



圖解雲雨預報法

徐寶箴譯

Captain James P. Jenrette 著

一、引論

關於氣壓系統，溫度分佈，垂直運動及界面等之預報，完成之工作已甚多。中心氣象機構 Central Weather Facilities 目前製備若干此項資料供給預報員應用，惟各地如何應用此等資料以預報各種氣象要素，如雲及降水等，則留待各人自己設計。所須預報之氣象要素常必須準確。雖有良好之預報天氣圖，但預報各地之雲及降水常甚困難。若干預報員用同一預報天氣圖，但所得雲及降水之預報各不相同。故天氣預報乃視預報員之背景，經驗及能力而定。以下介紹一種半客觀性之預報法，可有助於對此一問題之解決。

二、原 理

依理，大量雲層及降水之造成，主要須視（一）空氣層之飽和度及（二）空中大範圍之垂直運動而定。向上垂直運動可使上升空氣冷卻達凝結而成雲。如果當時盛行之垂直氣溫遞減率為非超絕熱率 Super-adiabatic，則該項向上垂直運動可使空氣層之安定性減小使易於降水。按理論，空氣層之成雲致雨，其所需之飽和度及向上垂直運動應有一定臨界值。

因為大氣中之大部份水氣均集中於 1,000 至 500 呎之空氣層中，故此一層空氣之飽和度可代表全大氣之飽和度。此層空氣平均飽和度之近似值，可由該層空氣完全飽和時所含最大水氣量 (Wp max) 減去該空氣層實有水氣量 (Wp) 而求得之。

(一) 實有水氣量 (Wp)

在底面為一平方呎，厚度為 dz 之濕空氣體中，水氣之總含量為：

$$\Delta M_v = \rho_v dz \dots\dots\dots(1)$$

上式之附註 v 指濕空氣，因為 $\rho_a / \rho_v = M_a / M_v$ ，故得

$$\rho_v = \rho_a \frac{M_v}{M_a} = \rho_a W \dots\dots\dots(2)$$

(2) 式中 a 指乾空氣，W 表示混合比。(2) 式代入 (1) 式得：

$$\Delta M_v = \rho_a W dz \dots\dots\dots(4)$$

因流體靜力平衡方程為 $dp = -\rho g dz$ 又因 $\rho^a \approx \rho$ ，故

$$\Delta M_v = \frac{\rho_a W}{\rho g} dp \approx \frac{W}{g} dp \dots\dots\dots(5)$$

(5) 式之單位為呎，改為吋，即

$$\Delta M_v \approx 0.0004 W dp \dots\dots\dots(6)$$

如全部液體水均釋出，其厚度應為：

$$0.0004 \int_{P_1}^{P_2} W dp \dots\dots\dots(7)$$

如空氣柱之厚自 P_1 至 P_2 單位為呎，則積分可用氣壓之有限增量求之，選 250 呎為增量值甚為方便，積分可分二步（即自 1,000 呎至 750 呎，及自 750 呎至 500 呎）。由以上方法求出之每 250 呎空氣層之實有水氣量 (Wp) 為： $Wp = 0.1 \bar{W}$ (\bar{W} 為空氣層之平均混合比)，將每一 250 呎空氣層之實有水氣量相加，則得 1,000 呎至 500 呎空氣層之實有水氣量。美國之實有水氣量 (Wp) 圖，係由國家天氣分析中心繪製，經由無線電傳真網播出。

(二) 最大水氣量 (Wp max)

一空氣柱內飽和時能保有最大水氣量亦可按上節所述方法求之，只須將平均飽和混合比代替平均混合比 \bar{W} 則可。在 1,000 至 500 呎之空氣層中，每一平均飽和混合比之值必有一相當之平均虛溫。因為空氣柱之厚度與平均虛溫成正比例，故 1,000 至 500 呎空氣層之等厚度線亦可以該空氣層飽和時最大水氣量標示之。

(三) 空氣層之飽和度

本文所指 1,000 至 500 呎空氣層之飽和度，係以空氣層飽和時最大水氣量與實有水氣量之差表示之，差值愈小，飽和愈大，此種差值圖 ($Wp \text{ max} - Wp$)，稱之謂飽和圖。

