臺灣的群星：福爾摩沙衛星任務酬載概說

鄭琮生

國家太空中心太空教育辦公室總監

前言

太空科技作為 21 世紀最具前瞻性的發展領域之一，卡門線(Kármán line)外也已成為各國競逐的焦點。臺灣亦於近年積極推動太空產業發展，將「競逐太空」納入國家科技政策「競逐太空，探索海洋」願景之一，是國家重點發展方向。而國家太空中心（Taiwan Space Agency, TASA；前身為國家太空計畫室籌備處）從 1991 年以來，一直持續發展衛星技術，對於衛星的自製率持續成長，至 2025 的福爾摩沙（Formosat，簡稱「福衛」）8A 號人造衛星自製率已經超過 80%，在世界上的太空競逐中站穩一席之地。本文透過對於我國福爾摩沙系列衛星介紹，使讀者更進一步瞭解我國衛星的發展以及現有衛星對於科學與生活的貢獻。

作者於本刊 63 卷 3 期的〈衛星的科普概說〉一文中曾說明衛星是由下列多個次系統整合以完成任務（鄭琮生、劉珈均，2024）：

1. 酬載次系統（payload subsystem）－負責搭載科學或應用儀器並產生任務資料。
2. 電力次系統－以太陽能板與電池提供並管理電源。
3. 通訊次系統－負責地面指令上傳與任務資料回傳。
4. 熱控次系統－維持設備在安全溫度範圍以延長壽命。
5. 姿態控制次系統－利用星跟蹤器、陀螺儀、磁力矩、動量輪與推進器確保指向與穩定。
6. 推進次系統--用於維持軌道高度、姿態調整和軌道變換。
7. 衛星電腦次系統--協調各次系統並執行自動操作與故障隔離。
8. 結構次系統--提供機械強度與防護以承受發射振動與太空環境。

這些次系統相互配合並具備備援設計以確保衛星在軌長期可靠運作。而其中，酬載次系統是衛星的核心，其種類、功能與效能規格直接決定衛星任務的類型、科學目標與應用價值。可以說衛星的酬載定義了該衛星的任務價值與應用領域，決定衛星要做什麼、怎麼做以及能取得哪些資料。強而穩定且與平台配合良好的酬載，才是將衛星高昂成本轉化為實際科學成果、社會服務與經濟價值的關鍵。

福爾摩沙衛星系列各型號衛星的任務

福爾摩沙衛星系列自 1999 年起陸續發射至今，已成功升空入軌 20 顆系列衛星，功能橫跨影像遙測、氣象觀測、電離層探測、通訊技術驗證等領域，衛星型號執行細分任務，成為臺灣太空自主實力的具體展現。衛星依照主要任務功能，可大致分為四大類：

1. 科學探測衛星--以基礎科學為主，包含電離層、海洋、生物圈、空間氣象等探測。
2. 氣象觀測衛星--重點在於獲取全球或特定區域大氣層剖面資料，用於天氣預報、氣候變遷及極端氣象預警。
3. 影像遙測衛星--專注高空間解析度地表影像拍攝，供國土規劃、環境變遷、災害監控、都市發展等。
4. 技術驗證衛星--聚焦於新太空技術實驗，例如 Ka 波段、高速通聯等。

每一型號衛星往往結合多種功能，特定衛星因其屬性需求更以多顆方式布建，構成「星群」（或星系），實現全天候、分層次、即時性的多維觀測能力。

以下分別介紹各衛星任務功能：

一、福爾摩沙衛星一號（FORMOSAT-1, 1999-2004）

福衛一號是一枚低軌道的科學實驗衛星，於 1999 年 1 月 27 日發射升空後，進入與赤道傾斜 35 度、距地球表面 600 公里的低軌道飛行，約 97 分鐘繞行地球一周，每日約六次對國內接收站傳輸所收集到的資料。主要的任務是進行電離層電漿電動效應測量、海洋水色照相、及 Ka 頻段通訊實驗（國家太空中心，2023a）。其酬載與相關功能介紹如表 1。

