

商港風向統計編報作業之研析

許義宏¹ 林受勳² 李俊穎³ 蔡立宏⁴ 江文山⁵ 賴志炫⁶

¹交通部運輸研究所運輸技術研究中心副研究員

²交通部運輸研究所運輸技術研究中心助理研究員

³交通部運輸研究所運輸技術研究中心研究員兼科長

⁴交通部運輸研究所運輸技術研究中心主任

⁵國立成功大學水工試驗所研究員兼督導

⁶臺灣港務股份有限公司副工程師

摘要

為強化風力量測及統計不確定性之控制，本研究透過各商港不同風速站之風向實測資料，探討使用不同風向統計編報方式之差異情形，依循目前氣象測報單位主要使用之方法，包括單位向量平均法及向量平均法，因此，本研究利用我國商港區 23 座風力觀測站之 2024 年完整逐秒資料，計算 2 方法之差異情形，其分析結果指出，在風速及風向變化不大的狀況下，2 方法之平均值會趨於一致，而在低風速、風向轉變且漸強或漸弱時，會出現比較大的差異，此外，本研究進一步透過紊流強度來分析其與平均風向角度差值之關聯性，研究發現，當紊流強度在 50% 以下時，其計算角度差大致可在 10° 以內，而在紊流強度 20% 以下之情況，其向量平均法及單位向量平均法原則無差異。

一、前言

世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）自 1950 年出版「儀器和觀測方法指南(WMO-No. 8)」係國際氣象儀器性能標準化和確保觀測品質之重要依據，該指南也是相關會員國推動「WMO 全球綜合觀測系統」的重要指導原則，促進各國推動氣象資料蒐集、報告與交換之一致性與數據共享。目前該指南最新版本為 2023 年版，相較於 2021 年版本，主要編修第 1 卷第 12、13、14 章，第 2 卷第 2、3 章，第 3 卷第 3、5、6、8 章，第 5 卷第 5 章等相關內容，本次修訂暫未涉及地面風與自動觀測站之相關內容。

在風力觀測部分，WMO-No. 8 在第 1 卷第 5 章對於地面風的測量有詳盡的指引，其中包括定義、氣象要求、測量方法與觀測方法、觀測儀器、數據處理方式、測風儀器安裝位置、數據修正等。該指引提到：「對於現代儀器設備來說，是容易達到所要求的不確定性。風觀測的最大難題是風速計的安裝位置。因為要找到一個對大範圍地域的風速具有代表性的場地是幾乎不可能的，因此，只能對安置誤差進行估計」。

根據 WMO-No. 8 對風速及風向的取樣頻率指引，在大多數情況下，取樣頻率 0.25 赫茲是合適的，如果要計算標準偏差可以使用 1 赫茲的取樣頻率，甚至要進行陣風峰值的準確測量，

可提高到 4 赫茲的取樣頻率（即每隔 0.25 秒取樣一次），但是採用高取樣頻率，容易因為訊號濾波的影響，對極值的估計偏低。

中華人民共和國在地面氣象觀測規範，透過國家標準明確要求風速風向量測之最低標準，包括風速取樣頻率應至少達到 4 赫茲、風向取樣頻率應至少達到 1 赫茲，另外平均值應針對 3 秒、1 分鐘、2 分鐘及 10 分鐘進行記錄。在 3 秒平均值部分，風速以 0.25 秒為時間步長計算 3 秒移動平均值，風向以 1 秒為時間步長計算 3 秒移動平均值；在 1 分鐘平均值部分，風速以 1 秒為時間步長(取整秒的瞬間值)計算每分鐘的算術平均值，風向以 1 秒為時間步長計算每分鐘的單位向量平均值；在 2 分鐘平均值部分，同 1 分鐘的計算方式；在 10 分鐘的平均值部分，風速以 1 分鐘為時間步長(取 1 分鐘平均值)計算 10 分鐘的算術平均值，風向以 1 分鐘為時間步長計算 10 分鐘的單位向量平均值；其最大風速以編報資料期間之 3 秒移動平均值之最大值代表。

