



工業技術研究院科技叢書

海水油料污染問題之探討

591
8

海水油料污染問題之探討

Peter Hepple 編

謝 奮・柯秋儀 譯

工業技術研究院

中華民國六十六年六月

前 言

1967年3月18日 Torrey Canyon 號油輪在 Cornish 海岸附近擱淺後，在英國的各大石油公司即刻組成技術委員會，動員石油工業可利用的技術來處理海上救難及油污清除行動，該技術委員會後改隸英國動力部，由 Sir Charles Cowley C.B.E. 任主席，定名為油料污染技術委員會。1967年7月該委員會完成報告並提交由 Sir Solly Euckerman 主持的官方科學家委員會，該報告在眾議院科學與技術特別委員會之海洋污染小組報告中全部刊出。

油料在海洋中行爲行動小組亦相繼成立，專門收集 Cowley 委員會所得油料在海洋中受太陽、風、海水影響下行爲之一切可利用的資料。Cowley 委員會完成其報告解散後，英國石油學會即邀請該委員會之石油工業從業委員再組成海洋污染防止協調委員會，該委員會之宗旨為由石油工業來策劃、鼓勵、協調處理海洋及潮汐性水面油料污染效果，同時該海洋污染防止協調委員會密切的與英國船舶協會聯繫，並使其負起實現 Cowley 委員會在航海及海上救難方面提供改進意見的責任，而英國石油協會則從事油料污染影響及改進處理方法。

油料在海洋中行爲行動小組其後成為英國石油協會油料污染防止協調委員會之第一個工作小組，其後成立者有三個工作小組，分別從事油料擴散用化學品、沉落、凝聚、吸收材料及油料在海面撈除等問題。

本論文集為該工作小組委員及其工作人員之工作報告。在1968年10月2日英國石油學會在倫敦召集之座談會上所發表之論文。該座談會由英國石油協會理事長 Dr. A. W. Pearce 主持開幕。除甚多西歐國家從業員參加外，尚有不少國家之研究所及技術組織代表參加討論油料污染問題。該座談會收到極有見地的論文甚多，因限於篇幅，不能全部刊出。各篇論文均引起出席者深入討論，討論紀錄亦隨文刊載於本論文集中。

目 次

1. 海洋頑存油料的性質·····	1
2. 海灘污染物的分析·····	10
3. 海灘污染中石油來源的鑑定·····	22
4. 水在原油和類似物料中乳化的形成及穩定性·····	27
5. 海上和陸上油污染的處理問題·····	48

1. 海洋碩存油料的性質

S.A. BERRIOGE (Esso Petroleum Co. Ltd), R. A. DEAN (BP Research Centre), R. G. FALLOWS ("shell" Research Ltd.) 及 A. FISH (Shell International Petroleum Co. Ltd.)

摘要

該文討論原油洩漏到海洋中後所產生的物理性、化學性及生物方面的變化程序，該文提出蒸發將是主要的變化程序，由生物使原油衰變是不夠充分的，油性 (water in oil) 乳劑之形成受變化程序速率影響極為明顯。污染之範圍及清除之易難，這些變化程序之速率，尤其生物方面研究至為急需，然而實驗之設計遭到甚多困擾之處。

簡介

海洋中以擴散除去碩存油料有效方法之開發有繫於對海水中該油料性質之知識，碩存油料包括有原油、蒸餘燃料油、潤滑油、油艙洗滌液、油渣及類似物質、其性質甚複雜，僅就原油而言，其複雜之程度已足影響處理污染之難易。本文討論之目的即在此，原油之擴散方面，以原油暴露在海面模擬方式來觀察其性質。

不同種類原油的性質

原油並非單純的特種礦物質、原油類型繁多，各有其不同的特性。例如重質原油其比重幾乎接近一單位，

硫份含量達百分之五，而其 500°F 以下之餾份極微。輕質原油及凝集油 (condensate) 則含碳及氫以外之元素極少，其比重約為 0.8，甚至更輕，其餾份大部份均在 500°F 以下。

茲選代表性之原油，包括了所有以大量方式輸往歐洲為可能引起海洋污染的油源。其性質足以滿足油料去除或擴散之要求 (如表一)。由其性質，對此油料在海洋中所遭命運之影響性將在下節討論。其他類型之碩存油料如燃料油等因篇幅關係未列入該表。

油料在海洋中物理性質之改變

蒸發 (evaporation): 複雜如原油之混合物，⁽¹⁾ 其蒸發將自損失輕質油部份開始，隨後蒸失其高沸點部份，如 Libyan Eelten (brega) 及 Nigerian Light，其 700°F 以上殘餘油料所佔重量比例較小，因此由蒸發除去之速率較快。此種效應對於 Zelten 原油特別明顯，其 400°F 以下餾份佔 31% by wt. 然而 Tia Juana Medium 原油則不然，其低溫餾份佔比例甚小，因此蒸發極慢。特種柏油質原油如 Tia Juana, Pesado, 700°F 以上餾份佔 78%，當然其蒸發極慢。

表一. 合於處理範疇的原油性質

原油	比重 60°F	硫份 含量 % wt.	動力黏度 100°F os	硫動點 °F	蠟質含量 BP Method % wt.	柏油質 % wt.	鈳含量 PPM V	酸度 mg KOH/g	殘餘油 >700°F 佔原油之 % wt.	殘餘油 >700°F 流動點 °F	殘餘油 >700°F 比重 60°F
Kibyan (Brega)	0.829	0.21	4.13	45	11.4	0.13	5	0.19	37.5	100	0.921
Nigerian Light	0.867	0.19	5.16	5	8.3	0.05	5	0.14	35.8	110	0.945
Iranian Light	0.854	1.33	5.6	- 5	7.0	0.7	36	0.07	42.7	80	0.957
Iranian Heavy	0.869	1.58	8.83	10	6.7	1.9	107	0.13	47.8	80	0.974
Iraq (Kirkuk)	0.845	1.88	4.75	-30	6.5	1.3	25	0.17	39.8	80	0.965
Kuwait	0.869	2.5	9.6	-25	5.5	1.4	27	0.15	51.3	70	0.975
Venezuela (Tia Juana Medium)	0.896	1.54	25.0	-30	4.8	3.05	170	0.41	57.7	50	0.974

在大氣壓力下，蒸發速率之大小，最基本因素是視原油於外界溫度時之蒸氣壓而定，但強大的風速也會加速蒸發，惡劣的氣候如海浪之衝激、噴灑亦會加速流失油料之擴散，於增加蒸發程序⁽⁹⁾。蒸發亦會因表面積之增加而加速，因此加速擴散亦會使蒸發加速。這種相互擴散及蒸發關係在海峽或圓環形海域內，Blokke⁽⁸⁾先生曾以算學方式來處理。

原油中較不易揮發的成份蒸發很慢，經久就成為實質不蒸發的“常壓殘渣”留在海面。這種殘渣之比重、黏度、硫份、金屬、及蠟質之含量均較其原來的原油高。此種性質之改變在油污處理上是極其重要的。例如 Kuwait 原油之殘渣沸點在 1,000°F 以上之成份佔原油 27.6% by wt，其比重達 1.023。而同樣 Iranian Heavy 原油之殘渣比重則達 1.027，海水之比重為 1.025，因此此種殘渣必極易沉入海底，1966 年 2 月 20 日 Anne Mildred Brouig 油輪意外事件流散油料之失蹤，可能是由於上述之程序所致。否則其油料之失蹤極難以其他方式來解釋。^(4,6)

