

淺談落山風對砲兵演訓影響

作者：顏嘉彰

提要

- 一、恆春半島地區每年 10 月至翌年 3、4 月間，常有狂風吹襲，持續時間 2 小時至 3 小時，亦曾發生持續長達 10 天至 15 天。地面風速最大風速都可超過 20 - 35m/s，由於是風從東面越山向西而來，就像是風由山頂傾倒而下，俗稱「落山風」。
- 二、筆者藉由蒐集各學者專家氣象資料文獻及各項氣象系統參考表等相關資料，來探討恆春半島地區落山風對演訓射擊的影響，找出相關限制影響的氣象因素，以利各項任務遂行及射擊安全管制作為。
- 三、精準射擊的五大條件：精確的目標位置、精確的氣象諸元、精確的陣地位置、精確的火砲及彈藥與精確的計算程序等，其中氣象探測作業乃為求得彈道氣象資料，提供射擊指揮所實施氣象修正作業，以減少大氣對射彈之影響，提高射擊精度。¹

關鍵詞：恆春地區、落山風、氣象自動探測系統、探空儀

前言

每年 10 月至翌年 3、4 月間，位於臺灣南端的恆春半島西海岸一帶，地理位置為恆春、白沙及枋山一帶地區，有強盛且頻繁的地方風，當地人稱為落山風²（圖 1）。落山風屬於間歇性，時強時弱。強陣風有時如曇花一現，1、2 小時後即消失無蹤，有時可持續數天而其強度無明顯減落，甚至有持續半個月。陣風風速有時緩慢增強，有時在 1、2 小時內就可由靜風狀態增強到超過 20 - 35m/s³，相當於中度颱風下限每秒 33 公尺。風向則都是來自東北、北北東，而從無因吹西風或南風造成落山風發生的情形。關於落山風的形成主要中央山脈至少 3000 公尺以上山脈，從中部向南部逐漸下降，到達大武地區降至 400 公尺。恆春半島位於中央山脈末端，強烈東北季風由臺灣的東北方向侵入，但垂直厚度僅約 1,500 公尺，這樣的東北季風層無法穿越過中央山脈，因此往往沿著中央山脈東側向南吹襲。當東北季風吹到大武以南時，因中央山脈的南端高度僅剩約 400 公尺以下，東北季風便很容易翻山越嶺，而形成強大的下沉氣流，此即為恆春地區落山風之形成主因。⁴

¹ 《TTPS for M109A6 Operations (FM3 - 09.70)》(US: Department of Army, August 2000)，p53。

² 風系 <http://terms.naer.edu.tw/detail/1318172/>，查詢日期：2019/12/18。

³ 風速表示 KT（複數型式 KTS）是 KNOT 縮寫 KNOT 是「節」是航海用的單位，1 節 0.51444m/s。

⁴ 蔡健耀、黃聖雯，〈冬季期間恆春落山風對演訓之影響〉《空軍季刊》（臺北），第 235 期，民國 107 年 6 月，頁 23。

天氣因素影響軍事行動與射擊武器的使用，故瞭解氣象作業、重視氣象影響射彈因素，進而掌握氣象因素，提前預測天氣（候）狀況，以開創有利態勢，克敵制勝。現今氣象探測作業方式多元化（如氣象雷達、氣象衛星、載具下投探空儀式、都普勒雷達），氣象資料需具精確性、即時性、數位化，筆者希藉研究各式氣象自動探測系統，為國軍砲兵氣象探測略盡棉簿。

恆春半島地形環境與落山風特徵

一、地形環境

恆春半島位於臺灣的南端，南臨巴士海峽，東部面對太平洋，而西岸則與臺灣海峽相鄰，北部相鄰連接中央山脈，在恆春半島上的山岳包含荖佛山（海拔 674 公尺）、三台山（海拔 630 公尺）、四林格山（海拔 592 公尺）、牡丹山（海拔 566 公尺）、萬里得山（海拔 526 公尺）、竹坑山（海拔 518 公尺）、高士佛山（海拔 514 公尺）、虎頭山（海拔 441 公尺）、五重溪山（海拔 391 公尺）、九棚山（海拔 352 公尺）、大山母山（海拔 325 公尺）、海口山（海拔 328 公尺）、赤牛嶺（海拔 283 公尺）、保力山（海拔 147 公尺）等，⁵到了臺灣南部則越往南山脈高度越矮，不過要過了高雄、屏東的緯度後，山脈的高度才會降至低於 1,500 公尺以下，對高度僅 1.5 公里的秋、冬季東北季風而言，在高雄的緯度以北氣流因山脈過高無法越過中央山脈，大約到了大武以南，順著風向所經之地，平均約 400 公尺的山岳，才能輕易地越過。⁶



