

伴隨黛特颱風(1990)之高層冷心低壓診斷分析研究

鄭月娥

中央氣象局氣象預報中心

陳泰然

台灣大學大氣科學研究所

摘要

本研究選取1990年9月5日1200UTC~8日0000UTC期間伴隨黛特颱風之高層冷心低壓(冷渦),分析冷渦之形成與演變、颱風與冷渦以及冷渦與低層氣流間之關係,並探討冷渦之結構及能量收支。

本個案中之冷渦伴隨兩支強風軸,在200hPa有最大強度,一支環繞在其北北西象限,另一支環繞在其西南象限。冷渦與黛特颱風呈順時鐘方向旋轉,平均移速黛特颱風約~7m/s,冷渦約~5.9m/s。本個案以渦度強度定義冷渦之生命階段,渦度最大值發生在200hPa強風軸氣旋式邊。能量收支顯示,增強至成熟階段由外圍環境傳入動能,且通量大,動能轉換成位能之熱力間接環流;成熟至消散階段,雖有位能轉換為動能之熱力直接環流能量轉換過程,但通量迅速減小,且動能開始外傳。

一、前言

每年夏季在太平洋或大西洋海面,高對流層之氣流結構並非單純地僅為副熱帶高壓脊線向上伸展而成,而是包含許多具有一明顯之冷心結構之瞬變氣旋中心(transient cyclonic center)。其強度自200~300hPa向上及向下減弱,此種具有冷心結構的高層低壓環流一般稱為高層冷心低壓(cold core low)或冷渦(cold vortex)。對暖季月份之區域性活動而言,此種環流系統之溫度結構及伴隨的垂直運動場,可能提供產生對流之有利條件或引發對流之有利機制。由過去許多學者對冷渦觀測診斷分析研究成果,可能因為不同學者所選冷渦個案之環流強度或垂直厚度之差異,或因其處於不同生命階段,亦或因處於不同之環境氣流場,造成所得結論不盡相同。周(1989)及 Chen and Chou(1994)分析1982~1987年(1984年缺)生命期達2.5天以上之60個冷渦,指出冷渦強風軸之存在與冷渦之生命維持有正相關,顯示冷渦之結構和生命之維繫與周圍環境場關係密切,因此強風軸在冷渦內之分布位置及其強度,可作為天氣研判之指標。鑑於冷渦與颱風的互動影響及對局部天氣預報之可能密切關係,值得進一步研究,以了解其結構特性與物理機制。

二、資料與分析

本文選取TCM-90(Tropical cyclone motion, 1990)IOP4(1990年9月5日~8日)個案,使用資料包括:

1. BMRC (Bureau of Meteorology Research Centre, Australia) 在TCM-90期間,每十二小時之地面、500及200hPa之分析圖,提供冷渦之辨別定位、發展厚度與周圍環境場之分析。
2. 重新分析0000及1200UTC之地面及高空天氣圖,亦提供了冷渦之辨別定位、發展厚度之研判及綜觀環境場分析。
3. 同步衛星Geostationary Meteorological Satellite(GMS)每三小時雲圖(包括IR及BD curve),用來輔助辨認冷渦之存在,並經由BD強化曲線處理之紅外線色調強化雲圖,推斷雲系分布及雲頂溫度。
4. 日本氣象衛星GMS所得每六小時風場資料,主要高度為250及850hPa,以辨識冷渦環流,輔助定位分析。
5. 使用由美國海軍研究室(The Office of Naval Research;ONR)對1990年8月1日~9月30日發生在西北太平洋區之颱風實驗(Tropical Cyclone Motion Experiment~90)之觀測資料,主要為探空資料、飛機報告及GMS風場,每六小時一次資料填繪於興趣區域內之850、300、250及200hPa,分析研判冷渦之定位,並分析風系與綜觀環境,得其時間上之連續性及空間結構分布。
6. 以美國國家氣象中心(NMC)對TCM-90(0.5度經緯網格)客觀分析場資料(每50hPa及每六小時),探討冷渦之結構、演變過程與能量收支。

