

# 對流系統受環境風場垂直風切 影響之理想化數值模擬研究

黃小玲<sup>1</sup>

楊明仁<sup>2</sup>

## 摘 要

本研究使用 Yang and Houze (1995)雲模式來探討對流系統受到環境風場垂直風切之影響。經由雲模式模擬各物理場(如  $u$ 、 $v$ 、 $w$ 、 $\theta$ 、 $p$ 、 $q_v$ 、 $q_c$ 及 $q_r$ 等)的演變，研究發現環境風場之垂直風切顯著影響對流系統的強度和其結構的變化。數值模擬實驗使用 Weisman and Klemp (1982)的理想化探空曲線，且應用暖胞以激發對流的生成。數值實驗的控制變數為環境風場垂直風切，吾人考慮近地面 2.5 公里的垂直風切為  $5 \text{ ms}^{-1}$ 、 $10 \text{ ms}^{-1}$ 、 $15 \text{ ms}^{-1}$  及  $20 \text{ ms}^{-1}$  的情況，模擬在水平網域 300 公里範圍中對流系統在 2 小時內的發展、成熟及衰退情形。模擬結果顯示，不同的環境風場垂直風切將明顯改變對流系統的垂直速度強度、系統移動速度、系統傾斜情況及雲頂高度。數值實驗發現，近地面 2.5 公里之垂直風切在  $5 \sim 15 \text{ ms}^{-1}$  的條件下，對流系統強度有隨著風切增加而逐漸增強的趨勢；但當近地面 2.5 公里之垂直風切大於  $15 \text{ ms}^{-1}$  時，對流系統將受到水平風場的強烈拉扯而使得系統結構發展得不完整，此時系統發展強度則有減弱的趨勢。透過本理想化的數值模擬實驗，將可增進吾人對於對流系統強度及其結構受到環境風場垂直風切之影響程度的瞭解。

關鍵詞：環境風場垂直風切、對流系統

---

1 中國文化大學地研所碩士班研究生  
2 中國文化大學大氣科學系助理教授

## 一、前 言

對流系統的發展可由熱力或動力機制所主宰。由熱力機制激發之對流系統的能量主要由局地增溫的熱能所提供，而其水氣凝結所釋放的潛熱，除了會加熱垂直空氣柱之溫度外，亦可藉由重力波方式向四周快速傳遞；因此透過對流作用所釋放出來的潛熱，並不會無限制地加熱大氣溫度，當周圍環境沒有再提供對流系統發展所需能量時，系統便消散了，所以由局部地區突然增溫產生的熱力機制所激發出來的對流系統之生命週期較短。相反地，就由動力機制所激發的對流系統而言，因為對流系統發展所需之能量僅為環境動能的一部份，所以環境風場會不斷地影響對流系統的發展狀況，因此由環境水平風場的輻合（散）引發的動力機制所激發生成的對流系統之生命週期則較長。由此可知，動力機制所激發出來的對流系統，其生命週期會隨著環境動力機制所提供能量的增強而延長。所以本研究希望藉由理想化數值實驗研究，來瞭解對流系統強度及其結構受到環境風場垂直風切之影響程度。

Weisman and Klemp (1982) 使用三維的數值雲模式模擬對流系統的結構及發展，發現環境風場垂直風切及浮力的改變對於對流系統的結構及發展有相當程度的影響。如設定相同的浮力作用，則可發現弱垂直風切條件所生成的單胞對流系統，生命週期短；在中等強度的垂直風切條件下，將在系統發展成熟時產生多胞的對流系統；當垂直風切更強的時候，將使得對流系統分離生成劇烈風暴，即為所觀測到的超級胞對流系統。

Fovell and Ogura (1989) 使用二維雲模式去估計成熟時期的多重胞對流系統所受垂直風切的影響，即分析成熟時期的多重胞對流系統之系統移動速度、暴風系統尺度及其上衝流受垂直風切的影響。結果發現在弱垂直風切情形下，產生一些簡單的振盪，使得對流系統容易發展，但系統移動速度較慢；強垂直風切情形下，因強垂直風切將產生複雜的振盪，影響系統發展的強度，導致系統的發展初期強度較弱，但系統移動速度則較快。

林與郭 (1999) 使用科羅拉多州立大學的區域大氣模擬系統 (RAMS) 模式以模擬颶線的基本結構特徵，驗證颶線移速與低層垂直風切之正相關性。當低層近地面 2.5 公里的垂直風切在  $10 \text{ ms}^{-1}$  以上時可找出一颶線移行速度與低層風切大小間的

線性關係。另外，發現含冰相雲物理之颯線系統移動速度較不含冰相雲物理之颯線系統快，應該是包含冰相雲物理之模擬實驗的冷池強度較強，所以具有較強的密度流來推動系統的前進。

本文研究目的希望經由理想化數值模擬實驗，瞭解對流系統在環境風場垂直風切動力機制條件下的對流發展狀況，以掌握垂直風切在對流系統發展過程中所扮演的角色。

## 二、模式介紹

本數值模擬實驗，考慮在近地面 2.5 公里的環境風場垂直風切(  $5\text{ ms}^{-1}$ 、 $10\text{ ms}^{-1}$ 、 $15\text{ ms}^{-1}$  及  $20\text{ ms}^{-1}$  )的條件下(見圖 1)，討論其對於對流系統將造成什麼樣的影響。本研究使用 Weisman and Klemm (1982)的理想化探空曲線(圖 2)，以及暖胞激發對流生成的條件，應用於 Yang and Houze (1995a)雲模式，來模擬對流系統在水平網域 300 公里範圍中 2 小時內的發展、成熟及衰退情形。

本文使用的 Yang and Houze (1995a)雲模式，為一模擬積雲尺度對流現象的 3 維數值模式，其考慮非靜力平衡動力、三相水(含水氣、雲水及冰)的雲微物理過程，以及次網格尺度的擾流現象。本雲模式曾應用於一中緯度颯線系統的數值模擬及其發展機制之探討研究〔見 Yang and Houze (1995a,b)、Yang and Houze (1996)〕。本雲模式的動力架構參考 Klemm-Wilhelmson (1978)，平流項則參考 Wilhelmson and Chen (1982)。另外，此模式所使用的雲微物理參數法主要參考 Lin et al. (1983)和 Rutledge and Hobbs (1984)的參數法。

