

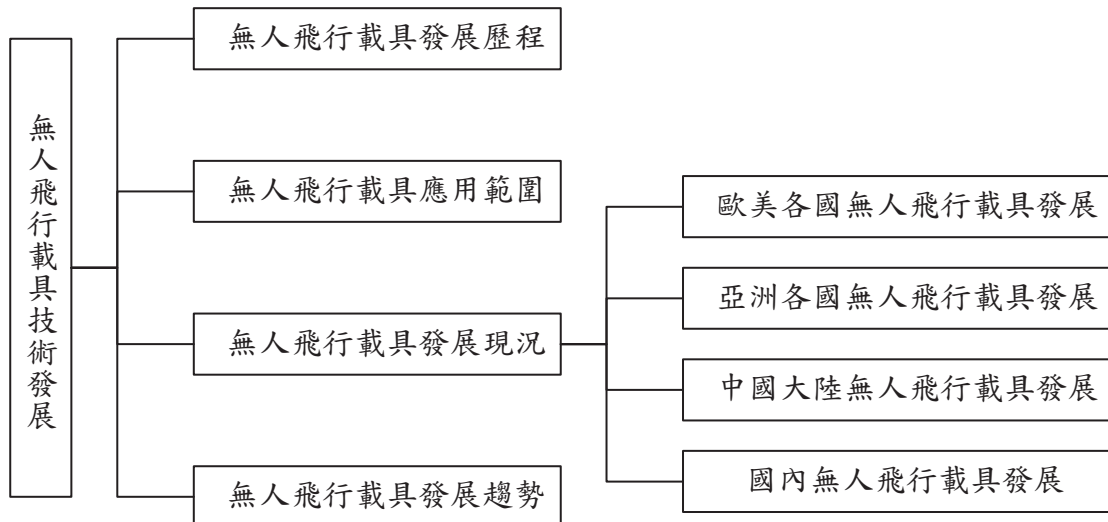
第五章 無人飛行載具技術發展

● 學習目標

研習本章內容後，學習者應能達成下列目標：

- 一、了解世界各國發展無人飛行載具技術背景。
- 二、認知無人飛行載具技術發展歷程、現況與未來趨勢，進而了解無人飛行載具在未來國防航太領域已扮演不可或缺角色。

● 體系表



● 摘要

無人飛行載具係指無需人員在機艙內駕駛，而是藉由遙控或自動飛行控制並裝有任務酬載，在對人員具高度危險性的環境中進行航空攝影、大氣監控、通訊中繼、戰場監視、情資偵搜及戰鬥攻擊等各種任務的飛行載具；其包含載具本體、發動機、控制系統、任務酬載、無線傳輸等次系統，可以說是具體而微的航空工程整合產品。在軍事用途方面，無人飛行載具可以廣泛用於偵搜任務或遠距攻擊，能夠在敵方集結或週波攻擊前掌握敵情。廣義上，無人飛行載具小自一般人所熟知的遙控飛機，大至在高空長航程無人偵察機，甚至靶機也屬於無人飛行載具；但是其間最大差異在於無人飛行載具是使用來執行特別的任務，並且依照不同需求選用不同酬載，或者是設計不同飛行特性的飛行器執行任務。近年來，無人飛行載具開始在戰場上嶄露頭角，其優異的表現開始讓各國重視無人飛行載具的運用。無人飛行載具



的特色在使人員免於執行枯燥、危險、骯髒的任務，由於近年來無人飛行載具的優異表現，世界各國已開始重視無人飛行載具在軍事及民生方面的運用。本章除介紹無人飛行載具之應用範圍及發展現況外，亦同時簡介其技術發展與未來趨勢。

● 關鍵詞

無人飛行載具 監視 偵蒐酬載

第一節 無人飛行載具發展歷程

一般而言，無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)可透過地面控制站的人員藉由空中傳回的光學影像來操控飛行，無人飛行載具大多採用彈射、助推火箭或如同傳統飛機在跑道上滑行，甚至如直升機般垂直起飛；至於無人飛行載具降落時則利用降落傘、攔截網，或是使用起落架在跑道上降落。基本上，無人飛行載具由於具備飛行速率不快之特點，一般在中、低空飛行高度均可執行多項任務。此外，由於無人飛行載具體積較小，無需考慮飛行員座艙配置的問題；因此能使雷達反射截面積縮小，自然具有匿蹤的特性[1-2]。

世界上第一架成功飛行的無人飛行載具是圖1所示的Aerial Torpedo，該無人飛行載具是在1918年3月6號由Lawrence Sperry所製造；而第一架可以返航和繼續使用的無人飛行載具則是在1932年9月由British Fairey公司所發展的Queen無人飛行載具。早期無人飛行載具運用效果相當有限，無人飛行載具真正大顯身手是在1960年代越戰期間，美軍使用如圖2所示之BQM-34火蜂式(Firebee)無人飛行載具，在北越上空共執行3,435趟任務，並創下84%的存活率記錄，成為無人飛行載具在軍用途之最早成功案例；不過，越戰結束後，應用無人飛行載具減低軍方人員傷亡的理由也隨之消失，自然而然無人飛行載具也隨之式微。隨著微處理器與微小化科技的進步，加上以色列在1980年代中東戰事利用無人飛行載具取得重大勝利，應用無人飛行載具才逐漸成為顯學。在經歷數次區域性衝突與兩次波灣戰爭後，無人飛行載具憑藉著整合資訊、通訊及網路科技，成為能夠提供低成本、功能強、並減低人員傷亡的飛行載具；加上無人飛行載具無需通過繁瑣國家級適航認證，加速促成全球超過七十個國家競相投入，目前進入量產的機型超過一百六十多種[1-9]。

隨著科技進步，無人飛行載具性能也不斷提昇，除了引進慣性或全球衛星定位系統導航，使得自動化程度提高外，運用數位式電視攝影機及雷達等偵搜裝備即可將訊息同步傳送到地面。此外，無人飛行載具加大機體則可使航程及飛行高度增加；例如圖3所示美軍在阿富汗戰事所使用General Atomics公司之RQ-1型掠奪者(Predator)無人飛行載具，飛行高度為15,000呎，主要用於遠程中高度監視偵搜，可以透過衛星通信系統，即時將偵搜獲得影像傳送至指揮部門[10]；而圖4所示美國

Northrop Grumman公司的RQ-4A型全球之鷹(Global Hawk)高空長程無人飛行載具，便曾於2001年由美國本土直飛澳洲參加演習[11]。

第二節 無人飛行載具應用範圍

由於無人飛行載具有低成本、功能性強及機動性高等特點，並可依不同任務需求選用不同酬載，其主要應用範圍為替代人員執行枯燥(Dull)、危險(Danger)、骯髒(Dirty)的任務。由於無人飛行載具之特點為飛行速率不快及體積小，並具有雷達反射截面積小之匿蹤特性，故可於中低空執行任務；藉由資訊電子及通訊科技之進步，將其運用範圍擴展至即時戰場偵監、目標追蹤、資訊通信中繼、反潛、反艦、電子干擾、砲火導引、傳單散布及精準攻擊等軍事用途。無人飛行載具在以色列與阿拉伯國家的多次戰役中獲得重大戰果後，才漸漸地為各國軍事單位所重視。近年戰役中，美伊戰爭、阿富汗戰事及南斯拉夫內戰皆可看到無人飛行載具出動的蹤跡，皆充分展現其軍事與戰略上價值。無人飛行載具可應用於即時戰場偵搜與監視、目標追蹤、通訊中繼、反潛反艦電子對抗、干擾砲火校正、戰鬥訓練及心戰廣播等。例如2002年11月3日，圖3所示之掠奪者無人飛行載具即成功地利用地獄火(Hellfire)飛彈殲滅六名蓋達(al-Qaida)恐怖分子[1-2]，即為典型的例子。

另外，由於無人飛行載具生產成本低且不須經過國家級適航認證等特點，故在民生與學術上之應用亦非常廣泛。其範圍包含邊界巡邏、反恐保安、搜索救難、交通監視、農漁業管理、空中攝影與廣告、電訊中繼服務等，例如美國海岸防衛隊採購鷹眼(Eagle Eye)無人飛行載具執行邊境及海上巡邏任務即為一例。

第三節 無人飛行載具發展現況

一、歐美各國無人飛行載具發展

近年來，無人飛行載具已成為全球航空工業發展的重點之一，由於美國在阿富汗與波灣戰爭成功運用無人飛行載具的經驗，使得世界各國無不投入更多資源執行相關之載具的設計與開發。近幾年美國不僅投入更多資源於相關無人飛行載具設計，而且美國國防部投入的經費也都有數十億元的規模。除了用於高空偵察的大型無人飛行載具外，美軍現在也不斷採購小型單兵攜帶式無人飛行載具系統；例如圖5所示美國AeroVironment公司FQM-151A型尋標(Pointer)無人飛行載具，就是在支援伊拉克的城鄉綏靖作戰所使用[12]。此外，目前美國軍方在無人飛行載具投入經費中最重要機型是無人戰機(Unmanned Combat Aerial Vehicle, UCAV)；無人戰機與一般無人飛機不同，其具備武裝攻擊的功能，可能擁有高度運用自主能力並透由遠



程控制方式執行攻擊任務。美軍亦提出聯合無人作戰空中系統計畫(Joint Unmanned Combat Air Systems, J-UCAS)，用以整合美國空軍和海軍的需求，希望藉由先進航電系統與共同作戰平臺系統，將空軍和海軍不同的載具整合成為單一作戰系統，以縮短決定發射武器的時間[2, 8-9]。美國海軍預計採用如圖6所示Northrop Grumman公司研製X-47B無人戰機，該無人飛行載具已於2010年初完成試飛，其武器掛載可高達4,500磅[11]。

由於美軍使用無人飛行載具在戰場的傑出表現，俄羅斯也加強其在無人飛行載具的發展，近期發展出無人飛行載具如蜜蜂(Pchela)1T型、探針(Zond)系列、Ka-137和無風式(Shtil)匿蹤無人飛行載具等；如圖7所示之無風式匿蹤無人飛行載具，可依任務需求承載不同裝備，是一種適於軍民通用之無人飛行載具，目前俄羅斯亦持續其大型匿蹤無人戰機之研發工作[13-14]。

雖然歐洲各國在發展無人飛行載具的資源較少，而且全球市場佔有率也僅有5%；但是透過國際合作與策略聯盟方式以及各國相繼投入研發經費，歐洲亦展現出可觀的成果，並成為無人飛行載具第二大市場。例如圖8所示結合法國、義大利、西班牙、瑞典、瑞士、希臘等歐洲六國的nEUROn無人戰機計畫即為其中代表，其全尺寸模型已於2005年巴黎航展中展出，係藉由智慧型控制系統及先進資料鏈路系統運作，可提供視頻、圖像、雷達信號及飛行控制資訊，將具備超視距精確打擊及高匿蹤性能，並預定在2012年進行首次展示飛行，屆時將可打破美國獨霸無人戰機的局面[8-9, 15]。

二、亞洲各國無人飛行載具發展

與臺灣鄰近之日本、韓國、新加坡、中國大陸等地近來亦深刻體認到無人飛行載具在未來航太領域的重要性，均已紛紛投入相關研製工作；在亞洲國家中，尤以韓國發展無人飛行載具系統最積極。韓國航太研究所(KARI)與韓國航太工業公司(KAI)為韓國無人飛行載具研發及製造重鎮，在KARI和KAI合作下已完成海軍全天候戰術偵搜無人飛行載具Night Intruder 300開發並進行量產；其中KARI自2002年起在政府支持下，更以整合產官學界方式啟動智慧型高速輕型垂直起降無人飛行載具計畫(Smart UAV Development Program)，其目標在發展具備垂直起降能力及高速巡航性能的無人飛行載具，並希望藉由開發無人飛行載具技術使得韓國能在2010年前成為全球前五大無人飛行載具技術發展國家。此外，新加坡國防部規劃以無人飛行載具來取代E-2C預警及電子反制機，並成立新部門Singapore Technology Dynamics(STD)專門研發無人飛行載具及導向武器[8-9]。目前STD已經成功研發固定翼、垂直起降、拋射式等無人飛行載具，並參與以色列EMIT航空顧問公司無人飛行載具開發計畫，計畫共同發展Blue Horizon輕型無人飛行載具。

三、中國大陸無人飛行載具發展

中國大陸在UAV的研發上早已起步，以長虹無人飛行載具系統來看，其早在1969年即進行設計。長虹UAV是北京航空航天大學負責設計及製造的一種高空多用途大型無人飛行載具，其發動機係裝置於機腹。長虹無人飛行載具在解放軍內部編號為無偵五，圖9所示長虹一號可用在軍事偵搜、高空攝影、靶機、地質勘測及大氣採樣等應用領域。其實長虹一號是中國大陸於越戰時期擊落的美國火蜂式無人偵察機的翻版，北京航空航天大學針對被擊落的無人偵察機進行複製研究並在1978年5月完成試飛，而長虹一號亦成為中國大陸第一架高空無人駕駛偵察機[16]。

另外，圖10所示長空一號(CK-1)無人飛行載具係由南京航空學院所研發；南京航空學院無人機研究所在1950年代先後研發「南航一號」拖靶機和「南航二號」超音速靶機(代號D-5)，並在此一基礎上演變成為長空一號無人飛行載具。長空一號在1968年4月開始研發，1969年8月進行製造，並於同年10月進行了第一次試飛。長空一號屬於次音速無人飛行載具，可供導彈打靶或防空部隊訓練，在適當改裝後亦可執行大氣污染監控、地形及礦區勘察等任務。實際上長空一號是仿製蘇聯La-17的產品，曾由常州飛機製造廠負責生產。在南京航空學院方面，該機型於1976年11月設計定型，總設計師為該校的郭榮偉。此外，長空一號亦由位於巴丹吉林沙漠的解放軍空軍試驗訓練基地二站在1965年至1967年成功定型，主要負責人是被譽為「中國大陸無人機之父」的中國大陸工程院院士趙煦[17]。

圖11所示ASN-104無人飛行載具是西北工業大學與西安愛生技術集團研製的小型低速無人駕駛偵察機，自1980年3月進行研製，1982年10月首次試飛，並在1985年開始生產。ASN-104無人飛行載具除了用在前線及敵後偵察，完成戰區即時偵測及攻擊前後效益分析等任務外，亦可用於民用航空測量；該型無人飛行載具不需機場和跑道，係借助火箭在發射架上起飛，火箭會在起飛完成後自動脫落。ASN-104無人飛行載具採用降落傘回收，腹部設有減震器和滑橇，用以吸收著陸所造成衝擊。ASN-104遙控距離為60公里，其下一代機型ASN-105遙控距離則為100公里，並進一步設置有航向控制系統、無線電系統及攝影系統等任務酬載[16-17]。

中國大陸航空工業第二集團公司所屬西安愛生技術集團與西北工業大學在完成ASN-104/105後再度合作，進行圖12所示ASN-206型通用小型無人飛行載具研製，並已於1994年12月開發成功。其同樣是利用固體火箭助飛並使用降落傘回收；由於不需起降跑道，所以能夠多次使用並裝載數位飛行控制與管理系統、無線電系統等任務酬載。ASN-206在150公里範圍內可以晝夜進行任務並具備即時資訊傳輸功能，可以即時傳遞監視資訊至地面站；在軍事方面主要可應用於晝夜空中偵察、戰場監視、偵搜目標定位、校正火砲射擊、戰場毀傷評估、邊境巡邏等，在民用則可使用在航空攝影、地球物理探勘、災情監測、海岸緝私等領域[16-17]。



四、國內無人飛行載具發展

國內在無人飛行載具發展及應用方面亦有多年經驗，大致可追溯至1980年中科院進行研發UAV相關技術開始，目前成果包括圖13及圖14所示中科院自製之天隼二型和中翔二型軍事用無人飛行載具；而臺灣大學大氣科學系亦以圖15所示澳洲製Aerosonde無人飛行載具應用於颱風偵測。此外，如飛馬航空科技公司及天空飛行社等民間業者亦運用無人飛行載具進行空中攝影及靶機業務，而祐祥與緯華公司自行投入垂直起降無人飛行載具開發，也都具有多年經驗。在國內大學院校方面，淡江大學應用控制技術於無人飛行載具飛行，而成大一元智UAV聯隊於94年7月進行自屏東東港跨海飛越小琉球之視距外自主飛行測試，成功大學航太系蕭飛賓教授更帶領團隊研製「黑面琵鷺號」無人飛行載具(Spoonbill UAV)更於98年10月完成自臺南七股跨海飛越澎湖東吉嶼視距外自主飛行並締造亞洲新紀錄，都是持續投入無人飛行載具研發多年之成果[18-33]。

第四節 無人飛行載具發展趨勢

人類航空器發展自1903年萊特兄弟成功飛行迄今已逾百年，需要人員駕駛之飛行器在技術發展方面已趨成熟，所以近來飛行器技術已逐步轉向無人飛行載具發展。經綜整專家意見，無人飛行載具未來技術發展不外無人戰機(UCAV)、高空續航機(High Altitude Long Endurance UAV, HALE)及微飛行器(Micro Air Vehicles, MAV)等三大方向。其中UCAV係指可深入敵方內陸，快速打擊並完成攻擊破壞等任務之無人飛行載具，如圖16所示美國NASA與Boeing公司發展之X-45無人戰機即為一例。而HALE泛指飛行在平流層高度，沒有戰機威脅並且能夠從容進行監視、偵搜、通訊中繼等任務之無人飛行載具。例如圖17所示美國AeroVironment公司的代表作Helios，其特色在於太陽能板可將白天日照充足所產生電能儲存至鋰電池，藉以作為夜間飛行電力能源之用；在不損失高度及速度的情況下進行整夜飛行直到隔日清晨，並且具有6個月無需著地維修的能力。MAV係指長、寬、高均小於15公分，可以單人操作並用於非開闊型戰場，能夠作為偵搜利器之微小型飛行器；例如圖18所示同為美國AeroVironment公司所發展之翼展33cm小型固定翼飛行器Wasp，其曾在2002年8月19日創下1小時47分鐘之MAV續航世界記錄。此外，MAV具有尺寸小及匿蹤隱密等特性，適合執行低空偵查、電子干擾、通訊中繼、目標指示、戰場評估、核生化偵測等任務。上述三種UAV各自具有不同特色，亦具有極高軍事應用價值[1-2, 34-36]；其中涉及之技術層面甚廣，且多為持續發展之技術層面，亦為目前各國無人飛行載具發展重點。

● 進一步研讀書籍

王懷柱, 揭開飛行的奧秘, 全華圖書.

夏樹人, 飛行工程概論, 全華圖書.

張維斌, 無人飛機秘密檔案, 幼獅圖書.

John D. Anderson, Jr., Introduction to Flight, 5th Ed., McGraw Hill.

Jan Roskam, Airplane Design Parts I-VIII, DAR Corporation.

● 參考文獻

[1] Aldridge, E. C. and Stenbit, P., "Unmanned Aerial Vehicles Roadmap," Department of Defense, U.S.A, pp. 1-195, 2002.

[2] Elizabeth, B. and Christopher, B., "Unmanned Aerial Vehicles : Background and Issus for Congress," Department of Defense, U.S.A, pp. 1-48, 2002.

[3] http://www.cradleofaviation.org/exhibits/ww1/sperry_torpedo/index.html, Cradle of Aviation Museum website.

[4] <http://www.spacewar.com/news/uav-05zzzm.html>, Military Space News, Nuclear Weapons, Missile Defense website.

[5] Goetzendorf-Grabowski, T. et al., "MALE UAV Design of an Increased Reliability Level," Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 78, no. 3, pp. 226-235, 2006.

[6] Goraj, Z., "Design Challenges Associated with Development of a New Generation UAV," Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 77, no. 5, pp. 361-368, 2005,

[7] Harmon, F. G., Frank, A. A., and Chattot, J. J., "Conceptual Design and Simulation of a Small Hybrid-electric Unmanned Aerial Vehicle," Journal of Aircraft, vol. 43, no. 5, pp. 1490-1498, 2006.

[8] 張友義, "無人飛行載具產業發展現況概述", 航太通訊工業雜誌, 第五十八期, 第8-12頁, 2005。

[9] 王聰榮, "無人飛行載具市場展望", 航太通訊工業雜誌, 第五十八期, 第30-33頁, 2005。

[10] <http://www.ga.com/>, General Atomics website.

[11] <http://www.northropgrumman.com/>, Northrop Grumman Corp. website.

[12] <http://www.avinc.com/>, AeroVironment, Inc. website.

[13] 孔德炆, "戰場之眼—俄羅斯新一代無人飛行載具的發展現況與簡介", 全球防衛雜誌, 第二五七期, 第66-73頁, 2006。



- [14] <http://www.ato.ru/rus/cis/archive/11-2005/defense/news6/>, B.E.E Media website.
- [15] <http://www.dassault.fr/>, Dassault Group website.
- [16] <http://www.sinodefence.com/airforce/uav/>, 今日中國大陸防務網頁。
- [17] <http://www.airforceworld.com/pla/>, 空軍世界—解放軍作戰飛機網頁。
- [18] Hsiao, F. B. et al., "The Design and Experiment of an Autonomous Unmanned Aerial Vehicle: the SWAN Project", AASRC/CCAS Joint Conference, Kaohsiung, Taiwan, Dec. 10, 2005.
- [19] Hsiao, F. B. et al., "The Development of a Target-lock-on Optical Remote Sensing System for Unmanned Aerial Vehicles," Aeronautical Journal, vol. 110, no. 1105, pp. 163-172, Mar. 2006.
- [20] 馬德明、蕭照焜、陳英賢，「太陽能無人飛行載具飛行於大氣層內之最佳飛行軌跡設計」，中華民國航太學會/民航學會聯合學術研討會，臺中，臺灣，2004。
- [21] 鄭博宇、陳健宜、洪健君、林朝鴻、鄧堯仁，「起飛總重(磅)數量級為1的UAV設計方法之探討」，中華民國航太學會學術研討會，屏東，臺灣，2007。
- [22] 張志明、蔣魁元、盧鈺川、鄧堯仁、平新治、劉國忠、林朝鴻、洪健君，「偵搜型高酬載無人飛行載具研製」，中華民國航空太空學會／中華民國用航空學會聯合學術研討會，臺北，臺灣，2009。
- [23] 洪健君、林朝鴻、鄧堯仁、劉國忠、張志明、蔣魁元、吳宜光，「應用寬頻高增益微帶天線傳送偵搜訊號之高酬載無人飛行載具研製」，中華民國航空太空學會學術研討會，桃園，臺灣，2010。
- [24] <http://www.csistdup.org.tw/>, 國防部軍備局中山科學研究院網頁。
- [25] <http://tat.cook-team.org/>, 臺灣無人飛機探空團隊網頁。
- [26] <http://rpv.iaa.ncku.edu.tw/webhome.htm>, 成功大學航太所無人飛行載具實驗室網頁。
- [27] <http://www.lasi.com.tw/>, 緯華航太公司網頁。
- [28] <http://www.wiscore.com/trainee/>, 晶慧資訊股份有限公司網頁。
- [29] <http://www.infi.com.tw/>, 易承開發科技有限公司網頁。
- [30] <http://www.gws.com.tw/>, 廣營電子有限公司網頁。
- [31] <http://kitty.rimtai.com/>, 潤泰有限公司網頁
- [32] <http://www.masterwang.com.tw/pegasus/>, 飛馬航空科技有限公司網頁
- [33] <http://www.skylinedynamics.com/>, 智飛科技有限公司網頁

- [34] <http://www.nasa.gov/>, NASA - Home website.
- [35] 馬德明，“太陽能動力無人飛行載具之系統設計”，第15屆國防科技學術研討會－無人飛行載具(UAV)專題論壇，2006。
- [36] 宋齊有，“微飛行系統之技術發展與挑戰”，第15屆國防科技學術研討會－無人飛行載具(UAV)專題論壇，2006。

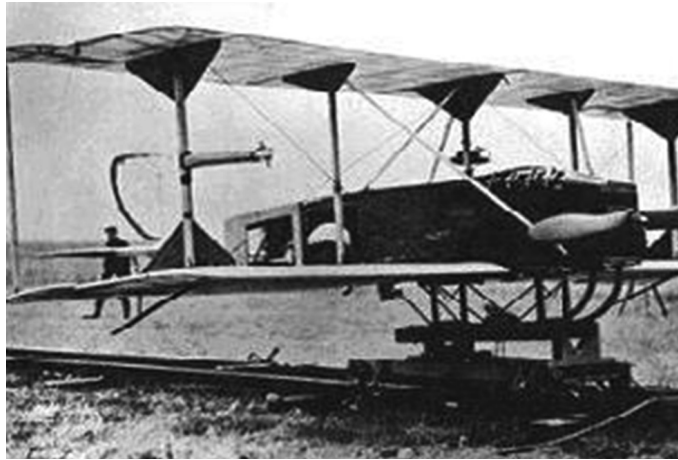


圖1Aerial Torpedo 無人飛行載具[3]



圖2BQM-34 火蜂式無人飛行載具[4]



圖3RQ-1型 掠奪者無人飛行載具[10]



圖4RQ-4A型 全球之鷹無人飛行載具[11]



圖5FQM-151A 單兵攜帶式無人飛行載具[12]



圖6X-47B 無人戰機[11]

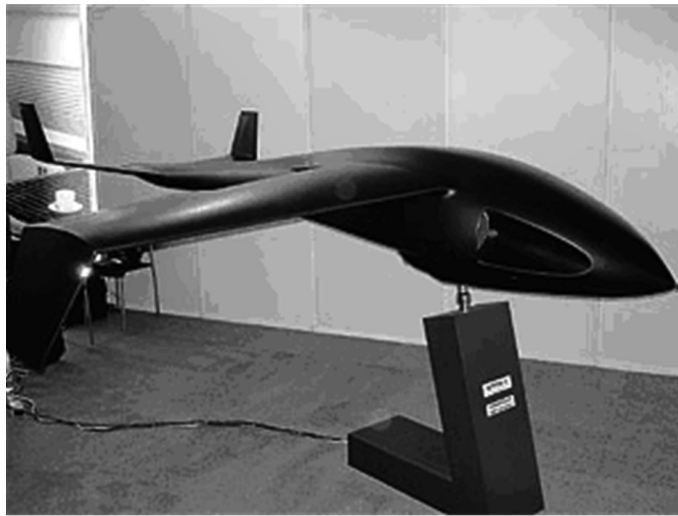


圖7無風式(Shtil)匿蹤無人飛行載具[14]

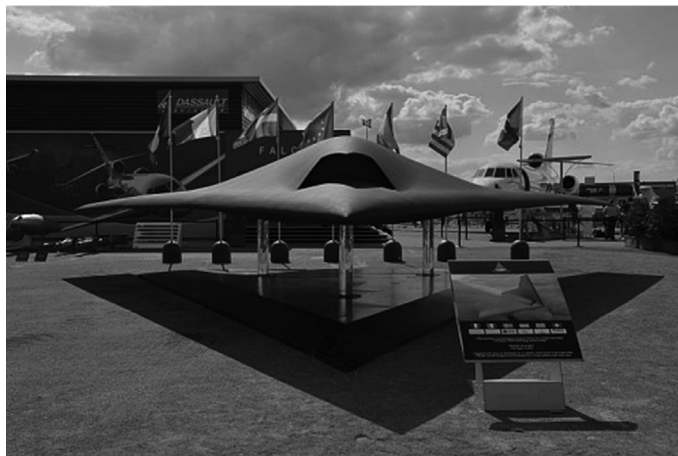


圖8nEUROn 無人戰機[15]



圖9長虹一號無人飛行載具[16]



圖10長空一號無人飛行載具[17]



圖11ASN-104 無人飛行載具[17]



圖12ASN-206 無人飛行載具[17]



圖13 天隼二型無人飛行載具[24]



圖14 中翔二型無人飛行載具[24]

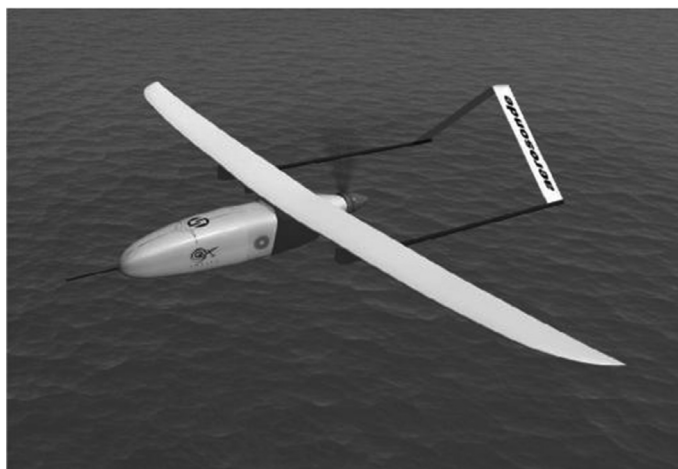


圖15 Aerosonde無人飛行載具[25]



圖16X-45 無人戰機[34]



圖17Helios無人飛行載具[12]



圖18Wasp微飛行器[12]



國防科技 (大學暨在職教育)

● **作者簡介**

洪健君副教授(國防大學理工學院機電能源及航太工程學系)

學歷：成功大學航太博士

專長：氣體彈性力學、結構動力學、最佳化設計、微帶天線、複合材料

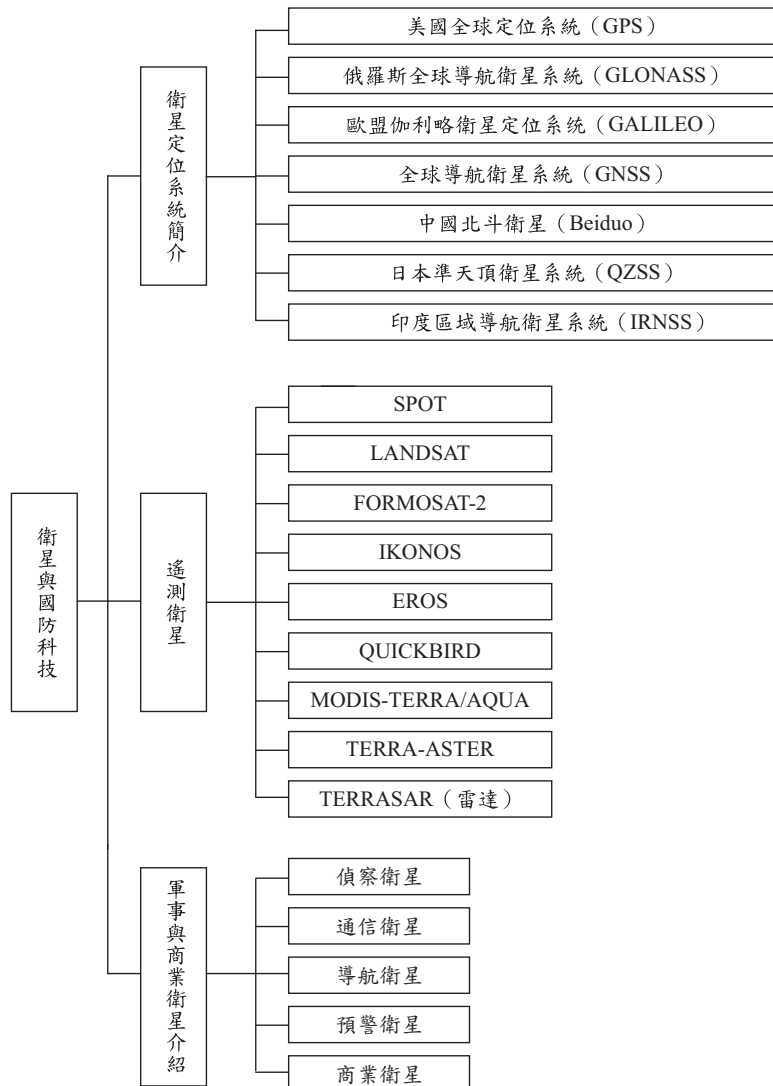
第六章 衛星與國防科技

● 學習目標

研習本章內容後，學習者應能達成下列目標：

1. 了解世界各國衛星定位系統。
2. 了解世界各國遙測衛星。
3. 認知衛星在軍事與商業發展現況與未來趨勢，進而了解衛星在未來軍民通用領域扮演之角色。

● 體系表





● 摘要

衛星科技為科技應用之極致、國力之象徵、國土之延伸。本章分為三個部分介紹衛星與國防科技。首先，介紹全世界的衛星定位系統，目前全球主要的衛星定位系統，為美國的GPS。俄羅斯的GLONASS目前正積極現代化中。GNSS、歐盟的GALILEO、日本的QZSS、中國大陸的北斗衛星及印度的IRNSS仍在實驗及規劃時期。其次，介紹決策千里之外的遙測衛星，遙測衛星為以非接觸之探測方式獲取資料，長久以來即全面性、系統化的蒐集影像資料，以供監測地球環境及調查自然資源。最後，因衛星種類繁多，在本章第三節中，列舉出軍事與商業衛星應用等各類衛星，進行分析介紹。

● 關鍵詞

衛星定位系統 遙測衛星 軍事衛星 商業衛星

第一節 衛星定位系統簡介

一、前言

目前全球主要的衛星定位系統，為美國的GPS。俄羅斯的GLONASS目前正積極現代化中。GNSS、歐盟的GALILEO、日本的QZSS、中國大陸的北斗衛星及印度的IRNSS仍在實驗及規劃時期。

美俄兩國系統及GNSS具有涵蓋全球的衛星通訊能力，其餘國家所屬之衛星系統目前均只能提供區域性的衛星訊號覆蓋，不具成熟的商業價值。歐盟的GALILEO預計在2017年完成建置，也可提供全球性的定位導航功能。