燃料油、潤滑油、艙底洗滌液、及柏油不含揮發性成份，不會比原油蒸發得快的。

擴展(spreading): 原油附着在清潔的海水上，第一個現象就是迅速底擴展，並移棲至表面活成份油與水之介面處，40-100 小時後液面之厚度薄至 4×10^{-5} 吋^(6,7)。如此薄的油面每平方哩約重 2 噸，此種油膜在海面呈彩虹色。在被污染的水域，油膜可厚達 4×10^{-2} 吋⁽⁸⁾ 或更厚，然而 Torrey Canyon 號受難後據報告六天後，海面浮油仍高達 6 吋，這種情形必係油料凝聚所形成。據 Torrey Canyon 號當時流出油量達 50,000 公噸，在 Cornwell 附近油面廣達數百哩，如 5 萬噸油料在該區域內形成均一的油層，則其厚度將在 2×10^{-3} 吋左右，然而輕質部份必已在此時蒸發失散，因此油層必相對的減薄。

依照 Blokke 氏之計算，均一油層之擴展速度約與其瞬時油層之平均厚度成正比例⁽⁹⁾，但油層厚度遞減之時間成指數關係，而擴展速度亦受油料之黏度、比重、化學成份及流動點和海流、風速之影響^(8,7)

流動點之高低可影響油料之擴展性質，高流動點的原油如表一所列 Libyan 原油洩入海面後會被冷凍至其流動點以下而變成平固態的物質而無法擴展。不幸的，流動點之測定並非極精確的試驗。真正測定得到的流動點溫度和海水足以凝集原油，所需要的溫度間之關係尚不知，因此目前我等尚無法評價原油流動點對其擴展特性之效應。

進之，更重要的因素是油性(water in oil)乳液之形成。均一擴展的油層必常與乳化現象爭抗進行，乳化程度與時俱增，其受油料黏度之影響極大。^(1,11) 乳化現象使油料之擴展趨勢降低，因此油料之擴展是一種自制的現象，擴展使油料蒸發加速，並增加其黏度和流動點。

原油在水面擴展速度已着手進行測定，經無限擴展後其最終厚度亦將着手估計。

擴展速度試驗是在池中充以地下水進行。水面直徑 20 呎，由浮柵圍繞，油料自中心位置引入，油層四周擴展，擴展速度之測定是以照相機在油層垂直位置於一系列時序內攝影記錄而得，每次試驗完成後，將油料驅出油柵外，因此每次試驗可在清潔的水面開始進行。

Blokke 氏⁽¹⁰⁾以數學方式推演油料擴展，表示如下：

$$\frac{\pi(\gamma_t^3 - \gamma_o^3)\rho_w}{3V(\rho_w - \rho_o)} = K_r t$$

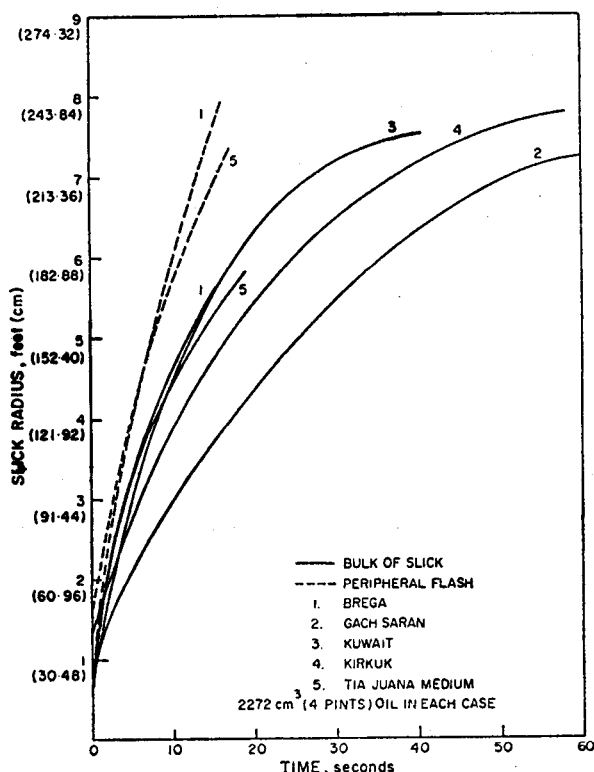
γ_o, γ_t = 開始擴展時及 t 秒時之油層半徑(cm)

V = 油料體積(cm)³

t = 擴展時間(sec)

ρ_w, ρ_o = 水，油料之比重(g, cm⁻³)

K_r = 油料常數



圖一 油層在水面之擴展

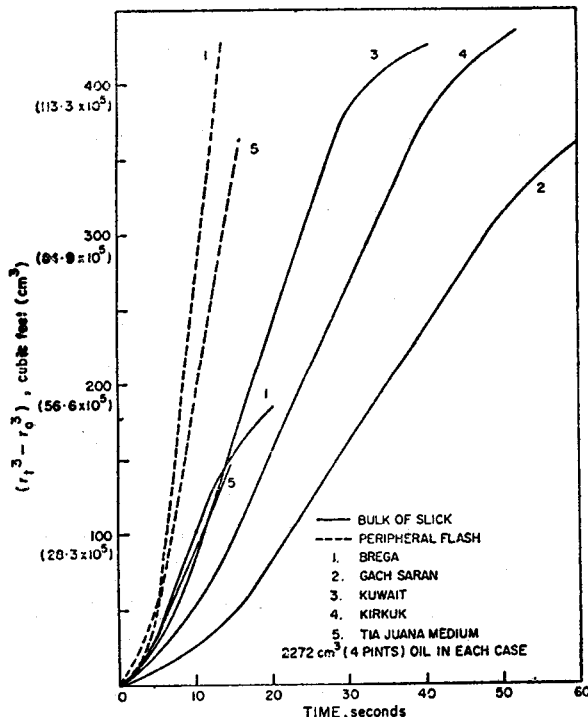
數種原油之 γ_t 值隨時間 t 改變情形如圖一，不同時間 t 時之 $(\gamma_t^3 - \gamma_o^3)$ 值在圖二表明之。

Libyan Eelton (brega) 及 Tia Juana Medium 原油由於表面活性成份較他種原油擴展太快，呈顯明的“瞬息擴展 (flushes)”，此種瞬息擴展在圖一、二上分別表明。雖然其他原油亦有些會起瞬息擴展，但從未被認為是分離之充份而且正常的理由。

自圖二，各曲線之直線部份斜率可計算出各原油之“Blokker”常數 K_r 。各原油之“Blokker”常數 K_r 列如表二。

表二，各種原油在 9°C (約) 水面之“Blokker”常數 K

原 油	K_r
Libyan (Brega)	1,085
Iranian Heavy	750
Kuwait	1,480
Iraq (Kirkuk)	75
Venezuela	1,340
(Tia Juana Medium)	



圖二 油層隨時間擴展時 $(\gamma_t^3 - \gamma_o^3)$ 之變動

將 Blokker 方程式重於組合，並假設 γ_o^3 與 γ_t^3 相比情形下極微不計，則油層之厚度 h_t ，經 t 秒擴展後可以下式表示之：

$$h_t = \frac{k}{t^{2/3}}$$

$$\text{上式 } k = \left(\frac{V}{\pi} \right)^{1/3} \left(\frac{\rho_w}{3\rho_o(\rho_w - \rho_o)K_r} \right)^{2/3}$$

由此則油層經擴展後其理論上之厚度可由其體積估計而得。例如 100 立方米的油料經 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 秒擴展後其油層之厚度可見表三。

表三，100 立方米油料其理論之油層厚度 h_t

原 油	經 t 秒擴展後其油層厚度 (cm)			
	10^2 秒	10^3 秒	10^4 秒	10^5 秒
Libyan (Brega)	0.228	0.049	0.011	0.002
Iranian Heavy	0.327	0.070	0.015	0.003
Kuwait	0.210	0.045	0.010	0.002
Iraq (Kirkuk)	0.257	0.055	0.012	0.003
Venezuela (Tia Juana Medium)	0.255	0.055	0.012	0.003

