

# 應用潮形正規化曲線推算潮位之研究

吳嫻璇<sup>1</sup> 張國棟<sup>1</sup> 林勝豐<sup>1</sup> 陳進益<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立高雄科技大學海洋環境工程系

<sup>2</sup>中央氣象局海象測報中心

## 摘要

在英國皇家遊艇協會所出版的培訓年鑑中，可透過發布之港口潮形正規化曲線與潮汐預報表，推算出大致的潮位，供帆船航海者在無網路與無即時預報資訊條件下，可於港口附近海域安全航行。本研究參照培訓年鑑的半日潮潮形正規化圖，製作台灣西岸海域以半日潮為主的港口之潮形正規化曲線，並配合中央氣象局發布的潮汐預報表，探討以此方式推算潮位的誤差量。於培訓年鑑中僅將半日潮潮形正規化曲線區分為大潮與小潮兩類，但台灣西岸海域部分港口之全日潮成分不可忽略時，每日兩次的潮差會有所差異。因此本研究將半日潮潮形正規化曲線，區分為大、小潮及當日第一次和第二次之潮形，並製作出麥寮、台中港、外埔、新竹、竹圍、淡水、水頭、料羅灣、馬祖等9個典型半日潮之潮形正規化圖形，以此方法推算出大潮時段之潮位誤差約介於-0.037~0.143 m之間；小潮時段推算之潮位誤差則約在-0.013~0.110 m之間。

關鍵字：調和分析、潮形正規化、半日潮

## 一、前言

帆船航海僅靠海流及風力作為動力來源，因此當風力較小時，於近岸地區帆船僅能依靠潮流最為動力來源，且低潮時帆船容易擱淺或觸礁，現今有許多電子設備可透過網路查得各地區之潮位高度，但對於無電子設備及無網路之使用者而言，目前僅能靠氣象局所發佈的潮汐表得知每日高、低潮位之潮形與潮高，因此本研究參考英國皇家遊艇協會所發佈之年鑑方法，希望可提供使用者在無電子設備及無網路的情況下，推算出所有時間序列大致的潮位以供使用。

英國皇家遊艇協會(Royal Yachting Association, RYA)成立於1875年11月，成立最初的目的為將所有競賽船隻規則標準化，以便不同級別的船隻可以相互競爭，爾後該協會也發布許多競賽船隻之培訓課程及年鑑。

於英國皇家遊艇協會所出版之培訓年鑑中，可透過發布之港口大、小潮潮形正規化圖形，提供帆船航海者在無網路與無即時預報資訊條件下，藉由年鑑之方法潮形正規化圖、潮汐預報表推算出所有時間序列大致的潮位以供使用。台灣西岸大多屬於半日潮及以半日潮為主之混合潮型，因此本研究主要是參考RYA所出版之培訓年鑑的方法研發出適用於台灣各地區之潮形正規化曲線，以供航海者在無網路與無即時預報資訊條件下使用。

於培訓年鑑中僅將半日潮潮形正規化曲線區分為大潮與小潮兩類，但台灣西岸海或部分港口之全日潮成分不可忽略時，每日兩次的潮差會有所差異，導致誤差較大。為了增加第一次高潮位至第二次高潮位正規化數據之正確性，特將潮位從第二次低潮位分為兩段分別正規化。

由於天文潮汐變化週期為18.6年，因此本研究利用5年以上之潮位觀測資料經氣壓修正後進行19年之調和分析推

報，進而分析各地區大、小潮上下限值與潮形因子，藉以研發不同潮型之大、小潮正規化曲線。

## 二、研究方法

潮形正規化係指將大潮和小潮時的潮位變化正常化，可利用式(2-1)求得，在滿潮(High water)時 $X_1$ 正規化數值為1；在乾潮(Low water)時 $X_1$ 數值則為0，此做法可改善每日高、低潮位不一致之問題，且可透過潮汐預報表中每日高、低潮位及潮形正規化之原理，加以推算出每日所有時間序列大致的潮位。

$$X_1 = \frac{H - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (2-1)$$

其中H為大潮(Spring)或小潮(Neap)所測得之潮位平均數據， $H_{min}$ 為大潮(Spring)或小潮(Neap)所測得潮位平均數據之最小值， $H_{max}$ 為大潮(Spring)或小潮(Neap)所測得潮位平均數據之最大值。

