

氣象衛星簡介

羅國誠、吳安倉、張鈺雪

空軍航空技術學院

摘要

氣象衛星所在位置居高臨下，觀測不受國界和時間的限制，而且觀測範圍大，可長時間連續觀測不受到干擾，能直接以圖像的方式反映，觀測尺度大至行星尺度(如洋流，副熱帶高壓)小至對流尺度(如雷雨胞)的天氣系統。氣象衛星也可與地面氣象觀測設備互補，以彌補觀測設備之不足，本文將針對其觀測特點，運行軌道、衛星雲圖及各國氣象衛星加以介紹。

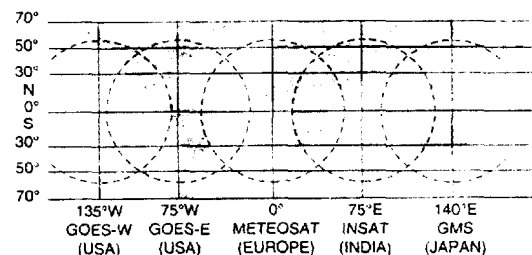
關鍵詞：氣象衛星、衛星雲圖

壹、氣象衛星觀測的特點

氣象衛星資料除提供地面鋒面及高低壓、高空槽、脊線與噴射氣流等中緯度天氣系統外在辨認導致豪(大)雨之中尺度對流系統、颱風中心之定位及強度估計。以及寒流動向之追蹤等扮演十分重要的角色。氣象衛星觀測範圍大，由於繞極氣象衛星在空間軌道上繞地球轉一圈時，地球同時自轉過一定角度，衛星觀測的地點相應的發生變化，這兩種運動的結合使衛星能週期性地觀測到地球上的每一個地區，實現全球觀測。而一顆地球同步衛星可以觀測到地球表面的五分之一的面積，在地球赤道上空等距離佈置 5 顆氣象同步衛星分別為 135°W 的 GOES-W、75°W 的 GOES-E、0° 的 METEOSAT、75°E 的 INSAT 及 140°E 的 GMS 衛星(圖一)，既可以監測全球天氣的變化。

因此氣象衛星除可提供天氣預報與颱風和豪雨警報參考，並可作為規劃飛機航線及船舶航路，觀測大氣水汽，大氣、陸地及海面溫度，推算風場和垂直剖面資料已提供數值天氣預報初始資料以及提供氣象學術研究

及教學使用，因此氣象衛星也是最好的觀測工具之一。

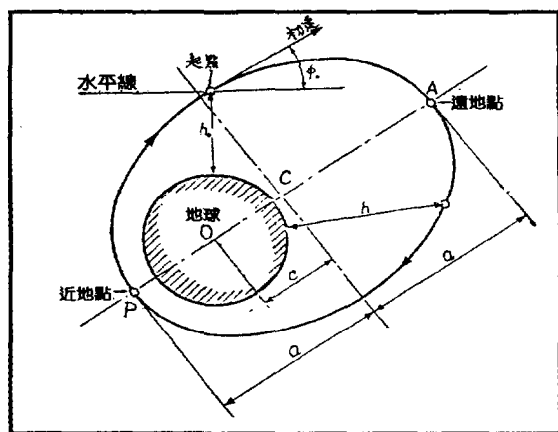


圖一：五個同步衛星所觀測的地區示意圖
(1993 年第二個 Meteosat 取代在 75°W 的 GOES-EAST，而 GOES-EAST 移至 112.5°W)

貳、氣象衛星的行進軌道及種類

如果氣象衛星投射方向為水平且投速恰等於圓週速度，則其理論軌道以地球中心為圓心的正圓，則此衛星沿此圓周繞地運行，運行高度不變，且和投射點的高度相等。然而實際發射，投射方向甚難絕對水平且投射速度也決不易恰等於應有的圓周速度，因此衛星的軌道，成為正圓的機會極少。換言之，祇要發射方向稍有偏差，或初速較圓周速

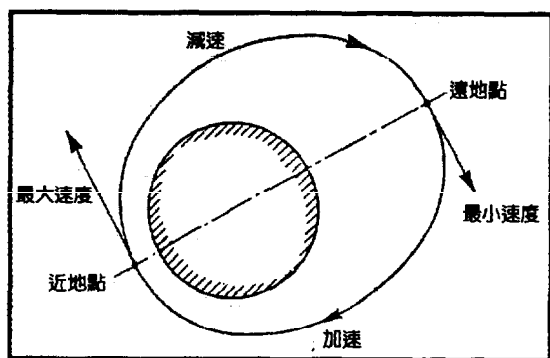
度稍有出入，則衛星的軌道將為橢圓而非正圓，而地球中心為此橢圓的焦點之一，示意請見圖二。



