

台港及海外中文报刊资料专辑

基础 科学

第 4 辑

1991

书目文献出版

出版说明

由于我国“四化”建设和祖国统一事业的发展,广大科学研究人员,文化、教育工作者以及党、政有关领导机关,需要更多地了解台湾省、港澳地区的现状和学术动态。为此,本中心编辑《台港及海外中文报刊资料专辑》,委托书目文献出版社出版。

本专辑所收的资料,系按专题选编,照原报刊版面影印。对原报刊文章的内容和词句,一般不作改动(如有改动,当予注明),仅于每期编有目次,俾读者开卷即可明了本期所收的文章,以资查阅;必要时附“编后记”,对有关问题作必要的说明。

选材以是否具有学术研究和资料情报价值为标准。对于某些出于反动政治宣传目的,蓄意捏造、歪曲或进行人身攻击性的文章,以及渲染淫秽行为的文艺作品,概不收录。但由于社会制度和意识形态不同,有些作者所持的立场、观点、见解不免与我们迥异,甚至对立,或者出现某些带有诬蔑性的词句等等,对此,我们不予置评,相信读者会予注意,能够鉴别。至于一些文中所言一九四九年以后之“我国”、“中华民国”、“中央”之类的文字,一望可知是指台湾省、国民党中央而言,不再一一注明,敬希读者阅读时注意。

为了统一装订规格,本专辑一律采取竖排版形式装订,对横排版亦按此形式处理,即封面倒装。

本专辑的编印,旨在为研究工作提供参考,限于内部发行。请各订阅单位和个人妥善保管,慎勿丢失。

北京图书馆文献信息中心

目次

数 学

多项式问题研究进展	杨重骏	1
纯多项式的R次方展开	唐翰文	7
三等分任意角的近似作法		13
曲面的“数”理	曹亮吉	18
正本溯源——常见数学名词源流	曹亮吉	23

物 理

奇特的氦	翁宝山	25
浅谈真空	刘远中	29
原子核的故事	吴秀锦	33

化 学

生命起源的化学	甘鲁生	37
生物感测器之原理与应用	孙振益	41

地 学

浅谈地震及其预防对策	赖进雄	51
可怕的大地震——你对地震知道多少?	戚启勋	54
火山爆发的原理	郭龙泉	57

天文·气象

恒星的诞生	魏大同 魏黎明	61
高空波和在地面风暴的关系	戚启勋	一
雷达气象之过去、现在与未来发展	张领孝	七

高空波和在地面風暴的關係

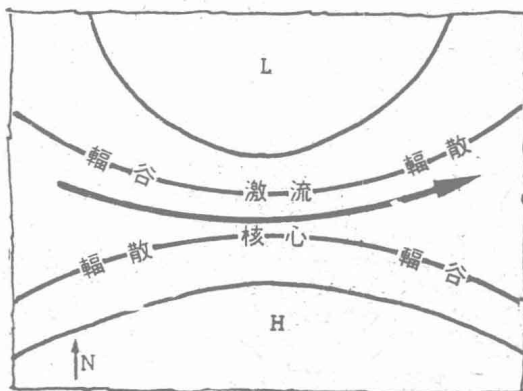
威
啓
勳

早期的天氣預報無非是將地面上的氣壓系統和各種天氣的分佈拉扯上關係，而後推斷氣壓系統的移行來預測天氣變化，後來探空觀測發展，才發現原來高空氣流型控制地面氣壓系統的演變。二次大戰後期，發現高空有所謂「噴射氣流」，「極鋒」的行動和它相配合。後來專家們又研究不穩定波的發展以及「渦席」原理，我們對大氣的立體行為才奠定完整的基礎。這是一門高深的學問，下面只作最淺略的介紹，作為有旨於些道者的敲門磚。

發展中的氣旋和噴射氣流

噴射氣流 (jet stream) 簡稱「噴流」，亦作「激流」或「急流」，環繞此極，蜿蜒而行。大體上可以分為「副熱帶噴射氣流」和「極鋒噴射氣流」。後者與波型氣旋的發展有關，極鋒激流的軸心和極鋒大致相重合。激流的核心代表風力最強地區，風逼近核心時，風速增強，離開核心時則減弱，這種增速與減速和強風切相配合，而且呈彎曲狀態，在激流的進口和出口出現氣流的輻合和輻散 (見圖一)。

圖一可以看出：何以輻散區和輻合區與地面氣壓系統的發展有關，高空圖上的粗線代表激流，前面為輻散區，後面為輻合區，下面這一幅表示地面天氣圖，有兩個發展中的噴風圖系統，激流在初生地面波 (N) 的比方，正在波的頂部為一幅散區，將地面空氣往上推至激流處。然後激流迅速將此空氣往下游輸送，造成地面氣壓的激降。當地面氣壓梯度增加時，風的激流表示高空氣流有深槽和深脊，下面再說明這些波及其對一發展中風暴的影響。



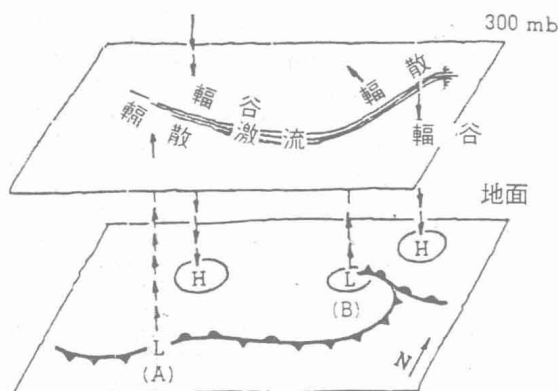
圖一 高空圖上極鋒激流核心
周圍的輻部及輻合區

讓我們來看一看高空圖，大致像圖三所示。圖內可以見到有一系列的脊和槽，即所謂「長波」(long waves)，繞極蜿蜒而行。任何時間，大概有四個到六個波環繞地球。高聳的山脈既然能破壞高空氣流，所以這些長波大多見於此種地形屏障像洛磯山和西藏高原的東方。長波的波長約自四千至八千公里，以其為洛士貝(C. G. Rossby)所發現並詳加研究，所以一般人都稱之為「洛士貝」。這些長波的中間還有一些短波，配合較小的擾動。

洛士貝發現：某一波的波長如果較短，向下游移動較速，短波東移的速度和七〇〇毫巴面附近增強，地面空氣反時針向繞低壓旋轉時，鋒面加速前進。風暴由高空風導引前進，地面低壓增強，激流彎曲，大多會發展成一環狀波。值得注意的是：風暴因錮時(B)，激流穿越錮鋒，在地面低壓的上面提供弱輻散。在反氣旋上空也能觀測得有一輻合區，將空氣向下輸送入地面系統內，由此可見：激流在地面反氣旋的上面補充空氣，而在地面氣旋的上面抽出空氣。

