

A world map showing the global distribution of weather data. The map is overlaid with a dense network of blue and yellow lines and dots, representing weather patterns and data points. The title '台风预报及其灾害' is prominently displayed in the center in large yellow characters.

# 台风预报及其灾害

国家气象中心 (中央气象台)

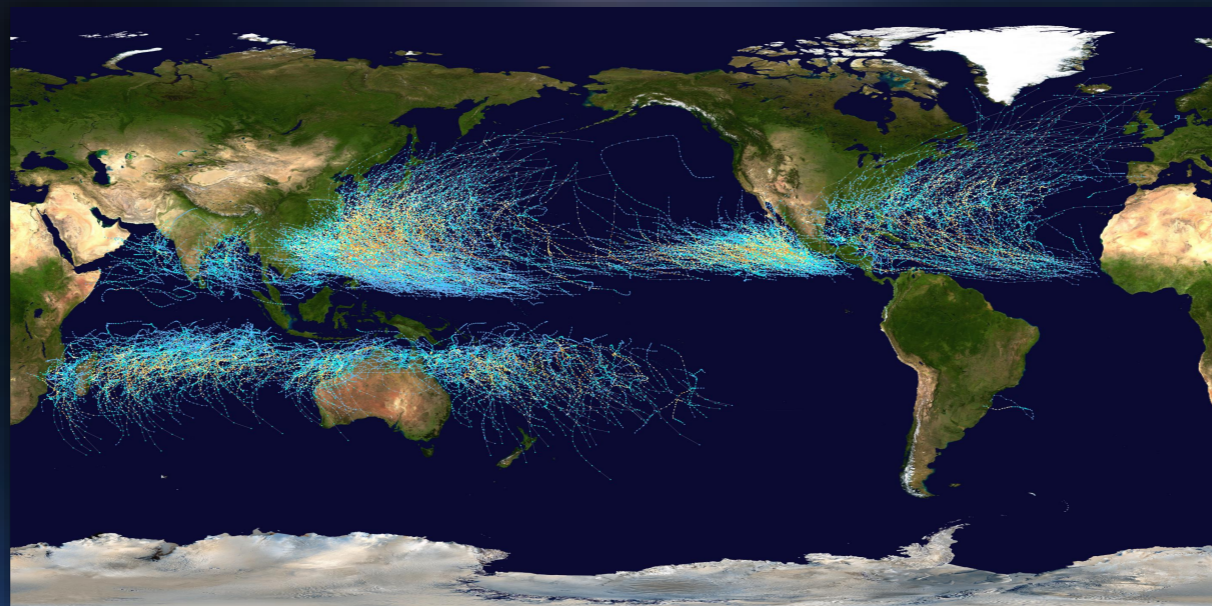
许映龙

Email : [xuyl@cma.cn](mailto:xuyl@cma.cn)

# 第五讲 台风路径预报



# 台风路径预报



## 主要内容

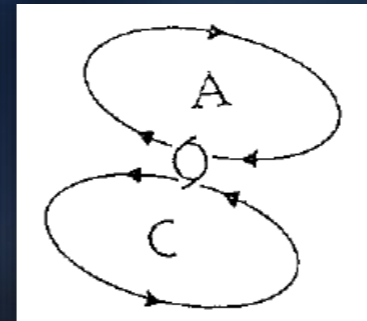
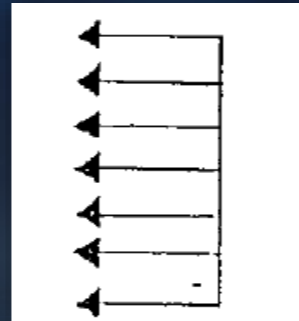
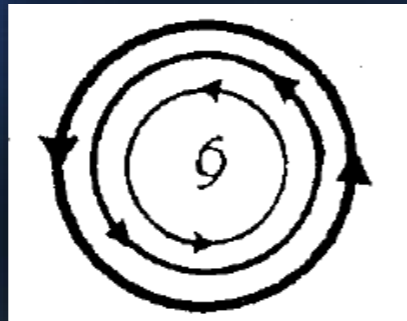
- 台风运动的概念
- 涡度方程
- 影响台风运动的主要因子
- 台风数值模式系统
- 台风路径预报核心技术
- 台风路径预报业务现状
- 台风路径预报面临的挑战
- 影响台风环境引导气流的主要因子

# 5.1 台风运动的概念



# 台风运动的概念

- ✓ 台风是一个局部涡度集中的系统，常处于均匀的大尺度背景流场中
- ✓ 理论上的台风风场由三部分构成
  - 对称于台风中心的涡旋 -- 台风本身环流
  - 大尺度均匀环境流场 -- 引导气流
  - 非对称部分 -- 台风北偏东方的反气旋性涡旋  
南偏西方的气旋性涡旋



## 5.2 涡度方程



# 涡度方程的尺度分析

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -V \cdot \nabla \zeta - \omega \frac{\partial \zeta}{\partial P} - \beta v - (\zeta + f)\delta - k \cdot \nabla \omega \times \frac{\partial V}{\partial P}$$

右端各项意义：

- ✓ 第一项为相对涡度平流项
- ✓ 第二项为相对涡度的铅直输送项
- ✓ 第三项为 $\beta$ 效应项
- ✓ 第四项为散度项
- ✓ 第五项为扭转项

# 涡度方程的尺度分析

- ✓ 由于内核变化对台风路径影响不大，因此台风移动主要受台风外围环流影响
- ✓ 对台风外围风场，可用如下无量纲化处理

$$L \sim 500 \text{ km}, \quad \Delta P \sim 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{旋转风 } V \sim 10 \text{ ms}^{-1}, \quad \text{辐散风 } U \sim 1 \text{ ms}^{-1}$$

$$T \sim \frac{L}{V} \sim 5 \times 10^4 \text{ sec}, \quad \zeta \sim \frac{V}{L} \sim 2 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$$

$$\delta \sim \frac{U}{L} \sim 2 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}, \quad \omega \sim \delta \Delta P \sim 0.2 \text{ Pa} \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -V \cdot \nabla \zeta - \omega \frac{\partial \zeta}{\partial P} - \beta v - (\zeta + f)\delta - k \cdot \nabla \omega \times \frac{\partial V}{\partial P}$$

$$\begin{matrix} (1) \\ 4 \times 10^{-10} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (1) \\ 4 \times 10^{-10} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (4) \\ 4 \times 10^{-11} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (2) \\ 2 \times 10^{-10} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (3) \\ 2 \times 10^{-10} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (4) \\ 4 \times 10^{-11} \end{matrix}$$

# 涡度方程的尺度分析

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \underbrace{-V \cdot \nabla \zeta}_{(1)} - \underbrace{\omega \frac{\partial \zeta}{\partial P}}_{(1)} - \underbrace{\beta v}_{(2)} - (\zeta + f)\delta - k \cdot \nabla \omega \times \frac{\partial V}{\partial P}$$

(1)  
 $4 \times 10^{-10}$

(1)  
 $4 \times 10^{-10}$

(2)  
 $2 \times 10^{-10}$

## ✓ 一级近似

- 相对涡度平流项，为保持相对涡度的守恒，台风移动主要受大尺度环境引导气流控制

## ✓ 二级近似

- $\beta$  效应项，为保持绝对涡度的守恒，台风有向西北移动的趋势

# 涡度方程的尺度分析

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -V \cdot \nabla \zeta - \omega \frac{\partial \zeta}{\partial P} - \beta v - (\zeta + f)\delta - k \cdot \nabla \omega \times \frac{\partial V}{\partial P}$$

(1) $4 \times 10^{-10}$	(1) $4 \times 10^{-10}$	(4) $4 \times 10^{-11}$	(2) $2 \times 10^{-10}$	(3) $2 \times 10^{-10}$	(4) $4 \times 10^{-11}$
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

## ✓ 三级近似

- 散度项，对流的1波非对称特征，主要与地形、摩擦的相互作用有关

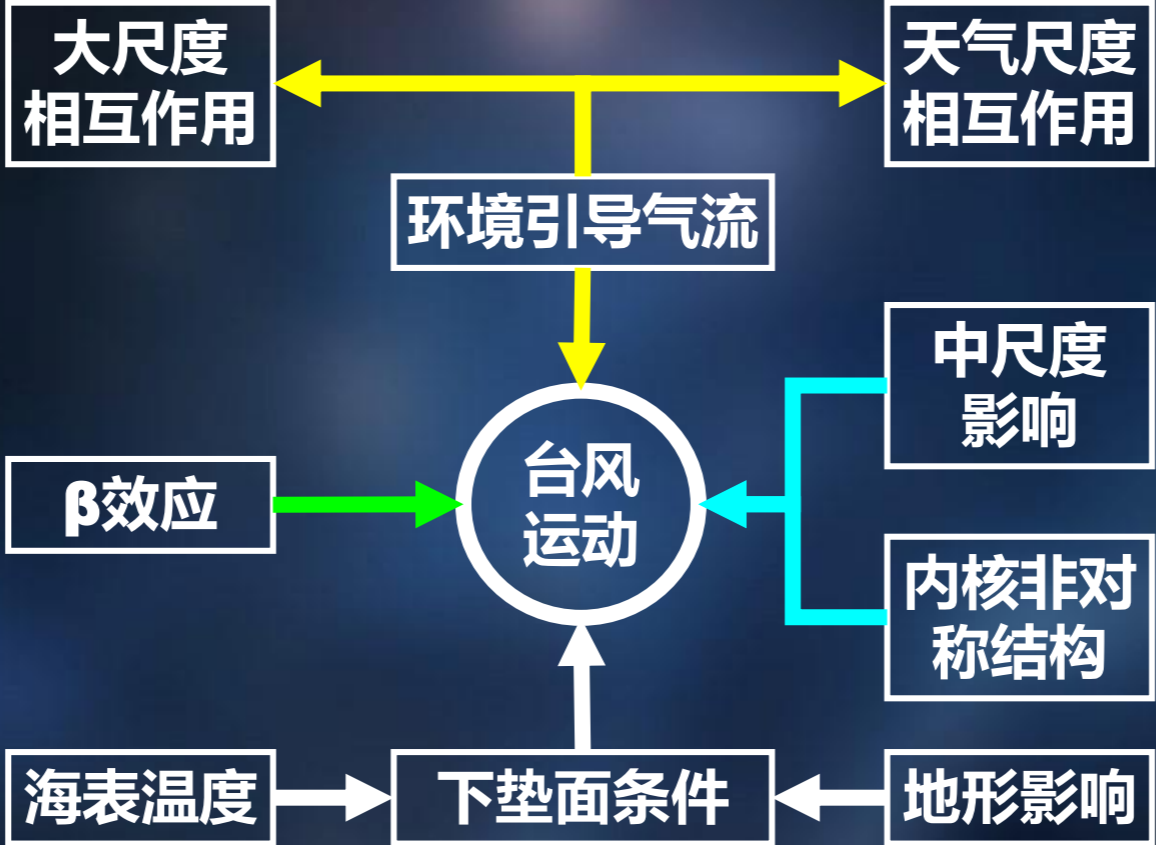
## ✓ 四级近似

- 相对涡度的铅直输送项
- 扭转项
- 主要与垂直运动和大气斜压性有关，但小一个量级

## 5.3 影响台风运动的主要因子



# 影响台风运动的主要因子



# 影响台风运动的主要因子

## ● 环境引导气流

### -- Environmental steering flow

- ✓ 观测及理论均显示台风运动与大尺度流场关系密切，牵引运动是台风最主要的运动
- ✓ 大型气压场分布及大范围深厚的基本气流是台风路径预报最重要的依据，一旦大尺度流场发生调整，台风移动也会急剧变化
- ✓ 台风周围大尺度背景流场的改变，可以看成是西风带、副热带和热带辐合带三带环流形势调整的综合结果

# 影响台风运动的主要因子

- **环境引导气流**

- **Environmental steering flow**

- ✓ **台风路径预报的中心问题**

**西风带、副热带和热带辐合带三带环流未来的变化趋势预报，以对台风路径的未来趋向 做出合理判断**

- **西风带、副热带环流的调整结果，可归结为西太平洋副热带高压的消长变化和进退，从而使牵引台风的引导气流发生变化，并导致台风移动路径的变化**

# 影响台风运动的主要因子

- **环境引导气流**

- **Environmental steering flow**

- ✓ **台风路径预报的中心问题**

**西风带、副热带和热带辐合带三带环流未来的变化趋势预报，以对台风路径的未来趋向做出合理判断**

- **台风向赤道一侧是赤道缓冲带和赤道高压的活跃区，台风运动还受到赤道缓冲带气流和赤道高压进退的影响**

# 影响台风运动的主要因子

- **环境引导气流**

- **Environmental steering flow**

- ✓ **台风路径预报的中心问题**

**西风带、副热带和热带辐合带三带环流未来的变化趋势预报，以对台风路径的未来趋向做出合理判断**

- **赤道高压向北挺进，缓冲带西风加强，或副热带高压与赤道高压打通时，环流调整将会造成台风突然转向东北方向移去**

## ● 环境引导气流的计算

- ✓ 超过70%的台风移动与环境引导气流有关
- ✓ 引导气流是准地转的，与台风实际移动方向有一定偏差

## ● 环境引导气流的计算

✓ 计算引导气流的难点在于如何分离台风本身的影响以及确定合适的层次或整层平均

- 单层引导气流 --- 500hPa

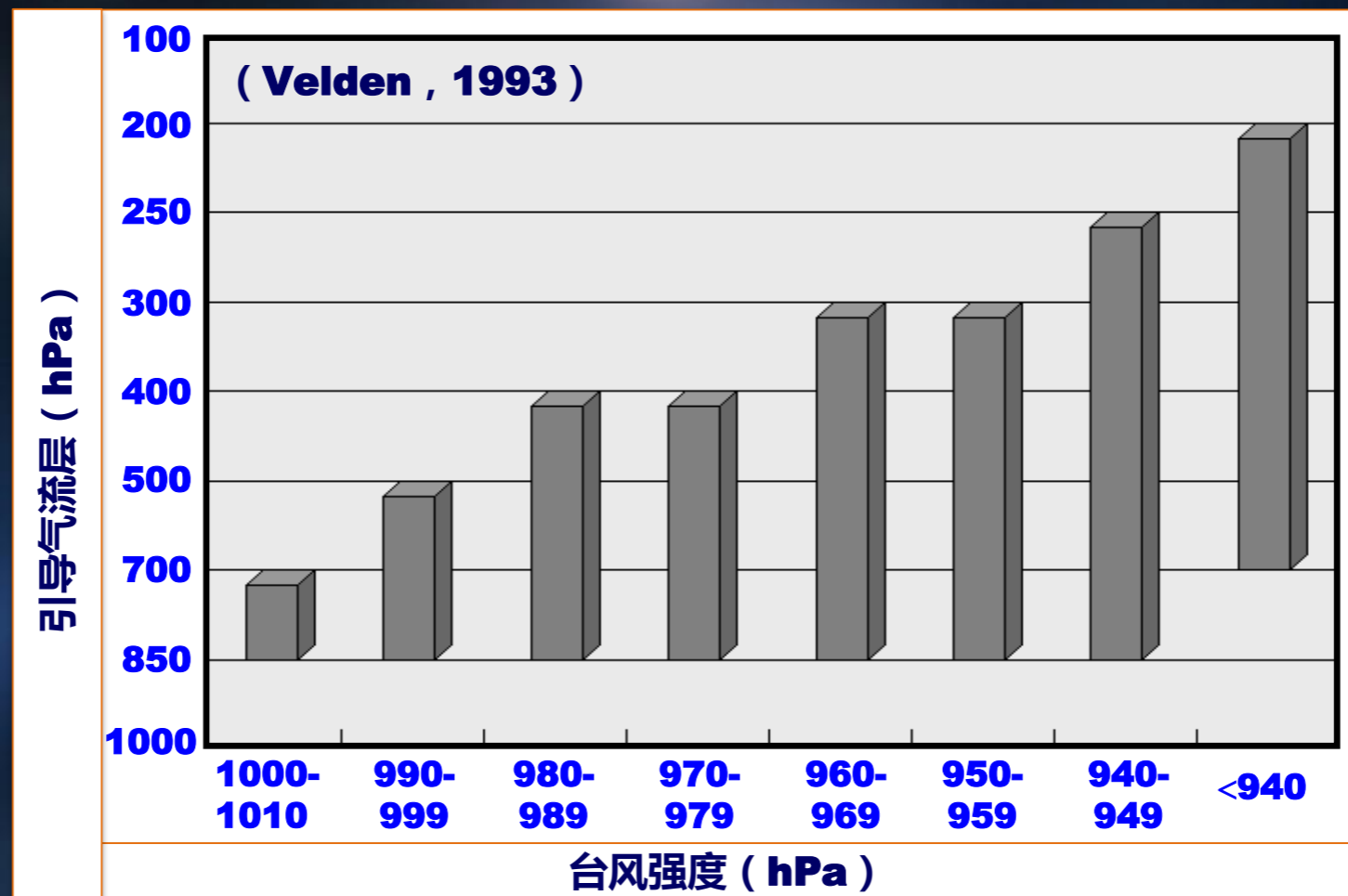
- 整层引导气流

$$\int_{100}^{1000} \vec{V} dp / \int_{100}^{1000} dp \quad \mathbf{100-1000hPa}$$

$$\int_{300}^{925} \vec{V} dp / \int_{300}^{925} dp \quad \mathbf{300-925hPa}$$

## ● 环境引导气流的计算

### ✓ 台风强度与环境引导气流的关系



## ● 环境引导气流的计算

### ✓ 位涡反演技术的应用（全部位涡反演）

位涡可表示为：

$$q = \frac{gk\pi}{p} \left[ (f + \nabla^2\psi) \frac{\partial^2\Phi}{\partial\pi^2} - \frac{1}{a^2 \cos^2\phi} \frac{\partial^2\Psi}{\partial\lambda\partial\pi} \frac{\partial^2\Phi}{\partial\lambda\partial\pi} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2\Psi}{\partial\phi\partial\pi} \frac{\partial^2\Phi}{\partial\phi\partial\pi} \right]$$

$$k = R_d / C_p$$

$$\pi = C_p \left( \frac{p}{p_0} \right)^k$$

## ● 环境引导气流的计算

- ✓ 位涡反演技术的应用（全部位涡反演）

非线性动力平衡方程：

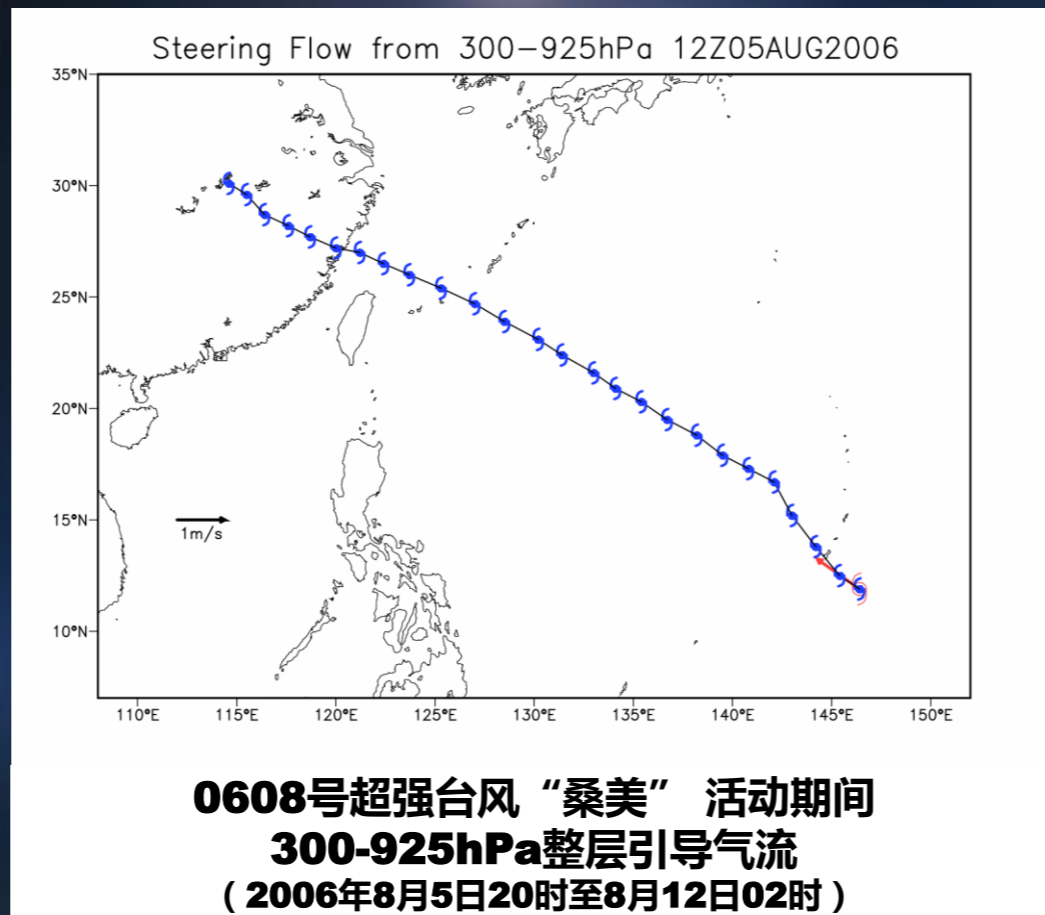
$$\nabla^2 \Phi = \nabla \cdot (f \cdot \nabla \Psi) + \frac{2}{a^4 \cos^2 \phi} \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \lambda^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \phi^2} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \lambda \partial \phi} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \lambda \partial \phi} \right)$$

$p$ ：气压， $\Phi$ ：高度场， $\Psi$ ：流函数， $a$ ：地球半径， $\phi$ ：纬度， $\lambda$ ：经度

- ✓ 给定三维位涡（ $q$ ）分布和垂直及水平边界条件
- ✓ 由位涡和非线性动力平衡方程得到相对于位涡（ $q$ ）的满足非线性平衡的高度场（ $\Phi$ ）和流函数（ $\Psi$ ）
- ✓ 由 $\Phi$ 和 $\Psi$ 得到温度场（ $\theta$ ）以及风场（ $V$ ）

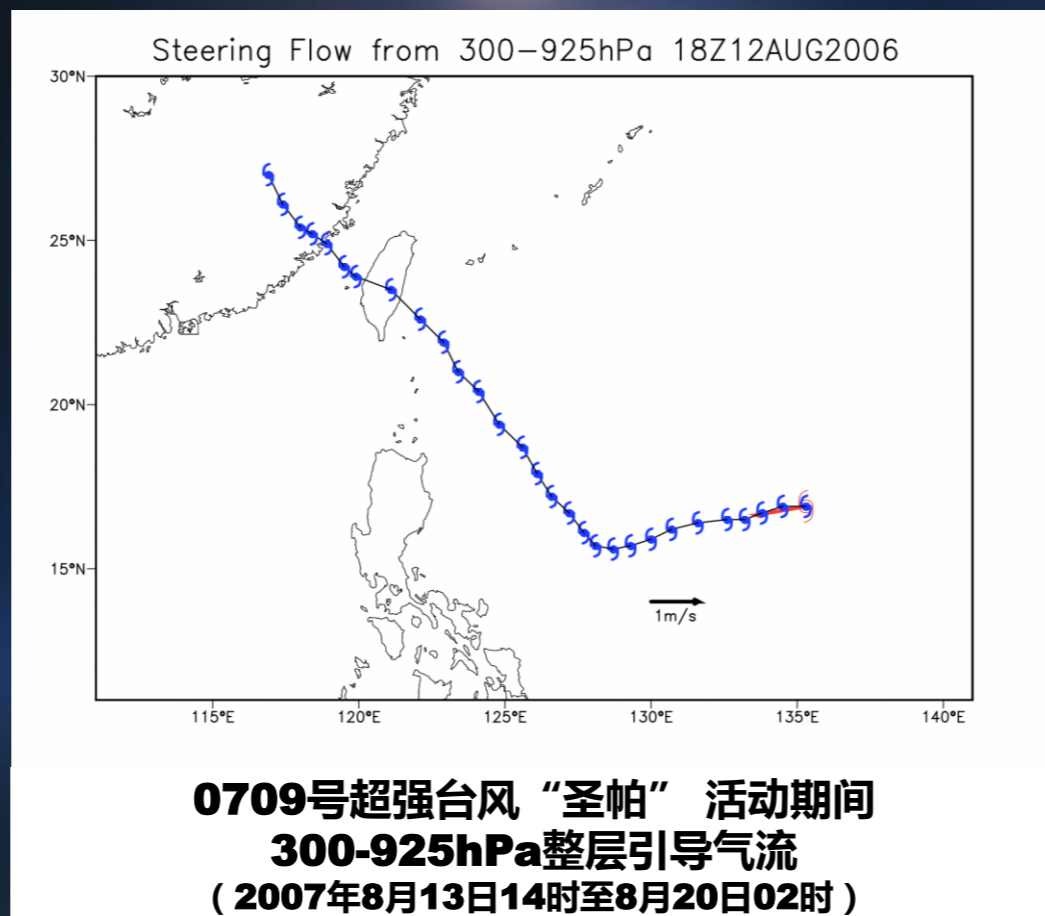
## ● 环境引导气流的计算

### ✓ 位涡反演技术的应用（全部位涡反演）



## ● 环境引导气流的计算

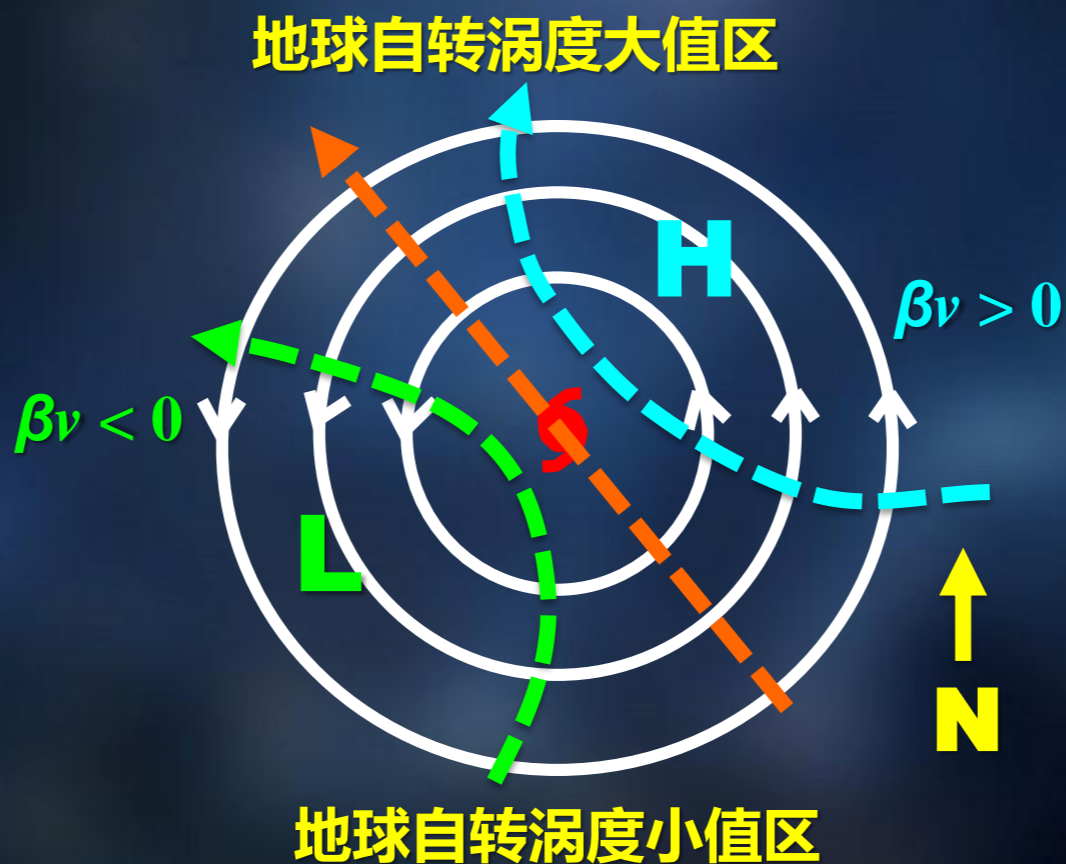
### ✓ 位涡反演技术的应用（全部位涡反演）



# 影响台风运动的主要因子

- $\beta$  效应

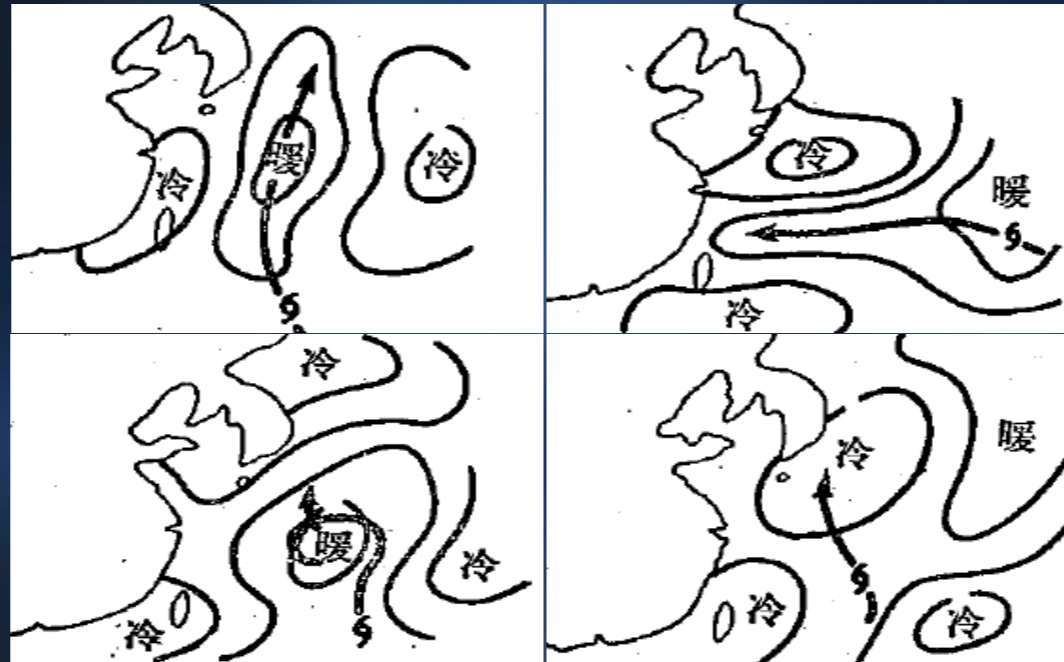
- $\beta$  效应可导致 2-4 Kt ( 3.7-7.4km/h )  
向西北方向移动的引导气流



# 影响台风运动的主要因子

## ● 下垫面条件 -- 海面

- 台风在下垫面上向一定方向移动，下垫面状况对它的运动同样造成影响
- 台风有一种趋暖运动，在弱引导环境中，往往有移向暖海面的趋势



四种海温分布型与台风路径的关系

# 影响台风运动的主要因子

## ● 下垫面条件 -- 岛屿和陆地

✓ 诱生低压 ( **induced low** ) 现象，常使路径预报变得复杂

- 西北太平洋三个岛屿会产生诱生低压，即我国台湾岛、日本本岛和吕宋岛
- 台湾岛是诱生低压产生的高频岛屿，诱生率达**24%**左右
- 台风靠近或穿过菲律宾和日本，偶尔也会产生诱生低压
- 台风经过海南岛，基本不产生诱生低压

# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件** -- 岛屿和陆地

- ✓ 诱生低压 ( **induced low** ) 现象 , 常使路径预报变得复杂

- 诱生低压生成后 , 台风和诱生低压表现为两种情况 :

- ① 原中心消亡 , 诱生低压中心加强成为新的台风中心 , 台风中心发生了跳跃

- ② 两个中心都移动或先后登陆

# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件 -- 岛屿和陆地**

- ✓ **台湾岛诱生低压对路径的影响**

- **登陆台湾岛或由南海进入台湾海峡东侧的台风，有时产生诱生低压（环流副中心），副中心取代主中心，路径发生转折或跳跃**

- ① **副中心位于主中心西北侧，台风路径北折，出现较多**

- ② **副中心位于主中心西南侧，台风路径南折，出现较少**

- ③ **副中心位于主中心北侧或东北侧，路径发生明显跳跃，极少出现**

# 影响台风运动的主要因子

## ● 下垫面条件 -- 岛屿和陆地

### ✓ 台湾岛诱生低压的出现位置

- 花莲以南登陆，副中心多出现在主中心西北侧，新竹、台中附近居多，少数出现在主中心西南侧的马功附近
- 花莲以北登陆，副中心多出现在主中心东南侧，使主中心发生短暂左折，副中心维持时间较短

# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件 -- 岛屿和陆地**

- ✓ 台湾岛诱生低压的出现位置

- 台湾岛南部海面经过或由巴士海峡进入福建南部沿海，或由南海向东北方向移动进入台湾海峡南部，或台湾岛西侧登陆台风，副中心可能出现在主中心北侧或东北侧

# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件** -- 岛屿和陆地

- ✓ 侵台台风“自由”过山与“分裂”过山之条件

**A.以台风移向与中央山脉长轴方向的夹角 ( $\beta$ ) 表示：**

**a.自由过山： $70^\circ \leq \beta \leq 110^\circ$ ，与台风强度无关。**

**b.分裂过山： $110^\circ < \beta \leq 170^\circ$ ，与台风强度无关。**

**B.以台风气流方向与中央山脉长轴方向的夹角 ( $\alpha$ ) 表示：**

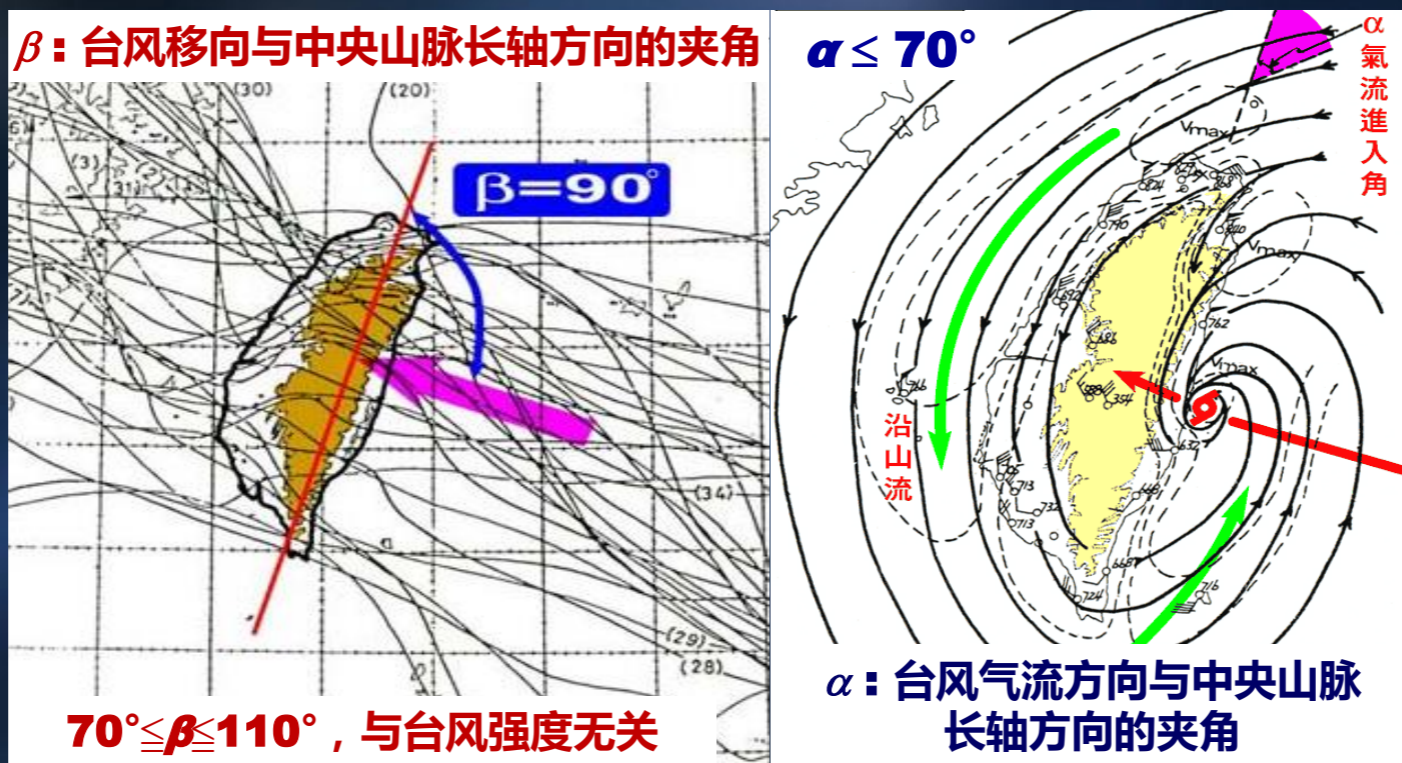
**a.自由过山： $\alpha \leq 70^\circ$**

**b.分裂过山： $\alpha > 70^\circ$**

**注：A为必要条件，B为辅助条件。**

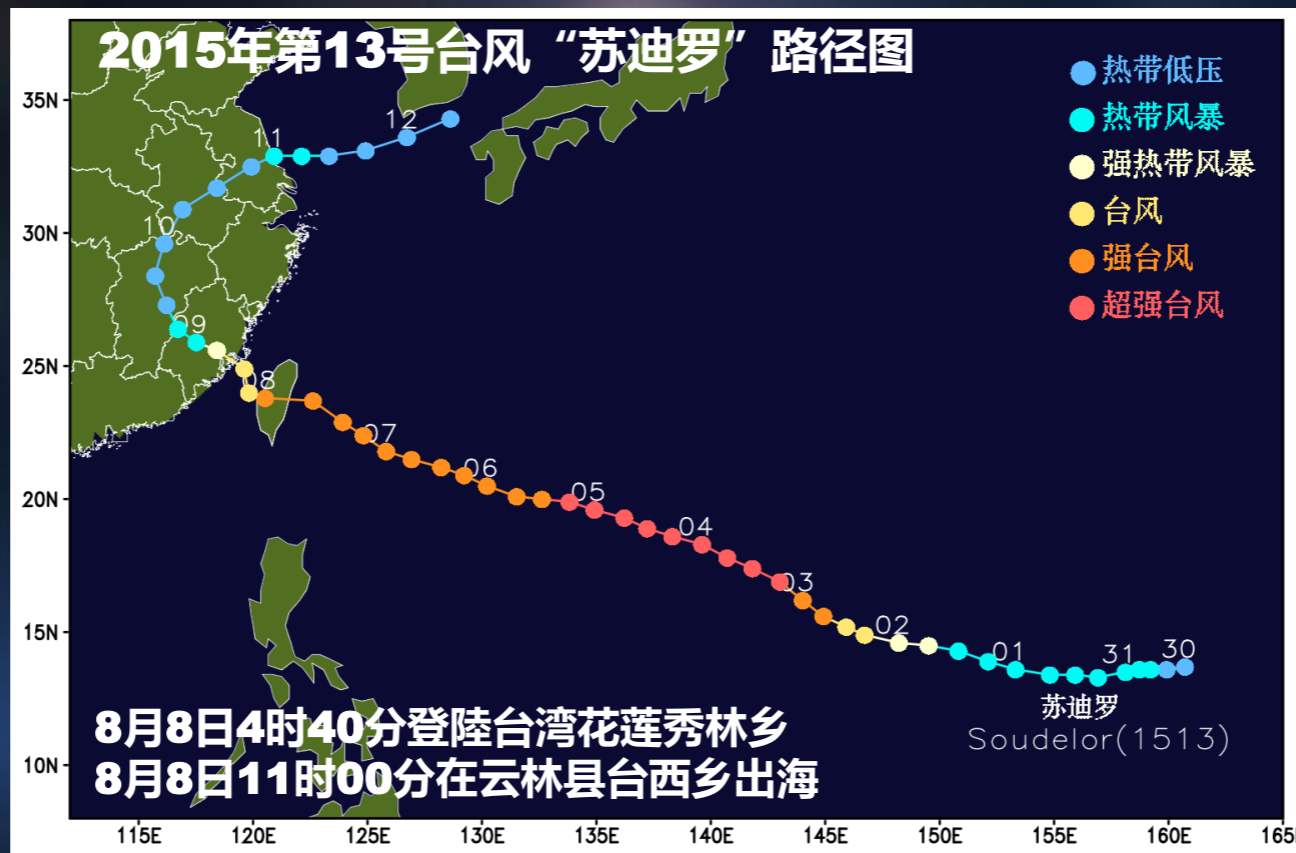
# 影响台风运动的主要因子

- 下垫面条件 -- 岛屿和陆地
  - ✓ 侵台台风“自由”过山的条件

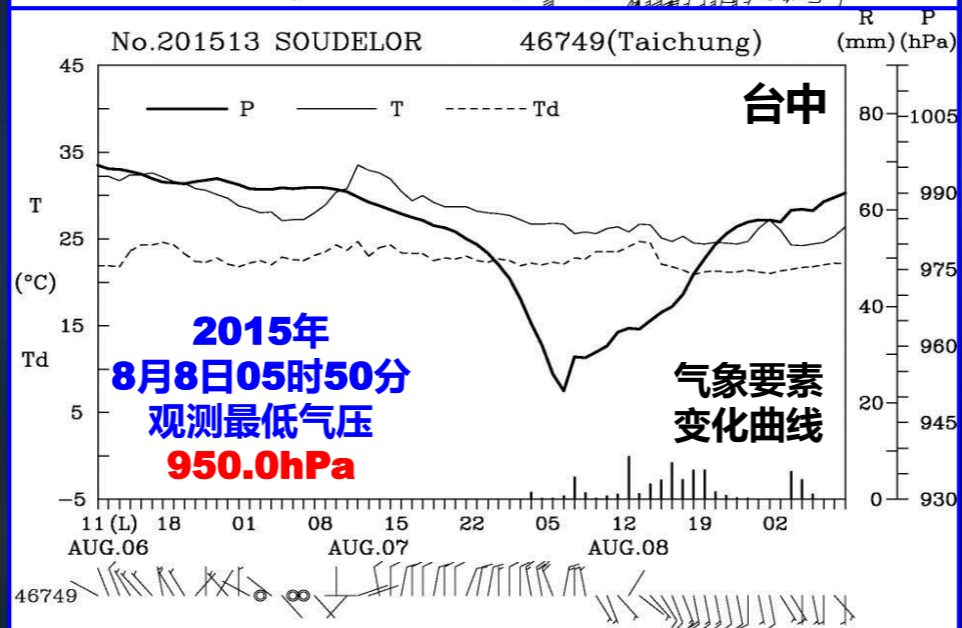
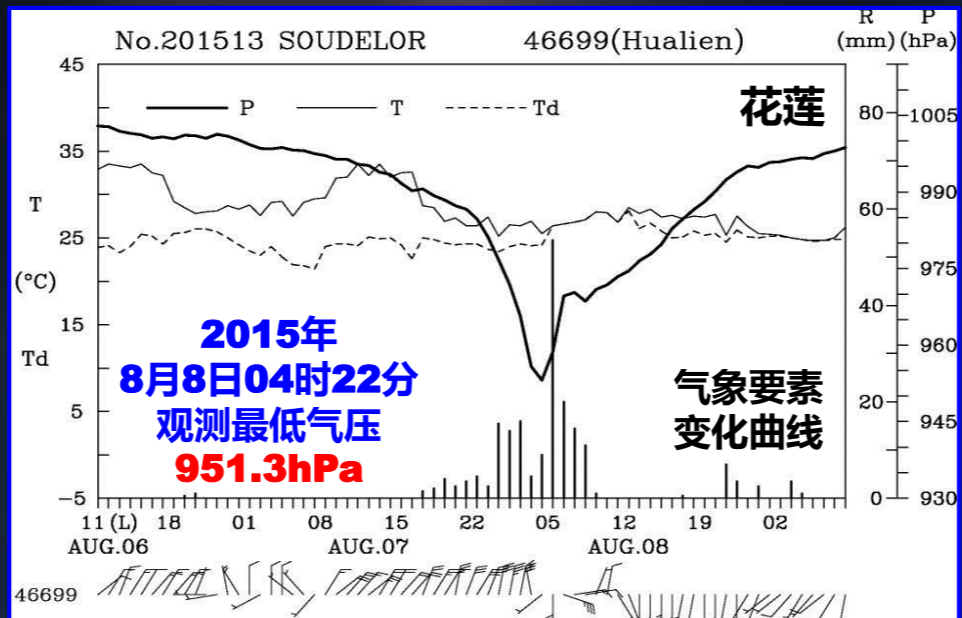




# ● 诱生低压个例 (1)

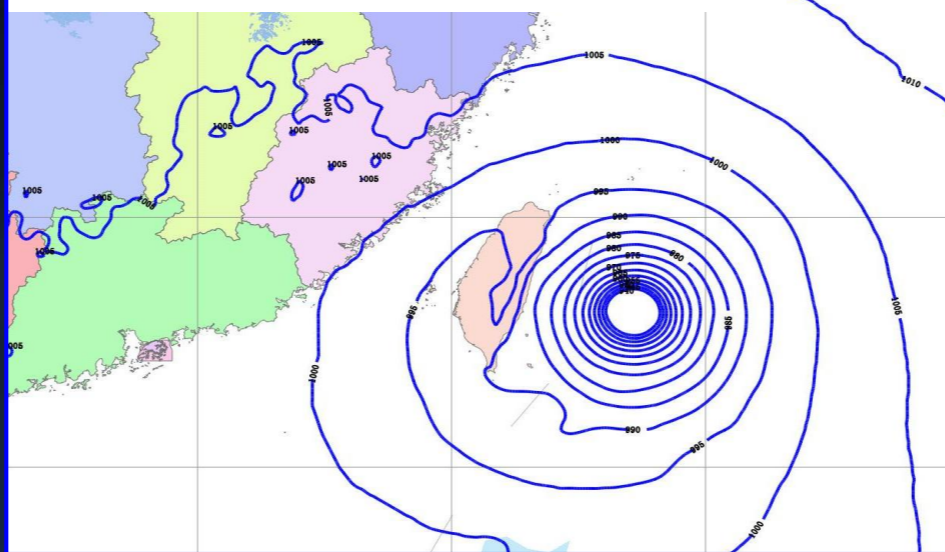


# ● 诱生低压个例 (1)

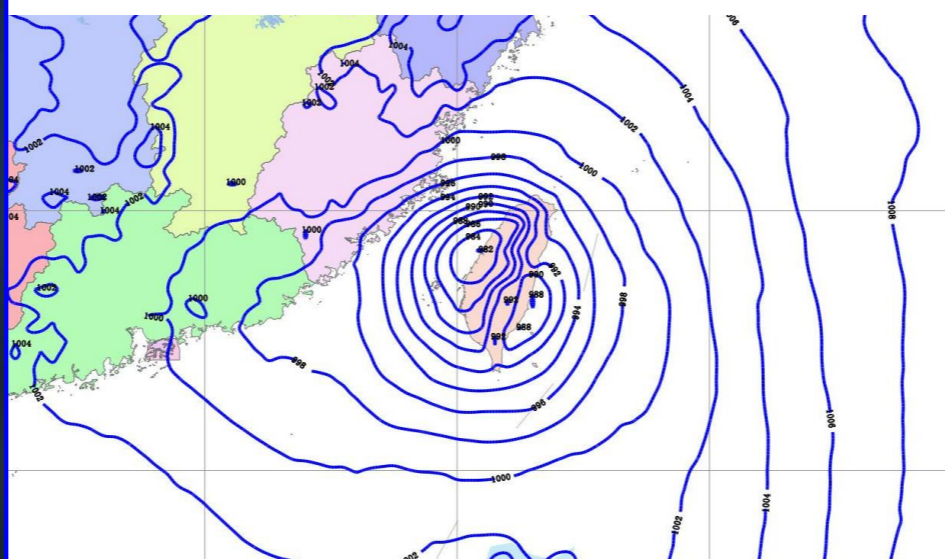


# ● 诱生低压个例 (1)

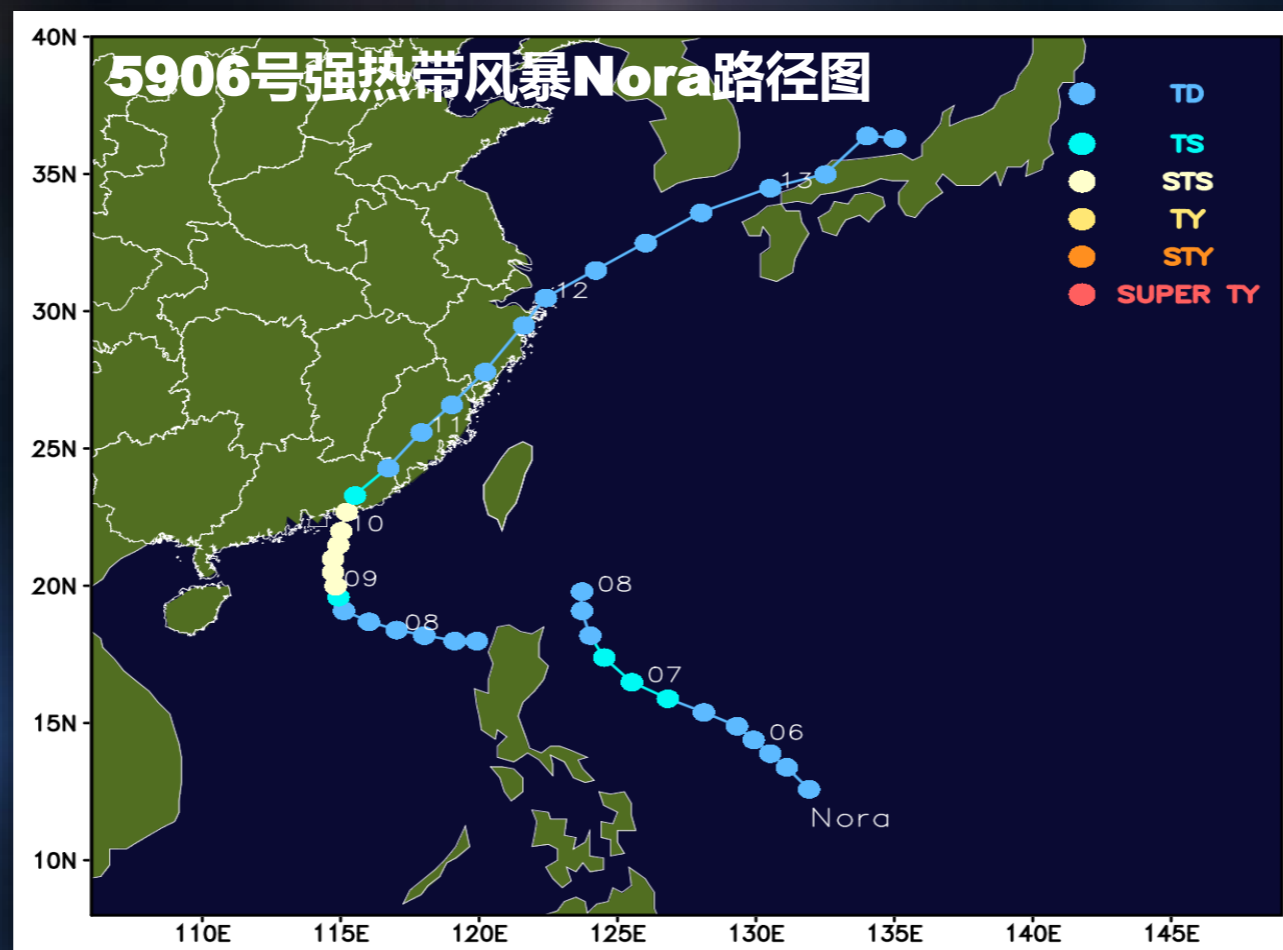
2015年8月7日20时海平面气压分析场



2015年8月7日20时海平面气压6小时预报场



## ● 诱生低压个例 ( 2 )



# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件** -- 岛屿和陆地

- ✓ 西北或西偏北行台风靠近台湾岛时：**北折**

- ① 中心进入 $21-23^{\circ}\text{N}$ ， $125-128^{\circ}\text{E}$ 区域，路径可能北折

因为台风西侧外围环流的北风受台湾岛地形摩擦影响减弱，东侧南风风速维持，产生向北合成风速矢，台风北折

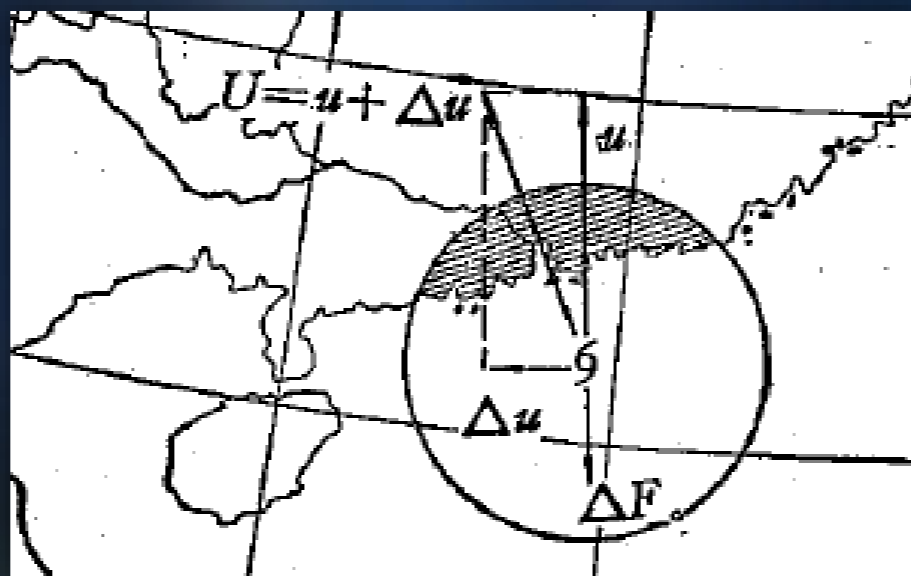
- ② 台风西侧环流进入台湾海峡后，西侧外围环流风速增强，整个台风风场调整，台风则可能会继续沿着北折前移动方向移动

# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件** -- 岛屿和陆地

- ✓ 正面登陆的台风，陆地或大型岛屿的加速作用有两部分组成：**左折和加速**，前提是登陆前后基本流场稳定

- ① 登陆华南台风 -- 左折和加速

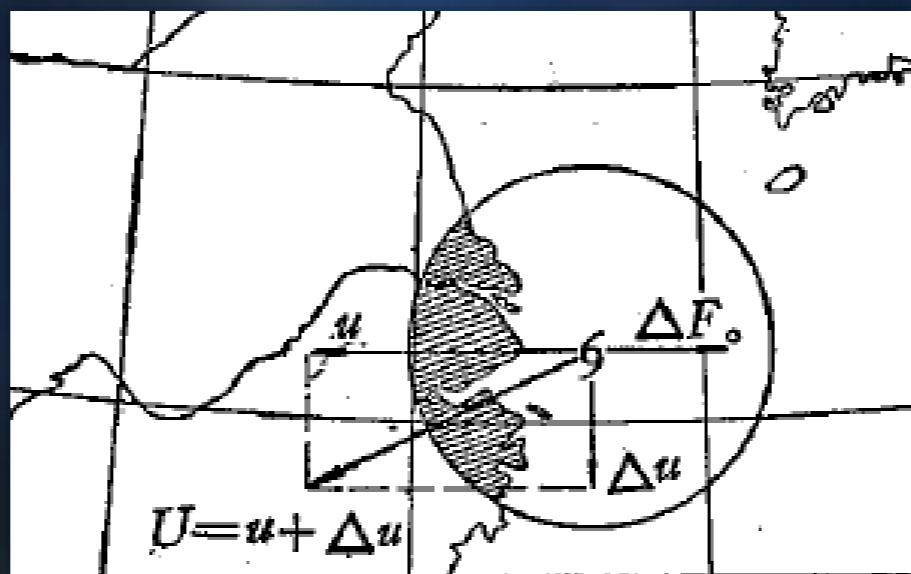


# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件** -- 岛屿和陆地

- ✓ 正面登陆的台风，陆地或大型岛屿的加速作用有两部分组成：**左折和加速**，前提是登陆前后基本流场稳定

- ② 登陆华东台风

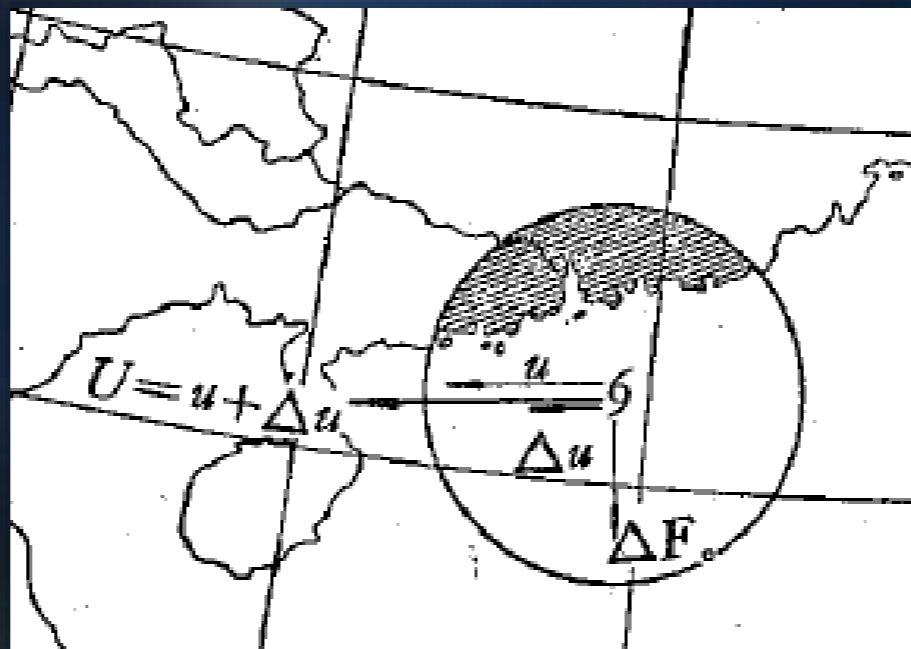


# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件** -- 岛屿和陆地

- ✓ 沿海岸移动的台风，陆地或岛屿的作用则可能是**减速或加速**

- ① 沿华南沿岸西行台风 -- 加速

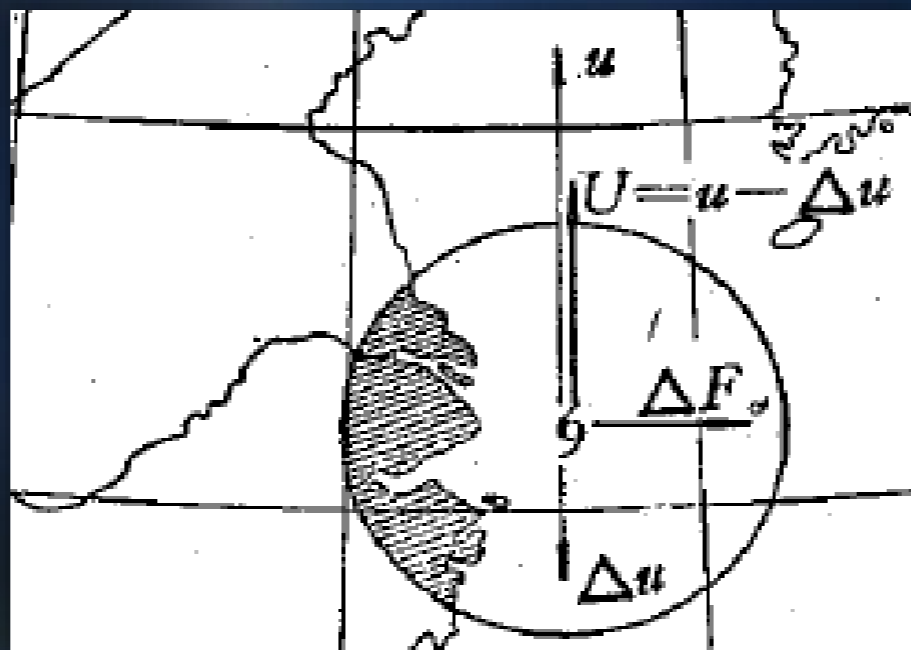


# 影响台风运动的主要因子

- **下垫面条件** -- 岛屿和陆地

- ✓ 沿海岸移动的台风，陆地或岛屿的作用则可能是**减速或加速**

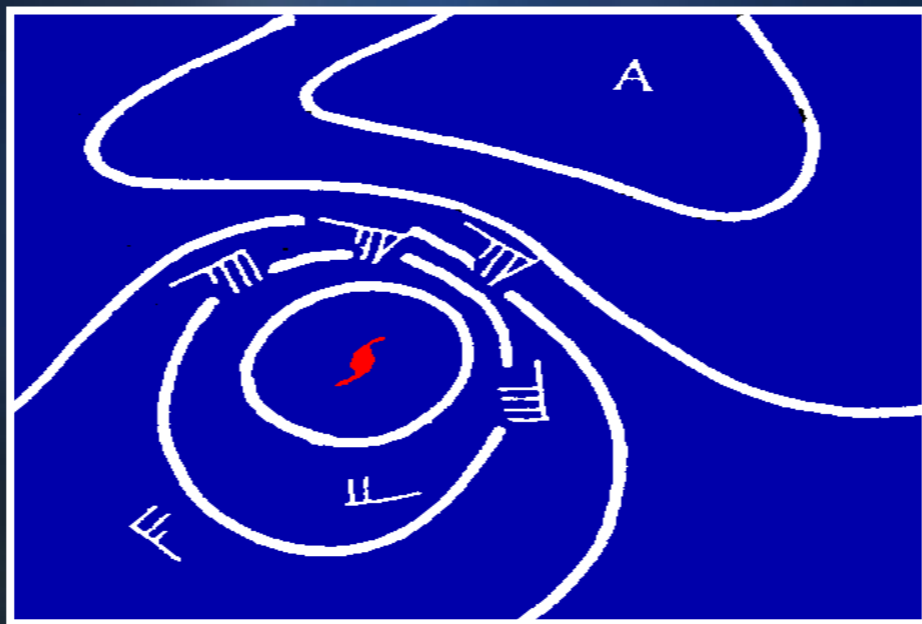
- ② 沿华东沿岸北上台风 -- 减速



# 影响台风运动的主要因子

- **非对称结构**

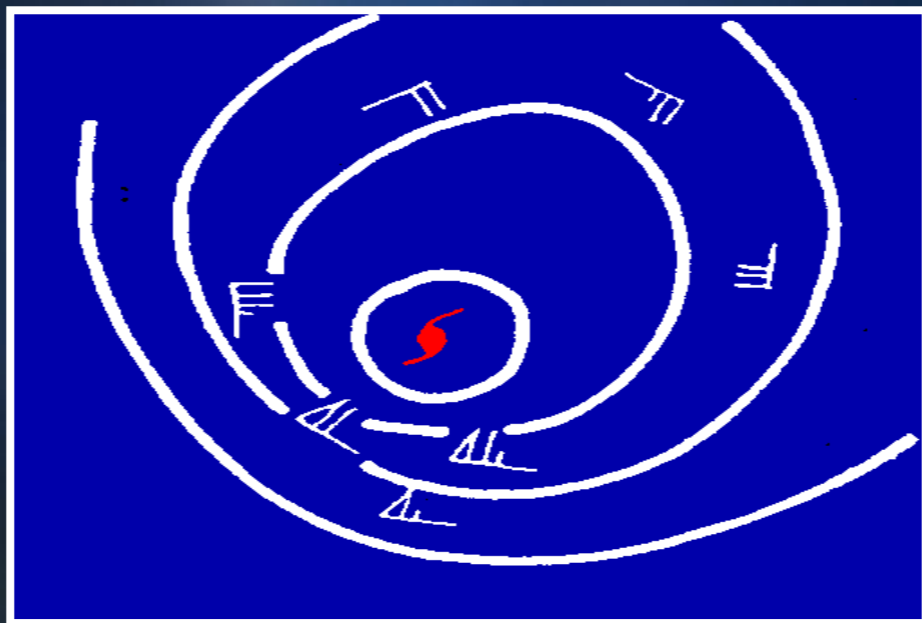
- ✓ 台风内部等高线和风场的非对称分布也会影响台风运动，尤其在弱引导气流环境中
- ① 等高线稠密区或强风区出现在东北象限，台风向偏西或西北方向快速移动，一般不会转向



# 影响台风运动的主要因子

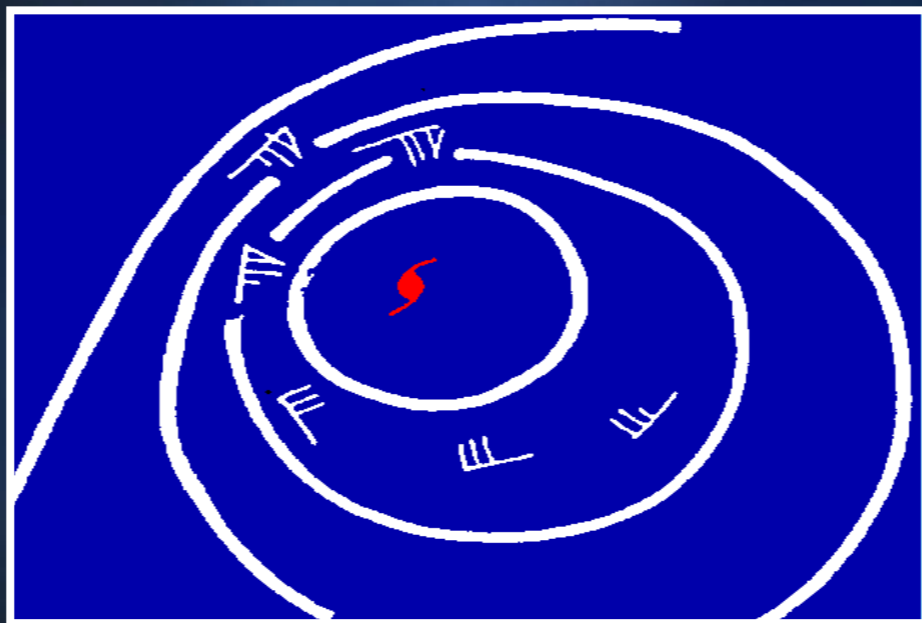
- 非对称结构

- ② 等高线密集区或强风区出现在西南象限（由东北象限逆时针旋转至西南象限），台风向偏西方向移动速度将显著减慢，较大可能出现转向；



## 影响台风运动的主要因子

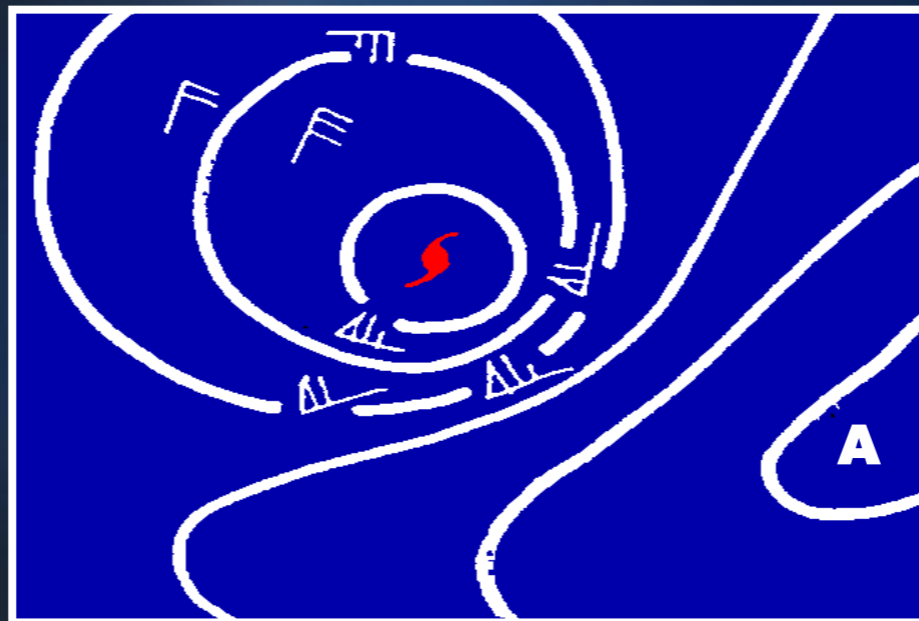
- 非对称结构
- ③ 等高线稠密区或强风区出现在西北象限，台风有可能出现打转或向西南方向转折



## 影响台风运动的主要因子

- 非对称结构

- ④ 等高线密集区或强风区出现在东南象限，一般台风已转向到副热带高压西北侧，台风将向东北快速移去



# 影响台风运动的主要因子

## ● 中尺度系统

- ✓ 台风运动不仅受周围天气尺度系统的影响，中尺度对流系统也会对台风运动产生影响
- ① 中尺度系统出现在台风环流的东北方，会使台风路径向西偏折
- ② 位于台风环流东南方向的中尺度系统也会使台风略向西偏折
- ③ 台风西南和西北象限的中尺度系统会使台风比原来的路径偏东一些

# 影响台风运动的主要因子

## ● 中尺度系统

- ✓ 台风运动不仅受周围天气尺度系统的影响，中尺度对流系统也会对台风运动产生影响
- ④ 台风东北方近距离的环流系统对其运动的影响尤其应注意
  - 台风东北方的中尺度系统会造成台风向西偏折
  - 台风东北方的次天气尺度东风波（**Easterly wave**）和另一个台风会造成台风更为明显的向西偏折

## 5.4 台风数值模式系统



# 台风数值模式系统

全球模式	<b>GRAPES-GFS ( ~28km )</b> <b>ECMWF ( ~9km )</b> <b>NCEP-GFS (~13km)</b> <b>UKMO (~17km)</b> <b>CMC-GEM (~25km)</b> <b>JMA-GSM (~20km)</b>
全球集合预报	<b>GRAPES-GEPS ( ~55km , 30个成员)</b> <b>EC-EPS ( ~18km , 51个成员)</b> <b>NCEP-GEFS (~34km , 21个成员)</b> <b>UKMO-EPS ( ~33km , 24个成员)</b> <b>JMA-EPS ( ~40km , 25个成员)</b> <b>CMC-GEPS ( ~66km , 21个成员)</b>
中尺度 区域集合预报	<b>GRAPES-REPS ( ~10km , 30个成员)</b>

# 台风数值模式系统

中尺度区域模式	<b>GRAPES-TYM</b>
	<b>GRAPES-TCM</b>
	上海台风数值模式
	广州数值 <b>GRAPES-SCS</b>
	中国气象科学研究院 <b>T-RAPS</b>
	辽宁数值模式
	<b>NCEP/EMC-HWRF(~1.5km)</b>
	<b>NCEP/EMC-HMON(~2.0km)</b> ( <b>Hurricanes in a Multi-scale Ocean coupled Nonhydrostatic model</b> )
<b>NRL-COAMPS-TC(~4km)</b>	

# 台风数值模式系统

集成/动力  
统计方法

## **TYTEC**

--- 基于EC/NCEP集合预报的台风路径订正方法

上海多模式集成预报方法

福建优选概率权重

江苏概率圆方法

广西遗传神经网络方法

## **GUNA/CGUN**

--- Avg of GFD, UKM, NGP, GFS

## **TVCA/TVCE/TVCN/TVCC**

--- avg of at least 2 of HWF, UKM, GFS,  
EMX, CTC

## **HCCA**

--- HFIP集成订正方法

## **FSSE**

--- FSU超级集合预报方法

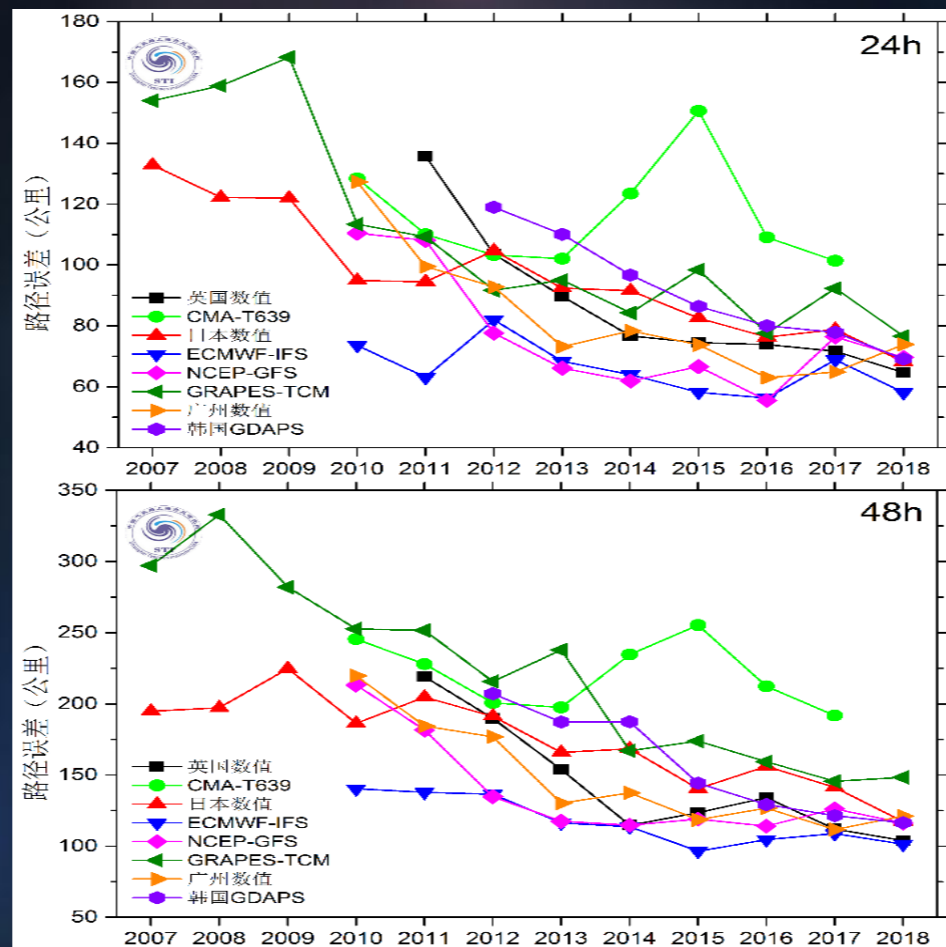
# 2018年国家级数值预报模式系统

预报系统	<b>GRAPES_GFS</b> 全球预报系统 (包括台风)	高分辨率 <b>GRAPES</b> Meso	中尺度模式 <b>GRAPES</b> Meso	区域台风 <b>GRAPES</b> TYM	区域集合预报 <b>GRAPES</b> REPS	全球集合预报 <b>GRAPES</b> GEPS
预报时效	中期 (10day)	短期 (3day)	短期 (3day)	5天	3天	15天
预报范围	全球	中国关键区	东亚	西太平洋	东亚	全球
水平分辨率	<b>0.25×0.25°</b>	3km	10km	12km	10km	<b>0.5×0.5°</b>
垂直层次	60 3hPa	50 10hPa	50 10hPa	50 10hPa	50 10hPa	60 3hPa
预报时长	240 hours (00,12UTC)	72 hours (00,12UTC)	72 hours (00,12UTC)	120 hours (00,12UTC)	72 hours (00,12UTC) 30members	360 hours (00,12UTC) 30members
初值	<b>4DVAR</b>	<b>4DVAR</b> +Cloud Analysis	<b>3DVAR</b>	<b>4DVAR</b> +bogus	<b>GEPS边界</b> ETKF+SPPT	<b>SVs+SPPT</b>

# 路径预报性能-客观方法 (2018年)

方法名称		24h		48h		72h		96h		120h	
		样本数	平均误差	样本数	平均误差	样本数	平均误差	样本数	平均误差	样本数	平均误差
全球模式	NCEP-GFS	158	69.6	128	116.4	103	210.6	80	339.9	62	489.5
	ECMWF-IFS	214	58.1	178	101.5	138	154.2	107	217.3	74	316.4
	英国数值	235	64.7	190	104.0	149	173.3	113	281.9	82	409.5
	日本数值	458	68.2	370	117.3	296	203.1	157	317.9	116	503.6
	韩国GDAPS	247	69.1	206	116.5	167	190.2	132	283.1	98	461.2
区域模式	澳大利亚数值	69	79.5	51	162.1	30	233.1	/	/	/	/
	广州数值	468	73.9	365	121.2	285	216.2	/	/	/	/
	气科院T-RAPS	292	79.9	245	164.5	182	221.3	/	/	/	/
	GRAPES-TYM	458	75.5	368	142.8	280	243.2	212	370.3	149	533.3
	GRAPES-TCM	200	76.6	163	148.4	127	235.3	/	/	/	/
	HWRF	315	78.4	244	140.9	178	238.0	112	352.2	60	506.0
其它客观方法	台风所模式集成	512	58.4	420	96.4	333	160.2	256	250.4	186	406.0
	江苏概率	7	76.2	/	/	/	/	/	/	/	/
	福建优选概率权重	122	68.1	102	125.3	76	217.1	/	/	/	/
	广西遗传神经	333	82.8	269	132.0	200	194.7	/	/	/	/

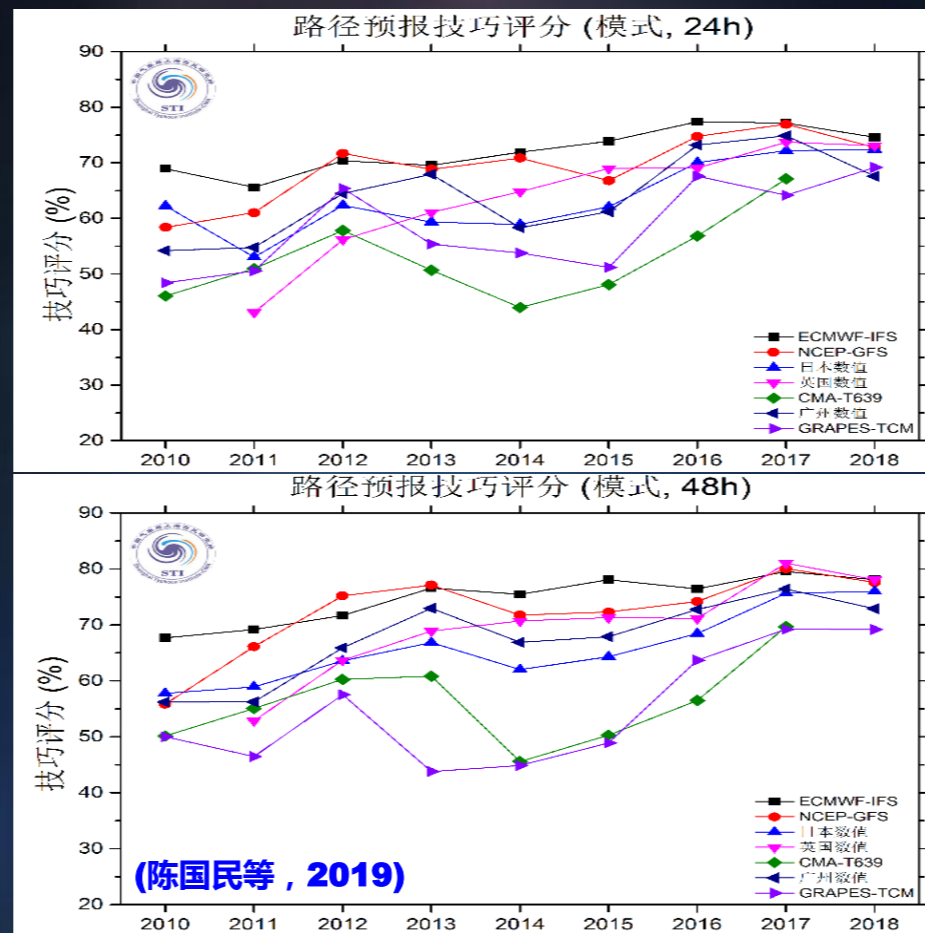
# 路径预报性能-客观方法



客观路径预报误差趋势 (2007-2018年)

最近几年，模式对于3天以内的路径预报性能提升幅度已放缓或停滞。

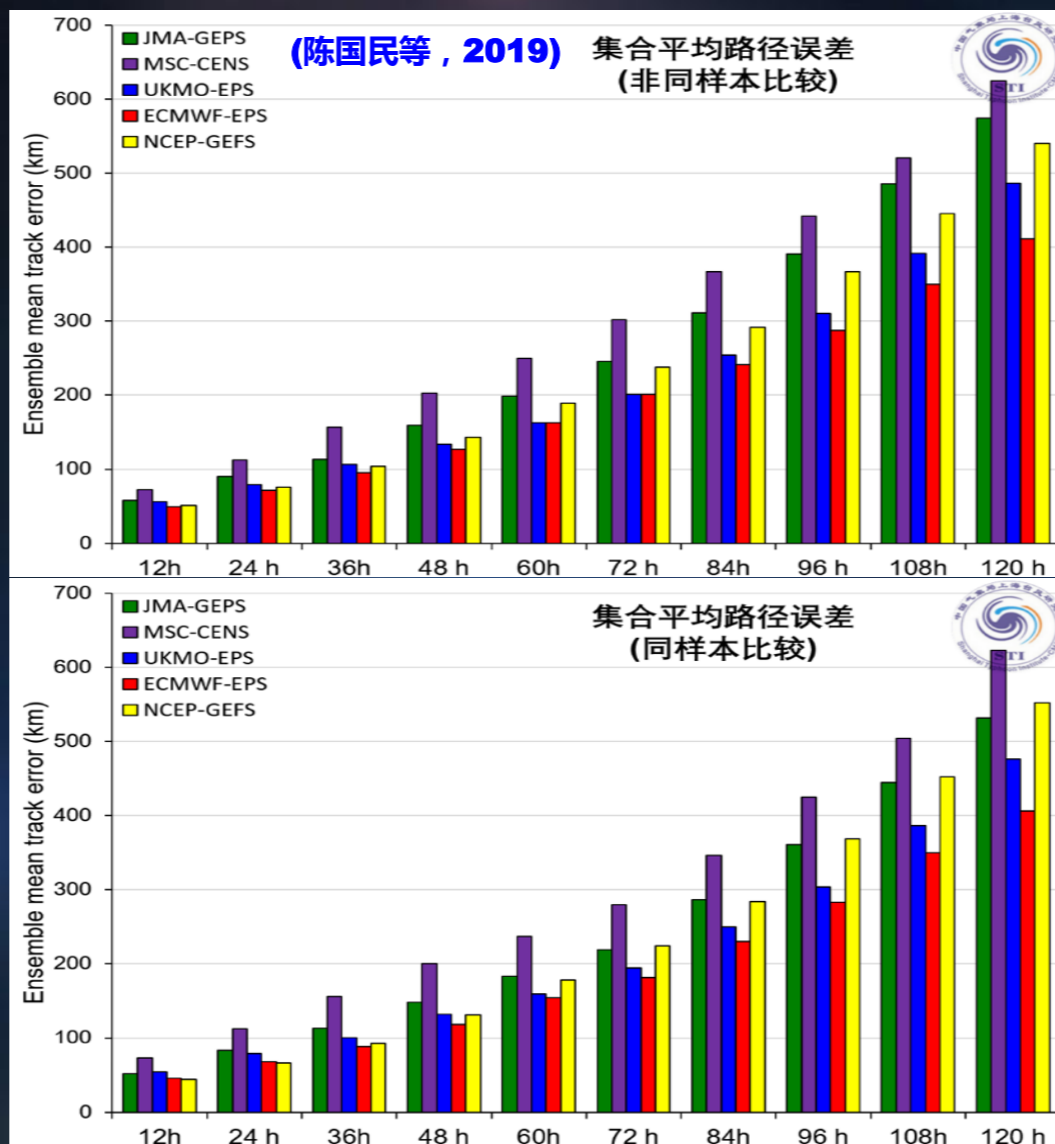
# 路径预报性能-客观方法



客观路径预报误差趋势 (2007-2018年)

最近几年，模式对于3天以内的路径预报性能提升幅度已放缓或停滞。

# 路径预报性能 (集合预报, 2018)



ECMWF > NCEP > UKMO > 其他

# 路径预报性能 (集合预报与确定性预报比较)

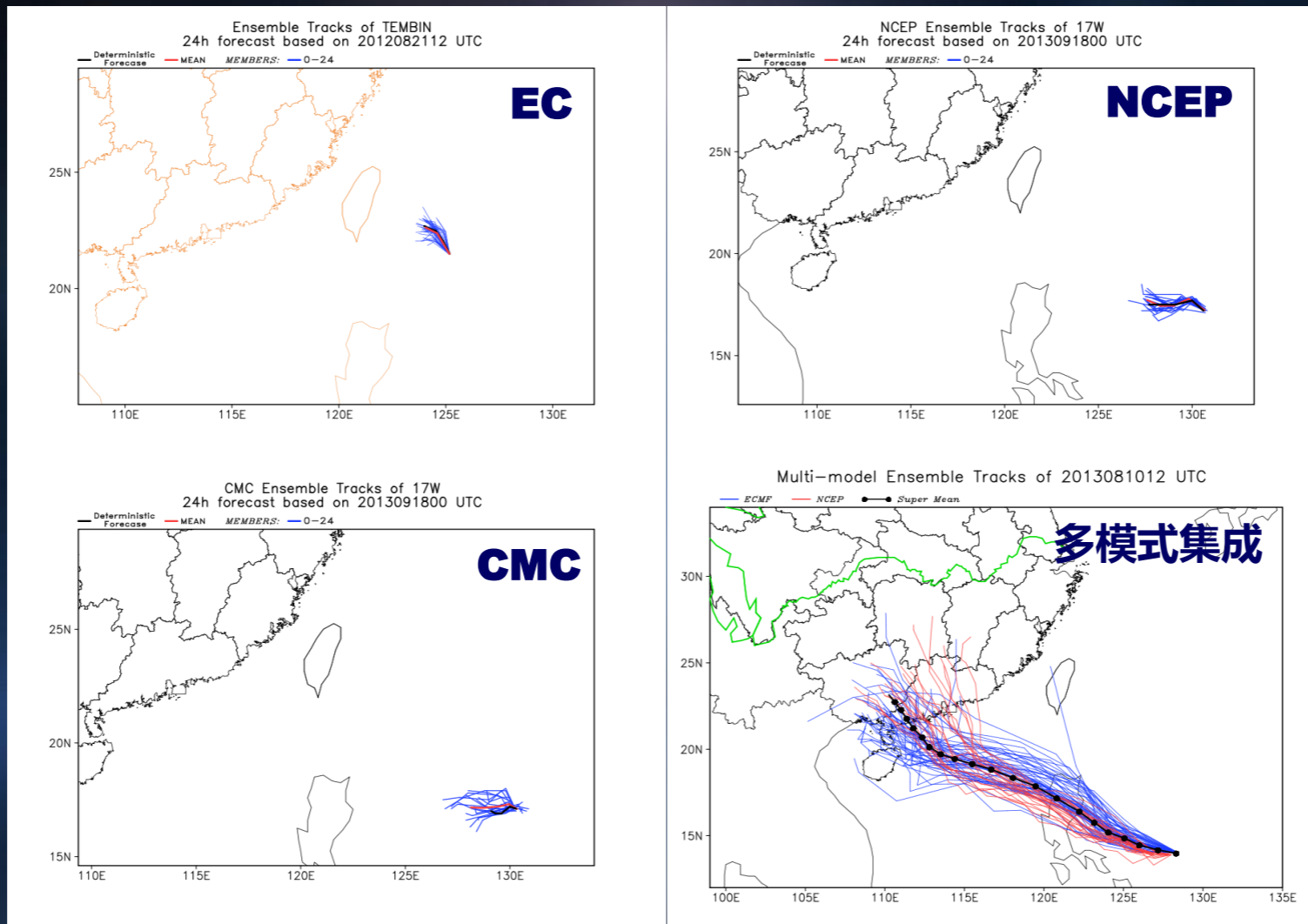
发布单位	方法	年份	24h	48h	72h	96h	120h
ECMWF	集合平均	2017	67.0	118.1	217.0	338.7	432.1
		2018	71.3	127.2	200.8	287.1	411.0
	确定性预报	2017	62.3	107.0	204.1	295.5	387.8
		2018	58.1	101.5	154.2	217.3	316.4
UKMO	集合平均	2017	88.9	146.1	228.7	321.1	396.5
		2018	79.2	133.8	201.5	310.3	486.4
	确定性预报	2017	68.7	111.1	186.6	290.3	374.3
		2018	64.7	104.0	173.3	281.9	409.5
NCEP	集合平均	2017	76.2	136.3	206.3	290.9	372.2
		2018	75.4	143.6	237.2	366.4	540.3
	确定性预报	2017	71.9	122.0	194.7	260.5	347.1
		2018	69.6	116.4	210.6	339.9	489.5
JMA	集合平均	2017	89.2	161.4	273.1	388.8	502.3
		2018	89.9	159.6	245.4	390.7	574.6
	确定性预报	2017	77.2	139.9	237.6	/	/
		2018	68.2	117.3	203.1	317.9	503.6

确定性预报优于集合平均路径

## 5.5 台风路径预报核心技术



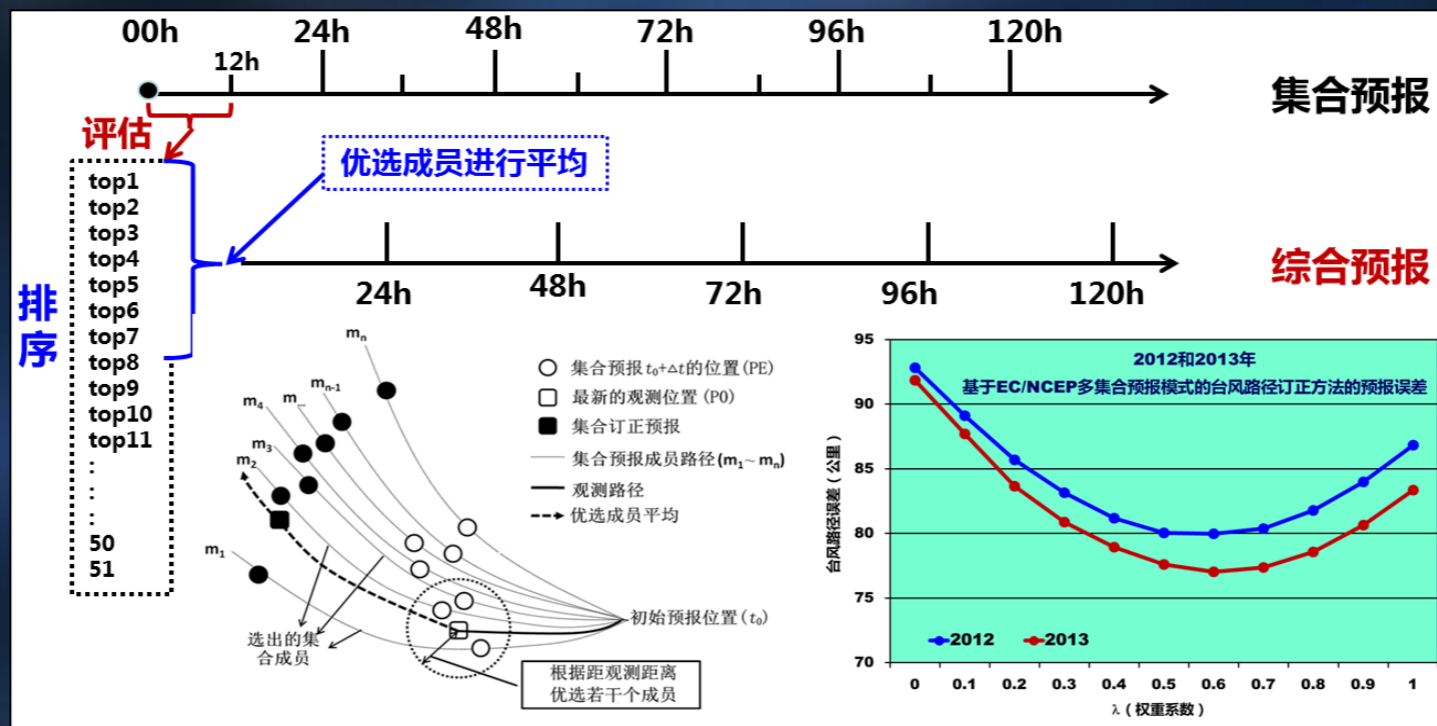
# 台风集合预报产品系统



# 台风路径预报核心技术

## ● 基于集合预报的台风路径预报订正方法

- ✓ 自2012年始，开发并持续改进台风路径集合预报订正方法（**TYphoon Track Ensemble Correction, 简称TYTEC**）



TYTEC方法示意图

# 台风路径预报核心技术

- 基于集合预报的台风路径预报订正方法

- ✓ 基本原理

- 通过最新定位在集合预报中优选一定数目的好成员，利用优选成员的平均进行预报

$$\begin{cases} F_{mean} = AVE[Min | Dis(PE - P0) |_1^N ] \\ F_{mean\_lag}(t) = F_{mean}(t + \Delta t) \end{cases}$$

