

1109号台风“梅花”的诊断分析

方纯纯

(民航东北地区空中交通管理局气象中心, 沈阳市, 辽宁省 110043)

摘要: 本文利用NCEP再分析资料($1^\circ \times 1^\circ$)、常规气象观测资料、卫星云图等对1109号台风“梅花”北翘路径进行了诊断分析, 结果发现: 副热带高压强度多变, 前期5880位势米线较窄, 副高脊线出现断裂并减弱东退, 是“梅花”路径北翘的原因之一; 欧洲中部副高加强东伸, 使西风槽加深, 台风西侧西南气流加强, “梅花”在西风槽前西南气流于副高西南侧东南气流的共同作用下, 偏北分量加大, 是台风路径北翘的又一原因; 副高减弱东退, 其西南部的东南气流与两支越赤道气流在台风东南侧合并, 使台风东南侧气流加强, 进而加大了台风向北的分量; 台风“梅花”中空切入的冷空气与变性的低涡前部卷入暖湿空气在辽宁中南部交绥产生暴雨大暴雨天气, 雷达图上的中尺度切变、涡旋, 为对流系统发展起到了触发作用。台风残余云系, 由于冷空气的加入, 激发出冷暖空气交界处的整层上升运动区。水汽厚度浅薄, 维持时间长, 产生的累计雨量较大。台风外围水汽、偏南季风水汽共同作用下水汽厚度增加, 更充沛的水汽来源为更强降水提供了有利的水汽条件。

关键词: 台风梅花、路径北翘、副热带高压、越赤道气流

1 引言

热带气旋(简称TC)是形成于热带或副热带洋面上, 具有有组织的对流和确定的气旋性环流的非锋面性的天气尺度系统。当气旋中心附近最大平均风力达到 $32.7 \sim 41.4 \text{ m/s}$, 即12-13级时, 便称其为台风^[1]。台风是一种破坏性极强的天气系统, 常伴有狂风暴雨, 一旦登陆, 就会给国家经济、人民生命财产带来严重威胁。因此, 准确预报台风路径及强度是减轻灾害损失的关键工作。由于台风路径复杂多变, 影响因素众多, 给预报带来了一定的难度。田华、李崇银等^[2]研究了大气季节内振荡对西太平洋台风路径的影响, 发现大气ISO在对流层低层到中层以低频气旋或低频反气旋的形式影响台风活动, 低频气旋上的气旋性涡度的极值线对台风路径有很好的预报意义; 陈联寿等人^[3]指出大尺度环境引导气流是影响台风运动最重要和最基本的因素, 台风的运动突变经常是由大尺度环流的调整所引起, 比如副高的进退、ITCZ的断裂、赤道缓冲带形成和消退、行星波经纬向流型的转换以及信风和季风的交替等; 罗哲贤等^[4]认为台湾岛地形会使由东向西接近台湾岛的台风出现“右偏”现象, 即远离山脉的方向, 山脉地形使台风最大风速区向台风中心方向“挤”, 使台风环流的空间尺度变小, 是地形引起台风路径偏移的可能原因。张胜军^[5]等则指出非对称结构对南海台风路径北翘也有着显著的影响。Aberson等^[6]首次论证了集合预报在热带气旋路径预报方面应用的可行性。他们从NCEP的全球模式中获得增长模, 进而对初始场进行扰动, 但是他们得到的路径预报, 只有很小的改进。黄小刚等^[7]把集合Kalman滤波技

术应用到热带气旋路径的集合试验上,基于同化的集合路径要好于同化的集合路径,集合平均预报误差较控制预报均得到了改善。张中锋等^[8]通过应用中尺度MM5模式研究台风“玛姬”(Maggie)的异常路径,发现其异常路径主要是源自与邻近的另一个热带气旋的相互作用。李勋等^[9]利用中尺度WRF模式对0601号强台风“珍珠”(chanchu)的异常路径进行诊断分析和数值模拟,发现,“珍珠”的移向变化与环境引导气流和位涡倾向波分量正异常有关。张胜军等^[10]利用中尺度模式MM5对强热带风暴“海伦”(Helen)的异常路径进行了诊断分析和数值模拟,结果发现,副热带高压断裂减弱东撤,导致了Helen在断裂点处突然北翘。

2011年影响我国的1109号台风“梅花”(英文名:Muifa)于7月28日14时在西北太平洋洋面上生成,30日08时加强为强热带风暴,14时继而加强为台风,20时加强为强台风,31日02时加强为超强台风,20时减弱为强台风,8月3日凌晨再次加强为超强台风,当天20时即减弱为强台风,6日15时在东海海面减弱为台风,7日21时减弱为强热带风暴,8日17时减弱为热带风暴。在减弱为热带风暴的1个多小时后,即8日18时30分前后,“梅花”在朝鲜西海岸北部沿海登陆,登陆时中心附近最大风力为9级(23米/秒),中心最低气压985百帕。9日2时它在辽宁省铁岭市减弱为热带低压,之后强度继续减弱,对我国影响逐渐减小,中央气象台于8月9日08时对其停止编号。“梅花”峰值中心附近最大风力达到16级以上(55米/秒),中心最低气压为925hPa,其最显著的特点是强度变化多、移动速度慢、移动路径不确定性大、生命史长。在“梅花”北上的过程中,可能登陆的地点一再改变,并两度加强为超强台风后又减弱,移动速度缓慢,从编号到登陆经历长达11天,这使得它的方向复杂多变,路径的不确定性也随之增大,在南海附近西进过程中突然以近90°直角北翘,这一路径突变,给预报带来了很大的难度。受“梅花”影响,8月4日以来,辽宁、上海、江苏、浙江、山东等部分地区遭受大风和强降雨袭击,导致5省29市183个县(区、市)360余万人不同程度受灾。据国家减灾委办公室统计,截至8月8日16时,364.98万人受灾,135.3万人紧急转移安置,房屋倒塌600余间,损坏4800余间,直接经济损失31.28亿元。