極鋒激流既然在極鋒上形成，那麼何以在極鋒上面未必一定發展一系列氣旋羣呢？我們剛才提出：沿激流兩側的輻散和輻合區只有在噴流核心附近的

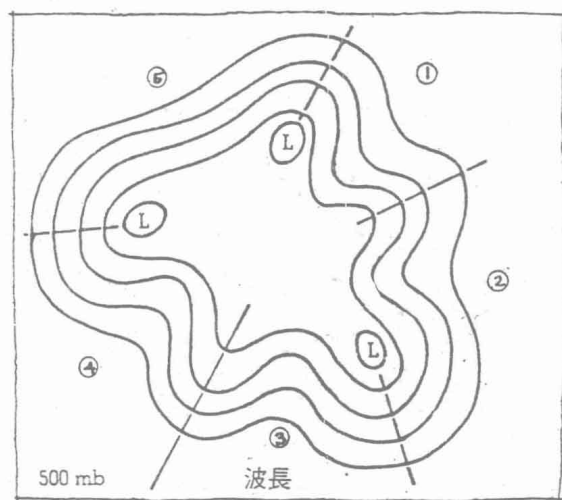
高空波對地面風暴的影響



圖二 極鋒周圍對地區交繞供應必要的輻散和輻合

波型氣旋發展的必要條件

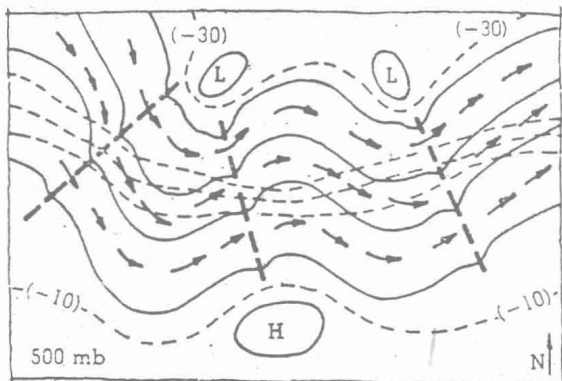
爲了要進一步了解波型氣旋何以會發展並增強爲巨大的風暴，我們必須詳細考察地面和高近的平均風速成正比。此處海拔約三公里。相反來說，長波常近似滯留，每天向東移動的速度不足經度四度，甚至還會向西後退，試將長波設想爲一條自西向東漩渦很快，而漩渦本身却向東移得很慢，高速水流切割堤岸的一邊，而在另一邊沉積。假定有污物加入水流中，即能干擾它的流動，這種干擾流看起來像小漩渦，以接近水流的平均速率穿過漩渦移向



圖三 環點球 500 毫巴圖示例，圖中可見 5 個長波

特定區才能找到。再者，從研究發展中氣旋顯示：大多數中緯度風暴的發展是在激流變形的時候，也就是當它開始彎曲時。彎曲壓線平行。這裡風並不穿越溫線，所以也沒有溫度「平流」(advection)。大氣中處於此種情況稱爲「正壓」(barotropic)。另一方面，也有一些地方溫度和氣壓梯度都很大，等溫線穿過等壓線，強風產生溫度平流，大氣中倘以此種情況爲主，則稱「斜壓」(baroclinic)。請注意斜壓僅見於一狹窄帶。此帶之下即爲「極鋒」(polar front)，在它的上面則爲極鋒噴流。氣象專家密切注意短波怎樣擾亂氣流而使斜壓區增強。此種干擾流能使波幅加大，並且發展或增強一個地面風暴系。這種學說也就是所謂「發展氣旋的斜壓波說」。

下流，水流中的漣漪正如大氣中的短波。
大氣中的短波槽通常簡稱為「短波」(short wave)，移動得要比長波快。一般來說，短波逼近一長波槽時加深，經過一長波脊時減弱，圖四表示高空圖上短波怎樣繞過長波。



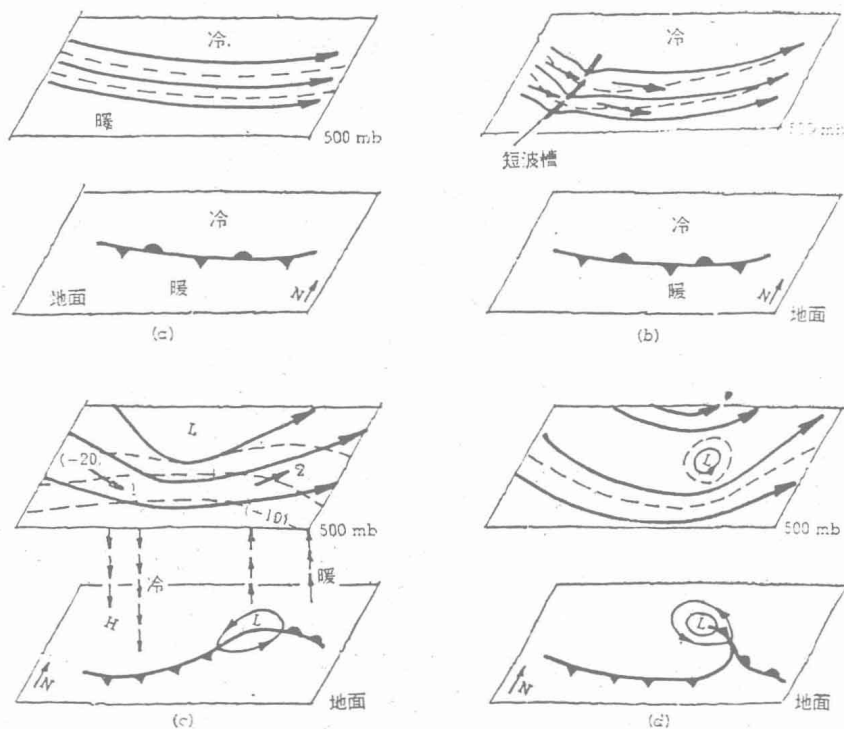
圖四 高空圖上表示有幾個短波(粗斷線繞幾個長波移行，虛線為等沿線，箭頭示風向)

圖內有很大一個區域等溫線(虛線)大致和等空的大氣情況，假設五〇毫正面上長波槽的一部份正好在一條地面滯留鋒的上面(參閱圖五(c))。在五〇毫巴圖上，等高線(實線)和等溫線(虛線)相互平行而且彼此密集，較冷空气位於圖的北方，較暖空氣則在南方。由於風相為大，所以從地面向上到五〇毫巴面高度有很強的風切。假如有一短波移過此區，使氣流產生擾動(圖五(b))。由此產生氣流內的不穩定即所謂「斜壓不穩定」(baroclinic instability)。此種不穩定一經開始，空氣的水平向和垂直向運動就可以幫助氣旋形風暴的形成。

當高空氣流受干擾時，短波槽的後面形成一幅合區(在圖五(b)內位於槽的左方)。在這些帶的下面，地面氣壓改變而風速增強。假定地面天氣圖上起初並沒有鋒，只要性質不同的氣團能够聚集在一起，就可以形成鋒，地面空氣上升，周圍空氣則流入填補它的空缺，當輻合空氣發展氣旋式旋渦時，冷空气繞到南方而暖空氣則北上。在圖五(c)內可以看出：滯留鋒西

邊一半現在已成為冷鋒，東邊一半則成暖鋒，冷空气移到冷鋒的後面，暖空氣則沿暖鋒滑上。這種冷暖空氣的平流，一直可以到達五〇毫巴面。

圖五(c)的五〇毫巴圖中，冷平流是在標示一處，這裡的風穿越等溫線，將冷空气輸入低槽內，冷平流使空氣變密，降低從地面到五〇毫巴的氣柱高度，請記住：在五〇毫巴圖上，高度較低實際上就是氣壓較低。所以槽內氣壓降低而槽也加深，此時在標示二處發生暖平流，具有使氣柱高度增加的功能，於是五〇毫巴的高度增加，形成一脊(增強)。由此可見，不同的溫度平流使大氣的波浪增強。



圖五 上有一長波槽正好在一地面滯留鋒的上面和它平行，有一短波(粗斷線)干擾高空氣流，由此產生溫度平流。高空槽增強，供應發展地面系統所需的垂直運動，地面風暴因綑，上面保持一冷氣層。

冷暖平流區與垂直運動相伴。凡是冷平流的地方總是會有一些冷面重的空氣下沉；暖平流的地方則有一些較輕的暖空氣上升，因此，在標示一的附近，空氣下降，標示二的附近空氣上升，冷空氣下降而暖空氣上升，因為將位能轉為動能，所以對一發展中氣旋提供能量。再者，上升空氣中凝結釋出汗熱，將系統進一步增強，如此方可具備一個中緯度氣旋充份發展的所有條件。

最後，風暴系因錐（圖五（d）），那是因為暖空氣的來源被切斷，乃趨消滅，通常有一高空冷氣潭（自主流中分裂）差不多就在地面低壓的頂上。圍繞此「割離低壓」（cut-off low）的等溫線逐漸和等高線相平行，也就是說沒有顯著的溫度平流。由於缺少此種能量轉換，地面系統當然會漸趨消散。話雖如此，此高空低壓也可能保持好幾天近似滯留。假定空氣被迫上升進入此冷氣潭，廣泛的雲雨區即使地面風暴系本身早已移出天氣圖的範圍，仍能維持一段時日。

