

綠色航運

你可曾想像過，一艘滿載的 5,500TEU 貨櫃船開動時，其效益相當於 5,500 輛貨櫃車同時開上公路？這些龐然大物的運輸工具所排放的汙染會是如何？有哪些綠色環保措施可落實在海運上？

■ 黃道祥

地球表面積的四分之三是海洋，海運成為國際間運輸的主流，全世界約 90% 的貨物必須靠海運送到世界各地。可能因為船舶這種龐然大物的運輸工具必須停泊在屬於管制區的港口內，一般民眾難以接觸和了解，因此國人對海運及船舶相當陌生，也難以了解海運的重要性和獨特性。

只是像船舶這種龐然大物的運輸工具經年累月地在海上航行，以全世界約 5 萬艘貨船航行各地所累積的汙染量加總起來，對海洋環境必定有某種程度的殺傷力。這議題早就受到國際海事組織（International Maritime Organization, IMO）長期關注，每年舉辦海洋環境保護委員會會議以商討對策。

近年來地球暖化越來越嚴重，一次次極端氣候一再地警醒我們，人類對地球環境的破壞如果再不踩剎車，只怕大自然的反撲會一次比一次嚴重！節能與減碳如果要立竿見影，屬於大耗能的船舶自然成為重點對象。並且一艘船的生命周期一般長達 20 年以上，在維護海洋環境和降低全球溫室氣體的排放上，長期所累積的效益相當可觀！

**節能與減碳如果要立竿見影，
屬於大耗能的船舶自然成為重點對象。**



全世界約 90%的貨物必須靠海運送到世界各地（圖片來源：種子發）

海運的特色

海運和公路運輸及空運相比，公路運輸的貨、卡車載貨量小，適合於內陸貨物的分散或集中，但無法跨越海洋；飛機可以跨國，貨運速度快，但是運費高，使得空運局限於需要快速運達的高經濟貨物。

而海運的載重量大，由數千公噸到數十萬公噸都有。雖然海運的航行速度並不快，一般約為每小時 40 公里，但是 3 種運輸方式中海運的續航力最高，允許一天 24 小時夜以繼日，且可一、二十天不用靠碼頭，把貨物送達世界各港口。

一方面因為使用價格較為低廉的重油做為燃料，海運每公噸每公里的運費最低。但也因為海運的載貨量大，燃油消耗量也大。以一艘運載 5,500 個 20 英尺貨櫃（稱為 5,500 TEU）的貨櫃船為例，一艘船如果以每小時 19 海里的經濟航速航行，每日的



海運的續航力很高，允許一天 24 小時夜以繼日，且可一、二十天不用靠碼頭，把貨物送達世界各港口。（圖片來源：種子發）

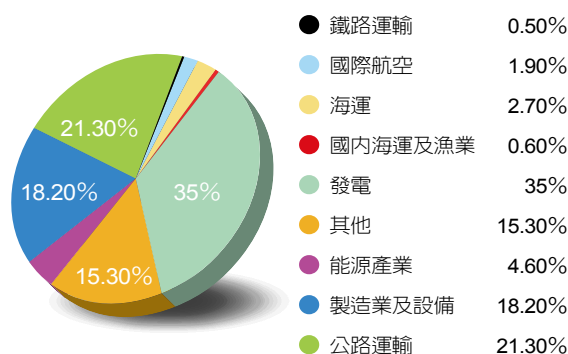
燃油消耗就高達 100 公噸！

又因為船舶使用的推進引擎是低速二行程的柴油機，直接連結推進器以驅動船舶行進，再加上機艙普遍設有廢能回收裝置，例如主機排氣渦輪機、廢氣鍋爐、淡水製造機等，使得推進引擎的熱效率可高達 50%。因而在 3 種運輸方式中，海運每公噸每公里所產生的碳排放量最低，是最

在各種運輸方式中，雖然船運的效率最高，但因為運貨量大，累積的汙染對海洋而言依舊相當可觀！

有效率的運輸方式！

國際海事組織 2009 年公布的溫室氣體研究報告就指出，2007 年整體海運及漁業所排放的 CO₂ 達 10.4 億公噸，僅占當年全球 CO₂ 排放總量的 3.3%，最大的排放比率來自發電、加熱取暖、公路工業運輸和製造業！根據報告的預測，隨著海運貿易的增長，如果不採取任何措施，船舶溫室氣體的排放量到了 2050 年會比 2007 年增加 1.5 到 2.5 倍之多！因此需要及早採取強制性的措施，來減少溫室氣體的排放，不要讓船舶對海洋環境的汙染惡化。



