

氣象衛星雲圖在天氣分析和預報上之應用

氣象組

The Use of Satellite Pictures in Weather Analysis And Forecasting

引言

氣象衛星為人類瞭解自然認識環境之迄今最新媒介，人類生存活動的領域，已因科學進步而求拓展，故今非昔比。一次大戰飛機的功用主為偵察敵人，二次大戰飛機在東西戰場發揮了空前的威力，終以盟軍優勢的制空權和遠程轟炸機，贏取戰爭，獲致勝利。這是航空或飛機對軍事作戰方面之輝煌貢獻。無人可予否認。

人類為求瞭解自然，掌握天氣所作之努力亦同。第一張作業的天氣預報圖之完成，迄今已有百年，而高空載人的汽球飛行曾盛行於一八九〇年代。然汽球飛行高度不大，人類對高空氣象所知仍極有限，因求知慾強烈的刺激和高尚的科學探測目的，於二次大戰期，雷文雷送探空儀相繼出籠，不旋踵間，火箭探空的盛舉，亦行問世。

至此，科學的發展，並未登峯造極，追求新知和技術的猛進，亦未告一段落，因東西方冷戰的激蕩和軍備競賽的鼓勵，太空武器如走馬燈般的推陳出新，爆出應市。氣象衛星就是在這種機緣下孕育成功的（按美國首枚泰洛斯氣象衛星之施放日期為1960年4月1日）。

衛星代替人眼在高空（高度單位以千里計）進行氣象觀測，就人類喜新厭舊之本性言，已經不能算為新奇，然就其已成就之科學目的，和正在進行的現階段言，可謂衛星是現代氣象觀測之主要工具，對長期天氣預報之助益厥功甚偉，無可言喻，故其發展正屬方興未艾，來日方長，且本軍於去歲亦正式建立人造衛星雲圖接收站，工作伊始將近一年，可謂為我國氣象工作上劃時代之創舉。

唯我國科學落後，一切新猷發展咸需步人後塵，一步一趨。按美國現有軍民氣象機構，早將衛星雲圖納入正式預報作業範圍，以傳真圖定時傳播各機構予以分析應用，作為各式預報之輔助圖，而我國尚屬啟蒙學步階段，舉凡蒐集、攝影、製圖、分析、判讀、皆需從頭做起，而為正式利用之準備。

對自然科學，為求準確應用，有助於成，必先需澈底瞭解，此幾為科學箴言，故不斷學習，在工作中訓練，更可獲得寶貴經驗。

爰本此意，特就世界氣象組織於一九六六年所發行之第七十五號技術文獻 The Use of Satellite Pictures in Weather Analysis And Forecasting 一書予以擇要譯出，以饗讀者。

一、美國氣象衛星計劃之成就與展望

為從事氣象觀測所發射的首枚衛星後六年中，相繼就泰洛斯系及寧巴斯系共有十一枚（寧巴斯一、泰洛斯十）氣象衛星進入軌道。從泰洛斯一號所收到之雲圖即顯示出衛星觀測制度之潛在價值，堪作為整個地球表面雲圖之日常觀測應用。於1961年將第三枚研究用之氣象衛星圓滿送上軌道後，即完成作業的氣象衛星制度計劃。其目的在獲得一為日光照射的全部地球表面之雲圖而發展成一觀測系統，最低限度每24小時需獲得一張圖。為獲致地球黑暗一側之雲分佈和熱平衡情報，尚有紅外線測量裝置。這些計劃於1966年2月當「泰洛斯作業衛星系」（Tiros TOS System）的愛莎一號完成發射時獲得結果。

截至1965年每枚由美國送上軌道之氣象衛星，其主旨皆為研究和發展。衛星上裝備之加強飛行試驗儀器，其本身為作業系統需發出其可靠性。此外，當地面收到雲圖後，為迅速完成並付使用者使用之目的，亦有發展電子計算機處理技術之需。

