
第七章

天氣預報

- | | |
|------------|----------|
| 7-1 氣象觀測 | 7-4 天氣預報 |
| 7-2 天氣圖的填繪 | 7-5 天氣改造 |
| 7-3 天氣分析 | |

大氣科學的應用範圍很廣泛，天氣預報是其中最重要的一項工作，因為人類一切經濟活動，幾乎都可透過天氣預報而獲益。

任何科學的預測必須基於初始狀態的正確觀察，所以本章也從氣象觀測開始。7-2 節說明如何把觀測所得原始資料，綜合填繪到天氣圖上；藉著天氣圖，氣象人員才能完成大尺度天氣的分析，進一步做各種天氣預報。在 7-3 和 7-4 節內對此作一扼要介紹，並以實例解釋。

即使天氣預報達到完全準確的理想境界，仍舊是人對環境的被動因應。人類更有主動改造天氣的雄心，所以在最後 7-5 節內略述這方面已作的努力和展望。

7-1 氣象觀測

大氣科學和其他自然科學最不相同的是，它不能把研究對象置於實驗室內，在易於控制的條件下觀察、實驗，它的研究對象是全球一體的自由大氣，既無法控制，也不能僅取樣本來觀察，所以現代氣象觀測的規模必須是世界性的。本節便從觀測網的建立說起，然後敘述觀測的重要內容和

方法，但已在實驗手冊提及的觀測儀器部分則不再重複。

7-1.1 氣象觀測網

氣象觀測可分地面觀測和高空觀測兩種，其目的至少有下列三項：

(一)提供即時性的公共服務，尤其是交通事業所需的天气報告。

(二)提供繪製天氣圖必需的氣象綜合資料，作未來天氣預報的依據。

(三)累積氣象紀錄，經統計製成各地氣候資料，提供學術研究、軍事行動、土地開發、區域規畫等決策所需。

前兩項目標之達成，有賴於建立一個廣泛的觀測網，其作業程序必須舉世統一、不分畛域地通力合作。這個龐雜工作現由設在日內瓦的世界氣象組織 (WMO) 負責，協調全球百餘國家合作執行。

目前正式測站（約一萬餘個）密度本已偏低，加以分布十分不均勻（大部分測站密集在少數開發國家境內），據估計地球約 80% 面積迄無正常觀測，只有藉為數極少的船舶及飛機氣象報告稍事補救。

一、觀測時間

所有觀測必須在同時舉行方有意義，所以 WMO 規定全球測站概以世界標準時間為準，分別在 0000、0600、1200、1800Z 舉行綜觀天氣觀測，以供一日四次繪製天氣圖之用。其餘逐時觀測，除紀錄備作氣候資料外，主要用途在飛航需要，觀測重點也略有不同，稱為飛航天氣觀測。航空站氣象臺遇天氣突變時，還需要隨時另加特別觀測。

二、氣象通信網

氣象觀測報告必須爭取時效，所以各級氣象中心都利用專屬線路，配合衛星、電腦設備，完成最快速的氣象通信網，以達迅速傳遞資料的要求。同時，WMO 規定所有報告均依國際氣象電碼的標準格式編碼，使更易納入自動化資訊系統處理。

7-1.2 地面觀測

一、定義

氣象觀測是對當時大氣真實狀態的一種測定，而藉各項氣象要素和天氣現象正確的表達出來。

地面觀測則指從地球表面（包括海面）某一點所作的氣象觀測。其實觀測對象不限於地面，也包含天空中的雲狀等在內。這一名詞是後來有**高空觀測**後，為示區別而定的。同時，它也意指這種觀測的主要目的在為「地面天氣圖」準備原始資料。

地面觀測是氣象觀測的主幹，按前述目的又可分為綜觀天氣觀測、飛航天氣觀測、航海氣象觀測、氣候觀測等四種類別；實則各類性質大同小異，綜觀天氣觀測的詳式內容足可概括其餘。

二、觀測項目

以綜觀天氣觀測為例，WMO 規定每六小時一次的地面觀測必須包括下列項目（簡式）：1. 天空狀況，2. 風向、風速，3. 能見度，4. 氣溫、露點，5. 海平面氣壓，6. 三小時來氣壓趨勢，7. 降水量，8. 現在天氣，9. 過去天氣，10. 雲狀、雲高。其他還有很多項目，視需要增加進去（詳式）。

三、觀測場

地面觀測所需儀器除氣壓計外，都裝置在戶外草地上的觀測場內，使各項氣象要素的讀數能表示出自由大氣的真正性質。各式氣溫計（儀）和濕度計（儀）必須放在百葉箱內，以避免直接日射及雨雪霜露的附著，並保持適度通風。百葉箱本身應離地面兩公尺，門開在向極地一方，如圖 7-1 所示。

其他如風向風速計、雨量筒、蒸發皿等也都設在觀測場內。航空站的氣象臺為飛行安全計，必須在跑道附近裝設測雲高的雲幕儀和測視程的能見度儀。

現代化的氣象儀器都經設計成電子感應、自動讀數紀錄，並將訊號由電纜或無線電傳送到固定地點，經處理後直接以數字顯示（圖 7-2）的自

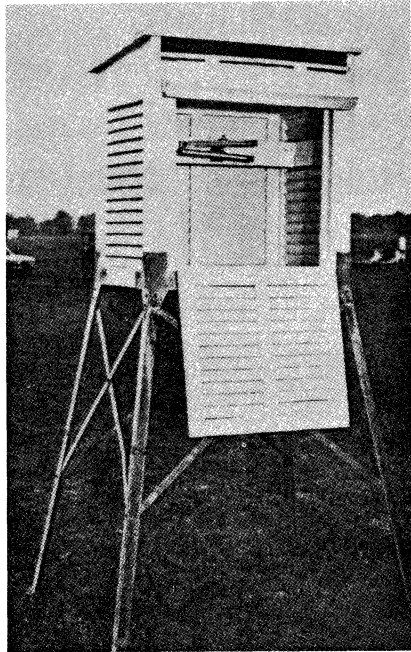


圖 7-1 設在觀測場內的百葉箱

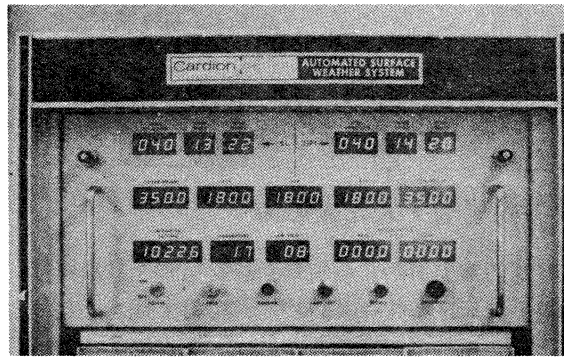


圖 7-2 自動化地面觀測系統的數字化指示器，隨時顯示各項氣象要素的讀數。

動化系統。工作人員可安坐室內讀取結果，不必親臨觀測場逐項觀測。但天空狀況、雲、天氣等項目仍須觀測員在戶外空曠處親自目測，所以他的觀測技術必須十分熟練，才能兼顧迅速和正確的要求。

