

港灣報導



季刊 第84期

要 目

- ❖ 探討如何減少本國港埠與船舶之空氣汙染以因應氣候變遷
- ❖ 淺談波浪運動中之底床滑移速度及滑移邊界條件
- ❖ 港域碼頭海側岸邊設置車擋之現況
- ❖ 臺中港船席指泊電腦化發展現況
- ❖ 船舶壓艙水的排放管理與處置對策

中 華 民 國 98 年 10 月 出 版

港灣報導季刊

第 84 期

交通部運輸研究所

中華民國 98 年 10 月

港 灣 報 導 第 84 期

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw

電 話：(02)23496789

總 編 輯：黃德治

編輯委員：邱永芳、李豐博、林昭坤、朱金元、何良勝、簡仲璟、
蘇青和、單誠基、馬維倫

出版年月：每年 2、6、10 月

創刊年月：中華民國 77 年 2 月 1 日

定 價：100 元

本次出刊：300 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

印 刷 者：承亞興企業有限公司

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：2007700020 ISSN：1019-2603

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

目 錄

一、探討如何減少本國港埠與船舶之空氣汙染以因應氣候變遷……………1

陳永昇 國立成功大學海洋科技與事務研究所研究生

莊士賢 國立成功大學海洋科技與事務研究所助理教授

二、淺談波浪運動中之底床滑移速度及滑移邊界條件…………13

陳陽益 國立中山大學海洋環境及工程研究所教授

陳冠宇 國立中山大學海洋科技及應用物理研究所助理教授

林佳豪 國立中山大學海洋環境及工程研究所博士候選人

三、港城碼頭海側岸邊設置車擋之現況……………24

何秉均 基隆港務局 工務組幫工工程師

四、臺中港船席指泊電腦化發展現況……………29

李和曉 臺中港務局 港務組繫船科副主任

五、船舶壓艙水的排放管理與處置對策……………34

陳立欣 前台灣省政府交通處技正

探討如何減少本國港埠與船舶之空氣汙染以因應氣候變遷

陳永昇 國立成功大學海洋科技與事務研究所研究生
莊士賢 國立成功大學海洋科技與事務研究所助理教授

摘 要

港口是海洋與陸地的交接地帶，且為經濟活動發展上的重要媒介，但在因應氣候變遷的討論議題中往往被忽視。但隨著近年來世界經濟的高度成長使得國際貿易增加，除了促使船舶活動更為頻繁，也帶動港區活動的增加，但卻使得港區空氣品質逐漸惡化；同時，船舶的大量溫室氣體排放也加重了全球氣候變遷問題的複雜性。本文之目的

在探討現今港埠與船舶之空氣汙染的相關國際公約與條例及國外港埠目前已採取的措施，藉此來檢視國內各港埠的空氣環境保護狀況，進而提出未來本國港埠在空氣汙染面上應加強之措施與規範。

關鍵詞：港口、船舶、國際公約、空氣汙染、氣候變遷。

一、前 言

港口是陸地與海洋的交接地帶，且為經濟活動發展上的重要媒介(Darbra et al., 2005)。從環境的角度來檢視，港口是一個包含多元因子的複雜動態環境系統，包含港口本身及港口鄰近區域的商業活動的執行(如：漁業、重工業的生產設備及含有毒物質的倉庫)都會對港口環境造成影響。此外，船舶在港口限制區域中意外頻率的增加和有毒物質排放的風險也會對區域環境造成難以回復的破壞(Trozzi and Vaccaro, 2000)。

現今，環境保護的重要性發展中已普遍受到重視。在歐洲，一份針對港口環境議題的分類文件已經透過統計的基礎被建立。其主要內容是由 1996 年

ESPO(European Sea Ports Organization)的 Environmental Questionnaire 1996 (ESPO, 1999)，和 2003 年 ESPO 的環境檢測報告所構成(Darbra et al., 2004)，其中對於港口環境的主要影響因素分類如下：

1. 空氣中的物質(包含空氣中氣體種類、固體顆粒和能量，灰塵是當中的主要物質)。
2. 水的轉換(包含廢水、裝載或非裝載操作時意外的釋出的液體)。
3. 工業活動釋放出的沙塵。
4. 海洋沉澱物和影響海床的活動(例如：挖底泥的行動)。
5. 噪音，對於人類和動物造成重大的衝擊。

6. 廢棄物的產生。
7. 棲息地的消失或遷移。
8. 海洋生態系統的改變。
9. 氣味的傳播。
10. 資源的消耗。
11. 港口的開發與其後續發展(土地和海洋的佔據)。

上述影響港口環境的因素中空氣部分特別受到重視，目前歐洲許多港口也已經將空氣中所含物質納入港埠環境管理的重點。近年來，隨著港埠活動的更加頻繁與船舶噸位以驚人的速度發展而排出大量的溫室氣體，使全球氣候變遷的發展速度更加惡化，已對人類的生存造成危害。據統計，全球各商船

之二氧化碳排放量，占世界總量的4.5%。如果船舶燃料種類、船隻數量與低效率經營維持不變，航運污染將隨時間倍增，到2020年至2030年間，其排放量可能為2002年排放量的3倍(交通部運輸研究所, 2009)。

綜上所述，可了解到全球各港埠與船舶對於空氣污染的控制應持續加強行動與規範。故本文將先介紹現今防治空氣污染的相關國際公約與條例及國外港埠目前已採取的管理措施，藉此檢視國內各港埠(包含：高雄港、臺中港、基隆港與花蓮港)的空氣環境保護現況，進而提出未來本國港埠在空氣污染防治上應加強之措施與規範。

二、現狀概述

大部分環境問題的根源，產生於工業化和經濟發展過程中。隨著世界經貿往來的大量成長，其中國際貿易約有67%~80%是藉由海運來達成貨物運輸(Hoffmann and Kumar, 2002)，顯示船舶是重要的運輸工具外，也帶出令人憂慮的空氣污染問題。但是現今，國際上並沒有嚴格有效的法規去處理遠洋船舶釋出二氧化碳排放物的問題。國際海事組織 IMO(International Maritime Organization)是聯合國下屬之一個專門負責監督海上安全、航運和保安事務的組織，同時也負責監督來自於船舶的污

染。該組織自2000年公布一項溫室氣體排放報告後，顯示船舶在釋出二氧化碳這問題上並沒有取得任何重大進展。根據該報告預測，在沒有確切的相關法規控管下，由航運業產生的二氧化碳排放物到了2020年會增加72%(交通部運輸研究所, 2009)。

而船舶所排放的廢氣種類也不只有二氧化碳，還包括了：二氧化硫、氮氧化物及可吸入的懸浮粒子。航運業所產生的廢氣種類及其對健康所造成的影響可以表1來說明：

表 1 有害氣體汙染物對健康影響

汙染物	描述	對健康造成的影響
二氧化硫	• 從硫氧化物氣體而來。	• 呼吸系統疾病。 • 心臟和肺部的疾病惡化。 • 高濃度的二氧化硫會導致過早死亡。
氮氧化物	• 在燃燒過程中產生的反應的反應氣體。 • 造成地面臭氧。	• 令呼吸系統不適。 • 令呼吸系統更易受到感染。 • 損害兒童的肺部發展。
可吸入懸浮粒子	• 懸浮在空氣中的 10 微米或以下的粒子。	• 呼吸系統疾病。 • 削弱肺功能；有機會引起癌症。 • 增加慢性疾病和死亡率。

(資料來源：陸恭蕙, 2008)

之後，聯合國於 2008 年 2 月公佈，全球商船的二氧化碳年排放量將近 11 億 2000 萬公噸，幾乎是先前估計數值的三倍。比重約佔全球總量的 4.5%(交通部運輸研究所, 2009)。

目前，在減少二氧化碳和其他溫室氣體排放的主要國際公約—「京都議定書」並不涵蓋遠洋船舶。現今歐盟也仍持續討論如何利用已有的氣候變化規定，去處理航運業產生碳排放物的問題，但似乎仍無法在短期內就這問題達成協議，因為這是一個牽扯甚廣的動態性且複雜的問題。

相對於船舶活動的增加，港區的活動也逐漸增多，而港埠環境的問題也開

始逐漸浮現。現今，許多港埠都鄰近市區或人口密集之地區，而它們所產生的空氣問題已嚴重威脅到人體的健康，因此，大部分已開發國家開始重視這個問題。相對於過去，北美和歐洲的港口，在空氣的防汙染措施已大為改進，包括訂定與實施相關的法令和規定、引進各種不同的改善計畫和鼓勵自願性的減排活動。一些勇於表達意見的非政府組織(NGOs)和各關係權益人士，包括港務局、航運公司和環保團體，都在這問題上擔當一個關鍵角色。國際上，各船東和港口營運者都逐漸開始採取行動以減少二氧化碳排放物的製造。

三、國際上因應氣候變遷之宣言、條例和規範

有鑑於 IMO 自 2000 年起公布的溫室氣體排放報告顯示：船舶在釋出二氧化碳這問題上並沒有取得重大進展，且沒有足夠嚴格有效的法規處理遠洋船舶和港埠運作所排出之二氧化碳問

題。具歷史意義的 IMO Council 第 100 會期於 2008 年 6 月 20 日閉幕前，通過 IMO 秘書長 (Secretary-General) Mr. Efthimios E. Mitropoulos 的倡議，將 2009 年世界海事日(The World Maritime

Day)的主題訂為「氣候變遷：亦是 IMO 的挑戰！(Climate Change: A Challenge For IMO Too!)」(張朝陽, 2008)。現今，港埠機關及海運業者已開始自發性地採取動作來因應廢氣排出之問題，且聯合國相關單位也因應此問題制定出應遵守之規範。相關之宣言、條例和規範經整理如下：

(一) 世界港口氣候宣言

由鹿特丹港務局暨鹿特丹氣候創議基金會共同籌組成立，國際港埠協會(IAPH)協助舉辦的「C40 世界港口氣候會議」(C40 World Ports Climate Conference)，於 2008 年 7 月 9~11 日在歐洲最大港所在之都城—荷蘭鹿特丹市隆重舉辦，該會議主題為「全球港埠對改善氣候的努力」(World Ports for a Better Climate)。C40 組織係一致致力於對抗全球暖化的世界大城市聯盟，最早成立於 2005 年 10 月，初時僅有 18 個知名大城的代表人員在倫敦集會，商討採行具體措施與合作方案，以降低溫室氣體之排放(greenhouse gas emission)，對抗全球暖化和氣候變化之問題，並於會議結束前共同簽署一份旨在可引領市民重視、遵行節能策略，且加強彼此技術交流的公約。

在 7 月 11 日的閉幕儀式中，大會正式通過「世界港口氣候宣言」(WPCD, World Ports Climate Declaration)，與會的港埠代表均力陳將積極落實整體計畫，俾減少二氧化碳之排放及改善空氣品質，國際港埠協會(IAPH)亦將配合本次會議的決議，敦促麾下所有的港埠機構徹底力行(陳文樹, 2008)。

(二) MARPOL 公約附件六

鑑於人類對地球環境汙染問題逐漸關注，IMO 之海洋環境保護委員會(MEPC)自 1988 年早已展開對防止船舶造成大氣汙染之問題進行研討及審議之工作(鄭吉雄, 2003)。於 1997 年 9 月 15 日至 26 日，60 個政府代表(MARPOL 公約締約國)及 15 個國家觀察員(非 MARPOL 公約締約國)在 IMO 總部參加 1997 年空氣汙染防止國際會議，並通過 1997 年 MARPOL73/78 公約之議定書及 8 個決議案，以作為執行第六附則之法源根據。

「國際防止船舶汙染公約」(MARPOL73 / 78, International Convention for Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto)是國際海事組織 IMO 最主要的法律條文來管制船舶所造成的海洋汙染(IMO, 2008)。這公約有六個附件以針對各類型的船舶汙染。首先，附件一至附件五針對的汙染問題包括因操作或發生意外時導致的油汙染、有毒液體物質汙染、包裝有害物質汙染、生活汙水汙染和垃圾汙染。而附件六則是針對防止船舶造成製造空氣汙染的問題。這是一項最重要的減少船舶廢氣法規，訂明船舶使用燃料的含硫量不能超過 4.5%，同時就氮氧化物的排放亦設下限制。總地說，該「MARPOL 公約」附則六的制定反應了人類對環保問題的覺醒和自願為改善環境而付出代價的態度。

(三) 聯合國氣候變遷綱要公約

「聯合國氣候變遷綱要公約」

(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC 或 FCCC) 是一個國際公約，於 1992 年 9 月在巴西里約熱內盧召開，由世界各國政府首腦參加的聯合國環境與發展會議上制定的。該公約的目標為「為防止對氣候系統進行有害的人為干擾，應將大氣中非蒙特婁議定書管制溫室氣體的濃度維持在一定水準。此一水準必須使生態系統有足夠時間自然地適應氣候變遷，並且不影響食物的生產與經濟發展的永續進行(譚佩沛, 2005)」。

