

►设计计算◀

仿生型海上溢油回收装置的设计

董伟¹ 杨勇生¹ 黄有方¹ 董国祥²
顾伟¹ 孙永明³ 汤小戎² 张军¹ 刘海威¹

(1. 上海海事大学物流工程学院 2. 上海船舶运输科学研究所运输系统事业部 3. 上海海事大学商船学院)

摘要 受海洋浮游生物水母的胃环流系统的启发, 提出将仿生机械学的原理应用到设计海上溢油回收装置中的设计观点, 然后引入了仿生机械学, 介绍了人工水母模型的设计。人工水母模型就是仿造天然水母的内部结构和外部形态, 结合漩涡原理设计出的进行溢油回收的模型。仿生型海上溢油回收装置的设计为研究和开发海上溢油处理设备提供了有效的研究方法, 利用仿生机械学来设计溢流回收设备有很大的发展前景。

关键词 海上溢油 仿生机械学 溢油回收装置 人工水母

引言

海上一旦发生溢油事件, 对环境的污染是巨大的, 溢油形成的大面积油膜将阻隔正常的海气交换过程, 破坏二氧化碳的平衡, 影响光合作用, 消耗海水的溶解氧, 使气候异常, 影响生物链的循环, 从而破坏海洋生态平衡, 而且也浪费了宝贵的石油资源。所以, 首先要尽量避免发生溢油事故, 一旦发生溢油事故, 要能够及时地将溢油回收。

世界上现有回收海上溢油的方法^[1]有物理处理法、化学处理法和生物处理法。

物理处理法是利用物理方法和机械装置回收溢油的方法, 但一般很难去除海水表面的油膜和海水中的溶解油。

化学处理法是利用各种助燃剂使溢油燃烧或者利用化学药剂改变溢油的物理性质, 使之易降解或回收的方法, 但不可避免地会造成二次污染。

生物处理法是利用某些天然存在于海洋或土壤中的微生物有较强的氧化分解石油的能力来进行溢油处理的方法, 该方法具有物理处理法和化学处理法无可比拟的优点, 但是人们还无法实际应用该项技术。

条件许可时, 最理想的方法是采用机械装置进行溢油的回收^[2], 这样既回收溢油, 又不会产生

二次污染, 也不危害海洋环境。为了防治海上溢油污染, 最大限度地减少溢油造成的损失, 国内外对溢油回收设备进行了大量的研究。但对于十分恶劣的海况, 至今仍无方法或设备可以实现溢油的回收, 再加上海上溢油事故的偶然性, 时间和地点的不确定, 更增加了控制和回收的难度。

现有的海上溢油回收装置设计的出发点全都是传统的机械原理, 从来没有出现过仿造生物来完成溢油回收的概念。其实人们完全可以仿造生物的内部构造和外部形态来完成溢油回收装置的设计。也就是说将仿生机械学应用到设计海上溢油回收装置中来。

仿生机械学在溢油回收的应用

1. 仿生机械学

仿生机械学^[2]是以力学或机械学作为基础的、综合生物学、医学及工程学的一门边缘学科, 它贯穿着研究、模拟生物系统的信息处理、运动机能和系统控制, 以及在医学和工程中的应用。

仿生机械学的研究对象是: 研究生命的结构、能量转换和信息流动的过程, 并利用电子、机械技术对这些过程进行模拟, 从而改善现有的和创造出崭新的现代技术装置。

· 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50379024); 上海市教委重点学科资助项目 (沪教科 2002 - 44)。

