

海洋溢油技术丛书（四）

海洋溢油生态损害 快速预评估技术研究

*HAIYANG YIYOU SHENGTAI SUNHAI
KUAISU YUPINGGU JISHU YANJIU*

杨建强 廖国祥 张爱君 等著

X55
14

海洋公益性行业科研专项经费项目 (编号: 200805013, 201105006)

国家“十一五”科技支撑计划课题 (编号: 2006BAC03B04-01-04)

国家软科学研究计划 (编号: 2008GXQ6B140)

国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室重点项目 (编号: 2007001, 2010022)

海洋溢油生态损害快速 预评估技术研究

杨建强 廖国祥 张爱君 等著

海洋出版社

2011年·北京

内 容 简 介

全书共9章,其中第1~3章为理论部分,介绍了国内外海洋溢油生态损害评估法律及技术现状,海洋溢油生态损害快速预评估的基本概念和技术框架以及海洋溢油生态损害快速预评估的基础理论与方法;第4~6章为技术实现,介绍了海区生态系统服务价值评估及其溢油敏感性的评价,海洋溢油生态损害快速预评估模式的构建,预评估信息系统的开发及功能实现;第7~8章为案例研究,以“塔斯曼海”轮溢油事故为例介绍了溢油事故后的海洋生态损害快速预评估,并对基于风险分析的大连港海域溢油事故生态损害快速预评估进行了探讨,第9章对全书进行了总结。

本书主要供海洋行政管理部门、生态环境保护部门、石油管理部门、海事部门、海洋运输部门、司法部门和经济管理部门的管理者和决策者以及相关专业的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋溢油生态损害快速预评估技术研究/杨建强等著.

—北京:海洋出版社,2011.6

ISBN 978-7-5027-8035-7

I. ①海… II. ①杨… III. ①漏油-海水污染-环境生态评价 IV. ①X55

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第101498号

责任编辑:白 燕 张 荣

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2011年6月第1版 2011年6月北京第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:11

字数:230千字 定价:35.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

21 世纪以来,随着全球化经济的快速发展以及对石油能源的急剧需求,世界范围内运输船舶、海洋石油勘探开发等人类活动引起的重大溢油事故频繁发生。例如,2007 年 12 月发生在韩国大山港的 26 万吨油船“河北精神号”因碰撞而泄漏 1 万多吨原油,严重损害当地海域的生态环境;2010 年 5 月一艘马来西亚籍油船在新加坡海峡樟宜东 13 km 处海域发生碰撞,造成约 2 000 t 石油泄漏;2010 年 4 月美国墨西哥湾“深水地平线”油井平台泄漏了 490 万桶原油,其中有 410 万桶进入海洋,据估计该事故造成的社会经济与自然环境资源损失高达 400 亿美元。

随着我国对外开放和海洋经济的迅速发展,海洋溢油事故日益频繁。例如,2002 年 11 月在渤海湾发生的“塔斯曼海”轮溢油事故,生态索赔额高达 1.2 亿元人民币;2004 年 12 月珠江口发生的特大船舶溢油事故,溢油量达 1 200 t,损害范围达到海南省近海海域;2006 年 2 月发生的“长岛海域油污污染事件”持续时间长达 3 个月之久,波及山东、天津、河北沿岸,引起了国务院的高度重视,成为有史以来渤海发生的影响范围最大的油污污染事故,对海洋生态环境、人民财产及健康安全造成了巨大损害;2010 年 7 月发生的大连新港输油管道爆炸并引起储罐中的原油泄漏污染海洋事故,溢油量超过 1 500 t。在以往的海洋溢油事故处理中,主要是对溢油事故现场造成的直接损失以及渔业资源损害进行评估并提出索赔,而往往忽略了对溢油事故造成的海洋生态损害的评估,因而给国家海洋生态资源、生态权益和人民群众带来了后续的重大损失。

国际上,各国大多形成了相应的技术标准以规范海洋溢油事故的评估。例如,美国的《自然资源损害评估》(NRDA)技术体系、俄罗斯的简易海洋生态损害评估计算公式等。我国的《海洋环境保护法》第 90 条也规定了污染损害造成的海洋生态赔偿责任,而技术体系方面则有《海洋溢油生态损害评估技术导则》、《天然渔业资源损害评估》等。随着我国沿海经济的迅速发展,海洋溢油风险不断增加,深入研究海洋溢油生态损害评估理论与方法,不仅是指导我国海洋溢油环境保护技术所急需的,而且适应了国际化需求。

改革开放以来,在我国社会经济高速发展的同时,陆地和海洋生态环境却不断受到破坏,已对国家的可持续发展产生深远影响。为此国家正在制定《生态补偿条例》,旨在保证各种生态资源开发与保护的平衡。溢油是重要的海洋生态环境灾害之一,如何基于生态补偿法律法规发展新的技术方法,为海洋溢油的防治管理提供科学理论支持具有重要的现实意义。虽然我国已在海洋溢油生态损害评估方面取得了不少的研究成果,但主要是针对事故后的损害赔偿评估,未将生态损害评估理论方法进一步应用

