

# 水上溢油回收船研究综述

张美娟<sup>1</sup>, 张强<sup>1\*</sup>, 王云峰<sup>2</sup>, 丁中禹<sup>1</sup>

(1. 山东交通学院航海学院, 山东 威海 264209;  
2. 威海万丰镁业科技发展有限公司, 山东 威海 264209)

**摘 要:** 海上溢油事故是人类海洋资源开发过程中最典型、最严重的环境污染事故之一。为进一步降低海上溢油事故发生率, 提高溢油回收效率, 保护海洋环境, 溢油回收船需求越来越大。本文对国内外溢油回收船舶发展现状进行了综述, 分析了目前溢油回收船研发存在的问题; 对溢油回收船关键技术进行了研究, 并根据船舶最新发展动态分析了溢油回收船的发展趋势, 为新一代溢油回收船的研发提供了方向。

**关键词:** 溢油回收船; 关键技术; 现状; 趋势

**中图分类号:** U674

**文献标识码:** A

## 0 引言

近年来, 随着海洋经济和对外贸易的不断发展, 我国进出口石油的数量日益剧增。这导致海上石油开采和水上原油运输数量的急剧增加, 因船舶交通事故导致的海上溢油事故也就随之而来。一旦发生船舶溢油事故, 尤其是重大溢油事故, 会对海洋环境造成严重污染, 给海洋生态系统带来严重的破坏, 并造成重大经济损失。因此, 人们的目光在利用海洋资源的同时也越来越对准海洋环境保护, 更加关注水面溢油事故<sup>[1]</sup>。

根据近几年来发生的重大溢油事故, 如我国蓬莱 19-3 溢油事件、BP 墨西哥湾溢油事件<sup>[2-3]</sup>等, 可知溢油事件发生后如何采取有效方法控制溢油扩散, 进行溢油回收, 最大程度上降低损失是值得深思的问题, 同时也在控制海洋污染和处理溢油事故方面起着关键作用<sup>[4]</sup>。目前, 海上溢油事故的处理主要依赖围油栏、收油机、毛毡等传统设备进行, 这不仅会消耗大量的人力物力, 而且工作效率低, 回收功能单一, 应急能力差, 缺乏自动化, 智能化控制。这进一步凸显了溢油回收

船在溢油事故中发挥的重要作用。为了满足海上交通安全事故及溢油事故应急处理的要求, 弥补传统溢油回收船作业的缺点不足, 在溢油回收船中配备智能化装置, 开发新型溢油回收船是十分紧迫和必要的。

为提高水上溢油回收设备的先进性, 解决因溢油事故导致的海洋生态污染问题, 2019 年 9 月中共中央、国务院颁布的《交通强国建设纲要》中指出要加强特种装备研发, 研发大型溢油回收船。另外, 为了加强油污防治工作, 在发生溢油事故时能最大程度降低油污造成的损害, 国际海事组织制定了《国际油污防备、反应和合作公约》, 要求所有船舶、港口和近海装置都具备油污应急计划。根据相关调查显示, 我国绝大多数港口现有码头的防污染设备未完全达到该标准要求, 仅有少数油品码头配备了专业溢油应急处置船, 国内溢油回收船的缺口较大。

本文通过介绍部分国内外溢油回收船的发展现状, 分析了目前溢油回收船及回收设备存在的问题; 重点分析比较现有溢油回收技术, 并对未来溢油回收船的发展方向进行了展望。

收稿日期: 2019—12—18

第一作者简介: 张美娟 (1993—), 女, 硕士研究生

基金项目: 2019 年山东交通学院研究生科技创新基金项目 (2019YK014); 山东省交通运输部/交通厅项目 (2018B69); 山东省重点研发计划 (2018GGX105014)

### 1 水上溢油回收方法

溢油事件一旦发生，需要在最快时间内采取措施防止溢油扩散。常用溢油回收方法主要有以下几种。

(1) 围油栏。其工作原理是在溢油事故发生后，用水下带裙边的浮体对水面油、污物进行围聚以防其扩散。它由充气式浮体、裙边、拉力带、配重链、系锚件等组成，用锚碇固定在需要围拦的油污水面四周。一般情况下，要求围油栏