一般來說，我們現在已經知道何以有些波型氣旋會增強為巨大的風暴，而其他的却不能？一個風暴系統想要加強必須有一高空的反制位於地面低壓的兩邊，當短波騷擾高空氣流的時候，形成差異溫度平流區，結果使高空槽增強，無論高空抑或地面都有空氣的暫合和輻散區；而且還伴以垂直運動，提供適當的能量轉換，有助於風暴成長。大氣如果具備此種條件，縱然沒有鋒面，也會有風暴產生。在高空氣流的情況很複雜，讓我們先來看大幅度氣流。目的在於看出何以渦度和輻散產生的垂直運動有關。開始說明之前，必須先給渦度以某種定值。

假設空氣呈氣旋形（反時針向）旋轉者具有正渦度；作反氣旋形（順時針向）旋轉者為負渦度，圖七（a）表示有很薄一個氣柱呈氣旋形旋轉，此弱環流具有正渦度。氣柱內的溜冰者用來表明旋轉率。今假設高空氣流開始在氣柱頂部輻散，地面附近的空氣勢必要以輻合來補償高空輻散。如果氣柱的總質量並不改變，那麼氣柱必須在垂直方向拉長，也就是產生空氣的向上運動。請注意當氣柱拉長時，溜冰人員的手臂收回，旋轉加速。因此，氣柱中心四周圍的空氣旋轉率一定也會加快；換句話說，氣柱的不受干擾或者沒有高空槽的地區，並無足夠的垂直運動來幫助氣旋形風暴的發展，即使地面有鋒也不例外，發展中開放波型氣旋的水平向及垂直向運動，雲型和天氣的一般情況，如圖六所示。

渦度，天氣系統和長波

在高空圖上可以看出：氣流常有大幅波動，而在山脈的下風處經常會發展風暴，想要知道何以會有這種情況，必須了解所謂「渦度」（vorticity）觀念。

任何東西旋轉都會產生渦度。旋轉越快，渦度越大。氣象學中的渦度是空氣質點旋轉的一種量度。旋轉雖然可以任何方向，然而我們却只考慮在一垂直軸周圍的水平向氣流，就好像溜冰人員繞一假想垂直軸打轉一樣。由於實際渦度增加，正值變大。



圖六 發展中波型氣旋內的雲、天氣和垂直運動

圖七(b)表明氣柱頂部空氣輻合時，原先的氣柱又會發生什麼變化呢？高空輻合導致下層輻散，氣柱在垂直方向壓縮，產生空氣的向下運動。為氣柱垂直向收縮時，溜冰者的手臂向外伸出，他的旋轉率減小。可見氣柱的旋轉率也會減小，它的渦度變小，正值減小，話雖如此，凡高空有水平輻合之處，這一層空氣的旋轉率當增加，也就是增加氣旋形渦度。相反來說，高空倘為水平向輻散，氣層勢必會喪失它的氣旋形渦度。由此可見，對流層下部氣旋形渦度增加（或減小），對流層上部的氣旋形渦度勢必會減小（或增加）。然而渦度和天氣系統的發展又有什麼關係呢？

在對流層的中部和上部，高渦度和低渦度區大多很小。這些區域之間的渦度量無關宏旨。高渦度和低渦度區隨同高空氣流經過，數值保持不變。因此，高空的正渦度區隨風而去，氣象專家稱之為「正渦度移流」（簡稱PVA）。

PVA區因為和高空輻散，垂直運動和地面風暴的發展都有密切的關係，所以對天氣預報非常有用。舉例來說，數學方程表出：最大渦度的下風處（圖八PVA區的東邊）有高空輻散和低層輻合。換句話說，空氣上升，可能有雲、雨，以及氣旋性風暴的發展，由此推想：當一正渦度區移到一道地面滯留鋒之上時，沿鋒面會產生波，因而發展成一風暴。即使沒有鋒，PVA區也會和有組織的雲雨帶結不解之緣。相反來說，最大渦度的上風頭（圖八PVA區的西邊）或在一個低渦度區，高空當有輻合，低流動空氣通常對地面另有一種渦度。相對渦度是兩種效應的合計：氣流的彎曲度（曲率）和風速在一段水平距離的改變（風切）。圖十表示因曲率而產生的渦度。空氣流過槽呈氣旋形旋轉，增加它的相對渦度。脊內的空氣作反氣旋形旋轉，空氣的相對渦度以相反方向增加。當一邊的氣塊比另一邊的氣塊流速較大時，氣塊就會旋轉，得到相對渦度。

想要解釋高空氣流的波狀運動，我們必須假設空氣並無輻散或輻合；氣柱既不收縮也不拉長。如果一般都是這種情況，流動空氣的絕對渦度將會保持不變。換句話說，地球渦度和相對渦度的合計值並不隨時間而改變。由此可見：地球渦度如果減小，必須以增加相對渦度來補償；相反也是一樣。

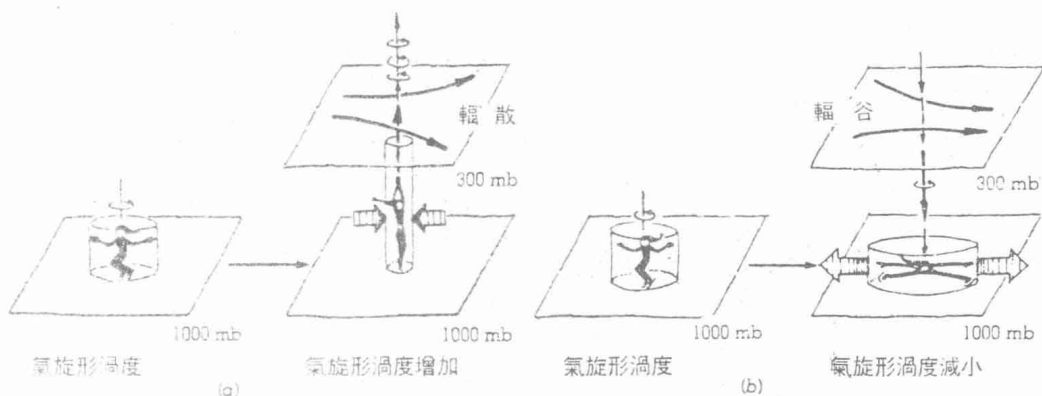
層有輻散，空氣漸趨沈降，以及和地面反氣旋相伴的好天氣。

以上所講的渦度都是「絕對渦度」(absolute vorticity)，因為它包含兩部份：地球的渦度和空氣對地面的渦度，後者稱為「相對渦度」(relative vorticity)，用簡單的公式表示如下：

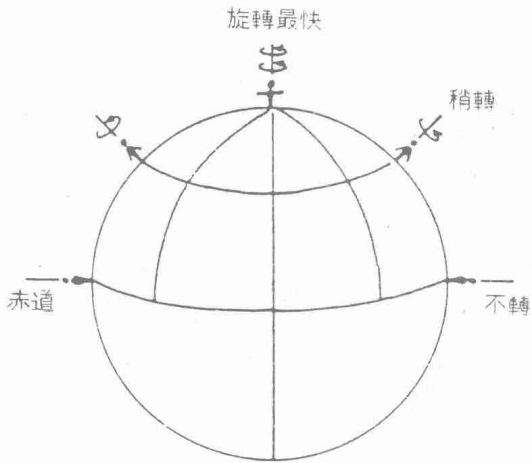
絕對渦度 = 地球自轉角速度 + 相對渦度

地球因為繞它的軸心作反時針向旋轉，所以它的渦度永遠是正值。任何物體受地球渦度作用的強弱，由它所在緯度來決定，圖九表明站在赤道上的人並不說他自己的垂直軸旋轉。漸向北，他就徐徐旋轉，站在北極，轉得最快，每天轉一圈。由此可見，地球上物體之所以有渦度，無非因為地球在自轉，

