

0808 號颱風“鳳凰(Fung-wong)” 引發閩東北致災大暴雨的分析

林笑茹¹ 問偉力² 曾明生³ 包日金⁴ 卓玉祥² 陳瑞閃⁵

¹南京資訊工程大學應用氣象學院，南京

²福建省寧德市氣象局，寧德

³福建省寧德市三沙氣象臺，三沙

⁴福建省柘榮縣氣象局，柘榮

⁵福建省氣象局

(中華民國九十八年十二月二十六日收稿；中華民國九十九年十月二十八日定稿)

摘 要

據陶(1980)對衛星雲圖、雷達回波和常規的天氣學資料綜合分析表明：發現颱風中有四種降水類型(1)颱風眼周圍雲牆降水，(2)颱風眼外圍螺旋雲帶降水，(3)颱風和其他系統相互作用產生的降水，(4)與颱風相聯繫的熱帶雲團降水。陳(2002)的研究表明：如果颱風後部西南季風緊跟北上對颱風暴雨的形成有很大作用。本文研究就是西南季風緊跟北上，由低層西南急流引發的暴雨。

本文進行了低層流場特徵分析(林, 2005)結果表明：颱風登陸後，在其西南側形成了西南急流，閩東北恰好處在西南風急流和東南風急流之間的輻合帶，具有很強的輻合，這是形成閩東北大暴雨的主要原因。

本文採用壓能場、水汽通量散度、相對渦度進行動力學分析。壓能場是南京大學氣象系包澄瀾教授研究建立的方法。該研究指出：在低緯度地區及中小尺度分析中，地轉近似不完全適用，甚至不適用，因而改用壓能場分析，據研究暴雨總出現在壓能場梯度最大處。850hPa 相對渦度圖顯示，其值達到 $16 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 以上有利於暴雨大發生。850hPa 水汽通量散度圖顯示：當在水汽通量散度輻合中心，且其值達到 $-0.8 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 或更大時有利於暴雨的發生。此外，地形對颱風暴雨也有一定的增幅作用。

關鍵字：鳳凰颱風、暴雨、物理量場、地形

一、引言

2008 年 7 月 28 日 22 時(北京時,下同)0808 號颱風“鳳凰”在福建省福清市東瀚鎮登陸,登陸後強度銳減,成為空心颱風。在衛星雲圖上,中心附近雲消雨散(圖略),因而雖然颱風週邊螺旋雲帶在颱風登陸前的 7 月 27 日 20 時已開始影響閩東北,但在其登陸前及登陸後幾個小時內,閩東北雨量並不大。然而,到登陸後 12 小時,已減弱的空心熱帶風暴中心移入江西境內時,閩東北出現大暴雨,並持續到 30 日。媒體戲稱鳳凰“尾巴”好長!圖 1 為 0808 號颱風“鳳凰”路徑圖,圖 2 為颱風“鳳凰”過程寧德市過程總雨量圖,表 1 為颱風“鳳凰”過程寧德市各縣逐日雨量。



圖 1 颱風“鳳凰”路徑圖。

由表 1 可見,7 月 28 日,在颱風週邊螺旋雲帶及其颱風核心雲團影響期間,閩東北地區雨量並不大,只有柘榮(161.5mm),福鼎(94.1mm),寧德(85.5mm),霞浦(59.5mm),周寧(54.4mm)幾站達到暴雨~大暴雨,其中以柘榮 161.5mm 為最大。在颱風登陸之後的 29 日全區雨量達到最大,除古田 50.2mm 外,其餘各站均為 100mm 以上的大暴雨,是致災暴雨的主要時段,其中以柘

表 1 颱風“鳳凰”過程寧德市各縣 27 日 20 時~30 日 20 時逐日雨量,單位:mm

	28 日	29 日	30 日	合計
寧德	85.5	165.0	71.7	322.2
福鼎	94.1	127.7	31.1	252.9
柘榮	161.5	266.9	86.0	514.4
霞浦	59.5	174.6	62.7	296.8
福安	42.1	191.0	68.3	301.4
周寧	54.4	213.5	47.8	315.7
壽寧	45.1	182.1	76.1	303.3
屏南	27.1	114.6	28.2	169.9
古田	16.8	50.2	16.8	83.8

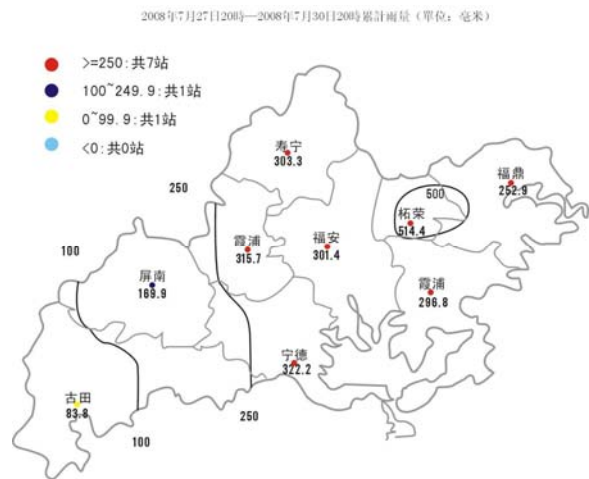


圖 2 颱風“鳳凰”過程寧德市過程總雨量。

榮的 266.9mm 為最大,屬特大暴雨。30 日只有大雨到暴雨(古田 16.8mm 除外)。由圖 2 可見全區過程總雨量除古田(83.8)、屏南(169.9)外,其餘各站均在 253.0~520.2mm 之間,達到我們專門研究的課題《熱帶氣旋影響引發閩東北(福鼎、柘榮)暴雨分析研究》中的致災大暴雨(≥ 250 mm),其中以柘榮 514.4mm 為最大(另據自動站資料,柘榮乍洋站過程雨量為 641.2mm)。

