



导言

油类泄漏可能通过物理窒息和毒性反应对海洋环境造成严重影响。影响的严重性通常取决于泄漏油类的量和类型、环境条件及受影响的生物体与其栖息地对油类的敏感度。

本文介绍船源性油类泄漏及随后的清理活动对海洋植物群和动物群及其栖息地的影响。本文特别讨论了油类和生物系统之间复杂的相互作用，多年来的众多研究都以此作为研究主题。其它 ITOPF 文章对油类对渔业和海洋养殖及更广泛的人类活动的具体影响进行了讨论。

概述

油类泄漏可能会对海洋环境造成各种影响，通常被媒体描写为“环境灾难”，并预计会对海洋植物群和动物群的生存带来可怕的后果。在重大事件中，短期环境影响可能很严重，会给生态系统和居住在受污染海岸线附近的人们造成严重的困扰，影响他们的生计和降低生活质量（图 1）。泄漏事故后沾油鸟类的图像促使大家认识到环境破坏的广泛性和永久性，且必然会造成海洋资源的损失。考虑到油类泄漏通常引发高度紧张且情绪化的反应，因此可能很难公正无偏袒地看待泄漏影响和后续恢复。

几十年来，各种科学和技术文献已经对泄漏的影响给予了广泛的研究和记录。因此，我们对油类污染的影响已经有了足够的认识，能够大致确定给定事故的破坏规模及持续时间。典型油类泄漏影响的科学评估表明，在造成破坏时，对个体生物体的影响可能是深远的，但种群则表现出更强的弹性。最终，自然恢复过程能够修复造成的破坏，将系统恢复到正常功能。可以通过有效的清理作业去除油类来帮助恢复过程，有时候还可以通过管理得当的恢复措施来加速此过程。在少数情况下会观察到长期破坏。不过，在大多数情况下，即便在最大规模的油类泄漏事故之后，受影响的栖息地和相关的海洋生物都有望在数个季度内得到显著的恢复。

油类泄漏破坏的机制

油类可能会通过以下一种或多种机制影响环境：

- 物理窒息，影响生理功能；
- 化学毒性，带来致死或亚致死效应或破坏细胞功能；
- 生态变化，主要是群落主要生物体的消失及栖息地被机会主义物种占据；



▲ 图 1：油类搁浅在邻近渔村的海岸线上。

- 间接效应，如栖息地或庇护所的消失及随之而来的具有生态重要性的物种的消失。

油类泄漏影响的性质和持续时间取决于一系列因素。这包括：泄漏油类的数量和类型；泄漏的位置（环境条件和物理特征）；以及时间（尤其是季节及主要气候条件相关方面）。其它关键因素包括受影响环境的生物组成情况、组成物种的生态重要性及其对油类污染的敏感性。相应清理技术的选择和作业进行的效果也可能对泄漏事故的影响有很大的牵动。

泄漏事故的潜在影响还取决于污染物稀释或通过自然过程耗散的速度。这决定了受影响区域的地理范围和敏感环境资源是否长期暴露在高浓度油类或其有毒成分中。同样重要的是生物体的易受影响性和对油类污染的敏感度。容易受影响的生物体是由于其在海洋环境中所处的位置（通常在海面或水边）而容易与油类接触的生物体。敏感的生物体是可能会由于接触油类或其化学成分而出现强烈影响的生物体。较为不敏感的生物体对短期接触的耐受性更强。众多国家 / 地区都绘制



▲ 图 2: 对海洋生物体的典型影响很多, 从毒性 (尤其轻质油类和油类产品) 到窒息 (中质和重质油类 (IFO 和 HFO) 及风化残渣) 均有可能。

了海岸线地图, 并根据敏感度为不同的栖息地分配了指数。例如, 在所得到的地图或敏感度图册中, 红树林或盐沼具有较高的指数, 而沙滩通常被指派较低的指数。

油类泄漏的特征在确定各种破坏的程度方面非常重要 (图 2)。重油 (HFO) 等高持久性油类的大量泄漏可能会通过窒息在海岸线的潮间带导致大面积破坏。不过, HFO 或水溶性较低的其它高度粘稠油类的毒性效应较弱, 因为这种油类的化学成分的生物有效性较低。沥青路面 (高度风化的油类和鹅卵石组成的聚结块) 中包含的油类生物有效性也较低 (无论在海岸线上持续存在多长时间), 不过可能由于栖息地变化而造成间接破坏。