Langmuir 氏⁽¹⁹⁾ 推演之油料鏡着於水，其平衡厚度 h 之表示式為

$$h = \left[\frac{-2(\sigma_w - \sigma_o - \sigma_{wo})\rho_w}{g\rho_o(\rho_w - \rho_o)} \right]^{1/2} \text{ cm}$$

式中 σ_w, σ_o = 水、油之表面張力 (dyne cm^{-1})
 σ_{wo} = 水與油之界面張力 (dyne cm^{-1})
 ρ_w, ρ_o = 水、油之比重 (g cm^{-3})
 g = 重力常數

人工配製海水及油之表面及界面張力均在實驗室內測定，所得之值及測定之油料起始擴展壓力可見表四。

擴展係數 $\sigma_w - \sigma_o - \sigma_{wo}$ 值高則油料必然會繼續擴展直至形成單分子層為止。實際上有數種方法可用來對付無限擴展的油料。

有些油料的成份為水溶性者，可被海水所溶化，油料之輕質部分在擴展發生時會快速蒸發。擴展呈更大的暴露表面，蒸發使殘餘油料之黏度增加，乳化亦使黏度增加，蒸發、擴展、乳化之速度並非各種原油都相同，因

表四. 表面及界面張力與擴展壓力

原油	油表面張力, σ_o Dyne cm ⁻¹	油水界面張力, σ_{wo} Dyne cm ⁻¹	在清水上之 起始壓力, Dyne cm ⁻¹
Libyan (Brega)	23.1	13.9	27
Iranian Heavy	24.3	25.5	18
Kuwait	24.1	24.9	17
Iraq (Kirkuk)	23.7	16.9	21
Venezuela (Tia Juana Medium)	24.1	19.2	17

此由實驗所發現的各項行為, 如對某一指定原油而言均須經相當幅度的修正. 以蒸發、擴展等效果來控制擴展中的浮油較利用流入海洋中大量原油之表面張力性質為巧妙.

在水池中之進行之實驗結果僅能引用在相對風速 3 mph 的現場. 風速高時浮油會被沖散, 同時浮油本身成為流動體, 流動速度亦大於其擴展速度, 同時發現每次試驗後由油柵自池內括出的浮油在露天暴露二、三天後變成極黏似巧克力冰淇淋的乳液.

由海岸因受海洋漏入大量原油所受的損害來看, 油料之擴展性質之重要性較海流、潮汐、風引起之機械性傳

送為小, 小量如數加侖之油料傾入開擴之水域中會極快的擴展而達廣大的面積. 但是大量油料會彼此凝聚而成“Aprons”乳液之趨勢而停止擴展. 據報告 Torrey Canyon 號油輪意外事件漏出之原油在海峽內暴露, 當浮油流至 Brittany 時大部分油料均已乳化.

乳化: 原油在海洋中快速乳化是有充份理由的, 在此必須將油性 (water in oil) 乳劑及水性 (oil in water) 乳劑加以區別, 這是油污處理之二大相對重要關鍵.

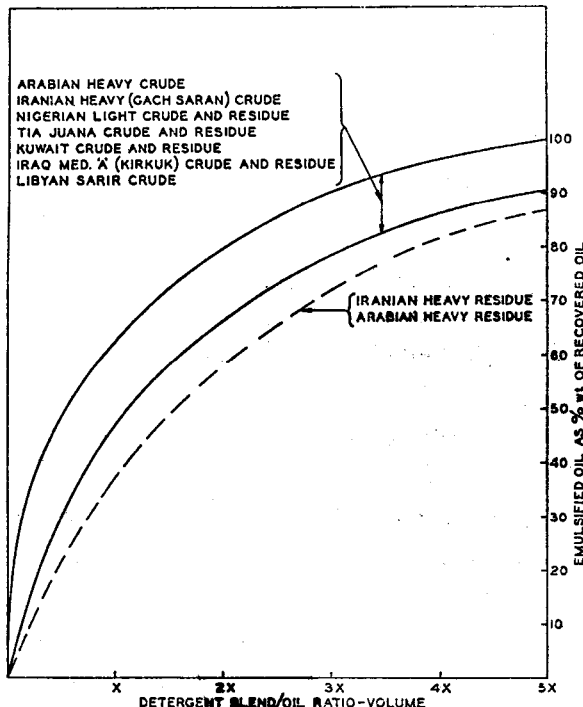
水性 (oil in water) 乳劑是水為連續相, 擴散在海中並有效底取除油料, 在此須注意的是如果油料以滴狀擴散於水中其直徑 1μ , 則肉眼可見油跡時必增加百萬倍於其表面積纔行.

水性乳劑之形成必須添加表面活性劑, 而油性乳劑在海中則自然形成. 表面活性劑甚多, 大部分是用溶劑基乳化劑乳化油料. 然而在 Torrey Canyon 意外事件時, 在乳化方面之知識尚淺, 製造乳化劑者亦少, 相應在該方面工作之推進甚有限. 所選之方法為乳化穩定試驗, 試驗方法根據 Taylor 氏所述, 經改良後用以測定去污乳化劑與油料在不同比例下之乳化穩定情形, 測定在固定 1 小時終點時水性乳化劑之油水分離情形, 其終點時記錄所存油料之百分比報告之.

表一, 所列各種原油之各項試驗, 並測定其常壓殘餘物之流動點、比重、及其所之百分比, Libyan (brega) 原油因供應困難, 改以 Libyan Mersa-al-Hariga (sarir) 原油代替. Iranian Light 以 Iranian Heavy (safania) 代替, Libyan 原油之殘餘物未測定因其當時外界溫度較其流動點低甚多. 圖三所示為可市購之溶劑基乳化劑試驗所得結果.

由圖三可知, 全部七種原油其乳化穩定情形相差不多. 其乳化後之擴展不似測定乳化穩定方法重要. 四種原油之殘餘物亦於此範圍內, 僅 Iranian Heavy 及 Arabian Heavy 原油常壓殘餘物樣品不在此範圍內, 雖然此二樣品較其他差距大, 但餘者則相差甚微, 由此可知此二原料不易形成穩定之乳劑.

此處所得數值, 因試驗方法與實用時之偏差尚未了解, 故甚多重要的事項未予計入. 任何運往歐洲之原油漏入海洋後其乳化情形無任何可測得出之不同處, 這種情形確十分可能, 不論剛漏出的原油或經蒸發後的殘餘油, 其情形都一樣, 當然這種情形不包括最難處理的油性乳液及使用之溶劑性乳化劑, 該方面之問題將在下節詳予討論.



