

多功能海上溢油处理装置设计

封培元, 史琪琪, 王 磊

(上海交通大学 海洋工程国家重点实验室, 上海 200240)

摘 要: 随着海上石油开采规模的日趋扩大, 海上溢油事故频发, 已成为目前急待解决的热点问题。传统的海上溢油处理装置效率低下、系统性差、应变能力弱。对此提出了一种新型多功能海上溢油处理装置, 采用创新的堰吸式浮油收集方法、多层次一体化油水分离系统、新颖的外漂式浮油储存携带系统等, 结合多套处理策略, 不但能高效、周全地应对不同的溢油情况, 还在装置中融入了节能环保的新创意。文章介绍了装置的设计思路 and 关键设备的参数, 并对核心技术问题进行了具体阐述。

关键词: 海上溢油处理; 堰吸式收集; 油水分离系统; 外漂存储

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8354(2009)Z-0131-05

Design of multi-functional device for collecting and treating spilled oil at sea

FENG Peiyuan, SHI Qiqi, WANG Lei

(Shanghai Jiaotong University State Key Laboratory of Ocean Engineering, Shanghai 200240, China)

Abstract As the globally oil-exploration scale at sea enlarges year by year, the number of oil-spilling accidents is also soaring, which have caused a lot of environmental and ecological problems and have become a hot issue urgent to be solved. Traditional facilities for treating spilled oil at sea have great disadvantages such as low efficiency, poor systematicness and weak flexibility. So a new type of multi-functional device for collecting and treating spilled oil at sea has been brought up. This device adopts not only an innovative weir-and-suction oil-collecting method, an integrated multi-level oil-water separation system and a creative outboard oil storage system, but also several working strategies to treat different kind of oil spill incidents both efficiently and thoroughly. Additionally, environmental protection and energy saving notions are also the highlight of the device. This paper introduces the design concepts of this new device, presents the parameters of critical components and elaborates the key technical problems.

Key words treatment for oil-spilling at sea; weir-and-suction collecting method; oil-water separation; outboard storage

1 绪论

随着全球经济和工业的不断发展, 人类对能源的需求日增。陆上石油的开发殆尽使海洋石油开采得到了空前的发展。然而, 由此间接导致的海上溢油事故变得越发频繁, 已成为海洋环境保护关注的焦点。

海上溢油事故波及范围广、破坏持续时间长, 对海洋环境、资源、生态和人类健康产生严重威胁。石油进入水域后迅速扩散, 每升扩散面积可超过 $1\,000\text{ m}^2$ 。

油层隔绝海水与空气, 若不及时处理, 将导致水中动物窒息死亡、植物缺氧腐败, 进而会降低海洋的自净能力, 影响局部水文条件, 造成海洋环境的严重破坏。因此, 研究海上浮油收集和处理方法, 高效快速地清除海上溢油, 具有重要意义。

现有的海上溢油处理装置存在效率低、系统性差、应变能力弱等缺陷, 不能及时排除海上溢油事故带来的危险, 也不能有效应对不同类型的溢油事故。

收稿日期: 2009-05-31; 修回日期: 2009-07-14

基金项目: 第一批国家大学生创新性实验项目

作者简介: 封培元 (1987-), 男, 本科学生, 主要从事船舶耐波性方向的研究。

针对现状,本文提出了一种新型多功能海上溢油处理装置(下文称本装置),集成了创新的堰吸式浮油收集方法、多层次油水分离系统和新颖的外漂式浮油储存携带系统,提高了装置的系统性;针对事故地点和油层状况的不同,预留了多套处理策略,提高了装置的处理效率和应变能力.同时还在设计过程中融入了节能环保的新创意,提高了装置的经济性与实用性.

2 装置设计

2.1 船型概述

本装置采用新式的穿浪双体船型(WPC)^[1],是在高速常规双体船和小水线面双体船的基础上提出的一种高性能的新型船舶,克服了小水线面双体船储备浮力小、空间拥挤等缺点,是具有高速、耐波性能优良、稳性好、储备浮力大、甲板宽敞、回转性能好等特点的优良船型.同时,运载能力出色的WPC还具有建造工艺简单、使用成本低和技术风险小等优良的经济性.