于海洋溢油预防中的风险管理、应急响应中的决策支持以及事故后阶段性损害赔偿评估等方面。近年来,我们承担了海洋公益性行业科研专项经费项目“渤海石油平台及临近海域环境污染实时监控预警及应急支撑技术与示范”和“海洋工程和海上溢油生态补偿/赔偿关键技术研究示范”、国家“十一五”科技支撑计划课题“海上突发事件应急预报技术”中的“海上溢油污损预评估技术研究”、国家软科学课题“海洋溢油生态风险评价指标体系、模型及示范研究”等课题项目的研究。基于国内外最新研究成果以及结合“塔斯曼海”轮溢油事故等实践经验,我们提出研究和发 展海洋溢油生态损害快速预评估技术,以实测与预测组合方式快速量化评估溢油事故前、中、后等不同阶段的海洋生态损害范围和程度以及经济价值损失,以期为更好地开展海洋溢油环境保护管理、海洋生态损害赔偿与损失补偿实践以及维护我国的海洋生态权益提供科学依据和技术支撑。

全书共9章,其中第1~3章为理论部分,介绍了国内外海洋溢油生态损害评估法律及技术现状,海洋溢油生态损害快速预评估的基本概念和技术框架以及海洋溢油生态损害快速预评估的基础理论与方法;第4~6章为技术实现,介绍了海区生态系统服务价值评估及其溢油敏感性的评价,海洋溢油生态损害快速预评估模式的构建,预评估信息系统的开发及功能实现;第7~8章为案例研究,以“塔斯曼海”轮溢油事故为例介绍了溢油事故后的海洋生态损害快速预评估,并对基于风险分析的大连港海域溢油事故生态损害快速预评估进行了探讨。第9章对全书进行了总结。

在课题研究和本书撰写过程中,中国海洋大学研究生张秋艳在评估指标研究方面,北海监测中心张继民高工、郑琳高工在案例研究方面,北海监测中心王娟高工、曲亮工程师、姜独祎工程师等在数据库建设方面做了大量工作。

本书依托山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室、国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室完成,在写作过程中,得到了实验室主任房建孟局长、王志远局长以及北海分局郭明克副局长、崔文林主任、国家海洋环境预报中心刘钦政研究员等的大力支持与帮助,在此一并表示感谢!

此外,还要特别感谢国家海洋局环保司王斌副司长、陈力群副司长、王孝强处长以及国家海洋局北海分局、中国海监北海总队的领导和同志们对此项工作的大力支持,感谢海洋出版社石青峰社长等在出版方面给予的大力协助及辛勤劳动。感谢所有参与、关心此项工作的同仁!

由于时间关系以及笔者对本前沿领域研究认识水平有限,书中可能存在一些不足和错误之处,敬请各界人士批评指正!同时期待有关研究领域的人们加入到我们的行列中,共同探讨这一全新的研究课题。

作者

2011年2月

目 录

第1章 海洋溢油生态损害评估研究进展	(1)
1.1 溢油对海洋生态环境的损害影响	(1)
1.1.1 海洋溢油的来源、特点及发生趋势	(1)
1.1.2 溢油行为归宿及对海洋生态的损害	(5)
1.2 海洋溢油生态损害评估的法律现状	(10)
1.2.1 海洋溢油损害赔偿的有关国际公约与法律法规	(10)
1.2.2 我国海洋溢油生态损害的赔偿现状	(12)
1.2.3 海洋生态的损害赔偿与损失补偿	(13)
1.3 海洋溢油生态损害评估技术的现状	(14)
1.3.1 国外溢油损害评估技术的研究	(14)
1.3.2 国内溢油损害评估技术的研究	(19)
1.3.3 溢油损害评估的监视监测技术	(20)
1.4 海洋溢油生态损害评估的应用需求	(23)
1.4.1 溢油风险管理与生态损害评估	(23)
1.4.2 溢油应急决策与生态损害评估	(23)
1.5 海洋溢油生态损害评估的研究展望	(23)
1.5.1 存在的问题分析	(24)
1.5.2 研究展望及目标	(24)
第2章 海洋溢油生态损害快速预评估技术框架	(26)
2.1 海洋溢油生态损害快速预评估的基本概念	(26)
2.2 海洋溢油生态损害快速预评估的技术框架	(27)
2.2.1 主要技术特点	(27)
2.2.2 主要技术方法	(28)
2.3 海洋溢油生态损害快速预评估的基本程序	(29)
2.3.1 基本程序	(29)
2.3.2 技术程序	(30)
2.4 海洋溢油生态损害快速预评估的主要内容	(33)
2.4.1 溢油事故前风险管理的海洋生态损害快速预评估	(33)
2.4.2 溢油事故时应急决策的海洋生态损害快速预评估	(34)

