

國內船舶海氣象報告能量之建置

錢 樺* 陳沛宏* 林演斌* 高家俊*

摘 要

世界氣象組織(World Meteorology Organization, WMO)自願觀測船舶計畫(Voluntary Observing Fleet Program, VOF)中,船舶發報的海氣象報告對海洋區域天氣預報與即時災害性天氣預警至為重要。為提昇國內船舶海氣象報告之頻率與可信度,提供正確可靠的量測數據,降低人為誤差,增進中央氣象局天氣數值預報之準確度,提供高品質、不中斷之海氣象船舶報告為建置作業化自動化船舶海氣象監測系統的至要關鍵,成功大學近海水文中心依照 WMO 規範,已成功建置自動化船舶海氣象觀測系統,目前架設在長榮海運立烈輪上,持續進行即時、自動、定時之海氣象觀測作業。

船舶海氣象觀測系統觀測風速、風向、氣溫、溼度及氣壓等因子,該觀測系統具備無人全自動定時觀測作業能力,並以無線方式自動將觀測資料傳輸至船橋,配合現有船舶無線收發報設備銜衛星發展長距離數據傳輸技術,即時、自動、定時回傳船舶海氣象報告至中央氣象局。本系統將針對自動化船舶海氣象觀測系統做一扼要介紹。

一、前 言

海氣象泛指發生於大氣與海洋邊界區域(Air-sea boundary zone)上的現象,大氣海洋邊界區域上至大氣邊界層(Atmospheric boundary layer)之頂端,下至海洋中的混合層(Oceanic mixed layer);在這一區域中,液態的海洋水體與氣態的大氣相互影響,進行動量、熱量及氣體交換,這些於海洋大氣交界面上進行的物理過程稱為大氣海洋交互作用。海洋覆蓋地球表面超過 70%的面積,透過大氣海洋交互作用影響全球氣候,掌握海氣象因子變化有助於對海洋環境及大氣的了解,增進天氣、波浪及海潮流預報之準確,使航行安全、海象災害預警減災直接受惠。

台灣為一海島國家,其天氣之變化不可避免地受到四週大氣海洋影響,若僅對於陸地上的海氣象變化特性進行觀測,難以提升天氣預報之準確性,必須要有更多的海上實測觀測數據,即時提供台灣海域海氣象預報作業的校驗之用。

獲得海洋環境資訊的方法可分為理論解析、數值模式推算及觀測三種。觀測為獲得海洋環境資訊最直接的方法,觀測結果可促成理論解析的進步。由於數值模式中的理論未盡周詳、起始與邊界條件不足以及計算誤差的累積,必須以現場的觀測數據

進行模式率定及校驗,海氣象觀測為發展預測模式及改進預報技術的基礎。另一方面,在預報技術改進上,尤其針對特定地點發布的區域性預報,該地長期的觀測資料所提供豐富的區域海氣象特性,更是預報員不可或缺的參考資料。

海氣象觀測可分為以衛星或飛機為載台的遙測技術與現場觀測(In-Situ Measurement),大部份的遙測回波訊號都需現場實測數據(Ground Truth Data)作為校正及率定之依據。綜合上述,在各種氣象衛星及資源衛星應用越來越普遍的趨勢下,現場觀測仍扮演十分重要以及絕對必要的角色。

海氣象現場觀測可以分為三種主要方式:錨繫式資料浮標(Moored Data Buoy)、漂流式資料浮標(Drifting Data Buoy)以及船舶觀測。錨繫式資料浮標是利用錨繫讓資料浮標侷限於一海域中,藉由其上酬載的自動觀測系統定時將海氣象因子傳輸回氣象中心。漂流式資料浮標則是應用資料浮標上的 GPS 系統及衛星傳輸隨著海流觀測沿途海氣象條件,由於不能預設觀測點,且回收困難,若作業化觀測則費用高昂。船舶觀測是在船舶上安裝海氣象觀測儀器,隨船觀測沿途海氣象因子。

海氣象觀測範圍涵蓋整個海洋,進行跨國際合作可使觀測密度增加,促進觀測資料交流使用,增進整體效益。現今全球最完整周詳的全球海洋資訊觀測系統,是依據世界氣象組織(World

* 成功大學近海水文中心

Meteorological Organization；WMO)與聯合國教科文組織下的國際海洋委員會(Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO；UNESCO)所組成之海洋與海洋氣象技術委員會(Joint WMO-IOC technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology；JCOMM)。其中，自願觀測艦隊計畫(Voluntary Observing Ships, VOS)為目前最成功的船舶觀測計畫，全世界有六千餘艘商船參與這個計畫，一年提供數百萬筆的觀測資料給世界各地的氣象單位作為氣象預報校驗的依據。由此可知，船舶發報的海氣象報告對海洋區域天氣預報與即時災害性天氣預警至為重要。

目前全世界大部分民間船舶上的海象資料觀測儀器多為指針式類比的儀器，利用針筆將觀測數據紀錄於滾筒紙或其他儀表上，由人為目測判讀紀錄於航行紀錄簿上(Log book)，如有需要則再編寫為氣象電碼，與船舶位置等資訊一同利用無線電發報傳真至海岸電台，海岸電台收到船舶電報後再將氣象資訊部份傳真至氣象中心。依據 WMO 規範，商船每日八次定時進行觀測作業，觀測作業將耗費大量人力。近年來船舶現代化及自動化的發展趨勢成熟，現代化大型自動化貨櫃輪僅配置十餘名船員，更難以有足夠的人力進行繁瑣的海上海氣象觀測及通報業務。為能提高觀測密度與準確度，在世界氣象組織以及聯合國教科文組織推動下，特殊洋面溫鹽度偵測船計畫(The Ship of Opportunity Programme, SOOP)已於 2003 年二月執行自動化即時傳輸之表面氣象、海水溫度、鹽度與流之觀測作業。

在國內的情況，中華民國氣象法第十條規定：「依船舶相關法律及法規命令規定裝置無線電設備之船舶，應依交通部規定裝置氣象儀器。前項船舶航行於我國專屬經濟海域時，須將氣象觀測資料及時提供中央氣象局」，第十四條規定：「裝置無線電設備之船舶，應依交通部規定裝置氣象儀器，並於航行於我國經濟海域時，將氣象觀測資料即時提供中央氣象局」。