由旋轉安定的泰洛斯衛星系所試裝之儀器，包括四個不同的電視相機系再加可測量地球五個不同帶之輻射的中型高解紅外線輻射計。

向地球定向的寧巴斯一號衛星，曾作過與太陽同步的作業之可行性，具次極軌道（向赤道作98度傾斜）性質，裝有一「高級顯相系統」（Advanced Vidicon Camera System——AVCS），一「高解紅外線」（High Resolution Infrared——HRIR）輻射計及「自動雲圖傳播」（Automatic Picture

Transmission—APT) 裝備。這些試驗儀器在一作業系統的可信賴發展過程，有助於解決許多實

際問題。茲將過去已發射之衛星及所携儀器所獲資料一併列(如表一)。

附表一：

氣象衛星軌道資料表

泰洛斯	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	寧巴斯	IX②	X
釋放日期	1960 4 1	1961 7 12	1961 8 7	1962 4 15	1962 6 19	1962 9 18	1963 12 21	1964 8 28	1965 1 22	1966 2 3	1966 2 21
作業壽命終止日	1966 6 30	1966 12 31	1967 10 31	1967 12 31	1968 6 30	1968 12 31	1969 6 30	1969 12 31	1970 6 30	1970 12 31	1971 6 30
作業口數	79	69①	108	125	320	388	926	740	27	342	182
所用圖數	19,389	25,574	24,000	23,370	48,547	59,830	110,052	88,572	11,200	62,371	46,830
雲分析圖數	333	455	755	836	1,851	2,162	3,058	3,206	—	5,337	3,268
風暴警告數	無	無	70	102	399	361	596	424	—	504	283
軌道傾斜度	48°	48°	48°	48°	58°	58°	58°	58°	98°	96.4°	98.6°
平均高度(法定哩)	450	420	475	483	486	434	403	468	420	1,019③	495
相機程式											
寬角	1	1	2	1	1	1	2	1	AVCS	2	2
中角	0	0	0	1	1	1	0	0	APT	0	0
狹角	1	1	0	0	0	0	0	0		0	0
APT	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0
幅射計之有無	無	有	有	有	無	無	有	無	有	無	無

(註) ①不定期作業至1971.7.61止。

②輪型結構。

③遠地點1602；近地點436。

衛星資料之作業運用幾乎是在首幅電視雲圖從泰洛斯一號收到後就立刻開始。這些資料之早期運用，乃為對熱帶及中緯度天氣報告稀少的遼闊洋面之風暴的定位和追蹤方面。在遙遠的資料獲得站之電視雲圖資料，乃遲至1965年夏始行獲得。在該地區又將資料變為雲分析(圖)，然後藉傳真和無線

電印字機將之複播至全球各使用人手中。但此程序對使用者之作業運用而言，時間既不經濟而收到時間亦感太晚。早期衛星之另一問題是備受限制和所供給不定期的雲涵蓋。使窄而非重疊的地球圖使人有按圖不能索驥之感，而適當的一覽判讀則即無由完成。故想看到一連兩天的同一風景甚或同一區域

亦不可能。由於這些原因，早期的衛星資料不能為作業利用而徹底運用。1962年的夏秋間有兩枚衛星先後施放，增加逐日之涵蓋且使作業運用之幅度增大。兩年後為作業衛星系統構想之計劃，由於第一個真正完全的逐日涵蓋「試樣衛星」——泰洛斯九號的資料供給而實現了。從泰洛斯九號所得之雲圖，當全球涵蓋允許地球雲系之全部可被一覽無遺，

其雲圖判讀的可能性亦被堅實證明可予促進。目前，時屆1966年，此作業衛星系統帶來日常的逐日全球涵蓋圖，且使局部區域之使用人立可獲得可用之資料。如此一來，前曾困擾作業使用人的許多主要問題至此皆迎刃而解。表二為衛星資料作業運用過程所經建立之部份重大事件的綜合紀錄。

