

# 油类污染应对措施中 撇浮装置的使用

技术资料论文

5





## 导言

应对海洋油类泄漏时有多种可选方案。很多政府机构采取的主要方法都是以机械方式从海面上回收油类。为此，通常使用栅栏将泄漏的油类集中起来，从而可以使用撇浮装置有选择性地回收油类并将其泵送到储放容器中。存在很多不同类型的撇浮装置，这些撇浮装置在设计上进行了优化，适合不同的作业规模、油类型和环境条件。

本篇论文介绍了在油类泄漏期间最有可能遇到的情况中成功使用撇浮装置的基本要求，应将本篇论文与本系列中的其他国际油轮船东污染组织（ITOPF）论文结合起来阅读，尤其是关于栅栏使用、海岸线清理方法和油类处置的论文。

## 概述

任何回收作业的最终目的都是在合理且经济的前提下尽可能多地回收油类。成功的回收系统必须解决遇到大量油类时该如何处理的问题以及随后这些油类的污染、集中、回收、泵送和储放问题；这两个问题是相互关联的。整个作业的回收和泵送环节常常都通过撇浮装置来完成。所有撇浮装置的设计宗旨都是优先回收油类而非水，但具体的设计会因预期用途（例如，在海上使用、在有遮挡的水中使用或在岸上使用）而有显著差异。供在水中使用的撇浮装置包括某种形式的漂浮或支撑装置，而更为复杂的设计则可能是自力推进的，可能包括多个回收元件、整体式储放罐以及油/水分离设施（图 1）。

在选择撇浮装置时应考虑很多因素，其中最重要的就是所泄漏油类的粘度和粘着性（包括随时间的推移这些属性因“风化作用”而发生的任何变化），以及海面状况和残骸量。在相对可预测的情况下，例如在航海站和精炼厂等固定设施中，所处理的油类型可能是已知的，因而可以选择特定的撇浮装置。相反，例如在国家储备油类发生泄漏的过程中，使用处理各种情况和油类时可能需要的通用型撇浮装置可能更为可取。不过，没有一款撇浮装置可以应对因发生油类泄漏而可能遇到的每一种情况，因此可能需要挑选出多款撇浮装置，尤其是在油类发生风化的情况下更是如此（表 1）。

然后，应将预期用途和预计的工作条件确定下来，例如撇浮装置是应该作为安装在船上的海上回收系统的一个基本组成部分还是应该以人工方式部署到港口中或海岸线上。这些确定下来后，便可以评估其他标准，例如大小、耐用性、易操作性、搬运和维护等。

封面图片由 Ro-Clean Desmi/Danish Navy 惠供。



▲ 图 1：一台自力推进型导流坝撇浮装置，供在港口和近岸水域中使用。船首门已打开，以增大扫过的油带宽度并使浮油能够进入。回收到的油类会泵送到一个内部储放罐中。

## 油类回收机构与撇浮装置的设计

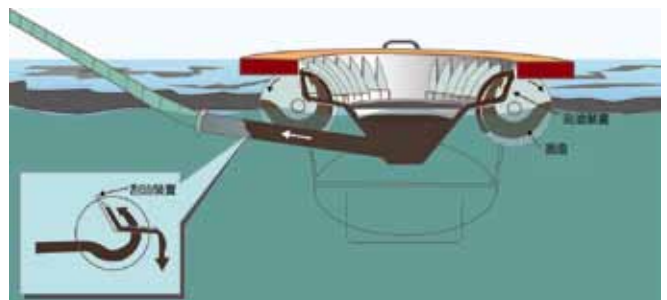
撇浮装置的回收元件可从海面上引导油类流动或撇刮油类，使其流入泵送系统的入口侧，以便传送到储放容器。用于从海面上清除油类的机构包括依靠油类附着于移动表面的力的亲油性系统、吸油系统、依靠重力作用的导流坝系统、以及使用机械勺、传送带或抓斗实际提起油类的系统。

### 亲油性撇浮装置

亲油性撇浮装置利用与油类有亲合力而与水没有亲合力的材料来发挥作用。油类会附着在这类材料的表面，这类材料常常呈圆盘状（图 2 和图 3）、筒状（图 4）、带状、刷子状（图 5）或绳式拖把状（图 6 和图 7），在转动时会将油类从水面上提起来。将这些油类与水分离后，便会将它们从亲油性材料上刮掉或挤出，从而使其掉入一个油槽中，在该油槽中它们将会被泵送到储放容器中。亲油

