

海洋石油污染及處理方式之探討

徐明藤 助教

國立宜蘭技術學院人文及科學教育中心

摘 要

在進入廿一世紀的今天，科技的進步、資訊發達，促使國與國之間的界限漸趨模糊，而地球村的觀念也就慢慢的成形。所以全球的脈動也因此與我們緊密的結合，如何確保與擁有舒適的生存環境，就是你、我共同的目標。人類大量的使用石油資源，卻因開採、運輸、提煉及使用過程中不當的操作或浪費而導致油品污染，尤其是海洋中的污染。而使用過後廢棄油品不當處置，亦造成油品最終流入海洋造成污染。而導致人類生存環境品質重大威脅。海洋油污染的來源雖然眾多，但是卻以海上油井的開採及油輪的船難所造成的污染最受人們矚目，原因無它，主要是因為上述情況之石油污染的濃度集中、影響面積廣大，對於事發海域生態的衝擊非常的大，甚至可能導致油污染附近的生態大浩劫。我們也透過幾個例子，如阿拉斯加「艾克森維爾達茲號」事件、墾丁龍坑「阿瑪斯號」觸礁事件對生態的直接影響及處理方式可能造成對生態的影響提出檢討。而油污染發生的第一時間，通報系統的建立及迅速成立緊急應變中心，提供正確的油輪相關資料、船難附近海域生態資料、海流資料、氣候資料等是不容置疑。最後綜合專家學者意見，決定妥善處理方案，立刻執行。如此或許可將生態所受的衝擊降到最低，甚至對於生態的回復提供有利的條件。

關鍵詞：石油污染、芳香族化合物、生物處理、分散劑、潮間帶、珊瑚礁

A Study on Oil Pollution in the Ocean and Ways to Deal with it

Ming-Teng Hsu, Teaching assistant

Center for Liberal and Science Education, National Ilan Institute of Technology

Abstract

Today, in the beginning of 21st century, the progress in technology and information science makes the boundary of countries less clear. The concept of global village is taking shape. A common goal among us is to ensure that we do have a comfortable environment for human existence. Humans use lots of oil. Carelessness and waste in the process of mining, transporting, and refining oil is causing a lot of oil pollution problems around the world, especially in the ocean. Improperly disposed used and discarded oil also drifts out to the ocean and causes pollution, threatening the very environment essential to human existence. Although there are many sources of oil pollution in the ocean, mining and oil spills caused by shipwrecks are considered especially dangerous. The resulted oil concentration is extremely high and its effect reached far-beyond areas, leading to potential collapse of the ecology nearby. In this paper, we will talk about a few shipwreck incidences such as the Exxon Valdez in Alaska and Amorgos in Kenting to explain their impact on the ecology. We will also talk about ways to deal with oil spills. A communication system needs to be set up early on. We would also have to set up an emergency response center right away to provide information about the ship, the ecology, ocean current, and weather on the scene. Finally by combining the opinions from experts and scholars, we can make a well-informed plan to carry out the clean up effort. By doing so, we may reduce the impact on the ecology to the lowest extent, and even offer a favorable condition for the restoration of the ecosystem.

Key words : Oil pollution, Aromatic compound, Biological treatment,
Dispersion medium,

Littoral zone, Coral reef

一、前言

在人類正式進入 21 世紀的今天，科技日新月異，對於物質的需求更是不知有所節制，對於石油的使用與依賴，絲毫不見有趨緩的現象。石油的使用量由 1965 年的 15 億噸到 1978 年正式突破 30 億噸，期間呈現直線上升。雖然之後有略微回跌至 27、28 億噸，但也一直處在高使用量。在 1990 年後，平均每年也以 1.4% 的成長率增加，至 1998 年使用量統計達 34 億噸之多，且有緩慢增加之趨勢。

也因為全球的使用量高達 34 億噸以上，而產油地區與用油國家間，又有油品運輸的問題，以致重大的油污染事件時有所聞。至於規模較小的事件，由於人們的漠視或與切身無直接關係，也就無人聞問，而讓海洋油污染問題愈來愈嚴重，不僅對遭受污染區域的生態環境重大打擊，也直接、間接的影響各種生物及人類的生存。

目前世界各國對於海難事故石油污染處理，並沒有一套好的處理準則，往往因而喪失了處理的第一時間。本文主要目的是蒐集世界各國對於海洋石油污染如何發生及發生後如何處理的經驗來加以探討，並配合政府的行政簡化程序，建立一個較為理想的海洋石油污染處理準則，讓船難事故的石油污染所造成，對於事故區域生態之衝擊，可以降到最低。

二、石油的簡介

1. 石油的由來：

石油形成的原因雖然是眾說紛紜，但隨著科技的進步，也有了較明確的定論，石油乃是海生物變成的。據研究億萬年前在海中有許多微細的海生物(micro-sized marinelife)，但因為地殼變化或其他原因，使得海水中發生缺氧現象，導致這些海生物的全部死亡。再經過細菌的作用，將其轉變成各種脂肪酸。而這類脂肪酸，再經一種目前尚不明瞭的過程，轉化成油母質(kerogen)。油母質是變成石油和天然氣的前身，故被稱為「石油之母」或「年青的石油」。油母質在地底下承受高溫、高壓及岩石中的某種觸媒作用下，歷經億萬年之時間，終於變成石油和天然氣。

2. 石油的成份：

早期的石油化學工業發展，主要是以美國為首，其他如日本、德國、英國、法國、義大利、加拿大等已開發國家，也都有深厚的石化業基礎，而靠著石化工業，也使得上述各國的經濟蓬勃發展。物換星移，七十年代發生石油危機後，世界各國也處心積慮的尋找新油源，而隨著新油源的發現與開採，使得當時的開發中國家，紛紛加入石化工業國家行列，而台灣也在這股風潮之下，蓬勃發展，為台灣創造無數商機與外匯。也因為各產油國的不同，原油中所含的化合物成分、種類也會有所差異，但幾乎全是碳氫化合物和極少量含硫化合物。而主要成分是氣態、液態和固態不飽和烯類、炔類及飽和的鏈烷烴類和芳香族烴類天然混合物。原油經分餾提煉後，可以生產出各種燃料油、溶劑、潤滑油、瀝青等石油製品及化工的原料。依石油的沸點分餾，約略可分餾出下列幾種類型的餾出物⁽¹⁾。(如表 1)

表1 原油在不同溫度下分餾可得不同碳數之混合化合物

產品名稱	沸點範圍	每分子含碳數
煉油氣及液化氣	25°C	C ₁ -C ₄
汽油及石油醚	20-140°C	C ₂ -C ₆
揮發油(Naphtha)		
煤油(Kerosine)	175-275°C	C ₉ -C ₁₄
製氣油及柴油	200-400°C	C ₁₅ -C ₂₅
潤滑油		C ₂₀ -C ₇₀
燃料油		C ₁₈ 以上
瀝青及石油焦		大分子

(資料來源：謝俊雄著(1992) 新版石油化學工業)

750 裂解

輕油————— 乙烯 + 丙烯 + C₄ + 燃料氣 + 汽油 + 燃料油

其各種產物之比例又跟隨著裂解之溫度不同而有所變化。(如表 2)

表2 輕油在不同溫度時，裂解不同比例之化工原料

產物名稱	750°C裂解	900°C裂解
乙 烯	19.2%	32.3%
丙 烯	14.6%	13.0%
C ₄	11.4%	8.5%
燃料氣(丙烷及以下)	12.8%	18.3%
汽 油	36.3%	20.2%
燃料油	3.7%	5.7%
損 耗	2.0%	2.0%

(資料來源：謝俊雄著(1992) 新版石油化學工業)

在表 1 的餾出物中之輕油部分，可以再裂解成各種短碳鏈的聚合物化工原料。而其裂解時，可以利用裂解溫度高低、裂解壓力大小及通入的氫氣多寡等的條件來加以控制各原料產率高低，以增加生產低碳類的烯烴原料。產品除原有的乙烯、丙烯及丁烯類之外，也逐漸擴展至丁二烯以及苯等。其製程如下：

