

海氣象浮標省電型波浪儀開發

楊穎堅¹ 張宏毅¹ 張凱富¹
國立臺灣大學海洋研究所¹

摘要

佈放於大洋的海氣象觀測浮標，其所測得的海氣象即時資料，可藉由通訊衛星將資訊近即時傳回研究及預報單位運用，精進數值預報準確度，有助於防災單位的決策因應，減少傷亡與降低災損。然而，安裝於海氣象浮標上的觀測儀器，必須要具有耐惡劣環境特性，例如儀器探針與外殼要能抵抗高溫日照、強烈紫外線、巨大海浪襲擊、抗鹽分腐蝕、與耐震；另外，因為海氣象浮標為了減少因強風所造成的晃動與破壞，必須捨去太陽能電板以降低風阻，因此儀器必須要有極佳的省電特性。再者，觀測儀器也必須可以接受遠端遙控，變更資料採樣頻率與資料回傳率，如此除了可以降低耗能外，也可以節省衛星通訊費用。而一般商售的儀器大都無法滿足上述需求，因此有必要開發可耐惡劣環境、省電、低成本的海氣象觀測儀器供海氣象浮標使用。省電型波浪計，內置具有數位訊號處理器的微處理晶片、高靈敏六軸加速度計與羅盤之晶片、同步動態隨機存取記憶體，可快速量測東西向、南北向與垂直方向之加速度並紀錄之，利用數位訊號處理功能計算波浪參數，進而獲得大洋中在惡劣海況（如颱風過境）下的波浪資訊。本文將介紹此省電型波浪計，並展示其測試結果。

關鍵字：海氣象浮標、波浪計

一、前言

西北太平洋為颱風生成的熱區，此海域的颱風較其他海域多且強，每年造成沿岸地區大量生命與財產的損失。颱風生命週期中，大多時間滯留於海面上，海氣交互作用因而顯著。為即時掌握上層海洋的改變，國立臺灣大學海洋研究所開發了一組佈放於大洋且可藉由通訊衛星將資訊近即時傳回研究及預報單位的海氣象觀測浮標。此浮標在2016年時，已具備收集氣溫、氣壓、相對溼度、風向、風速、短波入射量、淨輻射量、雨量等氣象資料，以及上層海洋500公尺之溫度、鹽度與流速等海象資料之能力(Chang et al., 2017, Hsueh et al., 2017, Jan et al., 2017, Yang et al., 2019)。然而在颱風靠近時，波浪在海氣混合中扮演重要的角色，但本所開發之海氣象觀測浮標尚缺乏波浪觀測之能力。

因安裝於此浮標上的觀測儀器，須具備有耐惡劣環境之特性，例如儀器探針與外殼要能抵抗高溫日照、強烈紫外線、巨大海浪襲擊、抗鹽分腐蝕、與耐震；另外，儀器也要具有省電特性，因為此海氣象浮標是被設計來觀測颱風，必須捨去太陽能電板以降低風阻，在有限的電池電量供應下，儀器必須要有極佳的省電特性。而一般商售的儀器大都無法滿足上述需求。因此在2018年時，本所開始開發一組滿足上述需求之省電型波浪儀。

在本文中，將依序介紹臺大海洋研究所自主開發之省電式波浪儀、演算方法、觀測資料比對、結論與未來發展。

二、省電式波浪儀簡介

臺大海洋研究所開發之省電型波浪儀(圖1)，在其電路部分，使用恩智浦半導體(NXP Semiconductors)公司所生產具有低耗能、高解析的三軸加速度與三軸磁力感應元件、三軸陀螺儀感應元件作為主體，搭配具有數位訊號處理器的微處理晶片、羅盤之晶片、同步動態隨機存取記憶體，可快速量測東西向、南北向與垂直方向之加速度並紀錄之，並利用數位訊號處理功能計算波浪參數，進而獲得大洋中在惡劣海況（如颱風過境）下的波浪資訊。而其外殼部分，材質選用耐壓之聚氯乙烯(Polyvinyl Chloride, PVC)，搭配雙層O型環的設計，當水滲透過外側O型環進入儀器中時，還能有另外一條阻擋，這麼一來可以有較好的水密效果。

在將此省電型波浪儀進行水槽測試與實海域測試之前，先行在實驗室進行了耐壓測試、防水性能測試與重心測試。在耐壓測試部分，將省電型波浪儀外殼置於壓力槽中，逐漸調整壓力值，實驗後，證實此款外殼可承受80公尺深的水壓。而防水性能測試與重心測試同時於臺大校園的醉月湖中進行，在此次測試中，確認此組外殼沒有漏水的問題。而重心測試式為了使波浪儀能穩定浮於海面上，測試後確認配重沒有問題，儀器沒有向某方向偏移的狀況發生。