仿生学所研究的课题涉及到广泛的范围，并已获得了许多进展，例如通过研究生物眼的模型和视觉机制，研制人工视网膜、文字读取装置、盲人假眼及应用于机器人的人工眼。

2. 人工水母模型设计

水母^[3]是一种海洋中的浮游生物，它有一个伞状的头部，根据仿生机械学的原理，笔者根据其内部结构设计出了仿生型海上溢油回收装置。

水母的胃环流系统对设计海上溢油回收装置有很大的启发，水母是在口腕的作用下将食物和水吸入胃腔的，在水母内部，从每个胃囊向伞的边缘通出一系列的小管，它们按照一定的图案结构呈辐射状伸向伞的边缘，这些小管都是由内胚层的上皮细胞形成的，向管腔的一面都有纤毛分布，由于纤毛的摆动使水流朝一定方向流动，从而保证了氧气的供应以及营养物的输送。水母有8个感觉球或称触手囊，每个感觉球位于一伞缘的曲刻内，由于感觉球的存在将整个伞缘均匀地分成了8个缘瓣。感觉器本身是一中空的棒状物，其游离端堆积着许多多角形的内胚层细胞，每一细胞含有1个由硫酸钙和少量的磷酸钙形成的平衡石，这些平衡石加上感觉棒外缘的外胚层细胞，共同形成一个具有平衡作用的平衡囊。

如图1所示，对海上发生的溢油，可以仿造水母通过管道将水和食物吃到肚子中，设计海上溢油回收装置通过许多辐射状管道将油水混合物吸到装置中；根据水母的管道里纤毛的作用原理，设计了水泵叶轮，从而保证装置外部的液体能不断地进入到装置中来。需要说明的是，因为设计中水泵叶轮的作用只是简单的转动将水排出去，所以只需要水泵叶轮，而不需要用整体的泵。同样，装置的顶部设计了一个油泵叶轮，它可以将由于漩涡原理^[4]而堆积在中心旋转轴附近的溢油回收到储油箱中。为了将动力装置简化，也可以减轻整个装置的质量，将电动机、油泵叶轮和水泵叶轮设计成同轴的。整个装置是关于中心旋转轴对称的，其重心的位置必定在这个轴上，设计中将电动机放在装置的最下端，这样可以降低整个装置的重心位置，从而增加整个装置的稳定性。为了解决动力源问题，设计的潜水电动机可以利用另外的浮体平台供应电源。

仿照水母的外形，可以将储油箱设计成钟罩形的柔性体，随着回收石油的增多，它也变得越来越

大，直到全部充满，这样就可以将其回收。储油箱中还设计了一个小斜坡，使溢油从油泵叶轮中出来以后直接靠其自身的重力滑落到储油箱中，这样设计可以使整个装置比较简单，减少了许多附加的零部件。在油泵叶轮的下面设计了导油罩，它可以方便地使油泵叶轮将处于旋转轴附近的溢油吸入储油箱中。此外，顶部管道可使由于风浪打在储油箱上的油水混合物直接进入装置。

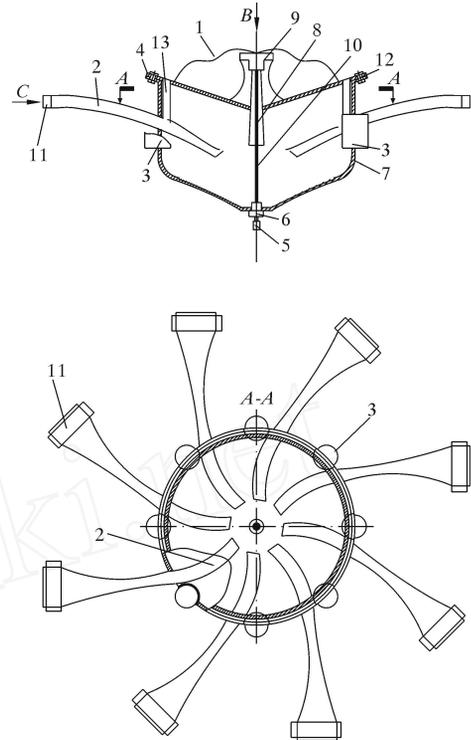


图1 仿生型人工水母原理图

1—柔性储油箱；2—管道；3—浮体；4—上壁盖；5—电动机；6—水泵叶轮；7—壳体；8—导油罩；9—油泵叶轮；10—中心旋转轴；11—管道浮体；12—螺栓联接组；13—顶部管道

根据水母的平衡囊，在溢油回收装置的四周安装了8个圆柱形浮体，采取中空的充满气体的气囊，一方面可使整个装置浮在海面上，另一方面浮体靠在管道边上，可使油水混合物更容易进入管道。装置壳体的底部设计成倒锥形，以增加装置的稳定性。