目前我國中央氣象署地面氣候自動觀測系統(Automatic Climate Observing System，簡稱 ACOS 系統)計有 27 站，主要使用 3 組 R. M. Young 05103 型號的風速計進行平均，取樣頻率為 1 赫茲，並以 3 秒滑動平均後儲存為秒資料，之後在往分、時計算，因此最大風速會採用 3 秒滑動平均之最大值進行記錄。該系統在平均風速之計算，採用算術平均數，會針對離群值進行篩選，而平均風向之計算，採用向量平均法(即考慮風速)。另外，該署約有 650 站自動氣象站(Automatic Weather Station，簡稱 AWS，其包含農業部、高速公路局等合作機關設置)，使用 1 組風速計(僅少數高山及離島站有 2 組)，取樣頻率為 1 赫茲，資料紀錄儲存在資料處理器，以每小時之 00、10、20、30、40、50 分鐘整分前 10 分鐘風速平均值及風向向量平均值，惟最大風速則是直接採用瞬間最大值代表。

另中央氣象署海氣象資料浮標系統每小時觀測 1 次，觀測項目包括示性波高、波向及最大週期、氣溫、氣壓、海水表面溫度及風向、風速，資料取樣間隔為 0.5 秒，其中在風力觀測方面，其採用 2 組風速計(常見配置為超音波式風速計及螺旋槳式風速計各 1 組)，其平均風向係取整點前 10 分鐘風向資料以向量法相加後之平均。平均風速係取整點前 10 分鐘風速資料之平均，資料浮標站之風速資料如低於 1 公尺/秒，則風速記為 0。最大瞬間風速，採用 3 秒移動平均，並取整點前 10 分鐘資料最大者。

風力量測及統計之不確定性因素，一般可歸納為：儀器精度(風速計的校準和精度)、環境因素(如氣溫、氣壓、空氣密度及濕度等)、測量位置(建築物、樹木和其他障礙物影響)、測量高度(不同高度的風速可能不同，必須在相同高度進行比較)、測量時間(風速隨時間變化，瞬時測量可能不代表平均風速)、儀器安裝(儀器的安裝角度和穩定性會影響測量結果)、數據處理(數據分析方法造成的統計偏差)。數據處理、統計及編報方法及格式的一致性，對於觀測資料交換及溝通為最重要的橋梁之一，而對於不同方法之比較分析也有助於精進現場量測作業的品質控制，因此，本研究主要透過商港不同風速站之風向實測資料，探討使用不同風向統計編報方式所造成之差異，以提供航港應用單位在未來實地使用之參據。

二、研究方法

從測風儀器之量測原理分類，風速的量測大致可分為空氣動力型（如風杯式風速計、螺旋槳式風速計、壓管風速計）、熱力效應型（如熱線式風速計）、聲波型（如超音波式風速計），目前在我國風力觀測來看，大致以風杯式風速計、螺旋槳式風速計、超音波式風速計較為常見。

風杯風速計和螺旋槳風速計在風速測量上，主要由旋轉器和信號發生器等兩種部件構成，在設計精良的風杯或螺旋槳風速計，其旋轉器角速度與風速係為線性關係，亦即其標定線性度與空氣密度無依存關係，具有良好的零位穩定性和測量穩定性。然而，在接近啟動風速閾值處，即風速不到 4m/s 時，如果風杯與旋轉軸的連接臂比風杯直徑長得多的話，會產生偏離線性的測量偏差（Patterson, 1926）。此外，對於大多數風杯式或螺旋槳式風速計，加速時的反應比減速時的反應快，因此，這些旋轉器的平均速度會高估實際的平均風速。（MacCready, 1966）。在風向測量上，螺旋槳風速計透過鉛直尾翼將光電訊號轉換為數位信號，而風向標的動態特性，通常以阻尼比、距離常數、擺動頻率及相位移來描述，Wang 等（1979）認為在穩定的氣流場，風向標對風向的反應可達 ± 1 度的準確度，但在變動風場，尾翼受到風壓不相等之影響，會產生慣性擺動直到受力平衡之阻尼現象。螺旋槳式風速計因使用轉軸機械零件，長期使用後會產生磨損，且在海岸地區受到高鹽高濕度影響，若無定期進行維護保養、零件更換及校正，容易產生觀測資料偏移的現象。