二、美國全球定位系統(GPS)

美國國防部於1973年5月開始為了軍事定時、定位與導航的目的而發展全球定位系統(NAVSTAR/GPS, NAVigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System)，希望以衛星導航為基礎的技術可構成主要的無線電導航系統，未來並能滿足下一個世紀的全球性、全天候、24小時運作之衛星導航定位系統應用。

20世紀70年代美國實驗設計一種4顆衛星的導航系統，初期命名為TRANSIT系統。這個系統的衛星位於較高軌道提供軍事以及導航等方面應用，但因為系統的準確度不足，並且其位置信號最快更新頻率只有兩小時左右，因此其實用價值大打折扣。但也因此美國驗證了以衛星作為導航及定位的理論，開發正式的系統取代此系統的運行。

西元1974年美國發射NavStar導航系統的第一顆衛星，開始將原子鐘放入太空，此原子鐘是決定地面與衛星時間同步以換算距離的重要基礎，驗證了其穩定性與準確度之後，1977年發射第二顆此系列衛星[17]。

西元1978年美國國防部正式發展第一階段的導航定位衛星(Block-I)，同年由於美國政府壓縮國防預算，減少了對GPS的撥款，GPS聯合辦公室就將初始方案修改為第二方案。在第二方案中系統的衛星數由24顆減少到18顆，並調整了衛星的分布，18顆衛星分布在互成 60° 角的6個軌道平面上，每個軌道平面分布3顆衛星，這樣的配置基本能夠保證在地球上任何位置均能同時觀測到至少4顆衛星[18]。

GPS開放部分導航功能始於1984年，因1983年美國客機偏離航道遭俄國空軍擊落，而後美國國會決議不論政治立場如何，均開放全世界每個角落可以免費使用GPS的訊號。至1991年波斯灣戰爭時期，GPS的精確定位開始被世人所肯定，當時用於定位的衛星為第一代的實驗性衛星(Block-I)加上部分的第二代衛星(Block-II)，總數為21顆。因GPS系統用於民間定位服務的精度高於原先設計，美國國防部基於國家安全考量，在1990年加入降低精度的SA干擾碼，此效應將原先的導航誤差提高至百公尺精度。

1993年12月8日美國國防部宣布衛星的初步操作能力(IOC, Initial Operation Capability)測試完成，將開始標準定位服務(SPS, Standard Positioning Service)於軍事與民間應用，1994年3月9日完整24顆衛星設置完成，隔年美國太空指揮中心(AFSC, US Air Force Space Command)宣布GPS系統進入全功能操作階段，2009年2月GPS的衛星狀態如表1所示。



表1. 2009年2月GPS的衛星狀態

軌道面	軌道序號	衛星編號	衛星型式	發射時間	運轉時間
A	1	9	II-A	26.06.93	20.07.93
	2	31	IIR-M	25.09.06	13.10.06
	3	8	II-A	06.11.97	18.12.97
	4	7	IIR-M	15.03.08	24.03.08
	5	25	II-A	23.02.92	24.03.92
	6	27	II-A	09.09.92	30.09.92
B	1	16	II-R	29.01.03	18.02.03
	2	30	II-A	12.09.96	01.10.96
	3	28	II-R	16.07.00	17.08.00
	4	12	IIR-M	17.11.06	13.12.06
	5	5	II-A	30.08.93	28.09.93
C	1	6	II-A	10.03.94	28.03.94
	2	3	II-A	28.03.96	09.04.96
	3	19	II-R	20.03.04	05.04.04
	4	17	IIR-M	26.09.05	13.11.05
	5	29	IIR-M	20.12.07	02.01.08
D	1	2	II-R	06.11.04	22.11.04
	2	11	II-R	07.10.99	03.01.00
	3	21	II-R	31.03.03	12.04.03
	4	4	II-A	26.10.93	22.11.93
	5	24	II-A	04.07.91	30.08.91
E	1	20	II-R	11.05.00	01.06.00
	2	22	II-R	21.12.03	12.01.04
	3	10	II-A	16.07.96	15.08.96
	4	18	II-R	30.01.01	15.02.01
	5	32	II-A	26.11.90	10.12.90
F	1	14	II-R	10.11.00	10.12.00
	2	15	IIR-M	17.10.07	31.10.07
	3	13	II-R	23.07.97	31.01.98
	4	23	II-R	23.06.04	09.07.04
	5	26	II-A	07.07.92	23.07.92

而後因應民間需求，美國政府於2000年停止SA效應，這是GPS發展歷史上一個重要的里程碑，GPS的定位能力因而提昇10~15公尺。解除SA效應對GPS定位的影響如下：

- > 對於位置與方位及速度的準確度提高約十倍。
- > DGPS差分修正的功能精度提高1~5m。
- > 對於軟硬體的使用無須更新。

現代化 GPS 計畫始於 2000 年 SA 效應的關閉。第一步發射的 GPS Block IIR-M 衛星為 Block IIR 的第二部分，總共包含 8 顆衛星。此系列衛星傳送的 L2C 觀測量除了幫助載波觀測量的連續接收、減少由訊號失鎖所造成的週波脫落外，更提供了訊號強度較 L1 C/A 電碼更強、品質更好的觀測量，提昇定位精度。第二步發射

九顆 GPS Block IIF 的衛星，此系列衛星將傳送第三個民用頻率 L5 的觀測量，屆時 GPS 將正式成為三頻觀測系統。第三步則持續發射 GPS Block III 衛星至完全取代 IIR-M 及 IIF 衛星，此系列的衛星將提供與 L2C 有相同品質的觀測量 L1C，進一步提昇定位效能。GPS 現代化時程整理如表2所示：

表2. GPS 現代化時程

相關措施	實施時間
關閉SA效應	2000年5月
GPS IIR-M 衛星性能提昇項目： 新的 L2 民用電碼(L2C) L1 & L2 之軍用碼(M)	2005年12月16日發射第一顆衛星，目前完成7顆衛星。
GPS IIF 衛星性能提昇項目： 新的 L2 民用電碼(L2C) L1 & L2 之軍用碼(M) 新的 L5 民用電碼	原預計2008年第三季發射第一顆衛星，但至今仍處於延宕狀態。
GPS III 衛星性能提昇項目： 新的 L2 民用電碼(L2C) 增強軍用碼(M)之功能 新的 L5 民用電碼 新的 L1 民用電碼(L1C)	預計2013年發射第一顆衛星。

GPS發展之工作階段分為三個階段，分述如下：

- 第一階段(1973—1979)：
方案論證和初步設計共發射4顆試驗衛星，研製地面接收機及建立地面追蹤網。
- 第二階段(1979—1984)：
全面研製和試驗陸續發射7顆Block I試驗衛星，研製各種用途接收機。
- 第三階段：
實用組網陸續發射7顆Block I試驗衛星，研製各種用途接收機。

歷代GPS衛星的狀況如表3所示：



表3. 歷代GPS衛星的狀況表

衛星	壽命	發射時間	數量	改進項目
Block I	5年	1978~1985	11枚	
Block II	7.5年	1989~1990	8枚	強化電子元件抗輻射 全功能SA/AS
Block II A	7.5年	1990~1997	19枚	180天自主導航功能
Block II R	10年	1997~2004	21枚	自主導航功能
Block II M	10年	2005~2006		新增民用L2C訊號 在L1、L2波段增加軍用M碼信號
Block II F	15年	2007~	12枚	新增民航用L5訊號
Block III		2013~		在L1、L2波段增加軍用M碼信號 功率 求救警告衛星系統 (DASS) 酬載 新的高增益天線與區域高功率、 方向性的筆狀波束

GPS系統組成分為三個階段，一是空間衛星部分，二是地面監控部分，三是用戶設備部分。圖1即為GPS系統組成示意圖。

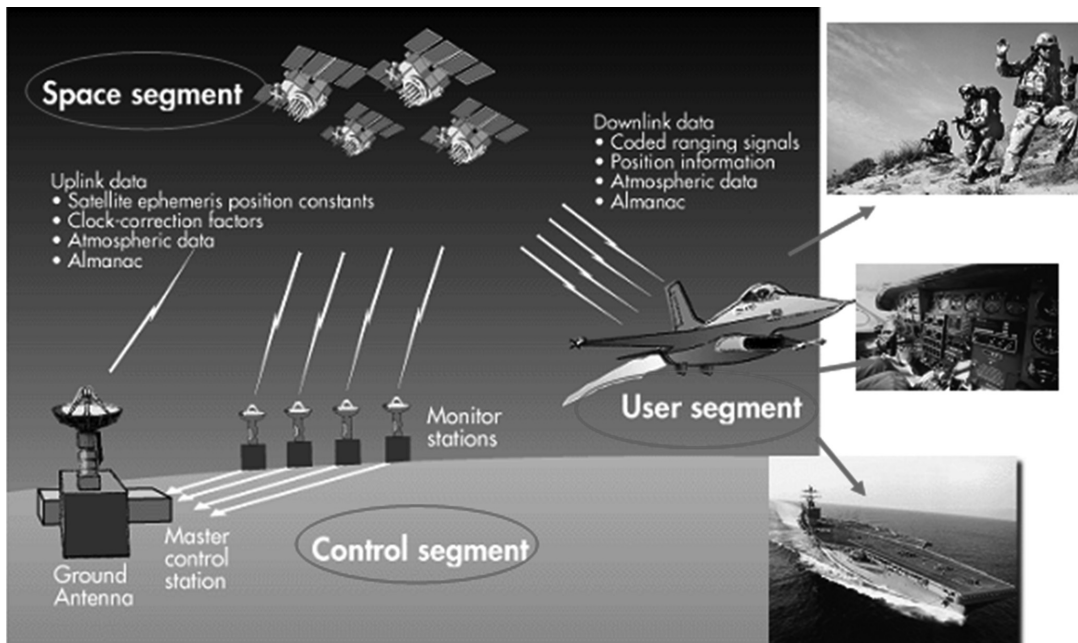


圖1. GPS系統組成示意圖

1. 空間衛星部分

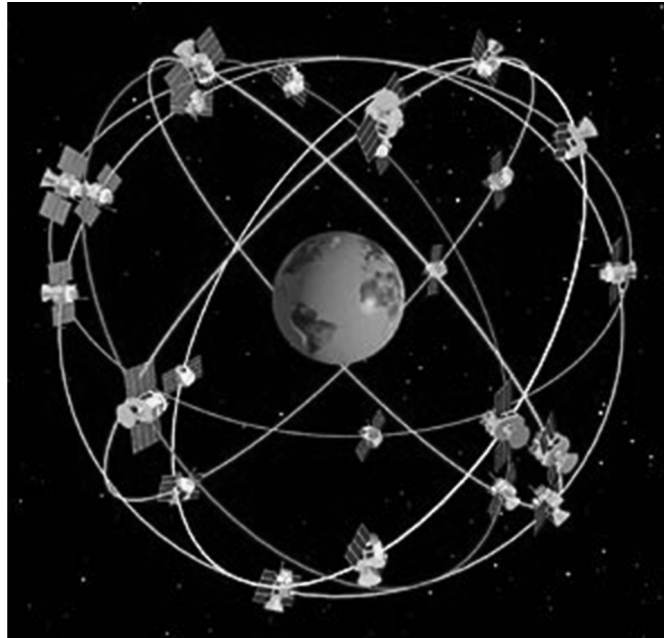


圖2.GPS衛星分布圖

GPS系統的太空部分係針對運行的衛星本體而言，系統分部如表4所示。目前係由27顆衛星組成，其中24顆為操作衛星，3顆為備用衛星。27顆衛星分布於6個軌道面上，衛星軌道相對於地球赤道面的傾角為 55° ，每個軌道面上分布至少有4顆衛星，各軌道平面升交點的赤經 60° ，衛星軌道高度為20200公里，衛星每繞行地球一週約11時58分，衛星軌道的分布情形如圖2所示。這樣的分布可以使全球各地在任何時刻都可以同時觀測到至少4顆以上的衛星，以利實施三度空間的定位測量，也是目前全世界最完善的全球定位測量衛星系統。

表4. GPS空間衛星系統分布

衛星數目	24+3
軌道數目	6
軌道傾角	55°
軌道高度	20,180 km
衛星週期	11h58m02s
大地基準	WGS84
時間系統	UTC



2.地面監控部分

GPS衛星進入軌道運行之後，衛星的健康狀況，及衛星上各種設備是否正常運作，以及衛星是否依據預定軌道運行，都需由地面設備進行監測與控制，圖3為地面監控部分示意圖。地面監控分布如下：

- 地面監控部布1座主控制站
- 1座備用主控制站
- 4座地面天線
- 6座監視站



圖3. 地面監控部分示意圖

3.用戶設備部分

用戶設備部分所指的是能夠接收GPS衛星訊號及資料處理之接收儀。由於GPS用途相當廣泛，使用者部分可依目的不同而有不同功能、精度的接收儀及應用對象而有所不同的特性。如依用途性質而言，接收儀可分軍用及民用兩種，兩種之差異主要在漁民用接收儀無法解釋軍用碼。

三、俄羅斯全球導航衛星系統(GLONASS)

全球導航衛星系統(GLOBAL NAVIGATION Satellite System, GLONASS)為俄羅斯於前蘇聯時代所發展的衛星導航系統，另稱為Uragan衛星。基於前蘇聯第一代衛星導航系統CICADA的基礎，吸收美國GPS系統的部分經驗。它是第二個獨立軍民兩用全球導航衛星系統。GLONASS衛星系統基本上一直處於降效運行狀態，俄羅

斯目前正在著手GLONASS系統現代化的工作。

GLONASS發展歷史如下：1960後期，前蘇聯軍方需要新一代彈道導彈的精確導引的衛星無線電導航系統。1976年前蘇聯頒布建立GLONASS系統的法令。1993年9月俄羅斯總統葉爾欽正式宣布GLONASS成為一個工作系統。1993年，部署12枚GLONASS衛星，使系統達到初始作業能力。1995年，部署至24枚GLONASS衛星，使系統達到全功能運作能力，並提出GLONASS系統對民用開放的政策。1996~1998年，俄經濟蕭條，無力負擔衛星在軌道運作中所需經費。且衛星壽命短，僅有9枚衛星在第一和第三軌道運作，無法覆蓋全球。到了2005年，中國大陸將GLONASS接收機整合在長征系列載運火箭的航電系統。官方網站宣稱至2010年，預計能恢復24顆衛星運作之狀態。實際接收狀況而言，2010年12月實際運作之衛星有20顆。

GLONASS全球導航衛星系統是除了美國GPS系統之外的另一個全球衛星定位系統。GLONASS為美俄兩國冷戰時期的產物，建置初期與美國一樣以軍事使用為主，由俄羅斯國防部規劃與管理整個系統。

GLONASS的第一顆衛星於1982年10月發射[21]，1984年完成第一批供測試用的4顆衛星。西元1990~1991年間，俄羅斯共發射10~12顆衛星，至1995年共發射了23次，並布設了59顆衛星於軌道面上，但多數已無法使用。1996年初，俄國政府宣布24顆導航用衛星布建完成，但之後因俄羅斯政府經濟拮据，GLONASS的維護與布建工作暫停了一段時間，至2001年初，用於導航用的衛星僅剩下7顆。

GLONASS系統的太空部分規劃由24顆衛星所組成，其中21顆衛星正常運作，3顆衛星則是備用。衛星的分布在3個軌道傾角64.8度的軌道面上，衛星繞行距地表高度為19100公里，高傾角的軌道對於高緯度地區的定位較有利[22]。

在衛星的發展歷程上，GLONASS衛星從測試到完成歷經兩個階段(Type I 與 Type II)，其中 Type II 又分a、b、c三型，三種的不同主要在使用壽命，但壽命最長的Type IIc 也不過三年左右。而後，俄羅斯政府得到中國大陸政府資金的投入，因此開始研發新一代衛星GLONASS-M(M=Modified)，其使用壽命為7~8年，與前期衛星相比，GLONASS-M具有以下優勢：

- > 使用年限更長(7年 vs. 3年)；
- > 增加了民用L2訊號；
- > 裝備更穩定的時鐘(1×10^{-13} vs. 5×10^{-13})與更精確的時鐘差改正(8ns vs. 20ns)；
- > 額外的GLONASS-M 導航訊號；
- > 內建衛星無線電鏈結等。

現在最新的第三代GLONASS - K型衛星，其設計重量更輕巧，且使用年限更



延長至10年，與美國GPS衛星相比，俄羅斯發展衛星的的速度可以說與美國相同水準。2009年初，GLONASS系統可用衛星已有19顆，預計在2009年底至2010年俄羅斯政府將重新建置完成完整的GLONASS系統，屆時衛星定位系統的發展將會邁向一個新的里程，也是GNSS全球導航衛星系統發展的重要一步。表5為2009年2月GLONASS衛星狀況表。

表5. 2009年2月GLONASS衛星狀況表

軌道面	軌道序號	衛星編號	發射時間	運轉時間	運作狀況
I	1	—	—	—	—
	2	728	25.12.08	20.01.09	良好
	3	727	25.12.08	17.01.09	良好
	4	795	10.12.03	29.01.04	良好
	5	—	—	—	—
	6	701	10.12.03	08.12.04	維修
	7	712	26.12.04	07.10.05	良好
	8	729	25.12.08	12.02.09	良好
II	9	722	25.12.07	25.01.08	僅L1
	10	717	25.12.06	03.04.07	良好
	11	723	25.12.07	22.01.08	良好
	12	—	—	—	—
	13	721	25.12.07	08.02.08	良好
	14	715	25.12.06	03.04.07	良好
	15	716	25.12.06	12.10.07	良好
	16	—	—	—	—
III	17	718	26.10.07	04.12.07	良好
	18	724	25.09.08	26.10.08	良好
	19	720	26.10.07	25.11.07	良好
	20	719	26.10.07	27.11.07	良好
	21	725	25.09.08	05.11.08	良好
	22	726	25.09.08	13.11.08	良好
	23	714	25.12.05	31.08.06	良好
	24	713	25.12.05	31.08.06	良好

GLONASS發展之工作階段分為三個階段，分述如下：

- 第一階段(1983—1985)：
星座實驗時期進行系統概念實驗，軌道上僅有4~6顆衛星。
- 第二階段(1986—1993)：
完成飛行實驗驗證，初始系統運行。軌道上有12顆衛星並展開廣泛的系統實驗。
- 第三階段(1993—1995)：
完成24顆衛星的星座系統，系統投入運行，GLONASS具備了完全工作能力。

表6為歷代GLONASS衛星狀況表

表6. 歷代GLONASS衛星狀況表

衛星		壽命	發射時間	數量	改進項目
GLONASS	I	1年	1982~1985	10枚	
	II A	1年	1985~1986	6枚	
	II A	2年	1987~1988	12枚	
	II A	3年	1991~2004	54枚	
GLONASS-M		7年	1989~1990	8枚	輻射加固技術 原子鐘頻率準確度 L2民用頻率
GLONASS-K		12年	2011~2022	≤ 27枚	新增民航用L3頻率 新增與GPS III相容的L1RC、L5R訊號 新增搜索與救援(SAR)酬載 新的Express-1000衛星平臺

GLONASS系統組成分為三個階段，一是空間衛星部分，二是地面監控部分，三是用戶設備部分。圖4即為GPS系統組成示意圖。

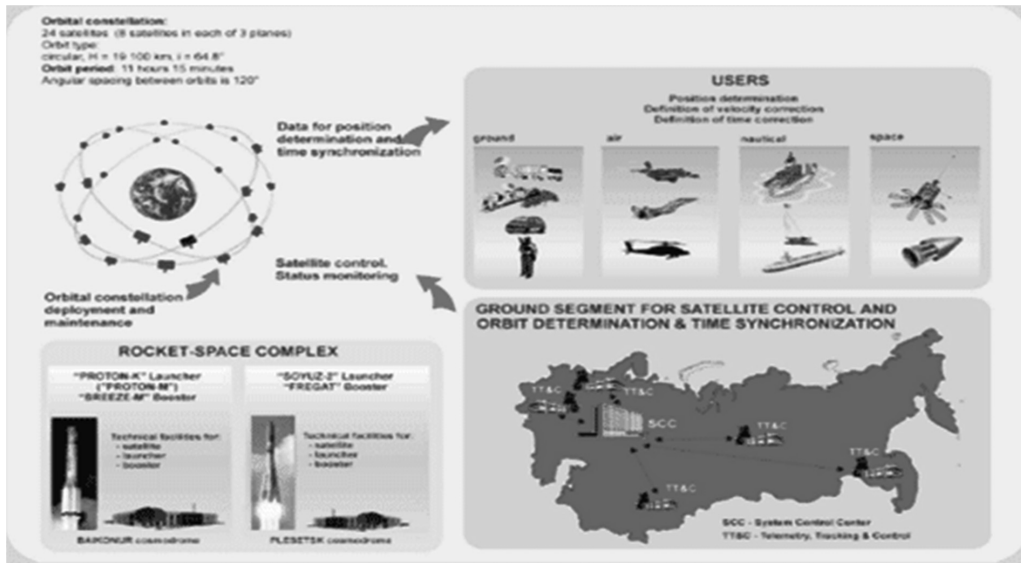


圖4. GPS系統組成示意圖

1. 空間衛星部分

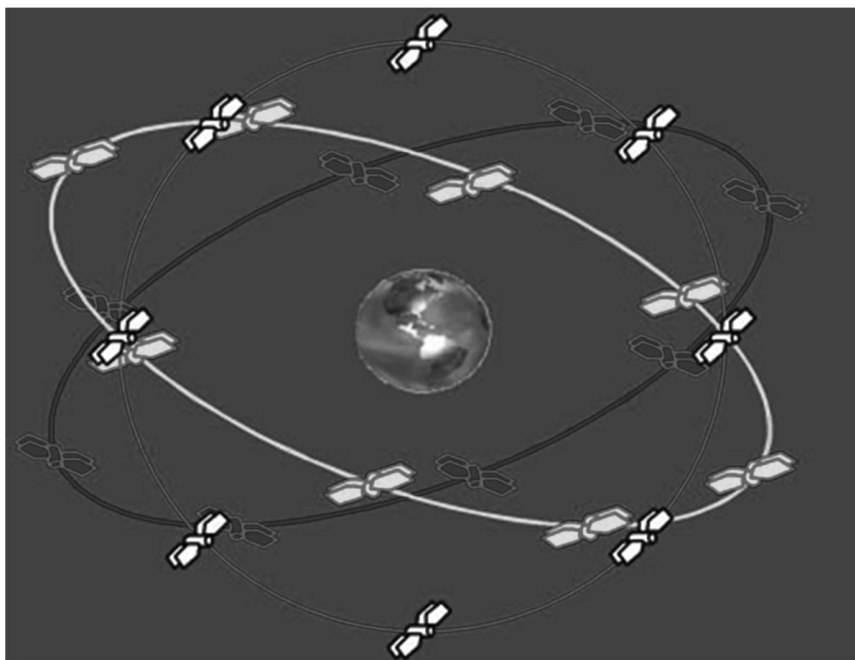


圖5. GLONASS空間衛星示意圖

GLONASS系統的太空部分係針對運行的衛星本體而言，系統分布如表7所示。目前係由24顆衛星組成，其中21顆為操作衛星，3顆為備用衛星。24顆衛星分布

於3個軌道面上，衛星軌道相對於地球赤道面的傾角為 64.8° ，每個軌道面上分布至少有8顆衛星，各軌道平面升交點的赤經 120° ，衛星軌道高度為19100公里，衛星每繞行地球一週約12時分，衛星軌道的分布情形如圖5所示。

表7. GLONASS空間衛星系統分布

衛星數目	21顆（工作衛星）+ 3顆（在軌備用衛星）
軌道數目	3
軌道夾角	互成 120° 夾角
軌道傾角	64.8°
軌道高度	19,100km
軌道偏心率	0.01
大地基準	PZ90
時間系統	UTC

四、歐盟伽利略衛星定位系統（GALILEO）

1999年2月，歐盟經過5年的探索、反復論證和分析評估，提出了"伽利略計畫"。歐盟計畫投資36億歐元，向高度為2.4萬公里的太空發射30顆高軌道衛星，分布在傾角為 56° 的3個軌道面上。一旦建成，"伽利略"就將成為繼美國的全球衛星定位系統(GPS)和俄羅斯的全球衛星定位系統(GLONASS)後，全球第三個精確衛星定位系統。

"伽利略"計畫是一種中高度圓軌道衛星定位方案。"伽利略"衛星導航定位系統的建立將於2007年底之前完成，2008年投入使用，總共發射30顆衛星，其中27顆衛星為工作衛星，3顆為後補衛星。衛星高度為24126公里，位於3個傾角為 56° 的軌道平面內。該系統除了30顆中高度圓軌道衛星外，還有2個地面控制中心。

"伽利略"系統將為歐盟成員國和中國大陸的公路、鐵路、空中和海洋運輸甚至徒步旅行者有保障地提供精度為1米的定位導航服務，從而也將打破美國獨霸全球衛星導航系統的格局。按計畫，首批兩枚實驗衛星於2005年末和2006年發射升空。

"伽利略"定位系統的優勢

"伽利略"系統是世界上第一個基於民用的全球衛星導航定位系統，在2008年投入運行後，全球的用戶將使用多制式的接收機，獲得更多的導航定位衛星的信號，無形中已大量提昇導航定位的精度，這是"伽利略"計畫給用戶帶來的直接好處。另



外，由於全球將出現多套全球導航定位系統，從市場的發展來看，將會出現GPS系統與"伽利略"系統競爭的局面，競爭會使用戶得到更穩定的信號、更優質的服務。世界上多套全球導航定位系統並存，相互之間的制約和互補將是各國大力發展全球導航定位產業的根本保證。

"伽利略"計畫是歐洲自主、獨立的全球多模式衛星定位導航系統，提供高精度，高可靠性的定位服務，實現完全非軍方控制、管理，可以進行覆蓋全球的導航和定位功能。"伽利略"系統還能夠和美國的GPS、俄羅斯的GLONASS系統實現多系統內的相互合作，任何用戶將來都可以用一個多系統接收機採集各個系統的數據或者各系統數據的組合來實現定位導航的要求。

"伽利略"系統可以發送實時的高精度定位資訊，這是現有的衛星導航系統所沒有的，同時"伽利略"系統能夠保證在許多特殊情況下提供服務，如果失敗也能在幾秒鐘內通知客戶。與美國的GPS相比，"伽利略"系統更先進，也更可靠。美國GPS向別國提供的衛星信號，只能發現地面大約10米長的物體，而"伽利略"的衛星則能發現1米長的目標。一位軍事專家形象地比喻說，GPS系統，只能找到街道，而"伽利略"則可找到家門。

1. 「伽利略計畫」發展背景與價值

- (1)研發背景：由於美國全球定位系統(GPS)和俄羅斯全球導航衛星系統(Glonass)皆不開放外國參與管理，且均以軍事用途為目的，因此歐盟為確保國防安全與獨立自主，於1990年代初期開始發展自己的衛星導航系統。
- (2)兼具商業與軍事價值：基於全球化趨勢發展需要與商業利益考量，伽利略系統鎖定民用市場為目標，俟衛星系統完成，將帶來可觀的商機。歐洲聯盟評估，伽利略和GPS系統整合可創造數十億歐元的產值，系統使用者將可據此開發更多市場，如行動電話和鐵公路道安系統等。據統計，全球定位衛星系統的市場從2002年的100億歐元(約新臺幣4,280億元)成長至2003年的200億歐元(約新臺幣8,560億元)，已足足增加1倍。中共在2004年9月已成為「伽利略計畫」的成員，此計畫不僅有助於提供諸如2008年北京奧運通訊等服務，也能應用於戰略軍事。除中共外，參與國還包括俄羅斯與以色列，美國對伽利略系統亦關切甚深，更加凸顯全球導航系統的軍事價值。

2. 伽利略系統對美國全球定位系統的挑戰

美國全球定位系統GPS全稱為「Global Positioning System」，該系統是美國國防部為發展其星際大戰計畫，投資100多億美元所建立；前蘇聯為「全球導航衛星系統」(Glonass)之多軌道、多衛星設計；歐洲則發展伽利略

(Galileo)衛星定位系統。

- (1)GPS系統簡介：GPS是美國發射24顆衛星組成的全球定位、導航系統，在距地球1萬2千公里高度的軌道衛星，不時發送精準的時間與接收3~12顆衛星的信號，並運用三角學原理計算出接收器的位置。GPS最初為軍事提供精確的位置(定位差不超過10米)，如今亦在商業領域大顯身手，消費類GPS主用在勘測製圖、導航等系統，以及計算機和行動電話平臺等方面之運用。
- (2)伽利略系統與GPS之比較：客觀評估歐盟伽利略(Galileo)系統與美國GPS系統，伽利略具有以下幾點優勢：
 - a. 儘管伽利略並非針對軍事用途，但它整合了所有必要的安全防護功能，提供現代企業需要的高度整合性，尤其是在履約能力方面。
 - b. 伽利略的核心技術和GPS相同，然而其衛星部署結構和地面控管體系更為先進-GPS的精確度為10米，而伽利略的精確度則為1米左右。
 - c. 伽利略具備可及時將任何問題告知使用者的「完整訊息」能力，因此比GPS更為穩定。
 - d. 伽利略的訊號發送範圍涵蓋高緯度地區，超越GPS。伽利略系統的屬性定位在公共服務，可保障特殊應用的完整性；相反的，GPS系統近年來曾數度在無預警情況下斷訊。
 - e. 伽利略和GPS亦具有互補性：經由協同作業，雙重發訊可提高導航精確度，任一系統癱瘓時可由另一系統遞補。另一方面，對所有使用者而言，由於同一接收器可同時接收2種系統發送的訊號，2套獨立系統的存在自然益處良多。從上述情形分析，我們可進一步評估「伽利略計畫」更具競爭力。

根據歐盟的設想，"伽利略計畫"分4個階段逐步實施。第一階段是系統可行性評估或定義階段(2000年前結束)；第二階段為開發和檢測階段(2001年至2005年)；第三階段是部署階段(2006年至2007年)；第四階段為商業運行階段(2008年以後)。他向記者介紹說，從技術上講，"伽利略"的大部分研發已經完成，並將在明年按計畫發射由英國公司製造的試驗衛星，但"目前'伽利略'仍在第二個階段"，也就是開發和檢測階段，因為"雖然試驗衛星系統的研發工作完成，但整個"伽利略"系統的研發還未完成"。儘管由於歐盟成員國對該項目規模和投資一直存在分歧，因為金融風暴和大環境的影響，使得專家對於"伽利略"是否能按歐盟當初的計畫如期完成心存疑慮，但根據伽利略官方網站顯示：順利的話，歐盟預計2017年完成所有的衛星發射計畫。



- 伽利略衛星計畫於2002年正式啟動，主要推手為歐盟與歐洲太空中心。
- 避免過於依賴美國GPS，進而發展歐洲自主，且由民間營運的全球導航衛星系統。

工作階段

- 第一階段：研發驗證
衛星系統與地面基地臺間之訊號測試與驗證。
進行兩顆測試衛星與四顆運轉衛星之建置。
- 第二階段：全面建置
進行剩餘26顆衛星之發射，系統建置完成。
- 第三階段：正式維護運行
民間企業成立伽利略特許營運公司(GOC)，進行後續系統營運及維護工作。

發展現況

- 2002年，伽利略衛星計畫正式啟動。
- 2005年12月，發射第一階段第一顆測試衛星(GIOVE-A)。
- 2006年預定發射第二顆測試衛星(GIOVE-B)，因衛星本身配件問題而延後發射時程。
- 2012年，預計系統全面營運。

