

馬祖南竿福澳港風力特性分析

林有騰¹ 林雅雯² 蔡立宏³ 鄭采誼⁴

¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員

²交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長

³交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任

⁴數位地球科技有限公司駐點工程師

摘要

馬祖地區各島之間彼此聯繫的交通仰賴海上藍色公路，其中馬祖南竿福澳港為馬祖 5 港區中最具規模者，為馬祖地區與臺灣本島、馬祖各離島以及小三通之主要客、貨運港口。港務管理及工務單位需要精準掌握各項海氣象資訊，以提升港口營運與工程品質，本研究除藉由完整蒐集南竿福澳港區風力觀測資訊，亦彙整交通部中央氣象局(以下簡稱氣象局)之風力觀測資料，進行資料蒐集率檢核，整理異常原因及應對對策，統計分析各測站相關性，並執行初步資料品管，同時分析資料分散情況，針對風力特性予以說明。最後進行海陸風差異性比較，藉以增進未來模擬預報及提供連江縣政府港務處「馬祖海情資訊系統」應用，以漸進方式提供完整的海域情資做為船舶航行、港埠營運管理及港灣工程施工等使用。研究結果顯示，南竿 3 個風力測站中以 W2 與 W3 相關性較高，建議南竿福澳港以港區 W2 風力測站為代表測站，W3 為次要測站，福澳港區風速平均值為 3.69m/s，全年主要吹東風，夏季吹西南風，春季、秋季及冬季主要吹東風，海陸風效應與各測站間距岸遠近及氣溫變化關係密切，以 W2 測站海陸風效應最大，W3 測站最小，2021 年 W2 與 W3 平均風速差異為 0.75m/s。

一、緒論

馬祖地區位於臺灣海峽西北方，主要包括南竿島、北竿島、東莒島、西莒島與東引島，島嶼眾多而分散，氣候屬亞熱帶海洋性氣候，受季風、洋流及地理位置影響，四季分明，冬冷潮濕，春夏多霧，秋天則是一般穩定天候；南竿是第一大島，面積最大為 10.64 平方公里，福澳港為四鄉五島 5 港區中最具規模者，因其所在位置南竿為連江縣政經中心，故此碼頭區成為馬祖地區與臺灣本島、馬祖各離島以及小三通之主要客、貨運港口。

連江縣政府委託交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)辦理「臺灣國內商港未來發展及建設計畫(101-105)及(106-110)-馬祖港埠建設計畫」之「港埠經營管理資訊系統建置計畫」。該計畫所建置之海氣象觀測系統，包含風力、波浪、潮位及海流觀測資訊，本研究使用南竿福澳港 2 處風力觀測站及氣象局 1 處風力觀測站做比較，藉由各因子相關性分析，定義出主要及次要觀測站，並進一步分析其特性，最後完整呈現南竿福澳港區之風力狀況。

二、研究範圍及方法

2.1 研究範圍

本研究針對佈設於馬祖南竿海氣象觀測儀器之風力觀測資料進行檢核及分析(如圖 1、表 1 及表 2 所示)，主要工作內容為風力特性之統計分析與建檔，海氣象觀測屬長期性監測，港研中心持續將歷年海氣象觀測資料蒐集整理並匯入專屬海氣象資料庫，利用自動化軟體設施，掌握即時海氣象資訊，提供交通部航港局、連江縣港務處、海事從業人員及產官學研各界做為船舶航行、港埠營運管理及港灣工程規劃設計施工等應用參考。



圖 1 南竿風力觀測儀器位置圖

表 1 南竿風力觀測儀器位置表

測站序號	位置	量測儀器(廠牌)	緯度	經度
W1	南竿福澳港區(福澳漁港加油站建築物上方)	風速計(Gill Wind Sonic)	26°9'36"N	119°56'37"E
W2	南竿福澳港區(港勤碼頭邊小白屋上方)	風速計、能見度(Gill MetPak-多參數)	26°9'42"N	119°56'33"E
W3	南竿夫人嶺	風速計(Young Brand)	26°10'10"N	119°55'23"E

表 2 南竿海氣象觀測儀器相關資料表

測站序號	觀測期間	使用資料期間	觀測單位
W1	2012/10-2022(觀測中)	2013-2021	港研中心
W2	2019/06-2022(觀測中)	2020-2021	港研中心
W3	2004/01-2022(觀測中)	2015-2021	氣象局

2.2 資料快速品管

美國的海洋綜合觀測系統(Integrated Ocean Observing System, IOOS)^[1]之海洋即時資料品保手冊(Manual of Quality Assurance of Real-Time Ocean Data, QARTOD Manual)中，依儀器種類與測站形式分類，提供標準化資料品質控管檢測程序，如表 3 所示，將品管檢驗分為 11 個細項，將原始觀測數據經資料品管檢驗後，將依據檢測結果給予資料品質狀態標記如「1」為通過、「2」為未檢測、「3」為可疑的資料、「4」為未通過、「9」為遺失資料，如表 4 所示。

本研究採用 QARTOD Manual 之檢測項目如下：

- (1)Test 4 - Gross Range Test(極限值檢驗)：介於儀器極限值範圍標記為 1，超過儀器極限值範圍標記為 4。
- (2)Test 5 - Climatology Test(季節性極限值檢驗)：小於該點測站的季節性極限值檢驗標記為 1，大於該點測站的季節性極限值檢驗標記為 3(可疑的資料)。
- (3)Test 7 - Rate of Change Test(資料變化率檢驗)：採取樣 24 小時資料做為樣本母體，若母體資料少於 8 小時則標記為 2，若資料變化率小於 3 倍標準差標記為 1，超過 3 倍標準差標記為 3(可疑的資料)。

表 3 QARTOD Manual 品管檢驗

測試項目	說明
Test 1 Timing/Gap Test(資料時序檢驗)	檢驗資料點連續性與時間間隔正確性
Test 2 Syntax Test(資料格式檢驗)	檢驗資料傳輸格式與編碼正確與否
Test 3 Location Test(座標資料檢驗)	檢驗浮標測站之 GPS 座標資料
Test 4 Gross Range Test(極限值檢驗)	檢驗資料是否超過儀器或是物理現象的極限值
Test 5 Climatology Test (季節性極限值檢驗)	檢驗資料是否超過逐月變化合理範圍或是季節性變動的極限值
Test 6 Spike Test(離群值檢驗)	檢驗資料是否為短時距之離群值
Test 7 Rate of Change Test(資料變化率檢驗)	檢驗資料的短時距變化率是否超過觀測值標準差變化率
Test 8 Flat Line Test(觀測值無變動檢驗)	檢驗資料是否長時間僅有微小變動或是毫無變化
Test 9 Multi-Variate Test(複合變數檢驗)	使用其他類型並具有相關性之觀測值，檢驗資料的特性
Test 10 Attenuated Signal Test(訊號衰減檢驗)	檢驗資料於一定時間區間內是有適當的變化量
Test 11 Neighbor Test(鄰站比對檢驗)	檢驗資料與鄰近測站觀測結果的相似性

表 4 QARTOD Manual 品管檢驗

Flag	Description
Pass=1	Data have passed critical real-time quality control tests and are deemed adequate for use as preliminary data.
Not Evaluated=2	Data have not been QC-tested, or the information on quality is not available.
Suspect or Of High Interest=3	Data are considered to be either suspect or of high interest to data providers and users. They are flagged suspect to draw further attention to them by operators.
Fail=4	Data are considered to have failed one or more critical real-time QC checks. If they are disseminated at all, it should be readily apparent that they are not of acceptable quality.
Missing Data=9	Data are missing; used as a placeholder.