可以看出,“梅花”是一个典型的异常路径台风,不但预报难度大,而且破坏力极强。台风西北行进过程中的北翘点是预报的难点。另外,对台风强度,尤其是登陆强度的预报也是难点之一。中央气象台对1109号台风“梅花”的路径和强度预报都出现了较大的偏差,在“梅花”沿我国东部海区北上过程中预报路径始终偏在实况路径的西侧,而对登陆点的预报呈现明显的向北调整过程,从福建、浙江、江苏到山东,而后再调整到辽宁省,对沿海地区的防灾减灾工作产生了较大影响。

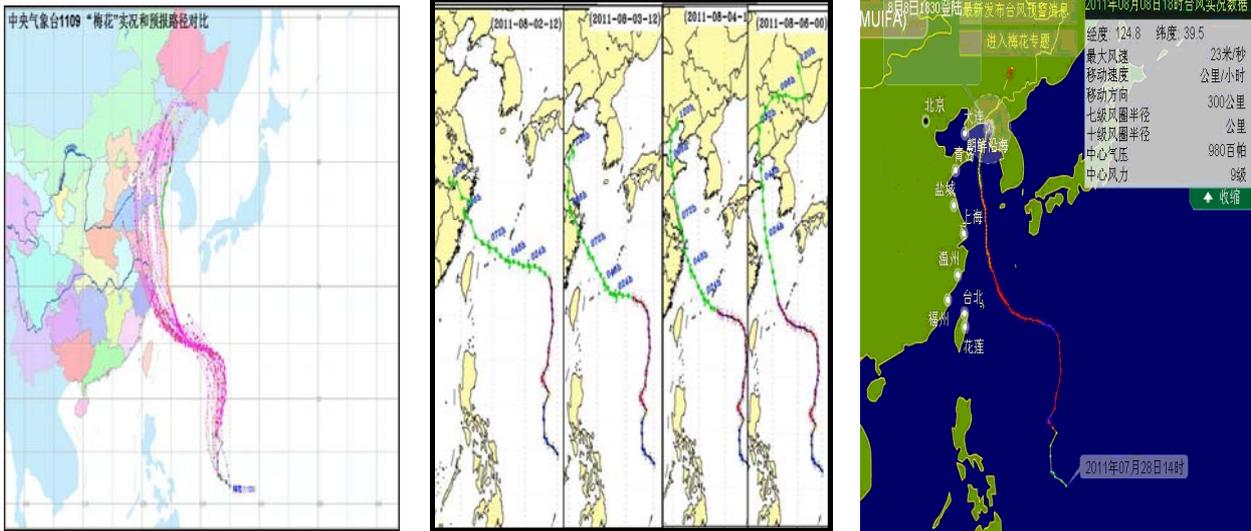


图1 1109号台风“梅花”（Muifa）的最佳路径（彩色粗线）和中央气象台预报路径（粉色细线）、国家气象中心台风集成预报系统对“梅花”路径的预报、台风“梅花”实际路径

2 已有研究成果

2011年在台风“梅花”消亡后，国家气象中心和各相关气象局都对“梅花”路径和强度变化进行了技术分析，尤其是针对预报难点——“梅花”路径北翘和“强度多变”做出了详细分析。