圖二：人造氣象衛星運行軌道示意圖。

ϕ_0 ：投射角， h_0 ：起點高度， h ：軌道上任一點高度， AP ：橢圓的長軸，偏心率= c/a 。

一個人造氣象衛星若為一正圓軌道運行，不但它對地高度不變，且其速度大小也不變，但如果軌道為橢圓形，它的速度將因其位置而變，即：離地越近，速度越大；離地越遠，速度越小。換言之，衛星自遠地點移向近地點時，速度逐漸增加，至近地點處達最大；反之，速度逐漸減少，至遠地點處達最小(圖三)。



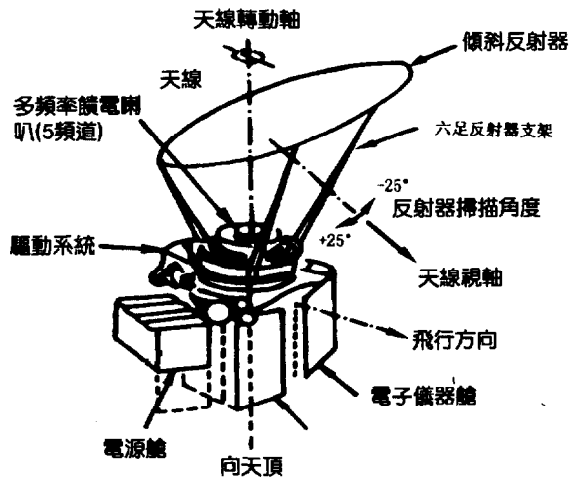
圖三：人造氣象衛星的速度的變化

氣象衛星按軌道分為繞極氣象衛星和地球同步衛星兩種。距地面高度一般為600-1500km，該衛星所運行的軌道幾乎固定在太空中，運行軌道的每一圈都要經過南北極，繞地球一周約需100min，近赤道處，衛星連續通過所掃描的面積(稱為刈幅:swath)每次幾乎相鄰，更往極區，連續通過的刈幅則重疊。每一刈幅通常約有2600公里寬，而一顆衛星每天有14個軌道，可提供全球兩次資料。繞極軌道衛星上之輻射儀不斷地指向地球，影像被在衛星上一鏡頭以直角對著軌道一條一條地掃描而成。

地球同步衛星的運行軌道是在赤道上空約35,800公里處環繞地球，因該衛星運行週期為24小時，其運行週期與地球環繞地軸的週期同步因此稱為同步衛星，衛星相對靜止於赤道上空一點，可對赤道為中心南北緯各 60° (為全球的五分之一)進行連續的氣象觀測。如果有5顆衛星均勻分佈在赤道上空，就能對全球中，低緯度地區的天氣進行連續監測，並追蹤變化快的中小尺度天氣系統。

參、星載遙感儀器

微波輻射計：微波輻射計是由天線、微波接收機及資料處理部分所構成，圖四為SMMR多頻道掃描輻射計，天線沿著衛星運動方向作左右 $\pm 25^\circ$ 的掃描，接收的微波輻射送入線路，對空天線測得的大氣輻射作為參考信號也送入線路。兩個信號經處理後，由衛星發射系統將信號發送給地面衛星資料接受站作進一步處理，可以獲得大氣溫度、水汽隨高度分佈的資料。



圖四：SMMR 儀器圖

紅外輻射儀：紅外輻射儀是測量紅外輻射能的儀器，主要是由光學接收系統和紅外感應器所組成，附圖為此種儀器的光學系統，此系統位於衛星底部，其前面為旋轉掃描鏡，與旋轉軸成 45° 角，轉速為每分鐘 48 轉，對地球進行掃描觀測，紅外探測器將光能量轉換為電信號，可見光被分裂器折射入光敏二極管，二極管再將可見光能量轉成電子訊號，這兩種電子訊號經過調整後，由衛星上的發射機發射回地球上的衛星地面資料接收站，這些訊號經處理就可以得到可見光和紅外線雲圖。

