

衛星通訊的發展與組成

蔡坤錦

壹、前言

科技的腳步從一小步到一大步，從一大步到長足的進步，科技進步的速度是以等比級數成長中；然而，科技的腳步也從地面走向天空，更從天空跨入太空，邁向宇宙。（圖1）

傳播科技的長足進步肇始於「電」的發現，1831年法拉第(Michael Faraday)發現了電磁效應，四年後摩斯(Samuel F. B. Morse)設計了發報機與鍵盤，摩斯電碼開啟了電的傳播；1844年美國架設了第一個電報線路，正式邁入電子傳播的時代；1876年貝爾(Alexander Graham Bell)發明了電話；1895年

英格蘭的馬可尼(Guglielmo Marconi)執行了無線電實驗，開啟了無線電通訊的先端；1919年蘇聯開始國際廣播；1920年電視傳播成功地展示；1957年蘇聯發射第一枚人造衛星「史普尼克」(Sputnik)，第一次從太空送出無線電波；通訊科技也從地面有線到無線，更進入了太空。

民國87年8月25日，我國擁有的第一顆商用衛星——中新一號衛星(ST-1)，在法屬圭亞那庫魯基地成功的發射升空；另外，國科會太空計畫室主導的中華衛星一號(ROCSAT-1，圖2)也已排定在88年元月27日發射升空。目前中新一號(ST-1)已進入地球同

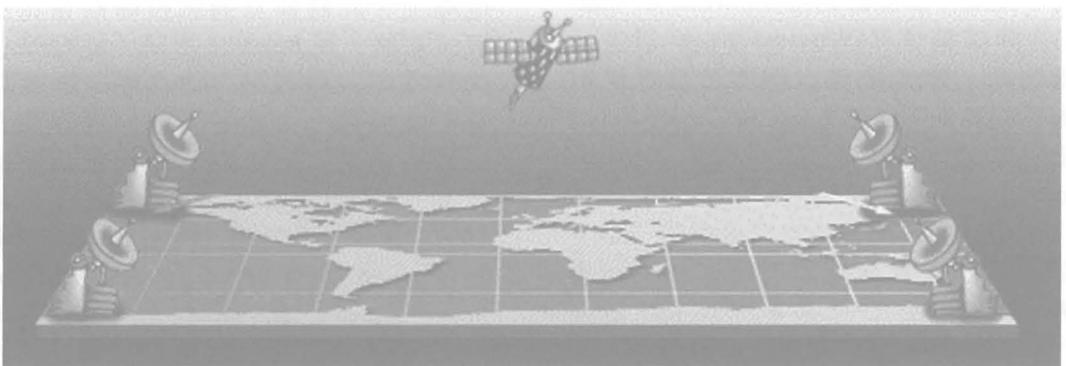


圖1 科技發展跨入太空—衛星通訊
(資料來源：<http://www.cht.com.tw>)



圖 2 中華衛星一號

(資料來源：<http://www.nspo.gov.tw>)

三顆衛星構成全球通信的概念圖

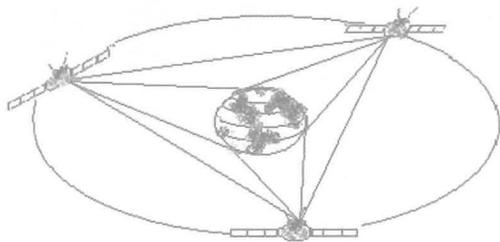


圖 3 全球通信概念圖

步軌道正常運作中，而中華衛星一號(ROCSAT-1)也已完成所有的測試工作，於 87 年 12 月 8 日打包運往美國卡拉維爾角甘迺迪空軍基地，進行發射前最後的檢測。

中新一號(ST-1)的順利升空與中華衛星一號(ROCSAT-1)的計畫成功，已正式地開啟我國太空通訊的新紀元，實現了我國探測太空科學與發展太空科技產業的夢想。

貳、衛星通訊的發展

衛星通訊的概念緣起於 1945 年 10 月，英國作家亞瑟克拉克(Arthur C. Clark)在無線電世界(Wireless World)發表一篇文章，建議使用三顆衛星等距離放置於同步軌道(GEO: Geostationary Orbit)上，以達成全球通訊的目的(Worringham, 1990)。(圖 3)

