

DOI: 10.5846/stxb201305251173

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.

Li J M, Hou H Z, Yao H Y, Wang X L. Marine biological damage assessment of oil spill based on resources equivalency analysis. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(13): 3762-3770.

基于资源等价分析法的海洋溢油生物资源损害评估

李京梅¹, 侯怀洲^{1,*}, 姚海燕², 王晓玲¹

(1. 中国海洋大学经济学院, 教育部人文社科重点研究基地中国海洋大学海洋发展研究院, 青岛 266100;

2. 国家海洋局北海监测中心, 青岛 266033)

摘要: 评估海洋溢油造成的生物资源损害, 对我国目前迫切需要制定的海洋生态补偿政策以及生态修复计划具有重要的现实意义。针对我国 2011 年渤海蓬莱 19-3 油田溢油事故, 评估生物资源受损程度, 利用资源等价分析法计算修复工程规模。结果表明, 底栖生物和非底栖生物(包括浮游幼虫幼体、鱼卵、仔稚鱼等)的受损程度分别为 30% 和 71.4%, 受损面积分别为 1600 km² 和 6400 km²。若以修建海洋生态保护区作为补偿修复工程, 在修复期为 20 a、贴现率为 3% 条件下, 修复工程规模应为 1059 km², 才能补偿溢油造成的底栖和非底栖生物资源损失。其结论可以作为海洋管理部门进行溢油生物资源损害评估和生态修复管理的技术依据。

关键词: 海洋溢油; 资源等价分析法; 生物资源损害评估; 生态修复

Marine biological damage assessment of oil spill based on resources equivalency analysis

LI Jingmei¹, HOU Huaizhou^{1,*}, YAO Haiyan², WANG Xiaoling¹

1 School of Economics, Marine Development Research Institute, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 North China Sea Monitoring Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266033, China

Abstract: Assessing the extent of biological resources damage resulting from oil spill could help the government meet the necessary requirements to develop policies on marine biological damage compensation and biological restoration. There have been a lot of researches conducted to assess the damage resulting from oil spill by using revealed and expressed preference techniques. Those researches provided some approaches to quantify the biological damage, and some useful management suggestions for government as well. However, the techniques used for assessing the damage remain controversial because some techniques tend to overstate actual losses and some computer programs cannot reflect reality accurately. Resource Equivalency Analysis (REA) is a tool for assessing biological resource damage which has been used in United States and other countries to identify restoration project for biological resource injured by oil spill and other anthropogenic actions. Termed “resource-resource”, REA seeks to determine the amount of restoration needed to compensate the biological resource losses. Penglai 19-3 oil field, located in Bohai Bay, attracted much attention due to the accident of oil spill in June, 2011. Data from the investigation report revealed by State Oceanic Administration showed that the accident caused a lot of damage. The damage extents of benthos and non-Benthos are 30% and 71.4%, and the damaged areas are 1600 km² and 6400 km², respectively. This paper assumes the marine ecological reserve as the restoration project, which could be built by releasing fish fry, building artificial fish reef, making sea grass bed and so on. The scale of the marine ecological

基金项目: 教育部人文社科重点研究基地重大项目(13JJD790032); 国家社会科学基金项目(12BJY064)

收稿日期: 2013-05-25; **网络出版日期:** 2014-02-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: houhuaizhou@126.com

reserve should be 1059km² to achieve the initial level. REA is based on the provision that restoration services are equivalent to the level of marine biological resource damage, and this method requires discounting the future cost and benefit. Parameter sensitivities are analyzed and it turns out that some parameters of restoration could affect the result significantly: the maximum annual output of biological resource, starting time of restoration project and the service period. The increased of the maximum annual output could lead to a reduction of the scale of marine ecological reserve. It could also lead to a reduction if we build the restoration project soon and lengthen the service period, so the restoration project is indeed needed to be built up and come into play as soon as possible. This paper concludes that REA offers an alternative to traditional analysis to assess the biological damage. What's more, the results could be used as a reference for government to conduct biological damage assessment and restoration. Applying the REA method in assessing the biological resource damage is only in the beginning stages, and the theoretical discussion have not yet commenced. However, it provides a prospect for the continuation of in-depth empirical research into the future.