進行潮形正規化前，須先藉由潮型因子進行各地區潮型之評估，藉以挑選各潮型之實測資料，並將各潮位位置的實測資料去除氣壓影響後，進行調和分析得到天文潮位資料。利用每日潮差變化量之發生機率統計出大、小潮上下限值，並依據大、小潮之上下限值取出各地區之大、小潮潮位時序數據，並由每天最低潮位開始排序25小時後，將各時間點之每分鐘數據取平均值再進行潮形正規化之計算並繪製潮形正規化圖形。

### (一) 潮型因子

為了瞭解台灣各地區之潮型，本研究採用Defant(1960)、Dietrich(1980)、Pugh(1987)利用全日潮的 $K_1$ 及 $O_1$ 分潮的振幅和與半日潮的 $M_2$ 和 $S_2$ 分潮的振幅和之比值作為潮型判斷指標，稱為潮型因子F(Form factor)，其表示式如式(2-2)。當F

值介於0.0至0.25時朝夕為半日潮型；介於0.25至1.5的朝夕為以半日潮為主之混合潮型；介於1.5至3的朝夕為以全日潮為主之混合潮型；當FF值大於3的朝夕為全日潮型。

$$F = \frac{A_{K_1} + A_{O_1}}{A_{M_2} + A_{S_2}} \quad (2-2)$$

其中 $A_{K_1}$ 為主太陰全日潮分潮之振幅， $A_{O_1}$ 為主太陽全日潮分潮之振幅， $A_{M_2}$ 為主太陰半日潮分潮之振幅， $A_{S_2}$ 為主太陽半日潮分潮之振幅。

參考式(2-1)，計算台灣各測站潮型因子F值，其結果如圖1，典型之半日潮( $F < 0.25$ )大多位於麥寮以北至淡水，以及外島地區馬祖、金門、料羅灣、水頭等地區；其餘測站皆屬於以半日潮為主之混合潮型( $0.25 < F < 1.5$ )，由此可見，台灣海峽中部以半日潮為主，其餘則為以半日潮為主之混合潮型。

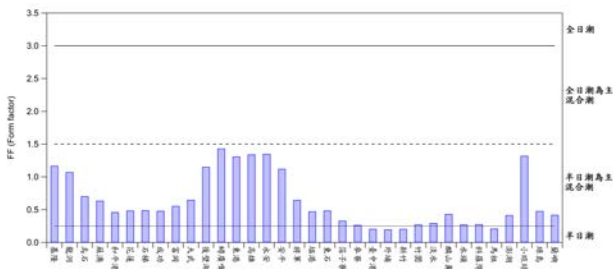


圖1 台灣各地區朝夕型態

## (二) 觀測資料

本文分析臺灣地區37個潮位站資料，並挑選出9個典型之半日潮潮型的測站，其站名分別有麥寮、台中港、外埔、新竹、竹圍、淡水、水頭、料羅灣、馬祖等觀測資料進行分析，所使用之觀測資料皆為5年以上去除氣壓影響後，再進行調和分析所得之天文潮位資料。

## (三) 高、低潮次別定義

每日起始潮高及潮時不一致，因此本文第N次高、低潮位皆由每天最低潮位開始算起，相對應位置如圖2所示。

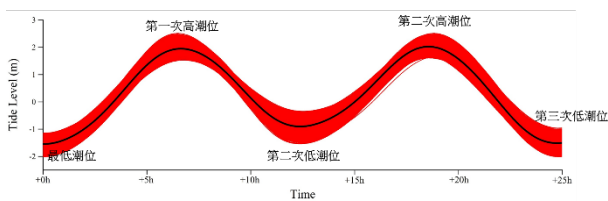


圖2 潮位曲線

## (四) 日潮差定義

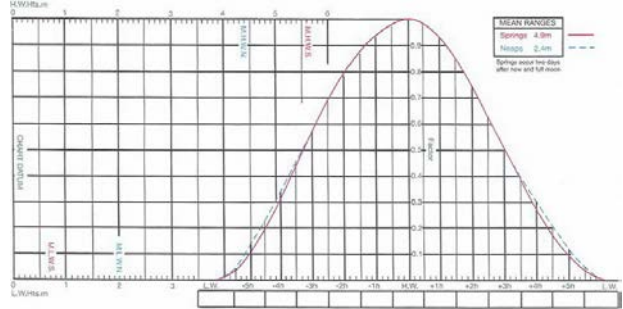
因台灣西岸海域部分港口受全日潮影響，考慮朝夕一完整作為統計標準，因此本文特將日潮差定義為每日00時00分至隔日00時59分之間追報最高潮位及最低潮位之差值，已改善某些天數不足2次高、低潮的情形。