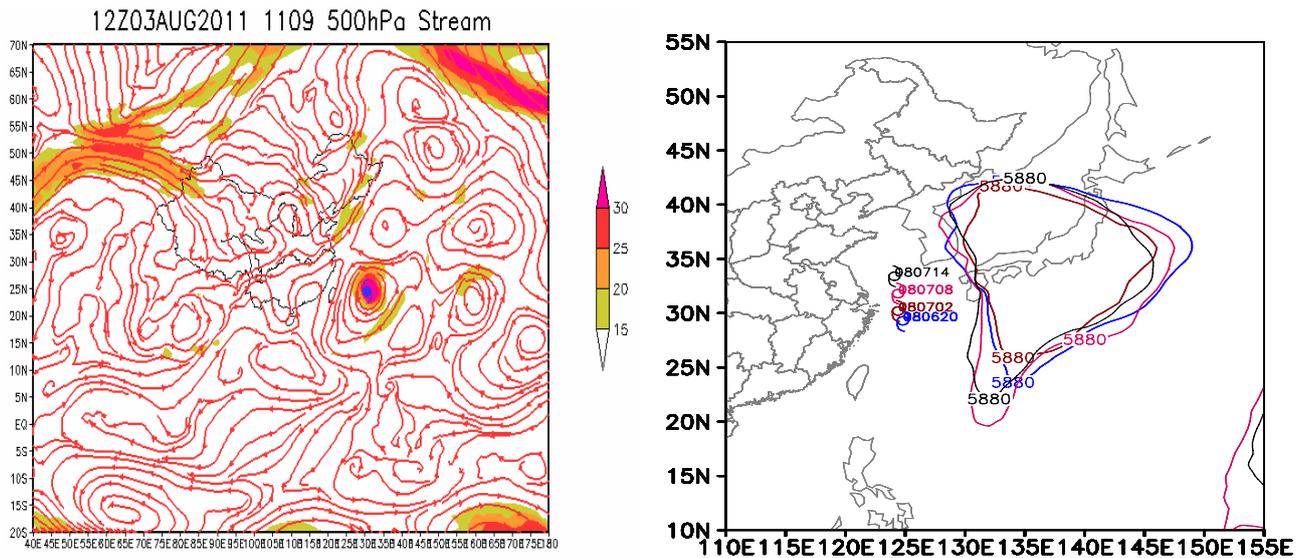


图2 国家气象中心（a）和辽宁省台（b）的技术总结

图2a为国家气象中心对台风“梅花”的技术总结，张玲认为，对于呈东西排列的两个台风，两者之间的西太平洋副热带高压的南北向打通是西台风偏北分量将加大的明显信号，另外除了关注台风北侧或东北侧的西太平洋副热带高压的变化外，在业务中还应关注台风西侧大陆高压和东南侧赤道高压的演变情况^[11]。图2b是辽宁省台对台风“梅花”的技术总结，他们认为副热带高压外围引导气流较强时，台风沿引导气流方向行进，引导气流较弱，台风受高空槽的吸引，移动路径产生向西的分量^[12]。

上述两种研究从不同角度分析了台风“梅花”路径变化的原因，侧重点有所不同，但都值得我们借鉴，

也为我们对台风“梅花”的研究提供了一定的理论基础和技术指导。

3. 台风“梅花”路径异常的影响系统

西太平洋台风的移动路径主要可分为西移路径、西北移路径和转向路径。台风移动主要受引导气流操纵，台风移动路径的预报问题，在某种意义上说主要是预报台风引导气流问题。西太平洋台风的移动，主要受太平洋副热带高压和西风带环流的影响。因此，预报西太平洋台风的移动路径，主要着眼于太平洋副热带高压和西风带槽脊的位置及其强度变化^[13]。

3.1 副热带高压和西风槽对台风路径的影响

利用NCEP格点资料，绘制2011年8月2日00时至8月8日12时500hPa位势高度场，发现2日副高脊线明显加强，呈不规则分裂，主体呈倒“Y”字型，将台风“梅花”包裹其中。“梅花”北侧5880位势米线的宽度较窄，这样的副高形势容易出现断裂和东退，18时5880位势米线出现断裂，断裂点位于日本岛东南侧海面上，台风则位于副高主体的南侧和东侧，致使台风北上西进受阻，这是8月2-4日“梅花”移动速度缓慢的原因之一。8月3日00时，副高出现了明显的加强，呈东西向带状分布，台风位于高压带南侧，5880位势米线宽度较窄，仍然存在断裂和减弱东退的可能性。8月3日06时，副高脊线5880位势米线再次出现断裂，之后迅速减弱东退，呈块状分布，脊线位于日本岛南部稳定少动，台风“梅花”沿着副高边缘的东南气流向西北方向移动。8月6日12时，副高出现了一次小幅加强，此时台风“梅花”已经位于我国华东沿海附近，副高脊线呈内凹形态，将台风“梅花”半包裹其中，“梅花”在副高南侧西南气流和北侧东南气流的共同作用下向北略偏西方向移动。可以看出，在台风“梅花”的移动中，副高强度多变，出现了反复的减弱和加强，导致台风移速不定，移向多变。此外，前期副高5880位势米线的宽度较窄，这种形态的副高容易出现断裂或减弱东退，进而使台风在西进过程中突然的北折，这是台风“梅花”出现北翘路径的原因之一。

