

預報電腦化之研究與設計

A Design of Computer System for Weather Prediction

郭 文 鑑

胡 仲 美

W. S. Kuo C. Y. Hu

ABSTRACT

The physical laws that govern the motion and state of the atmosphere have been known for years but the non-linear equations are difficultly to be solved by normal methods. As a result of high-speed computers' recent development, we are able to have these equations solved and thereby produce timely forecasts.

In this paper, outlines of the computer project under economical condition are described. A minicomputer GA-SPC 16/45 will be used to execute communication, data processing, computation and plot; the core memory of the central process unit is 48 kilo words (1 word=16 bits), and the peripheral complement includes a card reader, a line printer, a large scale plotter, a dual disc and two magnetic tapes. It will on-line link to CDC-CYBER 72 to carry on the numerical forecast with multi-layers baroclinic models.

It is expected that this computer system will lead to a new status that a much improved accuracy of forecast can be gained.

一、前 言

近一、二十年來，電子計算機發展神速，不但儲存容量增大，而且計算精確快捷，協助解決極為複雜的大氣運動方程式的計算難題。氣象科學先進國家利用電腦求出控制大氣運動方程組的數值解答，作一至七日的天氣預報，同時將歷史氣象資料儲存在電腦，作統計分析與客觀預報，均已有良好的績效。

本文係在最經濟的前提下，並適合國內情況研究設計一套預報電腦化作業系統，來有效實施這項新的發展。所設計的電腦系統是由兩部分組成的，一為裝置一具高性能的小型電腦，以 GA-SPC 16/45 為主，執行資訊傳送，資料處理、計算及繪圖等一貫作業來繪製實際天氣圖，同時利用另一大型電腦，以 CDC-CYBER 72 為輔，來處理過於複雜的大氣斜壓數值模式 (Numerical Baroclinic Model) 及初始模式 (Primitive Model) 的計算，重行傳回

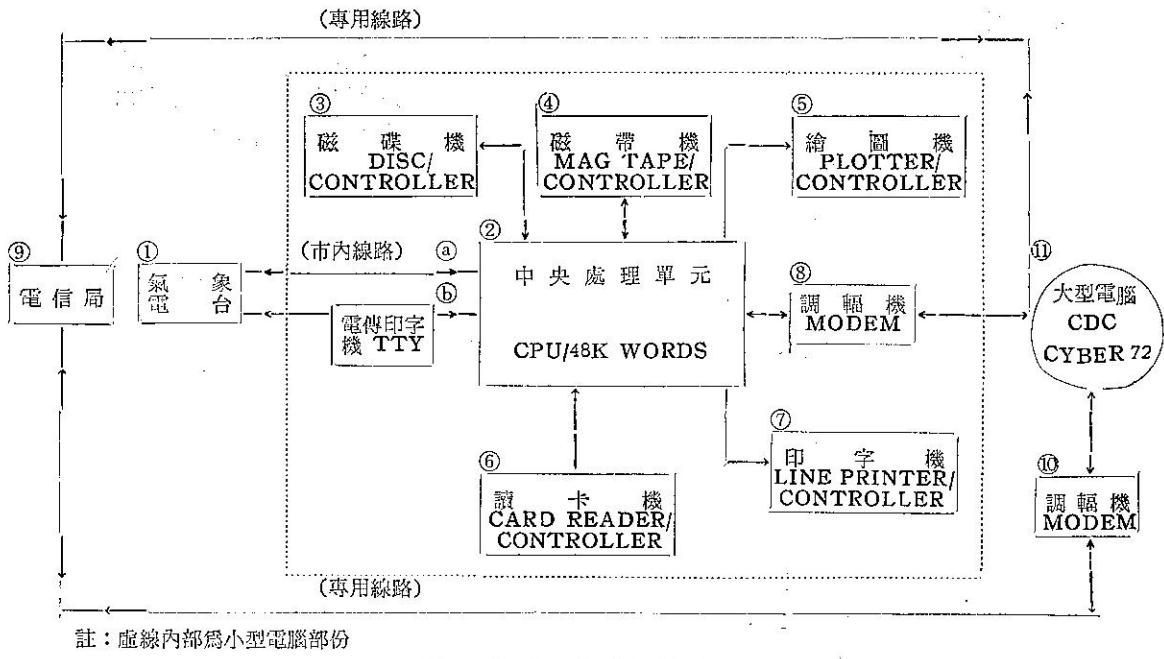
小型電腦，來繪製一至七日的預測圖，可適應在經費有限的情況下，作預報電腦化的發展。