采用穿浪双体船型一方面保证了稳性,另一方面又能凭借富裕的储备浮力保证装置始终有着合适的吃水.两个片体能有效减少兴波阻力、摩擦阻力以及双体间波系干扰引起的阻力增加,使总阻力较单体船为低,确保装置在浮油较厚,阻力较大的水域中行动自如.利用船型的构造特点,可在船首设计一个用于浮油初步聚集的聚油头,而整个浮油处理流程可以在宽敞的船体内部进行.

综上所述,穿浪双体船型的设计特点为:阻力小、稳性高、内部空间大、装载能力出众.将穿浪双体船型用于溢油事故处理,能够适用于各种形式水域的各类溢油事故处理作业,且船型特点完全符合本装置的布置和处理流程的需要.

2.2 船体设计

2.2.1 船体主尺度与推进性能

总长 $L_{OA} = 45m$; 片体船宽 $b = 4m$; 总宽 $B = 21m$; 总高 $H_{OA} = 17m$; 吃水 $d = 2m$; 片体中心距 $(C/b): K = 4$ (即 $C = 16m$); 排水量 $\Delta = 250t$ 最大航速 $V_{max} = 30kn = 15.432m/s$ 工作航速 $V_s = 5kn = 2.57m/s$ 载重量 $DW = 100t$ 连接桥形式为封闭式拱形; 结构材料为全铝.

2.2.2 阻力及航速说明

本船的有效功率根据载重量相近的模型试验结果换算得到,较为可靠.由于本装置主要用于海上溢油的收集和处理,属于新型特殊作业船,且工作环境为受浮油污染的海域,因此作业航速以低速为宜,取为 $5.0kn$ 装置前往事发地点时的航速最高可达

$30kn$ WPC 船的快速性优势得以体现.

2.2.3 推进系统设计

本装置采用喷水推进系统,主机选用 MWMT-BD604BV16 型,左右体各配置一台,单机功率 $P = 1682kW$; 推进器选用四台 MJPJ650R, 两两布置于双体尾部.

喷水推进器结构如图 1 所示,采用喷水推进方式,环保节能且无污染;依靠喷水推进泵喷射出的高速水流实现船体转向和倒航,可实现无级调速,机动性能和操纵性能好.此外,喷水推进系统的维修和保养也相对简单.

本装置中的喷水推进器设计成双进水口的形式,一个置于船底与海水相连,另一个与油水分离处理后的水箱相连,使油水分离后的水能直接进入喷水推进器进水口,节省了部分能量.

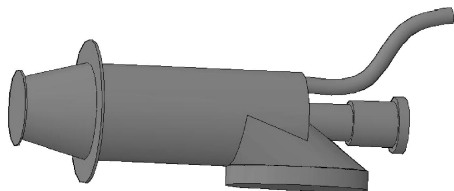


图 1 喷水推进器结构简图

2.3 堰吸式聚油头设计

本装置采用堰吸式聚油头(见图 2)收集海上浮油.堰吸式聚油头位于双体之间,实现海面浮油的初步收集,配合内部的抽吸泵达到高效收集浮油的目的.

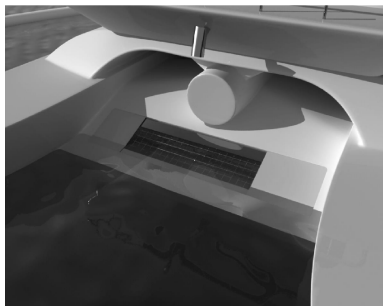


图 2 堰吸式聚油头三维视图

堰吸式聚油头的进口处设置滤网,对浮油进行初步过滤.内部的滑片可延进口移动,通过进口上方的摄像头进行观测,可以控制进油量大小,并能将进油口调整到合适位置.当油层厚度较薄时,两块滑片合拢以减小开口程度,避免过多的海水进入装置;油层增厚时,滑片分开以增加开口程度,提高收集效率;若遇涨落潮等水位发生变化的情况,则可同时调节两块

滑片的位置, 始终使开口中心对准浮油层.