## (五) 分析方法

本文使用Foreman(Foreman, 1977)發展之潮汐分析與Fortran程式套件，將5年以上之潮位數據進行調和分析，分

析出各測站之各分潮振幅與相位，再追報19年(2000-2018年)高、低潮之潮高與潮時，分別計算出日潮差及潮差變化累積機率百分比，藉以推估該地潮型正規化之圖形，並依據潮差變化累積機率百分比定義大、中、小潮；小於33.3%為小潮，大於66.7%為大潮，其餘則為中潮。

利用日潮差取出各地區之大、小潮潮位時序數據，並由每天最低潮位開始排序25小時後，將各時間點之每分鐘數據取平均值再由式(2-1)進行潮形正規化之計算並繪製潮形正規化圖形(如圖3所示)。



資料來源：英國皇家遊艇協會(Royal Yachting Association-RYA)

圖3 潮位正規化示意圖

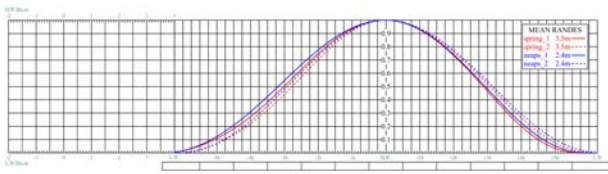
## 三、分析結果與討論

本研究9個潮位站大、小潮上下限值之統計分析結果如表1所示，潮差變化量最小為淡水測站，小潮上限值為2.076 m，大潮下限值為2.421 m，亦是在淡水測站，日潮差小於2.076 m者為小潮，日潮差大於2.421 m者則為大潮；潮差變化量最大為馬祖測站，小潮上限值為4.380 m，大潮下限值為5.347 m。

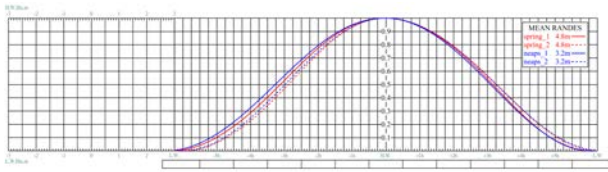
表1、大、小潮上下限值統計表

| 測站  | 小潮上限值   | 大潮下限值   |
|-----|---------|---------|
| 麥寮  | 2.804 m | 3.280 m |
| 台中港 | 3.761 m | 4.463 m |
| 外埔  | 3.303 m | 3.863 m |
| 新竹  | 3.303 m | 3.863 m |
| 竹圍  | 2.631 m | 3.108 m |
| 淡水  | 2.076 m | 2.421 m |
| 水頭  | 3.989 m | 4.770 m |
| 料羅灣 | 3.849 m | 4.582 m |
| 馬祖  | 4.380 m | 5.347 m |

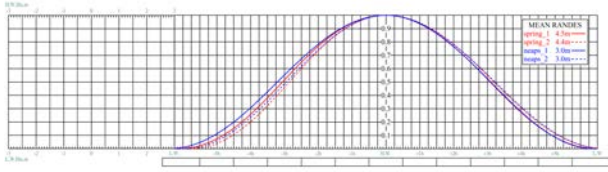
麥寮、台中港、外埔、新竹、竹圍、淡水、水頭、料羅灣、馬祖等為典型之半日潮測站，一天(25小時)內會有兩次高、低潮，為了增加第一次高潮位至第二次高潮位正規化數據之正確性，特將圖2從第二次低潮位分為兩段分別正規化，得半日潮潮形正規化圖形，如圖4所示，此圖形上spring\_1、neaps\_1分別為大、小潮18.6年潮位曲線第一次低潮位至第二次低潮位正規化後之圖形；spring\_2、neaps\_2則分別為大、小潮18.6年潮位曲線第二次低潮位至第三次低潮位正規化後之圖形，以下將介紹圖4之使用方法及其準確度。