Key Words: oil spill; resource equivalency analysis; marine biological damage; biological restoration

随着我国石油贸易量的增加和海上石油开采规模的扩大,溢油正在成为严重的海洋生态灾害之一。溢油发生后,评估受损生物资源种类与程度,并且决定采用何种初始修复措施,考量修复规模,估算修复成本,既是保证海洋资源生产力不降低的基本途径,也是政府部门要求责任方承担损害赔偿或制定生态修复计划的技术依据。

国内学术界对于溢油造成的海洋生物资源及生态损害评估方法进行了大量的研究,总体上已形成3种研究成果:(1)市场法。沈新强等根据受损经济鱼种的市场价格,评估渔业资源恢复所需的费用^[1]。陈锋等用市场价格或替代价格对溢油导致的海湾生态系统供给、调节、文化和支持等服务的损害进行货币化评估^[2]。(2)数值模拟法。李亚楠等分别建立数学模型,输入相应参数,测算溢油事故的损害程度及生态补偿的数额范围,快速评估海洋溢油生态损失^[3-5]。(3)综合分析法。高振会、杨建强等针对塔斯曼海轮溢油,将海洋溢油生态损害分为直接经济损失、生态服务功能损失、环境容量损失与生境修复费等,分别使用资源环境价值评估方法、卫星遥感技术以及成果参照法等进行货币化评估和生态修复指导^[6-7]。

尽管溢油损害评估已经形成了较为完整的方法体系,但是,采用环境资源货币化方法量化溢油损害,可能存在市场价格或替代价格选择的随意性和生态损害评估指标归类的重叠;使用数学模型有时不能准确描述大规模的溢油状况,从而都会导致评估结果不准确^[8]。

1996年,美国国家海洋与大气管理局颁布《<1990年油污法>自然资源损害评估指导文件》^[9],文件对自然资源损害评估的程序和规则进行了详细的规定,并推荐使用资源等价分析法(Resource Equivalency Analysis, REA)和生境等价分析法(Habitat Equivalency Analysis, HEA)评估受损自然资源或生境在恢复期间中止提供自然资源生态服务造成的临时损失。

此后,Fonseca、Deborah、Ando、Viehman等对HEA在资源损害评估中的应用进行了详细探讨^[10-13],Steven、Matthew等对REA模型做了改进和优化^[14-15]。2010年以来,我国有部分学者对等价分析法在煤炭开发和溢油发生后的自然资源损害评估应用进行了初步分析^[16-18],但相关研究总体仍处于起步阶段,在指标和参数选择、补偿修复工程类型确定等方面仍有较大的探讨空间。

2011年6月我国渤海湾蓬莱19-3油田发生溢油并对自然环境和生物资源造成严重损害,虽然责任方支付总计13.5亿元人民币赔偿天然渔业资源和养殖生物损害及相应监测修复成本^[19]。但是,这些赔偿款是否赔偿了无相应市场价格的生物资源及其生境?受损海洋生物资源是否能得以修复?何时才得以修复到基线水平?这些问题说明对溢油的生物资源损害作进一步的研究是必要的。本文采用资源等价分析法,以受损海洋生物资源恢复到损害之前的基线水平为赔偿原则,选取海洋生态保护区作为修复工程,通过计算修复工程的规模,作为对受损资源进行赔偿的依据。该计算框架和研究范例,可为

政府当局管理海洋生态环境、实施生态补偿政策提供依据。

1 研究方法

1.1 基本原理

等价分析法通过确定一个补偿修复工程,基于补偿修复工程服务功能与受损生物资源的服务功能是同类型、同质量且价值相同的假设,估算补偿修复工程的规模。在实际应用中,如果按照“资源-资源”的原则确定生物资源的损失和收益,则称之为资源等价分析法(REA),如果按照“生态服务-生态服务”的原则确定生境栖息地的损失和收益,则称之为生境等价分析法(HEA)^[20]。

1.2 步骤

1.2.1 计算受损生物资源的总损失量现值

图1表示生物资源受损期间数量变化情况^[21],假设生物资源受损前的数量即基线水平是 A_1 ,在 T_1 时点发生溢油,生物资源的数量下降到 A_2 ,随着时间的推移,其数量变化情况如图1曲线所示,到 T_2 时点恢复到基线水平。从生物资源受损开始到完全恢复至基线水平这段时间,生物资源的数量低于基线水平,则图1阴影部分即生物资源受损期间的总损失量。

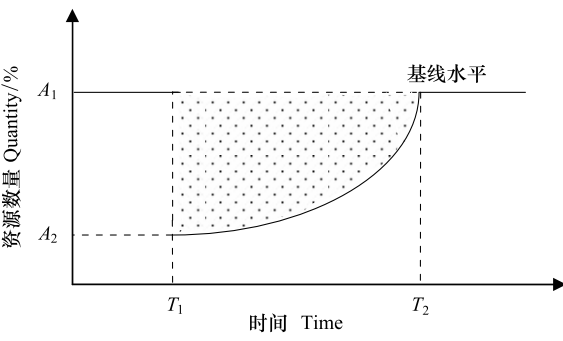


图1 资源受损期间数量变化情况
Fig.1 Quantity of the damaged resource

设 S_1 为溢油造成的生物资源总损失量的现值, Q_1 为生物资源受损的面积, I_t 为溢油在 t 时点造成的资源受损程度, r 为贴现率。则有^[22]:

$$S_1 = \sum_{t=T_1}^{T_2} Q_1 I_t \frac{1}{(1+r)^{t-T_1}} \quad (1)$$

1.2.2 计算补偿修复工程的生物资源总供给量现值

确定一项合适的补偿修复工程,图2表示补偿修复工程的生物资源量变化情况^[20], T_3 为补偿修复

工程开始的时间,此时补偿修复工程供给的生物量为0, T_4 为补偿修复工程达到基线水平 B_1 的时间, T_5 为补偿修复工程服务年限结束的时间,则图2阴影部分即补偿修复工程在有效补偿年限内的生物资源总供给量。

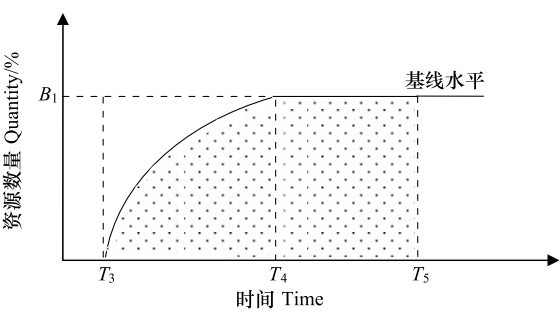


图2 补偿修复工程生物资源量变化情况
Fig.2 Quantity of the resource of restoration project

设 S_2 为补偿修复工程生物资源总供给量的现值, Q_2 为补偿修复工程的规模, R_t 是补偿修复工程在 t 时点的修复程度^[22]:

$$S_2 = \sum_{t=T_3}^{T_5} Q_2 R_t \frac{1}{(1+r)^{t-T_3}} \quad (2)$$

1.2.3 计算补偿修复工程的总体规模

按照资源等价分析法的基本原理,补偿修复工程的生物资源总供给量现值等于溢油造成的资源总损失量现值,即 $S_1 = S_2$ 。则补偿修复工程的规模 Q_2 为^[15]:

$$Q_2 = \frac{\sum_{t=T_1}^{T_2} Q_1 I_t \frac{1}{(1+r)^{t-T_1}}}{\sum_{t=T_3}^{T_5} R_t \frac{1}{(1+r)^{t-T_3}}} \quad (3)$$

式中, Q_2 为补偿修复工程的规模, I_t 为溢油在 t 时点造成的资源受损程度, R_t 为补偿修复工程在 t 时点的修复程度, Q_1 为生物资源受损的面积, T_1 为溢油发生时间, T_2 为受损生物资源恢复到基准资源量的时间, T_3 为补偿修复工程开始时间, T_4 为补偿修复工程达到最大年供给量的时间, T_5 为补偿修复工程的补偿年限结束时间, r 为贴现率。

2 蓬莱 19-3 油田溢油生物资源损害评估

2.1 溢油事故基本情况

根据《蓬莱 19-3 油田溢油事故联合调查组关于事故调查处理报告》^[22],蓬莱 19-3 油田位于渤海海

域中南部的 11/05 合同区、渤南凸起带中段的东北端的郯庐断裂带,东经 120°01′—120°08′,北纬 38°17′—38°27′,油田范围内平均水深 27—33m。2011 年 6 月 4 日和 17 日,蓬莱 19-3 油田先后发生两起溢油事故。

溢油造成蓬莱 19-3 油田附近及其西北部面积约 1600 km²海底沉积物受到污染。溢油点周边海域底栖生物被油污污染或覆盖,生物栖息环境被破坏,底栖生物受到损害;海底油污清理过程中,清理区域内底栖生物遭受损害。

溢油造成油田附近及其西北部面积约 6200 km²的海域海水污染,污染海域浮游生物种类和多样性明显降低,群落结构受到影响。2011 年 7 月,浮游幼虫幼体数量下降 69%。溢油还造成污染海域鱼卵和仔稚鱼的种类及密度均较背景值大幅度下降,2011 年 7 月,鱼卵平均密度较背景值下降 45%,仔稚鱼平均密度较背景值下降 90%^[22]。

2.2 生物资源损害程度识别

本次溢油对海洋生物资源造成较为严重的损害,按照受损生物资源的栖息环境划分,主要分为两类:底栖生物和非底栖生物,其中非底栖生物包括浮游幼虫幼体、鱼卵、仔稚鱼等。

(1)底栖生物损害

因本次溢油造成 1600 km²海底沉积物受到污染,而底栖生物生境与海底沉积物所处环境基本重合,故底栖生物受损面积约为 1600 km²。

参照 2002 年“塔斯曼海”轮船溢油对渤海底栖生物的影响^[23],该事故造成渤海受污染海域底栖生物平均生物量下降约 30%,而本次溢油也发生在渤海海域,故底栖生物受损程度也设为 30%。