但該公約沒有對參加國規定具體要承擔的義務，具體問題的描述是在之後的「京都議定書」(UNFCCC, 1997)。

「京都議定書」(Kyoto Protocol)是「聯合國氣候變遷綱要公約」的補充條款。它是 1997 年 12 月在日本京都由聯合國氣候變化綱要公約參加國三次會議後制定的，其目標是「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水平，進而防止劇烈的氣候改變對人類造成傷害」。

政府間氣候變化委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC)已經預估從 1990 年到 2100 年全球氣溫將升高 1.4°C-5.8°C。目前的評估顯示，京都議定書如果能被徹底完全的執行，到 2050 年之前僅可以把氣溫的升幅減少 0.02°C-0.28°C，正因為如此，被認為其標準訂得太低不足以應付未來的危機。

(四) 哥本哈根議定書

全球共 160 多國在 2008 年 4 月 5 日於曼谷氣候變遷會議上同意於 2009 年起草全球變遷的新協議，以取代到

2012 年即失效的京都議定書。會中通過 2009 年底於丹麥首都哥本哈根完成此協議並取代京都議定書的新全球環保公約；同時，各國也首度考慮將飛機與船隻的廢氣排放量納入新全球性新公約的規範，原因是這兩種交通工具排放的廢氣已逐漸造成溫室效應的大污染源。

(五) ISO14001

ISO14001 是國際上在環境管理的一套認可標準(ISO, 1996)。任何形式的組織可以藉由 ISO14001 在環境管理的流程與標準得到認可，如：港埠機構及航運公司。ISO14001 環境管理系統是由國際標準組織(International Organization for Standardization)所建立的環境管理標準，目的是協助企業在生產、銷售、產品使用和廢棄後的整個產品生命週期中，找出可能的環境問題並加以改進，減少對環境的衝擊，促成企業與社會自發性的行動，來達成生態和環境保護的目的。

ISO14001 環境管理系統和 ISO9001 品質管理系統對組織的許多要求是共通的，因此這兩套管理系統可以結合在一起使用。ISO14001 環境管理系統在鼓勵企業藉由此管理系統達到減廢、減量，以達到保護地球生態環境，主要包括七項：

1. 環境管理系統。
2. 環境稽核。
3. 環境績效評估。
4. 環保標章-環境訴求與宣告。
5. 生命週期評估。
6. 用詞與定義。
7. 環境標準之環境考量面指引。

四、國際港埠經驗上之分享

從 70 年代開始全球各國早已開始注意環境問題，且制定各國的環保法，著重在二廢(即廢水和廢氣)和現今的三廢(即廢水、廢氣和廢棄物)，而一般人在談空氣汙染時往往忽略了海運這一領域，其實商業船隻每年「貢獻」高達 8 億噸的二氧化碳，所排放的二氧化硫比全球所有的汽車和貨車加起來還多。硫是其中一種最損害人體健康的汙染物，故各地正研究不同的減硫排放方法和行動。

船舶的廢氣排放雖然有 MARPOL 附件六的規範，但要落實卻有許多困難的地方，這也清楚表明國際公約並不足以解決由航運業所產生的空氣汙染問題。此外，有關的排放源頭不單是大型的遠洋船舶，還包括陸上碼頭和港口運作的廢氣，即數以百計的卡車。

現今，北歐和美國西岸的港口一直積極地發展各種減少近岸船舶廢氣的計畫和獎勵方案。如：美國的洛杉磯港和長堤港，兩個港口花了多年的時間和資源才能在提出的合作和建議上達成共識，在過程中也遇上相當多的挑戰，因為許多利益相關人士對於減排方法持不同意見。如今，執行相關計畫和方案的成果開始漸漸浮現出來。

(一) 鹿特丹港

2006 年，鹿特丹港務局引進了一些革新技術，成功減少 80% 的氮氧化物排放。鹿特丹在 2007 年底展開了一項為期兩年的試驗計畫，為默茲港口流域的內陸躉船(又稱駁船)供應岸電。鹿特

丹港口安裝了 120 個接駁點以向躉船供應足夠的電力，應付在躉船上居住的人之家用需求。港口計畫現已解決供電系統的繳費和接駁問題，並會在 2012 年或以前，在公眾船舶停泊處完成加裝更多接駁點(陸恭蕙, 2008)。

大部分鹿特丹的躉船現時是使用含硫量 0.1% 的燃料，但自 2010 年 1 月 1 日起，根據新的歐盟法令，內陸躉船將會使用含硫量 0.001% 為上限的低硫燃料。大部分航海和公共服務的船舶現已使用低硫燃料。

(二) 洛杉磯港和長堤港

自 2005 年起，美國、加拿大和墨西哥一直研究建立一個北美硫排放控制區的技術可行性，以應付由航運業產生的顆粒性物質帶來的嚴重健康威脅。之後，美國總統布希於 2008 年 7 月 21 日正式簽署「2008 海事汙染防治法(Maritime Pollution Protection Act of 2008)」，該法係增修自美國海岸巡防隊執行之「船舶汙染防制法(Prevention of Pollution From Ships)」中有關防治船舶排放空氣汙染物相關條款(張朝陽, 2008)。現今，加州的洛杉磯港和長堤港也一直非常積極減少與港口相關的廢氣。而其行動包括以下：

1. 加快限制船舶排放廢氣

在 2008 年，洛杉磯和長堤兩個港口共同提出一項計畫，根據這項計畫，兩處的港口會向船舶營運者支付使用重油和較昂貴的低硫燃料之間的差價，且船舶營運者必須在港口對外最少

20 公里至最遠 40 公里之範圍內轉用低硫燃料。若要受惠於這計劃，船舶也必須要參與港口的自願性減速計劃，把船舶速度限制在 12 海浬以下。此外，當船舶泊靠泊於碼頭時，船舶的輔助發動機必須使用低含硫燃料。

2. 潔淨卡車計劃

潔淨空氣行動計劃將會把港口卡車業現代化，並要在 2012 年成功減少 80% 由卡車產生的空氣污染。兩個港口根據潔淨空氣行動計劃內的清潔貨車項目 (Clean Trucks Program) 採取不同形式的減排方法。這項目要求車主銷毀和更換大約 16,000 部在港口運作但會製造污染的車輛，並改裝其他車輛。同時兩港口也訂下一個時間表，從 2008 年 10 月 1 日起逐步禁止 1989 年前的短途(托運)卡車在港口運作。到了 2012 年 1 月 1 日，所有在港口區域運作的托運卡車都必須符合 2007 年頒布的聯邦政府排放標準。

(三) 小結

由以上描述可得出北美和歐洲先進港口所做出的成果如下：

- a. 港口進出車輛使用更潔淨之能源。
- b. 提供岸電的使用，減少船舶輔助發動機的運轉。
- c. 提出優惠措施鼓勵船舶使用低硫量燃料且於船舶進港時，限制船舶航速。

因此，減少船舶和港口的廢氣主要為兩項措施，其一為燃料的使用；另一項則是岸電系統。首先針對燃料使用的部分，船舶用的燃料可以分為以下等級：

- 燃油是未經提煉的化石燃料，只比起柏油製成的殘渣為佳。燃油又被稱為船舶燃油、殘餘燃油、重燃油和重油。這些燃料的含硫量約達 1% 至 MARPOL 附件六的最高限制 4.5%。遠洋船舶均可以使用這種燃料，因為這些在船上是有空間可以被足夠加熱和淨化以作使用，且遠洋船舶的主機設計也足以應付使用這種燃料。
- 餾分燃料包括柴油這些經過提煉的燃料，其含硫量為 1% 或以下。船用氣油和船用柴油也是餾分油。
- 汽油比餾分油更清潔。
- 液化天然氣、壓縮天然氣和液化石油氣是最潔淨的燃料。

石油公司多年來利用航運業的燃料需求，將它們提煉過程中所產生最具黏性的殘餘燃油賣給船公司。現今，石油公司大都已接受遠洋船舶使用餾分燃料，雖然提煉設施的改裝會花費大量金錢和要謹慎進行投資規劃，但它們已不能指望航運業繼續使用殘餘燃油。

在岸電的部分上，中國大陸的港口，如：鹽田、蛇口等等，也參照歐美國家之港口，針對港區的空氣問題進行處理，開始安裝岸電設施，且大型船舶在建造時也安裝接駁岸電的設備。現今，還沒有一套國際標準去管制這種技術的伏特和設計；而國際標準組織(ISO)已開始草擬一份有關岸電的文件，來對電頻作出相關的管制，因為美國供應的電力為 60Hz，而歐洲則為 50Hz，在規格上並不統一。

五、本國港埠因應廢氣之現況與未來應執行措施之建議

本節先針對本國的法律規範及目前各港埠對港區環境的保護所採取的行動加以檢視；而後，針對不足之處，參考國外法規與目前先進港埠之經驗，從中提出適當之建議。

(一) 國內相關法規之規範

我國「海洋污染防治法」於中華民國八十九年十一月一日以華總一義字第八九 00 二六 0 四一 0 號公佈，分九章六十一條。其九章分別如下(陳力豪, 2009)：

- (1) 總則
- (2) 基本設施
- (3) 防止陸上污染來源
- (4) 防止海域工程污染
- (5) 防止海上處理廢棄物污染
- (6) 防止船舶對海洋污染
- (7) 損害賠償責任
- (8) 罰則
- (9) 附則

我國政府頒布此法，明訂本國管轄之潮間帶、內水、領海、鄰接區、專屬經濟海域及大陸礁層上覆水域等所定範圍之海域禁止排放有害物質；「海洋污染防治法施行細則」則訂定各主管機關與權責等相關事項，但「海洋污染防治法」與「海洋污染防治施行細則」皆未對港口有明確的規定。只有「海洋污染防治法施行細則」之第十九條，對於有關設置船舶防止污染設備、有關船舶對海洋環境有造成污染之虞者之認定、有關船舶之排泄及船舶之適當防制排泄措施，依船舶法、商港法及航政主

管機關之相關規定與國際公約或慣例辦理。

國內主要的空氣污染法規為「空氣污染防治法」，此法之下訂定有許多施行細則。其中於 93 年最新修正之「空氣品質標準」內，規範總懸浮微粒(TSP)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)、臭氧(O₃)、鉛(Pb)等排放標準。92 年環保署公告「空氣污染防制法施行細則」則對於空氣污染物種類有較明確的定義，如氣狀污染物、粒狀污染物、衍生性污染物、毒性污染物、惡臭污染物等(交通部運輸研究所, 2009)。但目前針對主要的溫室氣體：二氧化碳卻未有規範。而在未來趨勢的演變下，相信這會是一個國內在港區的環境規範上必須注意的議題。

透過上述，得知國內尚無專門針對港口機具、船舶排氣與港區空氣管制的特別規定，雖然可以使用其他法條進行規範，但本國各港口均為特殊管制地區，故如何落實港口機具與船舶排氣監測與管理，除須相關單位配合執行(如中央與地方)，法規的制定、監測標準的訂定，以及連帶的獎勵、補助、懲罰也該一併納入整合來進行商討。

(二) 本國國際港埠對應廢氣減排之動作

我國主要的貿易港口為高雄港、臺中港、基隆港與花蓮港。目前各港口對於港區環境保護的主要措施，經過整理如下：

表 2 本國港口之環境保護措施整理

港口	港區環境保護措施
高雄港	a.預防港區汙染，追求港區潔淨。 b.推動資源回收，維護自然資源。 c.加強環保教育，遵守環保法規
臺中港	a.港區環境景觀規劃及綠美化。 b.港區汙染防治(治)。 c.港區清潔維護。
基隆港	a.港區汙染防治加強工程。 b.港區環境景觀美化工程。
花蓮港	無特別規定，依循相關環保法規辦理。

(資料來源：交通部運輸研究所, 2009)

經由上表可了解，國內各港埠對於港區環境之保護均有一定的之共識；但若深入探究，卻沒有更加詳細之規範與行動，以因應空氣汙染日益嚴重的問題。且由於各港口均位於人口密集之地帶，因此，在空氣汙染的防範與規範上的探討與制定已是刻不容緩的課題。

(三) 未來應執行措施之建議

1. 國內法規的修訂

國際海事組織(IMO)的船舶汙染國際公約 MARPOL73/78/97 附錄 VI 已有規範船舶排放的空氣汙染物如 SO_x(硫化物)及 NO_x(氮氧化物)等。在 2008 年通過之新修訂條例與相關的 NO_x(氮氧化物)技術規範將於 2010 年七月一日起生效，以逐步減少有害空氣汙染物的排放，防止大氣汙染。經過修訂後，在硫排放控制區(SECAs)內，SO_x(硫化物)的排放上限將由現在的 1.5% 減至 1.0%，到了 2015 年降至 0.1%。另外，MEPC(海洋環境保護協會)同意減低在船用主機運作時排放的 NO_x(氮氧化物)，在 2016 年起新建船上安裝的主