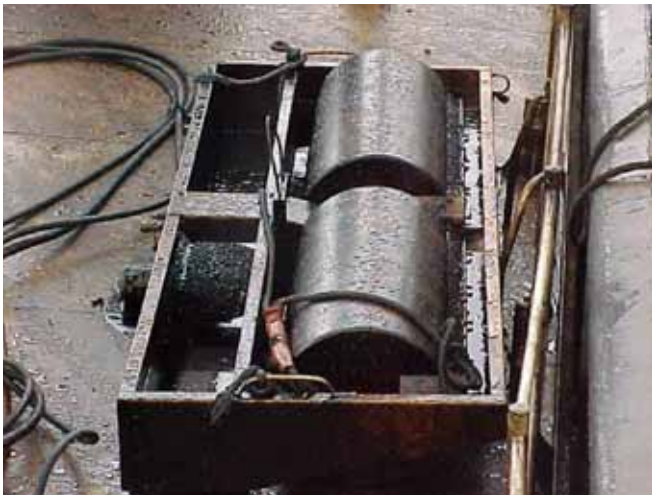
	撇浮装置	回收速度	油类	海面状况	残骸	辅助设备
亲油性	盘式	取决于圆盘的数量和大小。测试结果表明，槽面圆盘可能会非常有效。	处理中等粘度的油类时最为有效。	在波浪和水流平缓的条件下，可能极具选择性，附连水量极少。不过，在波涛汹涌的水域可能会被淹没。	可能会被残骸堵塞。	需要另配动力单元、液压和排放软管、泵以及合适的储放容器。
	绳式拖把	取决于绳索的数量和速度。一般而言吞吐量较低。	处理中等粘度的油类时最为有效，但在处理重质油类时可能也有效。	附连水极少或根本没有。可以在波涛汹涌的水域工作。	能够抵抗大量残骸、冰块及其他障碍物的干扰。	小型设备具有内置的电源和存储容器。较大型设备需要另配辅助设备。
	筒式	取决于筒的数量和大小。测试结果表明，槽面筒更为有效。	处理中等粘度的油类时最为有效。	在波浪和水流平缓的条件下，可能极具选择性，附连水量极少。不过，在波涛汹涌的水域可能会被淹没。	可能会被残骸堵塞。	需要另配动力单元、液压和排放软管、泵以及合适的储放容器。
	刷式	吞吐量取决于刷子的数量和速度。一般处于中等水平。	对轻质、中质和重质油类采用不同的刷子大小。	收集到的游离水或附连水非常少。采用有些设计方案的设备可以在波涛汹涌的水域使用，采用其他设计方案的设备则会被波浪淹没。	在残骸较小的水域中有效，但可能会被大残骸堵塞。	需要另配动力单元、液压和排放软管、泵以及合适的储放容器。
	带式	处在中低水平。	处理中质到重质油类时最为有效。	极具选择性，附连水极少。可以在波涛汹涌的水域工作。	在残骸较小的水域中有效，但可能会被大残骸堵塞。	可以将油类直接输送到带子顶端的存储容器。需要用辅助设备将油类从船上卸到岸上。
非亲油性	真空 / 吸油式	取决于真空泵。一般处在中低水平。	处理轻质到中质油类时最为有效。	在风平浪静的水域中使用。小波浪会导致回收大量的水。增配导流坝后会更具选择性。	可能会被残骸堵塞。	吸油卡车和拖车通常自带必要的电源、泵和存储容器。
	导流坝	取决于泵容量、油类型等。可能很高。	在处理轻质到重质油类方面都很有效。非常重的油类可能无法流往导流坝。	在风平浪静的水域极具选择性，附连水极少。很容易被淹没，这时附连水也随之增加。	可能会被残骸堵塞，但有些泵可以应对小残骸。	另配动力单元、液压和排放软管、泵以及储放容器。有些撇浮装置具有内置泵。
	带式	中低水平。	在处理重质油类时最为有效。	极具选择性，附连水极少。可以在波涛汹涌的水域工作。	在残骸较小的水域中有效。会被大残骸堵塞。	同亲油性带式撇浮装置。
	筒式	中等水平。	处理重质油类时有效。	在风平浪静的水域极具选择性，附连水极少。不过，可能会被波浪淹没。	同导流坝撇浮装置。	同导流坝撇浮装置。

▲ 表 1: 常见撇浮装置类型的一般特征。选用何种撇浮装置开展作业时有效将取决于所泄漏的油类。随着油类的风化，特定类型装置的效果可能会发生变化，从而需改用采用其他设计的装置来继续回收。表中的回收速度数据基于以下假定：撇浮装置在尚未大面积扩散或分散的同质油类漂浮层中使用。



◀ 图 2 和图 3: 小型的亲油性盘式撇浮装置，适合回收中等粘度的油类。油类附着在转动的圆盘上，并将从圆盘上被刮到油槽中以便泵送到存储容器。需要配备合适的泵和液压电源。





▲ 图 4：亲油性筒式撇浮装置，适合回收中等粘度的油类。工作方式与盘式撇浮装置类似：油类附着在转动的筒上，并将从筒上被刮到油槽中以便泵送到存储容器。



▲ 图 5：自由漂浮的刷式撇浮装置。油类附着在转动的成组刷子上，并从水面上被提起。用一个梳子将油类从刷子上清除到存储容器中。刷子背后的推进装置将浮油推向撇浮装置以提高遇油率和吞吐量（图片由 Lamor 惠供）。



▲ ▶ 图 6 和图 7：横向和纵向的亲油性绳式撇浮装置。交织在一起的吸油环形成一条漂浮在水面上的连续拖把，油类将附着在这条拖把上。滚子将这条拖把拉回时，拖把上的油类便会被挤到一个储放罐中。绳式拖把撇浮装置对于从残骸、冰块及其他障碍物之间回收油类很有用。



## 吸油性撇浮装置

从操作理论的角度来看，最简单的设计是吸油装置，这种装置通过泵或气吸式系统直接从水面上回收油类。特别是，集回收、储放、运输和油/水分离等环节于一身的吸油卡车或拖车常常很容易从泄漏现场当地以商业方式或从市政或农业机构获得，因此是回收海岸线上或其附近的油类的理想之选（图 8）。市面上也有一些较小、更加便携的设备（图 9）。将吸油软管直接放入漂浮

性撇浮装置回收的油类与游离水或附连水之比通常是最高的，这一比率也称作回收效率。这类装置对粘度介于 100 与 2,000 厘沱之间的中等粘度油类最为有效。低粘度油品（如柴油或煤油）一般不会对亲油性表面上积聚成足够厚的油层，因而无法实现高回收率。粘度较高的油类（如重质燃料油）则过于粘稠，结果可能难以清除。相比之下，水混油乳状液可能几乎不具有附着力，因而通过采用某些设计的亲油性撇浮装置可以难以回收，例如盘式撇浮装置将会刺穿乳状液，而不是使其得到回收。亲油性材料通常是由某种形式的聚合物制成，但已经证明了金属表面也很有效果。已经证明，采用槽面的盘式和筒式装置与采用光滑面的装置相比，前者所产生的回收率更高\*。

\* 来源：“优化亲油性撇浮装置的回收表面：在 Ohmsett 场地进行的现场测试”第 36 页；作者为位于美国加利福尼亚州圣巴巴拉市的加利福尼亚大学 Bren 环境科学与管理学院的 V. Broje、A. Keller；发表于 2006 年 6 月。





