

A world map showing a dense network of blue and yellow lines representing weather data or storm tracks across the globe. The lines are most concentrated in the tropical and subtropical regions, particularly in the Pacific and Atlantic Oceans.

# 台风预报及其灾害

国家气象中心 (中央气象台)

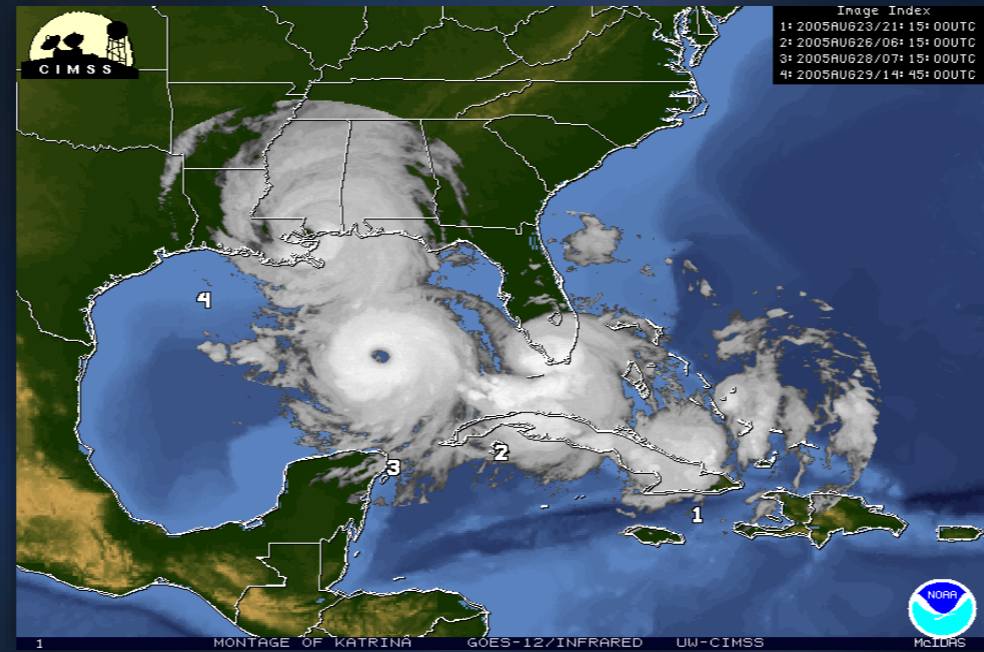
许映龙

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

# 第六讲 台风强度预报



# 台风强度预报



## 主要内容

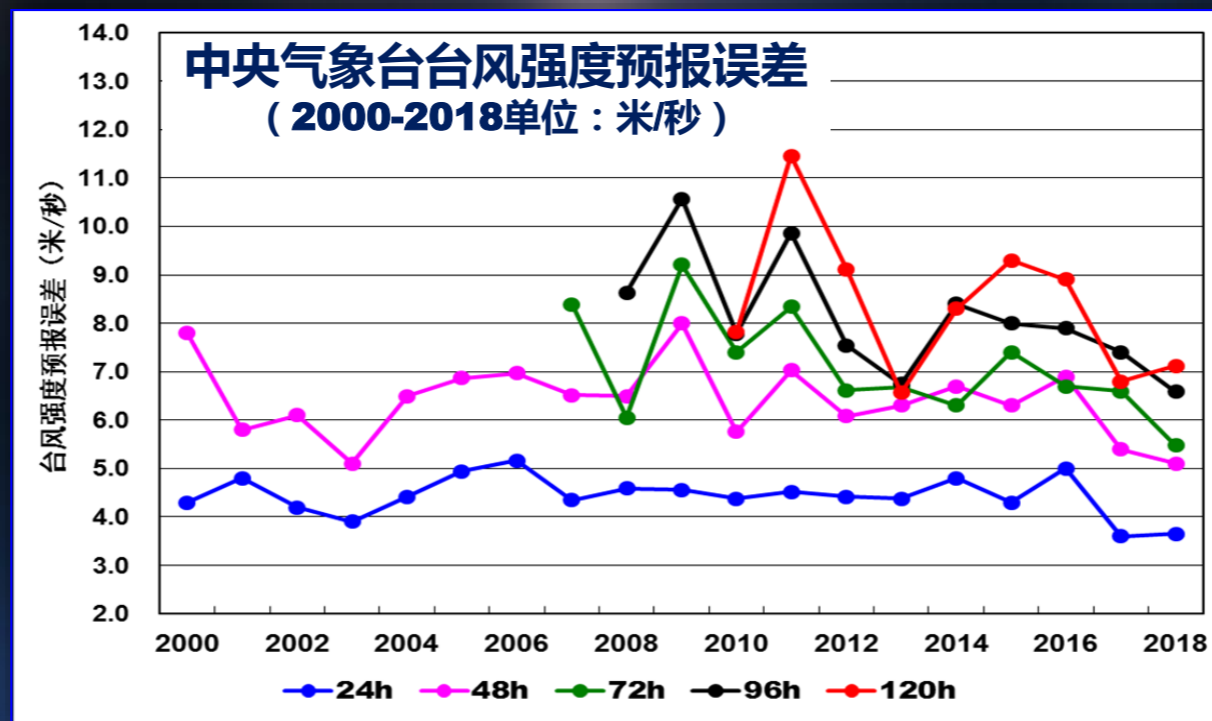
- 台风强度预报业务现状
- 台风生成和发展的基本条件
- 影响台风强度变化的主要因子
- 台风强度综合预报方法
- 台风强度预报诊断
- 台风数值模式系统
- 台风生成预报
- 台风强度指数

# 6.1 台风强度预报业务现状



# 台风强度预报业务现状

## ● 中国中央气象台 (NMC/CMA)



**近5年24h平均预报误差:4.3米/秒**

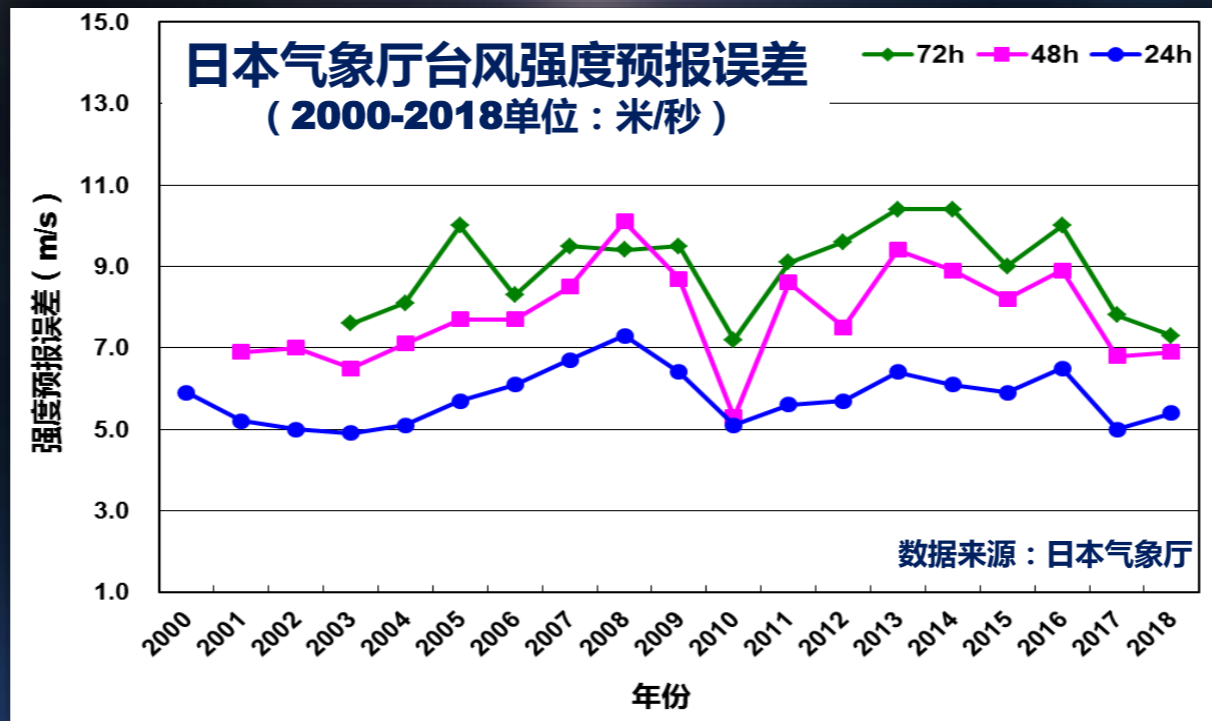
**2018年: 3.7米/秒 2017年: 3.6米/秒**

**2016年: 5.0米/秒 2015年: 4.3米/秒**

**2014年: 4.8米/秒**

# 台风强度预报业务现状

## ● 日本气象厅 (JMA)



**近5年24h平均预报误差: 5.8米/秒**

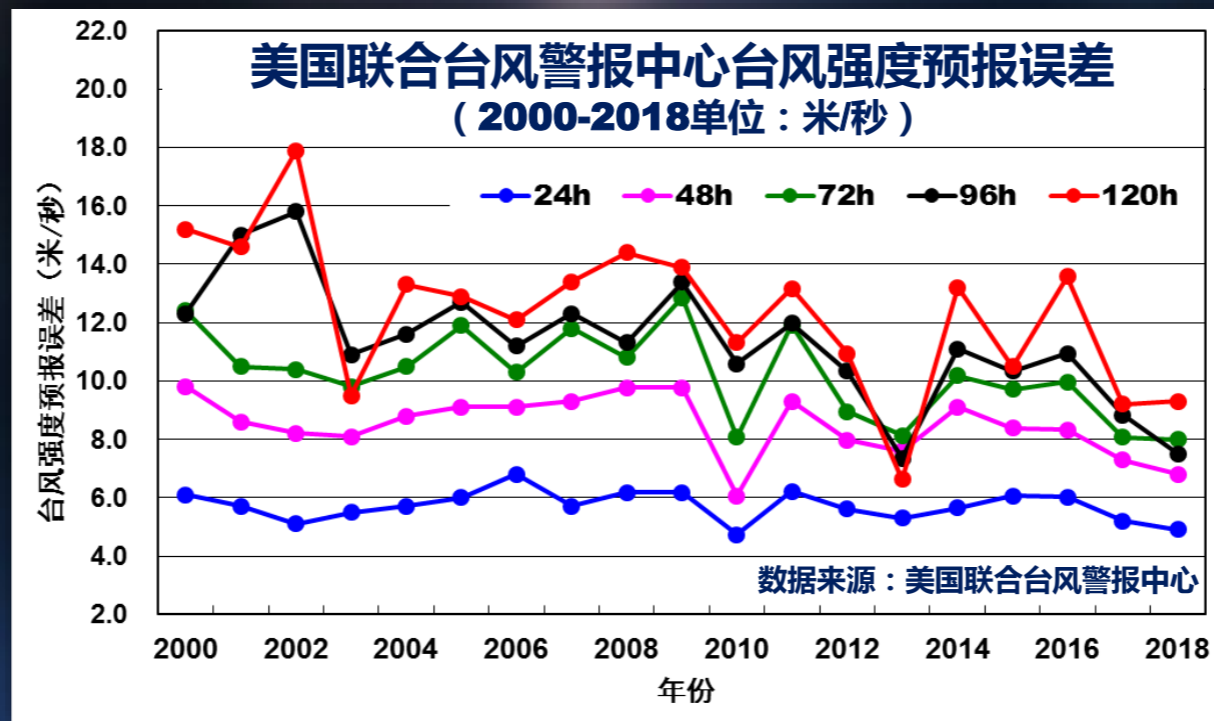
**2018年: 5.4米/秒 2017年: 5.0米/秒**

**2016年: 6.5米/秒 2015年: 5.9米/秒**

**2014年: 6.1米/秒**

# 台风强度预报业务现状

- 美国联合台风警报中心 (JTWC)



**近5年24h平均预报误差: 5.6米/秒**

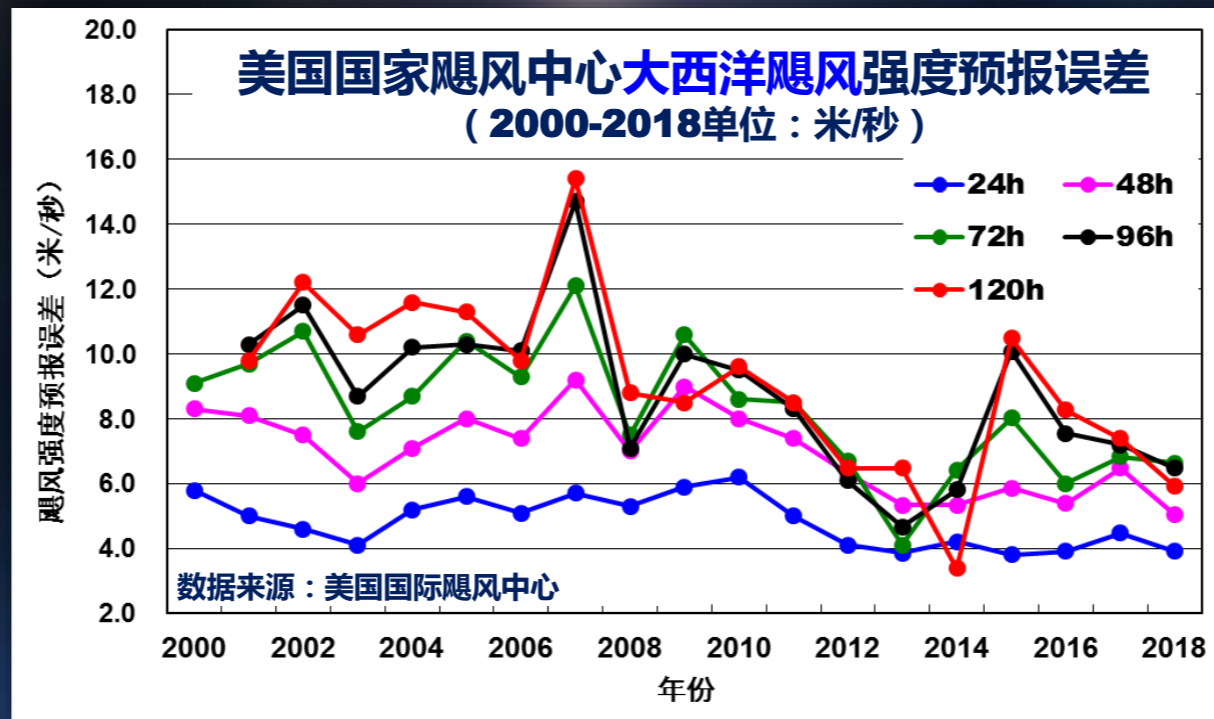
**2018年: 4.9米/秒 2017年: 5.2米/秒**

**2016年: 6.0米/秒 2015年: 6.1米/秒**

**2014年: 5.7米/秒**

# 台风强度预报业务现状

## ● 美国国家飓风中心 (NHC/NOAA)



**近5年24h平均预报误差: 4.1米/秒**

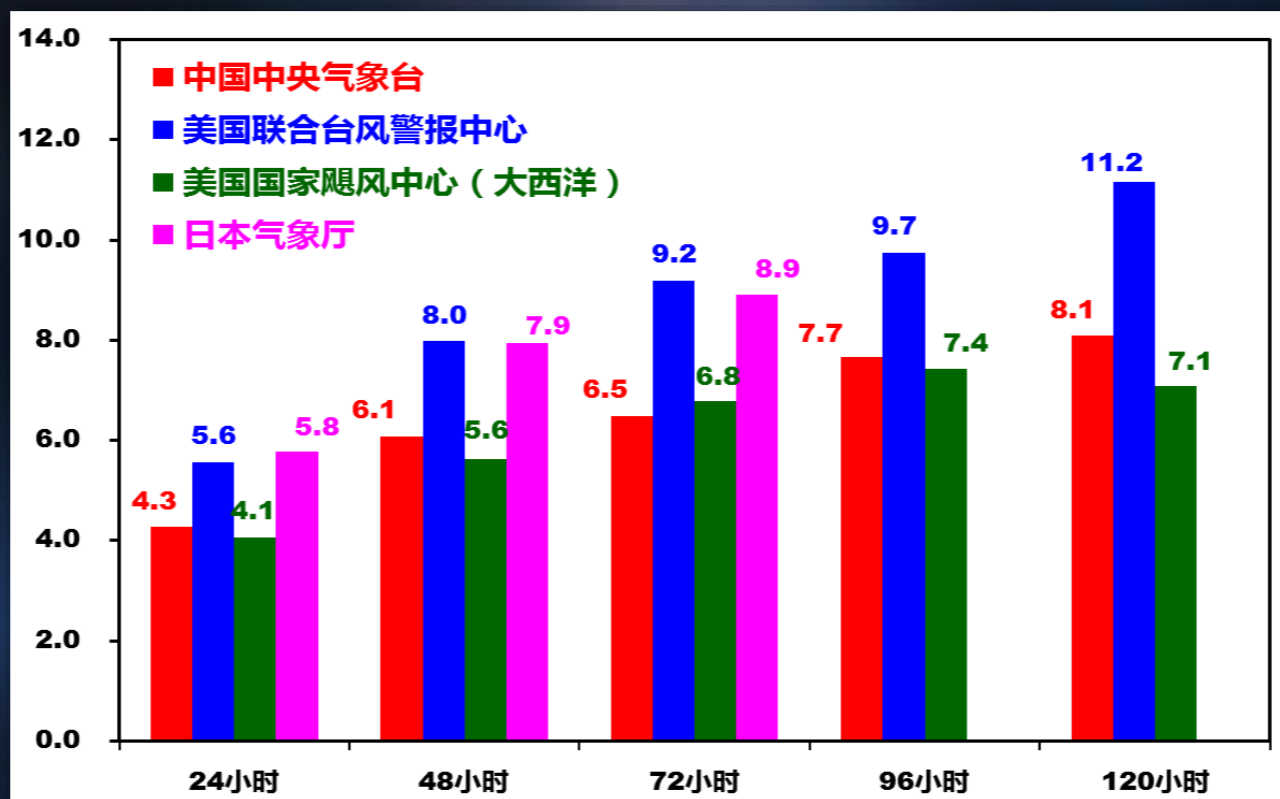
**2018年: 3.9米/秒 2017年: 4.5米/秒**

**2016年: 3.9米/秒 2015年: 3.8米/秒**

**2014年: 4.2米/秒**

# 台风强度预报业务现状

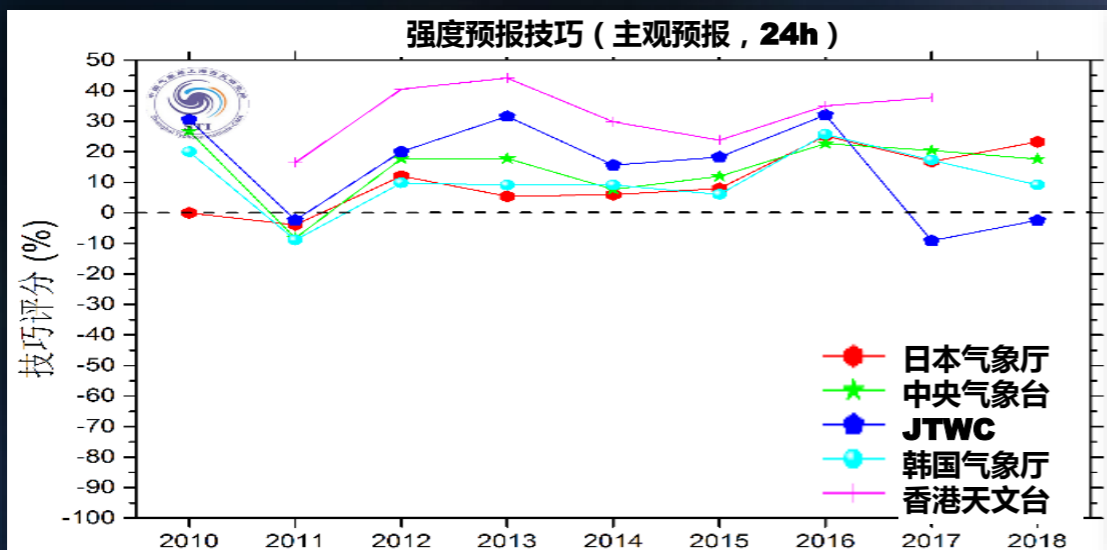
## 近5年中日美24-120小时台风强度预报平均误差 (2014-2018年, 单位: 米/秒)



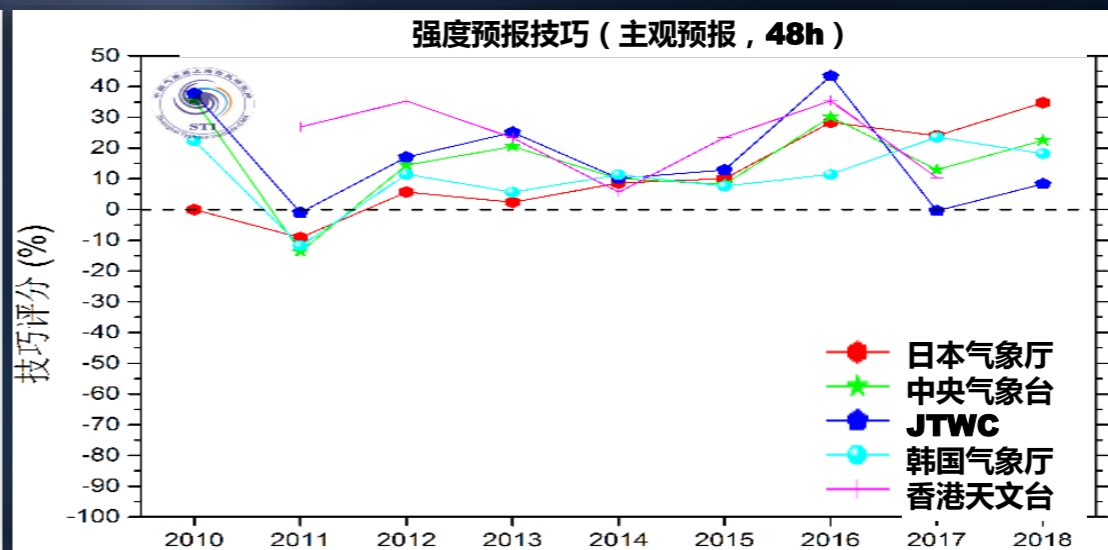
数据来源: 中央气象台、日本气象厅、美国联合台风警报中心和美国国家飓风中心

# 台风强度预报业务现状

## 主观预报强度技巧评分 (2007-2018年)



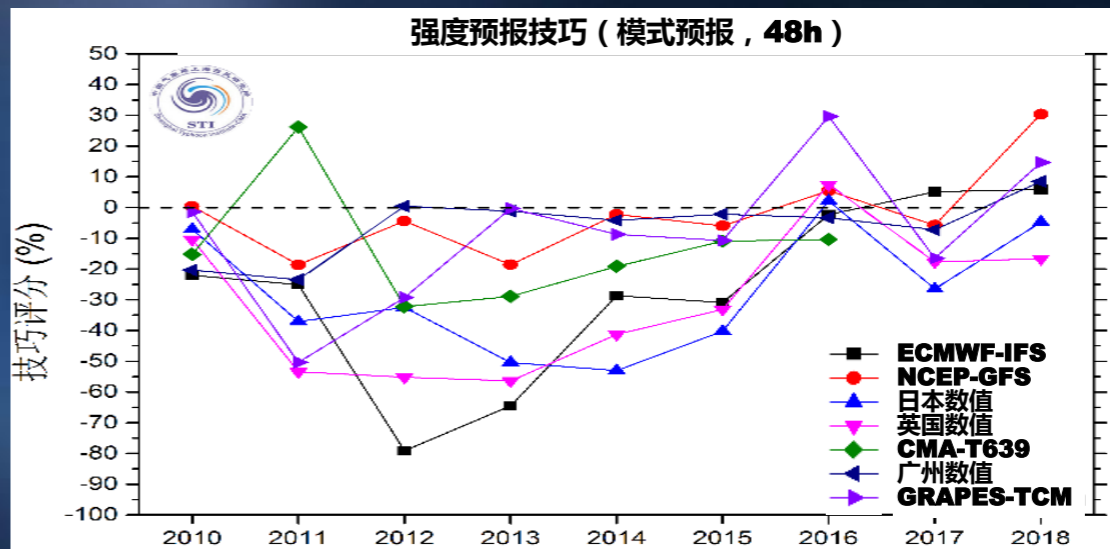
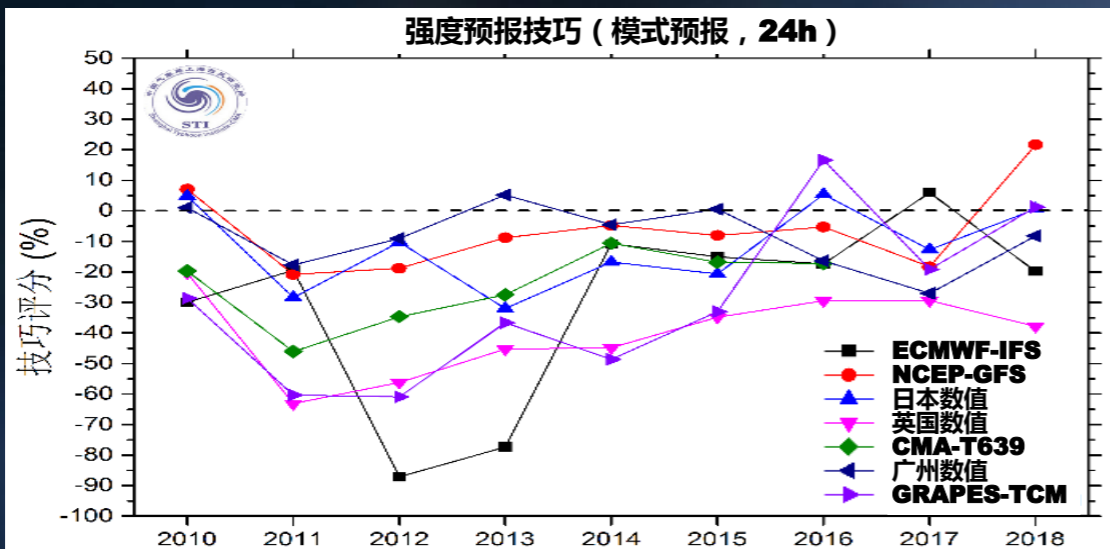
## 主观方法强度预报技巧评分基本均为正技巧



# 台风强度预报业务现状

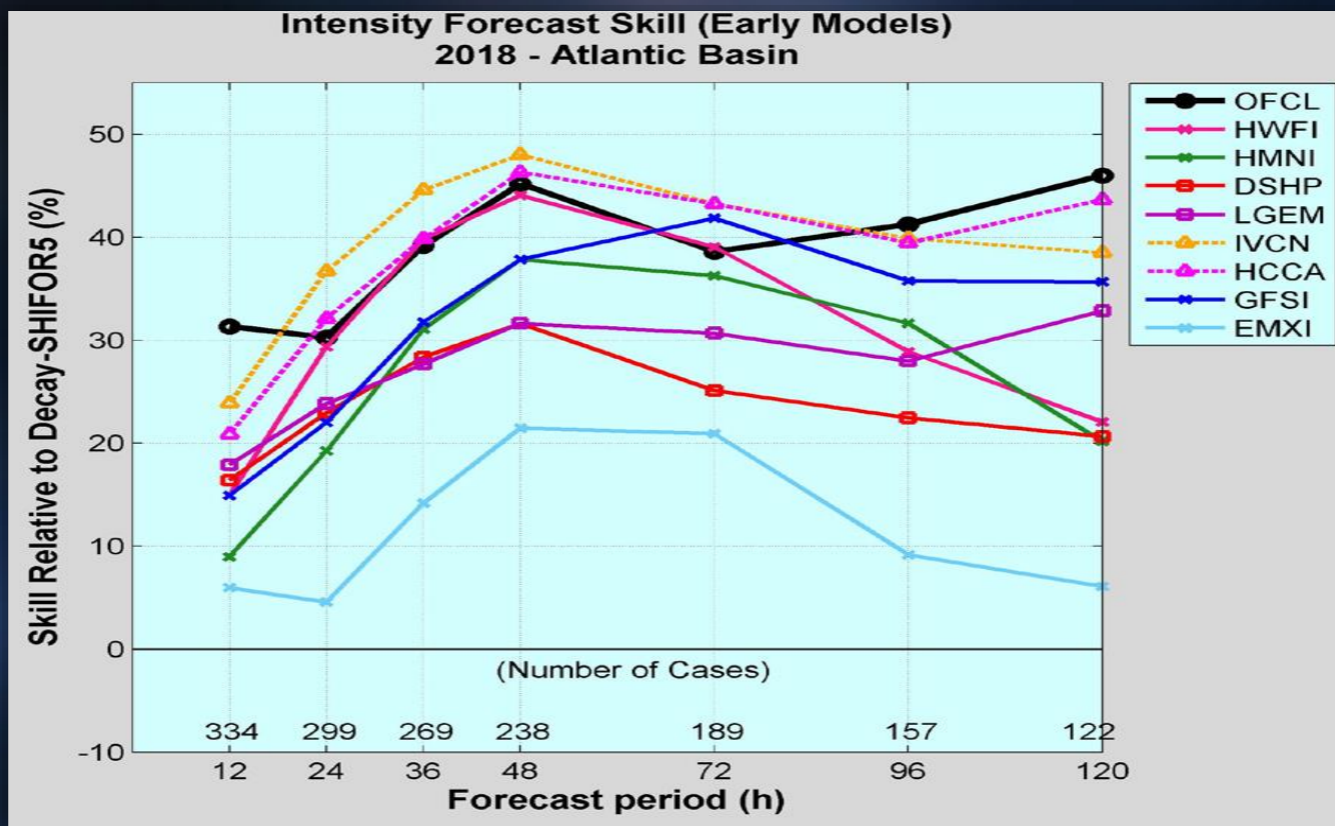
## 模式强度预报技巧评分 (2010-2018年)

## 模式强度预报技巧缓慢提升，部分模式达到正技巧



# 台风强度预报业务现状

## 2018年美国国家飓风中心 北大西洋飓风强度预报技巧水平



中尺度模式、动力统计方法以及全球模式（NCEP-GFS  
和ECMWF）强度预报均达到正技巧

## 6.2 台风生成和发展的基本条件



# 台风生成和发展的基本条件

- ✓ 海水温度在摄氏 26.5度以上
- ✓ 足够的科氏力
- ✓ 水平风的垂直切变要小
- ✓ 低空辐合扰动
- ✓ 高空辐散
- ✓ 第二类条件不稳定 ( **CISK**机制 )

# 台风生成和发展的基本条件

Gray (1968) identified six features of the large-scale environment that were necessary ingredients for tropical cyclogenesis

- ✓ sufficient ocean thermal energy ( SST > 26°C to a depth of 60m )
- ✓ moist mid-troposphere ( measured by 700hPa relative humidity )
- ✓ conditionally unstable atmosphere to support deep convection

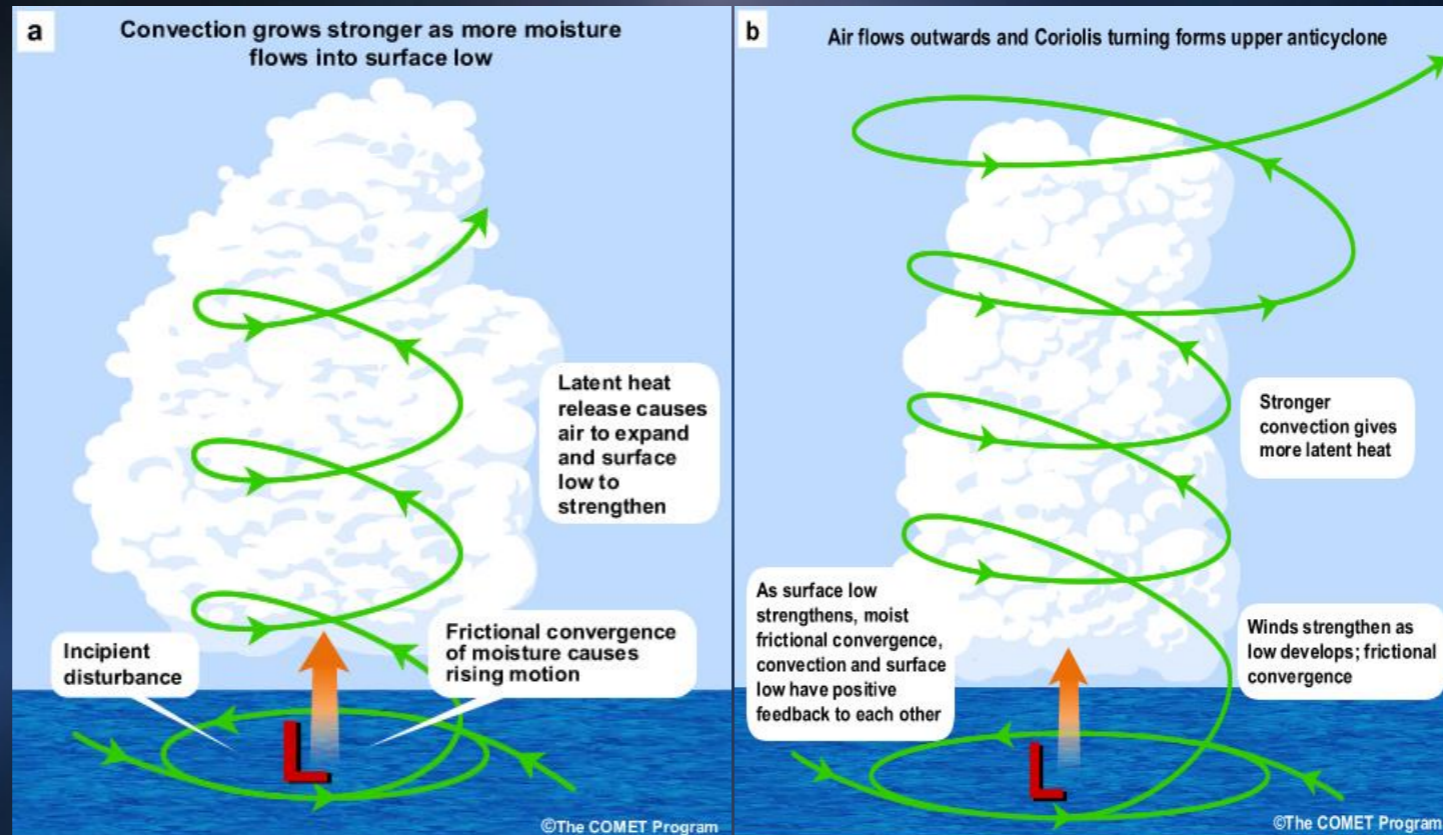
# 台风生成和发展的基本条件

Gray (1968) identified six features of the large-scale environment that were necessary ingredients for tropical cyclogenesis

- ✓ a maximum in lower troposphere relative vorticity
- ✓ weak vertical shear of the horizontal winds at the genesis site
- ✓ location at least 5 latitude away from the equator

# Schematic of CISK

积云对流释放的凝结潜热是台风的能量来源，有组织的潜热的释放驱动环流，造成水汽的辐合和抬升，形成一个潜热和水汽的正反馈作用（Charney & El-iassen，1964）



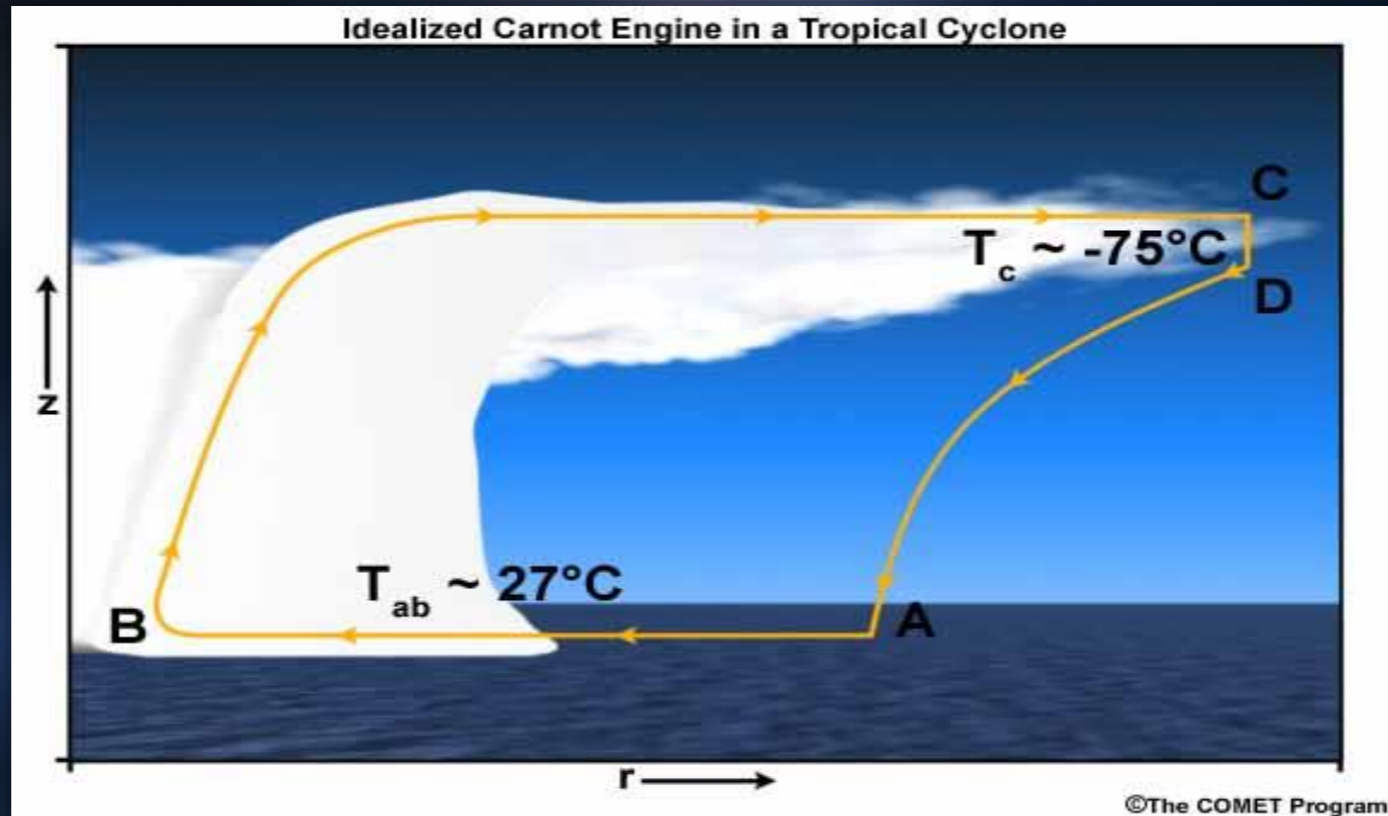
**(a) given an incipient low-level cyclone with a moist boundary layer, frictional convergence of moisture, and forced ascent drive convection**

**(b) latent heating due to convection reduces surface pressure, strengthens the low-level cyclone, and enhances moisture convergence and convection in a positive feedback loop**

## WISHE: A Carnot Cycle Theory of Potential Intensity

✓ 海-气相互作用理论

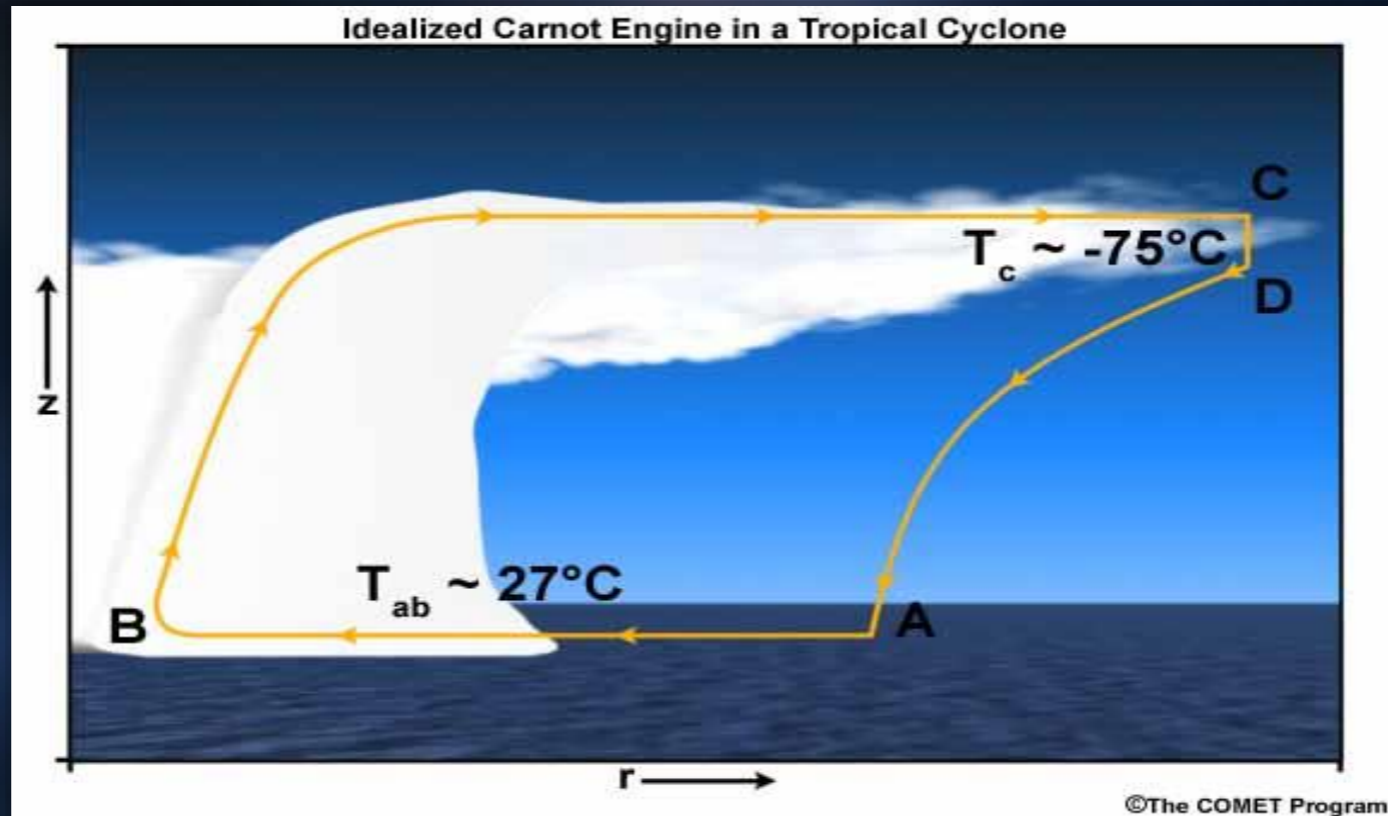
( WISHE, wind-induced surface heat exchange )



- ✓ Air in the atmospheric boundary layer flows in isothermally (AB),
- ✓ rises adiabatically in the eyewall convection (BC),
- ✓ diverges isothermally near the tropopause in the outflow anticyclone(CD).
- ✓ To close the circuit, this air must sink far from the storm (DA).

## WISHE: A Carnot Cycle Theory of Potential Intensity

- ✓ 台风生成过程是一个初始扰动转变为海洋表面焓通量和风场之间正反馈的过程 ( Kerry Emanuel , 1986 )

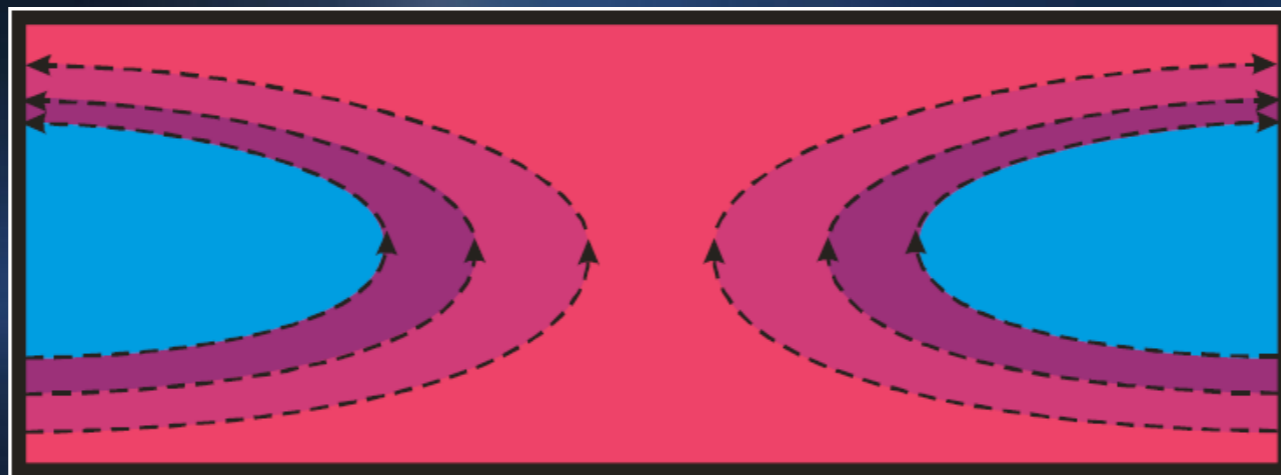


- ✓ Air in the atmospheric boundary layer flows in isothermally (AB),
- ✓ rises adiabatically in the eyewall convection (BC),
- ✓ diverges isothermally near the tropopause in the outflow anticyclone(CD).
- ✓ To close the circuit, this air must sink far from the storm (DA).

## CISK理论与WISHE理论的区别

### ● CISK机制

- ✓ 台风内部的上升运动受大尺度对流的驱动，同时向周围大气释放有效位能
- ✓ 关键性的反馈发生在大尺度环流和对流之间
- ✓ 暖心由来自边界层内的高熵气流向上输送产生

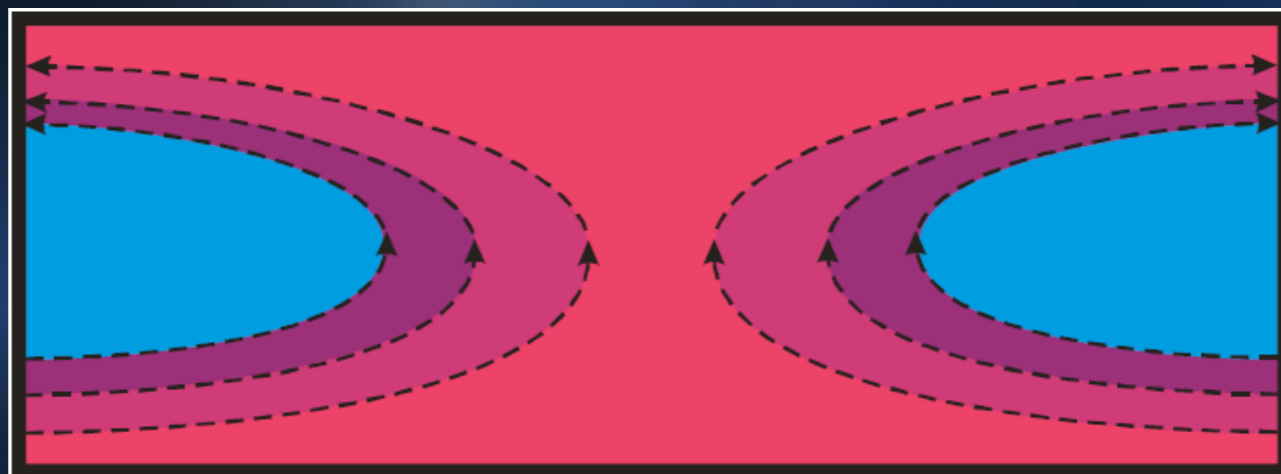


飓风边界层以内及边界层以上湿熵的饱和度分布  
暖心由来自边界层内的高熵气流向上输送产生

# CISK理论与WISHE理论的区别

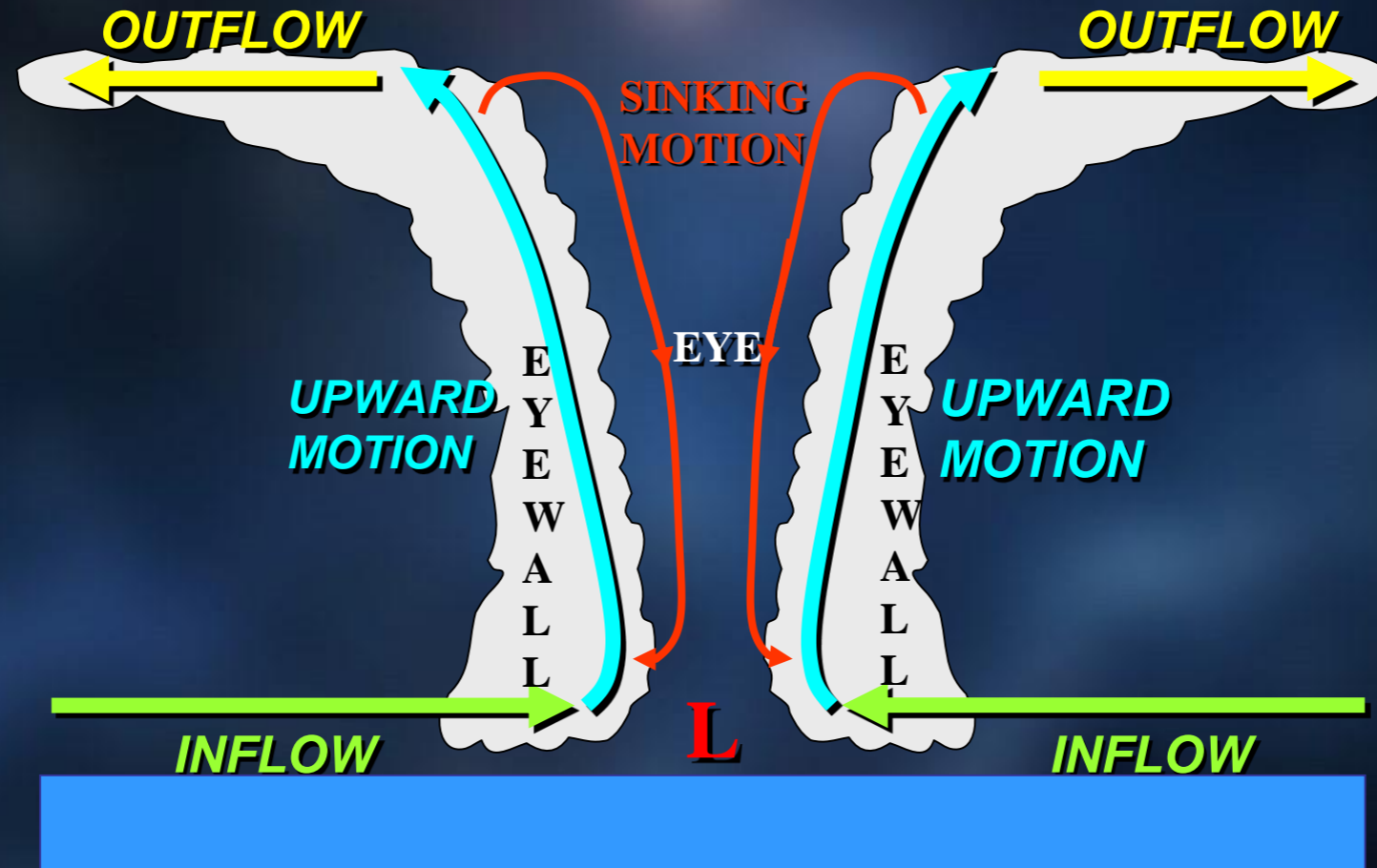
## ● CISK机制

- ✓ 环境大气必须是条件不稳定的
- ✓ 假定热带大气是条件性不稳定，忽略了热带大气在没有大尺度环流时，基本处于辐射-对流平衡态，大尺度环流和对流之间的相互作用是稳定的

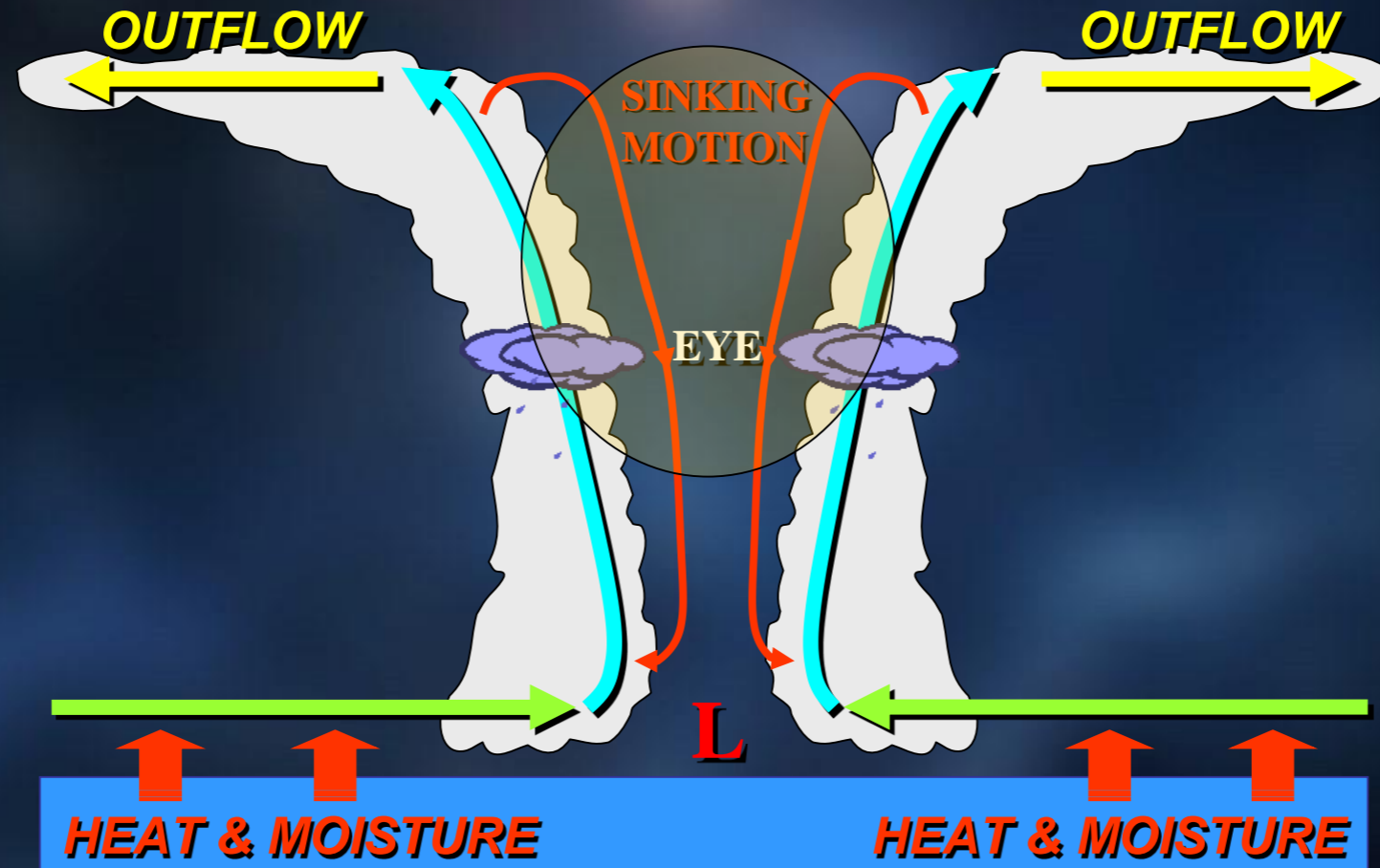


飓风边界层以内及边界层以上湿熵的饱和度分布  
暖心由来自边界层内的高熵气流向上输送产生

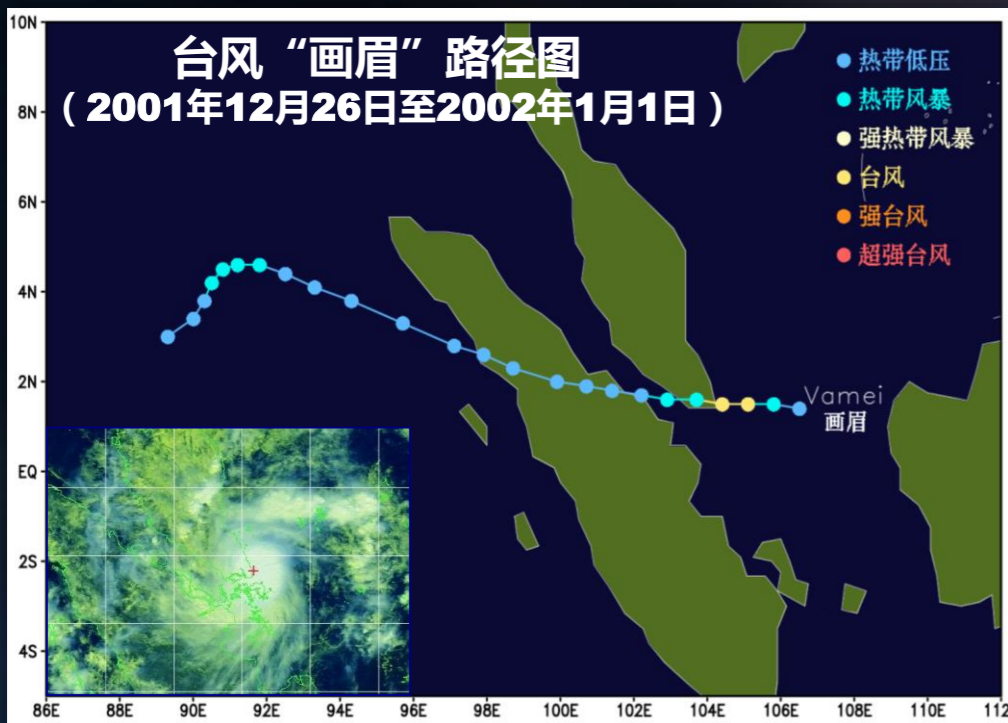
THE WARM CORE IS A CONSEQUENCE OF BOTH LATENT HEAT RELEASE AND WARMING BY SUBSIDENCE



THE WARM CORE IS A CONSEQUENCE OF BOTH LATENT HEAT RELEASE AND WARMING BY SUBSIDENCE



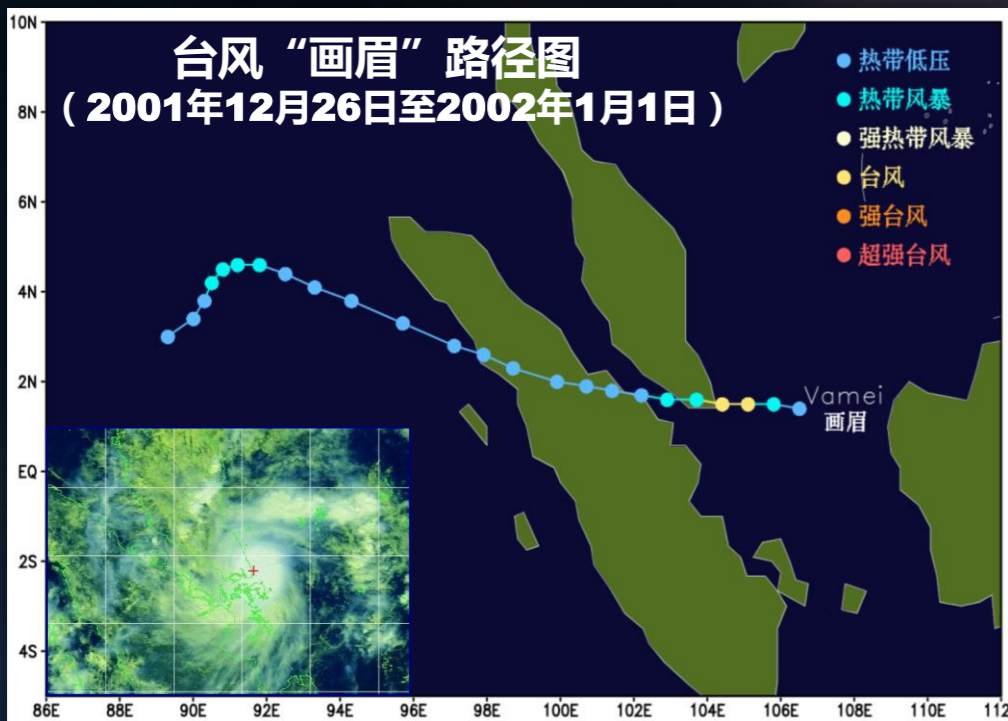
## 近赤道台风“画眉” (2001 Typhoon Vamei)



- ✓ 极值强度：**33米/秒(65kts)**
- ✓ 登陆时间：**2001年12月27日8:30**
- ✓ 登陆地点：**马来西亚柔佛州(Johor)**
- ✓ 登陆强度：**33米/秒**
- ✓ 影响地区：**马来西亚  
新加坡**

- ✓ 第一个袭击新加坡和马来半岛南部的台风
- ✓ 西太平洋最接近赤道(**1.5°N**)形成的台风，全球第二最接近赤道形成的台风，**改写了教科书对台风生成条件的描述，即近赤道附近从不发生台风的认知**

## 近赤道台风“画眉” (2001 Typhoon Vamei)



- ✓ 极值强度：**33米/秒(65kts)**
- ✓ 登陆时间：**2001年12月27日8:30**
- ✓ 登陆地点：**马来西亚柔佛州(Johor)**
- ✓ 登陆强度：**33米/秒**
- ✓ 影响地区：**马来西亚、新加坡**

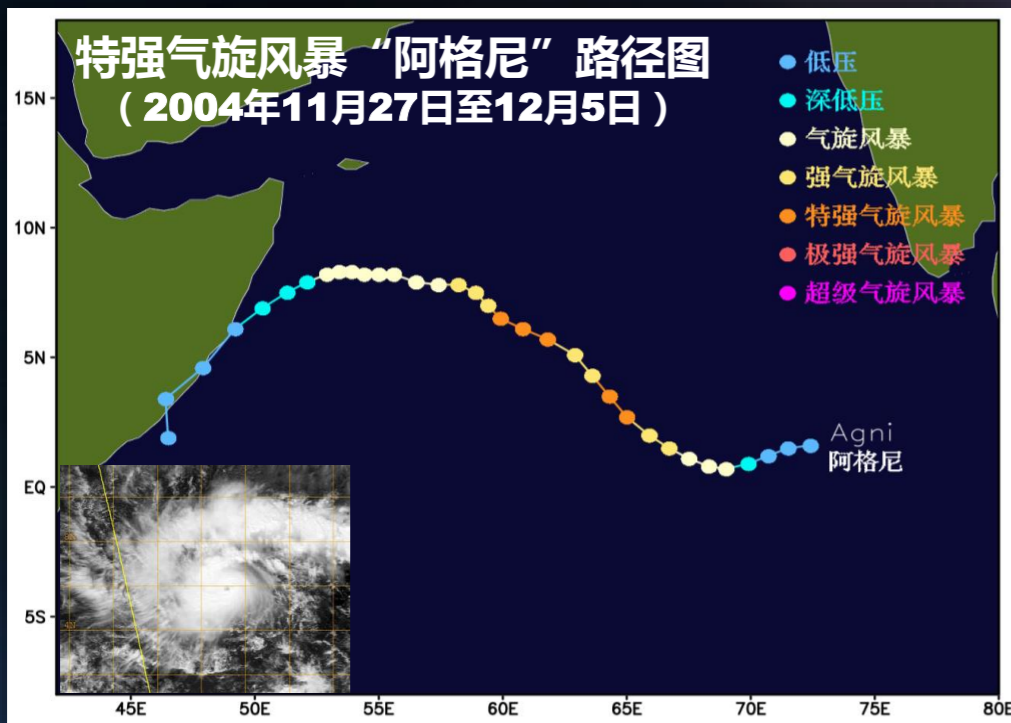
- ✓ **2004年1月1日起，被世界气象组织/联合国亚太经社理事会台风委员会 (TC/WMO/UNESCAP) 永久除名**
- ✓ **美国由阿富汗返航的航空母舰舰队旗舰卡尔文森号及另一战舰受损**

## 近赤道台风画眉形成的原因

据刘清煌等2003年的研究指出，画眉在赤道附近生成是热带雷雨系统和冬季寒潮相互作用的结果。

- ◆ 南海南部季风槽内有热带雷雨扰动生成，雷雨系统缓慢向偏西方向移动，滞留在南海南端窄小海面上
- ◆ 强烈的东北季风由华南地区南下，在科氏力作用下，寒潮主体在这里发生偏转
- ◆ 两个不同天气系统在南海南部相遇，寒潮偏转后的逆时针环流为雷雨扰动提供强大水平风切变，使得原本短命的雷雨系统像陀螺一般旋转起来，画眉于是从原本微弱的热带扰动云团中脱胎而出

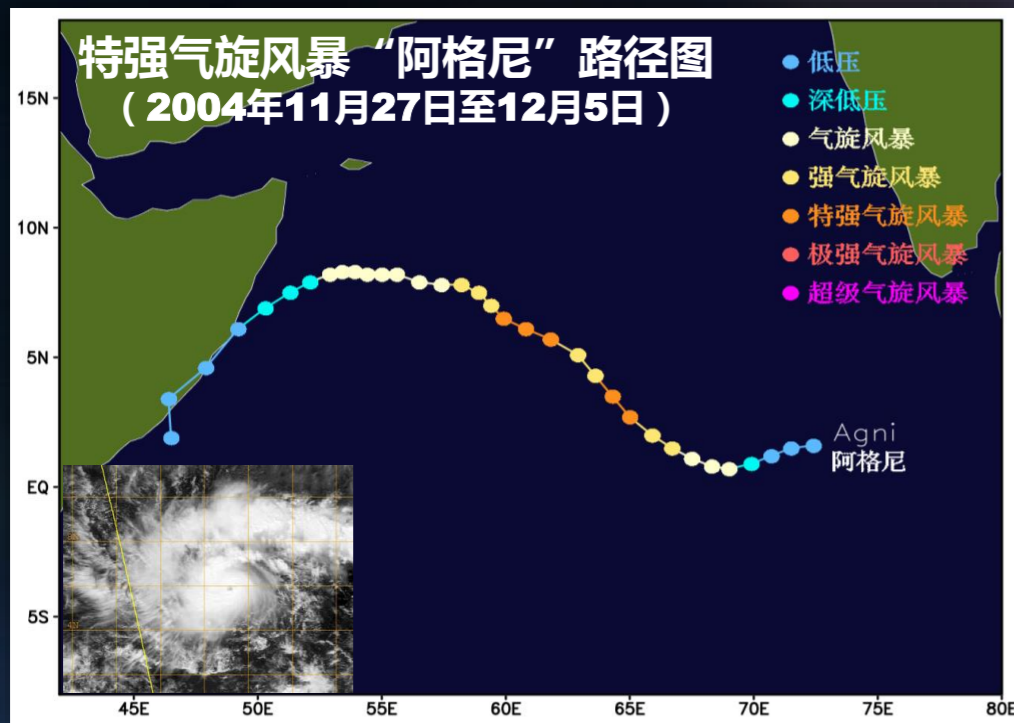
## 近赤道风暴“阿格尼” (2004 Cyclone Agni)



