

進一步探索 福衛七號衛星

方振洲

福衛七號是福衛三號的後續計畫，
它將提升衛星本體與掩星酬載的性能，建立營運型星系。

2015年蘇迪勒颱風對全台造成的破壞遠超過大家的想像，統計路樹傾倒的數量是2013年蘇力颱風來時的4倍。而早在2012年美國大選前的桑迪颱風來襲時，福爾摩沙衛星三號計畫（簡稱福衛三號計畫或福三計畫）的颱風路徑預測，就曾準確地協助美國聯邦政府作緊急疏散決策的判斷。2009年莫拉克風災（八八風災）來襲時，曾造成小林部落的滅村事件，台灣的福衛三號在當時事前已可預測出超高的降雨量。

如今，福衛三號計畫的資料免費供給超過83個國家及3,000個單位／使用者使用。後續的福衛七號衛星將持續福衛三號的貢獻，擴大改善全球劇烈天氣例如颱風路徑及降雨預測的準確度。

無線電掩星技術

掩星是一種天文現象，指一個天體在另一個天體與觀測者之間通過而產生的光學遮蔽現象，如古代月掩（行）星的天文觀測。由於光是電磁波的一種，無線電掩星（radio occultation, RO）技術是一種利用無線電波測量行星大氣層物理屬性的遙測技術。

無線電掩星技術是檢測穿越過行星大氣層，也就是受大氣層掩蔽的無線電信號變化。當電磁波輻射穿過大氣層時會折射，折射的大小取決於正常路徑的折射梯度，而折射率梯度取決於密度梯度。特別是當輻射經歷漫長的大氣邊緣路徑時，影響的效果最為明顯。當無線電

福衛七號衛星將持續福衛三號的貢獻，
擴大改善全球劇烈天氣例如颱風路徑及降雨預測的準確度。

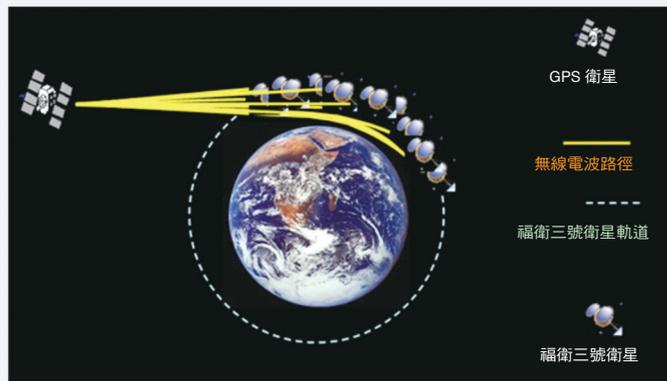
把無線電掩星技術的資料應用在氣象學上，
可以推導出大氣層的電子濃度、溫度、壓力和溼度的資訊。

頻率的彎曲總量不能直接測量時，可以反過來使用都卜勒頻移信號計算和測量彎曲度，得到發射器和接收器的幾何關係。因此把無線電掩星技術的資料應用在氣象學上，可以推導出大氣層的電子濃度、溫度、壓力和溼度的資訊。

這方法最初使用在 1965 年火星的探測技術上，其後應用於其他如金星、月球等的大氣層探測上。而在我們居住的地球本身大氣探測的應用上，則首推 1995 年美國大氣研究大學聯盟的微實驗衛星 1 號（Microlab 1）實驗。由於它成功地證實了掩星技術的概念，世界各國陸續推出類似的全球定位系統（GPS）無線電掩星衛星任務，著名的有：德國的 CHAMP 任務、阿根廷的 SAC-C 任務、美德合作的 GRACE 任務。

然而一枚衛星無法獲得完整且即時的地球三維大氣變化資料，為了能作迅速、即時和完整的觀測以利大氣和太空天氣的預報，科學家建議以星系的方式觀測，並納入我國的福衛三號計畫中。

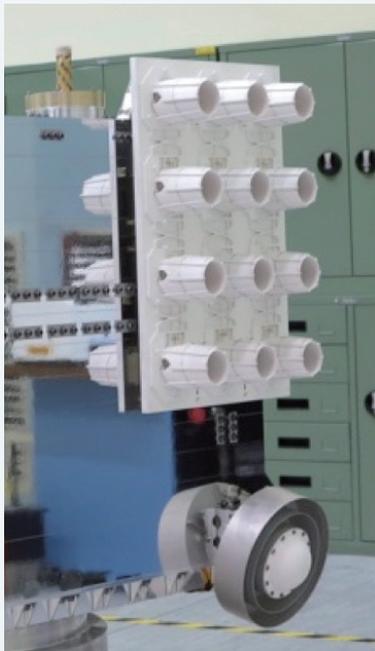
我國的福衛三號星系是全球首創利用 6 顆衛星組成的大氣即時觀測網，它的 6 顆衛星平均每天可提供全球約 2,500 個觀測點的大氣重要參數，每個觀測點能提供高解析度垂直方向的大氣資料，相當於施放一枚探空氣球所得的大氣資料。而 1 枚探空氣球攜帶儀器及施放的成本估計約新台幣 1 萬元，也就是說福衛三號每天幫全世界節省 2,500 萬的探空氣球施放費用。