2.3 盒鬚圖分析

本研究風力資料亦進行盒鬚圖分析，藉以顯示出一組數據的最大值、最小值、中位數、及上下四分位數，當有數值與第 1 與第 3 四分位數的範圍差距 $1.5 \times IQR$ 以上時，該值為離群值 (outlier)，數值位於範圍外 $1.5 \times IQR$ 到 $3 \times IQR$ 範圍的數值，為適度離群值 (mild outlier)，數值位於範圍外 $3 \times IQR$ 以上的數值，為極端離群值 (extreme outlier)。

2.4 風速剖面

本研究採用指數分佈公式(Power law distribution, Panofsky and Dutton, 1984)，求得不同高度之風速值，指數分布公式如下：

$$\frac{U_{zg}}{U_z} = \left(\frac{Z_g}{Z}\right)^\alpha \quad 0 \leq Z \leq Z_g \quad \dots \dots \dots \quad \dots \dots \dots \quad \dots \quad (1)$$

其中：

U_{zg} ：臨界風速(m/s)。

U_z ：高度 Z 之風速(m/s)。

α ：10 分鐘平均風速之垂直分佈指數，與地況指數有關(如表 5)^[2]。

表 5 臺灣現行地況分類

地況種類	地表特性	α	$Z_g(m)$
地況 A	大城市市中心，至少有 50%之建築物高度大於 20 公尺者。建築物迎風向之前方至少 800 公尺或建築物高度 10 倍的範圍（兩者取大值）係屬此種條件下，才可使用地況 A。	0.32	500
地況 B	大城市市郊、小市鎮或有許多像民舍高度 (10~20 公尺)，或較民舍為高之障礙物分佈其間之地區者。	0.25	400
地況 C	平坦開闊之地面或草原或海岸或湖岸地區，其零星之障礙物高度小於 10 公尺者。	0.15	300

註 Z_g ：梯度高度(m)，與地況種類有關。

2.5 海陸風特性

因海洋與陸地受熱不均，陸地溫度在晝夜差異大，海洋晝夜溫差小，海陸溫差會造成每天的近岸風向有海風(空氣從海面上向陸地流動)或陸風(空氣從陸地向海洋流動)相反方向的現象，海陸風強度與海陸溫差大小有關，白天海陸溫差較大，夜間海陸溫差較小，一般而言，海風比陸風強，海風約從上午 10 至 11 時開始發展，到了下午 14 至 15 時達到最強，在臺灣地區，春、夏季之海風則多於上午 9 至 10 時開始，各地區強度不同，梧棲最大可達 8m/s，花蓮可達 9.2m/s；陸風則開始於晚上 20 至 21 時，所增加之風速小於海風，在梧棲最大可達 3.8m/s^[3]。

海風或陸風會造成不同的近岸風場，在波浪模擬上亦是重要考量因素，為了清楚判斷近岸風場海陸風效應，Simpson(1994)提出風速以 7m/s 為界定值^[5]，大於 7m/s 的風速，海陸風效應可以忽略，小於 7m/s 的風速，則可用來區分海陸風的組成，量化對於海陸風效應的認知^{[4][6]}。

三、研究成果

3.1 蒐集率分析

海氣象研究屬長期性作業，在統計學上的樣本數越多，其統計結果越具代表性，在描述某地區的海氣象統計性質時，可以區分為短期性及長期性統計特性，短期性海氣象統計特性係指使用 1 年或 1 年以內的觀測資料進行之統計分析，長期性海氣象統計特性則係指使用超過 1 年的觀測資料所進行之統計分析，而其中更重要的是觀測資料的完整性，因此，整理其蒐集情況實為第 1 要項。

臺灣從 1986 年開始發展近海海域的觀測技術發展，致力收集鄰近海域與港口的海氣象觀測資料，目前共計有氣象局、港研中心、成功大學近海水文中心等單位，多年來研究發展長期性海象預報內容，包括風力、波浪、潮汐及海流之海象觀測特性分析等，並且建立資料庫與資料年報之製作與分析，本節係針對馬祖南竿福澳港所建置之風力觀測站，蒐集彙整歷年觀測資料並做初步分析探討，各年度觀測資料統計範圍係涵蓋自上一年度 12 月起至當年度 11 月，統計分析現場觀測資料共 12 個月份，其中，12 月至 2 月為冬季，3 月至 5 月為春季，6 月至 8 月為夏季，9 月至 11 月為秋季。

3.1.1 風力觀測資料蒐集

馬祖南竿風力觀測資料來源為港研中心及氣象局，港研中心於南竿福澳港區設置有 2 種不同形式風力觀測儀器，測站序號分別為 W1 及 W2，資料頻率使用整點之 10 分鐘平均風速資料做分析，氣象局於南竿夫人嶺設置風力觀測儀器，測站序號為 W3，為瞭解上述風力觀測儀器各月份、年度及 4 季有效紀錄的蒐集率，整理如表 6 至表 8 所示。

有關馬祖南竿 W1、W2 及 W3 風力觀測資料蒐集率分別說明如下：W1 歷年全期蒐集率 70.7%，2013、2014、2015、2016 年觀測資料蒐集率有 90%以上，2021 年蒐集率尚有 78.4%，

其餘 4 年皆低於 70%；W2 歷年全期蒐集率 81.4%，以 2020 年蒐集率 83.1%及 2021 年蒐集率 79.8%為觀測資料較齊全之年份；W3 歷年全期蒐集率 96.4%，除 2016 年蒐集率 74.9%，其餘 6 年蒐集率皆為 100%。

透過整理及分析馬祖南竿福澳港風力觀測資料狀況，歸納出較常發生之異常情形為資料謬誤及蒐集率異常，有關資料謬誤有 2 種狀況：1.同時段觀測值出現 2 筆或多筆相同資料、2.同時段觀測值出現多筆不同資料；其可能原因為：1.電力異常或氣候炎熱導致數據機當機問題(儀器與數據機傳輸資料時出現數據異常重複)、2.市電停電並啟用備用電池，電池出現供電電壓不穩情形，導致儀器透由觀測物理狀態反饋電壓值出現異常；有關蒐集率異常則可能原因為：1.電子零件受潮故障、2.氣候炎熱導致線材劣化破損、3.施工或船舶作業意外損壞傳輸纜線、4.備用電池出現異常、5.網路通訊中斷，當現場儀器回傳資料發生中斷，可透過定時器以每 3~4 小時執行一次斷電重啟之程序，若仍無法改善異常情況，則需至現場依據實際狀況以個案方式進行交叉測試、更換備品等檢修，因馬祖係屬離島，交通不易，每年 3 至 6 月易受霧季影響，所需備品近年亦有缺料遞延導致維修時程延遲問題，種種因素使得維持良好的海氣象觀測資料蒐集率實為一大艱鉅任務，相關原因及對策整理如表 9。

表 6 W1(2013-2021)蒐集率統計表

月份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	全期
1	99.9%	100.0%	100.0%	99.9%	34.3%	0.0%	43.4%	0.0%	11.4%	54.3%
2	76.1%	99.9%	100.0%	99.7%	36.0%	2.1%	33.4%	0.0%	100.0%	60.8%
3	99.1%	99.9%	99.9%	97.5%	34.6%	80.0%	53.1%	0.0%	49.6%	68.2%
4	95.5%	99.7%	99.9%	99.9%	39.4%	94.1%	73.5%	0.0%	100.0%	78.0%
5	83.7%	100.0%	99.9%	97.5%	43.1%	93.1%	83.2%	0.8%	100.0%	77.9%
6	69.4%	99.7%	100.0%	68.7%	35.4%	67.1%	75.3%	0.0%	100.0%	68.4%
7	96.0%	99.9%	100.0%	99.9%	20.4%	91.2%	100.0%	0.0%	100.0%	78.6%
8	99.9%	99.9%	100.0%	99.9%	43.8%	97.1%	99.5%	0.0%	84.3%	80.5%
9	99.7%	99.4%	98.6%	100.0%	99.9%	89.4%	100.0%	0.0%	100.0%	87.4%
10	97.8%	98.3%	99.9%	91.4%	99.9%	1.7%	98.9%	9.8%	100.0%	77.5%
11	99.9%	99.9%	100.0%	84.0%	32.0%	33.1%	28.2%	0.0%	38.7%	57.3%
12	88.7%	100.0%	99.3%	99.9%	43.5%	0.0%	36.4%	0.0%	60.0%	58.7%
整年	92.3%	99.7%	99.8%	94.9%	46.9%	54.3%	69.0%	0.9%	78.4%	70.7%
春	92.7%	99.9%	99.9%	98.3%	39.1%	89.0%	69.9%	0.3%	83.0%	74.7%
夏	88.6%	99.8%	100.0%	89.7%	33.1%	85.3%	91.7%	0.0%	94.7%	75.9%
秋	99.1%	99.2%	99.5%	91.8%	77.5%	41.0%	75.9%	3.4%	79.8%	74.1%
冬	88.6%	99.9%	99.7%	99.8%	38.0%	0.6%	37.9%	0.0%	55.7%	57.8%

表 7 W2(2020-2021)蒐集率統計表

月份	2020	2021	全期
1	93.2%	83.9%	88.6%
2	91.2%	81.8%	86.5%
3	87.1%	84.9%	86.0%
4	85.3%	89.1%	87.2%
5	78.9%	85.4%	82.1%
6	87.3%	87.8%	87.6%
7	86.8%	79.5%	83.2%
8	86.0%	43.5%	64.8%
9	63.0%	100.0%	81.5%
10	60.1%	53.0%	56.6%
11	82.5%	87.2%	84.9%
12	95.9%	82.5%	89.2%
整年	83.1%	79.8%	81.4%
春	83.7%	86.4%	85.1%
夏	86.7%	70.1%	78.4%
秋	68.5%	79.8%	74.1%
冬	93.5%	82.8%	88.1%

