

低温有冰条件下吸油绳收油效率试验研究*

陈宇¹ 曲良¹ 张兆康¹ 宋威¹ 高祁¹ 王东¹ 赵彬¹ 禹精瑞² 李志军²

(1. 中海石油环保服务有限公司; 2. 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室)

摘 要 总结国外试验经验的基础上,用亲油性绳式收油机中的吸油绳对-35[#]柴油和原油模拟在有冰的水域进行测试,试验表明了吸油绳不同长度与油和冰相对位置对收油效率的影响。该试验结果对寻求如何在冰区回收溢油有积极作用,也是溢油应急清理时选择技术方法的科学指导。

关键词 低温 冰区 溢油回收 吸油绳

中图分类号: X55

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2011)06-0040-04

0 引 言

随着石油工业和海上石油开发的迅速发展,水上石油运输日益繁忙,因海损、触礁、机械故障、人为操作不当等导致的石油溢油事故也日益增多,特别是大规模的溢油事故,其污染危害之严重,已为世人瞩目^[1]。溢油事故不仅会在短时间内造成大量资源流失和经济损失,加重对生态环境的损害,还可能引发次生灾害和国际纠纷^[2-3]。渤海是我国重要的海上油气生产基地,随着渤海海上石油运量逐渐增大,该海区已成为溢油事故多发地区^[4]。另外,渤海是北半球结冰的南边缘,每年冬季存在三个月左右的冰期,在冰区回收溢油面临许多困难^[5],冰区溢油的监测、预报、清理应引起重视^[6]。发生溢油事故后,将启动溢油应急清理措施,哪些技术能够高效清理和回收溢油,取决于各种溢油回收设备的效率。对于渤海的环境条件,不仅要认识各种设备在开敞水域的回收效果,还要了解它们在低温水域和有冰条件下的表现。2010 年中海石油环保服务有限公司与大连理工大学合作对刷式、盘式、鼓式、抽吸式撇油器在冰区溢油回收的效果进行了试验,取得初步成果^[7-9]。文章对亲油性绳式收油机中的吸油绳在低温水和有冰条件下的收油效果展开试验。目的是认识吸油绳在低温水域、冰下溢油或冰上溢油条件下,对低温-35[#]柴油、原油的吸油性能,为渤海应急清理选择溢油清理方法,并为发展新型吸油绳材料提供基础。

绳式收油机的核心部分是可漂浮在水面的亲油材料形成的一闭合绳环,该绳环穿过收油机中弹性挤

压辊。吸油绳运行经过水面时吸附溢油,在通过收油机时绳上吸附的油被挤压辊挤出。它具有随波性好、回收效率高、受海面上一些杂物影响小、覆盖面积大、维护容易、造价低廉等优点,在各种溢油事故中被广泛使用^[10]。

1 试 验

试验器材及材料:青岛光明 SS 绳式收油机,其工作原理如图 1 所示,吸油绳(直径 300 mm,长度 14 m)、水浴锅、HZQ-F160 震荡培养箱(有恒温功能)、渤西原油、-35[#]柴油、2 kg 电子称、温度计、若干量筒和烧杯。



图 1 绳式收油机原理

1.1 不同长度吸油绳的收油效率

截取不同长度(10、15、20、25、30 cm)的吸油绳在相同的条件下进行试验。

1.1.1 轻质油(-35[#]柴油)试验

首先截取不同长度的吸油绳,用量程为 2 kg 的电子秤得到 40 cm×30 cm×20 cm 的长方塑料盆(1号盆)的质量,再将吸油绳置于盆内称重,由此得到吸油绳质量。之后用冰箱冻出约 30 cm×20 cm×1 cm

* 基金项目:中国海洋石油总公司技术发展项目(C/KJFETCY001-2009);加拿大政府加拿大研究专项奖(2009)

陈宇,2005 年毕业于天津大学生物化工专业,硕士,工程师,现在中海石油环保服务有限公司工作。通信地址:天津塘沽区渤海石油路 688 号,300452

的冰块,击碎成约 10 cm×5 cm×1 cm 的小冰块,备用。接着在 50 cm×40 cm×28 cm 的长方塑料盆(2 号盆)内加入 15 cm 深的海水。将震荡培养箱的温度设置为 2℃,把盛有 15 cm 深海水的 2 号盆放在里面,开启震荡模式。