四、氣象電碼

從綜觀天氣觀點看，單一測站的觀測本身並無意義，所以觀測員在舉行觀測後，必須立即將資料傳送到氣象中心集中處理。從飛航天氣觀點

看，一地所作觀測更要越快發布出去越好。

為節省資訊容量，加強傳送速度，以及利於嗣後自動作業（ADP 系統）起見，一切氣象資料的輸出、輸入都先經過編碼的手續。各種性質的電碼概由 WMO 統一制定標準格式，**國際氣象電碼**形式上的特色是每組五碼為原則。

7-1.3 高空觀測

一、定義

對某一測站的高空大氣所作氣象觀測稱為高空觀測。通常都由氣球攜儀器飛升，向上逐層觀測氣象要素，故亦稱**高空探測**或簡稱**探空**。

高空觀測所得資料主要作用在為各層**高空天氣圖**準備原始資料，以便分析高空大氣的綜觀形勢，但有時也直接用於飛航或氣象研究。

二、觀測項目

高空觀測的項目比較少，WMO 規定探空站每十二小時一次的觀測，僅包括四項重要氣象要素如下：1. 氣溫，2. 濕度，3. 氣壓，4. 風向、風速。但每次觀測須報告至少六個標準等壓面（見 7-2.2 節）上的資料，必要時還須另加特性面的資料，所以電碼內容較諸地面觀測尤為冗長。

三、雷文送系統

攜帶氣象儀器升空的載具，雖有紙鳶、飛機、火箭等多種，但合乎經濟原則、可以經常實施的唯有氣球一種。當氣球飛升途中，所攜儀器隨時將測得氣象參數用高頻無線電訊號送回地面接收機，故稱為**無線電探空儀**，有時音譯為**雷送**，取其簡稱。加入測高空風的功能後，整套觀測設備合稱**雷文送系統**。通常氣球可升達約 30,000 公尺才爆炸，所以雷文送系統是目前最有效的高空觀測工具。

其他高空觀測方法還有 1. 火箭探空，2. 衛星探測，3. 等高面氣球觀測。以目前情形說，各有其經濟上或精確度的限制而不能普遍實施，多用於專題研究方面。

習題 7-1

1. 如果要達到每 200 公里有一測站的密度，全球應設多少測站？
 2. 氣壓計為什麼不裝在戶外觀測場內？
 3. 百葉箱的門為什麼要開在朝極地方向？
-
-

7-2 天氣圖的填繪

天氣圖是綜觀天氣圖的簡稱，目的在以圖示方式綜合表達某一廣大空間內，某一特定時間上的大氣狀態，可分為地面天氣圖和高空天氣圖兩種。兩者均以一幅地圖為底圖，經過資料填繪和天氣分析的過程而成。

7-2.1 地面天氣圖

天氣圖上的空間有限，地面觀測的內容卻很豐富，為利於分析，當然希望所有資料都能填上圖去。所以必須規定一種全球一致的填圖模式，盡量利用數字和符號，簡明而綜合地把資料填繪在代表測站的小圓圈周圍。

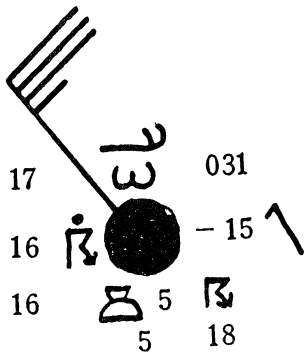


圖 7-3 地面天氣圖上的填圖模式實例。

- 1、風向/風速為西北風 35 哩/時。
- 2、031 代表氣壓為 1003.1 如 1mb。
- 3、17 代表氣溫為 17°C。
- 4、左下角的 16 代表露點 16°C。

圖 7-3 是桃園中正國際機場某日某時地面天氣圖上的填圖模式實例。在一張天氣圖上通常有一、二百個測站都須逐一填上，如圖 7-6。

填圖模式中用數字直接填入的大多是儀器觀測部分，例如氣壓、氣溫等。至於目測估計的項目，例如天氣、雲狀、雲量等，另外設計各種符號來表示。這類符號多得不勝枚舉，另在實驗手冊中列舉一些重要而有趣的例子以助認識。

7-2.2 高空天氣圖

地面天氣圖上的資料都以海平面為準，而海平面是一種 $Z = 0$ 的等高面。以此推論，高空天氣圖應取其他水平面為準，例如 $Z = 3,000$ 公尺， $Z = 6,000$ 公尺等，在這種等高面上填入各該高度上的氣象資料，加以分析，從而獲得天氣系統的立體觀念。

在西元 1945 年以前，各國確實是這樣做法。但此後便改採等壓面為高空天氣圖的基準面，並由國際規定下列六層是繪製高空圖的標準等壓面：

標準等壓面	大致相當於等高面高度
850mb	1,500 公尺
700mb	3,000 公尺
500mb	6,000 公尺
300mb	9,000 公尺
200mb	12,000 公尺
100mb	15,000 公尺

高空天氣圖上的填圖模式遠較地面天氣圖簡單，圖 7-4 為某日某時在桃園中正國際機場 500mb 高空天氣圖上的填圖模式。

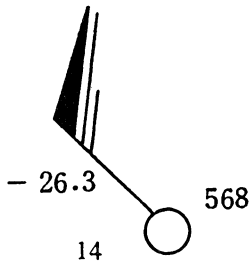


圖 7-4 高空天氣圖填圖模式實例

- 1、風向/風速為西北風 65 浬/時。
- 2、500mb，高度為 5,680 公尺。
- 3、氣溫為 -26.3°C 。
- 4、溫度與露點之差為 14°C 。