(2)非底栖生物损害

因本次溢油造成 6200 km²的海域海水受到污染,非底栖生物(浮游幼虫幼体、鱼卵、仔稚鱼等)的生境即为受污染海域,故非底栖生物受损面积约为 6200 km²。

根据《蓬莱 19-3 油田溢油事故联合调查组关于事故调查处理报告》,溢油发生后的 2011 年 7 月,污染海域的浮游幼虫幼体数量下降 69%,鱼卵平均密度较背景值下降 45%,仔稚鱼平均密度较背景值下降 90%,故浮游幼虫幼体、鱼卵、仔稚鱼三者受损程度分别设为 69%、45%、90%。结合 Valiela 归纳出的各类生物在不同海域的生物量和产量^[24],浮游幼虫幼体、鱼卵及仔稚鱼三者在海域中的生物量比例分别为 59.8%、13.4%、26.8%。经加权计算可知,非底栖生物损失程度为 71.4%(表 1)。

表 1 蓬莱 19-3 油田溢油事故造成的生物资源损失情况

Table 1 Biological damage caused by oil spill in Penglai 19-3 oil field

受损资源类型 Type of damaged resource	受损资源种类 Category of damaged resource	受损程度 Extent of damage/%	总受损程度 Total extent of damage/%	受损面积 Damaged area /km ²
非底栖生物 Non-Benthos	浮游幼虫幼体	69	71.4	6200
	鱼卵	45		
	仔稚鱼	90		
底栖生物 Benthos	底栖生物	30	30	1600

2.3 受损生物资源损失变化情况分析

假设受损生物资源的恢复情况与时间满足线性关系,参考国内外有关溢油发生后生物种群恢复的研究成果^[25-27],一般情况下海底环境的恢复需要 7—10 a,而海面环境的恢复则需要 2—4 a。鉴于渤海属于半封闭海域,水体交换能力较差,一旦受到污染生物资源恢复比较慢,因此恢复年限选取最长时间,故设定底栖生物资源恢复至初始水平需要 10 a,非底栖生物需要 4 a。则基于资源等价分析法对生

物资源受损情况分析见表 2。

2.4 补偿修复工程提供生物资源变化情况

事实表明,实施与受损资源或其栖息地完全同质的补偿修复工程是不切实际的,甚至有时在生态学角度上看是不适当的。例如,如果损害发生在海域底部,从生态学角度看,通过改变水体来创建一个新的底部环境作为修复工程是不可行的。

表 2 蓬莱 19-3 油田溢油生物资源受损变化情况

Table 2 Biological resource damage caused by oil spill in Penglai 19-3 oil field

项目 Item	时间 Year	底栖生物 Benthos	非底栖生物 Non-Benthos
受损资源面积 Damage area /km ²		1600	6200
恢复时间 Recovery time/a		10	4
各年受损程度 Extent of damage/%	2011	30	71.4
	2012	27	53.55
	2013	24	35.7
	2014	21	17.85
	2015	18	0
	2016	15	
	2017	12	
	2018	9	
	2019	6	
	2020	3	
	2021	0	

参照国内外建立溢油补偿修复工程的案例和经验^[8-9,17-18],并结合蓬莱 19-3 油田溢油现状,本文拟建立一定规模的海洋生态保护区,通过投放鱼苗、建设鱼礁、禁渔、湿地修复等方式,进行海洋生物资源的增养殖,达到补偿受损资源的作用。海洋生态保护区可以在河北、辽宁等省份选取未被污染和开发的海域进行建设。

在参照同类研究成果的基础上^[8-9,16-17],对该补偿修复工程的参数采用假设方法,假定海洋生态保护区在 2011 年开始建造,5 a 内建造完成,服务期为 20 a,设其补偿过程所能供给的资源数量年际变化满足线性关系,初始资源供给量为 0,建造完成后达到的基线水平和受损资源的基线水平相同(表 3)。

表 3 海洋生态保护区生物资源年产量变化情况

Table 3 Change of resource quantity in marine ecological reserve

时间 Year	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	...	2029	2030
生物资源年产量 Annual output/%	0	20	40	60	80	100	100	...	100	100

2.5 补偿修复工程的规模

运用资源等价分析法,根据补偿修复工程生物资源总供给量现值等于溢油造成的资源总损失量现值的原则,即上文 $S_1 = S_2$,确定补偿修复工程即海洋生态保护区规模 Q_2 ,所需参数见表 4,并带入公式

