

# 梅雨季伴隨對流層頂折疊之強烈旋生過程

侯喜真

私立興國管理學院通識中心

陳泰然

國立臺灣大學大氣科學系

## 摘要

本文選取 1987 年 6 月 21~26 日於華中長江口附近之鋒面上發展的氣旋個案，該氣旋形成後連同鋒面向東南移行至海面上，並於 27.5°N 附近發展為強烈氣旋。期間，中對流層出現割離低壓，其正渦度平流對於低層氣旋中心扮演導引東南移行的角色，同時高層亦有一呈現南—北走向的低壓槽靠近，且出現明顯窄化與割離的現象。當低層氣旋發展到最強時，中、高層之割離低壓皆位於低壓中心之上方，且同時達到最強的發展。

位渦垂直結構顯示，低層氣旋發生強烈旋生時期，高層出現非常強烈的對流層頂下伸現象，此時高、低層系統配置在垂直方向上並無傾斜。藉由片段位渦反演的結果發現，此強烈旋生的發展主要來自高層高值乾位渦的貢獻，潛熱釋放的角色並不重要。

此外，藉由位渦傾向收支的分析探討對流層頂下伸的機制，絕熱平流項為主宰因子，其中以水平平流為最大項，而非絕熱項則相當微弱。期間，在對流層頂下伸最強的時期，垂直平流項則超越了水平平流項的強度，此時對流層頂下伸之處伴隨著強烈的下沉運動，以致平流層高值位渦得以垂直向下傳送。在低層氣旋達到最強之後，高層槽出現對流層頂折疊的現象，此時低層氣旋的增強改變了垂直風切的分布，有助於高層槽線發生折疊的現象。

此 6 月下旬在 27.5°N 海面上達到最強的氣旋個案之發展，有別於夏季

西南氣流盛行期間，以潛熱釋放為主要的中低層擾動發展。而高、低層擾動系統間亦非屬於垂直向西傾斜之典型的斜壓不穩度波的發展，而是經由高層發生了非常強烈的對流層頂下伸導致低層氣旋強烈發展，隨後強烈的低層旋生過程亦造成其上方產生對流層頂折疊，在梅雨季出現此類型氣旋之發展實屬相當罕見之現象。

關鍵詞：旋生、割離低壓、噴流、位渦、潛熱釋放、垂直重疊、對流層頂折疊、位渦傾向

## 1. 前言

自從 1955 年 Reed 在一個高層鋒生的研究中提出對流層頂折疊的現象後，近 40 年來有許多關於對流層頂折疊的研究，諸如對流層頂折疊對低層旋生(e.g., Uccellini et al. 1985)、晴空亂流(e.g., Shapiro 1981)、豪雨(Uccellini and Kocin 1987)等產生的影響，以及平流層與對流層之間的質量交換(e.g., Lamarque and Hess 1994)等之研究皆有較清楚的說明。Wandishin et al. (2000) 則是針對對流層頂如何往下折疊的過程，利用模式模擬結果提出低層氣旋之增強會改變垂直風切，進而使得高層下伸的槽底產生折疊的現象。

本研究將以東亞初夏在海上發生的實際強烈氣旋個案，以位渦的觀點說明高層擾動經由乾的過程影響低層擾動，並探討低層旋生的過程對於高層擾動產生折疊所扮演的角色，

## 2. 個案選擇與綜觀環境

本文選擇 1987 年 6 月 22~26 日，

在華中長江口附近之鋒面上發展的氣旋個案。此個案在發展最強的時期，其 850 hPa 上的低壓中心強度為 1339 gpm，其強度於 1987~1993 年中 5、6 月向西移行的氣旋中是第二強的氣旋。圖 1 顯示 850 hPa 上 23 日該氣旋形成後，連同鋒面向東南移行至海面上，並持續發展為強烈氣旋，在 25 日於 27.5°N 附近海上達到最強，隨後轉向東北移行且逐漸減弱。1000 hPa 上溫度與高度場顯示初期氣旋發展在一明顯的斜壓帶上，但隨後氣旋東移出海並增強時，其斜壓性卻明顯減弱。

期間，中對流層 500 hPa 出現割離低壓，正渦度平流顯示，其對於低層氣旋扮演導引向東南移行的角色。同時，高層 300 hPa 亦有一呈現南—北走向的低壓槽靠近，亦出現明顯窄化與割離的現象。在低層氣旋達到最強時期，中、高層之割離低壓皆位於低層低壓中心之上方，並無傾斜，三者並同時達到最強的發展。