利用福衛三號衛星所接收的 GPS 無線電波訊號，可推演出對應的大氣溫度、氣壓、水氣，以及電離層電子密度的垂直分布。

福衛三號所提供的無線電掩星資料，是利用裝載於繞行地球低軌道衛星上的 GPS 無線電掩星接收器，觀測無線電波穿過地球大氣層時所產生的折射而造成所接收的美國 GPS 訊號的時間延遲現象，並利用氣象單位超級電腦的數值氣象模式反演，推算出無線電波訊號所經過路徑上的電子密度和溫度、壓力、水氣含量等資料，我們稱它為 GPS 無線電掩星技術。

GPS 是美國的全球定位系統的簡稱，它屬於全球衛星導航系統（GNSS），其他還有俄國、歐盟、中國、日本、印度等的導航系統。福衛七號是福衛三號的後續計畫，衛星上的全球衛星導航系統無線電訊號接收器將可同時接收美國的 GPS 及俄國的 GLONASS 無線電掩星資料。等到歐盟



全球衛星導航系統無線電訊號接收器



離子速度儀



無線電射頻信標儀

的 Galileo 系統就緒，福衛七號也會接收它的訊號。於是，這技術的應用可擴大稱作 GNSS 無線電掩星技術。

福衛七號計畫

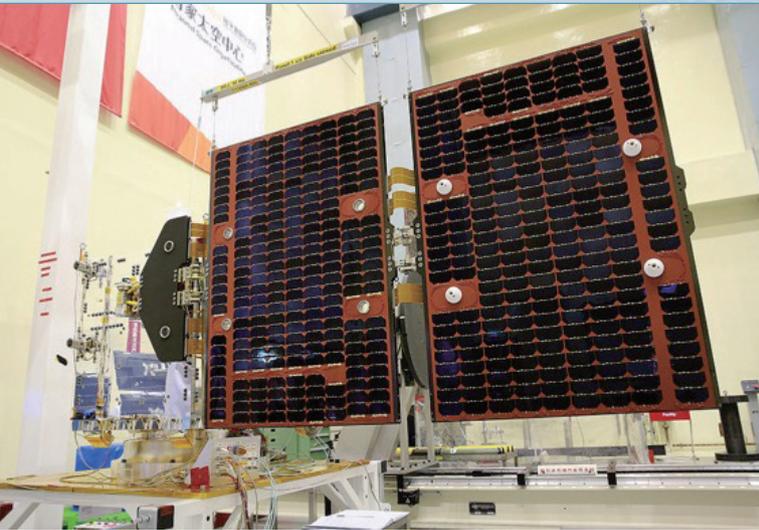
「福爾摩沙衛星七號計畫」（簡稱福衛七號計畫或福七計畫）是台美雙方大型的國際合作案，執行單位是我國國家實驗研究院的國家太空中心（National Space Organization, NSPO）與美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）。福



福衛七號衛星軌道運行示意圖（圖片來源：蘇瑞公司）

衛七號是福衛三號的後續計畫，它將進一步提升衛星本體與掩星酬載的性能，建立一個營運型星系。

福衛七號星系部署完成後，每天平均可提供 8,000 點全球均勻分布的大氣資料，對於全球天氣預報與氣候觀測有很大的助益。



福衛七號進行太陽能板展開的測試



置於國家太空中心整測廠房中的第 1 及第 2 枚衛星

這計畫的目標是部署 12+1 枚衛星，分別部署在高低兩個傾角的任務軌道上，各以 6 枚衛星構成的星系為原則，預定於 2017 年及 2019 年分兩次發射。此外，第 2 次發射的衛星組除 6 枚任務衛星外，另規劃 1 枚太空中心的自主衛星，可依任務衛星的狀況，由地面操控中心進行軌道轉換執行任務。

福衛七號衛星上所搭載的全球衛星導航系統無線電訊號接收器，可接收 GNSS 定位系統衛星的訊號，藉由量測無線電掩星訊號可推導出大氣參數。福衛七號星系部署完成後，每天平均可提供 8,000 點全球均勻分布的大氣資料，對於全球天氣預報與氣候觀測有很大的助益。

