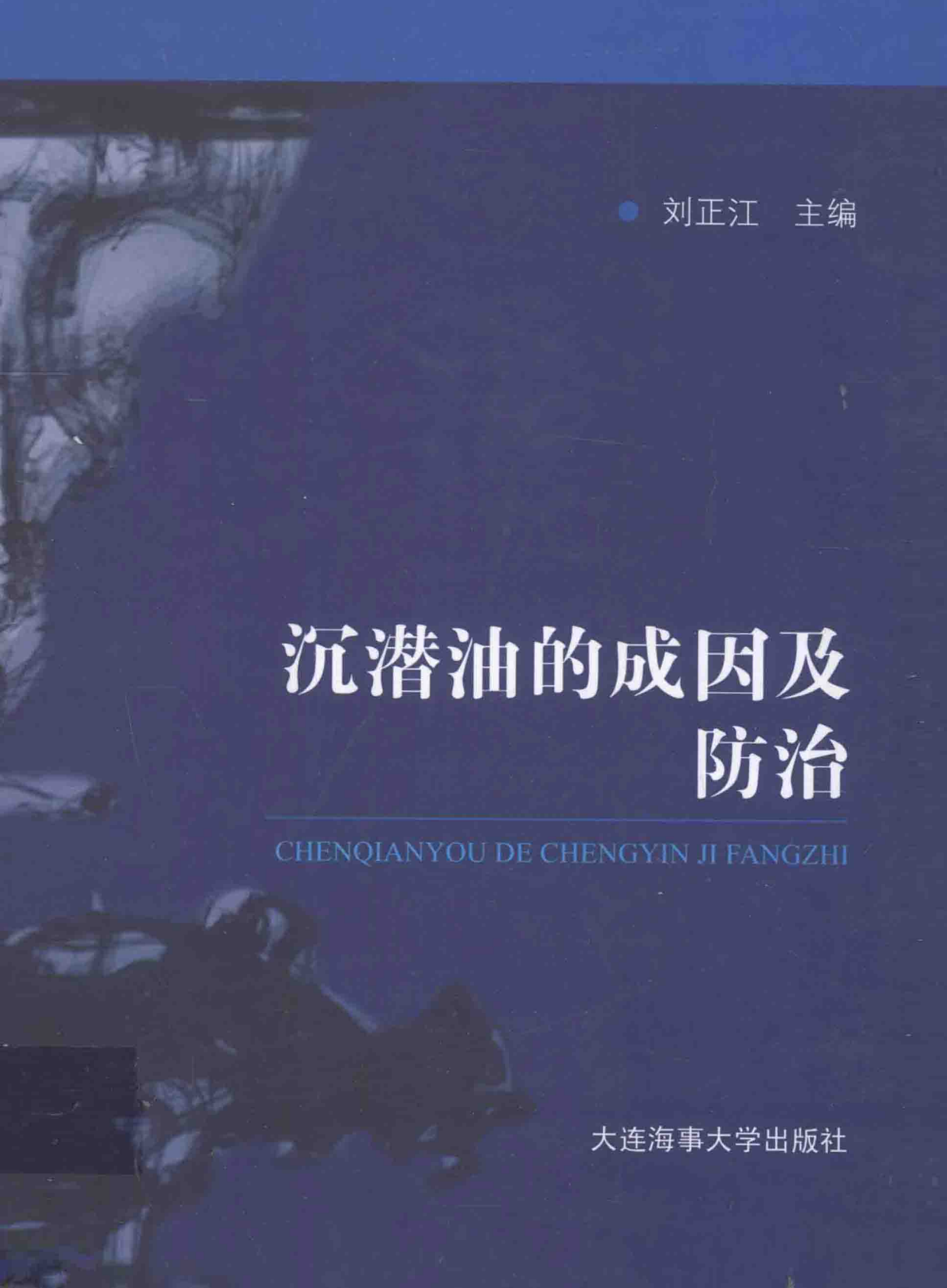


The background of the book cover is a dark, blue-toned photograph showing an oil spill cleanup operation. In the upper left, a person is visible working on a structure. In the lower left, a large, dark, irregular shape represents the spilled oil being cleaned up. The overall mood is somber and industrial.

