

海洋溢油生态损害评估程序及方法探讨^{*}

于春艳,梁斌,韩庚辰,霍传林,张志锋,马明辉

(国家海洋环境监测中心 大连 116023)

摘要:海洋溢油会对所在海域的海洋环境、海洋生物造成严重损害。近年来,我国海洋溢油事故频发,对海洋环境和人民财产造成相应损害,但往往由于赔偿不充分导致费用支付困难,使得溢油损害得不到及时清除。根据溢油量、油膜覆盖范围、岸滩、水质、沉积物质量、生物质量、潮间带及海洋生物等受损情况,可从六大方面评估溢油对海洋生态造成的价值损失,即海洋生态服务功能损害价值、海洋环境容量损失价值、油污清除费用、海洋生境修复费用、海洋生物修复费用及监测评估费用,从而建立一套相对科学、完整的海洋溢油生态损害评估程序及方法,为我国海洋溢油生态索赔提供一定的科学依据和理论支持。

关键词:海洋溢油;生态损害;评估程序;评估方法

中图分类号:X55;X826 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-9857(2015)01-0092-05

海洋是资源的宝库,是沿海国家经济发展的命脉。随着全球石油需求的日益增长,石油的海运量和进出港油轮不断增多,溢油事故时有发生,海上溢油污染也日趋严重,据统计,每年通过各种途径泄入海洋的石油和石油产品约占世界石油总产量的 0.5%^[1]。由于事故发生难以预测,带有偶然性和突发性,且泄油量往往又很大,对局部海域环境和海洋生物的伤害大多比较严重,也破坏了海洋生态系统的平衡,因此石油泄漏被称为海洋污染的超级杀手。随着中国经济的高速发展,中国已成为仅次于美国的第二大石油进口国^[1]。近年来,我国海洋溢油事故发生的频率越来越高,据统计,1998—2008 年,中国沿海共发生大小船舶溢油事故 733 起,溢油规模也越来越大^[2-3]。2002 年 11 月 23 日发生在天津海域的“塔斯曼海”轮事件溢油超过 200 t^[4-5];2010 年 7 月 16 日,位于我国辽东半岛南端的大连新港一艘 30 万 t 外籍油轮卸油时输油管线爆炸,并引发大量石油泄漏,事故虽及时得以控制但带来的生态损害不容忽视^[6];2011 年 6 月开始,蓬莱 19-3 油田持续几个月的溢油事故更是引起了公众的高度重视^[7-10]。

溢油的发生,不但给当地渔业、水产养殖业、

旅游业等造成经济损失,也严重损害了海洋以及海岸的自然环境和生态环境。而事故发生后,溢油清除和环境恢复的效率和结果受海洋溢油损害赔偿的及时性与彻底性的影响很大。在我国,往往由于缺乏完整的溢油污染生态损害评估程序,导致赔偿不充分、费用支付困难,溢油得不到及时清除,造成许多潜在的不可挽回的损失。近 20 年来我国沿岸发生的 50 t 以上 44 起溢油事故只赔偿了 17 起^[2-3]。因此,开展对海洋溢油生态损害评估程序及方法的研究迫在眉睫。

对海洋溢油污染事故造成的生态损害进行科学评估,是当今世界各国海洋生态环境保护与管理所面临的普遍技术难题。美国、加拿大、欧洲等是较早开展环境损害评估研究的国家和地区。美国国家海洋与大气管理局在 1996 年 8 月出版的“《1990 年油污法》自然资源损害评估指导文件”对自然资源损害评估程序和规则做出了规定;加拿大环大西洋地区环境署在 1999 年建立了适用于加拿大淡水和沿海生态系统的环境损害评估草案及程序^[11-15]。我国相关的专家学者也一直致力于海洋溢油生态损害评估方法及模型的研究。虽滞后于发达国家,但也逐步探索出一些具有实际应用价值的评估模型和方法^[16-21],

^{*} 基金项目:海洋公益性行业科研专项(201405029,201005014);国家自然科学基金青年科学基金(21107019)。

如:人工神经网络模型、溢油污染生物暴率模型、影子工程法、机会成本法、海洋溢油经济损失评估模型、渔业长期捕捞损失量评估模型等。

但是,上述众多的环境与生态损害评估方法,都不同程度地存在调查监测项目多、评估不全面、对评估损害价值量化难等问题,在这方面的深入探讨和研究将成为未来海洋溢油生态损害评估方法发展的必由之路。本文试图建立一套相对科学完整、简捷高效的海洋溢油生态损害评估的程序及方法,为今后我国的海洋溢油索赔提供理论支撑。

