

人造衛星的觀測法

何耀坤 編譯

臺南市私立光華女中

我國交通部最近發表正擬定通信衛星發展策略，將努力推動國內衛星科技發展。因為過去根本沒想到今日的衛星會在國際通訊等各方面扮演如此重要角色，希望將來自己擁有二億美元的衛星。今年四月下旬國內舉行了太空企業研討會，呼籲我們應爭取太空權利，開發太空工業市場。人造衛星的觀測和製造是最基本科技，是將來必受注目的問題。

人造衛星搭載測定儀器，將觀測結果用電波送回地球，這只限於發射國家的工作。至於人造衛星的位置測定，使用電波並用光學望遠鏡攝影。這種工作由專門技術人員使用複雜儀器作精密觀測外，同時動員許多業餘天文觀測人員組織觀測網。發射人造衛星的火箭須用各種方法誘導到正確的預定軌道上，這種作業相當困難。所以發射人造衛星後很難推測衛星的未來位置，但必須正確計算才能把握衛星的運行軌道。天文台的精密測定裝置也要事先靠大略上的軌道決定後才能使用，所以發射後必需動員業餘觀測人員，根據觀測資料計算大略上的衛星軌道。

事實上預測人造衛星的未來位置和觀測現在有許多困難，因為人造衛星和一般天體不同，有大氣的抵抗，所以其周期常變化。這種變化到底根據什麼法則，現在無法明白。觀測人造衛星另一困難，送上衛星的火箭雖然明亮，但是衛星本體以肉眼無法看見，而且運行速度很快，不易把握。例如蘇俄的人造衛星 1957 $\alpha 2$ ，雖設有六十個觀測小組，事實上只觀測到七次而已。發射衛星使用的最後一節火箭，無論美國的或蘇俄的都和衛星相接繞軌道，所以比較明亮而業餘者也容易可觀測。這種觀測現在有相當的學術價值，所以業餘者的觀測必須求正確。例如有人將觀測結果報告天文台說：「人造衛星在幾月幾日幾分看到在○○星座」，這種不夠詳細的報告無多大價值。位置的描述應計到角度 10 以內，時刻要計至 1 秒以內才行。

本文為希望有機會實際觀測人造衛星的人士，提供觀測的資料，如其光度（明亮度），觀測地點的選擇，衛星的運行情形。至於觀測前的準備，記錄的方法和實際問題希望在下次有機會報告。

一、人造衛星的光度

(1) 人造衛星光度之決定要素

人造衛星的表面設計，一般磨光如鏡面，少數用亂反射面，是第一要素。第二是表面反射率之大小，以完全不吸收光時為 1，吸收全部光時為 0，實際的都是其中間值。看起來較暗的其反射率小，人造衛星的設計其反射率近於 1。第三要素是人造衛星的形狀和大小，大多設計為球狀，本文記述的衛星以球狀為原則，其大小用球半徑表示。第四是觀測者和人造衛星的距離，第五是人造衛星被太陽光照射的方向和觀測者的方向角度（稱位相角）。如圖 1，A 為觀測者，B 為太陽方向，S 為人造衛星時 $\angle ASB$ 為位相角，以 θ 表示，位相角變化時人造衛星光度也變化。如果人造衛星表面為鏡面時，若位相角變化，光度不變。若表面亂反射時，位相角愈大，光度變很暗。

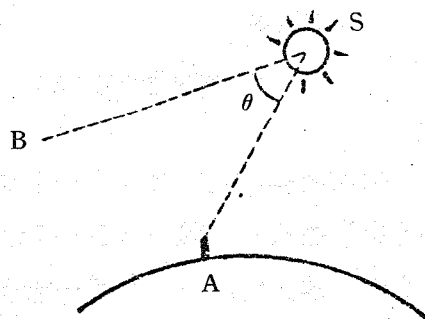


圖 1 位相角

如果黃昏時人造衛星出現於西空，位相角大，若衛星表面亂反射時就變很暗，所以在黃昏時難觀測。若表面為鏡面時其光度不變，在拂曉時出現於東空時也一樣。人造衛星的光度也用星球光度等級表示，光度每增 2.5 倍，就減少一等，例如金星最亮時為 -4 等，6 等以上的以肉眼看不見。

二、人造衛星的光度計算法

如果衛星表面為鏡面時，可用下式計算。

鏡面反射的人造衛星之等級 = -25.2 (詳細看註 1)