▲ 图 8: 由于真空系统随处可得, 因此这些设备是回收海岸线上或海岸线附近油类的理想之选。



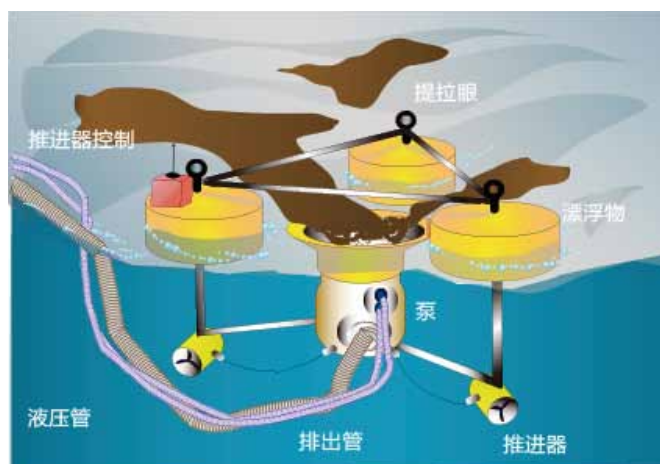
▲ 图 9: 便携式真空系统可为回收沙滩和多岩石海岸线上的油类提供便利。这种小巧的系统尽管储放空间有限, 但能够在原本难以进入的区域作业。



▲ 图 10: 工人们正在将软管连接到直接插入油类中的真空泵。在这种情况下, 拆除了所连接的小型导流坝, 以使粘稠的液态油类能够流入软管中, 但可能会因此而导致附连水增加。



▲ 图 11: 与真空泵相连的固定导流坝撇浮装置。通过该装置头部边缘处的几个小型入口, 可以有选择性地回收油类。适合在残骸极少的平静水域使用 (图片由 Lamor 惠供)。



▲ 图 12 和图 13: 导流坝撇浮装置有选择性地将在重力作用下位于漂浮层上表面下面一点的中心导流坝顶部上方的油类回收到一个中心储放槽中, 将从该储放槽中将油类泵送到储放容器中。





▲ 图 14: 用塑料瓶和金属边角料制成的简易导流坝撇浮装置, 此装置与真空泵相连。使用此装置可以进行基本回收, 并且可以通过去除和增添瓶子来对它进行调整。



▲ 图 15: 大型回收船上的一个带式撇浮装置。这条用筛网制成的带子允许水穿过筛网排放出去, 并可促使油类粘着。油类将被提到船上并被刮到储放容器中。



▲ 图 16: 增添了一个带子适配器以提升基本导流坝撇浮装置在高度乳化的燃油中的处理能力。这种油由于具有高粘度, 因而无法流向导流坝, 也无法从导流坝的边缘上方流过。而带齿的带子适配器则可以“抓住”油类, 从而提升了效率, 油类的内聚能则会导致其余油类“流”向撇浮装置(图片由 Ro-Clean Desmi/Danish Navy 惠供)。

或搁浅的油类中并通过吸油软管所配备的筛网防止残骸进入, 是最简单的回收方法(图 10)。不过, 这种操作常常具有不加区别一并回收的特点, 因而可能导致很高比例的水也被回收。在法规允许且有必要设备可供使用的情况下, 应将这些多余的水倒出以便最大限度地增加可供使用的储放空间。

## 导流坝撇浮装置

有时, 可以通过将一个设备导流坝与吸油软管相连来更好地拣选油类(图 11)。导流坝撇浮装置利用重力的作用来有选择性地从水面上将油类排出。通过将导流坝的边缘放在浮油与水面的交界处或交界处下面一点, 可以使油类从导流坝上

方流过, 因而可以有选择性地回收夹杂的水量最少的油类。高级型导流坝撇浮装置具有可调式导流坝, 通常通过一个自我调平装置来准确定位导流坝(图 12 和图 13)。另外, 导流坝撇浮装置也可以是非常简单的简陋型装置(图 14), 但附连水量可能更大。任何导流坝撇浮装置在陡波中都不会有效果, 但如果仅仅是发生涨潮, 则一般不会影响撇浮装置工作。为了克服沿输送软管发生的摩擦损耗, 有些导流坝撇浮装置装有板载泵, 以便沿软管推送回收的油类, 而不是依赖吸力。

## 其他导流坝类型

为了更好地应对波浪及更加汹涌的海面, 其他一些导流坝设计已得到采用。例如, 可以将向上转动带部分地降到油/水交界处下面, 以减轻海面波浪产生的影响。这样, 当转动带升到海面上方时油类便会从其上刮下来, 落入储放罐或其他容器。如前面所述, 转动带可以用亲油性材料制成, 它依靠油类附着在转动的刷子(图 5)、链环或筛网(图 15)各个元件上的力来发挥作用。其他一些导流坝则使用转动带上的庖斗或叶片来帮助从水面上将油类提起。有些转动带的设计可能集上述特点于一身。相反, 向下转动带则将油类向下推入水中, 然后在油类重新浮上水面后在转动带背后的静止回收区域捕获油类。

回收开始后, 转动的圆盘、带子和筒所产生的局部水流可能足以使中低粘度的油类自然流向撇浮装置。利用带齿圆盘或带子来“抓住”油类的设计方案可以增强较粘稠油类的流动, 从而将油类拉入撇浮装置中。有些导流坝撇浮装置的设计引入了可互换的适配器, 以便随着油类的风化及其粘度的增加, 这些撇浮装置可以继续使用(图





▲ 图 17：在港口区域中部署的机械筒式撇浮装置。转动筒上的齿会将油类拉向该装置，以便将其回收并泵送到储放容器中。该筒用筛网制成，以最大限度地减少回收到的水。

16)。有一种设计方案旨在回收非常重的油类，它包含一个转动筒或柱面筛网，从而使油类能够保留在该筛网内，而水则能够穿过筛网排放出去（图 17）。不过，部分粘度极高的油类或乳状液可能最终无法流向这种设备，只有通过某种形式的推力作用使撇浮装置向油类移动或者将油类推向撇浮装置，才能继续回收。