1 评估标准与方法

1.1 泄露石油成分分析

可依据《海面溢油鉴别系统规范》(GB/T 21247—2007),采用气相色谱—质谱法(GC—MS)分析石油成分。

1.2 石油入海量估算

可依据《海洋溢油生态损害评估技术导则》(HY/T 095—2007)》^[22],按式(1)估算石油泄漏入海总量:

$$G = \sum_{i=1}^n S_i \times H_i \times \rho \quad (1)$$

式中: G 为总溢油量; S_i 为第*i*种颜色的油膜总面积; H_i 为第*i*种颜色的油膜厚度; ρ 为油品密度; n 为油膜颜色的数量。

1.3 单站位评价

依据《海水水质标准(GB 3097—1997)》《海洋沉积物质量(GB 18668—2002)》《海洋生物质量(GB 18421—2001)》对各站位水质、沉积物和生物质量现状进行单因子评价。

2 数据资料

2.1 现状与历史数据

收集整理油污染损害海域相关的水文、气象、地理、生态、环境、海洋功能区划、生态环境敏感目标、社会经济等数据及有关部门的相关报告等资料,并对溢油点及其周围海域进行调研与岸滩巡视,对事故海域的环境现状和主要生态敏感区等进行初步分析与判断。将事故后海域现场监视监测结果与历史结果进行比较分析,确定事故溢油的受损对象及受损程度,分析溢油对海洋环境损害大小的决定因素,并对油污受损项目进

行归类。

2.2 遥感数据

可利用卫星遥感解译、航空遥感解译、船舶监视监测、油指纹鉴定等手段,获取不同时段海面漂油分布范围,并综合考虑溢油初期应急监测及中长期监测的重点评价区域、邻近海域生态敏感区(如海水浴场、海水增养殖区、海洋保护区等)、重点海湾、岸滩油分布状况、水文及气象等,以溢油点为中心,对其周围邻近海域以圆形或扇形等形式划定评价海域范围。

3 海洋环境污染与生态损害评价

溢油发生后,通常对溢油点及其周边海域的水文、水质、沉积物质量、生物质量、岸滩、潮间带生物、海洋生物等项目开展应急及中长期监测。通常情况下,水质、沉积物质量和生物质量的监测指标众多,在溢油事故中,应重点对石油本身相关的特征污染物进行监测与分析。根据石油及相关组分对水生生物及人体的毒性,借鉴其他国家溢油事件中的主要污染物分类方法,通常选择石油烃和多环芳烃(PAHs)作为重点监测指标。其中,PAHs是具有高度致癌、致畸、致突变等毒性的持久性有机污染物,被美国环境保护署(EPA)规定为十大类优先污染物之一,它们在水中的溶解度很小,多积累在底泥中,并很快被各种生物所吸收和代谢,因此有必要研究溢油后PAHs在水体、沉积物及生物体内的迁移与转化行为。石油中也含有正构烷烃等化合物,但由于其毒性小,且容易生物降解,因此国际上在溢油事件中一般均不关注此类化合物。另外,溢油事故发生后,一般会在海面漂油和岸滩油污清除过程中使用大量消油剂,其中化学消油剂主要以表面活性剂为主,在我国现行的《海水水质标准(GB 3097—1997)》中已对阴离子表面活性剂做出浓度限值规定,因此溢油事故发生后应开展海水中阴离子表面活性剂的监测与评价工作。

综上,海洋环境污染与生态损害评价主要包括岸滩油污染,生物损害,水质、沉积物和生物体中石油烃、PAHs及阴离子表面活性剂等浓度变化情况。同时,应采用事发海域环境质量的现状评价结果与历史背景评价结果进行类比分析,分析溢油前后目标海域环境质量的变化情况,评估

溢油对目标海域环境质量和生境状况的影响。

3.1 岸滩油污染

由于我国现行的标准中未对岸滩油污染做出相应规定,因此可参考日本环境省自然环境局《第2回自然环境保全基础调查海岸调查》中“3-11 海岸带调查纲要”对海岸带油污染等级划分的方法,确定岸滩石油污染程度。按石油污染状况,可将岸滩原油污染程度分为3级。