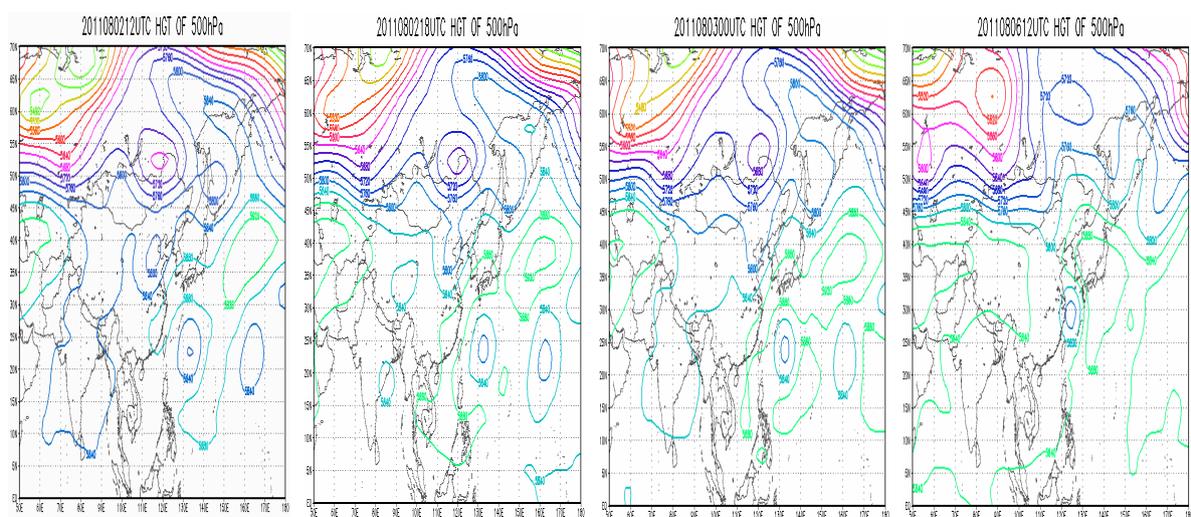


图3 2011年8月2日至8月6日500hPa位势高度场 (a 2日12时; b 2日18时; c 3日00时; d 6日12时)

从500hPa位势高度场还可以看出，随着副高脊线断裂，减弱东退，西风槽向南伸展，4日00时副高的

突然加强西伸使西风槽明显减弱北收。4日06时欧洲中部副热带高压加强东伸，导致上游又一支西风槽快速东移至我国中部，槽线南伸到达N25°附近，5日西风槽进一步加深，槽线南伸到N18°附近，台风“梅花”在西风槽前西南气流和副高外围东南气流的共同引导下向北略偏西方向移动，但是两股气流势力都比较弱，所以台风的移动速度较小，且向北的分量要明显大于向西的分量。从图中也可以看出，副高外围东南气流的强度略强于西风槽前部的西南气流，这也是台风向北移动分量大于向西移动分量的原因。

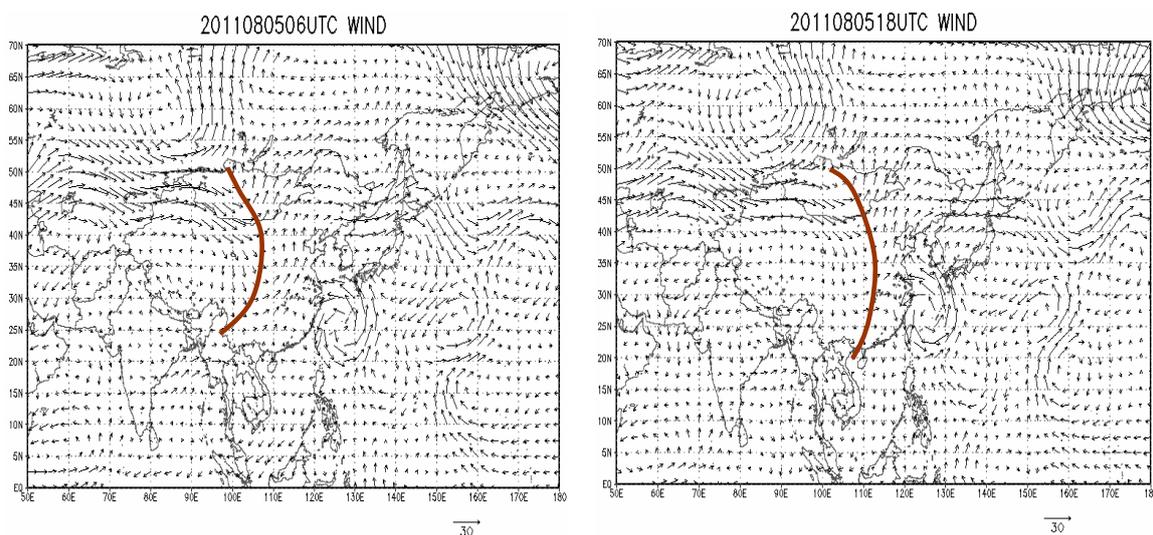


图4 2011年8月5日500hPa风场 (a 5日06时; b 5日18时)

3.2 越赤道气流对“梅花”路径的影响

台风“梅花”活动期间，有两支越赤道气流在台风“梅花”东南侧交汇，一支从努沙登加拉群岛经印度南部到达菲律宾吕宋岛以东洋面，另一支越赤道气流由新几内亚岛到达菲律宾以东洋面，两支气流在台风东南侧交汇，使台风东南侧气流大幅加强，进一步加大了台风向北移动的分量。另外，台风“梅花”与台风“苗柏”呈东西向排列，相距大约2800公里，西太平洋副热带高压在两者之间南北向打通，并且副高西侧气流与“梅花”东南侧越赤道气流合并，进一步加大了“梅花”的偏北分量。