雖然衛星通訊的概念發展得很早，但若就衛星實際應用於通訊言，印象最深刻的要屬 1971 年 8 月 28 日，我巨人少棒隊於美國威廉波特出戰美西隊，爭奪世界盃冠軍的衛星實況轉播(戴月芳、羅吉甫，民 87)，民眾們三更

燈火五更雞，徹夜收看比賽的轉播吧！

實際上，早在 1957 年 10 月 4 日蘇聯發射了人類首顆人造衛星「史普尼克」(Sputnik)，不甘示弱的美國也在 1958 年 2 月 11 日發射了美製第一顆人造衛星「Explorer I」；吾人熟知的太空競賽與衛星通訊於焉展開。以下就美國及國際電信衛星組織(International Telecommunication Satellite, INTELSAT)系列衛星，說明衛星發展的概況。

1958 年 12 月人類首顆通訊衛星「SCORE」，第一次自衛星傳送包含艾森豪總統耶誕祝賀詞的語音信息到地球上，此為衛星通訊技術的首次展現(菩提，民 86a)。不過「SCORE」的功率小、軌道低、壽命短，雖然只有兩週的壽命，卻是道地的通訊衛星「開山祖師」。日後對於衛星通訊的技術研發均集中在中高軌道(距地 5000~15000 km)以上衛星；1960 年美國太空總署(National Aeronautical and Space Agency, NASA)發射了「ECHO I」衛星，主要用於美國境內地面終端設備間，作影像、數據與語音的傳送試驗；1962 年貝爾電話實驗室(Bell Tele-

phone Laboratories, BL)發射了「TELSTAR」衛星，「TELSTAR」置於中高橢圓軌道，運轉週期三小時，依賴太陽能發電，被公認為第一枚「有效的」通訊衛星（馮建三，民85）。

1962年美國NASA發射「Syncom I」衛星，準備放置於三萬六千公里上空的同步軌道，但沒有成功，翌年六月再發射「Syncom II」衛星，置於高傾斜角同步軌道上；緊接著，1964年發射「Syncom III」衛星，成功地安置於同步軌道上，並順利完成1964年的東京奧運會的電視節目傳送任務。至此，衛星技術已推向地球同步軌道（距地35786km）的高度。

1964年美國衛星通信公司(Communication Satellite Corporation, COMSAT)擴充其組織，並吸引許多國家參與，在8月20日由11個國家共同簽署文獻成立國際通信衛星組織(International Telecommunication Satellite Organization, INTELSAT)，旋即於1965年4月6日發射國際電信衛星一號(INTELSAT-I)“Early Bird”，置於大西洋上空的同步軌道。同年，蘇聯發射第一枚通訊衛星“Molniya”。

國際電信衛星組織(INTELSAT)於1967年又分別發射了國際電信衛星二號系列衛星——INTELSAT II-F2, INTELSAT II-F3, INTELSAT II-F4；接著在1968年12月發射了國際電信衛星三號系列的INTELSAT III-F2，1969年再發射INTELSAT III-F3，INTELSAT III-F4，這三顆衛星分別被置於大西洋、印度洋、太平洋上空的同步軌道，英人克拉克(Arthur C. Clark)的全球通信理論已經實現。1969年7月20日阿姆斯壯的登月漫步，就是透過這些衛星傳播服務全世界觀眾。此後衛星的發展已到了密集繁多、日趨成熟的階段，詳見表1。

1998年國際電信衛星組織宣佈將於'98年底發射「熱鳥衛星」(Hotbird)，熱鳥衛星具有30個Ku頻段的轉頻器，波束將可涵蓋整個中國大陸地區（菩提，民86b），這與中新衛星ST-1的波束涵蓋範圍有相當大的重疊，屆時衛星轉頻器的市場勢必陷入戰國時代。

國際電信衛星組織(INTELSAT)系列衛星均屬地球同步軌道(GEO)衛星，成本高、功率大、涵蓋範圍廣，由於赤道上空的軌道日益擁擠，INTELSAT

表1 國際電信衛星組織系列衛星發射年代一覽表

年 代	衛 星	數 量
1971~1975	國際電信衛星四號系列(INTELSAT-IV)	6
1975~1978	國際電信衛星四號 A 系列(INTELSAT-IV A)	5
1980~1984	國際電信衛星五號系列(INTELSAT-V)	8
1985~1989	國際電信衛星五號 A 系列(INTELSAT-VA)	5
1989~1991	國際電信衛星六號系列(INTELSAT-VI)	5
1992	國際電信衛星 K 號系列(INTELSAT-K)	1
1993~1995	國際電信衛星七號系列(INTELSAT-VII)	5
1995	國際電信衛星七號 A 系列(INTELSAT VII)	3
1994~1996	國際電信衛星八號系列(INTELSAT VIII)	6

