

# 溢油污染处置技术现状分析

裴玉起 储胜利 杜民 杨芳

(中国石油集团安全环保技术研究院)

**摘 要** 大规模的海洋溢油常常导致非常严重的环境污染事件和生态灾难,溢油事故应急是世界应急技术领域面临的重大技术难题。文章通过引用典型事故案例和国内事故概况说明了溢油事故的巨大风险及其危害,分析油品入水、扩散、漂移以及着陆四个不同事故演化阶段的污染特征,系统梳理溢油事故应急的物理、化学和生物处置方法,并通过对比各类方法的适用范围和优缺点,总结当前溢油应急处置技术、应急能力以及环境适应性等方面存在的不足,提出加强溢油应急处置能力应该在提高应急装备能力、开发新技术产品、建立全球联动机制等方面加强努力。

**关键词** 溢油 应急 处置技术 现状 发展趋势

中图分类号: X507 文献标识码: A 文章编号: 1005-3158(2011)01-0049-04

## 0 引 言

2010年4月20日<sup>[1]</sup>,美国墨西哥湾“深水地平线”钻井平台发生爆炸起火,36 h后沉没,事故造成大量原油泄漏。据美国政府估计,从4月20日至6月10日油井可能已向墨西哥湾泄漏大约200万桶原油,远超过美国1989年3月埃克森公司“瓦尔迪斯”号油轮溢油事故(约26万桶原油泄漏),成为美国历史上最大的环境灾难事故<sup>[2-3]</sup>。

## 1 典型溢油事故

1989年3月,美国油轮“瓦尔迪兹号”在阿拉斯加威廉王子海峡触礁,溢油267000桶,共计1100万加仑。是美国历史上最严重漏油事件,灾难后事主埃克森公司被要求赔偿损失80亿美元。

1999年12月,油轮“埃里卡号”在法国海岸大风浪中断裂沉没,约溢油14000 t,毁坏了法国的海上旅游业,并使意大利船级社从此一蹶不振。

2002年11月,巴哈马籍油轮“威望号”在途经西班牙加利西亚省海域沉没,3000多吨燃油泄漏,给西班牙、葡萄牙沿岸生态环境带来沉重灾难<sup>[4]</sup>。

2007年12月,韩国“三星一号”油轮因为撞船事故,导致10800 t原油入海,造成严重生态灾难<sup>[5]</sup>。

据统计,1973~2006年,我国沿海共发生大小船舶溢油事故2635起,其中溢油50 t以上的重大船舶溢油事故共69起,总溢油量37077 t。迄今为止,我国还未发生过万吨以上的特大船舶溢油事故,但特大

溢油事故险情不断。1999~2006年,我国沿海发生了7起潜在重大溢油事故<sup>[6]</sup>。

## 2 溢油事故演化过程及其危害

溢油事故会导致严重的环境污染和生态灾害,这个过程表现为如“多米诺骨牌”效应一样的连锁反应。一般情况下,这个过程可分成以下四个阶段:

◆ 溢油入水阶段 这是溢油事故的起始阶段,此时大量溢油进入水体。不仅会造成油品资源的直接损失,还可能因为溢油事故伴随或引发的次生灾害,如火灾、爆炸等,导致人员伤亡、设备损失。

◆ 溢油扩散阶段 随着进入水体的油量增多,由于水油不相溶,除极少数重油、渣油等油品会沉入水底,对海底生物造成灾害外,绝大多数油品会漂浮在水体表面,形成大面积的污染区。表层及浮游生物会因为溢油侵占空间而死亡;一些水生动物会由于被油粘住无法动弹或者误食溢油而死;由于油膜隔绝空气,大量水体生物会缺氧死亡,生态灾难从此开始。

◆ 溢油漂移阶段 由于受洋流、水流和气流影响,溢油扩大表面的同时,沿水动力方向移动,污染更大的水域,生物伤害事件加剧,而油品挥发的有机蒸汽扩散到大气中污染环境,损害环境中的有机物,还可能引起燃烧等次生事故,产生有害烟雾污染大气。