2.4.3 溢油事故后损害评估的海洋生态损害快速预评估	(35)
-----------------------------------	------

第3章 溢油生态损害快速预评估基础理论与方法

3.1 生态系统服务价值评估	(36)
3.1.1 生态系统服务及其价值	(36)
3.1.2 生态系统服务价值评估方法	(36)
3.1.3 生态系统服务价值评估模型	(39)
3.1.4 主要的生态系统服务价值评估方法比较	(43)
3.2 环境容量及其价值评估	(44)
3.2.1 环境容量的概念	(44)
3.2.2 环境容量的影响因素及价值	(45)
3.2.3 海洋环境容量的价值评估方法	(47)
3.3 环境风险与生态风险评价	(49)
3.3.1 风险与风险评价	(50)
3.3.2 环境风险评价	(50)
3.3.3 生态风险评价	(51)
3.3.4 溢油风险评价	(53)
3.4 海洋溢油行为归宿数值模拟	(54)
3.4.1 海洋环境水动力模拟	(55)
3.4.2 水下溢油输移过程模拟	(60)
3.4.3 海上溢油行为归宿模拟	(65)
3.5 遥感与地理信息系统	(71)
3.5.1 海洋遥感监测技术	(71)
3.5.2 地理信息系统技术	(76)

第4章 海区生态系统服务价值及溢油敏感性评价

4.1 基于功能区划的海洋生态敏感区分类	(80)
4.2 不同生态敏感区溢油敏感系数的计算	(81)
4.3 不同海区的生态服务价值评估	(84)
4.4 海洋溢油生态损害评估空间数据库	(85)
4.4.1 海洋溢油生态损害评估数据的组成	(85)
4.4.2 基于 RDBMS 的空间数据库模型	(86)
4.4.3 空间数据库在 GIS 系统中的应用	(90)

第5章 海洋溢油生态损害快速预评估模式

5.1 预评估模式的构建思路及框架	(91)
-------------------------	------

5.2 溢油生态损害预评估指标体系	(92)
5.2.1 拟建预评估指标体系	(92)
5.2.2 预评估指标权重计算	(92)
5.2.3 预评估指标的筛选	(95)
5.3 海洋溢油生态损害快速预评估公式	(98)
5.3.1 快速预评估指标的选取	(98)
5.3.2 海洋生态价值损失计算	(98)
5.4 评估公式参数获取及确定方法	(101)
5.4.1 溢油量和溢油面积	(101)
5.4.2 溢油品质系数	(103)
5.4.3 生态敏感系数	(104)
5.4.4 生态系统服务价值	(104)
5.4.5 海洋生态系统健康指数变化率	(104)
5.4.6 海洋生物资源损失率	(106)
第6章 海洋溢油生态损害快速预评估信息系统	(109)
6.1 系统总体设计	(109)
6.1.1 研制目标	(109)
6.1.2 设计原则	(109)
6.1.3 系统结构	(110)
6.2 系统开发实现	(111)
6.2.1 运行环境	(111)
6.2.2 软件实现	(111)
6.3 系统主要功能	(111)
6.3.1 多源数据综合管理	(112)
6.3.2 空间数据管理查询	(113)
6.3.3 溢油动态数值模拟	(114)
6.3.4 溢油生态损害评估	(116)
第7章 溢油事故后海洋生态损害的快速预评估	
——以“塔斯曼海”轮溢油事故为例	(117)
7.1 事故回顾	(117)
7.2 溢油对海洋生态损害的快速预评估	(120)
7.2.1 溢油量和溢油面积估算	(120)
7.2.2 海洋生态环境损害程度调查结果	(122)
7.2.3 海洋环境容量损失评估	(123)

7.2.4	海洋生态系统服务损失评估	(124)
7.2.5	海洋生物资源损失评估	(126)
7.2.6	海洋生态价值损失评估	(127)
7.3	损害评估方法的比较与分析	(127)
7.3.1	原始评估过程	(127)
7.3.2	结果比较讨论	(128)
7.4	小结	(128)
第8章 基于风险分析的海洋溢油生态损害快速预评估		
	——以大连港海域为例	(130)
8.1	大连港海域环境概况	(130)
8.1.1	自然环境条件	(130)
8.1.2	海洋敏感资源	(132)
8.2	溢油事故风险分析	(133)
8.2.1	溢油事故类型及原因分析	(134)
8.2.2	溢油事故发生的概率分析	(135)
8.2.3	溢油事故的主要场景分析	(135)
8.3	大连港海域溢油生态损害快速预评估	(136)
8.3.1	大连港海域潮流场模拟	(136)
8.3.2	溢油事故场景模拟设置	(138)
8.3.3	海洋生态损害评估参数	(139)
8.3.4	海洋生态损害程度及价值损失评估	(140)
8.3.5	评估结果分析与讨论	(150)
8.4	小结	(154)
第9章 总结		
参考文献		
		(159)

