

· 吉米 ·

我國無人飛機大氣探空簡史

源起

長久以來，大氣科學界始終都是藉由探空氣球與衛星遙測等工具來獲取大氣環境資料。但是，威脅臺灣地區的颱風，從形成、發展與移動路徑的電腦模擬與預報，卻仍需要太平洋洋面上的大氣觀測資料，作為預報模式的初始值，才能精確定出颱風中心位置，並預估其強度與暴風半徑。由於颱風大多發展於熱帶太平洋上，但洋面上的大氣觀測資料卻極為缺乏，因此，使用載人飛機接近颱風現場 (In site)，並以機載雷達掃描或是投放探空儀進行觀測，成為觀察颱風發展最直接有效的方法，但耗費成本也相當可觀。雖然，目前有衛星觀測，但只能

在颱風眼明顯清楚時，提供颱風中心位置及伴隨雲系的外貌與高、低層的雲導風場 (Cloud-drift wind)，也因此大氣科學界才會對無人飛機直接進入颱風內部環流，實施探空觀測寄予厚望。

過去美國關島安德森空軍基地「颱風聯合警報中心」(Joint Typhoon Warning Center，簡稱：JTWC) 的觀測飛機，在颱風預報作業中扮演非常重要的角色，但自一九八七年九月，因經費短缺，無法更新 WC-130H

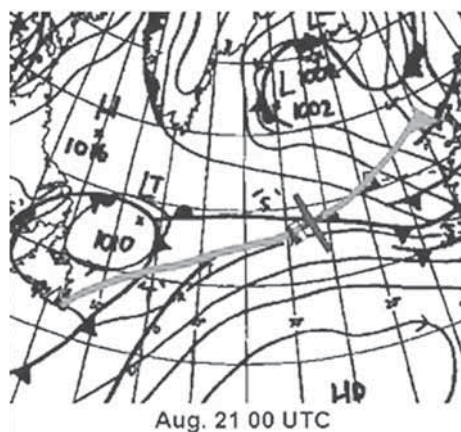


原駐地位於關島的美國空軍第五十四氣象中隊所屬的 WC-130H 型觀測機 (Photo By U.S. Air Force)。

觀測機隊，便停止相關觀測任務。此後，西太平洋地區的颱風海上觀測資料，僅能藉衛星遙測資料反演推得。因此，西北太平洋地區急需一種新的



一九九八年 Aerosonde 首次完成橫渡大西洋的飛行壯舉 (Photo By Textron System Australia Pty. Ltd.)。



觀測平臺，以觀測颱風在廣大洋面上的中心位置、環流強度與暴風範圍。而此困境在一九九六年，由於無人飛機的投入，有了嶄新的突破。

一九九一年美國Insitu公司開始投入Aerosonde這款無人探空飛機主體研發；一九九三年澳洲氣象局也加入贊助之列，並由澳洲Sencor公司協助開發生產。一九九五年年底，Aerosonde首度參與澳洲Maritime Continent Thunderstone Experiment聯合觀測實驗，開啓了無人飛機在大氣科學觀測研究領域的先機。

一九九六年一個由美國海軍研究辦公室（Office of Naval Research）、海軍研究學校（The Naval Postgraduate School）、加州理工學院（California Institute of Technology）和普林斯頓大學（Princeton University）共同組成「遠程飛行器遙測研究中心」（The Center for Interdisciplinary Remotely Piloted Aircraft Studies，簡稱：CIRPAS），成立目的在研發造價低廉，且能用於空中觀測平臺的航空器；同年，該中心正式向外界介紹「Pelican、Altus與Aerosonde」三款氣象觀測用無人飛機；其中，Aerosonde的功能簡便、造價低廉、且符合大氣觀測需求而勝出

。翌年，Aerosonde完成二十四小時滯空驗證飛行；一九九八年更完成人類首次以無人飛機飛行三千兩百七十里、歷時二十六小時四十五分鐘，橫渡大西洋的飛行壯舉。

我國無人飛機探空團隊——T.A.T.