内部的油泵选用 CYZ-A 型自吸式离心油泵, 是根据国内外有关技术资料改进后研制而成的最新泵类产品, 适用于输送各类石油、海水和清水, 介质温度范围为 $-20^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$.

堰吸式浮油收集方法克服了传统堰式收集无动力, 效率低的缺点; 同时解决了传统抽吸收集方式吸口管径小, 可靠性低的问题. 还能实现海面杂物过滤与浮油加热软化, 配合围油栏与双体的聚集作用使效率进一步提高.

2 4 油水分离机构设计

本装置采用重力式和离心式分离相结合的方式 进行油水分离^[2], 辅助吸附分离. 机构由防塞装置 (分离其它杂质)、加热设备 (提升海水温度, 加快分离速度)、重力式分离装置、吸附分离装置、离心式分离器、油分浓度计 (测量海水中原油含量是否达到排放要求) 组成.

工作时, 首先采用重力式分离出大颗粒污油, 然后采用离心式分离从中分离出细小油粒, 处理后的海水通过油分浓度计测量, 达到排放标准后作为喷水推进器的动力用水.

装置的特点是结构紧凑, 成套性强; 能实现程序自动控制及各项报警功能; 仅需外部管道和电源接通, 安装和使用方便.

表 1 油水分离机构主要技术参数 (单台)

处理能力 (l/s)	功率 (kW)	外形尺寸 (mm × mm × mm)	重量 (kg)	接口直径 (mm)
50	15	300 × 250 × 250	4 800	150

表 2 罐装机主要参数

罐装量	气源压力	耗气量	电源功耗	电源电压	适用瓶口直径	料箱工作容积	罐装头数
1000l	0.8MPa	1.5m ³ /min	1.5kW	AC380V	> 50mm	1500l	单 多头 (可选)

表 3 旋盖机主要参数

适用规格 (mm)	旋盖合 格率 (%)	电源 (V)	气源压力 (MPa)	耗气量 (m ³ /min)
5~ 500	> 99	380	0.4~ 0.8	1.3

针对原油外飘储存的特点, 要求罐装封盖作业线 具备以下两点:

1) 采用新型储油袋, 使用防油防水材料, 避免原油溢出和海水渗入; 要求材料具有良好的抗拉性能,

2 5 原油打包存储系统设计

真空柔性储油袋经传送带传送到灌装机处 (见图 3), 由罐装机将原油装入储油袋中, 待油装满后用传送带将储油袋传送到旋盖机处密封并套上绳索, 然后送往海面漂浮储存, 由绳索牵引着储油袋前进. 储油袋滑入海面的工作过程如图 4 所示. 履带式坡板上设置 2 个纵向分隔, 以避免储油袋下滑时相互碰撞干扰; 同时在履带底部设置中继器, 减轻储油袋与船体运动间的相互干扰. 采用这种储油方式可以有效节省舱容, 同时将原油分散储存提高了安全性.

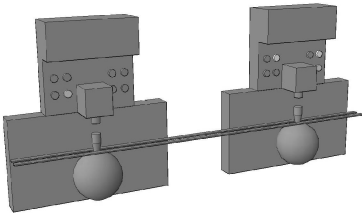


图 3 罐装旋盖作业图



图 4 原油存储示意图

储油袋的容量为 2000 l 袋口直径 110 mm. 灌装机和旋盖机的主要参数参见表 2 和表 3

在装满油时能承受相应张力; 且颜色鲜艳, 易于其他 周遭船舶观察避让.

2) 采用硬质材料制成的圆形袋口以适应灌装和 旋盖机的操作要求.

2 6 自航器及围油栏设计

设置充气式围油栏阻止浮油的大面积扩散以提 高作业效率. 作业时自航器 (见图 5) 从船体后部两侧 向前拉开围油栏, 作业结束再由自航器收回储存与船 体内. 如图 6 所示, 每隔 3 m 设置一加固支架安放配 重, 保证围油栏始终竖立于海面.