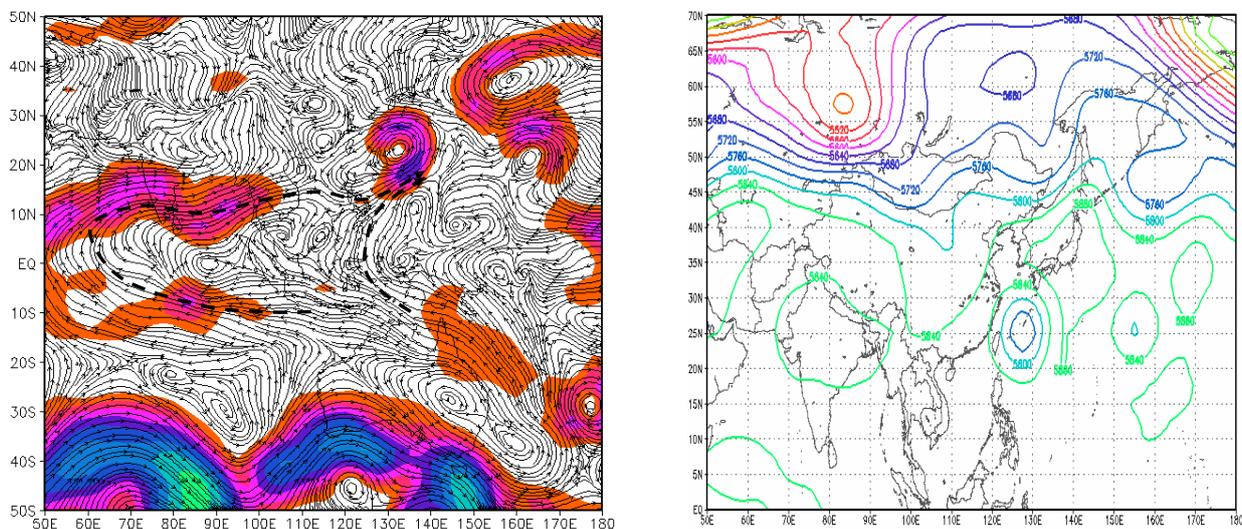


图5 2011年8月2日850hPa流场涡度场、8月5日500hPa环流形势场

3.3 台风“梅花”附近环流对其路径的影响

除了副热带高压、西风槽和越赤道气流外，台风“梅花”东南侧的赤道高压和西侧稳定维持的大陆高压也是造成其移动速度缓慢，路径复杂的主要影响系统。8月2-4日，台风“梅花”西移速度缓慢，每小时10公里左右，这表明引导气流偏弱，有阻碍台风行进的因素。

从8月2-4日的各层形势场来看，台风“梅花”西侧稳定维持的大陆高压、东南侧的赤道高压、西北侧的高压脊和北侧的副热带高压将其包围，这四个高压的存在造成了引导系统的复杂性，四个高压中的任何一个对台风移动都会产生影响，图6a为台风“梅花”与四个高压的分布情况。随着台风“梅花”缓慢的西行，其与大陆高压距离逐渐靠近，两者之间的气压梯度逐渐加大，使“梅花”西行阻力增加，这可能是其西行缓慢的原因之一，也是其不能登陆我国东部沿海的主要原因之一，所以大陆高压的稳定维持对台风的西行是不利的。另外，台风“梅花”东南侧的赤道高压与其水平尺度相当，在台风西行的过程中稳定维持，与副热带高压在“梅花”东侧南北打通，“梅花”在其西侧偏南气流的引导下偏北分量进一步增加。

