

溫度平流

蔣志才

Horizontal Advection of Temperature

C. T. Chiang

Abstract

Horizontal advection of temperature is the physical transport of the property by the horizontal wind. It is virtually a 100 % process. But a number of empirical rules have been developed in the past in which certain properties, e. g., isotherms, pressure patterns are moved at 50 % or 60 % of the horizontal wind. Although some success is occasionally attained by such computations, the concept itself is erroneous. The fact that horizontal advection may sometimes appear to be less than this is due to the action of the other processes in the following equation, i. e., vertical transport or parcel charges in the property.

The horizontal advection of temperature is very important for weather forecasting. Sometime the pressure pattern may not be representative of the weather displacement, but the displacement of isotherms are reliable. In this outline several methods of computing isotherm displacement will be given which can be used at the surface, 850, 700, and 500 mb.

引言

欲求天氣預報之準確，必先求預測圖之準確繪製，有正確預測圖方可把握未來天氣之趨勢，如不能繪製正確預測圖，未來天氣演變將無正確的概念。即使預測命中也為偶而巧合，決不是技術上有巧奪天工之處。不過一般預報員製作預測圖，着重在等壓線（或等高線）之繪製，對等溫線繪製很少注意，有些人甚至不繪等溫線。殊不知等溫線對天氣預報是同樣重要。尤其地方性雷陣雨及各種劇烈天氣之發生，往往等壓線（或等高線）之位移，不能確實指出其天氣發生之地區，而等溫線移動却有其代表性。故本文提供幾種估價溫度平流方法，以供參考。

一、平流解釋

所謂平流即為空氣隨平流風在物理上的輸流，其數學之解釋如下：

$$\frac{\partial X}{\partial t} = - (u \frac{\partial X}{\partial x} + v \frac{\partial X}{\partial y}) - W \frac{\partial X}{\partial z} - \frac{dX}{dt}$$

(1) (2) (3) (4)

本式 (1) 為空氣隨時間之地方性局部變化。

- (2) 為空氣之水平平流。
- (3) 為空氣之垂直輸送。
- (4) 為空氣內局部變化。

水平平流是不斷在進行，比喻說：風速有 30 哩，乃煙、塵灰、溫度與濕度等，將隨風飄行 30 哩，又如測風氣球高空觀測計算，氣球隨風飄流也算它是百分之百位移。

過去有些經驗法則說等溫線，氣壓系統，雷雨等隨着某一高度之水平風速 50% 或 60% 速度移動，並計算頗成功。可是在理論上是錯的，平流應該是 100 %，但是水平平流如何會少于此數？此由于公式之 (3) 與 (4) 兩項垂直輸流或該空氣內局部變化緣故。

地方性暴風雨預測，對水平溫度與濕度平流應該較重視。以上式各分式間之關係，可用溫度代替。公式中 (1) 為在某測站溫度隨時間變化，(2) 溫度水平平流，(3) 溫度垂直變化，(4) 移動空氣中熱量變化，通常該項溫度平流在地面，850, 700 或 500mb 定壓面圖均可使用該式。

二、分力記數法

此法省略上項方程式之 (3) 與 (4) 兩分式，即溫度

垂直變化與移動空氣熱量變化不計算，僅以風之分力及溫度梯度計算溫度水平平流。

溫度水平平流

$$A(T) = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial Y}\right) = -V_2 \cdot \nabla_2 T$$

(1) (2) (3) (4)

- (1) 為東西風分力乘東西向溫度梯度
- (2) 為南北風分力乘南北向溫度梯度
- (3) 合成水平風
- (4) 合成水平溫度梯度

溫度水平地轉平流 (Horizontal geostrophic advection of temperature)

$A_{gs}(T)$ 可用下式代替上式，

$$A_{gs}(T) = \frac{g}{f} J(T, h)$$

$J(T, h)$ 是溫度與高度因子之吉可平 (Jacobian) $= \left(\frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} \right)$ ，由此可知 A_{gs} 溫度水平地轉平流是由南北向高度梯度乘東西向溫度梯度，減去東西向高度梯度乘南北向溫度梯度之值，再乘地心吸力除偏向力之商數是也。

該法須計算 $J(T, h)$ ，手續似嫌過多，不能適應實際作業簡單快捷之要求，僅可作檢討研究之用。

三、切風法

此處所指切風係指垂直不同高度之風切向量差，其與熱風相接近，切風在天氣預報方面，有助等壓面上決定等溫線之方位及距離。尤其在資料稀少或極細微地區 (如冷池 Cool Pool 所在處) 特別有用。因等溫線繪製是與切風有關，猶如等高線與實測風有關一樣。通常等溫線平行于切風繪製。冷空氣在氣流左面，因切風是被假定接近熱風，不過該假定不一定完全對，有時切風穿過等溫線，猶如實測風有時也穿過等高線。同樣道理等溫線距離也可能不與切風速度相符合。可是切風對溫度場鑑定分析確有幫助。

計算切風之簡單方法係用一圓形分度盤，以方格紙為底。計算方法與測風氣球計算相似，先點底層風，次點高層風，該兩點間直線之方向為切風向，其間距離即為切風速度。例如在 3,000' 風為 160°-25kts，在 7,000' 為 220°-31kts，即得切風 270°-29kts。

切風常以四至五千呎厚度計算之。雖用較薄厚度也可計算，通常等壓面圖計算之厚度為：850mb 用 3,000'-7000' 層；700mb 用 8,000'-12,000' 層；500mb，用 16,000'-20,000' 層。