相反, 煤油或其它轻质油类的化学成分具有较高的生物吸收性, 更可能通过毒性产生破坏。不过, 通过蒸发和消散的快速耗散意味着, 只要敏感资源距离泄漏位置足够远, 轻质油类带来的总体破坏会更小。另一方面, 对于稀释缓慢的情况, 如污染物困在泥土较多的沉淀物中或位于封闭区域 (例如水交换不畅的泻湖中) 时, 产生的影响可能最大, 持续时间可能更长。对于低于足以导致死亡的接触级别, 有毒成分的存在可能会导致亚致死状态, 如摄食或生殖功能受损。

海洋环境十分复杂; 物种构成、丰富程度、空间和时间分布的自然波动是其正常运作的基础特征。在此环境中, 海洋动物和植物对栖息地内的变化表现出的自然弹性各有不同。生物体对环境压力的自然适应能力结合其繁殖策略, 提供了处理环境条件的日常和季节性波动的重要机制。这种固有的弹性意味着有些动植物能够承受油类带来的一定程度的污染。不过, 泄漏不是海洋栖息地面临的唯一人类活动压力。普遍的自然资源过度开发和长期的城市和工业污染也会对海洋生态系统内的变化程度有很大的影响。在高自然变率的背景下, 油类泄漏造成的

更为微妙的破坏可能很难检测到, 如繁殖成功率、生产率或生物多样性下降等。

海洋环境的恢复

海洋环境从严重混乱状态恢复的能力由其复杂性和弹性决定。在破坏性的自然现象 (如飓风和海啸) 之后表现出的恢复能力证明了生态系统能够随着时间的流逝逐步重建 (即便在大面积死亡的严重破坏之后)。虽然对于恢复的定义及生态系统何时可以被视为已恢复有很多争议, 但普遍认为生态系统中的自然变率不可能恢复到与泄漏事故发生前完全相同的情况。大多数恢复的定义转而将重点放在植物群和动物群的重新建立, 而且这些植物群和动物群通常在生产力及生物多样性方面是生境与环境功能的特有代表。

这个原则可以通过 1967 年在英国海岸搁浅的托利峡谷号 (Torrey Canyon) 油轮失事后的不当清理措施经历加以说明, 在此次事故的清理中对岩石海岸使用了有毒的清洁剂, 带来了巨大的破坏。尽管特定物种的详细分布情况改变了, 但可能二十多年后都还能发现扰乱效应的痕迹, 但生态系统的总体机能、生物多样性和生产力能在一到两年内得以重建。根据上面建议的定义, 可以说岩石海岸群落在两年内就已恢复。不过, 通过考虑组成生物体的龄期分布, 就可以看到此定义的限制性。与事故前从幼龄到成熟龄期的全龄期情况不同, 新补充的动植物属于相对较窄的龄期范围, 因此群落最初并不健全。

与此类似, 如果由于泄漏事故或自然现象 (如热带风暴) 的影响, 某个红树林群落受到破坏, 受影响区域将逐步由来自邻近区域的幼龄植物重新覆盖。不过, 这些补充植物的龄期将类似, 在林地达到成熟状态前都不能提供与原来同样的环境

服务。这些观察结果导致需要对影响和破坏加以区别，在某些情况下，生态系统从污染破坏恢复之后，仍然可能会检测到不太明显的影响（从生态系统的正常机能方面而言）。

恢复机制已经发展到能够处理掠食和其它导致死亡的原因带来的压力。例如，海洋生物体最重要的繁殖策略之一是散播式排卵，即将大量的卵和幼体释放到浮游生物中，借助水流广泛地分布到各处。在大多数情况下，大量个体中只有极少数存活到成年。这种高繁殖力会导致幼龄阶段过量繁殖，从而确保有可观的储备，不仅可供拓展新区域和补充到受泄漏影响的区域，还可以取代种群中失去的个体。相反，多年不能达到性成熟且生育后代很少的长寿命物种可能需要更长的时间才能从污染事故的影响恢复。