圖 1 恆春半島地理形勢，標示區為落山風盛行處
資料來源：作者繪製

⁵屏東地區主要山岳一欄表，<http://m.xuite.tw>，查詢日期：2019/12/18。

⁶洪秀雄、胡仲英，〈恆春落山風之分析研究；恆春落山風的分析與機制探討〉《大氣科學》，1990 年，頁 171 - 191。

二、落山風特徵

地表的風可分為地方風系（local wind system）及全球風系（global wind system）兩大類。地方風系多由於陸地、或陸地和水體加熱不均所造成的地方性的現象。例如山風（mountain wind）和谷風（valley wind）、陸風（land breeze）和海風（sea breeze）、流泄風（drainage wind）等。流泄風又名下坡風（katabatic wind），這種風在各地有不同名稱，其中以南歐亞得里亞海北岸之布拉風（bora）最著名，布拉風的風速曾有 36m/s、陣風達到 60m/s 之紀錄者；在台灣南部稱焚風為火燒風，也有人稱其為落山風。⁷俗稱的落山風屬於下坡風（Katabatic wind）的一種，學者將下坡風又分為冷屬性者為「瀑風」（Fall wind）如布拉格風或重力風與暖屬性者為「焚風」（Foehn）兩種，⁸這兩者最大差別是個有相反的溫度效應，其中焚風被稱為暖下坡風，而布拉格風又稱為冷下坡風，兩者差異性（表 1）所示。恆春落山風吹風後當地氣溫略微上升，類似焚風。但其盛行季節卻是冷季，主要氣團為大陸性冷氣團，又類似布拉格風。由於山地的存在，當氣流越過它時，必然再向風坡被強迫抬升，而在背風坡上又會產生沿著山坡下降的風。這種純粹的地形強迫作用，稱為地形的機械作用，⁹當綠島探測低層風 1000 - 4000 呎空層之風速達 $\geq 12\text{m/s}$ ，則恆春機場將會出現 $\geq 12\text{m/s}$ 之強落山風。¹⁰

表 1 焚風與布拉格風差異圖

下坡風種類 特點氣象條件	焚風	布拉格風
氣溫	上升	下降
濕度	下降	下降
盛行季節	暖季	冷季
主要氣團	赤道、熱帶或副熱帶的海洋性氣團	極地、寒帶或雅寒帶大陸性氣團
有關低壓	暖和季節時南方成分強的地區	寒冷季節時北方成分強的地區
發達區	夏季季風/低緯度區	冬季季風/高緯度區
目前已知界線	最高緯度/北半球未知/南半球 77° 30'	最高緯度/北半球 15° /南半球 23°
背風坡強風區的風速日變化	白天幾乎都很強	白天強，夜間偶爾也有很強
迎風坡的降水	有	無

資料來源：1.胡金印，〈恆春地區農作物空間對落山風之調適〉《師大地理研究報告》，2001 年，頁 32。¹¹2. <http://terms.naer.edu.tw/detail/1318172/>

⁷同註 2，查詢日期：2019/12/18。

⁸中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw>，查詢日期：2019/12/18

⁹同註 3，頁 24。

¹⁰李巨祥、葉斯隆，〈冬季恆春機場風場特徵分析〉《氣象與航空安全研討會論集》，2004 年 4 月 14 日 - 15 日，民航局國際會議廳，80 頁 - 83 頁。

¹¹胡金印，〈恆春地區農作物空間對落山風之調適〉《師大地理研究報告》，2001 年，頁 32。

三、蒲福風級簡介

蒲福風級是由愛爾蘭出生的英國海軍少將，同時也是海道測量員及探險家法蘭西斯·蒲福，於 1805 年所發明風速級數，當時並沒有實際訂定風速標準數值，乃是蒲福依據風力對船艦的風帆使用狀況，共 0 - 13 級，共 14 個級數；1983 年英國海軍宣布所有海軍船隻在航海日誌中使用蒲福風級來記錄風力，修改 0 - 12 級，共 13 個級數，於 1946 年國際氣象組織（WMO）決議，將蒲福風級增加第 13 - 17 級，共設 18 個級風。¹²

表 2 蒲福風級表

中	央	氣	象	局	蒲	福	風	級	表
蒲福風級	風之稱謂	陸地上情形一般敘述			風速每秒公尺 m/s		風速每時哩 KM/H		
0	無風	煙直上			不足 0.3		不足 1		
1	軟風	僅煙能表示風向，但不能轉動風標。			0.3 - 1.5		1 - 3		
2	輕風	人面感覺有風，樹葉搖動，普通之風標轉動。			1.6 - 3.3		4 - 7		
3	微風	樹葉及小枝搖動不息，旌旗飄展。			3.4 - 5.4		8 - 12		
4	和風	塵土及碎紙被風吹揚，樹之分枝搖動			5.5 - 7.9		13 - 16		
5	清風	有葉之小樹開始搖擺			8.0 - 10.7		17 - 21		
6	強風	樹之木枝搖動，電線發出呼嘯聲，張傘困難。			10.8 - 13.8		22 - 27		
7	疾風	樹搖動，逆風行走感困難。			13.9 - 17.1		28 - 33		
8	大風	小樹枝被吹折，步行不能前進。			17.2 - 20.7		34 - 40		
9	烈風	建築物有損壞，煙囪被吹倒。			20.8 - 24.4		41 - 47		
10	狂風	樹被風拔起，建築物有相當破壞。			24.5 - 28.4		48 - 55		
11	暴風	極少見，如出現必有重大災害。			28.5 - 32.6		56 - 63		
12	颶風	陸上極少見，如出現必有重大災害。			32.7 - 36.9		64 - 71		
13	-	-			37.0 - 41.4		72 - 80		
14	-	-			41.5 - 46.1		81 - 89		
15	-	-			46.2 - 50.9		90 - 99		
16	-	-			51.0 - 56.0		100 - 108		
17	-	-			56.1 - 51.2		109 - 118		

資料來源：中央氣象局 - 蒲福風級表 www.public.wmo.int

各式氣象裝備介紹與現況

一、國軍氣象裝備概述

國軍氣象裝備，依作業特性可區分為陸軍砲兵「RT - 20(A)無線電經緯儀」、空軍氣象聯隊「雷射式剖風儀」，本研究以「RT - 20(A)無線電經緯儀、雷射式剖風儀、各式氣象系統」為主要探討，藉由分析、比較各氣象探測系統之特

