

# 海上溢油收集装置概念设计

史琪琪, 封培元, 王 磊

(上海交通大学 船舶与海洋工程系, 上海 200240)

**摘 要:** 随着海洋石油开采和运输事业的日益发展, 海上溢油问题的研究越来越受到重视, 具有重要的理论价值和实际意义. 论文针对各类海上溢油事故, 在现有技术的基础上进行突破和创新, 提出了三套新概念的海上溢油处理装置, 热气球海上浮油收集装置、海上铲车浮油收集器和下潜式浮油收集器, 分别利用漩涡原理, 面面接触的物理方式和生物环保技术, 有效提高海上溢油的收集效率, 丰富了溢油处理装置的设计理念, 为后续的详细设计奠定了基础.

**关键词:** 海上溢油事故; 溢油处理方法; 新概念装置设计

**中图分类号:** X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8354(2009)Z-0136-04

## Concept design of devices for collecting spilled oil at sea

SHI Qiqi, FENG Peiyuan, WANG Lei

(Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract** With fast development of oil-exploration and transportation at sea, oil spill incidents have become important issues in our research. Three new devices which are Balloon Swirl, Ocean Forklift and Bio-Server for collecting floating oil at sea are presented in this paper, on the basis of its devastating consequences and the present methods in oil pollution management. They respectively operate under the principles of whirlpool effects, face to face interaction, and biological environment-protective technique, and can ensure much higher efficiency. This paper expands the vision of oil treating methods, and can be used as the basis for further development.

**Key words** oil spill incident; oil treating method; new concept design of devices

### 0 引言

当今社会经济的不断发展和人类对石油需求的迅猛增长, 促进了海上石油开采事业迅速崛起. 随着海上运输的迅猛发展, 全球大型油轮的数量和级别都在不断增加, 这使得海上溢油的潜在威胁日益增强. 溢油对海洋造成严重而持久的污染, 不仅损害海洋环境和资源, 致使大量水中生物窒息而死亡, 还会影响局部水文气象条件, 降低海洋的自净能力, 造成自然环境的巨大灾难和生态平衡的严重破坏, 导致严重的经济损失, 同时也危害人体健康<sup>[1]</sup>.

近年来海上船舶溢油事故频繁发生, 给海洋生态环境造成了严重的危害<sup>[2]</sup>. 中国是个海运大国, 沿海岸线有众多的港口, 受到油污损害严重. 现有的溢油事故处理装置效率低下、成本高, 不能有效解决这一

难题. 针对这种情况, 本文在现有技术的基础上进行创新, 利用漩涡原理, 大面积接触的收集模式和生物环保技术的理念, 提出了三套海上溢油处理装置的新概念, 分别是热气球海上浮油收集装置、“海上铲车”浮油收集器和下潜式浮油收集器, 论证表明, 这三种新型装置使用快捷方便, 能有效提高海上溢油的收集效率.

### 1 热气球浮油收集装置

#### 1.1 热气球浮油收集装置的概念

热气球浮油收集装置源于漩涡装置的工作原理, 漩涡使海面产生坡度, 对浮油产生聚集, 加快完成收集工作, 这是一种大胆的创新. 使用漩涡法最明显的好处有以下两点: 1) 工作状态稳定易于控制. 漩涡发

收稿日期: 2009-06-08; 修回日期: 2009-07-20

基金项目: 首批国家大学生创新性实验项目 (ITP003).

作者简介: 史琪琪 (1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事船舶与海洋工程水动力学方面的研究.

生器工作, 油水混合物源源不断地向漩涡中心聚集, 装置本身无需不断移动, 操纵简单; 2) 简化装置内机构. 采用漩涡方式无需自备推进器, 简化设计. 且所有内部设备配合漩涡法中心对称布置形式, 实现一根垂直管路完成多种功能, 避免了复杂管系.

根据上述特点, 考虑成本和可靠性因素, 选用了热气球的装置形式以最大限度地发挥漩涡法的优点. 整个漩涡收集方法的核心技术是漩涡发生器, 通过装置的旋转才能产生漩涡; 热气球原理是简单球型对称, 与装置运行特点相符, 因此两者结合是最理想的搭配.