部分撇浮装置系统是为在快速流动的水中或者较高拖拽船速条件下使用而设计的。在使用这类系统时，通常采用的方法是增加收集孔后方的面积，使水和油在进入撇浮装置后减慢流速，油能够浮上表面，从而方便收集。为了实现有效的收集，这类系统必须能够应对大量快速流动的水，并克服与所形成的湍流带来的影响。

## 油类回收方面的限制

与很多油类泄漏应对方法相同的是，以机械方式回收油类能否成功也受制于多种因素，如不利的天气条件、油的粘度，以及水流和波浪的影响。漂浮层的扩散和破裂会情况会限制在给定期限内可回收的油量（称为“遇油率”）。同样，如果储放容量有限，则系统选择性回收油类的能力可能很成问题。另一限制因素可能是泵容量，此容量会影响油类可向储放位置移动的距离。回收系统的潜在性能可通过吞吐效率、回收效率和油类回收速度等测试性能指标加以衡量，但所有这些指标从根本上都会受遇油率的制约。

### 遇油率

遇油率包括两个要素：一是撇浮系统所“扫过”的水面面积，该面积本身也取决于油带宽度（表示在多宽的水面上回收油类）和回收系统前进

速度这两个因素；二是漂浮层扩散和破裂的程度。在海上，对于大面积的新泄漏油类漂浮层，如果油类足够厚实、粘稠且均匀，则在合适的条件下无需围堵即可回收（图 18）。在这种情况下，撇浮装置的油类回收能力的限制因素可能只有其回收容量，以及合适且充足的储放空间。因此，迅速调动资源对于确保撇浮装置可以最有效地回收新泄漏的油类而言是一个重要因素。

通常无法达到撇浮装置制造商所发布回收速度的主要原因是，油类在泄漏之后本身就on容易扩散、破裂和风化（图 19 和图 20）。从众多泄漏事件中总结出的经验一致表明，油类通常无法保持充分的集中，因而无法达到测试条件下所实现的回收速度。因此，测试结果可能起到误导作用，因此仅可用作比较。

油类一旦扩散，回收系统的效果就更多地取决于遇油率。回收船的速度及其有效油带宽度以及油类的厚度和分散程度全都对遇油率起着决定作用。后面两个因素取决于扩散速度、泄漏后经过的时间、天气条件、油的类型以及乳化程度，这些方面都极难控制。不过，受某些限制条件的影响，油带宽度和作业速度可能有所变化。例如，遇油率通常可以在栅栏的帮助下得到提高，因为这种方式可以增加油带宽度，使浮油得以集中和保留，从而有利于后续的回收。因此，栅栏的部署策略在很大程度上决定着很多撇浮装置的操作做法。特别是，如果回收系统相对于水体流动保持静止状态，则大多数撇浮装置的性能都会受到影响，因为如果水流速度高于  $0.35\text{--}0.5\text{ ms}^{-1}$ （ $0.7\text{--}1$  海里/小时），栅栏通常无法对浮油起到限制作用。某些类型的自力推进型撇浮装置部分克服了这一限制，这些装置通常在双体船之间安装了一个旋转的带子或吸油拖把阵列，因此在船航行过程中，其相对于浮油的速度得到了有效降低或者降为零。这种方法还具有最大限度减少油类中的湍流的额外益处，因而可降低乳化的可能性。

由于油类在海面上往往会形成排状，即集中起来形成与风向平行的狭窄条带，因此这在一定程度上决定了无需采用较大的油带宽度。任何形成排状的油类都可以使用有着相对较窄油带宽度的回收设备进行回收，最好是有观察飞机提供指导。排状油类的浓度和厚度都会增大，且排与排之间的水相对不含油，这意味着这种设备可实现有着更大油带宽度的设备所能达到的遇油率。

在封闭的区域内，如港口、码头、内陆航道或接近海岸的位置，遇油率可能更会因存在障碍物（如船体、桩子及其他港口基础设施、岩石或者残骸）以及油类进入浅水域或在岸上搁浅而受到影响。因为海堤及其他海岸线特征等自然障碍物而被困



▲ 图 18：一艘回收船位于大面积、均匀且厚实的油类漂浮层中，这种情况可以使资源得到极为有效的利用。



▲ 图 19：随着油类扩散并开始破裂，遇油率会降低，从而需要付出更大的努力才能回收。



▲ 图 20：油类在海上漂流数周后，已经破裂并风化成直径为一米或更小的小油斑（图中圈出的位置），以及大面积分散的油块，从而导致总体效率大幅下降。应对工作进展到这个程度时，应遣散回收船，因为继续开展作业可能会被认为是徒劳。

住且厚度足够的油类，可能容易回收，但是如果油类可以四处移动，则撇浮装置跟随油类的能力可能受到限制。

随着海面上剩余油量的减少，不管是蒸发、扩散或者其他风化过程所导致，还是因为大部分的油类已经被回收，遇油率都会同样降低，因而决定遣散资源的时候便会到来。

## 性能指标

通过在实验水塘的封闭区域内测试撇浮装置系统，可确定多项性能指标。系统总体性能的重要决定因素是回收效率，它衡量优先回收油类而非水的选择能力。这一指标用回收的油量与回收的油和水的总量之比表示。

吞吐效率表示的是收集的油量与遇到的油量之比，因此强调了因围堵障碍物和回收设备本身而导致的损失。吞吐效率往往会随着作业速度的提高和海面状态的恶化而降低，海面状态恶化最为明显的就是浪高增加，更重要的是，波浪长度会增加、海面波涛汹涌。换句话说，在更高速度条件下，需要对吞吐效率降低与遇油率提高这两方面进行权衡。

波浪会导致油类从栅栏逃逸，可能是因为飞溅了出去，或者是栅栏随波浪运动而起伏的特性欠佳，从而出现横在波峰之间的现象。同样，撇浮装置，特别是导流坝撇浮装置，无法保持在最佳的油/水交界处，这也常常会导致收集到大量的水。此外，撇浮装置相对于任何波浪的运动而导致的湍流，可能使油类从撇浮装置下方逃逸。回收设备最好小而轻，从而可以准确地随着波浪运动而起伏。牢固地连接到船体或者置入到船体中的设备无法独立运动，在海面状况较不平静时效果会打折扣，因为它们无法与水面协调运动。在另一方面，如果波浪长度足够长，则即使是极为汹涌的海浪，也不太可能成为不利条件。