鑑於Aerosonde無人探空飛機應用於颱風觀測的潛力，一九九八年二月，我國無人飛機評估團隊遠赴澳洲黑德蘭港（Port Hedland）實際觀摩Aerosonde的觀測作業；四月中央氣象局隨即採購四架，並於五月二



澳洲AeRA公司技術支援團隊在東沙島協助「南海季風實驗」觀測飛行（Photo By Textron System Australia Pty.Ltd.）。

日舉行記者說明會。五月五日我國團隊與澳洲AeRA公司技術支援團隊前往東沙島進行一項名為「南海季風實驗」（South China Sea Monsoon Experiment，簡稱：SCSMEX）的聯合觀測實驗，一方面運用無人探空飛機，觀測南海海上大氣低層結構；二方面讓我國新組成的作業團隊（註一）得以了解此型無人探空飛機的操作流程與技術。五月九日至二十五日，兩國作業團隊一共進行了十九架次的密集觀測（IOP）飛行，在五月十五日第八架次，為時七小時的飛行中，證明「Aerosonde在雷雨胞劇烈天氣系統下飛行，也能蒐集資料的優異能力。另外，五月十八日至十九日連續二十五小時的滯空飛行，也蒐集到亞洲季風肇始前，南海海上大氣邊界層環境特徵資料。本次實驗Aerosonde所展現的飛行觀測能力，讓團隊成員信心大增。

一九九九年臺灣大學大氣科學系在國科會（現科技部前身）防災國家型科技計畫辦公室的資助下，增購了四架無人飛機，繼續執行一項為期六年的觀測計畫。一九九九年九月十二日至十七日，作業團隊在中科院九鵬基地進行了第一次完全由國人主導的測試飛行。我國無人飛機探空團隊（

T.A.T.) 自此正式成軍，成為該型無人飛機全球第一個用戶。

二〇〇一年九月十一日，美國本土發生九一一恐怖攻擊事件，美國政府將無人飛機列為限制性管制品，嚴禁出口與販售，我國因此成了最後一個擁有並使用該機型的國家。直至解禁，睽違十五年之後的二〇一四年，國家實驗研究院 (NARLabs) 臺灣颱風洪水研究中心 (TTERI，以下簡稱颱風中心) 才又重新規劃建置新一代的無人飛機機隊與觀測作業團隊 (註一)。

二〇〇一年五月二十二至三十



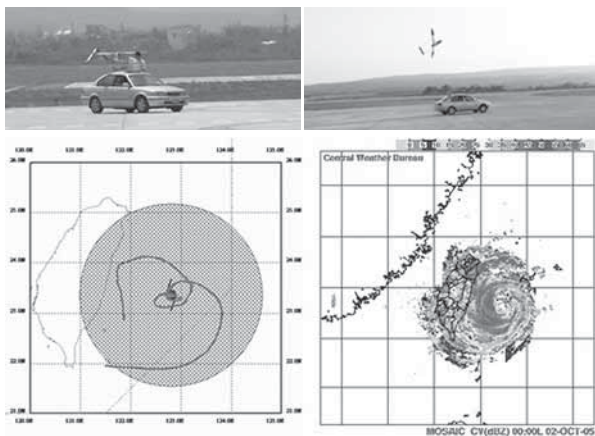
我國無人飛機探空團隊成員來自中央氣象局、臺灣大學大氣科學系及中山科學研究院 (Photo By T.A.T.)。



T.A.T.在綠島執行國科會代號：GIMEX的「綠島中尺度實驗」計畫 (Photo By T.A.T.)。

一日，T.A.T.使用綠島民用機場，執行國科會代號：GIMEX的「綠島中尺度實驗」(Green Island Mesoscale Experiment) 計畫，首次在臺東成功外海進行海陸風場跨夜觀測飛行。五月二十六日一趟長達十八小時的滯空飛行觀測，創下了當時國內無人機最長的滯空飛行紀錄。

二〇〇一年十月十六日，Aerosonde自宜蘭大福基地起飛，成功進入「海燕」颱風環流的外部核心區域 (Outer core) 進行探測。此舉為大氣探空史上，首次成功運用無人飛機進行颱風觀測的創舉，也讓全世



Aerosonde成功進入「龍王」颱風中心進行觀測 (Photo By T.A.T.)。

界對我國科學界的觀測作業能力為之側目。翌年在「康森」颱風的觀測任務，Aerosonde更推進至接近颱風中心位置進行觀測。

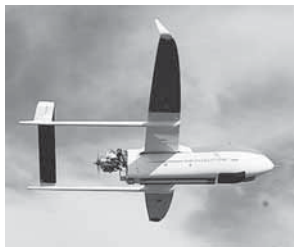
二〇〇五年十月一日黃昏，一趟自恆春機場起飛，針對「龍王」颱風進行的觀測飛行，成功於二日凌晨進入颱風中心位置。此次也是Aerosonde無人探空飛機首次啓用衛星通訊鏈路，進行導控測試的一次飛行，其後經多次測試研改，自二〇〇七年起全面以銖衛星通訊鏈路傳輸，不僅延伸了Aerosonde的導控距離，也增強了執行觀測飛行任務的能力。