恒温 3 h 后,测量海水温度为 2℃。向恒温箱内的 2 号盆中缓慢倒入 1000 mL 轻质油(−35# 柴油),在水面形成 0.5 cm 的油膜。取出预先冻好的冰块轻轻均匀放入 2 号盆内,约占总面积的一半。试验过程中持续时间只有 2 min,且水温不高,可忽略该过程中冰的融化。将预先量得质量的吸油绳放入 2 号盆内,开启恒温箱内的震荡台,震荡频率约为 50 Hz,持续时间为 2 min,中间手动轻轻翻滚吸油绳一次。之后将吸油绳取出,在没有明显水滴、油滴下落时放到 1 号盆中称重。随后将吸油绳吸附的油水混合物挤在 1 号盆中。之后,将 1 号盆内的油水混合物置于量筒内分液,依靠 −35# 柴油和海水的密度差,两者在量筒内上下分离,读出各自所占的体积,由此可以得到吸油绳内油和水的体积比,最后根据二者的密度比可以得到吸油绳内油、水的质量比,从而计算出吸油绳吸附油的质量。

$$M_{you} = \frac{M_{ys} \eta \rho_{you}}{\eta \rho_{you} + \rho_{hs}} \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{M_{hs}}{M_{ys}}; \beta = \frac{M_{you}}{M_s} \tag{2}$$

式中: ρ_{hs} 是海水密度,取 1.025 g/cm³; ρ_{you} 是 −35# 柴油密度,取 0.85 g/cm³; M_{you} 是吸油绳中油的质量; M_{ys} 是油水混合物的质量; η 是油水体积比; α 是含水率; M_{hs} 是吸油绳内海水的质量; β 是收油效率; M_s 是吸油绳质量。

1.1.2 渤西原油试验

渤西原油的试验方法与之前的 −35# 柴油试验方法基本相似。不同的是,渤西原油黏性和凝点均较高,试验时原油黏成一团,需用勺子将所需的约 1 L 原油放到 1 L 的烧杯里,再把烧杯放到水浴锅中,将水浴锅调到 40℃ 加热,经过约 40 min,原油融为液体,再向恒温过的海水中倒 1000 mL 原油,加 5 成冰。

除此之外,另一个主要区别是,由于渤西原油的高黏度和高凝点,原油倒入 2 号盆后会立即黏成团,因而原油和吸油绳的黏附也不同于 −35# 柴油,它会和吸油绳黏在一起,无法像 −35# 柴油一样把它挤下来,不能通过量筒分液来判断吸油绳回收的油水比

例。因此试验需先将沾有原油的吸油绳称重,然后放在室内晾干,除去吸附的水,再称重。

1.2 其他吸油绳试验

试验考虑了冰与油相对位置对试验的影响。另截取两段 10 cm 长的吸油绳,做以上类似试验,先加入 5 成冰,后加入 1000 mL 原油;然后反过来,先加油再加冰。先后在两种条件下以同样的速度拉着吸油绳在 2 号盆里来回走 2 min。之后取出称重,晾干,再称重。

试验还测试了极限状态下吸油绳的回收效果。仍采用 10 cm 长的吸油绳,重复之前的操作,先加入 1000 mL 原油,再加入 5 成冰,之后用钳子夹着吸油绳在 2 号盆里充分搅拌,取出称重,晾干再称重。

2 试验结果及分析

2.1 不同长度吸油绳的吸油结果

试验过程中如实记录试验数据,将其按照预先设计好的计算方法得到每种长度吸油绳回收 −35# 柴油和原油的质量、收油效率以及含水率。试验结果如表 1、表 2 所示。

表 1 吸油绳对 −35# 柴油的回收结果

绳长/ cm	分液时油 体积/mL	分液时水 体积/mL	吸油质量/ g	含水率/ %	收油效率/ %
10	76	22	124.8	26.3	108.0
15	125	38	164.8	27.2	142.2
20	80	48	124.2	42.6	101.1
30	122	44	185.0	30.7	100.5

表 2 吸油绳对渤西原油的回收结果

绳长/ cm	绳重/ g	油+水重/ g	水重/ g	油重/ g	含水率/ %	收油效率/ %
10	57.8	79.5	54.7	24.8	68.8	42.9
15	117.8	225.6	211.2	14.4	93.6	12.2
20	136.0	189.7	177.7	12.0	93.7	8.8
25	218.5	233.4	198.3	35.1	85.0	16.1
30	218.2	227.9	188.0	39.9	82.5	18.3