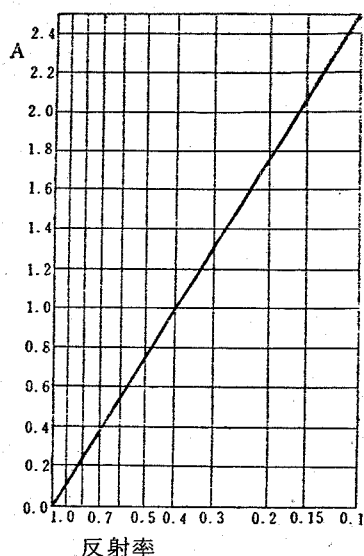


圖 2 由反射率決定的量 (A)

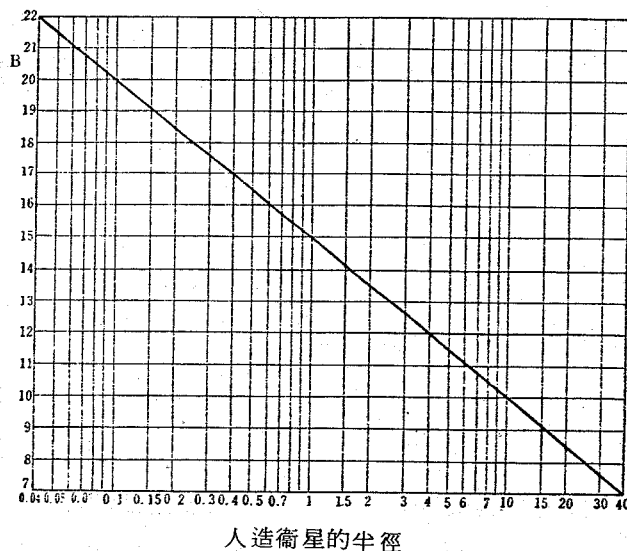


圖 3 由半徑決定的量 (B)

- + (由反射率決定的量 = A … 看圖 2)
 + (由半徑決定的量 = B … 看圖 3)
 + (由距離決定的量 = C … 看圖 4)

【註 1】

設 m 為人造衛星的等級， $m_{\odot}$ 為太陽的等級， k 為反射率， a 為人造衛星的半徑， r 為和人造衛星之間距離，那麼：

$$A = -2.5 \log k$$

$$B = -5 \log a$$

$$C = 5 \log r$$

$$D = -2.5 \log [(\pi - \theta) \cos \theta + \sin \theta]$$

因為鏡面反射時：

$$m = m_{\odot} + 5 \log 2 - 2.5 \log k - 5 \log a + 5 \log r$$

亂反射時：

$$m = m_{\odot} - 2.5 \log \frac{2}{3\pi} - 2.5 \log k - 5 \log a + 5 \log r$$

$$- 2.5 \log [(\pi - \theta) \cos \theta + \sin \theta]$$

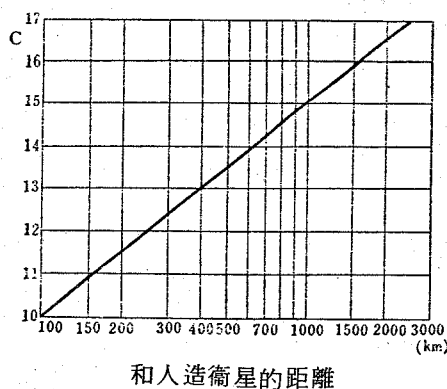


圖 4 由距離決定的量 (C)

(計算例 1)

設半徑 25 cm，反射率為 1，表面為鏡面的球形人造衛星，從觀測者離 500 公里時，問其光度幾級？

解法：	常數項.....	- 25.2	
	從圖 2 得 A.....	+ 0.0	
	從圖 3 得 B.....	+ 18.0	
	從圖 4 得 C.....	+ 13.5	+
		+ 6.3	
			答：6.3 等級

從這計算可知，人造衛星本體以肉眼看不見。若表面為亂反射的人造衛星，須用下式計算。

從(1)式：常數項 (= -25.0) + A + B + C + D(2)式

(2)式和(1)式比較，常數項數值不同，最後加由位相角決定的量 D (看圖 5)。

(計算例 2)