2007 年全球 CO₂ 排放的分布圖

台灣在世界海運中的地位

在世界地圖上，如果以面積而論，台灣只是個彈丸之地，可是在海運經營的規模上，卻是世界列名的！

以 2007 年為例，我國國人所控制的船隊有 574 艘，合計的載重噸位約 2,486 萬公噸，我國船東所擁有的本國籍和權宜船籍的船舶，排名是全世界第 11 名。其中在貨櫃運輸方面，我國的長榮海運、陽明海運、萬海航運等所擁有的運能規模分別是全球第 4、14 和 20 名，這 3 家公司的運能在 2007 年合計高達全球的 8.8%！

什麼是綠色航運

在各種運輸方式中，雖然船運的效率最高，但因為運貨量大，累積的汙染對海

洋而言依舊相當可觀！根據近年的統計，全球船舶每年消耗燃油已達 5 億公噸，每年釋放約 16 億公噸的二氧化碳和 3,000 萬公噸的二氧化硫（碳排放量比 2007 年又增加了約 6 億公噸），使得溫室效應加劇。再加上燃油價格逐年攀升，如何降低燃油消耗，減少溫室氣體的排放，以及減少船運所帶來的各項汙染以保護海洋環境，已成為國際航運的當務之急。

而綠色航運的定義是甚麼呢？沿用碳足跡的觀念，就是在船舶的生命周期內，從造船開始，包含船型、設備、系統的選擇和規畫就要考慮節能與環保設計。更重要的是一艘船的使用壽命長達二、三十年，因此在船舶的營運上，需要考慮綠色經營策略以節能減碳。這當中就包含了貨

如何降低燃油消耗，減少溫室氣體的排放，以及減少船運所帶來的各項汙染以保護海洋環境，已成為國際航運的當務之急。



圖片來源：種子發

物運輸的航線及裝卸貨規畫、航路的氣象修正等的規畫和安排，以管理的方式來實現船舶營運的綠化。

最後，即便是船舶報廢（拆船解體），也需要考慮低耗能的施作，零件、物料回收再利用，以及控管拆船所造成的汙染等。綜合言之，航運除了要考慮營運效率和經濟利益之外，航運的整體執行面應該要納入環保的考量，以減少航運對環境的衝擊，才可稱為綠色航運。

實現綠色航運

在實現綠色航運的各種措施上，約可歸納為3大類：技術面、營運面和市場機制。技術方面以各種可能的設計方式來降低船舶的能源消耗，減低船舶的汙染排放和溫室氣體排放。營運方面是透過各種營運管理的措施，來實現船舶營運節能、減碳與減排。至於市場機制，則以國際海運溫室

氣體減排措施為重點，包含碳稅的徵收以及碳排放交易機制的策略運用等，來誘導和約束船運執行節能減碳。

技術面的措施 在技術的層面上，降低船舶的能源消耗和減少汙染排放的方法，除了造新船時要考慮低阻力的船型設計、船舶輕量化設計、高效率的螺旋槳、裝設節能減排和廢熱回收裝置之外，國際上有多項船用綠能的先導型設計的實驗，正在以各種可能的方式讓航運朝向綠化邁進。

使用以液化天然氣為燃料的引擎 據引擎製造商報導，以液化天然氣為燃料的船用低速二行程引擎可使 SO_x 減量 100%；且由於燃燒性佳，也可完全避免黑碳粒的排放， NO_x 的排放則約可降低 85 ~ 90%， CO_2 排放降低達 20 ~ 25%！面對國際公約對溫室氣體排放的約束越來越嚴格，使用液化天然氣為燃料的引擎似乎提供了解決之道。

一艘船的生命周期長達 20 年以上，以營運管理來實現節能減排，長期所累積的效益相當可觀。

使用燃料電池做為船用發電機甚至主機的動力源 談到在海上的用途，燃料電池在潛艇上已經使用一段時間了。至於全世界第一艘燃料電池客船已經在 2010 年開始運行，船名叫做「零排放號」（Zemships，是 Zero emission ships 的簡稱）。這艘船以兩台 50 千瓦的燃料電池驅動電動機推進船舶航行，並提供船上的電力需求。這艘船可搭載 100 名乘客，目前正在德國漢堡附近 Alster 湖這種生態敏感區航行。