对试验中得到的吸油量、收油效率、含水率结果进行分析。图 2~图 4 分别描述了吸油绳长度对吸油量、收油效率以及含水率的影响。

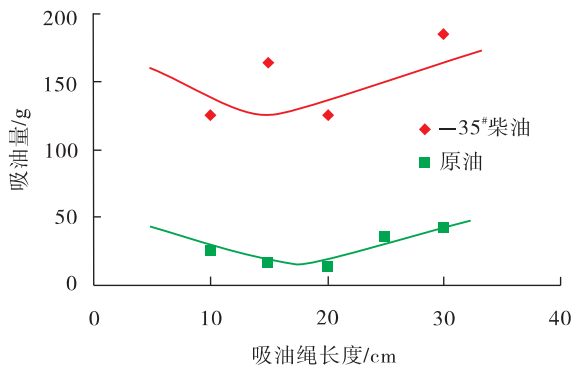


图2 吸油量随吸油绳长度的变化

由图2可知,吸油绳对-35#柴油的吸收明显好于对渤西原油的回收,渤西原油的回收量不到-35#柴油的1/3;对-35#柴油和原油的回收都以20 cm长度为拐点,超过20 cm吸油量均呈现稳步递增的趋势,小于20 cm时呈现递减。这是由于在吸油绳长度特别短时,平放在水面上不稳定,容易侧翻,可看作圆盘状,造成与油品接触面比较大,相应的吸油量也会比较大;长度增加后,吸油绳逐渐平稳,但此时的侧面积比底面积小,所以会出现吸油量下降,随着吸油绳长度逐渐增加,其侧面积逐渐比底面积大,故呈现稳步增加的趋势。

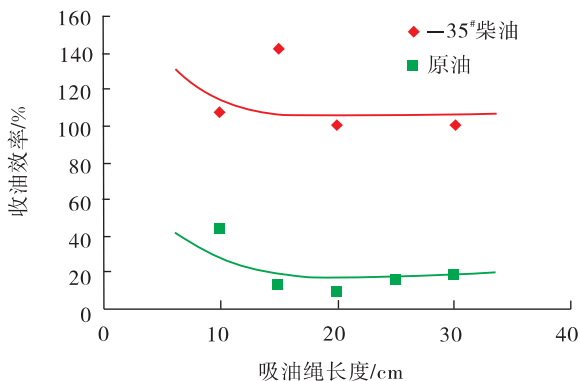


图3 收油效率随吸油绳长度的变化

由图3可知,吸油绳对-35#柴油的回收效率大于对原油的效率,回收原油时的效率只占对-35#柴油回收时的1/4到1/3。收油效率在长度小于20 cm时,明显高过长度大于20 cm时,这同样是因为吸油绳的端头容易发生侧翻,增大与水面的接触面积。而长度较长时,这种端头侧翻的效应在整体吸油过程中所占的比例很小,主要由侧面和水面接触,因此长度大于20 cm时,收油效率比较稳定。实践中接触海面的吸油绳很长,回收原油时收油效率约为20%,考虑到试验中使用的是新吸油绳,实践中吸油绳的重复使用可能导致收油效率的进一步下降。

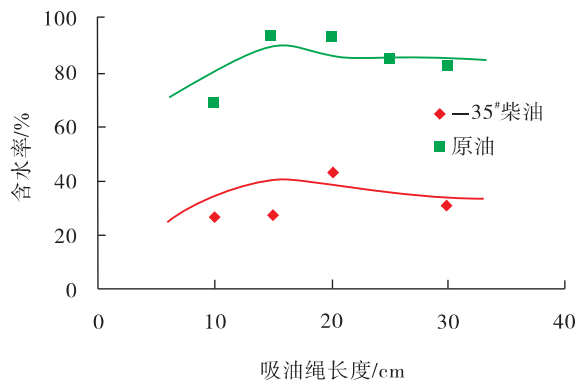


图4 含水率随吸油绳长度的变化

由图4可知,吸油绳回收原油时的含水率明显高于-35#柴油,约为60%~95%,回收-35#柴油时含水率约为20%~45%。含水率变化不大,总体较平稳。当长度继续增加,-35#柴油、原油的含水率分别稳定在约30%和85%。

以上分析均未考虑25 cm吸油绳对-35#柴油的回收,原因是当在做25 cm吸油绳回收-35#柴油的试验时,把吸油绳深按进水后,其吸油量很少,含水率高达65%,收油效率约50%,明显不如其他长度吸油绳的吸油效果,说明吸油绳的位置对吸油效果的影响很大。

2.2 其他试验

试验测试了油与海冰相对位置对回收的影响。试验中吸油绳以0.09 m/s的速度在液面上来回移动,记录试验数据,并计算出油和冰不同位置时吸油绳回收原油的质量、收油效率以及含水率,结果见表3。

表3 油与冰面相对位置的影响

状态	绳重/ g	油重/ g	水重/ g	含水率/ %	收油效率/ %
油在冰面上	79.0	44.2	72.3	62.1	56.0
油在冰面下	78.9	28.2	56.7	66.8	35.7