¹²中央氣象局 - 蒲福風級表 www.public.wmo.int 查詢日期：2019/12/18

性，作為後續砲兵氣象裝備參考依據。

（一）陸軍砲兵氣象探測系統

1.RT - 20 (A) 無線電經緯儀：目前陸軍砲兵所使用之裝備為 RT - 20 無線電經緯儀氣象探測系統，該系統為芬蘭費沙納 (Vaisala) 公司所生產之可攜式無線電經緯儀氣象探測系統，可精確測得相對濕度、溫度、氣壓、風向及風速等資料，並透過氣球掛載探空儀回傳探測之氣象數據，RT - 20 (A) 無線電經緯儀天線是一種干涉儀天線以由 MW - 12 (M) 主機軟體程式自動處理計算 (圖 2 氣象探測系統開設示意圖)，可產生兩秒一筆之原始氣象資料 (RAW - data)、軍事電碼 (STANG)，該氣象資料依據 WMO 世界氣象組織規定電碼格式可同時提供多種氣象電碼使用。¹³

2.MW - 32 系列氣象探測系統：砲兵部隊為提升砲兵彈道氣象自動探測作業能量，砲訓部於民國 101 年向芬蘭「費沙納」(Vaisala) 公司採購 Sounding System MW - 32 砲兵彈道氣象自動探測系統 (圖 3)，為求得砲兵及火箭精確之彈道氣象資料，能提供高空大氣之風、氣壓、溫度及相對濕度，資料亦可輸入至數值天氣模式，提供更新氣象觀測資料，提升預報精確度。¹⁴



圖 2 RT - 20 無線電經緯儀架設示意圖

資料來源：轉引自砲兵季刊 174 期封面

¹³ 《RT - 20 氣象自動探測系統操作手冊》(桃園：國防部陸軍司令部印頒，民國 90 年 11 月)，頁 4 - 41。

¹⁴ 翰昇環境科技股份有限公司，《氣象探測系統教育訓練教材》(臺北：翰昇環境科技股份有限公司，民國 101 年 8 月)，頁 23。



圖 3 MW - 32 砲兵彈道氣象自動探測系統

資料來源：轉引自砲訓部《氣象探測系統教育訓練教材》

（二）空軍雷射式剖風儀氣象系統

空軍氣象聯隊所建置之雷射式剖風儀是法商 Leosphere 製造 WINDCUBE 100S 型機，其觀測原理是以該光學儀器向大氣中之粒子發射一脈衝波，並接收其所發散信號，轉換為電子信號後，傳送至電腦，再經過信號處理方程反演，獲得該信號的都卜勒偏移量，進而計算出光束路徑上之徑向風場，而光脈衝波傳送到目標物的來回時間，則用來演算至目標物的距離；主要用於垂直風場反演，藉由儀器求得徑向風場資訊後，運用用演算法反演出垂直向的風場資訊。¹⁵



圖 4 機動式 WINDCUBE 100S 載具外型圖

資料來源：吳啟雄、李昌運、林裕豐，〈雷射式剖風儀觀測策略與運用〉，空軍氣象聯隊氣象中心，1-2 頁。

¹⁵吳啟雄、李昌運、林裕豐，〈雷射式剖風儀觀測策略與運用〉，空軍氣象聯隊氣象中心，1-2 頁。



圖 5 WINDCUBE 100S 型機外型圖

資料來源：吳啟雄、李昌運、林裕豐，〈雷射式剖風儀觀測策略與運用〉，空軍氣象聯隊氣象中心，1-2 頁。

二、各式氣象探測裝備概述

針對國軍現行砲兵氣象作業方式的限制，筆者就近年商規新式氣象觀測方式為切入點，研擬可能因應作為、採用的觀測方式與儀器綜合介紹，盼能提供往後砲兵氣象發展之參考。未來期能藉由對這些科技發展的了解，設計出更適合國軍砲兵氣象作業的裝備和操作程序，各式氣象系統簡介如次。

（一）GPS 探空儀：如前述，GPS 探空儀即在探空儀上搭載 GPS 接收器（圖 6），在升空過程中藉著 GPS 全球衛星定位系統到本身精確的位置資訊，藉以反推各高度層的水平風向量。GPS 探空儀相較於傳統探空儀的好處是水平風觀測的精度高，尤其是在離無線電經緯儀架設地點較遠的高空上，而且施放的步驟較簡便，不用架設龐大的無線電經緯儀。惟 GPS 受美國管理與控制，戰時不能保證可用，此觀測方式僅能作輔助用。

（二）固定高度探空儀：相較於施放後就任其上升不回收的傳統探空儀，固定高度探空儀即以繩索繫住提供浮力的氣球，使探空儀維持在固定高度，可在此高度進行連續的觀測。由於此時氣球並不是隨風自由運動，固定高度探空儀的風向、風速的觀測並不是由氣球軌跡計算，而是像地面氣象觀測站一樣以風標和風速計量測。本觀測方式目前已有 Tethersonde 等產品問世，¹⁶其最重要的優點就是獲得的觀測資料是連續的，在指定地點架設完成後就可提供即時的氣象資料供彈道計算使用。但要在一個新的地點架設此儀器仍需大約 1 至 2 小時的時間，和現行無線電探空儀的作業時間相仿。其缺點為一具固定高度探空儀僅能測得一個空層的資料，要得到連續空層的資料需要設置多具固定高度探空

¹⁶Vaisala DigiCORA Tethersonde Presentation_CHT (2010.08.25)

儀，維薩拉公司的 TTW111 絞車是 TT12 DigiCORA 繫繩探空儀系統的組成部分，而且以一般繩索適合放至 3000 公尺的不同高度，最多固定 6 個繩索探空儀，無法如傳統探空儀獲得地面至 10 公里以上的完整探空資料。另外，Tethersonde 上電力的供應會限制其觀測時間長度，電力用罄後即須收回更換電池。再者，在戰場上架設長時間固定位置的氣球亦有暴露我軍行蹤的隱憂。

