

國際貨輪的重燃油艙佈置設計研析—降低海上意外所致溢油污染損害

Design of Bunker Tanks Arrangement for Merchant Vessels to Mitigate Marine Oil Spillage

吳東明 Tong-Ming Wu¹

張育嘉 Yi-Chia Chang²

摘 要

近年來，國際間商船的海上碰撞及觸礁等意外事件頻傳，導致對於商船重燃油艙溢流原油現狀影響，業已促使社會大眾與產業人士等產生積極危機意識。在本論文中，有關若干國際貨輪溢油統計數據作一總括性敘述，並且提供若干船舶碰撞、觸礁及擱淺等海上意外事件的代表性歷史案例說明。事實上，在重燃油艙間週圍設計佈置雙重殼結構以加強保護之，其係不失為減輕溢油風險的一種方法。船上燃油艙的設計位置與容積大小等亦將直接影響海上溢油事件的可能性及預期數量，最終有關若干國際商船重燃油艙間佈置設計構想等的相對有效性評估研究作業，係採用機率為基礎的油料溢流分析技術以執行之。總括而言，該商船重燃油艙的新佈置設計構想將有助於海上溢油污染防治及海洋環境資源保育等事先預防工作的推展。事實上，欲有效達到抑制海上溢油外流，造成海洋環境污染及資源保育等問題，斧底抽薪治本方案有二，即遵循國際間海洋污染防治及港口國管制等相關公約精神，迅速制訂我國內相關執行法令，以有效落實之。另者則為重新考慮商用船舶的重燃油艙佈置設計概念，以確實減少海上碰撞、觸礁及擱淺等意外事件，所造成海上溢油外流頻率與數量。最終，在我國政府正當大力提倡海洋立國政策指導下，行政院海岸巡防署可望改制為海洋事務部之際，應可有所參考，以為將來推展海洋溢油污染防治及環境保護養育等任務工作依循。

關鍵詞：油輪、貨櫃輪、散裝貨輪、海上溢油。

¹ 中央警察大學水上警察研究所專任教授兼系主任。英國格拉斯哥大學造船暨海洋工程學博士。交通大學機械工程學研究所博士研究。台灣大學造船工程學研究所碩士。交通大學航海暨輪機工程學學士。英國格拉斯哥大學海洋科技研究中心訪問研究員。英國格拉斯哥大學水動力實驗室高級研究員。中國造船公司專案工程師。聯合船舶設計發展中心科技專案研究員。歐盟國際工程技師。英國皇家工程技師。行政院研考會審查委員。海巡署海洋事務委員。交通部專案審查委員，經濟部技術處船舶產業諮詢委員。

² 行政院海岸巡防署海洋巡防總局恆春海巡隊分隊長。海巡署海洋巡防總局海務組科員。中央警察大學水上警察研究所碩士。中央警察大學水上警察學系學士。

ABSTRACT

In recent years, marine ship collision and grounding accidents have frequently happened to result in oil spillage of bunker tanks and to draw the risk awareness of public attentions. The statistic analysis of historic data for merchant vessels in international aspects is performed, and the histories of well-known marine casualties for collision, rocking and grounding events are summarized. In fact bunker tanks arrangement with design concept of double-hull protection is one effective approach to bring down the risk of marine spillage. The design of location and size for bunker tanks is to affect the likelihood and expected volumes of oil spills. The relative effectiveness of design alternatives for bunker tanks of different ship kinds is systematically examined with probabilistic oil outflow analysis approaches. In conclusions, the new design of bunker tank arrangement for merchant vessels is essentially beneficial to preventing work for marine pollution control and environmental protection. Indeed two principal countermeasures to handle these problems could be proposed. Firstly in compliance with the spirits of international conventions, such as MARPOL and Port State Control, certain authority regulations should be immediately ready for administration activities further. By the way, design alternatives of bunker tank arrangement for merchant vessels would be an efficient approach to avoid marine oil spill frequencies and outflow volumes in collision/rocking/grounding accidents. Finally some valuable recommendations could be helpful for further development of maritime affairs in the near future.

Keywords: Tanker, Container, Bulk Carrier, Marine Oil Spillage

壹、前言

在 1989 年「艾克森瓦爾迪茲」(Exxon Valdez)油輪觸礁擱淺所致溢油污染阿拉斯加海灣陰霾，及隨後於 1990 年美國國會通過「油污染防治法(Oil Pollution Act of 1990)」等多重因素影響下，在美國所管轄水域內的油輪溢油外流數量業已產生戲劇性的遽減變化^[1]。並且在 1990 年期間，油輪的年溢油外流量尚不及於 1980 年期間所發生溢油外流總量的十分之一。無論如何，近年來從國際貨輪發生碰撞、被撞及觸礁等海難，所致溢油外流污染事件，諸如 1995 年的「愛尼芙(Enif)」號散裝貨輪、1997 年的「庫雷(Kure)」號散裝貨輪，及 1999 年的「紐卡蕾莎(New Carissa)」號木材運輸船等，更提振社會大眾對從國際貨輪重燃油艙溢油外流，導致海洋環境污染問題的風險認知^[2]。

關於此溢油外流污染海洋環境的風險評估內容，其概括有海上意外事件發生頻率與事件造成後果等評估作業。惟該海洋溢油外流污染事件的正式後果評估工作應該涵括諸多重要因素，概有對自然棲息繁殖地區的衝擊、沿生損失成本費用，及生命損害與喪失等相關補償費用考量^[3]。事實上，若此繁複評估工作即遠超過本論文的研究範圍，因此在本研究論文中僅以海上溢油外流總量為其事件後果的替

代性影響指標。

在美國可航行水域範圍內，美國海岸防衛隊主張建立一個攸關發生海難溢油事件的資料庫。並且該溢油事件資料庫內容概涵括有溢油外流總量、涉件船舶類型，及海難事件因果損傷記錄等資訊。透過該海難溢油外流污染事件的歷史統計記錄資料，各國際貨輪重燃油艙的海難溢油發生頻率及外流總量等數據即可被粗步估算出來。同時，筆者亦深入探析六件國際貨輪海上意外事件，導致其重燃油艙破裂的溢油外流污染案例。並且吾人可透過該海難歷史記錄資料分析評估，進而深刻認知貨輪重燃油溢流事件的發生類型及船殼結構遭受損壞的嚴重程度等。

惟在評估實務上，應用該海難溢油事件的歷史記錄統計資料，執行國際貨輪發生海上意外，導致溢油外流污染效應的總合評估作業仍是極受限制的。惟因國際貨輪發生海上碰撞與擱淺事件所致重燃油外溢情形實係為低度可能發生機率事件，所以未能蒐集充份足夠數據資料，以對現今營運中的各不同貨輪重燃油艙佈置設計型式，進行其溢油外流污染防治有效性的比較分析。再者，根據現有貨輪的歷史統計數據基礎而言，因該創新重燃油艙佈置設計概念貨輪仍未有足夠應用實例可供參考研究，所以現今無法被正確評估。無論如何，從貨輪結構損壞程度來審視，應用該歷史統計數據所進行的機率分析，提供一個計算對有關減少海上溢油事件可能性與總外流量的貨輪重燃油艙佈置設計之相對有效性方法^[4]。

在本研究論文中，源自國際海事組織(International Maritime Organisation ; IMO)所研究開發完成，並且藉以評估各式重燃油艙佈置設計油輪的機率溢油外流總量計算方法，被推廣應用於各式重燃油艙佈置設計的油輪、貨櫃輪及散裝貨輪等的海上溢油外流總量預估計算。事實上，應用該機率溢油外流總量計算方法的目的在於提供船舶設計工程師一個更深刻瞭解，對於貨輪重燃油艙的各式設計佈置及分佈位置等，在船舶碰撞及擱淺等海上意外事件中所發生溢油外流情況的效應影響。

貳、法規管理架構

對於營運貨輪重燃油艙的保護位置設計方面，現今仍未見相關權責管理規定要求被公佈實施。在 1973/78 年所制訂「國際海洋污染防治公約」(MARPOL 73/78 13F)第十三章內容中^[5]，清楚規定要求所有載重量超過 5,000 噸以上的新建設計油輪必須設置有雙重船殼結構、中間隔離甲板，或經由國際海事組織(IMO)所認可的替代性佈置設計等^[6]。並且在 1990 年美國油污染防治法(OPA 1990)中，明文規定

要求進出美國管轄水域的所有新造設計油輪均需設置雙重船殼結構。無論如何，前述兩個法規僅適用於載運油貨的油輪及任何燃油艙設置於貨物艙長度範圍內的貨輪等。至於載運油貨艙間長度可由最接近船艙的貨物艙邊界，延伸至船艙的防碰撞艙壁。另由於現今大多數傳統典型油輪艙間設計均將其重燃油艙佈置於機艙內，因此這些重燃油艙區均可能被設置緊貼於船殼外板。

在 1980 年代間，芬蘭首先向國際海事組織提議限制燃油貯存於雙重底艙空間，並且最近挪威亦進一步提議倡導。事實上，挪威亦正考慮建立一套參考指標制度，藉由不同環保等級的船舶所繳交規費多寡，以激勵各貨輪營運操作注重環境保護事務。因此從重燃油艙的溢油外流風險將被設定為前述環境指標制度的關鍵因素。受到來自於「紐卡蕾莎(New Carissa)」木材運輸船的溢油外流事件教訓，美國眾議院亦引發熱烈辯論，是否需要針對相關商用貨輪裝載燃油部份，加強立法規範之^[7]。

