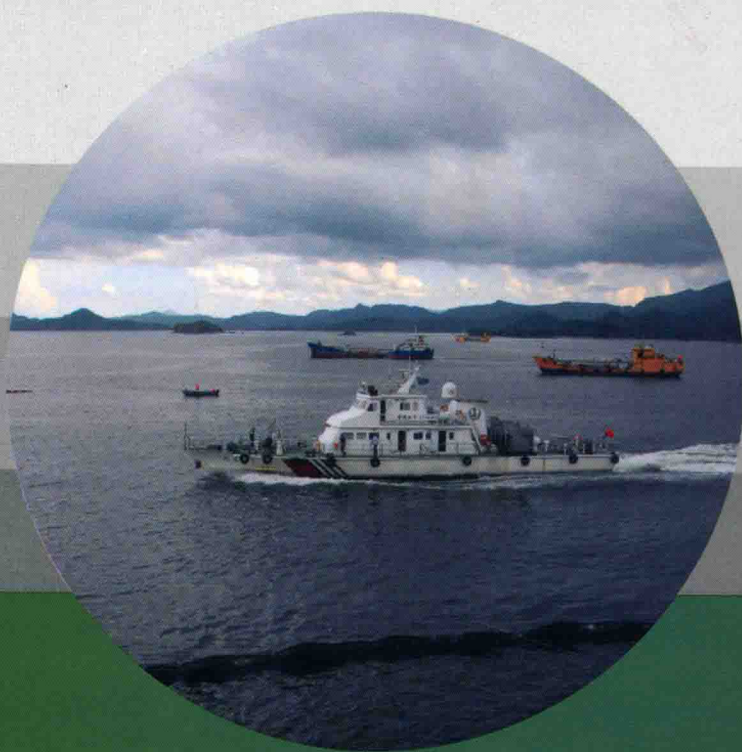


海上溢油应急辅助 决策技术

主编 张建斌 李 为 安 伟 魏伟坚 王盛明



大连海事大学出版社

海上溢油应急辅助 决策技术

王德成 王德成 王德成 王德成 王德成 王德成 王德成



中国石化出版社

海上溢油应急辅助决策技术

主 编 张建斌 李 为 安 伟 魏伟坚 王盛明

大连海事大学出版社

© 张建斌等主编 2012

图书在版编目(CIP)数据

海上溢油应急辅助决策技术 / 张建斌等主编. — 大连 : 大连海事大学出版社, 2012.12
ISBN 978-7-5632-2819-5

I. ①海… II. ①张… III. ①海上溢油—环境污染事故—应急对策—研究 IV. ①X550.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 315928 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2012年12月第1版

2012年12月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm×260 mm

字数:321千 印张:13.25

责任编辑:阴洁

版式设计:孟冀

封面设计:王艳

责任校对:宋彩霞

ISBN 978-7-5632-2819-5

定价:65.00元



序

随着海洋石油勘探开发、海上石油运输、大型石油储备基地及石化项目的建设等迅速发展,我国海洋溢油风险日益剧增,海上溢油事故不断增多。

近些年来发生的几次较大规模溢油事故既给我国敲响了警钟,也突出地反映了我国溢油应急反应能力较低、技术落后、整体水平不高等问题,引起了国家领导和有关政府管理部门的高度重视。针对当前存在的技术问题和建设我国海上溢油应急反应体系的需要,有关政府部门和企业加强了溢油应急对策的研究和相关工作。

加强我国溢油应急反应关键技术的开发,是关系到海上安全生产、海域生态环境保护和防灾减灾的重大课题。交通运输部深圳海事局积极谋求发展,接受挑战,“十一五”期间,参与了由交通运输部组织的国家高新技术产业发展项目“海上溢油应急快速反应关键技术开发”,承担了海上溢油应急辅助支持方面的研究任务,有针对性地对海上溢油预测、预警及决策支持技术进行了一系列的研究,建立了珠江口溢油漂移与清污对策快速模拟系统,实现了快速预报溢油在海面的漂移轨迹和归宿以及快速利用各种资源形成优化清污方案,并可通过互联网或专网为客户提供服务。该研究项目于2010年10月顺利通过交通运输部和科技部的验收,总体科技成果达到国际先进水平,部分成果居国际领先水平。