這樣大範圍全區性出現致災大暴雨，在閩東北雖然也有過，但並不多，在造成本區致災大暴雨的天氣類型中，登陸福建中部，即在福州~廈門之間（含福州不含廈門）登陸的颱風是最主要的類型之一（陳，2002），1960~2007 年共有 39 次颱風登陸該地段並對閩東北造成影響，其中柘榮平均雨量 260.1mm，最大為 581.9mm，福鼎為 139.9mm，最大為 327.8mm。本過程與其比較，柘榮站是該型平均雨量的近兩倍，接近該型過程雨量最大值，福鼎也接近該型過程雨量的兩倍，但比最大值小。

二、天氣學分析

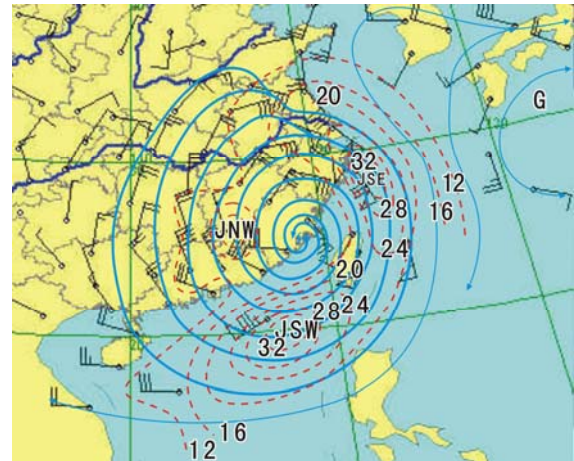
流場特徵分析是常規天氣學分析中重要的組成部分，作者是這樣理解：在風—壓適應過程中，在皮葉克父子創立經典天氣學時，是先以氣溫和氣壓的對應關係建立風壓適應的過程，是以氣壓場為主決定風場，形成經典大氣環流幾個盛行風系和氣壓場之間的關係。但在實踐業務操作中，首先分析流場特徵，再由此定量計算或定性分析其渦度、散度、垂直速度、水汽通量散度等動力學特徵，並由此預測氣壓場的變化再波及其對天氣的影響。正因此，流場特徵的分析在先是必要的（林，2005）。

（一）流場特徵分析

圖 3a 為 2008 年 7 月 29 日 08 時 850hPa 高空流線圖。由圖可見，颱風中心登陸後強度銳減，已成為空心颱風，850hPa 中心附近風速比其週邊小得多，在其 SSW 側是由西南季風形成的 SW 風急流，中心最大值達到 34m s^{-1} （東沙島），在其 NNE 側，是由副熱帶高壓西伸與颱風之間形成的 SE 風急流，中心最大值達到 32m s^{-1} （大陳島），

兩個急流中心形成風速 $\geq 20\text{m s}^{-1}$ 的急流帶，位於空心颱風東側，其軸線呈弧狀，閩東北處於 SW 急流與 SE 急流之間的輻合帶，具有很強的輻合，這是形成 29 日閩東北大暴雨主要原因。

(a)



(b)

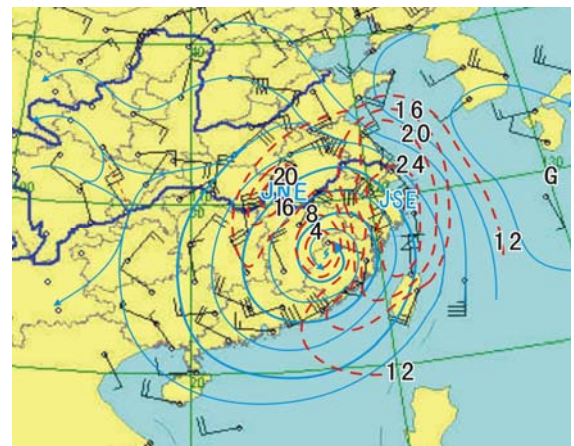


圖 3 850hPa 高空流線圖。(a) 2008 年 7 月 29 日 08 時，(b) 2008 年 7 月 29 日 20 時。粗實線：流線，---虛線：等風速線，單位： m s^{-1} 。

圖 3b 為 2008 年 7 月 29 日 20 時 850hPa 高空流線圖。由圖可見，空心颱風中心風速更小，只有 2m s^{-1} （邵武站），但其東北側，原來兩個急流中心合二為一，成為 S-SE 風的急流，最大達 26m s^{-1} （杭州、上海），急流中心與颱風中心附近具有

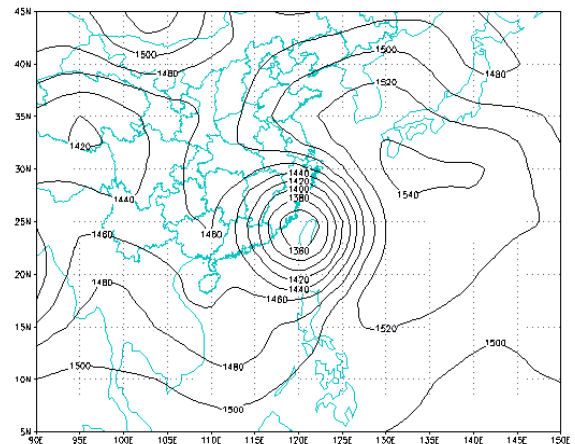
很強氣旋性風速切變，兩者差達 24 m s^{-1} ，正是這個強的風速氣旋性切變形成很強的正相對渦度，這是形成 30 日閩東北暴雨的主要原因。