表 1

福衛一號酬載與功能說明

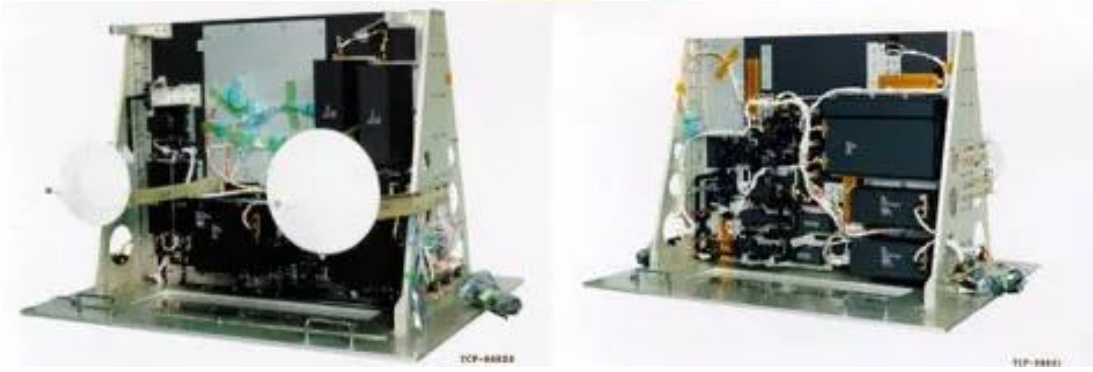
酬載名稱	功能說明與科學目標
電離層電漿電動效應儀（ionospheric plasma and electrodynamics instrument, IPEI）	量測電離層電子密度、離子組成、電漿漂移與電場變化，建立中低緯度電離層三維分布數據，對太空天氣、通訊干擾與電離層物理研究有重大貢獻。
海洋水色照相機（ocean color imager, OCI）	偵測海洋表面光譜與顏色變化，用於分析葉綠素濃度、浮游生物分布與海洋初級生產力，並建立臺灣周邊海域的水色光譜資料庫，支援生態與氣候研究。
通訊實驗酬載（experimental communication payload, ECP）	進行 Ka 頻段通訊實驗，包含低速率/高速率傳輸與雨衰減效應測試，並探索安全通訊技術。此酬載的成果有助於臺灣未來衛星通訊系統的研發與應用，提升自主通訊能力。

註：資料整理自國家太空中心，2023a。

福衛一號為福衛系列的第一顆人造衛星，為臺灣太空科研史揭開序章，其中五項本體元件由國內產業製造。也驗證了衛星軌道操作、地面站維護及任務自動化流程，奠定後續衛星自主研發基礎。

圖 1

福衛一號所搭載的通訊實驗酬載（ECP）



資料來源：國家太空中心，2023a。

二、福爾摩沙衛星二號（FORMOSAT-2, 2004-2016）

福衛二號是我國自主擁有的第一枚遙測衛星，於 2004 年 5 月 21 日發射升空後，進入距地球表面 891 公里的太陽同步軌道飛行。繞行地球一周約需 103 分鐘，每日穿越臺灣上空兩次。兼具遙測與科學任務，其主要酬載儀器為遙測照相儀和高空大氣閃電影像儀，其主要任務為對臺灣及全球陸地與海域進行近即時之遙感監測。於白晝區

域拍攝之影像資料廣泛應用於國土規劃、資源探勘、環境保護及防災減災等領域。衛星進入夜間區域時，則執行高層大氣中向上閃電等自然現象之科學觀測，所獲數據可作為相關科學研究與實驗的重要依據。其酬載與相關功能介紹如表 2。

表 2

福衛二號酬載與功能說明

酬載名稱	功能說明與科學目標
高解析度遙測相機（remote sensing instrument, RSI）	具備「空間解析度為」2 公尺全色態（黑白）、8 公尺多光譜（彩色），可進行全球地表觀測。應用於國土規劃、農林漁牧管理、災害監測、環境變遷追蹤與國際人道救援。其每日可再訪同一地點的能力，對於災害即時監測特別重要。
高空大氣閃電影像儀（imager of sprites and upper atmospheric lightning, ISUAL）	偵測全球閃電分布與頻率，研究大氣電學現象，並與氣候變遷、颱風活動及對流系統發展相關聯。並完成全球首見長期夜間上層大氣閃電現象（如紅色精靈 Sprite）太空觀測，填補全球夜間閃電空間科學空白。