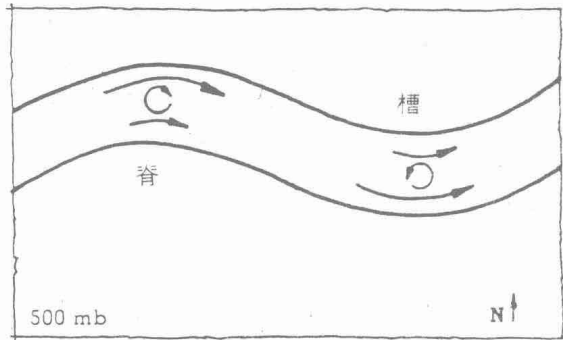
此地球渦度的量，在赤道為零，兩極最大。



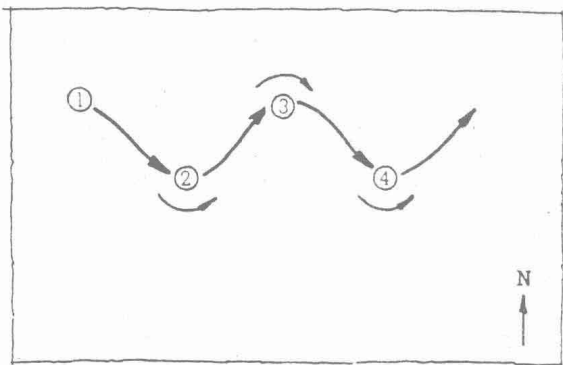
圖七 高空輻散 (a) 和輻合 (b) 如何影響地面氣柱的渦度



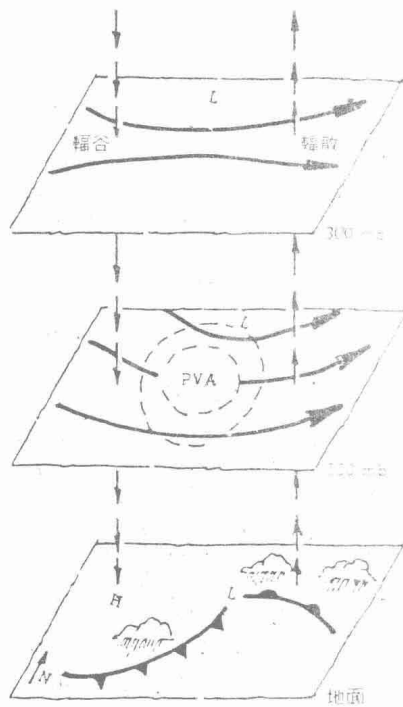
圖九 由於地球自轉，站在赤道上的人並無旋轉，緯度越高，旋轉越快，而極負最快



圖十 由於等高線的彎曲，空氣經過一脊時作順時針向旋轉，得到反氣旋形相對渦度。在槽內空氣反時針向旋轉，得到氣旋形渦度。



圖十一 由於絕對渦度之守恒性，高空氣流呈波浪狀（詳情見本文）



圖八 500毫巴以上（正渦度平流）區表示高空輻散，東邊空氣上升，西邊空氣則沉降，高空為輻合

舉例來說，在北半球上空的空氣正在赤道面上以固定不變的速率作水平向移動。在此高度，通常稱爲近平流，因此前面的假設和實際很接近。這裡既無風速的切變，是呈相對渦度如無任何變化都是由於率所導致的後果。位置一的空氣正在流向東南方，向着赤道，空氣移入一地球渦度低減區。爲了要保持絕對渦度不變，相對渦度必須等量增加，相對渦度增加既產生氣旋形曲率，所以空氣作反時針向旋轉到位置二，此刻已面向東北。現在空氣進入一地球渦度穩定增加區。爲了反制這種增加，相對渦度必須低減。假定曲率變爲反氣旋形，相對渦度將低減，所以在位置三的空气改變爲順時針向，再度轉向赤道。這樣又把空氣帶入一地球渦度低減區。爲了得到補償，空氣又要在位置四處轉爲氣旋，如此繼續不已。由此可見高空必會有一系列的長波環繞整個地球。

結語

以上所介紹的天氣預報新論，無論對氣象預報人員或應用天氣預報的人員都很用，例如海上航行的船長，從無線電傳真機接收到當時和預測的地面天氣圖及高空圖，有了這種知識，他就能預先推斷前面海域天氣將有什麼演變了。

(上接第一四頁)

五月簽訂了各自生產前模型製造合約，預計系統印證(硬體規格)於一九八六年八月完成。有限生產期終預定爲一九八八年一月，而全部系統將於一九九二年前完成安裝供用。

八、結語

以上扼要詮敘有關雷達氣象之過去、現在與未來發展。由於雷達已被世界各氣象單位應用在天氣守視與預報上，尤其在都卜勒雷達發明後，對於偵

(原載：交通建設(台)一九八五年三四卷 七期五一—三頁)

測晴空亂流、龍捲風、風切、駢線等劇烈天氣之功用更具實效，故許多科學家更致力於這方面之實驗與研究，期能使氣象雷達在掃描、遙測(remote sensing)、極化(polarization)、訊號及資料處理(signal and data processing)等方面能有更進一步的發展，並加強在空中飛行器(airborne)、衛星(satellite)、太空梭(space shuttle)上裝置雷達以偵測較大範圍的大氣變化，以便使雷達氣象(學)在未來能有較輝煌的進步與研究成果出現。

雷達氣象之過去、現在與未來發展

張領孝

一、前言

人類希望常常能看到肉眼所不能見的東西。「雷達」的發明實現了這個願望。它是利用電磁波(electromagnetic waves)的反射原理來搜尋目標(物)而測定目標的位置和距離之一種電子儀器。由雷達(RADAR)一詞，係由「Radio Detection And Ranging」一語各字首合併而成，即可窺知它的作用。

雷達探測大氣中的目標(例如水滴、冰雹)，並欲測量其距離及強度時，先發射出去某種波段的電磁波或訊號，此訊號從天線送出時形成固定寬度的波束(beam)，正像汽車頭燈的光線一樣待訊號磁撞目標物後，一部份電能(power)反射回來(與回音相似)，被發射訊號之同一天線所接收，再經過放大器(amplifier)後，即可顯示在TV銀幕上。

由於雷達已被氣象界公認爲一種有效偵測大氣現象的電子儀器，尤其對於劇烈天氣預報及即時預報(nowcasting)方面更是一項犀利的測報工具。本文將從氣象雷達之過去、現在與未來發展加以闡述，俾提供有志於雷達氣象研究之讀者參考。

二、雷達發展史

雷達被公認係第二次大戰的副產物，在實用上及數量上而言確是如此，這是由於軍事上需要的原故；但雷達原理係在一八八七年由物理學家Hertz

所創造，他發現電磁波的特性與光波極爲相似，能被各種物體所反射，亦能以適合的集焦反射器將之集焦，使成波束(Beam)。

由此開始，雷達就逐漸發展改進，在Hertz年代中，從試驗得知高層大氣對電磁波亦有反射作用，因高空中有各種離子層的存在。

一九三三年Dr. A. Hoyt Taylor在位於Columbia區域Potomac及Anacostia二河流交接處的美國海軍試驗室首先對電磁波作實用上的試驗，當時發覺高週電磁波被河流中行駛的船隻所截阻而使訊號受到損失，這一點發現被假定爲電磁波可以用來探測敵人的艦艇。