三、製圖程序

(一) 最大水氣量圖

1,000 至 500 呎厚度圖係由國家天氣分析中心繪製經無線電傳真廣播，相當於各厚度線之最大水氣量值，如表一所示。由表厚度線則可改寫為最大水氣量線，於是則成 $Wp \text{ max}$ 圖，將表 1 各特殊數值之等值線繪於另一張圖上 (表 1 之值，係按上節所述方

法求得)。

(二) 飽和圖

將實有水氣量圖重疊繪於最大水氣量圖上，然後以前者自後者作圖減，所得之差圖，則為飽和圖。如圖1所示。

表一：厚度與最大水氣量對照表

厚度 100 呎	最大水氣量(吋)(約數)
169	1/4
175	1/2
179	3/4
181	1
183	1 1/4
185	1 1/2
187	1 3/4
188	2
189	2 1/4

(三) 飽和及垂直運動組合圖

下一步驟為按垂直運動場校準飽和圖，原始及預報垂直運動場係由國家氣象中心 (NMC) 繪製，由捕線電傳真廣播，飽和與垂直運動組合圖，係按下式以圖解法求得。

$$(Wp \max - Wp) - W$$

上式中之 W 為衡量垂直運動參數 Weighted Vertical Motion Parameter，由式可知： W 為正值時，有減小飽和項 $Wp \max - Wp$ 之作用， W 為負值時，則增加飽和項。衡量垂直運動場，係按國家氣象中心之垂直運動圖及表二改寫垂直運動等值線而成。

將 NMC 之垂直運動圖變換為衡量垂直運動場，

表二：垂直運動與衡量垂直運動等值線換算表

垂直運動 呎/秒 (NMC圖)	衡量垂直運動值 (N)
+ 6.0	+ 1
+ 4.5	+ 3/4
+ 3.0	+ 1/2
+ 1.5	+ 1/4
0	0
- 1.5	- 1/4
- 3.0	- 1/2
- 4.5	- 3/4
- 6.0	- 1