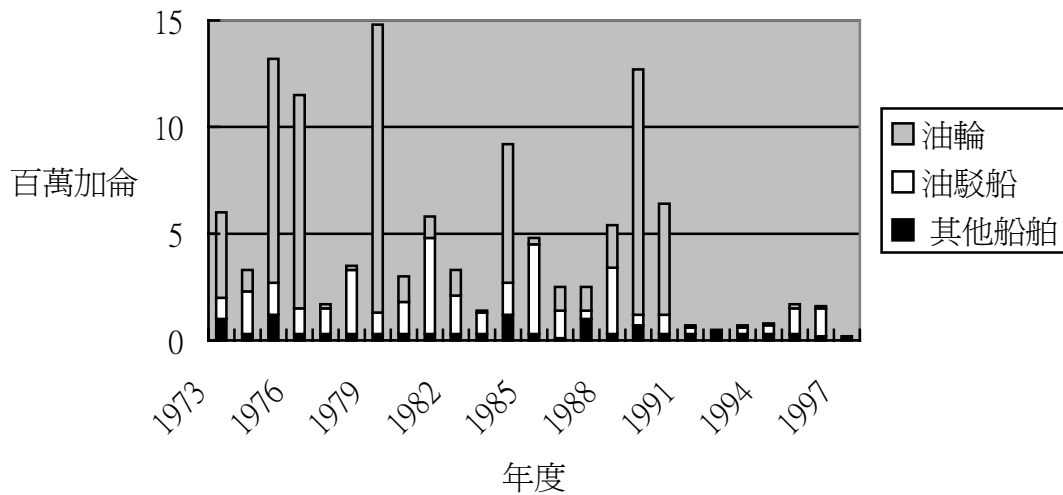


圖 1 在美國水域來自各型船舶的溢油外流容積統計分析(以 1973 至 1997 年為準)

參、海上溢油的歷史統計

在實務作業上，美國海岸防衛隊所建置資料庫內容，係涵括所有發生於美國可航行水域內的所有大小海上溢油事件之通報記錄，並且有關自 1973 年至 1997

年的每年從船舶溢油外流總量統計數據等，詳請參看圖 1 所示。至於前述船舶溢油外流總量統計資料可被區分成三大種類，即油輪(Oil Tankers；O/Ts)、油貨駁船及「其他船舶」¹等。根據前述統計數據顯示，自 1990 年以來船舶溢油外流總量銳減現象即已明顯呈現出來，特別是油輪方面的表現更是最為令人印象深刻的，即如 1990 年後每年油輪溢油外流總量，均較 1990 年以前時期的每年溢油外流總量數據之十分之一為少。至於自油貨駁船所溢油外流總量的年平均統計數據，大約為 1990 年以前時期者的三分之一之譜，實為現今最大的單一船舶溢油外流總量來源。無論如何，自油輪與油貨駁船所溢油外流總量業已顯著減少，惟其降減量並未能有效補償「其他船舶」所形成損害，即如在 1990 年代，因油污染防治法通過實施後，油輪及油貨駁船等均可有效加以規範管理，自然其海上溢油事件及外流總量得以漸次降低。相較之下，「其他船舶」者佔每年發生海上溢油外流總量比例，呈現逐年攀高增加趨勢，實為船舶海上溢油外流事件的重要製造者^[8]。

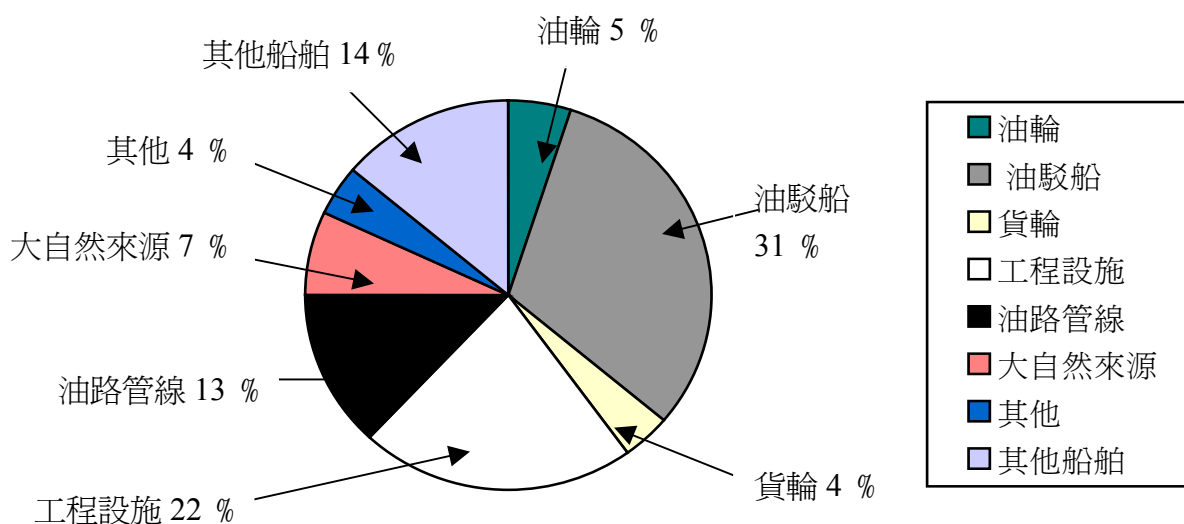


圖 2 在美國水域所發生溢油外流事件的發生來源分析(以 1992 年至 1997 年為準)

針對海上溢油外流事件的發生來源為主，更進一步作詳細分類陳述，在 1992 年至 1997 年期間，在美國管轄水域內所發生海上溢油事件的大約 54 %外流總量係為來自船舶所造成者，詳請參看圖 2 所示^[9]。有關前述圖 1 內容所提及「其他船舶」種類項目，概涵括有貨輪(Freighters)、貨物運輸駁船(Freight Barges)、拖駁船(Tow/Tug Boats)、漁船(Fishing Boats)、未被歸類的船舶，及除油輪與貨油駁船外

¹ 此處所謂「其他船舶」係指除油輪與貨油駁船外的其他所有船舶等。

的其他所有船舶等。另在圖 2 中所陳述的「貨輪」係與前述所提「其他船舶」者截然不同的，並且在「貨輪」種類項目中涵括各式商用貨物運輸船，諸如散裝貨輪(Bulk Carriers ; B/Cs)、貨櫃輪(Containerhips ; C/Vs)、駛上駛下船(Roll on/Roll off Ships ; RO/ROs)，及一般雜貨船(General Cargo Ships)等。至於圖 2 中有關「其他」部份係泛指除所有船舶及供輸油品設施等外之可能油污來源，諸多陸上工廠排放及空中墜落等因素所導致溢油污染。在 1992 年至 1997 年期間統計數據顯示，大約溢油外流總量的 4% 應是由「貨輪」所造成的。並且經統計數據顯示，「貨輪」總計發生 8 件海上溢油事件，其中外流總量超過 1,000 加侖，或甚至更大規模者均係是源自船舶發生被撞、相互碰撞，或擱淺等事件所致，詳請參看圖 3 所示。前述 8 次船舶海上溢油事件的外流總量統計大約為 900 立方公尺(相當於 237,000 加侖)。該溢油外流總量數據顯示，在前述六年期間有 42%的溢油外流量係由貨輪所造成的，惟其大約僅佔來自船舶溢油外流總量的 3% 之譜。

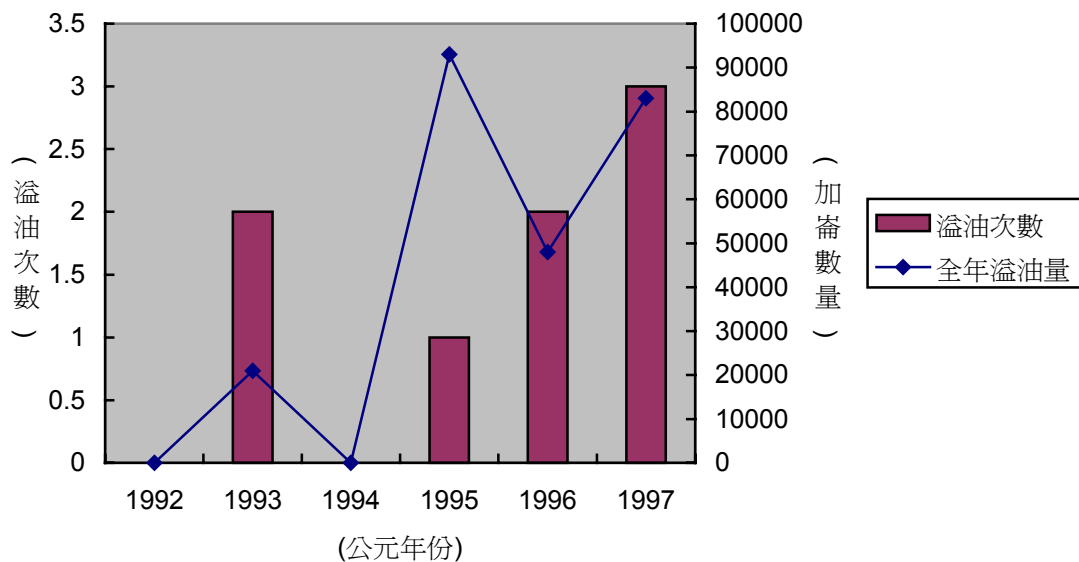


圖 3 源於貨輪碰撞及擱淺意外事件所發生溢油外流的統計分析
(以 1992 年至 1997 年為準)

對於在船舶碰撞與擱淺等意外事件中，「貨輪」相較於油貨駁船及「其他船舶」等，僅占相對低的溢油外流總量比例，惟以現今民眾關心與政治反應的熱絡程度應或許可能感到萬分驚訝 – 即為平均每年發生溢油意外事件 1.33 次，大約外流總量為 112 立方公尺，相當於 30,000 加侖之譜。假若在開放公海水域中，發生大量船舶海上溢油意外事件的可能性概率極微，僅有海域鑽探油氣井平臺，或裝卸駁

油等設施可能發生大量溢油事件，惟其均與海岸線地區有若干長遠距離，亦擁有較充裕時間，以有效實施溢油應變處理作業。無論如何，最近數次溢油事件均發生於近岸環境敏感地區，諸如阿拉斯加州海岸、奧勒岡州海岸及加利福尼亞州休姆伯特海灣等。事實上，若以「庫雷」(Kure)號散裝貨輪在休姆伯特海灣所發生溢油意外事件為例，其溢油外流總量大約為 4,500 加侖，亦明確顯示即使是發生相對較小規模的溢油外流意外事件，亦勢必會導致明顯的環境資源衝擊及實質龐大的清除費用等損害。