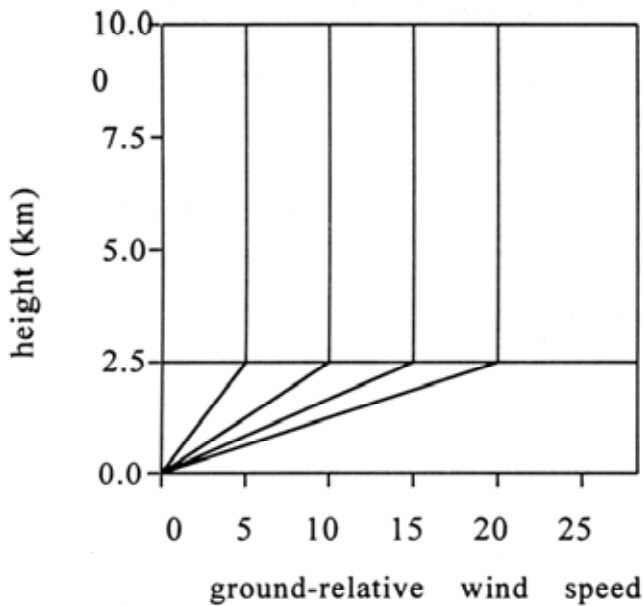


圖 1 近地面 2.5 km 的環境風場垂直風切。

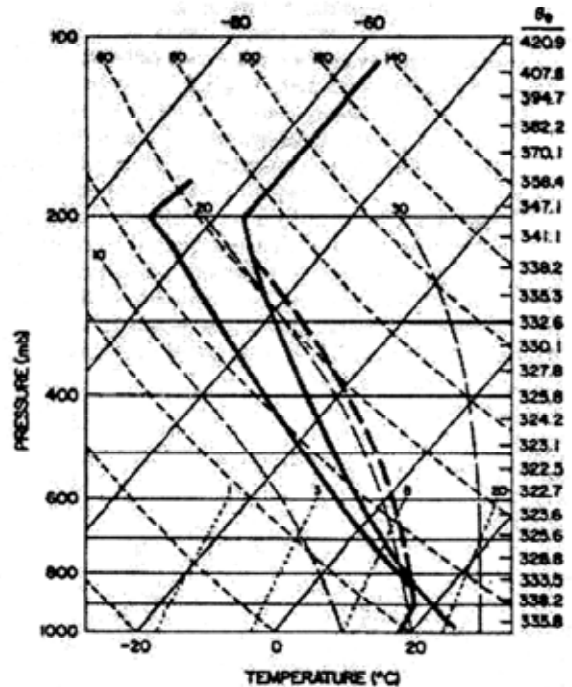


圖 2 理想化探空曲線。粗實線為模式模擬出的溫度和濕度，點線為混合比，短虛線為乾絕熱線，粗黑虛線為濕絕熱線，右側為模式使用的相當位溫。本圖取自 Weisman and Klemp (1982)。

### (一) 數值模式之預報變數

本理想化數值模擬研究使用 Yang and Houze (1995a)雲模式在 2 維條件 ( $x$  及  $z$  方向)以及僅考慮液態雲物理 ( $q_v$ 、 $q_c$  及  $q_r$ ) 過程的條件下，模擬各物理場(如  $u$ 、 $v$ 、 $w$ 、 $\theta$ 、 $p$ 、 $q_v$ 、 $q_c$  及  $q_r$ )的演變。

以下為各物理場的預報方程式：

$$\frac{du}{dt} + c_p \bar{\theta}_v \frac{\partial \pi}{\partial x} = fv + D_u \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} + c_p \bar{\theta}_v \frac{\partial \pi}{\partial y} = -fu + D_v \quad (2)$$

$$\frac{dw}{dt} + c_p \bar{\theta}_v \frac{\partial \pi}{\partial z} = g \left[ \frac{\theta}{\bar{\theta}} - 1 + 0.61q_v' - q_c - q_r \right] + D_w \quad (3)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} + \frac{\bar{c}^2}{c_p \bar{\rho} \bar{\theta}_v^2} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (\bar{\rho} \bar{\theta}_v u) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\rho} \bar{\theta}_v v) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} \bar{\theta}_v w) \right] = 0 \quad (4)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = M_\theta + D_\theta \quad (5)$$

$$\frac{dq_v}{dt} = M_{qv} + D_{qv} \quad (6)$$

$$\frac{dq_c}{dt} = M_{qc} + D_{qc} \quad (7)$$

$$\frac{dq_r}{dt} = M_{qr} + D_{qr} \quad (8)$$

其中  $\frac{d(\ )}{dt}$  為對物理場的全微分，

$\frac{\partial(\ )}{\partial t}$  為對物理場的偏微分，

$u$ 、 $v$  為  $x$  及  $y$  方向的水平速度，

$w$  為垂直速度，

$\theta$  為位溫，

$\pi$  ( $= \Pi - \bar{\Pi}$ ) 為無因次氣壓場的擾動部份，

$\Pi = \left( \frac{p}{p_0} \right)^{R_d / c_p}$  為無因次氣壓場

$p$  為氣壓，

$p_0$  為參考氣壓 ( 1000 mb )，

$q_v$  為水氣混合比，

$q_c$  為雲水混合比，

$q_r$  為雨水混合比，

$D_u$  為  $x$  方向次網格尺度的混合擾流，

$D_v$  為  $y$  方向次網格尺度的混合擾流，

$D_w$  為  $z$  方向次網格尺度的混合擾流，

$c_p$  為乾空氣等壓比熱， $\theta_v$  為虛位溫， $c$  為聲速， $\rho$  為空氣密度，

$M_{(\ )}$  為潛熱項， $D_{(\ )}$  為混合擾流項。

而潛熱項及混合擾流項之方程式如下：

$$M_\theta = -\frac{L}{C_p \Pi} (\Delta + E_r) \quad (9)$$

$$D_\theta = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_h \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_h \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad (10)$$

$$M_{q_v} = \Delta + E_r \quad (11)$$

$$D_{q_v} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_h \frac{\partial q_v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_h \frac{\partial q_v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h \frac{\partial q_v}{\partial z} \right) \quad (12)$$

$$M_{q_c} = \Delta + E_r \quad (13)$$

$$D_{q_c} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_h \frac{\partial q_c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_h \frac{\partial q_c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h \frac{\partial q_c}{\partial z} \right) \quad (14)$$

$$M_{q_r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} V q_r) - E_r + A_r + C_r \quad (15)$$

$$D_{q_r} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_h \frac{\partial q_r}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_h \frac{\partial q_r}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h \frac{\partial q_r}{\partial z} \right) \quad (16)$$

其中  $L$  為水氣的凝結潛熱，

$K_h$  為熱能的混合係數，

$\Delta$  為雲水淨蒸發成水氣，

$E_r$  為雨水的蒸發，

$A_r$  為雲水碰撞成雨水，

$C_r$  為雲水聚集成雨水。

## (二) 模式邊界設定

Yang and Houze (1995a)雲模式假設模式頂部及底部為固定邊界，故其垂直運動速度設為零( $w = 0$ )。模式頂部放置於低平流層(21.7 km)，讓雲有足夠的空間在對流層內(0~12 km)垂直發展。另外，在側邊界上，則採用開放性的側邊界條件，將對流系統產生的擾動由側邊界傳送出模擬區域之外。

## (三) 暖胞的特徵

本研究中對流系統的激發是透過暖胞的作用而生成的。此暖胞範圍為一長軸20 km、短軸2.8 km的橢圓形區域，放置於網域中間( $x = 150$  km,  $z = 1.4$  km)，暖胞中心強度為2 K，而暖胞範圍內假設全為飽和的溼空氣。

# 三、實驗結果

## (一) 對流系統的特徵

由數值模擬對流系統各物理場的對照下，可看出對流系統有以下的特徵：

1.於水平速度場(圖3a)圖示中，在水平網域 $x = 150 \sim 170$ 公里處的低層(2.5公里)以下大氣，右側的水平速度場為由右向左(- $x$ 方向)，左側的水平速度場為由左向右(+ $x$ 方向)，故為輻合氣流；另外，在水平網域 $x = 150 \sim 170$ 公里的高層(6公里)以上，右側的水平速度場為由左向右(+ $x$ 方向)，左側的水平速度場為由右向左(- $x$ 方向)，故為輻散氣流。所以低層大氣的氣流輻合及高層大氣的氣流輻散主宰著對流系統的發展。