在大多数情况下，恢复通常在数个季度周期内完成，对于大多数栖息地为一到三年，而红树林是一个非常值得注意的例外，如下面的表 1 中所示。

海洋环境

以下部分将介绍船源性油类泄漏在各种环境中导致的不同类型的破坏。

近海和沿岸水域

大多数油类漂浮在海面上，在波浪、气流和水流的作用下分布到面积很大的区域。有些低粘度油类可能会自然消散在距水面数米的水体内，尤其在存在有破坏力的波浪的情况下更为明显，油类会快速稀释。如果油类长时间持续释放，上层水体中消散的油类的浓度可能会接近释放点的浓度。尽管这样，泄漏油类对水体中较低层或海床上的物种的影响很小，不过沉船、非常重（或低 °API）的油类的泄漏或油类燃烧后的焦油残渣仍然可能造成破坏。

栖息地	恢复期
浮游生物	周 / 月
沙滩	1 - 2 年
暴露的岩石海岸	1 - 3 年
有遮挡的岩石海岸	1 - 5 年
盐沼	3 - 5 年
红树林	10 年及更长

▲ 表 1: 表示沾油后各种栖息地的恢复期。恢复期取决于很多因素，包括泄漏的油类数量和类型。这里的恢复定义为栖息地正常运作的时间点。

浮游生物

海洋的浮游带支撑着无数的简单浮游生物体，包括细菌、植物（浮游植物）和动物（浮游动物）。这其中包括鱼类和无脊椎动物的卵和幼体，包括最终将定居在海床或海岸线的动物。浮游生物无疑将面临高死亡率，主要是通过掠食，不过也会由于环境条件的改变及被带到不能生存的区域而死亡。相反，营养供应丰富的特别有利的条件可能会带来浮游生物的繁盛，数量大幅度增加，尤其在春季温和的气候条件下特别明显。一旦营养物减少或营养物被消耗完，其数量会剧减，死亡的生物体将降解并沉入海底。生态系统已经发展到通过短世代内大量繁殖来应对这些极端情况。因此，浮游生物通常展现出在时间和空间上极度不均匀的分布，成为了所有海洋群落中变动最大的群落。

浮游生物体对所接触油类的敏感已经广为人知，而且有可能会产生非常深远影响。不过，幼龄阶段典型的大规模过度生育提供了从未受泄漏影响的邻近区域进行补充的缓冲，足以弥补卵和幼体阶段的损失（尚未观察到泄漏后成年种群数量大幅度减少的情况）。

鱼类

尽管鱼类幼龄阶段容易受到水体中相对较低的油类浓度的影响，但成年鱼类的弹性要强得多，很少检测到对野生种群的影响。自由游动的鱼类被认为能够主动避开油类。在异常情况下，发现了特定物种某个龄段缺失的情况，但大规模死亡的情况非常罕见。出现死亡的情况与风暴条件下水体中出现分散油类局部浓度非常高的情况相关，这通常是大量轻质油类沿海岸线释放到有破坏力的海浪中，或在河流中发生泄漏事故。油类泄漏对商业开发的鱼类种群和饲养的海洋产品的影响在关于油类污染对渔业和海洋生物养殖的影响的另一篇 ITOPF 文章中进行了更为深入的讨论。

海鸟

海鸟是最容易受影响的开放水域生物，在重大事故中可能会有大量的海鸟丧生。海鸭、海雀和大量聚积在海面上的其它物种尤其容易受到影响。不过，其它不相关的原因也会导致海鸟种群的大量死亡，如风暴或失去食物源或栖息地。为了确定死亡原因以及是否可归咎于特定的事故，可能需要进行尸体解剖。

羽毛污浊是油类对鸟类带来的最明显影响。羽毛用于将暖空气保留在皮肤附近，提供浮性和

* 美国石油学会燃油比重度数。



▲ 图 3：用栅栏围起来的沾油非洲企鹅。



▲ 图 4：企鹅比其它鸟类更容易从清洁获益。这里，跳岩企鹅得到了康复。

隔离。沾油时，羽毛保护层和隔离的精巧结构被打破，让海水与皮肤直接接触，从而导致身体热量丧失，鸟儿最终可能会出现低温症。在寒冷的气候条件下，鸟类羽毛上的小油点可能足以导致死亡。很多鸟类的皮下脂肪层可作为进一步的隔离层，并充当能量储备。在鸟类尝试保持自身温暖时，此储备可能很快被消耗掉。寒冷、精疲力竭和失去浮性的鸟儿可能会溺水而死。而且，沾油的羽毛降低了鸟类在觅食或逃避掠食者时起飞和飞翔的能力。