- ✓ 极值强度：  
**33米/秒(65kts)**
- ✓ 登陆时间：  
**2004年12月4日12:30**
- ✓ 登陆地点：  
**索马里东部**
- ✓ 登陆强度：**13米/秒**
- ✓ 影响地区：**索马里**

- ✓ 北印度洋第一个被命名的热带气旋，其名字含义为印度神话中的火神
- ✓ 全球最接近赤道形成的热带气旋，形成位置**0.7°N**，距赤道约**80公里**，打破2001年台风画眉**1.5°N**生成的纪录

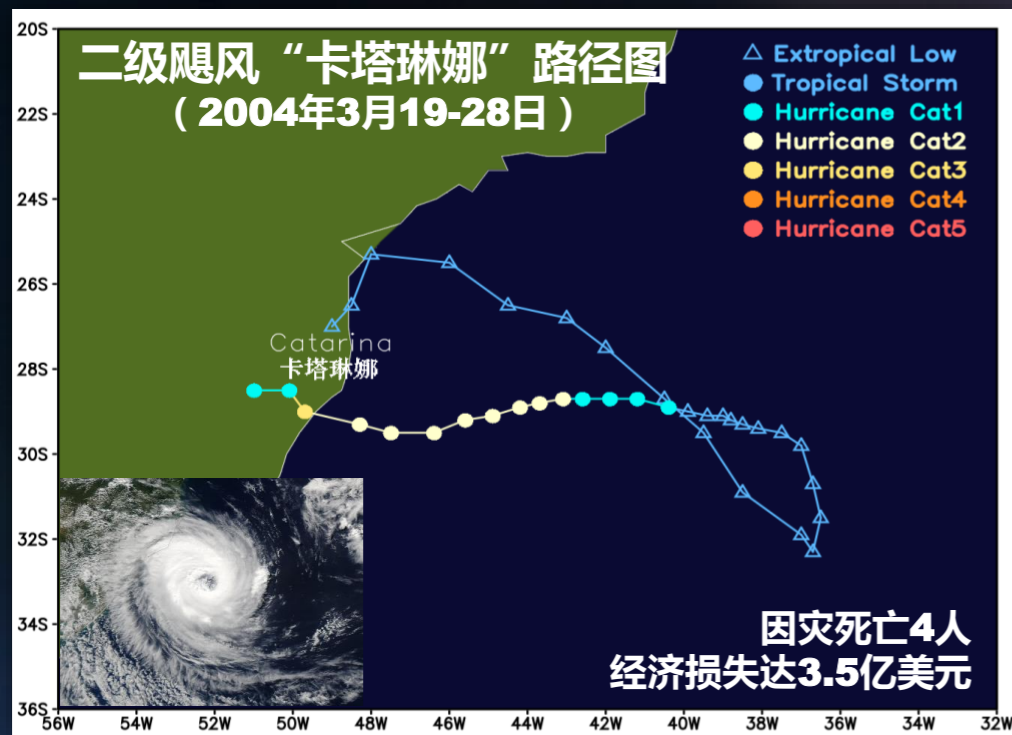
## 近赤道风暴“阿格尼” (2004 Cyclone Agni)



- ✓ 极值强度：  
**33米/秒(65kts)**
- ✓ 登陆时间：  
**2004年12月4日12:30**
- ✓ 登陆地点：  
**索马里东部**
- ✓ 登陆强度：**13米/秒**
- ✓ 影响地区：**索马里**

- ✓ 第一个在南大西洋发展为飓风的热带气旋，不是第一个南大西洋生成的热带气旋，1991年4月、2004年1月及2006年12月也曾出现过
- ✓ 因登陆圣卡塔琳娜州而得名，还有一些非正式名称，如01T-ALPHA（英国气象局），50L-NONAME（美国国家飓风中心），有的气象学家则称它为“Aldonça”

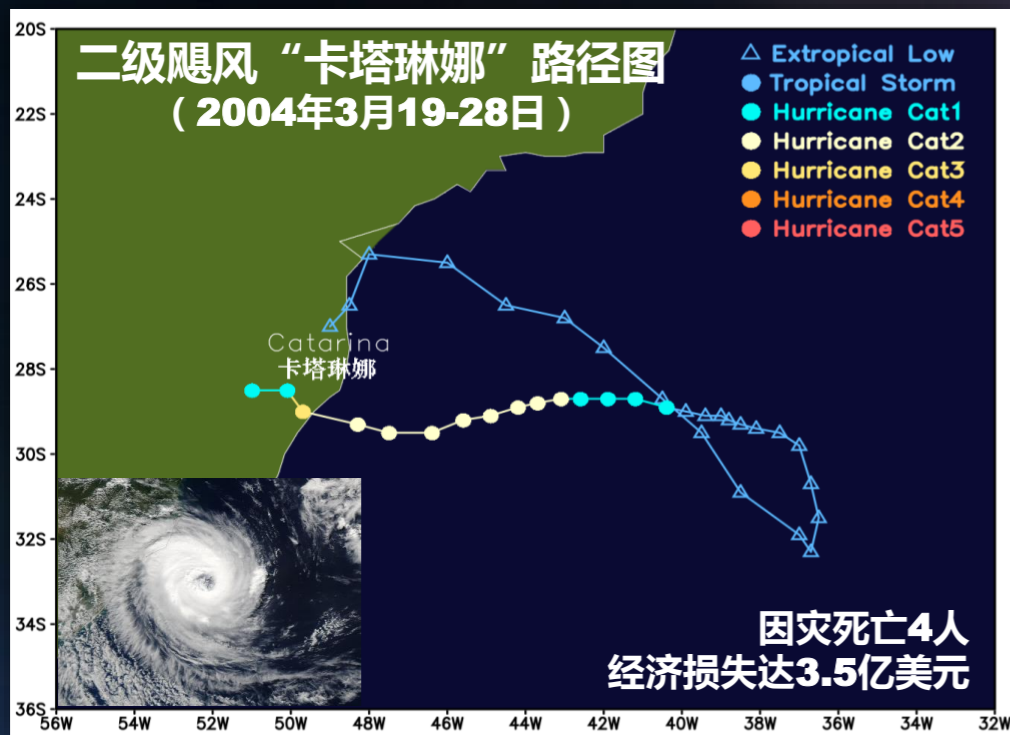
## 南大西洋飓风“卡塔琳娜” (2004 Hurricane Catarina)



- ✓ 极值强度：  
**44米/秒(85kts)**
- ✓ 登陆时间：  
**2004年3月28日13:30**
- ✓ 登陆地点：  
**巴西圣卡塔琳娜州**
- ✓ 登陆强度：**44米/秒**
- ✓ 影响地区：**巴西**

- ✓ 南大西洋存在较大的垂直风切变且海温低，一般很难有热带气旋发生
- ✓ 拥有清晰眼墙、中心密闭云区、完整的螺旋云带以及暖心低压等特性

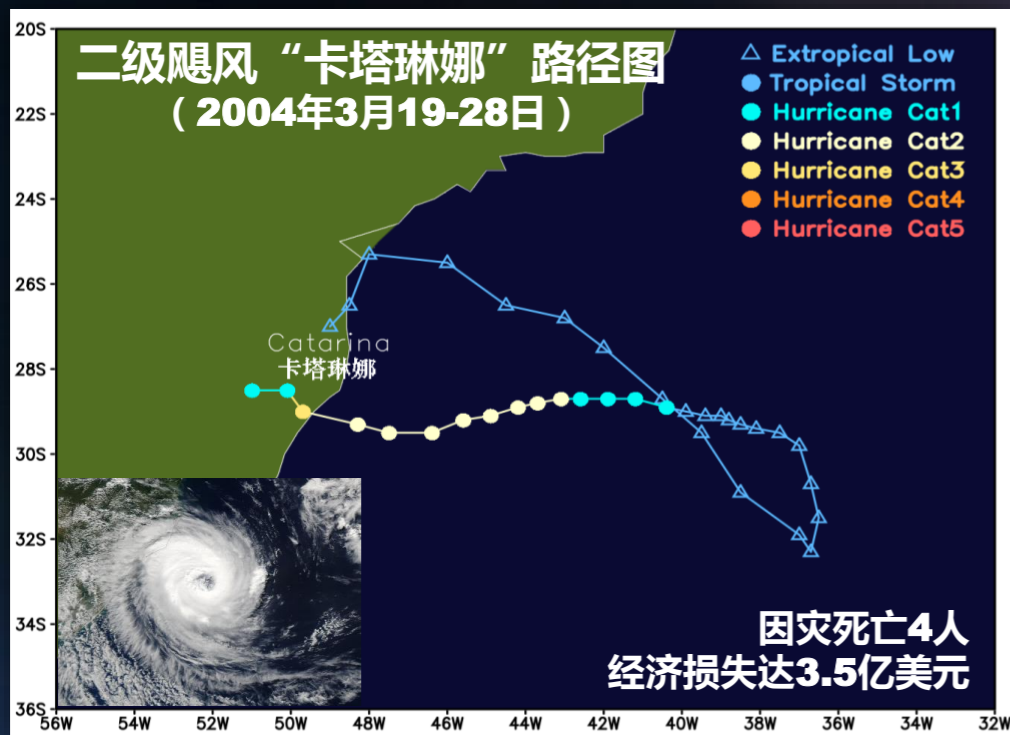
## 南大西洋飓风“卡塔琳娜” (2004 Hurricane Catarina)



- ✓ 极值强度：  
**44米/秒(85kts)**
- ✓ 登陆时间：  
**2004年3月28日13:30**
- ✓ 登陆地点：  
**巴西圣卡塔琳娜州**
- ✓ 登陆强度：**44米/秒**
- ✓ 影响地区：**巴西**

- ✓ **第一个在南大西洋发展为飓风的热带气旋，不是第一个南大西洋生成的热带气旋，1991年4月、2004年1月及2006年12月也曾出现过**

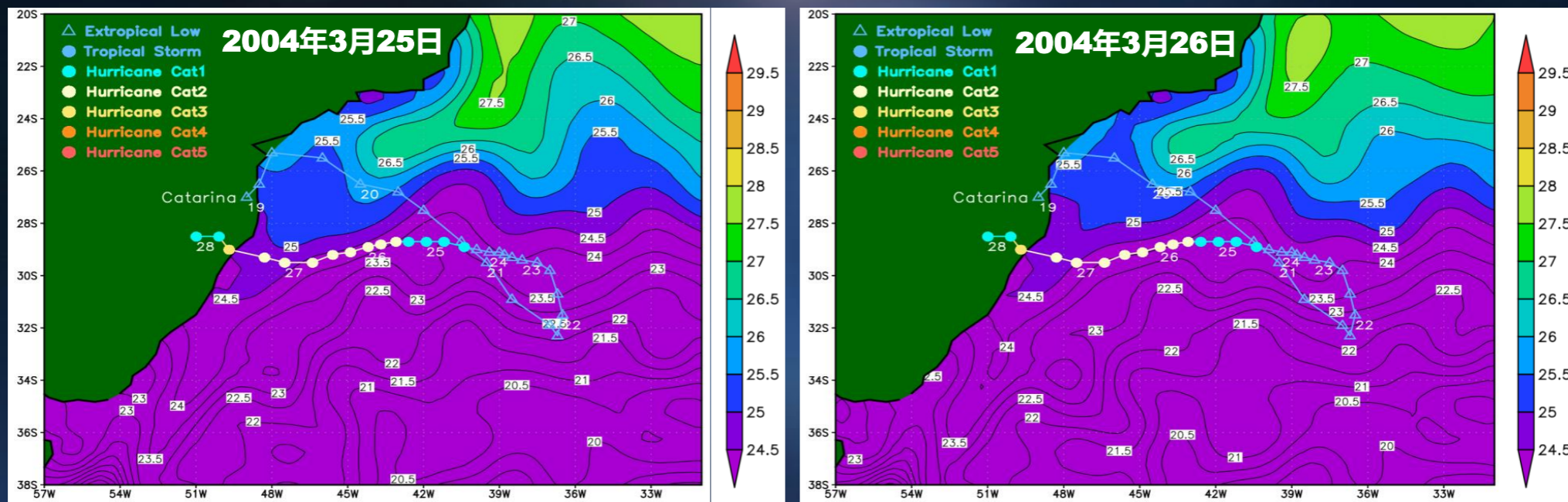
## 南大西洋飓风“卡塔琳娜” (2004 Hurricane Catarina)



- ✓ 极值强度：  
**44米/秒(85kts)**
- ✓ 登陆时间：  
**2004年3月28日13:30**
- ✓ 登陆地点：  
**巴西圣卡塔琳娜州**
- ✓ 登陆强度：**44米/秒**
- ✓ 影响地区：**巴西**

- ✓ 因登陆圣卡塔琳娜州而得名，还有一些非正式名称，如**01T-ALPHA**（英国气象局），**50L-NONAME**（美国国家飓风中心），有的气象学家则称它为“**Aldonça**”

# “卡塔琳娜” 活动期间海表温度分布



## 6.3 影响台风强度变化的主要因子



# 影响台风强度变化的主要因子

- 海洋与台风涡旋的相互作用
- 环境大气与台风的相互作用
- 环境风垂直切变
- 台风与中尺度系统的相互作用

## ● 海洋与台风涡旋的相互作用

### ✓ 海洋是台风水汽和潜热的主要来源

- 台风能量主要来源于潜热释放加热，较高海温会使海面水汽大量蒸腾到边界层大气，通过涡旋内的垂直运动输送到上空产生凝结潜热释放
- 低空扰动涡旋的辐合和正涡度的制造均可加强上升运动将大气边界层水汽输送到上空
- 海温并非越高越好，高层过份增暖时，会使暖核所在气柱变得稳定，从而抑制台风内核气柱垂直运动的发展

## ● 海洋与台风涡旋的相互作用

### ✓ 台风不仅受海洋影响，也影响着海洋

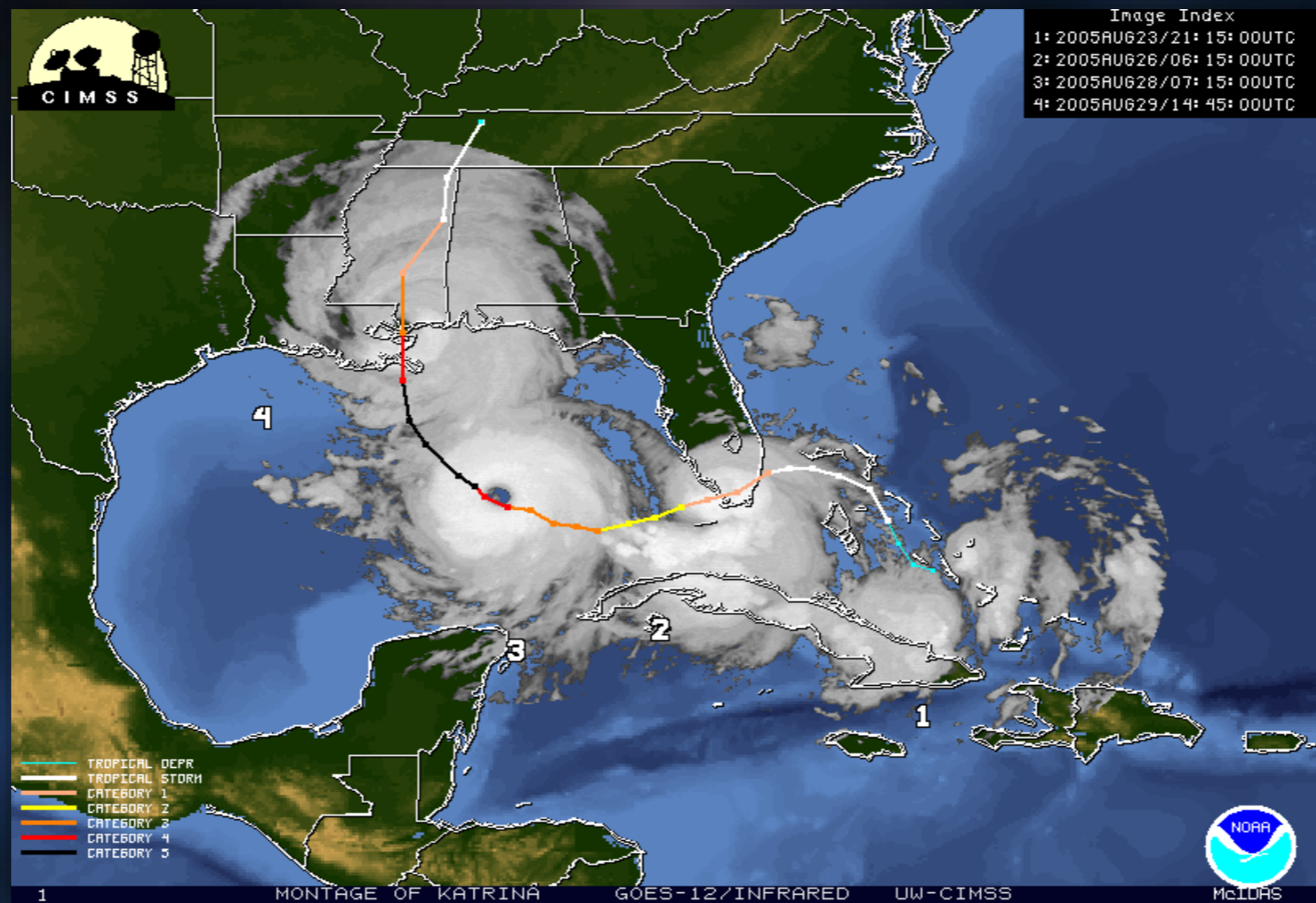
- 台风气柱盘居下的洋面与周围相比气压低得多，这样的气压差将使台风气柱所在海面的深部冷海水向上涌升
- 若台风停滞少动，海面冷却过程会持续，使台风减弱和衰亡

## ● 海洋与台风涡旋的相互作用

### ✓ 台风不仅受海洋影响，也影响着海洋

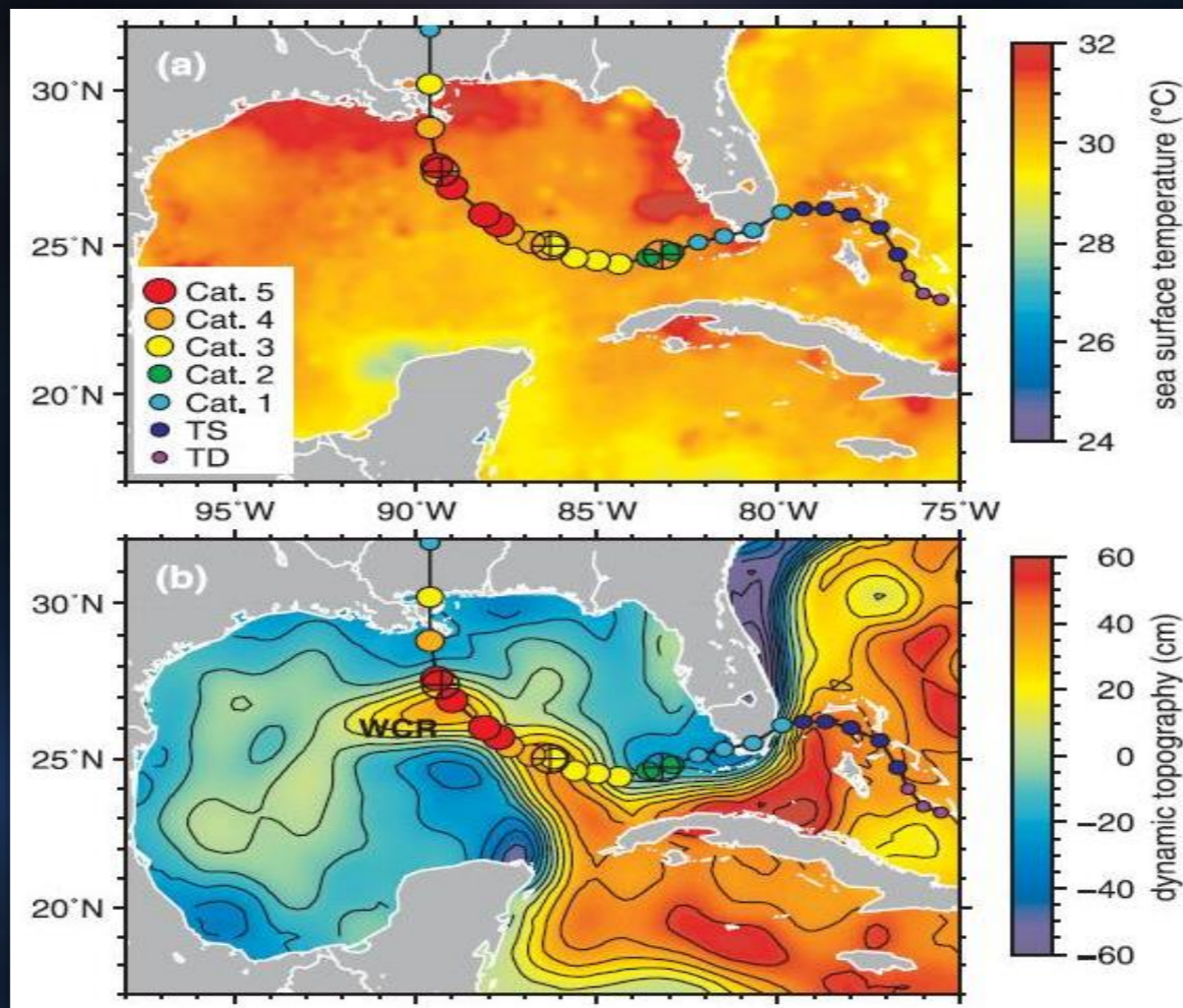
- 对于移动的台风，海面冷却的影响时间短暂，不足以使台风减弱
- 台风移过的海面会遗留一条冷尾迹，当另一台风穿越该冷海水带时，强度就会减弱

# ● 海洋与台风涡旋的相互作用--- 飓风“卡特里娜”（2005）



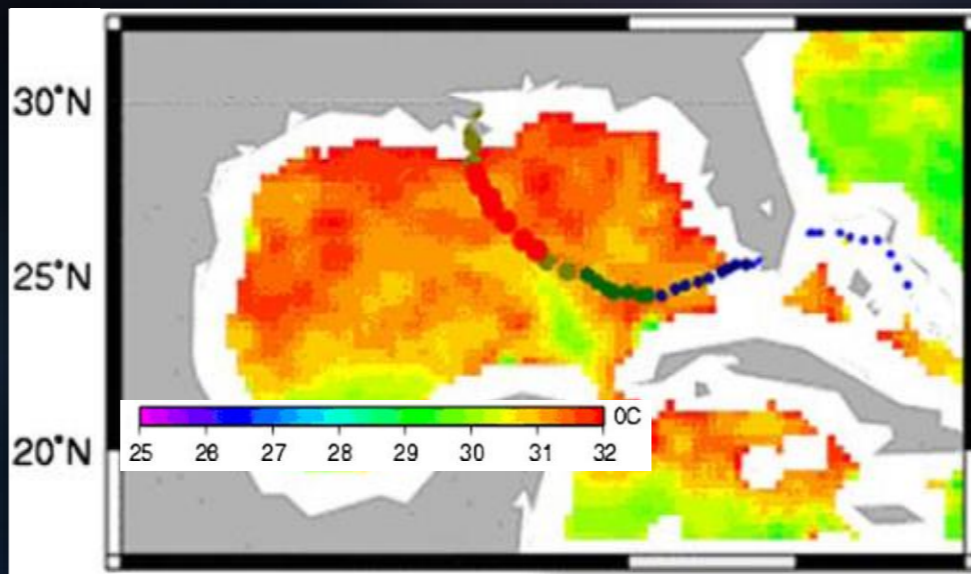
飓风“卡特里娜”路径图和卫星云图

● 海洋与台风涡旋的相互作用--- 飓风“卡特里娜” (2005)



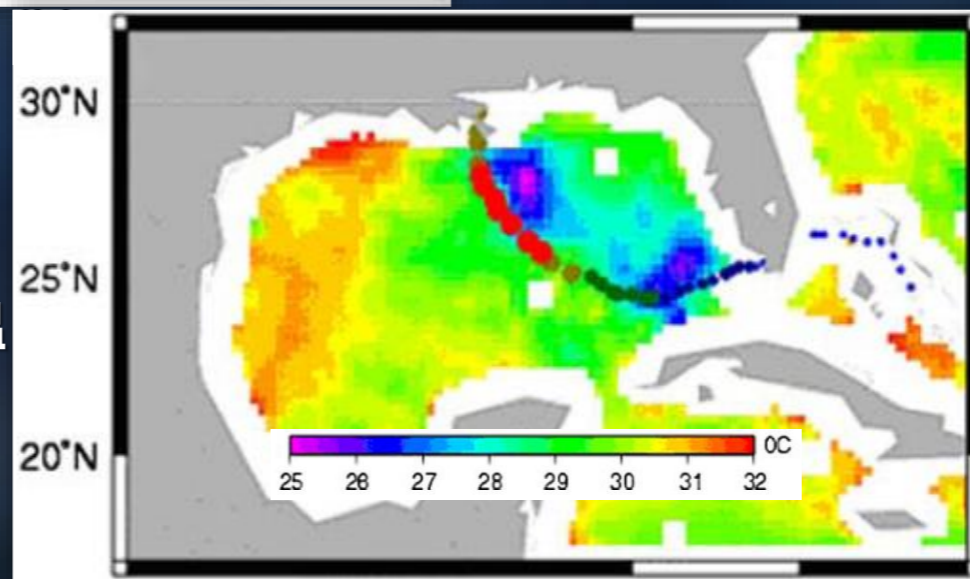
**SST and Dynamic Topography during Katrina's Passage  
across the Mexico Gulf**

● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 飓风“卡特里娜”（2005）

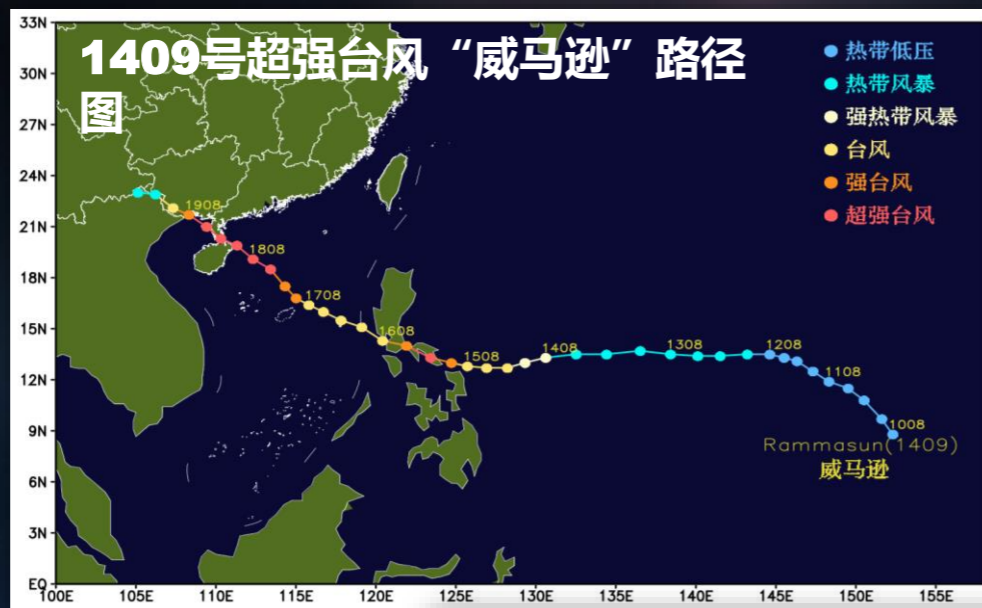


“卡特里娜”  
经过前两天的TMI海温

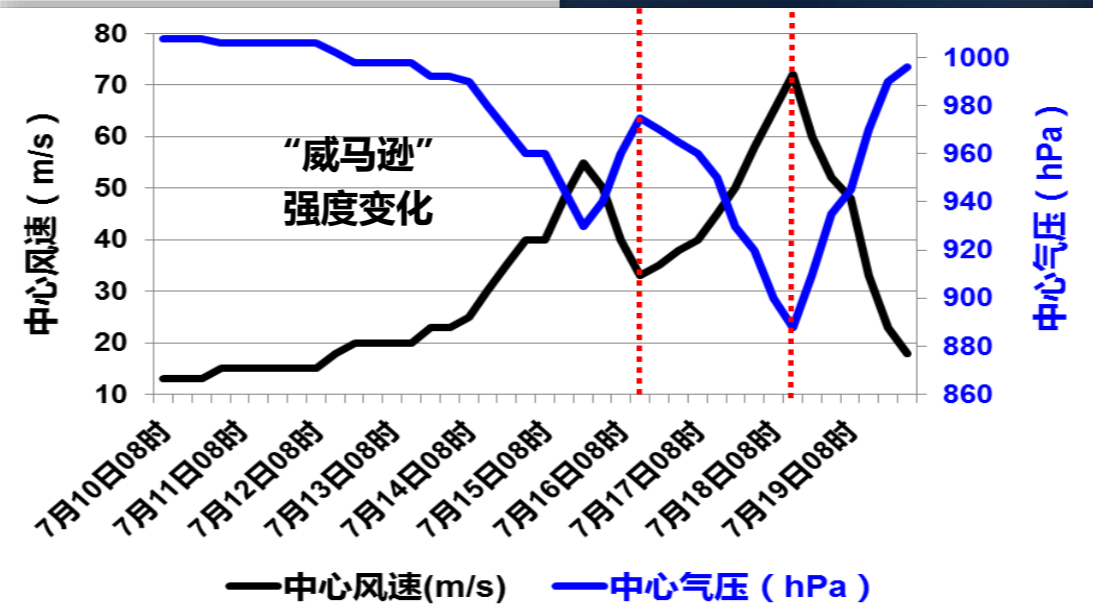
“卡特里娜”  
经过后一天的TMI海温



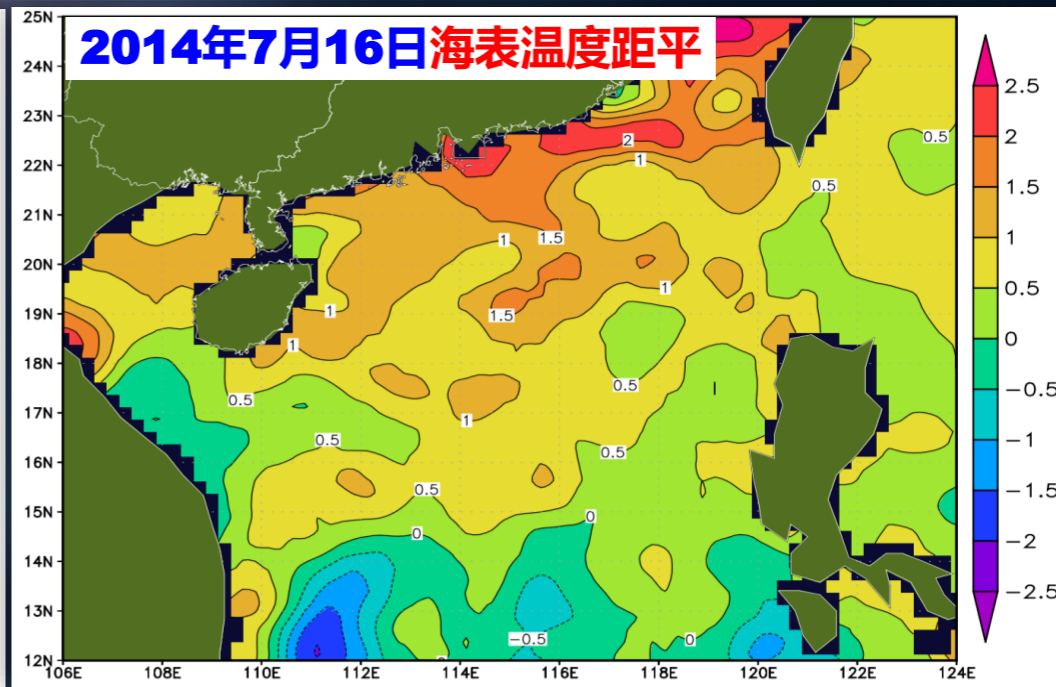
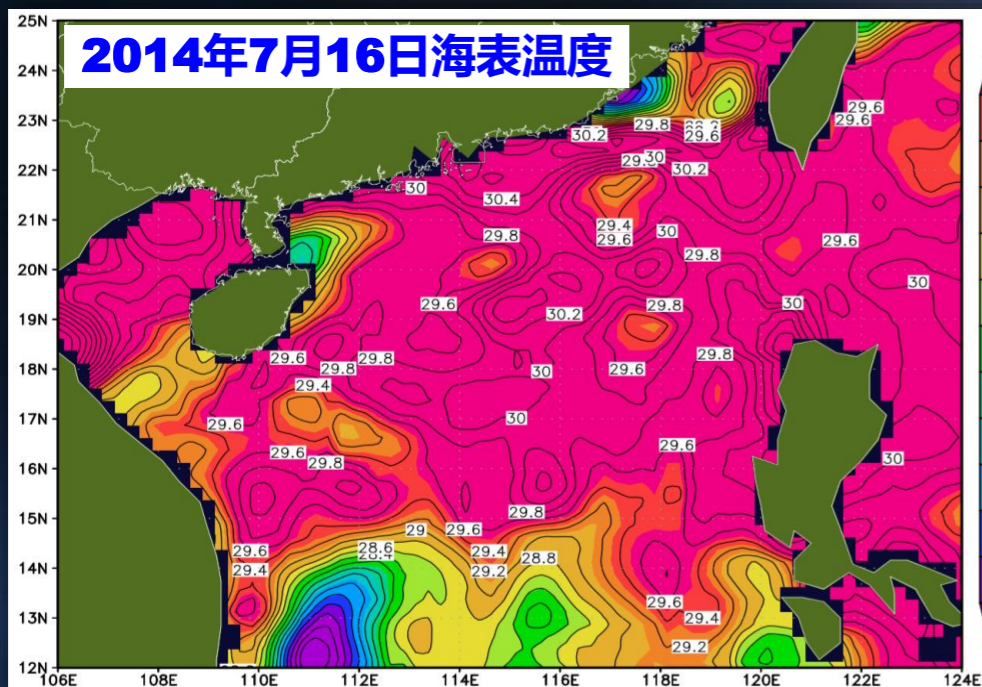
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“威马逊” (2014)



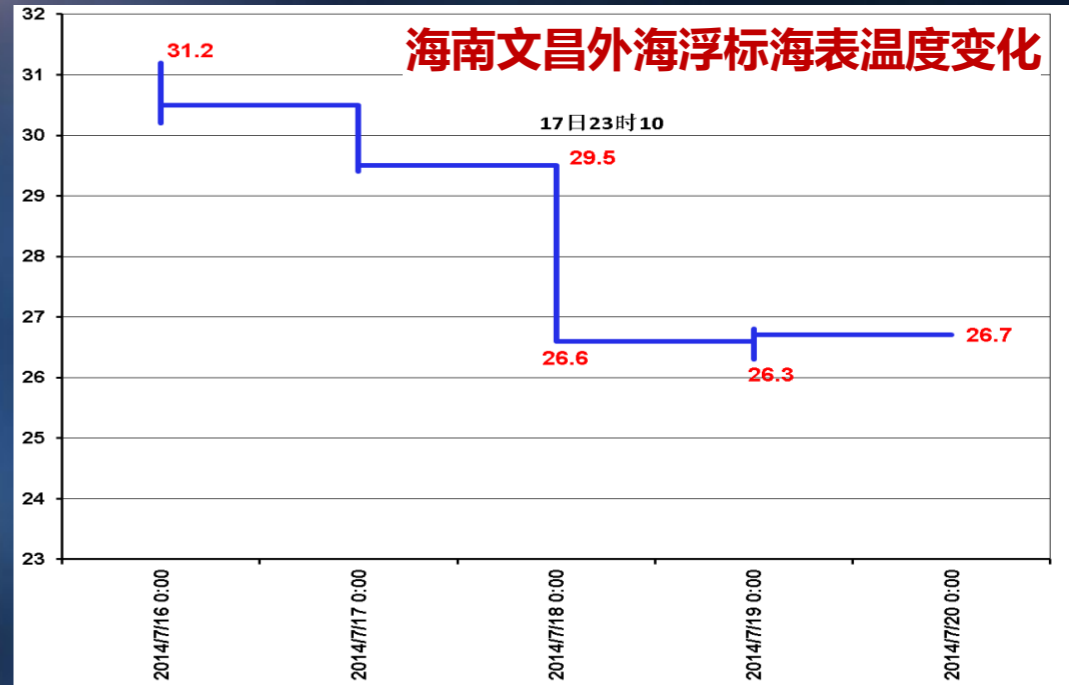
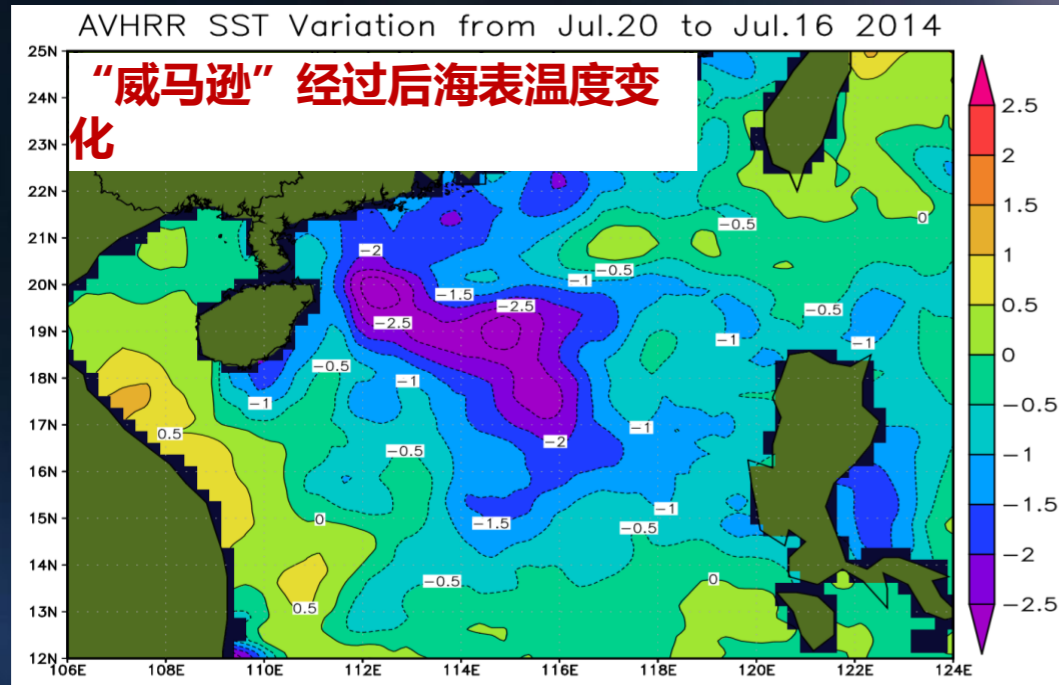
55m/s 72m/s  
930hPa 888hPa



# 1409号台风“威马逊”海洋状况分析



# “威马逊” 经过后海洋状况变化



## 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

了解海洋状况对“威马逊”强度变化的影响

- ✓ **ARW-WRF ( V3.5.1 )**
- ✓ **Simple ocean mixed layer model ( Rhines and Thompson , 1972)**
- ✓ **NCEP全球再分析资料 (  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  )**
- ✓ **NCEP全球实时海温分析 (  $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$  )**

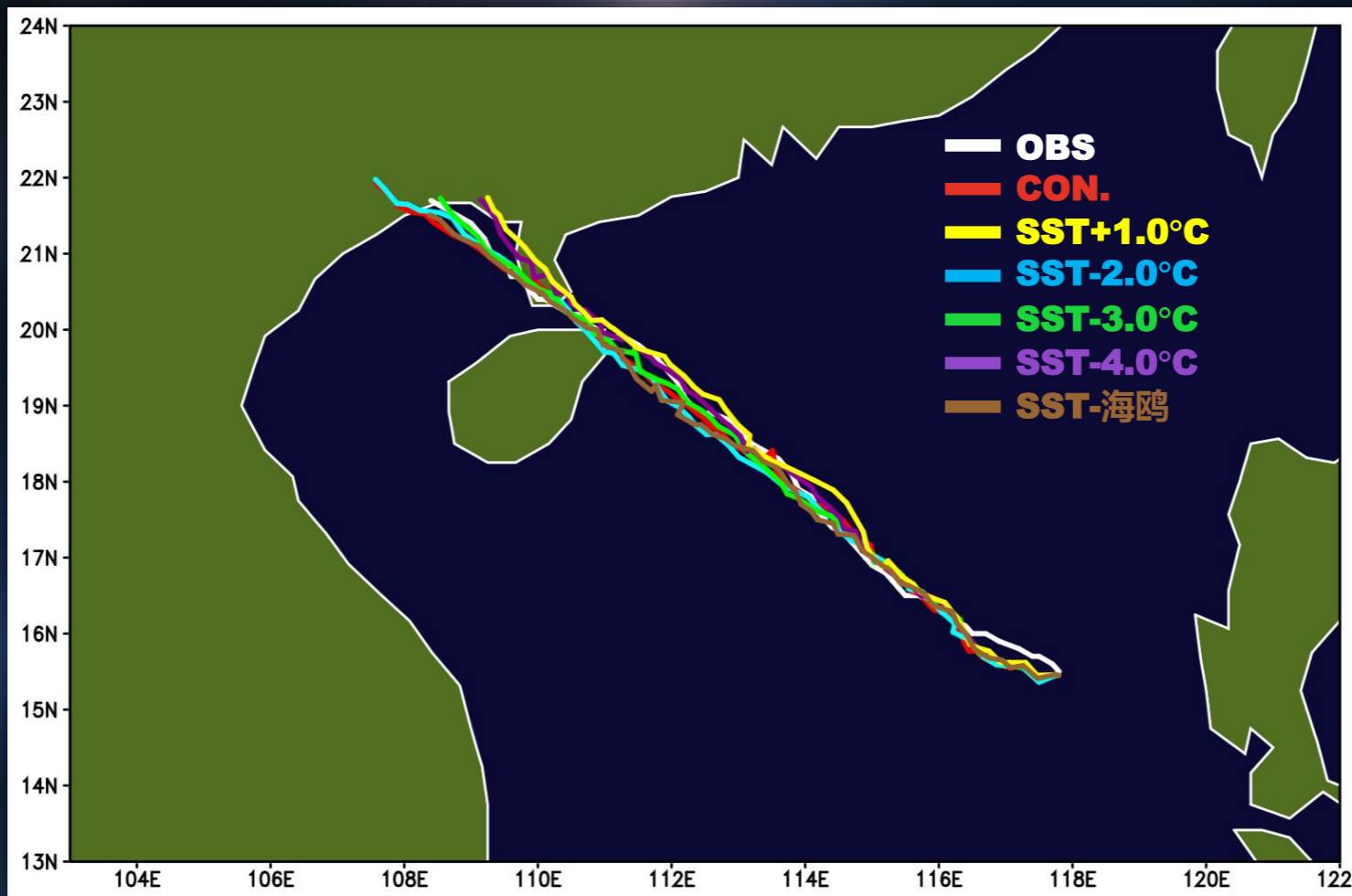
# 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

## 数值试验方案

- ✓ 方案1：控制试验，海温不变（SST）
- ✓ 方案2：海温增加  $1^{\circ}\text{C}$ （SST+1.0 $^{\circ}\text{C}$ ）
- ✓ 方案3：海温降低  $2^{\circ}\text{C}$ （SST-2.0 $^{\circ}\text{C}$ ）
- ✓ 方案4：海温降低  $3^{\circ}\text{C}$ （SST-3.0 $^{\circ}\text{C}$ ）
- ✓ 方案5：海温降低  $4^{\circ}\text{C}$ （SST-4.0 $^{\circ}\text{C}$ ）
- ✓ 方案6：海温修改为1415号台风“海鸥”活动时的海温（SST-海鸥）

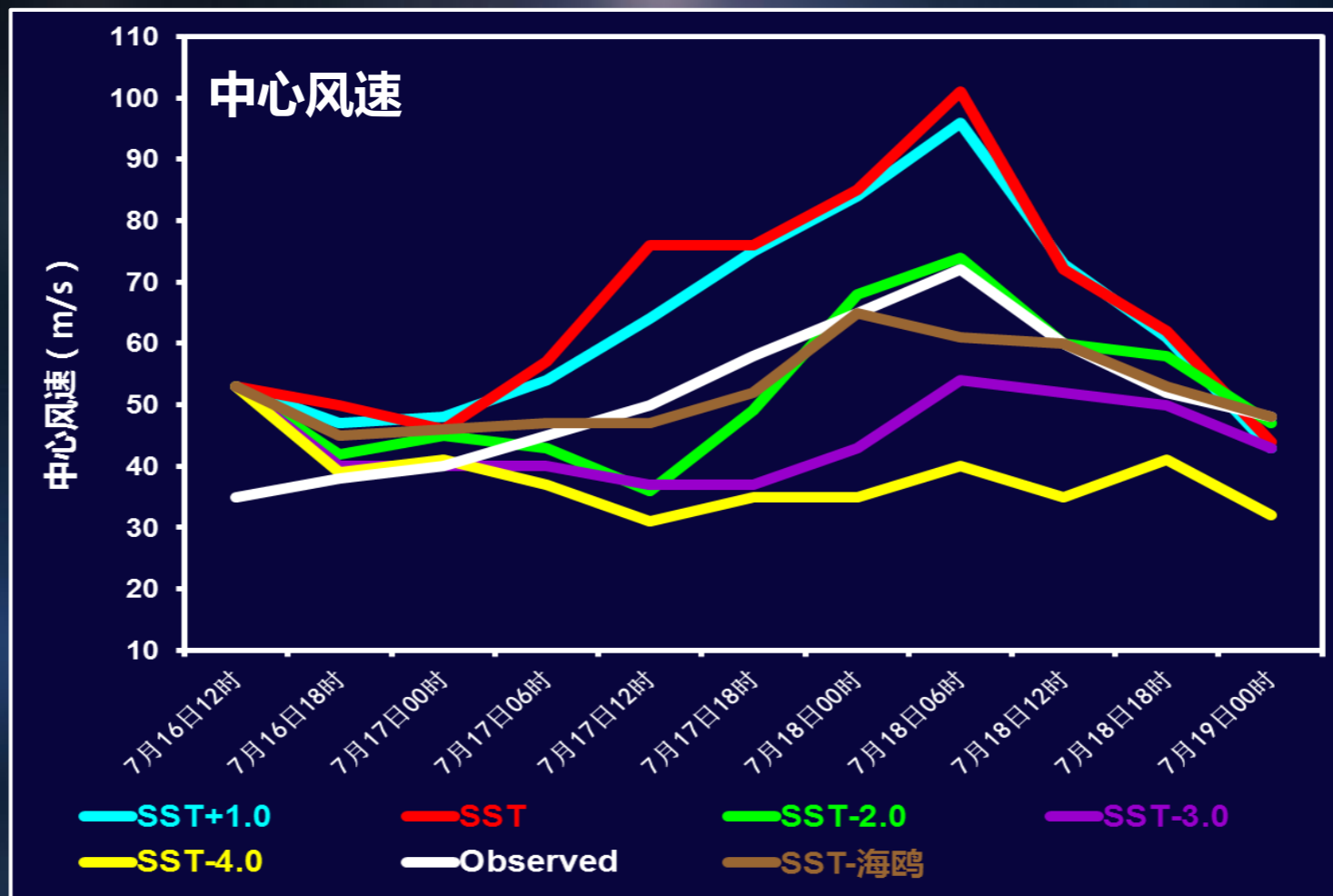
# 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

数值试验结果 —— 台风路径



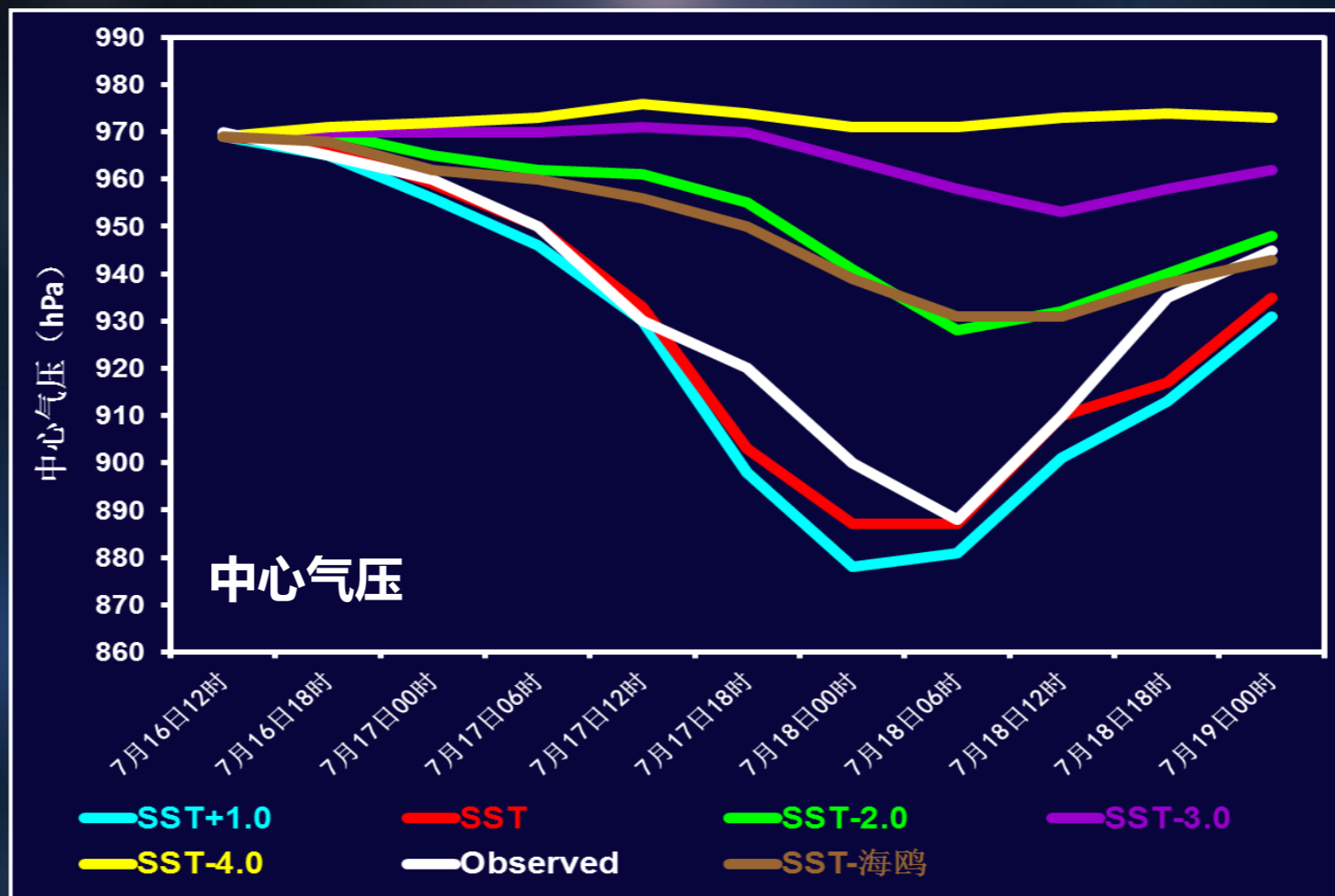
# 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

## 数值试验结果 -- 台风强度

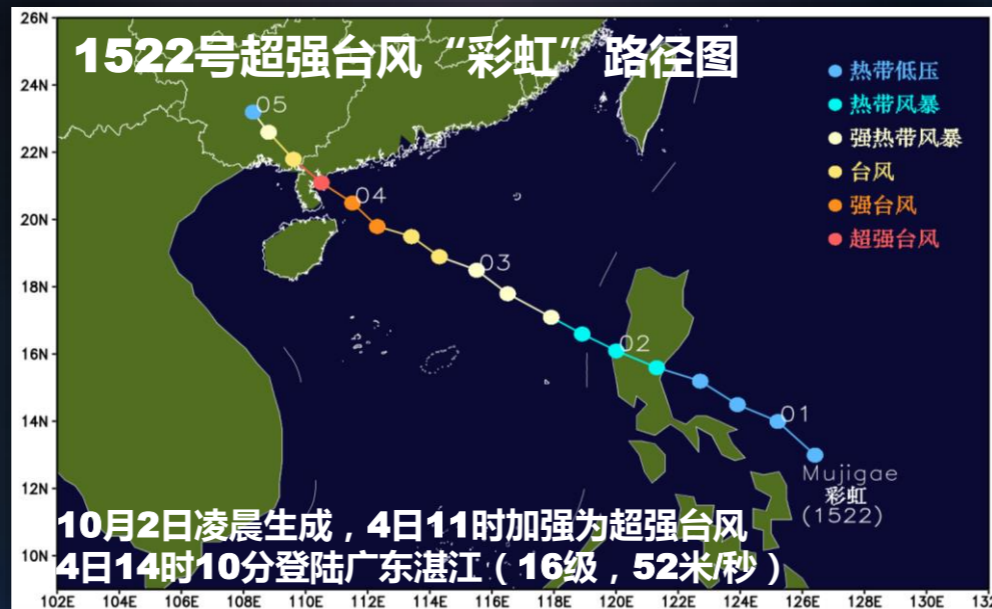


# 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

## 数值试验结果 -- 台风强度



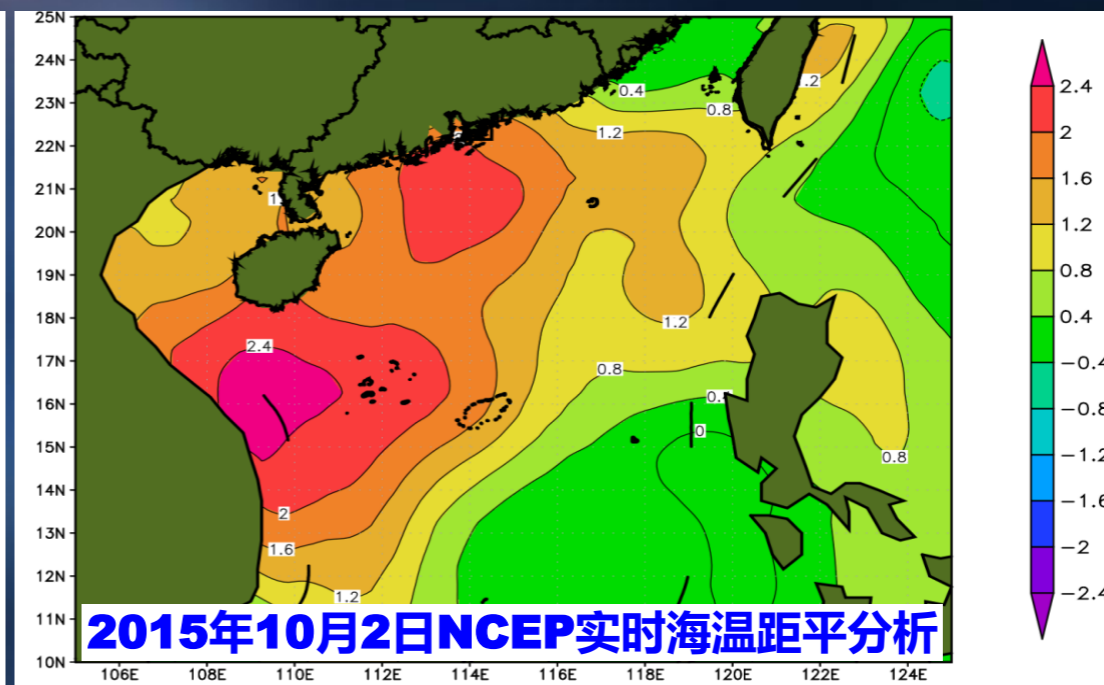
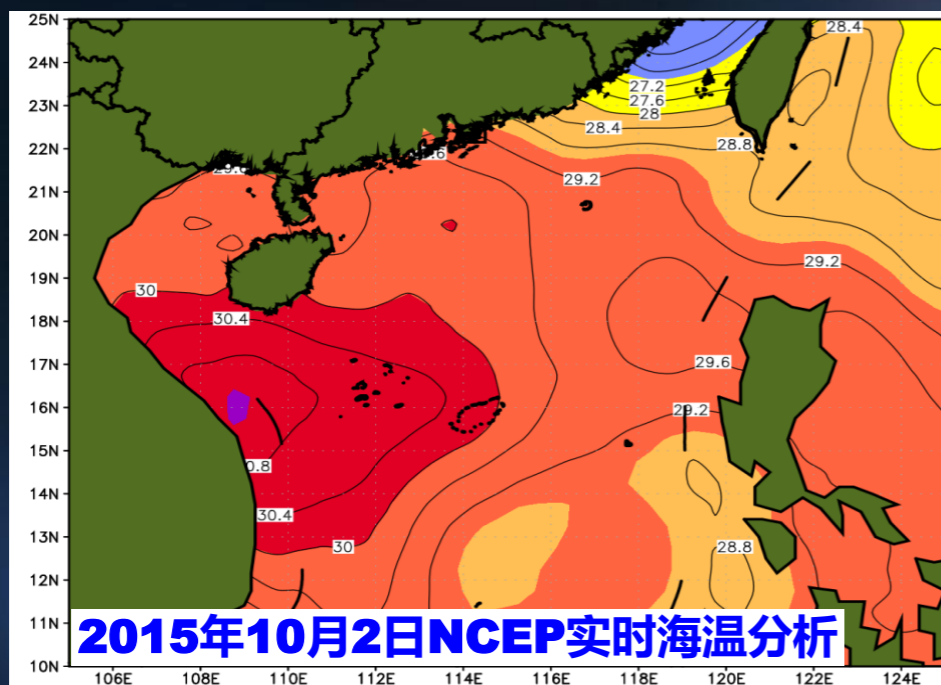
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“彩虹” (2015)



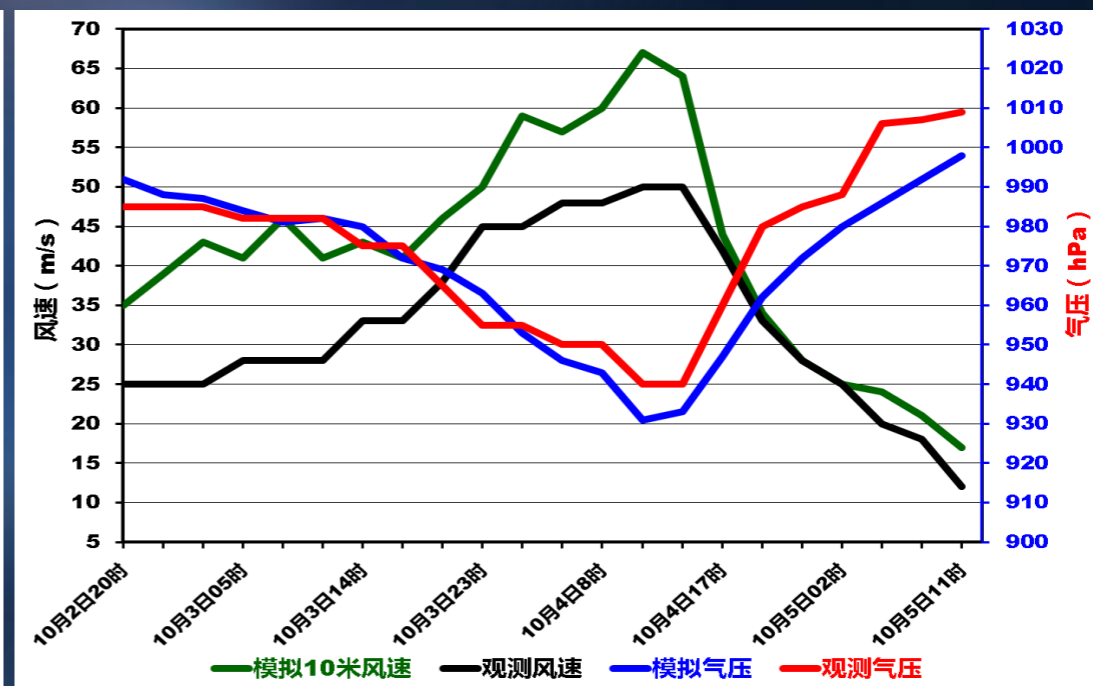
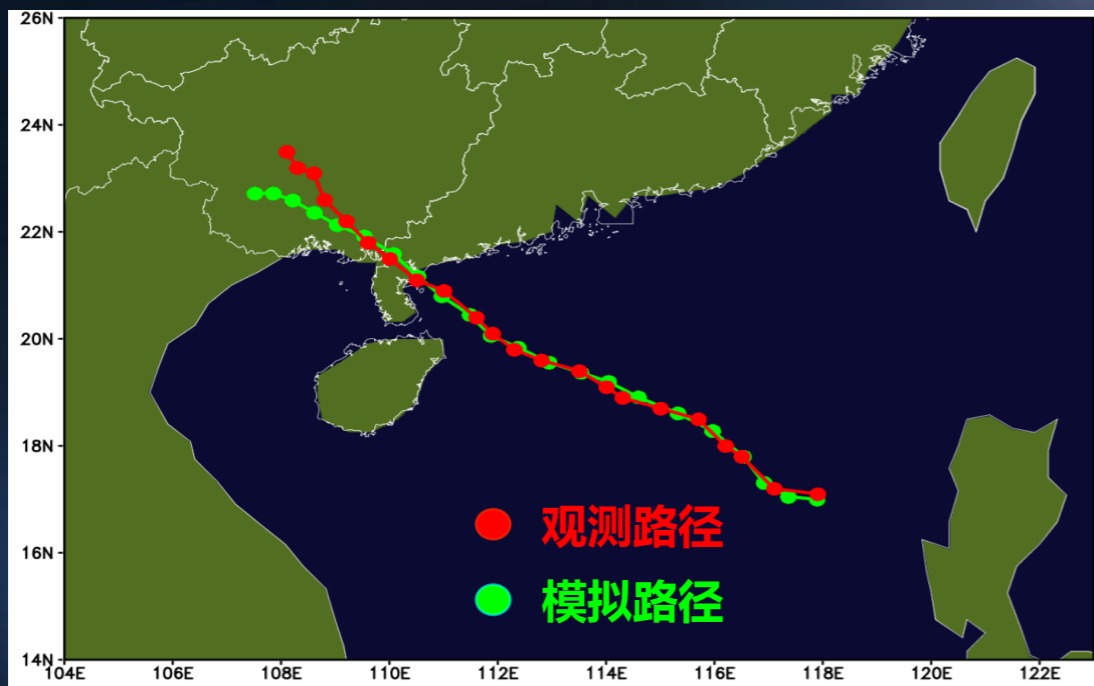
**东海岛湛江钢铁基地原料码头的龙门吊被摧毁**