油在冰面上时收油效率达到56%,而当油在冰面下时仅有35.7%,相差约20%;同时前者含水率也相对较小,吸油绳与油品充分接触的试验结果见表4。

表4 极限收油试验结果

绳长/ cm	绳重/ g	油重/ g	水重/ g	含水率/ %	收油效率/ %
10	81.4	67.4	111.3	62.3	82.8

由表4结果可知,10 cm长的吸油绳在5成冰密

集度 0.5 cm 厚的油膜条件下,收油效率最高可达 82.8%,同时含水率为 62.3%。

3 结 论

◆ 同一 35# 柴油相比,吸油绳对高黏度高凝点原油的回收,不仅含水率高,且收油效率也显著下降,因此溢油黏度和凝点对吸油绳的回收影响很大,吸油绳不适合对高黏度、高凝点原油的回收。

◆ 吸油绳的长短会影响对原油的回收,在长度小于 20 cm 时表现突出,长度大于 20 cm 时,影响随长度增加而减小,收油效率、含水率分别稳定于约 20% 和 85%。吸油绳的反复使用会使收油效率进一步下降。

◆ 吸油绳所处的水面位置也有很大影响,吸油绳漂浮在表面时吸油效果最好,反之收油效率低且含水率很高。

◆ 吸油绳对原油在冰区的回收受原油与冰相对位置的影响也不容忽视,溢油位于冰块下面时会降低回收效果,收油效率下降约 20%。

参 考 文 献

- [1] 张银东,李文华,侯解民,等.面式大规模溢油回收技术研究[J].海洋环境科学,2007,26(3):286-289.

- [2] 李志军,王永学,邱大洪.开展渤海低水温和有冰海域溢油监测、预报、清理和管理技术的可行性分析[J].船舶工业技术经济信息,2001,9:45-48.
- [3] Ko J-Y, Day JW. A review of ecological impacts of oil and gas development on coastal ecosystems in the Mississippi Delta[J]. Ocean and Coastal Management, 2004,47:597-623.
- [4] 蒋发林,林建国.有冰海区溢油清理技术及对策研究[J].交通环保,2004,25(4):1-4.
- [5] 李志军.论渤海海冰特点及冰区溢油清理的难度[J].中国海洋平台,2000,15(5):20-23.
- [6] Faksness LG, Brandvik PJ, Daae RL, et al. Large-scale oil-in-ice experiment in the Barents Sea: monitoring of oil in water and MetOcean interactions [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011,62(5):976-984.
- [7] 陈宇,刘启斌,宋威,等.有冰条件下撇油器回收溢油速率试验研究[J].油气田环境保护,2011,21(1):27-29.
- [8] 陈宇,宋威,许军辉,等.渤海冰区溢油应侧重发展机械清理技术[J].中国水运,2010,12:46.
- [9] 李嘉冰,陈宇,常婷.加拿大和中国水运溢油研究成果对比分析[J].中国水运,2011,11(2):28-30.
- [10] 关福君.演习工具收油机[EB/OL]. <http://news.sohu.com/20080827/n259233132.shtml>, 2008-08-27.

(收稿日期 2011-07-01)

(编辑 袁立凡)

(上接第 39 页)

地球物理调查技术主要用途是圈定 DNAPL 的污染范围,探测 DNAPL 的污染深度以及在土壤及地下水中的分布状况,是定性调查的技术手段。除了上述几种主要的地球物理调查技术以外,应用范围较小的还有复电阻率法、电磁波井内测法和氢质子磁共振法等。

3 结束语

DNAPL 目前已成为环境污染的主要污染物之一。文章阐明了其污染动力来源、污染机理、提出三条场地是否存在 DNAPL 污染的判定依据、介绍了 DNAPL 的污染调查时相互补充的两大技术。随着科技的发展和对 DNAPL 认识的深入,其调查方法也会不断的更新发展,对获知土壤与地下水中污染的分布状况将有一定作用。

参 考 文 献

- [1] 方玮宁.MTBE 好氧分解之可行性研究[D].台湾:国立

中山大学,2002.

- [2] 习良孝,黄文彦,谢爵安,等.含氯系有机溶剂污染源区域整治问题探讨[J].台湾土壤及地下水环境保护协会简讯,2000,8:2-6.
- [3] Pankow. J. F. Cherry. Dense Chlorinated Solvents. Waterloo Press, Portland, OR, 1996.
- [4] 高霏,刘菲.三氯乙烯污染土壤和地下水污染源区的修复研究进展[J].地球科学进展,2008,8(23):821-824.
- [5] Standard Guide for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process[S], E1903, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA. 1997.
- [6] Davis E. How heat can enhance in-situ soil and aquifer remediation: important chemical properties and guidance on choosing the appropriate technique. EPA/540/S-97/502 Robert S [R]. Kerr Environmental Research Laboratory, 1997.

(收稿日期 2011-05-18)

(编辑 李娟)