根據基隆海岸通信中心統計，以台灣為基地，航行於我國經濟海域時定時向基隆海岸通信中心發報的觀測船隻非常有限。每一年中所接獲含有氣象觀測資訊的船舶電報數目，皆在十則以下，相對於鄰近香港及日本每年均收集數萬份的船舶氣象觀測報告，現階段我國船舶海氣象報告能量可謂十分

匱乏。目前航行於國內商港與世界各海港的國輪約有三百多艘，能遵照氣象法辦理者太少，其主要原因為氣象法之規定並無所伴隨之罰責而不具強迫的效力，航商考慮運輸成本因素，國輪上並無專責編制人力進行海氣象觀測。

另一方面，中央氣象局進行氣象預報所需的船舶氣象報告全部由國外氣象中心轉送，然而由於我國並非 WMO 會員國，取得海氣象船舶報告十分不易，目前僅能自國際氣象組織於東京所設置的氣象中心獲得。

由上述討論可知，為爭取航商的支持，落實國內商船參與海氣象觀測資料蒐集政策、氣象法規及國際氣象組織自願觀測艦隊的精神，提供大量且詳實的海氣象資料，建立國內船舶海氣象報告能量實為刻不容緩的工作。

目前世界上商品化的船舶用自動海氣象觀測儀器逐漸開始出現在國際市場上，主要由法國及加拿大等歐美國家製造，然而是否可藉由單純的儀器採購建立國內船舶海氣象報告能量，則有待商榷。就台灣地區的技術及海洋儀器市場規模而言，以往觀測儀器大多是自國外進口，這樣的作法導致國內缺乏儀器檢校維修技術，儀器須送回國外作檢校修護，費時太長且手續繁瑣。另一方面，儀器採購制度僅著眼於產品採購時之價格，少有顧及因缺乏儀器技術造成觀測作業中斷、數據品質不齊等所導致的風險及內在成本等問題。

成功大學近海水文中心根據多年協助政府單位建置、操作與維護作業化海氣象監測作業經驗，研發本土化儀器，確實掌握儀器技術細節，成功建置適用於台灣海域環境特性之本土化、自動化船舶海氣象觀測系統。目前架設在長榮海運立烈輪上，從建置至今持續進行即時、自動、定時之海氣象觀測作業。

提供高品質、不中斷之海氣象船舶報告為建置作業化自動化船舶海氣象觀測系統的至要關鍵，據此，一套作業化系統必須具備(1)自動化、高精度之觀測子系統、(2)不中斷之傳輸技術、(3)高整合性之資訊管理與展示系統以及(4)後勤支援系統。本系統依據上述四部份對作業化之自動船舶海氣象觀測系統做一扼要說明。

二、船舶海氣象觀測系統

(一) 設計原則

為提昇國內船舶海氣象報告之頻率與可信度，提供正確可靠的量測數據，降低人為誤差，增進中央氣象局天氣數值預報之準確度，設計船舶海氣象觀測系統之原則包括(1)無人全自動觀測、(2)即時資料傳輸、(3)提供操船的資訊服務、(4)資料正確性的確保。

欲達到持續、可靠及高品質的觀測結果，相對於陸上的氣象觀測儀器，船舶海氣象觀測系統研製必需考慮更多外在的因素包括：船隻甲板上部結構的複雜氣流、船體運動上下與左右搖晃影響、船位置的不斷改變對於觀測所造成之誤差、海上長距離無線電通訊以及海上高度鹽分、溼度及浪花飛濺的影響。

針對上述第一項影響因素，為使其對於風速風向觀測的影響能夠盡可能避免或減低到最低程度，必須把儀器盡量架設到船的前端或是頂端，並且架設於桅桿高處，以減小受船的甲板上部的艙體結構、天線和桅桿對風特性產生的局部影響。在良好安裝位置的前提下，系統本身重量及體積必須精巧，並避免因利用船上電源而須改變船身結構；為簡化安裝及維修程序以利在船舶停靠的短暫時間迅速進行系統安裝或更換，該全自動監測系統應具有自給自足獨立的電力供應與無線的數據傳輸能力將觀測資料傳送至船橋。

據此，研發之船舶海氣象觀測系統具有下列特性：全自動海氣象監測功能、具即時將數據回傳至船橋與岸上的無線通訊能力、體積小、能源自給自足、考慮船舶動態進行觀測數據修正、高度的耐海性以及艦橋的資料展示能力。系統原型如圖一所示。

(二) 系統架構

因應我國船舶海氣象報告能量之推廣，作業化觀測必須具備高品質觀測能力、傳輸能力、資料處理、分析與展示能力。據此，近海水文中心研發之船舶海氣象觀測系統架構如圖二所示，此套系統包含船舶與岸上部份，船舶部分設置甲板端船用觀測站與船橋端資訊展示系統；岸上部份設置衛星傳輸基地台、資料監控品管中心與資訊展示系統。

船舶部分的甲板端船用觀測站於海洋現場進行觀測，同時與船橋端資訊展示系統以無線電進行數據通訊，使得觀測資料能於船橋端進行即時展示；另

一方面，甲板端船用觀測站透過鈦衛星即時傳輸至岸上部分的資料監控品管中心。觀測資料經監控品管中心進行資料品質管理後，匯入資料庫，並以網頁形式進行展示與通報服務。

甲板端船用觀測站的感測器端主要包含四個部分：船舶動態感測器、海氣象儀器與資料擷取分析系統與通訊傳輸設備。此系統的觀測因子有：

1. 風速及風向
2. 大氣壓力
3. 氣溫
4. 溼度
5. 船舶的航向、航速及船首方位
6. 船舶所在經緯度
7. 系統電壓及相關感測器生命狀態指標

船舶海氣象觀測系統之量測儀器與規格如表一所，風、溫溼度的觀測在基本天氣觀測的標準觀測時間(00,03,06,09,12,15,18,21GMT)前 10 分鐘內進行，而大氣壓觀測值及船舶動態位置等資訊則應恰好在標準觀測時間讀取。

資料擷取控制分析系統為整體觀測作業的核心，該子系統必需能夠穩定進行感測器資料的擷取與分析運算。另外在能源自給自足的前提下，系統省電考慮非常重要。本系統採用嵌入式控制運算系統，具有高度的擴充性。