本個案冷渦在 IOP4 (9月5日1200UTC~8日0000 UTC) 初期已存在,本文以200hPa冷渦之渦度值達最大值且處於恆定狀態時,當作冷渦之B階段一成熟期(6日1200UTC~7日0600UTC),之前為A階段一增強期

(5日1200UTC~6日0600UTC), 之後為C階段—減弱期(7日1200UTC~8日0000UTC) (表一)。

表一 200hpa之冷心低壓中心高度值、渦度值與南、北支強風軸軸心風速表

時間(UTC)	高度值(GPM)	渦度值 ($\times 10^{-5}$)	北支強風軸 (m/s)	南支強風軸 (m/s)
0512	12423	21.7	18.0	31.7
0518	12430	22.9	16.0	26.1
0600	12416	19.1	18.7	18.8
0606	12416	21.4	18.9	18.0
平均	12421	21.3	17.9	23.7
0612	12440	23.4	22.4	20.3
0618	12416	24.9	18.9	17.0
0700	12419	19.9	20.8	15.0
0706	12388	23.3	22.9	20.2
平均	12416	22.9	21.3	18.1
0712	12400	17.8	14.0	21.3
0718	12401	16.2	-	22.2
0800	12393	19.2	-	24.0
平均	12398	17.7	小於14.0	22.5

利用紅外線衛星資料來分析此冷渦雲系之分布(圖1)與變化, 以冷渦中心為準, 取其東~西及南~北各5個經緯度範圍, 且將此範圍畫分為四個象限, 即象限 I: 東北, 象限 II: 西北, 象限 III: 西南, 象限 IV: 東南。分析上述範圍內, 各生命階段在各象限之對流雲(積雲和積雨雲之積狀雲)、卷雲(不包括積雨雲上層之雲砧)及非對流雲(除積狀雲和卷狀雲外之其他雲類)之頻率與雲量(表二)。

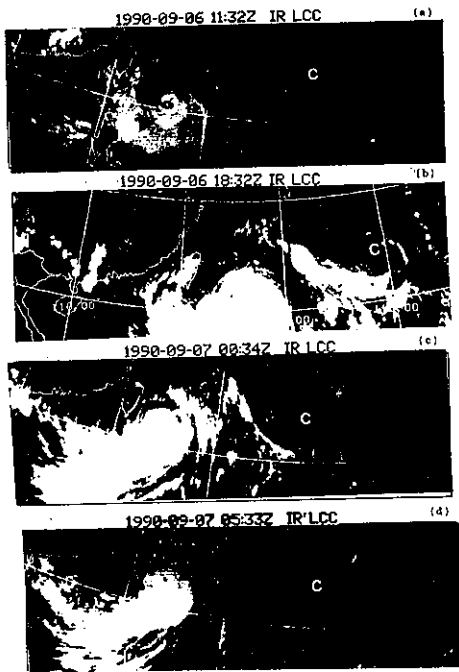


圖1 1990年9月(a)6日1200UTC(b)6日1800UTC(c)7日1000UTC(d)7日10600UTC GMS衛星紅外線雲圖, 圖內c 15, 冷渦。