四、以測站風計算溫度平流

$$\text{溫度水平平流} = -V \frac{\partial T}{\partial S}$$

V 為某測站之風速， $\frac{\partial T}{\partial S}$ 為沿氣流線 ∂S 距離之溫度梯度。在理論上這種梯度該為氣流線極小部份，缺乏代表性，但事實上不得不用既定測站資料。例如某測站風速 30 哩，乃以測站為中心沿氣流線去向量 15 哩及氣流線來向 15 哩處，該兩點間之溫度差即為 1 小時之溫度水平平流。此法極為簡單，可是因僅取 1 小時之氣流距離與溫度梯度，不能代表在繼續進行之平均值，差誤在所難免，非至萬不得已，避免使用。

五、沿氣流線以平均風速求等溫線位移

預報員常喜歡用既有資料間隔時間，求溫度水平平流，通常間隔時間為 6 小時，如某測站溫度 20°C，依照氣團軌跡移動 6 小時到達另一測站，該兩測站氣溫必有差異。即使在此期間內等溫線位移不規律，祇要求得總值不會有太大差誤。可是要分析氣團軌跡非一簡單手續所能辦到。是故，預報員常假設氣流線接近其軌跡，該項假設如時間不太長與溫度場不急遽變化，是可信的。不過氣流線繪製須絕對平行與風向，因軌跡係指一定時間內氣團所經過之路徑，如氣流線與等溫線繪製不正確，等溫線間隔與熱風計算就發生問題。

此法通常為預報員所樂用，作業方便又快。同時可用在空氣質點與濕度平流。不過此法用在長時間或風向將改變之區域，將發生錯誤之結果。例如有一低壓環流將移至該測站，乃目前氣流線將不能代表其軌跡，若仍依照氣流線計算，錯誤為不可免矣。故預報員使用該法，須有分析氣團軌跡之經驗。

六、等溫線沿等高線位移計算

此法是很相似等溫線沿氣流線位移方法，係以地轉氣流作為等溫線位移之依據，此法既快又容易，同時任何等壓面分析均可決定平流，毋需其他分析之輔助，同時此法可用在決定其他特性，如濕度等。但在等壓面圖上所謂「溫度不變線」應予分析應用。又此法如上節，當氣壓場急速改變或時間太久，會發生差誤，又當氣流強時所發生差誤將更大。故該法用在平穩氣流下尚無大差誤，如在低指標情況，變化迅速劇烈，則須先繪製預測等高線，參考未來氣流方可決定，以減少差誤。

七、潘諾夫斯基 (Panofsky's Equation) 溫度平流方程式

$$\text{溫度平流} - V \cdot \nabla T \cong V^2 \frac{\partial d}{\partial h} \frac{fT}{g}$$

V = 高空風速

$\frac{\partial d}{\partial h}$ = 隨高度各層風向之變化。以每四千呎 10° 為單位，

通常高度間隔 0-4, 1-5, ……與 16-20 千呎，高度較高時則以五千呎 10° 為單位，高度間隔 18-23, 20-25, ……與 35-40 千呎。氣流隨高度轉變為熱平流時 (正值)，冷平流時 (負值)。

f = 偏向力：	25°—0.75	35°—1.00
	45°—1.23	30°—0.87
	40°—1.12	

T = 該層平均溫度，以標準大氣為準：

0-4 千呎……282°A	12-16千呎……258°A
1-5 " " ……282°A	14-18 " " ……258°A
2-6 " " ……282°A	16-20 " " ……252°A
3-7 " " ……282°A	18-23 " " ……248°A
4-8 " " ……274°A	20-25 " " ……244°A
5-9 " " ……274°A	25-30 " " ……234°A
6-10 " " ……274°A	30-35 " " ……224°A
8-12 " " ……266°A	35-40 " " ……218°A
10-14 " " ……266°A	

g = 地心吸力加速為32呎/秒²

用此方程式需將偏向力，地心吸力與平均溫度等預先列表備查。待高空風資料獲得，即可代入本式算

得溫度平流數值，快捷方便，確有其優點：1. 本式完全是客觀方法，2. 僅用印字機拆下之高空風原始資料，即可計算，毋需其他分析輔助，3. 不限制用在等壓面高度，風高空風報告所及高度均可計算應用。此點重要，因嚴重溫度平流不一定發生在定壓面層，尤其冷平流往往發生在 12,000-16,000' 間 (約 600mb)，在 700與500mb圖上可能不顯，4. 高空風測站較探空站為多，使用價值高，高空風每天測四次，而探空僅兩次，利用該法可每六小時計算一次，以彌補探空資料之不足，若 0000Z, 1200Z 用探空，則 0600Z 與 1800Z 可用此法計算溫度平流。

然而本法也有缺點如下：1 用假設之地轉風所得值為瞬間者，與平均值比較有時相差很多 2. 此式不能用在其他因素，如濕度等。

結 論

以上各項方法均可求溫度平流，惟其結果未必一致，尤其第 (4)、(5)、(6) 項方法，均為概略估計，手續雖較簡單，可是準確度方面，實有疑問。至于第 (二)、(三) 兩項方法手續較多，尤其計算溫度與高度之吉可平，非瞬間所能完成，不合作業實用。其中潘諾夫斯基方程式尚稱實用，其方程式雖煩，然其中變數僅有兩項 (風向轉變與風速)。其他偏向力，地心吸力及平均溫度三項均為固定數字，有表可查。其所得數值也係客觀者，如應用時間不長，不致有大差誤。

參 考 資 料

1. Principles of meteorological Analysis, Saucier.
2. Introduction to Dynamic Meteorology, Panofsky.