在上述的觀測項目中，風速風向之觀測受到船體運動影響，必須與船速及船向數據進行換算，本系統設依據 GPS 訊號得到船速及船向，另以電羅經校正準確的船向，以確保風向觀測值得以正確修正。

電力供應系統方面，甲板端船用觀測站採用太陽能板支應系統耗電，在完全不充電的情況下，可以連續運轉三週。船橋端資訊展示系統之電力需求則由船舶提供。

為了確保資料完整性，此系統設計具有資料現場儲存功能，將資料儲存在記憶卡上，當記憶卡取回後，可以在下載得到完整的氣象資料。為降低資料量、減少傳輸費用，所有的觀測資料皆經編碼儲存，引用資料量最小化之編碼技術，每次觀測的海氣象資料量可以縮減為 28Bytes。

在通訊方面，依據經營集團的穩定性、系統通訊含蓋範圍、通訊費用、耗電量、與其他子系統(如

「資料收取、控制、分析」、「電力」等系統)之相容性等各項因素進行衛星通訊系統之選擇評估,採用 Iridium 系統作為長距離無線傳輸工具。

在資料儲存與展示方面,本系統以 Access Database 作為資料管理系統,將所接收即時海氣象觀測資料,進行歸類、格式化與標準化管理作業,確保資料儲存、資訊展示與資訊展示時之效能與穩定性另一方面,開法以網頁為基底之資訊展示系統,透過網際網路技術提供不同使用者的需求。

三、風觀測

在上述觀測因子中,氣壓、氣溫與溼度這些觀測係由感測計讀值直接紀錄,其資料計算與轉換分析並不複雜;觀測項目中,風之觀測受船舶的側傾搖擺、船速、船向與結構物體之影響,如何從海上風觀測資料值求得其實際對地風速風向為本系統關鍵之一。另一方面,風資料是天氣數值模式計算之最基本初始場之輸入值,風資料的準確性為氣象預報作業之至要條件。

1. 對地風速風向推算過程

推算對地真實風速風向需要的完整資料包括船舶對地航向(Course over the ground, COG)、船舶對地航速(Speed over the ground, SOG)、船艏方位(Bow Heading to the true north)、Zero reference angle、相對船之風速及風向。本系統中 COG 及 SOG 由 GPS 儀輸出, Bow Heading 由電羅經輸出, Zero reference angle 為風速計方位零點與電羅經 0 度之差值,由於電羅經 0 度與船首方位一致, Zero reference angle 已可表達為船首方位與風速計 0 度之 offset。相對船的風速風向值由系統中聲波風速計量測得。若有吃水深度等 metadata 資料,則風速計高度確定,對於風速值之提供更為完整。

由於現有商船巡航速度大多為 16~18 節,剛好與海上的平均風速範圍相當,因此對地風速風向的向量計算中,準確的航向及風向觀測便非常重要。方向的觀測中由於海流、風對船身的拖曳力以及各種操舵因素,COG 與船首方位不一定一致;一般定義方位皆以地理北極(True north)為基準,然而 Bow Heading 卻是量得以磁北(Magnetic north)為基準的方位。以上都是方位觀測中容易忽略產生誤差之原因。上述六項物理量觀測出來後,以向量分析計算得對地絕對風速風向,計算方法如圖八、圖九所示。

其中的相對船風速風向,需先將座標轉換至對地座標,再與船速航向進行向量分析,以獲得真實的對地風速風向。圖十為分析資料之一例,所分析的真實資料中出現不正確的 Spike 雜訊,此乃肇因於 GPS 誤差以及船隻本身運動之加速度的影響。

2. 船舶結構物對風場的影響

為提升船舶觀測風的正確性,自 1992 年開始國際上陸續有一些合作計畫探討並改進船舶觀測風速風向之品質,包括了 SOFIA/ASTEX (1992)、SEMAPHORE (1993)、CATCH (1997)、VSOP-NA 以及 FETCH/POMME (1998~2001)。英國推動之 VSOP-NA (VOS Special Observing Programme - North Atlantic)與法國推動之 FETCH (Flux, Etat de la mer et Télédétection en Condition de fetch variable)計畫,對於船舶觀測風速之正確性做了許多探討。

國外海洋調查船常將風速計架設於船首以避免船體對於流場之影響,然而此舉易使系統被船首破浪時所濺起之浪所破壞。依據 Moat (2003)風洞實驗結果,如圖四所示船橋上甲板受到船體結構之故會發生偏向甚至逆向或減弱之風速之影響。根據 Moat (2003)以計算流體力學模擬空氣流經典型貨櫃輪之研究也有相同結果,數值模擬結果如圖五、圖六所示。甲板上方有一"Line of Equality"界線,此處所量的風速風向接近不受船體影響之風速風向,依據無因次分析結果可得一般典型貨櫃輪的 Line of Equality 曲線方程式:

$$\frac{z}{H} = 0.45 \left(\frac{x}{H} \right)^{0.55} \quad (12)$$

不同形式商船其 Line of Equality 曲線亦不同如涂七所示,長榮立烈輪為 C 型貨櫃輪,因此風速計位於甲板前緣 2.5 公尺處,高度高出甲板頂端欄杆 1.4 公尺。

3. 船舶側傾搖擺對風觀測之影響

一般船舶觀測風的誤差來自於船舶側傾晃動之影響(Errors due to ship roll and pitch),P.K.Taylor (1996)指出因為側傾晃動造成風速觀測誤差百分比為 (anemometer height above roll axis)×(roll angle)/(roll period),在一般風速計儀器架設高度及船舶搖晃的振幅與週期條件已知(如表二中各參數值),利用此函數式可得到不同觀測風速下之誤差百分比,Taylor 將模擬結果繪製於圖三。由此可知,

為考量降低整體觀測誤差，必須慎選裝置船舶海氣象觀測之船隻，以噸數高抗波能力強的船型為較佳選擇。至於噸數多少為其門檻，實則必須依據船舶設計考慮船舶之隨波性方能決定之。

4. 風摩擦速度之分析

在大氣與海洋邊界區域中，紊流風場作用在海面上的風應力(Wind Stress)影響海洋水體與大氣間的動量交換，進而促使大氣海洋交互作用。由於，風速強弱及方向隨觀測點海平面高度不同而異，一般所提供的風資訊僅代表某一高度的特性；一般作業化觀測之平均風速與平均風向無法代表大氣邊界層之風速剖面特性。