1 2 热气球浮油收集装置初步设计

系统工作时, 装置漂浮在海面上, 入口也浮在海面上, 海水顺着叶轮型入口流入装置. 在电动机的带动下, 装置绕中心的轴旋转, 形成漩涡. 由于石油的密度低于水的密度, 溢油会浮在水面上, 理想状态下石油跟水自动分层, 油层顺着水流形成的坡面向漩涡中心底部下滑. 处于中心轴附近的油层越来越厚, 方便油泵将溢油吸走. 旋转轴同时也带动水泵排水, 装置内部形成压力差, 溢油和水的混合物就不断的从入口进入. 溢油通过被油泵吸入储油箱后, 靠自身的重力下滑到储油箱中. 当储油箱膨胀到最大状态时, 即可将储油箱收回, 也可以在储油箱中安装导油管, 使储油箱的油及时回收到其他存储装置中.

1 3 热气球装置具体结构分析

热气球装置的基本结构如图 1 所示, 由热气球 1、气球主体 2、动力马达 3、漩涡发生器 4、吸油泵 5、储油箱 6、排水泵 7 组成.

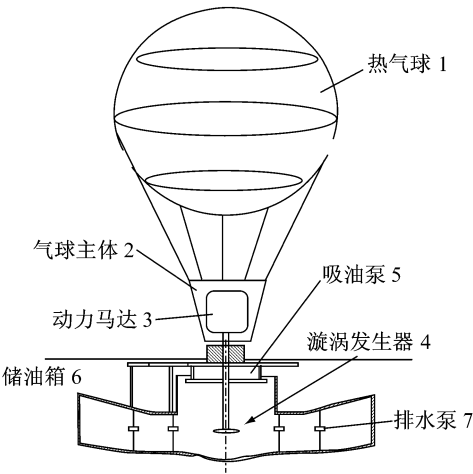


图 1 热气球浮油收集装置图

热气球 1 应能适应低空靠近海面飞行, 并具有较强的保持高度的能力. 气球主体 2 是装置的大脑, 主要负责三个方面的工作: 1) 控制整套装置的运行状

况, 包括漩涡发生器 4 的启闭控制和水下装置的位置控制; 2) 提供整套装置的动力, 包括动力马达 3 的旋转动力、热气球的升力来源以及装置移动的动力来源; 3) 完成喷洒各类化学试剂的功能.

动力马达 3 提供漩涡发生器 4 旋转所需的动力, 具有调节速度的能力. 漩涡发生器 4 通过一个万向联轴器与动力马达 3 联结, 可以增强水上水下装置的抗震能力, 同时也降低上下联结断裂的风险. 漩涡发生器 4 是本设计的核心, 通过叶片旋转, 海水中产生一个漩涡. 漩涡倾斜的坡面使浮油自然地下滑, 从而聚集于吸油泵 5 的入口处. 吸油泵 5 开启, 将浮油吸入储油箱 6 中. 储油箱 6 使用柔性储油材料袋, 装满油后自然漂浮于海面上. 此时关闭吸油泵 5, 安装上新的储油袋, 吸油泵 5 重新打开, 继续吸油作业. 进入水下装置内部的海水由于比重较大, 会聚集于装置的底部, 由排水泵收集后沿装置切向排出, 辅助漩涡产生.

装置收集浮油的效率较高, 但无法在内部进行油水分离. 然而, 根据装置的工作原理, 并不会有过多的海水进入吸油泵 5 中. 需由试验进一步证明.

2 海上铲车浮油收集器

2 1 海上铲车的概念

纵观目前的各式浮油收集器, 根据物理原理集油的装置均有以下问题:

1) 溢油事故的油层薄且范围广. 传统的沉入式或抽吸式为“点对面”的处理方式, 只能靠增加进口数量或加大进口面积来提高效率, 会遇到开口的控制、强度和效率等方面的问题.