習題 7-2

1. 我們不太要求地圖的 投影比例值，因為在天氣圖上 計算距離往往以經、緯度為單位。試計算地表緯度 1 度的實際弧距是多少公里？
 2. 已知緯度 ϕ 上兩點之間的經度差 $\Delta \lambda$ ，試寫出地面弧距 D 的公式。
-

7-3

天氣分析

廣義地說，凡根據實際觀測對大氣狀態所作的整理、分析工作都是天氣分析，可以涉及各種天氣尺度和時、空變化。本節將討論的天氣圖分析只是其中的一種，因為它分析的對象限於某一時刻綜觀尺度的天氣系統，但它是應用最廣泛的一種天氣分析。

具體而言，天氣圖分析是把大氣這個實體分別就各項參數繪製成等值線，表示出氣壓、風、氣溫等場的分布型式，並綜合起來闡釋它們對天氣的意義。

怎樣繪製等壓線是一個技術問題，我們在實驗手冊中（實驗六）另行介紹。這裏對天氣圖上必須加以分析的內容（大氣狀態真相）作一說明。

7-3.1 地面天氣圖的分析

迄今為止，從事天氣分析和預測工作中最重要的憑藉，仍是地面天氣圖。地面圖分析的主要內容，依其重要性應如下列次序：1. 氣壓場分析，2. 鋒系分析，3. 氣團分析。

一、氣壓場分析

依照純量分析方法，將氣旋、反氣旋等氣壓系統分別用等壓線繪出，因為氣旋、反氣旋的位置和氣團、鋒面有一定關係，而且除了熱帶地區以外，等壓線的型式又可表示風場，所以氣壓分析常被列為最優先。

二、鋒系分析

鋒面是兩個不同性質氣團間的交界面，所以可利用多項氣象要素的不連續來決定它的位置，它們包括氣溫、風向、濕度、氣壓趨勢和天氣類

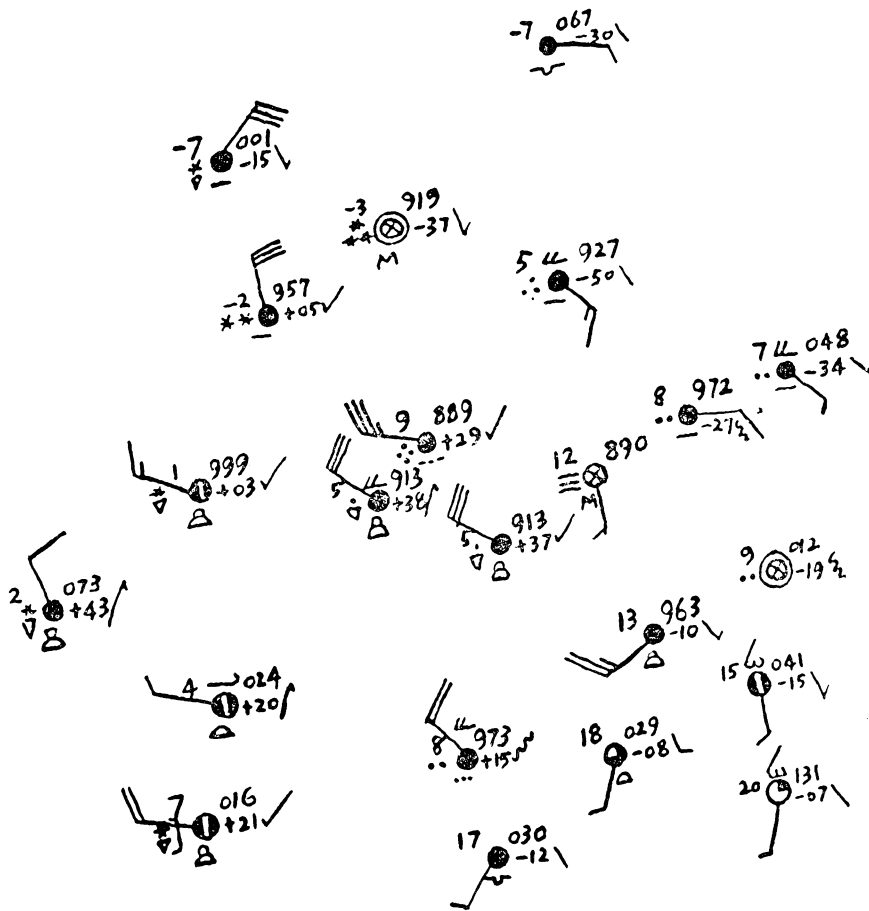


圖 7-5 地面鋒前後氣象要素的不連續現象十分顯著

型。圖 7-5 是圖 7-6 中日本以東氣旋部分的詳細填圖，注意不論冷鋒、暖鋒前後的不連續現象都很明顯。

通常決定地面鋒位置的重要參考有三：

- (一)上次天氣圖上地面鋒的位置。
- (二)等溫線密集帶。
- (三)衛星雲圖上的雲帶。

三、氣團分析

氣團性質及其表現在天氣方面的型式各有特徵，已在 5-1 節內論及。氣象分析人員根據源地、季節、變性可能和大範圍天氣型式，不難決定氣團屬性。

7-3.2 天氣圖實例

現在以民國七十一年一月十九日 0000 Z 的地面天氣圖（圖 7-6）和 500mb 高空天氣圖（圖 7-7）爲例，實際了解一下天氣圖分析的要領和完成後的面貌，並以衛星雲圖配合，如圖 7-8 所示。

一、時間連續性

綜觀天氣系統的時間尺度約在一星期左右，所以分析天氣圖時常優先考慮系統的先後連續性。例如圖 7-6 中在日本東方的濬深低壓是兩天前從山西省移過去的，它的冷鋒在十八小時前掃過臺灣時形成寒潮天氣，使臺灣東北部季風強勁，雲低有雨。但本圖上長江口已出現分裂高壓，故臺灣天氣轉佳。從圖 7-8 的雲圖中可清晰辨認：1. 前一日掃過臺灣現已到菲島東南的冷鋒雲系，2. 華東高壓區內的碧空無雲，3. cP 氣團出海後因變性而在黃海、東海上生成的大片積雲。