二、電腦系統之組成

電腦系統之組成如圖一，各單元的功能分別如下：

①為氣象資料來源，假設資料電路一路，該電路分兩條線路輸入 CPU，④線直接接入小型電腦，另一⑤線則經過電傳印字機 (TTY) 後接入電腦，在電腦正常作業時，氣象資料經由前者進入電腦，同時經由後者的 TTY 印出來。

②中央處理單元 (Central Process Unit) 為四萬八千個儲存單位 (Words, 1 word=16 bits)，目前可接四條 TTY 線路，日後可擴充聯接 32 條。通訊方面有即時運算系統 (Real-Time Operation System)，中央處理單元在接收氣象電碼的同時，仍能進行計算或繪圖工作。另有譯碼系統 (De-



圖一 氣象電腦系統

coding System)，可將氣象電碼經過偵錯處理後，轉換成氣象資料儲存在磁碟上，並將分類處理過的資料儲在磁帶上。

③磁碟機有兩塊磁碟 (Dual Disk)，總容量為二百五十萬個儲存單位，其中一塊磁碟儲存當天所有原始資料，另一磁碟儲存控制系統程式及天氣圖繪製程式。

④磁帶機分別儲存天氣預報作業程式及經過分類後的氣象資料及歷史氣象資料。在每月底可以統計當月的氣象要素的月平均值，製作月報表。

⑤繪圖機為平板式 (Flat-bed plotter)，將印有地形圖的底圖放置在繪圖機上，直接利用電腦在底圖上自動繪製實際或預測天氣圖。其尺寸為 34吋 × 54吋，有兩枝繪圖筆可繪不同顏色的線條。繪圖機的解析能力為 0.0025 吋，速度為每秒 16 吋。

⑥讀卡機為輸入控制程式的口腔，讀進 80 行的卡片，每分鐘為 285 張卡片。

⑦印字機速度為每分鐘 200 行，每行為 132 個

字。

⑧與⑩為調幅機，資料傳送速度為高速 2400 bauds。

⑨電信局專用線路，聯接小型電腦與大型電腦 CDC CYBER 72。

⑪大型電腦 CDC CYBER 72，每天在固定時間，計算處理經由小型電腦送來的初始值 (Initial value) 及模式程式，然後再循原線路輸回小型電腦磁帶機上，由印字機印出計算結果，並由繪圖機繪製預測天氣圖。

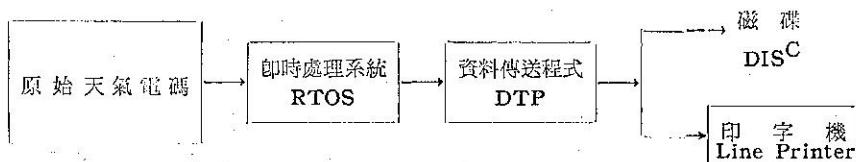
三、預報電腦化作業程序之設計

這項作業程序分成下列四個步驟：

1. 資訊傳送：

可分成 a. b. c. 三部分：

a. 原始天氣電碼經過中央處理單元的即時處理系統 (RTOS) 及資料傳送程式 (Data Transfer Program) 送至磁碟儲存起來，同時由印字機印出可備查核。參看圖二