表二 以GMS雲圖冷心低壓中心10 \times 10緯度範圍各象限內所佔雲類比例表

生命時間	東北象限		西北象限		西南象限		東南象限		合計						
	對流	非對流	對流	非對流	對流	非對流	對流	非對流							
0512	1	2	2	-	1	7	1	5	4	6	3				
0515	1	3	2	1	-	1	8	3	5	5	4	6			
0518	4	1	4	1	-	2	8	3	9	7	4	8			
0521	4	3	2	1	1	1	8	3	7	6	6	9			
0600	4	4	5	1	1	1	2	5	7	8	6	5	8		
0603	5	6	2	1	1	1	7	6	8	8	7	6			
0606	5	6	4	2	-	-	6	6	10	7	8	8			
小計	24	25	21	7	3	8	49	29	52	43	40	48			
平均	3.4	3.6	3.0	1.0	0.4	1.1	7.0	4.1	7.4	6.1	5.7	6.9	17.5	13.8	18.4
0609	3	3	3	-	-	1	8	6	4	7	5	7			
0612	2	1	1	-	-	1	6	9	5	8	6	6			
0615	-	-	1	-	-	1	5	5	3	6	3	3			
0618	2	2	1	-	1	-	5	8	6	5	2				
0621	2	3	4	2	1	1	8	9	7	7	5	8			
0700	1	6	8	3	1	1	7	19	8	7	5	7			
0703	1	6	7	3	1	1	7	7	9	6	6	4			
0706	2	4	8	4	-	2	7	8	10	3	5	9			
小計	13	25	31	12	4	8	54	53	54	47	40	46			
平均	1.6	3.1	3.9	1.5	0.6	1.0	6.8	7.9	6.8	5.6	5.0	5.6	15.8	16.5	17.5
0709	1	2	7	2	-	1	8	3	11	3	4	6			
0712	1	2	1	3	-	5	8	2	12	3	5	7			
0715	1	2	1	1	-	2	7	5	7	3	4	6			
0718	1	2	5	1	1	4	6	5	6	3	3	5			
0721	-	2	3	1	1	2	3	3	4	3	3	5			
0800	2	2	3	3	2	1	1	2	2	1	2				
小計	6	12	20	11	4	6	33	19	42	17	20	33			
平均	1.0	2.0	3.3	1.4	0.7	2.7	5.5	3.2	7.6	2.8	3.3	5.5	10.7	9.2	18.5

三、冷渦之結構

以冷渦為中心, 其3 \times 3度經緯度範圍之高度距平、溫度距平、散度、垂直運動及混合比距平(圖2)、風場(圖3)與渦度(圖4)在冷渦各生命階段的垂直變化顯示, 冷渦中心負高度距平發展以成熟期最大, 減弱期次之, 增強期最少; 負溫度距平以增強期最低, 減弱期次之, 成熟期持平; 冷渦不論在生命中任一階段, 風速最大值皆發生在200hPa附近, 而冷渦雖然垂直深度僅至550hPa, 但其強風軸確與黛特颱風之發展有密切關連, 而風速平均值於增強期較大, 成熟期次之, 減弱期最小。增強期之渦度平均值甚小, 成熟期迅速增強, 並在200hPa達到最大, 減弱期雖仍在200hPa有最大值, 但已見減小。冷渦不論在增強期、成熟期或減弱期, 渦度最大值皆發生在強風軸氣旋式邊之高對流層(200hPa), 儘管強度各有不同(成熟期最大, 減弱期次之, 增強期最小), 發生位置與冷渦中心非常接近或吻合。冷渦在100~500hPa間增強期高層有輻散, 低層有輻合, 成熟與減弱階段是高層輻合區, 低層有輻散。冷渦中心在增強期具有對流運動, 成熟期除低層有上升運動區外, 大都為下降運動。冷渦中心在增強期水汽含量最少, 成熟期高層仍乾燥, 低層已有高水汽含量, 減弱階段高水汽含量區由1000hPa擴展至500hPa。

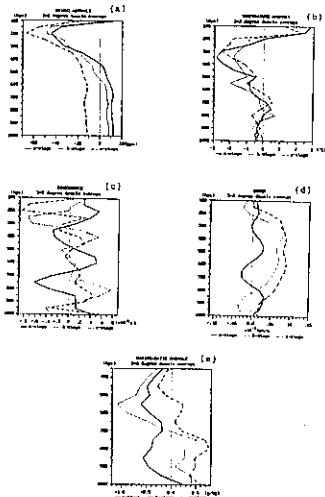


圖 2 1990年8月5日1200UTC~8日0000UTC冷心低壓中心3x3度經緯度範圍 (a)高度距平 (hPa) (b)溫度距平 (°C) (c)散度 ($\times 10^{-5} s^{-1}$) (d)垂直運動 ($\times 10^{-2} hPa s^{-1}$) (e)散度距平 ($\times 10^{-5} s^{-1}$)之垂直剖面分布 (實線為增強期, 虛線為成熟期, 點虛線為減弱期)