一旦沾油，鸟类用嘴整理清洁自身的天性可能会将油污带到身上原本干净的区域。油类很可能被摄入，从而导致严重的影响，如肺部充血、肠充血或肺部出血、肺炎和肝脏与肾脏损坏等。回巢后，油类可能会从羽毛转移到活着的幼体或正在孵化的卵上。卵的油类污染可能会导致卵壳稀释、卵孵化失败和发育异常。

泄漏油类的量和可能对海鸟的影响并没有明确的联系。在繁殖季节或大量海鸟聚积的地方发生的小规模泄漏可能会被证实比不同的时间或其它环境中较大规模的泄漏的危害更大。有些鸟类通过产更多的卵、更频繁地繁殖或让龄期更小的鸟更早加入繁殖群体来应对群体减少的情况。这些过程能够帮助进行恢复，不过恢复可能需要数年时间，而且还取决于食物供应、栖息地可用性和其它因素。虽然短期和中期损失很常见，但上述恢复机制可以成功地防止在种群层次的长期影响。不过，在某些环境中，油类泄漏可能会导致数量较少的种群出现永久性衰退的风险。

可以尝试对沾油鸟类进行清洁和康复，但对于很多鸟类来说，通常只有一小部分接受处理的鸟类

能够在清洁过程中幸存下来。这些幸存的鸟类中，放归并成功的野生环境中生存并成功繁育比例甚至更小。企鹅通常例外，其表现出的弹性通常比其它物种更强。在处理恰当时，大部分企鹅都可能在清洁工作中幸存下来，重新加入繁育群体（图 3 和图 4）。研究发现，清洁过的鸟类成功生育率低于完全没有沾油的鸟类，即便企鹅也不例外。不过，鸟类清洁最佳做法的形成和传播正在帮助改善效果。

海洋哺乳动物和爬行动物

鲸、海豚和其它鲸目动物可能会在上浮到水面呼吸或跃出水面时受到漂浮油的威胁。已经确认了油类对鼻部组织和眼部的伤害。不过，在发现死亡的情况下，尸检通常会发现死亡是由于油类之外的其它原因造成的。虽然食草的海牛目动物（海牛和儒艮）之类的大型热带海洋哺乳动物可能也容易受到伤害，但油类污染对此类动物造成伤害的报告非常罕见。不过，海豹、海獭和在岸上聚集或停留的其它海洋哺乳动物更可能遭遇和受到油类的影响。依赖毛皮调节体温的物种最容易受到油类的影响，因为如果毛皮被油类覆盖，动物可能会由于体温过低或过高（取决于季节）而死亡（图 5）。

漂浮油可能会对海洋爬行动物造成威胁，如海龟、海鬣蜥和海蛇等。海龟尤其容易在筑巢季受到伤害。如果油类搁浅在沙滩上，或清理工作期间破坏了巢穴，可能会丢失卵或孵化失败。成体可能会出现粘膜炎，提高易感性。不过，很多情况下，沾油海龟都能得以成功清洁并返回大海（图 6）。人类活动会危及所有海龟品种或对其造成威胁，主要原因有意外错误捕杀、为了食用和或其海龟壳而进行的捕杀及栖息地丧失。



▲ 图 5：油类可能会对哺乳动物保持重要生理功能的能力产生不利影响，如这只海狗（南美海狗）的情况。



▲ 图 6：一只幼龄玳瑁正在接受清洁（图片由 USCG 惠供）。

较浅的近岸水域

较浅的水域中的破坏通常是由于在强波浪冲击或太靠近岸边不当使用消散剂而导致油类混合到水体中造成的。在很多情况下，稀释能力（例如，由于潮汐冲洗）足以将水中的浓度保持在有害水平之下。另一方面，在轻质精炼产品或轻质原油分散在浅水中时，会导致高浓度的油类有毒成分，曾出现过生活在海底（深海底）动物及生活在沉淀物中的动物死亡的情况。