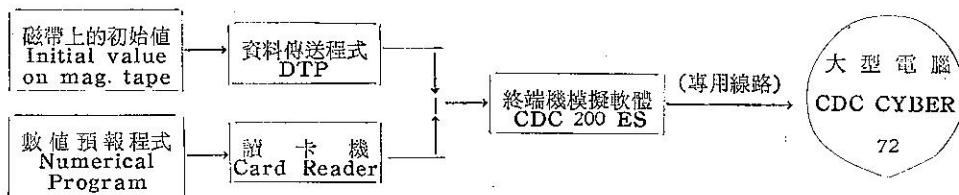


圖二 資訊傳送流程圖 (a)

b. 將小型電腦無法計算的斜壓大氣模式及初始模式程式經由讀卡機送至大型電腦，同時將計算初始值由磁帶提出，經過另一輸送程式送至大型電腦，在輸送時均需通過終端機模擬軟體（Emulator Software），使小型電腦成為大型電腦的終端機（Terminal）。

參看圖三。

c. 大型電腦計算結果再循原路高速送回小型電腦，由磁帶機儲存起來，並經印字機印出，同時由繪圖機繪製各種天氣圖，參看圖四。



圖三 資訊傳送流程圖 (b)



圖四 資訊傳送流程圖 (c)

在電腦定期維護或資料送往 CYBER 72 期間，原始資料無法直接進入小型電腦時（參看圖一），可利用另一條⑥線路 TTY 的紙帶鑽孔機，將此期間所有氣象電碼均用紙帶保存，待電腦恢復正常作業時，再將紙帶上保存的資料經 TTY 毫無遺失地送入小型電腦。假如一路電路上氣象資料仍嫌不足，則再同樣的可增加接聯其他資料來源電路數條，以增資料來源。

至於氣象資料的輸出，可利用電腦編寫氣象電碼，經由圖一中的④線送出，同時由⑥線 TTY 印出，可以校驗保存。

2. 資料處理：

將儲存在磁碟上原始天氣電碼提出，經過譯碼程式（Decoding Program）處理，使所有單位不一致的氣象電碼換成一致單位的氣象資料，（參看圖五），在譯碼過程中，包括驗定及分類（Checking and Sorting）處理（見圖六），將最後得到的正確天氣資料送至磁帶上儲存。

地面及各層等壓面上的氣象資料可能由於電訊傳遞、探空儀器結冰或人為因素造成錯誤；所以在分析氣象資料時，須先將所有氣象資料作下述檢定處理：

a. 統計檢定：各等壓面高度應在下列表一範圍

表一 各層等壓面高度範圍

(i)	(P)mb	(Z)m
1	1000	-650 至 650
2	850	500 至 1800
3	700	2150 至 3450
4	500	4700 至 6000
5	300	8000 至 9900
6	200	10550 至 13050
7	100	13950 至 17050