材质具有耐磨损、易施展、易清洗和易回收特性。另外，选择围油栏时要考虑其抗风浪的能力<sup>[5]</sup>。围油栏可以对海面溢油进行大面积的清理，但其储存与保养工作注意事项较多。

(2) 收油机。这也是常用的专门用来回收水面溢油的机械装置。其主要就是根据油水混合具有流动性，两者密度不同，以及收油机材料对油水的吸附性<sup>[6]</sup>，将水面上的油和水分离开。常用收油机比较如下表 1 所示。

表 1 收油机种类比较分析

种类	工作原理	优缺点
堰式收油机	借助重力使油从水面流入集油器，并将集油器内的油泵入储油容器。	尺寸小、重量轻、结构简单、易维护、回收速度快、适用范围广。
带式收油机	用转动的亲油吸附带吸附水面溢油，通过刮片或辊轮将吸附的溢油收入集油器内。	效率高、适应区域广、随波性好；但结构复杂、体积大、造价高。
动态斜面式	由螺杆式抽油泵、可拆卸的动态斜面传动带、船舶悬挂式支撑系统、防油可充气式或固体浮筒、导油板、管系、动力站及自动控制系统组成。	适用溢油粘度范围宽，能够在行进中回收溢油，对潮流不敏感，用于不同厚度的油层，受漂浮垃圾的影响小，适用区域广，回收效率高。
刷式收油机	利用几组旋转的刷子，使溢油粘附在刷子上面，并将其从刷子上刮下来进而导入集油容器内	效率高、随波性好，能适应 1 米高的波浪，易维护。
真空式撇油器（撇油头）	利用吸入泵或真空泵，在真空储油罐内建立真空，通过撇油头处的压力差回收油水混合物。	尺寸小、操作简单、对垃圾不敏感、易维护、造价低。
盘式收油机	通过盘片在油水混合物中不断旋转，将盘片上吸附的油刮入收油器，进而送入储油器。	具有良好的适应性，回收效率高，对垃圾适应性好，维护简单，适用区域范围广。
绳式收油机	将用亲油材料制作而成的环形的绳拖把放入溢油区域而吸附溢油，通过挤压上面的溢油排出至收油器内。	随波性好、效率高、受垃圾影响小、覆盖面积大、易维护、造价低。

(3) 吸油毡也是运用较为广泛的溢油处理方法，它只吸收油污，不吸水和其他的液体。在墨西哥湾漏油事件、大连海疆石油泄漏事件中，吸油毡都发挥了重要作用。

(4) 溢油凝油技术，是通过化学的方法，在发生溢油的区域内，为了防止溢油快速扩散以及有效控制油膜产生而投放的凝油剂。凝油剂的使用可以有效将水面溢油包凝起来，而且油层变厚，结为粘稠物或坚硬的固体状，进而方便对其回收<sup>[7-8]</sup>。在一定条件下可以与其他溢油回收技术合作互补。

### 2 溢油回收船研发现状

污染治理是海洋环境保护的重要研究方面。专业溢油应急船舶是国际上公认的处理水上大规模溢油事故必不可少的关键设备。国内外在溢油

回收船研究方面做了大量工作，取得了一定的成果。

#### 2.1 国外研究现状分析

海洋溢油回收装置在国外研发较早，技术也相对成熟。早在 19 世纪 70 年代，欧美一些公司就开始着手研发海上溢油应急回收设备，目前已经基本掌握了溢油应急回收技术。早期广泛在欧洲和东南亚国家使用的由 Mavi Deniz 生产的防污船 SAE CAT 15 和 SAE CAT 17<sup>[9]</sup>，可以有效应对小型溢油事故。ASMAR 开发的 UT512 和罗-罗公司研制的 SASEMAR 都具有溢油应急回收以及海事巡逻、消防等功能<sup>[10]</sup>。挪威“蓝天使”号，由芬兰 Lamor 公司制造的溢油回收船，具有较强的溢油回收能力。德国海军 Bottsand 级溢油回收船，在进行作业时可以劈成两瓣，两部分之间形