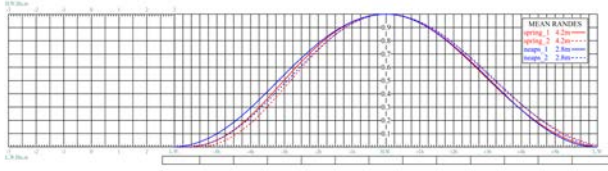
(a) 麥寮測站



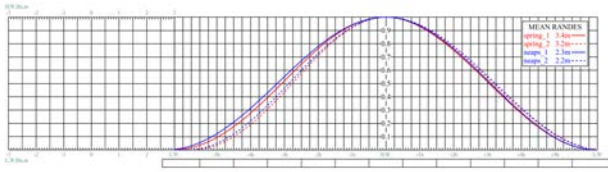
(b) 台中港測站



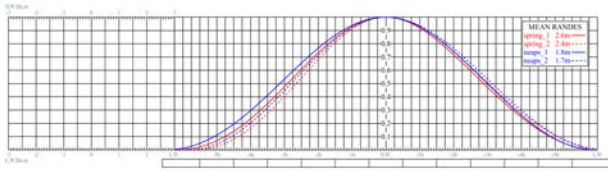
(c) 外埔測站



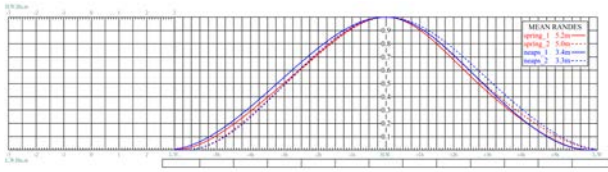
(d) 新竹測站



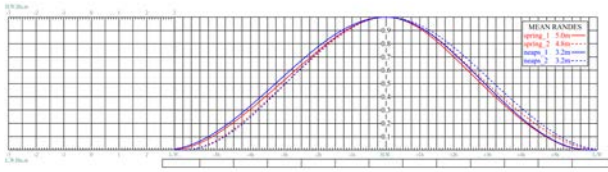
(e) 竹圍測站



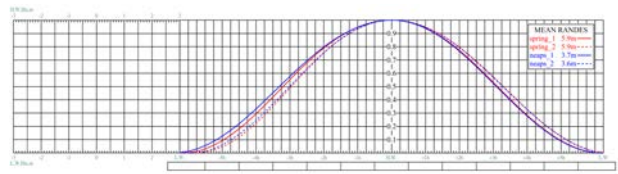
(f) 淡水測站



(g) 水鏡測站



(h) 料羅灣測站



(i) 馬祖測站

圖4 半日潮潮形正規化示意圖

假設馬祖測站於2017/10/04日潮差為5.627（對照表1屬於大潮），且於該天03時17分發生第一次低潮位-1.975 m、09時13分發生第一次高潮位2.784 m、15時30分發生第二次低潮位-2.510m、21時38分發生第二次高潮位3.117 m，若要求得該天11時55分之潮位，其使用方法如下：

- (1) 於圖4(a)下方格子內填入高潮位時間（為09時13分），再依序填入高潮位前後5hr及低潮位時間（分別為03時17分、15時30分）。
- (2) 因11時55分介於09時13分與15時30分之間，因此將這兩者之潮位標示於左側下方（低潮位）及左側上方（高潮位），並將兩點連線。
- (3) 於時間尺度找到11時55分，因此繪製一條碰到spring\_2的垂直線，由曲線的點向左延伸至(2)連起的線，再向上或向下讀取潮位高度，即為當日11時55分的潮位0.9 m。

搭配圖2潮位曲線與圖4半日潮潮形正規化曲線示意圖，可以得知，若最低潮位位於時間尺度之右手邊則適用spring\_1和neaps\_1，反之若最低潮位位於時間尺度之左手邊，則適用spring\_2和neaps\_2。圖5為上述步驟之示意圖，該範例之最低潮位位於時間尺度左手邊，因此適用於spring\_2。

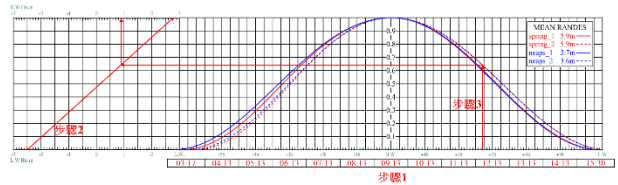


圖5 半日潮潮形正規化圖形使用方法之示意圖

分別挑選大、小潮各一天，以潮形正規化圖形所求得之潮位數據和追報值所得之每一分鐘潮位數據進行比對，大、小潮所挑選時間分別為2017/10/04(中秋節)及2017/03/20(春分)做為代表，比對之誤差值如表2所示，各測站neaps\_1誤差最大值約介於1.30 cm~6.38 cm、平均值約介於0.52 cm~2.91 cm，neaps\_2誤差最大值約介於2.11 cm~10.97 cm、平均值約介於0.70 cm~3.50 cm，spring\_1誤差最大值約介於4.47 cm~13.79 cm、平均值約介於1.96 cm~4.59 cm，spring\_2誤差最大值約介於3.72 cm~14.34 cm、平均值約介於1.39 cm~6.25 cm，整體而言大、小潮正規化曲線誤差較大測站分別為馬祖和新竹測站。