第1章 海洋溢油生态损害评估研究进展

1.1 溢油对海洋生态环境的损害影响

1.1.1 海洋溢油的来源、特点及发生趋势

1.1.1.1 海洋石油污染的来源

海洋是地球上地势最低的区域,是陆源污染物(包括石油)的最终聚集地。近年来,随着国际海运业的高速发展、海上油气资源勘探开发的强度日益加大以及沿海经济规模的日趋庞大,日常排污及突发事件造成的海洋石油污染呈加重趋势。进入海洋环境的石油及其炼制品主要来自:经河流或排污口向海洋注入的各种含油废水;海上油船漏油、排放和油船事故等;海洋石油开发溢漏等(见图1-1)。其中,动力燃料油和原油是进入海洋环境的两大类油种。

据统计,通过各种途径每年进入海洋的石油和石油产品约占世界石油总产量的5‰。目前全世界每年流入海洋的石油及其产品量超过1 000万吨,其中由河流带入海洋的约为500万吨;由船舶与事故排放入海的约为150万吨;由开采石油发生的井漏、井喷等事故排放入海的超过100万吨。

随着全球工业化进程的加快,人类社会能源需求急剧增加。海洋油气资源作为主要能源之一,其开采规模迅速扩大,海上平台、油井数量和海上石油运输量急剧增加。以渤海为例,目前渤海有海上油田11个,专家预计渤海的石油产量将超过大庆油田。

据海关总署的统计,我国石油进口量自2003年突破1亿吨后,每年平均增加2 000万吨,到2010年已达到2.5亿吨。我国石油进口量已居世界第二位,仅次于美国。目前,天津、大连、青岛、宁波、广州、湛江等地都已建成10万~30万吨级的油码头,而我国近海已成为海上石油开采密集区和原油海上运输通道。多年的调查表明,海上油运交通线海域的油污染仍然比较重。

陆源排污也是造成海洋石油污染的重要源头。我国沿海分布着胜利、辽河、大港等许多大型油田,陆地石油生产及突发事件会造成石油污染海洋。在可预见的未来,沿海还是我国经济重点和经济发展最快的区域,随着经济总量的不断增大,工业化进程的不断加快,入海污染量仍会增加,特别是沿海的炼油厂、石油化工厂、油田等工矿企业是入海石油的主要污染来源。根据2009年中国海洋环境质量公报,仅2009年全国监测的40条主要河流一年排入海中的石油类污染物就达54万吨,由此可见全国海域

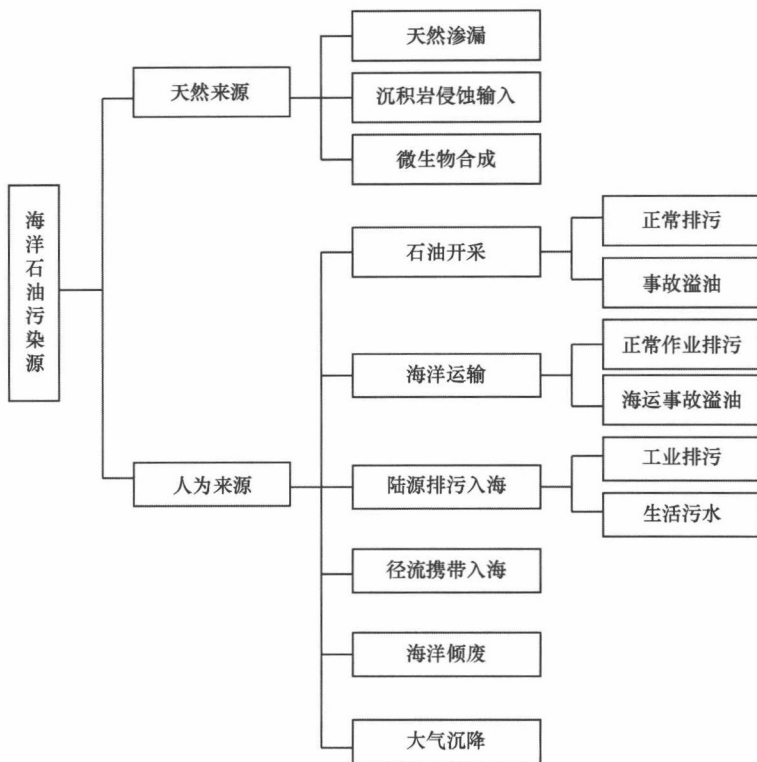


图 1-1 海洋石油污染来源

每年入海的石油数量之多。

海洋石油污染按石油输入类型，可分为突发性输入和慢性长期输入，其中慢性长期输入量占较大比例。

1.1.1.2 海洋溢油事故的特点

虽然海洋石油污染的来源有许多种，但其中事故性溢油污染不仅对海洋生态的损害影响大，而且通常对人类社会经济带来很大的影响。根据海洋溢油污染的调查分析，海洋溢油污染具有以下几个特点。

1) 溢油事故形式多样

从事故类型来看，主要有海洋石油开采井喷油事故、海底输油管道破损溢油事故、海运船的碰撞溢油事故等。此外，还有港口码头岸上的存储油罐泄漏引起的海洋溢油污染等事故类型。