為提供預報作業校驗時所需之高品質的實測數據，在觀測過程之正確性必須加以確認，資料之精度更需加以提升；使用聲學風速計(Sonic anemometer)，可量測大氣紊流中的高頻擾動，經由分析可獲得風磨擦速度，瞭解整個大氣邊界層中的風速剖面特性。

推算風應力(海氣動量通量)的方法主要可分成四種：(1)渦流相關法(Eddy Correlation)、(2)慣性消散法(Inertial Dissipation or Direct Dissipation Method)、(3)速度剖面法(Profile Method)、(4)Bulk Aerodynamic 方法；其中，渦流相關法是從同時量測的垂直與水平風速變動量，直接推算風應力與熱通量；為確保垂直風速的量測準確度，風速風向計必須安置在一固定的平台上。慣性消散法是利用水平風速與溫度的變動量，經由頻譜分析後，推算擾動通量，此方法避開了量測垂直風速可能的儀器誤差，風速風向計可擺置在一非固定的平台。由於本系統係放置在航行的船舶上進行海氣象因子的觀測，本系統是以慣性消散法來推算動量與熱通量。

慣性消散法是基於每單位質量亂流動能 $e = (u^2 + v^2 + w^2)/2$ 守恒所發展出來的理論，若流場滿足水平均勻分佈且處於恆定狀態，依據前人研究得知擴散和壓力的組合項遠比速度垂直梯度項要小很多，將之忽略是一個合理的假設(Large and Pond, 1981)，則其亂流動能平衡方程式可寫為

$$0 = -uw \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{g}{T_v} \overline{wt_v} - \varepsilon \quad (1)$$

據此，位溫變動平衡方程式(Large and Pond, 1982)

$$0 = -w \frac{\partial \theta}{\partial z} - N_t \quad (2)$$

θ 為空氣位溫(Potential temperature)，等號右邊第一項為產生項，第二項 N_t 為溫度變化消散率。由於量測 ε 及 N_t (direct dissipation method) 是困難的，故可由水平順流風速能譜 $\Phi_u(f)$ 及空氣溫度頻譜 $\Phi_t(f)$ 中分別估算出來；在等向性(isotropy)的條件成立，慣性領域中的水平順流能譜與溫度頻譜如(3)、(4)所示

$$\Phi_u(f) = 3/4 \Phi_v(f) = 3/4 \Phi_w(f) \quad (3)$$

$$\Phi_t(f) = \beta_t \varepsilon^{-1/3} N_t (2\pi/U)^{-2/3} f^{-5/3} \quad (4)$$

其中 α 及 β_t 分別為 Kolmogorov 常數及 Kolmogorov 溫度常數， $\alpha = 0.55$ ， $\beta_t = 0.8$ 。依據 Monin-Obukhov 近似理論得知風速及溫度的垂直梯度只和大氣穩定度參數 Z/L 有關(Nieuwstadt & Dop, 1981)，其中 Z 為離水面高度， L 為 Monin-Obukhov 穩定度長度，本系統採用 Large and Pond(1982)之建議，則 Z/L 值如(5)所示

$$Z/L = \frac{-B}{p_0} = \frac{-g \kappa Z \overline{t_v w}}{u_*^2 T_v} \quad (5)$$

動量通量與熱通量可分別寫為

$$u_*^2 = (\kappa Z \varepsilon)^{2/3} [\phi_m(Z/L) - Z/L]^{-2/3} \quad (6)$$

$$\overline{t_v w} = [Z \kappa u_* N_t / \phi(Z/L)]^{1/2} \quad (7)$$

溫度差在垂直方向的變化亦可表示為下列方程式

$$\theta_z - T_s = (t_v / \kappa) [\ln(Z/z_{0t}) - \psi_t(Z/L)] \quad (8)$$

θ_z 為高度 Z 公尺的空氣位溫， T_s 為海表面溫度， z_{0t} 為熱粗糙長度(thermal roughness length)， ψ_t 是溫度垂直梯度函數的積分式。

四、船舶海氣象報告之通報機制

高效率的通報機制必須仰賴暢通的傳輸通路與強大的資料庫管理系統。資料格式、傳輸設備與傳輸流程是傳輸管道的關鍵，另一方面，一套完善的資料庫管理系統在大量處理資料時，應仍可確保資料的完整性與一致性，並可提供各種前端加值服務。因應中央氣象局預報作業需求，將於下說明此套作業化自動船舶海氣象觀測系統之通報機制。

(一) 傳輸流程

自動化船舶海氣象觀測系統傳輸流程包括兩個部份：(1)透過短距無線傳輸至船橋端資訊展示系統，提供船長航線上的海氣象資訊，以作為航線判斷選擇的參考；(2)透過衛星數據傳輸方式，將觀測資料傳輸至中央氣象局作為氣象預報作業校驗之參考。其流程圖如圖十一、圖十二所示。

依據 WMO 之規範，此套系統於標準時間(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21GMT)執行觀測作業，觀測頻率每三小時一次，作業資料流程簡述如下：

1. 船用觀測站在標準觀測時間之前10分至整點進行風速風向、氣溫及溼度之觀測；在標準觀測時間整點，進行氣壓及船舶動態觀測值讀取。
2. 在觀測完成後第0至7分鐘間，在感測器端先進行數據統計分析，隨後經由無線電將統計值傳輸至船橋端資訊展示系統，進行資料儲存、展示，並將數據編碼，利用欽衛星傳輸將編碼資料傳遞至岸上資料監控品管中心。
3. 在第7至23分鐘間，岸上資料監控品管中心接收衛星傳回編碼資料，先進行解碼，再進行資料品管，隨後將資料匯入資料庫。最後該筆觀測資料將與其他船舶於同時間的觀測值彙整、編碼，連同中央氣象局提供之天氣預報圖與波浪預報圖，透過衛星資料傳輸，傳回至各觀測船舶之船橋端資料處理展示系統，以圖形方式展示於屏幕上，供操船參考。
4. 在第23至30分鐘間，岸上監控品管中心將資料庫內經品管過的數據，轉換為國際編碼格式，以網際網路傳送至中央氣象局或世界氣象組織區域氣象中心，供氣象預報作業之用。

