



海洋資料浮標站網之建置

范揚洺／國立成功大學近海水文中心 副研究員

王得根／國立成功大學近海水文中心系統組 組長

林演斌／國立成功大學近海水文中心研發組 組長

陳秋份／國立成功大學近海水文中心品保組 組長

吳立中／國立成功大學近海水文中心計畫組 組長

李嘉文／經濟部水利署水文技術組 副工程司

我國自 1997 年起開始陸續於臺灣附近海域海洋資料浮標站，至今已有 26 座資料浮標站在海上長期運作，即時提供海氣象與水下環境資料。為提供穩定且高品質的資料，本研究應用先進之量測技術與方法，結合自動化之儀器與電腦設備，建立水文資料即時傳輸系統及高效率水文資料庫服務系統。本文說明資料浮標站的建置過程、資料浮標監測站網、波浪分析方法，並介紹其他近海水文觀測系統，最後說明資料品管。

前言

隨著國內經濟活動持續發展，在陸地資源逐漸飽和的同時，經濟產業陸續向海岸地帶移動，如沿海的工業區、天然氣專用港以及海埔地開發區域，為了確保這些經濟產業能順利開發，同時兼顧安全設計以及環境保育等問題，促使能永續發展，海岸地區的環境觀測是必要的手段；再者，台灣地區海岸線長達一千六百餘公里，每年夏秋之際的颱風所引發的暴潮巨浪常造成莫大的災害，抗浪禦潮亦是政府重要的職責之一。水文基本條件為各項水利海洋建設最重要的依據，倘無充分而精確之海洋水文資料，或是所應用之觀測資料不具代表性，則可能導致工程設計上之浪費或必須承擔較高之風險，因此，獲得正確且即時的海洋觀測資料，掌握我國海洋水文情勢，是政府為了要減少旱澇災害損失、保障民眾生命財產安全、促進海岸經濟活動發展所進行的重要施政項目之一。

海洋觀測主要是瞭解和掌握海洋自然環境的變化規律、同時也瞭解和掌握人類活動對海洋環境的影響，並以保護人民安全與海洋環境為主要目的。海洋監測是以海洋自然環境要素中的各項因子及變量為監

測對象，廣義來講，對海洋環境造成破壞或影響的因子都是監測的對象。監測（Monitoring）具有「控制、管理」的意義，與觀測（Observing）僅有「觀察、注意」的意思是不同的。海洋監測的目的是要即時、準確、可靠、全面地反映近岸海域的狀況及其變化趨勢，為海洋保護和管理、海洋資源開發利用，提供具體之科學依據。鑑於觀測技術影響觀測資料良窳，應革新觀測儀器與科技，以增進觀測能力；又為掌握各項異常水文現象資訊，應建置水文觀測資料即時傳輸系統，以即時取得各項水文觀測資料，並建立預警通報系統。國立成功大學近海水文中心（以下簡稱近海水文中心）長久以來致力於海洋觀測技術的研發，同時引進國際上最新的水文觀測技術，依據本土環境與作業的需求，掌握關鍵技術並將觀測技術本土化，以達到促進我國海洋監測現代化的目的。

資料浮標觀測系統

資料浮標介紹

資料浮標為一位於海面、無人操控之海氣象觀測站，其任務為蒐集海面海氣象要素，提供海岸及海洋

工程所需之基本海氣象資料，圖 1 為在海上的資料浮標站及其示意圖，基本觀測項目包括風速、風向、大氣壓力、氣溫、水溫、示性波高、平均週期、波向、流速、流向，由於資料浮標具有模組化之設計，可以依據需求，加裝水質、雨量、聲音等觀測儀器。資料浮標特性如下：

1. 為一無人海上自動觀測站，能源自足，能長期自動觀測多項海氣象資料。
2. 配備多元即時通訊系統，觀測資料即時傳送至客戶端，可配合海象測報作業與災害預警的需求。
3. 設站位置較不受限制，能廣泛運用於各種海域。
4. 浮標體隨波性佳，適用於波浪觀測。
5. 儀器系統體積小，省電性佳。