2) 可靠性问题. 浮油粘度大易固化. 采用“点对面”形式, 难保整个管路始终通畅, 易发生整个装置失效的危险. 因此至今大部分实际使用的装置仍是一些大开口的普通收集船.

3) 经济性问题. 寻求经济和效率的最佳配合.

综合上述问题, 考虑将“点对面”的概念进一步发展为“面对面”的全新收集方式, 即“铲车”形式, 铲子的运作并不会限制到车子本身的功能. 若进一步将铲子改为配合油层的扁平形状, 采用最速降线的曲面形状方便铲子内的油顺利的滑入装置本体内. 这样就很顺利的实现了“面对面”的集油模式. 这将大大提高浮油的收集速度和效率, 在可靠性方面也会有大幅的提高.

2 2 海上铲车设计讨论

铲车的技术已经相当成熟, 然而在运用于海上设备时尚需考虑诸多问题:

1) 浮油收集装置需要完成更多环节的任务. 首先需要控制现场, 阻止浮油进一步扩散, 因此考虑在装置内设置两个对称的自航器负责从主体上展开阻

油围栏防止油的扩散。

2) 铲油机构的运动形式问题。平时铲子翻起收藏于主体表面, 工作时铲子翻起, 与主体结合处的浮油入口打开。入口应装有粗格滤网, 滤去杂物。由主体内部的控制装置指挥, 从浮油与海水的交界面缝隙处铲入, 待浮油完全覆盖铲子表面, 铲子缓慢靠旋转机构翻起一定角度将收集到的浮油送入主体的油水分离室内进行后续处理, 循环进行。

3) 效率关键在于铲子能否每次都从油水的交界处铲入。这是对机构设计的高度要求, 也需要主体结构的配合。考虑由两个长条形的气垫来支撑主体, 中间留下一定的空间用于存放铲子。这样, 铲子有较为宽敞的范围来调节高度位置, 减少了主体被浮油污染的风险。此外, 通过减摇鳍来减小横摇, 保证装置的稳定性。

4) 由于铲子在主体外, 主体内有足够的舱容满足多层重力式分离要求。这种方法既符合了主体的形状效率也不低, 且这种油水分离方式的成本最低。分离出的水可以送入水泵中作为一部分推进的动力来源。油可以直接在主体内打包送出, 以便不断处理新收集的浮油。

2 3 海上铲车装置具体结构分析

海上铲车的主体由如图 2 所示的 8 个部分组成: 装置主体外壳 1、油铲 2、气垫 3、油铲支架 4、化学试剂喷洒舱 5、平衡翼 6、围油栏卷筒 7、进油口 8。

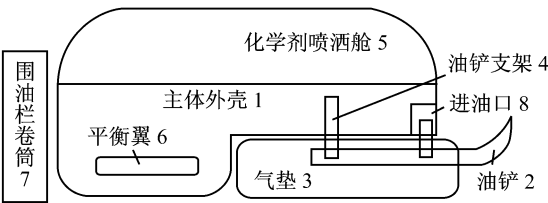


图 2 海上铲车基本模型

装置主体外壳 1 设计成光滑的流线型表面并采用防油材料, 可以有效地减少浮油对外壳的阻力和腐蚀作用。油铲 2 设计成有一定容积的空间曲面提高集油的效率。其运动形式也不是简单的上下绕轴转动而是弧形的圆周运动, 这样的运动形式更有利于海上的情况。

气垫 3 减少了装置外壳与油污之间的接触面积, 起到保护装置的作用, 且为油铲留下足够的运动空间。同时可以方便地调节装置的浮力, 更有利于配合油铲的运动达到最佳的回收浮油的效率。油铲支架 4 必须要有足够的强度, 同时其运动参数的设计和其应对不同情况时的调节能力是装置成败的关键, 应是详细设计时考虑的重点。化学试剂喷洒舱 5 位于整个装置的最顶部可以更好地喷洒化学试剂。平衡翼 6 起稳

