

福衛遙測任務的 啟動者

黃楓台

福衛遙測任務是一個封閉的迴路，
其啟動者便是衛星遙測的排程與規劃。

監測地球的必要

我們處在一個每天都在變動的地球上，不論是自然的或人為的災害，往往對人類生存產生巨大的影響；而都市發展與農業生產的規畫，也關係到文明的永續發展。因此，我們必須時時監測地球上的變化，做為事前防範與事後評估的參考。

目前，許多國家都把國土監測與災害防治列為優先的施政重點。做為眾多對地觀測的平台，遙測衛星一直扮演著非常重要的角色，目前已超過 25 個國家擁有各種不同解析度的遙測衛星。

遙測衛星因繞行地球運轉，能夠大面積取像，並在一天至數天內對相同的地區取像，因而可以周期性地針對某一地區進行大範圍拍攝，達到國土與災害監測的目的。面對不同且龐大的衛星影像需求，如何善用有限的衛星資源以獲取最大的效益，並滿足客戶的需求，是衛星遙測任務規劃與排程最重要的工作。

我國的遙測衛星

我國第 1 顆遙測衛星「福衛二號」於 2004 年 5 月 21 日發射升空，至今仍在運轉中。另外，已完成的第 2 顆遙測衛星「福衛五號」，預計在 2016 年第 2 季發射。

福衛二號是我國首顆完全自主擁有的高解析度遙測衛星，衛星向地心方向取像的寬度是 24 公里，可以提供 2 公尺解析度的黑白影像與 8 公尺解析度的彩色影像。

福衛五號則是我國第 1 顆完全自主發展的高解析度遙測衛星，與福衛二號的取像寬度相同，但可以提供 2 公尺解析度的黑白影像與 4 公尺解析度的彩色影像。二者統稱為福衛遙測衛星。

如何善用有限的衛星資源以獲取最大的效益，並滿足客戶的需求，是衛星遙測任務規劃與排程最重要的工作。

取像任務的安排

福衛遙測衛星每天取像的任務是由操作人員依據客戶的需求，考量各項因素後，操作排程系統產生遙測取像工作的任務時序報告，包含每一次取像時衛星開始轉動的時刻與所需的時間，衛星開始拍攝的時刻與所需的時間，以及其他取像所需的資訊。

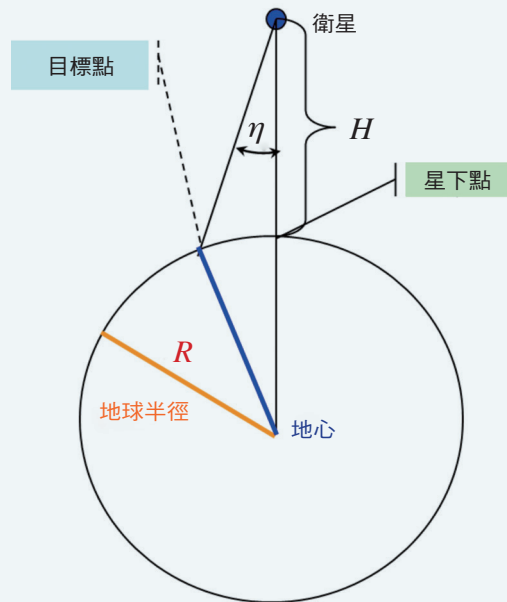
任務時序報告送到衛星操控中心後會產生一系列的衛星指令，當福衛遙測衛星通過台灣上空時，利用位在中壢或歸仁的遙傳追蹤站把指令傳送到衛星上，衛星就會按照事前規劃的時間順序執行取像的工作，同時把影像資料存放在儲存器中，並在指定的時刻傳到地面接收站，最後把影像的快覽圖傳回太空中心影像處理中心。操作人員可以經由快覽圖判斷是否滿足客戶的需求，決定是否針對該區域繼續或停止拍攝。

因此，整個福衛遙測任務是一個封閉的迴路，而整個遙測任務的啟動者便是衛星排程與規劃。

目前，福衛遙測衛星系列都屬於光學遙測衛星，也就是利用太陽光經地表反射後進入遙測影像儀而取像。在規劃拍攝任務時，考量的因素主要包括衛星的性能、衛星飛行通過的地區、地面上的限制等。另外，若是有多顆遙測衛星則有更多的考量。