表 8 W3(2015-2021)蒐集率統計表

月份	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	全期
1	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
2	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
3	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
4	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
5	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
6	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
7	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
8	100.0%	0.1%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	85.7%
9	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	85.7%
10	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	85.7%
11	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%
12	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
整年	100.0%	74.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	96.4%
春	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
夏	100.0%	66.3%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	95.2%
秋	100.0%	32.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	90.4%
冬	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

表 9 異常情形原因及對策分析表

異常情形		異常設備	可能原因	對策
資料謬誤	同時段觀測值出現 2 筆或多筆相同資料	數據機、備用電池	電力因素(電壓不穩)、氣候因素(炎熱)	定時重啟、現場檢修、備品購置
	同時段觀測值出現多筆不同資料			
蒐集率異常	觀測資料傳輸中斷	數據機、備用電池、纜線、電子零件、儀器	電力因素(供電不穩，電流突波)、氣候因素(炎熱、雷擊、潮濕)、人為因素(交通受阻、施工或船舶作業意外影響、缺料遞延)、通訊因素	定時重啟、現場檢修、備品購置

3.2 風力

3.2.1 風力資料

本研究彙整歷年馬祖南竿風速風向觀測資料(W1、W2 及 W3)，繪製相關統計圖表進行分析探討，首先分析 3 站歷年平均風速趨勢相關性，取用歷年蒐集率 70%以上之年份觀測資料做相關性分析，如圖 2 至圖 4 及表 10，篩選後較適合之資料年份為 2015、2016、2020 及 2021 年，W1 站、W2 站及 W3 站之相關係數說明如下(如表 11)，W1 站與 W2 站於 2021 年相關係數為 0.69，屬於中度相關；W1 站與 W3 站於 2015 年相關係數為 0.61，屬於中度相關，2016 年相關係數為 0.62，屬於中度相關，2021 年相關係數為 0.62，屬於中度相關；W2 站與 W3 站於 2020 年相關係數為 0.86，屬於高度相關，2021 年相關係數為 0.79，屬於高度相關，由表 11 可知，W2 站與 W3 站風速相關係數係呈現較高相關性，接著比較 3 站平均風向相關性，如表 12，可以推知 3 站風向因各自設站位置不同，受地形因素影響，風向相關性並不高，因此本研究選擇 W2 站為南竿福澳港風力資料代表測站，W3 站作為次要檢核測站。

為了更確切瞭解 W2 及 W3 兩站間 2021 年各月風速風向相關性，另將風速風向轉換成 E-W 分量及 N-S 分量後重新計算相關係數，如圖 5 及表 13，可發現除了 10 月外，大部分月份均呈現高度相關(0.71~0.95)，少部分為中度相關(0.47~0.69)，特別是 12 月、1 月、2 月、3 月、4 月、8 月、9 月及 11 月相關係數有明顯提高的情形，以整年相關係數來看，E-W 分量及 N-S 分量皆屬於高度相關。

表 10 馬祖南竿風力觀測站蒐集率統計

年份 \ 測站	W1(%)	W2(%)	W3(%)
2015	99.8		100
2016	94.9		74.9
2020	0.9	83.1	100
2021	78.4	79.8	100

表 11 馬祖南竿各風力觀測站平均風速相關性統計

年份 \ 測站	平均風速相關性	W1	W2	W3
2015	W1	1		0.61
	W2			
	W3	0.61		1
2016	W1	1		0.62
	W2			
	W3	0.62		1
2020	W1	1		
	W2		1	0.86
	W3		0.86	1
2021	W1	1	0.69	0.62
	W2	0.69	1	0.79
	W3	0.62	0.79	1

表 12 馬祖南竿各風力觀測站平均風向相關性統計

年份 \ 測站	平均風向相關性	W1	W2	W3
2015	W1	1		0.58
	W2			
	W3	0.58		1
2016	W1	1		0.55
	W2			
	W3	0.55		1
2020	W1	1		
	W2		1	0.34
	W3		0.34	1
2021	W1	1	-0.57	-0.37
	W2	-0.57	1	0.35
	W3	-0.37	0.35	1

表 13 馬祖南竿 W2 及 W3 風力觀測站 E-W 分量及 N-S 分量相關性統計

時間	平均風速相關性	平均風向相關性	E-W 分量	N-S 分量
2020/12	0.81	0.03	0.66	0.5
2021/1	0.7	0.13	0.8	0.47
2021/2	0.73	0.2	0.71	0.72
2021/3	0.7	0.25	0.79	0.71
2021/4	0.67	0.15	0.72	0.68
2021/5	0.86	0.4	0.82	0.92
2021/6	0.92	0.43	0.88	0.95
2021/7	0.66	0.47	0.8	0.93
2021/8	0.69	0.33	0.69	0.8
2021/9	0.81	0.27	0.75	0.82
2021/10	0.85	0.24	0.73	0.32
2021/11	0.81	0.23	0.71	0.75
整年	0.79	0.35	0.82	0.85
春	0.77	0.33	0.82	0.86
夏	0.83	0.43	0.83	0.92
秋	0.85	0.26	0.78	0.7
冬	0.7	0.17	0.75	0.56

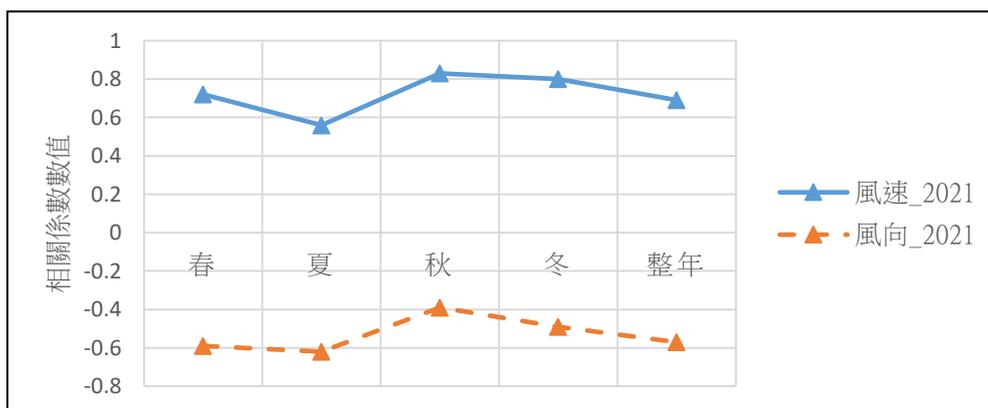


圖 2 馬祖南竿 W1 站及 W2 站風速計相關係數趨勢圖(2021 年)

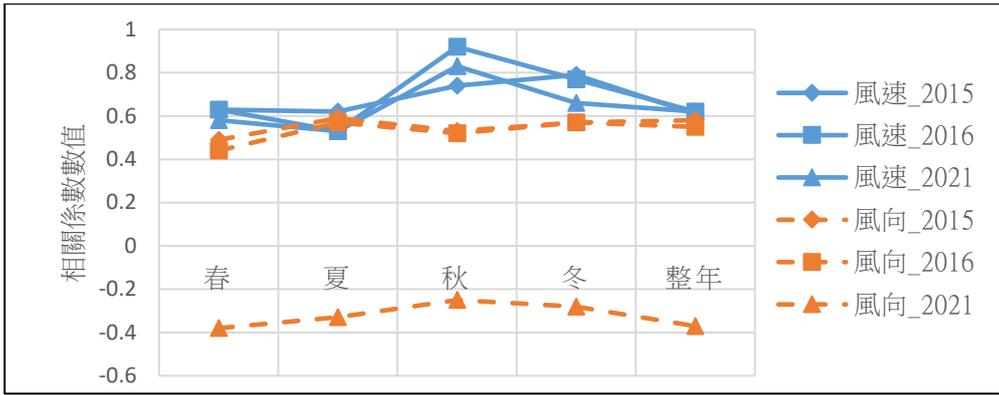


圖 3 馬祖南竿 W1 站及 W3 站風速計相關係數趨勢圖(2015、2016 及 2021 年)