輻射儀的掃描策略，本文以 GMS 衛星上裝載的輻射儀為例，GMS 衛星上裝載的輻射儀為紅外線和可見光自旋掃描輻射儀 (VISSR)，該儀器對整幅地球圓面的掃描是東西和南北兩個方向掃描的合成，自西向東的掃描是靠衛星繞本身軸自旋(100 轉/分)完成的。完成一次掃描後，移動掃描鏡往下移動一格，那麼下一條掃描線就在上一條掃描線的下(南)方，如此，掃描儀既可自北往南掃描了。VISSR 掃描方式一次掃描有四條可見光掃描線和一條紅外線掃描線。因此，可

見光雲圖所觀測的解析度為 1.25 公里，紅外線為 5 公里。附表一為地球同步氣象衛星 (GMS-5) 產品一覽表。

表一：地球同步氣象衛星(GMS-5)產品一覽表

產品名稱	次數	水平解析度	範圍
直接接收 (高解像)：			
可見光 (VIS)	1 小時	1.25 公里	地球 全景
水汽 (WV)	1 小時	5.0 公里	地球 全景
紅外線 (IR1)	1 小時	5.0 公里	地球 全景
紅外線 (IR2)	1 小時	5.0 公里	地球 全景

肆、雲圖介紹

紅外雲圖觀測原理，衛星在 10.5~12.5 微米得到的雲圖稱為紅外線雲圖，紅外線雲圖為顯示輻射體表面的溫度，在黑白影像中，暖區以暗色調表示，而冷區則以亮色調(白)顯示。雲的色調一般均較地球表面者為白，因為它們的溫度較低。由於雲頂越高，溫度越低，顏色也越白，所以透過雲圖的色階差異，就可判斷雲頂的高低。積雨雲以及伸展得很高的對流雲，在雲圖上又白又亮，且結構緊密；捲雲由於雲頂較高，雖然也較白，但是不夠緊密和明亮，雲狀呈現纖維狀；比較薄的低雲，則色調表現為暗灰色。薄捲雲在可見光經常是透明的，紅外線雲圖能清楚地顯現出來，尤其在較暖的表面上更是。

由於大氣和地表的溫度會隨著季節和緯度而變，所以紅外雲圖的色調表現具有以下

特徵：

一、紅外線雲圖上地面、雲面色調隨緯度和季節而變化。在紅外雲圖上，自赤道到極地，色調越來越白，暗的顏色卻少見。這是由於地面及雲面的溫度向高緯度減小的緣故。同一高度的雲越往高緯度，雲頂溫度越低。這種現象，低雲比中高雲顯著，如此造成高緯地區低雲和地表面的色調同中高雲的色調很接近，這種現象冬季最明顯，而且特別在夜間，最不容易看出冷的地面上空的雲。在冬季熱帶和副熱帶地區，地表面和高雲的溫度差異達 100°C 以上，但在大陸極地區域，這種溫度差不到 20°C ，這就是說在高緯度地表面和雲之間的溫度差很小，所以在紅外雲圖上只有很小的色調反差，不易將冷的地表面和雲區分別，同時在紅外雲圖上識別不同種類的雲也有困難。

二、紅外雲圖海陸色調的變化，在冬季中高緯度地區，海面溫度高於陸面溫度，所以海面的色調比陸面要暗，但是在夏季，路面的溫度高於海面溫度，這時陸面的色調比海面暗。陸地和水面的溫度很接近，則它們的色調相近，水陸界線也不太清楚。在陸地上乾燥地表的溫度變化大，則色調變化也大，潮濕或有植被覆蓋的地區，溫度變化較乾燥地區小，其色調變化也小。

可見光雲圖觀測原理，當可見光以黑白色調顯示時，較暗的色調代表低的亮度(brightness，低的反照率)；而較白色調則為高亮度。亮度極度依覆蓋表面之反照率(albedo)而定。典型的反照率如(表二)所示。

表二：可見光頻道反照率對應情況

地球表面	反照率 (%)	雲	反照率 (%)
海洋，湖	8	淺的、破碎的雲	
		Cu	30
地表面：		Ci, Cs Cc	35
暗土壤	14	St	40
植物	18		
沙，沙漠	27	厚雲：	
		Cs	74
冰和雪：		St	65
海冰	35	Ac, As, Sc	68
老雪	59	Cu	75
新雪	80	Ns	85
		Cb	90