从油品种类来看，所溢油类包括持久性烃类矿物油（如原油、燃料油、重柴油和润滑油等）和非持久性烃类矿物油（如汽油、煤油和轻柴油等）。

从影响区域来看，海洋溢油发生及影响区域类型多样，几乎包括了所有的海洋类型，如河口、海湾、海洋保护区、海水浴场、滨海旅游度假区、养殖区、海洋生物产卵场等。

此外,海洋溢油的发生具有突然性、偶然性和瞬时性等特点。在风、浪、潮流等的作用下,溢油具有移动性等特点。溢油事故的发生没有固定的方式和地点,这给海洋溢油事故的精确预防、快速应急响应以及损害评估带来困难。

2) 损害对象的广泛性

海洋溢油事故发生后,损害的对象具有普遍性。不仅海水质量、海洋沉积物环境、潮滩(湿地)环境、特殊海洋生物栖息地(如产卵场、索饵场等)会受到溢油影响与损害,而且海洋生物(浮游动、植物、底栖生物、游泳生物、鸟类等)也会受到溢油损害,同时人类健康也要受到危害。损害对象一般不以具体的受害人为对象,而是通过海洋环境要素造成对一定区域内人群的生活权益或其他合法活动的损害来体现。

3) 对海洋生态危害大

海洋溢油具有突发性,即突然的大量有毒有害物质进入海洋生态系统,产生的危害作用较一般的污染更大。海洋石油污染给海洋生物资源带来最严重的威胁,在于它能够改变或破坏海洋生态系统。当海面漂浮着大量油膜时,能够降低表层海水中的日光辐射量,因而引起靠光合作用存活的浮游植物数量的减少。浮游植物处于海洋食物链的最底层,其初级生产力约占海洋生物总生产力的90%。浮游植物数量的减少,自然会引起食物链中其他更高环节上的生物数量的相应减少,这样就导致了整个海洋生物群落的衰退。由于浮游植物是海洋中甚至是整个地球上氧气的主要供应者(约占70%),所以海水中溶解氧的含量也将随之降低,一些厌氧的种群增值,而好氧生物则衰减,最终结果是会导致海洋生态平衡的失调。研究中还发现,在自然环境中,海洋生物的许多习性如寻找食物、躲避天敌、区系选择、交尾繁殖以及鱼类洄游等都会受到海水中有些浓度极低的化学植物的控制。当海洋环境遭受到石油及其他一些物质污染时,这类化学物质的浓度会发生变化,生物的上述习性就可能受到影响。一些对石油污染敏感的种群减少,而其余种群则相应增加,结果是改变了生物群落原有的结构。

1.1.1.3 海洋溢油发生的趋势

1) 船舶溢油

海运业是我国经济发展的支柱性产业。目前我国的对外贸易90%是通过海运完成的。自改革开放以来,我国海域的海运量逐年大幅度增长,特别是石油、天然气等货物运输量也迅猛增加。海运业的蓬勃发展意味着海上船舶交通的繁忙。据统计,2006年航行于中国沿海水域的船舶已达到464万艘次,平均每天1.27万艘次,其中各类油轮为162 949艘次,平均每天446艘次。由于天气恶劣和人为疏忽等原因,船舶碰撞、搁浅等事故时常发生,并造成船载燃料油或者货油的泄漏污染。据统计,从1973年到2002年11月,我国溢油50 t以上的重大事故有62起,总溢油量3.3万吨,其中最大一次溢油量为8 000 t。显然,各种船舶交通事故引致的溢油污染风险正日益增加。

中国目前是世界第二石油消费国和进口国。据海关总署的报道,我国石油进口量

自 2003 年突破 1 亿吨后, 每年平均增加 2 000 万吨, 到 2010 年已达到 2.5 亿吨。图 1-2 给出了我国自 1990 年以来的石油进口量统计结果。随着船舶运输密度增加, 油轮向大型化发展, 中国海域可能是未来船舶溢油事故的多发区和重灾区。

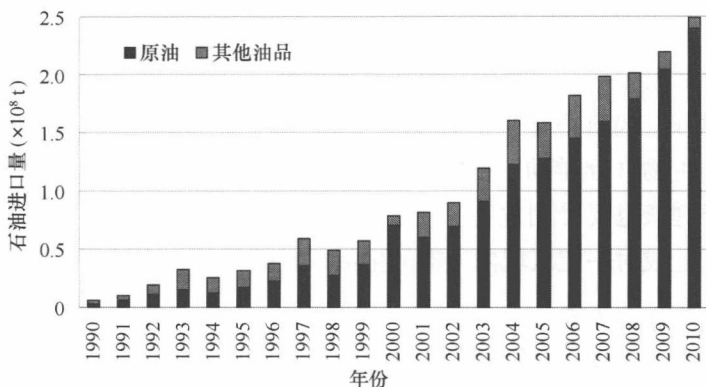


图 1-2 中国 1990—2010 年石油进口量变化情况

目前中国石油对外依存度超过 50%，开展石油战略储备已成为保障国家能源安全的重要举措。国家已在国内多个港口建立石油储备基地，分布在大连、青岛、宁波、舟山、湛江等地。然而，在油船与岸上石油储罐设施进行油品输送过程中操作不当容易发生泄漏事故，由于港口石油储罐设施存储量巨大，因而存在较大的危险性。2010 年 7 月 16 日大连新港的输油管起火爆炸并泄漏大量原油，造成附近海域的生态环境受到严重污染损害。该事故一定程度上说明了我国港口码头的溢油污染事故的风险正不断增加，此类事故的风险预防和控制需得到重视。