資料浮標觀測技術基本上係屬於一種系統整合技術，由於觀測作業最基本之感測器 (sensor) 通常為市售的高精密商品元件，感測器核心部分往往涉及商業利益並不公開，而基於成本的考量，世界各國大多將觀測技術研發重點放在系統整合方面，利用市售感測器，透過系統整合技術，開發相關之硬體、軟體與軟體，針對整合觀測系統之電力、通訊、結構、耐環境性、作業安全性、維修便利性與穩定性等課題進行研究發展。由儀器研發掌握關鍵性技術，降低觀測成本，並建立自有維修能力，使具有本土化維修技術，縮短儀器維修時間，減少數據漏失率，減少受儀器廠商之束縛並降低依賴性。資料浮標佈放前須進行系統整合測試，系統儀器在實驗場地完成儀器組裝後，至少須進行連續五天以上的測試以驗證其作業穩定性。又由於浮標體需在海中長期作業，為確保儀器室內儀器不受水氣侵襲，資料浮標出廠前最重要之作業之一為進行標準氣密測試。完成整合測試後，即可依據海況安排佈放時程。

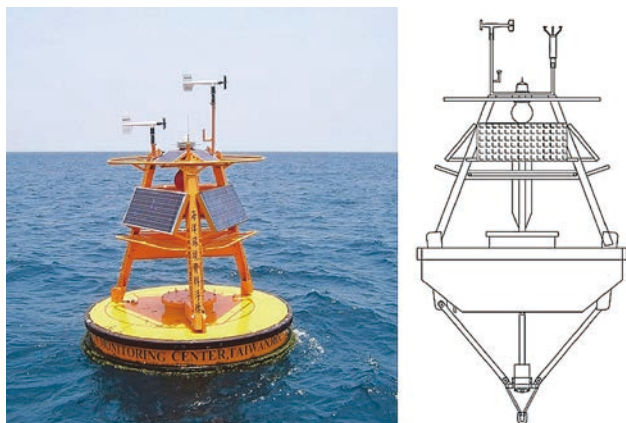


圖 1 海氣象資料浮標 (左) 與其示意圖 (右)

資料浮標的佈放依地點遠近分為遠洋及近海兩種方式，近海區域主要以小型機動船筏以拖曳方式佈放，遠洋區域無法以拖曳方式佈放，必須由大型工作船以載運方式佈放。海象資料浮標在佈放前已在近海水文中心完成組裝測試，但為了避免運送至港口的過程儀器毀損，觀測儀器會先暫時拆卸，抵達港口後再次進行浮標組裝測試，如圖 2 所示，組裝完成後須經由品管人員確認資料無誤才出海佈放。佈放完成後，資料浮標還需進行各項系統測試作業以確認系統可以正常作業，如電源測試、通訊測試、軟體測試等，並與品管人員聯繫，確認觀測數據可以從海上傳輸回品管中心。