表二 衛星資料作業運用里程碑

1960年4月1日	新澤西州 Fort Monmouth 之資料獲得站從泰洛斯一號雲圖製成首幅雲分析圖傳播至馬里蘭州休特蘭國家氣象中心。
1961年7月12日	熱帶風暴發生之特殊衛星風暴警告的首次國際利用。颶風季衛星雲圖的首次作業使用。
1961年8月7日	將精選衛星圖利用照相傳真複播至美國甚多航空預報中心，以製備預報及天氣講解。
1962年4月15日	對歐、非、東亞及澳洲的首次雲分析國際傳真廣播傳遞。
1962年6月19日	施放泰洛斯五號，其軌道傾斜度增為 58°，增加高緯涵蓋區。
1962年9月18日	涵蓋資料隨泰洛斯六號之施放增加，首次同時有二枚衛星作業。
1963年12月21日	首次之APT從泰洛斯八號由判讀站獲致。
1964年8月28日	南極浮冰線首次由寧巴斯的高解電視圖獲得，情報用於夏季重補任務計劃。APT圖之首次世界性增廣運用。
1965年1月22日	施放泰洛斯九號並進入次極軌道。首次逐日可獲全球之雲涵蓋資料。
1966年2月3日	施放愛莎一號；作業系統之首枚衛星，逐日全球涵蓋雲圖作業開始。
1966年2月21日	施放愛莎二號；首次作業的衛星開始作日常傳播。

為氣象衛星算總賬(至1965年12月)，彼共供給電視圖520,635幅及為研究的紅外線資料5,034次。一加強的研究努力正導向過去六年中所累積的可觀資料量之處理。衛星雲圖已顯示原先未能料到的許多雲型組織之例證。像從衛星所見之雲分佈已供給確證以支持大氣本性原有之發展模式，且亦暗示對新雲之發展認識亦有此需。有關巨型及小型天氣系統之演進，因衛星資料之研究已獲得新的洞察能力。當這些研究結果一旦隨逐日天氣分析成功增長信心時，無疑此種新式觀測工具之應用價值和地位將勢難動搖。

把氣象衛星資料的應用介紹給氣象學家並訓練他們能運用這些資料，此已變為美國「環境科學勤務署」(ESSA)的「國家環境衛星中心」(NESC)新職掌之一。衛星中心之應用組已為此目的於1963年夏開始作業，以完成此任務為目的，該應用組每天將24小時前所接收之資料細心和高空及地面天氣圖作比較，就這樣逐日檢查費時二年半所檢查過的北半球雲圖，已堆積如山成千上萬。透過此程序，地球上某些地區已可能被識別出就是科學家們對該地區天氣之研究定議，從而極適合將資料應用

於該區日常的天氣分析上。透過此程序檢討研究結果，亦可能專門應用於一覽天氣之判讀上。此應用組與衛星資料作業使用人，如美國氣象局國家氣象中心以及其他有關敘述性解釋研究之甚多研究性科學家保持密切連繫，本技術文獻所包括之材料即基於此種經驗。

二、衛星圖所顯示之雲貌

衛星雲圖判讀之第一步即是識別一般雲型(積狀層狀及卷雲狀類)，然後才能細別特殊雲狀(積、積雨、卷層雲等)。不同雲狀之隱現，及其所組成之象型，由這類資料人們可評估圖相區之風，溫度和大氣穩定度。在對大規模雲系(即由渦旋所產生之盤旋雲帶)作成適當一覽判讀前，首先需檢查所形成此雲系之個別詳情。本節咸屬雲的特性討論，當其出現於衛星雲圖，根據其特性決定其為何可用以識別一般雲形和特種雲形。

(一)一般特性：

識別雲有六種主要特性甚有助益，即亮度、模樣、構造、組織、形狀與體積。從太空看雲之亮度，根據 Conover 氏之討論，由雲之透明度(太陽

角度)，有關相機及太陽的雲之角度位置及雲本身之反射等可知。反射率，換言之，乃與雲厚，質點體積分佈，質點組成成分（冰或水）及高層雲面等有關。一特殊衛星相機系之亮度範圍，當其顯示於固定圖上時，亦可顯出不同雲之某些程度之亮度。過去所用的不同相機系這種範圍即有某些變化。有的相機系並顯示在其作業壽命期有亮度隨之減弱之