另外一个值得关注的参数是油类回收速度；即每单位时间撇浮装置回收的油量，例如以  $\text{m}^3/\text{h}$  表示的回收速度。油类回收速度是遇油率与吞吐效率的乘积，前提是系统的所有部件（特别是泵和储放容器）都具有应对这一流动速度的容量。根据典型油类粘度和压头损失调整的最高泵容量通常被视为衡量撇浮装置容量的唯一指标，也称为“标示速度”。虽然毫无疑问这一要素很重要，但也应考虑系统未能回收的油量、随油类回收到的水量等其他要素。判断系统的整体性能时，应综合考虑泵容量、油类回收速度和回收效率，这些因素共同决定了回收油类时可以达到的速度以及相关游离水的量。



## 油类粘度

油类的粘度是大多数回收设备效率的主要限制因素。具有高倾点的油类,包括部分重质原油和燃油,一般不容易流动。如果环境温度低于倾点,油类会变成半固态,因而会难于回收,原因在于它不容易流向撇浮装置。

很多油类往往会形成水混油乳状液,从而导致污染物总量增加三到四倍甚至更多,这种倾向也会对粘度产生影响。随着乳状液的形成,粘度也会急剧上升,粘度达到 100,000 厘沱 (cSt) 甚至更高的现象很常见。在某些条件下,可通过注入并充分混合抗乳化剂或者化学解乳化剂来缓解这一问题,从而便于泵送,同时最大限度地减少所需的储放量。

油类风化导致粘度随时间的推移而升高,从而会造成一些问题,这种情况就需要不断地对应对策略进行重新评估,包括使用最合适的撇浮装置和泵送装置。例如,对于刚泄漏且未发生严重风化的油类,亲油性撇浮装置可能能够高效地回收它们。不过,由于粘度会提高并且可能会有残骸加入,回收效果将会下降,因而需要更换这些装置,可能改用具有螺杆泵(配备了残骸切割装置)的导流坝撇浮装置(参见封面)更为合适。但是,任何撇浮装置最终都可能变得低效,这时就需要使用抓斗(机械蛤壳形挖斗)或挖掘机(图 21)。有些渔船或其他船只装有用于处理鱼网和捕获物的吊车,通常可以很容易改装为使用抓斗。不过,尽管抓斗和挖掘机很容易获得,但是这些机械的速度很慢,而且只有谨慎操作才能避免收集与油类混杂的大量水。其中一种回收这些高粘度、半固态油类的最简单、最有效方法是,使用通过小型渔船部署的手用勺(图 22)。这种勺上的小孔让水可以漏出,而油类则转移到船上的桶或容量为一吨的袋子中。

## 泵、软管和电源

泵送阶段常常决定着撇浮装置的总体性能,因为随着油类粘度的增大,所有泵的效率都会下降(虽然是以不同速度下降)。一般而言,正排量泵更适合处理回收到的油类。离心泵不但在可以处理的油类粘度方面十分有限,而且还往往会促进水混油乳状液的形成。有些专用泵(包括旨在泵送混凝土或泥浆的泵)以及根据阿基米德螺旋原理制造的泵具有很高的抗粘性,但其排放软管的内部阻力随后可能会成为一个限制因素。

一般而言,随油类回收的水量应保持在最小水平,以便优化储放空间和降低后续的处理成本。不过,对于高粘度油类,回收到游离水或附连水可能会带来一项初期益处:可以减少在泵送时因油类阻



▲ 图 21: 使用挖掘机回收高粘度燃油。通过指示操作员将挖斗在水面上方稍微悬停一段时间,使附连水流掉,最大限度地提高了所回收到的油类的浓度。这样做以牺牲回收效率为代价降低了后续的处置成本。



▲ 图 22: 一位渔夫正在使用漏勺回收小团高粘度燃油。



▲ 图 23: 因泵送高粘度油类而产生的内部压力过大,导致软管破裂(图片由 NOFO 惠供)。



力而遇到的背压以及泵送指定距离所需的能量。这将减轻部件受到的磨损（图 23）。因设计原因而会回收大量水的撇浮装置在此类情况下可能是有利的，但前提是有足够的储放空间或者随后可以将水倒出。用来减轻泵和软管堵塞的蒸汽加热可能也有助于促进流动。已经证明，通过使用环形注水环可以显著减小泵入口的压力，这种注水环所注入的水将起到油类与软管壁间润滑媒介的作用（表 2）。在条件允许时，使用较短且 / 或直径较大的软管可能也有助于提升泵送效率。

传送软管和液压软管应装有漂浮设备，以防对撇浮装置起到拖拽作用，从而可能导致撇浮装置浮在不正确的高度。浮物还可确保更容易看到软管，以便最大限度地减少积垢以及与船只的螺旋桨缠绕在一起的风险。所有软管（包括液压软管）沾油后处理起来都很麻烦，因此应装有简单但有效的接头。挑选一些适配器可能会很有用，可以使用它们将不同直径的软管搭配使用以及连接不同的连接装置。

很多撇浮装置的设计都包含一个为泵供电的专用动力单元，必要时，该动力单元还可为系统的回收部件供电。例如，柴油动力单元可以直接使用，也可用于驱动电动、液压或气动系统。在精炼厂、油罐场及其他受限区域可能有发生火灾和爆炸的风险，因此为了遵守这些地方实行的安全规定，不能置入汽油发动机，但可以置入所有其他发动机。在泵送高粘度油类时，动力单元可能需要满负荷运转，因此，务必要选择能够支持全部泵容量的电源。

### 存放空间

所回收油类和含油水的存放空间常常是整个作业的重要限制因素。对于很多船只而言，船上的存放空间都很有限，尤其是很多随机调来的船只（图 24）更是如此；在遇到大量的油类时，所有系统的船上存放空间可能很快就会被占满。可以使用

