

# 無人飛機探空：一種用於探測大氣環境之特殊無人飛行載具

林博雄<sup>1</sup> 李清勝<sup>1</sup> 林民生<sup>2</sup> 李文松<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立台灣大學大氣科學系

<sup>2</sup> 中央氣象局

<sup>3</sup> 中山科學院

## 摘要

本文介紹台灣無人飛機探空團隊成立過程，以及他們如何利用一種無人飛行載具(Aerosone, 譯名為無人飛機探空)進行颱風環流以及海上大氣環境之觀測。這一團隊是氣象、航空機械、無線電通訊與電腦資訊等不同技能的混合體，也是一種空間資訊蒐集的有趣例子。

### 一、前言：

洋面上的大氣觀測一直是大氣研究與作業上較弱的環節，但其重要性則是與日俱增的。比如近年來有關海氣交互作用、氣候變遷與聖嬰等之研究，常需利用海水表面溫度與風速等兩項因子。此外，颱風生成、發展與路徑的模擬與預報，也極需要洋面上大氣的觀測資料做為模式之初始場；颱風中心的定位以及強度和暴風半徑的估計，在颱風研究和預報上皆具相當高的重要性。決定颱風中心位置、強度和暴風半徑最有效與最直接方法，仍然是飛機的現場(in situ)觀測；1987年9月關島 JTWC (Joint Typhoon Warning Center) 停止西北太平洋颱風觀測飛行任務後，颱風之觀測僅能藉助衛星觀測。但是衛星雲圖估計颱風強度常有顯著誤差，估計暴風半徑的技術也尚未成熟。近年來由於電子儀器的迷你化趨勢與通訊科技的進步，輕巧且機動性高的無人遙控飛機開始被積極開發為洋面巡曳的儀器載具。Aerosonde (譯名為無人飛機探空)設計之理念是考慮如何有效控制探空氣球使用的無線電探空儀(Radiosonde)之空間位置，進入颱風暴風圈中進行現場觀測，再經由衛星通訊與地面網路將氣象資料傳回氣象預報作業中心。換言之，

Aerosonde 是介於飛機與氣球探空兩種探空設備的折衷方案，具備了飛機長程飛行以及可拋棄的優點。

台灣大學在國家科學委員會永續會之國家防災型計畫執行下，與中央氣象局自1997年起開始評估 Aerosonde 之科學應用價值，隨後於1998年在南海季風實驗計畫(SCSMEX)期間於東沙島配合澳洲 AeRA 公司運作 Aerosonde。經過一年摸索以及原廠技術人員指導下，台灣無人飛機探空團隊(Taiwan Aerosonde Team, 以下簡稱 TAT)在1999年6月組成，成員尚包括中山科學院遙控系統組。TAT 於過去二年陸續在屏東滿洲鄉以及宜蘭壯圍鄉獨立操作 Aerosonde 在太平洋洋面飛行，2000年10月開始針對侵台颱風個案進行機動觀測。下二節將介紹 Aerosonde 硬體特性與運作模式，以及2001年5月綠島中尺度實驗(Green Island Mesoscale Experiment, GIMEX)期間 Aerosonde 如何以綠島機場為基地進行東部海上的夜間飛行長程觀測，協助大氣科學研究人員蒐集大氣環境之空間資訊。

### 二、Aerosonde 操控

Aerosonde 原型機由美國 Insitu 公司於

1991 年開始進行飛機主體研發工作，之後澳洲氣象局加入贊助行列，並由澳洲 SENCON 公司協助開發與生產。1997 年 Aerosonde(Mark-I) 進入量產，其機械特性如表 1。Aerosonde 採後推式雙尾桿無機輪，飛機機殼採用抗壓性之輕玻璃纖維材質，起飛時由汽車承載於車頂，再加速到時速 80 公里時起飛升空。降落實則先停止引擎的運轉，固定螺旋槳片為水平向，以機腹著地。機腹下方端視場地狀況貼上膠布減少摩擦損耗。機體有相當良好的流線曲率以及重心平衡點，起飛前的重心測量透過控制程式計算檢查，是重要的步驟之一。

