

国家“十二五”重点图书

船舶与海洋出版工程

海洋工程设计手册 —海上溢油防治分册

主 编：张 苓 张来斌



SGOT下沉式旋流收油机



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

国家“十二五”重点图书

船舶与海洋出版工程

海洋工程设计手册 — 海上溢油防治分册

主 编：张 苓 张来斌

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书凝聚了海上溢油防治领域众多专家们多年的知识经验和实践创新,系统地阐述了海洋石油工程溢油隐患及预防、溢油污染事故调查、溢油应急清理处置、各类溢油险情的控制与回收作业、溢油生态损害评估及修复、溢油应急计划与响应、溢油应急法律法规等方面的内容,具有较全面的专业覆盖度、较强的实战操作性,也介绍了各专业领域国内外最先进的技术。

本书可作为海上溢油防治从业工程技术人员和施工单位的操作指南和参考,也可以作为石油工程专业、环境保护专业的院校师生教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

海洋工程设计手册.海上溢油防治分册/张苓,张来斌主编.

—上海:上海交通大学出版社,2015

ISBN 978-7-313-12982-6

I. ①海... II. ①张... ②张... III. ①海上溢油—污染防治—技术手册 IV. ①P75-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第099289号

海洋工程设计手册—海上溢油防治分册

主 编:张 苓 张来斌

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:山东鸿君杰文化发展有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

字 数:655千字

版 次:2015年6月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-12982-6/P

定 价:1080.00元

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:34.5

插 页:4

印 次:2015年6月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0533-8510898

《海洋工程设计手册—海上溢油防治分册》 编辑委员会

主任委员

翟久刚 郭明克

副主任委员

章荣军 黄飞 司慧 李杰训

委员：（按姓氏笔画排序）

丁金钊 文世鹏 白勇 白守定 衣怀峰 杜卫东 杨勇
杨光胜 张苓 张来斌 周长江 周青燕 周海南 赵绍祯
修景涛 徐志国 杨志 刘平礼

主编

张苓 张来斌

副主编

张兆康 周旻 李相方 徐志国

编写组成员

张春昌 王世宗 黄任望 赵玉慧 黄培山 (PeterHuang)
梁伟 刘科 李杰训 徐瑞翔 郑文培 任璐
王艳芬 黎雪春 王旭利 高殿才

序一

随着全球经济的发展，人类对能源的需求越来越大，迫使石油勘探生产作业向更具挑战的极端地理气候环境迈进。近年来，海洋环保、深水地球物理勘探、海洋石油工程开发等技术迅速发展，也为油气工业从陆地走向海洋、从浅海走向深海提供了动力和想象空间。

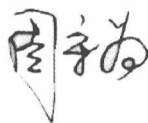
海洋石油工业面临前所未有的发展机遇，但海洋环境复杂，人类对海洋的认知水平需要不断提高，机遇与挑战并存。海洋石油勘探开发工程长期在风、浪、流、涌、冰和潮汐等苛刻的海洋环境工况下服役，海洋石油工业在探、钻、采、储、运、炼的每个环节都面临大自然的考验，海洋石油工业有高风险、高投入、高技术的特点。如何使海洋石油工业更安全、更绿色、更智能是海洋工程科技工作者奋斗的方向！

海上溢油是海上运输及海洋石油开发生产中时有发生环保事故，可以减少、但难以杜绝，可以预防、但难以预料，石油工业走向深海后，溢油风险更大了，并且溢油污染处置难度也更大了。以墨西哥湾漏油事故为例，2010年4月20日，美国南部路易斯安那州沿海的墨西哥湾钻井平台“深水地平线”发生起火爆炸沉没，直到9月4日，英国石油公司才对外宣布完成了防喷封堵工作，漏油并不会再对墨西哥湾构成危害，从大规模漏油到切断溢油源历时4个半月，而后续的清理修复工作直到今天还在继续。大型的溢油将对海洋生态环境造成难以估量的严重损害，海上溢油防控及应急处置是海洋石油工业需要关注解决的首要问题。但是长期以来，国内外针对海上溢油事故前预防控制、事故中响应处理、事故后修复评价并没有一个系统的研究论述。可喜的是，本书的编委们完成了这个工作，我们欣喜地看到各专业、各行业、各领域的国内外专家们聚集一起，倾毕生心血所学完成了这本著作。我们对海上溢油的认识、海洋石油工业溢油安全隐患及预防、事故调查、清理处置方法、应急响应方案、环境修复评价、管理规范及

法律法规放到了一个平台上，这将加强涉海管理单位、部门、油气生产企业、海洋装备制造企业的相关技术人员对溢油的预防和处理能力，对各行业部门未来的工作协调合作、监督管理产生积极的作用，有很好指导意义。

希望本书在实践中进一步完善，为实现开发海洋资源同时保护海洋环境的人类梦想做出贡献！

中国工程院院士

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '周' and '训为' in a stylized, cursive script.