鋒面、氣旋等新生系統也不會突然出現，大多在前一張圖上已有端倪，消失時也是一樣。綜合前面兩小節所述各種分析，定可找出系統形成過程的一致性解釋（例如大尺度垂直運動、不穩定天氣區域的相互契合等）。當圖上資料稀疏時，連續性更見重要，再加上衛星雲圖上雲系的指示，應可找出系統新生或消失的跡象。

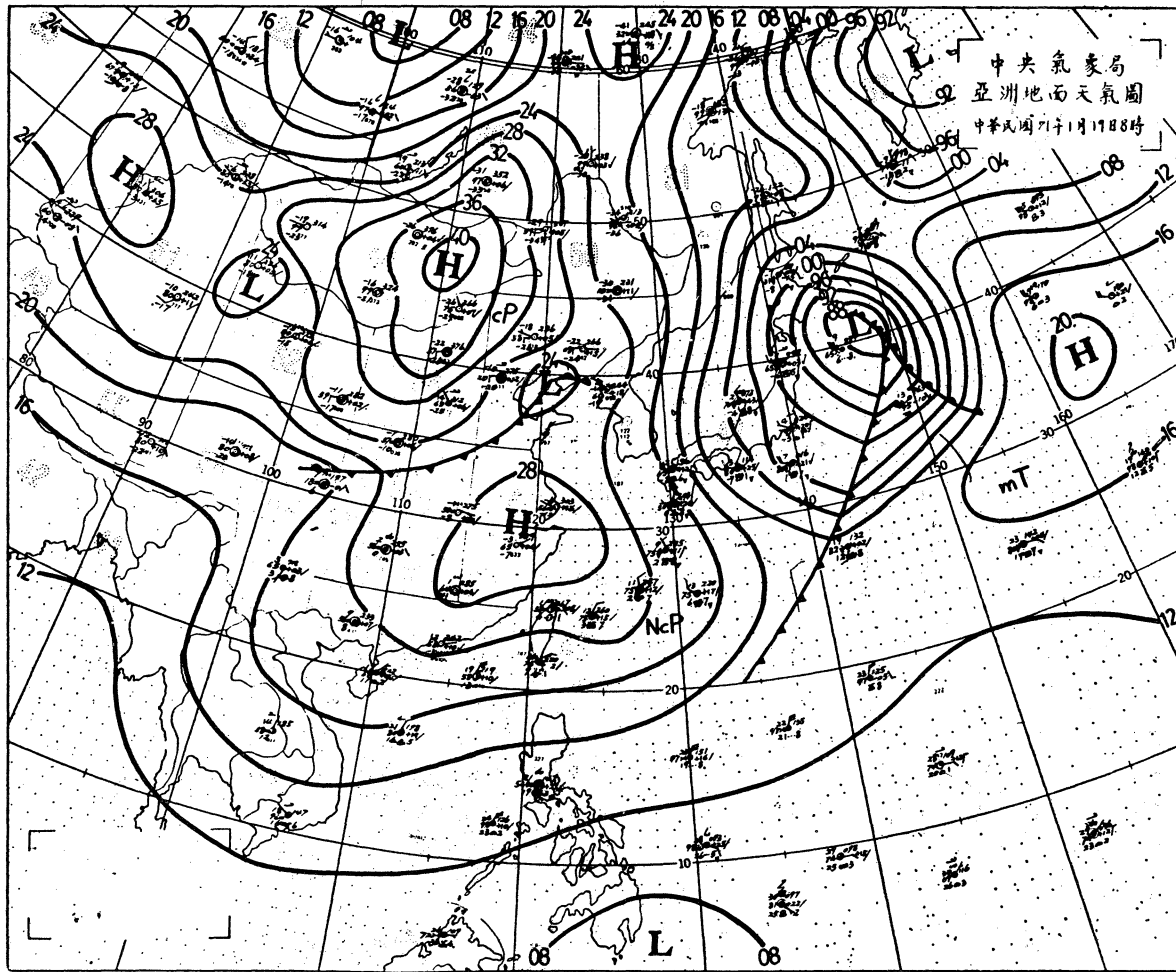


圖 7-6 地面天氣圖分析實例 (民國七十一年一月十九日 0000Z)