(二) 資料庫管理系統

一套完善的資料庫管理系統為整合船舶海氣報告與預報資訊之核心，並可出份利用網際網路技術，將資料予以紀錄，以供前端資訊展示之用，為因應觀測數據的大幅增加，以 Access Database 作為資料管理系統，將所接收即時海氣象觀測資料，進行歸類、格式化與標準化管理作業，此資料管理系統可確保資料儲存、資訊展示與資訊展示時之效能與穩定性，透過網際網路系統提供不同使用者的需求。

(三) 資訊展示系統

本資訊展示系統是以網頁為基底開發此展示介

面，僅需一台主機安裝此一介面，其他使用者即可透過網際網路與權限的管理使用此套系統，以節省系統維護的經費與管理。其背後以 Access Database 39作為資料管理系統，進行大量資料接收、儲存與展示之管理工具。展示介面在資料查詢方面可為船舶海氣象報告及天氣、波浪預報圖查詢展示兩部分；另外搭配相關輔助功能提供資料展示之效能。

五、後勤支援系統

為提高國內船舶海氣象報告能量，使得自願觀測船隊計畫得以推展，並開始作業化地執行，則類似系統將大規模地架設於多艘船舶上。因應多套儀器同時順利且正確地運轉，相對應的後勤支援系統成為不可或缺的一環。

1. 資料品管作業

在觀測過程中，由於感測器雜訊、傳輸過程資料編碼與解碼及其他不確定因素，資料監控站所接收的資料中不可避免地存在著不正確的數據。為維持資料的高品質與正確性有兩個策略：積極地，必需自日常觀測作業經驗中發掘問題，持續進行儀器及資料分析演算法的研發，改進系統精度及穩定性；消極地，建立資料品管理論與方法，訂定品管規範，確保資料之正確性。資料品管理論架構為數據的合理性、連續性與關聯性。本系統採用統計理論建立此三個原則來作為品管系統的品管標準。品管作業順序：(1) GPS 與電羅經、(2)風速風向、(3)其他觀測項目，其作業流程如圖十三所示。

合理性品管是最基本的資料品質檢驗，合理性的檢驗分為兩類，一是「儀器限制」，指觀測數據不應超過量測儀器的測量範圍；另一是「物理限制」，指觀測量不應超過量測地點的海氣象臨界條件。所有的合理性品管均先施用在原始時序列數據(Raw data)中，再應用於統計值時序列中(Processed data)。若原始觀測數據中有資料點超過合理性品管之上、下限而未通過合理性檢驗去除之，僅將其他未標記的資料點納入統計分析之中。若標記資料大於所有資料點數的 5%，表示感測器受雜訊影響過大，則整筆資料不予進行統計分析，並以「-9」標記統計值。參考儀器規格書量測範圍訂定「儀器限制」標準，有關儀器限制與物理限制的合理性品管標準修訂結果列於表三。

連續性品管為由於自然現象的變化大都是漸進

且連續的，各種觀測物理量在時間上及空間上都必須存在連續的變化，也就是說其時空的變化量應落在合理的範圍內，如果在時間上的改變量超過某一定度，或是在空間上相鄰測點的資料無法以物理觀點解釋，都可視為可疑資料。各氣象資料在不同信賴區間(90%、95%、99%)下稽延 2 至 12 小時連續性品管，稽延時間愈長，容許之變動範圍愈大。在信賴區間為 90%時，容許變動範圍較小，表示以此標準訂定品管規範較嚴格；而在信賴區間為 99%時，容許變動範圍較大，表示標準較寬鬆；本品管標準採用較適中之 95%信賴區間作為連續性品管標準列於表四。

關聯性檢驗是檢驗所量測資料與其他相關物理量之關係是否有異常現象，海氣象特性往往受到外在環境的影響而改變，利用不同物理量間之關連性，可互相檢驗資料的品質。此外，同一物理量使用不同量測儀器或是相同儀器同時量測，除了可明顯的比較資料正確性，對於儀器老化或毀損，更可顯示出其偏差量。關聯性品管步驟為(1)電羅經與 GPS 中航向讀值比對、(2) GPS 航速讀值與風速計垂直軸速度分量比對及(3)統計之對地平均風速與對地三秒陣風比值比對。由上述三項比對可以先確認電羅經及 GPS 機的正常運作，確認航速及航向正確性，進一步再引申確認音波風速計之正確性如表五所示。

在實務上，資料品管分為兩個程序，一種為自動品管(Automatic data quality checks)、接下來是人工品管(Manual/Scientific data quality checks)。自動品管是利用電腦進行大量且快速的資料篩選(Data filtering)，找出現象突出、較不符合常理、可能是有問題的資料，對這些資料進行標記(Flag)；進一步依據專家對於觀測系統、資料分析方法之瞭解、氣象分析之經驗與藉助蒐集來的其他氣象資料為佐證，對這些標記資料進行判斷。

2. 檢校作業

觀測儀器的精確與否，關係到數據品質的良窳，為確保可靠、高品質的觀測資料，使用的船載海氣象觀測儀器必須通過嚴格的檢校過程，系統組裝時亦須反覆測試無誤後，始能執行觀測任務。

觀測儀器在出廠時均附有率定公式，但仍有賴儀器檢校與率定程序，以維持觀測作業之正確性。

另一方面觀測儀器長期在現場環境作業，可能因老化或環境因素影響而發生損壞或觀測值偏移的情形，導致影響觀測資料準確性。因此觀測儀器作業一段時間後，亦必須定期進行儀器檢校，重新建立率定公式，以消除儀器誤差。

儀器檢校作業中最重要的原則是檢校單位必須經過認證使得檢校的結果可以追溯。其中檢校單位應經過 CNLA 中華民國實驗室認證體系認證。目前中央氣象局儀器檢驗中心為國內專責檢校氣象儀器的主要單位，該檢校中心提供相關的氣象儀器檢校項目，依據校正技術規範，嚴格檢驗送檢儀器，並檢附檢校報告書以茲證明，做為日後分析、使用與改良的依據。中央氣象儀器檢校中心位於台北縣新店市莒光路 29 號，檢校項目包括氣壓、溫度、溼度、電量、降水、日照日射等，於八十九年完成風洞實驗，使各種風向風速儀得以作定期校正。

