

渦旋與垂直運動

王輔章

Vorticity and Vertical Motion

一、前言

數學預報大氣環流最大之困難，即為這些基本數學公式都完全倚靠短距離內氣壓梯度之測量而得，但自1939年羅士培（Rossby）先生發現早為流體動力學家所知之渦旋運動原理，可應用於大氣以後，這個問題的解決已顯露希望，大氣數學模式的發展即基於渦旋方程式。但因這些方程式十分複雜，絕非依賴手算於短時間內算出而繪製成圖，故當時未能應用於實際天氣預報。及至1950年代初期，美國國家氣象局的氣象專家們，將他們需要的電子計算機，由工程師們設計製成後，於1955年開始，才進行實驗性的數學天氣預報，其結果甚為良好。終於1957年七月一日正式發佈數值預報天氣圖，使今日不論美國軍用或民用氣象台均可收到該項預報天氣圖。

二、渦旋

嚴格的說，渦旋純粹是一種運動的觀念，其由氣壓場所導出，但其對氣壓溫度與濕度，均無任何作用。一個物體渦旋為零時，則表示該物體無旋轉運動。為着測量渦旋，則必需選擇一標準與其比較。如我們將一團空氣與地球比較時，則測得之渦旋為相對渦旋（以 ξ 代表），但如我們將一小團空氣與太空比較時，則所測得渦旋應為空氣與轉動中之地球之渦旋之和（以 $\zeta + f$ 代表），稱為絕對渦旋， f 為地轉偏向參數，也是地球的渦旋。

假想500 呎等壓面上一點其渦旋即等於包圍於其週圍空氣之轉動。如此項轉動為反鐘向則其相對渦旋之符號為正，如此項轉動為順鐘向，則其渦旋之符號為負。至其絕對渦旋之符號抑正或負，則因地球為逆鐘向旋轉，且其值常超過可能發生之任何負相對渦旋，故對時間來說絕對渦旋 99.44%為正值。另外我們需注意者為我們最大的目的乃為處理與地球表面相平行之水平渦旋。今日美國國家氣象局由氣壓場導出之500 呎渦旋圖之絕對渦旋值的單位為 10^{-3} 弧度/秒。逆鐘向運動區的正絕對渦旋值較順鐘向運動區的正絕對渦旋值為大，所以逆鐘向運動區為渦旋極大區，順鐘向運動區為渦旋極小

區。

500 呎圖上有槽，脊，封閉低壓等，在這些等高線彎曲區域由於旋轉效應而分佈渦旋，在接近噴射氣流區域，等高線常為直線型，但由於噴射氣流軸之兩傍，風速變化極大，因而產生切力發生渦旋在軸之北方風切為逆鐘向，故其渦旋為正，軸之南方風切為順鐘向，其渦旋為負。所以一點的渦旋是由旋轉與切力兩種效應所產生。即高正值渦旋區域與氣旋型氣流或風切相關聯，低正值渦旋區域與反氣旋型氣流或風切相關聯。

三、500 呎渦旋圖之應用

除由渦旋可以求出氣流垂直速度外，渦旋圖尚有其他三種用途即：

(一)尋找短波：雲量、擾動、結冰、降水與短波相伴而生，所以短波位置的決定非常重要。我們可以由地面圖或高空圖找出短波（旋轉效應），但如不作風速分析則無法獲知其氣旋型風切是否增加，渦旋圖則兼有旋轉和風切兩種效應，所以它可以節省預報員的時間。

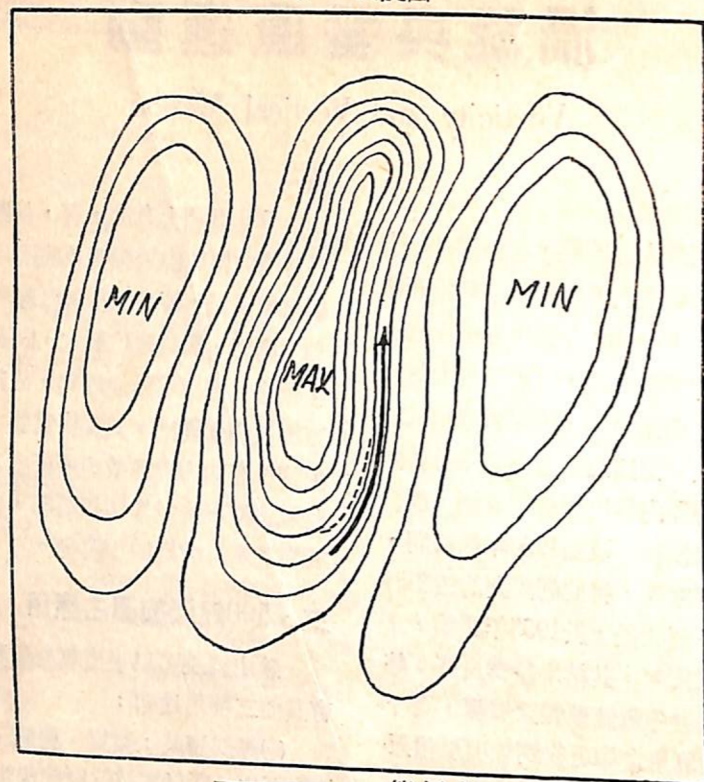
(二)決定噴射氣流的位置：因噴射氣流的水平風切很大，因而在噴射氣流軸附近的渦旋梯度也很大，所以噴射氣流軸常與渦旋極大區之等渦旋線相平行。