最近發展出新的衛星技術，可以將過去間隔3度的衛星軌道縮減為2度，以解決日益不足的衛星軌道；另外值得一提的是，在地球同步軌道(GEO)衛星蓬勃發展的同時，中低軌道衛星系統亦如雨後春筍般的競相發展，由Motorola主導的「鈹計劃」即是一例。

人造衛星的發展不過半世紀，可是從第一枚人造衛星——蘇聯的Sputnik I，到現在成熟穩定的衛星技術，衛星的壽命、體積、重量、轉頻器個數、頻寬均不斷的增長、變大，衛星技術的長足進步，使衛星扮演著電信與傳播產業最重要的骨幹，並且無時不刻地影響著我們。

參、衛星的種類

衛星的分類方式不一而足，但若以其運行軌道形狀來區分，可分為圓形和橢圓形；而衛星之所以能繞地球作週期性的運動，完全是受地心引力的牽引。說得明白一點，地心引力提供衛星做圓周運動和橢圓運動的向心力，地球是圓周運動的圓心，也是橢圓運動的一個焦點。

以下分別就衛星的運轉軌道、軌道高度、衛星重量、功能做區分：

一、依軌道種類區分

(一)地球靜止軌道(GEO)

是位於赤道上空的圓軌道，地球自轉週期與衛星公轉週期相同之同步軌道，在地球上靜止軌道上的衛星相當於靜止狀態。INTELSAT 同步衛星屬之。

(二)極軌道(Polar Orbit)

一般相對於赤道剖面，具若干傾斜角度的衛星軌道稱為傾斜軌道，

若傾斜角度為90度，將地球自轉軸涵蓋在內的者，稱為極軌道；若傾斜角為0度則為赤道軌道。極軌道的衛星不多，部份觀測衛星屬之（白光弘，民85）。

(三)太陽同步準回歸軌道(Synchronous near recurrent orbit)

衛星在環繞地球時，若以特定的時刻，如地方平均太陽時(local mean time)，且採用特定週期來環繞者，稱為太陽同步準回歸軌道；另外，該軌道的軌道面與太陽保持一定的角度，再觀測地表時，陽光入射角為定值（李福清，民80）。著名的大地衛星(Landsat)、海洋衛星(sea sat)、氣象衛星(TIROS-NOAA)等觀測衛星屬之。

二、依軌道高度區分

(一)地球靜止軌道(GEO)

距地 35786km 的高度，地球同步衛星均位於此軌道。

(二)低地球軌道(LEO: Low-Earth Orbit)

距地 500~1500km 的高度，目前大部份的全球行動通訊使用低地球軌道衛星之星群計畫。如：鈹計畫(Iridium)。

(三)中地球軌道(MEO: Medium-Earth Orbit)

距地 5000~15000km，目前部份全球行動衛星通訊計畫使用中軌道衛星。如：美國的奧德塞計畫(Odyssey)（菩提，民86c）。

三、依衛星重量區分

(一)大型衛星（大於 3000kg）

(二)中型衛星（小於 3000kg）

(三)小型衛星（小於 1000kg）

(四)迷你型衛星（150kg）

(五)微衛星（50kg）

四、依衛星功能區分

(一)商業通訊衛星

一般的通信衛星均屬之。如：中新一號ST-1、直播衛星，鈦計畫衛星。

(二)科學衛星

地球資源探測衛星、天文觀測衛星、氣象衛星均屬之。如：哈伯太空望遠鏡(Hipparcos)、中華衛星一號(ROCSAT-1)。

(三)軍事衛星

一般軍事用途(定位、導引、觀測、偵查、……)的衛星(吳俊弦,民87)。

茲以中華電信的中新一號 ST-1 與國科會太空計畫室的中華衛星一號(ROCSAT-1)依前述分類方式做比較,俾利衛星種類的瞭解(表2)。

肆、衛星通訊的系統構成

衛星通訊系統的組成分為「地面電台分系統」與「衛星分系統」。地面電台分系統由射頻終端設施(RF terminal equipment)、基頻終端設施(base band terminal equipment)與週邊設施組成;而衛星分系統的組成包括:天線(antenna)、轉頻器(transponder)、衛星電源系統、衛星姿勢穩定系統(Satellite attitude stabilization system)、衛星噴射系

