

# 南京信息工程大学

## 本科生毕业论文(设计)



题 目        多次登陆台风“梅花”（2212）的  
                 路径及强度演变特征分析

---

学生姓名 李田野

学     号 201983300695

学     院 大气科学学院

专     业 大气科学（气象学）

指导教师 王咏青

二〇二三年5月9日

# 声 明

本人郑重声明：

- 1、 以“求实、创新”的科学精神从事科学研究工作。
- 2、 本论文中除引文外，所有测试、数据和相关材料均为真实有效的。
- 3、 本论文是我个人在指导教师的指导下进行的研究工作和取得的研究成果，请勿用于非法用途。
- 4、 本论文中除引文和致谢的内容外，并未抄袭其他人或其他机构已经发表或撰写过的研究成果。
- 5、 关于其他同志对本研究所做的贡献均已在论文中作了声明并表示了谢意。

作者签名： 李田野

日期： 2023 年 5 月 9 日

# 目 录

摘要.....	1
1 引言 .....	4
2 资料与方法 .....	5
2.1 资料.....	5
2.2 方法.....	5
3 台风“梅花”（2212）概况介绍 .....	5
4 台风“梅花”（2212）路径成因分析 .....	6
4.1 路径概况简介.....	6
4.2 台风“梅花”（2212）抛物线路径成因分析 .....	6
4.2.1 500hPa 环流形势场分析 .....	6
4.2.2 引导气流计算 .....	9
4.3 台风“梅花”（2212）在台湾岛附近发生北翘的成因分析 .....	11
4.3.1 台风西南侧越赤道西南气流加强 .....	11
4.3.2 台风“梅花”（2212）与右侧热带气旋的相互作用 .....	12
4.3.3 台湾地形对台风“梅花”（2212）路径北翘存在一定的作用 .....	13
5 台风“梅花”（2212）强度变化成因分析 .....	13
5.1 台风“梅花”（2212）强度变化情况简介 .....	13
5.2 台风登陆前后强度变化的原因分析 .....	14
5.2.1 台风登陆前强度整体增加的原因 .....	14
5.2.2 台风登陆后强度减弱但持续时间较长的原因分析 .....	15
5.2.3 台风在 9 月 12 日强度异常减弱的原因分析 .....	17
6 结论与讨论 .....	19
参考文献.....	19
致谢.....	22

# 多次登陆台风“梅花”（2212）的路径及强度演变特征分析

李田野

南京信息工程大学大气科学学院，江苏 南京 210044

**摘要：**从欧洲中期天气预报中心第五代大气再分析数据集（ERA5）、中国气象局热带气旋资料中心获取多次登陆台风“梅花”活动期间所在区域的各层次位势高度、风速风向、台风中心气压、海平面温度等数据资料，分析背景场、引导气流、台湾岛地形等因素对“梅花”路径变化的影响；同时通过对其所在区域的海温、垂直风切变等数据的分析，研究台风“梅花”强度变化原因。结果表明：台风“梅花”的转向路径是由于西太平洋副热带高压减弱东退，台风“梅花”在副高左侧边缘引导气流的作用下形成的，台风“梅花”在台湾岛附近路径发生北翘的主要原因是“梅花”在靠近台湾岛时南半球越赤道西南气流突然加强，台风“梅花”在西南气流的作用下，路径发生北翘，而经过台湾岛后，副高有加强西伸的趋势，东南气流重新加强，“梅花”恢复转向前的东南-西北向移动。台风“梅花”在登陆前强度总体上一一直在增加，这主要是由于东南沿海地区的海洋表面温度较高，都在  $26^{\circ}\text{C}$  以上，为台风的加强发展提供了充足的能量。但在台风登陆前（2023 年 9 月 12 日）存在一次强度异常减弱现象，这是由于环境场垂直风切变加大的原因。台风登陆之后由于水汽供应大幅减少，下垫面温度降低，同时摩擦增大，强度逐渐减弱至消失。

**关键词：**台风“梅花”（2212）；台风路径；台风强度变化；路径北翘

# **Analysis of the Path and Intensity Evolution Characteristics of Typhoon "Meihua" (2212) with Multiple Landings**

Li Tianye

School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China

**Abstract:** Obtain data on various levels of potential height, wind speed and direction, typhoon center pressure, sea level temperature, and other factors in the area where Typhoon "Meihua" is located during multiple landfall activities from the fifth generation atmospheric reanalysis dataset (ERA5) of the European Center for Medium Range Weather Forecasts and Tropical Cyclone Data Center of China Meteorological Administration. Analyze the impact of factors such as background field, guiding airflow, and Taiwan Island terrain on the changes of "Meihua" path; At the same time, through the analysis of the sea surface temperature, vertical wind shear and other data in the region where it is located, the reason for the change of typhoon "Meihua" intensity is studied. The results indicate that the turning path of Typhoon "Meihua" is due to the weakening and eastward retreat of the Western Pacific subtropical high, and the formation of Typhoon "Meihua" under the guidance of airflow on the left edge of the subtropical high. The main reason for Typhoon "Meihua" to tilt northward in its path near Taiwan Island is that "Meihua"(2212) suddenly strengthens the southwest airflow over the equator in the southern hemisphere as it approaches Taiwan Island. Under the influence of southwest airflow, Typhoon "Meihua"s path tilts northward, After passing through Taiwan Island, the subtropical high shows a trend of strengthening and extending westward, with the southeast airflow re strengthening and the "plum blossom" resuming its southeast northwest movement before turning. Some secondary reasons, such as the influence of Taiwan Island terrain and the role of the cyclone on the right side of Typhoon "Meihua", have not been analyzed in detail in this article; The intensity of Typhoon "Meihua" has been increasing overall before landfall, mainly due to the high ocean surface temperature in the southeast coastal area, which is above 26 °C, providing sufficient energy for the strengthening and development of the typhoon. But before the typhoon made landfall (September 12, 2023), there was an abnormal weakening of intensity, This is because the vertical wind shear of the environmental field increases. After the typhoon made landfall, due to a significant decrease in water vapor supply, the temperature of the underlying surface decreased, while friction

increased, and the intensity gradually weakened to disappearance.

**Key words:** Typhoon "Meihua"; Typhoon track; Changes in typhoon intensity; Path North Knock

# 1 引言

台风形成于热带或亚热带洋面上，具有组织对流和确定的气旋性地面风环流的非锋面的天气尺度低压系统，一般具有暖心结构。热带气旋强度一般由气旋中心底层平均最大风力和最低气压来定义，按照其强度可分为热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风。

西北太平洋的台风路径归纳起来主要可分为这样三条：西行路径，抛物线路径和西北方向移动路径（除异常路径之外）。<sup>[1]</sup>

（1）西行路径：台风在菲律宾以东的洋面上形成之后，向西运动，最终影响我国海南岛或者越南一带。

（2）抛物线路径：台风在菲律宾以东的洋面上形成之后，先向西北方向移动，登陆我国或者在我国东部海面上时路径发生改变，向东北方向移动，从而构成抛物线路径。抛物线路径又称转向路径，常影响我国辽宁一带。

（3）西北移动路径：台风在菲律宾以东的洋面上形成之后，沿西北方向移动，最终到达我国浙江沿海一带，影响我国华东地区。

一般认为：在环流背景十分强大时，台风路径受背景环流的影响如大尺度天气系统副热带高压、青藏高原南支槽、西风带槽脊系统等的强度及位置变化，在背景环流场较弱时，台风移动路径受到台风自身因素的影响，如台风内力；台风强度变化受到下垫面海表温度、环境分垂直风切变、底层水汽通量以及大范围环流背景等因素的影响。

台风在其移动和强度变化中经常会出现异常路径和异常强度变化的情况，常见的异常路径有路径北翘、西折、东折、原地打转和双台风互旋等等，常见的强度变化异常有强度突然增大或者异常减弱等情况。在实际业务预报工作中，台风的异常路径和强度变化始终是预报工作中的一个难点，预报的失准将给人类社会的生产生活带来巨大的灾害，造成巨大的经济损失甚至人员伤亡。

近年来，国内外学者通过对于大量台风个例的分析研究，提出了影响台风路径和强度变化的新观点。

针对台风异常路径，国内外学者提出了很多新的观点，如台风经过台湾岛时会出现跳跃和停滞打转等异常路径<sup>[2]</sup>、台湾岛地形诱生出一对偏差偶极涡可导致台风路径突然偏折<sup>[3-5]</sup>张胜军等<sup>[6]</sup>、陈联寿<sup>[7]</sup>等、段朝霞<sup>[8-10]</sup>等 则指出非对称的风场结构对南海台风路径北翘也有着显著的影响