(3),海洋生态保护区修复规模应为 1059 km²:

$$Q_2 = \frac{\sum_{t=T_1}^{T_2} Q_1 I_t \frac{1}{(1+r)^{t-T_1}}}{\sum_{t=T_3}^{T_5} R_t \frac{1}{(1+r)^{t-T_3}}} = 1059 \text{ km}^2 \quad (4)$$

表 4 确定补偿修复规模所需参数

Table 4 Parameters used for calculating the scale of restoration project

参数 Parameter	描述 Description	数值 Value
Q_1	生物资源受损的面积	分为底栖生物受损面积 1600 km ² 和非底栖生物受损面积 6200 km ²
I_t	溢油在 t 时点造成的资源受损程度	分为底栖生物受损程度 30% 和非底栖生物受损程度 71.4%
R_t	补偿修复工程在 t 时点的修复程度	在补偿修复工程所能供给的资源数量年际变化满足线性关系的前提下,修复程度均匀增加
T_1	溢油发生时间	2011 年
T_2	受损生物资源恢复到基准资源量的时间	2021 年
T_3	补偿修复工程开始时间	2011 年
T_4	补偿修复工程达到最大年供给量的时间	2016 年
T_5	补偿修复工程的补偿年限结束时间	2030 年
r	贴现率	3%

2.6 参数敏感度分析

在 REA 模型中涉及到的参数较多,参数数值的变化可能会对最终计算所得的补偿修复工程规模造

成一定的不确定性。这里需要分析公式(4)中主要参数的灵敏度,找出敏感参数,并说明参数变化后对结论的影响程度。

对于贴现率,根据国家海洋局颁布的《海洋溢油生态损害评估技术导则》的规定,海洋生态环境敏感区贴现率为 3%,海洋生态环境亚敏感区贴现率为 2%,海洋生态环境非敏感区贴现率为 1%^[28]。本文认为渤海海域属于海洋生态环境敏感区,故选取贴现率为 3%,不需要进行敏感度分析。

对于受损生物资源的参数,如生物资源受损的面积 Q_1 、溢油在 t 时点造成的资源受损程度 I_t 、溢油发生时间 T_1 、受损生物资源恢复到基准资源量的时间 T_2 等,其主要取决于对受损生物资源损害进行评估和测算的精确性,不需要过多的假设进行辅助计算,无需进行敏感度分析。

拟建的海洋生态保护区作为假设建造的补偿修复工程,其参数大多根据经验进行假设得出,任何一个参数数值的变化都会直接影响到补偿修复工程的规模,所以对其进行参数敏感度分析是非常必要的。

现对补偿修复工程中各参数的敏感度进行分析,相对于原始设置,分别改变各参数数值,变化情况如图 4。

情景 1: 补偿修复工程的初始生物量由 0 变为 15%;

情景 2: 补偿修复工程的基线水平由 100% 变为 80%;

情景 3: 补偿修复工程生物量开始增长的年份由 2012 年变为 2014 年;

情景 4: 补偿修复工程达到基线水平的年份由 2016 年变为 2018 年;

情景 5: 补偿修复工程的有效补偿年限由 20 a 变为 25 a;

