

# 航空氣象裝備對軍事作戰之影響

李佩蓉

空軍第十一基地天氣中心

## 摘要

伴隨科技發展突飛猛進，新科技也廣泛應用於軍事領域，高科技武器裝備大量湧現，有效發揮出強大戰爭威力，惟高科技武器裝備強大，仍無法擺脫天氣制約，本文藉由各國現有航空氣象裝備及發展史，使讀者了解航空氣象裝備之歷史與發展，進而體悟航空氣象之用途與作戰價值，並利用氣象裝備特點，分析氣象對軍事作戰可發揮之運用與影響。

**關鍵詞：**氣象裝備、軍事作戰

## 1. 前言

空軍武器裝備的歷史，自百年間從無到有，由弱變強，儘管空中軍事武器由二次世界大戰起，才開始運用於軍事作戰，但是飛機及相關技術都顯示出獨特優勢，並得到快速成長發展，空軍也由輔助兵種，成為獨立戰略軍種，在各式作戰任務中發展為戰略戰役主要攻擊手，進而將空軍推進為一體化聯合作戰的主要力量；隨著人類社會自工業時代進化為網路世代，戰爭型態也由機械化戰爭轉變為高科技技術戰爭，空中力量的發展，也轉變為高科技戰爭之決勝關鍵，綜觀世界空軍武器裝備發展史，可以觀察到空軍武器裝備發展，戰爭為強大原動力，科技發展則是源源不絕的推進力，促使軍隊現代化及革命性的跳躍。

隨著科技發展突飛猛進，新科技也廣泛應用於軍事領域，伴隨高科技武器裝備大量湧現，有效發揮出強大戰爭威力，然而高科技武器裝備雖然強大，卻仍然無法完全擺脫

天氣制約限制條件，低雲、濃霧、沙塵暴、強降水、大風及雷暴等劇烈天氣現象，不僅嚴重影響高科技武器裝備作戰性能發揮，甚至將完全喪失作戰能力，因此，各國空軍均十分重視氣象預測報能力及其對作戰之影響，藉由不斷提升航空氣象裝備，進而有效增進作戰實力，保障作戰任務順遂，促使部隊戰鬥力倍增；本文藉由各國現有航空氣象裝備及發展史，使讀者以系統性方法，全面了解航空氣象裝備之歷史與發展，進而體悟航空氣象之用途與作戰價值，並利用空中及地面氣象裝備之特點，分析氣象對軍事作戰可發揮之運用與影響。

## 2. 航空氣象裝備發展概況及趨勢

氣象學是一門歷史悠久又不斷演進的自然科學，殷商甲骨文、農民曆及各項文獻史蹟中都有關於氣象資料的記載，然而古代只能用目測進行定性描述與統計，因此進展緩慢；17 世紀後，工業革命帶動，氣象儀器

也隨之現世，如溫度計、氣壓計、濕度儀等，可獲得定量氣象數據，研究員得以藉由數據，分析地球大氣分布，以挪威皮耶克尼斯（V. Bjerkness）為首的氣象學家，透過地面觀測氣象參數，提出氣旋、鋒面及氣團學說，產生大氣環流和天氣系統的雛形，也是人們由大氣的定性分析進入定量分析階段。

氣象裝備是針對大氣，進行逐時量測的觀測儀器及設備，16 世紀末至今可區分為 3 個發展階段：

#### (1) 第一階段（16 世紀末至 20 世紀初）

地面氣象因子觀測儀器發展階段，1597 年伽利略發明溫度計和 1643 年托里切利發明氣壓計（圖 1）後，毛髮濕度表、風杯風速計、雨量計、輻射表等地面氣象觀測儀器陸續出現，藉由氣象儀器的數據量測，大氣特性得以有量化的數據分析，1653 年義大利北部建立起世界上第一個氣象觀測站後，各地氣象站紛紛建立，藉由各氣象站的數據資料，綜整出近地面較完整氣象資料，提高人類對天氣變化規律的剖析，1686 年出現第一張風場分布圖，1687 年提出颱風氣旋理論，1817 年德國地理學家洪堡繪製出世界上第一幅等溫線圖，1820 年德國布蘭德斯根據《巴拉丁氣象學會》雜誌刊載的歐洲站臺氣壓、風象等記錄，繪製出世界上第一張天氣圖，雖然天氣圖中僅使用簡單的歷史資料，但是可分析出各氣象要素的地域差異，為分析氣壓、風和天氣的關連，對於氣象預報有著重大貢獻，也建立了天氣系統的雛型，開啟天氣預報的大門。

1853-1856 年，英、法與俄國發生克里米亞戰爭，1854 年 11 月 14 日，英法聯軍的運輸艦-亨利 4 號在黑海北部受風暴襲擊而沉沒，軍事裝備及

糧食均損毀，幾乎使全軍潰散，事後，法國政府命令巴黎天文臺對此次風暴進行調查，當時的臺長正是因為發現海王星而名揚四海的天文學家勒未里埃，獲令後他立即向歐洲各國天文氣象臺發信，收集 1854 年 11 月 12-16 日的氣象觀測資料，然後他逐日繪製天氣圖，通過分析了解此次風暴的過去路徑，並推論出只要建立一定密度的氣象觀測網，迅速匯集氣象觀測資料，繪製天氣圖後，風暴是可預測的，1855 年 3 月 16 日，他向法國科學院做出天氣預報工作的建議與架構，法國政府採納此建議，並增設氣象站，1856 年，法國建立第一個氣象觀測網，並用當時的電報技術進行氣象情報傳遞，藉以蒐整氣象情資繪製天氣圖，克里米亞戰爭結束後，比、荷、英、俄、奧、瑞士等國都向法國學習，開始天氣預報作業，也將氣象科學推向另一個里程碑，從 1643 年至 20 世紀初的 200 多年裡，地面氣象觀測設備發展也漸趨成熟，推動氣象科學理論的邁進，19 世紀後，氣象科學由描述階段進入理論階段。