圖三 各種原油及大氣殘留物之乳液穩定性

油性乳液 (water in oil) 其水份在 30-80% 範圍內, 雖經數天在海洋中暴露, 仍極穩定, 尤其在海岸水域內。油料在任何情況下其含水達 80% 之油性乳液現通稱為巧克力起泡冰淇淋 (chocolate mousse), 其呈極端穩定之特性, 極可能是由於細菌之黏質物, 浮游生物及有機物碎片存在之故, 下段將詳予說明。

其他物理性程序: 其他物理性程序影響海水中油料者包括油料水溶性成份之溶解, 油料之被微粒物質之吸收、沉落。如前所述, 當浮油因蒸發或其他程序而使其比重越趨增大時, 沉落程序極具重要性。

影響海水中油料之化學程序

大氣氧化及細菌嗜食為主要之二種化學程序形態。

大氣氧化: 氧氣侵入液態的碳氫化合物, 原油中存在的碳氫化合物有石蠟烴及芳香烴, 其中具有支鏈之芳香烴最易受氧之侵襲, 無離子性觸媒存在時, 自催氧化是由於自由原子基鏈鎖程序而引起, 鏈鎖反應之速度由 alkyl-peroxyl 將碳氫化合物中氫原子摘取速度所控制。第三級 C-H 鍵之自催氧化較第一及第二級 C-H 鍵為弱, 而碳氫化合物如異辛烷之第三級氫原子極易被侵, 碳氫化合物如四氫化萘 (tetralin)、異丙萘 (cumene), 其烷烴基亦較易於氧化。

此氧化程序之機構甚為複雜, 然而亦可由日光引起之光氧化及由於原油中廣泛不同物質之存在而觸發氧化或抑止氧化反應。特別是多原子價之金屬離子如鈾為液相氧化反應之強力觸媒物, 但硫化物則抑止氧化反應, 因其產生硫氧化物而鏈鎖程序破裂。

因氧化反應而產生者如酸、羧化合物、醇、過氧化物、硫氧化物, 均為水溶性者可以水洗除去之, 同樣情形水溶性之金屬鹽類如由鈾血紅質 (vanadyl porphyrins) 與過氧化物反應產生之鈾鹽亦可由此將金屬自原油中除去之。

更進一步考慮氧化程序如在化學反應速度極快的情況下, 可以擴散過程階段控制之, 海水含氧量為 8 mg/l, 如以一毫升原油而言, 必須供應 4×10^5 公升海水纔有足夠的氧氣供氧化之需。

此反應所包括之程序其複雜之程度至為明顯, 原油在海面其成份隨時間而變化, 因此海面原油之氧化速度變動範圍亦甚大。如高石蠟烴、低硫份之原油 Libyan (brega) 在強烈太陽光下其氧化速度較低石蠟烴、高硫份 Kuwait 原油在可透射日光下之氧化速度高甚多。海面原油氧化速度極難估計, 因其影響因素太廣, 在海面溫

度 50°F 時, 尤其原油漏出之初期, 海面油污之去除, 大氣氧化較主要物理性處理程序之蒸發及擴展, 來得重要。

細菌除油法: 甚多微生物如 pseudomonas 在被油污染之海水及沙灘中普遍生長, 為嗜氧性食油之微生物, 其嗜食速度視當時情形而定, 如水之可利用程度、氧氣之供應量。養料主要是硝酸鹽, 當時溫度及油料在水中擴散情形等均極具影響力。當微生物選定侵食碳氫化合物時, 油料完全氧化之物質無疑必須隨同形成。在 50°F 以下碳氫化合物之微生物氧化反應緩慢, 依 Zobel 氏實驗微生物 8×10^6 /ml 時其放氧率低於 1 g/m² water/day⁽²⁾, 由此數據確定油料之被微生物行動所破壞, 但這微生物程序非以月計纔能看出成效。

例常處理海面油污之方法

在上節中, 列出十種海面油污之處理程序:

- | | |
|-----------|--------------------|
| 1. 蒸發 | 7. 用特種物質吸除 |
| 2. 大氣氧化 | 8. 擴展 |
| 3. 微生物法 | 9. 由風、潮、海流等機械性方法驅散 |
| 4. 形成水性乳液 | 10. 形成油性乳液 |
| 5. 溶解 | |
| 6. 沉落 | |

上列首六種方法為主要海面油料處理方法, 由防止漏油延及海岸遭害立場觀之, 該六種方法均為可行而所需之處理法, 雖然第四及第六兩種不完全合於漁業當局之要求, 理想中非污染性之原油必須具有極高的揮發性, 而經揮發之殘餘物之比重須重於海水, 含大量水溶性成份, 且極具易於化學性或生物性氧化之性質。

使海面浮油之揮發速度增加或使其大氣殘餘油所佔比例達到極限, 在實際操作上是無法做到的, 用加熱方法來處理則全然不務實際。

大氣氧化速度之提高則可以二種方法來試行。第一將浮油點燃, 以燃燒方法除去, 用木筏點燃後引火, 這樣可使油氣燃着, 較液態浮油氧化為快。1923 年橫濱港內大量燃料油漏入港內 (燃料油較原油成份均一) 以木船着燃後作為引火將燃料油燒去。一般而言經點燃後海水傳熱, 使原油輕質部份揮發而引燃, 經燒燃後海面殘留者為重質殘渣。第二種可試行的方法是從液態程序着手, 以觸媒方式加速其大氣氧化, 自然情況下, 油料中某些成份之自催氧化速度甚慢, 如能找到廉價觸媒, 該法極可試行, 廉價觸媒終究必能找得的。

微生物除油方法尚未進行大規模試驗, 困難之處在於適當的菌種之培植及養料。即使該法能實施的話, 其

除油速度亦必甚慢。

形成水性乳化液法是加清潔劑來促成，該法用來擴展海面浮油甚為著名，是目前最佳增加原油在水中溶解度的方法，海洋水量無限，極符理想溶液之構想。

數種使油料沉落的方法在試驗室操作時技術上極為成功，但因漁業界抗議及後勤問題引起一般應用所受限制而未進一步試驗。該法亦有使用顆粒狀固體以吸收油料，如以親油性化合物處理過的沙，撒佈在浮油層上使其吸收浮油後沉落，撒散方法則正在改良中。⁽⁶⁾

用顆粒狀物質來吸除浮油，不一定隨着沉落海底，混合物亦可能浮在海面，如用泡沫塑膠及木屑作為吸油劑。浮在海面的吸油劑再以機械方法將其撈除。該方法之推展因其為多次程序包括撒佈、吸收、捕集、清除、過於煩複而受到限制，該法理想的程序應採一連續操作的一貫作業，應以帶狀循環操作掃除或吸取海面浮油，該種油污清除機械裝置、目前在較小水域內操作極為成功，但在開擴的海面尚不實用。

其他三種海面油污現象：擴展、由風、潮、海流機械性驅散，及形成油性乳液、目前尚未開發至實用階段，油在海面擴展增加污染面積，使處理面積擴大，除非擴展至單子分子薄膜由自然界力量來散除，使處理成本由於污染面積而大增。由風、潮、海流之機械性驅散，非但有直接將油污沖至海灘的危險，並且會使油污處理人員難於在海洋中找到浮油的位置。該兩種現象所造成的困難可用油柵來對付，但在開擴的海洋中，油柵之設計並非易事，在十分溫和的海波及海潮下海面浮油也會脫出油柵而外向擴展。此外油柵的長度必須足以圍住主要的外漏油料，這些問題，在使用油柵時尚無法解決。

另外一種使漏油減低其海面擴展速度的方法為將漏油成為膠狀使成固態或黏度極高的液態物質，這樣將易於在海面清除，使油料凝固的技術是基於 Isocyanate/Primary amine 系統、預凝系統 N-Cocohydrox hutryramine 及皂化系統如脂肪酸與 Aluminium Inopropoxide 之應用。如能在船隻內使用上列凝固劑則對失事船隻油艙漏油速度之減緩將有極大的潛力，然此種方法所費極為昂貴。

油性乳化液 (water in oil emulsions) 之形成而成穩定之油乳其自然擴散速度極慢並能穩定地浮移很長的距離。此種現象可想像的會增加海岸線被漏油污染的危機及其不易處理之危險。原則上各種均一油層之處理方法均能用於乳狀油料之清除。但污物之處理量將大增，在成冰淇淋狀時處理量將增加五倍。

結論和推薦

這篇簡介性的文章以質的形式指出化學性方法及物理性方法之與海面油料習性有極大的相關性，其後的文章將就一些特別的問題作更詳細的討論，無疑地各種方法均有其本身科學的正確性，將這些方法作詳細探討之主要原因在於堅信增加該方面的知識有助於防止環境污染之努力。三位本文作者均為英國石油學會新成立海面污染防止協調委員會行動小組之委員並受命將這些化學性及物理性處理方法之研究成果介紹與石油業界。更深一層之研究必須包括下列三方面來推進：