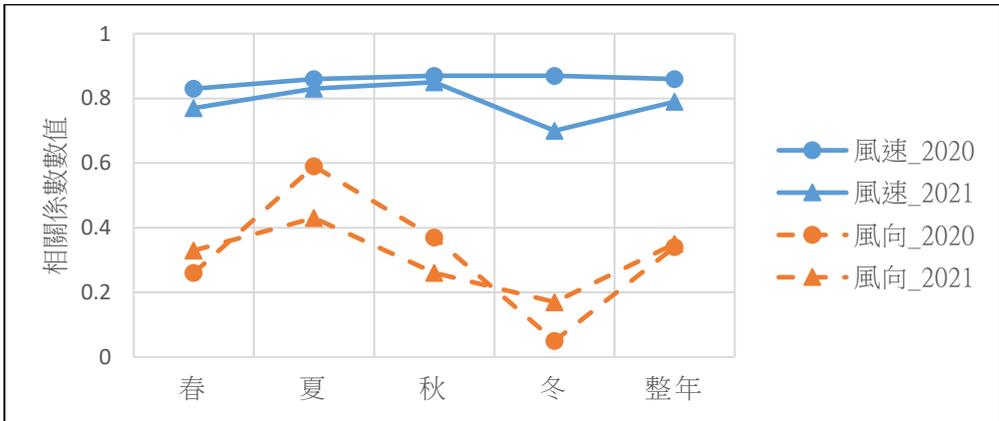


圖 4 馬祖南竿 W2 站及 W3 站風速計相關係數趨勢圖(2020 及 2021 年)

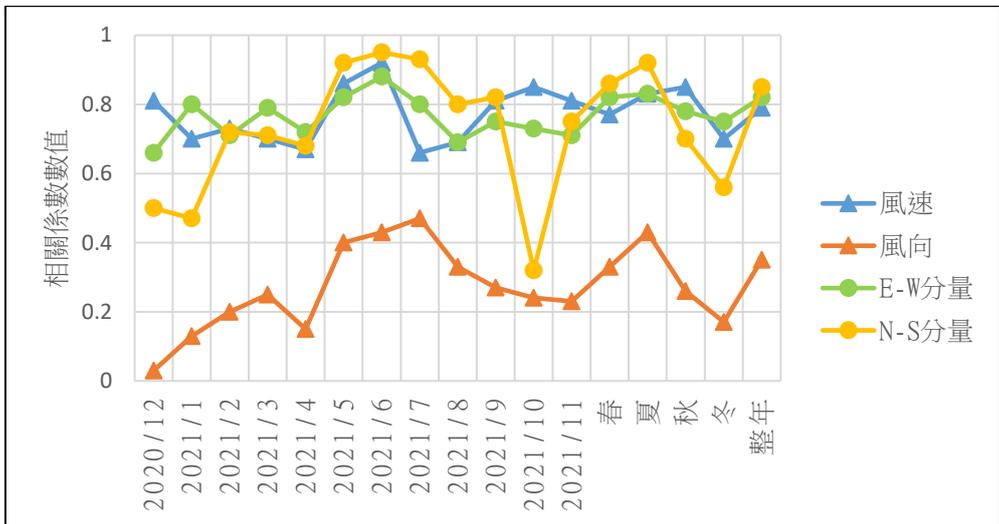


圖 5 馬祖南竿 W2 站及 W3 站風速計 E-W 分量及 N-S 分量相關係數趨勢圖(2021 年)

3.2.2 風力資料品管

2020~2021 年風力觀測資料主要代表站 W2 與次要檢核站 W3 之平均風速歷線圖，如圖 6 至圖 13 所示，另外，選取 W2 站 2020~2021 年風力資料，資料頻率使用整點之 10 分鐘平均風速做品管檢核，儀器極限值(Test4)W2 站為 0~90m/s，介於極限值範圍標註為 1，超過則標註為 4；季節性極限值(Test5)經分析 W1 站(2013-2021)、W2 站(2019-2021)及 W3 站(2007-2021)平均風速，超過歷年累積機率 99.9%所對應之觀測值，並從中選出最大值作為 4 季代表之極限值，極限值設定如表 14，4 季極限值為春季 11.3(m/s)、夏季 14.3(m/s)、秋季 15.16(m/s)及冬季 10.11(m/s)，小於季節性極限值標註為 1，超過則標註為 3；資料變化率檢驗(Test7)，採取樣 24 小時資料做為樣本母體，若母體資料少於 8 小時則標記為 2，若資料變化率小於 3 倍標準差標記為 1，超過 3 倍標準差標記為 3，最後結果再經由人工查閱可疑資料的方式，藉以判定其中未通過之資料，並整理出可疑資料常見之狀況。

經檢驗，2020~2021 年風力資料，儀器極限值通過率皆為 100%；季節性極限值 2020 年春季有 4 筆可疑資料，夏季有 3 筆可疑資料，其中 2020 年 6 月 10 日 12 時 40 分風速為 17.8m/s，與前後 10 分鐘風速 6.24m/s 及 5.92m/s 差距甚大，風向 340.2 度與前後 10 分鐘風向 228.84 度及 221.63 度差距甚大，判定為未通過資料，2020 年 7 月 13 日 5 時 10 分、2020 年 8 月 3 日整點資料亦然，風速及風向皆與前後 10 分鐘差距甚大，判定為未通過資料，冬季有 4 筆可疑資料，2020 年 1 月 1 日 12 時 40 分風速為 12.9m/s，與前後 10 分鐘風速 3.39 m/s 及 4.77 m/s 差距甚大，判定為未通過資料，2020 年 1 月 1 日 20 時 10 分、2020 年 1 月 21 日 17 時 40 分、2020 年 2 月 28 日 17 時 40 分資料亦然，風速及風向皆與前後 10 分鐘差距甚大，判定為未通過資料，2021 年冬季有 7 筆可疑資料；經人工判定 2020 年春季和冬季分別有 3 筆及 4 筆為未通過資料，2020 年通過率為 99.98%，2021 年通過率為 99.97%；資料變化率檢驗之可疑資料筆數較多，如表 15 及表 16，2020 年可疑筆數 62 筆，通過率為 98.28%，2021 年可疑筆數 46 筆，通過率為 99.8%，經人工檢視其中可疑資料，整理後有以下情形：1.樣本母體資料筆數較少，資料波動敏感度較大 2.當下可疑之觀測值為風速轉變之開始，後續多筆資料風速漸增 3.持續一段時間為穩定風速，造成 3 倍標準差過於嚴苛，風速略微提升即判定可疑。

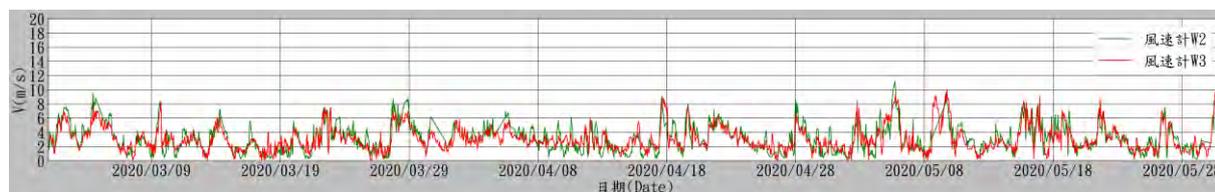


圖 6 馬祖南竿 W2 及 W3 風速計平均風速歷線圖(2020 春)

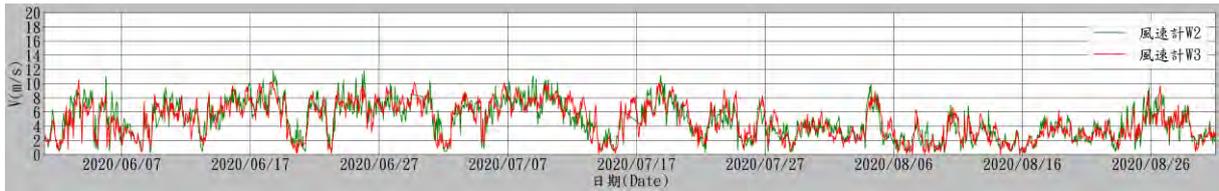


圖 7 馬祖南竿 W2 及 W3 風速計平均風速歷線圖(2020 夏)

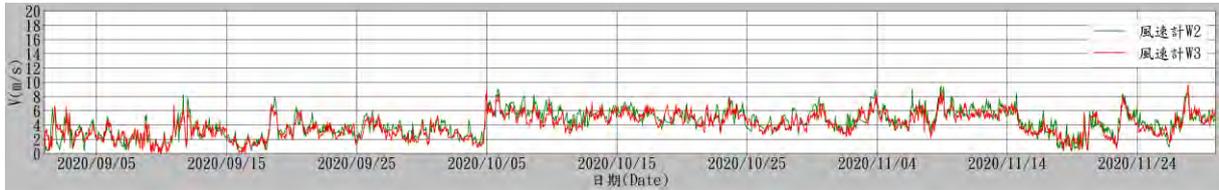


圖 8 馬祖南竿 W2 及 W3 風速計平均風速歷線圖(2020 秋)



圖 9 馬祖南竿 W2 及 W3 風速計平均風速歷線圖(2020 冬)