Aerosonde 機艙體區分為兩部份：前艙區置放航電系統，後艙區置放軟質油箱，再銜接後推式引擎。為考慮引擎冷卻問題，目前引擎部位並未有外殼包覆，因此飛機於對流雲雨區飛行時有滲水問題。為提供飛行時所需之電源，螺旋槳轉動以皮帶帶動發電機，產生 12 至 24 伏特之直流電(依轉速而定)，供給航電系統使用。過剩之電流以 8 顆 1.5V 的串聯電池儲存，當發電機失效時，電池能提供 30 分鐘(高壓電時)至 80 分鐘(低電壓)之電源。

Aerosonde 航電系統(飛行電腦)是無人飛機保持平衡的飛行姿態、空中定位與資料傳輸通訊的核心，由鋁盒包覆置於前艙，其下方則是通訊模組，通訊硬體方面還包括 403MHz UHF 天線(尾舵)與 GPS 衛星定位天線(右翼)圖 1 總括其外體特徵。在地面操控平台方面，有一套 stage box 做為對空通訊介面硬體，銜接收發天線與個人電腦(如圖 2)。表 2 整理了 TAT 人力編制規模，其包括科學任務、空域申請、戶外操控以及後勤行政支援等編組。

Aerosonde 操控介面軟體以 DOS interactive mode 四頁螢幕(Main page, Flight plan page, Parameters/alarm page, Engine page)安裝在個人電腦，這一程式進行指令上傳(如航線路徑)與資料下載。飛行過程中 Aerosonde 若有某參數超出安全設定範圍時，即透過監控電腦

聲響發出警告。下載資料以 binary mode 載入監控電腦硬碟中儲存，當檔案超過 1Mb 時即自動產生新檔繼續儲存。這一原始檔案在飛行任務完成後，透過相同的操控軟體重新 replay 一次，並轉存為 ASCII 格式。

Aerosonde 共有 3 組 Vaisala 出品之 RSS901 溫度、溼度及氣壓感應元件(如圖 3)，採樣頻率為 10Hz，其中兩組分別位於左右兩側機翼下，方另一組位於機體前艙之中，氣流由機體側邊導孔流入導管通過感應件後再排出。每個感應元件於起飛均與校驗箱的參考元件進行比對，做為基準點校驗。表 3 是該元件的精確度一覽表。Aerosonde 使用多組氣象元件的目的，主要是為了各組件之間的交叉校驗之用，資料下傳的時間解析度約 10 秒。林等(2000)利用 SCSMEX 觀測資料討論該元件承載於 Aerosonde 與汽球探空資料之比較 確任其資料之可用性。

### 三、Aerosonde 科學實務個案說明

#### (a)綠島中尺度天氣實驗

由國家科學委員會自然處贊助的 GIMEX 於 2001 年 5 月 22 至 5 月 31 日於台灣東南部海岸進行，其科學目標計有五項：

- (1) 鋒面之中尺度結構和降雨特徵以及地形之影響
- (2) 鋒面前後大氣邊界層特性，局部環流以及相伴隨之中尺度天氣現象特徵(如中尺度低壓、中尺度氣旋、海陸風或山谷風環流之日夜變化以及盛行風之影響)
- (3) 該區之中尺度對流系統降雨與運動場結構以及地形之影響
- (4) 颱風接近時大氣邊界層結構和風雨分布特徵以及地形對颱風路徑之影響
- (5) 恆春半島地形和東南部島嶼地形對該地區之氣流以及降雨系統之影響。

如前言所述，Aerosonde 負起 GIMEX 期間海上空間之氣象資訊蒐集任務。圖 4 是

Aerosonde 在台東豐年機場雷達管制平面圖下的飛行空域設定範圍。 Aerosonde 地面組裝於綠島航站公務車棚進行，由公務管制門進出機場管制區，九人座 T4 商務車為 Aerosonde 地面導控站，停放在停機坪。短程與長程通訊天線分別架設於停機坪地面和塔台。Aerosonde 地勤組員以無線電對講機和有線電話分別與綠島機場塔台與台東豐年機場近場台保持通訊，並依核准之飛行計畫書進行起降程序。表 4 是 5 月 24 日至 29 日期間的飛行作業概要，第三與第四航次分別是目前國內無人飛行載具的最長時間與最遠直線距離記錄。圖 5 與圖 6 分別是這兩航次的飛行時間與空間過程，其提供了國內氣象界首次的夜間海上海陸風場演變、對流雲簇外圍的低空風場資訊，以及海上低層大氣的溫度濕度剖面資訊。