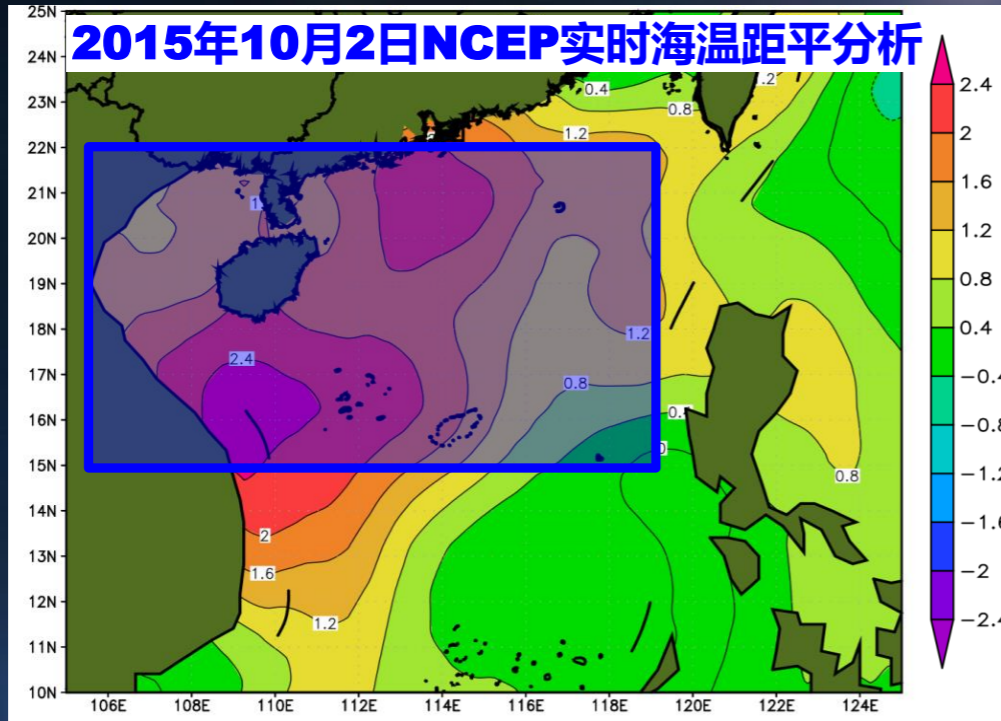
# 1522号台风“彩虹”海洋状况分析



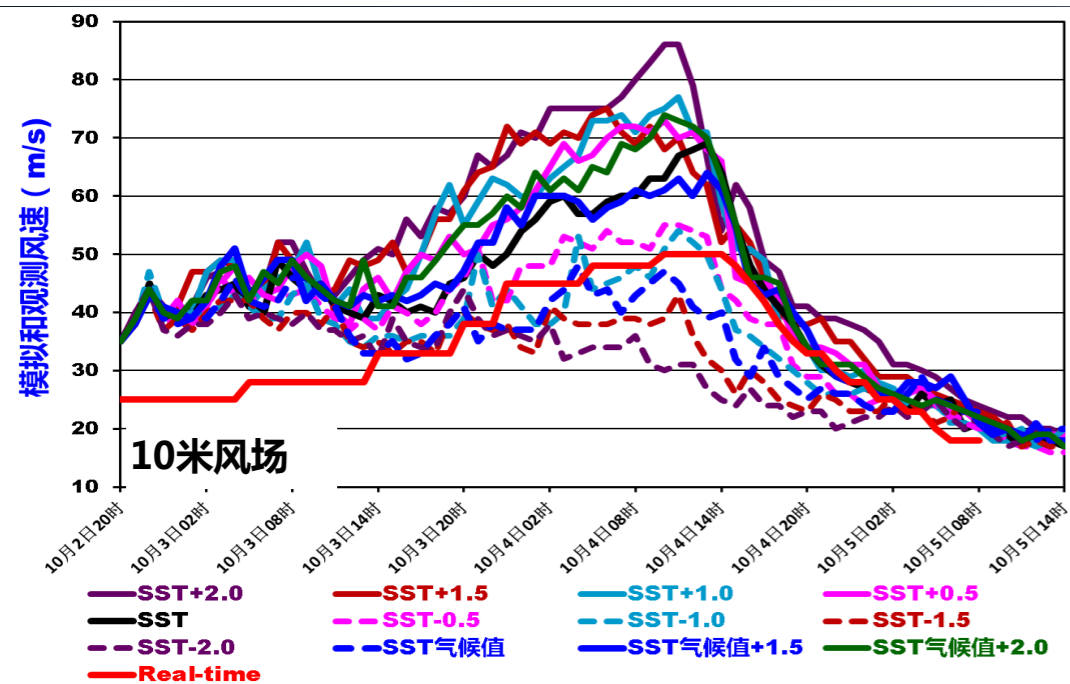
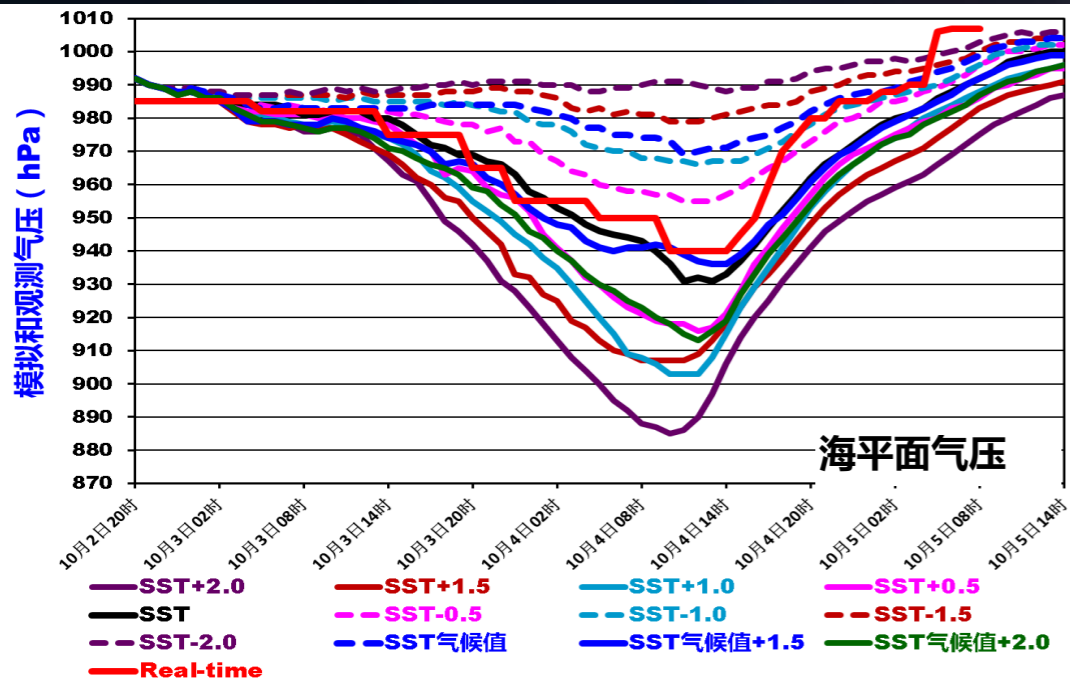
# 1522号台风“彩虹”强度数值模拟



# 海表温度对台风“彩虹”强度影响数值试验



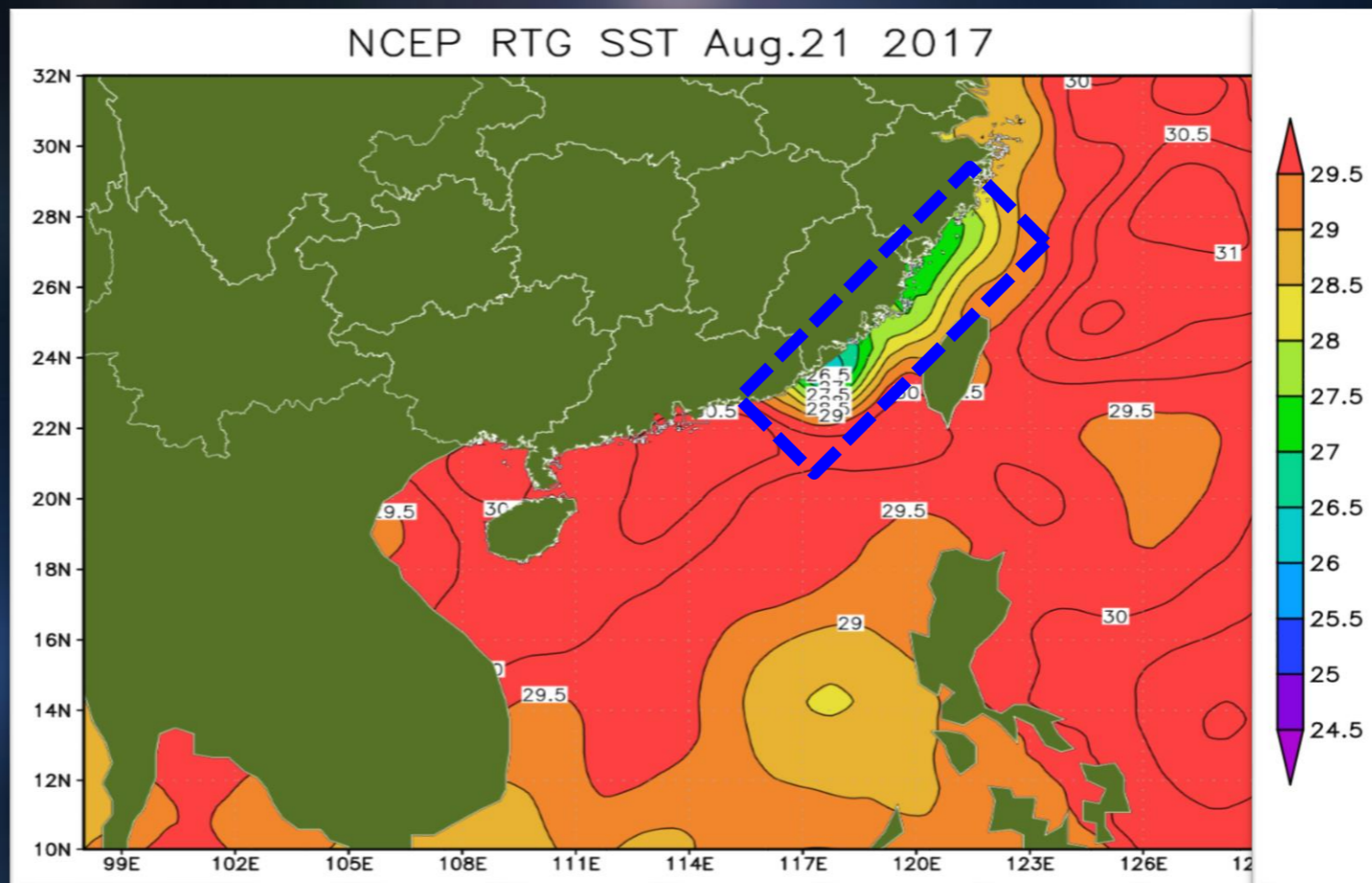
试验方案		替换海温
<b>1</b>	海温不变	<b>SST+0.0°C</b>
<b>2</b>	海温升高	<b>SST+0.5°C</b>
<b>3</b>		<b>SST+1.0°C</b>
<b>4</b>		<b>SST+1.5°C</b>
<b>5</b>		<b>SST+2.0°C</b>
<b>6</b>	海温降低	<b>SST-0.5°C</b>
<b>7</b>		<b>SST-1.0°C</b>
<b>8</b>		<b>SST-1.5°C</b>
<b>9</b>		<b>SST-2.0°C</b>
<b>10</b>	海温气候平均值 (SST <sub>m</sub> )	<b>SST<sub>m</sub>+0.0°C</b>
<b>11</b>		<b>SST<sub>m</sub>+1.5°C</b>
<b>12</b>		<b>SST<sub>m</sub>+2.0°C</b>



试验方案		替换海温	最低气压 (hPa)	最大风速 (m/s)
1	海温不变	SST+0.0°C	931	69
2	海温升高	SST+0.5°C	916	73
3		SST+1.0°C	903	77
4		SST+1.5°C	907	75
5		SST+2.0°C	885	86
6		海温降低	SST-0.5°C	955
7	SST-1.0°C		966	54
8	SST-1.5°C		979	43
9	SST-2.0°C		988	34
10	海温气候平均值 (SST <sub>m</sub> )	SST <sub>m</sub> +0.0°C	969	48
11		SST <sub>m</sub> +1.5°C	936	64
12		SST <sub>m</sub> +2.0°C	913	74

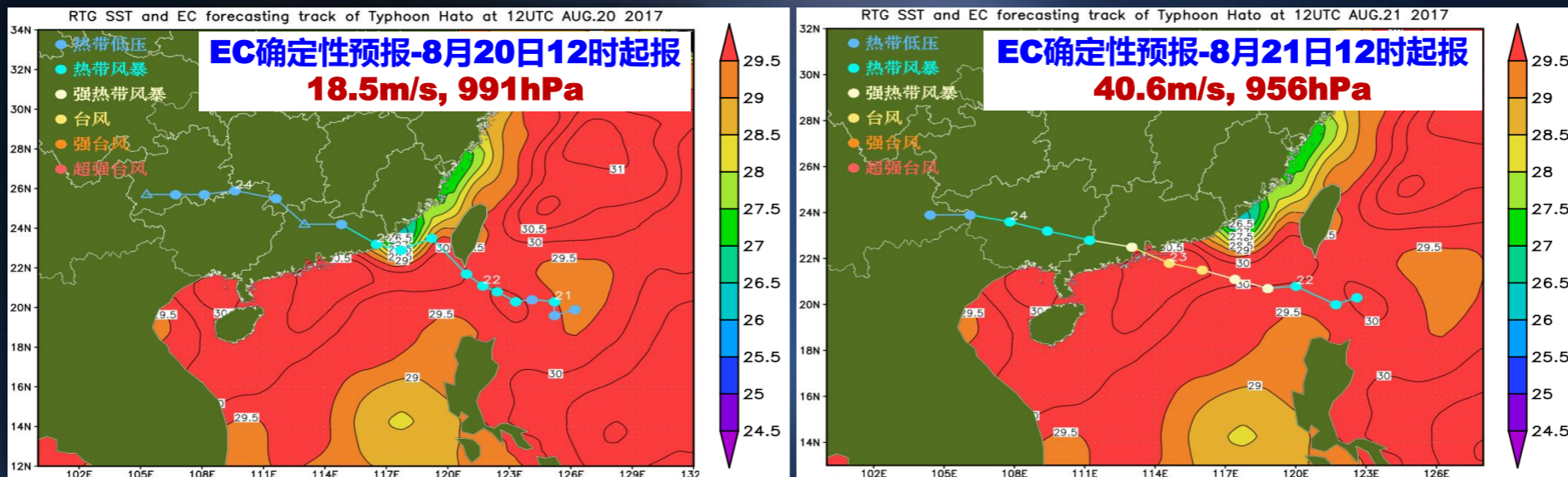
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽”（2017）

## ✓ 海表温度对“天鸽”强度预报的影响

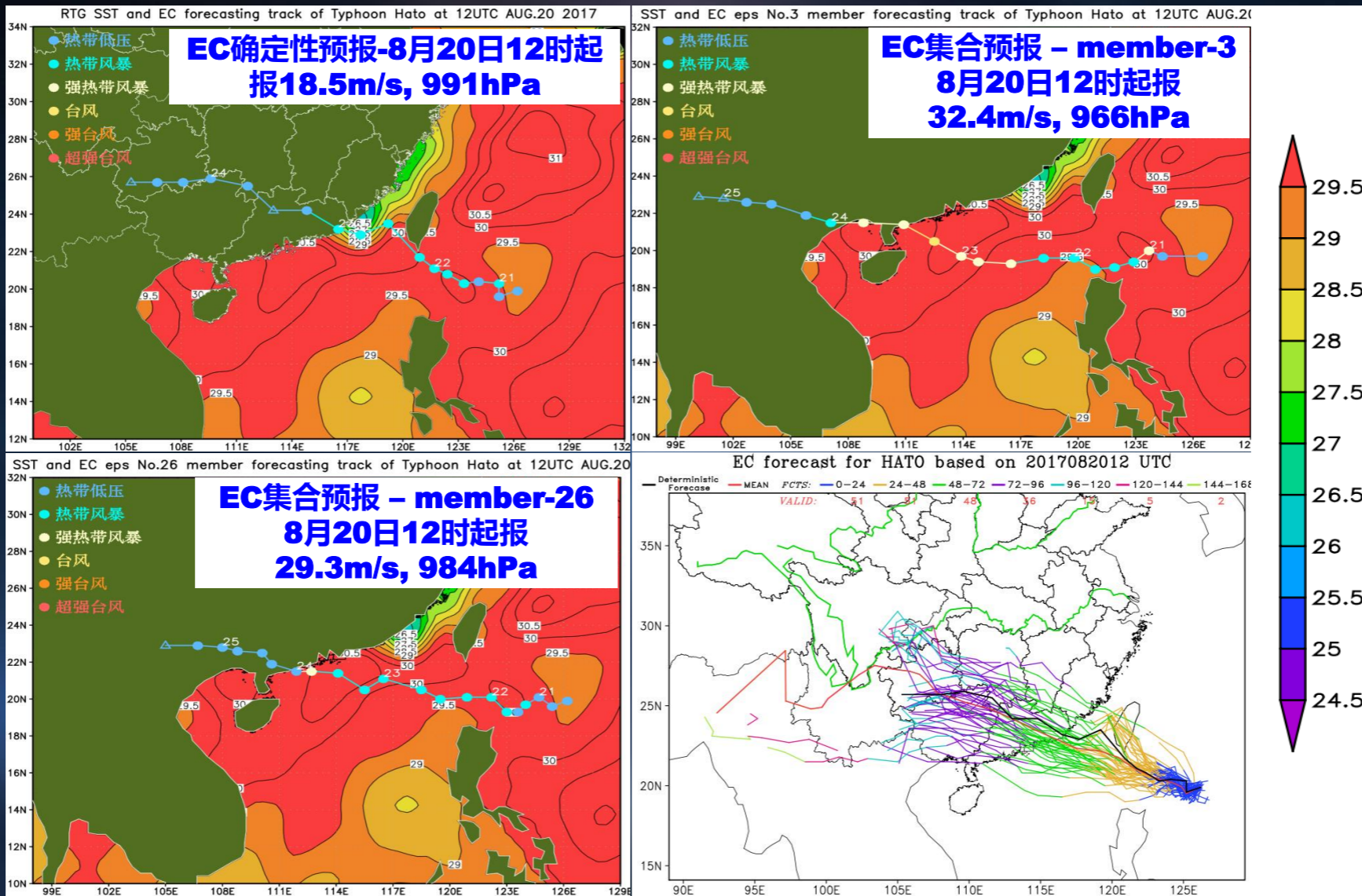


# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽”（2017）

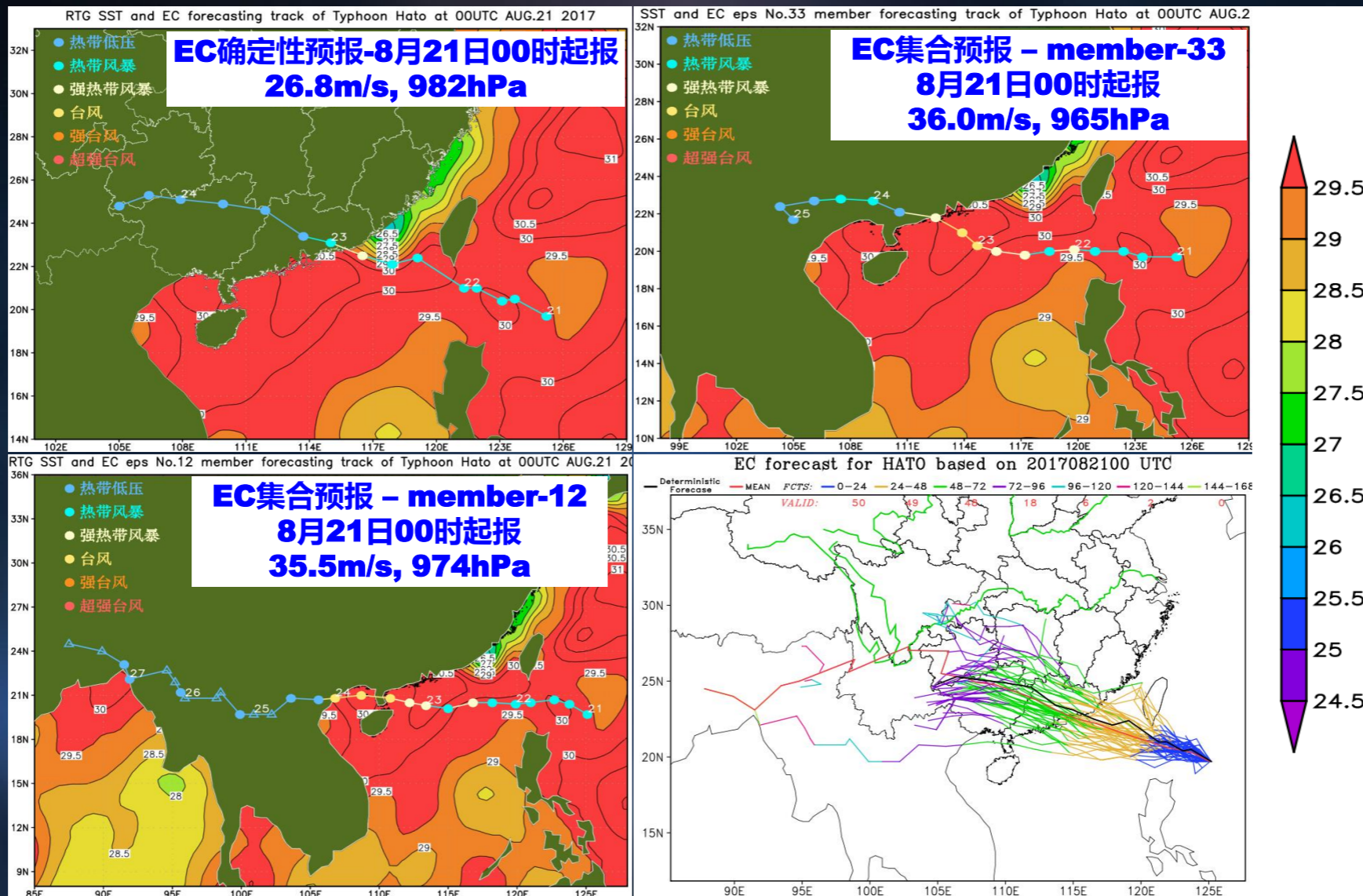
## ✓ 海表温度对“天鸽”强度预报的影响



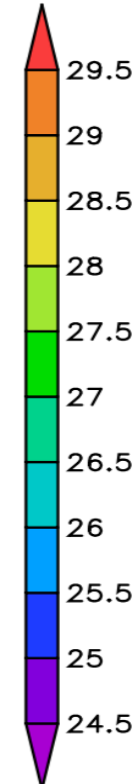
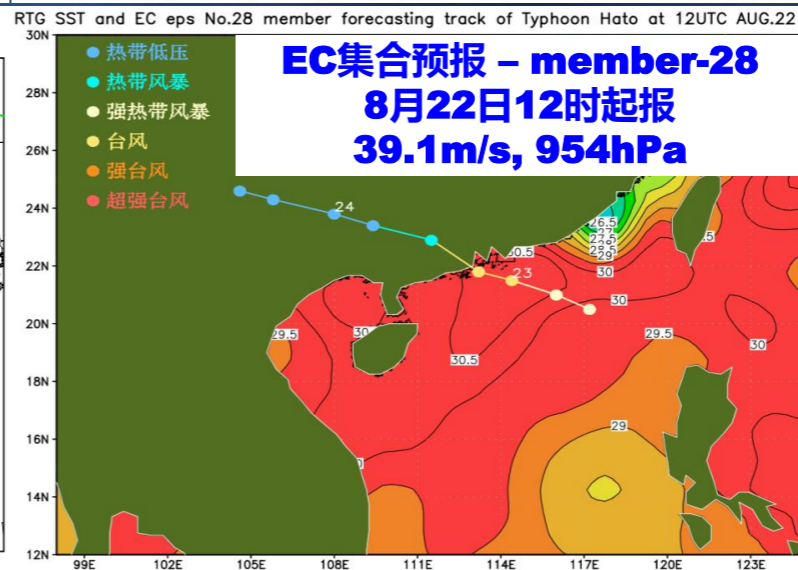
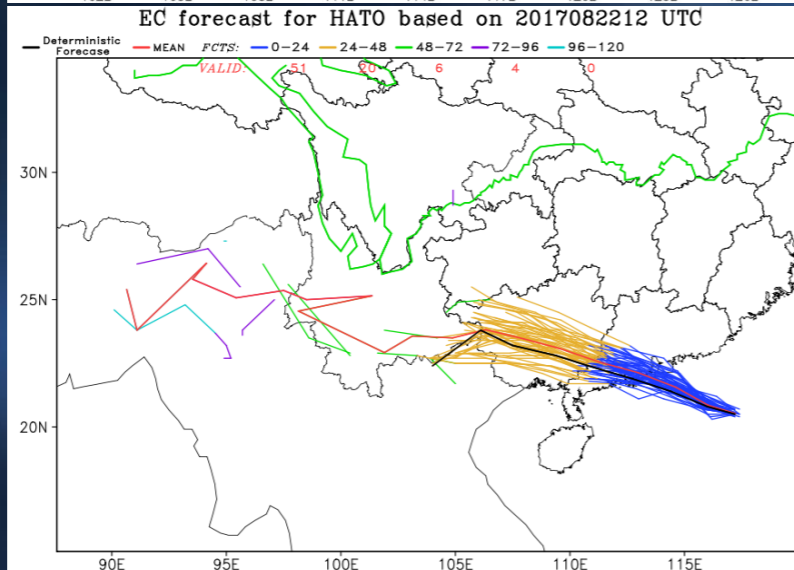
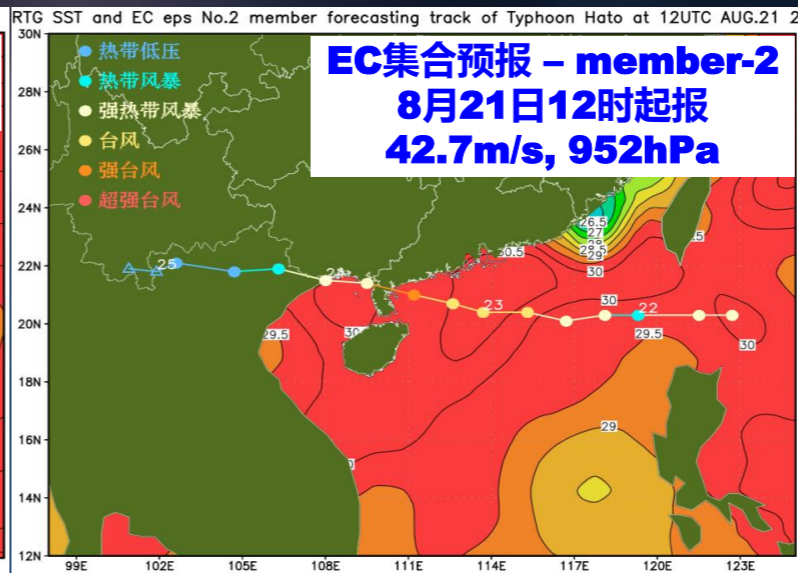
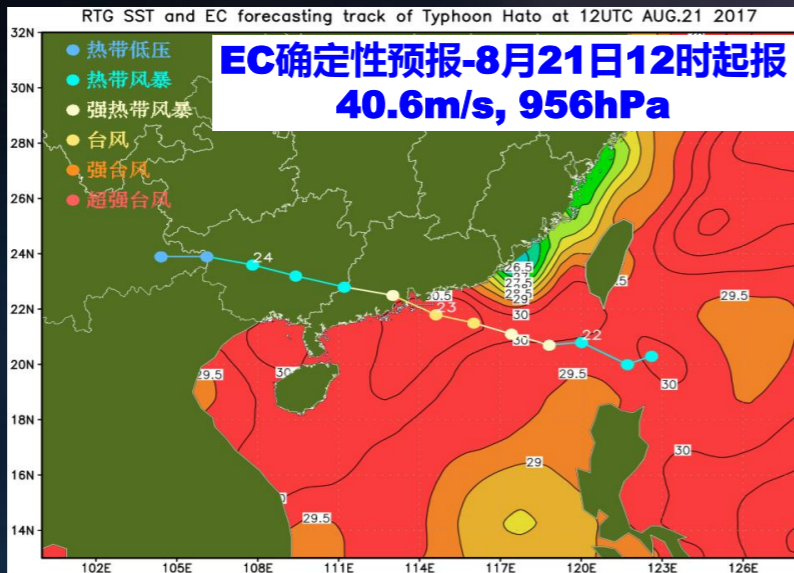
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)



# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)



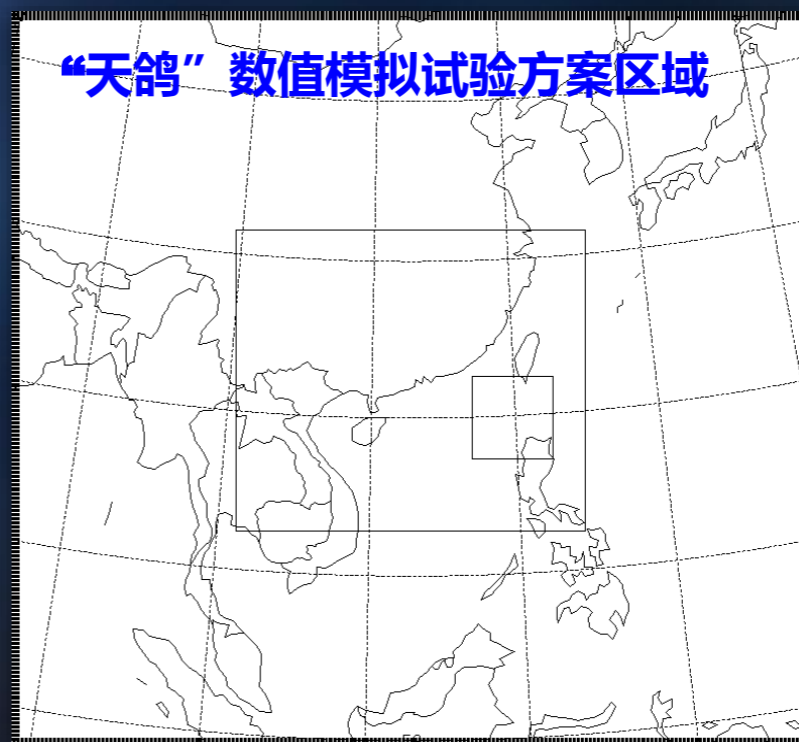
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)



## ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

### ✓ 数值试验

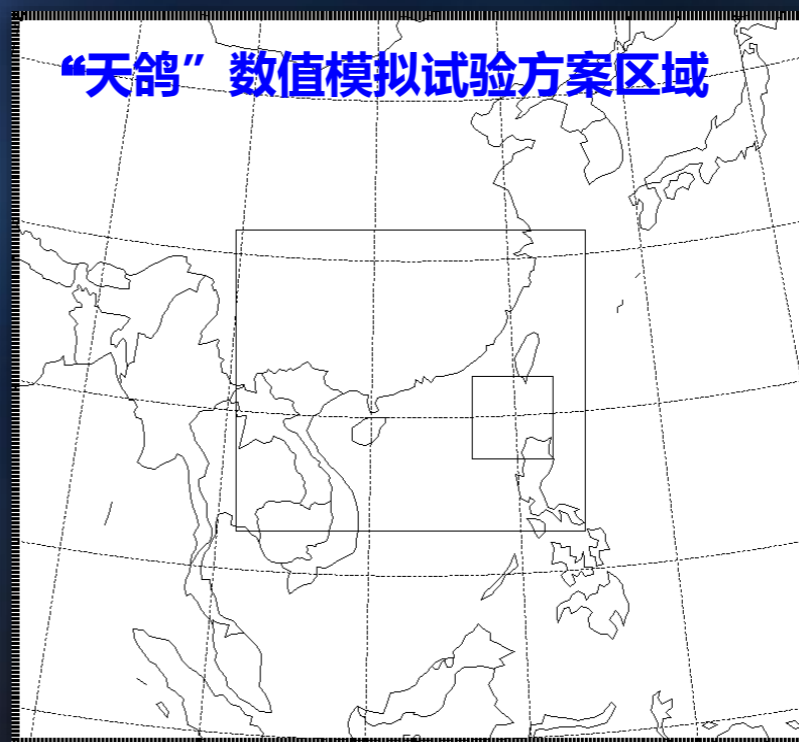
- ARW-WRF模式 (V3.5.1) 三重嵌套网格, 网格距分别为9、3、和1km
- 垂直方向为31层, 模式层顶为50hPa
- 积分时间48小时 (2017年8月22日08时至24日08时, 积分步长45秒)
- 初始场采用NCEP再分析 ( $1\times 1^\circ$ ), 海温采用NCEP海温场 ( $0.5\times 0.5^\circ$ )
- 台风Bogus方案 -- 模式积分48小时的结果  
(2017年8月20日08时至22日08时)



# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

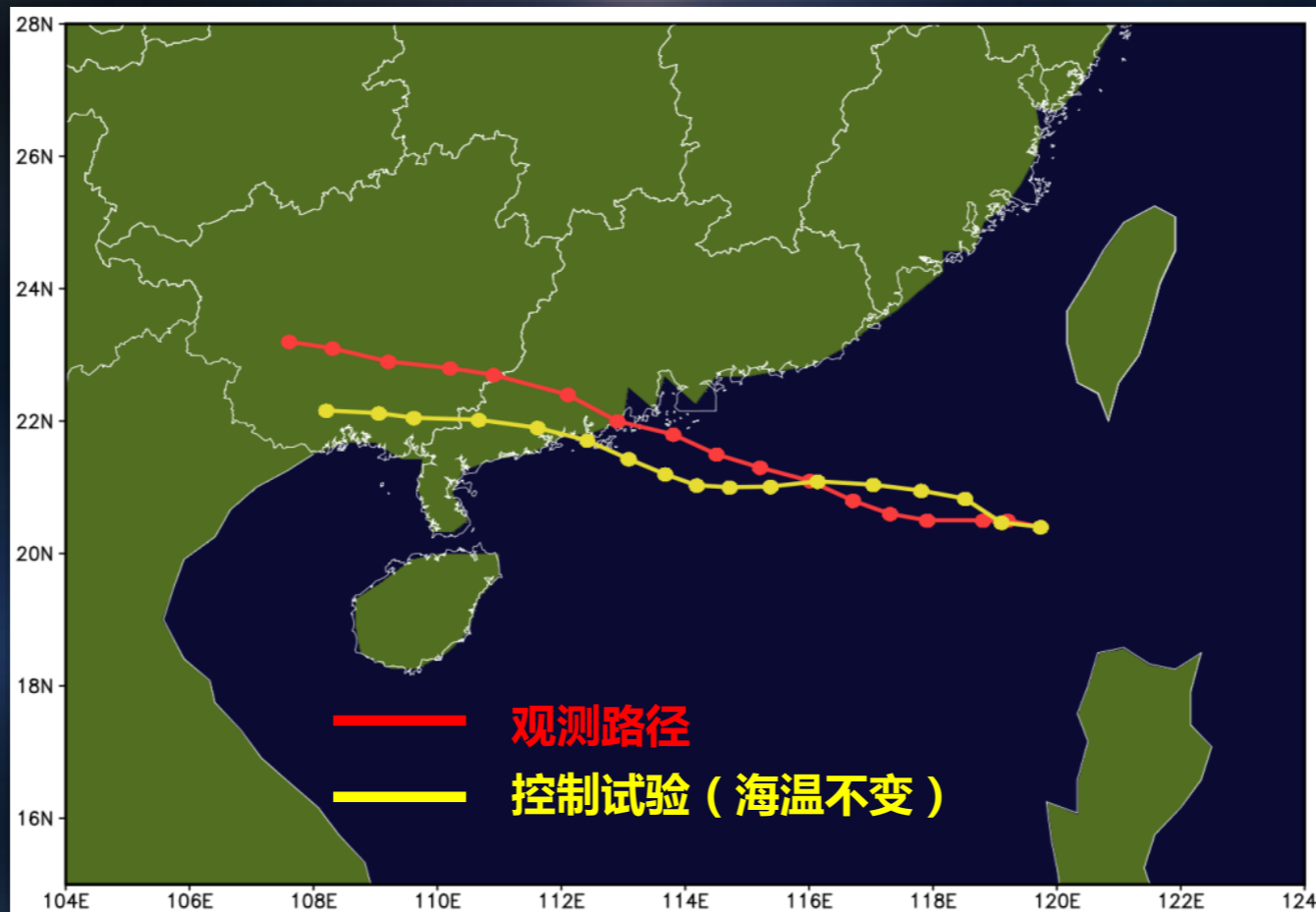
## ✓ 数值试验

- 微物理及参数化方案
  - a. 微物理过程方案：Lin et al. scheme
  - b. 长波辐射方案：RRTM
  - c. 短波辐射方案：Dudhia
  - d. 对流参数化方案：New GFS simplified Arakawa-Schubert scheme (仅9km)
  - e. 边界层参数化方案：YSU
  - f. Surface Layer方案：Monin-Obukhov
  - g. Land Surface方案：thermal diffusion
  - i. shallow cumulus option
  - j. 1d ocean mixed layer**



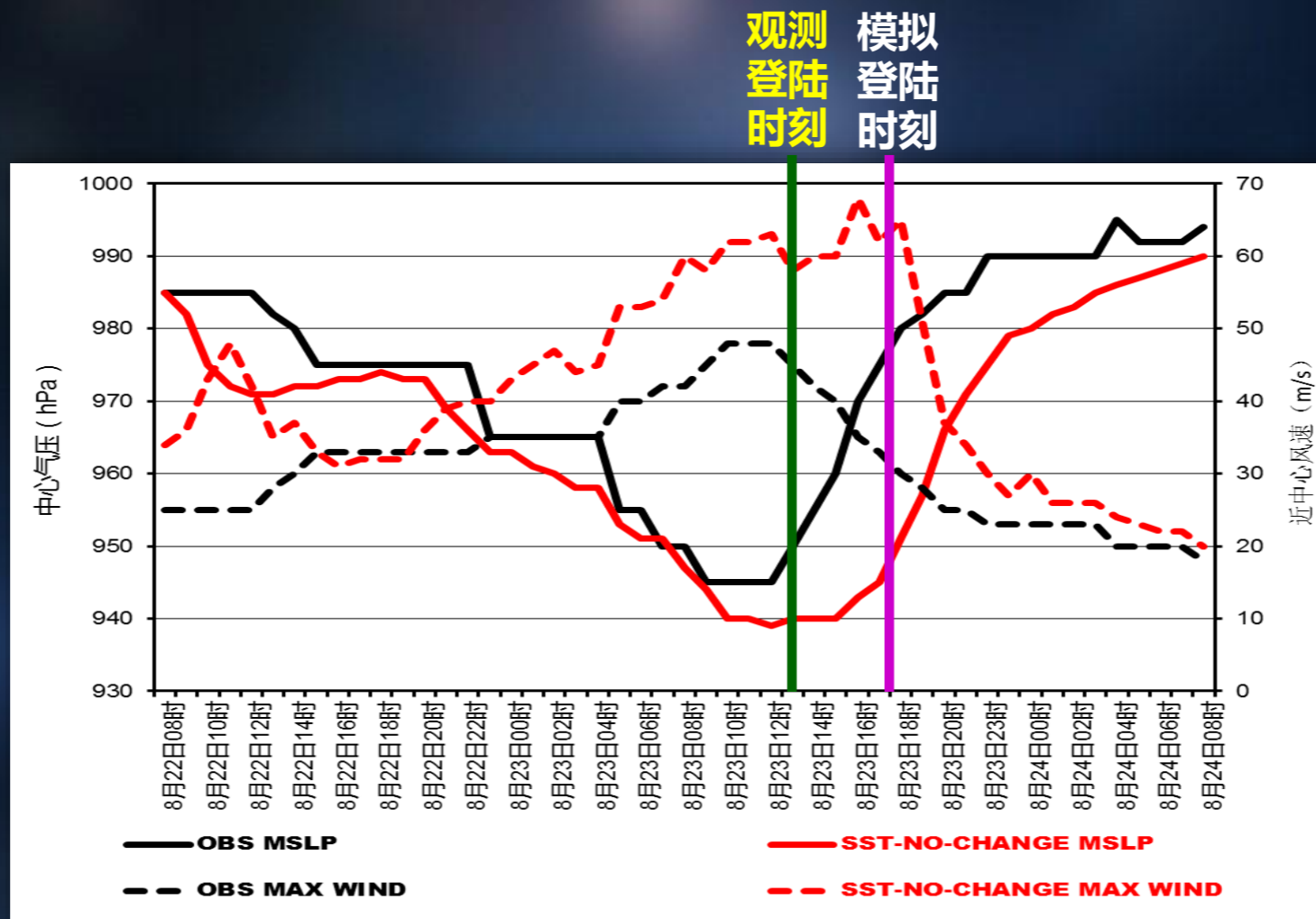
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽”（2017）

## ✓ 数值试验结果 --- 移动路径



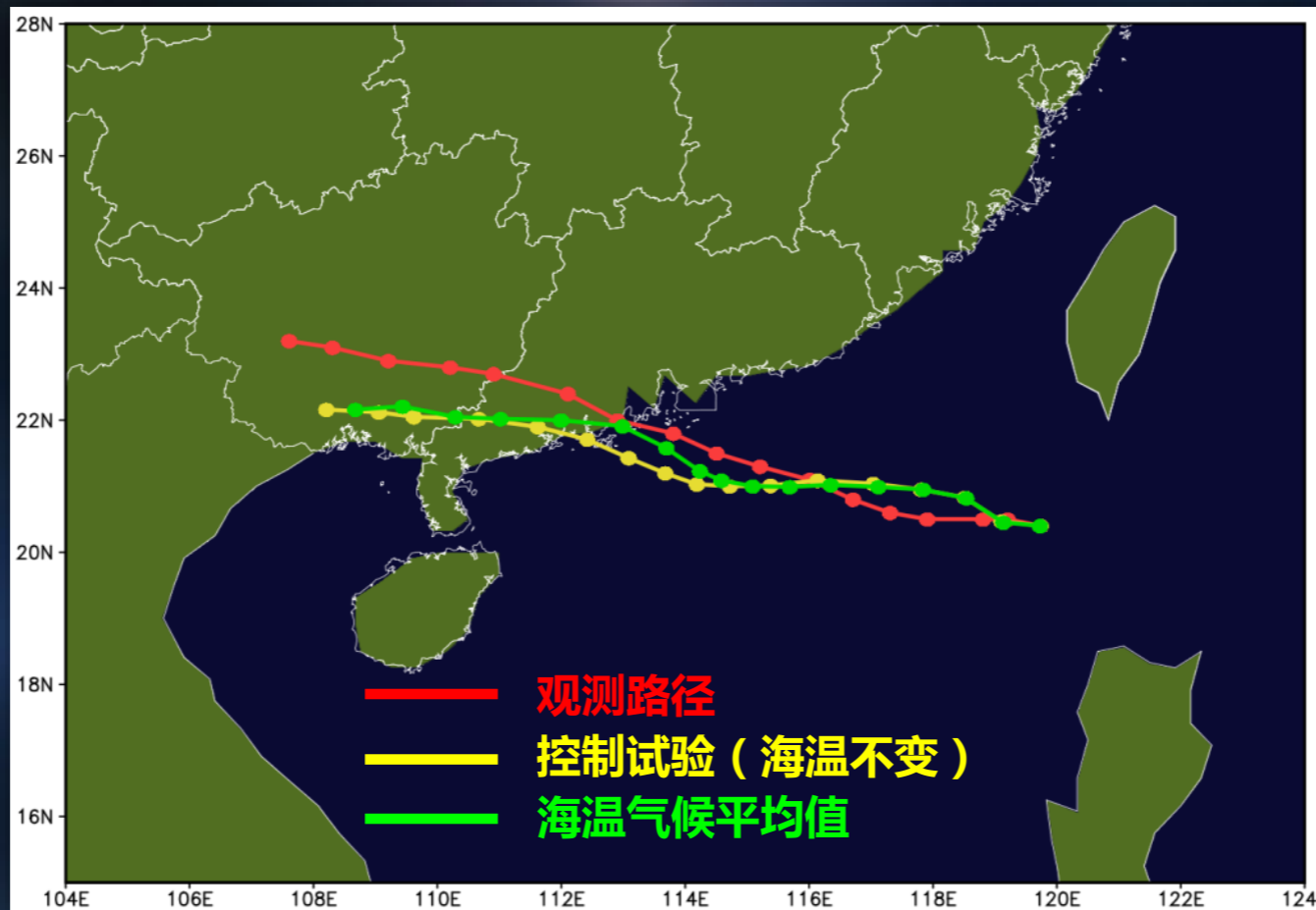
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

## ✓ 数值试验结果 --- 强度变化



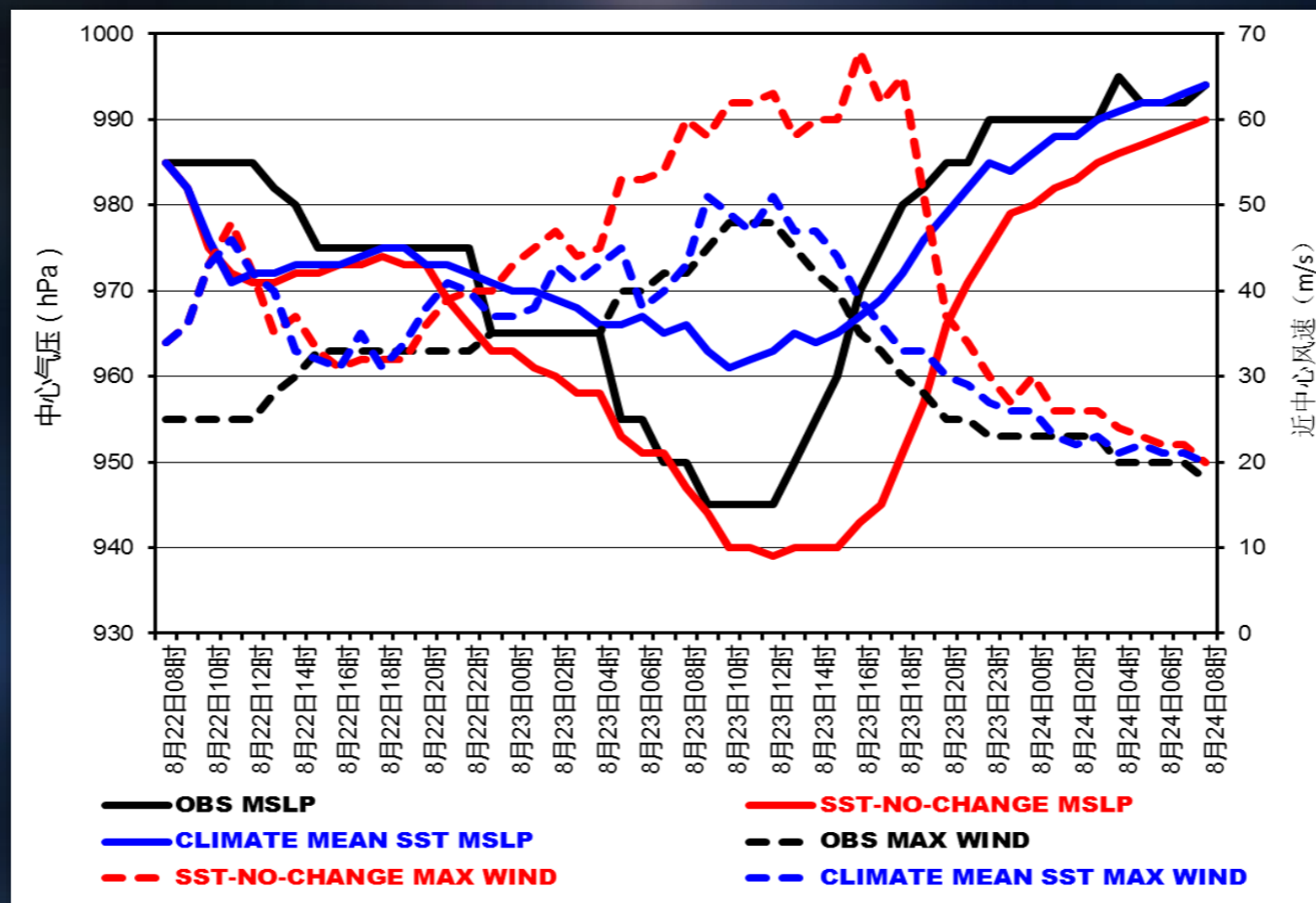
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽”（2017）

## ✓ 数值试验结果 --- 移动路径



# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

## ✓ 数值试验结果 --- 强度变化



## ● 环境大气与台风的相互作用

✧ 低层水汽通道与台风涡旋联结，对台风加强有利

✧ 对流层上层和平流层低层的高空辐散场和流出气流

较强的流出通道对台风加强有利，但并非单纯的线性关系，还受其它因子牵制

✧ 高层大气环境对流出通道和高空辐散有更重要影响

高空急流南侧存在大范围反气旋环流和大尺度负涡度区

• 当台风向西北方向移动进入负涡度区时，会使台风上空辐散场加强，有利于台风加强

• 当台风继续前进，进入这支高空急流之下，使台风气柱风垂直切变加大，台风会突然减弱

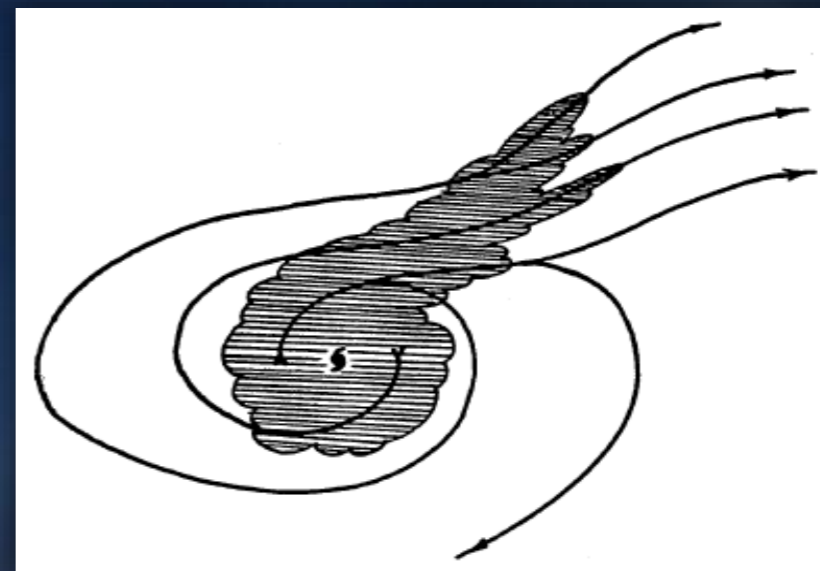
## ● 环境大气与台风的相互作用

高层流出通道的建立对台风加强发展非常重要，其形态在对流层上层平流层下层强风速环境影响下，呈不对称分布，可分为4种：

### ① 向极地的单通道流出型

#### Single-channel Poleward Outflow

- 由西风槽前西南气流或西风急流形成，常出现在转向或较高纬度台风中
- 台风位于高层反气旋（副热带高压）西脊点时也会出现

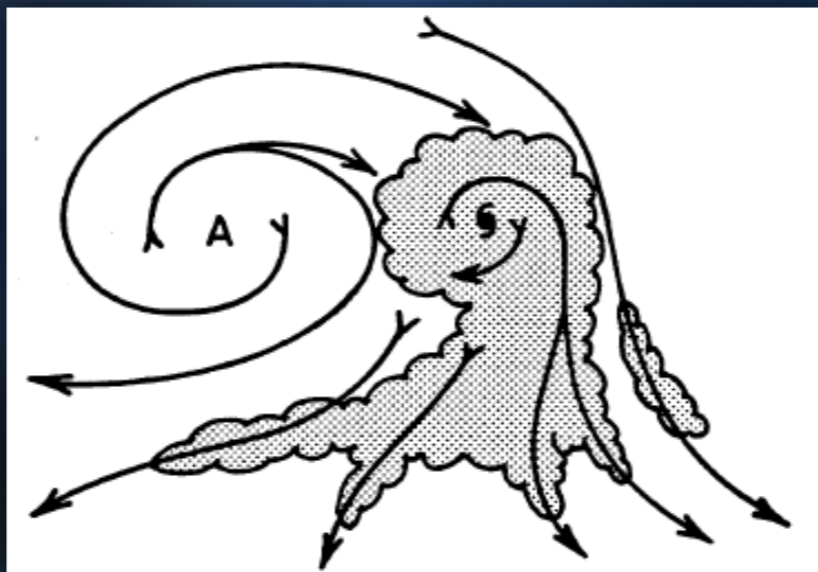


## ● 环境大气与台风的相互作用

### ② 向赤道的单通道流出型

#### Single-channel Equatorward Outflow

- 较低纬度转向前，通常位于高空反气旋东侧或东风波西侧
- 向赤道单通道流出，台风加强速度比向极地单通道流出要略快一些

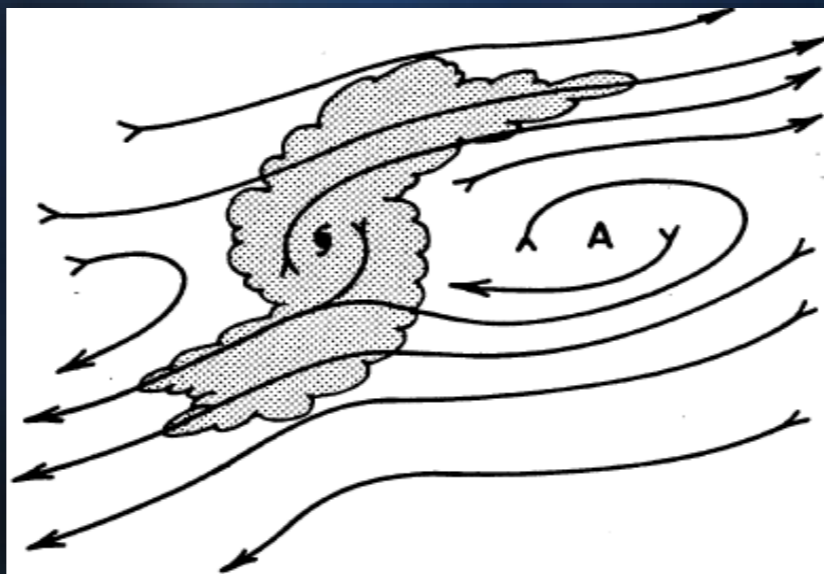


## ● 环境大气与台风的相互作用

### ③ 双通道流出型

#### Dual-channel Outflow

- 台风中心位于高层反气旋的西侧
- 高空急流和东风波共同作用下形成两个流出通道
- 台风强度增强较快

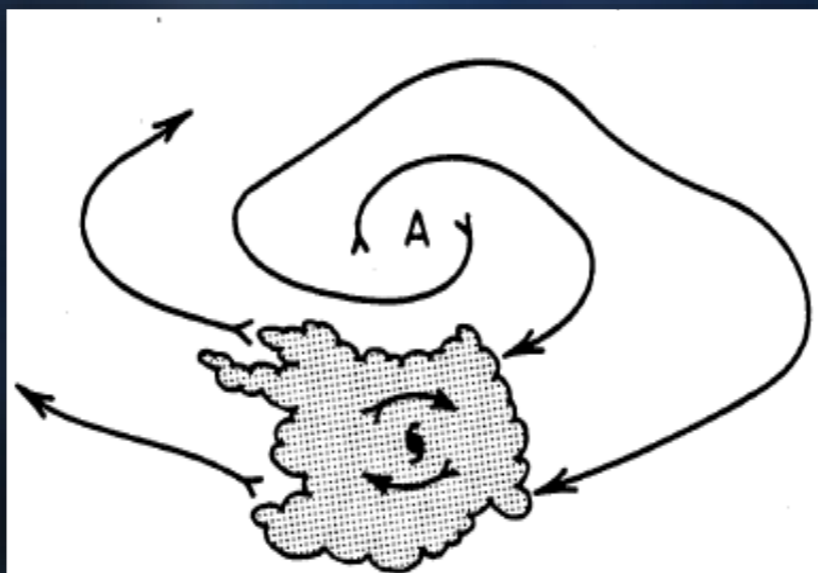


## ● 环境大气与台风的相互作用

### ④ 无通道流出型

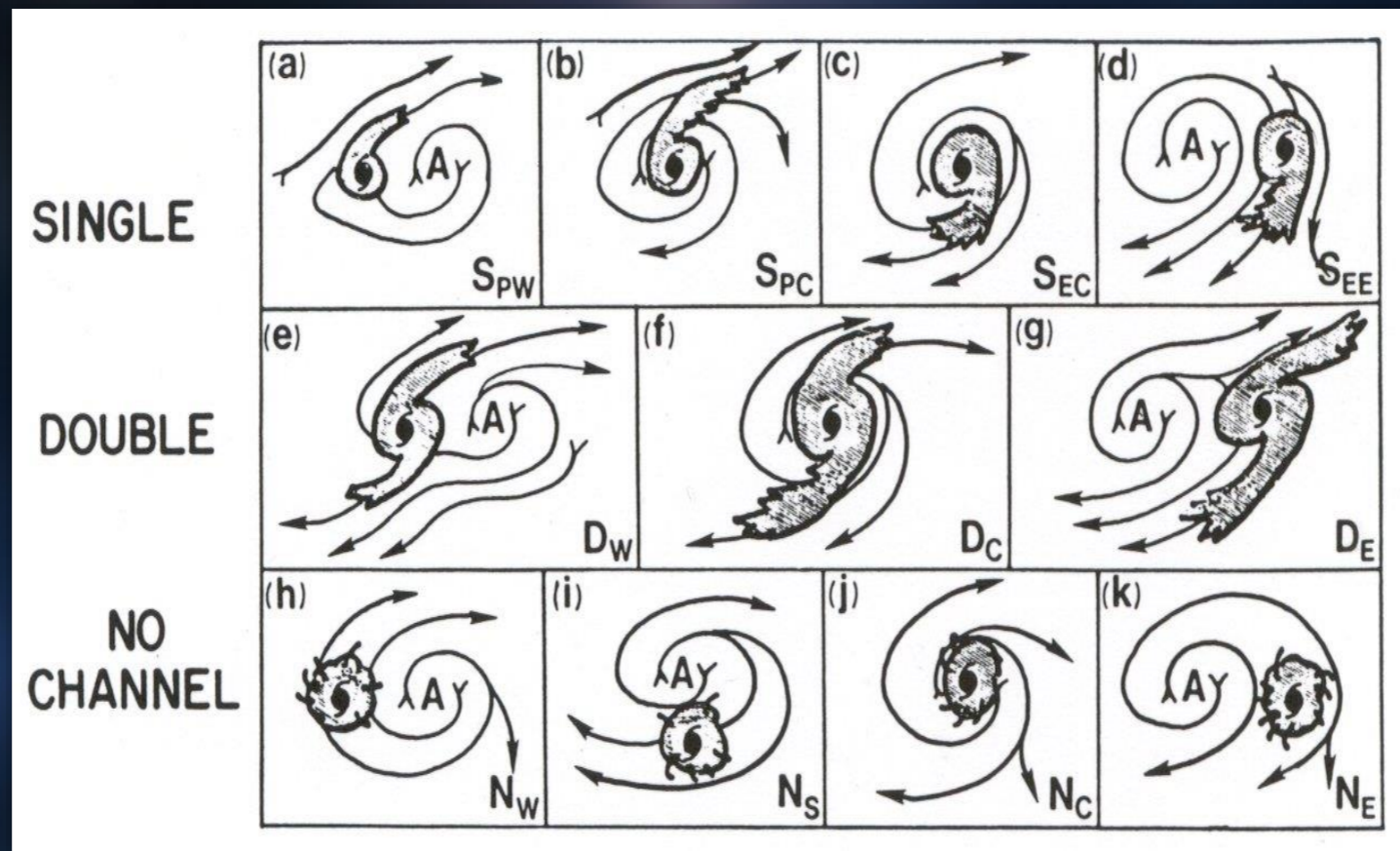
#### No Outflow Channel

- 台风一般位于高空反气旋南侧
- 当台风高层无明显流出时，台风通常无明显变化或减弱



# ● 环境大气与台风的相互作用

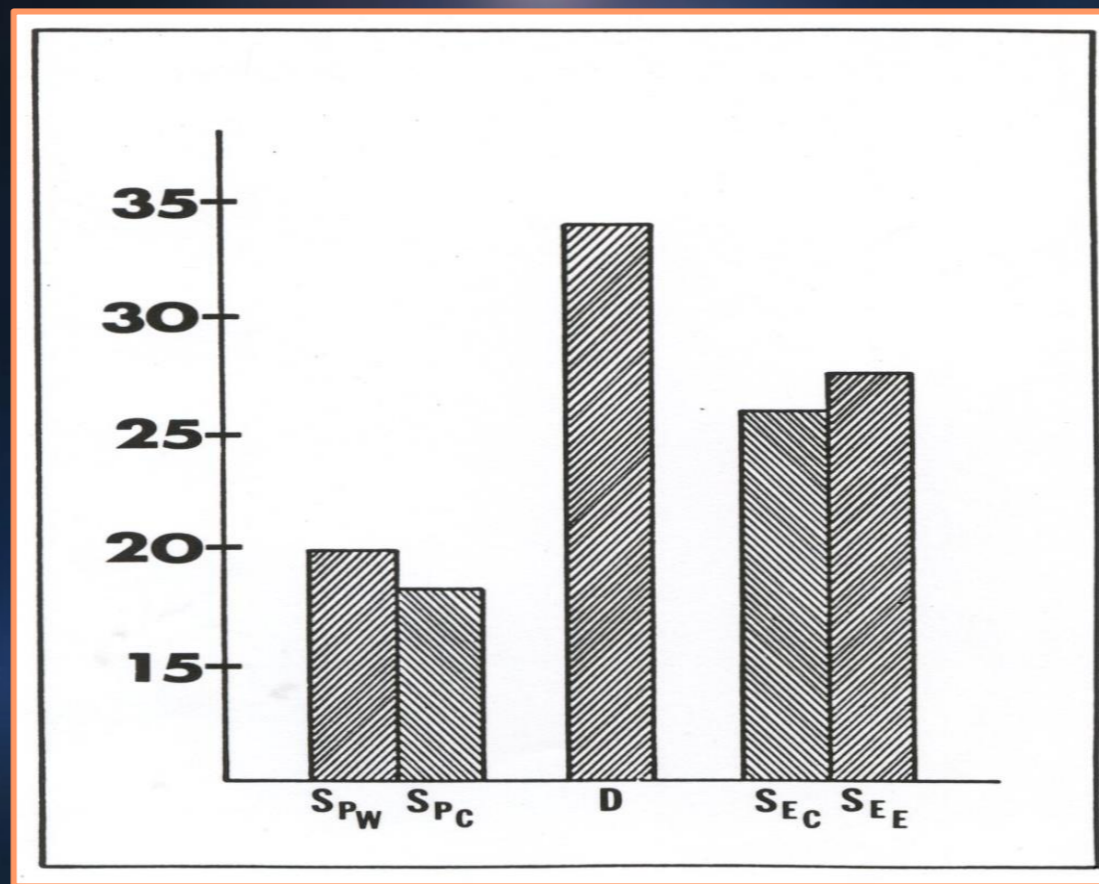
## ✓ 高层流出类型与台风强度变化的关系



根据与台风中心的相对位置划分的高层流出型式

## ● 环境大气与台风的相互作用

### ✓ 高层流出类型与台风强度变化的关系

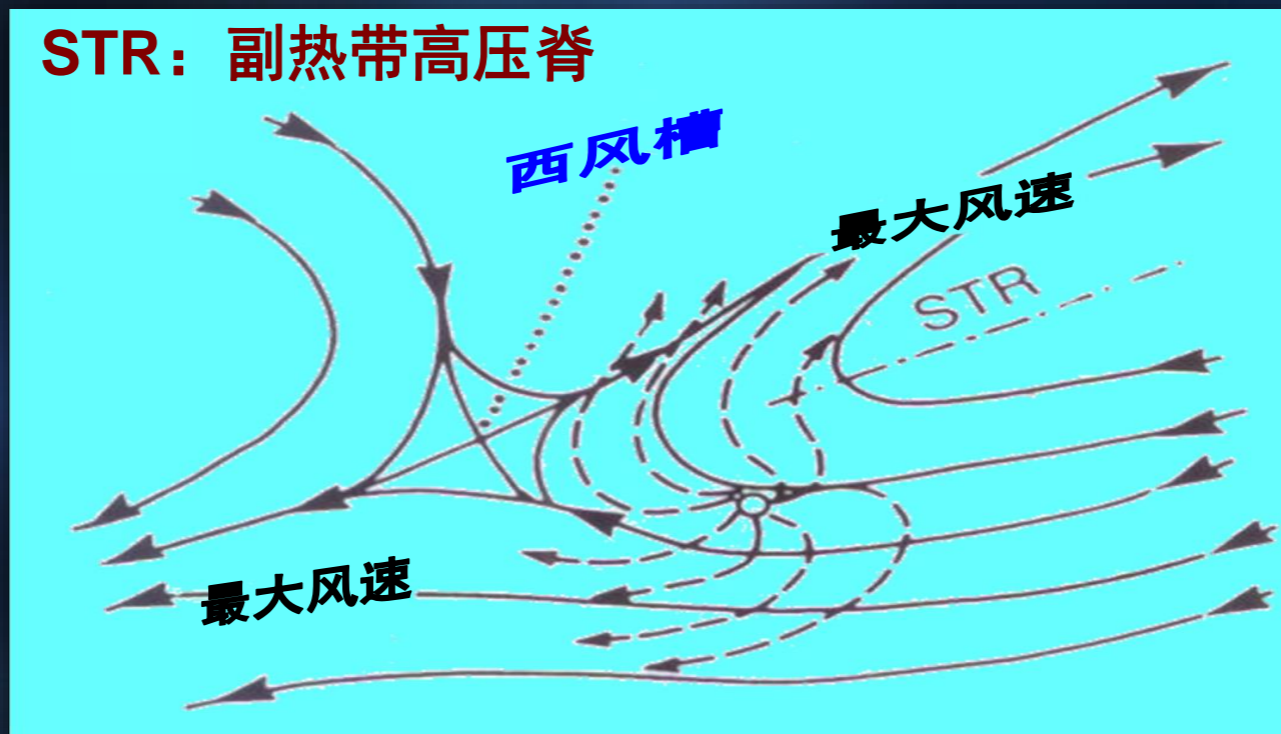


不同流出型对应的24小时平均风速的增加值 ( knots )