註：資料整理自國家太空中心，2023b。

福衛二號為系列第一顆光學遙測衛星，更以此培訓了臺灣第一支具遙測操作實戰經驗工程師團隊，推動商用高空解析衛星影像國內認證，提供精準災害影像協助臺灣海域漏油事件國際求償成功。此外該衛星成功延長服役至 2016 年，總運作逾 12 年，遠超原期待五年壽命，也證實臺灣於衛星研發與製作的實力。

三、福爾摩沙衛星三號（FORMOSAT-3, 2006-2020）

福衛三號是一大型台美雙邊國際合作計畫，由雙方政府授權執行，我方為國家太空中心與美方的美國大學大氣研究聯盟（The University Corporation for Atmospheric Research, UCAR）共同合作執行，以建立全球大氣即時觀測網之先進技術發展計畫（Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate）。福衛三號於 2006 年 4 月 15 日升空，單次發射中成功部署六顆微衛星，分布於距地表約 700-800 公里之不同低軌道，分別繞行地球運轉，形成具全球覆蓋能力之低軌道微衛星星系。該系統主要任務為接收美國全球定位系統（GPS）24 顆衛星所發射之訊號，進行大氣與電離層觀測（國家太空中心，2023c）。

福衛三號觀測範圍涵蓋全球大氣層與電離層，每日可提供平均約 2,500 筆分布均勻之資料點。透過此星系，約每三小時即可完成一次全球氣象資料之蒐集與分析，並

能以約 90 分鐘的頻率進行更新。此計畫不僅顯著提升氣象預報之更新效率與實用性，亦具備長期氣候變遷研究、電離層動態監測、全球太空天氣預報及地球重力場研究等多重科學應用價值。其酬載與相關功能介紹如表 3。

表 3

福衛三號酬載與功能說明

酬載名稱	功能與科學目標
全球定位系統氣象量測儀（GPS occultation experiment, GOX）	透過觀測 GPS 訊號在穿越地球大氣與電離層時的折射效應，反演出大氣溫度、壓力、濕度及電離層電子濃度。此技術提供全球高精度的垂直剖面資料，對數值天氣預報、氣候研究與太空天氣監測有重大貢獻。
小型電離層光度計（tiny ionospheric photometer, TIP）與三頻段信標儀（tri-band beacon, TBB）	用於監測電離層電子密度分布，補充 GPS 掩星資料，提升電離層科學研究的完整性。

註：資料整理自國家太空中心，2023c。

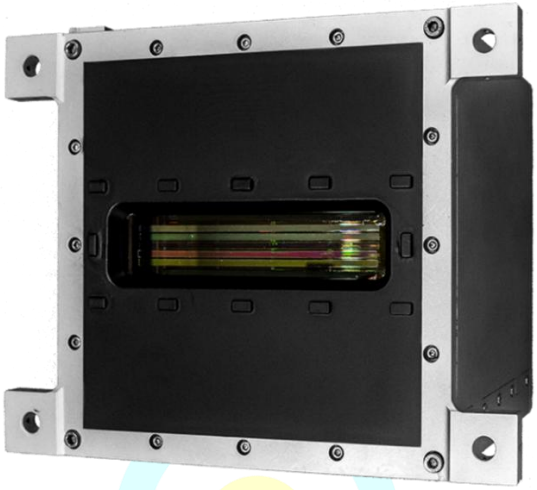
福衛三號計畫所採用之掩星技術因具備高精度與高穩定性，被譽為「太空中最精準的溫度計」，並獲得歐洲中期天氣預報中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF）、世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）等國際專業機構的高度肯定。此計畫亦首創以小型衛星星系（constellation）進行全球大氣與電離層長時序監測的新技術，開啟低軌道衛星在氣象與空間科學應用上的新篇章。歷經 14 年任務，福衛三號累積超過 460 萬筆觀測資料，為全球太空天氣監測、氣候變遷研究、地球重力場探測及地球物理科學等領域提供了寶貴數據與研究基礎，展現臺灣在國際太空科技發展中的重要地位與影響力。