成 65 度的開口，可覆蓋 40 米寬海面<sup>[11]</sup>。芬蘭開發的新型多功能大型溢油應急船於 2011 年正式交付使用，該船用到了 Lamor 公司的刷式撇油器



圖 1 德國 Bottsand 級油污清理船



圖 2 芬蘭多功能大型溢油和化學品應急船

由 Ecoceane 公司開發的 Spillglop 系列溢油回收船，可以在較大風浪環境下以較高的收油速率工作<sup>[13]</sup>。2017 年，Lamor 公司基於漁網拖帶機原理創新研發出了 LMOS sweeper 溢油回收設備，

並在實船環境下進行了設備演示。LMOS 回收裝置具有可靠的浮選設計，而且不易受到風力影響，允許單船操作，連續泵送溢油，溢油回收效率極高。上述國外溢油回收船比較如表 2 所示。



圖 3 Spillglop 系溢油回收船



圖 4 LMOS sweeper 溢油回收設備

表 2 國外溢油回收船比較

名稱	工作原理及功能	溢油回收能力
SAE CAT 15/ SAE CAT 17	溢油圍控、回收、油水分離，具有全球定位及回音測深功能。	收油效率高
冰島 UT512	浮式防污設備庫，具備水上急救、污染防控、溢油回收及消防等功能	收油能力大，效率高
西班牙 SASEMAR	浮式防污設備庫，具備水上急救、污染防控、溢油回收及消防等功能	收油量 1730m <sup>3</sup> ，收油率 95%
挪威“藍天使”	在挪威北部海域巡航作業	溢油回收能力 240 m <sup>3</sup> /h
德國海軍 Bottsand	作業時分成兩瓣，船體前部可展開形成 65 度收油開口，一邊前進一邊吸油	溢油回收艙容量大，最大浮油回收能力達 140 m <sup>3</sup> /h
芬蘭多功能大型溢油和化學品應急船	基於刷式撇油器技術，具有載運貨物、溢油或化學品突發性事故處理和海軍任務三種功能	溢油回收速率高達 400m <sup>3</sup> /h，臨時儲油艙容積為 1,000m <sup>3</sup> 。
Spillglop 系列溢油回收船	除了溢油回收設備外還有消防以及化學品泄漏處理設備，可完成多項任務	溢油回收效率高，大型可達 60,000m <sup>3</sup> /h，小型可達 35,000m <sup>3</sup> /h，
Lamor 的 LMOS sweeper 溢油回收設備	具有可靠的浮選設計，而且不易受到風力影響，允許單船操作，連續泵送溢油	溢油回收效率高，可達 96.4%



总之,国外在专业的海洋溢油回收装置方面研究起步早,研究了具有一定数量及功能多样化的溢油回收船,具有专业化程度高、便于操作、回收溢油能力强、溢油船动力足等特点<sup>[14]</sup>。

## 2.2 国内溢油回收船研究现状分析

目前国内较为先进的溢油清污回收船使用的技术大多是美国 SLICKBAR 公司的动态斜面式、

美国 MARCO 的亲油带式、芬兰 Lamor 的硬刷式、挪威 FRAMO 的堰式、英国 VIKOMA 的齿盘式和复式等,主要产品有:第一艘专门设计的海上浮油回收船“碧海一号”于 2005 年底正式投入使用。2009 正式交付使用的“中油应急 101”,利用船体前部的扫油臂对水面溢油进行围控和清除,还可以进行水面消防以及其他事故的处理。



图 5 “碧海一号”溢油回收船

2009 年,“胜利 503”承担海上溢油清除回收工作,可大面积、快速消除油污。2012 年,中国海事系统的海特 071、111、191 号,配备有雷达监测系统,可以监测到周围数公里溢油,另



图 6 “中油应急 101”

外船上还配备可以吊装围油栏的起吊设备。配备溢油监测雷达的中国海洋石油公司的“海洋石油 252”,能够回收不同粘度与厚度的溢油,具有较高的回收率。



图 7 “海特 071”

2015 正式交付使用的“中油应急 103”,有助于提升我国对海上溢油污染事故的现场应急处理能力。2017 年顺利交付使用的“胜利 505”,



图 8 “海洋石油 252”