統(satellite propulsion system)、遙測追蹤及指揮系統(telemetry, tracking, & command system)、熱能控制系統。(如圖4)

一、地面電台分系統

(一)射頻終端設施(RF terminal equipment)

包含地面電台用發射天線、接收天線、昇頻混波器(up converter)、降頻混波器(down converter)、高頻放大器(HPA)、低雜音放大器(LNA)等。

(二)基頻終端設施

包含基頻設備編碼器、解碼器、調變器及副調器等。通常射頻終端與基頻終端應用適當的電纜或光纜聯繫,構成中頻(IF Line 70MHz)聯絡系統。

(三)測試儀表、空氣調節、標準鐘等。

二、衛星分系統

(一)天線

衛星上的天線要求體積小、重量輕、饋電方便、便於摺疊和展開,其工作原理和外型與地面天線相同。

1. 全方向天線:衛星上的遙測、指令、信號標記天線皆為全方向天線,俾利可靠的接收指令,並發射遙測數據和信號標記。

2. 通信天線:屬於定向的通信用微波天線,天線增益高,有效輻射

表2 中華衛星一號與中新衛星特性比較表

項 目	中華衛星一號(ROCSAT-1)	中新一號(ST-1)
軌道種類	傾斜軌道(35度)	地球同步軌道(Geo, 88°E)
軌道高度	低地球軌道(距地 600km)	同步軌道(距地 35786km)
衛星重量	小型衛星(395kg)	中型衛星(1450kg)
任務特性	科學衛星(科技研究)	商用通訊衛星(中繼與直播)
壽 命	二年	十二年