（三）剖風儀（wind profiler）：為另一種可以進行大氣垂直剖面觀測的儀器，其觀測原理是透過對空發射聲波，接收水氣造成的回聲資訊來分析各空層的風力分布。剖風儀可測得類似於氣球探空觀測所得的垂直風力剖面資料，且與一般探空觀測相比，其觀測資料在時間上是連續的，可掌握到即時的氣象諸元動態，在快速變化的天氣型態中特別可突顯其價值。現今民間已有不少固定站點持續進行剖風儀觀測，對即時天氣預報的準確率有相當大的貢獻。然而，剖風儀是個相當昂貴、複雜的設備，體積龐大，用電量亦相當高，幾乎不可能設計成車載的裝備，若要為野戰砲兵所運用，其機動性必須加以改良。另外，剖風儀僅能測得垂直風速分布，無法量測氣溫、氣壓、濕度等諸元。¹⁷

（四）都卜勒氣象雷達（meteorological Doppler rader）：傳統氣象雷達以 C 波段（波長約 4 至 8 公分）或 S 波段（波長約 8 至 15 公分）的微波進行雷達掃描，此波段主要的反射來自於空氣中的液態水滴，因此可量測到大氣中概略的液態水含量分布。而都卜勒氣象雷達除了接收反射波的強度外，更進一步量測反射波的都卜勒效應（Doppler effect），可以得到空氣中水滴相對於雷達的徑向速度，若同時以不同地點的兩座都卜勒氣象雷達進行「雙都卜勒雷達觀測」，則可決定出各地的水滴水平運動速度，此速度可視為當地的水平風向量「都卜勒氣象雷達同樣是昂貴、體積龐大、用電量高、機動性很差的裝備，但在固定地點設置的雷達觀測範圍可達 200 至 460 公里，裝備不需隨陣地移動即可獲得一定範圍內的觀測資料，在國軍防衛固守作戰策略下，獲取氣象資料的方式之一。此觀測方式的缺點包括只能得到風力資料而無氣溫、氣壓與濕度等資料，且精確度較低；在液態水滴含量相當低的晴空中無法獲得有效的觀測，以及固定雷達站點易為敵軍優先鎖定的攻擊目標，可能會被摧毀。目前國內運作的都卜勒氣象雷達計有中央氣象局、空軍、民航局等單位，國軍或可考慮在射擊前參考這些單位的資料，但這些雷達平時因常態氣象觀測任務需求的關係，有其固定的掃描策略，若要得到適合特定射擊任務的各空層風力資料，將需要暫時調整其掃描策略。¹⁸

（五）光達（Light Detection And Ranging, LIDAR）：光達的探測原理與雷達

¹⁷中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw> 查詢日期：2019/12/18

¹⁸中央氣象局科普教材，<https://www.twtybbs.com>，查詢日期：2019/12/18

類似，只是光達是利用可見光波段的雷射光對空探測，接收自身發出雷射光的反射波，依照反射波的時間差和強度來獲得大氣垂直剖面的資訊。由光達的資料可直接準確地定出垂直能見度和雲高，部份種類的光達並可反推出大氣垂直濕度分布。「光達」的機動性尚可，亦有即時觀測的能力。¹⁹

（六）雲高氣球：雲高氣球為探空儀觀測的簡易版，其上升速度設計為定值，施放時氣球上不攜帶任何儀器，以目視或望遠鏡追蹤氣球動向，藉由測量氣球沒入雲中的時間來估計雲高。此觀測方式簡單易行，成本亦低，當存在低雲幕時可獲得即時的雲高資料，但無法獲得如溫、濕度等其他氣象諸元的垂直剖面資料；第五項光達與第六項雲高氣球僅特別針對能見度與雲高的觀測，惟這兩項氣象要素在防空飛彈實彈射擊時大幅影響目視或紅外線儀器控制導引命中靶標的有效性。

（七）自動化地面氣象站：此項裝備僅特別針對地面觀測，沒有測量高空氣象諸元的能力。所謂自動化地面氣象站其實就是一套地面氣象觀測裝備，與現行探空觀測裝備中的地面氣象儀組的用途相仿。這類儀器的興起，主要是近年來為了推展廣泛設置無人氣象測站，氣象儀器公司（如美國 DAVIS 儀器公司）設計出許多體積小、可攜度高、操作簡便、價格合理的模組化地面觀測儀器，這類儀器皆可連續測得氣溫、氣壓、濕度、風向、風速與降雨量等氣象要素，並可搭配電腦軟體作自動記錄與分析。對於國軍現行野戰砲兵氣象作業來說，添購自動化地面氣象資料測量記錄儀，可作為原先地面氣象儀組的替代品，並對固定地點的氣象資料分析建檔有所幫助，但無法取代原有的探空作業，因為地面觀測僅能反應相當接近地表（數十公尺以內）的大氣狀態，對砲兵射擊之彈道修正計算效用不大，僅能作為輔助觀測裝備。

（八）衛星遙測：隨著科技的進步，各式各樣的人造衛星相繼發射升空，大幅改變了我們的生活，其中也不乏各種的氣象衛星，由太空中進行遙測。衛星遙測能快速、連續地獲得全球各地的氣象資料，是深具發展性的觀測方式。早期衛星科技在氣象方面的運用主要侷限於「地球同步衛星」（geosynchronous orbit satellite）的被動式（passive）紅外線（IR）和可見光（VIS）觀測，也就是大家熟悉的衛星雲圖，能有效幫助科學家分析、判斷各地的氣象狀態，但缺乏氣象要素反推的能力，無法直接由衛星資料獲得各氣象諸元（如氣溫、氣壓、風、濕度等）。近年來眾多低軌道的「繞極軌道衛星」（polar-orbiting satellite）投入氣象觀測，其中更有搭載雷達進行「主動式觀測」（active）的氣象衛星，反推各氣象要素的能力大幅提升，已可獲得包括：海表面風向、風速、垂直雷達