#### (2) 第二階段（20 世紀 20-60 年代初）

高空氣象探測設備發展階段，自從人們有了各種地面觀測儀器後，就試圖把儀器送到天空中去進行觀測，1749 年蘇格蘭的威爾遜第一次用風箏把溫度計帶到空中量測溫度，1783 年法國查理及 1784 年美國傑佛里斯用氣球把氣象儀器送入空中量測，20 世紀初也運用飛機進行高空氣象探測，但囿於時效及效益不彰，且探測的空層高度有限，直到 20 世紀電子技術發展後才有顯著的發展，1928 年蘇聯莫爾諾夫發明無線電探空儀，在列寧格勒

第一次針對大氣數據進行研究，此探空設備是一種微型無線電發報機，淨重約 450 公克，由氣球帶入空中後，自動發報高空的溫度氣壓值，伴隨探空設備的進步，高空觀測網逐漸建立，高空天氣圖可被分析研究，1939 年，瑞典羅斯比利用高空觀測資料，樹立大氣行星波理論，此理論推估地面的天氣變化，是由高空大氣運動的結果造成，且高空大氣運動制約地面環流，所以高空天氣圖成為認識地面天氣的有力工具，行星波理論也為 2 至 4 天的天氣預報奠定理論基礎，氣象學也由二維空間推展至三維空間，氣象探空的高度，也擴展到對流層頂部、平流層底部，約 20 至 30 公里，直至 1945 年，美國發射第一枚氣象火箭 - 「女兵下士」，把探測高度推高至 100 公里。

### (3) 第三階段 (20 世紀 60 年代後)

大氣遙感探測設備階段，1960 年 4 月 1 日美國發射第一顆氣象衛星 (圖 2, 泰羅斯 1 號)，為大氣探測設備進入遙感階段的主要分水嶺，60 年代初期雷達的研製為起始，各類遙感設備相繼研製和試驗成功，大氣遙感設備不僅擴大探測範圍，更提高數據的連續性，豐富了觀測內容，增加氣象數據的完整性，使氣象科學取得歷史性的躍進。

氣象科學發展與氣象儀器進步，是息息相關、密不可分的，航空氣象裝備建立在氣象科學不斷演進的基礎上，並伴隨軍事航空需求的日益成長而發展，氣象科學由簡單至複雜，由常規到高科技化發展，1909 年軍用飛機誕生起，美、德、俄、法、意等國，就開始建立保障軍用飛機空中飛行

安全的氣象站臺，這些站臺中裝備著簡易的氣壓、氣溫、濕度、風向風速儀等地面氣象觀測儀器；第一次世界大戰期間 (1914-1918 年)，隨著飛機投身戰爭，空軍發展為獨立兵種，伴隨飛行作戰的需要，航空氣象裝備也高度發展，美國也在國內設立 26 個高空氣象觀測站，觀測地面至 10 公里高度的各層風向風速，英法等國也設立 20 個高空觀測站，將觀測資料用無線電報發到華盛頓，藉以繪製各層氣流圖，預報北美和西歐的高空風情況，保障空軍於此區域的飛行安全，英國更在此時期，為了同樣的目的，設置 100 個氣象臺，第一次世界大戰後，各軍事強國更進一步加強空軍氣象儀器裝備建設。

1990 年代起，隨著氣象科學技術的快速發展和高科技戰爭的演進，在資訊化的空軍作戰中，航空設備演化為具備多樣性、綜合化等特性；氣象觀測裝備則演進為地面、高空及太空相結合綜合化氣象觀測系統，有軍用氣象衛星、氣象偵察機、GPS 探空測風儀、剖風儀、自動氣象觀測站等先進化設備，美國空軍更裝設 600 多套自動觀測設備及 200 部左右的都普勒雷達形成氣象觀測網絡，美國空軍備有飛行高度 16 公里、航程 550 公里的小型氣象特測飛機，氣象衛星也進入成熟的應用階段，在全天候、多光譜、高分辨率、高精度等條件下進行不間斷的氣象衛星監控，配合高速通信網路的基礎架構，可即時傳輸各種氣象情報，我國也在科技及氣象人員的努力下，發射了福爾摩沙系列衛星 (表 1)。