2.於垂直速度場(圖3b)圖示中，在水平網域 $x = 150 \sim 170$ 公里，上衝氣流由低層垂直向上發展至高層約11.5公里；另外，在上衝氣流的兩側為下沉氣流(約在5~10 km高度)。

3.由位溫擾動場(圖3c)和氣壓擾動場(圖3d)的對照得知，在水平網域 $x = 150 \sim 170$ 公里，中、低層的位溫擾動為正值(暖區)，伴隨高層氣壓較高而低層氣壓較低；相反地，高層(11公里以上)的位溫擾動為負值(冷區)，伴隨高層

氣壓較低而低層氣壓較高。所以，對流系統之上升氣流區處於溫度較高且低層氣壓較低的環境。

4.由位溫擾動場（圖 3c）、垂直速度場（圖 3b）及水氣混合比擾動場（圖 4a）的對照得知，在水平網域  $x = 150 \sim 170$  公里，上升氣流將暖溼的空氣往上帶至約 12 公里的高度，因而溫暖的對流上升區水氣含量高；上升氣流兩側的下沈氣流則將高層較乾冷的空氣往下帶至低層（4 公里以下），因而乾冷的下沈區水氣含量較低。

5.雷達回波場（圖 4c）圖示中，在水平網域  $x = 150 \sim 170$  公里處，有強雷達回波強度（大於 50 dBZ）；而雷達回波強度反應出降水粒子的大小及含量，所以在雷達回波圖中可看出強烈對流區含有豐富的水氣、雲水及降水粒子。



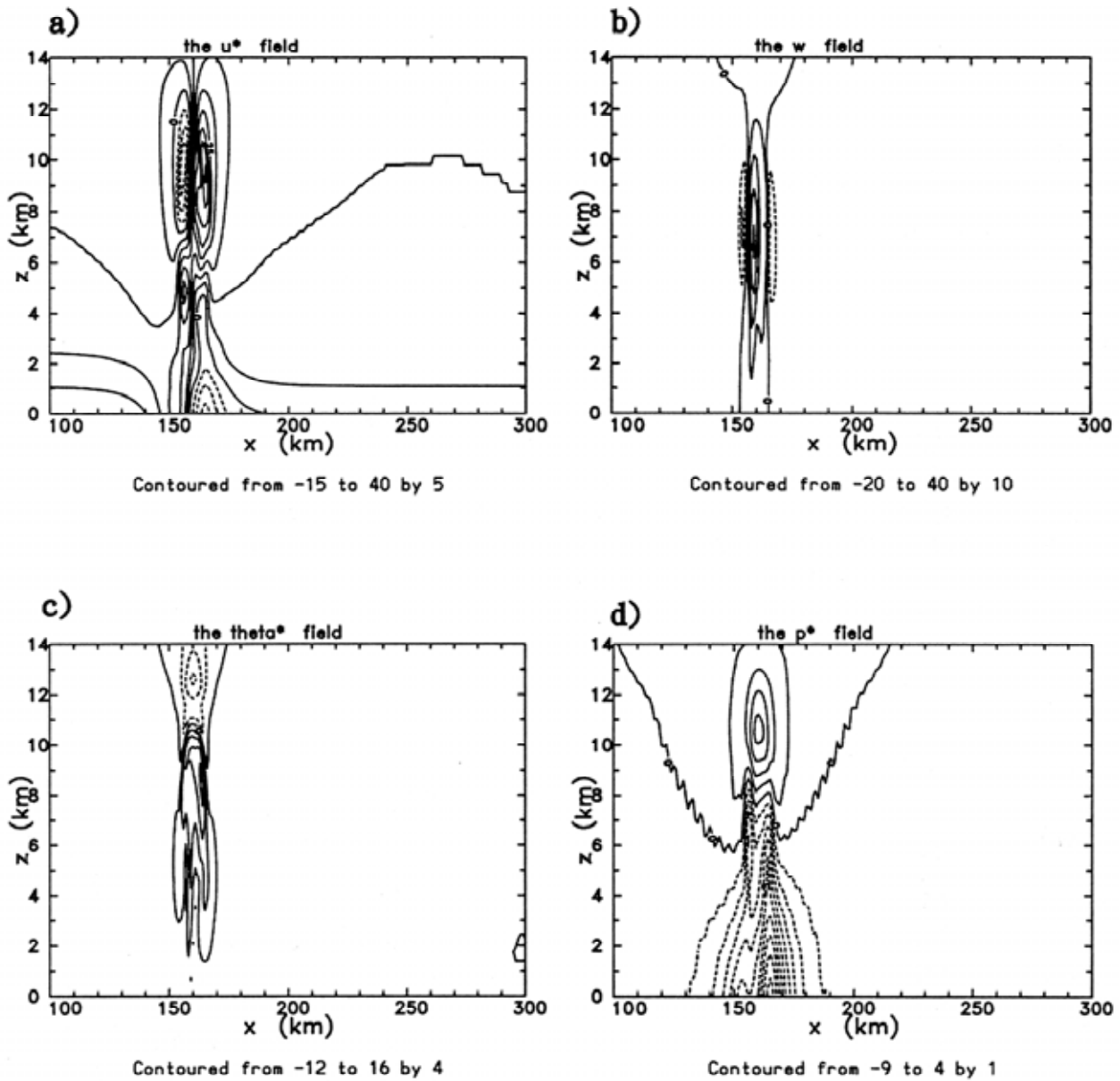


圖 3 圖 a、b、c、d 各為模擬 20 分鐘，低層大氣環境風場垂直風切  $10 \text{ ms}^{-1}$  的水平速度場 ( $u$ )、垂直速度場 ( $w$ )、位溫擾動場 ( $\theta'$ ) 及壓擾動場 ( $p'$ )；圖中實線為正值，虛線為負值。各物理場單位為  $[u] = \text{ms}^{-1}$ 、 $[w] = \text{ms}^{-1}$ 、 $[\theta] = \text{K}$  及  $[p] = \text{mb}$ 。