# 台风路径预报核心技术

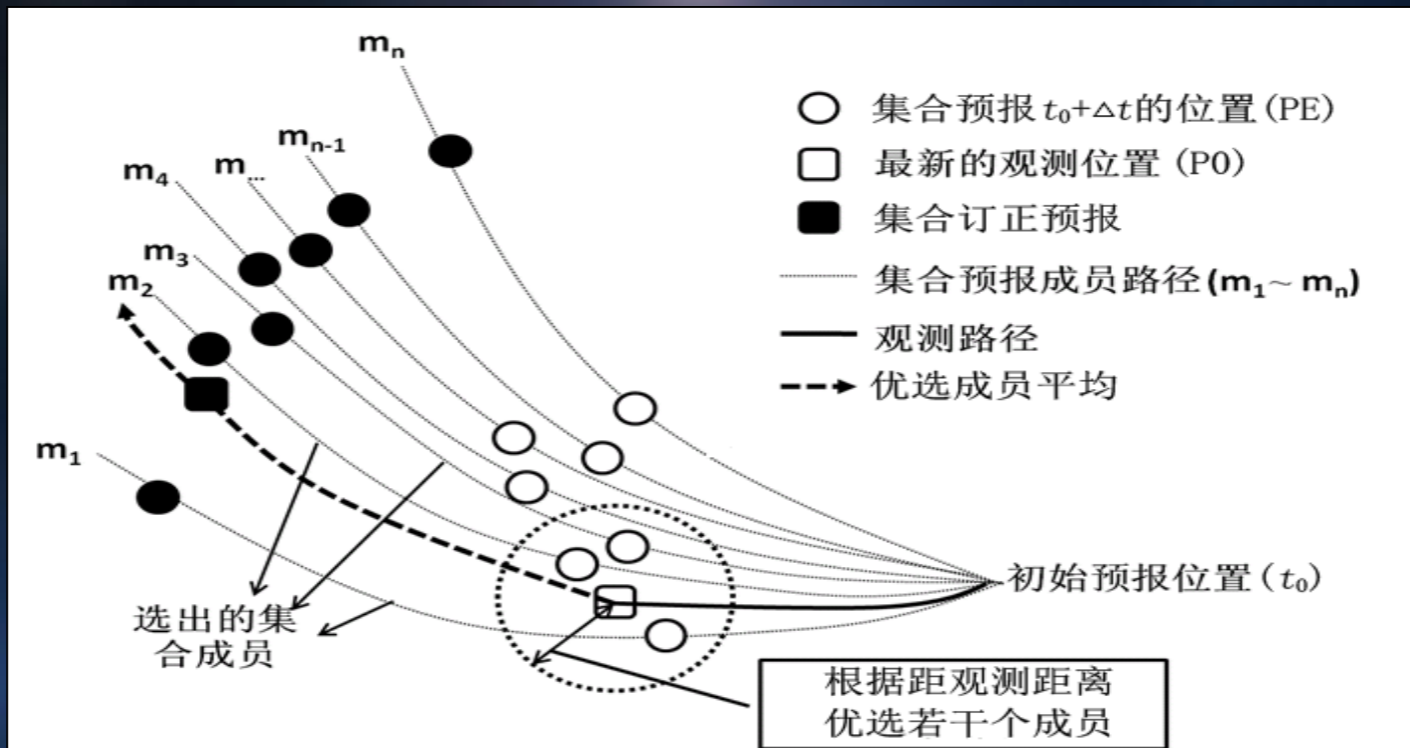
- 基于集合预报的台风路径预报订正方法

- ✓ 关键技术

- 优选台风集合成员数目的研究 - 适当的成员数能使方法效果最佳
- 多模式集合预报融合技术 - 适当的模式权重系数能使TYTEC方法效果最佳

# 台风路径预报核心技术

## ✓ 发展历程



开展基于EC集合  
预报路径订正方法  
研究并业务试用

2012年

改进优选成员方法  
提升预报准确率

2013年

单模式订正方法拓  
展到多模式

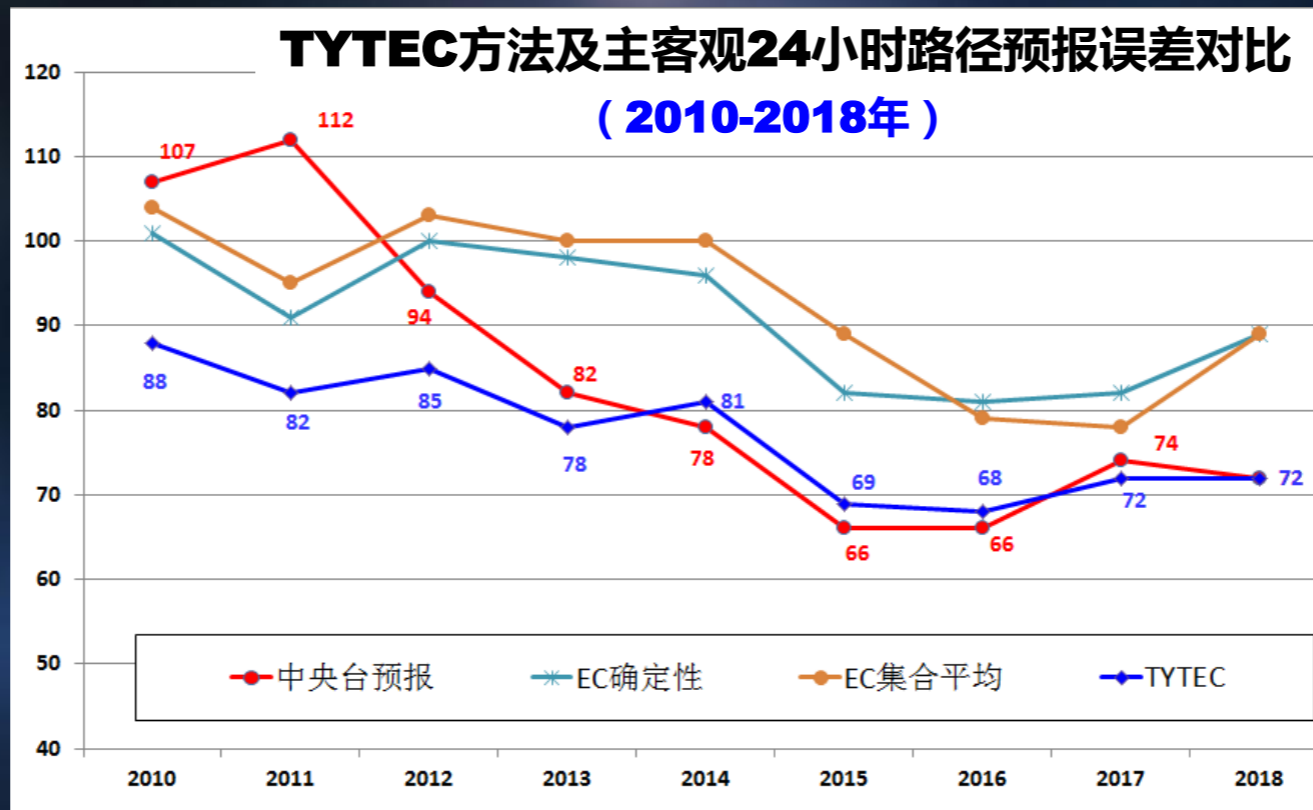
2014年

EC NCEP  
EGRR

2015年

# 台风路径预报核心技术

## ✓ 预报效果



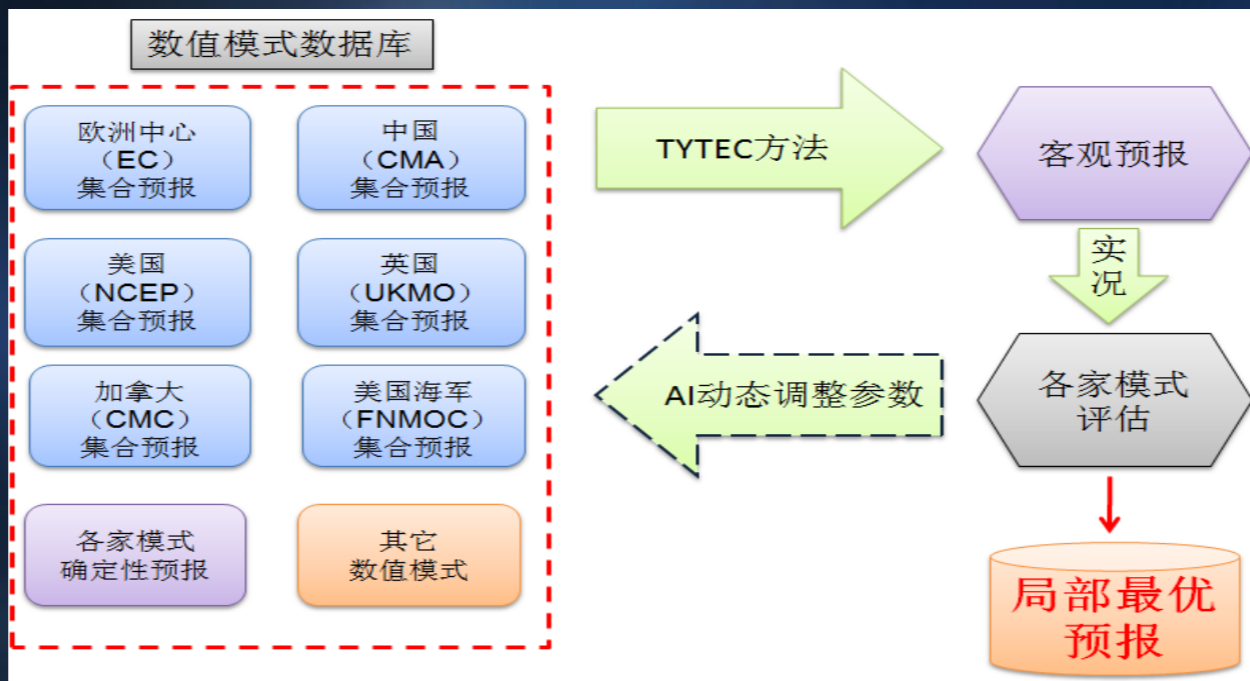
**TYTEC方法相比较于EC确定性预报和集合平均具有较明显的优势**

# 台风路径预报核心技术

- 基于AI技术的台风路径订正技术

- ✓ TYTEC方法的改进

- 对TYTEC预报进行实时误差评估，通过AI算法自动调整各集合预报模式参数及权重系数，得到在一定约束条件下最优的7天以内台风路径预报

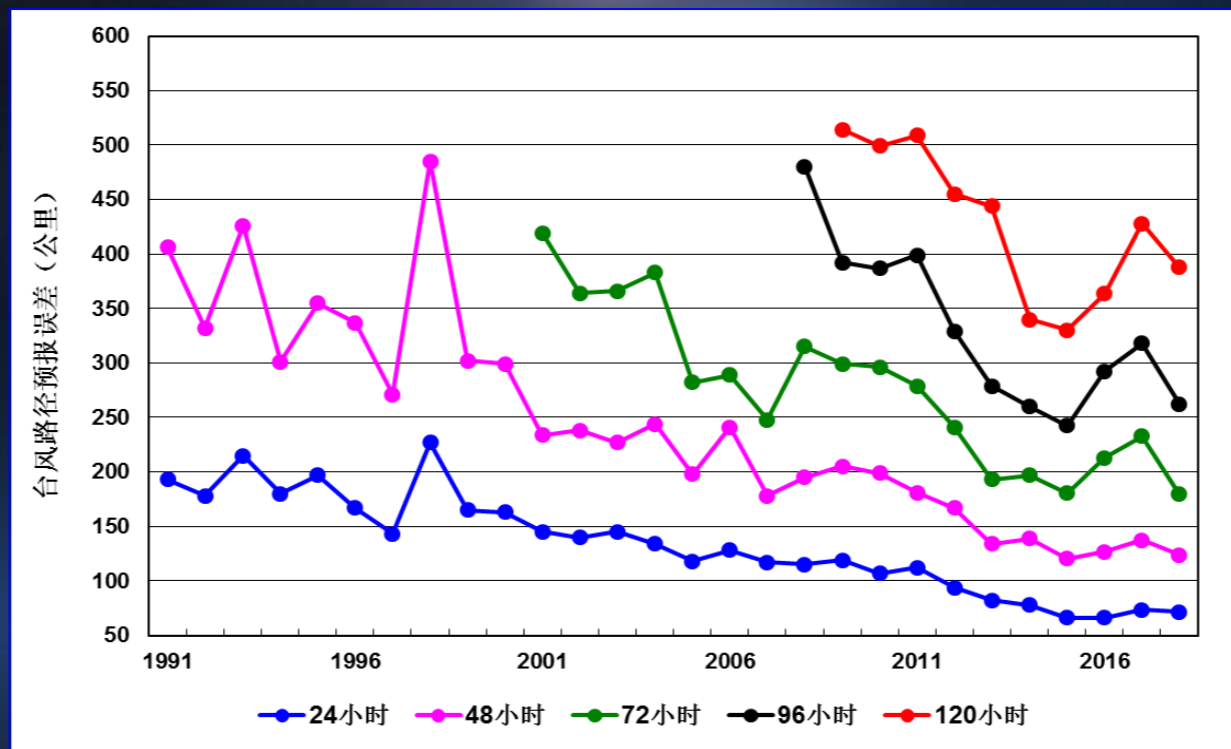


## 5.6 台风路径预报业务现状



# 台风路径预报业务现状

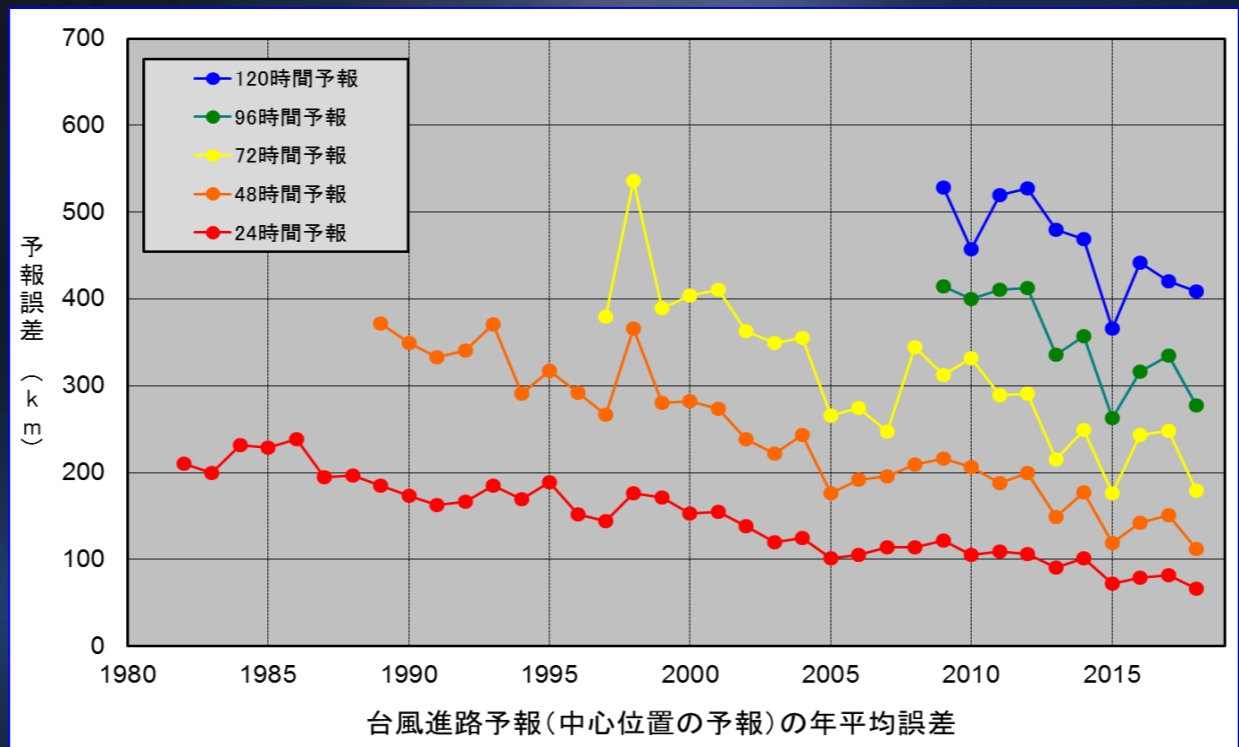
## ● 中国中央气象台



**1991-2018年中央气象台台风路径预报误差  
(单位：公里)**

# 台风路径预报业务现状

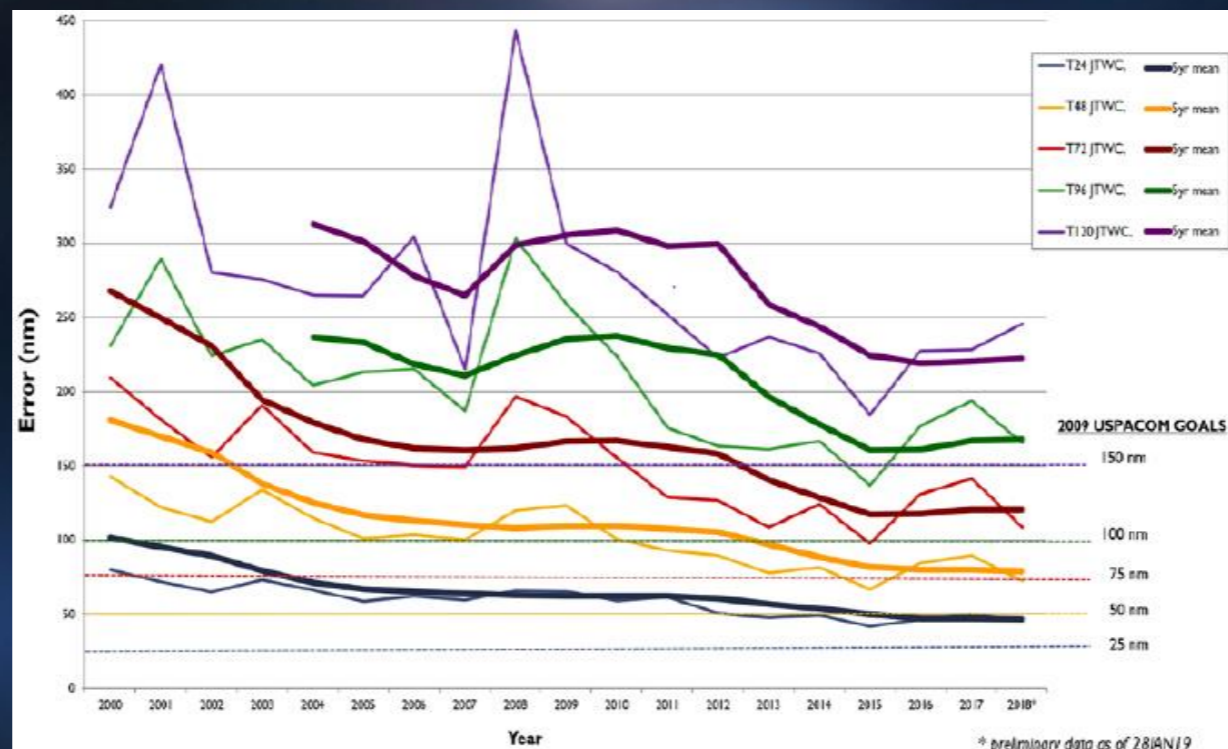
- 日本气象厅



**1980-2018年日本气象厅台风路径预报误差**  
(单位：公里)

# 台风路径预报业务现状

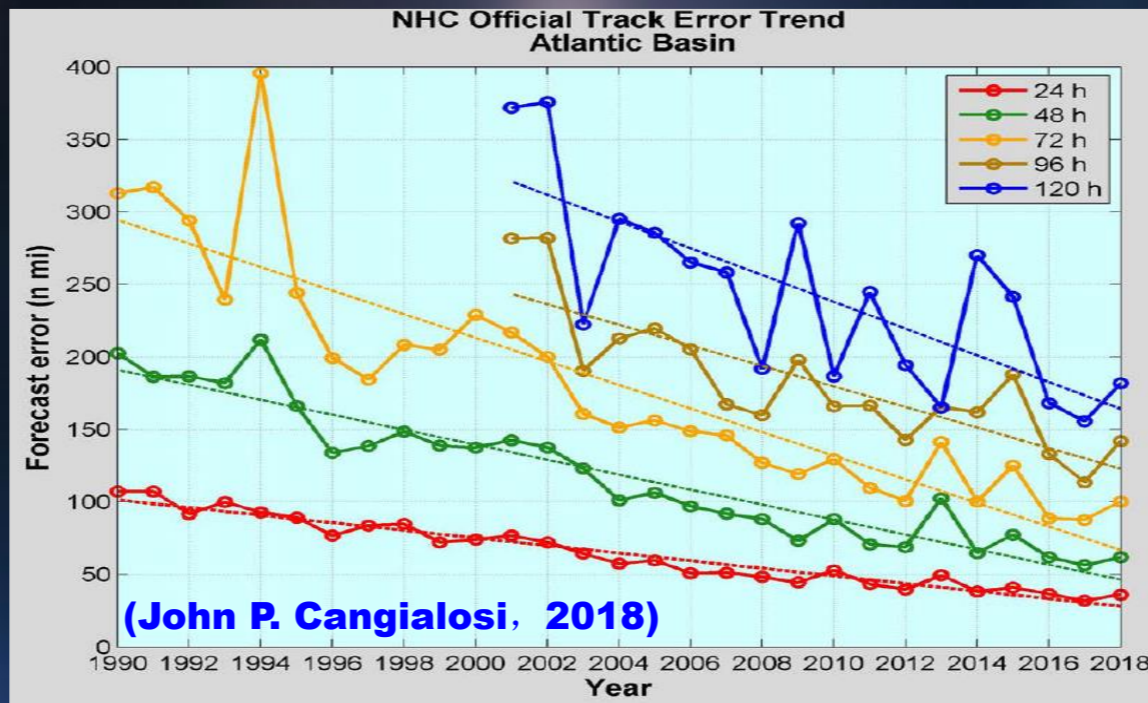
- 美国联合台风警报中心



2000-2018年美国联合台风警报中心  
台风路径预报误差 (单位: 海里)

# 台风路径预报业务现状

- 美国国家飓风中心



1970-2018年美国国家飓风中心  
北大西洋飓风路径预报误差（单位：海里）

Track errors increased off the record lows set last year, but the long term trends show significant improvements. **The short term trend could indicate that errors are levelling off?**

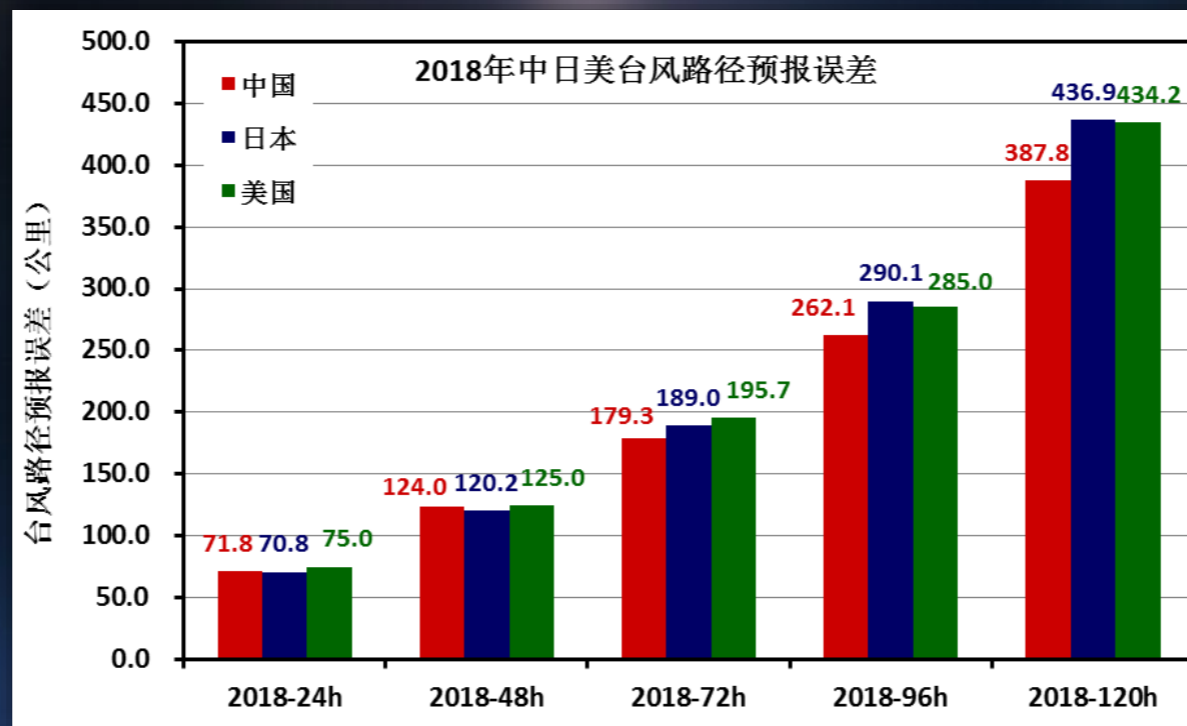
# 台风路径预报业务现状

- 中日美台风路径预报误差比较

<b>2010年以来中日美台风路径24h预报误差 ( km )</b>				
<b>年份</b>	<b>中央气象台</b>	<b>日本气象厅</b>	<b>美国联合台风警报中心</b>	<b>美国国家飓风中心 ( 大西洋 )</b>
<b>2010</b>	<b>107</b>	<b>105</b>	<b>109</b>	<b>100</b>
<b>2011</b>	<b>112</b>	<b>109</b>	<b>113</b>	<b>80</b>
<b>2012</b>	<b>94</b>	<b>106</b>	<b>93</b>	<b>74</b>
<b>2013</b>	<b>82</b>	<b>91</b>	<b>85</b>	<b>91</b>
<b>2014</b>	<b>78</b>	<b>101</b>	<b>91</b>	<b>71</b>
<b>2015</b>	<b>66</b>	<b>72</b>	<b>80</b>	<b>76</b>
<b>2016</b>	<b>66</b>	<b>79</b>	<b>85</b>	<b>68</b>
<b>2017</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>93</b>	<b>59</b>
<b>2018</b>	<b>72</b>	<b>66</b>	<b>75</b>	<b>67</b>

# 台风路径预报业务现状

## ● 中日美台风路径预报误差比较



### 中央气象台

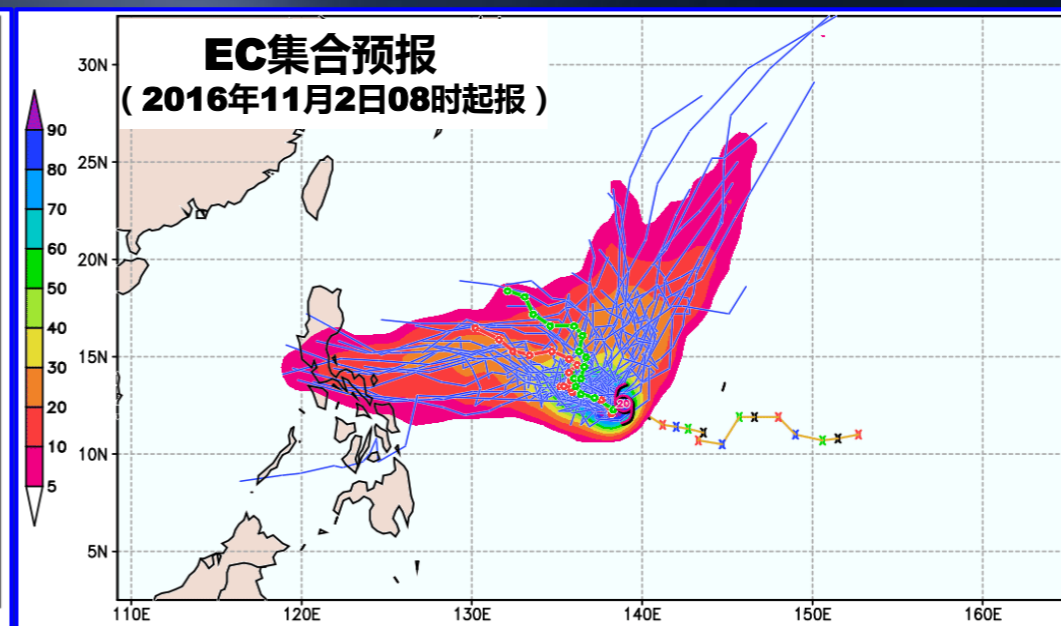
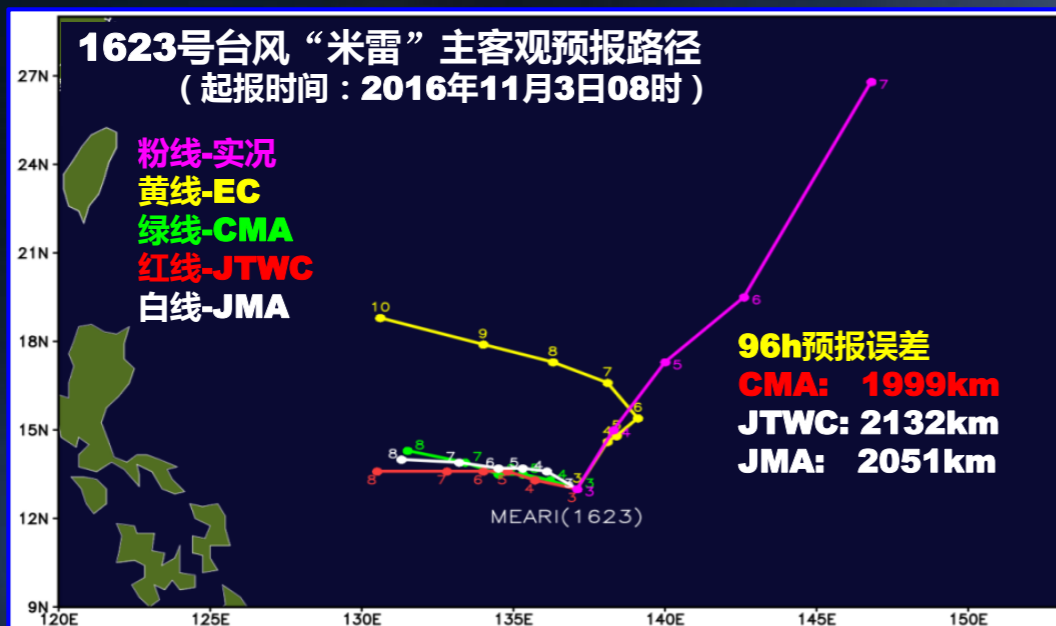
- ✓ 2018年24-120h台风路径预报平均误差分别为72、124、179、262和388公里
- ✓ 2018年24-120h路径误差分别较2017年减小2.3%、9.8%、23.0%、17.6%和9.4%

## 5.7 台风路径预报面临的挑战



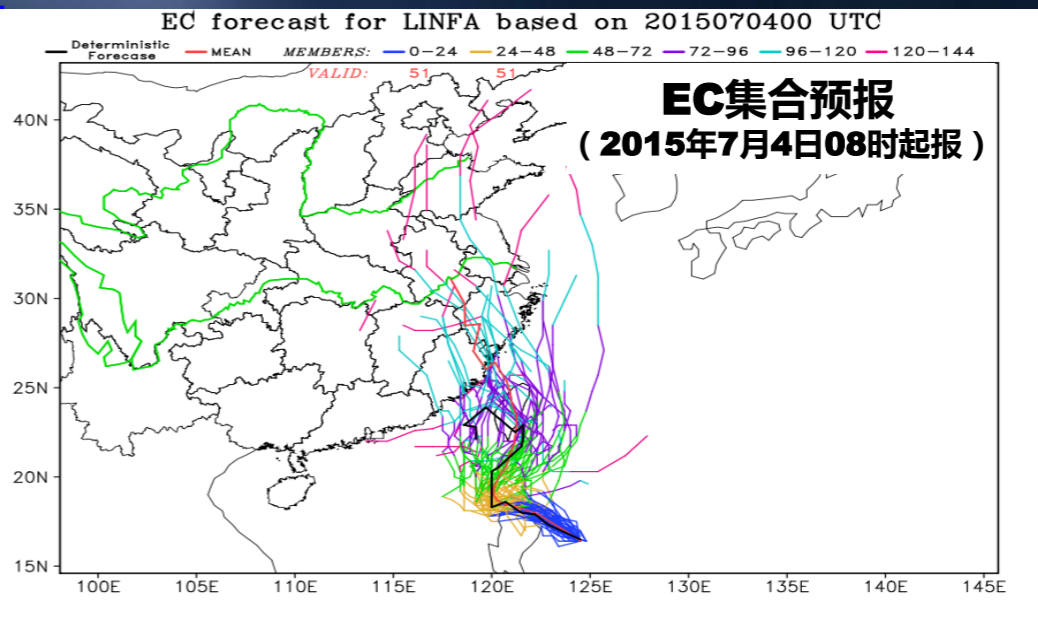
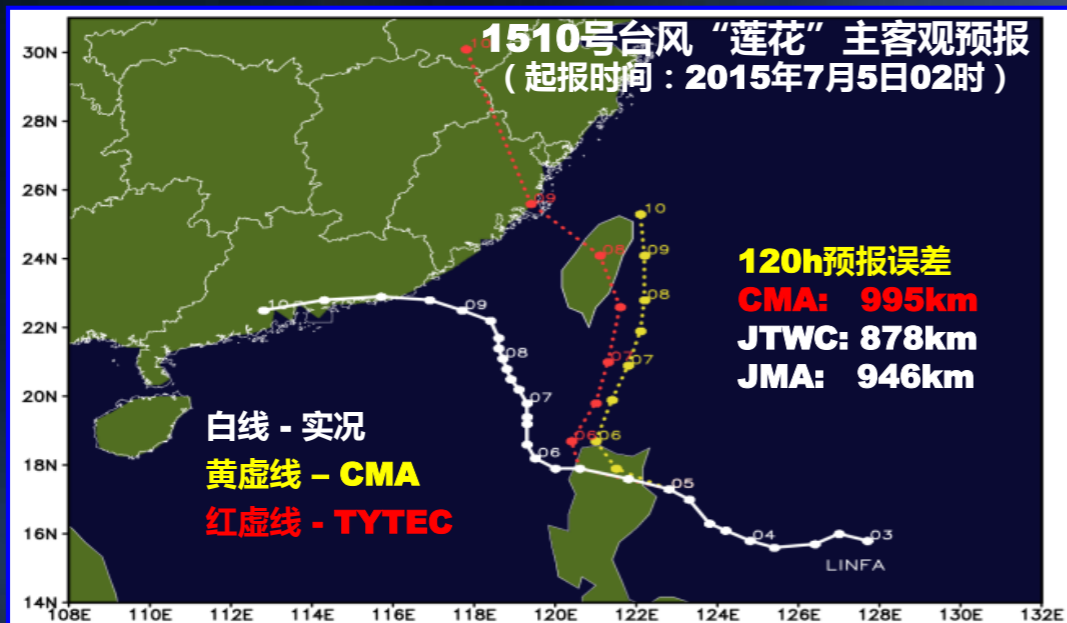
# 台风路径预报面临的挑战

- 台风长时效路径预报



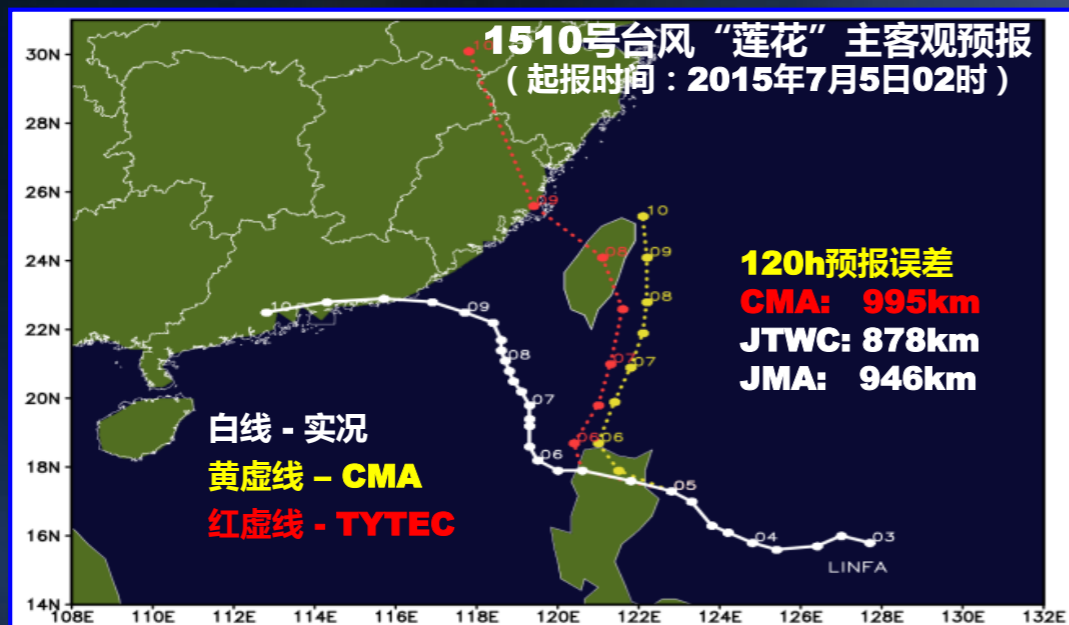
# 台风路径预报面临的挑战

- 台风长时效路径预报



# 台风路径预报面临的挑战

- 台风长时效路径预报

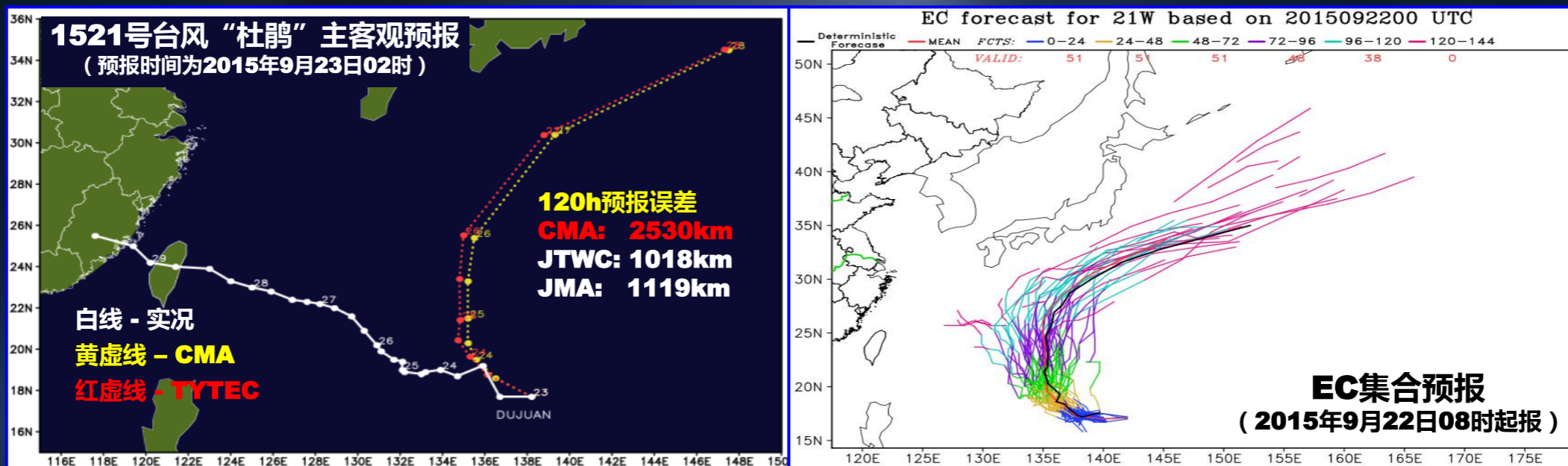


2015年7月5日02时MTSAT卫星云图



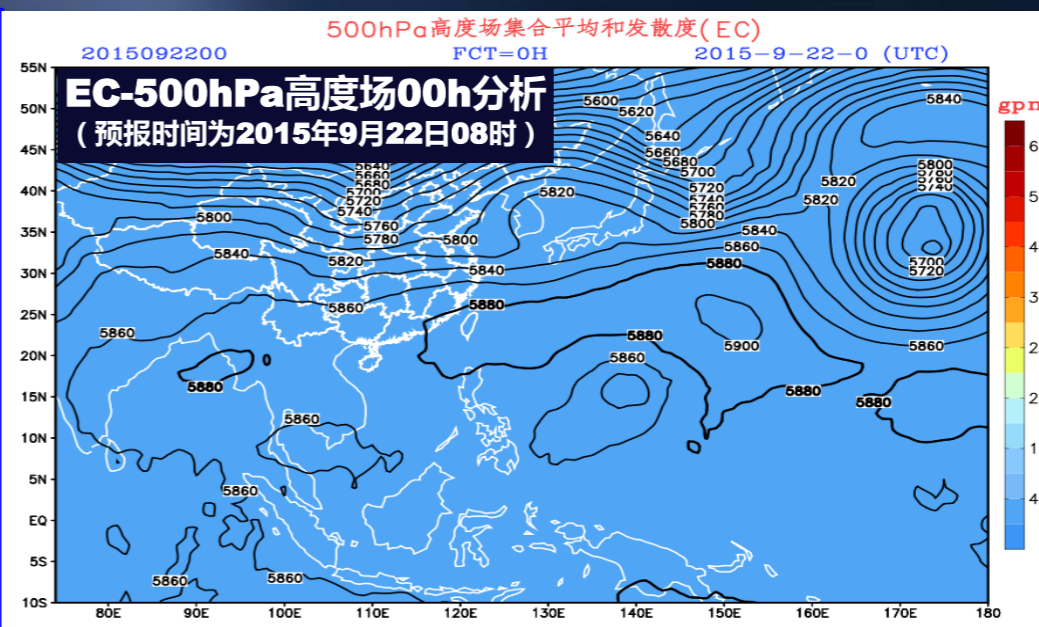
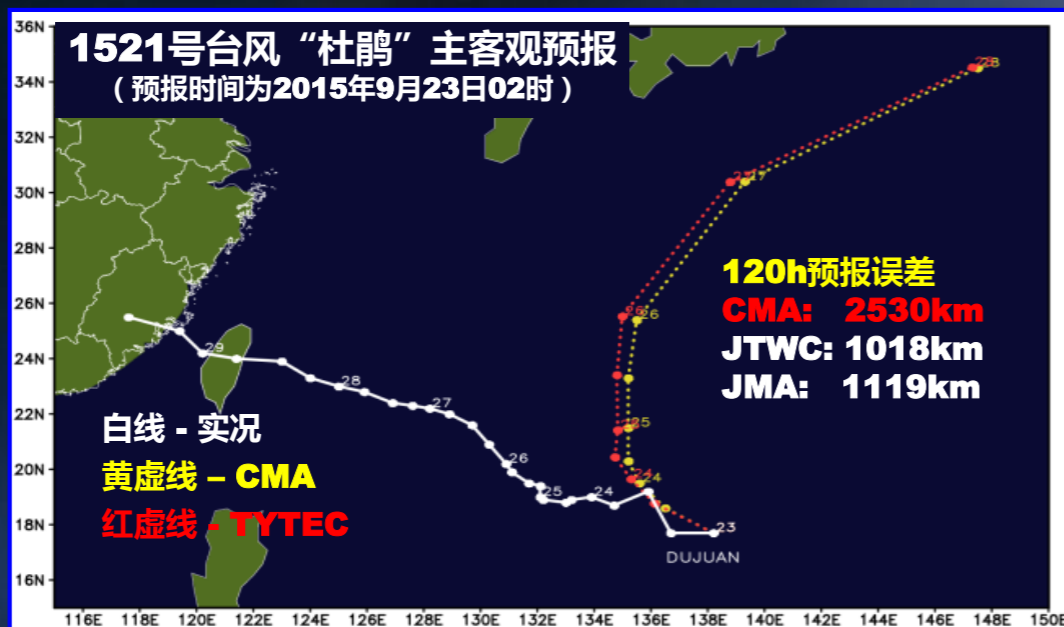
# 台风路径预报面临的挑战

- 台风长时效路径预报



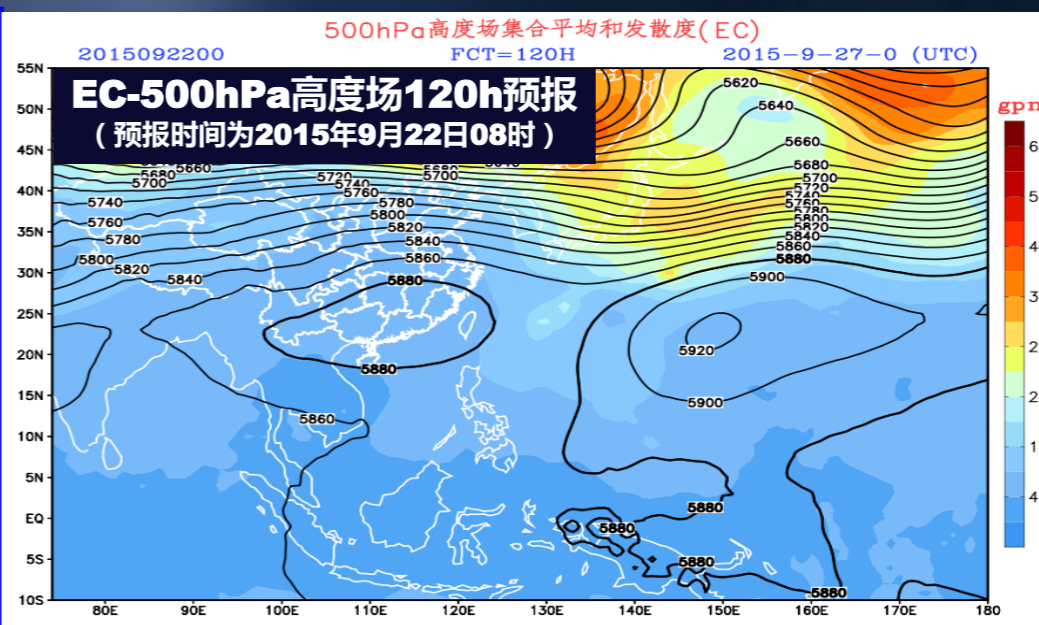
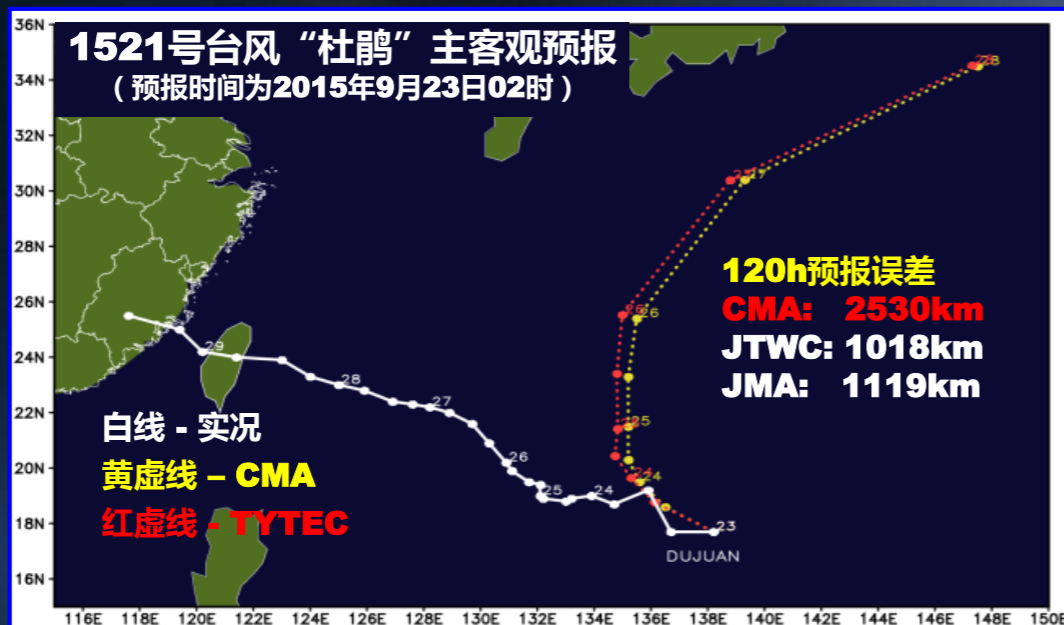
# 台风路径预报面临的挑战

- 台风长时效路径预报



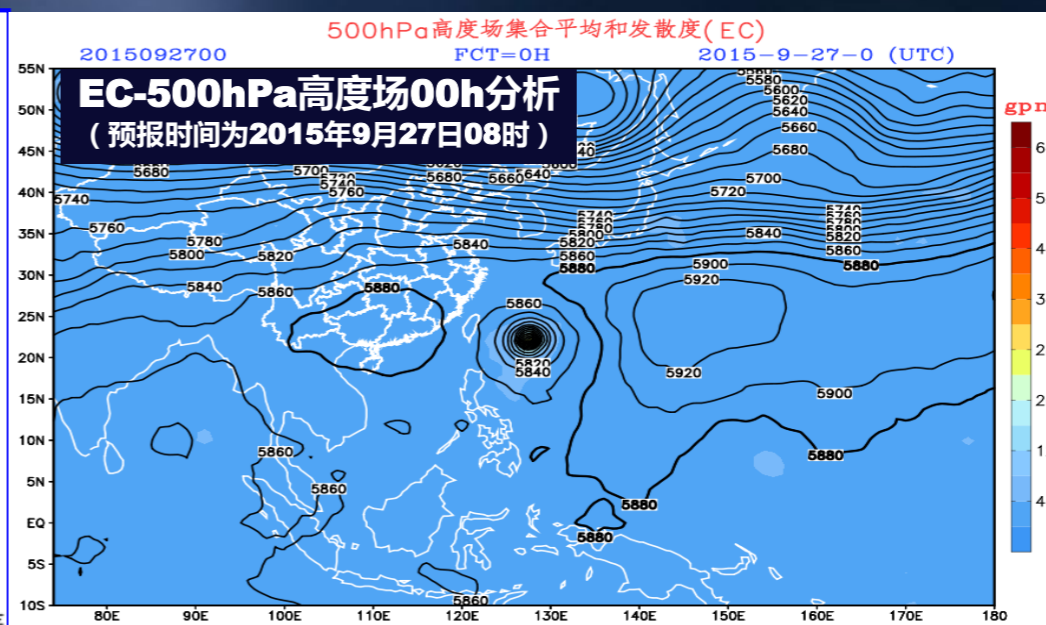
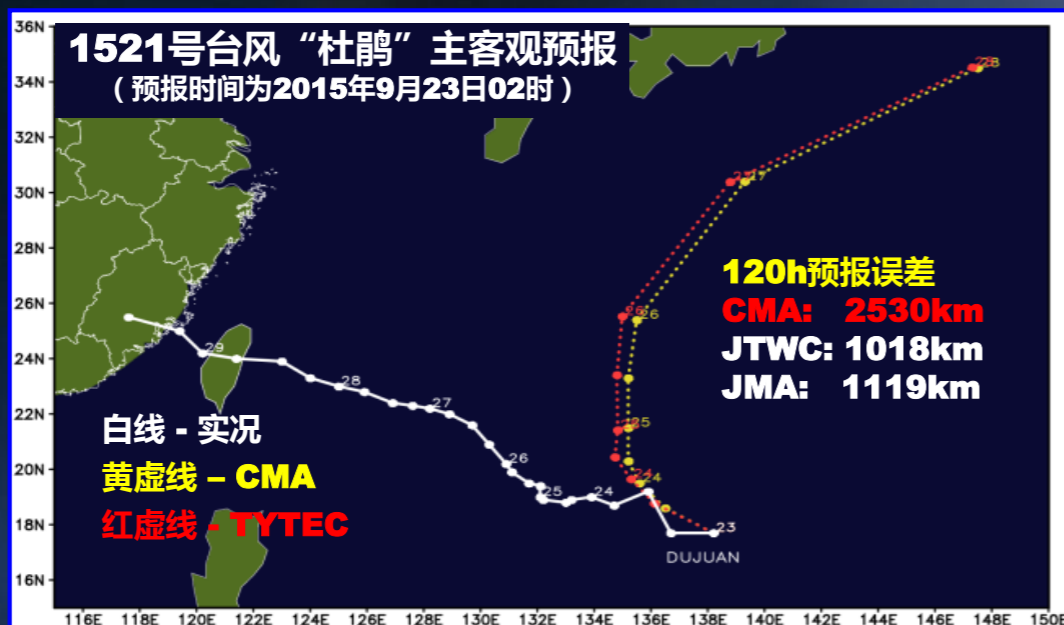
# 台风路径预报面临的挑战

- 台风长时效路径预报



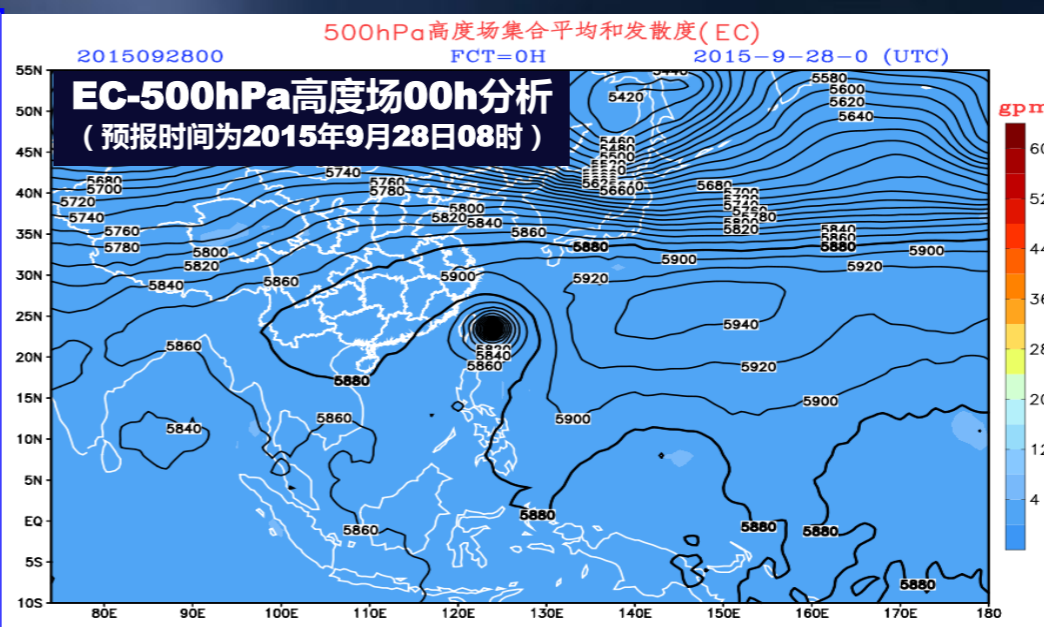
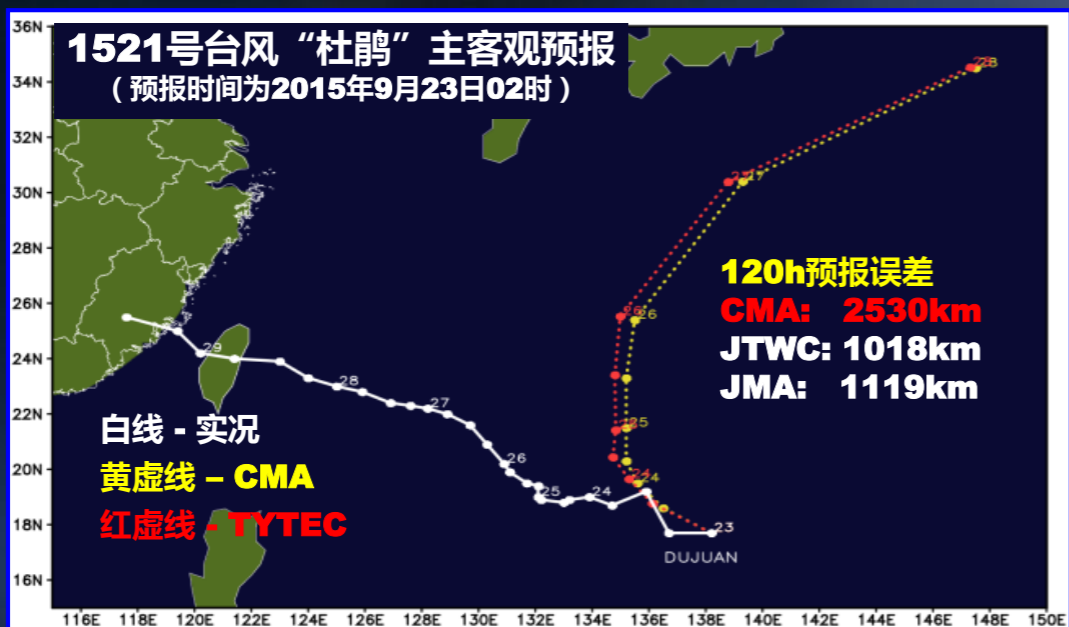
# 台风路径预报面临的挑战

- 台风长时效路径预报



# 台风路径预报面临的挑战

- 台风长时效路径预报



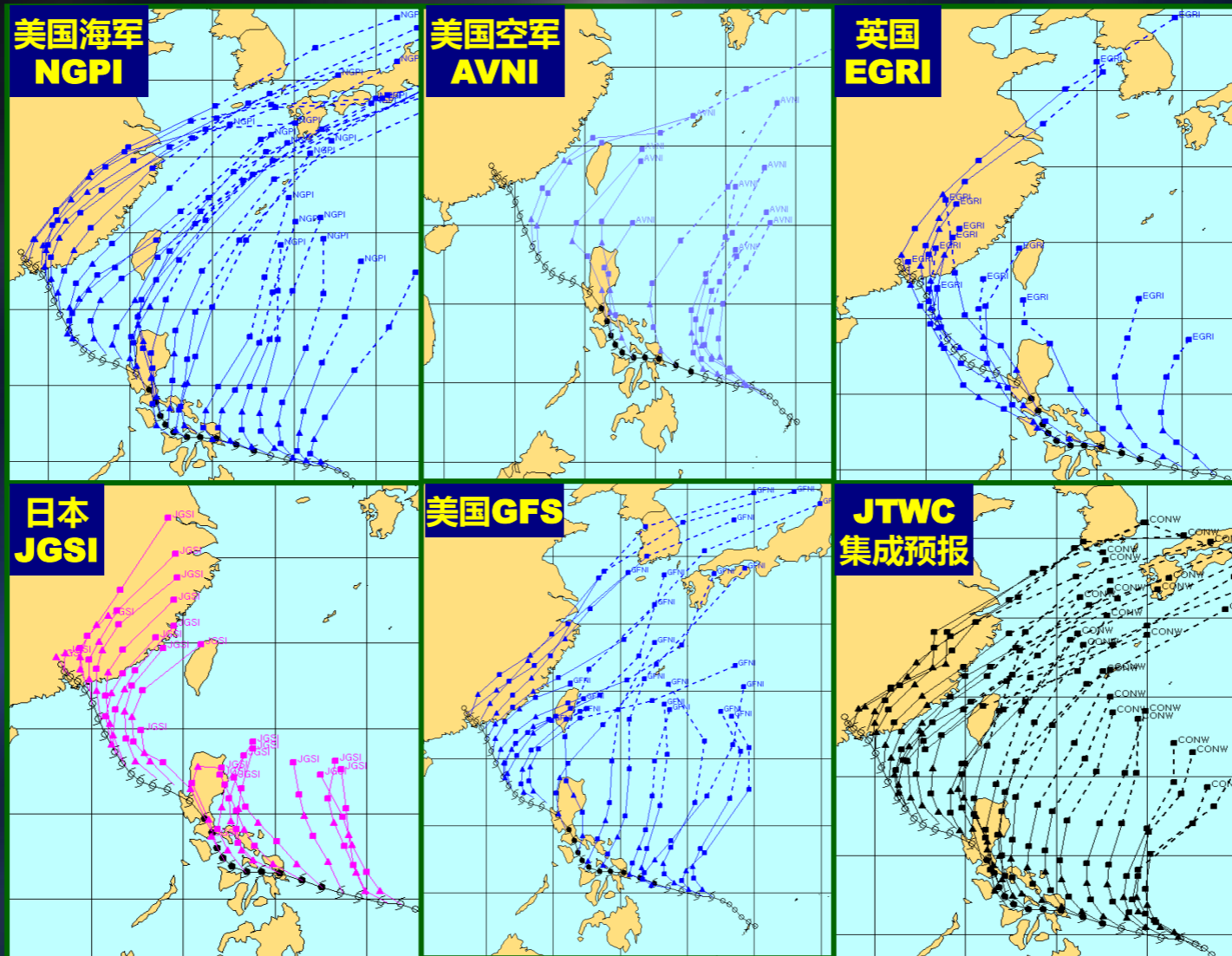
# 台风路径预报面临的挑战

- **台风长时效路径预报**

- ✓ “米雷”和“莲花”路径预报偏差与双台风相互作用导致数值模式较大偏差有关
- ✓ “杜鹃”路径预报偏差与台风初始生成时的数值模式预报偏差有关，模式没能报出副高西伸加强，而预报副高减弱东退，这种情况常发生在秋季的9月下旬至10月上旬（如：1323号台风“菲特”）