港邊組裝浮標錨繫及錨碇



組裝浮標控制箱及接線



組裝浮標太陽能板與 AIS 警示燈



組裝海流儀

圖 2 資料浮標佈放之現場組裝過程

資料浮標監測站網之建置

近海水文中心在臺灣四周海域布建達 26 座資料浮標站(如圖 3)，主要由中央氣象局、水利署、國家海洋研究院，以及港灣技術研究中心等機關共同建置。中央氣象局自 1997 年起建置海氣象資料浮標站，目前操作測站共有 12 站，包括在馬祖東引島與蘭嶼等外島地區以海氣象資料浮標來蒐集即時海氣象資訊，提供外島地區航運及漁撈作業參考應用，也在七美及東沙島海域布放深水資料浮標^[1]，作為海象預報之修正應用，更於 2017 年起整合海氣象觀測資料建置臺灣海象災防環境資訊平台^[2,3]，做為海象災害預警與應變依據。水利署自 1998 年起，已建置了 7 座海氣象資料浮標站，即時觀測資料可做為防災禦潮決策之參考^[4]，長期的觀測資料加值編纂近海水文應用圖冊、近海水文年報等。國家海洋研究院自 2021 年起建置了 5 座海氣象資料浮標站，透過 GoOcean 平台服務水域遊憩活動民眾^[5]。港灣技術研究中心自 2021 起陸續建置了 2 座海氣象資料浮標站，提供船舶進出港參考^[6]。

當資料浮標佈放點接近漁撈作業範圍時，觀測設施的保全與維護有賴當地相關機關單位的協助與漁民的支持，有時漁民因不了解測站建置目的而阻礙作業之進行，或因好奇心之驅使而損壞觀測設備。因此，資料浮標佈放前需與當地之漁會、海巡單位及地方意見領袖等溝通，說明海洋觀測之重要性，並聽取漁民意見，以不侵害漁民漁業權為原則，適當調整浮標佈放點，會同漁民代表出海會勘。資料浮標觀測推動之初確曾遭遇漁民單位的阻礙，透過長期的溝通與經營，資料浮標站附近的漁會、海巡單位等均相當支持政府機關從事海氣象觀測作業，主動照顧近海水文觀



圖 3 資料浮標監測站網圖

測設備，發現損害情形時漁民朋友會主動通知近海水文中心，若有緊急之需求求助漁民，均可以獲得樂意之協助，此為多年來在進行觀測作業的同時從事漁民宣導的成果。

由於觀測資料均已設置自動回傳系統，於觀測後規定時間內將初步整理過後的資料回傳。回傳方法主要以行動通訊(4G)為主，以衛星通訊為輔，資料傳輸流程包括資料運算、編碼、傳輸、資料回補、品管、匯入資料庫等程序，如圖 4 所示。其中各項資料除了潮位資料資料為 6 分鐘外，其餘更新頻率均為每小時更新。而波浪、風、氣壓之觀測頻率為每小時 1 筆，海流及潮位的觀測頻率為 6 分鐘 1 筆，海流資料配合資料浮標上的傳輸排程，故其資料與波浪、風、氣壓等海氣象觀測資料一併回傳。資料維持完整也是人工品管作業的重要任務，資料浮標系統之資料傳輸

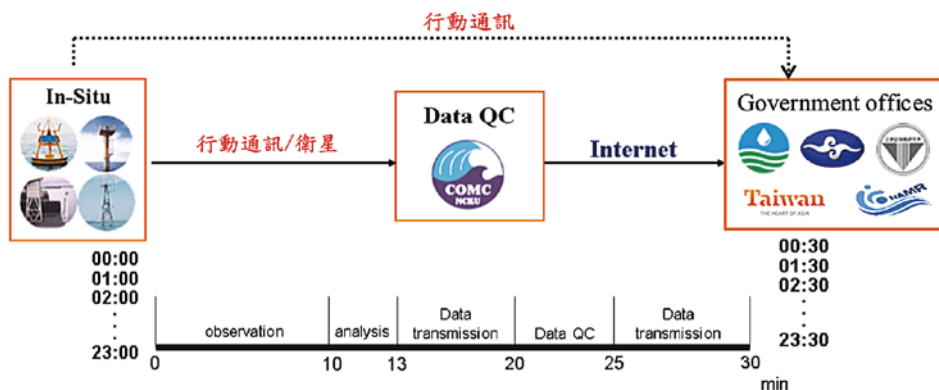


圖 4 資料傳輸流程圖

已內建回補機制，能自動檢查指定天數內是否短缺資料，並加以回補。執行資料監控作業時，若發現資料因通訊品質、網路、或其他外部因素導致資料未自動回補，則可利用人工補傳功能進行回補，待回補完成再執行人工品管作業，最後產製作業化檔案並匯入資料庫。