四、福爾摩沙衛星五號（FORMOSAT-5, 2017-服役中）

福衛五號為首枚「全自主研製」衛星，超過七成零件為臺灣自行研發製作，其中光學酬載為百分之百台製 CMOS 感測器；於 2017 年 8 月 25 日發射，運行於高度約 720 公里之太陽同步圓形軌道，主要任務為執行對地遙測與電離層觀測。衛星搭載兩項由國人自主研製之酬載，分別為「光學遙測酬載」與「科學酬載」。其中，「光學遙測酬載」（圖 2）具備高解析度成像能力，可提供 2 公尺空間解析度之全色態影像（panchromatic）及 4 公尺解析度之多光譜影像（multi-spectral），再訪週期約為二日。其主要光譜涵蓋可見光至近紅外光範圍，包含一個全色波段與四個多光譜波段。所獲取之影像資料可廣泛應用於土地利用規劃、農林資源管理、環境監測、災害

評估，以及科學研究與教育推廣。此類衛星影像不僅對臺灣在地發展具深遠意義，亦在國際人道救援與災害應變中發揮重要貢獻。

圖 2
福衛五號光學遙測酬載



註：圖像取自國家太空中心。

另一「科學酬載」為「先進電離層探測儀」。該儀器為多功能電漿量測設備，能精確量測電離層之電漿成分、密度、運動速度與溫度等物理參數，並可監測電漿擾動之變化。其所蒐集之數據對於研究地震前電離層可能出現的異常現象，以及推進空間科學與地球物理研究，均具有重要價值。其酬載與相關功能介紹如表 4。

表 4
福衛五號酬載與功能說明

酬載名稱	功能與科學目標
光學遙測酬載（remote sensing instrument, RSI）	臺灣自主研發的高解析度光學相機。具備 2 公尺全色態影像、4 公尺多光譜解析度。可用於國土規劃、環境監測、農林漁牧管理、災害防救與國際人道救援。每兩日可再訪同一地點，具備高時間解析度，適合災害即時監測。
先進電離層探測儀（advanced ionospheric probe, AIP）	可量測電離層電子密度、離子組成、離子溫度與漂移速度。支援太空天氣研究，特別是低緯度電離層擾動、電漿泡與磁暴效應。提供全球電離層監測資料，對通訊與導航系統的可靠性有重要貢獻。

