

## 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

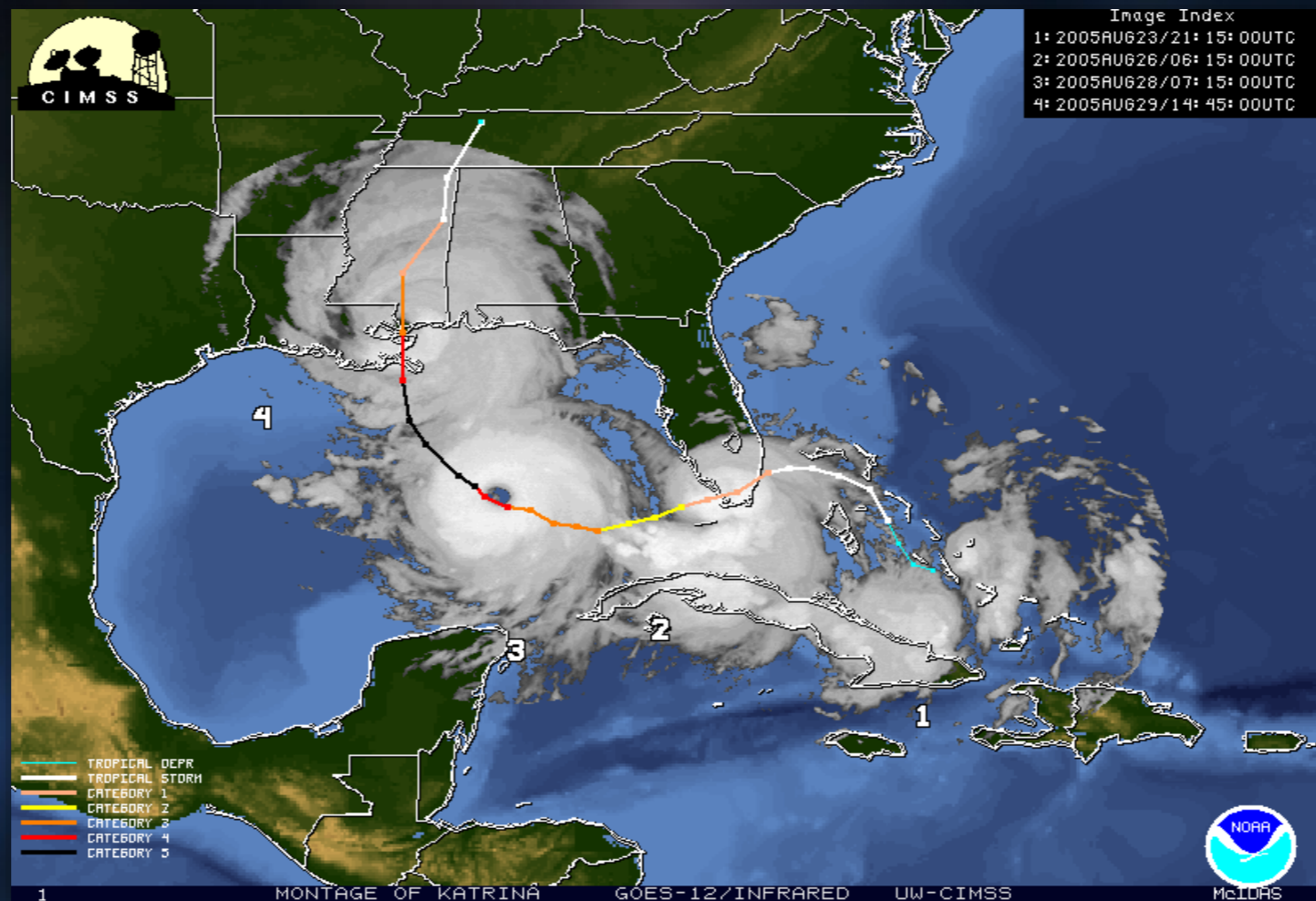
- 台风气柱盘居下的洋面与周围相比气压低得多，这样的气压差将使台风气柱所在海面的深部冷海水向上涌升
- 若台风停滞少动，海面冷却过程会持续，使台风减弱和衰亡

## ● 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

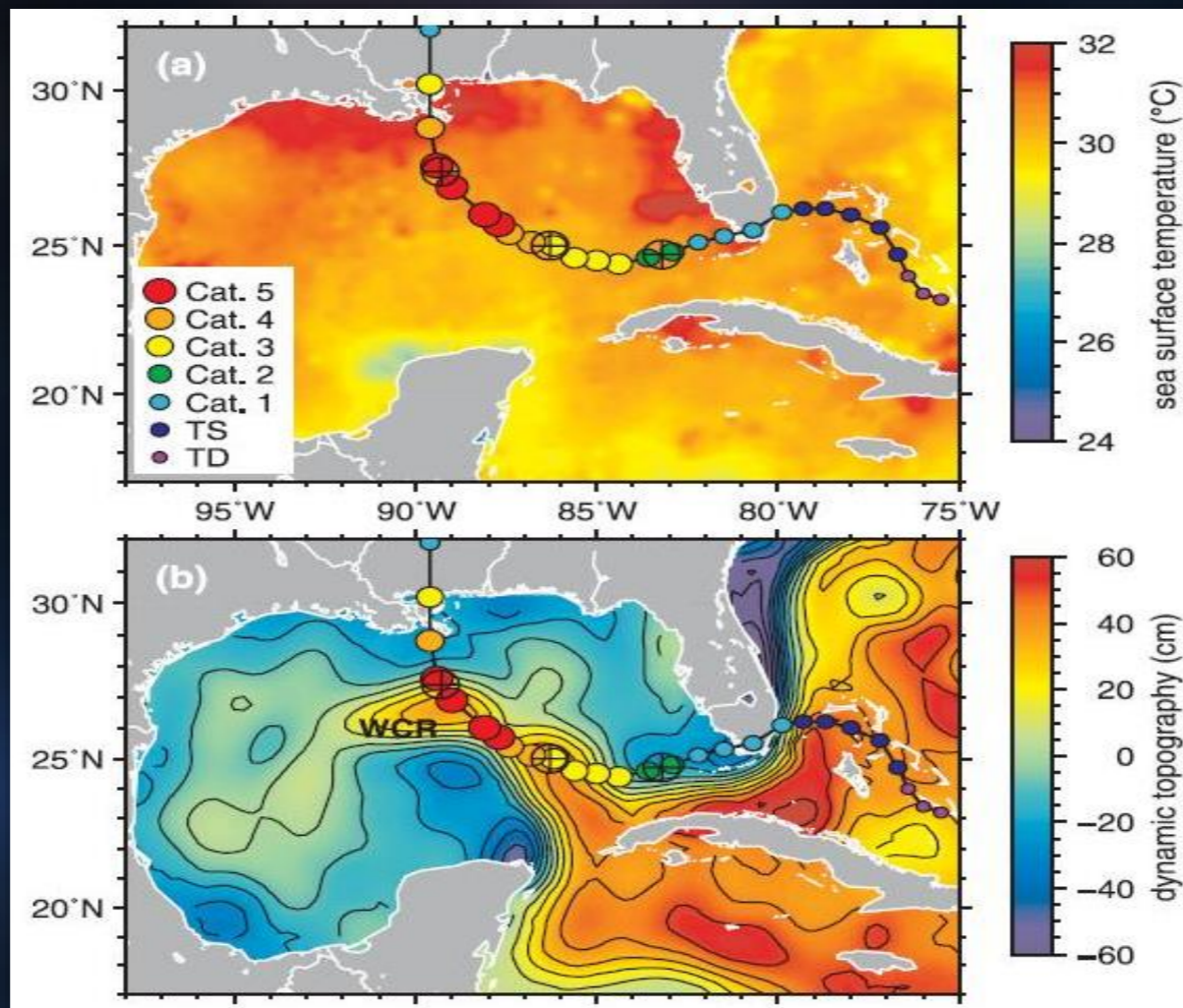
- 对于移动的台风，海面冷却的影响时间短暂，不足以使台风减弱
- 台风移过的海面会遗留一条冷尾迹，当另一台风穿越该冷海水带时，强度就会减弱

# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 飓风“卡特里娜” (2005)



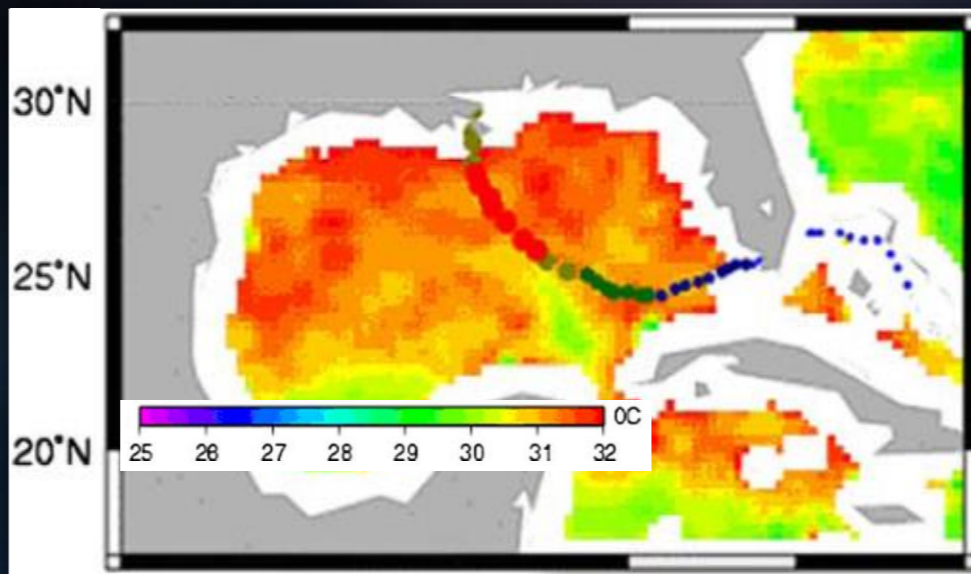
飓风“卡特里娜”路径图和卫星云图

● 海洋与台风涡旋的相互作用--- 飓风“卡特里娜”（2005）



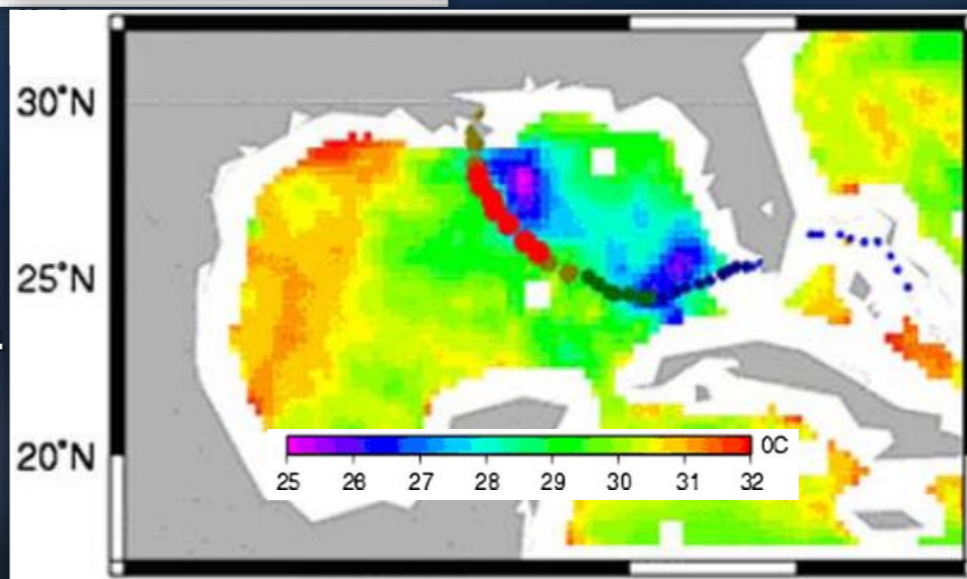
**SST and Dynamic Topography during Katrina's Passage  
across the Mexico Gulf**

● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 飓风“卡特里娜”（2005）

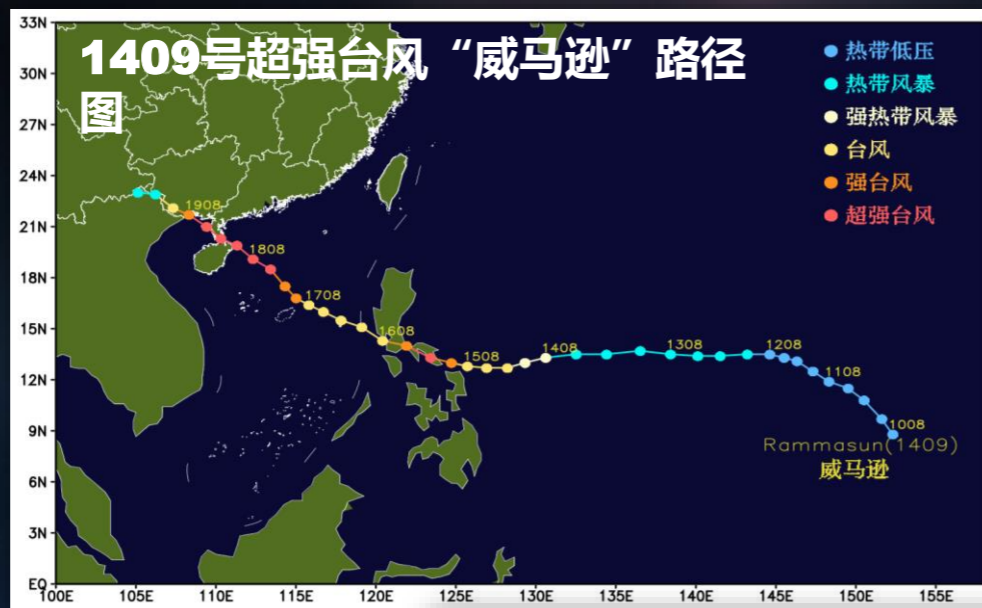


“卡特里娜”  
经过前两天的TMI海温

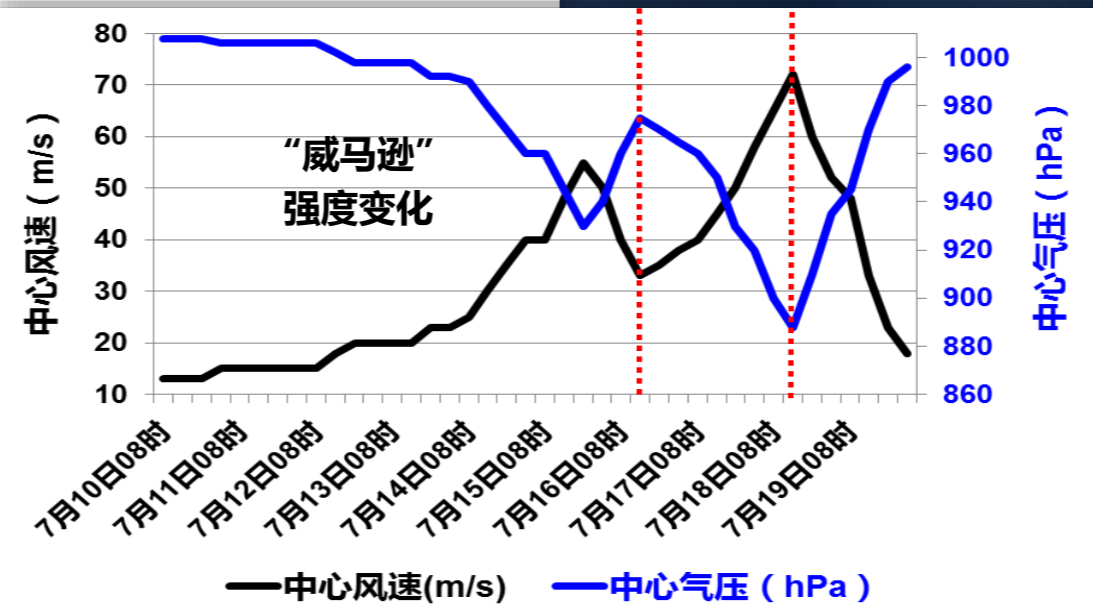
“卡特里娜”  
经过后一天的TMI海温



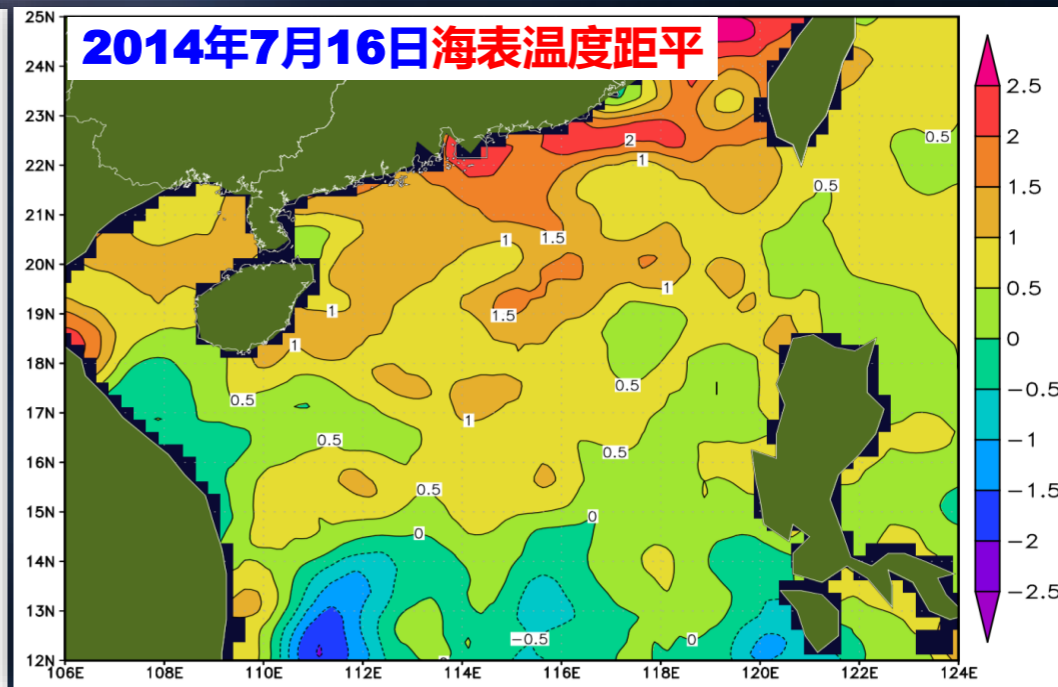
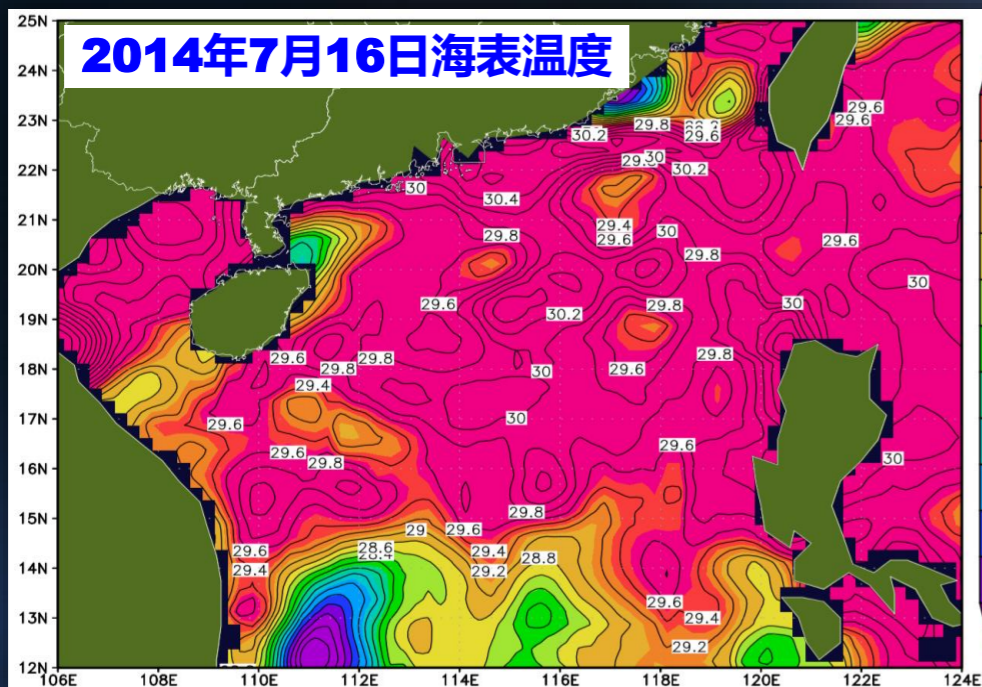
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“威马逊” (2014)