序二

我国是拥有 473 万平方公里海域、1.8 万公里大陆海岸线和 6 500 多个岛屿的海洋大国。随着经济的快速发展，我国对石油能源的需求也持续增加，2013 年，我国的原油进口量达到 2.82 亿吨，对外依存度达 57.4%，超过了 50% 的警戒线，成为世界第二大石油进口国。能源的巨大需求加速了我国海上石油运输业和油气开采业迅速发展，近海、远海的石油钻井平台增多，海上运输航线复杂、原油运输繁忙，发生溢油事件的风险也大大增加。

重大海上溢油事件是严重的海洋灾害，对海洋生态环境、沿岸经济、人类的健康和公共安全带来直接的损害。近两年来接连发生在大连港的 7.16 溢油事件和渤海湾的康菲溢油事件给我们敲响了警钟，人类开发海洋油气资源的脚步刚刚开始，我国水域发生重大溢油事故甚至灾难性的溢油事故的潜在风险长期存在。

系统完整的溢油污染解决方案应包括：遏制溢油隐患的发生，溢油污染的监视、监控、调查，储备足够可以覆盖高价值敏感海域岸滩的高效应急清污环保设备，制定系统、实用、高效的溢油应急响应预案，政府、石油企业和清污力量组织好人力物力协同作战抢险，后评价等。其行业及专业的跨度非常大，长期以来，条块分割的管理模式使我们并没有一个能完整了解石油生产、运输、溢油应急处置、监视监测等相关领域的知识、信息平台。我们应对重大溢油的综合应急反应能力还满足不了现实能源经济快速发展的需求。

令人欣慰的是，本书的专家学者完成了这个工作。本书各章节架构合理，涵盖了海上溢油领域的相关知识内容，具有很强的参考价值和实用价值。“工欲善其事，必先利其器”，希望这本书的出版对今后的重大海上溢油应急工作起到积极的促进作用。

党的十八大进一步明确了建设海洋强国的宏伟目标和提高海洋资源开发能力、发展海洋经济、保护海洋生态环境、坚决维护国家海洋权益的四项任务。贯

彻实施《中华人民共和国海洋环境保护法》，履行《1990年国际油污防备、反应和合作公约》，在世界海洋环境保护中做出表率，是我们海洋卫士应尽的责任！

中国海上溢油应急中心主任

智广路

前 言

海上溢油是人类工业活动引发的最严重的环境污染之一，对海洋生态环境、渔业、旅游业、人类生存环境造成难以估量的损害，海上溢油防范及治理是海洋石油工业及海洋运输业不可缺少的一环。近几年国内外接连发生的几次大型漏油事故危害极大，使如何提高整个行业的溢油防范及治理水平变得非常紧迫。

《海洋工程设计手册》是由上海交通大学出版社出版的国家“十二五”重点图书，对振兴海洋工业、开发海洋资源意义重大。由于自然环境、技术水平、人力所及、地缘政治等多方面的因素，海洋环境保护工作常常变得非常复杂和困难，尤其是海上溢油防治在专业及管理上涉及多领域多部门，如何将本书的编写做到专业技术指导上严谨准确，实际管理使用中规范实用，海洋环境保护模式上领先和有创新，是编委们努力的方向。

《海洋工程设计手册——海上溢油防治分册》的编写由中国石油大学（北京）和北京中天油石油天然气科技有限公司牵头组织，得到了中国交通运输部海事局、中国海上溢油应急中心、国家海洋局、中国海警局、中国石油大学（北京）、中国海洋石油总公司、中国石油天然气集团公司、北京中天油石油天然气科技有限公司等单位相关专业专家学者，以及国际海洋石油科技大会（OTC）组委会外籍专家的大力支持，在充分吸收总结国内外海上溢油防治经验和教训的基础上，经四次编委会，三次汇稿，历时一年完成了这本书。本书凝聚了各行业专家们多年的知识经验和实践创新，系统地阐述了海洋石油工程溢油隐患及预防、溢油污染事故调查、溢油应急清理处置、各类溢油险情的控制与回收作业、溢油生态损害评估及修复、溢油应急计划与响应、溢油应急法律法规等方面的内容，具有较全面的专业覆盖度、较强的实战操作性，也介绍了各专业领域国内外最先进的技术。