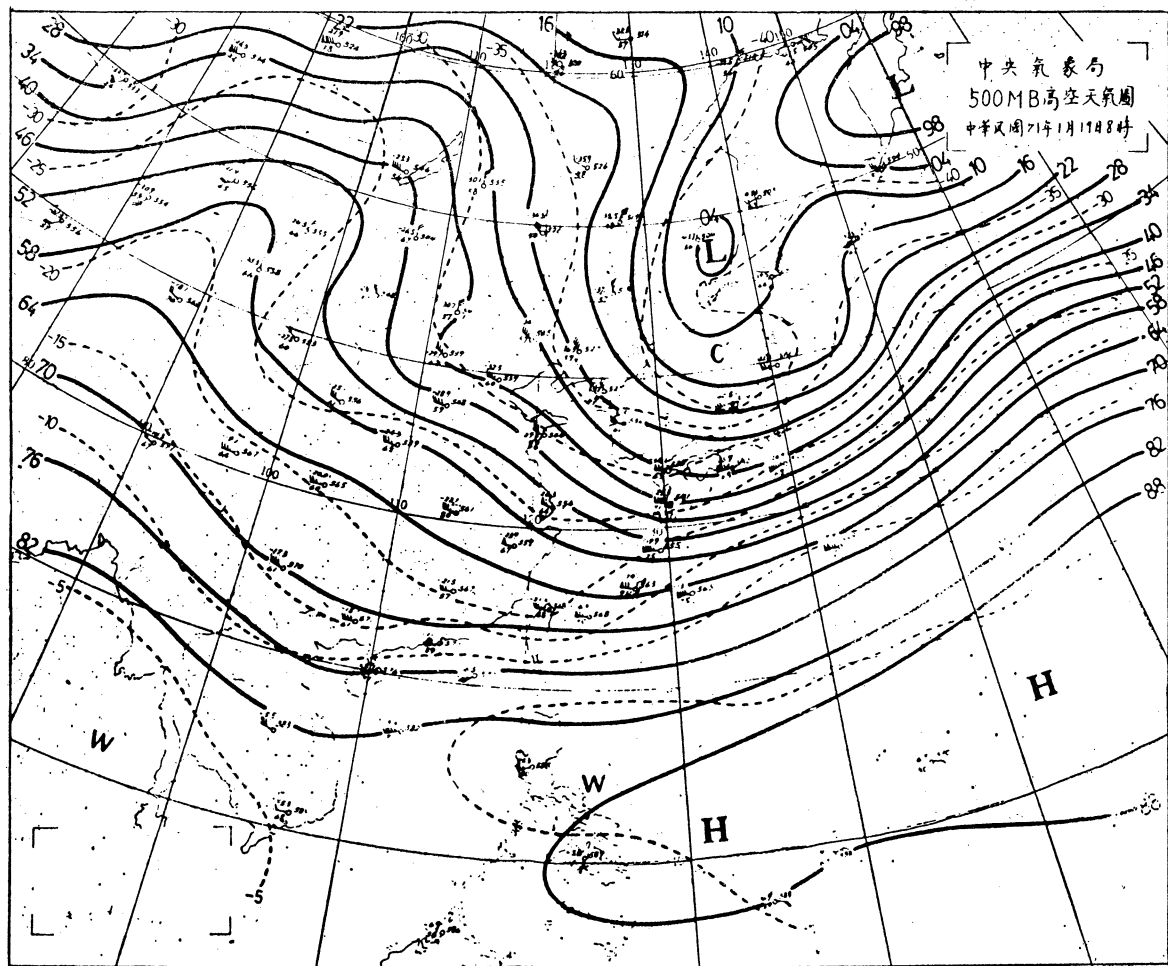


圖 7-7 高空天氣圖分析實例 (500mb 等壓圖, 民國七十一年一月十九日 0000Z)

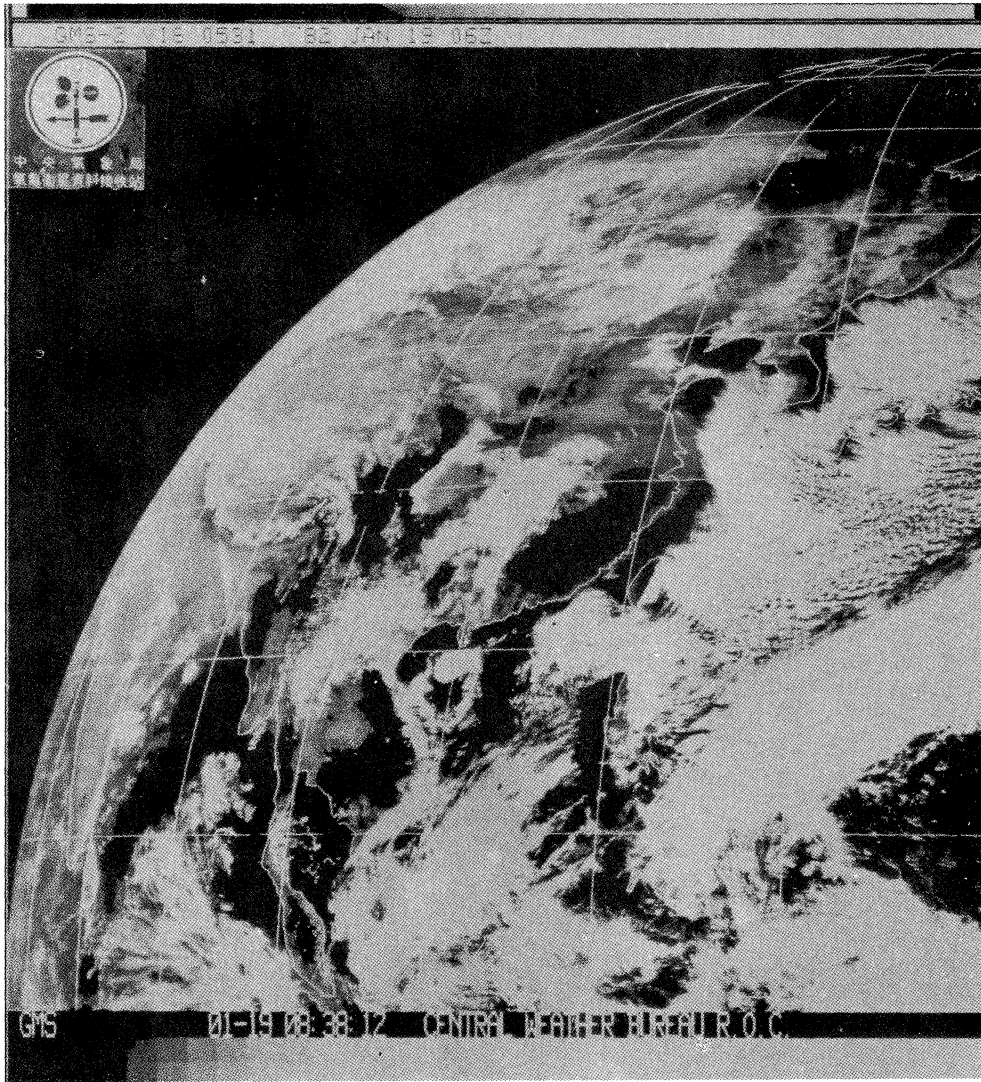


圖 7-8 衛星雲圖實例（民國七十一年一月十九日 0600Z）

二、垂直一致性

天氣系統的垂直構造也有它的一致性，所以在分析地面圖、高空圖時，應該相互配合。例如圖 7-7 中，位於日本的高空低壓槽是地面潛深低壓的反映。但高空系統也可影響地面，如圖 7-6 地面圖中的新生氣旋由於得不到高空低壓槽的有利配合而迅速消失。

習題 7-3

1. 分析氣壓場時，如果沒有等壓線可繪，表示什麼？
 2. 爲什麼氣壓場中高壓中心附近的風速都很微弱，甚至是靜風？
 3. 如果由你開始分析圖 7-6 中的氣壓場和鋒系，第一步先要考慮什麼？
-
-