轻度污染:观测区域内滩涂或岩礁上偶有小面积油污分布。

中度污染:油污呈斑块状不连续分布,观测区域内半数左右滩涂或岩礁被油污覆盖。

重度污染:油污较厚,呈面状连续分布,观测区域内60%以上滩涂或岩礁被油污覆盖。

3.2 水环境污染状况

水环境污染面积应从两方面进行评价:一是海面出现油膜漂浮的水域面积;二是因溢油导致的水质等级下降的水域面积。其中海面油膜导致的海水环境污染范围可采用地理信息系统(GIS)空间分析技术进行计算;海域各类水质等级范围可采用反距离权重插值法(IDW)等进行划定,并与溢油前水环境质量等级进行比较。将海面油膜导致的海水环境污染范围与海水质量等级下降的区域进行叠加,最终确定溢油事故导致的水环境污染总面积。

其中,水质评价可采用单因子评价法,依据《海水水质标准(GB 3097-1997)》确定石油烃、PAHs及阴离子表面活性剂等污染因子的水环境质量等级。但我国现行海洋环境质量标准中对PAHs的含量并未作规定,仅《海水水质标准(GB 3097-1997)》中给出了海水中苯并(a)芘(BaP)的浓度标准限值为2.5ng/L。评价时,可以采用目前国际上通用的毒性当量浓度(PEC)法^[23]将PAHs转换成BaP的毒性当量浓度,见式(2),再用《海水水质标准(GB 3097-1997)》中BaP浓度限值进行比对。

$$PEC = \sum_i (RP_i \times C_i) \tag{2}$$

式中:RP_i为第i个PAHs单体的毒性当量因子;C_i为第i个PAHs单体的实测浓度,mg/kg。

3.3 沉积环境污染状况

可采用单因子评价法确定海洋沉积物监测

站位中石油烃、PAHs等污染因子的环境质量等级,再根据监测站位的空间代表性确定沉积环境污染范围及面积。其中,石油烃含量的环境质量等级可依据《海洋沉积物质量(GB 18668-2002)》进行评价;但我国现行的海洋环境质量标准对沉积物中PAHs的含量未作规定,可借鉴《美国华盛顿州海洋沉积物质量标准(WAC 173-204-320)》,PAHs各单体含量经有机碳校正后可进行评价。

3.4 污染物生物累积

可采用单因子评价法对海洋生物体内石油烃、PAHs等污染因子的生物质量等级进行评价,从而确定污染物在海洋生物体内的累积效应。其中,生物体内石油烃残留量可依据《海洋生物质量(GB 18421-2001)》进行评价;但我国现行的海洋环境质量标准中对生物体内PAHs的含量未作规定,可借鉴《欧盟水产品食用风险最大限值(2006/1881/EC)》的评价标准,采用BaP毒性当量浓度的形式对PAHs的污染进行评价。

3.5 潮间带生物损害

可选择受油污染岸滩附着生活的优势种群、敏感鸟类及大型底栖藻类等作为潮间带生物损害的评估对象。评价指标要能够反映生物群落结构状况,主要包括种群数量及死亡率、藻类种类数量及盖度等。

3.6 油污海域生物损害

可选择油污染水域范围内的浮游植物、浮游动物、大型底栖生物作为海域生物损害的评估对象。评价指标一般包括生物多样性、种类组成、浮游植物丰度、浮游动物和底栖动物密度及生物量等。如果油污海域包含了红树林、珊瑚礁、海草床等典型生态系统,还应重点关注其群落等相关指标的变化情况。

4 海洋生态损害价值评估

《海洋溢油生态损害评估技术导则(HY/T 095-2007)》对生态损害价值评估做了相关规定,但对价值评估与生态损害的相关性未做充分介绍。因此,本文根据海洋环境污染与生态损害的评价结果,对海洋生态损害价值进行全方位评估。溢油事故发生后,对海洋生态环境造成的价

值损失可从 6 个方面进行评估,即海洋生态服务功能损害价值、海洋环境容量损失价值、油污清除费用、海洋生境修复费用、海洋生物修复费用及监测评估费用。

4.1 海洋生态服务功能损害价值评估

溢油会对事故海域生态环境造成损害,从而降低海洋生态服务功能,这种海洋生态系统服务从受损到恢复至正常状态的这段期间的价值损失为生态服务功能损害价值。通常表现为海水水质、海洋沉积物、潮间带生物、浮游生物、游泳生物、海洋生物体质量等受损。可按式(3)^[22]进行计算:

$$\begin{cases} HY_E = \sum_{i=1}^n hy_i \\ hy_i = hy_{di} \times hy_{ai} \times s_i \times t_i \times d \end{cases} \quad (3)$$