經由以上綜觀環境的分析發現，此氣旋發展最強時，中、高層同時出現割離低壓，屬於深厚對流層發展的低壓系統。本研究將以位渦的角度來診斷低壓擾動在垂直方向上的發展，以及高低層擾動之間的相互影響。

### 3. 資料與方法

本文使用 1987 年 6 月 22~26 日每 6 小時之 EC/TOGA 2.5° × 2.5° 經緯度網格資料，包括 1000、850、700、500、300、200 及 100 hPa 各層之高度、溫度、東西與南北風分量以及相對濕度等 5 個氣象參數，分析降雨區附近低壓系統的結構和演變，並進行片段位渦診斷分析以探討低壓之發展。此外，利用 GMS 衛星雲圖判斷雲區，以分析低壓系統所伴隨的降水與天氣分布。

艾爾脫位渦 (Ertel) 可以下式表示：

$$q = \frac{1}{\rho} \eta \cdot \nabla \theta$$

其中  $q$  為艾爾脫位渦， $\rho$  為密度， $\eta$  為絕對渦度向量， $\theta$  為位溫。可由位渦分布反演求取風場與高度場分布。本文使用 Davis and Emanuel (1991) 之位渦診斷系統，風場與高度場之關係採用 Charney (1955) 所提出的非線性平衡。藉由片段位渦反演方法，可求取位渦距平場在非線性平衡系統下所對應之距平風場與距平高度場。

本研究所採用之位渦距平定義為觀測之位渦值減去 6 月 20~26 日的平均位渦值。位渦距平垂直方向上共分割為四種不同的位渦距平： $q'_{tr}$  代表 200 hPa 以上之位渦距平與 300 hPa 之正位渦距平以及 500 hPa 相對濕度小於 70% 之正位渦距平之點，850-500 hPa 層內相對濕度大於 70% 以上正位渦距平之點定義為  $q'_{im}$ ，850-300 hPa 層內非  $q'_{tr}$  與  $q'_{im}$  之其餘點則定義為  $q'_{re}$ ；1000 與 850 hPa 之平均位溫擾動則定義為  $T'_b$ 。此處低邊界層之位溫擾動可視為位渦擾動 (Bretherton 1966)，即局地之暖距平處具氣旋式渦度，即正位渦距平，而冷距平處則可視為具反旋式渦度，即負位渦距平。

### 4. 氣旋的特徵

如前所述，本次氣旋發展於華中一帶的鋒面上，衛星雲圖顯示，此時氣旋附近伴隨一大範圍對流雲帶，隨後氣旋與鋒面一起東移，並在海面上達到最強，此時以氣旋中心為圓心，其附近大範圍圓弧形無雲區自西北方以氣旋式方向旋入，僅於氣旋中心附近出現小範圍逗點雲的形式。由雲圖可知本次氣旋在海上增強時期，有明顯乾空氣旋入氣旋中心，此時水氣的貢獻並不明顯。

由於此次氣旋的發展相當深厚，自低對流層至高對流層皆有明顯的中心，由各時間高低層擾動中心的相對位置顯示，低層氣旋發展最強時期，中、高層割離低壓中心皆來到低層擾動中心附近，各層位渦中心在垂直發展上是屬於垂直無傾斜的結構。

比較高低層擾動中心隨時間的變化結果顯示，在高低層擾動到達最大強度之前，高層擾動的增強率較低層擾動大，二者並同時到達最大強度(0000 UTC 25 日)，隨後，低層擾動明顯減弱，高層擾動之強度則繼續維持 12 小時才快速減弱。顯然，高低層擾動在彼此靠近時，各自的強度亦明顯增強，此二者之間存在相當大的正相關。

#### 5. 旋生的位渦診斷

圖 2 為沿著高低層中心所在位置的垂直剖面，0000 UTC 24 日高層位渦中心與低層位渦中心相距  $5^\circ$ ，此時高低層擾動系統相互分離。0000 UTC 25 日時高層位渦中心位於低層位渦中心上方，二者合為一個自高層向下伸展、呈現漏斗狀的深厚對流層高值位渦系統，此時高低層位渦中心皆到達最大值。隨後，高低層擾動強度減弱，中心並各自分離。

片段位渦反演方法可進一步了解低層氣旋增強的動力機制，結果顯示，本次低層氣旋的增強機制，主要來自中高層槽的貢獻，且此槽之特徵是高值乾位渦，而中層水氣潛熱釋放的貢獻並不重要。顯然，中高層的高值乾位渦對於本次低層氣旋的增強扮演相當重要的角色。因此，將以高層擾動中心的位渦傾向收支來了解高層擾動增強的來源。