設半徑 25 cm，反射率為 1；表面亂反射的球形人造衛星，從觀測者離 500 公里時，位相角各為 45°，90°，135° 時，其光度各幾等級？

解答：公式(2)的四項之和為

常數項.....	- 25.0
A	0.0
B	+ 18.0
C	+ 13.5
	+ 6.5

位相角 45° 時的 D - 1.0

位相角 90° 時的 D 0.0

位相角 135° 時的 D + 2.2

所以	位相角 45° 時光度 = + 5.5 等	}	答
	位相角 90° 時光度 = + 6.5 等		
	位相角 135° 時光度 = + 8.7 等		

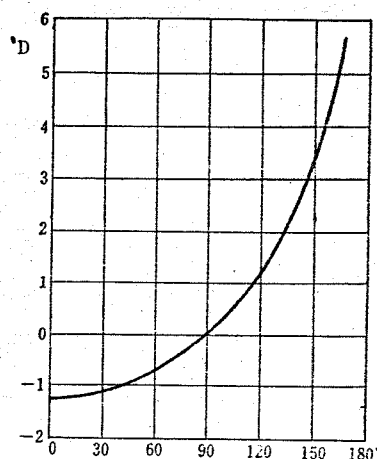


圖 5 由位相角決定的量 (D)

位相角增加時衛星光度會很暗，若表面為鏡面時光度變化少。上述假定地球大氣透

明而無雲霞時，事實上地平線附近有大氣減光現象，看起來很暗。根據實際經驗，人造衛星常從地平線 10° 左右高度突然出現，所以不可只注意地平線附近。人造衛星的火箭因為形狀細長，表面有花紋並迴轉着，很會發光。按照美國人造衛星計劃，最後節火箭要使迴轉，但受地球磁場影響產生渦電流，不久就減衰而停止。衛星的變光觀測對地磁的強度能提供重要資料，所以人造衛星的變光觀測是重要的。

三、人造衛星的觀測地點

圖 6 中 O 為地球中心， RPQ 為地球， P 點為觀測者。假設人造衛星在自地上高度 h 公里的球面軌道上運行（在弧 ACB 球面上），那麼人造衛星被觀測發現，必在弧 ACB 球面範圍的地平線上。實際上人造衛星在地平線上時，由於大氣減光和雲霞遮住，而沒有機會能看到。依照過去觀測經驗，人造衛星未曾出現於地平線高度 10° 以下位置。所以本文假定人造衛星出現於地平線高度 10° 以上，是等於圖 6 的 $A'B'$ 之間。圖 7 表示人造衛星從地上高度和從地平線高度，以及從觀測者和人造衛星直下點之距離關係。圖中斜寫的數字是從地表高度以公里表示，相當於圖 6 的 h 之量。圖 7 的橫軸 $\Delta\varphi$ 表示從地球中心看觀測者的方向，以及和人造衛星的角，相當於圖 6 的 $\angle POS$ ，其 1° 相等於地上距離 110 公里。縱軸 a 是表示從地平線的高度，如人造衛星地上高度 500 公里時，從觀測地之距離為 14.2×110 公里，約在 1600 公里範圍內，人造衛星若進入這範圍時就可觀測。在這觀測條件之外，要等人造衛星還沒進入地球影內，而且要在黃昏或凌晨天空稍暗時才能觀測。

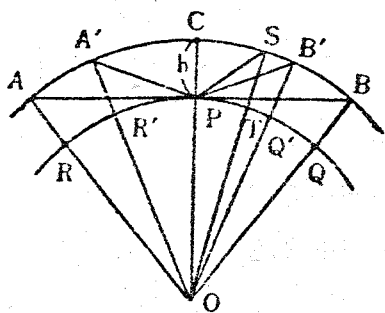


圖 6

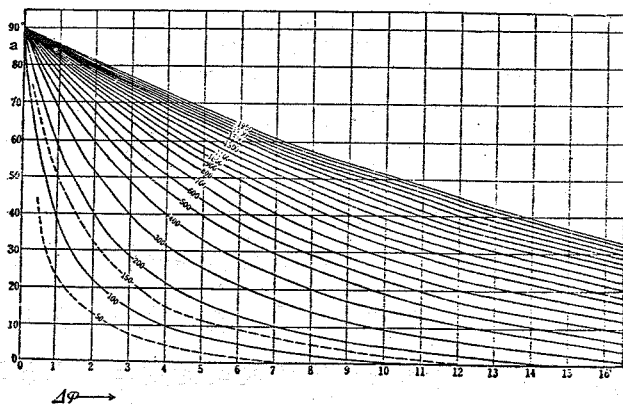


圖 7 人造衛星的高度和其直下點之距離關係

四、人造衛星的運行情形

人造衛星運行軌道之速度，離心率大時在近地點較遠地點快，若是圓軌道時周期愈短運行愈快。軌道上的速度不大受周期變化影響，例如周期 90 分鐘時軌道上速度每秒 7.7 公里，周期 120 分鐘每秒 7.0，變化不多。我們從地上看人造衛星時較其軌道半徑更近距離，所以觀測當中人造衛星好像直線運動，大致來說如圖 8，從某一點觀測