GALILEO系統組成

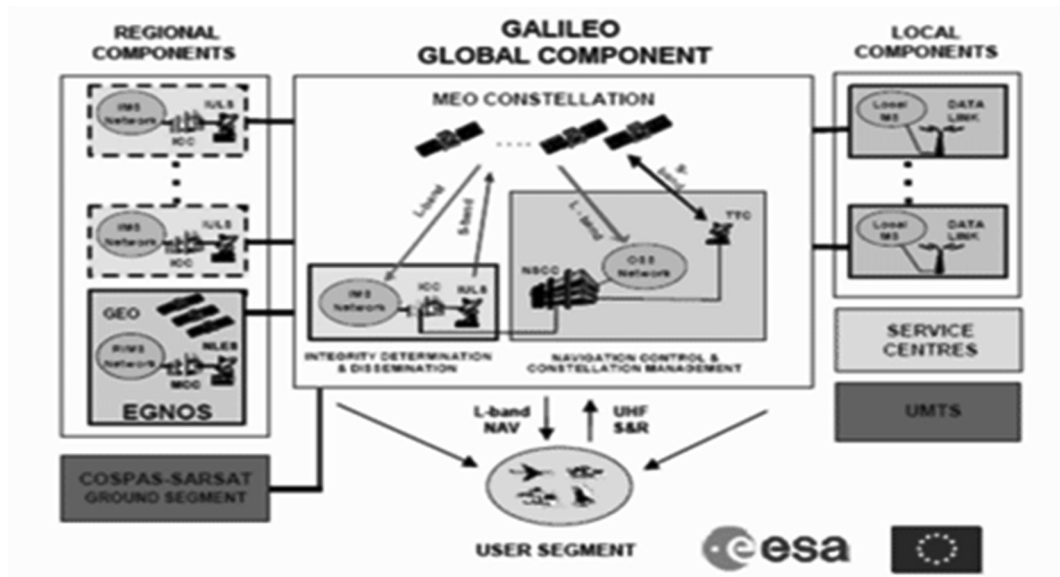


圖6. GALILEO全系統組成示意圖

GALILEO系統組成分為三個階段，一是空間衛星部分，二是地面監控部分，

三是用戶設備部分。圖6即為GALILEO全系統組成示意圖。

1. 空間衛星部分

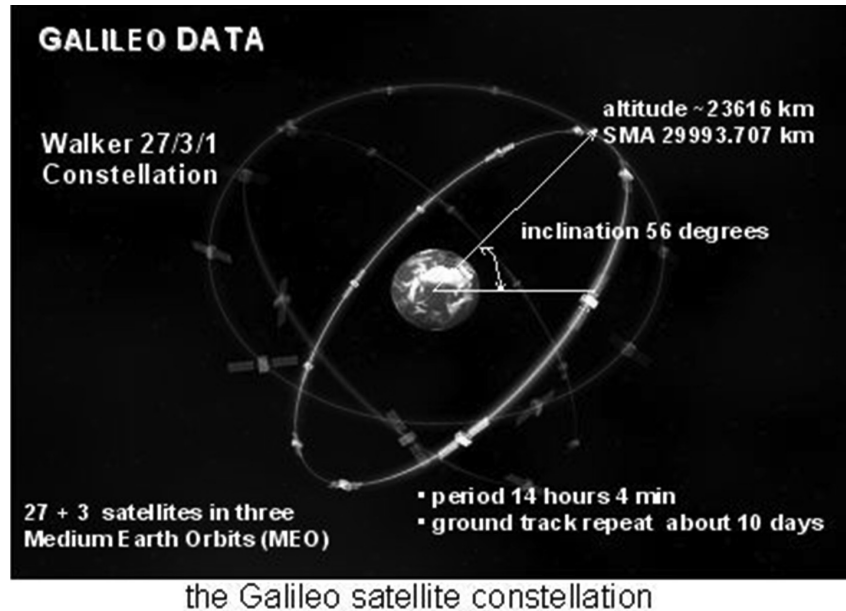


圖7. Galileo衛星組織圖

GALILEO系統的太空部分係針對運行的衛星本體而言，空間衛星系統分布如表8所示。目前預計由30顆衛星組成，其中21顆為操作衛星，3顆為備用衛星。24顆衛星分布於3個軌道面上，衛星軌道而相對於地球赤道面的傾角為 56° ，衛星軌道高度為23,616公里，衛星每繞行地球一週約14時04分42秒，衛星軌道的分布情形如圖7所示

表8. GALILEO空間衛星系統分布

衛星數目	30
軌道數目	3
軌道傾角	56°
軌道高度	23,616 km
軌道週期	14h04m42s
大地基準	GTRF
時間系統	GST

2. 地面監控部分

圖8 為 GALILEO控制中心組織狀況圖。

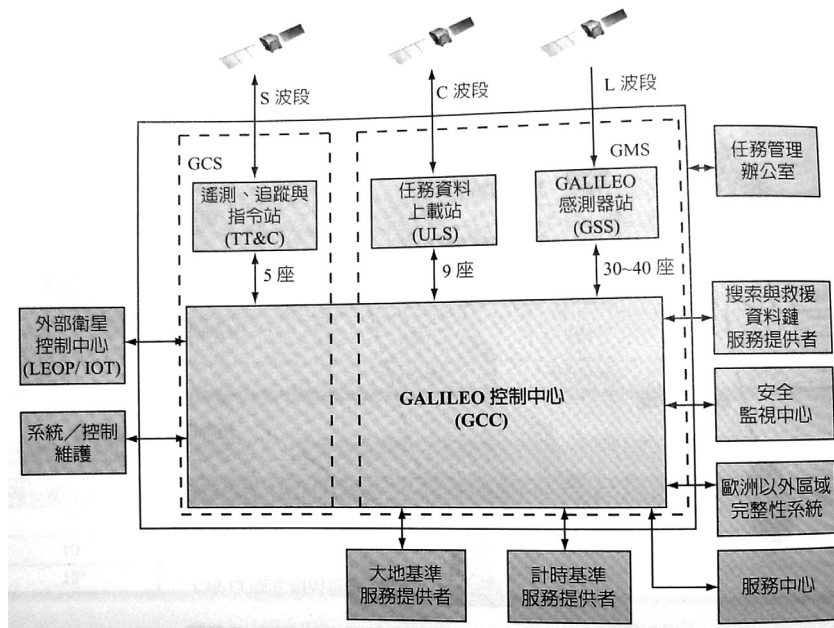


圖8. GALILEO控制中心組織狀況圖

GALILEO衛星進入軌道運行之後，衛星的健康狀況，及衛星上各種設備是否正常運作，以及衛星是否依據預定軌道運行，皆都需要由地面設備進行監測與控制。地面監控分布如下：

- 2座控制中心
- 30~40座感測器站
- 5座追蹤、遙測與指令站
- 9座任務資料上傳站

GALILEO衛星系統設計的導航服務項目如下：

- 開放服務(Open Services)：
針對全球一般大眾所使用的消費性電子產品市場。
- 攸關性命安全服務(Safety of Life Service)：
針對交通運輸市場，增加即時的系統完整性。
- 商業服務(Commercial Service)：
針對定位準確度比OS嚴苛的商業市場。
- 公共管制服務(Public Regulated Services)：
提供會員國的政府機關加密性的衛星導航訊號。
- 搜索與救援服務(Search and Rescue)

GALILEO其定位與計時精確度統計如表9所示。各訊號所提供的服務訊息如表10所示。

表9. GALILEO各服務定位與計時精確度統計表

覆蓋區域	開放服務		攸關性命安全服務		商業服務		公共管制服務
	全球性	全球	當地	全球	當地	全球性	
準確性 水平 (H) 垂直 (V)	雙頻 H=4m V=8m	單頻 H=15m V=35m	<1m 雙頻	<0.1m 當地增強 訊號	H=6.5m V=12m	1m 當地增強 訊號	4~6m (雙頻)
相對於UTC 的計時誤差	<30ns						
可獲得性	99.8%		99.8%		99~99.8%		99.8%
完整性功能	無		加值性服務		有		有

表10. 各訊號所提供的服務訊息

訊號	開放服務	攸關性命安全服務	商業服務	公共管制服務
E5a	×	×	×	
E5b	×	×	×	
E6C			×	
E6P				×
E1F	×	×	×	
E1P				×

五、全球導航衛星系統(GNSS)

說起衛星定位導航系統，人們就會想到GPS，但是現在，伴隨著眾多衛星定位導航系統的興起，全球衛星定位導航系統有了一個全新的稱呼：GNSS (Global Navigation Satellite System)。目前運作中的全球導航衛星系統(GNSS)包含美國的GPS、俄羅斯的GLONASS，而歐盟的CALILEO衛星導航系統預計於2013年後全功能正式運作，圖9為GNSS任務發展圖。

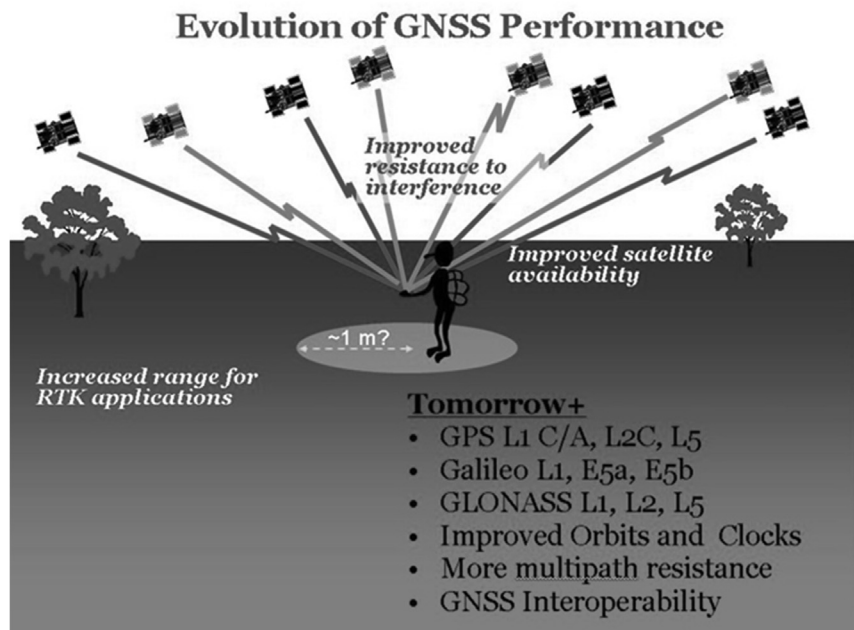


圖9. GNSS任務發展圖

GNSS發展歷史如下

- GNSS-1衛星計畫－ EGNOS (1995-2004)：
建立一個利用美國GPS系統和俄羅斯GLONASS系統的第一代全球導航衛星系統，目前已投入運行並進行測試中。
- GNSS-2衛星計畫－ Galileo (1999-2008)：
歐盟發展的最新導航衛星，可獨立於美俄兩系統之外，並可與GPS和GLONASS同時提供高精度的導航定位服務，圖10為GNSS衛星系統頻率分布圖。

未來發展

- 2015年後，GNSS將會有包含GPS III、GLONASS、GALILEO三個系統的84顆衛星。
- 採用多個頻率：L1、L2、L3、L5、E1、E5a、E5b、E6。

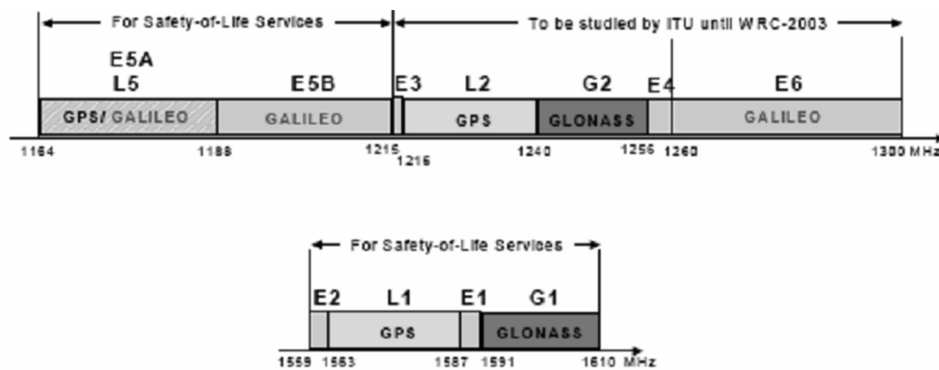


圖10. GNSS衛星系統頻率分布圖

目前GNSS系統組成

- GNSS = GPS + GLONASS + INMARSAT + GAIT + RAIM
- INMARSAT：海事移動衛星系統，1992年投入的4顆覆蓋全球的衛星組成的通訊和定位導航系統，為GNSS之前身。
- GAIT：地面增強和完好性監視系統。
- RAIM：機載獨立完善監控系統。

GNSS 雙系統精密測量定位之潛在優勢

- 利用三頻觀測量，可以改進長基線計算的精度與效率，且增加決定週波未定值之效率，並減少RTK動態定位的初始化時間。
- 增加衛星數目與頻率數目，可以使靜態或是動態定位成果的精度及可靠度提昇。
- 透過國際追蹤站的聯測，可獲得更高精度的GNSS軌道及衛星時錶資訊，提昇對系統誤差影響之估計精度。

六、中國大陸北斗衛星(Beidou)

- 中國大陸自行研製開發的區域性衛星定位及通信系統(CNSS)，是繼美國的全球定位系統(GPS)、俄羅斯的GLONASS之後，第三個可運作的衛星導航系統。
- 現今的5顆衛星僅用於中國大陸及周邊地區導航與軍事用途，籌備中「北斗二號」建構完成，即可覆蓋全球。

北斗系列衛星發射時程如表11所示。



表11. 北斗系列衛星發射時程

衛星名稱	發射日期	火箭	軌道	備註
北斗-1A	2000年10月31日	長征三號A	地球同步軌道140E	北斗一號
北斗-1B	2000年11月21日	長征三號A	地球同步軌道80E	
北斗-1C	2003年5月25日	長征三號A	地球同步軌道110.5E	
北斗-1D	2007年2月3日	長征三號A	地球同步軌道86E	
北斗-2A	2007年4月14日	長征三號A	中地球軌道21500km	北斗二號
COMPASS-G2	2009年4月15日	長征三號丙	地球同步軌道	

系統組成

- 衛星部分：兩顆地球靜止衛星(80E和140E，赤道上空36000公里)
兩顆在軌備用衛星
- 地面控制中心為主的地面部分
- 北斗用戶終端。

工作原理

- 2顆在軌衛星的已知座標為圓心，各以測定的衛星至用戶終端的距離為半徑，形成2個球面，用戶終端將位於這2個球面交線的圓弧上。圖11為三球交會定位原理示意圖。
- 地面中心站配有電子高程地圖，提供一個以地心為球心、以球心至地球表面高度為半徑的非均勻球面。用數學方法求解圓弧與地球表面的交點即可獲得用戶的位置。

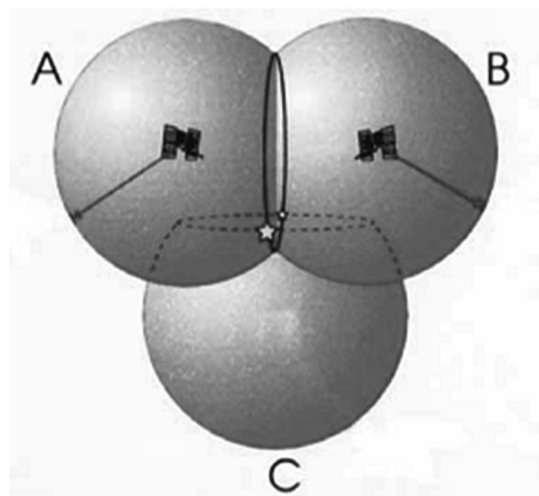


圖11. 三球交會定位原理示意圖

定位流程

- 用戶端對地面控制站發出請求，地面控制站再向兩顆衛星同時發送詢問訊號，經衛星轉發器向服務區內的用戶廣播。
- 用戶響應其中一顆衛星的詢問信號，並同時向兩顆衛星發送響應信號，經衛星轉發回地面控制站。
- 地面控制站接收並解調用戶發來的信號，然後根據用戶的申請服務內容進行相應的數據處理。
- 地面控制站根據兩顆衛星的響應訊號延遲的時間差，計算用戶的二維位置。
- 地面控制站根據儲存於電腦的地形數據，得出用戶的高程值，最終計算出用戶所在點的三維座標，再把結果發送給用戶。

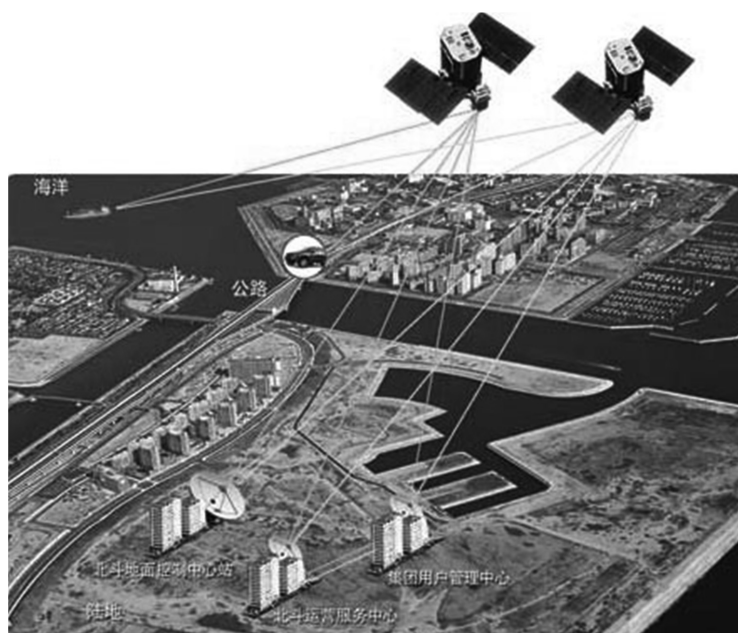


圖12. 北斗衛星系統定位流程示意圖

北斗衛星系統定位流程示意圖(如圖12所示)，可分為下列三大功能：

1.快速定位：

可為服務區域內之授權用戶提供全天候、高精度、快速即時定位之服務能力。

2.簡短通信：

用戶終端具有雙向數值報文之通信能力，可一次傳送超過100個中文字的相關資訊。

3.精密授時：



具單向和雙向兩種授時功能，可依不同精度要求，利用授時終端來完成系統之時間和頻率同步，精度可達數十奈秒。

北斗一號應用五大優勢

- 1.同時具備定位與通訊功能，無需其他通訊系統支援。
- 2.覆蓋中國大陸及周邊國家和地區，具24小時全天候服務功能，無通訊盲區。
- 3.特別適合用戶進行大範圍監控與管理，以及用戶資料之傳輸應用。
- 4.可融合導航衛星和增益系統兩大資源，提供更豐富的增值服務。
- 5.具自主、安全、可靠、穩定之系統設計，特別適合關鍵部門應用。

另表12為北斗一號和北斗二號比較表，北斗一號和GPS的比較顯示在表13、表14。

表12. 北斗一號和北斗二號比較

	北斗一號	北斗二號
涵蓋範圍	東經約70°—140° 北緯5°—55°	全球
衛星個數	4	35
導航方式	用戶端為兼具接收與發送的「有源定位」	與美國的GPS相似，導航精度也能與民用GPS媲美。(提高隱蔽性)
最大用戶數	540000戶(每小時)	無
導航定位限制	慢速運動載具	無
其他	構成系統的空間衛星數目少、用戶終端設備簡單、一切複雜性均集中於地面中心處理站。	提供即時『開放服務』和『授權服務』。

表13. 北斗一號和GPS比較

	北斗一號	GPS系統
覆蓋範圍	東經約70°—140° 北緯5°—55°	全球
衛星數量	在地球赤道平面上設置2顆地球同步衛星，兩衛星的赤道角距約60°。	6個軌道平面上設置24顆衛星，軌道赤道傾角55°，軌道面赤道角距60°
衛星高度	36000公里	20200公里
定位原理	主動式雙向測距二維導航(有源應答)	被動式單向測距三維導航。
定位運算	地面中心控制系統(毀損即無法定位)	用戶端接收器

表14. 北斗一號和GPS比較(續)

	北斗一號	GPS系統
三維定位精度	三維定位精度約幾十米。高度誤差，必須依數值資料改正。	P碼：6m，C/A：12m
授時精度	100ns	20ns
用戶容量	有限	無限
短報文通信	有	無
瞬時性	低	高
軍事用途	弱	強
成本	較低	較高
用戶設備	簡單	複雜

七、日本準天頂衛星系統(QZSS)

準天頂衛星系統(Quasi-Zenith Satellite System, QZSS)為日本所發展之區域型測量定位衛星系統，目的是提供亞洲和大洋洲區域導航系統。針對「城市峪谷」的情況，確保在任何時間三顆衛星中至少有一顆衛星於近天頂位置。強化而非複製美國的GPS，提供與GPS相容的額外測距信號。圖13為QZSS空間衛星示意圖，圖14則為QZSS導航衛星地面軌跡示意圖。

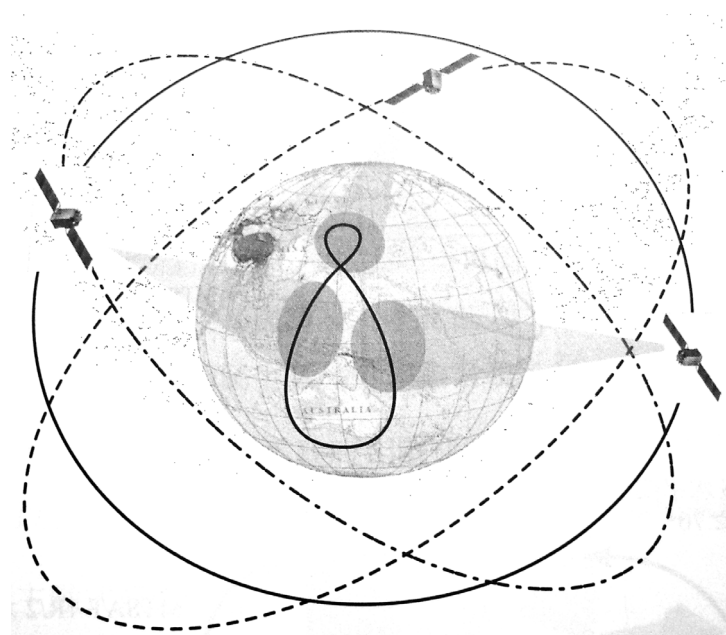


圖13. QZSS空間衛星示意圖

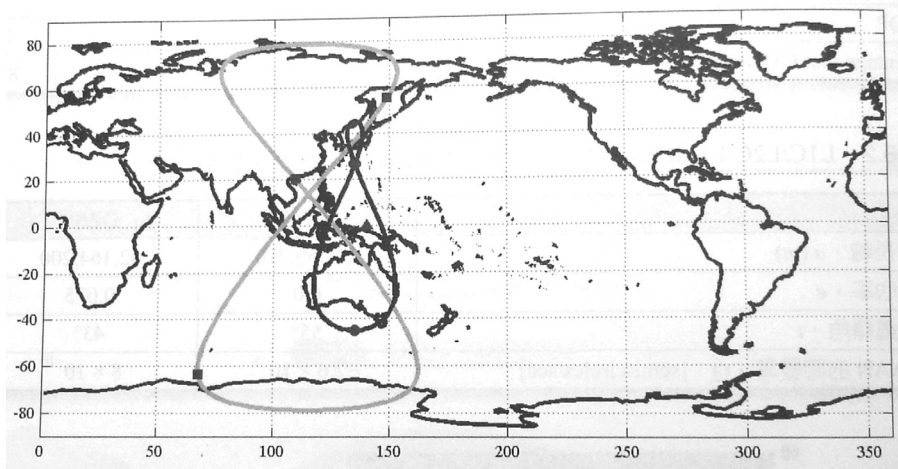


圖14. QZSS導航衛星地面軌跡示意圖

QZSS系統的太空部分係針對運行的衛星本體而言，系統分布如表15所示。目前係由3顆衛星組成，3衛星分布於3個軌道面上，衛星軌道相對於地球赤道面的傾角為 $43^{\circ}\pm 4^{\circ}$ ，軌道離心率為 0.075 ± 0.015 ，衛星軌道間張角為 120° ，軌道的遠地點高度是33970公里，軌道的近地點高度為31602公里，地面軌跡中心點經度則為 $135^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 。衛星每繞行地球一週約23時56分04秒。

表15. QZSS空間衛星系統分布

衛星數目	3
軌道數目	3
軌道傾角	$43^{\circ}\pm 4^{\circ}$
軌道離心率	0.075 ± 0.015
軌道間張角	120°
地面軌跡中心經度	$135^{\circ}\pm 5^{\circ}$
軌道遠地點	33970km
軌道近地點	31602km
軌道週期	23h56m04s
大地基準	JGS
時間系統	QZSS時間

基本上QZSS衛星系統發展分為兩個階段：

1. 第一階段：

建立與GPS互補的區域性衛星導航系統，提供日本境內全天候不間斷的高角衛星導航服務。

2. 第二階段：

新增3個高傾角、高橢圓軌道，每個軌道各一枚準天頂衛星，其地面軌跡均相同。新增一枚地球同步衛星，導航衛星擴增為7枚。任何時刻，至少有4枚準天頂衛星，在日本鄰近區域提供定位、導航與計時服務。圖15則為GPS+QZSS地面段系統架構示意圖。

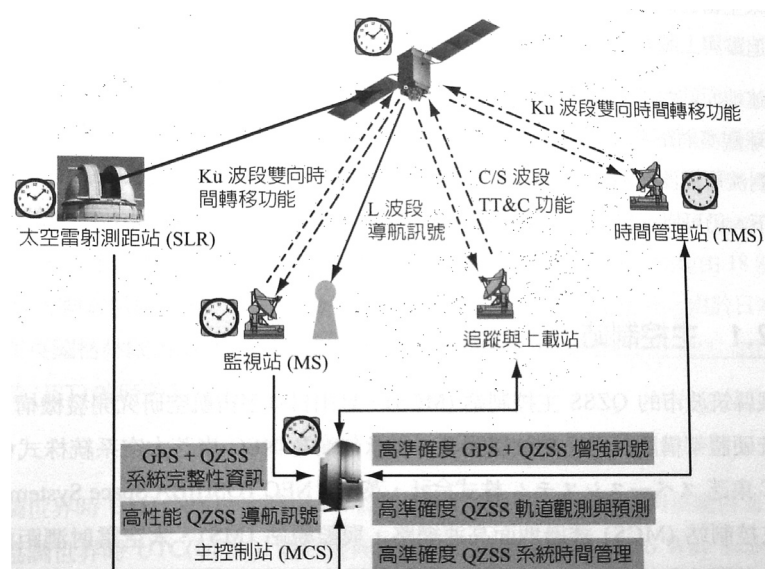


圖15. GPS+QZSS 地面段系統架構示意圖

基本上QZSS設計和運作上，系統缺陷如下：

- 由於高橢圓軌道的設計，受到地球引力場的影響，會有衛星偏離預定軌道的現象。
- 需要進行軌道修正時，至多兩天時間無法提供服務。
- 單一衛星訊號的可獲得性無法滿足國際民航組織攸關性命安全訊號的性能需求。

八、印度區域導航衛星系統(IRNSS)

印度區域導航衛星系統(IRNSS)是一個由印度政府籌建中的實驗衛星導航系統。提供一個精度在20米內的定位。



據解放軍報報導，「印度將在未來6年間陸續發射7顆導航定位衛星，在外層空間打造印度版的GPS。」印度空間研究組織主席瑪達萬·奈爾2007年9月27日在國際空間大會做出的這一宣示，預示著國際導航與定位服務市場將出現第五位雄心勃勃的服務提供商。按照印度政府2006年5月批准的「印度區域導航衛星系統」(IRNSS)計畫，該系統首顆衛星於2009年發射升空。

印度在導航定位衛星系統研發領域，實行的是多管齊下的策略。

其一，通過GAGAN(「GPS輔助型靜地軌道增強導航」項目的英文首字母縮寫，同時也是印度語「天空」的意思)計畫，通過提供參考信號來提高印度使用美國GPS服務的精度。其二，與俄羅斯簽署《關於和平利用俄全球導航衛星系統的長期合作協議》，在聯合發射18顆導航衛星發展「格洛納斯」(GLONASS)系統過程中，印度將承擔其中6顆的發射任務，並按協議建造這6顆衛星中的3顆。其三，計畫參與歐洲「伽利略」衛星導航系統項目，共同研發地面系統以便在航空方面加以利用。

但是，印度參與美俄歐導航定位系統的建設，都存在受制於人的問題，非常時期有關國家很可能會關閉導航定位服務或降低服務精度，甚至注入虛假定位信息，使印度的利益受損。有鑒於此，印度政府下決心投入160億盧比(合3.5億美元)研發自己的導航定位系統--IRNSS，為打造世界軍民兩用航天大國地位進行新一輪衝刺。

IRNSS系統將由7顆衛星組網，其中3顆將部署在對地靜止軌道上，另外4顆將部署在傾角為 29° 的地球同步軌道上，預計2012年投入使用。處於S波段(2~4吉赫)的導航信號由星上的相控陣天線發射，以確保實現設計中規定的覆蓋區域和信號強度。每顆衛星大約重1330公斤，其太陽能電池帆板能產生1400瓦的電量。該系統能夠為印度全境及其周邊2000公里範圍的區域提供導航定位服務，定位精度在20米以下。除了提供導航定位服務外，IRNSS還將提供對地監測、遠程通信、信息傳輸、災情評估和公共安全等服務。

法國《國際航天》雜誌曾撰文指出，雖然印度的IRNSS採用了GPS技術，但它並不是真正意義上的全球衛星導航定位系統。在IRNSS計畫中，印度面臨很多技術難題，衛星、原子時標準、地面站和主控制中心的建設、按DO-178B標準編製的導航軟件、用戶接收器、時間轉換技術等都有待完成技術攻關。其中，在關鍵的微型精確定位載荷研製上，印度依然需要仰賴與美、俄、歐的國際合作。如果印度在這一衛星導航核心技術上無法自主突破，IRNSS將是一座不設防的城市，其在軍事領域中的戰略意義將蕩然無存。

對此，印度人也很清楚，於是採取了循序漸進的方法。印度空間研究組織主席奈爾表示，IRNSS將專門服務於印度次大陸，「7顆衛星是實現這一目標的最低數

目」；而IRNSS未來的目標是發展成為全球體系，「這至少需要24顆運行在2萬公里軌道上的衛星組網」。但是，有輿論認為，印度並未終止與美、俄等國的導航定位研發合作，它是否有充足的資金投入IRNSS建設，也是一個問題。

九、結語

各類全球定位衛星的設計原理近似，但設計的參考時間系統與座標系統不同，卻因方向目標，造成與方向目標的迥異，表16為各全球定位衛星之比較表。

表16. 各式衛星導航系統比較

	衛星系統	座標系統	時間系統
全球性	GPS	WGS84	UTC (USNO)
	GALONASS	PZ90	UTC (SU)
	GALILEO	GTRF	GST
	北斗二號		
區域性	北斗一號		
	QZSS	JGS	QZSS時間
	IRNSS		

從技術和應用前景上看，各導航系統各有優劣。GPS勝在成熟；GLONASS的抗干擾能力強；GALILEO服務多樣化；GNSS有更高的精度和可靠性；而中國大陸北斗衛星導航系統的優勢在於互動性和開放性；日本準天頂衛星系統的訊號可獲得性高。

未來的衛星導航系統發展，除了完成建立任務外，應兼顧與其他系統的兼容性，促進衛星定位、導航、授時服務功能的應用。

第二節 遙測衛星

一、前言

(一) 什麼是遙測衛星影像？

遙測係以非接觸之探測方式獲取資料，長久以來即利用其裝設於衛星上之設備及技術，進行全面性、系統化的蒐集地球影像資料以供監測地球環境或調查自然資



源。

(二)遙測衛星影像的特性

- 多光譜：衛星遙測的感測器主要是利用多波段獲取地表的輻射能量，這樣就可以把地物波譜的微弱差異區分並記錄下來，以供使用者進行研究及應用。
- 空間性：遙測從一個大範圍的角度來偵測整個地表環境，所涵蓋的範圍是個2度空間的大面積，不像地面調查是以點或線為主。
- 多時性：衛星遙測可提供歷史性和週期性的資料，因此對同一地區可進行各種環境的動態變遷的偵測。
- 數位化：衛星遙測資料的原始形式即是以數位化的格式記錄，因此有利於電腦處理和發展自動化的影像辨識方法，及定量的分析結果。

(三)遙測衛星之應用

- 土地使用調查/Land use or Land cover Mapping
- 地質與土壤資源調查/Geologic and Soil Mapping
- 農業應用/Agriculture Application
- 林業應用/Forestry Application
- 水資源應用/Water Resource Application
- 都市與區域計畫應用/Urban and Regional Planning Application
- 環境評估/Environmental Assessment
- 軍事應用/Military Application
- 由天然或人為災害發生前、後衛星遙測影像的比對及分析，可以很快地把發生災變的位置，如山崩、土石流、火災等，在影像地圖上描繪出來。不僅即時掌握災害現況，也可提供精確的資料，分析災害發生的原因。

(四)光學與雷達遙測

1.光學遙測

目前商用光學衛星影像有逐漸提高空間解析度之趨勢，從1972年80公尺空間解析度的Landsat-1 MSS，直到1999年15公尺空間解析度Landsat-7ETM+。以及1986年法國SPOT-1衛星之20公尺空間解析度，直到2003年SPOT-5衛星之2.5公尺空間解析度。除此之外，美國的IKONOS與QuickBird衛星，影像已優於1公尺之空間解析度。然而各衛星各有其優缺點，針對任務需求之不同，選擇適當的光學設備與解析資料才能有效的利用資源。

2.一般光學遙測衛星的種類如下：

- SPOT衛星
- LandSAT衛星
- FORMOSAT-2衛星

- IKONOS衛星
- EROS衛星
- QuickBird衛星
- MODIS-Terra/Aqua衛星
- Terra-ASTER衛星

3. 雷達遙測

合成孔徑雷達影像為不受天候影響之遙測資料，除了本站接收之ERS-1/2與即將接收之ENVISAT外，本站尚可透過緊急機制獲取加拿大RADARSAT-1資料。在特定情況下，兩組雷達資料更可進行雷達干涉處理，獲取更多地表資訊。

二、SPOT衛星

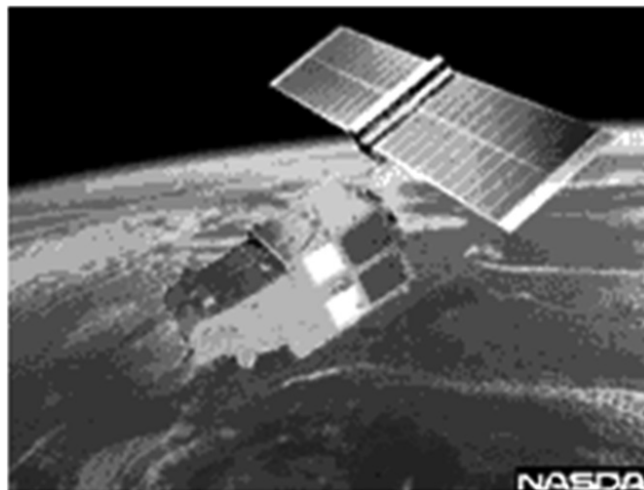


圖16. SPOT衛星示意圖

SPOT衛星為太陽同步衛星，平均航高832公里，軌道與赤道傾斜角 98.77° 。每天約10點45分通過臺灣上空，通過赤道的時間為當地時間上午10點30分，繞地球一圈週期約101.4分，一天可轉14.2圈，每26天通過同一地區，全球共有369個軌道(Track)。目前SPOT系列影像目前國內由中央大學太空及遙測研究中心負責接收，圖16為SPOT衛星示意圖表17為SPOT 1-4系列衛星影像相關資料統計分析表格。