◆ 溢油着陆阶段 溢油经过一段时间漂移,到达陆地、湿地等海岸地带,对浅海生物、滨海养殖业、海岸植物、海滨景观造成巨大破坏。且由于石油自然降解

时间很长,一旦发生污染,受灾生态需要经历数十年才能恢复。

### 3 溢油应急处置技术现状<sup>[6]</sup>

#### 3.1 物理方法

一般来说,处理水面溢油最理想的方法是物理清除,采用物理清除可以避免对环境的进一步污染。物理方法有围油栏法、吸附法、撇油器法和油拖把法等。

◆ 围油栏法 是通过使用围油栏把水面浮油圈起并聚集起来,再回收处置的一种方法。围油栏分为浮体、垂帘和重物三部分。浮体部分浮在水面,防止浮油越过;垂帘位于浮体下面,形成围栏,防止油从下面溢走;重物垂在垂帘下面,使其保持垂直稳定。围油栏的种类很多,较为常见的是乙烯树脂防水布制作的带状物,紧急时,也可用泡沫塑料、稻草捆、大木料等物替代。围油后一般用机械方法回收浮油。

◆ 吸附法 是利用吸油性能良好的亲油材料制作的吸附器具回收水面浮油的方法。亲油材料主要有高分子材料、无机材料和纤维。其中聚合物材料的抗水性能和亲油性能都很好,缺点是用后不能生物降解。很多天然吸收剂,如棉花、羊毛、植物、木丝棉和麦杆等也具有很好的吸附能力,缺点是会吸收水分。

◆ 撇油器法 是通过机械回收水面浮油的应急方法。主要有堰式、绳式、转刷式、真空式、带式等种类,一般与浮体或船只构成收油机系统,后续配备油水分离装置。其优点是节能,无污染,缺点是系统结构尺寸相对较大,回收速度较慢,而且对薄油层回收效率不理想。

◆ 油拖把法 是采用亲油材料制成油拖把,并用来收集浮油的方法。油拖把通常由聚丙烯纤维制成。吸油效率随直径增大而提高。

#### 3.2 化学方法

◆ 燃烧法 是通过在油面上洒引燃、助燃的化学物品来燃烧掉水面溢油的处置方法。优点是无需复杂装置,处理费用低,但是燃烧产物会污染海洋环境和大气。

◆ 分散剂法 分散剂法是通过播撒分散剂,促使溢油分离成悬浮在水中的小油珠,进而使油膜分散、消失的处置方法。分散剂使用方便,效果不受天气、海况所影响,在许多不能采用机械回收或有火灾危险的状况时,喷洒分散剂是消除水面浮油和防止火灾的主要措施。分散剂对薄油膜的分散效果较好,而对于低温下较重的油分散效果很差。

◆ 凝油剂法 是通过在油膜的四周施放凝油剂来压缩油膜,使油膜面积大大缩小,厚度增加,凝成粘稠物

或坚硬的果冻状物,然后予以回收的方法。其优点是毒性低,不受风浪影响,能有效防止油扩散。喷洒凝油剂后,溢油迅速凝固,可用油拖网回收溢油。油膜被压缩的程度取决于油的比重、风化程度和油膜的初始厚度。

#### 3.3 生物方法

◆ 酵母菌法 美国亚特兰大大学曾在 70 年代进行了用酵母清除油污染的研究,发现某些酵母菌株天然存在于被原油污染的水中,其数量随油污染范围的扩大而增加。酵母菌对阳光的杀菌效应和对海水的渗透压都具有较强的抵抗力,能钻到油滴中,并在其中繁殖。

◆ 微生物法 是通过采用微生物菌种处理水面油膜,乳化分解溢油的方法。微生物将碳氢化合物转变成较易溶解的酒精和有机酸,通过酶的催化作用,使其转变成二氧化碳和水。其缺点是速度慢,而且不能分解原油中的高沸点组分(石蜡除外)。一般而言,长链的脂肪类碳氢化合物比短链的化合物易于降解。

实践证明,多种方法联合使用处理溢油能取得良好效果。海上发生溢油后,应首先撒布凝油剂,防止溢油进一步扩散。然后用围油栏进行拦截,再用各种机械方法进行回收。无法回收的部分,则用化学方法和生物方法处理,如外海的溢油可用焚烧法,深海区的溢油可用凝油剂使之沉降,由海底生物降解。

#### 3.4 主要处理方法适用性对比

主要溢油处理方法对比情况如表 1 所示,各类技术均有其优缺点,在应对具体溢油事故时应根据具体情况选择合适的方法,一般都需要结合多种方法,才能提高应对效率和应对水平。

### 4 存在的问题

#### 4.1 现有应急技术和方法的不足

◆ 物理方法 目前的应急产品重量大,运移困难,布置工作繁琐,撇油器的收集效率不高,相关操作人员参与多,操作人员需要专门培训等,制约了应急处置效率。

◆ 化学方法 化学方法最大的不足在于其二次危害性,现有的化学处置方法几乎都存在二次污染的危险,其使用受到很大制约。另外,在应用方法方面,化学剂的布撒有效性和反应快速性存在不足,影响使用效果。