针对台风强度变化的研究，张月<sup>[11]</sup>等人的研究结果表明台风所经过海面的海洋热量影响着台风的变化趋势，海洋热含量越高，台风后期发展的强度越大，台风等级也就越高。闫梓宇<sup>[12]</sup>提出季风涡旋可以通过与热带气旋叠加等三种动力机制影响热带气旋发展，季风涡旋伴随的环境场水汽分布也可能会影响热带气旋发展。余锦华<sup>[13]</sup>提出涡旋 Rossby 波传播对热带气旋强度变化的影响。

本文选取台风“梅花”(2212)作为研究对象,对其近海强度变化及路径北翘的成因进行分析总结,可以为今后类似台风的路径和强度预报提供参考。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料

本文主要使用两套资料:(1)从中国气象局热带气旋资料中心获取台风“梅花”(2212)最佳路径数据集,并绘制出图1台风“梅花”路径图和图5强度变化图;(2)从欧洲中期天气预报中心第五代大气再分析数据集(ERA5)获取2022年9月8日到9月16日逐小时,对流层各层次的位势高度、风速、海温资料,并以此绘制位势高度场、引导气流变化图、台风活动区域流场图、海温分布图以及垂直风切边图。

### 2.2 方法

本文从路径和强度变化两方面,通过对比分析等方法分析台风“梅花”(2212)的特征。

首先,通过分析台风“梅花”活动期间副高的变化以及各层次和平均引导气流的变化来确定台风路径整体呈现抛物线的原因,其中,台风“梅花”引导气流的计算方法如下:在距离台风“梅花”中心4个经度范围内、首先计算1000hPa-100hPa各层平均基本气流的大小和方向,然后选取850-200hPa之间的各层基本气流并对其做平均,计算得到整层平均引导气流,通过分析各层基本气流和整层平均引导气流来分析台风“梅花”(2212)的移动路径。

其次,通过绘制“梅花”(2212)路径发生北翘前后850hPa的风场来观察越赤道形成的西南气流的大小方向变化,从而确定台风“梅花”(2212)路径在台湾岛附近发生北翘的原因。

由以上方法便可确定“梅花”的路径。

接下来,通过绘制台风“梅花”所在海域表面温度,发现均在 $26^{\circ}\text{C}$ 以上,因此“梅花”登陆前在不断增前,而登陆后由于摩擦的增大,水汽供应的减少,强度不断减少。

同时,台风“梅花”在12日存在异常减弱的现象,在此作者选取850hPa和200hPa的风场资料,计算垂直风切变并绘制出图,发现在12日台风“梅花”活动区域垂直风切变存在增大的现象,这破坏了“梅花”的暖心结构,强度因此异常减弱。

## 3 台风“梅花”(2212)概况介绍

2212号台风“梅花”于2022年9月8日上午在西北太平洋生成,之后快速发展为强台风强度并向西北方向移动,14日20时于我国浙江登陆,15日0时在上海二次登陆(台风级),16日0时在山东青岛沿海三次登陆(热带风暴级),之后快速向东北方向移动,于同日12时在辽宁省大连市第四次登陆,之后逐渐减弱变性为温带气旋,中央气象台16日20时对其停止编号。



## 4 台风“梅花”（2212）路径成因分析

### 4.1 路径概况简介

台风“梅花”的运动轨迹大体沿副热带高压左侧边缘做抛物线路径运动，在北纬 35 度以南时，大致向西北方向移动，到达北纬 35 度以北之后，发生转向，向东北方向移动，并在我国多次登陆，如下图 1a。

其中值得注意的是，台风“梅花”在台湾岛东南侧向西北方向移动时，于 9 月 11 日上午 6 时，路径突然北折，强度也突然加强，取道台湾岛右侧海域向北移动而不经台湾。运动到台湾岛东北侧之后，于 9 月 13 日 20 时恢复向西北方向移动，强度减小，并沿副热带高压左侧边缘做顺时针运动，如图 1b。如果台风“梅花”在 11 日沿西北路线继续移动而不发生北折，台风将登陆我国台湾省北部，对我国台湾岛北部造成巨大影响。这其中的原因值得我们探索和深思，以便在日后的台风预警预报和灾害防护中提供借鉴意义。

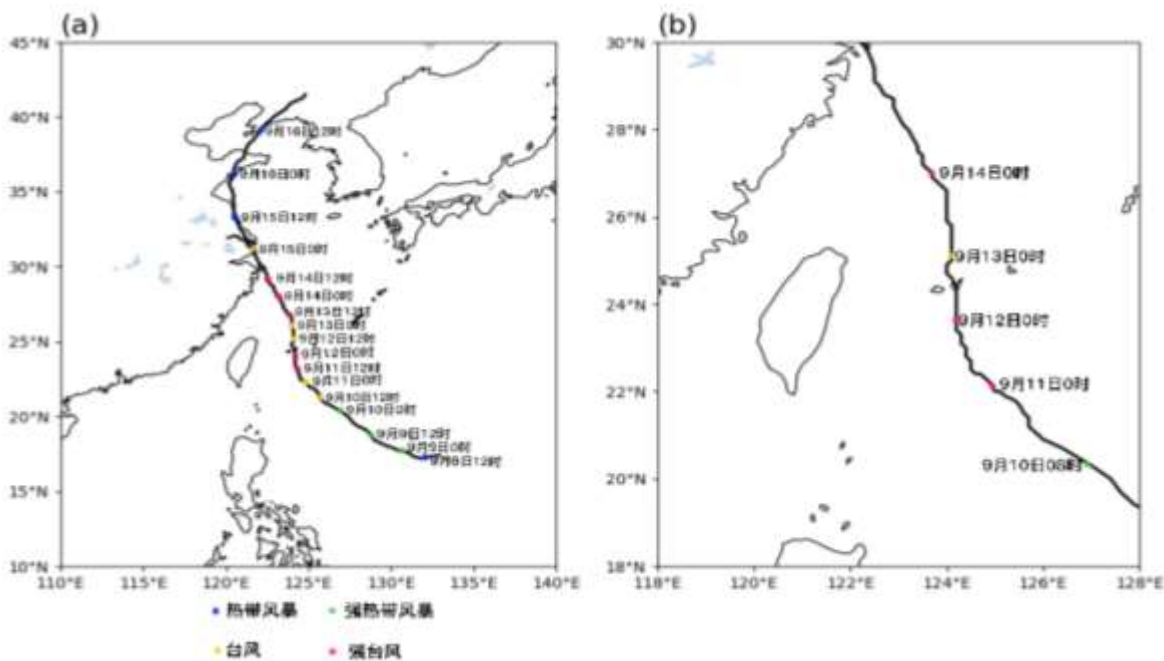


图 1 “梅花”（2212）整体路径图（a）和局部北翘路径图（b）

### 4.2 台风“梅花”（2212）抛物线路径成因分析

#### 4.2.1 500hPa 环流形势场分析

台风移动路径受背景环流的影响和主导，如大尺度天气系统副热带高压、青藏高原南支槽、西风带槽脊系统等的强度及位置变化。在台风“梅花”（2212）的移动过程中，副热带

高压东亚地区西风带槽对其产生了最为直接和主要的控制作用。

如图 2，其中图 2a 到图 2f 分别为 9 月 10 日到 9 月 15 日 0 点 500hPa 位势高度场，图中橘色部分区域表示位势高度大于 5880 位势米的区域，可代表副热带高压所在区域。分析此形式场可知：

（1）低纬度地区在东亚沿岸存在一个竖槽，且竖槽在这几日不断发展加深，槽后存在着偏北气流，这有利于输送台风，使得台风“梅花”（2212）登陆后继续北上；

（2）东亚大槽后部存在副热带高压带，且副热带高压在东亚地区，台风“梅花”（2212）形成和运动期间，不断地东退减弱，由最开始的东-西带状分布逐渐演变为块状分布。

在 9 月 10 日之前副热带高压为东-西带状分布，其存在阻碍了台风“梅花”（2212）的发展和北上，因此“梅花”（2212）在初始时刻只能沿偏西路径移动。

但在 9 月 11 日之后副热带高压大幅度东退减弱，并且东亚大槽加深发展，槽后的偏北气流接应台风“梅花”（2212）的北上。这为台风“梅花”（2212）的北上以及登陆创造了良好的条件。此后由于副热带高压减弱东退，台风“梅花”（2212）则可以沿副热带高压西南侧边缘不断移动北上。在 9 月 15 日之前均位于副热带高压西南侧，受引导气流控制向西北方向移动。