SPOT衛星的發展分為幾個階段：

- SPOT-1：1986年2月法國成功發射，1993年8月SPOT-1停止使用，1996年又重新啟用。
- SPOT-2：1990年1月發射。



- SPOT-3 : 1993年9月底發射，不幸於1996年11月失去聯絡。
- SPOT-4 : 1998年3月24日發射升空，最大的特點在於新增的短波紅外線波段 (SWIR, Short-Wave Infrared)、以及一個專用於地表植被分析研究的儀器 VI(Vegetation Instrument)。
- SPOT-5 : 2002年5月4日發射升空，更裝置了高解析度立體影像儀，可以立即獲得120 × 600公里範圍、地面解析度是10公尺的立體像對。

表17. SPOT 1-4 系列衛星影像相關資料

感測器	光譜範圍	解析度	週期	涵蓋範圍	飛行高度
SPOT 1-4	(μm)	(m)	(天)	(km^2)	(km)
多光譜	1.綠 0.50-0.59	20	26/3-5	60 × 60	822
	2.紅 0.61-0.68	20			
	3.近紅外 0.79-0.89	20			
	4.SWIR 1.58-1.75	20			
全色態	Pan 0.61-0.68	10			
SPOT 5 影像影像相關資料					
感測器	光譜範圍	解析度	週期	涵蓋範圍	飛行高度
SPOT 1-4	(μm)	(m)	(天)	(km^2)	(km)
多光譜	1.綠.50-0.59	10	26/3-5	60 × 60	822
	2.紅 0.61-0.68	10			
	3.近紅外 0.79-0.89	10			
	4.SWIR 1.58-1.75	10			
全色態	Pan 0.48-0.71	2.5 5			



圖17. SPOT-5衛星影像圖

圖17為SPOT-5衛星偵測應用實例。艾利颱風重創石門水庫集水區，導致南桃園創下停水多達12天以上之最長紀錄，利用此次颱風前後之SPOT衛星資料進行地表物變遷偵測，結果發現多處的土石流或崩塌地。其中最大一處土石崩塌地面積在50公頃以上，位在薩克亞金溪。圖18即為利用SPOT衛星影像偵測石門水庫集水區之土石流與崩塌地形之實例。

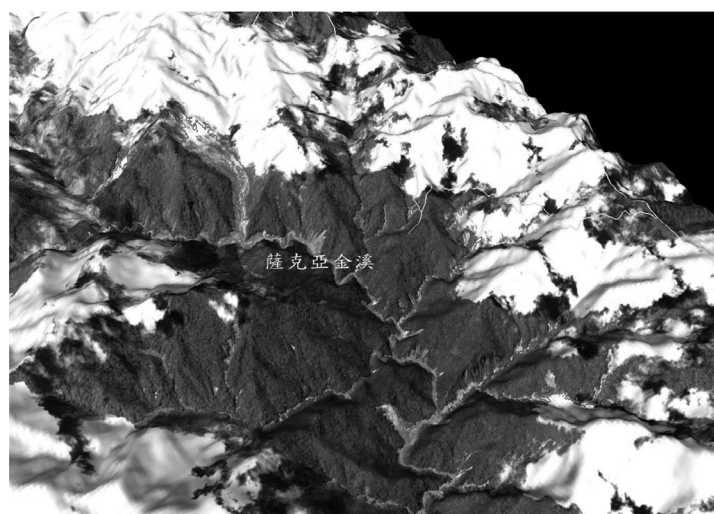


圖18. SPOT-5衛星偵測應用實例



三、LANDSAT衛星



圖19. LANDSAT衛星示意圖

LANDSAT衛星美國太空總署(NASA)發展之地球觀測衛星，如圖19。自1972年LANDSAT-1為衛星發射成功後，即開啟第一階段從太空觀測地球之新時代。隨不同年代新衛星發射後，其空間解析度並由80m提昇至15m，目前仍在運轉中的為Landsat-5與Landsat-7，掃瞄地表每一像幅(Scene)約185公里×170公里，平均掃瞄一個像幅約費時26.31秒，其掃瞄視野角(FOV)為 14.7° ，平均五幅影像就可含蓋全臺灣，並且提供多光譜地表分析能量。

Landsat衛星全球共有233個軌道，以Landsat所定義之全球參考系統(World Reference System,WRS)表示，定為Path/Row座標系統，臺灣地區地理位置約為Path：117-118，Row：42-45之間。提供使用者大範圍面積監測與分析需求，可應用於大環境監測使用。圖20為LANDSAT衛星影像圖。

LANDSAT衛星影像類別如下：

- Landsat-1系列產品，目前仍在運轉的為Landsat-5與Landsat-7。相關產品資訊如下：Landsat-5 TM(Thematic Mapper)：共有7個波段，其中波段1~5和7為可見光及近紅外光波段，其空間解析度30公尺；波段6為熱紅外光，其空間解析度為120公尺。
- Landsat-7 ETM+：共有8個波段，其中波段8為全色態影像，具有15公尺之空間解析度，波段1~3(可見光)與波段4,5,7(近紅外光)之空間解析度為30公尺，而波段6為熱紅外光，空間解析度則為60公尺。



圖20. LANDSAT衛星影像圖(Urban Mapping -Philadelphia, Pennsylvania)

四、FORMOSAT-2衛星



圖21. FORMOSAT-2衛星示意圖



臺灣資源豐富，但由於土地過度開發及天然災害發生頻率與強度持續增加，若能定期建置不同時序的資料，可為防救災應用，作為國土規劃與土地管理之資料庫基礎。福爾摩沙衛星二號的設計為兼具地表遙測任務及高空大氣閃電觀測科學用途，其設計特性可歸類為環境與災害監控衛星。主要遙測任務為每日可對軌道通過之同一地區進行2米高解析度光學衛星影像拍攝，作為土地利用、都市監測與環境規劃、農林規劃、環境監測、災害評估、生態環境資源研究與監測、觀光旅遊及科學研究與教育推廣等不同領域之應用。

FORMOSAT-2衛星影像解析度為黑白影像2公尺，彩色影像8公尺，任務壽命預計可達5年以上，如圖21所示。已於民國93年5月21日發射成功。在天候許可的情況下，一次經過可拍攝四個緊鄰的影像條，以涵蓋臺灣全島，得到相當完整的臺灣本島影像。表18顯示FORMOSAT-2空間衛星系統資訊。

表18. FORMOSAT-2空間衛星系統資訊

重量	760公斤左右 (含酬載及燃料)
形狀尺寸	六角柱形，高2.4公尺，外徑約1.6公尺 (太陽電能板未展開時)
軌道	891公里高，太陽同步軌道，每日通過臺灣上空二次。
酬載儀器	遙測酬載、高空向上閃電儀。
遙測對地解析度	全色態 (黑白) 影像2公尺 (近垂直觀測) 多光譜 (彩色) 影像8公尺 (近垂直觀測)
像幅寬度	24 公里(近垂直觀測)
衛星機動性	前後照 $\pm 45^\circ$ ；側照 $\pm 45^\circ$
攝像能力	8分鐘/軌道
設計壽命	5年
發射日期	民國93年5月21日 (臺北時間)

FORMOSAT-2衛星特色如下：

- 衛星自主操控：
福爾摩沙衛星二號為一顆由臺灣自主操控之高解析度遙測衛星，可完全滿足國內外各界需要。
- 高造訪率：
福爾摩沙衛星二號除具備2公尺光學高解析解像力外，其每日可對同一地區進行拍攝的高造訪率，為目前全球商業遙測衛星唯一具此特性者。
- 自行開發之前端影像處理系統：
由臺灣自行開發之福爾摩沙衛星二號前端影像處理系統，已完成系統驗證

測試並已進行衛星影像資料之接收與處理工作。

FORMOSAT-2衛星特影像類別

1.全色態影像(Panchromatic)

俗稱『黑白影像』

對地解析度(近垂直觀測)：2公尺

應用領域：可依據物體形狀、邊緣、色彩對比及紋理等影像特性，作為判釋地表物體之依據，如建物、稻田、道路等。

2.多光譜影像(Multi-Spectral)

俗稱『彩色影像』

對地解析度(近垂直觀測)：8公尺

應用領域：不同地物對不同光譜有不同之反射特性，可用反射差異探討地表目標物可能特徵，有效提昇對地表使用類別之判讀效率與成果。例如：近紅外光對於植被之反射特別敏銳，可用來進行農作物或森林之相關應用。

3.彩色合成影像(Pan-sharpened)

所謂的彩色合成影像，係將解析度2公尺之全色態影像與解析度8公尺之多光譜影像融合(Fusion)後，作成解析度為2公尺的彩色合成影像。表19為FORMOSAT-2福衛二號衛星影像相關資料統計表。圖22則為FORMOSAT-2衛星偵測應用實例。

表19. FORMOSAT-2福衛二號衛星影像相關資料

感測器	光譜範圍	解析度	週期	涵蓋範圍	飛行高度
FS-2	(μm)	(m)	(天)	(km^2)	(km)
多光譜	1.綠 0.52-0.60	8	每天	24 × 24	891
	2.紅 0.63-0.69	8			
	3.藍 0.45-0.52	8			
	4.近紅外 0.76-0.90	8			
全色態	Pan 0.52-0.82	2			

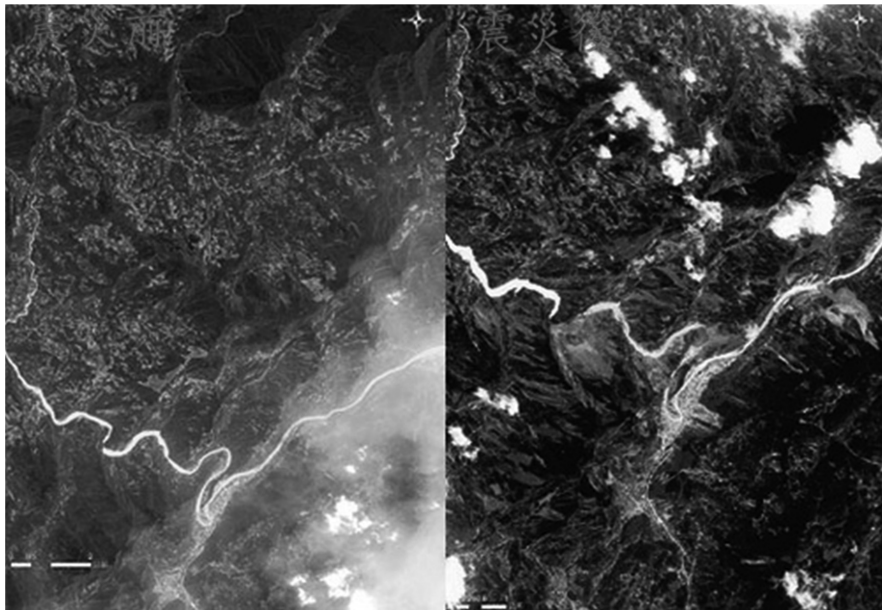


圖22. FORMOSAT-2衛星偵測應用實例

五、IKONOS衛星



圖23. IKONOS衛星示意圖

IKONOS衛星為美國GeoEye公司所發展的商用高解析度光學衛星，如圖23所示，影像解析度高達0.82公尺，為全球首顆提供1米以下解析度之商用光學衛星，影像資訊可達軍用規格。可提供快速且品質清晰之衛星影像，獲取地球表面之地物、地貌等空間資訊。其具有立體影像拍攝能力，具有製作數值地形模型之能力；目前全臺灣涵蓋率已達95%以上，且不斷更新影像資料，可讓需求者更迅速掌握環境訊

息。

IKONOS衛星於1999年9月24日發射。IKONOS攜帶的感測器可接收多光譜及全色態(黑白)的資料，此衛星的主要特色是影像具有極高的空間解析度。黑白影像可達0.82公尺的解析度，多光譜影像也有四公尺的解析度。表20為IKONOS衛星基本資訊。表21則為IKONOS衛星影像相關資料。

表20. IKONOS衛星基本資訊

發射日期	1999年9月24日 (Vandenberg Air Force Base, California)
運行時間	超過8.5年
軌道形式	太陽同步衛星
軌道高度	681km (423英里)
軌道傾角	98.1度
運行速度	7.5公里/秒 (4哩/秒)
地面速度	6.8公里/秒
飛行週期	98分鐘 (繞地球一圈)
赤道通過時間	10:30 a.m
航帶拍攝寬度	11.3公里 (7英里) at nadir 13.8公里 (8.6英里) at 26° off-nadir
重訪頻率	1公尺解析度 - 約3天 1.5公尺解析度 - 約1.5天
空間解析度	Pan: 0.82公尺 (nadir) to 1公尺 (26° off-nadir) MS: 3.2公尺 (nadir) to 4公尺 (26° off-nadir)
輻射解析度	11-bits/pixel
影像波段	全色態、紅、綠、藍、近紅外光

表21. IKONOS 衛星影像相關資料

感測器	光譜範圍	解析度	週期	涵蓋範圍	飛行高度
IKONOS	(μm)	(m)	(天)	(km ²)	(km)
多光譜	1 藍 0.45-0.52	4	視使用者需求	13 × 13	681
	2 綠 0.52-0.60	4			
	3 紅 0.63-0.69	4			
	4 近紅外 0.76-0.90	4			
全色態	Pan 0.45-0.90	1			

IKONOS 衛星所提供之影像類別，可依其光譜特性加以區分為全色態影像、多光譜影像及彩色合成影像三大類。



1. 全色態影像(Panchromatic)

全色態影像(俗稱黑白影像)，蒐集單一波段(B&W)的波譜資料。其影像解析度為0.82~1公尺。

2. 多光譜影像(Multi-Spectral)

多光譜影像(俗稱彩色影像)，蒐集藍色可見光、綠色可見光、紅色可見光及近紅外光等四個波段之影像。影像解析度為3.2~4公尺。

3. 彩色合成影像(Pan-sharpened)

所謂的彩色合成影像，是將解析度0.82公尺(或1公尺)之全色態影像與解析度3.2公尺(或4公尺)之多光譜影像融合(Fusion)後，作成解析度為0.82公尺(或1公尺)的彩色合成影像。

圖24為衛星影像示意圖。表22則為福衛二號、SPOT 5和 IKONOS遙測衛星比較表。



圖24. IKONOS衛星影像圖(FALIRO COAST,ATHENS, GREECE)

表22. 福衛二號、SPOT 5和 IKONOS遙測衛星比較

特性	福衛二號	SPOT 5	IKONOS
光譜特性 μm	P : 0.52~0.82	P: 0.48 ~ 0.71	P : 0.45~0.90
	B1:0.45~0.52	B1: 0.50~0.59	B1:0.45~0.52
	B2:0.52~0.60	B2: 0.61 ~ 0.68	B2:0.52~0.60
	B3:0.63~0.69	B3: 0.78 ~ 0.89	B3:0.63~0.69
	B4:0.76~0.90	B4: 1.58 ~ 1.75	B4:0.76~0.90
生命週期	5年	5年	7年
空間解析度	黑白2M	黑白5M	黑白1M
	彩色8M	彩色10M	彩色4M
售價 (以學術單位為例，每平方公里)	L1A : 10元	1A : 12元	1000元
	L2 : 10元	2A : 12元	

六、EROS衛星

EROS 為 ImageSat International(ISI) 之高解析度衛星。其中 EROS-A於2000年12月5日發射，衛星任務壽命為五年。EROS-A 軌道高度為480公里，為傾角97.3度之太陽同步衛星，衛星採本體旋轉方式，以推掃方式成像，每一列共7800個CCD成像。可進行前、後及左、右傾斜觀測之立體觀測能力，三軸之最大傾角為45度。衛星視野角為1.5度，近地點之空間解析度為1.8公尺，唯一的一個全色態波段影像其輻射解析度為每個像元11個位元，衛星質量250公斤。

一般而言，資源衛星多使用同步取樣方式成像，即衛星掃瞄成像速度和對應地面取樣移動速度相等。EROS-A採非同步取樣，即衛星飛行取樣路徑較取樣範圍長，影像取樣速度較衛星飛行速度慢，可增加感測器對同一個目標區的曝光時間，利用非同步取樣之特性可改善影像輻射品質，增強影像的對比。EROS衛星影像圖如圖25以及圖26所示。

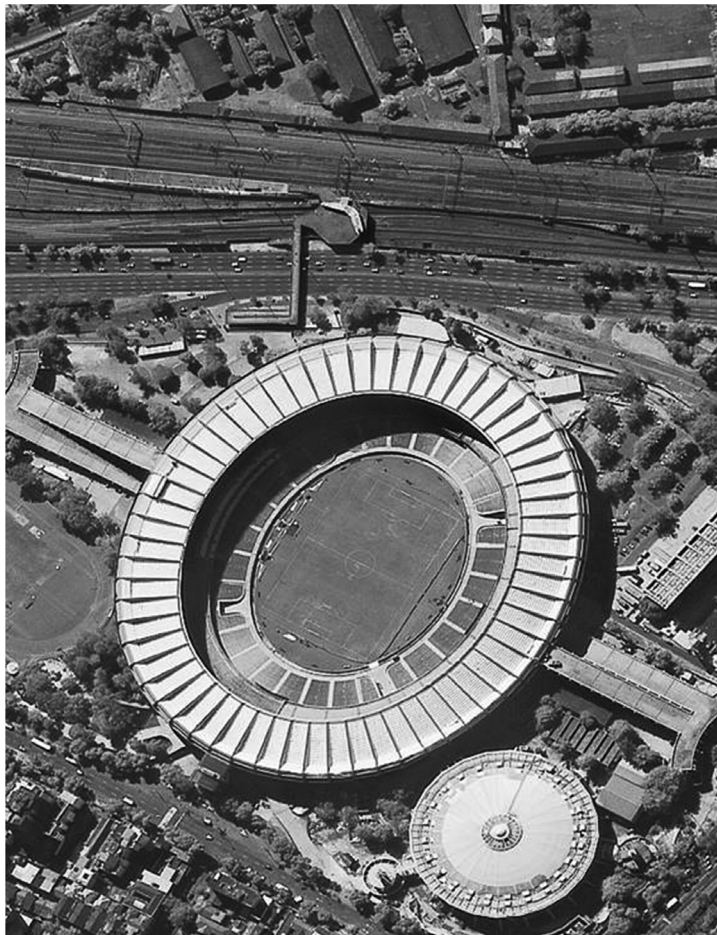


圖25. EROS衛星影像圖A



圖26. EROS衛星影像圖B

七、QUICKBIRD衛星

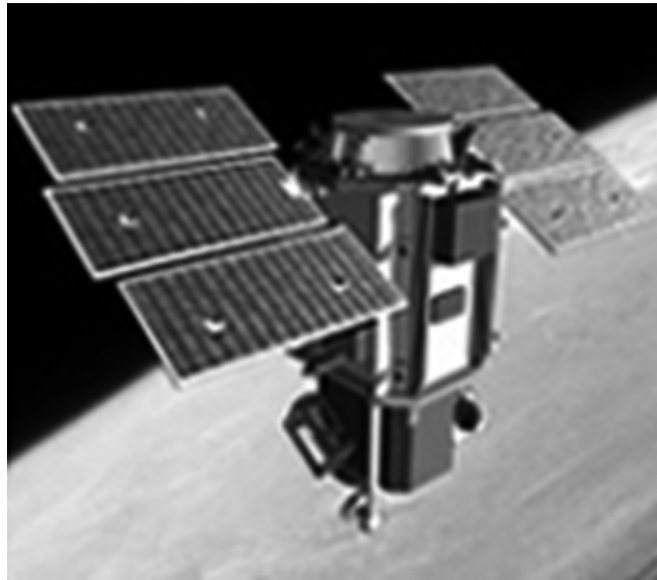


圖27. EROS衛星示意圖

QuickBird衛星為美國DigitalGlobe公司所擁有商用光學衛星，圖27為EROS衛星示意圖。2001年10月18日於美國Vandenberg空軍基地順利發射升空，從450公里外的太空拍攝地球表面上之地物、地貌等空間資訊。

QuickBird衛星本身為太陽同步衛星，平均4至6天即可拍攝同一地點的影像。因此，QuickBird可提供快速且品質清晰之衛星影像，使人們可更迅速掌握所處之環境訊息。其全光譜影像之空間解析度在近地點可達61公分，為目前商用衛星影像中空間解析度最高之感測器。另一感測器為多光譜影像，其波譜範圍涵括藍色可見光、綠色可見光、紅色可見光及近紅外光等四個波段，近地點之空間解析度為2.44公尺，遠地點之空間解析度則為 2.88 公尺。表23列出QuickBird波譜範圍，圖28為QuickBrid衛星影像圖。

QuickBird所提供之衛星影像，可依其光譜特性加以區分為全色態影像、多光譜影像及彩色合成影像三大類：

1. 全色態影像(Panchromatic)

全色態影像(俗稱黑白影像)，蒐集單一波段(B&W)的波譜資料。其影像解析度為61~72公分。

2. 多光譜影像(Multi-Spectral)

多光譜影像(俗稱彩色影像)，蒐集藍色可見光、綠色可見光、紅色可見光及近紅外光等四個波段之影像。影像解析度為2.44~2.88公尺。

3. 色合成影像(Pan-sharpened)



所謂彩色合成影像，係將解析度60公分(或70公分)之全色態影像與解析度2.4公尺(或2.8公尺)之多光譜影像利用融合技術進行影像融合(Fusion)後，做成解析度為60公分(或70公分)的彩色合成影像。

表23. QuickBird波譜範圍

影像類別	波段	波譜值	空間解析度
全色態影像 (Panchromatic)	全光譜段	0.53~0.93 microns	0.6米
多光譜影像 (Multi-Spectral)	波段1(藍光段)	0.45~0.52 microns	2.44米
	波段2(綠光段)	0.51~0.60 microns	2.44米
	波段3(紅光段)	0.64~0.70 microns	2.44米
	波段4(近紅外光段)	0.76~0.86 microns	2.44米



圖28. QuickBrid衛星影像圖(LOS ANGELES, CALIFORNIA)

八、MODIS-TERRA/AQUA衛星

美國太空總署Terra衛星搭載著MODIS，於1999年12月18日 成功發射，並於2000年2月24日開始蒐集資料。而載有MODIS 探測器之Aqua 衛星則於2002年5月4日成功地發射，目前運轉正常。

MODIS(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)又稱為中級解析度成像分光輻射度計，是搭載於Terra和Aqua衛星上的一個重要感測器。Terra和Aqua上的MODIS 所得的資料將有助於對全球的陸地、海洋和較低層大氣動力發展和過程的了解。使用 MODIS資料所發展應用模式可準確的預測全球變遷而幫助決策者做出保護環境的重要決定，資料應用範疇可包括海洋學、生物學和大氣科學與全球變遷。

另一方面，由於Terra MODIS的觀測時間為當地時間之上午10:30左右，而Aqua MODIS則為下午13:30左右，除在觀測資料具有較佳之互補性外，更可提供大氣、海洋或陸表中極短現象之研究與監測等應用之參考，如雷雨等現象，對於極短週期各種現象之研究，幫助頗大。而MODIS 的觀測資料，使用者可透過資料訂閱系統訂閱MODIS 資料，亦可用適當的X-band 接收MODIS直接廣播訊號。

MODIS-TERRA/AQUA不同於一般常用於資源調查的衛星影像資料(如SPOT、Landsat等)具數量較少的頻道，MODIS 提供相當多的特定頻道。相較於前者，MODIS 更具有強大的遙測能力，MODIS 提供36個頻道，波長從可見光、近紅外、中紅光及熱紅外範圍。由於頻道多，可供組合的觀測與分析方式多，故在大範圍物類調查上較 SPOT、Landsat更具優勢。

MODIS不只可用來做地物、地類調查外，其頻道波段選擇上也已考慮在大氣和海洋上的遙測需求，例如其波段資料可用來分析大氣氣溶膠的含量、空氣品質的監測、海洋水色分析、潮流與漁汛調查等等，而許多MODIS的應用項目都是SPOT或Landsat影像資料無法達成的。MODIS約1到2天觀看整個地球一次，掃瞄寬度為2330公里，具36個光譜頻道，其頻帶介於 $0.405\sim 14.385\mu\text{m}$ ，涵蓋可見光、近紅外光與熱紅外光，並提供三種不同的空間解析度，分別為250公尺(band 1~2)、500公尺(band 3~7)和1000公尺(band 8~36)。圖29為MODIS-TERRA/AQUA衛星影像圖。

九、TERRA-ASTER衛星

ASTER 衛星遙測影像的英文全名是 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer，是由日本製造的感測器，它是裝置在 Terra 衛星上的一組遙測儀器。於 1999 年12月發射；除了 ASTER 儀器外，Terra 衛星上還有其他可偵測大氣、海洋等不同性質的裝置。圖30為TERRA-ASTER衛星示意圖。

ASTER 遙測感應系統是由美國太空總署、日本經貿工業部、美國地球遙測資料分析中心所共同合作發展的，它主要的目的在獲取地球表面的溫度、輻射性、反射性、以及高度起伏的形貌等。ASTER 遙測儀器系統包括可偵測 3 個不同波段的 3 個感應儀，即可見及近紅外光、短波紅外光、以及熱紅外光。

ASTER 是 Terra 衛星上唯一可獲取高解析度影像的多波段(14 個波段)感測器。

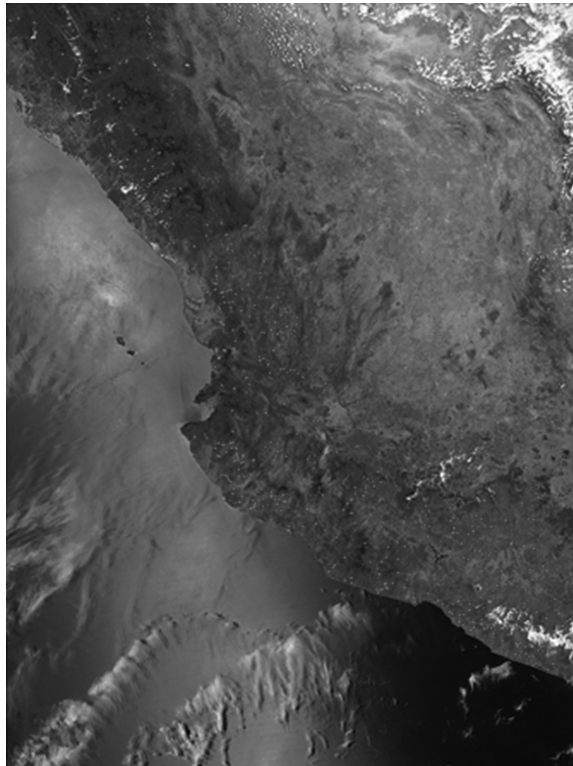


圖29. MODIS-TERRA/AQUA衛星影像圖(Fires, Mexico)

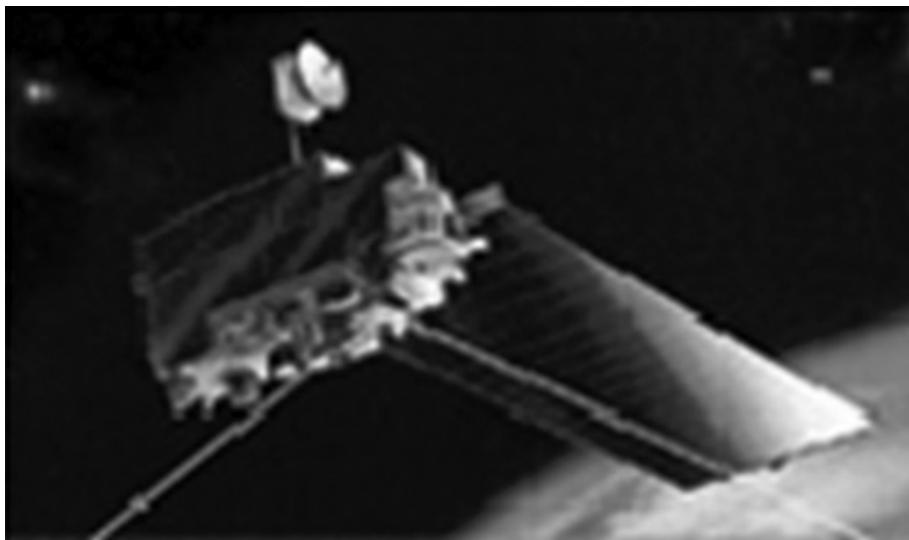


圖30. TERRA-ASTER衛星示意圖

其主要的任務在於快速蒐集全球及局部地區的地表資訊。採用同軌立體觀測方式，也就是將後視攝影與垂直攝影影像組成交會角 31 度，飛行航高比為 0.6 之立體影像，便於製作數值地形模型資料。圖31為TERRA-ASTER衛星影像圖。



圖31. TERRA-ASTER衛星影像圖(Tokyo Bay)

十、TERRASAR衛星

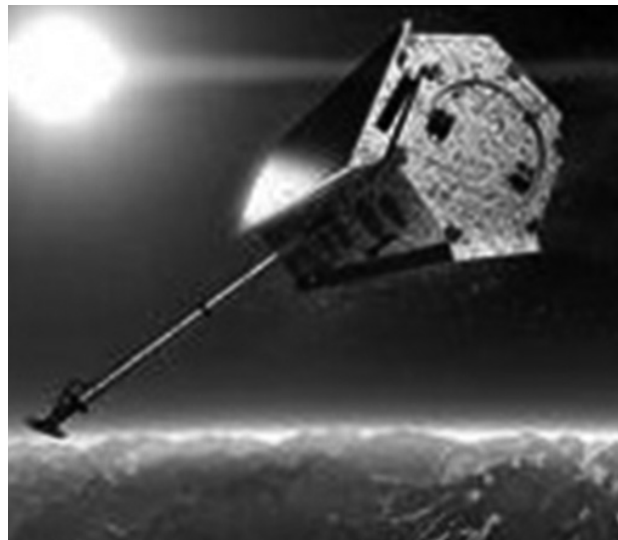


圖32. TERRASAR雷達衛星示意圖

TerraSAR-X衛星雷達是由德國國家太空中心(German Aerospace Center)與德國民間公司EADS Astrium所共同開發，圖32為TERRASAR雷達衛星示意圖



，為TerraSAR系列的第一顆商用衛星，其衛星上搭載著X波段之合成孔徑雷達(Synthesize Aperture RADAR, SAR)感測器，為一顆主動式遙測衛星，且不受日照及天氣影響。表24為TerraSAR-X衛星基本資訊表。

表24. TerraSAR-X衛星基本資訊表

衛星本體高度	5公尺
衛星本體重量	1.230 公斤
SAR 天線	4.8 公尺×0.7 公尺×0.15 公尺
最高解析度	1 公尺 @ 5公里x 10 公里 / 幅
軌道資訊	軌道高度：514 公里
	軌道傾角：98°
	太陽同步
同一軌道重返週期	11 天
生命週期	5 年

為了提昇及確保TerraSAR-X品質，EADS Astrium於2001年成立Infoterra公司，專職負責TerraSAR系列衛星運作及銷售。TerraSAR-X為TerraSAR系列的第一顆商用衛星。TerraSAR-X於2007年6月15日順利發射升空，所能提供之解析度高達1米，為目前所有商用衛星雷達中，提供最高解析度之衛星雷達資料。圖33為TerraSAR-X雷達衛星示意圖。

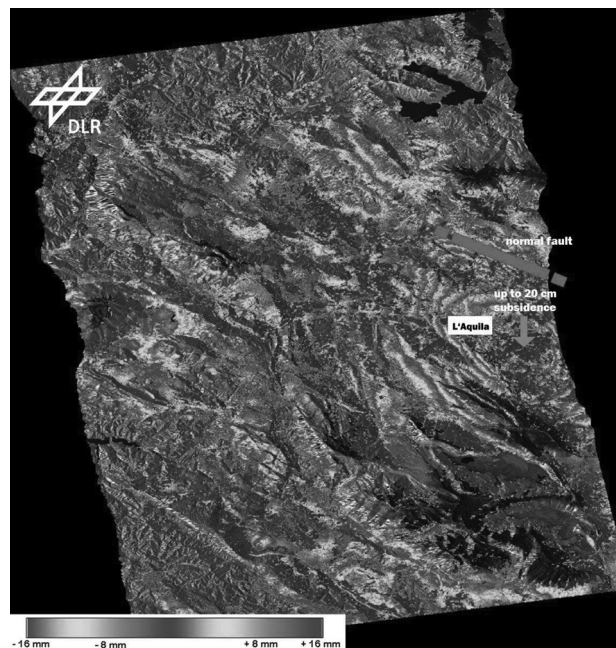


圖33. TerraSAR-X雷達衛星示意圖

- The image from the German radar satellite shows the area around the Italian town of L'Aquila after the magnitude 6.3 earthquake which struck on 6 April 2009.
- Two images from the satellite were combined into a differential interferogram. For the analysis, two TerraSAR-X images in stripmap mode were used with a resolution of 1.7×3.4 metres.
- The first image was taken on 6 February 2009 and the second on 13 April 2009.
- These rings represent, in colour coding, the ground movement caused by the earthquake. One colour sequence represents a shift of about 1.6 centimetres; at the centre, there was a maximum subsidence of up to 20 centimetres. The movement primarily occurred at the normal fault located northeast of L'Aquila, marked in red on the picture.
- 上圖是由德國雷達衛星所拍攝，義大利拉奎拉於2009年4月6日發生芮氏6.3級地震後周邊區域狀況。
兩張衛星圖像合併成一個差分干涉圖。兩張TerraSAR - X的圖像在stripmap模式之下，使用1.7 × 3.4米的分辨率進行分析。
- 這些圈形代表，顏色編碼，由地震引起的地面運動。一個色序代表約 1.6厘米的位移;在震央的地區，最大沉降達20厘米。運動主要發生在拉奎拉東北的一般斷層，於圖片中紅色標記的區域。