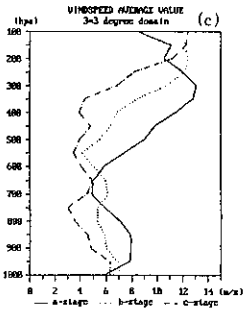


圖 3 以冷渦為中心,取6x6 grid範圍之風速平均隨時間之變化,實線為增強期,虛線為成熟期,點虛線為減弱期。

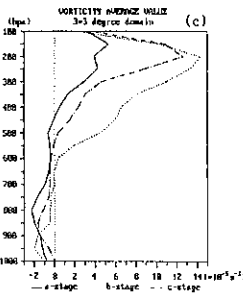


圖 4 以冷渦為中心,取6x6 grid範圍之渦度平均隨時間之變化,實線為增強期,虛線為成熟期,點虛線為減弱期。

四、動能收支

以準拉格朗基(Quasi-Lagrangian)座標,即座標跟著天氣系統移動,取用冷渦中心附近大、小不同範圍計算動能收支方程各項,以了解冷渦及與周圍之能量在生命期中的變化,因此採用範圍為冷渦中心 10×10 度經緯度、 6×6 度經緯度與 3×3 度經緯度做計算,以明確分辨冷渦系統內生命期中階段性過程的能量之產生、轉換與消散等變化。

冷渦動能隨系統運動的局部變率是其水平通量輻散、水平系統通量輻散、垂直通量輻散、能量轉換項與剩餘項之總和。表三與表四乃取TCM-90之客觀分析資料,以 10×10 度經緯度計算範圍,求得冷渦在增強至成熟階段與成熟至減弱階段之動能收支,各項的計算結果:外圍環境傳入的動能,增強至成熟階段比成熟至減弱階段後大的多;能量轉換增強至成熟階段,由動能轉換成位能,熱力間接環流,成熟至減弱階段即由位能轉換成動能,為熱力直接環流;系統水平通量輻散,於冷渦生命各階段中,皆為250hPa以上通量輻散,250~650hPa通量輻散;動能隨時間的變率,增強至成熟階段為正值,成熟至減弱階段則是負值。冷渦增強至成熟階段由外圍環境傳入動能(且通量大)、而成熟至減弱階段,通量迅速減小,甚至動能開始外傳。

表三 1990年9月5日1200UTC~8日0000UTC冷心低壓中心 10×10 度經緯度範圍(20×20 grid)增強(5日1200UTC~6日0600UTC)至成熟(6日1200UTC~7日0600UTC)階段之各項通量資料。(單位: $kg m^{-2} s^{-1}$)

Layer hpa	$\frac{dK}{dt}$	$\frac{dP}{dt}$	$\frac{dE}{dt}$	$\frac{dM}{dt}$	$\frac{dC}{dt}$	Dr
200-150	-0.16	1.21	0.27	-0.05	-2.90	1.31
250-200	0.39	0.51	0.10	0.01	1.25	-1.48
300-250	0.22	-0.35	-0.08	-0.12	0.43	0.34
350-300	0.09	-0.18	-0.07	-0.03	-0.23	0.59
400-350	-0.08	-0.03	-0.09	0.00	-0.32	0.36
450-400	-0.09	0.04	-0.04	0.02	-0.39	0.29
500-450	-0.06	-0.01	-0.01	0.02	0.31	-0.37
550-500	-0.03	-0.14	-0.03	0.01	0.09	0.04
600-550	0.01	-0.06	-0.05	0.01	0.11	-0.01
650-600	-0.05	0.02	-0.02	0.01	0.06	-0.12
700-650	-0.03	0.05	0.01	0.00	0.02	-0.11
750-700	0.03	0.04	0.01	-0.00	0.06	-0.07
800-750	-0.01	-0.02	-0.00	-0.01	0.10	-0.08
850-800	-0.02	-0.04	0.01	-0.01	0.05	-0.03
900-850	-0.01	-0.05	-0.01	-0.00	-0.10	0.15
950-900	-0.02	-0.19	-0.04	-0.00	-0.04	0.25
1000-950	-0.01	0.05	0.05	0.01	0.66	-0.79
Total	0.17	0.86	0.02	-0.14	-0.85	0.28