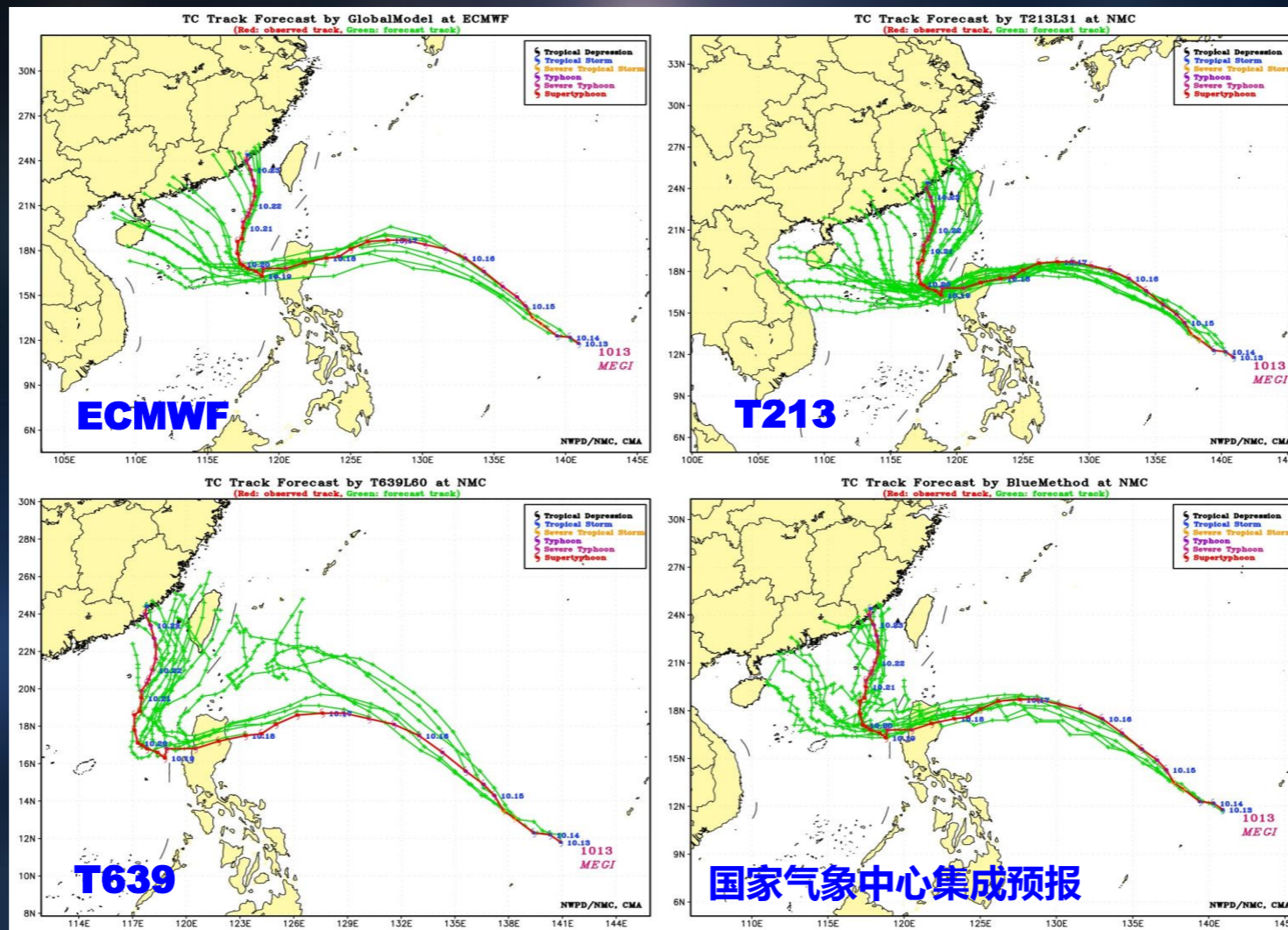
# 台风路径预报面临的挑战

- 数值预报模式的不确定性 -- 0806号台风“风神”



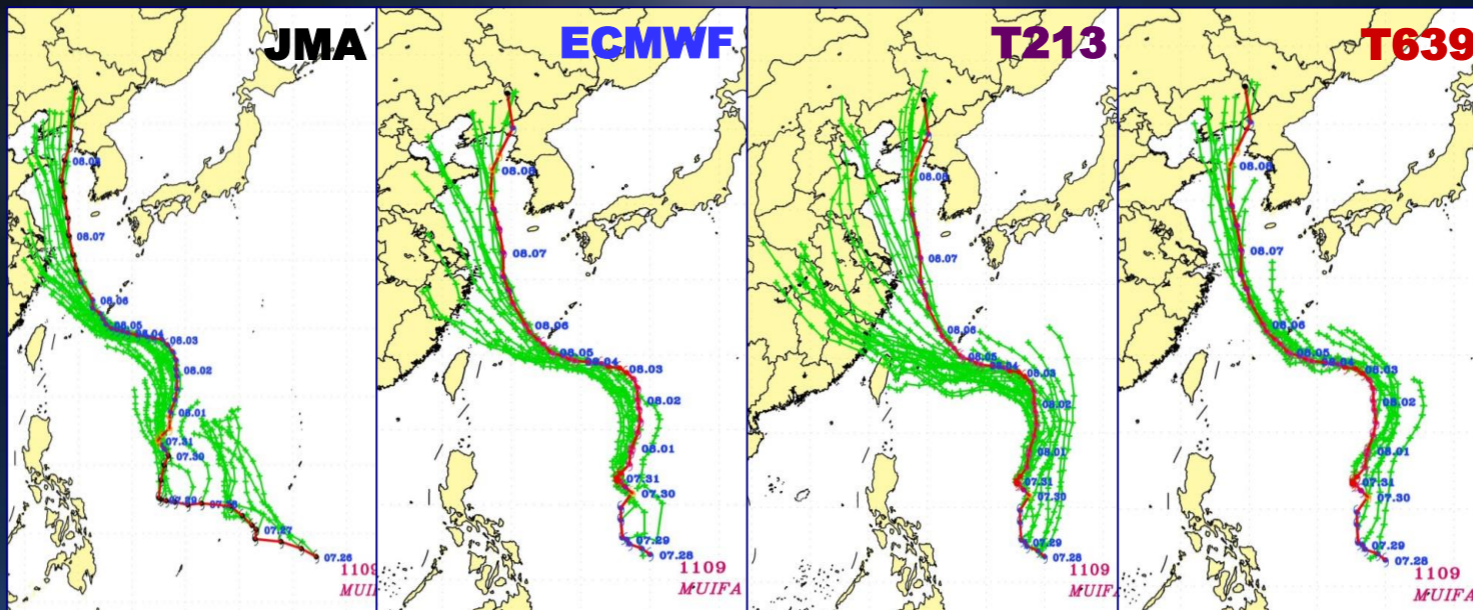
# 台风路径预报面临的挑战

- 数值预报模式的不确定性 -- 1013号台风“鲇鱼”



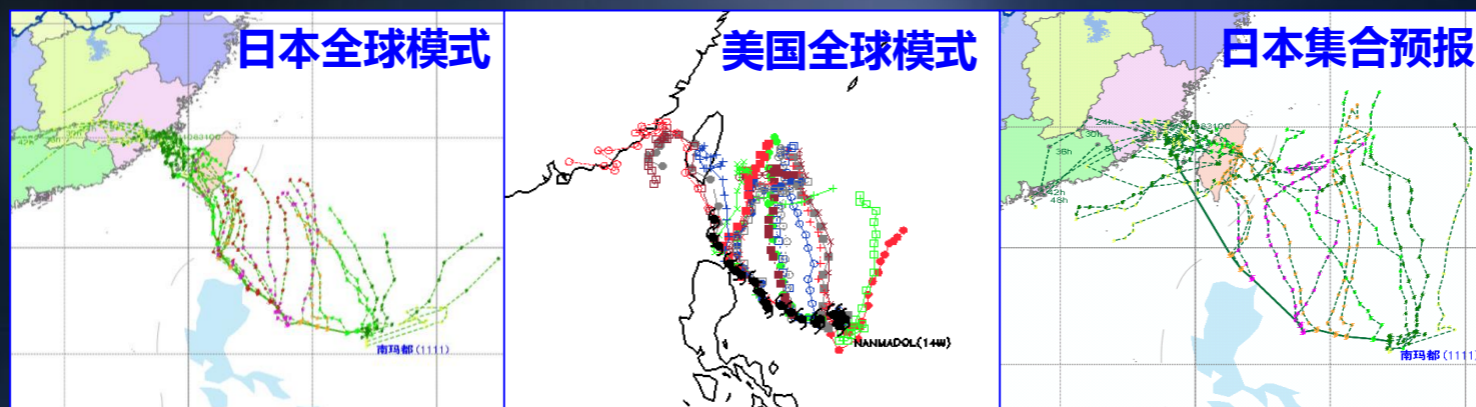
# 台风路径预报面临的挑战

- 数值预报模式的不确定性 -- 1109号台风“梅花”



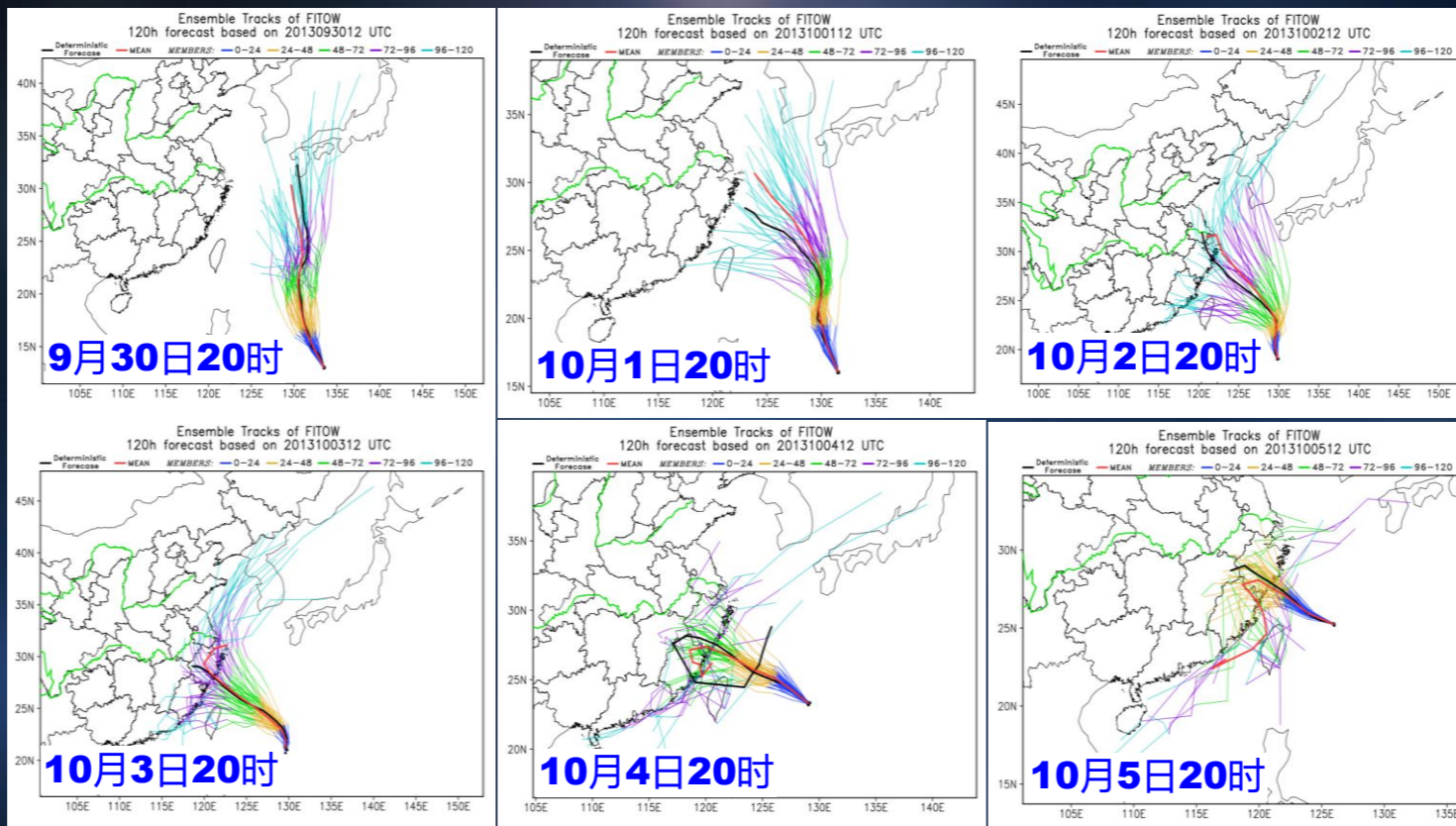
# 台风路径预报面临的挑战

- 数值预报模式的不确定性 -- 1111号台风“南玛都”



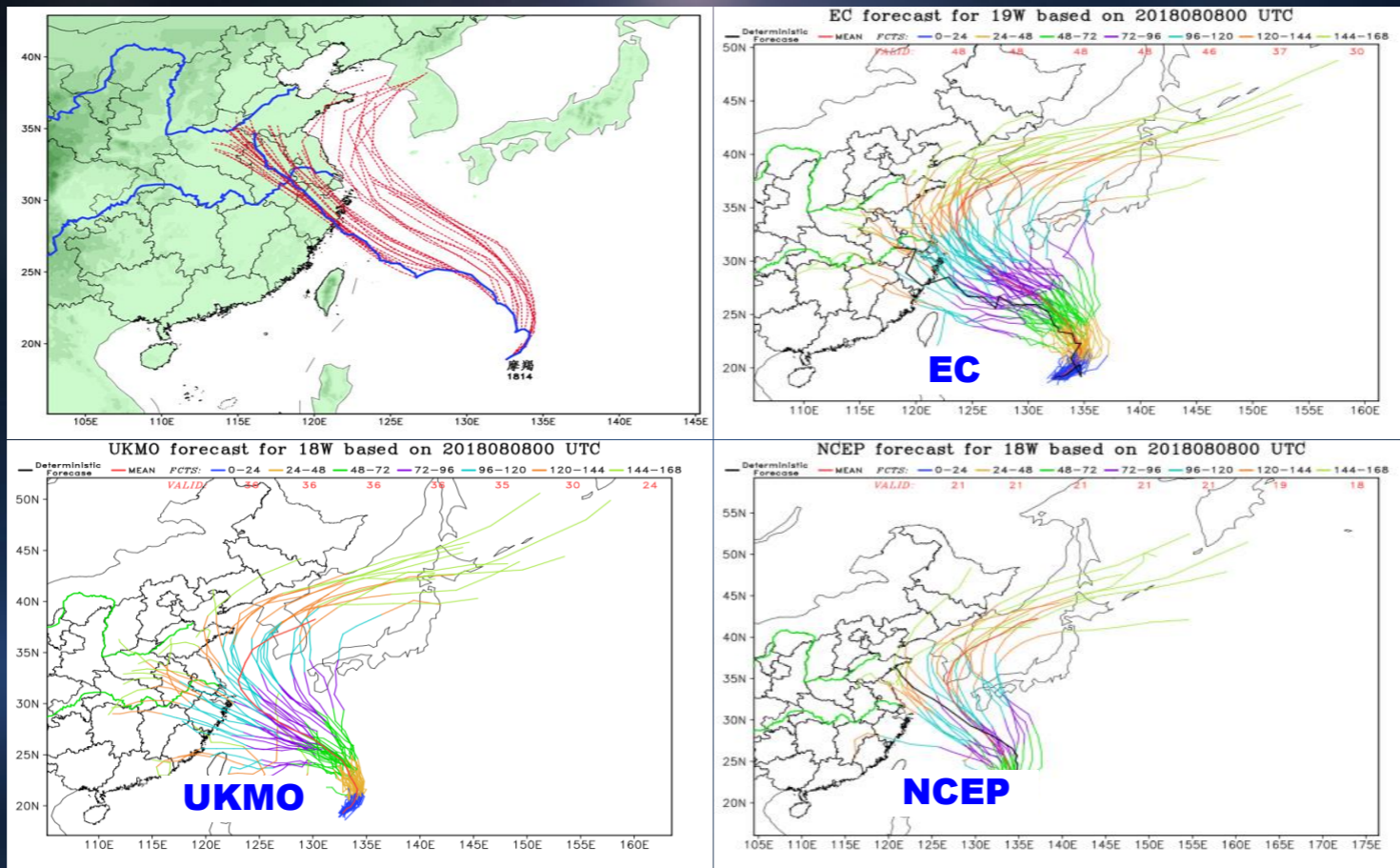
# 台风路径预报面临的挑战

- 数值预报模式的不确定性 -- 1323号台风“菲特”



# 台风路径预报面临的挑战

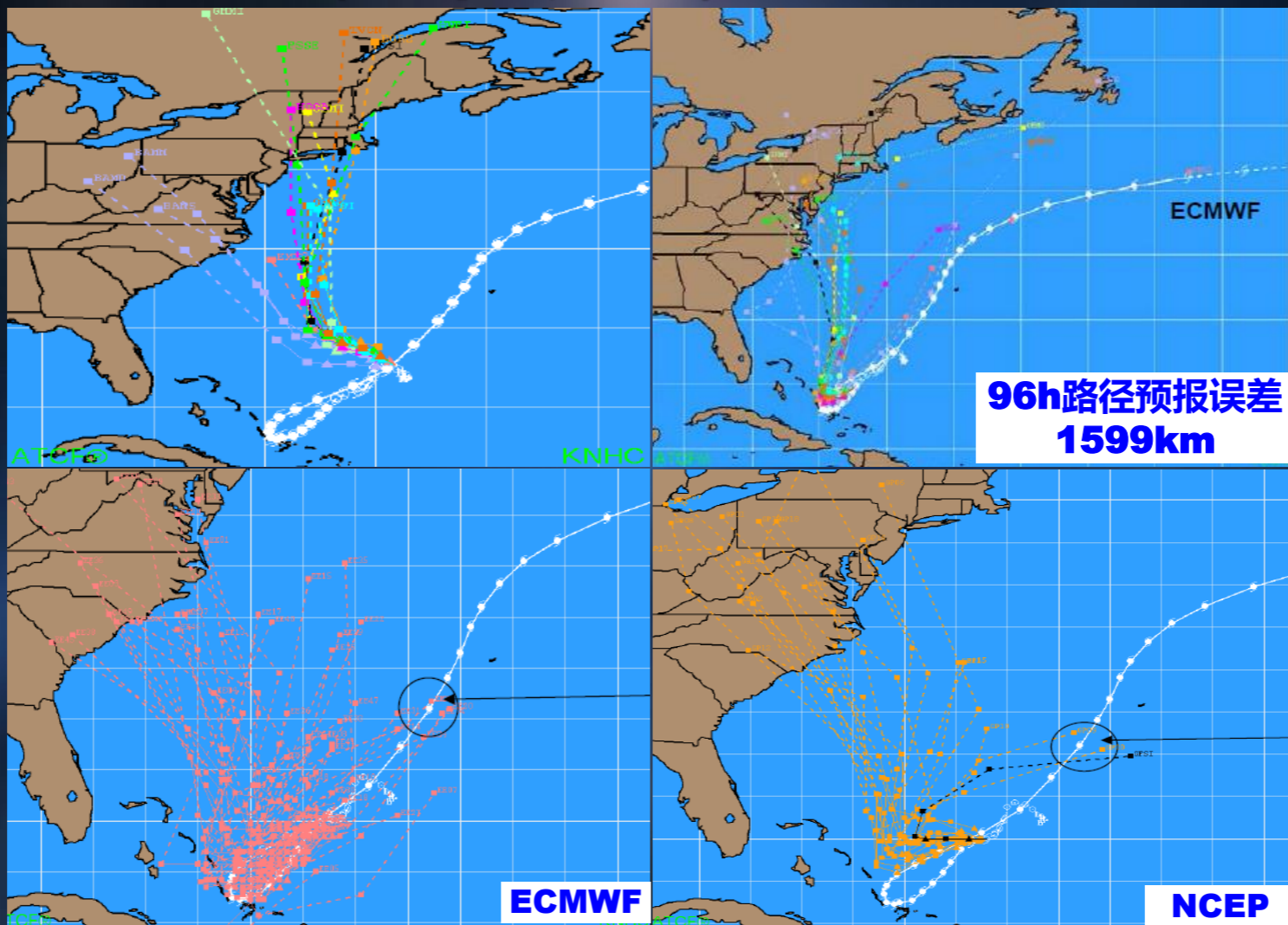
- 数值预报模式的不确定性 -- 1814号台风“摩羯”



# 台风路径预报面临的挑战

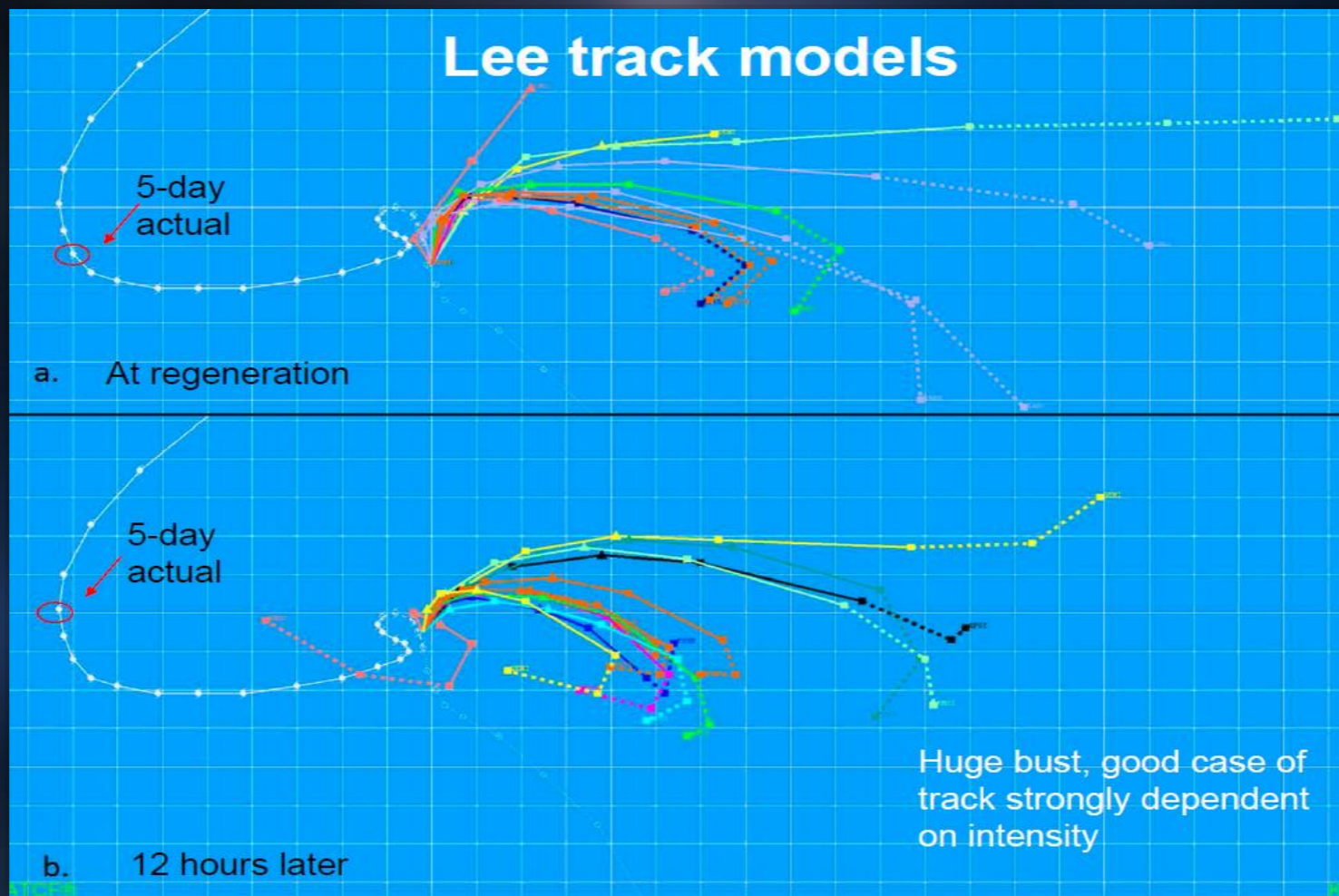
- 数值预报模式的不确定性

--北大西洋四级飓风“华金” (Joaquin, 2015)



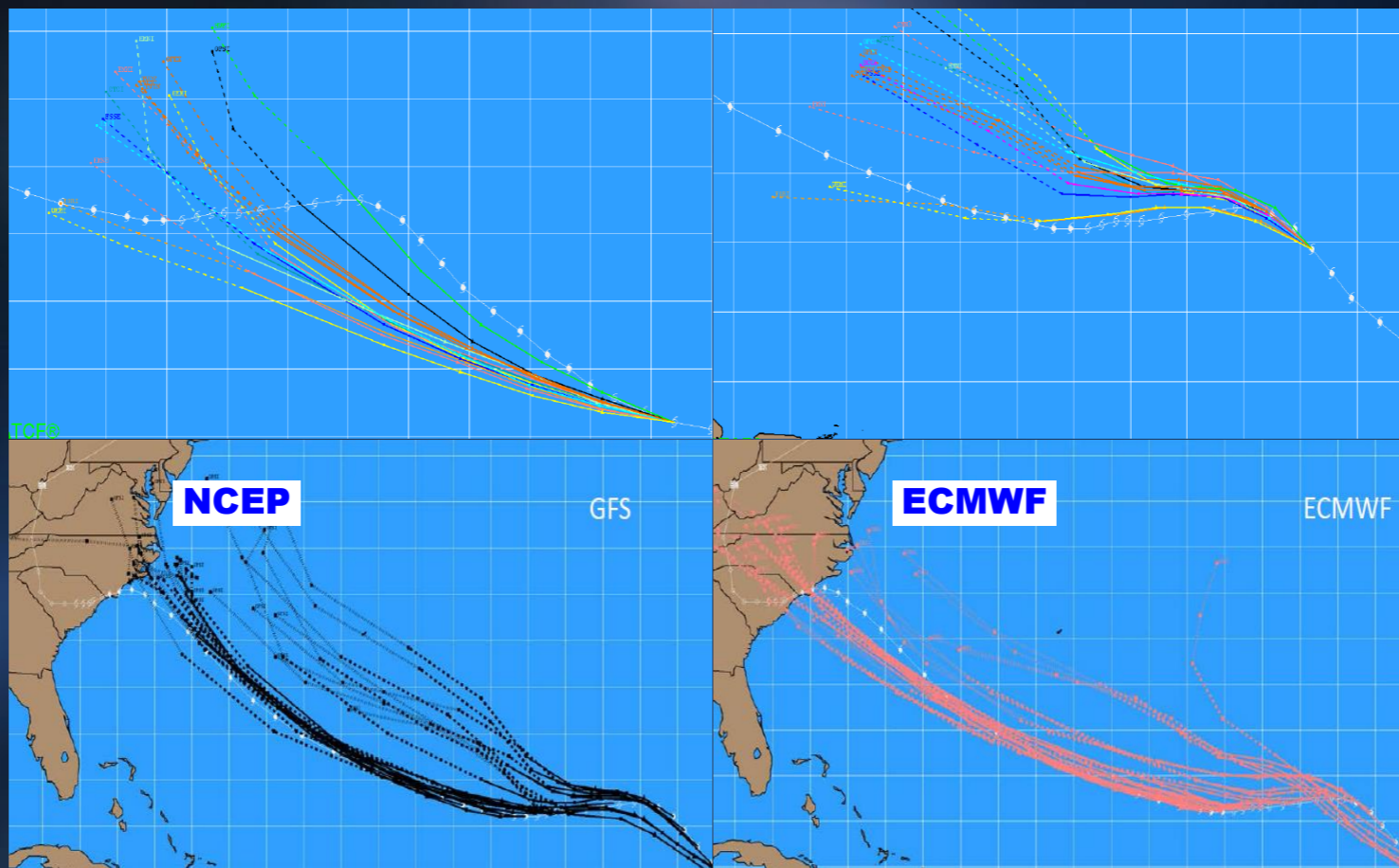
# 台风路径预报面临的挑战

- 数值预报模式的不确定性  
--北大西洋飓风“李” ( Hurricane Lee , 2017)



# 台风路径预报面临的挑战

- 数值预报模式的不确定性  
--北大西洋四级飓风佛罗伦斯 ( Florence , 2018)



# 台风路径预报面临的挑战

- **台风长时效路径预报的改进途径**
  - ✓ 加强数值/集合预报模式的改进研发
  - ✓ 加强天气物理概念模型
  - ✓ 相关模式订正技术以及客观方法研发
  - ✓ 对数值/集合预报模式做出合理订正

## 5.8 影响台风环境引导气流的主要因子



# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 大尺度天气系统

- ✓ 西风带长波槽位置
- ✓ 副热带高压的强度与消长
- ✓ 大陆极地高压的南压
- ✓ 青藏高压
- ✓ 热带辐合带
- ✓ 赤道缓冲带（赤道高压）的进退
- ✓ 阻塞高压的位相及消长
- ✓ 高空急流的强度及位置

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 天气尺度、中小尺度天气系统

- ✓ 高空冷涡
- ✓ 西风带短波槽
- ✓ 热带东风波
- ✓ 低纬度槽 -- 南支槽
- ✓ 双台风

- 其它

- ✓ 下垫面
- ✓ 台风内部结构

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **长波槽位置**

- ✓ **90°E附近有长波槽**

- **我国沿海到日本一带有长波脊维持或发展，位于21-25°N的台风以西进为主**

# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 长波槽位置

- ✓ **120°E附近有长波槽，台风以转向为主**
- 长波槽加深发展，由纬向环流急转为径向型，台风以转向为主
- 长波槽中不断有短波小槽东移，每一次移入移出会引起西太平洋副高一次东退与西进，台风以转向为主，但会有短暂西进
- 长波槽减弱西退，可引起西太平洋副高加强西伸，可使原来向东北移动的台风突然折向西行

# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 长波槽位置

### ✓ 150°E附近有长波槽发展

- 位于其上游的我国华北和东北有移动性低压槽东移，导致位于日本附近副热带高压崩溃，台风会突然转向
- 位于其上游的我国华北和东北有暖性高压脊东移，导致位于日本附近的副热带高压加强西伸，台风则西进

# 影响台风环境引导气流的主要因子

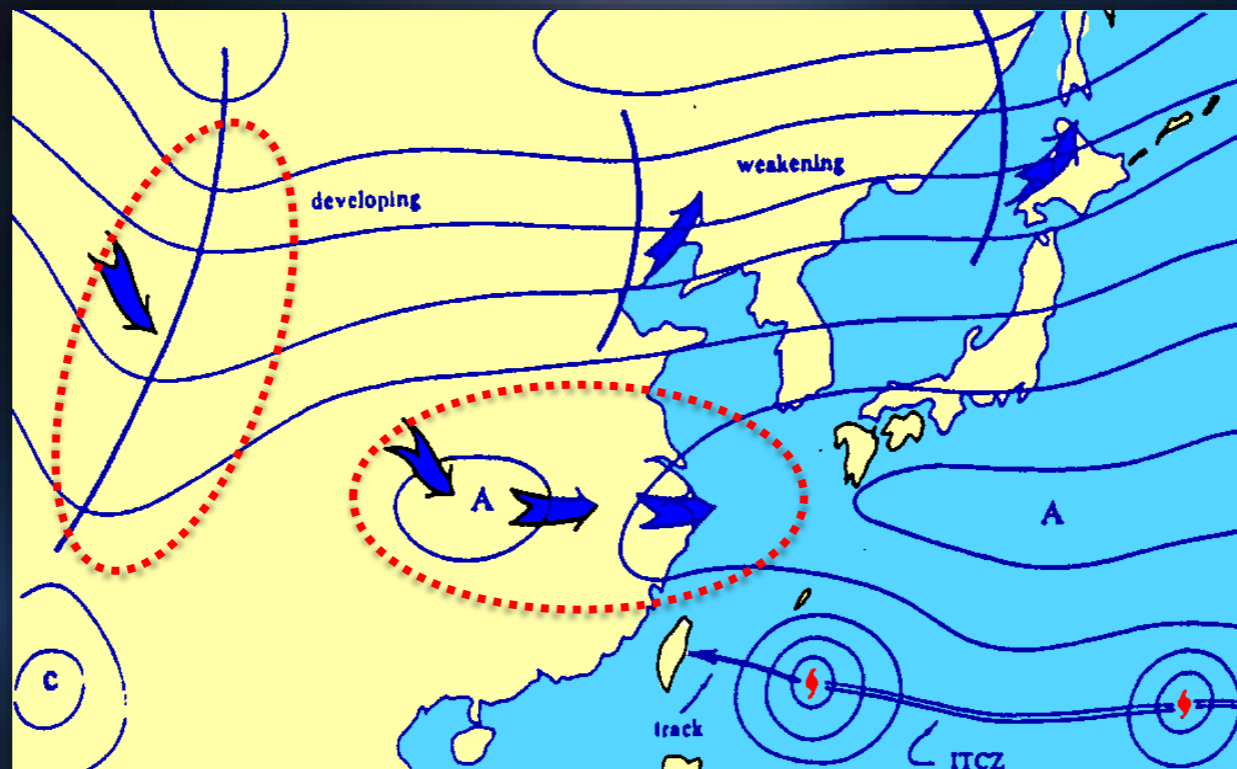
## ● 西太平洋副热带高压

✓ 台风路径趋向取决于台风与副热带高压的相对位置及其与高压脊的距离

- 台风位于副高东南侧或南侧，以西进为主
- 台风位于副高西南侧，以转向为主
- 距高压脊南侧10个纬距以上，以西进为主
- 距高压脊10个纬距内，愈近转向可能性愈大
- 副高减弱东退，向台风南侧伸展，可能在未来30-42小时内转向

## 影响台风运动的主要因子

- 长波槽和副热带高压相互作用
  - 西移引导气流



- 东移的青藏高原高压与太平洋副热带高压合并，副高加强西伸，位于副高南侧的台风西移

## ● 长波的调整

根据Rossby长波理论，长波必须按一定的波长来维持其存在。

$$C = U - \beta \left( \frac{L}{2\pi} \right)^2 \quad L_s = 2\pi \sqrt{\frac{U}{\beta}} \quad \beta = \frac{\partial f}{\partial \varphi}$$

当  $L < L_s$  时，  $C > 0$  波向东移动(前进)

当  $L = L_s$  时，  $C = 0$  波静止

当  $L > L_s$  时，  $C < 0$  波向西移动(后退)

按夏季中纬度对流层中层的条件代入：

静止波长  $L_s = 75$  个经度； 东移波长  $L = 65$  个经度

$L < 75$  个经度， 波向东移（前进）

$L > 75$  个经度， 波向西移（后退）

## ● 长波的调整

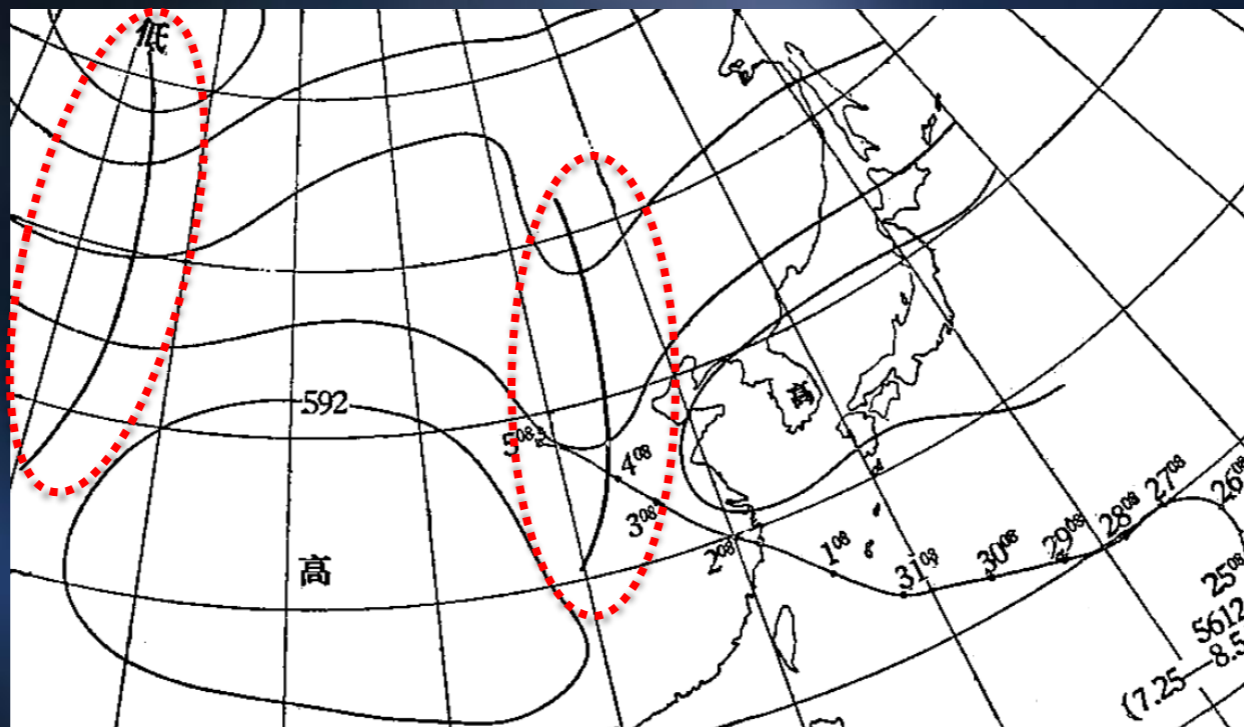
根据Rossby长波理论，长波必须按一定的波长来维持其存在。



- 登陆点实测气压923百帕，当时我国大陆实测最低气压
- 杭州实测气压958.7百帕，迄今为止观测的最低气压

- **长波的调整**

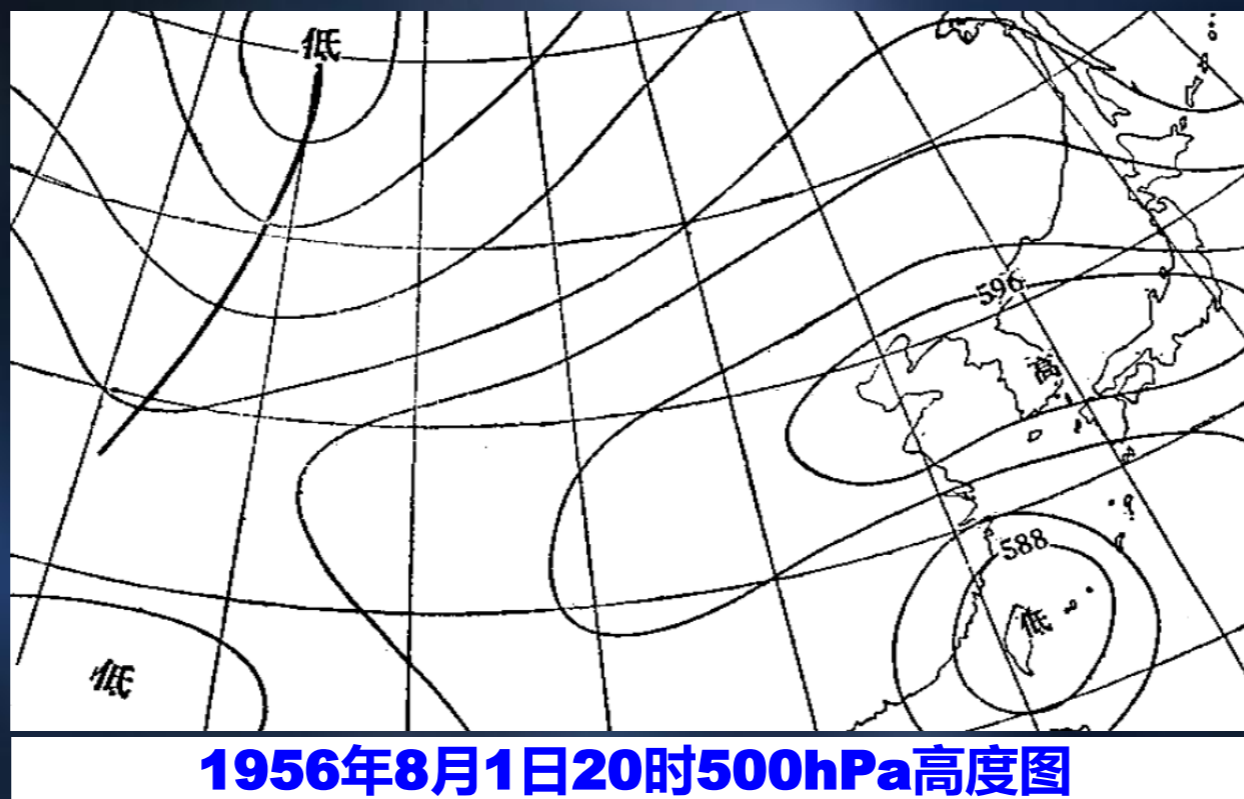
根据Rossby长波理论，长波必须按一定的波长来维持其存在。



**1956年7月30日20时500hPa高度  
和5612号超强台风Wanda全路径图**

- **长波的调整**

根据Rossby长波理论，长波必须按一定的波长来维持其存在。



# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 大陆极地高压 – 冷空气的影响

- ✓ 台风路径取决于冷空气、高空西风槽的强度及其与台风的相对位置以及台风本身的强度等因素

- 弱冷空气

- ① 若受低层东北季风引导，以西进为主

- ② 若受高空西风引导，以东移为主

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **大陆极地高压 – 冷空气的影响**

- ✓ 台风路径取决于冷空气、高空西风槽的强度及其与台风的相对位置以及台风本身的强度等因素

- **强冷空气**

- ① 高空西风带未随冷空气显著南下，台风有可能转向西南方向移动

- ② 高空西风带随冷空气同时南下，台风位于槽前，台风会迅速转向东北方向移动

- ③ 高空西风带随冷空气同时南下，台风位于槽后，台风有可能转向东南方向移动

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 大陆极地高压 – 冷空气的影响

- ✓ 台风路径取决于冷空气、高空西风槽的强度及其与台风的相对位置以及台风本身的强度等因素

- 中等强度冷空气

- ① 台风移向不变、移速减缓

- ② 迴旋少动或打转

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **青藏高压及温度场**

- ✓ 青藏高压与中纬度高压脊同位相时，导致东亚长波槽加深，西太平洋副高东退，有利于台风转向
- ✓ 青藏高原出现低压槽，会引起西太平洋副高明显西伸，有利于台风西行
- ✓ 西太平洋副高为动力高压，能引导台风
- ✓ 青藏高压为热力高压，对台风不易起引导作用

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 青藏高原高压及温度场

- ✓ 青藏高原500hPa的-3°C温度脊向东伸展，可导致位于日本附近的副高强度增强，其脊线向西伸展，有利于台风西进
- ✓ 反之，会使位于日本附近的副高强度减弱且东退，有利于台风转向

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 青藏高原高压及温度场

- ✓ 青藏高原500hPa的-3°C温度脊向东伸展，高原东侧有分裂高压与西太平洋副高同时存在，位于高原东侧的分裂高压势力范围将减小，距离高原较远的西太平洋副高有增强西伸趋势，有利于台风西进

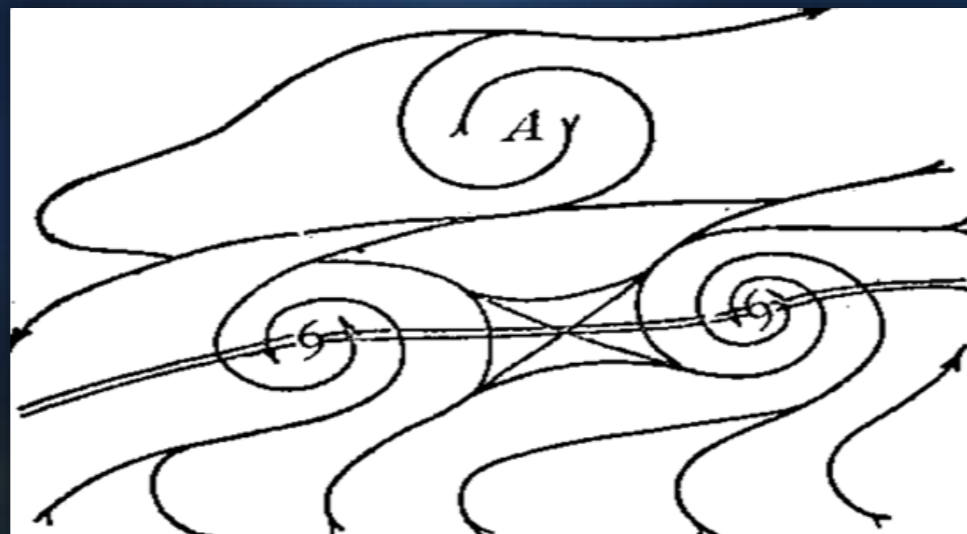
# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 热带辐合带

-- Intertropical Convergence Zone , ITCZ

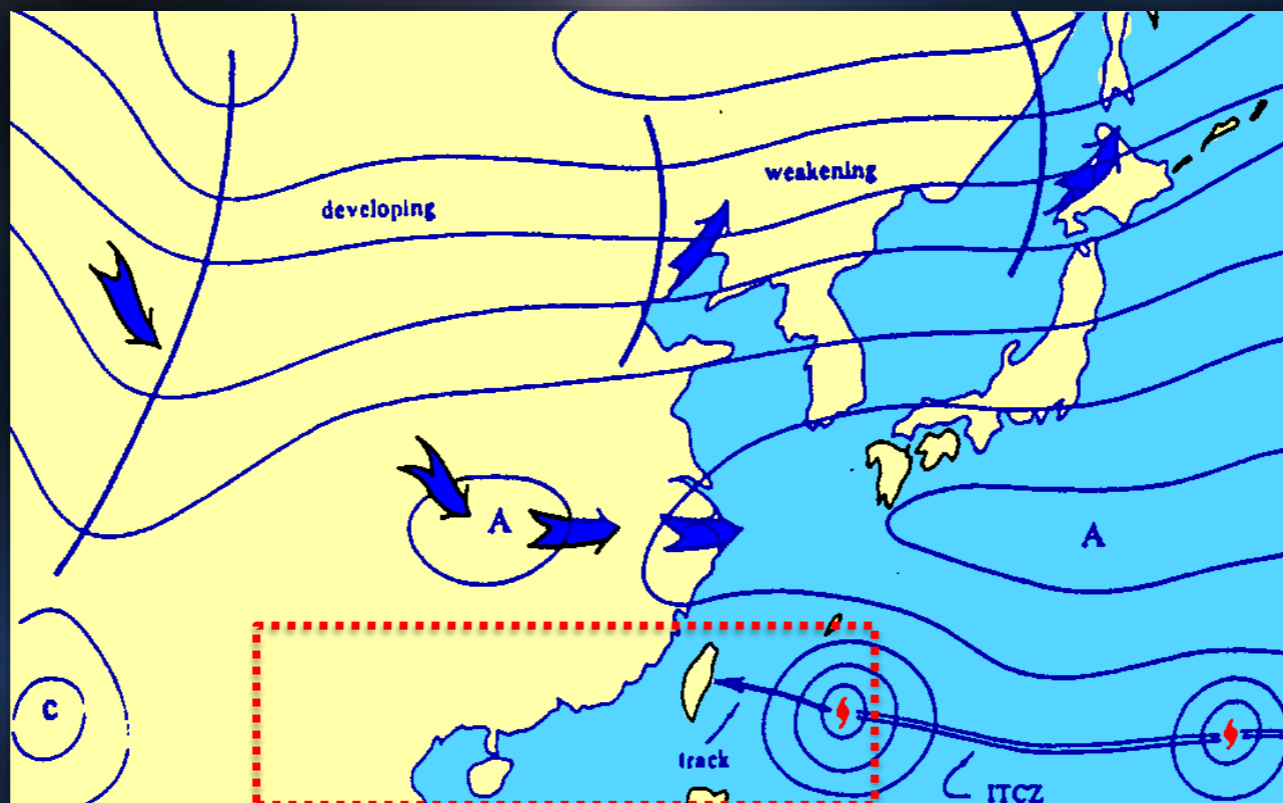
### ① 延续型ITCZ

- 东北信风和西南季风同时加强，热带辐合线呈纬向带状分布，副高南侧偏东信风很强，台风将西移；若多台风连续生成，路径与副高强度变化有关，副高减弱路径偏东，加强路径偏西