省電型波浪儀於2018年9月6日至11日期間於國立成功大學水工試驗所之斷面大水槽進行測試與校驗(圖2)。水槽造波機分別製造了規則波與不規則波，而規則波又包含了1.5、3、5、7秒等不同週期與10、20、80公分等不同波高的波浪。在此次測試中，波浪計資料除了可與原水波槽的資料比對外，亦擬與美國SEAVIWE公司之SVS603波浪計觀測資料作比對，以檢驗省電型波浪儀資料品質與演算法之正確性。然而，因SVS603記憶體故障損毀，因而無資料可供比對。

在實海域測試部分，本省電型波浪儀於2018年6月17日至2018年10月15日在NTU1站進行實海域測試，其測試資料將在第四節中詳述。



圖1：省電型波浪儀之外觀



圖2：水槽測試實驗

三、演算方法

一般的波浪儀並非直接對於波高、週期及波向進行觀測，而是量測波浪的垂直加速度運動及東西向、南北向的波面坡度，並對量測之加速度進行快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)求得其加速度譜，再由加速度譜轉換為位移譜，進而求得波浪之主波週期、示性波高等。

高品質的波浪數據指的是連續的數據，然而連續地紀錄資料需要消耗更大量記憶體與電力，因此，為了得以完整地紀錄臺灣颱風季節的波浪資料，本省電型波浪儀與商購SVS603波浪儀均設定為在20分鐘內採樣2048筆資料、緊接著休眠40分鐘之運作模式。

進行波浪資料分析需要注意低頻雜訊干擾，因為加速度譜轉換為位移譜時需除上頻率倒數的四次方，此時低頻的雜訊會被放大，尤其是趨近於0的低頻波段，若不對這些低頻雜訊進行處理，其計算之結果並不符合實際海洋現象。

本文參照美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic Atmospheric Administration, NOAA)的標準規範(SEAVIEW公司的演算亦參考此規範)，僅擷取0.0325至0.485 Hz的頻率代入下式：

$$WVHT = 4 \times \sqrt{m_0},$$

WVHT為示性波高， m_0 以下式表示：

$$m_0 = \sum_{f_l}^{f_u} (S(f) \times d(f))$$

f_u 與 f_l 分別為0.0325與0.485 Hz的頻率、 $S(f)$ 為頻譜密度和、 $d(f)$ 為各頻帶的頻寬。平均週期計算方法如下：

$$APD = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}},$$

ADP為平均週期， m_2 表示如下：

$$m_2 = \sum_{f_l}^{f_u} (S(f) \times d(f) \times f^2),$$

為了要減少雜訊導致位移譜不連續情況，我們亦對位移譜進行移動平均的計算，使其更為平滑(Longuet-Higgins, 1985, Lang, 1987, McCormick, 2009, Brown and Meadows, 2011)。