由表 2 中可清楚看出，當溫度提高時，含 C₃、C₄ 的化合物及汽油的產率下降，而乙烯、燃料氣、燃料油的產量提高。所以有很多的石油煉製廠都是以製程中的溫度等來控制石化原料的產率。以供應日常生活中食、衣、住、行等對於石油的依賴與需求⁽²⁾(表 3)。

三、海洋石油的污染

1998 年全世界的石油使用總量統計達 34 億噸，到西元 2010 年時，全世界石油的使用量預估將達 45 億噸。而石油生產地與消費地的分布極度不平均，因此全世界所生產的石油大約有六、七成是經由油輪在海上運送，只有部分經由輸油管或陸路來運送。石油從油井的生產、運輸、提煉、成品運送、使用過程及使用後殘存問題，在在都顯示出石油的高污染特性。但又因為人類對其依賴程度過重而無法脫離，所以如何安全使用及如何確保油品安全運送，也就成為重要的一門課題，更是降低油污染的重要關鍵。依據美國國家科學院的研究報告顯示，油污染的產

表3 由 100 公升汽油製出的石油化學產品



(資料來源：謝俊雄著(1992) 新版石油化學工業)

生不外乎下列幾種情況⁽³⁾：

1. 自然滲出

在地底的石油和天然氣儲存於封閉的岩層裏，那些岩層結構非常緊密，並不會使石油和天然氣洩漏，但卻會因岩層構造的斷落或造山運動的推移，而使岩層產生位移現象，而導致封閉的油氣層破壞，使石油和天然氣外洩。臺灣有名的關子嶺水火同源，就是因為天然氣外洩形成的，這種地層中石油外洩的情形，不論在那裡都可能發生。目前全球約有二百處較重要的海域有石油自然滲出的情形，如在美國加州外海之 Coal Oil point 即是一處，但因沒有滲出程度的資料，所以也就沒有詳細的滲出量統計。美國國家科學院 1973 年報告，依據世界各地區滲出機會之大小，估計每年全球海底自然滲出的石油約在 20 600 噸之間。

2. 海域油井

在 1995 年的統計，全世界已有 50 多個國家和地區從海洋開採石油，年產量占世界石油產量的 30% 左右；海上天然氣產量已占天然氣總產量的 20% 以上。而且這種比例也在提高當中。

海上油井在鑽探勘井時，可能會因井下的地質結構、油氣壓力等因素無法完全掌握，若鑽具於中途損壞或控制油氣的開關故障等情況發生時，皆有可能使油氣意外噴出。而且海域油井在平常鑽取的操作流程，也常會有含油的海水流入海中造成污染。其他如天候因素、火警、爆炸等等的意外事故，都會導致大量原油外洩污染海域。例如在 1979 年中，墨西哥 Mexican Ixtoc 一號生產井破裂，大約有 30 萬噸的原油流入墨西哥灣中。2001 年 3 月 15 日，可日產 18 萬噸原油的全球最大鑽油平台巴西 P-36 油井發生三次爆炸，並於 3 月 20 日沈沒入海中，其鑽油平台中儲存有 120 萬公升柴油及 30 萬公升原油。每年油井的石油漏出量，會因為事故次數的多寡以及事故的嚴重程度，而有相當大的差別。

3. 煉油廠

煉油廠分餾的過程往往需要用到大量的水來稀釋原油。通常是以一比一的比例加以混合，據估計煉油廠污水含油濃度約在 20ppm 左右，地球上每年至少有一億多噸的冷卻水和廢水排入海洋中，以這個濃度推算，全年沿海煉油廠排放的含油污廢水，流入海中的石油量約為 20 萬噸。但是近年來由於氣冷式及循環冷卻系統等設備的普遍使用，可使其濃度降低至 20ppm 以下，所以估計現在每年排入海洋中的油污量應可控制在 20 萬噸以下，除了石油煉油廠的油污，沿岸市鎮及非石油煉油廠的工廠廢水，都可能含有油污存在，同時都市廢水的排出，亦會帶來油污。

4. 港口船塢

所有的船隻，包括油輪都需要進入船塢做保養、維修、檢查與清潔。就油輪來說，正常的營運下，大約十八個月就必需要進船塢保養，而保養時必需先將石油或天然氣徹底地清除乾淨，以防在保養的過程中，因為焊接的火花，而造成爆炸或燃燒。雖然

在船塢裡面都設有清洗廢水的收集處理設備，但是需要排隊等候使用，非常浪費時間。所以據估計約有一半以上的油輪在其進塢之前，就在海上被清洗乾淨，這樣一來每年大約又有 25 萬噸以上的油污被排入海洋中。

5. 油輪裝卸

油輪是原油運輸主要的方式，在卸油站少量的漏失是無法避免的。當油輪卸完原油後，必須將油槽裝滿海水做為壓艙水以維持船身之平衡。而在到達運油母港時，再將壓艙水抽出排入海中。為了避免在運油母港口排出壓艙水污染港口，油輪通常都是在外海就將含有油份的壓艙水抽出，這樣運油過程所排出之含油污廢水，可將油輪裝載量的 0.35% 油料排入海洋中。後來為了減少這種壓艙水污染海域，油輪都已漸漸的引用一種叫做 Load on Top 的裝洩方法，到目前為止大約有 80% 以上的油輪使用這種 LOT 的運油方式。由 LOT 這樣的過程估計約有 90% 的油污會被儲存在廢水艙中。但多年來的調查仍發現，海上油輪運輸交通線水域的油污染仍較一般海域要更嚴重，是一個值得注意的現象。

6. 船難事故

海上運輸是有風險的，所以當發生船難或事故時，時常都是因為氣候因素所造成，當油輪發生船難時，船上所攜帶的原油或燃油，非常容易流入海中造成海洋的污染。世界各地每年平均都有數起船難發生，而常造成重大海洋生態污染事件，往往是油輪的事故。一艘普通油輪可攜帶約 10 20 萬噸的原油，而油輪發生意外的地點，通常以離海岸 50 哩內之海域最為頻繁。若以油輪的漏油比例在全部油污染總量中其實並不算高，不過因為其漏油量集中，又離海岸不遠，所以當這麼大量的原油漏出時，若無法即時處理，對於沿海的生態系會有毀滅性的影響。茲將幾次油輪重大污染整理如表 4。

表 4 海洋重大油污染事件回顧

事件名稱	發生時間	油污種類及數量	污染地點	處理方式	對生態影響	備註
托雷-坎谷 Torrey Canyon	1967.3.18	12 萬噸石油	英國蘇格蘭外海船塢	外漏八萬噸，投下十萬噸分散劑及燃燒 4 萬噸石油。	污染 200 公里英國海岸線及法國 65 公里海岸線。	使用不當的石油處理劑，使岩礁生物滅絕，十年後才復原。
邦拉格 Bonag	1977.2.7	1.5 萬噸原油	台灣北部野柳外海船塢	機械抽油及人工砂灘。	一個月內浮游生物明顯減少，潮間帶生物亦明顯減少。	經過兩個月之後，適逢大颱風，將整個海岸污染沖洗掉。
艾克森維爾達號 Exxon Valdez	1989.3.24	4160 萬公升石油	美國阿拉斯加威爾王子灣。	分散劑及蒸汽熱水清洗。	污染阿拉斯加 1600 公里海岸線。	在污染的沙灘及石礦添加氮與磷加速細菌分解。
波爾戰爭重油流出	1991.1.25	超過 50 萬噸原油	波斯灣沿岸		戰爭結束到現在，油污依然污染著波斯灣的大部分海域。	附近國家沒有能力處理。
阿城斯號 Azores	2011.1.14	1100 噸原油	聖丁雅斯自然保護區	機械抽油及人工砂灘填石覆蓋，並以凍水柱清洗。	污染範圍約 20 公頃海岸線約 1 公里。	利用高壓水柱沖洗填石恐怕造成生態復原延遲。