● 刘正江 主编

沉潜油的成因及 防治

CHENQIANYOU DE CHENGYIN JI FANGZHI

大连海事大学出版社

沉潜油的成因及防治

刘正江 主编

大连海事大学出版社

© 刘正江 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

沉潜油的成因及防治 / 刘正江主编. —大连: 大连海事大学出版社,
2014.7

ISBN 978-7-5632-3028-0

I. ①沉… II. ①刘… III. ①渤海—海上溢油—成因②渤海—海上溢油—污染防治 IV. ①X55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 138759 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮编: 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

2014 年 7 月第 1 版

2014 年 7 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 170 mm×230 mm

印张: 14.5

字数: 270 千字

印数: 1~200 册

出版人: 徐华东

责任编辑: 姜建军

版式设计: 晓 江

封面设计: 王 艳

责任校对: 张 华

ISBN 978-7-5632-3028-0

定价: 37.00 元

《沉潜油的成因及防治》编辑委员会名单

主 任：刘正江

副主任：李青平

委 员：熊德琪 李义良 严志宇 刘晓星

张海勇 李跃全 马 龙 孙 冰

张 晓 尹晓楠 韩佳霖 廖国祥

吕晓燕 刘 慧 姜宏伟

前言

关于沉潜油，国际上早在 20 世纪 60~70 年代就有认识，最早记录沉潜油现象的是 1967 年发生在英吉利海峡的“Torrey Canyon”号油船溢油事故。一些国家的科学家对沉潜油的特性和形成机理的研究也有所进展，以美国的相关研究最为系统和全面。1999 年美国国家研究委员会（National Research Council，简称 NRC）发表了一篇题为“非漂浮油：风险和响应”的报告。该报告系统地阐述了沉潜油的特性及产生的机理，提出了沉潜油污染的风险和应急措施，并给出了一些继续深入研究的建议。

描述沉潜油的术语很不一致，大部分的根据都是沉潜油在海水中的形态。NRC 在 1999 年的报告中使用“非漂浮油（non-floating oil）”；其他的报告和论文中，使用“淹没的油或水中悬浮的油（submerged oil）”；在 IMO 文件中使用“沉潜油（sunken and submerged oil）”。

本书使用的“沉潜油”这一术语，包括两种环境状态下的溢油，即沉底油和半潜油，其中：

沉底油：溢出的油有下沉力并沉降到海底；下沉力可能是由于油的固有密度高、油的风化或其他过程，或沉积物或沙子粘附到溢油上。

半潜油：溢出的油具有中等或接近中等浮力，而且是在盛行的海况条件下一定时间内间歇地淹没在水面下。这种情况下又叫淹没油、水下油或悬浮油。

沉底油和半潜油是指油类在水中的两种状态，一般情况下这两种状态并不是长久稳定的，而是在合适的条件下相互转化。因此在本书的论述中，既有分别使用“沉底油”和/或“半潜油”的情况，也有使用“沉潜油”代表上述的沉底油和半潜油的情况。

渤海海域不明油源的油污上岸是我国最近几年海事部门在防污染监督管理中遇到的新问题，由于大部分情况下，在发现不明油源的油污上岸时附近并没有发生溢油事故，所以分析是以往发生的溢油事故中溢出的油发生了沉潜，遇合适的环境

条件又上浮并搁浅在岸边所致。

沉底油和半潜油的性质和产生的机理复杂，运动规律不同于海面油膜，监视监测技术不成熟。我国目前没有对应的回收和治理技术，海域环境保护工作面临严峻而复杂的监管局面。弄清渤海沉底油和半潜油的形成机理，掌握其运动规律对于有效防治油污染是必要的。

“渤海半潜和沉底油特性、漂移预测及回收技术”研究项目由河北海事局提出，作为 2011 年海事科技项目之一，由大连海事大学投标并中标。本项目主要研究了渤海海域内沉潜油的特性，主要来源及生成机理，沉潜油的污染数据库，长期风化油的油指纹鉴定，沉潜油的三维运动规律，沉潜油的重点分布范围以及影响的敏感区域，沉潜油的监测、回收和治理技术，并对如何做好沉潜油的源头监管和预警防范等提出了对策和建议。