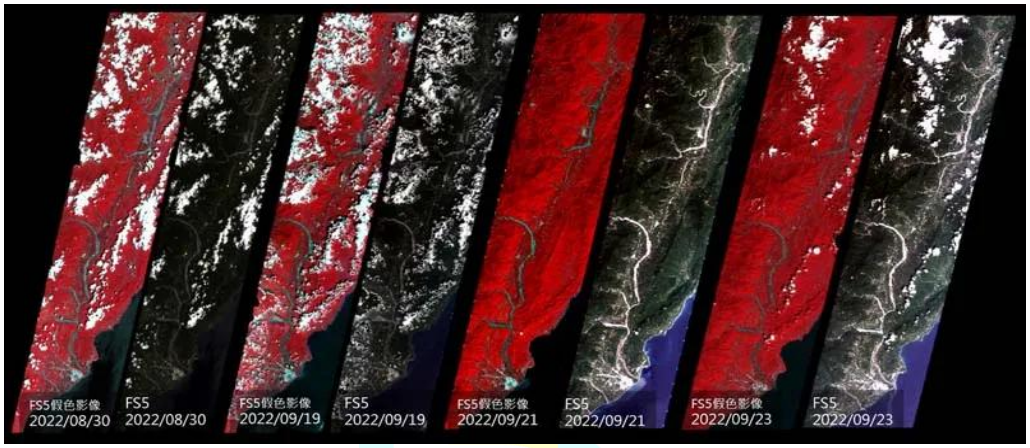
註：資料整理自國家太空中心，2023d。

福衛五號的成功發射與運行，象徵臺灣在太空科技自主研發上的重大里程碑。作為臺灣首枚「全自主研製」衛星，有高達七成零組件由國內製造，其中光學遙測酬載

更是全球首度採用百分之百臺灣自製的 CMOS 感測器，展現本土技術能量與創新突破。此計畫有效降低對國際合作的依賴，成功串聯國內產業、學術與研究機構，推動太空產業鏈的自主升級與永續發展。同時，福衛五號正式承接福衛二號的任務，持續無縫提供高解析度且具高應用價值的遙測影像資料，不僅支援國土規劃、環境監測與災害應變，更在國際人道救援與科學研究上發揮關鍵作用，彰顯臺灣在全球太空科技舞台上的重要地位與貢獻。以 2022 年 9 月 17 日臺灣不幸於東部發生震源深度為 7.8 公里，芮氏規模為 6.8 的大地震，太空中心立即啟動福衛五號的拍攝排程，並於 9/21、9/23 持續取像。透過與災前影像進行比對（見圖 3）可快速掌握大致的受災區域。

圖 3

福衛五號 2022/8/30-2022/09/23 之台東影像



註：圖像取自國家太空中心。

例如，在圖 4 中，透過由災害前（圖左 8 月 30 日） 之影像與後（圖右 9 月 21 日）的資料比對，可發現崙天大橋黃圈處的橋體有明顯變形狀況。藉此可快速掌握到災害狀況。

圖 4

福衛五號崙天大橋影像災前災後比對

註：圖像取自國家太空中心。

五、福爾摩沙衛星七號（FORMOSAT-7, 2019-服役中）

福衛七號（FORMOSAT-7/COSMIC-2）為台美合作的重要國際計畫，由臺灣國家太空中心與美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）共同主導，美方團隊並包含美國太空軍（US Space Force）及大氣科學研究大學聯盟（University Corporation for Atmospheric Research, UCAR）等單位參與。此計畫的核心目標在於建構一套高可靠度的氣象衛星系統，以延續並全面升級福衛三號的掩星氣象觀測任務。福衛七號透過六枚低軌道衛星所組成的星系，能大量蒐集大氣與電離層資料，並即時提供全球氣象模式所需的高精度觀測數據。此舉不僅大幅提升颱風路徑、降雨強度等劇烈天氣的預測準確度，亦對長期氣候變遷監測、太空天氣研究及國際氣象合作具有深遠影響，展現臺灣在全球太空氣象領域的戰略地位與科技貢獻。

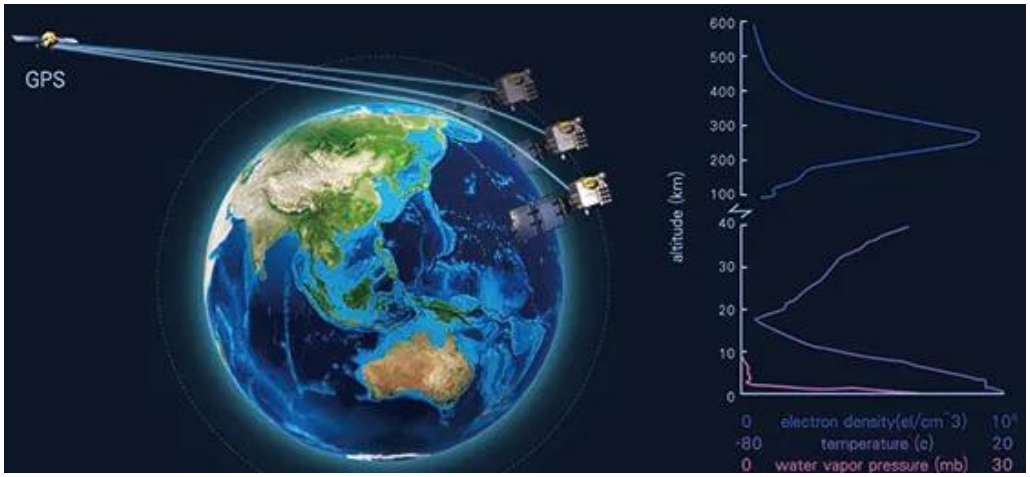
福衛七號星系由六枚衛星組成，於 2019 年 6 月 25 日升空，最初由火箭送抵約 720 公里高空，並於 2021 年 2 月完成逐次分離與部署，最終運行於高度約 550 公里、傾角 24 度的六條任務軌道上。每顆衛星均搭載全球衛星導航系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）無線電訊號接收器，可同時接收美國 GPS 與俄羅斯 GLONASS 衛星所發射之訊號，透過無線電掩星技術量測訊號折射與延遲情形（圖 5、6），進而推導出大氣層壓力、溫度、濕度等氣象參數，以及電離層電子濃度等重要物理量。