在 9 月 15 日，台风“梅花”（2212）移动到北纬 35 度以北，越过副热带高压中心所在纬度，此后，引导气流发生转向，变为西南气流，台风“梅花”（2212）的移动路径也发生了转向，由向西北方向移动转变为向东北方向移动。并在此之后“梅花”（2212）的强度不断减弱，直至消失。

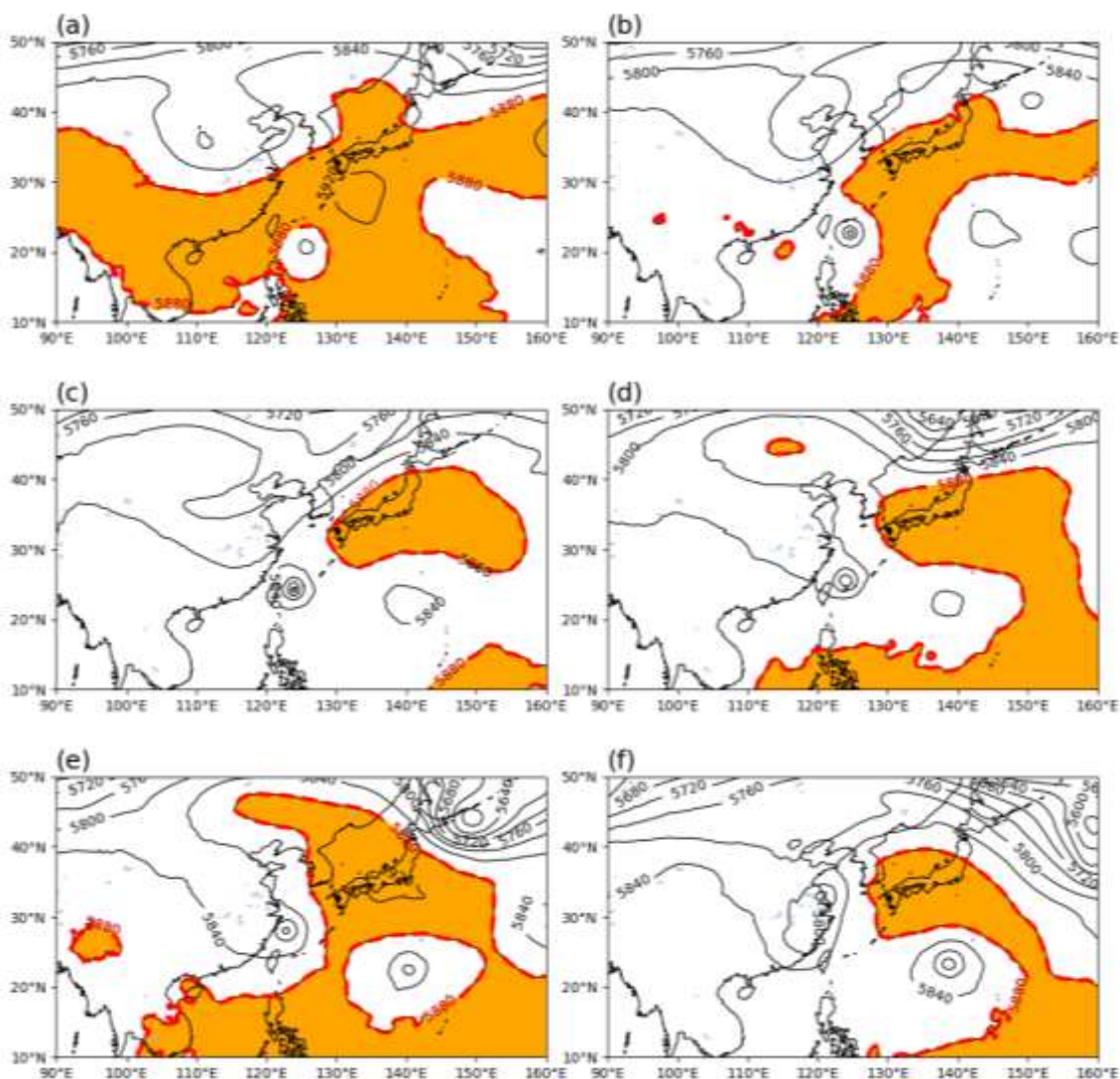


图 2 9 月 10 日到 9 月 15 日 0 时 500hPa 位势高度场（位势米）（a、b、c、d、e、f 分别对应 9 月 10 日 0 时、9 月 11 日 0 时、9 月 12 日 0 时、9 月 13 日 0 时、9 月 14 日 0 时、9 月 15 日 0 时）

由此可见，副热带高压、东亚地区西风带大槽等系统是影响台风“梅花”路径的主要系统。一般来讲，常规台风移动路径大致分为三类：西行路径，抛物线路径以及西北方向移动路径。

台风“梅花”的移动路径可以归类为抛物线路径。对于此类台风路径的预报着眼点如下：主要观测台风所处的环境场风向的变化，如果台风最初处于低纬度的东风带，随着向北移动台风会进入中纬度西风带，那么台风移动方向便会由最初的向西运动转为向东运动，从而构成抛物线路径。此种情形常见的环流形势为东亚地区为经向型环流，在东亚沿岸常常存在着一个较为深厚的大槽，从而接应北上登陆的台风继续向北移动；同时副热带高压在台风移动的过程中往往减弱东退或者由于台风强度过大而从中间断裂。台风在引导气流的作用下会沿

着副高边缘做抛物线路径移动。

同时台风与副高之间存在着相互影响的关系，不仅副热带高压的存在会引导台风的移动，台风的存在也会造成副热带高压的位置和强度变化。例如台风“梅花”在 9 月 10 日距离副热带高压位置非常近，有北上趋势，且强度不断增强，这是迫使副热带高压在 11 日有所东撤和形态由带状变为块状的因素之一。在台风移动常规路径的预报中，除了要依赖数值模式给出的预报结果，也要分析周围环境场的变化，二者结合才能使得预报结果更加准确<sup>[14-21]</sup>。

#### 4.2.2 引导气流计算

引导气流方法是预报台风路径的常见方法之一。在多数情况下，台风的移动与其环境流场的基本气流较为一致。因此计算台风所处环境场的引导气流，分析引导气流的变化来预测台风在未来时刻的移动轨迹是一种不错的方法。

对于一般的热带气旋运动，常用的是在距离台风中心 4 个经度范围内、850-200hPa 之间的整层平均风计算所得引导气流与台风的移动方向、速度具有一致性。

为了研究引导气流对台风“梅花”的移动的影响，本文采取的台风“梅花”引导气流的计算方法如下：在距离台风“梅花”中心 4 个经度范围内、首先计算 1000hPa-100hPa 各层平均基本气流的大小和方向，然后选取 850-200hPa 之间的各层基本气流并对其做平均，计算得到整层平均引导气流，通过分析各层基本气流和整层平均引导气流来分析台风“梅花”（2212）的移动路径。计算公式如下：

$$V_{\text{steer}} = \frac{\int_{850\text{hPa}}^{200\text{hPa}} V_s(p) dp}{\int_{850\text{hPa}}^{200\text{hPa}} dp} \quad (1)$$

其中， $V_s(p)$ 表示台风中心 4 个经度范围内，各层平均引导气流。计算公式如下：

$$V_s(p) = \frac{\int_{0^\circ}^{4^\circ} \int_0^{2\pi} V_s(p) dp}{\int_{0^\circ}^{4^\circ} \int_0^{2\pi} r dr d\theta} \quad (2)$$

