

大氣熱力圖解的分析及評價

劉鴻喜

The Analysis and Evaluation of Thermodynamic Diagrams

Hung-hsi Liu

Abstract

In order to analyse the sounding records quickly and perfectly, the construction of thermodynamic diagram is doubtless needed. Seven famous types of thermodynamic diagram have been set up since 1884 until nowadays. There are adiabatic, energy, teph, skew T log p, α -p, Rossby and Schinze diagrams.

Each diagram has its advantages and disadvantages, no one could construct perfectly without any inconvenience. This paper is trying to point out their significant characteristics and their weak points of each diagram which mentioned above. Meanwhile, the value of use both in the theoretical and practical fields are briefly discussed, a table of evaluation with grades which made by the author is also attached.

一、前言

大氣為一整體，地面天氣的變化和高空氣流的活動，息息相關。因之，高空氣象要素之觀測及其紀錄之分析，對於預報天氣，甚為重要。不過高空氣象紀錄具有氣壓、氣溫、濕度和風四項要素，自地面以迄八、九萬呎高空，逐層皆有紀錄，皆須分析研究，故如欲利用此項立體性的高空氣象資料，以探尋大氣層的構造，壓溫濕的分佈以及氣流動態時，必須利用圖解，詳加填繪，仔細分析，始可獲得大氣層垂直變化的真實情況。此類立體圖解統稱熱力圖解(Thermodynamic diagram)，由於着眼的重點不同，分析的對象有異，因而各家創製的熱力圖解有很多種，本文擬將主要各種熱力圖解之構造、應用及其價值評述如下。

二、大氣熱力圖解的種類及其應用

(1) 絕熱圖解 (Adiabatic diagram)

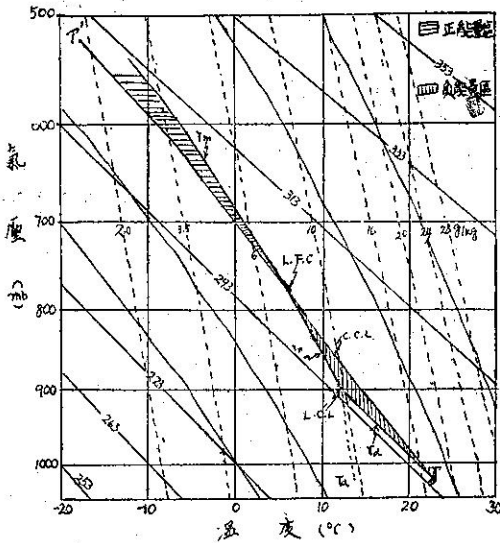
本圖解係由海茲氏 (H. Hertz, 1884) 所創製。以溫度為橫坐標，向右增加，以氣壓為縱坐標，向上低減，氣壓採用對數值，乾絕熱線用直斜線，濕絕熱線略呈弧形，用弧斜線表示之，飽和水汽混合比用異色虛線表示。本圖解對於研究空氣分子升降時熱力的變化(詳(2))，甚有裨益。大氣中空氣分子上升，所受壓力減少，體積膨脹，氣溫降低，空氣中的水氣凝結，潛熱 (Latent heat) 釋放，遂使熱量增加

，氣溫直減率減小，是以低空大氣的溫度變化並不易絕熱，因而此種圖解又稱作假絕熱圖解 (Pseudo-adiabatic diagram)，也叫史托威圖解 (Stüve diagram)，以紀念德國氣象學家史托威對此圖解的貢獻。