采用 DIP 动态斜面侧装模块并且配备消油剂喷洒装置,可以回收不同粘度溢油,作业面积大,收油效率高。



图 9 “中油应急 103”

2018 年,浙江首艘由企业建造的内置式溢油回收船“甬洁 5”正式投入运营,有效降低了区域内的溢油防控风险。2019 年 7 月,由十堰市本地船厂建造的第一艘溢油(污油)回收船“鄂



图 10 “胜利 505”溢油回收船

丹港清洁 1 号”正式交付。该船主要用于丹江口库区船舶产生的污油水、生活污水和其他固体垃圾的收集,并可分类转运至岸上待二次处理。



图 11 “甬洁 5” 溢油回收船



图 12 “鄂丹港清洁 1 号”

威海市维思泰科溢油回收设备有限公司是一家研发及生产中小型溢油回收船、水面垃圾清理

船的高新技术企业，研发的小型溢油回收船能够高效回收水面溢油。



图 13 维思泰科研发的溢油回收船



图 14 青島光明公司研发的 GM 和 GM-S 系列溢油工作船

青島光明公司研发的 GM 和 GM-S 系列溢油工作船等，采用 CFS 船用复合式溢油回收装置，在工作时受海浪等外界环境影响小，针对不同粘度和厚度的浮油，能够快速高效地将油水分离。该设备集垃圾和浮油回收于一体，总体回收效率

高，且多为船长 47.3m 以上的大型回收船。此外，还有青島华海环保有限公司生产的绳式溢油回收装置、堰式溢油回收装置、真空式溢油回收装置、斜带式溢油回收装置等<sup>[4]</sup>。国产各类溢油回收船比较如表 3 所示。

表 3 国内溢油回收船比较

名称	工作原理及功能	溢油回收效率
2005 年“碧海一号”	可扑救海面原油、柴油、汽油和其他化学品等引起的火灾，回收和临时存储海面上的浮油及固体垃圾、喷洒溢油分散剂、拖带和布设围油栏拦截浮油、控制浮油污染等	收油技术指标达到国际先进水平，效率达 100m <sup>3</sup> /h
中油应急 101	设计的扫油臂可以将海面溢油围控，进而将浮油回收至储油容器内，可以有效处理溢油、火灾以及其他事故	收油速率可达 400m <sup>3</sup> /h，控制溢油范围最大可达 28,000m <sup>2</sup>
海洋石油 252	可回收不同粘度与厚度的溢油，配有监测雷达，可以进行溢油应急响应与回收等功能	溢油回收效率高、速度快，回收能力可达 200 m <sup>3</sup> /h
海特 071、111、191	溢油回收、临时储存、处理等，兼顾溢油围控、消油剂喷洒、应急辅助卸载、溢油监视和重点污染源监护等	溢油回收效率可达 200m <sup>3</sup> /h
胜利 503	船首装有 MS200 型溢油与垃圾回收模块，船舷两侧安装有 PSB80 喷洒臂，单臂装有 5 个喷嘴，作业时两臂同时伸出船两侧，可大面积、快速消除油污染	收油能力可达 200m <sup>3</sup> /h
胜利 505	该船配备的消油剂喷洒系统可以对浮油进行回收消除，另外，还可以运输和吊放小型溢油回收船，处理船舶火灾以及其他事故	溢油回收效率高，可应对大面积海上溢油，收油能力达 200m <sup>3</sup> /h
中油应急 103	有助于提升我国对海上溢油污染事故的现场应急处理能力	溢油回收效率较高
甬洁 5	采用芬兰研发的先进的“内置式”溢油回收技术，可以进行水面溢油应急处理，还具备消防、救生、应急指挥等功能	溢油回收效率高，最大回收能力大于 200 m <sup>3</sup> /h



名称	工作原理及功能	溢油回收效率
鄂丹港清洁 1 号	主要用于船舶生产的油污及其他垃圾回收	回收效率高
维思泰科溢油回收船	可以回收不同粘度不同油层厚度的溢油，还可以打捞吸油毡，油污水在回收过程中进行油水分离	回收油污含量高达 95%
青岛光明公司的 GM、GM-S 系列溢油工作船	减少溢油扩散范围，提高油的可回收性，可兼做消防船，可存放各样围油栏、收油机、收油网，可喷洒消油剂，海上拖拉	GM-40 收油速率可达 150 m <sup>3</sup> /h、GM-40S 收油速率可达 120 m <sup>3</sup> /h