绘制出台风“梅花”活动期间各层平均气流和整层平均引导气流如图 3 所示。

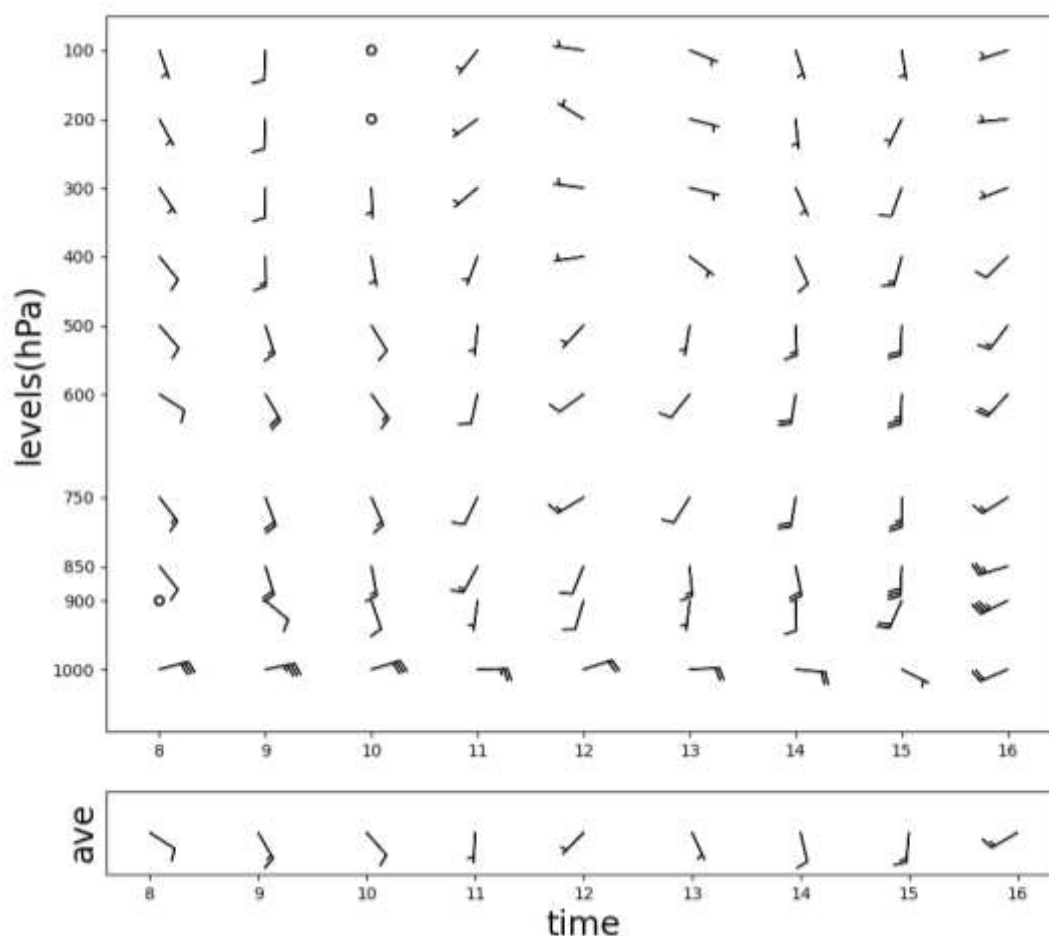


图 3 9 月 8 日-9 月 16 日对流层各层次基本气流和整体平均引导气流（圆圈表示风速小于 2 米/秒，短杆表示 2 米/秒，长杆表示 4 米/秒）

由图 3 中的风向杆变化可知，引导气流大体上由东南风转向变为西南风，并且在 11 日、12 日引导气流发生了一次异常改变，这分别对应台风“梅花”的抛物线路径和异常北翘路径。

台风“梅花”路径发生北翘之前，整层平均引导气流指向西北方向，但也在缓慢的由西北偏西方向转为西北偏北方向，这暗示着“梅花”发生北翘之前，一直沿着副高西南侧边缘向西北方向运动，实际情况也是台风“梅花”在 11 日之前大体向西北方向移动，与图中引导气流方向一致。

在 11 日、12 日两日，由图 3 可知引导气流的方向发生的大幅度的变化，由东南气流转为西南气流，这预示着台风“梅花”的移动路径将发生较大幅度的改变。实际情况也完全符合判断，在 11 日、12 日两日，台风“梅花”在经过台湾岛附近时，路径突然北翘，由西北方向移动转为向北运动。

在 13 日到 14 日，引导气流恢复东南气流，台风“梅花”也恢复原来的移动路径，向西

北方向移动。这与实际情况中副高突然西伸加强,“梅花”重新位于副高西南缘的情况相符。

在 14 日之后,引导气流转为西南气流,且强度风速加大,这预示着台风“梅花”的移动路径将再次发生变化,且移动速度大幅增加。实际情况也完全符合,在 14 日之后,台风“梅花”越过北纬  $30^{\circ}$ ,运动到副高西北侧,收到西南引导气流的控制向东北方向移动,且移速大大增加,仅仅两天就四次登录,由我国浙江一带席卷到我国辽宁地区。

由上述分析可知,对流层整层引导气流的变化与台风移动的速度和方向的变化具有高度的一致性,对流层整层引导气流的速度和方向发生变化,台风的移动速度和方向也会跟着变化,实际业务工作中,可以使用对流层整层平均引导气流来预报台风的速度和移动路径变化。

### 4.3 台风“梅花”(2212)在台湾岛附近发生北翘的成因分析

#### 4.3.1 台风西南侧越赤道西南气流加强

对于大概率的台风正常路径,各种主观和客观预报方法预报台风未来 24h 或 48h 的位置都具有较高的正确性,但对常常出现的小概率的台风异常路径和难以预料的路径(统称疑难路径),各种预报方法的正确性大大下降,预报比较困难,有时用不同方法预报同一个台风而得出的结果完全相反。

本文所研究的台风“梅花”在台湾岛附近发生了明显的路径北翘(9月11日6时起)。这类北翘路径难以预报,预报的失误会造成严重的损失。

低纬度台风路径突然发生北翘,主要原因是受热带或者副热带突变气流的影响。常见的形式有赤道缓冲带或赤道反气旋突然加强并且北上,其北侧的偏西气流也会一起北上,在低纬度台风南侧就会加强一股西-西南气流,使得台风路径发生异常,或北折,或东折。图 4a 到图 4d 分别为 9 月 9 日至 9 月 12 日 0 时四个时刻的流场叠加位势高度场图,反应了台风“梅花”路径发生北折前后(9 月 9 日 0 时、9 月 10 日 0 时、9 月 11 日 0 时、9 月 12 日 0 时)低纬度地区气流强度和方向的变化。从图中分析可以看到,图中出现了两个距离较近的气旋式环流,其中左侧为强台风级别的“梅花”,右侧为还未增长到热带风暴强度的“南玛都”,后者将在 14 日增长为热带风暴级别。



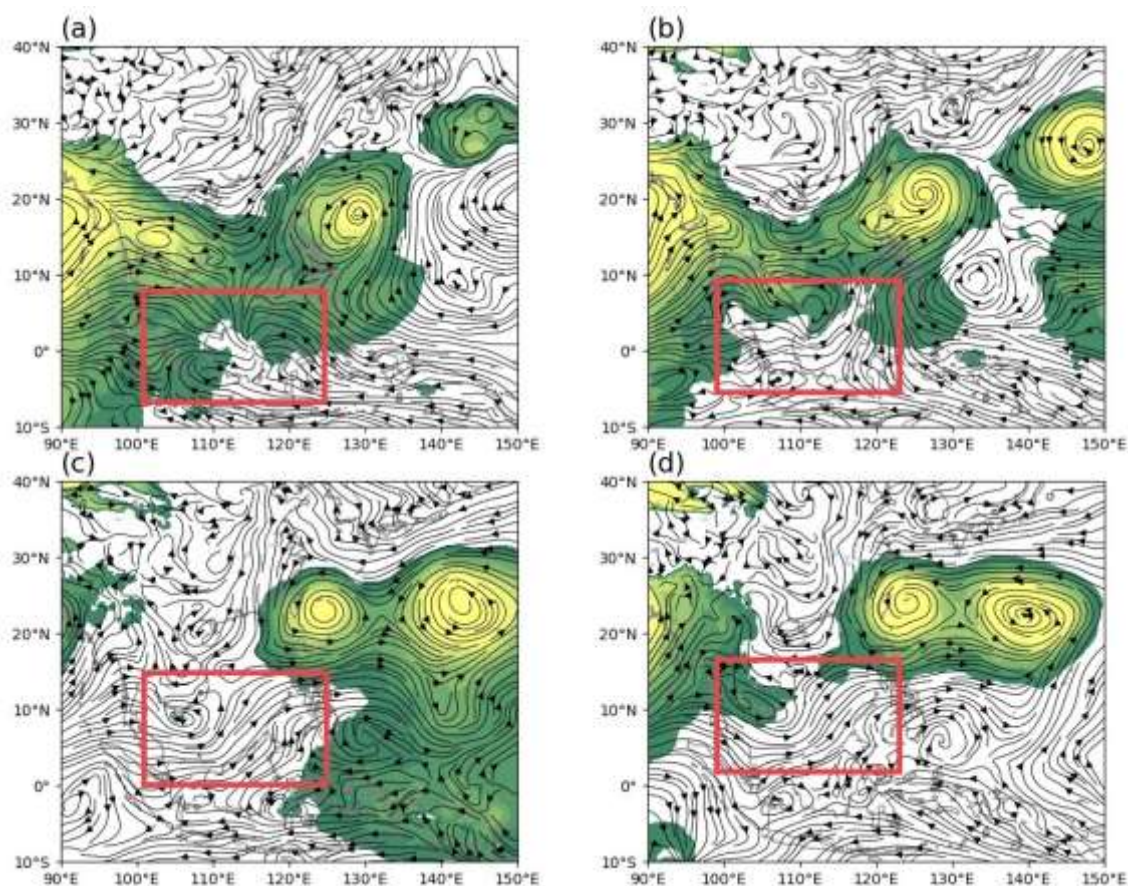


图 4 9 月 9 日-9 月 12 日 0 时对流层 850 百帕流场图(a、b、c、d 分别对应 9 月 9 日 0 时、9 月 10 日 0 时、9 月 11 日 0 时、9 月 12 日 0 时)

