海上溢油风险分析及处置技术研究

王亚锋[1] 李国柱[1] 赵绍祯[1] 赵英杰[2]

(1. 中国石油海上应急救援响应中心;2. 唐山冀东瑞丰化工有限公司)

摘 要 文章以大型溢油事故为切入点,对海上石油勘探开发溢油风险进行了分析,研究概述了发生溢油事故后溢油的快速定位、溢油飘逸轨迹模拟、溢油面积及溢油量确定方法。根据以上信息重点研究论述了溢油围控及回收方法。溢油围控技术需要根据不同的海洋环境选择相适应的围油栏及围控方法,尤其是水流较急时发生溢油逃逸的现象,需要通过改变围油栏与水流的夹角以确保围控效果。影响溢油回收效果的主要因素是油品的类型及油膜的厚度,文章通过对油品类型的分析,提出了不同油品类型和不同厚度油膜所对应的回收方法。

关键词 溢油风险; 溢油围控; 溢油处置; 油品类型

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2016.06.008 **文章编号**: 1005-3158(2016)06-0025-04

0 引 言

随着全球能源需求的加大,海上石油开发已是未来发展的重点领域。然而,近几年发生的几起大型溢油事故给海洋环境造成了重大的污染、给予我们沉痛的教训。2010 年 4 月 20 日,英国 BP 石油公司位于墨西哥湾的“深水地平线”钻井平台发生爆炸并引发大火,造成大量原油泄漏,是全球有史以来最严重的原油污染海洋灾难[1-2]。因此在强化预防管理的基础上,应对海上溢油应急处置方法进行研究,确保事故发生后能够有效的控制与处置。

1 海上石油设施溢油风险分析

海上石油施工作业包括物探、钻完井、采油、油气集输与处理、储存及运输等,作业过程中涉及到大量生产设施及作业设施。以上作业及设施在运行过程中由于海洋环境的影响、工艺设计缺陷、装置老化及操作不当等因素影响,存在诸多安全风险,有些风险甚至是灾难性的,如风暴潮、井喷、火灾爆炸等。而以上风险均有可能导致油品泄漏事故,对海洋环境造成污染[3]。根据作业及设施特点,可能发生大型油品泄漏事故的设施主要有以下四类:

1.1 石油钻采平台

海上钻完井作业是石油开发最为重要的阶段之一,也是事故的高发期,可能发生井喷、火灾爆炸、石油泄漏而导致水体环境污染事故。导致事故发生的原因众多,有平台自身方面的因素,如工艺设计缺陷、设备故障、船舶碰撞等,也有诸多外界因素,如飓风、浮冰挤撞等。该作业及设施均比较复杂,一旦发生事故可能会造成重大的污染,如墨西哥湾的“深水地平线”钻井平台事故就属于该类型。

1.2 海底输油管道

海底输油管道是海上油气田开发生产系统的重要组成部分,它是海上输送油品最快捷、最安全和经济可靠的运输方式。海底输油管道发生油品泄漏的风险主要有管道损伤、管道腐蚀而引起油品泄漏污染。引发以上事故的原因主要有外物对管道的碰撞、腐蚀疲劳、海床冲刷导致的悬空、海底沉陷、地震等[4]。海底输油管道发生泄漏事故后,一般处置封堵难度较大、泄漏周期较长、污染海域面积较广。

1.3 近岸设施

近岸设施主要有石油储罐、炼化装置、陆源输油管道等。近岸设施中一般聚集和存储有大量油品、有的甚至高达几十万方。一旦出现油品泄漏,极易引发火灾、爆炸等安全事故,同时会导致严重的海域环境污染事故。如大连“7·16”溢油事故就属于近岸设施造成的油品泄漏污染事故。

1.4 船舶运输

船舶运输为海洋石油勘探、开发、生产提供作业支持服务,作业船舶主要包括多功能工作船、物资供应船舶及油轮等。据统计近几十年来,海上发生油品

王亚锋,2004 年毕业于西安石油大学机械设计制造及自动化专业,工程师,现在中国石油海上应急救援响应中心从事应急管理工作。通信地址:河北唐山市唐海县中国石油海上应急救援响应中心,063200