其中工研院量測中心及中央氣象局檢校中心有溫溼度、氣壓檢校設備經過 CNLA 認證。本儀器設備檢驗概可區分三大類，(1)直接送交中央氣象局檢校中心檢驗之氣象儀器，如風速風向計、氣溫計、氣壓計，(2)羅盤、資料收錄器等中央氣象局未提供檢校之項目，則採行已建立的檢校流程，進行率定與反覆測試來確認儀器準確度，(3)無須經過檢校，但須經設定或測試其是否可正常運作，如太陽能板、無線電與天線等。

六、建置成果

系統架設於航行中之商船上，相較於其他海面上的測站，船上觀測系統面臨船舶振動、航速造成的相對高風速及海水飛濺等更為嚴峻的環境。為將高品質的船舶海氣象報告提供中央氣象局預報作業，選擇最具效益的測試時間與航次，擇定航線的考量原則為(1)滿足氣象預報校驗之需求、(2)滿足兩岸航行安全之需求以及(3)航線重航性高(短期航線)。依據此三個原則擇定立烈輪(UNIT-ARDENT) NSA 航線，於 93 年 10 月 24 日將系統安裝在立烈輪上，其航線圖如圖十五所示，安裝至今系統仍維持正常運作，觀測成功率達 98%，證明此系統可長期執行於作業化海上觀測任務。

七、未來觀測船隊推動建議

觀測船隊建置應考慮之原則為(1)船隊大小滿足中央氣象局進行天氣預報所需觀測密度，(2)船隻航

線以航行東北亞與東南亞航線之國內航商所屬國籍及外籍船舶為主，(3)分階段從無到有、從小到大，逐年編列經費建置。建置觀測船隊之經費考慮除了觀測系統的購置之外，尚包括系統之備品購置、系統操作維護、儀器檢校、折舊、通訊及資料品管之人事費用等。

維持多套儀器同時正確地運轉為第一優先必須考慮之重點；因此，故障儀器必須能夠即時進行維護或更換，這些皆有賴系統化的倉儲及備品管理，包括安全庫存量制度、進料檢驗制度等的建立。完善的倉儲及備品管理作業必須充分滿足供應需求上的變異，迅速排除儀器之故障狀況，使得海氣象資料的收集不致因系統故障而中斷。在進行作業化觀測作業，當發生故障待修或需進場維修時，必須使觀測作業於最短時間內恢復運作，保持觀測連續性，此有賴於建立完整的設備庫存。建立備份設備的目標有二：(1)能立即取得維修作業系統需求的設備，不因待料影響維修時程、(2)有充分備品觀測系統，以進行立即替換。

依據中央氣象局作業化海氣象觀測作業多年經驗，各項儀器在進行定期檢校與維護保養作業後其使用之平均壽命約為 5 年，此為折舊計算之基礎。在備品數量計算上，必須考慮三項因素：分別是系統進行年度校驗的替換、故障品的替換以及調度之靈活性。雖本船舶觀測系統一年多來在長榮海運公司立冠輪與立烈輪的海上測試顯示系統運作狀況良好，未曾發生故障，仍假設系統一年故障 0.3 次；在系統檢校方面，系統上各項感測計分解後送國家實驗室檢校、檢校作業時間及系統重新組裝出廠測試時間約為 1 個月，備品數量應能於年度檢校作業中有足夠數量進行替換，最後且考慮調度之靈活性，備品之數量應至少為實際安裝數量之 18%。易言之，以安裝 40 套船舶觀測系統而言，則倉儲備品數量為 7.5 套。為使國內船舶艦隊計畫可長可久，本系統建議依據此原則建立船舶海氣象觀測能量，提供台灣四週海域更為充足船舶報告做氣象預報之校驗。

八、參考文獻

1. Dexter, Peter, 2003, "An Historical Perspective of Operational Marine Meteorology and Oceanography", Foreword of the celebration of the Brussels Maritime Conference of 1853
2. Kao, C.C., Laurence Z.H. Chuang and B.C. Lee, 1999, "The Logistic Requirement for Wave Field Measurement", The Second Workshop on Ocean Models for the APEC Region, Beijing, China, pp.4A-1~4A-8.
3. Kao, C.C., Laurence Z.H. Chuang, Y.P. Lin and B.C. Lee, 1999, "An Introduction to the Operational Data Buoy System in Taiwan", International MEDCOAST Conference on Wind and Wave Climate of the Mediterranean & the Black Sea, ISBN: 979-429-140-3, pp.33-39.
4. Jessup, A. T., R. A. Fogelgerg and P. J. Minnett, 2002, "Autonomous Shipboard Infrared Radiometer System for in situ Validation of Satellite SST", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology
5. Moat, Benjamin I., 2003, "Quantifying the Effects of Airflow Distortion on Anemometer Wind Speed Measurements from Merchant Ships", Doctoral Thesis of School of Engineering Sciences, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Southampton, UK
6. JCOMM Technical Report No. 19, 2003, "Automated Shipboard Aerological Program (ASAP) Annual Report for 2002"
7. JCOMM Technical Report No. 20, 2003, "JCOMM Ship Observations Team, Second Session"
8. Radok, Uwe and E. J. Steiner, 1984, "Wind Estimation from a Moving Ship", Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter, Vol. 23, pp. 17-18
9. Radok, Uwe, S. J. Lubker & T. J. Brown, 1996, "An Analysis of Differences between Ships and Buoy Observations", unpublished documents of CIRES, University of Colorado,
10. Sheasby, Thomas, I. Parkes and D. Llewellyn-Jones, T. Nightingale, R. Yokoyama and S. Tanba, 1999, "Sea Surface Temperature Validation Results from the MUBEX'97 Experiment", Remote Sensing Environ. Vol. 56, pp. 97-103
11. Wilkerson, J. C. and M. D. Earle, 1990, "A Study of Differences between Environmental Reports by Ships in Voluntary Observing Program and Measurements from NOAA Buoys", Journal of Geophysical Research, Vol. 95, No. C3, pp. 3373-3385

12. 黃明志、高家俊，1991，“海象監測自動化技術可行性及系統發展規劃”，成大造船系、水研所，台南
13. 李文鴻，1995，利用慣性消散法估算海面風應力及熱通量之研究，碩士論文
14. 高家俊、莊士賢、蔡嘉蓉，1999，“海象資料庫之現況與問題”，創造台灣海岸新環境—永續海岸的呼喚研討會，pp.2-1~2-8
15. 高家俊、莊士賢等，1999，海象資料浮標即時測報系統運用於南沙海域之評估第二年度報告，交通部科技顧問室報告 009013880395
16. 金紹興、高家俊、莊士賢，2001，“近海水文觀測及預警”，中國土木水利工程學會學術研討會專題演講