7. 降雨中的油污染

據統計全世界約有 10% 到達海洋的油，是來自油井大火釋放至大氣的濃煙所造成。其它如汽車及其他石油製品在工業上的燃燒使用，估計每年進入大氣中的石油量至少有 6 千 8 百萬噸以上，其中約有三分之二的量祇短暫的停留，然而在 6 千 8 百萬

噸中究竟有多少會落入海洋中則是一個謎。無可置疑的是 6 千 8 百萬噸中的全部或一部份會受到光化學作用而遭破壞，這種過程是很難了解的。但如果大部份石油會落到陸地上或遭光化學作用而破壞，據專家的估計每年至少有 60 萬噸的石油會落入海洋。

8. 廢油品之污染

大部分的海洋油污染都是來自陸地上的活動。幾乎一半(有些專家估計有 90%)排入海洋的油品廢棄物，是由汽車、工廠機械及工業所廢棄的油品，或滲漏到地面或進入排水系統而進入海洋。單就以美國為例⁽⁴⁾：美國大約有五千萬輛汽車更換的舊機油被任意棄置，每年所棄置的量相當於艾克森維爾達茲油輪石油外洩量的 20 倍，單單美國汽車的廢機油量就達到如此龐大的量，更何況全世界廢機油的量，如果再加上工廠機械中廢機油的量，如不妥善處理，海洋遲早會因為油污染，而變成了無生氣的死海。

四、海洋油污染對生態的影響

油污染對於海洋生態的影響取決於幾個因素：油的種類(原油或提煉油)、漏油量、漏油地點距海岸的遠近、季節、氣候狀況、平均水溫，以及洋流等種種的因素。根據科學家調查發現一噸的石油，在不以攔油索圈圍下，它可以覆蓋十二平方公里的海面範圍⁽⁵⁾，所以當石油外洩污染發生時，若不即時處理，其污染程度勢必會隨著時間的增加而加重，故第一時間的把握，將會影響往後整個區域的生態達 5-10 年，甚至 20 年的時間。

當石油進入水生環境中，可以發現石油化合物的型態是複雜、多樣化和可變化的。因為原油是一種多成份的物質，含有數千種不同性質的化合物，如芳香族化合物(Aromatic compound)以及脂族化合物(Aliphatic compound)。當油污在外溢進入海面後，因為油污的比重比海水輕，而漂浮在海面上，形成一層「石油膜」，這層膜會在海面上漂浮。開始階段，溢油的較厚部分通常呈黑色，但隨著海流、波浪、風的吹送、雨的沖刷及油膜本身的表面張力等等因素，使得油污蔓延到許多地方，形成區域污染。而在上述過程中，會因上述因素及含碳量較低之化合物揮發，而有乳化現象。乳化後變為棕色、橙色或黃色，較稀薄的溢油則呈現出耀眼或閃銀光的狀態。

同時石油化合物，在海洋中會經各種物理的、化學的及生物的過程而逐漸揮發、分解，最後變成乳狀物、表面浮油，甚至溶於水中或成固化等型態。由於這些變異性，油污染對海洋生態系的危害各有其特性。

根據科學家研究發現在科威特生產的瀝青較新鮮原油的毒性為低，顯示原油的毒性和其中揮發性物質有很大關係。再進一步分析發現原油中較毒的部份是芳香族碳氫化合物，如苯(benzene)、甲苯(toluene)、二甲苯(xylene)和酚類(phenol)等物質，其毒性對於人類的腎臟及肝臟都有傷害，甚至可以使人致癌。以下就海洋油污染對於環境的影響分述如下：

1. 油污對藻類影響

浮油對水中植物影響很大，因為油的光線傳導能力(light-transmitting facility)愈強，則吸收光線愈多，其吸收光譜約在 325-350nm，為偏藍光的區域，而海洋藻類的吸收光譜最大區域亦為藍光區，如葉綠素甲、乙及β-胡蘿蔔素都在這一區域內，故在潮間帶、岩池中藻類生長會受到油層的抑制。而水中的油污在經過細菌、原生動物等分解後，亦可供應浮游性藻類的營養，在實驗室中培養矽藻時，如加入

100ppm 的油水淬取液，除初期會被抑制外，經過三天以後矽藻量就超過對照組的矽藻量，顯示出其分解後有促進藻類生長的作用，同時當布拉格油輪遇難後，在失事現場調查，發現雖然油污染對某些植物性浮游生物種類的生長有抑制作用，但相反的有些種類則會大量出現，此種出現多量的現象，不久即減少而後逐漸恢復。

2. 油污對浮游生物影響

油污除了水溶性物質會對水中生物產生影響外，油污本身亦會影響到水中生物的行為，如海洋中魚類的卵和稚魚大部份是漂浮性的，同樣的浮游生物亦靠種種的體態變異來增加其浮游性，但由於油污的沾染而使其失去浮游的能力，被海水上下帶動而招致死亡，或者因為身體部份沾染油污而使行動受到影響，降低其覓取食物或逃避捕食者的能力，而造成死亡。然而卻有某些動物能夠利用此種碳氫化合物當作食物的來源，在海洋，原生動物的夜光蟲就具有這種能力，因此當油輪遇難後，往往在遇難附近區域，會有某些種類浮游生物大量出現。

3. 油污對海洋魚類影響

空氣中的氧氣經由水面的擴散作用而溶解於水中，為水中生物所利用，而海上的浮油會阻絕這種空氣的交換，當浮油厚度達 17 毫米時，海水中含氧量較正常狀況下少 27%，如果油層很厚，會使生物因缺氧窒息死亡。

另據資料顯示，在 149 以下能夠分餾出來的芳香族碳氫化合物部份，對於生物毒性是較強的。當海面已無覆蓋之浮油，而海水中僅存水溶性芳香族碳氫化合物時，水溶性部份的多寡，將會影響對海中生物的毒性大小。但對寬闊的海洋中融入的水溶性芳香族化合物的量，相對而言是非常的少。所以對大部分生物而言，這種水溶性物質並不是很重要。然而，其卻對於洄游性魚類如鮭魚等，雖不會致死，但卻能影響它們返回孵化場所(Home river)的能力。

當然對該地區的某些生物生理亦會產生影響，它的影響是隨著濃度的高低及生物種類的不同而異，例如布拉格油輪所載運的油料、淬取液，對魚苗及草蝦等的毒性並不同，在 5 萬 ppm 抽出液中經過四天的浸泡，祇有草蝦苗死亡超過一半，而其餘的虱目魚苗等卻都沒有出現死亡。

4. 油污對底棲生物影響

底部碎屑生物的分解作用，亦會因油污泥沈積海底覆蓋而招受影響，使得海洋生態系之完整性受到相當的阻礙。

一般認為乳化後堆積留存於環境中的石油(不含芳香族碳氫化合物)，因為毒性較低，且若無大片沈油覆蓋在海底及生物體上，則底棲性生物較不受到影響。例如藤壺、雙殼綱貝類等以濾食性為主的生物，或以剝落岩石表面藻類為食的生物，都可在不影響生命的情況之下，由環境中攝取油渣並排出。若大片沈油覆蓋在海床上時，將會使居住在海床上的蟹類、牡蠣、蚌類以及蛤等生物因窒息而死亡。

據實驗顯示，以芳香族碳氫化合物做試驗，並以文蛤進行研究，可以非常清楚的

觀察出當文蛤處在含芳香族油品環境時，其濾水率及潛沙行為皆明顯的下降而其呼吸率亦有部份有明顯上升的傾向。此實驗證明原油中之芳香族碳氫化合物部分對於文蛤成體雖然不造成立即的致死作用，但仍顯著影響其呼吸與濾食反應，若油污染源持續存在而無法在短時間移除，將對文蛤的細胞生理與生長狀況造成慢性傷害⁽⁶⁾。