7-4 天氣預報

天氣分析決定當時綜觀天氣形勢，只是對大氣的「診斷」，而人們研究大氣科學的真正目標則在對大氣行爲的「預測」。天氣預報的技術問題過於專門，非本書所能討論。本節擬在簡介傳統預報到數值預報的演進過程中，指出我們對天氣預報應有的基本觀念及其未來展望。

7-4.1 傳統預報

傳統預報指運用天氣學觀點所發展出來的一套預報方法。它以氣團、鋒面爲基礎觀念，天氣圖爲工具，大氣運動學（大氣動力學中描述運動現象而不涉原因的部分）爲理論根據；雖然有公式可計算系統位移，但主要仍藉預報者主觀判斷和個人經驗決定綜觀系統的變化，繪出二十四小時後的預報圖，並據以預測未來天氣。

例如根據一月十九日 0000Z 的地面圖，參考高空圖上氣流型式以及所有可利用的資料綜合研判後，決定主要系統移動方向、速度，繪製二十日 0000Z 的預報天氣圖（如圖 7-9）。事後驗證：氣壓場大致符合，只是內蒙古高壓並未如預測的加強，新生氣旋和鋒面也沒有發展，反而已經消失。

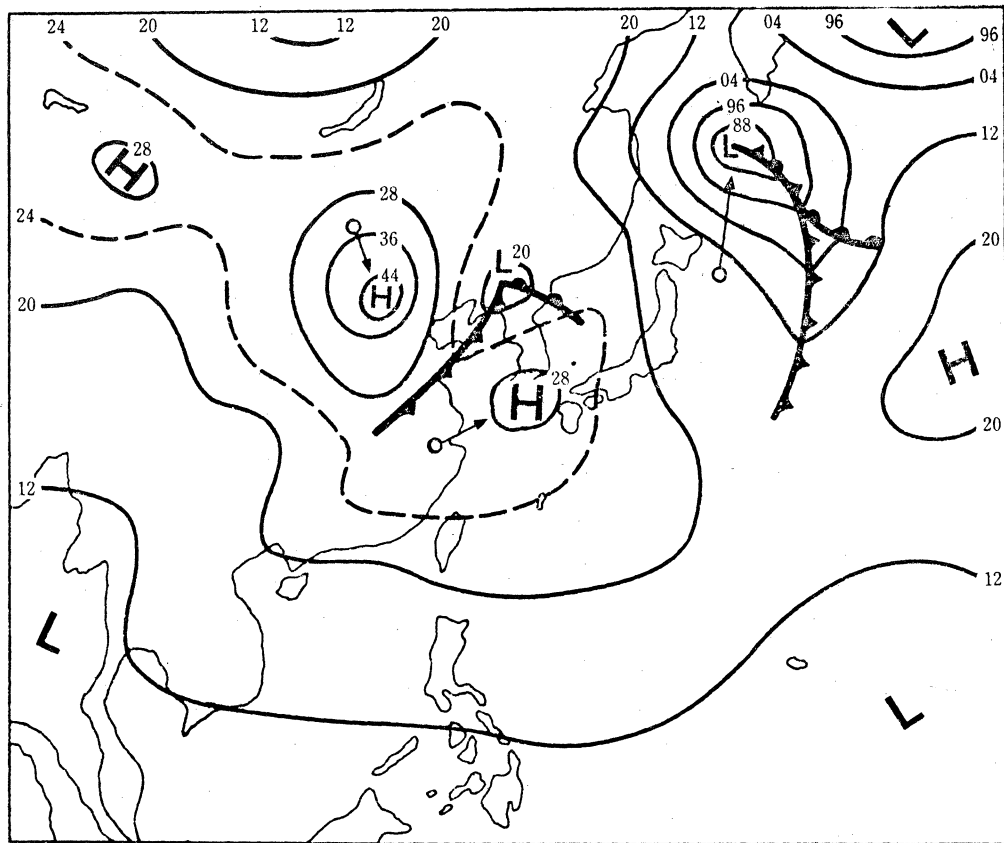


圖 7-9 根據圖 7-6 繪成的二十四小時預報天氣圖

這種傳統預報方式常被稱為「主觀預報」，以示與客觀性的數值預報有所區別。

由於使用的技術以持續法和外延法為主，對一至兩天的短期預報來說準確率較高，超過兩天的展期預報，以及小於綜觀尺度系統的預報能力就十分有限。

這種以鋒面學說為基礎的預報方法是本世紀初葉氣象學的一大突破，其後成為主要的預報方法逾半世紀之久，而且隨時注入學術新觀念，為更進步的預報方法奠基，貢獻確實很大。此外，對多數國家、地區而言，傳統預報顯然還將維持一段時期，以等待一般科技條件的成熟，才能提升預報作業的技術。

7-4.2 數值預報

大氣是一物理系統，其行為受有關定律（方程式）所支配。採用適當的方程式組，利用電腦的快速計算能力求解方程，從大氣的初始狀態預測其未來狀態，以達成天氣預報的目標，這種方法稱為**數值預報**。與傳統預報相比，它完全依據理論，不含主觀因素，且具有充分發展餘地，所以科技先進國家已逐漸由其取代傳統預報的地位。

如果觀測網的密度和精確度能夠繼續提高，大氣科學知識與模擬技術繼續增進，則數值預報將更能發揮它的潛力，例如：

（一）增長預報有效期限，以綜觀系統而論，它的可預測度應在二週左右。

（二）採用細密網格系統，發展中尺度系統預報模式，適應高度開發地區的需要。

（三）從事基礎學術研究，例如模擬大氣環流、探討大氣與海洋的交互作用等專題。

習題 7-4

1. 請按下表對照列出傳統預報和數值預報的特性。

方法 \ 特性	理論基礎	基本概念	適用尺度	客觀程度	重要工具
傳統預報					
數值預報					

7-5 天氣改造

凡因人類活動、干涉而使大氣組成、天氣、氣候有所改變，不論其影響程度、範圍大小、時間久暫、能否預測，都稱為**天氣改造**。所以這裏所謂「天氣」是廣義語，「改造」也不限於故意改變的意思。