擴展與乳化——這些方法顯得具有競爭性，且經初步試驗其結果似對油料之清除具有功效，乳化將使油料凝集於油性乳液之微囊中，當其浮抵岸邊，經乾燥後，成為“瀝青小滴 (blobs of tars)”。

生物性衰變 (biological degradation)——我們堅定地認為油料之絕氧衰變 (anaerobic degradation) 之速度極慢，若確如此，則可將該法自處理或清除海面漏油方法之論戰中刪除，余等同時得到結論之在海洋與海岸的自然環境下無油料經嗜氧衰變 (aerobic degradation) 的現象發生，假定海洋中微生物之繁殖，碳元素之有效利用並非其繁殖速度之極限因素，相對的這些微生物嗜食其他較石油更為其喜愛的碳源，這兩種假設極須實驗結果之支持。

其他方法——我等知道蒸發是油料處理方法中最具重要性者，我等相信油料之溶解於水在處理方法中擔任重要的部份，亦可能油料經氧化，而其氧化物溶解於水，問題在於如何設計一套實驗，將海洋中這些現象之過程作有意義的測量。

其他方法無疑地亦須加以考慮。

參考資料

- (1) Committee on Prevention of Pollution of Sea by Oil, Ministry of Transport and Civil Aviation, Report by A. Lennox-Boyd, London; HMSO 1953.
- (2) Eobell, C.E. *Int. F. Air. Wat. Poll.*, 1963, 7, 173.
- (3) Blokker, P.C. Paper Presented to the Fourth International Harbour Conference, Antwerp. 22-27, June 1964.

- (4) Report of Federal German Shipping Department on the Anne Mildred, Brovig-accident on 20 February, 1966.
- (5) Stehr, E. Gas Wasser Fach, 13 June 1967, 53.
- (6) API Manual "Disposal of Refinery Wastes" Vol I. (7th edition) 1963, 10.
- (7) Report on Oil Pollution Experiments-Behaviour of Fuel Oil on the Surface of the Sea, House of Representatives 71st. Congress, 2nd Session House of Representatives 10625, 1930, 41.
- (8) DSIR, Warren Spring Laboratory, Report No. RR/ES/40 1, April 1963.
- (9) The Torrey Canyon HMSO, 1967.
- (10) Beynon; L.R, Filtration and Separation, July/August, 1968, 360.
- (11) Taylor, J.C. *F. Inst. Petrol*, 1962, 48, 355.
- (12) Langmuir, I.F. *Chem. Phys.*, 1933, 1, 756.
- (13) Berridge, S.A. Thew M. and Loriston Clarke A. See this Symposium.
- (14) Mohon, M.J. and Berridge, S.A. *Proc. VI th World Petroleum Congress*, 1963, Section 111, Paper 5.
- (15) e.g. Robertson, A. and Waters W.A. *F. Chem. Soc.*, 1968, 1574, 1578, 1585.

檢 討

G.J. Brockis (BP Trading Ltd): 我將就日本最近以轆轤式所做一系列試驗，掃除海面油污加以說明，試驗之進行由日本 Maritime Safety Agency 協調，試驗在離橫濱東南一百英里太平洋海域中二個位置進行，所得的結果與先前的經驗大致相符。

Iranian Heavy 原油先預置於一特別設計浮於水面的塑膠包內，再以二百米長之繩相對拖拉，使其碎裂，使油料注入海面。

1968年7月18日依此將100公秉(85噸)原油注入海面，隨即觀察油料之擴展情形，及浮油圈移動之一般情形。並以無人小船裝置自動測定儀器，測定油面40厘米、一米、二米縱離之氣體密度。浮油圈隨風以風速之百分之四速度移動，其移動速度與前得記錄相一致。

油料漏出後1小時，以清潔劑(detergent)噴灑，並以油棚圍住浮油。二種清潔劑及五種自動充氣的塑膠棚曾用來試驗其性能，試驗結果收穫甚微，清潔劑使用甚為滿意而油棚放出時操作上遇到實際的困難。

第二次試驗於7月19日舉行，油料漏出後5分鐘以火種投入，燃燒14分鐘，該次用油85公秉(約72.5噸)，由該次試驗得到結論，確信在開闊之洋面新鮮的原油層可以燒然，然而可預知的其燃燒並不完全。

日本政府目前對油料污染之防止及清除方法極為重視，對萬噸油料漏洩海面情形亦將展開試驗以觀其真實情形。東京灣、大阪灣及Seto內海每處均備有400噸清潔劑及萬米油棚，以備意外事件發生時應用。

Dr. A Nelson-Smith (University College of Swansea): 首先我必須說明海洋浮油物理方面及化學方面習性之數據，加以Torrey Canyon油輪之漏油經Mr. Brookies觀察及研究所得結論，對生物學者將有極大的用處，這些資料過去曾是生物學家極需要而未能獲得者，生物學者經污染現場觀察後，對油料污染為害發生極大興趣。過去油污為害之事實，因有關碳氫化合物文獻之複雜性，未曾發表或未發表在顯著的雜誌上而未為大眾所知。

油輪經改由艙面卸裝操作後，並由船主之加強注意，漏洩油量應可減低。而所得各方面報告似可看出致生物為害之洩漏量亦已減低，余對形成泡沫冰淇淋狀之油性乳液Water in (Oil Emulsion)有助於微生物之衰變油料之環境乃無信心，然而由於意外事件及油輪容量之不斷增加，油料之外洩量無法防止的，僅就在Milford Haven進料的油料研究工作。在其Orierton Oil Pollution Research單位之Geoffrey Crapp君現在從事之漏洩油料之分析工作。Whils君則正在不斷觀察並記錄污染現場的真實情形，對於洩漏油料所引起的長期影響已使余等更為提高警覺。

余等在Milford Haven所進行的工作，並非和上述論文全然相關，油料漏洩在海洋中在其到達海岸前所發生的改變並不包括上述論所提到的全部可能現象，僅有一部分現象會發生，然而乃有小量油料到達海岸。這是快速處理功效的有力明證。工業界與爭論者一致同意油料飄浮在海面時；最易處理是毫無問題的，後面提出的論文將討論“乳化與沉降”的問題，因此我不再加以評論，但我得向Mr. Dean及其合著者說明有關其對嗜氧微生物在海洋環境下使油料衰變速度所持的悲觀看法，雖然我不是微生物學家，以我的想法依Dr. June

Davies & Dr. Gunkel 於 1968 年在 Orierton 舉行的討論會上所宣讀的論文來看，衰變速度必較數年前 Zobell 教授所持的想像要快得多。今天下午雙方工作人員均將參加會議，屆時必會就該問題詳加討論。依我想法為分解油料而去選取一種特殊微生物菌種來完全分解碳氫化合物是無此必要而無意義的，油料一俟分解成較簡單的碳氫物分子後，嗜油微生物必將羣聚而來。

Dr. J. Diederichsen (Rocket Propulsion Establishment): 海面油料厚度在 3 mm 以下，無法燃燒，這是已確知的事實。目前我們知道洩注 85 kl 油料於海面曾燃燒達 9 分鐘之久。請問文中厚度/時間關係與燃燒事實有所矛盾。是否油料剛注入海時其油面在未平衡前或在海水動盪情形下其厚度不一之故。

R. G. Fallows: 我同意大片的浮油其厚度似有極大的差異，Mr. Dean 曾指出油污海面試驗由小規模水池實驗記錄以外插法來推斷至廣大開擴洋面的情形是極困難的。我想這是由於實際油污在海面的習性；由於其他原因與上文所討論者產生偏差。我相信洋面大片浮油必有部分浮油厚度相當高，我們試驗所用半凍膠狀油質的油料無法觀察到這些變異情形。

