

中壢地區具有龍捲風雷雨的垂直渦度之探討

陳景森¹

林忠仁²

1. 國立中央大學大氣物理所

2. 國立中央大學大氣物理所研究生

摘要

1987年7月23日午後中壢地區發生熱雷雨，在期間龍捲風侵襲福特六和工廠，造成財物損失，所幸無人傷亡。因為沒有都普勒雷達資料可讓吾人了解龍捲風及雷雨的渦度性質，故吾人藉助一個三維數值模式來研究雷雨區的渦度變化及其產生項。

模擬結果顯示在地面附近正渦度區位在陣風鋒面前緣，這個渦度區與1公里以上的正渦度區分開，在地面附近輻合項對渦度的產生最重要，但輻合項的大小隨高度而減小，在較高處傾斜項對渦度的產生反而較大。這些渦度產生項的性質與美國地區產生龍捲風的雷雨的渦度產生項類似。

一、前言

民國76年7月23日下午，雷雨在中壢附近產生，約在16時龍捲風侵襲福特六和汽車廠，造成財產損失，同時龍捲風也打掉了電纜，使得縱貫鐵路交通一度中斷，所幸無人傷亡。

在北美地區龍捲風發生的頻率比台灣多，根據Davies-Jones(1985)的研究，有一類的龍捲風是發生在強烈雷雨的陣風鋒面(Gust Front)附近，這一類龍捲風強度一般都比較小，中壢地區的龍捲風可能是屬於這一類。但另外Wilson(1986)在美國科羅拉多州，利用都普勒雷達資料發現，在綜觀尺度的風切線有3個龍捲風，生命期約從3分鐘到9分鐘，直徑小於1公里，而垂直的厚度小於2公里，但是從都普勒雷達觀測到與龍捲風有關的風切，卻長達20分鐘以上。

在中壢龍捲風發生的當天早上8時(中原時間)，有一條槽線從東北延到西南，同時台灣在太平洋高壓的西緣，因此台灣地區是在西南風的吹拂下，板橋探空8時的資料顯示(圖1)，在800mb

的逆溫層底下空氣較潮濕，到了午後2點，低層溫度變成絕熱，但是較乾，逆溫也不見了。在這種情形下，如果有午後雷雨發生，雨量應不會太大，午後4時的雷達回波(圖2a)證明回波高度可達10公里以上，但是強度是在Level 1(1mm/h)，到了5時回波已消失，只有剩下的雲(圖2b)，中正機場的雨量亦少，但龍捲風卻發生在午後4時左右。因為垂直渦度場與龍捲風有密切關係，而吾人沒有都普勒的資料來研究與龍捲風及雷雨有關的垂直渦度場，故想以一個三維雲雨模式來模擬分析雷雨的溫度場，只是由於模式解析度的限制，吾人無法討論龍捲風的渦度場。

二、模式簡介及初始條件

本文的三維數值模式重要架構是依照Klemp及Wilhelmsen(1978)的雲雨模式，再經過Chen(1980)的一些修正。模式所預報的變數為X、Y、Z方向的風速、位溫、水汽、雲滴、雨滴及亂流混合係數，雲雨參數是依照Kessler(1969)，但係數是用Klemp及Wilhelmsen，側面邊界是依

據Orlanski(1976)的“輻射”邊界條件。

模式的初始條件是採用板橋下午二點的探空資料，整個模式以3 m/s 向西移動，以便讓雲雨區能維持在模式中發展，模式的範圍水平為30 km，垂直為10 km，而水平網格距離為1 km，垂直為0.5 km，時間間距為10s，模式是以“熱胞”來引起對流的發展，熱胞是 $\Delta\theta = 3^\circ\text{C} \cos^2 \frac{\pi\beta}{2}$ ， $\beta < 1$

$$\text{而 } \beta = \left[\left(\frac{x-x_c}{x_r} \right)^2 + \left(\frac{y-y_c}{y_r} \right)^2 + \left(\frac{z-z_c}{z_r} \right)^2 \right]^{1/2}$$

熱胞中心 $(x_c, y_c, z_c) = (16\text{km}, 16\text{km}, 0.5\text{km})$ ，而熱胞的“半寬”為 $(x_r, y_r, z_r) = (5\text{km}, 5\text{km}, 1.5\text{km})$ 。