另外，歐盟由挪威和德國所支持的商船燃料電池先導型計畫，於 2009 年 12 月也在北海地區完成實船安裝與測試。實驗船稱為「維京仕女」（Viking Lady），總發電裝置容量是 320KW，使用以液態天然氣為燃料的高溫熔融碳酸鹽燃料電池（molten carbonate fuel cell, MCFC），藉以了解燃料電池實際安裝在船上的適用性和運轉效能。

燃料電池並不會構成海洋汙染，並且運轉安靜，只是目前可商品化的燃料電池的規模，離海運所需的大功率仍然有一段距離。目前科學家正在努力，希望在大功率的燃料電池研發上有所突破，以對船運的節能減碳有所貢獻。

使用天帆以節約主機的耗能 全球第一艘以巨型風箏（俗稱為天帆）拉動的貨輪「白鯨天帆號」（Beluga SkySails），於 2007 年 12 月 15 日在德國漢堡下水。這種高科技風帆可以使用風力輔助引擎運轉，減少 20 到 35% 的燃油消耗量。「天帆風力系統」是由漢堡的「天帆公司」花了 4 年

時間研發而成的，當時造價是 50 萬歐元。

這套系統利用電腦控制，讓巨型風箏可在 100 至 300 公尺之間升降，並可變換角度以捕捉最強勁的風力，拉動船身向前行進。這時的引擎只需以較低速運轉，因而可減少燃料消耗。據白鯨船運公司執行長的敘述，剛升起風帆時可節省約 20% 的燃料，隨著風帆面積從 160 平方公尺展開至 320 平方公尺，節能效果也隨之增加，甚至高達 35%。不過要提醒的是，若遭遇到逆風、暴風或船行速度超過 16 節時，天帆就無效了。

綠能設施的船舶應用 一些陸地上已經成熟的綠能科技也正考慮應用到船上，例如把船上的照明系統適當地替換為 LED 照明系統，船上開放空間裝設太陽能發電板，機艙泵送系統考慮採用變頻節能技術等，都可提升船舶環保節能的效果。

營運面的措施 新船建造完成後，船舶的性能已經大勢底定，再來就是靠船舶營運面的持續關注了。一艘船的生命周期長達 20 年以上，以營運管理來實現節能減排，長期所累積的效益相當可觀。在營運上有下列的措施可以用來實現船舶節能減排。

船舶減速 船舶是靠主機直接驅動螺旋槳推進的，理論上柴油主機的功率正比於航速的三次方，扭矩則正比於航速平方。如果航速減為一半，推進功率會降為全速的八分之一，扭矩則降為四分之一，耗油率隨扭矩減少而下降。因此降低航速



圖片來源：種子發

對節省燃油的效果特別顯著，但時間成本加倍。

只是降低航速會造成主機燃燒需要的空氣供應量不足，主機系統必須配套調整，包含排氣渦輪增壓機的減量運轉，而改用馬達驅動的輔助鼓風機。另外配合降速，對應的氣缸潤滑油也需適當地調降等。伴隨著主機的轉速下降，必須注意主機的氣缸燃燒狀況以及主機性能的表現，減速航行也需要注意引擎的 NO_x 排放是否符合環保規定！

主機減速可以有效地降低 CO_2 的排放，但相對地也延遲了到港的時間，船公司必須配合海況和氣象資料精算是否會延誤交貨。不過如果運用得宜，船舶可以有效地節約燃油，並減少船舶在港內的等待時間。

加強能源效率管理 監視船舶航行時消

耗燃油的主要設備的能源效率，包含推進主機、柴油發電機等。透過調整和維護保養，維持機艙設備運轉的性能和效率，減少耗油及廢氣排放。

適當的航路設計與規畫 運用船位監控和氣象導航服務技術，採最佳航路、經濟航速航行等方式減少耗油。

靠港使用岸電供應系統 對裝設有岸電供應系統的某些港口，停靠的船舶可選擇切換使用岸電，以提供靠港時所需的電力，而不必像以往必須啟用柴油發電機，形成對港口的空氣污染。目前，這種替換電力系統已經在美西港口裝設，對改善港口的空氣污染有所幫助。