肆、海上溢油案例說明

在本章中，作者綜合提出 6 件船舶發生溢油外流意外事件，並且均涉及重燃油艙受損的歷史案例，其中涵括有 2 件高能量的相互碰撞事件 – 即「華盛頓總統」號貨櫃輪與「韓進香港」號貨櫃輪(President Washington - HanJin Hong Kong)、「亞歷克細亞」號散裝貨輪與「愛尼芙」號散裝貨輪(Alexia-Enif)；2 件觸礁事件 – 即「裘林恩」(Julie N)號油品輪與「庫雷」(Kure)號散裝貨輪；及 2 件擱淺 – 即「庫羅島」(Kuroshima)號冷凍船與「紐卡蕾莎」(New Carissa)號木材運輸船等^[10]，詳分案討論說明如后。

4.1 「華盛頓總統」號貨櫃輪

在 1994 年 5 月，該「韓進香港」(HanJin Hong Kong) 號貨櫃輪在駛入釜山(Pusan)港口時，不慎撞及「華盛頓總統」(President Washington) 號貨櫃輪的接近船舳左舷側處。該「韓進香港」號船艙貫穿「華盛頓總統」號的船側外板，並且深及一空載重燃油艙與鄰近壓載艙等，大約是自縱向艙壁延伸深入超過 2.5 公尺。兩個鄰近貨艙均發生泛水現象。所幸者僅有源自碰撞受損的重燃油艙內所殘餘少量重燃油(HFO)，對港口造成小規模的溢油污染。

「華盛頓總統」號貨櫃輪的油艙佈置設計係為通用典型的，其絕大部份重燃油均儲存於貨物艙外側的船側翼艙位置。無論如何，在該高能量相互碰撞情況下，源於「韓進香港」號船艙的相互碰撞所造成貫穿船側外板結構的損壞程度，或許業已超過現今任何雙重殼保護設計的船舶重燃油艙結構所能承受之極限。

4.2 「愛尼芙」號散裝貨輪

在 1995 年 7 月於墨西哥灣靠近密西西比河入口處，230 公尺長的「亞歷克細亞」(Alexia)號散裝貨輪與 157 公尺長的「愛尼芙(Enif)」號散裝貨輪發生相互碰撞

事件。「亞歷克細亞」號船艏正中撞入「愛尼芙」號船艏向船艙的左舷船側處，並且其貫穿深入第三艙，大約穿越其橫向船寬深度有一半之譜。該高能量相互碰撞的結果即是「愛尼芙」號的 3 個重燃油艙與 1 個柴油艙等發生溢油外洩現象，並且該溢油外洩總量大約為 360 立方公尺(相當於 95,000 加侖)的柴油與第一八〇號燃料油(IFO 180)等油質混合物。至於「亞歷克細亞」號僅有船艏結構受損，卻未見發生溢油外洩現象。緊接著兩艘船舶被順利拖帶分開，並且以接駁油船搬運殘油，因此未發生其他持續溢油外洩情況漏油。在經過三日後，「愛尼芙」號船週遭僅見零星浮油團被報導出來，旋於數日後該溢油外洩的明顯證據即消失無蹤了。

因為與「亞歷克細亞」號船艏的直接相互碰撞，以致該「愛尼芙」號位於左舷重燃油艙與船中心線柴油艙等結構受到的損壞。另其位於右舷重燃油艙的結構損壞係由於週遭繞鋼板結構，受到貨物移動撞擊所造成。由於受到高能量的撞擊和與貫穿效應所致，「亞歷克細亞」號船艏結構造成其艙口蓋倒塌入裝貨艙下方，導致位於船艏貨艙前端的雙重底重燃油艙之間接性結構損壞。

事實上，類似前述高能量的碰撞力量與船艏貫穿結構程度而言，即使擁有右舷外側重燃油艙的結實雙重殼保護結構，卻亦無法有效保護柴油艙。同樣地，現今仍未見有通用船舶結構設計，其足夠避免此類右舷側與雙重底等重燃油艙的間接性結構損壞。

4.3 「裘林恩」號油品輪

在 1996 年 9 月間於緬因州波特蘭市，正當駛經「美利恩朵勒」跨橋的開閉作動時，該「裘林恩」(Julie N)號油品輪不慎撞及跨橋南側的橋墩處。由於航海駕駛員的人為操作錯誤，以致造成此一船舶觸礁意外事件。該船舶碰觸橋樑支柱墩座的結果即造成溢油外洩-353 立方公尺(相當於 93,200 加侖)重燃油，及 327 立方公尺(相當於 86,400 加侖)的第二號家用取暖燃油與載運貨油等。事實上，該溢油外洩事件所造成溢油綿延覆蓋 13.7 哩海岸線，並且導致大規模的油污清除作業。最終根據報導顯示，該油污染應變作業的總合費用約近伍仟萬美金之譜。

該「裘林恩」號的結構損壞係發生於吃水線下方，正好位於船艏左舷側的防碰撞艙壁(Anti-collision Bulkhead)後方處。並且在船側外板上撕裂出一個破洞開口，經測量大約為 10 公尺長及 4 公尺深之譜。位於鄰接船艏防撞艙壁的重燃油(HFO)艙出現結構裂隙，並且在左舷載運貨艙的前端艙壁處亦見結構破裂損壞情形。事實上，該因碰觸橋樑支柱墩座所造成的重燃油艙結構之橫向貫穿損壞情形極為有限，因此雙重殼保護的船舶結構設計應極可能有效避免此一船舶溢油外洩事件。

4.4 「庫雷」號散裝貨輪

在 1997 年 11 月間，於休姆伯特海灣的路易斯安那太平洋碼頭處，正當移船靠泊時，該 195 公尺長的「庫雷」(Kure)號散裝貨輪碰撞到碼頭工程設施(Port Facility)。導致船體於前重燃油艙的吃水線上方約為 3.0 公尺處，出現由 0.35 公尺大的結構破洞損壞。並且在該結構破洞被堵阻前，發生大約為 17.2 立方公尺(相當於 4,537 加侖)的第一八〇號燃料油(IFO 180)，溢油外流至海灣水域中，並且該溢油外洩事件嚴重衝擊當地的濕地與海岸線等環境。事實上，雙重殼保護設計確實可以避免如此細微與小規模局部結構破裂損壞所造成的溢油外洩情況。

4.5 「庫羅島」號冷凍船

在 1997 年 11 月間，於鄰近阿拉斯加州荷蘭港的夏日海灣處，116 公尺長的「庫羅島」(Kuroshima)號冷凍船發生嚴重擱淺意外事件。該擱淺事件導致使得 2 個位於雙重底處的重燃油艙破裂損壞，並且發生大約為 174 立方公尺(相當於 46,000 加侖)重燃油的溢油外洩現象。另外 288 立方公尺(相當於 76,000 加侖)的重燃油(HFO)被採用泵浦從船艙內抽引至岸置儲油槽中，以避免再次發生溢油外洩情形，並且減輕船舶重量。經過三月餘的竭力救援，終將該船舶上浮拖離，隨即展開昂貴費用的油污染清除及後續復育經營工作。實際上，假若將重燃油艙設計佈置於雙重底結構空間以外處，該溢油外洩事件或許可能順利避免的。

4.6 「紐卡蕾莎」號木材運輸船

在 1999 年 2 月初，該「紐卡蕾莎」(New Carissa)號木材運輸船於奧勒岡州的中央海岸外，發生漂流擱淺意外事件。在起初階段時，雖然船體嚴重擱淺於沙質海床上，但是並未發生溢油外洩現象。隨著海上暴風雨猛襲船體，導致撞擊海床，溢油開始從船體外洩流出，並且污染附近的海岸線區域。該船上重燃油艙係設置於第二、三及四號貨物艙下方的三個船中心線雙重底艙，並且另有一左舷雙重底油艙位於第五號貨物艙下方，至於柴油係儲存於橫跨第五號雙重底的右舷雙重底艙內。

正當船舶發生擱淺意外事件時，船上大約仍有 60% 裝載容積的重燃油，即涵括有大約係由 1,363 立方公尺(相當於 360,000 加侖)重燃油(HFO)與 114 立方公尺(相當於 30,000 加侖)柴油等。事實上這是一項極為困難的工作挑戰，即係欲確實知道到底有多少重燃油(HFO)從擱淺船舶內溢流外洩出來，並且在救援行動實施期

間，又有多少重燃油被燃燒消耗殆盡。惟根據可靠估算數據顯示，該重燃油的溢流外洩總量大約為 189 立方公尺(相當於 50,000 加侖)至 265 立方公尺(相當於 70,000 加侖)之譜。並且直到現今，直接投注於擱淺救援與溢油應變清除等費用業已超過兩仟萬美金。

事實上，該「紐卡蕾莎」號的重燃油艙佈置係為許多散裝貨櫃輪的設計典型，即其重燃油絕大多數係儲存於貨物艙下方的雙重底艙處。無論如何，調整散裝貨輪的重燃油艙佈置設計，並且無法確認其是否可能順利避免溢油外流情形，惟船舶結構的破裂損壞與破洞開口等情形，勢必可能造成船舶中段區域的任何艙間，發生結構裂縫開孔損壞。