式中: HY_E 为海洋生态服务功能损失总价值,单位为万元; hy_i 为第 i 类海洋生态系统类型海洋生态服务功能损失,单位为万元; i 为溢油影响区域的海洋生态系统类型; hy_{di} 为第 i 类海洋生态系统类型单位公益价值,单位为元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); hy_{ai} 为溢油影响的第 i 类海洋生态系统的面积,单位为 hm^2 ; s_i 为溢油对 i 类海洋生态系统造成的损失率(%); t_i 为溢油事故发生至第 i 类海洋生态系统恢复至原状的时间,单位为年;通常以水质、沉积物和海洋生物恢复至原状的时间计; d 为折算率,一般选取 1%~3%,其中,海洋生态环境敏感区取 3%,海洋生态环境亚敏感区取 2%,海洋生态环境非敏感区取 1%。

4.2 海洋环境容量损失价值评估

海洋环境容量是一种客观存在的自然资源,是一种有价资源。海洋环境容量损失是指超过一定限度的污染破坏了海洋环境的自净功能,使海洋环境损失了容纳消解污染物的能力。溢油事故发生后,可将溢油量按比例折算,在一定期限内采取措施控制石油类入海量,用削减石油类入海量的投资费用来估算溢油事故造成的海洋环境容量价值损失。

目前,海洋环境容量损失价值量常用影子工程法进行计算,污染损害的经济损失为建设污水处理厂的建设费用和处理费用之和(即污水处理的总成本),可按式(4)^[22]进行计算:

$$HY_w = W_p + W_q \times hy_a \times K \quad (4)$$

式中: HY_w 为海洋环境容量损失价值量,单位为万元; W_p 为建设污水处理厂的费用,单位为万元; W_q 为处理费,单位为万元/ m^3 ; hy_a 为溢油影响的海水面积,单位为 m^2 ; K 为溢油影响的海水平均深度,单位为 m ,通常以表层水体 0.5 m 计。

4.3 油污清除费用

油污清除费用根据实际发生的费用进行计算,通常包括污染清理的设备使用费、污染清理所需的物资费用、污染物的运输与处理费用、污染清理和应急人员费用等。

4.4 海洋生境修复费用

海洋生境修复费用是指恢复受损的生物栖息地至原有状态的费用,一般包括岸滩修复费用和海洋沉积环境修复费用。岸滩和海洋沉积环境是众多生物的栖息地,是海洋生态系统的重要组成部分。溢油对海洋生境的影响主要是石油及其有毒有害成分难以降解,对岸滩及海洋沉积环境质量造成严重危害,自然恢复过程漫长,需要通过人工干预的方式加速其恢复。因此,可采取生境修复技术将生境中的石油类等相关污染物含量降低到一个许可的水平,重新建立栖息地的主要结构和功能。

(1)根据监测评价结果确定需要修复的岸滩面积,可通过海草、大型藻类栽植等手段修复岸滩生态系统产生的费用,包括苗种费和人工种植费用等。

(2)根据沉积环境的监测评价结果确定待恢复的区域和面积,可通过两种手段来实现:一是对污染严重的沉积环境进行底泥疏浚,包括污染底泥疏挖、运输和无害化处置等;二是利用从自然海洋环境中选育的石油烃降解菌,富集、培养后进行扩大发酵,并以沸石为载体,将微生物菌剂、生物乳化剂吸附后投放于海底沉积物表面,同时通过添加过氧化钙等氧缓释剂措施来强化生物修复过程,进而对溢油海域海底沉积物进行修复。其中,生物修复技术是利用微生物本身具有将有害物质分解成无害物质的特殊能力而达到消除污染的目的,它已成为一种消除化学污染又不破坏生态环境的最有发展前景的技术之一,使用过程安全,且不会对环境造成污染,其费用主要包括菌剂生产加工费用和原位修复费用。

4.5 海洋生物修复费用

海洋生物修复费用是指恢复受损的生物至原有状态的费用,主要包括海洋生物主要优势种修复费用和主要经济种修复费用。

溢油会对海洋生物造成严重影响,从浮游植物到游泳生物各级海洋生物会出现种类减少,种群结构发生变化等现象。在采取海洋环境修复措施的同时,污染造成损失的主要优势种和主要经济种必须进行补充,通常采用人工放流等方法使损失掉的某些生物种群恢复到受损前的水平,恢复污染海域生物多样性,保持生态平衡,发挥海洋生态系统的正常功能。其费用主要包括幼体购置费、运输费、放流保护费等。