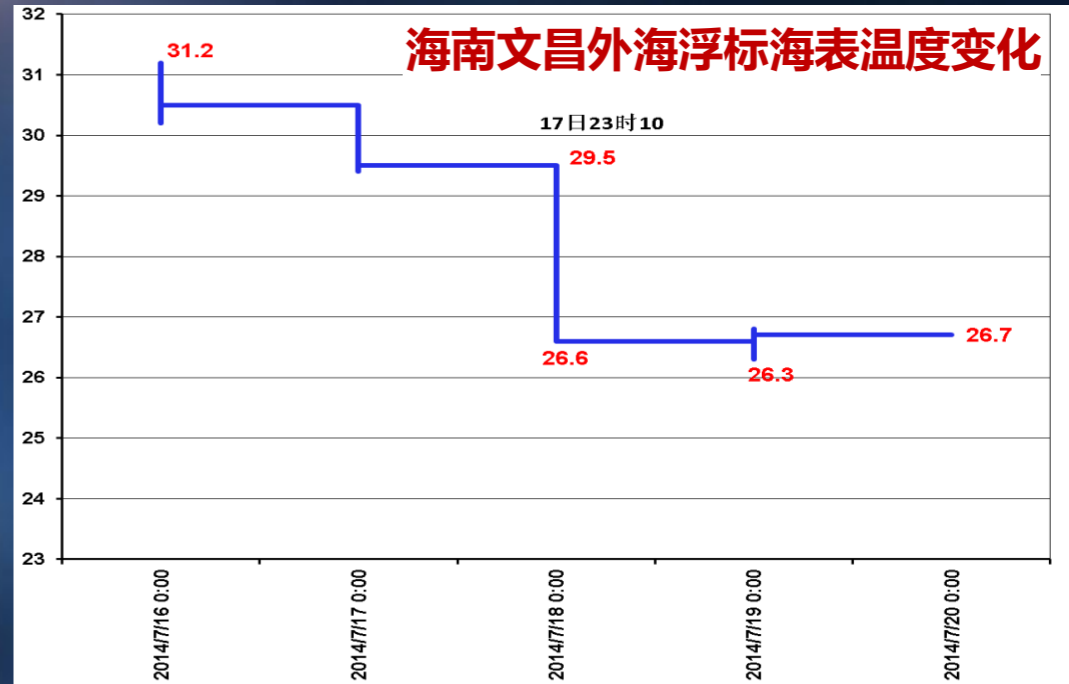
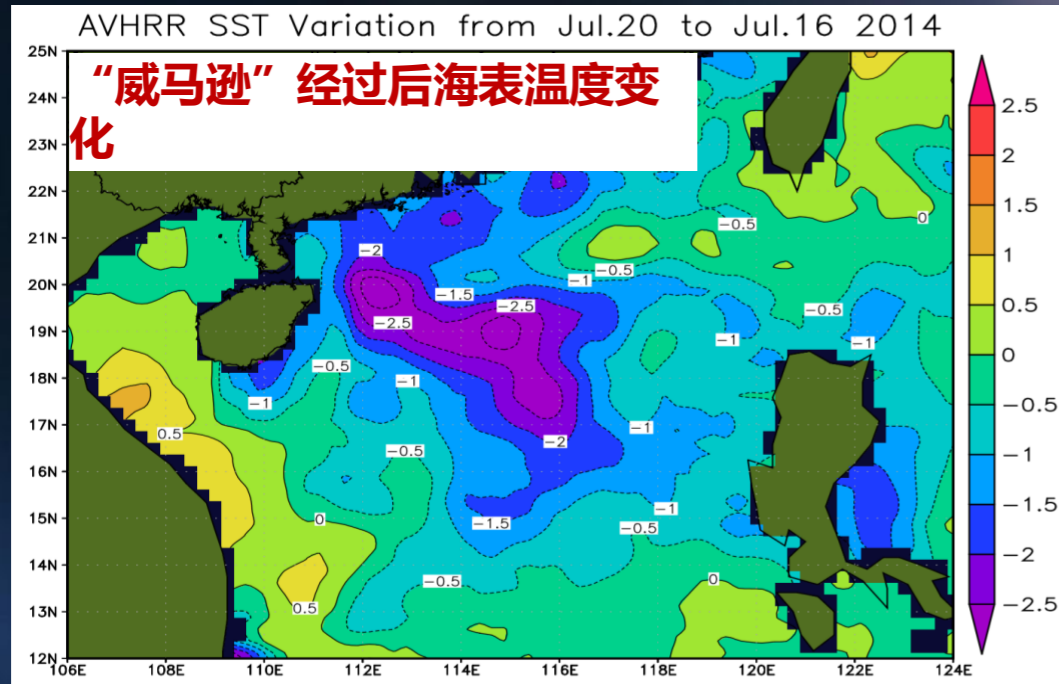
55m/s 72m/s  
930hPa 888hPa



# 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 (  $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$  )**

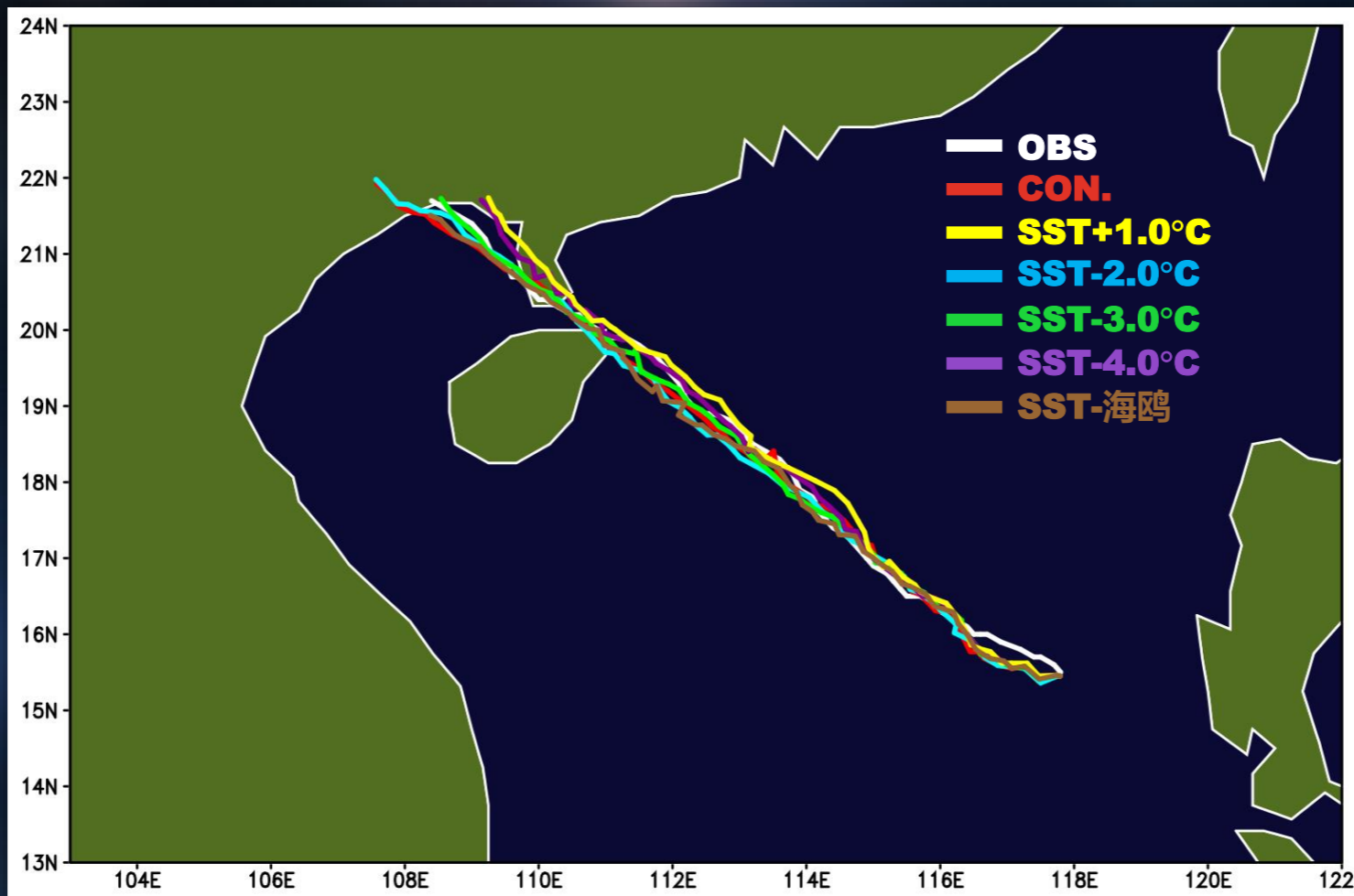
# 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