在这个基础上,深圳海事局课题组结合多年来海上溢油应急管理的实践经验和体会,编写了这本《海上溢油应急辅助决策技术》。本书内容丰富,系统性强,既强调了溢油应急辅助决策技术的基本理论,又重视实际工作的操作性、实





用性,是管理与研究工作的归纳、总结及提炼。我相信,本书对提高海上溢油应急指挥和作业人员的业务能力,保障海上溢油应急反应快速有效,将起到很好的促进作用,同时也是从事相关教学和研究人士的有益参考书。

海上溢油应急辅助决策技术对于我国来说依然是一个崭新的课题,同时也是一个理论性和实践性都很强的课题,还需在实践中不断地总结提高,以便更好地提高溢油应急快速反应的能力和水平,更好地实现资源的开发利用和海洋环境的可持续发展。

交通运输部深圳海事局局长:



前言

海洋溢油尤其是重大溢油事故不但给海洋渔业、海水养殖业、滨海旅游业等海洋经济产业带来巨大损失,同时也使海岸线受到严重污染,海洋生态环境受到破坏,海洋生态资源损失巨大,并会引起海洋生态系统异常变化,使海洋生态系统中的物质循环、能量流动受到严重干扰,最终可能影响到地球生态安全。2010年美国墨西哥湾深海地平线平台爆炸造成的溢油事故被称作“生态9·11”。专家估计,墨西哥湾的生态恢复大概需要数十年的时间。2010年7月16日,中石油大连新港石油储备库输油管道发生爆炸,导致大量原油泄漏进入海洋,造成新中国成立以来最严重的海洋石油污染事件,生态损害和经济损失严重。

海上溢油属于突发事件,海上油污应急处置需要多种监测手段、多种处置技术、多种处置设备和多部门、多专业人员的协同作战。海上油污扩散速度快,影响范围广,应急反应队伍多,加之海上状况瞬息万变,这就要求应急反应指挥人员必须实时掌握应急现场信息,进行统一协调和联动调度,实现海上溢油应急反应的快速科学决策和高效处置。

本书以溢油应急反应流程为主线,针对溢油监测、预测预警、决策支持以及信息化和智能化技术开展了研究工作,以期对提高我国海上溢油应急快速反应能力和技术水平提供帮助。

本书是编写组在多年从事海上溢油防治管理、研究,并参阅国内外大量有关论著、文献资料的基础上完成的。本书共六章:第一章介绍海上溢油污染和溢油应急反应流程与技术研究现状;第二章阐述溢油遥感监测、水面监测和溢油鉴别技术知识、原理;第三章介绍溢油动态数值预报技术;第四章介绍溢油预警技术;第五章介绍溢油应急专家决策支持技术;第六章介绍珠江口溢油应急



辅助决策系统开发。

本书由深圳海事局珠江口海上溢油漂移与清污对策快速模拟技术研究课题组起草编写,由张建斌、李为、安伟、魏伟坚、王盛明任主编,赵宇鹏、邱照宇、林海峰、陈丹、宋莎莎、靳卫卫、牛志刚、贾志刚、洪汇勇、李建伟、李永全等参与了编写工作。

本书的编写和出版,得到了中华人民共和国海事局领导的关心与指导,得到了中海石油环保服务(天津)有限公司的大力支持,得到了鄂海亮、许吉翔、杨勇等同志的帮助,在此一并致以衷心感谢。

由于作者水平有限,书中不足之处恳请批评指正。

编 者

2012年2月23日



目 录

第一章 海上溢油应急概述	1
第一节 海上溢油污染	1
第二节 海上溢油处置技术	8
第三节 海上溢油应急计划的制订与实施	11
第四节 海上溢油应急决策辅助	18
第二章 溢油监测与鉴别技术	23
第一节 溢油遥感监测技术	23
第二节 溢油水面监测技术	43
第三节 溢油鉴别技术	44
第三章 溢油动态数值预报技术	47
第一节 溢油在水体中的行为与归宿	47
第二节 海洋环境动力预报技术	50
第三节 溢油漂移扩散模拟技术	78
第四节 溢油风化模拟技术	80
第四章 海上溢油预警技术	104
第一节 环境敏感资源区	104
第二节 溢油污染预警	108
第五章 溢油应急专家决策支持技术	111
第一节 溢油应急决策支持系统框架结构	111
第二节 溢油清污方案与效果评估模拟技术	114