观察图 4 红框区域，在台风“梅花”路径发生北翘的前两天（9 日，10 日），其西南侧并没有明显的大风，而在 9 月 11 日，赤道缓冲带加强，其北侧的跨赤道西南信风也突然加强，此时台风正位于台湾岛附近，因此在西南风引导气流的作用下，台风“梅花”突然改变路径，发生北折。

#### 4.3.2 台风“梅花”（2212）与右侧热带气旋的相互作用

夏季西太平洋上常常存在着两个台风共同存在的情况，如果两台风中心间距不大，则会绕着两台风中心连线上的某点产生一定角度的互旋。据统计，一般两台风中心间距大于 12 个纬度的双台风互旋角度有限，在 12 个纬度以内的双台风会产生较强的互旋作用，而中心间距在 6.5 个纬度以内的双台风会产生强烈的互旋作用。

值得注意的是，台风“梅花”在临近台湾岛时，其右侧产生了一个较为强烈的气旋式低压环流，两者间的气流存在一定的相互作用，如图 4 所示。但右侧气旋尚未达到热带风暴强度级别，且“梅花”与右侧气旋中心间距大约在 20 个纬度左右，可以认为两者存在一定的互旋作用但是作用十分有限，配合台风“梅花”西南侧的西南风共同作用使得台风“梅花”

(2212) 路径发生北翘。

#### 4.3.3 台湾地形对台风“梅花”(2212)路径北翘存在一定作用

以上的分析作者认为仅仅是台风“梅花”(2212)路径发生北翘的部分,近年来随着对于台风异常路径研究的不断深入,我国学者对台湾岛附近台风异常路径提出了一种全新的观点,这种观点认为台湾岛地形的存在也会对台风路径产生巨大的影响。例如罗哲贤等人<sup>[22]</sup>提出,台湾岛的存在,对于位于台湾岛东侧洋面且距离小于150km的台风有显著的影响作用,会使这样的移动路径右偏,偏移幅度可达到100km左右。同时,段朝霞等人<sup>[23]</sup>指出由于中低层风场分布不对称,可能使得台风移动出现异常路径。这种风场分布不对称的变化使强台风“黑格比”西折、快速移动。因此在预警预报过程中也需要考虑台风周围背景风场的结构。本文在此并未过多讨论台湾岛地形对于此次台风“梅花”(2212)个例异常路径北翘的影响,因为上述原因已经足够可以解释,不过作者认为在日后的台风路径模式预报中,有必要考虑台湾岛地形对于台风异常路径的影响效果。

## 5 台风“梅花”(2212)强度变化成因分析

### 5.1 台风“梅花”(2212)强度变化情况简介

2022年第12号台风“梅花”于2022年9月8日上午在西北太平洋生成并具有热带风暴强度,在9月14日台风“梅花”登陆浙江前强度大体上不断加强,除了在12日有一次异常减弱的情况外。具体情况为:进入东海海域后,在9月9日02时,由热带风暴强度加强为强热带风暴;在9月10日11时,由强热带风暴加强为台风;在9月11日03时,由台风强度加强为强台风强度,并在此后路径发生北翘;在9月12日17时,强度由强台风强度异常减弱为台风强度;在9月13日6时后由台风强度加强为强台风强度。

台风“梅花”在9月14日20时在我国浙江沿海登陆(强台风级),登陆后在14日22时,由强台风减弱为台风,并在此后台风强度不断减弱,由台风强度变为强热带风暴,再到热带风暴强度,直至16日消失。作者从欧洲中期天气预报中心获取“梅花”的最佳移动路径数据集,绘制了台风“梅花”中心最低气压和最大风速的变化图,借此体现台风强度的变化情况。



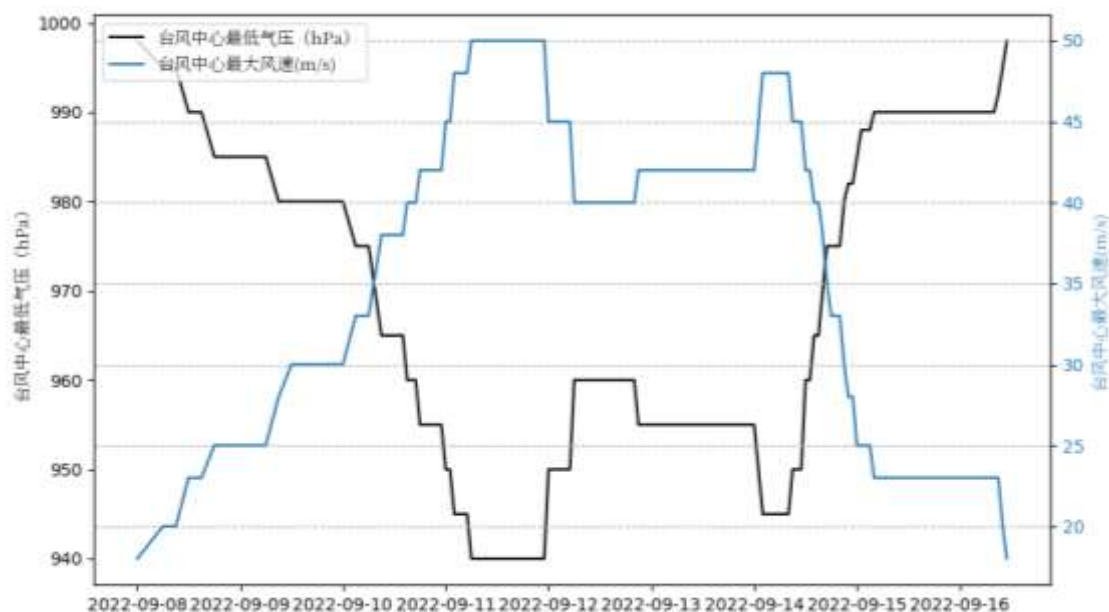


图 5 台风“梅花”（2212）强度变化图

## 5.2 台风登陆前后强度变化的原因分析

一般认为，台风发展的有利条件有如下：

1、台风必须处于暖湿的下垫面洋面，海表温度必须处于 26 或 27 摄氏度以上。温暖的海洋储存着足够的热能，能够台风的发生发展提供足够的能量

2、台风所处周围环境场必须具有较小的垂直风切变<sup>[24-27]</sup>。较小的垂直风切变有利于维持水汽凝结释放潜热的能量在一个相对有限的空间内，从而形成暖心结构。

3、台风想要发展，就必须要有充足的水汽条件。水汽能够通过台风内部蒸发释放潜热来使台风维持和发展。

正如上述所言，台风之所以能够形成，是由于初始扰动的存在使得具有条件不稳定能量的大气释放不稳定能量，这种能量具体表现为积云对流潜热释放所产生的能量。积云对流中的暖湿气流在上升过程中不断冷却，在中高层释放潜热，加热中高层大气，使得中高层大气产生辐散，在质量连续的作用下加强了低层大气的辐合，而低层大气辐合产生上升气流又能反过来加强积云对流的潜热释放。这种积云对流潜热释放和大尺度扰动辐合的正反馈机制，成为第二类条件性不稳定机制，是公认的台风发生发展的物理机制。

### 5.2.1 台风登陆前强度整体增加的原因

基于上述理论可知，在台风活动期间的附近环境，下垫面温度越高，越有利于台风的发

生发展。作者从欧洲中期天气预报中心获取台风“梅花”形成期间，活动区域的 1000hPa 下垫面温度数据，并绘制图 6，借此分析台风在登陆前强度不断增加以及异常减弱的原因。