衛星系統組成及運作關聯圖

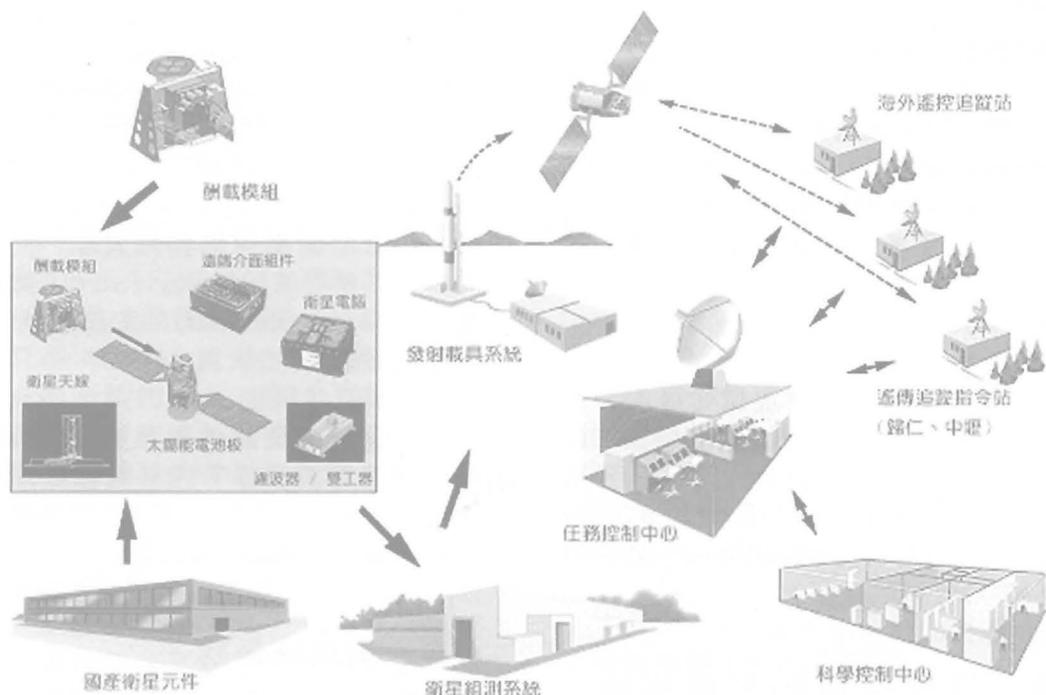


圖 4 中華衛星一號的系統組成
資料來源：<http://www.nspo.gov.tw>

功率大；依其波束涵蓋範圍大小、形狀區分，可分為全球波束天線、點波束天線、賦形波束天線。

3. 通信頻率：衛星通信所採用的頻率，限定在所謂微波 SHF(3-10 GHz)及 EHF(30~300MHz)的範圍內，見表 3。以中新衛星(ST-1)為例，C 頻上鏈 6.425~6.725GHz，下鏈 3.4~3.7 GHz；Ku 頻上鏈 14.0~14.25GHz，下鏈 11.45~11.70GHz。

(二)轉頻器

轉頻器是衛星分系統中直接起中繼作用的部份，每個衛星都有若干個

表 3 衛星頻段一覽表

頻 段	範圍(GHz)
L Band	1.5 ~ 1.6
S Band	2.0 ~ 2.7
C Band	3.7~7.25
X Band	7.25 ~ 8.4
Ku Band	10.7 ~ 18
Ka Band	18 ~ 31
Q Band	44
mm wave	40 ~ 300

資料來源：白光弘，民 85，頁 5。

轉頻器（如：中新衛星 ST-1 有 14 個 C 頻轉頻器，16 個 Ku 頻轉頻器），每個轉頻器是一套靈敏度高、寬頻帶的收/

發訊設備，主要作用是對需要轉發的信號進行接收、放大、變頻，並再次發射。衛星直播電視與衛星通信的中繼功能均有賴於轉頻器的作用。(圖5)

以下介紹轉頻器的訊號收發頻率何以不同，及轉頻器種類。

1. 轉頻器的訊號上鏈與下鏈

(1)轉頻器的訊號上鏈下鏈應採不同頻率，可避免轉頻器發生回饋現象。

(2)上鏈頻率通常高於下鏈頻率，因為地面電台的發射功率大於衛星，之於長距離的傳播路徑損失言，也較合理；復以衛星受制於重量、體積、電力，故衛星下鏈選用較低的頻率。

2. 轉頻器的種類

(1)透通轉頻器：指單純的對地面上鏈的訊號進行接收、低雜訊放大、變頻、功率放大、

轉發射的任務；因此，對工作頻帶內的任何信號都是「透通」的通路。

(2)處理轉頻器：除了轉發信號外，還有信號處理的功能，增加了信號解調器、處理單元和調變器，它先將信號解調以便進行信號處理，然後調頻、變頻、放大後發回地面(通訊編輯，民85)。

(三)衛星電源系統

1. 太陽能電池：將太陽的光能轉變為電能的光電變換裝置，最常用的是矽太陽能電池，成小型片狀，經並、串聯成太陽能電池板；太陽能陣列輸出電壓很不穩定，必須經電壓調節器調解才能使用，為衛星的主要電源。

2. 化學電池：通常使用性能優良的鎳-鎘(Ni-Cd)蓄電池與太陽能電池並接，在非星蝕期間被充電，而在星蝕(衛星飛越地球陰影)時，蓄電池則供電保證衛星繼續工作。

(四)衛星姿勢穩定系統

衛星在太空易受外來干擾轉矩，使衛星姿勢逐漸變化，影響到衛星天線的指向，致使通訊功能無法發揮；姿勢的穩定對衛星是一項很重要的需求，通常可分為自轉姿勢穩定與三軸姿勢穩定。

1. 自轉姿勢穩定(Spin stabilization system)：圓形桶狀衛星以其縱軸為自轉軸，做規律的自轉運動(50~1005轉/分鐘)，以得旋轉穩定。發射與接收天線群經由旋轉接頭連接，定向不迴轉。