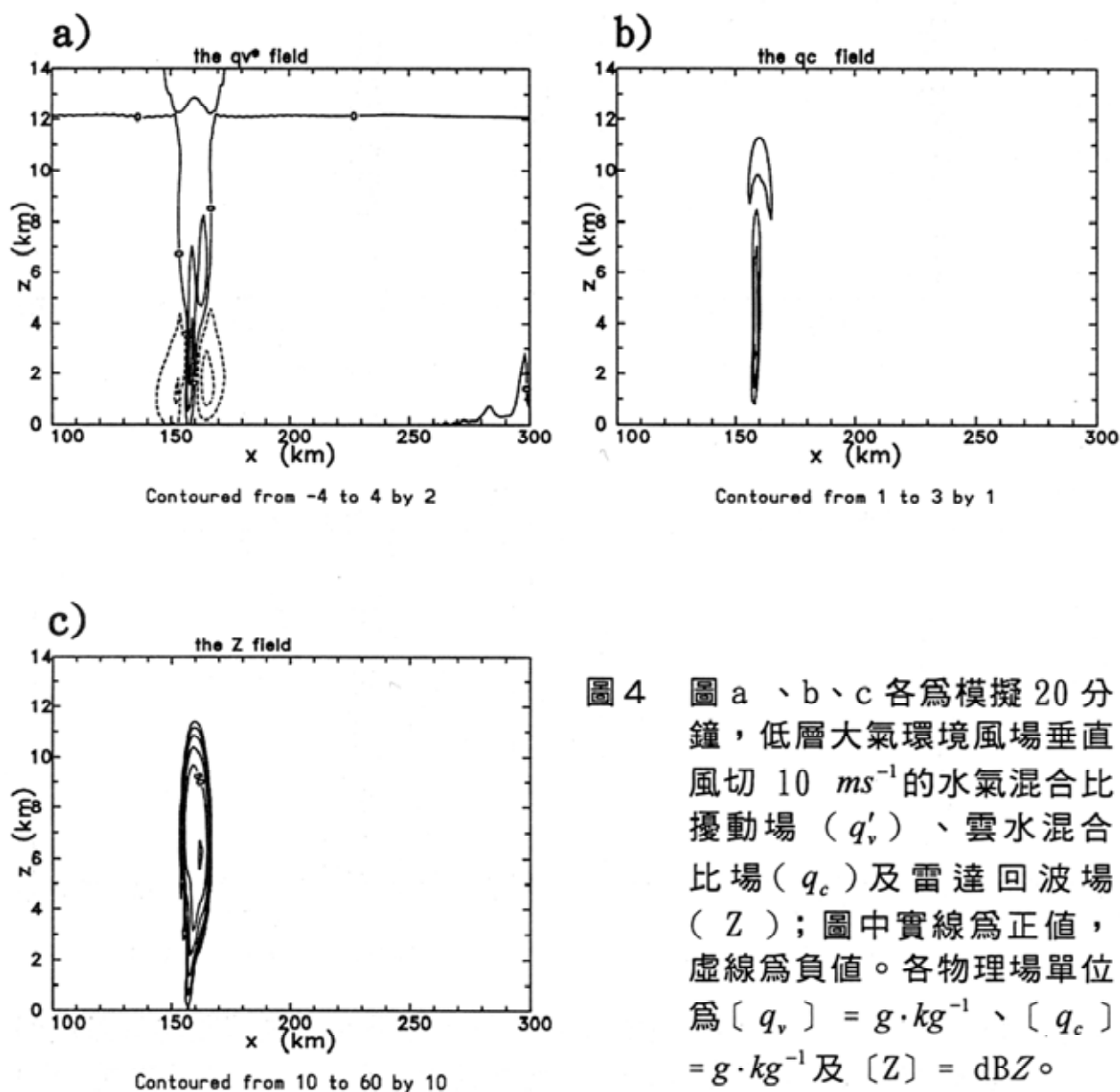


圖 4 圖 a、b、c 各為模擬 20 分鐘，低層大氣環境風場垂直風切  $10 \text{ ms}^{-1}$  的水氣混合比擾動場 ( $q_v'$ )、雲水混合比場 ( $q_c$ ) 及雷達回波場 ( $Z$ )；圖中實線為正值，虛線為負值。各物理場單位為  $[q_v] = \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $[q_c] = \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  及  $[Z] = \text{dBZ}$ 。

## (二) 對流系統受環境風場垂直風切的影響

### 1. 對流系統移動速度受環境風場垂直風切的影響

模擬結果如圖 5 所示。圖 5a 是垂直風切為  $5 \text{ ms}^{-1}$  的模擬結果，在 120 分鐘時對流系統已移動至水平網域  $x = 220$  公里；圖 5b 是垂直風切為  $10 \text{ ms}^{-1}$  的模擬結果，在 120 分鐘時對流系統已移動至水平網域  $x = 250$  公里；圖 5c 是垂直風切為

$15\text{ ms}^{-1}$ 的模擬結果，在 120 分鐘時對流系統已移動至水平網域  $x = 270$  公里；圖 5d 是垂直風切為  $20\text{ ms}^{-1}$ 的模擬結果，在 120 分鐘時對流系統已移動至水平網域  $x = 285$  公里。因此，由圖 5 可明顯看到在近地面 2.5 公里之環境風場垂直風切在  $5 \sim 20\text{ ms}^{-1}$ 的條件下，對流系統移動的速度隨著環境風場垂直風切的增強而加快。

### 2. 對流系統傾斜情況受環境風場垂直風切的影響

當對流系統發展已至成熟，系統結構會逐漸傾斜，最後使得系統強度減弱繼而消散。傾斜情況則如圖 5 所示，在近地面 2.5 公里不同的環境風場垂直風切 ( $5\text{ ms}^{-1}$ 、 $10\text{ ms}^{-1}$ 、 $15\text{ ms}^{-1}$ 、 $20\text{ ms}^{-1}$ ) 條件下，看到對流系統結構隨著高度的增加，向  $-x$  方向傾斜，且呈現出不同的傾斜角度。圖 5 可明顯看出對流系統結構的傾斜角度隨著環境風場垂直風切的增強而變小。

### 3. 對流系統垂直發展受環境風場垂直風切的影響

數值實驗同時發現，對流系統的垂直運動速度及垂直發展高度隨著環境風場垂直風切的逐漸增強而變小及變低。圖 6a 為  $5\text{ ms}^{-1}$ 的垂直風切實驗在 20 分鐘時對流系統的垂直速度發展情形，在水平網域  $x = 150 \sim 160$  公里處，垂直速度最大可達  $40\text{ ms}^{-1}$ ，上升氣流之最大垂直發展高度在 12 公里。圖 6b 為  $10\text{ ms}^{-1}$ 的垂直風切實驗在 20 分鐘時對流系統的垂直速度發展情形，在水平網域  $x = 150 \sim 165$  公里處，垂直速度最大可達  $40\text{ ms}^{-1}$ ，上升氣流之最大垂直發展高度在 11.5 公里。圖 6c 為  $15\text{ ms}^{-1}$ 的垂直風切實驗在 20 分鐘時對流系統的垂直速度發展情形，在水平網域  $x = 150 \sim 170$  公里處，垂直速度最大可達  $30\text{ ms}^{-1}$ ，上升氣流之最大垂直發展高度在 10.5 公里。圖 6d 為  $20\text{ ms}^{-1}$ 的垂直風切實驗在 20 分鐘時對流系統的垂直速度發展情形，在水平網域  $x = 150 \sim 175$  公里處，垂直速度最大可達  $20\text{ ms}^{-1}$ ，上升氣流之最大垂直發展高度在 9 公里。由於環境風場垂直風切的增加使得水平速度增強，將拉扯對流系統，而抑制對流系統上衝流的垂直發展。因此由圖 6 可得知，在近地面 2.5 公里不同環境風場垂直風切 ( $5\text{ ms}^{-1}$ 、 $10\text{ ms}^{-1}$ 、 $15\text{ ms}^{-1}$ 、 $20\text{ ms}^{-1}$ ) 的條件下，

隨著環境風場垂直風切的逐漸增強，對流系統的上衝流逐漸減弱，上衝流的垂直發展高度亦逐漸降低。

#### 4. 雲頂高度判斷對流系統發展的深淺

對流系統垂直發展的深淺可由雲頂高度來判斷，雲頂愈高，即系統發展得愈深。圖 7a 為  $5\text{ ms}^{-1}$  的垂直風切實驗於 20 分鐘時雲頂高度的發展情形，此時對流系統的雲頂高度可發展至 12 公里；圖 7b 為  $10\text{ ms}^{-1}$  的垂直風切實驗於 20 分鐘時雲頂高度的發展情形，對流系統的雲頂高度可發展至 11.5 公里；圖 7c 為  $15\text{ ms}^{-1}$  的垂直風切實驗於 20 分鐘時雲頂高度的發展情形，此時對流系統的雲頂高度可發展至 10.5 公里；圖 7d 為  $20\text{ ms}^{-1}$  的垂直風切實驗於 20 分鐘時雲頂高度的發展情形，此時對流系統的雲頂高度僅發展至 9.5 公里。因此由圖 7 可得知，在近地面 2.5 公里不同環境風場垂直風切 ( $5\text{ ms}^{-1}$ 、 $10\text{ ms}^{-1}$ 、 $15\text{ ms}^{-1}$ 、 $20\text{ ms}^{-1}$ ) 的條件下，對流系統的垂直發展受到環境風場垂直風切的抑制作用所影響，使得雲頂高度隨著環境風場垂直風切的逐漸增強而降低。