海草

温带和热带水体中有各种不同种类的海草。它们为高度多样化和富饶的生态系统提供支持，为很多其它生物体提供保护。海草床能降低水流速度，从而加强沉积作用，同时根部结构能够稳定海床，保护海岸区域免受侵蚀。漂浮油很可能通过海草床而不留下任何不良效应。不过，如果油类或其有毒成分混入较浅的近岸水域中并达到足够高的浓度，海草及相关的生物体可能会受到影响。海草附近的清理作业应该小心地进行，因为船只推进器和档栅锚可能会撕裂或拔出这些植物。

珊瑚虫

珊瑚礁提供了极为丰富和多样化的海洋生态系统，非常高产，能为在本会暴露在外的海岸线提供海岸保护。珊瑚虫是高度敏感的生物体，需要很长时间才能从沾油的影响中恢复。分散油类对珊瑚礁造成破坏的风险最大。当有破坏力的波浪导致湍流增强而促进泄漏油类的自然消散时，及使用消散剂的时候，所面临的此类风险最高。除了珊瑚虫本身外，此栖息地支持的群落也对油类很敏感。因此，不应在珊瑚礁附近使用消散剂。在非常罕见的情况下，珊瑚礁可能会由于春季潮汐而露出水面，从而有可能存在漂浮油导致窒息的风险。

船只搁浅对珊瑚礁造成破坏的情况比油类污染造成破坏的情况更为普遍。其它人为影响也可能给珊瑚虫带来压力，例如过度捕捞或毁灭性捕捞做法、营养物污染和由于森林采伐及海岸建设项目而导致沉积作用加强。

海岸线

海岸线比海洋环境的任何其它部分都更容易受到油类的影响。不过，海岸上很多植物群和动物群固有恢复能力，因为它们必须能够承受潮汐周期变化及周期性经受波浪的冲击、风干、极端温度、降雨导致的盐度变化及其它严重威胁。这种耐受性还给很多海岸线生物体带来了承受泄漏影响并从中恢复的能力。

岩石海岸和砂质海岸

暴露在波浪和潮汐水流的冲刷效应之下，意味着岩石海岸和砂质海岸最容易从泄漏影响恢复（图 7）。冲刷通常还会促进自然和快速自我清洁的进行。温带气候地区的岩石海岸受到影响的一个典型例子是普通帽贝（欧洲帽贝）暂时减少，这是一种关键的海生蜗牛。关键物种是能对生态系统产生与其生物数量不成比例的控制性影响的植物或动物，其去除可能会对该生态系统带来巨大的变化。帽贝采食岩石表面的微藻，限制藻类的生长和其它动物群在此定居。帽贝的减少通常会导致机会绿藻的快速生长（图 7 中的小图）。随着时间的流逝，这种藻类增长为其它藻类所取代，随着空间的可用，帽贝将重新占据岩石表面，生态平衡得以逐步恢复。对于热点和亚热带的砂质海岸，鬼蟹（角眼蟹种）会占据与帽贝类似的小生境，高死亡率是常见的海岸浸油特征。尽管如此，在海岸线变干净后数周内，这种蟹类通常会重新回到海滩，而且接近以前的数目。

软沉积物海岸

在波浪冲击减少的地方（包括海湾），可以发现较细的砂和土，往往生物种类非常丰富（图 8）。它们经常支撑着大量的迁徙鸟类和在沉淀物中栖息的本地无脊椎动物（包括双壳类软体动物），同时也是一些物种的育苗区。

虽然细碎的沉淀物不像其它底层那样容易受影响，但油类可能会通过与由于风暴活动搅动的沉淀物发生絮凝或渗透到虫洞及开放植物茎干中而包含进去。渗透到细碎的沉淀物中的污染物可能会存在许多年，提高产生更长期影响的可能性。

盐沼

软沉淀物海岸的上边缘经常以盐沼植被为主，包括多年生木本植物、一年生多汁植物和草类。盐沼的形成通常与温带气候相关，但在从副极地区域到热带的世界各地都有盐沼。在热带海岸，盐沼经常与红树林一起出现，分别占据着上下潮间带。物种组成很大程度上取决于盐度。例如，海湾上段的低盐度或轻度含盐的水域中，盐沼植为芦苇所取代。从盐沼中带出植物性碎屑也会对海湾和近岸水域中的食物网作出贡献。鉴于作为鸟类（尤其是迁徙鸟类）的栖息地的重要性，很多盐沼已根据《国际重要湿地特别是作为水禽栖息地的重要湿地公约》(Ramsar Convention on