## 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）

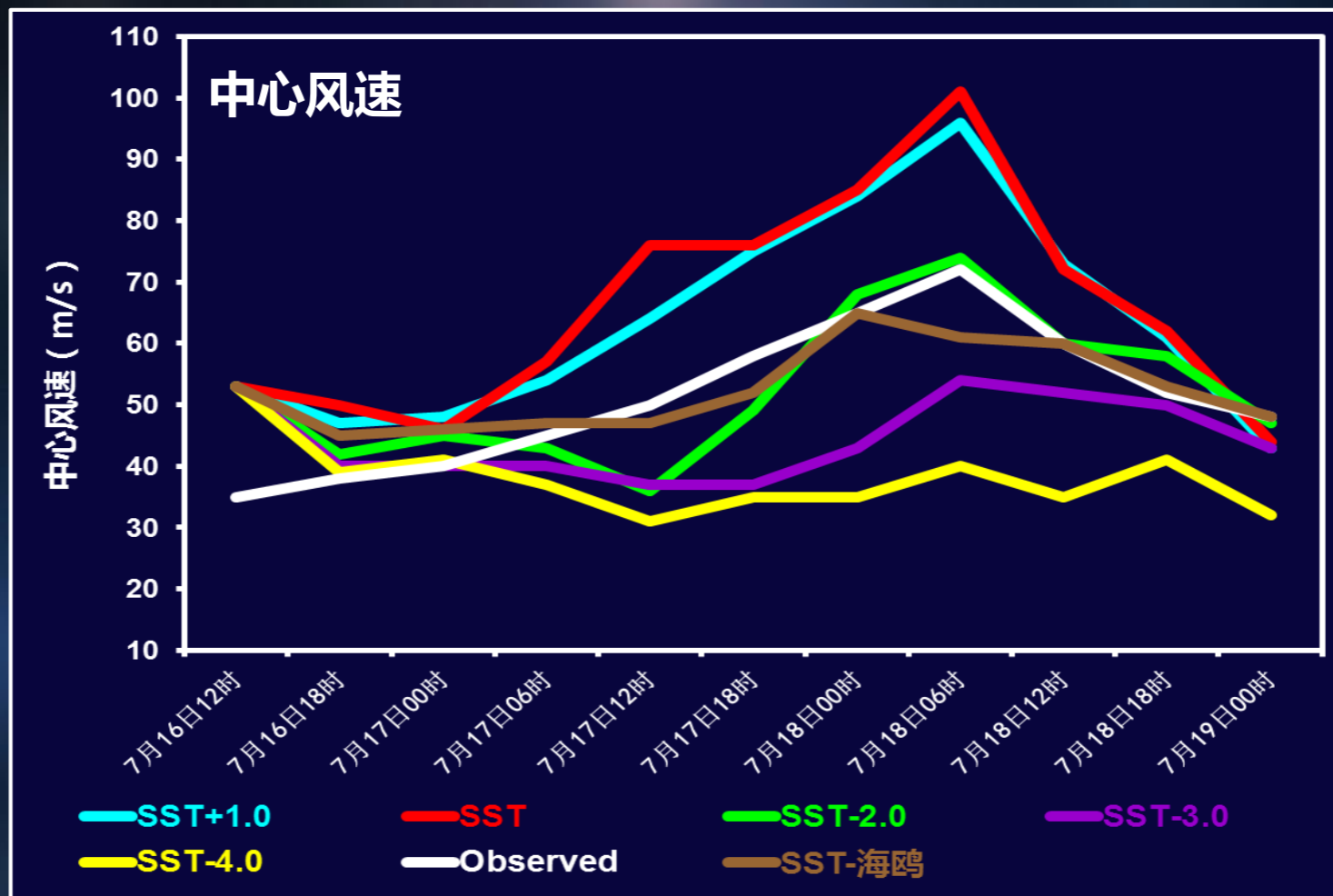
# 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