表2 半日潮潮形正規化圖形與追報之誤差值

| 測站  | neaps_1 |      | neaps_2 |      | spring_1 |      | spring_2 |      |
|-----|---------|------|---------|------|----------|------|----------|------|
|     | 最大值     | 平均值  | 最大值     | 平均值  | 最大值      | 平均值  | 最大值      | 平均值  |
| 麥寮  | 3.76    | 0.82 | 2.45    | 0.70 | 7.49     | 2.77 | 5.82     | 1.39 |
| 台中港 | 4.66    | 1.68 | 2.11    | 0.83 | 4.47     | 1.96 | 7.63     | 3.82 |
| 外埔  | 6.14    | 2.38 | 7.38    | 2.32 | 6.37     | 3.03 | 4.04     | 1.44 |
| 新竹  | 6.06    | 2.91 | 10.97   | 3.50 | 6.25     | 2.52 | 5.50     | 1.55 |
| 竹圍  | 3.60    | 1.41 | 3.24    | 0.93 | 10.64    | 4.51 | 5.59     | 2.91 |
| 淡水  | 1.30    | 0.52 | 4.73    | 1.38 | 5.54     | 2.63 | 3.72     | 1.88 |
| 水頭  | 6.02    | 1.98 | 5.48    | 2.55 | 10.61    | 4.18 | 11.85    | 4.72 |
| 料羅灣 | 6.38    | 2.42 | 4.31    | 2.06 | 7.46     | 3.57 | 6.99     | 2.87 |
| 馬祖  | 4.05    | 1.94 | 4.20    | 0.85 | 13.79    | 4.59 | 14.34    | 6.25 |

單位：cm

## 四、結論與建議

本研究參考英國皇家遊艇協會 (Royal Yachting Association- RYA) 所出版之培訓年鑑的方法研發出適用於台灣半日潮港口之潮形正規化曲線，其誤差最大值約介於1.30 cm ~ 14.34 cm，平均值約介於0.52 cm ~ 6.25 cm，誤差較大測站為馬祖測站，因馬祖潮差可高達5公尺以上，就比例而言此本研究推算潮位結果亦算尚可，可供航海者在無網路與無即時預報資訊條件下使用。

本研究只挑選大、小潮各一天，以潮形正規化圖形所求得之潮位數據和追報值所得之每一分鐘潮位數據進行比對，可能因比對天數不足導致統計結果無法具有代表性。因此建議未來應依據表1挑選更多大、小潮天數進行數據比對。

目前此方法僅適用於半日潮為主之港口，於全日潮為主之港口因潮形差異較大，未來將以同時正規化潮差及潮時的方式進行改善，以達亦適於各種潮型港口之目標。

## 謝誌

本論文潮位站觀測數據係由交通部中央氣象局提供。

## 參考文獻

1. 中央氣象局中心網站 (2017) , 「 [http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/marine/marine\\_all.htm](http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/marine/marine_all.htm) , 海象問答」, 中央氣象局中心網站。
2. 中央氣象局, 107 年度潮汐預報與海象資料處理系統發展(1/3)委託計畫, 期中報告, 國立高雄科技大學, 中華民國 107 年 06 月。
3. 李語宸、陳進益、張國棟、林勝豐 (2017) , 「鄉鎮潮汐預報之大中小潮特性研析」
4. 劉文俊 (1999) , 「台灣的潮汐」, 第二版。
5. Defant, Albert. (1960) *Physic Oceanography, Volume2*, New York.
6. Dietrich, G., K. Kalle, W. Krauss, and G. Siedler (1980) *General oceanography*, Interscience Publishers, New York.
7. Foreman, M. G. G. (1977) *Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction*. Pacific Marine Science Report 77-

10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, B.C., 58 pp. (2004 revision).

8. Pugh, D. T. (1987) *Tide, surges, and mean sea-level*. New York.
9. Royal Yachting Association (1990) *Rya Training Almanac Northern Hemisphere*