泄漏污染事故中船舶溢油占首位。导致船舶泄漏事故原因主要有船舶碰撞、搁浅、翻沉等。

以上设施及作业过程如果发生事故导致原油泄漏入海，不仅危害海洋环境生态系统，而且会使渔业、水产养殖业、旅游业等遭受巨大经济损失，对经济发生及海洋环境保护带来危害。

2 事故现场溢油及环境信息收集

溢油事故现场的溢油信息及环境信息获取的及时性、准确性，直接决定着事故初期处置方案的科学性，如根据不同的环境信息调配不同等级的应急船舶、根据不同的油品、泄漏量决定收油设备的种类及数量。溢油信息主要包括：溢油源头、泄漏时长、溢油量、溢油速率、油膜位置、油膜面积、溢油飘逸方向及速率等。现场环境信息主要包括：事故水域水深、风向、风速、潮流、波浪等。

2.1 溢油监测及预警技术

发生溢油事故后首先应对溢油进行快速定位，以便决策者能够根据事故现场的信息制定下步处置方案。目前主要采取以下方法对海上溢油进行快速定位。

2.1.1 飞机跟踪监测

飞机跟踪监测主要是利用飞机搭载的光学或微波遥感设备对海面溢油进行监测。目前用于飞机监测比较成熟的遥感设备主要有红外摄像机、激光遥感器及雷达[5]。飞机监测因不受空间高低的影响，机动性强，可以实时对事故现场进行跟踪监测，选用合适的遥感设备可以对油膜漂移路径、厚度进行初步估算，缺点是对气象条件要求较高，如大雾等恶劣天气效果较差，适合于大型溢油巡视监测。

2.1.2 船载及岸基溢油雷达监测

船载及岸基溢油雷达可以对海面进行全天候 24 h 不间断监控，并获取任一时刻的海面情况，其原理是利用油膜的反射波与水面成像不同来快速定位溢油的位置及影响区域，检测精度较高。缺点是监测范围较小、机动性与飞机相比较差，适合于小范围溢油事故的监测，可与飞机配合使用，另外目前已安装岸基溢油雷达海上石油设施较少，建议加大投入、逐步普及完善。

2.1.3 卫星遥感监测

卫星遥感技术能够监测大范围污染海域，监测精度高，范围广，适合于大型溢油事故。缺点是专业性较强，使用成本昂贵，目前仅限于国家少数机关职能部门具备调配及应用权限。

综上所述，适合于海上溢油监测的手段较多，在实际应用中应根据事故现场的地理环境信息、事故规模等综合考虑选择适宜的监测手段。

2.2 溢油量及溢油轨迹

在确定了溢油的位置后，需要对溢油的规模及溢油的飘逸路径进行确定，溢油量和溢油轨迹是溢油处置时需要掌握的两个重要因素。

2.2.1 溢油量估算

溢油量直接决定着调动资源的多少，确定溢油量也能为后续的事故评估提供依据，因此对溢量的估算非常重要。一种方法是直接从溢油设施获取泄漏量，该种方法简单准确，但有的溢油源不具备该功能，需要根据海面的油膜颜色进行估算[6]。

2.2.2 溢油飘逸轨迹

预测溢油漂移轨迹能够使事故决策者提前对溢油即将到达的敏感区域进行隔离保护。溢油在水中的行为和归宿是一个非常复杂的过程，决定海上溢油运动的主要因素是风和表层海流[7]。目前国际上一致认同的预测海面溢油飘逸轨迹的方式是采用“油粒子”概念建立模型，将溢油用一定数量的粒子代表，表面油膜的大小为表面粒子的叠加，该技术在我国已有成熟应用[8]。通过模型最终可以预测出 72 h 内油膜中心位置、油膜漂移轨迹、最大影响面积、漂移路径及影响范围等。

3 溢油处置技术

3.1 溢油围控

掌握了溢油的基本信息及油膜状态后重点就是对溢油进行围控回收，溢油围控是指利用围控设备尽可能的将溢油控制在有限的范围内，或者将污油引导至远离敏感资源的海域。

3.1.1 围控设备选用

溢油围控主要根据事故海域浪高及水流速度选择合适的围控设备，我国交通行业标准中规定的围油栏与水域的关系见表 1[9]。

表 1 不同水域环境条件下围油栏的一般性能要求

性能	总高/m	总浮力与重量比	最小总抗拉强度/N
平静水域	0.15～0.6	3∶1	6 800
平静急流水域	0.2～0.6	4∶1	23 000
非开阔水域	0.45～1.1	4∶1	23 000
开阔水域	0.9 以上	8∶1	45 000