¹⁹ 三菱電機官網，<https://www.ledinside.com.tw/news/20180716-35480.html>，查詢日期：2019/12/18

回波剖面、降雨量、垂直溫、濕度剖面與能見度等觀測產品，對大氣科學研究和數值天氣預報的助益相當大。就砲兵彈道修正計算之需求而言，垂直風場、溫度、濕度剖面皆為可參考的資料；另外，各波段的衛星雲圖和垂直雷達回波剖面則有助於雲高的判定。但衛星遙測資料也僅能作為輔助用途，因為遙測資料的精確度較差，可靠性低，「繞極軌道衛星」的時間解析度亦不佳，單一衛星對特定地點要間隔 12 個小時才能觀測一次。再者，絕大部分的氣象衛星亦非國軍所有，戰時也不保證可以取得資料。²⁰



圖 6 Vaisala RS92 – SGP 無線電探空儀

資料來源：VAISALA，RS92 – SGP Technical Presentation_CHT（2010.08.25）

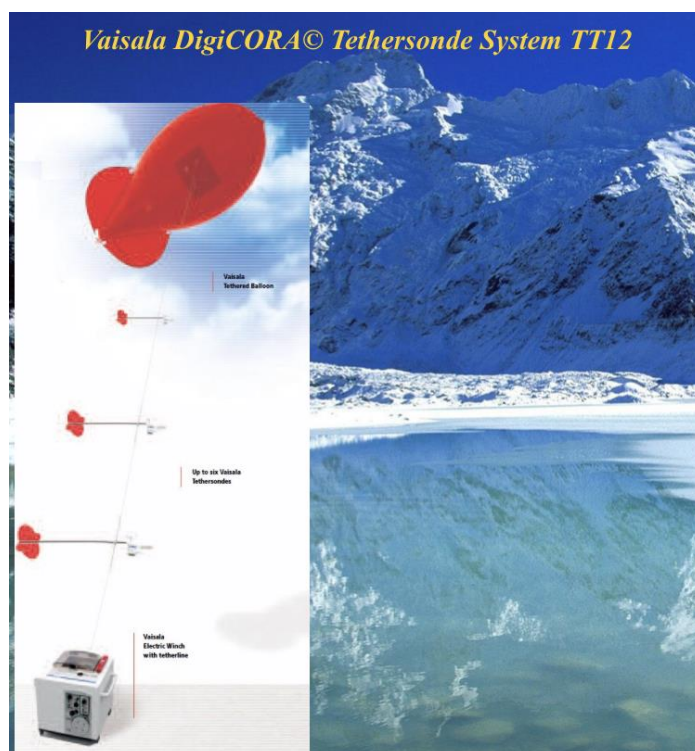


圖 7 Vaisala Tethersonde 系統 TT12

資料來源：VAISALA 官網 2.<https://www3.nd.edu/~dynamics/efd/index.html>

²⁰ <https://www.inside.com.tw/article/16727-Taiwan-Formosat-7>，查詢日期：2019/12/18



圖 8 東沙島固定式剖風儀

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw>

表 3 各式氣象雷達之運用波段表

10^3m 10^2m 10m 1m $10^{-1}m$ $10^{-3}m$					
波段 (BAND)	波長範圍 (CM)		頻率範圍 (GHZ)		
K 【1CM】	0.7 CM - 2.5CM		12 - 40	30000MHz	
X 【3CM】	2.5 CM - 3.8CM		8 - 12	10000MHz	
C 【5CM】	3.8 CM - 7.5CM		4 - 8	6000MHz	
S 【10CM】	7.5CM - 15CM		2 - 4	3000MHz	
L 【20CM】	> 15CM		< 2	1500MHz	

註：氣象雷達所採用電磁波波段 (BAND) 則位於 Micro Wave 波段中；通常一班氣象雷達一波長不同可分為下列數種：通常波長較長之氣象雷達偵測範圍較長；電磁波衰減現象較小，仰制功能較差。

資料來源：<https://www.ntsec.edu.tw/chinese/aeromet>，認識都卜勒氣象雷達－基本原理與性能－楊健生，查詢日期：2019/12/18

表 4 氣象作業雷達表

編號	雷達站名稱	所屬單位	海拔高度 (m)	雷達種類	波長 (cm)
1	五分山雷達站	中央氣象局	766	都卜勒雷達	10
2	花蓮雷達站	中央氣象局	63	都卜勒雷達	10
3	七股雷達站	中央氣象局	38	都卜勒雷達	10
4	墾丁雷達站	中央氣象局	42	都卜勒雷達	10
5	桃園中正機場	民用航空局	10	都卜勒雷達	5
6	綠島	空軍氣象聯隊	284	都卜勒雷達	5
7	清泉崗機場	空軍氣象聯隊	203	雙偏極化雷達	5
8	馬公	空軍氣象聯隊	48	雙偏極化雷達	5

註：雙偏極化都卜勒雷達可測得水平風場、垂直風場，降低使用系統電壓瓦數。

資料來源：1. <https://www.ntsec.edu.tw/chinese/aeromet> 2. 〈氣象雷達與應用〉《科學研習月刊》，中央氣象局氣象衛星中心張保亮技正。