## ● 环境大气与台风的相互作用

### ✓ 有利于台风加强的主要高层流场流型

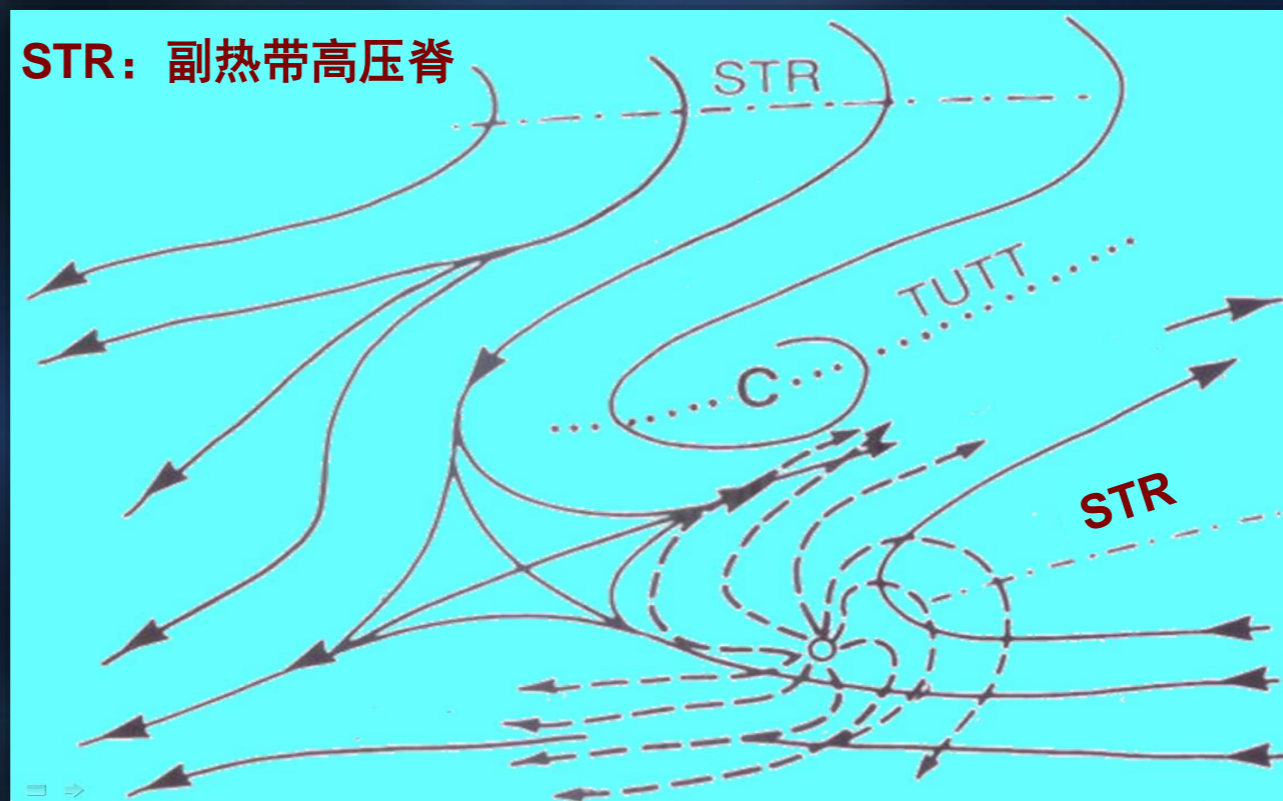
- ① 台风移到高空流出层副热带高压西脊点附近，副高南侧东风和西风槽前西南气流将会加强或产生台风上空的双通道流出气流



## ● 环境大气与台风的相互作用

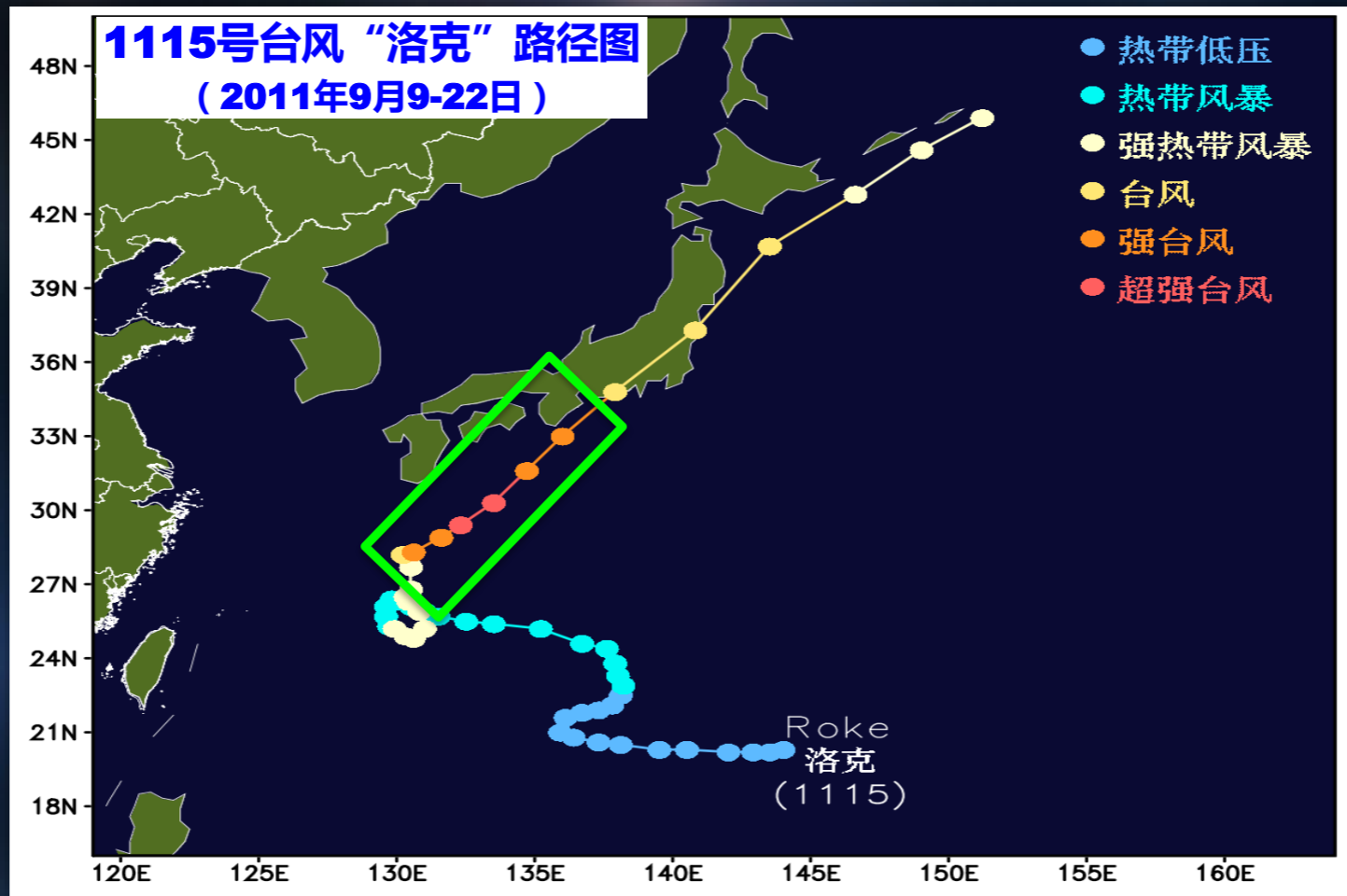
### ✓ 有利于台风加强的主要高层流场流型

- ② 台风移到赤道高压的西脊点附近，这时赤道东风和热带对流层上部槽（TUTT）前西南气流也会产生台风上空的双通道流出气流



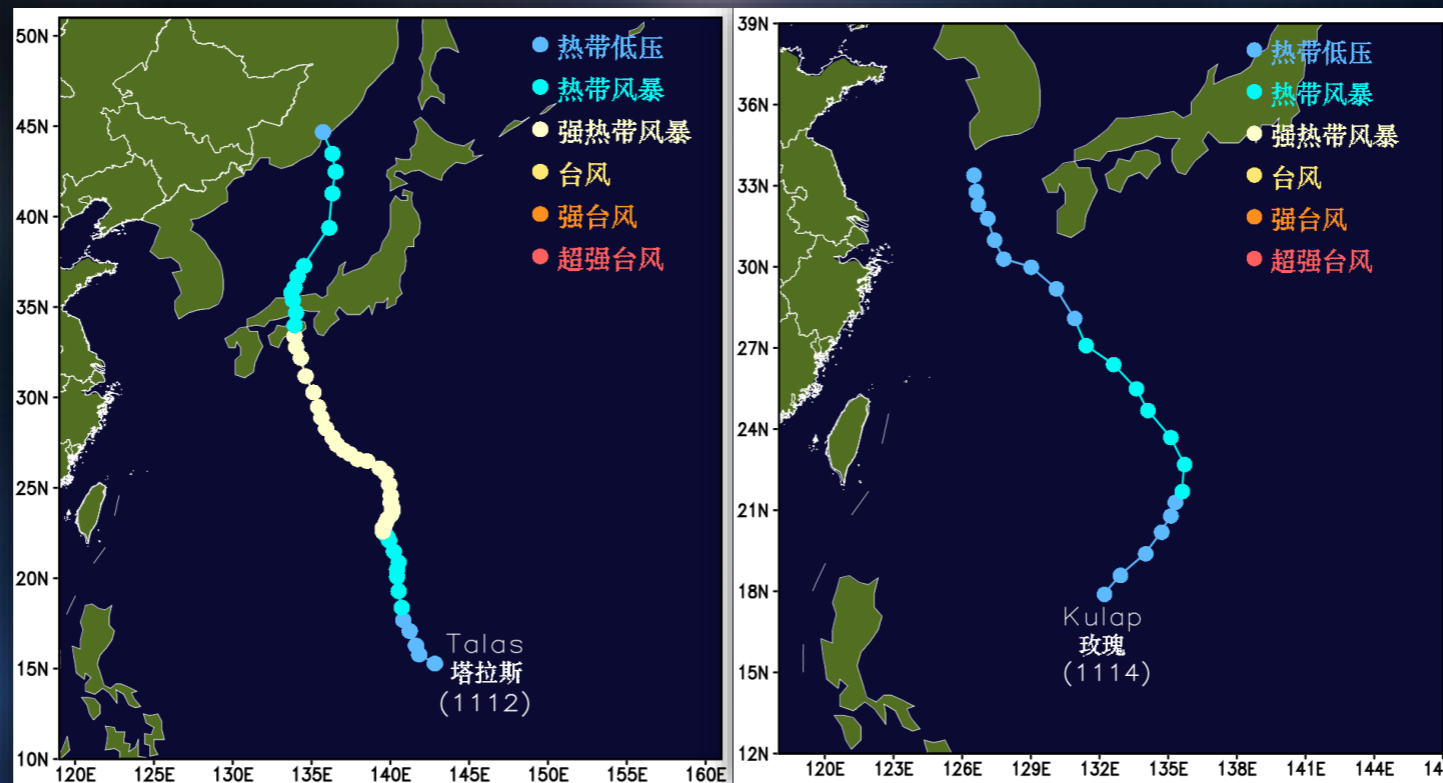
# ● 环境大气与台风的相互作用

--- 超强台风“洛克”（2011）快速增强



# ● 环境大气与台风的相互作用

## --- 超强台风“洛克”（2011）快速增强

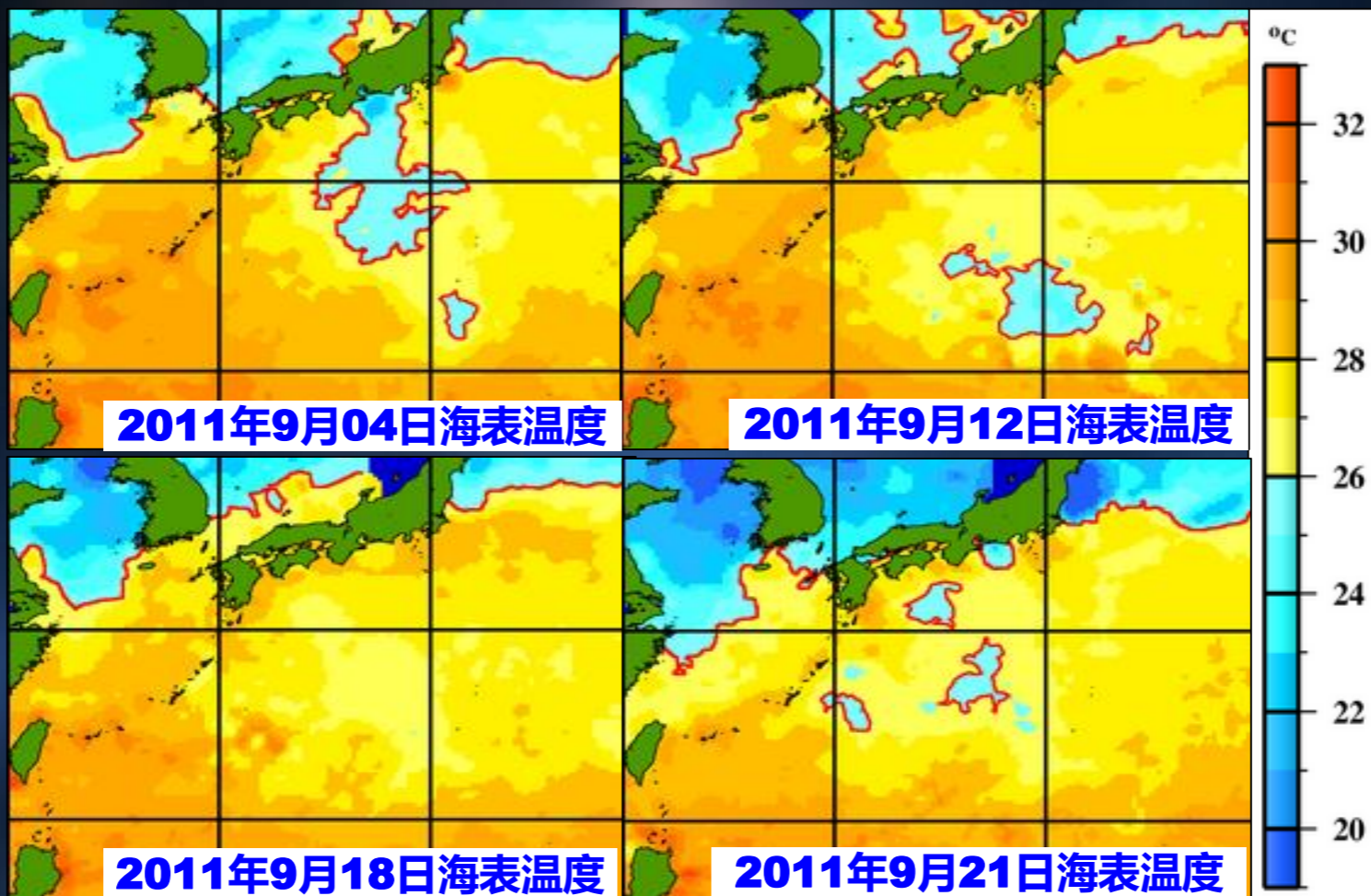


1112号台风“塔拉斯”路径图  
(2011年8月24日至9月6日)

1114号台风“玫瑰”路径图  
(2011年9月6-11日)

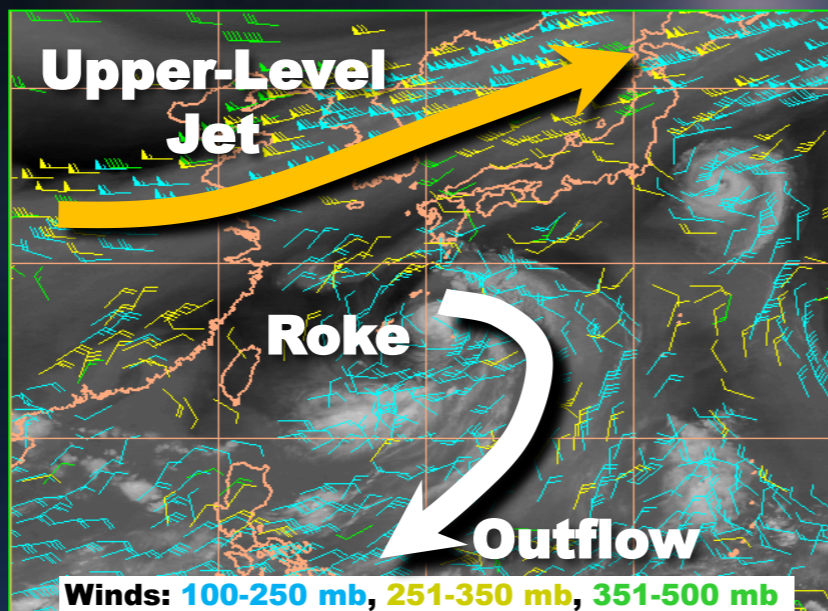
# ● 环境大气与台风的相互作用

--- 超强台风“洛克”（2011）快速增强



# ● 环境大气与台风的相互作用

--- 超强台风“洛克”（2011）快速增强

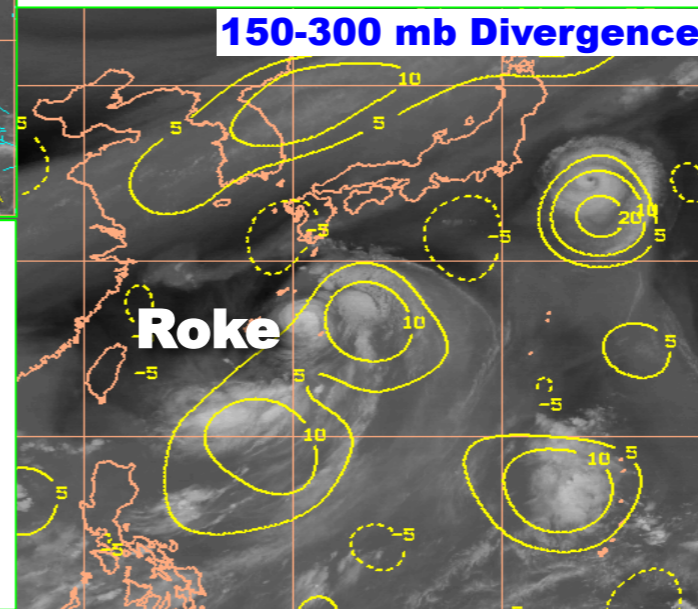


- Outflow directed equatorward
- **No interaction** between outflow and approaching upper-level jet
- Weak upper-level divergence
- Weak typhoon

## Outflow & Intensification Typhoon Roke

**Pre-Rapid Intensification**  
00 UTC 19 Sep 2011  
**Intensity = 65 kt**

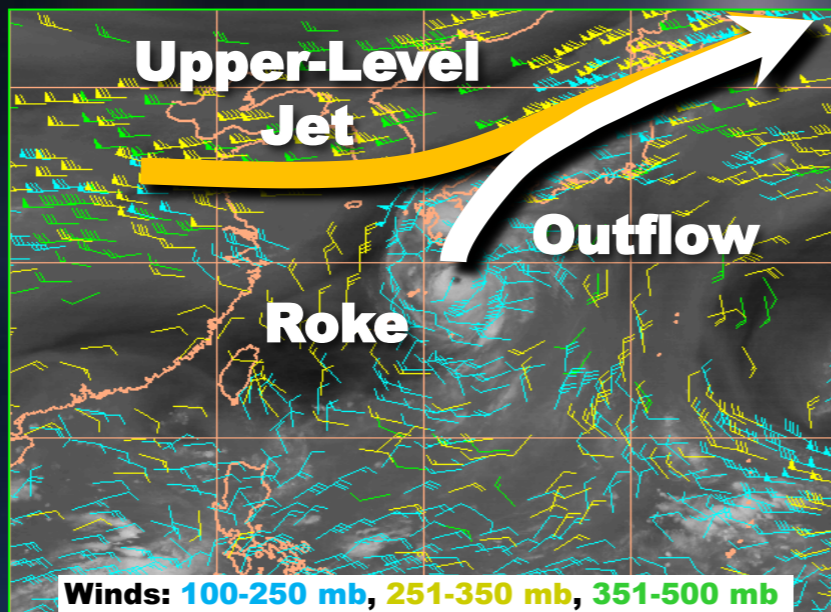
150-300 mb Divergence



Ronald J. Ferek, 2015

# ● 环境大气与台风的相互作用

--- 超强台风“洛克”（2011）快速增强

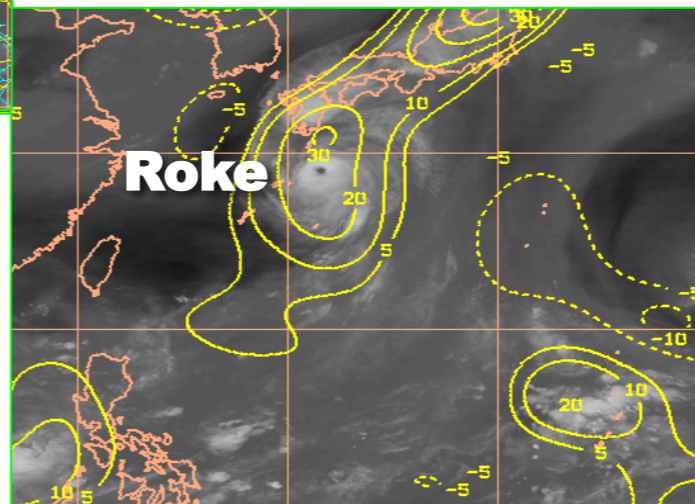


## Outflow & Intensification Typhoon Roke

**Rapid Intensification**  
00 UTC 20 Sep 2011  
(+24h)

**Intensity: 145 kt**  
150-300 mb Divergence

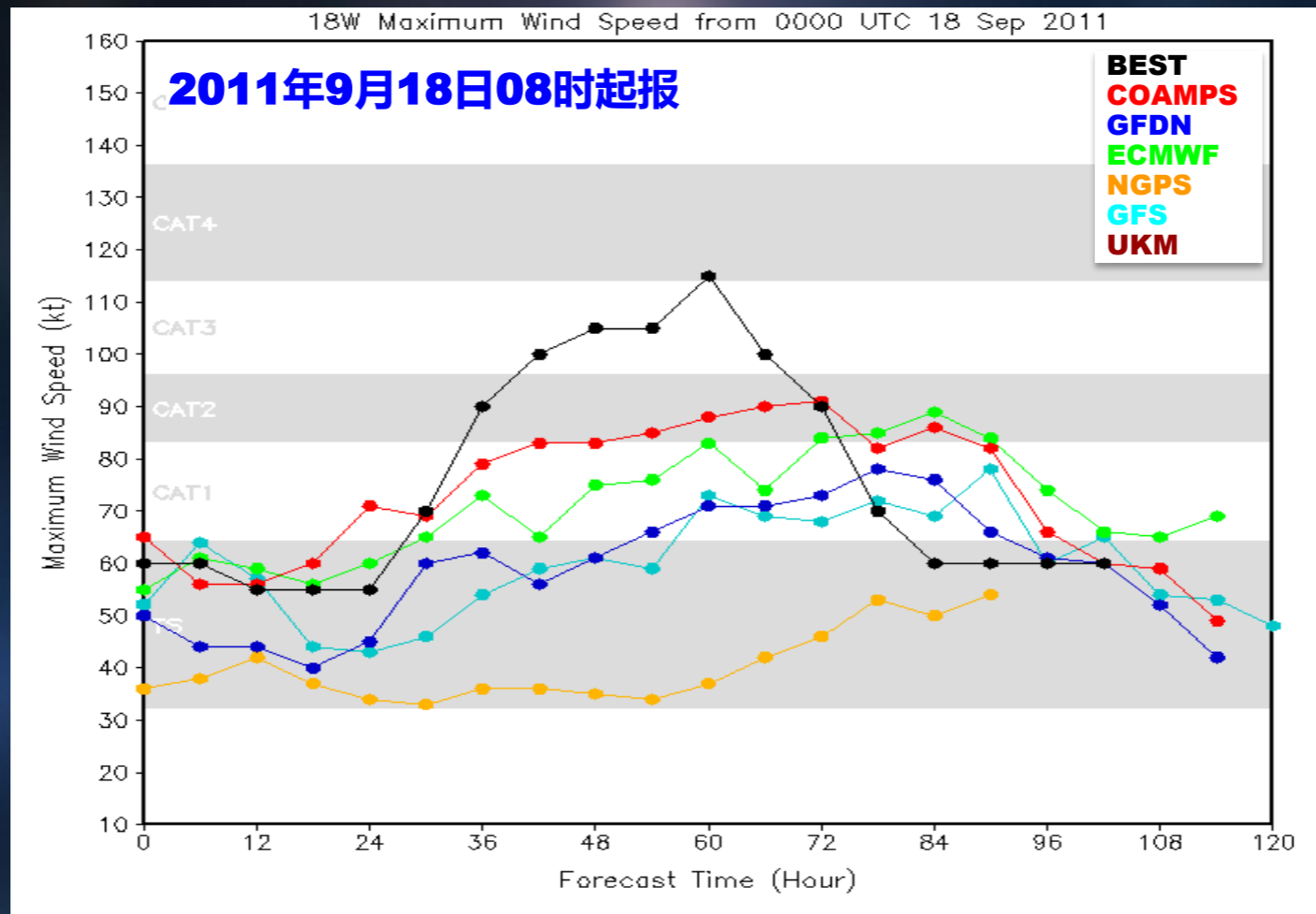
- Outflow shifts poleward
- *Outflow couples with midlatitude jet*
- Upper-level divergence triples
- Roke underwent rapid intensification, increased intensity by 50kts in 24h



Ronald J. Ferek, 2015

# ● 环境大气与台风的相互作用

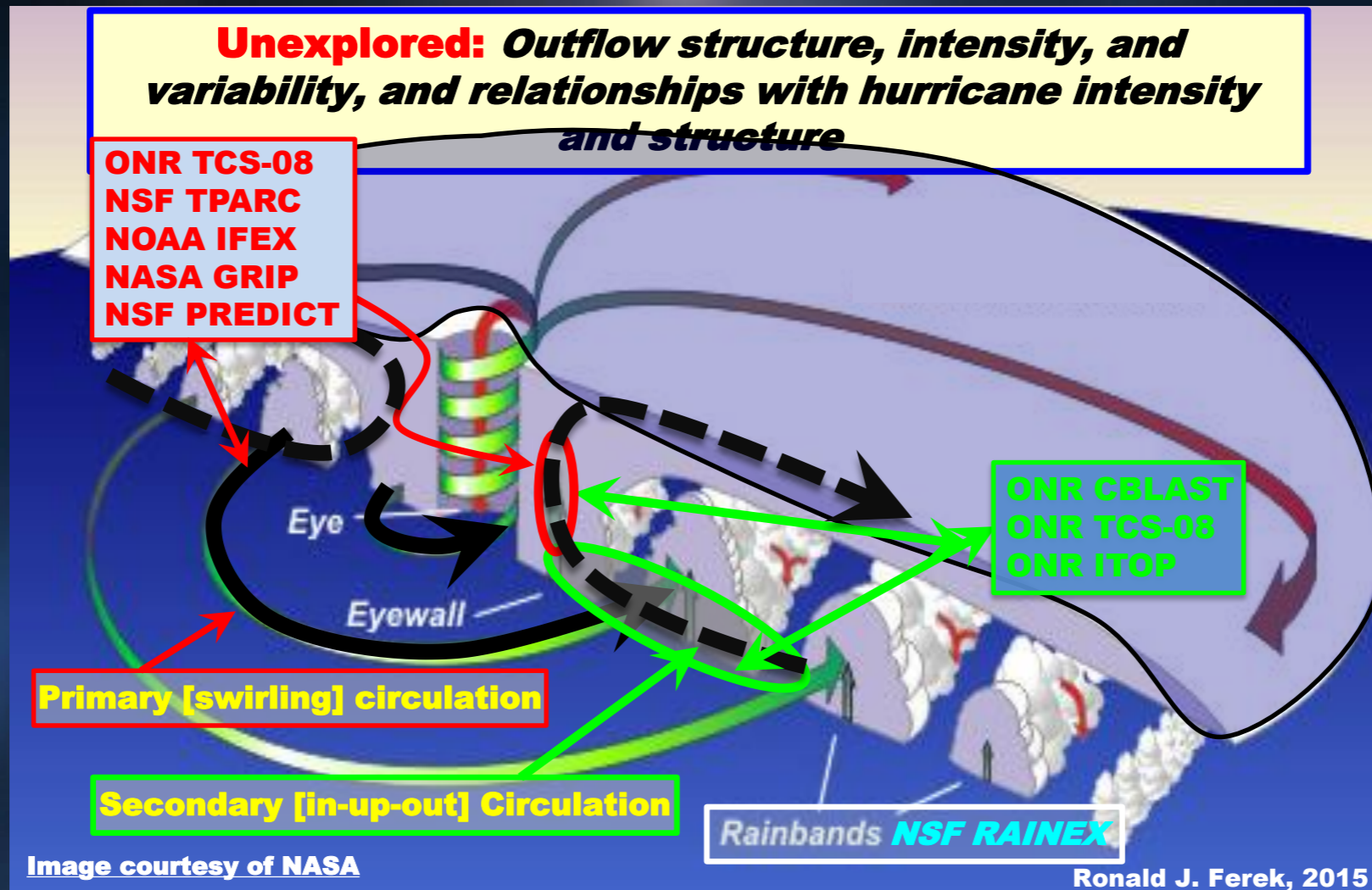
## --- 超强台风“洛克”（2011）快速增强



**All NWP models (including **COAMPS-TC**)  
failed to capture this rapid intensification (RI)**

# ● 环境大气与台风的相互作用

- ✓ 美国外场观测试验 -- Tropical Cyclone Intensity (TCI) Experiments (2012-2015)
- ✓ 了解高层流出对台风强度及其结构变化的影响



# ● 环境大气与台风的相互作用

- ✓ 美国外场观测试验 -- Tropical Cyclone Intensity (TCI) Experiments (2012-2015)
- ✓ 了解高层流出对台风强度及其结构变化的影响

## **Opportunity: NASA HS3 Field Program 2012-2014**

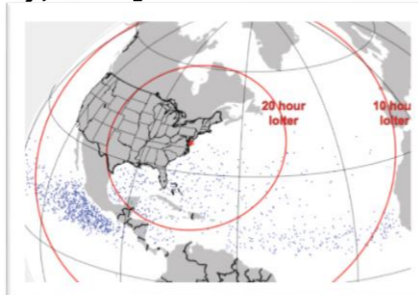


**TWO Global Hawks will fly to sample the environment and inner-core**

- **Environmental Payload:** cloud/aerosol lidar, dropsondes, wind lidar, remote sounders
- **Over-storm Payload:** HAMS (multi-level water vapor), HIWRAP (surface and multi-level wind velocity and rain rate), HIRAD (surface wind speed, rain rate), dropsondes

### **Advantages:**

- long duration
- high-altitude obs.



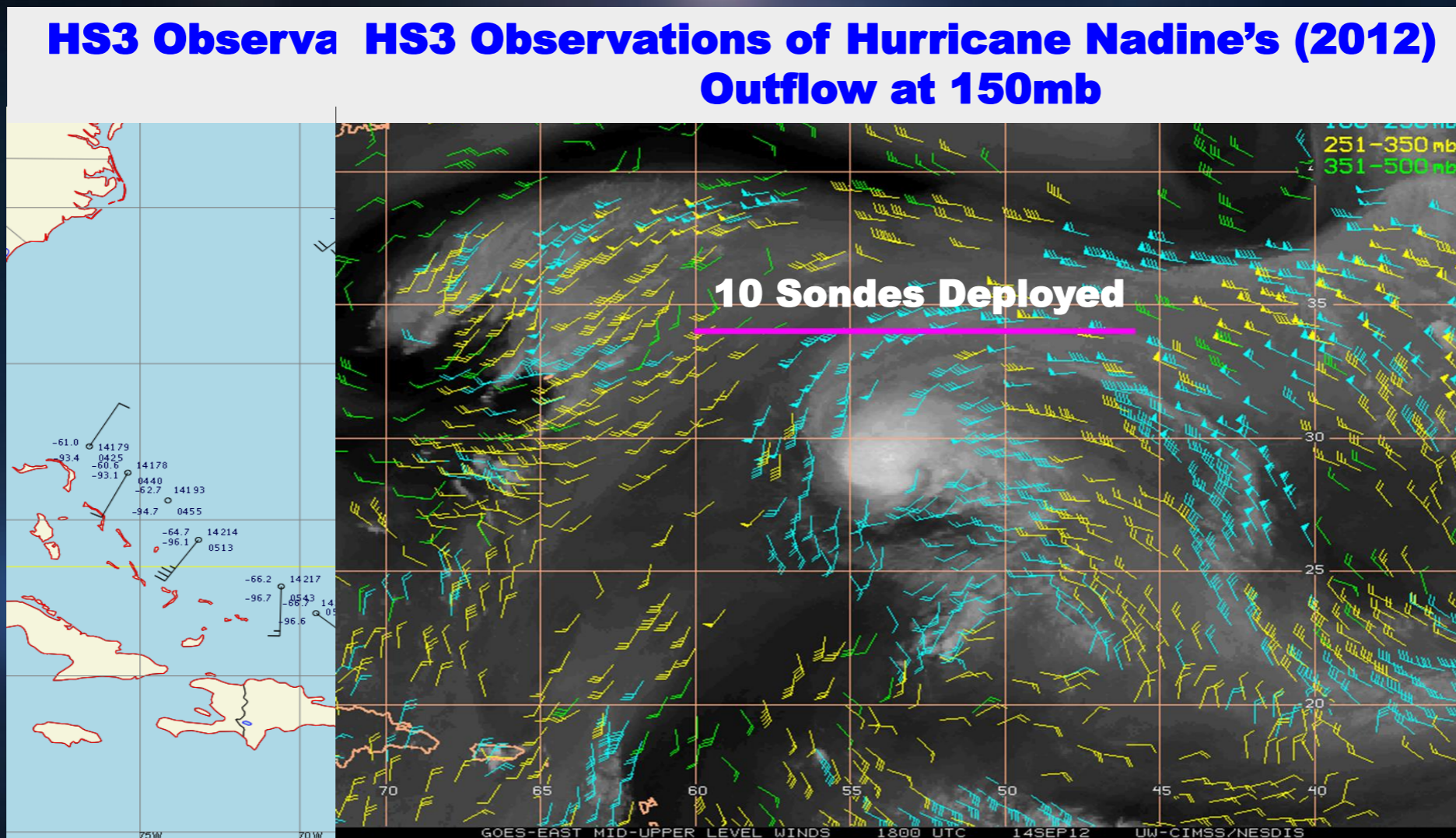
**NASA Global Hawk at Wallops**



**Global Hawk Ops Center during HS3**

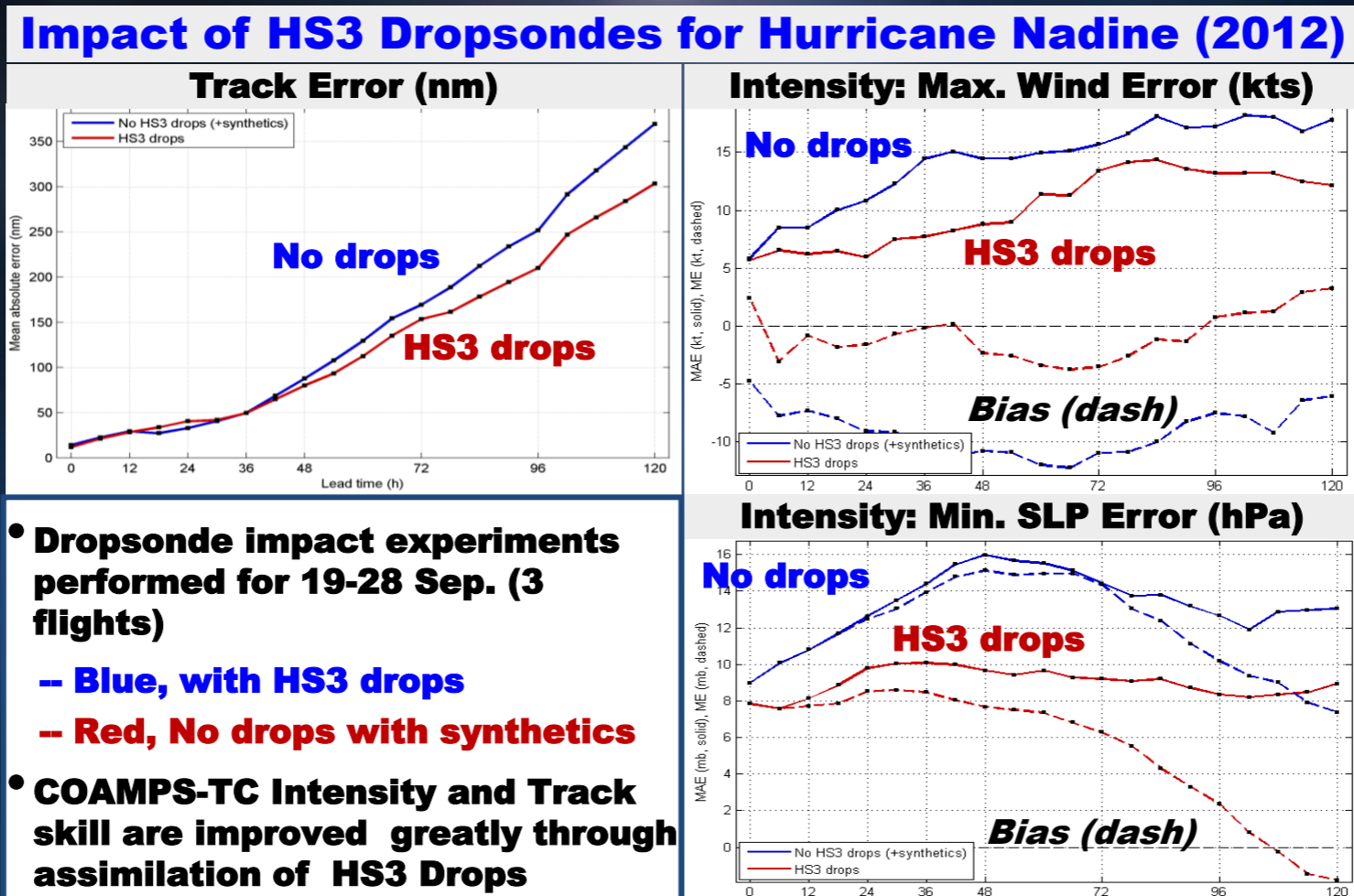
# ● 环境大气与台风的相互作用

- ✓ 美国外场观测试验 -- Tropical Cyclone Intensity (TCI) Experiments (2012-2015)
- ✓ 了解高层流出对台风强度及其结构变化的影响



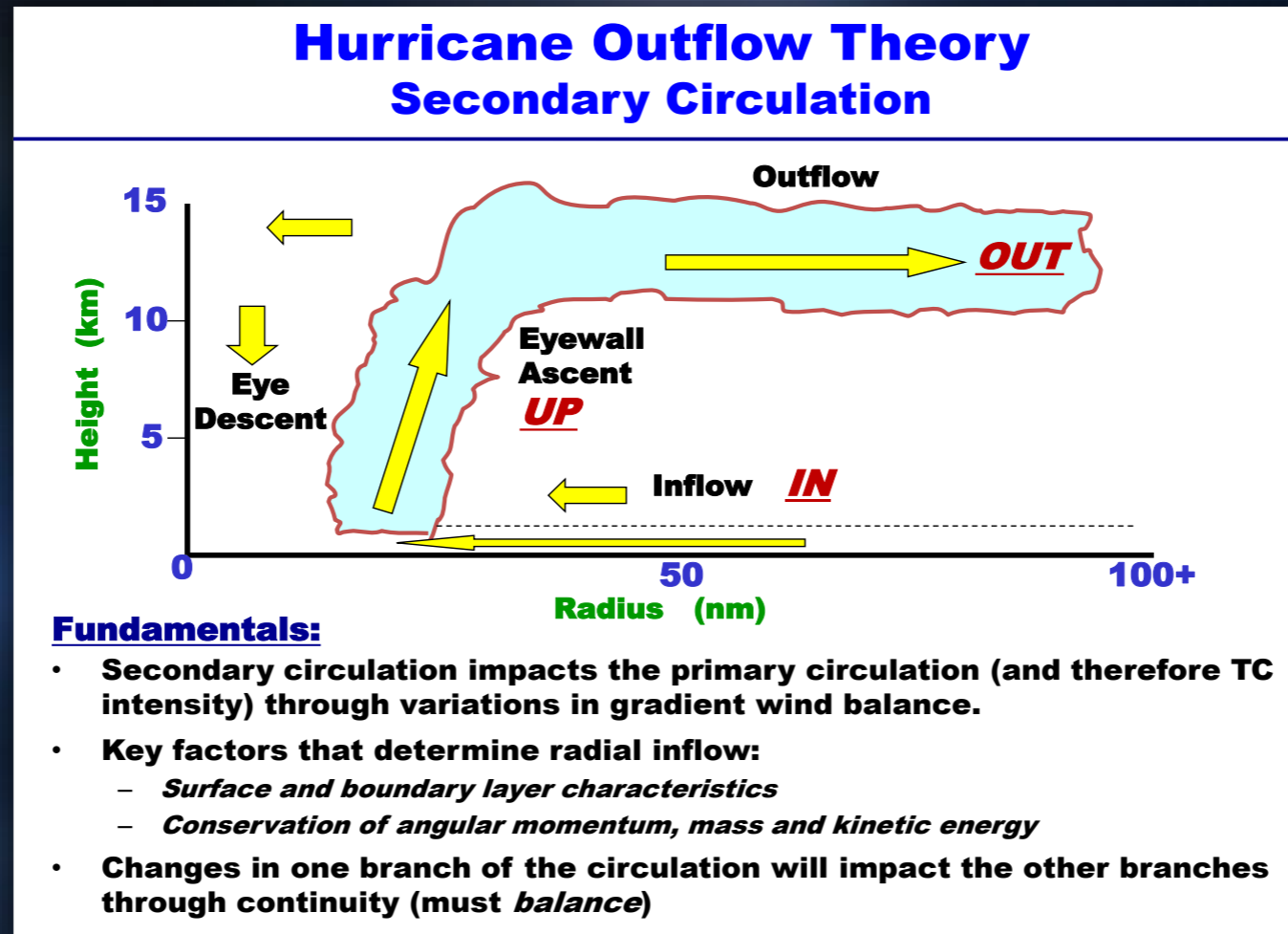
# ● 环境大气与台风的相互作用

- ✓ 美国外场观测试验 -- Tropical Cyclone Intensity (TCI) Experiments (2012-2015)
- ✓ 了解高层流出对台风强度及其结构变化的影响



## ● 环境大气与台风的相互作用

- ✓ 最新研究认为：高层流出是影响台风强度及其结构变化的重要关键因子

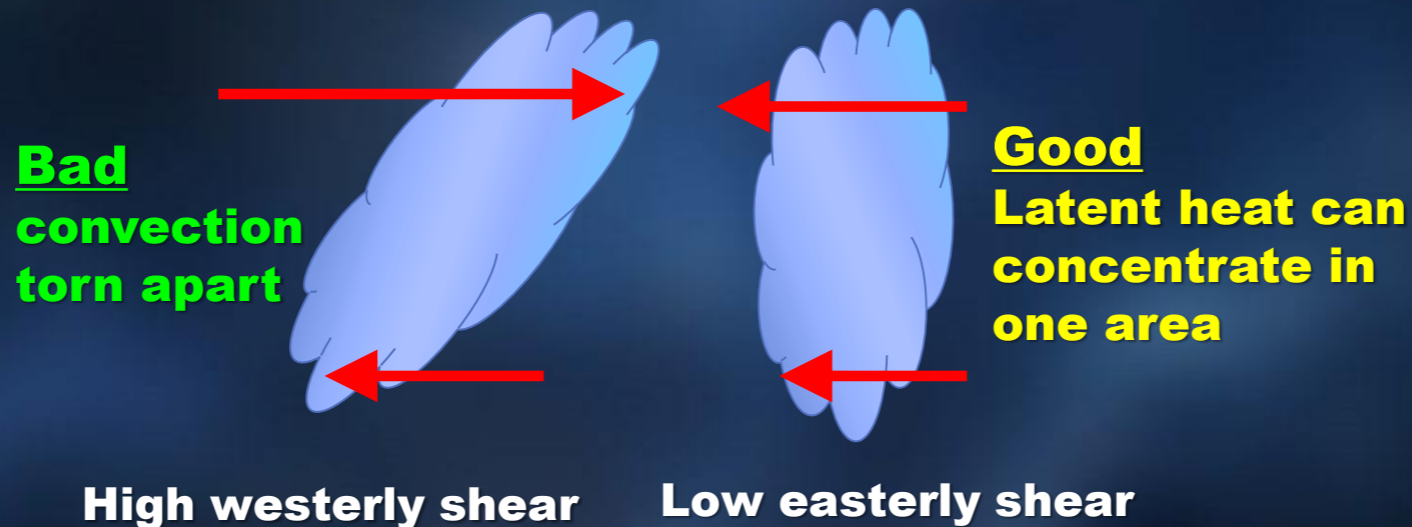


## ● 环境大气与台风的相互作用

### ✓ 环境风垂直切变 ( **Environmental Vertical Wind Shear** )

#### • 定义

Wind shear is defined as the wind vector difference between the 850 and 200mb level (arbitrary)

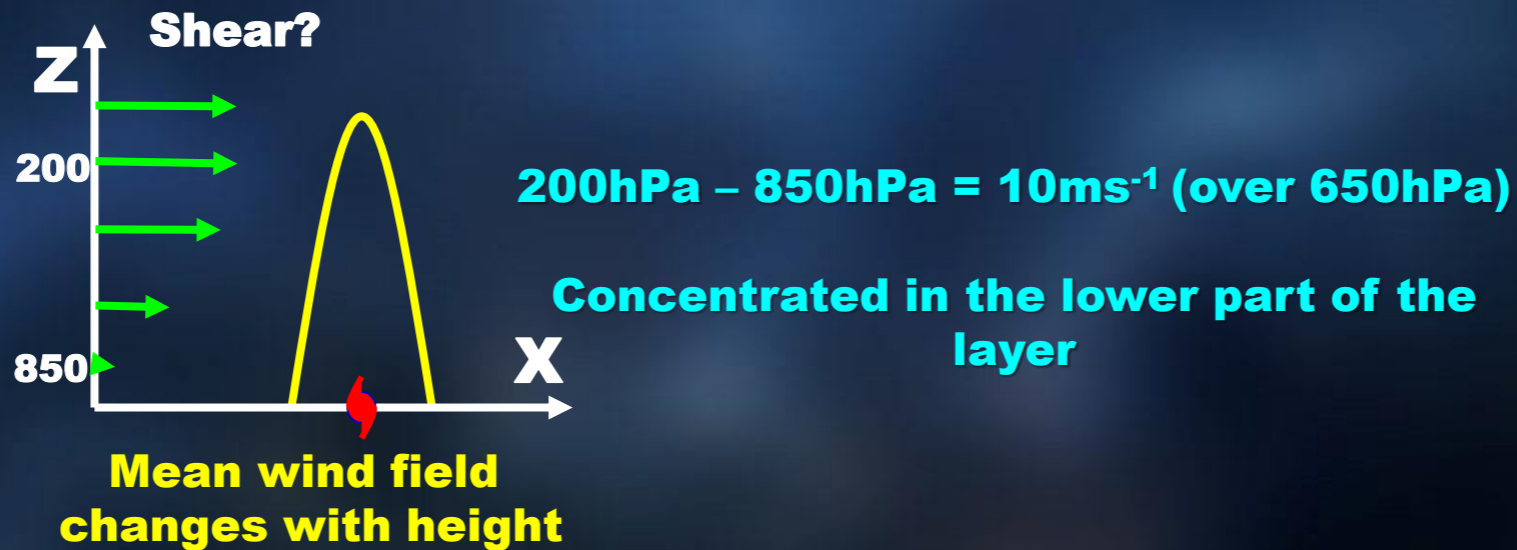
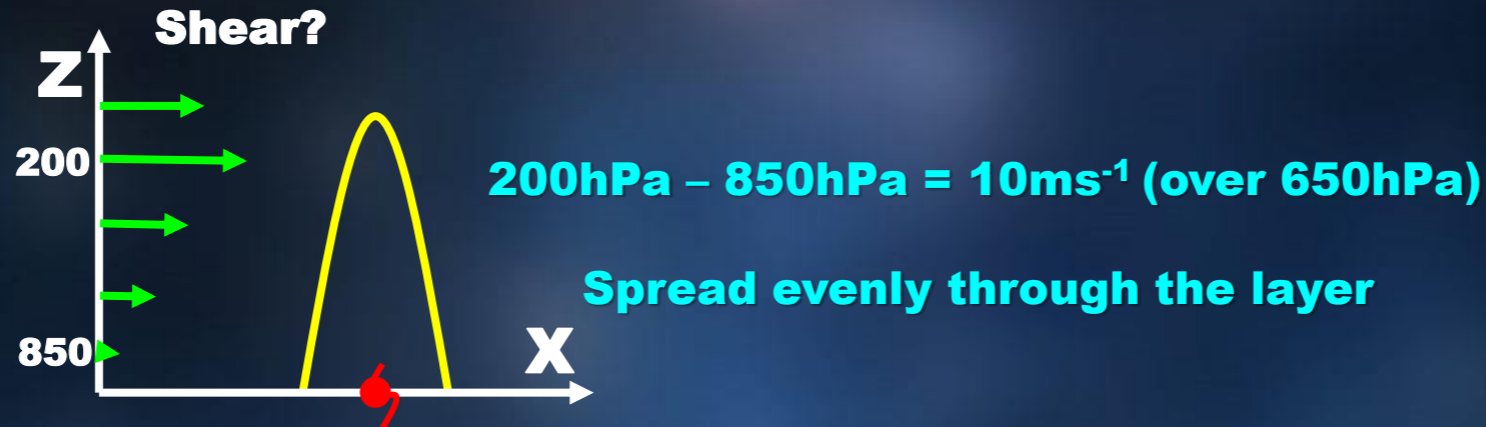


In general, low values (< 20kt) of vertical wind shear are desired.

# ● 环境大气与台风的相互作用

## ✓ 环境风垂直切变 ( Environmental Vertical Wind Shear )

What is an appropriate measure of shear?



## ● 环境大气与台风的相互作用

### ✓ 环境风垂直切变 ( Environmental Vertical Wind Shear )

#### • 环境垂直切变计算方法

以台风所在位置为中心,  $10^{\circ} \times 10^{\circ}$  ( 或  $8^{\circ} \times 8^{\circ}$  ) 的正方形网格, 分别在850hPa和200hPa两层上计算网格内所有格点在该层环境风场的风速平均值

$$Shrd = \sqrt{(u_{200} - u_{850})^2 + (v_{200} - v_{850})^2}$$

其中, ***Shrd*** 代表环境风垂直切变,

**$u_{200}$**  表示200hPa 等压面上纬向风速

**$u_{850}$**  表示850hPa 等压面上纬向风速

**$v_{200}$**  表示200hPa 等压面上经向风速

**$v_{850}$**  表示850hPa 等压面上经向风速

## ● 环境大气与台风的相互作用

### ✓ 环境垂直切变对台风强度的影响

- 环境垂直切变与台风强度变化之间存在着明显线性相关，一定程度上可以透过环境垂直切变倾向大小来识别台风的强度变化
- 大尺度环境风场强垂直切变是台风发育成长的杀手
  - ① 使胚胎或扰动时期的暖核减弱消散而不能形成
  - ② 使成熟台风暖核遭到破坏而强度减弱

## ● 环境大气与台风的相互作用

### ✓ 环境垂直切变对台风强度的影响

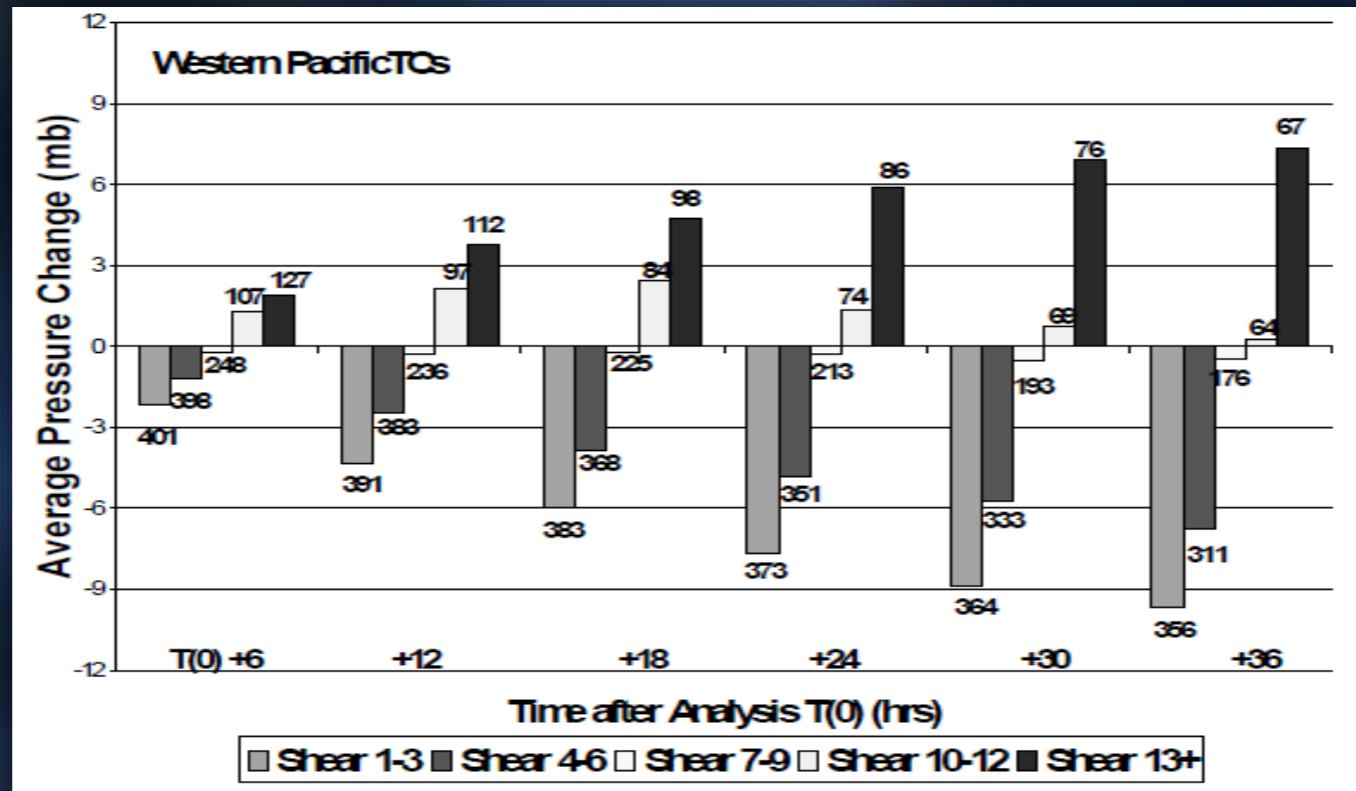
- 环境垂直切变与台风强度变化之间常常出现不一致的情况，这与台风实际强度（**MSLP**）和热力动力环境（如**MPI**）等因素有关
- 相同环境垂直切变条件下，强台风的减弱速度较慢（**Gallina and Velden 2002**）
- 尺度小的台风比尺度大的台风更可能在较小的环境垂直切变条件下减弱（**Wong and Chan 2004**）

# ● 环境大气与台风的相互作用

## ✓ 环境垂直切变对台风强度的影响

- 西北太平洋，环境垂直切变临界值约为9-10米/秒

- ① 环境垂直切变大于9-10米/秒时，一般趋于减弱
- ② 环境垂直切变小于9-10米/秒时，一般趋于加强或维持



西太平洋台风强度变化与环境风垂直切变的关系

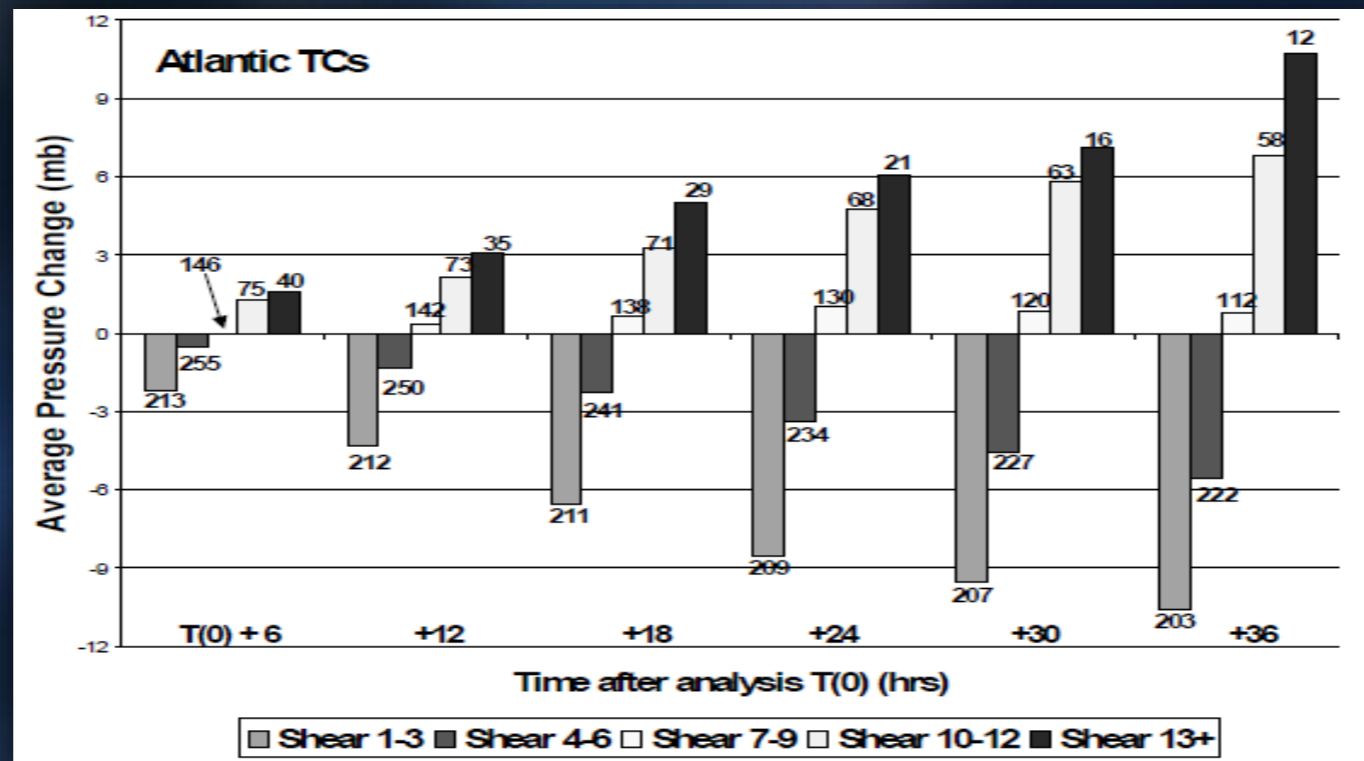
# ● 环境大气与台风的相互作用

## ✓ 环境垂直切变对台风强度的影响

- 大西洋，环境垂直切变临界值约为7-8米/秒

- ① 环境垂直切变大于7-8米/秒时，一般趋于减弱

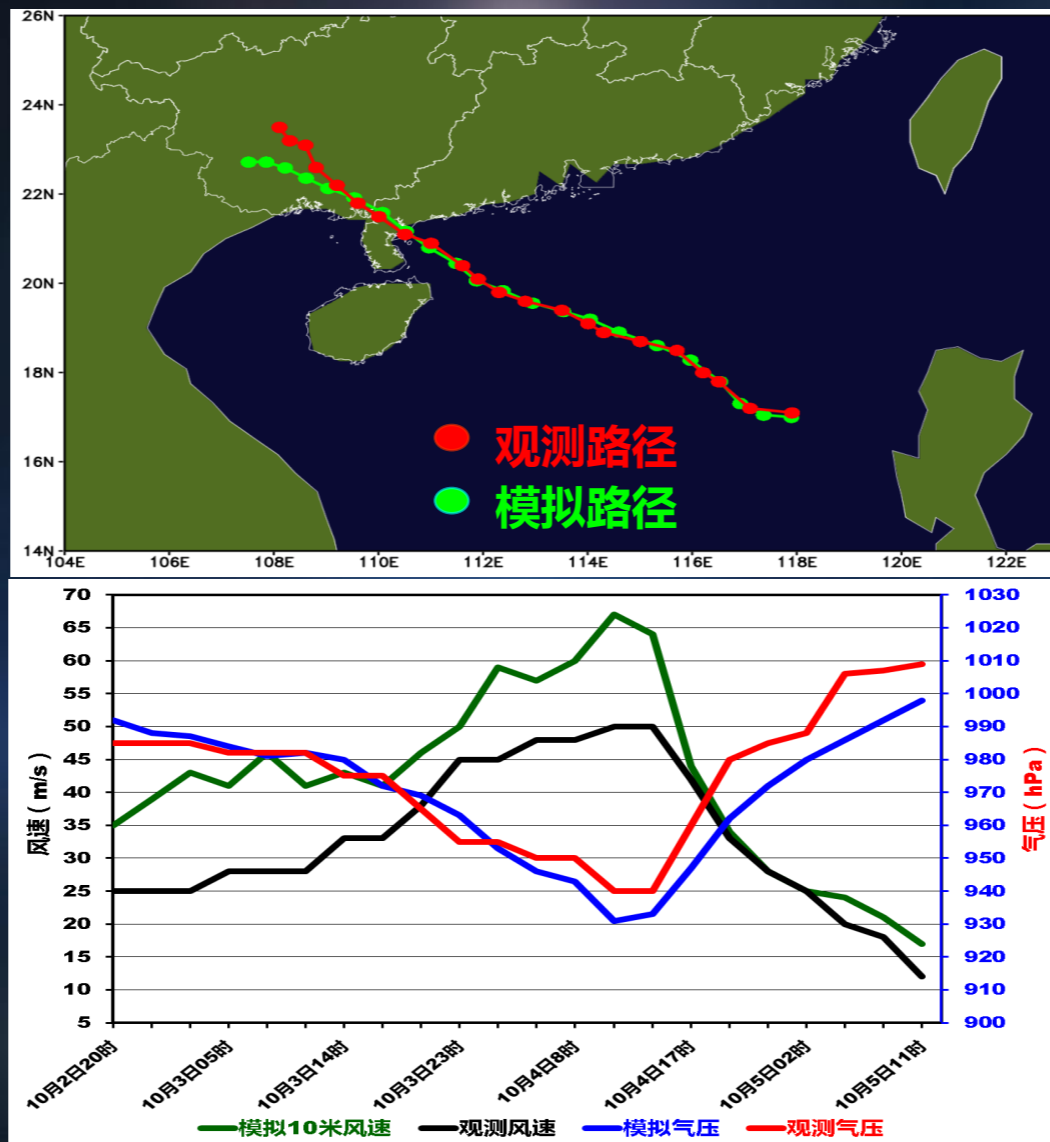
- ② 环境垂直切变小于7-8米/秒时，一般趋于加强或维持



北大西洋飓风强度变化与环境风垂直切变的关系

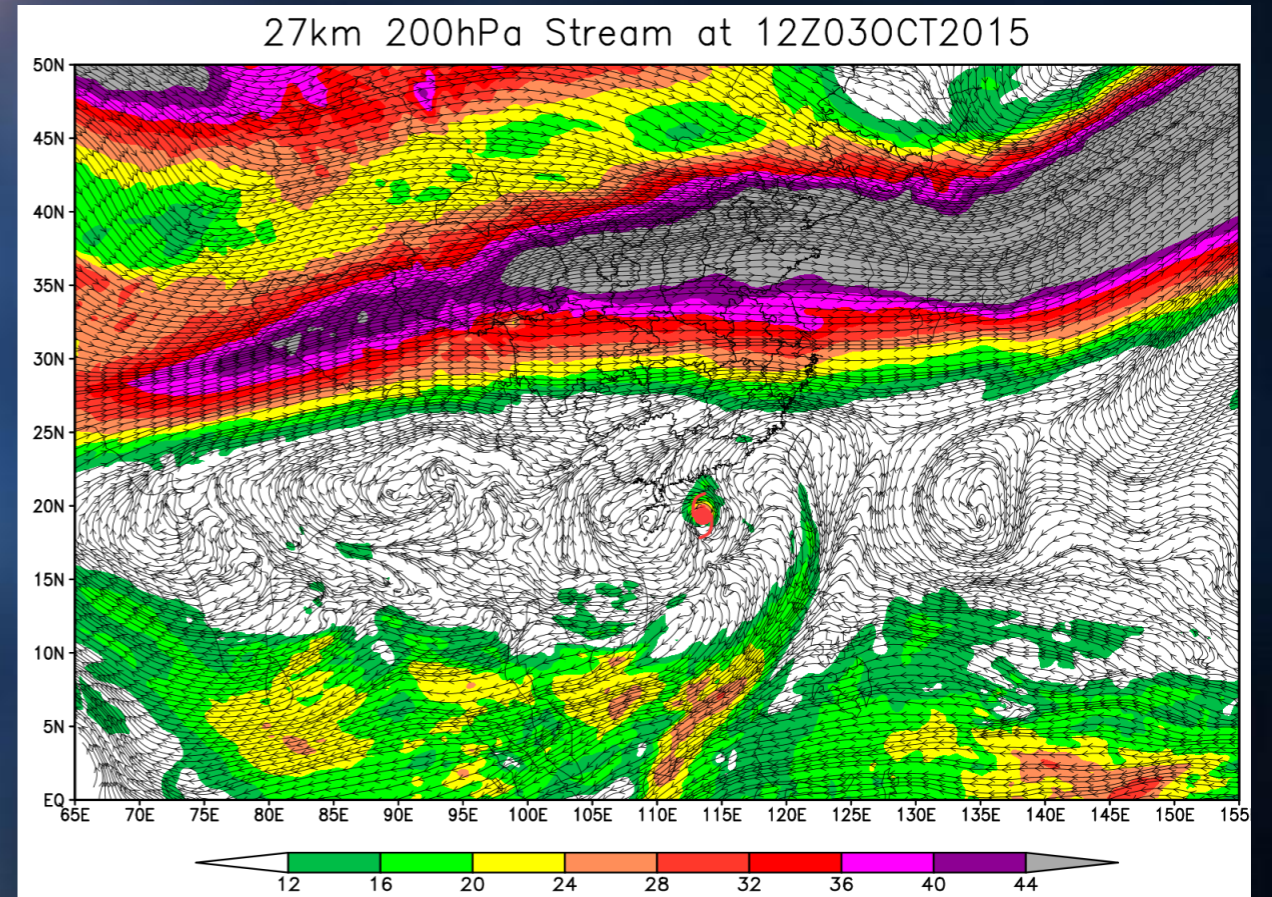
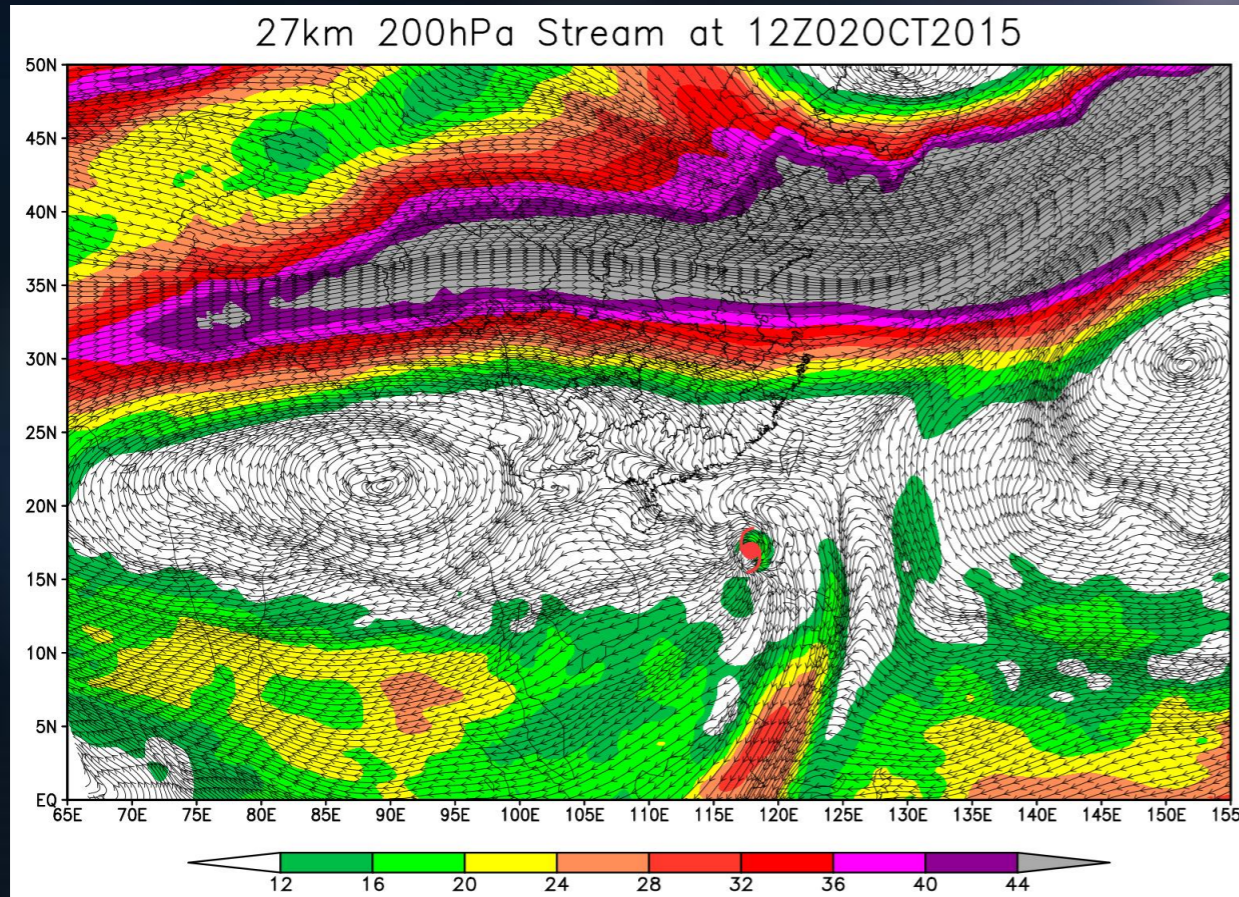
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 环境垂直切变对台风强度的影响 --- 1522号台风“彩虹”数值模拟结果