## 数值试验结果 -- 台风路径



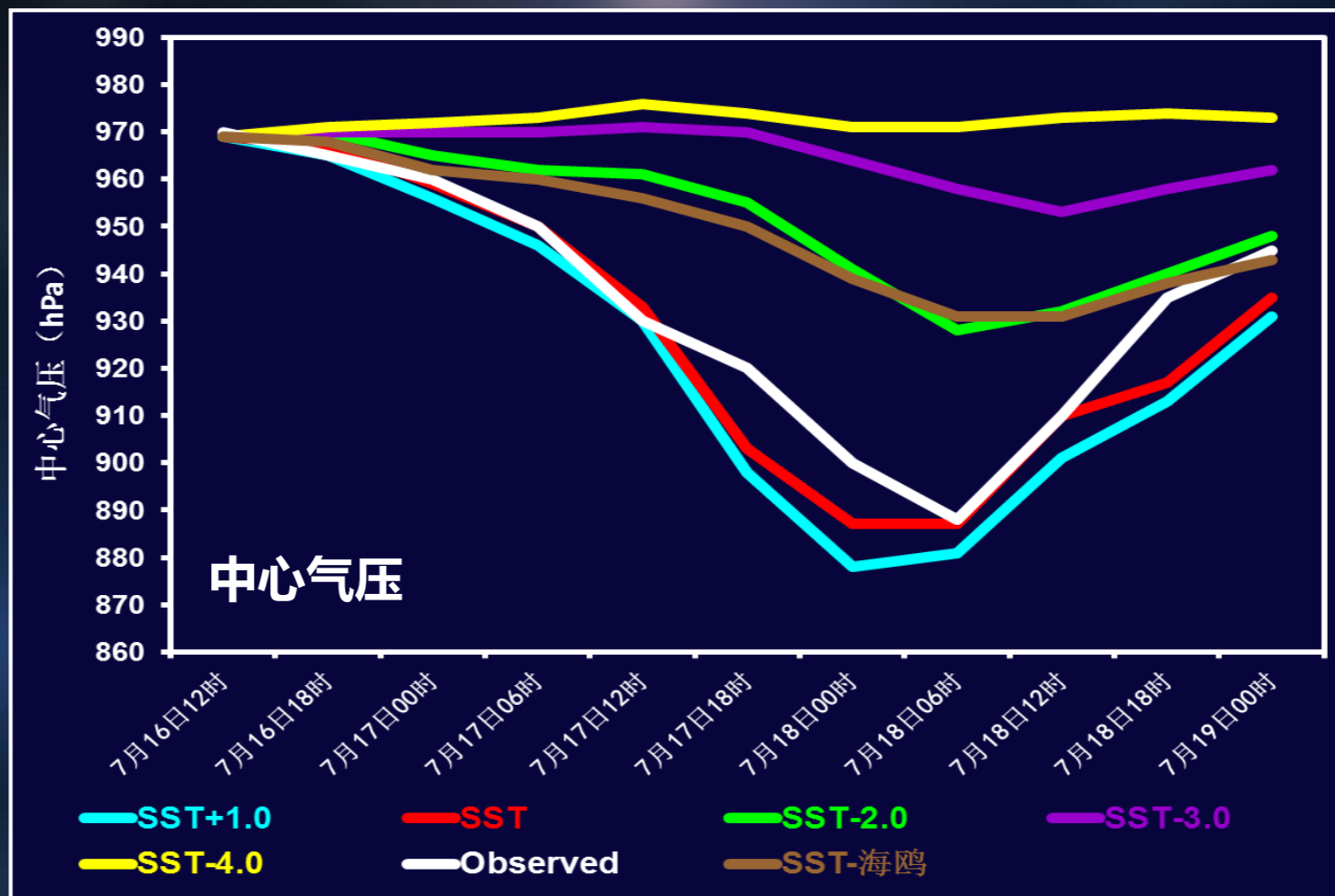
# 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

## 数值试验结果 -- 台风强度

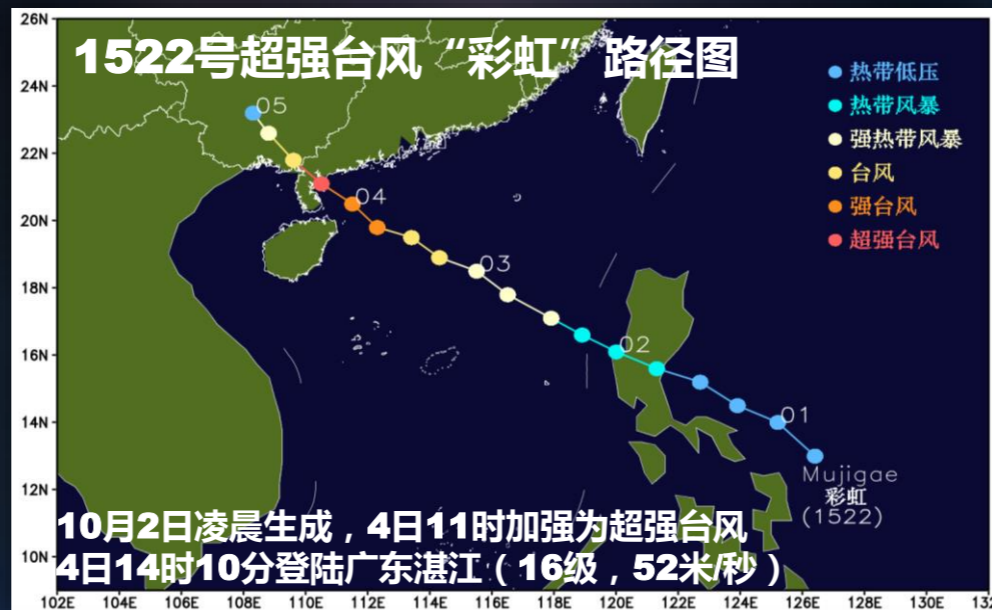


# 1409号台风“威马逊”强度数值模拟

## 数值试验结果 -- 台风强度



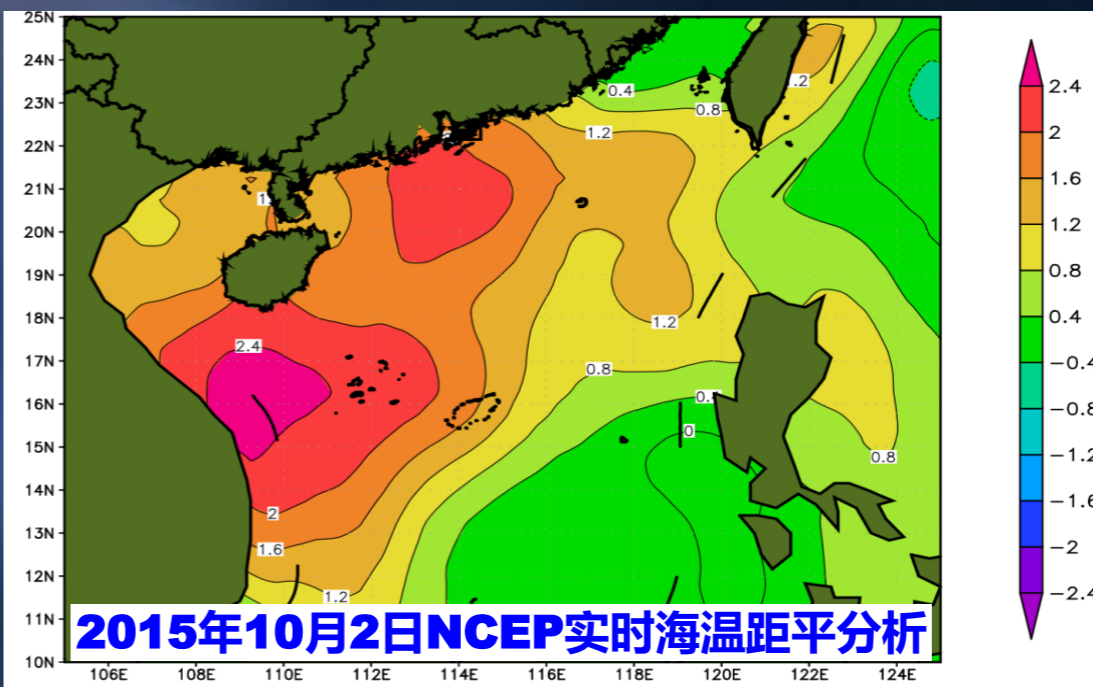
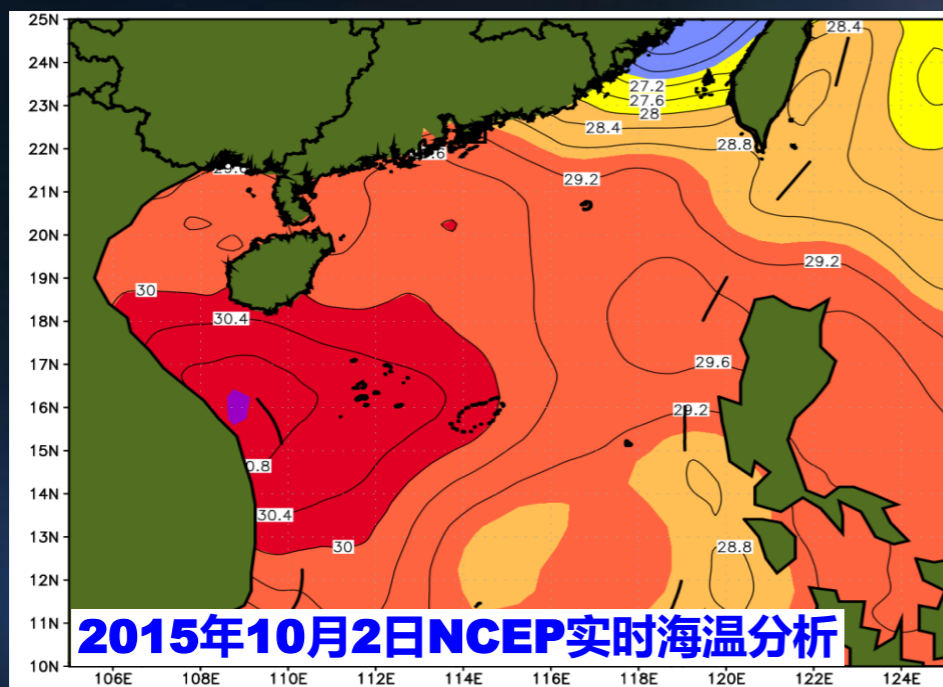
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“彩虹” (2015)