#### (b) 颱風期間大氣環流觀測

自 2000 年 10 月起 TAT 進入颱風期間大氣環流機動觀測實驗；截至 2001 年 9 月，TAT 總共進行 5 次觀測，各次行程目標與結果簡列於表 5。圖 7 是 2001 年 9 月 25 日 TAT 假宜蘭海岸起飛，進行颱風與東北季風共伴環流的近岸與離岸 50 公里與 100 公里處的飛行路線；在強烈東北風與雲雨胞的環境下，Aerosonde 仍然達成任務蒐集了外海海面到 2 公里高度

的大氣垂直剖面特性資料，再度顯示 Aerosonde 在空間氣象資訊蒐集的靈活性。

#### 四、討論

聯合國世界氣象組織(WMO)已經留意 Aerosonde 性能，並已建議各國加以進行颱風環流觀測。中央氣象局是 Aerosonde 研發階段贊助者之一，依照合約台灣成為 Aerosonde 第一個在他國飛行運用的國家。由於侵襲台灣的颱風大部份由東至東南方之太平洋海域而來，國科會自然處的颱風研究群已經持續支持四年計畫，TAT 並已經完成宜蘭以及東南部軍事基地起降操作的場地機動使用的協調，以利 TAT 隨時機動進行颱風觀測。

有關 Aerosonde 的飛航安全是必須面對的嚴肅問題，包括其在空中與其他飛行器碰撞以及墜落地面或海面的可能危險。一次觀測任務細節包括了飛行計畫的文件準備、飛行航路之許可申請、產物以及第三人責任險、Aerosonde 起降前後的周全準備與檢查，因此 Aerosonde 工作團隊需要航電、機械、以及氣象專才人士的組成，才能達成科學目標，善用科學資源。台灣大學大氣科學系竭誠歡迎其他學門專長加入我們觀測颱風的行列，甚至探討 aerosonde 在其他領域應用之可能。

表 1：Aerosonde MARK-I 硬體規格

翼展	2.9 公尺
重量	13 kg (airframe: 8kg, fuel: 4kg)
引擎	20 cc Petrol (航空用油)
操作	手動起降，再切換成電腦遙控
巡航速度	20 m/s
巡航定位	GPS
巡航範圍	150 km
巡航高度	300m~4000m
續航時間	30 hours
爬升速度	1.25m/s
資料傳輸	Radio (UHF)

記錄項目	氣壓、溫度、濕度、風、高度、所在經緯度、飛機姿態變動率、空速、引擎轉速與溫度
------	--

表 2：TAT 任務編組

組別	組員	任 務 區 分	備 註
任務指揮組	李清勝 教授 林民生 組長 李文松 組長 林博雄 助理教授	1、 Aerosonde 跨領域合作觀測任務規劃與決策。 2、 國際合作聯繫。 3、 研發與觀測經費之籌措。	林民生為第 1 順位職務代理人
科學任務組	李清勝 教授 林民生 組長 林博雄 助理教授 羅英哲 研究生 張祐慎 研究生	1、 Aerosonde 觀測科學目標之擬訂。 2、 觀測空域之規劃。 3、 即時觀測資料之傳輸。 4、 觀測資料之分析與研究。	林博雄為第 1 順位職務代理人
飛行空域組	林民生 組長 曾俊二 先生 楊啟瑞 先生	1、 所有飛行空管單位之聯繫 2、 飛行空域之申請。	楊啟瑞為第 1 順位職務代理人
維修訓練組	李文松 組長 羅星珞 先生	1、 Aerosonde 維修與保養。 2、 湖口、九鵬起降場地之洽借與協調。 3、 飛行操控及維修人員之訓練。 4、 維修器材需求之申購。	
飛行作業組	林博雄 助理教授 葉權範 先生 王安本 先生 潘健佑 先生 盧濟明 先生 徐仲毅 研究生 羅英哲 研究生 張祐慎 研究生	1、 Aerosonde 野外觀測任務之準備與執行。 2、 飛行操控技術手冊之建立與更新。 3、 飛行日誌之建立。 4、 硬體、軟體改進建議。 5、 飛行任務成果在網路上展示。	徐仲毅為第 1 順位職務代理人, 翁進登陪同參加
行政後勤組	翁進登 先生 羅星珞 先生	1、 Aerosonde 所需之行政支援工作。 2、 觀測任務、採購經費之結報。	