# 影响台风运动的主要因子

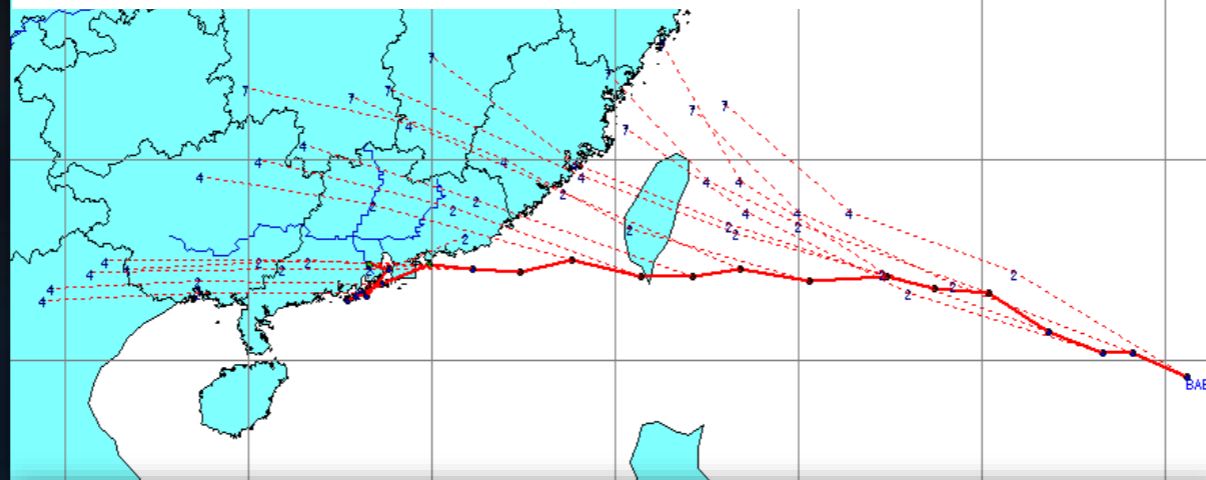
- 延续型ITCZ -- 西引导气流



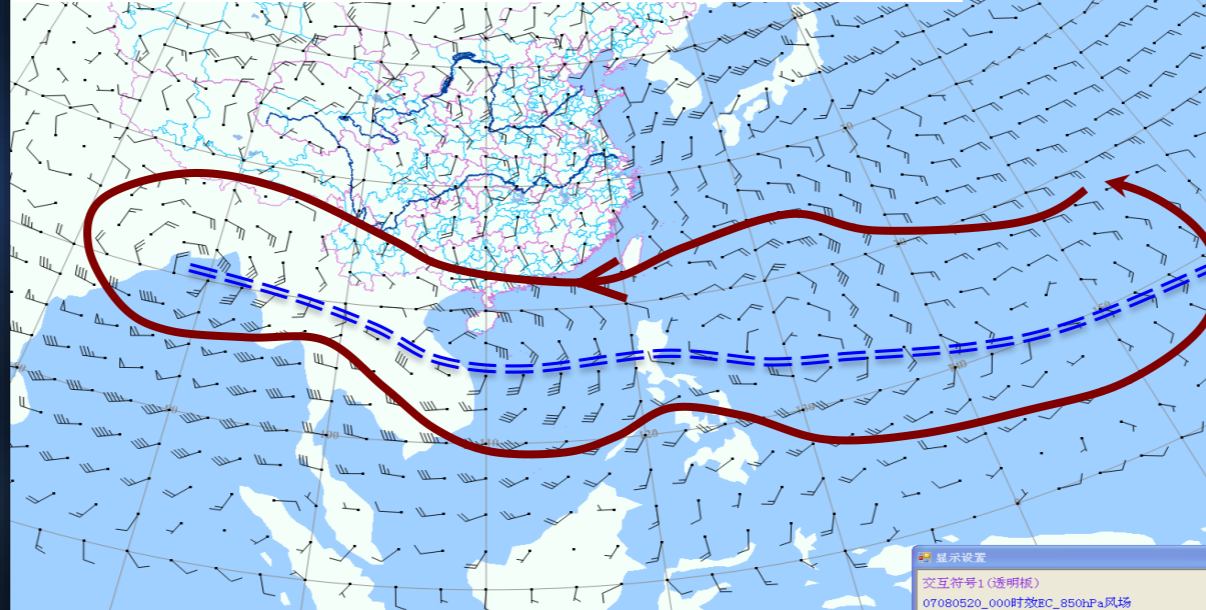
- 低纬维持延续型热带辐合带（ITCZ），有利于台风西移

# ✓ 延续型ITCZ台风个例

## 0707号强热带风暴“帕布”路径预报图



## 2007年8月5日20时EC-850hPa风场分析



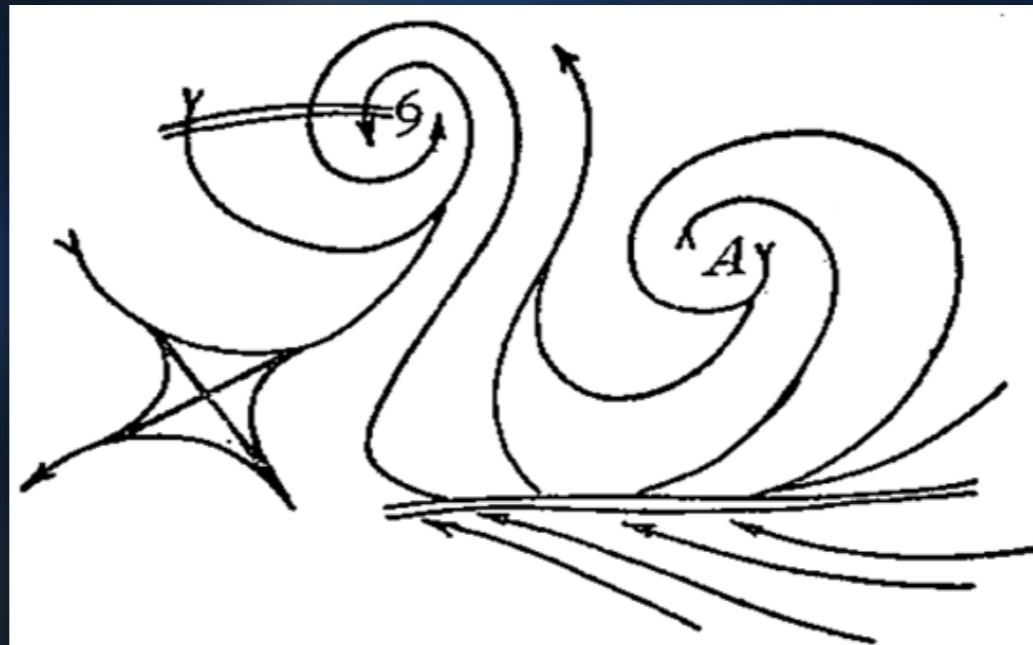
# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 热带辐合带

- Intertropical Convergence Zone , ITCZ

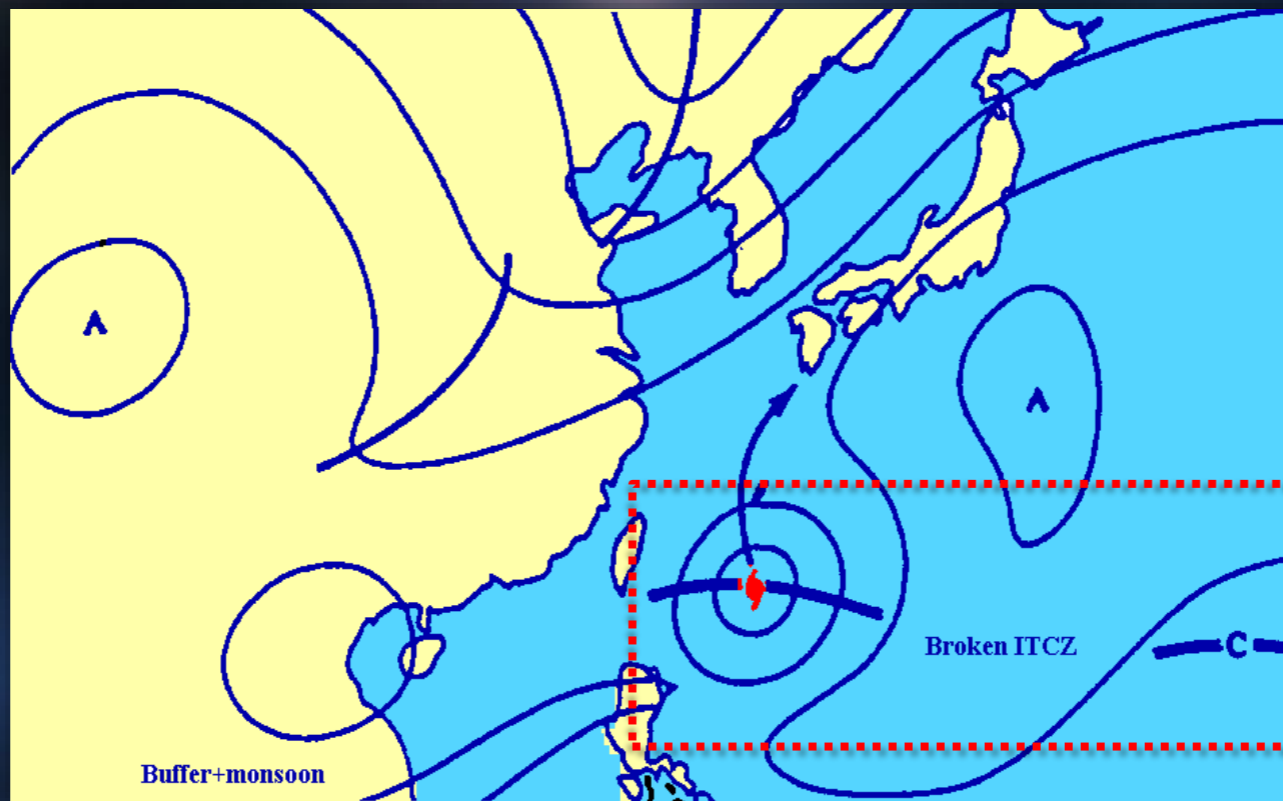
- ② 南落断裂型ITCZ

- ITCZ环流处于衰退期，台风东侧太平洋高压南落，在赤道附近形成汇合线，台风在偏南风引导下北上或转向



# 影响台风运动的主要因子

- 南落断裂型ITCZ -- 转向引导气流



- 低纬洋面热带辐合带（ITCZ）被副热带高压南移切断，将有利于台风转向后向东北方向移去

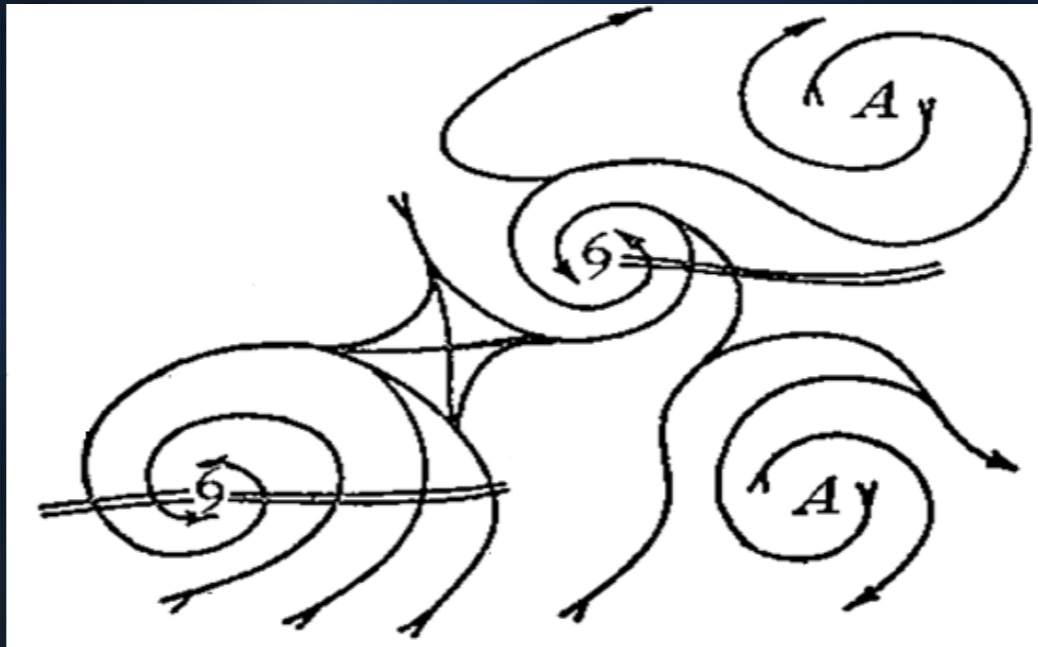
# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 热带辐合带

- Intertropical Convergence Zone , ITCZ

- ③ 北上断裂型ITCZ

- 台风东侧赤道高压向北挺进，ITCZ随之北上，太平洋高压与西面那个台风距离拉远，使它周围基本气流减弱，台风将减速、打转或西折



# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 热带辐合带

- Intertropical Convergence Zone , ITCZ

- ④ 东西断裂型ITCZ

- 强烈发展的西风槽南伸，切断了热带辐合线，中纬度西风与赤道西风在槽底合并，槽前台风向偏北方向移动，槽后台风则西进



# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 赤道缓冲带 ( Equatorial Buffer Zone )

- ✓ 赤道缓冲带在南半球气流向北半球全面涌进时，得到加强和稳定，对台风路径有重要作用

### ① 赤道缓冲带稳定

赤道附近气压场较均匀，赤道西风较副高南侧东风弱，东风对台风的牵引是主要的

- 副高减弱阶段，其作用就显现出来，使台风向偏东方向移动
- 副高南侧东风与赤道西风抵消时，台风将减速或打转

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **赤道缓冲带 ( Equatorial Buffer Zone )**

- ✓ 赤道缓冲带在南半球气流向北半球全面涌进时，得到加强和稳定，对台风路径有重要作用

- ① 赤道缓冲带稳定

赤道附近气压场较均匀，赤道西风较副高南侧东风弱，东风对台风的牵引是主要的

- 副高南侧东风与赤道西风抵消时，台风将减速或打转

# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 赤道缓冲带对台风路径的两种作用方式

### ① 赤道缓冲带稳定

赤道附近气压场较均匀，赤道西风较副高南侧东风弱，东风对台风的牵引是主要的

- 副高减弱阶段，其作用就显现出来，使台风向偏东方向移动
- 副高南侧东风与赤道西风抵消时，台风将减速或打转
- 影响短暂，进入东风带，受副高南侧气流引导，台风将向偏西或西北方向移动

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 赤道缓冲带对台风路径的两种作用方式

- ② 赤道缓冲带向北涌进

- ✓ 赤道缓冲带向北涌进与西太副高合并，使合并地区的热带辐合线消失，将对台风的移动产生重要影响
- ✓ 赤道缓冲带向北涌进与西太平洋高压合并有两条通道：在台风东侧和在台风西侧，当副高衰退时，甚至可以改变台风移动的总趋势

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 赤道缓冲带对台风路径的两种作用方式

- ② 赤道缓冲带向北涌进

- ✓ 缓冲带在台风东侧与副高合并时，台风将在偏南气流引导下向偏北方向移动或转向
    - ✓ 缓冲带在台风西侧与副高合并时，台风将受到阻挡而减速，或在较强偏北气流引导下，折向西南方向移动

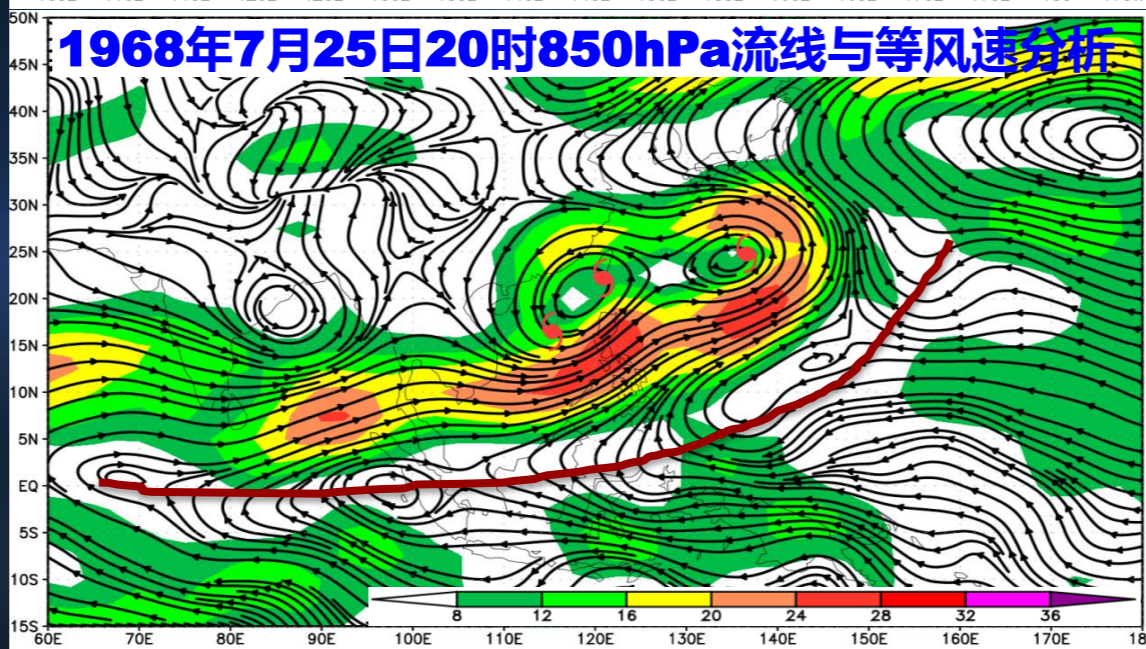
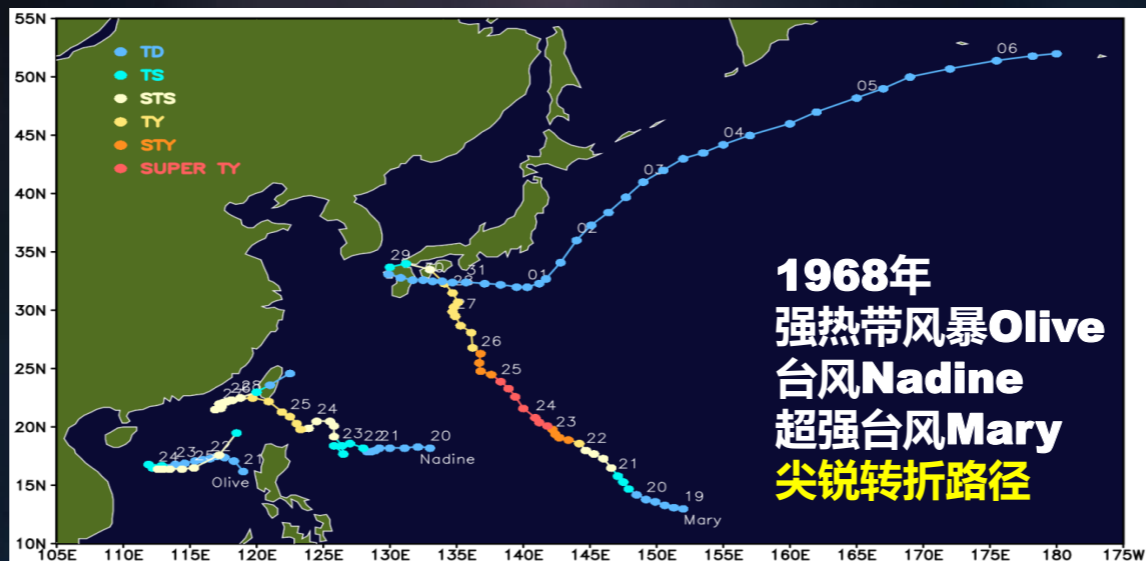
# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 赤道缓冲带对台风路径的两种作用方式

- ② 赤道缓冲带向北涌进

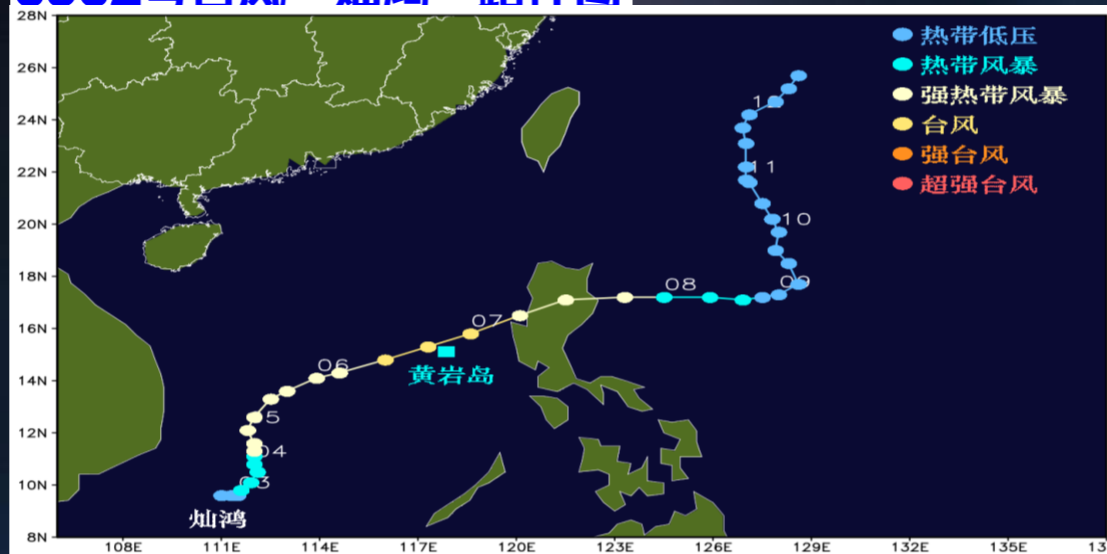
- ✓ 缓冲带向北涌进是南海台风北翘的重要因素之一，2010年台风“鲇鱼”南海北翘就是赤道反气旋西伸北进至菲律宾群岛所造成

# ✓ 赤道缓冲带作用台风个例1

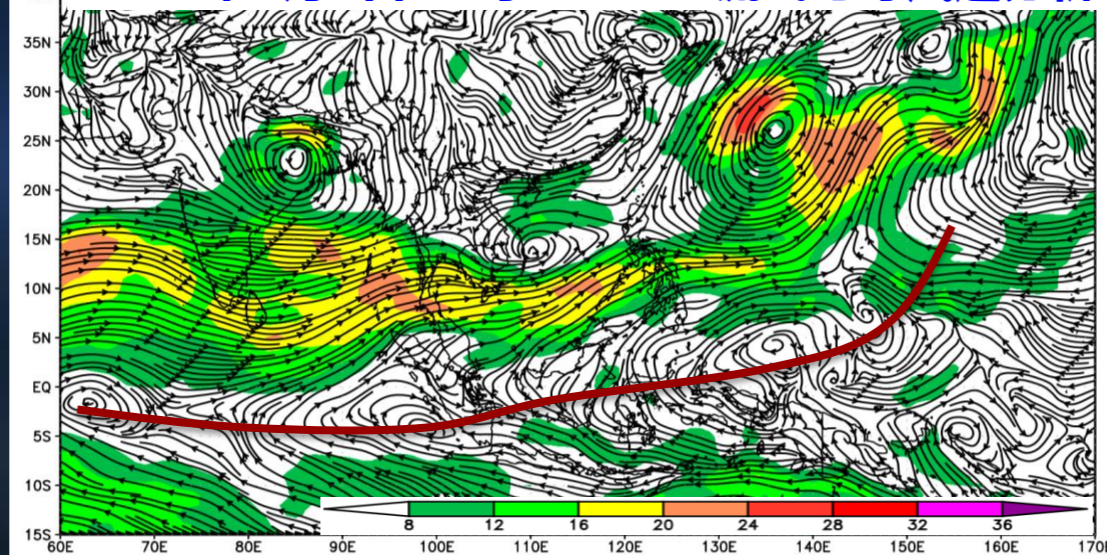


## ✓ 赤道缓冲带作用台风个例2

### 0902号台风“灿鸿”路径图



### 2009年9月6日20时850hPa流线分析与等风速分析



# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **赤道高压**

- ✓ 赤道高压增强或北上，会影响较低纬度的台风路径，特别是对南海台风影响显著

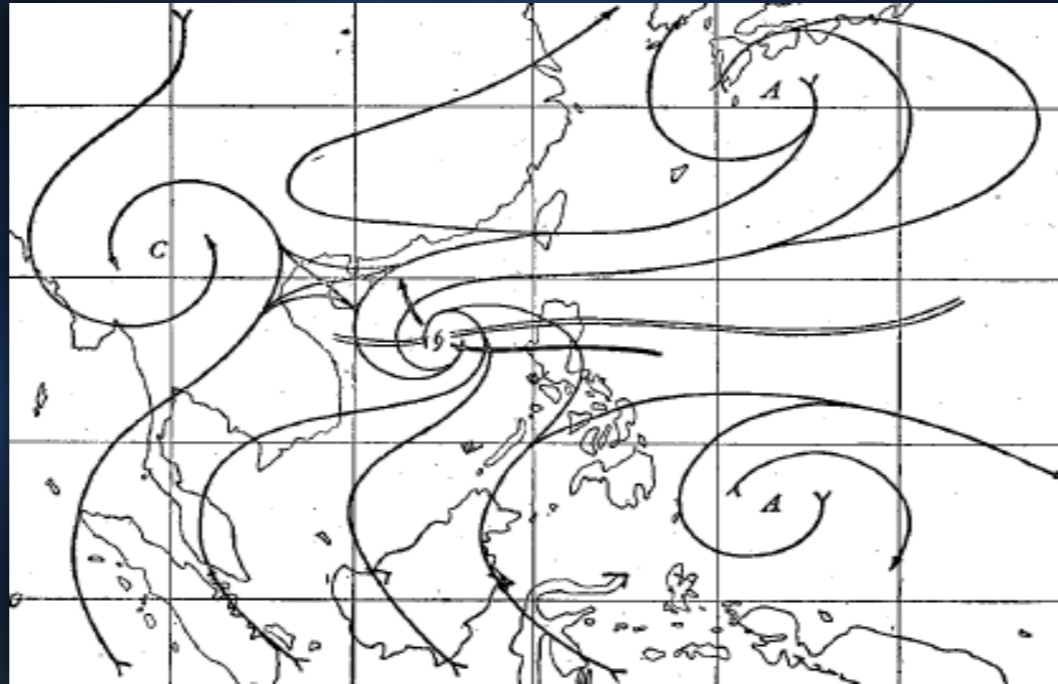
- ① 赤道高压北上，往往引起台风转向东北方向移动

- ② 赤道高压稳定增强，西太平洋副高处于减弱东退阶段，有利于台风东移、停滞或打转

# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 南海台风北翘模式之一

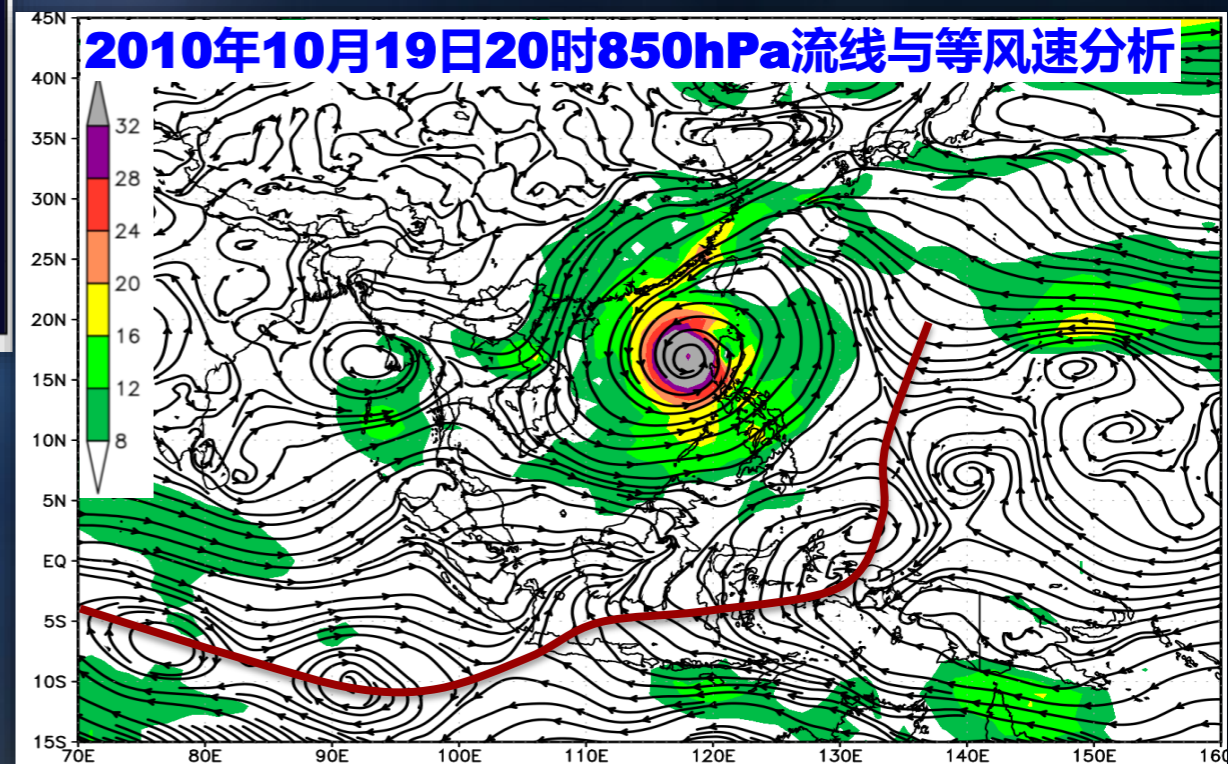
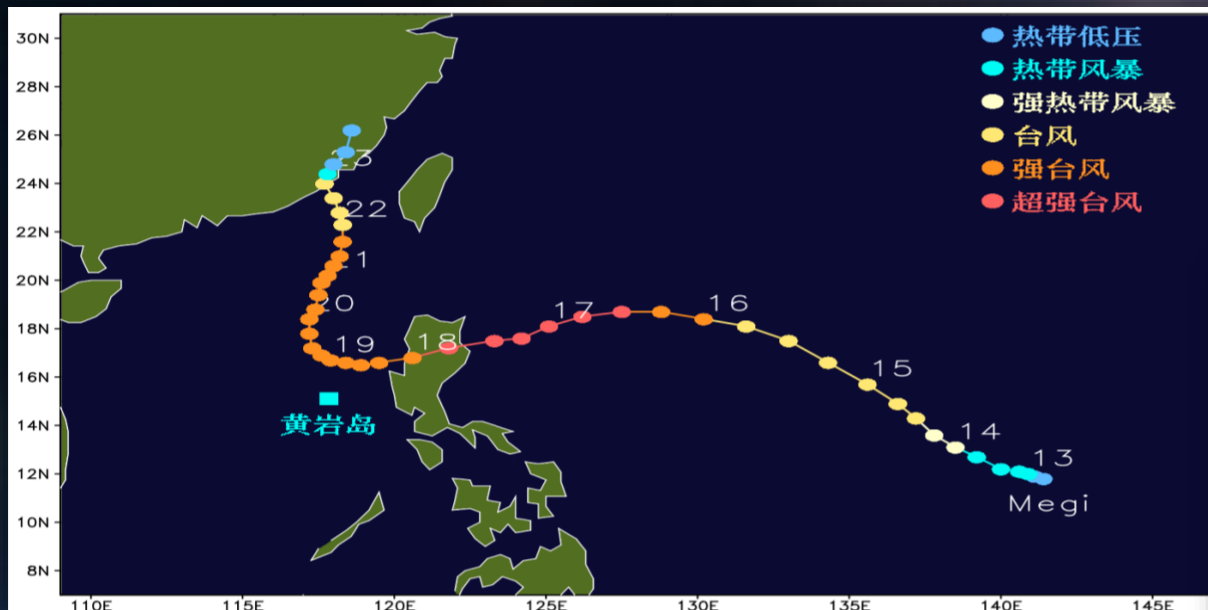
- ✓ 赤道高压或赤道缓冲带加强，可抵消华南副热带高压偏东信风对台风西移的引导，台风内力相对增大，偏北运动分量增加，使台风路径北翘



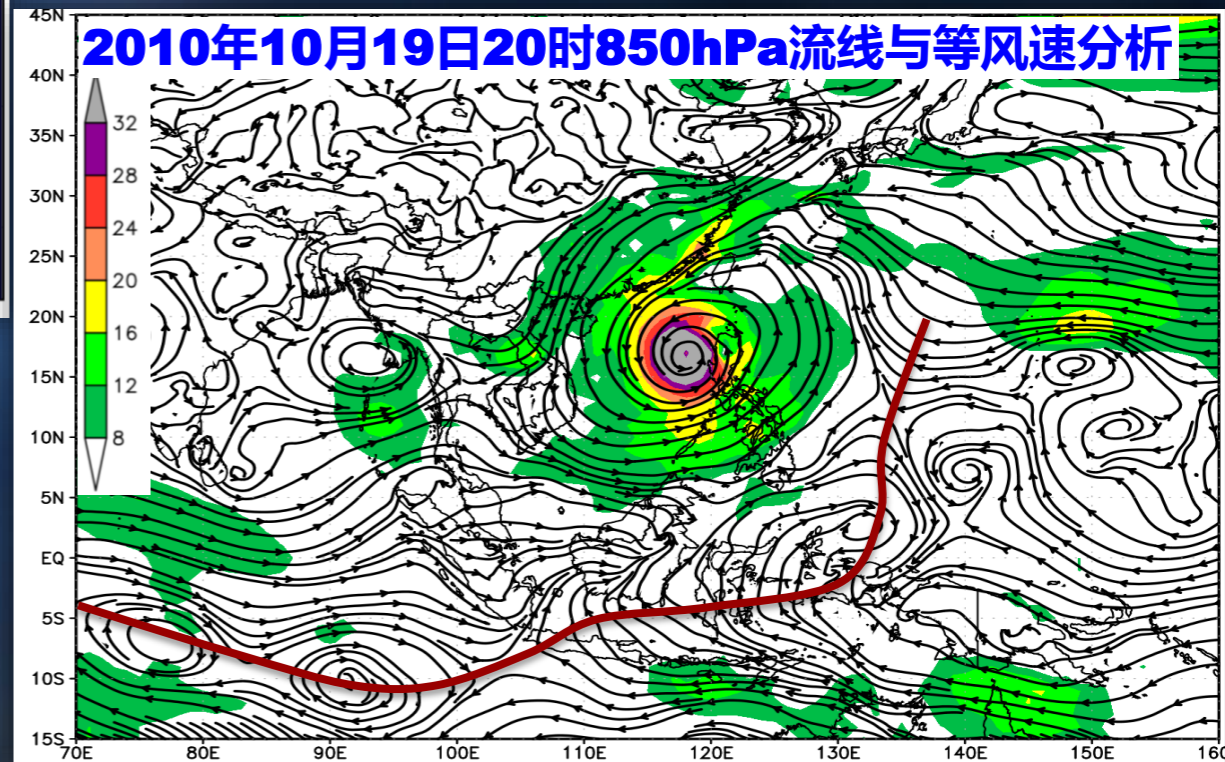
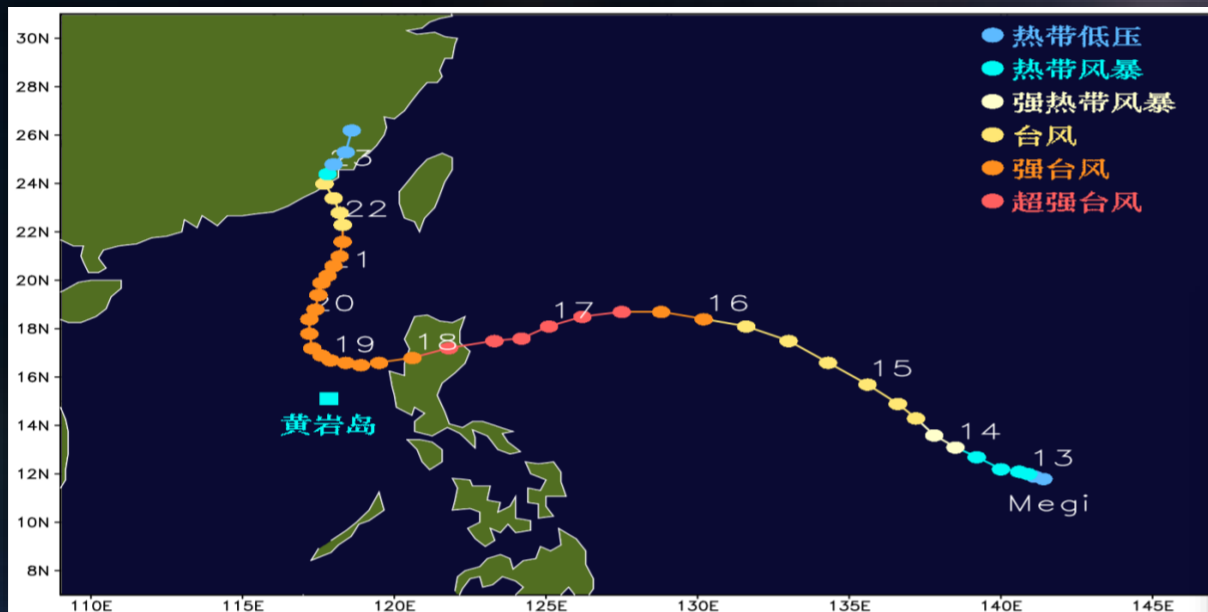
- 台风北翘预报概念模型



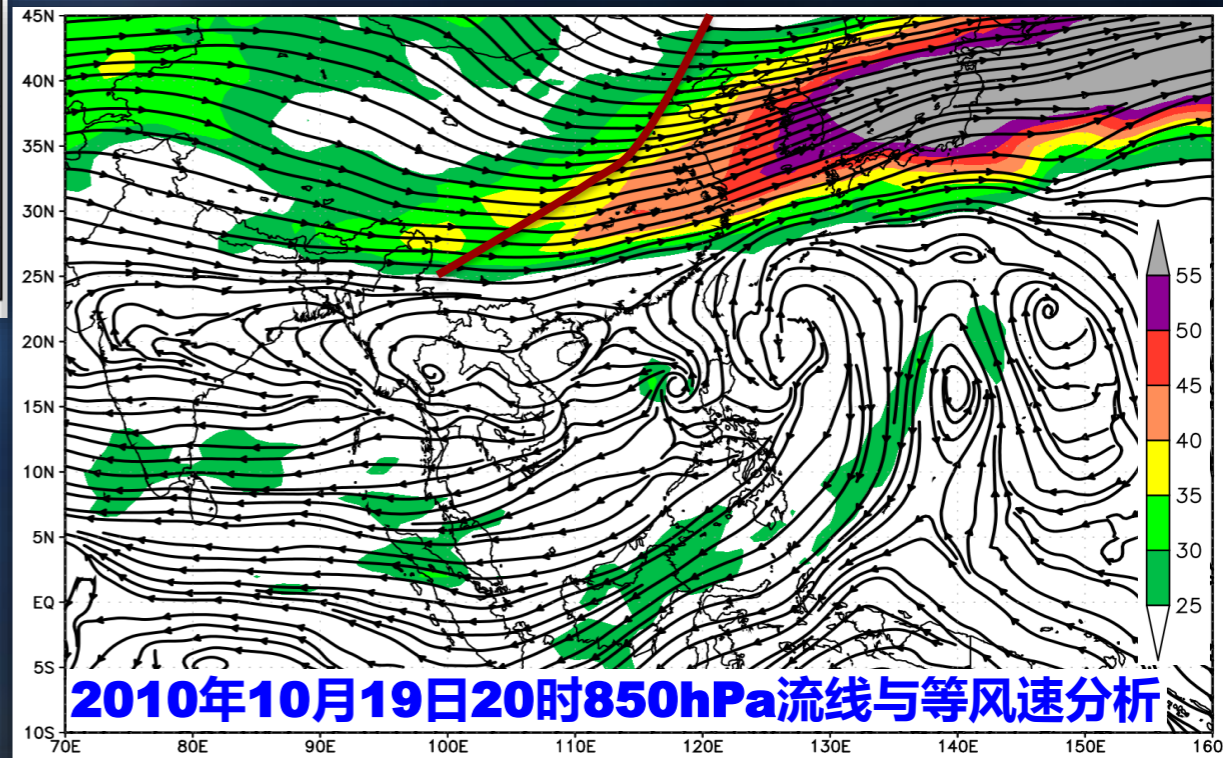
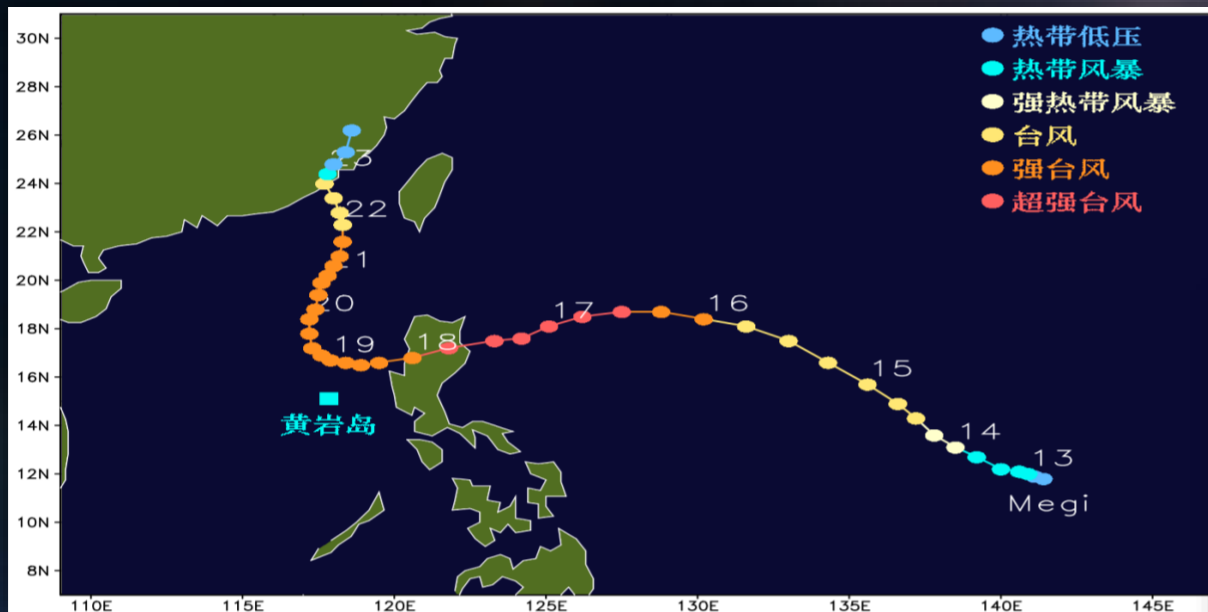
# ● 台风北翘预报概念模型



# ● 台风北翘预报概念模型



# ● 台风北翘预报概念模型



# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 南海台风北翘模式之二

- ✓ 副热带高压在南海台风东侧南落，并伸到南海南部，偏东引导减弱北翘



# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 南海台风北翘模式之二

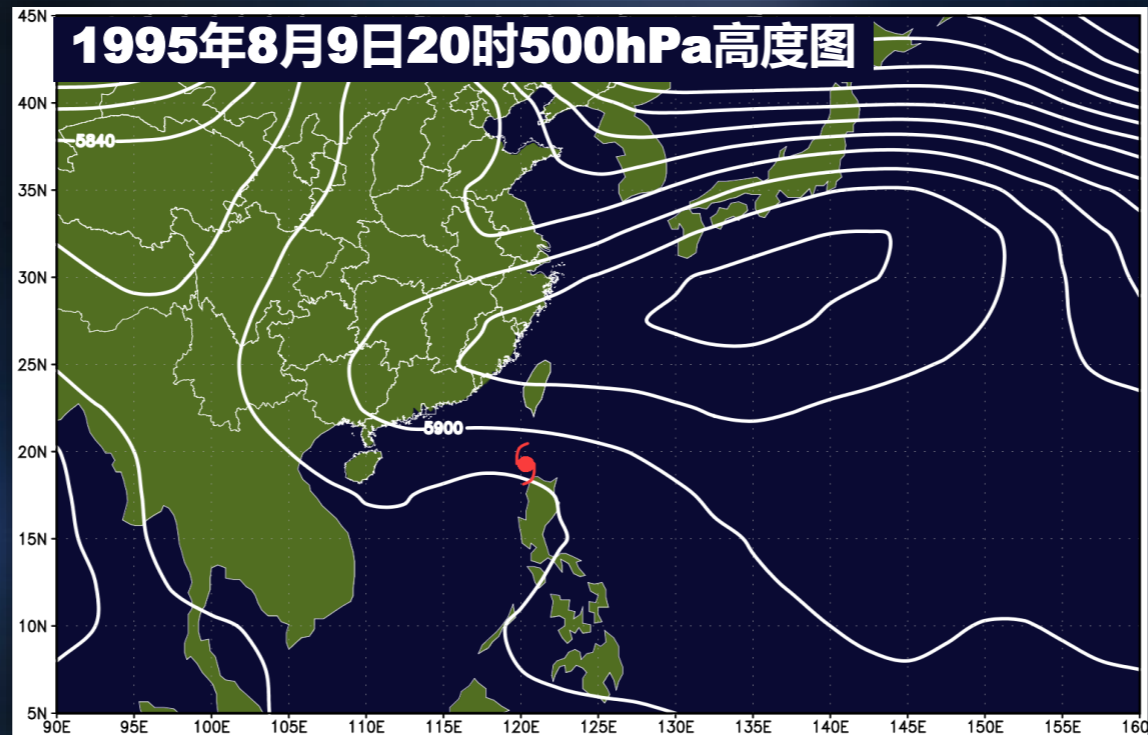
### ✓ 9505号台风Helen南海路径北翘



# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 南海台风北翘模式之二

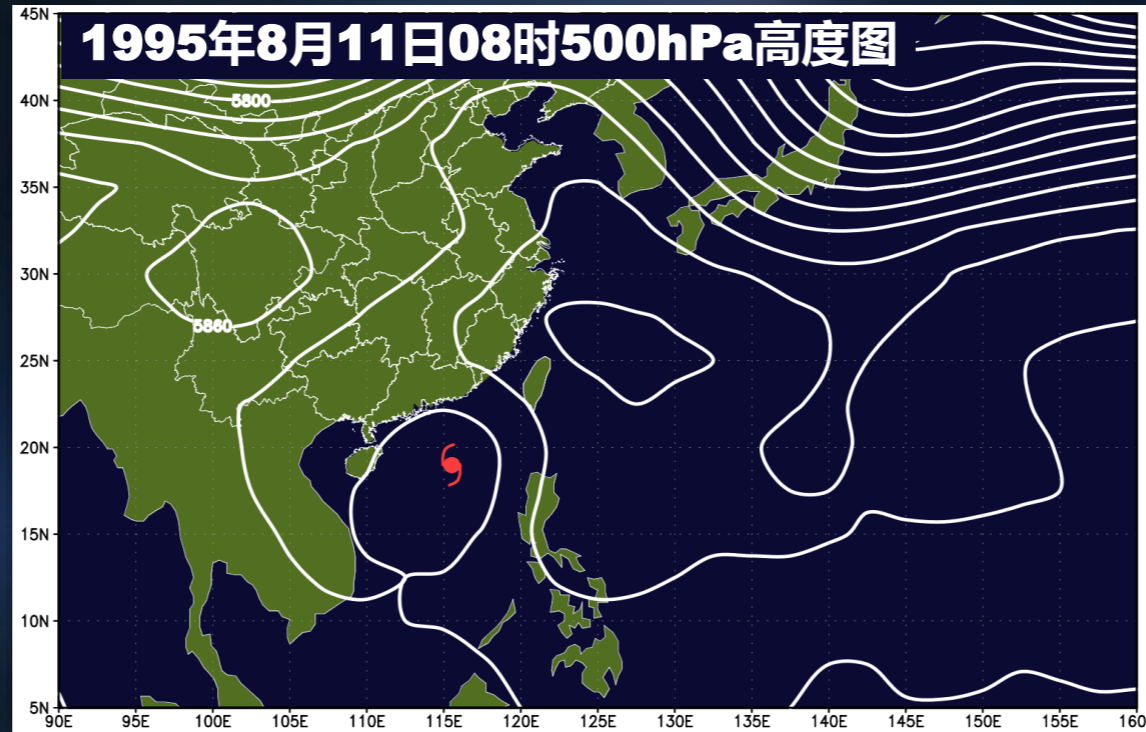
- ✓ 9505号台风Helen南海路径北翘



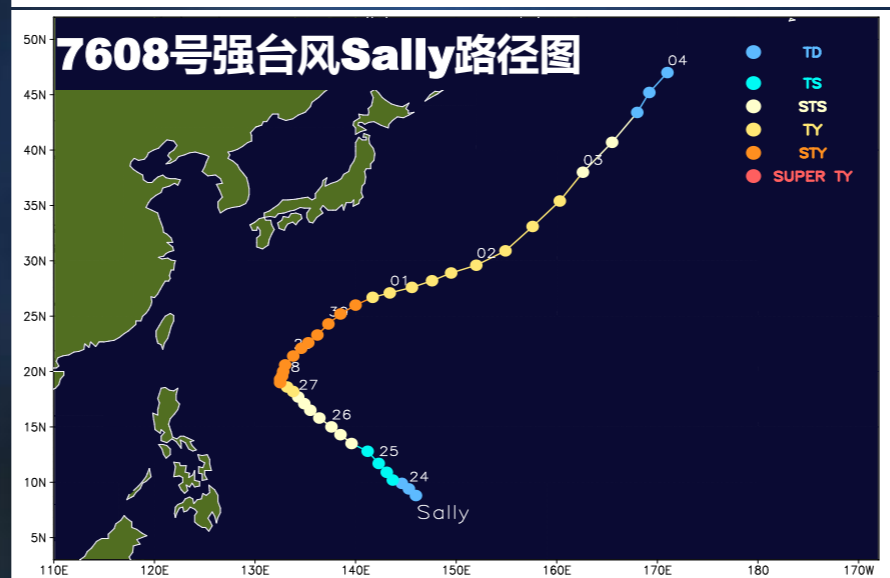
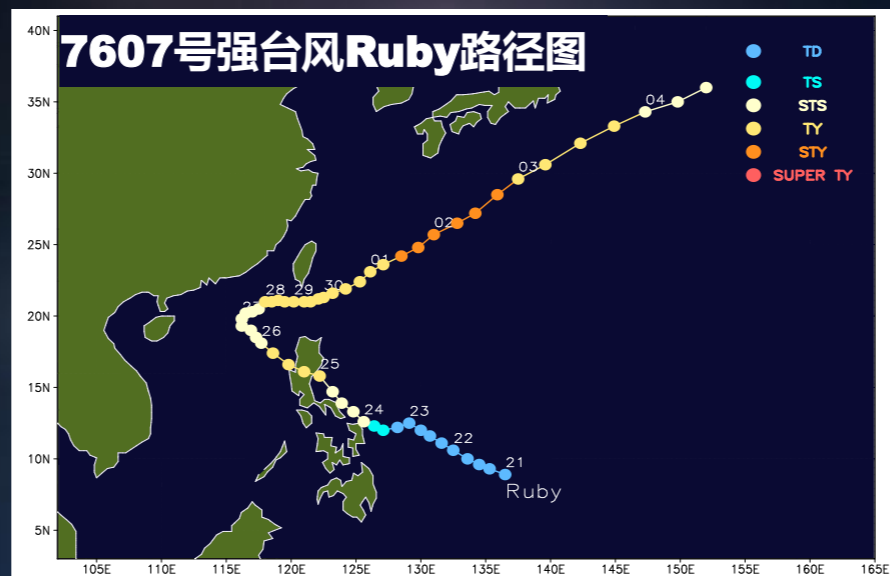
# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 南海台风北翘模式之二