图 6 中，有颜色区域为下垫面温度在 26℃以上，且温度越深，颜色越暖。由图 6 分析可知，我国东南沿海海域海洋表面温度普遍在 26℃以上，这十分有利于台风“梅花”强度的增长，实际情况也与分析一致，在台风“梅花”登陆之前，有温暖的海洋表面为其提供充足的发展所需要的能量，因此“梅花”强度一直在增加，除了 12 日异常减弱后面会另作分析。

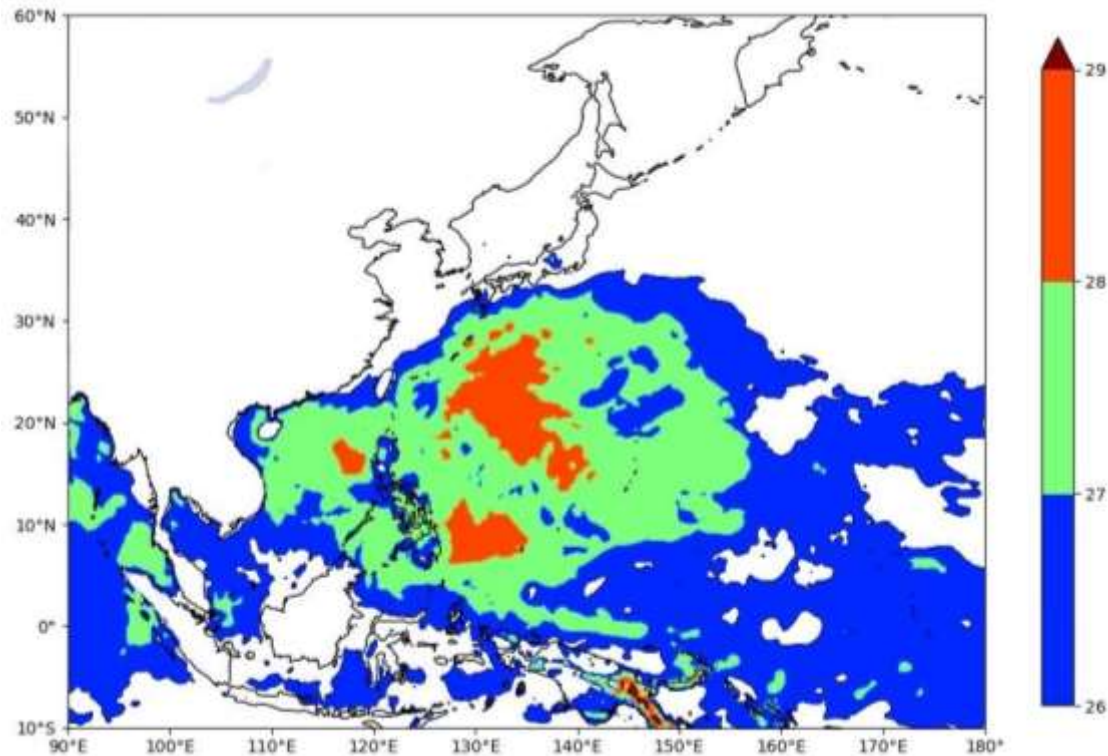


图 6 9 月 9 日-9 月 11 日平均海温（摄氏度）

5. 2. 2 台风登陆后强度减弱但持续时间较长的原因分析

台风登陆后大概有以下两种结果：一种是台风强度逐渐减弱，直至最后消失。这是因为台风登陆之后，地面摩擦力显著增大，同时由于下垫面是陆地而非海洋，因此水汽输送大幅度减少，温度大幅降低，台风发生发展的能量供应减少，台风因此逐渐消亡。另一种是台风登陆后由于高纬度冷空气有南下趋势，进入台风的暖心结构，因此台风的热力性质发生改变，不再是只具有单一的暖心结构，伴随着高纬度冷空气的入侵，冷暖空气在台风内部相遇，最终逐渐发展为温带气旋。

由图 6 可知，我国东部沿海陆地区域温度普遍在 26 以下，因此“梅花”（2212）在登陆之后，由于下垫面温度降低，水汽供应减少，且摩擦力大幅度增加，强度在不断减弱。

图 7 折线图给出了 8 日到 16 日台风“梅花”活动区域 4 个经度范围内每日平均下垫面温度变化与“梅花”所在同纬度 90° E 到 160° E 平均下垫面温度对比图，由图中可以明显发现，在 14 日台风登陆浙江前，台风“梅花”活动区域 4 个经度范围内平均下垫面温度比“梅花”所在同纬度 90° E 到 160° E 平均下垫面温度要高，这说明下垫面温度有利于台风的发生发展。而在台风 14 日登陆之后，台风“梅花”活动区域 4 个经度范围内平均下垫面温度比“梅花”所在同纬度 90° E 到 160° E 平均下垫面温度要低，这符合台风“梅花”登陆之后强度不断减弱的事实。

由上述分析可以发现，台风所在下垫面温度对于台风的发生发展具有重要影响，在实际预报业务中，应该把下垫面温度作为预报台风强度变化的重要指标。

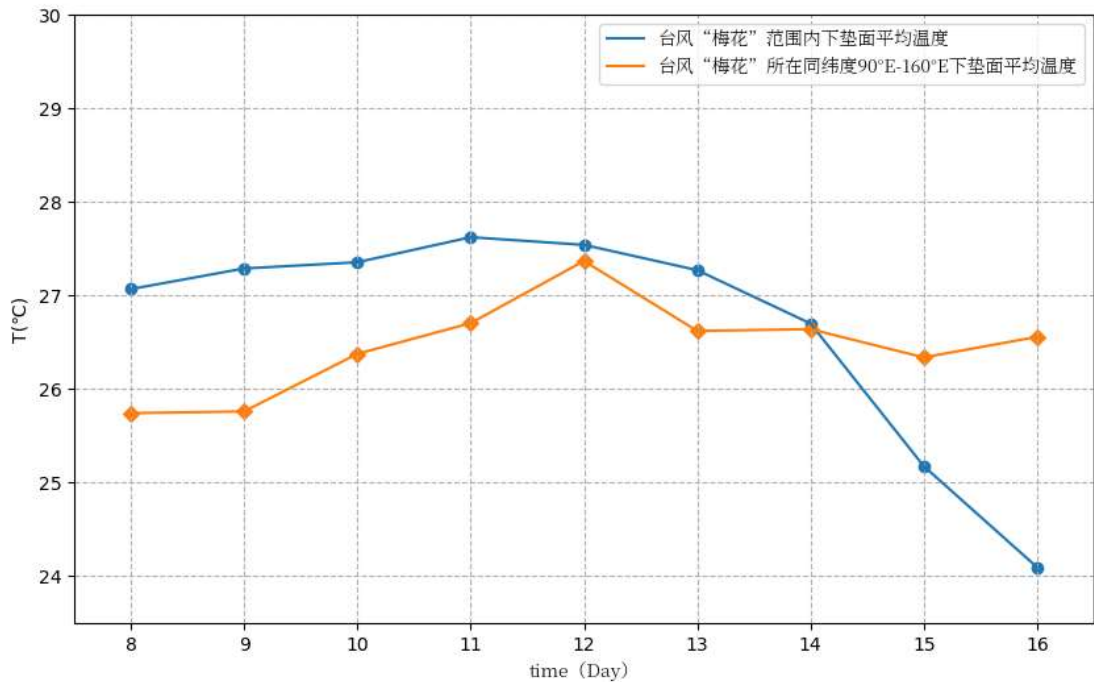


图 7 “梅花”（2212）下垫面温度对比图（摄氏度）

同时，台风“梅花”登陆后强度减弱但并未立刻消亡，而是从我国东南沿海一带一直运动到辽宁一带，持续时间较长。

如果台风登陆后，在海上还有另一台风存在，使台风北侧维持一大范围的偏东气流或低空东风急流，此东风急流使海洋上的水汽不断地向登陆台风输送，提供能量（水汽凝结释放潜热），则登陆台风减弱消失较慢，能维持较长时间。