#### 5. 對流系統生命週期受環境風場垂直風的影響

圖 8 顯示，在弱環境風場垂直風切 ( $5\text{ ms}^{-1}$ ) 條件下，對流系統在 20 分鐘時 (圖 8a) 發展至最強，垂直發展結構亦最完整；在 20~45 分鐘左右為對流系統發展的成熟期 (圖 8b)，但由於發展得非常迅速，使得系統能量的消耗亦非常的快速；接著在 45 分鐘之後，新生的對流胞即產生，系統在 75 分鐘 (圖 8c) 至 2 小時 (圖 8d) 的時間內，初始對流胞的強度便已逐減減弱且消散了。

圖 9 則顯示在強環境風場垂直風切 ( $15\text{ ms}^{-1}$ ) 條件下，對流系統在 20 分鐘時發展至最強 (圖 9a)；在 20~70 分鐘左右對流系統發展至成熟期 (圖 9b)，且不斷有新生的對流胞生成 (即多重胞)，對流系統發展至 2 小時左右仍看得到滿完整的對流胞 (圖 9c 及圖 9d)。故而在強環境風場垂直風切條件下，對流系統生命週期維持得較長久。

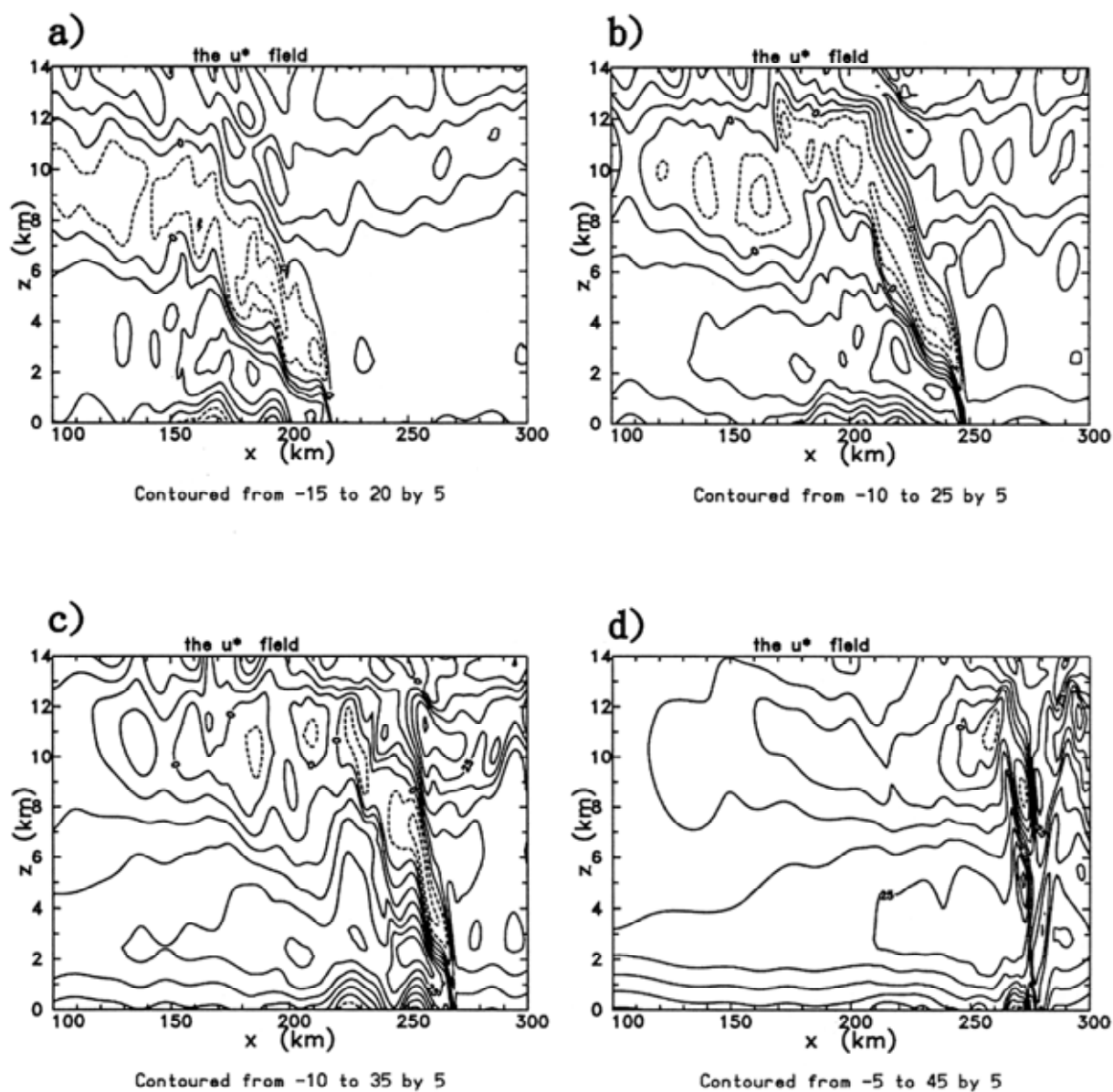


圖 5 模擬時間 120 分鐘時的水平速度場( $u$ )；圖 a、b、c、d 為低層大氣環境風場垂直風切於  $5\text{ ms}^{-1}$ 、 $10\text{ ms}^{-1}$ 、 $15\text{ ms}^{-1}$  及  $20\text{ ms}^{-1}$  的實驗結果。可看出對流系統結構及移動速度受不同環境風場垂直風切的影響產生不同的傾斜角度。圖中實線表示往正  $x$  方向的水平運動速度，虛線表示往負  $x$  方向的水平運動速度。物理場單位為  $[u] = \text{ms}^{-1}$ 。