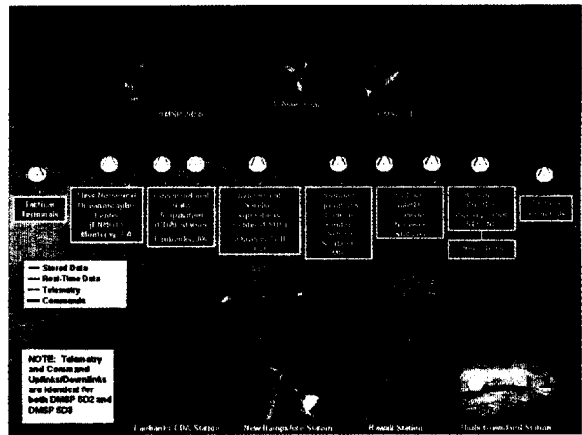
可見光雲圖的亮度同時也依太陽光的強度以及太陽和衛星相對於地球的位置而定，其亮度(或反照度)依下列的物理特性而定：高反照率的雲具有高厚度(雲層厚)、高雲水(冰)含量和小的平均雲滴。低反照度的雲具有淺厚度(薄雲)、低雲水(冰)含量和大的平均雲滴。在夜間，從標準的氣象衛星是無法得到可見光影像。可見光可以太陽照射強度的日變化進行訂正，產生影像範圍內亮度均一的影像，但此種影像在作業上並不常使用。上述訂正稱為“標準化(normalized)”。可見光雲圖在區分海、陸地和雲有用的。海洋和湖泊的反照率低，在可見光影像為暗色調，一般而言，陸地比海洋色調白但卻比雲暗，但是陸地的反照率隨著地表型態的變化很大。低層雲中，反照率視在水(雨)低的大小而定，船跡(ship trails)現象是一項好的

說明，船跡為依存於已存在的低層雲層中較亮的線。此外，在可見光雲圖中，陰影和亮區能在太陽光斜射到雲上被看到，此種現象有助於確定雲系的結構。例如雲影(shadow)被較高的雲層投到較低的雲層上，不僅顯示垂直結構。同時可鑑定高層雲的雲緣，若它是捲雲則可能很難確定。

伍、各國衛星現況

前蘇聯 1969 年開始發射宇宙 (Cosmos) 衛星系列，在試驗的基礎上，建立氣象衛星系統—Meteor 衛星系列。日本 1977 年發射地球同步衛星(GMS)，位於西太平洋上空，目前為 GMS-5 同步衛星。歐洲於 1977 年發射地球同步衛星，位於格林威治子午線的赤道上空，帶有可見光和紅外探測裝備。

美國自 1960 年首次發射用於大氣研究的氣象衛星以來，已先後發射泰羅斯 (TIROS)、雨雲(NIMBUS)、艾沙(ESSA)、艾托斯(ITOS)、地球靜止環境衛星(GOES)，同步氣象衛星(SMS)以及國防氣象衛星(Defense Meteorological Satellite)。當中美國國防氣象衛星 (Defense Meteorological Satellite)提供了大量戰略和戰術性氣象和環境資料，主要包括可見光雲圖、紅外雲圖、大氣溫度、溼度分布以及其它的氣象、海洋、環境資料等，這些資料在保障美軍的作戰、訓練、大規模軍事演習活動都佔有重要的作用，例如：在波灣戰爭中，美國國防衛星上裝載的長波掃描系統(OLS)在飛越波灣地區上空時，可以得到高解析度的可見光雲圖、紅外雲圖，為美軍戰役，戰術行動中及時提供了重要氣象情報，該衛星對其地區的油田大火、煙雲飄移、城市燈光以及海洋環境污染等，也及時提供重要訊息(圖五)。



圖五：美國國防氣象衛星(Defense Meteorological Satellite)資料接收處理示意圖。(引自美國 NOAA 網站)

1987 年美國空軍曾制定計畫，以 Block-6 新型號國防氣象衛星取代 Block-5D 系列衛星。此國防衛星能承受核爆電磁脈衝的波及，操控指令加密後可防止敵方電磁干擾。此衛星並具有機動變換軌道的功能，以防止衛星武器的攻擊。測感器方面，增強測雲儀器對夜間低雲、雲的相態的識別，洋面溫度和煙雲的探測能力，星載雷達則可準確的探測雲頂高度，雲以及全球大氣風場。

在 1978 至 1993 年運作的 NIMBUS-VII 衛星攜帶了探測臭氧的儀器，追蹤南極上空的臭氧洞。美國與法國合作在 1992 年發射的 TOPEX 衛星於 1997 年 11 月探測到太平洋上變暖的海面湧起，對聖嬰現象的研究很有幫助。1997 年升空的美日合作熱帶雨量探測計畫 (TRMM) 衛星安裝了微波影像儀及雷達，而 1999 年發射的美國 QuikSCAT 衛星則安裝了雷達散射儀，這兩顆衛星可以從太空分別量度地球雨量分佈和海面風，在熱帶氣旋分析和提供數據給大氣模擬計算方面踏前了一步。此外，在 1999 年 12 月進入軌道並屬於