定装置重心, 提高装置稳性的作用。

基本工作流程: 一旦发生海上溢油事故, 装置无需运输亦可自行驶达事发地点。根据现场溢油的情况控制位于装置尾部的围油栏卷筒 7, 拉开围油栏。围油栏卷筒 7 上缠绕着柔性的围油材料, 一头固定于卷筒的支架上而另一头联结于一个遥控的小型自航器上。围油栏卷筒 7 共有两个, 左右对称布置。通过小型自航器的运动使围油栏保持合适的长度和角度, 有效地防止溢油的扩散(如图 3 所示)同时也有效地减少了海浪和大风对装置的影响。

同时, 化学试剂喷洒舱 5 中喷洒出可以凝聚浮油的试剂, 进一步限制浮油的扩散。浮油固化后也更有利于油铲的收集工作。

喷洒试剂的同时, 油铲开始工作。随着油铲的上下倾斜和来回输送, 大面积的浮油被一块块地送入进油口 8 在装置内部进行进一步的油水分离工作。由于浮油已进行过固化处理, 同时是采取了铲入式的收集方法, 不会有太多的海水进入装置内, 所以采用一般的重力式分离就可以了。分离后的油和水被分别抽入泵中。水从装置的排水口中排出, 油经过输油管被送到一个由柔性材料制成的储油箱中。完成了一个从防止浮油扩散到高效收集浮油到重力式油水分离, 最后原油回收的全过程。

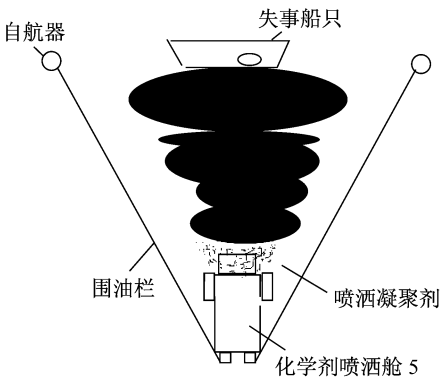


图 3 海上铲车工作示意图

3 下潜式浮油处理器

3 1 下潜式浮油处理器的概念

下潜式装置具有飞行器一般的机动性, 一旦下潜就可以不受浮油层的阻碍。此外, 相对于水面和低空的装置受到海况和风况的影响, 下潜式的收集器不必过多考虑这两个因素。

生物溢油处理法具有物理方法和化学方法所不具备的优良特点<sup>[3]</sup>, 如无二次污染、环保。目前现存的生物处理法尚不成熟, 仅简单的向海面喷洒微生物并不能发挥其最佳效果。从中东干旱沙地农业生产中的“灌溉”技术受到启发, 微生物尽可能按量的要求准

确喷洒将使本装置效率发挥到最佳. 因而, 采用下潜式的装置来实现生物处理.

采用“灌溉”的方式精确定量地向浮油内添加微生物, 可提高效率, 这可以通过控制下潜式装置在浮油面下的运动再配合一套滴加微生物的系统来实现. 简单喷洒在浮油面上的微生物会很快因为营养不足而死去, 而直接添加到浮油面内的微生物周围是充足的浮油, 避免了直接喷洒带来的弊端. 以适当面积的浮油为单位添加足量的微生物, 可以均匀、充分地分解浮油, 其效果将远好于密集地向一个方向喷洒. 因此, 这将会使生物处理法的效果显著提高.

3 2 下潜式浮油处理器设计讨论

下潜式浮油处理装置必须能够时刻跟踪要处理的浮油面. 同时, 装置必须要有一套先进的控制系统, 负责精确地将微生物添加到一定区域浮油层的中心.

要完成上述功能必须贴紧浮油面. 从一种在水面自由行走的昆虫受到启发, 其腿上长有大而薄的吸盘, 利用其与水的表面张力作用支持其自重在水面上行走. 因此本装置上设计了四个大型的吸盘, 利用其与浮油面间的粘性和表面张力作用紧紧相贴, 达到跟踪浮油的目的.