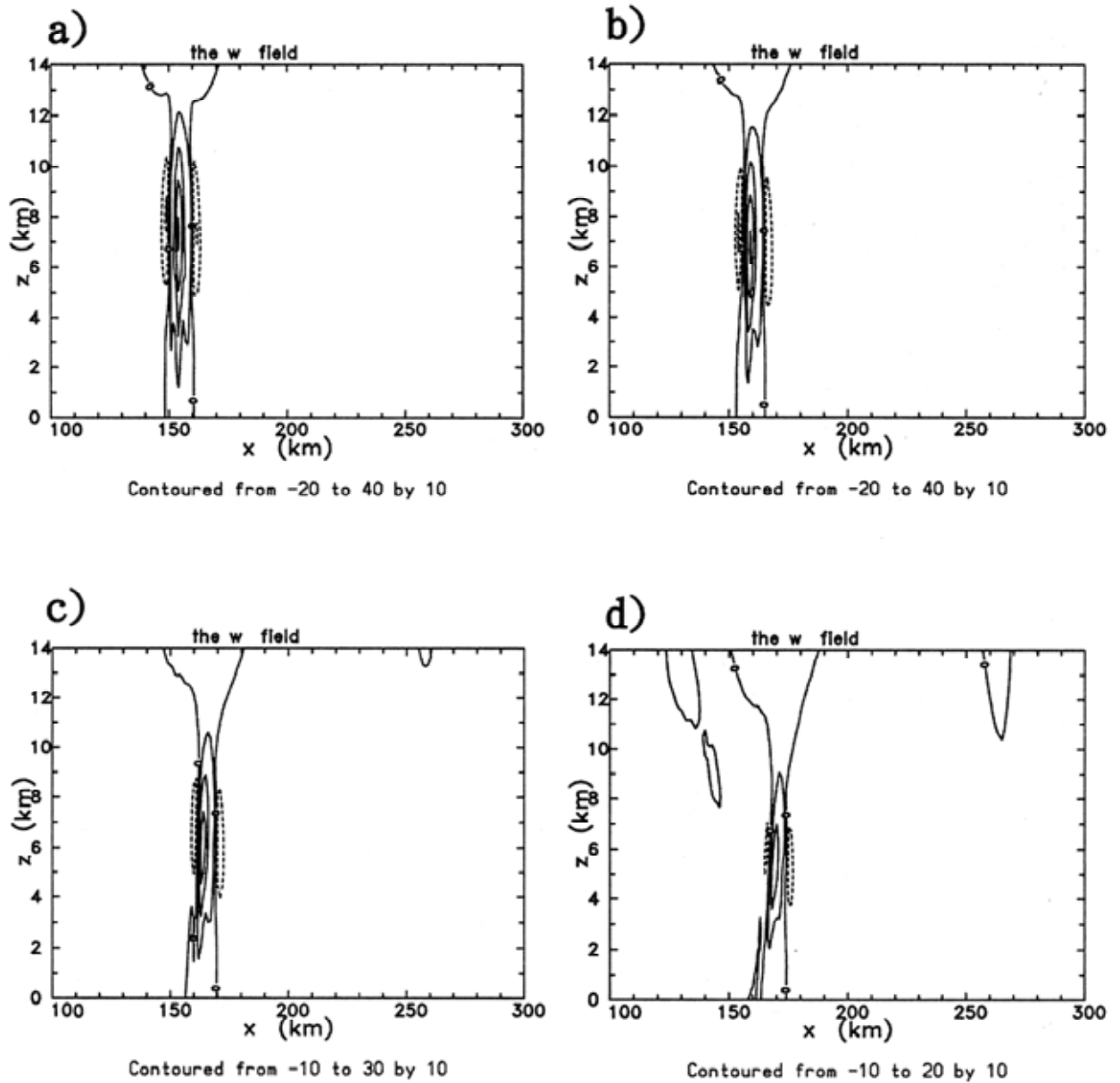


圖 6 圖 a、b、c、d 為低層大氣環境風場垂直風切於  $5 \text{ ms}^{-1}$ 、 $10 \text{ ms}^{-1}$ 、 $15 \text{ ms}^{-1}$  及  $20 \text{ ms}^{-1}$ ，模擬 20 分鐘時垂直速度場 ( $w$ )。可看出對流系統發展的垂直結構受不同環境風場垂直風切的影響。圖中實線為上升速度，虛線為下沉速度。物理場單位為  $[w] = \text{ms}^{-1}$ 。

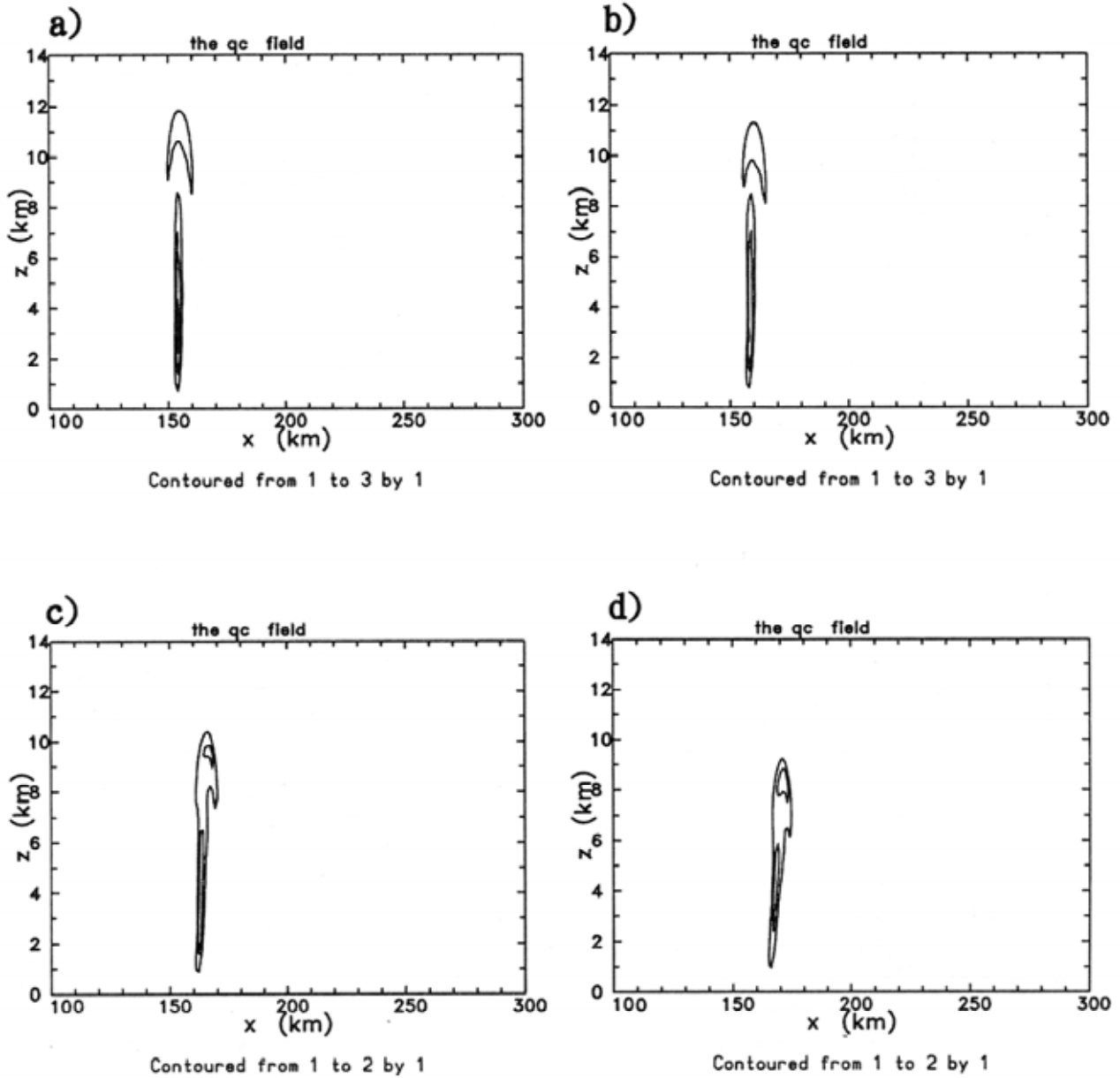


圖 7 圖 a、b、c、d 為低層大氣環境風場垂直風切於  $5\text{ ms}^{-1}$ 、 $10\text{ ms}^{-1}$ 、 $15\text{ ms}^{-1}$  及  $20\text{ ms}^{-1}$ ，模擬 20 分鐘時雲水混合比場 ( $qc$ )。可看出對流系統發展的垂直結構受不同環境風場垂直風切的影響。圖中實線區域為對流雲區。物理場單位為  $[qc] = \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