機，都必須接受 MARPOL 要求的第三級標準嚴格管制，在排放控制區內的 NO_x(氮氧化物)釋出為每千瓦小時 3.4 克。

由於非此公約成員的船舶與非遠洋航行之船舶不受該法管轄，因此應由國內立法來管轄，採用相同或嚴格的標準進行執法，規範國內非遠洋航行船舶及在國內操作的非公約成員船舶。

目前，我國之「商港法」規定國際商港的主管機關為交通部，而「空氣汙染防制法」規定交通工具造成的空氣汙染之主管機關為環保署、省(市)政府、與縣(市)政府，致使港務局在取締船舶排氣汙染時，必須知會地方政府環保單位共同進行偵測、查核及蒐證後，再由地方政府環保單位(如高雄市政府環保局)開處罰單。

未來配合 MARPOL73/78/97 附錄 VI 之「船舶空氣汙染防止公約」的生效，我國可以比照早期因應 1973 年 IMO 通過之「船舶汙染防止公約」而修訂各港埠之「商港法」增列「船舶汙染管理規則」。如此，方可整合各考量

面並予以規範，使各港務局得依法執行港口國管制，檢查各國國籍船舶的國際空氣汙染防制(IAPP)證書、偵測各項排氣汙染及違規處罰。

2. 進港船舶用油種類的管制

(1) MARPOL 公約要求

目前公海航行之船隻含硫標準為小於 4.5%(俗稱 C 油)，進港後需轉換為高品質之油料，如 MARPOL 公約要求之最寬鬆標準為小於 1.5%(俗稱 A 油)。行經 Baltic sea, North sea 等海域，燃油含硫份上限必須低於 1.5%。

(2) 港內特殊要求

大部分先進國家皆採較嚴格，以改善其港區內空氣品質改善，例如：

- a. 美國加州洛杉磯及紐約長島之港口標準為小於 0.05%含硫比例，較 MARPOL 公約之標準值 1.5% 約低了 30 倍。
- b. 休士頓 SIP 亦對港區內 OGV(ocean going vessel)所使用的油品亦加以規範。

此外，進出港船隻有無依規定將船舶於進港前將 C 油切換成 A 油與離港一段時間才將 A 油切換成 C 油，對港區空氣品質亦有明顯影響。

目前，國內法規對於進港船隻，C 油切換成 A 油，並無規定。但因船隻在啟動及換檔時必須使用 A 油，因此大部份船隻進港時都會習慣切換，有鑑於此，在這個船舶動作上應該要立法予以規範，讓進港所有船舶去做此動作，降低含硫廢氣的排放進入我國港區。

3. 港埠設備的提升

目前在港口設置岸電裝置的港口

逐漸增加，包括歐洲的鹿特丹港、美國的洛杉磯和長堤..等等，甚至現今大陸的蛇口、鹽田港也在進行岸電的試驗計劃，從目前國外港埠所進行的措施來檢視，整個過程的執行都是為防止氣候變遷及維護港埠環境為目的，進而自主性的執行港埠環境政策，並且通過 ISO14001 的認證標準以確保能有效率的執行，期盼可以藉由設備的改良與有效的政策來降低空氣汙染的發生。因此，本國各港口應以此為鑑，進而探討港埠運輸設備在空氣汙染上應如何改進。

此外，一個成功的港埠在減排廢氣的行動作尚應包含以下作為：

- a. 與執行減排廢氣有成果之港口簽署合作，分享環保港口的經驗、技術和優良的處理方法。
- b. 宣導綠色意識，讓港區內的廠商共享，將港口的運輸設備提出降低汙染排放的措施，達到全面性的廢氣減排為目標。
- c. 廣面的讓周遭民眾參與港埠環境決策之制定，期盼藉由匯集社會各層面的智慧與期望來做出完善之決策。
- d. 應以國際化的普及為原則，盡國際社會一份子的責任，借鏡環保先進國家的做法，將環保工作列入屬於各自歸屬的重點項目。

而未來本國重要國際港口在港埠設備的發展勢必也要以節能省碳的目標來進行改良和購置。落實這些動作的執行，勢必要從港埠環境政策來著手，其政策的推動亦應在整合各相關政府部門的各盡其責的原則下進行。

六、結 論

目前，北美和歐洲港口所執行的廢氣減排行動，均著重於岸上電力的供應和能源的使用，即在減少船舶靠岸時，啟動輔助發電機來排出廢氣，及低含硫燃料的使用。再加上國際法規 MARPOL 及聯合國氣候變遷綱要公約的規範，使得港口在針對空氣污染的減少方面逐漸架構出一個整合性的範疇。而面對未來我國各港埠在商業活動上積極的發展和大型船舶進出港活動的頻繁下，要達到港口之永續經營及維護周遭地區居民的生活品質和健康，各

港埠對於本身的環境意識上應該要更加自我約束及要求。

由於國際間對於海運和港口在大氣及海洋環境所造成的衝擊越來注重其威脅性，顯示出人類活動對原始資產的衝擊，已達到危險的境地。因此，在未來這些相關議題也將會持續升溫，而我國各國際港口如何制定完備的港埠環保政策，且如何將港埠的商業行動所產生的廢氣減少，相信這是一個急待解決的問題。

參考文獻

1. Darbra, R.M., Ronza, A., Casal, J., Stojanovic, T., and Wooldridge, C., 2004. The self diagnosis method: A new methodology to assess environmental management in sea ports. *Marine Pollution Bulletin* 48 (5-6), 420-428.
2. Darbra, R.M., Ronza, A., Stojanovic, T., Wooldridge, C., Casal, J., 2005. A procedure for identifying significant environmental aspects in sea ports. *Marine Pollution Bulletin* 50, 866-874.
3. ESPO, 1999. Eco-information in European Ports. Final Report, ESPO, Brussels.
4. Hoffmann, J., and Kumar, S., 2002. "Globalization: the maritime nexus." In: *Handbook of Maritime Economics and Business*, Grammenos, C., ed.. LLP, London, pp. 35-62.
5. ISO, 1996. EN ISO 14001. *Environmental Management Systems -Specification with Guidance for Use*.
6. IMO, 2008. www.imo.org/home_noflash.html
7. Trozzi, C., Vaccaro, R., 2000. Environmental impact of port activities. In: Brebbia, C.A., Olivella, J. (Eds.), *Martime Engineering and Ports II*, 9. WIT Press, Southampton, pp. 151-161.
8. UNFCCC, 1997. http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
9. 交通部運輸研究所，2009，臺灣港埠與船舶節能減碳現況與未來發展規劃先導型研究。
10. 高雄市環境保護局，2002，固定污

染減量及管理計劃。

11. 張朝陽，2008，IMO 確認將負擔氣候變遷的挑戰責任，船舶與海運通訊第五十六期。
12. 張朝陽，2008，美國對防止空氣污染的最新發展，船舶與海運通訊第五十七期。
13. 陳力豪，周新章，陳永昇，莊士賢，劉大綱，2009，重大油污染緊急應變措施之檢討依阿瑪斯號與吉尼號事件之比較與建議，第十一屆水下技術研討會暨國科會成果發表會。
14. 陳文樹，2009，全球港埠暨著名大

城，合力對抗地球暖化效應之策略，港灣報導季刊，pp. 32-38。

15. 陸恭蕙，2008，綠色港口：香港和深圳，思匯政策研究所。
16. 鄭吉雄，2003，《MARPOL》公約附則六「船舶造成空氣污染防止規則」概述(上)，船舶與港運。
17. 鄭吉雄，2003，《MARPOL》公約附則六「船舶造成空氣污染防止規則」概述(下)，船舶與海運。
18. 譚佩沛，2005，論聯合國氣候變遷綱要公約的國際環保策略與法制規範，國立臺灣海洋大學海洋法律研究所碩士論文。

淺談波浪運動中之底床滑移速度及滑移邊界條件

陳陽益 國立中山大學海洋環境及工程研究所教授
陳冠宇 國立中山大學海下科技及應用物理研究所助理教授
林佳豪 國立中山大學海洋環境及工程研究所博士候選人

一、前言

實際之真實海床，由於多由具有透水性之材質所構成，故底床材質的改變使得流體通過底床時摩擦程度不同，此時底床水平方向之速度將不會為零，此一速度稱為底床滑移速度 (bed slip velocity)。對於漂砂運動、臨界啟動流速等問題是相當重要之物理量。此一現象在水槽試驗 (Huang et al., 1996) 或是理論研究中 (宋, 1993) 皆已獲得證實，但已知研究結果在底床滑移速度上顯示皆小於試驗值，亟待進一步改進，如、Liu et al. (1996)、張等 (1999) 及 Huang et al. (1999) 等。

此時底床水平流速不為零之現象稱為滑移現象 (slip phenomenon)，有別於傳統之無滑動邊界條件 (no slip condition)；該現象是流體通過多孔介質材質時所發生之特殊物理行為，常見於氣體於多孔材質之流動，一般常用滑移邊界條件 (slip boundary condition) 來解釋多孔介質之滑移現象。在波浪運動中，若想得知底床滑移速度，使用數值

模式進行二維流場之模擬是一個相當普遍的方法；由於在靠近底床邊界處必須考慮黏滯性效應，故數值模式主要是採用 Navier-Stokes 方程式，而在流固體交界面是採用連續型邊界條件 (如 Huang et al., 1999)。雖然 2-D 模擬可以得出整體流場行為但必須花費許多時間進行數值運算，如果僅是要得出一底床滑移速度，數值模式方法顯然無法快速得知。

故若以工程角度而言，如能得到一簡單之公式用以評估流固體交界面上之滑移速度，對於實際工程應用而言，則可大幅提高事前評估之效率而可以免除大規模的數值運算，也可用來推估臨界啟動流速以及底床最大剪應力等相關物理量，不論對於定性或是定量上均有相當大之幫助。因此發展出一簡單可行之公式用以評估底床滑移速度是相當值得研究之課題，故本文簡述滑移邊界條件之發展沿革、待改進之問題、目前研究現況及未來研究方向。

二、滑移邊界條件之發展沿革及問題探討

水波通過多孔介質底床之運動行為，是研究波浪之學者相當有興趣之課

題。早期應用勢能流理論配合達西定律求解剛性多孔介質底床問題，由於在底

床交界處沒有考慮黏滯效應，故一般也僅要求在交界面處滿足壓力連續條件以及垂直速度連續條件，故一般均是一個靜定問題；但相反地，近底床之流場就無法進一步求出，與黏滯效應有關之許多現象也就無法呈現，例如超射現象(over-shooting)。超射現象指的是流體因黏滯效應在邊界層內所產生之局部最大水平速度(local maximum horizontal velocity)，會比表面流速振幅值稍大，一般不會在流固體交界處發生。若考慮流體黏滯性，此時流場會形成一個超靜定問題(over-determined)(宋及黃，1995)。

在多孔介質中，滑移邊界條件(slip boundary condition; SBC)被用來解決上述問題以及解釋流體在多孔介質流動時所產生的滑移現象。對於氣流在多孔介質材質中流動而言，在低壓環境中，如果孔隙之間之距離或是管徑接近於分子平均自由路徑長(mean free path of

the molecules)，則此時之速度會高於利用鮑尼茲流(Poiseuille's flow)所預估者，稱為滑移效應(slip effect)或稱為Klinkenberg 效應，對應之速度稱為滑移速度(slip velocity) (Bear(1972))，此時無滑動邊界條件(no-slip condition)即無法應用在多孔介質問題上。對於應用在液體上之滑移邊界條件，可分為兩種：一種是以速度型態表示之滑移速度邊界條件 (slip velocity boundary condition; SVBC)，此種型態之邊界條件，現今為最多人採用之物理型式，其示意圖如圖 1 所示。另一種被稱為極限剪應力型態，但由於此一型態之邊界條件尚在發展中且所需試驗儀器頗為精密，故在本文不予介紹。由圖 1 可明確區別滑移速度邊界條件與無滑動邊界條件之差異，在於前者容許在底床處有一不為零之速度，而後者之水平速度在底床則是定義為零。

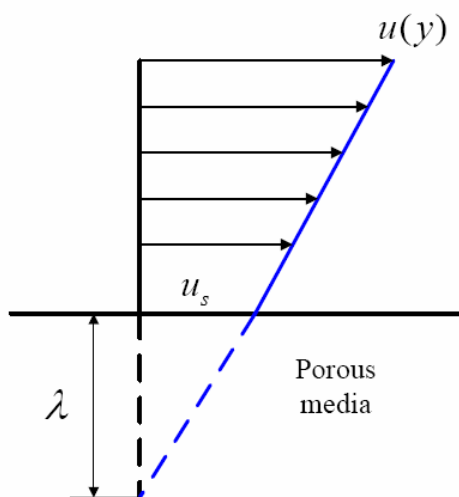


圖 1 滑移速度之示意

最早之滑移速度邊界條件是由 Beaver & Joseph (1967)共同提出，可寫為：

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\alpha}{\sqrt{k_s}}(u_s - u_D) ; u_D = -\frac{k_s}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \dots (1)$$