第一組衛星是由 6 枚衛星構成的星系，部署在低傾角任務軌道，能增加中低緯度尤其是台灣地區的觀測資料。觀測資料將提供給中央氣象局納入數值天氣預報系統，提升國內氣象預報準確度和劇烈天氣例如颱風路徑及降雨預測的準確度。

福衛七號星系計畫的時程是：2010 年 5 月簽定福爾摩沙衛星七號計畫台美合作協定；2010 年 8 月台美雙方完成任務定義；2011 年 4 月台美雙方完成系統需求定義；2012 年 7 月福衛七號本體採購案決標於英商蘇瑞衛星技術公司（Surrey Satellite Technology Ltd., SSTL）；2013 年 12 月台美雙方完成任務系統初步設計；2014 年 7 月美國提供的任務酬載與科學酬載安裝到第一枚衛星上；2015 年 3 月第 1～2 枚衛星本體抵達台灣國家太空中心，進行衛星酬載整合及環境測試；2015 年 6 月第 3～6 枚衛星本體抵達台灣，接著進行衛星酬載整合及環境測試；規劃在 2017 年 1 月運送至美國發射場；2017 年第一季發射。

福衛七號衛星的酬載

福衛七號第一組衛星的主要任務酬載是全球衛星導航系統無線電訊號接收器（TriG GNSS Radio Occultation System, TGRS），是由美國國家航空暨太空總署



正式接收第 1 枚衛星



福衛七號進行音震測試前工作人員的合照

(NASA) 下的噴射推進實驗室 (JPL) 所發展。TGRS 可同時接收包括美國的 GPS 及俄國的 GLONASS 全球衛星導航系統訊號，未來將升級其軟體使能接收歐盟的 Galileo 訊號。大氣氣象資料使用者及太空氣象專家可藉由訊號通過大氣層時產生的折射，計算出大氣層氣壓、溫度、溼度和電子濃度的垂直剖面圖。

TGRS 的掩星接收天線是由 3D 列印技術製造而成，而它的精密軌道判定天線將可提供次公分級的精密軌道資料。福衛七號第一組衛星上並配備雷射測距反射鏡，利用地面的雷射測距地面站進行精密軌道定軌，將可提升福七的衛星軌道精度，以及它在環境變遷上的應用範圍。

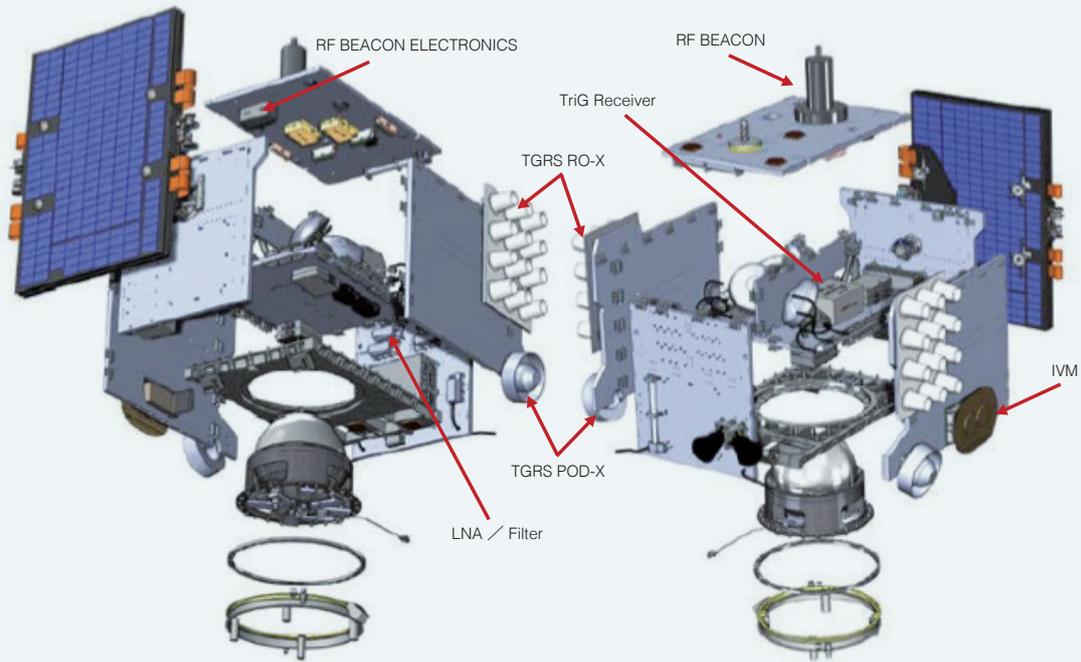
福衛七號第一組衛星的科學酬載儀器有離子速度儀 (Ion Velocity Meter, IVM) 和無線電射頻信標儀 (Radio Frequency Beacon, RFB)，都是由美國空軍負責提供。IVM 的實地量測資料將可以幫助 TGRS 的掩星資料反演的準確度。IVM 有 2 種實地 (in-situ) 量測功能，第 1 種可推導出離子的密度、溫度與直線速度，第 2 種可推導