本书在编写过程中参阅大量参考文献，在此向其作者表示感谢。

本书是该研究项目成果的汇总，本书的目的是为我国继续开展沉潜油研究奠定坚实的基础。由于时间有限，一些成果还是初步和不完善的。如有不当之处，恳请读者批评指正。

编著者

2014 年 5 月

目 录

第一章 沉潜油污染现状.....	1
第一节 沉潜油的定义和来源.....	1
第二节 国际上发生的沉潜油事故信息.....	2
第三节 我国渤海发生的沉潜油事件.....	4
第二章 沉潜油形成机理.....	6
第一节 沉潜油的概述.....	6
第二节 沉潜油机理的研究现状.....	10
第三节 沉潜油的形成机理.....	16
第四节 结语.....	31
第三章 沉潜油的长期风化及油种鉴定.....	32
第一节 沉潜油的油指纹特性.....	32
第二节 沉潜油的油种鉴定技术.....	61
第四章 沉潜油行为动态数值模拟与应用.....	71
第一节 沉潜油数值模拟研究现状.....	71
第二节 溢油沉潜输运数值模拟模型.....	78
第三节 沉潜油行为动态数值模拟系统.....	100
第四节 沉潜油模型验证及应用研究.....	107

第五节 结语.....	119
第五章 沉潜油的探测、围控和清除.....	121
第一节 沉潜油探测技术.....	121
第二节 沉潜油的围控和清除技术.....	140
第三节 结语.....	150
第六章 沉潜油的防治对策.....	153
第一节 IMO 对沉潜油的关注.....	153
第二节 代表性发达国家的溢油应急制度.....	157
第三节 我国的海上溢油应急制度.....	174
第四节 沉潜油的防治对策.....	192
参考文献.....	212

第一章 沉潜油污染现状

第一节 沉潜油的定义和来源

一、沉潜油的定义

大多数溢油响应的战略、战术以及设备都是基于“油是漂浮着的”这样一个简单的常识。但溢出的油并不总是漂浮着的，有时沉降的油在合适的条件下又以漂浮油或悬浮油的形式存在。

一些重大的溢油事故的溢油表现为：直接沉潜、风化一段时间后沉潜、与沉积物相互作用导致在近岸水域形成半潜油和/或沉底油。到目前为止，虽然进行了很多的研究，但海上溢出油的行为和归宿并没有完全弄清楚。由于监视和检测的手段贫乏，有效的回收设备缺少，使更进一步的溢油响应回收作业受到影响；另外大部分的溢油模型不能模拟比水密度大的油类运动规律。目前的溢油响应战略、战术以及回收设备都不适用于沉潜油。

二、沉潜油的来源

海上沉潜油主要来自海底沉船泄漏、营运船舶的泄漏、石油平台的泄漏、沿海工厂的泄漏以及溢油应急中的人为干预。能导致溢出的油沉降或半潜（悬浮）在水体中有几种可能的过程：

（1）密度大的油发生沉降。溢出的油本身比受纳水体密度大，因此沉降至海底。密度大于 1.000 g/mL （API 小于 10）的油类在淡水中会发生沉降；密度大于 1.025 g/mL （API 小于 7）的油类在海水中会发生沉降。

（2）油悬浮在水体中。溢出的油密度接近或由于“风化”（更多轻成分蒸发）变得接近环境水的密度，漂浮变慢，在空旷的海上波浪作用下下沉悬浮在水体中。

（3）漂浮的油在黏附上水体中的沙子后沉降。悬浮的沙子黏附上漂浮的溢油后，使油的密度增大，从海面上沉降到水面以下，然后作为含油沉积物沉积在海床上。一般来说，这仅发生在水体中沉积物负荷高的区域，而且这是在浅水区、紊流水域油类沉降的机制。

沉潜油的成因及防治

(4) 油漂浮、搁浅、转运, 然后沉降。搁浅在岸线上的溢油黏附在岸线的基质上。如果这种基质是沉积物和沙子, 油会混合上大量的沉积物和沙子使密度大于水, 随后搁浅的油在涨潮时重新开始运动, 黏附在岩石基质的溢油在涨潮的时候可能保留在水下。