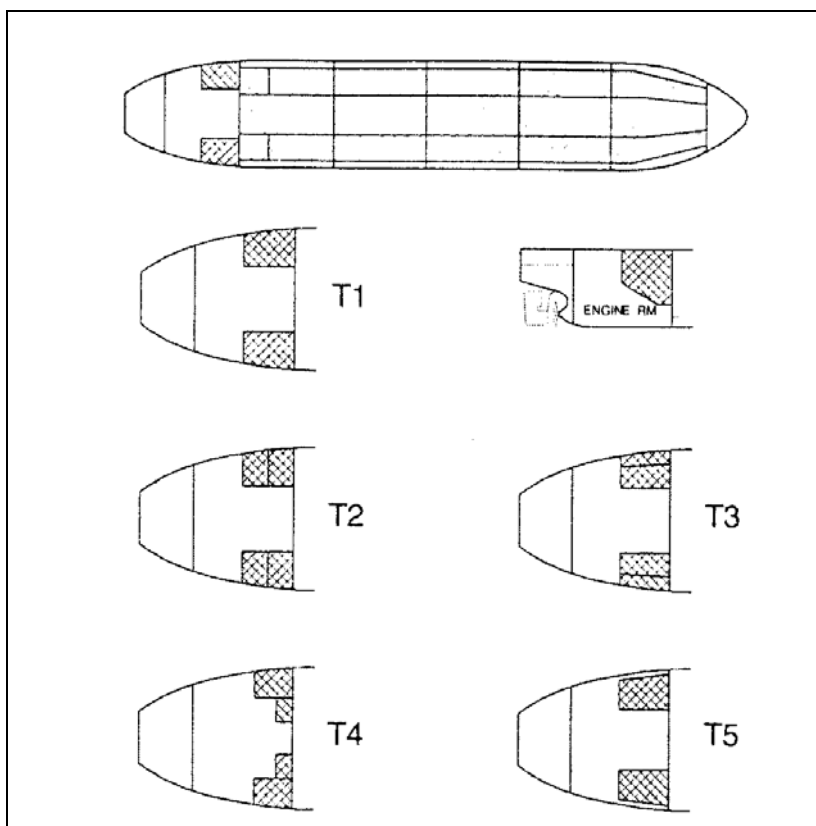


圖 4 油輪船型的燃油艙佈置設計型式

伍、貨輪重燃油艙佈置的設計實務基準探討

由於各種船舶用途不同，對於不同船舶類型必須考慮個別特定設計需求，因此導致不同的重燃油艙佈置(Bunker Tank Arrangement)型式。此處僅以油輪(Crude

Oil Carriers)、貨櫃輪(Container-ships)及散裝貨輪(Bulk Carriers)等三大主要船型的重燃油艙佈置的設計考量要點，詳加分述如后。

5.1 油輪

其重燃油(HFO)艙通常係被設計佈置於一或兩對的舷側翼艙處(Wing Tanks)，詳請參看圖 4 內的 T1 型與 T2 型油艙佈置所示。此一設計概念係考慮鋪設較短的系統管路，及避免重燃油的輸運系統管路穿越壓載水艙與載運貨油艙等。事實上，將機艙前端的雙重殼結構空間設置為貨油裝載專用者，實可增加貨油裝載的最大容量。

5.2 貨櫃輪

傳統式貨櫃輪的重燃油艙設計大多數均係配置於貨物艙外側的船側翼艙處。一般而言，此類重燃油艙均係位於船體中段部分，並且沿船舶縱向方式配置之。對於船舶裝填或耗減重燃油時，此般重燃油艙佈置設計亦不至於明顯改變船舶的俯仰與穩度(Trim and Stability)等，詳請參看圖 5 內的 C1 型油艙佈置所示。另外，尚有若干重燃油被貯存於機艙內的側翼邊艙處。

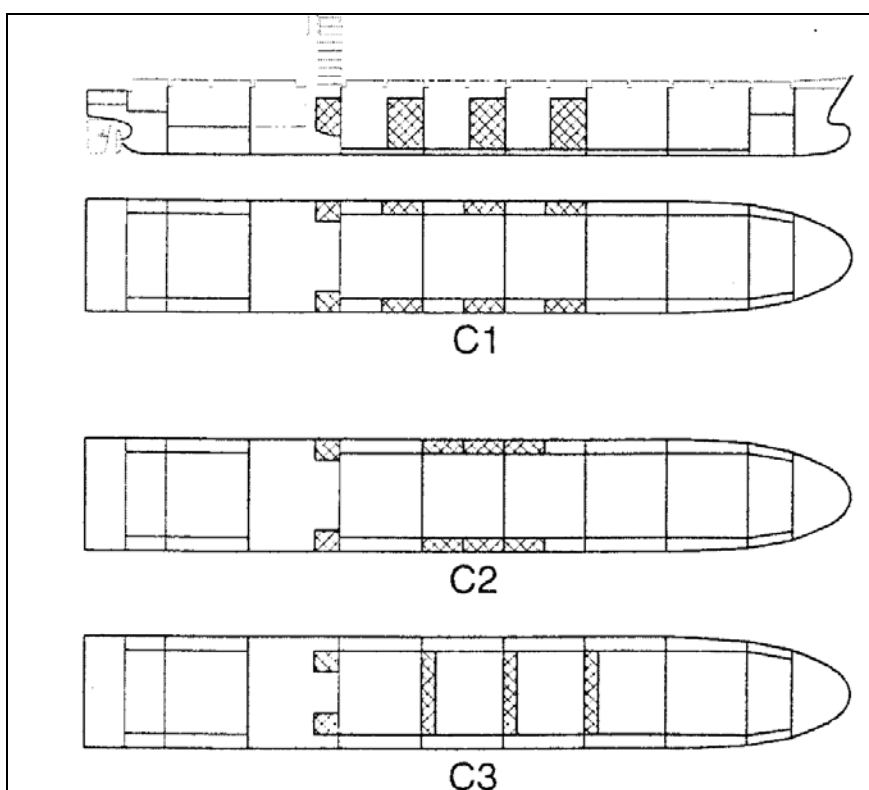


圖 5 貨櫃輪船型的燃油艙佈置設計型式

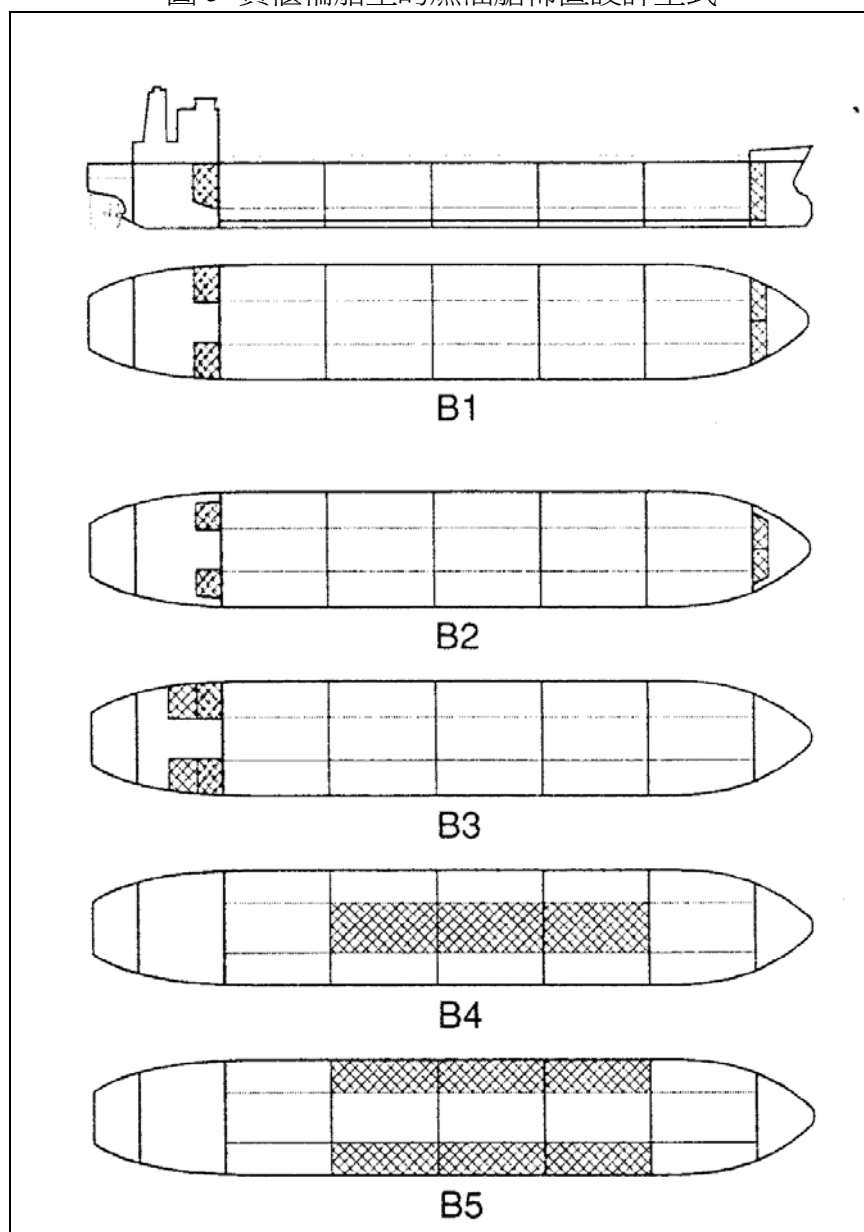


圖 6 散裝貨輪船型的燃油艙佈置設計型式

5.3 散裝貨輪

較大尺寸的海艸型(CapeSize)散裝貨輪的重燃油艙佈置正如油輪者設計一般，經常將重燃油艙設置於機艙內的側翼艙。至於尺寸較小的便利型(Handysize)

或巴拿馬運河極限型(Panamax)之散裝貨輪等，其重燃油艙通常大多設計配置於中央位置的雙重底艙(Center Double Bottom Tanks)。另種可能選擇者，散裝貨船設置其重燃油艙於靠船側的雙重底/側翼等艙間，或佈置於船艙艙間及機艙處等深艙(Deep Tanks)內，詳請參看在圖 6 內的 B1 型油艙佈置所示。

此處謹將現行各級油輪、貨櫃輪及散裝貨輪等的典型重燃油(HFO)艙與柴油(DO)艙之容積設計尺寸數據作一總合性說明，詳請參看表 1 所述。至於現今大主機馬力設計的超巴拿馬運河極限型(Post-panamax)貨櫃輪勢需備有最大的重燃油貯存設施需求，諸多新近建造的重燃油艙總容量甚至超過 7,600 立方公尺(相當於 2,000,000 加侖)，並且該重燃油艙設計佈置經常配散於若干多數的側翼邊艙，因為該任一側翼邊艙的一般設計容量均未超過 1,000 立方公尺(相當於 264,000 加侖)。相較之下，大型超級油輪(Very Large Crude Oil Carrier ; VLCC)設計備有 3,400 立方公尺(相當於 898,000 加侖)的大尺寸重燃油艙，並且該重燃油艙經常設計佈置於機艙內的一或兩對舷側翼邊艙等。