2) 海上石油开发活动溢油

在过去的一百多年里，工业社会的发展加剧了对能源资源尤其是石油的需求。陆地石油资源的开采已日渐枯竭，逐渐无法满足人类社会经济发展的要求。自 20 世纪 80 年代起，欧美发达国家开始大规模勘探开发海洋中的石油资源，随着开采技术的不断进步，石油资源开发的水深由浅海延伸至深海。虽然深海石油资源开发具有极高的投资回报，但其溢油风险也随水深的增加而显著增加。2010 年 4 月 20 日美国墨西哥湾“深水地平线”油井平台由火灾爆炸引起 1 500 m 水深处的大量原油泄漏，在随后的 86 天里共泄漏了 490 万桶原油，其中 410 万桶流入墨西哥湾中，造成社会经济和海洋生态环境的严重损害。该事故超越 1989 年的“埃克森·瓦尔茨”号油船溢油事故，成为美国历史上最严重的环境污染事故，据估计该次事故造成的各种损失将超过 400 亿美元。

为了保证国防战略安全以及国家经济的可持续发展，中国海洋石油公司等石油企业在政府的大力支持下，积极勘探开发渤海、东海、南海等海区的油气资源，而且规模在不断扩大。据报道，渤海目前拥有海上油田 11 个，生产平台（储油轮）112 座（含胜利油田单井、井组平台），生产油井 772 口；近期在建油田 6 个，生产平台 23

座,生产油井273口。此外,近年来我国已经在深海油气资源勘探开发领域取得明显进步,并开始在南海深水区域进行大范围勘探和初步的开采。随着南海深水油气开发的逐步推进,我国将面临着深水环境下的突发性溢油污染事故带来的海洋生态环境保护的巨大压力。

1.1.2 溢油行为归宿及对海洋生态的损害

1.1.2.1 溢油在海洋中的行为与归宿

石油溢入海洋之后,由于油品自身特性和多种海洋环境因素的影响,经历着复杂的物理、化学和生物变化过程(图1-3),包括扩散、漂移、蒸发、分散、乳化、溶解、氧化作用、沉降、生物降解等。

(1) 扩散。石油溢到海面上,首先发生的行为是油的扩散。溢油扩散主要是在油的重力、黏性力和表面张力的联合作用下产生水平延展。扩散初期,重力起主要作用,所以油的扩散受油的溢出形式影响很大。如果油的溢出形式是瞬间大量溢油,则其扩散要比连续缓慢溢油快得多。油溢出几小时后,油层厚度大大减小,此时表面张力作用将超过重力作用,成为导致溢油扩散的主要因素,溢油在水面将形成镜面似的薄膜,它的中间部分比边缘部分厚。当溢油扩展在水面上形成薄膜后,进一步的扩散主要是靠海面的紊流作用。

(2) 漂移。漂移是指海面油膜在风、海流以及波浪的作用下的平移运动。油膜漂移主要取决于海面风场和流场。流场可以认为是潮流、风海流、密度流、压力梯度流以及冲淡水流的合成矢量场。在近海海域,潮流和风生海流是决定溢油漂移的重要因素。实际观察表明:溢油若发生在开阔海域,溢油的漂移速度主要取决于风的作用;而在近海或沿岸,潮流将是溢油漂移不可忽视的因素。

(3) 蒸发。蒸发是指溢油中较轻的石油烃组分从液态变为气态进入大气的质量传输过程。溢油中易挥发组分的蒸发能够导致溢油特性的变化。蒸发后留在海面上的油比其原来的密度和黏度都要大。蒸发带来了海面溢油量的减少,还影响着溢油的扩散、乳化等,并且还会引起火灾和爆炸。影响蒸发的因素主要有:油的组分、油膜厚度、环境温度、风速及海况等。

(4) 溶解。溶解是指溢油中低分子烃进入水体的质量传输过程。溶解的速率和强度取决于油的成分、物理性质、油膜面积、水温、湍流和垂直分散作用。研究表明,物理过程(扩展、掺混和分散作用)通常增大暴露到水面的面积而促成降解性溶解。溶解和蒸发同样是自限制过程,在低沸点组分去除后油膜物理性质随之发生变化。在原油成分中,低分子量的化合物溶解度较大,但其挥发性也大,如最毒的烃(苯、甲苯类)是易溶解于水,各种有毒烃类溶解对环境的威胁仅限于短时间内。

