

112-020-7D37
MOTC-IOT-111-H2CA001g

馬祖港域能見度探討之研究(2/2)- 能見度預測模式之概念驗證



交通部運輸研究所
中華民國 112 年 3 月

112-020-7D37
MOTC-IOT-111-H2CA001g

馬祖港域能見度探討之研究(2/2)- 能見度預測模式之概念驗證

著者：許義宏、林達遠、曹勝傑、陳子健、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

馬祖港域能見度探討之研究. (2/2) : 能見度預測模式之概念驗證 / 許義宏, 林達遠, 曹勝傑, 陳子健, 李俊穎著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 112.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-479-8(平裝)

1.CST: 海洋氣象

444.94

112001088

馬祖港域能見度探討之研究(2/2)-能見度預測模式之概念驗證

著 者：許義宏、林達遠、曹勝傑、陳子健、李俊穎

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 112 年 3 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02) 2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011200153

ISBN：978-986-531-479-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：馬祖港域能見度探討之研究(2/2)-能見度預測模式之概念驗證			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-479-8(平裝)	政府出版品統一編號 1011200153	運輸研究所出版品編號 112-020-7D37	計畫編號 111-H2CA001g
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：李俊穎 研究人員：許義宏、林達遠、曹勝傑、陳子健 聯絡電話：04-26587196 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 111 年 1 月 至 111 年 12 月
關鍵詞：濃霧事件、能見度觀測、資料品管、馬祖港			
<p>馬祖地區於每年 3 至 5 月間，受到南風影響，暖濕空氣流經較冷的水面或地面而形成多雲霧的天氣。平流霧厚度可達 700 公尺以上，天氣好時的日間太陽幅射最多只能消除雲層頂部一部分，因此，如果平流霧歷久不散，能見度驟降，即可能造成馬祖交通停航的情況產生，一旦對外交通中斷，則會影響到居民的生活與經濟的發展。</p> <p>本計畫透過長期港區環境監測工作，包括風速風向、能見度、空氣溫度、相對溼度、大氣壓力、露點等環境因子，進行深入分析探討，藉由環境因子特性分析，瞭解馬祖港域濃霧形成之特性，以提供馬祖港務單位做為港區能見度預警應用之參據。</p> <p>本計畫蒐集世界氣象組織「氣象儀器與觀測方法指南」(WMO-No.8)及美國海洋綜合觀測系統計畫辦公室之海洋即時資料品保手冊(QARTOD Manual)等資料品管相關文獻，探討應用於能見度自動觀測資料品管機制之可行性，並提出 9 項品管程序，同時進行相關方法精進。此外，針對 2021 年下半年及 2022 上半年馬祖濃霧事件進行個案探討，進一步進行環境因子分析。</p> <p>本計畫完成馬祖福澳港區能見度觀測資料庫建置，以及資料品管分析及精進方法研擬，可提供連江縣政府港務處做為港區能見度監測系統開發之依據。同時完成馬祖福澳港能見度預測之長短期記憶模型之概念性驗證，可提供本所做為港區能見度預測模型進一步實用化之研究參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
112 年 3 月	155	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Study on the Visibility of the Matsu Port Area (2/2) - Proof of Concept for Visibility Prediction Model			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-479-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011200153	IOT SERIAL NUMBER 112-020-7D37	PROJECT NUMBER 111-H2CA001g
DIVISION : Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR : Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR : Chun-Ying Lee PROJECT STAFF : Yi-Hung Hsu, Ta-Yuan Lin, Sheng-Chieh, Tsao, Tzu-Chien Chen PHONE : (04)26587196 FAX : (04)26564418			PROJECT PERIOD FROM Jan. 2022 TO Dec. 2022
KEY WORDS: Fog event, Visibility observation, Data quality control, Matsu Harbor			
<p>Each year, subject to southerly wind from March to May, the Matsu area is of a cloudy and foggy weather formed by warm and humid air that flows over colder water surface or ground. The advection fog can be as thick as over 700 meters, of which the sun radiation on a fine day can only eliminate the top part. In that case, should the advection fog persist for a long time and the visibility drops sharply, it may cause the suspension of Matsu air traffic, which affects the lives of the local residents and economic development.</p> <p>This project involves in-depth analysis in environmental factors such as wind speed and direction, visibility, air temperature, relative humidity, atmospheric pressure, and dew point based on long-term environmental monitoring in the port area. By analyzing the characteristics of environmental factors, we are able to understand the characteristics of the formation of dense fog in the Matsu Port area, so as to provide references for the Matsu Port Authority in the application of early warning on visibility in the port area.</p> <p>We collected the World Meteorological Organization's "Meteorological Instruments and Observation Methods Guide" (WMO-No. 8) and the United States Integrated Ocean Observing System Program Office's QARTOD Manual and other documents related to data quality control. And, we explored the feasibility of applying to the quality control mechanism for automatic visibility observation data, and proposed nine procedures for quality control. At the same time, we refining related methods. We further conducted a case study on the dense fog incidents in Matsu in the first half of 2021 and second half of 2022 for environmental factor analysis.</p> <p>This project completes the construction of the visibility observation database in the Matsu-Fu-ao port area, as well as the data quality control analysis and refinement method development, which can provide the Lianjiang County Government Harbor Affairs Office as the basis for the development of the port area visibility monitoring system. At the same time, the proof of concept of the long-short-term memory model of Matsu-Fu-Ao Hong Kong visibility prediction has been completed, which can provide a research reference for the further practical application of the visibility prediction model in the port area.</p>			
DATE OF PUBLICATION March. 2023	NUMBER OF PAGES 155	PRICE 200	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄	III
圖目錄	V
表目錄	VI
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫緣起與目的.....	1-1
1.2 計畫範圍與對象.....	1-2
1.3 計畫內容與工作項目.....	1-2
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 霧的種類及特性.....	2-1
2.2 能見度觀測與分級.....	2-2
2.3 資料品管與控制.....	2-9
2.4 能見度特性分析相關文獻.....	2-12
第三章 能見度觀測資料品管機制精進.....	3-1
3.1 馬祖地區能見度觀測系統建置概況.....	3-1
3.2 能見度資料庫建置.....	3-4
3.3 資料品管機制.....	3-9
3.4 資料品管結果.....	3-17
3.5 資料品管方法之精進.....	3-19
第四章 馬祖港域能見度特性分析.....	4-1
4.1 觀測資料紀錄.....	4-1
4.2 能見度資料分析.....	4-4
4.3 低能見度分析.....	4-9
4.4 馬祖能見度預測模型.....	4-12
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-3
5.3 成果效益及應用情形.....	5-3

參考文獻.....	參-1
附錄一 簡報資料.....	附 1-1
附錄二 工作會議暨專家學者座談會紀錄.....	附 2-1
附錄三 觀測資料歷線圖.....	附 3-1
附錄四 開發程式碼.....	附 4-1
附錄五 期末審查意見及辦理情形說明表.....	附 5-1

圖目錄

圖 3.1	馬祖南竿能見度觀測系統分佈位置圖.....	3-2
圖 3.2	南竿福澳碼頭能見度觀測儀安裝位置圖.....	3-4
圖 3.3	航空站氣象資料介接流程圖.....	3-8
圖 3.4	QARTOD 資料品管手冊標記方式.....	3-10
圖 3.5	短時距離群值檢查綜合評斷流程圖.....	3-13
圖 3.6	鄰近站相關性檢查流程圖.....	3-16
圖 3.7	能見度觀測資料品管方法精進流程圖.....	3-20
圖 4.1	2021-8-6~2021-8-7 濃霧事件觀測數據圖.....	4-10
圖 4.2	2022-3-25~2022-3-26 濃霧事件觀測數據圖.....	4-11
圖 4.3	2021-4-11~2021-4-14 濃霧事件觀測數據圖.....	4-12
圖 4.4	長短期記憶模型架構.....	4-13
圖 4.5	模型 3 分析結果.....	4-15

表目錄

表 2-1	中央氣象局各能見度距離範圍之解析度	2-8
表 3-1	南竿福澳碼頭能見度觀測儀概述表	3-3
表 3-2	南竿福澳碼頭能見度觀測站舊站觀測情形表	3-5
表 3-3	南竿福澳碼頭能見度觀測站新站觀測情形表	3-6
表 3-4	南竿福澳碼頭 2021 下半年至 2022 上半年觀測情形表	3-7
表 3-5	新站與鄰近站數據差值變化率之平均值及標準差	3-16
表 3-6	福澳港能見度站品管結果統計	3-17
表 3-7	新舊站各項品管結果彙整表	3-18
表 3-8	新舊站短時距離群值(Spike Tset)之精進比較.....	3-21
表 3-9	新舊站資料變化率精進結果	3-22
表 4-1	馬祖福澳港能見度觀測資料逐月統計表-新站	4-2
表 4-2	馬祖福澳港能見度觀測資料逐月統計表-舊站	4-3
表 4-3	WMO 能見度分級代碼表	4-4
表 4-4	馬祖福澳港能見度觀測資料逐月基本統計表-新站	4-5
表 4-5	馬祖福澳港能見度觀測資料逐月基本統計表-舊站	4-6
表 4-6	馬祖福澳港各級能見度聯合機率分佈-新站	4-7
表 4-7	馬祖福澳港各級能見度聯合機率分佈-舊站	4-8
表 4-8	馬祖福澳港低能見度不同延續時間之次數統計表	4-9
表 4-9	LSTM 模型設定參數.....	4-14
表 4-10	LSTM 模型分析準確度結果.....	4-14

第一章 緒論

1.1 計畫緣起與目的

能見度是反映大氣穩定度的重要指標之一，其代表大氣清濁程度之光學狀態，綜觀影響能見度之主要因素，包括受到空氣中所含之空氣分子、雜質、水氣及氣膠體等對光線產生散射與吸收，使通過的光線受到衰減，而造成視程障礙現象。低能見度現象，對於駕駛視覺判斷及反應時間有極大影響，包括飛機起降、道路安全、船舶進出港等，因此可能嚴重影響交通安全。

馬祖地區於每年 3 至 5 月間，受到南風影響，暖濕空氣流經較冷的水面或地面而形成多雲霧的天氣。平流霧厚度可達 700 公尺以上，天氣好時的日間太陽幅射最多只能消除雲層頂部一部分，因此，如果平流霧歷久不散，能見度驟降，即可能造成馬祖交通停航的情況產生，一旦對外交通中斷，則會影響到居民的生活與經濟的發展。

交通部運輸研究所(以下簡稱本所)港灣技術研究中心於 108 年起協助連江縣政府完成港域多參數氣象站之建置，其監測項目包括風速風向、能見度、空氣溫度、相對溼度、大氣壓力、露點等環境因子，監測期間已達 2 年，爰透過本計畫將相關監測資料進行深入分析探討，藉由環境因子特性分析，瞭解馬祖港域濃霧形成之特性，以提供馬祖港務單位做為港區能見度預警應用之參據。本計畫於 110 年已完成馬祖能見度觀測資料品管程序建置、馬祖能見度特性統計、低能見度之個案探討，瞭解馬祖港域濃霧形成之特性，111 年進一步建立資料自動化品管程序，以及嘗試導入人工智慧(如循環神經網路 RNN)進行能見度預測分析，以提供馬祖港務單位做為港區能見度預警應用。

1.2 計畫範圍與對象

本計畫利用連江縣政府港務處架設之多參數氣象站，以及介接中央氣象局馬祖氣象站與民用航空局南竿機場氣象站之氣象資訊，藉由多參數氣象站監測資料庫建置、資料品管機制探討、以及馬祖港域(南竿福澳港)能見度分析及特性探討，提供港務管理人員做為港區能見度預警應用及港區船舶進出管理之參據。

1.3 計畫內容與工作項目

(一)前期(110年)計畫內容及產出

1.馬祖港區多參數氣象站監測資料庫建置

在馬祖南竿能見度觀測系統，可分為本所協助連江縣政府建置之福澳碼頭能見度觀測儀、中央氣象局馬祖氣象站能見度觀測系統，以及民用航空局南竿機場氣象站能見度觀測系統。

本計畫於 110 年利用所建置之觀測儀器於現場取得觀測值後，立即將原始觀測資料以文字檔透過現場數據機傳送至雲端主機儲存，再利用雲端主機將文字檔觀測資料傳送至雲端資料庫 (SQL Server) 伺服器提供連江縣政府港務處應用。整理監測期間之風速風向、能見度、空氣溫度、相對溼度、大氣壓力、露點、系統電壓值等基本分析資料，並建置資料庫。110 年透過 MS-SQL 進行資料彙整並建立資料庫，資料庫欄位包括測站編號、測站名稱、觀測時間、平均風速、平均風向、最大陣風風速、最大陣風風向、能見度、空氣溫度、相對溼度、大氣壓力、露點、系統電壓等資料。此外，為驗證本計畫之能見度調查資料，介接中央氣象局與民用航空局之相關氣象資料。

2.資料品管方法導入

資料品質是系統加值應用開發之重要關鍵因素，如若使用無效且錯誤的資料，可能影響未來系統開發之可用性。110 年蒐集世界

氣象組織「氣象儀器與觀測方法指南」(WMO-No.8)及美國海洋綜合觀測系統計畫辦公室之海洋即時資料品保手冊(QARTOD Manual)等資料品管相關文獻,探討應用於能見度自動觀測資料品管機制之可行性。首先將先蒐集彙整監測期間之各項氣象資料,進行初步品管工作,濾除不合理、明顯錯誤、離群值等資料,並透過鄰近觀測站之相關性探討,確認可納入分析資料。本計畫品管程序依據資料連續性、合理性與關聯性進行自動化即時品管程式開發,以進行最基本之自動篩選機制,以提供準確度高、品質良好之觀測資料。

參考 QARTOD 在風力資料之品管程序,逐一檢視套用在能見度自動觀測之可行性。110 年完成馬祖能見度可適用之品管程序包括:時間(間隔)檢查(Timing/Gap Test)、傳輸格式及編碼檢查(Syntax Test)、儀器或物理現象極限值檢查(Gross Range Test)、短時距離群值檢查(Spike Test)、短時距變化率與標準差之檢查(Rate of Change Test)、連續資料無變化(或微小)之檢查(Flat Line Test)、變數間關聯性檢查(Multi-Variate Test)、長時間資料變化幅度檢查(Attenuated Signal Test)、鄰近站相關性檢查(Neighbor Test)等 9 項。

3.馬祖(南竿)港域能見度分析及特性探討

透過能見度資料之基本統計分析,包括觀測資料紀錄統計表、聯合分佈百分比統計表、時序列歷線圖、逐月及分時能見度分佈圖、低能見度發生比例分析、霧時延續時間等,提供馬祖地區近 5 年之能見度觀測趨勢。同時藉由馬祖地區 2021 年上半年濃霧事件環境因子探討,瞭解馬祖地區濃霧事件之基本環境特性、延續時間及影響程度。

透過馬祖地區能見度觀測數據分析顯示,馬祖地區每年 3~5 月之能見度值相對較低,其主要係受到平流霧影響,低能見度(低於 2 公里者)發生比例,以 4 月份發生比例最高(約佔該月份 4~6%)

，另 11、12 及 1 月亦有一定機率會出現低能見度之情形（約 1~2%），另發生時間以凌晨 3~6 時較高，延續時間多在 1~2 小時以內。低能見度發生時數，以 2018 及 2019 年有發生多次超過 4 小時以上之低能見度情形，其總霧時分別為 96 及 141 小時，高於 2016 年的 85 小時及 2020 年的 70 小時（2017 年因資料蒐集率不佳，統計數值不具代表性）。

另外從 2021 年濃霧事件分析，濃霧發生時，其濕度均達 99% 以上，風速介於 0.3~1.5 m/s 間，大氣溫度及露點溫度差均降至 0.5°C 以下，至於大氣壓力及風向則較無關聯性。濃霧形成前，濕度有增加趨勢，並使得大氣溫度及露點溫度差降至 0.5°C 以下，而當濃霧逐步消散時，可觀測到風速逐漸變大之趨勢。再從與鄰近站（馬祖氣象站及南竿機場氣象站）之數據比對，因鄰近站之海拔較高，濃霧由高處往低處發展，其能見度會較福澳港區之能見度低，因此從濃霧發生之時間點來看，其具有時間領先趨勢，後續可做為福澳港區能見度預警之參考指標。

(二)本期(111 年)計畫內容

1.馬祖能見度資料自動化品管程序建立

110 年已蒐集國際氣象組織「氣象儀器與觀測方法指南」及美國海洋綜合觀測系統計畫辦公室之海洋即時資料品保手冊，透過港區歷史能見度資料，研擬一套港區能見度資料品管分析方法，111 年度將進一步精進分析方法，建立即時資料之自動化品管機制，以強化港區能見度預警能力。

2.低能見度特性分析

110 年已完成馬祖地區 2021 年上半年濃霧事件探討，篩選出濃霧發生之 3 項重要環境因子，可提供連江縣政府港務處掌握濃霧發生時間、延續時間及消散趨勢，111 年賡續分析 2021 年下半

年及 2022 年上半年之濃霧事件，篩選更多環境影響因子，做為港區船舶進出港管理之參考。

3.能見度預測分析模組建立及預測結果驗證

利用歷年能見度觀測資料，發展預測分析模組，並利用 2022 年觀測資料進行預測結果之概念驗證。

第二章 文獻回顧

2.1 霧的種類及特性

凡會造成水平方向能見度 (visibility) 低於 10 公里者，可視為一種視障現象 (Obscuration phenomenon)，包括霧、靄、霾、吹雪、塵霾、煙、降灰、塵暴或沙暴等現象。霧為一種最常見的視障現象，其主要由細微密集的小水滴聚集並懸浮在空中，使水平方向能見度未達 1 公里，若能見度小於 200 公尺，則稱為濃霧 (dense fog)，若能見度大於 1 公里而不足 2 公里者，則稱作輕霧或靄 (mist)。

另外一種常見的視障現象為霾 (haze)，其主要由懸浮於大氣中的非吸水性固態顆粒—塵埃、花粉、黴菌、有機化合物、金屬等物質所組成，這些顆粒對陽光的散射作用會使近地表處呈現黃色、橘色或淡藍色。除了導致能見度不佳外，人體若是吸入此類物質，對人類的健康便會造成損害，輕則咳嗽、重則造成心血管疾病。要區分霧、霾其實不難，前者組成物質為水滴、後者則是固態微粒，因此只要看看此種現象發生之際，當地的相對濕度是多少就可以了。一般來說，起霧時的相對濕度會高於 75%，而霾害發生的時候，其相對濕度則不會高於 75%。

霧的形成因素相當複雜，依其成因大致可分為輻射霧、平流霧、鋒面霧、蒸氣霧等。在臺灣來說，以輻射霧及平流霧最為常見，在冬春季發生機率最高。

- (一)輻射霧：透過地面長波輻射冷卻，降低近地面空氣的溫度，使空氣中所含的水氣達到飽和而凝結成霧，須在天晴無風、微風（風速每秒 2~5 公尺）與高雲之夜晚始有足夠的輻射冷卻作用。輻射霧既厚且濃，多發生在晨晚及冬季，待輻射冷卻停止後，陽光使地面增溫，霧才漸漸消散。

- (二)平流霧：係由較暖空氣（多為偏南氣流）經過較冷的地表面將空氣的熱傳輸給地表面，空氣降低溫度使空氣中的水氣達到飽和而凝結成的霧。平流霧只要風向和風速適宜，一經成霧，其濃度高，能見度低，持續時間久，除非風停止，或風向轉變，使暖濕空氣來源中斷，霧才會消散。平流霧多發生於海洋（或海岸邊）及冬春之際，例如 2~5 月間金門及馬祖地區的濃霧。
- (三)鋒面霧：鋒面上方暖空氣的水滴進到冷空氣中達飽和而在近地面形成的霧。鋒面霧多發生在兩種不同氣團之不連續面上，尤其以暖鋒面之鋒前霧最明顯，該暖氣流延冷氣流上方而上升，當達某一高度發生凝結降水，此種較暖之雨滴經過冷空氣時，因蒸發使下層空氣達到飽和，遂在地面形成鋒面霧。
- (四)蒸氣霧：空氣流經過暖水面（如溫泉）獲得水氣而凝結成的霧，通常在氣溫低於水面溫度 15 度以上較易形成。蒸氣霧通常會在極地發生，並且最常見於晚秋及早冬時的大型湖泊及高緯度沿海，其特點是濃度不高、佔據面積不廣。

2.2 能見度觀測與分級

能見度是為了達到呈現大氣清濁程度(光學狀態)之量化目的，而採用之人工觀測估計量；能見度之定義係指觀測員站在地面上，沿水平方向以正常之肉眼所能分辨以天空為背景之黑色物體之最大距離。所謂肉眼係指正常之視力，不得使用望遠鏡等之幫助。又所謂能分辨，則不僅能分辨某物體（相當大者，如山頂、遠樹、建築物等）之存在，且必須能確認為何種物體（例如能確認為山、樹木等）。因此，能見度的觀測與估計受到許多主觀及物理因素影響。

2.2.1 通用規範

世界氣象組織（World Meteorological Organization，簡稱 WMO）在「氣象儀器與觀測方法指南」（WMO-No.8）第一篇第 9 章針對能見度觀測訂定通用的觀測方法與流程規範。

在白天能見度和夜間能見度定義為：白天相對於地平天空，或者夜晚假想總體照明增加到正常白天的水準進行觀測時，一個安置在地面附近的適當尺度的黑色目標物能被看到和辨認出的最大距離（WMO，1992a；2010a）。地面氣象觀測所提及之能見度，均指水平能見度，以公尺為編報單位，對於較高之能見度，亦可用公里表示。

為了客觀測量能見度，可藉由儀器進行大氣透明度的測量，並換算為氣象光學視程（Meteorological optical range，簡稱 MOR）。氣象光學視程係指由白熾燈發出色溫為 2700K 平行光束的光通量在大氣中削弱至初始值 5% 所通過的路徑長度，該光通量採用國際照明委員會（International Commission on Illumination，簡稱 CIE）的光度測量發光度函數來確定。

氣象學採用的能見度測量應不受極端氣象條件影響，且必須能反映普通目標物在正常情況下能被確認觀測距離之直覺概念。MOR 在晝夜均可透過儀器測量，並與能見度其他測量方式具有完全明確的關係，因此，WMO 已正式確認 MOR 可做為一般性或航空用之能見度測量標準，而 MOR 也由國際電工委員會（International Electrotechnical Commission，簡稱 IEC）認可應用於大氣光學和視覺通訊（visual signalling）。

氣象能見度或氣象光學視程 MOR 之測量單位以公尺或公里表示。對天氣尺度要求，MOR 測量範圍可從 100m 至 70km，並可依照應用性質做不同的限制，例如在民用航空之應用，則依照國際民航組織（International Civil Aviation Organization，簡稱 ICAO）國際民用航空公約附件 3（Annex 3: Meteorological Service for International Air Navigation）將上限值訂為 10km，當應用於描述著陸和起飛條件的能見度較小情況下的跑道視程的測量時，測量範圍還要進一步縮小。對於其他應用，諸如陸路或海上交通，WMO 建議仍可按照測量要求和位置設定不同上限值。

2.2.2 測量方法

能見度是一種複雜的心理物理現象，主要受制於懸浮在大氣中的固體和液體微粒引起的大氣消光係數；消光主要由光的散射而非吸收所造成。其估計值依從於個人的視覺和闡釋能力而變化，同時受光源特徵和透射因數的影響。因此，能見度的目測估計值都是主觀的。當觀測者估計能見度時，並不僅僅是取決於所理解的或應當理解的目標物的光度測定和尺度特徵，還取決於觀測者的對比閾值（Contrast threshold，係人眼能察覺的最小亮度對比值，亦即使目標物與其背景相區分的值，該對比閾值隨個人而異）。在夜間，取決於光源強度、背景照度，若由觀測者估計的話，還取決於觀測者的眼睛對黑暗的適應能力和觀測者的照度閾值（Illuminance threshold，在特定亮度背景下人眼察覺點源光所需的最小照度。因而，該值隨光照條件而變化）。在能見度觀測，包括目視估計及儀器測量方法，茲分別敘述如下：

1. 目視估計氣象光學視程

氣象觀測員可以通過自然的或人造的目標物（樹林，岩石，城堡，尖塔，教堂，燈光等）對 MOR 進行目測估計。每一測站應準備一張用於觀測目標物分佈圖，在其中標明它們相對於觀測者的距離和方位。分佈圖中應包括分別適用於白天觀測和夜間觀測的各種目標物。觀測者必須特別注意 MOR 的顯著的方向變化。觀測必須由具有正常視力且受過適當訓練的觀測員來進行，不能用附加的光學設備（單筒、雙筒望遠鏡、經緯儀等），更要注意不能透過窗戶觀測，尤其是在夜間觀測目標物或發光體時。觀測員的眼睛應在地面以上的正常高度（約 1.5m），不應在控制塔或其他較高建築物的上層進行觀測，特別是在能見度低時。

當能見度在不同方向上變化時，記錄或報告的值決定於所作報告的用途，其在天氣電報中取較低值能見度作報告，而用於航空的報告則應遵循 WMO 在 2014 年訂定之航空天氣服務之氣象觀測及訊息發布指引（WMO-No.731）。

白天觀測能見度之目測估計值可取得 MOR 真值有較好的近似值，一般應滿足以下要求：白天應選擇盡可能較多的不同距離目標物，並以黑色（或接近黑色）且在天空背景下突出於地平面的目標物，應避免淺色目標物。如果必須採用地形背景下的目標物，則該目標物應位於背景的前方並遠離背景，即至少為其離觀測點的距離的一半遠處。為使觀測值具有代表性，在觀測者眼中目標物的對角不應小於 0.5° 。選定方法可利用一個打在卡片紙上的 7.5mm 直徑的孔，把它放在一隻手臂長度處，其對角即近似等於 0.5° ，因此，通過此孔能看到的物體應填滿此孔。然而，這類目標物的對角又不應超過 5° 。

在夜晚觀測能見度需要透過光源的感覺距離來估計 MOR 值。任何光源都可做為能見度觀測的目標物，只要該目標物在觀測方向之強度是已知且可完全確定的。夜間能見度測量中，只能採用呈適當分佈的點光源作為目標物，不宜選擇成群、成帶、重疊或焦點投射之燈光。

2. 儀器測量方法

考量目視能見度受到天氣狀態、光照度、眼睛對當時光線適應情形之影響，因此，逐步開發出測量儀器來輔助人工判識。能見度測量儀器對於缺乏合適目標物或者夜間觀測具有很高的效益。其中測量 MOR 的儀器可分為以下兩類：

- (1) 測量水平空氣柱之消光係數或透射因數：光的衰減是由於大氣微粒沿光束路徑之散射和吸收。其量測消光係數之儀器，包括：遠距光度計（如 Lohel 式遠距光度儀、Collier-Taylor 式透射儀）、目視消光儀、光學透射儀、光達等。
- (2) 測量小體積空氣之光散射係數：在自然霧中，吸收通常可以忽略，因此，散射係數可視為與消光係數相同。其量測散射係數之儀器，包括：反向散射、前向散射及廣角散射積分等。

透射儀因需要基線，占地範圍大，不適用於海岸、燈塔自動氣象站及船舶上，但其具有自檢能力、低能見度下性能好等優點而適用於民航系統；而散射儀由於測量只與很小體積的空氣有關，對該處大氣

普遍狀況的測量代表性可能會產生疑問，不過該代表性可以通過取大量樣本或測量值的平均來改善，或者可採用刪除極端值的方法來平滑測量結果，因此，散射儀以其體積小和低廉價格而廣泛應用。

測量儀器應設置在能確保測量目的且具有代表性之處，因此，如為一般天氣觀測目的時，儀器應安裝在遠離局部大氣污染的地方，例如煙塵、工業污染、多塵路面等。用於測量消光係數或散射係數之儀器應與觀測者眼睛位在同一水平面上，大約在地面上 1.5 公尺左右，其測光區應避免太陽光影響，並在緯度 0~50° 間採用南北方向設置（偏差可達 $\pm 45^\circ$ ）或採用遮罩或擋板來達到這種要求。安裝發射器和接收器的立柱應具有機械堅固性，以避免在結凍及解凍時造成的定線偏離。另外，外露裝置在熱應力作用下必須不致產生變形。至於航空目的，測值需可代表在機場之狀況，可參照 WMO-No.8 第二篇第 2 章之相關規範進行設置。

觀測儀器之校準，應定期在非常好的能見度下（超過 10~15km）執行，以避免因大氣狀況而導致的誤差，例如，當有強大上升氣流或暴雨後，接近地面氣層之消光係數會有明顯改變，而無法得到正確的校準值。大多數透射儀，必須定期清潔光學表面，特別在主要大氣擾動後必須對儀器進行清潔，以減少水滴和固體顆粒覆蓋於光學系統上，進而導致測量誤差。另外降雪會堵塞光學系統造成測量誤差，一般會設計加熱系統於光學系統前側以改善儀器性能，有時採用吹風系統亦可減少清洗的次數，然而此類加熱與吹風系統會產生比周圍空氣更熱的氣流，可能影響消光係數的測量。在乾旱地區，沙塵暴和揚沙會堵塞光學系統甚至造成損害，亦需加以留意。

相對於觀測員所觀測，所有用來實際測量 MOR 的儀器只是採集了相當小範圍的大氣樣本，只有當儀器所取樣的空氣體積可代表觀測點周圍大氣狀態時，儀器才能提供一個準確 MOR 測量值。因此，在不均勻霧或局部降雨情況下，儀器數據可能出現誤導的情況。但是，從各種儀器使用經驗來看，這種情況並不經常發生，且用儀器連續監測 MOR 通常會比不用儀器的觀測員提前監測到 MOR 的變化。不過，當

討論測量代表性時，應該考慮大氣本身均勻性的因素，對所有 MOR 量測距值，小範圍之消光係數通常快速且不規則波動，如未設定平滑或平均系統的散射儀和短基線透射儀，將會呈顯明顯的偏差，因此有必要進行多次採樣並將數值進行平滑或平均化，以獲得具有代表性的數值。根據 WMO 在 1990 年第一次能見度測量比對研究報告 (WMO/TD-No. 401) 指出：對大多數儀器來說，平均時間取樣超過 1 分鐘並無太大益處，但是對於「雜訊極高」的儀器而言，以平均 2 分鐘做為取樣時間是相當合適的。同時，該報告亦指出使用散射儀測定低能見度值遠並沒有透射儀測得準確，其讀數中表現出很大的變動性，並且在降雨時有更大的影響，然而，最好的散射儀在 100m~50km 的範圍內只有約 10% 的標準偏差。

攝像系統近期已逐步做為能見度觀測之輔助工具，並應用在能見度觀測過程之建築物遮擋區域評估，以及對遠程位置判釋。目前市面上正在開發可自動辨識濃霧存在之技術，其藉由相機圖像技術來估算能見度，包括利用影像邊緣評估技術、或利用對比度降低來確定已知物體之距離、或利用圖像統計參數（如梯度或傅立葉分析）建立能見度分析之深度學習技術、或使用圖像增強方法（例如去霧）等，不過，通常這些技術多僅限於白天使用，並需要針對特定點位之圖像及場景進行客製化調整 (Wiel Wauben, Martin Roth, 2016)。

2.2.3 編報方式及解析度

在能見度分級依照 WMO 電碼手冊 (WMO-No.306) 第 1.1 卷 Part A 之能見度編報規範 (Code Table 4300)，將能見度分為 10 級，包括 50 公尺以下、50~200 公尺、200~500 公尺、500~1000 公尺、1~2 公里、2~4 公里、4~10 公里、10~20 公里、20~50 公里，以及 50 公里以上。又考量能見度測量誤差與能見度成比例增加，因此在不同能見度需訂定不同的解析度。WMO 在 Code Table 4377 規範能見度在 5 公里以下，採用解析度為 100 公尺，能見度 5~30 公里，採用解析度為 1 公里，能見度 30~70 公里，採用解析度為 5 公里，能見度 70 公里以上，採用解析度為 5 公里。另外在海洋站的能見度觀測，考量在沒有合適陸

標的情況下，不可能達到與陸地站相同的精確度。因此，對海洋站準確的能見度觀測要求較低，依照 WMO 電碼手冊（WMO-No.306）第 1.1 卷 Part A 規範，其能見度觀測可分為 50 公尺以下、50~200 公尺、200~500 公尺、500~1000 公尺、1~2 公里、2~4 公里、4~10 公里、20~50 公里，以及 50 公里以上等 10 個級距。

另外，根據中央氣象局「地面氣象測報作業規範」：能見度之觀測以公里為單位，但在 1 公里以下之近距離，則以 10 公尺或 100 公尺為單位，以小數 2 位表示，惟為觀測紀錄合理有效，氣象局在各距離範圍採用之解析度如表 2-1 所示：

表 2-1 中央氣象局各能見度距離範圍之解析度

能見度範圍	解析度	實例
0~100m	0.01 km	0.01、0.02、0.03、.....
100~500m	0.05 km	0.10、0.15、0.20、.....
500~1000m	0.10 km	0.50、0.60、0.70、.....
1~5km	0.1 或 0.5 km	1.00、1.10、1.20、.....
5~30km(或 20km)	1 km	5.00、6.00、7.00、.....
30(或 20km)~70km	5 km	20.00、25.00、30.00、...
70km 以上	10 km	70.00、80.00、90.00、...