Wetlands of International Importance) 而划分为特别保护区。

油类泄漏对盐沼的影响取决于一年中的时间（相对于植物生长期）。温带或寒冷地区盐沼在冬季的月份中不活跃，而地中海地区的植物在夏季的高温下生长较为缓慢。单次事故不可能导致暂时性影响更大的影响，但可能会由于重复、持续地沾油或破坏性的清理活动（如踩踏、使用重型设备或起出受污染底层）导致情况加剧，形成更长期的破坏（可能长达数年）。在不产生额外破坏风险的情况下很难对盐沼进行清洁，因此经常建议让盐沼通过自然方式进行清洁。不过，如果计划焚烧或割除植被，这最好在植被枝叶枯萎之后进行。总的说来，只要植物的根或球茎未严重沾油或在清理期间受到过度挤压，就能有望长出季节性的再生苗。

红树林

红树林是生长在有遮挡的热带和亚热带水体边缘的耐盐树木和灌木。红树林为螃蟹、牡蛎和其它无脊椎动物提供了栖息地，同时还是鱼类和虾类重要的育苗区。此外，复杂的根部结构能够固定和稳定沉淀物，从而减少海岸线的腐蚀和最大限度减少陆上沉淀物在邻近的海草床和珊瑚礁上的沉积。



▲ 图 7：岩石海岸通常暴露在风浪中，可能会快速自净。有帽贝的生态区可能受到了油类的影响。大量死亡导致后续机会植物（藻类和海草）大量增加，此类植物在正常情况下会通过食草动物受到控制。随着时间的流逝，物种逐步重建，将最终恢复平衡。



▲ 图 8：沿着有遮挡的、变化较少的海岸线通常会发现软沉淀物，这里通常生物种类非常丰富。应该考虑让沾油沼泽自然清洁，因为清理作业可能会扩大和加重原有的破坏。渗透到底层的油类（如截面样本中所示）可能会保留数年。

其所在位置意味着红树林非常容易受到油类泄漏的影响。另外，还认为红树林对油类造成的污染极度敏感，很大程度上取决于红树林生长所在的底层。红树林通常生长在稠密、多泥、绝氧的沉淀物上，依赖于通过气生根上的小孔（皮孔）提供氧气（图 9）。重质油类覆盖根系可能会妨碍供氧，可能会导致红树林死亡。不过，开放通气的沉淀物允许相对自由的水交换，根系能够从海水中获取氧气，因此对油类造成的窒息有较高的耐受性。在第二个机制中，油类（特别是轻质精炼产品）的有毒成分会对植物维持盐分平衡的系统产生干涉，从而影响其耐受含盐水分的能力。试验表明，由于重质油类窒息造成的红树林破坏比由于较轻的产品（包括某些清洁剂）泛滥而导致死亡的可能性更小，而后者可能会导致局部地区失去树木覆盖。

生活在红树林生态系统内生物体既可能受到油类的直接影响，也可能面临较长时间失去栖息地的问题。复杂的红树林生态系统的自然恢复可能需要花很长时间，恢复措施可能的确可以加速此类栖息地的恢复过程。

长期破坏

有效的清理作业通常包括去除大量存在的油类污染，减少污染破坏的地理范围和持续时间，及促

进自然恢复的开始。不过，有破坏性的清理方法可能会带来进一步的破坏，自然清洁过程可能更可取。随着时间的流逝，多个因素可以降低油类的毒性，从而让受污染的底层能够支撑新一轮植被生长（图 10）。例如，雨水和潮汐可以将油类冲走，随着油类逐渐风化，可恢复部分蒸发掉，留下毒性较低的残余油类。