本书各章主要作者如下：前言：张来斌、张苓；第一章：赵玉慧、张苓；第二章：李相方、徐志国、黄培山（Peter Huang）、梁伟、郑文培；第三章：王世宗；第四章：

张苓、任璐；第五章：张兆康、徐志国；第六章：刘科、王艳芬；第七章：张春昌；第八章：黄任望。

我们十分感谢中国海上溢油应急中心智广路主任、中国海洋石油总公司周守为院士在百忙中阅读了本书的草本并为本书作序，对作者们的工作给予了鼓励和肯定，对本书做出了高度评价，并向读者推荐了这本书。

在这里也向参考文献的作者们表示感谢，您们的工作给予我们很多启发。

海上溢油由来已久，但海上溢油防治还是一个崭新的领域，人类还没有真正有效地控制海上溢油，世界各国政府，特别是中国政府高度重视解决海上溢油这一世界难题，并已经把海上溢油应急回收装置列入国家鼓励发展的重大环保技术装备目录。本书的作者们在尝试着解决这个问题时也意识到还有很多问题是我们没有认识到或认识得不够清楚的，所以本书欠妥和错误之处，敬请读者批评指正，我们编委会长期存在。海上溢油防治是一个泽被后世的公益事业，我们会认真了解您的意见和建议，您的意见和建议若被采纳，会收到一份我们的奖励，并可能会被邀请进入我们的编委会。我们希望在第二版时，这本书能更加完善，更好地指导海洋工程技术的发展，为海洋环境保护做出更大的贡献。

《海洋工程设计手册—海上溢油防治分册》编委会

2015年3月

联系方式：电话 010-65188928

邮箱 manual@sgotnet.com.cn

目 录

第1章 海洋溢油污染概述

Overview of marine oil spill pollution	1
-----------------------------------------------------	---

1.1 溢油污染来源与特点

Origin and nature of oil spill pollution	2
-------------------------------------------------------	---

1.1.1 概述

Overview	2
----------------	---

1.1.2 来源

Cause	6
-------------	---

1.1.3 特点

Effects	8
---------------	---

1.2 溢油污染的主要危害

Major hazard of oil spill	10
----------------------------------------	----

1.2.1 石油组分的生物毒性

Biological toxicity	10
---------------------------	----

1.2.2 对海洋生态环境的危害

Ecological pollution hazards.....	11
-----------------------------------	----

1.3 溢油在海洋环境中的行为及归宿

Transport and fate of oil spill	12
----------------------------------------------	----

1.4 国内外发生溢油情况及重大溢油事故案例

Major international and domestic oil spill incident case study	14
-----------------------------------------------------------------------------	----

1.4.1 发生情况

The occurrence of oil spill.....	14
----------------------------------	----

1.4.2 重大事故案例

Major incident cases	20
----------------------------	----

1.5 参考文献

References.....	23
-----------------	----

第2章 海洋石油工程溢油污染隐患及预防

Offshore engineering oil spill pollution hazards and prevention.....	24
----------------------------------------------------------------------	----

2.1 海洋石油设施泄漏表现形式及预防措施

Manifestations and preventive measures of marine oil facilities spillage.....	25
-------------------------------------------------------------------------------	----

2.1.1 浅海油田生产系统泄漏表现形式及预防措施

Shallow water.....	25
--------------------	----

2.1.2 深水油田生产系统泄漏表现形式及预防措施

Deep water.....	58
-----------------	----

2.2 海洋石油作业异常突发事件溢油隐患及预防

Immediate abnormal oil spill risk and prevention.....	75
-------------------------------------------------------	----

2.2.1 海洋石油勘探开发作业溢油隐患及预防

Marine exploration and exploitation.....	75
------------------------------------------	----

2.2.2 海上油气集输过程的溢油隐患及预防

Oil spill risk and prevention of oil and gas gathering and transferring process.....	108
--------------------------------------------------------------------------------------	-----

2.3 参考文献

References.....	127
-----------------	-----

第3章 溢油污染事故调查

Oil spill pollution incident investigation.....	131
-------------------------------------------------	-----

3.1 海洋工程溢油污染事故调查

Offshore engineering oil spill pollution incident investigation.....	132
----------------------------------------------------------------------	-----

3.1.1 事故等级

Incident scale.....	132
---------------------	-----

3.1.2 事故报告

Incident report.....	133
----------------------	-----

3.1.3 事故信息	
Incident details	134
3.1.4 溢油源查找和监视	
Determination and control of oil spill origin.....	134
3.1.5 事故污染现场监视	
Further monitoring of oil spill incident	135
3.1.6 事故油田现场监视	
Site monitoring of oil field	137
3.1.7 事故行政指令执行	
Regulations and requirements.....	138
3.1.8 溢油应急处置现场监视	
Oil spill response evaluation.....	139
3.1.9 事故调查原则	
Incident investigation principles	140
3.1.10 事故调查基本内容	
Incident investigation procedures	142
3.1.11 事故原因	
Incident causes	143
3.1.12 事故责任	
Incident responsibility	145
3.1.13 事故取证	
Incident evidence	147
3.1.14 事故油污取样	
Oil samples analysis.....	148
3.1.15 溢油鉴定一般程序	
Oil spill identification procedure	150
3.2 船舶溢油污染事故调查	
Vessel oil spill pollution incident investigation	151
3.2.1 事故调查权限	
Incident investigation authority.....	151