十一、補充資料

根據不同的需求，可以在衛星上裝置各種特殊功能的遙測感應器，來探測地球表面、大氣層、海洋等不同物質並取得各類資料。表25為各式遙測衛星組織架構比較表。

表25. 各式遙測衛星組織架構比較表

項目	SPOT-1~4	SPOT-5	EROS-A	FORMOSAT-2	IKONOS-2	Quickbird
感測器種類	光學	光學	光學	光學	光學	光學
感測器名稱	HRV	HRG	NA30	RSI		
軌道種類	太陽同步	太陽同步	太陽同步	太陽同步	太陽同步	太陽同步
軌道高度(公里)	832	832	480	891	681	450
軌道傾角(度)	98.77	98.77	97.3	99.1	98.1	98
軌道週期(分鐘)	101.4	101.4	90	102.8	98	93.4
本體旋轉	否	否	是	是	是	是
成像方式	推掃式	推掃式	推掃式	推掃式	推掃式	推掃式



取樣方式	同步取樣	同步取樣	非同步取樣	同步取樣	同步取樣	非同步取樣
			Max 750 lines / sec			
焦距(公尺)	1.082	1.082	3.435	2.905±0.023	10	8.839
最大側視角(度)	27	27	45	45	40	45
FOV(deg)	4.125	4.125	1.5	1.5	0.931	2.12
像幅寬度(公里)	60	60	12.5	24	11	16.5
時間解析度(天)	2.5	2.5	1.8	1	1.5	1.5
輻射解析度(Bits/Pixel)	8	8	11	8	11	11

在臺灣，各式衛星影像資料，可依相關單位申購。以下兩個網站(圖34-35)為目前可依正常行政程序，申購衛星影像資料的窗口。

遙測資訊服務網

公司簡介 | 最新消息 | 遙測影像 | 遙測軟體 | 海事軟體 | 教育訓練 | 加值服務 | 應用領域 | 下載專區 | 訂購資訊 | 聯絡我們 | 首頁

光學影像

- GeoEye-1
- IKONOS
- WorldView-1
- QuickBird
- FORMOSAT-2
- OrbView-2
- OrbView-3
- ASTER
- Landsat系列產品
- IRS系列產品

雷達影像

- TerraSAR

TerraSAR

TerraSAR-X衛星雷達是由德國國家太空中心 (German Aerospace Center)與德國民間公司EADS Astrium 所共同開發。為TerraSAR系列的第一顆商用衛星，其衛星上搭載著X波段之合成孔徑雷達 (Synthesize Aperture RADAR, SAR) 感測器，為一顆主動式遙測衛星，且不受日照及天氣影響。

衛星特性 | 影像類別 | 影像等級

衛星特性

TerraSAR-X衛星雷達是由德國國家太空中心 (German Aerospace Center)與德國民間公司EADS Astrium 所共同開發。為了提升及確保TerraSAR-X品質，EADS Astrium於2001年成立Infoterra公司，專職負責TerraSAR系列衛星運作及銷售。TerraSAR-X為TerraSAR系列的第一顆商用衛星。

圖34 遙測資訊服務網首頁A(銳倂科技股份有限公司)

圖35展示了太空遙測中心網站的遙測技術資料頁面。該頁面包含一個標題為「常用遙測衛星特性比較」的表格，該表格比較了SPOT-1~4、SPOT-5、EROS-A和FORMOSAT-2四種衛星。表格列出了各項技術參數，如感測器種類、感測器名稱、軌道種類、軌道高度、軌道傾角、軌道週期、本體旋轉、成像方式、取樣方式和立體成像等。

項目	SPOT-1-4	SPOT-5	EROS-A	FORMOSAT-2
感測器種類	光學	光學	光學	光學
感測器名稱	HRV	HRG	NA30	RSI
軌道種類	太陽同步	太陽同步	太陽同步	太陽同步
軌道高度(公里)	832	832	480	891
軌道傾角(度)	98.77	98.77	97.3	99.1
軌道週期(分鐘)	101.4	101.4	90	102.8
本體旋轉	否	否	是	是
成像方式	推掃式	推掃式	推掃式	推掃式
取樣方式	同步取樣	同步取樣	非同步取樣 (Max 750 lines / sec)	同步取樣
立體成像	異軌	同軌(HRS)或異軌	同軌或異軌	同軌或異軌

圖35遙測資訊服務網首頁B(太空遙測中心)

第三節 軍事與商業衛星介紹

一、前言

衛星的基本構造主要可分為兩大部分：

一、特定用途的酬載(payload)：執行科學或應用任務的儀器、火箭酬載燃料及推進器。

二、衛星主體(body)，包括各種次系統。

所有衛星之次系統種類，可分成以下七類：

- (一)結構次系統
- (二)熱傳控制次系統
- (三)姿態控制次系統
- (四)遙控遙傳次系統
- (五)通訊次系統
- (六)電力次系統
- (七)推進次系統

衛星種類繁多，在本報告中，列舉出軍事與商業衛星，進行分析。表26為世界各國人造衛星與發展能力現狀。



表26. 世界各國人造衛星與發展能力現狀

等級	人造衛星科技與發展能力	國家
第一級	1.能獨立且定期進入太空 2.能發射至少2萬公斤的大型人造衛星 3.有科技最先進的人造衛星 4.能回收人造衛星 5.有載人太空飛行能力 6.有充分的地面設施	美國、俄羅斯、大陸
第二級	1.能獨立進入太空 2.能發射至少1萬公斤的人造衛星 3.有進步的人造衛星科技 4.有充分的地面設施	法國、日本、以色列
第三級	1.有限或半獨立進入太空 2.有限的發射能力 3.擁有簡單的太空載具 4.只有簡單的地面設施	英國、義大利、巴西、印度
第四級	1.無法獨立進入太空 2.沒有發射能力 3.只是人造衛星的使用者	印尼、南非、巴基斯坦、臺灣

所謂軍事衛星的定義，即運用於軍事國防上，作為軍事照相、偵察之用的衛星。世界上最早部署國防衛星系統的是美國。圖36為本文對軍事衛星的概略分類圖。

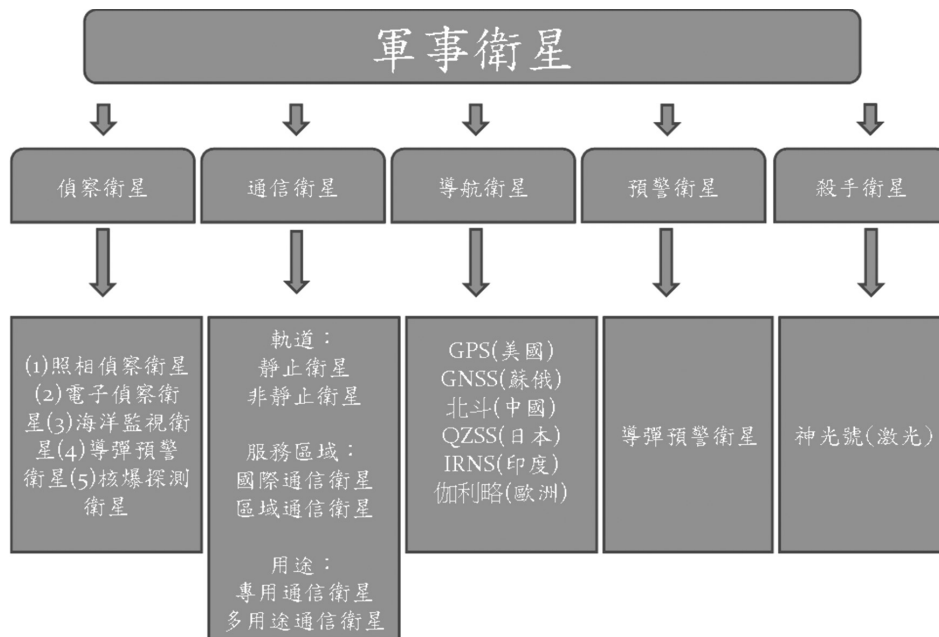


圖36. 軍事衛星分類圖

許多國家都把軍事衛星當做國防競備的重要內容，並讓它在現代戰爭中大顯身手。但在和平年代，又把這些軍事衛星改造為民用，為經濟建設服務(如通信衛星與導航衛星等)。

早期為了因應戰爭需要，以人或是偵察機去刺探敵情，不但危險，所得情報也相當有限。軍事衛星可避開風險且取得大量情報。

利用軍事衛星可拍攝並提供敵方地面設施、軍隊部署、得知敵方的機密通訊、偵測敵方所發射的導彈，且可獲得更多的防禦時間。

軍事衛星未來的發展趨勢，主要在提高衛星的生存能力和抗干擾能力，實現全天候、全天時覆蓋地球和時時傳輸信息，延長工作壽命，擴大軍事用途。

軍事衛星種類，分為以下四種：

1. 偵察衛星
2. 通信衛星
3. 導航衛星
4. 預警衛星

以下就針對各式軍事衛星作較詳細說明。

二、偵察衛星

偵察衛星又名為間諜衛星，用於對於其他國家或地區進行情報的蒐集。種類包含軍事與非軍事的設施與活動，自然資源分布、運輸與使用，或者是氣象、海洋、水文等資料的獲取。

偵測衛星原理如下：早期偵察衛星最主要的偵查手段是利用可見光波段的照相機。隨著科技的進步和情報種類的多樣化，現在的偵察衛星使用的蒐集手段可以區分為主動與被動兩大類。

1. 主動式：

就是由衛星發出訊號，藉由接收反射回來的訊號分析其中代表的意義。譬如說利用雷達波對地面進行掃描以獲得地形、地物或者是大型人工建築等影像。

2. 被動式：

利用被偵查的物體發射出來的某種訊號，加以蒐集並且分析。這種偵查方式是最為常見的一種。包括：使用可見光或紅外線進行照相或連續影像錄製，截收使用各類無線電波段的訊號。

間諜衛星的優點為：偵察範圍廣、飛行速度快、遇到的挑釁性攻擊較少，蘇美兩國都對它格外鍾情，把它當做「超級間諜」來使用。當前美、蘇兩國的戰略情報有百分之七十以上是通過間諜衛星獲得。

偵察衛星種類，又可依功能性不同可分為：

1. 照相偵察衛星
2. 電子偵察衛星
3. 海洋監視衛星
4. 導彈預警衛星
5. 核爆探測衛星



(一) 照相偵察衛星

照相偵察衛星技術為使用遙測影像；使用的照相機種類包括：

1. 全景照相機

可以旋轉整個相機，其旋轉角度達180度，可以用來進行大面積搜索、監視、進行地面目標的「普查」。

2. 畫幅式照相機

主要用於詳查地面目標，把某一個重要目標拍攝到一張分辨率很高的膠片上。解析度可辨別0.3米大小的物體。

3. 多光譜照相機

裝不同的濾光鏡，對同一目標進行拍照，得到不同的窄光譜的照片，由於不同的物體具有不同的光譜特性，可辨別偽裝物體。

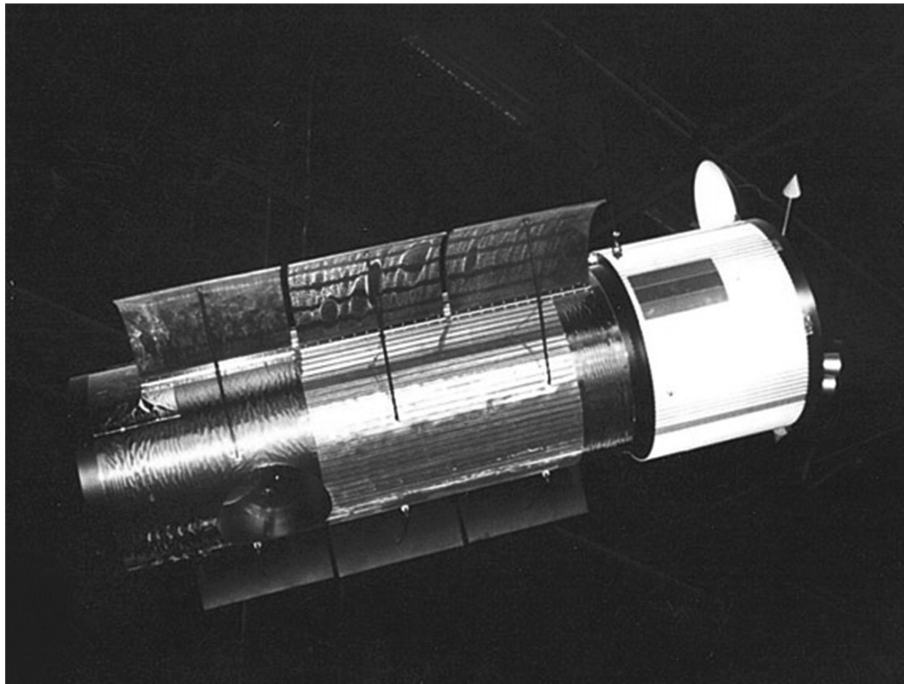


圖37. 照相偵察間諜衛星KH—12示意圖

照相偵察衛星舉一例說明：由美國伍德里奇公司研製最先進的第六代照相偵察間諜衛星KH—12(俗稱：鎖眼)，屬於「數字圖像傳輸型的實時照相偵察衛星」，KH-12不需使用膠卷而是由衛星上的「成像遙感器」通過掃描方法拍攝地面場景圖像。它的優點：一、是不受膠卷的限制；二、是具有誘人的「實時性」。圖37為照相偵察間諜衛星KH—12示意圖，表27顯示出KH—12基本性能。

表27. KH—12基本性能

型號	KH-12
發射載體可下降到高度 120 千米	哥倫比亞號航天飛機或大力神—4火箭
工作壽命	6 年以上
地面分辨率	0.1-0.3 公尺
重量	17公噸
軌道近地點	315 公里，可下降至120公里
傾角	57 分

K-12性能特點除了可進行軌道機動，對重要目標詳查時可降低高度，兼有普查和詳查功能，遙感設備先進，分辨率高；亦可由航天飛機在軌道補充燃料，工作壽命長。

K-12是當今世界太空中間諜偵察衛星的王牌。80年代起，美國已著手制定代號為「靛藍」的新衛星系統。利用最先進的雷達設備，實現全天候的晝夜偵察。利用電腦把雷達訊號提高，變成雷達造影，可能穿透雲霧和黑暗，甚至還可能發展成具有穿透建築物的能力。

(二)電子偵察衛星

電子偵察衛星功能包括：截獲敵方預警、防空和反導彈雷達的信號特徵及其位置數據；截獲敵方的戰略導彈試驗的遙測信號，能有效準確地探測敵方軍用間諜電臺的位置。

電子偵察衛星可分類為：

1.詳查型：

如美國「偵察號」能夠在很寬的頻段內對無線電系統進行偵察。重約1噸，一天飛越莫斯科兩次，並儲存載獲的無線電信號，當衛星運行到預定地域時，會自動將情報用無線電發回地面，或用回收艙送回地面。

2.普查型：

體積較小。如美國的「PH-11」即屬此類。它高僅0.3米，直徑0.9米，呈八面柱體，重量約為60公斤。

電子偵察衛星還有一種特殊「跟蹤人」的功能。只要把一種「顯微示蹤元素」或「電子藥丸」加在特製的食物和飲料中讓人食用，當衛星飛到這個人所在的區域時，衛星上的電子和攝影儀器便會對這個人進行跟蹤。電影全民公敵即為一明顯的應用例子。

(三)海洋監視衛星

海洋監視衛星可探測、跟蹤世界海洋上的各種艦艇。通過截獲艦艇上的雷達、



通信和其它無線電設備發出的無線電信號，對海上的軍事目標進行監視。

海洋監視衛星功能如下：

- 裝有紅外輻射儀等高靈敏度的探測儀器，不僅能夠發現和跟蹤海上目標，且能監視水下60米深的核潛艇活動。
- 測量出核潛艇上的核發動機排出的熱量與週圍海水的溫差，掌握潛艇在海下的位置和計算行駛的速度。
- 測出海底山脈、海溝、隆起部位和斷裂區的高度、深度和寬度，繪製出精確的海底地圖。

應用實例：1982年英阿馬島之戰中，蘇聯接連發射了宇宙-1365號和宇宙-1372號海洋監視衛星，以此來偵察英阿雙方的軍事戰況，並把所獲取的英國軍隊的有關情報馬上提供給阿根廷軍隊，以致阿根廷空軍一舉擊沉了英國特遣艦隊中著名的"雪菲爾德號"驅逐艦。

(四)導彈預警衛星

導彈預警衛星在導彈到達目標前就能夠偵察到攻擊導彈來襲並發出戰略預警，及早使人們進入防空洞或者發射反彈道導彈在大氣層外攔截撞毀前來襲擊的敵方導彈。

(五)核爆探測衛星

核爆探測衛星有20幾個探測器，可探測核爆炸時產生的X射線和Y射線，也可數出核爆時產生的中子數目和記錄核爆炸火球的閃光及電磁脈衝。它能探測到高空(爆炸高度在30公里上)、大氣層(爆炸高度低於30公里)和近地面的任何核爆炸。並且還可以運用先進的探測儀器系統偵察到地下的種種核爆炸。

應用實例：1979年9月22日凌晨3時，一顆高於地球11萬公里的間諜衛星，發現在非洲南部出現了一種神秘的閃光，並且在1秒鐘之內，連續閃動了兩次。10月底，美國發表了一項聲明，宣稱該地區發生了一次2000~4000噸級的核爆炸。然而，處於這一地區的南非卻矢口否認與他們有關。但是，不論是怎樣否認也無法排除這顆間諜衛星偵察的可靠結果。這顆間諜衛星就是美國1971年發射的核爆炸探測衛星-維拉號。

三、通信衛星

通信衛星反射或轉發無線電信號，實現衛星通信地球站之間或地球站與航天器之間的通訊，屬地球同步衛星。

各類衛星通信系統或衛星廣播系統；一顆靜止軌道通信衛星大約能夠覆蓋地球表面的40%，使覆蓋區內的任何陸、海、空通信站能同時相互通信。故赤道上空等間隔分布的3顆靜止通信衛星可以實現除兩極部分地區外的全球通信。

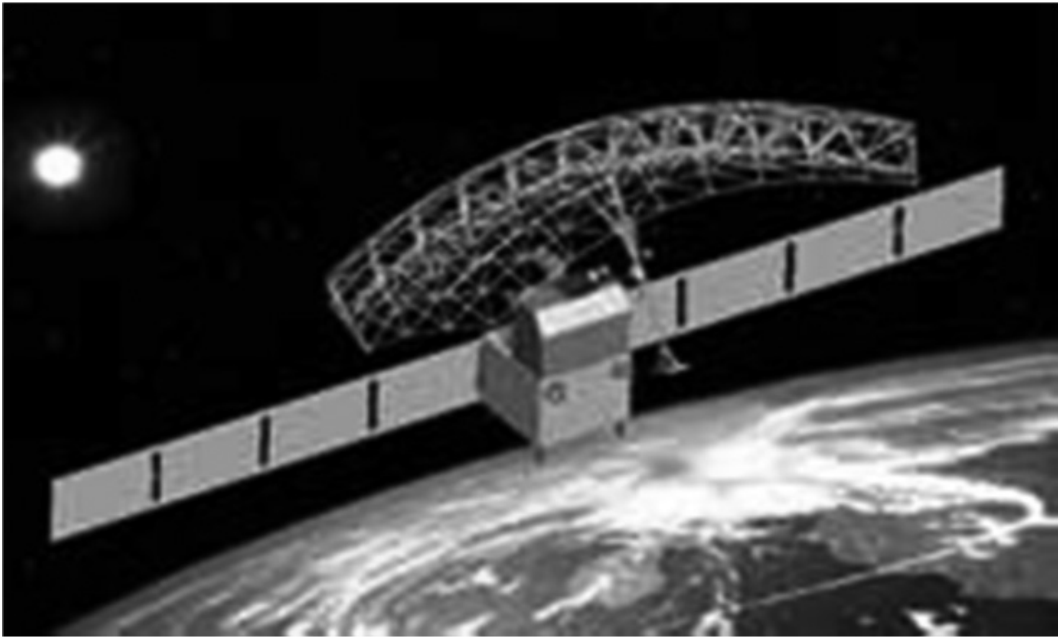


圖38. 東方紅衛星示意圖

通信衛星分類如下

依軌道分類：靜止通信衛星和非靜止通信衛星。

依服務區域分類：國際通信衛星和區域通信衛星。

依用途：專用通信衛星和多用途通信衛星。

1. 靜止通信衛星和非靜止通信衛星

- 一般來說，通信衛星皆為地球同步衛星。
- 衛星高 $h=35786\text{km}$ ，且 $v=3075\text{ m/s}$ 自西向東繞地球旋轉，繞地球一圈的時間為23小時56分4秒，恰與地球自轉的時間相等。
- 靜止通信衛星如圖38所示的東方紅衛星示意圖。
- 非靜止通信衛星，則以前蘇俄閃電號為例，包括閃電1.2、3號等。其軌道為橢圓形。

2. 國際通信衛星和區域通信衛星

- 通信衛星類似一無線電通信中繼站，像一個國際信使，蒐集來自地面的各種「信件」，然後再「投遞」到另一個地方的用戶手裡。
- 因在36000公里的高空，所以它的「投遞」覆蓋面特別大，一顆衛星就可以負責1/3地球表面的通信。

圖39所示為型號GE-7000 (INTELSAT-802)之衛星，其訊號覆蓋區與訊號覆蓋場強圖。

- 使用的國家或單位：國際商業通信衛星公司(美國)



- 衛星用途: 國際通信、電視中繼
- 轉頻器: C頻(4-8Hz), 16個轉頻器; KU(12-18)頻: 6個轉頻器
- 發射日期: 1997.06.25
- 使用年限: 9-10年

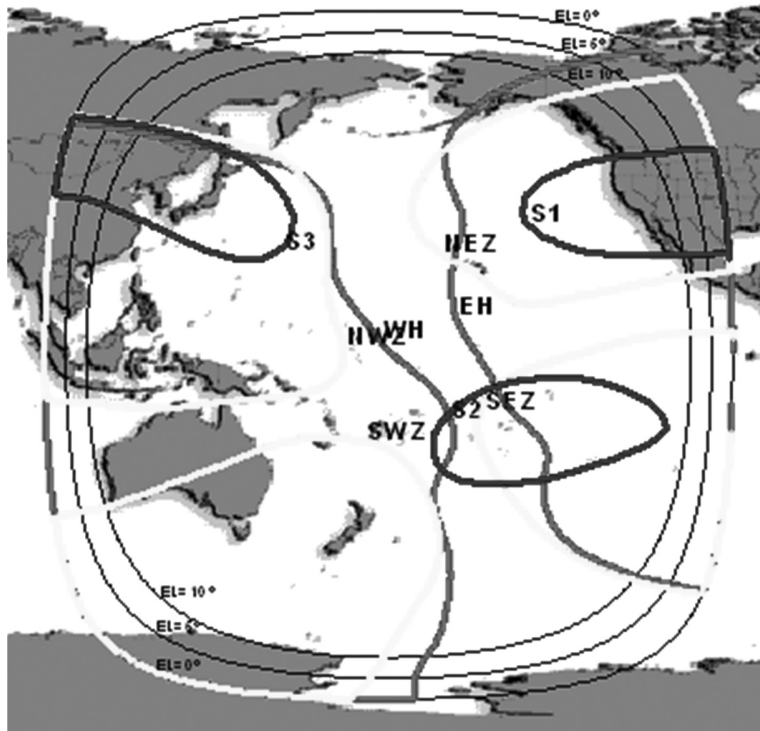


圖39. GE-7000 (INTELSAT-802)衛星訊號覆蓋與訊號覆蓋場強圖

圖39中:

- 黑色線為C頻全球波束
- 紅色線為C頻半球波束
- 黃色線為C頻區域波束
- 藍色線為KU頻點波束

3. 專用通信衛星和多用途通信衛星

- 專用通信衛星:

如電視廣播衛星、軍用通信衛星、海事通信衛星、跟蹤和數據中繼衛星等

- 多用途通信衛星:

如軍民合用的通信衛星，兼有通信、氣象和廣播功能的多用途衛星等(如東方紅二號)

四、導航衛星

導航衛星應用於地面、海洋、空中和空間用戶導航定位的人造地球衛星。屬於衛星導航系統的空間部分，裝有專用的無線電導航設備。用戶接收衛星發來的無線電導航信號，通過時間測距或都卜勒測速分別獲得用戶相對於衛星距離或距離變化率等導航參數，並根據衛星發送的時間、軌道參數求出在定位瞬間衛星的實時位置座標，從此定出用戶的地理位置座標和速度分量。

五、預警衛星

預警衛星(千里眼)一般來說都為地球同步衛星。並在衛星上裝有高精度的探測器，圖40為千里眼預警衛星示意圖。

預警中之探測器在空中定向，始終指向敵方。一旦敵方發射導彈，不到幾分鐘的時間內，衛星就可以探測出來，同時通過對飛行彈道進行計算，可以確定它的落點和攻擊目標，並馬上把信息傳到本部指揮中心，提醒做好反擊準備。

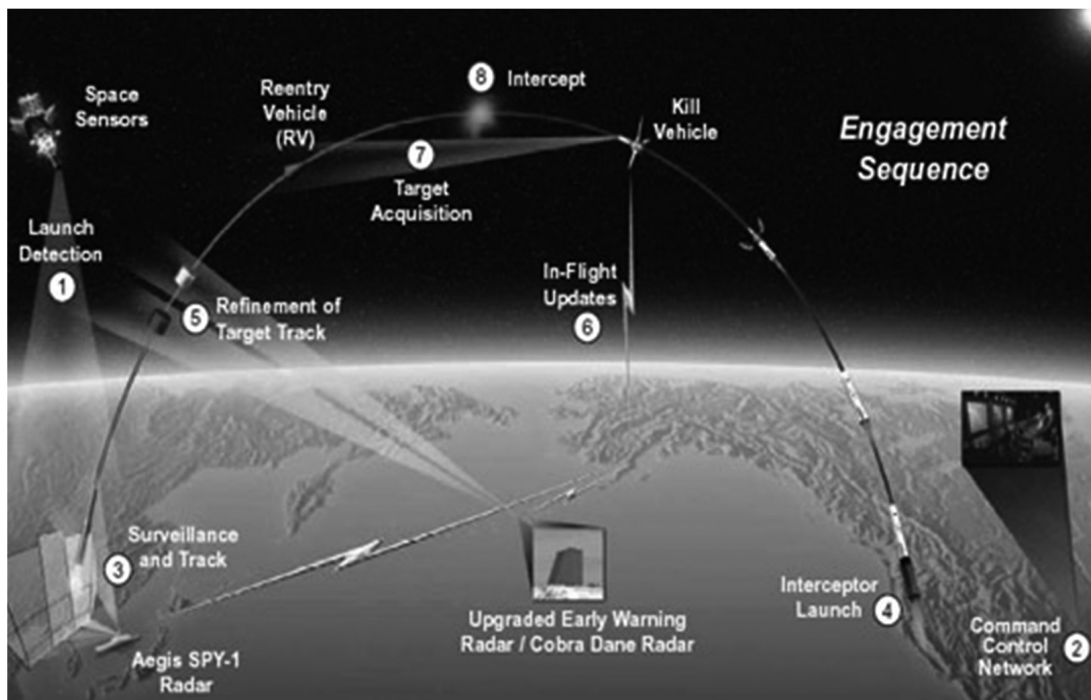


圖40 千里眼預警衛星示意圖

某些衛星裝有核輻射探測器如X射線探測器、射線探測器等來監視大氣層內外的核爆炸。

代表性的預警衛星就是美國代號為647的早期預警衛星。

裝有一個巨大的紅外線望遠鏡探測器，鏡頭內的探測器以一定的速度圍繞軸線轉動(Scan)，以擴大監視範圍，每隔10秒鐘掃描一次。裝有高分辨率的電視攝像機。沒情況的時候，每隔30秒鐘向地面發送一次圖像，如有特殊情況，如敵方導彈發



射時，攝像機自動向地面發送圖像。且備有目標識別系統，識別是真目標還是假目標，甚至識別雲層。美國從1970年到1982年發射了13顆預警衛星，一般由2~3顆衛星組成預警網。

六、商業衛星

就現階段而言，絕大多數的商業衛星皆提供軍事用途。原因是因為軍事衛星造價高，且面臨技術風險；故許多國家，將商業衛星廣泛使用於軍事，且將這些影像，刊登在公共媒體上，為各國情報部門所廣泛採用。(ex: google earth)

商業衛星種類經歸納後，其分為二種：

1. 成像衛星(遙測衛星)
2. 通信衛星(包含影像、通訊、數據等等)

軍事衛星與商業成像衛星的區別為何？除解析度、保密性、使用用途、使用對象等方面的差別。其中，最重要的區別在於解析度。軍事衛星的解析度通常在1米以內，而商業衛星的解析度在5米以上。

商業成像衛星原理係利用衛星上的感測器，接收從地表散射的電磁能量，利用不同電磁波長分別進行測量，最後獲得多頻譜圖像。

商業成像衛星的配備包括：全景攝影機、多光譜攝影機、多光譜掃描器、專題製圖儀、可見光感測器、合成孔徑側視雷達等，感測器的類別與精度決定了所獲圖像的解析度。IKONOS-2為典型的成像衛星，圖41即為伊科諾斯(IKONOS)-2火箭載具與衛星示意圖，圖42為其攝製之影像成圖，表28為伊科諾斯(IKONOS)-2基本架構。亞洲三號為典型的商業通信衛星，圖43和表29即為亞洲三號衛星圖示及其基本性能表。

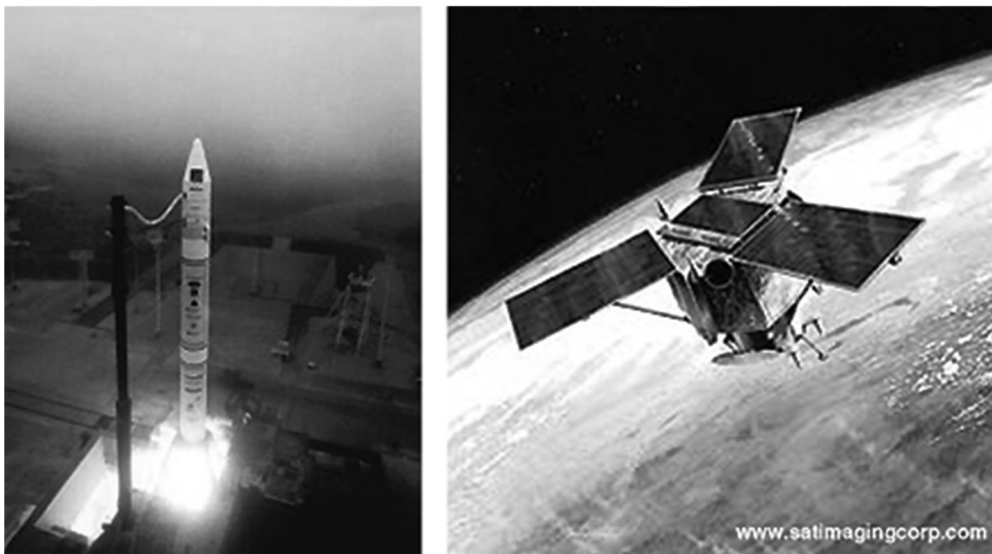


圖41. 伊科諾斯(IKONOS)-2(成像)衛星示意圖

表28. 伊科諾斯(IKONOS)-2基本架構

衛星型號	伊科諾斯(IKONOS)-2
發射日期	1999/9/24 USA
軌道	98.1 度，太陽同步衛星
軌道速度	7.5km/s
周期	14.7/day
衛星高	681 km，低軌衛星
解析度	1m



圖42. 伊科諾斯(IKONOS)-2衛星影像圖(杜拜)

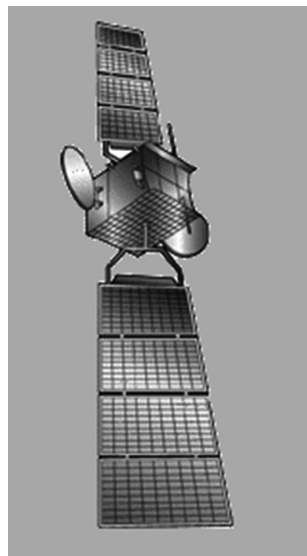


圖43. 亞洲三號(通信)衛星示意圖



表29. 亞洲三號衛星基本性能表

設計／組裝	休斯公司	
型號	HS-601HP	
發射重量	3410 Kg	
操作壽命	15年	
穩定方式	3軸穩定	
定位位置	105.5°E	
定位精度	±0.5°	
波段	C-band(4-8GHz)	Ku-band(12-18GHz)
發射器數目	28個	16個
上行/下行頻率	6/4GHz	14/12GHz
發射器帶寬	36MHz	54MHz
上行/下行極化	水平及垂直線極化	水平及垂直線極化
等效發射功率	41dBW Max	54MHz
服務區域	亞洲、中東、俄羅斯、澳洲	分東亞、南亞和可調三個波束。