研究表明，若 500hPa 副高呈塊狀分佈，長軸呈弧狀的 NW-SE 走向，颱風強度較強並位於副高的西南側，颱風與副高之間等高線密集梯度很大，此時若 850hPa 實測風均在 20 m s^{-1} 以上，且西南風急流 ($\geq 20 \text{ m s}^{-1}$) 緊跟颱風北上，當兩支急流形成的暖式切變恰好位於閩東北南側時，為閩東北地區的暴雨提供了水汽條件和動力條件，極為有利大暴雨的發生，且過程雨量 $\geq 250.0 \text{ mm}$ 的可能性較大。“鳳凰”過程便是這種致災暴雨的形勢。如圖 4a、b 所示的 2008 年 7 月 28 日 20 時 850hPa 和 500hPa 高度場分析（據 NCEP 資料）。由圖 4b 可見，500hPa 圖上副熱帶高壓成塊狀穩定位於颱風環流的東北部，長軸成 NW-SE 向。由圖 4a 可見 850hPa 從孟加拉灣到南海到臺灣海峽盛行 SW 氣流，閩東北地區為 SW 氣流到 SE 氣流的轉變，為氣流的輻合帶。強勁的 SW 季風為“鳳凰”颱風輸送源源不斷的暖濕水汽，是形成颱風暴雨的重要原因。29 日 4 時起，登陸後的“鳳凰”颱風移速減慢，進一步增強了暖濕水汽的集聚，為持續的強降雨提供了充足的水汽條件。

(二) 西南季風分析

2008 年 5 月起，西南季風非常活躍，並多次引發華南地區出現特大暴雨，在颱風“鳳凰”活動期間，西南季風雲帶、雲湧、雲團自孟加拉灣～印支半島伸向華南沿海及福建省沿海。圖 5 是 2008 年 7 月 29 日 09 時～20 時 IR 雲圖，由圖 5 可見，29 日 09 時起在南海北部有一個很強的雲團（A）恰好位於西南急流中心北側（見圖 3a），它是由很強的風速氣旋性切變引起的。由西南季

(a)



(b)

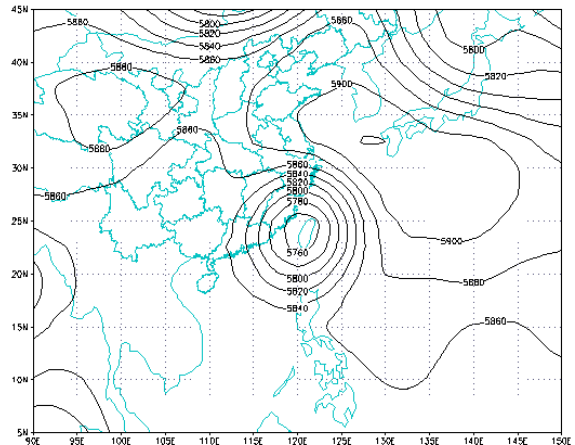


圖 4 2008 年 7 月 28 日 20 時高度場分析，(a) 850 hPa，(b) 500 hPa。

風形成的雲團、雲帶、雲湧向 NE 方向移動，是造成 29 日下午到傍晚閩東北大暴雨產生的重要原因之一。

圖 6 是 2008 年 7 月 29 日 03～22 時福鼎柘榮逐時雨量，由圖 6 可見 09 時本已減弱的暴雨，11 時重新加強，柘榮更為突出，10 時～20 時累積雨量達 120.6 mm 。