图 8 给出了台风登陆后流场叠加位势高度图，图 8a 到图 8d 分别为 14 日 20 时，15 日 8 时、20 时以及 16 日 8 时。图 8a 和图 8b 中，左侧台风为“梅花”（2212），右侧台风为“南玛都”。可以发现台风“梅花”登陆北上的过程中，右侧台风“南玛都”北侧维持着较强的东风气流，将温暖洋面上的暖湿空气输送到陆地上的台风“梅花”（2212）中心，并通过水汽上升的潜热释放为其提供能量，正因如此，台风“梅花”登陆之后能够维持较长时间，从

浙江一带一路北上至辽宁地区。

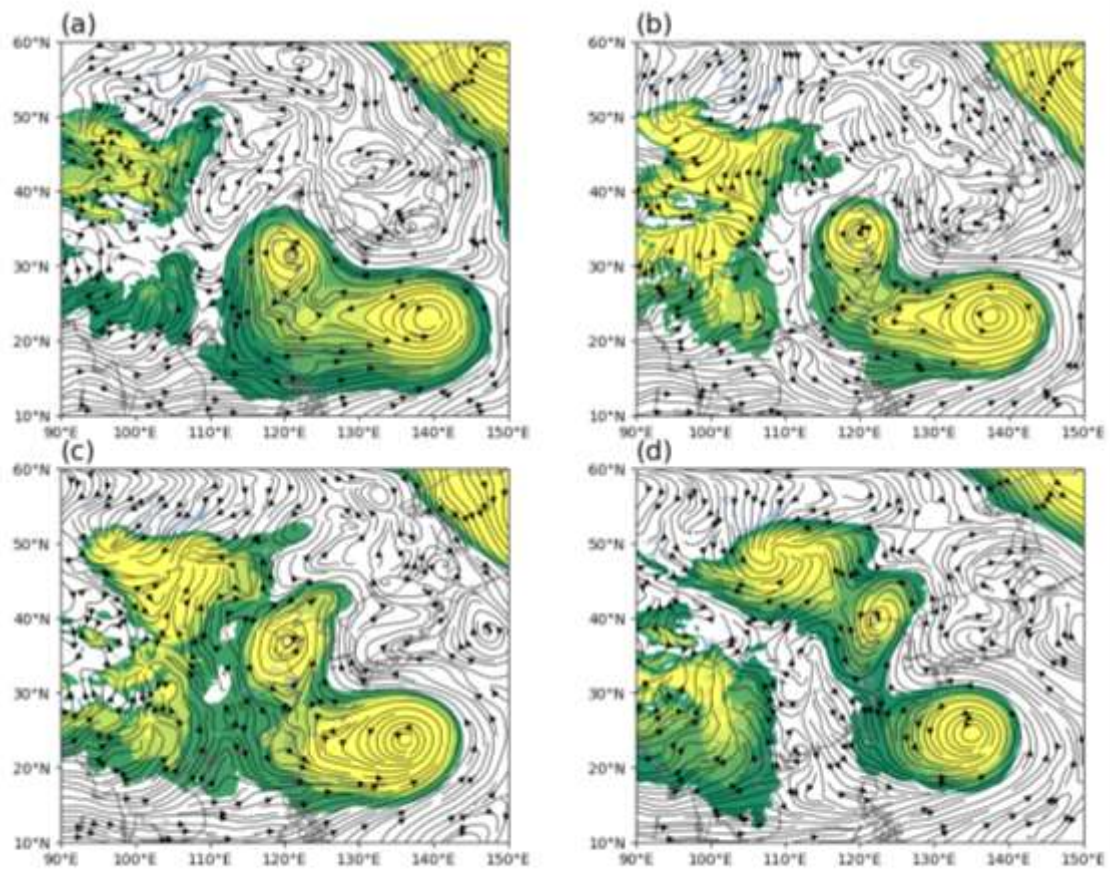


图 8 “梅花”(2212) 登陆后 850 百帕流场图(图 8a 到图 8d 分别对应 14 日 20 时, 15 日 8 时、15 日 20 时以及 16 日 8 时)

5.2.3 台风在 9 月 12 日强度异常减弱的原因分析

台风“梅花”进入东海海域后,在 9 月 9 日至 9 月 11 日,台风强度不断加强,这是由于“梅花”处于温暖的海洋表面为其提供充足的能量供应,同时环境场垂直风切变不大,有利于在局部区域积累能量,形成暖心结构,强度不断加强;但在 9 月 12 日 17 时,“梅花”强度由强台风强度异常减弱为台风强度,在 9 月 13 日 6 时后“梅花”(2212)由台风强度重新加强为强台风强度。

为了探究其中的原因,作者从“梅花”在不同时刻所处下垫面温度以及背景场垂直风切变两个角度进行分析。

首先,从图 6 中信息分析可知,在 14 日台风“梅花”登陆之前,其下垫面温度都处在 26℃ 以上。因此从能量供应的角度来说,“梅花”具有充足的能量供应来使其发展。



接下来,为了探究台风“梅花”在12日异常减弱的原因,作者选取了11日6时、11日18时、12日18时、13日18时四个时刻,从欧洲中期天气预报中心获取风速资料,绘制了台风梅花所处背景场的垂直风切变填色图,来研究背景场垂直风切变的变化对“梅花”(2212)强度变化的影响。计算公式如下:

$$S=\sqrt{(u_{850hPa}-u_{200hPa})^2+(v_{850hPa}-v_{200hPa})^2} \quad (3)$$

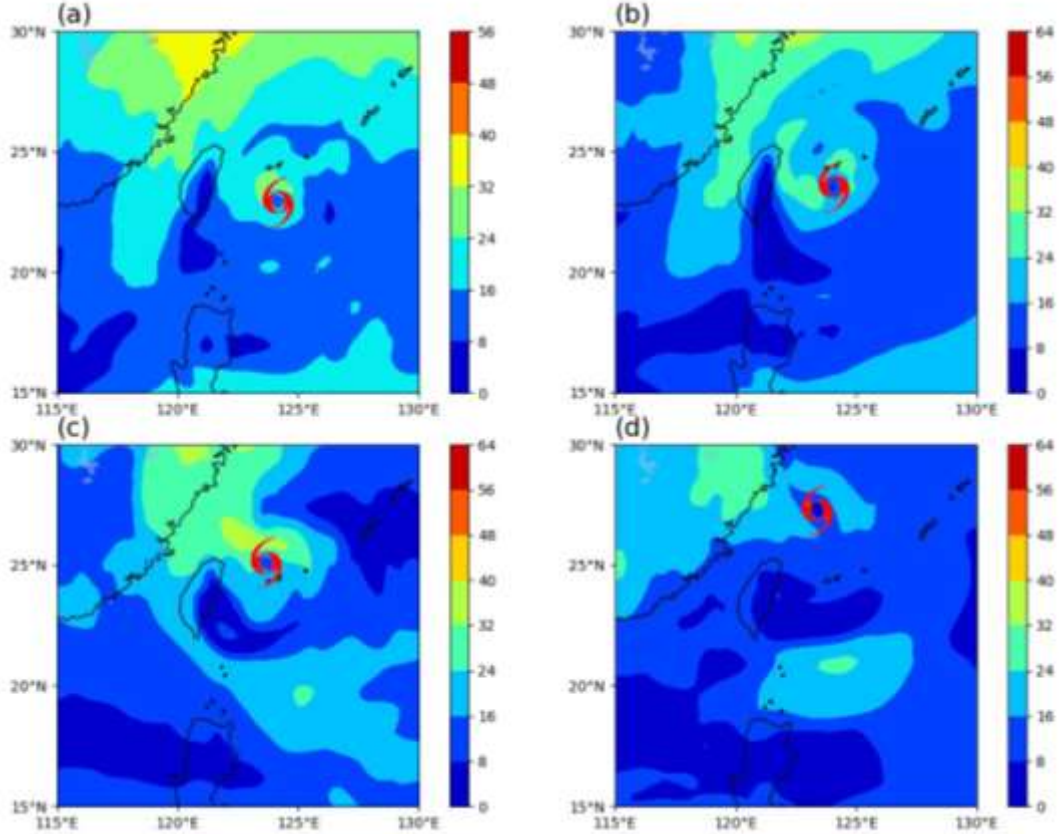


图 9 环境场 850 百帕-200 百帕垂直风切变填色图(图 9a 到图 9d 分别对应 11 日 6 时、11 日 18 时、12 日 18 时、13 日 18 时四个时刻)

