

對流可用位能 (CAPE) 在應用上的延伸

洪景山 * 周仲島 **

* 中央氣象局資訊中心 ** 台灣大學大氣科學系

摘要

本文提出「對流可用位能垂直分布」的概念,用以表達不同高度上升之空氣塊計算所得的對流可用位能。由兩個探空剖線中所計算出的「對流可用位能垂直分布」顯示,該概念有助於凸顯出從整層大氣的觀點出發來描述環境所能提供對流發展的潛在能力。透過模擬測試指出,以對流可用位能來做為環境是否適合對流發展判斷的指標時,在某些情形下可能會產生誤差,「對流可用位能垂直分布」應是一個更積極的觀念。

一、前言

傳統對流可用位能 (CAPE, Convective Available Potential Energy) 的定義是指熱力圖上自由對流高度 (LFC) 和平衡高度 (EL) 之間,環境溫度剖線和濕絕熱剖線之間所圍的面積;代表環境所能提供對流發展的潛在能力。很明顯地,對流可用位能取決於空氣塊所處的初始位置的狀態,通常是地表的空氣狀態。然而大氣中的對流活動卻往往不是決定於某一個單層的空氣秉性,而是和一整層的大氣秉性有關。在這情形之下,傳統的對流可用位能觀念有其不足之處。本文在第二節中提出一個所謂「對流可用位能垂直分布」的概念,用以表達不同高度上升之空氣塊計算所得的對流可用位能,並利用一個二維雲模式來測試兩個對流可用位能相當,但「對流可用位能垂直分布」截然不同的探空剖線,來凸顯出傳統對流可用位能的不足之處,最後則是結論。

二、對流可用位能垂直分布

圖 1 是 TAMEX IOP13 鋒面雨帶之鋒前的探空剖線,圖中顯示當空氣塊自地面釋放時,其對流可用位能為 $1902.5 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$,這個數值理論上顯示當時大氣已有足夠的不穩定度來提供對流發展所需的能量。在此定義「對流可用位能垂直分布」為計算在熱力圖上自不同高度舉升之空氣塊的對流可用位能,所畫出之對流可用位能隨高度的變化。圖 2 是由地面開始,每 25 hPa 間距釋放之空氣塊所計算求得的對流可用位能,橫軸為對流可用位能,縱軸為空氣塊釋放的高度。圖中顯示在 965 hPa 左右上升的空氣塊就已經無法自環境中獲得對流可用位能,而從地面至 965 hPa 之間對流可用位能快速的遞減則反應在探空剖線中水汽在垂直方向的快速減少。這同時也意味著在圖 1 的探空剖線中,空氣塊如果自 900 hPa 上升時,其擁有的水汽含量將

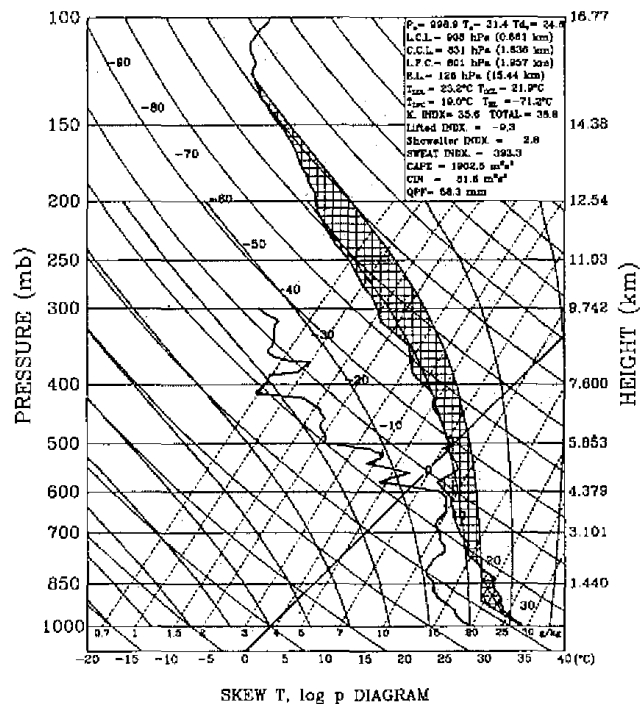


圖 1: TAMEX IOP13 鋒面雨帶之鋒前的探空剖線。

遠少於自地面上升的空氣塊,由於水汽太少,因此空氣塊上升的過程中可能無法自潛熱釋放中獲得足夠的浮力而自由對流。

為了進一步量化以上的推論,在此我們使用一個二維的非靜力雲模式,分別以熱胞及冷丘形式,在圖 1 的探空剖線為背景場以及弱垂直風切的環境下來激發模式中的對流系統,圖 3 是模式積分至 4 小時之最大上升速度及最大負浮力的時間變化圖,圖中顯示模式中的對流行為在經由初始熱胞激