5. 油污對潮間帶生物影響

當浮油整片覆蓋在潮間帶時，此區因為在退潮後會呈現淺水、無水的狀態，所以覆蓋的油污會附著在岩石、砂礫、乃至各種生物的表皮之上，而且沾染油污的表皮，又不容易使油污脫離，因而使得各種生物面臨死亡的威脅。當水面表層、岩石、砂礫等的浮油清除後，但原油中較毒的芳香族碳氫化合物，在潮間帶或淺水區域因較為封閉，故受污染後，溶解於海水中的芳香族碳氫化合物，其濃度不易隨著海浪的衝擊，而迅速降低，故對於逃過浮油覆蓋而生存的此間生物，存著極大的威脅。根據專家研究，當這種水溶性的芳香族碳氫化合物，濃度增加時會加大毒性的影響作用，它能夠干擾潮間帶地區蟹類的攝食及生殖行為，也可以影響沿岸龍蝦的攝食行為。

6. 油污對海鳥影響

海洋油污除了對水生生物會有影響外，對於在海上覓食的海鳥亦會造成很大的傷害。這些漂浮的油污若是沾在沿岸的水鳥或海鳥的羽毛上(特別是需潛水覓食者)，會破壞鳥類天然的保溫能力以及浮力；許多鳥類會因而溺死或是因失去體溫而死亡。而在海面上的大塊浮油，海鳥會誤認為是陸地或岩石突出處，而在那裡落腳休息，因此而誤入陷阱沾染油污，進而喪身海底。

7. 油污對哺乳類影響

海中的哺乳類動物，一般的習性均為潛入水中捕捉魚類等種種食物，再浮到水面呼吸以及攝取食物，所以一旦水面佈滿油污，則哺乳類將因此窒息或油污沾黏在其毛皮上，而使其無法承受自身的重量，因而溺斃。

8. 對於觀光的影響

對於沿岸地區油污除了破壞沿岸生態環境外，對海岸的美觀及使用亦會產生不良影響，當人們在海邊游泳時，通常很少想到這種影響，但是當布拉格油輪，在台灣北部沿岸觀光區及海水浴場嚴重污染時，此種影響，才會被大眾所明瞭。

五、海洋漏油事件處理方式：

海上高密度的漏油事件主要來自船舶作業和船舶事故，特別是油輪事故以及石油平臺、儲油和輸油設施等偶發性事故。海面浮油的存在，不但污染周圍環境，破壞海洋的生態平衡，而且還存在著可能發生火災、爆炸的危險。因此，一旦出現溢油事故，必須要迅速作出反應，一方面要盡可能縮小其污染區域，另一方面要迅速消除或回收海面的浮油，以使得油污對生態的影響範圍及衝擊，縮到最小。

下列簡介主要是將國際上常使用及正在發展的方法，依其階段性的任務，做簡單介紹⁽⁷⁾：

第一階段：圍堵

1. 攔油索

於船難發生的第一時間內，利用攔油索來圈住船難外洩之浮油，使浮油污染範圍不再擴散，以方便後續之處理。但若在海況不佳時，如浪高超過 30 50 公分，或海水流速超過數節，則使用困難度將提高，且效益會下降。目前的攔油索一般能承受流速約 0.5 米/秒以內、最大波高為 1 1.5 米的波浪。

2. 船艙抽油

利用發生船難之初期，原油還未大量洩出之前，先進行止漏，或儘量使船體漏油量減到最小，如此便能延長搶救之第一時間，並利用工作船抽取船艙中之漏油，使船體總重量減輕，而或許可將船體移開船難現場，使漏油規模及範圍得到控制。

3. 燃燒法

只在非常大量的油污外洩時，而且事故區域屬於非漁場、岸邊或交通頻繁的地區，無安全疑慮下才被考慮使用。最好能將浮油集中，添加氧化劑以方便燃燒。不過燃燒後油會變成低粘度，並會有焦狀物質沈入海中，燃燒時也會造成大量的濃煙，而造成二次污染。但因在大氣中濃煙擴散較快，且燃燒後殘存有毒物質較少，是一個不錯的處理方法。但需注意必須在第一時間進行，否則漏油較久而使油和海水乳化成膠狀物時，就很難以燃燒法處理。

1967 年 Torrey Canyon 油輪事件，英國空軍在英國外海油輪遇難區，投擲炸彈就是要利用燃燒的方式來減少油污的量。但是僅能用在在外海區域擱淺之油輪剛漏油時及揮發性較高的油類，效果較佳。

第二階段：回收

1. 人工撈取

沿著海岸線有高粘度的油附著時，可讓波浪衝擊或用人工刮除沾了油的砂面幾英寸即可。為不使排除的油污及油污砂，再次污染地下水或地表水，對回收處應以適當之容器來盛裝，並轉交有關單位處理才行。

2. 吸油棉

海面的浮油一般都先用攔油索將油污圈在一定的範圍之內，再利用高吸油 PU 泡膠或吸油棉來進行吸油，所製備之泡膠浸於油內五分鐘可吸油量多達 40g/g。在污染區淺灘地帶或海上作業區附近，使用起來尤為方便。另外在平靜的水面，亦可用漂浮性乾燥植物體如稻草、麥莖等均可。這種吸附物質的利用，必需要確定其在吸油後不會產生下沉，且本身不具毒性，並具有良好的離水性質。

3. 吸油機回收

一般來說，吸油機回收法不會造成二次污染，是各方法中最被廣泛使用的方式，但只有油層不是很薄時，才會有較好的效益，操作方式是利用吸油機直接將海面上層的油水層吸取，經過油水分離機將油水分離後，使油污集中處理，這樣的處理可以連續操作，且在淺水區域亦可使用此種操作方法，尤其在平穩的海域這種方法效率最高。

4.除油船

利用油和水之比重不同，及油的凝集性，使用傾斜板或輸送帶於海下將浮油導入一船底開口且在分隔之船體內，使油上浮分離，再用幫浦抽吸收集。在開闊的海域或油污較少的地區，亦可仿照拖網船作業方式，將拖曳式吸油機利用網片及吸油布組合作業，由船在海面拖曳、清掃再將油污與水一併收集，再以集油設備收集油污。其他也有些吸油氈可由船在海面上拖行，浮油即會被粘附在氈的下面，然後通過氈上的小孔被吸進橡皮管，再被吸入油罐。吸油氈的顯著優點是操作簡便、靈活機動。

5. 吸附式的浮油回收器

由吸油材料組成油繩經過油層後將油吸附，然後通過擠壓將吸附的油擠出輸入儲油艙。它的優點是適用於多種石油製品，回收油含水量較少，且不受風浪影響，但結構笨重，且吸油帶等易磨損。

第三階段：末段處置

A.生物處理

1. 微生物處理

利用微生物來吞噬海上浮油，是現階段科學家正在努力研究開發的油污清除方式，也為淨化海上環境污染開闢了一條新的途徑。但是微生物的處理，最大的限制因素就是溫度及環境穩定，而環境中溫度至少達 25 30 以上，再利用微生物消除油污染源，其效益才能顯現，否則微生物不易繁殖，處理將曠日費時，而充滿變數。

利用微生物處理油污染，曾經應用在清除墨西哥灣的兩次重大石油洩漏污染事件。挪威「梅加博格號」油輪在墨西哥灣起火爆炸，洩漏的原油在海面上形成長 45 公里、寬 15 公里的污染帶。為防止原油污染美國德克薩斯州海岸，美國環保部門就利用微生物處理。結果，微生物處理的效益還不錯，只是後續的環境監測工作並沒有落實，所以沒有微生物對環境造成影響的評估報告。

國內研究微生物的實驗室也不少，所以近年來在博、碩士的論文方面，也有不少利用微生物來清除油污的相關研究。目前研究的主要方向是針對毒性較強的芳香族碳氫化合物之七種混合型微生物⁽⁸⁾：如機油分解菌、石蠟分解菌、柴油分解菌、煤油分解菌、酚分解菌、甲苯分解菌、二甲苯分解菌等七種菌株，分別在發酵槽中並加入適量營養鹽⁽⁹⁾：氮鹽、磷酸鹽、鐵鹽、錳鹽及鋅鹽等後，進行擴大培養，當培養至對數生長期進入穩定期時，將菌液取出，在進行熱風乾燥，可以製造微生物製劑。當發生油污染時，再取出生物製劑，再加入營養鹽使製劑活化後使用。國內的研究雖然只是起步階段，但這將是未來處理油污染的一種趨勢。