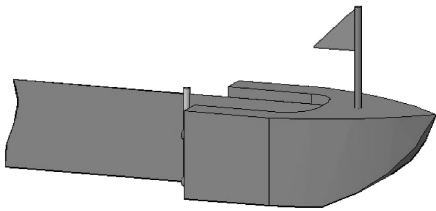


图 5 自航器三维模型简图

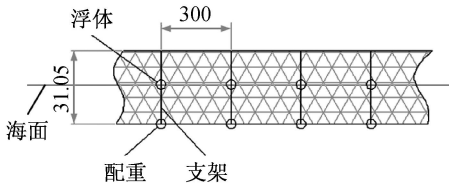


图 6 围油栏结构图

2 7 试剂喷洒系统设计

装置主体前段的双体处设置化学试剂及清水喷洒系统, 采用炮塔式多功能喷头 (见图 7), 配备化学剂喷射和水喷射, 可 360°旋转. 针对浅滩或者其它无法回收的区域, 利用喷洒系统喷射化学试剂进行降解、海水冲刷稀释等方法可以有效处理岸滩上的积油问题; 也可喷洒清水以清洁船体或帮助海洋生物清洗黏附油污. 配备喷洒系统后, 装置处理各类溢油事故的能力得到了有效提高.

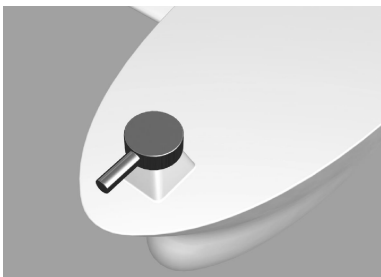


图 7 试剂喷头三维简图

2 8 太阳能节电装置设计

本装置顶部设置太阳能板, 如图 8所示, 将收集的太阳能转换为电能, 用作夜间装置的照明和内部浮油

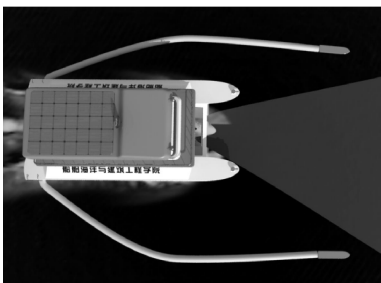


图 8 太阳能板位置图

加热软化处理时的能量来源, 起到节能环保的作用.

3 装置作业过程

如图 9所示, 首先将自航器放入水中并拉开围油栏. 自航器到位后, 向围油栏内充气, 围油栏布置安装到位. 接着, 堰式聚油头入口开启使浮油进入, 初步聚集后打开抽吸泵将浮油收集送往装置的上层主体建筑. 通过安装在入口上方摄像头的观察, 针对不同的油层厚度和水面位置变化进行调节控制.

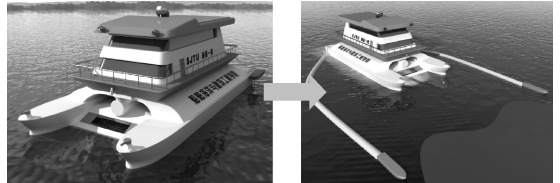


图 9 布置围油栏

上层主体内部的油水分离系统和灌装储存系统对收集到的油水混合物进行油水分离、装袋储存等流程的处理. 如图 10和图 11所示, 油水分离后的水送至喷水推进器的进水口; 原油送入装袋打包系统进行处理. 打包好的储油袋通过船尾的履带平缓地送至海面, 漂浮储存.