由于海洋环境具有如此强大的自然恢复能力，油类泄漏的影响通常局限于某个地方，而且只是短时间存在，文献中几乎没有长期破坏的例子。不过，在某些特定情况下，破坏可能会持久存在，对生态系统的损害的持续时间可能比通常预期长。会导致严重的长期破坏的情况与油类的持久存在相关，尤其是油类困住沉淀物中而不会受到正常风化过程的影响的情况。这样的例子包括有遮挡的栖息地，如沼泽、卵石海岸线和近岸水域，尤其油类泄漏事故遇上风暴条件时更甚。风暴掀起的巨浪可能会淹没沼泽，并形成紊流流态，可能会导致较细的沉淀物悬浮在水中，并与自然分散的油类接触。风暴减弱后，包含在沉淀物中的油类将沉入沼泽底部。类似的情况会导致油类被包含到沉淀物并沉入近岸水域。在这两种情况下，绝氧条件都将减缓各种油类降解过程。在卵石海岸线上，油类和卵石的混合物的风化可能会导致形成沥青路面，从而可能会长期存在。比海水粘稠的油类产品（如非常重的油类或燃烧残留物）会



▲ 图 9: 红树林非常容易受到油类的影响。高跷根或呼吸根（穿过底层垂直生长的呼吸结构）被覆盖可能会导致皮孔被堵塞，妨碍气体交换和导致窒息。

下沉到海床，可能会不受干扰无期限地留在那里，可能会导致海底生物体出现局部窒息的情况。

泄漏后研究

自从托利峡谷号 (Torrey Canyon) 油轮失事发生以来，几乎每个重大泄漏事故后都会进行油类污染影响的研究。因此，现在对于泄漏可能的环境影响有丰富的知识可供参考。考虑到这个知识储备丰富的情况，因此没有必要也不适合在每次泄漏事故后考虑进行泄漏后研究。不过，为了确定特定事故情况带来的影响的具体程度、性质和持续时间，可能有时候有必要进行事故后研究。由于油类污染影响大部分都已经得到了很好的认识，且可以加以预测，因此务必将研究的重点放在对明显破坏的定量上，而不是尝试对大量的假定影响进行研究。海洋环境所展现出的易变性意味着对广泛的潜在影响进行研究很可能导致无法得出结论的研究结果。

可用于对污染物进行化学分析的技术在不断地发展。油类可能有毒的成分的浓度现在可以在兆分率级别进行测量 (ppt, ng/kg, 1×10^{-12})。破坏评估研究最重要的目标之一是在观察到的破坏和造成破坏的特定油类污染物的定性之间建立联系，尤其是受到慢性污染的环境中。这通常通过气相色谱质谱联用 (GC-MS) 分析完成。

要会定期使用生物标记对动物接触原油和油类产品中多环芳烃 (PAH) 的情况进行筛查。例如，EROD (Ethoxyresorufin-O-deethylase) 活动检测肝脏组织中的酶水平，酶参与新陈代谢和毒物的消除工作，另外还涉足癌性肿瘤的形成。此技术足够敏感，能够在不造成可检测到的身体负担的情况下指示接触多环芳烃 (PAH) 的情况，还可以提供潜在破坏的早期指示。不过，这种酶的活动水平的变化还可指示其它压力诱因，如与油类不相关的其它类似有毒材料的存在等。活动水平还反应动物的龄期和繁殖状态以及温度的变化。因此，此类研究务必考虑这些可能会导致混淆的因素。

研究根据一系列因素划分优先顺序。首先，建立评估影响的基准：通过参考泄漏之前的数据（如果存在）；与受影响区域之外的参考点的等效物种、群落或生态系统进行比较；或监视显著破坏的特征恢复情况，如海鸟或贝类水产动物等。浮游生物不是好的研究对象。尽管实验室和现场研究都已发现浮游生物在接触油类时出现死亡和亚致死效应，但浮游生物本身波动太大，泄漏前后情况的比较很可能不可靠。要考虑的其它因素包括受影响区域的地理范围和相关的接触水平（浓度和持续时间）及受影响资源的重要性，即其稀有程度或生态学功能。最后，应该考虑进行研究的实际可行性。可行性可能与财务支持相关，或者直