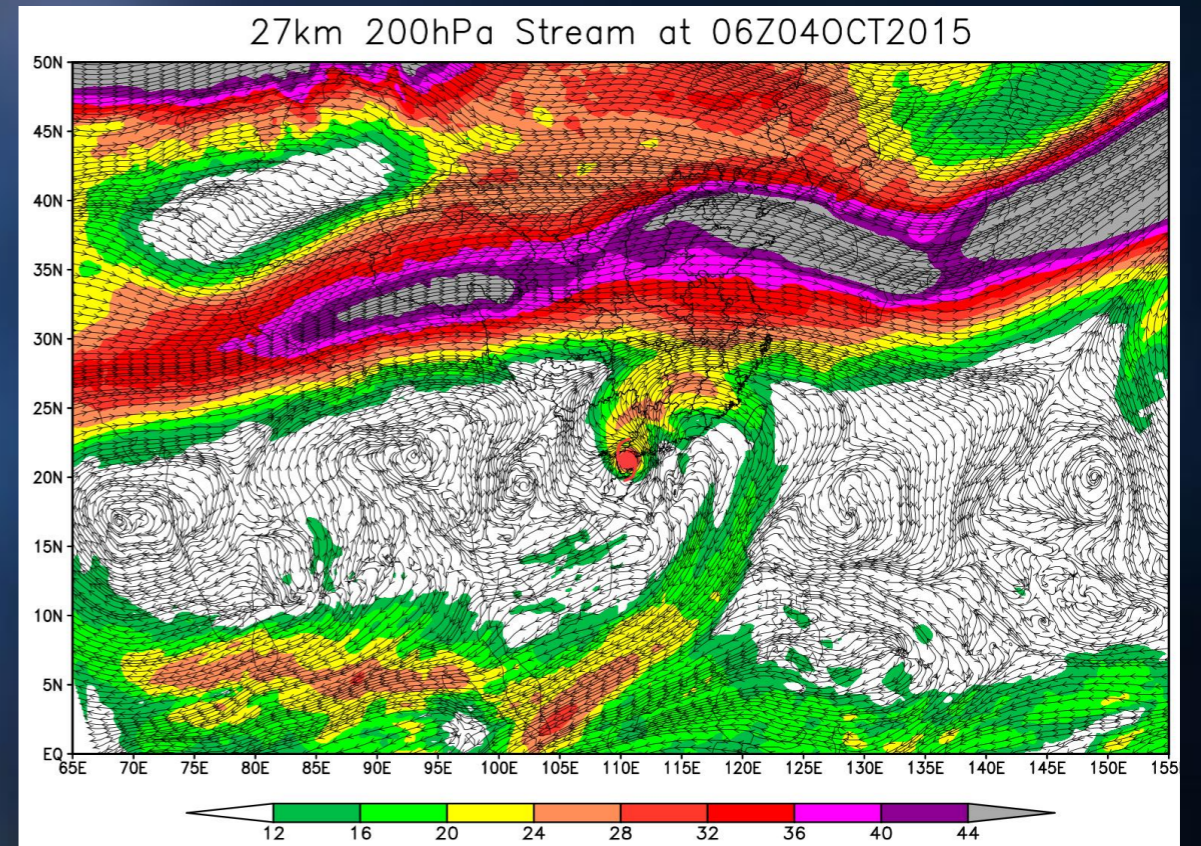
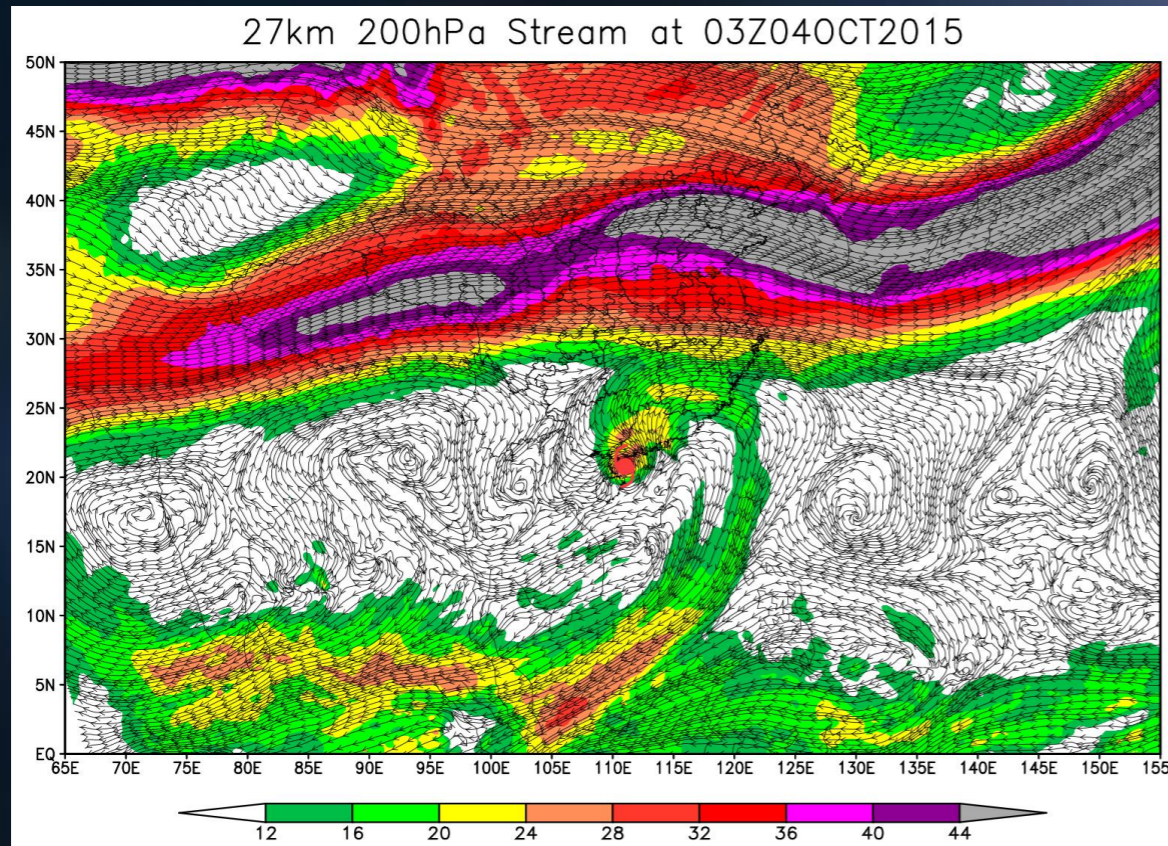
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 环境垂直切变对台风强度的影响 -- 1522号台风“彩虹”数值模拟结果



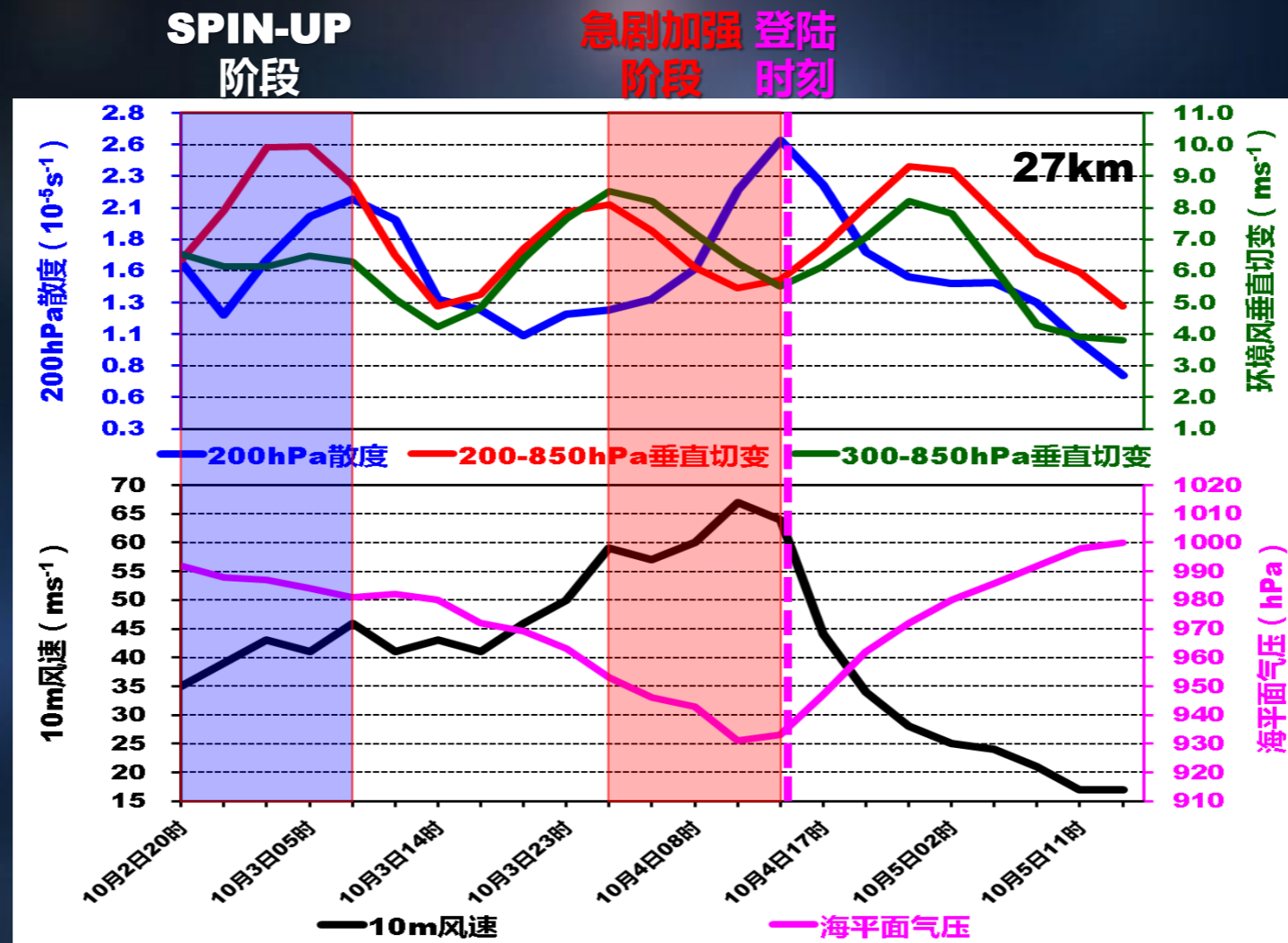
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 环境垂直切变对台风强度的影响 -- 1522号台风“彩虹”数值模拟结果



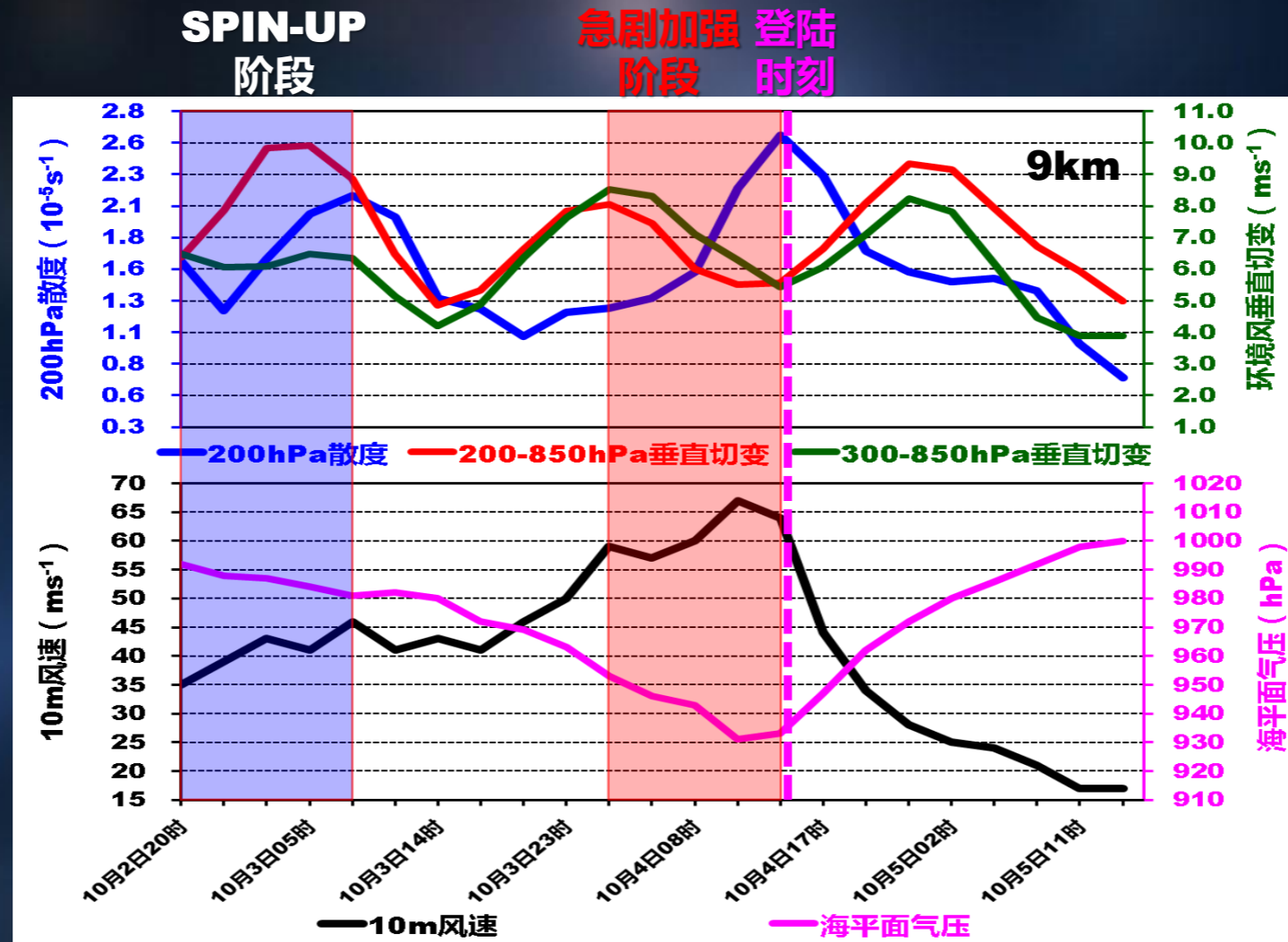
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 环境垂直切变对台风强度的影响 -- 1522号台风“彩虹”数值模拟结果诊断分析



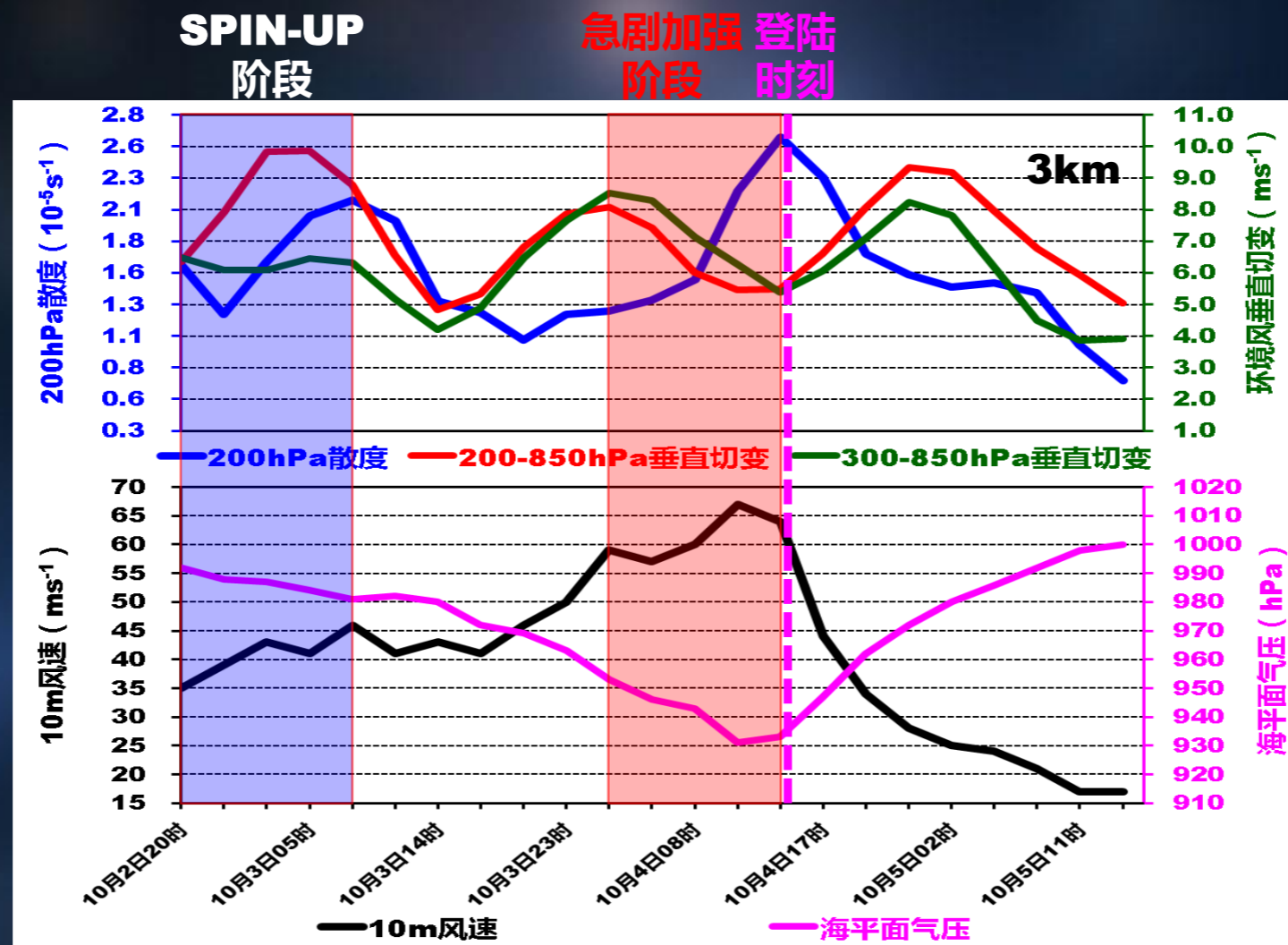
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 环境垂直切变对台风强度的影响 -- 1522号台风“彩虹”数值模拟结果诊断分析



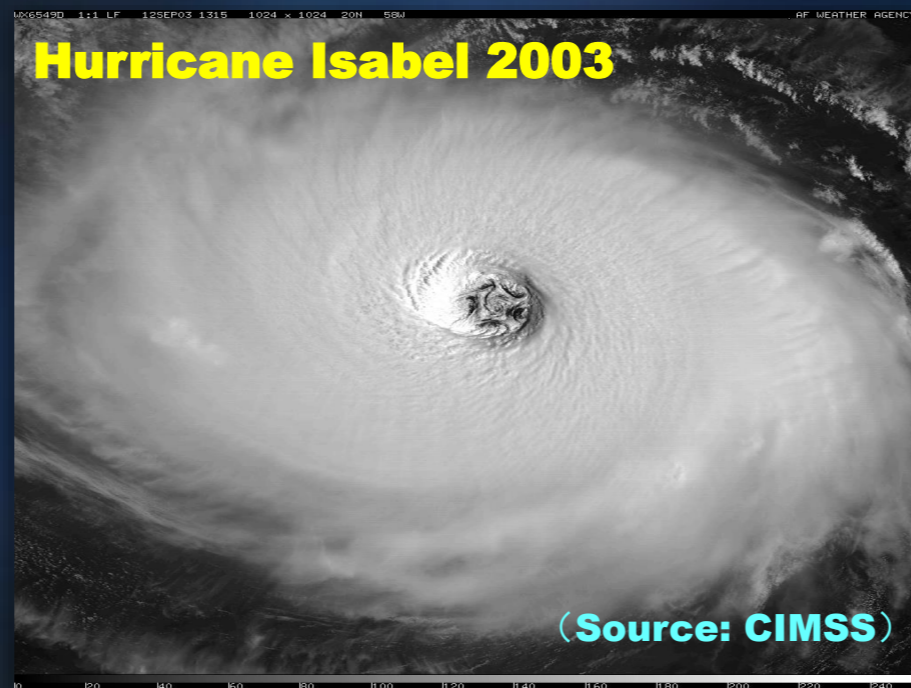
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 环境垂直切变对台风强度的影响 -- 1522号台风“彩虹”数值模拟结果诊断分析



## ● 台风与中尺度系统的相互作用

- ✓ 台风环流内可以有中尺度小涡发展，也可产生小尺度系统如龙卷
- ✓ 统计表明，台风中的龙卷多出现在其前右象限，但其它象限也时有发生
- ✓ 台风中的中尺度小涡可以发生在螺旋雨带中或出现在内核对流环的眼墙上



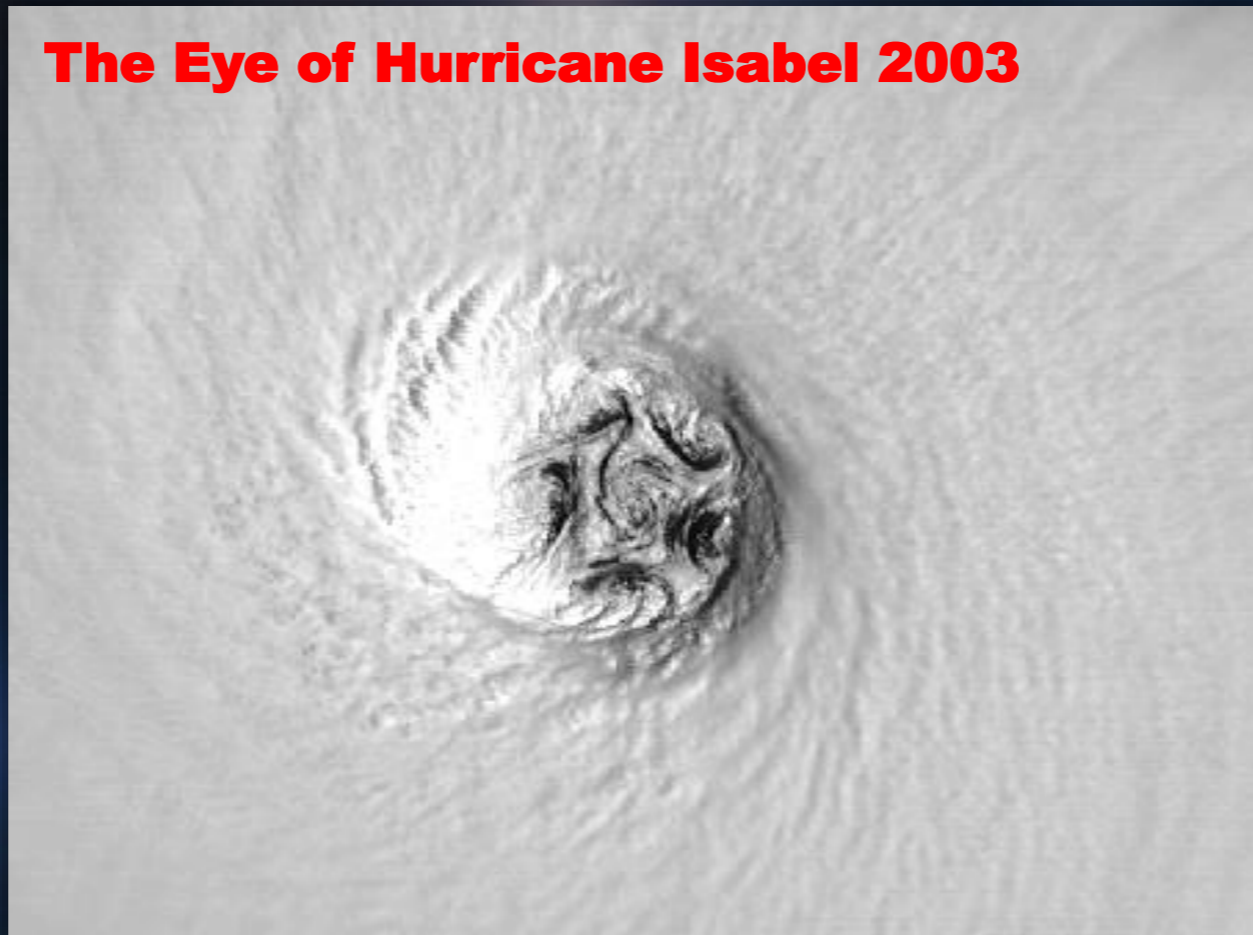
## ● 台风与中尺度系统的相互作用

### ✓ 中小尺度对流系统发展、合并均对台风强度产生影响

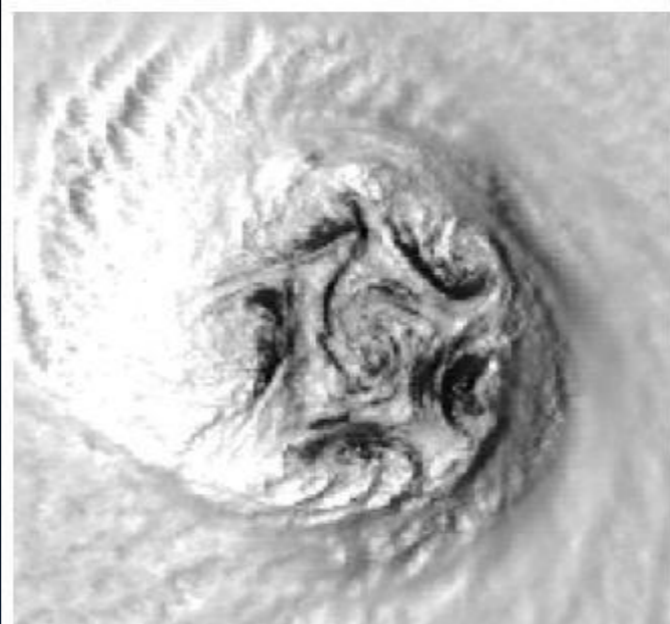
- 中尺度系统会在台风环流内吸取台风能量得以成长，有的会向台风提供能量而衰亡
- 当台风环流吸收了环境中尺度系统后，台风强度会急速加强
- 数值试验表明，当中尺度小涡并入台风环流或被台风所吸收，台风将会剧烈加强
- 当中尺度云团（**Cloud cluster**）并入台风或被台风环流所吸收，也会导致台风的急速发展

- 台风与中尺度系统的相互作用

**The Eye of Hurricane Isabel 2003**



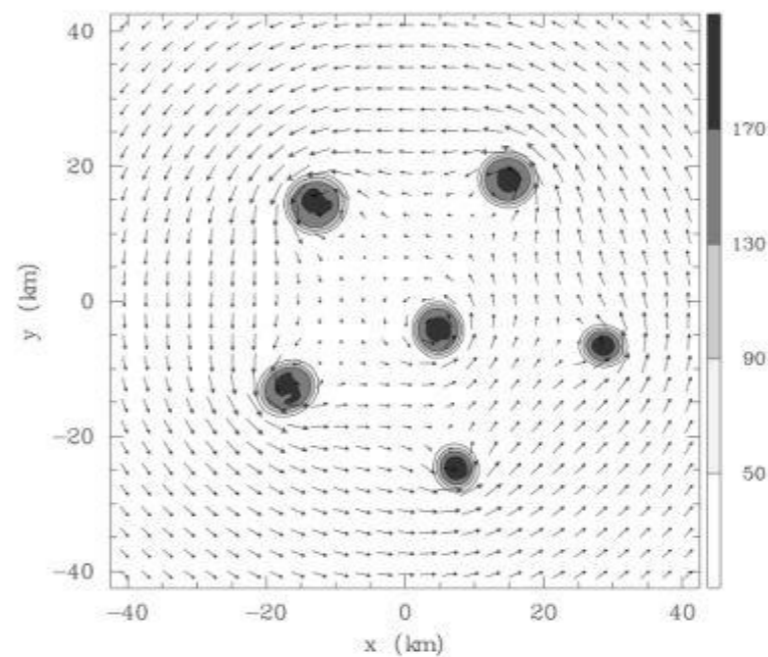
# ● 台风与中尺度系统的相互作用



DMSP image of Isabel on 12 September



Vorticity and wind vectors from the numerical experiment →



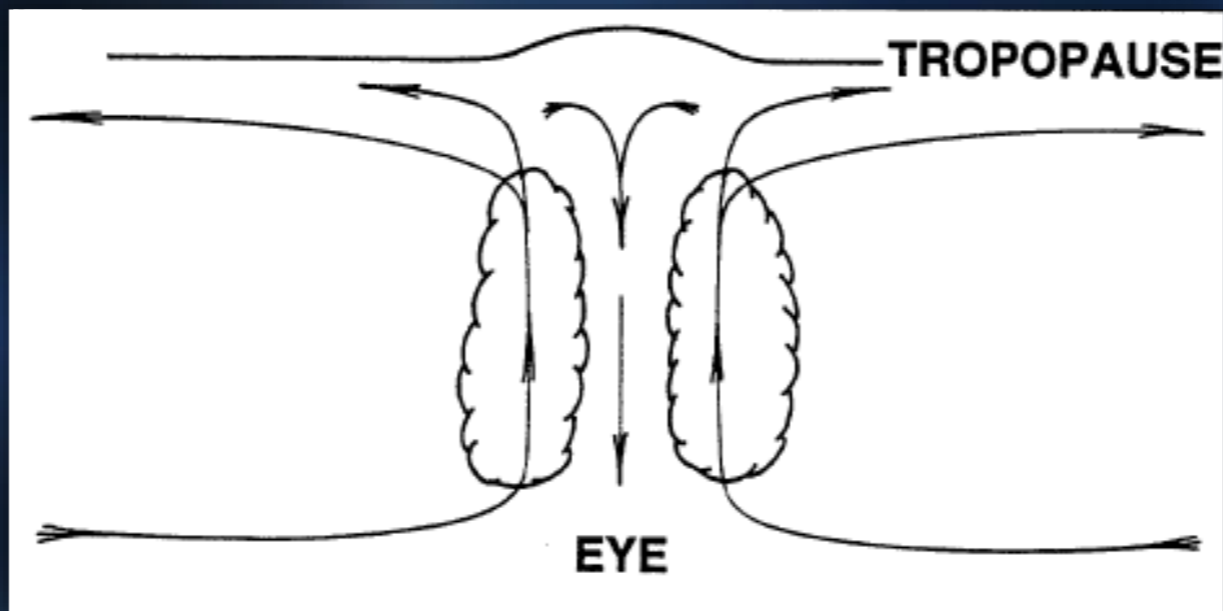
## 6.4 台风强度综合预报方法



# 台风强度综合预报方法

- **高层反气旋流场 --- Upper-level Anticyclone**

- ✓ 从大尺度来看，台风在眼区周围低层水平辐合形成大量的上升运动，在高层辐散流出，因而高层的流出结构及其强弱对台风强弱有很直接的关系

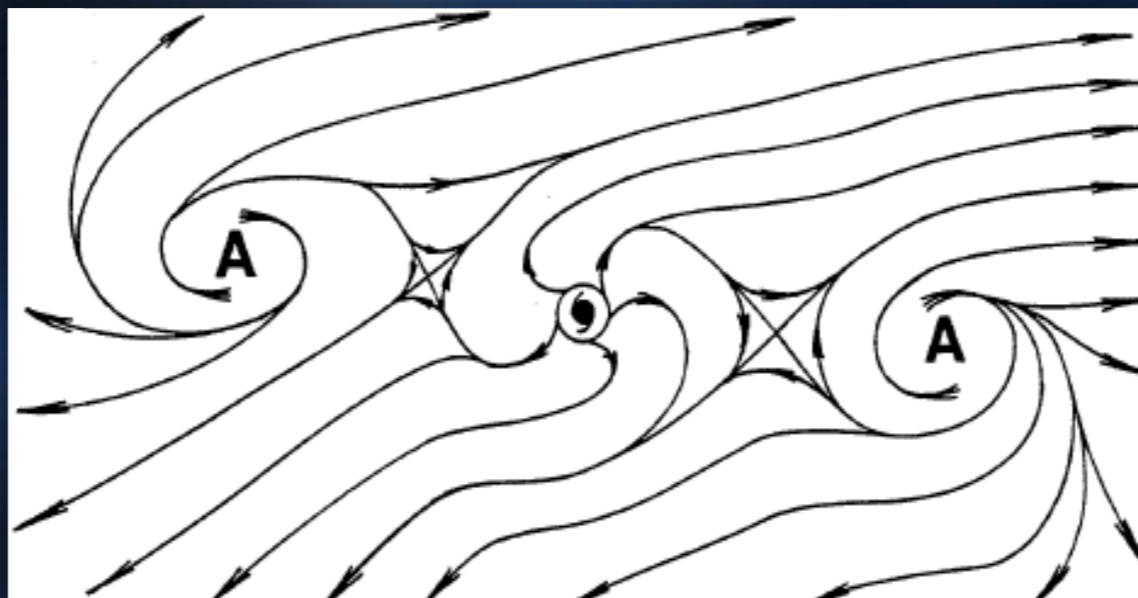


台风垂直流场

# 台风强度综合预报方法

- 高层反气旋流场 --- Upper-level Anticyclone

- ✓ 台风上空对流层高层**200hPa**或**150/250hPa**上有无明显的辐散气流是台风能否继续发展的重要标志



台风高层流场

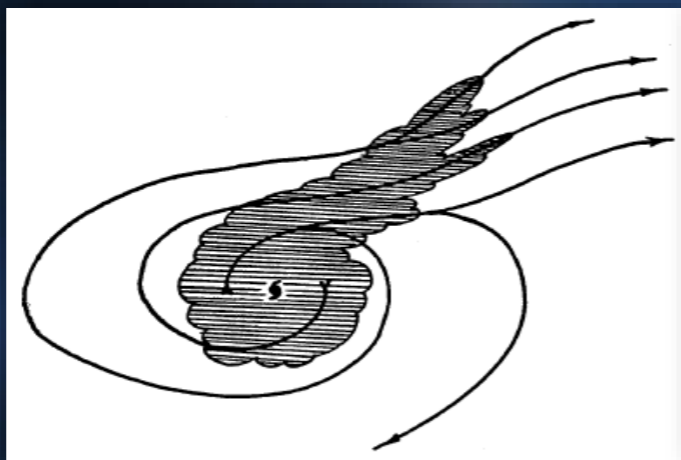
# 台风强度综合预报方法

## ● 高层反气旋流场 --- Upper-level Anticyclone

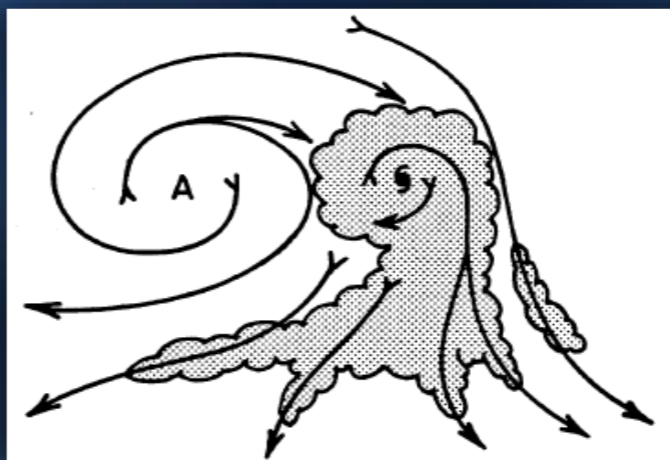
✓ 台风高层反气旋流场的不同分布决定了台风高层的辐散的大小

• 高层反气旋的配置类型

### ① 单通道流型配置



极向单流出通道  
Single-channel  
Poleward Outflow



赤道单流出通道  
Single-channel  
Equatorward Outflow

# 台风强度综合预报方法

## ● 高层反气旋流场 --- Upper-level Anticyclone

✓ 台风高层反气旋流场的不同分布决定了台风高层的辐散的大小

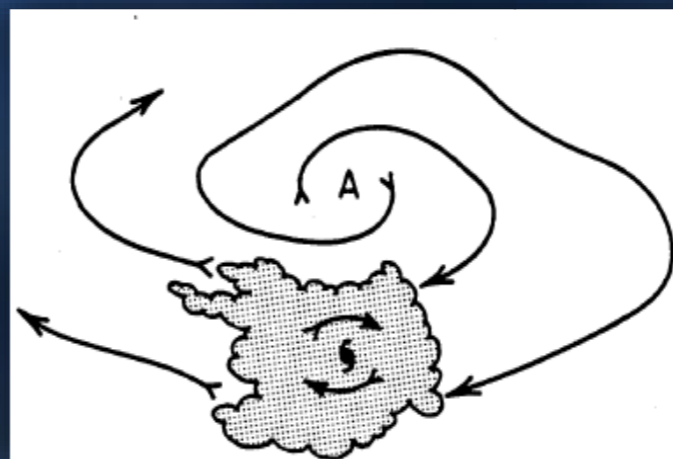
• 高层反气旋的配置类型

② 双通道流出配置

③ 无流出配置



双流出通道结构  
Dual-channel Outflow



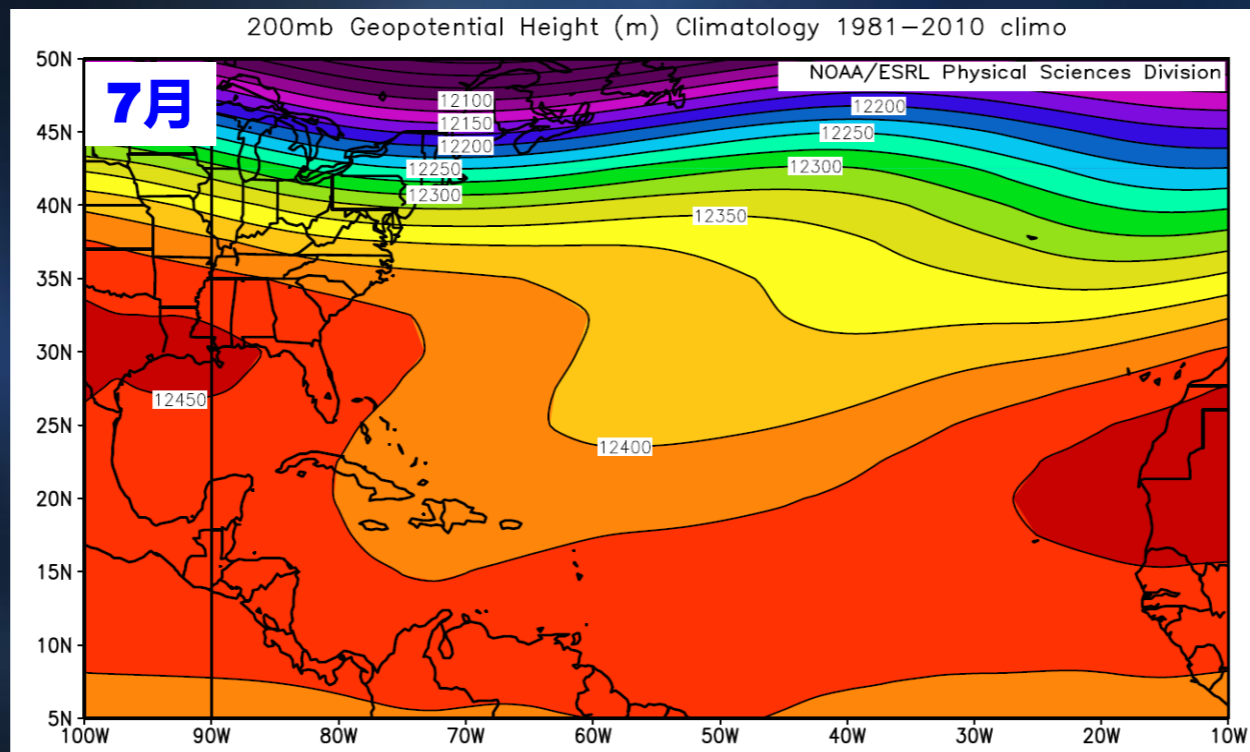
无流出通道  
No Outflow Channel

# 台风强度综合预报方法

- 热带高层对流层槽

**Tropical Upper Tropospheric Trough , TUTT**

- ✓ 夏季（暖季）形成于北太平洋中部和北大西洋中部热带地区对流层上部的低压槽，  
又称大洋中部槽



# 台风强度综合预报方法

## ● 海温 ( SST )

- ✓ **26°C海温是台风生成的最起码的条件之一**
- ✓ **海温越高，能导致从海洋向大气输送更多水汽和热量通量，对台风强度发展有利**
- ✓ **海温高于28.5°C可能导致台风快速加强**

## ● 垂直切变 ( Vertical Wind Shear )

- ✓ **一般来说，弱环境场水平风高低层垂直切变有利于台风加强，反之则对台风的加强不利**

# 台风强度综合预报方法

- **海温 ( SST )**

- ✓ **26°C海温是台风生成的最起码的条件之一**
- ✓ **海温越高，能导致从海洋向大气输送更多水汽和热量通量，对台风强度发展有利**
- ✓ **海温高于28.5°C可能导致台风快速加强**

# 台风强度综合预报方法

- **垂直切变 ( Vertical Wind Shear )**

- ✓ 一般来说，弱环境场水平风高低层垂直切变有利于台风加强，反之则对台风的加强不利

# 台风强度综合预报方法

- **低层辐合 ( Low-level Convergence )**
  - ✓ 低层辐合对台风加强比较有利
  - ✓ 热带辐合带 ( **ITCZ** ) 是一条具备较大低层辐合的东西带状区域，热带辐合带上可先后有多个台风生成

# 台风强度综合预报方法

- **低层气旋性环流 ( Low-level Circulation )**
  - ✓ 台风移到低层气旋性环流区域时强度可能加强
  - ✓ 西南季风的存在，菲律宾以东和南海海域常维持季风槽，季风槽附近台风生成几率较大，季风槽中的台风能得到水汽和动量输送，有利强度发展

# 台风强度综合预报方法

- **积云对流** ( **Cumulus Convection** )
  - ✓ 积云对流增强有利于台风增强
  - ✓ **TC**对流云团的组织化也有利于**TC**增强
  - ✓ 中心云团对称化有利于台风强度维持和加强

# 台风强度综合预报方法

- **地形效应 ( Land, Coast and Mountain Effects )**

- ✓ 地形 ( 陆地、海岸线、山脉 ) 对台风强度的影响非常复杂
- ✓ 一般而言，台风登陆后其下垫面水汽明显减弱和地面摩擦效应，均会减弱，只是减弱快慢不同

- **台风变性 ( TC Transformation )**

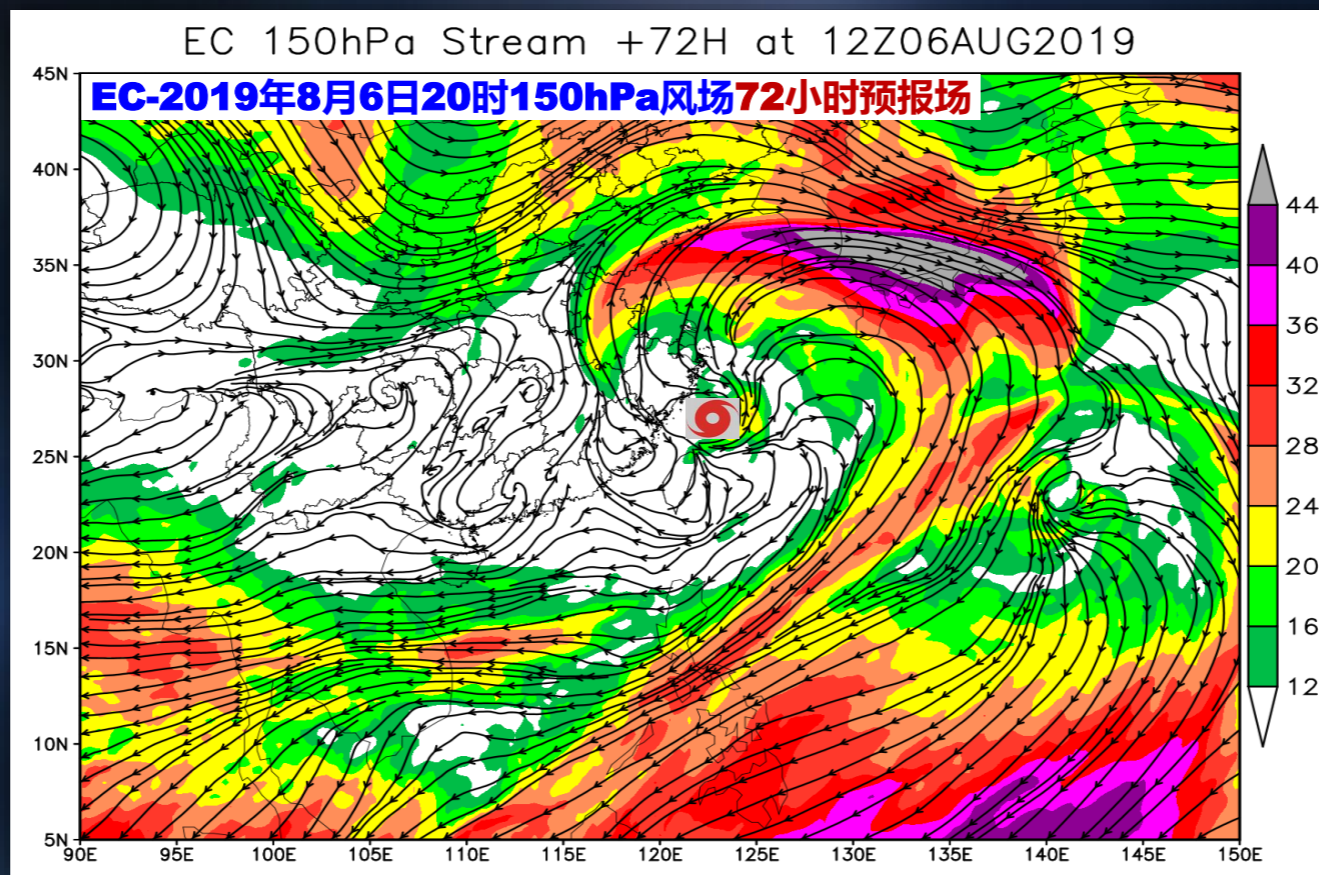
## 6.5 台风强度预报诊断



# 台风强度预报诊断

## ✓ 高层辐散流出（辐散）条件分析

- 高层流出类型、TUTT

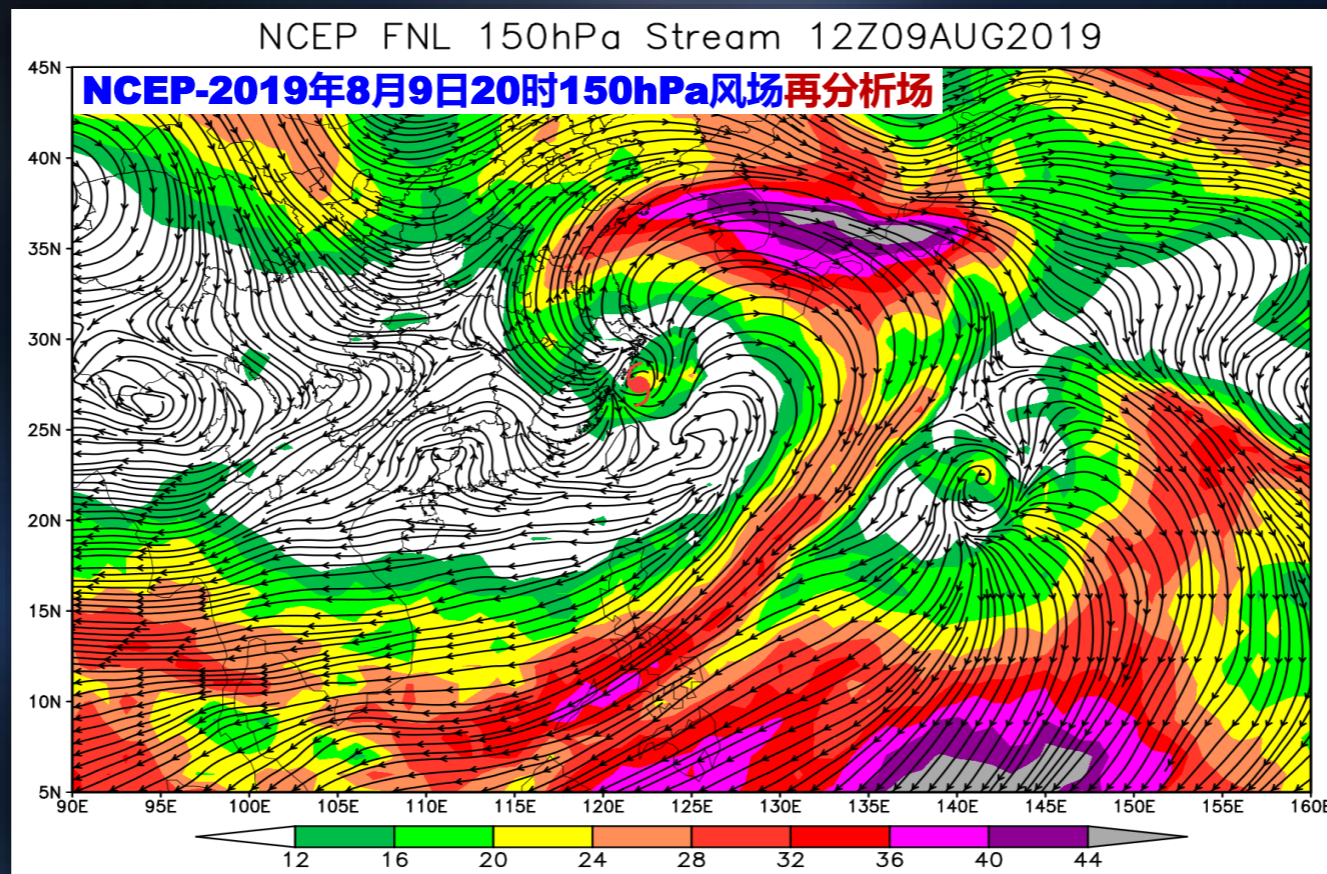


1909号超强台风“利奇马”高层辐散条件分析

# 台风强度预报诊断

## ✓ 高层辐散流出（辐散）条件分析

- 高层流出类型、TUTT

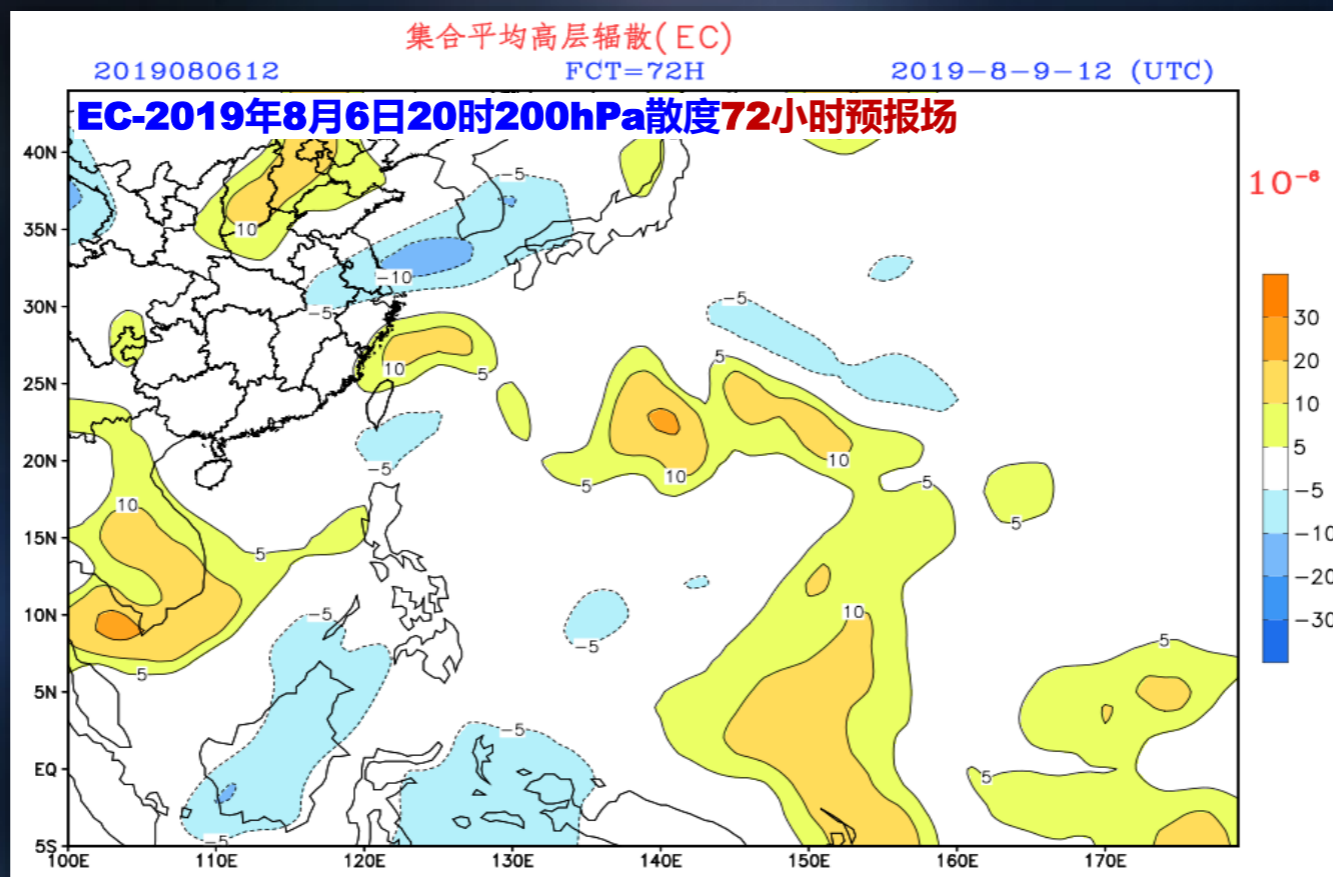


1909号超强台风“利奇马”高层辐散条件分析

# 台风强度预报诊断

## ✓ 高层辐散流出（辐散）条件分析

- 高层流出类型、TUTT

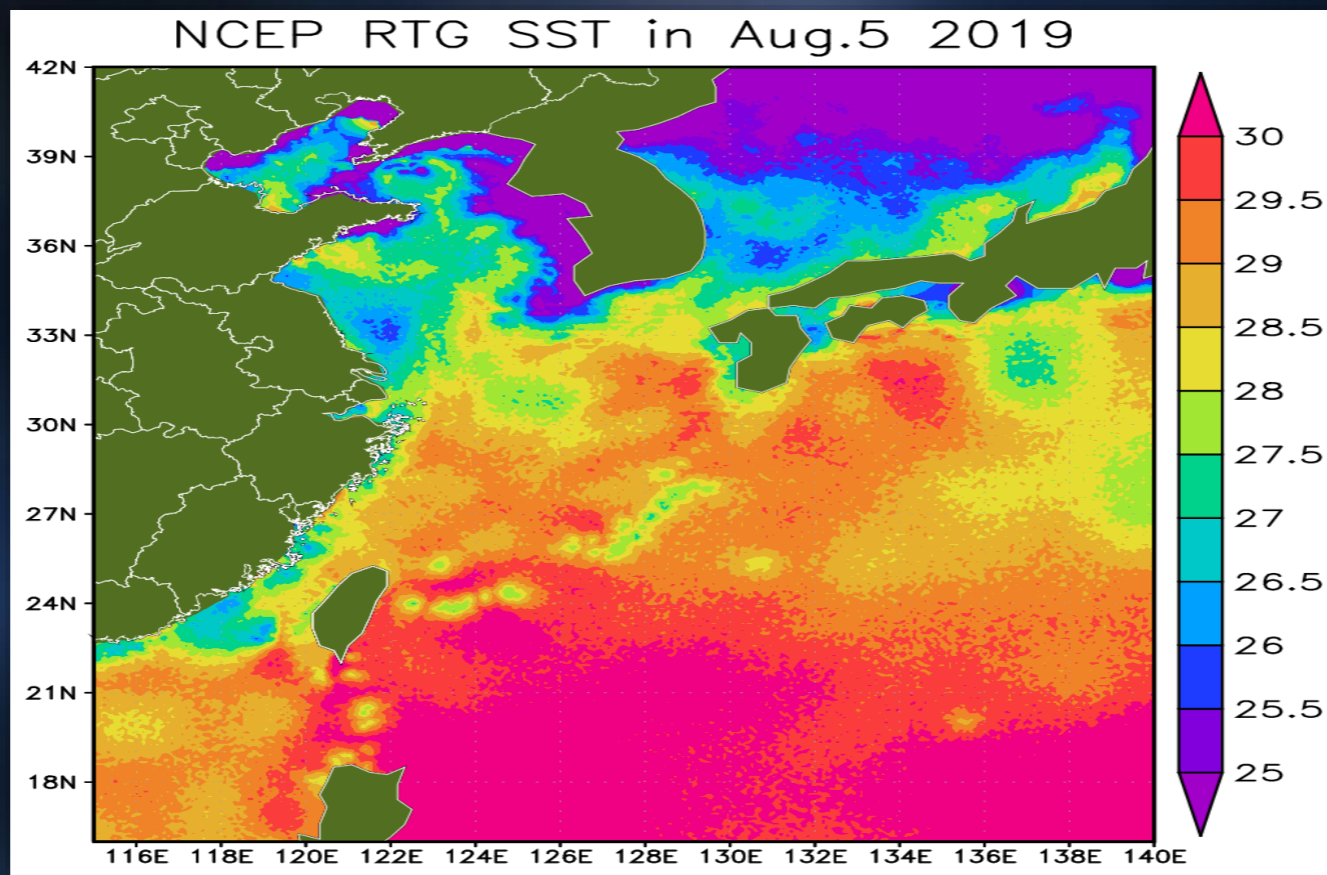


1909号超强台风“利奇马”高层辐散条件分析

# 台风强度预报诊断

## ✓ 海洋状况分析

- 海表温度、海表温度距平、海洋热容量

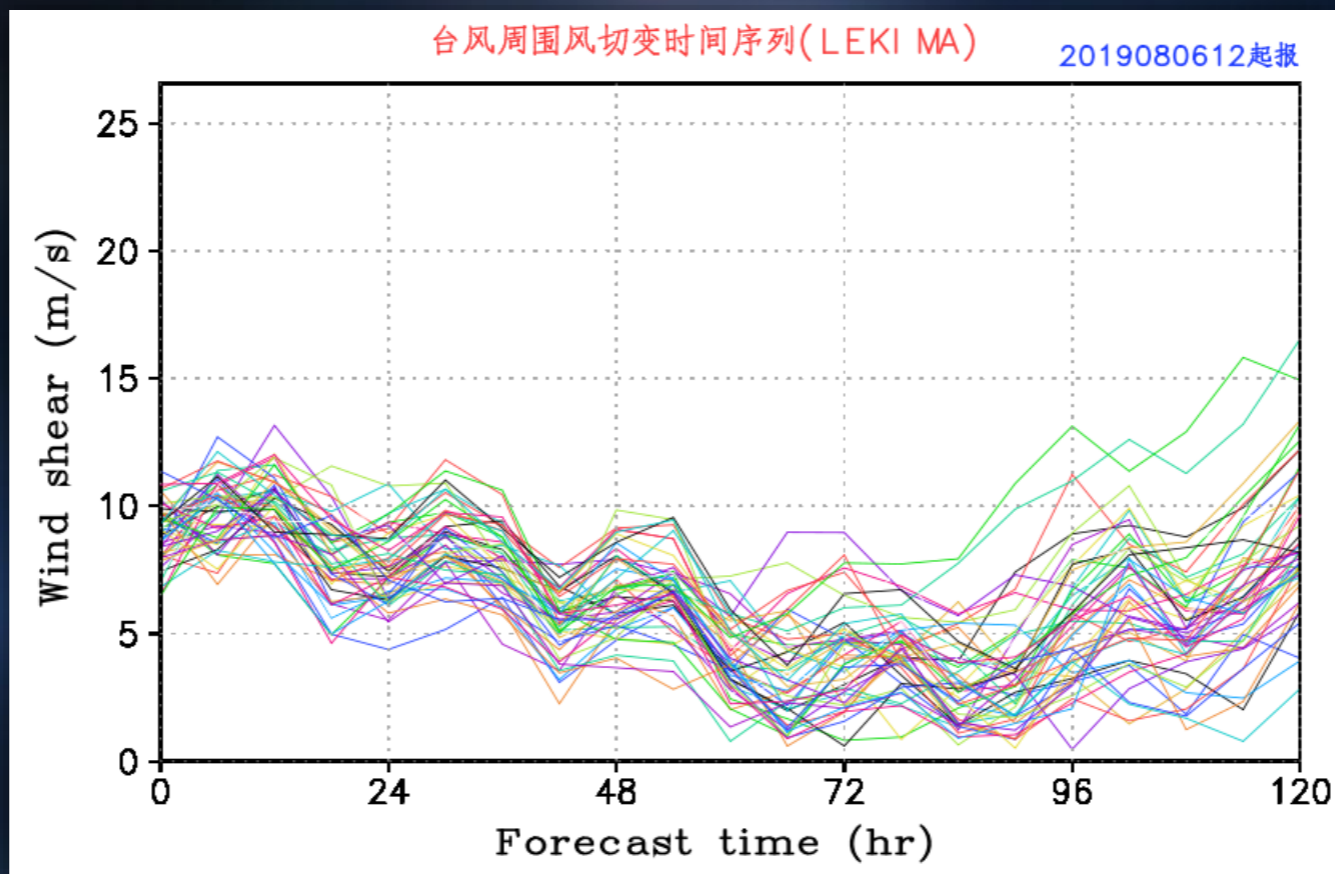


1909号超强台风“利奇马”海洋状况分析

# 台风强度预报诊断

## ✓ 环境风垂直切变条件分析

- 海表温度、海表温度距平、海洋热容量

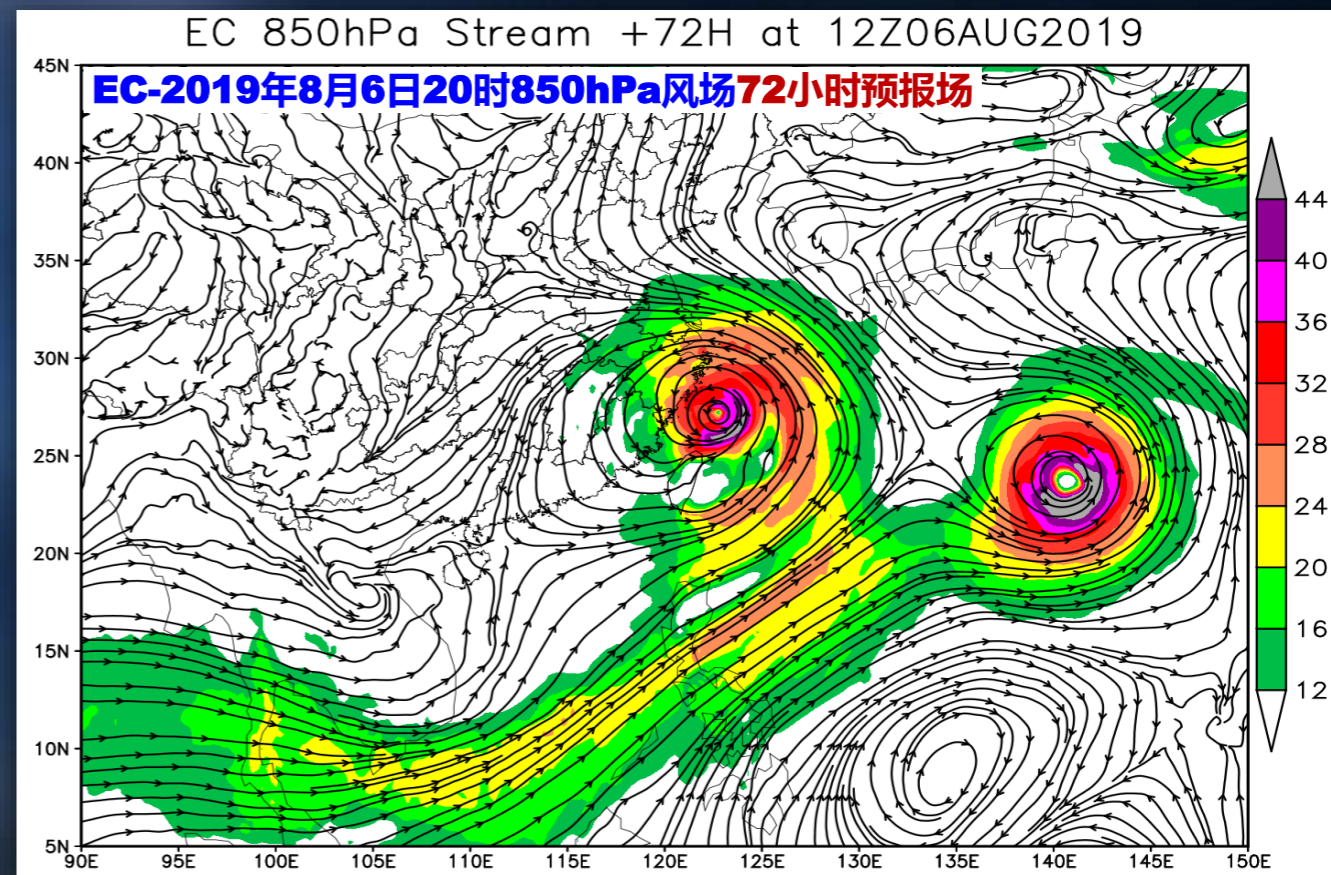
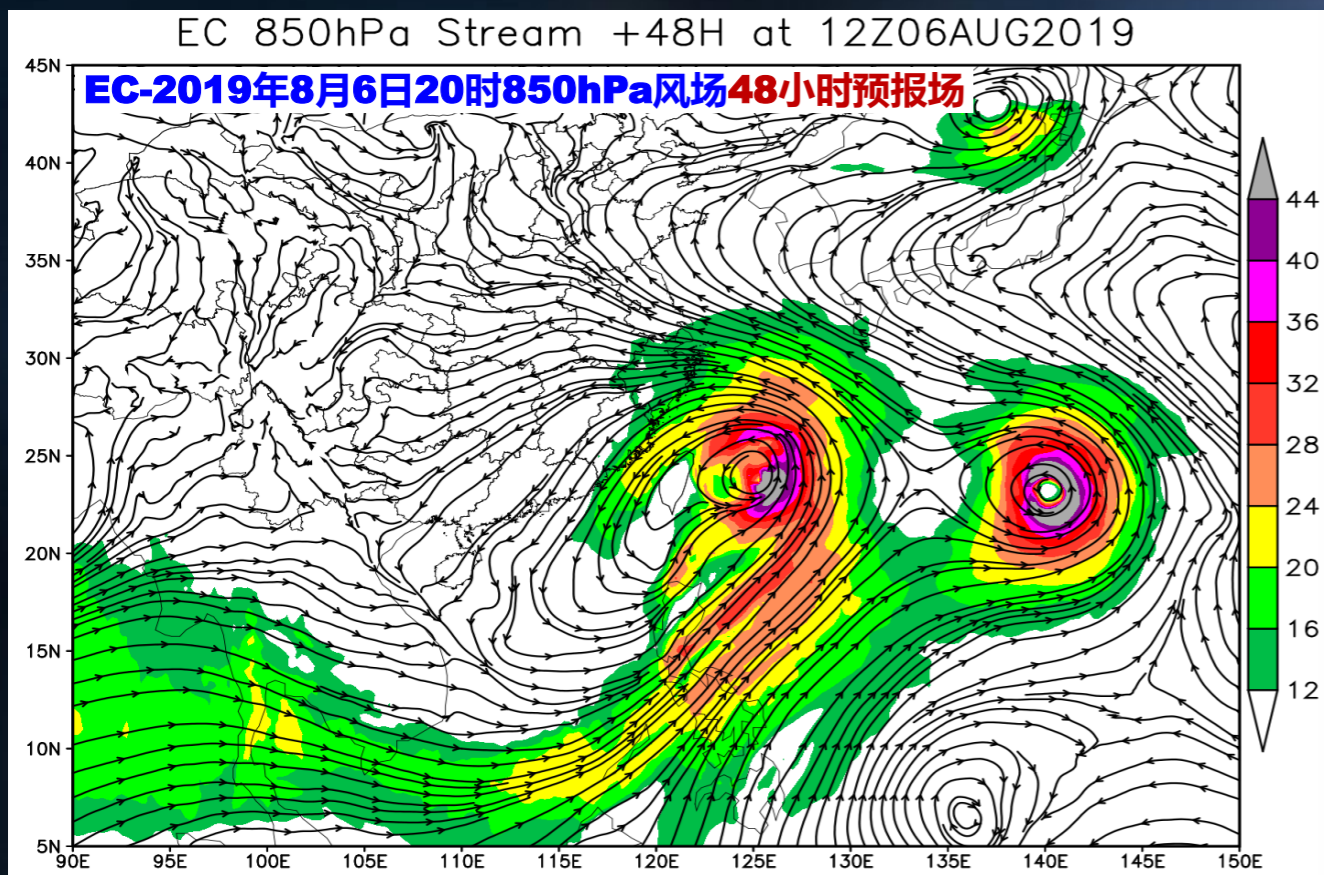