位渦傾向收支可分為水平平流項、垂直平流項、以及非絕熱項等三項。6 月 24-26 日 300 hPa 上位渦中心

之位渦傾向收支計算顯示，高層擾動之增強主要來自絕熱過程，非絕熱過程並不重要。其次，在到達最強時期之前是以水平平流為主，但在高層擾動發展至最強的時期時，即 0000 UTC 25 日，垂直平流項則超越了水平平流項。

此一結果說明高層擾動的發展主要是乾的過程，其中，在發展最強的時期高層擾動出現了非常強烈的垂直平流。垂直運動的計算結果顯示，此處所出現的強烈垂直平流區域是伴隨下沉運動。顯然，高值位渦在最強發展時，其主要的來源是來自低平流層向下平流至高對流層的。

#### 6. 對流層頂折疊診斷

如前所述，位渦垂直剖面圖(圖 2)顯示對流層頂(1.0PVU)在高層擾動增強的過程中明顯有下伸的情形，期間，強烈的對流層頂下伸是否進一步出現對流層頂折疊的現象是接下來要探討的問題。圖 3 為 6 月 25 日 0000 UTC-26 日 1200 UTC 300 hPa 上位渦分布，與 500 hPa 上位渦隨高度遞減的區域。結果顯示高層擾動在 0000 UTC 25 日到達最強，隨後，在 1200 UTC 25 日位於高層槽底的東南側才出現明顯且大範圍的對流層頂折疊現象，且此對流層頂折疊現象僅維持 24 小時之久，至 1200 UTC 26 日對流層頂折疊現象即不再出現。

其次，經由低層位渦之片段位渦反演風場的結果，發現低層氣旋貢獻於高層擾動附近區域的氣旋式風場，與對流層頂發生折疊的區域有相當密切的關連，此一結果與 Wandishin et al. (2000)所提出低層氣旋之增強會改變垂直風切，進而使得高層下伸的槽底產生折疊的現象的理論相當一致。

顯然，本次低層氣旋在達到最強之時，其所伴隨的氣旋式風場改變了

其上垂直風切的分布，此時高層擾動亦同時達到最強並位於低層氣旋的正上方，因此，低層氣旋所提供的氣旋式風場有助於隨後高層擾動的東南側得以發生對流層頂折疊的現象。

## 7. 總結與討論

本文所選取的是發生在 6 月下旬華中梅雨鋒面上發展而成的氣旋個案，該氣旋形成後連同鋒面向東南移行至海面上，並於 27.5°N 附近發展為強烈氣旋。期間，中、高對流層皆出現割離低壓，且於低層氣旋發展最強時，中、高對流層之割離低壓亦同時到達最強，並皆位於低壓中心之上方，形成一深厚對流層的擾動結構。

經由位渦垂直結構顯示，低層氣旋增強時期，高層出現非常強烈的對流層頂下伸現象，此時高、低層系統配置在垂直方向上並無傾斜。藉由片段位渦反演的結果發現，此強烈旋生的發展主要來自高層高值乾位渦的貢獻，潛熱釋放的角色並不重要。衛星雲圖亦顯示氣旋在海上達最強時其所伴隨的是微弱的逗點雲系，此與位渦分析結果相一致。

此外，藉由位渦傾向收支的分析探討對流層頂下伸的機制，絕熱平流項為主宰因子，其中以水平平流為最大項，而非絕熱項則相當微弱。期間，在對流層頂下伸最強的時期，垂直平流項甚至超越了水平平流項的強度。此時對流層頂下伸之處伴隨著強烈的下沉運動，以致平流層高值位渦得以垂直向下傳送。

在低層氣旋達到最強之後，高層槽出現對流層頂折疊的現象。此時低層氣旋的增強改變了垂直風切的分布，有助於高層槽線發生折疊的現象。

此 6 月下旬在 27.5°N 海面上達到最強的氣旋個案之發展，有別於夏季西南氣流盛行期間，以潛熱釋放為主

的中低層擾動發展。而高、低層擾動系統間亦非屬於垂直向西傾斜之典型的斜壓不穩度波的發展，而是經由高層發生了非常強烈的對流層頂下伸導致低層氣旋強烈發展，隨後強烈的低層旋生過程亦造成其上方產生對流層頂折疊，在梅雨季出現此類型氣旋之發展實屬相當罕見之現象。