近海水文觀測站網自建站迄今已逾 20 年，測站的維護程序及觀測技術逐年精進，並建立一貫化作業程序，藉由文件化的流程管理，嚴格控管各項作業的品質，減低人為疏忽，落實品質制度，提供後續資料品質追溯之依據。測站歷年的觀測成功率如圖 5，自 2006 年起皆保持在 95% 以上，即落實一貫化作業程序的成果。由圖 5 顯示 2012 年觀測成功率雖仍保持在 95% 以上，但相較之下似乎降低，主要原因為 2012 年遭受 7 個（強、中、輕度）颱風侵襲破壞所致。

方向波譜分析

波浪觀測是資料浮標觀測項目中最重要項目，其測得的資料是海洋工程和海岸工程規劃設計之重要參考；此外，對於後續的學術研究，亦是相當重要的背景資料。在時間上或空間上之不規則變量可以序率過程來表示，此種過程則以能譜來表示最為適切。以本研究波浪觀測為例，利用線性疊加，將雜亂之海面波浪視為各種頻率之正弦波所組成，由於各成份波的能量與其振幅約二次方成正比，而各成份波能量與波浪頻率的關係即可稱為波譜。波譜函數即是表示波浪全體能量分配於各種成份波狀況的分佈函數。方向波譜進一步描述了每一頻率上波浪能量在方向上之分佈，為海面上紛紜的波浪現象描述上提供更多的細節。

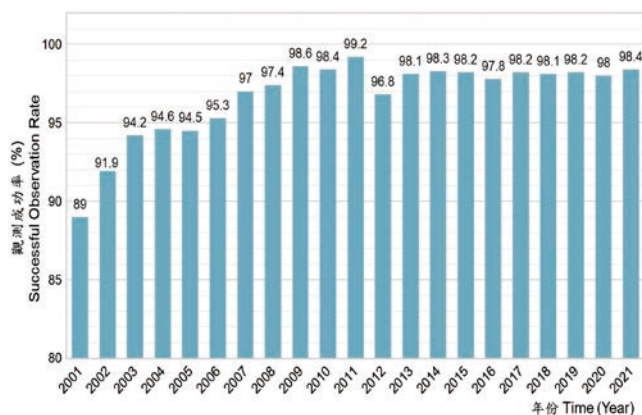


圖 5 觀測成功率

本研究利用快速傅利葉轉換 (Fast Fourier Transform, FFT) 分析法計算浮標加速度譜，再以浮標加速度譜計算一維水位譜，最後利用一維水位譜及方向分布函數求得方向波譜。其中欲求方向波譜，則分析之重點為推求方向分佈函數，本研究採用 Longuet-Higgins [7] 以浮標測波時所發展的方向波譜分析方法。傅立葉級數法假設波浪於每一個頻率下的方向分佈為有限階的傅立葉級數：

$$D(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^m (a_n \cos(n\theta) + b_n \sin(n\theta)) \quad (1)$$

依據傅立葉級數之階數 m 有 $2m + 1$ 個未知數，故傅立葉級數最多可解至 $m = 2$ 階。係數解得如下：

$$a_0 = \frac{C_{11}}{(2\pi f)^4 \pi} \quad (2)$$

$$a_1 = \frac{-Q_{12}}{(2\pi f)^2 k \pi} \quad (3)$$

$$b_1 = \frac{-Q_{13}}{(2\pi f)^2 k \pi} \quad (4)$$

$$a_2 = \frac{C_{22} - C_{33}}{k^2 \pi} \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{2C_{23}}{k^2 \pi} \quad (6)$$

其中 C_{11} 為加速度同位譜 (co-spectrum)； Q_{12} 為加速度與 x 方向傾角轉向譜 (quadrature spectrum)； k 為波數； Q_{13} 為加速度與 y 方向傾角轉向譜； C_{22} 為 x 方向傾角同位譜； C_{33} 為 y 方向傾角同位譜； C_{23} 為 x 方向傾角與 y 方向傾角同位譜。