這種由颱風後部 SW 季風造成的暴雨，在 2006 年的強熱帶風暴“碧利斯”過程中更為突

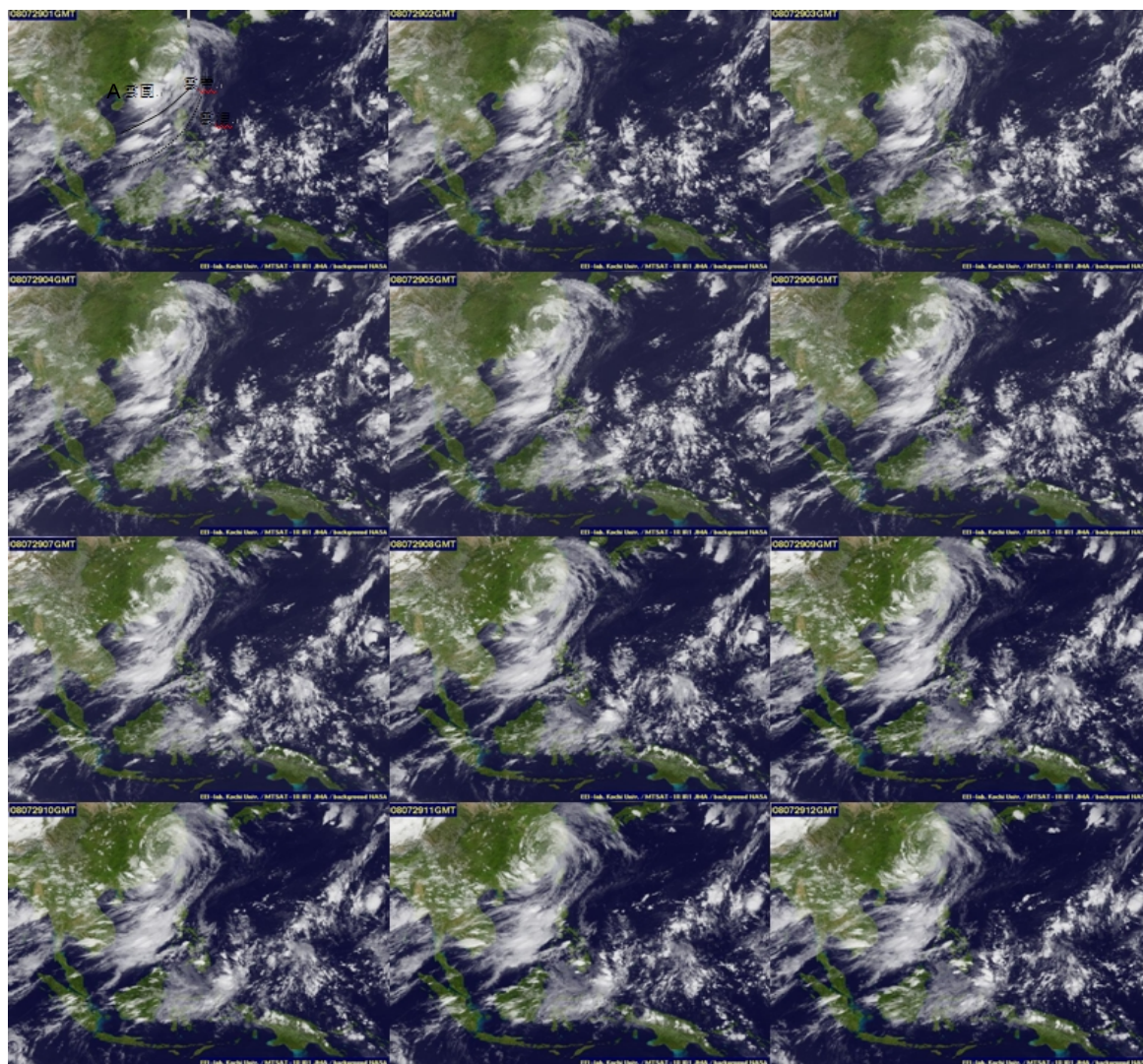


圖 5 2008 年 7 月 29 日 09 時~20 時 IR 雲圖。

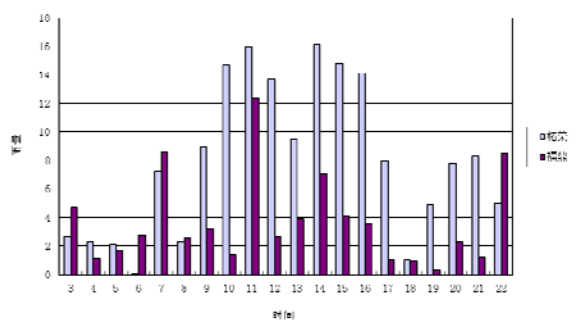


圖 6 是 2008 年 7 月 29 日 03~22 時福鼎柘榮逐時雨量，單位：mm。

出。圖 7 是強熱帶風暴“碧利斯”過程 2006 年 7

月 13 日 02 時~16 日 02 時系列 IR 雲圖，由圖可見，這次 STS 過程是個典型的空心颱風，但其南側西南季風強雲帶極為突出，並隨 STS 逐漸向北移，15 日 08 時強雲帶北移到華南~福建沿海，是造成福建 15 日、16 日特大暴雨主要時段，整個江南~華南地區受其影響災害嚴重，以湘、粵、閩為最重。9406 颱風 (Tim) 過程也是如此，主要暴雨出現在颱風登陸的後部，因此對於颱風後部由 SW 季風緊跟北上造成的暴雨~特大暴雨必須特別警惕。