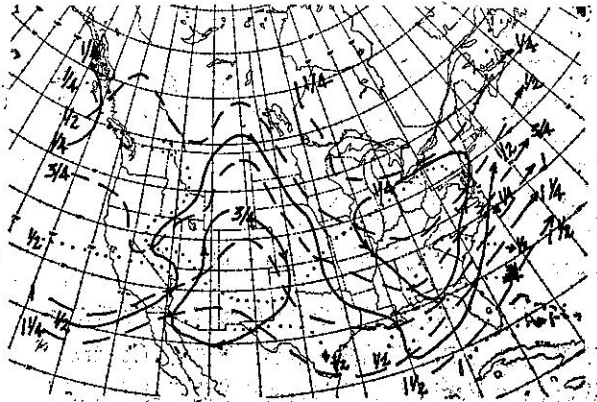


圖 1：飽和圖 1959年12月21日點線為 Wp ，段線為 $Wp \max$ ，實線為 $(Wp \max - Wp)$ 飽和圖

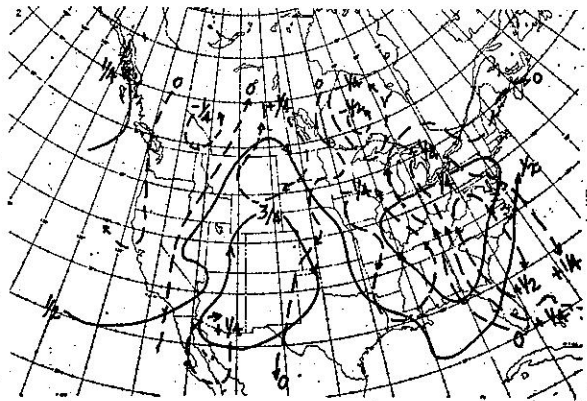


圖 2：1959年12月21日 1200Z 實線為飽和圖 ($Wp \max - Wp$)，段線為衡量垂直運動場

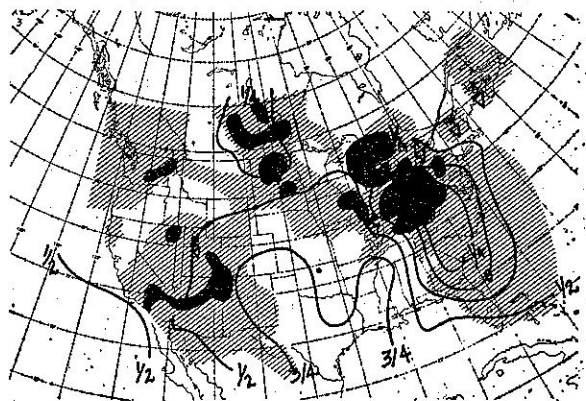


圖 3：1959年12月21日 1200Z 飽和及垂直運動組合場斜線區域為觀測陰天區，黑色區域為觀測降水區

乃因使垂直運動場之梯度可與飽和場之梯度(即1/4之增量)相配合，否則，兩場難以作圖減。如 NMC 之垂直運動圖不按表二所示之值分析時，須在變換以前，用內插法先求得所需各等值線。

圖 2 為 1959 年 12 月 21 日 1,200Z 時之飽和場 ($W_p \max - W_p$) 重疊於衡量垂直運動場 (W) 上。圖 3 為二場相減所得之值 $[(W_p \max - W_p) - W]$ 。是即為飽和及垂直運動組合場。

以飽和圖重疊於垂直運動圖，然後主觀的調整飽和線亦可得主觀的飽和及垂直運動組合圖，在向上垂直運動區域，各飽和線向飽和較低之區域位移（即向飽和圖中數值較大之區域位移）。在向下垂直運動區域，各飽和線向飽和較高之區域位移（即向飽和圖中數值較小之區域位移）。

(四) 陰天及降水圖

陰天及降水區域，可由飽和及垂直運動組合圖中之臨界值求之。陰天之臨界值約為 1/2 吋等值線，降水最大可能區之臨界值約為 1/4 吋等值線，圖 3 表示此種關係。

四、討 論

為並使確切表示此一方法之效用，厚度、降水量、及垂直運動等之預報所能引起之錯誤除去，特用實際之分析圖以代替預報圖。圖 4 至圖 12 係任意選出 1959 年 12 月份之圖。此等圖顯示作出準確之各預報圖時，上述方法有如何之成效。此一方法之校驗係依據國家天氣分析中心繪製由無線電傳真播出之實測雲量及降水量之分析資料，惟須注意者：此等分析圖中所示之陰天區域係包括各高度之雲量，而此預報方法所預報之雲係限於 1,000 至 500 呎之空氣層，故圖中高空卷雲之陰天區域，為非本方法所預報者。

圖 4 至圖 12，斜線區表示觀測得之陰天區域，黑色區域表示觀測得之降水區域。由各圖可知：陰天區域多在預報之 1/2 吋線範圍內，降水區域主要均在預報之 1/4 吋線範圍內；此等圖為用本方法之標準作業，惟須注意者：在此等圖例中，並未考慮及界面預報，及山脈與海岸等之效應。如此等效應加以考慮，預報當更可改進。此方法對海岸層雲之預報並不適用，其原因乃由於沿海地區低空之水氣係成層分佈，在此等沿海地區，雖計算所得實有水氣量不多，但此等少量水氣集中於低層空中可產生層雲。

在山嶺地區，由等厚度線改寫而成之最大水氣量線，可造成不確實之結果。例如 18,800 呎厚度之空氣層，飽和時，能保持有二吋之水氣量，如一山脈高 1,900 呎，可使該值減少約 1/4 吋。此一效應之考慮當可使預報更改進。