上式中 u_s 為多孔介質表面之水平方向切線速度， u_D 為由壓力梯度所引起之水平方向滲流速度， k_s 為滲透係數(permeability coefficient)， u_y 為外部水平方向之速度梯度， α 為經驗常數，其物理模型如圖 2 所示，即是一單向流通過一個管徑為 δ 且下邊界為多孔介質之圓管。根據(1)式所得到的滑移速度可寫為：

$$u_s = -\frac{dp}{dx} \frac{k_s}{2\mu} \left[\frac{\left(\frac{d}{\sqrt{k_s}}\right)^2 + \frac{2\alpha\delta}{\sqrt{k_s}}}{1 + \frac{\alpha\delta}{\sqrt{k_s}}} \right] \dots \dots \dots (2)$$

式中， δ 為邊界層厚度(boundary layer thickness)， μ 為流體黏滯係數。(1)式雖經試驗證實為正確，但有幾個問題在當時並未加以釐清或是考慮在內。首先：由於 α 是一個經驗常數，使得(1)式並不方便應用在分析上，直至 1974 年 Neal et al.才以理論方式證明在均質等向性材料中，其值為 1；其次，(1)式表示滑移速度是由壓力梯度所引起的，該式僅能用在單向流或是純剪流之流況中，並不適用於週期性運動中；此外，通常近邊界處之壓力梯度甚小，故可以推估此一滑移速度應是一個相當小的值。

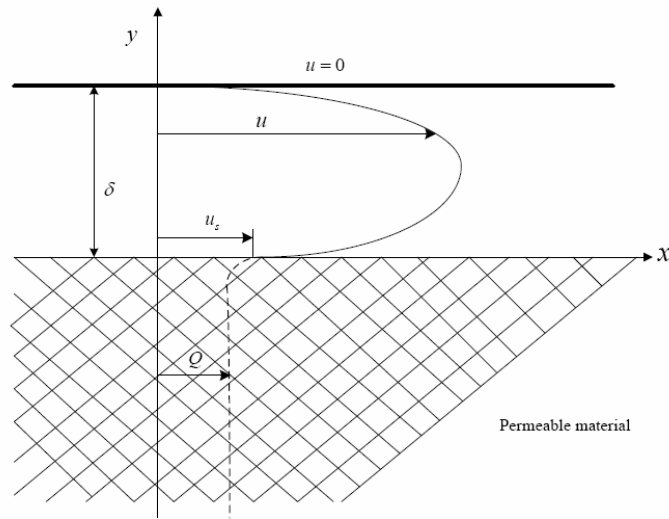


圖 2 Beaver & Joseph (1967)之物理模型示意圖

Saffman(1971)為解決(1)式應用不便之問題，利用階次近似之方式，將(1)式改寫為：

$$u_s = \frac{\sqrt{k_s}}{\gamma} \frac{\partial u}{\partial y} + O(k_s); \gamma = \frac{1}{5} n^{-1/2} \dots\dots(3)$$

γ 被稱為滑移係數(slip factor)， n 為多孔材料之孔隙率(porosity)。(3)式比(1)式更容易應用於分析中，此時我們可以經由(3)式中可以觀察到一個滑移邊界條件的重要應用：即是，如果我們只需要底床流速或是底床最大剪應力，則經由(3)式即可得到一底床滑移速度。如此，即可以不利用理論方式或是數值模式分析整個流場，而以一個簡單之公式即可快速求出所需要之底床平均流速，對於工程實務中可大大提高應用性。但是(3)式中，又隱含了一個重要的問題：即速度梯度必須是已知的，這樣的限制使得應用上十分不便。另外，(3)式是否能應用於週期性運動也有待商榷；而且，是否對於波浪運動有更為方便之數學型態，也是一個值得改善的地方。

這兩位學者所提出之滑移型態邊界條件，都是屬於滑移速度邊界條件。但在當時並未有明確之名稱定義此種邊界條件；Vinogradova(1995)正式提出滑移長度模式(slip length model;SLM)用以作為一階滑移速度邊界條件之通式，可寫為：

$$u_s = u_b - u_{wall} = \lambda \frac{\partial u}{\partial n} \dots\dots\dots(4)$$

u_b 為流體於多孔介質表面上之水平方向流速， u_{wall} 為壁面速度， λ 為滑移長度，(4)式之物理意義即是表示底床滑移速度正比於速度梯度， $\vec{n}$ 為底床邊界之法線向量。滑移長度代表上層流體影響多孔介質底床之深度，此值一般與底床材質有關。傳統無滑動邊界條件與滑移邊界條件之對照，可簡單用圖 3 說明 (Eric et al.(2005))，當 $\lambda = 0$ 即是代表底床流速為零，即是無滑動邊界條件，適用於不透水之邊界； $0 < \lambda < \infty$ 代表底床有流速，稱為部份滑移狀態； $\lambda = \infty$ 即是代表理想流動狀態。

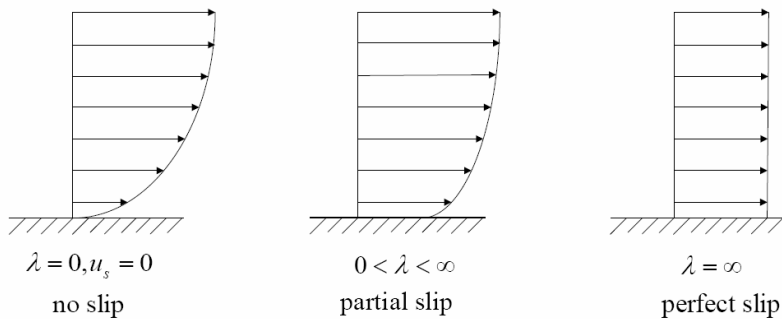


圖 3 滑移速度邊界條件與無滑動邊界條件之關係

(4)式中的滑移長度是一個相當重要之參數。在氣體動力學中，此值與分子平均自由路徑長有關。對照(1)(3)(4)式，可知(1)(3)式皆屬於滑移長度模式。在多孔介質問題中，通常利用 $\sqrt{k_s}$ 來定義孔隙雷諾數中所需要的特徵長度，也因此(1)(3)式中，都是選用 $\sqrt{k_s}$ 來作為滑移長度；若應用在波浪運動中，則是必須進一步加以思考。天然海床中，底床多由可滲透之材質所構成，滲透係數是一個評估材料透水性強弱的參數，但根據 Kamphuis (1975)之試驗顯示，底床粗糙度也是影響近底床流場之重要參數之一；底床粗糙度 (bed roughness, $\overline{k_s}$) 又可被稱為等效 Nikurase 粗糙度 (equivalent Nikurase grain roughness) 是用來表示底床之光滑程度，與滲透係數未必有必然之關係，因為兩個參數之物理意義有明顯之差別。但是此時又會引發一個問題，底床粗糙度如何得知？這必須從一般理論分析上對於天然海床之假設談起。

以砂質底床為例，由於波浪之篩分作用，使得粒徑相同的土粒得以聚集，換句話說，此時底床粒徑分布是均勻的。故此時理論分析上假設底床為均質等向性材料是合理的；材料之均質性 (homogeneous) 指的是任一處截面材料性質均相同，材料之等向性 (isotropic) 則是指每一點上之各方向材料性質均相同。如果進一步假設此時土粒之形狀皆是圓球狀，則此時土壤之平均粒徑

(mean diameter, d_m) 可以用來代表底床粗糙度 (Zhou(2001))。

底床粗糙度對於天然海床之重要性在於直接影響邊界層內之流況；Kamphuis (1975) 利用波浪雷諾數及底床粗糙度定義出臨界雷諾數之上限為 $O(10^4)$ 。故若要將(4)式應用在波浪問題上，底床粗糙度應也是一個必須考慮之滑移長度。有趣的是，雖然底床粗糙度與滲透係數是兩種不同之物理參數，但在土壤力學中，滲透係數、平均粒徑以及孔隙率 (porosity, n) 卻可以透過經驗公式加以換算求得，例如

$$k_s = \frac{n^3 d_m^2}{180(1-n)^2} \dots\dots\dots (5)$$

然而，有一個問題也必須進一步討論，那就是傳統理論解析方式是否可適當地解釋底床滑移速度？這點僅能用以往學者對於剛性底床之研究成果加以說明。Huang et al.(1996) 利用玻璃水槽及 LDV 實際量測了剛性砂質底床之速度剖面，由於此類型之試驗受限於實驗設備及底床因素，故相關試驗甚少，但此一試驗卻被後續理論研究對照之。Liu et al.(1996) 利用數值模式模擬波浪通過剛性砂質底床之流場行為，在底床滑移速度方面顯示與試驗值相較之下甚小；Huang et.al 和張等(1999) 分別以數值模式及邊界層近似法解析相同之問題。這些研究在流固體交界面上均使用應力與流速分別於垂直與水平方向

連續等邊界條件(即是連續型之邊界條件)；但這些已知成果在底床滑移速度上均遠小於試驗值。故由這些成果僅能表示目前方式解析之成果在底床滑移速度均有偏小之缺失。

對於波浪運動中之底床滑移速度，Lamb(1932)提出一個概念，即是底床滑移速度正比於一特徵速度，但並沒有實際之數學描述或是計算方式。為探討這一概念及改正以往研究在底床滑移速度偏小之缺失，Chen et al.(2008)假設底床滑移速度正比於表面流速，而引進一個未知之滑移係數用來表示底床材質在近底床流場之影響權重。雖說有效地改進在底床滑移速度偏小之缺

失以及大幅提高準確度，但依然沒有定義出滑移係數及提出簡單適合於工程應用中之公式。

由以上討論可知，對於底床滑移速度至少有幾個問題可加以研究或改進：

- (a) Saffman 所提出之滑移邊界條件(即(3)式)是否能應用於一般波浪運動中？與試驗值相比之下其正確性為何？
- (b) 若滑移長度模式應用於波浪運動中，則底床粗糙度必須加以考慮。
- (c) 依照目前研究成果顯示，底床滑移速度或是底床滑移係數均有偏小之缺失或是定義未明。
- (d) 簡單滑移速度計算公式是必須的。

三、研究現況

底床滑移速度之研究其實就是為了改善前節所述之問題並進一步提出簡單且高準確性之理論公式，藉以評估底床滑移流速。為此，研究團隊自 2006 年開始進行一連串之文獻回顧及理論研究，並著重於下列項目：

- (a) 評估(2)式應用於剛性多孔介質底床之適用性。
- (b) 以理論方式建立一簡單可行之公式藉以用來評估底床滑移速度。
- (c) 瞭解剛性孔多孔介質底床之邊界層行為，含波浪衰減、剪應力及流速

分佈以及軌跡運動。

以下簡單說明目前本研究之現況。

為探討(3)式對剛性多孔介質底床之適用性，陳等(2008)即用理論分析之方式進行驗證，其結果如圖 4 所示。該圖表示即使利用(3)式所得之滑移速度較已知結果為優，但仍小於試驗值；但是理論上之證明顯示底床滑移速度可以寫成 $u_s = f_n u_0$ 之型態，Chen et al.(2009)即是採用這種假設。此一結果證明 Lamb 之概念是正確的，並說明了(3)式仍不適用於波浪運動中。

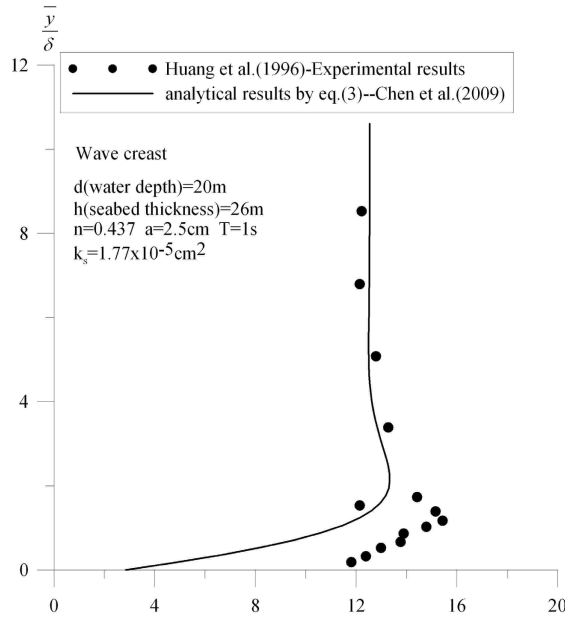


圖 4 使用(3)式之解析結果與實驗值之對照

林等(2009)則是假設重疊原理可適用之情況下，考慮了底床粗糙度之效應，並修改圖 2 之物理系統，於上邊界處引進一週期性流速，並得到一含有週期性運動之滑移速度，如下式所列：

$$u_s \left(1 + \frac{\alpha \delta}{\sqrt{k_s} + k_s} \right) = u_0 \cos \theta - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{k_s}{2\mu} \left(\frac{2\delta\alpha}{\sqrt{k_s} + k_s} + \left(\frac{\delta}{\sqrt{k_s}} \right)^2 \right) \quad (5)$$