資料來源：中央氣象局「地面氣象測報作業規範」(2014)

在航空能見度編報部分，航空能見度量測及發佈重點，依據交通部民用航空局「航空氣象規範」及國際民航組織國際民用航空公約附件 3 之相關規範，其能見度編報規定如下：當使用儀器測量能見度時，能見度值應於跑道上方接近 2.5 公尺(7.5 呎)處量測；當使用儀器測量能見度時，其值至少每 60 秒更新一次，以提供最新具代表性之值。平均區間如下：當編報 METAR 及 SPECI 時，應使用 10 分鐘平均，惟當觀測前 10 分鐘有能見度顯著不連續時，應使用不連續後之值進行平均。在 METAR 及 SPECI 報文中，當能見度小於 800 公尺時，應以 50 公尺之級距編報；當能見度為 800 公尺以上，但小於 5 公里時

，應以 100 公尺之級距編報；當能見度為 5 公里以上，但小於 10 公里時，應以公里之級距編報；當能見度為 10 公里以上時，應編報 10 公里，但適用 CAVOK 條件時除外。任何未合於所使用報告級距之觀測值，應採用最接近之較低級距。

2.3 資料品質管制

品質管制目的是用來確保資料以最低可行的成本滿足預期應用的要求（包括不確定性、解析度、連續性、均一性、代表性、及時性和格式等）。WMO 在「氣象儀器與觀測方法指南」（WMO-No.8）第五篇針對氣象資料品質管制框架與影響資料品質的因素提出基本建議，摘述如下：

1. 用戶要求：考慮使用者的資料品質要求與儀器性能的匹配性，藉以評估測量系統的品質（本益比和性價比）。
2. 職能規範和技術規範：將所要闡述之資料要求轉化為職能規範，在進而轉化為技術規範，該項工作需要全面瞭解使用者的要求、氣象測量技術、觀測方法、WMO 條例、基礎設施狀態、以及相關業務條件，是一項極為重要且複雜的工作。
3. 儀器的選擇：儀器選擇應當慎重，要考慮必要的解析度、範圍和解析度、用戶應用所處的氣候和環境條件、工作條件以及用於培訓、安裝和維護的現有技術基礎設施。
4. 接受度測試：在安裝和驗收之前，必須確保儀器能夠滿足設計規範。製造商應公佈儀器性能及其對影響因素的敏感度，且有時可由權威標定部門進行驗證。
5. 相容性：在單一測量類型時，採用不同技術特點之儀器可能帶來資料相容性問題。
6. 選址和安裝方位：氣象臺站的密度取決於所要觀測氣象現象之時間尺度和空間尺度，而且通常是用戶指定或按 WMO 條例的規定。如若選擇不適當的地點或方位可能會嚴重影響測量的準確性和代表性。

7. 儀器誤差：儀器的正確選擇不代表可以獲取高品質資料，如果沒有透過良好的測量技術，所有儀器都有不同的系統誤差和隨機誤差。
8. 資料獲取：資料品質不僅依靠儀器品質及其正確選址和安裝方位，而且還取決於獲取資料並將其轉換為代表性資料所使用的技術和方法，且應當對自動測量和人工觀測加以區別。其必須依據感測器的技術特點，特別是對其時間常數運用正確取樣和求均值程式。
9. 資料處理：用於將感測器資料換算為二級或三級數據的換算技術或計算程式也會引起誤差。此類實例包括根據測量的相對濕度或露點來計算濕度值以及平均海平面氣壓修正。此外，在氣象電報的編碼或轉錄過程中，如果交由觀測員負責時亦會出現誤差。
10. 即時品質控制：資料品質取決於在資料獲取和處理以及編寫電報過程中所使用的即時品質控制程式，以便消除主要的誤差源。此類程式專門用於各類測量，但通常包括對似真值、變化率以及與其它測量結果的對比進行全面檢查（例如，露點不能超過溫度）。
11. 性能監測：由於即時品質控制程式有其局限性，且有些誤差仍無法檢測到，例如感測器的長期漂移和資料傳輸誤差，因此，有必要在氣象分析中心以及由網路系統管理員在網路層面實施性能監測。
12. 測試和標定：在氣象儀器運行期間，其性能和儀器特點會因各種原因發生變化，例如硬體老化、維護水準降低、暴露度等，因此，為提供可靠的資料，儀器需進行定期的檢查和標定。
13. 維護：維護可以是修復性（零件故障時）、預防性（如清潔或上油）或適應性（以應對需求改變或儀器陳舊問題）。
14. 培訓和教育：資料品質還取決於負責測試、標定和維護工作的技術人員的技能，以及觀測員的技能。
15. 中繼資料：健全的品質保證需要提供觀測系統本身的詳細資訊，尤其是關於系統運行期間發生各種變化的資訊。此類資料資訊稱

之為中繼資料，它可以使觀測系統的操作員採取最為恰當的預防、修復和適應性行動，以保持或提高資料品質。

此外，WMO 在「氣象儀器與觀測方法指南」(WMO-No.8) 第三篇第一章針對自動氣象站提出品管建議，重點如下：

1. 感測器內部檢驗：該步驟是資料處理中最早遇到之檢測點，其包括對每個感測器取樣樣本的合理測值以及合理變化率進行的一種檢驗。
 - (1) 合理測值：這是一種對測值的絕對變化極限範圍之粗略檢驗。這些極限值不僅與氣象變數或現象的性質有關，但也是取決於所選感測器和資料獲取硬體量程。可比照極限值進行補充檢驗，而極限值是隨地理區域、一年中所處的季節和時間變化。
 - (2) 合理變化率：這是根據之前所接受的某一水準對變化率進行的檢驗。檢驗效果好壞取決於資料在時間上的一致性或持續性，其適用於高時間解析度（高取樣率）的資料，因為相鄰樣本間的相關性隨著取樣率增加而提高，通過比較兩個連續報告的資料，可增加時間一致性檢驗。
2. 感測器間的檢驗：基於已建立之物理和氣象原理，可針對某一變數參照其它變數進行內部一致性檢驗。例如，露點溫度不能超過周圍的氣溫、不可能有天空無雲之降水、當風速不為零而風向變化為零之狀況、平均風速為零而風向（變化）不為零之狀況。
3. 人工輸入的觀測值：當人工觀測值輸入自動氣象站時，可進行上述傳感器內部和傳感器之間的檢驗。WMO 建議透過一些特殊的一致性檢驗內容，例如，現在天氣與能見度、雲量、氣溫、露點之關聯性之探討。
4. 硬體檢查：在運行過程中，自動氣象站的性能會因硬體元器件的老化、放置在未測試的環境中、維護不當、儀器故障等原因而降低。因此，利用自動氣象站的內置測試設備，使自動氣象站自動地進行週期性自檢，把檢驗結果提供給相關人員，或存入緩衝記

記憶體。其可透過緩衝記憶體進行檢查，並對正確測值、有誤差的或可疑測值進行分類。

5. 報文檢查：對於配備編報軟體和通過全球通信系統傳輸報告的自動氣象站，除執行上述檢測外，並應對字元、數碼、格式是否符合相關規定進行監控。

美國海洋綜合觀測系統 (Integrated Ocean Observing System, IOOS)計畫辦公室於 2003 年起推動海洋即時資料品保手冊 (Manual of Quality Assurance of Real- Time Ocean Data, QARTOD Manual)等一系列海洋觀測數據管理準則，包括：pH、Stream Flow、Passive Acoustics、Phytoplankton、HF Radar、Dissolved Oxygen、Wind、Water Level、In-Situ Surface Wave、Ocean Optics、In-Situ Temperature and Salinity、Dissolved Nutrients、In-Situ Current 等 13 種觀測項目。其中較為通用之資料品管項目有：時間（間隔）檢查 (Timing/Gap Test)、傳輸格式及編碼檢查 (Syntax Test)、座標檢查 (Location Test)、儀器或物理現象極限值檢查 (Gross Range Test)、逐月及季節變化合理性檢查 (Climatology Test)、短時距離群值檢查 (Spike Test)、短時距變化率與標準差之檢查 (Rate of Change Test)、連續資料無變化（或微小）之檢查 (Flat Line Test)、變數間關聯性檢查 (Multi-Variate Test)、長時間資料變化幅度檢查 (Attenuated Signal Test)、鄰近站相關性檢查 (Neighbor Test) 等 11 項，並將其分為必要性 (Required)、強烈建議 (Strongly Recommended) 與建議性 (Suggested) 等 3 大分組檢驗程序。

2.4 能見度特性分析相關文獻

交通部民用航空局於 103 年針對臺灣地區春季大霧經驗預報之量化研究指出，臺灣北部及西部地區包括離島的金門、馬祖每年 1 月至 5 月，即冬末至春季有一明顯的霧期，而發生的霧大都以平流霧與輻射霧為主。因常伴隨有低能見度與低雲幕等惡劣天氣，導致機場暫停起降作業，而影響航班的正常運作。然而霧大都為區域性且尺度小，在

預報上要做到精確掌握其發生及消散的時間，確實有其困難點，因此目前的預報方法仍僅為定性分析加上主觀的判斷。雖然近年來航空氣象現代化作業系統的天氣研究與預報模式 WRF，在模式輸出統計 MOS 對霧的預報產品雖然有明顯的改善，但要利用在實際作業上仍需再提升其準確度。該研究利用霧季檢查表，對臺灣地區春季大霧的長期定性分析預報經驗嘗試加以量化，其將有利於起霧的氣象因子藉由定量比對的運算，再以客觀條件自動判斷是否會起霧，其研究結果顯示霧季檢查表僅能提供未來 6 至 12 小時預測是否可能有霧發生，但無法指出在那一個時刻發生，因此，後續建議可進一步利用日本氣象衛星 METSAT 紅外線 1 號與紅外線 4 號差分圖 IR1 IR4 image 即時追蹤霧的發展、移動及消散。

童茂祥 103 年針對我國主要機場霧的特性與經驗指出，馬祖地區之南、北竿機場位置接近，且起霧時間類似(南竿的霧維持時間較長)，該地區以平流霧為主，夜間至清晨伴隨輻射霧影響濃霧發生頻率最高約 8%，白天受日照升溫影響濕度降低，至晚間起霧頻率又略為增加。其濃霧最常發生於 2~5 月，且全年平均能見度最低為 4 月，其次為 2 月、3 月、5 月，霧季時間較長，而 9 月為能見度最高的月份。每日能見度最低時間落在清晨 8 時，而中午前後為能見度最好的時間。

許秀妮於 104 年蒐集 99 至 104 年期間各機場觀測資料進行統計分析，結果顯示金門、馬祖南竿、馬祖北竿及桃園機場之年平均霧日分別約 27、30、16 及 9 天，離島(金門、南竿及北竿) 機場和本島桃園機場霧日分別呈現 2-3 年和 3-4 年之年際變化特徵。桃園機場霧日高峰期為 2 月，盛行弱西北風。離島機場霧日以 4 月最多，金門機場盛行西南風，南竿及北竿機場則有東北風和西南風二種風場特徵。另利用數值模式客觀分析資料，瞭解過去 15 年來霧日之變化趨勢。

交通部民用航空局於 105 年馬祖地區(南、北竿) 低能見度觀測資料分析研究指出，馬祖地區春季時常有平流霧影響低能見度進而影響飛機起降，霧所造成的低能見度問題在過去很常被探討，由過去馬祖地區氣候分析結果得知，當霧(能見度低於 1000 公尺)發生時的風

速偏弱（小於 5KT），鮮少出現超過 10KT；但當馬祖地區受到污染物影響造成低能見度時（能見度 1000 公尺～ 5000 公尺）有很高的機率為東北風且風速大於 10KT。污染物影響的低能見度往往顛覆預報員的預報經驗，且因為缺乏個案及長時間統計研究分析，使其不易被預報員所預報。該研究利用 2011～2014 年馬祖南竿機場(RCFG)、北竿機場(RCMT)之機場天氣報告（METAR 及 SPECI），以及 2011～2014 年環保署馬祖地區空氣品質監測資料（PM2.5），其研究結果發現馬祖地區能見度與當地的 PM2.5 濃度有很高的負相關，而北京、上海及馬祖地區的 PM2.5 濃度則有極高的時間延遲相關性。利用主成分分析將綜觀天氣系統拆解成數個模態，發現天氣主要為東北風盛行且風速極強的型態，而其水氣在傳播路徑上則偏少。在此分析中我們利用相關係數分析，污染物從北京到馬祖地區的時間約為 43 小時。最後，該研究利用現有的預報工具及預報經驗建立一套標準作業流程，以期望能對於污染物影響終端機場的天氣預報能更為準確。

國家災害防救科技中心於 107 年嘗試蒐整交通部民用航空局與本所港灣技術研究中心分別在機場及商港能見度觀測站資料，建立能見度觀測資料庫，將即時觀測資訊整合於單一頁面，並以燈號輔助警示低能見度站點。其透過 National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)/ Forecast Systems Laboratory (FSL)發展的能見度反演經驗公式進行全臺網格能見度計算。此外，配合臺灣本島與離島地區的能見度觀測資料，提供觀測站點上時間延遲系集預報結果，進行觀測與預報結果的即時校驗。

第三章 能見度觀測資料品管機制精進

3.1 馬祖地區能見度觀測系統建置概況

馬祖列島位於臺灣本島與臺灣海峽西北方，為我國最北端之領土，距離臺灣約 114 哩，離福建沿海僅約 10 哩。馬祖列島由十個島嶼所組成，除南竿、北竿、西莒、東莒及東引等 5 個島外，其餘屬較小之無人島嶼。馬祖港由 5 個島嶼之碼頭組成，包括南竿福澳碼頭、北竿白沙碼頭、西莒青帆碼頭、東莒猛澳碼頭及東引中柱碼頭，連江縣政府為推動國內商港（馬祖港）建設計畫，自 101 年起委託本所協助建置海氣象觀測系統。其中，在能見度觀測系統建置上，本所分別於 103 年 9 月完成南竿福澳碼頭能見度儀安裝工程、於 104 年 9 月完成北竿、西莒及東引能見度儀安裝工程，於 105 年 11 月完成東莒能見度儀安裝工程。而後，於 108 年 7 月再次更新南竿、北竿、東引及東莒之能見度觀測系統，並同步建置多參數氣象站。

南竿鄉為馬祖列島第一大島，舊稱「南竿塘」，面積 10.64 平方公里，實際居住島上的居民約四、五千人，為連江縣政府所在地，南竿機場興建完成後，已成為馬祖海空交通、政治經濟、教育文化之中心。其中南竿福澳碼頭位於北緯 26.05° 、東經 119.943° ，為馬祖港五碼頭區中最具規模者。因其所在位置南竿鄉為連江縣政經中心，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。目前本港區之配置大致可分為 2 區域，即現有營運碼頭區及施工中之深水碼頭區。

在馬祖南竿能見度觀測系統，可分為本所協助連江縣政府建置之福澳碼頭能見度觀測儀（ $26^{\circ}09'42.24''N$ $119^{\circ}56'33.52''E$ ，海拔高度 5m）、中央氣象局馬祖氣象站能見度觀測系統（ $26^{\circ}10'10''N$ $119^{\circ}55'23''E$ ，海拔高度 97.84m），以及民用航空局南竿機場氣象站能見度觀測系

統 (26°9'38"N 119°57'26"E, 海拔高度 70.7m), 其分佈地理位置如圖 3.1 所示。



圖 3.1 馬祖南竿能見度觀測系統分佈位置圖

在本所協助連江縣政府建置之福澳碼頭能見度觀測系統，主要採用前向散射式能見度儀，並可分為 103 年及 108 年建置之能見度儀（以下簡稱舊站及新站）。其中舊站為 Campbell 之 CS120A 能見度觀測儀，而新站為 Biral 之 SWS-100 能見度觀測儀（含 Gill MetPak Pro 多參數氣象觀測儀），兩組儀器均安裝於南竿福澳 S1 碼頭（臺馬輪、合富輪及貨輪碼頭），如圖 3.2，相關儀器規格、觀測資料項目、取樣頻率、觀測上限值等系統設定參數，如表 3-1 所示。

表 3-1 南竿福澳碼頭能見度觀測儀概述表

	舊站	新站
建置年度	103 年	108 年
廠牌/型號	Campbell CS120A	Biral SWS-100
規格	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量測原理：42°前向散射 2. 量測範圍：5m-75km。 3. 量測誤差：8% at 600 m，10% at 10,000m，15% at 15,000 m，20% at 15,000m 以上。 4. 輸出率：1~3600 秒 (default=60)。 5. 類比輸出。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量測原理：前向散射式 39°~51°、中心 45°。 2. 量測範圍：10m-2km(預設)、10km、20km、32km、50km、75km。 3. 量測誤差：4.5% at 600m，5.0% at 1,500m，5.1% at 2km，12.5% at 15km，20% at 30km。 4. 輸出率：10~300 秒 (default=60)。 5. 數位輸出。
資料項目	Station_ID(觀測站 ID)、Date_Time(紀錄時間)、Visibility_Value(能見度值)、Volt(電壓)	Station_ID(觀測站 ID)、Date_Time(紀錄時間)、Visibility_Value(能見度值)、Volt(電壓)、WS_AVG(平均風速)、WD_AVG(平均風向)、WS_MAX(最大風速)、WD_MAX(最大風向)、MAX_T(最大風速時間)、Temp(溫度)、Humidity(濕度)、Atmospheric_P(氣壓)
系統設定參數	<ol style="list-style-type: none"> 1. 資料取樣頻率：1 分鐘/筆。 2. 上限值設定：32km。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 資料取樣頻率：10 分鐘/筆。 2. 上限值設定：30km。



圖 3.2 南竿福澳碼頭能見度觀測儀安裝位置圖

3.2 能見度資料庫建置

3.2.1 福澳港能見度資料庫建置

本計畫之能見度即時觀測系統，其觀測儀器於現場取得觀測值後，立即將原始觀測資料以文字檔透過現場數據機傳送至雲端主機儲存，再利用雲端主機將文字檔觀測資料傳送至雲端資料庫（SQL Server）伺服器提供連江縣政府港務處應用。

在能見度資料庫內容，可分為舊站資料表及新站資料表。其中舊站資料表儲存欄位有：ID(流水號)、Station_ID(觀測站 ID)、Device_ID(儀器 ID)、Date_Time(紀錄時間)、Visibility_Value(能見度值)、Volt(電壓)，統計至 111 年 6 月底之觀測情形如表 3-2，該觀測站

原觀測頻率為 10 分鐘/筆，於 106 年起重新調整觀測頻率為 1 分鐘/筆；另新站係整合多參數氣象站之觀測資料，爰資料表儲存欄位有：ID（流水號）、Station_ID（觀測站 ID）、Date_Time（紀錄時間）、Visibility_Value（能見度值）、Volt（電壓）、WS_AVG（平均風速）、WD_AVG（平均風向）、WS_MAX（最大風速）、WD_MAX（最大風向）、MAX_T（最大風速時間）、Temp（溫度）、Humidity（濕度）、Atmospheric_P（氣壓），統計至 111 年 6 月底之觀測情形如表 3-3。

表 3-2 南竿福澳碼頭能見度觀測站舊站觀測情形表

（單位：筆）

觀測期間	2014-09-07 17:00~ 2017-02-11 12:30	2017-04-18 18:00~ 2022-06-30 24:00
觀測頻率	10min	1 min
應觀測日數	898	1,900
觀測日數	871 (96.99%)	1,831 (96.37%)
應觀測時數	21,523	45,566
觀測時數	20,776 (96.53%)	41,684 (91.48%)
應觀測筆數 (備註 1)	129,138	2,733,960
可觀測筆數 (備註 2)	124,656	2,501,040
回傳資料庫筆數	110,819	2,288,482
觀測期間資料蒐集率	85.81%	83.71%
儀器正常資料蒐集率	88.90%	91.50%

備註 1：應觀測筆數=應觀測時數*取樣頻率，其用以呈現觀測期間應取得之資料數。

備註 2：可觀測筆數=觀測時數*取樣頻率，其扣除儀器異常狀況下，可取得之資料數。

表 3-3 南竿福澳碼頭能見度觀測站新站觀測情形表

(單位：筆)

分析時間	2019-07-26 18:00 ~ 2022-06-30 24:00
觀測頻率	10min
應觀測日數	1,071
觀測日數	1,045 (97.57%)
應觀測時數	25,670
觀測時數	24,376 (94.96%)
應觀測筆數 (備註 1)	154,020
可觀測筆數 (備註 2)	146,256
回傳資料庫筆數	134,854
觀測期間資料蒐集率	87.56%
儀器正常資料蒐集率	92.20%

備註 1：應觀測筆數=應觀測時數*取樣頻率，其用以呈現觀測期間應取得之資料數。

備註 2：可觀測筆數=觀測時數*取樣頻率，其扣除儀器異常狀況下，可取得之資料數。

其中 2021 下半年至 2022 上半年觀測情形表，如表 3-4 所示。港區能見度觀測資料蒐集率達 80% 以上，具有良好的資料蒐集穩定度，若再按日及按時統計，106 年以後之資料蒐集率約可達 90% 以上，而 2021 下半年至 2022 上半年之資料蒐集率有較歷年改善。

表 3-4 南竿福澳碼頭 2021 下半年至 2022 上半年觀測情形表

站別	舊站	新站
觀測期間	2021-07-01 00:00~ 2022-06-30 24:00	2021-07-01 00:00~ 2022-06-30 24:00
觀測頻率	1 min	10min
應觀測日數	365	365
觀測日數	338	339
應觀測時數	8743	8743
觀測時數	7995	7921
應觀測筆數 (備註 1)	524580	52458
可觀測筆數 (備註 2)	479700	47526
回傳資料庫筆數	454221	44729
觀測期間資料蒐集率	86.59%	85.27%
儀器正常資料蒐集率	94.69%	94.11%

備註 1：應觀測筆數=應觀測時數*取樣頻率，其用以呈現觀測期間應取得之資料數。

備註 2：可觀測筆數=觀測時數*取樣頻率，其扣除儀器異常狀況下，可取得之資料數。

3.2.2 鄰近氣象站資訊介接

為檢核及分析本計畫能見度觀測資料之正確性及代表性，本計畫另蒐集及介接鄰近氣象站之觀測資料，其來源包括：交通部中央氣象局馬祖氣象站及民用航空局南竿機場氣象站之氣象觀測資訊。

氣象局馬祖氣象站係於 103 年 1 月 1 日起開始進行觀測業務，為該局三等氣象站，作業方式採十六小時輪班。在地面氣象觀測部分，該站每日定時實施氣壓、氣溫、風向、風速、濕度、雲、天氣現象、降水、日射、日照、能見度、蒸發量、地溫等氣象要素觀測，其在 104 年起陸續建置閃電落雷、能見度與現在天氣儀、雨滴譜儀等自動觀測儀器作為觀測輔助。其中在能見度觀測數據上，本計畫主要透過該局氣象資料開放平臺（即時資料介接）與民生公共物聯網（歷史資料匯入），完成 106 年 6 月以後之氣象觀測資料，其資料更新頻率為 10 分

鐘/筆，並包括風速、風向、溫度、相對溼度、測站氣壓、十分鐘盛行能見度、天氣現象描述、…等 20 項觀測數據。

在南竿機場之航空氣象介接部分，本計畫主要利用民航局飛航服務總臺氣象報文歷史資料，以及「公共運輸整合資訊流通服務平臺」(Public Transport Data eXchange, PTX) 提供之航空站即時氣象資訊，其中航空氣象報文係依據世界氣象組織電碼手冊與國際民航組織 (ICAO) 航空氣象相關文件編譯而成，其主要目的係為整合航空氣象相關資訊，建立航空氣象電碼之使用指南，以提供航空氣象專業人員及非氣象專業人員之電碼使用者參考。航空氣象報文包括 METAR 機場例行天氣報告 (依各機場特性，原則以每小時或半小時 1 筆) 與 SPECI 機場特別天氣報告，本計畫係透過 Python 自動擷取航空氣象報文，並轉譯存入 MSSQL 資料庫，如圖 3.3，其資料區間為 102 年 1 月迄今，資料欄位包括：METAR 本文、報文種類、機場名稱、觀測時間、風速風向、風向變化、能見度、溫度、露點、氣壓、雲高、風轉向角度、特殊天氣描述、垂直能見度、跑道視程等 15 項主要欄位。其中在能見度部分，依據 WMO 及 ICAO 相關規定，以 10 公里為編報上限值。

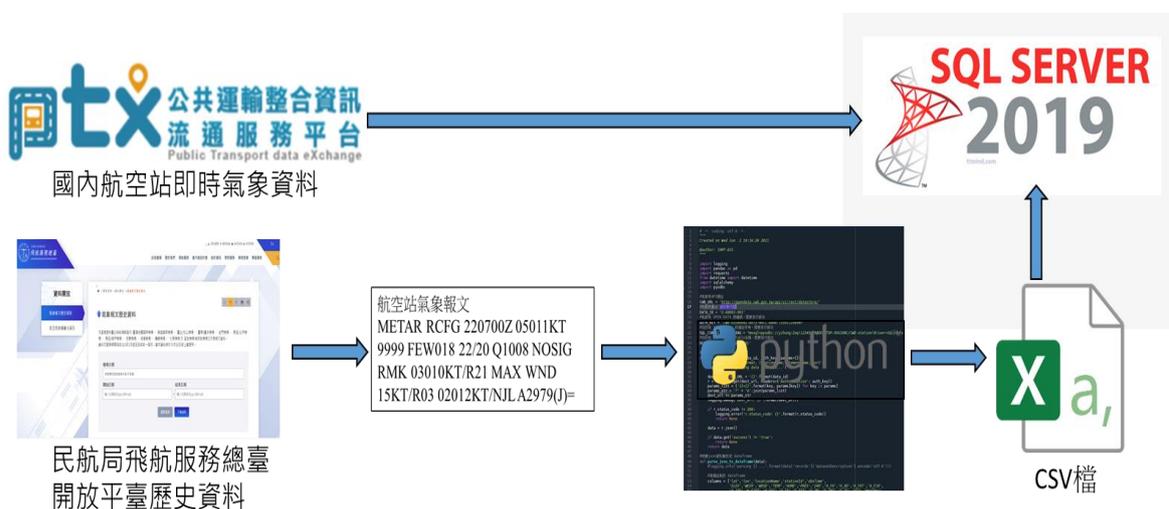


圖 3.3 航空站氣象資料介接流程圖

3.3 資料品管機制

依據國際氣象組織、氣象局與民用航空局等單位在能見度觀測實務上，考量能見度觀測受到整體大氣均勻性影響，單以儀器觀測時容易造成誤判，因此，傳統上仍以人工目視觀測為主要方式，必要時則透過儀器進行輔助，以確保資料可信度。為提升自動觀測效率及效果，本計畫第 2.3 節蒐集 WMO「氣象儀器與觀測方法指南」(WMO-No.8)及美國 IOOS 計畫辦公室之海洋即時資料品保手冊(QARTOD Manual)等資料品管相關文獻，惟目前並無能見度之自動品管程序，因此，本計畫嘗試建立一套港區能見度資料品管機制，以提供相關單位做為自動觀測及資料檢核程序之參據。

參酌 WMO 在氣象品管機制，大致可歸納為：合理測值檢驗、合理變化率檢驗、與其他物理變數之關聯性檢驗、人工檢驗、編碼檢驗。而 QARTOD 的品管機制，則更為客製化及細緻化，惟仍可歸納為：時間連續性檢驗、編碼檢驗、物理與季節及極限值檢驗、變化率檢驗、與其他物理變數或鄰近測站相關性檢驗等。

本計畫在前期計畫(110 年)嘗試利用 QARTOD 在風力資料之品管程序，逐一檢視套用在能見度自動觀測之可行性。其主要程序包括：時間(間隔)檢查(Timing/Gap Test)、傳輸格式及編碼檢查(Syntax Test)、座標檢查(Location Test)、儀器或物理現象極限值檢查(Gross Range Test)、逐月及季節變化合理性檢查(Climatology Test)、短時距離群值檢查(Spike Test)、短時距變化率與標準差之檢查(Rate of Change Test)、連續資料無變化(或微小)之檢查(Flat Line Test)、變數間關聯性檢查(Multi-Variate Test)、長時間資料變化幅度檢查(Attenuated Signal Test)、鄰近站相關性檢查(Neighbor Test)等 11 項，並將其分為必要性(Required)、強烈建議(Strongly Recommended)與建議性(Suggested)等 3 大分組檢驗程序。資料依照檢查程序予以逐一標記，其標記內容可分為：通過(Pass=1)、無法評估(Not

Evaluated=2)、可疑的 (Suspect=3)、錯誤 (Fail=4) 與缺值 (Missing Data=9)，如圖 3.4。針對各項檢查程序，說明如下：

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.