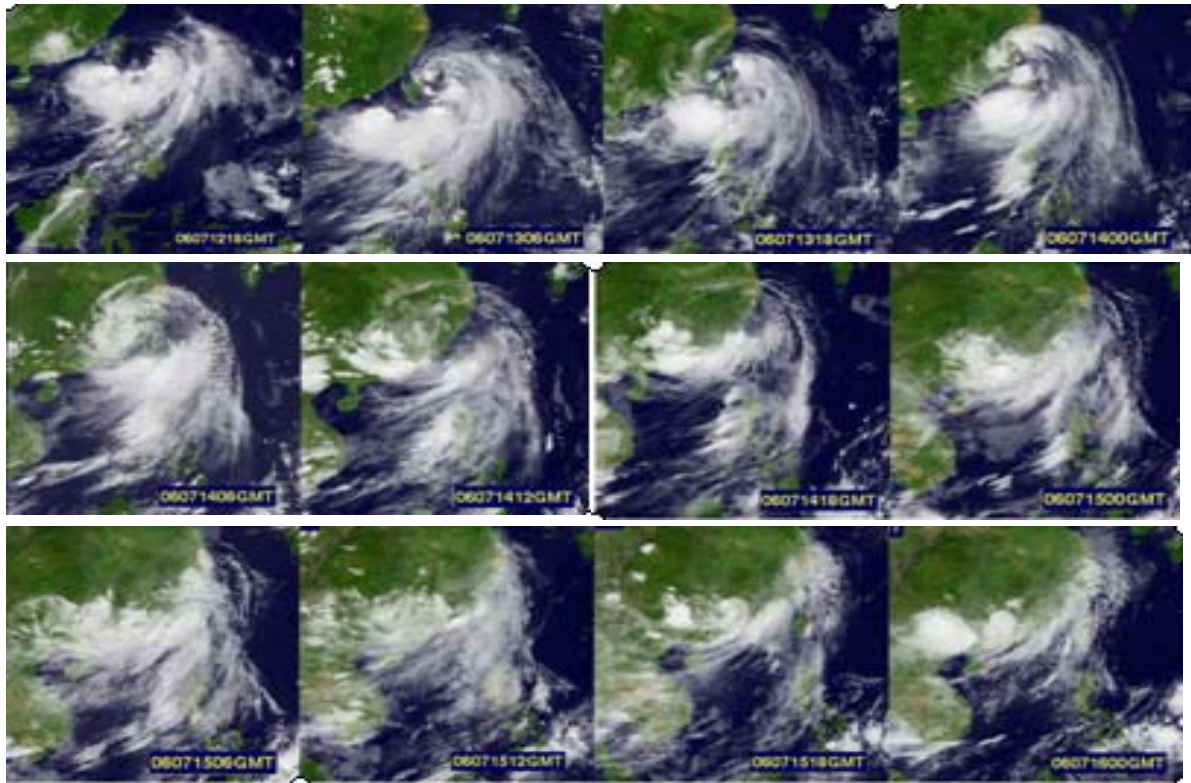


圖 7 2006 年 7 月 13 日 02 時~16 日 08 時 IR 雲圖。

三、動力學分析

(一) 壓能場分析

據南京大學原氣象系包澄瀾教授研究表明，在低緯度地區及中小尺度分析中，地轉近似不完全適用，甚至不能適用。因此改用其他新的低緯度天氣分析方法，而壓能場分析則是一種新的考慮(包，1979)。在能量中，通常把單位質量空氣的位能與動能之和稱為“壓能”，以 E 表示： $E = gZ' + 1/2V^2$ ，其中 V ， Z 和 g 分別為全風速、位勢高度和重力加速度。在對 $E = (gZ' + 1/2V^2)$ 進行 850hPa 等壓面計算時，取 $\bar{Z} = 1440\text{gpm}$ ，($Z' = Z - \bar{Z}$)， E 單位為 $m^2 s^{-2}$ 。

據實踐經驗表明，颱風後部的暴雨大都出現在壓能場 E 線密集區(包，1979)，即是壓能場梯

度最大之處。圖 8a.b.c 為 2008 年 7 月 29 日 08 時、29 日 20 時、30 日 20 時 850hPa 壓能場分析(單位： $m^2 s^{-2}$)由圖可見，這期間正是颱風“鳳凰”後部尾巴的大暴雨出現的時間，見表 1。

當 7 月 31 日暴雨結束時，這時壓能場 E 值密集區已經減弱了(圖略)。這就從反面證實壓能場與大暴雨有密切關係。而 0807 號颱風“海鷗”過程，其壓能場梯度最大位於浙江沿海，因而閩東北沒有出現大暴雨過程。

(二) 850hPa 相對渦度分析

圖 9a 為 2008 年 7 月 29 日 08 時 850hPa 相對渦度圖。由圖可見，一個很強的正相對渦度中心位於福建省東部，長軸成南北走向，中心最大正相對渦度值達到 $18 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。這正是其時位於粵東

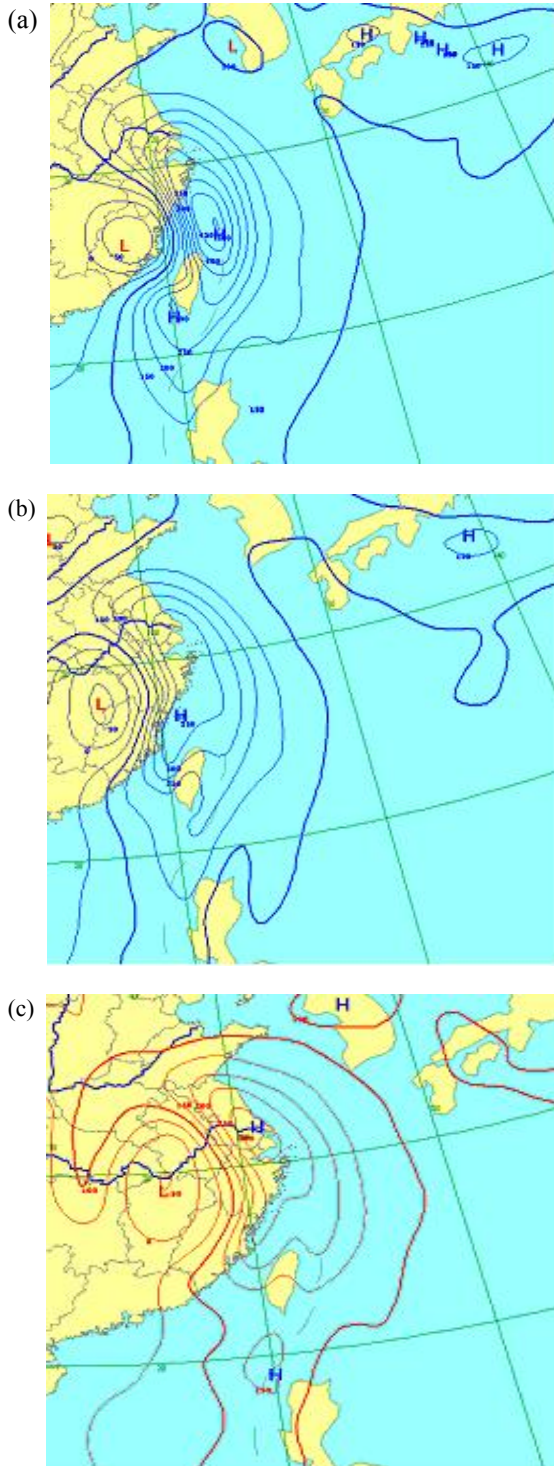


圖8 850hPa 壓能場分析 (單位: $m^2 \cdot s^{-2}$), (a) 2008年7月29日08時, (b) 2008年7月29日20時, (c) 2008年7月30日08時。