在此圖解上(其他圖解亦可)的曲線相交，可得三高度層，一為舉升凝結高度 (Lifting condensation level, L. C. L.)，係溫度線 (TT') 依乾絕熱線 (γ_a) 移動，露點線 (T_a) 依飽和水氣混合比分別上升，相交於一點，該點所在的高度，叫做舉升凝結高度，空氣分子達此點後，開始凝結，改沿濕絕熱線 (γ_m) 上升至某高度，此線和氣團實測(探空)曲線相交，即得自由對流高度 (Level of free convection, L.F.C.)，意即空氣分子過此高度後，動能即隨正區擴大而增加，變為不穩定。自地面以迄自由對流高度之間，由探空曲線(TT')乾絕熱線和濕絕熱線三條線所範圍起來的一塊區域，就是負能量區，此區無能力使空氣分子上升，故稱負能量區 (Negative energy area)；而在自由對流高度以上由探空曲線和濕絕熱線所夾的區域，即是正能量區 (Positive energy area)，此區愈大，愈有利於空氣分子上升。

除此兩高度層外，露點線於達到舉升凝結高度後，若繼續依飽和水氣混合比上升，而和探空曲線相交於一點，此點稱為對流凝結高度 (Convection condensation level C. C. L.)，此層高度通常介於L.C.L. 和 L.F.C. 之間。此三層凝結高度和正負能

圖 1: 絕熱圖解



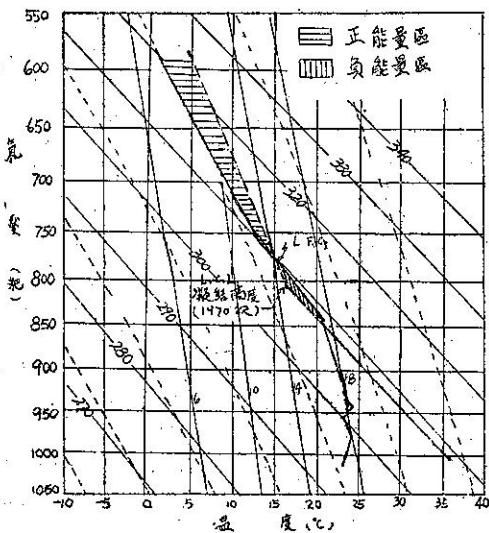
量區在絕熱圖解上的情況，如附圖 1 所示。

構成這三層凝結高度的原動力各有不同，最低的第一層舉升凝結高度是純由機械力量所形成，並無熱力作用參雜其間；而對流凝結高度則是因地表受熱，促使空氣體積膨脹所形成；至於自由對流高度最初是藉機械力量經由舉升凝結高度沿濕絕熱線而到達此高度，抵此高度後的空氣分子，雖無外力舉升及熱力參入，空氣分子也會自由上升，成雲致雨，最為便利。

(2) 能量圖解 (Energy diagram or Emagram)

本圖解係賴斯達 (A. Refsdal, 1937) 所創製，故又名賴斯達圖解，也叫高空圖解 (Aerogram)。

圖 2: 能量圖解



此圖解和絕熱圖解極為相似，唯一不同在加繪凝結高度之等W (水氣含量) 值線。本圖解特別便於計算對流活動能力的得失，故稱能量圖解，也叫「安馬」圖解 (Emagram)，意即單位質量能之圖解。圖上面積和功量成正比，故氣團屬性曲線和空氣分子行徑間面積的大小，即可代表能量的多寡。正負能量區域面積之差，即等於可用於對流活動的淨餘能力，若負區大於正區，則對流活動的機會甚少；反之若正區大於負區。氣團即呈不穩定，旺盛的對流作用可期。此類圖解的構造及填入探空曲線後正負能量區域分布的情況如附圖 2 所示。

(3) 溫熵圖解 (Tephigram)

本圖解係由英國蕭氏 (Sir N. Shaw, 1930) 所創製，以溫度為橫坐標，向右增加，而以熵 (Entropy) 為縱坐標。所謂熵 (Φ) 可用下式表示之：