氣象裝備是實踐航空器飛行安全

保障的基石，在軍事需求牽引下，航空氣象裝備的發展將廣泛採用現代學技術，保障軍事作戰任務、訓練等安全，以提高軍事氣象保障能力為目的，氣象裝備可朝下面方向發展：

- (1) 自動觀測取代人工項目：伴隨電腦運行速度躍進、網路傳輸速度升級，氣象觀測裝備將朝多元化、自動化、集成化、精確定量化等面向發展，隨著地面觀測站的組成完善，探空及太空氣象資訊也逐漸利用衛星、雷達、探空設備得到滿足，集結各地各空層資訊後，統由電腦高速運算方式，統整並分送給需求單位，實現高科技、高精度、高分辨率的連續、一體化定量觀測。
- (2) 氣象裝備小型機動及無人化：配合科技進步，電路技術、傳感器晶片等科技被廣泛運用，機動、便攜將成為氣象探測飛機、空頭設備的發展重點。
- (3) 多網路、多頻道及安全保密傳輸：確保軍事氣象訊息傳輸高速率、高品質的安全傳輸網絡，將以光纖和衛星通訊為主，朝向高速化和綜合化方向發展，採用寬頻傳輸技術、高速處理效能，使軍事氣象訊息傳輸安全穩固。
- (4) 快速綜整、即時發送：為適應空軍作戰快速、機動及指揮自動化的需求，氣象自動化系統將綜整即時氣象資訊（衛星雲圖、雷達回波、天氣預測報）等，有效並即時支援作戰指揮，俾利指揮官決心下達。
- (5) 機載氣象裝備普及化：為避免危險天氣對飛行安全的危害，機載氣象裝備將大幅推進在空機飛行安全，利用雷達、風切變儀等機載氣象裝備，提供飛行員即時資訊警示，保持飛機正確的飛行姿態，避開空中危險區域。

- (6) 氣象武器發展：人工影響氣象之潛在軍事價值，軍用人工氣象設備與技術將運用於軍事作戰層面，1995 年美軍在未來 30 年的發展戰略中，提出利用人工影響天氣的軍事作戰方針，以控制局部天氣來提升作戰能力，進而增強戰場空間優勢，以達軍事作戰目的。

### 3. 氣象觀測裝備

地面氣象觀測是指在地表（包含海面）所進行的氣象相關數據測量與判定，觀測的主要因素有：氣溫、濕度、氣壓、地溫、降水、風向、風速、雲、能見度、日照、輻射、蒸發、凍土、積雪和天氣現象等，根據不同的觀測用途和內容，地面氣象觀測分為天氣觀測、氣候觀測和專業氣象觀測等，其中專業氣象觀測又區分為天氣氣候觀測、農業氣象觀測、海洋氣象觀測和航空氣象觀測等模式。

由於空軍作戰對氣象條件有強烈需求，因此空軍地面氣象觀測以航空氣象觀測為主要目的，統稱這些地面氣象觀測所使用的儀器、設備、器材和自動化觀測系統為氣象觀測裝備。

飛機起降主要在機場進行，機場及附近地面的氣象要素（風、低雲、能見度、雷暴等危險天氣），將直接影響飛機的飛行安全，根據飛行事故統計資料顯示，飛安事故多發生於飛機起降，尤其是降落階段，發生於機場週邊的飛行事故約佔總事故的 90%，因此機場的氣象觀測內容對航空飛行安全更為重要，機場氣象觀測的內容、準確性、即時性也較其他觀測站標準更高，航空氣象觀測內容主要包括：溫度、濕度、氣壓、天氣現象、風向、風速、雲、能見度等，具體項目和內容，如表 2。

氣象臺使用地面氣象觀測裝備，按操作方式分為常規式及自動化遙測兩種。常規的氣象儀器主要有：玻璃溫度計、水銀氣壓計、毛髮溼度計、風向風速儀、手持式輕便測風儀、雨量計、雲幕機等；自動化遙測裝備主要有：地面自動氣象觀測系統（溫度、濕度、氣壓、降水、風向、風速）、雷射雲高機、都普勒降雨雷達、能見度（跑道視程、水平能見度）探測儀、天氣現象探測儀等。

由於大氣的變化是整體的，因此要了解大氣的變化，就要了解陸地到海洋、地面至高空的天氣變化，因此全球性的監測，全時性的數據，準確紀錄是氣象觀測的要項，因此氣象裝備的多功能、多要素、智能化、體積小、低功耗成為未來的發展趨勢，網路傳輸的進步，也實現氣象裝備自動觀測的需求，因此全自動的全時全域氣象站也成為時代潮流趨勢；氣象觀測主要可區分為地面、高空及太空等三個空層，下面針對三項進行分述。

地面自動氣象觀測站，又稱為自動氣象站（Automatic Weather Station）或自動氣象觀測系統（Automatic Weather Observing Station, AWOS），根據不同用途及要求可分為：固定式自動氣象站、移動式自動氣象站、攜帶式自動氣象站、便攜式自動氣象站和手持式氣象觀測儀；依工作模式可分為：有人氣象觀測站和無人氣象觀測站；按通性模式可區分為：有線遙測氣象站及無線遙測氣象站。

美軍對於自動氣象觀測站的研製和使用最早，從 20 世紀中就開始研擬自動氣象觀測站（圖 3），1960 年開始使用自動氣象觀測裝備，目前美國已擁有 1600 套機場地面氣象觀測自動化系統，製造溫度、濕度、氣壓、降水、風、雲底高、能見度、雨量、陣風、光照、輻射等 12 個氣象要素的自動觀測站臺，日本也已漸成由 466 個有線遙測氣