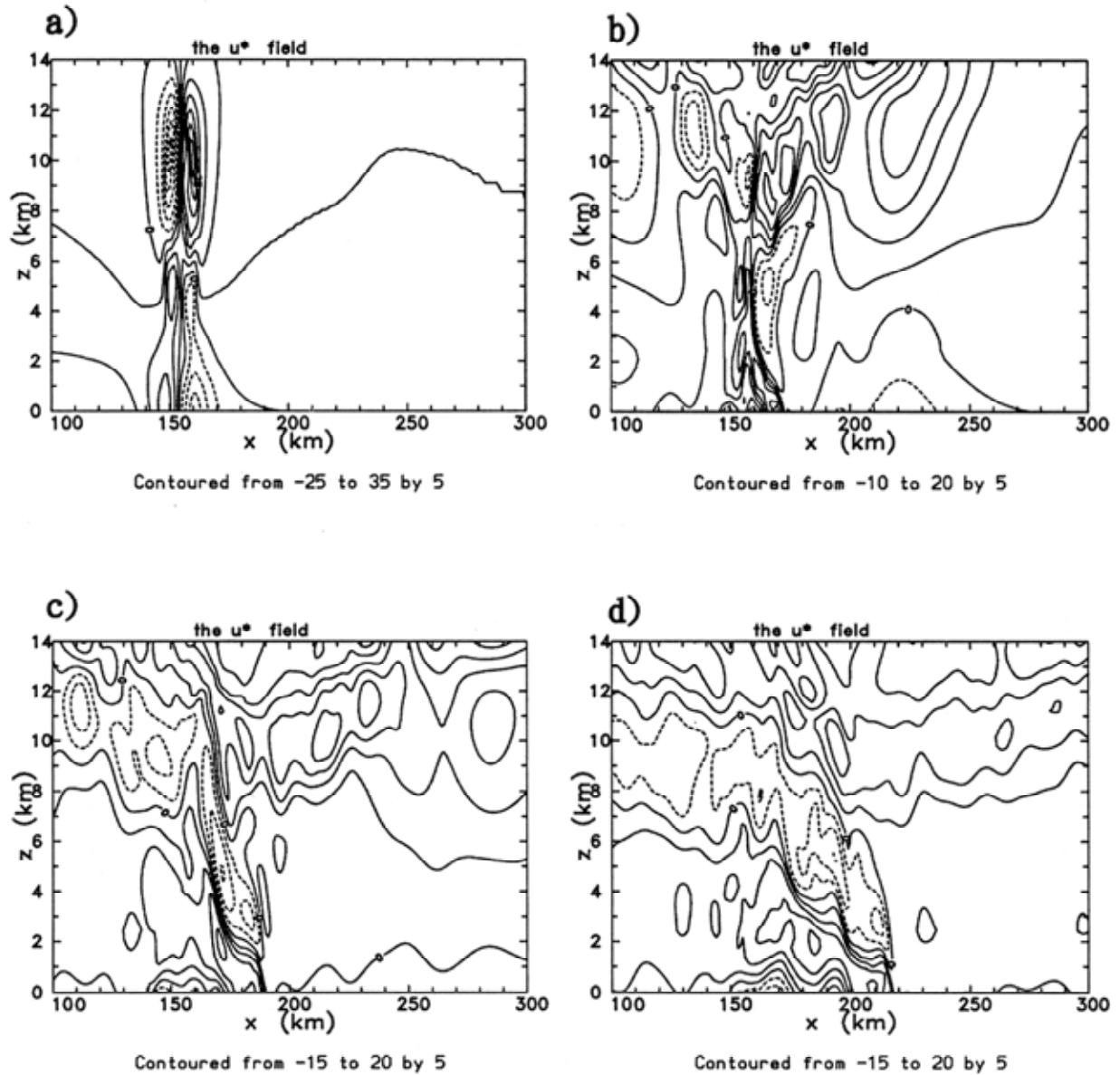


圖 8 圖 a、b、c、d 為模擬低層大氣環境風場垂直風切  $5 \text{ ms}^{-1}$  於 20 min、45 min、75 min 及 120 min 的水平速度場( $u$ )。可看出對流系統隨時間的發展、成熟及衰退情形。圖中實線表示往正  $x$  方向的水平速度，虛線表示往負  $x$  方向的水平速度。物理場單位為  $[u] = \text{ms}^{-1}$ 。