本方法原計劃僅應用於十二月至二月之冬季，用

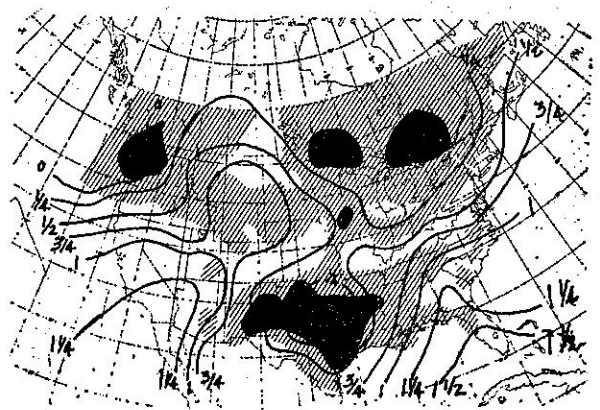


圖 4：實線為飽和及垂直運動組合圖，1959 年 12 月 15 日 1200Z 斜線為觀測陰天區，黑色區為觀測降水區

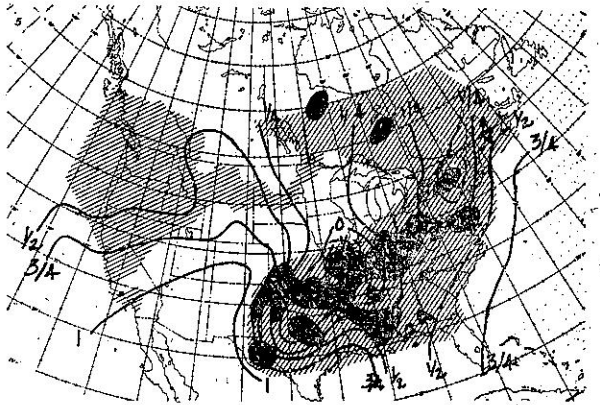


圖 5：飽和及垂直運動組合圖 1959 年 12 月 17 日 1200Z

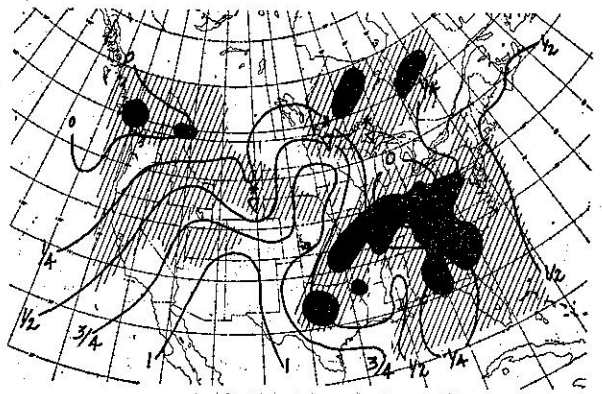


圖 6：1959 年 12 月 18 日 0000Z

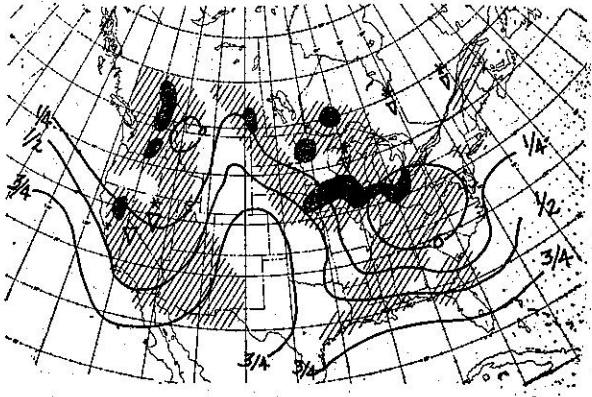


圖 7 : 1959年12月21日0000Z

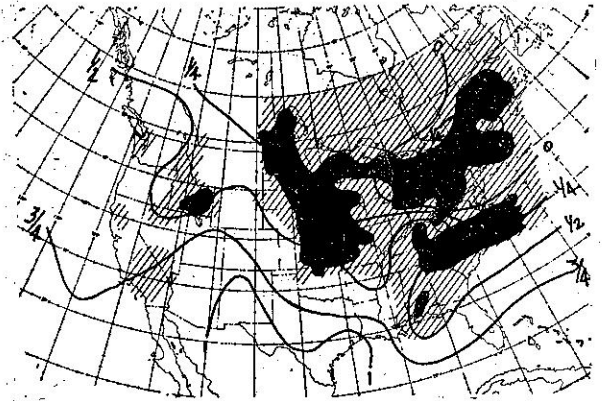


圖10 : 1959年12月28日1200Z

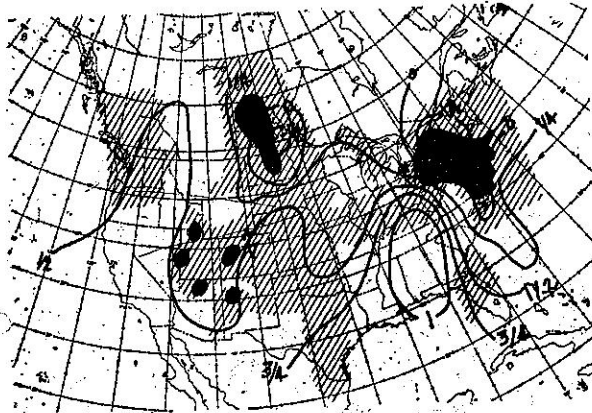


圖 8 : 1959年12月22日0000Z

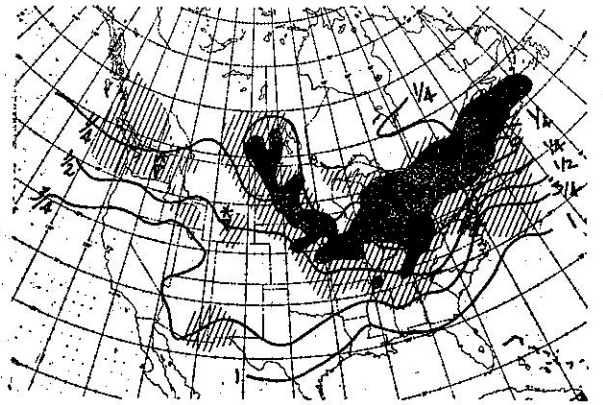