Dr. June A. Davies (University College, Cordiff): 海洋中微生物生長隨深度而不同，同樣表土細菌之數目及活性較海水中高得多。

Dr. W. Gunkel (Biologische Anstalt Helgoland; Germany): 我想對 Dr. Davies 提出關係油料分解細菌在海洋環境下之活性情形加以說明。水中可分解油料的細菌為數甚微，但是目前我等自北海所取樣品已達 100 個以上，經檢驗均含有可分解油料的細菌存在，然而加入油料後無論何種情況，使油料衰變的細菌均會大量增加，“總菌數”(total number)亦增。由此因細菌之活動而使油料遭受之損失 (Gunkel 1967)，我等亦須想到 Sieburth 君在這方面工作所得的結論指出空氣與水之介面聚集有大量的微生物和養料，而此處正是漏油擴展之所在。大致油料之衰變均在海灘上進行，被沙蓋覆的油料對於細菌活性來說是形成了無氧狀態 (Zobell 1964) 我想這是極重要的關鍵。因為大部分海岸均受海潮的影響，水位上升與下降，即使油料被沙蓋覆部分也因此而供應新鮮海水及氧氣，而且因油料衰變而產生的水溶性物質被海水洗除，更使衰變反應能繼續進行。衰變速度無疑隨油層厚度而定，因為衰變細菌存在於水與空氣界面中。我曾以定量方法測得一立方厘米

沙粒中含有 4 億個嗜氧油料分解細菌 (Gunkel and Trekel. 1967, Gunkel 1968)，這樣高的數目對細菌活性是一極佳的指示，因此我對細菌分解油料極其有限程度的論調，成立“我等可得到海洋及海岸在其天然環境下無油料嗜氧衰變現象發生”極不贊同。

該文內所述經推斷，“可資利用的碳素並非海洋中細菌繁殖速度之極限因素”一語本人亦不同意其推斷。

事實上這是限制微生物在海洋中生長的極重要的因素。至少在未經污染的天然環境下更為確實。

在海水中有機碳素之濃度極低，正常情況下低於 2 mg/l。此外所含之有機碳素存在於極穩定之物質如腐質酸中。祇有在非油質有機碳素濃度達相對高時油料之衰變速度纔會變緩。

參考資料

- Gunkel, W. Holgoländer Wiss. Meeresunters., 1967, 15, 210-5.
- Gunkel, W., and Trekel, H. H. Holgoländer Wiss. Meeresunters., 1967, 16, 336-48.
- Gunkel, W. "Bacteriological Investigations of Oil Polluted Sediments. from the Cornish Coast following the Torrey Canyon Disaster" Suppl. to Vol. 2 of Field Studies ("The Biological Effects of Oil Pollution on Littoral Communities"). pp. 151-8 1968.
- Sieburth, J. McN. Ocean Sci & Ocean Engng, 1965, 1064-8.
- Zobell, C.E. in "Advances in Water Pollution Research" Vol. 3ed.
- E.A. Pearson, Pergamon Press. Oxford, p. 85 1964.

M. P. Holdsworth (Shell International Marine Ltd): 參考日本人實驗結果，海水溫度情形如何，是否海水溫度亦為影響燃燒之相關因素。

其次，有否使用清潔劑量與被擴散油料試驗最佳比例的任何資料？

G. J. Brockis: 就你第一個問題，我加以說明，海水溫度之測定是數百碼外測至燃燒位置，我懷疑有很大的差別，大概是在 70°F 以下。

清潔劑噴撒試驗在油料洩入海面後 1 小時開散噴撒，因此油料在噴撒前已完全擴展開。總共約用了 3 噸清潔劑，此二種不同類型之產品試之，一種是“乳化”型，

另一種是“擴散”型者，前者與用於 Cornwell 者不同，可能是聚烯基氧化物與聚酚縮合物（約 2%）溶於煤油沸點範圍內之溶劑（約 80%）中而成者，可與水一起使用，為 90-95% 之水和 5-10% 清潔劑溶液之混合液。將該清潔劑液噴於浮油周圍，雖然我本人未盡可能靠近操作人員，即使使用望遠鏡還是無法看清楚噴液時之海面情形。我知道是以小船接近浮油噴撒方式試驗這兩種清潔劑，效果均甚佳，但乳化型者較擴散型者為佳。此兩種清潔劑廠牌名稱為 Criclean SD，及 Gammasol，均為日本所製造。

D.G. Jones (Shell U.K. Ltd.): 在經乳化型清潔劑噴撒之浮油圈內，重新型成的油面是否再加以處理？在海潮平穩使水流不變之情形下長時間後油面重新形成現象曾有被看到。

G.J. Brockis: 如把經乳化之油層，適當的攪拌後，使其以乳化狀態擴散，應無油層重現的問題產生。在浪濤猛烈的海面，由於自然力之助，擴散情形必定良好，但在平靜的海面，尤其在封閉區域內，必須以機械使其擴散良好。

D.D. Young (Port of London Authority): 關於在封閉水域內經乳化後重現油跡的問題，在倫敦區船塢內使用有限量的乳化劑以擴散浮油，未見有油跡重現。

乳化後油跡重現現象之解釋，我相信是由於乳化產生大量之油水介面，在此介面需氧衰變 (aerobic degradation) 進行極為快速，這極可能由於溶於水中之氧在油水介面擴散關係而使油之氧化程序受到限制。

由兩種非直接的事實可知微小油滴在水中極稀情況下分解較快速。

第一是例常的生化需氧試驗 (biochemical oxygen demand test.); 在含有添加營養料及污水之情況下顯示商業上乳化劑混合液衰變在五天内需氧量祇需其原需量三分之一就可聚化其溶劑成份為二氧化碳及水，無疑五天後衰變繼續進行。

第二，油水分離器流放液之五天 BOD 值亦有同樣情形。如油水分離效率提高其流放液中油滴濃度降低則 BOD 值亦降。

Dr. P.C. Blokker (Stichting CONCAWE): 封閉水域內漏油經清潔劑處理後重新集結問題是必須使用機械攪拌，藉其波動作用使其擴散得以施展。

如無機械攪拌，擴散之清潔劑會因薄膜壓力迫使分離的浮油碎片重予集結。

Dr. A. Nelson-Smith: 關於封閉水域內使用乳化劑，我注意到 P. Swansea 之 Tir John 電力站自 King 氏船塢內汲取冷卻水之事實。最近檢驗冷卻水進口暗渠底發現一大堆死蟻殼，並有少數活蟻附生在內壁。蟻之大量死亡與船塢內經常使用乳化劑處理漏油之事實不謀而合。這說明在另外一方面着想，為何生物學家反對在小水域內使用乳化劑，因為這亦可能使乳化劑生產者開拓其產品之新用途。

A.B. Wheatland (Water Pollution Research Laboratory): 海洋中浮游生物之生長，受可利用之磷化合物之限制，氮養料亦為次要因素之一，可利用的磷化合物是否為海洋中之嗜氧生物衰變速度限制因素？

這因素在河海江灣水域內較不重要，因為磷氮化合物在污水中含量甚高。

在春末及夏初海水中磷濃度最低，小於 $5 \mu\text{g/l}$ 。

Dr. W. Gunkel: 在開擴海域磷含量甚低，但在淡水與鹹水交接之河口，江灣或沙灘則濃度相當高。試驗說明在油污之沙灘上添加磷化合物後並不影響其衰變速度 (Gunkel 1967)，而在海水中取樣試驗，添加磷化合物後油料之衰變速度大為加速，因此水中磷含量是真正的限制因素。