跟著就對連續性電磁波及脈動性(pulse)電磁波進行研究，研究過程概述如下：

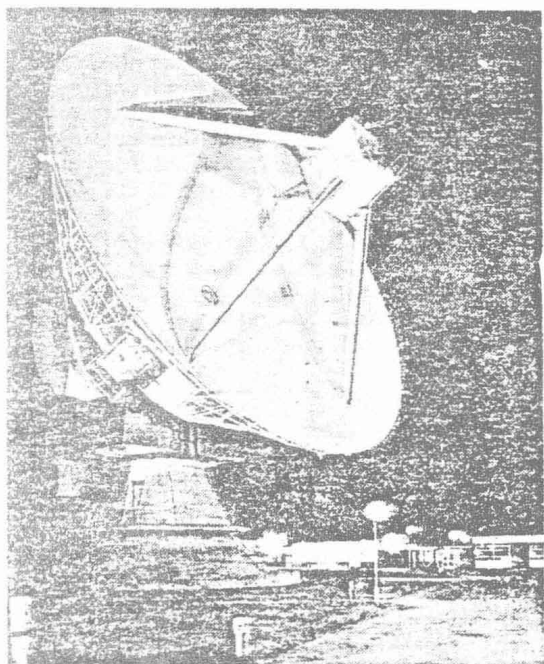
(a)一九一五年Carnegie學院首先使用脈動電磁波研究離子層。

(b)一九三〇年在海軍試驗室作進一步研究，證明使用連續波發射系統在實用上可以探測船隻及飛機。

(c)一九三四年美國通信兵團實驗室使用連續性電磁波在近距離中探測目標；而結果發現使用脈動電磁波能探測更遠的距離。

(d)一九三五年在英國Robert Watson-Watt使用與美國通信兵團實驗室試驗用相同的電磁波發射系統作試驗，並於同年成功地製造成雷達(圖一)。

此後，雷達的發展非常迅速，尤其是在英國，由於當時國際政治情況惡



圖一 位於英國南方 Chilbolton 的10公分波長雷達

劣，需要建立防空早期警報網，並於一九三七年建造完成。這一措施使英國在雷達發展中領先，直至一九四一年。

由於美國被捲入第二次大戰，需要加速發展雷達。美國軍方各實驗室也大力進行研究；但由於人員及設備仍嫌不足，乃採取緊急措施，於一九四一年與英國簽立協定，雙方合作進行研究及製造；同時美國在 M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) 設立一座無線電輻射研究所 (Radiation Laboratory)，集中數以百計的科學家進行研究，並獲得貝爾電話實驗室 (Bell Telephone Laboratory) 的協助，不久之後，美國和英國在雷達發展方面領先敵人，這使盟軍軍事上漸獲優勢，戰爭得以及早獲得勝利。

三、雷達氣象學之研究與發展

二次大戰中使用雷達，發現雷達螢幕上出現有降水回波，妨礙著雷達在軍事上的探測，敵人就利用這種降水的掩護進入盟軍領空；並在空中撒放細小的金屬薄片 (Chaff)，混亂盟軍雷達觀察員，以達成軍事上的目的。

在另一方面，由於雷達觀測降水區域對軍事活動上有極大價值，氣象人員曾作短距離天氣預報之用，諸如偵測雷雨位置等。但是，在戰爭期間雷達

氣象學的發展非常緩慢，這是由於設備不足及當時雷達被列為高度機密的原故；戰爭結束後，限制被解除，這門新興科學——雷達氣象學——才被人所注意與發展。

西元五十—七十年代，這門科學仍嫌缺乏對這方面有研究的氣象學家和電子工程師，故戰後雷達的發展仍以軍事用途為優先。少數科學家們利用戰後雷達剩餘物資用以研究氣象變化，乃漸漸明瞭這些軍用物資在氣象探測方面的可能性及限制性，並盡可能予以修改，以更適合於氣象探測之用，逐漸將各種適合於氣象探測目的的因素組合於雷達之中而成為氣象上專用雷達。由於雷達價值太高，而戰後又感到財政上的困難，故祇有兩種氣象專用雷達發展，第一種 CPS-9 型為美國空軍所使用，目前這種雷達已安裝於全世界各戰略地點；第二種是 WSR-57 型，為美國氣象局及海軍所使用，這種雷達有著許多優良特性，在氣象探測上已被認為滿意。我國於五四及五八年在花蓮及高雄所裝設之雷達均為美國雷森公司 (Raytheon) 出品之 WSR-64M 型氣象雷達，探測半徑四六四公里。

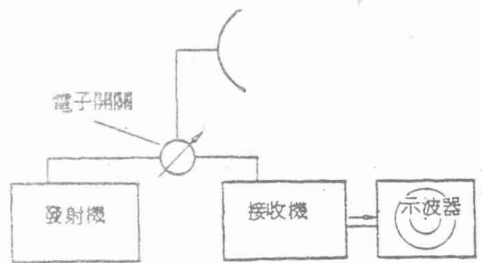
利用雷達以探測大氣之歷史已有許多年了。在早期，一般雷達只被應用為探測降水的有效工具，因為它不但具有時間與空間解析力 (resolution)，又可用為提供定量降水 (率)、偵測鋒面位置及雷雨強度，由於這種雷達是屬於不可測相位 (non-coherent radar)，故稱為傳統性雷達 (traditional radar)。但在近代，由於科技 (電腦、電子及電信) 的進步，一種利用都卜勒效應 (Doppler effect) 的可測相位雷達 (coherent radar) 已被發展出來。前者所謂傳統雷達只能傳回回波強度及位置而無法記錄傳送脈波 (pulse) 的頻率及波長。後者可記錄輸出波之頻率與波長，並且可與回波之頻率及波長比較而導出沿雷達波軸徑向 (radial) 目標物之移動速度。基於此種能力都卜勒雷達近年來已被廣泛用於強烈雷雨、風切、亂流、中尺度雲系之動力與結構之觀測與研究。

四、氣象雷達的基本原理與結構

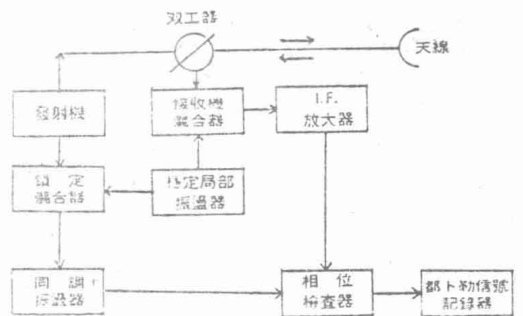
有些雷達非常微弱，發射之電力像普通的燈泡一樣，有些雷達則非常強，其在極短促時間內所發射之電力，可照耀著整個城市。但在原理上，它們是完全相同的。基本結構上，它們都包括一部發射機、一部接收機、一座天線及一部示波器 (Illa-Ilg) 茲介紹如下：

(一) 發射機 (Transmitter)

發射機為雷達架構之主要部份，當調變器 (modulator) 所輸出的電流送至發射機，激發振盪器使發射機發出高頻脈波。一般言之，發射機最重要部份為磁控管 (Magnetron)，這是一種特別製造的電子管，能够產生合



圖二 a 以方塊圖表示傳統雷達之主要部份



圖二 b 以方塊圖表示都卜勒雷達之至要部份

乎要求的高頻波及相當高的電力，換言之磁控管就是高頻率振盪器 (Oscillator)，其振盪頻率係由磁控管內的諧振空腔大小及其排列所決定，同時亦受磁場左右，但其振盪時間則受調變器來控制。

(II) 接收機 (Receiver)

接收機之主要功能當然是接收來自目標物的反射回波，但因此種回波通常都很微弱，因此回波到達接收機後，必須經過放大、檢波及再作電力電壓放大，使適合陰極管的顯像要求，接近機中各部份電路都是按固定頻率設計，除了細微範圍調整之外，不能任意改變。接收機必須具有極高靈敏度能將微小至一〇—一四瓦特 (watt) 的回波電力放大和檢波，方能達到目的。此外，任何接收系統中所難免的固有雜波 (clutter) 又必須保持最低限度，好使微弱的目標回波不致被其混淆抵銷，而能在雜波水準以上經放大而檢出。

(III) 天線 (Antenna)

雷達發射，產生脈波經過發收開關 (或雙工器) 及導波系統送至天線，天線將脈波電能集射成為波柱，射向目標，波柱的形狀要靠天線的幾何參數來決定。同一天線經過雙工器或發收開關 (duplexer or TR Switch) 亦能接收回波，爲了保護天線，其外可加設保護罩，且雷達波可自由通過而不被吸收。

(四) 示波器或顯示器 (Indicator or TV Scope)

示波器又稱顯示器或 TV 銀幕，用以顯示探測的「氣象目標」，它是由陰極射線管配合電子電路及各種機械所組成，猶如日常生活中所見的電視銀幕。目標的顯示要求最小的失真度，最小的參數差誤以及足夠的清晰度，以供辨認目標。