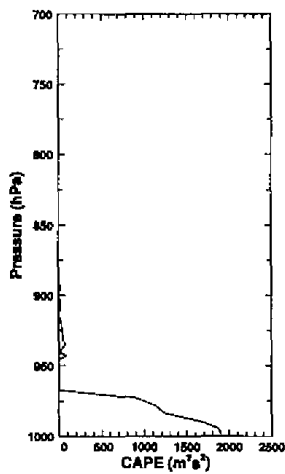


圖 2: 由 IOP13 個案的探空剖線中, 計算空氣塊自不同高度上升時環境所提供的對流可用位能, 其中縱軸為空氣塊上升的高度, 橫軸為對流可用位能。

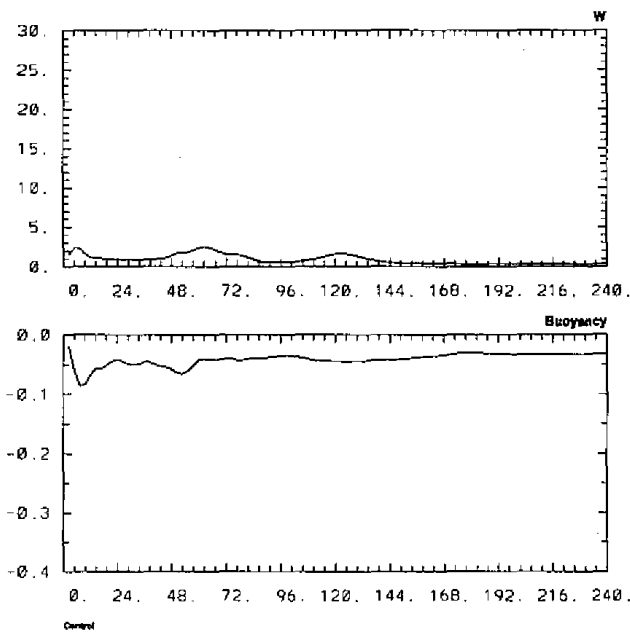


圖 3: (a) 模式積分範圍中最大垂直速度隨時間的變化, 單位為 m/s , 橫軸的時間單位為分鐘。(b) 最大負浮力的時間變化, 單位為 m/s^2 。

發後並沒有持續發展, 而最大負浮力也顯示降水僅發生在初始的熱對流胞。冷丘的實驗結果也無法在模式中激發對流系統。

從另一個角度來看, 我們可以預期如果增加個案 (圖 1) 的低層水汽場 (如圖 4), 應當可以有利於對流系統發展。增加水汽後對流可用位能略增為 $2041.3 m^2/s^2$, 但對應的對流可用位能垂直分布 (如圖 5) 則和原來的探空剖線有相當大的差異,

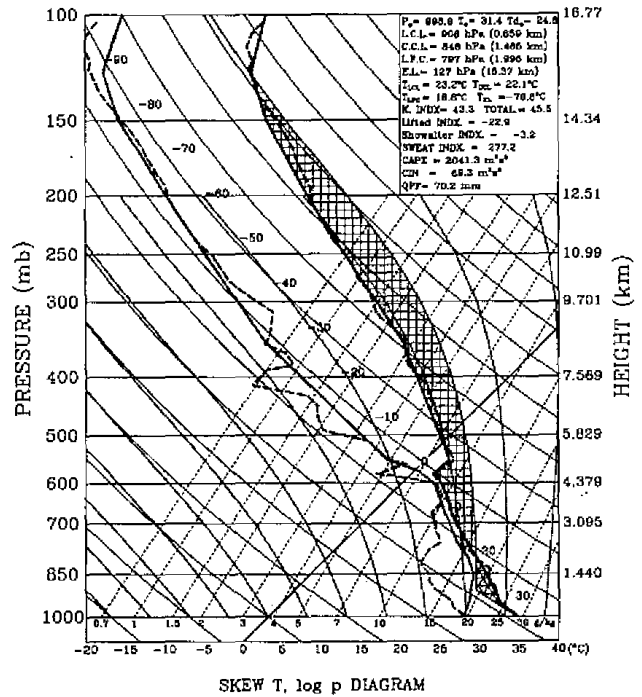


圖 4: 增加 IOP13 個案探空之低層水汽後的斜溫圖, 較淡的實線為增加水汽後的露點溫度線。

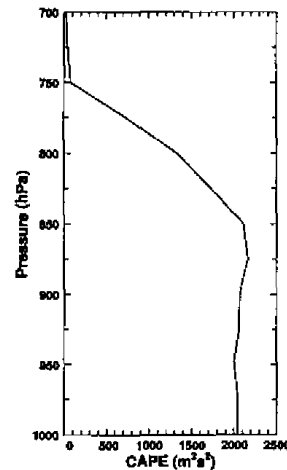


圖 5: 同圖 2, 但為由圖 4 之探空剖線所計算出來之對流可用位能的垂直剖線。

圖 5 顯示 850 hPa 以下的對流可用位能接近常數, 因此在 850 hPa 以下上升的空氣塊都可以自環境中獲得足夠的對流可用位能, 而有利於對流發展。不意外地, 我們很容易就可以在模式中激發出長生命期多胞的對流系統 (如圖 6)。