3.2.2	调查机关的权利与义务	
	Obligations of the investigation authority.....	152
3.2.3	事故协查	
	Investigation assistance	152
3.2.4	事故现场勘查	
	Incident scene investigation.....	154
3.2.5	事故物证	
	Empirical evidence	154
3.2.6	事故书证	
	Documentary evidence	155
3.2.7	事故污染源鉴定	
	Pollution source identification	155
3.2.8	事故调查基本内容	
	Investigation contents	156
3.2.9	事故调查的一般原则	
	Investigation principles	156
3.2.10	操作性船舶污染事故的特点	
	Vessel cargo characteristics.....	157
3.2.11	船舶污染事故的几种形式	
	Types of vessel pollution incidents.....	158
3.3	溢油量评估方法	
	Oil spill volume assessment.....	159
3.3.1	事故调查法	
	Incident investigation methods.....	160
3.3.2	遥感(航拍)图像分析法	
	Remote sensing and image analysis	160
3.3.3	环境监测评价法	
	Environmental monitoring and evaluation	162
3.3.4	采油工程法	
	Production engineering.....	162

3.3.5	油藏物质平衡法 Reservoir material balance.....	163
3.3.6	油藏数值模拟法 Reservoir numerical simulation.....	164
3.3.7	溢油量估算方法的意义及参数选择 Parameter selection and assessment	164
3.4	船舶溢油量估算方法 Vessel oil spill volume assessment	165
3.4.1	公约计算法 Calculation according to the regulation.....	165
3.4.2	装载计量法 Cargo disparity assessment	167
3.4.3	视觉估算法 Visual estimation	168
3.4.4	回收估算法 Reclamation estimation.....	168
3.4.5	船舶溢油量估算方法的局限性 Vessel oil spill volume assessment limitations	169
3.5	溢油漂移跟踪预测 Oil spill drift – tracking and prediction	170
3.5.1	溢油漂移预测模型现状 Oil spill drift prediction models.....	171
3.5.2	三维潮流预报模型 Three-dimensional current forecast model	172
3.5.3	溢油漂移轨迹预测模型（溢油行为归宿模型） Trajectory prediction model	173
3.6	几种类型溢油事故风险及污染预测 Degrees of oil spill risks and hazards	177

3.6.1 井喷事故	
Blowout risk and pollution prediction	178
3.6.2 海底油气管道溢油事故	
Subsea pipeline fracture risk and pollution prediction	178
3.6.3 火灾事故	
Explosion risk and pollution prediction	179
3.6.4 油轮碰撞溢油事故	
Tanker collision risk and pollution prediction.....	180
3.7 参考文献	
References.....	181
第4章 溢油应急清理处置方法	
Oil spill clean-up and contingency.....	183
4.1 溢油清理处置方法概述	
Overview.....	184
4.1.1 方法分类	
Classification.....	184
4.1.2 作业参数	
Operation guidelines.....	185
4.1.3 方法选择	
Selection guidelines	188
4.2 溢油围控	
Oil containment.....	191
4.2.1 围油栏的作用	
Boom characteristics	192
4.2.2 围油栏的结构及类型	
Boom types	192
4.2.3 围油栏的选择	
Boom selection	200

4.2.4	围油栏的布设及固定 Boom configuration and anchoring	203
4.2.5	围油栏的失效及其预防纠正措施 Boom failure and correction	217
4.2.6	围油栏的清洗与存储 Boom cleaning and storage	221
4.3	溢油回收 Recovery of spilled oil	222
4.3.1	堰式收油机 Weir Skimmer	223
4.3.2	粘附式收油机 Adhesion Skimmer	225
4.3.3	动态斜面收油机 Inclined induction devices	228
4.3.4	真空式收油机 Vacuum-driven skimmer	229
4.3.5	下沉式旋流收油机 Sinking type swirling flow skimmer	230
4.3.6	配合机械回收法使用的化学助剂 Chemical fertilizer/mechanical recovery	234
4.3.7	人工回收 Manual recovery	236
4.3.8	回收油的临时存储 Temporary storage of recovered oil	237
4.4	溢油吸附 Oil absorption	238
4.4.1	吸附材料种类 Material types	238
4.4.2	吸附材料的性能及使用 Material properties	240