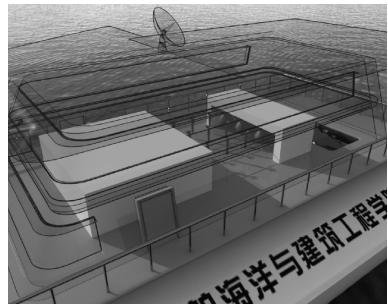


图 10 油打包流水线

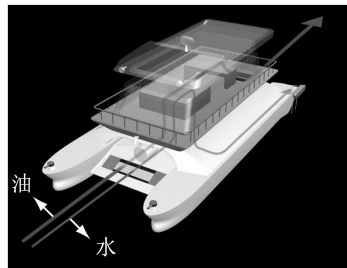


图 11 油水传送路线

4 结论

本装置采用穿浪双体船型, 耐波性能好、储备浮

力大, 具有高水平的综合航海性能. 堰吸式浮油收集方法克服了传统堰式和抽吸式收集的缺陷, 大大提高了浮油的收集效率. 收集到的浮油可直接在装置内完成油水分离和原油储存的工作, 提高了装置的系统性和作业的连续性. 漂浮储油系统能有效提高装置的储油能力, 节省了内部空间. 装置配备的围油栏可防止浮油扩散并利于收集; 化学试剂及清水喷洒系统可有效处理岸滩上的积油问题, 有效拓展了装置应对不同溢油事故的能力.

新型多功能海上溢油处理装置的设计方案, 为下一步的实物模型试验和进一步完善整套装置的设计提供了条件.

参考文献:

[1] 赵连恩. 高性能船舶原理与设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
[2] 黄圣鹏, 邱正阳, 邓松圣, 等. 油水分离旋流技术研究进展 [J]. 重庆科技学院学报, 2008 10(5): 16-18

(上接第 3 页)
坐标.

在横剖面上满足:

$$\lambda(\theta, x)_{\theta=\theta_1} = 0 \quad \lambda(\theta, x)_{\theta=\theta_2} = 1 \tag{10}$$

$$\lambda(\theta, x)_{\theta=\theta_1} = 0 \quad \lambda(\theta, x)_{\theta=\theta_4} = UV$$

$$\left[\frac{\partial \lambda(\theta, x)}{\partial \theta} \right]_{\theta=\theta_2} = 0 \tag{11}$$

$$\left[\frac{\partial \lambda(\theta, x)}{\partial \theta} \right]_{\theta=\theta_4} = 0$$

式中, $0 < \theta_1 < \theta_2 < \theta_3 < \pi/2$ $\theta_1 < \theta_4 < \theta_3$, UV 是指 UV 度的变化幅度.

联立式 (8)到式 (11), 求得船型 UV 度变换函数 $\lambda(\theta, x)$.

4 2 算例

首先, 给定 UV 度初值 1 和起始位置 θ_3 , 得到相应的变换函数, 产生新的船型. 然后, 计算新船型的浮心位置和横剖面的面积, 与变换前相比较, 如相差过大, 则按修改 UV 度初值和起始位置, 直至达到精度范围内. 如图 5 所示为某船的 UV 度变换的例子.

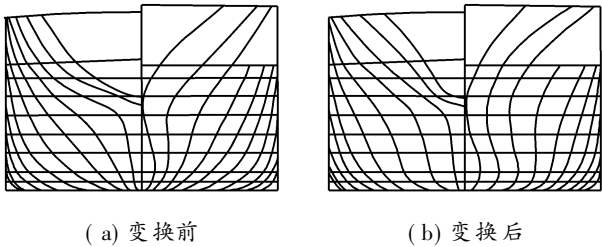


图 5 某船 UV 度变化实例

5 结论

1) 为了适应 NURBS 曲线的运用, 对母型变换法进行改进, 探索出一种横剖面面积曲线修改方法.

2) 本文提出的基于控制顶点的变换函数法和将投影函数法运用于船型 UV 度变化是对船体 NURBS 曲线修改的积极探索, 算例表明此类方法在实际应用中是可行的.

3) 这类方法不仅适用于船体 NURBS 曲线, 还可以扩展到船体 NURBS 曲面, 对于船舶设计中曲线曲面的修改有重要的应用价值.

参考文献:

[1] Piegl L, Tiller W. The NURBS Book Monographs in Visual Communication [M]. 2nd Edition. Springer-Verlag New York, Inc New York, NY, USA, 1997
[2] 朱心雄. 自由曲线曲面造型技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
[3] 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条 [M]. 北京: 航空航天大学出版社, 1994
[4] 王世连, 刘寅东. 船舶设计原理 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2002
[5] 唐焕文, 秦学志. 实用最优化方法 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2004
[6] 林焰, 纪卓尚, 戴寅生. 在极限约束条件下船型的 UV 度改变 [J]. 大连理工大学学报, 1997, (6): 683-686