情景 6: 补偿修复工程生物资源量增长方式由线性增长变为 Logistic 增长。

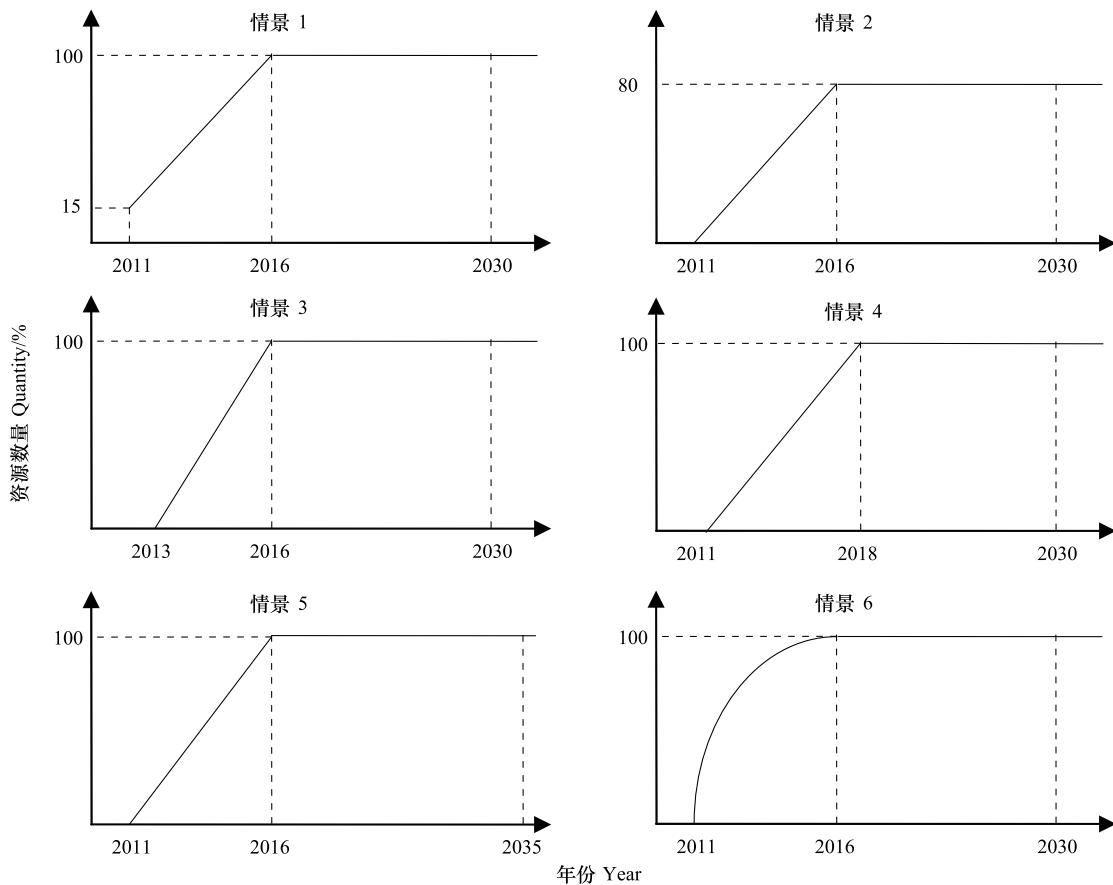


图 3 各参数变化示意图
Fig.3 Change of every parameter

根据公式(3),各参数变化后的补偿修复工程规模可以分别得出,与原情景中的补偿修复规模进行

比较,即可得出补偿修复工程规模变化率(表 5)。

表 5 参数敏感度分析

Table 5 Parameter sensitivity analysis

项目 Item	原情景 Original case	情景 1 Case 1	情景 2 Case 2	情景 3 Case 3	情景 4 Case 4	情景 5 Case 5	情景 6 Case 6
初始水平 The initial biomass/%	0	15 *	0	0	0	0	0
基线水平 Maximum output/%	100	100	80 *	100	100	100	100
生物量开始增长的年份 Starting year	2012	2012	2012	2014 *	2012	2012	2012
达到基线水平的年份 Year of maximum output	2016	2016	2016	2016	2018 *	2016	2016
补偿结束年份 End year	2030	2030	2030	2030	2030	2035 *	2030
生物量增长函数 Growth function	线性	线性	线性	线性	线性	线性	Logistic *
补偿修复工程规模 Scale/km ²	1059	1046	1276	1238	1088	875	986
补偿修复工程规模变化率 Rate of change/%		-1.2	20	16	2.7	-17.3	-6.9

表示该处变量与原情景不同

从表 5 可以看出,补偿修复工程每个参数的微小变化都会对补偿修复工程的规模产生不同程度影响。其中补偿修复工程的基线水平影响最为明显,说明补偿修复工程的最大服务水平愈接近甚至超过受损生物资源的基线水平,则所需的修复工程的规模愈小。另外,将补偿修复工程生物量开始增长的年份提前,或者延长有效补偿年限,都可以显著减少补偿修复工程规模,说明在溢油发生后要尽快实施修复工程并延长其补偿年限,以加快补偿速率并降低补偿成本。另外,由于补偿修复工程参数的变动对工程规模都会有一定影响,所以在计算补偿修复工程规模的时候,对参数数值的设定一定要科学谨慎,否则就会影响到补偿修复工程规模的准确性,这需要通过今后的评估实践不断摸索和探究。

3 结论与讨论

本文运用资源等价分析法 REA,以责任方必须承担将受损自然资源恢复至基线水平的责任,并补偿受损自然资源或服务从受损到完全修复期间、因为不能发挥其生态功能或向其他自然资源或公众提供服务而造成的临时损失为原则;基于补偿修复工程生物资源的总供给量现值等于受损资源的总损失量现值的假设条件,通过估算补偿修复工程的规模,作为溢油生物资源损害的评估和补偿依据。

根据已发布的《蓬莱 19-3 油田溢油事故调查处理报告》,并借鉴已有研究成果^[24-25],计算得出溢油对底栖生物和非底栖生物的损害程度分别为 30% 和 71.4%,损害面积分别为 1600 km² 和 6200 km²。若以