1909号超强台风“利奇马”环境风垂直切变条件分析

# 台风强度预报诊断

## ✓ 低层流入（辐合）条件分析

- 西南气流、偏东气流、东南气流
- 东北气流、偏北气流（冷空气、负贡献）



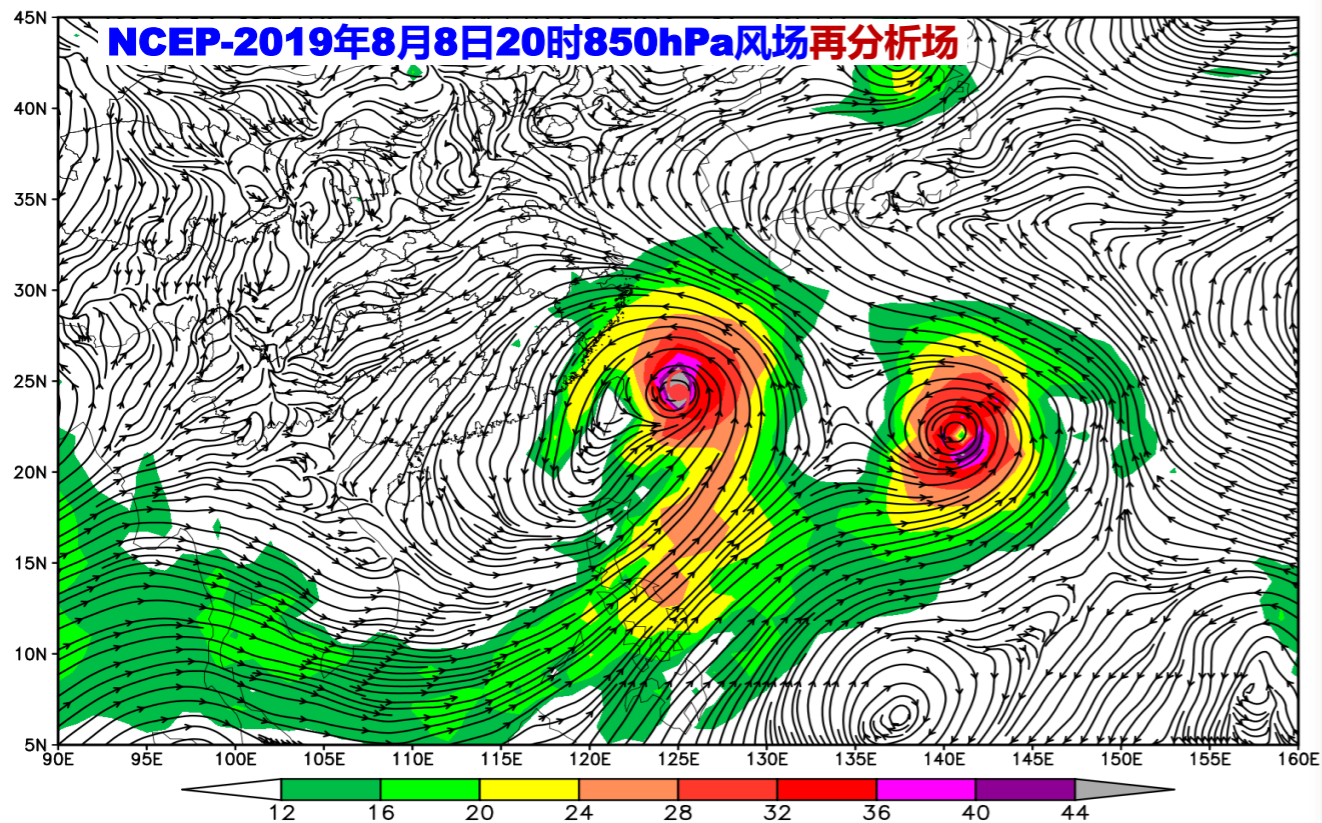
1909号超强台风“利奇马”低层流入条件分析

# 台风强度预报诊断

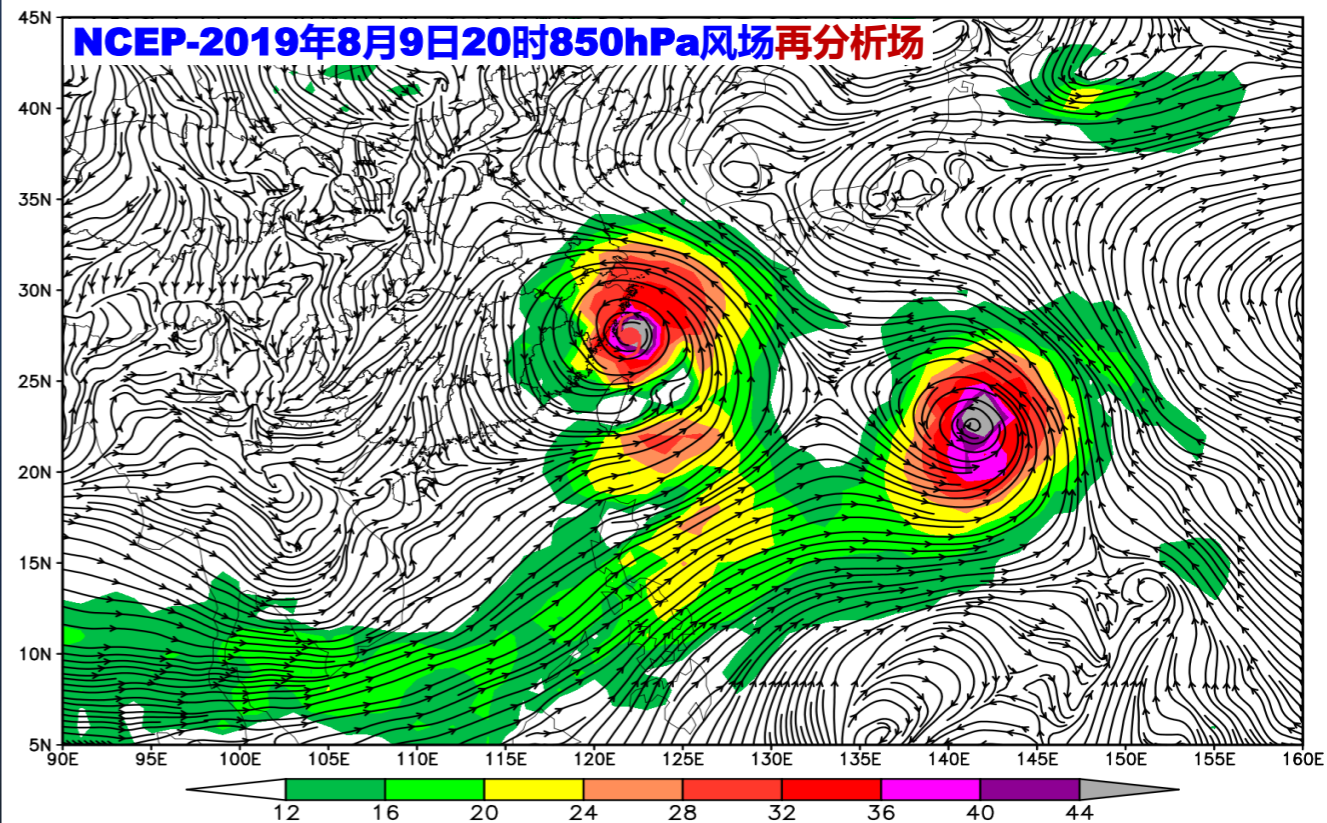
## ✓ 低层流入（辐合）条件分析

- 西南气流、偏东气流、东南气流
- 东北气流、偏北气流（冷空气、负贡献）

NCEP FNL 850hPa Stream 12Z08AUG2019



NCEP FNL 850hPa Stream 12Z09AUG2019

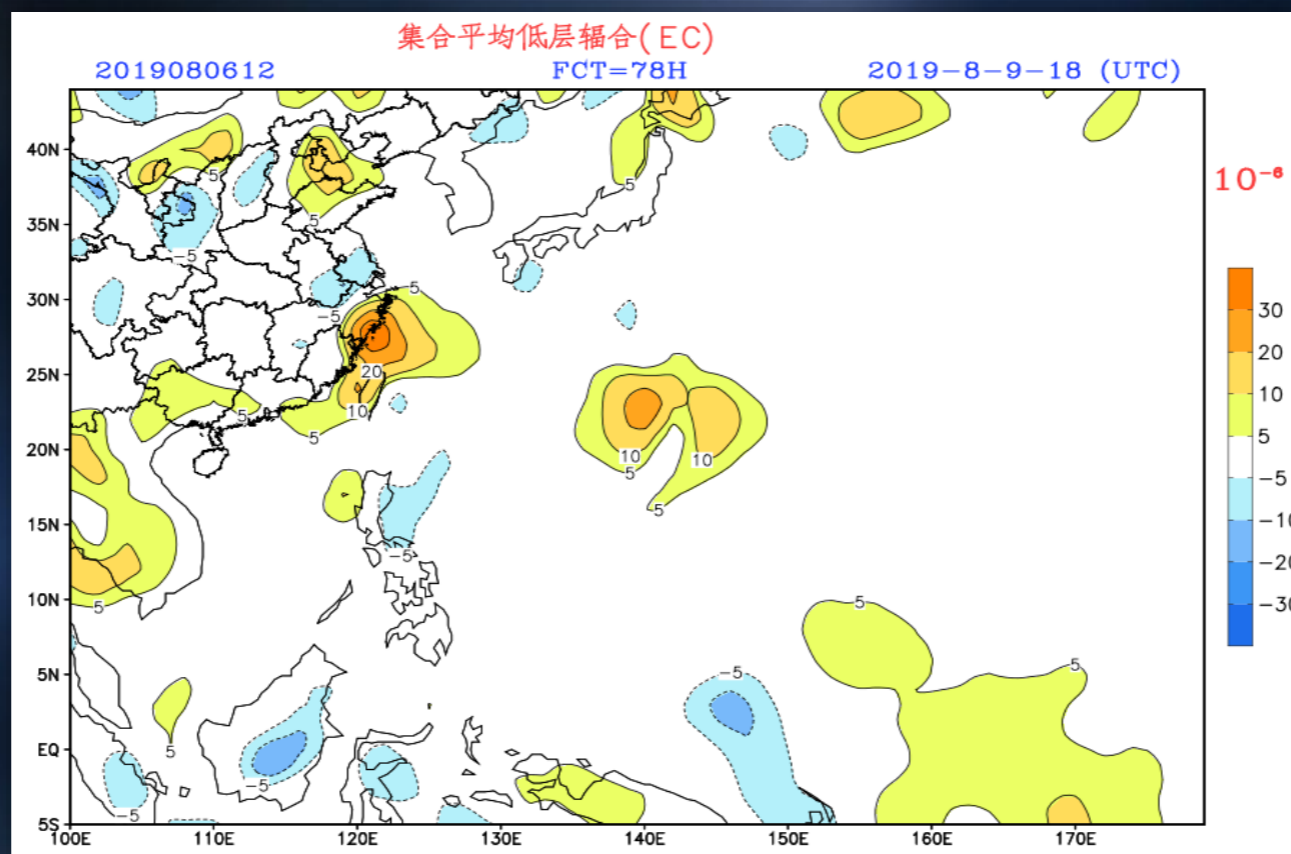


1909号超强台风“利奇马”低层流入条件分析

# 台风强度预报诊断

## ✓ 低层流入（辐合）条件分析

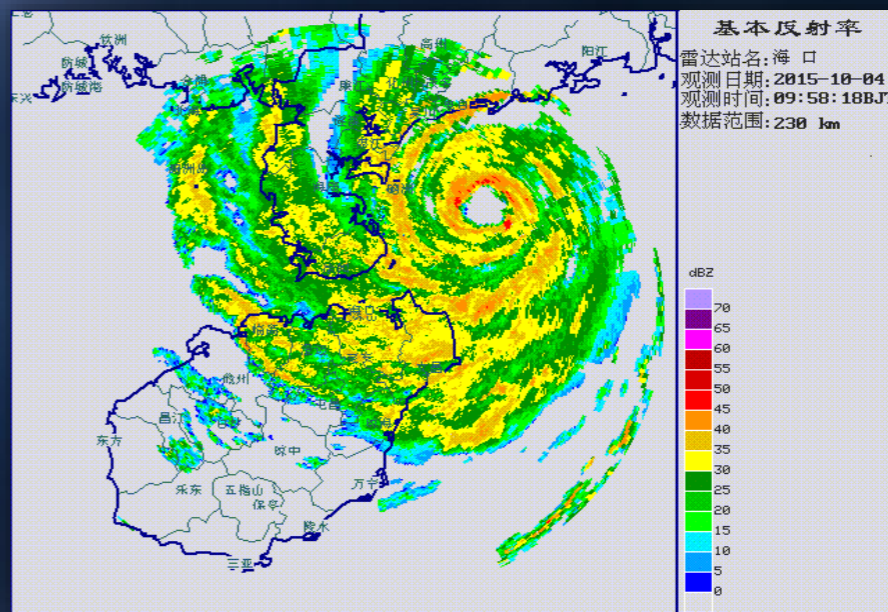
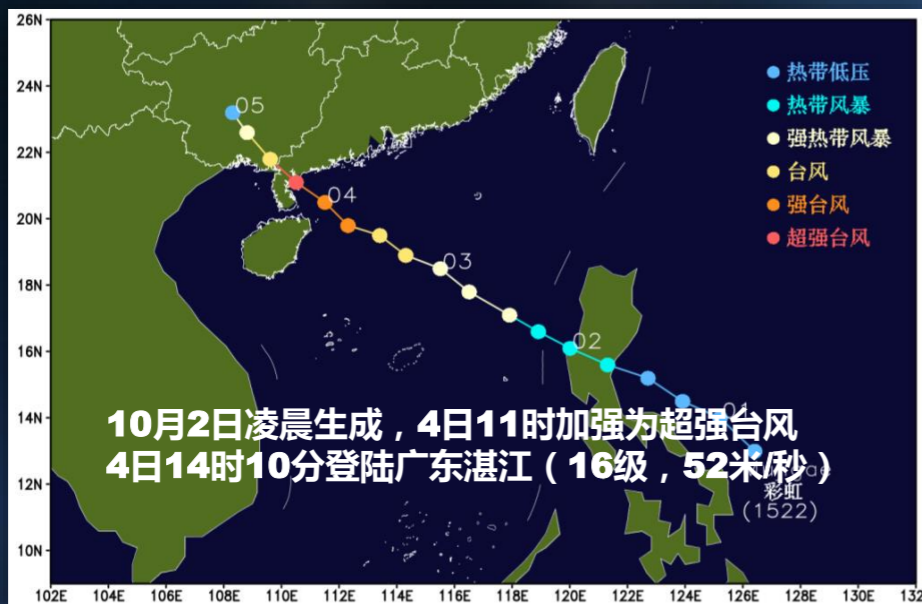
- 西南气流、偏东气流、东南气流
- 东北气流、偏北气流（冷空气、负贡献）



1909号超强台风“利奇马”低层流入条件分析

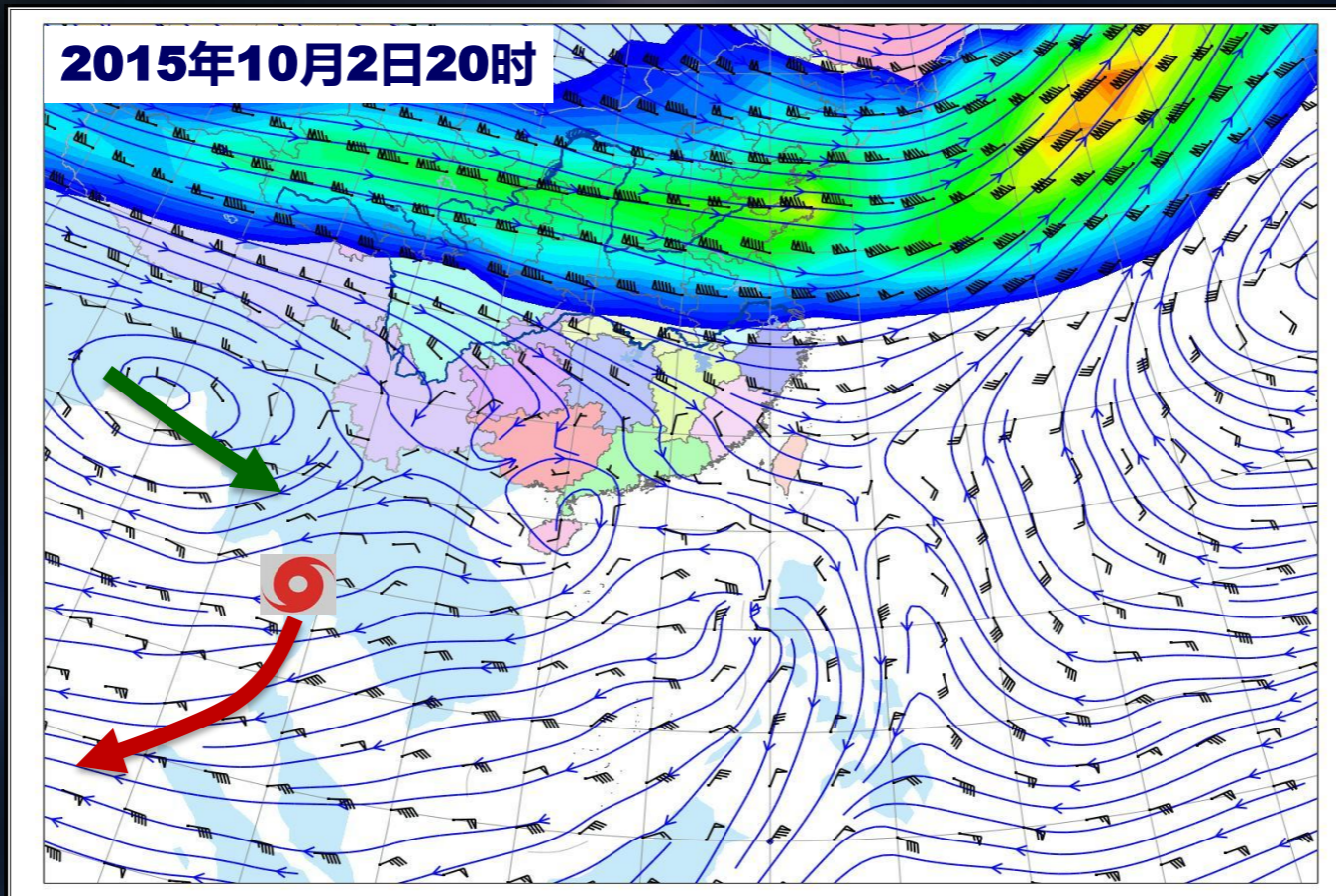
# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹” (2015)

## 1522号超强台风“彩虹” 路径图



# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹”（2015）

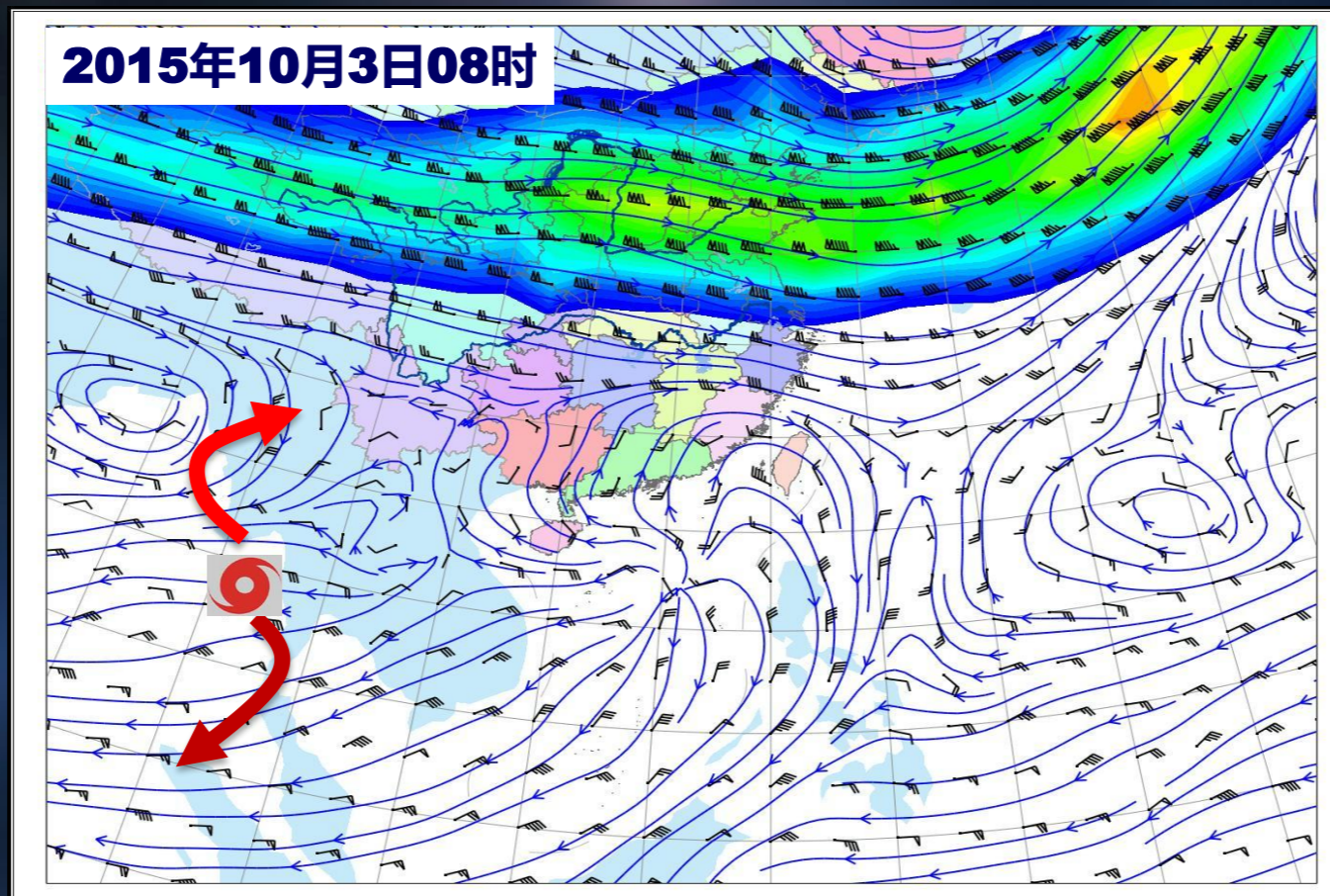
## ✓ 高层辐散流出条件分析



EC-200hPa风场和流线分析

# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹”（2015）

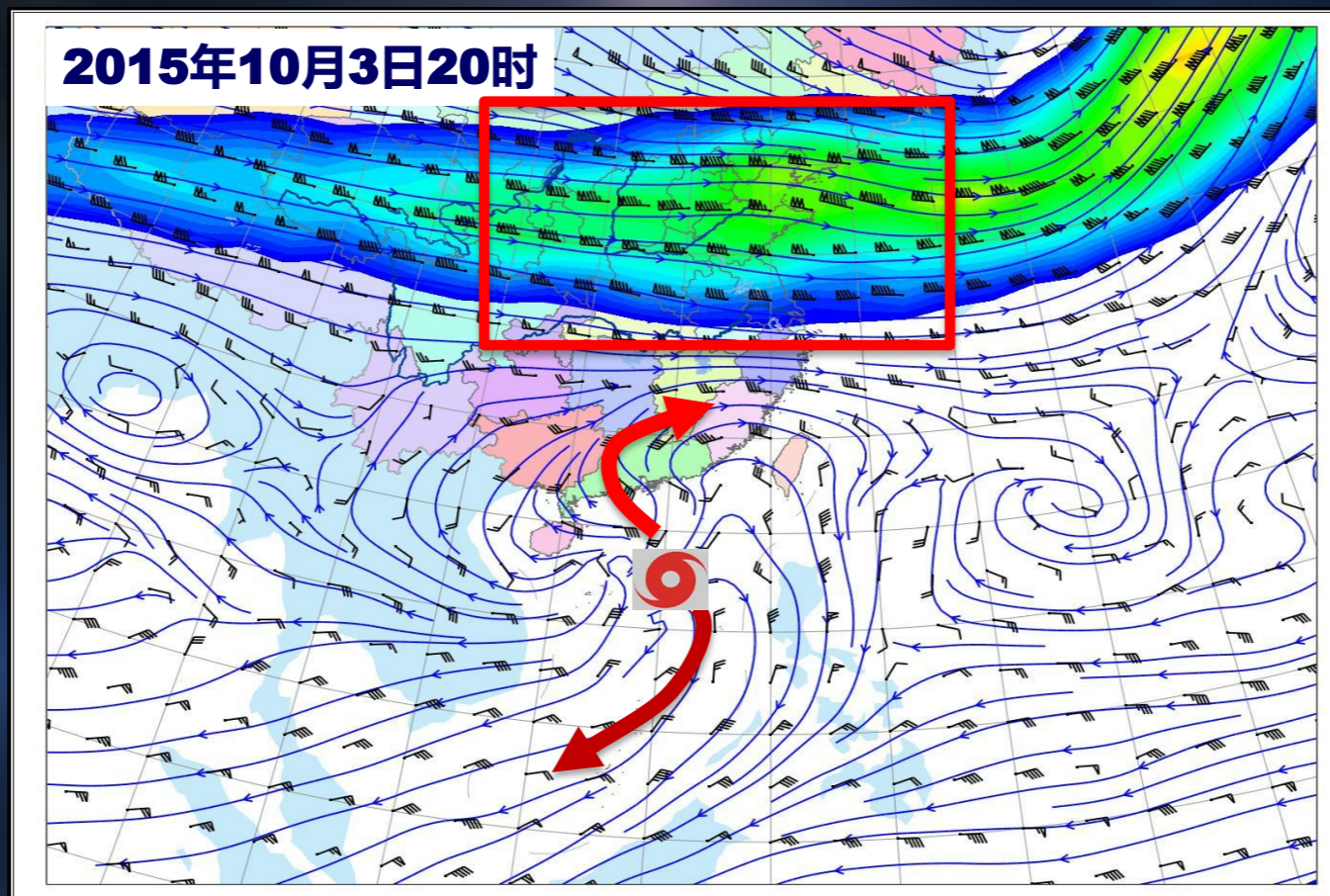
## ✓ 高层辐散流出条件分析



EC-200hPa风场和流线分析

# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹”（2015）

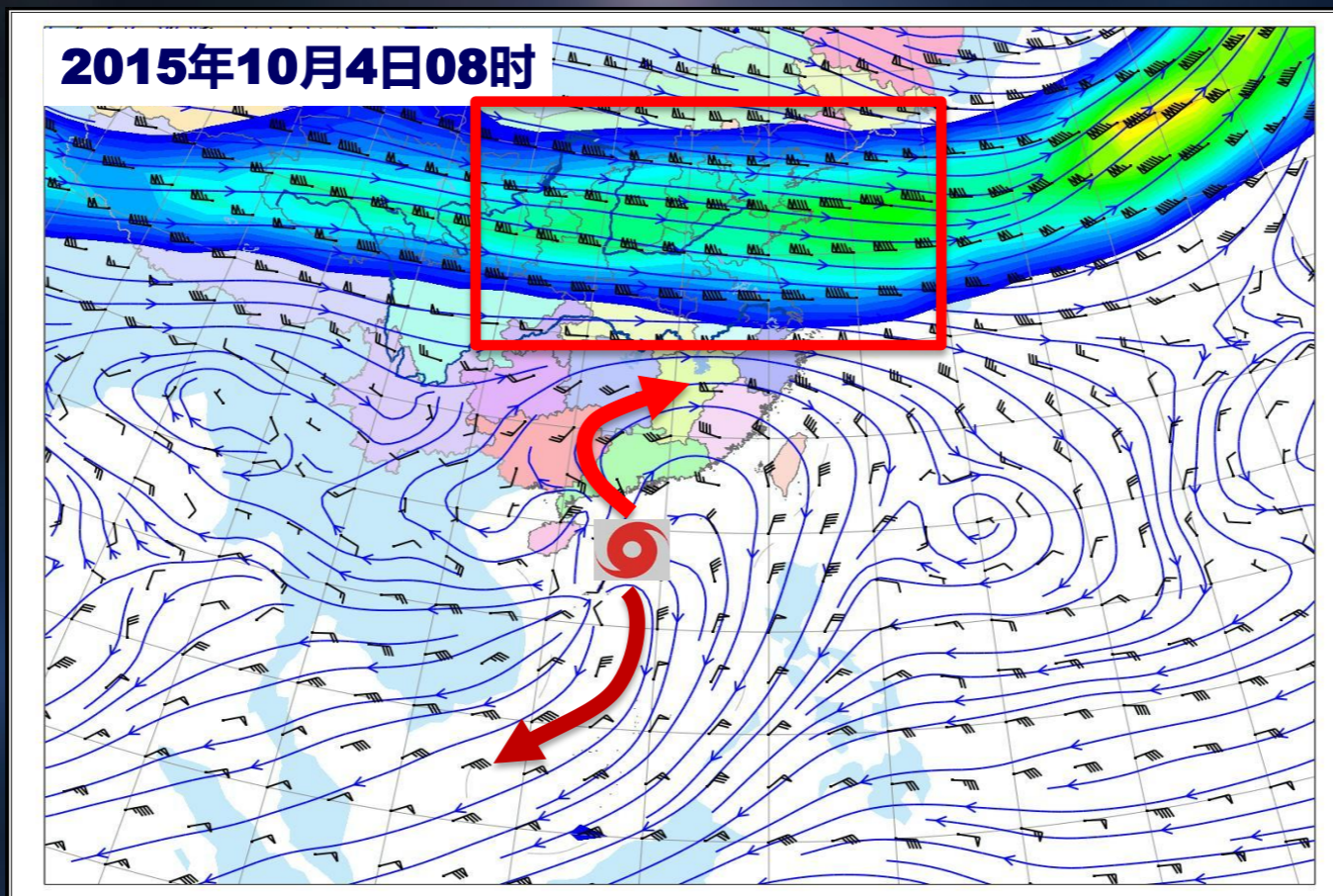
## ✓ 高层辐散流出条件分析



EC-200hPa风场和流线分析

# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹”（2015）

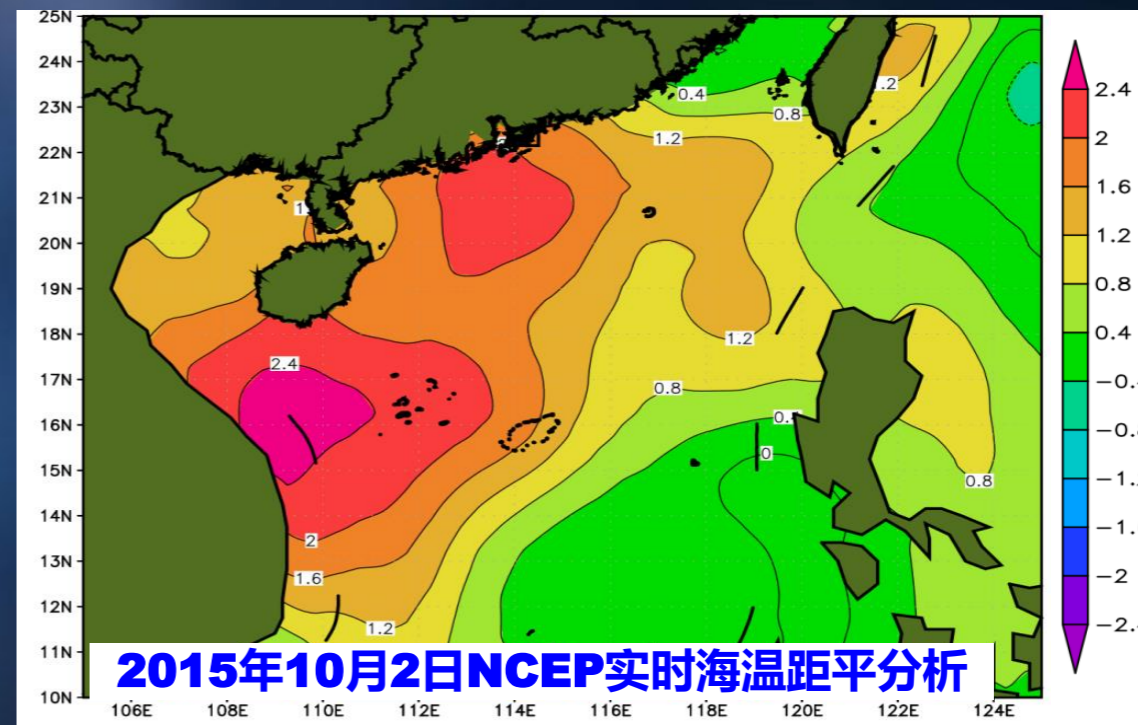
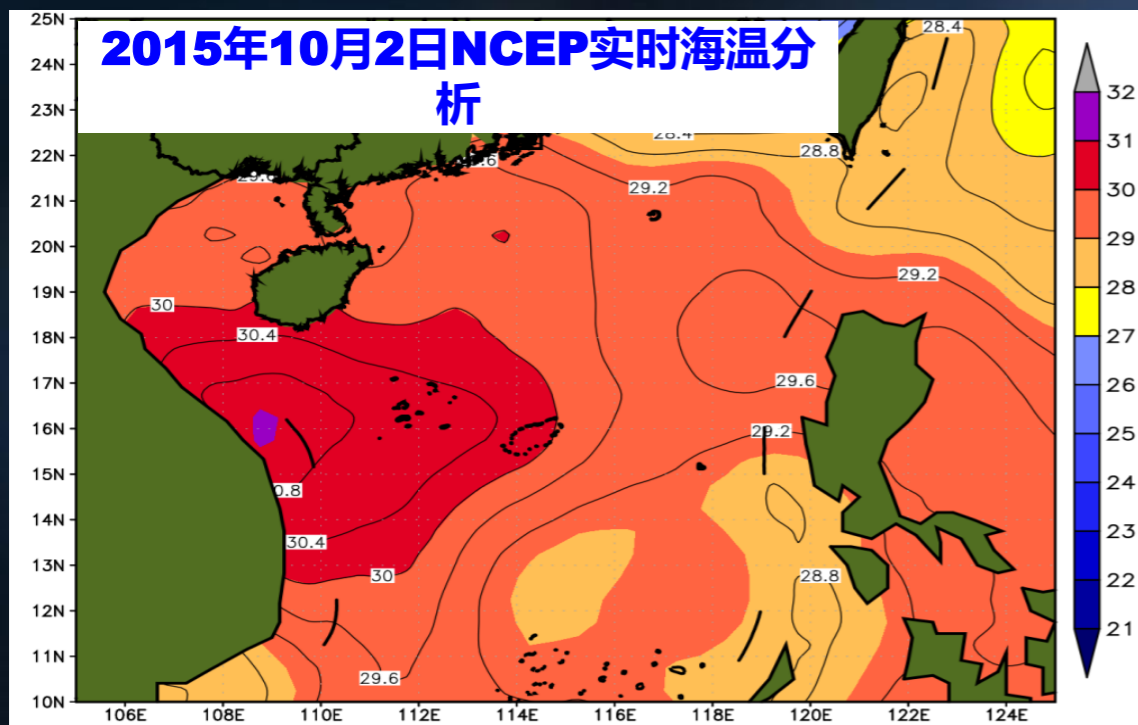
## ✓ 高层辐散流出条件分析



EC-200hPa风场和流线分析

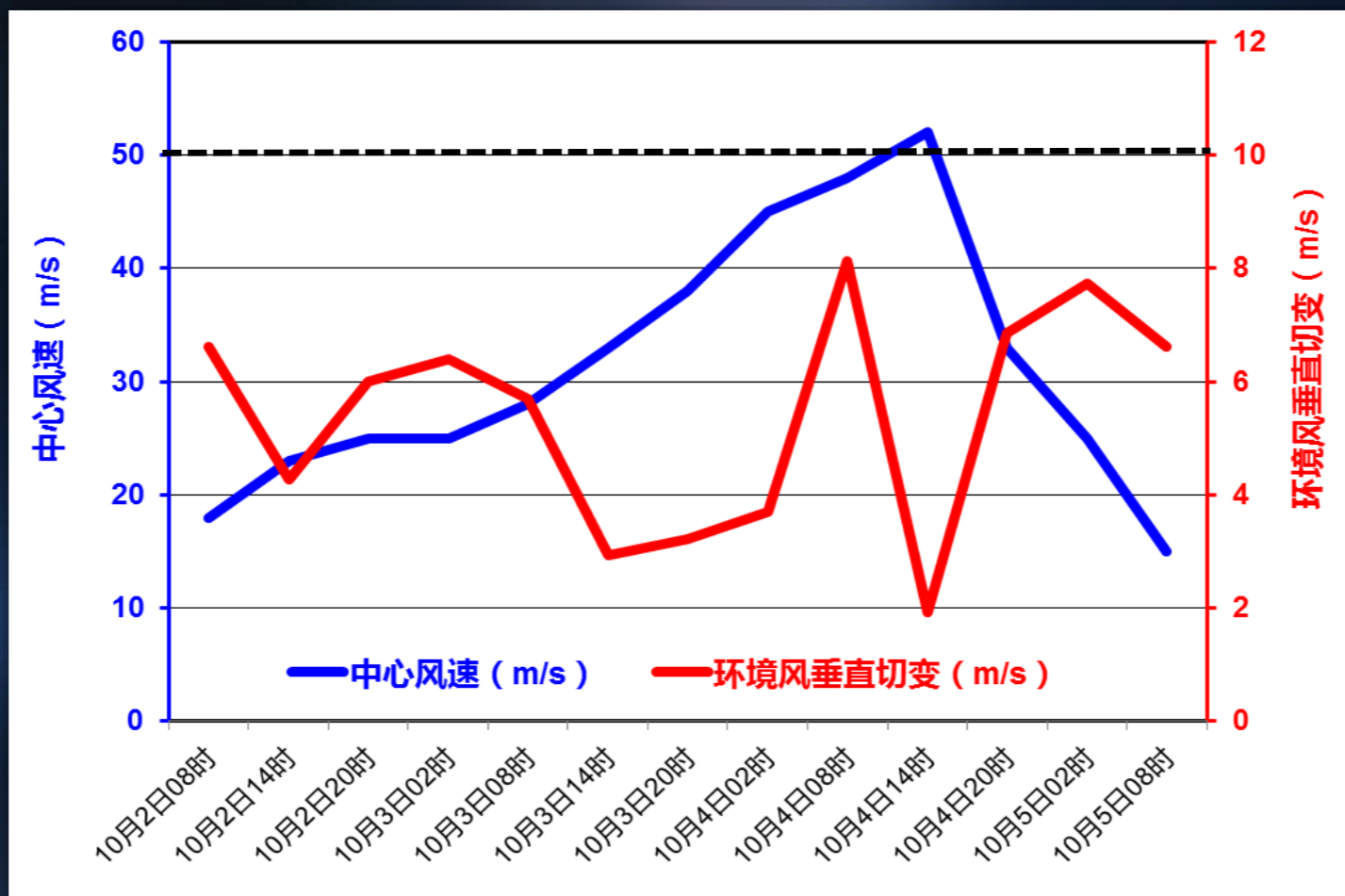
# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹” (2015)

## ✓ 海洋状况分析



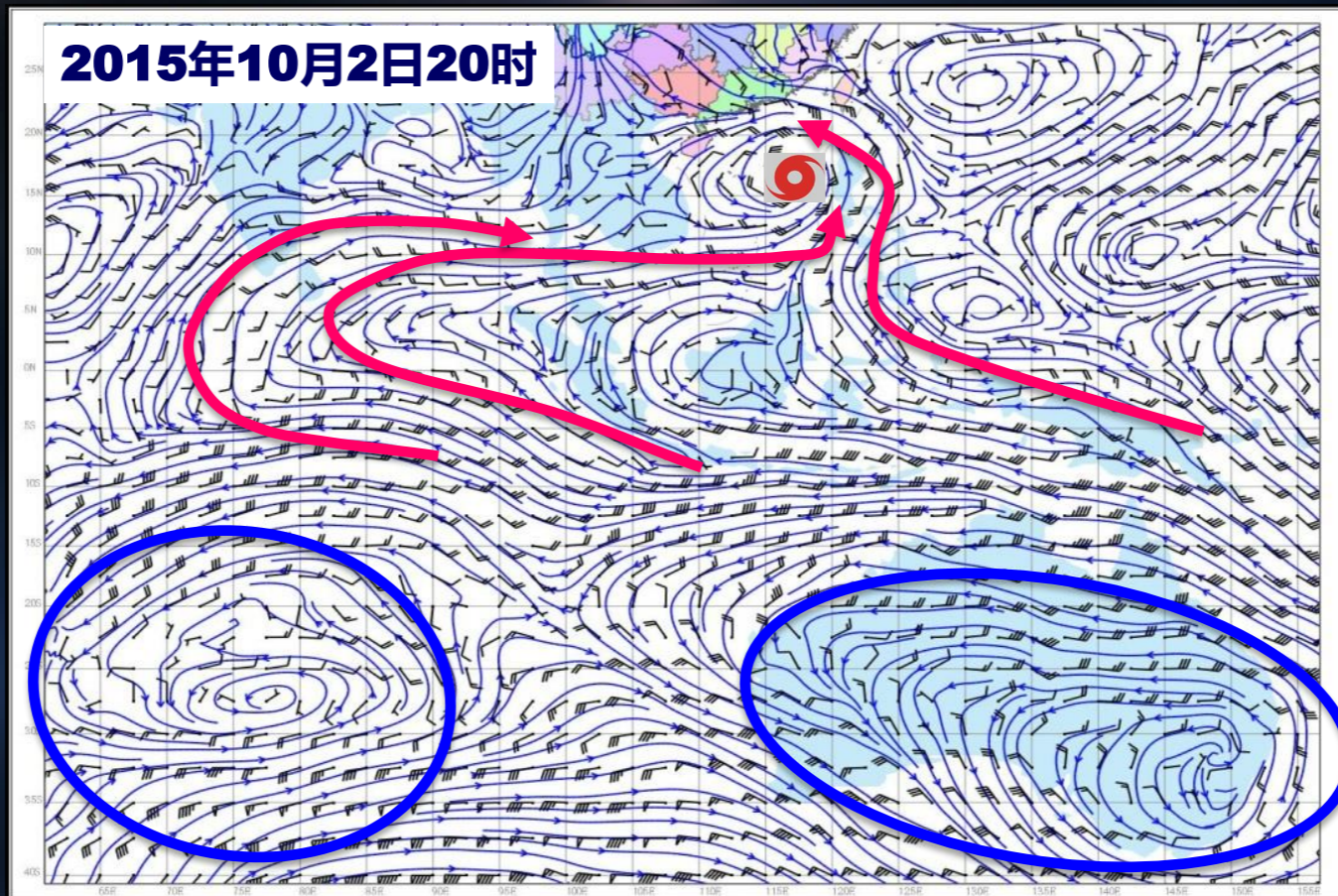
# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹”（2015）

## ✓ 环境风垂直切变条件分析



# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹”（2015）

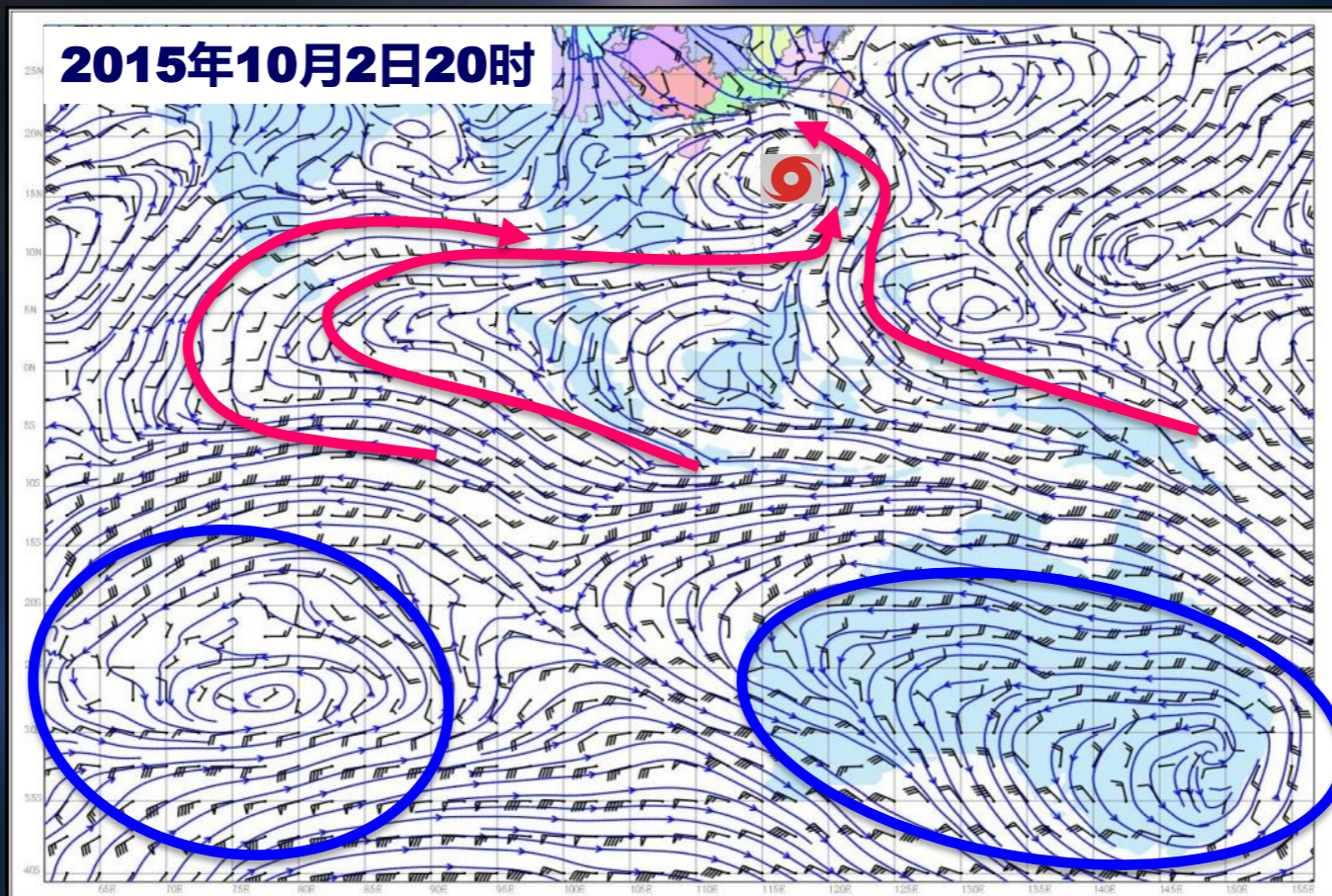
## ✓ 低层流入条件分析



EC-850hPa风场和流线分析

# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹”（2015）

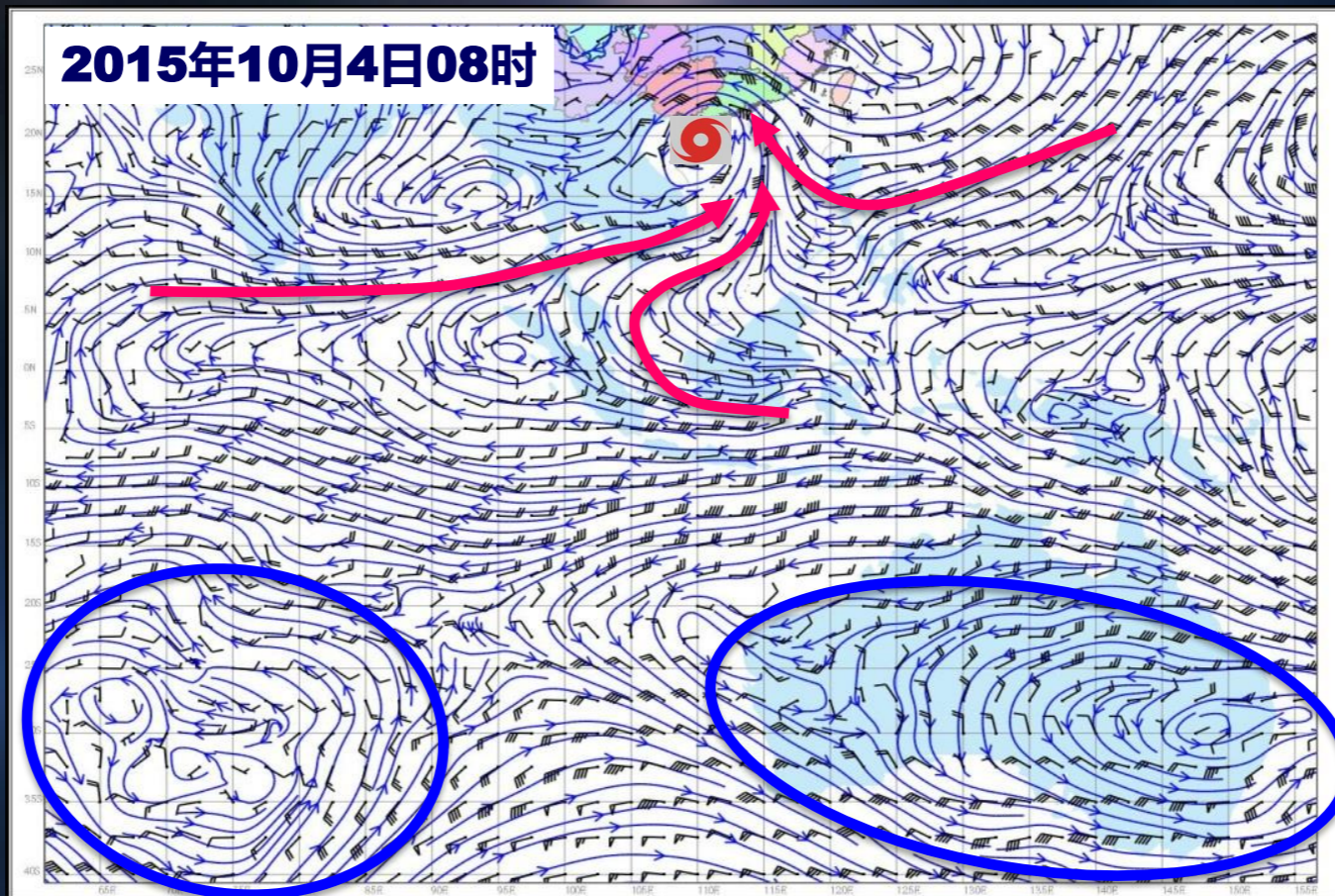
## ✓ 低层流入条件分析



EC-850hPa风场和流线分析

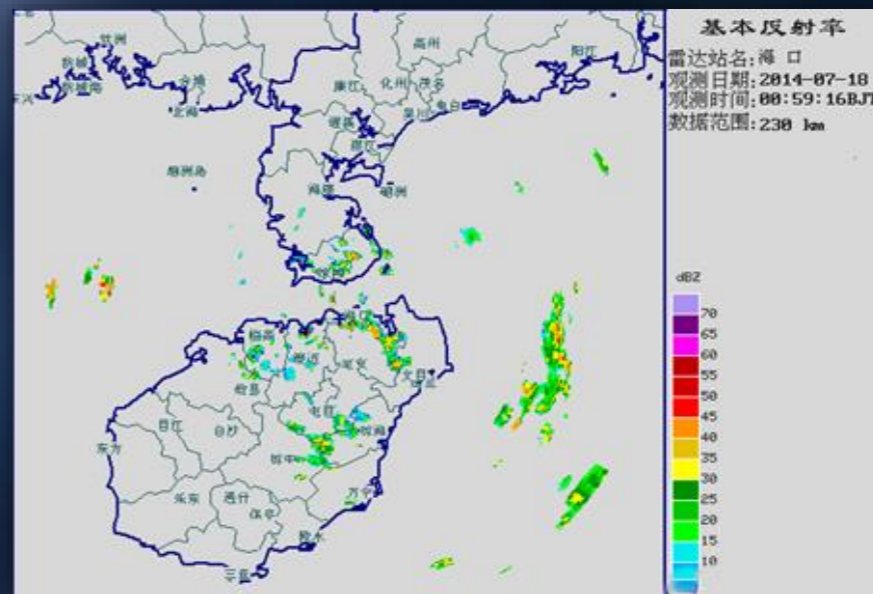
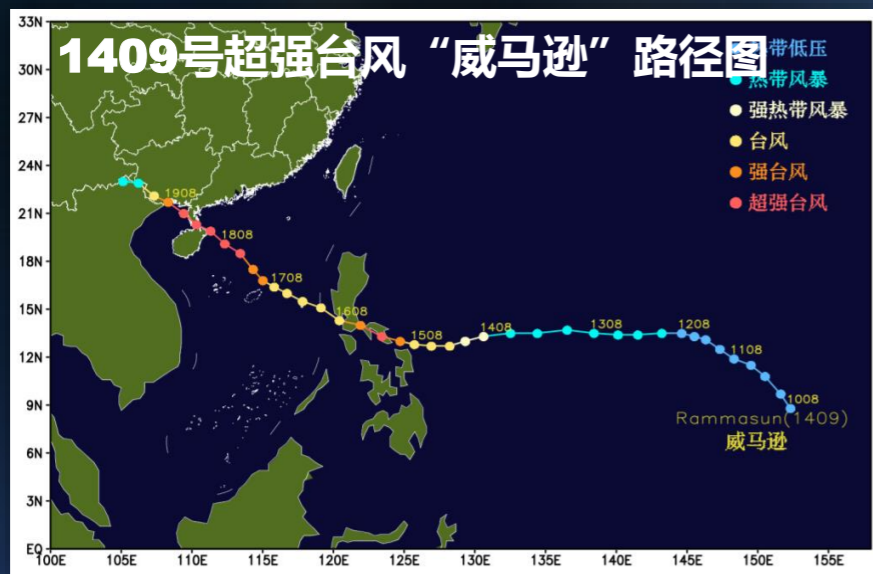
# 台风强度预报诊断--- 超强台风“彩虹”（2015）