圖 9 都卜勒氣象雷達

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw>

圖 10 三菱電機應用光學雷達

資料來源：<https://www.ledinside.com.tw/news/20180716-35480.html>

表 5 自動化地面氣象站一欄表

區分 項目	地面氣象儀組	MAWS201 地面氣象站	MAWS201M 地面氣象站
型式			
組件	風向風速儀、溫濕度取樣計及氣壓計，共 3 個組件	整合式地面氣象探測系統	整合式地面氣象探測系統
可獲得之氣象資料	風向、風速、氣溫、氣壓、相對濕度	風向、風速、氣溫、氣壓、相對濕度	風向、風速、氣溫、氣壓、相對濕度、雨量
主機端資料輸入方式	手動鍵入	主機自動擷取	主機自動擷取
搭配主機型式	MW-12 型	MW-12M 型	MW-32 型

資料來源：陳天祐，〈新型 MW-32 系統與砲兵氣象探測作為〉《砲兵季刊》（臺南），第 174 期，陸軍砲訓部，民國 105 年 9 月 30 日。

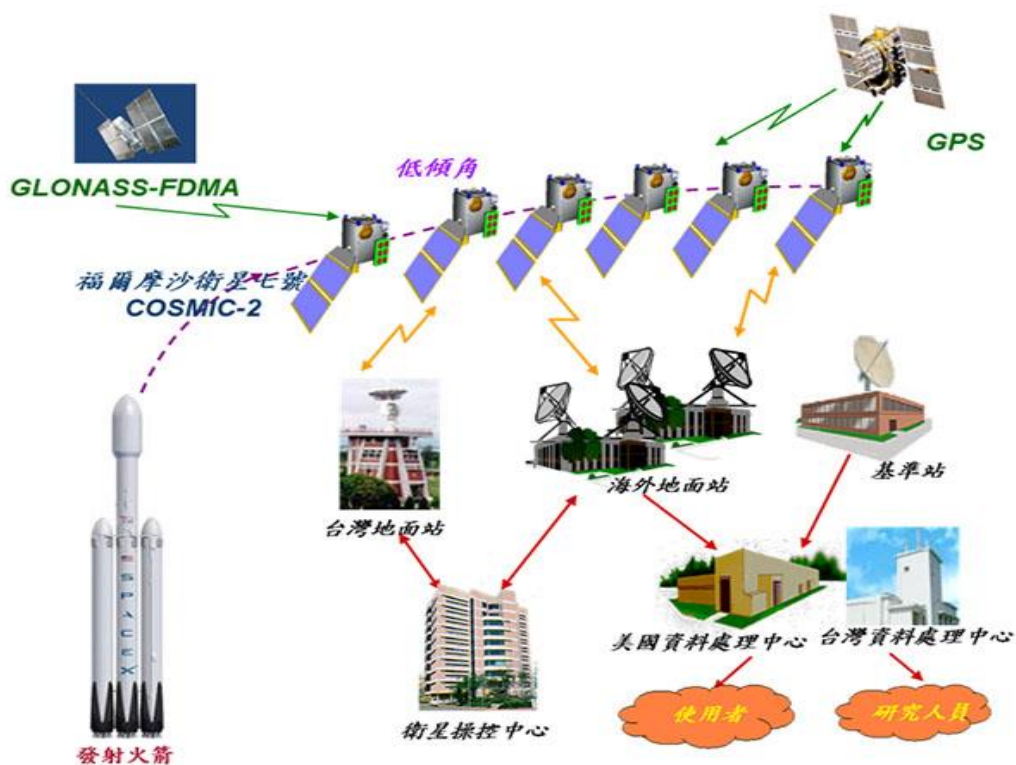


圖 11 全球衛星觀測網

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw>

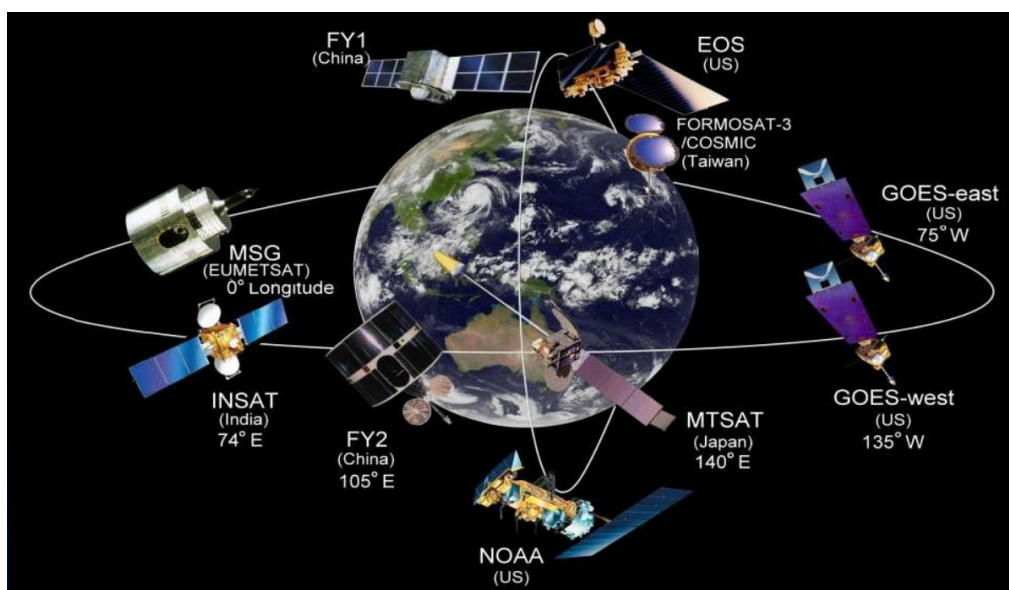


圖 12 福衛七號計畫任務架構

資料來源：地球同步氣象衛星及位置分布，<http://www.nspo.narl.org.tw/tw2015/projects/FORMOSAT-7/program-description.html>