致謝 本研究在國科會計畫編號 NSC 92-2111-M-002-017 支援下完成。

## 參考文獻

- Bretherton, F. P., 1966: Critical layer instability in baroclinic flows. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **92**, 325-334.
- Charney, J. G., 1955: The use of primitive equations of motion in numerical prediction. *Tellus*, **7**, 22-26.
- Davis, C. A., and K. A. Emanuel, 1991: Potential vorticity diagnostics of cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1929-1953.
- Lamarque, J.-F., and P. G. Hess, 1994: Cross-tropopause mass exchange and potential vorticity budget in a simulated tropopause folding. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 2246-2269.
- Shapiro, M. A., 1981: Frontogenesis and geostrophically forced secondary circulations in the vicinity of jet stream-frontal zone systems. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 954-973.
- Uccellini, L. W., and P. J. Kocin, 1987: The interaction of jet streak circulations during heavy snow events along the East Coast of the United States. *Wea. Forecasting*, **2**, 289-308.
- \_\_\_\_\_, D. Keyser, K. f. Brill, and C. H. Wash, 1985: The Presidents' Day cyclone of 18-19 February 1979: Influence of upstream trough amplification and associated

tropopause folding on rapid cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 962-988.

Wandishin M. S., J. W. Nielsen-Gammon, D. Keyser, 2000:

A potential vorticity diagnostic approach to upper-level frontogenesis within a developing baroclinic wave. *J. Atmos. Sci.*, **57**, 3918-3938.