，若不在此範圍時，則捨棄不用。任何層溫度(T_1)℃應在 -95℃ 至 45℃ 範圍內，出此範圍則予捨棄。

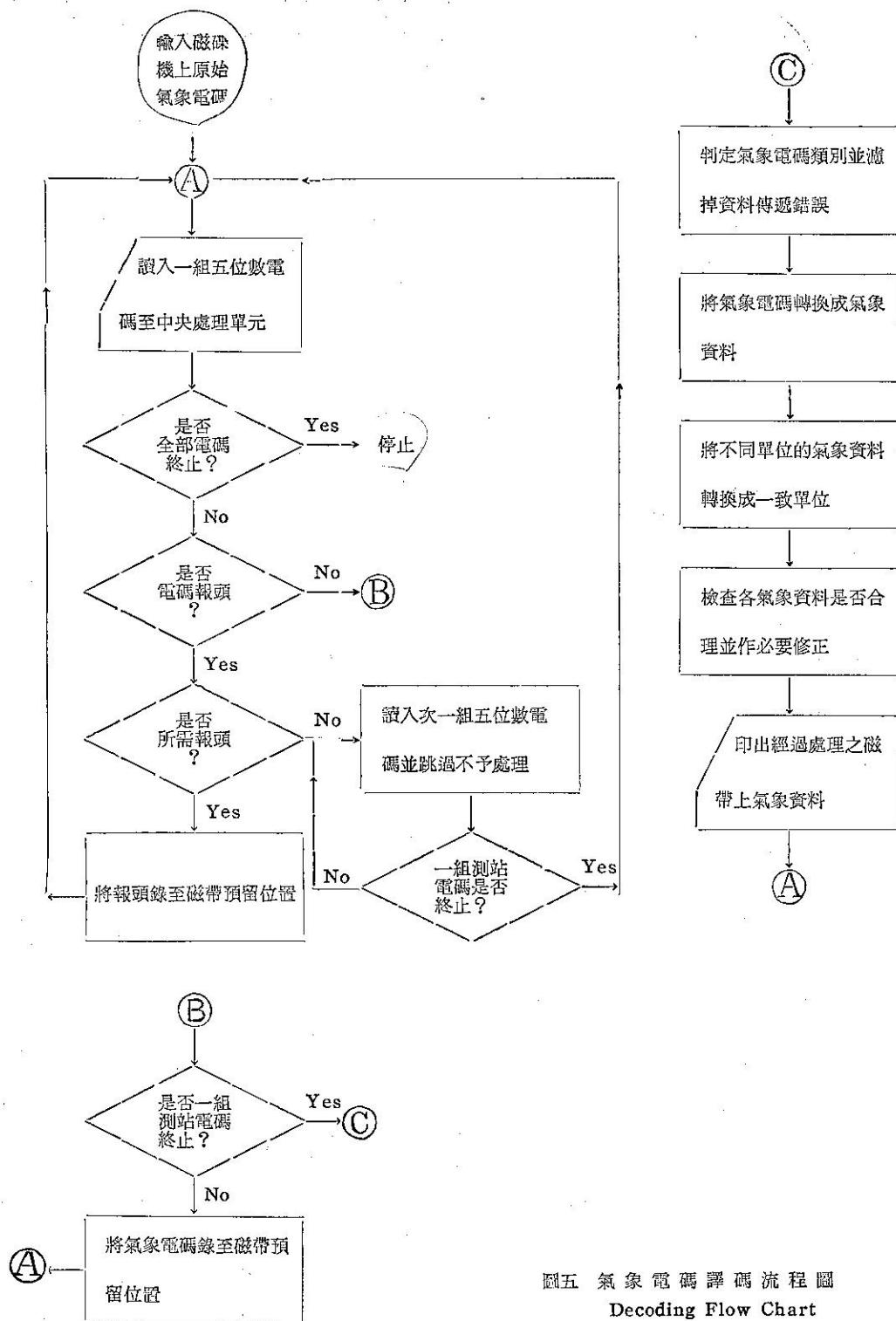
b. 儀器結冰檢定：探空儀器的溫度感應部份如果遇到結冰層，或感應部份為積冰所覆蓋，則無法測出正確的溫度，所以觀測紀錄須作下述檢定：

(i) 由低層至高層尋找溫度在 0℃ 至 -10℃ 間第 i 層等壓面的溫度 T_i 。

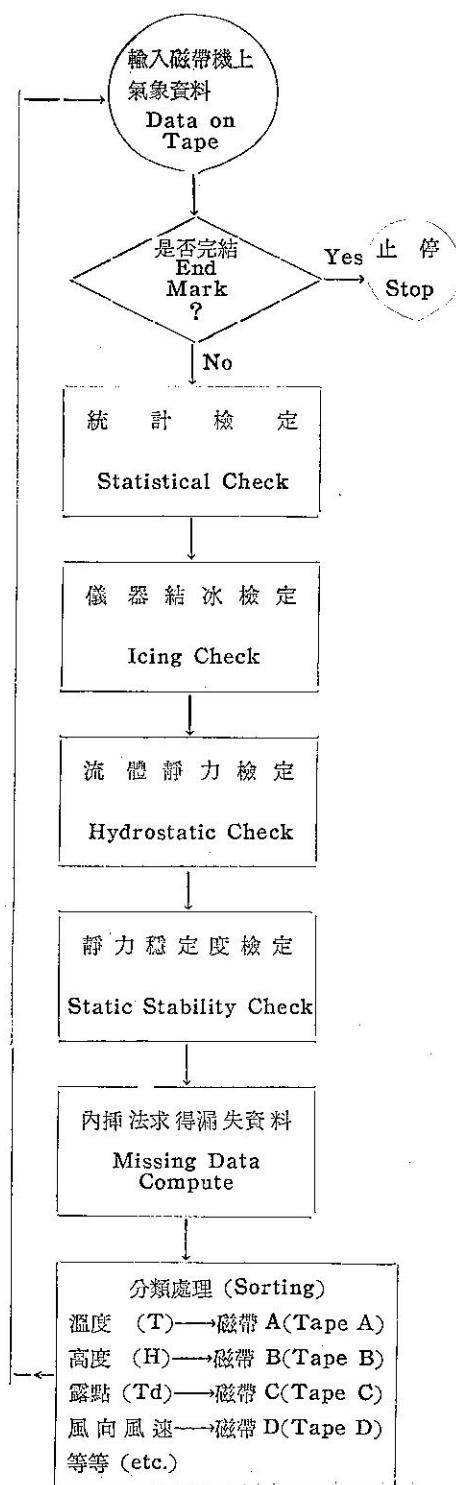
(ii) 找到 T_i 後，由 T_{i+1} 及 T_{i+2} 分別求 ΔT_1 ， ΔT_2