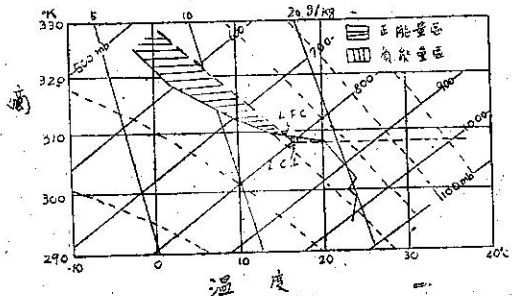
$$\Phi = C_p \ln \theta + C$$

式中 C_p 為一定氣壓下，空氣的比熱 (Specific heat)， θ 為位置溫度 (Potential temperature)， C 為常數， \ln 為自然對數，故此圖解簡稱 T-Φ-gram。等濕度線為斜直線，自右下方伸向左上方，等壓面為直線，則自左下方伸向右上方，圖中等位溫線即乾絕熱線，濕絕熱線為實曲線，自右下方向上微凸伸向左上方。附圖 3 係採用附圖 2 同一探空紀錄，填入溫熵圖解中，所顯示的氣團屬性曲線情況和正負能量區域的形狀等。

(4) 斜溫圖解 (Skew T LogP diagram)

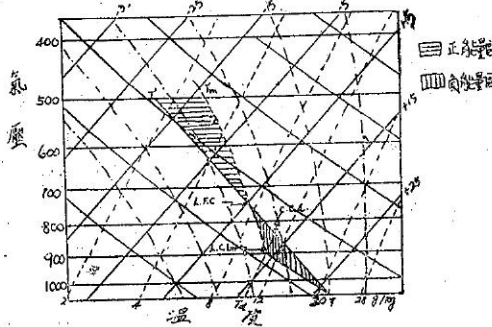
本圖解係由荷勞生 (N. Herlofson, 1947) 所創製，故又名荷勞生圖解。此圖所用坐標，橫軸仍為溫度 (T)，但係傾斜排列，縱坐標則為氣壓對數值，此圖直線及近似直線甚多，示意明顯，應用日廣，已有取絕熱圖解而代之的趨勢，美國空軍氣象單位已全部採用此圖解以分析高空氣流動態，派特生 (S. Petterssen) 新著：「天氣分析和預報」(1956版)

圖 3: 溫熵圖解



書中所有熱力圖解，均係採用此種。此圖重要線條計有：乾絕熱線係自左上方斜向右下方之實線，濕絕熱線為自右下方左上方微凸之虛斷線，等溫線為自左下方斜向右上之實線，飽和水汽混合比線則為自左下方斜向右上之虛線。附圖4示斜溫圖解之構造及探空紀錄填入後的能量分佈情況。此圖所用探空曲線和圖1者相同，讀者可比較此二圖上正負能量區域形狀之明顯差異。

圖4：斜溫圖解



(5) 比容圖解 (α - p diagram)

本圖解以比容 α (Specific volume) 為橫坐標，由左向右增加，以氣壓 p 為縱坐標，向上遞減。根據氣體公式：

$$p\alpha = RT$$

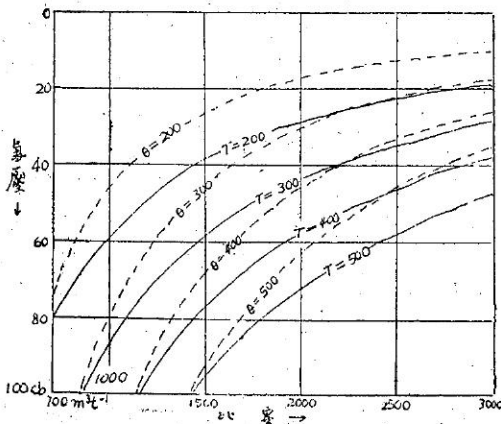
(式中 R 為宇宙氣體常數 $=8.315 \times 10^7$ 爾格/度)

則在此圖解中可得出溫度曲線 (T) 。

本圖解之優點在於氣體所做之功可在圖解上量出，故最利於作大氣演變過程之理論分析，但在實用上却有許多不便：

A. 本圖解中直線甚少，溫度線、位置溫度線等都是曲線。

圖5：比容圖解



B. 溫度線 (T) 和乾絕熱線 (θ) (即位置溫度線) 相交之角度甚小，不易區分。

C. 在氣象上甚為重要之區域，却位於圖之角落，使填繪出來的探空曲線形狀欠佳，縮尺過小，不便應用。本圖解之構造如附圖5所示。

(6) 洛斯貝圖解 (Rossby diagram)