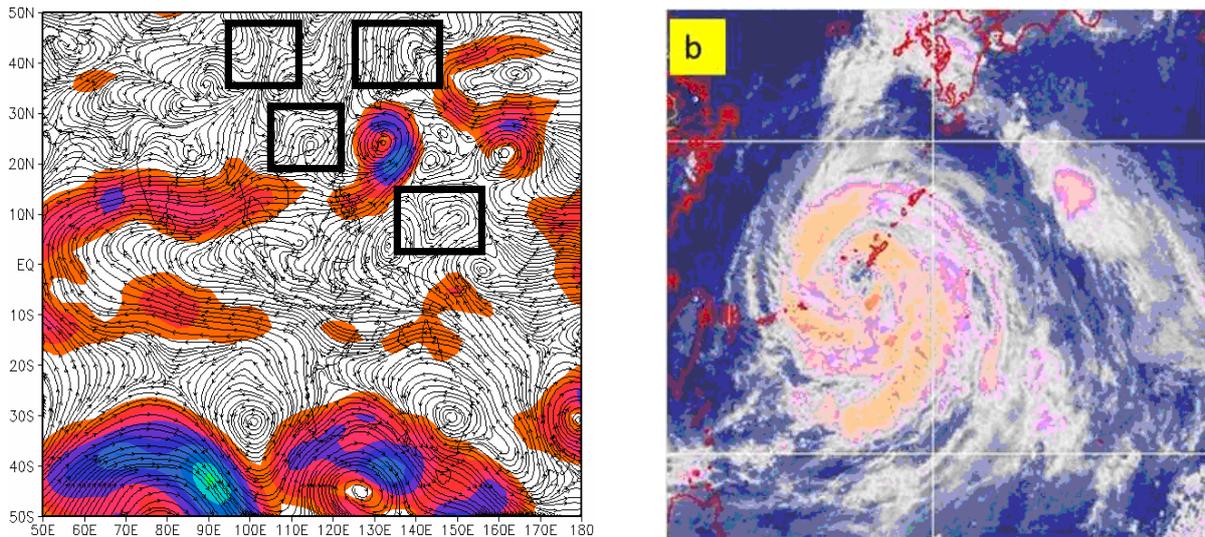


图6 2011年8月3日850hPa流场涡度场、1109号超强台风“梅花”8月5日11时57分卫星红外图像

4. 台风“梅花”对辽宁地区的影响

1949年-2010年，登陆辽宁的热带气旋（不含热带低压）共有6个，其中有5个热带风暴，1个强热带风暴，6个热带气旋中只有1964年的第10号热带风暴是直接登陆辽宁的，其他均为二次或三次登陆。因为辽宁地处东北，纬度较高，热带气旋在长途跋涉过程中受冷空气等诸多因素影响，往往会变性减弱为热带低压等。1985年热带气旋“麦姆依”（Mamie）第三次登陆点在辽宁省大连市，我国东北地区灾情严重。1997年台风“温妮”（Winnie）在辽宁二次登陆，给辽宁地区带来了特大暴雨。从登陆时间看，登陆辽宁的热带气旋主要出现在7、8月份，以8月最多，这是因为8月副热带高压位置偏北，有利于引导热带气旋北上。

台风“梅花”自生成到消亡历时11天，不但持续时间长，路径诡异，而且强度多变，曾先后两次加强为超强台风，峰值时中心最大风力达到16级以上（55米/秒），中心最低气压925hPa。中央气象台对台风“梅花”的路径和强度预报都出现了一定的偏差。8月5日11时57分的卫星红外图像显示，“梅花”出现了明显的空心结构，西北侧云系少，东侧和东南侧云系多的特点。台风“梅花”最终在与辽宁省毗邻的朝鲜西海岸北部沿海登陆。受“梅花”外围云系影响，辽宁省中东部出现了大范围的暴雨区，最大降水量267.5mm出现在营口市盖州小石棚。7日20时至10日02时全省786个乡镇自动气象观测站的观测记录显示，107个测站的降水量大于100mm，359个测站的降水量大于50mm，541个测站的降水量大于25mm。根据总降水量、降水强度、降水区域评估等确定辽宁省为三级暴雨，属较严重级别。其中，营口地区为一级暴雨，属最严重级别；大连、丹东地区为二级暴雨，属严重级别。

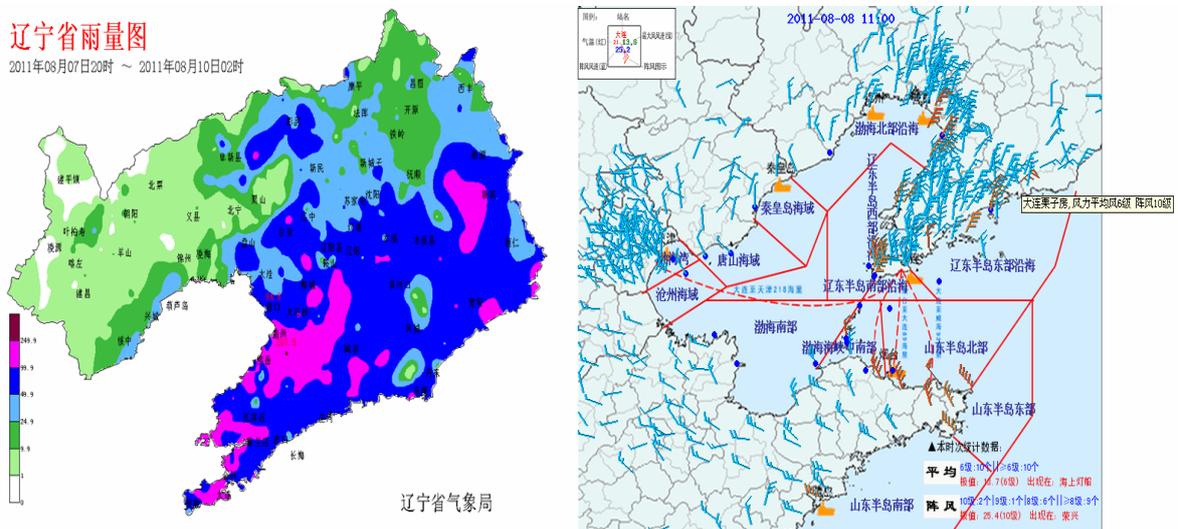


图7 2011年8月7日-10日辽宁省降水实况 (a)、2011年8月8日辽宁省大风实况 (b)