示波器通常分爲許多種，最常見的有 A 型、B 型、R 型、F、P 型 (即水平位置指示器 Plan Position Indicator 如圖 III) 及 E 型 (距離高度示波器 Range Height Indicator, 如圖 IV) 等，可依使用目的而設，近代雷達示波器均改用爲彩色銀幕，可接降率率 (強度) 或風力大小，分成許多級數，以便辨別氣象特徵 (如鋒面、颱風、龍捲風等)。

以上所述爲雷達之基本結構。由於有些雷達裝置體積龐大，擁有數百個真空管。因爲構造複雜，故需甚多人員來管理與運用。但是有些雷達則非常簡單，僅需一位技術人員來維護與使用 (如警用雷達)。雷達構造之複雜與否，決定因素很多，諸如波長、發射電力、天線之大小與型式，以及示波器之數量等。

目前美國氣象局使用之氣象雷達爲 WSR-57 型 (圖五)。此爲美國氣象局所設計之一〇公分波長雷達。其選擇此種波長之主要理由，乃因該雷達之主要功用，係偵測劇烈之風暴，諸如大雷雨、溫帶氣旋、颶風等。雷達以較長之波長工作，僅能偵測大型雨滴，但它能看穿廣佈之雲系和雨系，爲求獲得窄波束，我們則需使用大型天線，圖五所示爲一天線系統。此圓碟型天線之直徑爲三·七公尺，當發射機工作時，天線輻射電力爲五〇〇瓩。其接收機能偵測之信號可小至一〇—一四瓦特。

讀者可以想像，尚有許多其他型式之雷達現爲氣象工作人員所使用。剩餘之軍用雷達仍在普遍予以利用。此外，特別爲氣象觀測所用之其他裝備，已分別由美國、英國及意大利之許多工廠生產製造之中，例如：NCAR CP-3, CP-4; NSSL Doppler, 日本富士雷達等。

五、雷達在氣象上之應用

雷達在氣象上之應用範圍頗爲廣泛，傳統雷達之功能主要是應用其反射回波強度或反射率 (reflectivity)，來作爲偵測天氣現象的電子儀器，至於都卜勒雷達除了具有傳統雷達之功能外，亦可利用其特性 (可測徑向速度) 來偵測天氣中粒子 (particles) 的氣流速度，尤其對於劇烈風暴如颱風 (squall lines)、龍捲風、風切 (wind shears)、晴空亂流 (clear air turbulence) 等。

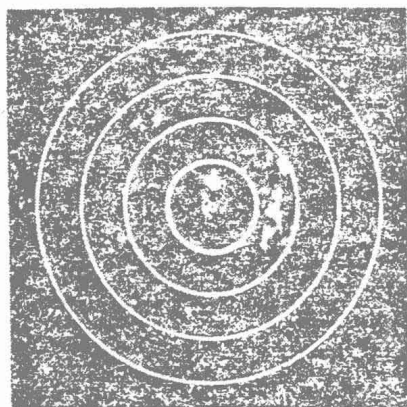
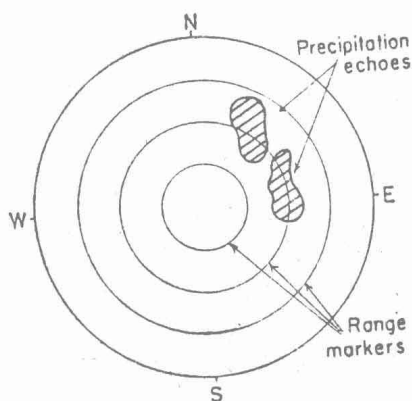
以下我們就把有關氣象雷達之應用成效與回波特徵述說如下：

(一) 冷鋒及飢線

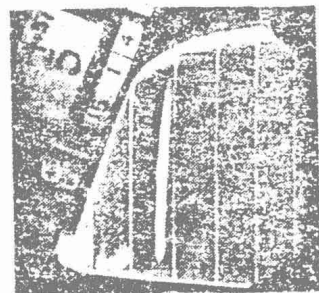
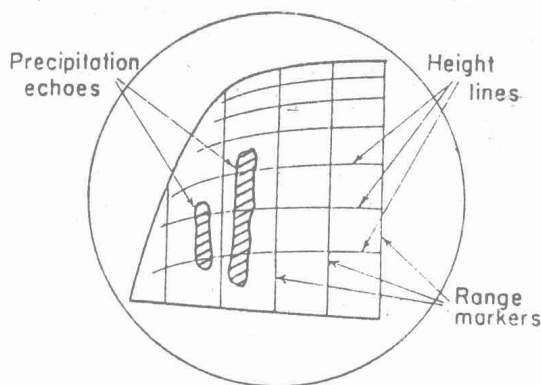
冷鋒為兩種不同氣團或不同密度的空氣所形成的一條不連續帶，因此在雷達幕上可顯示成帶狀，(圖六)，至於飢線則是沿著冷鋒前緣所產生的強烈雷雨羣(圖七)，因此它在雷達幕上所顯示的鋒面相似。

(二) 冷鋒之移向

冷鋒之偵測，已如前述。惟當回波之形態屢有變更時，常使位置發生極大之誤差，故當判斷其個體之形成或速度之變易時，非有精勤之校核，不能



圖三 平面位置示波器或指示器 (Plan Position Indicator, PPI)



圖四 距離高度示波器 (Range Height Indicator, RHI)

奏功。如何發現其移向，當採軌跡追蹤 (trajectory tracking) 照相即可知其動向。

(三) 暖鋒

暖鋒之形態與冷鋒相似。但其降水主要為大氣不穩定狀態下之降水現象，故在雷達幕所看到之回波範圍為較冷鋒為寬，惟其行動並不直接與地面鋒帶發生關連。因暖鋒之行動，尤其在空氣相當穩定時，甚難追蹤，必須偵測得某種特殊形態，然後方可仿照追蹤冷鋒之方法，以時間、位置、路徑、形狀及速度等要素，綜合研判之。

(四) 氣團性陣雨或雷雨

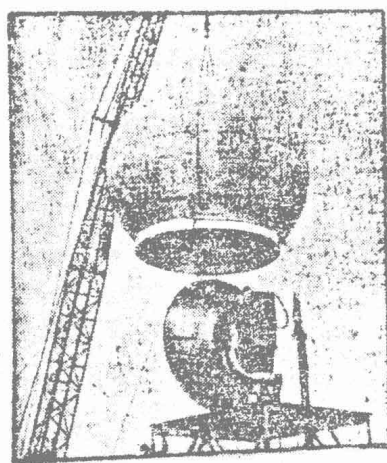
由於這種由氣團所產生之陣雨或雷雨均屬分離(散)狀態，均在雷達幕上大都呈分散或塊狀的形狀(圖八)分布。

(五) 颱風

颱風之結構大都呈螺旋狀 (Spiral) 此與氣流向內吹 (輻合) 有關，故在颱風所形成之雲雨帶均為螺旋狀 (圖九)，如颱風眼 (eye) 明顯時，在雷達幕上更可看到它的「空心明瞭眼睛」，外圍就是颱風環流性降雨，在雷達幕上可有明顯之映像。

(六) 龍捲風

在極不定的大氣狀況下，很容易發展成中尺度氣旋 (mesocyclone) 以構成劇烈的龍捲風暴，而雷達幕上亦可能發現類似鈎狀的回波 (圖十a) 但由於傳統性雷達對龍捲風之判別不易，近代都改以都卜勒雷達來偵測龍捲風