◆ 生物方法 生物降解的速度无法满足应急工作的需要。另外,对某些特殊的油品成分,还缺乏有效的生物降解产品。

#### 4.2 应对能力有限

从国内外历次油品水体污染的应急情况来看,目

表1 主要溢油处理方法对比表<sup>[7-11]</sup>

方法	油厚	适用范围	优点	缺点	
物理方法	围油栏法	不限	平静水面、底土表面、凹地或冲水沟内的溢油。	设备简单、投资小、操作方便,使用效果不受天气、海况影响	需机械回收手段配合,回收的油水混合物需进一步分离。可能增加火灾或爆炸的危险。
	吸附法	不限	撇油器使用困难或受限的区域;浅海和海岸边等海况相对较平静的场所。	更有利于油粒被水中溶解氧氧化或被微生物降解,在波涛汹涌的水面也能处理。	吸附材料用后不能生物降解。若吸附材料伴随油污沉至水底,会严重影响底栖生物。
	撇油器法	较厚	平静水面、底土表面、凹地或冲水沟内的溢油。	节约能源,无污染。	系统结构尺寸相对较大,回收速度不快,而且对薄油层回收效率不理想。
	油拖把法	不限	不限	回收利用,适用范围大。	应对能力有限。
化学方法	燃烧法	油块风化油油	远海岸地区或人烟稀少地区。	操作简单。有时有助于消除沿海区较长期的污染损害。	产生有毒物质,污染水体和大气。
	分散剂法	≤5 mm	恶劣天气	见效快,在恶劣的天气下,可以短时间内处理大面积的溢油。	浪费能源,可能产生二次污染,在低温中应用受限。
	凝油剂法	0.5~3 mm	较平静水面	控制溢油扩散。	效率较低,生产工艺复杂,成本偏高。
生物方法	酵母菌法	≤0.5 mm	污染不太严重的地方;或大部分溢油已通过	安全、无二次污染。对薄油层或化学药剂被限制使用时优越性显著。可作为未回收油或燃烧残余油的最终处置方法。	修复时间长;可能会使附近水体产生富营养化;菌种的引入有可能会产生负面影响。
	微生物法	≤0.5 mm	其他方法被清除。		

前的应急处置技术还不足以应付较大规模的溢油事件。如2007年12月的韩国“三星一号”溢油事件,虽然国家动员上千船只、数万人来应对,但仍然不能阻止发生严重生态灾难。

### 4.3 应急响应速度不足

制约响应速度的主要因素有:

- ◆ 发现不及时或误判断 有时,偏远地区的污染事件很难及时发现;有时,决策者对形势预料不足,如2010年美国墨西哥湾溢油事件。
- ◆ 应急响应过程慢 与应急基地较远地区的油品水体污染事故发生后,领导决策需要时间,应急装备机动需要时间,应急产品调动也需要时间,任何环节出问题,都会影响应急响应速度。
- ◆ 装备机动能力有限 现有的应急处置装备运移速度较慢,而且多数只能用于海洋条件应急,制约了远程或内陆水体污染应急的响应速度。
- ◆ 其他条件制约 如事发点非常遥远,水况、路况条件很差,气候条件非常恶劣等,都会制约应急响应

速度。

### 4.4 环境适应性不强

制约水体污染应急响应效率的主要环境因素有:

- ◆ 水面及水深状况 现有的应急技术适合在宽阔水面应用,对水深要求较高,不适应溪流、河流、小湖泊类的狭窄水面和浅水条件,特殊工况中会严重影响应急效果。
- ◆ 水流及浪涌状况 现有应急技术,在处置有一定流速的溪流、河流污染时存在很大局限。而在宽阔水面油品水体污染事故中,水体浪涌是制约救援的重要因素,在大浪条件下,物理方法救援会受到极大限制,甚至完全无法使用。
- ◆ 大风或恶劣天气 天气条件是影响救援成功与否的重要环节,目前的油品水体污染应急技术在对抗恶劣天气方面严重不足。

## 5 溢油应急处置技术的发展趋势

- ◆ 升级应急处置装备,提高应对能力和环境适应性

针对目前应急装备应对能力强、环境适应性差的问题,今后应大力研发应急能力强、环境适应性强的技术产品,为应对大规模溢油事故提供充分的技术支持。

◆ 加强应急处置新技术、新产品研究,提高应急效率 一方面要努力通过研究突破现有技术应急效率低的技术瓶颈,另一方面应努力开拓新的研究思路,如研究新材料、新的生物处置方法等,提高应急效率,增强应急能力。