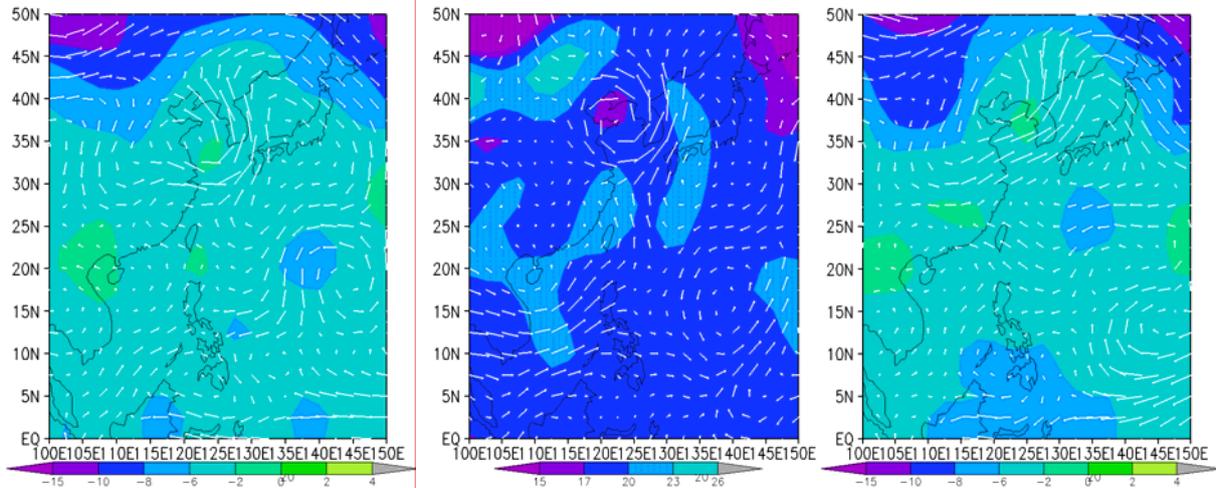
通常台风接近我国并登陆时，绝大多数都已经减弱，但也常常可出现12级以上的风力。图7b为8月8日11时辽宁省风力分布图，共有9个测站出现了大于等于8级的风力，其中荣兴出现了25.4m/s的最大风力，10个测站出现了6级以上的风力。

4.1 台风外围云系和冷空气对辽宁地区的影响

7日20时~8日14时，上下一致的暖心结构的梅花台风在江苏以东洋面经山东成山头以东到朝鲜以西一带活动，强热带风暴强度的台风外围对流云系及大风圈影响辽东半岛；8日14时由于弱冷空气的中低层入侵，台风开始变性，西北部的云系范围扩大，呈现为稀疏的螺旋云带。7日20时~8日02时、8日14时前后大连地区TBB强度维持在235°K，造成大连地区持续出现降水，累计雨量达大暴雨强度。

8日14时~9日02时台风经历了东北上在中朝边界附近登陆，再经过辽宁东部地区。这期间进入冷海区的台风，由于冷空气的中低层侵入变性为温带气旋，强度减弱为热带风暴，加上登陆后地面的摩擦、夜间日变化的作用，台风路经地的风力迅速减小仅为3~5级。由于台风上暖下冷结构，层结呈现稳定，导致台

风在接近及经过辽宁阶段，螺旋云带稀疏并不断旋转，降水极不均匀。虽然辽宁大部都产生了降水，但降水量仅1~45mm。



8月7日12时500hPa，8月8日00时850hPa，8月8日06时500hPa

8月8日00时之前850hPa台风中心温度维持在17~20℃之间，从台风周围的风力分布来看，台风东侧的风力远远大于西侧，因此“梅花”是暖心不对称结构的台风。8日00时，由于850hPa西部槽线的并入，使台风低层温度降低了近2℃，台风中心呈上暖下冷的温度分布，这时台风开始进入明显变性阶段，由于冷空气的强度较弱，所以台风仍然维持强热带风暴强度。8日06时500hPa暖心位于风场涡旋中心的东南侧，从涡旋中心脱离出来，台风强度降为热带风暴，这时已由正压的热带气旋转变为斜压的温带气旋，且东北侧的东北风较前期明显减弱，云图上反应为较弱且稀疏的螺旋云带。

4.2 第二阶段台风残留云系与冷空气结合（短时强降水、雷雨大风影响）

4.2.1 冷空气中层入侵

8日20时700hPa上，内蒙东部经北京到山东西部一线的高空槽与台风合并，台风演变为位于辽宁丹东的低涡中心。同时位于贝加尔湖东部高空槽冷空气，沿其南部高压脊前偏北气流南下，使低涡后部冷空气得以补充加强，低涡西部的偏北风加大到16m/s，并存在-7℃的变温。变性的低涡前部梅花台风残存的暖湿空气卷入低涡后部。冷暖空气在在辽宁中南部交绥（图略）。

4.2.2 层结不稳定产生

从8日20时锦州、沈阳TLOGP图上可以看到（图略），两站上空垂直风切变为8m/s，但锦州低层的偏北风更大为18 m/s。锦州呈现600hPa上下各存在下湿上干的结构，CAPE值为1160.5J/kg；沈阳整层温度露点差小于2℃，CAPE值为709.8 J/kg。从两站垂直风切变、低层的偏北风、下湿上干的结构、CAPE值对比来看，两站都存在不稳定的层结，中层冷空气的入侵在锦州的纬度(40°N)产生的不稳定强于沈阳的纬度(42°N)，有利于对流天气产生。（图略）

4.2.3 雷达分析

9日04时27分，位于营口西南5km左右的一条西北东南向的弱带状回波开始迅速加强，中心强度达到53dBz，并缓慢向东南方向移动，影响营口盖州地区，由于回波移动方向与带状回波的走向一致，在盖州地区形成列车效应。06时左右又有一条西北东南向的带状回波在营口西南10km左右的地方加强，之后回波带向东南方向移动，在营口盖州地区再次形成列车效应（图略）。