圖片來源：QARTOD Manual

圖 3.4 QARTOD 資料品管手冊標記方式

1. 時間 (間隔) 檢查 (Timing/Gap Test)

本項檢查為即時品管作業，在於確認資料是否有延遲傳送情形，其主要針對資料超過 1 小時以上未進入資料庫，則標記為 Missing Data=9。

2. 傳輸格式及編碼檢查 (Syntax Test)

本項檢查主要在於確認傳輸格式及編碼是否正確，其確認內容包括接收到之數據訊息結構是否正確、預期字符數與接收字符數是否相符。語法檢查僅在訊息級別執行，而不需要確認訊息內容是否正確。本計畫之能見度觀測訊息傳輸方式，係由現場儀器透過 RS232 連接數據機，透過 4G 傳送至接收電腦 (雲端主機) 進行訊息文字檔儲存及編碼傳送本所資料庫伺服器，其中接收電腦在編碼傳送時，可透過自動化程式確認傳輸格式是否正確。

3. 座標檢查 (Location Test)

本項檢查主要在於確認訊息發送之當前物理位置 (緯度/經度) 是否在操作員確定的限制範圍內，其檢查內容可包括：座標有效性、位

移檢查、座標移動速度的距離限制，其主要用來確認海洋浮標站或移動式觀測儀器是否有效。本計畫建置之能見度觀測系統，為固定式陸地站，並未安裝 GPS 座標系統，爰不適用於本項檢查。

4. 儀器或物理現象極限值檢查 (Gross Range Test)

所有感測器都有一個有限的輸出範圍，可以做為最基本的總範圍檢查。以本計畫採用之能見度觀測儀器來說，馬祖福澳港能見度觀測上下限設定值為 10m~32000m，因此任何小於最小值或大於感測器可以輸出最大值的數值，都可視為錯誤值 (Fail=4)。另外，在本項檢查中，QARTOD 亦提出使用者定義之極限值設定，當數值小於或大於使用者設定極限值範圍，則可標記為可疑數據 (Suspect=3)。

5. 逐月及季節變化合理性檢查 (Climatology Test)

本項檢查程序是以觀測值之總範圍檢查，並按照每月或季節的變化上下限數值做為檢查依據。這項檢查需使用觀測員在當地長期紀錄及專業知識來確認季節性平均值之適當的閾值。本計畫於前期計畫利用當地所設置能見度長期觀測數值顯示，歷年逐月觀測數據均介於 10m~32000m (儀器上下限)，觀測時以高能見度為正常現象，低能見度為特殊天氣現象，因此，逐月能見度變動合理範圍幾乎可視為儀器上下限。整體來說，在能見度觀測上，本項檢查程序可與儀器或物理現象極限值檢查 (Gross Range Test) 合併處理。但從各月份平均值及 25、75 百分位仍有顯著差異，仍可做為港區管理參考依據。

6. 短時距離群值檢查 (Spike Test)

本項檢查主要用來確認個別數據之離群值，特別是針對 n-1 處的數值。離群值的檢查可由 2 組不同的閾值進行標記，包括高閾值與低閾值的處理。其檢查程序可透過相鄰數據點 (n-2 和 n0) 之平均值做為參考點，如果 n-1 與該平均值之差值大於高閾值，則標示為錯誤值 (Fail=4)，如果差值介於高閾值與低閾值之間，則標示為可疑數據 (Suspect=3)。閾值的選擇可以是固定值或動態數值 (例如，由操作員選擇時間

段內標準偏差之倍數等)。另外 QARTOD 手冊亦建議可利用三階差分進行離群值判定之方法。

閾值的選擇會影響離群值的標定的數量，本計畫於前期(110 年)比較鄰近兩點平均 (QARTOD 建議)、1 小時平均、一階差分、二階差分、及三階差分法 (QARTOD 建議) 在不同閾值下被標定之離群值數量。從分析結果來看，閾值在 5000m 可以得到不錯的分辨結果，該值約為觀測上限值之 17%，接近儀器觀測誤差 (約 20%)。從上述 5 種方法來看，1 小時平均法在大氣穩定度較佳時，可獲得較正確的篩選結果，鄰近兩點平均法容易因觀測數據不夠而造成低度篩選結果，而差分法則因差分量隨階數增加，而造成過度篩選。惟值得注意的是，採用 1 小時平均做為閾值篩選時，在觀測頻率為 1 分鐘之舊站，如遇到大氣穩定度較差的狀況下 (亦即能見度變動率較高)，容易將觀測數據標定為離群值。考量鄰近兩點平均 (方法 1)、一階差分 (方法 3)、二階差分 (方法 4) 及三階差分法 (方法 5) 等方法，在觀測資料不連續下，其觀測點與各方法之差值為空值，且各方法在不同情境下有其適用優缺點，因此，本研究在前期計畫(110 年)以 1 小時平均值法 (方法 2) 做為主要篩選依據，另輔以其他 4 種方法做為標記之參考依據。其綜合評斷方法 (方法 6)，其標定程序如圖 3.5。

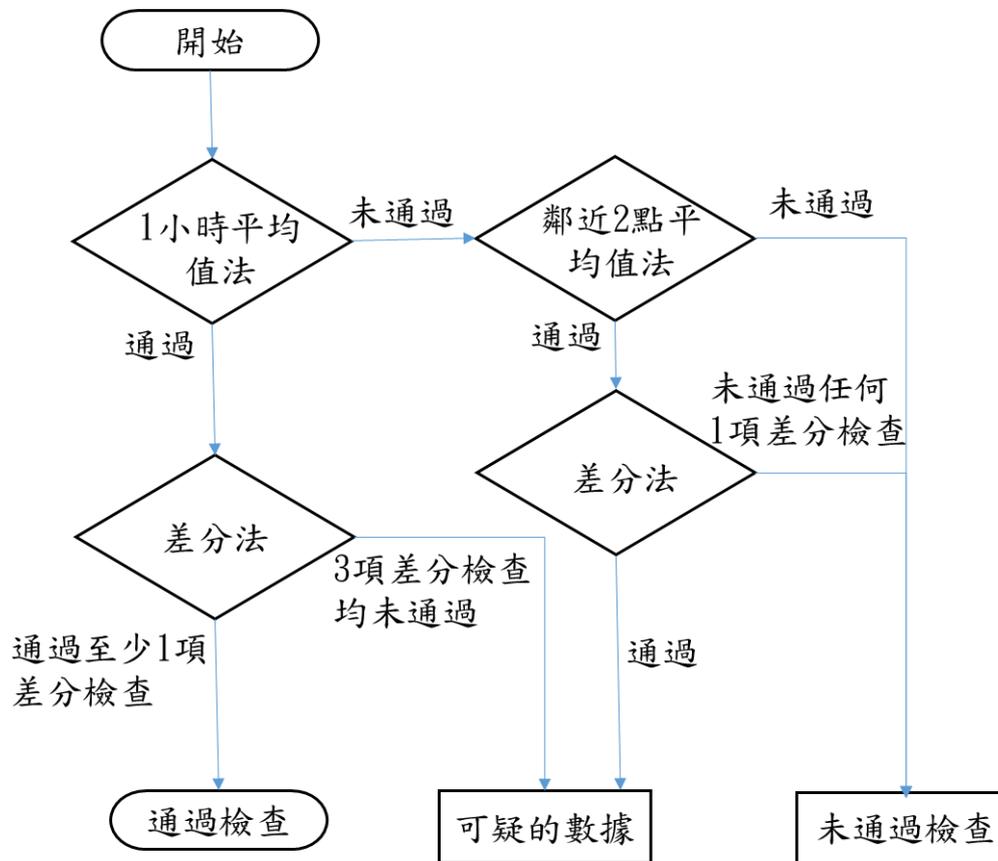


圖 3.5 短時距離群值檢查綜合評斷流程圖

7. 短時距變化率與標準差之檢查 (Rate of Change Test)

本項檢查主要分析資料在時間序列下之變化率是否超過操作員確定的閾值。QARTOD 手冊建議可透過一定倍數的標準差，來確認觀測數據是否為可疑的數據 (Suspect=3)，一般常用的標準差倍數為 3 倍標準差，而分析時距則可依觀測頻率決定 (在海洋觀測上多採用 8 小時做為分析時距)。從新舊站之能見度分析結果顯示，當分析時距增加，則被標記為可疑的數據亦會增加。另外，能見度變化程度大，且低能見度之發生機率低，能見度觀測數據之分佈曲線具有明顯之偏態，使用標準差進行檢查，容易對低能見度之觀測值過度標定，而造成誤判。

8. 連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）

一般而言，儀器之觀測數據均會變動，即便在天氣相對穩定下，也會有些微的變化量，因此，當某些感測器出現故障時，可能產生相同數值。本項檢查程序即利用將當前觀察值與前幾筆觀察值進行比較，當觀測值與之前的觀測值在容許差值內，則將該觀測值標記。QARTOD 手冊建議，當觀察值出現連續 5 筆數據均相同（或微小差距時），則標定為錯誤資料（Fail=4），當連續 3 筆數據相同，則標定為可疑的資料（Suspect=3）。本計畫在本項檢查中，採用完全無變化（數據差值為 0）做為檢查依據。

9. 變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）

本項檢查程序主要係利用其他類型並具有相關性之觀測值來檢驗資料的特性，如果觀測數據的變化值與其他具有相關性之資料變化值不一致時，則標記為可疑數據（Suspect=3）。根據黃惠君（2007 年）、溫志中（2009 年）、童茂祥（2014 年）等相關文獻，霧氣形成之有利條件如下：

1. 露點為空氣中氣態水凝結成液態水之溫度，當露點溫度越接近氣溫，則有很大機率會形成霧，通常起霧時溫度露點差會在 2°C 以內，且相對溼度在 85% 以上。
2. 空氣與經過之冷表面溫度差大，當地面迅速降溫，使水氣達飽和。
3. 風速中度（約 $1.5\sim 5.5\text{m/s}$ ），帶動空氣流動與交互作用。
4. 常發生於鋒前暖區和高壓迴流。
5. 空氣污染嚴重使得空氣中有足夠的凝結核，形成溼霾。

考量本項檢查需有現地之氣象資料，目前以新站有附設氣象觀測設備，因此本項檢查程序主要係針對新站能見度之數值進行檢查，並以低能見度（10 公里以下）之數據，檢視其濕度低於 85%、溫度露點差會在 2°C 以上，且風速高於 5.5 m/s 者，標示為可疑數據。

10.長時間資料變化幅度檢查 (Attenuated Signal Test)

本項檢查主要在於檢測傳感器故障模式可能產生的資料錯誤，一般以在選定時間段內（例如 12 小時）其資料變化幅度未能超過所設定之變化率。一般可採用標準差或者全距（最大值減最小值）進行檢查，如變化率小於所設定之警示值，則標記為可疑數據 (Suspect=3)，如變化率小於所設定之門檻值，則標記為錯誤數據，則標定為錯誤資料 (Fail=4)。

本計畫在本項檢查中，參考儀器測量靈敏度為 1m（或 10m）標準，採用變化率小於 1m 者，標定為錯誤資料 (Fail=4)，如若變化率大於 1m 且小於 10m 者，標記為可疑數據 (Suspect=3)。另為避免在高能見度時，儀器持續觀測到上限值所造成之判定錯誤，未通過變化幅度檢測均標記為可疑數據 (Suspect=3)。

11.鄰近站相關性檢查 (Neighbor Test)

本項檢查在最理想的情況下，係透過同一區域 2 組不同儀器來進行檢查，例如，本計畫在馬祖港區設置 2 組能見度儀。一般來說，在成本考量下，同一地點很難設置 2 組儀器進行相同觀測項目，因此，多會利用鄰近區域的相關觀測項目之測站進行相關性檢查，或者利用同一區域之不同觀測項目進行相關性檢查（如變數間關聯性檢查）。

本計畫於馬祖福澳港區之同一位置設置 2 組能見度儀，其可做為相互驗證，另因新站設置時間較近，爰利用舊站資料進行新站之相關性檢查。在 QARTOD 手冊中，鄰近區域的檢查程序，可透過一定時間段（例如 8 小時）之不同儀器之觀測數值標準差進行檢查，利用測站 1 之數值變化量與測站 2 之數值變化量趨勢不一致時，則標記為可疑數據 (Suspect=3)，亦即當測站 1 之觀測數值與前一筆觀測數據差值大於 2 倍標準差，而測站 2 小於 2 倍標準差時，可視為不一致之現象。

本項檢查程序，同時比對馬祖氣象站（資料蒐集期間：106 年 6 月迄今）及南竿機場氣象站（資料蒐集期間：102 年 1 月迄今），考量

該 2 站資料可能有不一致之情形或無觀測資料之情形，因此，需先確認其觀測結果具有一致性才納入比對，若無法比對者，將先標記為無法檢查案件，檢查流程如圖 3.6 所示。本計畫於前期計畫經透過能見度分群確認與鄰近站之數據差值變化率平均值及標準差，如表 3-5，取得相關性檢查之篩選參數。

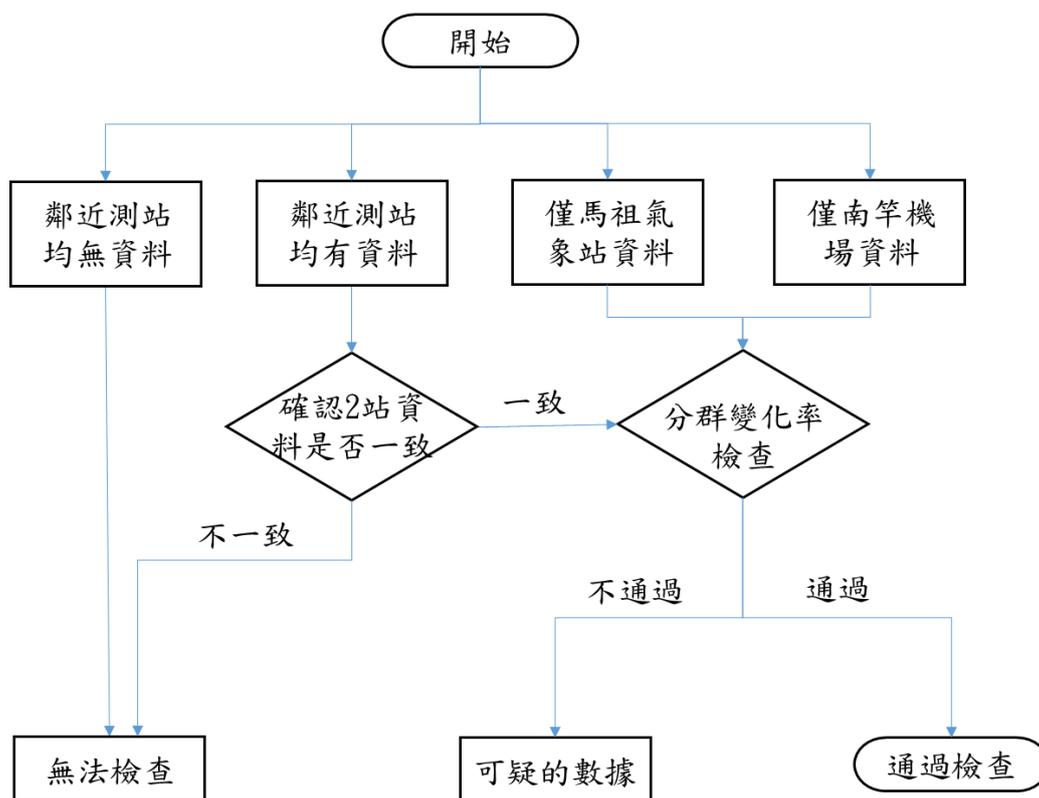


圖 3.6 鄰近站相關性檢查流程圖

表 3-5 新站與鄰近站數據差值變化率之平均值及標準差

類別		分組參數值	Group1 (0~1km)	Group2 (1km~10km)	Group3 (10km~)
馬祖 氣象站	平均值		0.72	0.98	0.44
	標準差		0.65	0.96	0.44
南竿 機場	平均值		0.58	0.84	0.46
	標準差		0.21	0.75	0.17

3.4 資料品管結果

本計畫參考 QARTOD 在風力資料之品管程序，逐一檢視套用在能見度自動觀測之可行性。其中可適用之程序包括：時間（間隔）檢查（Timing/Gap Test）、傳輸格式及編碼檢查（Syntax Test）、儀器或物理現象極限值檢查（Gross Range Test）、短時距離群值檢查（Spike Test）、短時距變化率與標準差之檢查（Rate of Change Test）、連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）、變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）、長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）、鄰近站相關性檢查（Neighbor Test）等 9 項。經第 3.3 節之各項檢查程序，新舊站綜合品管結果如表 3-6，另各項品管結果彙整如表 3-7。

在舊站部分，不通過率為 1.49%，單一資料被標記 2 次以上之可疑資料比例為 0.57%，整體通過率達 95% 以上。新站部分，不通過率為 1.05%，單一資料被標記 2 次以上之可疑資料比例為 2.03%，主要在於與臨近站檢核被標記可疑資料件數較多造成，但整體通過率仍達 95% 以上。

表 3-6 福澳港能見度站品管結果統計

站別	統計時間區間	通過	未通過	標記可疑資料次數		
				1 次	2 次	3 次
舊站	2021-07-01~2022-06-30	414,483	6,802	32,718	2,491	121
新站	2021-07-01~2022-06-30	32,394	474	11,337	909	1

另外本計畫從錯誤資料中進行新站的人工品管，發現僅約 105 筆為實際錯誤資料，約自動品管錯誤筆數之 25%，因此受到能見度觀測儀器誤差的影響，誤判率極高，這項結果也反映出以觀測數值進行品管的不確定性極高，因此，在精進方法上，建議以能見度分級方式進行品管，以降低儀器量測誤差。

表 3-7 新舊站各項品管結果彙整表

品管標記 檢查項目	舊站					新站				
	flag=1	flag=2	flag=3	flag=4	flag=9	flag=1	flag=2	flag=3	flag=4	flag=9
時間(間隔)檢查(Timing/Gap Test)	91.13%	-	-	-	8.87%	89.54%	-	-	-	10.46%
傳輸格式及編碼檢查(Syntax Test)	100%	-	-	0.00%	-	100%	-	-	0.00%	-
儀器或物理現象極限值檢查(Gross Range Test)	100%	-	-	0.00%	-	100%	-	-	0.00%	-
短時距離群值檢查(Spike Test)	77.48%	16.79%	4.23%	1.50%	-	78.35%	19.74%	0.91%	1.00%	-
短時距變化率與標準差之檢查(Rate of Change Test)	93.82%	4.16%	2.02%	-	-	94.23%	5.77%	0.00%	-	-
連續資料無變化(或微小)之檢查(Flat Line Test)	80.50%	0.92%	18.57%	0.01%	-	91.20%	0.79%	7.97%	0.04%	-
變數間關聯性檢查(Multi-Variate Test)	-	-	-	-	-	99.30%	0.00%	0.70%	-	-
長時間資料變化幅度檢查(Attenuated Signal Test)	99.13%	0.001%	0.87%	-	-	96.41%	0.02%	3.57%	-	-
鄰近站相關性檢查(Neighbor Test)	90.99%	7.40%	1.61%	-	-	60.07%	22.95%	16.98%	-	-

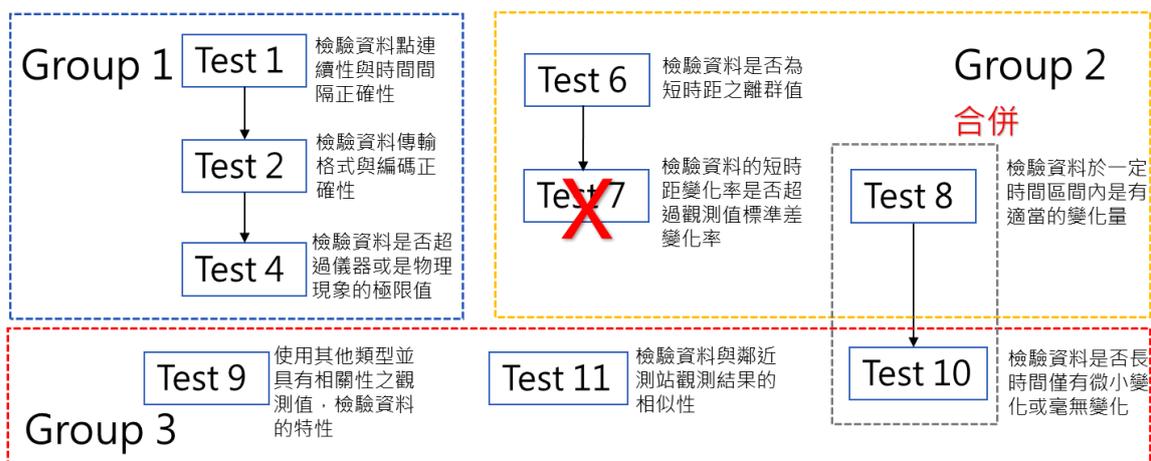
備註：

1. flag 標記方式：通過 (Pass=1)、無法評估 (Not Evaluated=2)、可疑的 (Suspect=3)、錯誤 (Fail=4)、缺值 (Missing Data=9)
2. (-) 表示檢查項目無進行該項標記程序。

3.5 資料品管方法之精進

考量到能見度儀器量測之誤差，在觀測時容易產生觀測數值之上下跳動現象，因此，使用量測數值進行品管時，在合理變化率檢驗、與其他物理變數之關聯性檢驗時，容易造成誤判，因此，需要進行品管方法之精進。本計畫依據前期方法檢查及人工品管之結果，建議處理方法及流程，如圖 3.7。

1. Test1-時間（間隔）檢查（Timing/Gap Test）：維持原方式處理。
2. Test2-傳輸格式及編碼檢查（Syntax Test）：維持原方式處理。
3. Test4-儀器或物理現象極限值檢查（Gross Range Test）：維持原方式處理，仍以儀器輸出數值進行檢查。
4. Test6-短時距離群值檢查（Spike Test）：採用能見度分級方式處理，並與前後一筆資料進行比較檢查。
5. Test7-短時距變化率與標準差之檢查（Rate of Change Test）：標準差法對於低能見度容易有過度篩選的結果，若採能見度分級方法處理時，本項可不執行。
6. Test8-連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）：維持原方式處理，仍以儀器輸出數值進行檢查，但被標示之資料幾乎都是(或接近)上限之數據，因此在實務應用上，可以將高能見度值進行例外處理。
7. Test9-變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）：能見度與氣象變數存在物理關係，但並非絕對影響因子，因此本項檢查僅供參考用，可執行或不執行。
8. Test10-長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）：被標示之資料幾乎都是(或接近)上限之數據，可與 Test8 連續資料無變化（或微小）之檢查項目合併處理。
9. Test11-鄰近站相關性檢查（Neighbor Test）：採用能見度分級方式處理。



備註：

Test3(檢驗浮標測站之GPS座標資料)及Test5(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)，經前期研究，不適用於能見度之品管作業。

圖 3.7 能見度觀測資料品管方法精進流程圖

3.5.1 短時距離群值檢查 (Spike Test) 之精進

為降低無法評估資料數量，在檢查時將放寬連續資料之檢查區間至 30 分鐘，亦即前一筆資料與檢查資料在 30 分鐘內，均可做為可信賴的資料進行檢查。在分級檢查時，如能見度分級與前一筆資料相同，則視為檢查通過。若分級不同，則採以下方法，進一步檢查：

1. 依能見度分級設定不同檢查門檻，包括 10 公里以上、4-10 公里，以及 4 公里以下。
2. 檢查門檻採用與前後各一筆資料進行檢查，如能見度值之前後一筆資料差值超過高門檻值，則視為不通過，如介於高門檻值與低門檻值，則進行標記為可疑資料，如低於門檻值，則通過檢查。其中在 10 公里以上時，如果前後觀測資料差值超過低門檻值(15 公里)，則標記可疑，如超過高門檻值(25 公里)則標記錯誤；在 4-10 公里區間時，如果資料差值超過低門檻值(1 公里)，則標記可疑，如超過高門檻值(4 公里)則標記錯誤；在 4 公里以下時，如果資料差值超過低門檻值(1 公里)，則標記可疑，如超過高門檻值(2 公里)則標記錯誤。

經分析結果如表 3-8 所示，新方法可有效降低無法評估資料數量，亦即檢查比例提高。另外，不通過檢查之資料筆量減少，亦可減輕人工檢核的工作量。

表 3-8 新舊站短時距離群值檢查 (Spike Test) 之精進比較

	舊站		新站	
	舊方法	新方法	舊方法	新方法
Flag-1	77.48%	99.27%	78.35%	96.68%
Flag-2	16.79%	0.06%	19.74%	1.05%
Flag-3	4.23%	0.64%	0.91%	2.04%
Flag-4	1.50%	0.03%	1.00%	0.23%

備註：flag 標記方式：通過 (Pass=1)、無法評估 (Not Evaluated=2)、可疑的 (Suspect=3)、錯誤 (Fail=4)

3.5.2 資料變化率檢查之精進

在 Test8-連續資料無變化 (或微小) 之檢查 (Flat Line Test) 及 Test10-長時間資料變化幅度檢查 (Attenuated Signal Test)，主要在檢測儀器是否故障而出現量測數據長時間沒有變化之情形，從前期研究結果指出被標示之資料幾乎都是(或接近)上限之數據，因此在實務應用上，可以將高能見度值進行例外處理。

為降低無法評估資料數量，在資料變化率檢查上，本研究分成 2 階段檢查程序：第 1 階段先判定前 5 筆資料是否有變化，如有變化，則通過檢查，如無變化或無法判定(缺少短時間資料)時，則進行第 2 階段。第 2 階段則進行長時間變化量之檢查(12 小時資料)，如低於高門檻值(1 公尺)，則視為不通過，如介於高門檻與低門檻值(1~10 公尺)，則進行標記為可疑資料，如變化幅度高於高門檻值，則通過檢查。

經分析結果如表 3-8 所示，有效降低 Test8 無法評估資料數量，亦即檢查比例提高(比例均小於 0.01%)。不通過及可疑之資料筆量減少，減輕人工檢核的工作。

表 3-9 新舊站資料變化率精進結果

	舊站	新站
Flag-1	99.44%	97.23%
Flag-2	0.001%	0.02%
Flag-3	0.56%	2.75%
Flag-4	0.00%	0.00%

第四章 馬祖港域能見度特性分析

馬祖福澳港區之能見度觀測資料，經第三章之時間（間隔）檢查（Timing/Gap Test）、傳輸格式及編碼檢查（Syntax Test）、儀器或物理現象極限值檢查（Gross Range Test）、短時距離群值檢查（Spike Test）、短時距變化率與標準差之檢查（Rate of Change Test）、連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）、變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）、長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）、鄰近站相關性檢查（Neighbor Test）等 9 項檢查程序，已將錯誤或可疑之資料予以剔除或標記，並做為本章能見度特性分析之依據。

本章除透過基本統計分析外，亦針對 2021 年下半年至 2022 年上半年馬祖濃霧事件進行個案探討，進一步進行環境因子分析，以瞭解馬祖港域濃霧形成之特性，並提供馬祖港務單位做為港區能見度預警應用之參據。

4.1 觀測資料紀錄

本計畫統計馬祖福澳港區能見度觀測儀之觀測紀錄，新、舊站之各月份觀測天數、觀測時數、觀測資料筆數及通過資料品管筆數，如表 4-1、4-2 所示。歷時資料如附錄 3 所示。

在新、舊站部分，除 2021 年 8 月及 2021 年 10 月觀測時數較低外，其餘各月份均達 95% 以上，另資料品管通過率亦超過 95%，足可代表各月份之觀測情形。

表 4-1 馬祖福澳港能見度觀測資料逐月統計表-新站

年-月	應觀測 天數	實際觀測 天數	觀測天數 比例	應觀測 時數	實際觀測 時數	觀測時數 比例	觀測資料 筆數	通過資料 品管筆數	品管 通過率
2021-07	31	31	100.00%	744	730	98.12%	3,913	3,908	99.87%
2021-08	31	16	51.61%	744	346	46.51%	1,992	1,973	99.05%
2021-09	30	30	100.00%	720	720	100.00%	4,318	4,306	99.72%
2021-10	31	19	61.29%	744	399	53.63%	2,366	2,336	98.73%
2021-11	30	30	100.00%	720	714	99.17%	3,975	3,953	99.45%
2021-12	31	31	100.00%	744	739	99.33%	4,182	4,182	100.00%
2022-01	31	31	100.00%	744	739	99.33%	4,205	4,204	99.98%
2022-02	28	28	100.00%	672	664	98.81%	3,788	3,788	100.00%
2022-03	31	31	100.00%	744	730	98.12%	4,068	4,064	99.90%
2022-04	30	30	100.00%	720	713	99.03%	4,052	4,050	99.95%
2022-05	31	31	100.00%	744	735	98.79%	4,067	4,060	99.83%
2022-06	30	30	100.00%	720	691	95.97%	3,802	3,781	99.45%

表 4-2 馬祖福澳港能見度觀測資料逐月統計表-舊站

年-月	應觀測 天數	實際觀測 天數	觀測天數 比例	應觀測 時數	實際觀測 時數	觀測時數 比例	觀測資料 筆數	通過資料 品管筆數	品管 通過率
2021-07	31	31	100.00%	744	743	99.87%	42,193	42,184	99.98%
2021-08	31	16	51.61%	744	346	46.51%	20,048	20,026	99.89%
2021-09	30	30	100.00%	720	720	100.00%	43,165	43,143	99.95%
2021-10	31	19	61.29%	744	400	53.76%	23,576	23,549	99.89%
2021-11	30	30	100.00%	720	718	99.72%	40,947	40,940	99.98%
2021-12	31	31	100.00%	744	739	99.33%	41,996	41,995	100.00%
2022-01	31	31	100.00%	744	742	99.73%	42,105	42,105	100.00%
2022-02	28	28	100.00%	672	670	99.70%	38,285	38,285	100.00%
2022-03	31	31	100.00%	744	741	99.60%	41,658	41,654	99.99%
2022-04	30	30	100.00%	720	717	99.58%	40,359	40,335	99.94%
2022-05	31	31	100.00%	744	740	99.46%	40,250	40,247	99.99%
2022-06	30	30	100.00%	720	719	99.86%	39,639	39,606	99.92%

4.2 能見度資料分析

依照 WMO 電碼手冊 (WMO-No.306) 第 1.1 卷 Part A 規範，其能見度觀測可分為 50 公尺以下、50~200 公尺、200~500 公尺、500~1000 公尺、1~2 公里、2~4 公里、4~10 公里、10~20 公里、20~50 公里，以及 50 公里以上等 10 個級距，如表 4-3。

表 4-3 WMO 能見度分級代碼表

Code figure	Height of base of significant cloud in metres	Visibility in metres	Wind force (Beaufort)	Icing	Turbulence	Squalls	Snow cover in centimetres			
0	Less than 50	Less than 50	10	No specification	Not specified	No specification	No snow			
1	50-99	50- 199	11	Light	In cloud	Light Moderate Severe	Rain, few	Up to 2		
2	100-199	200- 499	12	Moderate			Moderate	Rain, scattered but numerous	Up to 5	
3	200-299	500- 999	3	Severe			Severe	Rain, very numerous	Up to 10	
4	300-599	1 000- 1 999	4	Light	In precipitation	Light Moderate Severe	In clear air	Snow, few	Up to 15	
5	600-999	1 000- 3 999	5	Moderate				Moderate	Snow, scattered but numerous	Up to 25
6	1 000-1 499	4 000- 9 999	6	Severe				Severe	Rain and snow mixed, few	Up to 50
7	1 500-1 999	10 000-19 999	7			Rain and snow mixed, few	Up to 100			
8	2 000-2 499	20 000-49 999	8			Rain and snow, scattered but numerous	Up to 200			
9	2 500 or more, or no clouds	50 000 or more	9			Rain and snow, very numerous	200 or more			

Note: When $w_e = 8 =$ saturation, 0 shall be reported for i.