2. 環境自淨處理(礁岩部份)

由於海浪的作用，可以使水面的溢油粉碎成極細小的油滴。小油滴與海水充分混合，使油的濃度降低，而且極易被微生物降解，這就是海洋的自淨能力。實際上自然界裏就有相當大量的油塊分布在海裡，並不是我們有能力可以處置的。因為包

括自然滲出的原油，也有相當的數量，只要確定其對近岸地區不會造成影響，而讓它依循著大自然的法則，經由環境中溫度、日照及微生物等的條件，逐漸的分解消散，只不過需要點時間。

3. 濾食動物處理(海床部份)

以沿岸地區生物界的緩慢變化而使自然界中的自淨作用強化，軟體動物是這方面的代表，因為它們能快速的過濾海水。將沈入海床中的油污取出並放入水族箱做試驗及實地觀察，可清楚顯示出軟體動物在被石油污染的環境中，生存率很高，因此它們在沿海自淨作用上貢獻很大。在海洋油污染地區的自淨作用，可由特殊的浮游濾食性甲殼類和附著性生物如多毛類來進行，此種的生物處理，當為想像中未來控制油污染的方法之一。

B. 物理式處理

1. 高壓水柱清洗

利用高壓水柱的方式，配合攔油索的使用，來清洗礁(岩)石上的油污，沖洗下來的油污也要再用人工方式回收。雖然可將礁(岩)石上的油污清除乾淨，但是也將礁(岩)石上的寄生動、植物及微生物一併清除，故對於礁(岩)石區生態系會造成第二度的傷害。

2. 水蒸汽清洗(熱水清洗)

此種清洗方式，一般使用在溫度較低的高緯度地區之油污染，其結果較高壓水柱清洗，對生態破壞更為嚴重，因為高溫水蒸汽不只清洗掉油污，也一併殺死寄生在礁(岩)石上的動、植物及微生物。

3. 油污沉澱法

在油污的海面上散佈比重較大的粉末或是粒狀物質，使油污吸附在這種比重較大的物質上，利用重力的關係沈降到海底，來達到除油的目的。這種除油方式簡單且費用亦省，大量漏油時常常被使用。但是此種方法處理油污僅是將油污沈澱於海底，這樣一來，受到覆蓋的海底會影響海底微生物進行有機分解的功能。同時也會發生沿岸地區的岩石、砂地、珊瑚礁上的藻類無法生存的現象，以致影響穴居性及附著性生物的生存。由於在海洋生態系上的危害，使此種處理方法爭論頗多。

C. 化學式處理：

1. 分散劑

由於海洋自淨過程一般比較長，而且一旦原油與海水混合為一體，很快就會形成一種極其粘稠、污染性極強的乳膠。根據 1997 年的研究發現美國於 1974 至 1994 年間使用分散劑處理的大型漏油事件(使用除油劑超過一千桶者)，在原油方面有 51% 成功；在精煉油品方面則只有 18% 成功⁽¹⁰⁾。

一般來說，分散劑的使用應在溢油初期，因為一般油水混合形成乳膠需 24-48 小時，此後分散劑就無能為力了。使用過程須充分攪拌混合，因此常利用船隻在油

面上移動幫助攪拌。好的分散劑能使油粒消散至直徑在 1 μ m 以下，形成高度穩定的乳化液，可防止油污沾黏到動物羽毛、皮膚及砂粒，以減少石油對海鳥的危害，且因油污之粒徑已小，易受海流、海浪的衝擊而分散開來，就比較不會產生海水中溶氧量不足的問題，使大量魚類死亡。但是如油膜厚度大於 0.5 厘米或溢油區屬水產資源等敏感保護區，是不宜使用分散劑的。

油污分散劑的使用最早可溯至 1960 年代中期，但 1967 年「托雷峽谷號」油輪在英國南部海岸外海漏油，技術人員使用了大量的分散劑，結果大部分的溶劑雖在幾天內即已揮發，但當時以芳香烴為基礎的分散劑卻將浮油乳化，並殘留在海面上達數星期之久，造成方圓數英哩海域水生生物的浩劫，對環境的負面衝擊更甚。

而在「托雷峽谷號」漏油事件之前，全世界九成的漏油污染均採用分散劑，之後使用比例就直線下降，至 1990 年代僅餘 30%。而分散劑方法的處理成本雖然遠較機械式清理法便宜，但各國政府對分散劑是否會對環境造成二次衝擊，仍持保留態度。

1970 年代以後，科學家們有感於海洋石油污染的日益嚴重，便開始積極研發更溫和、更有效率的化合物來作為分散劑；但美國政府所規定的事前核准程序過於冗長，使分散劑的發展遇到瓶頸是主要的原因。因為分散劑使用必需在污染發生的廿四小時內使用才能確保效果，而且越早使用，越能分散油漬，但由於核准的緩不濟急，以致常常影響分散劑的使用效果。

對全世界而言，早期發展的分散劑已被普遍使用於清理漏油污染，比較常用的化合物有 Nalco/Exxon 能源化學品公司的 LP's Corexit，BP Amoco 公司的 BP 1100 和 Enersperse，以及 Fina 公司的 Finasol 等，但分散劑本身的毒性，卻是最為詬病的。如分散劑 Bp 1100 之濃度，在 33ppm 時會使寄居蟹在十小時內死亡半數以上。因此雖然目前使用的分散劑的毒性比以往所用者為低，但仍具有毒性，在油污清除時應盡量選擇毒性較低者為宜，且在使用於岩岸時應要馬上沖洗，或選擇漲潮前一個小時內進行，利用潮水稀釋其濃度，以減少對生物的危害。

目前分散劑的研究方向主要在提高清除效果和安全性，並瞭解真正的分散過程。美國國家海洋與大氣管理署(NOAA)、海岸防衛隊、環保署和疾病控制中心最近利用先進的科技來進行一項監控計畫，由人員攜帶精密的螢光計、PH 計、導電計、溶氧計、以及混濁度監控設備，直接到現場蒐集油污處理的實際數據(包括使用分散劑及就地燃燒等)。現今之分散劑毒性已降低許多，且可利用空中噴灑方式進行，而過去幾年，美國對使用分散劑的態度已由不情願轉變為接受。

分散劑經改變配方後，清除效率更高，毒害性則顯著降低，依據研究油污處理卅年以上的專家指出，早期分散劑使用含芳香烴化合物，現已改用非芳香烴、水溶性的化合物，而表面活性劑配方濃度較高的有 25-60%，包含二醇類及含氧化合物。另外也有愈來愈多的公司正在評估使用「生物性分散劑」，如 Candida, Arthrobacter

和 *Pseudomonas* 等微生物，合成油脂類的分散劑。

六、個案處理檢討

(一)阿拉斯加的艾克森白爾德茲號 (Exxon Valdez) 油輪油外洩事件討論

1989年3月24日，艾克森維爾達茲號，一艘長度超過三座足球場的大油輪沿著一條在阿拉斯加維爾達茲港附近威廉王子灣的16公里寬(11英里寬)的航道中向南航行。她撞上水中的礁石，造成美國水域有史以來最大的原油外洩事件。船上4160萬公升的石油迅速流入威廉王子海灣，而快速散開的油污覆蓋了超過1,600公里(1,000英里)的海岸線，幾乎是從新澤西州到南科羅來那州的海岸線長度。經統計約有40-50%的油污揮發消失掉。14%的油污被回收，13%的油污沉入附近海底。約有2%的油污還附著在附近岩石、沙礫之中。其餘部分跟隨海流去向不明。

1. 油污處理方式

(1)分散劑使用

美國聯邦政府及地方政府雖然於觸礁事件發生數天後，批准使用 Exxon 的分散劑 Corexit 9580，但由於延遲數天，已超過使用分散劑的黃金時期，所以使用效果不如預期。