象站和 1313 個自動氣象站組成的自動氣象資料收集系統，憑藉國家通信網絡實現氣象資訊傳輸，韓國建有 400 個自動氣象站，可自動觀測氣象五要素，目前世界各國都在不斷發展地面自動氣象觀測系統，隨著電腦設備與傳感器的更新應用，自動氣象觀測系統有了很大的進步與發展，軍事基地裝備功能齊全的固定式自動氣象站，在野戰部隊裝備機動能力強大的機動式自動氣象站及用於單兵攜帶的手持式數字化氣象觀測儀。

地面自動氣象觀測設備一般由氣象傳感器、數據採集處理器、數據傳輸裝置電源和數據處理電腦設備等組成，分析其工作原理：氣象傳感器利用大氣感應原件，感應大氣物理變化，將大氣感應原件得到的氣象參數轉換為電信信號，數據採集處理器針對電信信號進行數字化採集和處理，再將信號轉換為對應的氣象要素值，氣象要素值按規定的格式編排後，經數據傳輸裝置（有線或無線）傳送給氣象數據收集中心處理機，進行數據保存和綜合處理，讓使用者得到綜合後的顯示結果，其中觀測各項氣象參數的傳感器尤為重要，下面針對各大項做分類介紹：

- (1) 氣象傳感器：用來接收大氣變化的電子儀器，通過內部敏感元件，將大氣物理變化過程反應為各種敏感元件自身的特性變化，再由變換器將氣象參數引起的元件特性變化轉換為電能信號，提供數據採集器使用，常規的地面航空氣象要素傳感器有：溫度傳感器、濕度傳感器、氣壓傳感器、風向風速傳感器和降水傳感器等。
- (2) 氣象數據採集器：自動氣象站完成數據採集和預處理的資料收集平臺，不僅具有數據採集能力，還有數據預處理和存儲功能，接口樣式繁多，主要為併行數據接口、多通道模擬電壓輸入、頻率檢測、事件計數及多種標準

通信接口等。

- (3) 數據傳輸設備：自動氣象站因數據傳輸設備使用方式不同，而採用不同的通信方式，主要分為有線通信（幾公里距離）、超高頻通信（UHF，事實公里到 100 公里）、衛星通信（GSM，100 公里以上）。
- (4) 供電電源：因自動氣象觀測站多位於偏遠地區和無人區，設備的電力供應多採用太陽能電池和免維護蓄電池等多種供電方式進行組合供電，為了保有觀測系統長時間穩定工作，氣象站的供電系統採用低功耗設計（平均功耗為 1W），圖 4 為太陽能電池板，陽光充足時由太陽能電池供應電源，同時對蓄電池充電，在陰雨天氣（陽光不足）或夜間，由蓄電池供電。
- (5) 避雷裝置：對於野外裝備，根據其架設高度和位置，需安裝避雷針進行引雷，主要將風桿和通信天線等電器設備置於避雷針的保護下，避免直接遭受雷擊，且電氣系統內部信號輸入（出）裝備應加裝避雷裝置，避免感電造成設備遭雷電危害。
- (6) 氣象數據收集平臺：根據系統使用方式不同，終端機處理的工作方式和功能也不盡相同，典型的氣象數據收集平臺，可以控制數個自動氣象站，透過氣象站採集的數據，經過數據傳輸設備傳送到氣象數據採集平臺終端電腦，進行存儲和標準化處理，通過核心電腦網路將數據傳到氣象預報中心使用（圖 5）。

空中氣象探測，又稱為高空氣象探測，利用各種物理學方法和現代科技技術，探測大氣近地面層、行星邊界層、對流層、平流層、中間層、熱層及外逸層等各高度氣象要素狀況，測量內容主要有溫度、氣壓、濕度

、風向風速等，另有特殊項目如大氣成分、臭氧含量、輻射、大氣電場等；高空氣象探測裝備，用以探測空中氣象要素的各種儀器、設備、器材和探測系統的統稱，是航空氣象裝備的重要組件，由於空軍為空中作戰任務為主的戰略軍種，空中作戰時由底層到高空各高度執行飛行任務，空中氣象要素因子對飛行有重要影響，傘兵及防砲、飛彈部隊也會受到空中風場等氣象要素，影響作戰任務是否能夠順利執行，因此探空設備對於空中作戰有著極其重要的影響；高空氣象探測裝備主要包括：高空氣象探測雷達系統（無線電探空儀、剖風儀雷達等）、無線電經緯儀、GPS 高空氣象探測系統、平飄氣球探測系統及氣象火箭探測系統等。

高空氣象探空技術源自 1749 年，英國人亞歷山大·威爾遜把溫度計網綁在風箏上，用以測量低層大氣溫度，開啟人類向高空氣象觀測的大門，1783 年法國人 J.A.C. 查理製成攜帶溫度、氣壓自記裝置的氫氣球測定高空溫度和氣壓，1809 年英國人 J. 沃力斯和 T. 弗雷斯首次用測風氣球探測高空風，然而由於探測後傳輸及運用不及，都無法即時運用觀測到的氣象資訊，直到人們設法將發報機一起帶上高空氣球，觀測到的氣象數據通過無線電訊號即時發送到地面蒐整，1918 年此試驗就已完成測試，卻很遺憾未能成功，1923 年，美國陸軍氣象學家布萊爾終於成功在地面上接收了 20 分鐘的訊號，正是在無線電探空獲得成功突破，1927 年，德國氣象學家艾德拉格和布力歐首次把波長 42m 的電子管發報機繫在上升氣球下方進行試驗，成功收到發報機由平流層發出的信號，成功達成即時探測高空氣壓、溫度和風的夢想，1928 年蘇聯莫爾洽夫發明無線電探空儀，以氫氣球升空後，在各高度回傳氣壓、溫度、濕度及風等氣象要素，並以感測的無線電機回傳即時訊息，且無線電探空