衛星性能的考量

衛星性能方面必須注意的是它的視角限制、改變姿態所需時間、儲存容量限制，以及電力與熱限制。



衛星沿著飛行方向的左右轉一個角度可以增加對地表觀測的範圍，這一範圍稱為可視域。視角越大，可以拍攝的可視域越廣，影像的地面寬度會增加，但解析度會變差。此外，所拍攝的影像如高山或樓房就好像平躺在地上一樣。

取像區域的位置若不是位於衛星遙測影像儀鏡頭的正下方（星下點），衛星必須改變本身的姿態使遙測影像儀鏡頭指向取像區域，才能拍攝到目標區域。其改變的姿態量越大，所需轉動的時間也越長。若衛星能夠快速進行不同姿態的轉換，便能夠在同一軌道對更多的目標區域取像，新一代高性能遙測衛星大都具有這一性能。

衛星完成對地取像後，若附近區域沒有地面接收站，或無法透過中繼衛星把影

像資料傳回地面時，則必須先暫存在衛星上的固態儲存器中，直到資料下傳至地面接收站為止。由於儲存器的容量有上限，為了能獲取最多組的影像資料，因此單次取像的資料量，也就是取像時間的長度受到一定的限制。

除非攜帶核能動力發電，絕大部分的衛星必須靠太陽能板獲取電力，才能長期在軌道上運行。此外，遙測影像儀需考慮溫度因素，無法長時間連續取像，避免過熱與消耗過多的電力。福衛遙測衛星每一軌道可以取像的時間是 8 分鐘，且可在同一任務軌道進行多次開關，因此能對南、北兩端相距超過 8 分鐘衛星飛行距離的目標在同一任務軌道取像。

衛星通過地區的考量

衛星通過的地方主要由其軌道決定，實務上，光學遙測衛星常選擇的軌道有太陽同步軌道與傾角軌道兩種。

大部分的光學遙測衛星是以太陽同步軌道為運行的軌道，因為地球是一個南北極較扁的橢球體，所以衛星繞行地球的軌道面會隨時間而改變。當軌道面繞地球自轉軸的速率和方向與地球繞太陽公轉一圈的速率和方向相同時，這種軌道稱為太陽同步軌道。

太陽同步軌道的主要特徵是，一年四季衛星軌道面與太陽的夾角都保持相同，因此衛星通過同一緯度地區的時間、太陽能量的接收量，以及衛星處於太陽被地球遮住照射區域的時間變動最小。這些特性不僅可以降低地面上影像處理與判識的困難，也能簡化衛星的設計。