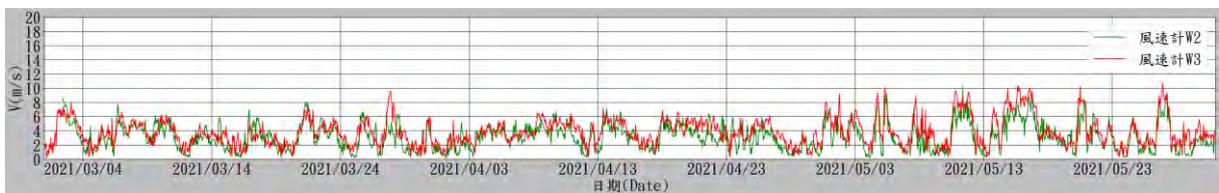


圖 10 馬祖南竿 W2 及 W3 風速計平均風速歷線圖(2021 春)

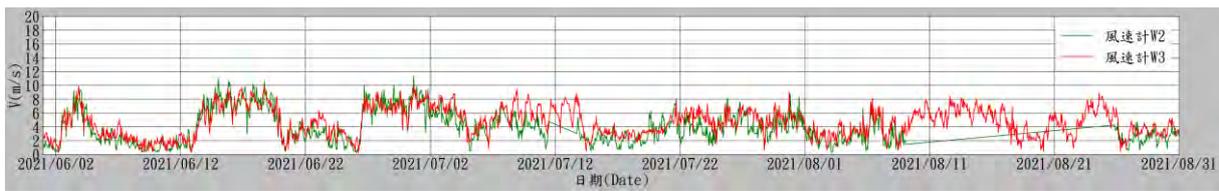


圖 11 馬祖南竿 W2 及 W3 風速計平均風速歷線圖(2021 夏)

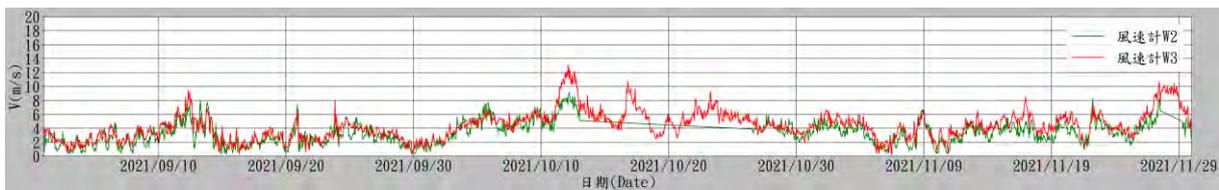


圖 12 馬祖南竿 W2 及 W3 風速計平均風速歷線圖(2021 秋)



圖 13 馬祖南竿 W2 及 W3 風速計平均風速歷線圖(2021 冬)

表 14 馬祖南竿風速計各站季節性極限值及儀器極限值整理

風速計	統計區間	儀器極限值(m/s)	春(m/s)	夏(m/s)	秋(m/s)	冬(m/s)
W1	2013~2021	0~60	10.11	9.64	15.16	10.11
W2	2019~2021	0~90	9.66	11.25	9.27	9.39
W3	2007~2021	0~100	11.3	14.3	11.8	9.7

表 15 馬祖南竿 W2 風速計品管通過率(2020)

時間長度 (2020)	資料筆數	flag=9	Test4				通過率	Test5				通過率	Test7				通過率
			flag=1	flag=2	flag=3	flag=4		flag=1	flag=2	flag=3	flag=4		flag=1	flag=2	flag=3	flag=4	
整年	43798	8906	43798	0	0	0	100%	43787	0	4	7	99.97%	43043	40	62	7	98.28%
春	11094	2154	11094	0	0	0	100%	11090	0	4	0	99.96%	10909	16	16	0	98.33%
夏	11485	1763	11485	0	0	0	100%	11482	0	0	3	99.97%	11097	24	10	3	96.62%
秋	8970	4134	8970	0	0	0	100%	8970	0	0	0	100.00%	8815	0	17	0	98.27%
冬	12249	855	12249	0	0	0	100%	12245	0	0	4	99.97%	12222	0	19	4	99.78%

表 16 馬祖南竿 W2 風速計品管通過率(2021)

時間長度 (2021)	資料筆數	flag=9	Test4				通過率	Test5				通過率	Test7				通過率
			flag=1	flag=2	flag=3	flag=4		flag=1	flag=2	flag=3	flag=4		flag=1	flag=2	flag=3	flag=4	
整年	41919	10641	41919	0	0	0	100%	41912	0	7	0	99.98%	41834	39	46	0	99.80%
春	11451	1797	11451	0	0	0	100%	11451	0	0	0	100.00%	11432	8	11	0	99.83%
夏	9289	3959	9289	0	0	0	100%	9289	0	0	0	100.00%	9264	15	10	0	99.73%
秋	10453	2651	10453	0	0	0	100%	10453	0	0	0	100.00%	10427	16	10	0	99.75%
冬	10726	2234	10726	0	0	0	100%	10719	0	7	0	99.93%	10711	0	15	0	99.86%

3.2.3 風力資料盒鬚圖

經統計 W2 測站 2020 及 2021 年整年與 4 季平均風速觀測之平均值、標準差、最小值、25 百分位、50 百分位、75 百分位、最大值、離群率、適度離群率及極端離群率，如表 17 及表 18 所示，盒鬚圖如圖 14 及 15 所示。整體而言，春季風速相對較低且較為穩定，夏季風速相對較高且最大值為 4 季之最，以標準差來看，2020 及 2021 年夏季分別為 2.55m/s 及 2.33m/s，為 4 季中之最大值，亦是 4 季中風速變化程度較大的季節，2020 及 2021 年風速平均值差距不大，整年與 4 季平均值及中位數差距亦不大，風速介於 2.5~5m/s，一般來說，離群率越大會造成平均值與中位數差值越大，特別的是 2021 年秋季，離群率為 1.37%，平均值為 3.29m/s，中位數為 3.12m/s，兩值雖有差距，與其他季節相比並不明顯，原因係為該年度秋季風速大小較為集中，