當前世界各商業通信衛星組織如下表30所列，單位可依循需求取得聯繫。

表30. 世界商業通信衛星公司組織

所屬公司	衛星名稱及類型	服務地區	功能
鈹星	鈹星	全球覆蓋	語音電話、電子郵件和某些全球定位系統信號跟蹤
全球星&泰勒斯航天公司	全球星(低軌衛星)	全球性	工業界和防務界提供互聯網服務
國際通信衛星公司	銀河	北美洲、墨西哥和加勒比海地區	提供視頻、數據和通信服務
阿聯酋衛星通訊公司	舒拉亞	非洲、中亞、歐洲、印度及中東地區	提供區域性移動通信服務
中國商業公司	亞洲衛星(1.2.3號)	亞洲	提供視頻、數據和通信服務

七、結語

1. 軍事衛星與商業衛星，幾乎密不可分。目前，各國雖處於穩定和平共處，但私下競爭也從陸地衍生至太空。但也拜各國軍事衛星所賜，讓民生工業發展與日常生活也藉此更加迅速與便捷。

2. 911事件後，各國反恐意識高漲，以美國馬首是瞻，故軍事行動也不曾間斷。藉由上述間諜衛星的發展，可掌握敵國軍事發展與活動，先發制敵。
3. 南北韓局勢緊張，日前北韓宣稱地下核爆試測成功，以及有能力發射1500km導彈擊中華府，因此軍事衛星的重要性，不可言喻。
4. 商業衛星大多為同步衛星，主要是為了方便發送或接收訊號，目前許多衛星電視及轉播，皆藉此發送訊號。
5. 軍事衛星商業化，除可節省成本，更可以製造收益，一舉數得。
6. 任何氣象都可能對國防軍事活動造成影響，太陽磁爆可能會造成GPS定位干擾。如果干擾過強則會對電力輸送及精密的電子儀器造成損毀或停機。(須考慮氣候因素)

● 參考文獻

第一節 衛星定位系統簡介

1. <http://www.gps.gov/>
2. <http://www.astronautix.com/craft/glonass.htm>
3. <http://www.astronautix.com/craft/galileo.htm>
4. <http://igscb.jpl.nasa.gov/>
5. <http://www.beidou.gov.cn/>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-Zenith_Satellite_System
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigational_Satellite_System

第二節 遙測衛星

1. www.findmespot.com
2. <http://www.satimagingcorp.com/gallery.html>
3. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-5.html>
4. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/landsat.html>
5. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/formosat-2.html>
6. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html>
7. [http://en.wikipedia.org/wiki/EROS_\(satellite\)](http://en.wikipedia.org/wiki/EROS_(satellite))
8. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird.html>
9. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/formosat-2.html>
10. <http://modis.gsfc.nasa.gov/>
11. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/aster.html>
12. http://www.dlr.de/blogs/en/desktopdefault.aspx/tabid-5919/9754_read-268/

第三節 軍事衛星介紹



1. <http://www.lcsd.gov.hk/CE/Museum/Space/EducationResource/ChineseAerospace/Satellite/80.htm>
2. <http://www.facebook.com/hkspacem/>
3. <http://www.satimagingcorp.com/>
4. <http://www.mapmart.com/Products/satelliteImagery/>
5. http://big5.news365.com.cn:82/gate/big5/xinmin.news365.com.cn/jj1w/200904/t20090402_2260778.htm
6. <http://www.reference-global.com/>
7. <http://baike.baidu.com/view/>
8. <http://en.wikipedia.org/wiki/>
9. <http://mo63160363.bokee.com/>

● 作者簡介

黃立信副教授(國防大學理工學院環境資訊及工程學系)

學歷：交通大學土木博士

專長：衛星大地測量、物理大地、全球定位系統、工程測量、平差統計

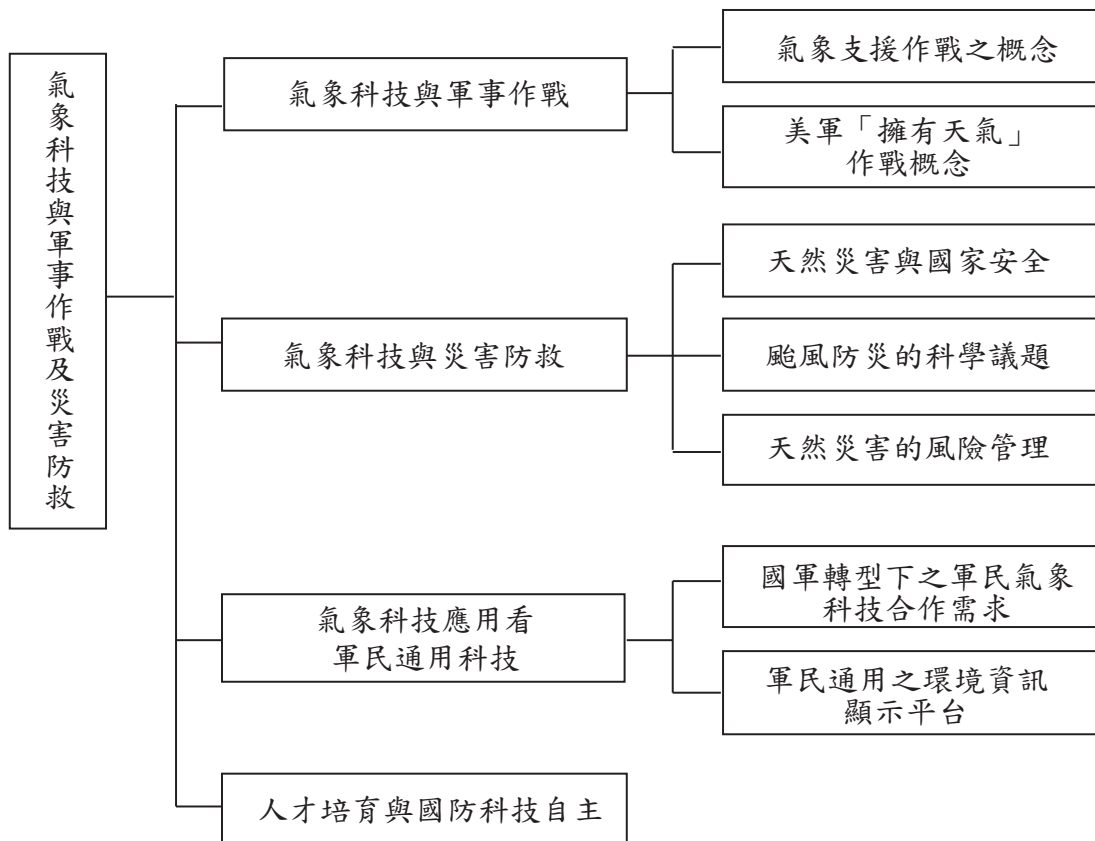
第七章 氣象科技與軍事作戰及災害防救

● 學習目標

研習本章內容後，學習者應能達成下列目標：

- 一、了解氣象科技在軍事作戰上的應用。
- 二、了解氣象科技在災害防救上的應用。
- 三、認知軍民通用科技及人才培育對於國防科技的重要性。

● 體系表



● 摘要

從氣象科技支援軍事作戰與災害防救任務的角度，說明將軍民通用的大氣科學理論與技術，轉化為「擁有天氣」的概念，善用氣象與數位化科技達成國軍備戰與救災之任務；並以「科技應用」及「人才培育」為本之全民國防為論述基礎，藉由古今中外之實例說明，闡述全民國防之核心理念與價值。



● 關鍵詞

氣象科技 軍事作戰 災害防救 軍民通用科技 作戰共同圖像
科技人才培育

第一節 前言

在本章中，希望讓大家了解國防科技與國計民生，以及戰爭成敗的關係，建立軍民通用科技的概念，期望國人能從科技人才培育著手，共同支持國防科技之研究發展與採購運用，以達國防自主之目標，進而確保全民國防之順利成功。本章第一節及第二節分別討論以氣象科技支援軍事作戰與災害防救任務，說明將軍民通用的大氣科學理論與技術，轉化為「擁有天氣」的概念，以善用結合氣象與數位化科技達成任務。第三節則由前兩節之比較，以氣象科技之應用說明軍民通用科技發展的概念；最後，在第四節，則以「人才培育為本之全民國防」為論述基礎，闡述全民國防之核心理念與價值。

第二節 氣象科技與軍事作戰

一、氣象支援作戰之概念

無論在作戰的規劃階段，或者是執行和效果評估階段，就發揮有形與無形戰力而言，氣象水文作戰更是不可或缺的一環。早在春秋時代，孫子就指出天時、地利、人和是戰爭勝利的三大因素。自從人類有戰爭以來，氣象就是影響戰爭勝敗的一個重要關鍵。「氣象」、「敵情」與「地形」合稱作戰決策的三個要素，亦為戰鬥情報要素之一。[1]隨著高科技武器裝備之快速發展，並運用於戰場，各類型部隊對氣象資訊的需求與日俱增。作戰因大量人員、武器裝備活動於地面，且輕航空器、長程火炮及各型飛彈之普遍運用；尤以近年國軍高科技之武器裝備陸續獲得，對氣象資訊需求日漸迫切，必須妥善運用現有軍民氣象資源，尋求建構符合國軍作戰需求之氣象機制，使軍事行動與武器裝備發揮最大效能。「軍事氣象學」即是研究軍事活動與大氣環境的關係，它包含兩部分，一是大氣環境對軍事活動的影響，二是為軍隊遂行軍事活動提供氣象保障。[2]自古以來，氣象科技發展與戰爭活動即互動密切。例如西元1853年至1856年間歐洲的克里米亞戰爭，最後促使交戰各國決定結束的因素之一即為寒冷的天氣。在戰後，法國天文學家兼數學家勒威耶(Urbain Jean Joseph Le Verrier)建立第一套天氣站網路，透過電報定期與巴黎天文臺聯絡，發布最早的天氣圖及暴風雨警報。而在第一次世界大戰期間，因來自其他國家的重要天氣報導被切斷，挪威的農夫們不知何時耕作及收割，飢荒繼之而起，物

理學家貝耶克尼斯(Jacob Aall Bonnevie Bjerknes)乃建立一個新的國家預報系統來解決此問題。他以數學為基礎，利用流體動力與熱力的交互作用，說明大氣運動的原理，提出以數學進行天氣預報的概念。這個由年輕氣象學家組成的工作團隊，以不同的概念來說明降水與低壓中心的關係，並提出鋒面理論。其不僅解決氣象資訊不足的困境，更將氣象科技推進了一大步，貝耶克尼斯因此被稱為「現代氣象學之父」。^[3]

除氣象因素之外，水文條件對於參戰人員及整體軍事行動亦造成影響，在歷史上的案例不勝枚舉。結合氣象與水文條件而作下關鍵決策，最經典的例子，就是西元1944年6月的諾曼第登陸。當年盟軍指揮官艾森豪採納專責預報員史塔格(Stagg)「六日將有短暫合格天氣」的建議，毅然下達攻擊令。而防守方的德軍則因戰線固定，且長期處於警戒狀態下，未重視不良天氣中的短期好轉，反倒利用連續陰雨天休假，因而失去反擊先機。在登陸過程中，為了充分掌握戰地天氣，第一批登陸美軍中包括三位氣象測報員空降，以進行單站觀測，後續更有一個氣象分隊登船上岸。這個案例充分體現戰場指揮官必須勇於承擔風險，以及氣象部隊之不可或缺。^[4]

隨著技術裝備的進步與作戰人員素質的提高，武器系統與人員對氣象條件的適應性隨之提高。然而，這並不代表未來的戰場已不再需要考慮氣象支援作戰的因素。相反的，軍事氣象的研究是必須與軍事理論、武器裝備、作戰指揮模式的變化同步發展。例如機械化作戰時代，氣象水文影響下的通行條件與安全條件，是首要評估項目；到了高科技作戰時代，則對偵察條件的影響，成了主要考量因素。即使在偵察條件中，其重點也是隨著時代變化的。越戰前，氣象對目視偵察的影響是最重要的，而對雷達等高科技裝備的影響，在當時則尚不顯著。但波灣戰爭中，氣象條件對雷達、夜視器材的影響，以及對軍用衛星獲取情報的影響越顯重要。在科索沃戰爭中，氣象條件對北約實施空中攻擊影響最大的就是偵察或情報的獲得。^[2]

二、美軍「擁有天氣」作戰概念

第二次世界大戰後，隨著電腦一日千里的進步，各領域都引進此項科技，進行從思維方式到具體作業的事務革命，軍事應用亦不例外，甚至與電腦科技進步有著密切的交互作用，網際網路(Internet)的發展即為一個明顯的例子。美國「2020聯合作戰願景」(Joint Vision 2020)，特別強調資訊優勢(Information Dominance)的重要性，而這樣的認知對於整個軍事組織與作戰準則，都有著明顯的衝擊^[5]。在聯合作戰的架構下，C4ISR(C4ISR是美軍開發的一個現代軍事指揮通訊聯絡系統，其中7個子系統的英語單詞的第一個字母的縮寫，分別代表指揮Command、控制Control、通信Communication、電腦Computer、情報Intelligence、電子監聽Surveillance、偵察Reconnaissance；簡稱指、管、通、資、情、監、偵)藉由電腦處理大量資料及



透過網路快速傳輸的特性，建立共同作戰圖像(Common Operational Picture, COP)，達成分享戰場覺知(Situational Battlespace Awareness)的目的，即是一個充分運用資訊優勢的具體作為。

當作戰行動指揮官透過大頻寬的資料管道取得諸多不同的資訊，此時，過多而未經有效處理的資訊，往往會妨礙他們將資訊具體化並即時作出正確決策。在資料量持續不斷增加的情況下，如何建置客製化的氣象情資專家服務系統，以有效地促進決策的制定，便成為當務之急。此系統必須可以接收、處理及分發觀測與預報氣象資料、戰場視覺模擬與氣象效應決策支援等，並提供作戰指揮系統與計畫單位及其他單位運用。

美軍參謀首長聯席會議主席指導綱要「全球指揮與管制系統共同作戰圖像報導需求」(CJCSI 3151.01A) [6]指出在全球指揮與管制系統之中，透過適當管理的共同作戰圖像可以獲致以下的優勢：減低作戰的不確定性；讓指揮官能製造與控制戰鬥空間動力而非被動反應；讓指揮官更能掌控本軍與友軍的作戰節奏；分享戰場覺知可以減低決策時間，在決策循環過程上優於敵方；讓指揮官有能力針對敵人之重心加以識別、聚焦及控制作戰；讓指揮官可以監視作戰的執行階段，並評估作戰依規劃進行的程度；提供指揮官分享的戰場覺知，以便可以協調聯合作戰。此一指導綱要主要目的在於建立報導政策、責任及其他相關活動之規範，以便啟動與維持「全球指揮與管制系統共同作戰圖像」，提供有效且及時的資訊給各作戰司令部、軍種、防禦單位及聯合參謀進行決策。雖然，綱要列出了共通的原則，但同時強調必須因應不同的部隊與任務特性加以調整。

Keuhlen等人[5]指出共同作戰圖像不僅僅是一個用來分享戰場覺知的資料整合系統，而且必須能因應情報快速增加的真實狀況，在正確的時間將正確的情報交給正確的人，以進行有效率的決策。舉例而言，Richmond等人[7]指出地面作戰指揮官特別關心如何確保地面運載工具的機動性，因而針對地面運載工具調動的需求，「機動性共同作戰圖像」(Mobility-COP)設計小組在研析相關資料後，提出八個最為重要而必須建置的資料類別，包含地形、障礙物、天氣、機動分析、路線規劃、威脅分析、兵力、其他相關資訊等。其中天氣資訊是指對於影響機動性與調動的天氣現象(例如降水、能見度等)的現況與預報。

一般而言，戰爭決勝的必要條件，包含洞察戰場的能力、精準的打擊火力、以及靈活的機動能力。在美國「陸軍野戰手冊FM 34-81-1戰場天氣效應」[8]之中即述明：必須評估各種氣象因子對人員、各式武器系統之影響。對於陸軍作戰而言，不良天氣的影響主要在於戰術作戰及作戰層級規劃之上。首先是影響機動性，是故必須將天氣資訊建置於「機動性共同作戰圖像」之中[7]；其次，降水或霧霾等會影響能見度，因而降低打擊縱深；此外，例如對於光電武器系統、增加空中支援困

難、延遲後勤補給及增援兵力等，皆不利於地面作戰。因此，氣象參謀軍官須明白報告指揮官，氣象極限對作戰產生何種潛在之影響；有必要發展氣象戰術決策輔助系統，將氣象的影響表格化供指揮官決策使用。更重要的是，各級指揮官與氣象作業人員，必須認知氣象是武力之一種，考量氣象效應，可使武力倍增；反之，將顯著降低戰力。

早在1957年，一份美國總統艾森豪的顧問團所擬定的報告就提到，天氣控制可能會變成「比原子彈更重要的武器」。1966年，美國就在越戰中進行這項試驗，於越南上空的雲層中灑了造雨劑，延長雨季而增加「胡志明小徑」的泥濘，以阻礙越共通往南越的補給。[9]在美國國防部報告「Air Force 2025」第3冊第15章「天氣是戰力倍增器：在2025年擁有天氣」[10]中，不僅描述新式的天氣預測方法，並且討論到創造暴風雨的技術，應用先進之方法與技術，由預報戰場天氣變化，甚至製造天氣現象，以達增強友軍戰力、削弱敵軍戰力之目的。也就是說，將氣象當成21世紀武力的一部分。這概念主要是採用探索天候對敵我雙方人員、裝備、操作和戰術等各方面的影響的方法，取代「對抗和逃避」的方法，而其主要的目的為提供一個共享、動態和數位化的戰場天氣。

「擁有天氣」可分為三個彼此相關的步驟：了解、期待和開發。第一個步驟為利用戰場的觀測儀器蒐集戰場的氣象條件，因為沒有任何一個單一的觀測系統能滿足戰場所需的精確度、解析度以及涵蓋範圍，因此許多輔助的觀測系統，不論是在天空的衛星、無人飛機、投放探空或在地面上的自動觀測系統、戰術大氣剖面儀都要一併使用。第二個步驟就是氣象小組分析所蒐集的資料並用來執行天氣預報模式，然後將預報的結果和成品傳播至戰場供戰鬥人員使用。最後的步驟為有關觀測、預報、產品的應用，以及將它們轉換為戰場天氣視覺化產品。這些包括對戰場情報準備的天氣分析顯示系統和自動天氣效應決策輔助系統。如圖1所示，天氣支援單位依指揮官下達之任務目標，提出專業之天氣改造建議，並在指揮官下達決心後，執行天氣改造。其後藉由現地偵測、模式預報評估等方式，驗證實際成效，做為後續軍事行動之依據。

就改造天氣而言，最常見的就是人工降水。2008年北京奧運會，據中國大陸官方披露資料顯示，開幕式當晚向天空打了1,100多枚消雨火箭。其過程為氣象專家利用衛星資料協調任務，北京市「人工影響天氣辦公室」則為空軍作業提供輔助，使用火箭向雲層打入碘化銀或液氮(乾冰)，促使雲層在水庫和河流上空降水，攔截可能給慶典活動蒙上陰影的雨雲。圖2即中國大陸利用火箭實施人工降水[11]，這表示他們具備實施人工影響天氣的能力，包含降水、防雹、消霧等，值得我們注意。

美國包括陸、海、空軍及海軍陸戰隊等四個主要的軍種部隊，每個軍種具有其

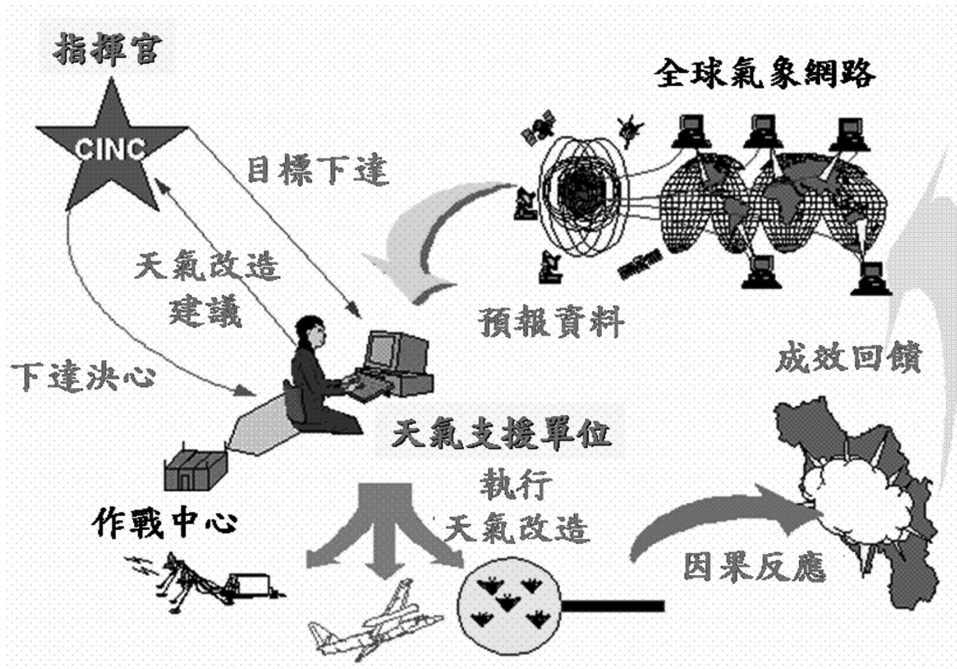


圖1. 美軍氣象戰之概念模式。[10]



圖2. 中國大陸利用火箭實施人工降水。[11]

作戰特長與弱點，面對戰爭必須整合各軍種戰力，依據受領之任務分析，負責擔任聯合部隊指揮官具有充分運用無論空中、地面、海上、水下、太空及特種作戰之能力，藉以促使敵人產生震撼、瓦解與作戰失敗。此即美軍聯合作戰之概念。在美軍而言，聯合作戰所需的氣象水文資訊，是由空軍、海軍、海軍陸戰隊的氣象水文人員共同合作，依聯合作戰需求加以提供。[12]而依美國1947年的國家安全法案，陸軍除了砲兵部隊直接配置氣象人員外，對於氣象水文的人員與資源需求，皆由空軍支援。值得注意的是美軍依據聯合作戰組織架構，建立氣象水文作戰的準則，編成相對應的氣象水文參謀組織與作業單位。這個兼顧軍種特性與聯合作戰需求的作業模式，非常值得我國進行軍事事務革新與組織調編時的借鏡。

美軍聯戰準則「氣象水文作戰聯合戰術、技術與程序」[12]開宗明義指出：「在軍事作戰之中，常會遭遇到不良或不利於作戰的氣象或水文條件，準確、及時、可靠的氣象與水文情報，可以提供指揮官必需的資訊，使其能期待與研析最適合規劃、執行、支援、持續特殊作戰行動的時機。研析氣象與水文情報，而在偵察、武器、後勤、裝備及人員的調度使用上，獲得最佳的效果是軍事行動成功的關鍵。反之，若未能考慮氣象水文條件，則會增加不必要的困難。任何先進的武器或感測系統都會受到環境的影響，因此，對於任何軍事力量的使用，以及系統的設計與評估來說，積極的全面運用氣象水文資訊都是必要的。」這項準則明白地闡述氣象水文對於美軍軍事能力的貢獻，以及從聯合作戰的角度切入，說明從聯合部隊的氣象水文組織架構到個別軍種的氣象水文作業人員，在「一戰區、一預報」(One Theater, One Forecast)的概念指導下，整合各類管道蒐集而來的氣象水文資料，以客製化的方式，提供及時且可靠的情資，作為聯合作戰指揮官及其下屬單位，在計畫與執行作戰上的參考依據。使能透過最佳運用武器系統，加強各項作戰任務的效能。氣象水文作業人員所提供的相關情資，對於人員安全與資源保護，新裝備、武器系統、接戰戰術、戰術決策輔助的發展，以及情報蒐集等，都具有相當程度的重要性。這裏所謂的「氣象水文」泛指從海底至太空整個環境狀態的氣候(歷史)、現況、及預報等資訊。美軍在聯合作戰乃至部隊作戰之中，氣象水文人員與單位之組織與職掌、實際作業要求、情報獲得方式等，皆值得國軍在相關作戰準則研擬的借鏡參考。

從美軍對於氣象水文作戰的各項綱要、準則、或構想的重點摘要可看出，美軍對於氣象水文聯合作戰相當重視。這些準則與綱要在戰役之中，已獲得驗證，例如與伊拉克作戰中，美軍天氣小組(weather team)深入戰區所做之氣象觀測，即成功地提供美軍地面聯合作戰司令部進行決策所需之關鍵資料。[13]值得一提的是，美國海軍海洋大氣偶合中尺度預報系統成功地預測沙塵暴發生的時間與地點，準確率達85%以上。[14]這顯示美國在經歷1980年因沙塵暴而造成伊朗人質營救失敗的教訓後，已具備利用氣象水文觀測與預報科技的進步，將不利作戰的天氣條件，轉為



有利的局面，深切地值得我們效法。

第三節 氣象科技與災害防救

一、天然災害與國家安全

水、能源、糧食等是人類生存不可或缺的天然資源，在今日世界人口不斷增加與生活水準不斷提昇的情況下，此天然資源是否可以充分供應，便成為一個足以影響國家安全的問題。三種天然資源之間，具有高度的互動性，且受到氣候變遷及劇烈天氣系統明顯的影響。

根據2010年7月1日經濟日報的報導，亞洲開發銀行(ADB)警告，亞洲面臨水資源危機，若不趕緊解決，可能阻礙此區經濟成長，並引發嚴重的糧食供應危機。亞銀總裁黑田東彥的水資源及基礎建設議題特別顧問塔潘(Arjun Thapan)說，亞洲政府必須開始妥善管理水資源，阻止問題進一步惡化。以菲律賓來說，該國共有412條河川，但其中50條實質上已經「死亡」，光是馬尼拉，菲律賓政府就需要花費20億到25億美元清理馬尼拉灣和帕西河。在中國大陸、印度和菲律賓等亞洲國家，每人每年可取得的水已降至1,700立方公尺以下，也就是說，在特定時期，水需求已超過可取得的水。[15]

就臺灣的水資源而言，颱風扮演著舉足輕重的角色。以2009年8月的莫拉克颱風為例，在颱風侵臺前，臺灣正處於必須實施限水方案的困境；在莫拉克颱風來襲後的一天多的時間內，充沛的雨量為全臺水庫帶來約3億噸的進水量，而解除基隆市、桃園縣、臺南縣市等四個縣市夜間減壓供水第一階段限水措施。但其後持續的降雨，卻造成人命與經濟上嚴重的損失。根據行政院國家科學委員會莫拉克颱風科學小組2010年的科學報告[16]，在8月6日至9日期間，颱風侵襲臺灣長達64小時，超大豪雨發生於中南部，大量洪水造成多處防洪設施破堤、堤防受損與溢堤，導致南部地區145個鄉鎮市淹水。山區也因為超大豪雨導致大面積坡地坍塌與土石流，共計1690個災害點位。全臺受災縣市包括臺中縣市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣市、臺南縣市、高雄縣、屏東縣及臺東縣等，死亡620人，失蹤80人。農林漁牧經濟損失高達164億4千多萬元。

彭明輝教授在「糧食爭奪戰」一書的導讀中指出，2008年春天，全球的油價和糧價同時創下歷史新高，導致所有主要糧食輸出國禁止或限縮糧食出口，因而在全球十三個國家引發暴動與示威。聯合國糧農組織估計，2008年全世界約有一億人面臨飢餓，37國面臨糧食儲備不足與社會不安的危機。在這一波風暴中，糧食綜合自給率僅32%的臺灣，2008年6月份進口物價指數較前一年同月上漲26%(28年來新高)，油料費較前一年同月大漲23%，以至於2008年前8個月的實質經常性薪資下跌3%

。如果不是金融風暴引發經濟蕭條，從而引導油價和糧價下降，臺灣差一點就會陷入缺糧與斷糧的危機。[17]

由2008年的缺糧現象可以看出，糧食問題也是國家安全的一環，而這部分也會明顯地受到颱風等劇烈天氣系統的影響。例如2005年8月底，從美國墨西哥沿岸登陸的超大型颶風「卡崔娜」對穀物市場造成衝擊，除了直接對產地的影響外，另外的原因則是對物流面的影響。有大約七成的穀物經由這個地區出口到國外，但颶風影響密西西比河運送穀物的平底船運輸能力，再加上停電，使港灣的電梯停止運作，且紐奧良港因吃水不足導致巴拿馬型貨輪無法航行，造成流通網路支離破碎。由於預估滯銷的穀物將充斥整個芝加哥穀物市場，導致賣壓沉重，而影響糧食的供需鏈。[17]

由上述討論可以看出，劇烈天氣系統對於國家安全的影響甚巨。以下兩小節將進一步探討颱風侵襲下，與防救災相關的科學議題，以及對於天然災害應具有的風險管理認知。

二、颱風防災的科學議題

戴寶村指出，八七水災發生於1959年8月7日，日本南方海面的艾倫颱風把東沙島附近的熱帶低壓引進臺灣，使得中南部豪雨成災。專家研判造成重大災情的原因一方面與連續不斷的豪大雨、臺灣本身的地形地質先天不良有密切的關係，另一方面則是當時的訊息流通管道不足、缺乏環境保護及防災觀念，因而使得災況更為慘重。暴雨集中在8月7至9日三天，所及區域幾乎包含臺灣整個西部，造成667人死亡、408人失蹤、942人受傷，災民經政府予以收容者竟高達30萬人以上。據官方統計，經濟損失高達35億元以上，是當時臺灣省政府一年的總預算，約佔當時國民所得的11%，造成嚴重的打擊。[18]

在2009年莫拉克颱風之前，八七水災可說是臺灣於二次大戰後，僅次於九二一大地震最嚴重的災情。本於專業認知與社會責任，中華民國氣象學會與臺灣災害管理學會聯合各界相關專家學者發起，在行政院災害防救委員會的指導下，原訂自2009年8月7日，也就是八七水災五十週年開始，以「痛定思痛」與「未雨綢繆」的主軸，動員學術研究與實務作業等相關單位，舉辦回顧與展望的系列活動，希望能達到「喚起社會大眾對自然災害防救的認識」、「強化防災氣象科技，達到預警減災目的」、「重視全球氣候變遷影響，及早規劃整體社會調適策略」等目標。在活動籌備過程中，考量紀念大會舉行時已進入颱風期，因此決議若屆時臺灣附近海域有颱風形成或經過，則以防救災任務為主而暫停活動。沒想到，大自然真的以其本有之不確定性，藉由莫拉克颱風造成之八八風災直接告訴我們，一定要隨時備便防救災的動員能力，以應不時之需。

比較八七水災與八八風災兩者，皆因颱風而起，而且都有西南氣流在其中扮演



重要角色，但前者颱風已移至日本附近，而後者之颱風則仍在臺灣附近。2008年卡玫基颱風在臺灣中、南部降下豪大雨，也是來自於颱風與西南氣流之間的交互作用，與莫拉克颱風之情形較為相似。當然，造成劇烈降水的原因，還包含地形舉升作用。若由這三者看來，似乎西南氣流的出現，成了颱風降水成災的必然原因。然而，相對於這些個案，還有更多的個案，颱風本身的降水就足以成災，例如2005年的龍王颱風，在花蓮地區所造成的重大災害，即來自颱風本身的強風與豪雨。這個簡單的比較，顯示出颱風問題的複雜性。

2009年8月中央氣象局對莫拉克颱風24小時颱風路徑預報平均誤差值為87公里，較過去預報誤差平均值為小，也較日本氣象廳、美國聯合颱風警報中心對該颱風之預報誤差為小。而中央氣象局對莫拉克颱風總雨量的預報，基本上亦能掌握降雨較大區域之定性分布。第一報之雨量估計值以臺灣北部與實際較為相符，而中南部與臺東之總雨量預報明顯偏少，尤以臺東預報誤差最大。中央氣象局根據新增資訊中更新的總雨量預報對降雨有相當長的預警時間：如屏東山區降雨量預報達上限的預警時間大部分在18小時左右，最少有11小時；高雄山區預警時間大部分在23小時左右，最少亦有8小時；嘉義山區在前期之預警時間在20小時以上，而後期則為7-8小時。[16]

莫拉克颱風具有相當多的獨特性，包含所處的大氣環流平均狀態為臺灣鄰近區域雨量偏少；長延時持續性的降雨，造成破紀錄超大豪雨；在颱風接近臺灣後，氣流減弱、移動速度緩慢，影響時間長；具有嵌套於大尺度對流帶內的不對稱颱風結構；不斷形成的中尺度強降雨帶；多重尺度環流的交互作用；颱風、低頻大尺度環流、地形。這些獨特性總合起來，便使得莫拉克颱風在災害影響上創下歷史紀錄。[16]

由莫拉克颱風個案來看，中央氣象局在颱風路徑與雨量預報已具相當程度之技術，但仍須持續進行颱風相關預報技術之探討與研發。然而，國內民眾與防救災單位則需體認颱風路徑與雨量預報的不確定性，尤其是較長期間的預報。因此，應避免僅重視第一次警報發布時的資訊，而是隨時注意資訊更新，充分掌握預報預警時間，採取防範措施，以降低災害損失。