三、各式氣象系統分析比較

砲兵現行使用氣象裝備存在部分限制，惟尚有多種商規氣象裝備與技術可供選擇，除可列入國軍氣象發展參考，特將各種氣象觀測之裝備性能與效益發展，分述如後（表 4）。

表 4 各種觀測方式的優缺點比較

裝備 能力		RADIO 探空儀	GPS 探空儀	Tether sonde	機動式 剖風儀	都卜勒 雷達	光達	雲高 氣球	自動化 地面氣 象儀	衛星 遙測
彈道 氣象 要素 觀測 能力	氣溫	○	○	○	○低空	×	×	×	○低空	○
	氣壓	○	○	○	○低空	×	×	×	○低空	○
	濕度	○	○	○	○低空	×	○	×	○低空	○
	風	○	○	○	○低空	○	×	×	○低空	○
能見度觀測 能力		×	×	×	×	×	○	×	×	×
雲高觀測能 力		○	○	×	○	推估	○	○	×	○
垂直剖面觀 測能力		○	○	僅低層	○	受限於 掃描策 略	○	×	×	○
精確度		佳（風 較差）	佳	佳	尚可	尚可	佳	佳	佳	佳
即時性		尚可	尚可	佳	極佳	極佳	佳	尚可	極佳	尚可
機動性		佳	佳	尚可	佳	不需 機動	尚可	極佳	極佳	不需機 動
可靠度		佳	差	佳	尚可	尚可	佳	佳	佳	尚可

資料來源：作者整理

氣象對砲兵影響因素

一、氣象對砲彈彈體飛行中之影響

（一）氣壓：氣壓升高時空氣密集增大，砲彈所受阻力增大，使彈著點偏近；反之氣壓降低時，則可使彈著點偏遠。²¹

（二）氣溫：氣溫增高時，空氣密度減小，空氣對砲彈阻力減小，可使彈著點偏遠；反之，氣溫降低時，彈著點則偏近。

（三）濕度：濕度增高時空氣之密度減小，彈體所受到之空氣阻力減小，彈著點偏遠；反之，濕度降低時，彈著點則偏近。

（四）風：易使彈著點產生偏差。順風時，空氣阻力小易產生遠彈遠彈現象；逆風時，阻力增大，易產生近彈現象。側風亦可使彈著點產生偏離。

（五）密度：如空氣密度增大，且超過標準密度（100%）以上時，其對於砲彈進行中之磨擦力增大，阻礙其前進，砲彈的落點偏近；空氣密度減小，砲

²¹徐坤松，〈如何落實防區氣象作業，提供精準彈道氣象資料具體作為〉《砲兵季刊》（臺南），第 145 期，陸軍砲訓部，民國 98 年 6 月 30 日，第 3 頁。

彈受到的空氣阻力減小，對地射擊時，砲彈的落點偏遠。

(六) 氣溫對藥溫的影響：當氣溫增高時，藥溫隨之增高，發射藥的燃燒速度加快，同一時間內，產生的火藥氣體量亦相應增加；結果，砲膛內壓力加大，使砲彈初速增大；對火箭，則推力加大，使火箭彈速度增大。

(七) 氣溫、氣壓：對引信作用時間之影響。

(八) 普通引信：主要受氣溫和氣壓的影響。氣溫高時，引信導火藥溫度增高，燃燒速度加快，引信的作用時間亦相應縮短；氣壓高時，引信導火藥亦因而燃燒加速，引信作用時間縮短。

二、落山風氣候對演訓之影響

關於落山風的季節描述，在其盛行時間約每年 5 月到翌年 4 月，且呈間歇性，有時持續 2-3 小時，有時則連續十多天到半個月之久。落山風瞬間風速有時可達 6-7 級，相當於輕度颱風風速，有時甚至超過 10 級風，氣象條件對軍事上直接或間接的影響，如砲兵在軍事行動與射擊武器的使用及重大演訓都習習相關，進而了解氣象作業、重視氣象影響射彈因素，進而掌握氣象因素，提前預測天氣（候）狀況，以利創造有勢，克敵制勝先機，綜合分析如下：以砲兵為例，所運用氣象資料為砲兵彈道氣象所需空層 0-18000 公尺各空層之氣象電碼或原始氣象資料屬於高空氣象探測，以落山風氣候最大陣風可達 6-7 級風速影響巨變，以各式砲兵火箭、飛彈武器都有氣象最大限制條件，當超出這些條件時，所影響風險因子提高，可藉由各式氣象探測系統提升整體作戰效益。

三、空層氣象資料密度之影響

中央大學雷達站擁有全國唯一可以從事大氣與太空環境監測與研究的高頻特高頻大型陣列雷達。中央大學研發長朱延祥表示，²²一般大氣風場以施放探空氣球為主，資料密度差，對於氣象預測模式產生相當程度的限制，該雷達可量測大氣垂直風場，將直接提供 1~10 分鐘間隔的垂直風場的資料密度，將有效提高氣象預報的精準度，就上述各學者專家論點可知，大氣變化瞬息萬變唯有多種方式獲得精確之氣象資料，方能預報大氣狀況。

提升彈道氣象資料精進之建議

一、與友軍氣象單位合作

空軍機場的地面測報主要包含每小時一次的氣溫、氣壓、風向、風速、濕度、能見度、雲量、雲高、雲幕高、降水量等資料，在特殊天氣發生時還會有額外增加的觀測；而固定進行氣球探空觀測的探空站包括屏東、綠島、馬公和東沙等，每天進行兩次例行性的探空觀測。另外，清泉崗機場、綠島、馬公等