设备	排放压力 (psi)	流速 (m <sup>3</sup> /hr)
仅泵送	181	4.5 - 5.9
泵的同时注水	7 - 9	46.7 - 58.2

▲ 表 2：通过在泵入口和出口处采取注水措施实现的泵送能力提升效果。从表中可以看出排放压力减小了 95%，流速增加了 10 倍。表中数据是通过使用各种螺杆泵沿一条 92 米软管泵送粘度为 210,000 cSt 的油类得到的。（来源：“漂浮的重质油类回收 - 现状分析”；作者为美国海岸警卫队研发中心的 David Cooper、SAIC 加拿大分公司；发布于 2006 年 7 月 27 日。）

油 / 水分离装置来浓缩回收到的油类，从而最大限度地利用有限的空间。仅仅依靠沉淀箱中的重力分离通常是不够的。不过，是否能排放分离出来的水可能会受当地法规限制。内部储放容量较大（图 25）或者配备了合适油 / 水分离设施的船只能够在海上开展较长时间的油类回收工作；但这种船势必也更大，因而在遇到的很多情况下可能都没有足够的机动性，尤其是在靠近海岸的位置更是如此。

可以提供专用的储油驳船或油轮来接收在海上回收的油类，以此加强回收作业的后勤保障。另外，也可以使用专用的漂浮式临时储放设施，如充气式驳船（图 26）。不过，应考虑这种船装货后在波涛汹涌的海洋条件下发生倾覆的可能性。应谨慎使用弹性拖曳容器、囊袋或其他封闭式储放容器，因为它们事后倾倒和清洗起来可能很困难。最后，回收到的油类将需要排放到海岸上，因而应确定靠近配有合适卸载设备的可用防波堤的合适储放罐或其他储放装置。在船只未配备加热式储放罐的情况下，使用便携式加热旋管可能有助于油类之后通过管路和软管流到海岸上，从而最大限度地减少船只回到海上继续开展回收作业的周转时间（图 27）。

同样，海岸上或海岸附近用来储放所回收油类的当地设施可能也是一个限制因素，直接将油类输送到油罐车上以便接下来运走的做法常常更为可取。正如已经提到的那样，使用工业或农业用的油罐车可以将油类回收作业中的诸多环节一并完成。另外，位于高水位线上方的便携式储放罐、槽车或加了内衬的坑则可以起到转运的作用（图 28）。对于加了内衬的坑，事先可能需要获得当地的许可才能挖掘。在现场计划中应注明是否能够倒掉分离出来的水。



▲ 图 24：一艘作业船，其甲板上用来储放回收的油类的空间十分有限。





▲ 图 25: 回收船上一个储放罐中回收的高粘度油类 (图片由 NOFO 惠供)。



◀ 图 26: 将油类回收到充气式储油驳船的筒式撇浮装置。



▲ 图 27: 用于帮助将粘稠油类从回收船排放到岸上的便携式加热旋管。



▲ 图 28: 使用撇浮装置和泵从海岸线上回收到摆放在悬崖顶部的临时储放罐中的已乳化燃油。

## 撇浮装置的部署

### 海上的回收

在制定应对计划时,应考虑为支持在海上开展的回收作业而需要满足的全套后勤要求。需要安排观察飞机找到油类最厚的区域并指导回收船只,以便取得最佳效果。应尽快提供用来部署栅栏和撇浮装置的合适船只,以免油类发生扩散、漂浮层变得过碎,从而使回收变得不可行。从空中进行的协调工作要求飞机配备可用来直接与回收船只联系的空海通信系统,以便能够快速应对不断变化的情况。在海上需要有充足的存放容量来满足预期回收速度的要求;此外,正如上文所讨论的那样,还需要在海岸上进行相应的安排以便接收回收的油类。由于难以确保所有这些要素都足够快地就位,因此在海上很少能够回收到超过百分之十的已泄漏油类,实际回

收到的油类通常远低于这一比例,尽管在很多事件中投入了大量的应对船只。

为了在海上将浮油集中起来,可以按 U、V 或 J 字形拖拽栅栏,通常都是使用两艘船进行拖拽。回收设备可以从一艘船上进行部署(图 29),也可以作为栅栏列阵的一部分进行拖拽(图 30)。撇浮装置应始终位于油类最厚的区域,但应避免撇浮装置与栅栏之间发生接触,以免栅栏受到磨蚀及其他机械破坏。大型撇浮装置受到的波浪反射作用可能会影响油类向回收元件的流动。操作人员需要能够娴熟地操作设备,此外还能随着情况变化不断进行调整。可以通过泄漏处理经验和经常性的练习掌握以所需的低速拖拽栅栏时需要具备的专业技能。实际上,让涉及多艘船的回收系统保持所需的字形可能就很成问题,这主要是因为所涉船只之间难以协调。替代方式是采





▲ 图 29：以 U 字形拖拽的栅栏，带有一个从主回收船部署的撇浮装置。



▲ 图 30：一艘与栅栏一起部署的带式撇浮船，由拖拽船以 V 字形拖拽。



◀ 图 31：一个单船回收系统，包括连到舷外支架的充气式栅栏，以及一个安装在一艘海岸警卫队船只上的大容量自由漂浮型导流坝撇浮装置。由于其干舷很高，因此在较为平静的水域可以从其下风舷侧进行部署（图片由 USCG 惠供）。



▲ 图 32：一个内置式单船回收系统。存放在舱室中船一侧的栅栏用船上的吊车通过一个开口进行部署。此开口还使得附连水能够通过船载撇浮装置进行回收，本图中的船载撇浮装置由一个传送带装置中的六组刷子构成（图片由 Lamor 惠供）。