造成較多觀測值變成離群值的現象，2020 年盒鬚圖整年資料，其極端離群率的資料亦存在經品管作業後判斷為未通過之資料。

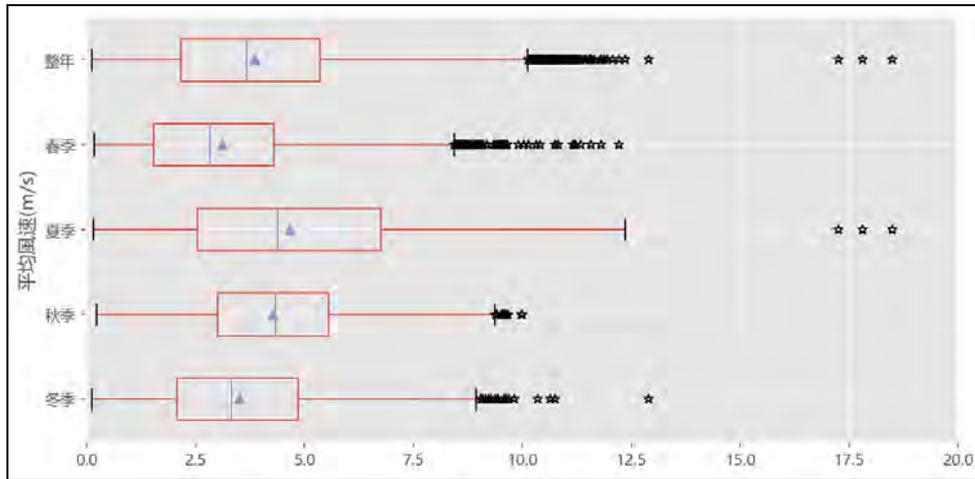


圖 14 W2 測站 2020 年平均風速盒鬚圖

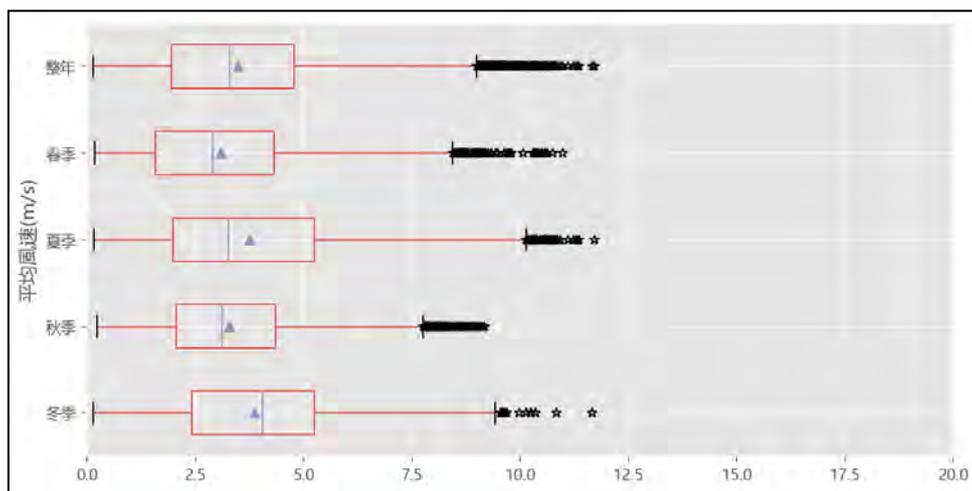


圖 15 W2 測站 2021 年平均風速盒鬚圖

表 17 W2 測站 2020 年平均風速盒鬚圖資料

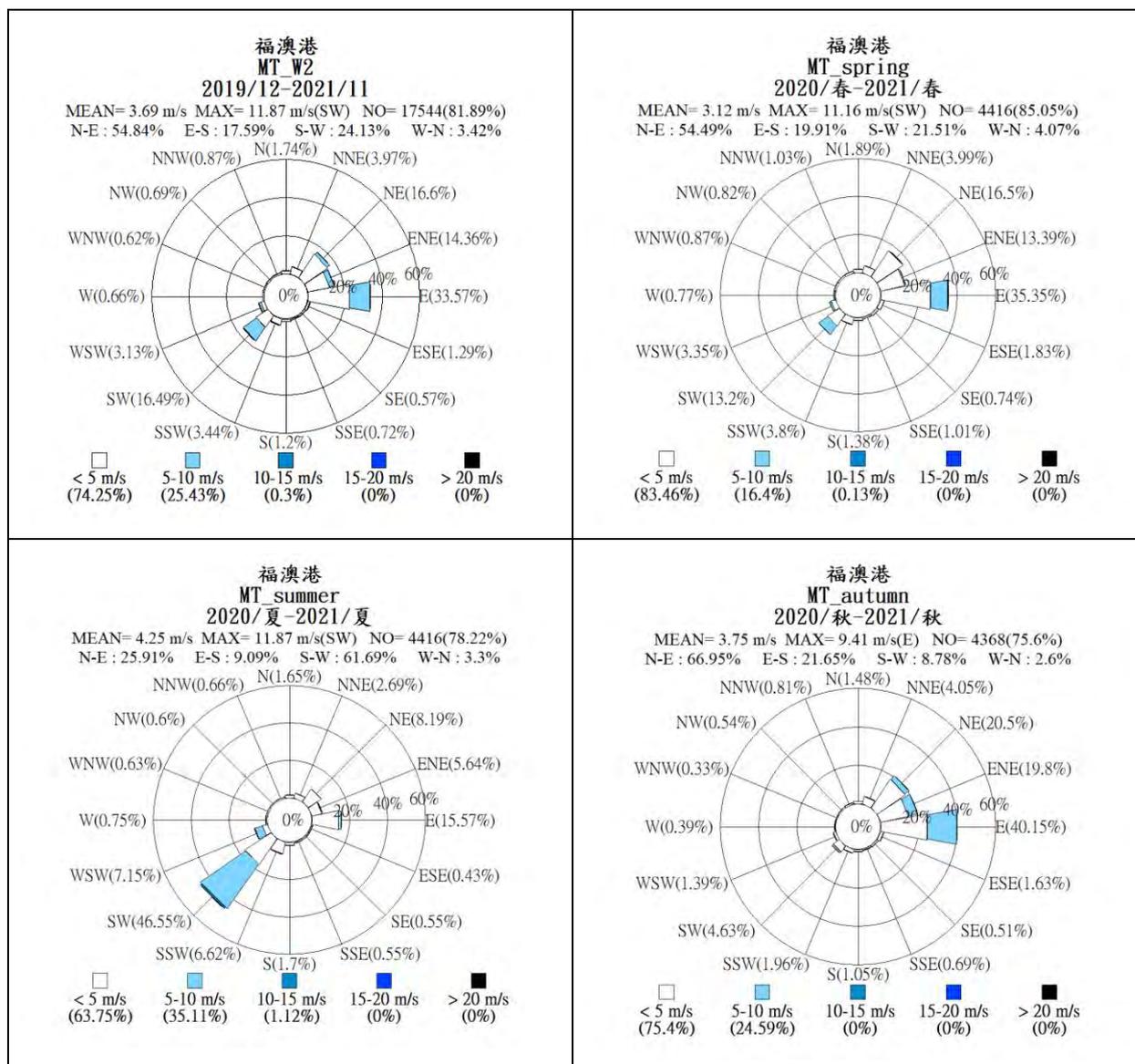
時間	資料筆數	平均值	標準差	最小值	25 百分位	50 百分位	75 百分位	最大值	離群率	適度離群率	極端離群率
整年	43798	3.87	2.18	0.11	2.17	3.67	5.35	10.12	0.37%	0.37%	0.01%
春季	11094	3.11	1.93	0.17	1.54	2.82	4.3	8.43	0.69%	0.69%	0.00%
夏季	11485	4.66	2.55	0.15	2.54	4.39	6.78	13.07	0.03%	0.03%	0.00%
秋季	8970	4.28	1.83	0.23	3	4.33	5.55	9.38	0.14%	0.14%	0.00%
冬季	12249	3.51	1.92	0.11	2.07	3.33	4.85	9.02	0.16%	0.16%	0.00%

表 18 W2 測站 2021 年平均風速盒鬚圖資料

時間	資料筆數	平均值	標準差	最小值	25 百分位	50 百分位	75 百分位	最大值	離群率	適度離群率	極端離群率
整年	41919	3.49	1.97	0.13	1.95	3.29	4.77	9	0.75%	0.75%	0.00%
春季	11451	3.09	1.87	0.17	1.57	2.89	4.32	8.45	0.66%	0.66%	0.00%
夏季	9289	3.76	2.33	0.16	1.98	3.25	5.24	10.13	0.42%	0.42%	0.00%
秋季	10453	3.29	1.67	0.23	2.06	3.12	4.34	7.76	1.37%	1.37%	0.00%
冬季	10726	3.86	1.9	0.13	2.42	4.04	5.25	9.5	0.14%	0.14%	0.00%

3.2.4 風力資料分析

2020 及 2021 年(以下簡稱全期)資料來看,南竿福澳港全期風速及風向玫瑰圖如圖 16,全期風速平均值為 3.69m/s,夏季平均風速較大,為 4.25m/s,秋冬季次之,分別為 3.75 m/s 與 3.69m/s,春季較小,為 3.12 m/s,最大風速 11.87 m/s 發生在夏季,其對應風向為 SW 向;風向以 16 方位來劃分,全期主要風向為 E 向,其占百分比為 33.57%,春季、秋季及冬季主要風向皆為 E 向,占比分別為 35.35%、40.15%及 42.34%,夏季主要風向為 SW 向,占比為 46.55%。



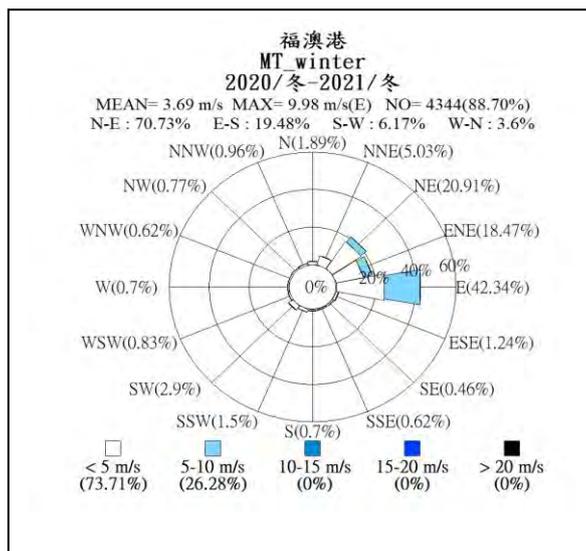


圖 16 W2 測站風力玫瑰圖(2020~2021 全期及 4 季)

3.3 風力資料海陸風差異分析

3.3.1 風速高程換算後比較

馬祖南竿各風力測站(W1、W2 及 W3)位置不盡相同，如 W1 及 W2 測站所在位置為福澳港港區範圍，W3 測站所在位置為夫人嶺，3 測站高程及距岸遠近有所差異，亦各自受不同地形及建築物遮蔽影響，本研究分析不同測站間受海陸風影響之差異，使用風速剖面指數公式將各測站不同高程風速資料轉換為高程 10m 之風速資料，相關轉換資料如表 19，W1、W2 及 W3 距岸遠近分別為 22m、3m 及 270m，初步判斷受海陸風影響程度大至小為 W2→W1→W3，另外使用 2021 年各測站原高程風速歷線圖與轉換高程 10m 後之風速歷線圖做比較，如圖 17 至圖 24，風速經轉換高程計算後，四季風速的趨勢 W3 有明顯降低，W2 有明顯拉升，符合本研究初步假設(距岸遠近與海陸風效應呈負相關)。