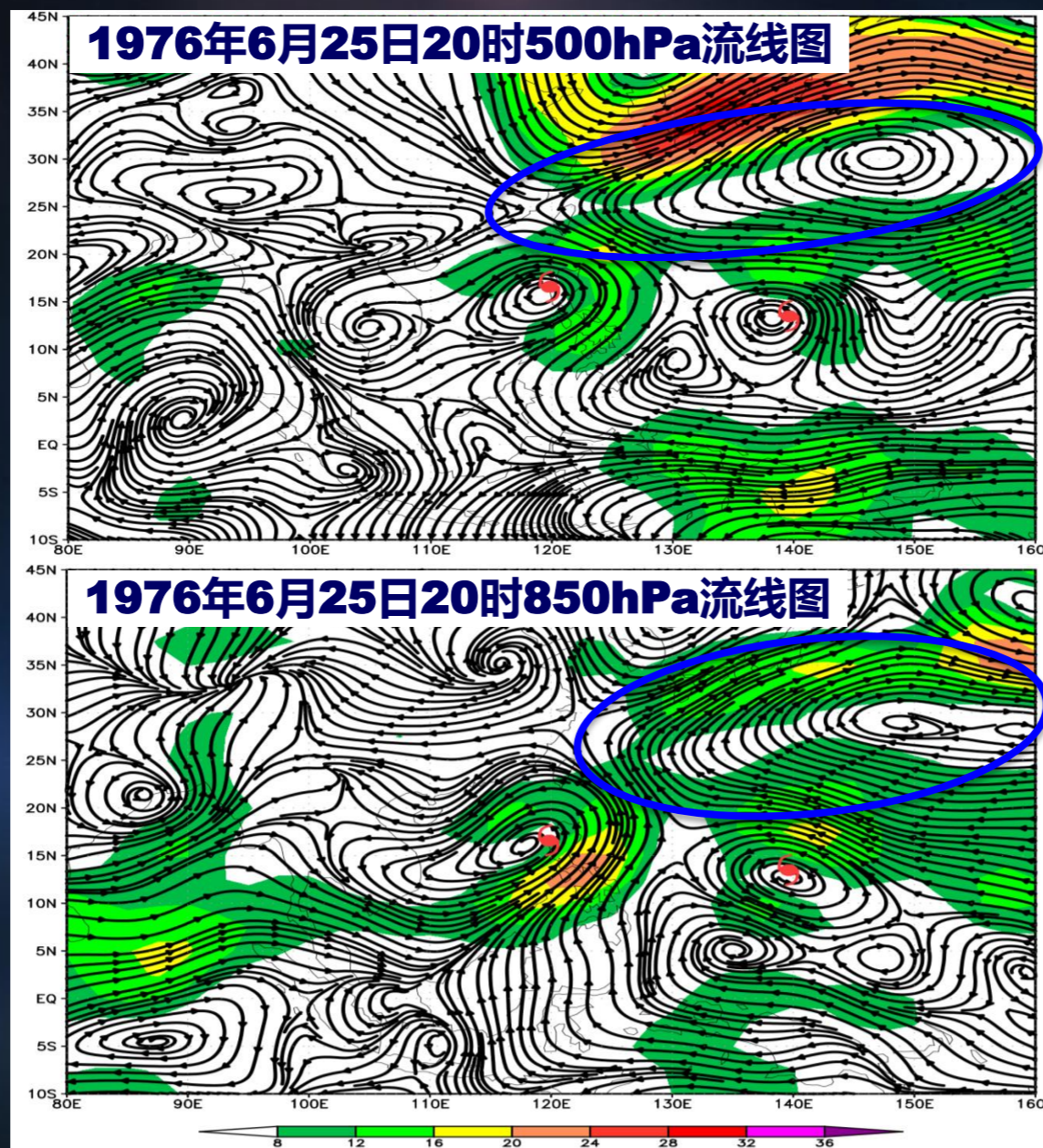
- ✓ 9505号台风Helen南海路径北翘



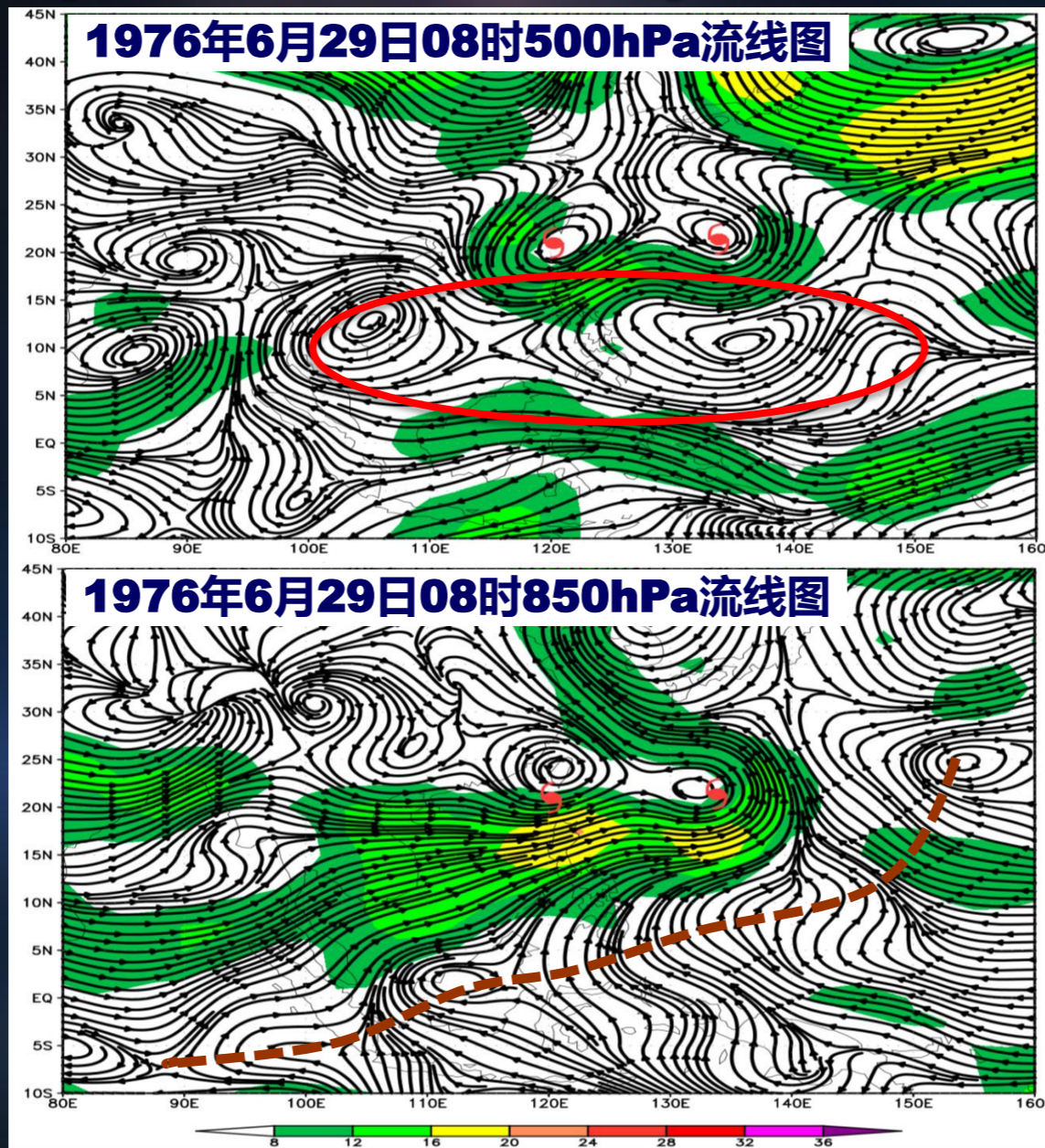
# ● 7607号强台风Ruby和7608号强台风Sally尖锐转向例



● 7607号强台风Ruby和7608号强台风Sally尖锐转向例



● 7607号强台风Ruby和7608号强台风Sally尖锐转向例



# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **阻塞高压**

- ✓ 阻塞形势的建立和崩溃常伴随着一次大范围环流形势的调整和转变，对台风路径有显著影响
- 东亚 (  $50-70^{\circ}\text{N}$  ,  $110-150^{\circ}\text{E}$  )上空建立稳定强大的阻塞高压，有利于长波槽建立和发展，有利于台风向偏北移动或转向

# 影响台风环境引导气流的主要因子

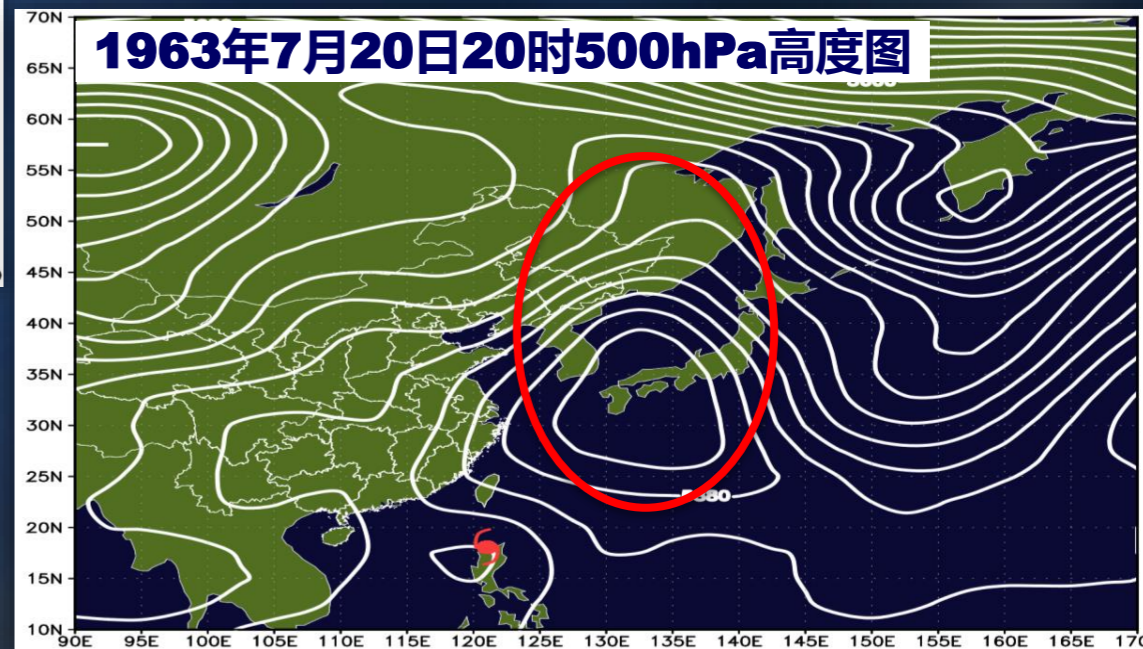
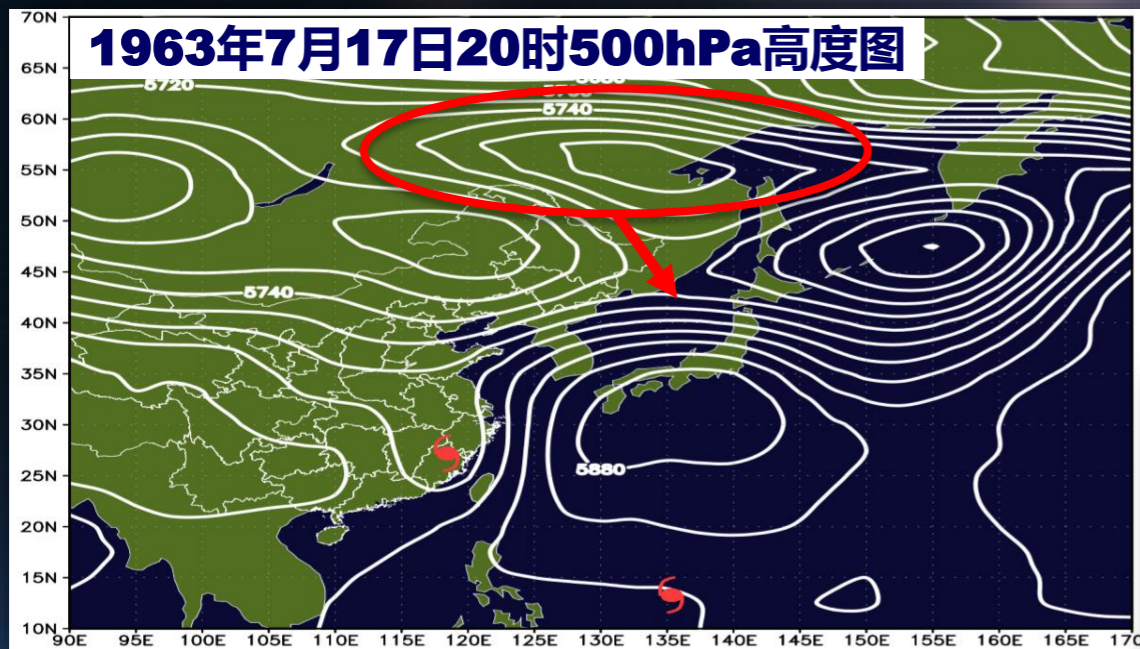
- **阻塞高压**

- ✓ 阻塞形势的建立和崩溃常伴随着一次大范围环流形势的调整和转变，对台风路径有显著影响

- **东亚阻塞高压崩溃**

- ① 阻塞高压由日本海向南溃退，与太平洋高压合并，位于高压南端的台风将西进，位于太平洋中部或东部的台风将在日本东部长波槽前转向

✓ 阻塞高压由日本海向南溃退，与太平洋高压合并，位于高压南端的台风将西进



# 影响台风环境引导气流的主要因子

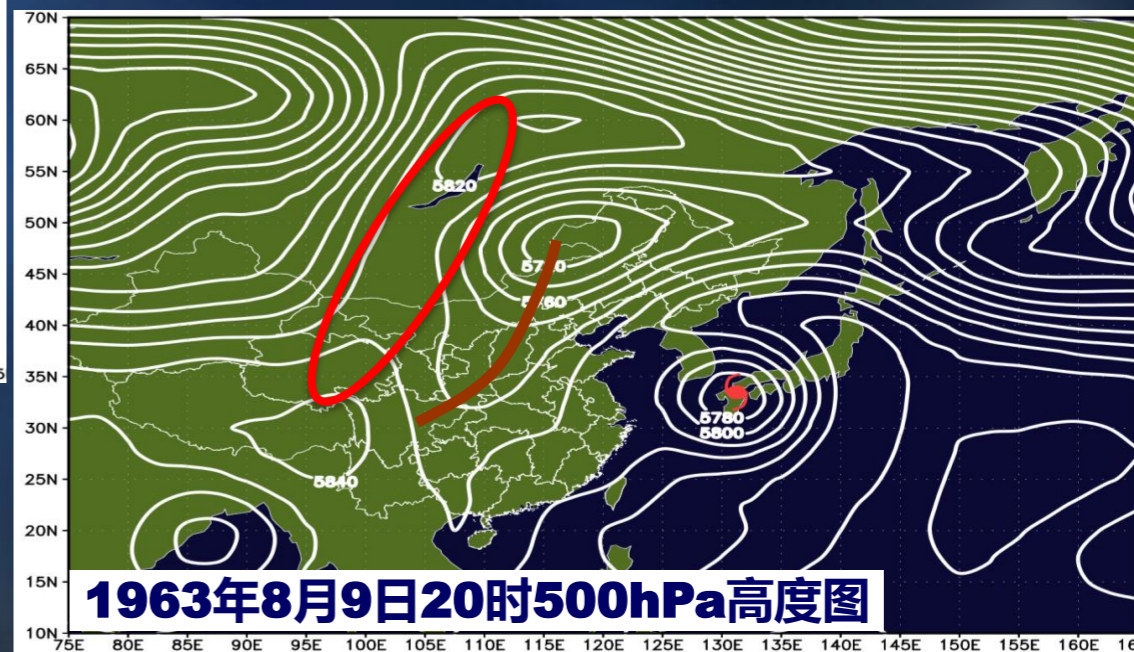
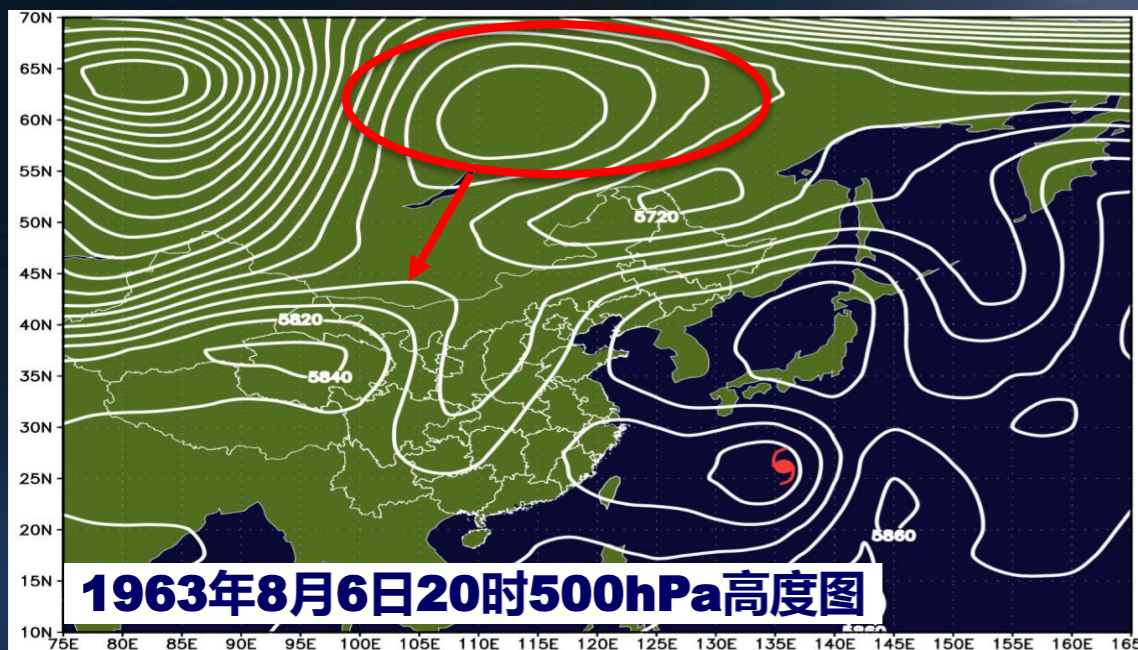
- **阻塞高压**

- ✓ 阻塞形势的建立和崩溃常伴随着一次大范围环流形势的调整和转变，对台风路径有显著影响

- **东亚阻塞高压崩溃**

- ② 阻塞高压由东亚高纬度大陆向南溃退时，与我国中纬度高压脊合并，使我国东部沿海长波槽经向发展，有利于靠近这个槽的台风转向

✓ 由高纬度大陆向南溃退与中纬度高压脊合并，东亚沿岸长波槽经向发展，有利于靠近这个槽的台风转向



# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 高空急流

- ✓ 热带东风急流

- 200-100hPa高空东风急流增强，向北移动或两者兼有，显示副高将增强西伸，台风将向偏西方向移动
- 200-100hPa高空东风急流减弱、南移，显示副高将东退，台风转向偏北方向移动

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 高空急流

- ✓ 副热带西风急流

- 西风急流增强，强风中心向北移动，或北方西风带整个系统向北收缩，显示副高将增强西伸，台风将向偏西方向移动

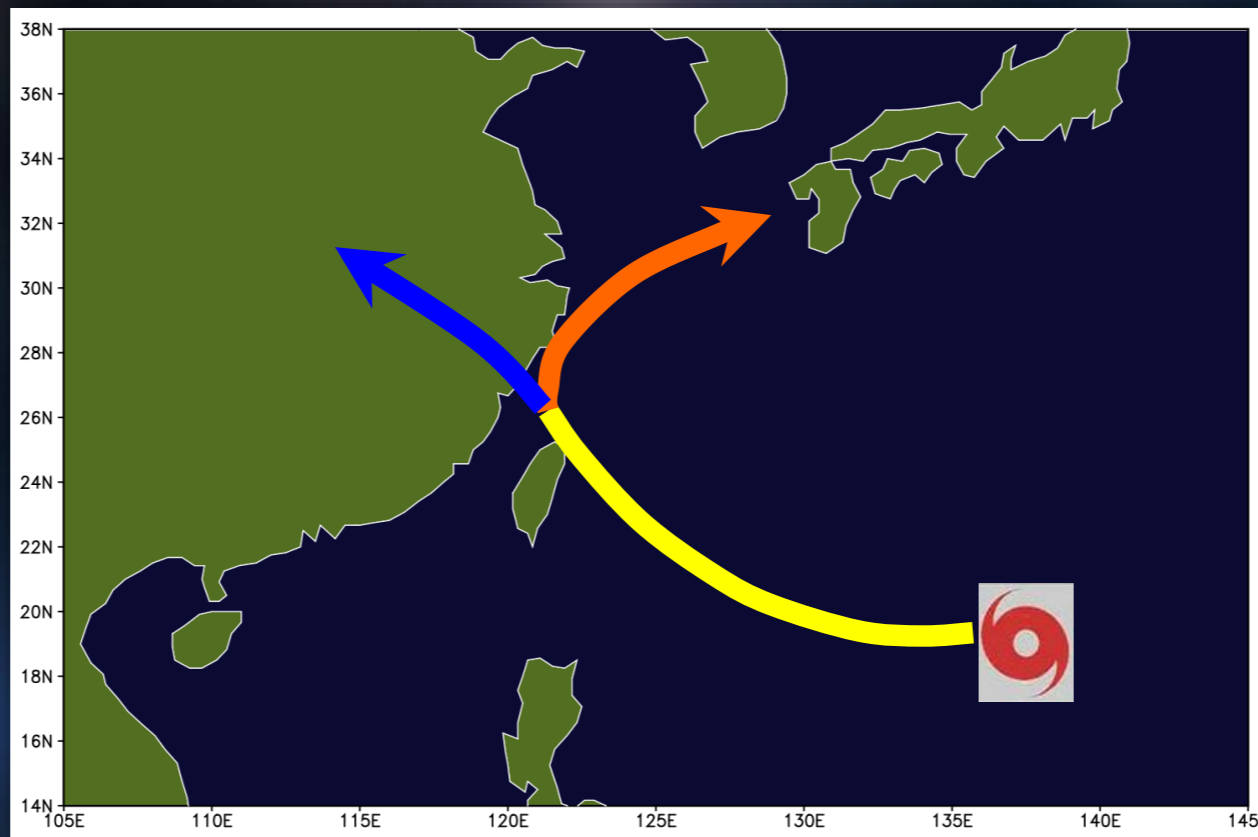
# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 高空急流

### ✓ 副热带西风急流

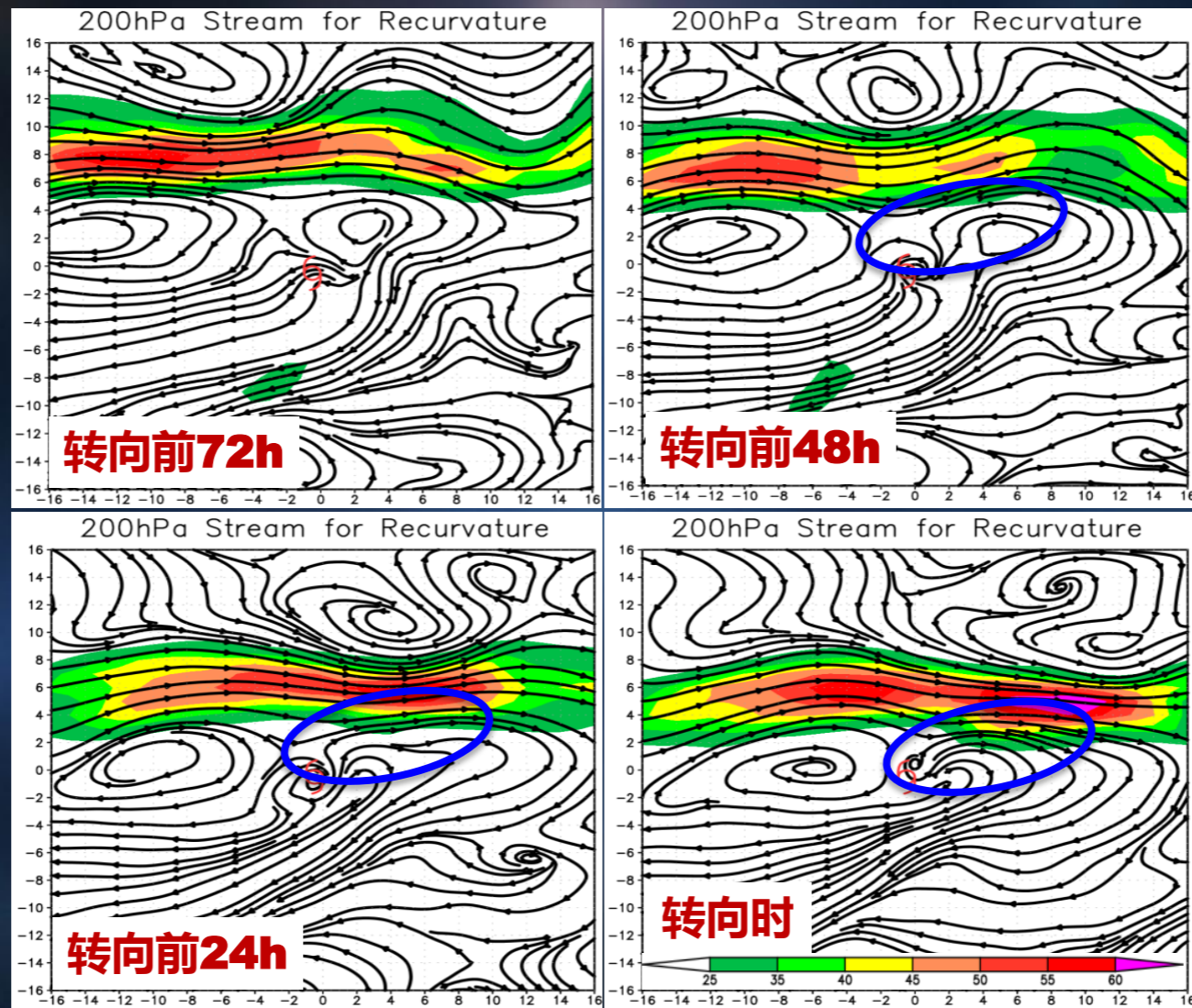
- 西风急流南移，风速增强，强风中心降至300hPa以下，显示副高将东退，并有较深西风槽接近，台风将转向偏北或东北方向移动
- 北方西风带系统南移，显示副高将东退，台风转向偏北方向移动

## ● 东海近海转向与非转向台风预报



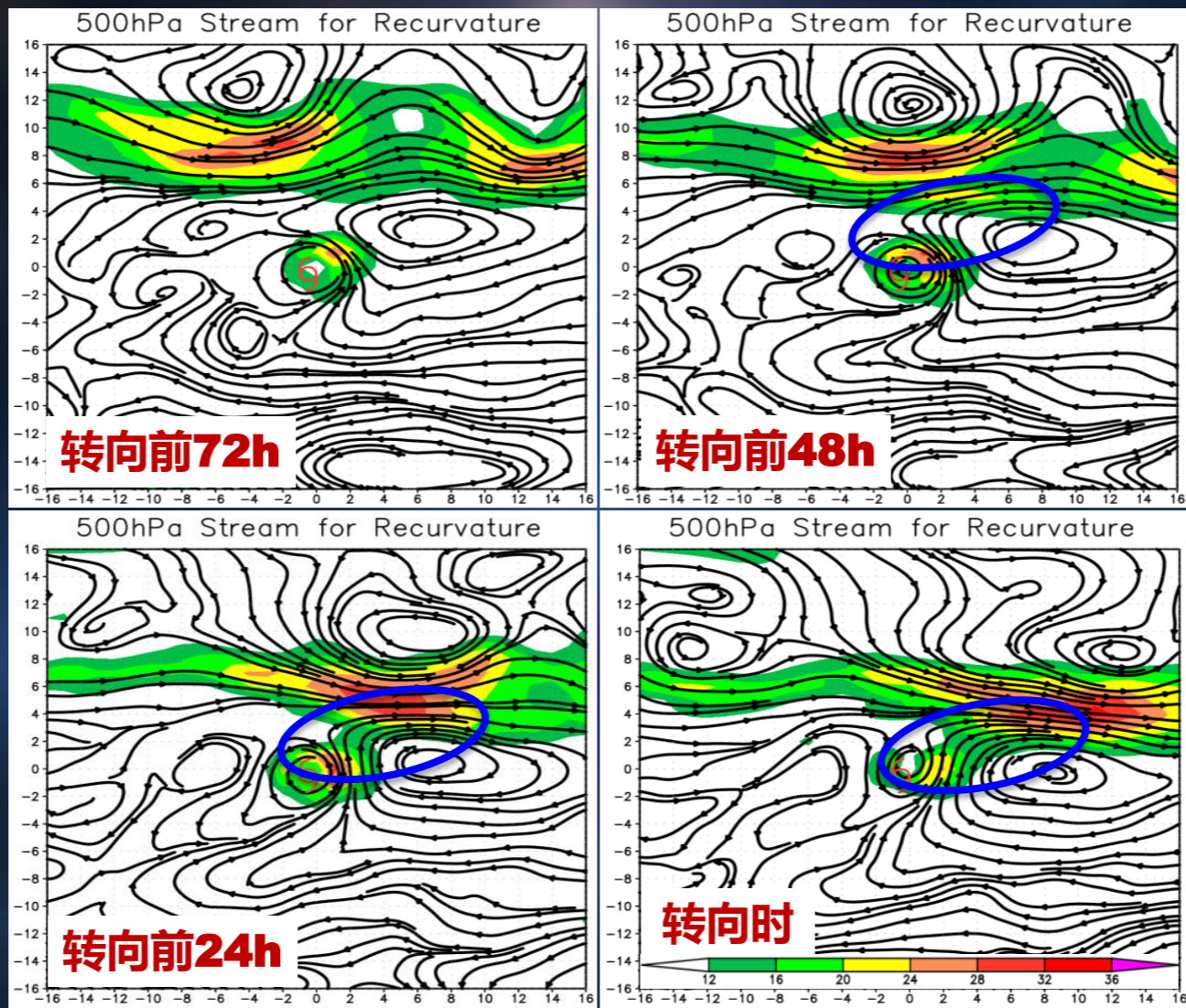
# ● 东海近海转向与非转向台风预报

## ✓ 200hPa流场变化 --- 转向台风



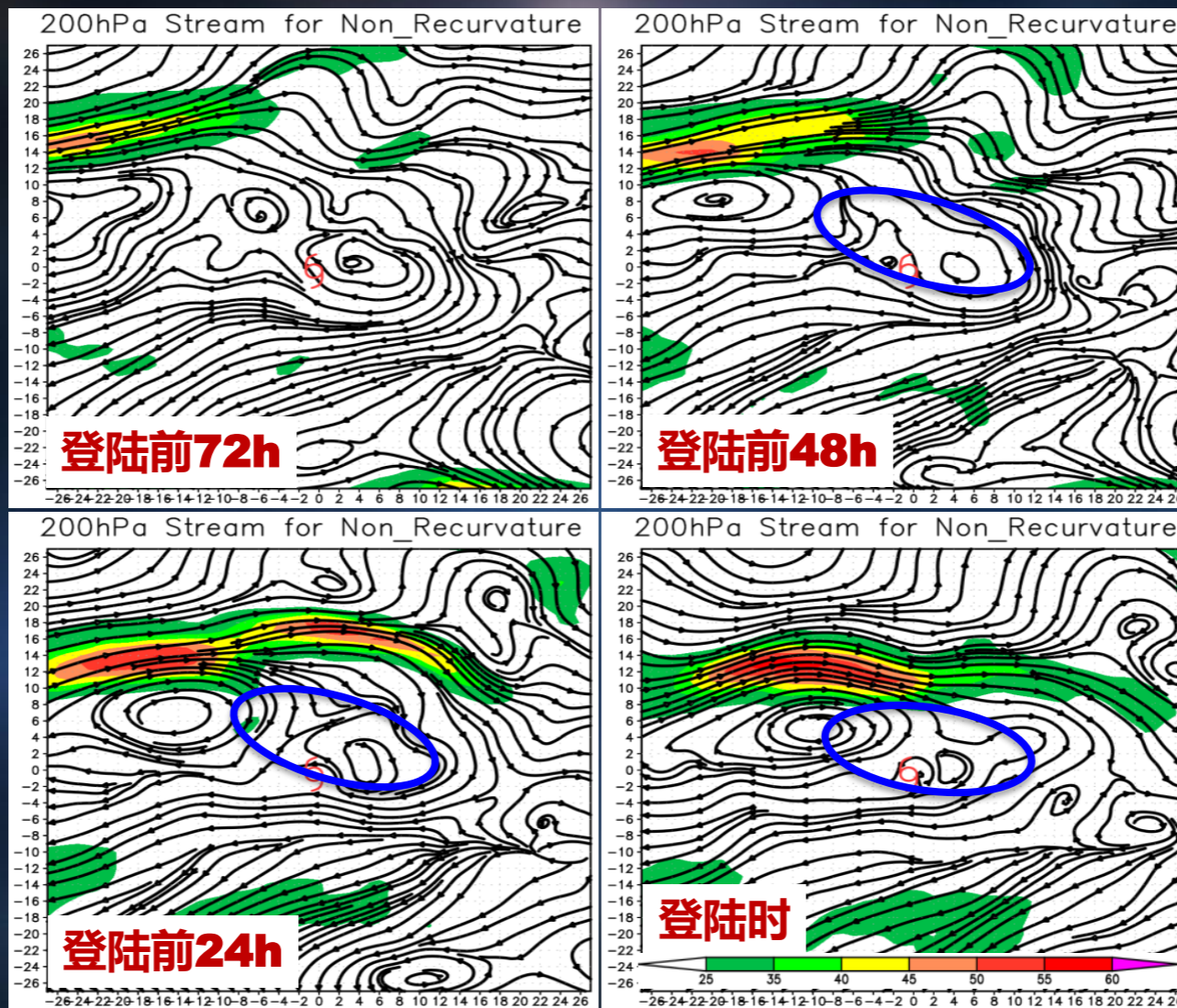
# ● 东海近海转向与非转向台风预报

## ✓ 500hPa流场变化 --- 转向台风



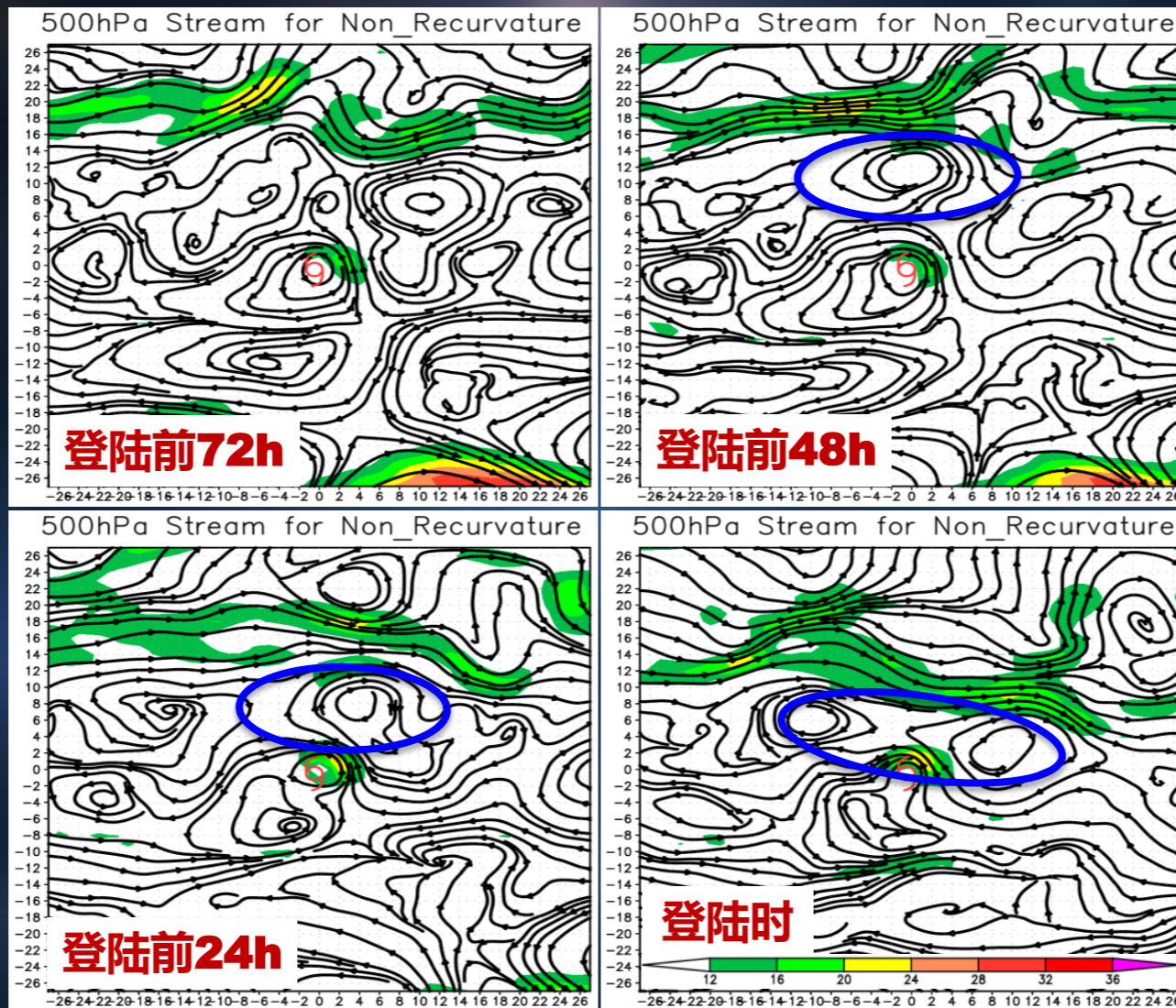
# ● 东海近海转向与非转向台风预报

## ✓ 200hPa流场变化 --西北行登陆台风



# ● 东海近海转向与非转向台风预报

## ✓ 500hPa流场变化 --西北行登陆台风



# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 西风带短波槽

- ✓ 西风带0-180°E低压槽在5个以上，亚洲中高纬为纬向型环流，台风以西进为主
- 当短波槽在台风北侧经过时，可导致台风减速、停滞或打转
- 若连续不断有短波槽在台风北侧经过，会使副高东西向脊线断裂，导致台风转向

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 西风带短波槽

- ✓ 50°N以北和45°N以南分别存在两支强度不同的西风急流时，两者移速不同，两者同位相，振幅显著增大造成台风假性转向，台风仍以西进为主

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **南支槽**

- ✓ **屏蔽作用**

- **孟加拉湾南支槽稳定存在，槽前西南气流可穿过中南半岛北部至我国华南、东海一带，使得西太平洋高压脊和南海高压不易受冷空气侵袭减弱，有利于台风西行或西行进入南海**

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 南支槽

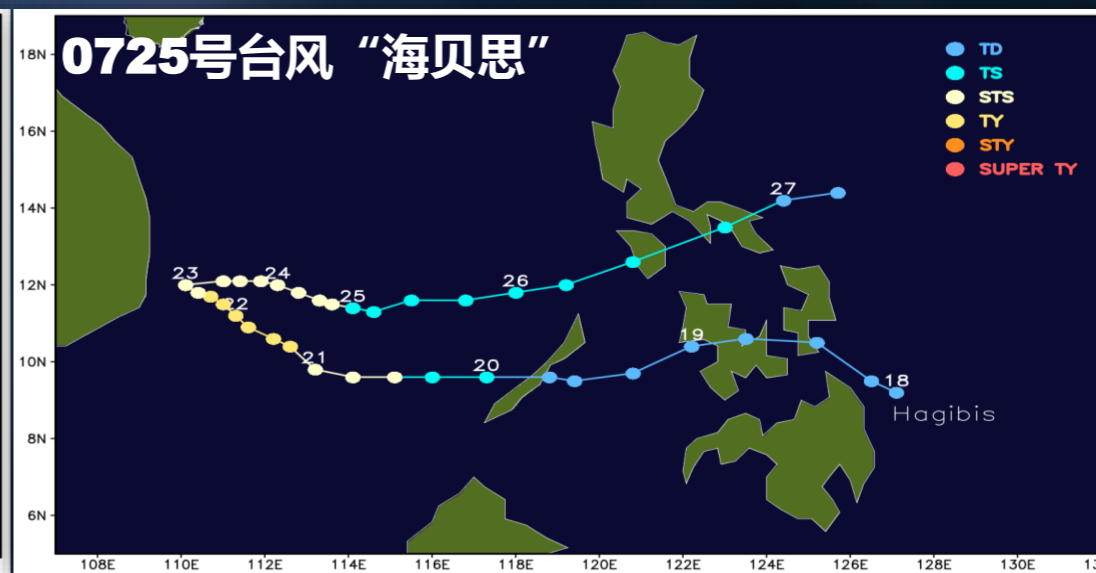
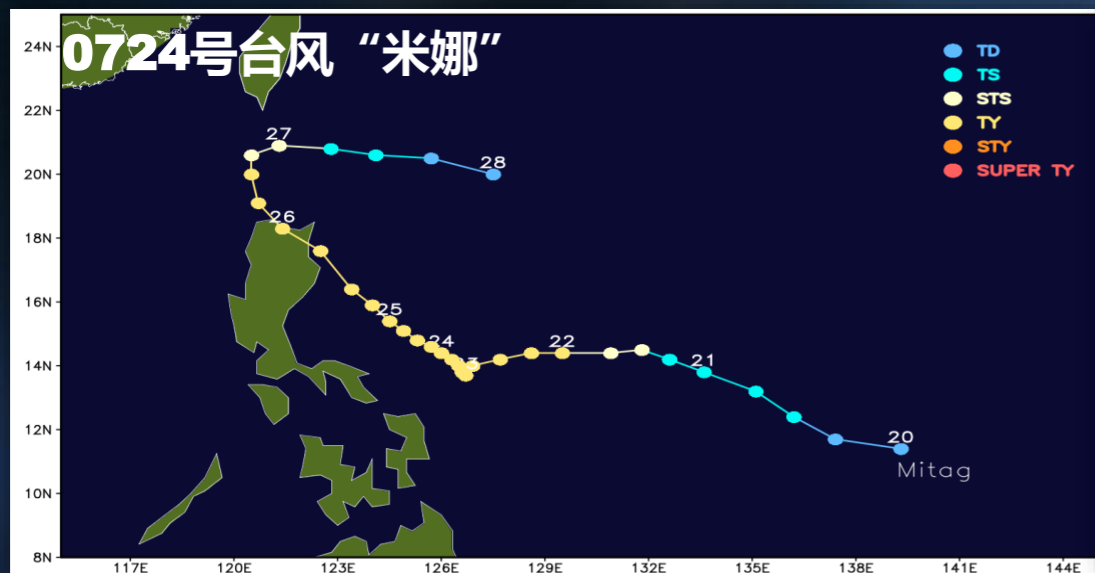
- ✓ 诱发作用

- 孟加拉湾南支槽东移，与东亚沿岸极地槽重叠，使西太平洋高压和南海高压减弱，有利于台风北上或转向

## ✓ 南支槽东移对台风路径影响的个例

• 2007年11月

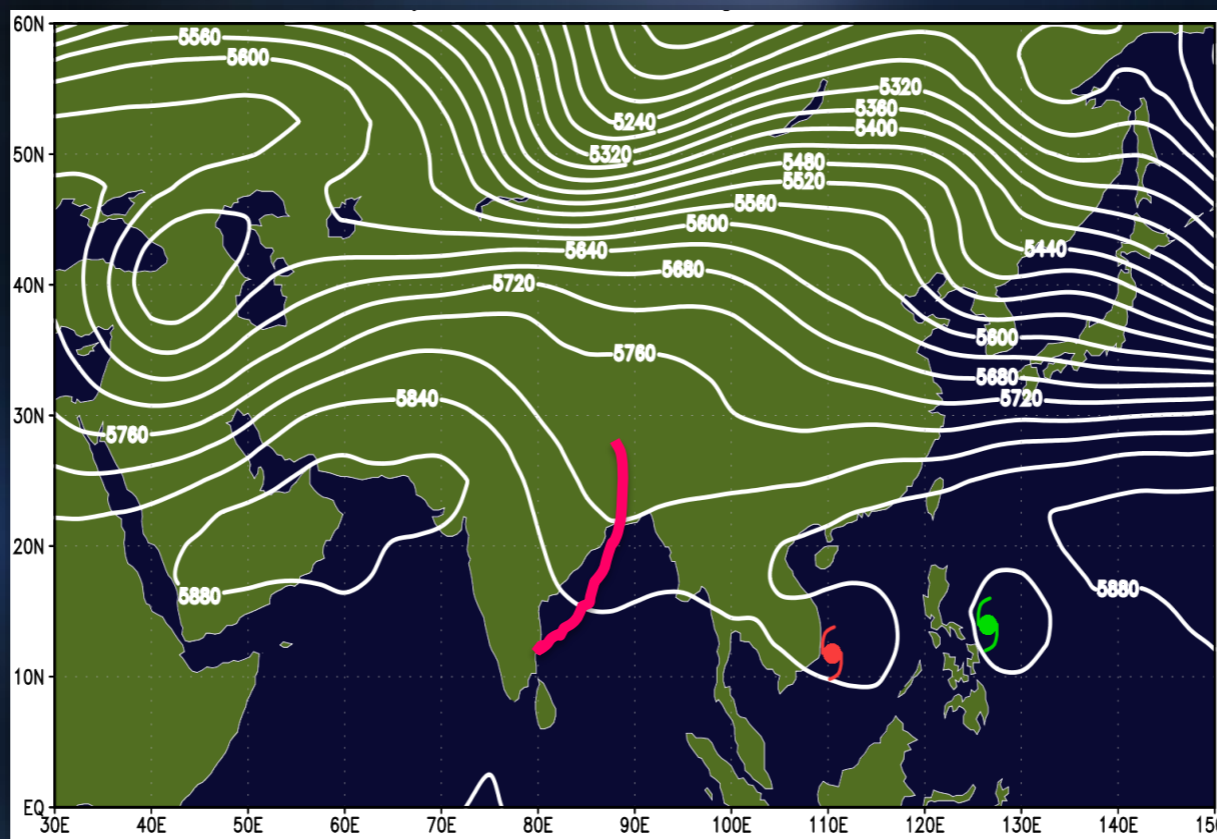
台风“海贝斯”和“米娜”近海东折



## ✓ 南支槽东移对台风路径影响的个例

• 2007年11月

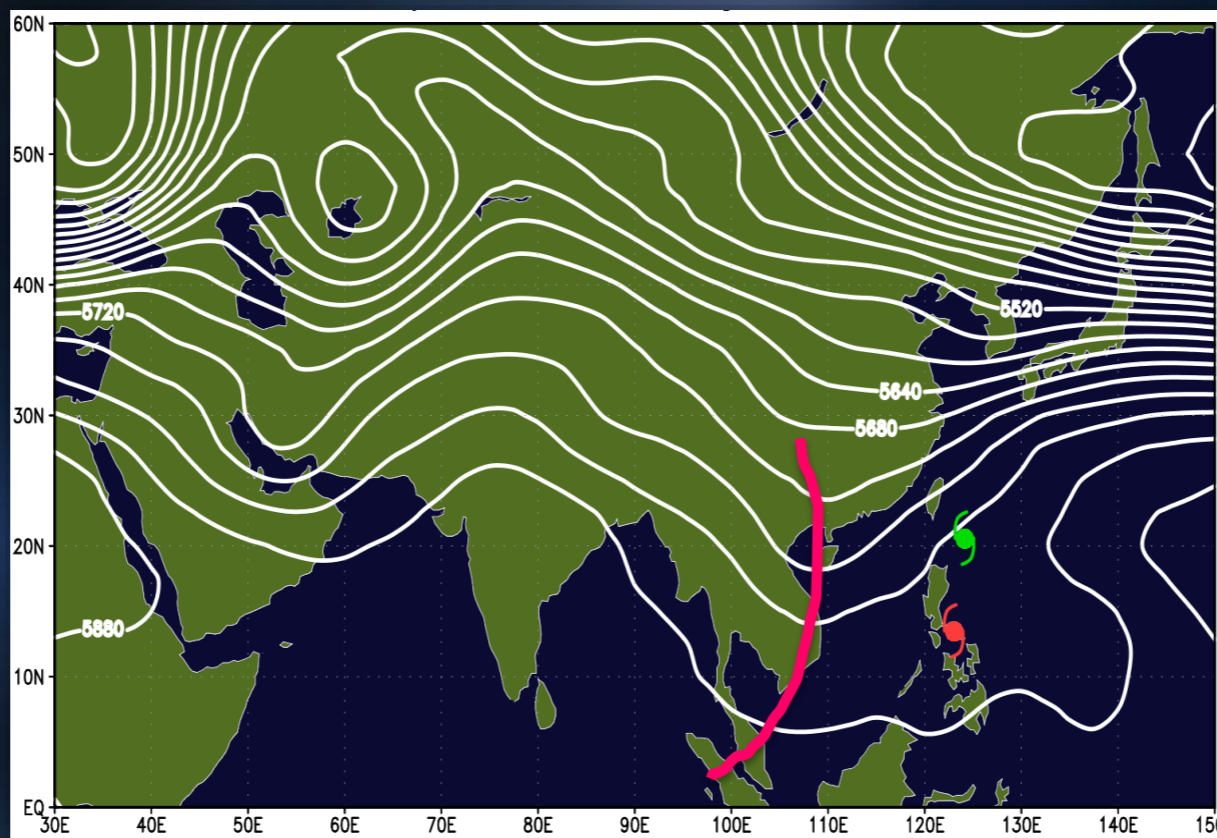
台风“海贝斯”和“米娜”近海东折



## ✓ 南支槽东移对台风路径影响的个例

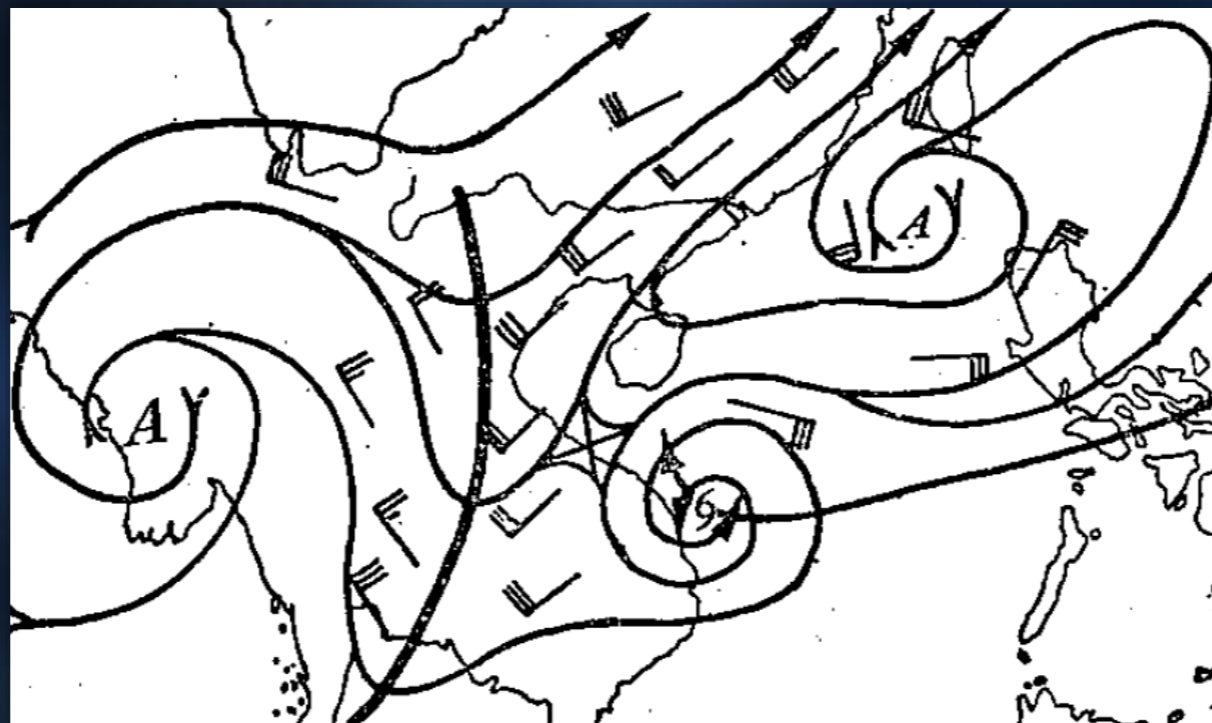
- 2007年11月

台风“海贝斯”和“米娜”近海东折



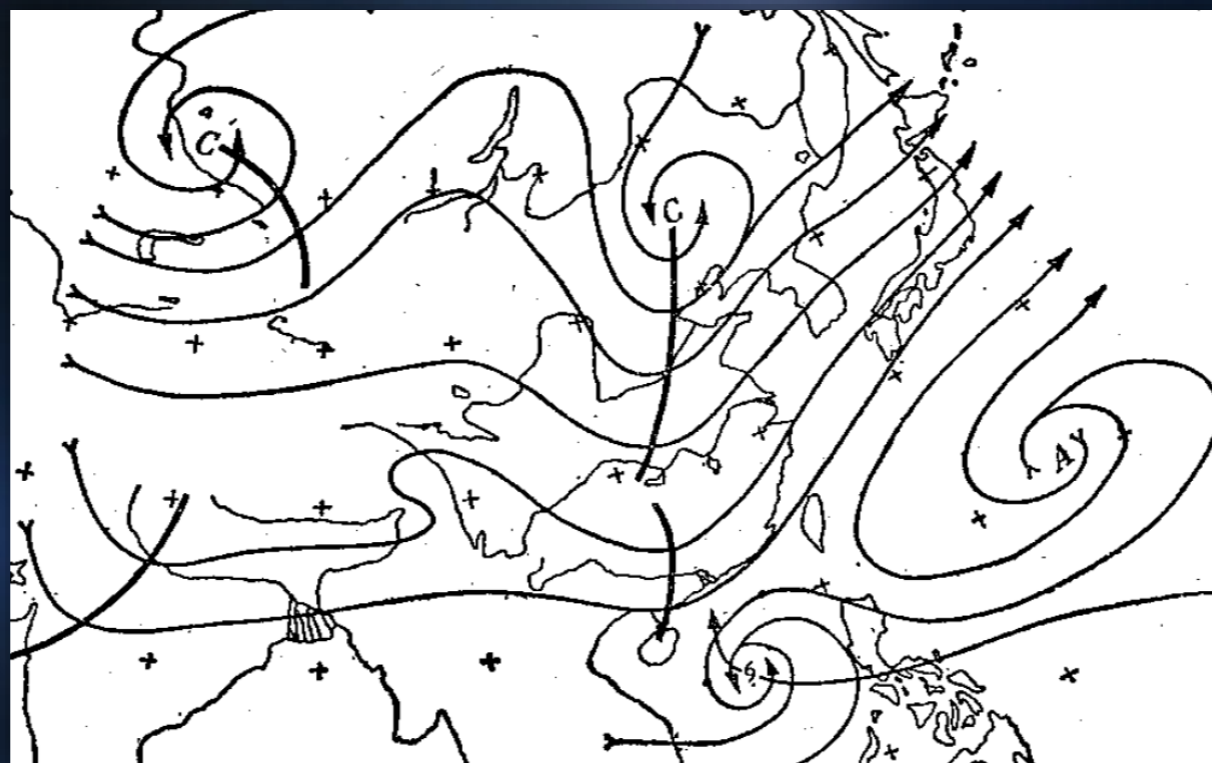
- **台风在东移南支槽前北翘模式（1）**

- ✓ 新移来的南支槽位于巴基斯坦西部，使原来的南支槽替换东移，东移过程中，中南半岛西部和孟加拉湾东部高压脊发展，并有闭合高压环流中心出现



## ● 台风在东移南支槽前北翘模式（2）

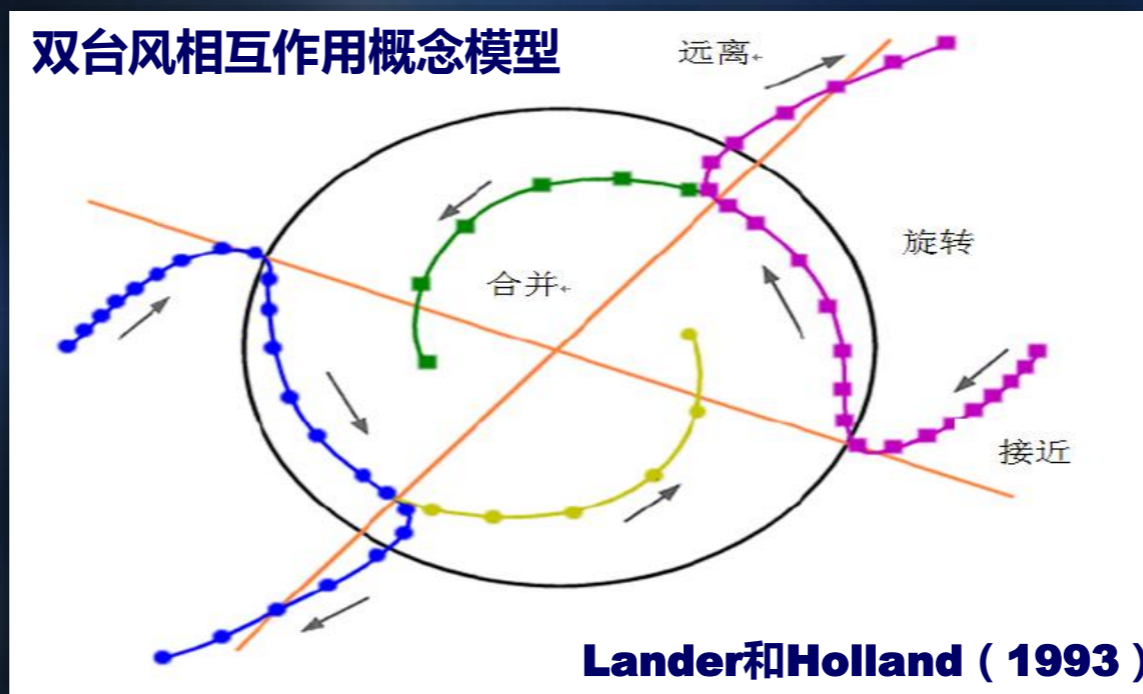
- ✓ 南支槽东移到中南半岛与高原东部中纬度西风槽同位相叠加，南支槽将发展



# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 双台风

- 当两个台风靠近时（一般 $<10$ 纬距），两个涡旋会产生互旋，形成复杂路径
  - ① 在各自引导气流牵引下分道扬镳，各奔东西
  - ② 缩短两个台风的距离，环流合并



# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **双台风（相距10个纬距以内）**
  - 同处于西太平洋，呈东西向排列
  - 副热带高压西伸，同受偏东气流引导
  - 双台风发生逆时针互旋并合并，合并后再沿偏东气流西行

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **双台风（相距10个纬距以内）**
  - 呈南北向或东北-西南向排列
  - 双台风北侧有深槽，同受偏南气流引导
  - 双台风常在互旋后分离，北侧台风北上后，南侧台风再跟进

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **双台风**（相距10个纬距以内）

- ✓ 两个涡旋产生互旋，形成复杂路径

- 同处于副高南侧或鞍型场时，逆时针旋转

- 同处于西风槽和副高之间时，顺时针旋转

- 距引导气流较远的台风，路径复杂多变，出现停滞、S形或向偏南方向移动等

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **双台风**（相距10个纬距以内）

- ✓ 分别处于我国台湾东北及西南的外海，且地面至500hPa存在闭合环流时
- 台湾东北方的台风向西偏北方向移动，经台湾北部近海，趋向浙闽沿海
- 台湾西南方的台风将向东北方向移动，穿越巴士海峡，进入台湾以东洋面

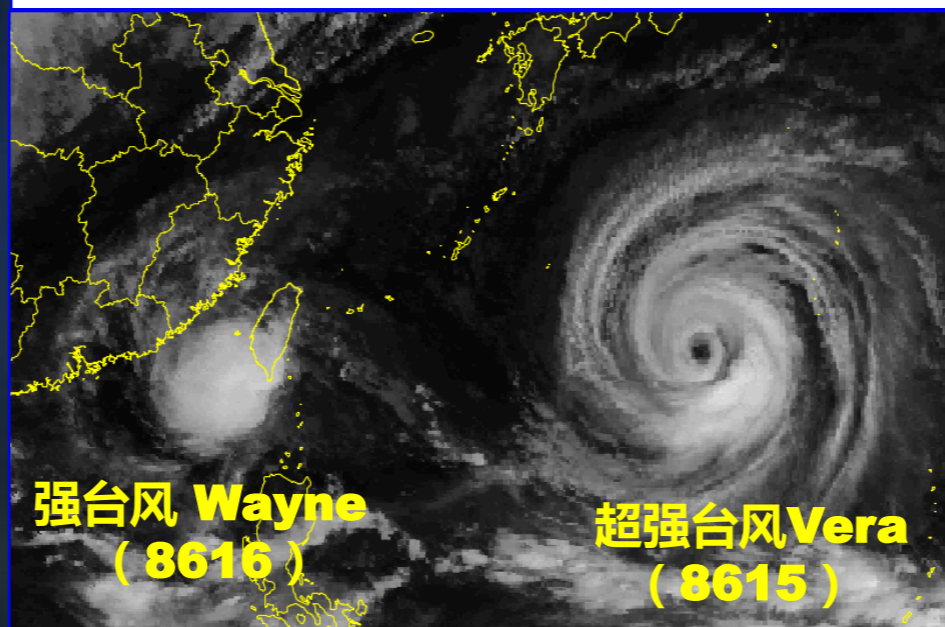
# 影响台风环境引导气流的主要因子

- **双台风（相距10个纬距以内）**

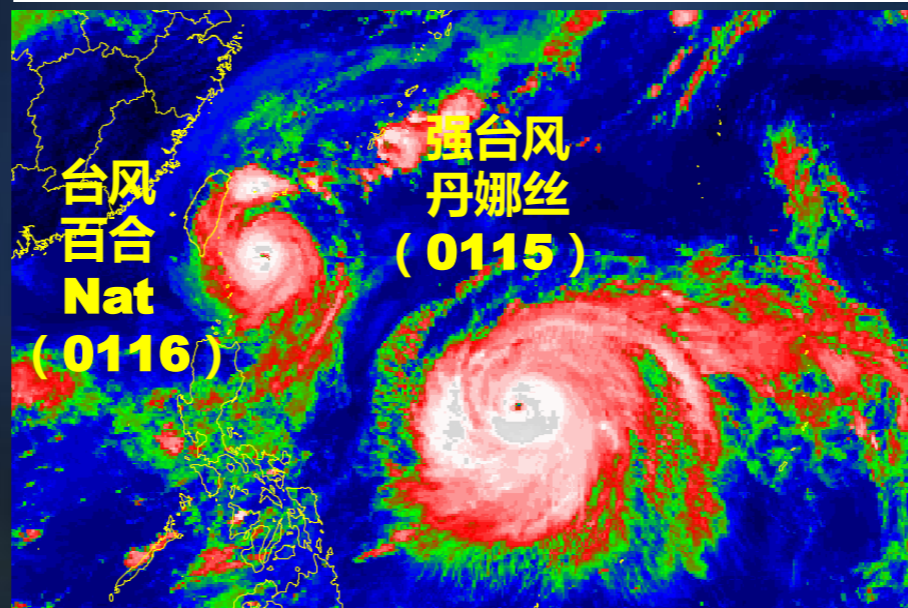
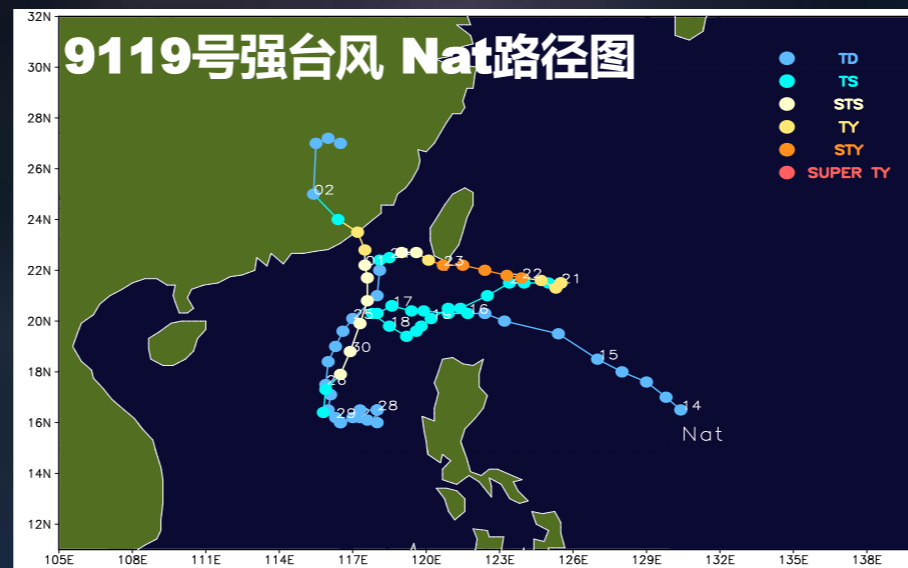
- ✓ 分别位于南海及西太平洋，中心连线由菲律宾北部北移至巴士海峡，或连线由台湾北移至东海，双两台风相对运动明显增强

- 南海台风停滞打转
- 西太平洋台风减速

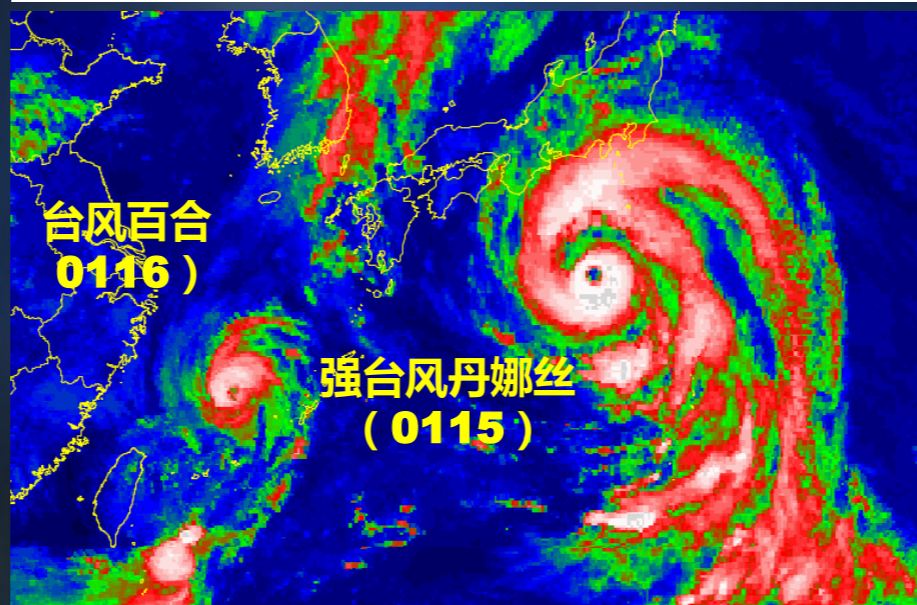
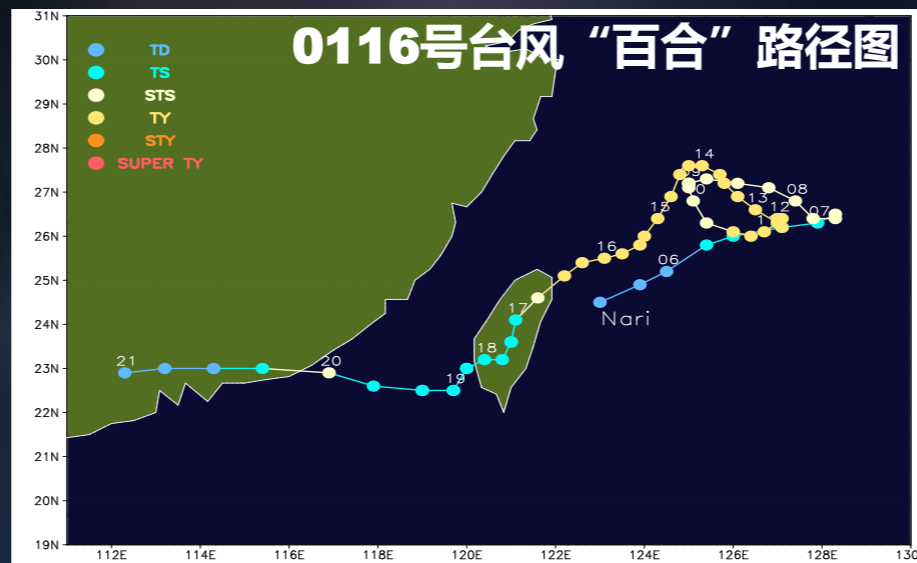
# ✓ 双台风个例 ( 1 )



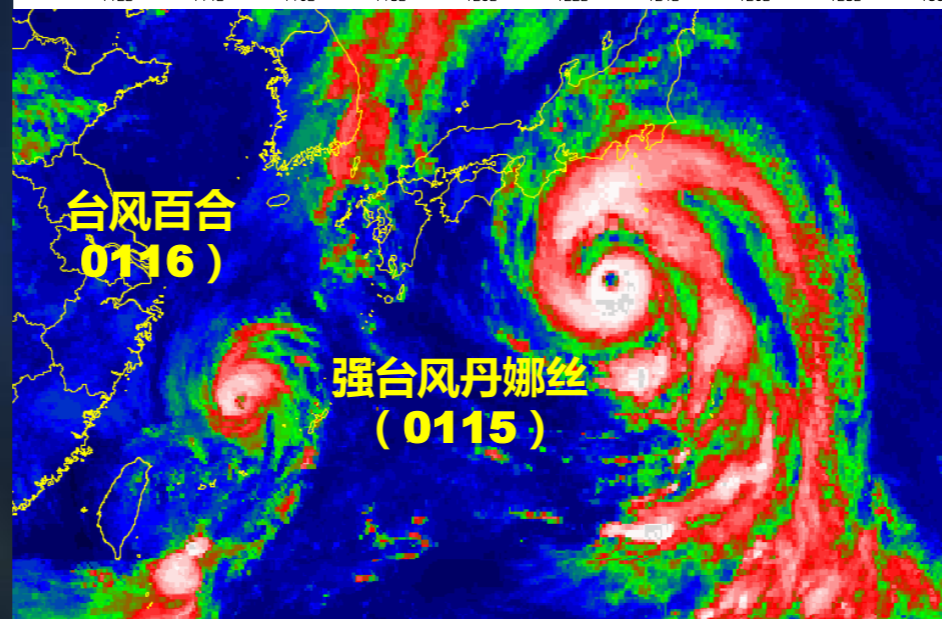
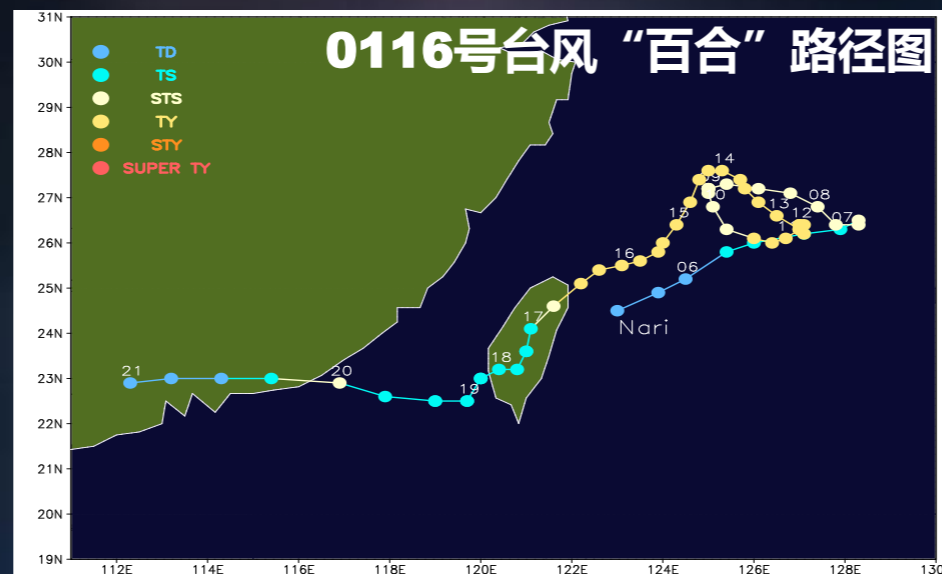
## ✓ 双台风个例 (2)



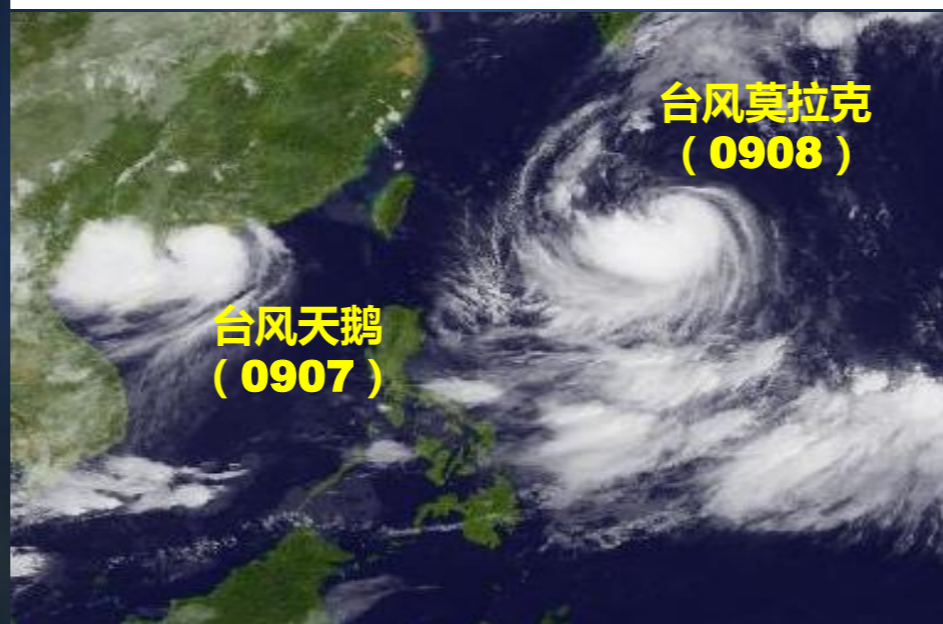
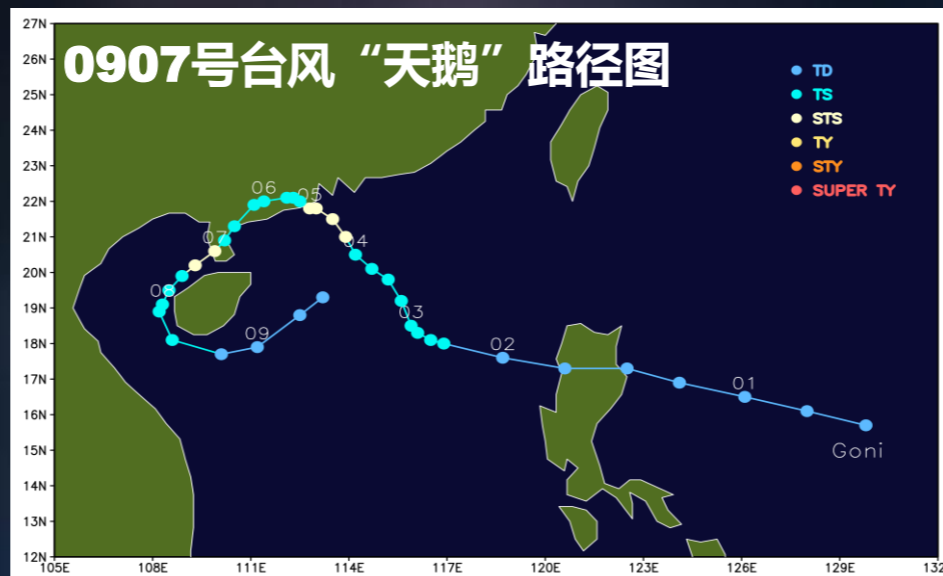
## ✓ 双台风个例 ( 3 )



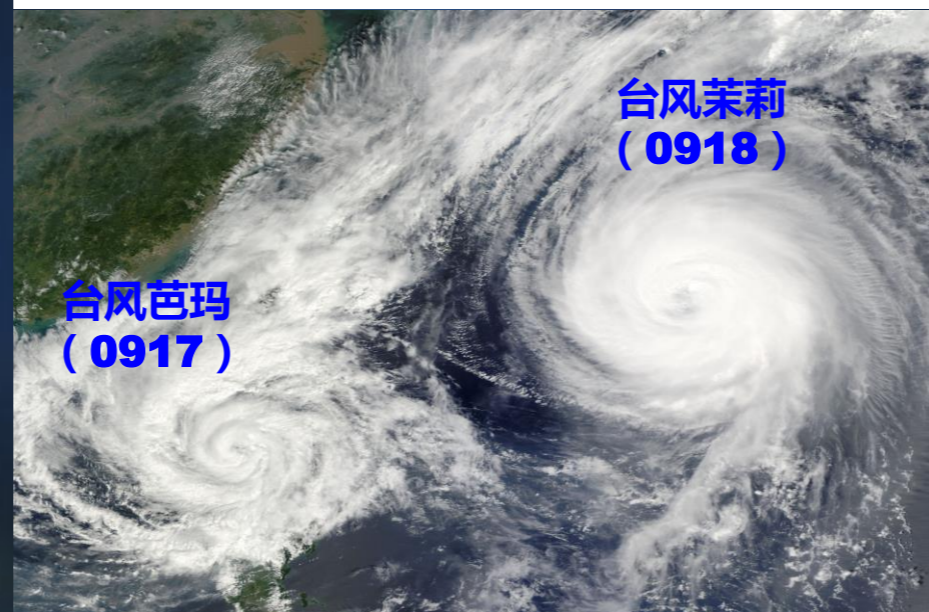
## ✓ 双台风个例 ( 4 )



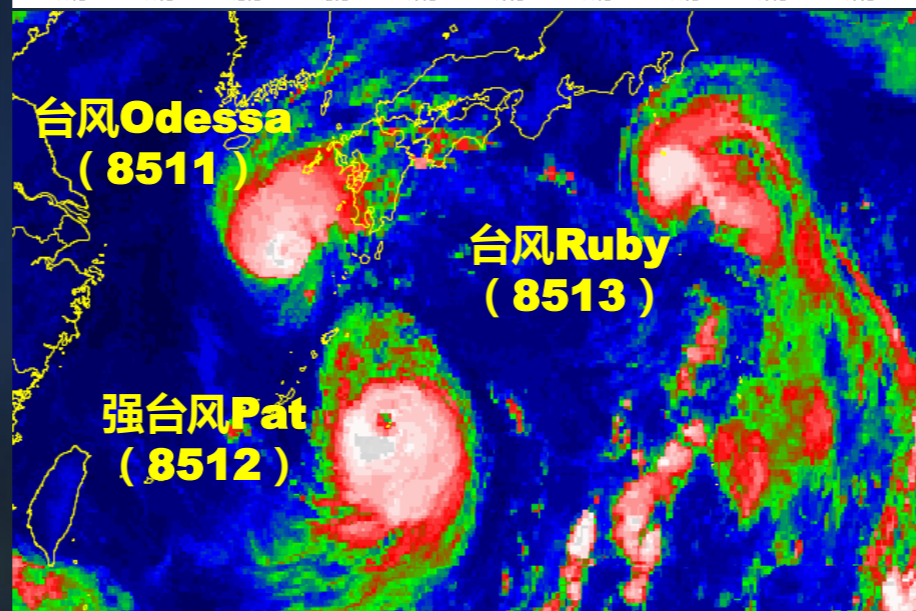
## ✓ 双台风个例 ( 5 )



## ✓ 双台风个例 (6)

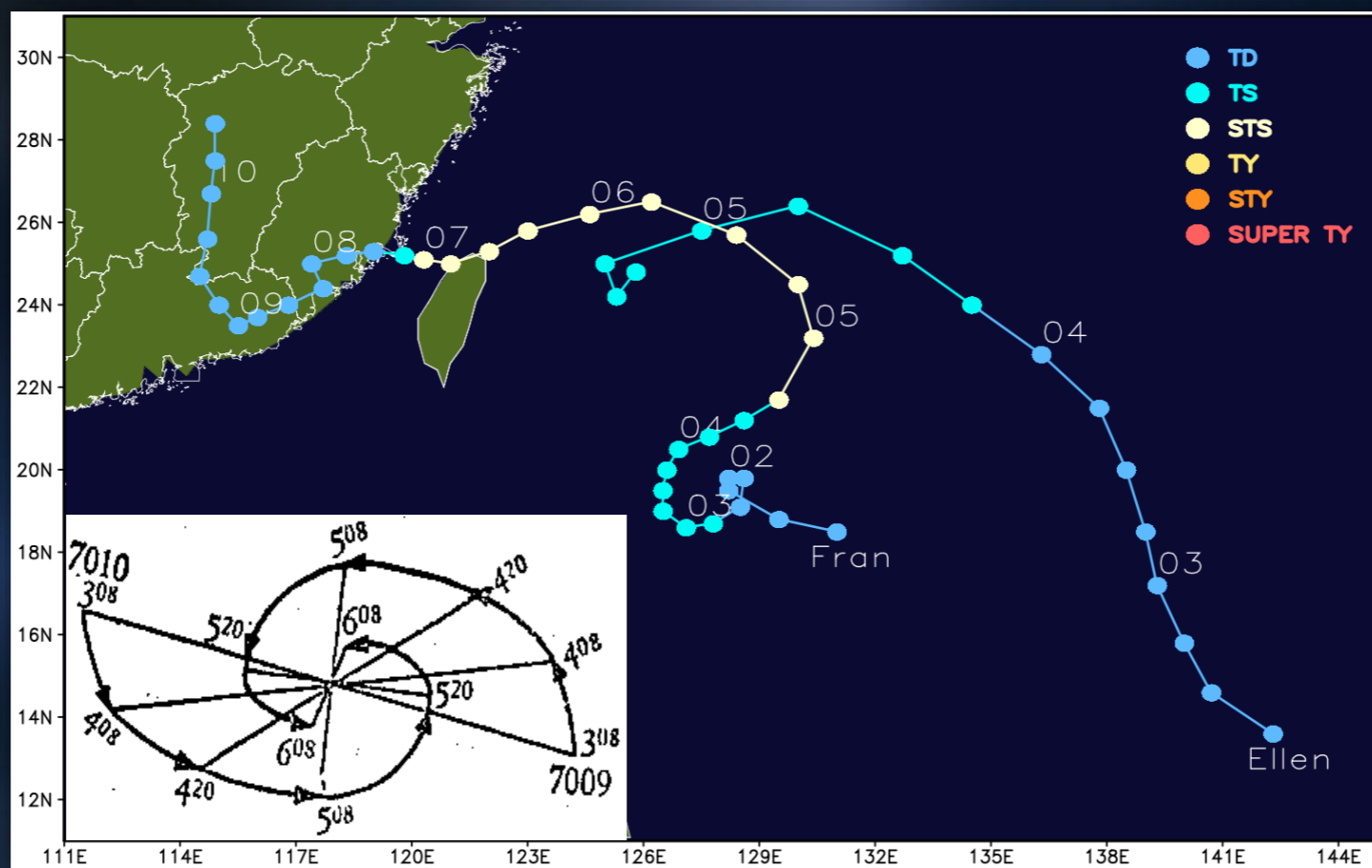


## ✓ 双台风个例 ( 7 )



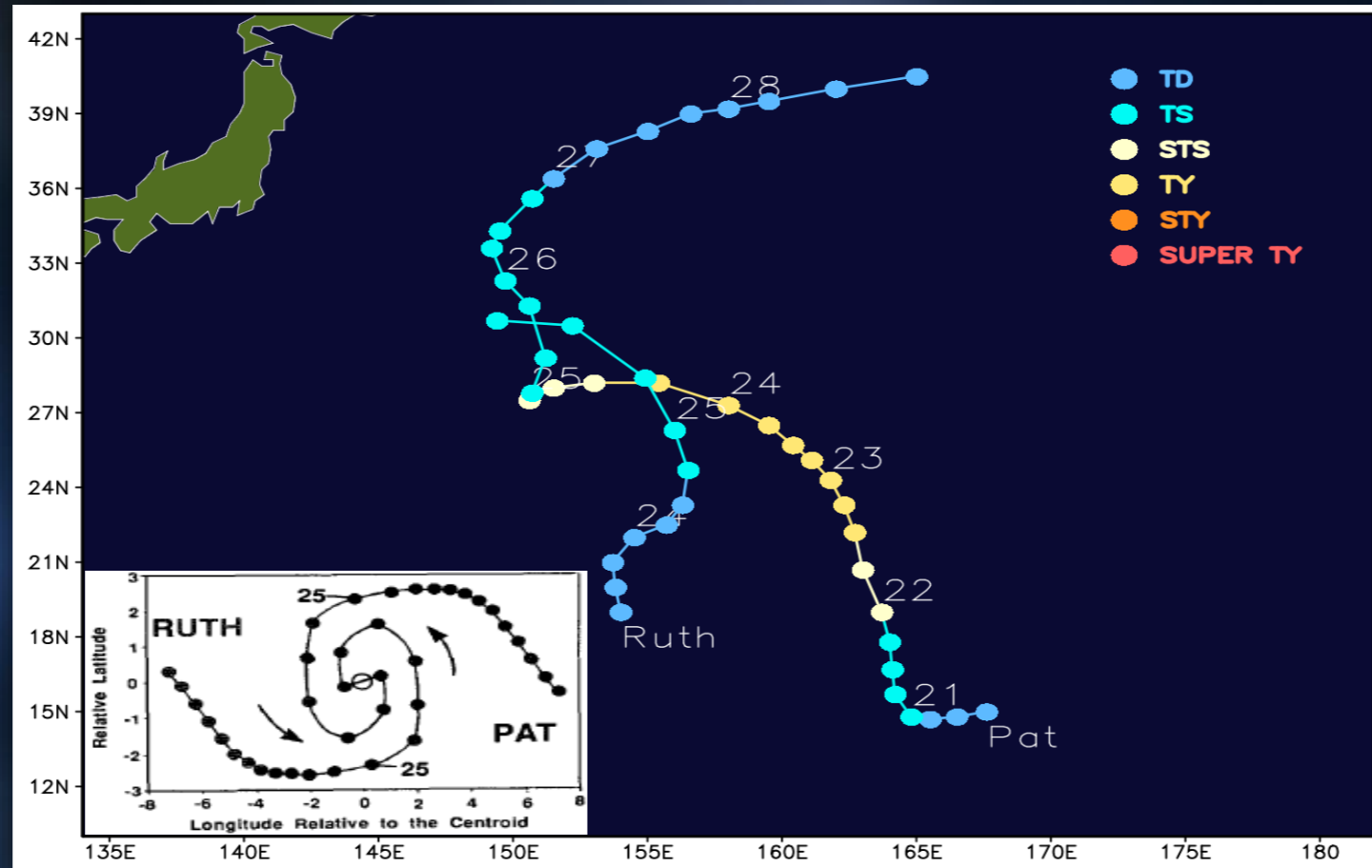
## ✓ 双台风个例 ( 8 )

### 7009号台风Ellen与7010号台风Fran的合并过程 ( 1970年9月3-6日 )



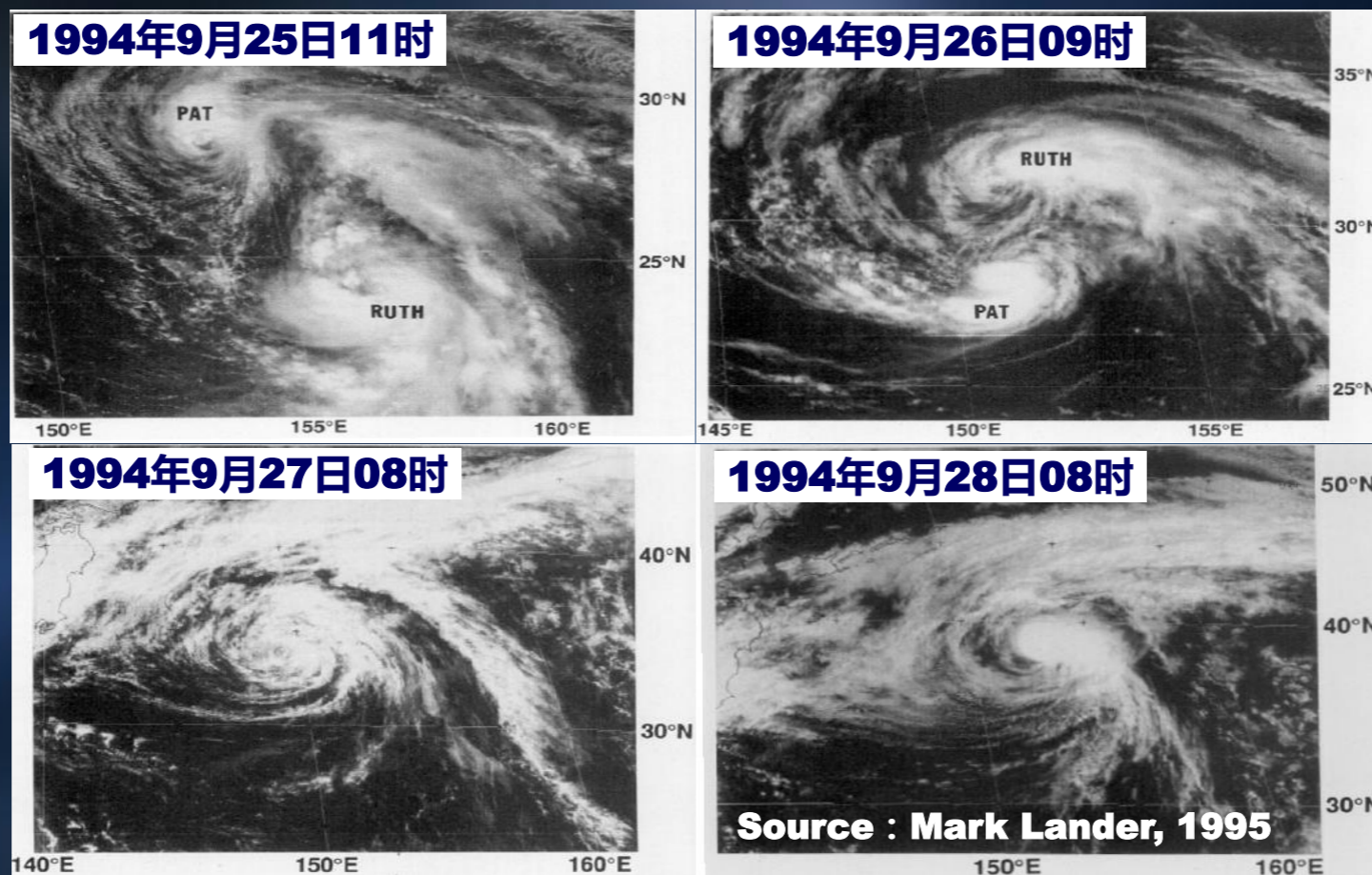
## ✓ 双台风个例 ( 9 )

9428号台风Pat与9429号台风Ruth的合并 ( 1994年9月25-27日 )



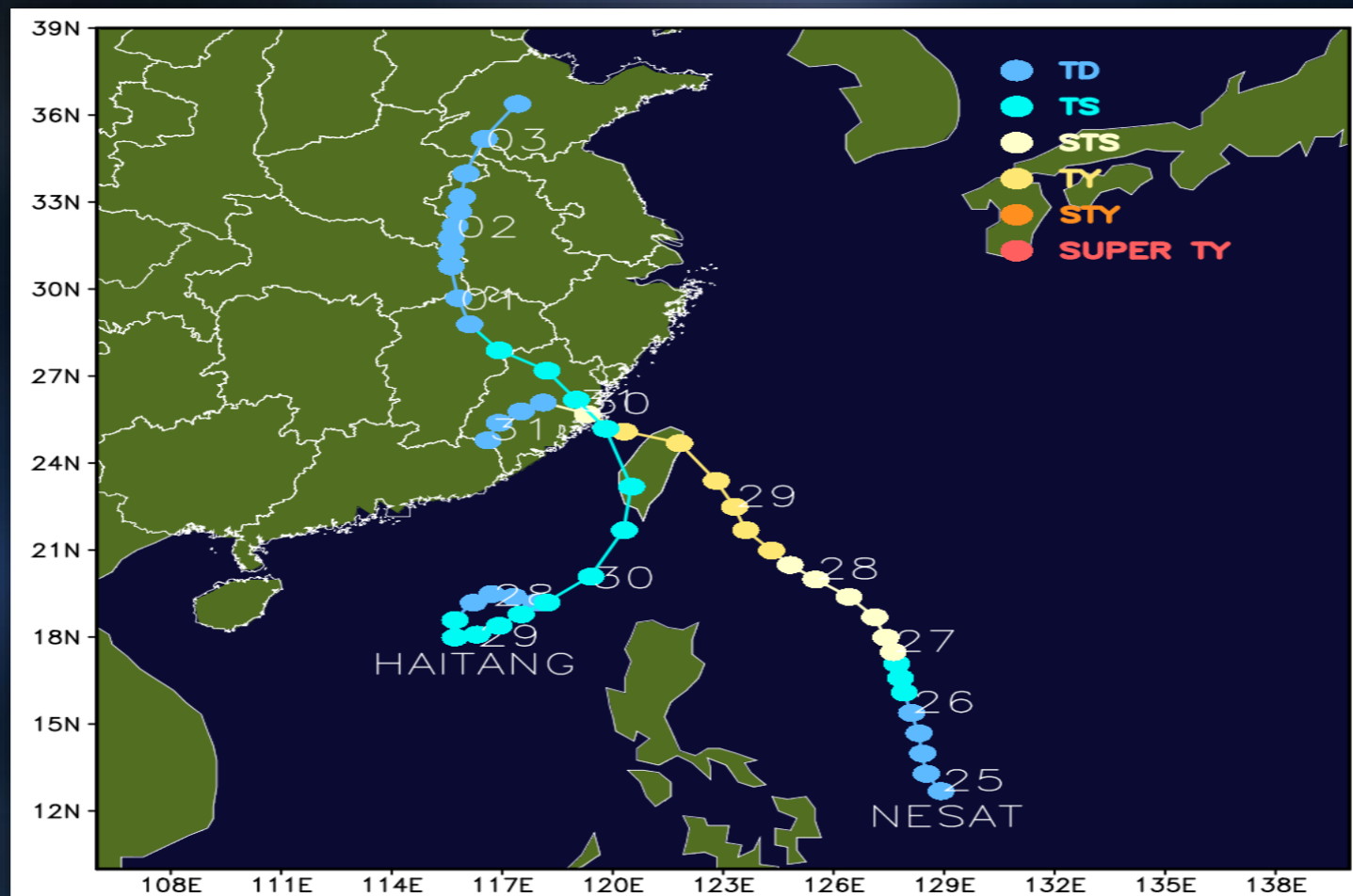
## ✓ 双台风个例 ( 10 )

9428号台风Pat与9429号台风Ruth的合并 ( 1994年9月25-27日 )



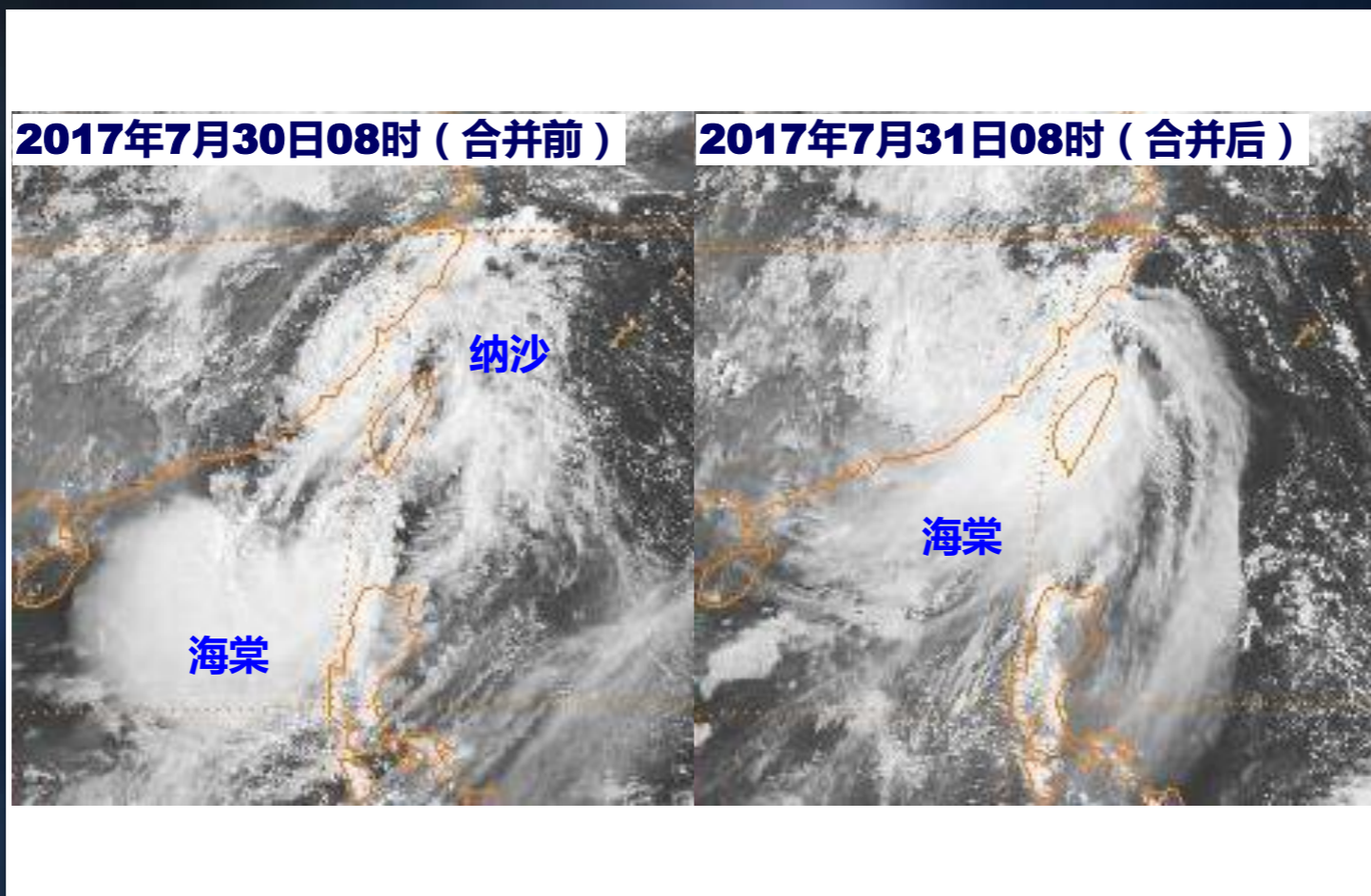
## ✓ 双台风个例 ( 11 )

1709号台风“纳沙”与1710号台风“海棠”合并 ( 2017年7月29-31日 )

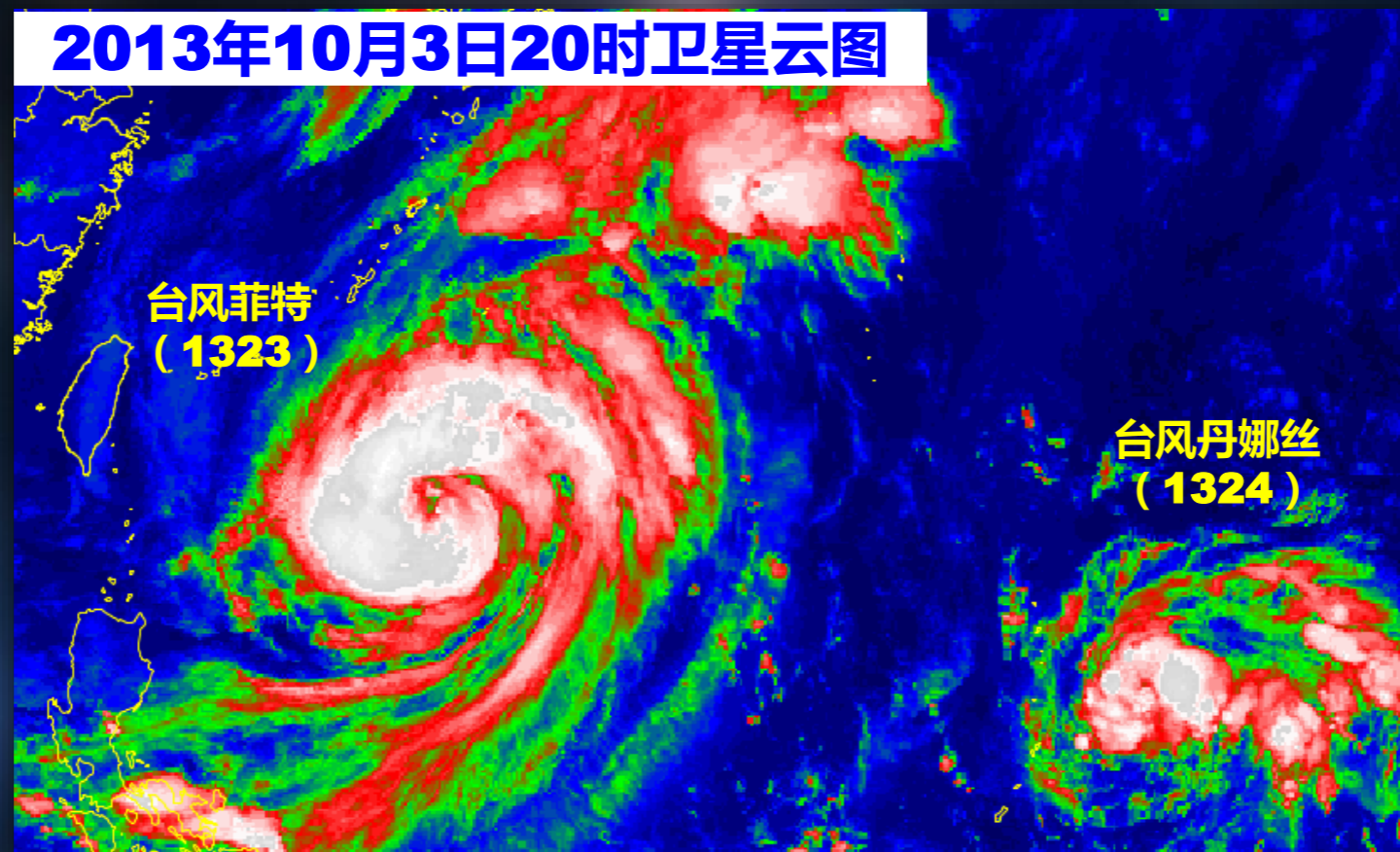


## ✓ 双台风个例 ( 12 )

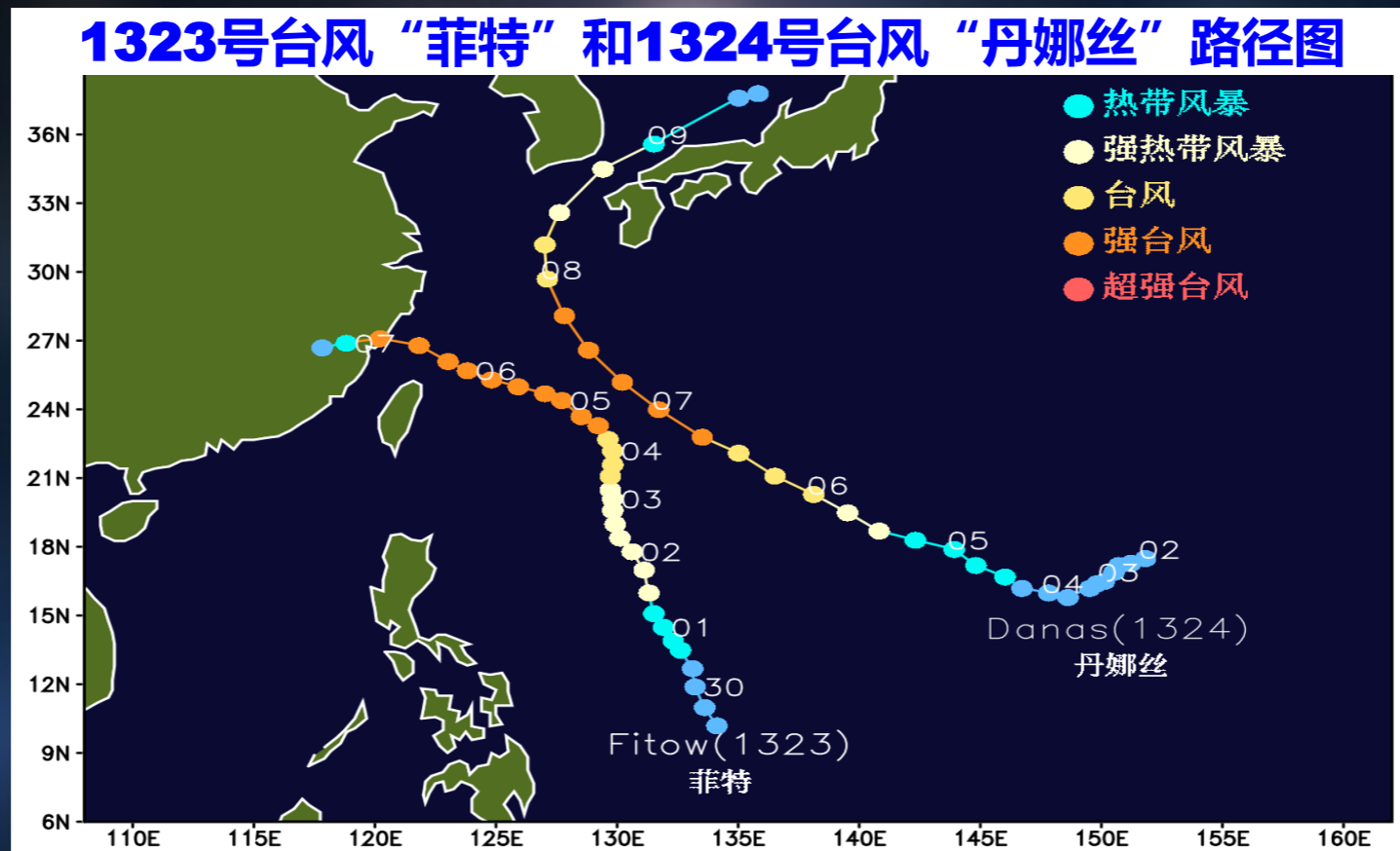
1709号台风“纳沙”与1710号台风“海棠”合并 ( 2017年7月29-31日 )