第三节 数据收集与数据库建设.....	129
第四节 系统集成和成果发布.....	136
 第六章 珠江口溢油应急辅助决策系统开发	144
第一节 系统功能需求分析.....	144
第二节 溢油决策系统设计.....	146
第三节 溢油决策系统开发介绍.....	157
 参考文献	201

第一章 海上溢油应急概述

海上溢油是指因海洋石油和天然气开发、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品在海洋中的泄漏。溢油进入水体后,其行为和归宿是一个非常复杂的过程,对海洋生态环境影响巨大。溢油事故发生后,按照事先制订的溢油应急计划,根据事故现场情况,确定科学合理的应急方案,并迅速有效地做出应急反应,对控制污染、减小损失以及清除油污等起着重要作用。

第一节 海上溢油污染

一、海上溢油事故概况

1. 海上溢油事故来源分析

自全球开始大规模的石油海运以来,海上溢油事故的发生频率和溢油量均呈增长趋势。1967年多佛尔海峡的托里峡谷溢油事件促成了“防止溢油污染事故发生”的第一个国际性法案的诞生。然而,溢油事故并没有随着法案的颁布而有所减少,相反多次大规模溢油事故相继发生。据统计,1960~2001年,在世界范围内海上共发生溢油量超过5 000 t的大型溢油事故175起,其中灾害性事故64起。从表1-1-1、图1-1-1、图1-1-2分类统计上看,溢油事故主要来源于船舶运输和海上石油开采,两类事故总溢油量分别占63.9%和23%,发生次数分别占77.7%和18.4%,船舶溢油事故在海洋溢油事故中扮演了重要的角色。



表 1-1-1 溢油量前 175 起溢油事故分类对比

发生原因	溢油量(万吨)	溢油量比例(%)	发生次数	次数比例(%)
油船事故	5 294.00	69.90	135	77.14
驳船事故	10.00	0.13	1	0.57
海上输油管破裂	22.00	0.29	1	0.57
采油平台	788.00	10.40	5	2.86
陆源输油管线	284.00	3.75	7	4.00
井喷	579.00	7.64	11	6.29
海上储油设施	515.00	6.81	14	8.00
海湾战争	81.60	1.08	1	0.57