圖 5
福衛七號全球衛星導航系統無線電訊號接收器酬載

註：圖像取自國家太空中心。

圖 6

福衛七號之掩星技術示意圖

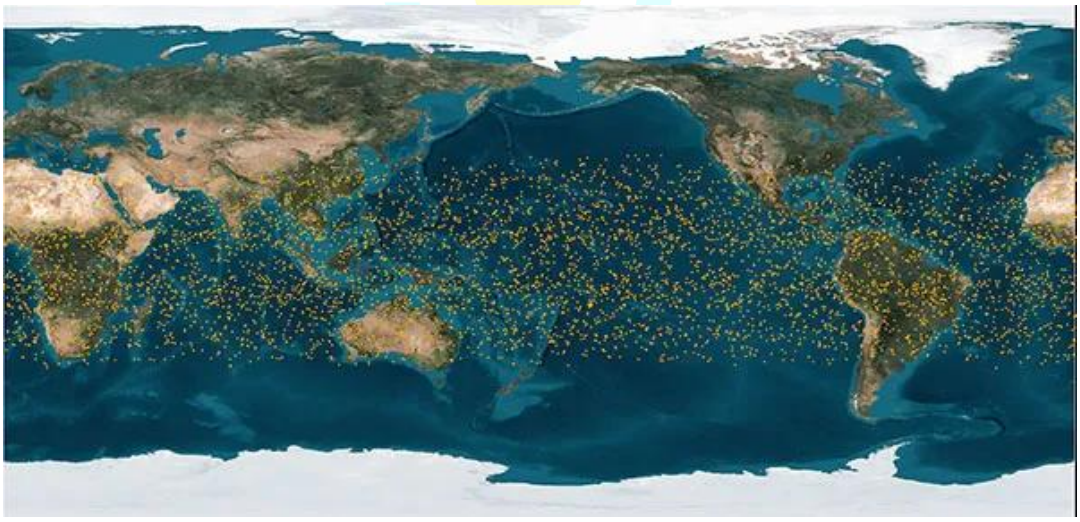


註：圖像取自國家太空中心。

福衛七號星系全面部署後，繞行地球一周約需 97 分鐘，每日可在南北緯 50 度範圍內提供約 4,000 筆觀測資料（圖 7），其中臺灣周邊的資料量更為福衛三號的 3-4 倍，顯著提升低緯度地區的氣象監測能量。這些觀測成果已納入交通部中央氣象局之數值預報系統，不僅有效提高國內氣象預測的準確度，特別是在颱風路徑與降雨強度等劇烈天氣事件的預報上展現實質效益，同時亦為全球天氣預報、氣候變遷研究及太空天氣監測提供關鍵數據支援，展現臺灣在國際氣象與太空科學領域的重要貢獻。其酬載與相關功能介紹如表 5。

圖 7

福衛七號星系每日可提供在南北緯 50 度間約 4,000 點掩星資料



註：圖像取自國家太空中心。

表 5
福衛七號酬載與功能說明

酬載名稱	功能與科學目標
全球衛星導航系統無線電訊號接收器（tri-GNSS radio occultation system, TGRS）	由美國JPL發展，可同時接收GPS與GLONASS訊號（部分文獻亦提及具備 Galileo 擴充能力）。其運作原理是透過分析 GNSS 訊號在穿越大氣層與電離層時所產生的折射效應，進而反演出大氣溫度、壓力、水氣、電子密度與濕度等垂直剖面資訊。
離子速度儀（ion velocity meter, IVM）	具備實地量測功能，能推導出衛星軌道上的離子種類、密度、速度與溫度，並提供精確的電漿參數資料。這些實測數據可用來校正與提升 TGRS 掩星反演的準確度，確保大氣與電離層剖面分析更為可靠。
無線電射頻信標儀（radio frequency beacon, RFB）	會發射三頻信號，並由多個地面站接收後進行分析，藉此量測電離層閃爍效應，進一步推導出電離層結構與異常區的分布情形。