图 10a: 沼泽的侵入式清理在原来油类导致的破坏之上带来了进一步的破坏。



图 10b: 清洁后的沼泽在数周后出现了明显的新生长迹象。



图 10c: 22 个月后, 沼泽被完全覆盖, 不过是被机会主义物种覆盖。



图 10d: 三年后, 沼泽恢复完全物种多样性。

▲ 图 10: 受损沼泽的自然恢复。

接就是进入研究地点的可操作性或研究期间对该地点带来干扰的风险。可以在关于海洋油类泄漏的采样和监视的另一篇文章中了解有关设计和进行泄漏后研究的进一步指导。

恢复、复原和修复

恢复也称为复原或修复, 是采取措施将受破坏环境以比自然恢复过程更快的速度恢复到正常运作条件的过程。在环境破坏方面, 这些术语可以互换使用。不过, 在将美国和欧盟的环境法律与 1992 年的民事责任和基金公约 (Civil Liability and Fund Conventions) 国际机制进行比较时, 对这些术语的解释可能会不一样。1992 年的索赔手册 (Fund Claims Manual)** 中提供的指导原则表明, 在国际机制中, **复原**措施应该具有大幅度加速自然恢复的切实机会, 而且不会对其它自然或经济资源带来不利的后果。措施还应与破坏的程度和持续时间及可能会实现的好处相称。破坏是对海洋环境造成的损伤, 而损伤在此上下文中可以描述为生物群落由于泄漏导致运转不正常或缺少某种生物体。

根据 1990 年美国油污法 (OPA '90) 颁布的美国法规也承认自然恢复是关键**恢复**机制, 但引入了两个概念: 基础恢复和补偿性恢复。补偿性恢复旨在对在环境恢复期间“丧失”的环境服务进行补偿, 而基础恢复指采取行动恢复或加速恢复, 与国际机制下的复原的意义相等。2004 年颁布的欧盟环境责任指令 (ELD) 也在修复术语中包括了这些概念。不过, 国际机制并不认可补偿性恢复或修复的概念。

在清理作业后, 可能有必要采取进一步的主动措施来恢复受损资源和促进自然恢复, 尤其在恢复原本相对较慢的环境中更是如此。油类泄漏后的这样方法的一个例子是重新种植盐沼或红树林植物 (图 11)。一旦建立了新的植物群, 其它生命形式将会返回, 此区域被侵蚀的可能性得到最大限度降低。

为动物群设计有意义的复原战略是困难得多的挑战。可以对被破坏的栖息地加以保护, 还可以对生态系统的恢复予以增强, 例如, 通过限制进入和减少人类活动, 通过控制捕捞来减少对有限的食物来源的竞争 (如玉筋属鱼和角嘴海雀的情况就是这样) 或在筑巢季节关闭海龟使用的海滩等。在某些情况下, 可能可以保证附近未沾油地区的自然繁殖种群的保护 (例如通过控制掠食者), 从而为受破坏区域的重新覆盖提供储备。不过, 很多复杂的生物、生态

** <http://www.iopcfund.org/publications.htm>

和环境因素可能会控制邻近种群重新覆盖受污染区域的能力。

实际上，海洋环境的复杂性意味着人工修复生态损伤的程度将面临各种局限。在大多数情况下，自然恢复可能会相对较快，只有在极为罕见的情况下才会为复原措施所超越。



▲ 图 11：通过以栅格图形种植幼苗形成的红树林区。

要点

- 海洋环境中存在各种高度复杂的生态系统，正常情况下会在数量和多样性方面会出现大幅度的波动。
- 海洋环境拥有从自然现象及油类泄漏造成的严重混乱自然恢复的强大能力。
- 油类泄漏造成的环境破坏的关键机制是窒息和毒性，但破坏的严重性非常依赖于泄漏的油类的类型及其相对于对油类污染敏感的资源的位置耗散的速度。
- 大多数容易受到影响的生物体都位于海面或海岸线上。
- 盐沼和红树林是最敏感的海岸线栖息地。
- 海鸟面临的威胁尤其突出。有些物种（特别是企鹅）对清洁工作的反应很好，不过其它物种可能在清洁并放归野生环境后不能存活，或很难成功繁殖。
- 尽管短期影响可能很严重，但即便在最大规模事故之后，长期性的破坏也并不常见。对于在观察到长期破坏的情况，这种破坏仅限于其条件支持聚积的油类持久存在的地理零散区域。
- 应对作业的有效规划和执行既能降低破坏程度，还能通过去除油类迈出恢复的第一步。
- 设计合理的复原措施有时候可以对自然恢复过程起到加强作用。

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浮木档栅应用
- 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

传真: +44 (0)20 7566 6950

网站: www.itopf.org

24 小时热线: +44 (0)20 7566 6998