南部海上西南風急流中心與其北側具有很強風速氣旋性切變使然，在天氣形勢中已定性分析指出了，閩東北正位於長軸頂端之東，為正相對渦度，因而有利出現大暴雨。

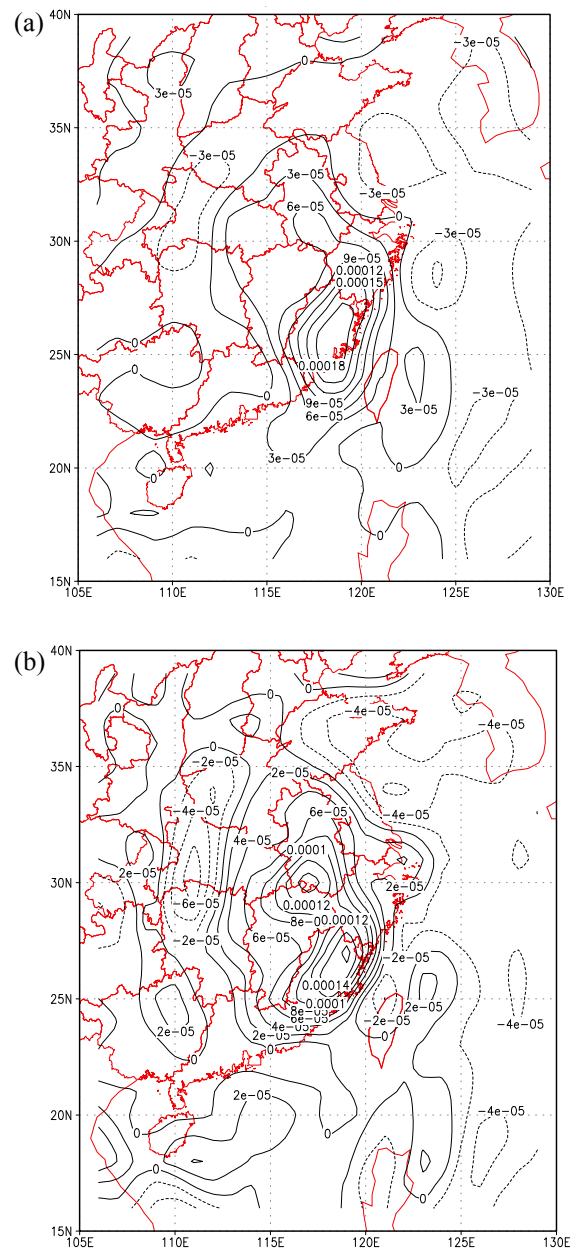


圖9 850hPa 相對渦度 (單位: s^{-1}), (a) 2008年7月29日08時, (b) 2008年7月29日20時。

圖 9b 為 2008 年 7 月 29 日 20 時 850hPa 相對渦度圖。由圖可見，正相對渦度中心向東北方向移到閩東北，中心最大值位於寧德市西北角，最大值為 $16 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，這是由風場氣旋性切變使然，也在形勢分析中指出過，因而仍有利持續出現大暴雨。

(三) 850hPa 水汽通量散度分析

圖 10a 為 2008 年 7 月 29 日 08 時水汽通量散度圖。由圖可見，輻合中心位於福建省內，最大值達 $-0.8 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，這也是由於 SW 季風位於粵東以南海上一個很強急流中心北側，具有很強的輻合使然，大量水汽輸入閩東北密集，非常有利閩東北大暴雨的形成和持續。

圖 10b 為 2008 年 7 月 29 日 20 時 850hPa 水汽通量散度圖，輻合中心位於閩西南和粵東內陸交界處，最大值為 $-0.8 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，大量水汽向 NE 方向輸入閩東北，極有利閩東北持續出現大暴雨。

(四) 垂直速度

另據研究表明較強垂直運動，對大暴雨的形成也有一定作用。29 日 08 時 700hPa 強度為 $-7 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ ，上升中心位於 122°E 附近，閩東北位於上升氣流範圍中，有利於強降水的形成。

四、雷達回波分析

由圖 11a 可見，2008 年 7 月 29 日 08:48:29 強度達 30—45dBZ，較強的雷達回波在臺灣海峽靠近福建沿海有局部 45-50 dBZ 強回波，並不斷向 NNW 方向移動。9:49 (圖 11b) 其邊緣開始影響閩東北。15:52 (圖 11h) 部分強回波開始影響到閩東北地區。這是形成閩東北 29 日下午

大暴雨加強的主要原因，它與西南急流北抬也有密切關係。

五、地形作用分析

據 Hill et al. (1981) 研究，地形抬升引起降水增幅作用主要取決於兩個因素：一是低層風速，風速愈大，增幅愈強；二是氣流暖濕程度，氣流愈暖濕，增幅愈大。颱風“鳳凰”在海上時，中心最大風速曾達 48.5 m s^{-1} ，是強颱風，登陸臺灣後，強度銳減，再次登陸福建福清時雖已是空心颱風，但其暖濕氣流的性質沒有變化。此時位於颱風北側的閩東北沿海地區風力還很大，臺山站風力在 7~9 級之間，由 925hPa 24 小時變溫可見，近低層正變溫較明顯 (圖略)，具備溫高濕重低層風速較大的特徵。歷史資料統計表明地形的動力抬升對降水的增幅作用很大 (陳, 2002)，這也是造成“鳳凰”颱風大暴雨的重要原因之一。