三、模擬結果與討論

當熱胞釋放後，10分鐘內雲雨產生，在30分鐘內垂直速度達到最大值(圖3)，在這個時間地面的降水造成很大的冷卻作用，所形成的陣風鋒面，向西推進(圖4)阻止水汽的供應，因而造成系統的減弱。雲雨區內垂直渦度場(ζ)的變化 $\left(\frac{\partial \zeta}{\partial t}\right)$ 可以由水平平流(ζ_H)，垂直平流(ζ_V)，輻合(ζ_c)及傾斜(ζ_T)等項產生，各項定義如下：

$$\zeta_H = -u \frac{\partial \zeta}{\partial x} - v \frac{\partial \zeta}{\partial y}$$

$$\zeta_V = -w \frac{\partial \zeta}{\partial z}$$

$$\zeta_c = -\zeta \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

$$\zeta_T = \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial z}$$

其中 ζ_T 可改寫成 $\xi \frac{\partial w}{\partial x} + \eta \frac{\partial w}{\partial y}$ ， ξ 及 η 為x和y方向的渦度，

$$\xi = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}$$

$$\eta = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}$$

在模擬時間1810秒時，模式最低層其主要的 ζ 區在整個範圍的西南方(圖5)，陣風鋒面附近正w區，此區的 ζ 到1 km後，就看不見了。雖然 ζ 較強的地區，可能是龍捲風發生的地方，但是無其他資料佐證，不能確定。

ζ_H 、 ζ_V 對 ζ 的影響比 ζ_c 及 ζ_T 小，在正 ζ 大的地區， ζ_c 的貢獻大， ζ_c 大是因為在陣風鋒面輻合大，經由輻合與 ζ 的乘積而成， ζ_T 的影響比 ζ_c 小，但 ζ_T 也是很重，這是因為模式在開始時無 ζ 場，經由水平渦度及w的水平梯度傾斜作用才產生 ζ 。

在較高層主要的 ζ 在w區(圖6)，此 ζ 與低層 ζ 分離，對 ζ 的產生而言 ζ_H 及 ζ_V 不重要， ζ_c 及 ζ_T 較重要，而其中 ζ_T 比 ζ_c 重要。 ζ_T 正區在正w南方，而 ζ_T 負區在正w的北方，當積分時間增長後， ζ 的數值變小，但在1810秒的 ζ 及各個產生項的性質，仍然沒有變，即在低層 ζ_c 比 ζ_T 大，在較高層 ζ_T 比 ζ_c 大，但是 ζ_T 是 ζ 從零變成有數值的唯一項。這些定性結論在Brandes(1984)對兩個有龍捲風的雷雨都普勒資料分析及Wilhelmson和Klemp(1978)對一個長生命期雷雨的數值模擬，都有類似結果。

四、結論

1987年7月23日下午4時左右，中壢附近的龍捲風造成福特六和公司財物損失，縱貫鐵路也因電纜線被風吹斷，而停駛一段時間，但無人傷亡。因為無都普勒雷達資料可供研究，龍捲風及雷雨的垂直渦度，吾人以一個三維數值雲雨模式來探討雷雨渦度的性質。

吾人發現在低層渦度集中在陣風鋒面附近，渦度的產生以輻合項及傾斜項較重要，但輻合項數值較大，在較高層傾斜項比輻合項大，而水平及垂直平流項在低高層都比輻合、傾斜兩項小。

參考文獻

- Brandes, E. A., 1984: Vertical vorticity generation and mesocyclone sustenance in tornadic thunderstorms: The observational evidence. Mon. Wea. Rev., 112, 2253-2269.
- Chen, C. S., 1980: The effect of the gust front on the generation of new convection. Ph D. thesis, University of Illinois.
- Davies-Jones, R. P., 1985: Tornado Dynamics. In Thunderstorm Morphology and Dynamics. University of Oklahoma Press. Ed. by E. Kessler. 197-236.
- Kessler, E., 1969: On the Distribution and Continuity of Water Substance in Atmospheric Circulation. Meteor. Monogr., No.32, Amer. Meteor. Soc., 84pp.
- Klemp, J.B., and R. B., Wilhelmson, 1978: The simulation of three-dimensional convective storm dynamics. J. Atmos. Sci., 35, 1070-1096.
- Orlanski, I., 1976: A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. J. Comput. Phys., 21, 251-269.
- Wilhelmson, R. B., and J. B. Klemp, 1978: A numerical study of storm splitting that leads to long-lived storms. J. Atmos. Sci., 35, 1974-1986.
- Wilson, J. W., 1986: Tornadogenesis by nonprecipitation induced wind shear lines. Mon. Wea. Rev., 114, 270-284.