表一 船舶海氣象觀測系統之量測項目與規格

項目	量測範圍	解析度
風速	0~50m/s	0.1m/s
風向	Azimuth:0~360deg Elevation: -60~60deg	1deg 0.1deg
氣壓	800~1,100hPa	0.1hPa
溼度	0~100%	1.0%
氣溫	-40~+60°C	0.1°C
電羅經	0~360deg	±1.5deg

表二 各種常見船舶側傾搖擺參數

Anemometer Ht	Case (a)		Case (b)		Case (c)	
(m)	Roll (°)	Period (sec)	Roll (°)	Period (sec)	Roll (°)	Period (sec)
10	5	5	10	5	16	4
20	5	10	10	10	10	4
30	5	20	10	20	10	10

表三 合理性品管標準

	儀器範圍限制	物理上的限制	
氣象資料	風速	0~60 (m/sec)	-
	風向	0~360 (度)	-
	濕度	0~100 (%)	-
	氣溫	-20~70 (°C)	-
	氣壓	800~1100 (hPa)	依據歷史紀錄訂定合理範圍 900~1100(hPa)
船舶動態資料	航速	-	依據船型之最高航速決定<30 kts
	航向	0~360(度)	-
	位置經緯度	-	依據船航線規劃 E100~140 度、 N5~45 度
	船首方位	0~360(度)	-

表四 連續性品管標準

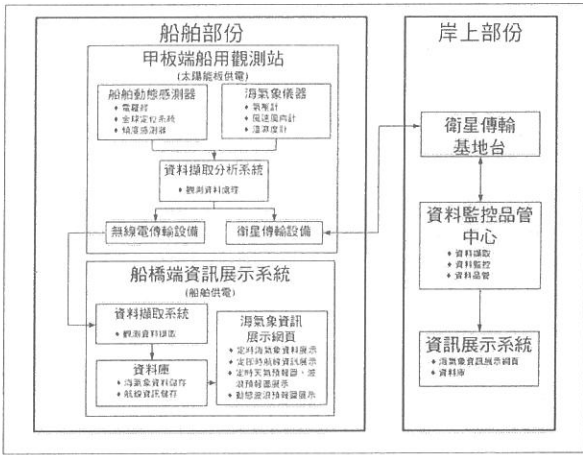
	lag time	氣壓	風速	氣溫	濕度
95% 信賴 區間	2	3.0	3.4	2.1	10
	4	4.1	4.5	3.4	14
	6	5.2	5.3	4.5	18
	8	5.3	5.8	5.4	20
	10	5.2	6.2	6.0	22
	12	5.3	6.5	6.3	24

表五 平均風速與三秒風速關聯性品管標準

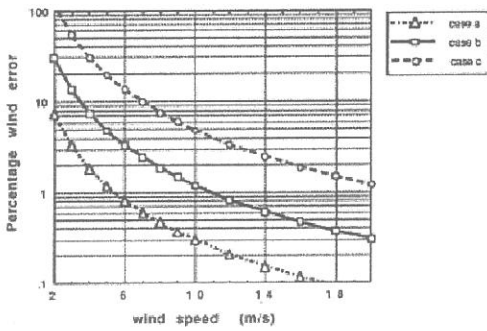
	下 限	上 限
90% 預測區間	$\hat{U}_1 - 0.025 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 + 0.025 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$
95% 預測區間	$\hat{U}_1 - 0.032 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 + 0.032 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$
99% 預測區間	$\hat{U}_1 - 0.045 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 + 0.045 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$



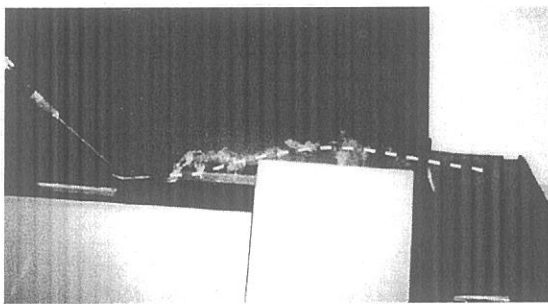
圖一 系統原型



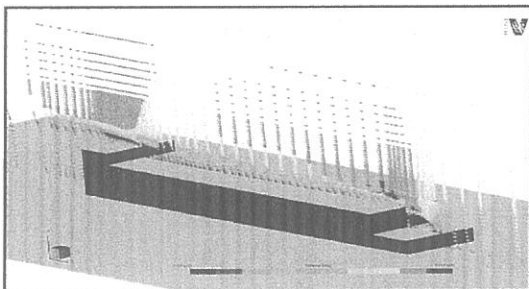
圖二 船舶海氣象觀測系統架構



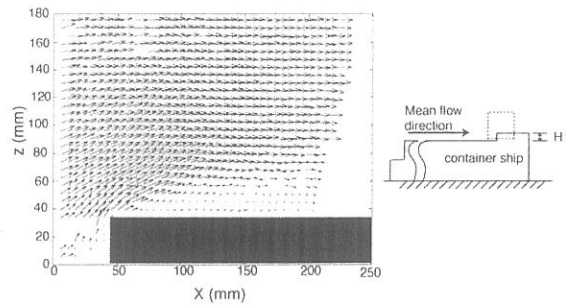
圖三 不同船舶側傾運動參數下，風速與其觀測誤差百分比之比較



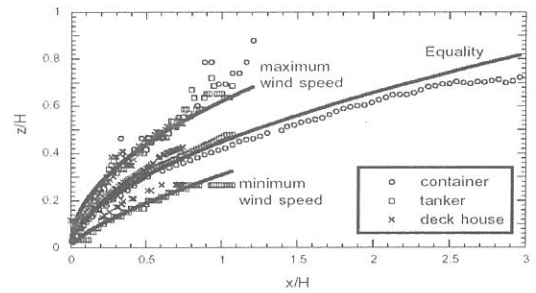
圖四 白色虛線表流場受船橋影響後的煙線



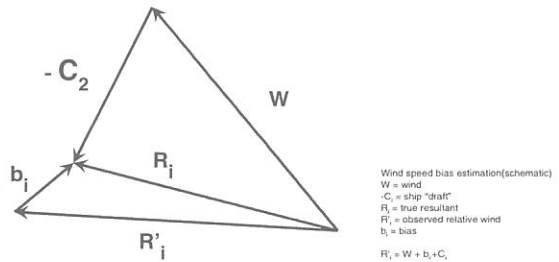
圖五 均勻流場下空氣流經典型貨櫃輪船體產生之流速流向變化 (Moat, 2003)