超音波風速計其量測原理為都卜勒效應，用超音波偵測氣流移動速率來計算風速，其利用聲音在空氣中的傳播速度，會和風向上的氣流速度疊加，若超音波傳播方向與風向相同，速度會加快，反之則變慢之原理，透過聲波時差來進行風速分量量測，再估算出風速及方向。超音波風速計沒有螺旋槳式風速計在風速量測之慣性問題，因此，可以擷取到瞬間風速脈動，對於風速變異性的測量可以提供更多的資料細節。

在正常狀況下，低風速時，螺旋槳風速計因啟動風速，其平均值會略低於超音波式風速計；在中風速時，兩者會比較接近；在高風速時，因螺旋槳風速計有旋轉慣性，其平均值會略高於超音波式風速計。

平均風向的計算可以透過算術平均法、向量平均法及單位向量平均法，其中算術平均法未考慮到風的循環性，會導致結果不準(特別是跨 0 度時)，因此鮮少使用；向量平均法係將風速及風向分成 U、V 分量，計算其平均值後再合成風向；單位向量平均法則不考慮風速，僅將風向分成 U、V 分量，計算其平均值後再合成風向。其中單位向量平均法及向量平均法，為目前氣象測報單位主要使用之方法，其在風速及風向變化不大的狀況下，平均值會趨於一致，而在低風速、風向轉變且漸強或漸弱時，會出現比較大的差異。

2.1 風向量測方式

交通部運輸研究所目前協助臺灣港務股份有限公司在我國主要商港之風力量測上，主要使用超音波式風速計，其具備有高精度、無活動部件、反應時間快、耐候性等條件，適合用於精細的氣象研究及港區環境(耐候性及維護成本低)，特別是在有良好維護的狀況下，其耐用年限較螺旋槳式風速計長。該儀器在風速量測之精度為 $\pm 2\%$ ，風向測量誤差為 $\pm 3^\circ$ ，本研究資料量測頻率採用 1 赫茲，每秒輸出一組數位訊號(包括時間、風速及風向)，持續觀測港區內 1 分鐘及 10 分鐘內平均風速、平均風向、最大陣風及最大陣風時風向等數值，期間相關資料係透過觀測站無線傳輸系統，將所測得風力觀測資料即時回傳至交通部運輸研究所之海氣象資料庫中儲存。

2.2 測站性能評估

根據 WMO-No. 8 對風速計設置之建議，風速感測器的安裝高度至少距離地表面 10 公尺，距離障礙物高度(h)的 10 倍長度遠，其環境條件分級標準如表 1。

表 1 風速站設置環境條件分級標準

級數	距離 一般障礙物	距離 細長障礙物	可忽略 單一障礙物高度	粗糙度 等級指數
第一級	$\geq 30h$ (遮蔽度 $\leq 1.9^\circ$)	$\geq 15\text{Width}$	4 公尺	≤ 4
第二級	$\geq 10h$ (遮蔽度 $\leq 5.7^\circ$)	$\geq 15\text{Width}$	4 公尺	≤ 5
第三級	$\geq 5h$ (遮蔽度 $\leq 11.3^\circ$)	$\geq 10\text{Width}$	5 公尺	
第四級	$\geq 2.5h$ (遮蔽度 $\leq 21.8^\circ$)		6 公尺	
第五級	不滿足第四級之條件			