圖五 正在安裝暴風探測雷達天線罩。該雷達為10公分波長 WSR-57 型之萬象雷達。天線罩可通過雷達波，並保護天線不致受雨、雪、風之損壞。

風暴，因為它可用強烈的風切或細窄的條狀呈現銀幕上（圖十B）
 (b) 其他應用

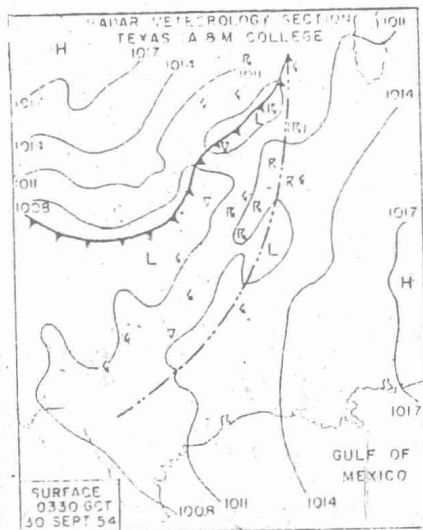
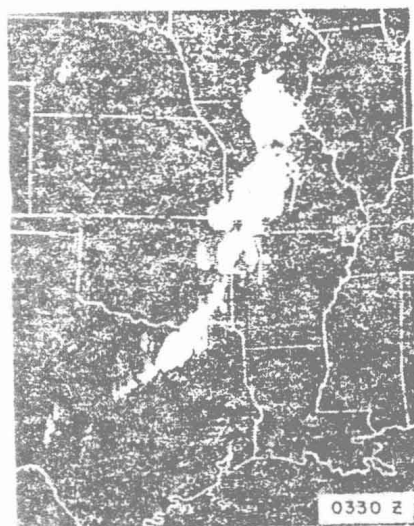
東風波 (easterly waves)、電暴 (hail storm)、亂流、垂直速度、雨
 雪交界區域光帶 (bright band)、閃電、風切 (wind shear) 及近海波浪
 狀況等均可應用傳統雷達或都卜勒雷達來偵測。

六、我國雷達氣象之現況

本省四周環海，氣象瞬息萬變，而造成之災害年有所聞，尤以夏秋之交



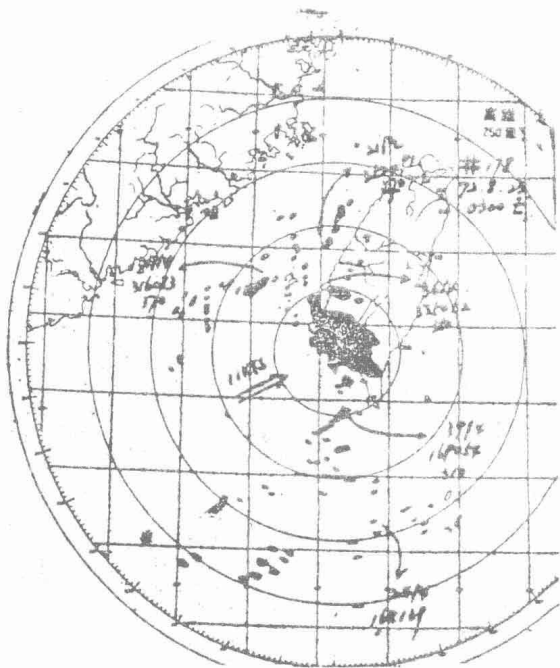
圖六 PPI 顯示器上所表現之冷鋒回波圖



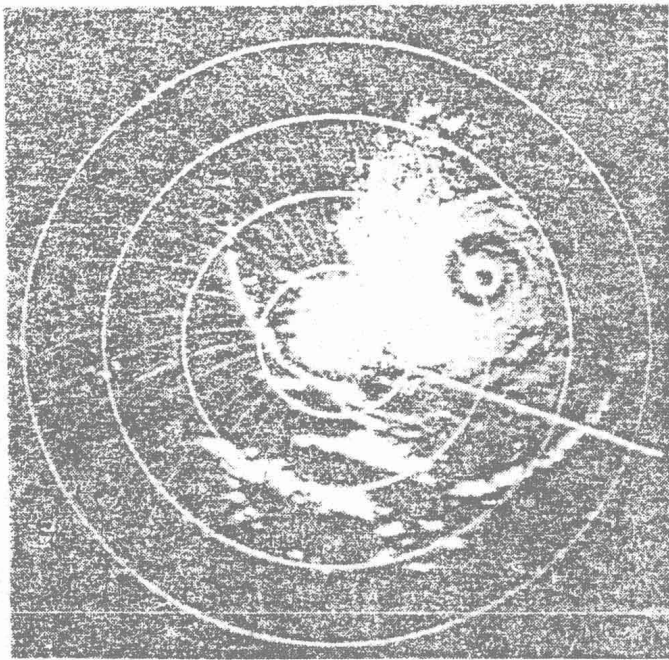
圖七 雷達幕上所顯示之鮑線 (squall lines) 回波圖

，因颱風入侵造成之災害更是無以計數。為了有效防止颱風及其他劇烈天氣
 (如雷雨、豪雨) 之危害，中央氣象局特於民國五十四年及五十八年先後完
 成花蓮及高雄兩雷達站 (WSR-64M)，以便有效監視來自鄰海四周的大氣
 現象。然而，花蓮、高雄這兩座雷達經過十多年的使用後已超過規定之壽年
 ，因此機器型式陳舊、零件逐漸不易補充，經中央氣象局慎重選擇採購美國
 EEC公司產製之 WSR-74S 型及 WSR-81S 型氣象雷達，並附加電腦處
 理顯示系統。其中花蓮雷達站於七十年底換裝完成，七十一年元月正式啟用
 ，高雄雷達站於七十四年二月底換裝完成，三月起正式啟用。茲誌此兩者之
 一般雷達參數及優點如下：

- 雷達參數：
- 天線型式：圓型拋物面
 - 天線直徑：十二英尺（三·六公尺）
 - 天線增益：37 Db
 - 掃描方式：水平 0—360°
俯仰—2—60°
 - 波柱寬：2.2°（圓柱形）
 - 工作週率：2700—2900 MHz
 - 額定電力：500 KW
 - 涵蓋範圍：464公里（250浬）
 - 具有降水數據視頻積分處理（DVIP）
 - 來復頻：長波 164 PPS
短波 545 PPS
 - 脈波寬：長波 4 μ s
短波 1 μ s
 - 駐波比：1:1.15
 - 接收中頻：30 MHz

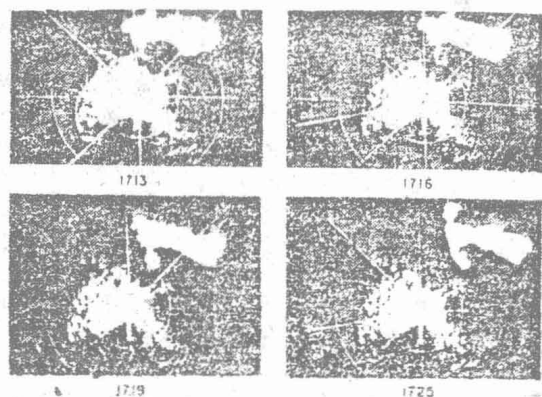


圖八 72年8月23日03，高雄雷達站降水回波圖，由圖中顯示臺灣西南部有很大的雷雨回波

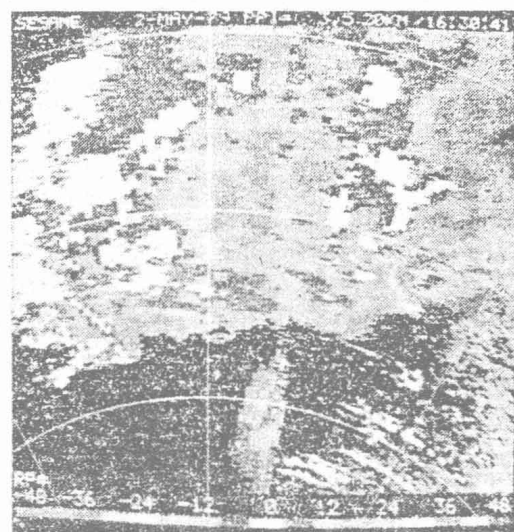
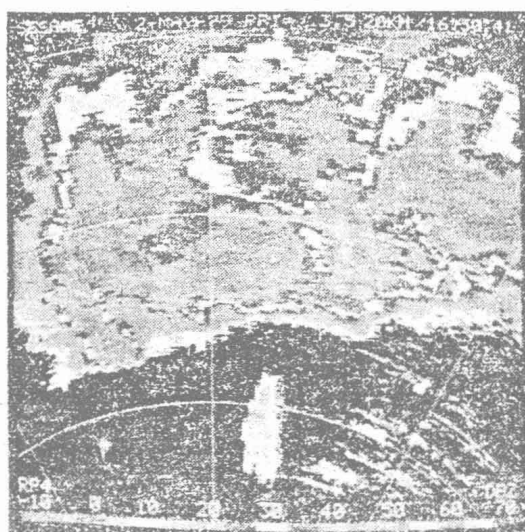