2. 海灘污染物的分析

J.V. BRUNNOCK D.F. DUCKWORTH & G.G. STEPHENS

(The British Petroleum Co. Ltd., BP Research Centre)

摘要

本文之主旨在敘述石油引起的海灘污染物的分析和鑑定，文中提出分辨各種污染物之方法，並自遇難船 Torrey Canyon 上取得試樣，加以研究，測試原油在海上暴露所受之影響，把變化加以記錄，他們發現鈳、鎳和 n-Paraffin 之含量不受影響，接著又自北歐之海水取樣分析，結果相同，並發現硫之含量亦不受影響。

前言

各種物質(包括原油)在沿海地區的污染對環境、鳥和海洋生物的影響，早已受到很多團體的注目，而 Torrey Canyon 號的不幸更提醒大家的注意，極需確定污染的來源和污染的物質，以便於選擇清潔劑和鑑定責任問題。

當自海灘堆積物取來之樣品確定為原油時，引起困擾，世界上有那麼多種原油是用船輸送的，如何確定呢？而原油自漏出到污染的海岸都暴露在空氣中，性質是否改變呢？又加深了此問題之複雜性。

本文僅涉及原油污染，敘述海岸堆積物之性質，並提供幾種分析鑑定之方法，可用於鑑定在歐洲主要供油路上所可能遭遇之原油污染物。

沿海地帶污染的特性

由原油或燃料油引起的污染大略有三種：原油污泥、風化過之原油，和燃料油。這些污染物的主要來源是船上儲槽的清洗污水或船艙底部之污水，偶而是因撞船或意外的溢出所造成的。

原油污泥：在原油運輸過程中，原油中一些懸浮之高熔點蠟常沉澱於儲槽之底部，洩油時，這些沉澱之蠟亦不隨原油流出，而沉積於儲槽之底部，這些懸浮物可

看做是一種石蠟烴或中間原油，在由北歐入口之原油含量最多，如果把這些沉積於儲槽底之污泥加熱，則蠟即溶於油中，再冷卻之，則形成半固體式之餅狀物，因此，如用熱水清洗儲槽，往往形成較多半固體式之餅狀物而隨海浪漂浮至沿岸地帶，但如用冷水清洗，則這些污泥將分散於海洋中。

表一是從尚未清洗之儲槽取污泥樣品分析後之結果，我們可看出污泥之比重、柏油質含量、蠟含量、熔點等都比原來之原油為高。

集積燃料油：這是從船艙泵送油料時洩出的，或是沉船之油艙被蝕後集積而成，表二是一些洩出之燃料油的分析報告，我們可看出，蠟之熔點並未見升高，暴露在海上的燃料油所受到之主要影響乃是柏油質含量增高了。

根據上面之報告，當海灘受到原油污泥或燃料油污染時，可以下列方法分辨之：如污染物之分析報告含有甚多之高熔點蠟，則屬原油污泥污染；如分析結果柏油質之含量高則屬燃料油污染。英國“Government Chemist”之實驗報告，與吾人之結果相近，就是一種石油堆積物如含有蠟和柏油質，可假想它是由原油而來的。

原油：原油暴露在海面上常因蒸發、氧化等風化作用而變成濃稠之物質，比重、黏度等性質跟著增大，如果假定除了蒸發外，其他作用甚少，我們可以鑑定由原油引起之污染物來源，如本篇附錄所示，蒸發後之原油與由實驗計算出來之結果甚為相似。

如表三所示，原來之污染物根據推想，可能是科威特原油，把它之分析結果和已知蒸發過之科威特原油比較，可看出污染物之含硫量和柏油質含量外，鈳和鎳之含量跟 75% 殘存量之科威特原油甚為相近，柏油質含量之增加較燃料油污染得到之結果為小(參考表二)。

表一. 中東原油和污泥分析表

	比 重 60°F/ 60°F	硫分含量 wt %	蠟含量 wt %	蠟熔點 °F	柏油質 含量 wt %
Iranian					
原 油	0.853	1.40	5.8	130	0.87
污 泥	0.861	1.15	37.4	169	1.06
"	0.870	1.20	22.5	151	0.9
"	0.873	1.24	29.0	163	1.03
"	0.861	1.30	24.0	171	1.38
"	0.859	1.26	26.4	171	1.20
"	0.860	1.18	25.8	171	0.94
Kuwait					
原 油	0.866	2.50	5.0	130	1.01
污 泥	0.873	2.20	26.9	163	1.1
"	0.881	2.17	20.0	160	1.2
"	0.870	2.14	23.2	168	1.92
Qatar					
原 油	0.823	1.25	6.3	123	0.1
污 泥	0.848	—	16.0	148	0.6

註：本表之原油與污泥之取樣時間約略相同，且同屬一儲槽，先取原油，俟原油洩盡方取污泥樣品。

表二. 排放在海上之燃料油分析報告

(取樣於 1952 年 8 月)

	原來之油	暴露一天	暴露五天
樣品之成分 wt %			
油	99.8	60.5	58.4
水	0.15	38	40.5
其他固體	0.05	1.5	1.1
油之分析			
柏油質含量 wt %	1.60	13.3	15.5
蠟含量 wt %	9.1	7.9	7.6
蠟之熔點 °F	125	139	138

表三. 科威特原油殘餘油與一海灘污染物性質的比較

比較基準	黏 度 356 sec	含硫量 3.08 wt %	比 重 60°F/60°F 0.929	柏油質含量 2.33 wt %	污染物中之 油的分析
殘餘油量, wt %	75	80	74.5	34.8	
比重, 60°F/60°F	0.928	0.917	0.929	1.005	0.929
黏度(Rod I at 100°F), sec	356	212	365	50,000	356
含硫量, wt %	3.3	3.08	3.3	4.85	3.08
柏油質含量, wt %	1.0	1.0	1.0	2.33	2.33
鈆, ppm	33	31	33.5	72	34
鎳, ppm	7	6.5	7	18	9

鈆和鎳在原油中之含量不少，它們和蒸發殘存量之關係為直線關係(在實驗蒸餾範圍內)，因此鈆和鎳之含量可當做判斷蒸發過之原油的參考。

這種用鈆和鎳含量來判斷原油污染來源之方法可以推而廣之，只要那些蒸發過之殘存原油之分析資料事先備妥。表六是一些原油在 371°C 下蒸發後殘存之油和 343°-371°C 取出之製汽油之分析報告。表四則是利用污染物之性質來判斷原油來源之情形，但僅限於在北歐海域中運輸之原油。

在上述所分析之幾種樣品中，吾人對於樣品之資料和暴露對原油之影響之資料，甚為缺乏，幸好 Torrey Canyon 事件給我們提供了機會，讓我們得以研究暴露對原油之影響和原油與時間之關係，讓我們得以重新擬定推斷原油污染物來源之方法，導至另一更快方法之產生，用以分析其含 n-Paraffin 之情形，更肯定地判斷原油之來源。

暴露對石油之影響

當 Torrey Canyon 號於西元 1967 年 3 月 18 日失事後，吾人取得它的樣品，希望藉以分析研究各種風化過程對原油產生之影響，表五就是把 Torrey Canyon 等污染樣品用各種方法把油析出加以分析之數據。為了消除各種樣品因蒸發作用損失之不同而造成性質之差異，大部分樣品被置於一小蒸餾塔內，在減壓下蒸餾而取得 371°C 之殘留油，這些殘留油之分析結果也列於表五內，從“附錄”可得到一個結論，就是原油在 371°C 以上蒸