資料來源：WMO, Manual on Codes (WMO-No. 306), Volume I.1, Part A.

經統計新站及舊站各月份能見度觀測之平均值、標準差、最小值、25 百分位、50 百分位、75 百分位及最大值，如表 4-4 及 4-5 所示，各級能見度之聯合機率分佈，如表 4-6 及 4-7 所示。

表 4-4 馬祖福澳港能見度觀測資料逐月基本統計表-新站

年-月	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
2021-07	3,908	21,961	5,421	8,320	17,896	21,149	27,228	30,000
2021-08	1,973	25,754	7,233	907	23,595	29,992	30,000	30,000
2021-09	4,306	28,615	3,934	1,312	29,982	30,000	30,000	30,000
2021-10	2,336	23,363	9,130	2,913	9,989	29,980	30,000	30,000
2021-11	3,953	8,462	2,267	785	7,671	9,914	9,963	10,000
2021-12	4,182	5,360	1,997	374	3,653	5,203	6,810	9,960
2022-01	4,204	4,913	2,108	1,156	3,271	4,630	6,237	9,928
2022-02	3,788	5,102	2,709	1,157	2,805	4,448	7,312	9,922
2022-03	4,064	4,574	2,694	125	2,217	4,086	6,503	9,975
2022-04	4,050	3,672	2,639	119	1,608	2,700	5,241	9,988
2022-05	4,060	5,575	3,287	488	2,045	5,603	8,896	9,995
2022-06	3,781	12,582	8,497	169	6,800	9,721	20,058	30,000

備註：2021 年 11 月至 2022 年 5 月進行能見度觀測儀器上限值設定為 10,000 公尺。

表 4-5 馬祖福澳港能見度觀測資料逐月基本統計表-舊站

年-月	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
2021-07	42,184	26,630	6,430	831	22,388	29,412	32,000	32,000
2021-08	20,026	24,199	9,207	60	19,355	27,523	32,000	32,000
2021-09	43,143	24,387	7,553	522	18,634	25,641	32,000	32,000
2021-10	23,549	22,515	7,304	372	17,751	22,388	29,126	32,000
2021-11	40,940	21,941	8,950	243	15,464	22,556	32,000	32,000
2021-12	41,995	19,016	8,313	489	12,397	18,182	25,641	32,000
2022-01	42,105	16,368	9,479	1,073	7,916	14,085	24,590	32,000
2022-02	38,285	20,074	9,858	808	10,601	19,868	32,000	32,000
2022-03	41,654	15,607	9,383	98	7,692	14,151	22,222	32,000
2022-04	40,335	19,594	10,007	88	11,194	20,548	29,412	32,000
2022-05	40,247	17,561	9,412	273	9,524	16,393	26,087	32,000
2022-06	39,606	19,480	9,953	177	11,111	19,355	30,303	32,000

表 4-6 馬祖福澳港各級能見度聯合機率分佈-新站

(單位：%)

年-月	code_0	code_1	code_2	code_3	code_4	code_5	code_6	code_7	code_8	code_9
能見度值	0~50m	50~99m	100~199m	500~999m	1~2km	2~4 km	4~10 km	10~20 km	20~50 km	50km~
2021-07	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.896	41.402	57.702	0.000
2021-08	0.000	0.000	0.000	0.051	0.710	2.078	3.092	12.772	81.298	0.000
2021-09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.023	0.813	4.366	94.728	0.000
2021-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.856	26.113	2.654	70.377	0.000
2021-11	0.000	0.000	0.000	0.202	1.746	5.768	92.284	0.000	0.000	0.000
2021-12	0.000	0.000	0.024	0.024	0.837	32.951	66.165	0.000	0.000	0.000
2022-01	0.000	0.000	0.000	0.000	5.566	31.660	62.774	0.000	0.000	0.000
2022-02	0.000	0.000	0.000	0.000	10.005	35.058	54.937	0.000	0.000	0.000
2022-03	0.000	0.443	0.738	1.476	17.913	28.445	50.984	0.000	0.000	0.000
2022-04	0.000	0.370	1.259	6.000	27.185	30.617	34.568	0.000	0.000	0.000
2022-05	0.000	0.000	0.025	2.463	21.970	14.704	60.837	0.000	0.000	0.000
2022-06	0.000	0.026	0.503	0.555	2.460	7.009	55.303	9.019	25.126	0.000

備註：2021 年 11 月至 2022 年 5 月進行能見度觀測儀器上限值設定為 10,000 公尺。

表 4-7 馬祖福澳港各級能見度聯合機率分佈-舊站

(單位：%)

年-月	code_0	code_1	code_2	code_3	code_4	code_5	code_6	code_7	code_8	code_9
能見度值	0~50m	50~99m	100~199m	500~999m	1~2km	2~4 km	4~10 km	10~20 km	20~50 km	50km~
2021-07	0.000	0.000	0.000	0.017	0.040	0.052	1.994	15.354	82.543	0.000
2021-08	0.000	0.005	0.155	1.009	2.357	3.001	4.464	15.570	73.440	0.000
2021-09	0.000	0.000	0.000	0.044	0.137	0.325	3.894	25.798	69.803	0.000
2021-10	0.000	0.000	0.004	0.038	0.221	0.909	4.505	31.836	62.487	0.000
2021-11	0.000	0.000	0.005	0.007	0.278	2.262	9.851	28.486	59.111	0.000
2021-12	0.000	0.000	0.002	0.019	0.219	0.867	16.152	39.752	42.988	0.000
2022-01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.159	4.342	30.241	30.357	34.901	0.000
2022-02	0.000	0.000	0.000	0.008	0.039	1.928	21.275	27.084	49.667	0.000
2022-03	0.000	0.471	0.905	0.567	1.131	5.702	26.730	33.701	30.794	0.000
2022-04	0.000	0.826	1.158	1.220	1.460	3.040	13.966	27.289	51.043	0.000
2022-05	0.000	0.000	0.102	0.253	0.673	4.269	21.400	34.626	38.676	0.000
2022-06	0.000	0.050	0.614	0.649	1.358	3.992	15.010	30.364	47.962	0.000

4.3 低能見度分析

考量新站 2021 年至 2022 年之觀測資料在鄰近站檢查通過率僅 60%，亦即多數觀測資料為可疑數據，因此，暫不納入低能見度分析，本次主要針對舊站低能見度（能見度值低於 2000 公尺），進行該區間之低能見度個案探討。從低能見度分析結果指出，如表 4-8，馬祖福澳港 2021 年下半年及 2022 年上半年之霧時延續時間分別為 12 小時及 57 小時，其中以 3 月及 4 月為主要發生期間。從歷年霧時延續時間觀察，大致介於 65~80 小時區間(除 2019 年霧時為 141 小時)。

表 4-8 馬祖福澳港低能見度不同延續時間之次數統計表

月份 \ 延續時間	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時	5 小時	7 小時	8 小時	9 小時
2021 年 8 月	2	1				1		
2021 年 12 月	1							
2022 年 3 月	3			1				1
2022 年 4 月	6				1	1	1	
2022 年 5 月	1		1					
2022 年 6 月	4	1			1			

本計畫針對 2021 年及 2022 年馬祖地區重大之低能見度事件進行個案探討，透過相關環境因子探究其發生成因，濃霧事件說明如下。

1. 2021-8-6~2021-8-7 濃霧事件

本次濃霧事件主要發生在 8 月 7 日 5 時至 10 時，其能見度最低達 295 公尺，其低能見度（低於 2 公里）最大延續時間為 2 小時，該案例主要受到鋒面(低氣壓)影響帶來降雨。從各項環境因子來看，濃霧開始發生時，大氣壓力由 1000 百帕降至 995 百帕，濕度由 90% 升至 98%，大氣溫度由 27.5°C 慢慢降至 24.5°C，10 分鐘平均風速介於 4~6m/s，風向變化小，主要風向為東北風至西北風，屬於鋒面霧，各項環境觀測數據如圖 4.1 所示。

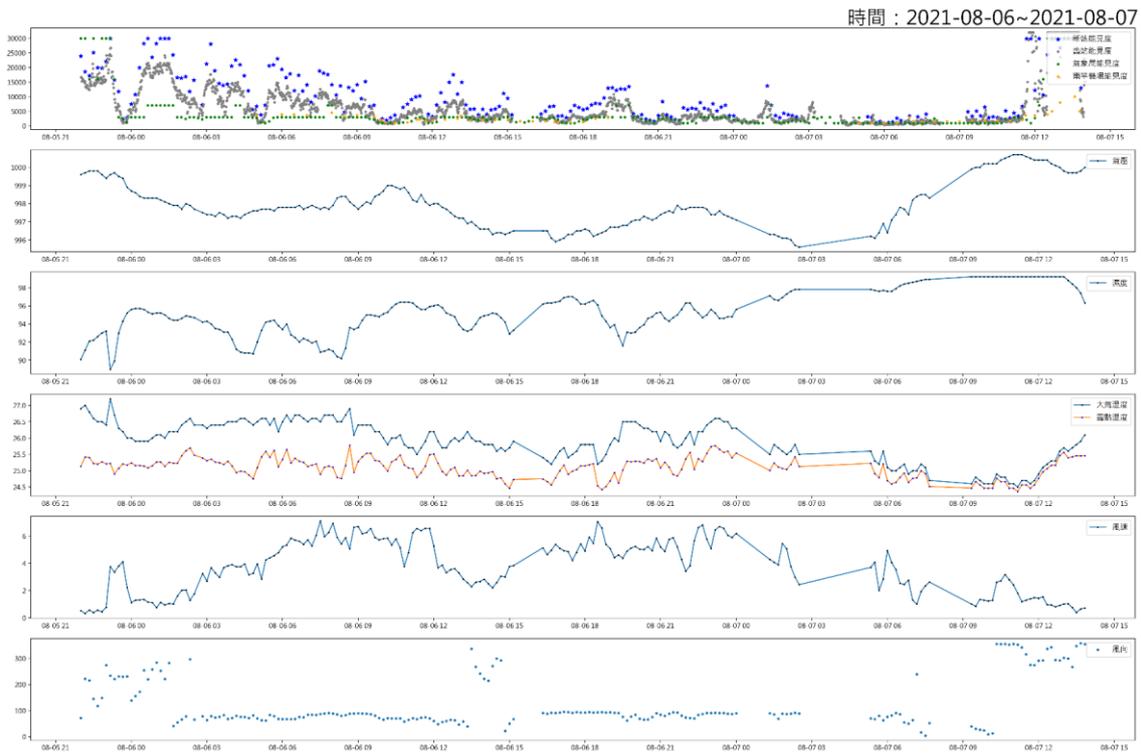


圖 4.1 2021-8-6~2021-8-7 濃霧事件觀測數據圖

2. 2021-3-26~2021-3-27 濃霧事件

本次濃霧事件主要發生在 3 月 26 日 0 時至 3 月 26 日 6 時。其能見度最低達 327 公尺，其低能見度（低於 2 公里）最大延續時間為 6 小時，該時段之平均能見度普遍低於 1 公里（僅部分時段高於 1 公里）。從各項環境因子來看，濃霧開始發生時，大氣壓力由 1016 百帕降至 1008 百帕，濕度由 90% 升至 99%，大氣溫度及露點溫度差由 1°C 降至 0.5°C 以下，10 分鐘平均風速介於 4~7m/s，風向變化小，主要風向為西南風，屬於平流霧，各項環境觀測數據如圖 4.2 所示。

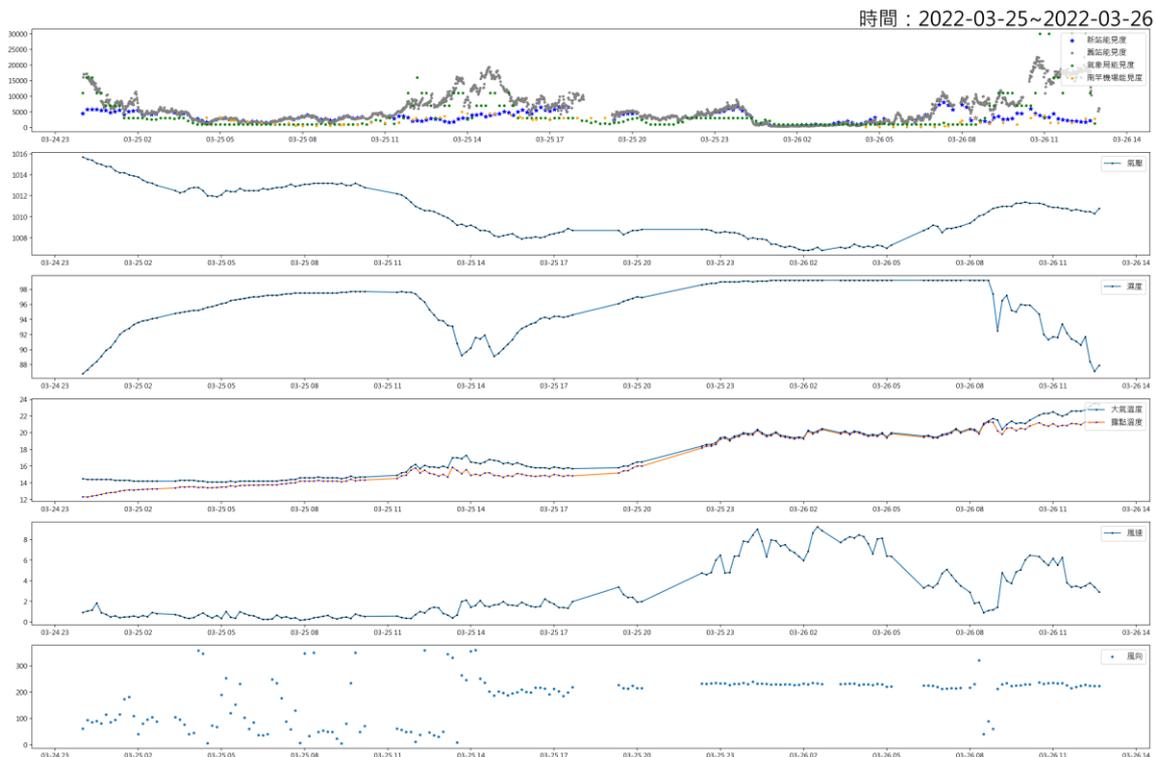


圖 4.2 2022-3-25~2022-3-26 濃霧事件觀測數據圖

3. 2022-4-11~2022-4-14 濃霧事件

本次濃霧事件主要發生在 4 月 11 日 21 時至 4 月 12 日 5 時。其能見度最低達 88 公尺，其低能見度（低於 2 公里）最大延續時間為 8 小時，該時段之平均能見度普遍低於 1 公里（僅部分時段高於 1 公里）。從各項環境因子來看，濃霧開始發生時，大氣壓力無明顯變化，濕度由 80% 升至 99%，大氣溫度及露點溫度差由 1°C 降至 0.2°C 以下，10 分鐘平均風速介於 $0.5\sim 2\text{m/s}$ ，風向變化大，主要風向為東北風轉向西北風，但在能見度最低時主要為北風，各項環境觀測數據如圖 4.3 所示。本案例為造成馬祖之典型平流霧案例，其濃霧開始時間約為晚上 20 時左右並持續至隔天 7 時，濃霧隨溫度上升而逐漸消失，但至晚上又開始形成。

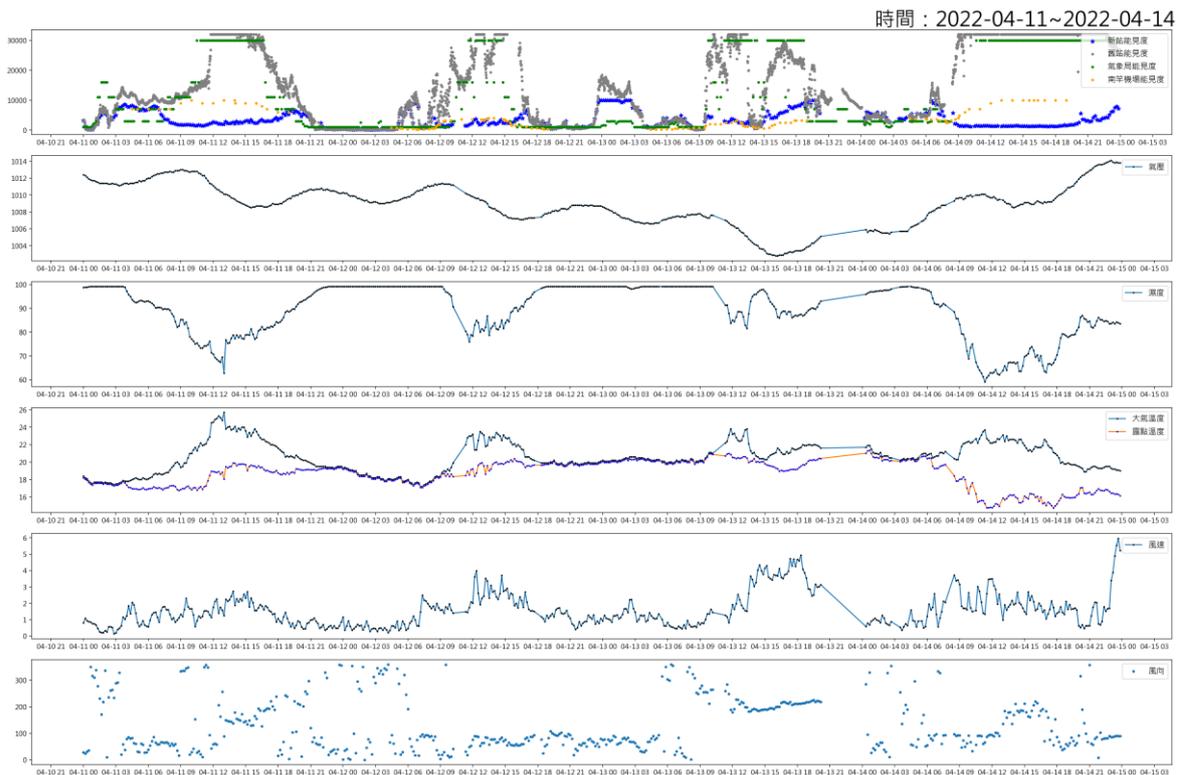


圖 4.3 2022-4-11~2022-4-14 濃霧事件觀測數據圖

4.4 馬祖能見度預測模型

本計畫嘗試使用 2 種模型來進行能見度預測，其一為多元線性回歸模型，另一為長短期記憶模型（long short-term memory, LSTM）。

4.4.1 多元線性回歸模型

回歸分析是一種預測建模技術，其可以用來研究因變數（目標）和自變數（預測）之間的關係，常見於預測建模、時間序列建模和查找變數間關係等應用，該模型具有建模快速簡單，以及直觀的理解和解釋等特性。

多元迴歸和簡單線性迴歸相同，用來探討自變數(X)與因變數(Y)之間的關聯性，並建立起迴歸模型，藉此預測研究者感興趣的變數(Y)。其模型函數如下：

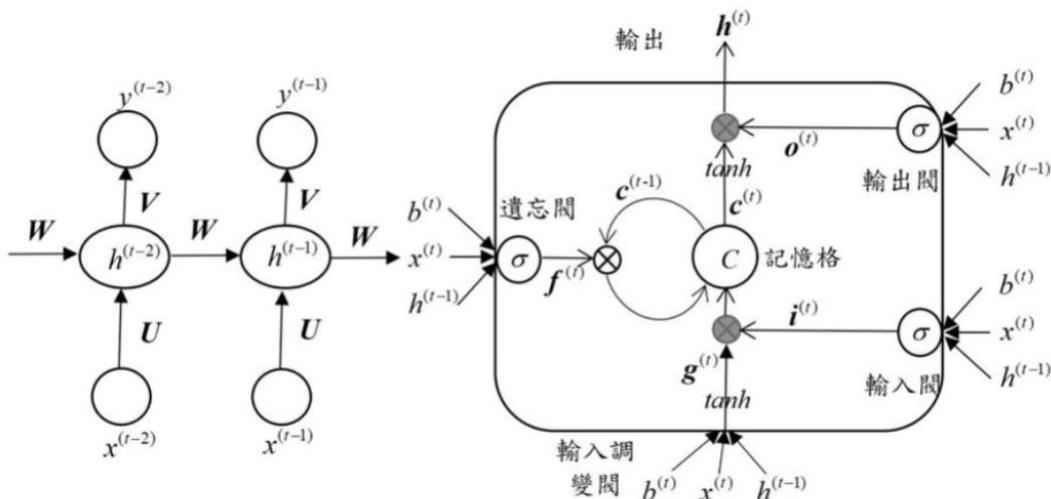
$$Y = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \varepsilon_i \quad (1)$$

在馬祖福澳港之環境資料中，本計畫蒐集能見度、溫度、濕度、露點、大氣壓力及風速風向等資料，從 4.3 節中亦可以觀察到霧的形成與風速、大氣壓力變化及絕對溼度存在物理關係，因此，本計畫嘗試使用多元線性回歸來進行模型建立之測試與驗證。

本計畫將福澳港舊站能見度值作為因變數，並將時間(月份、日期、時)、大氣壓力、溫度、濕度、平均風速、平均風向作為自變數。在資料處理上，將 2021 年 7 月至 2022 年 6 月以隨機方式分割為訓練資料及驗證資料(各 50%)。其訓練資料之性能評估係數(模型解釋能力)為 0.232，測試資料之性能評估係數為 0.208，其準確度約在 20% 左右，亦即在模型預測結果之應用上仍有不足。

4.4.2 長短期記憶模型

長短期記憶模型 (LSTM) 是一種時間循環神經網路 (RNN)，由於獨特的設計結構，可以用來解決長序列訓練過程中梯度消失和梯度爆炸問題，因此，LSTM 適合處理和預測時間序列之問題。其模型架構如圖 4.4。



圖片來源：黃日鈺(2020)

圖 4.4 長短期記憶模型架構

本計畫考量到新站 2021 年至 2022 年之觀測資料在鄰近站檢查通過率僅 60%，亦即多數觀測資料為可疑數據，暫不納入低能見度分析，僅以舊站能見度觀測資料進行模式構建及驗證，其分析資料量約為 45 萬筆。在 LSTM 模式構建上，模型使用之相關設定及參數如表 4-8 所示，其中依時間切割者，以 2021 年下半年做為訓練資料集，2022 年上半年做為驗證資料集，隨機分割則分成 50%-50% 做為訓練及驗證，分析結果如表 4-9。經比較 3 個模型結果，其在預測下 1 分鐘之準確度均高達 97%，在預測未來 10 分鐘則可看到模型 1 準確度明顯下降，在未來 30 分鐘之預測上，模型 3 約可達到 83% 的準確度。從模型 3 的分析結果來看，如圖 4.5，能見度預測以高能見度之準確率較高，而在低能見度仍有偏誤，未來可納入後續模式精進研究。

表 4-9 LSTM 模型設定參數

測試模型	模型 1	模型 2	模型 3
訓練資料切割方式	依時間切割	隨機切割	依時間切割
神經元	100	50	50
損失函數	均方誤差 MSE	均方誤差 MSE	均方誤差 MSE
優化函數	Adam	Adam	Adam
訓練週期	100	100	20
每批資料量大小	16	16	32

表 4-10 LSTM 模型分析準確度結果

測試模型	模型 1	模型 2	模型 3
預測未來 1 分鐘	0.97	0.98	0.97
預測未來 10 分鐘	0.85	0.92	0.91
預測未來 30 分鐘	0.74	0.78	0.83

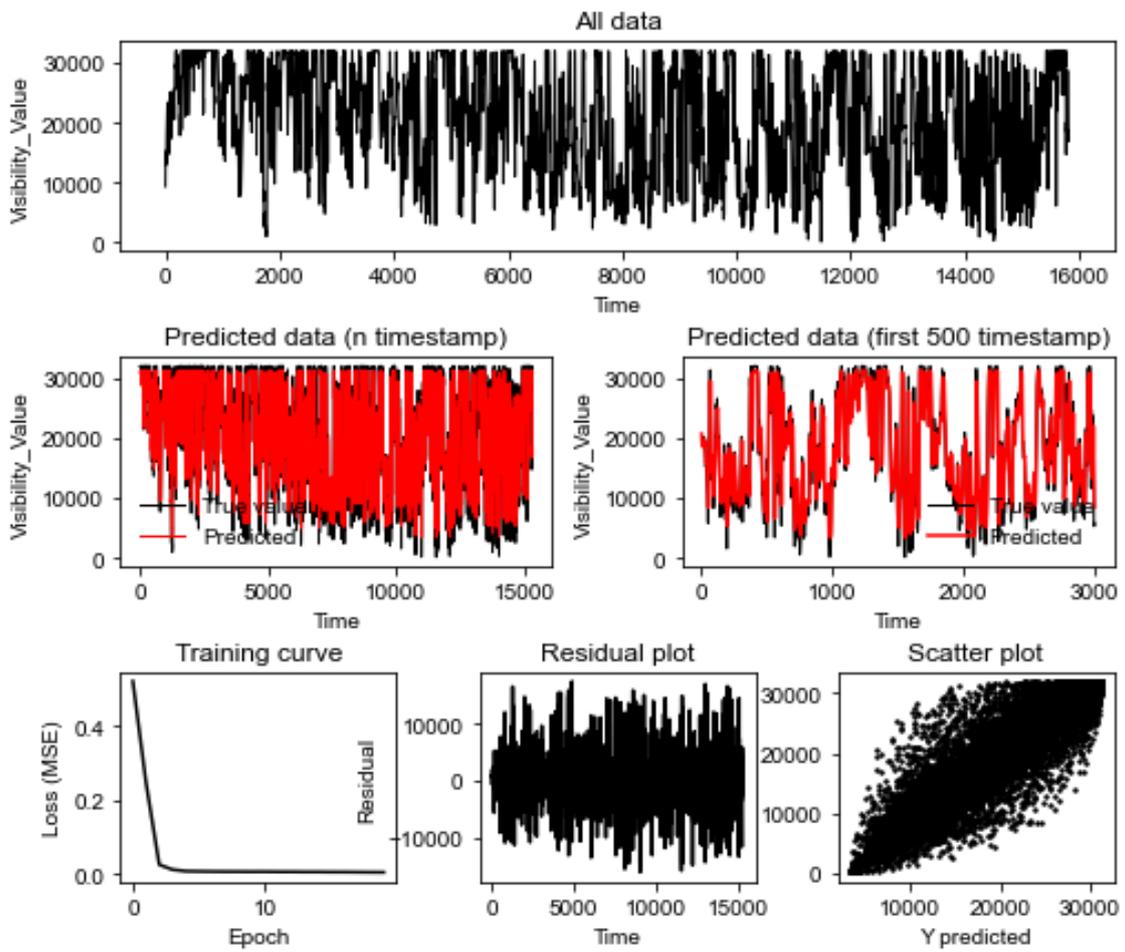


圖 4.5 模型 3 分析結果

第五章 結論與建議

馬祖地區於每年 3 至 5 月間，受到南風影響，暖濕空氣流經較冷的水面或地面而形成多雲霧的天氣，其能見度驟降，即可能造成馬祖交通停航的情況產生，一但對外交通中斷，則會影響到居民的生活與經濟的發展。本計畫於 110 年已完成馬祖能見度觀測資料品管程序建置、馬祖能見度特性統計、低能見度之個案探討，瞭解馬祖港域濃霧形成之特性，111 年進一步建立資料自動化品管程序，以及嘗試導入人工智慧(如循環神經網路 RNN)進行能見度預測分析，以提供馬祖港務單位做為港區能見度預警應用，本計畫結論與建議如下。