圖11 : 1959年12月29日1200Z

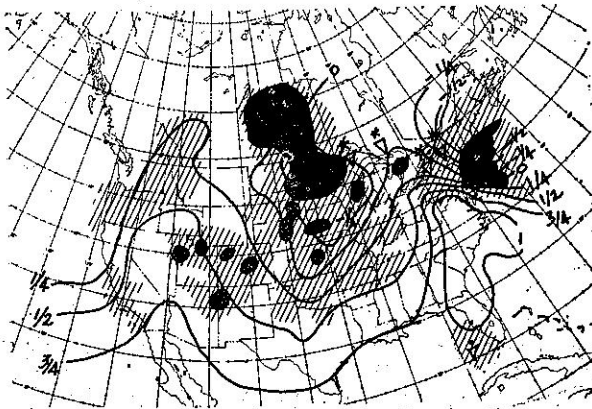


圖 9 : 1959年12月22日1200Z

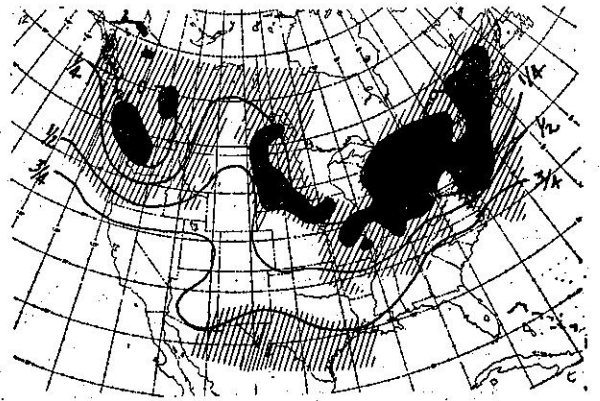


圖12 : 1959年12月30日0000Z

之於十至四月之期間，仍尚可靠。在夏季時，此法亦尚可作參考之用。惟此季時，安定場特為重要，預報雲雨時必須考慮及之；夏季之強對流，雷雨及其伴同之陰天等均可在飽和及垂直運動組合圖中之飽和較小地區出現。

(一) 實有水氣量之預報

實有水氣量之預報可由各適當高度風之百分率以平流法求之。惟下述方法較為簡單迅速而可靠：將現在實有水氣量分析描繪於現在之垂直運動圖中。分析此兩種分佈場之關係，再以預報垂直運動場，按現有兩種分佈場之相同關係，繪出預報實有水氣量場。圖13、14及圖15為此一方法之示範。由圖13，可知：實有水氣量 1/2 吋線之袋形區與向上垂直運動之 A 區相伴連。另一 1/2 吋線，自加州南部經下降垂直運動 B 區之南部而進入墨西哥灣海岸。另一 1/2 吋線之袋形區域位於俄勒岡州之西部向東方延伸趨近向上垂直運動之 C 區。