地球觀測系統(EOS)系列的TERRA衛星,裝設了特別儀器,可以測量多種與氣候變化有關的數據,如海面、地面及空中溫度、地面用途、植物、懸浮粒子、溫室氣體、冰川、大火等資料,對氣候預測及環境監察作出貢獻。

中國在發展氣象衛星方面起步稍遲,在1988年發射了首顆太陽同步軌道氣象衛星「風雲一號」。今年6月在西昌發射的「風雲二號」FY-2B,是繼1997年後發射的第二顆「風雲二號」地球同步衛星,在東經105度赤道上空的軌跡上運行,為亞太地區提供和GMS-5相類似的衛星圖像資料。

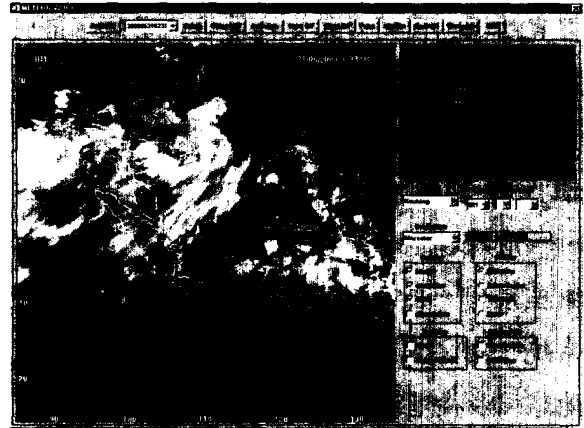
陸、衛星影像在預報上之應用與結論

衛星雲圖影像對於氣象作業分析員和預報人員而言是無價的資訊來源此等資料可用為：一、分析工具,尤其在資料缺乏地區；二、直接助於雲、降水及其他如閃電和暴洪等相關現象的短時預報(尤其天氣發生前6~12小時)；三、數值預報模式之輸入值以協助確定初始條件；四、偵測數值模式在初期預報之表現的一個方法。

衛星影像於兩方面幫助綜觀尺度分析：一、給予涵蓋大範圍(包括其它觀測資料缺少區)雲型的連續性觀念。伴隨大尺度大氣系統的有組織雲帶,以及局部短時預報所需之更細小的雲分布等均能在雲圖容易地分辨出來(圖六)。二、可從雲束的分布、形狀和大小或雲帶之外貌和形狀來推論分析的特徵(推論天氣系統)。

衛星影像中尺度分析應用：衛星影像在辨認及追蹤觀測網可能遺漏的中尺度天氣系統尤為有用,此等較小尺度雲貌的存在和組

織,甚或在資料相當充足的地區,經常僅能從影像辨別出來,極地低壓(polar low)和中尺度對流系統(mesoscale convective systems; 簡稱MCSs)等典型的例子中找到。



圖六：衛星影像系統中所顯示的GMS紅外線雲圖引自美國NOAA網站)

衛星雲圖資料同時可為動力和熱力過程有用的指標,經常用概念模式提供一些判斷大氣結構及其演變有用的線索。因此幫助作業預報員辨認和闡譯這些線索是很重要的。隨了監測風暴外,氣象學家亦利用衛星探測到的輻射量來推算大氣層的溫度和水汽量。這些數據可填補海洋上缺乏的氣象觀察資料,供大氣模擬計算使用。近年來,有些氣象中心發展了在模擬計算中直接利用衛星探測到的輻射量進行計算,相信對提高模擬計算的準確度有所幫助。

參考文獻

- 夏浣清、陳渭民、陳光宇,1989: 衛星氣象學。氣象出版社,北京市,80-95
- 陳泰然、紀水上,1995: 台灣梅雨季衛星觀測與傳統資料所顯示的對流活動時空變化研究,中央氣象局委託計畫, cwb-2M-02

曾忠一，1988：大氣衛星遙測學。渤海堂，
台北市，30-40

John F. Fuller, 1990：Thor's legions-Weather
Support to U.S.Air Force Army.American
Meteorological
Society.

Kenneth R. Walters etc, 1992：Gulf War
Weather. USAF Environmental Technical
Applications Center.

Masami Tokuno and Ryoji Kumabe ，1996：
雲解析情報圖。日本氣象衛星技術報告
特別號，119-138