总之，通过近年来不断努力，我国制造了具有一定功能和一定数量的溢油回收船和设备，但是面对日趋增加的溢油风险，多功能清污回收船的设计和研发方面还有很大的发展空间。

2.3 溢油回收船研发需解决的问题

海上溢油作业是一个复杂的任务。溢油事故一旦发生，现有的溢油回收技术表现出一定的局限性。通过分析国内外研究现状，目前的溢油回收船研发存在以下几个问题。

(1) 部分溢油回收技术效率低。由于受到现有溢油回收装置材料和选型的限制，传统溢油回收船在溢油回收过程中作业面积有限，在大规模溢油事件发生时作业能力表现出一定不足<sup>[15]</sup>；另一方面，国内外常用的海上溢油回收船数量有限且大多为小船，在发生重大溢油事故或大面积溢油时，溢油回收效率较低。

(2) 灵活性差，耗人工。溢油回收作业要受海上风、浪、流等不确定外界扰动的影响。在这种情况下，传统的溢油回收技术表现出较差的灵活性，应急能力差，而且作业过程很大程度上离不开人工。

(3) 智能化程度低，功能单一。已有的浮油回收船，作业目标都比较限于单纯的溢油回收功能，其它附加功能较低，整体功能较单一。而且传统溢油回收技术综合性较差，自动化智能化控制缺乏。因此，为进一步提高溢油回收船的作业效率和功能多样化，要将智能化思想和技术应用在溢油回收船设计中。

3 溢油回收船技术发展趋势

传统的水面溢油回收处理装置存在效率低、耗人工、应急能力差、受海风浪等环境影响较大等一系列问题。随着智能船舶和溢油回收设备技术进一步发展，溢油回收船呈现新的发展趋势。

(1) 负压式回收技术广泛应用。该技术在正常海况下具有较高的溢油回收率，操作方便，制作和维护成本低，能够改善目前我国海上溢油

应急处置过程中对于人员的过分依赖程度，有助于提升我国海上溢油回收设备的国际竞争力。该技术集成垃圾、藻类回收技术，可实现一船多用功能。

(2) 智能一体化控制技术应用在溢油回收船中，打破了传统溢油回收装置依赖人工操作模式。溢油回收智能船在进行清污作业时需要各种信息，而先进的传感技术则是实现智能化的基础，如采集风、浪、流、水深以及周边环境信息等，如无人清污船载工作中如何感知水下的暗礁及周边的障碍物以便及时做出相应的避让措施等。GPS 技术及数传系统融合技术实现船舶作业过程中数据的传输、显示以及交换，实时检测到各种信息，还可以实现远程控制清理，实现溢油回收无人船舶与岸基中心保持数据实时传输，并对清污过程中遇到的问题采取相应的措施。

(3) 溢油回收无人船的开发及应用。采用路径规划、航迹跟踪、智能避碰、自动靠泊等无人船的先进技术，实现水面清污回收智能船全自动控制工作，不仅节省人力和成本，而且也保证了作业过程的安全性。在发生溢油事故区域内，通过设计好的路径，溢油回收无人船可以自动完成路径跟踪，在指定清污范围内工作。由于溢油回收船的工作区域还存在其他障碍物，运用智能避碰技术，当船遇到障碍物时可以实现自动避让以及在完成任务后沿着规划的路径返回，并实现自动靠泊控制。用溢油无人船代替人工清污的作业方式，更加节能、经济和安全。

总之，将现代智能船的一些关键技术应用在传统的水面溢油回收船中，制造多功能溢油回收智能船，能更好地解决传统水面溢油回收装置效率低、耗人工、应急能力差、受海风浪等环境影响较大、自动化程度低等一系列问题。

4 结语

海洋资源的开发利用不可避免地会带来海上溢油事故的发生。为进一步保护海洋环境，让海

洋更清洁,降低溢油事故的损失,我们需要结合船舶发展新技术,使溢油回收船朝着控制装置智能化、溢油回收高效化方向迅速发展,让溢油回收船能在溢油事故发生最短时间内对海面溢油进行回收,提高溢油回收效率,最大程度减低溢油事故带来的损失。