表 3：RSS901 氣象元件規格

	氣壓 (小型、溫度補償氣壓)	溫度 (THERMOCAP-T100)	濕度 (HUMICAP)
--	-------------------	------------------------	-----------------

	晶片)		
範圍	1060~3hPa	-40~80	0~100%
精確度	0.1hPa	±0.15	±2%(1~90RH) ±3%(90~100RH)

表 4：Aerosonde 於 GIMEX 期間之飛行航次

Flight	起飛時間	降落時間	時間間距	任務
1	15:43 (5/24)	05:45 (5/25)	14 小時	海陸風環流 (夜航)
2	13:45 (5/25)	17:00 (5/25)	3.25 小時	spiral sounding
3	16:45 (5/26)	10:45 (5/27)	18 小時	海陸風環流 (夜航)
4	11:30 (5/28)	17:30 (5/28)	5 小時	海上低層對流環境

表 5：Aerosonde 於 2000~2001 期間之颱風觀測飛行航次

Flight	日期	地點	飛行時數	颱風名稱
1	2000,10/24-10/26	宜蘭	10 小時	雅吉(Yagi)
2	2001,06/22-06/24	屏東	5 小時	奇比(Chebi)
3	2001, 07/03-07/05	屏東	1 小時	尤特(Utor)
4	2001,07/11-07/12	宜蘭	1 小時	潭美(Trima)
5	2001,09/24-09/26	宜蘭	5 小時	利奇馬(Lekima)