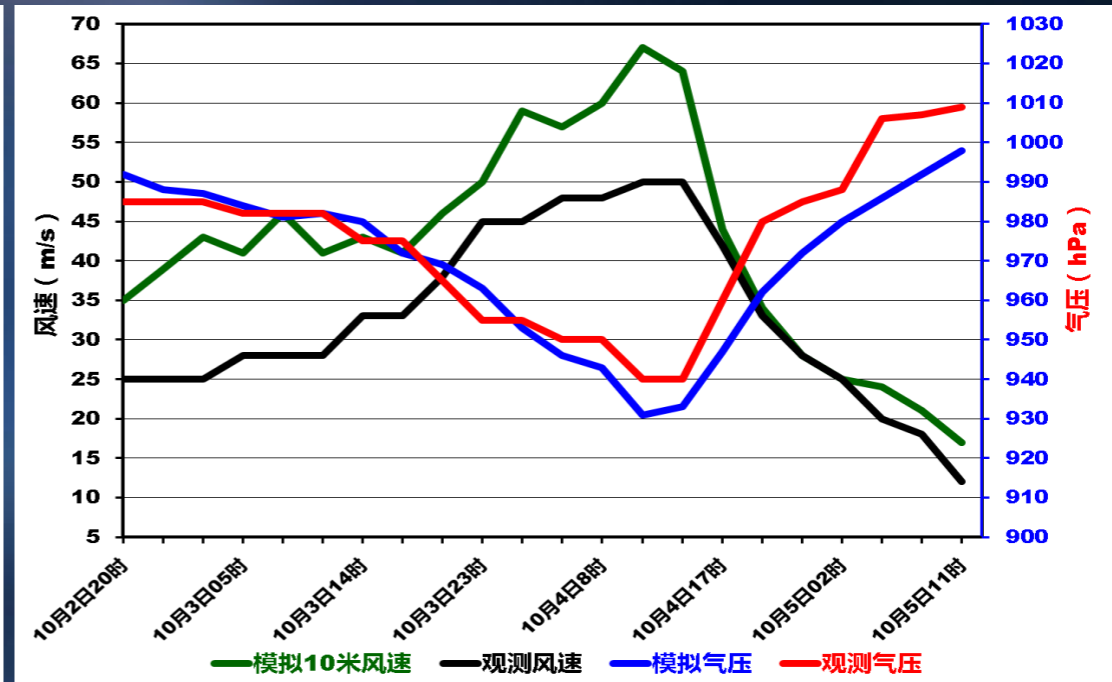
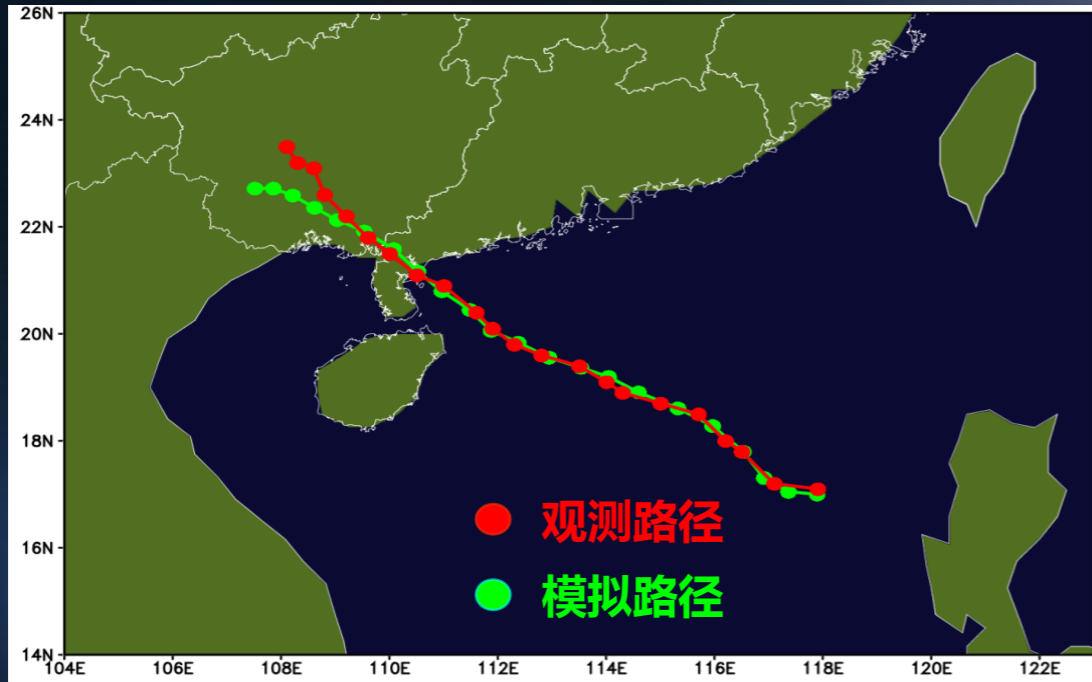
**东海岛湛江钢铁基地原料码头的龙门吊被摧毁**



