 美元。

在表 1 和表 2 的计算中,可获得的浮游植物和浮游动物的数据以数量为单位,即: 个/m³、个/m³, 需要换算为生物量。浮游植物按硅藻类计算, 0.005 mg/10⁴ 个。浮游动物体长参考中华哲水蚤^[20]平均值, 取 3 mm。每个个体的质量计算公式为: $W=0.0285 L^{2.9505}=0.0285 \times 3^{2.9505}=0.729$ mg。式中, W 为体质量(mg); L 为体长(mm)。底栖动物的权重转换因子取的各型的平均值。

3 分析讨论

从表 1、表 2 可看出,不同类型的生物在能值和生态熵评价结果中影响不同。能值结果中,鱼类影响最大,大于浮游植物 6 个数量级,但是在生态熵的结果中,鱼类虽然也是影响最大,但是只比浮游植物大两个数量级。可见,生态熵更突出了初级生产力的生态系统的地位。评价时间对生态熵的影响很大,尽管只评价一周,但可看出,随着评价时间范围的增加,

表 1 “塔斯曼海”轮溢油生态能值损失

Tab. 1 Ecological emergy damage of “Tasman Sea” tanker oil spill

项目	溢油前	溢油后	生物量(干质量)变化 $\Delta M(g)$	总能量变化 $\Delta E_n(J)$	能值转换率 $\tau(sej/J)$	能值变化 $\Delta E_m(sej)$	能值货币价值损失 $\Delta E_{ms}(美元)$
浮游植物	20.39×10^4 个/ m^3	11.77×10^4 个/ m^3	2.24×10^6	3.752×10^{11}	4700	1.764×10^{15}	2.028×10^2
浮游动物	45.5 个/ m^3	18.6 个/ m^3	1.835×10^7	3.670×10^{11}	1.68×10^5	6.165×10^{16}	7.087×10^3
底栖动物	16.8 g/ m^2	11.7 g/ m^2	2.65×10^8	4.437×10^{12}	1.30×10^7	5.768×10^{19}	6.63×10^6
天然鱼类	266.52 kg/ km^2	240.45 kg/ km^2	1.356×10^9	3.1219×10^{13}	3.10×10^7	9.678×10^{20}	1.112×10^8
无脊椎动物	36.69 kg/ km^2	33.75 kg/ km^2	1.53×10^8	2.562×10^{12}	3.10×10^7	7.942×10^{19}	9.128×10^6
生物多样性	47 种浮游植物	24 种浮游植物		减少 23 种浮游植物	$1.26 \times 10^{25} \times 5.10 \times 10^{-7}$ sej /种	1.477×10^{20} sej	1.699×10^7
总计							1.44×10^8

表 2 “塔斯曼海”轮溢油生态炯损失

Tab. 2 Eco-exergy damage of “Tasman Sea” tanker oil spill

项目	周转率 $R(a^{-1})$	权重转换因子 β	生态炯变化 $\Delta E_x(J)$	生态炯货币值损失 $\Delta E_{xs}(美元)$
浮游植物	230	20	2.70×10^{12}	3.78×10^4
浮游动物	32	210	3.228×10^{13}	4.520×10^5
底栖动物	6.5	166.5	7.508×10^{13}	1.051×10^6
天然鱼类	2	499	3.543×10^{14}	4.960×10^6
无脊椎动物	3.1	310	3.849×10^{13}	5.389×10^5
总计				7.002×10^6

这种体现生态系统创造价值的生态炯的评价结果会占总结果相当的分量。能值和生态炯都是基于系统的方法，为海洋生态损害评估提供了两种互补的视角。从时间维度看，能值变化反映生态系统在形成中累积的资本的损害，而生态炯的变化则反映驱动过程的损害，这是本评价的重要特点。