表 19 馬祖南竿各風速測站相關資料

測站序號	相對位置	緯度	經度	距岸遠近(m)	離地面高程(m)	Power law 轉換係數	10m 高風速與原風速比值
W1	南竿鄉福澳港區 (福澳漁港加油站 建築物上方)	26°9'36"N	119°56'37" E	22	19.686	0.15	0.903
W2	南竿鄉福澳港區 (S2 碼頭邊小白 屋上方)	26°9'42"N	119°56'33" E	3	5.034	0.15	1.108
W3	南竿鄉夫人嶺	26°10'10"N	119°55'23" E	270	97.842	0.15	0.710

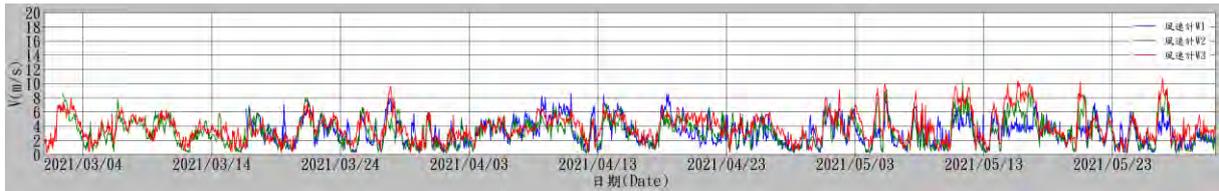


圖 17 各風速測站原高程歷線圖比較(2021 春季)

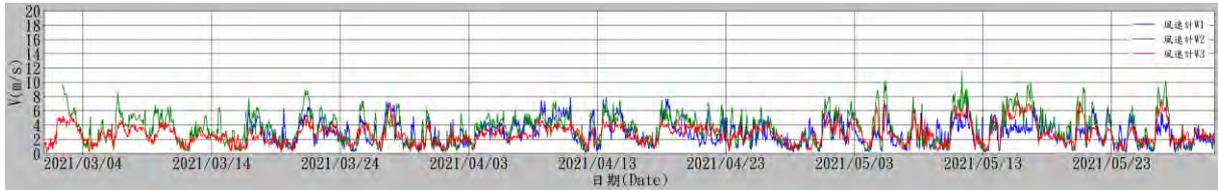


圖 18 各風速測站轉換高程 10m 歷線圖比較(2021 春季)

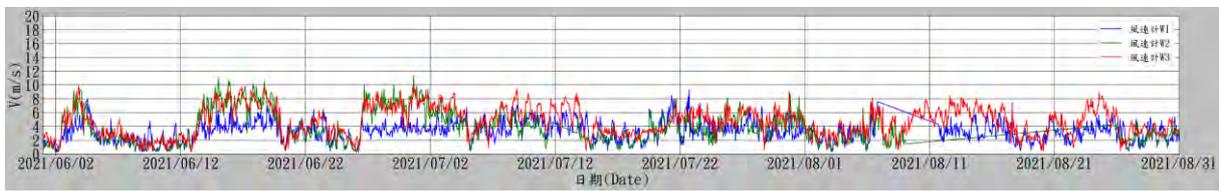


圖 19 各風速測站原高程歷線圖比較(2021 夏季)

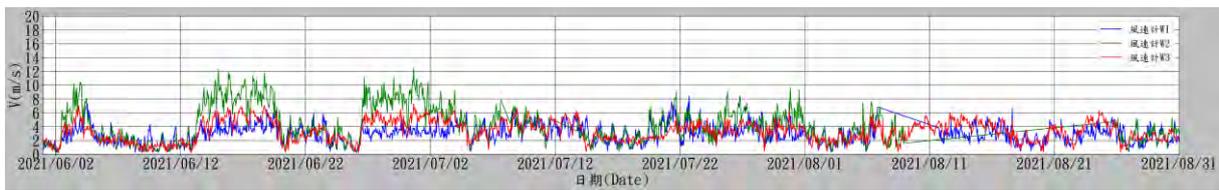


圖 20 各風速測站轉換高程 10m 歷線圖比較(2021 夏季)

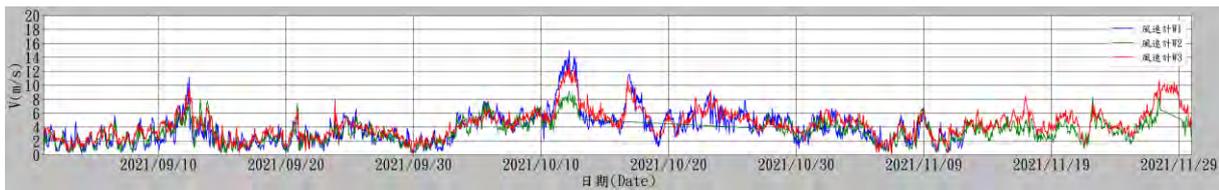


圖 21 各風速測站原高程歷線圖比較(2021 秋季)

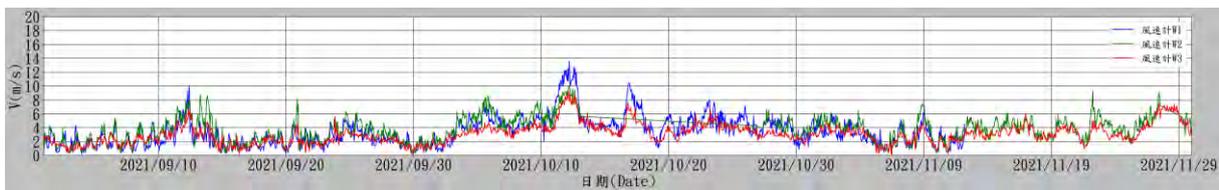


圖 22 各風速測站轉換高程 10m 歷線圖比較(2021 秋季)

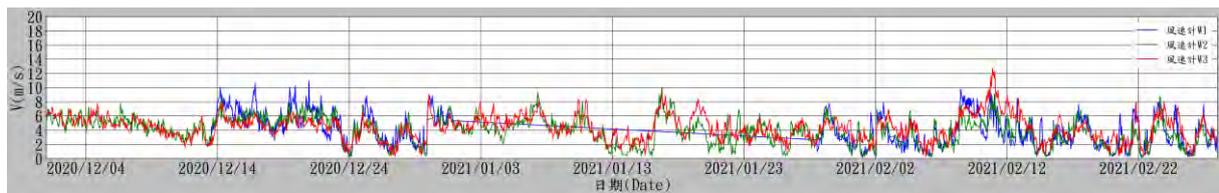


圖 23 各風速測站原高程歷線圖比較(2021 冬季)

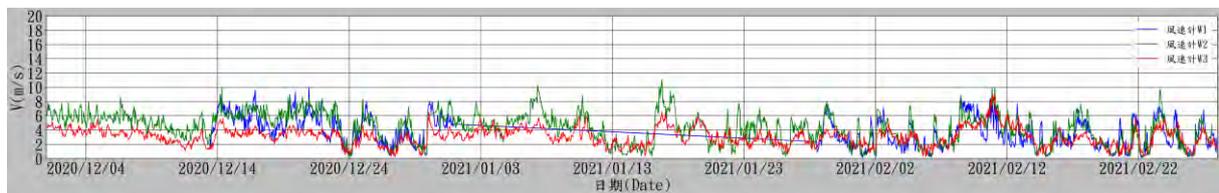


圖 24 各風速測站轉換高程 10m 歷線圖比較(2021 冬季)

3.3.2 各風力測站逐時風速差異分析

本研究分析方式係將測站分組，並以離岸最近(受海陸風效應影響最大)為預設風速較大之測站，2 測站相減之值除以預設風速較小之測站，得出風速所增加之比例，接著區分各時段(24HR)，並將分時比例加總平均來比較；風速資料使用上區分為風速大於等於 7m/s 及風速小於 7 m/s，測站分組為 W2&W1、W2&W3、W1&W3，使用資料時間為 2021 年整年，如圖 25 至圖 31，由風速大於等於 7m/s 資料來看(可忽略海陸風效應)，3 個測站分組風速所增加之比例與各時段並無明顯趨勢，風速所增加之比例平均大小順序為 W1&W3 大於 W2&W3 大於 W2&W1，上述結果與各測站所處地形及周圍建築物遮蔽效應有較深之關係，由風速小於 7m/s 資料來看，除 W2&W1(離岸距離差異不大)海陸風效應不明顯外，W2&W3 及 W1&W3 皆從上午 7 時至 8 時受海風影響，到了中午 12 時至下午 14 時達到最強，晚上 21 時至 22 時轉為陸風影響，與前人研究^[3]結果相似，W2&W1 係距岸遠近差異不大之測站，2 站間之距離亦較近，海陸風效應造成之差異並不明顯，整體風速逐時以 W2 較大，由四季資料來看，海陸風效應有隨著各季節不同日照時間變化，再進一步分析氣溫因子(僅 W2&W3 有量測氣溫)，如圖 31，氣溫從上午 7 時至 8 時開始升高，到了下午 14 時至 16 時達最高，接著持續下降，於晚上 22 時至 23 時趨於平穩，氣溫變化趨勢與風速變化逐時差異幾乎一致，惟 0 時氣溫異常偏高，經查係為儀器傳輸資料異常，資料頻繁於 0 時遺失，造成樣本數偏低，僅有 89 筆資料，與整年 365 筆資料相差甚多，僅存資料又多在 7 至 8 月之故；受海陸風效應影響，2021 年 W2&W3 最大風速差異 1.32m/s 出現於下午 14 時及 16 時，最小風速差異 0.25m/s 出現於上午 1 時，平均風速差異為 0.75m/s。