我國商港各風力觀測站座落位置時而受到地形、高度、結構物、碼頭船舶、設施(備)及障礙物等影響，本研究依據表 1 之環境條件分級標準檢視現有測站，如表 2 所示，目前僅安平港、高雄港二港口及蘇澳港 7 號碼頭之風速計安裝在燈桿上，另澎湖港龍門尖山碼頭風速站位於辦公室頂樓，無較大障礙物影響，僅少數幾座風速站可符合上開分級之第 1~3 級標準，其餘多數測站均為第 4、5 級，而基隆港及蘇澳港為天然谷灣地形，因此，港內風力易受地形效應影響。

表 2 商港風速站環境條件分級評估表

商港	測站代碼	架設距地表高度(m)	位置概述	測站分級	測站分級說明
基隆港	KLWD04	10.35 m	光華塔旁	5	鄰近東側光華塔(高 33m)，距離一般障礙物未達 2.5 倍距離(約 30m)，西南側 50m 處建有廠房，另西側 700m 為海拔 100m 山坡地。
基隆港	KLWD05	25.75m	西 16 碼頭	4	西側至北側 600m 為海拔 100m 之山坡地，其餘無主要障礙物遮擋，屬地形效應之影響。
臺北港	TPWD03	9.35m	小綠燈塔	4	碼頭西側經常停泊沉箱浮沉台船，屬於動態遮蔽。
臺北港	TPWD05	5.12m	北 2 碼頭	5	西南側碼頭常有船舶停靠，風速計高度較為不足。
臺中港	TCWD02	15.5 m	北堤燈塔	5	西側受燈塔燈屋遮蔽 60°
臺中港	TCWD07	9.47 m	31 號碼頭	5	東北東側 200m 水泥廠房，及西側碼頭船舶停靠。
臺中港	TCWD08	7.68m	工專二	5	東側 100m 為廠房，遮蔽度 90°，風速計高度較為不足。
臺中港	TCWD14	17m	南堤燈塔	5	東南側受燈塔燈屋遮蔽 60°
臺中港	TCWD15	26.15m	港研中心	3	鄰近區域無較大障礙物影響，惟屋頂有多組細長支撐桿及天線。
布袋港	BDWD02	17.7m	雷達塔柱	5	西北 145m 為水泥倉庫，南側為塔柱主體。
安平港	APWD01	22.95 m	南堤燈塔	1	鄰近區域無較大障礙物影響。
安平港	APWD04	39.23m	新訊號台	5	安裝位置之東北東側為雷達基座，其東北至東南方受他項設備遮蔽(遮蔽度 90°)
高雄港	KHWD01	9.63 m	10 號碼頭	5	西側至西南側 46m 處為碼頭廠房(遮蔽度 75°)，另東側碼頭常有船舶停靠。
高雄港	KHWD04	16.73 m	二港口綠燈塔	1	鄰近區域無較大障礙物影響。
高雄港	KHWD05	25.07 m	第六貨櫃港警	5	東側 300m 有大林電廠，遮蔽度約 50°
高雄港	KHWD07	16.23 m	63、64 碼頭	5	西側至南側碼頭(距離約 80m)常有大型貨櫃船舶及橋式起重機，遮蔽度達 90°。
高雄港	KHWD08	15.9m	一港口信號臺	3	東北側 200m 及西南側 300m 為山坡地，屬地形效應之影響。
蘇澳港	SAWD01	12.11 m	7 號碼頭	1	鄰近區域無較大障礙物影響，惟港區位處山坡地中間，有較明顯地形影響。
蘇澳港	SAWD04	34.85m	信號臺	4	西側 100m 為 30m 之山坡地，南側 400m 為 85m 之山坡地，有較明顯地形影響。
花蓮港	HLWD01	31.54 m	訊號台	4	鄰近區域無較大障礙物影響，惟風速計旁有多支細長障礙物(如 AIS 天線)
花蓮港	HLWD02	7.74m	西突堤	4	東南東側 10m 處有燈塔燈桿(高約 15m)，遮蔽約 20°。
澎湖港	PHWD01	2.23m	馬公案山	5	鄰近區域無較大障礙物影響，惟風速計高度較為不足。
澎湖港	PHWD02	19.44m	龍門尖山	1	鄰近區域無較大障礙物影響。