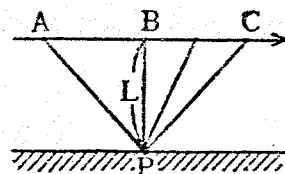


圖 8

時正在一直線 ABC 上每秒以 7.0~7.7 公里之速度運行，這時看到的衛星之方向變化稱外表的角速度。看起來最大時恰和我們最接近，這時觀測者 P 和衛星連結線 BP 和衛星經路 ABC 成垂直（圖 8），其前後的外表角速度會變小。圖 9 表示人造衛星的周期為 90 分和 131 分時，人造衛星和觀測者接近的距離和那時的外表角速度之關係。從圖 9 可知，人造衛星周期 96 分，和我們最接近時的距離為 500 公里時外表角速度每秒 $0^{\circ}.87$ 。一般而言，人造衛星的外表角速度很小每秒 1° 。

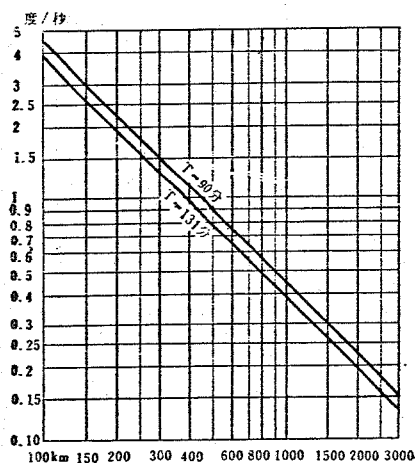


圖 9

那麼人造衛星從出現至消失有多少時間呢？

大多時在地平線上方突然出現而突然消失，不容易決定時間。假設人造衛星從地平線高度 10° 地方出現而通過天頂，後來到相反側地平線高度 10° 地方消失。那麼周期 90 分圓軌道時其間時間約 4 分鐘，周期 96 分時約 6 分鐘。可是大多人造衛星通過離天頂相當偏差，並途中消失不見，其間約 2 分鐘，最少也有 1 分鐘。也許有人將流星看錯為人造衛星，若是流星其外表角速度每秒約 10° ，易分別。凡在視野內以一秒以內橫過的是流星，人造衛星約 5~6 秒。可能最易看錯的是夜間的飛機，因其外表角速度和光度相似人造衛星。

五、由於軌道傾斜之大小而所看的差異

人造衛星能觀測到的時間，由其飛行方向，觀測可能日期，及軌道傾斜角之大小，

各有不同。例如蘇俄的人造衛星的軌道傾斜角和臺灣的緯度差很大或小，若比臺灣的緯度更小時從臺灣無法看到。若其軌道傾斜角比臺灣緯度大時，有下列兩種情形：①從西南向東北飛行（稱上行），②從西北向東南飛行（稱下行）。無論上行或下行，有時在拂曉，有時在黃昏才能看到，所以一共有四種不同情形，這四種情形和季節有關，圖10是根據蘇俄人造衛星第一號計測的。圖中(1)是春分或秋分時，拂曉觀測時上行，下次拂曉時下行，再來是黃昏上行，最後黃昏下行，再隔若干日拂曉上行。拂曉下行至黃昏上行間時間最短，黃昏上行至傍晚下行間，以及拂曉上行至拂曉下行間最長。到冬至時拂曉上行至拂曉下行，黃昏上行至黃昏下行，時間之長短不明，但黃昏下行至拂曉上行之間隔會變短，自拂曉下行至黃昏上行時間變長。夏至時（圖10之(3)）這兩種順序會變化，先觀測到拂曉上行，次之黃昏上行，拂曉下行，最後黃昏下行。