本圖解係已故氣象大師瑞典籍 羅斯貝 (C. G. Rossby) 所手創，係以水氣含量 (Water vapor content, W) 為橫坐標，單位為每公斤乾空氣中水氣的克數，向右增加；另以乾空氣位置溫度 (θ_a) 為縱坐標，用絕對溫度對數值，向上增加；自左上方右下方傾斜之線為等相當位置溫度線 (Potential equivalent temperature, θ_E)，此圖係置重點於空氣團中水氣含量之多寡，故最大用途在於鑒別氣團的冷暖乾濕。探空紀錄填入圖中所成的屬性曲線 (Characteristic curve) 如自圖右向左上方傾斜，表示 θ_a 向上劇增，而水氣含量 W 向上銳減，當有下沉逆溫存在。如屬性曲線向左下方傾斜，表示大氣中溫度直減率大於乾絕熱率 (γ_a)， θ_a 乃向上遞減，亦即實際溫度直減率 $\gamma > \gamma_m > \gamma_a$ ，自應為絕對不穩定；如向左上方傾斜，傾角大於等相當位置溫度，溫度直減率小於濕絕熱率 (γ_m)， θ_a 向上增加，亦即 $\gamma < \gamma_m < \gamma_a$ ，乃成絕對穩定。至若屬性曲線介於二者之間，即 $\gamma > \gamma_m > \gamma_a$ ，則 θ_a 向上遞增，相當位置溫度向上遞減，則此空氣在未達飽和前，不論升降均依乾絕熱率變化，上升時此團空氣較四周同高度溫度為冷，下降時又較暖，自屬穩定狀態；及至飽和以後，無論升降，均依濕絕熱變化，如為上升，到處均較同高度四周之空氣為暖，如為下降空氣，到處均較同高度四周之空氣為冷，並均有繼續升降之勢，是為不穩定；此種空氣的不穩定，乃以空氣飽和與否為條件，故為條件性不穩定。由上分析，可見探空紀錄一經填入洛斯貝圖解中，即可判斷氣團的乘性何屬，故甚適於氣團分析之用。附圖6、7示應用洛斯貝和溫熵圖解來判明冬季北美 cA, mP, mT 三種氣團的情況。附圖8示利用洛斯貝圖解區分經過馬尼拉上空的東亞季風和信風氣團。

(7) 辛茲圖解 (Schinze diagram)

本圖解係由辛茲氏所創製，以高度為縱坐標，單位公里，向上遞增；而以相當位置溫度為橫坐標，向右增加。此圖解利於研究一地逐日大氣乘性之變遷，較洛斯貝圖解為優，並可直接表示不連續面的高度，某層穩定或不穩定，一望而知。但此圖解的缺點在於

圖 6：冬季北美氣團分析
(洛其貝圖解)

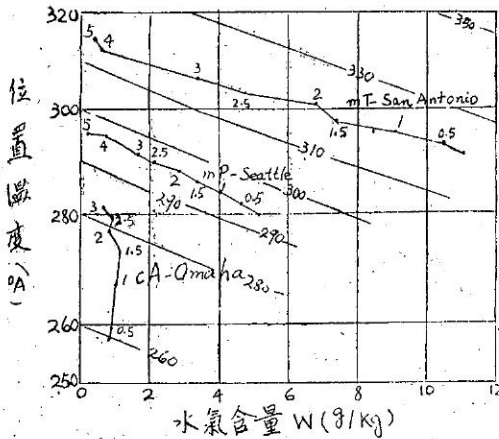


圖 7：冬季北美氣團分析
(溫熵圖解)