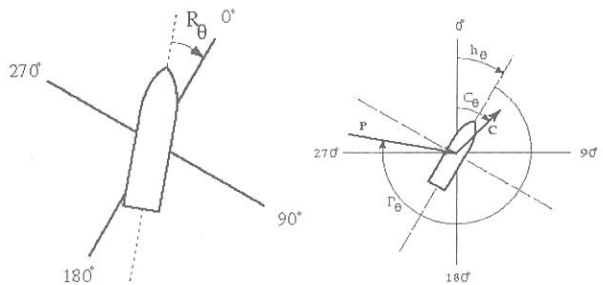
圖六 計算流體力學模擬均勻風場通過貨櫃輪船橋之變化 (Moat, 2003)



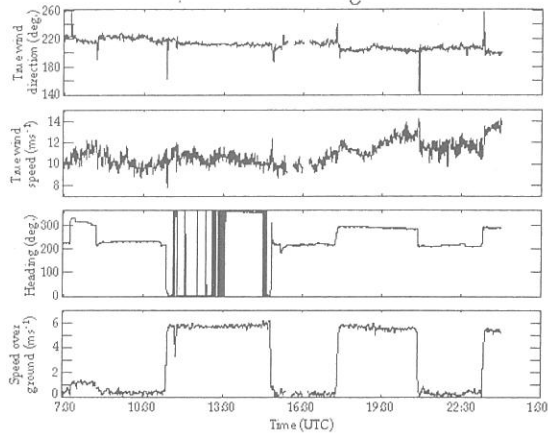
圖七 不同形式商船之 Line of Equality 曲線特性



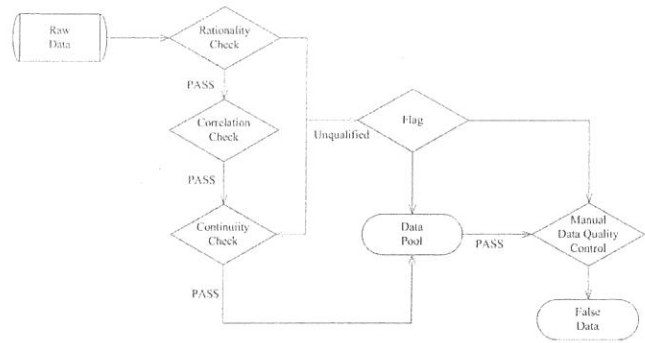
圖八 對地絕對風速風向計算方法



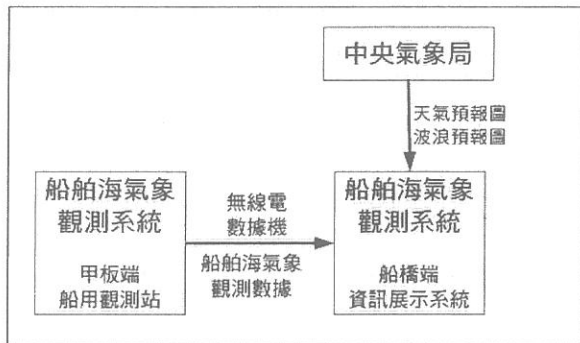
圖九 相對於船身的風速風向觀測座標轉換至對地座標



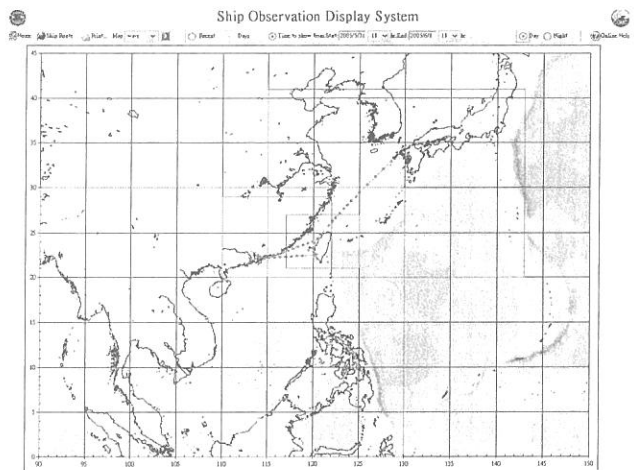
圖十 實測對船相對風速風向及轉換後對地風速風向，轉換後之值出現雜訊，此乃因 GPS 雜訊以及船隻加速度運動所致



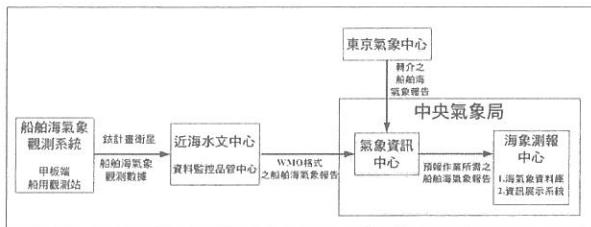
圖十四 品管作業流程圖



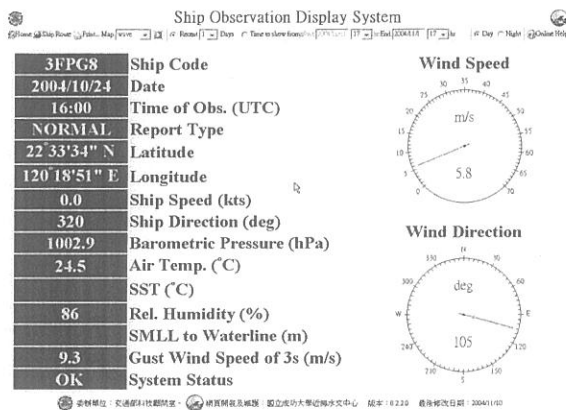
圖十一 船橋端資訊展示系統接收自動船舶海氣象報告之傳輸流程圖



圖十五 立烈輪航線圖



圖十二 中央氣象局接收自動船舶海氣象報告之傳輸流程圖



圖十三 資訊展示系統面