波數則由下式表示：

$$k = \left(\frac{C_{22} + C_{33}}{C_{11}} \right)^{1/2} \quad (7)$$

波浪示性波高、平均週期、尖峰週期與一維水位譜間存在定量關係，依據式 (9) 與式 (10) 分別計算示性波高及平均週期，其中 m_0 為一維水位譜總能量， m_2 為一維水位譜二次矩：

$$\text{示性波高 } H_s = 4.004 \times \sqrt{m_0} \quad (8)$$

$$\text{平均週期 } T_z = \sqrt{m_0 / m_2} \quad (9)$$

利用一維水位譜能量密度數據計算尖峰週期，利用方向波譜能量密度計算波向。

其他近海水文監測系統

除了海洋資料浮標站外，近海水文中心還運作 13 座潮位站、2 座海岸氣象站、16 座微波雷達站，以及 4 座光學影像站。所有系統儀器在實驗場地完成儀器組裝後，如同資料浮標系統一樣，至少須進行連續五天以上的測試以驗證其作業穩定性。而這些測站的建置相較於資料浮標單純，利用陸上運輸工具將觀測系統元件載運至現場進行組裝，建置作業包括管路鋪設、靜水井安裝、觀測儀器安裝、收錄系統安裝、通訊設備安裝、線路連結、避雷設施及接地設備設置，系統安裝完成後，啟動觀測系統，並開始測試作業，所有系統設置完成後兩週內均為重點觀察期。

潮位站

潮位資料對海岸防災工程設計極有幫助，為了提昇潮位觀測準確度，潮位站系統架構係引進美國新一代音波式水位計，並結合近海水文中心研發完成的觀測技術，量測精度可達公釐 (mm) 等級 [8]。此套潮位站系統包括一套音波式水位計、一套壓力式水位計。目前作業化的潮位站麥寮、四草、安平、永安、枋寮、蟬廣嘴、大武、富岡、石梯、綠島、水頭、料羅灣、小港等 13 座潮位站。

海岸氣象站

岸邊及外海的風速風向資料對風沙之估算及波浪推算極為重要，因此有別於一般的氣象觀測，觀測重點為與海水、波浪等較有密切關係之要素。其海洋氣象觀測包括：氣溫、氣壓、風、濕度、日照、雨量。目前作業化的海岸氣象站有大鵬灣、灣域等 2 座。

微波雷達站

相較於海上現場觀測，雷達可固定架設於岸邊，提供穩定電力即可在時間上持續觀測大範圍空間面上的海面狀況，屬於一種兼具時間與空間海象資訊的三維度觀測技術 [9]。目前作業化的微波雷達站包括七股、潮境、外木山、萬里、風箏坪、中角灣、龍洞、福隆、觀音亭、鎖港、青灣、社皆坑、關山下、後壁湖、船帆石、佳樂水等 16 座微波雷達站。

光學影像站

當海岸邊有裂流的出現，海面上就會出現與平時不一樣的特徵，因此裂流的觀測可以透過影像中海面特徵的變化或反算海表面流速來進行觀測。加上近年來隨著人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 的發展，只要所觀測的目標可從影像中擷取特徵，便可以透過 AI 技術進行判釋。因此裂流在發生時，海面上會有明顯的特徵變化，即可透過人工智慧的方法進行判釋。

即時資料監控品管

觀測資料品質是決定觀測成果優劣的因素之一，不準確甚至錯誤的資料會影響決策之判斷與工程設計結果。為維持作業化觀測系統正常運作，並確保觀測資料的正確性，必須進行資料品管程序，往昔資料的檢驗流程較為分散，本研究將觀測資料的品管流程整合為八個區段，包括前端品管、訊號傳輸、健康度檢驗、即時品管、人工檢核、長期檢驗、品管檔案建構及回補記憶卡資料 (如圖 6)。