## ✓ 低层流入条件分析



EC-850hPa风场和流线分析

# 台风强度预报诊断--- 超强台风“威马逊” (2014)

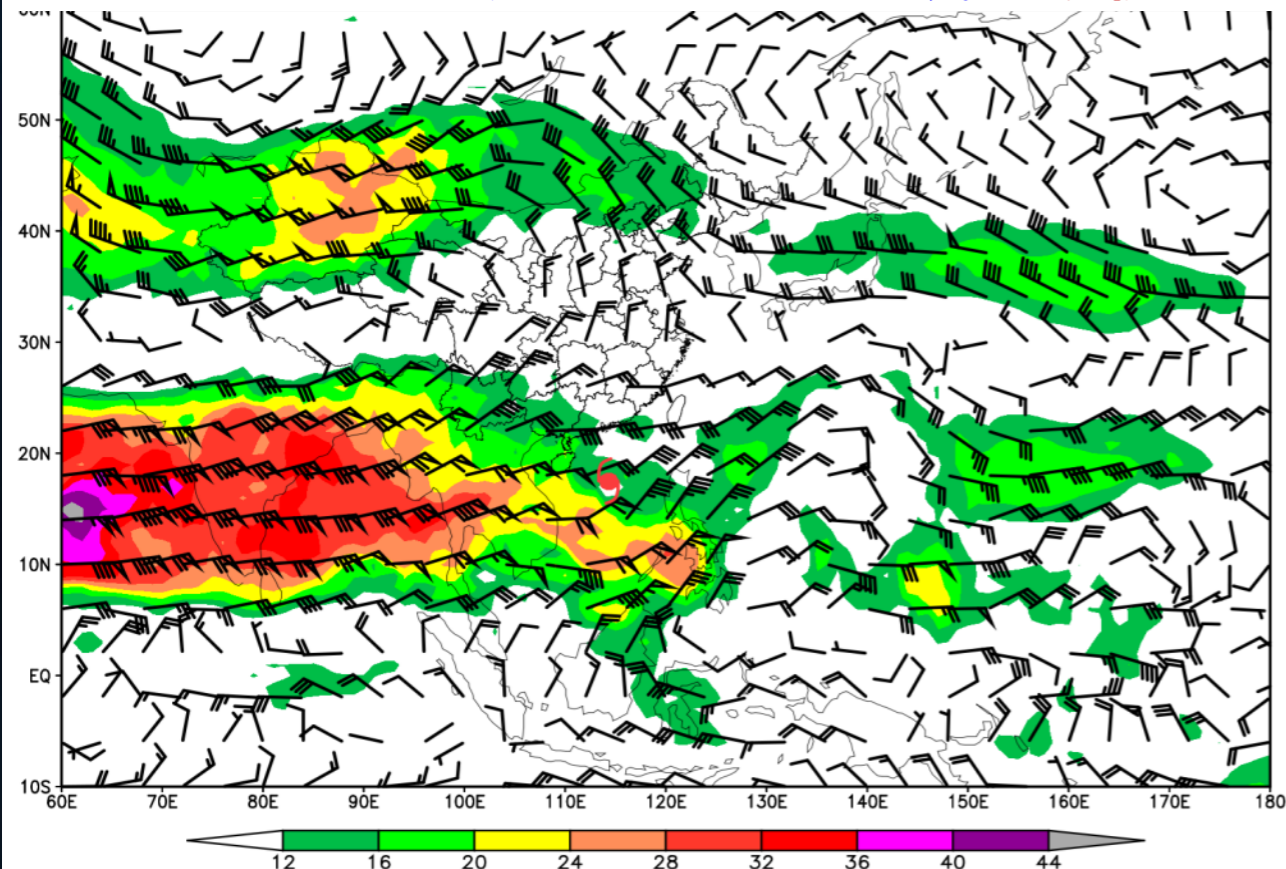


# 台风强度预报诊断--- 超强台风“威马逊”（2014）

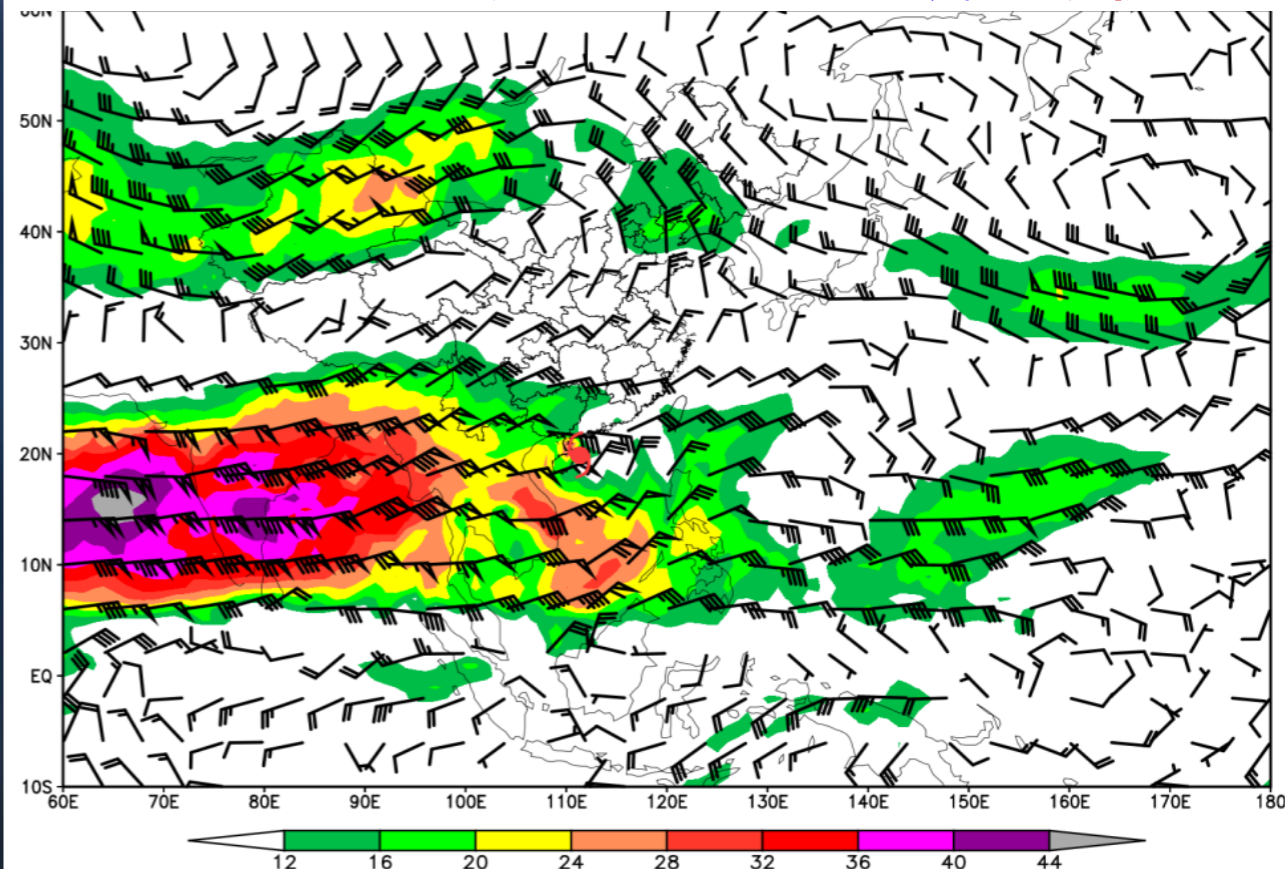
## ✓ 高层辐散流出条件分析

- 高空东风急流异常和东进

NCEP-2014年7月17日20时100hPa风场再分析场



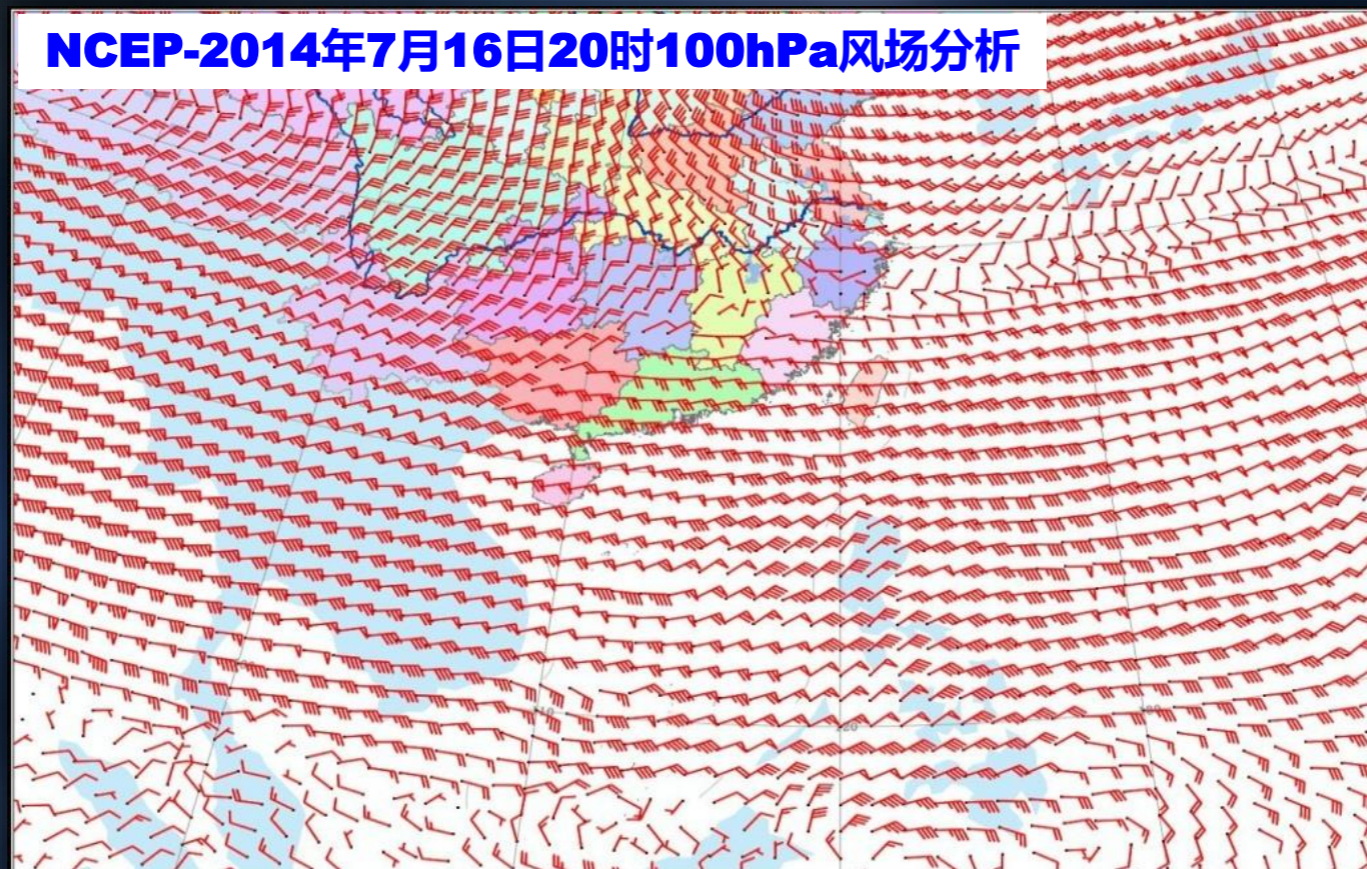
NCEP-2014年7月17日20时100hPa风场再分析场



# 台风强度预报诊断--- 超强台风“威马逊”（2014）

## ✓ 高层辐散流出条件分析

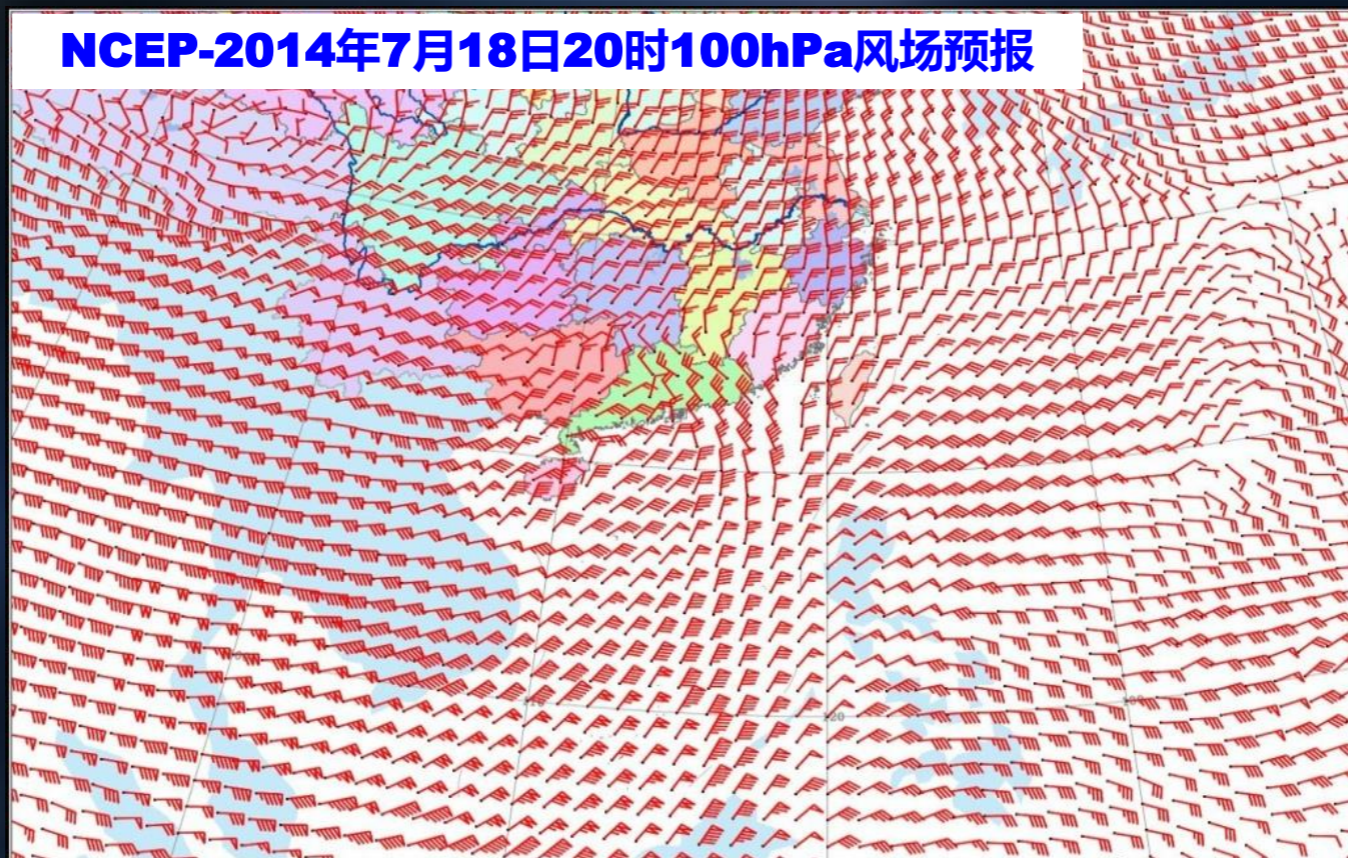
- 高空东风急流处于加强东进期，南海上空将维持强辐散区



# 台风强度预报诊断--- 超强台风“威马逊”（2014）

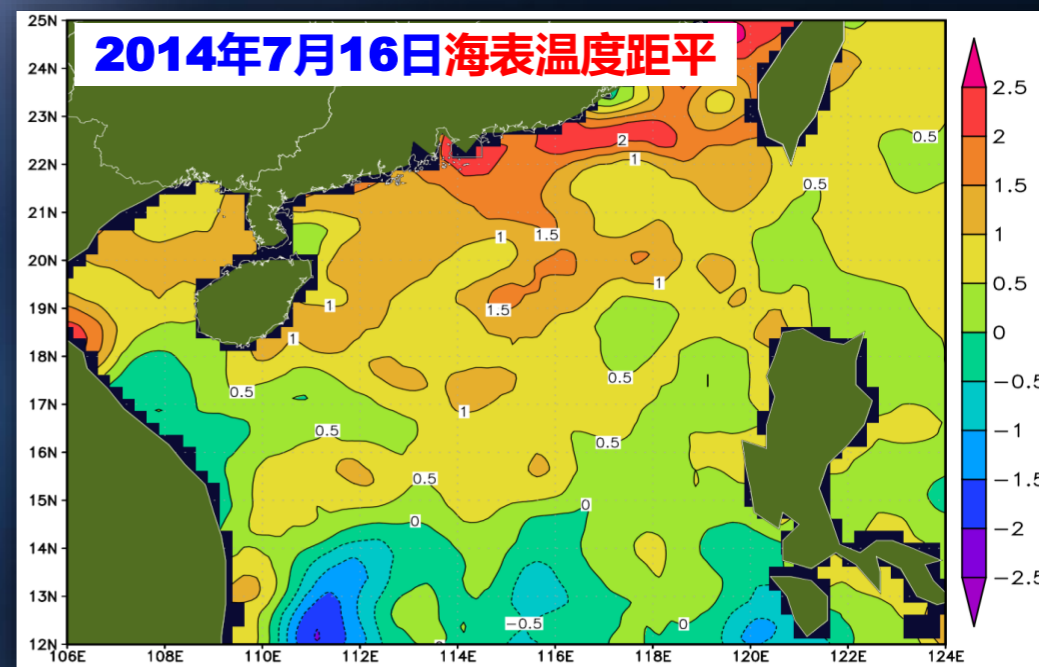
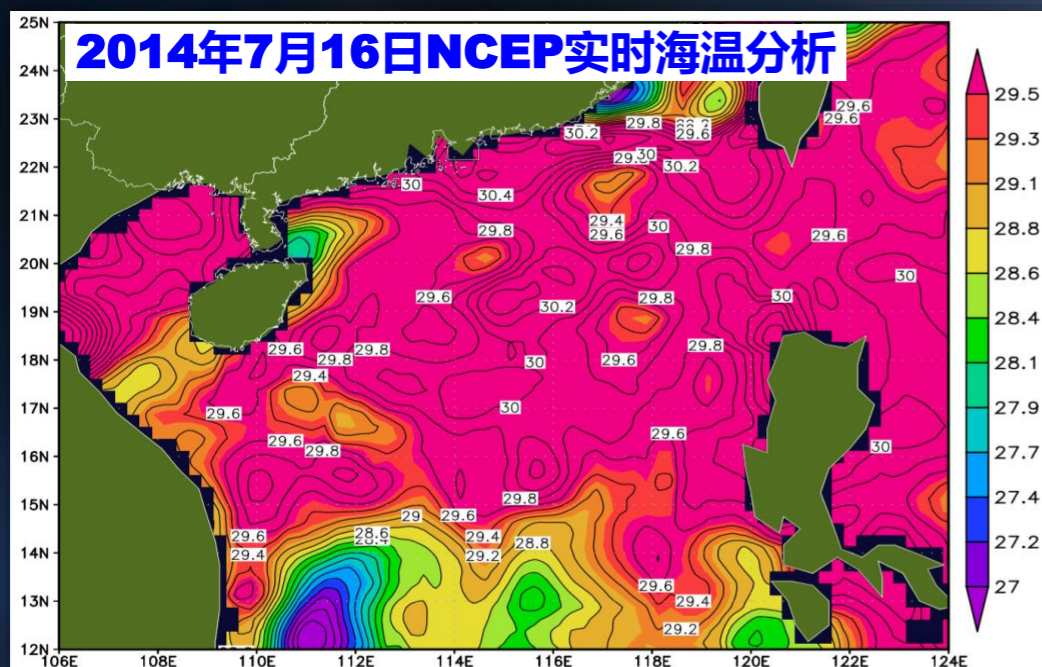
## ✓ 高层辐散流出条件分析

- 高空东风急流处于加强东进期，南海上空将维持强辐散区



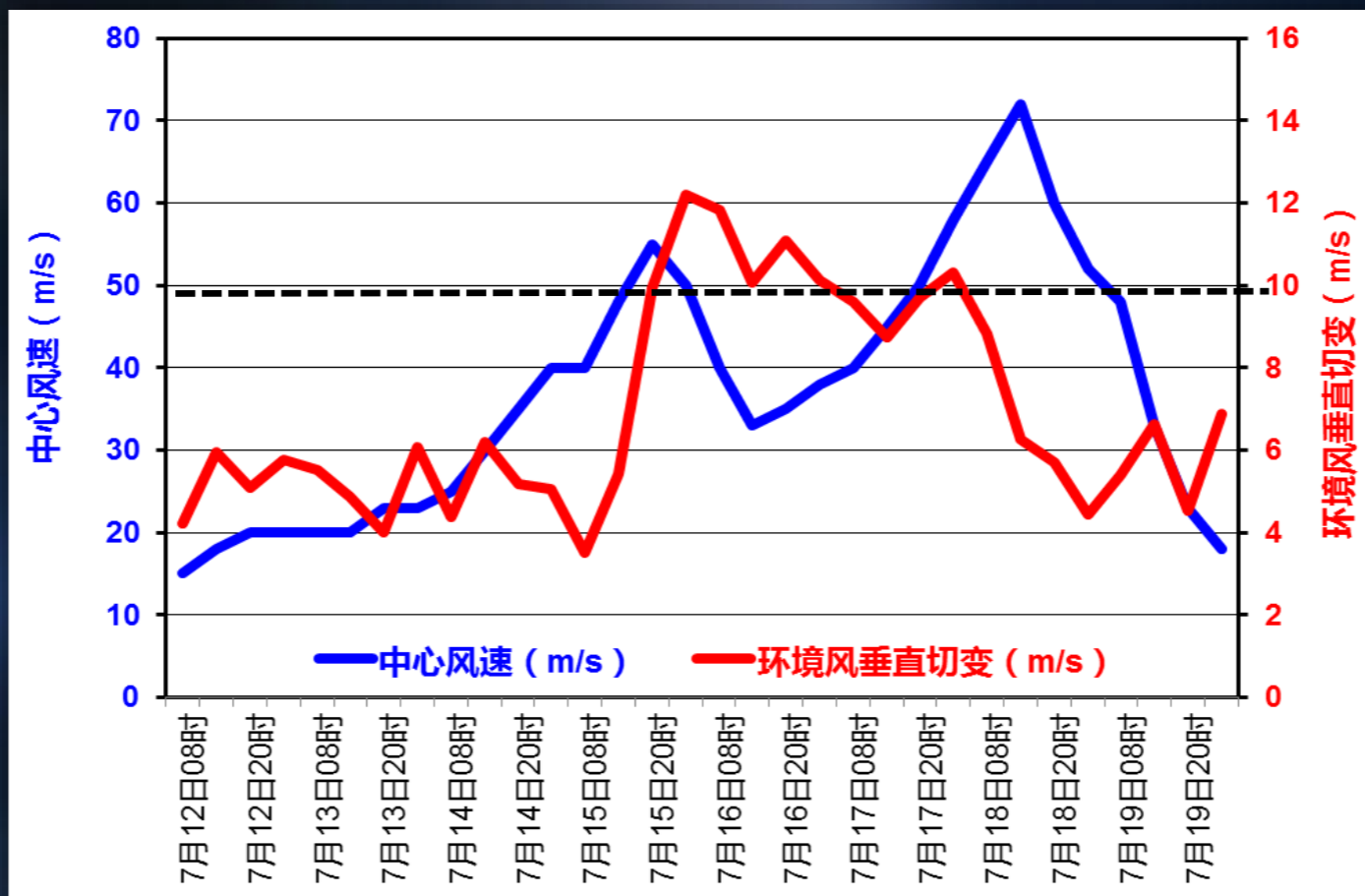
# 台风强度预报诊断--- 超强台风“威马逊” (2014)

## ✓ 海洋状况分析



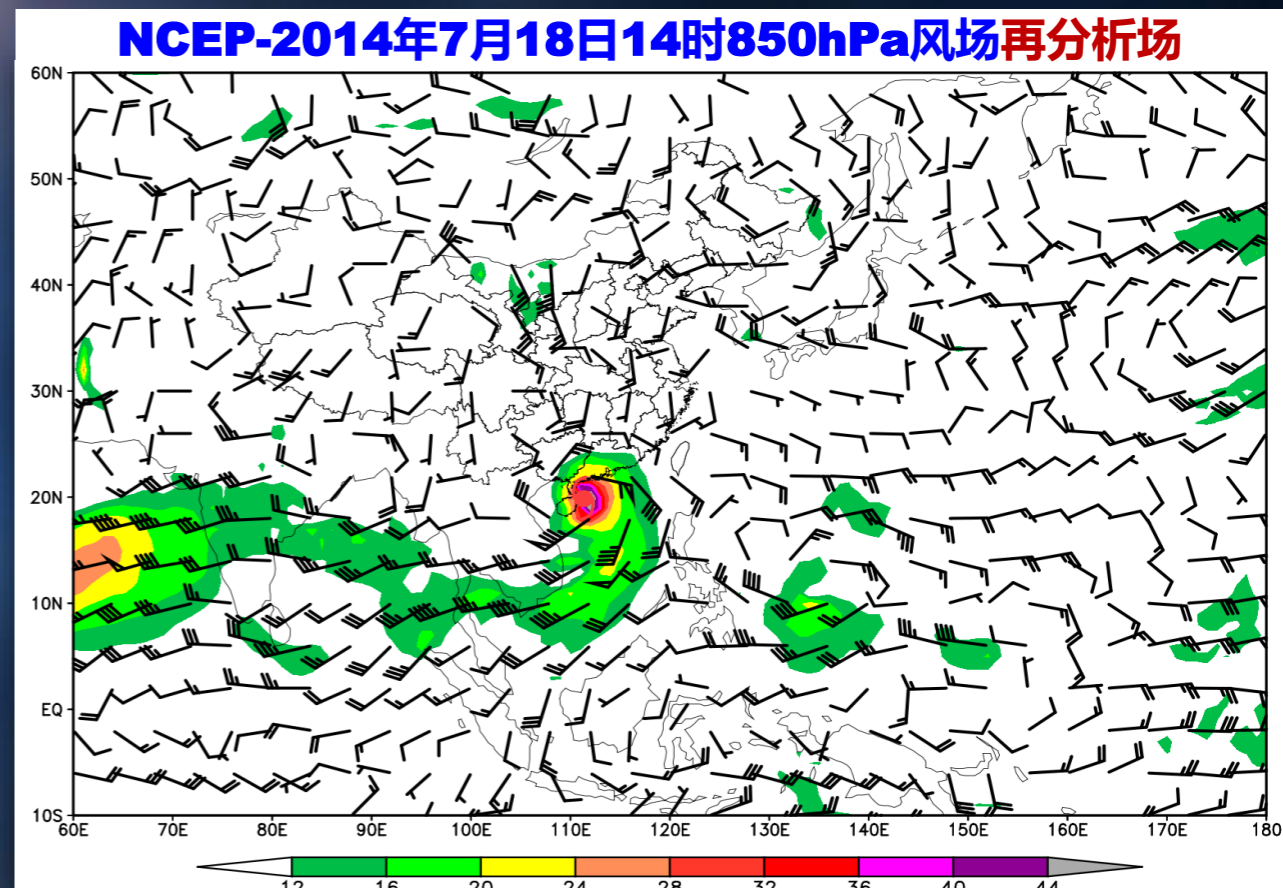
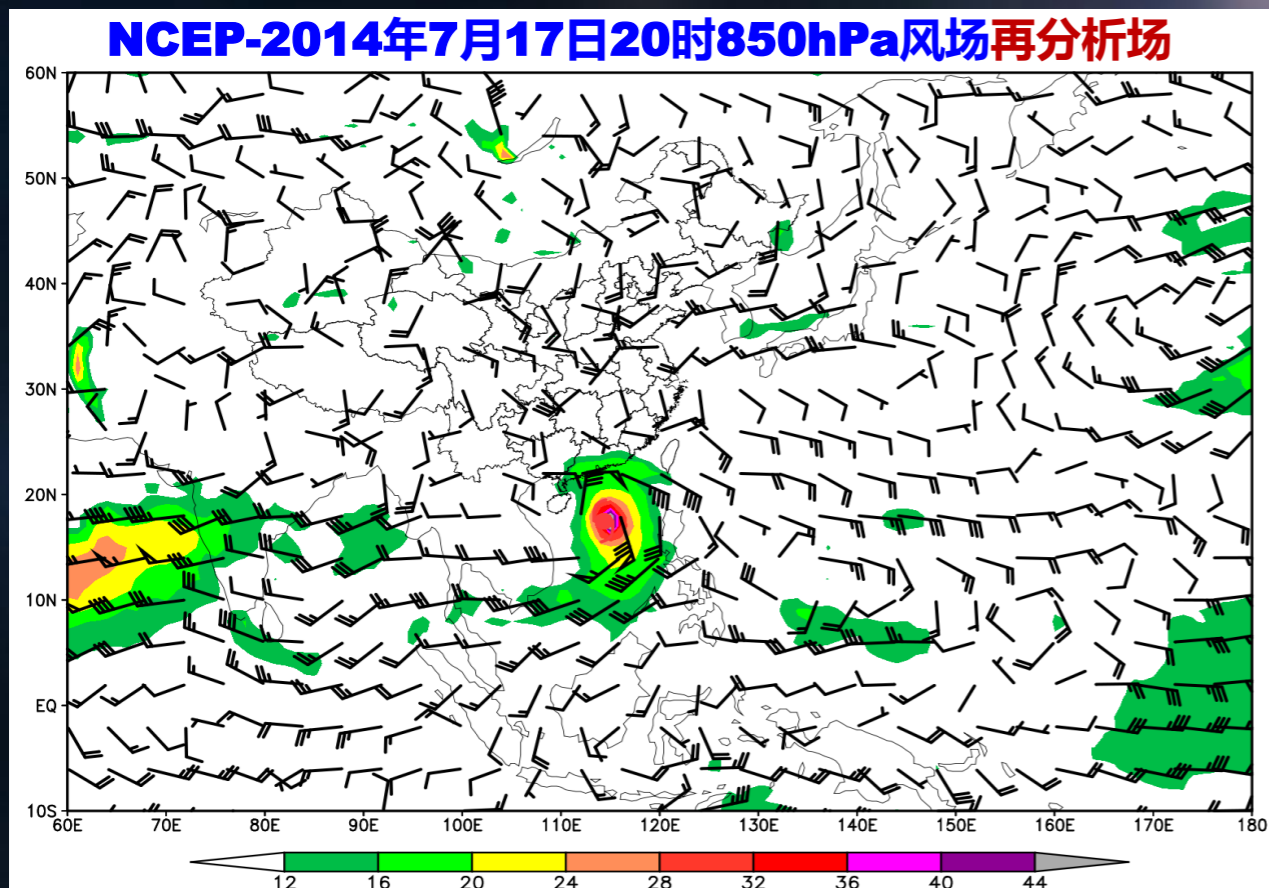
# 台风强度预报诊断--- 超强台风“威马逊”（2014）

## ✓ 环境风垂直切变条件分析

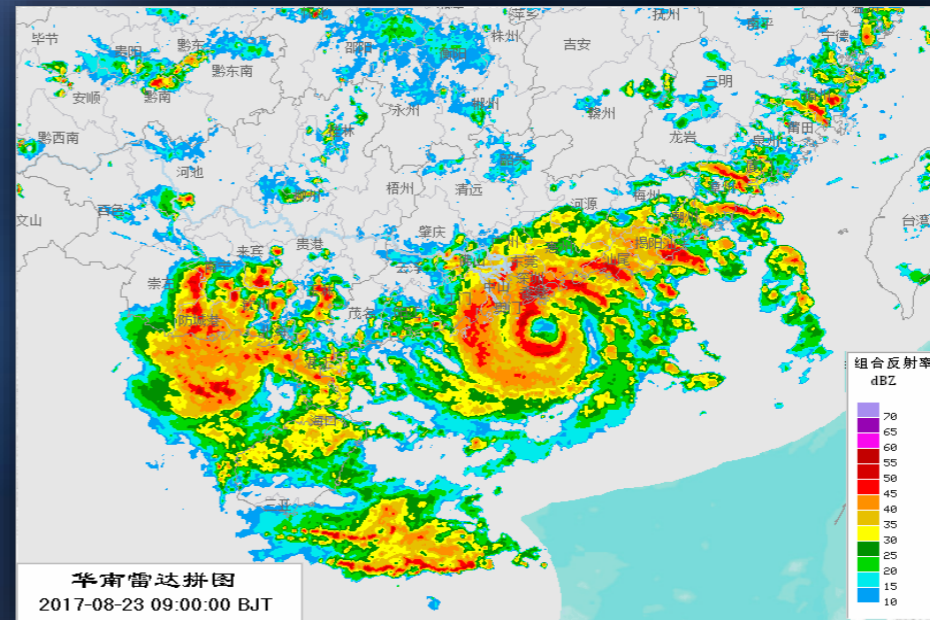
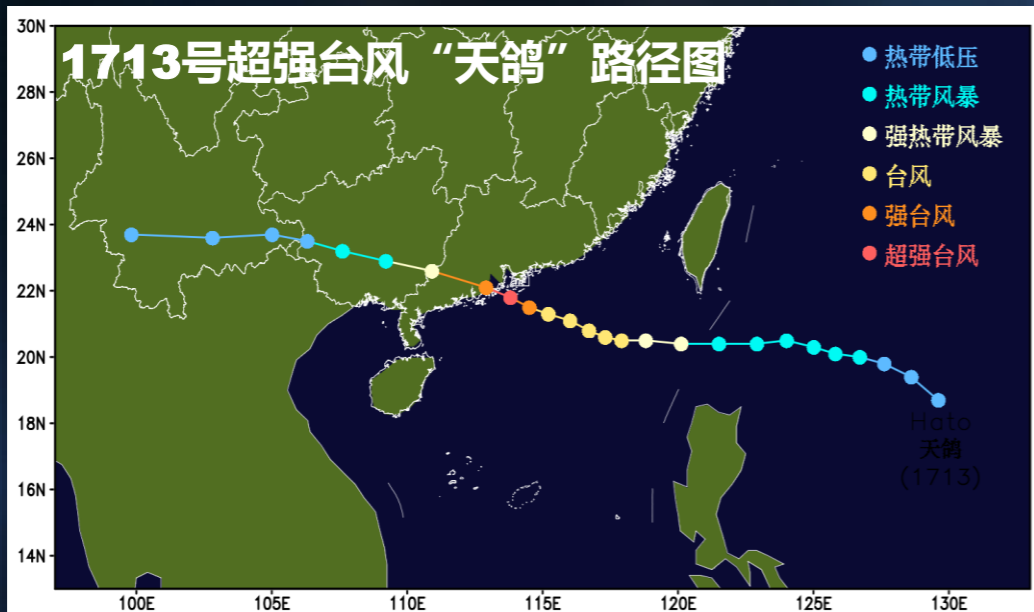


# 台风强度预报诊断--- 超强台风“威马逊”（2014）

## ✓ 低层流入条件分析



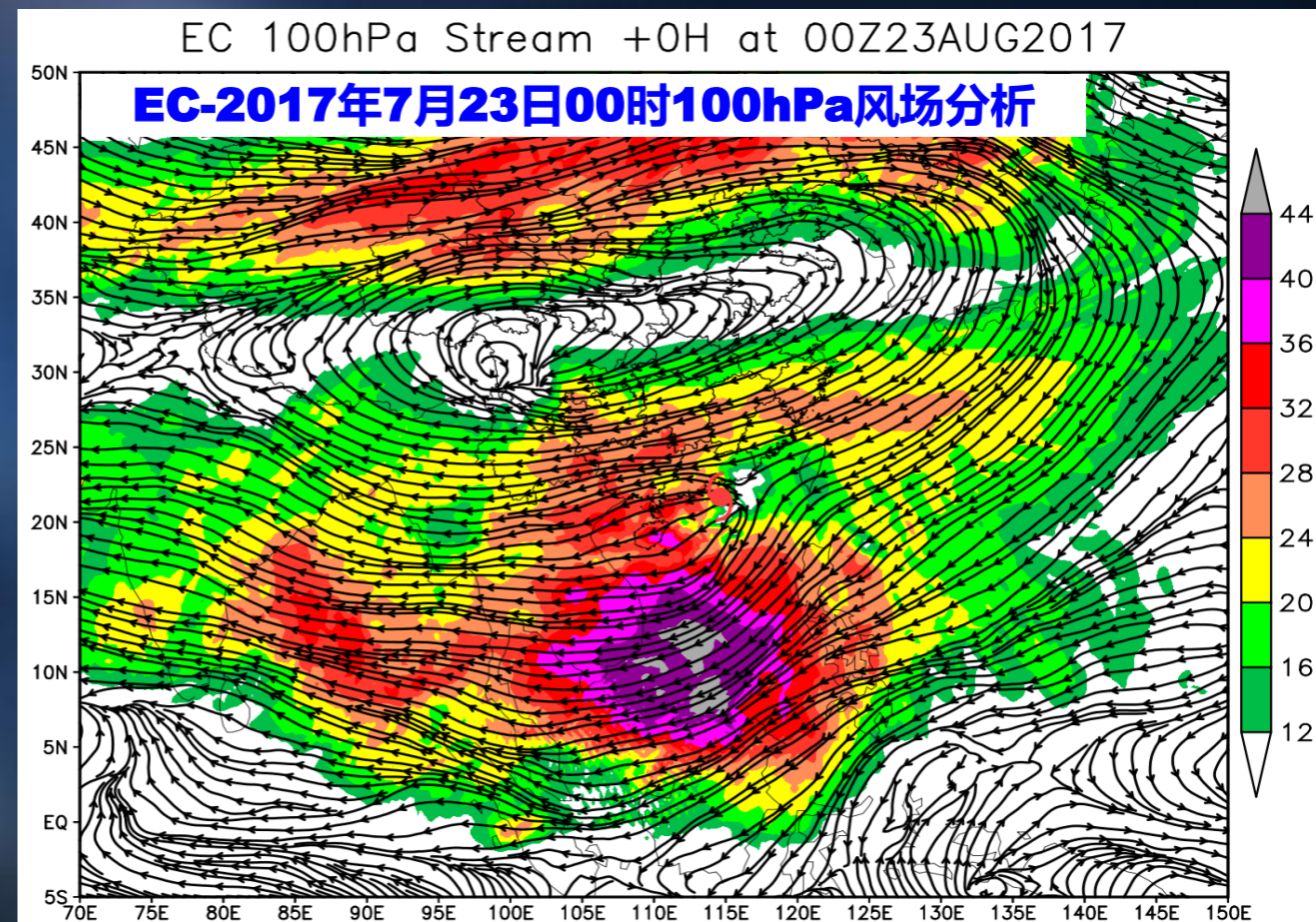
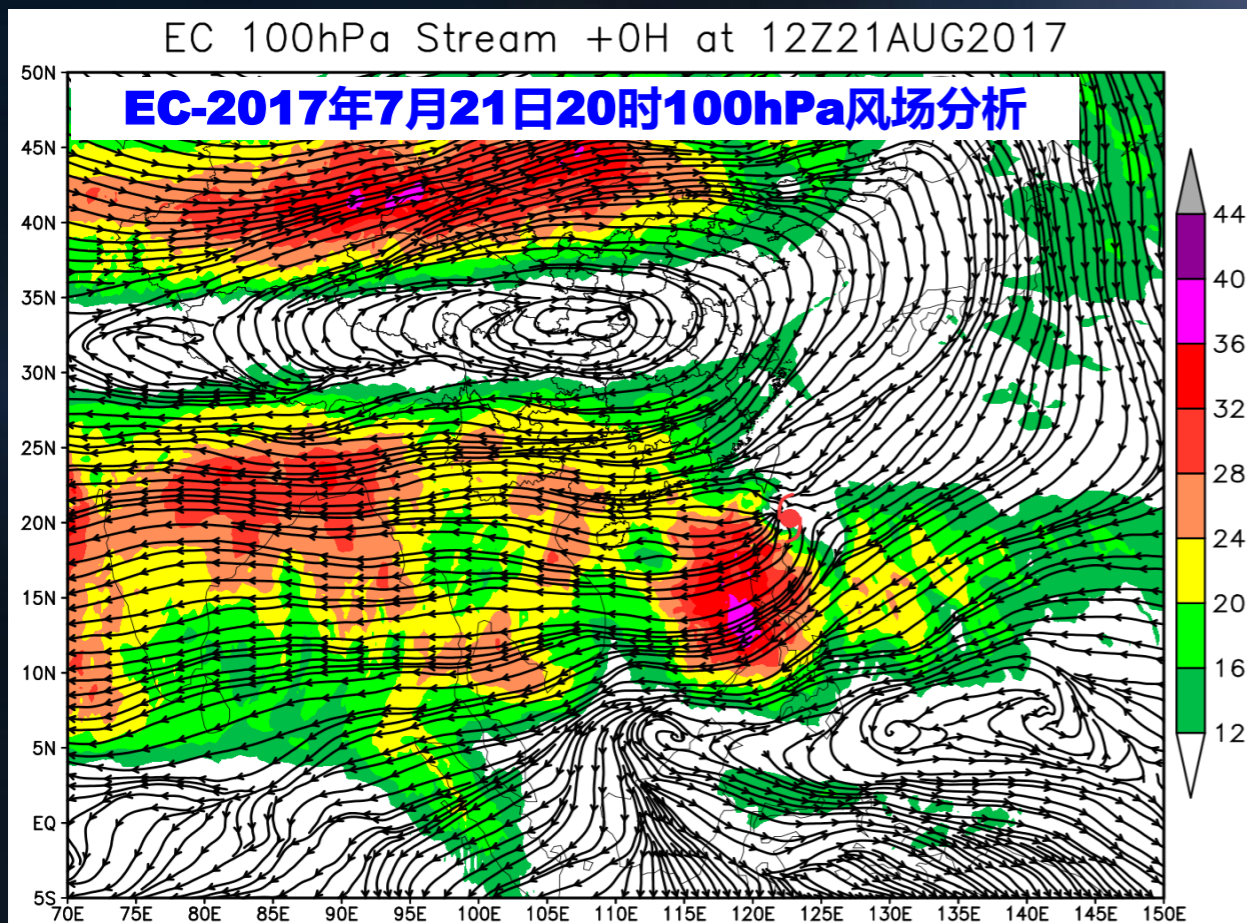
# 台风强度预报诊断--- 超强台风“天鸽” (2017)



# 台风强度预报诊断--- 超强台风“天鸽” (2017)

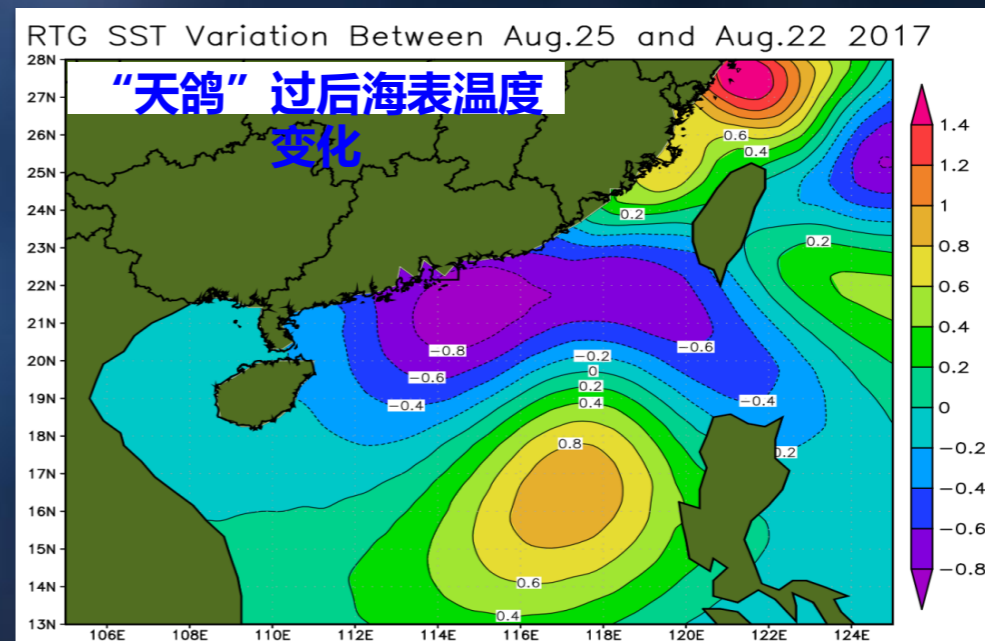
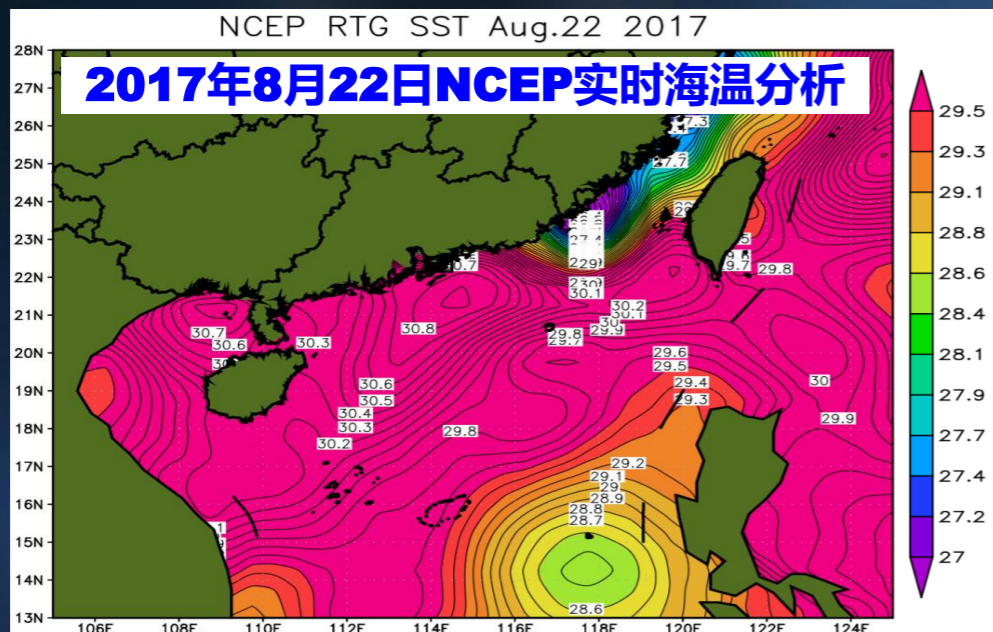
## ✓ 高层辐散流出条件分析

- 热带东风急流处于加强期



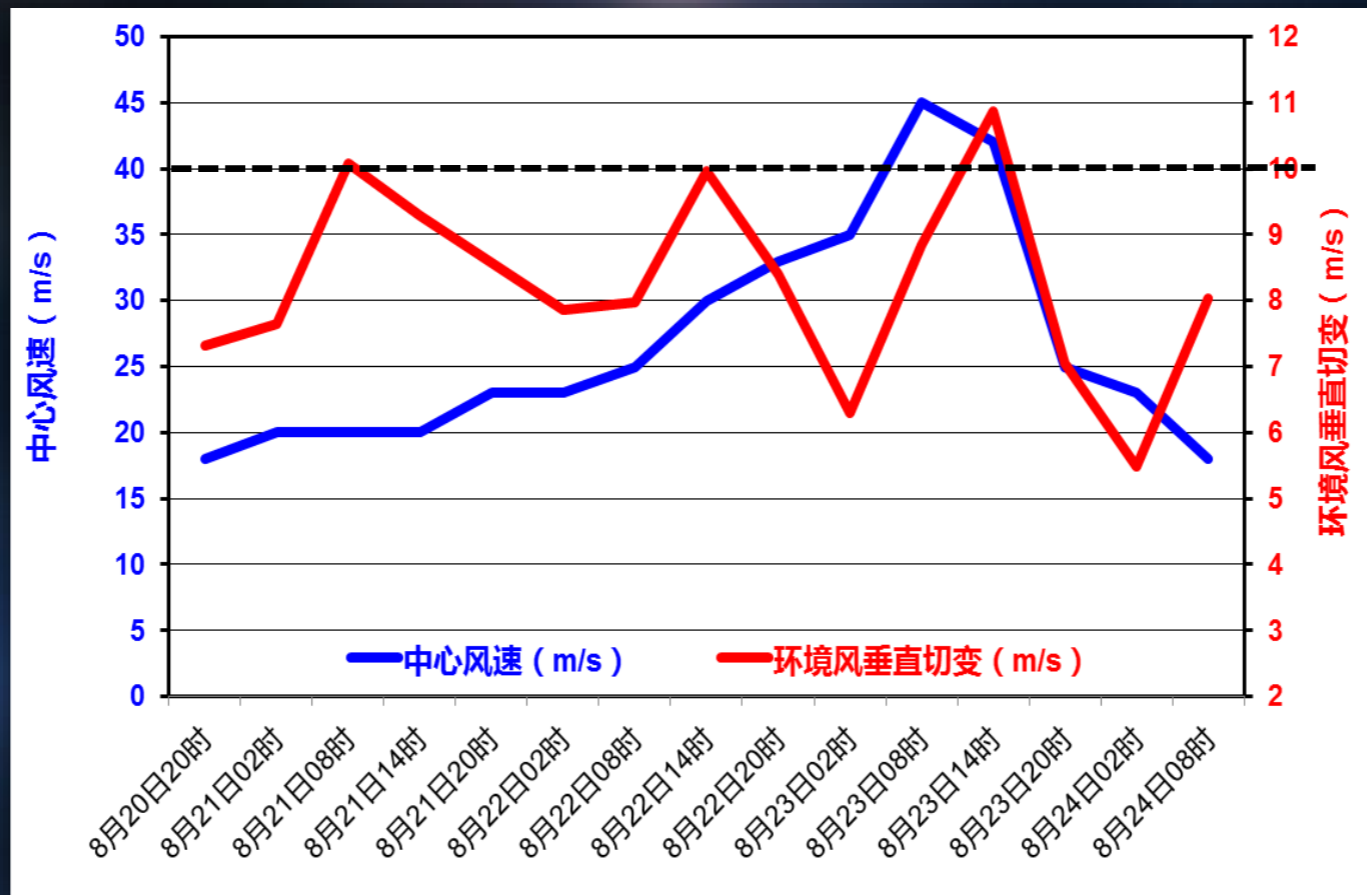
# 台风强度预报诊断--- 超强台风“天鸽” (2017)

## ✓ 海洋状况分析



# 台风强度预报诊断--- 超强台风“天鸽”（2017）

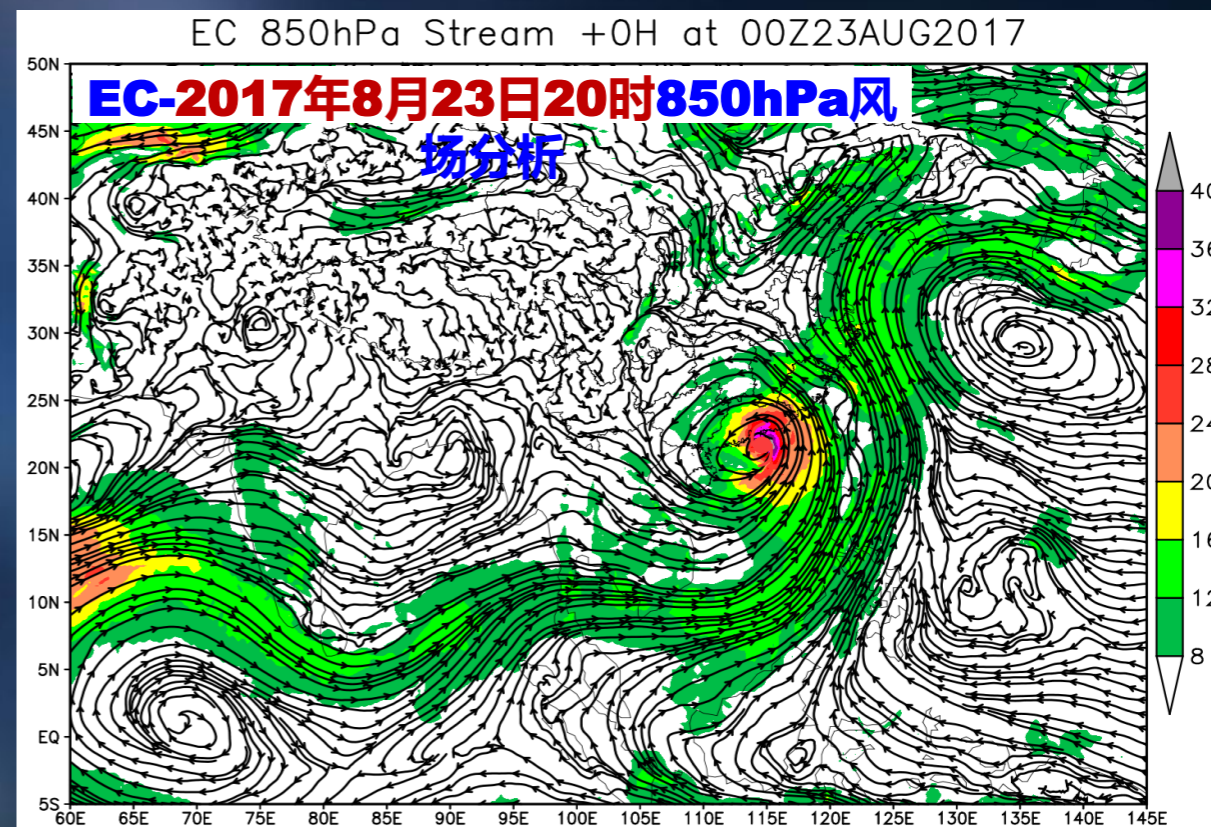
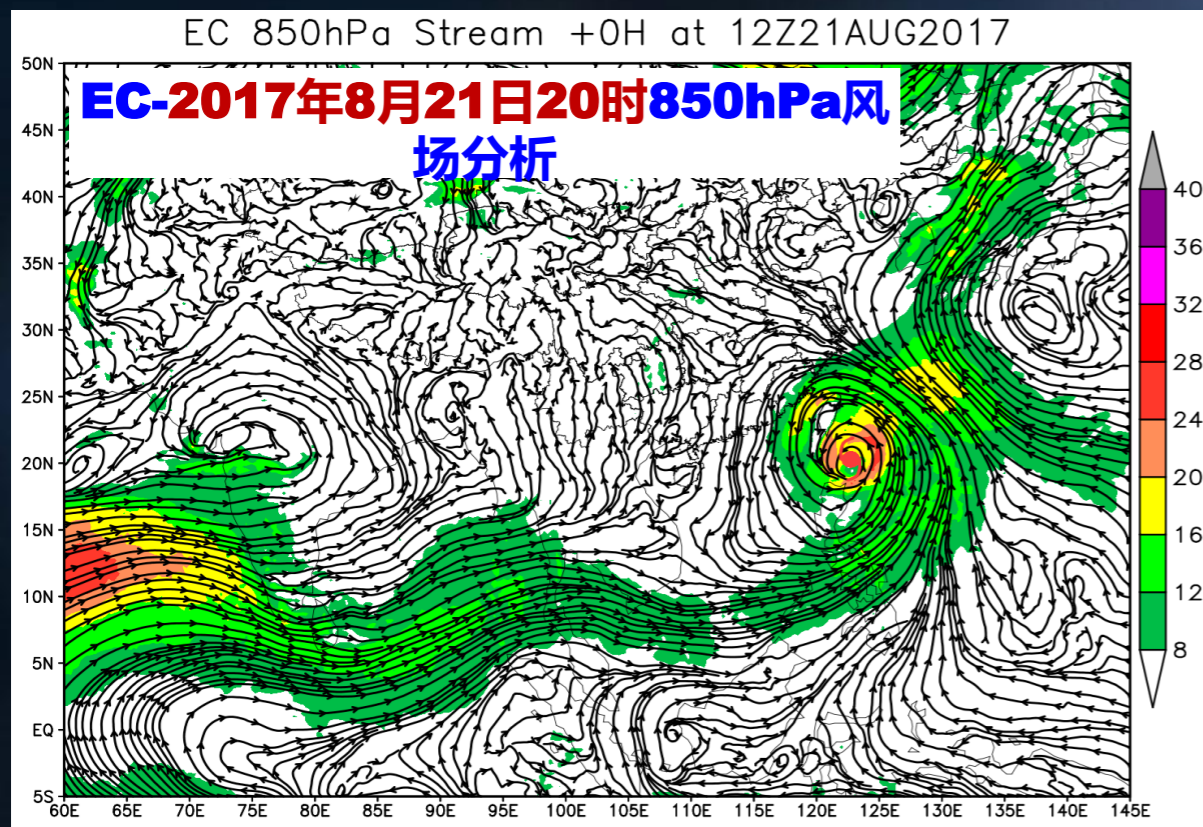
## ✓ 环境风垂直切变条件分析



# 台风强度预报诊断--- 超强台风“天鸽”（2017）

## ✓ 低层流入条件分析

- 越赤道气流处于活跃期



## 6.6 台风数值模式系统

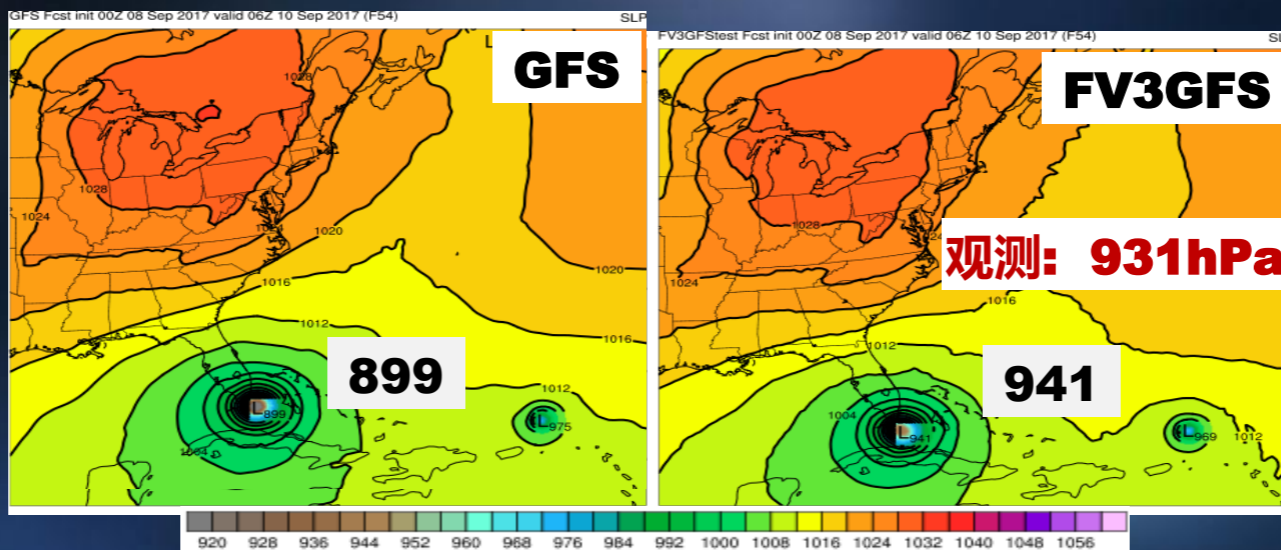


# 台风数值模式系统

<b>全球模式</b>	<b>GRAPES-GFS ( ~28km )</b> <b>ECMWF ( ~9km ) → ~5km , 2025</b> <b>NCEP-GFS(~13km)</b> → <b>NCEP-FV3GFS (~13km , 16天)</b> – <b>有限体积立方球体动力核心 ( FV3 ) - 2019</b> <b>UKMO (~10km)</b> <b>JMA-GSM (~20km/0.1875°)</b> <b>CMC-GEM (~25km/17.2km)</b>
<b>全球集合预报</b>	<b>GRAPES-GEPS ( ~55km , 30个成员)</b> <b>EC-EPS ( ~18km , 51个成员)</b> → <b>~9km , 2020 → ~5km , 2025</b> <b>NCEP-GEFS (~34km , 21个成员)</b> → <b>NCEP-FV3GEFS , 2020</b> <b>~25km , 31个成员 , 35天</b> <b>UKMO-EPS ( ~20km , 18/36个成员)</b> <b>JMA-EPS ( ~40km/0.375° , 27个成员)</b> <b>CMC-GEPS ( ~39km , 21个成员)</b>

## ● NCEP-FV3GEFS强度预报改进

较GFS预报偏强有明显改进，但强度偏弱

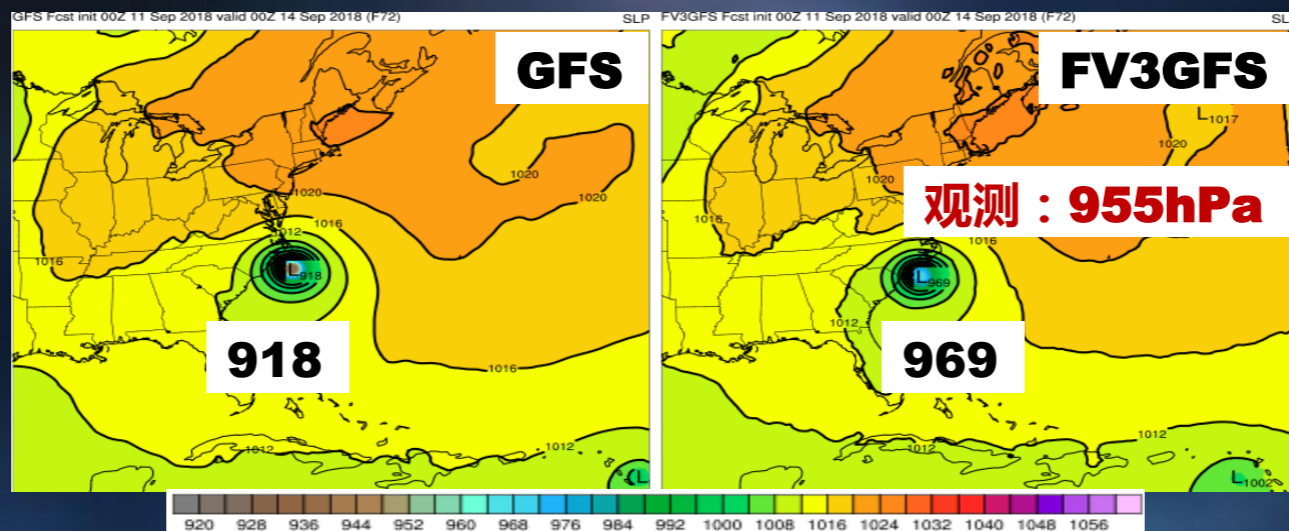


五级飓风“厄玛”（IRMA，2017）54小时预报

起报时间：2017年9月8日08时

## ● NCEP-FV3GEFS强度预报改进

较GFS预报偏强有明显改进，但强度偏弱

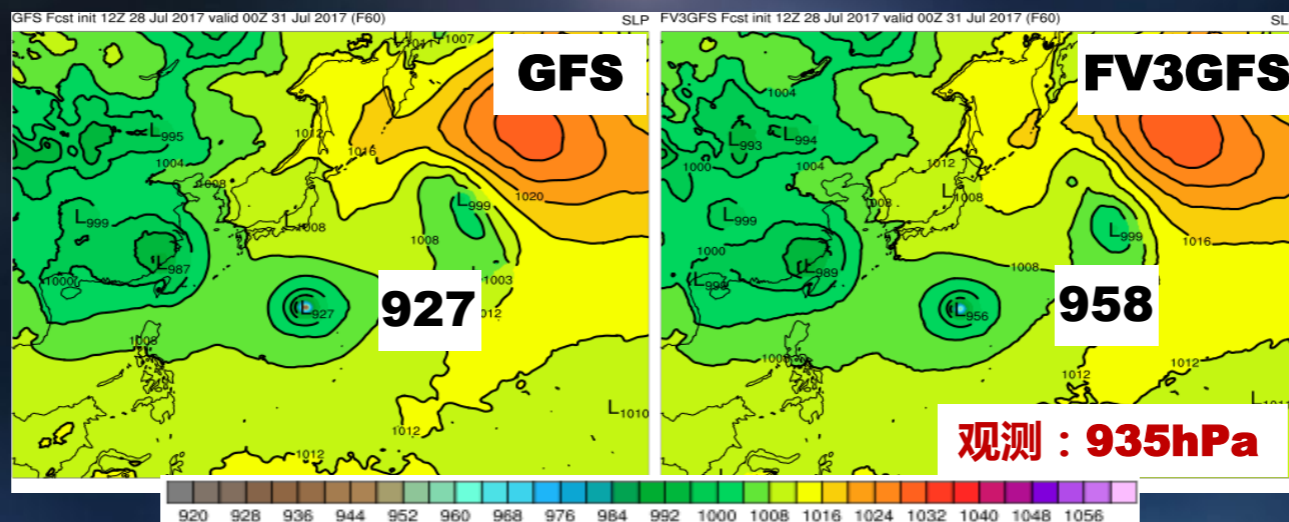


四级飓风“佛罗伦萨” ( FLORENCE , 2018 ) 72小时预报

起报时间：2018年9月11日08时

## ● NCEP-FV3GEFS强度预报改进

较GFS预报偏强有明显改进，但强度偏弱

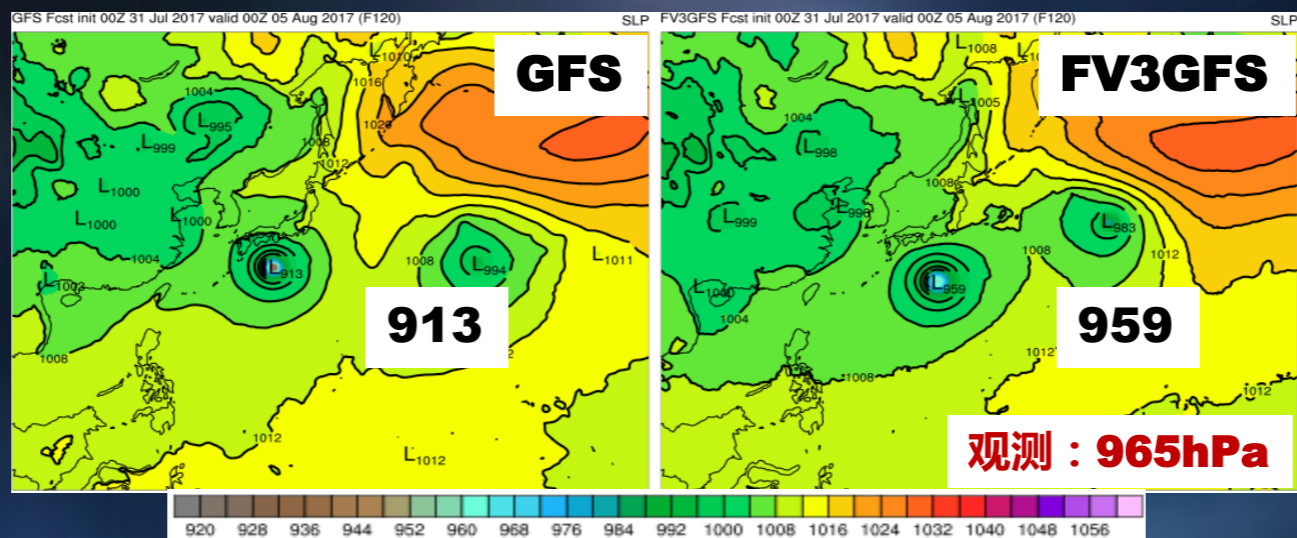


1705号台风“奥鹿” ( Noru ) 60小时预报

起报时间：2017年7月28日20时

# ● NCEP-FV3GEFS强度预报改进

较GFS预报偏强有明显改进，但强度偏弱

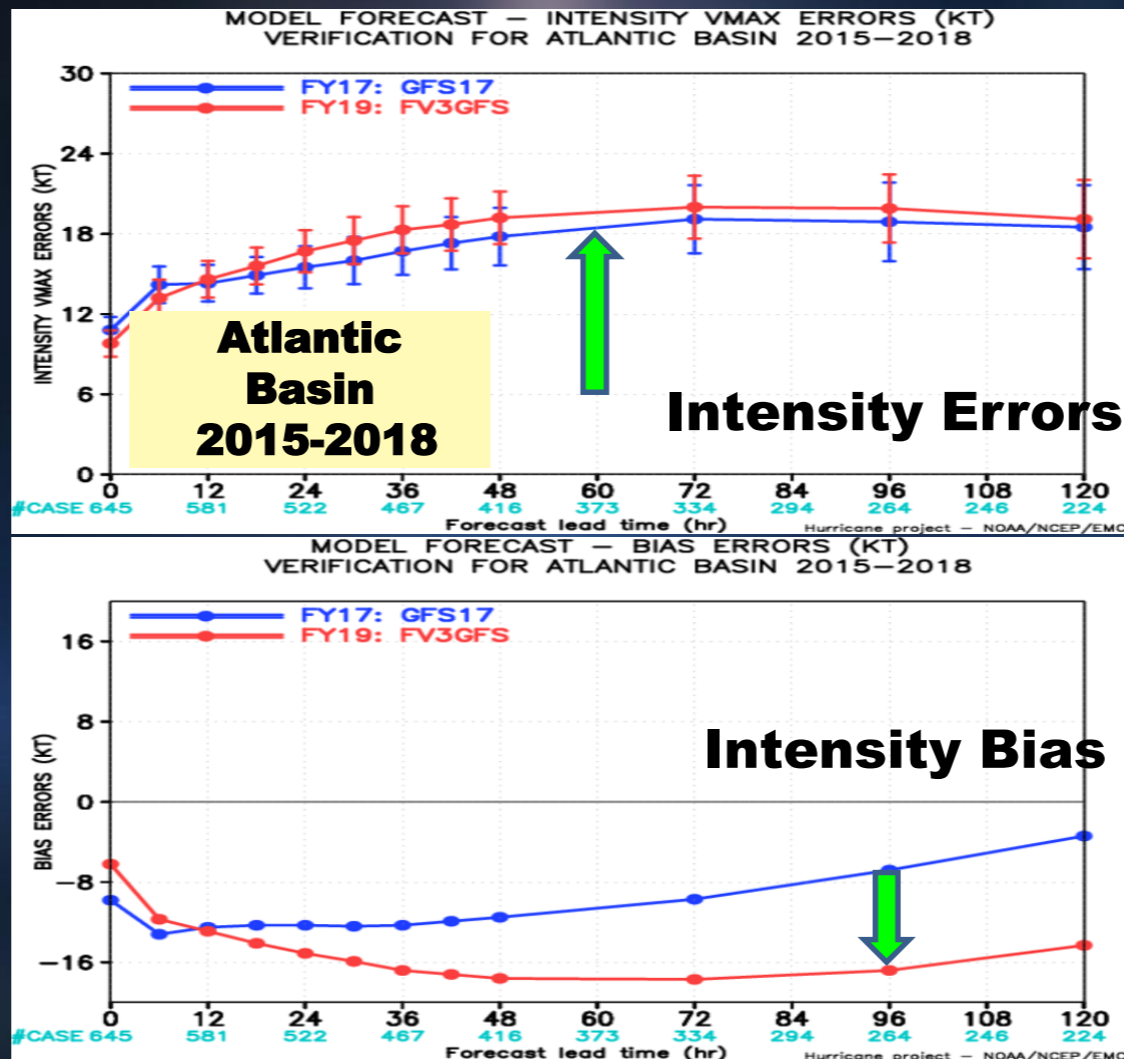


1705号台风“奥鹿” ( Noru ) 120小时预报

起报时间：2017年7月31日08时

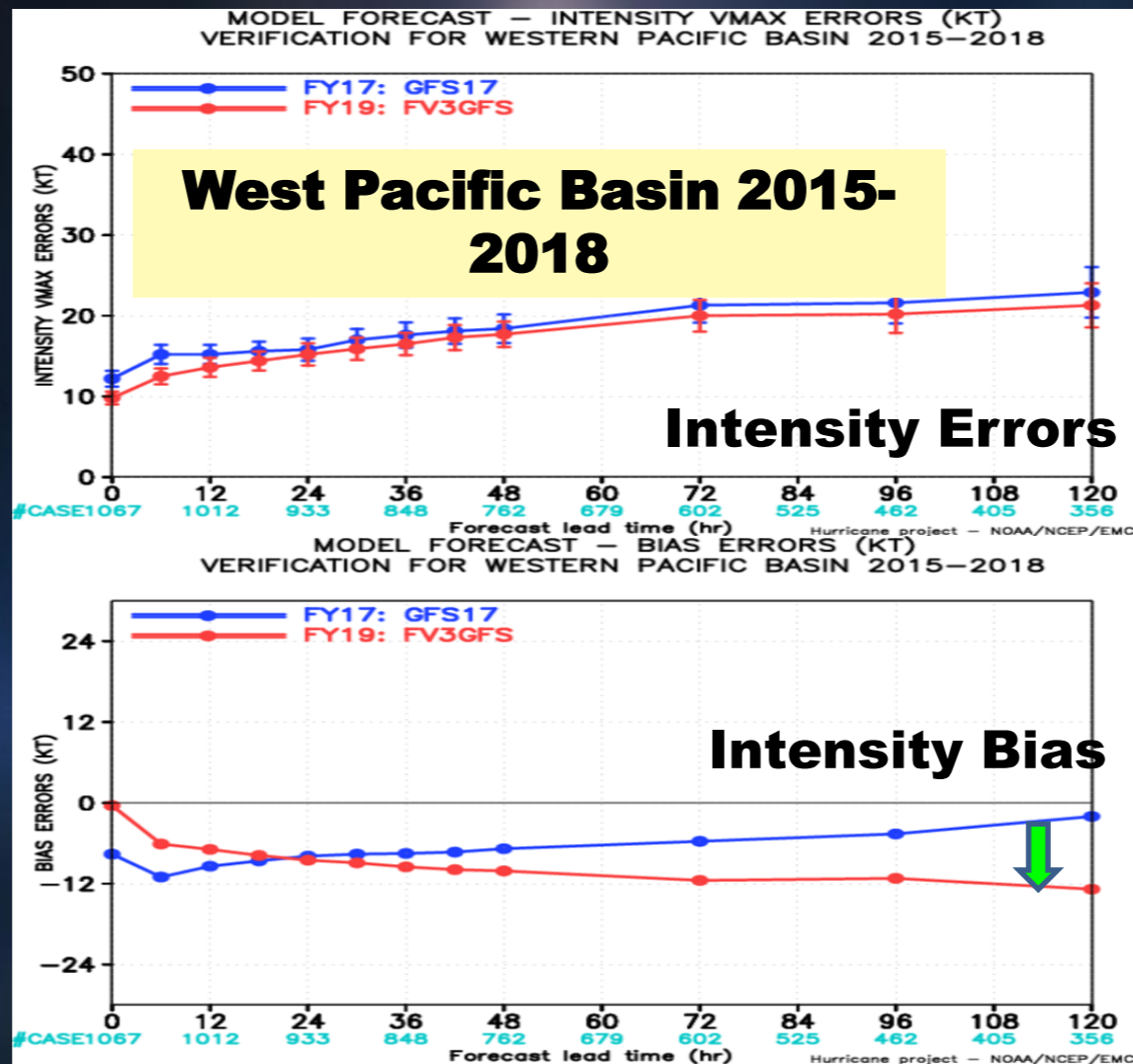
# ● NCEP-FV3GEFS强度预报改进

在北大西洋，虽预报偏强改善明显，但预报偏弱、误差仍较大



# ● NCEP-FV3GEFS强度预报改进

在西北太平洋，强度预报有一定改进，预报偏弱



# 台风数值模式系统

<b>中尺度 区域 集合预报</b>	<b>GRAPES-REPS ( ~10km , 30个成员)</b> <b>NRL-COAMPS-TC EPS (36/12/4km , 11个成员)</b>
<b>中尺度 区域模式</b>	<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 ( 海/气/浪耦合 , 13.5/4.5/1.5km )</b> → <b>Driven by FV3GFS 2019</b> <b>NCEP/EMC-HMON ( 海/气耦合 , 18/6/2km)</b> → <b>Driven by FV3GFS 2019</b> <b>Hurricanes in a Multi-scale Ocean coupled Nonhydrostatic model</b> <b>NRL-COAMPS-TC ( 海/气耦合 , 36/12/4km )</b> → <b>海/气/浪耦合 , 12/4/1.33 km, 2020&amp;2021</b>