在选择围油栏时应综合考虑事故水域水深、事故规模、浪高等参照上表进行选择。

3.1.2 急流水域溢油围控方法优化

以我国石油勘探开发海域较为密集的渤海海域为例，水流速度最大区域超过 1.543 5 m/h，而根据围油栏的特性当垂直于围油栏的水流速度超过 0.385 9 m/h 时将会发生溢油逃逸现象[5]。在实际布放过程中应根据水流速度及时调整围油栏的角度，以减小水流对围油栏垂直方向的冲击力，根据图 1 围油栏与水流速度的矢量图可以得出围油栏与水流的夹角计算公式如下：。

$$Sin\alpha = \frac{V_{Lim}}{V_{水}} \tag{1}$$

式中：α 为围油栏与水流夹角，°；V_{Lim} 为垂直于围油栏的极限流速，m/s；$V_{水}$ 为实际水流速度，m/s。

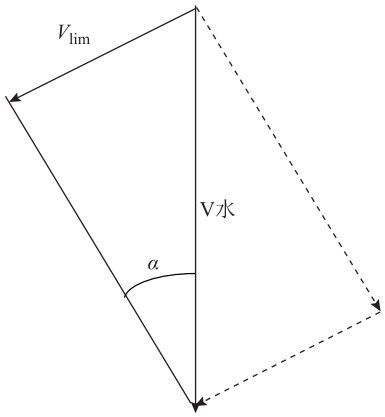

图 1　围油栏与水流夹角矢量图

由于已知当水流速度超过 0.385 9 m/h 时围油栏就会失效，因此可以计算出不同流速下围油栏与水流的夹角如表 2 所示。

表 2　围油栏布放角度与水流速度的关系

序号	水流速度/(m/s)	围油栏夹角/(°)
1	0.51	48
2	0.77	29
3	1.02	22
4	1.27	17
5	1.53	15

在实际应用过程中除以上因素影响外，围油栏的围控效果还与布放形式、围控长度、水深等因素有关，应综合考虑。

3.1.3 围控方法

围油栏水上布局大体有三种：U、V、J 型，选择哪种方法应根据溢油海域周围设施及参与作业的船舶和收油机的类型决定。

3.2 溢油回收

3.2.1 油品分类及特性分析

油品的种类不同，采用的回收设备也不相同，影响溢油回收的特性很多，但主要特性为油品的黏度。黏度决定着油在水中的状态，特别是决定油的扩散及风化速度。一般来说，油组分的分子量越大，密度、黏度就越大。

另外溢油中易挥发组分随着时间的推移将会不断蒸发，导致溢油的特性发生变化，直接影响着溢油的处置措施。油品中的轻质组分含量越高，越容易蒸发。溢油中碳原子数小于 15 的烷烃可以全部蒸发、碳原子数在 16～18 的烷烃可以蒸发 90%，碳原子数在 19～21 的烷烃可以蒸发 50%[5]，一般 48 h 轻质蒸馏油能够全部蒸发，轻质原油能够蒸发10%～40%。

3.2.2 水面溢油回收技术

溢油回收是利用各种手段将油从水面或陆面分离出来，以清除水面或陆面溢油，溢油类型和溢油环境不同，所采取的方法及手段也不相同，另外，随着溢油的飘逸、扩散、挥发及风化等物理化学过程，不同时间段的溢油及不同厚度油膜回收方法也不相同。目前海上溢油处置主要采用的方法有可控燃烧法、机械法和化学分散剂等方法[10]。

从实践处置经验来看，影响溢油回收效果的因素主要有两种：一是油品类型；二是油品厚度。下面就从该两种因素出发阐述如何选用合适的溢油回收方法。

①根据油品类型确定回收措施。溢油回收的方法大致有机械回收、化学试剂、燃烧法及生物降解等方法，目前应用较多的为前三种。不同的油品类型所选取的回收方法及回收设备不同，根据各种回收方法的适用性及原理，结合实践处置经验得出适用于不同油品的回收措施如图 2 所示。

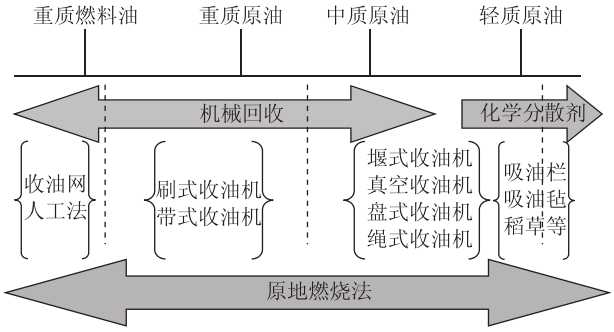

图 2　适合于不同油品的收油措施

②根据油层厚度确定溢油回收措施。油层的厚度直接影响着溢油回收的效率及所采取的方法，一般油层较厚时采用机械法很容易回收溢油，且效率较高。而油层较薄时收油机的回收效率将大大降低，甚至失效，则需要采用化学试剂进行处理。在实际操作过程中可以参考表 1 判断油膜的厚度，不同厚度的溢油处置措施如图 3 所示。