$$\Delta T_1 = |T_i - T_{i+1}| \quad \Delta T_2 = |T_i - T_{i+2}|$$

(iii) 若 ΔT_1 ， ΔT_2 均小於 1.5℃，則可判定結冰層位於第 i 層等壓面，於是在 i 層以上的各層溫



圖五 氣象電碼譯碼流程圖
Decoding Flow Chart



圖六 氣象資料檢定及分類流程圖
Checking and Sorting Flow Chart

度均捨去。若 $\Delta T_1, \Delta T_2$ 兩者中有一值大於 1.5°C ，則被認為溫度儀器未受結冰影響，其溫度觀測值可以採用。

c. 流體靜力檢定：在第 i 及 $i+1$ 層等壓面的流體靜力關係式為：

$$H_{i+1} - H_i = \frac{R}{g} \bar{T} \ell n \frac{P_i}{P_{i+1}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

此處 $P_i, H_i, P_{i+1}, H_{i+1}$ 分別為第 i 及 $i+1$ 層的壓力與高度值， \bar{T} 為該兩層間的平均溫度，設 $\bar{T} = \frac{1}{2}(T_i + T_{i+1})$ 代入上式吾人可得：

$$H_{i+1} - H_i = \frac{R}{2g} (T_i + T_{i+1}) \ell n \frac{P_i}{P_{i+1}}$$

根據統計得知，兩相鄰等壓面高度差之觀測值與依據上式所得的計算值，兩者相差（定義為 δ ）的絕對值不得超過最大容許差異（定義為 Δ ），各等壓面間最大容許差異見表二：

表二 各層厚度最大容許差異

等 壓 層 面	最大容許差異 (Δ)
1000-850 mb	30m
850-700	30
700-500	35
500-300	50
300-200	50
200-100	80

先求出各層的 δ 值，若 $|\delta| > \Delta$ 時則判定 δ 為錯誤並另定義為 δ^* ，且作下述修正

(i) 若相鄰層面的 δ^* 值為同號，則判定其中間層的溫度為錯誤，若相鄰層面的 δ^* 值為異號，則判定其中間層的高度為錯誤。若僅單一層出現 δ^* （情況很少）時高度修正為其上下各一層用 $\Delta/5$ 來取代 Δ ，如果除原來的 δ^* 外仍無任何 δ^* 出現，則在原來 δ^* 層以上各層高度須增加或減少 δ^* 值。