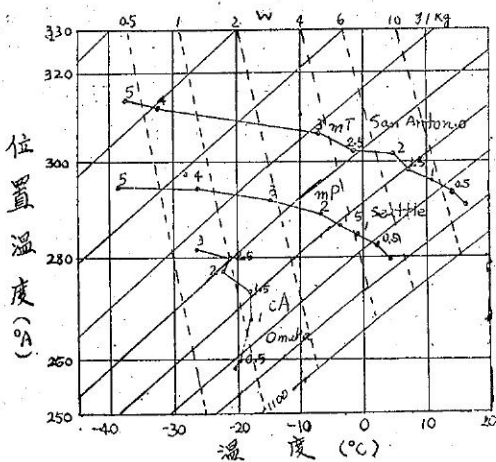
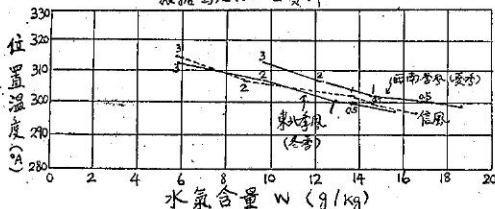


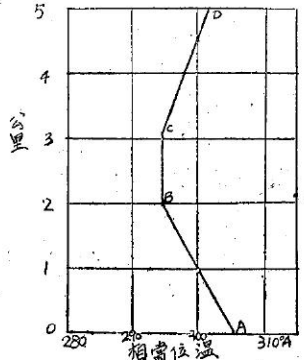
圖 8：冬季東亞氣團分析
(洛其貝圖解)
根據馬尼拉上空資料



水氣潛熱作用和溫度層序均合併於相當置溫度中，無法分辨不連續面的生成是由於水氣抑係由於溫度。換言之，下沉逆溫 and 鋒面逆溫時相混淆，必須將比濕和高度的曲線附入圖中，始克補救此項缺點。附圖 9 為辛茲圖解之構造，圖中探空曲線第一段 A、B 層向左傾斜，表示相當位溫向上低減，該層空氣為對流性不穩

定，頂端 C、D 層向右傾斜，表示相當位溫隨高度增加，該空氣層為絕對穩定；至於中段 B、C 層，作垂直分布，表示相當位溫無變化，處於飽和狀態，是為中性穩定。

圖 9：辛茲圖解



三、熱力圖解 製作原則 及其評價

用於分析大氣動態及其屬性的熱力圖解，所着重的參變數各家既不一致，故圖解紛陳，重要者已如上述，但不拘那一種熱力圖解的創製，它的基本要求當以盡量符合下列各點為宜：

- A. 圖上探空紀錄填好分析後，所顯示出來的區域，最好和實際的能量相等或相當。
- B. 探空曲線填入圖解中，視之愈覺逼真愈好。
- C. 圖解上各重要線條最好都是直線，曲線愈少愈佳。
- D. 溫度線和乾絕熱線相交的角度宜大，最好能等於或近於九十度。

上述四項基本原則中，A 項最關重要，如評價用分數計算，A 項應得四分，B 項居次，得三分，C 項居三得二分，D 項居末，以一分計算。是則上述前五種圖解之優劣，約可列表評定如下：

圖解名稱	原則				總分
	A	B	C	D	
絕熱圖解	3	3	2	—	8
能量圖解	4	3	2	—	9
溫熵圖解	4	—	—	1	5
斜溫圖解	4	—	2	1	7
比容圖解	4	—	—	—	4

由上表可見能量圖解所佔的優點為 A、B、C 三項，獨得九分，居五種圖解之首；絕熱圖解的優點亦為 A、B、C 三項，但其中 A 項不盡符合要求，故列八分，但也有其特別便利之處，故過去各氣象機構多採用之；斜溫圖解創製最晚，其優點在 A、C、D 三項，區域既大，T 和 θ 交角又逾九十度，均為其優點（絕熱圖解交角僅 45 度），但等溫線傾斜，使探空曲線填入缺乏真實感，甚且使分析者誤認逆溫層，為其缺點。溫熵