(5) 人为干预后沉降。溢油应急作业中, 使用燃烧的方法, 残余物会产生沉降; 使用化学分散剂, 油品乳化后分散至水体中, 发生沉潜。

在美国墨西哥湾深水地平线平台溢油事故中, 可观察到井口溢出的油直接沉潜。

第二节 国际上发生的沉潜油事故信息

在世界上有比海水重的油类, 例如用来制造碳黑的一种成品油, 这是用原油为生产更多汽油进行催化裂解过程的副产物, 典型的密度达到 1.075 g/mL, 这种油在海上泄漏后马上就会沉降。1979 年, “Gino” 号油船在法国沿海因为事故泄漏出这种油 3 万吨, 直接沉入海底。淡水的相对密度比海水小, 所以在河流中发生的溢油沉潜事故比海上多。

但就一般常识上的认识, 油比水轻、不溶于水, 所以大部分溢油首先都是漂浮在水面上, 但过了一段时间后由于各种原因会发生沉降, 或许沉降到海底, 或许沉降到某一水层, 在水下运动。已经在很多的溢油事故中记录到沉潜油的现象, 见表 1-1 和表 1-2 (MEPC/OPRC-HNS/TG11/3/6, 2010)。由于常规方法不能发现沉潜油, 因此溢出的油可能被认为已自然分散或消失, 未被认为是处于沉降或半潜状态。在大部分情况下, 水面以下的半潜油和沉底油仅在后来上岸、污染渔具或沾染了海鸟才被发现。

表 1-1 原油泄漏后发生沉潜的信息汇总

事故船	年份	油种	API	泄漏的位置	水质	行为
Athos 1	2004	委内瑞拉 Bachaquero 重原油	13.6	美国宾州 Delaware River	淡水	部分油沉在河里; 部分搁浅后粘上沙子, 然后沉底
Alvenus	1984	Merey 和 Pilon 原油	13.8, 17.3	美国路易斯安那州卡梅伦, Calcasieu 河 Bar 海峡	海水	油先是漂浮, 然后搁浅粘上沙子后沉底
Aragon	1989	Maya 原油	21.10	靠近 Madeira 海	海水	油半潜
Haven	1991	伊朗重原油	30.35	意大利 Genoa	海上	油的燃烧残余物沉底
Nissos Amorgos	1997	委内瑞拉 Bachaquero 原油	16.8	委内瑞拉海湾 Maracaibo 海峡	海上	油漂浮, 部分搁浅后沉底

第一章 沉潜油污染现状

表 1-2 燃油发生泄漏后沉潜的信息汇总

船名	年份	船型	燃油类型	泄漏的位置	水质	行为
Lake Winona	1979		6 号重质燃油		淡水	油沉底
Mobiloil	1984	成品油船	6 号重质燃油	美国俄勒冈州的 Columbia 河	淡水	油在河流中半潜, 在咸水中又上浮到表面
Presidente Rivera	1989	成品油船	Bunker C、6 号重质燃油	美国宾州 Delaware 河	淡水	油先是漂浮, 后粘上沙子沉降
Provence	1996	成品油船	6 号重质燃油	美国新罕布什尔州 Piscataqua 河	淡水	在河流中沉降
Kuroshima	1997	货船	Bunker C 6 号重质燃油 IFO 380	美国阿拉斯加 Summer 湾	淡水	油漂浮, 接触了沉积物后下沉
Lake Wabamun	2005	Freight train	Bunker C 6 号重质燃油	加拿大阿尔伯塔 Wabamun 湖	淡水	油漂浮, 接触了沉积物后下沉
STC-101	1976	Barge	6 号燃油	美国弗吉尼亚州 Chesapeake 湾	海水	油半潜 (推测)
Sansinena	1976	油船	Bunker C 6 号重质燃油	美国洛杉矶港		油燃烧的残余物沉降
USNS Potomac	1977	军舰	Bunker C	格陵兰外		油沉降
Eleni V	1978	成品油船	重质燃油	北海, 英国诺福克外	海水	油在海上半潜
Kurdistan	1979	油船	Bunker C	纽芬兰 Cabot 海峡	海水	油在海上半潜
Katina	1982		重质燃油	北海, 荷兰外		油在海上半潜
Thuntank 5	1986	成品油船	6 号重质燃油	瑞典东海岸 Gavle	海水	油漂浮, 在粘上沉积物后沉降 (波罗的海)
Nestucca	1988	油驳	Bunker C 6 号重质燃油	美国华盛顿 Grays 外		油在海上半潜
Vista Bella I	1991	驳船	6 号重质燃油	加勒比海以东 Nevis 岛	海水	油漂浮, 触底粘上沙子后沉底
Bouchard 155	1993	油驳	Bunker C 6 号重质燃油	美国佛罗里达州坦帕湾	海水	油漂浮, 在粘上沉积物或触底后沉底
Morris J. Berman	1994	油驳	Bunker C 6 号重质燃油	波多黎各 Escambron 海滩	海水	油漂浮, 在冲浪区粘上沙子后沉底
Evoikos	1997	成品油船	重质燃油	新加坡海峡	海水	油半潜
Erika	1999	成品油船	渣油	比斯开湾	海水	油半潜
Volgoneft 248	1999	油船	重质燃油	土耳其马尔马拉海	海水	油漂浮, 在粘上近岸沉积物后沉底