此外，自製的省電型波浪儀與SEAVIEW公司SVS603波浪儀之觀測起始與停止時間並不完全一致，因此我們僅比較在相同時段的內觀測資料。

四、觀測資料比對

圖3顯示NTU1測站於2018年時之海氣象浮標所量測得波浪時間圖，浮標布放時間為6月20日至10月13日。

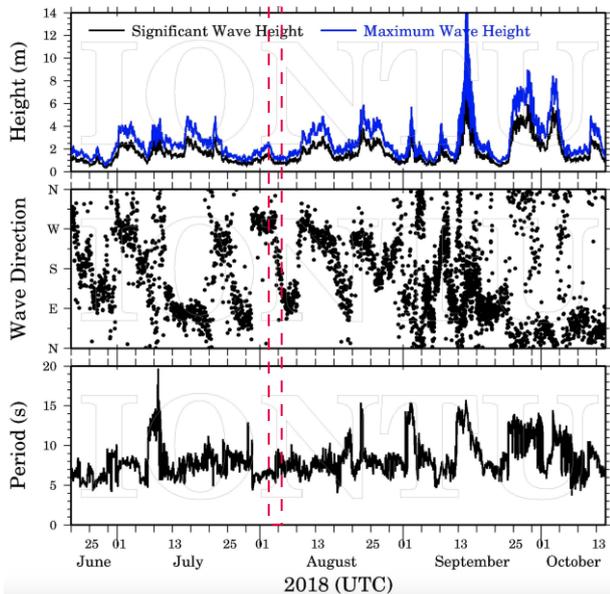


圖3：NTU1站2018年海氣象浮標所波浪時間圖[6]。

圖4與圖5分別為自製省電型波浪儀與SEAVIEW SVS603波浪儀的垂直加速度與垂直位移之能譜比較。我們選取2018年8月3日兩者都具有較完整的資料期間進行分析比較（圖3中紅色虛線格標示），紅色與藍色分別代表自製省電型波浪儀與SEAVIEW SVS603波浪儀計算結果，圖5中之黑色實線為SEAVIEW SVS603波浪儀內建計算出之位移譜。在計算加速度譜時，根據NOAA技術文件報告，濾除頻率低於0.0325 Hz的低頻波段。此外，在計算位移譜時，內建計算結果則不考慮頻率低於0.1 Hz的低頻波。

由圖4與圖5可以看出不論是加速度譜或位移譜，本所自製省電型波浪儀與SEAVIEWSVS603波浪儀的結果具有一致性。

圖6顯示NTU1站8月3日下午3點半至8月4日上午12點半之示性波高與平均週期時序圖，圖6(a)中，藍色與紅色標誌分別對應自製省電型波浪儀與SEAVIEW SVS603波浪儀計算結果，黑色標誌則表示SEAVIEW SVS603波浪儀內建運算結果，虛線代表相對應結果之迴歸線。然而，SEAVIEW SVS603波浪儀內建運算系統僅提供主波週期資料，因此圖6(b)中黑色標誌與虛線代表外購電路版中內建運算系統計算之主波週期。

圖6(a)顯示自製省電型波浪儀與SEAVIEW SVS603波浪儀所量得之示性波高變化一致，圖6(b)亦顯示自製與外購電路版所計算得之平均變化一致，代表自製省電型波浪儀量測結果具有一定的可性度。主波週期與平均週期不一致的原因為計算過程不同，