趨勢。

不論亮度問題之複雜性如何，Conover 氏（以下簡稱康氏）曾為不同雲狀之平均「太陽輻射地面反射率」（Albedo）及當其顯示於圖上觀測其亮度時之地形特性的考慮，而獲致其定值。茲將康氏研究結果按反射率之大小順序排列（如表三）。

表三 平均太陽輻射反射率

（A）表示當觀測衛星圖時由不同雲及地球表面而產生之反射率（以百分數計）。

（MCO）表示雲之遮蔽量大於百分之八十。

A	A
1. 積雨雲……大而厚……92	10. 層雲……海上薄層……42
2. 積雨雲……大、估計頂厚六公里……86	11. 卷雲……陸上孤立……36
3. 卷層雲……薄有低雲及降水……74	12. 卷層雲……陸上孤立……32
4. 積雲與層積雲……陸上達MCO……69	13. 晴天積雲……陸上MCO……29
5. 層積雲……陸上達MCO……68	14. 沙地……河谷、平原及陡坡……27
6. 層雲……厚密、在海上後達半公里……64	15. 沙地與叢林……17
7. 沙地……如美國新墨西哥白沙區……60	16. 松柏科森林……12
8. 大塊層積雲……位於廣佈海洋之薄層雲片內60	17. 湖泊……如美國大鹽湖……9
9. 雪……森林帶以上差不多業已蓋山59 之3-7日的降雪	18. 海灣……如墨西哥灣……9
	19. 海洋……如太平洋……7

康氏發現，一般亮度係隨雲厚而增加，尤在氣旋性雲系中。彼亦指出在同樣光亮的情況下，等厚的水雲常較冰雲為光亮。經驗可支持這些說法且說明不同雲型之相對亮度，在雲圖判讀上為一極有用工具。在評定雲的亮度之重要意義上要切記大規模一覽情勢下所觀測到之雲。可出視相等亮度的不同雲型在衛星雲圖上可從全然不同的大氣狀況下獲得。

在衛星圖片上所見之最小「雲分子」（Cloud elements）其分佈如非雜亂無章，即呈規律的組成一中範圍雲型之模樣。這種模樣早期曾被康氏說明，成為識別某些雲狀並在解釋其生成之物理程序上頗為重要。最顯著的模樣之一乃屬由中範圍細胞式對流所生成者。（參見圖一及圖二）這種模樣的出現其變化很大，尤其是世界上廣潤的海洋區。所有普通所測見之雲呈有組織小而規則之線狀或帶狀者（參見圖三與圖四）有其本身之特殊模樣。波之特殊現象諸如接近噴射氣流之重力波或山脈背風波，均可在適當條件下形成，泛言之，帶形在衛星雲圖的識別上