隨著文明進步，人口膨脹，人類為求生存和改善生活品質，卻在無意間使人和環境的和諧關係日趨惡化；就大氣部分來說，這便是無意的天氣改造。另外，地球科學研究使我們對自然環境的了解也日有增加，進一步意識到改善局部大氣環境的可行性而付諸行動，這便是有意的天氣改造。改進環境雖有積極意義，但因大氣物理過程所含能量太大，人類能改變的極為有限，而且還牽涉到生態、社會、法律等很多問題，所以還不如致力於節制自己，不再摧殘環境，以達到重建人與環境和諧關係的目標較為切實可行。

7-5.1 無意的天氣改造

足以影響大氣，改變天氣、氣候的人類活動主要有三種：1. 都市發展，2. 農林墾植（或破壞），改變地表性質，3. 化石燃料的大量使用，改變大氣組成。

一、都市氣候

人們集中居住在很小地區內，整日放出熱量和污染物，使都市的天氣和氣候深受影響。最顯著的是所謂**熱島效應**，這在衛星紅外線觀測圖上很容易觀察到，大都市的氣溫永遠較郊外為高，例如華盛頓市最低溫度比四郊鄉野平均高 3.5°C ，有時甚至高出 10°C 以上。

熱島效應使都市生長季較鄉間延長 1~2 月，又可促進對流，加以都市凝結核不虞匱乏而降水量也較豐。孟買近二百年的氣象紀錄顯示年平均

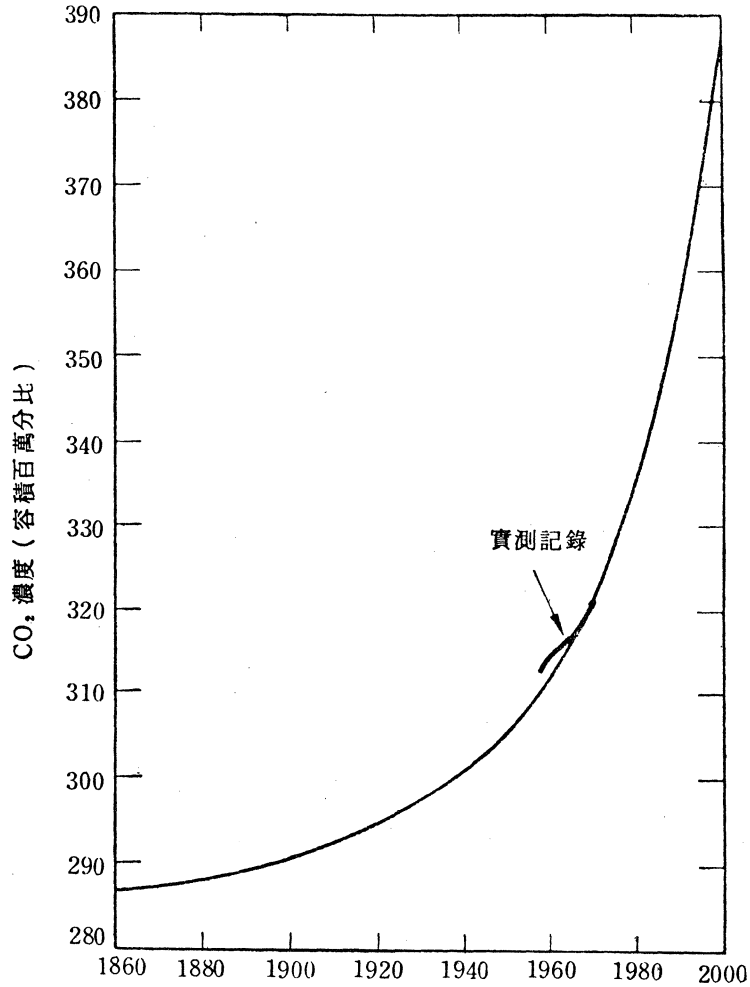


圖 7-10 大氣中 CO₂ 含量隨年代遞增曲線。(1958~1972 年間為夏威夷山頂上觀測站的實測結果)。

降雨量隨工業化和都市化持續增加，也是很好的證明。可惜這種改變雖對農業有利，但都市中並不生產農作物，所以都市人承受的只是負面效果：污濁空氣、惡劣能見度、冬季多霧的天氣，甚至工業區下風處會降有害的酸雨。

二、全球氣候

人類活動對全球性的氣候影響當然不致像都市化那樣顯著。由於現代人對能源、交通的需求日增，進入大氣的二氧化碳及其他人為氣懸膠體含

量正加速增加中。氣候改變的趨勢究竟如何，目前尚未獲致結論，但問題的嚴重性則不容置疑，必須及早深入研究，以便人類採取措施以求自保。

（一）二氧化碳

二氧化碳加強大氣的溫室效應，可使地面溫度增高，隨之而增的水汽蒸發又能推波助瀾地產生回饋作用。以目前增加率計算，在西元 2020~2050 年間，大氣中二氧化碳含量將可能增加一倍（自 1800 年工業革命迄今增加約 20%，參閱圖 7-10），屆時北極溫度可能升高 7~10°C，必致冰帽融化、海面升高、沿海城市沈淪、全球洪災氾濫、糧產劇變。如果及時停止大量使用這種燃料，屆時二氧化碳含量將比 1800 年代只高出 50%，當可避免悲劇的發生。

（二）空氣污染

大氣中的人為污染物大多是工業副產品，計有 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 、碳氫化合物、氯等（圖 7-11）；平流層中則有核爆落塵和噴射機排氣，它們的沈澱作用特別慢。目前這類微粒中，來自人為污染的約僅占 20%（其他