圖 25 2021 年整年風速計各測站 U10 逐時海陸風差異比例(風速大於 7m/s)



圖 26 2021 年整年風速計各測站 U10 逐時海陸風差異比例(風速小於 7m/s)



圖 27 2021 年春季風速計各測站 U10 逐時海陸風差異比例(風速小於 7m/s)



圖 28 2021 年夏季風速計各測站 U10 逐時海陸風差異比例(風速小於 7m/s)

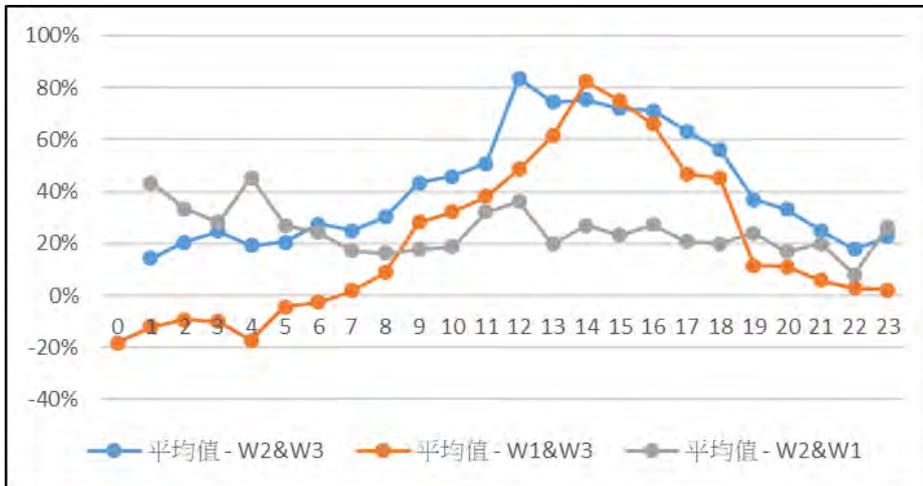


圖 29 2021 年秋季風速計各測站 U10 逐時海陸風差異比例(風速小於 7m/s)

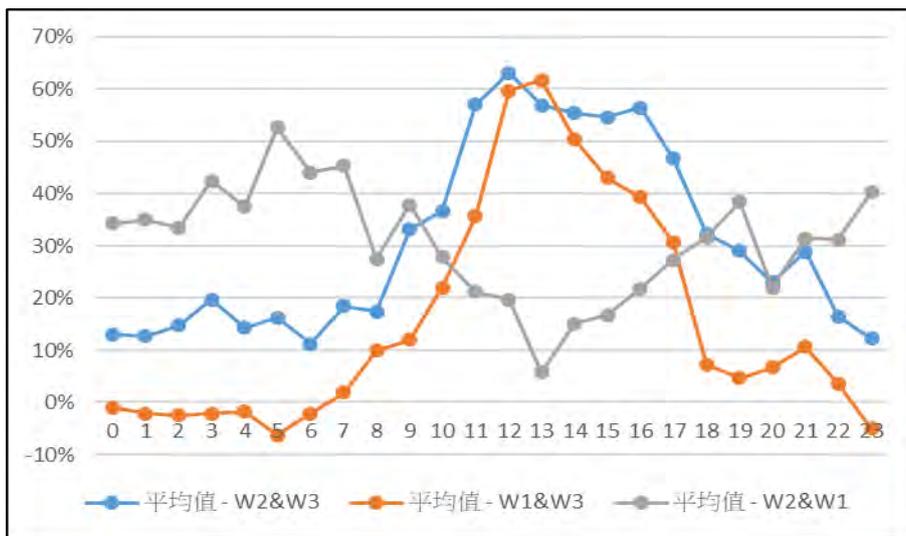


圖 30 2021 年冬季風速計各測站 U10 逐時海陸風差異比例(風速小於 7m/s)

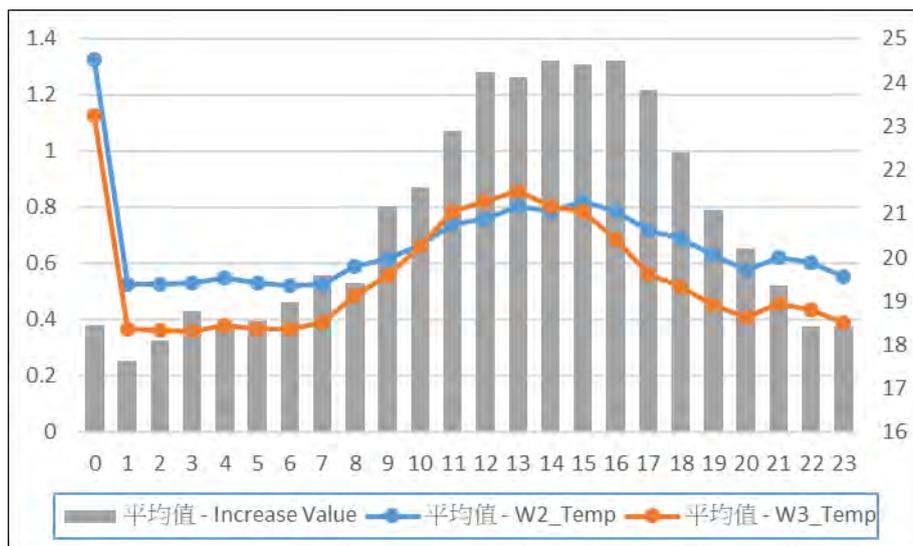


圖 31 2021 年 W2&W3 風速計 U10 逐時海陸風差異及氣溫變化(風速小於 7m/s)

四、結論

本研究根據馬祖南竿福澳港風力觀測資料蒐集率分析、風力測站相關性分析、風力資料品管及風力特性分析結果，建議南竿福澳港可以港區 W2 風力測站為代表測站，W3 為次要測站。南竿 3 個風力測站中以 W2 與 W3 相關性較高。南竿福澳港區風速平均值為 3.69m/s，整年主要吹東風，夏季吹西南季風，春季、秋季及冬季主要吹東風，平均風速大小順序為夏季(4.25m/s)>秋季(3.75m/s)>冬季(3.69m/s)>春季(3.12m/s)。

馬祖南竿海陸風效應差異分析結果顯示，海陸風效應與各測站間距岸遠近關係密切，由 2021 年各測站風速差異比例可知海風盛行於上午 7 時至 8 時，到了中午 12 時至下午 14 時達到最強，晚上 21 時至 22 時則轉為陸風。不同季節海陸風盛行時段有所變化，由氣溫變化趨勢分析，氣溫從上午 7 時至 8 時開始升高，到了下午 14 時至 16 時達最高，接著持續下降，於晚上 22 時至 23 時趨於平穩，氣溫變化趨勢與風速變化逐時差異幾乎一致，可證明日照溫度係海陸風效應之重要影響因子。馬祖南竿 3 個風力測站中以 W2 測站海陸風效應最大，W3 測站最小，2021 年 W2 與 W3 平均風速差異為 0.75m/s。

參考文獻

1. 美國海洋綜合觀測系統(IOOS)，海洋即時資料品保手冊 (QARTODManual)： <https://www.oceanbestpractices.net/handle/11329/336>，2014 年。
2. 建築物耐風設計規範及解說： <https://www.cpami.gov.tw/filesys/file/chinese/publication/law/lawdata/1030813291-2.pdf>，2014 年，中華民國內政部營建署。
3. 文化部國家文化資料庫，海陸風： <https://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=3307>，2009 年。
4. 吳俊達，由氣象浮標資料探討台灣附近海域的風場特性與風應力，2006 年，國立中山大學論文。

5. Simpson, J. E. (1994), "Sea Breeze and Local Winds." , Cambridge University, UK.
6. Panofsky, H. and Dutton, J. (1984) Atmospheric Turbulence. John Wiley & Sons, New York.