用灵活或僵硬的扫式布局让油类的集中、回收和储放工作都由仅涉及一艘船的系统完成。

灵活的系统采用舷外支架相连的栅栏（图 31）。不过，如果扫过的油带过宽，所设置的栅栏在波涛汹涌或大规模涨潮的条件下可能容易受到破坏，并且机动性也可能受限，从而严重影响船只的处理工作。在这种系统中，撇浮装置位于栅栏的顶点位置，这个位置的油类高度集中，并且可能会自由漂浮或者通过允许油类进入的合适开口积聚到船的一侧（图 32）。僵硬的系统则由一个从船上通过吊车或液压臂部署的实心浮动栅栏或扫臂组成（图 33）。撇浮装置（通常是导流坝式或刷式装置，具体取决于要回收的油类）内置在该扫臂中靠近船体的位置，以方便回收。部署起来十分容易，设计上也很直观，这两点是僵硬扫式系统成功的强有力推动因素。

灵活或僵硬的系统可以从专门设计的船上使用，也可以从随机调来的装有合适接头的船上使用。理想情况下，用作工作平台的船只应具有合适的吊放装置和充分的机动性，以便在风和水流的作用下快速采取并保持选定的姿势。抛锚拖带供应（AHTS）船或平台供应船（PSV）的大而开阔的甲板十分有利于存放、搬运、部署、维护和清洁设备。不过，经验表明，由于此类船只上的甲板暴露在外，因此在波涛汹涌的海上条件下，这会使船员面临危险。其他一些干舷低矮的船只类型也会遇到类似的问题，在海浪汹涌澎湃的条件下会有大量的水和油类被冲到船上（图 33）。

已经证明，某些类型的船在回收大量浮油方面尤为有效。特别是，挖泥船、沿海油轮和燃料补给船由于存放容量庞大，因此可以在海上作业较长时间才需卸一次货。这些类型以及其他一些类型





▲ 图 33：通过液压吊车连到回收船体上的僵硬扫臂。低干舷以及遇到的汹涌浪潮会使甲板上的船员面临危险（图片由 WSA Cuxhaven 惠供）。



▲ 图 34：自力推进型导流坝撇浮装置正在有遮挡的多岩石入口处回收油类。由于船吃水浅，因此可以在靠近海岸的位置作业。操作员通过将油类移向导流坝开口来帮助回收。



▲ 图 35：自力推进型船，通常用于回收港口中的残骸。在该图中，由于温度低且油类的倾点很高，油类变成半固态，因此需要用勺和抓斗将油类回收到漂浮的槽车中。

的船由于干舷非常高，因而有助于在下风舷（图 31）进行回收，但从高位置部署设备可能会带来受风力影响的问题。此类船通常都会配备大容量泵，储放罐也常常装有加热旋管，这些将有助于处理回收到的油类。对于挖泥船，在少数情况下直接在油类中使用排泥管或挖斗或许是可行的，这些系统不加选择且管径很大，从而降低了残骸和高度乳化的油类造成堵塞的可能性。

## 近岸和岸上的回收

在港口、海港和有遮挡区域的较为平静水域（图 34 和图 35）使用自力推进型撇浮装置可以起到很好的效果，在这些区域，它们可能还会起到一些辅助作用，例如用作残骸收集器。这些船常常是针对油码头和精炼厂的应对安排中不可或缺的组成部分，在这些地方，

可能已经估计出和了解了污染风险和油类型，因而应对计划的制定工作可能相对简单。专用的自力推进型撇浮装置相对较贵，但在封闭的区域十分有效，尤其是在从岸上进入不可行时更是如此。

对于便携式撇浮装置，使用浅吃水船可以在近岸位置提供最佳的工作平台（图 6）。在这些情况下，可以在船上放一些便携式储放罐或中型散装容器（IBC）来接收油类。不过，应注意确保所储放的油量以及动力单元及其他设备的存在不会影响船的稳定性。

与其他漂浮物质一样，油类也会在风和水体运动的影响下积聚在沿岸的某些位置。这种自然聚集点有助于回收作业的开展（图 10），但前提是漂浮装置能够处理这些区域中通常存在的残骸（常常是大量存在）。亲油性绳式拖把撇浮装置不像其他种类的撇浮装置那样容易受到残骸的限制，可能是最为有效的（图 6）。可借助栅栏进一步集中油类并降低不断变化的风或水流导致油类再活化的可能性，以此来提高回收效果。也可以在栅栏内部有效地部署绳式拖把撇浮装置，收集整条栅栏范围内的少量油类。

如果可能，从岸上操纵撇浮装置通常会更加容易，特别是在有靠近油类回收位置的通道、支撑物或平坦工作区时。可从坞壁和码头上的吊车（图 7）操作撇浮装置；如果油类足够厚，甚至可以直接在油类中放置某些类型的油泵。

确定工作现场后，可以制定一个简单的现场计划，来简化回收的油类的处理和减少工作风险。必须进行周密的思考，从而为操作员提供必要的后勤支持，包括燃油、必需品、遮蔽物与与事件指挥中心通信的工具。



如果油类搁浅在泥滩或沙滩上，则可以将油类集中到沟渠中进行回收，最常使用的就是真空设备（图 8）。岩石间或裂缝中汇集的油类也可用类似方式回收。在结构紧密的沙滩上，可使用安装在拖拉机上的亲油性筒式装置或其他装置来回收油块（图 36）。在岸上的特定条件下，其他专业撇浮装置可能会发挥作用。但是，在大多数情况下，采用其他方法（包括人工回收）将更为合适。

回收河流或湖泊中的油类也受到类似的限制，特别是进入和水流方面的限制。但是，回收冰块中的油类时会面临着一些具体的问题，这些问题不仅仅是油类可能会截留在冰中。人们仍在不断研究压碎冰层使回收得以进行的设备。但是，这种方法的一个基本问题是，渗入已回收含油冰中的油量通常很少，此时，融化一段时间后可能会获得更好的回收速度。使用绳式拖把撇浮装置可以回收浮冰之间的浮油，但机械设备有在冰中冻结的风险。

## 回收作业的管理

从过去泄漏事故中获得的经验表明，最为成功的回收作业通常包括准备周全的组织（各种后勤工作到位）、训练有素的人员和快速调动的能力。在各种情况下，整个应对组织的有效性与设备的性能同样重要。要成功部署系统，需要持续监控所有的围堵、回收和储放部件，且需要系统能一直足够灵敏地根据油分布的变化进行机动。