T.A.T. 團隊自一九九九年六月成軍，二〇〇〇年秋至二〇〇五年十月「龍王」颱風個案，總共進行了十五次侵臺颱風機動觀測飛行任務，不僅蒐集到寶貴的大氣探空資料，同時也累積了許多無人飛機實際觀測飛行作業的經驗，成效斐然卓著。其中，兩架修復後的Aerosonde機體，分別陳列於中央氣象局南區氣象中心博物館與臺灣大學校史館，做為教育展示與科學見證。

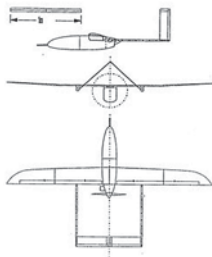
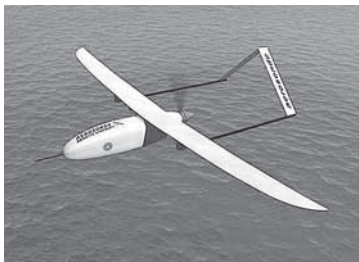
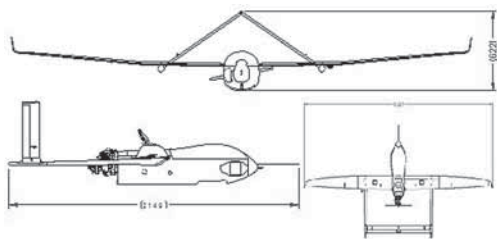
介 Aerosonde 無人探空飛機簡

Aerosonde原型機之機體結構與航電系統為一九九一年美國In Situ公司所研發，之後澳洲氣象局加入贊助行列，並委由澳洲Sencon公司協助開發生產。一九九三年首架原型機（First Prototypes）Aerosonde MK I正式推出；一九九五年完成功能與飛行測試驗證；一九九七年進入計畫量產，我國也於該年進行採購評估。

隨科技發展，Aerosonde公司不斷就引擎效能（化油器進化至多點噴射供油系統、單汽缸進化至雙汽缸）、滯空時間（機體與機翼）與起降系統（彈射起飛、自動飛控、自動位移修正降落）等機制進行研改，陸續推



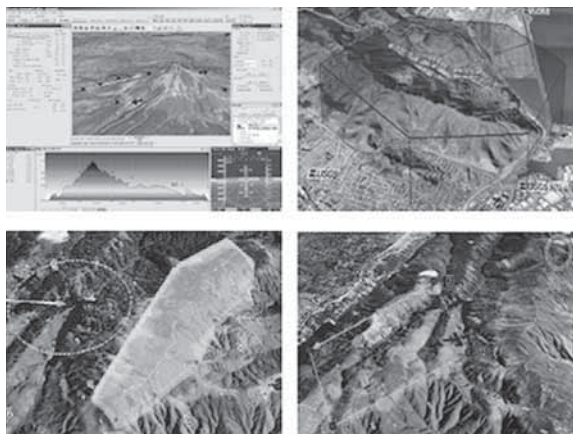
上組圖：Aerosonde MK4.7 E 型機及其三視圖，左組圖：Aerosonde MK I 及其三視圖。



出MK II、MK III、MK IV、MK IV C、D、E、G、J等衍生機型。二〇一四年颶洪中心新購置的就是Aerosonde MK4.7 E型機，不論機體規格尺寸、航電系統配置與軟體飛控功能都比早期機型先進許多，且軟體介面也由Window XP取代DOS Interactive mode，操作起來更人性化。

Aerosonde 原始設計理念主要是將當時大氣探空氣球所掛載的「無線電探空儀」（Radiosonde）改由UAV無人探空飛機掛載攜帶，進入颱風暴風圈，並透過衛星與無線電傳輸，即時將環境場的氣象參數傳回作業中心使用。因此，Aerosonde須具備經濟、可拋棄、輕便、抗強風、長滯空等特點，才能進入變化劇烈的天氣系統，蒐集環境場資料。換言之，Aerosonde是介於載人飛機與探空氣球間的觀測平臺，而當初無人飛行機的命名就是以「Aero」和「Sonde」兩字合併而來。

早期Aerosonde MK I是一款小型



新型Aerosonde無人探空飛機已使用更人性化的Window XP導控介面。



爲了減輕重量與增加續航力，Aerosonde 以機腹著陸(Photo By T.A.T.)。



雙尾桁管 (Twin Tail Boom)、後推式引擎、無起落架的 UAV，機體爲抗壓輕玻纖材質，加蜂巢板夾層以強化結構所製成，而捨棄起落架並改採機腹著陸 (Belly Landing) 設計，是爲了減輕重量，增加續航力。