根据文献[19]，“塔斯曼海”轮海洋生态环境价值损失计算结果为 1.824 亿元人民币，其中直接利用价值损失为天然渔业资源捕捞业，为 359.05 万元，约占总损失的 1.97%，间接利用价值损失值约为 1.788 亿元，占 98.03%。评价结果也显示无形化商品价值的损害更大。而本文中表 1、表 2 的总评价结果(美元)根据 2002 年汇率换算成人民币为： 1.51×10^8 美元 $\times 8.28$ 元/美元= 1.26×10^9 元，是原评价结果的 6.9 倍。这还是在有限监测数据上进行的评价，否则差距更大。例如，在本评价中：在时间上是按浮游生物的监测数据确定评价时间，只计算一周，生态炯的损失价值偏低；评价项目上不完整，因为所获数据偏向于经济型生物，无细菌、鸟类等，在能值上没有考虑营养盐、生物碎屑的变化，也没有计算油污输入等的影响。

经济价值以效用论为基础，核算的是生态系统

对人类有益的部分，仅仅进行生态系统服务价值的评估是片面、狭隘的。生态内在价值的评价是传统的生态服务价值的基础，是环境保护的目标内涵的真正体现。溢油损害评估中，缺失生态内在价值的损害评估，除了影响环境治理外，也影响海洋的开发和管理决策，对公众的环保意识有更长远的负面影响。只有完整、彻底地评价生态价值，才能激起人们对溢油事故及其损害有更强烈的风险意识。

由于认识水平的限制，目前对生态的内在价值的评价还远远不能满足海洋生态保护的需要在上述溢油损害评估中，没能考虑生态炯在空间上分布的不同，没有考虑溢油作为污染物对生态炯的影响，仅从生物量的减少来计算。另外，对不同的生态系统、不同层次结构及动态功能上，需要对能值和生态炯有更细的计算分析，需要大量的生物和物理数据，更需要大量基础研究工作。

4 结语

作者探讨了用能值和生态炯评估海洋溢油生态系统内在价值损害的评估方法，并以“塔斯曼海”轮溢油事故为例，探讨了海洋生态系统内在价值损害

特点, 并与实际生态损害赔偿结果进行比较。结果表明: 溢油对海洋生态内在价值损害大于生态服务价值, 前者是后者的 6.9 倍, 仅用经济价值为基础的核算会低估溢油对生态系统损害; 能值和生态熵的变化反映生态系统累积资本的损害, 而生态熵的变化则反映溢油对动态过程的驱动影响, 突出了对初级生产力的影响。

从能量角度进行生态系统价值评估的一个关键问题是需要大量的生物和环境数据。虽然本评估项目并非详尽无遗, 但可以作为未来深入研究的基础。另外, 海洋生态系统的层次结构和动态功能一直是生态系统评估的挑战, 其对生态系统可持续发展的影响可作为进一步研究的内容。

参考文献:

- [1] 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, 2017, 33(3): 69-72, 77.
Xiong Deqi, Liao Guoxiang, Jiang Lingling, et al. Numerical evaluation model of oil pollution damage to marine living resources[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2017, 33(3): 69-72, 77.
- [2] 张继伟, 袁征, 王金坑. 基于生境等价分析法的溢油生态损害评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(5): 162-166.
Zhang Jiwei, Yuan Zheng, Wang Jinkeng. Ecological damage assessment of oil spills based on habitat equivalence analysis[J]. China Population Resources and Environment, 2015, 25(5): 162-166.
- [3] 于春艳, 梁斌, 韩庚辰, 等. 海洋溢油生态损害评估程序及方法探讨[J]. 海洋开发与管理, 2015, 1: 92-96.
Yu Chunyan, Liang Bin, Han Gengchen, et al. Discussion on procedures and methods for assessing marine oil spill ecological damage[J]. Marine Development and Management, 2015, 1: 92-96.
- [4] Costanza R, D'arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [5] Buckley R. The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations[J]. Austral Ecology, 2011, 36(6): 34-35.
- [6] Toth F L. Ecosystems and human well-being: A framework for assessment[M]. Washington D C: Island Press, 2003.
- [7] National Research Council. Valuing ecosystem services: Toward better environmental decision-making[M]. Washington D C: National Academies Press, 2005.
- [8] Elvira B, Flavio P, Luigia D, et al. Modeling matter and energy flows in marine ecosystems using energy and eco-exergy methods to account for natural capital value[J]. Ecological Modelling, 2019, 392: 137-146.
- [9] 张德昭. 深度的人文关怀: 环境伦理学的内在价值范畴研究[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2006.
Zhang Dezha. In-depth humanistic care: the study of the intrinsic value category of environmental ethics[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2006.
- [10] Jørgensen S E. Ecosystem ecology[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
Jørgensen S E. Ecosystem ecology[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [11] Jørgensen S E, Meger H. A holistic approach to ecological modeling[J]. Ecological Modelling, 1979, 7(3): 169-189.
- [12] 徐虹霓, 盛华夏, 张璐平. 海洋生态系统内在价值评估方法初探—以厦门湾为例[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(4): 585-593.
Xu Hongni, Sheng Huaxia, Zhang Luoping. A preliminary study on the intrinsic value assessment method of marine ecosystem—taking Xiamen Bay as an example[J]. Journal of Applied Oceanography, 2014, 33(4): 585-593.
- [13] Odum H T. Self-organization, transformity, and information[J]. Science, 1988, 242(4882): 1132-1139.
- [14] Jørgensen S E, Nors N S. Application of exergy as thermodynamic indicator in ecology[J]. Energy, 2007, 32(5): 673-685.
- [15] 陈洁. 盐城自然保护区湿地生态系统能值分析[D]. 广州: 华南农业大学, 2003.
Chen Jie. Analysis of energy value of wetland ecosystem in Yancheng Nature Reserve[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2003.
- [16] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
Lan Shengfang, Qin Pei, Lu Hongfang. Energy economic system energy value analysis[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [17] Jørgensen S E. Introduction to systems ecology[J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2012, 92(B8): 7783-7785.
- [18] Jørgensen S E. Ecosystem services, sustainability and thermodynamic indicators[J]. Ecological Complexity, 2010, 7(3): 311-313.
- [19] 刘家沂. 海洋生态损害的国家索赔法律机制与国际溢油案例研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
Liu Jiayi. National claims legal mechanism for marine ecological damage and international oil spill case study[M]. Beijing: Ocean Press, 2010.
- [20] 陈清潮. 中华哲水蚤的繁殖、性比率和个体大小的研究[J]. 海洋与湖沼, 1964, 6(3): 272-288.
Chen Qingchao. Research on reproduction, sex ratio and individual size of Zheshui, China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1964, 6(3): 272-288.

Assessment of the intrinsic value damage of marine ecosystems caused by oil spills: case study on the oil spill accident of the “Tasman Sea”

YAN Zhi-yu, SUN Bing, FU Hong-rui, REN Jie

(Environmental Science and Engineering Institute, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Received: Sep. 6, 2019

Key words: oil spill damage; intrinsic value of marine ecology; energy; exo-exergy

Abstract: Based on the analysis of emergies and eco-exergies, this paper supplements the intrinsic value of the marine ecology into the assessment of oil spill damage and analyzes the characteristics of the ecosystem intrinsic value damage assessment by considering the “Tasman Sea” oil spill accident as an example. The damage of the ecological intrinsic value is much greater than that of the ecological service value, and the former is 6.9 times the latter; the change of the energy reflects the damage to resource accumulation, and the eco-exergy results highlight the impact of an oil spill on the ecosystem of the primary productivity. This evaluation is a supplement to the current oil damage assessments that can provide guarantee for thorough and effective environmental management and ecological restoration, and will have a positive impact on marine development management decision-making and public environmental awareness.

(本文编辑: 谭雪静)