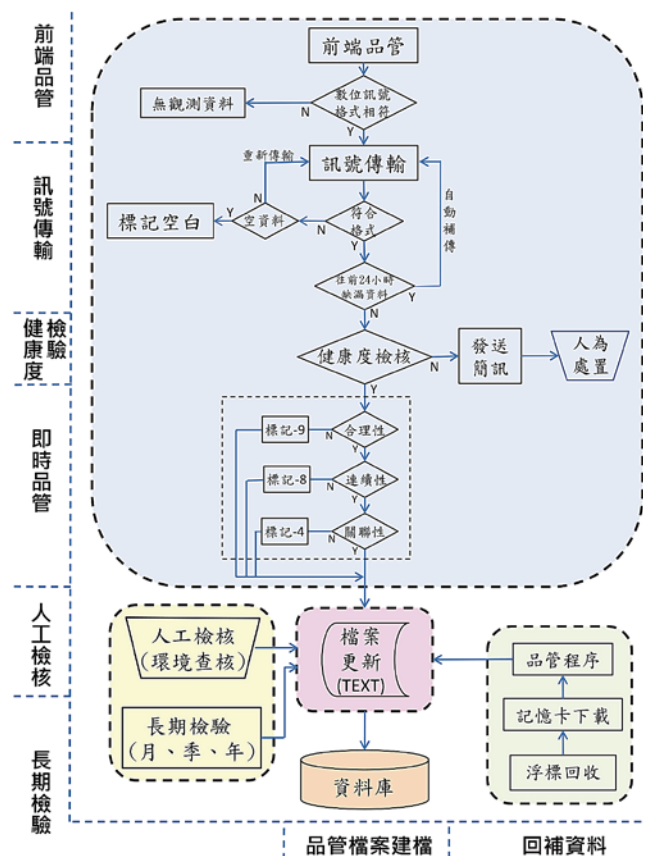


圖 6 海氣象觀測資料品管程序流程圖

前三個區段為針對系統的品管，前端品管係指資料在擷取階段即先對資料進行處理，避免造成 GIGO (garbage in garbage out) 的情形，依處理訊號分為訊號濾波 (類比訊號, Analog Signal) 與字串編碼檢核 (數位訊號, Digital Signal); 訊號傳輸部分，由於觀測站遍布臺灣沿海甚至遠洋，所採用通訊均為無線通訊，而資料傳輸過程中可能因天線、數據機機體、訊號品質、外部干擾或其他因素造成資料無法正確傳輸，因此需透過訊號傳輸過程中的多項檢驗以確保資料正確；又作業化近海水文觀測站布設後，要維持穩定的觀測資料輸出，除了儀器本身的耐用性外，亦須注意資料通訊及電力是否正常，且資料浮標是以錨繫固定於海上預定位置，隨時掌握是否有斷纜漂移的可能性，因此必須進行健康度檢驗。一旦超過預設門檻值，即會自動發送 SMS 簡訊通知相關人員，使監控人員第一時間掌握狀況以及進行後續應變。

對於資料的部分，即時自動品管之目的是利用運算快速的計算機對觀測資料篩選過一次，找出可疑資料以減少人工檢測時間。觀測資料透過程式中的演算法判斷實測資料的正確性，其判斷依據包括資料的合理性、連續性、關聯性等三個原則，將任何異常或是可疑的資料加以註記即時自動化品管程序。關聯性檢驗是檢驗所量測之資料與其他相關物理量之關係是否有異常現象；人工檢核項目除了驗證自動品管的正確性及訊號異常狀況之研判，亦針對劇烈天氣、大氣系統、地球物理、水深地形、洋流等環境查核項目，進行資料比對檢核；除了前述逐時與逐日品管外，有些觀測項目會因儀器老化或系統誤差，資料發生緩慢偏移狀況，需要較長期間檢核觀測資料的正確性，因此進行長期檢核，依月、季、年及長期等時間尺度，分別檢核確保觀測資料的正確性。