²² 全台唯一特高頻雷達量測大氣垂直風場可提高天氣預測準確率，http://140.115.197.63/news/headlines_content.php?H_ID=208，查詢日期：2019/12/18

氣象雷達站的雷達回波資料可輔助判斷天氣系統變化和雲高。

二、加強人員訓練

現行陸軍砲兵氣象單位的人員訓練以探空裝備的操作和保養為主，目的在於使氣象人員熟悉探空作業流程，能配合任務需求快速獲得指定地點的彈道氣象資料，提供彈道修正使用；但氣象影響軍事行動的層面不只如此，能見度、雲量、雲高會影響目視和儀器觀測，天氣的好壞更大幅影響各單位的作業、兵力的佈署，進而影響到戰術的執行。

因此氣象人員的訓練可考慮加強一般氣象學科的部分，使氣象人員具備基礎大氣科學素養，能對當時的氣象型態做出正確的判斷，並預想短時間內天氣變化趨勢；如此氣象組在供應彈道氣象資料的同時便能提供更多有用的氣象資訊，而提供各級指揮官的戰術作為及戰略部署，有相當重要的影響及參考價值。

三、建置多功能氣象探測系統

國軍作戰環境屬於環海海島型地形，所面臨的氣象狀況會無時無刻的改變，唯有將氣象系統的密度增加，才能有效掌握各地區之天氣狀況，平時可運用於災防整備掌握時機，戰時可提升砲兵部隊精準打擊；就上述各種觀測方式的優缺點比較（表 4），建議國軍砲兵應以「科技現代化」為目標，將現有裝備基礎持續精進與提升：（一）增購機動式剖風儀自動探測系統以提升垂直風場氣象預判；（二）建議採購新式 GPS 探空儀類型，大幅提升砲兵彈道氣象自動探測精確度，提升砲兵射擊效果。

結語

藉由本研究可知恆春半島地區，於每年 10 月至翌年 3 月之間，對地面部隊執行山隘行軍、火砲射擊、飛彈射擊等訓練時，當面對強落山風吹襲，也可能造成射擊脫靶及人員裝備損傷等情形發生，就砲兵演訓作戰，如處在惡劣天氣狀況下，能提供作戰指揮官下達精準決心要素之一為氣象，故氣象作業人員須充實氣象專業知識與新知，提升彈道氣象探測能力與效益，進而發揮砲兵最大效能。

參考文獻

- 一、《FM3 - 09.70 TTPs for M109A6 Operations》（US：Department of Army, August 2000）。
- 二、蔡健耀、黃聖雯，〈冬季期間恆春落山風對演訓之影響〉《空軍季刊》，第 235 期，國防部空軍司令部，民國 107 年 6 月。
- 三、屏東地區主要山岳一欄表，<http://m.xuite.tw>，查詢日期：2019/12/18。
- 四、洪秀雄、胡仲英，〈恆春落山風之分析研究；恆春落山風的分析與機制探討〉《大氣科學》，1990 年。

- 五、風系，<http://terms.naer.edu.tw/detail/1318172/>，查詢日期：2019/12/18。
- 六、中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw>，查詢日期：2019/12/18。
- 七、李巨祥、葉斯隆，〈冬季恆春機場風場特徵分析〉《氣象與航空安全研討會論集》，2004 年 4 月 14 日 - 15 日，民航局國際會議廳。
- 八、胡金印，〈恆春地區農作物空間對落山風之調適〉《師大地理研究報告》，2001 年。
- 九、中央氣象局 - 蒲福風級表 www.public.wmo.int，查詢日期：2019/12/18
- 十、《RT - 20 氣象自動探測系統操作手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 90 年 11 月）。
- 十一、翰昇環境科技股份有限公司，《氣象探測系統教育訓練教材》（臺北：翰昇環境科技股份有限公司，民國 101 年 8 月）。
- 十二、吳啟雄、李昌運、林裕豐，〈雷射式剖風儀觀測策略與運用〉，空軍氣象聯隊氣象中心。
- 十三、Vaisala DigiCORA Tethersonde Presentation_CHT（2010.08.25）
- 十四、中央氣象局科普教材，<https://www.twtybbs.com>，查詢日期：2019/12/18
- 十五、三菱電機官網，<https://www.ledinside.com.tw/news/20180716-35480.html>，查詢日期：2019/12/18
- 十六、<https://www.inside.com.tw/article/16727-Taiwan-Formosat-7>，查詢日期：2019/12/18
- 十七、陳天祐，〈新型 MW - 32 系統與砲兵氣象探測作為〉《砲兵季刊》（臺南），第 174 期，陸軍砲訓部，民國 105 年 9 月 30 日。
- 十八、徐坤松，〈如何落實防區氣象作業，提供精準彈道 氣象資料具體作為〉《砲兵季刊》（臺南），第 145 期，陸軍砲訓部，民國 98 年 6 月 30 日。
- 十九、全台唯一特高頻雷達量測大氣垂直風場可提高天氣預測準確率，http://140.115.197.63/news/headlines_content.php?H_ID=208，查詢日期：2019/12/18
- 二十、林政宏、曾憲媛等，《恆春機場及鄰近佳冬機場之氣候概況與顯著天氣分析研究》，民航局研究計畫，1981 年。
- 廿一、陳泰然，《影響恆春機場飛航安全之氣象因素調查與風險評估》，國立臺灣大學大氣科學研究所，1995 年。
- 廿二、<https://www.ntsec.edu.tw/chinese/aeromet>，〈認識都卜勒氣象雷達 - 基本原理與性能〉，楊健生，查詢日期：2019/12/18。

作者簡介

顏嘉彰士官長，陸軍專科學校士官長正規班 39 期畢業，歷任測量班長、連士官督導長，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部目標教官組。