### 参考文献:

- [1] 周涛涛. 动态斜面式浮油回收船艏部结构强度研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2012.
- [2] 孙江, 王海涛. 我国海洋环境风险防范制度完善研究——蓬莱溢油事故之应对及反思[C]// 可持续发展·环境保护·防灾减灾——2012年全国环境资源法学研讨会, 成都, 2012.
- [3] 王祖岗, 董华. 美国墨西哥湾溢油事故应急响应、治理措施及其启示[J]. 国际石油经济, 2010,(6): 1-4.
- [4] 丛岩. 国内溢油回收船现状及溢油回收装置选型研究[J]. 船舶工程, 2015,37(05):1-6+18.
- [5] 林建, 朱跃姿, 蔡俊清等. 海上溢油的回收及处理[J]. 福建能源开发与节约, 2001.1: 6~8.
- [6] 周李鑫, 濮文虹, 杨帆. 海上溢油回收技术研究[J]. 油气田环境保护, 2005,(01):46-50+62.
- [7] 吴亚飞, 郭亮, 唐跃辉, 张少楠. 安塞油田拦油、收油技术实践与探索[J]. 油气田环境保护, 2013,23(01):20-22+61.
- [8] 韩增, 赵兰祥, 马蒸钊, 谷广锋, 陈宇. 溢油

凝油回收应用技术综述及展望[J]. 中国水运, 2016,(01):30-32.

- [9] Nakos D. E. Ship wave patterns and motions by a three-dimensional Rankine Panel method, PhD. Thesis, The Department of Ocean Engineering, MIT, USA, 1990.
- [10] 邹云飞, 张德文, 张鹏. 溢油回收船的现状与发展趋势[J]. 中国水运(下半月), 2015,15(05):23-24+29.
- [11] Kim K. H., Kim Y. H. On technical issues in the analysis of nonlinear ship motion and structural loads in waves by a time-domain Rankine panel method[C]. The 23rd International Workshop on Water Waves and Floating Bodies. Jeju, Korea, 2008.
- [12] 王毅, 卢晓平, 赵军强等. 以 Rankine 源三维面元法求解三体船纵摇与升沉运[J]. 中国舰船研究, 2012,47(2): 29-36.
- [13] 缪涛, 张志宏, 刘巨斌, 等. 时域 Rankine 源法求解有限水深船在规则波中的水底压力变化[J]. 计算力学学报, 2013, 30(6):834-840.
- [14] 周唯, 杨丽琼, 熊伟, 郭丰泽, 冯玉龙, 李静芬. 大型溢油回收船动力系统节能设计分析[J]. 船海工程, 2017,46(06):77-80.
- [15] 崔连正, 郭家伟, 蒋敏. 新型溢油回收船发展研究[J]. 中国水运(下半月), 2018,18(07):4-5+7.

## Review of Research on Oil Spill Recovery Ships

ZHANG Mei—juan<sup>1</sup>, ZHANG Qiang<sup>1\*</sup>, WANG Yun—feng<sup>2</sup>,  
DING Zhong—yu<sup>1</sup>

(1 Navigation College, Shandong Jiaotong University, Weihai264209, China; 2 Weihai Wanfeng Magnesium Technology Development Co., Ltd., Weihai264209, China)

**Abstract:** Oil spill at sea is one of the most typical and severe environmental pollution accidents in the process of human marine resource development. In order to further reduce the incidence of oil spill accidents at sea, improve the efficiency of oil spill recovery, and protect the marine environment, first of all, in the context of the large demand for oil spill recovery ships at home and abroad, this article reviews and analyzes the development status of oil spill recovery ships at home and abroad. The existing problems in the research and development of oil spill recovery vessels have been addressed. Secondly, the key technologies of oil spill recovery ship are researched, and the development trend of oil spill recovery ship is analyzed according to the latest development trend of the ship, which provides a direction for the development of a new generation of oil spill recovery ship.

**Key words:** oil spill recovery ship, key technology, status, trend