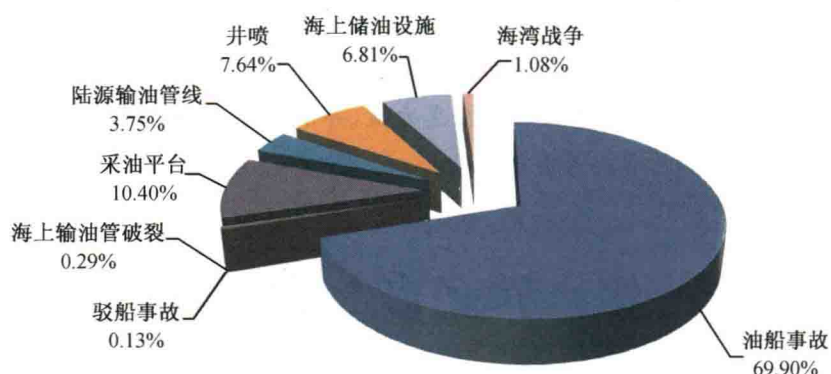


图 1-1-1 溢油量统计分析

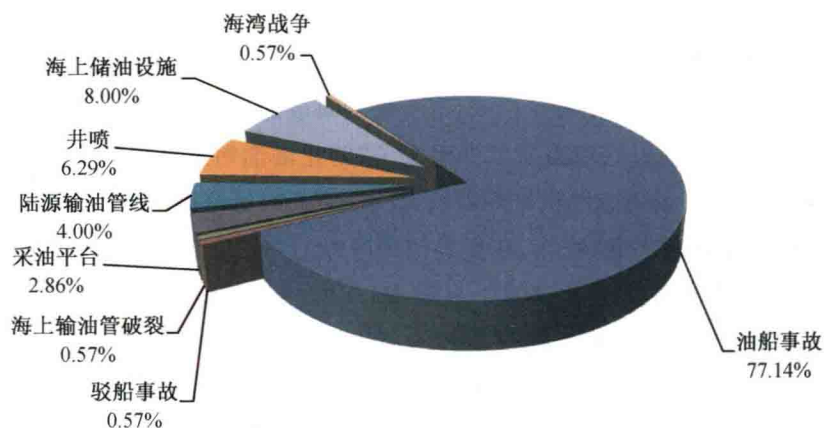


图 1-1-2 溢油次数统计分析



近年来的较大船舶溢油事故包括令人震惊的“Erika”号船漏油事故和“Prestige”号船溢油事故。1999年12月13日,马耳他籍油船“Erika”在法国西南部海域遭遇暴风袭击而断裂成两截,导致船舶上1万吨原油泄入大海,法国400 km的旅游、风景海岸线遭到严重污染。2002年11月14日,悬挂巴哈马国旗的“Prestige”号油船在西班牙西北海域搁浅,11月19日断裂后沉没,近2万吨燃油外泄,上千平方千米海面被厚厚的油膜覆盖,油污漂浮到西班牙长达400 km的海岸和法国西南海岸,在严重破坏当地生态环境的同时,也沉重地打击了当地的旅游业、渔业和水产养殖业,经济损失巨大。

平台溢油虽然没有船舶溢油事故发生得频繁,但因发生在石油开采与储藏相对集中的地区,溢油量一般较大。据统计,溢油量前五位的溢油灾害事故中,采油平台溢油事故就占3次,3次事故总溢油量达105万吨。历史上较大的海上石油生产带来的溢油事故有:1979年6月墨西哥湾IXTOC井喷事故和2010年4月美国墨西哥湾的半潜式钻井平台爆炸漏油事故。IXTOC井喷事故从1979年6月3日起,直到1980年3月24日井喷才完全停止,历时296天,共流失原油45.36万吨,造成10 mm厚的原油顺潮北流,涌向墨西哥和美国海岸。黑油带长480 km,宽40 km,覆盖1.9万平方千米的海面,使这一带的海洋环境受到严重污染。本次事故以世界上最大的井喷事故载入史册。2010年4月20日夜间,位于墨西哥湾的“深水地平线”钻井平台发生爆炸并引发大火,大约36 h后沉入墨西哥湾,11名工作人员死亡。钻井平台底部油井自2010年4月24日起漏油不止,事发半个月后,各种补救措施仍未有明显突破,沉没的钻井平台每天漏油量达到5 000桶,并且海上浮油面积在2010年4月30日统计的9 900 km²基础上进一步扩大。此次漏油事件造成了巨大的环境和经济损失。

2. 国内海洋溢油污染概况

据《2008年中国海洋环境质量公报》显示,我国海水中的主要污染物是无机氮、活性磷酸盐和石油类。全国海洋环境监测网多年来的监测表明:我国近海海水主要受石油、重金属、氮、磷以及有机物的污染。石油污染不仅范围很广,而且是近海海域的主要污染物之一,渤海、黄海、东海、南海四个海区石油污染都不同程度地呈逐年上升趋势。随着各种有毒有害物质输入海洋越来越多,存在环境中的时间越来越长,对于该区域的生态环境及人类的健康造成的潜在威胁愈发不容忽视。

目前,我国是仅次于美国的世界第二大石油消耗国,石油对外依存度超过50%,90%以上的进口石油运输通过海运方式完成。随着我国经济的迅速发展,产量迅速增长的海上石油正在成为我国能源供应的重要组成部分。自1993年我国从石油出口国转为石油进口国以来,石油进口数量不断上升(见图1-1-3),到2009年石油进口量已达到2亿多吨,并且截至2010年中国海上在生产的油气平台达到195个,海洋溢油事故风险升高。随着我国沿海城市的开发,港口码头年吞吐量逐年增加,加之港口码头水体迁移能力差,导致潮流速度降低,流向改变,水体交换能力变弱,淤积速度增大,这对污染物的稀释扩散和自净作用不利,给海洋环境带来很大的压力。中国近海海域石油污染亦呈增长趋势。在1998~2008年十年间,我国沿海发生船舶溢油事故718起,溢油总量达11 749 t。1973~2005年溢油量在50 t以上的重大溢油事故65起,总溢油量为36 795 t,平均每次事故溢油566 t。