最後兩個區段為資料管理部分，資料檔案建檔與管理是資料品管的重中之重，目前主要以一般文書格式 (TXT) 進行存檔，其具有可用任何文書編輯軟體讀寫的方便性，而為了資料獲得更即時的展示，也會存成資料庫格式 (SQL) 有利於資料快速檢索。因應觀測項目越來越多樣化，且須更完善多重資料品管標記，目前規劃加入標籤化語言格式 (例如 JSON)，其具有可讀性、易處理的優點，對於觀測資料運作流程頗有助益。

結論與建議

由於以往對於海氣象水文的觀測屬於任務性質的較多，觀測資料的品管與處理過程不一致，觀測資料並分散於不同單位保管。自從近海水文中心協助中央氣象局、水利署、國海院、港研中心等政府機關執行近海水文觀測業務以來，研發本土化近海水文觀測儀器，建置我國海域近海水文監測網，建立近海水文即時資料傳輸系統，提昇海岸災害防救能力。觀測資料的品管與管理流程均按照標準作業程序進行，使用者可以相當容易地取得需要的資料進行研究或應用，對國家海岸工程建設與人民安全維護助益甚多，未來仍應繼續從事觀測資料的研究探討，對於海岸災害的預警與減輕提供更有用的研究成果。

誌謝

國立成功大學近海水文中心所有同仁多年努力協助建置海洋資料浮標站網，在此致上無限的謝意。

參考文獻

1. 饒國清、施孟憲、黃清哲、滕春慈、林燕璋、呂理弘 (2011), 「作業化深海資料浮標建置與觀測成果」, 第 33 屆海洋工程研討會論文集, 國立高雄海洋科技大學, 高雄。
2. Fan, Y.M., Wu, E.C., and Kao, C.C. (2018), Marine Disaster Prevention Information Service Platform, EGU General Assembly 2018, 20, EGU2018-1842.
3. Doong, D.J., Fan, Y.M., Chen, J.Y., and Kao, C.C. (2021), Analysis of Long-Period Hazardous Waves in the Taiwan Marine Environment Monitoring Service (TwMEMS). *Frontiers in Marine Science* 8:657569. doi: 10.3389/fmars.2021.657569
4. Huang, C.J., Chang, Y.C., Tai, S.C., Lin, C.Y., Lin, Y.P., Fan Y.M., Chiu, C.M., and Wu, L.C. (2020), Operational Monitoring and Forecasting of Wave Run-up on Seawalls. *Coastal Engineering*, 161, 103750.
5. 范揚銘、陳聖學、傅科憲、王博賢、楊文昌 (2021), 「東吉嶼海域海表溫度驟降成因探討」, 第 43 屆海洋工程研討會論文集, 國立中央大學, 桃園, 第 148-153 頁。
6. 吳立中、饒國清、羅冠顯 (2021), 「臺北港資料浮標監測剖面流場特徵之初探」, 第 43 屆海洋工程研討會論文集, 國立中央大學, 桃園, 第 50-54 頁。
7. Longuet-Higgins, M. S. (1963), The effect of non-linearities on statistical distributions in the theory of sea waves. *Journal of Fluid Mechanics*, 17(3), pp. 459-480.
8. 楊博堯、董東璟、陳盈智 (2018), 「台灣海岸長期實測暴潮分析」, 第 40 屆海洋工程研討會論文集, 國立高雄科技大學, 高雄, 第 100-105 頁。
9. Doong, D.J., Wu, L.C., and Lai, J.W. (2018), Determination of the Spatial Pattern of Wave Directions in the Inhomogeneous Coastal Ocean by Marine Radar Image Sequences, *IEEE Access*, 6, 45762-45771. 