依據行政院國家科學委員會莫拉克颱風科學小組所提出的建議，颱風前瞻研究與基礎建設亟須積極面對的挑戰包含：運用模式、衛星、雷達資料，提昇颱風定量降水預報，以及颱風依據雨量分級的可能性；無一蹴可及的解決之道，但需要長期研發的投入，並強化基礎設施(如觀測與計算資源)，尤其是優秀人才的培育。發展方向包含下列五項：1.基礎觀測的強化與前瞻觀測能力的建立，2.遙測資料加值分析能力的強化，3.數值模式、資料同化系統與預報能力的精進，4.無接縫的多重尺度研究策略，5.氣候變遷對颱風的影響。[16]

三、天然災害的風險管理

蔡學琳[19]指出，發燒的地球除影響日常生活外，更搖身一變成為颶風的推手。Hoyos等人[20]指出溫暖的海洋溫度有助於熱帶風暴的形成，過去35年來海洋表面溫度持續上升，已使全球六大洋區發生暴風雨的機率上升。全球颶風、乾旱、豪雨、洪水、高溫等異常氣候的戲碼越演越烈，天然災害的強度與頻率正悄悄爬升。慕尼黑在保險公司指出1980至2008年天然災害導致的前十大保險賠款事件中，颶風事件就占了八成，所造成之損失金額為2,765億美元，保險賠款亦高達1,468億美元[21]。這些數據顯示，天然災害的因應作為，不僅包含「災害防救法」所包含的災害預防、災害應變、以及復原重建等措施，同時必須考慮建立復原所需之資源保障能力。例如投保災害險，以便透過保險公司的理賠減少對於災後復原的財力負擔。這個概念可以擴展到軍民救災體系，對於整個防救災及復原過程中的風險管理概念。

依據八八風災後修訂的「災害防救法」，直轄市、縣(市)政府及中央災害防救業務主管機關，無法因應災害處理時，得申請國軍支援。而國軍也將災害應變納入主要任務之一，在發布陸上颱風警報開始「超前部署」、「預置兵力」，國軍部隊開到可能發生災害的地區附近，一旦發生災難，「隨時防救」。馬英九總統在民國99年8月1日到國立中山大學參加「莫拉克颱風災後重建周年」座談會時指出，全球氣候變遷，面對不可抗力的災害，「防災絕對重於救災，離災又是防災的核心工作」。綜合言之，國軍在防救災的作為上，即是主動於災害預警發布時，如中央氣象局發布颱風24小時內侵臺警報，開始採取「超前部署」、「預置兵力」的行動，在必要時「隨時防救」協助撤離居民，以保障人民生命為主要目標。

彭慶淪[22]指出，因應臺灣天然災害之特性，國軍聯合防救災行動中，是以陸軍為主，而工兵部隊因可遂行「道路搶修」、「水上救援」、「橋樑架設」、「河堤修補」、「人員搜救」、「給水照明」、「巨石爆破」等任務，所以更是救災指揮官的救災法寶，在九二一地震及八八風災都有良好的表現。而對於工兵部隊災害防救精進作法中，他更進一步指出移地潛勢情蒐及預判災情威脅的重要性。在移地潛勢情蒐的作為上，要運用偵察編制，於平時進行移地訓練，建立潛勢區兵要資料，置重點於機動(撤離)路線、兵力與裝備預置地點及作業地區特性，提供共同圖像，以利掌握災區現況，消除不確定因素，俾利災害救援任務之遂行。在預判災情威脅的作為上，要依平時潛勢情資，完成前推預置規劃，在災害發生時，能迅速前推距災害潛勢區概約10分鐘里程位置，惟應考量人員、機具安全，切勿造成「未先救人而需人救」之窘境。

陶翼煌等人[23]指出，由於災害的發生，是人類活動與其無法控制的自然現象，在空間上產生了交集，造成了損失；而應變的目的，是防範其擴大，將其可能的



損失降至最低。是故於災害應變應有兩大空間原則。一是生命財產等事物有了趨吉避凶的需求，二是應變資源有搬有運無的需求。這兩者皆形成了空間資訊之需求。第一、在災害應變時，位於致災地點或潛在致災地點的人與財物，會自該地點或範圍撤離，通過安全或威脅性較小的路徑，到達位於另一地點或範圍的短、中、長期的庇護所。第二、位於可取用空間範圍內、用以應變救災的可移動資源，以較安全或較有效率的路徑，被運送到需求資源的地方，包括災害應變現場，或災民所在地；而不可移動資源，則會被提供其空間位置，供災民前往使用該資源。他們藉由災害應變中空間資訊需求分析方法之建構，提出並描述地理學整合其他學科中科學方法的重要性。藉由完整而契合災害應變組織的空間資訊系統設計，提昇災害應變效果，也是所有空間資訊被人類應用的重要法則。他們將所建構的方法，運用在分析災害應變作業程序上，進行空間資訊需求分析，達到縝密的應變管理。結果顯示，此空間資訊達到了跨程序、跨群組、跨專案、跨組織，與跨層級的連貫性。對於災害應變，此一系統性的空間資訊需求分析應可達到提昇防救災效率效能的目的。在這裏所指的空間資訊整合，可將之視為建立救災潛勢地區共同圖像，以利地區指揮官進行兵力與裝備之調派。並藉由對於潛勢地區特性的了解，進行風險管理，確保任務遂行與人員安全。

國軍當然仍以戰訓本務為重點，然而就工兵部隊的作戰特性而言，成功達成救災任務，也是藉以驗證訓練成果的方法之一。「逢山開路、遇水架橋」對工兵而言，不論是作戰或是救災，其兵力與裝備之運用，具有相當高的一致性。不僅國人可以透過救災能力及效率，檢視國軍的戰力高低；國軍也可相對的以此展現實力，宣示使命必達的決心。

2010年，俄羅斯與加拿大受氣候變遷的影響，而使小麥產量評估減少超過30%，有可能再度引發全球性的糧食危機。以臺灣所處之地理位置，無法避免颱風的影響，甚至在考量水資源的情況下，還必須希望有颱風經過。在這個先決條件之下，就更彰顯天然災害防救的重要性。依「災害防救法」，國軍在救災的法律定位上為支援的角色，但以救災驗證戰力的前題下，所展現的救災能力與效率，就成了「讓國人安心、讓敵人擔心」的審視標準。

救災除了必須了解受災潛勢地區的地形特性外，氣象及水文資料亦相當重要。如第一節所述，「氣象」、「敵情」與「地形」合稱作戰決策的三個要素，亦為戰鬥情報要素之一。在天然災害防救上，「敵情」可以用相關空間資訊代替，重點是必須藉由地理資訊系統的技術，將防救災情資整合為共同圖像，以利地區指揮官運用。無論空間資訊的內容為何，蒐整與研判分析的專業人員是不可或缺的一環。國軍在歷次的人事精實推動下，對於戰鬥支援人員編裝有所精簡，就執行作戰與防救災任務不可缺少的工兵、氣象、測量等專業軍士官等，員額亦均大幅下降。但為

因應未來天然災害防救之任務，仍須藉由天然災害防救演訓或實際任務之遂行，進行編裝與人員素質的驗證，以確實檢討編制是否合理。切記！救災能力的展現，確實是「讓國人安心、讓敵人擔心」的顯著標準。

第四節 氣象科技應用看軍民通用科技

一、國軍轉型下之軍民氣象科技合作需求

人類自有文明以來，即有戰爭。戰史伴隨著人類文明史而發展，戰爭之形態亦隨人類文明及科技進步而改觀。人類文明進化由「石器時代」、「農業時代」而至「工業時代」；武器裝備則從「冷兵器」、「火藥與滑膛槍」、「火砲」、「自動化武器與機動載具」乃至「核武器」。由兩者相依發展的歷史軌跡來看，科技直接或間接改變戰爭之特質及形態，但也可以說科技，亦因戰爭的需求而發展。未來的國防科技將朝向電子化、導控化、自動化、隱形化、數位化、智慧化等方向發展，這些科技應用並非侷限於國防科技之上，亦可應用於民生科技。

我國主要面對的敵人為中共武力犯臺，戰爭發起由敵方控制，戰略指導則為守勢作為，這些皆不同於美軍之戰略環境。[24]因為是守勢作戰，反登陸作戰便成為一項重要課題，所以氣象及水文資料有其關鍵地位。卓緯恩[25]即指出美軍在反登陸作戰中，即以近岸水深作為劃分戰場標準，區分為淺水區、甚淺水區、拍岸浪區、海灘區。而水雷與障礙物的布放，就必須因不同區域而有所差異。我國各軍種所需之氣象水文情資有所不同，在此謹就各軍種氣象任務特性，以及中央氣象局與民用航空局之氣象作業作一概述，藉以論述氣象科技的軍民通用特性。

陸軍氣象主要任務是協助陸軍輕航隊、砲兵、化學兵等部隊籌補裝備及輔導作業，以提供各項任務之天氣預報。同時研析氣象對軍事之影響，擴大軍事氣象應用範疇。陸軍作戰形態以機動作戰為主，部隊氣象裝備均考量車載式，以利機動作戰。

海軍大氣海洋局為海軍戰鬥支援之氣象勤務單位，主要任務是執行海洋氣象之浪湧觀測、預報與發布，以提供精準的資料作為作戰演訓之參考。提供的氣象資料種類包括即時觀測資料、地面天氣圖、數值天氣預報圖、天氣預報單、衛星雲圖、雷達回波圖等六個項目，天氣預報單中又分為廿四小時天氣預報單、三至五日展期天氣預報單、低空天氣預報單及颱風警報單等子項。

空軍氣象聯隊為空軍氣象專業科技部隊，主要任務是擔任作戰司令部之氣象幕僚業務，執行全軍氣象政策規劃、督導與執行。負責氣象部隊建軍、換裝、支援作戰、訓練、查核、技令編修等全般氣象勤務作業。負責督導所屬單位完成戰備，執行支援作戰之氣象勤務。負責颱風、大風警報處理作業，與氣象情資之蒐整及區域



氣候庫資料之建立，以確維飛安，達成戰備整備之任務。

中央氣象局主管全國氣象業務，其範圍除涵蓋氣象、海象、地震、及和氣象有關的天文業務，設有預報、衛星、資訊、地震測報、氣象儀器檢校及海象測報6個中心，氣象站24處、氣象雷達站4處、天文站1處，分別掌理氣象、地震以及氣象有關的海洋與天文業務；並蒐集全球氣象資訊，研判大氣變化，發布各種天氣預報及警報，以供全國民眾參考使用。

民用航空局主管航空氣象與維護飛航安全，其航空氣象現代化作業系統包括整合現代化氣象測報資料、發展中尺度航空氣象數值模式，以及建立松山、中正和高雄三機場低空風切預警系統，自動顯示臺北飛航情報區機場與航路上危害飛航天氣現象、即時或短時預報資訊，供應給機場觀測員、預報員、管制員、諮詢員、飛行員、簽派員以及軍民氣象人員之應用參考。

目前，除了三軍編配氣象單位或人員外，於國防部設有屬於聯合作戰層級所需之氣象水文組織，因為選用標準設定在具備相關碩士以上學資，並曾歷練各軍種氣象或水文情報軍官，與美軍對於資深氣象水文官與聯合部隊氣象水文官職責上的要求相當[12]。此一國防部層級氣象水文組織可以發揮指導與協調之功能，研擬具共通一致性之作戰與教育訓練準則，確實精進提昇各軍種之氣象水文作戰能力，從單位人員素質的培育著手，發揮支援作戰之本務。並結合軍民氣象資源，有效提昇軍事氣象服務，建立即時顯示與監視系統，及分析天氣預報系統，透過此系統在短時間內迅速獲得天氣分析及預報所需的各種資訊，配合「國軍兵科氣象需求表」與「武器系統天氣效應準則」等，再結合指揮系統，以便獲得高精確度與高密度的軍事氣象情資。

隨著戰爭科技的進展，在戰場或救災指揮官不但要考慮氣象條件對所有行動的影響，而且還要考慮對武器或救災裝備的影響，如此一來對於氣象水文情報的需要更為顯著。美軍所謂「擁有天氣」的概念，就在於藉由天氣預報或改造，增強友軍上述之能力，並且相對地製造不利於敵軍發揮戰力的氣象條件。這等觀念亦可應用於天然災害之防救。

在氣象水文作戰組織方面，美軍強調只要有作戰部隊就必須配置相關的氣象水文情資提供單位。在高司指揮部中，配置資深軍官進行整合與協調，並負責督導下級單位。而各軍種，以空軍為例，上至聯隊，下至大隊、中隊，皆配置專屬氣象預報單位。而我國陸、海、空軍雖皆有編制氣象水文單位或人員，但在國軍轉型過程之中，無論陸、海、空軍的氣象單位，都經歷人員縮減或單位合併的變動。所幸，藉由上述國軍及公務部門所屬氣象單位之主管業務的比較，可看出軍民對氣象科技之需求雖有差別，但亦不乏共通性。因此，針對國軍轉型的需求，可藉由軍民通用氣象、水文技術及資訊分享，彌補國軍氣象作業人力的縮減，並加強客製化資訊提

供之系統。此即，結合軍民通用科技支援國防需求的明顯例子。

二、軍民通用之環境資訊顯示平臺

地理資訊系統(Geographic Information Systems, GIS)就特性上而言，乃是向量式(vector)或網格式(raster)圖形系統與關連式資料庫管理系統(relational database management system)之結合，同時兼具資料管理與決策支援等基本功能。即應用先進的遙測、全球衛星定位系統、航測或自動繪圖系統等測量技術，繪製數位化之電子地圖，配合關聯式資料庫資料存取，將地形、地物之空間位相關係與地形、地物本身具備之屬性整合於地理資訊系統中，以便讓文字及數據能以圖形化、視覺化的方式，清楚呈現出空間事物的真貌和內涵。由GIS發展之累積經驗，目前在地圖供應[26]、集水區分析[27]及環境管理[28]等方面有相當成熟的應用。氣象資訊與民生日常生活息息相關，臺灣地區已有多位學者運用地理資訊系統技術進行氣象資訊之整合與運用，如擴散模擬[29]、降雨與地形關係[30]、空氣品質監測[31]等，其成果著重於在地理資料的展示。

大氣的複雜行為可以在簡化後，用一組代表物理定律的數學方程式來表達，解出這一組方程式，便可以估計大氣環境中的量或場，例如溫度、風向、風速、濕度等即將如何改變，甚至可以由目前的天氣狀態，預測未來的天氣現象。每日例行的天氣預報作業中，預報人員運用大量之數值天氣預報模式資料進行天氣預報。而數值天氣預報系統即根據大氣物理動力學及熱力學的原理來預測大氣中的變化狀況，以全球之地面、高空及海洋等氣象觀測資料及初始格點猜測值為輸入資料，利用超級電腦進行大氣運動之時空積分，以推算出天氣系統的未來演變。中央氣象局於1988年七月開始數值天氣預報系統之正式作業啟動，數值天氣預報模式產品已成為每日天氣預報之重要參考指引(戚啟勳，2001 [32]、蔡清彥等人，1990 [33]、中央氣象局網站[34])。

數值天氣模式在空間尺度上，可以區分成全球模式和區域模式。全球模式不需要任何的邊界條件，便可以模擬整個地球表面上的大氣狀態。區域模式則須以更高解析度的空間網格，利用全球模式的分析方法，先行提供必要的邊界條件，以進行模擬某一個區域的天氣變化。在我國，除了中央氣象局自行研發的全球及區域模式外，各個作業與研究團隊也引入一些在國外發展比較成熟的數值模式，包括由美國國家大氣研究中心發展的第五代中尺度模式(Mesoscale Model V5, MM5)，和更新一代的天氣研究及預報模式(Weather Research and Forecast, WRF)。海軍大氣海洋局負責提供海上船艦天氣與海洋預報資訊，目前則是採用美國國家環境預報中心Juang等人(1994) [35]建立的有限區域波譜模式。運用客觀的巢狀數值天氣預報模組，以靜力全球模組著重於掌握大範圍較長時間的短期氣候預報，提供策略規劃所需相關氣候特徵資料；垂直靜力區域預報模組以掌握三到五天綜觀天氣系統的變化趨勢，



提供環境規劃所需相關的天氣情資；以非靜力局部預報模組，實施小範圍局部地區高精確度的局部環流預報(王金慶等人，1997 [36]、王金慶等人，1998 [37]、呂芳川等人，2001 [38])。若能結合GIS相關圖資，建立環境資訊整合平臺，實施即時監控、航路預報、污染防護與緊急應變及雷達偵搜定位等作為，有效的顯示環境資訊，將是建立決策支援系統的重要因素。

大氣科學現象的研究，需要分析的環境參數非常多，而GIS的圖形使用者介面(GUI)具有高度的親合性，可以繪製常用的天氣圖。數值模式輸出資料為NetCDF格式，可以依需要輸出所需要之氣象場，以地面天氣圖製作為例，則輸出各網格點經緯度座標、混合比、高度、氣壓、風速及溫度等，經過程式計算海平面氣壓、風速、風向及地面溫度等，輸入GIS後，藉由其空間資料管理之功能，提供氣象場資料即時查詢功能。

戰場覺知是要透過戰場透明化來做到，而戰場透明化表示的是，當一切與戰場有關的資訊，包括：敵、我的位置、意圖、移動的狀況等，透過資訊與通訊系統連結，將即時的戰況傳輸至指揮中心，經過電子數位化的轉換之後，將相關資訊以「數位圖像」的方式在顯示器中顯示，由於圖像的顯示與戰場狀況同步即時，各級指揮官在第一時間分享相同的資訊，而作不同層級的運用，使戰場作戰或天然災害防救反應能力與速度呈倍數增加。以下謹就數值天氣預報結合GIS進行戰場環境展示之兩個例子，作一概要之描述。這兩個例子，不僅可應用於氣象支援作戰上，亦可應用於天然災害防救之上。

例一、氣象預報資料結合作業單位需求(船隻作業)與裝備系統效能極限『船隻作業規範；風力八級，影響船隻安全(紅色)；風力六級以下，正常作業(綠色)；風力七到八級，提高警覺注意安全(黃色)』，於GIS建立之大氣環境資訊分別如圖3(a)~(c)所示；臺灣臨近海域冬季受大陸冷高壓東移影響，所產生風力與風向變化(西北風、北風、東北風、偏東風等)影響，以2003年12月22日12UTC個案分析為例，預報時間分別為8、16、24小時後臺灣鄰近海面風場顯示，東部外海強風危險區範圍逐漸縮小且逐漸往南移動；相對的，於臺灣海峽地區強風警告區(黃色)也逐漸往北移動等等相關訊息，以不同顏色區分風力強度，提醒作業及航行船隻警示與防範[39]。

例二、在Chen等人(2008) [40]的研究中，為了有效提供三度空間所有的折射效應資訊於平面地理分布圖上，以GIS顯示電磁波陷捕層(Trapping layer)位置，便於在未來的天氣預報作業中，提供雷達守視人員參考。圖4為2003年7月4日00 UTC的雷達回波合成圖及大氣折射效應圖。由圖4 (a)可以看到，當時雷達站西北方約100公里處出現明顯之雷達回波，但由雷達回波資料本身，以及同一時間之氣象衛星觀測及全球分析場得知，這是一個異常回波(朱昌敏等人，2007a [41]、2007b [42])。

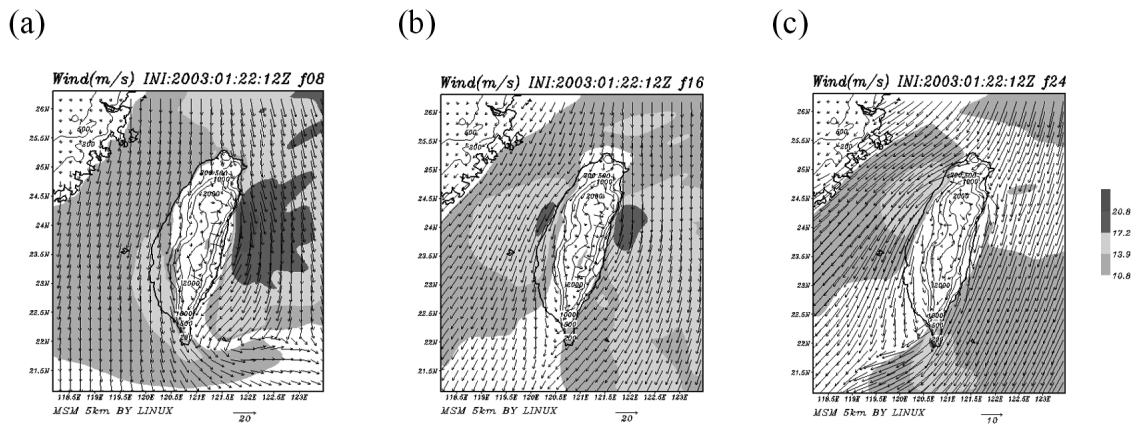


圖3. 2003年1月22日12UTC預測(a) 8、(b) 16、(c) 24小時後，受大陸冷高壓東移所產生風力與風向變化影響，臺灣鄰近海面風場顯示與決策預報指標(紅色：風力大於八級等；危險地區：黃色；警戒區；綠色；風力小於六級，船艦不受影響)。[39]

由使用數值模式重建大氣環境後，計算所得之大氣折射效應圖(圖4 (b))，可以看出臺灣附近海面幾乎布滿強度不同的陷捕層，而臺灣西側沿海甚為明顯。雖然此時雷達站並無陷捕現象，但當雷達波到達海上後，進入因暖濕空氣而造成的陷捕層，使之向海面折射而形成異常回波。

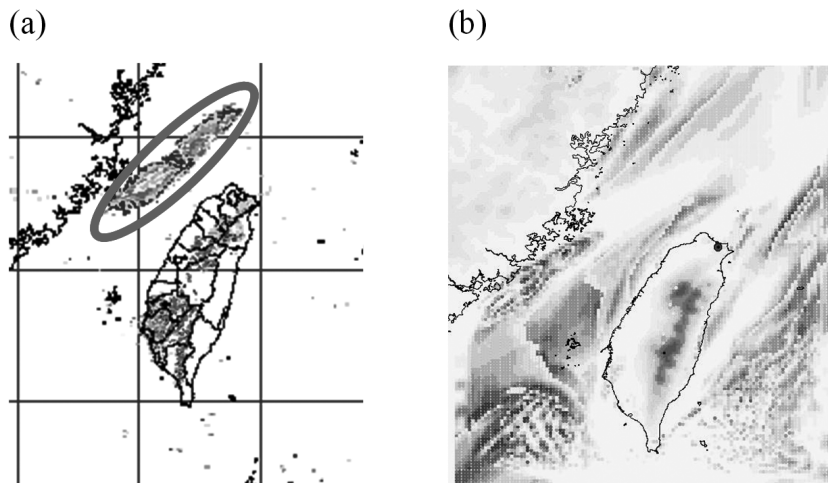


圖4. 2003年7月4日00 UTC(a)雷達回波合成圖，紅色圈中為異常回波所在。(b)大氣折射效應圖，綠色為地形高度，深淺表示高低；橙色為大氣折射效應，深淺代表強度；五分山雷達站位置如臺灣東北角圓點處。[40]



第五節 人才培育與國防科技自主

在本章前三節之中，藉由氣象科技與軍事作戰、災害防救的關係為例，分析如何藉助現代氣象科技，獲得戰場勝利或災害防救遂行的保證，對於軍民通用科技的重要性，加以討論與闡述。然而，科技的發展與應用的效能，是植基於人才的培育。以目前世界先進國家為例，國防科技的發展與應用雖由國防相關單位負全責，但所投入之資源與人力，則必須結合產、官、學、研之力量，方能有效地成長。

前瞻未來數位化戰場環境及高科技武器裝備的建置部署，國軍需要的是高專業、高素質的長役期人力。在有效確保國防安全的前提下，結合軍事事務革新，展開兵役制度轉型工程，由「徵募併行制」朝向「募兵制」發展，以順應社會民意期待。未來國防部將結合政府與民間資源，招募素質高、意願強的適齡人力，建構專業優質的國軍。在此一前題之下，國軍人才皆來自於民間，對多元人才培育的需求，將更形重要。

以美國的國防科技發展為例，在第二次世界大戰之後，有鑑於蘇俄的強大威脅，美國國會在1950年成立了國家科學基金學會(National Science Foundation)，主要是對大學裡基礎科學和應用科學的研究提供資金。1958年針對蘇俄太空船斯波尼克(Sputnik)的發射又成立了美國太空總署。1957年，為了同樣理由，國防部成立了高深科技研究計畫總署(Advanced Research Projects Agency, ARPA)，在新墨西哥州、加州、伊利諾州、華盛頓州和紐約州都建立了國家實驗室。這些實驗室除了注重應用科學外，也投資基礎科學的研究。私人公司如AT&T、IBM、全錄(XEROX)也是這樣做。他們除了聘請工程師還聘請數學家、物理學家、生物學家和天文學家，並給他們自由空間去作研究。舉例來說，宇宙大爆炸(Big Bang)的理論就是在AT&T的實驗室第一次得到實驗證明的。這種政策的結果下，發明了電腦晶片、光纖維電纜、雷射和基因重組技術，不僅僅是在科技上令人驚異，同時也獲得經濟效益。這種驚人的記錄使科學家和工程師都成了英雄。幾乎半世紀以來，這種政策使美國成為科技界的領袖。[43]

然而，上述政策在商業利益為先的影響下，因為同業競爭和股票市場的壓力使得許多公司放棄了科研，而著重於短期的生產開發。許多公司的研究實驗室因為沒有利潤因而重組了。同樣的情況也發生在軍事研究實驗室上，如高級國防研究計畫總署(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA- ARPA是其前身)，2001年到2004年的經費被裁去了一半。因為研究資金少了，大學裡作研究的人就得花許多的時間在找錢。當本土學生看見教授花那麼多的時間在和官僚周轉時，大多不願再從事科學研究，使得美國科技研發人才短缺的現象，到了國防部必須採取積極作為加以導正的地步。[43]

由美國發展國防科技的經驗可以看出，在良善政策的引導之下，國防科技的發展不僅能建構強大的國家防衛力量，並可以帶動民生經濟的進步；但主其事者若短視近利而不能堅持良善的政策，則將有礙整體國防力量的進步。國防科技的研發必須基礎與應用並重，方能持續保有優勢，而且必須注重人才培育。畢竟國防科技有保密的必要性，若要保有自主發展的能力，就必須從本土人才的培育著手。

以氣象科技支援軍事作戰與災害防救的實際面而言，所需的科技人才並不侷限於大氣科學專長。就建立作戰共同圖像而言，必須有資訊科技專長人才的投入；就天氣改造而言，需要化學或化工，乃至航空專長人才；就氣象與水文觀測技術的開發，則需要電機、電子，乃至無人飛機、水面、水下載具專長人才。僅僅就這些例子而言，便可看出國防科技在應用上，必須結合不同領域專長人才，方能達到科技自主的目的。

然而，《天下雜誌》「2010年教育特別調查」針對國、高中生進行分層抽樣問卷調查，由回收的2654份有效問卷分析結果顯示，當前國、高中生普遍對科學領域感到興趣，但對於是否立志當科學家，有超過八成的學生很明確地回答「不想」。^[44]由此一調查結果看出，我國國防科技的發展存在著非常大的隱憂。若再加上少子化的影響，則此一問題就更嚴重了。如何藉由落實科學與日常生活結合，並鼓勵老師在教學時讓學生動手做，以啟發學習興趣，可能是當前培育科技人才的一大挑戰。這可以做為全民國防教育中，國防科技教育的重點之一。期望大家能從科技人才培育著手，共同支持國防科技之研究發展與採購運用，以達國防自主之目標，進而確保全民國防概念之推動與落實能順利成功。

● 參考文獻

- [1] Weather Support For Army Tactical Operations, Field Manual 34-81/Air Force Manual 105-4, Departments of the Army and the Air Force, U.S., 1989.
- [2] 張軍，軍事氣象學，北京，氣象出版社，218頁，2005。
- [3] Lee, L., Blame It on the Rain: How the Weather Has Changed History, Harpercollins, 340 pp., 2006. 中文譯本：繆靜芬、黃柏瑄，2007，天氣改變了歷史，究竟出版社，臺北，311頁。
- [4] 劉廣英，氣象掌故，臺北，青年日報社，525頁，2000。
- [5] Keuhlen, D. T.; Bryant, O. L., Young, K. K., "The Common Operational Picture in Joint Vision 2020: A Less Layered Cake," Joint Forces Staff College, Joint and Combined Warfare School, <www.jfsc.ndu.edu/current_students/documents_policies/documents/jca_cca_awsp/common.doc>, 30 pp., 2002.
- [6] Joint Chiefs of Staff, Washington D. C., "Global Command and Control System



- Common Operational Picture Reporting Requirements," CJCSI 3151.01A, 66 pp., 2003.
- [7] Richmond, P. W., Blais C. L., and Goerger, N. C., "Development of a Ground Vehicle Maneuver Ontology to Support the Common Operational Picture," Cross Talk, Journal of Defense Software Engineering, Vol. 19, No. 7, 26-30, 2006.
- [8] Battlefield Weather Effects, Field Manual 34-81-1, Department of the Army, U.S., 1992.
- [9] 唐萬年，高技術局部戰爭氣象保障概論，氣象出版社，北京，272頁，1999。
- [10] Weather As A Force Multiplier: Owing The Weather In 2025. <http://csat.au.af.mil/2025/volume3/vol3ch15.pdf>, 1996.
- [11] <http://www.hudong.com/wiki/>
- [12] Joint Chiefs of Staff, Washington D. C., "Joint Doctrine, Tactics, Techniques, and Procedures for Meteorological and Oceanographic Operations," Joint Operations JP 3-59, <www.dtic.mil/doctrine/jel/new_pubs/jp3_59.pdf>, 111 pp., 1999.
- [13] Stansbury, B., "Life in the Early Entry Command Post," Observer Magazine, June 2003 Issue, 12-14, 2003.
- [14] Liu, M., Westphal, D. L., Walker, A. L., Holt, T. R., Richardson, K. A., and Miller, S. D., "COAMPS Real-Time Dust Storm Forecasting during Operation Iraqi Freedom," Wea. Forecasting, Vol. 22, 192-206, 2007.
- [15] 經濟日報，7月1日，<http://udn.com/NEWS/WORLD/WOR4/5697479.shtml>，2010。
- [16] 行政院國家科學委員會莫拉克颱風科學小組，莫拉克颱風科學報告，3月24日，2010。
- [17] 柴田明夫，糧食爭奪戰，孫玉珍譯，商周出版，臺北，2009。
- [18] 戴寶村，臺灣歷史上的八七水災，<http://www.twhistory.org.tw/20010806.htm>，2001。
- [19] 蔡學琳，“淺談保險業因應氣候變遷之危機與轉機”，全球變遷通訊雜誌，第62期，第25-31頁，2009。
- [20] Hoyos, C. D., P. A. Agudelo, P. J. Webster, and J. A. Curry, "Deconvolution of the Factors Contributing to the Increase in Global Hurricane Intensity," Science. 312(5770): 94-97, 2006.