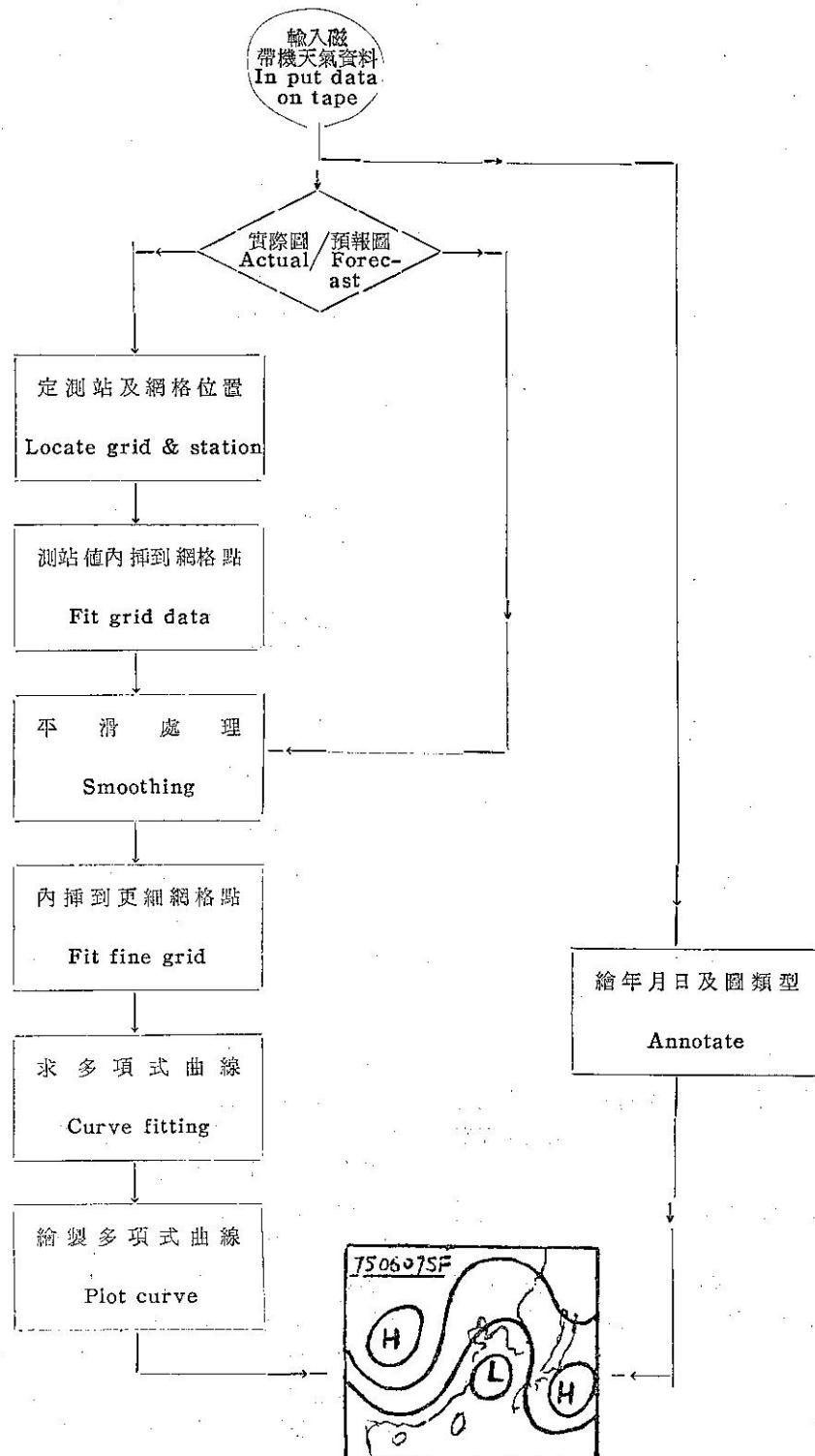
(ii) 若有上述錯誤時各層的溫度值均捨去，最高及最低層的高度值也捨去，其間各層高度需修正後可採用。

(iii) 若上述相鄰層面的 δ^* 為異號，則中間層的高度修正公式為：

$$H_i^{(1)} - H_{i-1} = \frac{R}{2g} (T_{i-1} + T_i) \ell n \frac{P_{i-1}}{P_i}$$

$$H_{i+1} - H_i^{(2)} = \frac{R}{2g} (T_i + T_{i+1}) \ell n \frac{P_i}{P_{i+1}}$$

$$H_i = \frac{1}{2} (H_i^{(1)} + H_i^{(2)}) \quad \dots \dots \dots (2)$$



圖七 繪製實際與預報天氣圖流程圖

Flow chart on plotting actual and forecast weather maps

d. 靜力穩定度檢定：若負的穩定度出現在頂、底層或其次一層，則該層溫度須捨去，修正方法為底層溫度減 0.5°C ，頂層溫度加 0.5°C ，重複計算直到穩定度出現正值為止。