(5) 分散。分散是指溢油形成小油滴进入海水中的过程。海面的波浪作用于油膜,产生一定尺寸的油滴,小油滴悬浮在水中,而较大的油滴升回海面。这些升回海面的

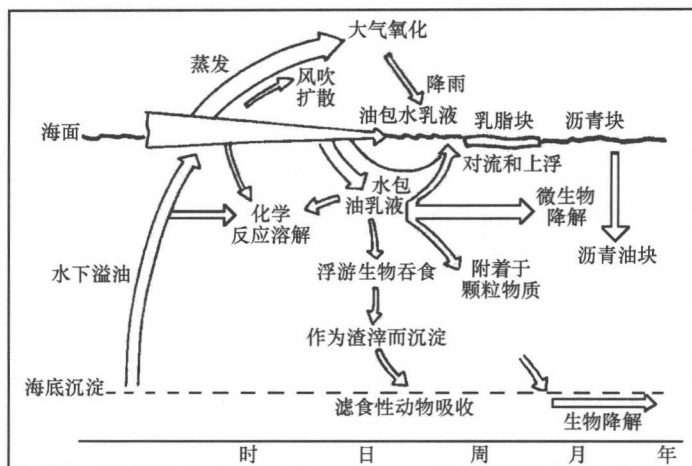


图 1-3 溢油在海洋环境中的物理、化学和生物变化

(引自殷佩海, 2000)

油滴处在向前运动的油膜后面, 不是与其他油滴聚合形成油膜, 而是扩展成为很薄的油膜, 而呈悬浮状油滴则混合于水中。自然分散率很大程度上取决于油的特性及海况, 在碎浪出现时分散过程进展得快。低黏度的油在较好的海况下, 可以几天内就完全分散。相反, 黏度高的油能够形成稳定的厚油层, 就不易分散。

(6) 乳化。乳化是指溢油形成油包水乳化液的过程。在破碎波产生的湍动过程中, 水滴被分散到油里形成油包水乳浊液, 呈黑褐色黏性泡沫状漂浮于海面。乳化作用一般在溢油发生后的几个小时才发生。乳化过程的后果是增加了原来溢油的体积, 使油的黏性和密度增大。对溢油的进一步扩散起到阻碍作用, 使蒸发量相对下降。

(7) 氧化作用。石油的烃分子与氧作用不是分解为可溶性物质就是结合为持久性焦油。氧化反应由于日晒而加剧, 并伴随着油膜扩散的始终, 但是相对于其他各种变化过程, 氧化的量是微不足道的。氧化的速率较慢, 特别是高黏度、厚层油或油包水乳化物的氧化很慢。

(8) 沉降。沉降是指溢油在海洋中经过蒸发、乳化等变化, 其密度增加, 有些重残油的相对密度大于 1, 在微咸水或淡水中下沉。但是几乎没有这么大密度的原油可靠自身的沉降作用沉积于海底。溢油主要通过三种途径沉积: ①溶解的石油烃吸附在固体颗粒上下沉; ②分散的油滴附着在海水悬浮颗粒上下沉; ③轻组分挥发、溶解后的剩余组分由于密度增大而生成半固态小焦油球下沉。

(9) 生物降解。生物降解是海洋环境自身净化的最根本途径。溢油发生之后, 生物降解过程一般可持续数年之久, 其清除石油的能力, 取决于能够降解石油的不同海洋微生物。由于生物降解过程及其复杂, 就海洋环境而言, 至今人们尚不能用数学公式定量描述原油生物降解的速率。据报道, 在适宜的水域中生物降解油的速率为每天可从每吨海水中清除 0.001 ~ 0.003 g 油; 在常年受油污染的地区每天可从每吨海水中

清除 0.5 ~ 60 g 油。

1.1.2.2 溢油对海洋生态的损害影响

1) 对海洋生境的影响

海洋生境是各类海洋生物和生物群落的栖息地环境,是海洋生态系统的重要组成部分。典型的海洋生境类型有海水、海底沉积物、滨海湿地、河口区、红树林、珊瑚礁、海草床等。海洋石油污染通常导致海洋生境的环境质量下降,对海洋生物的生存带来威胁。下面介绍溢油污染对几种典型海洋生境的影响。

(1) 对海水质量的影响

海水是浮游生物、游泳动物的活动场所。溢油在海面形成油膜并在海洋环境动力作用下漂移扩散,当大范围覆盖于海面时,会遮挡了太阳光对海水中的辐射量,将影响浮游植物的光合作用。溢油中的低分子量石油烃(如单环芳香烃 MAHs、多环芳香烃 PAHs 等)及金属成分(铅、锌等)溶解于水体中,引致海水质量的明显下降,不仅会毒害各种海洋生物,而且引起游泳动物的大量逃离。

(2) 对海底沉积物环境的影响

海底是大量底栖生物的生活处所,其海洋生物多样性特征明显。大量溢油事故表明,溢油事故中大部分污染物最终沉降到海底,这些含有多环芳烃、重金属等毒性物质的污染物将改变底栖生物原有的生存环境。通常来说,这些污染物对生物产生长时间的毒性效应,一些耐受性差的生物死亡,一些耐石油污染的生物却繁衍起来,导致生物多样性产生变化,最终改变海底生态系统的结构和功能。