圖一

比較易被區別。這些不同的中範圍雲形，將在下述各節個別詳予討論。

陰影與亮度常十分有助於識別雲之構造；亦即

則鋸齒形或擴散形。各雲形之本身亦可呈直線式排列或彎曲的帶狀交叉或與他雲分離孤立存在。這些特性亦均為識別不同雲之重要指針。

（二）普通型態之雲分類：

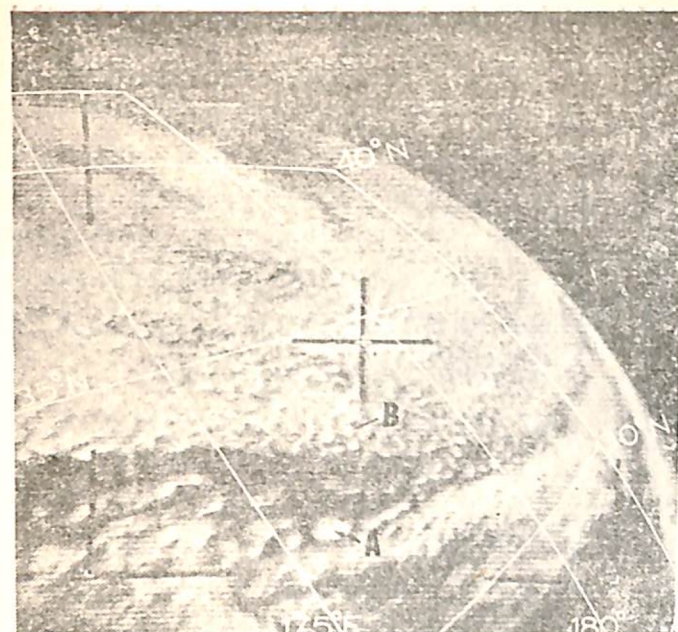
別開生面，與傳統雲分類從下向上之觀測根據為準的方式不同，現在從上向下按雲的外表所作之新分類，乃為21世紀人造衛星技術的科學所賜。作業的雲圖分析經驗證明雲可被分析家迅速有效的區分為三大類：積狀、層狀與卷狀雲。現裝於衛星上的相機系其性能不足以分解慣用於國際電碼中的十類分類之小範圍雲型，但仔細研究個體雲型，亦可能識別出其雲的「類別」和「種屬」，此種細節之作業研判、總之、非經驗與技術莫屬。

所謂「積狀雲」，當其顯示於衛星圖上之雲區時，為體積大小各異之不規則雲分子羣。這些積狀雲羣之現身，可能以有組織之型態成為細胞狀或帶狀，亦可能雜亂無章呈自然形式的配置。積狀雲的雲分子或型態，其外表可能為高雲、中雲或低雲。且根據雲圖所示證據，多數之積狀雲型為對流活動結果，然而部份對流性雲型却又無此特徵。此種情形之發生原因為有的個體性雲之對流活動其空間範圍太小，或雲型在衛星相機的分解能力以外。例如，晴天積雲出現區，在雲上僅能顯示一灰色亮影；此即上述積狀雲特徵定義中缺乏此種說明之原因。

「層狀雲」區正常缺少規律的雲型和組織，在圖上所能識別出之雲而為層狀者，一般皆出現空氣安定條件下。是故如其外型為深厚層雲、霧、厚高層雲或雨層雲均屬，而厚密之卷層雲其出現更會居另一雲層之上。

「卷狀雲」當從上向下俯瞰時會有特殊的纖維狀外表。一雲層如甚薄，其下之雲層及陸地輪廓隱約可見，則屬卷狀雲。卷雲形亦可藉與他雲伴隨發生之現象而被予以識別，如積雨雲。

在出現於衛星雲圖之早期分類中，康氏曾發展出之規範主有二大雲類：積狀與非積狀雲。當時人們即據此分類描述其進化。在其早期研究中，康氏曾以特殊之地面、雷達、飛行員和空中照相觀測予以比較分析，當然這些不同的觀測和衛星觀測在時間上是一致的。從這些資料，可能顯似出所出現於衛星雲圖之雲型有何不同。此種研究之結果（原圖



圖二

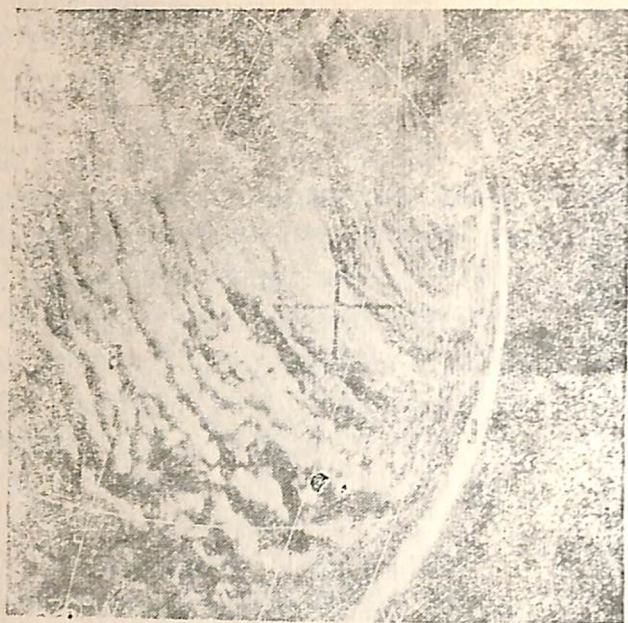


圖三

不同雲之相對高度。陰影可被用於識別卷雲邊緣及高度甚大之高層雲片。雲之構造亦可於低雲從高或中雲之底部因上層雲之透明而獲得。上述構造之說明在識別某些雲形及作大規模雲系之評定時皆極重要。