e. 漏失資料的補充：若中間層的高度資料漏失，而有鄰近層的溫度及高度資料，則可由(2)式內插計算漏失的高度值。

3. 計算處理：

將磁帶上經過處理後的正確氣象資料依據下述順序由中央處理單元一一予以計算：

a. 地面及各層等壓面 12 小時及 24 小時溫度變差與高度（氣壓）變差。

b. 500 毫巴各測站五日實際平均高度及五日距平高度。

c. 700-1000 毫巴，500-1000 毫巴厚度值及厚度變差值。

d. 探空資料的垂直、水平風切，舉升凝結高度及雷雨指數計算。

e. 地面及 700 毫巴溫度露點差分佈。

f. 高、低氣壓及槽脊追蹤，並作外延計算。

g. 500 毫巴高度場波數計算及分析。

h. 12-72 小時颱風路徑及降水客觀預報值。

i. 客觀天氣圖分析，將測站資料內插到網格系統 (Grid System) 上去。

j. 輸入網格點初始值計算 500、700 毫巴實際渦度及垂直速度。

k. 利用正壓及相當正壓數值模式計算 500 毫巴 12-72 小時大規模環流運動，預測渦度及高度場變化。

1. 將初始值及程式於固定時間輸送至 CDC CYBER 72 大型電腦，計算四層斜壓大氣模式及初始模式，預測各層大氣渦度、垂直速度、濕度、高度及溫度分佈。

m. 地面溫度、降水及 500 毫巴緯流指標的譜頻分析及定量預報。

除上述計算外，並於月底利用統計預報模式預測次月的降水量及溫度異常值。同時製作當月的各項要素月報表。

4. 繪圖過程：

小型電腦應附設一套性能非常好的繪圖機，利用此套繪圖機可以迅速正確地繪製各種實際天氣圖與預報天氣圖。實際天氣圖的製作係根據下述步驟：

a. 利用各測站觀測的地面溫度、壓力或高空溫度、高度、露點等氣象要素，利用電腦依據數值方法將這些要素非線性地內插到所選定的網格系統上。

b. 作適當的平滑處理 (Smoothing)，消去一些不合理的小擾動。

c. 利用線性內插得到更細的網格點值。

d. 由最小自乘方法 (Least Square Method) 找到每一等值線適當的高次曲線 (Polynomial Curve)。

e. 繪圖機將這些曲線一一繪出，並加繪各等值線實際值。

f. 註明天氣圖時間及圖形類別。如此即完成實際天氣圖的製作。如果所繪的等值線不够平滑，可將

b. c. 步驟重覆使用。預報天氣圖則因預報模式數值解已經落在網格點上，故只需上述過程 b 至 f 即可得到電腦繪製的預報天氣圖。通常電腦繪製一張預報天氣圖只需十至十五分鐘，而由人工繪製則需三十至六十分鐘。

繪圖紙上需先印妥地形圖或海岸線，並定好座標，繪圖過程參見圖七。

繪圖機除繪製各種實際及預報天氣圖外，並可繪製斜溫圖 (Skew-T diagram)，溫度、壓力、緯流指標逐日變化圖，槽脊線及高低壓追蹤圖，以及颱風路徑圖等等，至於填圖部份亦可納入電子計算機作業，但所需要的程式較複雜。

四、結論

實施數值天氣預報不可或缺的工具是電子計算機，近年來電算機不斷改進日新月異，迷你型電腦廣及一般應用，生產成本已漸變低廉。利用此類迷你型電腦，執行預報一貫作業，再配合另一大型電腦的部分固定時間，來處理過於複雜的數值模式，對於經費有限的氣象機構是可能辦到的。上述構想的設計業經中央氣象局採用。本文設計雖以 GA-SPC 16'45 小型電腦與 CDC-CYBER 72 為主，但相信此項系統之設計若稍加修改亦可通用於其他電腦。

(本文刊載於中央氣象局氣象學報第 21 卷第 2 期)