修建海洋生态保护区为补偿修复工程来补偿损失,3% 的贴现率水平下,假设修复期为 20 a,受损生物资源能恢复到初始水平,则修复工程规模为 1059 km²。参数敏感度分析表明,补偿修复工程的有效补偿年限、所能达到的最高服务水平等对评估结果影响显著,说明损害发生后要尽快修建补偿修复工程,并尽量提高工程的资源最大年产量。本文结论可作为对蓬莱 19-3 油田溢油进行生态修复的技术依据,亦可进一步根据补偿修复工程的单位成本来换算生态补偿金。

就本文而言,需要进一步讨论和明确的问题:(1)运用 REA 的一个基本假设是受损资源和补偿修复工程提供的资源是同质、同类且价值相同的,这一假设在现实中是很难或不可能实现的,通常人工建造的补偿修复工程在很多自然特性上都不如天然生境,这意味着从绝对数量的角度看,补偿与损失的比例应该大于 1:1 才能使补偿修复工程达到补偿损失的效果,如何用一个大于 1:1 的补偿比率估算补偿修复工程的规模值得进一步研究。(2)量化生物资源的总损失量时,本文使用的数据有些是源于经验或参照已有研究案例进行假设,从而导致不能精确计算溢油造成的实际损失,这是使用等价分析法普遍存在的缺陷。在溢油事故发生后,需及时对生物资源损失相关参数进行准确统计,才能得到准确的生物资源损失量。(3)蓬莱 19-3 油田溢油的补偿修复工程规模为 1059 km²,建议在河北、辽宁等省份选取未被污染的海域建立若干海洋生态保护区,通过投放鱼苗、建设鱼礁、禁渔、湿地修复等方式,进行海洋

生物资源的增殖殖,以达修复受损生境与资源。总之,如果有充分的关于受损和修复的资料数据,REA 还是一个较简单的评估生物资源损失并确定修复规模的有效方法。

References:

- [1] Shen X Q, Ding Y P, Yuan Q. Damage assessment of marine spilling oil accident on the natural fishery resources. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2008, 10(1): 93-97.
- [2] Chen F, Chen W Q, Wang X. Monetary evaluation on losses of gulf ecosystem services caused by oil spill. *Environmental Science and Management*, 2009, 34(11): 1-5.
- [3] Li Y N, Zhang Y, Ma C D. Economics losses damage assessment model for marine disaster. *Marine Environmental Science*. 2000, 19(3): 60-63
- [4] Xiong D Q, Yin P H, Feng X D, Zhu M H. Fuzzy analogy method for compensation assessment of oil pollution damage caused by oil spill from ships. *Navigation of China*, 2000, (1): 22-27.
- [5] Zhu M H, Xiong D Q, Yin P H. Fuzzy administrative levels analytical method for all factors affecting damage and compensation caused by oil spill from ships. *Environmental Protection In Transportation*, 2001, 22(2): 11-13.
- [6] Gao Z H, Yang J Q, Cui W L. Oil spill damage assessment of ecological theory, methods and case studies. Beijing: Marine Press, 2005: 52-78.
- [7] Yang J Q, Liao G X, Zhang A J. Study on rapid preliminary assessment technology of marine ecological damage of oil spill. Beijing: Marine Press, 2011: 67-86.
- [8] Li J M, Liu T Y. Ecological damage assessment of Jiaozhou Bay reclamation based on habitat equivalency analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(22): 7146-7155.
- [9] National Ocean and Atmospheric Administration. Injury assessment guidance document for natural resource damage assessment under the oil pollution act of 1990. U. S. damage assessment center, 1996.
- [10] Fonseca M S, Julius B E, Kenworthy W J. Integrating biology and economics in seagrass restoration: How much is enough and why? *Ecological Engineering*, 2000, 15(3): 227-237.
- [11] McCay D P F, Rowe J J. Habitat restoration as mitigation for lost production at multiple trophic levels. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 264(2): 233-247.
- [12] Ando A W, Khanna M. Natural resource damage assessment methods: Lessons in simplicity from state trustees. *Contemporary Economic Policy*, 2004, 22(4): 504-519.
- [13] Viehman S, Thur S M, Piniak G A. Coral reef metrics and habitat equivalency analysis. *Ocean and Coastal Management*, 2009, 52(3): 181-188.
- [14] Thur S M. Refining the use of habitat equivalency analysis. *Environmental Management*, 2007, 40(1): 161-170.
- [15] Zafonte M, Hampton S. Exploring welfare implications of resource equivalency analysis in natural resource damage assessments. *Ecological Economics*, 2007, 61: 134-145.
- [16] Zhang S F, Quan X, Tang Y Z. Evaluation of eco-Compensation for impaired vegetation in Shenfu coal resource exploration areas based on the HEA Method. *Resource Science*, 2010, 32(3): 491-498.
- [17] Li J M, Cao T T. The application of HEA in marine ecosystem damage assessments from oil spill in China. *Chinese Fisheries Economics*, 2011, 29(3): 80-86.
- [18] Zheng P K, Zhang T Z. Application of equivalency analysis method in economic assessment of environmental pollution damage. *Environmental Science and Management*, 2010, 35(3): 177-182.
- [19] Zhuang Q H. Experts say that there are two big questions of the one billion compensation. *China Youth Daily*, 2012-01-30 [2013-10-24]. http://zqb.cyol.com/html/2012-01/30/nw.D110000zgqnb_20120130_1-03.htm
- [20] Zhang P, Feng J Q, Ge L K. The assessment of natural resource damages caused by oil spill incidents based on equivalency analysis methods. *Advances in Earth Science*, 2012, 27(6): 633-643.
- [21] 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.
- [22] State Oceanic Administration. Investigation and Handling Report Given by Joint Team about Oil Spill in Penglai 19-3 Oil Field (2012-06-21) [2013-07-20]. http://www.soa.gov.cn/xw/hyyw_90/201211/t20121109_884.html
- [23] Zhou L L. The Appraisal of Oil Spill Pollution Damage to Marine Ecosystem and the Research on the Appraisal Index system[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006: 59-59.
- [24] Shen G Y, Shi B Z. *Marine Ecology*. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2007: 248-249.
- [25] Jing W W, Yang J P, Kang Z Q. Effects of oil spill pollution on biological community and population and ecosystem recovery. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008, (1): 80-87.
- [26] Chen G. Study of Fishery Damage Assessment Caused by Oil Pollution[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2002: 54-54.
- [27] Wardrop J A, Butler A J, Johnson J E. A field study of the toxicity of two oils and dispersant on the mangrove *avicennia marina*. *Marine Biology*, 1987, 96(1): 151-156
- [28] State Oceanic Administration. HY/T 095—2007 Technical Guidelines for ecological damage assessment on marine oil spill. Beijing: State Oceanic Administration, 2007