5.1 結論

1. 本計畫參考 QARTOD 在風力資料之品管程序，逐一檢視套用在能見度自動觀測之可行性。其中可適用之程序包括：時間（間隔）檢查（Timing/Gap Test）、傳輸格式及編碼檢查（Syntax Test）、儀器或物理現象極限值檢查（Gross Range Test）、短時距離群值檢查（Spike Test）、短時距變化率與標準差之檢查（Rate of Change Test）、連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）、變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）、長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）、鄰近站相關性檢查（Neighbor Test）等 9 項。
2. 在能見度之品管程序精進部分，考量到能見度儀器量測之誤差，在觀測時容易產生觀測數值之上下跳動現象，因此，使用量測數值進行品管時，在合理變化率檢驗、與其他物理變數之關聯性檢驗時，容易造成誤判，因此，本計畫採用能見度分級方式來進行品管精進。其中在短時距離群值檢查（Spike Test）部分，新方法可有效降低無法評估資料數量(降低 15~18%之數量)，亦即檢查比例提高，此外新方法之不通過檢查及標記可疑之資料筆量減少，亦可減輕人工檢核的工作量。

3. 另外為提升品管程序之檢查效率，本計畫亦將連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）及長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）部分，進行合併處理，並新增高能見度值例外處理方法，可有效降低無法評估資料數量(亦即檢查比例提高)，並減少不通過及可疑之資料筆量，以減輕人工檢核的工作負擔。
4. 在低能見度分析部分，本計畫 111 年度主要針對舊站低能見度（能見度值低於 2000 公尺），進行該區間之低能見度個案探討。從低能見度分析結果指出，馬祖福澳港 2021 年下半年及 2022 年上半年之霧時延續時間分別為 12 小時及 57 小時，其中以 3 月及 4 月為主要發生期間。
5. 從 2021 年至 2022 年濃霧事件分析，主要篩選 3 個濃霧事件，觀察到鋒面霧及典型馬祖平流霧之案例，其中在平流霧案例中可發現其濃霧開始時間約為晚上 20 時左右並持續至隔天 7 時，濃霧隨溫度上升而逐漸消失，但至晚上又開始形成。
6. 在能見度預測模型概念驗證上，本計畫嘗試使用 2 種模型來進行能見度預測，其一為多元線性回歸模型，另一為長短期記憶模型（long short-term memory, LSTM）。在多元線性回歸模型其準確度約在 20% 左右，亦即在模型預測結果之應用上仍有不足。而 LSTM 模型，本計畫初步使用 3 種不同設定進行模式訓練及驗證，結果顯示 3 個模型在預測下 1 分鐘之準確度均高達 98%，而在預測未來 10 分鐘則可看到模型 1 準確度明顯下降，在未來 30 分鐘之預測上，模型 3 約可達到 83% 的準確度，惟能見度預測結果仍以高能見度之準確率較高，而在低能見度仍有偏誤，尚有精進之空間。

5.2 建議

1. 本計畫蒐集國際氣象組織「氣象儀器與觀測方法指南」及美國海洋綜合觀測系統計畫辦公室之海洋即時資料品保手冊，透過港區歷史能見度資料，研擬一套港區能見度資料品管分析方法並精進相關分析方法，可做為馬祖福澳港能見度初步品管之基礎，建議後續可持續強化自動化品管程式開發，以強化港區能見度預警能力。
2. 在能見度預測模型概念驗證上，本計畫嘗試使用 2 種模型來進行能見度預測，其結果驗證長短期記憶模型（long short-term memory，LSTM）在能見度預測上具有可發展性，未來可持續精進模型相關設定及參數調整方法，並改善低能見度之預測結果，以達到實務應用。

5.3 成果效益與應用情形

1. 本計畫完成馬祖福澳港區能見度觀測資料庫建置，以及資料品管分析及精進方法研擬，可提供連江縣政府港務處做為港區能見度監測系統開發之依據。
2. 本計畫完成馬祖福澳港能見度預測之長短期記憶模型之概念性驗證，可提供本所做為港區能見度預測模型進一步實用化之研究參考。

參考文獻

1. International Civil Aviation Organization (ICAO), Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation, Twentieth edition, 2018.
2. Integrated Ocean Observing System (IOOS), Manual for Real-Time Quality Control of Wind Data-A Guide to Quality Control and Quality Assurance for Coastal and Oceanic Wind Observations, 2017.
3. World Meteorological Organization (WMO): The First WMO Intercomparison of Visibility Measurements: Final Report (WMO/TD-No. 401), 1990.
4. World Meteorological Organization (WMO), Guide to Meteorological Observing and Information Distribution Systems for Aviation Weather Services (WMO-No. 731), 2014 edition.
5. World Meteorological Organization (WMO), Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), 2018 edition.
6. World Meteorological Organization (WMO), 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. Wiel Wauben, Martin Roth, "Exploration of fog detection and visibility estimation from camera images", Instruments and Observing Methods Report No. 125, 2016.
8. 交通部中央氣象局，地面測報作業規範（第4版），2014年9月。
9. 交通部民用航空局，「臺灣地區春季大霧經驗預報之量化」，2014年12月。
10. 交通部民用航空局，「馬祖地區（南、北竿）低能見度觀測資料分析」，2016年1月。
11. 交通部民用航空局，「航空氣象電碼彙編」，2016年10月。
12. 交通部民用航空局，「航空氣象規範」，2021年4月。
13. 林冠伶、林欣弘、于宜強，「能見度監測與預警系統開發」，108年天氣分析與預報研討會，2019年5月。
14. 許秀妮，「2001-2015年1-5月份期間桃園、馬祖北竿、馬祖南竿與金門機場霧日觀測資料統計分析」，飛航天氣，第二十四期，頁18~35，2015年10月。

15. 童茂祥，「淺談機場的霧與經驗預報」，飛行安全季刊，第 78 期，頁 64~83，2014 年。
16. 黃日鈺，人工智慧與深度學習：理論與 Python 實踐，基峰資訊股份有限公司，初版，2020 年。
17. 黃惠君，「影響飛航的天氣-霧的簡介」，飛航天氣，第七期，頁 22~27，2007 年 4 月。
18. 溫志中、蔡立宏、蔡尚威，「台灣港區大氣能見度特性探討-基隆、台中、高雄」，港灣報導季刊，第 82 期，頁 31~39，2009 年 2 月。
19. 廖宗、鄭師中、黃燦星著，航海氣象學—航輪教材編撰計畫（二版），教育部出版，2017 年 5 月。
20. 劉明揚著，大氣測計學，國立編譯館出版，2001 年 7 月。
21. Integrated Ocean Observing System (<https://ioos.noaa.gov/project/qartod/>)。
22. 中央氣象局數位科普網 (<https://edu.cwb.gov.tw/PopularScience/>)。
23. 財團法人氣象應用推廣基金會網站 (<http://www.metapp.org.tw/>)。

附錄一
簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

馬祖港域能見度探討之研究(2/2)

-能見度預測模式之概念驗證

報告人：許義宏

期末簡報

簡報大綱

- 一、研究緣起與目的
- 二、計畫內容與工作項目
- 三、文獻回顧
- 四、馬祖能見度觀測概況
- 五、能見度品管機制建立
- 六、馬祖港域能見度特性分析
- 七、結論與建議



交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

一、研究緣起與目的

- 馬祖地區於每年3至5月間，受到南風影響，暖濕空氣流經較冷的水面或地面而形成多雲霧的天氣，其能見度驟降，即可能造成馬祖交通停航的情況產生，一但對外交通中斷，則會影響到居民的生活與經濟的發展。
- 本所港灣技術研究中心於108年起協助連江縣政府完成港域多參數氣象站之建置，其監測項目包括風速風向、能見度、空氣溫度、相對溼度、大氣壓力、露點等環境因子，監測期間已達2年，爰透過本計畫將相關監測資料進行深入分析探討。
- 本計畫於110年已完成馬祖能見度觀測資料品管程序建置、馬祖能見度特性統計、低能見度之個案探討，瞭解馬祖港域濃霧形成之特性，111年進一步建立資料自動化品管程序，以及嘗試導入人工智慧(如循環神經網路RNN)進行能見度預測分析，以提供馬祖港務單位做為港區能見度預警應用。



二、計畫內容與工作項目

■ 前期成果概述

- 馬祖港區多參數氣象站監測資料庫建置
 - ✓ 建立馬祖南竿福澳港能見度及多參數觀測站之資料庫，資料庫欄位包括測站編號、測站名稱、觀測時間、平均風速、平均風向、最大陣風風速、最大陣風風向、能見度、空氣溫度、相對溼度、大氣壓力、露點、系統電壓等資料。
 - ✓ 介接中央氣象局與民用航空局之相關氣象資料。
- 資料品管方法導入
 - ✓ 建立馬祖能見度品管程序，包括：時間（間隔）檢查（Timing/Gap Test）、傳輸格式及編碼檢查（Syntax Test）、儀器或物理現象極限值檢查（Gross Range Test）、短時距離群值檢查（Spike Test）、短時距變化率與標準差之檢查（Rate of Change Test）、連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）、變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）、長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）、鄰近站相關性檢查（Neighbor Test）等9項。
- 馬祖(南竿)港域能見度分析及特性探討
 - ✓ 觀測資料紀錄統計表、聯合分佈百分比統計表、時序列歷線圖、逐月及分時能見度分佈圖、低能見度發生比例分析、霧時延續時間等，提供馬祖地區近5年之能見度觀測趨勢。
 - ✓ 探討2021年上半年濃霧事件等個案，瞭解馬祖地區濃霧事件之基本環境特性、延續時間及影響程度。



二、計畫內容與工作項目

■ 本期計畫內容

- 馬祖能見度資料自動化品管程序建立
 - ✓ 精進分析方法，建立即時資料之自動化品管機制，以強化港區能見度預警能力。
- 低能見度特性分析
 - ✓ 廣續分析2021年下半年及2022年上半年之濃霧事件，篩選更多環境影響因子，做為港區船舶進出港管理之參考。
- 能見度預測分析模組建立及預測結果驗證
 - ✓ 利用歷年能見度觀測資料，發展預測分析模組，並利用2022年觀測資料進行預測結果之概念驗證。



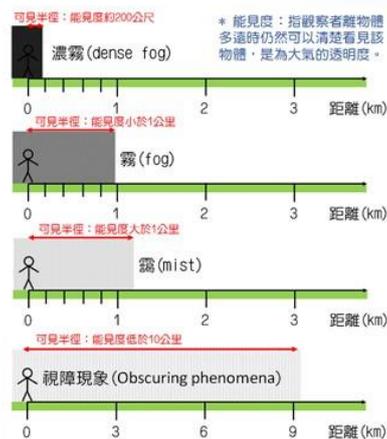
5

三、文獻回顧

■ 視障現象 (Obscuration phenomenon) :

造成水平方向能見度 (visibility) 低於10公里者，包括霧、靄、霾、吹雪、塵霾、煙、降灰、塵暴或沙暴等現象。

- 霧(fog)：由細微密集的小水滴聚集並懸浮在空中，使水平方向能見度未達1公里。
 - 能見度小於200公尺，則稱為濃霧 (dense fog)
 - 能見度大於1公里而不足2公里者，則稱作輕霧或靄 (mist)
- 霾 (haze)：由懸浮於大氣中的非吸水性固態顆粒造成。
- 起霧時的相對濕度會高於75%，而霾害發生的時候，其相對濕度則不會高於75%。



圖片來源：中央氣象局數位科普網
(<https://edu.cwb.gov.tw/PopularScience/>)



6

三、文獻回顧

■ 霧的種類：

- 輻射霧：透過地面長波輻射冷卻，降低近地面空氣的溫度，使空氣中所含的水氣達到飽和而凝結成霧，須在天晴無風、微風（風速每秒2~5公尺）與高雲之夜晚始有足夠的輻射冷卻作用。多發生在晨晚及冬季。
- 平流霧：係由較暖空氣（多為偏南氣流）經過較冷的地表面將空氣的熱傳輸給地表面，空氣降低溫度使空氣中的水氣達到飽和而凝結成的霧。多發生於海洋（或海岸邊）及冬春之際。
- 鋒面霧：鋒面上方暖空氣的水滴進到冷空氣中達飽和而在近地面形成的霧。鋒面霧多發生在兩種不同氣團之不連續面上，尤其以暖鋒面之鋒前霧最明顯。
- 蒸氣霧：空氣流經過暖水面（如溫泉）獲得水氣而凝結成的霧，通常在氣溫低於水面溫度15度以上較易形成。



7

三、文獻回顧

■ 能見度觀測：能見度是為了達到呈現大氣清濁程度(光學狀態)之量化目的，而採用之人工觀測估計量。

- 人工測量：白天相對於地平天空，或者夜晚假想總體照明增加到正常白天的水準進行觀測時，一個安置在地面附近的適當尺度的黑色目標物能被看到和辨認出的最大距離
- 為了客觀測量能見度，可藉由儀器進行大氣透明度的測量，並換算為氣象光學視程（Meteorological optical range，簡稱MOR）
- 氣象光學視程係指由白熾燈發出色溫為2700K平行光束的光通量在大氣中削弱至初始值5%所通過的路徑長度，該光通量採用國際照明委員會（International Commission on Illumination，簡稱CIE）的光度測量發光度函數來確定。



8

三、文獻回顧

■ 儀器測量方法：

- 測量水平空氣柱之消光係數或透射因數：光的衰減是由於大氣微粒沿光束路徑之散射和吸收。其量測消光係數之儀器，包括：遠距光度計（如Lohel式遠距光度儀、Collier-Taylor式透射儀）、目視消光儀、光學透射儀、光達等。
- 測量小體積空氣之光散射係數：在自然霧中，吸收通常可以忽略，因此，散射係數可視為與消光係數相同。其量測散射係數之儀器，包括：反向散射、前向散射及廣角散射積分等。
- 透射儀因需要基線，占地範圍大，不適用於海岸、燈塔自動氣象站及船舶上，但其具有自檢能力、低能見度下性能好等優點而適用於民航系統；而散射儀由於測量只與很小體積的空氣有關，對該處大氣普遍狀況的測量代表性可能會產生疑問，不過該代表性可以通過取大量樣本或測量值的平均來改善，或者可採用刪除極端值的方法來平滑測量結果，因此，散射儀以其體積小和低廉價格而廣泛應用。



9

三、文獻回顧

■ 資料品管及控制方法：

- WMO在「氣象儀器與觀測方法指南」(WMO-No.8)第三篇第一章針對自動氣象站提出品管建議：
 - ✓ 感測器內部檢驗：對每個感測器取樣樣本的合理測值以及合理變化率進行的一種檢驗。
 - ✓ 感測器間的檢驗：基於已建立之物理和氣象原理，可針對某一變數參照其它變數進行內部一致性檢驗。
 - ✓ 人工輸入的觀測值：當人工觀測值輸入自動氣象站時，可進行上述傳感器內部和傳感器之間的檢驗。
 - ✓ 特殊的一致性檢驗內容，例如現在天氣與能見度、雲量、氣溫、露點之關聯性之探討。
 - ✓ 硬體檢查：利用自動氣象站的內置測試設備，使自動氣象站自動地進行週期性自檢，把檢驗結果提供給相關人員，或存入緩衝記憶體。
 - ✓ 報文檢查：對於配備編報軟體和通過全球通信系統傳輸報告的自動氣象站，除執行上述檢測外，並應對字元、數碼、格式是否符合相關規定進行監控。



10

三、文獻回顧

■ 資料品管及控制方法：

- WMO在「氣象儀器與觀測方法指南」(WMO-No.8)第三篇第一章針對自動氣象站提出品管建議：
- 美國海洋綜合觀測系統計畫辦公室海洋即時資料品保手冊(QARTOD Manual)等一系列海洋觀測數據管理準則：
 - ✓ 包括：pH、Stream Flow、Passive Acoustics、Phytoplankton、HF Radar、Dissolved Oxygen、Wind、Water Level、In-Situ Surface Wave、Ocean Optics、In-Situ Temperature and Salinity、Dissolved Nutrients、In-Situ Current等13項。
 - ✓ 分為必要性(Required)、強烈建議(Strongly Recommended)與建議性(Suggested)等3大分組檢驗程序。
 - ✓ 其中較為通用之資料品管項目有：Timing/Gap Test、Syntax Test、Location Test、Gross Range Test、Climatology Test、Spike Test、Rate of Change Test、Flat Line Test、Multi-Variate Test、Attenuated Signal Test、Neighbor Test。

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.

圖片來源：QARTOD Manual



三、文獻回顧

■ 能見度特性分析相關文獻：

- 交通部民用航空局，「臺灣地區春季大霧經驗預報之量化」，2014年12月。
- 交通部民用航空局，「馬祖地區(南、北竿)低能見度觀測資料分析」，2016年1月。
- 林冠伶、林欣弘、于宜強，「能見度監測與預警系統開發」，2019年5月。
- 許秀妮，「2001-2015年1-5月份期間桃園、馬祖北竿、馬祖南竿與金門機場霧日觀測資料統計分析」，2015年10月。
- 童茂祥，「淺談機場的霧與經驗預報」，2014年。
- 黃惠君，「影響飛航的天氣-霧的簡介」，2007年4月。
- 溫志中、蔡立宏、蔡尚威，「台灣港區大氣能見度特性探討-基隆、台中、高雄」，2009年2月。



四、馬祖能見度觀測概況

■ 馬祖地區能見度觀測系統建置概況：



四、馬祖能見度觀測概況

■ 南竿福澳碼頭能見度觀測站觀測情形

站別	舊站		新站
觀測期間	2014-09-07 17:00~ 2017-02-11 12:30	2017-04-18 18:00~ 2022-06-30 24:00	2019-07-26 18:00~ 2022-06-30 24:00
觀測頻率	10min	1 min	10min
應觀測日數	898	1,900	1,071
觀測日數	871 (96.99%)	1,831 (96.37%)	1,045 (97.57%)
應觀測時數	21,523	45,566	25,670
觀測時數	20,776 (96.53%)	41,684 (91.48%)	24,376 (94.96%)
應觀測筆數 (備註1)	129,138	2,733,960	154,020
可觀測筆數 (備註2)	124,656	2,501,040	146,256
回傳資料庫筆數	110,819	2,288,482	134,854
觀測期間資料蒐集率	85.81%	83.71%	87.56%
儀器正常資料蒐集率	88.90%	91.50%	92.20%

備註1：應觀測筆數=應觀測時數*取樣頻率，其用以呈現觀測期間應取得之資料數。

備註2：可觀測筆數=觀測時數*取樣頻率，其扣除儀器異常狀況下，可取得之資料數。

四、馬祖能見度觀測概況

■ 南竿福澳碼頭能見度觀測站觀測情形

站別	舊站	新站
觀測期間	2021-07-01 00:00~ 2022-06-30 24:00	2021-07-01 00:00~ 2022-06-30 24:00
觀測頻率	1 min	10min
應觀測日數	365	365
觀測日數	338	339
應觀測時數	8743	8743
觀測時數	7995	7921
應觀測筆數 (備註1)	524580	52458
可觀測筆數 (備註2)	479700	47526
回傳資料庫筆數	454221	44729
觀測期間資料蒐集率	86.59%	85.27%
儀器正常資料蒐集率	94.69%	94.11%

備註1：應觀測筆數=應觀測時數*取樣頻率，其用以呈現觀測期間應取得之資料數。

備註2：可觀測筆數=觀測時數*取樣頻率，其扣除儀器異常狀況下，可取得之資料數。

五、能見度品管機制建立

- **傳輸格式及編碼檢查 (Syntax Test)**：本項檢查主要在於確認傳輸格式及編碼是否正確，其確認內容包括接收到之數據訊息結構是否正確、預期字符數與接收字符數是否相符。
 - 現場儀器透過RS232連接數據機，透過4G傳送至接收電腦（雲端主機）進行訊息文字檔儲存及編碼傳送本所資料庫伺服器，其中接收電腦在編碼傳送時，可透過自動化程式確認傳輸格式是否正確。
- **座標檢查 (Location Test)**：本計畫建置之能見度觀測系統，為固定式陸地站，並未安裝GPS座標系統，爰不適用於本項檢查。
- **儀器或物理現象極限值檢查 (Gross Range Test)**：所有感測器都有一個有限的輸出範圍，可以做為最基本的總範圍檢查。
 - 馬祖福澳港能見度觀測上下限設定值為10m~32000m，因此任何小於最小值或大於感測器可以輸出最大值的數值，都可視為錯誤值 (Fail=4)。
 - 經檢查超過儀器極限值之數據為2019-02-14 12:37:00之能見度觀測數值999999，經檢視該筆資料與前後一筆資料時間間距均超過12小時，係儀器維護保養之儀器調校資料，而未於資料庫刪除。
 - 在本項檢查中，QARTOD亦提出使用者定義之極限值設定，當數值小於或大於使用者設定極限值範圍，則可標記為可疑數據 (Suspect=3)。

五、能見度品管機制建立

- **逐月及季節變化合理性檢查 (Climatology Test)**：本項檢查程序是以觀測值之總範圍檢查，並按照每月或季節的變化上下限數值做為檢查依據。這項檢查需使用觀測員在當地長期紀錄及專業知識來確認季節性平均值之適當的閾值。
 - 觀測時以高能見度為正常現象，低能見度為特殊天氣現象，其觀測能見度統計分布存在明顯之偏態，本項檢查並不完全適用。
 - 本項檢查程序可與儀器或物理現象極限值檢查 (Gross Range Test) 合併處理。
- **短時距變化率與標準差之檢查 (Rate of Change Test)**：本項檢查主要分析資料在時間序列下之變化率是否超過操作員確定的閾值。
 - QARTOD手冊建議可透過一定倍數的標準差，來確認觀測數據是否為可疑的數據 (Suspect=3)，一般常用的標準差倍數為3倍標準差。
 - 而分析時距則可依觀測頻率決定 (在海洋觀測上多採用8小時做為分析時距)



17

五、能見度品管機制建立

- **短時距離群值檢查 (Spike Test)**：本項檢查主要用來確認個別數據之離群值，特別是針對n-1處的數值。
 - 離群值的檢查可由2組不同的閾值進行標記，包括高閾值與低閾值的處理。
 - 檢查程序可透過相鄰數據點 (n-2和n0) 之平均值做為參考點，如果n-1與該平均值之差值大於高閾值，則標示為錯誤值 (Fail=4)，如果差值介於高閾值與低閾值之間，則標示為可疑數據 (Suspect=3)。
 - 閾值的選擇可以是固定值或動態數值。
 - QARTOD手冊亦建議可利用三階差分進行離群值判定之方法。
- 前期(110年)比較鄰近兩點平均 (QARTOD建議)、1小時平均、一階差分、二階差分、及三階差分法 (QARTOD建議) 在不同閾值下被標定之離群值數量。
- 在前期計畫(110年)以1小時平均值做為主要篩選依據，另輔以其他4種方法做為標記之參考依據。



18

五、能見度品管機制建立

- **連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）：**一般而言，儀器之觀測數據均會變動，因此當某些感測器出現故障時，可能產生相同數值。
 - 本項檢查程序即利用將當前觀察值與前幾筆觀察值進行比較，當觀測值與之前的觀測值在容許差值內，則將該觀測值標記。
 - 當觀察值出現**連續5筆**數據均相同（或微小差距時），則標定為錯誤資料（Fail=4）。
 - 當**連續3筆**數據相同，則標定為可疑的資料（Suspect=3）。
 - 本研究採用完全無變化（數據差值為0）做為檢查依據。
- **長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）：**本項檢查主要在於檢測傳感器故障模式可能產生的資料錯誤，一般以在選定時間段內（例如12小時）其資料變化幅度未能超過所設定之變化率。
 - 一般可採用標準差或者全距（最大值減最小值）進行檢查，如變化率小於所設定之警示值，則標記為可疑數據（Suspect=3），如變化率小於所設定之門檻值，則標記為錯誤數據，則標定為錯誤資料（Fail=4）。
 - 參考儀器測量靈敏度為1m（或10m）標準，採用**變化率小於1m者，標定為錯誤資料（Fail=4）**。
 - 若**變化率大於1m且小於10m者，標記為可疑數據（Suspect=3）**。



五、能見度品管機制建立

- **變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）：**
 - 本項檢查程序主要係利用其他類型並具有相關性之觀測值來檢驗資料的特性，如果觀測數據的變化值與其他具有相關性之資料變化值不一致時，則標記為可疑數據（Suspect=3）。
 - 參考相關文獻資料，以低能見度（10公里以下）之數據，檢視其濕度低於85%、溫度露點差會在2°C以上，且風速高於5.5 m/s者，標示為可疑數據。
- **鄰近站相關性檢查（Neighbor Test）：**
 - 在QARTOD手冊中，鄰近區域的檢查程序，可透過一定時間段（例如8小時）之不同儀器之觀測數值標準差進行檢查，利用測站1之數值變化量與測站2之數值變化量趨勢不一致時，則標記為可疑數據（Suspect=3），亦即當測站1之觀測數值與前一筆觀測數據差值大於2倍標準差，而測站2小於2倍標準差時，可視為不一致之現象。



五、能見度品管機制建立

■ 資料品管結果：

品管標記 檢查項目	舊站					新站				
	flag=1	flag=2	flag=3	flag=4	flag=9	flag=1	flag=2	flag=3	flag=4	flag=9
時間(間隔)檢查 (Timing/Gap Test)	91.13%	-	-	-	8.87%	89.54%	-	-	-	10.46%
傳輸格式及編碼檢查 (Syntax Test)	100%	-	-	0.00%	-	100%	-	-	0.00%	-
儀器或物理現象極限值檢查 (Gross Range Test)	100%	-	-	0.00%	-	100%	-	-	0.00%	-
短時距離群值檢查 (Spike Test)	77.48%	16.79%	4.23%	1.50%	-	78.35%	19.74%	0.91%	1.00%	-
短時距變化率與標準差之檢查 (Rate of Change Test)	93.82%	4.16%	2.02%	-	-	94.23%	5.77%	0.00%	-	-
連續資料無變化(或微小)之檢查 (Flat Line Test)	80.50%	0.92%	18.57%	0.01%	-	91.20%	0.79%	7.97%	0.04%	-
變數間關聯性檢查 (Multi-Variate Test)	-	-	-	-	-	99.30%	0.00%	0.70%	-	-
長時間資料變化幅度檢查 (Attenuated Signal Test)	99.13%	0.001%	0.87%	-	-	96.41%	0.02%	3.57%	-	-
鄰近站相關性檢查 (Neighbor Test)	90.99%	7.40%	1.61%	-	-	60.07%	22.95%	16.98%	-	-

1. flag標記方式：通過 (Pass=1)、無法評估 (Not Evaluated=2)、可疑的 (Suspect=3)、錯誤 (Fail=4)、缺值 (Missing Data=9)
2. (-) 表示檢查項目未進行該項標記程序。

五、能見度品管機制建立

■ 資料品管結果：

- 舊站部分，不通過率為1.49%，單一資料被標記2次以上之可疑資料比例為0.57%，整體通過率達95%以上。
- 新站部分，不通過率為1.05%，單一資料被標記2次以上之可疑資料比例為2.03%，主要在於與臨近站檢核被標記可疑資料件數較多造成，但整體通過率仍達95%以上。

站別	統計時間區間	通過	未通過	標記可疑資料次數		
				1次	2次	3次
舊站	2021-07-01~2022-06-30	414483	6802	32718	2491	121
新站	2021-07-01~2022-06-30	32394	474	11337	909	1

- 人工品管檢核：從錯誤資料中進行新站的人工品管，僅約105筆(約錯誤筆數的25%)，因此受到能見度觀測儀器誤差的影響，誤判率極高，這項結果也反映出以觀測數值進行品管的不確定性極高，因此建議以分級方式進行品管。

五、能見度品管機制建立

■ 品管程序精進方法：

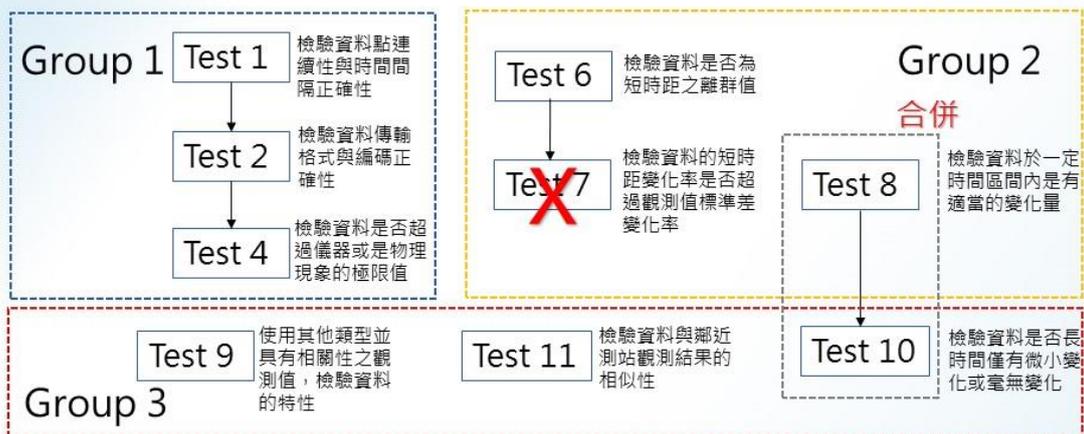
- Test1-時間(間隔)檢查 (Timing/Gap Test)：維持原方式處理
- Test2-傳輸格式及編碼檢查 (Syntax Test)：維持原方式處理
- Test4-儀器或物理現象極限值檢查 (Gross Range Test)：維持原方式處理，仍以儀器輸出數值進行檢查。
- Test6-短時距離群值檢查 (Spike Test)：採用能見度分級方式處理，並與前後一筆資料進行比較檢查。
- Test7-短時距變化率與標準差之檢查 (Rate of Change Test)：標準差法對於低能見度容易有過度篩選的結果，若採能見度分級方法處理時，本項可不執行。
- Test8-連續資料無變化(或微小)之檢查 (Flat Line Test)：維持原方式處理，仍以儀器輸出數值進行檢查，但被標示之資料幾乎都是(或接近)上限之數據，因此在實務應用上，可以將高能見度值進行例外處理。
- Test9-變數間關聯性檢查 (Multi-Variate Test)：能見度與氣象變數存在物理關係，但並非絕對影響因子，因此本項檢查僅供參考用，可執行或不執行。
- Test10-長時間資料變化幅度檢查 (Attenuated Signal Test)：被標示之資料幾乎都是(或接近)上限之數據，可與Test8連續資料無變化(或微小)之檢查項目合併處理。
- Test11-鄰近站相關性檢查 (Neighbor Test)：採用能見度分級方式處理。