所有回收作业都需要受到监督，以确保接油类到达撇浮装置且残骸不会积聚或进入设备，从而降低效率或造成破坏。因为撇浮装置很容易被油类或残骸堵塞，所以许多撇浮装置装有残骸过滤器。要保持较高的性能，应当调整撇油速度来适应情况的变化和与油类到达回收现场的速度保持一致。如果油量很少，应当间歇地撇油，以避免回收过多的水；如果可能，可以使用栅栏汇集油类。

通常，撇浮装置和相关设备（如动力单元）都很坚固，但因为损坏、被残骸堵塞、不当使用或磨损，它们不可避免地会发生失灵。维修通常需要专业知识、替换部件和相应工具。使用经过适当培训的操作员可以减少耽搁，因为他们了解设备的限制并能够根据需要拆开设备并进行重新组装。如果设备有例行维修计划，则将它从储备库中拿出来时更有可能能够立即投入使用，现场失灵的风险也会降低。这样的计划可能有一个固定的时间表，包括在服务指定时间后更换磨损表面、加注或更换润滑油和启动设备进行故障检查。

强烈建议不要同时使用消散剂和撇油操作，因为这两种方法的基本原理是互斥的，使用水面上的撇浮装置无法回收消散在水中的油类。此外，消散剂会更改油的表面属性，在亲油性撇浮装置附近施用，可能会导致此类设备失效。同样，在海面上散布吸油材料（特别是采用松散形式或作为吸油垫时）的同时进行撇油作业，很可能会使回收系统堵塞。

在港口之类的特定地点，如果确定了油的位置、进行了成功的围堵且有充足的照明，则可以开展夜间回收作业。但是，夜间试图在海上定位和回收油类不太可能会有效果，并可能危及相关人员的人身安全。

每日活动的记录，包括回收资源的使用详情、回收的油量、造成的损害、进行的维修，可以使人们在指挥中心能够监控进度，并有助于之后提出索赔。对于大型回收船只，这些信息通常可以并入海事机构通常要求船只提供的航海日志。

作业效率下降时，如遇到油的机率和回收油的速度降低或几可忽略时，应当进行撇浮装置和关联资源的遣散。使用后，应当对撇浮装置及其附属设备进行清洁和大修，确定并修复各种磨损（图 37）。可使用蒸汽喷杆或溶剂来清除油类，但是不应亲油性圆盘或吸油拖把使用清洁化学品，因为这些撇油装置的亲油属性可能会受到负面影响。将设备送回储放设施时，应当防止设备受到损坏、受潮、接触会造成腐蚀的含盐空气。如果长时间受到阳光直射，撇浮装置中包含的吸油拖把、橡皮带和塑料材料会发生老化。设备的储放应当以方便接触为宗旨，从而便于定期检查、维护和测试，特别是设备并不频繁使用的情况下更应如此。



▲ 图 36：安装在拖拉机上的亲油性筒式撇浮装置，用于在结构紧密的沙滩上回收新鲜油块（图片由 Le Floch D 污染惠供）。





▲ 图 37：回收重质油类后被捞到岸上的导流坝撇浮装置。遭散后，应对设备进行清洗和大修，以备将来使用。

## 要点

- 应参照盛行的条件（如海面状况、风、水流和敏感区域位置）评估在海上及近海可供选择的各回收方案的优点。
- 要回收的油类型、其在环境温度下的粘度以及随时间发生的变化将决定何种撇浮装置最为有效。
- 在选择最合适的撇浮装置时，应考虑容量、可靠性、耐用性、现场表现、重量、搬运、多功能性、电源、维护以及成本等标准。
- 通常可以很容易地获得吸油卡车及其他吸油系统来回收岸上或近岸的厚实油层。
- 通过安排飞机来监控油类情况及清理工作的进度并指导回收船驶往最厚的成片油类以取得最佳效果，可以更有效地协调海上的油类回收作业。
- 应持续监控撇浮装置的表现，以确保达到最佳效率。
- 必须解决泵送、存放和处置所回收到的油类时所涉及到的后勤问题，以确保回收过程中的耽搁保持在最小水平。
- 应安排定期检查和设备测试，以保持人员的培训水准并矫正任何设备故障。



## 技术资料论文

- 1 海洋油类泄漏的空中观察
- 2 海洋泄漏油类的最终归属
- 3 油类污染应对措施中的栅栏应用
- 4 使用分散剂处理油类泄漏
- 5 油类污染应对措施中的撇浮装置应用
- 6 海岸线油类识别
- 7 海岸线油类清理
- 8 油类泄漏应对措施中的吸附剂材料应用
- 9 油类和残片的弃置
- 10 油类泄漏事故处理的领导、指挥和管理
- 11 油类污染对渔业和海洋生物养殖的影响
- 12 油类污染对社会和经济活动的影响
- 13 油类污染对环境的影响
- 14 海洋油类泄漏的采样和监视
- 15 油类污染索赔的准备和提交
- 16 海洋油类泄漏的应急计划
- 17 对海洋化学品污染事故的应对措施



国际油轮船东污染组织 (ITOPF) 是一个非营利组织，旨在代表世界各地的船东及其保险公司促进对油类、化学品和其它危险物质的海洋泄漏采取有效的应对措施。提供的技术服务包括紧急事故抢险、清理技术咨询、污染危险评估、协助进行泄漏应对措施规划和提供培训。ITOPF 为您提供全面的海洋油类污染信息，借鉴 ITOPF 技术人员的丰富经验编写了一系列论文，本文是其中之一。本文中的信息可以在事先获得 ITOPF 明确许可的情况下进行复制。有关进一步的信息，请联系：



### ITOPF LTD

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

电话: +44 (0)20 7566 6999

电子邮件: [central@itopf.org](mailto:central@itopf.org)

传真: +44 (0)20 7566 6950

网站: [www.itopf.org](http://www.itopf.org)

24 小时热线: +44 (0)20 7566 6998