(5)式右邊第一項即是代表波浪之週期性運動， u_0 為線性波浪理論之表面流速振幅， θ 即是波浪相位(phase)，第二項則是與壓力梯度有關；將第一項及底床粗糙度忽略即可退化為(2)式，代表(5)式可將原本僅適用於單向流之(2)式拓展為包含震盪流之流況。並進一步忽略壓力梯度之情況下，提出一個簡單之公式用來評估底床滑移係數及底床滑移速度，

$$f_n = \frac{\left(\frac{\sqrt{k_s}}{A_0} + \frac{k_s}{A_0} \right)}{\left(\frac{\sqrt{k_s}}{A_0} + \frac{k_s}{A_0} + \sqrt{\frac{2}{R_e}} \right)} ;$$

$$0 \leq f_n \leq 1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$u_s = u_{s0} \cos \theta = f_n u_0 \cos \theta \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中 A_0 為線性波浪理論之水分子運動位移振幅， $R_e = u_0 A_0 / \nu$ 為波浪雷諾數 (wave Reynolds numbers)， u_{s0} 為滑移速度振幅。其與前述各學者之研究成果之比較可見圖 5 及圖 6。由圖可以觀察到，(6)(7)兩式之應用結果較前人研究者為佳。

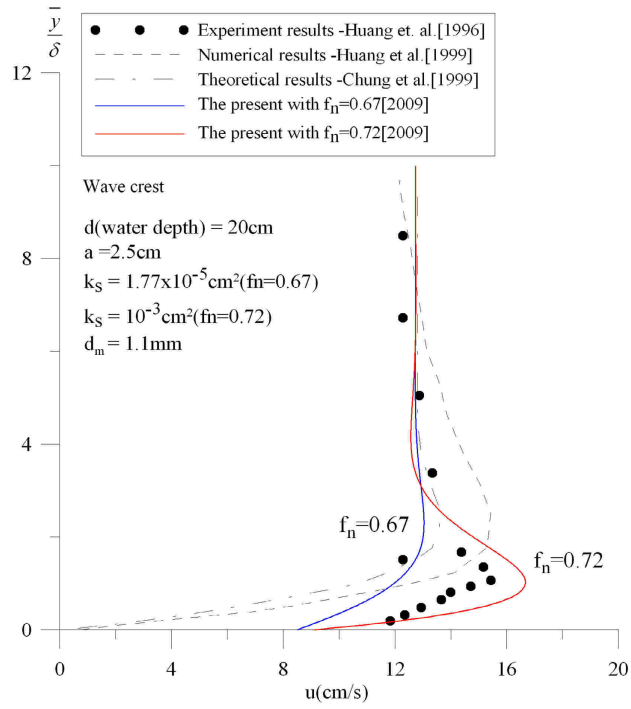


圖 5 本文初步成果與前人研究之比較(在波峰處)

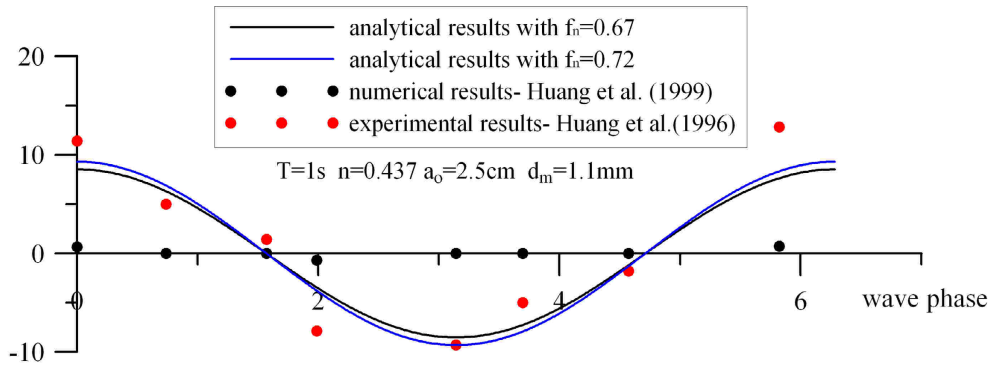


圖 6 本研究初步成果與前人研究之比較(一週期範圍內)

故由(6)式可知，分子部分即是代表底床材質，分母中之雷諾數即是代表此時邊界層之流況；故知滑移係數之物理意義即是表示底床材質對於邊界層內流況之影響。換句話說，底床滑移速度就是因為底床材質改變所引起的平均速度；這與氣體所產生之滑移現象之成因有明顯不同。

另一方面，在水波通過多孔介質底床問題中，波浪衰減問題是一個重要之

課題；底床有一滑移速度，即是代表此時黏滯效應趨弱，換句話說即是代表由邊界層所引起之能量損失可能趨小。滑移現象在波浪衰減問題上所扮演之角色也值得進一步探討。林等(2009)利用(6)式及 Chen et al.(2009)所提出複數形態之頻散關係式，推導出一有限厚度底床之波浪空間衰減係數，並與 Savage(1953)等已知結果相互對照之下甚為符合，如圖 7 所示。

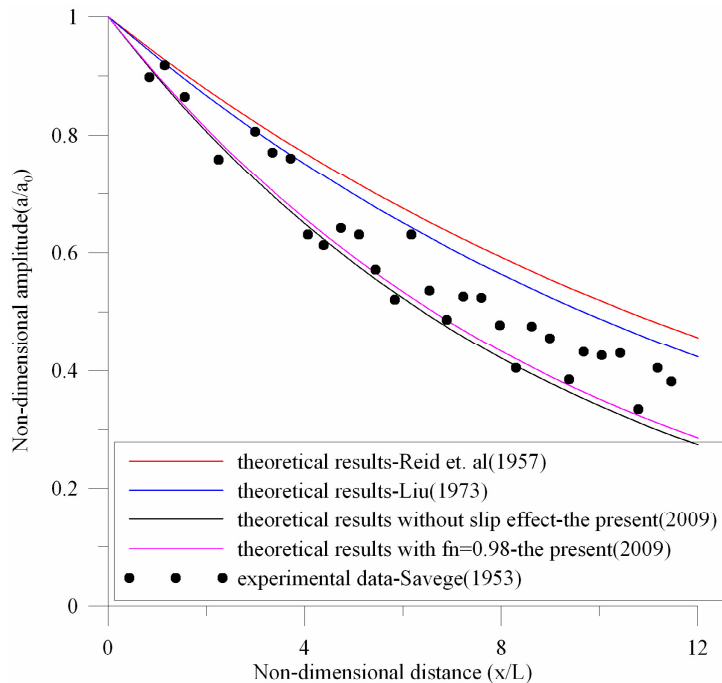


圖 7 林等(2009)與前人研究結果之比較($n=0.5$)

本節所介紹之研究成果，僅限用在線性波所引起之層流裡，達西定律在海床孔隙流體之適用性已被 Sleath(1970)利用試驗方式證明。有關於非線性波與紊流之因素並未考量於內，波浪之非線

性與邊界層流況並不一定有關；換句話說，非線性波並不一定引起紊流；邊界層流況主要還是取決於雷諾數之大小，也因此對於非達西行為或是紊流之流況，上述公式並不適用。

四、結 語

上述簡單介紹目前底床滑移速度及滑移速度邊界條件在波浪層流邊界層中之應用，綜合上述可知，此一研究之初步成果較已知結果為優。目前本研

究仍舊持續探討滑移現象對剪應力分佈、流速分佈及波浪衰減及邊界層內之水粒子運動軌跡之影響。

五、參考文獻

1. 宋長虹(1993)"水波作用下多孔彈性底床動力反應之研究",國立臺灣大學土木工程研究所博士論文。
2. 宋長虹、黃良雄(1995)"具黏性之多孔介質流邊界條件之探討",第17屆海洋工程研討會暨1995兩岸港口及海岸開發研討會論文集,PP.881~895。
3. 張興漢、許金照、黃清哲、黃煌輝(1999)"波浪通過多孔介質底床之理論解析",第22屆海洋工程研討會論文集,pp.267-274。
4. 陳陽益、陳冠宇、林佳豪、許弘莒(2008)"利用兩平板之層流探討波浪邊界層之底床滑移速度",第三十二屆全國力學會議論文集,國立中山大學, A-5。
5. 林佳豪、陳陽益、陳冠宇(2009)"波浪通過剛性有限厚度多孔介質底床之減衰現象",第31屆海洋工程研討會論文集(submitted)。
6. 林佳豪、陳陽益、陳冠宇(2009)"剛性多孔介質邊界層運動中底床滑移速度及滑移係數之探討",第31屆海洋工程研討會論文集(submitted)。
7. Bear, J. (1972) Dynamics of Fluids in Porous Media, Elsevier, New York.
8. Beavers, G.S. and Joseph D. D. (1967) "Boundary conditions at a naturally permeable wall," J.Fluid Mech., Vol.30, pp 197-207
9. Chen, Y.Y., Chen, Guan-Yu & Lin Chia-Hao. (2009) "Progressive Waves in Real Fluids over a Rigid Permeable Bottom," Coastal Engineering Journal(submitted).
10. Eric Lauga, Michael P.Brenner & Howard A.Stone (2005) "Microfluidics: The No-Slip Boundary Condition," Handbook of Experimental Fluid Dynamics, New York.
11. Hwang, H.H., Hwang, K.S.& Lee, B.H. (1996) "Wave Boundary Layer Flows and Pore Pressures in Permeable Beds," in Proc. 26th Int. Conf.Coastal Engineering, pp.3219-3230.
12. Huang, C.J & Chang, H.H. (1999) "Wave-induced Response in a Rigid Porous Bed," Proc. Ninth Int. Offshore and Polar Eng. Conf. Vol.III, pp.355-362.
13. Kamphuis, J.W (1975)"Friction factor under oscillatory waves,"Journal of

- the Waterways, Harbors, and Coastal Engineering Divison: Proceeding of the American Society of Civil Engineers, pp 135-144.
- 14.Lamb, M.A, Sir H., LL.D. & Sc.D,F.R.S (1932) Hydrodynamics, sixth edition,pp.576.
 - 15.Neal, G and Nader, W (1974) "Practical significance of Brinkman's extension of Darcy's law: Couple parallel flows within a channel and a bounding medium," J.Chem.Eng., Vol.52, pp 475-478.
 - 16.Reid, R.O and Kajiura, K.(1957)"On the damping of gravity waves over a permeable sea bed," Trans. Am. Geo,pp.662-666.
 - 17.P.G.Saffman (1971) "On the boundary condition at the surface of a porous medium," Studies in Applied Math., Vol. L, No.2, pp 93-101.
 - 18.Philip L.-F Liu, Matthew H. Davis and Sean Downing (1996) "Wave-induced boundary layer flows above and in a permeable bed," J. Fluid Mech.,vol.326,pp 195-218
 - 19.Savage, R.P.(1953)"Laboratory study of wave energy losses by bottom friction and percolation," Technical Memo No.31, Beach Eros. Board.
 - 20.Sleath, J.F.A (1970) "Wave-induced pressure in bed of sand," J. Hyd. Div. ASCE,96, pp.367-378.
 - 21.S.A.S.A.Karunaratna and Pengzhi Lin (2006)"Numerical simulation of wave damping over porous seabeds," Coastal Engineering , Vol.33, pp.845-855.
 - 22.Vinogradova O I. (1995) "Drainage of a thin liquid film confined between hydrophobic surfaces," Langmuir, Vol.11, pp. 2213-2220.
 - 23.Zhou Liu.(2001) Sediment Transport, Aalborg Univerisity.