福衛七號第 1 枚衛星 (PFM) 進行電磁共容測試前工作人員的合照



福衛七號第 3 枚衛星 (FM3) 進行熱真空測試工作人員的合照

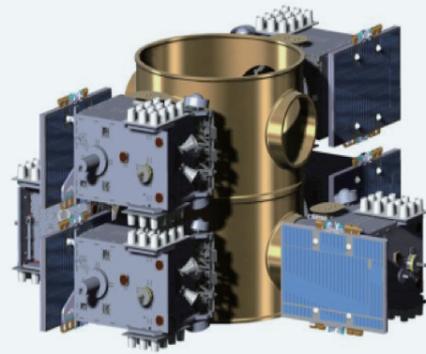


福衛七號衛星各部位的示意圖

出離子的入射角度。RFB 則可量測電離層閃爍，利用多個地面站接收三頻信標，進而分析得到電離層異常區的分布。

福衛七號衛星的本體

福衛七號的第一組 6 枚衛星是委託合約商英國蘇瑞公司設計製造的，蘇瑞公司所設計的衛星本體主要特性如下表所示。



福衛七號第一組 6 枚衛星將安裝在酬載衛星轉接器上

福七衛星本體主要特性一覽表

主要參數	特性
外形	長方體，於單側裝載太陽能板
尺寸	100 × 125 × 125 立方公分
總重量（每顆）	277.8 公斤（燃料加注）
電池種類與容量	鋰離子電池，容量大於 22.5 安培小時
通訊能力	S-band TM/TC，32kbps 上傳，2 Mbps 下載
導航系統	GPS
設計壽命	5 年
酬載支援	大於 2Gbits 資料容量，39.4 公斤載重，95 瓦（軌道平均電力）



獵鷹重型火箭在LC-39A發射場的近照（左圖），以及福衛七號衛星搭載的獵鷹重型火箭（右圖）。（圖片來源：SpaceX 公司）

福衛七號的發射火箭

福衛七號第一組 6 枚衛星將安裝在酬載衛星轉接器（EELV secondary payload adapter, ESPA-Grande）上，美方提供整個火箭發射系統及服務，目前確定第一組發射搭乘的火箭是太空探索（Space Exploration Technologies Corp., SpaceX）公司的獵鷹重型（Falcon Heavy, FH）火箭。

獵鷹重型火箭由獵鷹 9 號火箭加上兩邊各網綁 1 枚助推器組成，每枚助推器有 9 具發動機，使得這獵鷹重型火箭共有 27 具默林（Merlin 1D）火箭發動機。助推器及火箭主體都裝載可回收的降落腳架。火箭總推進力是 10.8 M（牛頓），載具重量是 125 公噸，火箭直徑 3.66 公尺，火箭高度 68.4 公尺，鼻錐罩的直徑 6 公尺。火箭發

射位置是在美國佛羅里達州甘迺迪太空中心的 LC-39A 發射場。

地面及資料處理

福衛七號地面系統包括位於國家太空中心的衛星操控中心、國內外的網路系統與資料下載的地面站。美方及台灣共同發展的資料處理系統將安裝在位於中央氣象局的台灣資料處理中心，由中央氣象局負責系統監控、資料管理及使用者服務。另外，國家太空中心結合中央氣象局及國內學界能量共同發展了一套資料處理系統驗證平台。

自 2006 年福衛三號發射以來，截至 2015 年中為止，共有 943 篇論文探討掩星資料的應用，其中 341 篇引述福衛三號的

資料。而在福衛七號資料的運用發展方面，國家太空中心及國研院颱風中心將結合學界與氣象局研發能量，把福衛七號掩星資料套入數值氣象模式，以提升劇烈天氣的預報能力，降低災害預警的不確定性。此外，將配合長期的氣候分析，做為政策擬訂的參考，以協助會受氣候影響的相關產業做適度的調整。

後續的福衛七號將持續福衛三號的貢獻，並擴大改善全球劇烈天氣例如颱風路徑及降雨預測的準確度。緊接著福衛七號第一組 6 枚衛星的發射升空，第二組的 6

枚衛星配合台灣主導的酬載及 1 枚自主衛星也將進入最後設計階段。待發射後，福衛七號將完成世界第一個無線電掩星星系的營運系統。

方振洲

國家實驗研究院國家太空中心系統工程組