六、結語

本文研究鳳凰颱風西南側西南季風緊跟北上引發閩東北大暴雨的特徵。分析了颱風登陸後其西南側形成的西南風急流以及其東北側由副熱帶高壓西伸與颱風颱風環流之間形成的東南風急流。閩東北恰好處在西南風急流和東南風急流之間的輻合帶，這是形成閩東北大暴雨的主要原因，並分析了副熱帶高壓形狀對颱風暴雨的影響。

本文採用壓能場、相對渦度、水汽通量散度進行動力學分析。壓能場分析是南京大學原氣象系包澄瀾教授研究建立的，該研究指出在低緯度地區及中小尺度分析中，地轉近似不完全適用，甚至不適用，因而研究改用壓能場分析方法。分析結果表明暴雨總出現在壓能場梯度最大處。

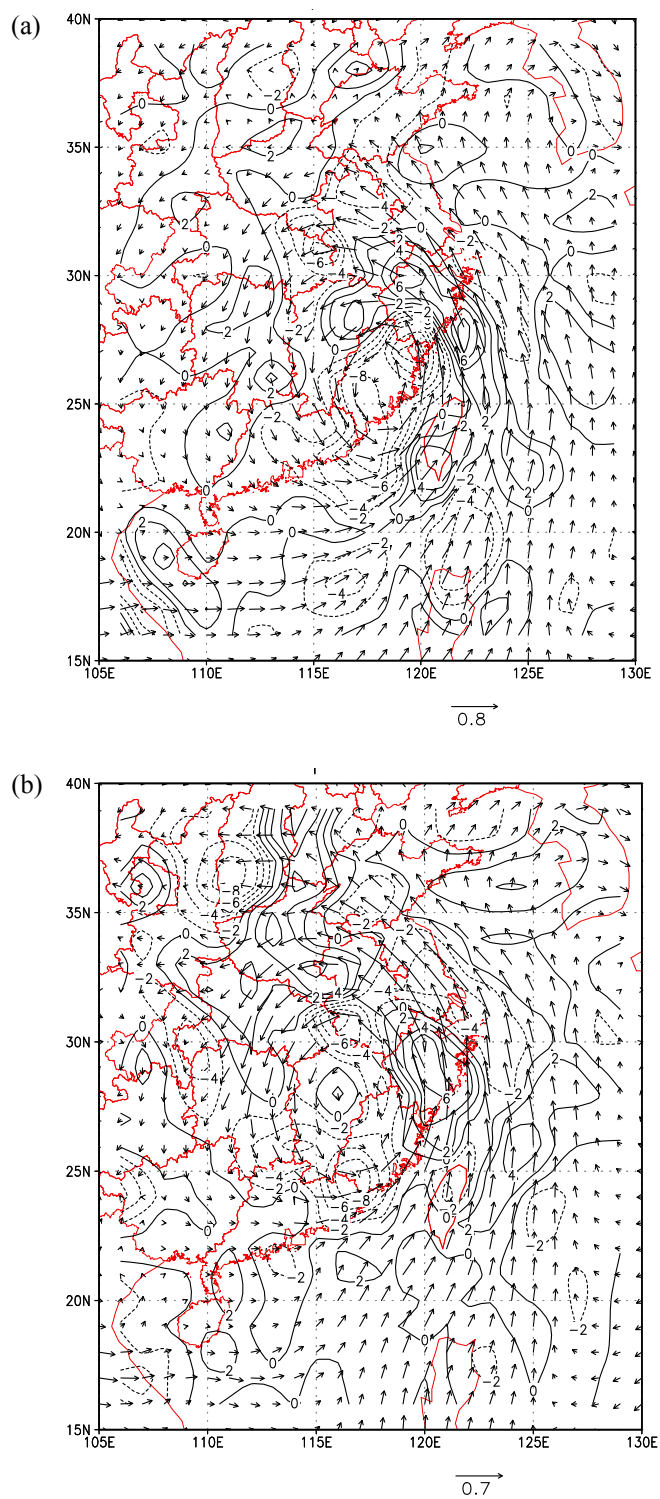


圖 10 水汽通量散度圖（單位： $\times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ），(a) 2008 年 7 月 29 日 08 時，(b) 2008 年 7 月 29 日 20 時。