23

五、能見度品管機制建立

資料品管程序精進



備註：

Test3(檢驗浮標測站之GPS座標資料)及Test5(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)，經前期研究，不適用於能見度之品管作業。



24

五、能見度品管機制建立

■ 品管程序精進方法：

– Test6新方法檢查方法說明

- 為降低無法評估資料數量，在檢查時將放寬連續資料之檢查區間至30分鐘，亦即前一筆資料與檢查資料在30分鐘內，均可做為可信賴的資料進行檢查。
- 分級檢查時，如能見度分級與前一筆資料相同，則視為檢查通過。若分級不同，則採以下方法，進一步檢查：
 - 依能見度分級設定不同檢查門檻，包括10公里以上、4-10公里，以及4公里以下。
 - 檢查門檻採用與前後各一筆資料進行檢查，如能見度值之前後一筆資料差值超過高門檻值，則視為不通過，如介於高門檻值與低門檻值，則進行標記為可疑資料，如低於門檻值，則通過檢查。

– Test6新方法檢查結果

- 有效降低無法評估資料數量，亦即檢查比例提高。
- 不通過檢查之資料筆量減少，減輕人工檢核的工作。

舊站	舊方法	新方法	新站	舊方法	新方法
Flag-1	77.48%	99.27%	Flag-1	78.35%	96.68%
Flag-2	16.79%	0.06%	Flag-2	19.74%	1.05%
Flag-3	4.23%	0.64%	Flag-3	0.91%	2.04%
Flag-4	1.50%	0.03%	Flag-4	1.00%	0.23%



25

五、能見度品管機制建立

■ 品管程序精進方法：

– Test8與Test10合併處理之檢查方法說明

- 為降低無法評估資料數量，分成2階段檢查程序：
 - 第1階段先判定前5筆資料是否有變化，如有變化，則通過檢查，如無變化或無法判定(缺少短時間資料)時，則進行第2階段。
 - 第2階段則進行長時間變化量之檢查，如低於高門檻值，則視為不通過，如介於高門檻與低門檻值，則進行標記為可疑資料，如低於門檻值，則通過檢查。

– 新方法檢查結果

- 有效降低Test8無法評估資料數量，亦即檢查比例提高(比例均小於0.01%)。
- 不通過及可疑之資料筆量減少，減輕人工檢核的工作。

	舊站	新站
Flag-1	99.44%	97.23%
Flag-2	0.001%	0.02%
Flag-3	0.56%	2.75%
Flag-4	0.00%	0.00%



26

五、能見度品管機制建立

■ 資料品管結果：

- 在能見度之品管程序，以Timing/Gap Test、Syntax Test、Gross Range Test、Spike Test等4項，建議可優先做為儀器觀測數據合理性之檢查程序，
- 其次則為Multi-Variate Test、Neighbor Test等2項，建議做為資料可信度之檢查程序，並輔以人工檢查判定。
- 其餘Rate of Change Test、Flat Line Test、Attenuated Signal Test等3項僅適合做為低能見度數據檢查（高能見度時誤判機率高）之參考。
- 品管程序精進方法：
 - 在短時距離群值檢查（Spike Test）部分，新方法可有效降低無法評估資料數量(降低15~18%之數量)，亦即檢查比例提高，此外新方法之不通過檢查及標記可疑之資料筆量減少，亦可減輕人工檢核的工作量。
 - 連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）及長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）部分，進行合併處理，並新增高能見度值例外處理方法，可有效降低無法評估資料數量(亦即檢查比例提高)，並減少不通過及可疑之資料筆量，以減輕人工檢核的工作負擔。



27

六、馬祖港域能見度特性分析

■ 能見度觀測分級統計表產製：

- 依照WMO電碼手冊（WMO-No.306）第1.1卷Part A規範，其能見度觀測可分為50公尺以下、50~200公尺、200~500公尺、500~1000公尺、1~2公里、2~4公里、4~10公里、20~50公里，以及50公里以上等10個級距。

Code figure	Height of base of significant cloud in metres	Visibility in metres	Wind force (Beaufort)	Icing	Turbulence	Squalls	Snow cover in centimetres
0	Less than 50	Less than 50	10	No specification	Not specified	No specification	No snow
1	50-99	50-199	11	Light	Light	Rain, few	Up to 2
2	100-199	200-499	12	Moderate			
3	200-299	500-999	3	Severe	Severe	Rain, very numerous	Up to 10
4	300-599	1 000-1 999	4	Light			
5	600-999	1 000-3 999	5	Moderate	Moderate	Snow, scattered but numerous	Up to 25
6	1 000-1 499	4 000-9 999	6	Severe			
7	1 500-1 999	10 000-19 999	7		Severe	Rain and snow mixed, few	Up to 100
8	2 000-2 499	20 000-49 999	8				
9	2 500 or more, or no clouds	50 000 or more	9			Rain and snow, scattered but numerous	Up to 200
						Rain and snow, very numerous	200 or more

Note: When $w_e = 8$ = saturation, 0 shall be reported for i .

資料來源：WMO, Manual on Codes (WMO-No. 306), Volume I.1, Part A.



28

六、馬祖港域能見度特性分析

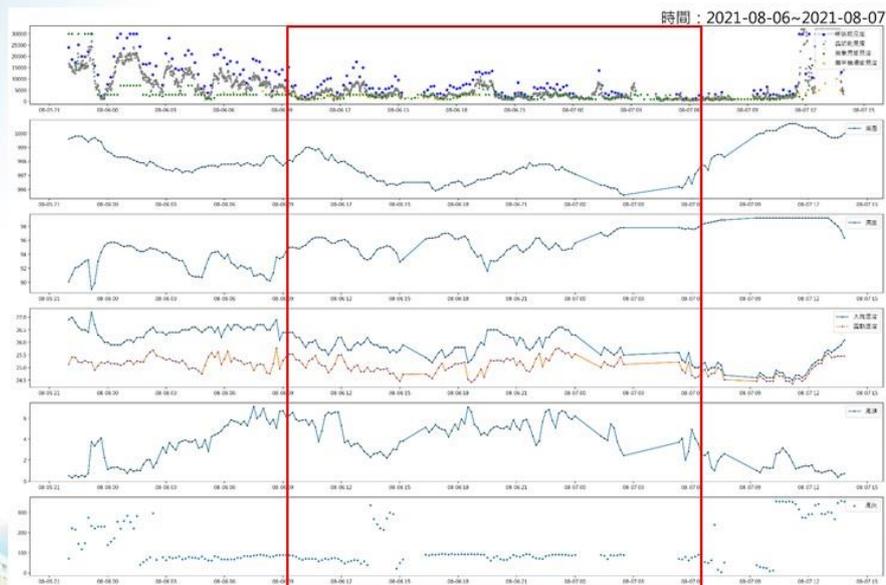
- 馬祖港域能見度特性
- 考量新站2021年至2022年之觀測資料在鄰近站檢查通過率僅60%，亦即多數觀測資料為可疑數據，因此，暫不納入低能見度分析，本次主要針對舊站低能見度（能見度值低於2000公尺），進行該區間之低能見度個案探討。
- 從低能見度分析結果指出，馬祖福澳港2021年下半年及2022年上半年之霧時延續時間分別為12小時及57小時，其中以3月及4月為主要發生期間。從歷年霧時延續時間觀察，大致介於65~80小時區間(除2019年霧時為141小時)。

月份	延續時間	1小時	2小時	3小時	4小時	5小時	7小時	8小時	9小時
2021年8月		2	1				1		
2021年12月		1							
2022年3月		3			1				1
2022年4月		6				1	1	1	
2022年5月		1		1					
2022年6月		4	1			1			



六、馬祖港域能見度特性分析

- 低能見度個案分析：



非
典
型
案
例

(鋒面霧)



六、馬祖港域能見度特性分析

■ 低能見度個案分析：



六、馬祖港域能見度特性分析

■ 馬祖能見度預測模型

— 多元線性回歸模型

- 回歸分析是一種預測建模技術，其可以用來研究因變數（目標）和自變數（預測）之間的關係，常見於預測建模、時間序列建模和查找變數間關係等應用，該模型具有建模快速簡單，以及直觀的理解和解釋等特性。
- 本計畫將福澳港舊站能見度值作為因變數，並將時間(月份、日期、時)、大氣壓力、溫度、濕度、平均風速、平均風向作為自變數。在資料處理上，將2021年7月至2022年6月以隨機方式分割為訓練資料及驗證資料(各50%)。其訓練資料之性能評估係數(模型解釋能力)為0.232，測試資料之性能評估係數為0.208，其準確度約在20%左右，亦即在模型預測結果之應用上仍有不足。

六、馬祖港域能見度特性分析

■ 馬祖能見度預測模型

— 長短期記憶模型

- 長短期記憶模型（LSTM）是一種時間循環神經網路（RNN），由於獨特的設計結構，可以用來解決長序列訓練過程中梯度消失和梯度爆炸問題，因此，LSTM適合處理和預測時間序列之問題。

模型參數

測試模型	模型1	模型2	模型3
訓練資料切割方式	依時間切割	隨機切割	依時間切割
神經元	100	50	50
損失函數	均方誤差MSE	均方誤差MSE	均方誤差MSE
優化函數	Adam	Adam	Adam
訓練週期	100	100	20
每批資料量大小	16	16	32

運算結果

測試模型	模型1	模型2	模型3
預測未來1分鐘	0.97	0.98	0.97
預測未來10分鐘	0.85	0.92	0.91
預測未來30分鐘	0.74	0.78	0.83



33

七、結論與建議

■ 結論

- 本計畫參考QARTOD在風力資料之品管程序，逐一檢視套用在能見度自動觀測之可行性。其中可適用之程序包括：時間（間隔）檢查（Timing/Gap Test）、傳輸格式及編碼檢查（Syntax Test）、儀器或物理現象極限值檢查（Gross Range Test）、短時距離群值檢查（Spike Test）、短時距變化率與標準差之檢查（Rate of Change Test）、連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）、變數間關聯性檢查（Multi-Variate Test）、長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）、鄰近站相關性檢查（Neighbor Test）等9項。
- 在能見度之品管程序精進部分：在短時距離群值檢查（Spike Test）部分，新方法可有效降低無法評估資料數量(降低15~18%之數量)，亦即檢查比例提高，此外新方法之不通過檢查及標記可疑之資料筆量減少，亦可減輕人工檢核的工作量。另外為提升品管程序之檢查效率，本計畫亦將連續資料無變化（或微小）之檢查（Flat Line Test）及長時間資料變化幅度檢查（Attenuated Signal Test）部分，進行合併處理，並新增高能見度值例外處理方法，可有效降低無法評估資料數量(亦即檢查比例提高)，並減少不通過及可疑之資料筆量，以減輕人工檢核的工作負擔。



34

七、結論與建議

■ 結論

- 在低能見度分析部分，本計畫111年度主要針對舊站低能見度（能見度值低於2000公尺），進行該區間之低能見度個案探討。從低能見度分析結果指出，馬祖福澳港2021年下半年及2022年上半年之霧時延續時間分別為12小時及57小時，其中以3月及4月為主要發生期間。
- 從2021年至2022年濃霧事件分析，主要篩選3個濃霧事件，觀察到鋒面霧及典型馬祖平流霧之案例，其中在平流霧案例中可發現其濃霧開始時間約為晚上20時左右並持續至隔天7時，濃霧隨溫度上升而逐漸消失，但至晚上又開始形成。
- 在能見度預測模型概念驗證上，本計畫嘗試使用2種模型來進行能見度預測，其一為多元線性回歸模型，另一為長短期記憶模型（long short-term memory, LSTM）。在多元線性回歸模型其準確度約在20%左右，亦即在模型預測結果之應用上仍有不足。而LSTM模型，本計畫初步使用3種不同設定進行模式訓練及驗證，結果顯示3個模型在預測下1分鐘之準確度均高達98%，而在預測未來10分鐘則可看到模型1準確度明顯下降，在未來30分鐘之預測上，模型3約可達到83%的準確度，惟能見度預測結果仍以高能見度之準確率較高，而在低能見度仍有偏誤，尚有精進之空間。



35

七、結論與建議

■ 建議

- 本計畫蒐集國際氣象組織「氣象儀器與觀測方法指南」及美國海洋綜合觀測系統計畫辦公室之海洋即時資料品管手冊，透過港區歷史能見度資料，研擬一套港區能見度資料品管分析方法並精進相關分析方法，可做為馬祖福澳港能見度初步品管之基礎，建議後續可持續強化自動品管程式開發，以強化港區能見度預警能力。
- 在能見度預測模型概念驗證上，本計畫嘗試使用2種模型來進行能見度預測，其結果驗證長短期記憶模型（long short-term memory, LSTM）在能見度預測上具有可發展性，未來可持續精進模型相關設定及參數調整方法，並改善低能見度之預測結果，以達到實務應用。



36

七、結論與建議

■ 成果效益與應用情形

- 本計畫完成馬祖福澳港區能見度觀測資料庫建置，以及資料品管分析及精進方法研擬，可提供連江縣政府港務處做為港區能見度監測系統開發之依據。
- 本計畫完成馬祖福澳港能見度預測之長短期記憶模型之概念性驗證，可提供本所做為港區能見度預測模型進一步實用化之研究參考。



簡報完畢
敬請指教



附錄二

工作會議暨專家學者座談會紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科及第三科自行研究計畫
專家學者座談會議

貳、時間：111年4月27日(星期二)上午10時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：柯正龍主任^代 紀錄：陳智恆、陳鈞彥^代

伍、出(列)席人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、臺灣港務股份有限公司羅勝方資深處長

(一)風力觀測及特性分析

- 1.本研究是否有作趨勢分析及預警制度探討。
- 2.風力測站採逐次建置，未來傳統機械式測站是否逐步汰換為壓力式，可提升精度及減少維護成本。
- 3.港口如要進行風力模擬及預報，最少需要架設幾隻風力計？

(二)潮位觀測及特性分析

- 1.目前各港口均有2支以上的潮位測站，本期(111-115年)是否有增建之必要？
- 2.由於海氣象受極端氣候之影響，海氣象資料能否全盤進行研究及預估趨勢。
- 3.潮位觀測受極端氣候之影響，能否重新檢討築港高程及中潮系統基準資料有無更新的必要。
- 4.潮位預報模式已上線3年，趨勢已經非常精確，感謝團隊努力，另蘇澳港及布袋港仍較其他港口有些許誤差，能否再協助研究。

(三)波浪觀測及特性分析

- 1.目前波流儀的觀測建置在港區海堤外，故障率比較高，因此，除貴所近期將新增測站以外，是否也可建立預報及趨勢分析。
- 2.感謝貴所協助近期持續建置港內波潮儀，建議可併同外港波流儀觀測資料，研究港內外波浪變化趨勢。
- 3.波浪生成除受自然力影響外，也有反射浪、散射浪、船機波等因素，建議可否一併研議。

(四)海流觀測及特性分析

- 1.本公司近期已另案委託研究團隊(高科大及成大水工所)建置水平式海流儀,建議可以將觀測資料回饋相互論證預估模式。
- 2.海流受到季風、颱風、漲退潮影響而變化,且有如基隆港外海有觀測到恆流(永久性海流),故各港海流趨勢不同,能否協助評估各港特性。

(五)消波塊模型試驗之比較研究

本案已有相當多的成果,不明白辦理目的,建議可討論各港口適合使用的消波塊型式,供本公司參考。

(六)微波雷達技術於臺北港港域環境監測研究

- 1.油汙監測模組部分,本公司前運用 X-band 雷達監測油汙,其成果較不明顯,尤其在夜間的辨識率不理想,請問貴所選用的技術為何。
- 2.本案建議可討論其他技術面,如利用航拍或衛星、紅外線傳感器等,進行智慧化拍攝及辨識,討論何種技術較為可行。

(七)臺中港遠程外廓堤水工模型動床漂砂試驗

本案使用光達進行地形分析,其精度如何,是否改用多音束水深測量,提高準確性?

(八)花蓮港內波浪預測方案初探

- 1.本案經貴所已持續研究多年,建議可以循之前研究成果,討論共振改善的方法。
- 2.可否討論不同的波浪週期下,共振發生的情形。

(九)花蓮港風浪模組模擬成效評估

- 1.Fortran 為較早期的程式語言,目前業界常見以 Mike21 或其他進行分析,有無規劃更換程式語言。
- 2.預估模式建議可將季風及颱風模式分開討論。

二、交通部中央氣象局陳仁曾課長

(一)「臺灣主要商港波浪觀測及特性分析」計畫:工作項目提及於蘇澳港建置波浪備援觀測站,請問該備援站使用哪一種儀器觀測波浪?於簡報投影片中經費來源為業務費,計畫書中經費概估卻有儀器設備費項目,是否為誤植?又本計畫以僅業務費 3,532 千元執行 11 港口波浪觀測維修相關工作,是否會有經費不足之虞?

(二)「臺灣主要商港海流觀測及特性分析」計畫:工作項目提及於蘇澳港

建置波浪備援觀測站，請問使用哪一種儀器觀測？與前計畫相同有經費科目疑問；亦同前計畫以僅業務費 3,520 千元執行 11 港口海流觀測維修相關工作，是否會有經費不足之虞？

- (三)「智慧航安與海氣象資訊應用探討(1/4)-整合船舶海事案件與海氣象即時模組」計畫：本計畫有「整合船舶動態與海氣象資訊即時模組」之工作項目，氣象局於 111 年起預計執行「落實船舶海氣象觀測」計畫，於船舶上安裝氣象觀測設備並透過 AIS 廣播及傳送，未來觀測所得氣象資料期能對本計畫有所助益。
- (四)「馬祖港域能見度探討之研究(2/2)-能見度預測模式之概念驗證」：除馬祖站外，氣象局在東引站亦有能見度觀測，或可提供參考。
- (五)「應用微波雷達技術於臺北港港域環境監測研究(1/4)-微波雷達觀測波流特性分析」計畫：臺北港微波雷達站有得天獨厚的條件，範圍內有觀測樁、海氣象資料浮標之實測波流資料可供微波雷達觀測比對。由投影片可知目前微波雷達觀測結果與實測仍有些差異，相信經過本計畫比對及修正後，能取得更好的結果。

三、國立臺灣海洋大學海洋工程科技中心蔡加正主任

- (一)第二科第 1~4、8、10 案（臺灣主要商港風、潮、波、流觀測及特性分析、應用微波雷達技術於台北港域環境監測之研究(1/4)-微波雷達觀測波流特性分析、臺灣港群暨金門港即時潮位系統精進評估）
 - 1.除持續蒐集各港風力資料匯入本所資料庫，後續是否有就歷年大數據資料進行分析與應用？
 - 2.歷年大數據資料，是否建立統一窗口與規格，並提供使用說明，以利各界近一步使用與再加值。
 - 3.就臺灣主要商港之風、潮、波、流特性，是否能提供整合性教育資源，如教材教案，嘉惠全台相關系所學子。
- (二)第二科第 6 案（消波塊模型試驗之比較研究）
 - 1.若考慮消波塊前方有潛堤，結果會有何不同？可探討潛堤位置與反射率、溯升降等之關聯。
 - 2.後續是否考慮分析消波塊內的流場？
- (三)第二科第 7 案（馬祖港域能見度探討之研究(2/2)-能見度預測模式之概念驗證）

本研究蒐集多參數氣象站資料，是否能整合（比如水質觀測資料）預

報馬祖藍眼淚？

(四)第二科第9案(臺中港遠程外廓堤水工模型動床漂砂試驗)

試驗結果資料規格化並建檔，可作為各界開發模式之比對與驗證。

(五)第三科第1案(岬灣海灘造成近岸港口航道淤塞機制分析與調適對策)

1.有關岬灣之岬頭效應，是否就歷年變遷歷程建置資料庫。

2.是否結合學界，進一步探討其力學機制。

(六)第三科第2案(商港海氣象風力預警機制探討)

1.是否有蒐集過去災害事件？

2.是否結合人工智慧分析大數據，改進預警機制。

(七)第三科第3案(港研中心業務決策支援系統規劃(1/2)-需求分析)

1.本案決策支援系統，與它案資料來源之流程圖。

2.本系統後續可能增值項目探討。

(八)第三科第4案(花蓮港內波浪預測方案初探)

花蓮港內波浪問題雖然已經是老問題，但還是要回歸波浪力學探討。

(九)第三科第5、6案(花蓮海域風浪模組模擬成效評估及建議、馬祖南竿福澳港海氣象特性分析)

風浪模組之數值模式是否考慮不同解析度或動網格模擬，以因應不同尺度之需求。

四、國立成功大學水工試驗所江文山副所長

(一)風波潮流等基本的觀測維護分析部分，建議嘗試進行長期統計分析，探討變化，相對港埠工程設計壽命都是數十年以上，有助於考量長遠的變動影響。

(二)馬祖調和分析應用，經驗顯示觀測站若是靠近結構物可能局部的現象會影響結果，分析的結果是小區域的特性。若是需要的是大區域的特性則上述結果的代表性要仔細思考。

(三)航安與海氣象應用探討，非常重要值得持續投入研究。2022.2.20~21 台中港發生的斷纜事件，一般的判斷都著重在風的影響，確實風也應該是佔相當的部分影響，但是根據建置在台中港內航道上的流場觀測也顯示在斷纜事件發生期間港內的流場受風影響有顯著變化，所以或許港內的流也有一定的影響應納入往後航安分析的考量。

(四)目前地形變遷的試驗研究係針對考量波浪影響進行探討，研究中台中

港的擴建方案防波堤已達到相當深的水域，再加上此區海潮流強度不小，其對深水區的地形變動可能亦有相當的影響，建議長期監測的資料分析了解

- (五)關於岬頭與離岸堤的研究，已對流況與地形變動有相當的多的分析成果，建議根據此成果對目前傳統上應用的經驗公式進行檢討是否有區域性參數調整的必要。
- (六)不論是風力或是港區波浪預測的研究，類神經網路在這幾個部分關於預測的工作都有提到其應用，這是發展趨勢，投入相關資源進行此領域的研究有其發展性。相關的研究主要是提到基於歷史資料的時間序列預測為基礎做發展，建議可評估納入一些物理模型的預測資料作為預測因子的一部分進行模型建構。
- (七)目前港研中心對港域的波潮流等已建置相當完整的觀測模擬資料，對於風場的部分，相對模擬較少，然相關的研究與經驗顯示風對航安具相當的影響，建議評估建立港區微氣象模擬的可行性，以建構港區完整的海氣象模擬資料。

五、國立中央大學水文與海洋科學研究所錢樺教授

- (一)港研中心自辦研究成果豐碩，以下茲就本人較為熟悉業務項目提供個人意見。
- (二)關於台灣國際港口海氣象，包括風波潮流等監測是港研中心核心工作項目，自 1966 年以來已經累積諸多珍貴的潮位、波浪資料等等，港研中心現今不僅有多測站同步監測，也積極測試評估新一代的監測儀器，例如有雷達等建置與其效能評估研究，值得鼓勵。對於所有的國際港埠單位，長期的海氣象資料是極其重要珍貴的資產，如何維繫長期資料品質的一致性更是重中之重。港研中心在 1980 年代初期、1990 年與 2000 年因應國家建設需求，歷經數次較大的測站規劃與監測儀器與方式調整，隨者科技進步與國家發展需求變化，建議貴單位可以考慮針對目前監測方式進行通盤的檢討與未來規劃。
- (三)例如，氣候變遷引致的海平面上升、極端致災事件發生頻次增加與海岸變化、北方航道開通，及其伴隨的海洋綠能與淨零碳排議題，已經成為全球最嚴峻的挑戰，當然也對於航運安全及港埠規劃、運作與管理有極大的影響。面臨新的需求，如何妥善應用新的科技是港研中心可以多加著墨的地方
- (四)上述這部分包括了面臨現今挑戰是否存在知識與技術缺口？現有的

技術不論是監測技術、數值模擬技術、資料應用技術，他們的極限是什麼？是否足以應付未來的挑戰？未來的技術發展方面，除了已經談很多的人工智慧之外，是不是還有值得關注的項目亮點可以去研究釐清其發展趨勢與應用可行性。未來重視跨域的對話與整合，海洋 vs 大氣、工程實務 vs 科學研究、經濟發展 vs 保育、專家 vs 常民等等。因此建議貴中心，若有機會可以進行需求面與技術面有系統、分層次的盤點，也就是進行各港口海氣象監測方式的通盤檢討，作為未來較為長期的工作主軸。

- (五)其中潮位監測，建議未來要朝著海平面水位變動高程監測去發展，離岸的與海岸的資料都要有。
- (六)對於海岸變遷（岬頭效應）的研究非常重要，港研中心長期以來在突堤效應與離岸堤效應的研究成果也非常豐碩，建議貴中心將研究成果進一步轉譯為科普語言，並在找尋時機線上（網路）、線下揭露，並鼓勵參與多方對話，接受挑戰並再精進論述。貴中心作為政府在海岸變遷永續治理方面重要的科技幕僚，媒體能見度可以再活躍一點，承擔更多責任。

六、交通部運輸研究所港灣技術研究中心簡仲璟前科長(退休)

- (一)考量港研中心的年度預算及人員配置，111 年度所提各項自辦研究計畫，大致符合中心業務需求，預期成果也具實務之應用價值。
- (二)主要商港之海氣象觀測及特性分析雖依風、波、潮及流分 4 個計畫，但考量風與波浪之間及潮位與海流之間有其關聯性，故建議後續能有整合性的分析，例如依個別商港整理之海氣象長期統計分析專刊。
- (三)觀測資料品質需要一套完整流程之檢核程序，以確保分析結果之準確性。
- (四)海氣象資料的應用可分為兩分面辦理。
 - 1.船舶航行安全，例如：配合海氣象模式之預測結果，提供預警訊息。
 - 2.港灣設計規劃，例如：由潮汐資料如何決定設計水位。
- (五)有關離岸風場對航安之影響，建議配合航港局建置海事中心及離岸風場航道 VTS，提供相關海氣象環境資訊。
- (六)考量臺灣各商港建港以有一段時間，部分港灣設施老舊及近年來之氣候變遷（海水面上升、異常海氣象出現機率增加），建議針對港區之港灣結構物辦理風險評估。

(七)臺中港漂砂試驗之條件宜再詳細說明(例如波高、週期、試驗區域範圍)，此外律定試驗之方式如何？

(八)花蓮港內波浪預測初探，除類神經網路模式外，是否有考量其他模式？
109年至110年颱風波浪是否有足夠代表性，以提供類神經網路學習？

柒、結論：

感謝委員提供本所自行研究計畫之專業建議，請案關同仁將委員意見納為執行計畫重要參採依據，俾以達到成果實際應用目的，以及提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：上午 12 時

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H2CA001g 馬祖港域能見度探討之研究(2/2)-
能見度預測模式之概念驗證」自行研究案第 1 次工作會議

貳、時間：111 年 6 月 30 日(星期四) 上午 9 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室（視訊會議）

肆、主持人：李俊穎科長

紀錄：許義宏

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)進行 2021/7/1 至 2022/5/30 馬祖能見度觀測資料檢視。

(二)進行 2021 下半年及 2022 上半年低能見度之霧時統計。

(三)進行多元線性回歸模型分析。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)馬祖福澳港氣象站之能見度值上限調整及觀測結果比對。

(二)低能見度影響因子納入降雨量、空氣污染物之可行性。

(三)能見度預測模型將觀測數值進行分級預測及介接氣象局濃霧預報之可行性。

柒、結論：

一、考量能見度儀觀測精準度及觀測誤差，建議後續可將觀測數值參考 WMO 之分級進行分析。

二、低能見度影響因子建議納入降雨量及空氣污染物。

三、能見度預測模型 建議先朝短時預測辦理，並思考納入濃霧延時預測之可能性。

捌、散會：上午 10 時 50 分

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H2CA001g 馬祖港域能見度探討之研究(2/2)-
能見度預測模式之概念驗證」自行研究案第 2 次工作會議

貳、時間：111 年 8 月 31 日(星期三) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室（視訊會議）

肆、主持人：李俊穎科長 紀錄：許義宏

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)完成 2021/7/1 至 2022/6/30 馬祖能見度觀測資料品管分析。

(二)能見度觀測方法及儀器操作簡介。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)馬祖能見度觀測資料品管之綜合品管方法與可疑數據之篩選機制。

(二)儀器設定對能見度量測結果之影響。

柒、結論：

一、馬祖能見度觀測資料之鄰近站檢核方式，建議詳加說明其判定機制。

二、儀器設定(如上限值)對儀器量測誤差之影響，建議增加辦理相關測試及檢核。

捌、散會：上午 10 時

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H2CA001g 馬祖港域能見度探討之研究(2/2)-
能見度預測模式之概念驗證」自行研究案第3次工作會議

貳、時間：111年10月31日(星期一)下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：許義宏

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一)完成2021/7/1至2022/6/30馬祖能見度觀測資料品管分析。

(二)完成能見度觀測資料品管機制精進。

(三)完成馬祖港區低能見度個案初步探討。

(四)完成馬祖能見度LSTM預測模式初步探討。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一)能見度觀測資料品管機制精進方法之處理原則及結果討論。