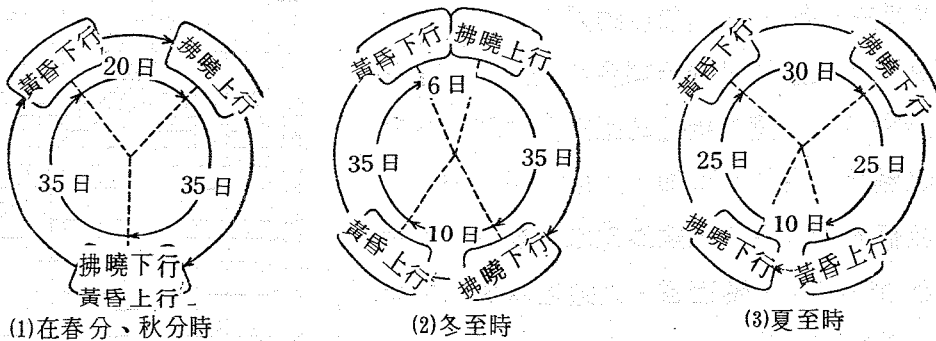


圖 10

人造衛星軌道傾斜角和臺灣緯度相同時，情況和上述完全不同。這裏就周期為一天的整數分之一記述，因為這周期是現在美國及蘇俄的人造衛星計畫所採用的，今後也以這周期發射可能性大。假設人造衛星首先發現於拂曉時，在東南海上從西南向東北方向飛行，可知已進入觀測期。2至3日後從西南通過天頂向東北方，以後地平線上從西向北飛行。第六天從西北出來，在北空向東飛，向東北方向下沉。第十一天從西北方上升，通過天頂向東南下沉，觀測期算一段落。觀測上只有拂曉和黃昏之別，沒有上行和下行之別。觀測期約二星期，其中心日稱觀測中心日，從拂曉觀測中心日到黃昏觀測中心日之間隔由季節各不同。圖11是根據美國太空 Vanguard 計畫（1958～1959年間）發射的地球觀測用的人造衛星（ $i = 40^\circ$ ）之觀測記錄為例，衛星的軌道傾斜角之大小比較，大時觀測可能日期不長，各季節約五天左右。從拂曉上行觀測可能日到下次拂曉觀測可能日（等於衛星軌道面一周）約90天，只有四分之一日數可觀測。若軌道傾斜

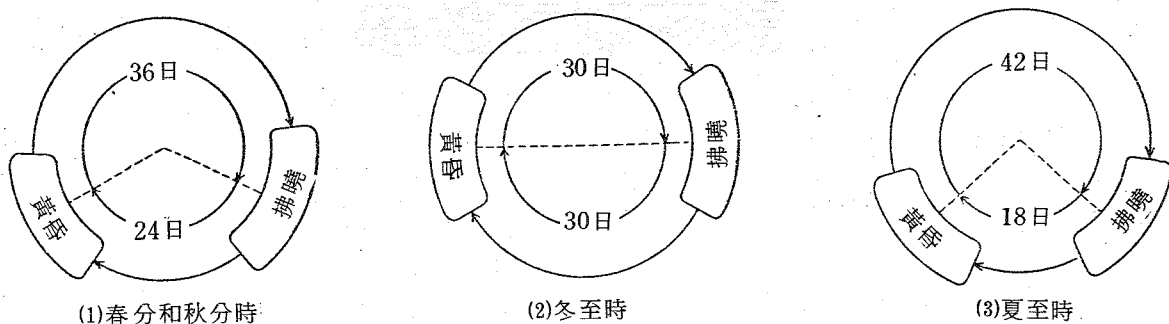


圖 11

角小時，繼續觀測日數就長，觀測可能日比率也多，但是能觀測的地區變窄小。例如 1958 年 α 衛星（軌道傾斜角約 $33.^\circ 5$ ），發射後隨時進入觀測可能期間，應該能觀測兩星期，但是太暗，只能觀測一次而已。若軌道傾斜角大時，由於地球赤道（稍膨大）的軌道之攝動而變複雜，近地點的運動或離心率之變化大。所以發射衛星的傾斜角之大小各有一長一短，視發射目的而定。

例如 1958 年 1 月 31 日發射的美國人造衛星一號（1958 α ），從約 1000 公里距離觀測時，看起來相等於 8 等級光度。若此衛星表面為鏡面，反射率為 1 的球，適用上述(1)式計算，其半徑約 21 公分。其實是長 2 公尺，直徑 15 公分之圓筒，所以反射率小，一般業餘者困難觀測。最近美國發射了數個較明亮的人造衛星，一般業餘觀測者的作業較容易。希望以肉眼看人造衛星的人，請參考日本誠文堂新光社發行的「天文ガイド」雜誌，每月都有人造衛星的預報。

【主要參考書】

- 人工衛星之觀測法……………關口直甫（恒星社）
 飛翔體……………井戶剛（日本經濟新聞社）
 現代的ロケット……………井戶剛（岩崎書店）
 天文ガイド……………誠文堂新光社