速度产品上（图6），8日20时径向风以西北风为主，这与大气实际风场一致。零速度带为东北西南向，呈比较平直的直线型。9日04时15分，零速度线在营口（雷达站）西南5km处出现“拐点”，负速度区向正速度区凸起，形成中尺度辐合线，05时16分辐合线减弱消失，持续1小时，9日05时52分，在几乎相同位置“拐点”再次出现，再次形成中尺度辐合线，06时59分辐合线减弱消失。雷达强度产品上，对应速度场上的两次中尺度波动，营口（雷达站）西南有两次回波带加强过程，并且速度场上的波动超前于强度变化10分钟左右。

回波顶高产品上，与速度产品上两次中尺度波动相对应，在回波顶高产品上相同位置回波顶高一度达到10km，说明中尺度辐合线对对流系统发展有一定的触发作用。

5. 动力与热力条件

5.1 动力条件

沿台风中心散度、垂直速度纬向剖面图可以看到（图略），7日20时~8日20时台风中心的东侧127°E附近300hPa以下，为低层辐合、高层辐散、最强垂直运动中心位于中层达 -2.1 pa/s 的整层上升运动区。而在台风中心西侧7日20时上空700hPa上下各有一对辐合、辐散中心及上升运动中心，下层的上升运动中心较强为 -1.8 pa/s ，8日02~08时上升运动中心逐渐减弱消失。8日14时台风中心西部上空700hPa上下各有一对辐合、辐散中心及上升运动中心再次出现，8日20时西侧的122°E附近200~400hPa之间为较强辐散区，其以下为辐合区，形成上升运动强度达 -6 pa/s 的整层上升运动区。

也就是说，台风变性前东西各配合辐合上升运动，变性后强辐合上升主要出现在台风的东部，而西部由于辐合上升运动较弱进而消失，降水强度随之稍弱且在逐渐下降。

台风逐渐变性后，冷空气的加入，激发出冷暖空气交界处的整层上升运动区。

5.2 热力条件

沿台风中心温度平流纬向剖面可以看到（图略），7日20时~8日08时台风中心整层为暖平流，只是中心强度有 10^{-4} k/s 逐渐减小为 $5 \times 10^{-5} \text{ k/s}$ 。8日14时900hPa以下西侧冷平流向东扩展，基本占据台风中心的

位置。8日14~20时低层东西两侧冷平流合并，冷平流顶部逐渐抬升到700hPa。这从另一个侧面反映了中低层冷空气的侵入。

7日20时~8日08时台风路经东海北部，整层暖心结构时暖平流的强度有所降低，台风强度随之下降，其外围云系影响辽宁产生为对流降水，强度达暴雨到大暴雨。8日14~20时台风内部为上暖下冷的稳定结构，其外围云系影响辽宁产生为稳定降水，强度达小雨到大雨。

5.3水汽条件

沿122°E水汽通量矢量、比湿剖面图上可见（图略），7日20时~8日20时辽宁处于台风的西北象限，辽宁南部为偏北气流，台风外围水汽输送到辽宁，14g/kg的比湿层仅在900hPa以下，提供的水汽虽然浅薄，但维持时间较长，产生了累计雨量到达的降水。9日02时~08时辽宁以南地区转为偏南风，不但有台风外围水汽输送，还有偏南季风水汽的加入，14g/kg的比湿层随之加厚到850hPa。9日02时~08时更加充沛的水汽来源，为该期间的更强降水提供了有利的水汽条件。

6. 结论

除了副热带高压、西风槽和越赤道气流外，台风“梅花”东南侧的赤道高压和西侧稳定维持的大陆高压也是造成其移动速度缓慢，路径复杂的主要影响系统；

台风自上而下为暖心、不对称结构，一旦有冷空气中低层侵入，台风中心呈现上暖下冷的稳定结构，台风趋于向温带气旋变性，产生的降水为稳定降水，降水强度减小；

中空切入的冷空气与变性的低涡前部卷入暖湿空气在辽宁中南部交绥产生暴雨大暴雨天气，雷达图上的中尺度切变、涡旋，为对流系统发展起到了触发作用。

台风残余云系，由于冷空气的加入，激发出冷暖空气交界处的整层上升运动区。水汽厚度浅薄，维持时间长，产生的累计雨量较大。台风外围水汽、偏南季风水汽共同作用下水汽厚度增加，更充沛的水汽来源为更强降水提供了有利的水汽条件。

- 【1】 朱乾根，林锦瑞，寿绍文，等. 天气学原理与方法[M]，530-550；
- 【2】 田华，李崇银；大气季节内振荡对西太平洋台风路径的影响研究[J]；大气科学；第34卷第三期559-579，2010年5月；
- 【3】 陈联寿，孟智勇；我国热带气旋研究十年进展，大气科学[J]；第25卷第3期2001年5月；
- 【4】 罗哲贤，陈联寿. 台湾岛地形对台风移动路径的作用. 大气科学[J], 1995, 19(6):701~706；
- 【5】 张胜军，陈联寿，徐祥德. Helen台风(9505)异常路径的诊断分析与数值模拟[J]. 大气科学，2005, 29(6): 937-946；