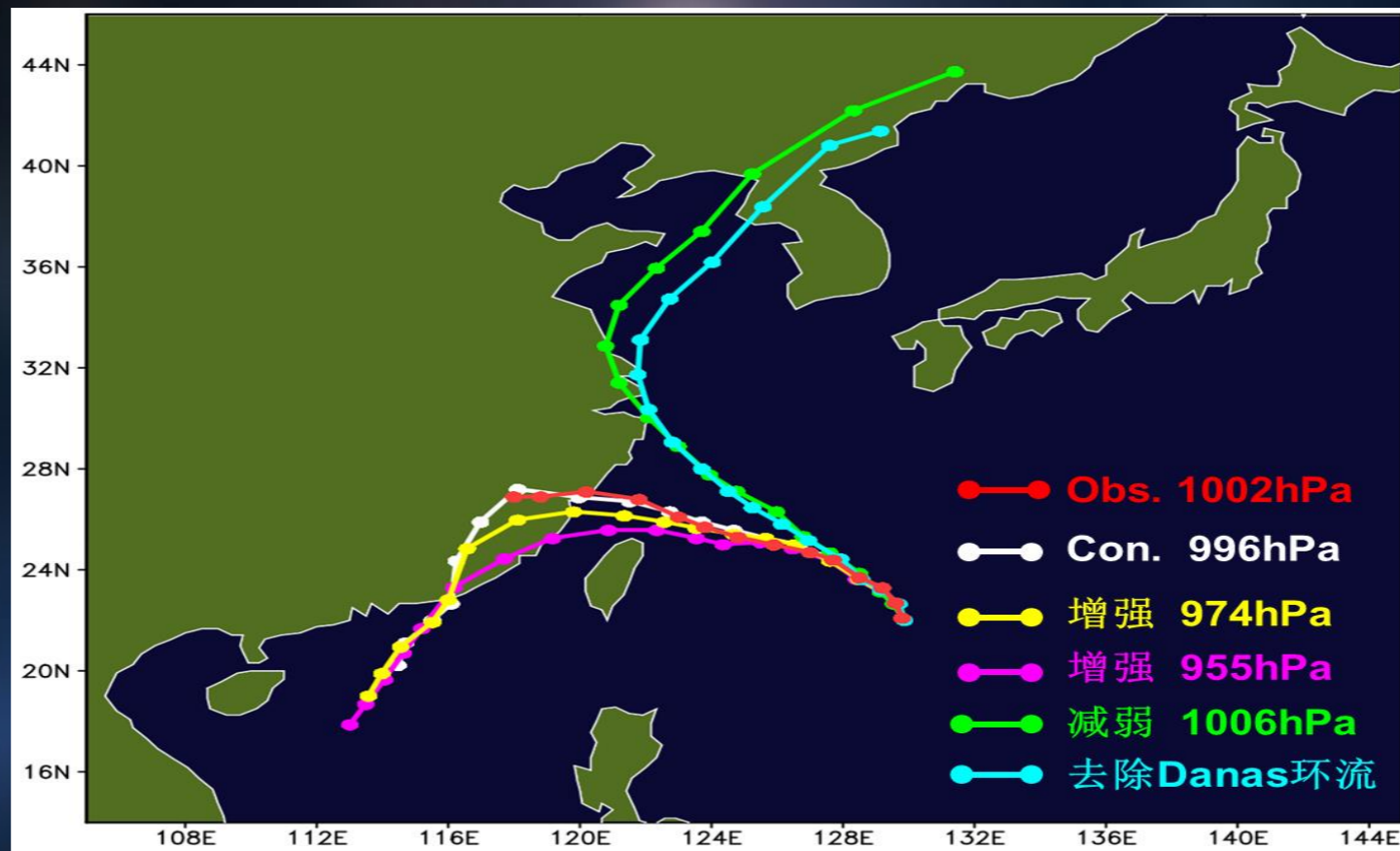
## ✓ 双台风对“菲特”路径西折的影响



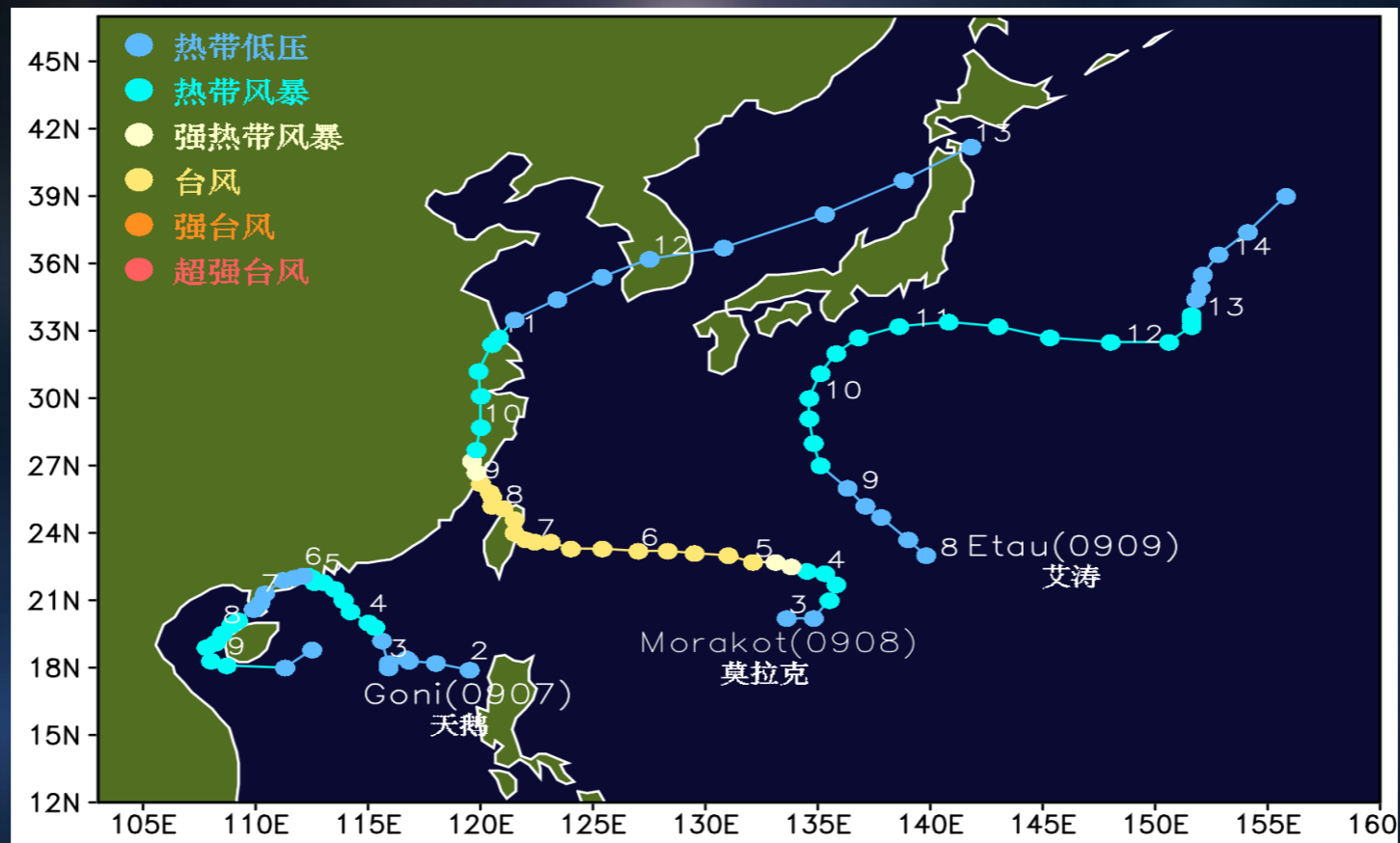
## ✓ 双台风对“菲特”路径西折的影响



## ✓ 双台风对“菲特”路径西折的影响

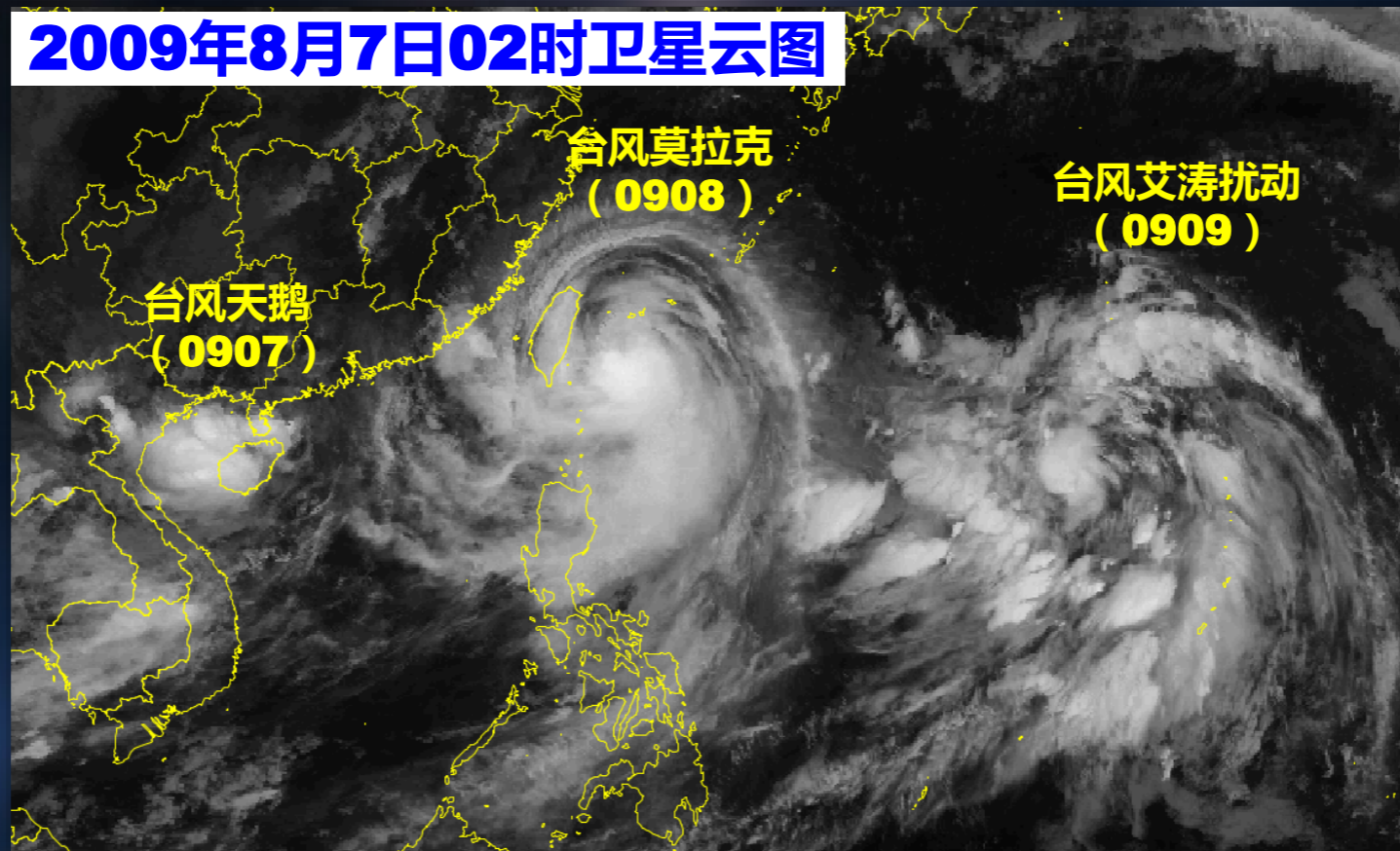


## ✓ 双台风对“莫拉克”路径的影响



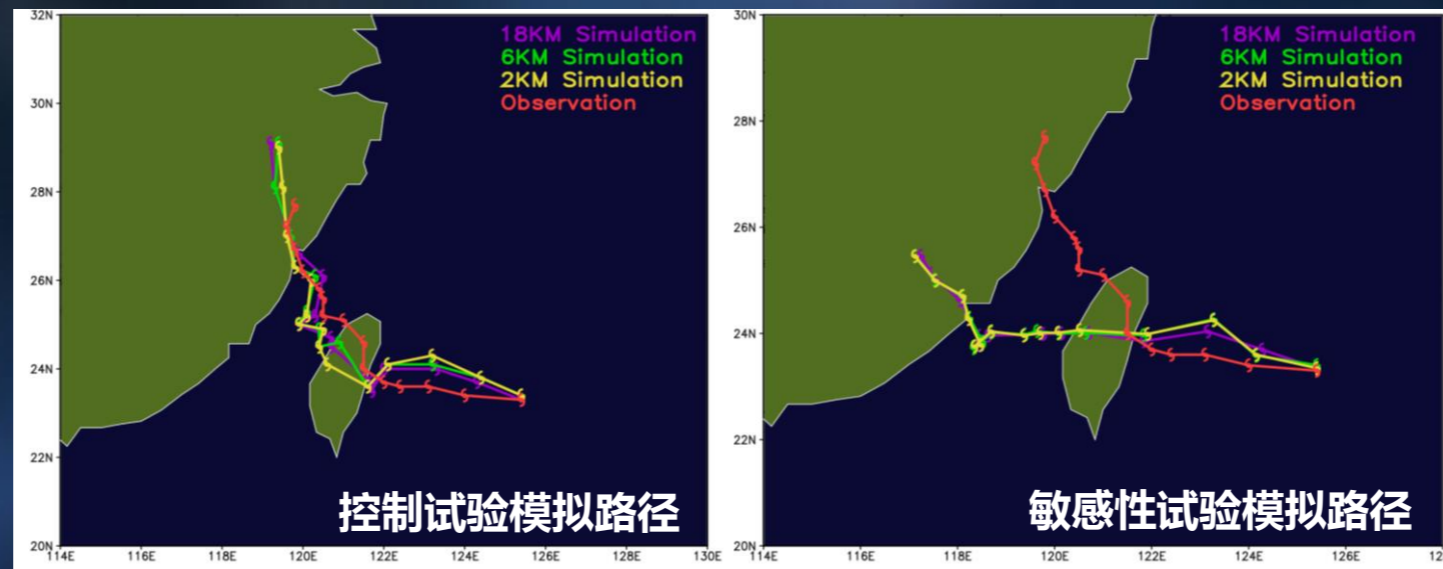
## ✓ 双台风对“莫拉克”路径的影响

2009年8月7日02时卫星云图



## ✓ 双台风对“莫拉克”路径的影响

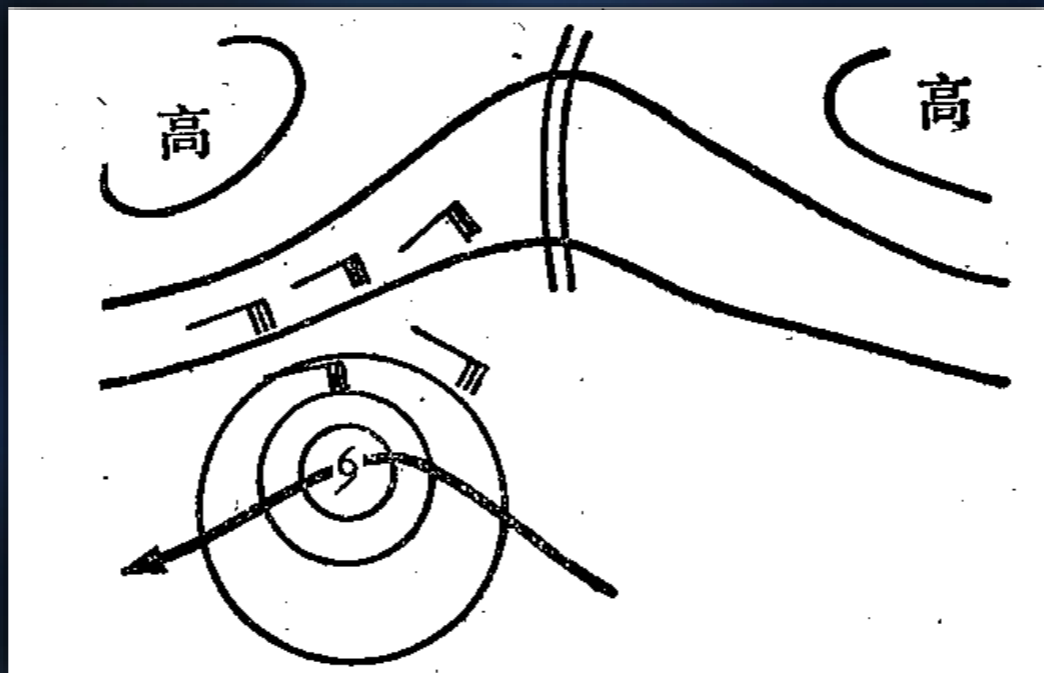
- 采用滤除“天鹅”台风环流后的初始场作为敏感性试验



# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 东风波

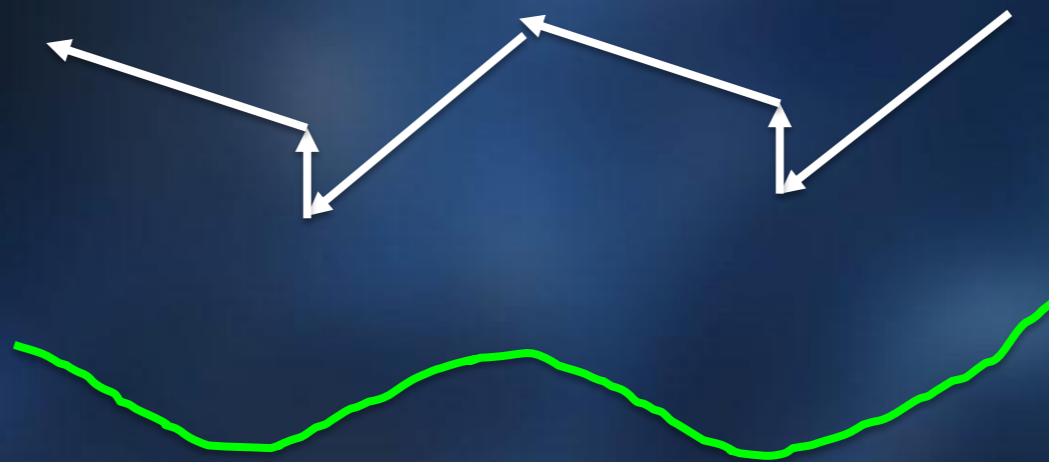
- ✓ 东风波从台风北侧移过时，使台风路径产生摆动，形成蛇形（Zigzag）路径



# 影响台风环境引导气流的主要因子

## ● 东风波

- ✓ 东风波从台风北侧移过时，使台风路径产生摆动，形成蛇形（Zigzag）路径



蛇形路径

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 高空冷涡（相距7个纬距以内）

- ✓ 长波槽南端切断的高空冷涡与台风靠近，会造成互旋，导致台风路径突变

- ① 300hPa强大冷涡位于台风北侧，两者外围存在闭合环流，相互吸引并逆时针互旋

- ② 300hPa上强大冷涡滞留台风西侧或西北侧，两者外围存在闭合环流，相互吸引合并

# 影响台风环境引导气流的主要因子

- 高空冷涡（相距7个纬距以内）

- ✓ 长波槽南端切断的高空冷涡与台风靠近，会造成互旋，导致台风路径突变
- ③ 300hPa上冷涡强度范围  $\leq$  台风强度，冷涡快速稳定移动，冷涡经过之处形成低压槽，诱使台风尾随低压槽跟进
- ④ 300hPa上冷涡及台风的强度范围均较小且移速较快，则两者将不发生互旋

## 影响台风环境引导气流的主要因子

- **高空冷涡（相距7个纬距以内）**

- ✓ **300hPa上冷涡的强度范围较大，稳定西行，且副高势力强劲，气压梯度较大，介入两涡旋之间，台风沿两者间的高压脊向西南方向移动**
- ✓ **高空冷涡对西太平洋副高有消弱作用，冷涡中心东侧200-300hPa上有强劲的偏南风，台风受偏南气流的影响而向偏北方向移动，有穿越500hPa及低层副高北上**

## ● 台风的突然加速和跳跃

✓ 台风周围基本气流突然加强

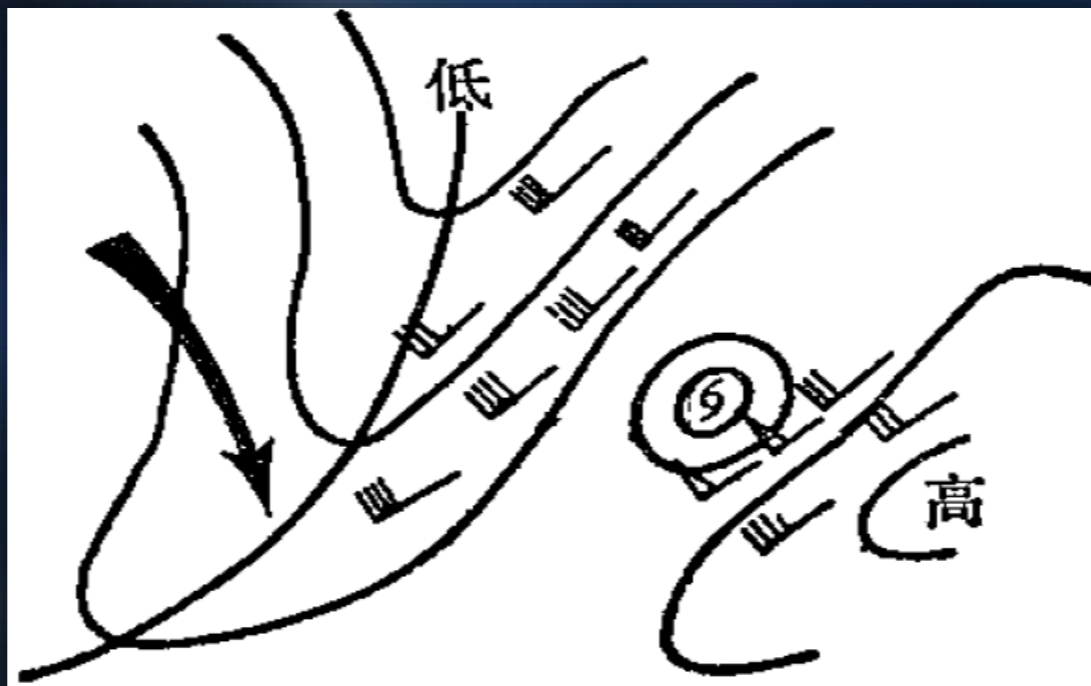
- 台风北侧西太平洋副高加强西伸，导致偏东气流突然增强，台风加速西行。这是台风西行加速最常见的原因



## ● 台风的突然加速和跳跃

✓ 台风周围基本气流突然加强

- 台风西北方中纬度长波槽经向发展，槽底向南延伸超过台风所在纬度，导致西南气流增强，台风加速向东北方向移动，尤其当槽内有低涡切断，且位于台风西北方，加速作用更为显著



## ● 台风的突然加速和跳跃

✓ 冷涡的吸引加速



# ● 台风的突然加速和跳跃

✓ 冷涡的吸引加速



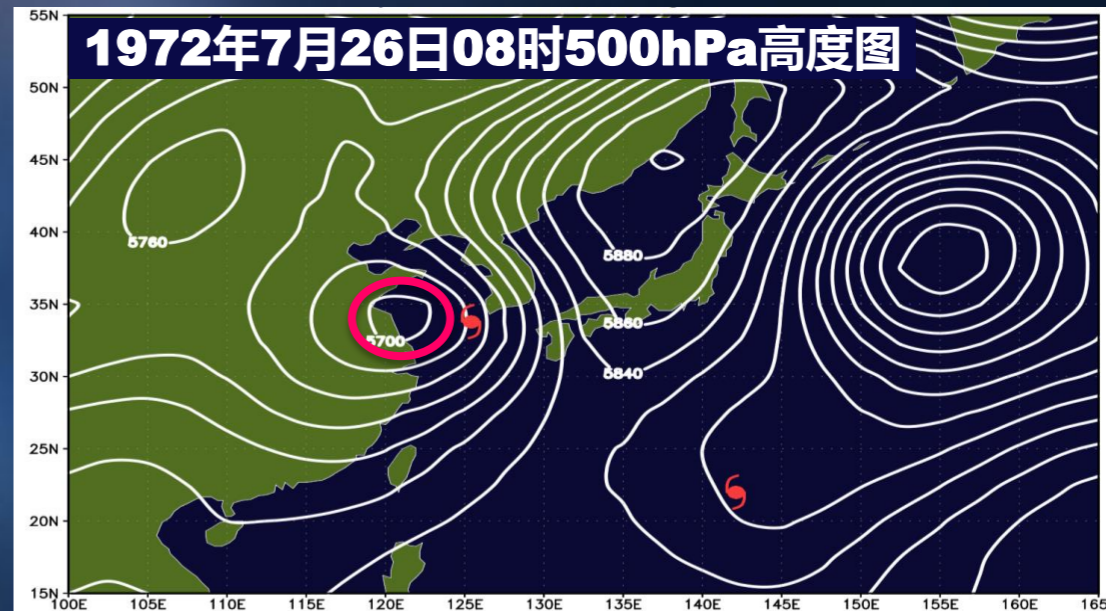
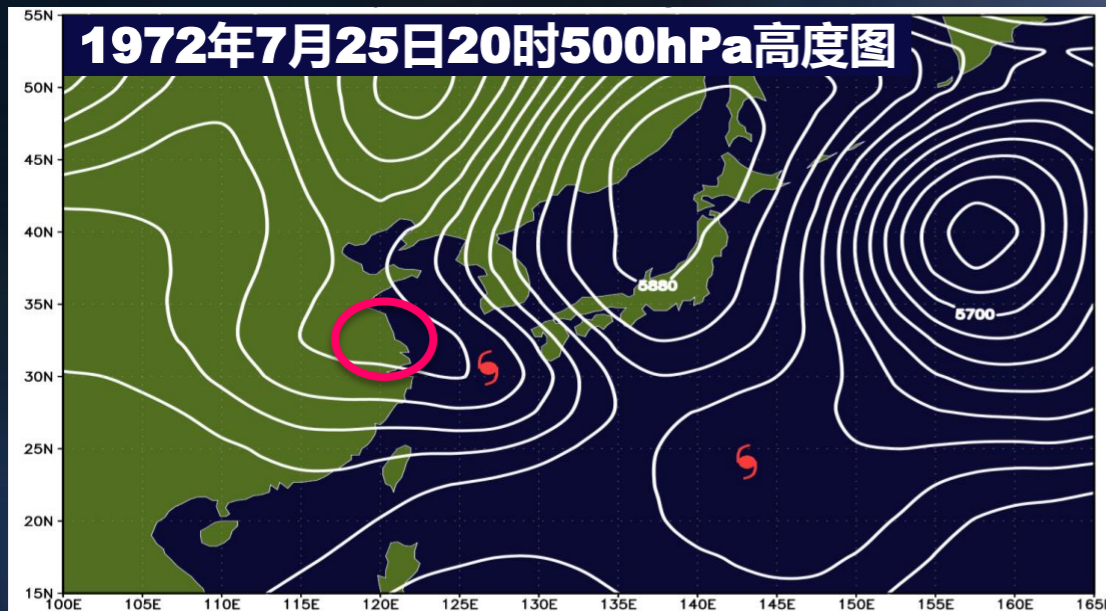
# ● 台风的突然加速和跳跃

✓ 冷涡的吸引加速



# ● 台风的突然加速和跳跃

✓ 冷涡的吸引加速 --- 7203号台风Rita



## ● 台风的突然减速和停滞

✓ 原地打转，不断改变方向

### ① 顺时针打转

- 约5%左右的台风发生顺时针打转，不受季节限制；一般发生在均压场背景下，偶尔发生在东北气流引导下，也可由强迫场所造成



均压场 ( $-g \nabla z = 0$ )，内力很小 ( $I \approx 0$ )

## ● 台风的突然减速和停滞

✓ 原地打转，不断改变方向

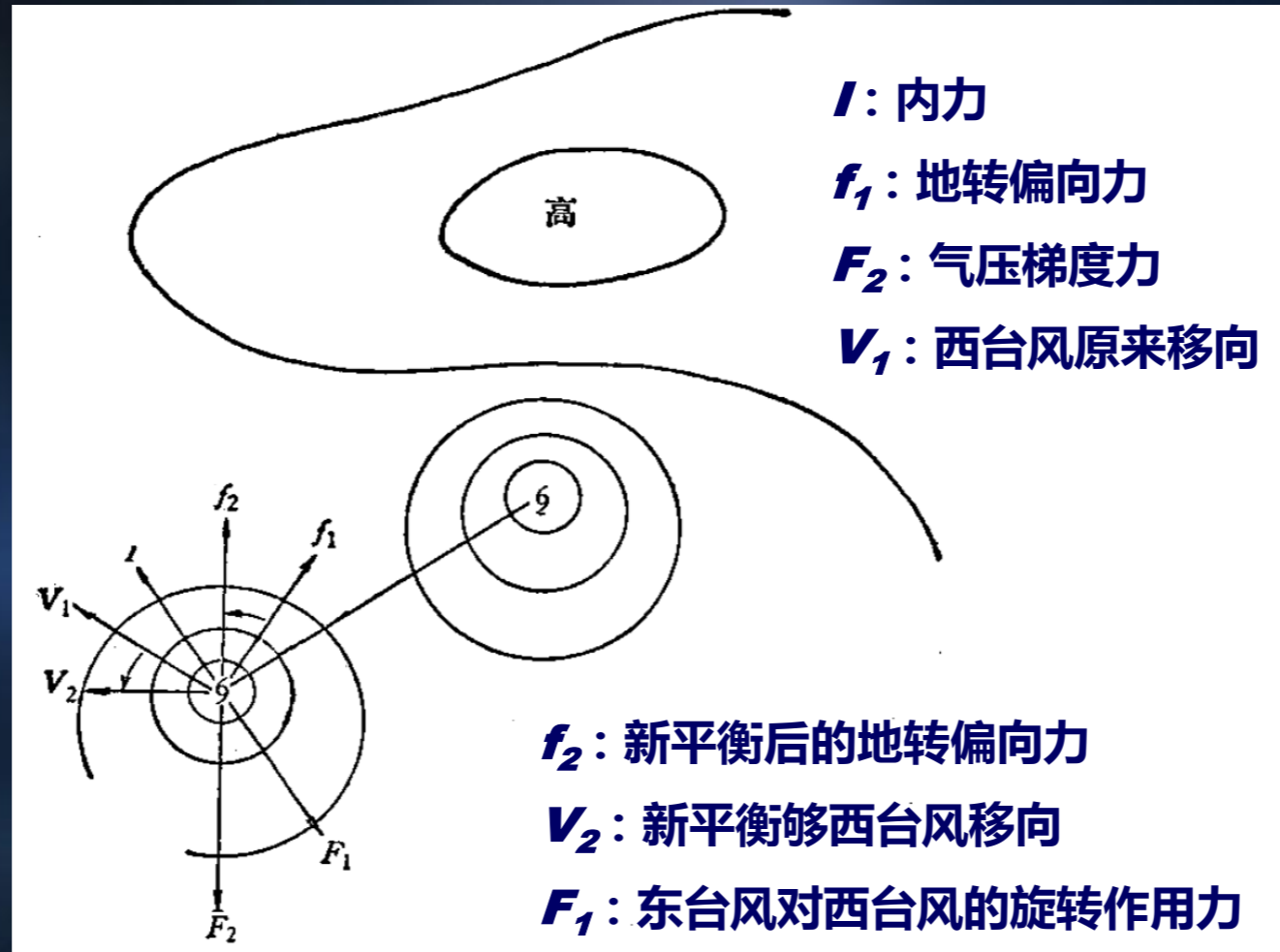
### ② 逆时针打转

- 多台风活动是台风逆时针打转的主要原因
- 逆时针打转也可由强迫场引起
- ✧ 东台风在西台风东北方位一定距离时出现，是西台风突然减速/停滞/打转的重要原因
- ✧ 流场强迫作用也是台风逆时针打转的原因之一，台风较弱，且位于较强高压包围中，易造成台风逆时针打转

## ● 台风的突然减速和停滞

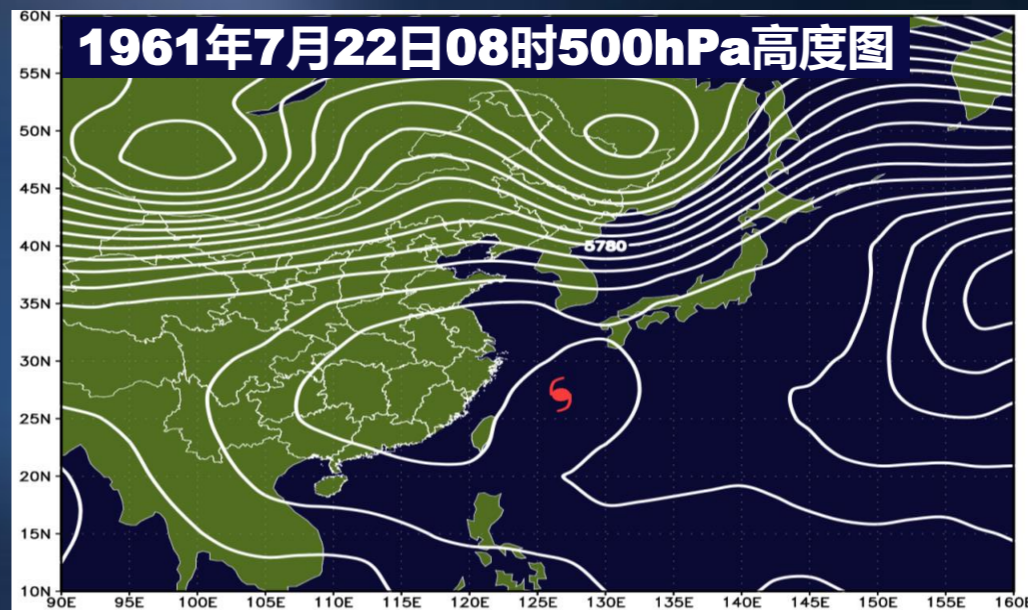
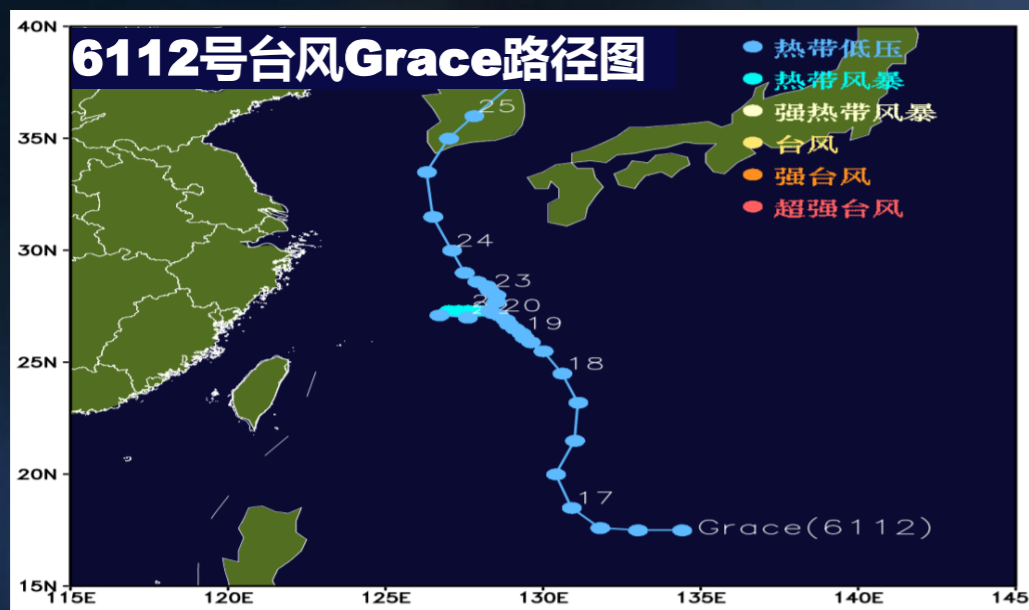
✓ 原地打转，不断改变方向

② 逆时针打转 – 东台风对西台风的西折和减速作用



# ● 台风的突然减速和停滞

## ② 逆时针打转 – 流场强迫作用个例

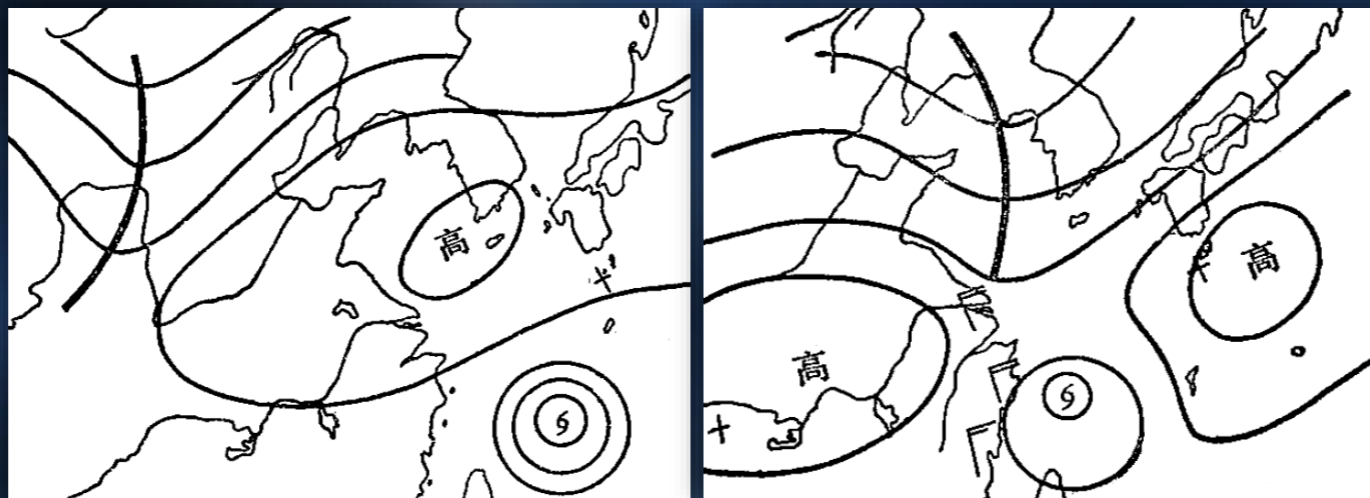


## ● 台风的突然减速和停滞

✓ 移速突然减慢而移向变化不大

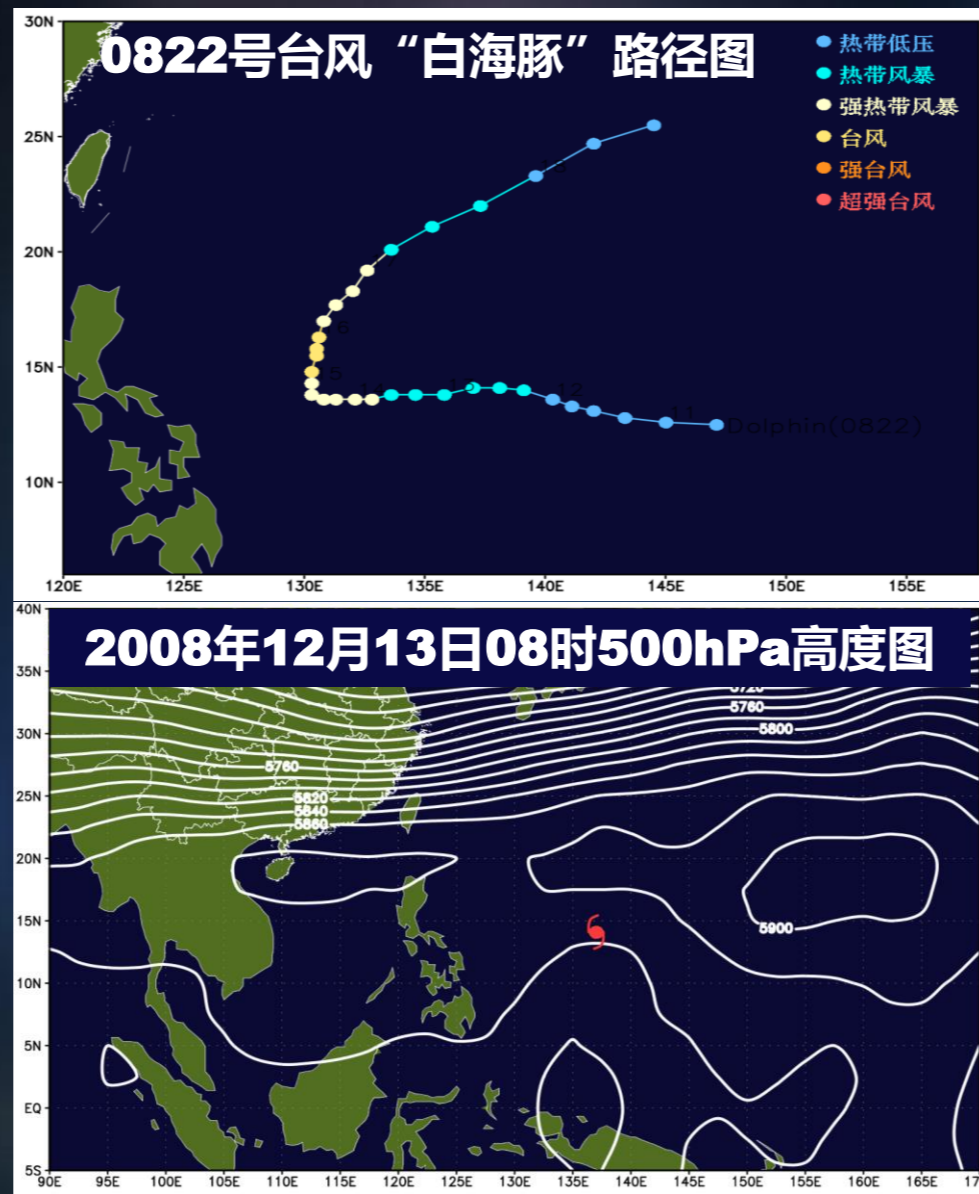
### ① 太平洋高压脊的突然衰退

- 主要发生在西移台风中，尤其当台风即将登陆之前，这种突变对预报影响很大



台风突然减速模式之一

## ✓ 太平洋高压脊的突然衰退

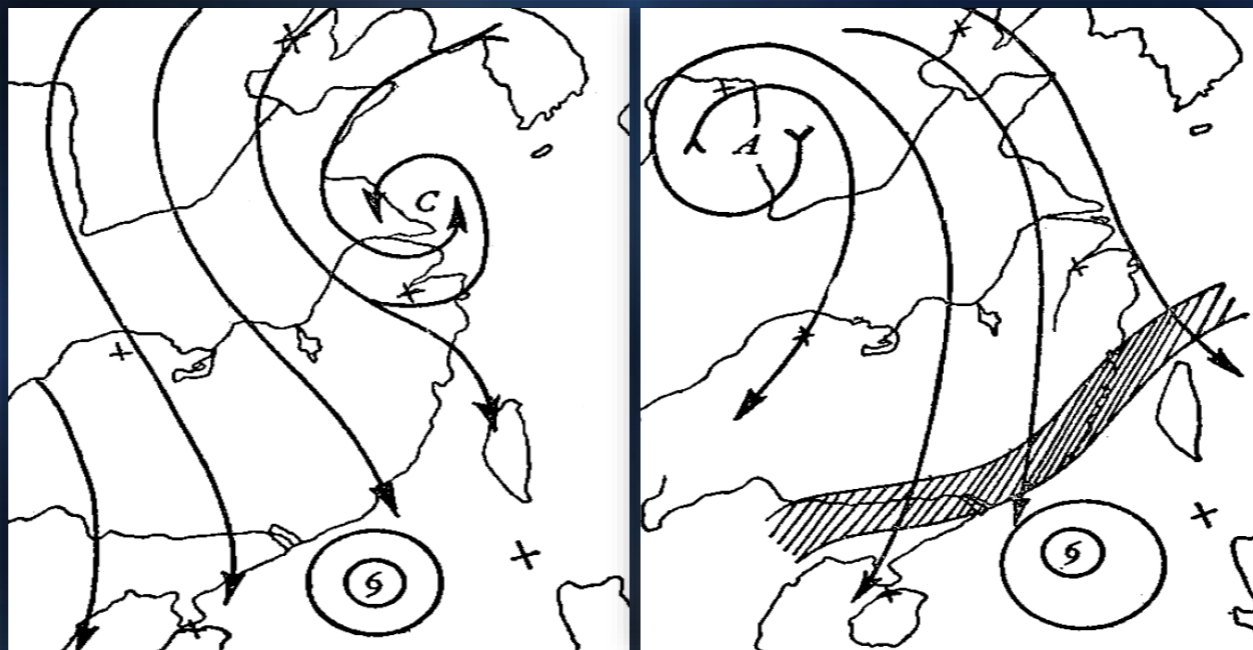


## ● 台风的突然减速和停滞

✓ 移速突然减慢而移向变化不大

### ② 冷涡和冷空气的影响

- 中纬度冷涡西侧的排斥气流和对流层中下层越过南岭山脉的冷空气对靠近华南海岸的台风均有减速作用

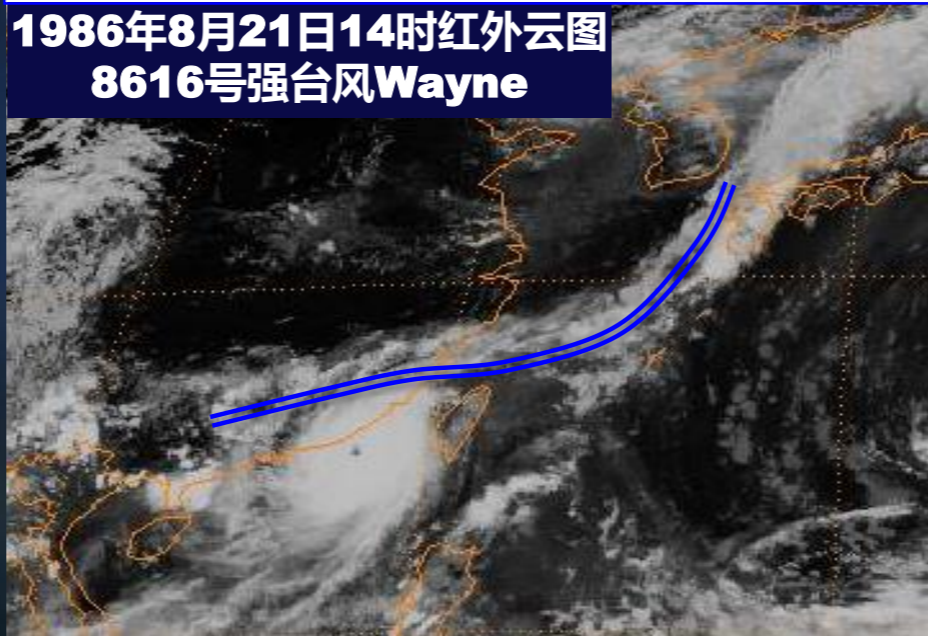


台风突然减速模式之二

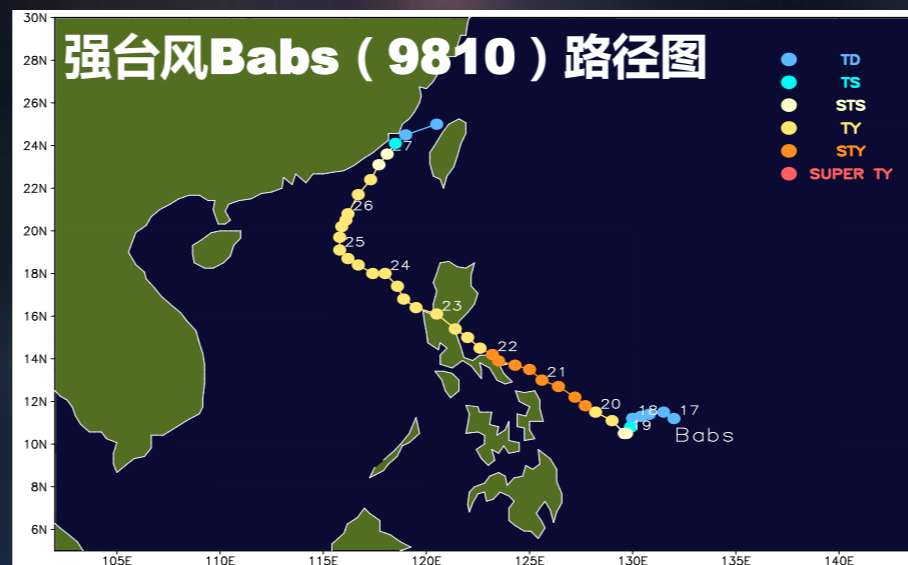
## ✓ 冷空气对台风路径的减速作用



**1986年8月21日14时红外云图**  
**8616号强台风Wayne**



## ✓ 冷空气对台风路径的减速作用



**1998年10月26日14时红外云图**  
**9810号强台风Babs**