(2)吸附劑清除油污⁽¹¹⁾

最後利用柑橘油、檸檬油當原料提煉的一種化合物稱為 PES-51，這種化合物可以吸附在海水中的浮油及結塊的油，吸附之後再經過收集器，將浮油等收集起來。以此種清除方式，非常的耗費時間與人力，而且僅能清除眼睛所能看到的岩石上面及水面上之浮油及油漬，而水面以下的部分及岩石角落部分，是無法順利的清除。

由於水面之下的油污，無法清除乾淨，所以經歷一個嚴冷的冬天之後，卻因為季風與海浪的衝擊，一些原來處在水面之下的浮油，又再度附著在岩石(礁石)之上，而不得不再加以清除乾淨，如此現象要經歷幾年才會慢慢減緩。

PES-51 經過毒性試驗之後，發現其因來自於柑橘，所以對動物並沒有毒性之反應。所以對於整個生態不會造成二次傷害。

(3)利用高壓熱水柱

由於污染範圍廣泛，除上述兩種方式外，也利用高壓噴射熱水流來清理海灘及岩岸，但是卻反而殺死了海岸邊在外洩事件中倖存下來的植物、動物及微生物。結果顯示，在外洩事故一年之後，未以上述方式清理的地區復原情況反而比已清理地區還要快。

2. 油污的影響

(1)對生態影響

以這次「艾克森維爾達茲號」的漏油事件，漏油初期當然對整個生態的衝擊是相當大，石油所含的苯(C_6H_6)和甲苯($C_6H_5CH_3$)等有毒芳香族碳氫化合物進

入了食物鏈，從最低等的藻類到最高等的哺乳動物，無一能夠倖免。

據統計油污殺死了介於 300,000 到 645,000 隻鳥(包括 430 隻白頭鷹)，超過 5,500 隻海獺，300 隻海豹，23 頭鯨，以及不計其數的魚類。其中上萬隻海鳥陳屍海灘，而成批海鳥被困在油污中，牠們的羽毛，一旦沾染上油污，就可能中毒或死亡。在第一週估計超過十萬隻鳥禽死於溢油，鳥類浮在佈滿原油的海面，其羽毛黏結在一起，使其無法飛行及覓食，因此很快便餓死或是因無法飛起而沈入海底。野生動物的總損失將永遠不得而知，因為大部分的死亡動物都沈到海底並且被分解掉了。

而成批海獺為躲開油污，紛紛爬上浮橋，在有限的面積裡擠成一團。海獺的習性為潛入水中找尋食物，然後再回到水面呼吸以及攝食，海面一旦佈滿油污，則成千的海獺將因此而窒息；此外油污若沾黏在其毛皮上，將使其無法承受本身的重量，因而溺斃。而已經被油污污染的海豹，一次又一次躍出水面，試圖把皮毛上的油污甩掉，但最後終於筋疲力盡，而掙扎著沉入海底。海象和鯨魚等大型海洋動物，也面臨同樣的厄運。

溢油散佈超過千哩的海岸線，同時殺死了食物鏈基層的微生藻類及浮游生物，當 3 月 26 日大批的迴游性鮭魚，進入事故發生海域上百尾的虹鮭游過原油覆蓋的海面，它們也很快全死於含芳香族碳氫化合物的有毒海水中。

(2)對經濟影響

人類也是受害者之一，漁業損失主要為鮭魚、黑鱈魚的大量死亡及鯖魚產卵地的破壞。威廉王子海峽附近是產大馬哈魚最多的海域之一，也是盛產鯡魚卵之處，但事故使兩種魚類的孵卵處和卵都受到油污的侵襲，漁場毀於一旦。

其他受油污污染的潮間帶動物、蝦、蟹、貝類等之死亡更是不計其數，而因此事件死亡沈入海中屍體，又因為食物鏈的關係，被原來未直接受油污衝擊之動物所取食，而在生態系統中不斷的循環；而誤食沈入海中浮油的動物，也會因為腸胃器官的沾染而導致死亡。而浮油的覆蓋，導致海水中的溶氧量下降，使魚群缺氧暴斃。

又因環境的惡劣導致魚群遠離污染之海域等種種因素，使得漁民的漁獲量大為減少，甚至連附近海域所捕獲的魚貨，都含有油臭味，而乏人問津。其他諸如捕魚漁具沾染油污等等的損失，對漁業是一次重大打擊。據漁業專家的估計，此次事件漁業損失高達 8 億美元以上。

(3)十年後生態觀察

由相關資料及報導得知，在十年後的今天，約有 2% 的重油還留在沿岸，在威廉王子海灘附近的居民在此區域海灘幾乎沒有什麼活動，其中包括戲水、郊遊、烤肉、露營等，只能保持人員在此區域的通行、進出。因為在海灘上，隨時都有殘存的油污在砂礫中出現，所以有可能身體隨時會沾染油污，以致觀

光旅遊業也就一蹶不振，相對的對於此區域的旅遊市場及相關行業就會萎縮甚至倒閉，對於此地的就業市場造成另一波衝擊。此事件有形的代價，據估計約需花費八十五億美元，而輪船公司也花費了二十二億美元在清理工作。至於無辜死亡的動、植物卻是八十五億美元所買不回來的。

對於生態而言，十年後與漏油事件發生前相比較，對當地的 23 種生物進行調查，其中兩種生物(白頭鷹及水獺)的族群數目及生長狀況有復元的現象，而其他的生物包括有潛鳥、海豹、鮭魚、鯡魚及三指鷗等，在十年後族群受到的影響卻尚未恢復⁽¹²⁾。

而在漏油事件中重油對生物的嚴重影響直接的傷害包括當時油污沾染在動物的毛皮上，讓保溫效果降低，此外生物清理毛皮或攝食中，吃入大量的有毒物質，對其肝臟造成的損害及日後生理與生殖的干擾則是無法預測的。

依此事件研究結果顯示，生態系統是一個非常有活力的系統，它會不斷的調整並執行其原先該進行的自然循環及因為油污染的產生所導致的生態變化兩股力量，由相互對抗慢慢達到妥協。而隨著時間的慢慢延伸，環境中『自然調整』與『油污染產生變化』兩股力量之間的界限，才漸漸的模糊，終至融合為一體。

(二)墾丁「阿瑪斯號」(Amorgos)油輪油外洩事件討論⁽¹³⁾

2001 年 1 月 14 日，希臘籍貨輪「阿瑪斯號」在屏東鵝鑾鼻東岸外海發生機械故障，因而失去動力，並經過長達十九個小時的海上漂流後，而擱淺於墾丁國家公園近海的龍坑生態保護區外海約一公里處。再加上船體受到撞擊及海浪拍打，產生船體結構破裂，造成大量燃油外洩，但由於天候不佳、海象惡劣，不利於海上的除油及攔油索的架設，以及相關單位人力、除油設備、處理的經驗不足等因素，導致約 1100 噸的燃油不斷外洩，估計海面上油污面積達 20 公頃，並且污染至龍坑生態保護區沿岸約數公里的範圍，較嚴重污染的海岸範圍至少有 700 800 公尺。

1.各污染區域處理方式

(1)海面及潮間帶礁石區覆油回收

因為此次船難發生地點屬於生態保留區範圍內，且又錯失了處理的第一時間，所以燃燒法及分散劑方法，並不考慮。僅利用抽油船來抽取船上未漏出的油污及利用人工方式，緩慢清除礁石之間的覆蓋的燃油。共撈除岸際的油污約五六 噸浮油。

(2)潮間帶以下(浪潮可衝擊處)

龍坑地區海象險惡，所以回收油污後，便利用大自然力量，以此區域的海浪拍擊力強，再加上日照強烈，紫外線強，來幫助附著於礁岩上的油污的分解，故以自然分解的方式處理。因為龍坑處生物敏感地區，除污工作除了以刮除覆蓋油污外，若再以任何方式清除，所造成的生態衝擊，一定會比海浪沖刷、陽

光照射、氧化等自然方式為差。

(3)潮間帶以上(浪潮衝擊不到之處)