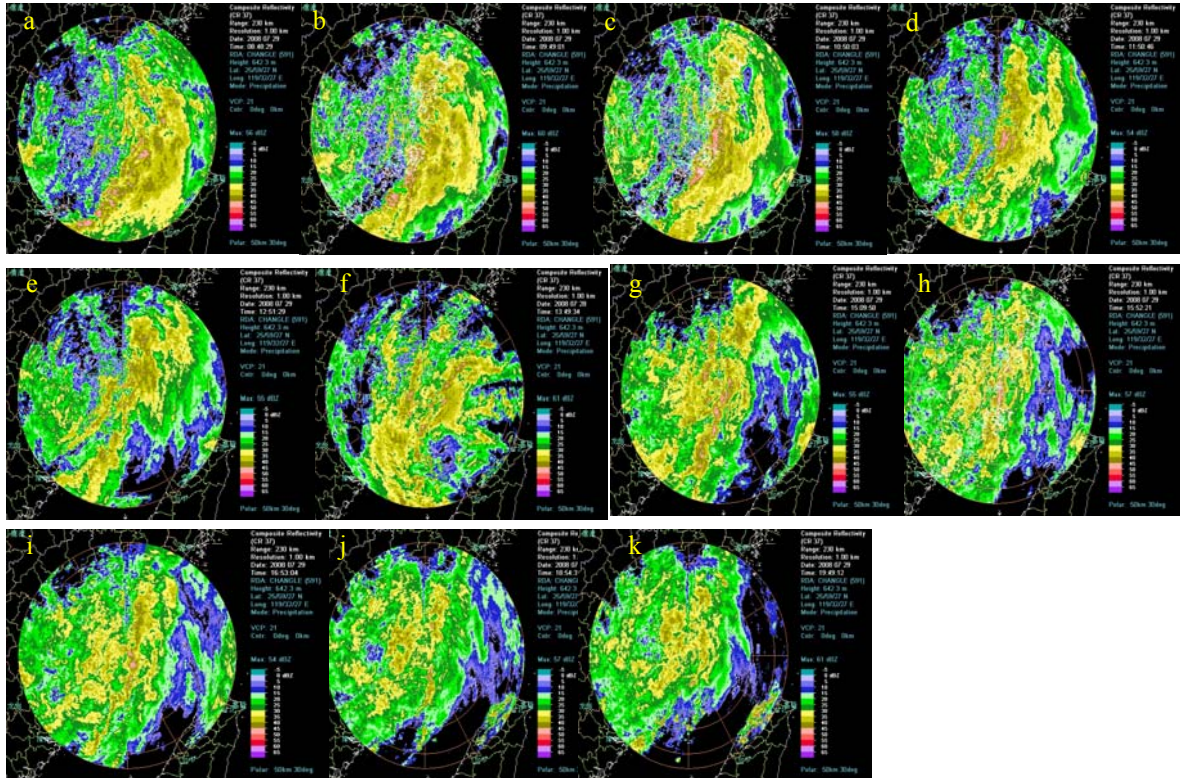


圖 11 雷達回波系列圖。

850hPa 相對渦度顯示：當其值達到 $16 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 以上有利於暴雨的發生。850hPa 水汽通量散度圖顯示：當在水汽通量散度輻合中心，且其值達到 $-0.8 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 或更大時有利於暴雨的發生。並根據歷史資料的統計事實分析了地形對暴雨的增幅作用。

參考文獻

陶詩言，1980：中國之暴雨，第 7 章：中國主要暴雨區的特徵，共 55 頁 (P91-P146)，科學出版社，本文引用在第 124 頁，小題目為“2. 颱風降水的種類”。

陳瑞閃，2002：颱風。福建科技出版社，第 515-526 頁，第 535-545 頁，第 565 頁。

林雲萍，2005：“莫拉克”強熱帶風暴暴雨分析。海洋預報，第 2 期，第 53-58 頁。

包澄瀾，1979：熱帶天氣學。科學出版社，第 27-28 頁。

Hill F. F., K. A. Browning, and M. J. Bader, 1981: Radar and raingauge observations of orographic rain over south Wales. Quart. J. R. Met. Soc., 107, 643-670.

Study on the Torrential Rain Caused by Typhoon “Fung-Wong” in Northeastern Fujian

**LIN xiao-ru¹ WEN wei-li² ZENG ming-sheng³
BAO ri-jin⁴ ZUO yu-xiang² Chen rui-shan⁵**

¹ Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu Province

² Ningde meteorological bureau, Ningde, Fujian Province

³ Sansha meteorological bureau, Sansha, Fujian Province

⁴ Zerong meteorological bureau, Zerong, Fujian Province

⁵ Fujian meteorological bureau, Fuzhou, Fujian Province

(manuscript received 26 December 2009 ; in final form 28 October 2010)

ABSTRACT

According to Tao (1980): After comprehensive analyzing of satellite images, radar echo, and conventional meteorological data, found that there are four different types of typhoon rainfall: (1) the precipitation from the cloud wall around the typhoon eye, (2) the precipitation from the spiral cloud band outside of the typhoon eye, (3) the precipitation generated by interaction between typhoon and other weather systems, and (4) tropical cloud cluster precipitation related with typhoon. According to Chen Ruishan, if the southwestern monsoon after typhoon come to north closely, the effect on typhoon rainstorm generation is very obvious. The topic of this paper is focus on the torrential rain triggered by southeastern low level jet after the southwestern monsoon move north closely after typhoon.

This paper has analyzed the feature of low level air flow field, and the result shows that after typhoon landed, there is southwestern jet at the southwestern side of typhoon, and the convergence between southwestern and southeastern jet is just located in northeastern part of Fujian, the convergence effect is very strong. This is the main reason of heavy rainfall occurred in this region. The paper also studied on the effect of subtropical high on typhoon torrential rain.

This paper carried out the dynamic analysis by using pressure energy field data, vapor flux divergence and relative vorticity. The pressure energy field is first adopted by Prof. Bao Chenlan of Meteorological

department of Nanjing University. The result shows that: in the meso- and small-scale analysis in low latitude area, the geostrophic approximation is applied imperfect or cannot be applied completely, so need to analyze the pressure energy field, and the conclusion is that heavy rain center is always located in the largest gradient of pressure energy field. The relative vorticity at 850hPa shows that when its value reached $16 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, it is prone to trigger heavy rainfall. The vapor flux divergence at 850hPa shows that, at the center of the divergence, when the value reached or over $-0.8 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, torrential rainfall is likely to occur. The paper also analyzed the enhancement effect of topography to heavy rainfall by studying historical data.

Key Words: Typhoon Fung-Wong, Torrential Rain, Physical Field, Topography