儀的體積輕巧、觀測簡便、結果可靠，高度可達 10-15 公里，馬上就成為普遍使用的探空設備，1931 年芬蘭 Vaisala 公司的創始人維薩拉發明芬式無線電探空儀，為現今世界上探測 30-40 公里高度以下的主要探空器材，由於探空高度的需求不同，探測方法也有差別，無線電探測儀主要用於對流層和平流層的氣象要素，火箭則用於高層大氣，氣象衛星利用遙感技術，由太空進行大氣層探測，偵測的氣象高空數據可用以研究空層熱力和動力變化過程，進而製作天氣分析與預報，開展氣候評估、氣候變化及對人類進化影響的研究，更是氣候資源開發與預測的重要資料庫。

地面及高空的觀測設備中，又以雷達掃描為大宗，雷達 (Radio Detection and Ranging, 簡稱 RADAR) 原設計用於搜索飛機、艦艇及遠處的目標，伴隨科技進步，氣象學門也廣泛使用雷達技術，來探測各空層地面至高空的數據，更對雲、降水等更加重視，1941 年英國最早使用雷達探測風暴，1942-1943 年麻省理工學院專門設計氣象目的使用的雷達設備，1953 年美國空軍設計 X 波段的天氣雷達，用於機場天氣守視，1970 年因傳輸及電腦處理速度提升，研製出數位氣象雷達，強化數據回波圖象的處理能力，1980 年都普勒雷達已普遍運用於氣象探測及科學研究，1988 年丹麥空軍裝備 METEOR-360AS 天氣雷達，1995 年義大利空軍裝備 GPM-500C 都普勒雙極化天氣雷達，1990 年美國逐步完成都普勒天氣雷達 WSR-88D 全國布設，1998 年更用 C 波段戰術都普勒天氣雷達取代舊型雷達，2002 年美國國家氣象局、強風暴實驗室、海軍海洋研究室、俄克拉荷馬大學等機構聯合研製相控陣列天氣雷達，針對發展變化快、生命週期短、危害性大的強對流天氣進行監測，隨著雷達技術的推展，氣象雷達的探測技術也不斷發展，採

取雙偏極、快速掃描、多參數等技術，可提供更多的氣象資訊，且採集與辨識率也更為精巧，目前國內氣象雷達也因應各地需求，架設機動式及固定式的雷達系統，針對機場周邊、探空風場等，實施即時的觀測，俾利氣象資訊即時有效回傳運用。

隨著航空產業及空軍作戰需求的發展，即時取得在空資訊為在空機的重要情報來源，因此機載氣象探測裝備與氣象探測飛機也成為必備的氣象設備，因應飛機行進速度快，因此機載氣象雷達需有儀器靈敏度高、測量精確度高、自動化等效能，目前各軍事強國的空軍均配備專用於氣象探測的飛機，且軍民飛機上均配有氣象探測裝備，1990 年美英等國也廣泛運用小型無人氣象偵察機、機載氣象探測設備、空投氣象探測設備等進行站場氣象偵查，收集目標區天氣情況，發揮突襲等戰場優勢，因此空軍強大的國家都將機載氣象探測裝備及氣象飛機作為優先發展與採購項目。

氣象衛星是從外太空對地球及大氣層進行氣象觀測人造衛星，主要在人造衛星上搭載氣象觀測儀器，測量大氣溫度、濕度、風、雲等氣象要素以及天氣現象，由於氣象衛星從外太空居高臨下測量，觀測區域寬廣、頻率高，且可連續不斷的測量天氣變化，配合高速傳輸方式，可使氣象人員快速彙整即時大範圍天氣變化，提高天氣預報準確率，為氣象現代化觀測的重要裝備，氣象衛星提供的氣象情資，已成為空軍氣象保障中不可缺少的即時天氣資料，戰時更可運用此裝置，提供戰區即時氣象情報，1960 年 4 月 1 日美國發射第一顆氣象試驗衛星後，多個國家也紛紛發射繞極衛星與同步衛星，綜整全球氣象動態，完成氣象衛星監測網。

天氣預報整合介面等裝備，為氣象最重要的彙整裝備，將各項氣象觀測所蒐整到的氣象情資，透過電腦處理後，輸出為氣象預

報人員可加以運用之氣象情資，主要有天氣圖填繪及天氣系統分析、數值預報氣象自動化系統及機動氣象裝備，利用各組成將氣象因子以空層高度剖析大氣結構，分別繪製各高度至地面層的天氣圖，並將數據載入數值模式分析，依過去資料庫判斷未來天氣趨勢發展，預報人員再加以分析修正氣象預報情資，判斷未來天氣發展趨勢及地區天氣預報，輔以電腦網頁介面及目前手機 APP 軟體顯示，促使各飛行部隊及使用者可及時獲取天氣預報及測報資訊，提供即時氣象情報，以利任務執行及飛行安全保障。