軌道高度在 400 ~ 1,000 公里的太陽同步圓形軌道，其軌道傾角約介於 97 度與

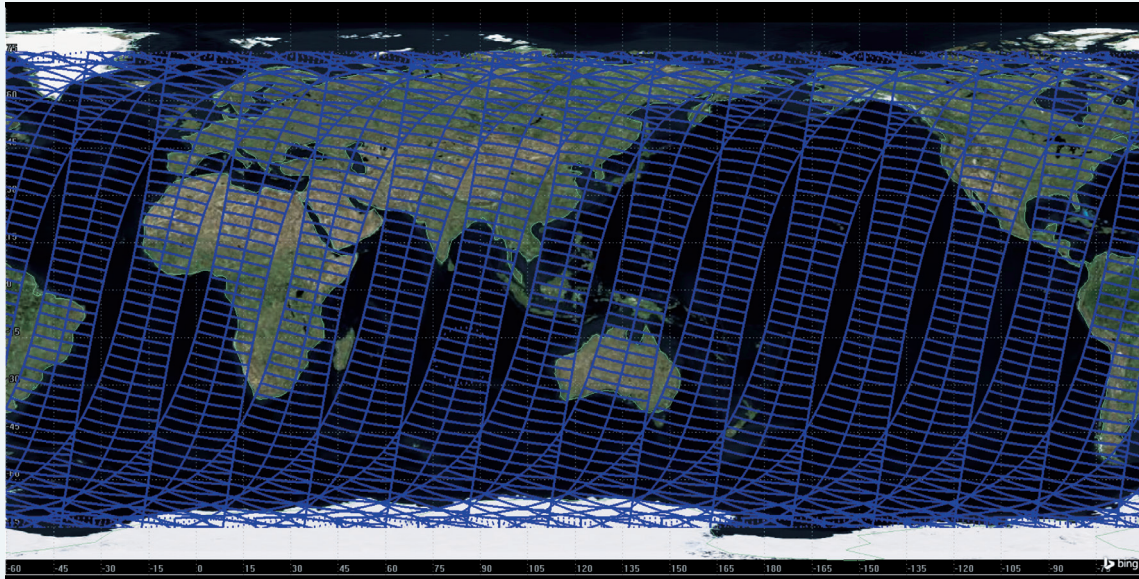


衛星必須靠太陽能板獲取電力，才能長期在軌道上運行。（圖片來源：種子發）

99.5 度之間，因此地面軌跡涵蓋的範圍可以達到南北緯 83 度與 80.5 度間。

再者，透過適當衛星軌道高度的選擇，太陽同步軌道的地面軌跡會在繞行地球 D 天 R 圈後產生重複的現象，其中 D 與 R 互為質數。以 400 ~ 1,000 公里高度的圓形太陽同步軌道來說，只有兩種高度具有每日再訪 ($D = 1$) 的特性，分別是繞行地球 14 圈 ($R = 14$) 的 888 公里，以及繞行地球 15 圈 ($R = 15$) 的 561 公里。由於後者的軌道高度較低，受到大氣阻力的影響較大，執行軌道維護工作比較頻繁，因此太空中心選擇前者做為福衛二號的任務軌道。

此外，在 400 ~ 1,000 公里高度間，具有兩日再訪 ($D = 2$) 特性的軌道也有兩種，分別是繞行地球 29 圈 ($R = 29$) 的 720 公里，以及繞行地球 31 圈 ($R = 31$) 的 411 公里。基於上述同樣的道理，太空中心選擇 720 公里高的太陽同步軌道做為福衛五號的任務軌道。



福衛二號地面軌跡與取像涵蓋範圍，藍色右上到左下線條是 14 條軌道地面軌跡，橫線區域是 45 度視角範圍。

從福衛二號在 45 度視角的取像涵蓋圖，可以看出在赤道附近，有許多地方在這視角限制下，是福衛二號無法拍攝到的區域。福衛五號兩天再訪，在 45 度視角限制下，可以拍攝全球大部分的區域。

衛星運行的軌道面與赤道面的夾角不等於 0，且軌道面繞地球的速率不等於地球繞太陽公轉一圈的速率的軌道，稱為傾角軌道。

就實務上來說，採取傾角軌道的衛星其傾角都在 60 度以下，地面軌跡涵蓋的南北緯範圍與傾角相同，不如太陽同步軌道的範圍大，但透過轉動衛星改變視角可以增加對中低緯度地區的取像次數，因此有越來越多的民用遙測衛星採用傾角軌道。傾角軌道的缺點是對同一地區每次取像的光照條件不一致。

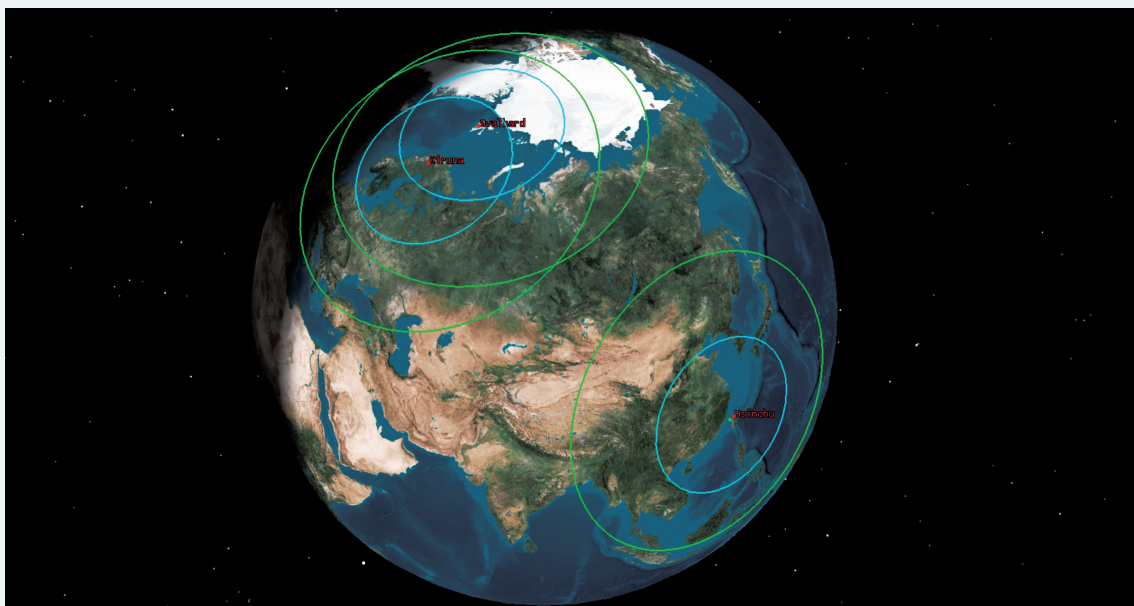
例如，馬來西亞遙測衛星 RazakSat 選擇高度 685 公里、傾角 9 度的傾角軌道，埃及遙測衛星 EgyptSat-2 選擇高度