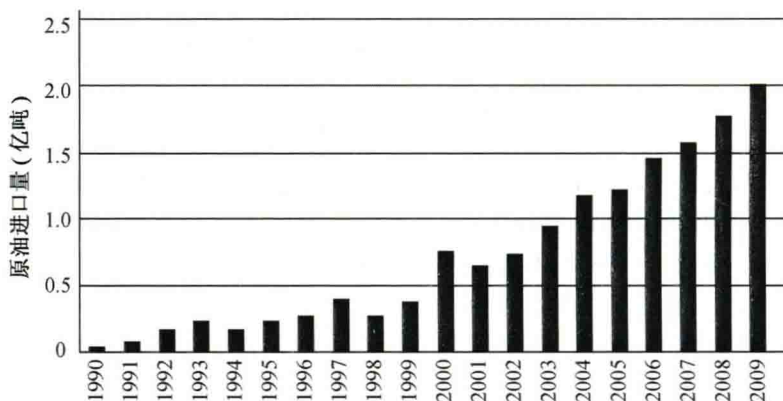


图 1-1-3 中国 1990~2009 年原油进口量变化

二、海上溢油的石油性质

(1) 相对密度

相对密度是一定体积的试样油在 15℃ 时的质量与同体积的水在 4℃ 时的质量之比 (15℃/4℃ 相对密度)。原油比水轻,新鲜原油的相对密度约为 0.829~0.896。原油进入水中后,其轻组分不断挥发,体积缩小,相对密度随之加大,一般可达 0.921~0.975。某些中东原油,其高沸点残渣的相对密度可高达 1.023~1.027,接近海水的相对密度。表 1-1-2 为原油及石油产品的相对密度。在美国,通常把 60°F(15.6℃) 的一定体积的试样油的质量与同温同体积的水的质量之比作为油品的相对密度。另外,美国石油协会(API)采用 API 度来表示油品的相对密度。图 1-1-4 为 15℃/4℃ 相对密度与 API 相对密度的换算关系。

表 1-1-2 原油及石油产品的相对密度

品名	相对密度
原油	0.790~0.960
液化石油气	0.500~0.600
车用机油	0.730~0.760
喷气机燃料油	0.760~0.800
煤油	0.780~0.800
轻柴油	0.800~0.840
重油	0.830~0.960
轻质润滑油	0.820~0.910
重质润滑油	0.880~0.950
沥青	0.102 0~0.106 0



(2) 黏度

油附着在物体表面,可起滑润、密封和冷却作用,作用的大小与黏度有关。黏度不仅影响油本身的运动特性,还直接影响油回收装置的性能。绝对黏度的单位为牛顿·秒/米²($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$),有时也可采用辅助单位泊(P)和厘泊(cP)。力学计算时常使用运动黏度(cst),其换算关系为:

$$P = 0.1 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2;$$

$$\text{cP} = 0.01 P;$$

$$\text{cst} = \text{cP} / \text{同温下的密度};$$

cst 常称厘斯。

石油的黏度一般随温度的升高而降低,随温度的降低而升高,且相对密度愈大,沸点愈高,黏度亦愈高。图 1-1-5 表示石油产品黏度与温度的关系;图 1-1-6 表示重油黏度与温度的关系。