由於此型無人飛機無起落架，早期 Aerosonde 降落時，必須先將引擎關斷，再由外部導控人員 (EP) 以手持遙控器控制 UAV，以機腹滑翔飄降著陸 (Belly Recovery)。新型 Aerosonde 則採差分式衛星定位系統 (Differential GPS，簡稱：DGPS) 與即時動態位移修正定位功能 (

Real Time Kinematic，簡稱：RTK)，串接機載自動飛控系统，於降落過程中，即時修正離地高度、航跡與飛行姿態，自動精準執行降落 (此機有十比一高滑降比特性)。尤其，Aerosonde 的觀測飛行作業時機，大都是在十分惡劣的天候條件下進行；因此，在彈射起飛與自動化精準降落的優勢下，團隊在作業人力與系統操控上，都較以往更簡便、有彈性、且穩定可靠。

由於新款 Aerosonde MK4.7 E 機體較早期 MK I、II、III 等機型大，引擎效能、酬載能力亦均相對提升，且機艙航電系統模組化 (System



早期 Aerosonde 以車載輔助架同步加速方式起飛，新型則改以彈射起飛 (Photo By T.A.T.)。

modularization)，也讓這型無人飛機的操作與維護更加簡便。

早期 Aerosonde 無人飛機與移動式地面導控站 (PGCS) 的通訊鏈路係以 Stage Box 爲通訊介面，兩者以 TDMA (Time Difference Multi-Access) 方式溝通，一端連接收發天線 (近距離用 Omni、遠距離用 Yagi)，另一端與安裝了飛控軟體的筆電連接。飛行中，所有飛控參數 (Flight Telemetry) 與酬載數據 (

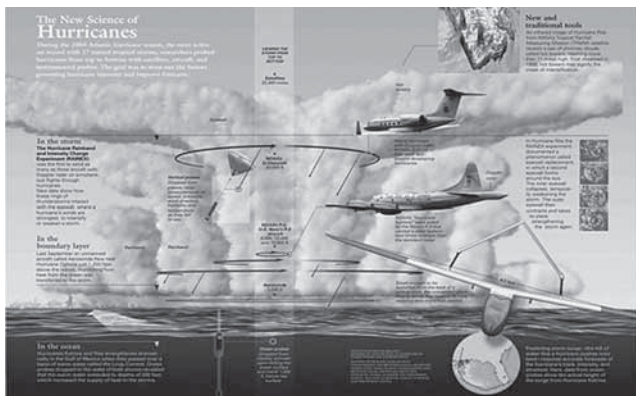
Payload Data) 資料均即時載入電腦儲存；同時，電腦飛控軟體可感測飛控參數反應，當超出安全設定值時，導控電腦會即時發出警告聲，提醒作業人員修正，保障飛機安全。

新型Aerosonde無人飛機除了有原系統的特點外，所有航電系統皆已模組化，原改裝由BENYA R120 20c.c.遙控飛機用的引擎，1100八年由原廠重新設計研製為L-Type 31c.c. (單汽缸) 與K-Type 52c.c. (雙汽缸) 多點噴射供油引擎，不但運轉更加順暢，供電也更穩定；另外，視距外的導控鏈路也改採銻衛星全球通訊系統，改善以往無線電通訊半徑受制於地球曲率的限制。換言之，異國異地聯手執行Aerosonde無人飛機的導控任務已非難事。

Aerosonde無人探空飛機的科學應用

一般大氣觀測可區分為現場和遙測兩大領域。目前全球高空現場觀測以探空氣球掛載無線電探空儀的一維垂直剖面觀測為主；雷達和衛星這些遙測平臺，雖然可以涵蓋不同時空尺度的大氣現象，但仍需不同航空器的臨空現場觀測資料作為參考初始值。

國內大氣科學專門的發軔可追溯



國家地理雜誌曾對不同航空器在劇烈天氣型態的觀測做過精闢報導 (Photo By National Geographic Magazine)。

自一九八七年TAMEX聯合觀測期間，邀請美國NOAA的P-3型氣象觀測機，從日本琉球嘉手納基地起飛，來我國參與海上觀測實驗開始；一九九〇年環保署曾租用荷蘭大氣環境顧問公司Piper PA31-350 Navajo Chiefair 雙引擎螺旋槳飛機，針對都市與特定工業區進行空氣品質調查。氣象局與空軍也曾因應臺灣本島旱季缺水現象，執行人工增雨作業。一九九八至二〇〇五年間，臺大和氣象局利用AerosondeMK I、III型無人探空飛機多次進行穿越颱風觀測試驗。二