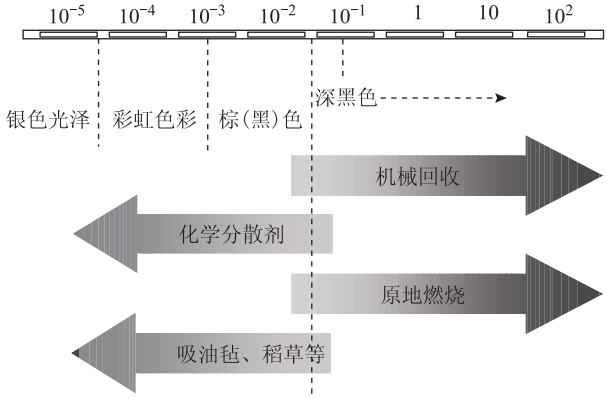

图 3　不同厚度溢油处置措施(单位:mm)

从图 2 和图 3 可以看出，对中高粘度或油膜较厚油品适合采用机械法回收，目前技术比较成熟的机械回收设备有刷式收油机、盘(轮毂)式收油机、真空式收油机等。轻质油、成品油在油膜较薄时适合于选用化学试剂及吸附材料进行吸附，但化学试剂及吸附材料受温度的影响较大，在温度较低时效率会大大降低[11]。

另外在发生大型溢油事故时可以考虑参照墨西哥湾溢油事故采用燃烧法处置。燃烧法处置溢油时，首先应利用围油栏将溢油引导至安全的区域，进行可控燃烧，以免引发其它事故。为了防止油层的热量向油层下面的水产生传输损失，油膜厚度至少大于 2 mm[12]。

在具体的溢油事故中应根据事故现场的环境，综合考虑油品类型及油层厚度选择合适的溢油回收方法。

3.2.3 岸线溢油处置技术

溢油发生后应尽可能的将溢油控制在水面进行清除，以免对岸线资源造成污染。因为就目前溢油的清除技术，对于岸线油污的清理没有高效的技术与方法，更多的则是依靠人力进行清除。

4　结束语

控制溢油最好的方法是防止溢油的发生，然而，由于海上作业环境复杂，受各种极端气候及多种难以预计的因素影响较多，一旦发生溢油事故，就要及时采取有效的处置措施。在具体的溢油事故发生时应按照本文论述的相关处置措施结合事故现场的实际情况，综合选择合适的处置方案。

参 考 文 献

[1] 徐春红，郭小勇. 标准化在我国海洋溢油应急处置工作中的应用研究[J]. 中标标准化，2011(9):19-22.
[2] 李雪飞，李光茹. 浅谈防止海上油田地质性溢油的几点因素[J]. 油气田环境保护，2013，23(1):34-36.
[3] 穆剑. 海上油气田安全技术与管理[M]. 北京:石油工业出版社，2015:78.
[4] 于婷，杜国勇. 原油长输管道环境风险分析与控制[J]. 油气田环境保护，2013，23(6):79-81.
[5] 安居白. 航空遥感探测海上溢油的技术[J]. 交通环保，2002，23(1):24-25.
[6] 刘功臣. 溢油应急培训教程[M]. 北京:人民交通出版社，2004.
[7] 焦俊超，马安青. 基于 GIS 的渤海湾溢油预测系统研究[J]. 海洋环境科学. 2011，30(5):735-738.
[8] 熊德琪，杨建立. 珠江口区域海上溢油应急预报信息系统的开发研究[J]. 海洋环境科学，2005，24(2):63-66.
[9] 中华人民共和国海事局，中华人民共和国山东海事局. 围油栏:JT/T 465—2001[S]. 北京:人民交通出版社，2002:3-6.
[10] 满春志，刘欢. 海上溢油应急处置技术探讨[J]. 油气田环境保护，2012，22(6):50-52.
[11] 俞精瑞，李志军. 温度对吸油毡吸油性能影响试验研究[J]. 油气田环境保护，2012，22(3):10-14.
[12] 赵如箱. 溢油应急反应中的现场燃烧技术[J]. 交通环保，2002，23(3):39-42.

(收稿日期　2016-08-05)
(编辑　李　娟)

欢迎投稿　欢迎订阅　欢迎刊登广告