三、量測結果研析

平均風向的計算，其中向量平均法係將風速及風向分成 U、V 分量，計算其平均值後再合成風向；單位向量平均法則不考慮風速，僅將風向分成 U、V 分量，計算其平均值後再合成風向。本研究主要透過港區各測站 2024 年之逐秒實測資料，分別以不同計算方法統計 1 分鐘及 10 分鐘之平均風向，再取風向角度之差值絕對值，來計算 2 個方法之夾角，取得不同計算方法之平均風向角度差值。其統計分析結果如表 3 所示。

表 3 各商港測站之不同計算方法之平均風向角度差值比較表

港區(測站代碼)	統計頻率	樣本數	平均值	標準差	相差 5 度以內	相差 10 度以內
基隆港(KLWD04)	1min	527,036	0.76	1.92	98.25%	99.59%
	10min	52,704	1.29	3.28	95.82%	98.59%
基隆港(KLWD05)	1min	527,017	2.40	5.60	88.05%	95.54%
	10min	52,703	2.82	6.08	85.14%	94.73%
臺北港(TPWD03)	1min	527,039	1.21	3.85	95.52%	98.23%
	10min	52,704	1.60	4.72	93.67%	97.08%
臺北港(TPWD05)	1min	160,523	1.28	2.42	96.91%	99.29%
	10min	16,053	1.09	2.73	96.92%	98.98%
臺中港(TCWD02)	1min	527,037	0.38	3.63	98.58%	99.26%
	10min	52,704	0.49	4.15	98.37%	99.19%
臺中港(TCWD07)	1min	527,036	0.68	1.32	99.20%	99.83%
	10min	52,704	0.69	1.48	98.98%	99.66%
臺中港(TCWD08)	1min	252,519	1.42	4.77	94.58%	97.35%
	10min	25,253	1.69	6.42	94.07%	96.82%
臺中港(TCWD14)	1min	527,035	0.29	1.75	99.12%	99.67%
	10min	52,704	0.39	1.63	98.72%	99.46%
臺中港(TCWD15)	1min	526,779	1.77	3.21	93.43%	98.41%
	10min	52,687	1.18	2.15	97.88%	99.44%
布袋港(BDWD02)	1min	526,853	0.66	1.08	99.49%	99.92%
	10min	52,699	0.79	1.42	99.13%	99.74%
安平港(APWD01)	1min	527,031	0.10	0.49	99.91%	99.97%
	10min	52,704	0.29	1.72	99.32%	99.74%
安平港(APWD04)	1min	526,843	1.21	5.14	95.23%	97.84%
	10min	52,694	1.09	3.52	95.63%	98.44%
高雄港(KHWD01)	1min	241,213	1.01	1.78	98.10%	99.65%
	10min	24,125	1.44	2.80	96.52%	98.89%
高雄港(KHWD04)	1min	527,006	0.17	0.82	99.75%	99.92%
	10min	52,702	0.42	1.51	98.98%	99.67%
高雄港(KHWD05)	1min	242,457	1.33	3.15	95.81%	98.88%
	10min	24,247	1.34	3.26	96.69%	98.88%
高雄港(KHWD07)	1min	526,812	1.86	4.05	91.93%	97.63%
	10min	52,702	1.64	3.00	94.43%	98.77%
高雄港(KHWD08)	1min	526,898	1.21	3.48	95.35%	98.44%
	10min	52,704	1.67	4.92	93.14%	97.30%
花蓮港(HLWD01)	1min	302,300	1.19	3.63	96.45%	98.82%
	10min	30,232	1.18	3.04	96.64%	98.97%
花蓮港(HLWD02)	1min	526,625	1.86	2.36	91.52%	98.91%
	10min	52,683	2.33	2.78	87.53%	98.98%
蘇澳港(SAWD01)	1min	526,983	1.03	2.98	95.31%	98.50%
	10min	52,700	1.56	3.70	92.38%	97.70%
蘇澳港(SAWD04)	1min	526,928	6.20	13.29	69.05%	84.36%
	10min	52,699	5.28	10.26	70.37%	88.56%
澎湖港(PHWD01)	1min	526,847	0.72	0.91	99.69%	99.94%
	10min	527,04	0.89	1.73	99.00%	99.65%
澎湖港(PHWD02)	1min	526,711	0.59	1.81	99.11%	99.89%
	10min	52,704	0.62	1.89	99.02%	99.72%