表四 1990年9月5日1200UTC~8日0000UTC冷心低壓中心 10×10 度經緯度範圍(20×20 grid)成熟(6日1200UTC~7日0600UTC)至減弱(7日1200UTC~8日0000UTC)階段之各項通量資料。(單位: $kg m^{-2} s^{-1}$)

Layer hpa	$\frac{dK}{dt}$	$\frac{dP}{dt}$	$\frac{dE}{dt}$	$\frac{dM}{dt}$	$\frac{dC}{dt}$	Dr
200-150	-3.45	0.16	0.44	-0.04	0.23	-4.24
250-200	-1.16	0.15	0.31	-0.08	0.27	-1.80
300-250	-1.11	-0.02	-0.03	-0.00	0.20	-0.25
350-300	0.05	-0.02	-0.02	0.00	-0.45	0.54
400-350	0.22	-0.04	-0.04	0.00	0.39	0.20
450-400	0.07	-0.04	-0.05	0.00	-0.13	0.08
500-450	-0.20	-0.01	-0.03	-0.00	-0.13	-0.03
550-500	0.05	0.01	0.01	0.00	0.06	-0.02
600-550	0.12	0.01	0.01	0.00	0.10	-0.02
650-600	0.04	0.01	0.01	-0.00	0.16	-0.02
700-650	-0.04	0.01	0.01	-0.00	0.05	-0.10
750-700	-0.06	0.01	0.01	0.00	-0.02	-0.05
800-750	-0.01	-0.00	0.01	-0.00	0.04	-0.05
850-800	0.05	-0.00	0.00	-0.00	0.09	-0.04
900-850	0.00	-0.01	-0.01	-0.00	-0.06	0.08
950-900	-0.03	-0.02	-0.02	-0.00	-0.15	0.16
1000-950	0.05	0.00	0.01	0.00	0.42	-0.39
Total	-4.39	0.19	0.61	-0.12	0.82	-3.89

五、總結

冷渦自初生以至消散移動範圍並不寬廣(圖5),與黛特颱風之相對運動呈現順時鐘方向(圖6),兩者移向相對,移動速率相差不大,而兩者相距以6日0600UTC之14.3個經度最近,最遠為8日0000UTC的20.0個經度,平均移速約每日4.5個緯度(~ 5.9 m/s)。冷渦之最大暖距平位於冷渦中心之150hPa及以上,最大冷距平則出現在中心略偏北、偏東之300~350hPa,而溫度降幅以成熟期最大(-4.59°C),減弱期最小(-3.61°C)。冷渦之高度負距平中心位於200hPa,水平發展範圍與垂直發展深度同樣是東西向大於南北向,而高度降幅以成熟期最多(-81.7 gpm),增強期最少(-54.3 gpm)。