按照圖13中垂直運動與實有水氣量之關係，繪製預報實有水氣量場如圖14所示。由圖可知：向上垂直運動之袋形 A 區已向東行達卡羅來納州海岸之外，1/2 吋實有水氣量線亦伴同向東移，因為來自海洋之水氣增加，故 1/2 吋線亦向北移。此線原係由墨西哥灣向西伸達西海岸，由于下降運動及其伴隨之乾燥 B 區進駐，此原先亦南移。在預報圖中因為向下垂直運動及其伴隨之乾燥 B 區加強，故有 1/4 吋線繪出。按經驗所知：1/4 吋實有水氣量線約與零值垂直運動線相伴，此種事實，可作為預報該一線之參考。在向上垂直運動袋形 C 區附近，1/4 吋線向北移，此一事實與在向上垂直運動區域，水氣增加，及在向下垂直運動區域，水氣消滅之理論相符。在 D 區之 1/2 吋線近乎靜止，此乃由於東方有經大陸高地向下之垂直運動及在 D 區之向上垂直運動增加之故。

觀測所得實有水氣量場與預報者之比較，如圖15所示。預報與觀測數值之差並不大於 1/4 吋。顯然，本方法稍嫌主觀，惟具有豐富之經驗者，亦能作出良好之預報場。此種預報之準確度，主要須視垂直運動預報之準確度而定。

(二) 垂直運動之預報

當數值天氣預報機構 Numerical Weather Prediction (NMP) 之垂直運動預報缺報時，數值天氣預報機構之 500 呎旋率預報圖可以代替，在該圖中繪出正及負旋率平流則可。正旋率平流區（旋率向下流減小）標註 D/C，表示在無輻散層以上為輻散，