〇〇六年臺大大氣科學系使用烏克蘭Aeroprakt A-22型輕航機掛載ICE公司的氯化鈣 (CaCl₂) 暖雲增雨焰劑進行測試飛行。二〇〇七年再度運用A-22輕航機掛載溫濕度與太陽輻射通量感測元件進行測試飛行。目前颱風中心與氣象局仍共同租用漢翔航空公司ASTRA噴射飛機，執行颱風外圍環流Dropsonde的探空觀測作業，顯現我國運用不同航空器進行大氣探空觀測，已有許多寶貴的作業經驗。

一般載人航空器所掛載的大氣科學觀測儀器和量測參數可區分為四大類別：

一、基本氣象 (general meteorology) 感測：氣溫、溼度、風速、風向與氣壓。

二、雲物理 (cloud physics)：雲滴譜、雲水含量、雲凝結核數量。

三、遙測與輻射 (remote sensing and radiation) 感測：降水回波、海溫與長短波輻射量。

四、氣體與懸浮微粒 (gas and aerosol) 感測採樣分析：光化污染氣體、氣體追蹤、沙塵。

依觀測儀器設備特性，通常安裝在機翼下方、機鼻前端、機艙頂部、機體側邊、機腹和機尾等不同部位，並以遠離螺旋槳，且不受其周遭氣流

干擾為主要考量。然而載人航空器所費不貲；因此有效運用無人飛機進行中、低層大氣環境溫度、溼度、氣壓、海溫與太陽輻射量垂直剖面的探空觀測，不失為經濟有效的方法。

目前，颶洪中心Aerosonde MK4.7 E型無人飛機探空系統已掛載HMP155溫、濕度感測計、PTB110氣壓感測器、海溫感測計、動／靜壓管等，同時藉機載微型氣象電腦（Met Computer）軟體程式處理運算，以供即時下載與運用。

探空飛行任務目的在獲取珍貴的



左上圖起順時針方向依序為HMP155溫／濕度感測計、地表溫度感測計、PTB110氣壓感測器與動／靜壓風向風速量測管。



大氣參數，包括：溫度、濕度、氣壓、風向、風速等資料，因此，數據資料的儲存、傳輸與運用也同樣重要。以往Aerosonde無人飛機在雷雨胞中飛行，所蒐集到的溫度、濕度與風場參數資料，能充分呈現雷雨胞移動與低層結構的特徵；因此備受重視；同時因其在劇烈雲雨區的穩定飛行能力，被認為具有能應用於廣大洋面與大氣邊界層的觀測潛力。

颶洪中心目前在這新款新型Aerosonde無人探空飛機的應用上，特別注意與載人航空器同樣不可或缺的前置作業流程（航路規畫設計、空域使用申請、系統自主維運等）、通訊衛星運行時序對無人飛機與導控站間鏈路所產生的延遲，以及劇烈環境所帶來的豪大雨勢對作業時通訊、機體與引擎防水性的影響。相信在團隊各方專業人士的合作下，對於侵臺颶風以及臺灣本島環境的大氣觀測，必可展現其運用價值與科學成果。

結語

創新與嘗試往往須承受壓力與考驗，儘管如此，颶洪中心的無人飛機探空觀測作業團隊仍是目前國內唯一結合了大氣、航電、機械與飛安等專業技術的團隊，也是國內相當罕見的

無人飛機科學團隊組合。團隊成員在前人作業經驗的傳承指導與自我不斷學習及精進訓練下，正努力朝更多元化平臺運用的目標邁進，對臺灣近海與陸地中、低空層環境，進行不同科研課題的觀測。

期盼在團隊成員不斷努力下，能獲得政府與社會大眾對無人飛機在大氣探空觀測研究領域上的重視與支持，進而帶動我國無人飛機探空科研風氣，並朝國際化的作業模式邁進。

註釋

註一：我國作業團隊是一個臨時性任務編組的團隊，成員來自中央氣象局、臺灣大學大氣科學系及中山科學研究院資通所等二個單位。當時，曾以「臺灣無人飛機探空團隊」（Taiwan Aerosonde Team；簡稱：T.A.T.）之名執行各項觀測任務。團隊成軍後，曾利用屏東九鵬、新竹湖口、宜蘭大福與屏東恆春等地點起降，進行探空觀測任務。

註二：雖然目前美國政府已同意無人飛機探空系統的販售，但規定非常嚴謹，須針對使用者的背景、用途目的加以調查，並簽署終端使用者（End User）切結證明文件且管控數量，經過層層審查後，方可輸出。