(二)低能見度個案討論。

(三)馬祖能見度LSTM預測模式結果討論。

柒、結論：

一、資料品管機制之例外處理原則及方法，建議於期末報告中詳細說明。

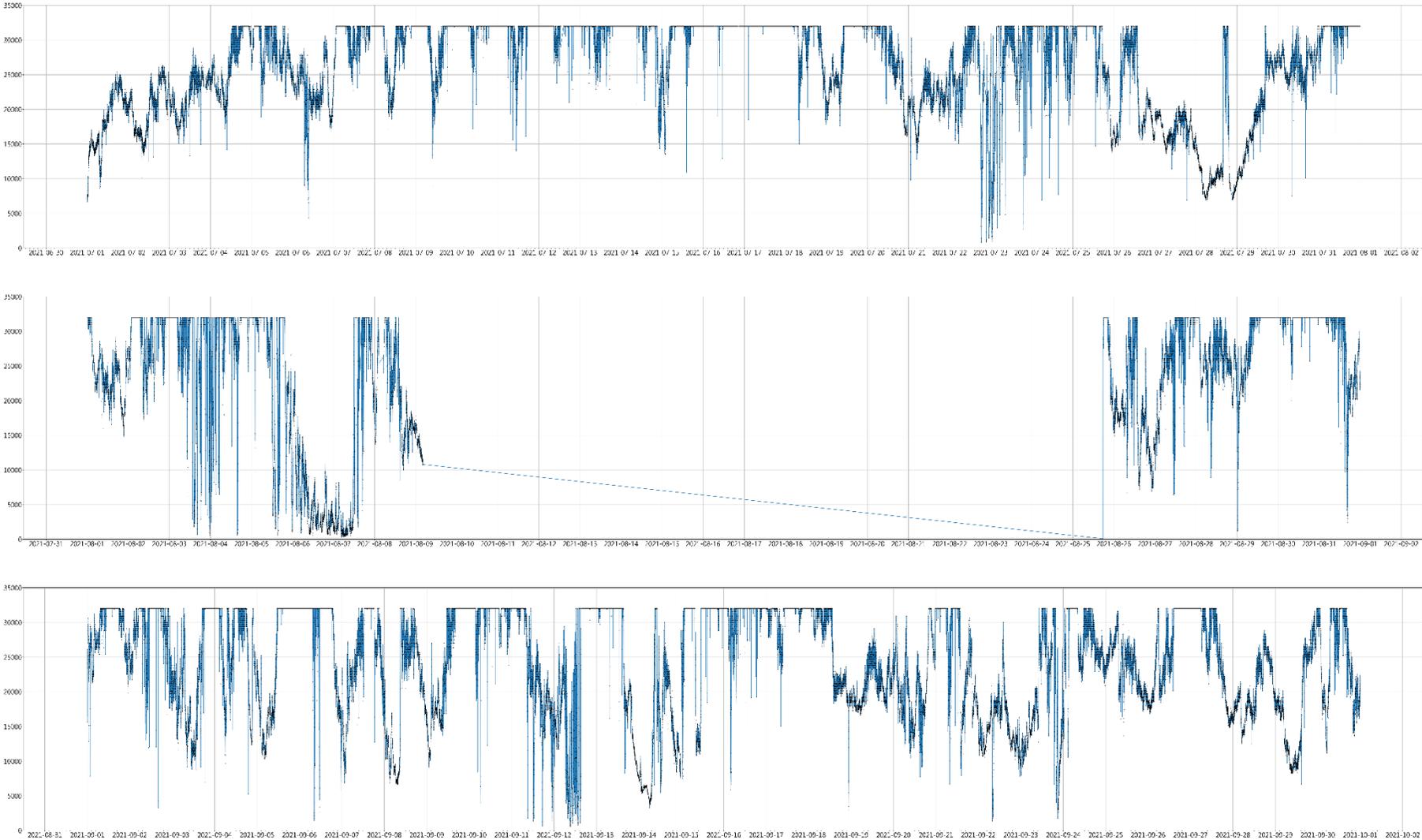
二、針對2021/8/6之低能見度個案，屬於非典型案例，建議後續可調閱中央氣象局相關氣象資料(如降雨情形)。

三、馬祖能見度LSTM預測模式，建議可進一步評估預測未來6小時之精確度。

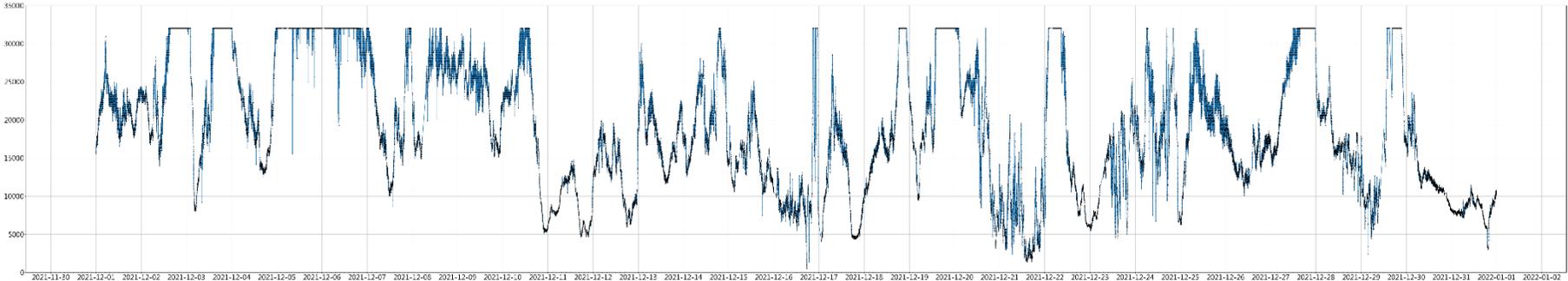
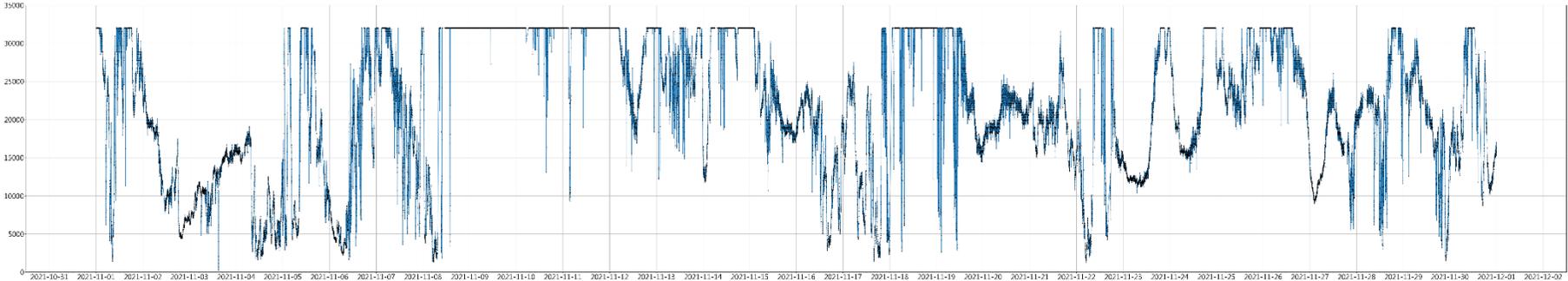
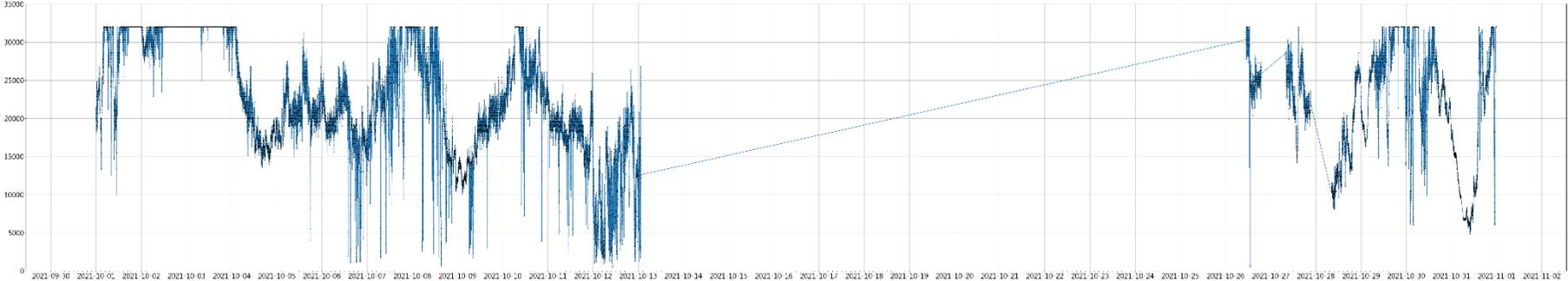
捌、散會：下午3時

附錄三
觀測資料歷線圖

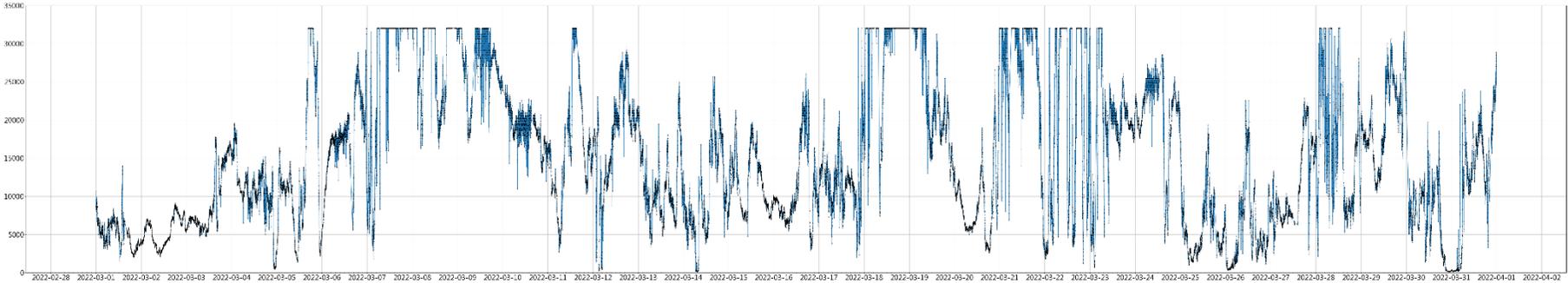
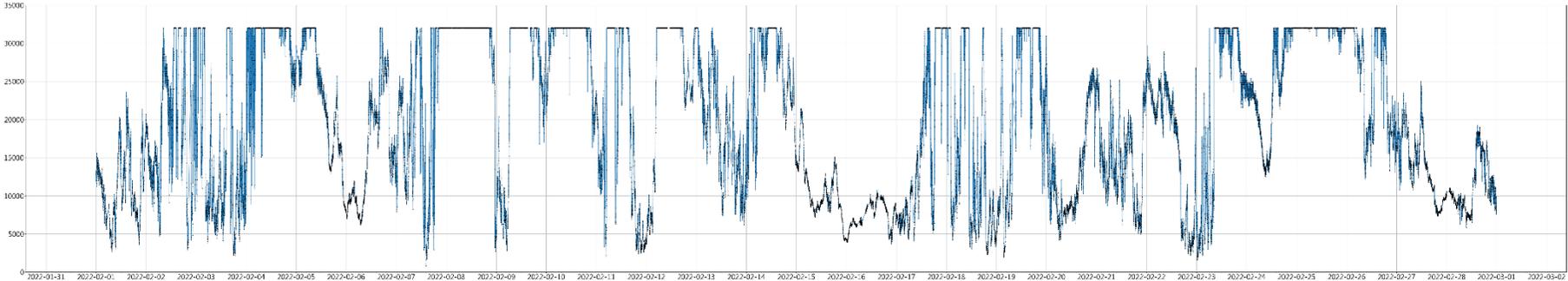
舊站 2021 年第 3 季能見度觀測歷線圖



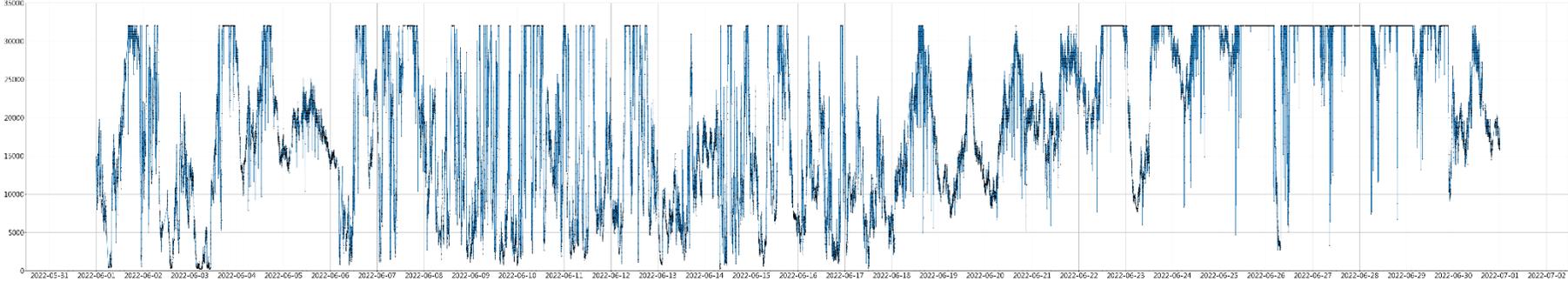
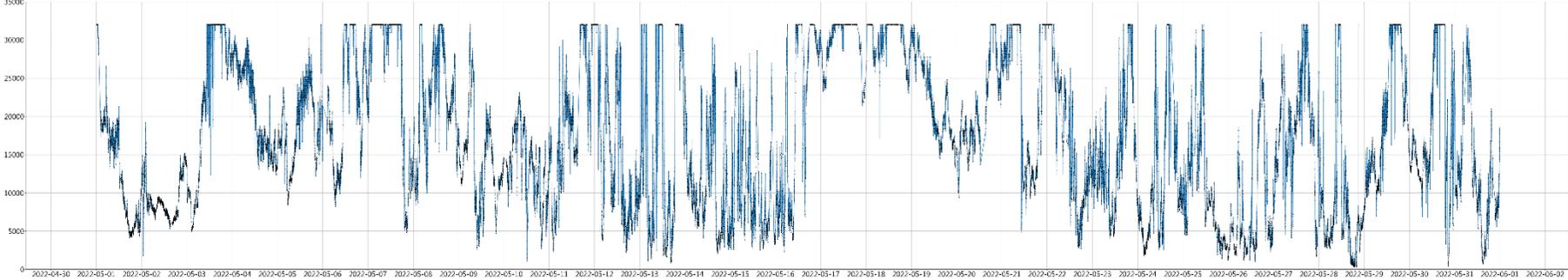
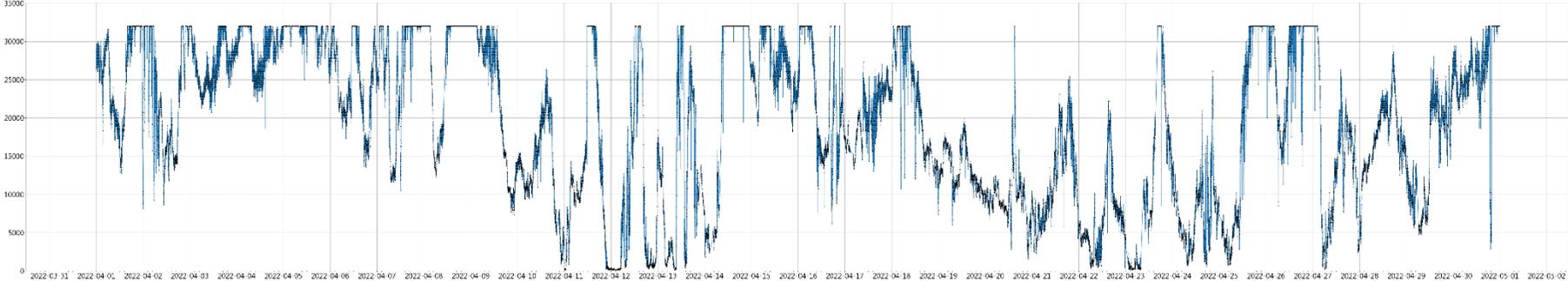
舊站 2021 年第 4 季能見度觀測歷線圖



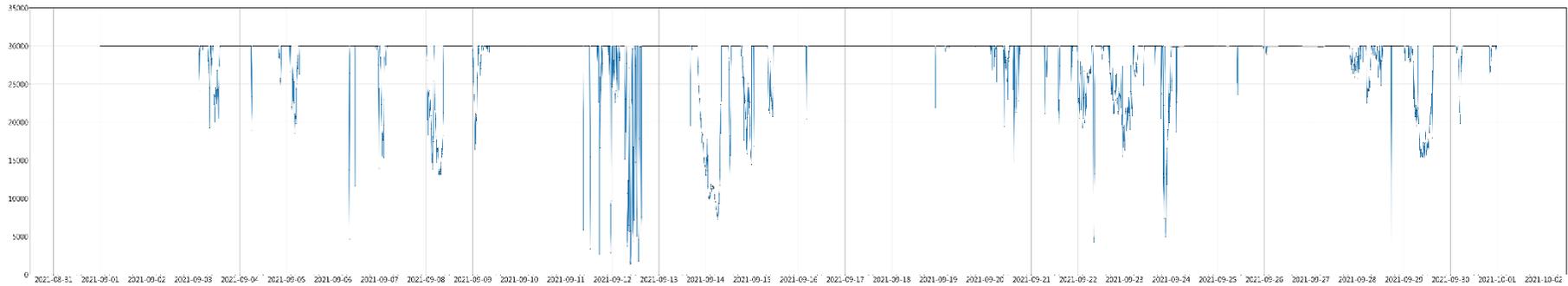
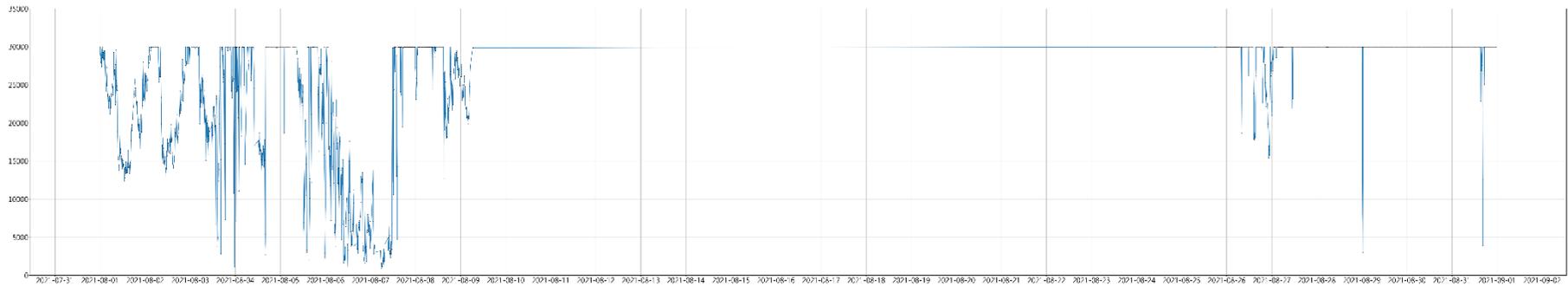
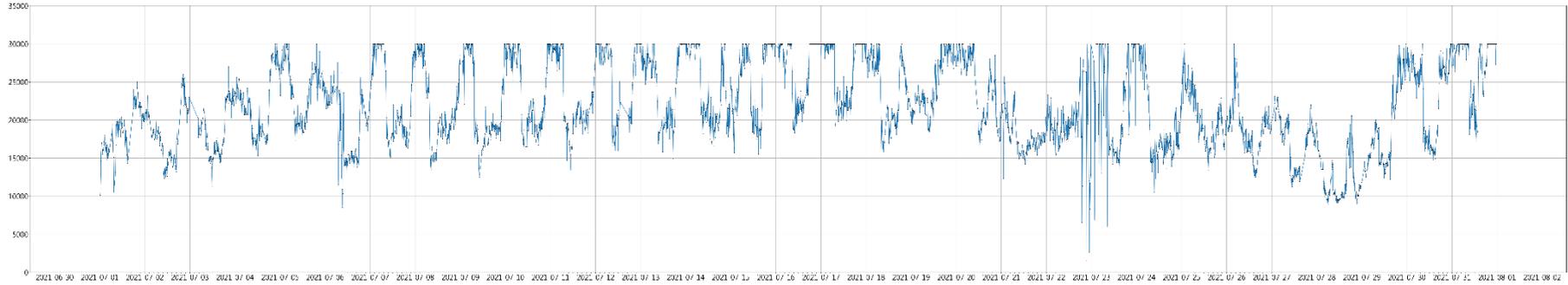
舊站 2022 年第 1 季能見度觀測歷線圖



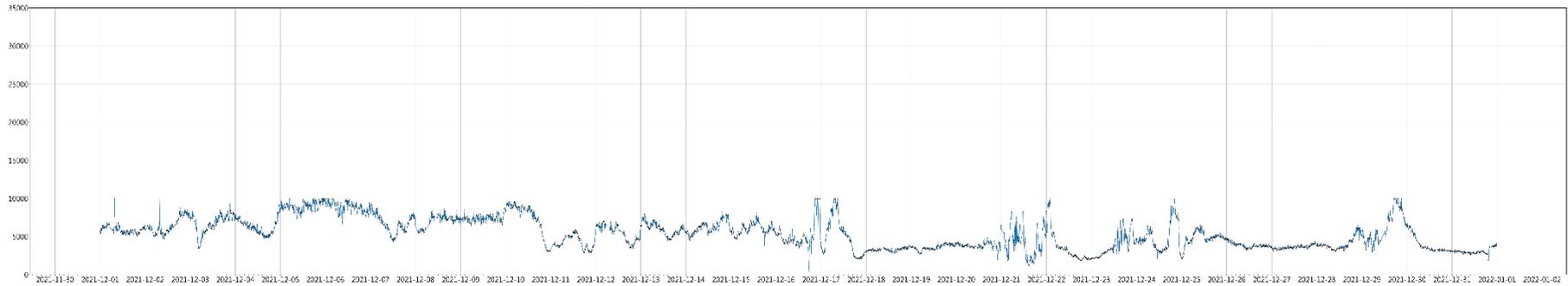
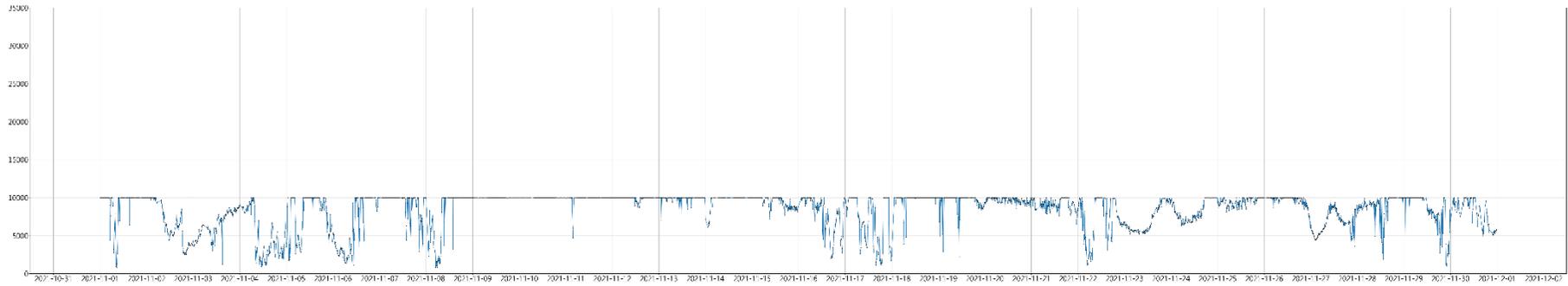
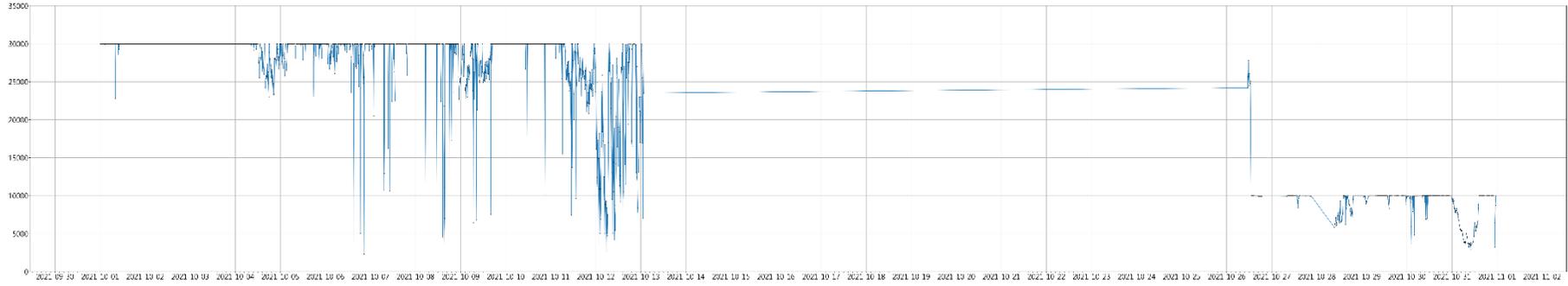
舊站 2022 年第 2 季能見度觀測歷線圖



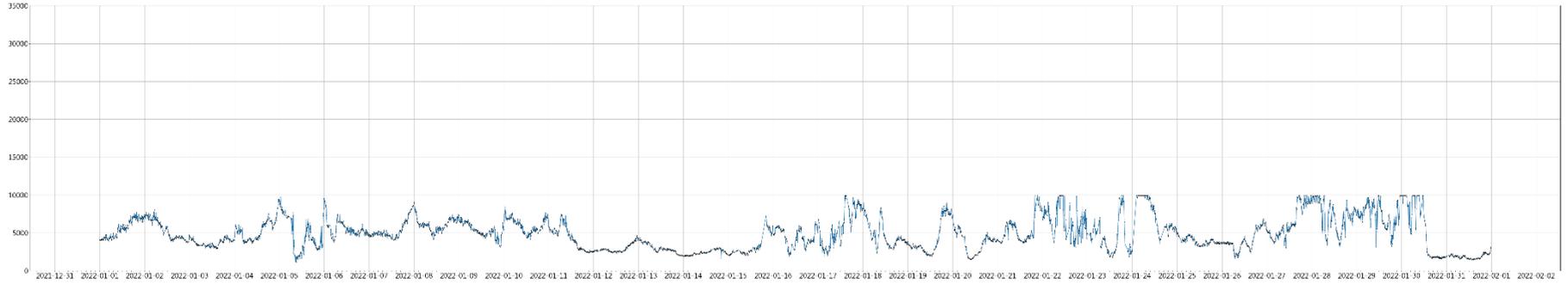
新站 2021 年第 3 季能見度觀測歷線圖



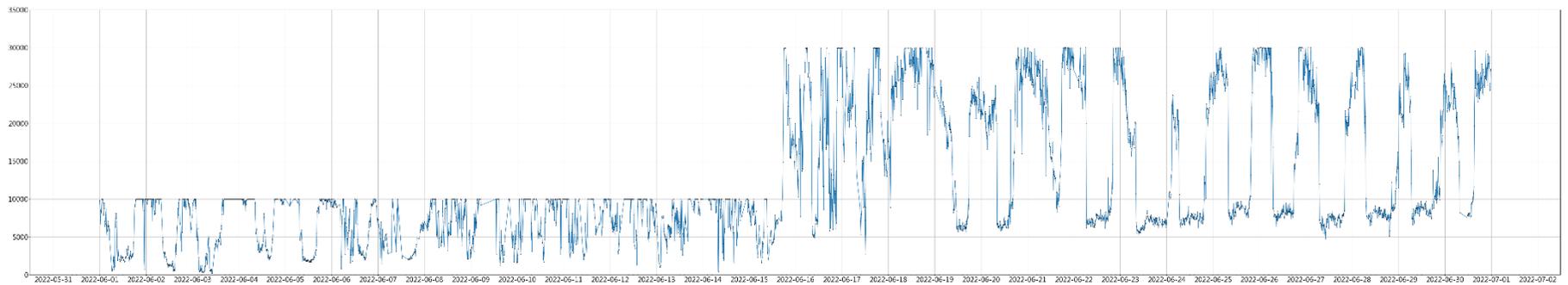
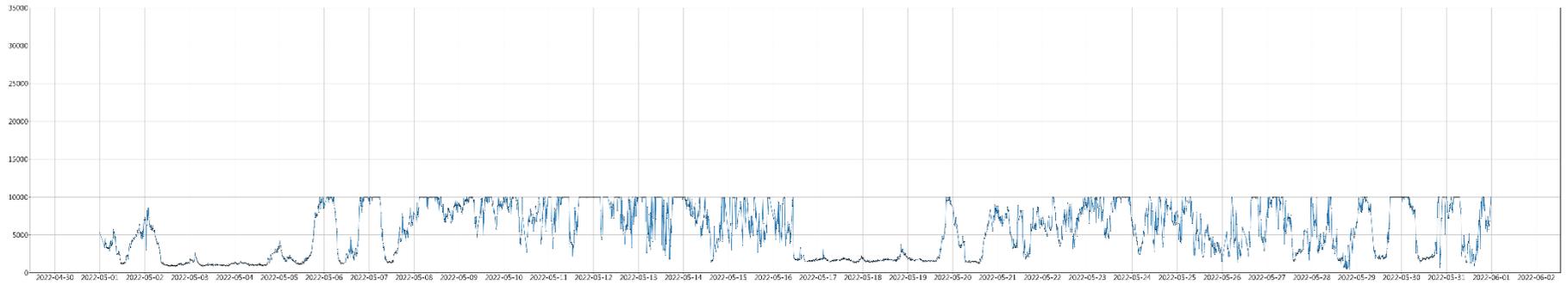
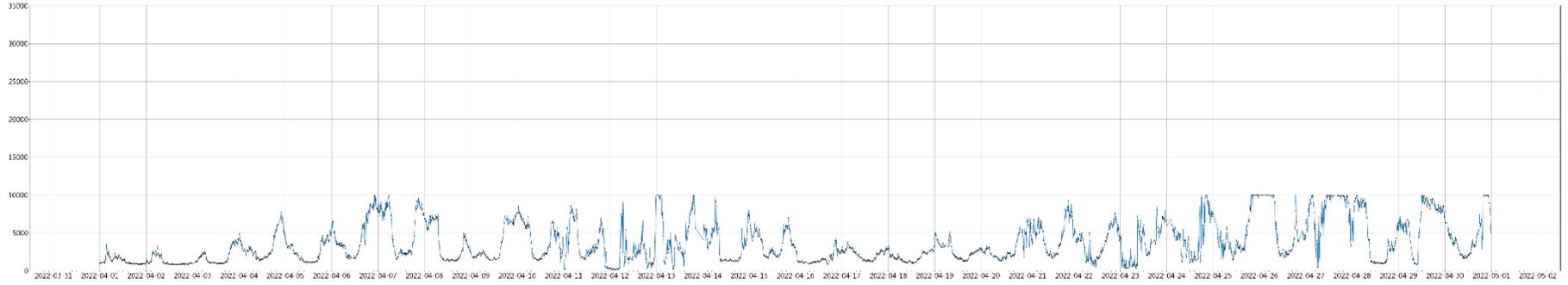
新站 2021 年第 4 季能見度觀測歷線圖