表 1 各油輪、貨櫃輪及散裝貨輪等船型的典型燃油艙設計容積量

油輪		單位：(立方公尺)			
類型	<u>Panamax</u>	<u>Afamax</u>	<u>Suezmax</u>	<u>VLCC</u>	
載重量(公噸)	50,000	90,000	150,000	285,000	
重燃油	1,700	2,900	3,800	7,500	
柴油	220	320	370	400	
貨櫃輪					
類型	<u>750 TEU</u>	<u>1500 TEU</u>	<u>Panamax</u>	<u>Post-Pmax</u>	
載重量(公噸)	9,000	20,000	45,000	75,000	
重燃油	700	2000	5600	7600	
柴油	130	200	330	430	
散裝貨輪					
類型	<u>Handysize</u>	<u>Panamax</u>	<u>Capesize</u>		
載重量(公噸)	30,000	70,000	160,000		
重燃油	1,300	2,200	4,000		
柴油	130	270	300		

陸、重燃油艙佈置設計的溢油外流計算分析

為求確實評估船土重燃油艙的保護位置範圍的各種可能設計方案之相對有效

性，針對油輪、貨櫃輪及散裝貨輪等三種商用船型進行一系列的機率性溢油外流計算(Probabilistic Oil Outflow Calculations)。此處將概分為溢流計算方法、溢流計算結果說明、油輪船型的溢流分析、貨櫃輪船型的溢流分析及散裝貨輪船型的溢流分析等五大部份^[11]，逐項詳實敘述如后：

6.1 溢流計算方法

有關替代性選擇油輪設計與新型設計油輪的意外溢流評估法規草案等^[12]，國際海事組織均已制訂送審批准的認可方針，其中包含有一套以機率概念為基礎的溢油外流現象之評估作業程序(Probabilistic-based Procedures)。至於描述發生溢流位置的機率密度函數(Probability Density Functions)，及船舷側與底側等區域結構的穿透性損壞(Penetration of Side and Bottom Damage)，均被應用於船上艙間區劃，藉以產出每個可能的船體結構損壞案件的發生機率及蒐集其受損壞船艙區間結構的相關資料。在本研究中，假設所有溢油均係從碰撞事件中被穿破的貯油艙間外溢流出，至於從船底破損所造成溢油外流計算係根據壓力平衡原理(Pressure Balance Principle)以推估之。溢油外流的計算參數係根據所有船體結構損壞案例結果所整合研發得到，簡述如后：

- 1.無溢流機率(P_0 ; Probability of Zero Outflow)即代表在產生船舶碰撞或擱淺所致船體外殼破損的意外事件，將不致造成有溢油外流至海洋環境現象的可能性程度。
- 2.平均溢流參數(0_m ; Mean Outflow Parameter)係為無因次化的溢流平均數或預期量。

事實上，近年來尚有諸多相關研究文獻提供更進一步的溢油外流計算程序步驟與適切合理假設等理論基礎上的堅實支撐^[13]。雖然其初始研究開發該計算程序的主要目的係為求有效評估可能替代的新型油輪設計(Alternative tanker Design)之可行性，該溢油外流計算的方法係提供一套合理方法，以來比較各種可能替代的新型油輪重燃油艙佈置設計之溢油外流影響情況^[14]。該國際海事組織制訂起草規則所敘述的海上意外溢油外流計算方法(Outflow Calculation Methodology)被應用於該新型油輪重燃油艙溢油外流計算作業上，並且為求有效適用於船上重燃油艙的溢流分析工作上，吾人將前述計算方法略作適度合理調整，詳實分述如后：

- 1.國際海事組織的標準計算程序(Standard Calculation Procedures)係假設所有裝載貨物艙均為 98 % 滿載為準。當評估重燃油艙溢油外流現象發生時，即三組獨立假設情況開始進行溢流計算，分別係為重燃油艙 98 % 滿載、54 % 滿載及 10 %

滿載等。並且該三組溢流計算所得結果即與 0.25 : 0.50 : 0.25 重燃油消耗的假設比率相結合，藉以合理模擬船舶海上航行燃油消耗的情形。

2. 國際海事組織所建議的分析計算程序係說明船艙底部損壞所致溢油外流量計算概念(Bottom Damage Outflow Concept)，實是基於流體靜力學的壓力平衡原理(Hydrostatic Balance Principle)。倘若最小溢油外流量等於油艙容量的 1 % 時，即係假設該油艙位於船身的較低下處(Lower Shell)所致。對於擁有中間隔離甲板的油輪設計而言，其油艙區間即俱有原生流體靜力平衡的性能，另有附註文件具體說明該溢油外流損失亦可能來自初始碰撞，及如洋流與船舶運動等動態效應(Dynamic Effects)所致。無論如何，油艙 1 % 的容量尚不足以涵括自雙重底艙所溢流損失的油量，正如學術研究結果指出距離船底水深為一公尺處，將會出現每小時三哩的水流速度^[15]。因此在本這研究中，亦假設船底距離海床水深為一公尺，正當該船艙油貨初始裝載狀態(Initial Tank Filling Levels)分別為 98 %、54 % 及 10 % 等時，其所導致的油艙溢油損失量分別為其艙滿載的 50 %、4 % 及 1 % 等容量。
3. 油輪(O/T)油艙的縱向位置船側損壞之機率分佈函數(Probability Distribution Function)係假設為船舶全長均一分佈的。對於載運貨物與旅客等船舶方面，國際海事組織(IMO)所應用資料，以研究開發的破損穩度計算(Damage Stability Calculations)規則，其明白指示船舶中段船艙方向部份結構損壞的可能性有日漸增加趨勢，詳請參看圖 7 所示。其中「貨輪」的分佈曲線即可適用於散裝貨輪(B/C)與貨櫃輪(C/V)等重燃油艙的溢油外流分析計算作業。

6.2 溢流計算結果說明

國際海事組織(IMO)的溢油外流量計算方法係假設船舶遭受有相當充足能量的意外碰撞或擱淺事故，以致貫穿其外在船殼結構。假若零溢流機率(P_0)為 0.80，即係有 80% 的船舶意外碰撞與擱淺事件，僅是貫穿未裝載油貨的艙間結構，因此該 80 % 的船舶意外案件係為零溢油外流現象。誠因該平均溢油外流量係為以所有意外事件為參考基礎的加權平均數據，其中並未考慮是否發生漏油現象，並且該平均溢油外流數量多寡(Average Spill Size)估算係由平均溢油外流量流除以 $(1 - P_0)$ 而獲得。

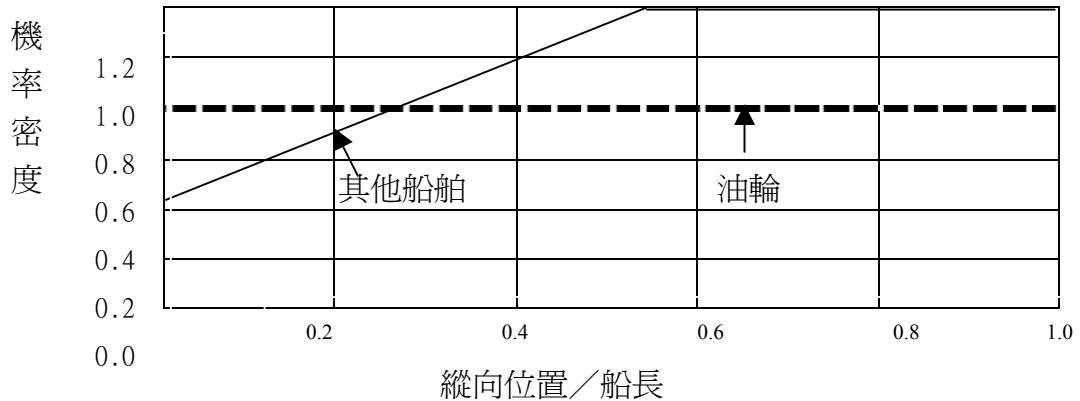


圖 7 船側縱向位置受損的機率分佈函數

假若零溢機率为 0.80，即代表有 20% 的海上船舶意外事件，將發生溢油外流現象。從該 20 件溢油外流案例的混合流出量總和(Combined Outflow)即係為平均溢流量的 100 倍之譜。有關本研究所提供的零溢流機率與平均溢流量等計算結果，概涵括有各種重燃油艙設計配置試算例(Each Tank Configurations)，每 100 次海上船舶意外事件所發生溢油外流現象的溢油頻率(Spill Frequency)，及每 100 次海上船舶意外事件所發生溢油外流現象的溢流量總和(Total Outflow)等。因此，當讀者在進行各油輪、貨櫃輪及散裝貨輪等船型的重燃油艙設計配置之比較分析時，或可能更容易深入瞭解各溢油外流案例的發生頻率圖表等數據意涵。

6.3 油輪船型的溢流分析

在圖 4 中，五種不同油輪的重燃油艙結構之設計佈置型式(Bunker Tank Arrangement)被陳述出來，藉以有效進行其溢油外流性能的評估工作。本研究係以一艘 280,000 噸載重量，並且擁有五個縱向艙間及三個橫向艙間的貨油艙結構佈置之大型超級油輪船型(Very Large Crude Oil Carrier; VLCC)進行溢油外流計算作業。此處先行假設該所有各佈置型式油輪之每一重貨油艙容量(Heavy Fuel Oil Capacity)均為 7,500 立方公尺，其中包括有包括日用櫃與沈澱櫃等(Service and Settling Tanks)。至於前述五種油輪的重燃油艙設計配置型式，分別簡述如后：