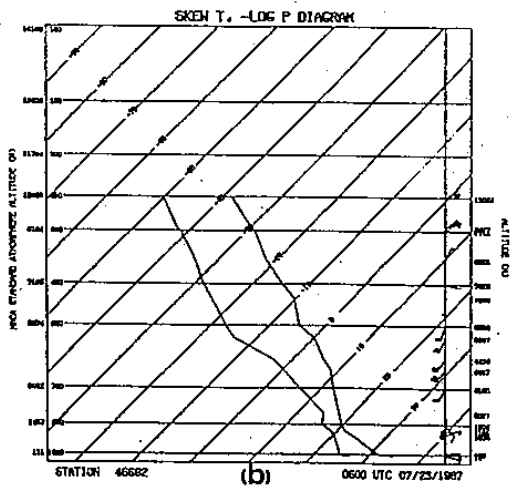
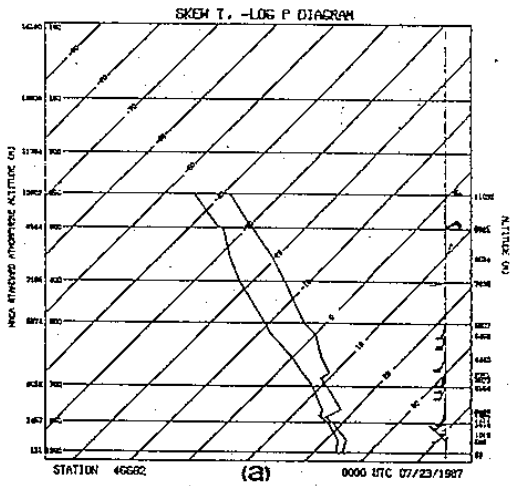


圖 1 1987 年 7 月 23 日板橋探空：(a)上午 8 時，
(b)下午 2 時。

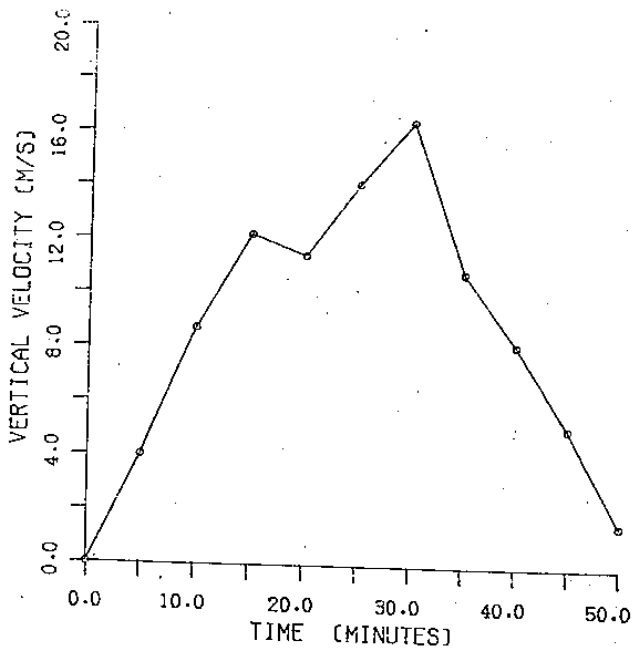
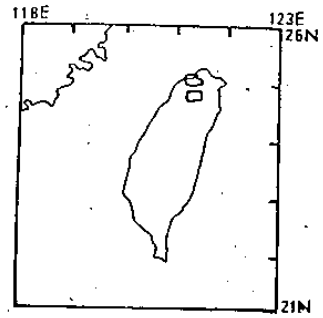
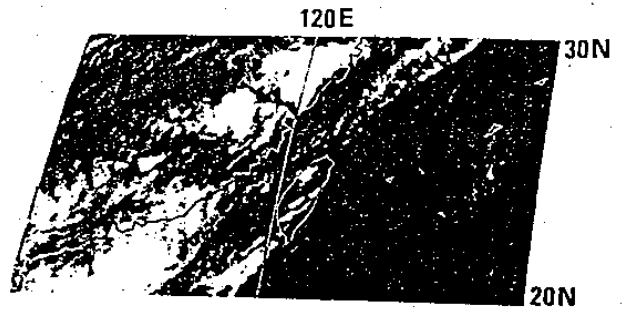