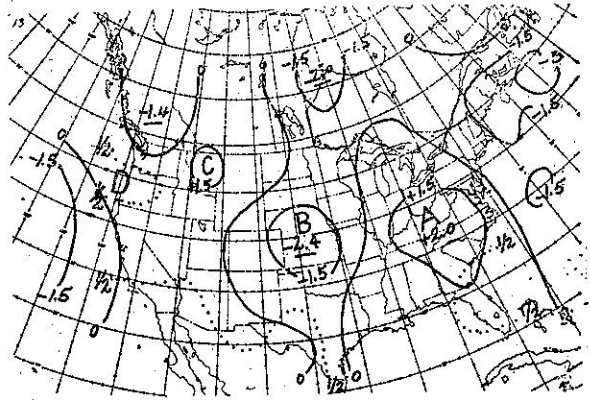


圖13：1959年12月21日0000Z 實線為垂直運動場，點線為實有水氣量

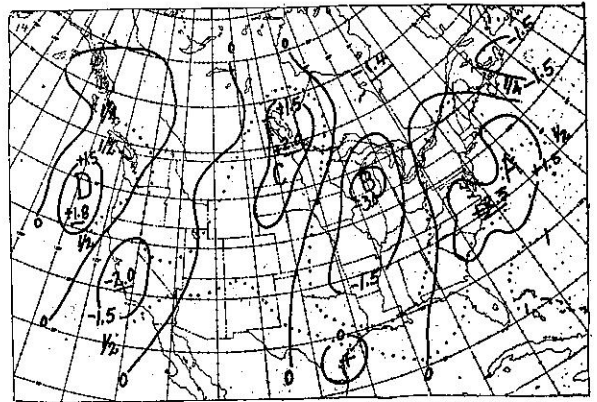


圖14：1959年12月22日0000Z 實線預報垂直運動場，點線為預報實有水氣量場

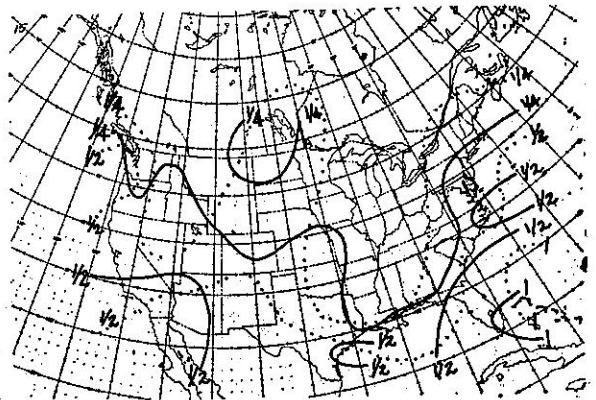


圖15：1959年12月22日0000Z 實線為觀測實有水氣量圖，點線為預報實有水氣量圖

以下為輻合；亦即表示在對流層之中下部有上升運動。在負旋率平流區（旋率向下流增加）標註 C/D，表示在無輻散層以上為輻合，以下為輻散，亦即表示對流層中下部有下降運動。由等高線與旋率等值線所組成之力管數，可作定性估計垂直運動之強度。力管愈多，垂直運動將愈強，圖16為旋率平流分析之一例，係1959年12月1日0000Z時之紀錄。

用此一方法時，係將飽和圖 (Wp max-Wp) 繪於旋率平流圖上，然後主觀的按向上及向下垂直運動調整1/2及1/4吋線。

當數值天氣預報機構之垂直運動預報或旋率預報均缺時，700 呎圖亦可用以預報垂直運動。例如，氣流有向北之分量而氣流線成直線或氣旋型時，必有上升運動。如氣流有南向分量時，只有氣流線成顯著氣旋型時，才能有上升運動。南行氣流成直線或反氣旋型，將有下降氣流。

(三) 地方預報

如時間不許可作上述之完全圖解方法，重要地點之地方預報可按以下方法求之：先求出各重要地點各必要參數計算下項之值 (Wp max-Wp) - W，再與臨界值1/4及1/2吋比較。如計算所得之值少於1/2，將有陰天；如少於 1/4，將有降水。如與其他輔助圖及預報探空曲線配合應用，則各基地氣象單位均可作出雲層、雲頂及雲底、降水、能見度等之可靠預報。

五、結 論

中心氣象機構經常供給各基地工作單位氣壓、氣溫及垂直運動等之良好預報。然各地之氣象單位常不能對此等資料作最有效之運用。採用此等預報圖，預報各種天氣要素，是一挑戰性之舉動，際此一切趨向於集中化之今天，此一問題應得吾人之最大注意。各

(上接24頁)

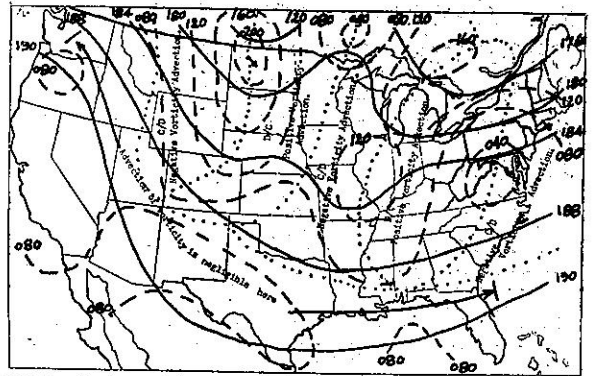


圖16：旋率平流分析 1959年12月1日 0000Z 實線為 500mb等高線，段線為絕對旋率等值線，點線為旋率平流分析

地氣象單位實必須明瞭及完全應用各種氣象資料。本篇所述圖解法之採用，是為朝向此種發展之第一步。本方法有理論之依據，手續簡便而耗時不多。

用此種方法所得雲雨預報之準確度，公認須視中心氣象機構所製有關厚度及垂直運動之預報，與預報員對實有水氣量預報之準確度而定。此種方法之客觀性，可使預報員明瞭其所作之預報，如何及為何成功或失敗，如此，預報員可更容易分析其錯誤或可減少若干未來之重犯。

十至三月，用本方法以作地方或區域預報，極為可靠。如配合其他資料，可作為預報航行及空中加油等任務時之用。此方法不適宜用於夏季，惟如與安定場及其他輔助圖及資料配合應用，仍為一有用之工具。

原文題目：“A Graphical Technique of Forecasting Overcast Skies And Precipitation With Central Weather Facility Products.”

原文刊載：“Bulletin of the American Meteorological Society Feb. 1961. (完)”