備註：部分測站使用舊款數據機期間無法取得逐秒資料，爰自更換新數據機時開始起算，其統計資料未滿 1 年。

從統計區間來看，角度差之平均值介於 0.1~2.8°(僅蘇澳港信號臺測站偏差較大，達 6.2°，可納入進一步觀察)，其中 10 分鐘平均值之角度差多略高於 1 分鐘，相差 10 度以內約占 94~99%，顯示在大多狀況下，2 方法之風向計算並無顯著差異。另以風向計之量測誤差約±3°~±5°間(測量不確定性最低標準)，平均風向角度差值之標準差在 2.5 以內者(95%信賴區間)，均可視為量測結果無顯著差異。

紊流強度(longitudinal turbulence intensity)定義為某一高度量測之主流向風速擾動速度之均方根值與同一位置量測之主流向平均風速之比值，亦即：

$$TI_u(z) = \frac{\sqrt{u(z)^2}}{\bar{U}(z)}$$

其中： $TI_u(z)$ ：某一高度紊流強度

$u(z)$ ：某一高度量測之主流向風速擾動速度

$\bar{U}(z)$ ：同一位置量測之主流向平均風速

紊流強度係代表風場流速擾動大小的強弱(即紊流動能大小)之一種指標。其與地表粗糙度，以及距地面高度及大氣穩定度有關；一般而言，隨大氣不穩定及地表粗糙度之增加而變大，因此，本研究透過風力量測之逐秒資料計算每分鐘紊流強度。其分析結果如表 4 所示。

表 4 各商港測站之紊流強度分析表

商港	測站代碼	平均紊流強度(%)	標準差	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
基隆港	KLWD04	18.5	9.6	15.4	17.2	30.9	14.3	14.4	21.4	24.0	20.9
基隆港	KLWD05	29.6	13.5	33.7	24.9	40.8	43.3	30.7	29.9	39.2	35.7
臺北港	TPWD03	21.1	12.1	20.2	20.3	24.5	18.9	15.1	20.5	38.7	32.2
臺北港	TPWD05	29.7	10.4	26.6	33.5	29.6	20.3	23.0	24.2	24.2	21.9
臺中港	TCWD02	7.7	9.0	5.9	6.6	14.4	9.8	5.9	5.5	39.1	26.9
臺中港	TCWD07	20.1	7.7	17.9	18.6	18.7	19.2	21.4	28.9	18.8	21.3
臺中港	TCWD08	25.9	11.3	25.9	29.8	27.4	18.6	19.3	30.3	56.3	53.6
臺中港	TCWD14	10.1	8.6	9.9	8.4	17.8	51.8	16.3	5.6	6.1	7.9
臺中港	TCWD15	30.5	11.3	27.2	29.8	30.2	33.8	37.8	32.6	26.2	23.1
布袋港	BDWD02	18.7	7.5	22.5	15.9	16.8	15.3	19.2	17.3	13.5	13.2
安平港	APWD01	6.6	3.5	6.6	7.6	8.1	7.3	5.2	5.8	5.8	6.5
安平港	APWD04	19.2	14.1	16.0	31.2	40.8	44.4	14.5	9.4	9.0	13.2
高雄港	KHWD01	21.3	9.1	21.4	15.8	17.9	13.9	16.9	27.3	25.0	22.5
高雄港	KHWD04	7.8	5.0	8.2	9.8	8.5	8.9	8.4	8.2	6.7	6.2
高雄港	KHWD05	25.5	12.1	20.6	27.1	29.3	40.0	24.8	25.8	23.5	25.9
高雄港	KHWD07	27.2	12.8	34.5	30.8	27.5	33.5	29.1	23.3	18.1	24.8
高雄港	KHWD08	20.8	12.5	26.5	24.6	27.3	22.4	26.6	22.7	14.8	14.3
蘇澳港	SAWD01	16.6	12.8	20.9	21.6	15.6	8.2	11.3	22.0	17.9	17.8
蘇澳港	SAWD04	38.7	19.9	48.6	49.8	46.5	50.4	46.4	26.4	22.4	26.4
花蓮港	HLWD01	21.4	11.4	24.8	24.1	24.0	41.7	25.4	20.1	15.5	15.9
花蓮港	HLWD02	24.5	10.9	20.2	30.2	28.9	27.2	10.8	19.6	33.8	30.6
澎湖港	PHWD01	20.8	7.7	13.5	22.5	16.1	15.7	23.1	23.8	19.8	13.2
澎湖港	PHWD02	18.1	7.4	17.2	16.8	16.1	15.5	17.8	27.8	5.3	14.6