沉潜油的成因及防治

续表

船名	年份	船型	燃油类型	泄漏的位置	水质	行为
SE Florida Mystery Spill	2000		超重油	美国佛罗里达州	海水	油漂浮, 触底并沉底
Baltic Carrier	2001	油船	IFO 380	波罗的海, 丹麦 Kadetrenden	海水	部分油粘上近岸 沉积物后沉底
Prestige	2002	成品油船	渣油, M100	西班牙海域	海水	油半潜, 部分在近 岸水域沉底(可能 是触底后)
Fu Shan Hai	2003	液货船	IFO 380	波罗的海, 丹麦 IBornhom	海水	油半潜

第三节 我国渤海发生的沉潜油事件

渤海是半封闭海,三面环陆,在辽宁、河北、山东、天津市之间。面积约为 $7.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 平均水深 44 m。根据《渤海碧海行动计划》,本书所指渤海的具体位置为辽东半岛的大连、丹东两市海岸线交界处与山东半岛的烟台、威海两市海岸线交界处之间的连线为界以西的海域。从地貌形态上看,渤海是黄海伸入内陆的一个大海湾,其中包括辽东湾、渤海湾和莱州湾。渤海海岸线全长约 3 800 km。

我国对于沉潜油认识较晚,基本上是从 21 世纪开始的。渤海海域不明油源的油污上岸是我国最近几年海事部门在防污染监督管理中遇到的新问题,由于在大部分情况下,在发现不明油源上岸时附近并没有溢油事故的发生,所以分析是以往发生的溢油事故中溢出的油发生了沉潜,遇到合适的环境条件又上浮并搁浅在岸边所致。

这些事件不仅严重影响了旅游、水产养殖等沿海经济的发展,而且造成了不良的社会影响,特别是北戴河海域岸滩自 2006 年以来的 8 年中连续发生合计 20 余次不明油源上岸的油污染事件。图 1-1 为河北海岸线不明油源油污污染现场的实拍。

为了有效预防和治理此类污染,促进沿海经济发展和社会和谐,有必要开展渤海沉潜油的特性和机理、漂移预测及回收技术等方面的研究,实现从源头上监管并预警防范,从而有效降低污染事故造成的环境损害和社会影响。

许多重大的溢油事故溢出的油与沉积物相互作用导致在近岸水域沉降形成沉潜油。到目前为止虽然进行了很多相关的研究,但这些油的行为和归宿还没有完全清楚。更进一步的沉潜油响应回收作业由于监视和检测手段贫乏和有效的回收设备缺少而受影响,而且大

第一章 沉潜油污染现状

部分的溢油模型不能模拟比水密度大的油类运动规律。

大连海事大学和河北海事局于 2011 年承担了交通运输部海事局科技项目“渤海半潜和沉底油特性、漂移预测及回收技术研究”，该研究对沉潜油特性、形成机理，油指纹溯源方法 and 应用，建立渤海油污染数据库，渤海溢油污染风险管理信息系统和三维海上溢油漂移模型及预报系统，渤海沉潜油监视和监测方案，渤海沉潜油围控回收技术方案以及防治渤海沉潜油污染的对策和建议等进行了初步的探讨，并取得了一定的成果，为我国深入研究沉潜油机理和防治措施奠定了坚实的基础。