- [21] Munich Re Group, 10 Costliest Natural Disasters 2008, Munich: Munich Re Group, 2009.
- [22] 彭慶渝，“聯合災害防救工兵部隊運用之研究”，工兵戰法研討會，陸軍工兵學校，7月30日，高雄，中華民國，2010。
- [23] 陶翼煌、孫志鴻，“空間資訊需求分析方法之建構—地理學中災害研究之新主張”，地理資訊系統季刊，2007 (1)，第19-25頁，2007。
- [24] 余永章，“美軍聯戰架構對國軍聯合作戰發展之啟示”，國防雜誌，第22期，第4號，53-66，2007。
- [25] 卓緯恩，“反登陸水雷作戰之研究”，國防雜誌，第18期，第16號，第79-91頁，2003。
- [26] 陳啟南，網際網路地圖資料供應系統建立之研究，碩士論文，中正理工學院軍事工程研究所，桃園，107頁，2001。
- [27] 鄭力嘉，地理資訊系統於石門水庫集水區降雨逕流分析之應用，中原大學土木工程研究所碩士論文，桃園，94頁，2004。
- [28] 謝侑璋，安平港『海岸環境資訊管理系統』建置之研究，碩士論文，中華大學營建管理研究所，新竹，93頁，2005。
- [29] 陳啟南、呂芳川、朱昌敏，“氣象資訊在生化防護應用之研究”，第五屆全國大氣科學研究生學術研討會，臺北，臺灣，53~59頁，2005。
- [30] 林淑玲，宜蘭地區颱風降雨與地形、空間分布關係之探討，碩士論文，國立中興大學水土保持學系，臺中，89頁，2002。
- [31] 曾淑惠，地理資訊系統在空氣品質預測模型建構上之應用研究，碩士論文，元智大學機械工程研究所，桃園，110頁，2000。
- [32] 戚啟勳編著，大氣科學，大中國圖書公司，臺北，559頁，2001。
- [33] 蔡清彥、柯文雄、許武榮，數值天氣預報，聯經出版事業公司，臺北，410頁，1990。
- [34] <http://www.cwb.gov.tw/>
- [35] Juang, H.-M. H., and Kanamitsu, M., "The NMC Nested Regional Spectral Model," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 122, pp. 3-26, 1994.
- [36] 王金慶、陳曉華、呂芳川、郭漱冷、于宜強、莊漢明、蘇良石、何臺華，“巢狀區域波譜模式在東亞地區的應用”，第六屆國防科技學術研討會論文集。桃園，臺灣，第677-683頁，1997。
- [37] 王金慶、呂芳川、陳曉華、何臺華、郭漱冷、于宜強、莊漢明、蘇良石，“巢狀波譜預報模式對冷高壓南下現象之探討”，中央氣象局天氣分析與預報研討會。臺北，臺灣，第231-236頁，1998。



- [38] 呂芳川、蔡晉東、郭漱冷、廖杞昌，“RSM巢狀預報模組應用之研究”，第七屆全國大氣科學學術研討會。臺灣，第362-368頁，2001。
- [39] 吳政忠、呂芳川、陳文定、趙尊憲、莊漢明，“東北季風時期臺灣鄰近海域風場預報之研究”，氣象學報，第46卷，第2期，第29-43頁，2006。
- [40] Chen, C.N., Wang, J.L., Chu, C.M., and Lu, F.C., "Ray Trace of an Abnormal Radar Echo Using GIS", accepted by Defense Science Journal, 2008.
- [41] 朱昌敏、陳啟南、呂芳川、汪建良，“2003年7月3日臺灣海峽北部異常回波之個案研究(一)環境場分析”，大氣科學，第35期，第3號，第219-240頁，2007。
- [42] 朱昌敏、陳啟南、呂芳川、汪建良，“2003年7月3日臺灣海峽北部異常回波之個案研究(二)數值模擬”，大氣科學，35期，第3號，第241-260頁，2007b。
- [43] 趙安妮編譯，“美國尖端科學失去世界優勢嗎？”，大紀元<http://epochtimes.com/b5/6/2/28/n1240119.htm>，2006。
- [44] 吳挺鋒，“中學生科學興趣大調查”，11月17日，天下雜誌，頁70-75，2010。

● 作者簡介

汪建良系主任(國防大學理工學院環境資訊及工程學系)

學歷：英國雷汀大學氣象博士

專長：動力氣象、颱風氣象

第八章 國防科技發展與民生工業促進

● 學習目標

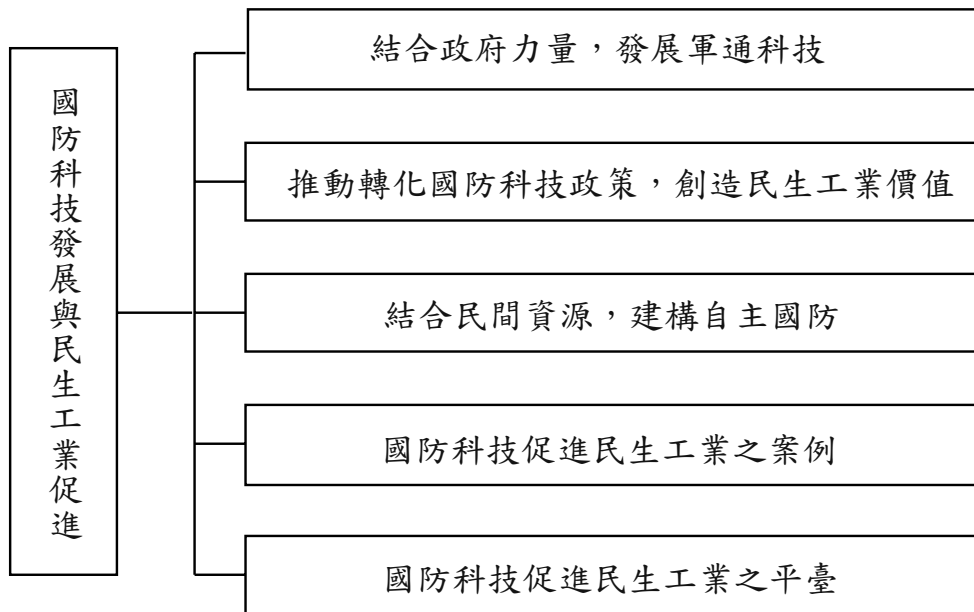
研習本章內容後，學習者應能達成下列目標：

一、了解國防科技研發，以國防安全為主之格局，進而對國家整體經濟之貢獻。

二、認知軍民通用科技結合民生工業，共創安全與價值、軍民雙贏的能量。

● 體系表

● 摘要



「國防」與「經濟」是國家生存與發展之兩大支柱。透過科學技術的通用性，「國防科技」將國防建設與經濟發展兩相結合，並在軍民通用的技術基石上，扮演日益重要與關鍵的槓桿角色。當前世界先進國家之國防科技研發，已突破以往以國防安全為主之格局，進而著眼於對國家整體經濟之貢獻。現今更應致力推動、聯結國防科技與民生工業研發與製造能量，共同提昇國家總體之經濟競爭力，當是國防科技未來廣大領域發展的面向所趨。

● 關鍵詞

國防科技 民生工業 軍民通用科技



第一節 前言

從國際經貿局勢、ECFA兩岸經貿協商、國內全募兵實施、全民國防政策推展等面向，觀看國防科技政策，勢必須與民生工業促進相結合。世界先進國家，均以長期而穩定的國防科技政策，帶動國家整體工業進步及經濟發展。美國國防工業體系是軍民兼容、以民帶軍，主要是美國國防部建案，由民間系統主承包商整合分系統、承包商及零件原料供應商，掌握先進科技，連結商業資源，共同研發美國國防所需的武器裝備。根據美國國防經濟學家貝諾(Benoit)分析，至少有40%以上的國防科技研發成果會對民生經濟產生利益，其科技創新與先導應用均來自於國防科技。足見國防科技在民生應用上，對國家經濟競爭力具有其重要性。

我國國防科技與民生產業的策略，約有五項，分別為1.國內產業自製能量的評估；2.對外採購的工業合作；3.軍民通用科技發展計畫；4.國防科技發展以振興產業；5.資源釋商以擴大內需。

國防科技促進民生工業發展的作為，就五個面向來說明：1.結合政府力量，發展軍通科技；2.推動轉化國防科技政策，創造民生工業價值；3.結合民間資源，建構自主國防；4.國防科技促進民生工業之案例；5.國防科技促進民生工業之平臺。

結合產官學研的能量，引進民間資源及企業化精神，注重專業及效益，將強化國防科技產業組織及能量，預期可對「國防科技發展」及「民生工業促進」，提供更大貢獻，實為軍民創造雙贏的最大目標。

第二節 結合政府力量，發展軍通科技

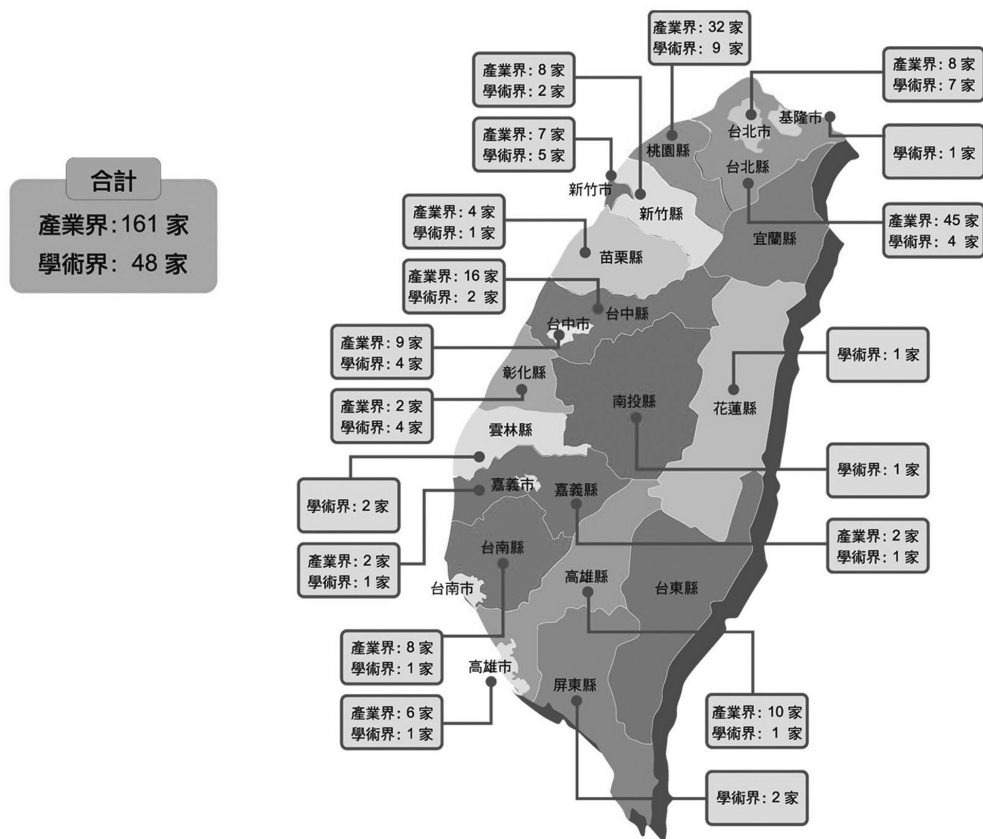
國防科技的產業具有高科技及傳統產業兼容發展的特性、結合本土性及不易外移的特性以及可創造高附加價值產業的特性。因此，培植廠商投入國防科技，可落實「國內研發與製造」，同時創造高科技及傳統產業之就業機會。根據美國國防經濟學家貝諾瓦(Benoit)分析，至少有40%以上的國防研發成果對民生經濟產生利益，「國防科技」是以任務需求導向為主，其產品單價高、品質要求高、產品壽期要長，而「國防科技」可以使「民生工業」提昇產業技術及競爭力；反向來看，「民生工業」是以市場需求導向為主，其產品需成本低、市場反應快、產品壽期短，而「民生工業」可以使「國防科技」提昇效率及降低成本，所以「國防科技」與「民生工業」之間有其互補性。

我們從臺灣「國防科技」發展與「民生工業」促進的市場地位，可以看出兩者的機會與願景。首先從2010年美國國防預算約6600億美元，臺灣在2010年的國防預算約90億美元，臺灣國防預算排名世界第25名。1996年至2003年臺灣軍備採購約

200億美元，排名全球第二，臺灣歷年獲得約97億美元的工業合作，累計與12國53家外商簽署協議。[†]從每年預估有2500億元新臺幣產值與就業人口約25000人/年、國防預算額度全球排名第25名、臺灣是完整的國防科技產業群聚的國家。臺灣是資訊通訊、IC、晶圓代工、面板、工具機、紡織等全球研發及製造重鎮等等的優勢，就不難看出我國「國防科技」發展與「民生工業」促進的機會與願景。

就國防科技對「國防的技術地圖」，可以著墨在遙控技術、光電偵搜技術、雷達技術、紅外線技術、導引控制技術、彈頭引信技術、電子戰技術、雷達通訊技術、戰系整合與後勤、加工製造技術、彈內電池技術、結構材料技術、微波通信技術、指管通電偵監技術、射頻技術等。而國防科技對「民生的技術地圖」分別有雲端計算、通訊設備、系統整合與物流、遙控設備、光電產品、車輛安全、精密機械、新世代能源、奈米及複合材料、移動通信設備、智慧電網、RFID等技術。

國防部以軍備局為「國防科技」與「民生產業」結合的運作平臺，藉由軍通計



圖一 國防產業研發聯盟

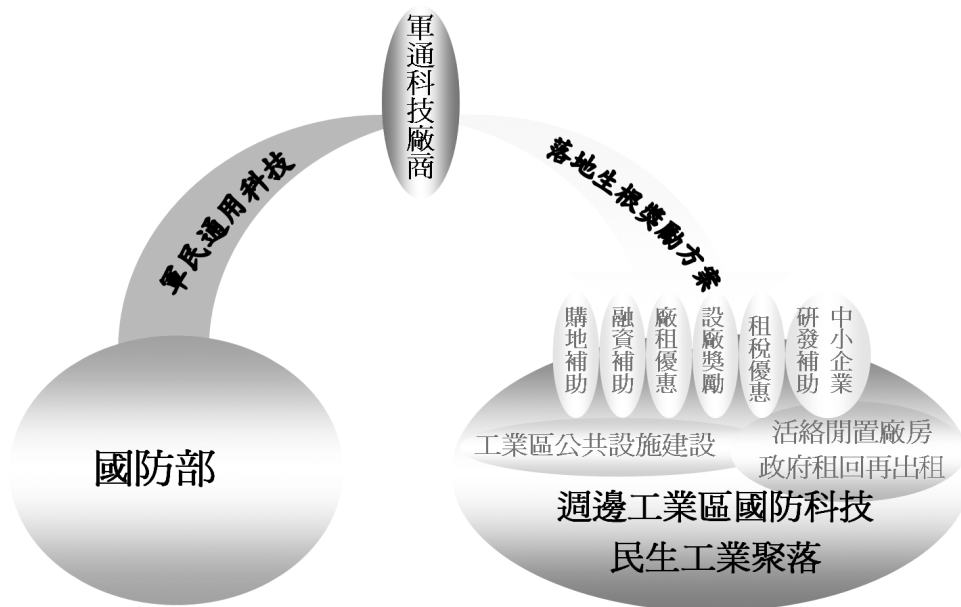
來源：黃星璋，《國防科技產業策略論壇》。

[†] 黃星璋，《國防科技產業策略論壇》，頁4。



畫的推動與產官學研各界之分工合作，共同發展軍民通用科技與創新的應用，扮演國家經濟發展貢獻者的角色，落實經建與國防並重的政策。從軍備局中科院龍園研究園區合作完成的有47家，正進駐中的有29家，另從國防部軍備局中科院結合161家產業界、48家學術界形成「國防產業研發聯盟」[‡]，由此兩方面，便可顯見國防部在國防科技與民生產業結合之作為。

國防部軍備局中科院將「軍民通用科技」挹注到行政院經濟部「落地生根獎勵方案」，結合中小企業研發補助、租稅優惠、設廠獎勵、廠租優惠、融資補助、購地補助、活絡閒置廠房政府租回再出、工業區公共設施建設等作為，利用地利優勢，規劃將周邊的桃竹工業區內的軍通科技廠商結合，可形成「國防科技民生工業聚落」，圖二為此現行規劃作法之策略圖。可規劃形成的「國防科技民生工業聚落」所包含的桃竹工業區名稱計有：1.龜山工業區；2.平鎮工業區；3.大園工業區；4.觀音工業區；5.林口工三工業區；6.中壢工業區；7.幼獅工業區；8.楊梅幼獅擴大工業用地；9.龍潭渴望園區；10.華亞科技園區；11.龍潭華映工業園區；12.竹科龍潭基地；13.龍潭烏數林工業用地；13.蘆竹海湖坑口工業用地；14.新屋永安工業用地；15.桃園科技工業園區。以上桃竹工業區廠商將近二千家，產業類別計有紡織、金屬、化學、電子、機械、電工器材、電子器材、塑膠、汽車零組件、電腦元件、液晶顯示器、數位相機、半導體、晶圓、視聽電子、鋼鐵、機械設備等。而國防大學



圖二 國防科技民生工業聚落規劃作法之策略圖

來源：黃星璋，《國防科技產業策略論壇》，參考修編。

‡ 同註13，頁6。

理工學院正好座落在此規劃形成的「國防科技民生工業聚落」內，正可讓我們思考在未來軍備局中科院形成「行政法人」後，國防大學理工學院如何扮演在國防部與法人化中科院之間角色的互置？如何在這過程中使「國防科技促進民生產業、民生產業促進國防自主」的良性互動？如何在結合政府力量，發展軍通科技的契機下，充分結合產(民生工業)、學(國防大學理工學院與管理學院)、官(行政院各部會與國防部)、研(改制前後的中山科學院)的能量與角色定位？

第三節 推動轉化國防科技政策，創造民生工業價值

行政院核定「98~101年度國防科技工業發展方案」有四項具體執行目標，分別為：1.推動以軍民通用科技發展為特色之國防產業聚落；2.轉化國防科技能量，創造地方產業價值；3.發展前瞻軍通技術，扮演產業領航先鋒；4.聯合全國科技研發力量，建立軍通發展體系。因此，國防部軍備局中科院目前以執行經濟部科專計畫為轉化國防科技為民生產業價值之主軸，所執行的計畫為，區分為以下三種類型：「關鍵技術科專」、「軍品釋商科專」、「振興傳產科專」。

第一類型「關鍵技術科專」是以「民生產業需求」為基礎，將「國防科技能量」轉化為「民生產品技術」，提昇產業技術水準及國際競爭力。此案例項目有高雄海關RFID電子封條監控系統、光電靶材、鋁合金型材、車輛安全防護系統、貴金屬回收、薄膜太陽能電池材料及設備、無線網路感測應用、雷射光斑取像、膠囊內視鏡系統、奈米彈性材料、輕量化航空複材貨櫃等項目。

第二類型「軍品釋商科專」以「國防軍備需求」為基礎，引導業界參與軍品技術開發，成為軍品研製供應商，創造軍品及民生衍生效益。此案例項目有無人飛行載具、RFID國防應用系統、FMCW先進固態雷達、共用性射控及發射架系統、長距寬頻通訊機、多功能雷觀機、防護鋼板及陶瓷材料、奈米銀滅菌止血敷料等項。

而第三類型「振興傳產科專」是協助傳統產業精進其研發及生產技術，開發關鍵零組件及產品，扶植傳統產業轉型升級。其案例項目有高性能煞車元件、纖維強化塑膠、複合式食品分離機、高價值機能性纖維紡絲等項目。

多元創新及技術紮根為產業發展之重點方向，建議多投入具前瞻性、高技術門檻之軍民通用技術發展，增加創新前瞻、環境建構等軍民通用技術深耕計畫；另將已有之國防科技技術與政府各研究部會(如國科會)能量之結合，使國防各單位及軍事院校能直接參與政府各部會署科技專案計畫，同時亦應須主動研擬軍事院校研究教師參與國防部單位之研究計畫、委製生產合作方式，以符合目前國防科技政策與時代潮流趨勢。

提昇國內工業發展基礎科技及系統層級技術能量，是我國產業經濟發展上一項



重要課題，國防部軍備局因國防武器軍備研發，已具備深厚之大型系統整合能力，建議國科會及經濟部重大科技整合專案結合國防部軍備局能量，投入綠能產業、智慧生活、精密機械系統等具系統技術層級之政策主題項目，以創造「發達國家經濟」及「強化自主國防」之軍民雙效價值！

第四節 結合民間資源，建構自主國防

國防工業具有兼具促進高科技及傳產均衡發展、不外移及高附加價值等特性。借由軍品釋商科專整合產學研資源，建置軍品協同研發平臺，引導業界投入軍備研發及量產。輔導業者投入軍品研發、產製、維修事業，並拓展軍品技術衍生商機，引導業界跨越經濟低迷之谷，躍上國軍及國際軍備舞臺。

推動工業合作對我國經濟發展的助益有激勵民間企業投資意願、協助現有產業升級、促進新興產業。就我國未來在國防武器裝備的需求項目及購買能力而言，運用國防採購案來爭取工業合作，不但大有可為，亦可成為運用民間資源建構自主國防之推手。

另一個以民間資源提昇自主國防的方式為「武器系統後勤企業化—效益後勤」(Performance Based Logistics, PBL)。美軍在1998年將效益後勤概念向美國國會報告，隨即於1999年起將「效益後勤」列為武器系統獲得全壽期後勤支援項目，其目的在配合後勤企業化之策略，以降低作業成本為最主要的考量。2001年國防部四年國防總檢頒布命令，2003年制定參考手冊，宣告效益後勤為最佳支援策略，並作為國防部政策，有多項武器系統導入效益後勤，對於作業成本的降低及後勤支援效能的提昇，產生卓越成效。我國國防預算約有50%使用於後勤組織及維持武器系統妥善率，此為引進民間資源，建構自主國防之一大契機。

美國國防部(DOD)的「國外比較測試」(Foreign Comparative Testing, FCT)是其轄下一個主要物資獲得的工具。針對美國「非境內發展項目」(Nondevelopmental Items, NDI)裝備器材進行比較及測試，提供使用單位較便宜之獲得管道。而此美國的「國外比較測試」管道也可作為以民間資源提昇自主國防的方式。因美國國防部海外採購辦公室在各地舉辦美軍「國外比較測試」研討會暨展覽會，評選具有潛力提供符合美軍需求之系統裝備廠商，測試通過後，發合格證並納入美軍軍備採購的供應商名單之列。2005年臺灣參加美國「國外比較測試」評選廠商有6家通過，分別為能元、宏碩、和成欣業、控創科技、新磊微製造、方礎光電科技等。由我國國防科技輔導之民生工業可透過美國「國外比較測試」的管道，確認可達到國際武器裝備的要求，反向也可透過美國「國外比較測試」的管道了解有那些通過FCT認可的國內廠商，作為以民間資源提昇自主國防的方式，同時也可了解國際可提供符合

美規武器系統裝備組件供應商，擴展武獲購買之來源。

第五節 國防科技促進民生工業之案例

國防部軍備局中科院在飛彈武器系統所建立之真空熔煉及精煉、金屬電鑄、金屬材料測試等技術，成功開發民生高品級鋁合金擠棒熔鑄製程及型材技術。因此促成臺灣穗高科技公司投資5.5億元於南科設廠，協助執行工業局「含鈦高強度鋁合金擠棒及應用產品開發」主導性新產品計畫，鋁合金車架減重65%，使自行車平均外銷售價推升逾25%，預估年產值達八億元。而臺灣穗高公司穩定供料穗高工業、必榮實業、新禾輕金屬、傑出科技等下游廠商，開發高強度車架、輪圈等結構件，帶動高品級鋁合金擠型產業，擴展應用於運輸、航空、電子等產業，並參與軍用雷達車結構型材之開發，技術回流國防產業。

光洋應材公司為國防部中科院透過軍民通用科技技術移轉成功的案例，從一家廢貴重金屬回收傳統業者，躍升為世界最大的靶材供應商。國內光電靶材九成以上仰賴國外進口，國防部中科院以國防冶金技術，及運用經濟部科專「特用金屬材料應用研究發展計畫」，突破工程瓶頸開發逾20種投入靶材材料，建立國內完整之靶材產業，使光電鍍膜產業用靶材自製率提昇至30%，打破光電產業相關靶材原由美、日壟斷的局面。此「國防科技」靶材的材料技術突破，促成光洋應材及中鋼鑫科兩家公司分別於南科及路竹投資擴廠，投資額逾新臺幣9億元，增加450人以上就業機會，預估年產值逾新臺幣200億元。

國防部軍備局中科院於98年度與產業界共同成立「藍寶石長晶研發聯盟」，將大尺寸藍寶石單晶生產技術，技轉兆晶及鑫晶?科技公司。兆晶科技公司憑藉對藍寶石加工的豐富技術能力，配合新投資切割設備，開發切割製程及參數，結合兆晶與新晶?公司研發能量共同開發6吋藍寶石基板。其產製的藍寶石單晶與基板，取代進口產品，藍寶石基板之年產值約新臺幣20億元，其配合LED產業之成長，可創造年產值超過百億元。包含測溫器的濾鏡、紅外線感測器、微波元件感測器、照明設備視窗等，主要用作高亮度或超高亮度藍白光發光二極體(Light Emitting Diode, LED)之基板，預估可促成我國LED產量高居世界第一。

和成公司為傳統衛浴生產業者，經由參與軍品釋商計畫投入抗彈陶瓷材料研發，該公司產品通過美國懷特實驗室NIV IV級測試及美軍「海外認證測試」(FCT)，獲得民用防彈背心國際訂單逾新臺幣3千萬元，及新臺幣1億元軍品訂單，預估量產後年產值超過新臺幣4億元，員工現已增聘60餘人。93年度起和成公司積極參與國防部釋商軍品合作開發案，包含「燒蝕性複材研製」、「複材天線」、「抗彈陶瓷材料」、「複材錐殼成型技術」等多項合作案，已達到活絡產業、促成廠商投資、



拓展國內商機、降低國防成本等多贏策略。

另一促進國內產業參與國際航太產業的例子，即千附公司原為國內製鞋機械之傳統產業產商，公司積極思考進入高科技產業，藉由參與軍品釋商科專「共用型軍用發射系統」、「機密折疊機構組」、「彈用推進儲油箱模組」等計畫，經國防部軍備局中科院技術輔導成功轉型為合格軍品供應商，跨足國防科技產業。此透過經濟部工合計畫(ICP)，該公司於九十八年通過美商洛馬公司的審核，獲得一個六年超過八千萬採購計畫，成為國際航太工業的供應鏈一員，連同其他衍生價值高達三十億元以上的利益。

第六節 國防科技促進民生工業之平臺

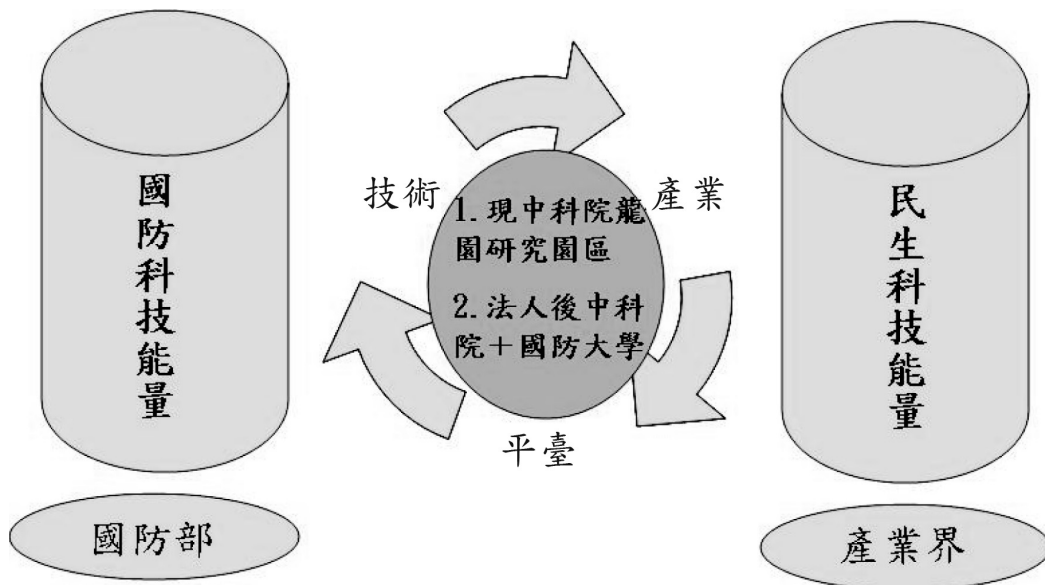
目前國防部中科院龍園研究園區已開放做為國防科技發展與民生工業促進的平臺，該園區於民國84年配合行政院籌設「亞太營運中心」政策而設立，為國防部軍備局中科院與產學研共同合作發展「軍民通用科技」之平臺，民國96年為加強對產業之技術服務，指派「軍通產合開發計畫」單位進駐該園區，協助產業界運用國防部中科院國防研發能量，開發新產品技術，帶動研發創新及產業升級。該園區主要工作有5項：與產學研合作，發展軍民通用科技；協助產學界運用中科院研究能量，合作開發新產品技術；設立育成中心與開放實驗室，提供產業界進駐合作研發；輔導軍品釋商工廠認製合格，建立軍品衛星工廠體系；輔導軍品合格廠商，運用工業合作計畫(ICP)、美軍國外比較測試(FCT)等資源，跨足國際軍品市場，開拓商源及轉型升級。⁸

國防部之國防科技能量與產業界之民生科技能量兩者勢必需要有個連結的平臺，現行由上述的國防部軍備局中科院龍園研究園區連結國防部與產業界。但當國防部軍備局中科院形成行政法人之後，中科院便不再適合擔任國防部測評任務的評審角色，而現行國防部軍備局之架構，生產製造中心可以擔任此一角色，但因生產製造中心人員因未來人力精進，行政與研發無法兼顧，造成國防科技測評的評審角色可以考量國防理工教育的最高學府—國防大學理工學院（前身為中正理工學院），因為國防大學理工學院的教師於國防科技學有專精、長期從事國防科技研究、穩定性高、地理位置處於中科院龍園研究園區以及北部產業相連結地帶，因此在未來國防部中科院以行政法人形成後，以國防大學理工學院與中科院龍園研究園區現有國防科技能量、民生產業連結基礎，並與經濟部、國防部未來十年的提昇產業、人員精簡為目標。這兩個單位的連結不失為當局可思考的方向之一，此可參考圖三提出

⁸ 參見<http://www.csistdup.org.tw>。

現在與未來國防科技與民生產業連結的雛型概念。

第七節 結語



圖三 現在與未來國防科技與民生產業之連結

來源：作者自行整理。

國防科技屬跨領域整合性科技，國防武器裝備所需技術遍及航空、航太、機械、電子、化學、化工、光電、資訊等眾多領域，具有資本密集、技術密集、人才密集之特性，透過系統整合與技術再應用，產生的附加價值極高，加上此領域是以國家為主體，不會有產業外移與西進大陸等問題，其衍生的經濟效益絕對是本土廠商受惠。

國防部投入及深耕國防科研及我國國防基礎工業建構多年，平實而論在國內具獨特競爭力，與國內其它法人機構定位上有所區隔，亦是國家發展工業發展基礎科技及系統層次技術能量上所必需且已建立之國家重要資產，應予善加運用。國防部軍備局以往藉軍民通用科技研發及轉化應用，促成民間業界投資、創造就業機會、提昇廠商技術水準，改善產業結構、帶動關聯產業發展與傳統產業升級，已大幅提昇國家整體競爭力。以最近CIGS太陽能光電產業發展主題為例，國防部軍備局藉由研發聯盟籌組及整合型業界科專申請，以政府公部門政策性聚焦投入推動我國CIGS太陽能光電從材料到製程及設備產業新興兆元產業之發展，帶動國內產業界相關研發及量產投資，目標規模可達1,500億元，預期為國內至少創造數千個就業



機會。

因此政府相關部會能多投入研發預算，國防部能配合政府產業政策投入重點產業，多投入綠能產業、精密機械系統、先進材料及化學等主題之研發，統合全國研發資源，持續精進國防科研與民生產業的雙向價值轉化機制，以國防部軍備局中科院所專精之大型系統設計、科技整合及測試專業能力，參與我國工業發展基礎科技及系統層次工業建設，將國防科技轉化與整合，開創龐大的國防及民生效益，落實軍轉民、民通軍，提昇「發達國家經濟」及「強化自主國防」軍民雙效價值，同時結合產學官研多方面的能量，將可達成馬總統宣示「創新強國」的政策目標。

在本章之中，希望讓大家了解國防科技與國計民生，以及戰爭成敗的關係，建立軍民通用科技的概念，期望國人能從科技人才培育著手，共同支持國防科技之研究發展與採購運用，以達國防自主之目標，進而確保全民國防政策之順利推動與成功。

● 參考文獻

- [1] 陳子江、陳鳴皋〈國防科技發展與民生工業促進的策略及作為〉，全民國防教育研討會(臺北國防大學復興崗院區；國防部、國防大學，99.09.15)，pp.33-54。
- [2] <http://www.ecfa.org.tw/ShowNotice.aspx?id=50&catalogue=ECFA>
- [3] 全民國防國防部政戰資訊服務網
- [4] 國防部編，《中華民國九十八年國防報告書》(臺北：國防部，2009年10月)，頁69。
- [5] 國防法規資料庫，<http://law.mnd.gov.tw>。
- [6] 國防部編，《中華民國九十八年國防報告書》(臺北：國防部，2009年10月)，頁71-72。
- [7] 國防部編，《中華民國九十八年國防報告書》(臺北：國防部，2009年10月)，頁87。
- [8] 「軍備局生產製造中心」，《中華民國國防部網站》，2009年7月12日。
<http://www.mnd.gov.tw/Publish.aspx?cnid=125&p=34855>。
- [9] 「中科院簡介與願景」，《國防部軍備局中山科學研究院網站》，2009年7月12日。
<http://www.csistdup.org.tw>。
- [10] 國防部編，《中華民國九十八年國防報告書》(臺北：國防部，2009年10月)，頁105。
- [45] 國防部編，《中華民國九十八年國防報告書》(臺北：國防部，2009年10月)，頁148-149。

[46]國防部編，《中華民國九十八年國防報告書》(臺北：國防部，2009年10月)，頁150-157。

[47]黃星璋，國防科技產業策略論壇《桃園龍園：經濟部、中科院，99年7月》。

● 作者簡介

陳子江系主任(國防大學理工學院電機電子工程學系暨光電所)

學歷：中央大學光電博士

專長：紅外線熱像元件、量子型元件、化合物半導體材料與元件、微電子技術、量子點偵檢器、奈微米技術



國防科技 (大學暨在職教育)

國家圖書館出版品預行編目（CIP）資料

國防科技：大學暨在職教育授課參考/黃立信、陳子江、汪建良、蒲念文、洪建君、劉益銘作.--初版—

[臺北市]：總政戰局，民 100.12

面；公分.--（全民國防教育；9）

ISBN：978-986-03-1141-9（平裝）

1.軍事教育 2.國防教育

593.57

100027315

全民國防教育 9
國防科技—大學暨在職教育授課參考

作者：黃立信、陳子江、汪建良、蒲念文、洪建君、劉益銘

審查：孫懷谷、劉中宇、史乃鑑、簡錫新

出版單位：國防部總政治作戰局

電話：02-23954494

策劃執行：王明我

編務總監：池玉蘭

封面設計：鍾筱君

責任編輯：周正中

展售處：國家書店秀威公司

地址：104 臺北市松江路 209 號 1 樓

TEL：02-25180207 FAX：02-26579106

五南文化廣場（發行中心）

地址：400 臺中市區綠川東街 32 號 3 樓

TEL：04-22210237 FAX：04-22210238

著作財產權人：中華民國國防部

印刷者：國防部軍備局生產製造中心第四〇一廠（北印所）

版（刷次）：初版

中華民國 100 年 12 月出版

定價：新臺幣 73 元

ISBN：978-986-03-1141-9（平裝）

GPN：1010004793

本書保留所有權利。

欲利用本書全部或部分內容者，須徵求著作財產權人同意或書面授權。