#### 4. 人造天氣及氣象武器

人造天氣為利用人工方法使局部地區的天氣現象，依照人為意願或預想方向發展實現的理論和技術；透過人工消雲、消霧、人工降雨、人工控雷等方法，改變雲、霧、降水等天氣現象或影響飛行安全的氣象要素，人工控制或改變戰區、機場局部大氣環境，可確保空軍順利完成任務，奪取制空或作戰勝利等重要意義，惟科技技術及天氣理論尚在發展中，人工影響天氣的技術也十分複雜，因此許多理論及方法正在發展試驗階段，人工影響天氣的裝備及技術仍處於發展階段，下面針對現有人造天氣實施介紹與分析。

影響飛行之天氣，主要為起降機場及航線天氣，且飛機於航線飛行時因飛行高度較高，因此受影響之天氣因素較少，反之機場天氣為主要影響飛行之危安因子，影響機場飛機起降之天氣，主要為雲、霧、雨等天氣要素，因此人造天氣發展初始階段，主要針對機場範圍內，排除影響飛機起降之氣象要素，機場人工消霧是人工影響天氣的初期技術，二次大戰期間，時常被濃霧限制的英國，為保障皇家空軍對德國作戰飛行不受機場濃霧影響，在境內 15 個機場建立名為 FIDO

(Fog Intense Dispersal Operation) 的加熱消霧系統，利用溫度變化，消除原有的成霧要素，藉以保障軍用機場軍機起降可符合天氣標準限度，實踐證明 FIDO 的系統是十分成功的人工消霧裝置，二戰期間確保 2500 餘架飛機的起降安全，順利完成各項飛行任務，於二戰後，美軍也使用並擴展 FIDO 系統，1946-1950 年美國海軍在加州阿卡塔機場運用改良的 FIDO 系統，並將其列入助導航設施的一部分，實驗證明，94% 的機率能使機場霧氣消散，使機場達到飛機著陸的最低能見度標準，1970 年法國奧利機場，更裝設先進的加熱消霧裝置，利用並排於跑道上風處的噴氣發動機尾流，提高空氣溫度，在飛機著陸區形成約 300 平方公尺的消霧區，1972 年再增設 4 臺發動機，使消霧區達到 600 平方公尺，法國交通部決議採用此類消霧裝備確保飛行起降安全，美軍也研發乾冰消霧裝置等設備，確保飛安，蘇聯也在境內機場採用加熱除霧的方法，確保空中走廊天氣，獲得良好的效果。

人工消雲設備主要通過空對地潑灑器向雲中潑灑乾冰、碘化銀等催化劑，生成人工冰核，使雲層蒸發下落，雲層濕度轉變為未飽和狀態，進而消散，人工消冷雲的方法，通常用於飛機在雲中潑灑碘化銀或乾冰，促使雲中產生大量冰晶，使過冷水低蒸發、冰晶增長，當冰晶增長為降水粒子後，雲層消散，美國在山區谷地實施的月光計畫中，採用高壓液態二氧化碳噴射制冷，產生大量冰晶使下方冷雲消散，1986 年 11 月 7 日蘇聯為確保國慶閱兵空軍部隊能順利執行，以伊爾 18 和安 12 飛機在莫斯科上空潑灑乾冰進行消雲，使閱兵順利實施，2005 年 5 月 9 日俄羅斯空軍為慶祝世界反法西斯戰爭勝利 60 周年，也利用潑灑碘化銀和液氮進行消雲作業，獲得期許效果，使慶典在少雲的情況中實施。



人工降雨是利用人工手段促使雲層降水，依不同雲層的物理特性，向雲中潑灑水滴、鹽粉、碘化銀或乾冰等催化劑，人工降雨又分為冷雲和暖雲人工降水方法，由於人工降水有較高的經濟效益和軍事應用價值，因此各國高度重視並促使人工降水技術和設備發展，1950 年以來，美國、蘇聯等國家多次進行人工降水計畫，如白頂、Climax、Cascade、CRBPP 等計畫，蘇聯的外高加索試驗及南非的積雲催化試驗等，都得到良好的成果，中共於 1958 年夏秋乾旱期，以飛機噴灑乾冰，解除 4 萬多公頃耕地旱災，我空軍氣象聯隊也於每年臺灣乾旱期，實施人工增雨作業，藉由暖雲人工降水的基本原理，向雲中噴灑水滴，破壞雲滴分布的均勻性，破壞雲層穩定結構狀態，促使雲層內水滴產生碰撞，進而產生降水反應，且由氣象中心分析雲層結構與合適的降水點，進而使降雨落於水庫上方，進而促使水庫進水量增加解除旱情，人工增雨作業已是我空軍年度重要任務之一。

氣象武器是運用人工技術影響天氣變化，通過控制風雲、雨雪、雷電、寒暑等天氣來改變戰場環境，營造對我軍有利之軍事打擊場景，達到干擾、傷害、破壞，進而損毀敵有生戰力並保護我方的軍事目的，大氣中因存有巨大的能量和各種不穩定因素，人們致力於掌握此等因素變化規律，在有利時機和條件下，通過人工催化等科技技術及方法，對局部區域內大氣物理過程催化影響，誘發其產生巨大能量釋放與轉換，進而迫使天氣依預想目的發展，近年來隨著各種氣象探測技術和電腦運行速度進展快速，促使天氣系統和天氣現象的成因與物理反應變化，有了更清晰的認識，對各種天氣現象成因的科學認識，促使了人工影響天氣技術的發展，並融合其他高新科技的氣象武器，形成新武器的概念，可運用於未來戰爭作戰，也使未