當從上向下俯瞰時，雲面之外表光滑度變化很大，此種特質需參考雲之組織，有光滑表面之雲區其頂部常多平坦而其厚度變化亦小。

最後談到所有各種雲之形狀和體積大小變化。雲型之邊緣可呈圓形，直線式，齒狀，扇形，不規



圖四

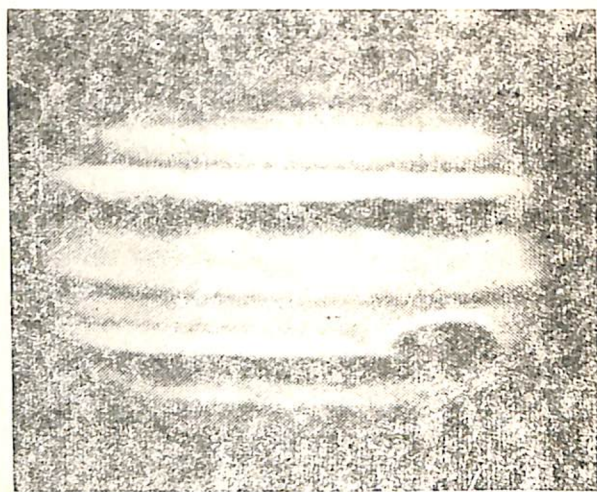
(上接第38頁)

一定相當寒冽。陰暗面溫度之理論估計約低至 -24°C (-410°F)，但新式雷達觀測與先前分光計觀測及理論工作之再分析，指出此行星自轉週期並不相等於其軌道週期，其背面實能看到太陽。此新自轉週期——59日——總之很長，且此行星之夜間（如此圖相屬實）其黑暗歲月一定很長。因傳熱從日光面至黑暗面之大氣甚微，故人們所能對黑暗預期之溫度仍很低，近來之微波觀測，總之，已破壞水星黑暗面這幅冰天雪地的水星世界圖。從這些微波判讀說明其黑暗面較所相信者為溫暖；其表面溫度並未低於所預報者，甚且可能高達 60°F ，但人們對這些較溫暖的氣溫作何解釋？以如是微量之大氣從酷熱的陽光普照面向黑森陰冷的一面（日面至夜面）可能亦會傳導一些熱量。

三、木星

居火星軌道外為太陽四大巨星之一的木星，其命名係取古羅馬諸神中主神之意而成，為太陽系諸星中之最大巨星，即使置所有其他諸星於其中亦不顯擁擠，以望遠鏡看，木星呈現一稍現黃色的面孔，間有黑色與光亮的帶條與赤道平行相間其上。（參見圖三十七）黑色者稱為「帶」，光亮者稱為「

表過於繁複其幅面亦大，不便印製故從略）圖中所列凡非積狀，非帶狀，或非纖維狀者，均歸目前所述之卷狀雲。在此表式圖中所被分類為相同之雲者如非積狀雲與卷雲，最初在衛星雲圖上皆易被識別為卷狀雲。經驗證明，雲類之識別限為主要的三大類雲，是最適合作業圖分析需要者。然而，康氏之早期分類對識別衛星圖之特殊雲型上，仍代表其定性之研究工作。（未完待續）



圖三十七 木星圖，特徵為帶及大紅斑。

區」。就近觀，其帶亦不單純，有深黑與更亮部份，斑點與不規則之細膩結構。其中有些特徵可歷時二週之久，故從此歷時較久之特徵重現觀測極易使人決定其自轉率。其餘的特徵的生命短暫，觀測特徵之不同變化說明當我們觀測木星時，我們所見的主非木星之表面乃為在其大氣中之雲帶，像金星，木星亦為一不肯露其廬山真面目的嬌羞者。