圖九 雷達幕（PPI）上所顯示之颱風或颶風回波圖，圖中右上方有一小小黑圈即為颱風眼位置，其外圍有許多螺旋形（Spiral）雲帶。

- 接收靈敏度：-104~-109 dBm
- 自動及人工照相記錄
- 附加電腦之優點：
- 信號電腦處理，使回波以六種不同之彩色顯示、觀測方便、迅速。
- 資料記錄：1. 磁帶記錄（可放映重顯，便於分析及研究）。
- 2. 傳真記錄。
- 3. 報表記錄。
- 電腦控制天線於水平掃描時逐步升高，可作等高平面顯示（CAPPI）亦可作立體（3-D）顯示。
- 數據訊號可經數據電路輸送至遠地彩色顯示。
- 颱風追蹤系統，可定時顯示颱風中心位置，並可轉換為經緯度。
- 除雷達回波、方位、距離外，尚可顯示站名、日期、時間、颱風名稱、位置、移向、移速及城鎮、海岸線、經緯度等地理資料。
- 可任意偏移顯示器中心，使局部信號放大二至八倍，便於分析。



圖十 a 在連續的雷達觀測中，龍捲風的「鈎」狀結構出現於3公分波長雷達的雷達幕上。從地面反射，造成極亮的中心與許多小點。從圖片上可見，龍捲風產生於一大片雷雨回跡之位置。圖片攝取時間顯示於每張照片之下方。



圖十 b 利用都卜勒雷達偵測位於 Oklahoma 中北部（發生於1979年5月2日）的兩疑似有龍捲風形成風暴。

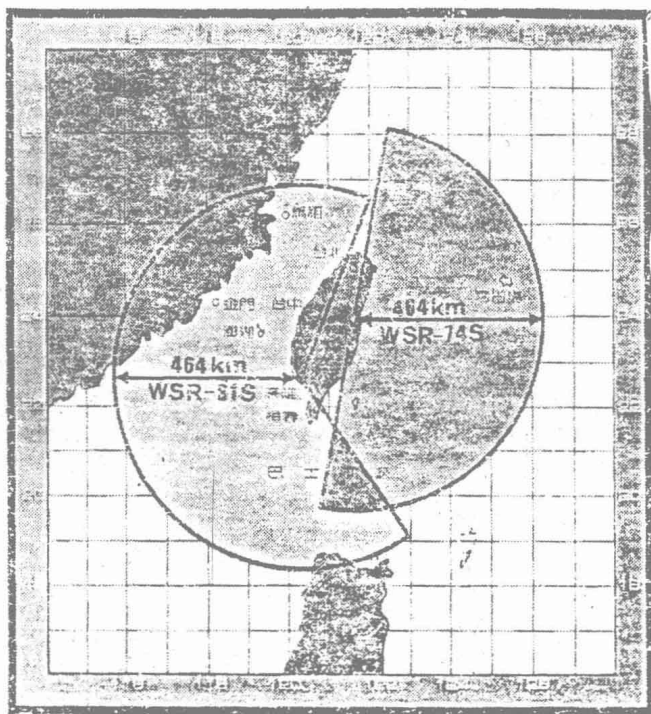
· 回波顯示，可保留不變，便於分析或拍照。

目前，我國中央氣象局擁有兩部雷達，來監視臺灣地區的颱風及其他降水現象，雖兩者涵蓋面很廣，但仍然有死角存在（圖十一），加上在北部地區對於來自北方或西北方移入的天氣系統均無法使用花蓮及高雄雷達來偵測，以提供天氣預報之用，因此中央氣象局目前正計畫在北部地區也增設一部氣象雷達（可能以最新型的都卜勒雷達）。此外，國立中央大學也在一九八五年五月完成可測中層大氣的特高頻（Very High Frequency, VHF）相位陣列雷達，此種雷達，不僅可以了解中層大氣變化且對於低層、高層大氣、電波干擾及傳播異常系統現象可作進一步剖析與研究。民航局更計畫在近一、二年完成北部機場的雷達之裝設，以加強北部中正及松山機場危害飛行天氣的測報。

七、氣象雷達之未來發展—NEXRAD 計畫概述

(一)計畫導因

雷達自被應用於天氣測報後，已為世界各國氣象界推崇，但在過去一九六〇年代前後所出產的真空管雷達（如 WSR-57, WSR-64M, AN/FPS-6）等，因在近年來對於機器之維護頗為昂貴，加以這些傳統雷達只能靠有經驗



圖十一 中央氣象局花蓮高雄氣象雷達涵蓋圖，由圖中顯示本省地區仍有死角存在。

的工作人員依回波強度去辨認天氣特徵及位置，對於諸如陣風鋒面（Gust front），風場，亂流則付諸闕如。因此，美國氣象局考慮這些因素及根據專家學者對都卜勒雷達之研究基礎及建議，由商務部（Department of Commerce; DOC）之國家氣象局（NWS），交通部（Department of Transportation; DOT）之聯邦航空總署（Federal Aviation Administration; FAA），以及國防部（Department of Defense; DOD）之空軍氣象服務部門（Air Weather Service; AWS），為保障其本身單位之安全需要，因此特聯合提出「NEXRAD（Next Generation Radar）計畫，期以最新式多功能的都卜勒雷達系統網（Radar Network）取代過去老舊的雷達網。而其最終目的為改進雷達資料處理及正確性，兼可作即時作業以提高對劇烈天氣預報的可信度，提早預警時間以減少生命及財產損失。

(一)所需功能規格

- A 基本雷達系統及資料處理方面—
- 資料蒐集 (acquisition) 率必需性及策略

· 混雜回波抑制技術 (Clutter Suppression Techniques)

· 自動校準 (對) 系統，故障偵測及定位

· 可以程式表達的都卜勒處理

· 天線設計的堅固對系統功能之影響

· 調變資料分析及顯示控制管理系統

· 線上 (on line) 作業的電腦需求

B 自動分析技術方面—

· 風暴現象的都卜勒資料建構

· 分析技術可用於——降水量、風（場）、龍捲風、熱帶氣旋（颶風）

· 颱風（中尺度氣旋（mesocyclone）、雷雨、亂流、積冰（icing）

· 電暴（Hailstorm）、凍結或融解層（Freezing/Melting Level）

C 自動分析與供應用戶（使用者）產品方面：

· 解釋方法（Interpretive Techniques）

· 多雷達之資料拼接（Mosaicking）

· 資料密合與傳遞

· 分散資料處理之評估

· 操作員與機器間的界面（Interface）

· 交換（互）氣象雷達顯示技術

以上規格之最後結果於一九八五年送交廠商設計以作為全部發展階段時程之部份。

(二)計畫時段及期限

1. 計畫時段—NEXRAD 計畫分下列四期（phase）執行：

(1) 系統定義期—除對作業系統之性質、功能、特徵及成本定義之外，

尚包括系統設計、加選裝置之評估、市場研究、需求分派、形狀確定、時程計畫及成本估算。

(2) 系統印證期—於此期中將提出詳細的副系統規格、細部設計、創造

規格之真正作業系統。

(3) 有限生產期—在生產前模型再經擴大作業測試完成前，訂定一中間

決定期以減少投資冒險。亦即是整個計畫在控制下達到全盤製造速率。

(4) 全盤生產期—迄今已計畫生產一六〇套系統。

2. 期限

自一九八二年二月收到三件競爭合約供系統定義期研究起，到一九八二年十二月收到系統印證期所需之設計構想報告及建議書，即完成了第一期計畫工作。

實際在三家投標公司中，Raytheon 及 Sperry 兩公司於一九八三年

畫工作。

實際在三家投標公司中，Raytheon 及 Sperry 兩公司於一九八三年

(下转第七页)