港域碼頭海側岸邊設置車擋之現況

基隆港務局 工務組幫工程司 何秉均

一、前言

一般人的概念中，在臺灣地區主要的商港是指基隆港、臺中港、花蓮港及高雄港等四大商港。其中基隆港務局下另設有臺北港分局及蘇澳港分局，分別管理臺北港及蘇澳港。高雄港務局下另設有安平港分局、布袋港辦事處及馬公港辦事處，分別負責管理安平港，布袋港及馬公港。

各港所處的地理位置不同，運輸貨物種類及裝卸能量大小均隨之改變。然而各港的碼頭結構型式卻大同小異。一般區分為重力方塊式、重力沉箱式、基樁棧橋式、井筒式、鋼板樁式……等等。

碼頭面上的設施常見的有繫船柱、防舷材(或稱碰墊)、橋式起重機、倉棧、給水管溝、洩油管、洩料機(含各類穀

物、煤、砂等)及方便旅客使用的各類設施。此外，有些碼頭邊緣會設置防止車輛落海的車擋，設置的高度約介於 25 公分至 35 公分。以此高度設置主要考量到一般小車或機車輪胎直徑約 50 公分，不易開上車擋，亦不會影響裝卸機具之作業；在碼頭上作業的輪型機具，輪胎較大，作業手多為業務相當熟悉的人員，機具落海的可能性較低。反之小車的駕駛者，因某些原因，如不黯碼頭狀況、飲酒駕駛、夜間燈光不足、視線不良等而或有衝入港池中的事件。

本報告為瞭解臺灣各商港設置碼頭車擋狀況，走訪各港區擷取相關資料，提供建言及設置上考量意見，期能更經濟利用有限資金，避免車輛人員落海而造成的損傷。

二、國內法規規定

依交通部 86 年 7 月 18 日交技(86)字第 005123 號函頒「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」第十一章附屬設施，第 11.4.5 節「車擋」規定如下：「可供車輛通行之碼頭，為防止車

輛落海，應視碼頭狀況，於碼頭邊緣設置車擋。」「車擋設置間隔以 30 公分為標準，但中間夾有繫船柱之車擋間隔以 1.5 - 2.5 公尺為標準」。

三、日本規定

日本港灣協會，“日本運輸省港灣局監修 1999 年版”港灣設施技術上之基準同解說第 19.9 節：在設置車擋時，應該將車擋的構造、形狀、配置地點、材質、特性、使用者等，做適當的設定，並確保貨物裝卸之方便性，不會因車擋而受阻。應考量事宜如下：

1. 車擋的配置和間隔的取捨：車擋之長度，應小於在碼頭區作業起重車輛之輪胎距。為了防止下雨時積水，車擋和車擋之間應隔 30 公分之標準。如車擋和車擋間有繫船柱，

則其車擋與車擋應間隔 1.5 公尺到 2.5 公尺之標準。但是柵欄和車擋可不用設置在車輛禁止通行和車輛無法入內的地方。

2. 危險預防：為預防危險的發生，警告標識和路面上的注意標誌(記號)，應配合路障(車擋柵欄)來做結合，並做綜合的討論和適當的因應。特別是在掉落危險性極高的護岸、防波堤和碼頭岸肩，應於危險預防的作業中，予以特別的加強。

四、各港設置狀況說明

(一)基隆港：

基隆港港區分成東西兩岸，東岸港區僅在碼頭尾端如東 22 碼頭端點。東 17 碼頭有設上下底為 20 公分*高 20 公分的車擋。在東 7 與東 8 交界處設有較大型車擋(上下底為 50 公分*高 50 公分)，以避免車輛利用岸肩通道行駛時落海。在東 2 碼頭靠田寮河部份設有車擋(上底 20 公分*高 30 公分*下底 30 公分)，主要考量為避免影響汽車船舶卸載車輛跳板置放碼頭面。

在西岸碼頭的西 2 靠西 2B 碼頭設有高度 60 公分之連續車擋。西 7 號碼頭有一小段高 30 公分之車擋。在第二突堤僅只在西 19 號碼頭兩端彎角處設高 50 公分車擋。西 20 號碼頭全線設有高 30 公分之車擋。另第一突堤自西 22 至西 26 號碼頭全線均設有車擋(上底 20 公分*高 30 公分*下底 30 公分)，來防止車輛落海事件。

(二)臺北港：

臺北港車擋視需要而設置。在臺北港貨櫃碼頭公司施工的北 3 至北 5 碼頭，均設有車擋(20 公分*20 公分)。北 1-北 2 碼頭亦設有相同之小型車擋。利用東 6 碼頭的船舶多為國內航線的小型船舶，碼頭面設有車擋(20 公分*20 公分)。此外設有車擋的有東 13 碼頭及嘉新水泥公司於東 16 碼頭設置的車擋。

於東 4 及東 5 碼頭原設有車擋，但為配合車輛裝卸，移除車擋，卻相對造成車輛因視線不良而落海的事故。

(三)蘇澳港：

蘇澳港設置的車擋尺寸上底 20 公分*高 30 公分*下底寬 30 公分。該車擋於繫船曲柱處，為便利繫纜，避免纜繩磨損，曲柱兩側各間距 1 公尺範圍不設車擋。碼頭面單元交接縫處，設不連續縫，以避免車擋斷裂損壞。5 號碼頭油

管碼頭優先靠油料船，未設車擋。8 及 9 號碼頭原有裝卸原木，現為散雜裝貨，原木撞損車擋，已拆除該碼頭之車擋。現於儲木池側方小凸堤，停放海巡署船隻處，設有上底 20 公分*高 20 公分*下底寬 25 公分之車擋。本區碼頭面上之車輛，如車速過快時，曾有車輛深夜視線不良而駛入 5 號碼頭的港池中。另一案件則是車輛駛入貯木池中。但是正常裝卸之作業車輛，不會落海。

(四)臺中港：

臺中港主要裝卸碼頭區為北碼頭區、北突堤區、中碼頭區、中南突堤區及西碼頭區。碼頭面全部都設有車擋。碼頭車擋高度多為 30 公分上下。僅在中南突堤區 24-29 號碼頭之車擋較低約 15 公分，另因車擋內側埋設有水管，水管寬度約 20 公分，高度突出碼頭面 10 公分，擋住車擋，在碼頭面不易見到車擋。此處易產生落海事故。在西碼頭區之車擋是以鋼片彎曲成車擋型式內部灌鑄混凝土，高度約 30 公分，車擋一般間隔約 1 公尺，在曲柱附近均未設置，以利船舶繫纜作業。

(五)花蓮港：

花蓮港設置的型式較為簡單(上底 40 公分*高 40 公分*下底寬 50 公分)，主要考慮的因素有二，分別說明如下：

1. T 型路口要衝：因為港區多裝卸砂石木料，故行駛入港之車輛多為滿載入港作業，因碼頭高程較低，入港道路與碼頭呈 T 型交叉，道路高程較高，重車衝入減速不易，倘夜間視線不良，極易直衝入海。為避免事故發生，T 型路口交接點海側路旁現已設有車擋。
2. 碼頭彎角：重車在碼頭岸間作業，卸載完貨物後，車體較輕，司機精神及情緒較鬆懈，駛離作業區後，有時未注意碼頭彎角，一不注意，容易落海。在現有碼頭多處彎角已設有連續車擋。

花蓮港碼頭因作業時，避免影響裝卸，均未全面於碼頭上設置車擋，僅視實際需要設置防落海之車擋設施。

(六)高雄港：

高雄港舊碼頭(無論貨櫃或散雜)多無設車擋，僅於較新或改建之貨櫃碼頭上有設置。

五、結 論

從各港設置情形大致可以歸納得到一些結論分述如下：

- (一)基隆港、高雄港及花蓮港大部分岸肩碼頭均無設置車擋。
- (二)臺中港及蘇澳港已全部設有車擋。
- (三)臺北港有設置之碼頭數與未設置碼頭數相當。
- (四)花蓮港所設位置為碼頭轉彎處及

外環路駛入碼頭之路衝處。

- (五)各港可視各碼頭使用狀況選擇性設置適當高度車擋。又因設計車擋圖說工程簡單。經費低廉，工期較短，可因碼頭特性而適時採用。
- (六)為加強車擋設置成效，可於車擋上增設反光貓眼，或太陽能閃光器。

誌 謝

本文完成非常感謝走訪期間，各港務局提供人力車輛支援，如蘇澳港工務課長馬肇南，基隆港務局港埠工程處第二工務所主任陳華雄，花蓮港務局港埠工程處土木課劉課長忠義，臺中港務局

港埠工程處第二工務所黃國民工程司及臺灣世曦工程顧問股份有限公司港灣部詹德楨工程司提供資料，基隆港務局工務組設計科盧瓊霞小姐打字。



圖 1



圖 2



圖 3

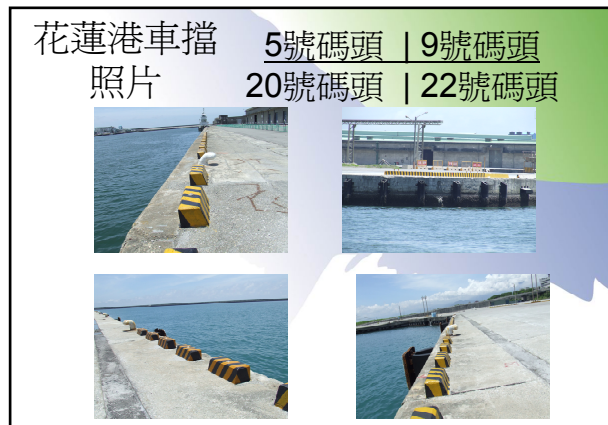


圖 4



圖 5

臺中港船席指泊電腦化發展現況

臺中港務局港務組繫船科副主任 李和曉

一、前言

電腦的普及化運用，對工業界產生了新一波的工業革命，史稱第三波工業革命，運用電腦之優勢協助工業生產，以提升效率與品質已是時下發展趨勢。由於工業制式化生產，易於將電腦引進生產線。服務業緊追在後，亦積極引進電腦，以達快速回應客戶需求，提供客製化服務。在航運港埠業界，曾耳聞新加坡港船席指泊電腦化，此一項目一直列入重點工作，卻因為變數太多、資料正確性與齊全性問題、系統穩定性、航商對系統信任度不足、航商(使用者)認為是不可能任務...等環境限制

而致原地踏步。

受到報載高雄港完成船席指泊電腦化的消息激勵，臺中港於 96 年度正式將船席指泊電腦化列入工作計畫，計劃分 2 階段 4 年度完成船席指泊電腦化，至今已完成專用及專業碼頭船席指泊電腦化與船席會議電子化，今年度將完成承租區散雜貨碼頭與工作船船席指泊電腦化，後續將完成公用散雜貨碼頭船席指泊電腦化，茲將系統發展過程與未來計畫摘要說明。

二、系統發展理念

1. 節省公帑自力完成：臺中港務局本於主動出擊、服務航商、團結合作、茁壯中港的品質政策，整合資訊室與港務組既有之人力資源，各展專長，善用知識經濟創新服務，自力研發完成本案。
2. 低成本自動化：當系統發展以全自動化為目標時，系統對於業務現況粗細繁簡必須面面俱到，亦必須面對時間與成本效益的挑戰。本系統採低成本自動化策略，以簡馭繁，以能力可及之處為系統的起點，以低成本高效益為目標。對使用者而

言，以不增加航商負擔為原則，讓航商可以方便使用。

3. 改變思維模式：以前的思維模式是由上往下看，受到必須百分之一百電腦化的觀念限制之下，認為船席指泊電腦化是不可能的任務，所以一直在原地踏步，未能邁開步伐大步向前走。經團隊腦力激盪，改變思維模式，由下往上看，發現船席指泊電腦化是可能達成的任務。
4. 80-20 法則：船席指泊確實是複雜萬端，不易釐清規則，但其中隱含的規則是，百分之 80 的事情是簡單

的、例行性的，百分之 20 的事情是複雜的、困難的，先將百分之 80 的事情解決，再思考如何解決其餘的 20%。基於此船席指泊電腦化以 95% 船舶可以獲得自動化服務為目標。

5. 科技始終來自於人性：航商是船席指泊電腦化系統的使用者，在推動初期航商認為是不可能任務，系統發展以使用者（航商）的角度出發，在不增加航商負擔與資訊共享不重複輸入原則之下，堅持建置方便使用的系統，推出後雖然增加航商微量資料輸入，當航商感受到方便性與效益，態度自然就轉為積極配合，而且對系統提出發展建言，此時將航商納入系統發展團隊，就可

以便利快速地蒐集使用者的需求。

6. 計畫分階段循序漸進：在系統發展一次全部完成的觀念之下，對於業務人員而言，面臨無法一次講清楚的困境。對於資訊人員而言，則面臨為什麼不要一次講清楚的困境，即使講清楚，亦將面臨太複雜，難以進行系統分析的問題。業務人員與資訊人員之間的溝通，容易形成雞同鴨講。本系統依知識經濟發展原則，在既有基礎之下繼續向上向外發展，對於百分之 80 簡單例行性的事情先加以完成，雙方獲得系統發展經驗，在此基礎上依循序漸進原則分 2 階段 4 年度完成。

三、專案執行計畫-分 2 階段 4 年度完成

1. 第 1 階段完成專用及專業碼頭船席指泊電腦化；第 2 階段分 3 年度完成雜貨碼頭與工作船船席指泊電腦化。
 - (1) 第 1 年：97 年度完成船席會議電子化。
 - (2) 第 2 年：98 年度完成承租區雜貨碼頭與工作船船席指泊電腦化。
 - (3) 第 3 年：99 年度完成碼頭船席指泊全面電腦化。
2. 第 1 階段：96 年度完成專用及專業碼頭船席指泊電腦化。
3. 第 2 階段：

四、執行進度重要事紀

1. 96.12.21 完成專用及專業碼頭船席指泊電腦化作業系統，商請長榮、萬海、大中雙軌測試。
2. 96.12.26 舉辦說明會與教育訓練。
3. 96.12.27 全體航商上線雙軌測試。
4. 97.01.01 專用及專業碼頭船席指泊電腦化作業系統正式上線作業。
5. 97.09.15 完成船席會議電子化作業系統，並上線測試。
6. 97.10.01 船席會議電子化作業系統正式上線作業。
7. 98.08.19 完成船舶動態資料自動下載系統測試。