雖然對流系統上衝流的來源主要是低層冷丘的介面舉升, 但事實上被舉升的空氣並非完全來自地表表面, 而應是包含整個近地層, 特別是混合邊界

層的空气，從這裡也可以理解為何模式可以很容易地在圖 4 的背景大氣中激發出對流系統。由以上的實驗中我們可以發現，單從地面之大氣條件所計算出來的對流可用位能來評估環境所能提供的對流潛勢，因無法表達出整層大氣的熱力結構特性，將很有可能因此做出錯誤的判斷，相對地，若從對流可用位能的垂直分佈中則可以凸顯出大氣熱力場垂直分布的特性，而可以盡量減少判斷錯誤的情形發生。

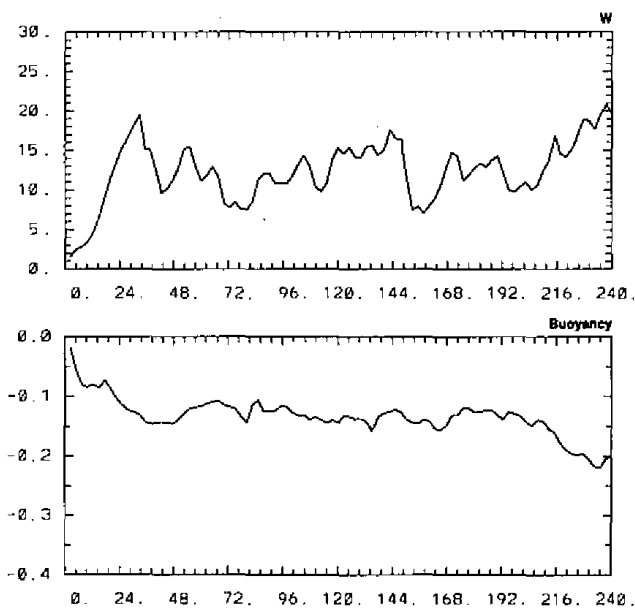


圖 6: 同圖 3, 但為以圖 4 為背景場的模擬結果。

三、結論

由以上的討論中我們在這裡可以有以下結論，

1. TAMEX IOP13 鋒面雨帶的鋒前探空剖線中顯示，由於低層水汽太少，因此使得 965 hPa 以上上升的空氣塊都無法從環境中獲得對流可用位能，在這情形下，我們無法自模式模擬中激發出對流系統。而只要增加低層的水汽含量就可以在模式中產生對流系統，在此凸顯出低層水汽扮演的角色。
2. 單從地面之大氣條件所計算出來的對流可用位能來評估環境所能提供的對流潛勢，因無法表達出整層大氣的熱力結構特性，將很有可能因此做出錯誤的判斷，相對地，從對流可用位能的垂直分佈中當可以盡量減少判斷錯誤的情形發生，也因而更具有實用的價值。

The extension of the idea on CAPE (Convective Available Potential Energy)

JingShan Hong¹ and Ben Jong-Dao Jou²

¹Computer Center, Central Weather Bureau

²Department of Atmospheric Science, National Taiwan University,

ABSTRACT

The definition of CAPE (Convective Available Potential Energy) represents the area on a thermodynamic diagram enclosed by the environmental temperature profile and the moist adiabat connecting the level of free convection to the equilibrium level. It is apparent that the magnitude of the CAPE depends on the environmental condition as well as the property of the initial parcel. Thus, CAPE can be treated as a measurement of the potential instability, which is only representative of the initial parcel. However, the atmospheric convective activity is usually determined by the air of a layer say boundary layer, but not a level. The paper proposed an idea, the profile of CAPE, to improve the deficiency of the conventional, level-thinking, CAPE. The profile of CAPE is obtained by the CAPE calculated at individual layer from surface to 700 hPa. The characteristic of the profile can explicitly expose the potential instability for convection within the atmospheric boundary layer. Two extreme cases are presented in the paper and verified by a two-dimensional cloud model. The results show that the conventional CAPE can mislead a lot in some special case especially when the low level is significantly too dry. Comparatively, the profile of CAPE has the ability to avoid the misleading due to the layer thinking.

Key Words: CAPE, profile of CAPE