计算垂直风切变并绘制出图 9。观察可以发现,11 日 6 时到 11 日 18 时“梅花”所处背景场的垂直风切变在减小,这也与实际情况“梅花”的强度增大一致;而在 12 日 18 时,“梅花”所处环境背景场的垂直风切变明显较之前增大很多,垂直风切变的增大不利于台风内部水汽凝结释放潜热的积累,破坏了台风的暖心结构,因此台风“梅花”(2212)强度开始减弱。而至于台风“梅花”所处环境场垂直风切变突然增大的原因,作者认为是由于在 12 日对流层底层的越赤道西南气流突然增大,这股气流是使得台风“梅花”路径北翘的原因之一,同时也是使得环境场垂直风切变增大,台风强度减弱的原因;在 13 日 18 时,环境场的垂直风切变大幅度减小,与实际情况台风“梅花”(2212)强度重新增强至强台风的情

况一致。

## 6 结论与讨论

多次登陆台风“梅花”(2212)的路径及强度演变特征分析大致如下:

(1)“梅花”(2212)整体沿抛物线路径运动是受副热带高压的控制,台风在较强的引导气流作用下,沿着副热带高压左侧边缘运动,在北纬 $30^{\circ}$ 之前向西北运动,越过副热带高压中线时,转向东北运动,由此构成了整体的转向路径;同时,“梅花”在经过台湾岛附近时存在着路径突然北翘的情况,正是由于其西南侧的越赤道气流,在北半球形成一股较为强劲的西南气流,作用于台风“梅花”上面,使得台风“梅花”路径发生北翘,之后由于副高的加强西伸,东南气流加强,台风“梅花”再次恢复向西北方向移动,即恢复沿抛物线路径移动。

(2)“梅花”(2212)强度在登陆前大体上不断加强,是由于“梅花”登陆前处于海表温度普遍在 $26^{\circ}\text{C}$ 以上的温暖洋面上,为“梅花”的发展提供了充足的能量和水汽供应;“梅花”在12日强度异常减弱是由于:台风“梅花”在浙江登陆之后,强度不断减弱,是因为陆地表面温度低于 $26^{\circ}\text{C}$ ,且水汽供应大幅度减少,摩擦却大幅度增加,使得台风“梅花”强度不断减弱。而其登陆之后能够维持较长时间,从我国浙江一带运动到辽宁一带的原因是“梅花”登陆之后右侧海洋上存在台风“南玛都”,“南玛都”北侧的东风气流不断的将温暖洋面上的暖湿空气输送给“梅花”,为“梅花”提供能量,使得“梅花”能够维持较长的时间。

本文在分析台风“梅花”(2212)路径发生北翘的原因时,结合了双台风互旋理论,台湾岛地形影响,但并未对此做更加深刻的研究和分析。但在实际业务预报中,研究经过台湾岛附近的台风则必须考虑地形的影响。

## 参考文献

- [1] 朱乾根、林锦瑞、寿邵文、唐东昇. 天气学原理和方法[M]. 4 版. 北京: 气象出版社, 2000: 521-522.
- [2] 孟智勇, 徐祥德, 陈联寿. 台湾岛地形诱生次级环流系统对热带气旋异常运动的影响机制[J]. 大气科学, 1998(02): 28-40.
- [3] Holland, G. J., 1983, Environmental interaction plus a Beta effect, J. Atmos. Sci., 40, 328~342.
- [4] Fiorino, M. and R. T. Elsberry, 1987, Some aspect of vortex structure related to tropical cyclone motion, J. Atmos. Sci., 46, 975~990.
- [5] Anthes, R. A. and T. T. Warner, 1978, Development models suitable for air pollution and other meso-meteorological studies, Mon. Wea. Rev., 106, 1045~1078.
- [6] 高拴柱, 张胜军, 吕心艳等. 南海台风生成前 48h 环流特征及热力与动力条件[J]. 应用气象学

报, 2021, 32(03):272-288.

- [7] 李英, 登陆热带气旋维持的次天气尺度环流特征. 北京市, 中国气象科学研究院, 2009-01-01.
- [8] 段朝霞, 苏百兴. 0601 强台风“珍珠”北翘路径分析[J]. 广东气象, 2007, No. 120(02):42-43.
- [9] 段朝霞, 苏百兴. 1013 号超强台风“鲇鱼”北折路径分析[J]. 海洋预报, 2011, 28(05):21-24.
- [10] 李霞, 何如意, 段朝霞等. 台风“韦森特”路径突变和近海加强的成因分析[C]//中国气象学会. 创新驱动发展 提高气象灾害防御能力——S13 热带海洋气象. [出版者不详], 2013:10.
- [11] 张月, 谢涛, 鄢俊洁等. 利用 FY-4A 卫星资料研究海洋热含量对台风强度的影响[J]. 海洋通报, 2022, 41(06):683-690.
- [12] 闫梓宇. 西北太平洋季风涡旋和高层冷涡影响热带气旋强度及路径的机理研究[D]. 南京信息工程大学, 2021. DOI:10.27248/d.cnki.gnjqc.2021.000043.
- [13] 余锦华. 地形对涡旋 Rossby 波传播和台风强度变化影响的研究[D]. 南京气象学院, 2003.
- [14] 卢山, 邓文剑. 源自东风波台风“灿都”发展过程的结构特征分析[J]. 热带气象学报, 2013, 29(1):93-98.
- [15] 舒锋敏, 罗森波. 台风“海高斯”过程及登陆减弱后再次加强的影响因素分析[J]. 热带气象学报, 2010, 26(3):317-324.
- [16] 李霞, 林少冰, 王捷纯, 等. 利用卫星资料分析台风“浪卡”的非对称结构及降水[J]. 广东气象, 2011, 33(3):1-6.
- [17] 韦寿赛, 梁玉春, 梁毅进, 等. 2008 年 12 号台风“鹦鹉”偏心结构成因分析[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(3):27-30.
- [18] 李彩玲, 寿绍文, 陈艺芳. 台风“风神”暴雨落区的诊断分析[J]. 热带气象学报, 2010, 26(2):250-256.
- [19] 周明飞, 万雪丽, 杜小玲. “凡亚比”台风与冷锋共同造成湘黔暴雨成因分析[J]. 贵州气象, 2011, 35(3):13-17.
- [20] 朱亚平, 刘健文, 张翔, 等. 利用 AMSU-B 和 GOES-9 卫星资料对热带气旋“蒲公英”的分析[J]. 热带气象学报, 2009, 25(2):147-153.
- [21] 朱会芸, 熊双全. 台风“碧利斯”天气过程的诊断分析[J]. 中国防汛抗旱, 2008, 3:24-26.
- [22] 罗哲贤, 陈联寿. 台湾岛地形对台风移动路径的作用[J]. 大气科学, 1995(06):701-706.
- [23] 段朝霞, 苏百兴, 黄莉莉. 0814 强台风“黑格比”西折、快速移动和强度分析[J]. 广东气象, 2010, 32(01):18-21.
- [24] 狄利华, 姚学祥, 解以杨, 等. 冷空气入侵对 0509 号台风“麦莎”变性的作用[J]. 南京气象学报, 2008, 31(1):18-25.
- [25] 苏丽欣, 黄茂栋, 黄晴晴, 等. 近 10a 西北太平洋海域登陆台风的环境场特征分析[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(4):11-13.
- [26] 于玉斌, 陈联寿, 杨昌贤. 超强台风“桑美”(2006)近海急剧增强特征及机理分析[J]. 大气科学, 2008, 31(1):18-25.

- [27] SHEN W X, GINIS I, TULEYA R E. A numerical investigation of land surface water on landfalling hurricanes[J]. J Atm Sci, 2002, 59(4):789-802.



## 致谢

首先感谢南京信息工程大学的良好教学环境，感谢母校为我的四年本科生活提供了良好的学习环境和便捷的基础设施。身边的同学和朋友，有你们，我的大学才算完整。寝室的密友，你们犹如上天恩赐，我们的友谊就似湖水清澈。感谢考研时的一直陪伴我鼓励我的家人和我的女朋友，那段奋斗的时光将在我的记忆里永远熠熠生辉。

回顾四年以来的学习和生活，我在学业、科研和生活上得到了众多老师、同学和朋友们的热心帮助和有力支持。在此，我要向他们表示我诚挚的谢意！今日论文的完稿，多承蒙我导师王咏青教授的悉心指导，老师在科研上给了我大量的、极其有益的建议和具体的指导，并在论文的撰写和审稿中倾注了大量的心血。在此，我再次表示万分的感谢！

最后，我要感谢父母，姐姐多年来在生活上无微不至的照顾和精神上的支持，谁言寸草心，报得三春辉。

谨以此文献给抚养我 20 载的父亲，母亲、姐姐和我光明的未来。