1. T1 型和 T2 型均為最普遍共通的重燃油艙設計配置結構，並且備有一對或兩對位於機艙內的船側翼艙。
2. T3 型重燃油艙佈置係由英國石油運輸公司(British Patrol Shipping Company ; BP Shipping)所設計研發出來的，並且建造配置於若干蘇伊士運河極限型油輪

(Suezmax Tankers)上^[16]。該油艙設計概念係以一油密的縱向艙壁(Oil-tight Longitudinal Bulkhead)，將原本一重燃油艙分隔為兩個類似相同尺寸容積艙間。並且設計假定其內側邊油艙與船殼舷側外板間，必須擁有 3.0 公尺的最小極限空隙距離(Minimum Clearance)，以確保其船艙可規避破損溢油問題。在一般常態操作實務上，從外側重燃油艙優先抽用燃油係為首要作業考量事項，因為一旦外側重燃油艙油料容量使用耗盡時，該艙間即可被有效應用為空艙隔間(Void Space)。如此一來，雙重船殼的保護概念(Double-hull Protection Concept)即可被提供出來，以確保船舶營運生涯的實質燃油外溢防治部份問題。

- 3.T4 型的內側重燃油艙設計係佈置於泵浦室空間(Pump Room Space)的上方，以補充船側翼艙的重燃油間貯存容量。
- 4.T5 型設計係特定俱有 1.0 公尺寬的最小留餘空艙隔間，以安置該外側重燃油艙於雙重船殼的保護結構範圍內(Double Hull Configurations)。

表 2 超級油輪船型意外事件的預估溢油發生頻率與溢油外流總量
(假設貨油艙為空載情形)

	每百次意外事件的 溢油外流發生次數	每百次意外事件的溢油外流總量 (單位：立方公尺)
T1	4.9	10,000
T2	4.1	8,800
T3	2.1	3,700
T4	3.8	5,300
T5	1.9	4,100

表 3 超級油輪船型的溢油外流參數計算值
(假設貨油艙為空載情形)

	零溢油外流機率		
	碰撞	擱淺	混合
T1	0.877	1.000	0.951
T2	0.898	1.000	0.959
T3	0.948	0.999	0.979
T4	0.907	0.999	0.962
T5	0.952	1.000	0.981

	平均溢油外流量 (單位：立方公尺)		
	碰撞	擱淺	混合
T1	242	5	100
T2	213	5	88
T3	84	6	37
T4	132	1	53
T5	95	6	41

有關假設貨油艙為全空載情形(Empty Condition)，超級油輪船型意外事件中的預估溢油發生頻率、溢油外流總量及溢油外流參數等計算值結果，詳請參看表 2 與表 3 等所述。另有關假設所有貨油艙均為 98% 滿相當於全滿載情形(Full Load Condition)，超級油輪船型意外事件中的預估溢油發生頻率、溢油外流總量及溢油外流參數等計算值結果，詳請參看表 4 與表 5 等所述。

表 4 超級油輪船型意外事件的預估溢油發生頻率與溢油外流總量
(假設貨油艙為 98 % 滿載情形)

	每百次意外事件的 溢油外流發生次數	每百次意外事件的溢油外流總量 (單位：立方公尺)
T1	25.2	364,600
T2	25.2	363,400
T3	22.3	358,300
T4	24.1	359,900
T5	22.2	358,700

表 5 超級油輪船型的溢油外流參數計算值
(假設貨油艙為 98 % 滿載情形)

	零溢油外流機率		
	碰 撞	擱 淺	混 合
T1	0.699	0.781	0.748
T2	0.699	0.781	0.748
T3	0.770	0.781	0.777
T4	0.726	0.781	0.759
T5	0.774	0.781	0.778

	平均溢油外流量		(單位：立方公尺)
	碰 撞	擱 淺	混 合
T1	4,914	2,800	3,646
T2	4,885	2,800	3,634
T3	4,756	2,801	3,583
T4	4,804	2,796	3,599
T5	4,767	2,801	3,587

正如前述所討論，為求詳實模擬船舶在海上航行期間的相吻合燃油消耗結果，該重燃油艙係以三種 10%、54% 及 98% 滿載的假設裝載容量情形，以進行溢油外流評估作業。另關於 T2 型油艙佈置設計者，重燃油首先由位於前方油艙處(Forward Tank)抽用。至於 T3 型與 T4 型油艙佈置設計者，重燃油即由位於外側油艙處(Outer Tank)先行抽用。於是若干有關油輪的溢油外流現象被發現出來，詳分述如后：

1. 因為油輪重燃油艙的下方位置(Lower Edge)經常設置於船底基線上方(Above Baseline)的 25% 至 30% 深度處，該設置擁有來自船體擱淺所致污染的最小風險。事實上，從表 3 所述數據結果亦可知，其源自船舶擱淺狀況下所計算得到平均溢流量為低。
2. 從 T2 型與 T1 型設計配置來先行比較，區隔前後兩個重燃油艙僅能提供在溢流發生頻率(每 100 個事件有 4.9 次比 4.1 次)與溢油外流量(減少 12%)等相當極小的衝擊影響。正如意料之中，由於該重燃油艙的設置長度過短，以致在一次碰撞事件發生時，兩個油艙均遭受損壞情況係擁有極高或然率的。
3. 正如 T3 型艙間結構設計般，適當設置一縱向艙壁通過船舷側翼艙係將對溢油發生頻率與溢油外流總量等兩者俱有相當顯著的衝擊影響。基本上，該設置應可確認的是在使用內側油艙(Inboard Tank)油料之前，應瞭解外側重燃油艙油料業已抽用完盡，方成爲一項可行的油艙佈置改善設計。
4. 正如 T4 型艙間結構設計般，設置小型內側油艙對於溢油外流的發生頻率僅俱極小的影響，卻可幾乎減低一半的溢油外流量。再者，假若欲使此一改善優點，得以完全實現，該位於外側重燃油艙必須先行用罄油料。
5. 將 T5 型與 T1 型艙間設置加以比較，假若在船舷側翼艙與船側外板間設置二公尺寬的空艙隔間結構，則其對溢油外流發生頻率俱有極大的衝擊影響，即每 100 個意外事件發生溢流比率由 4.9 下降至 1.9 之譜，詳請參看表 2 所述。
6. 從表 3 所述貨油艙的空載與 98% 滿載等情形之溢油外流數據資料相比較得知，該型油輪重燃油艙的容積僅能爲承擔少於 3% 油輪溢油外流總量的責任。

另根據作者觀察所提供專家意見等，簡述如后：

1. 將油輪重燃油艙間加以細分化設計(Tank-subdivided Design)係爲降低船舶溢油外流現象的有效方法，尤其是劃分爲內側與外側的油艙佈置設計。
2. 設置重燃油艙外側與船側外板間的留餘距離空間，將可有效降低多於一半的溢油發生頻率與預期溢油外流量。無論如何，由於該重燃油艙佈置的結構改裝工程所增加費用成本係值得注意的，諸如一艘大型超級油輪者大概需要花費 500,000 美金之譜。事實上，可以確認船舶溢油外流的潛在減少量僅係略低於 2% 從貨油艙的預期溢油外流量，因此或許應另行採取其他更俱有成本效益性的對策(Additional Measures)，以有效減輕貨油的溢洩外流量。

6.4 貨櫃輪船型的溢流分析

在圖 5 中，三種不同貨櫃輪的重燃油艙結構之設計佈置型式(Bunker Tank

Arrangement)被陳述出來，藉以有效進行其溢油外流性能的評估工作。本研究係以一艘大約 75,000 載重噸的超巴拿馬極限型貨櫃輪船型(Post-panamax Container Vessels)進行溢油外流計算作業。此處先行假設對所有各型艙間設計的每一重燃油艙容量(Heavy Fuel Oil Capacity)均為 7,600 立方公尺，其中包括有日用櫃與沈澱櫃等。至於前述三種貨櫃輪的重燃油艙設計配置型式，分別簡述如后：

- 1.C1 型艙區佈置設計係為最普遍通用油艙結構型式，其重燃油(HFO)正常係沿船長縱向分佈儲存於選擇性船舷側翼艙(Alternate Wing Tanks)及機艙內側翼艙等位置。
- 2.C2 型油艙佈置設計大概與 C1 型佈置係為是類似的，惟其重燃油均儲存於相鄰接的船舷側翼艙處(Adjacent Wing Tanks)。
- 3.該 C3 型油艙佈置係將重燃油艙配置於兩個貨物艙間的橫向深水艙處(Deep Water Tanks)。整體而言，無論是深水艙及機艙內側翼艙等兩者，均係由壓載艙或留餘空艙隔間等(Ballast or Void Spaces)與船舷側外板相隔離開來。

有關三種超巴拿馬運河極限型貨櫃輪船型意外事件中的預估溢油發生頻率、溢油外流總量及溢油外流參數等計算值結果，詳請參看表 6 與表 7 等所述。至於該溢油外流的計算分析係假設燃油的消耗方式係為所有各重燃油艙均依同一比例遞減耗油量，即當船舶在到港時尚擁有 10% 的重燃油存量情況下，每個重燃油艙均各尚俱有 10% 的容積存量。於是若干有關貨櫃輪的溢油外流現象被發現出來，詳分述如后：

- 1.在所有三種油艙佈置情況中，由於所有重燃油艙均位於雙重底艙頂板上方處(Inner Bottom or Tank Top Locations)，因此源自擱淺意外事件所致溢油外流量係相對較低的。
- 2.因為所有重燃油艙設置均呈現縱向分佈(Longitudinal Distributions)狀況，所以該 C1 型油艙配置的船舷側結構受損所致零溢流機率極係相當低的，僅為 0.573 之譜。雖然該 C2 型油艙配置設計的船舷側結構受損(Side Damage)所致零溢流機率數值略為稍高，即為 0.640 數值，惟其平均溢流量卻實質較大，即係 269 立方公尺較 263 立方公尺為多。
- 3.該 C3 型油艙配置設計概念係將重燃油艙佈置於舷內艙間的深水艙處，可同時明顯減低溢油事件發生的可能性及溢油外流量等。