2. 三軸姿勢穩定(three axis attitude

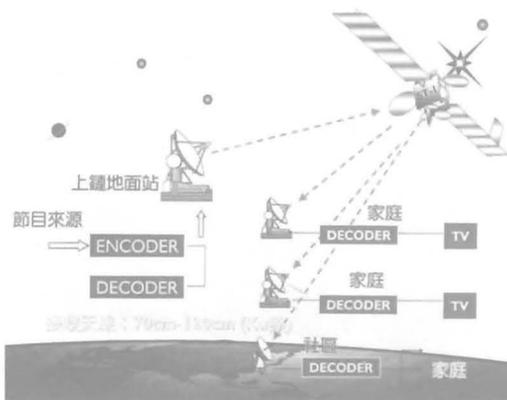


圖5 衛星轉頻器的應用 DTH

資料來源：<http://www.cht.com.tw>

stabilization)：將衛星本體區分為 X,Y,Z 三軸，在軸上放置三軸反作用飛輪(3-reaction wheel)，經由改變反作用飛輪的轉速，產生反作用轉矩，維持衛星姿勢穩定。

(五)衛星噴射系統

衛星噴射系統的作用就是要維護衛星台址。由於地球是個橢圓球體，加上月球或太陽引力，致使衛星在軌道上東西或南北漂流，當衛星漂流量超過標準時，便會啟動自備的衛星噴射系統，立即追回正確的台址。

衛星噴射系統的噴射燃料使用年限(量)與電池壽命(劣化)，往往是決定衛星壽命的主要因素。

(六)遙測追蹤及指揮系統

1. 遙測(Telemetry)：使用各種感應器和感知器，不斷測得有關於衛星姿態及衛星內各部份工作狀態等數據，經過放大、多工、編碼、調變等處理後，經遙測發射機與天線，將訊號撥回地面的遙測追蹤與指揮電台，簡稱「TT&C」電台，以便得知衛星的的健康情形。
2. 追蹤(tracking)：衛星內安裝指標信號發射機(beacon signal transmitter)，以便當衛星被發射及在軌道運行時將訊號撥回地面，使 TT&C 易於追蹤衛星。
3. 指揮(command)：指揮信號是 TT&C 將遙測、追蹤的數據計算解讀後，對衛星所下的指令，包括轉頻器的操作、台址維護、衛星姿勢變化、增益控制、備份零件交換，以及在衛星發射期間通信天線的展開、太陽能電池板的伸張、噴射系統的啟閉均包含在內。

(七)熱能控制系統

在太空環境裡，只有極端嚴寒和酷熱的環境，衛星的溫度可能從 -200°C 到 +150°C 左右，而為使衛星正常工作，必須使用熱能控制元件，使衛星達到熱平衡(白光弘，民 85)。

【衛星吸收的太陽能】+

【衛星器件產生的熱能】=

【衛星向太空輻射的熱能】

伍、衛星通訊的特性

衛星通訊在今日的資訊時代能佔有一席之地，而且日形重要，主要歸因於其優良的特性遠非其他地面通訊媒介能及，尤以衛星通訊的廣佈性、穩定性、多點通訊、建構迅速、通訊費用合理等最為人稱道。

一、無遠弗屆的涵蓋範圍

衛星通訊距離遠，涵蓋面積廣大，一個同步衛星的全球波束可以涵蓋 42.4% 的地球表面積，綿密的衛星網路已經形成，只要在服務範圍內，資訊可以送達每個用戶。

二、系統的開發擴充迅速

無纜線的架設與規劃問題，每個用戶可以在短時間內裝設完成。

三、傳輸價格不受距離影響

衛星的傳輸價格並不像線纜傳輸一般由距離決定，而是取決於頻寬、頻道數與傳輸速率。

四、不易受天然災害影響

衛星通訊的地面設施較少也較為單純，縱使受地震、颱風等天災影響，也能迅速恢復通訊。

五、高頻寬、高傳輸速率

目前 NASA (美國太空總署) 的 ACTS (Advanced Communication Technology Satellite) 衛星之通訊容量可達 1Gbps, 資料傳輸速度 622Mbps, 而商用的非同步傳輸模式(asynchronous transfer mode; ATM)服務則可以達到 45Mbps。

六、多點通訊導向系統

目前地面通訊系統多為單點對單點通訊, 透過衛星可以輕易地做到多點通訊網, 相當符合通信需求。如: Internet、遠距教學(圖 6)。

七、安裝費用不高

終端用戶設備與安裝費用的價格不高, 且不需因增加用戶而架設線路(陳志明, 民 86)。

陸、結語

衛星通訊的發展在二十世紀末又有了重大的變化。Internet 在頻寬有限、速率遲緩、使用爆炸的窘境下, 衛星通訊高頻寬、高傳輸速率的特性, 再

次受到青睞; 而衛星的個人行動通訊也在地球村即將實現的今天, 提供地球人更方便的全球行動通訊服務。在'98年 11 月 1 日已全球通話的「鈹計畫」(Iridium)全球衛星行動電話即是一例。