來戰場浮現氣象作戰的軍事願景，人工控制天氣在軍事上的應用，由人工造霧開始出發，人工造霧是通過人為地面製造漫天霧氣，藉以屏蔽自己或給敵人行動造成困難和障礙，利用大氣中水分的變化，形成局部成霧原理，1943 年 9 月，美軍進攻義大利南部的戰役中，利用此原理在軍隊渡河時由飛機在低空潑灑造煙霧劑，形成 5 公里長，1.4 公里寬的煙霧牆，隱蔽渡河部隊，使對岸防守的德軍只能面對大霧胡亂射擊，致使盟軍突破德軍防線，1999 年科索沃戰爭中，因煙霧及氣候造成的霧氣，也是南聯盟得以偽裝掩護保存戰力，留有對抗北約精製炸彈的防護，1991 年海灣戰爭中，伊拉克在目標區上空施放煙霧，肇致多國部隊的 7 千多餘枚炸彈僅有 20% 的命中率，且利用燃燒的油井造成濃煙，並使紅外線導彈偏向；人工降雨在軍事上的運用，被廣泛認為是氣象武器的前驅，1966-1972 年越戰中，美國利用東南亞地區西南季風盛行的多雨條件，派遣 C-130 飛機在胡志明小道的上游地帶，潑灑碘化銀進行人工增雨，促使局部地區洪水氾濫、橋樑斷裂、道路泥濘難行，使得原先每週約可通行 9 千多輛車的道路，僅能通行不到 1 成的數量，有效打擊後勤補給運輸線，人工降雨給美國在越戰中帶來的效益，甚至比轟炸機造成的損失還要多，現今美國更利用無人機在戰區潑灑炭黑粉塵，增加或抑制中小尺度降水或在乾燥地區增強對流雲系發展（雷雨胞），1970 年美國的狂飆計畫，更對黛比颶風進行人工控制試驗，開創人工影響颶風的先河，1980 年迄今美國軍民合作，也開啟多項試驗，研究人工調控局部地理天氣的物理機制與技術方法，1975 年 8 月 5 日加拿大向日內瓦裁軍會議提交的文件中，概括了人工影響環境的各種類型及其作為武器的可能性評估，如表 3。

## 5. 結論

近年來，伴隨科學技術的迅速發展，人工影響天氣不斷進步，氣象作為武器技術已引起世界各強國的普遍關注，基於氣象武器所蘊含的巨大潛力，美國、俄羅斯等軍事強國爭先公開或秘密研究與試驗，世界上已有 80 餘國或地區開展大氣環境調控的人工影響天氣試驗，美俄等國更將部分研究成果導向氣象武器發展，美國空軍預於 2025 年前，將氣象分析與調控系統列為重點發展概念武器技術，利用航空既有力量集中開發並整合為新的科技技術，達成作戰中「駕馭氣象」的目的，並發展為未來戰場的新型藍圖，促使軍隊可在新式戰場環境中迎敵，提供作戰的有效戰力，且可運用於所有戰爭中，美國為使氣象成為有效戰力已致力於提升氣象武器有關的氣象分析與調控研究，利用各種人工氣象武器，希望能在未來 30 年內達成控制戰場天氣的目標，氣象武器的技術與發展會在未來戰爭中佔有一席之地；我空軍氣象擁有許多先進之氣象裝備，藉以有效預測機場及臺灣地區天氣發展變化趨勢，並運用開發現有武裝，達成人工增雨等軍事、民生效益，未來更可廣泛參用世界氣象軍武發展，成為未來氣象裝備採購與發展目標，俾利軍事運用、確保空軍任務遂行。

## 6. 參考文獻

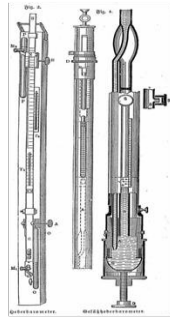
- 戚啟勳，「大氣科學」，弘揚圖書，2008 年。
- 葉鑫欣、焦艷，挪威學派氣象學家的研究工作和生平，2011 年。
- 劉艷芳，「航空氣象裝備」，空軍裝備系列叢書，2009 年。
- 張育堂、陳藹然，「氣壓計 (Barometer) - 科學 Online」網站，<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40735>，2011 年 11 月 3 日。
- 伽利略發明溫度計<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%BD%E5%88%A9%E7%95%A5%E6%BA%AB%E5%BA%A6%E8%A8%88>

- 托里切利發明氣壓計<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%94%E5%8E%8B%E8%A1%A8%E6%B0%B4%E9%93%B6%E6%B0%94%E5%8E%8B%E8%A1%A8>
- 氣象衛星泰羅斯 1 號 <https://www.aalsw.com/ljsjemi/shijieshi/273081.html>
- 自動氣象觀測站<https://www.jma.go.jp/jma/en/Activities/amedas/amedas.html>
- 太陽能電池板<https://delhi-city.adeex.in/automatic-weather-station-from-kaizen-imperial-id-1172820>
- 氣象數據收集平臺 <https://www.pulsonic.com/en/synoptic-automatic-weather-stations/>
- Greg Hewgill, "Galilean Thermometer", <https://hewgill.com/galilean-thermometer/>, 4 Jan. 2005.