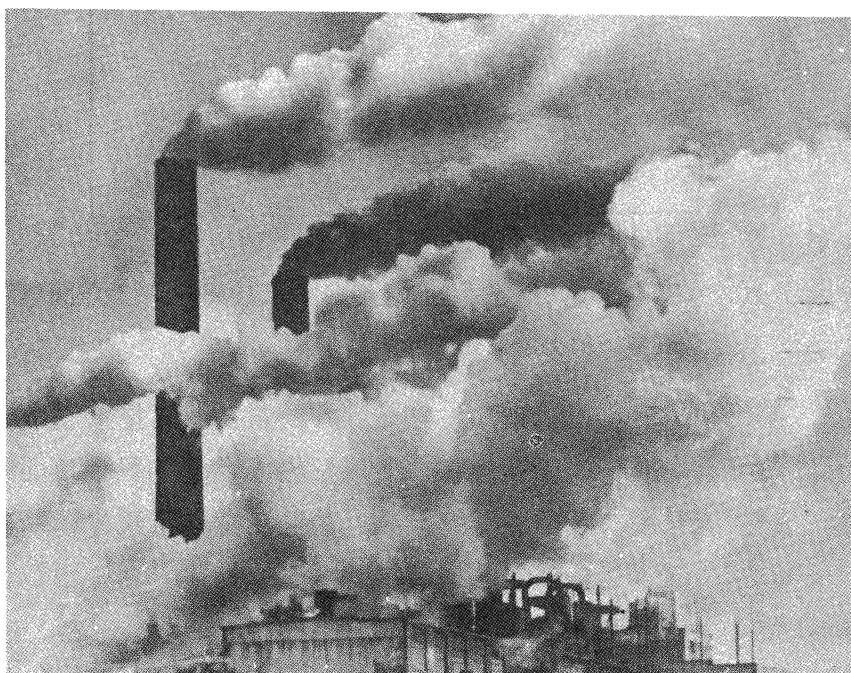


圖 7-11 工廠製造大量 CO_2 、 SO_2 、 NO_2 等污染物進入大氣。

來自火山爆發、海鹽、風化等自然現象)，估計到下世紀初可能會增加到50%。

這些污染源對全球氣候的影響可分為降水量和輻射過程兩方面，而以後者比較重要，因為最終將改變全球熱平衡和氣溫。可是這個問題十分複雜，以目前的知識還無法建立數學模式來模擬未來趨勢，甚至連正、負號都不能確定，所以是亟待開發的研究領域。

另外，大型噴射航空器帶給平流層的污染問題也值得注意。臭氧平衡被破壞是最大潛在威脅，極少量的 NO_x 和 Cl_2 都足以破壞多量的 O_3 ，其結果除將直接危害人畜健康外，平流層氣溫結構的改變後果也有待研究。

7-5.2 有意的天氣改造

自古以來，人們就渴望能呼風喚雨，控制天氣使役於人。事實上，生火取暖也可算是改造天氣的一種，只是範圍太小而已。從表 7-1 看各種天

表 7-1 各種尺度大氣系統所含動能約值

大氣系統	所含動能 (瓩時)	相當臺灣省全年電力生產量 [注]
龍捲風	10^7	10^{-3} (約 9 小時)
小雷暴	10^8	10^{-2} (約 4 天)
大雷暴	10^9	10^{-1} (約 1 月)
颱風	10^{11}	10 (約 10 年)
溫帶氣旋	10^{12}	100
北半球大氣環流	10^{14}	10,000

(注：以民國七十年臺灣省全年供電量 4.12×10^{10} 瓩時為準。)

氣系統所含動能的數量級，便知人類想以能量改變大氣自然過程的願望，直如螬蟥之撼大樹。

但如採取以下兩種途徑，還是可能得到若干成果。

1. 觸發大氣過程中的潛在不穩定。
2. 設法改變地表上、大氣中的能量交換過程。

現在實施或實驗中的天氣改造可分積極和消極兩種性質，前者求人之所欲，後者去人之所不欲，茲分別介紹於下：

一、積極性天氣改造

（一）種雲

利用白吉龍·芬地生效應（3-4.1 節）破壞雲的膠體穩定狀態，在過冷雲中灑入乾冰或碘化銀觸發降水過程，以達降雨目的。這種方法稱為種雲，自西元 1946 年以來，已在世界乾旱地區普遍實施，成為有意的天氣改造中最實際的一個項目。它的成功程度不一，因為先決條件必須有適當的雲層存在。據美國加州長期實驗評估報告：種雲區和控制區對照，雨量確有增加，平均多出10~15%。近年來我國亦曾多次實施人造雨，對解除乾旱有其貢獻。

同樣原理可用在驅霧，使霧滴長大降落而改良能見度。北歐、蘇俄各國機場冬季常用此法驅除濃霧，以利飛機起落。

至於暖雲可「種」以鹽水，觸發它的合併作用，但實驗效果不明確。

（二）水循環控制

要保持用水供應，也可循減少蒸發的途徑。湖泊、水庫周圍造林可減小風速，間接降低蒸發率。近年化工界發明厚度僅一個分子的薄膜，蓋在水面上可減低蒸發率約20%，但對極大面積水體來說，實用上還有技術上的困難。

在 3-4.2 節曾提及高山積雪在水供應中的角色。若雪面覆以煤灰，增加吸收太陽能，可促使融雪期提早並增加水量，有利春耕灌溉，蘇俄曾在烏拉山實驗成功。反之，像美國加州南部希望雪期不要太集中，最好平均在全年慢慢供應，這種減緩融雪的實用方法尚待發展。

二、消極性天氣改造

停止污染大氣，避免可能的氣候全面惡化，應該是最大規模的消極性天氣改造。（其實以人文觀點來說，這種自我覺醒是最具積極意義的。）

種雲技術曾用在削弱颱風威力，實驗顯示「眼」周圍的雲牆經過種雲後向外擴大，因此暴風圈變大，但風速則因氣壓梯度變小而減弱。美國曾進行此項試驗，但爲了避免意外結果（如引起颶風轉向登陸，招致損失），已經停止進行。

此外，也曾嘗試用種雲技術去消除或減弱尺度更小的龍捲風、雷暴（降雹）、閃電（森林火災）等災害天氣。

天氣改造勢必影響現有的大氣熱平衡和環流型式，且會引起無數不可預見的生態、社經、法律，以及國際性問題，故天氣改造計畫必須審慎進行。總之，爲能更準確的預測天氣，進而改造適於人類的大氣環境，必須加強地球科學的基礎研究。

習題 7-5

1. 都市夜晚的最低溫度爲什麼較鄉間高出很多？
 2. 氯怎樣破壞臭氧？
 3. 據觀測北美洲及北大西洋上空平流層內的卷雲量逐漸增加，你認爲是自然的，抑人爲因素？可能對氣候產生什麼長遠的影響？
 4. 加拿大魁北克省曾控訴美國紐約州人造雨而使其降水量減少，在理論上是否有此可能？
-
-