註：資料整理自國家太空中心，2023e。

福衛七號計畫大幅提升臺灣在國際氣象領域的能見度與主導權，透過與 NOAA、薩里衛星技術有限公司（Surrey Satellite Technology Ltd, SSTL 及 UCAR 等國際組織合作，推動太空硬體設計、地面運控與資料處理技術升級。其多頻道快速回傳能力，使熱帶大氣五天預報誤差降低約 4%，精確度達全球頂尖。同時，臺灣自主建構地面站系統，不僅確保資料即時應用，也培育大量太空氣象資料分析與應用人才，強化國家科研與產業能量。

六、福爾摩沙衛星八號（FORMOSAT-8, 預計 2025.11 升空）

福衛八號（FORMOSAT-8）是臺灣「第三期國家太空科技發展長程計畫」中的首個先導型高解析度光學遙測衛星計畫，其中 第一顆（FORMOSAT-8A）預計於 2025 年 11 月升空，率先展開星系化遙測任務的新篇章。此計畫承襲了福衛五號的自主研發能量，進一步追求建立重量輕、成本低且高效能的通用衛星平台，並透過模組化設計與快速複製的方式，形成具規模效益的衛星星系，以支援後續多元任務需求。整體規劃包括六顆 1 公尺級光學遙測衛星與 2 顆次米級光學遙測衛星，建構完成後將具備每日多次再訪與全球涵蓋的能力，能即時提供高解析度的地球觀測資料。其酬載與相關功能介紹如表 6。

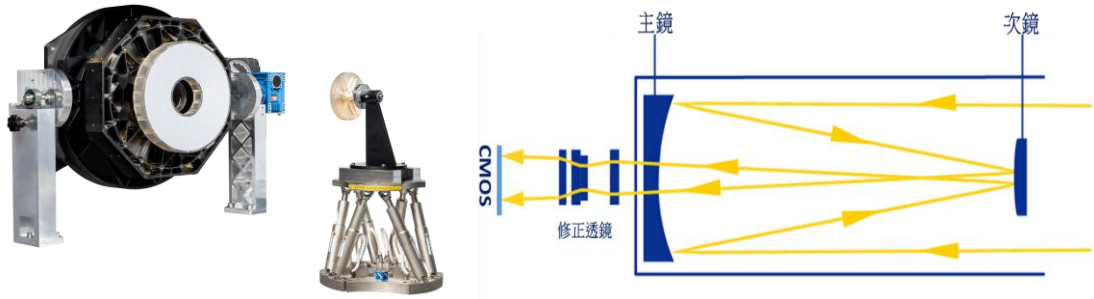
表 6
福衛八號酬載與功能說明

酬載名稱	功能與科學目標
光學遙測酬載（optical remote sensing payload, ORSP）	原始空間解析度達 **1 公尺全色態**與 **2 公尺多光譜**。透過地面端的**超解析度處理技術**（super resolution），可進一步提升至次米級解析度，滿足精細地物辨識與專業應用需求。衛星同時具備**每日多次再訪能力**，並能提供涵蓋全球的高品質影像資料，包含立體影像在內，能支援地形建模、三維地圖製作與多樣化的地理資訊系統應用。
雙波段大氣瞬變影像儀（dual-band imager for atmospheric transients, DIAT）	具備同時進行**紫外光與可見光雙波段觀測**的能力，能以多光譜方式全面解析大氣層中的能量釋放與發光現象。其核心科學目標包括對**高能閃電**、**伽瑪射線閃爍**（terrestrial gamma-ray flashes, TGF）、**高空短暫發光現象**（transient luminous events, TLE）以及**大氣輝光**（airglow）進行長期且具全球覆蓋性的觀測。