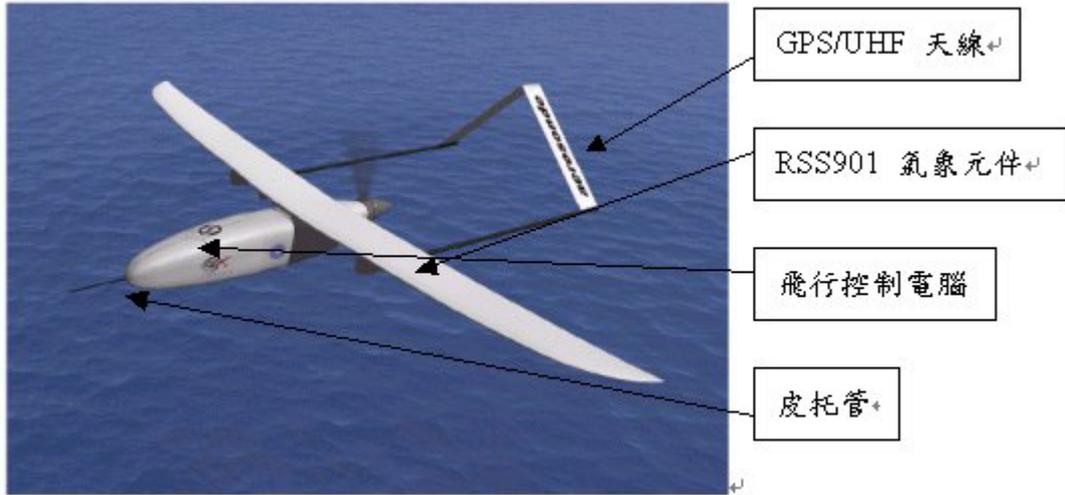


圖 1：Aerosonde 外觀與重要設備位置



圖 2：Aerosonde 無線電控制傳輸設備與飛行控制電腦



圖 3：Vaisala RSS901 溫濕壓感應元件

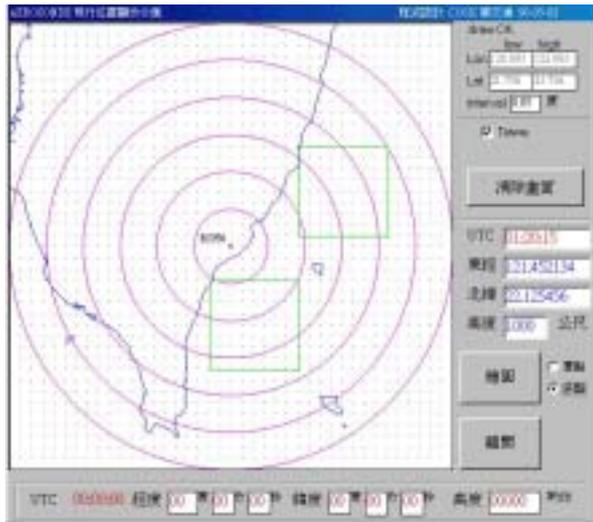


圖 4：GIMEX 期間台東豐年機場(RCFN)進場台雷達導引範圍(同心圓間距為 10 海哩)與 Aeronsonde 飛行空域(方形)。

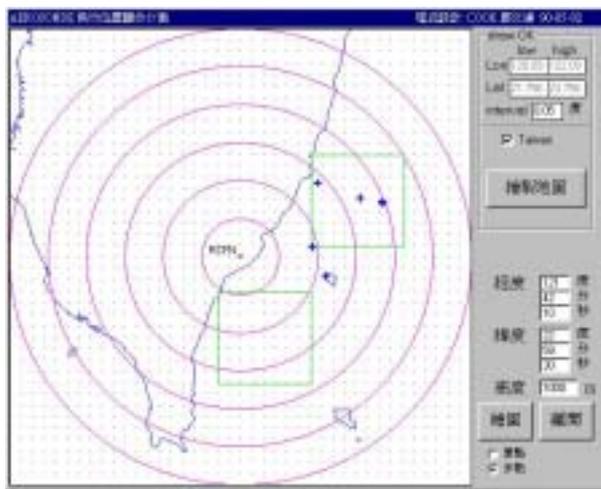


圖 5：2001 年 5 月 26 日 Aeronsonde 飛行目標點( )

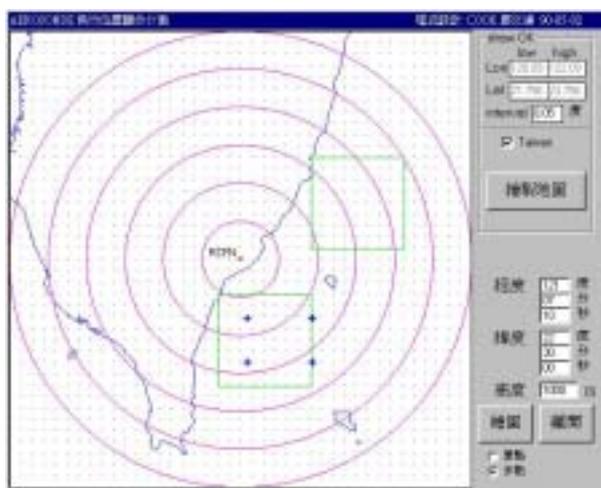


圖 6：2001 年 5 月 28 日 Aeronsonde 飛行目標點( )

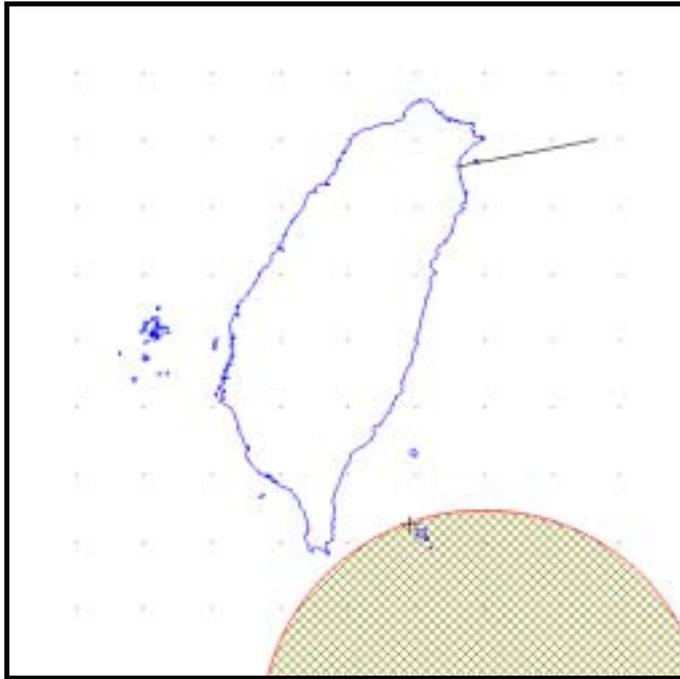


圖 7 : 2001 年 9 月 25 日 Aerosonde 飛行路徑與颱風(Lekima, 格線圓框)位置