# 台风强度客观预报方法

集成  
动力  
统计  
方法

台风强度气候持续性预报方法 ( **TCSP** )

台风强度统计预报方法 ( **WIPS** )

台风强度偏最小二乘回归气候持续预报方法 ( **PLSC** )

广西遗传神经网络方法 ( **ANNGA** )

**SHIFOR** (Statistical Hurricane Intensity Forecast)

**SHIPS** (Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme)

**DSHP** (SHIPS with Inland Decay)

**LGEM** (Logistic Growth Equation Model)

**STIPS** (Statistical TY Intensity Prediction Scheme)

**ICON/IVCN/IVDR Consensus**

Average of DSHP, LGEM, CTCI, ,GFSI, HWFI, HMNI

**HCCA** (HFIP Corrected Consensus Approach)

– Weighted average of AEMI, GFSI, CTCI, DSHP, EGRI, EMNI, EMXI, HWFI, LGEM

**FSSE** — FSU超级集合预报方法

# 中国国家级数值预报模式系统

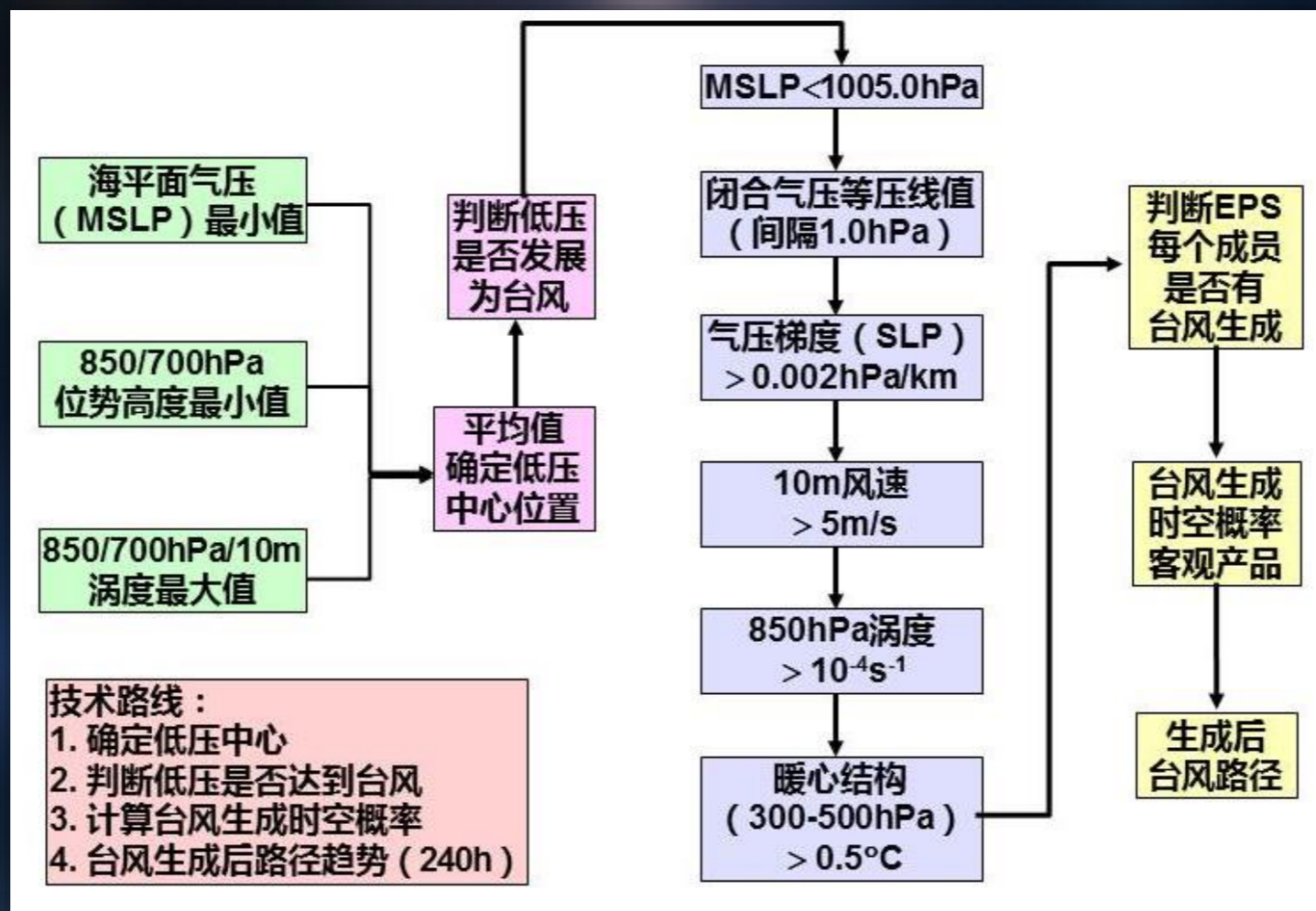
预报系统	<b>GRAPES_GFS</b> 全球预报系统 (包括台风)	高分辨率 <b>GRAPES</b> Meso	中尺度模式 <b>GRAPES</b> Meso	区域台风 <b>GRAPES</b> TYM	区域集合预报 <b>GRAPES</b> REPS	全球集合预报 <b>GRAPES</b> GEPS
预报时效	中期 (10day)	短期 (3day)	短期 (3day)	5天	3天	15天
预报范围	全球	中国关键区	东亚	西太平洋	东亚	全球
水平分辨率	<b>0.25×0.25°</b>	3km	10km	12km	10km	<b>0.5×0.5°</b>
垂直层次	<b>60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

## 6.7 台风生成预报

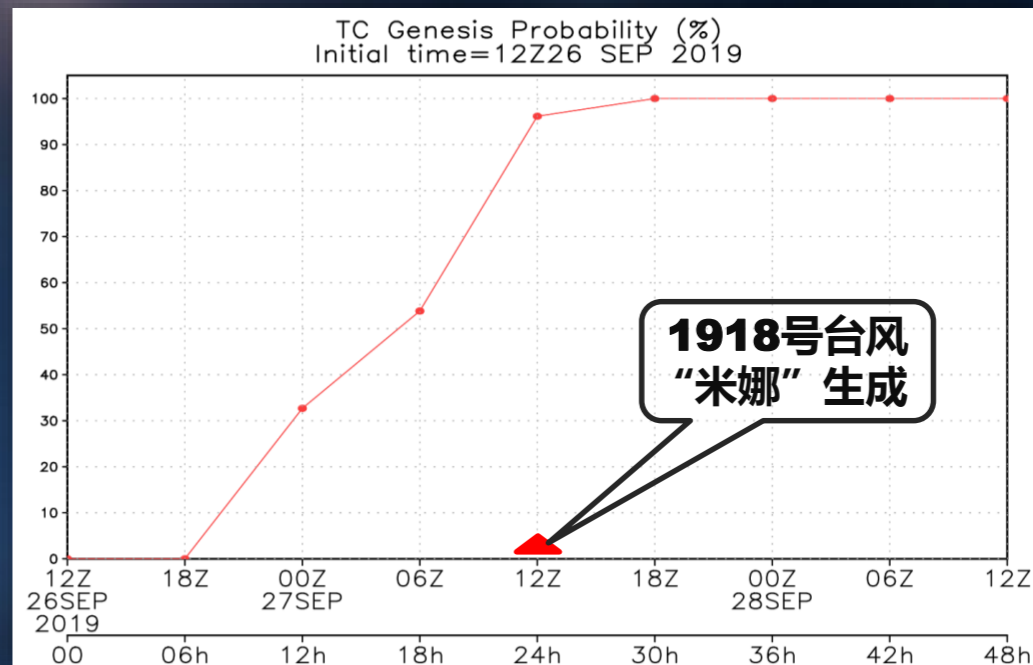
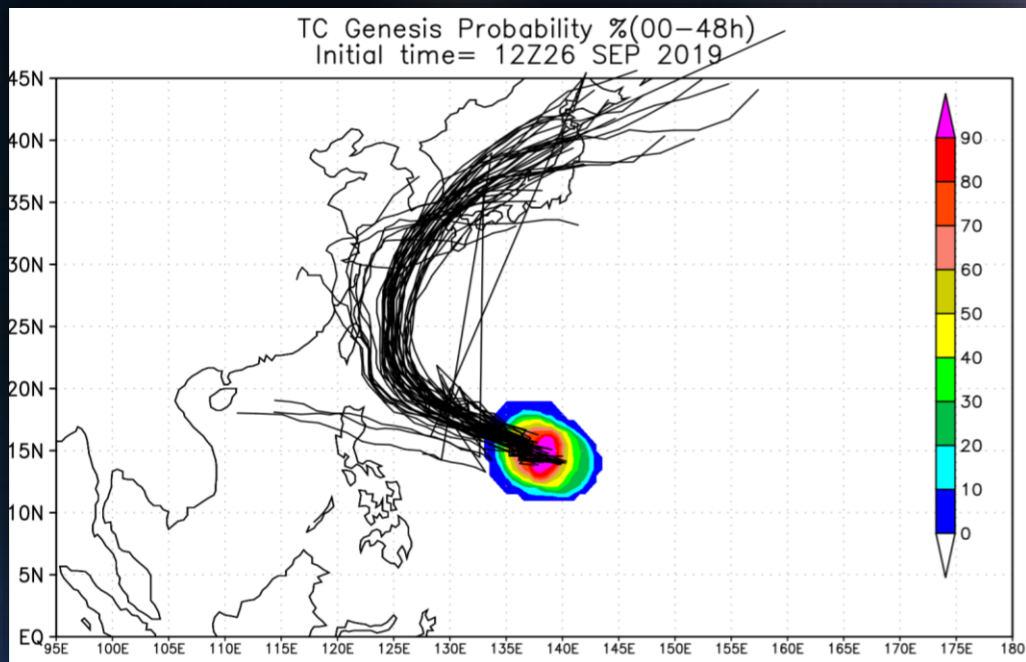


# 台风生成预报

## 关键技术：如何在集合模式中确定台风生成



# 台风生成预报---产品示例



**1918号台风“米娜”  
( Mitag )  
0-48小时生成概率预报  
起报时间：2019年9月26日20时**

## 6.8 台风强度指数



# 台风强度指数

## ✓ 强度突变指数 ( Kaplan and DeMaria 2003 )

### Rapid Intensification Index ( RII )

- 台风强度在未来24小时强烈发展 ( 24小时内增加15米/秒或以上 ) 的可能性
- 业务应用

**Atlantic & E. Pacific since 2006**

**Western Pacific since 2018**

# 台风强度指数

- ✓ **双眼墙形成指数** ( Kossin et. al. , 2006 )  
**Secondary Eyewall Formation Index ( SEFI )**
- ✓ **环状飓风指数** ( Cram et al. 2006 ) **Annular Hurricane Index ( AHI )**
- ✓ **风暴垂直切变倾向** ( Gallina and Velden 2002 )  
**Storm Relative Shear Tendency**
- ✓ **台风变性指数** ( Sarah C. Jones, Patrick A. Harr, Jim Abraham等 , 2003 )  
**Extra Tropical Transition Index ( ETI)**

# ● 强度突变指数

## Rapid Intensification Index ( RII )

<b>Predictors used in operational NHC SHIPS-RII</b>			
	Predictor	Definition	More Favorable
<b>1</b>	<b>PER</b>	<b>Previous 12-h intensity change</b>	<b>Larger</b>
2	VMAX	Maximum sustained wind (t=0h)	Avg. of RI sample
3	IRSD	Std. dev. of 50-200km IR brightness temperatures (t= 0h)	Smaller
4	IRPC	2nd principle component of IR image (0-440 km radius) (t= 0h)	Front left quadrant
5	SHEAR	850-200hPa shear 0-500 km radius	Smaller
<b>6</b>	<b>D200</b>	<b>200hPa divergence from 0-1000 km radius (time-avg.)</b>	<b>Larger</b>
7	TPW	Percent area with total precipitable water (TPW) < 45 mm within 500km 90 deg. up-shear (t=0h)	Smaller
8	CFLX	Inner-core dry-air predictor/flux	Smaller
<b>9</b>	<b>POT</b>	<b>Potential intensity ((time-avg.)</b>	<b>Larger</b>
<b>10</b>	<b>OHC</b>	<b>Oceanic heat content (time-avg.)</b>	<b>Larger</b>
<b>3 new predictors</b>		<b>RMW</b> <b>Objective Storm Size R5 (Knaff et al. 2014)</b> <b>Sine of Latitude</b>	

- **强度突变指数 Rapid Intensification Index ( RII )**

- 2018/2019 NHC Operational Statistical RI models**

- ✓ Predict RI probability for **8 RI thresholds** at **4 lead times** ( 20kt/12h, 25kt/24h, 30kt/24h, 35kt/24h, 40kt/24h, 45kt/36h, 55kt/48h and 65kt/72h) for Atlantic and E. Pacific

- **强度突变指数 Rapid Intensification Index ( RII )**

- 2018/2019 NHC Operational Statistical RI models**

- ✓ Multi-lead time RI models developed include the following

- ① **SHIPS-RII (Kaplan et al. 2015)**

- Based upon **linear discriminant analysis**
- 10 SHIPS environmental predictors utilized in both Atlantic and E. Pacific basins

- ② **Logistic regression and Bayesian RI models**

- (Rozoff and Kossin 2011; Kaplan et al. 2015)

- **强度突变指数 Rapid Intensification Index ( RII )**

- 2018/2019 NHC Operational Statistical RI models**

- ✓ Multi-lead time RI models developed include the following

- ③ **Consensus RI model**

- The arithmetic average of SHIPS, Logistic, and Bayesian models

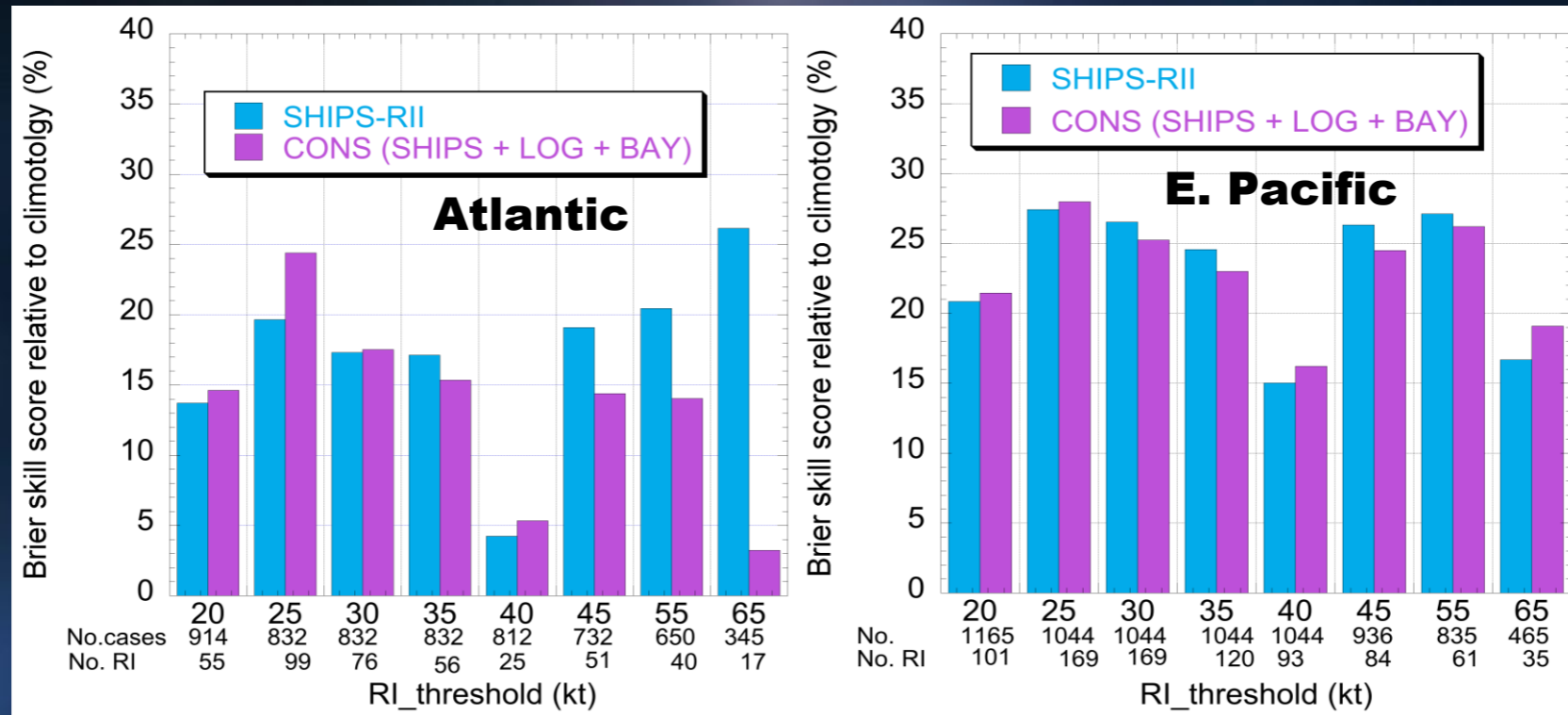
- ④ **Probabilistic Statistical Rapid Intensification Index (DTOPS)**

- (Matthew Onderlinde & M. DeMaria , 2018)

- Based on logistic regression, ECMWF, GFS, HWRF, LGEM, and SHIPS

● **强度突变指数 Rapid Intensification Index (RII)**

**2016-2018 NHC Operational Statistical RI models**



**Skill of the 2016-2018 Operational RI model Forecasts**

# ● 强度突变指数 Rapid Intensification Index ( RII )

## 2018/2019

### NHC Operational Statistical RI Product

CURRENT MAX WIND (KT): 75. LAT, LON: 21.0 66.9								
** 2019 ATLANTIC RI INDEX AL052019 DORIAN 08/29/19 12 UTC **								
(SHIPS-RII PREDICTOR TABLE for 30 KT OR MORE MAXIMUM WIND INCREASE IN NEXT 24-h)								
Predictor	Value	RI Predictor Range	Scaled Value(0-1)	% Contribution				
12 HR PERSISTENCE (KT)	: 5.0	-49.5 to 33.0	0.66	6.3				
850-200 MB SHEAR (KT)	: 7.0	30.1 to 2.3	0.83	3.0				
HEAT CONTENT (KJ/CM2)	: 60.0	0.0 to 151.8	0.40	1.2				
STD DEV OF IR BR TEMP	: 16.9	36.6 to 2.8	0.58	2.3				
MAXIMUM WIND (KT)	: 75.0	22.5 to 137.5	0.81	1.7	预报因子			
2nd PC OF IR BR TEMP	: 1.0	2.9 to -2.9	0.32	0.8				
POT = MPI-VMAX (KT)	: 71.3	27.5 to 139.6	0.39	1.0				
D200 (10**7s-1)	: 31.2	-29.7 to 185.9	0.28	0.3				
%area of TPW <45 mm upshear	: 41.5	100.0 to 0.0	0.58	0.0				
BL DRY-AIR FLUX (W/M2)	: 439.4	895.4 to -55.0	0.48	0.0				
SHIPS Prob RI for 20kt/ 12hr RI threshold= 11% is 2.2 times climatological mean ( 5.2%)								
SHIPS Prob RI for 25kt/ 24hr RI threshold= 23% is 2.1 times climatological mean (10.9%)								
SHIPS Prob RI for 30kt/ 24hr RI threshold= 17% is 2.4 times climatological mean ( 6.9%)								
SHIPS Prob RI for 35kt/ 24hr RI threshold= 13% is 3.1 times climatological mean ( 3.8%)								
SHIPS Prob RI for 40kt/ 24hr RI threshold= 12% is 5.6 times climatological mean ( 2.4%)								
SHIPS Prob RI for 45kt/ 36hr RI threshold= 13% is 2.9 times climatological mean ( 4.5%)								
SHIPS Prob RI for 55kt/ 48hr RI threshold= 16% is 3.4 times climatological mean ( 4.6%)								
SHIPS Prob RI for 65kt/ 72hr RI threshold= 18% is 3.3 times climatological mean ( 5.4%)								
Matrix of RI probabilities								
RI (kt / h)	20/12	25/24	30/24	35/24	40/24	45/36	55/48	65/72
SHIPS-RII:	11.3%	23.3%	16.6%	13.3%	12.1%	13.0%	15.5%	17.6%
Logistic:	4.7%	23.5%	14.5%	9.5%	5.4%	17.9%	14.4%	14.2%
Bayesian:	2.5%	7.8%	2.1%	0.2%	0.1%	1.8%	2.6%	0.2%
Consensus:	6.2%	18.2%	11.0%	7.7%	5.9%	10.9%	10.8%	10.7%
DTOPS:	11.0%	25.0%	17.0%	8.0%	4.0%	12.0%	8.0%	7.0%

2019年五级飓风“多里安” ( Dorian )  
美国国家飓风中心强度突变指数产品

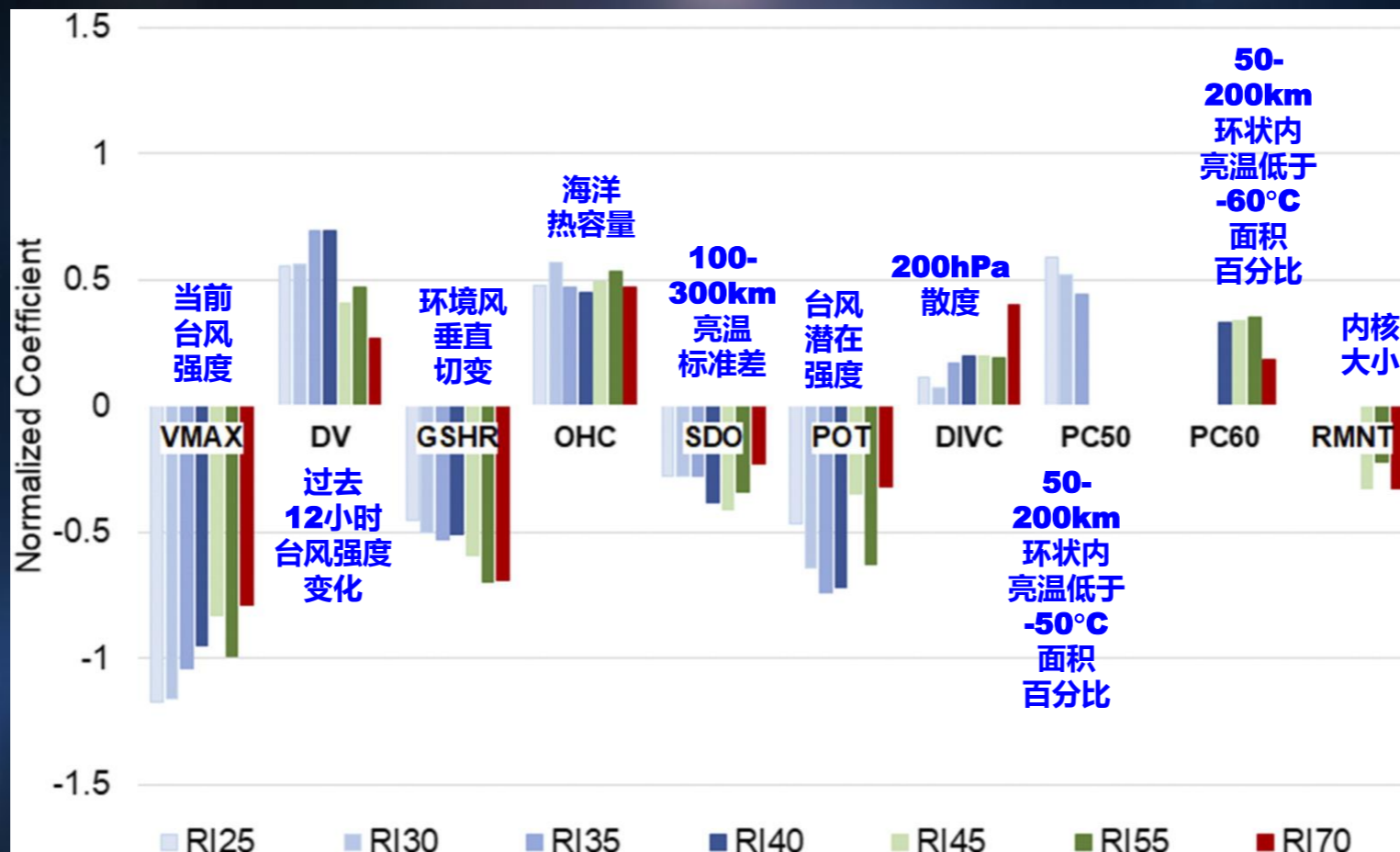
## ● 强度突变指数 Rapid Intensification Index ( RII )

<b>Predictors used in operational JTWC SHIPS-RII (Knaff et al. 2018)</b>		
	<b>Predictor</b>	<b>Definition</b>
<b>Environmental predictors</b> (time averaged from t=0 to the forecast time)		
<b>1</b>	<b>GSHR</b>	850-200hPa generalized wind shear in a 200-800km annulus (Knaff et al.2005)
<b>2</b>	<b>OHC</b>	Oceanic heat content (Shay et al. 2000)
<b>3</b>	<b>RHMD</b>	700-500hPa relative humidity averaged within 200-800km annulus
<b>4</b>	<b>DIVC</b>	200hPa divergence in 500km circle centered on the TC
<b>5</b>	<b>POT</b>	Potential intensity (at t=0)
<b>6</b>	<b>REFC</b>	Average relative eddy momentum flux convergence ( $\text{ms}^{-1}\text{day}^{-1}$ ) in 100-600km
<b>7</b>	<b>TADV</b>	Temperature advection between 850 and 700hPa averaged from 0 to 500km
<b>Satellite IR predictors</b>		
<b>8</b>	<b>PC50</b>	Percentage of IR pixels colder than $-50^{\circ}\text{C}$ within a 50-200km annulus
<b>9</b>	<b>PC60</b>	Percentage of IR pixels colder than $-60^{\circ}\text{C}$ within a 50-200km annulus
<b>10</b>	<b>SDO</b>	Standard deviation of IR brightness temperature at 100-300km
<b>11</b>	<b>RMNT</b>	Radius of minimum brightness temperature (0-150km)
<b>13</b>	<b>FR5</b>	Deviation of IR-based TC size (R5) from the climatological population
<b>Best-track/advisory-based predictors</b>		
<b>14</b>	<b>VMAX</b>	Current TC intensity (t=0)
<b>15</b>	<b>DV</b>	12h change in TC intensity, which is limited by the following function: $\text{DV}=\min[\min(\text{VMA}\times 0.33, 17.5), \text{DV}]$

● **强度突变指数 Rapid Intensification Index ( RII )**

**Predictors used in operational JTWC SHIPS-RII**

(Knaff et al. 2018)

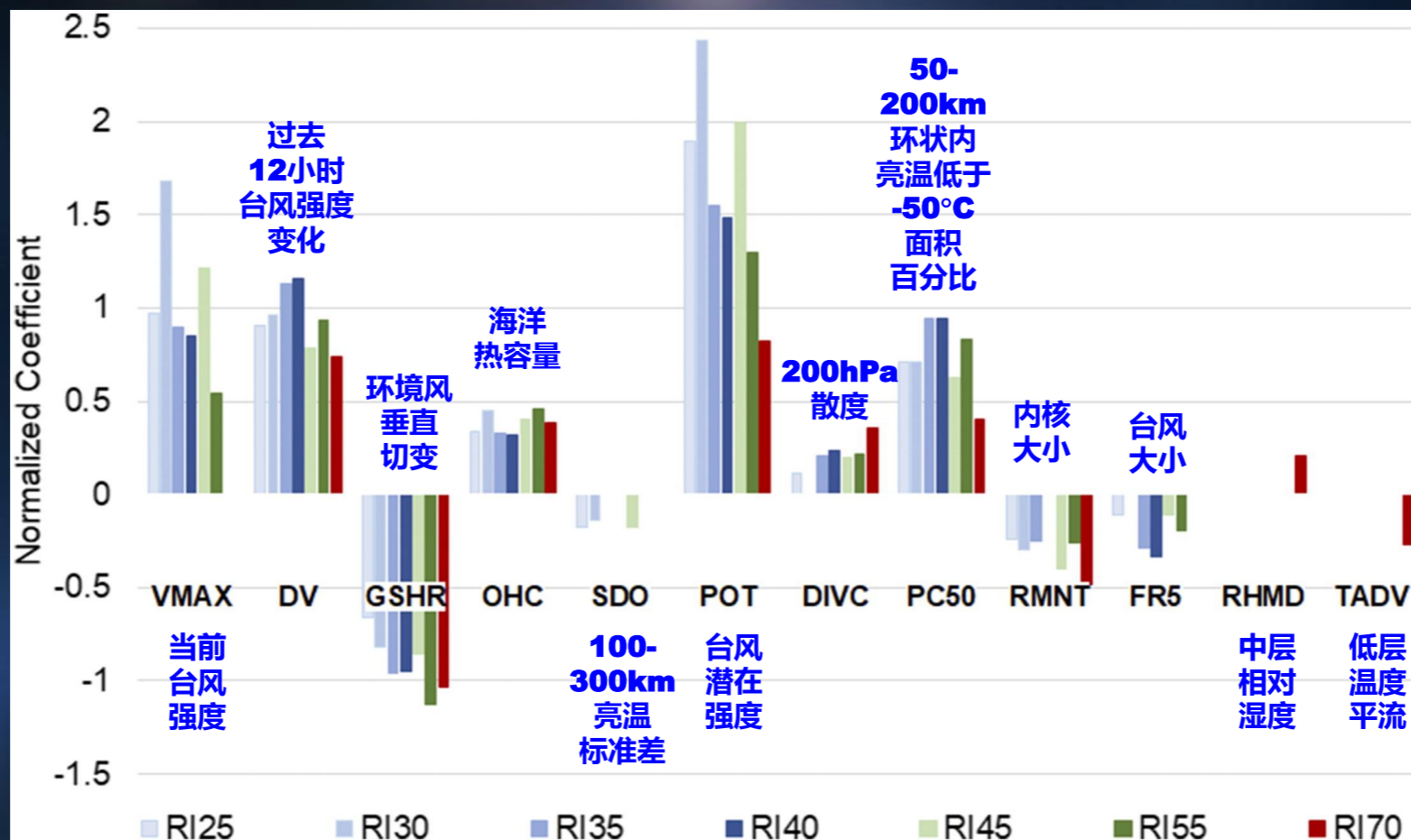


**Normalized discriminant function coefficients for linear discriminant analysis (LDA)**

● **强度突变指数 Rapid Intensification Index ( RII )**

**Predictors used in operational JTWC SHIPS-RII**

(Knaff et al. 2018)

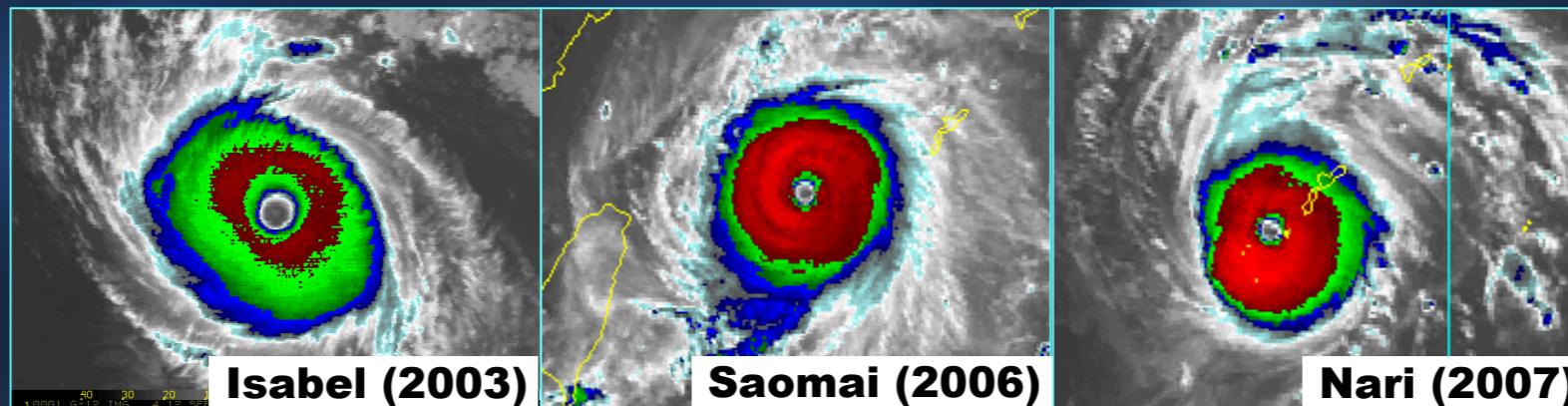


**Normalized discriminant function coefficients for logistic regression(LRE)**

## ● 环状飓风指数 Annular Hurricane Index ( AHI )

### ✓ 环状飓风的结构

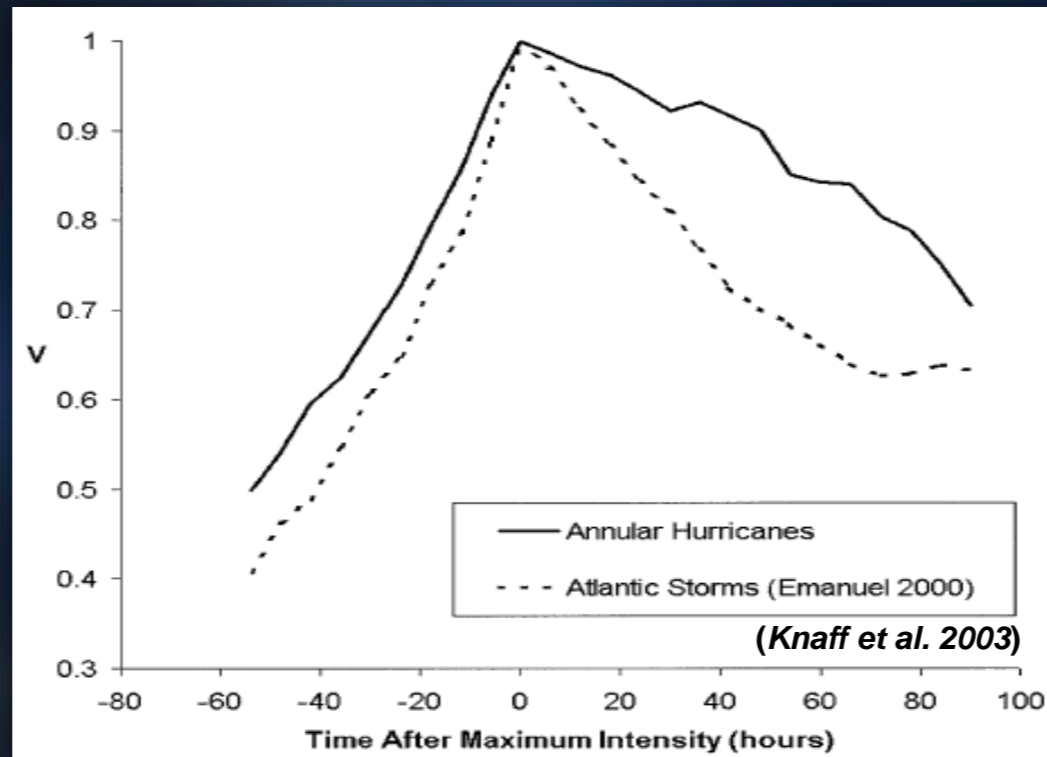
- Distinctly axisymmetric
- Large circular eyes
- Greatly reduced rainband activity
- Lasts at least 3 hours
- Rare, occur ~4% of the time
- ~4% Western Pacific 2000-2009 (Chu & Tan, 2014)
- East Pacific 3% and Atlantic 0.8% 1989–1999



## ● 环状飓风指数 Annular Hurricane Index ( AHI )

### ✓ 环状飓风强度特点

- Do not weaken rapidly after max intensity
- Intensity is very close to 85% MPI with respect to SST
- Have large intensity biases & larger than normal intensity errors



## ● **环状飓风指数 Annular Hurricane Index ( AHI )**

### ✓ **环状飓风形成的环境条件**

- **Weak Easterly/Southeasterly Wind Shear**
- **Weak Relative Eddy Flux Convergence**
- **200hPa Easterlies**
- **SSTs in a range 25.4 to 28.6°C steady or decreasing.**
- **Weak Easterly shear, under an upper ridge, over SST <28.6°C**
- **Intensity > 85kt**

## ● 环状飓风指数 Annular Hurricane Index ( AHI )

### ✓ 环状飓风指数的计算

Subjective Diagnostic	Objective Parameter	Source
Large eyewall radius	$R_c$	IR Imagery
Warm Eye	$\Delta T_{eye}$	IR Imagery
Vertical shear	SHRD	NCEP analysis
200 hPa winds	U200	NCEP analysis
Eddy flux convergence	REFC	NCEP analysis
SST	SST	Reynolds SST
Intensity	Intensity	NHC Best Track

Yellow = Structure

Blue = Environment

REFC: Relative Eddy Momentum Flux Convergence

$$REFC = -r^{-2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \overline{U'_L V'_L})$$

$r$  is the radius from storm center,  $U$  is the radial wind,  $V$  is the tangential wind, the overbar represents an azimuthal average with respect to storm center, the primes represent deviations from that average, and the subscript  $L$  indicates a coordinate system moving with the storm.

● **环状飓风指数 Annular Hurricane Index ( AHI )**

✓ **环状飓风指数的计算**

① **筛查 ( Screening )**

<b>Parameter</b>	<b>Prescreening Criterion</b>
<b>Intensity</b>	<b>&lt; 84kt</b>
<b>R<sub>c</sub></b>	<b>&lt; 50km</b>
<b>ΔT<sub>eye</sub></b>	<b>&lt; 15°C</b>
<b>SHRD</b>	<b>&gt; 11.3 ms<sup>-1</sup></b>
<b>U200</b>	<b>&lt; -11.8 or &gt; 1.5 ms<sup>-1</sup></b>
<b>REFC</b>	<b>&lt; -9 or &gt; 11 ms<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup></b>
<b>SST</b>	<b>&lt; 24.3 or &gt; 29.1 °C</b>

# ✓ 环状飓风指数的计算

## ② 线性判别分析 -- 机器学习方法之一

### Linear Discriminant Analysis(LDA)

Annular Hurricane Index EP052006 07/22/2006 00 UTC			
Parameter	Observation	Criterion	Passed or not
Screening <b>Storm Intensity</b>	= 130kt	> 84kt ?	---> Passed
Screening <b>SST</b>	= 27.3°C	> 24.3°C ?	---> Passed
Screening <b>SST</b>	= 27.3°C	< 29.1°C ?	---> Passed
Screening <b>Vertical Shear</b>	= 5.7kt	< 21.97 kt ?	---> Passed
Screening <b>200hPa Zonal Wind</b>	= -13.2kt	> -22.94 kt ?	---> Passed
Screening <b>200hPa Zonal Wind</b>	= -13.2kt	< 2.92 kt ?	---> Passed
Screening <b>200hPa Mom Flux Conv</b>	= -0.1m/s-day	> -9m/s-day ?	---> Passed
Screening <b>200hPa Mom Flux Conv</b>	= -0.1m/s-day	< 11m/s-day ?	---> Passed
Screening <b>Goes Rad Cold Br Temp</b>	= 106km	> 50km ?	---> Passed
Screening <b>Goes Eye-ring Br Temp</b>	= 16.2°C	> 15°C ?	---> Passed

Storm may be annular, passed screening  
Calculate AHI from discriminant analysis

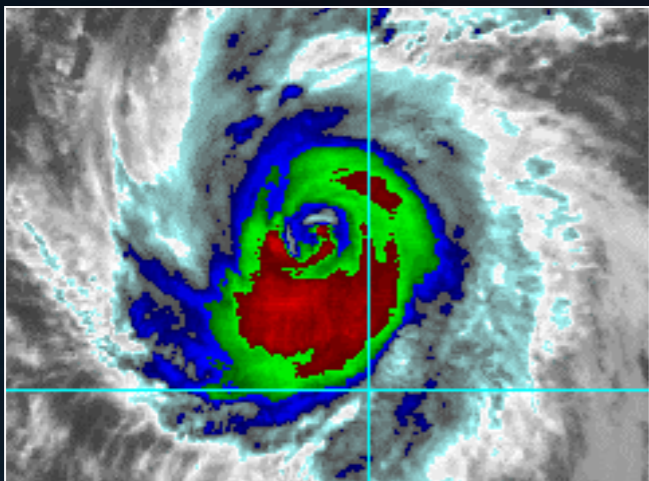
**Annular Hurricane Index (AHI) Value = 100.**

**(AHI = 100. is best match to annular structure)**

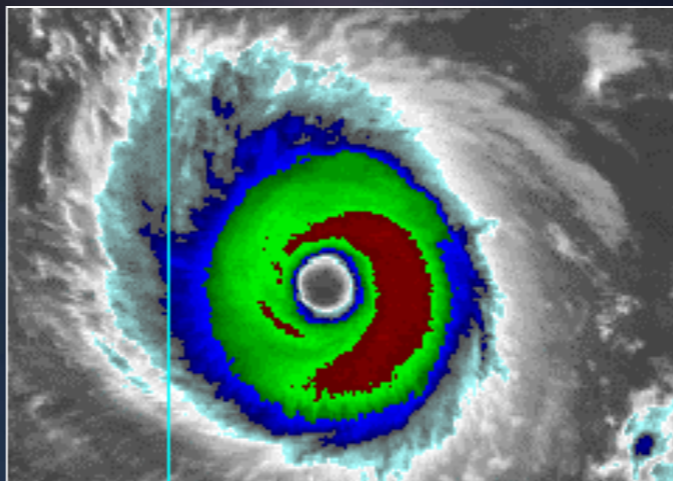
**(AHI = 1. is worst match to annular structure)**

**(AHI = 0. for no annular structure)**

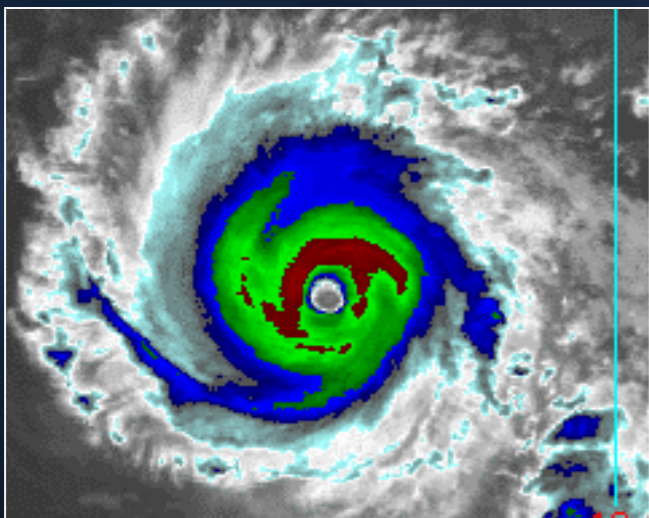
# ● 环状飓风指数 --- 四级飓风Daniel ( 2006 ) 示例



7/20/06 0Z, Vmax= 95kt  
AHI = 0



7/22/06 0Z Vmax = 130kt  
AHI = 100



7/21/06 0Z, Vmax= 120kt  
AHI = 50

- AHI = 0  
→ No annular structure
- AHI = 1  
→ Worst match to annular structure
- AHI = 100  
→ Best match to annular structure

## ● 环状飓风指数 Annular Hurricane Index ( AHI )

**2018/2019**

### **NHC Operational Statistical AHI Product**

```
ANNULAR HURRICANE INDEX (AHI) AL052019 DORIAN 08/29/19 12 UTC  
STORM NOT ANNULAR, SCREENING STEP FAILED, NPASS=3 NFAIL=4  
AHI= 0 (AHI OF 100 IS BEST FIT TO ANN. STRUC., 1 IS MARGINAL, 0 IS NOT ANNULAR)
```

**2019年五级飓风“多里安” ( Dorian )**

**美国国家飓风中心环状飓风指数产品**

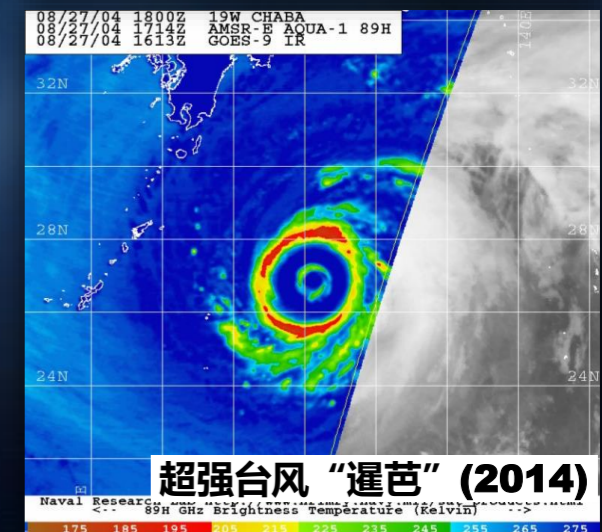
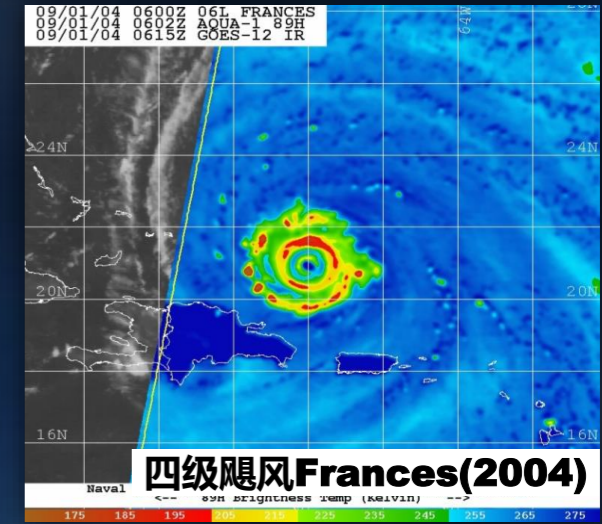
**<ftp://ftp.nhc.noaa.gov/atcf/stext>**

## ● 双眼墙形成指数

### Secondary Eyewall Formation Index ( SEFI )

#### 双眼墙台风特点

- ✓ Precursors to large and rapid intensity and structure changes
- ✓ Often interrupt intensification, sometimes briefly, sometimes permanently
- ✓ Wind field expands: **wind radii, storm surge**, and integrated **kinetic energy** all increase
- ✓ Present a unique forecast challenge, but no objective guidance available



## ● 双眼墙形成指数

### Secondary Eyewall Formation Index ( SEFI )

Predictors used in operational <b>NHC SEFI</b>			
	Predictor	Definition	Preference for SEF
<b>1</b>	<b>VMX</b>	Current intensity	Stronger
<b>2</b>	<b>LAT</b>	Latitude	Further south
<b>3</b>	<b>D26C</b>	Climatological depth of 26°C ocean	Deeper
<b>4</b>	<b>U200</b>	200hPa zonal wind (200–800 km from center)	Weaker (near zero), very narrow range
<b>5</b>	<b>RHHI</b>	500-300hPa relative humidity	Moister
<b>6</b>	<b>TWAC</b>	0-600km average symmetric tangential wind at 850hPa	Stronger
<b>7</b>	<b>PENC</b>	Azimuthally averaged surface pressure at outeredge of vortex	Lower
<b>8</b>	<b>SHRD</b>	850–200-hPa shear magnitude	Weaker, narrow range
<b>9</b>	<b>VMPI</b>	Maximum potential intensity	Higher, very narrow range
<b>10</b>	<b>IR00–05</b>	Standard deviation (from axisymmetry) of infrared brightness temperature between 100 and 300km	Smaller (more axisymmetric)
<b>11</b>	<b>IR00–16</b>	Average infrared brightness temperature between 20 and 120km	Colder, narrow range

## ● 双眼墙形成指数

### Secondary Eyewall Formation Index ( SEFI )

#### ✓ Probability of Secondary Eyewall Formation (PSEF)

- Executes within SHIPS using environmental and satellite-based features as input
- Probability of secondary eyewall formation, given a collection **F** of observed features (storm, environment, satellite)
- Provides probability of the onset of an eyewall Formation at lead-times: 0–12h, 12–24h, 24–36h, 36–48h

$$P(C_{\text{sef}}|\mathbf{F}) = \frac{P(C_{\text{sef}})P(\mathbf{F}|C_{\text{sef}})}{P(\mathbf{F})}$$

## ● 双眼墙形成指数

### Secondary Eyewall Formation Index ( SEFI )

**2018/2019**

### **NHC Operational Statistical PSEF Product**

```
** PROBLTY OF AT LEAST 1 SCNDRY EYEWL FORMTN EVENT AL052019 DORIAN      08/29/2019  12 UTC *
TIME(HR)   0-12  12-24(0-24)  24-36(0-36)  36-48(0-48)
CLIMO(%)   5      8( 13)      11( 22)      16( 35)      <-- PROB BASED ON INTENSITY ONLY
PROB(%)    0      1( 1)       0( 1)       1( 2)       <-- FULL MODEL PROB (RAN NORMALLY)
```

**2019年五级飓风“多里安” ( Dorian )**

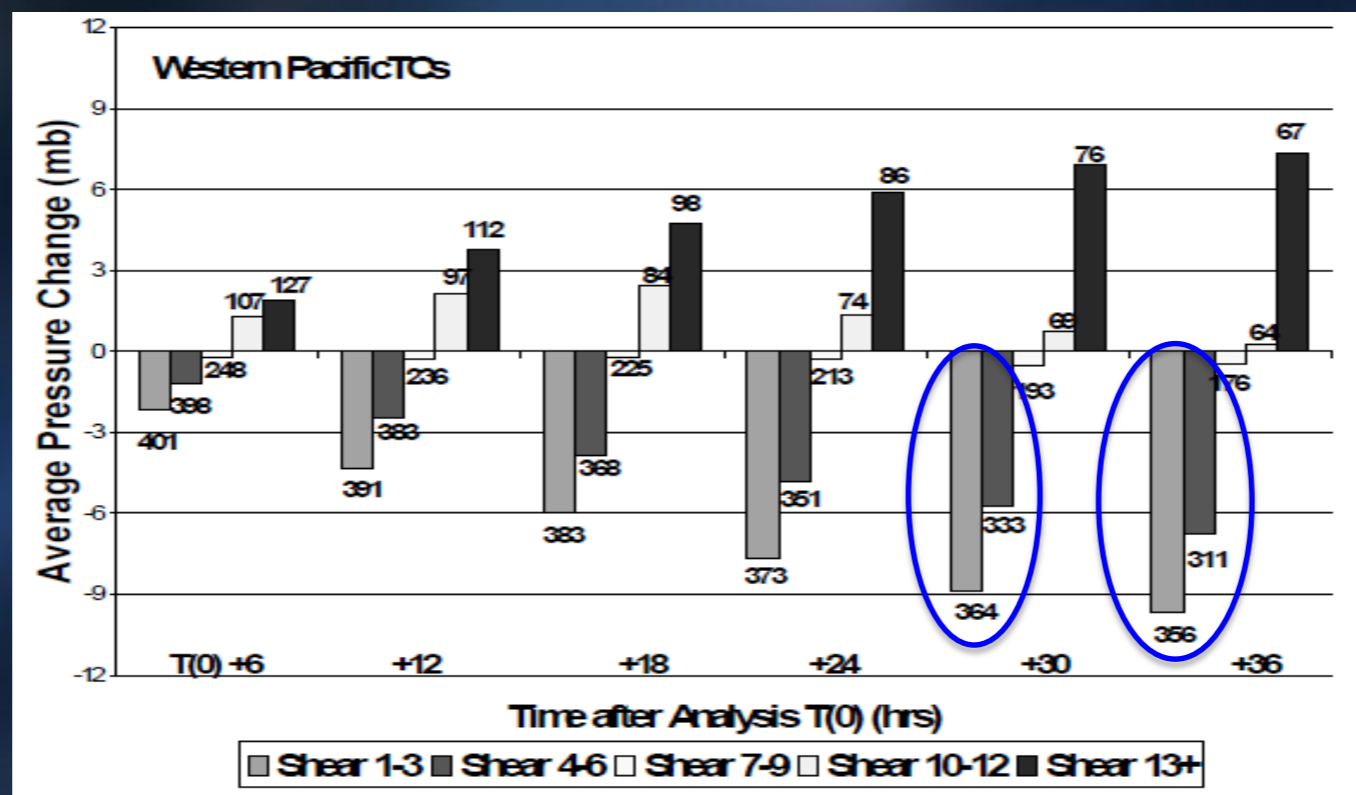
**美国国家飓风中心双眼墙形成指数产品**

**<ftp://ftp.nhc.noaa.gov/atcf/stext>**

## ● 风暴垂直切变倾向

### Storm Relative Shear Tendency

- 西北太平洋，环境垂直切变临界值约为9-10米/秒
  - ① 环境垂直切变大于9-10米/秒时，一般趋于减弱
  - ② 环境垂直切变小于9-10米/秒时，一般趋于加强或维持



西太平洋台风强度变化与环境风垂直切变的关系

## ● 台风变性指数

### **Extra Tropical Transition Index ( ETI )**

- ✓ Structural unknowns, the cyclone having originated and tracked over oceanic/data sparse areas
- ✓ Rapid changes in this structure that occur during the transformation phase
- ✓ ET is a complex evolutionary process that involves interactions over a variety of horizontal and vertical scales
- ✓ Some of the physical processes of ET are as yet still uncertain
- ✓ ET process is poorly understood and incompletely researched
- ✓ A universal definition of ET does not exist

- **台风变性指数**

**Extra Tropical Transition Index ( ETI )**

- ✓ **热力非对称性指数 ( Thermal Asymmetry )**



- ✓ **热成风指数 ( Thermal wind )**

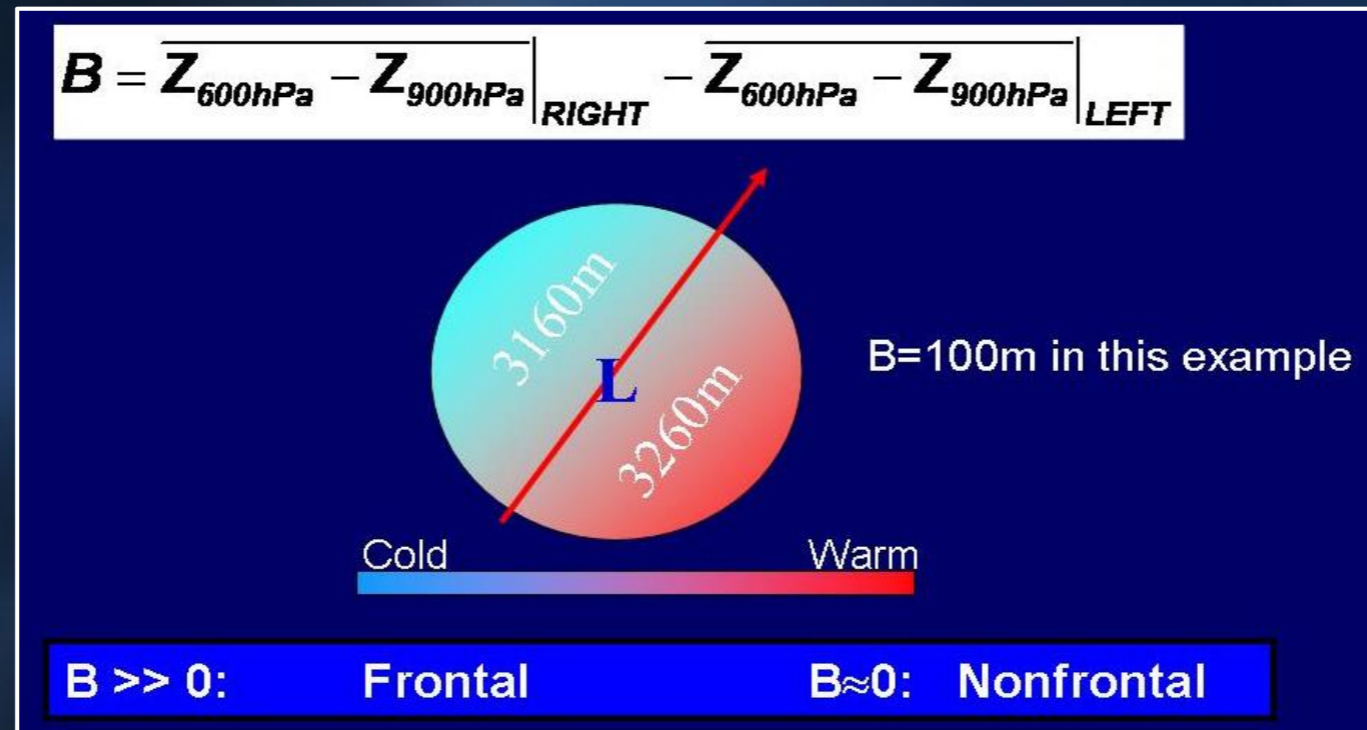


## ● 台风变性指数

**Extra Tropical Transition Index ( ETI )**

### ✓ 热力非对称性指数 ( **Thermal Asymmetry** )

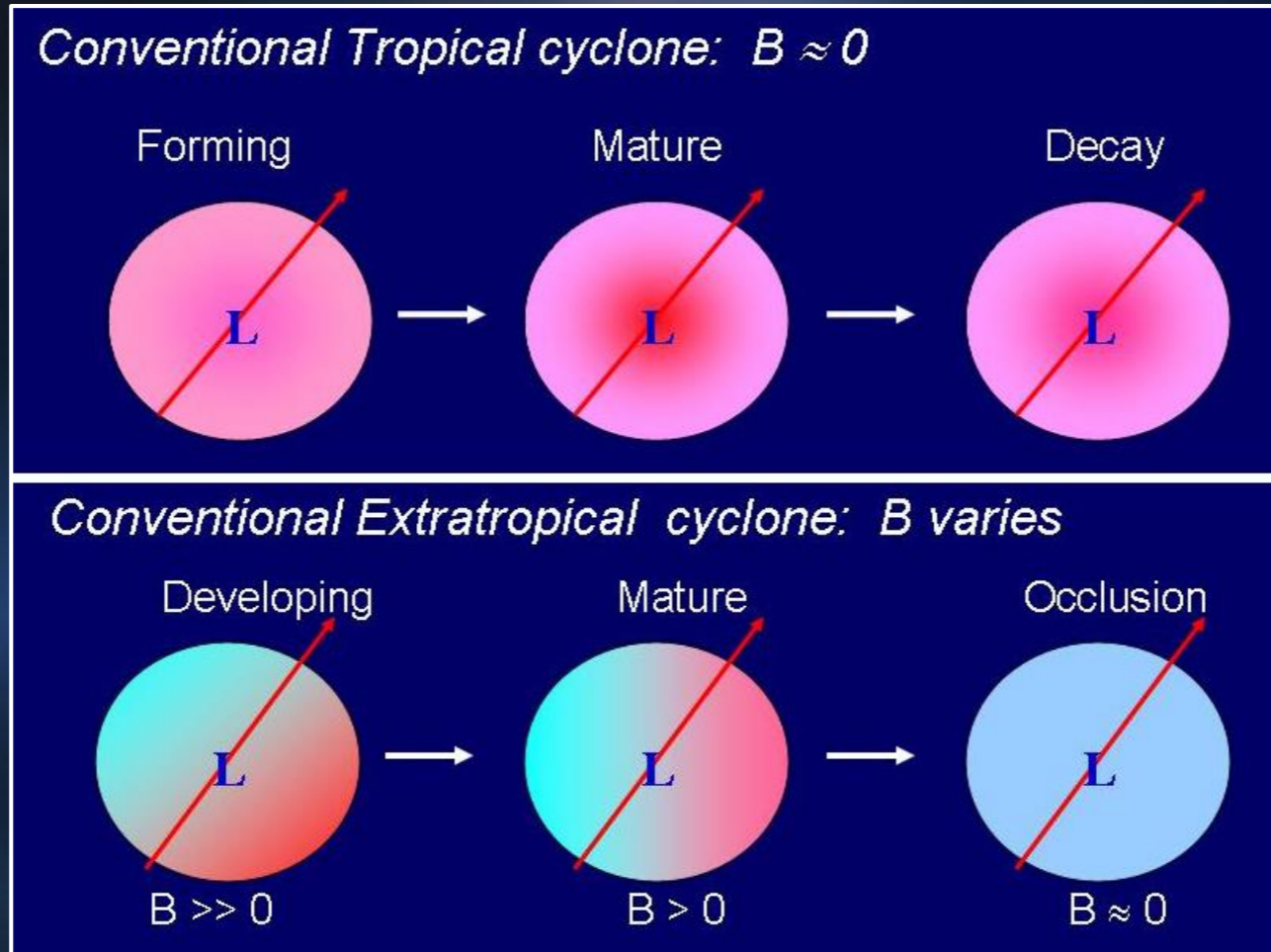
- 按台风移动方向将以台风中心为圆心、半径为500km的圆形区域分为左右半圆，左右半圆600-900hPa的平均等压面高度差的非对称性差异定义为热力非对称性指数**B**，用公式表示如下：



## ● 台风变性指数

**Extra Tropical Transition Index ( ETI )**

## ✓ 热力非对称性指数 ( **Thermal Asymmetry** )



# ✓ 热成风指数 ( Thermal wind ) - $V_T$

500km半径范围内等压面高度差:

$$\Delta Z = Z_{MAX} - Z_{MIN}$$

中高纬地区, 高空风十分接近地转风, 由地转风( $V_g$ )平衡关系, 得到:

$$\Delta Z = d f / |V_g| / g$$

$d$  为等压面高度差的距离,  $f$  为科氏参数,  $g$  为重力加速度

由热成风( $V_T$ )平衡关系, 得到:

$$\frac{\partial(Z_{MAX} - Z_{MIN})}{\partial \ln p} \Big|_{900hPa}^{600hPa} = -|V_T^L|$$

$$\frac{\partial(Z_{MAX} - Z_{MIN})}{\partial \ln p} \Big|_{600hPa}^{300hPa} = -|V_T^U|$$

$$-V_T^L < 0$$

&

$$-V_T^U < 0$$

Cold-core

$$-V_T^L > 0$$

&

$$-V_T^U > 0$$

Warm-core

根据静力学公式, 台风是暖心结构, 气压梯度随高度减少