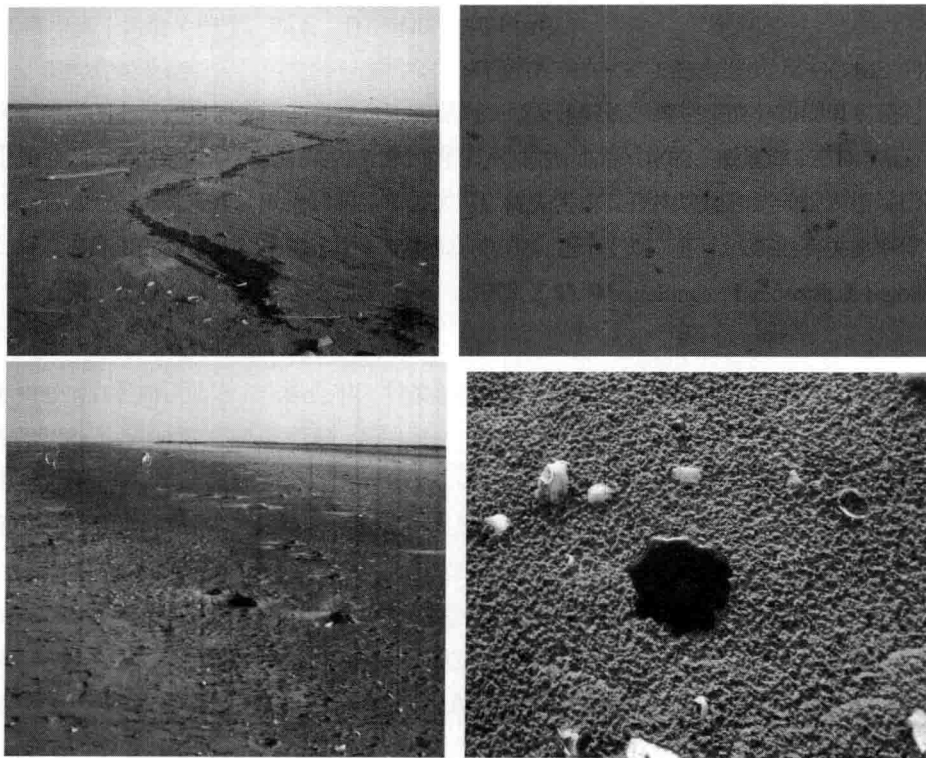


图 1-1 河北海岸线不明油源油污污染现场

第二章 沉潜油形成机理

第一节 沉潜油的概述

一、油类的沉潜现象

近年来,国际海事组织(IMO)不断提高船舶安全标准,但海损事故造成的溢油污染对海洋环境的威胁仍然存在,而且油类泄漏物质所造成的环境污染往往是灾难性的,其中溢油发生沉潜的情况屡见不鲜。由于此类油污无法通过常规的海上巡视和监测及时发现,一旦漂移至养殖区或岸滩,将对水产养殖、旅游等产业带来严重威胁,并产生不良的社会影响。

(一) 溢油的沉潜行为

溢油发生后,由于其自身性质和所处水环境条件,将会漂浮在水面形成浮油,悬浮于水中形成半潜油,或者沉入水底形成沉底油。一般而言,密度是决定溢油是否产生沉潜的关键因素(H. M. Brown, Owens & Green, 1998)。当溢油相对密度大于水体相对密度,溢油发生沉底;当溢油相对密度与水体相对密度接近,波浪的波动作用将导致溢油悬浮在水面以下,溢油发生半潜。另外,溢油黏度,溢油发生的水体中沙子或悬浮物、温度、波浪、水流,以及是否施加分散剂等都将对溢油的沉潜发生影响(Kaperick, 1997)。溢油在海洋中经过蒸发、乳化等变化,轻组分挥发致密度增加,生成半固态小焦油球下沉(Kaperick, 1997; Michel, 2006);有些重质油的相对密度大于1,在微咸水或淡水中下沉;对于密度比水小的溢油还可能通过吸附在海水中的沙子或悬浮固体颗粒导致密度增加下沉。实际上这几种情况经常是共同发生的。