石油在一定的温度下为遵守牛顿黏性定律的流动液体,其黏度与切变速度、切变应力成正比。当温度较低或达到分解高温时,则不遵守牛顿黏性定律,变成非牛顿液体。

当温度为 $-34 \sim +7^\circ\text{C}$ 时,石油会凝固成块状。一般含蜡量高的原油凝固点较高,其黏性也较大。

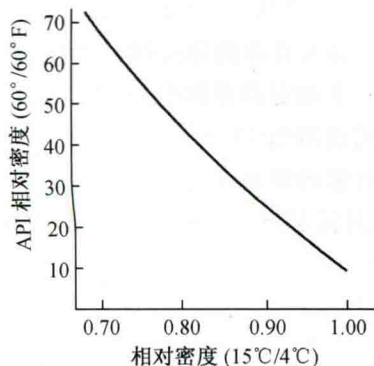


图 1-1-4 15°C/4°C 相对密度与 API 相对密度的关系

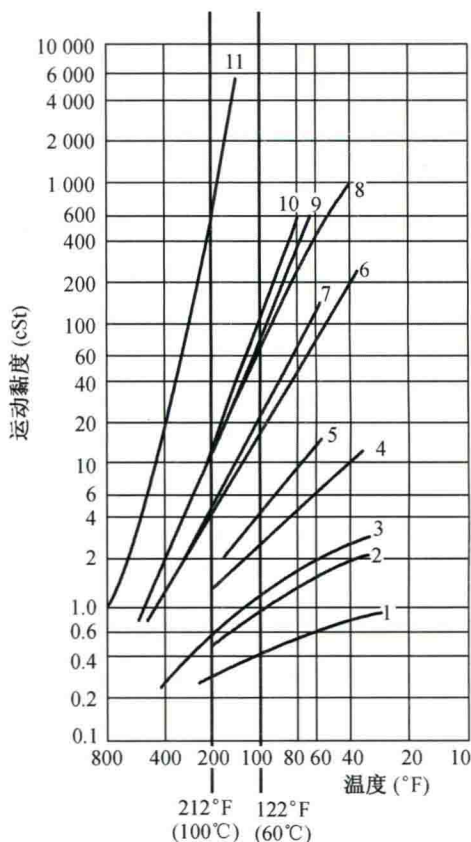


图 1-1-5 石油产品黏度与温度的关系

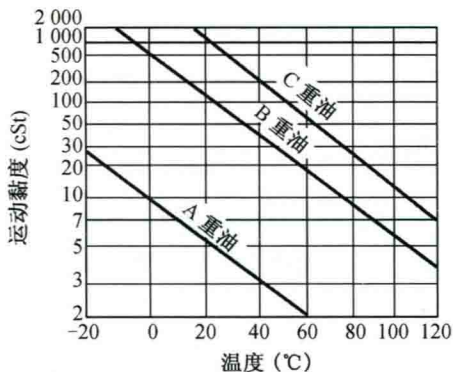


图 1-1-6 重油黏度与温度的关系



(3) 流动性

石油与许多流体一样,有“易流动”的性质。度量石油流动性的标准是流动点。把石油试样置于规定的容器中,不搅动试样,经一段时间冷却,测取试样可能流动的最低温度(一般比凝固点高 2.5°C)作为其流动点。黏度高和烷烃成分多的石油,流动性偏低。

石油的流动点是油储运过程中必须考虑的重要参数之一。高黏度和高含蜡量的重原油,因其流动点高于环境温度而失去流动性,从水面回收时无法使用泵吸,须采用固体搬运方法。

(4) 溶解性

一般认为油不溶于水,实际上是溶解度极低而已。国外对石油烷烃类成分的溶解度做过一些研究工作,发现其溶解度与烷烃的碳量有关。在 20°C 时, $\text{C}_{10} \sim \text{C}_{25}$ 的烷烃在水中的溶解度为 $10^{-4} \sim 10^{-8} \text{ g/m}^3$; 大于 C_{37} 时,溶解度降为 10^{-14} g/m^3 。由于溶解度很低,一般情况下可不予考虑。

(5) 挥发性

石油的挥发性较强。据估计,海上溢油的 $1/3 \sim 2/3$ 通过挥发进入了大气。油的低沸点组分比例越大,挥发越快;油的表面积越大,轻组分挥发越快。一般较轻质油的起始挥发率较高,如煤油和汽油等炼制品溢出后,数小时内便可挥发净尽。轻质原油溢出后第一天可能挥发 40% 。石油的挥发性取决于许多因素,如油的组分、水温、风速与油的扩散特性。

溢油后,由于油的挥发,除了损失油量和污染大气外,还会带来两方面的消极影响:一是易挥发油溢于有限范围内时,容易着火和爆炸;二是挥发后的残油密度和黏度将明显增大,给清除回收溢油造成一定困难。

(6) 毒性

从原油挥发出来的石油气同汽油挥发出来的气体一样,对人体有害,一般人体的容许浓度为 500 ppm 。

实验表明,在大多数情况下,石油产品的毒性与其所含可溶性芳烃衍生物的数量成正比关系。石油对生物的毒性影响可分为急性中毒和长期低浓度毒性效应。目前尚难定量分析海洋溢油的毒性影响。

(7) 表面张力

表面张力一般产生在两种介质的交界面。表面张力使液体表面拉紧收缩,从而会对液体的运动状况产生影响。表面张力的大小可用液体表面上单位长度所受的张力,即表面张力系数 σ_{ij} 来表示(i, j 分别表示甲、乙两种介质),单位是 N/m 。表面张力在海面溢油扩展后期是一种决定性的力。