表四. 自原油樣品之分析數據判斷海灘原油污染來源

性 質	試驗結果	結 論
A. 堆積物 ME=中東		
比重 60°F/60°F	0.950以下	除委內瑞拉 (Bachaquero) 和中東原油外, 大部分運至北歐之原油皆在此範圍內.
硫含量 wt%	1.0以下	中東 (Abi Dhabi) 和非洲.
	1-3	大部分中東, 委內瑞拉.
	3-5	中東(中部).
蠟含量 wt%	Ca 1	委內瑞拉 (Bachaquero).
	1-10	中東, 非洲, 委內瑞拉 (Tia Juana), Nigerian (Medium).
	10-20	非洲-利比亞 (Brega, Sain), Nigerian Light.
	高含量	可能為油污泥 (熔點在 Ca 160°F 或以上).
鈰含量 ppm	Ca 1 ppm以下	中東 (Qatar, Abu Dhabi), 非洲.
	10-60	大部分中東.
	>100	中東 (伊朗 Heavy), 委內瑞拉.
鎳含量 ppm	Ca 或 <5 ppm	中東 (Qatar, Abu Dhabi), 非洲.
	5-30	大部分中東, Nigerian Medium, 委內瑞拉 (Tia Juana).
	>30	中東 (伊朗 Heavy), 委內瑞拉 (Bachaquero).
柏油質含量 wt%	<0.5	中東 (Qatar, Abu Dhabi), 非洲.
	1-5	大部分中東.
	5-7	委內瑞拉 (Tia Juana).
	7-9	中東 (中部), 委內瑞拉 (Bachaquero), Safaniya (S Arabia).
	高含量	可能為燃料油.
B. 371°C 以上之殘留油		
比重 60°F/60°F	0.900-0.960	中東 (Qatar, Abu Dhabi), 非洲.
	0.960-0.990	大部分中東, 委內瑞拉 (Tia Juana), Nigerian (Medium).
	>0.990	中東(中部), 委內瑞拉 (Bachaquero), Safaniya (S Arabia).
硫含量 wt%	<1.0	非洲.
	1-3	中東 (Qatar, Abu Dhabi, Oman, Iranian (L and H), S Arabian Light), Venezuelan (Tia Juana).
	3-5	中東 [伊拉克, 科威特, Safaniga, Neutral Zone (Khafji)], 委內瑞拉 (Bachaquero).
	>5	中東(中部).
蠟含量 wt%	Ca 1	委內瑞拉 (Bachaquero).
	<15	大部分中東, 委內瑞拉 (Tia Juana), 非洲-阿爾及利亞 (Hassi, Massoud, Zarzaitine), Nigerian Medium.
	15-30	中東 (Qatar, Abu Dhabi), 非洲-利比亞 (Brega, Es Sider, Sarir), Nigerian Light.
	高含量	可能為油污泥 (熔點在 Ca 160°F 以上).
鈰含量 ppm	<5	中東 (Qatar, Abu Dhabi), 非洲.
	20-Ca 100	大部分上面未提過之中東地區.
	>200	中東 (伊朗 Heavy), 委內瑞拉.
鎳含量 ppm	1-10	大部分非洲.
	10-40	大部分中東, 委內瑞拉 (Tia Juana), Nigerian (Medium).
	>40	中東 (伊朗 Heavy), 委內瑞拉 (Bachaquero).
柏油含量 wt%	Ca 或 <1	中東 (Qatar, Abu Dhabi), 非洲.
	2-8	大部分中東.
	8-10	中東 (伊朗 Heavy, Neutral Zone), 委內瑞拉.
	高含量	可能是燃料油.

表五. Torrey Canyon 沉船事件取得之污染樣品分析

科威特原油	210° 以上之 殘留油	海上括 取之油	海軍直 升機上 取之黑 乳物	Mnstand 固體乳狀 物 (向海 灘取得)	Guern- sey 海灘石坑 集油	Fistral Beach New- quay 之乳水	Lihou Island Channel Isles 岩穴油水	Gunw- alloe 高潮岩穴 之油水	Marazion 海之浮泡	Priest's Cove Cape Cornwall 岩穴之浮渣 和油	Hayle Est- uary 海灣和岩 石之刮取 物	Sennen Cove 之含油沙	Gun- walloe Fishing Cove 高潮標尺上 取得之塊團
—	—	TC/1 Mar. 1967	TC/2 Mar. 1967	TC/3 Mar. 1967	TC/4 Apr. 1967	TC/5 15/4 1967	TC/6 6/4 1967	G/5 3/5 1967	Mz/1 4/5 1967	CC/3 7/5 1967	H/1 10/5 1967	TC/7 May 1968	G/4 3/5 1967
樣品編號	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
取樣日期	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
樣品之成分 wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
油	—	25.2	66.4	26.5	19.6	18.8	21.2	22.4	2.7	20.2	38.6	6.1	41.4
水	—	74.8	33.4	72.0	79.8	76.5	75.9	74.4	67.8	75.4	39.0	10.6	17.3
固體	—	Trace	0.2	1.5	0.6	4.7	2.9	3.2	29.5	4.4	22.4	83.3	39.8
回收油料之性質	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
比重 60°F/60°F	0.869	0.9295	0.958*	0.9565*	0.957	0.955*	0.955*	0.956*	0.9595*	0.949*	0.965*	0.944*	0.905*
含硫量 wt%	2.50	3.25	3.36	3.27	2.92	3.20	3.13	3.02	—	3.15	—	3.04	1.88
動態黏度 at 140°F cSt	—	34.5	139.8	89.9	44.9	82.1	88.0	65.5	153.4	101.1	186	—	—
" 170°F cSt	—	19.5	65.4	45.5	24.6	41.9	44.1	34.5	70.9	50.0	86.1	—	48.8
" 210°F cSt	—	10.9	30.1	24.0	13.3	20.2	21.4	17.4	31.2	23.8	39.6	12.9	25.0
流動點 °F	-25	15	—	—	—	—	45	35	—	70	—	—	155
柏油含量 wt%	1.4	1.8	2.9	3.8	3.4	3.8	4.7	4.3	4.2	4.4	5.2	3.7	3.5
蠟含量 wt%	5.9	7.7	10	7.5	7	6	8.5	8	—	8	—	—	27
蠟熔點 °F	127	127	134	135	133	134	128	134	—	140	—	—	157
鈉 ppm	27	35	44	41	35	33	37	34	42	39	42	—	58
鎳 ppm	9	12	17	16	16	17	16	15	17	16	21	—	20
371°C 以上殘留油性質	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
產量 (回收油之wt%)	—	—	83.7	76.2	71.5	—	75.4	74.8	—	78.7	—	72.0	86.5
比重 60°F/60°F*	0.9745	—	0.975	0.9855	0.999	—	0.993	1.000	—	0.9775	—	0.9895	0.926
含硫量 wt%	4.16	—	3.84	3.87	3.89	—	3.88	3.75	—	3.73	—	3.79	2.05
動力黏度 at 140°F cSt	436	—	501	714	677	—	—	—	—	—	—	—	—
" 170°F cSt	170	—	195.5	266.5	254.5	—	316.5	257.5	—	255.5	—	—	81.2
" 210°F cSt	64.4	—	71.4	94.5	90.2	—	107.3	92.9	—	92.6	—	71.0	38.9
流動點 °F	70	—	—	—	—	—	85	90	—	110	—	90	160
柏油含量 wt%	2.7	—	3.5	4.7	4.8	—	6.2	5.7	—	5.6	—	5.2	4.0
蠟含量 wt%	9.5	—	11	—	8.5	—	11	10	—	11	—	10	35
蠟熔點 °F	133	—	137	—	135	—	138	140	—	146	—	145	170
鈉 ppm	53	—	52	52	48	—	50	49	—	50	—	53	65
鎳 ppm	18	—	20	21	22	—	20	19	—	20	—	18	23

* 比重為自 140°F 或 170°F 之值換算而得.