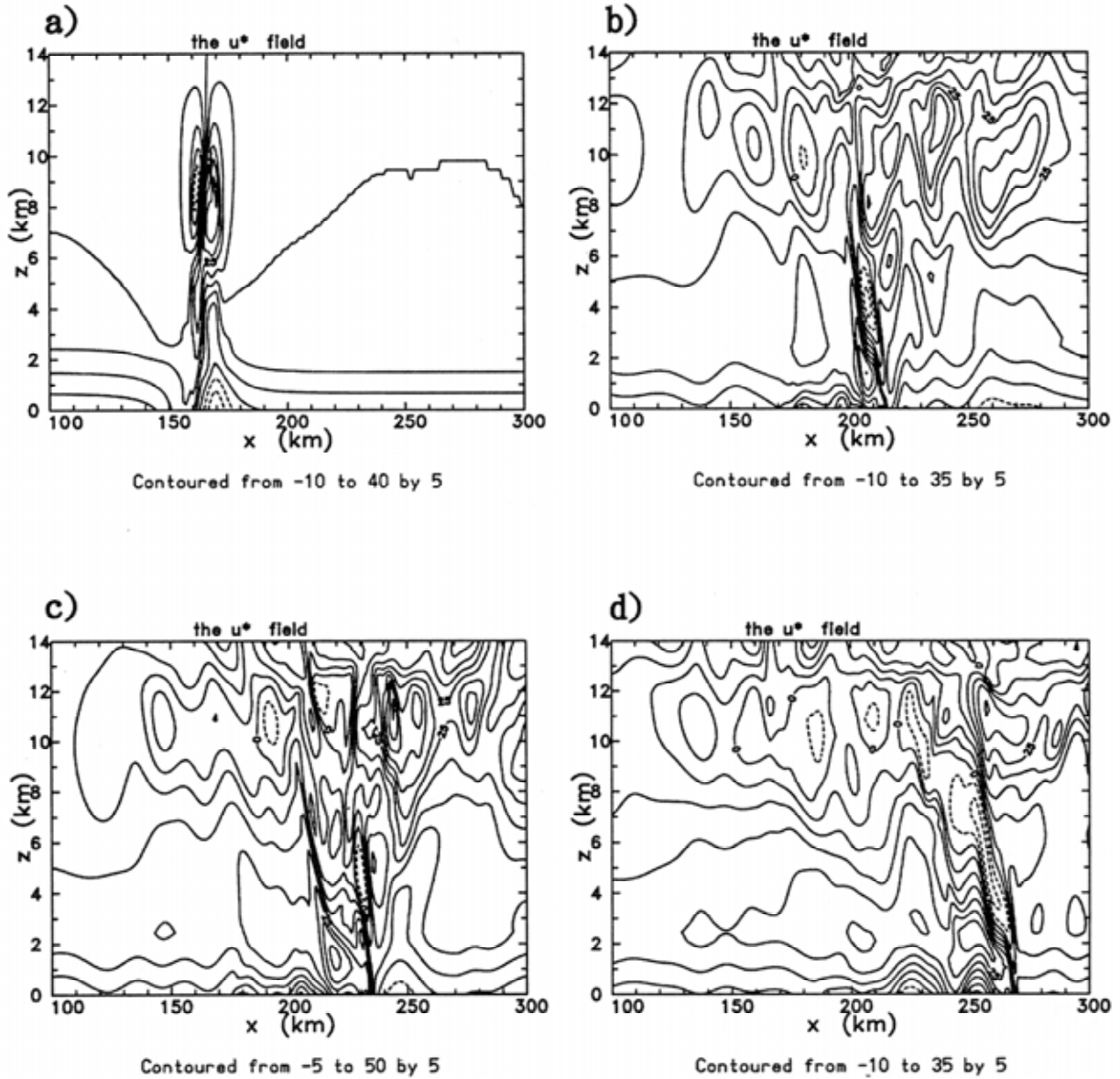


圖 9 圖 a、b、c、d 為模擬低層大氣環境風場垂直風切  $15 \text{ ms}^{-1}$  於 20 min、75 min、90 min 及 120 min 的水平速度場( $u$ )。可看出對流系統隨時間的發展、成熟及衰退情形。圖中實線表示往正  $x$  方向的水平速度，虛線表示往負  $x$  方向的水平速度。物理場單位為( $u$ ) =  $\text{ms}^{-1}$ 。

#### 四、結 論

經由本理想化的數值模擬實驗，吾人瞭解低層大氣（近地面 2.5 公里）的環境風場垂直風切對於對流系統造成相當程度的影響。

在弱環境風場垂直風切（近地面 2.5 公里的垂直風切為  $5 \text{ ms}^{-1}$ ）的條件下，對流系統的移動速度較慢，系統呈現較對稱的結構。對流系統發展初期的結構及系統強度較強垂直風切環境條件下為強，系統在 20 分鐘時發展至最強；在 20~45 分鐘左右為對流系統發展的成熟期，但由於發展得非常迅速，使得系統能量的消耗亦非常的快速。接著在 45 分鐘之後，新生的對流胞即產生，但此時對流胞的強度及發展都較成熟時期的初始對流胞來得弱；系統在 75 分鐘至 2 小時的時間內，對流胞的強度便已逐減減弱且消散了。所以弱環境風場垂直風切條件下的對流系統生命週期較短。

在強環境風場垂直風切（近地面 2.5 公里的垂直風切為  $15 \text{ ms}^{-1}$ ）的條件下，對流系統的移動速度較快，由於垂直風切強使得對流系統左右兩側低層的水平速度差距大（即加強輻合作用），所以使得系統呈現不對稱的結構。對流系統發展初期的結構及系統強度較弱垂直風切環境條件時稍弱，對流系統亦在 20 分鐘時發展至最強；在 20~70 分鐘左右對流系統的發展至成熟期，雖然系統垂直發展的條件較為不利，但在低層有強輻合作用的促使，使得對流系統在發展成熟期間不斷有新生的對流胞生成，其強度及發展都較弱垂直風切條件下的新生對流胞來得強（因輻合作用較強），但新生的對流胞強度皆不如初始對流胞強度，對流系統發展至 2 小時左右仍看到滿完整對流胞，且對流系統仍在持續發展中，故而在強環境風場垂直風切條件下的對流系統之生命週期維持得較長久。當環境風場垂直風切強度更大（近地面 2.5 公里的垂直風切大於  $15 \text{ ms}^{-1}$ ）時，此時強水平風場將拉扯對流系統，使其發展結構不夠完整，因而使得對流系統有逐漸減弱的趨勢。

綜合言之，透過本數值模擬實驗，可以增進吾人對於對流系統強度及其結構受到環境風場垂直風切之影響程度的瞭解。

## 五、致 謝

本文為國科會專題計畫 NSC 89-2111-M-034-007 成果的一部分，電腦資源則由中國文化大學大氣科學系支援，在此一併致謝。

## 六、參考文獻

- 林李耀, 郭鴻基, 1999: 飈線基本結構的數值模擬研究, 大氣科學第二十七期第四號, 319-335.
- Klemp, J. B., and R. B. Wilhelmson, 1978: The simulation of three-dimensional convective storm dynamics. *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1070-1096.
- Lin, Y.-L., R. D. Farley, and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1065-1092.
- Fovell R. G. and Y. Ogura, 1989: Effect of vertical wind shear on numerically simulated multicell storm structure. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3144-3176.
- Rutledge, S. A., and P. V. Hobbs, 1983: The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. VIII: A model for the "seeder-feeder" process in warm-frontal rainbands. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1185-1206.
- Weisman M. L. and Klemp J. B., 1982: The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 504-520.
- Wilhelmson, R. B., and C.-S. Chen, 1982: A simulation of the development of successive cells along a cold outflow boundary. *J. Atmos. Sci.*, **39**, 1466-1483.
- Yang, M.-J., and R. A. Houze, Jr., 1995a: Multicell squall-line structure as a manifestation of vertically trapped gravity waves. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 641-661.
- Yang, M.-J., and R. A. Houze, Jr., 1995b: Sensitivity of squall-line rear inflow to ice microphysics and environmental humidity. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3175-3193.
- Yang, M.-J., and R. A. Houze, Jr., 1996: Momentum budget of a squall line with trailing stratiform precipitation: Calculation with a high-resolution numerical model. *J. Atmos. Sci.*, **53**, 3629-3652.

## The Idealized Cloud-Scale Simulation: Effect of Vertical Wind Shear of Environmental Flow

Shiao-Ling Huang<sup>1</sup>      Ming-Jen Yang<sup>2</sup>

### Abstract

The Yang and Houze (1995) cloud model is used to investigate the effects upon convective systems by the vertical wind shear of environmental flow. Through the diagnostics of model outputs ( like  $u$  、  $v$  、  $w$  、  $\theta$  、  $p$  、  $q_v$  、  $q_c$  and  $q_r$  ) from idealized numerical experiments, we find that the environmental wind shear strongly affects the intensity and evolution of simulated storm. The idealized sounding of Weisman and Klemp (1982) was used as the environmental profile for each experiment, and a warm bubble was used to initiate convection development. The vertical wind shear for each experiment is  $5 \text{ ms}^{-1}$ ,  $10 \text{ ms}^{-1}$ ,  $15 \text{ ms}^{-1}$ , and  $20 \text{ ms}^{-1}$  at the lowest 2.5 km, respectively. The horizontal domain size is 300 km and the integration time is 2 hours. Numerical simulations show that the vertical wind shear significantly influences the updraft intensity, moving speed, vertical orientation, and cloud-top height of convective system. When the vertical wind shear is  $5\sim 15 \text{ ms}^{-1}$  in lowest 2.5 km, the simulated storm increases its updraft intensity with increasing environmental wind shear; when the lower 2.5 km wind change is greater than  $15 \text{ ms}^{-1}$ , the simulated storm decreases its intensity with increasing wind shear. Based on the idealized numerical experiments, this study hopes to improve our understanding of the impacts of environmental wind shear upon the storm's evolution and structure change.

**Key word:** environmental wind shear, convective system, cloud model

---

<sup>1</sup> Graduate Student , Graduate Institute of Atmospheric Science , Chinese Culture University.

<sup>2</sup> Assistant Professor , Department of Atmospheric Science , Chinese Culture University