圖 3 模式內最大上升速度隨時間的變化圖。



(a)



(b)

圖 2 (a)高雄雷達下午 4 時雷達回波，強度只達 Level 1 (1mm/h)。
(b)下午 5 時衛星 (IR) 圖。

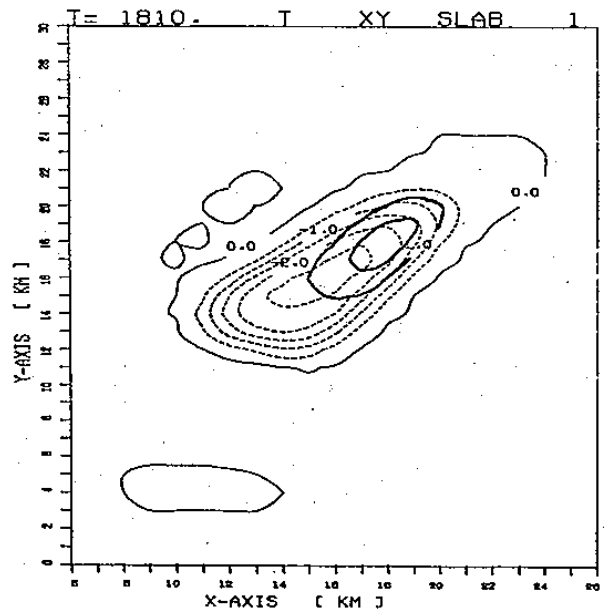


圖 4 模式在最低層 (250m) 的位溫 (點線) 與雨水混合比 (實線) 的分布圖，溫度與雨水的間距各為 0.5 °C 及 1 g/kg。

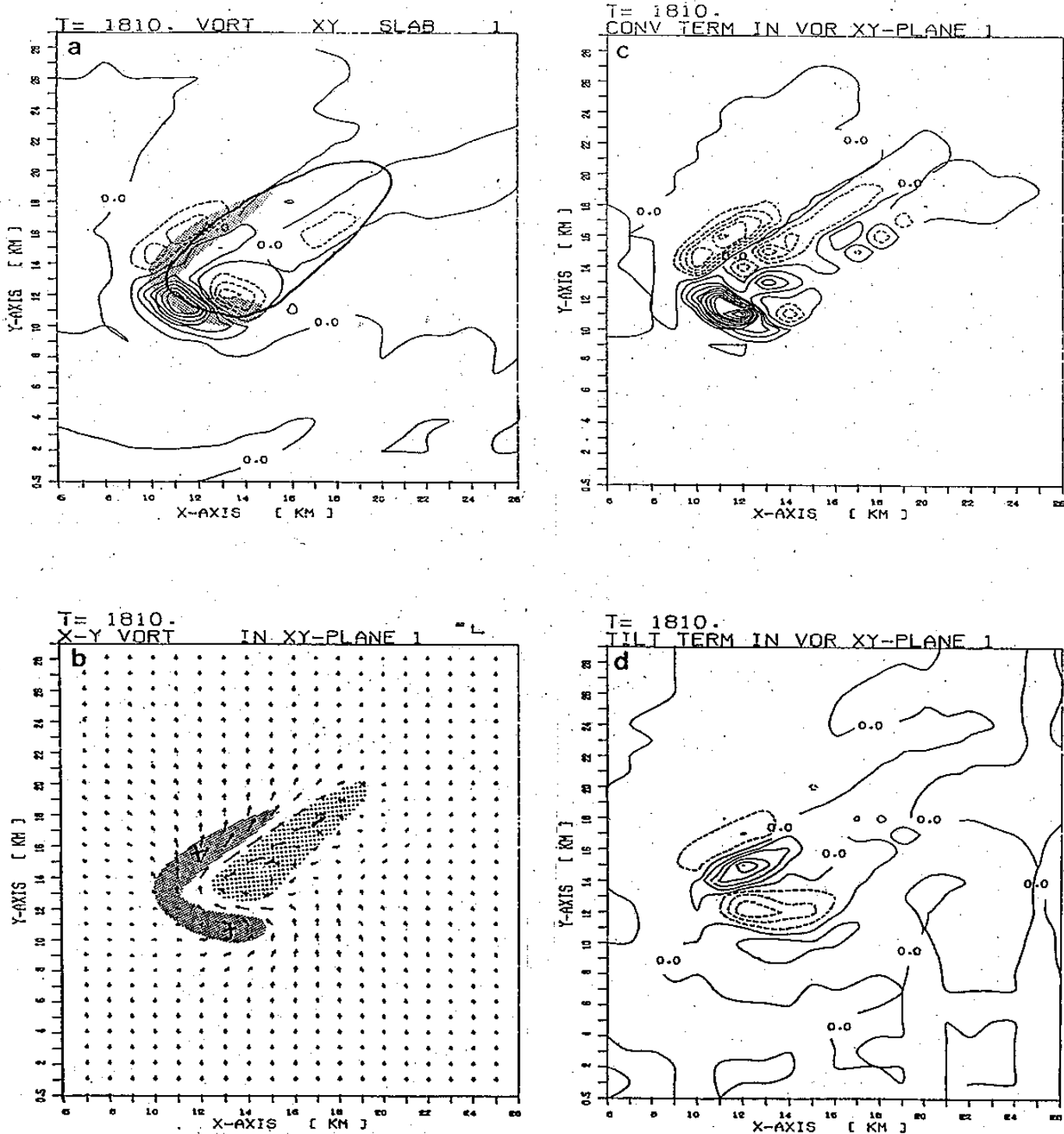


圖5 在1810秒、250m高度，模式內水平的：
 (a)垂直渦度，(b)水平渦度 ($10^{-4} S^{-1}$) 產生
 垂直渦度的，(c)輻合項及(d)傾斜項。在(a)、
 (c)及(d)曲線間距各為 $5 \times 10^{-4} S^{-1}$ ， $5 \times$
 $10^{-7} S^{-2}$ 及 $5 \times 10^{-7} S^{-2}$ 。在(a)粗點線表示
 位溫小於 $-0.5^\circ C$ 的區域，在(b)較暗及亮的
 陰影區表示垂直速度大於 $1 m/s$ 及小於
 $-1 m/s$ 之區域。