7. 圖表彙整



伽利略溫度計



托里切利氣壓計

圖 1 伽利略發明溫度計和 1643 年托里切利發明氣壓計



圖 4 太陽能電池板



圖 2 泰羅斯 1 號

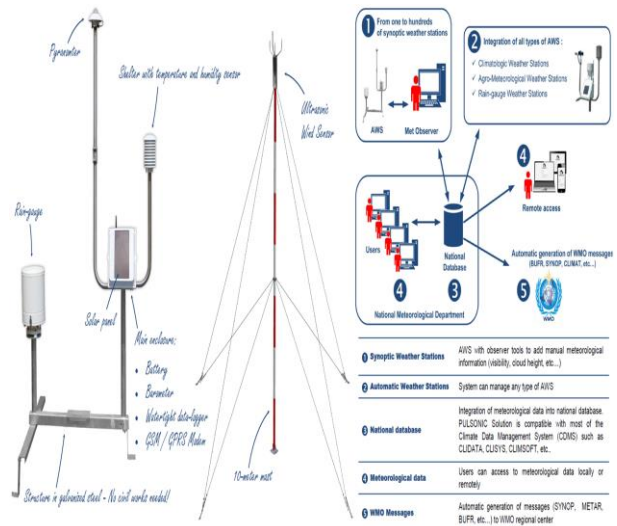


圖 5 典型氣象數據收集平臺

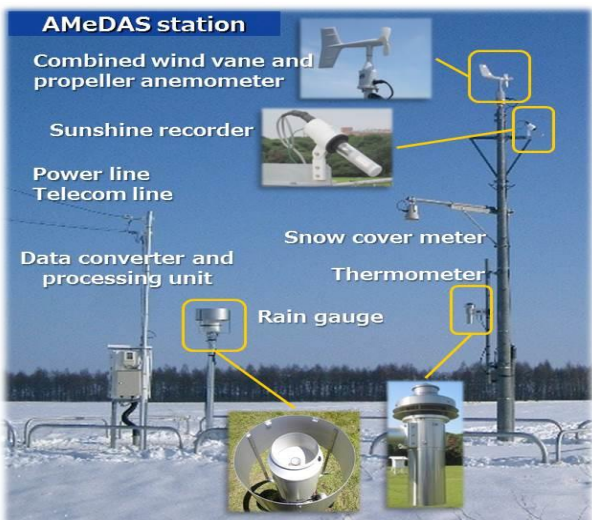


圖 3 自動氣象觀測站

表 1 福爾摩沙系列衛星

名稱	發射日期	紀要
福衛 1 號	1999 年	世界第 33 個擁有衛星的國家
福衛 2 號	2004 年	遙測衛星
福衛 3 號	2006 年	氣象衛星
福衛 4 號	X	因弊案被取代
福衛 5 號	2018 年	同步衛星，光學遙測衛星
福衛 6 號	X	科技部判定取消
福衛 7 號	2019 年	接續福衛 3 號，監測電離層及大氣資料

表 2 航空地面氣象觀測主要內容

氣象要素	內容
溫度	氣溫、最低氣溫、最高氣溫、露點溫度
濕度	相對溼度、絕對溼度
氣壓	測站氣壓、海平面氣壓、場面氣壓
降水	液態降水（雨、毛毛雨）、固態降水（雪、冰雹）
風向風速	地面風、高空風
雲	雲底高、雲量、雲狀
能見度	水平能見度、垂直能見度、跑道視程
天氣現象	天氣現象類別、強度、起訖時間、方向、移向

表 3 控制天氣的軍事應用

類型	軍事應用	效益評比
消雲消霧	對敵目視攻擊	短時間、特定点（略術）
造雲造霧	防止目標區受攻擊或輻射	條件合適時（戰術）
人工降雹	破壞敵設備、電源和通信等	條件合適時（戰術）
改變大氣電學性質	通信中斷、屏蔽遙感	不可靠
人造電場	通信中斷、屏蔽遙感	不可靠
人工生成和引導風暴	目標區遭嚴重毀損	有限地區（戰術）
人工降雨和降雪	敵運輸機動受阻	有限地區（戰術）
控制閃電	縱火、毀損敵通信天線	條件合適時（戰術）
人工氣候	侷限糧草生長（戰略）	不可靠
改變高層大氣或電離層	侷限糧草生長及人類生存（戰略）	不可靠

# **Influence on Aeronautical Meteorological Equipment on Military Tactical Operation**

Pei-Jung Lee

The Eleventh Weather Center of Air Force Weather Wing

## **Abstract**

With the rapid development of science and technology, new technology is also widely used in the military field. A lot of high-tech weapons and equipment have emerged, effectively exerting powerful war power. High-tech weapons and equipment are powerful, but they still could not escape the weather restrictions. This article uses the existing meteorological equipment and development history of various countries to let readers understand the history and development of meteorological equipment, and then realize their using and combat value. Using the characteristics of meteorological equipment to analyze the application and influence of meteorology on military tactical mission.

**Keywords: Meteorological equipment, Military tactical operation**