主波週期為直接取位移譜圖對應最大能量之頻率取倒數，因此若在位移譜中的最大峰值存在明顯差異，會導致選取的頻率有極大誤差，導致主波週期計算的結果並不一致。

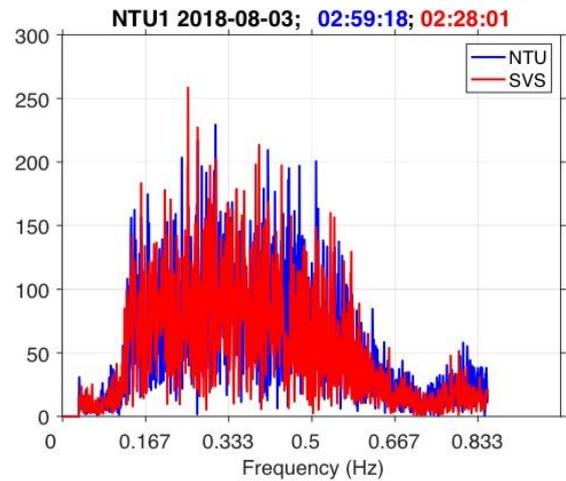


圖4：自製省電型波浪儀與SEAVIEW SVS603波浪儀之加速度譜比較。

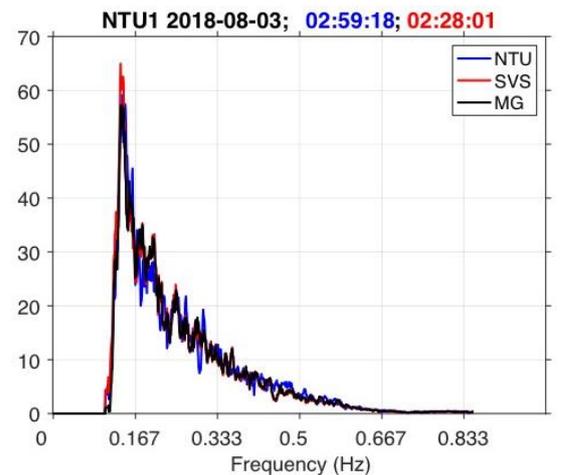


圖5：自製省電型波浪儀與SEAVIEW SVS603波浪儀之位移譜比較。

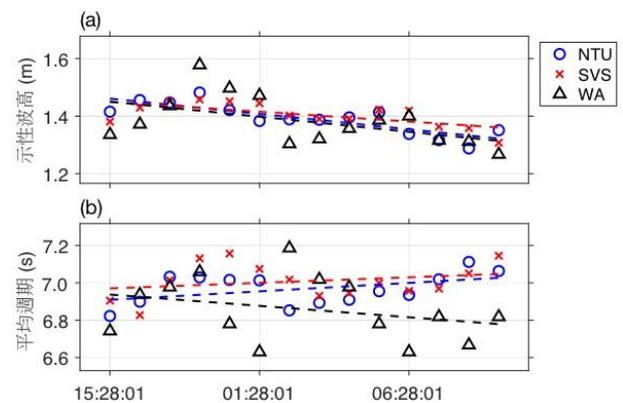


圖6：NTU1站8月3日之示性波高與平均週期圖。

NTU2測站於8月31日凌晨12至下午3時之量測結果繪製於圖7。圖7(a)顯示自製省電型波浪儀與SEAVIEW SVS603波浪儀所量得之示性波高變化一致，雖然與內建計算結果有些差異，但變化趨勢仍然一致，原因為內建計算過程有加入更多不同的濾波處理。如圖6(b)結果所示，圖7(b)亦顯示自製省電型波浪儀與SEAVIEW SVS603波浪儀所計算得之平均變化一致，代表在NTU2站量測的結果也具有相當的可信度。

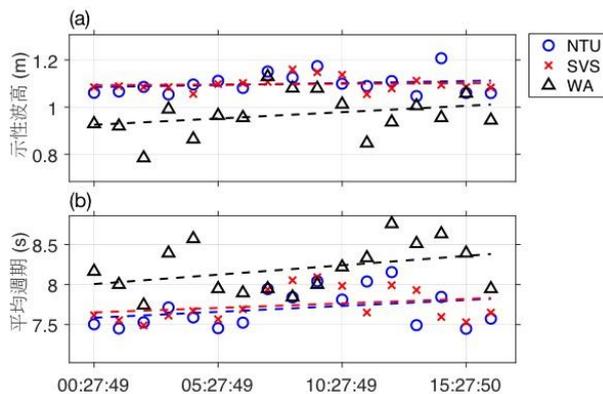


圖7：NTU2站8月31日之示性波高與主波週期之時序圖。

五、總結與未來發展

臺灣每年遭受颱風侵襲，其對於人民的生命與財產影響甚鉅。颱風的生命期大都是在海上，故發展能夠持續長時間觀測海象技術尤為重要，除了可以即時觀測颱風與海洋之間交互作用、也可有效地提升颱風預報品質、提升災防效益。

將此省電型波浪電路板裝於浮標上進行測試，在測試期間，自製省電型波浪儀並沒有完整的觀測資料，經查可能是受到韌體版本相容性所致，我們以此實驗測試作為參考，從中學習並改善不足之處，精進此自製省電型波浪儀。

參考文獻

- Brown, H. C. and G. A. Meadows, 2011: Wave Sensing in the Upper-Great Lakes Observing System. *UNO Ocean Waves workshop*, New Orleans, USA, 74-78
- Chang, H.-I., Y.-F. Ma, W.-H. Her, Y. J. Yang, M.-H. Chang, S. Jan, and C.-L. Wei, 2017: The NTU buoy for typhoon observation, part 1: system. *Oceans 2017*, Aberdeen, UK, 161202-008.
- Hsieh, C.-Y., Y.-F. Ma, S.-C. Shieh, W.-H. Her, H.-I Chang, Y. J. Yang, M.-H. Chang, S. Jan, and C.-L. Wei, 2017: The NTU

buoy for typhoon observation, part 2: field tests. *Oceans 2017*, Aberdeen, UK, 161202-006.

Jan, S., Y. J. Yang, H.-I Chang, M.-H. Chang, and C.-L. Wei, 2017: New data buoys watch typhoon within in the storm. *EOS*, **98**, No. 7, 24-27.

Lang, N., 1987: The empirical determination of a noise function for NDBC buoys with strapped-down accelerometers. **19**, 225-228.

Longuet-Higgins, M., 1985: Accelerations in steep gravity waves. *J. Phys. Oceanogr.*, **15**, 1570-1580.

McCormick, M. E., 2009: *Ocean Engineering Mechanics: With Applications*. Cambridge University Press; 1 edition.

Yang, Y. J., M.-H. Chang, C.-Y. Hsieh, H.-I Chang, S. Jan, C.-L. Wei, 2019: The role of enhanced velocity shears in rapid ocean cooling during Super Typhoon Nepartak 2016. *Nature Comm.*, **10**, 1627.

邱銘達, 2001: 資料浮標量測波高波向準確度提升研究. 國立成功大學碩士論文.