然后将装置内储存的微生物添加到浮油层中, 可通过多种途径完成. 如将装置设计成针筒的结构, 通过压力将储存的微生物压入浮油层中并控制数量; 或在储存箱的出口设置抽吸泵, 按量吸出微生物; 或将微生物装在胶囊里, 定量镶嵌在浮油层中. 可根据试验选取.

完成了向一处添加微生物的工作后, 装置还要运动到其他位置进行作业, 因此喷头设计成伸缩式. 同时, 考虑到处理海岸上积油的情况, 将喷头设计成可以伸出水面从而处理岸上的积油 (如图 4). 另外还要为装置设计一套自航系统.

由于, 采用生物处理法原理简单, 也不涉及油水分离和原油回收等功能, 装置的结构简单, 适合污染面不大且无需回收的场合. 经过微生物消化后的浮油转化成二氧化碳和水完全无害, 其副作用被降到最低. 因此利用微生物来处理溢油事故将会成为未来设计的新亮点<sup>[4]</sup>.

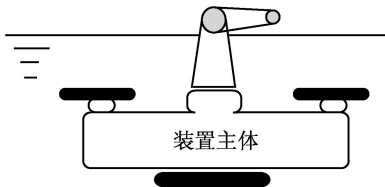


图 4 下潜式浮油处理装置喷头示意图

3 3 下潜式浮油处理器具体结构分析

如图 5 所示, 下潜式浮油处理器主体结构由: 装置主体 1、推进系统 2、油面跟踪吸盘 3 和伸缩喷头 4 共四个部分组成.

工作时, 装置由推进系统产生动力, 在浮油面下运动. 油面跟踪吸盘利用与浮油面间的粘性和表面张力使装置紧贴于浮油层的下表面. 此时控制伸缩喷头, 从装置主体的微生物储藏室中将微生物添加到浮油层中. 完成后, 伸缩喷头向下收回, 在推进系统的推动下, 装置沿浮油层下表面移动到下一个需要添加微生物的位置, 重复上述过程.

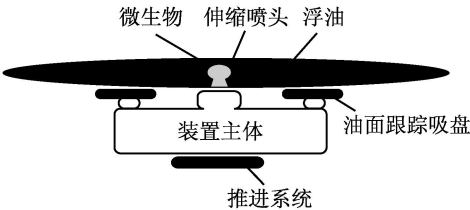


图 5 下潜式浮油处理装置结构示意图

4 总结

上述方案的设计思路各异, 可以说是完全独立的三套方案. 热气球浮油收集装置利用的是漩涡原理, 通过漩涡的坡面使浮油聚集从而进行高效收集; 海上铲车是纯粹的面与面间的物理作业, 一套装置可以完成围油、集油、分离和回收四个过程; 下潜式浮油处理器以生物处理法为基础, 结合高精度的“灌溉”思想, 提高了处理效率并降低了微生物的浪费.

这些新的方案为海上溢油处理装置的设计思路提供了丰富的灵感来源, 综合各自的优点, 可以为目前海上溢油事故处理技术的发展开辟全新的道路. 对于热气球浮油收集装置, 尚未详细考虑在风浪较大海域下, 环境作用对其效率的影响; 而下潜式浮油处理器尚须结合生物化学方面的相关知识, 对微生物种类和喷洒方式作进一步的选择和优化设计. 此外尚需进行的工作是, 全面综合考虑装置的结构可靠性、经济实用性等多方面因素, 并且实施模型试验, 以进一步完善装置的设计.

参考文献:

[1] 李新民. 实现海上溢油应急快速反应 [N]. 中国海洋报, 2008-1-22 (A2).

[2] 谢飞, 孙永明, 王军, 等. 溢油数学模型浅析 [J]. 中国水运 (下半月), 2009, 09 (01): 11-12

[3] 聂利红, 刘宪斌, 田胜艳. 生物表面活性剂在海洋溢油生物修复中的应用 [J]. 海洋信息, 2008, 02 (02): 27-29.

[4] 杨师棣. 生物表面活性剂的应用及发展趋势 [J]. 今日科技, 2002 (09): 40-41