新站 2022 年第 1 季能見度觀測歷線圖



新站 2022 年第 2 季能見度觀測歷線圖



附錄四

開發程式碼

程式碼 1 : LSTM 模式 1

```
1. import pandas as pd
2. import numpy as np
3. import matplotlib.pyplot as plt
4. from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
5. import keras
6. from keras.models import Sequential
7. from keras.layers import Dense
8. from keras.layers import LSTM
9. from keras.layers import Dropout, BatchNormalization
10. from sklearn.metrics import r2_score # 擬合優度
11. from sklearn.metrics import mean_squared_error # 均方差
12.
13. #設定分析區間
14.
15. period1='2021-07-01 00:00:00' #分析開始時間
16. period2='2022-07-01 00:00:00' #分析結束時間
17.
18.
19. #讀入原始資料，並針對時間做標準化排序
20. df=pd.read_csv(r'D:\yihung\1-研究計畫\08-111 年自辦計畫-馬祖港域能見度探討之研究(2)\02-資料分析
    \處理後資料\輸入檔\VIS-18.csv',
21.                usecols=('Date_Time','Visibility_Value'))
22. df['Date_Time'] = pd.to_datetime(df['Date_Time'],format="%Y-%m-%d %H:%M:%S")
23. df=df.sort_values(['Date_Time'], ascending=True)
24. df_interval=df[df['Date_Time'].between(period1,period2)]
25.
26.
27. test = df_interval[df_interval.Date_Time>'2022-01-01']
28. train = df_interval[:-len(test)]
29.
30. train_set = train['Visibility_Value']
31. test_set = test['Visibility_Value']
32.
33.
34. sc = MinMaxScaler(feature_range = (0, 1))
35. train_set= train_set.values.reshape(-1,1)
36. training_set_scaled = sc.fit_transform(train_set)
37.
38. X_train = []
39. y_train = []
40. for i in range(10,len(train_set)):
41.     X_train.append(training_set_scaled[i-10:i-1, 0])
42.     y_train.append(training_set_scaled[i, 0])
43. X_train, y_train = np.array(X_train), np.array(y_train)
44. X_train = np.reshape(X_train,(X_train.shape[0], X_train.shape[1], 1))
45.
46.
47.
48. keras.backend.clear_session()
49. regressor = Sequential()
50. regressor.add(LSTM(units = 100, input_shape = (X_train.shape[1], 1)))
51. regressor.add(Dense(units = 1))
52. regressor.compile(optimizer = 'adam', loss = 'mean_squared_error')
53.
54. history = regressor.fit(X_train, y_train, epochs = 100, batch_size = 16)
```

```

55. plt.title('train_loss')
56. plt.ylabel('loss')
57. plt.xlabel('Epoch')
58. plt.plot( history.history["loss"])
59. plt.show()
60.
61. dataset_total = pd.concat((train['Visibility_Value'], test['Visibility_Value']), axis = 0)
62. inputs = dataset_total[(len(dataset_total) - len(test) - 10):].values
63. inputs = inputs.reshape(-1,1)
64. inputs = sc.transform(inputs)
65. X_test = []
66. for i in range(10, len(inputs)):
67.     X_test.append(inputs[i-10:i-1, 0])
68. X_test = np.array(X_test)
69. X_test = np.reshape(X_test, (X_test.shape[0], X_test.shape[1], 1))
70. predicted_stock_price = regressor.predict(X_test)
71. predicted_stock_price = sc.inverse_transform(predicted_stock_price)
72.
73. plt.plot(test['Visibility_Value'].values, color = 'black', label = 'Real Visibility')
74. plt.plot(predicted_stock_price, color = 'green', label = 'Predicted Visibility')
75. plt.title('Visibility')
76. plt.xlabel('Time')
77. plt.ylabel('Visibility')
78. plt.legend()
79. plt.show()
80.
81.
82. mse = mean_squared_error(test['Visibility_Value'].values, predicted_stock_price) # 均方誤差
83. r2 = r2_score(test['Visibility_Value'].values, predicted_stock_price) # 決定係數 (擬合優度) 接近 1
    越好
84. print("mse=" + str(round(mse, 2)))
85. print("r2=" + str(round(r2, 2)))

```

程式碼 2 : LSTM 模式 2

```
1. from numpy import array
2. from sklearn.metrics import r2_score # 擬合優度
3. from sklearn.metrics import mean_squared_error # 均方差
4. from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
5. import pandas as pd
6. import matplotlib.pyplot as plt
7. import tensorflow as tf # 隨機數生成器, 結果可重現
8. from keras.models import Sequential
9. from keras.layers import Dense
10. from keras.layers import LSTM # LSTM
11. from keras.layers import Bidirectional # 雙向
12. from scipy.ndimage import gaussian_filter1d # 數據調節
13. from scipy.signal import medfilt
14.
15. from numpy.random import seed
16. seed(1)
17.
18. tf.random.set_seed(1)
19. # Other essential libraries
20. # Make our plot a bit formal
21. font = {'family': 'Arial',
22.         'weight': 'normal',
23.         'size': 10}
24. plt.rc('font', **font)
25. #
26. # Set input number of timestamps and training days
27. #
28. n_timestamp = 5 # 時間戳
29. train_days = 500 # number of days to train from 開始的天數
30. testing_days = 50000 # number of days to be predicted 可以預測的天數
31. n_epochs = 20 # 訓練輪數
32. filter_on = 1 # 激活數據過濾器
33.
34.
35. # Select model type 選擇型號類型
36. # 1: Single cell 單格
37. # 2: Stacked 堆疊
38. # 3: Bidirectional 雙向
39. #
40. model_type = 2
41. #設定分析區間
42. period1='2021-07-01 00:00:00' #分析開始時間
43. period2='2022-07-01 00:00:00' #分析結束時間
44. #讀入原始資料, 並針對時間做標準化排序
45. df=pd.read_csv(r'D:\yihung\1-研究計畫\08-111 年自辦計畫-馬祖港域能見度探討之研究(2)\02-資料分析\處理後資料\輸入檔\VIS-18.csv',
46.               usecols=('Date_Time','Visibility_Value'))
47. df['Date_Time'] = pd.to_datetime(df['Date_Time'],format="%Y-%m-%d %H:%M:%S")
```

```

48. df=df.sort_values(['Date_Time'], ascending=True)
49. dataset=df[df['Date_Time'].between(period1,period2)]
50.
51. if filter_on == 1: # 數據集過濾
52.     dataset['Visibility_Value'] = medfilt(dataset['Visibility_Value'], 3) # 中值過濾
53.     dataset['Visibility_Value'] = gaussian_filter1d(
54.         dataset['Visibility_Value'], 1.2) # 高斯過濾
55. #
56. # Set number of training and testing data 設置訓練和測試數據集
57. train_set = dataset[0:train_days].reset_index(drop=True)
58. test_set = dataset[train_days: train_days+testing_days].reset_index(drop=True)
59. training_set = train_set.iloc[:, 1:2].values
60. testing_set = test_set.iloc[:, 1:2].values
61. # Normalize data first
62. sc = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1)) # 將數據標準化, 範圍是 0 到 1
63. training_set_scaled = sc.fit_transform(training_set)
64. testing_set_scaled = sc.fit_transform(testing_set)
65.
66. # Split data into n_timestamp
67. def data_split(sequence, n_timestamp):
68.     X = []
69.     y = []
70.     for i in range(len(sequence)):
71.         end_ix = i + n_timestamp
72.         if end_ix > len(sequence)-1:
73.             break
74.         # i to end_ix as input
75.         # end_ix as target output
76.         seq_x, seq_y = sequence[i:end_ix], sequence[end_ix]
77.         X.append(seq_x)
78.         y.append(seq_y)
79.     return array(X), array(y)
80.
81.
82. X_train, y_train = data_split(training_set_scaled, n_timestamp)
83. X_train = X_train.reshape(X_train.shape[0], X_train.shape[1], 1)
84. X_test, y_test = data_split(testing_set_scaled, n_timestamp)
85. X_test = X_test.reshape(X_test.shape[0], X_test.shape[1], 1)
86.
87.
88. # 使用 Keras 建構 LSTM 模型
89. if model_type == 1:
90.     # Single cell LSTM
91.     model = Sequential()
92.     model.add(LSTM(units=50, activation='relu',
93.                   input_shape=(X_train.shape[1], 1)))
94.     model.add(Dense(units=1))
95. if model_type == 2:
96.     # Stacked LSTM
97.     model = Sequential()
98.     model.add(LSTM(50, activation='relu', return_sequences=True,
99.                   input_shape=(X_train.shape[1], 1)))

```

```

100.     model.add(LSTM(50, activation='relu'))
101.     model.add(Dense(1))
102. if model_type == 3:
103.     # Bidirectional LSTM
104.     model = Sequential()
105.     model.add(Bidirectional(LSTM(50, activation='relu'),
106.                             input_shape=(X_train.shape[1], 1)))
107.     model.add(Dense(1))
108. #
109. # Start training 模型訓練, batch_size 越大越精準, 訓練消耗越大
110. #
111. model.compile(optimizer='adam', loss='mean_squared_error')
112. history = model.fit(X_train, y_train, epochs=n_epochs, batch_size=32)
113. loss = history.history['loss']
114. epochs = range(len(loss))
115. # Get predicted data 測試集預測
116. y_predicted = model.predict(X_test)
117. # 'De-normalize' the data 正規化將數據還原
118. y_predicted_descaled = sc.inverse_transform(y_predicted)
119. y_train_descaled = sc.inverse_transform(y_train)
120. y_test_descaled = sc.inverse_transform(y_test)
121. y_pred = y_predicted.ravel()
122. y_pred = [round(yx, 2) for yx in y_pred]
123. y_tested = y_test.ravel()
124.
125. # Show results 顯示預測結果, 包括原始數據、n 個預測天數和前 75 天
126. plt.figure(figsize=(8, 7))
127.
128. plt.subplot(3, 1, 1)
129. plt.plot(dataset['Visibility_Value'], color='black',
130.          linewidth=1, label='True value')
131. plt.ylabel("Visibility_Value")
132. plt.xlabel("Time")
133. plt.title("All data")
134. plt.subplot(3, 2, 3)
135. plt.plot(y_test_descaled, color='black', linewidth=1, label='True value')
136. plt.plot(y_predicted_descaled, color='red', linewidth=1, label='Predicted')
137. plt.legend(frameon=False)
138. plt.ylabel("Visibility_Value")
139. plt.xlabel("Time")
140. plt.title("Predicted data (n minutes)")
141.
142. plt.subplot(3, 2, 4)
143. plt.plot(y_test_descaled[0:500], color='black', linewidth=1, label='True value')
144. plt.plot(y_predicted_descaled[0:500], color='red', label='Predicted')
145. plt.legend(frameon=False)
146. plt.ylabel("Visibility_Value")
147. plt.xlabel("Time")
148. plt.title("Predicted data (first 500 minutes)")
149. plt.subplot(3, 3, 7)
150. plt.plot(epochs, loss, color='black')

```

```
151. plt.ylabel("Loss (MSE)")
152. plt.xlabel("Epoch")
153. plt.title("Training curve")
154. plt.subplot(3, 3, 8)
155. plt.plot(y_test_descaled-y_predicted_descaled, color='black')
156. plt.ylabel("Residual")
157. plt.xlabel("Time")
158. plt.title("Residual plot")
159. plt.subplot(3, 3, 9)
160. plt.scatter(y_predicted_descaled, y_test_descaled, s=2, color='black')
161. plt.ylabel("Y true")
162. plt.xlabel("Y predicted")
163. plt.title("Scatter plot")
164.
165. plt.subplots_adjust(hspace=0.5, wspace=0.3)
166. plt.show()
167. mse = mean_squared_error(y_test_descaled, y_predicted_descaled) # 均方誤差
168. r2 = r2_score(y_test_descaled, y_predicted_descaled) # 決定係數 (擬合優度) 接近 1 越好
169. print("mse=" + str(round(mse, 2)))
170. print("r2=" + str(round(r2, 2)))
```

程式碼 3 : LSTM 模式 3

```
1. import numpy as np
2. import matplotlib.pyplot as plt
3. import pandas as pd
4. from pandas import read_csv
5. import time
6. import math
7. import tensorflow as tf
8. from keras.layers.core import Dense, Activation, Dropout
9. from keras.models import Sequential
10. from keras.layers import Dense
11. from keras.layers import LSTM
12. from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
13. from sklearn.metrics import mean_squared_error
14. from sklearn.metrics import r2_score
15.
16. #設定分析區間
17. period1='2021-07-01 00:00:00' #分析開始時間
18. period2='2022-07-01 00:00:00' #分析結束時間
19. #讀入原始資料，並針對時間做標準化排序
20. df=pd.read_csv(r'D:\yihung\1-研究計畫\08-111 年自辦計畫-馬祖港域能見度探討之研究(2)\02-資料分析
    \處理後資料\輸入檔\VIS-18.csv',
21.               usecols=('Date_Time','Visibility_Value'))
22. df['Date_Time'] = pd.to_datetime(df['Date_Time'],format="%Y-%m-%d %H:%M:%S")
23. df=df.sort_values(['Date_Time'], ascending=True)
24. df_interval=df[df['Date_Time'].between(period1,period2)]
25.
26. #設定訓練常數
27. # 訓練樣本數比例
28. SPLIT_RATIO = 0.5
29. # 感知器記憶長度
30. LOOK_BACK = 240
31.
32. #設定排序隨機碼，之後能夠重現訓練過程
33. np.random.seed(5)
34.
35. labels = df_interval['Visibility_Value'].values
36. dataset = labels.reshape(-1, 1)
37. print(f'資料集 {dataset[:10]} 長度 {len(dataset)}')
38.
39. #標準化資料
40. Scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
41. dataset = Scaler.fit_transform(dataset)
42. split_size = int(len(dataset) * SPLIT_RATIO)
43. test_size = len(dataset) - split_size
44.
45. train_dataset = dataset[0:split_size, :]
46. test_dataset = dataset[split_size:len(dataset), :]
47.
48. print(f'訓練資料集 {train_dataset[:10]} 長度 {len(train_dataset)}')
49. print(f'測試資料集 {test_dataset[:10]} 長度 {len(test_dataset)}')
50.
```

```

51. #拆分 訓練資料、測試資料
52. def buildDataset(dataset, look_back=1):
53.     dataX, dataY = [], []
54.     for i in range(len(dataset) - look_back - 1):
55.         a = dataset[(i + look_back), 0]
56.         dataX.append(a)
57.         dataY.append(dataset[i + look_back, 0])
58.     return np.array(dataX), np.array(dataY)
59.
60. train_x, train_y = buildDataset(train_dataset, LOOK_BACK)
61. test_x, test_y = buildDataset(test_dataset, LOOK_BACK)
62.
63. #重塑訓練資料
64. train_x = np.reshape(train_x, (train_x.shape[0], 1, train_x.shape[1]))
65. test_x = np.reshape(test_x, (test_x.shape[0], 1, test_x.shape[1]))
66.
67. #建立 LSTM 模型
68. #使用 adam 優化器、單層 50 個神經元、隨機排除 10% 權重
69. Model = Sequential()
70. Model.add(LSTM(50, input_shape=(1, LOOK_BACK)))
71. Model.add(Dropout(0.1))
72. Model.add(Dense(1))
73. Model.compile(loss='mse', optimizer='adam')
74. # 調整訓練次數可以提升準度，也可以觀察到過擬合的問題
75. Model.fit(train_x, train_y, epochs=100, batch_size=16, verbose=0)
76.
77. #預測資料
78. train_predict = Model.predict(train_x)
79. test_predict = Model.predict(test_x)
80.
81. #反轉預測結果，方便結果比對
82. train_predict = Scaler.inverse_transform(train_predict)
83. train_y = Scaler.inverse_transform([train_y])
84. test_predict = Scaler.inverse_transform(test_predict)
85. test_y = Scaler.inverse_transform([test_y])
86.
87. #計算預測誤差 Root Mean Squared Error
88. train_score = math.sqrt(mean_squared_error(train_y[0], train_predict[:,0]))
89. print(f'訓練誤差分數(RMSE): {np.round(train_score, 3)}')
90. test_score = math.sqrt(mean_squared_error(test_y[0], test_predict[:,0]))
91. print(f'測試誤差分數(RMSE): {np.round(test_score, 3)}')
92.
93. r2 = r2_score(test_y.reshape(-1),test_predict) # 決定係數 (擬合優度) 接近 1 越好
94. print("r2=" + str(round(r2, 2)))
95.
96. #整理繪圖資料
97. train_predict_plot = np.empty_like(dataset)
98. train_predict_plot[:, :] = np.nan
99. train_predict_plot[LOOK_BACK:len(train_predict) + LOOK_BACK, :] = train_predict
100.
101. test_predict_plot = np.empty_like(dataset)
102. test_predict_plot[:, :] = np.nan
103. test_predict_plot[len(train_predict) + (LOOK_BACK * 2) + 1:len(dataset)-1, :] = test_predict
104.

```

```
105. plt.figure(figsize=(20, 7))
106. plt.plot(Scaler.inverse_transform(dataset))
107.
108. plt.plot(train_predict_plot)
109. plt.plot(test_predict_plot)
110. plt.show()
```

程式碼 4：新修正 TEST6 品管方法

```
1. import numpy as np
2. from matplotlib import pyplot as plt
3. from matplotlib import cm, colors
4. from matplotlib.pyplot import figure, show, rc
5. import pandas as pd
6. from plotnine import *
7. import seaborn as sns
8. %matplotlib inline
9.
10. period1='2021-07-01 00:00:00' #分析開始時間
11. period2='2022-07-31 00:00:00' #分析結束時間
12.
13. #讀入原始資料，並針對時間做標準化排序
14.
15. df=pd.read_csv(r'D:\yihung\1-研究計畫\08-111 年自辦計畫-馬祖港域能見度探討之研究(2)\02-資料分析\處理後資料\輸入檔\VIS-18.csv',
16.               usecols=('Date_Time', 'Visibility_Value'))
17. df['Date_Time'] = pd.to_datetime(df['Date_Time'], format="%Y-%m-%d %H:%M:%S")
18. df=df.sort_values(['Date_Time'], ascending=True)
19.
20. df_interval=df[df["Date_Time"].between(period1, period2) ]
21.
22.
23. #按 WMO 之能見度級距進行分類
24. VIS_labels_1 = ['code_0', 'code_1', 'code_2', 'code_3', 'code_4', 'code_5', 'code_6', 'code_7', 'code_8',
25.                'code_9']
26. category_1 = [0., 50., 200., 500., 1000., 2000., 4000., 10000., 20000., 50000., 750000]
27. df_interval['Visibility_Value_labels'] = pd.cut(df_interval['Visibility_Value'], labels=VIS_labels_1, bins=category_1)
28.
29. #test_6 分類方法
30. def test_6(T, a, b, x, y, m, n):
31.     if T <= 1800: #低於時間差的門檻才進行判定，預設值為 30 分鐘
32.         if b == y:
33.             return 'True'
```

```
34.         if a >= 9999:
35.             if abs(a-x) > 25000:
36.                 if b == n:
37.                     return 'marker'
38.             else:
39.                 if abs(a-m) > 25000:
40.                     return 'False'
41.             else:
42.                 return 'marker'
43.         elif abs(a-x) > 15000 and abs(a-x) <= 25000:
44.             return 'marker'
45.         else:
46.             return 'True'
47.     elif a < 9999 and a >= 4000:
48.         if abs(a-x) > 4000:
49.             if b == n:
50.                 return 'marker'
51.             else:
52.                 if abs(a-m) > 4000:
53.                     return 'False'
54.                 else:
55.                     return 'marker'
56.         elif abs(a-x) <= 4000 and abs(a-x) > 1000:
57.             return 'marker'
58.         else:
59.             return 'True'
60.     elif a < 4000:
61.         if abs(a-x) > 2000:
62.             if b == n:
63.                 return 'marker'
64.             else:
65.                 if abs(a-m) > 2000:
66.                     return 'False'
67.                 else:
68.                     return 'marker'
```

```

69.         elif abs(a-x)<=2000 and abs(a-x)>1000:
70.             return 'marker'
71.         else:
72.             return 'True'
73.     else:
74.         return 'Not evaluate'
75. else:
76.     return 'Not evaluate'
77.
78. df_interval['Time_interval'] = df_interval['Date_Time'].diff().astype('timedelta64[s]') #計算與前一筆資料
    時間差(S)
79. df_interval['Visibility_Value_shift']=df_interval['Visibility_Value'].shift(1) #取得前一筆資料的能
    見度值
80. df_interval['Visibility_Value_labels_shift']=df_interval['Visibility_Value_labels'].shift(1) #取得前一筆資料的
    能見度級距
81. df_interval['Visibility_Value_next']=df_interval['Visibility_Value'].shift(-1) #取得下一筆資料的能
    見度值
82. df_interval['Visibility_Value_labels_next']=df_interval['Visibility_Value_labels'].shift(-1) #取得下一筆資料的
    能見度級距
83. #進行資料檢查
84. df_interval['Test_6']=df_interval.apply(lambda x: test_6(x['Time_interval'],x['Visibility_Value'],x['Visibility
    _Value_labels'],
85.                                     x['Visibility_Value_shift'],x['Visibility_Value_l
86.                                     abels_next'] ) ,axis=1)
87. grouped1 = df_interval.groupby(['Test_6']).count()
88. print(grouped1)

```

程式碼 5：新修正 TEST8 及 TSET10 品管方法

```
1. import pandas as pd
2. import numpy as np
3. from plotnine import *
4. from pandas.api.types import CategoricalDtype
5. from matplotlib.pyplot import figure, show, rc
6. import matplotlib.pyplot as plt
7. from matplotlib import cm, colors
8. from mpl_toolkits.axes_grid1 import make_axes_locatable
9. import matplotlib.dates as mdates
10. from datetime import datetime
11. #設定分析區間
12. period1='2021-07-01' #分析開始時間
13. period2='2022-07-01' #分析結束時間
14. #讀入原始資料，並針對時間做標準化排序
15. df=pd.read_csv(r'D:\yihung\1-研究計畫\08-111 年自辦計畫-馬祖港域能見度探討之研究(2)\02-資料分析
    \處理後資料\輸入檔\VIS-18.csv',
16.                usecols=('Date_Time','Visibility_Value'))
17. df['Date_Time'] = pd.to_datetime(df['Date_Time'],format="%Y-%m-%d %H:%M:%S")
18. df=df.sort_values(['Date_Time'], ascending=True)
19.
20. df_interval=df[df['Date_Time'].between(period1,period2)]
21.
22. Rolling_Time_5='5Min' #設定移動平均之時間窗格
23. Rolling_Time_720='720Min' #設定移動平均之時間窗格
24.
25. df_interval.index = pd.to_datetime(df_interval['Date_Time'],format="%Y-%m-%d %H:%M:%S") #
    建立時間序列
26.
27. #計算長時距(5 分鐘)移動平均及標準差
28. df_interval['Visibility_Value_MA_5']=df_interval['Visibility_Value'].rolling(Rolling_Time_5,min_periods
    =3,closed='right').mean()
29. df_interval['Visibility_Value_std_5']=df_interval['Visibility_Value'].rolling(Rolling_Time_5,min_periods
    =3,closed='right').std()
30.
31. #計算長時距(12hour)移動平均及標準差
32. df_interval['Visibility_Value_MA_720']=df_interval['Visibility_Value'].rolling(Rolling_Time_720,min_pe
    riods=3,closed='right').mean()
33. df_interval['Visibility_Value_std_720']=df_interval['Visibility_Value'].rolling(Rolling_Time_720,min_pe
    riods=3,closed='right').std()
34.
35. def check_TEST10(x,std_5,ma_5,std_720,ma_720):
36.     Fail_thd=1
37.     Warn_thd=10
38.     if std_5==0 and x==ma_5:
39.         if std_720<= Fail_thd:
40.             if x==32000:
41.                 if x==ma_720:
42.                     return 'marker'
43.                 else:
44.                     return 'True'
```

```

45.         else:
46.             if x==ma_720:
47.                 return 'False'
48.             else:
49.                 return 'True'
50.         elif std_720 > Fail_thd and std_720 <= Warn_thd:
51.             if x==32000:
52.                 return 'marker'
53.             else:
54.                 return 'True'
55.         else:
56.             return 'True'
57.     else:
58.         if ma_5 != ma_5 and ma_720 != ma_720:
59.             return 'Not evaluate'
60.         else:
61.             return 'True'
62.
63. df_interval['Test10']=df_interval.apply(lambda x: check_TEST10(x['Visibility_Value'],x['Visibility_Valu
64. e_std_5'],x['Visibility_Value_MA_5'],x['Visibility_Value_std_720'],x['Visibility_Value_MA_720']) ,axis=
65. 1)
66. df_interval_False=df_interval[df_interval['Test10']=='False']
67. df_interval_marker=df_interval[df_interval['Test10']=='marker']
68. grouped1 = df_interval.groupby(['Test10']).count()
69. print('資料數: ', df_interval.shape[0])
70. print('錯誤數: ',df_interval_False.shape[0])
71. print('可疑數: ',df_interval_marker.shape[0])
72. print(grouped1)

```

附錄五

期末審查意見及辦理情形說明表

交通部運輸研究所自辦研究計畫 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：馬祖港域能見度探討之研究(2/2)- 能見度預測模式之概念驗證

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明
(一) 國家海洋研究院翁健二主任秘書	
1. LSTM 之參數設定、模型使用之資料量及訓練資料切割，宜詳述。	本計畫用來分析之資料量約為 45 萬筆資料。其切割及訓練方式會影響不同模型之實際數據量。本計畫已補充相關論述於 P4-14。
2. 模型 1 相較於模型 3，大致來說僅在每批次資料量大小之差異，建議未來可再探討調整相關設定。	相關建議將納入下一期研究計畫規劃參考。
3. 建議未來可再尋找或測試其他預測模型，提高精確度。	相關建議將納入下一期研究計畫規劃參考。
(二) 弘光科技大學溫志中副教授	
1. 馬祖港域能見度目標圖能否增列。	馬祖港域係採用能見度儀氣進行自動觀測，並無納入 WMO 建議之人工觀測方法，爰暫無使用能見度目標圖。
2. 馬祖港域與馬祖氣象站相關微氣候差異是否顯著?可深入探討。	馬祖港域與馬祖氣象站海拔高差約 90 公尺，以濃霧觀測來看，馬祖氣象站之濃霧發生時間較早，具有時間領先指標，可做為馬祖港域能見度預測之參考。另針對微氣候研究之建議將納入下一期研究計畫規劃參考。
3. 海域能見度建議可區分海陸風之影響。	相關建議將納入下一期研究計畫規劃參考。
4. 散射光之能見度儀，建議可利用多次取樣平均來修正凸波值。	相關建議將納入下一期研究計畫規劃參考。
(三) 臺中港務分公司羅勝方總工程司	
1. 能見度品管機制及品管方法完整。	感謝委員肯定。
2. 能見度儀器量測的數值透過品管精進篩選後，已可達相當的準確性，可做為港口實務的管理上使用。	感謝委員肯定。
3. LSTM 預測模型之準確度對於未來 30 分鐘的預測可達 83% 以上，建議未來能進一步進行 1 小時以上的預測，才能對港口營運管理有所助益。	感謝委員肯定。相關建議將納入下一期研究計畫規劃參考。
(四) 本所港灣技術研究中心賴瑞應科長	

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明
1. 文獻回顧針對霧的種類、特性、能見度觀測、分析方法及資料品管等進行蒐集並說明，資料蒐集完整。	感謝委員肯定。
2. 本計畫針對馬祖南竿福澳碼頭之 2 年能見度資料進行品管機制的建立，並探討相關精進措施，研究成果予以肯定。	感謝委員肯定。
3. 本計畫初步建立馬祖南竿福澳碼頭之能見度預測模型，研究成果予以肯定。	感謝委員肯定。
4. 建議後續可再持續進行資料品管及能見度預測模型的精進研究。	相關建議將納入下一期研究計畫規劃參考。
5. 報告 3-20 頁相關高門檻值及低門檻值之說明建議再加強。	已補充在附錄 4。
6. 報告 4-1 頁為何 2021 年 8 月及 10 月之觀測時數較低，建議補充說明。	該區間因儀器異常，爰觀測時數較低。
7. 報告 4-9 頁濃霧事件，建議補充風速風向的資料。	已補充風速風向的資料於 P4-9。
8. 報告 4-13 頁建議補充說明訓練資料及驗證資料的數量。	本計畫用來分析之資料量約為 45 萬筆資料。其切割及訓練方式會影響不同模型之實際數據量。本計畫已補充相關論述於 P4-14。
9. 報告 4-14 頁預測下 1 分鐘之準確度均高達 98%，似乎有誤，請確認。	感謝指正。已修正 P4-14。
(五) 本所港灣技術研究中心李俊穎科長	
1. 建議彙整 3.3 節內最後品管方式及各閾值製表說明。	已補充在附錄 4。
2. 建議增加附錄將測站觀測值繪製歷線圖表，以掌握整體及長期趨勢。	已補充在附錄 3。
3. 建議補述 4.2 節之表內重要特性說明。	重要特性說明，已於第 4.3 節簡述。
4. 建議補述 4.42 節內有關 3 種模式選擇緣由及訓練範疇。	長短期記憶模型 (LSTM) 是一種時間循環神經網路 (RNN)，由於獨特的設計結構，可以用來解決長序列訓練過程中梯度消失和梯度爆炸問題，因此，LSTM 適合處理和預測時間序列之問題。其 3 種模式主要在於資料切割、神經元及訓練週期等參數設定之差異。
5. 建議補述 4.4 節內指標說明，如性能評估係數及準確度等。	本計畫主要使用計算均方根誤差 (RMSE) 和決定係數 (R^2) 以進行性能評估。

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明
(六) 本所港灣技術研究中心林雅雯科長	
1. 建議後續瞭解第2-14頁國家災害防救科技中心能見度反演經驗公式之準確度。	國家災害防救科技中心能見度預測係採用由NOAA_FSL發展的經驗公式，進行能見度計算，其主要採用溫度與露點溫度差及相對濕度進行反演預測。
2. 馬祖能見度是否有警戒門檻值之訂定？	馬祖能見度警戒值係採用港務處辦公室為定點，無法目視現有負7米深水碼頭前端堤頭燈桿輪廓時(兩地相距約300米)，做為封港標準。