先以刮除覆蓋油污後，再利用高壓水柱沖洗礁石上之殘油，但因龍坑地區的珊瑚礁是因為地形緩慢突起所形成的裙礁。其中珊瑚礁地形最值得觀賞的就是其尖端呈蜂窩狀的部分，這些部分形成不易，如雕塑品一般，各具姿態，但卻十分脆弱，如果以高壓水柱沖洗，將直接破壞這些珊瑚礁，而且有美國阿拉斯加的「艾克森維爾達茲」號漏油事件處理前車之鑑。故在輿論與學者壓力下，僅小區域使用此方式清洗。而絕大部分也是以自然分解的方式處理。

2.油污對整體生態影響

龍坑地區的地形較陡峭，相較於南灣的珊瑚礁區，此區域的生態調查資料較少且都屬於舊有的資料，故詳細的生態衝擊，並無法得到正確的資料。但可以確定的是此區域不是好的漁場，所以以食物鏈的關係來看，鳥類並不會很多。且以此次污染的範圍來看，對於海域生態的衝擊並不算嚴重，對於龍坑附近潮間區的衝擊要比海域嚴重，因為油污覆蓋區域的溶氧量曾經接近於零，而此區域的水質、螃蟹、珊瑚等各海洋生態在首次調查中，發現長一公里、寬五十公尺的珊瑚礁區受到黑油汙染，龍坑原本為螃蟹最多樣化的地區，大概有上百種螃蟹生長在礁石隙縫間，但大部分潮間帶生物多半因覆蓋油污而呈現死亡，淺水區域的珊瑚被油污覆蓋也遭受嚴重污染。

綜觀此次油污污染事件，第一時間的處理延誤，以致使油污迅速的波及到沿岸，爾後在輿論的監督及有關單位的重視之下，迅速投入大量人力進行清除，並由專家學者提供寶貴意見，聘請曾經參與處理世界最大阿拉斯加油輪漏油事件的除油專家約翰包爾到達墾丁提供意見討論，並至海上現勘「阿瑪斯號」，與龍坑油污沿岸，使能進一步有效處理後續油污清除工作。據約翰包爾說：龍坑油污清除工作，是世界上最難處理的地形，而台灣的前續處理油污工作，將來可以做為世界上油污清除的一個參考範例。也因為在多位專家建議下，決定使用自然分解方式處置，而避免了生態的二次衝擊。

3.一年後的生態觀察

墾丁龍坑地區地形，屬於百萬年來，緩慢形成的珊瑚礁岩石，又因為地面的緩慢隆起，使得部分珊瑚礁露出海面死亡，但也形成裙礁的美麗景緻，再加上此處的風浪特別的大，惡劣的海象雖然對搶救形成不利，卻也造就了利用自然條件處理油污的契機。

在船難發生三個月後，發現油污區潮間帶附近出現一大片綠油油的海藻，這些藻類可能是因為油污或鐵砂所造成的優養化現象，使水域中大量海藻繁殖。這是否是生態環境改變的第一個徵兆，就有待長期環境監測了。而船難的區域還有六萬噸的鐵砂，也因為海象不佳，而處理緩慢於五月份又經歷颱風的衝擊，鐵砂

落入海中，對於珊瑚礁又再次造成衝擊。

而此次的漏油事件中，因屬於船舶之燃料油，所以其黏稠度較低，對於覆蓋後之刮除較容易，受日光照射後，也比較容易分解，且南部又屬於日照較豐富的區域，所以復原情況研判潮間帶以下(浪潮可衝擊處)，大約兩年可大致恢復。潮間帶以上(浪潮衝擊不到處)，大約要 5-6 年，而珊瑚礁區因為又受到颱風及鐵砂雙重影響，預估復原時間較長，至少要五年以上，甚至需要十年的時間。

七、石油污染處理準則建立

由上述的種種資料呈現，可以看出，當海難發生之時，若處置得當，對於生態的衝擊與未來的回復，將有很大的幫助，而第一時間的把握更顯得重要。所以如何以簡略的行政程序來進行繁雜的救難工作，就是一個重要的思考方向，若能達到這個目標，那海難事故的問題就不再是難解決的問題。

海難事故可以以行政上和技術上兩個方向來分工處理、相互配合，以求盡善盡美，以下就以行政程序及處理技術兩方面來加以探討。

1. 行政程序

行政方面，建議首先組成跨部會的「海難事故緊急應變小組」，可由層級較高的行政院副院長擔任召集人，船難事故發生時再啟動運作機制。並建立「海洋石油污染資料庫」，配合農委會、國科會等等相關單位，提供各種海流、海床生物、沿岸生態、各海域珊瑚礁生態、微生物石油分解菌等之研究計畫，委託學者、專家進行研究與分析，分三階段來完成各項目標：

(1) 5-7 年完成的長期目標：

- a. 將台灣附近各海域依特性劃分成幾個區域，並建立區域之生態資料，若海難事故石油污染牽涉到求償或發生海難事故石油污染後，做為研究生態回復、比對的基礎。
- b. 研究並比較各先進國家對海難事故石油污染地點、污染情況、處理方式及處理對後續生態影響做成參考資料，若有相似海難事故發生時，則可取其長處、並避免掉缺點。

(2) 3-5 年完成的中期目標：

- a. 台灣四面環海各海域的洋流都不相同，且會跟隨著季節改變，加上夏天颱風等因素，海難事故石油污染是直接向沿岸擴散或向其他方向擴散，都是緊急處理時必須考慮的。
- b. 各種海難之石油污染抽取、回收的機械設備採購，相關處理人員訓練、講習及適時的觀摩、學習、參與等，才不致臨時手忙腳亂。
- c. 與專家學者合作，培育本土性石油污染之微生物分解菌，製成生物製劑貯藏，當污染情況可以運用時，便可以此生物製劑活化使用，不必從新培養，節省前置作業時間。

(3) 1-3 年完成的近期目標：

通報系統流程之建立，是整個事件的重要起始階段，所以沒有靈活的通報系統，可能會成為事件的最大敗因。

- a. 事權統一之指揮動員機構。

雖然行政院於 90 年 4 月中旬通過「重大海洋油污染緊急應變計畫」，將海洋油污染，依污染程度分為三級應變處理。這個應變計畫具體的以量化標準來進行，計畫中規定，第一級為「小型外洩」，即油外洩或有外洩之虞未達一百公噸，油海岸管理機關或地方政府應變。第二級為「中等程度或顯著的外洩」，即油外洩或有外洩之虞達一百公噸至七百公噸，由交通部、農委會、經濟部、內政部、環保署及海巡署負責應變。第三級為「重大外洩」，即油外洩或有外洩之虞逾七百公噸，應立即成立緊急應變中心應變。

我們無意批評計畫內容之可行與否，但就油污染事件而言，其實沒有所謂的污染源大小的問題，只有能否把污染排除或減低傷害到最小的問題，因為環境的破壞是大家所共同不樂意見到的。在這個前提之下，即便是一百公噸的油污染，只要發生船難地點是關鍵地帶，所帶來對生態衝擊，一樣是很可怕。而地方政府、海岸管理機關有能力在第一時間內，來協調、指揮、動員處理油污染嗎？有處理海上油污染的機具嗎？當發生在三不管地帶時，會有人主動處理嗎？處理人員的經驗足夠來應付嗎？這都是可預見的問題所在。

海上石油污染問題，並不是容易處理的問題，也因為如此，緊急應變能力、處理經驗、跨部會支援問題等等，都將影響處置石油污染事件的成敗。所以設立「海難事故緊急應變中心」是必要的，而且其層級亦必須提升方便行事，畢竟石油污染處理只有動員處理人數多寡問題、動員處理機具多寡問題及處理方式選定問題。

b. 各項事務分工進行建立。

海難事件發生，如涉及石油污染時，應明確的啟動各分工系統，該進行人員救助、船舶抽油、攔油索施放、生態監控、學者專家討論及船舶相關資料收集等第一時間就該就位，「海難事故緊急應變中心」就應發揮應有功能。