圖解的 T 和 θ 交角也有90度，圖上直線亦復不少，但定壓面傾斜，重要的 θ 線又復呈弧線，使填入的探空曲線既不逼真，又乏真實感，故僅獲五分；至於比容圖解，曲線既多，所夾角度又特小（參看附圖5），填入探空曲線亦無真實感，故其實用價值位在五種圖解之末。

洛斯基和辛茲圖解與上述五種圖解雖可互相通用，但重點究竟不同，後二者主要用於氣團燥濕的分析及秉性之演變，最宜於供作辨別各種氣團之用，極地、熱帶、大陸性或海洋性等各種秉性的氣團，一經填入洛斯基圖解，無不可立加判明；而辛茲圖解却又特別利於研究一地逐日高空大氣秉性變遷演變之用。

以上對七種熱力圖解之分析及評價，係筆者個人

閱讀所感及實際應用之結果。對於此類圖解優劣點之評分，本無絕對的標準，貝仁見智，參差在所難免，尙望方家不吝指示為幸。（完）

參 考 文 獻

1. Holmboe, Forsythe, Gustin: *Dynamic Meteorology* 1952 Chapter 2
 2. H. R. Byers: *General Meteorology* 2nd Edition 1944 PP.167-183, PP.255-292
 3. S. Petterssen: *Weather Analysis and Forecasting* 2nd Edition Volume II. 1956 PP.35-38, PP.137-150
 4. H.R. Byers: *General Meteorology* 3rd Edition 1959 PP.176-192, PP.340-342
 5. Saint Louis University Note: *Synoptic Meteorology* January and February, 1959.
 - (14) Saucier, W. J. 1955: *Principles of Meteorological Analysis*. The University of Chicago Press, pp. 135-137.
 - (15) Brooks, C. E. P., Durst, C. S. and Carruthers, N. 1946; *Upper winds over the world. Part I. The frequency distribution of winds at a point in the free air.* *Quart. J. R. Met. Soc., London*, 72, p. 55.
 - (16) Brooks, C. E. P., Durst, C. S., Carruthers, N., Dewar, D. and Sawyer, J. S. 1950; *Upper winds over the world* *Geophys. Mem. London* 10, No. 85.
 - (17) Namias, J., 1947: *Extended Forecast by Mean Circulation Methods*, U. S. Weather Bureau, Washington D. C., 89. pp.
 - (18) Palmén, E., 1949: *The Formation and Structure of a Large-scale Disturbance in the westerlies*, *Journ. of Met.*, 6, pp.227-242.
 - (19) Defant, F., 1954: *Über den Mechanismus der unperiodischen Schwankungen der allgemeinen Zirkulation der Nordhalbkugel*, *Arch. für Meteorol. Geophys. und Biokl.*, Bd.6.
- (上接34頁)
- Circulation of February 1959, *Monthly Weather Review*, Vol. 87, No.2, pp. 81-90.
- (7) Rossby, C.-G. and H. C. Willet 1948: *The circulation of the upper troposphere and lower stratosphere*, *Science*, 104, pp. 643-652.
- (8) Willet, H. C. 1944: *Descriptive Meteorology*. New York Academic Press, 305pp.
- (9) U. S. Weather Bureau, 1952: *Normal Weather Charts for Northern Hemisphere*, U.S. Weather Bureau Tech. Paper No.21, 74pp.
- (10) Japan Meteorological Agency 1957: *Normal Data of 5-day Mean 500mb Heights over the Northern Hemisphere*, 44pp.
- (11) Suda, K. 1959: *A Study on the Dynamic Climatology of Cold Outbreaks in the Far East*, *The Geophysical Magazine*, Vol. 29, No. 3, pp. 413-461.
- (12) *Weather of January 1959, Northern Hemisphere*; *The Meteorological Magazine*, May 1959. No. 1,043, Vol. 88.
- (13) Japan Meteorological Agency 1959: *Daily weather maps, Sea level, 850mb, 700mb and 500mb charts with synoptic data tabulations.*