一般来说,半潜油和沉底油均很难被肉眼、遥感监测飞机或者观察船可靠地监测到(Garcia, Villoria, Gunter & Grossi, 1999; Shuttleworth & Wardley Smith, 1969; Usher, 2006)。下面列出溢油发生潜沉的行为过程。

(1) 油沉底:溢油本身具有高于水体的相对密度,能够发生沉底。例如相对密度高于1.000 g/mL(API指数低于10)的石油高于淡水相对密度,相对密度大于1.025 g/mL(API

指数低于7)的石油高于海水相对密度,此类溢油可在海洋中发生沉潜。

(2)油半潜:溢油密度接近或者风化(蒸发掉易挥发轻组分和水相互作用形成“油包水”乳状液)之后相对密度接近水体相对密度,在水中漂浮时受到波浪作用导致潜于水面以下。

(3)漂浮油附着水体中的沉积物下沉:溢油漂浮在水面上时,附着水体中的悬浮物导致溢油密度增加,离开海面,沉向海底,甚至在海底形成油泥。一般来说,这种过程一般发生于含沙量较高且水动力较大的区域。

(4)石油漂浮搁浅再迁移至水中下沉:搁浅在海岸的溢油能黏附海岸基质。如果基质是沉积物和沙子,溢油能混合大量的沉积物和沙子使其相对密度大于水体(Garcia et al., 1999; Shuttleworth & Wardley Smith, 1969)。随后,搁浅油在波浪的作用下发生再移动作用把油-沙混合物带到浅海海底。此外,黏附在礁石的溢油在涨潮时,也在水面以下。

(5)油燃烧残余物:如果溢油事故发生过程中全部或者部分油燃烧,轻馏分能够燃烧完全,但是原油只发生部分燃烧,残余物具有较高的密度能发生下沉。

(二)沉潜油的再上浮行为

对于发生沉潜的溢油,在合适的环境条件(温度、水力等)下可能再次发生上浮,漂浮在水面、搁浅在岸线。一般而言,密度自身大于海水密度的溢油不再发生上浮,而油品密度低于海水密度的沉潜油,可能在合适的条件下发生再上浮,如NOAA于1995年出版的报告(NOAA, 1995)中关于1994年“Morris J Berman”事故描述到,每天可以观测到有部分沉潜油重新浮起。重新浮起部分是由于环境条件的改变导致密度变化、部分是由于沙子从油-沙结合体中渗出脱离使其密度减小。

有三个理论可以解释沉潜油再上浮的原因:一是附着的沙子穿过油体下沉导致其余部分的沉潜油质量变轻浮起;二是太阳高度角增大,温度提升导致油再浮起;三是由海风引起的水柱的混合力和湍流程度增加使油浮起。可见,沉潜油的再浮起现象是由于与黏附的沙子等悬浮物分离导致的密度减小,而在此过程中温度和水力混合条件也有重要影响作用。

二、沉底油和半潜油的动态变化

上述的沉底油和半潜油是不能截然分开的,其经常是变动的、可逆的,随很多因素在变化,可能一段时间在水中处于悬浮状态、另一段时间会沉入海底。

三、沉潜油的危害

海上溢油对海上安全、海洋生态、海水养殖、滨海旅游等均造成巨大的危害和经济损失。当海面溢油发生沉潜行为之后,虽然很难引起爆炸和火灾等安全问题,但其对海洋环境、水产养殖、旅游和沿海经济发展仍然具有巨大的危害,而且造成了不良的社会影响。此外,沉潜油相对于海面浮油在应急处置、跟踪和回收等方面均具有较大困难。例如,高密度、高黏度油泄漏入海后,会黏附在岩石和海工构造上,在冷水和冬天该性质对于应急响应作业更加困难;高密度、高黏度油泄漏入海后与沙子混合会沉降、下潜,导致探测、跟踪、监视和回收困难。