(3) 对滨海湿地的影响

湿地有“地球之肾”的美誉,滨海湿地在净化环境、调节气候、保护生物多样性方面有着重要作用。滨海湿地处于海陆过渡地带,具有很高的生产力,目前我国许多入海口的滨海湿地都进行滩涂围垦养殖等经济活动。溢油污染物在海水涨退潮过程中大量积存于此类区域中,石油的入侵使得底栖型生物的栖息环境恶化,容易造成许多重要经济贝类和鱼虾类繁殖场的丧失,也可能使一些濒危保护动物的数量大为减少。

(4) 对红树林的影响

溢油事故发生后,油膜在海水高潮时漂进红树林丛,在退潮时滞留在气生根及沉积物的表面。此后,油污通常逐渐堵塞其呼吸孔后,会窒息靠呼吸孔摄取氧气的次表层根,从而可能造成红树林死亡。由于红树林丛在最佳条件下是生产力最高的生态系统,一方面红树林从集水区获得的淡水及营养供应影响着自身;另一方面红树林又强烈地影响着邻近的沿海水域及相关的生态系统(如珊瑚礁、海草床、潮沼)。

(5) 对珊瑚礁区的影响

珊瑚礁区的单位面积的生物生产力一般比其附近海域的生物生产力高出 50 ~ 100 倍。珊瑚礁区被视为世界上生物多样化最强、最为复杂的海洋生态群落(单单一个珊瑚礁就可能包含 3 000 个物种),在海洋的地球化学物质平衡中发挥着重要作用。珊瑚

礁区受到海洋溢油污染破坏后,其海水质量下降,会引起珊瑚虫和共生藻类的死亡,使支持珊瑚礁生物群落的能流、物流效率下降。若溢油规模较大时,则可能给珊瑚礁生态系统带来毁灭性的冲击。

2) 对海洋生物的危害

海洋石油污染导致最严重、最直接的后果是对海洋生物的危害。海洋石油污染物给生物带来的危害有短期危害和长期危害两种。短期危害是指石油污染事件发生后,短期内造成并明显察觉到的危害,主要表现在以下几个方面。

(1) 对海鸟的危害

海洋石油污染对海鸟的危害最为明显,常常造成海鸟的大量死亡。漂浮于海面上的石油污染物粘附在海鸟羽毛上,充满了羽毛之间的空隙(通常羽毛间充满了空气),从而破坏了羽毛的保温性能,使海鸟体重增加而丧失了飞翔的能力,只得在海面上漂浮,只能靠消耗原来体内储存的能量来维持余生,体质很快便下降而导致死亡。当受污染海鸟感到羽毛上粘有石油污染时,会惊慌失措,于是便反复潜水企图冲洗掉羽毛上的石油污染物。结果则恰好相反,水面上的油斑会越来越多地集结在羽毛上,加速了其死亡的进程,这是海洋石油污染使海鸟致死的重要原因。另外,海鸟还常把石油或其衍生物吞进肚里,使其内部功能,包括神经系统受到致命损伤。

(2) 对海洋哺乳动物的危害

大多数海洋哺乳动物外体表均有毛,它们呼吸时要上浮到水面,如果海面上有浮油,毛就会被黏住而丧失其防水性能与保温能力,例如海獭等都是如此。而对于鲸、海豚等体表无毛的海洋哺乳动物来说,石油虽不能直接将其致死,但是油块却能堵塞它们的呼吸器官,妨碍其呼吸,严重者可窒息而死。

(3) 对海洋鱼类的危害

海洋石油污染短期内对成鱼并不产生明显的危害,但是毒性大的燃料油却能大量杀死鱼类。鱼的体表、嘴和腮都有一层黏性的防油薄膜,如果将鱼浸泡在含油废水内,半分钟后再放回清洁水中,鱼体上的油就会完全漂走,并不产生危害。但是用石油残渣或轻质燃油涂在鱼鳃上,鱼很快就会窒息死亡。石油污染对幼鱼和鱼卵的危害很大。油膜和油块能黏住大量鱼卵和幼鱼。在受到石油污染的海水中孵化出来的幼鱼大部分是畸形的,不仅鱼体扭曲而且没有生命力。

(4) 对浮游生物的危害

海水表面的油膜会降低透光性,妨碍浮游植物的光和作用,堵塞浮游动物的食物过滤系统和消化器官,影响浮游生物正常活动和生理过程。乌克兰南海海洋研究所对浮游动物的运动进行跟踪观察,他们发现当天色明显变暗以后,许多浮游动物,例如小虾会错把白天视为黑幕降临,本能地从海水深处游向海水表层。被石油薄膜大面积覆盖着的海域,浮游小虾会不分昼夜地滞留于海水表层,这一观察事实表明,石油薄膜起到了类似日全食的作用,可以改变浮游动物的正常活动习惯。