五、船席指泊人工作業與電腦化作業流程比較

1. 人工作業流程：航商辦理船舶進港簽證與港灣委託→資料下載→登錄於船席會議黑板→船席會議指泊船席→航商抄寫船席資料→輸入船席→完成。
2. 專用及專業碼頭船席指泊電腦化自動回應作業流程：航商辦理船舶進港簽證與港灣委託→電腦系統審查→自動回應→完成。
3. 船席會議電子化作業流程：航商辦理船舶進港簽證與港灣委託→資料下載自動登錄→投影於船席會議布幕→船席會議確認指泊船席→輸出報表以電子郵件傳送航商→輸入船席→完成。
4. 流程比較：
 - (1) 在專用及專業碼頭船席指泊電腦化自動回應作業系統方面：資料下載、船席會議黑板登錄、船席會議指泊船席、航商抄寫船席資料、輸入船席等 5 項流程縮短，由電腦自動化辦理。
 - (2) 在船席會議電子化作業方面：資料下載、航商抄寫船席資料等 2 項流程縮短簡化，改由電腦自動化處理。船席會議黑板登錄改為電子化作業，由投影機投影取代黑板，縮短船席會議指泊船席時間。

六、完成專用及專業碼頭船席指泊電腦化作業系統效益

1. 免除人工排船席作業，有效節省人力：臺中港船席指泊原採人工作業，航商每日需派員於上午十時至港務局參加船席會議，再將排定之船席以人工作業輸入電腦。「專用及專業碼頭船席指泊電腦化作業系統」上線實際運作之後，航商可不受時間、地點限制，透過網際網路 MTNet 全球資訊網線上申請，立即審查並加以回應，免除人工排船席作業，有效節省人力，本局與航商均可節省專用及專業碼頭船席安排時間。
2. 大幅縮短船席作業流程，節省作業費：人工安排船席受船席會議每天一次之限制，前一天申報，經船席會議指泊、輸入船席等前後約需一天時間。船席指泊電腦化後，只需 10 分鐘即可完成。另，本系統未上線前如遇有變更船席則需以電話聯繫由人工辦理異動作業，尤其是在下班時間或例假日，更需以行動電話聯絡船科長，若遇通信訊號不良，則有船席異動申請受阻之苦。船席指泊電腦化後，以網路作業代替電話聯繫，航商僅需於公司內之電腦申請船席異動即可由系統自動審核即時回應船席，每日二十四小時均可自動受理船席，大幅縮短船席異動作業流程，並節省各項作業費用支出。

3. 取得實務經驗，奠定未來發展基礎：本系統上線後，抵達臺中港之船舶約 75%可透過系統由電腦審查自動受理船席，經調查確實為航商提供便利即時有效率之服務；至一

般公用雜貨碼頭，將以專用、專業碼頭電腦自動化後之實務經驗為基礎，依計畫逐步檢討雜貨碼頭指泊作業模式，評估規劃後續擴充計劃。

七、完成船席會議電子化作業系統效益

1. 增進船席會議效率：人工作業易有疏忽之處，在完成船席會議電子化作業系統之後，資料正確性提高，發揮電腦排序、整理之功能，會議時間由原本 1 小時縮短為 30 分鐘。
2. 免除航商抄錄船席資料：在人工作業時代，航商須抄錄船席資料，大家都做相同動作，浪費人力。完成船席會議電子化作業系統之後，由

電腦輸出報表供航商使用，並以電子郵件傳送電子檔案，以利航商資料再利用。

3. 奠定雜貨碼頭船席指泊電腦化基礎：透過船席會議蒐集之資料檔案，歸納整理各項因素，進行雜貨碼頭船席指泊電腦化系統分析，以解決百分之 80 為目標，如此將可保留船席會議彼此間協商彈性。

八、檢討與未來發展

本系統為追求方便性，流程設計與審查條件以寬鬆為原則，上線以來僅發生一次於假日經船席自動回應系統進港靠泊，程序均合乎系統設計，惟美中不足之處是各航商於假日前完成申報，且登載於船席會議資料，據以進行後續作業安排，此一臨時申報並未副知各航商形同插隊，引起航商抗議，所幸影響甚微，經協調撤回抗議。

經此次事件，設計船舶動態資料定時自動下載系統，將下載資料以電子郵件寄送各航商以掌握最新船舶動態資

料。其次，將累積系統作業經驗與特性，斟酌修改系統或船席指泊規定——「臺中港船舶繫泊作業須知」，讓系統與規定同步成長。

經由兩~三年來的努力，業已順利完成專用及專業碼頭船席指泊電腦化與船席會議電子化，成效深獲航商佳評。據此，依累積的實務與執行計畫預計經驗，預計於 98 年度完成工作船與承租區雜貨碼頭船席指泊電腦化，99 年度完成碼頭船席指泊全面電腦化。

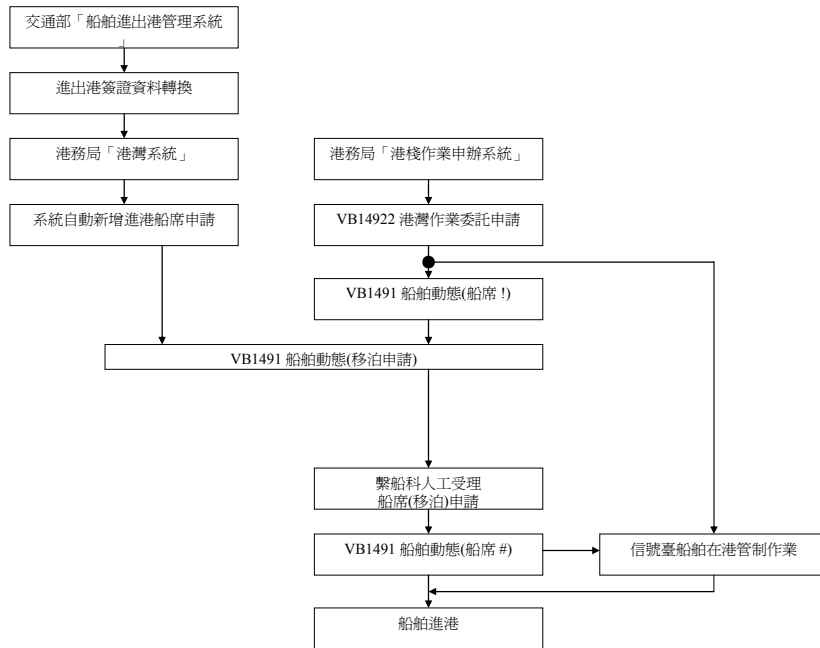


圖 1 船舶申請電腦自動回應系統開發前流程圖

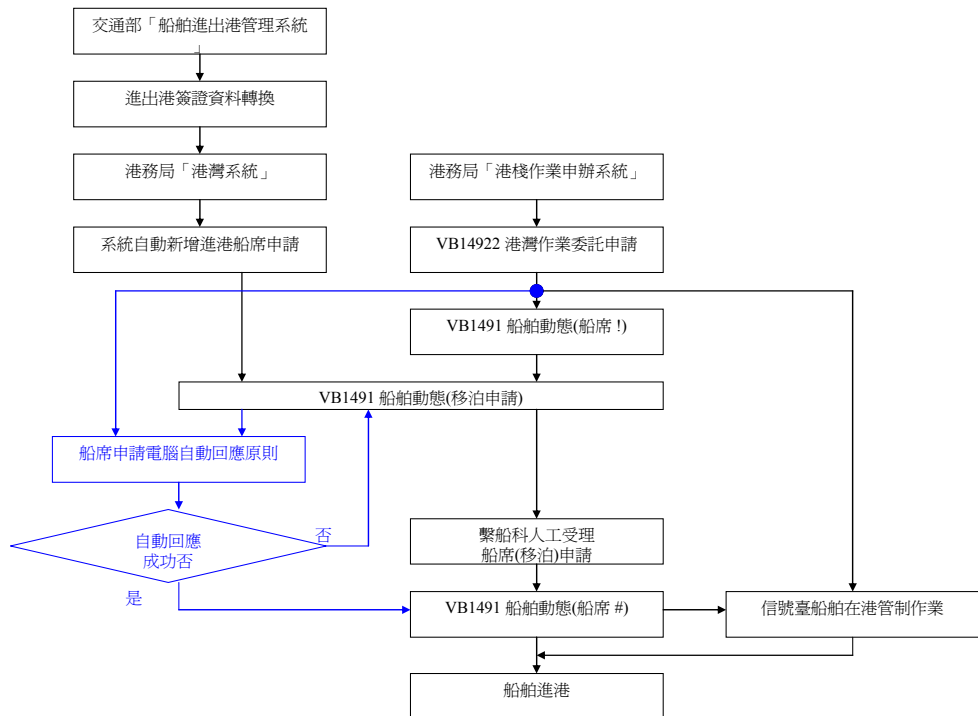


圖 2 船舶申請電腦自動回應系統開發後流程圖

船舶壓艙水的排放管理與處置對策

陳立欣 前臺灣省政府交通處技正

一、壓艙水的作用與不當排放可能造成的污染

船舶若係空船或載重不足而欲啟錨航行時，為求重心穩定、降低船舶在水面上的高度，使其能處於適航狀態，往往會於其艙底注入適當的水量，此即是船舶之「壓艙水」(Ballast water)，而船內用以裝載壓艙水的艙房則是稱為「壓水艙」。反之，當船舶進入港域裝載貨物時則會排放出壓艙水，依據國際海事組織(IMO, International Marine Organization, 註一)的估計，全世界所有船舶每年所排放出的壓艙水，可多達30~50億噸。這些被排出流放至另處港域的海水，卻極可能會將原來港域所含的海生物等外來物種及大量的病原體，帶往異地的港埠去，而對異地海域之生態環境造成重大的威脅。

例如，爆發於1991年秘魯三座不同港口城市的霍亂傳染，即是肇源於對船舶排放壓艙水的不當管理，造成數千人死亡的悲劇，此一疫情並經輾轉散播至南美洲各國，迄1994年方才逐漸被消弭，但累計共有高達近萬人病死於此次的霍亂，災情十分慘重。另航行於亞太地區之商船，則曾於20世紀底在香港、中國大陸沿海諸港埠，因排放壓艙水時而傳播散逸出紅潮菌，使得香港和中國大陸的漁業遭受到近約千萬美元的嚴重損失。

從六百餘年前的14世紀起，歐洲

國家民眾即知道鼠疫等若干疾病，會沿循船舶的海上貿易路線，而散播至船舶所曾停泊過的港埠、城市乃至於整個國家，導致國際間的疾病傳染，嚴重危害到諸瀕海國家。為維護港埠的公共衛生，海運業務發達的威尼斯率先啟發檢疫之概念並逐漸施行於別國其他的沿海港市，即規定進港的船舶必須先於近海一帶下錨區停泊40天，且船員皆不能下船入港，俟確認船舶、船員並未帶有致疫的病菌，方才許可下船泊靠及入境，現公衛領域的常用語「檢疫」(quarantine)，正是源自拉丁語的40天。

近代，因為顧慮到航行於國際間的船舶所裝載之壓艙水，有散播傳染病或破壞生態環境之虞，國際海事組織遂於2004年2月邀集諸會員國，制定「國際船舶壓艙水及沈積物控管公約」，且國際海事組織麾下設立的海上環境保護委員會(MEPC, the Marine Environment Protection Committee, 註二)亦配合訂立有相關的規定，共同致力於防止因船舶不當排放壓艙水，而影響到港域所在國家境內公衛暨生態上的安全。鑒於大型貨櫃船排放出的壓艙水，會侵擾全球的海洋生態結構，因此航運業界務須審慎面對並加強國際合作，以弭除不當排放壓艙水所衍生的禍害。

二、各國港埠機關對於排放壓艙水的管理限制

澳洲為求降低外來病原體和海生物種，侵入其近海區域的風險，遂將船舶排放壓艙水視為屬於高風險的作為，規定世界各國的商船自 2001 年 7 月 1 日起，皆不得再於澳洲各港埠區或 12 海哩內的領海區，排放未經「壓艙水確認支援系統」(BWSS, Ballast Water Decision Support System)處理過的壓艙水。嗣後，任何進入澳洲海域、港埠的船隻，需先經過澳洲檢疫暨檢查服務處(AQIS, Australian Quarantine and Inspection Service)的檢查核准，確定已採用「壓艙水確認支援系統」以處理於澳洲領海外之海域所汲取的壓艙水，方可在其領海內排放壓艙水；若是未獲 AQIS 的核可而任意排放壓艙水，船舶暨船長均會受到嚴厲的懲處。

美國密西根州則於 2005 年 6 月通過一項限制排放壓艙水的法案，並經州長簽署成為該州法令，即自 2007 年後進入密西根州各港埠(為位於五大湖

區之各個湖港)的船隻，皆必須事先申請且船隻須加裝處理設備方得排放壓艙水，其目的係在防止位於美、加邊境的五大湖水域，受到外來水生物種的侵入。違者將按非法進入港埠或非法排放壓艙水等情形被科處以重罰，例如後者的罰鍰便可高達 2.5 萬美元，而船舶未經核可即擅入港域則可按日連續處罰。過去，平均每八個月即會於美、加邊界的五大湖區發現到新見的外來物種，壓艙水正是被認為係肇致此一惡況的主要原因，這些新見物種如海生八目鰻(sea lamprey)、蝦虎魚(round goby)和斑馬紋貽貝(zebra mussels)，由於在五大湖區內幾乎未有任何有天敵，以致可大量繁衍而危害原有的物種，並帶來寄生蟲和病菌，嚴重破壞生態。本項法案同時授權密西根州暨其他的五大湖區諸州組成聯盟，妥善控制既已侵入之水中物種。