透過各測站紊流強度分析，顯示當測站平均紊流強度越高且標準差越大時，其對應不同計算方法之平均風向角度差值也有越明顯的現象，例如，蘇澳港 SAWD04 測站。另外從各測站不同方向的紊流強度分析，也可對應到該主風向方位是否有受到障礙物影響，例如，臺中港 TCWD02 測站之西側至西北側、基隆港 KLWD04 測站之東側、臺北港 TPWD03 測站西側至西北側等均有結構物影響造成風速及風向擾動之情形。

本研究進一步分析不同計算方法之平均風向角度差值與紊流強度之關係，如圖 1 所示，可以發現當紊流強度在 50%以下時，其計算角度差大致可在 10° 以內。而在紊流強度 20%以下之情況，其向量平均法及單位向量平均法原則無差異。

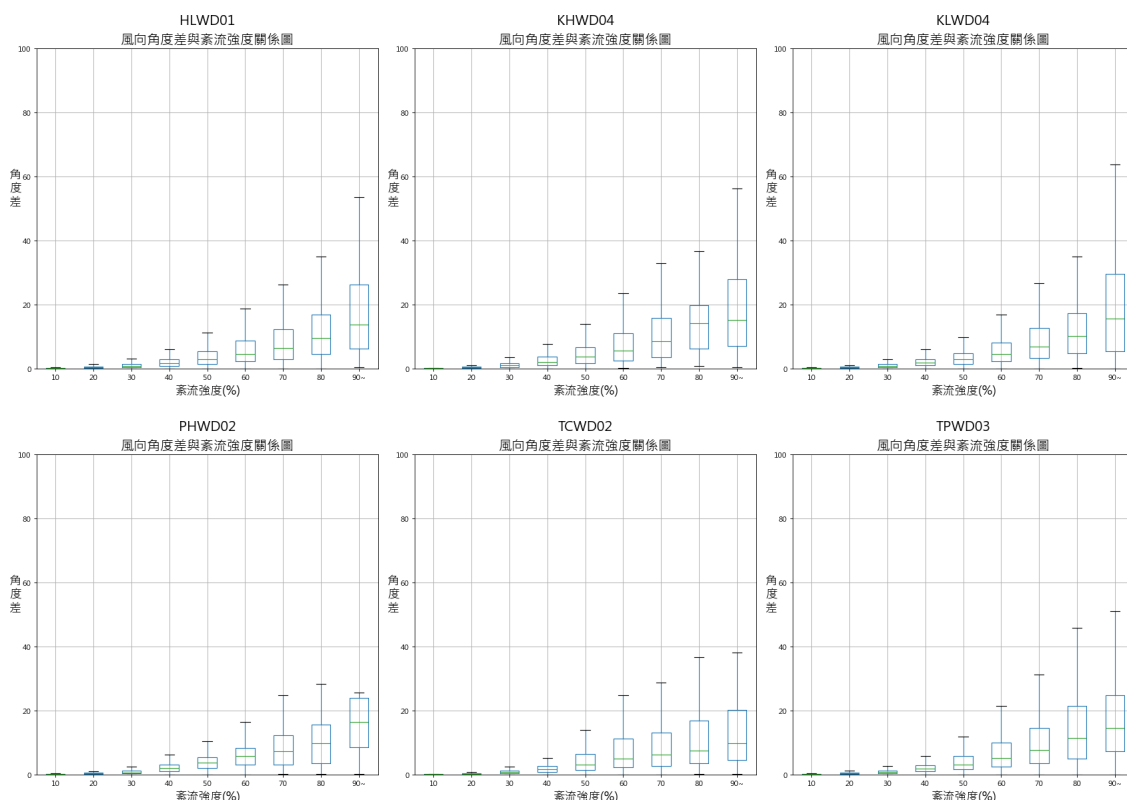


圖 1 不同測站計算角度差及紊流強度之關係圖

四、結論

港口和航運對全球經濟運作至關重要，促進了全球近 80%以上的貿易活動，而我國為海洋國家，港口更是臺灣對外重要的航運樞紐。然而受到氣候變化和自然災害的威脅，強風等氣象因素造成的事故可能導致整個供應鏈的負面衝擊並造成經濟損失，同時船舶大型化亦導致船舶所受風力增大，使船舶操作及航行更加複雜。

然而，風速計設置位置易受到主體結構物影響導致下游空氣擾動，而影響其量測結果，依據世界氣象組織之風速測站分級相關規定，我國商港各風力觀測站座落位置時而受到地形、高度、結構物、碼頭船舶、設施(備)及障礙物等影響，僅少數幾座風速站可符合上開分級之第 1~3

級標準，多數測站均為第 4、5 級，其特定方向風力觀測資料恐有失真疑慮，因此需要進行測站性能評估並透過資料修正等方式進行校正。

本研究除蒐集國內外風速及風向量測及統計之方法外，透過 23 座風力觀測站 2024 年之完整逐秒資料，進行平均風向統計所使用單位向量平均法及向量平均法之差異研析，確認商港區域使用 2 方法之統計差異。而我國各商港鄰近海岸地區，其地勢較為平坦，其地表粗糙度較小，紊流強度亦較小，本研究進一步透過紊流強度分析，提出測站性能評估之方法雛形，以及確認 2 方法在實際應用之差異情形，相關成果可提供航港管理單位做為未來實地使用之參據。

參考文獻

1. MacCready, P. B. (1966). Mean wind speed measurements in turbulence. *Journal of Applied Meteorology* (1962-1982), 5(2), 219-225.
2. Patterson, J. (1926). The cup anemometer. *Transactions of the Royal Society of Canada*, 20(III):1-54.
3. J. Y. Wang, Catherine M. M. Felton (1979). Instruments for physical environmental measurements : with special emphasis on atmospheric instruments, *Milieu Information Service*.
4. World Meteorological Organization (2021), Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), 2021 edition.
5. World Meteorological Organization (2023), Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), 2023 edition.
6. World Meteorological Organization (2019), Manual on Codes - International Codes, Volume I.1, Annex II to the WMO Technical Regulations: part A- Alphanumeric Codes (WMO-No. 306), 2019 edition.
7. 中華人民共和國國家質量監督檢驗檢疫總局 (2018)，中華人民共和國國家標準 GB/T 35227-2017：地面氣象觀測規範-風向和風速，中國標準出版社。
8. 朱佳仁 (2006)，風工程概論 (初版)，科技圖書股份有限公司。
9. 交通部中央氣象局 (2014)，地面測報作業規範 (第 4 版)。