表 6 貨櫃輪船型意外事件的預估溢油發生頻率與溢油外流總量

	每百次意外事件的 溢油外流發生次數	每百次意外事件的溢油外流總量 (單位：立方公尺)
C1	19.7	11,200
C2	16.4	11,400
C3	8.3	3,400

表 7 貨櫃輪船型的溢油外流參數計算值

	碰撞	零溢油外流機率	
		擱淺	混合
C1	0.573	0.957	0.803
C2	0.640	0.966	0.836
C3	0.920	0.915	0.917

	碰撞	平均溢油外流量	
		擱淺	混合
C1	263	11	112
C2	269	10	114
C3	42	28	34

另根據作者觀察所提供專家意見等，簡述如后：

1. 該 C1 型油艙配置設計提供相關於船舶縱向俯仰控制(Trim Control)，及結構剪力與彎曲力矩等(Shear Forces and Bending Moments)操作實務優點，係為是產業實務的應用典範案例。至於該 C2 型油艙的集中式佈置設計，相較於 C1 型佈置設計時，並未展現出其對海洋環境保育方面的重要助益。
2. 雖然該 C3 型油艙配置設計提供改進溢油外流方面成果，惟其係為一種費用成本極端昂貴的處理方法。為求在船舶深水艙內提供儲存重燃油的充足容量艙間，全船長可能必須再行增加約 6.0 公尺之譜。在實務應用上，該油艙配置擇用方案應該進行更進一步的成本評估分析作業(Cost Assessment)。

6.5 散裝貨輪船型的溢流分析

在圖 6 中，五種不同散裝貨輪的重燃油艙結構之設計佈置型式(Bunker Tank Arrangement)被陳述出來，藉以有效進行其溢油外流性能的評估工作。本研究係以一大約載重 70,000 載重噸的巴拿馬極限型散裝貨船型(Panamax Bulk Carriers)進行溢油外流計算作業。此處先行假設對所有各型艙間設計的每一重貨油艙容量(Heavy Fuel Oil Capacity)均為 2,200 立方公尺，其中包括有日用櫃與沈澱櫃等。至於前述五種散裝貨輪的重燃油艙設計配置型式，分別簡述如后：

1. 該 B1 型油艙配置設計係將重燃油艙佈置於船艏第一艙前方的一對深艙與位於機

艙的一對側翼邊艙等，並且位於船艏前方的深艙下設置有雙重底結構，其係為此一類船型艙間佈置的標準設計實踐。

2. 該 B2 型油艙配置設計與 B1 型艙間設計者相當類似，僅有差異處係為所有燃油艙外側與船舷側外板間均預留 2.0 公尺寬的空艙間隔。
3. 該 B3 型油艙配置設計係將所有重燃油艙均配置於機艙內的兩對側翼邊艙。
4. 該 B4 型油艙配置設計係將所有重燃油艙配置於船中心線處的三個雙重底艙 (Centerline Double Bottom Tanks)。
5. 該 B5 型油艙配置設計係將重燃油艙均配置於兩船舷側的三對雙重底艙，或壓載翼艙。

有關五種巴拿馬運河極限型散裝貨輪船型意外事件中的預估溢油發生頻率、溢油外流總量及溢油外流參數等計算值結果，詳請參看表 8 與表 9 等所述。至於該溢油外流的計算分析係假設燃油的消耗方式係為所有各重燃油艙均依同一比例遞減耗油量。於是若干有關散裝貨輪的溢油外流現象被發現出來，詳分述如后：

1. 該 B3 型油艙配置設計係將所有重燃油艙均設置於機艙內，因此可以提供令人滿意的溢油外流結果。另這些油艙均以船舶長度較短的限制，因此降低船體碰撞貫穿結構的機率。更由於其重燃油艙配置於船艙，並且位於雙重底艙頂板上方處 (Above Inner Bottom)，所以當船舶發生擱淺情況下，欲造成油艙結構破損將是極為不可能的。事實上，將這些重燃油艙結構雙重殼化處理將會更進一步降低其溢油外流情形。
2. 在 B1 型油艙配置設計中，其船艏前方的深艙係極為容易遭受碰撞及擱淺等所致結構損壞。若能在該重燃油艙外側設置雙重殼保護結構 (Double-hull Protection Structures)，即如 B2 型油艙配置設計般，則其平均溢油外流量將可明顯減少的。
3. 將重燃油艙均設置於雙重底艙，即如 B4 型和 B5 型油艙配置方式，勢必造成最不理想的溢油外流結果。更有耐人尋味的有趣結果係為該 B4 型中心線雙重底艙外加左右舷側 (Port/Starboard Side ; P/S Side) 雙重底艙的配置方式仍較 B5 型壓載翼艙外加中心線雙重底者，俱有稍低的平均溢油外流量。其係因為該 B4 型油艙配置的艙底結構受損所減少的溢油外流量，可以補償船側結構受損所發生的較高溢油外流經驗數量。在 B4 型油艙設置方式中，其位於船中心線上的大容積之雙重底艙 (DB Tanks) 勢必俱有較高的結構受損機率，並且受其艙間尺寸容積影響，其溢油外流量必定較 B5 型的小容積之船側翼艙為多。

表 8 散裝貨輪的溢油數量

	每百次意外事件的 溢油外流發生次數	每百次意外事件的溢油外流總量 (單位：立方公尺)
B1	11.1	1,900
B2	6.6	700
B3	3.8	1,300
B4	29.2	4,600
B5	30.4	3,500

表 9 散裝貨輪船型的溢油外流參數計算值

	零溢油外流機率		
	碰撞	擱淺	混合
B1	0.852	0.914	0.889
B2	0.968	0.912	0.934
B3	0.921	0.990	0.962
B4	0.999	0.514	0.708
B5	0.968	0.514	0.696

	平均溢油外流量 (單位：立方公尺)		
	碰撞	擱淺	混合
B1	40	5	19
B2	9	5	7
B3	32	1	13
B4	1	77	46
B5	25	42	35

另根據作者觀察所提供專家意見等，簡述如后：

1. 相較與雙重底艙及船艙前方深艙等設置處，將重燃油艙設置於機艙內，勢可提供較為有利的溢油外流特性。
2. 將重燃油艙設置於雙重底艙處通常出現相當不理想的溢油外流特性，因此應該儘可能加以避免採用^[17]。

柒、結論與建議

國際海事組織所研究開發完成，並且可藉以評估各式重燃油艙佈置設計油輪的機率溢油外流總量計算方法，被推廣應用於各式重燃油艙佈置設計的油輪、貨櫃輪及散裝貨輪等的海上溢油外流總量預估計算。事實上，應用該機率性溢油外流總量計算方法的目的在於提供船舶設計工程師一個更深刻適切瞭解，對於貨輪重燃油艙的各式設計佈置及分佈位置等，在船舶碰撞及擱淺等海上意外事件中所發生溢油外流情況的效應影響。

有關自 1973 年至 1997 年的每年從船舶溢油外流總量統計數據等，美國海岸防衛隊所建置資料庫內容涵括所有發生在美國可航行水域內的所有大小海上溢油事件之通報記錄。根據統計數據顯示，自 1990 年以來，船舶溢油外流總量銳減現象即已明顯呈現出來，特別是油輪方面的表現更是最為令人印象深刻的，即如 1990 年後每年油輪溢油外流總量均較 1990 年以前時期的每年溢油外流總量數據之十分之一為少。至於自油貨駁船所溢油外流總量的年平均統計數據大約為 1990 年以前時期者的三分之一之譜，實為現今最大的單一船舶溢油外流總量來源。無論如何，自油輪與油貨駁船所溢油外流總量業已顯著減少，惟其降減量並未能有效補償「其他船舶」所形成損害，即如在 1990 年代，「其他船舶」者占每年發生海上溢油外流總量比例，呈現逐年攀高增加趨勢，實為船舶海上溢油外流事件的重要製造者。

在本研究論文中，提供 6 件船舶發生溢油外流意外事件，並且均涉及重燃油艙受損的歷史案例，並且詳加分案討論說明，其中涵括有 2 件高能量的相互碰撞事件—即「華盛頓總統」號貨櫃輪與「韓進香港」號貨櫃輪、「亞歷克細亞」號散裝貨輪與「愛尼芙」號散裝貨輪；2 件觸礁事件—即「裘林恩」號油品輪與「庫雷」號散裝貨輪；及 2 件擱淺事件—即「庫羅島」號冷凍船與「紐卡蕾莎」號木材運輸船等。

由於各種船舶用途不同，對於不同船舶類型必須考慮個別特定設計需求，因此導致不同的重燃油艙佈置型式。本研究僅以油輪、貨櫃輪及散裝貨輪等三大主要船型的重燃油艙佈置的設計考量要點，詳實分項敘明。另為求確實評估船土重燃油艙的保護位置範圍的各種可能設計方案之相對有效性，針對油輪、貨櫃輪及散裝貨輪等三種商用船型進行一系列的機率性溢油外流計算。並且概分為溢流計算方法、溢流計算結果說明、油輪船型的溢流分析、貨櫃輪船型的溢流分析及散裝貨輪船型的溢流分析等五大部份，逐項詳實討論說明之。

有關造成船舶溢油外流問題發生的主要判斷步驟，詳請參看圖 8 所述。一般而言，從該樹狀圖(Tree Diagram)來看，愈高層級的改善對策被落實執行，其所發揮成果將是更為有效的。就從 1990 年通過油污染防治法(OPA 1990)後，在改善油輪溢油外流事件方面即可得到令人激賞的成果映證。吾人可以推論得知，有效減少船舶溢油外流問題的主要關鍵係為改進操作與管理程序(Operational and Management Procedures)等所獲致成果，並且該一干改善對策的實現成效均賴權責管理法規的優先建置，諸如美國油污染防治法(OPA 1990)的雙重殼結構附章規定及護航拖船需求措施(Escort Tug Requirements)等^[18]。