4.6 监测评估费用

监测评估费用为所有参与单位所花费的用于事发现场应急监测评价及后期的跟踪监测与

评价费用,主要包括监测费用、样品的分析测试费用、数据处理与综合评价费用等。监测评估费用根据已经发生的费用和跟踪监测方案确定的将要发生的费用进行计算。

5 小结

本文从石油入海量、油污染海域范围、海洋环境污染及生态损害评价、海洋生态价值损失等几个方面,对海洋溢油污染事故所造成的危害做了全方位评估,建立一套海洋溢油生态损害评估程序及方法。该评估程序适用于船舶、输油管线等绝大多数类型的涉海油污染事故。但随着科学技术的发展以及特殊类型的溢油事故,该评估程序中涉及的部分评估方法可能需要适当调整和更新。

参考文献

[1] 吕颂辉,陈翰林. 溢油对南海海洋生态系统的影响及珠江口溢油现状[J]. 生态科学,2006,25(4):379—384.

[2] 俞徐波,朱鸣鹤,牛程飞. 两种溢油事故损害赔偿方法的应用对比[J]. 安全与环境学报,2013,13(3):269—273.

[3] 刘伟峰. 海洋溢油污染生态损害评估研究:以胶州湾为例[D]. 青岛:中国海洋大学,2010.

[4] 文琦. 渤海溢油污染事故生态损害赔偿的法律救济问题研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.

[5] 杨建强,张秋艳,罗先香. 海洋溢油生态损害快速预评估模式研究[J]. 海洋通报,2011,30(6):702—706.

[6] 温艳萍,吴传雯. 大连海洋溢油事故的生态环境损害评估[J]. 海洋经济,2013,3(5):50—56.

[7] 王宇平. 从康菲溢油事故看我国《海洋环境保护法》的完善[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.

[8] 左平凡. 康菲中国溢油事件法律适用溯及既往的法理分析[J]. 沈阳工业大学学报:社会科学版,2012,5(2):178—184.

[9] 柯坚. 建立我国生态环境损害多元化法律救济机制:以康菲溢油污染事件为背景[J]. 甘肃政法学院学报,2012,(120):101—107.

[10] 施依柠. 论我国海上溢油生态损害赔偿立法不足与完善[D]. 大连:大连海事大学,2012.

[11] 马丽,李吉鹏,陆志强. 海洋溢油生态损害简易评估方法研究[J]. 海洋通报,2013,32(1):113—120.

[12] 朱文材. 船舶溢油事故损害赔偿的间接评估方法研究[D]. 宁波:宁波大学,2012.

[13] 张九新. 海上溢油对海洋生物的损害评估研究[D]. 大连:大连海事大学,2011.

[14] Injury assessment guidance document for natural resource damage assessment under the oil pollution act of 1990[Z]. The Damage Assessment Remediation and Restoration Program,NOAA,1996.

[15] MACDONALD K,DEWIS S,HENNIGAR P, et al. Application of environmental damage assessment and resource valuation processes in Atlantic Canada[M]. Dartmouth,Nova Scotia,Environment Canada,Atlantic Region,1998.

[16] 杨天姿,于桂峰. 海上溢油生态环境损害评估及展望[J]. 广州环境科学,2008,23(3):36—39.

[17] 马丽,陆志强,王翠,等. 美国华盛顿州溢油自然资源损害简易评估方法及其在厦门湾的应用[J]. 生态学杂志,2013,32(1):226—231.

[18] 熊德琪,廖国香,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):70—71.

[19] 熊德琪,殷佩海,严世强. 海上船舶溢油事故损害赔偿微机化评估系统的研究[J]. 大连海事大学学报,2000,26(1):37—41.

[20] 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.

[21] 高振会,杨建强,崔文林,等. 海洋溢油对环境与生态损害评估技术及应用[M]. 北京:海洋出版社,2005:52—78.

[22] 高振会,杨建强,崔文林,等. HY/T 095—2007 海洋溢油生态损害评估技术导则[S].

[23] 胡莹莹,王菊英,樊景凤. HY/T 128—2010 海洋经济生物质量风险评价指南[S].