拋光船體及推進器 隨著船舶航行，海生物會逐漸附著聚積在船體及推進器表面上，增加船舶航行時的阻力，因而需要定

期監控並施行船舶俾葉和船殼水下清潔磨光工程，降低航行阻力，減少航行的燃油消耗。

加強船員訓練 目前國內一些知名的航運公司對船舶節能減碳實施得相當認真，公司規劃經常性的教育訓練，加強教育宣導，讓所有船員確實明瞭船舶可能造成的污染及防制措施，並培養船員掌握機艙設備運轉效能的能力，才可以在平時注意船舶能源效率，有效地監督和管理船舶。

市場的機制 碳稅的徵收 國際海事組織在 2008 年海洋環境保護委員會的第 57 次會期中曾討論過，認為短期內最具可行性的減量對策，就是對個別航運業者的排放量課徵碳稅（又稱為溫室氣體排放費），而簡單的徵收方法可以用隨油徵收，但也有提議依海運燃油運送量，定時向船東或船舶營運者收取。收取的排放費回到海運業成立基金，專供研發溫室氣體減量技術或自其他產業購入碳排放權。

碳排放交易機制的策略運用 在設計上，首先需要訂定溫室氣體排放總量限制，然後分配船舶所有人（或經營者）的碳排放額度。減排成效較佳的船舶所有人可透過自身努力，把排放量控制在分配的額度之內，並可以把省下來的額度當成商品出售給額度不足的航運公司，如此以自由市場的機制來達成溫室氣體總量管制的目標。

無論是碳稅的徵收或是碳排放交易機制的訂定，目前仍然在討論階段，還有相當多的細節及制度的設計需要協商，恐怕

無法在短期內有明朗化的結果。

總而言之，面對國際航運的競爭，造船公司必須思考如何設計出高能源效率的船舶以維繫競爭力，避免訂單流失。船公司面臨各停靠港口的環保法規的日趨嚴格，經營成本勢必上升，提高運費又怕增加攬貨的困難，只有退而求其次地檢討經營面。航運公司必須在營運規劃上靈活地運用各種方式節能，以節省船舶的經營費用；且在船員訓練上，必須養成人員有效管理船舶能源效率的能力；並管制船舶污染，讓船舶能平安地出入各國港口，而不必擔心罰款或延遲開航。

船舶的節能環保必須靠多方面的努力，涓滴成河，不只是為了公司的競爭力，更是為了維護海洋環境盡一份企業責任。

黃道祥

台灣海洋大學輪機工程學系 /
海運暨管理學院—海運研究中心

國際海事組織小記

國際海事組織（International Maritime Organization, IMO）成立於 1959 年，是負責處理國際海運技術、專業問題的聯合國專門機構。其設立的宗旨在於促進各國間的航運技術合作、鼓勵各國促進海上航運的安全、提高船舶航行效率、在國際上採取統一的標準以防止及控制船舶對海洋的污染等，參與的國家有 169 個成員和 3 個聯繫會員。香港、澳門及法羅群島（Faroe islands）是該組織的聯繫成員。

IMO 創立時制定了 3 個階段性目標。首先，修訂海上人命安全公約（Safety Of Life At Sea, SOLAS）以防範意外事故，制定了 MARPOL 公約以處理船舶污染問題，並制定 STCW 公約以規範海事人員教育訓練的基本內容。繼而，依據海上事故發生的資訊，制定了遇險與安全通訊、搜索與救助、油污染防治等 3 個公約，並且在油污染事件方面建立賠償與責任制度。

簡言之，國際間有關海事安全、海洋污染防治、責任與補償、通信科技、人因工程、船員訓練與發證、海事保全、港口國管制、海洋生態保護等，都由 IMO 制定的公約所規範，並不斷地檢討與修正以維繫海洋運輸發展，並致力保護海洋環境與資源。



深度閱讀資料

楊正行（2010），航運業在全球氣候變遷下提升綠色競爭力之研究，中華技術，85，40-51。

林繼昌（2010），氣候變遷對IMO的挑戰，船舶與海運通訊，82，1-7。