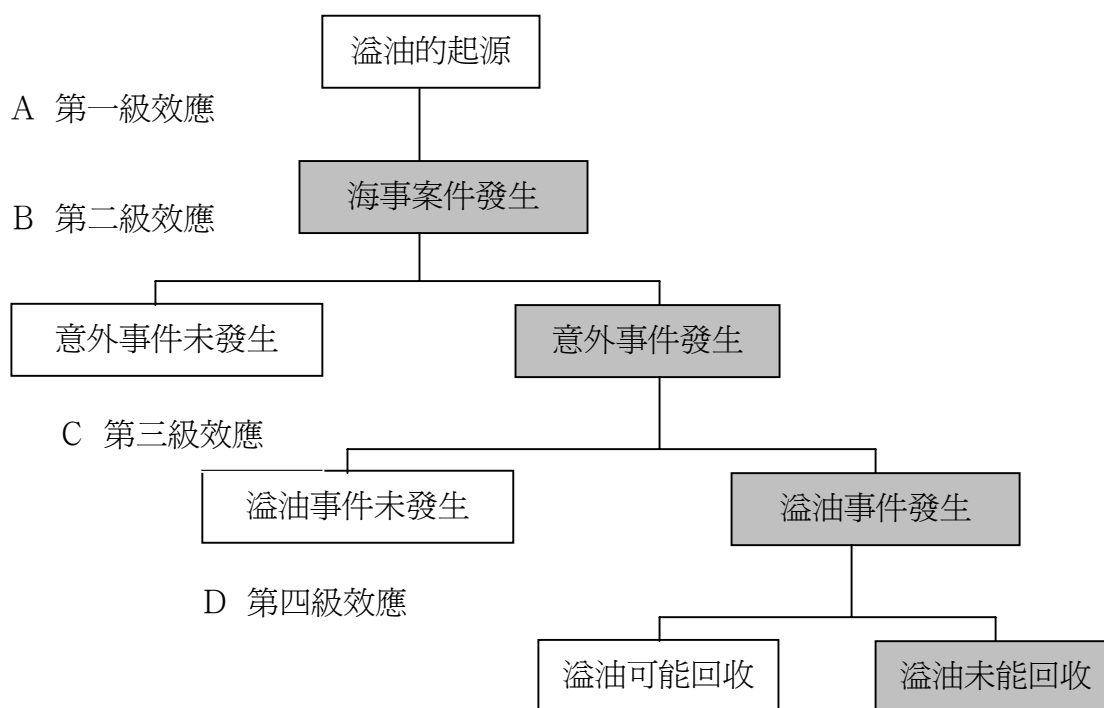


圖 8 船舶海上意外事件發生溢油外流的因果邏輯樹狀圖

總括而言，針對船舶海上溢油外流事件的優先應變處理方法即係第一優先處理階段的「海事案件發生」，與第二優先處理階段的「意外事件發生」。再者，第三優先處理階段即諸如保護油艙位置設計(Protectively Locating Tanks)，以避免「溢油外流事件發生」，或者即為在溢油外流事件發生後，提供最後一道應變防治處理作為，以期減輕溢油外流所致海洋環境資源損害程度(第四優先處理階段)^[19]。至於有關保護重燃油艙位置的設計議題，若干通盤性結論與建議等，分項簡述如后：

- 1.對於船舶海上溢油外流行為特性方面，該重燃油艙的設計位置與容積尺寸等因素均俱有重要衝擊影響，因此在船舶艙間佈置設計過程時，應該特別謹慎考慮。將油輪重燃油艙間加以細分化設計係為降低船舶溢油外流現象的有效方法，尤其是劃分為內側與外側的油艙佈置設計。該貨櫃輪 C1 型油艙配置設計提供相關於船舶縱向俯仰控制，及結構剪力與彎曲力矩等操作實務優點，係為是產業實務的應用典範案例。
- 2.就各種船型相較與「雙重底艙」及船艏前方深艙等設置處而言，將其重燃油艙設

計佈置於機艙內，勢可提供較為有利的溢油外流特性。其主要原因係雙重底艙特別容易遭受結構破損影響，因此在實務設計時應該儘可能規避應用。

3. 假若採用「雙重船殼結構」設計概念，以保護船舶重燃油艙，可有效降低溢油外流事件的發生次數與減少溢油外流數量，惟其勢必需增加船舶建造或改裝成本。事實上，對於貨櫃輪、小型散裝貨輪及油輪等船型而言，當船舶的建造主要尺寸加大，勢必增高其造價成本。
4. 在訂定實施重燃油艙的溢油外流管理法規前，應該進行成本效益分析工作(Cost-benefit Analyses)，以確認該雙重船殼的保護結構及其他擇用採行項目等的相當成本效益性(Relative Cost Effectiveness)。
5. 有關新船型的重燃油艙佈置之設計開發工作，針對諸多船舶營運操作議題等必需審慎考慮。任何有關重燃油艙的溢油外流權責管理法規(Outflow Regulations)均應該以其防治效能表現為評估基礎，以其能有效融入船型最佳化設計概念(Ship Design Optimisation Concepts)。

事實上，欲有效達到抑制海上溢油外流，造成海洋環境污染及資源保育等問題，斧底抽薪治本方案有二，即遵循國際間海洋污染防治(MARPOL 73/78)及港口國管制(Port State Control ; PSC)等相關公約精神，迅速制訂我國內相關執行法令，以有效落實管理之^[20]。另者則為重新考慮商用船舶的重燃油艙佈置設計概念，以確實減少海上碰撞、觸礁及擱淺等(Collision, Rocking and Grounding ; CRG)意外事件，所造成海上溢油外流頻率與數量。另若干有助於海上交通安全管理作業所實施的相關國際公約規範內容亦應審慎考慮遵循之，諸如分道航行制度設置(TSS)、船舶交通管理系統建置(VTMS)、船舶設計建造檢驗認證(SOLAS)、船員航海專業職能資格認證(STCW)、船員海上作業安全管理規範(ISM)，及全球海上遇險與安全系統架設(GMDSS)等，進而有利於維護我國週遭海域的航行安全及環境保育等作為。最終，在我國政府正當大力提倡海洋立國政策指導下，行政院海岸巡防署可望改制為海洋事務部(Ministry of Ocean and Maritime Affairs)之際，應可有所參考，以為將來推展海洋溢油污染防治及環境資源保護養育等任務工作依循之^[21]。

參 考 文 獻

1. 張育嘉，我國海岸巡防署海洋環境污染防治任務之執法策略規畫研析，碩士論文，水上警察研究所，中央警察大學，民國九十一年六月。
2. 楊仲範，擬訂我國國際海上油污染應變計畫之研究，中華海運研究協會，民國八十三年六月。

3. Skatun, H., Dragsund, E. & Kristoffersen, L., "Oil Spill Risk Management Need for a Multidisciplinary Approach", Resource Conservation Section, **Integrated Coastal Zone Management Journal**, United Kingdom, 2000.
4. 王需楓，電腦輔助港口國管制之船舶查驗系統建置，碩士論文，水上警察研究所，中央警察大學，民國九十年六月。
5. International Convention on the Prevention of Pollution from Ships, IMO, London, 1973/78.
6. IMO, Interim GUIDELINES FOR Approval of Alternative Methods of Design and Construction of Oil Tankers under Regulation 13F(5) of Annex I of MARPOL 73/78, Resolution MEPC.66 (37), Adopted September 14, 1995.
7. 洪伯昇，從國際法論我國海洋環境保護之相關法制，碩士論文，水上警察研究所，中央警察大學，民國八十九年六月。
8. Michel, K., Winslow, T., "Cargo Ship Bunker Tanks: Designing to Mitigate Oil Spillage", Vol. 37, No. 4, **Marine Technology Journal**, 2000, p. 192.
9. Michel, Oil Outflow Analysis of Double Hull Tankers (Volumes 1 and 2), Prepared under Contract DTCG23-95-D-HMT001, by Herbert Engineering Corp, for U.S. Coast Guard, 1997.
10. Michel, K., Winslow, T., "Cargo Ship Bunker Tanks : Designing to Mitigate Oil Spillage", Vol. 37, No. 4, **Marine Technology Journal**, 2000, pp. 192-194.
11. Michel, K., Winslow, T., "Cargo Ship Bunker Tanks : Designing to Mitigate Oil Spillage", Vol. 37, No. 4, **Marine Technology Journal**, 2000, pp. 195-198.
12. IMO, BLG3/WP3, "Report of the Working Group at BLG 3 on Revision of MARPOL Regulations I/22 to 24 in the Light of the Probabilistic Methodology for Oil Outflow Analysis, including a draft of proposed MARPOL Regulation 19, Accidental Outflow Performance", 1998.
13. Sikar et al, "A framework for Assessing the Environmental Performance of Tankers in Accidental Groundings and Collisions", **SNAME Transactions**, 1997.
14. Michel, Moore, and Tagg, "A Simplified Methodology for Evaluating Alternative Tanker Configuration", **Journal of Marine Science and Technology**, Vol.1, No.4, SNAJ, 1996.
15. Michel, "Oil Outflow Analysis of Double Hull Tankers (Volume I and II)", Herbert

Engineering Ltd., Contract DTCG23-95-D-HMT001, U.S.C.G., 1996.

16. Motor Ship, "Innovative Design for British Trio", 1997.
17. 吳東明及李松樵，積極實踐海洋溢油事件的風險管理作為－必須應用一套綜合多領域學理知識的作業處理方法，第九一二號，**船舶與海運**，中華海運研究協會，民國九十一年十二月，頁 79~88。
18. 李台生等，建立我國海上油污染防治能力與國際合作之研究，運輸研究所，交通部，民國八十六年六月。
19. 朱振良，我國海上船舶油污染應變作業之改善研究，碩士論文，水上警察研究所，中央警察大學，民國九十三年六月。
20. 吳東明及王需楓，國際海事組織在港口國管制規定的現況發展研究，第八六九期，**船舶與海運**，中華海運研究協會，民國九十年十月。
21. 吳東明及張育嘉，我國海洋油污染防治體系的改進作為探析－以英國海洋油污染防治體系為借鏡，第十四期，**海運研究學刊**，中華海運研究協會，民國九十二年四月，頁 89~117。