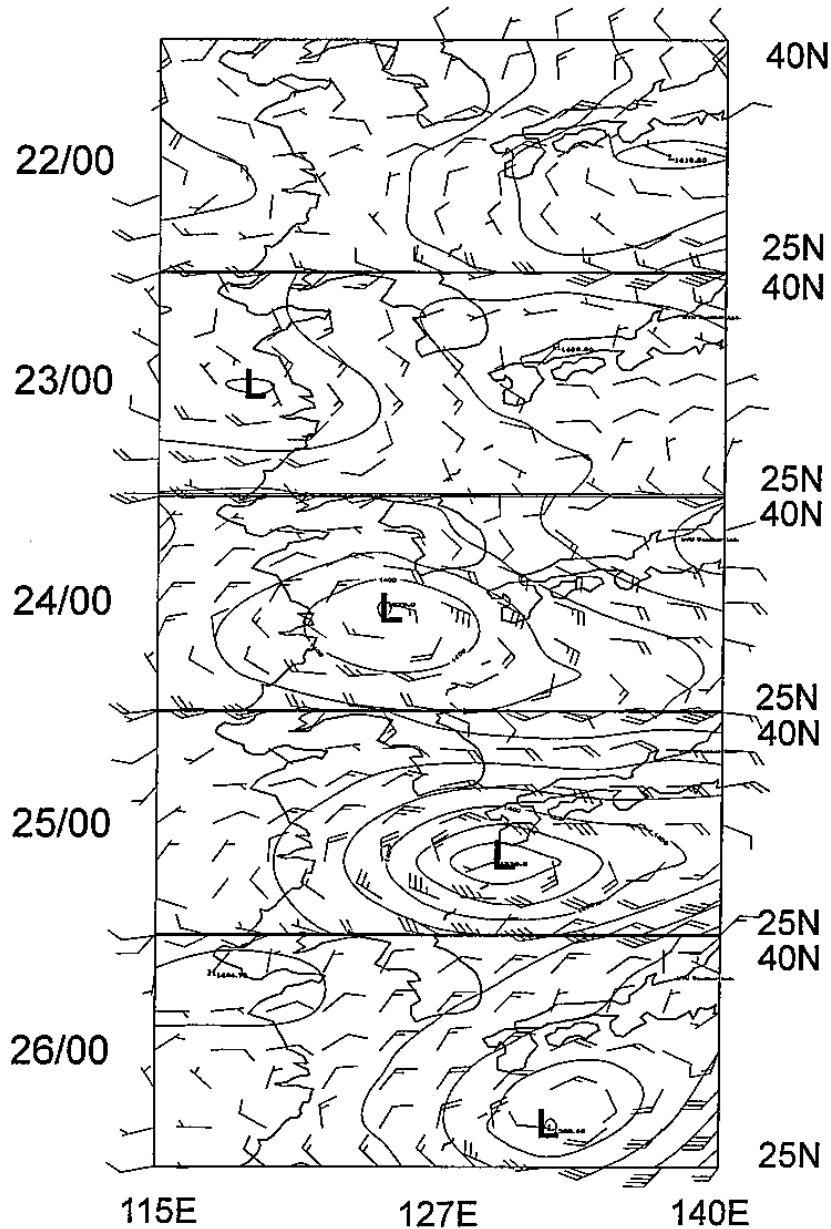


圖1 1987年6月22-26日0000 UTC之850 hPa上之風場(風標為常用者)和高度場(間距為20 gpm)分布。

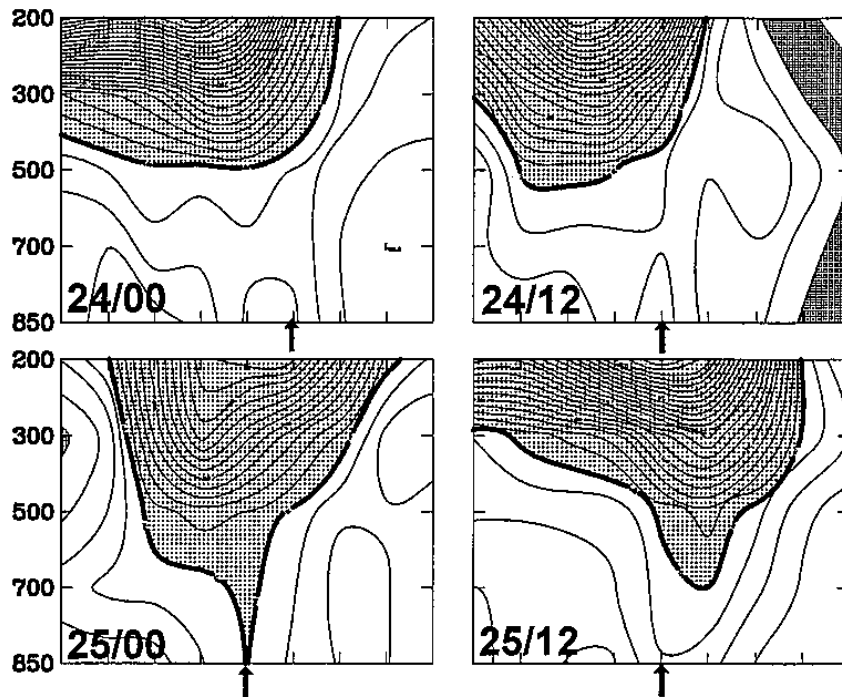


圖 2 6月24日0000 UTC-25日1200 UTC切於高、低層位渦中心之垂直剖面位渦分布。橫座標為經度，縱座標為氣壓 (hPa)，等值線以0.1 PVU 間距分析，陰影為位渦值大於0.4 PVU 之區域，粗黑箭號為850 hPa 位渦中心之處。

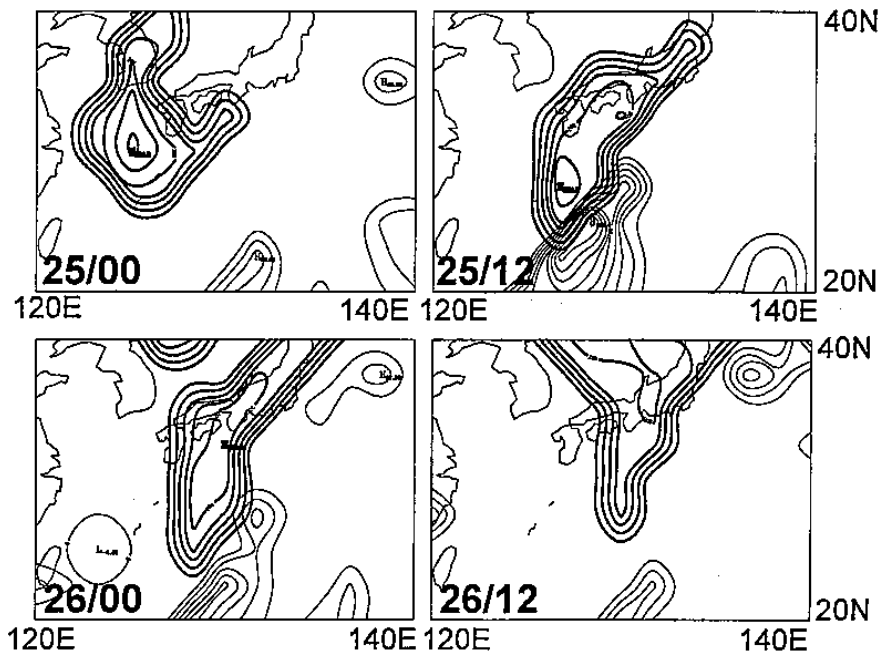


圖 3 6月25日0000 UTC-26日1200 UTC 300 hPa 上正位渦分布(粗實線)，等值線為0.5 PVU，與500 hPa 以上位渦隨高度遞減的區域(細實線)，等值線為0.1PVU/200 hPa。