工作时，整个装置漂浮在海面上，管道由于管道浮体的作用也浮在海面上，海水顺着管道流入装置。通过电动机带动，从而使中心轴旋转，形成漩涡。通常情况下，由于石油密度低于水密度，溢油会浮在水面上，理想状态下是石油跟水自动分层，油层顺着水向形成的漩涡中心底部下滑，处于中心轴附近的油层越来越厚，从而方便油泵叶轮将溢油吸走。中心旋转轴同时也带动水泵叶轮排水，从而装置内部形成压力差，溢油和水的混合物就不断地从管道进口进入。溢油通过导油罩被油泵叶轮吸入储油箱后，靠自身的重力下滑到储油箱中。当储油

箱处于膨胀的位置时，就可以将装置收回。当然也可以在储油箱中安装导油管，使储油箱的油及时被回收到其他可以存储石油的装置中。

结 束 语

仿生型海上溢油回收装置是仿照天然水母的内部结构和外部形态进行设计的，其特点是：收油口是浮动的，可以实现动态调节，使收油口具有随波逐流的特性，适合回收各种粘度的石油；8个像触手似的进油管分布在回收装置的四周，可以增加其稳定性。

海上溢油回收装置项目已经完成了人工水母模型设计以及对人工水母模型的稳定性分析和漩涡特征分析，接下来要研究在水波效应下人工水母模型的特征及其计算机模拟仿真和试验研究。如果该研究试验成功，作为一种海上溢油控制技术与设备，将广泛应用于海上船舶溢油应急计划中，完善海上溢油控制装置的种类，具有极大的社会效益和经济效益。

当然，仿生机械的应用并不单是指仿照生物的外部形态和内部结构，其最精髓之处应体现在智

能方面，真正实现生物跟机械的有机结合，仿生机械应该既具有像生物运动器官那样精密的构件，又具有优异的智能系统，以便能进行巧妙的控制，执行复杂的动作。在考虑溢油回收装置的技术时，完全可以在未来设计和仿造出一种可降解石油的生物机械设备，所以利用仿生机械学来设计溢油回收装置有很大的发展前景。

参 考 文 献

- 1 林 建, 朱跃姿 . 海上溢油的回收及处理 . 福建能源开发与节约, 2001, 3 (1): 6~8
- 2 林良明 . 仿生机械学 . 上海: 上海交通大学出版社, 1989: 1~4
- 3 南京师范学院生物系编 . 无脊椎动物学 . 北京: 高等教育出版社, 2002: 77~108

作者简介: 董 伟, 女, 生于 1980年, 硕士研究生, 主要研究方向为现代机械设计方法与理论。地址: (200135) 上海市浦东区。电话: (021) 28162806 (小灵通)。E-mail: dongwei972001@163.com。

收稿日期: 2005 - 09 - 13
(本文编辑 王志权)

下期部分目次预告

水力射孔参数对油水井压裂影响的数值试验	黄中伟 李根生 牛继磊
套管钻井用套管外表面磨损后剩余强度分析	宋生印 刘永刚 王 力等
采油螺杆泵定子温度场数值模拟分析	魏纪德 郑学成 岳 莉等
波纹环空流场的数值模拟	孟令尊 王常斌 崔海清等
管道封堵器直角拐弯推进器的设计	刘 忠 张 宏 房晓明等
轮式通井机综合设计及数据库分析软件的开发	钮瑞艳 杨秀娟 闫相祯等
钻井液液面监测与自动灌浆装置的研制	刘寿军
用于海底管道的组合式机械三通的研究	喻开安 陈应华 赵宏林等
膜片式流量调节阀	蔡世龙
基于 SVM 的注水机组状态预示技术研究	王红军 张建民 徐小力
输油泵模糊故障诊断	苏 欣 袁宗明 范小霞等
永磁同步电动机在抽油机上的应用分析	闫敬东
连续油管钻井技术与装备的应用及其新进展	陈立人 张永泽 龚惠娟
气体对抽油泵泵效的影响及对策	辜志宏 彭慧琴 耿会英
常压催化联合装置的腐蚀与防护技术新进展	杜朝锋 黄 英 秦秀兰
油气管道项目投资决策风险的分析与评价	朱喜龙 李玉辉

measured values.