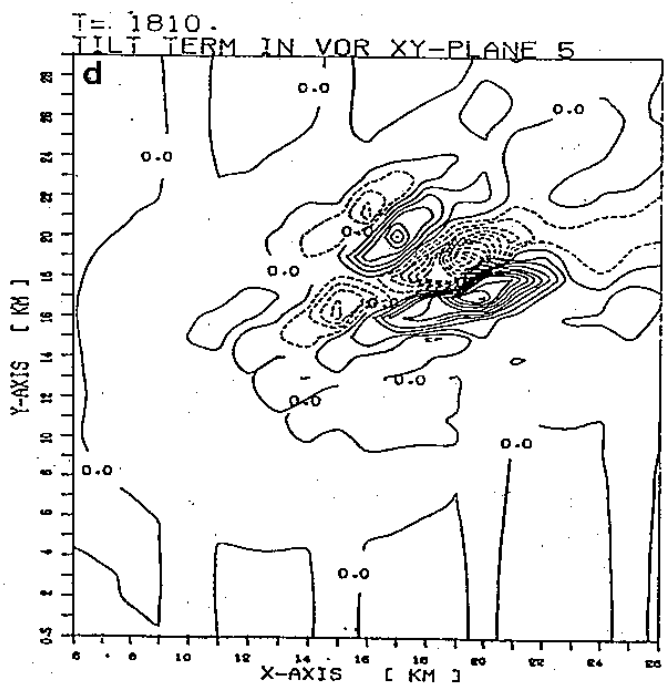
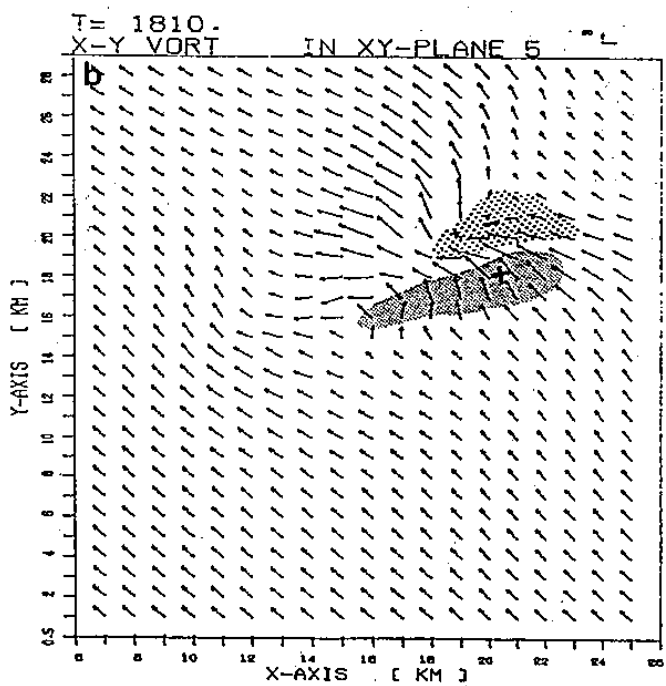
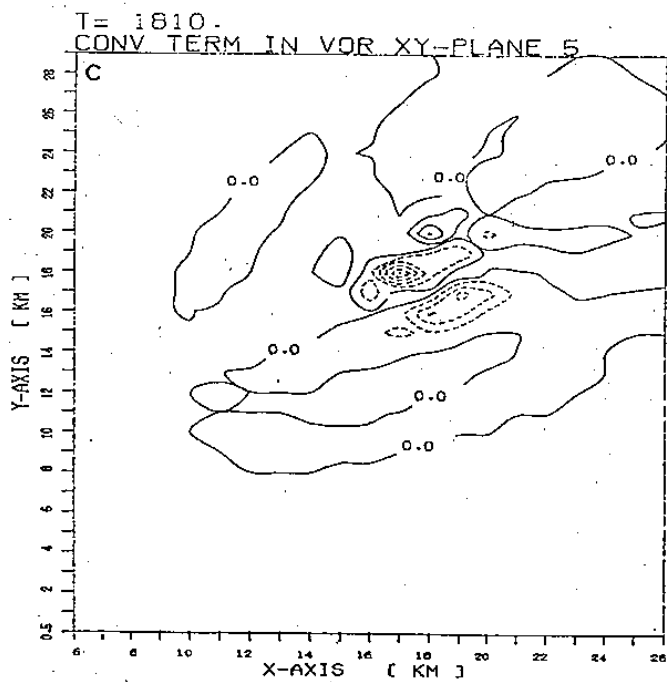
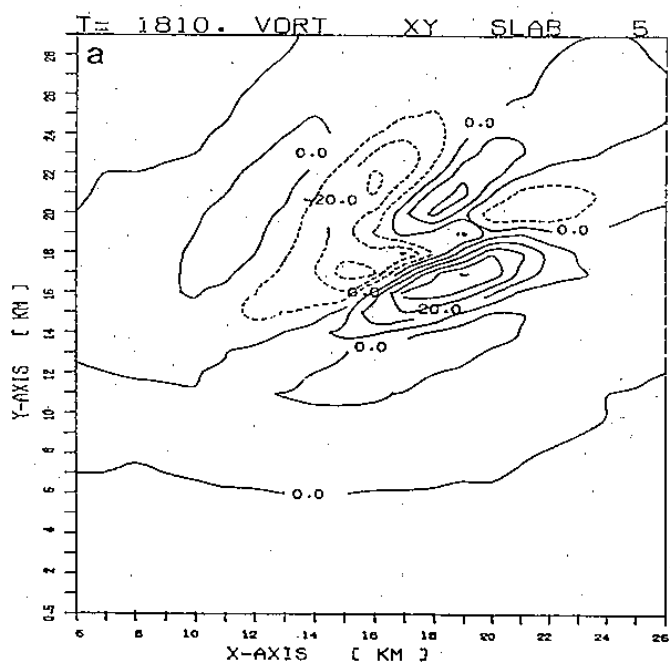


圖6 同圖5，但在2.25公里的高度。

A Study on the Vertical Vorticity in a Tornadic Thunderstorm
in Chung-Li Area

Ching-Sen Chen Chung-Zen Lin

Institute of Atmospheric Physics
National Central University

ABSTRACT

A tornado occurred near Chung-Li area on July 23, 1987. Some property damaged and no injuries were reported. No Doppler data was available for understanding the characteristic of vertical vorticity of this tornado and the parent air-mass thunderstorm. A three-dimensional numerical model was used to analyze the evolution of vorticity of the thunderstorm. Relatively strong positive vorticity was found near gust front area at the lowest level. However it was less than 1 km height and was separated from the vorticity center at higher level. The most important term of the production of vorticity near ground was the amplification from convergence. But this effect declined with height. The influence from tilting term on the production of vorticity was also important. The magnitude of tilting term was larger than convergence term at higher level.