(三)決定界面的位置：通常噴射氣流位於界面之上空，所以地面界面之位置可繪於渦旋圖上使其與噴射氣流相平行而略靠冷空氣之一方。（如圖一）連續三個十二小時渦旋預報圖可以決定連續三個十二小時之噴射氣流與界面的預報位置。

四、垂直運動

由於電子計算機的發展使天氣預報的準確率增加了很多，但仍不能使人十分滿意，如我們能測得大範圍氣流之垂直速度，則對天氣預報之準確性會有所裨益。目前美國國家氣象局每日傳出速度圖二次，即每十二小時一次。每次均有十二小時與廿六小時之預報圖，其所用垂直速度之單位為厘 米/秒，負值代表空氣下沉，至於空氣垂直運動之原因有二，即：

圖一、渦旋圖



—— 等渦旋線
 - - - - 界
 → 噴射氣流

(一)地形 也就是空氣被迫舉升，我們可用公式
 求出因被迫舉之垂直速度，公式

$$W_0 = 51.5 \nabla \cdot \nabla M$$

W_0 = 因地形作用而產生之垂直速度

∇ = 被影響層之平均風速

∇M = 地面梯度。

(二)動力 1940年代 Sutcliffe 用邏輯的假設和繪
 圖方法求得公式

$$W = C_0 \nabla_{10} \cdot \nabla (\zeta_0 + \zeta_5)$$

W = 1000 呎與 500 呎間之平均垂直速度。

C_0 = 常數。

∇_{10} = 1000 呎與 500 呎間之熱風

$\nabla (\zeta_0 + \zeta_5)$ = 1000 呎與 500 呎間之熱風和之梯度

利用公式求垂直速度之方法有三即：

(1) 假定地面氣壓梯度很小，氣流平坦，則 ζ_0 可
 略而不計，因此熱風接近於 500 呎之風，則

$$W = C_0 \nabla_{500} \cdot \Delta \zeta_5$$

我們注意經過某地等高線上游如渦旋增加則 $\Delta \zeta_5$
 為正，因此 W 之符號為正，或氣流上升，其 W
 值之大小通常與 500 呎等高線及等渦旋線所成四邊
 形之面積成反比。此法之缺點在於沒有由計算所得

之數值，非有經驗之預報員無法運用，同時，若厚
 度線不與 500 呎等高線相平行時，則答案太小，如
 地面渦旋太強時，則答案之符號也可能錯誤。

(2) 我們可用數值預報中的基本方程式——連續
 方程式渦旋方程式，與能量方程式調整所述因動力
 而產生垂直速度之公式為：

$$W = 0.235 \nabla_{10} \cdot \nabla [(Z_5 + Z_0) - (Z_5 + Z_0)]$$

Z_0 = 1000 呎之高度 (米)

Z_5 = 500 呎之高度 (米)