註：資料整理自國家太空中心，2023f。

臺灣光學遙測衛星（包括福二、福五與福八）均採用「RC 式凱薩格林」（Ritchey-Chrétien type Cassegrain telescope）望遠鏡結構，主、次鏡各一，並配置四片修正透鏡以校正像差。各光學元件之間的相對定位需控制在微米量級，顯示整套系統具有極高的製作與整合精度。其作用方式為光線進入酬載系統後，先由主鏡反射至次鏡，再一次反射通過主鏡的中央圓孔，進入修正透鏡並成像至影像感測器上（見圖 8）。

圖 8
福衛八號光學遙測酬載與工作原理



註：圖像取自國家太空中心。

福衛八號是臺灣自主研發的旗艦型衛星計畫，亦為第三期長程太空計畫中的首要任務，象徵我國在太空科技自主能量上的重大突破。此計畫不僅推動完整太空產業鏈的建構，深化產學研之間的合作鏈結，更帶動國內在衛星系統設計、精密製造與資料

處理等關鍵技術的升級。福衛八號搭載高階光學遙測酬載，將影像解析度推升至次米級，具備高精度成像與多頻譜觀測能力，可提供每日多次再訪與全球涵蓋的高品質影像資料。這些成果不僅能支援國土規劃、農林資源管理、環境監測與災害防救，更展現臺灣在精密光學遙測技術上的自主實力，奠定我國於國際遙測與太空應用領域的重要地位。

結論與建議

本文整理福爾摩沙衛星系列自 1999 年以來的衛星酬載（其中獵風者衛星請見林辰宗，2024；本文未再納入），目前臺灣的群星已建構涵蓋科學探測、氣象觀測與高解析度遙測之多元任務架構，展現臺灣在太空科技領域的持續進步與創新能力。其酬載系統設計不僅體現技術自主性，更透過任務導向的規劃與跨領域整合，實現科學研究與社會應用的雙重目標。從電離層探測、閃電影像、GPS 掩星到次米級遙測影像，福衛系列衛星已成為臺灣太空科技發展的重要里程碑。

展望未來，隨著衛星技術的精進，立方衛星的興起降低了發射成本，臺灣具備領先全球的資通訊產業優勢，應持續強化酬載技術研發與資料應用能力，透過國家太空中心的衛星驗證與研發能量。更透過政策支持、人才培育與跨界合作，可望推動太空科技成為臺灣新興戰略產業之一，並以衛星資料為基礎，發展智慧災防、精準農業、環境監測與科學教育等多元應用場景。本文所整理之酬載概述，期能作為對於未來太空課程、科學研究與教育推廣之參考基礎，並促進臺灣太空科技之永續發展。

參考文獻

林辰宗（2024）。獵風者衛星任務介紹。**科學研習，63**（3），8-13。

國家太空中心（2023a）。*FORMOSAT-1 mission overview*。https://www.tasa.org.tw/zh-TW/missions/detail/d10e4387-2210-4af5-95a5-8f810d952621

國家太空中心（2023b）。*FORMOSAT-2 mission overview*. https://www.tasa.org.tw/zh-TW/missions/detail/4a7ed9c9-15d1-4341-baf8-f832e70b5a7e

國家太空中心（2023c）。*FORMOSAT-3 mission overview*. https://www.tasa.org.tw/zh-TW/missions/detail/05ad9edb-b277-43f7-b5bc-bd906aa2381e

國家太空中心（2023d）。*FORMOSAT-5 mission overview*. https://www.tasa.org.tw/zh-TW/missions/detail/FORMOSAT-5

國家太空中心（2023e）。*FORMOSAT-7 mission overview*. https://www.tasa.org.tw/zh-TW/missions/detail/FORMOSAT-7

國家太空中心（2023f）。*FORMOSAT-8 mission overview*. https://www.tasa.org.tw/zh-TW/missions/detail/FORMOSAT-8

鄭琮生、劉珈均（2024）。衛星的科普概說。**科學研習，63**（3），1-7。