以上介绍的石油的几个主要特性都与研究海上石油的扩展、扩散、离散、迁移和降解过程密切相关。

三、海上溢油污染的危害

虽然海洋对石油污染有自净能力,但不是无限的。石油进入海洋后造成的污染对海洋环境和海洋生物资源的危害是相当严重的。通常, 1 L 石油完全氧化需要消耗 40 万升海水溶解氧,因此,一起大规模溢油污染事故能引起大面积海域严重缺氧,使大量鱼、虾、海鸟死



亡,或使鱼、虾、贝类产生油臭味,降低海产品的食用价值;浮油被海浪冲到海岸,沾污海滩,造成海滩荒芜,破坏海产养殖和盐田生产,污染、毁坏滨海旅游区;若清理不及时,还易发生爆炸和火灾,酿成更严重的经济损失和人员伤亡,这些都是海上溢油产生的直接后果。而在其长期影响下导致的潜在危害则更加严重:海上油膜会大大降低海水与大气的氧气交换,从而降低海洋生产力,破坏海洋的生态平衡;石油中的毒性芳香烃化合物极易进入水中并且停留很长时间,其在生物体中长期积累,最终必将危害人体健康;溢油沉降到海底后,会危及底栖生物和甲壳类动物的正常发育;沉降到海底的石油经微生物分解后,密度减小,会重新浮到海面。因此,一次大的溢油事故造成的影响会延续十几年甚至更长时间。

油本身具有毒性,进入海洋后对海洋环境的危害也是多方面的,从自然环境到野生动物,从自然资源到养殖资源等都会受到不同程度的危害,并且这种危害的周期往往是很长的。因此溢油事故发生时,应立即采取应急措施保护这些资源。

(1) 溢油对鸟类及其他动物的危害

海面上的溢油对鸟类的危害最大,尤其是潜水摄食的鸟类。这类鸟以海洋浮游生物及鱼类为食,当接触到油膜后,一方面羽毛能浸吸油类,导致羽毛失去防水、保温能力;另一方面,它们因不能觅食而用嘴整理自己的羽毛,摄取溢油,损伤内脏。最终它们会因饥饿、寒冷或中毒而死亡。在溢油事故发生时,从保护自然生态的角度,鸟类急救工作是非常重要的。

(2) 溢油对海洋生物的影响

浮游生物是最容易受污染的海洋初级生物,一方面,它们对油类的毒性特别敏感,即使在油浓度很低的情况下也会被污染;另一方面,浮游生物与水体是连成一体的,海面浮油会被浮游生物大量吸收,并且它们又不可能像海洋动物那样避开污染区。另外,海面油膜对阳光的遮蔽作用影响着浮游植物的光合作用,也会使其腐败变质。变质的浮游植物以及细胞中进入碳氢化合物的藻类都会影响以浮游生物为食的海洋生物的生存。一旦浮游生物受到污染,其他较高级的海洋生物由于可捕食物被污染而受到威胁。Prouss 等根据他们对单细胞藻类的实验结果认为,一般来说,低于 100 cpp 的油浓度对海藻往往有促进生长的作用,而对生长起抑制作用的油浓度通常要高于 100 cpp。总体来说,海藻和微生物对溢油的敏感性不高,但幼体和卵对石油的危害较为敏感。如果在溢油海域喷洒了溢油分散剂,且该水域的交换能力差,那么,被分散的油对海洋生物的危害将更为严重。

(3) 溢油对渔业的危害

成鱼有着非常敏感的器官,因此,它们一旦嗅到油味,会很快地游离溢油水域;而幼鱼生活在近岸浅水域,容易受到溢油污染。当毒性较大的油进入浅水湾时,不论是自然原因还是使用分散剂,都会对该水域的幼鱼造成多方面的危害。油对成鱼的长期影响主要体现在鱼的饵料方面。

溢油对渔业的危害,不仅体现在渔业资源遭受污染危害,因网具的污染所造成的危害也是较大的。渔业所遭受的这种危害并不只限于渔场遭受油污染的情况,非渔区的溢油污染也同样会造成这种危害。

(4) 溢油对水产业的危害

养鱼场网箱里的鱼因不会逃离,受溢油污染后不能食用。近岸养殖的扇贝、海带等也是如此。另外,养殖网箱受油污染后很难清洁,只有更换才能彻底消除污染,因此而产生的费用是十分昂贵的。