「海難事故緊急應變中心」第一時間應協調並掌握下列資料：

- (a). 成立緊急應變小組，統籌指揮、協調等事宜。
- (b). 出事船舶載重量，可能之油污染量及船艙內其它載運物品等相關資料。
- (c). 掌握出事海域之氣候、海象、洋流等氣候因素，方便決策。
- (d). 出事海域之生態資源情況掌握。

若以上述行政程序進行溝通、協調工作，當可減少公文往返，可以達到立竿見影的效果，如此便能充分掌握黃金的第一救難時間，再搭配中期、長期建立的資料庫，期能把海洋石油污染事件對生態的傷害降到最低。

2. 處理技術

海洋石油污染處理要考慮的因素其實非常多，有經驗的專家往往所憑藉的是眾多的參考資料，加以綜合研判以求達到最好的處理結果。但首先第一時間就應以施放攔油索圍堵警戒，有必要時再以船艙抽油、海面浮油抽取等方式局部回收處理外漏石油。其次再根據收集之資料，考量處理石油污染期間(至少三個月)的漏油海域溫度、海流移動方向、季風

因素、海域是否接近海運航道、是否為漁船作業區、附近是否屬珊瑚礁區、海床之底棲性生物是否豐富、可能受污染海岸的地形、地貌等種種因素，並參考國際相似船難之處理方式，配合專家學者的意見及處理的經濟效益等種種條件後，再決定以何種方式清除海洋石油污染，使此區域之生態受到最低之衝擊。茲將幾種海洋石油污染常用方法之限制與優、缺點比較表概述如表 5。

由表 5 中可以看出，各種海洋石油污染處理方式會因為其限制條件及優、缺點的不同而使用在不同的海洋石油污染區域，甚至沿岸、港灣等區域封閉性如何，都會影響後面處置的方式，甚至如龍坑的珊瑚礁裙地形，處理的方式所考慮的層面就要很廣，不能因一時的輿論

表 5 海洋石油污染常用方法之限制與優、缺點比較

處理方式	處理時限制條件	優點	缺點
船體抽油 (吸油機回收)	事件發生 24 小時內，天氣狀況需良好，才好作業。在輪船未大量漏油之前使用(油污較厚，污染海域面積被攔油索圍圍時有較高效益)	若範圍控制良好，對於生態的衝擊就不至於擴大。	回收的成本很高，且容易受天候影響。根據經驗，回收率並不高。
高壓水柱處理	只能使用於岩石礁區，當此區域溫度不高時，需以熱水來增加油污的流動性。	可將岩石上的油污處理乾淨。	岩石上的生物一併被處理掉，且清洗下來的油污必須再收集起來，以免二次污染
分散劑處理	事件發生 24 小時內，且避免在港灣、淺灘區域或珊瑚礁區使用。	處理成本較低，可以一次處理大面積的油污範圍。	目前的分散劑，多少都還具有毒性，會對生態造成二次衝擊。
燃燒法	事件發生 24 小時內，非航道、淺灘區或珊瑚礁區且氣流最好飄向無人區域。	海中污染不易處理，燃燒後，大部分轉化成 CO ₂ 及 H ₂ O 而進入大氣中，較容易擴散。	油污，由海面轉化成大氣中，且燃燒後殘存焦質成分會沈入海床，影響底棲生物
微生物處理	溫度較高的區域，浪潮不宜太大。以沙岸或礫石海岸較理想。	添加營養源後，處理的效益更為顯著。	沒有相關後續微生物之環境影響評估資料。
大自然處理	溫度較高的區域且浪潮較大、日照較強烈地區。	沒有再加入任何化學物質，沒有二次污染問題	處理時間較長，效益不顯著，對生態不再造成衝擊。

壓力而影響往後十年此區域生態的回復。其他如微生物處理將是 21 世紀的主流方式之一，而分散劑毒性的降低與分散效益的提昇，也將決定海洋石油污染使用分散劑處理的意願。

當然處理海洋石油污染的目的，就是要降低石油對於生態的直接衝擊，所以各種能降低石油

對生態衝擊並迅速回復生態的方式都是好的方式，也是可以考慮的方式，但需注意的是儘量不要再讓生態遭受二次衝擊。

八、結語

我們常說預防重於治療，就石油污染事件來說，其實很多都是可以預防的，只因為人們的疏忽、不願改進設備等因素所造成。例如美國巨型油輪「托雷·峽谷」號在英國蘭斯角外海觸礁，這起海難是怎麼發生的呢？其實只是一些海員輕率地決定走了一條危險的近路而造成。至於墾丁「阿瑪斯」號事件，也因為輪船故障失去動力，在海面上漂流達十九小時之後，才觸礁擱淺，若能在未擱淺之前施救，則可能會逃過這次的生態浩劫。

一旦海難事故發生，緊急的動員是不可避免，尤其在海難事故發生之後，「海難事故緊急應變小組」的啟動快慢，會攸關處理的成效。其他如船舶的各種基本資料如承載物品、燃油可能外洩的量及海難的海域氣候狀況、海流狀況、發生海難季節、發生地點、當地的生態資料等資料的適時掌握。再加上專家學者的加入對後續的處理可提供寶貴的意見，才不致因為

一時的壓力或處置盲點，而使生態遭遇更重大的打擊。

雖然處理海洋的石油污染是千頭萬緒，但它也有可遵循的準則，首先就是將污染源儘量控制在一定範圍內，所以使用攔油索、海難船體中抽取漏油或油未滲漏很多時，就採取燃燒方式。若不幸範圍擴大，則要視海床的生態分布情形，再決定用何種方式來處理石油污染。例如以分散劑處理、油汙沉澱法、機械回收、人工回收等方式，使海面浮油儘快處理掉，再經由濾食性生物、石油分解菌等的自然分解處理。若不幸讓石油污染擴散到沿岸，則處理不僅曠日費時，且需要大量人力與金錢，對於潮間帶的生態衝擊，更是無法形容。因為潮間帶的生物，其移動能力較為薄弱，對於珊瑚礁裙之珊瑚，更有毀滅性之衝擊，所以『及早處理』是海洋石油污染處理的必勝之道。

所以以行政配合技術專家意見，在第一時間內做一個整體的戰力規劃，如此不僅能達事半功倍的成效，更能在發生海洋油污染時，讓生態所受衝擊降到最低，這就是我們最希望達到的目的。

無論如何，地球上任何的污染，最後都將回歸讓人類自己來承受，所以我們若不知珍惜、愛護這個星球，那麼生存環境的惡化、野生動物的滅絕，都是遲早的事。

九、參考文獻

- 1.謝俊雄著(1992)，新版石油化學工業，第 91-101 頁，文京圖書有限公司，台北。
- 2.謝俊雄著(1992)，新版石油化學工業，第 49 頁，文京圖書有限公司，台北。
- 3.莊進源等著(1983)，水族系的迷惘，第 73-88 頁，百科文化事業公司，台北。
- 4.段國仁,蘇睿智,張子祥等譯(2000)，環境科學，第 493-497 頁，國立編譯館，台北。
- 5.郁慧芳著(1995)，明日的海洋，第 125-130 頁，業強出版社，台北。
- 6.林康捷著(1997)，浮油之水溶性部份對文蛤濾食、呼吸以及潛沙行為的影響，國立台灣大學海洋研究所碩士論文。
- 7.國立海洋生物博物館網站資料。<http://www.nmmba.gov.tw/special/left1-1.html>。
- 8.許智欽著(1998)，以混合菌株分解石油系列物質之研究，國立雲林科技大學環境與安全工程技術研究所碩士論文。
- 9.趙孔德著(1998)，苯、甲苯分解菌之分離及應用，國立雲林科技大學環境與安全工程技術研究所碩士論文。
- 10.蔡信行(2000)，「漏油處理面面觀」，石油通訊，第 584 期，第 62-63 頁。
11. Exxon Valdez 事件網站。網址 <http://www.oilspill.state.ak.us/index.html>。
- 12.楊薇靜(2001)，「環境中的危機」，大自然雜誌，第 71 期，第 18-21 頁。
- 13.廖運志(2001)，「變色的南台灣--記述阿瑪斯號貨輪漏油事件」，大自然雜誌，第 71 期，第 15-25 頁。