三、新建船舶均應裝設壓艙水排放處理系統

若干海運事業發達之國家則已陸續規定，欲進入其港域的船舶必須先於鄰近的深海區，將原之壓艙水更換為當地的海水才可准其駛入泊靠。其因在於深海區的強大海流，擁有自然的淨化能力，以致外來的海生物會因為海流的沖刷而漂散，不易聚生繁衍。然而，港域內的泊船區因為海水流動性頗低，故需藉由壓艙水處理系統的淨化，以避免外來海生物隨著壓艙水的排放而污染了

港埠的生態。不過，在風浪較大之深海區換裝壓艙水既較危險，費用亦極高昂，勢宜仰賴人工研發的過濾處理系統以行事，甫能有利於整個海運界。近數年來據業界的評估，全球船舶使用壓艙水的總量每年均可超逾 40 億噸，故而舉世壓艙水處理設施的市場，共計有高達 130 億美元的產值。

國際海事組織業已在 2004 年規定，自該年起所有之新建「中型輪船」

皆須於今(2009)年前安裝壓艙水處理系統，「大型輪船」則須於 2012 年前完成安裝，但部分國家或港埠如係提前施行此項關乎排放壓艙水之措施者，咸皆從

其規定，倘若船運公司未能符於上述之規範，恐將無法再進入國際海事組織諸成員的港域內去了。

四、新加坡積極投入壓艙水淨化系統之研究，並於多個國家申請到專利權

自立國以來即以海運和轉運事業馳名全球的新加坡則宣稱，該國環境科學工程研究院已研發出一套壓艙水淨化系統，可讓經過處理而排放出的壓艙水符合國際標準，此一處理系統乃採用過濾與使用高鐵酸鹽化學藥劑兼具的雙重淨化過程，並於一艘梭行於亞洲、美洲和歐洲之間，名為「海皇珍珠號」的商船進行試驗，淨化率近乎百分之百，現並已可供量產和上市，在去(2008)年之前每套系統的售價大致維持於 50 萬坡幣(約合 32 萬美元)左右。

由於是一島國，且膺當東南亞和南亞海運樞紐位置的新加坡，港域內經常泊靠有來自世界各國的船舶，故甚早前即已警覺到壓艙水帶予海域環境的嚴重污染問題，其環境科學工程研究院與海港管理局，早在上世紀 90 年代便開始從事與此相關的研究。初時，工作人員先擇碼頭邊適當地點，建造一座試驗用的小型壓艙水淨化器，以每小時可淨化 50 立方公尺水量的速率進行，俟效果穩定再擴增處理能力，即增加每小時的處理水量；最後，再將設備和控制程式安裝於試驗用船舶--「海皇珍珠號」之船身內，該艘輪船內部裝置有兩具直徑 1 公尺、高 3 公尺之過濾缸，占用面

積不大，每小時得淨化的壓艙水卻可多達 1,200 立方公尺。較諸採取加熱、去氧、電離、臭氧處理或紫外線照射...等方法以處理壓艙水，這套由星國研發應世的系統確實深獲海運界的讚許。

此套由星國所研發問世的系統，其長處在於每當汲取海水時即可逕將海水中的生物乃至微生物予以濾除，因而船舶裝載的壓艙水乃近乎是已未含有微生物的海水，所以排放時自然不會危及所停靠港域的海洋生態環境了。此一淨化系統是先濾除各種大於 50 微米的微生物，以去除進入水艙之中近約九成的微生物，之後再添加高鐵酸鹽的淨水劑，俾撲滅餘存於汲進海水的細小微生物。系統之所選用高鐵酸鹽作為淨水劑，係經由多次的分析試驗後獲致的重要結論，乃因高鐵酸鹽不致造成環境污染，而且僅需甚少之量，便幾可滅除會導致生態禍害的微生物，操作時簡便迅速，費用亦相當低廉，星國環境科學工程研究院並亦已於多個國家申請到專利權。斯項研究成果，使得新加坡在處理壓艙水破壞海洋生態環境層面的技術，足以領先全球諸國，既可據以發展海洋環保工業，並可提高新加坡在海洋科技領域上的國際地位。

五、自本世紀初起，日本造船研究所致力於「無壓艙水船舶」的設計建造

壓艙水處理系統所應用的化學劑料，不僅價格高昂，且在船舶長期性的使用下，不免會污染港域同時耗費大量之能源，若能使船舶無需使用壓艙水而仍可平穩的航行於海面上，則可一勞永逸的解決各種面臨之問題。由日本造船業界共同出資組成的造船研究所，自 2001 年起即在日本政府的支持協助下，致力於無壓艙水船舶的設計建造，兩年後、即 2003 年，日本船舶技術研究協會決議將建造無壓艙水大型油輪提列為日本國家工程之一環，由日本的造船研究所、設計建造研究所暨多家著名造船廠，共同合作朝此目標挺進。

無壓艙水超級油輪的設計概念，係將船身設計為呈明顯向下突出的 V 字造型，船體之下半部分愈為細長，將得使船舶處於空載重量時亦有足夠的吃水深度，除非是遇到狂風巨浪時宜視風

浪等級再汲入壓艙水，以保護船體免於傾覆之虞，通常已無需再汲入用以平穩船身的壓艙水。亦即無壓艙水設計之船舶，在船體內依然存有備用的壓水艙，船長得在航程途中依據天氣和風浪之狀況，機動決定究宜汲進多少用量之壓艙水，以油輪而言，於緊急狀況下汲入的壓艙水用量應不超過傳統油輪的四分之一。日本造船研究所領導研發並設計建造出的第一種無壓艙水船體，係屬得航行於近乎無水深限制航道(如波斯灣航道)的船舶，船身最大寬幅 56 公尺，船深和滿載吃水深度各為 35 公尺和 27 公尺；而第二種無壓艙水船體，則得適合航行於自波斯灣經麻六甲海峽抵臨遠東地區的船舶，船身最大寬幅可達 49 公尺，船深和滿載吃水深度各為 30 公尺和 21 公尺。

六、設計「無壓艙水船舶」所考量的數項要素

採用 V 型船身設計的無壓艙水船舶，尚可因為船體之細長結構，相對減少其航行時遭遇到的阻力，例如以上的第一種無壓艙水油輪便可減少約莫 33% 的阻力，第二種油輪則可減少約 25%。依照日本設計建造研究所於 2006 年 12 月對外提供的資料顯示，透過電腦模擬測試的結果可知，第一種無壓艙水油輪可以順利航行於風浪大致平穩的海面上，但第二種油輪卻由於船體底部的吃水深度不足，以致航行狀況較不

理想。另外，若處於相同風浪等級之條件，則傳統特大油輪(VLCC, very large crude carrier, 註三)往往必須汲入逾 80,000 噸的壓艙水，始能臻於國際船舶防止污染公約所規定，船舶吃水深度不得低於 8.4 公尺的規範。

設計無壓艙水船舶的第二項要領，乃是結合「貫通流系統」以設計船身，該貫通流系統乃是用以取代貨艙四周，位於壓水線之下、呈縱向型體結構的傳統型壓水艙，特點係將原之封閉式

壓水艙變更為開放式，並在船頭壓水線下方開設進水口，船尾則開設排水口，讓海水可自船艙進口處被吸入，且短時間內就可再從船尾排水口排出，利用進、出口水流的不同壓力，控制貫通於水艙內的水流速度，並能確保不致將海水攜至遠處排放，減少傳散不同水生物種的風險。固然，貫通流系統中的壓水艙是頗具創新理念的造船技術，但也會衍生出其他的缺點，像是增加船舶的航行阻力，因此必須藉由流體動力上的嶄新設計，以化解此一船體阻力上的問題。

單一結構船身乃是設計無壓艙水船舶的第三個要領，該設計概念的特點是在船底設置一個朝後延伸的空間，使船底之形體宛似一具前端封閉、後端開放的倒置拖鞋。依據所作的流體實驗，此種船型可使船舶於輕載情況之下，產生較大的吃水深度，然而會大幅增加船身的濕面積則是其無以避免的缺點。當前，此種單一結構船體、而未有壓水艙之船舶，已曾於荷蘭塔爾伏德大學測試通過，在測試時它的載重量僅為 4,000 噸，船速為 14 節，確實為未汲入壓艙水而可在海面上順利航行的船舶。船舶引擎所產生的廢氣，可從船底兩側向下排放出去，而令廢氣中的硫化物、二氧化碳、一氧化碳以及各種懸浮顆粒污染物...逕行溶解於海水中，連帶減少船舶在港區內所造成的空氣污染。

日本設計建造研究所曾各就無壓艙水油輪和一般油輪之船舶模型，從事一連串的電腦系列測試，審慎比較兩類船舶的推進效率、波浪摩擦力、分別處於空載和重載時船舶的航行動態，並得

到以下的重點結論：

- 在同為滿載的情況下，創新型無壓艙水油輪的推進效率雖然略低於傳統型油輪，但是在空載時無壓艙水油輪的推進效率，卻是反而高於傳統型油輪 6.4%，經過縝密的計算，在空載時一艘蘇伊士型油輪可節省 5~7% 的動力消耗，VLCC 型的超大型油輪則可節省 6~7%。易言之，亦即無壓艙水油輪於空載時得減少引擎之耗油量，擲節船舶的航行耗支。
- 將創新型式的無壓艙水油輪與現行油輪相較，得具有同樣堅固的船體和抵擋風浪之能力，船艙承受波浪拍擊的壓力亦極接近，並可安全無虞的航行於大海，其航行性得愈為穩定，反而可比一般的油輪減少搖晃震動；從具體的量化以描述，無壓艙水油輪得相當於裝載有占一般油輪總排水量 30~40% 的壓艙水般的安全航行，故可無需安裝用以抗減搖晃的龍骨(keel)，省下龐大的造船經費。
- 因為無壓艙水油輪必須使用強度甚高的鋼材，以增加船舶寬度並增強船舶結構，以致船舶重量和造船費用皆會顯著提高，如建造一艘蘇伊士型的油輪約將增加 520 萬美元的造價，而若建造一艘 VLCC 型的超大油輪則須增加 650 萬美元的造價，且亦須隨之採用功率較大之發動機。固然，無壓艙水油輪的建造費用顯較一般油輪為高，但約可在 15 年之內達到平衡而開始

回收其利益，至於其營運上所帶致的各種優勢，則是顯而易見的。

按日本設計建造研究所等機構於投入無壓艙水船舶之研發，獲致之成效可得知，新式無壓艙水船舶的設計應用，已可釜底抽薪般的臻於國際海事組織發布的船舶操作規範，且在適航性和運營效益方面，亦皆可符於海運公司的需求。現今，這種創新的無壓艙水船舶雖然尚在起步階段，而未普遍推廣施行，惟從多次的測試過程可明瞭，其設計理念既屬正確亦告切實可行，得令壓艙水帶予海運和港埠管理諸業界之困擾大為降低，對維護海洋生態環境確實具有極大的裨益。

註一：國際海事組織是隸屬於聯合國的一個專門機構，旨在確保船隻的安全航行、防止海洋污染，以及促進各國政府暨其航運業界推

展海事技術合作。國際海事組織的總部設於英國首都倫敦。

註二：隸屬於國際海事組織的「海上環境保護委員會」，於2007年7月9日至13日在英國倫敦召開之第56屆會議中，特別討論到壓艙水中有害水生物之問題，並審議通過實施壓艙水公約的三個導則，還針對該問題成立有一「船舶壓艙水處理技術審議組」，以專責處理其事。

註三：VLCC是載運量為20~30萬噸的超大型油輪，是現今國際原油運輸市場之主力船型，此種大型油輪的運載力占全世界油輪總噸位(3.5億噸)的45%左右。在國際航運界，所擁有VLCC的數量，得顯示其運載原油的能力。

港 灣 報 導 徵 稿 簡 訊

- 1.本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。
- 2.投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。
- 3.來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：
 - (1) 以紙本或是數位方式出版。
 - (2) 進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。
 - (3) 再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
 - (4) 為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。
- 4.作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
- 5.稿件每篇以 8 頁（含圖）（4000~5000 字）以內為原則，稿酬從優；請附磁片或 E-mail，並請加註身分證字號及戶籍地址（含鄰、里）。
- 6.本刊每年刊行 3 期，分別於 2 月、6 月、10 月出版。如蒙惠稿請於每期出版前 30 日寄交本刊。
- 7.聯絡電話：(04)2658-7139 馬維倫
傳真電話：(04)2656-4415
E-mail：elisa@mail.ihmt.gov.tw
- 8.歡迎賜稿，來稿請寄：
43542 臺中縣梧棲鎮中橫十路 2 號
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣報導編輯委員會」 收

ISSN 1019-2603



9 771019 260006

GPN 2007700020

定價 100 元