700 公里、傾角 51.6 度的傾角軌道，而已在 2015 年 12 月中發射的新加坡遙測衛星 TeLEOS-1，選擇高度 550 公里、傾角 15 度的傾角軌道。馬來西亞與新加坡選擇這些近赤道軌道，主要原因是這些國家都位在赤道附近。

地面上的限制

在地面上的限制方面，操作人員必須考量地面站的可得性及其接收仰角的限制。針對光學遙測衛星取像，天氣也是一個非常重要的考慮因素。最後是客戶的需求。

除非衛星能即時把拍攝的影像資料下傳到地面接收站，否則必須暫存在衛星的固態儲存器內，直到接觸到地面接收站可接收的範圍下傳資料為止。因此，若在衛星行經的每一軌道地區附近設置地面接收站，讓拍攝的衛星影像資料能趕快下傳，則衛星可以增加每天拍攝的影像資料量。



福衛遙測衛星接收站的位置及其接收範圍，藍色圓圈代表 20 度仰角接收範圍，綠色圓圈代表 0 度仰角接收範圍。

但實際上，廣設地面接收站並不符合成本效益。以太陽同步軌道衛星而言，它的地面軌跡可達到南北緯 83 度與 80.5 度間，衛星每天通過高緯度的次數較多，因此只要在高緯度地區有一個地面接收站，就可以增加衛星與接收站接觸的次數。以福衛遙測衛星為例，太空中心除了台灣外，在北極圈內挪威的斯瓦巴（Svalbard）也有接收站。一旦衛星進入接收站接收範圍，便可以下傳儲存器上的資料。

接收站的接收範圍會受到天線可接收仰角的影響，可接收的仰角越高，則衛星與接收站的接觸時間越短，能夠下傳的影像資料量越少。反之，可接收的仰角越低，

則衛星與接收站的接觸時間越長，能夠下傳的影像資料量越多。但低仰角接收由於衛星與接收站距離太遠，有時會無法順利接收到影像資料。

光學遙測衛星無法如合成孔徑雷達遙測衛星一般，可以藉由主動發射雷達波穿透雲層觀察地表現象，因此拍攝目標點的雲覆量高低是取像成功與否的最重要因素。操作人員每天執行遙測任務的規畫時，除了考量上述因素外，也要考慮取像地區當地的天氣狀況。太空中心為了提高福衛遙測衛星的使用效率，避免拍攝到過多雲覆量的影像造成資源的浪費，在拍攝前會利用全球雲量預測資訊系統的雲覆量預測做

福衛五號發射進入軌道後，可與福衛二號組成一個台灣遙測衛星星系，對於遙測任務的規劃與排程則帶來新的挑戰。

為每日取像排程的參考，以提高取像的成功率。

客戶對於遙測衛星影像的需求，除了要求雲沒有遮蔽到客戶有興趣的地方，以及是否允許影像有薄霧或沙塵外，就是對於取像的時間有一定的限制。依據不同的應用，客戶會要求每隔一段固定的天數取像，如此才能觀測定點與定期的變化。

多顆遙測衛星的考量因素

近年來，單顆遙測衛星所拍攝的影像已不符人們對衛星影像的需求，因此有越來越多的國家或私人衛星影像公司發射多顆遙測衛星來因應。福衛五號發射進入軌道後，也會與福衛二號組成一個台灣遙測衛星星系。多顆遙測衛星除了可以提升總體對地的覆蓋率外，也可以增加對地的觀測頻率，但對於遙測任務的規劃與排程也帶來新的挑戰。

多顆遙測衛星的任務規劃與排程除了考量上面所述的因素外，另外主要考慮的因

素是每顆衛星的負載平衡，也就是說每顆衛星所擔負的取像任務工作要平均，而不是僅仰賴單一顆衛星拍攝。在地面接收站方面，則要考慮多顆衛星同時進入接收範圍時，選擇哪顆衛星優先下傳影像資料。

做為衛星遙測任務的啟動者，任務排程與規劃是一件複雜的工作。唯有就各項技術、環境、客戶等因素綜合考量，才能有效運用遙測衛星有限的資源，以獲得最大的效益。

黃楓台

國家實驗研究院國家太空中心