◆ 加强快速机动应急装备的研制,提高应急响应速度 现有应急装备机动能力可应对近海岸或港口溢油事故,在应对远距离突发事件时反应较慢,需要深入研究更快的机动应急装备,从而提高应急响应速度。

◆ 加强区域合作机制研究,促进资源共享和区域协作 随着溢油规模的扩大,一个国家的应急处置能力严重不足,应加强高风险区域国际合作机制研究,构建应急资源共享和应急联动体系,以提高区域应对能力。

## 6 结束语

海洋溢油会导致严重的海洋污染和生态灾难,应急处置是人类应对此类灾难最后的防线。现有的溢油应急手段主要有物理、化学和生物三类方法,能够应对较小规模的溢油事故,但在应对较大规模海洋溢油时存在应急能力有限、响应速度不快、环境适应性不强的缺陷,而且处置方法本身也存在效率低、二次污染等问题,需要在提高现有技术处置能力、研发新技术、提高机动能力、形成区域合作机制等方面开展深入研究,以应对日益增大的海洋溢油事故风险,保护脆弱的人类家园。

(上接第 48 页)

## 5 结论

◆ 在挥发酚的测定实验中,一定要使用无酚水或等质量的实验用水进行试剂配制和样品测定,减少系统误差。

◆ 一定要按照操作规程进行蒸馏预处理。

◆ 4-氨基安替比林溶液建议用三氯甲烷提纯后使用,并严格控制比色时间及温度。

◆ 在实验室自行配制酚标液绘制曲线时,应用10.00 mL的大肚移液管将标好的贮备液直接稀释100倍得到中间液后,再进行实验和计算。

### 参考文献

[1] 原国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].北

### 参考文献

[1] 环球时报-环球网.墨西哥湾漏油周六或抵美国海岸 沿海数州设水栅 [EB/OL]. <http://news.sohu.com/20100427/n271785996.shtml>, 2010-04-27.

[2] 中国日报.近海采石油 奥巴马需要冷静一下 [EB/OL]. <http://news.sina.com.cn/w/2010-05-05/051217462571s.shtml>, 2010-05-05.

[3] 解放军报.奥巴马说墨西哥湾原油泄漏灾难“前所未有” [EB/OL]. <http://news.sohu.com/20100504/n271900604.shtml>, 2010-05-04.

[4] 赵亚冰,林斌.海上溢油事故的警示及防备措施[J].青岛远洋船员学院学报,2004,25(1):15-17.

[5] 雅虎网.韩国海岸发生万吨级溢油 [EB/OL]. <http://www.coes.org.cn/shownews.asp?id=95>.

[6] 中国海油石油报.我国海上溢油事故的现状和应对措施 [EB/OL]. <http://www.cnooc.com.cn/data/html/news/2007-06-12/243291.html>, 2007-06-12.

[7] 柳婷婷,田珊珊.海上溢油事故处理及未来发展趋势 [J].中国水运(理论版),2006,11:27-29.

[8] 濮文虹,周李鑫,杨帆,等.海上溢油防治技术研究进展 [J].海洋科学,2005,29(6):73-76.

[9] 夏文香,林海涛,李金成,等.分散剂在溢油污染控制中的应用 [J].环境污染治理技术与设备,2004,5(7):39-43.

[10] 刘广强,耿红,史光宝.水上溢油清除方法研究 [J].中国水运,2010,2:32-33.

[11] 郑建中,王静,王晓燕.不同类型海岸的溢油清理方法 [J].环境工程学报,2008,2(4):557-563.

(收稿日期 2010-07-19)

(编辑 袁立凡)

京:中国环境科学出版社,2002,10.

[2] 吴小伟.痕量环境水质指标分析条件的改进 [J].南京工业大学,2004,16(2):15-16.

[3] 侯林丽.浅谈挥发性酚测定的质量控制 [J].化工环保,2002,6(4):13-14.

[4] 吴任宇.浅谈挥发酚类测定中的几个关键问题 [J].石油化工环境保护,2005,22(3):59-60.

[5] 朱霞.水体中挥发酚类测定方法的比较 [J].青海环境,2008,8(2):84-87.

[6] 高明勇.4-氨基安替比林分光光度法测定水中挥发酚常见问题探讨 [J].滁州职业技术学院学报,2009,9(2):23-24.

(收稿日期 2010-06-30)

(编辑 李娟)