沉潜油对环境的危害程度与溢油类型和环境因素有关。油种类不同,对环境造成的危害也不同。例如,重燃料油含芳香烃化合物的量比其他油高,而芳香烃化合物具有易溶于水、易扩散、难以降解、对生物毒性大等特点。如果重燃料油发生沉潜不能及时得到处理,对海洋环境的污染危害要比其他类型的溢油大。

此外,沉潜油对环境的危害程度与环境自身的特征有关。发现沉潜油的地点是否是敏感区,发生的季节是否是鱼类产卵期、收获期以及不同的海况,沉潜油的危害程度都不同。相同规模的溢油事故,若发生溢油沉潜,那么发生在开阔水域要比发生在封闭水域的危害程度要低;发生在海洋生物生长期要比发生在其产卵繁殖期的危害低;发生在荒无人烟的偏僻地带,靠其自身可净化能力恢复,那么,这种危害可以不计。

(一) 沉潜油对海洋环境的危害

溢油本身具有毒性,进入海洋后对海洋环境的危害也是多方面的。溢油发生沉潜之后,以小油滴形式存在的半潜油可对海洋浮游生物、鱼类和海洋环境造成巨大危害,而沉底油对水体中较低层或 seabed 上的物种的影响较大。特别需要注意的是下沉油风化非常慢,对海洋环境的影响也是长期的。

石油的毒性也表现在对动物摄食、呼吸、运动、趋化性、蜕皮、酶的活性、生殖、生长以及群落组成的变化等各个方面的影响(Etkin, 2001; Jaffé, 1991; Монин, 李若钝, 1995)。油污染给海洋生物带来的最严重的威胁,在于它能够改变或破坏海洋生态系统,使生态系统的多样性丧失。溢油对海洋生物具有直接毒害作用,阻碍其正常生长发育,使生物丧失生存或繁衍的能力。此外,生态系统中的富集和积累作用,使食物链后端的生物中毒而难以存活或繁育等。

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它们也会被污染；另一方面浮游生物与水体是连成一体的，半潜油会被浮游生物大量吸收，并且，它们也不可能像海洋动物那样避开污染区。另外，油膜带对阳光的遮蔽作用影响着浮游生物的光合作用，也会使其腐败变质。浮游生物的变质就会威胁以浮游生物为食的海洋生物的生存。总之，一旦浮游生物受到污染，其他较高级的海洋生物便会由于可捕食物的污染而受到威胁。

海水上层的哺乳动物受溢油污染危害的情况是不同的，如鲸鱼、海豚和成年海豹对油非常敏感，它们能及时地逃离溢油水域，可以避免遭受污染。但成年海豹和小海狗栖息海滩时，会被油的污染所困，以致死亡。水獭遭受油污染后，通常是窒息死亡，主要原因是这种动物不愿离开栖息场所。

沉潜油对浅水域的污染异常明显，造成的危害在社会上反应强烈。此外，在浅水域通常存在贝类、幼鱼、珊瑚、海草等生物。遮蔽的岸线，如沼泽、红树林和湿地等资源价值很高，油污染对其造成的危害是难以估量的。

（二）沉潜油对渔业和海水养殖业的危害

依赖于清洁海水的一系列行业可能会在油类污染后出现重大损失，渔业和海水养殖受到的影响通常最严重。沉潜油可能会通过物理污染、对种群的毒害效应及干扰商业活动，对渔业和海洋养殖资源造成严重破坏。此外，由于沉潜油在水下运移的轨迹受到多方面的影响难以预测，所以给渔业和养殖业往往带来措手不及的巨大损失。

成鱼有着非常敏感的感知器官，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，更易受到溢油污染。当毒性较大的油进入浅水湾时，会对该水域的幼鱼造成多方面的危害。

沉潜油对渔民的危害，不仅是渔业资源遭受污染危害，还包括网具被污染而遭受的损失。渔民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。养鱼场网箱里的鱼因不能逃离，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，这样做的费用是十分昂贵的。

（三）沉潜油对社会活动和经济活动的危害

溢油对岸线沙滩的污染直接影响到旅游业。旅游业是世界各地大多数有人居住的海岸区域的支柱产业。其可能由于水中或岸上产生的油污而被迫中断，在旅游旺季之前或之中可能会产生严重的后果。例如，沉潜油在一定的温度和海况条件下可能上岸或者浮出水面，