Key words: heat exchanger tube, Micro-hydraulic turbine, CFD, $k-\epsilon$ turbulent model, simulation calculation

Jia Xinglan (*Faculty of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying City, Shandong Province*). **On safety crack propagation life of welded structural members on offshore platforms.** *CPM*, 2006, 34(1): 22~24

The safety crack propagation life of structural members offshore platforms under the low temperature environment is the foundation for safety inspection and reliability evaluation for the structural members on the platforms in winter. A probabilistic statistical method is used to derive the relational expression of safety life and median experimental life when the fatigue crack propagation life is subject to the log normal distribution under the condition of mini-sample experiment. On 1 000 kN MTS material testing unit, the crack propagation rate of the steel (AB1) samples of the welded members are detected under -25°C on the condition of tensile-tensile load. The empirical values of standard error for the log crack propagation life are used to obtain the low temperature fatigue crack propagation life of different safety probabilities of welded members corresponding to certain degree of confidence.

Key words: offshore platform, welded structural members, crack propagation, safety life, low temperature fatigue

Fu Shengli(*China University of Petroleum, Beijing*), Gao Deli, Yi Xianzhong, et al. **On the relationship between the deformation force of solid expandable tubular and model angle of expandable tool.** *CPM*, 2006, 34(1): 25~28

A 3 dimensional model is established for a finite element analysis on nonlinear contact problems in the expansion process of expandable tubular. A solid expansion test is conducted with $\phi 107.95$ mm casing, by solving the model, the relation between the expanded deformation force and model angle of the tool is obtained for the expandable tubular and expansion tool under different contact conditions and for the expandable tubular with different expansion rates of inside diameters and different thickness..

Key words: expandable tubular, deformation force, model angle of expandable tool, finite element, numerical simulation

Geng Yanjie (*University of Science and Technology of China, Hefei*), Piao Qingli, Li Weidong, et al. **Analysis on the influence of submersible electric motor starting on tubing vibration.** *CPM*, 2006, 34(1): 29~32

Torsional vibration for the lifting tubings would be caused during the submersible electric motor starting. A more accurate vibration model is established for the assembly of electric

submersible pump (ESP) and tubing string, motion laws for lifting tubings on different working conditions are obtained by establishing a simulation model for the starting process of the submersible electric motor. Example simulation result shows that impulse current induced in the process of the motor starting is as high as about 20 times of steady current, and it also shows that during the motor starting, the rotation angle of the tubing is always in lifting status, when the motor is in steady operation, its rotation angle is first in lifting status, and then it conducts in similar sine and cyclical movement and the least value of the rotation angle is a constant one in each vibration cycle.

Key words: electric submersible pump, submersible electric motor, simulation, vibration

Wei Lixin (*School of Petroleum Engineering, Daqing Petroleum Institute, Daqing City, Heilongjiang Province*), Liu Yang, Zhang Letain. **Simulation analysis and structural optimization for a liquid-liquid hydraulic cyclone.** *CPM*, 2006, 34(1): 36~39

According to the principle and method for calculating fluid mechanics, based on the flow field numerical simulation, a powerful fluid calculation software is deployed to carry out a simulation analysis on the motion laws of fluid in the liquid-liquid hydraulic cyclone. On the basis stated above, an optimized design is made on its inlet mode, overflow outlet diameter and length of swirl chamber for the purpose of improving the separation efficiency of the oil-removal hydraulic cyclone. The optimized structure obtained by calculation can be used to raise its separation efficiency for about 6% in application.

Key words: liquid-liquid hydraulic cyclone, structural optimization, numerical simulation

Dong Wei(*Logistics Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai*), Yang Yongsheng, Huang Youfang, et al. **Design of bionic offshore spilled-oil recovery unit.** *CPM*, 2006, 34(1): 40~42

Inspired by stomach circulation system of an acalphe of marine planktons, it is proposed that the principle of bionic mechanics is used for designing an offshore spilled oil recovery unit, and then the bionic mechanics are draw into it. The design of an artificial acalphe model is introduced. It is the model designed for spilled oil recovery according to internal structural and external shape of the natural acalphe in combination with swirl principle. Its design provides an effective method for studying and developing the equipment for offshore spilled oil treatment. The design using the bionic mechanics has wide prospects

Key words: offshore spilled-oil, bionic mechanics, spilled-oil recovery unit, acalphe