在地球同步軌道(Geo)日益擁擠的情況下; 1990、1991 陸續提出的衛星計畫, 鈹計畫、全球星(Global Star)、奧德塞計畫(Odyssey)、愛國計畫(Inmarsat-P)等, 全球性衛星行動通訊計畫, 均改採中低軌道衛星; 而衛星個人高速數據系統(ATM、multimedia), 也是採用中低軌道衛星, 如: 微軟的 Bill Gates 所投資的 Teledesic 計畫使用 288 顆低軌衛星(Evans, 1998)。衛星的多元發展勢所必然。

在國際通訊舞台熱鬧的二十世紀末, 我們也沒有缺席, 儘管我們不是國際電信聯合會(ITU)的一員, 我們也在 1998 年 8 月 25 日與新加坡合作發射了中新一號(ST-1)衛星, 而國科會太空計畫室在 1998 年 12 月 8 日, 已將測試完畢的中華衛星一號(ROCSAT-1)打包赴美, 排定 1999 年 1 月 27 日發射; 這在在顯示了我們於太空科技上也有了長足的進步。

如今衛星已成為我們日常生活中的一部份, 舉凡視聽廣播、數據傳輸、行動通訊、資訊高速公路等, 衛星都扮演著極為重要的角色。未來結合衛星通訊網路與地面通訊網路, 將可提供更完整的通訊服務。

參考書目

- Evans, J. V., (1998) New satellite for personal communications. *Scientific American*, 278(4), p.67-77.
- Worringham, Richard E., (1990): Satellite

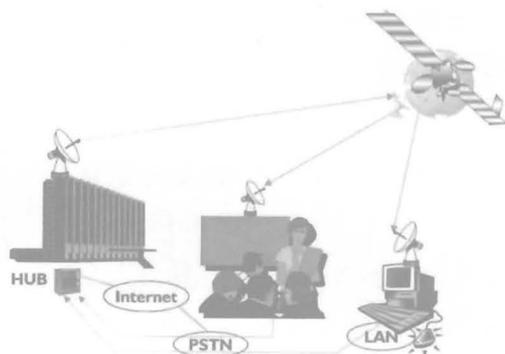


圖 6 衛星通訊的應用～遠距教學
資料來源：<http://www.cht.com.tw>

- communication: Potential for global communication or global anomy. *International Journal of Instructional Media*, 1990, 17(3), p.191.
- 戴月芳、羅吉甫 (民 87 修訂版), **台灣全紀錄**。台北: 錦繡。
- 菩提 (民 86a), 衛星通信的發展概況與未來(2), **無線電界**, 77(5), 頁 88-125。
- 馮建三譯 (民 85), **美國與直播衛星**, 原著: Luther, Sara Fletcher。台北: 遠流。
- 菩提 (民 86b), 衛星通信的發展概況與未來(3), **無線電界**, 77(5), 頁 78-86。
- 白光弘 (民 85), **太空通訊原理**。台北: 東華。
- 李福清 (民 80), **衛星通訊指南**。台北: 全華科技圖書。
- 菩提 (民 86c), 衛星通信的發展概況與未來(4), **無線電界**, 77(6), 頁 90-101。
- 吳俊弦 (民 87), 中華衛星一號 RO-CSAT-1。通訊雜誌, 59 期, 頁 66-70。
- 通訊編輯 (民 85), 通信衛星的組成。通訊雜誌, 30 期, 頁 44-46。
- 陳志明 (民 86), 衛星通訊技術的演進與展望。通訊雜誌, 38 期, 頁 23-26。
- (作者現為國立台灣師大工技系碩士班研究生)



壓力的處理方式

善於處理壓力(stress), 才能有益身心健康。J. J. Littrell 等人建議下列處理壓力的方式: (1)保持積極態度, (2)注意生理健康, (3)向合適的人說出困擾, (4)學習管理時間, (5)認清自己的極限, (6)學習與人合作, (7)找出消除壓力方法, 和(8)花點時間紓解身心。(李隆盛)