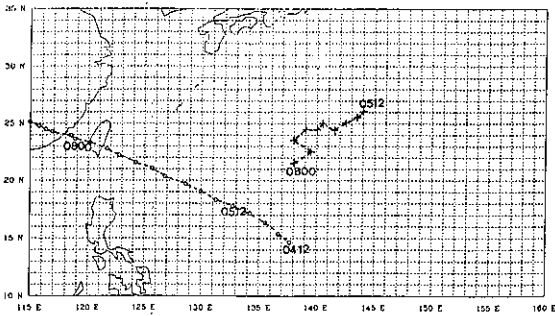


圖5 冷心低壓(+)與黛特颱風(•)之移動路徑。

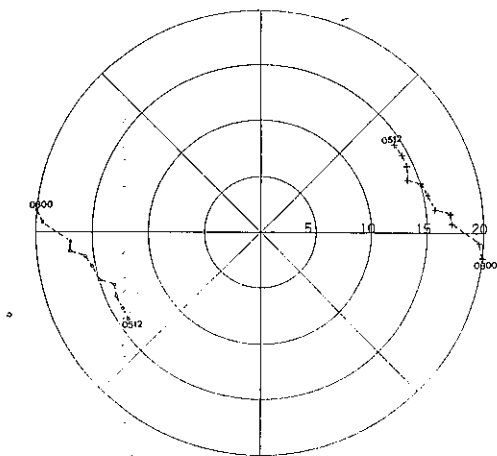


圖6 冷心低壓(+)與黛特颱風(•)以極座標表示之相對移動路徑。

冷渦在增強期與成熟期伴有南、北兩支強風軸環繞其內,一支環繞在其西北至東北象限,軸心風速可達30~45kt,一支環繞在其西南至南象限,軸心風速可達30~50kt。冷渦南支強風軸中心附近風速與黛特颱風最大強風軸中心附近風速有時間落後相關關係,6日0000UTC前,兩者間有12小時時間落後相關;之後兩者間有18小時時間落後相關。冷渦南支強風軸之輻散外流與黛特颱風之發展有密切關係。冷渦之雲系分布,就三種雲類總和而言,雲系出現次數以東南及西南象限最多,東北象限次之,西北象限則幾乎無雲。冷渦在增強期有較多的卷雲與非對流雲,成熟期有較多的深對流,而減弱期則多為較穩定的層狀雲。冷渦不論在增強期、成熟期或減弱期,渦度最大值皆發生在強風軸氣旋式邊之高對流層,儘管強度各有不同,但發生位置都與冷渦中心非常接近或吻合。冷渦之輻散場,不管輻散或輻合,與冷渦之強風軸相對位置有著密不可分之關係,強風軸引發之垂直次環流,在噴流條入區為熱力直接環流,其上升運動可導致及加強對流,出區為熱力間接環流,增加其溫度梯度以維持冷心結構。

冷渦之能量收支顯示,增強至成熟階段由外圍環境傳入動能,且通量大,而成熟至減弱階段後通量迅速減小,甚至動能開始外傳;其能量轉換是增強階段由動能轉換成位能(熱力間接環流),成熟後再由位能轉換成動能(熱力直接環流);而動能隨時間的變率,增強至成熟階段為正值,成熟至減弱階段則為負值。

本個案之冷渦生命期中,強風軸之存在扮演著極重要的角色。強風軸存在時,渦度最大值皆發生在強風軸氣旋式邊,軸心風速愈大,渦度值亦愈大(成熟期),且發生位置都與冷渦中心非常接近或吻合。而強風軸引發之垂直次環流,使得噴流條入區右側及出區左側有較強的輻散,且強度愈大所伴隨的輻散愈大,對流發生頻率也愈高。

致謝

本文在國科會專案計畫NSC85-2111-M-002-011 AP6 支持下完成。感謝教授陳泰然博士的悉心指導,承蒙王重傑、莊振威、劉文俊、柳再明、王基城與馬子玉等人給予電腦上資料處理之協助,鄒中惠與林章台幫忙沖洗衛星雲圖的辛勞,表示由衷的感謝,並感謝劉廣英系主任及李清勝教授提供寶貴意見,中央氣象局長官與同仁的體諒和關心,在此一併致謝。

參考文獻

- 周蘭芬,1989:西太平洋高層冷心低壓之研究。台灣大學大氣科學研究所碩士論文,77頁。
Chen, T.J., and L.F.Chou, 1994: An Investigation of Cold Vortices in Upper Troposphere over the Western North Pacific during the Warm