参考文献:

- [1] 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. 中国农业科技导报, 2008, 10 (1): 93-97.
- [2] 陈峰, 陈伟琪, 王萱. 溢油事故造成的海湾生态系统服务损失的货币化评估. 环境科学与管理, 2009, 34(11): 1-5.
- [3] 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.
- [4] 熊德琪, 殷佩海, 冯晓东, 朱鸣鹤. 船舶油污损害赔偿评估的模糊类比分析法. 中国航海, 2000, (1): 22-27.
- [5] 朱鸣鹤, 熊德琪, 殷佩海. 影响船舶油污事故损害与赔偿各因素的模糊层次分析法. 交通环保, 2001, 22(2): 11-13.
- [6] 高振会, 杨建强, 崔文林. 海洋溢油对环境与生态损害评估技术及应用. 北京: 海洋出版社, 2005: 52-78.
- [7] 杨建强, 廖国祥, 张爱君. 海洋溢油生态损害快速预评估技术研究. 北京: 海洋出版社, 2011: 67-86.
- [8] 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.
- [16] 张思锋, 权希, 唐远志. 基于 HEA 方法的神府煤炭开采区受损植被生态补偿评估. 资源科学, 2010, 32(3): 491-498.
- [17] 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.
- [18] 郑鹏凯, 张天柱. 等价分析法在环境污染损害评估中的应用与分析. 环境科学与管理, 2010, 35(3): 177-182.
- [19] 庄庆鸿. 专家称康菲 10 亿赔偿背后存两大疑问. 中国青年报, 2012-01-30 (03). http://zqb.cyol.com/html/2012-01/30/nw.D110000zgqnb_20120130_1-03.htm
- [20] 张蓬, 冯俊乔, 葛林科. 基于等价分析法评估溢油事故的自然资源损害. 地球科学进展, 2012, 27(6): 633-643.
- [22] 国家海洋局. 蓬莱 19-3 油田溢油事故联合调查组关于事故调查处理报告 (2012-06-21) [2013-07-20]. http://www.soa.gov.cn/xw/hyyw_90/201211/t20121109_884.html
- [23] 周玲玲. 溢油对海洋生态污损的评估及指标体系研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006: 59-59.
- [24] 沈国英, 施并章. 海洋生态学 (第二版). 北京: 科学出版社, 2007: 248-249.
- [25] 景伟文, 杨桂朋, 康志强. 海洋溢油污染对生物群落和种群的影响及生态系统的恢复. 海洋湖沼通报, 2008, (1): 80-87.
- [26] 陈刚. 溢油污染对渔业资源的损害评估研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2002: 54-54.
- [28] 国家海洋局. HY/T 095—2007 海洋溢油生态损害评估技术导则. 北京: 国家海洋局, 2007.