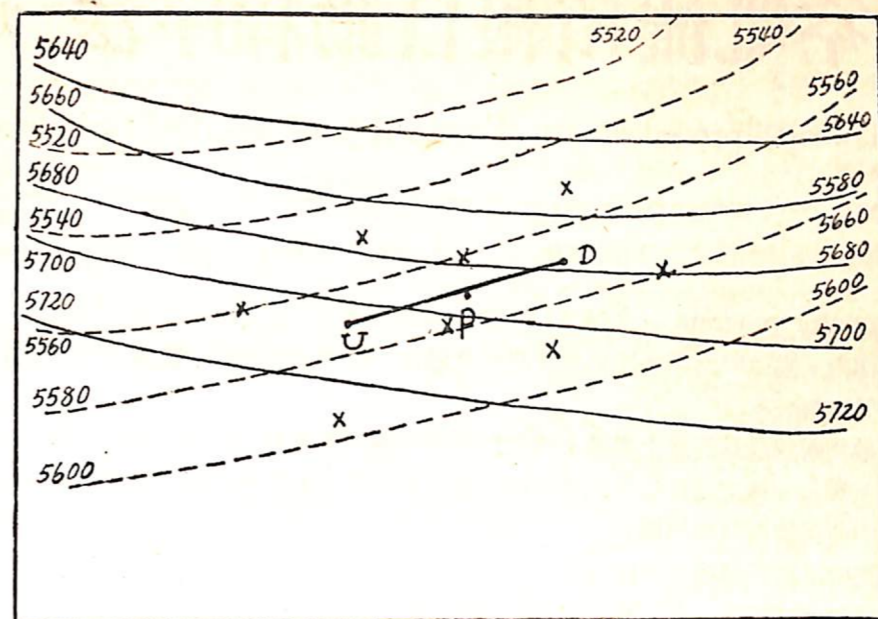
∇_{10} = 由 1000 呎與 500 呎厚度圖導出之熱風
 (呎/時)

W = 1000 呎 500 呎間之平均垂直速度
 (厘米/秒)

我們可用圖加法將 1000 呎場加於 500 呎場上，
 而求得一空間平均場 $(Z_5 + Z_0)$ 減去原來場 $(Z_5 + Z_0)$
 Z_0 代入公式而求得 W 值，此法精確但較費時。

(3) 我們可利用地面圖與 500 呎原圖，十二小時
 廿四小時，卅六小時之預報圖，即可求得各該時
 間之 1000 呎與 500 呎間之平均垂直速度，其計算程
 序為：

圖二



—— 500 呎等高線

- - - - 1000—500 呎等厚度線

x 資料點

P 地點

a 先由地面圖求得 1000 呎等壓面圖，為節省
 時間我們可以只處理某地三百海里以內之區域。

b 用圖減法求得 1000 呎與 500 呎之厚度圖。
 沿厚度線在某地上游及下游緯度三度處各找一點，
 分別稱為上游點 U 及下游點 D。

c. 沿上游點之緯度與經度，分別在其東西南
 北緯度三度處找四資料點。

d. 用每個資料點之高度減去 U 點之高度，加
 此四資料點與 U 點高度之差以代表 $(Z_5 - Z_0)$ 項。

e. 以同法求出下游點 D 之四資料點，並求出
 此四資料點高度與 D 點高度差之和。

f. 用 (d) 減去 (e) 由 U 與 D 間之距離 (哩)
 除之，代表 $\nabla (Z_5 - Z_0)$ ，即平均高度梯度。

g. 求出 1000 呎與 500 呎間之熱力風。

h. 代入公式 $W_0 = 0.235 \nabla_{10} \cdot \nabla (Z_5 + Z_0)$
 為 500 呎之平均垂直速度。

i. 以同法求出 $W_c = 0.235 \nabla_{10} \cdot \nabla (Z_0 + Z_5)$
 為 1000 呎之平均垂直速度 (如地面天氣圖氣壓
 梯度甚小，氣流平坦，這一步驟可以省略)。

j. 將 W_0 與 W_c 相加即為資料時間所選擇地點
 1000 呎與 500 呎間之平均垂直速度，如考慮地形影
 響時則應將由地形影響所計算得之垂直速度加入。

k. 以同法可以求出各預報圖有效時間之 W 值
 求得 W 值後，可查表一得天氣類型。但如欲

預報雲高、雲厚、擾動、逆溫層以及積雨雲可能發
 生之情況時，需預報高空溫濕分佈情況，其預測
 方法如下：

表一

垂直速度 Cm/Sec	700 呎溫度露點差 °C	天氣
≥ + 1	0—3	降水
+ 1	3—7	陰
+ 1	7—10	裂雲
+ 1	10 以上	晴
≤ -1.5	0—2	陰
-1.5	2—5	裂雲
-1.5	5	晴

五、利用垂直速度作未來十二小時及廿四 小時基地高空溫濕分佈情況預報之程序

(一) 選擇臨近某地探空曲線，檢查其逆溫及不平
 常之潮濕層與乾燥層。

(二) 檢查此探空曲線之穩定情況，估計低層逆溫
 消失時間。

(三) 估計 850, 700, 600, 500 呎等各定壓層溫濕平
 流之變化，其中尤以 700 呎平流變化最為重要，因
 為假定穩定性的降水發生時，700 呎一定接近飽和。
 (下接第九頁)