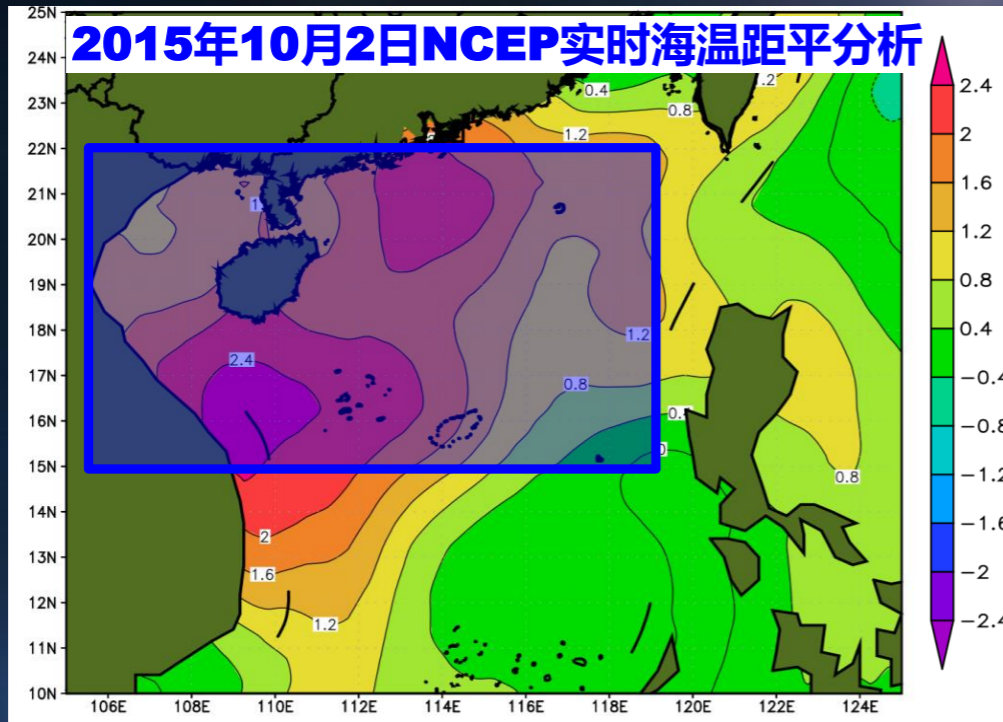
# 1522号台风“彩虹”海洋状况分析



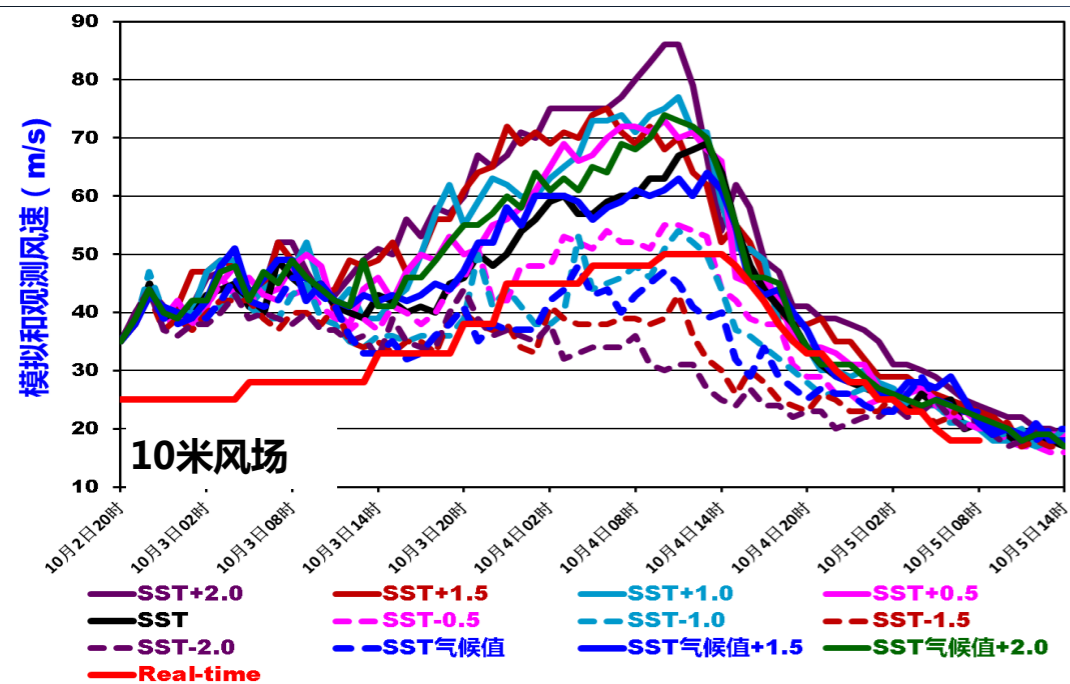
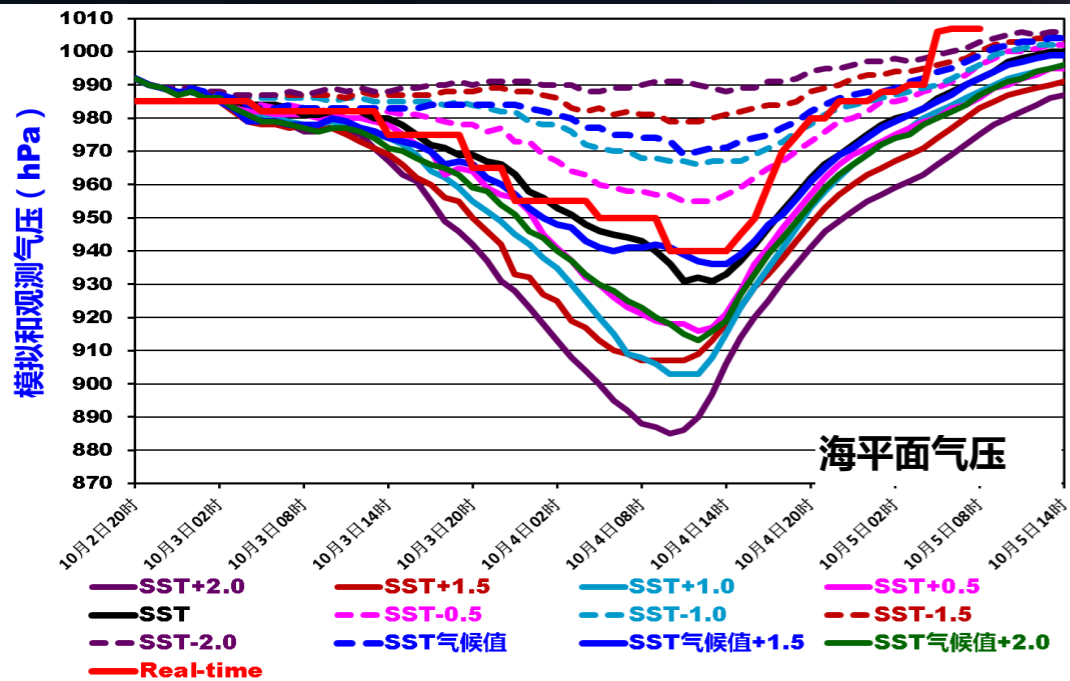
# 1522号台风“彩虹”强度数值模拟



# 海表温度对台风“彩虹”强度影响数值试验



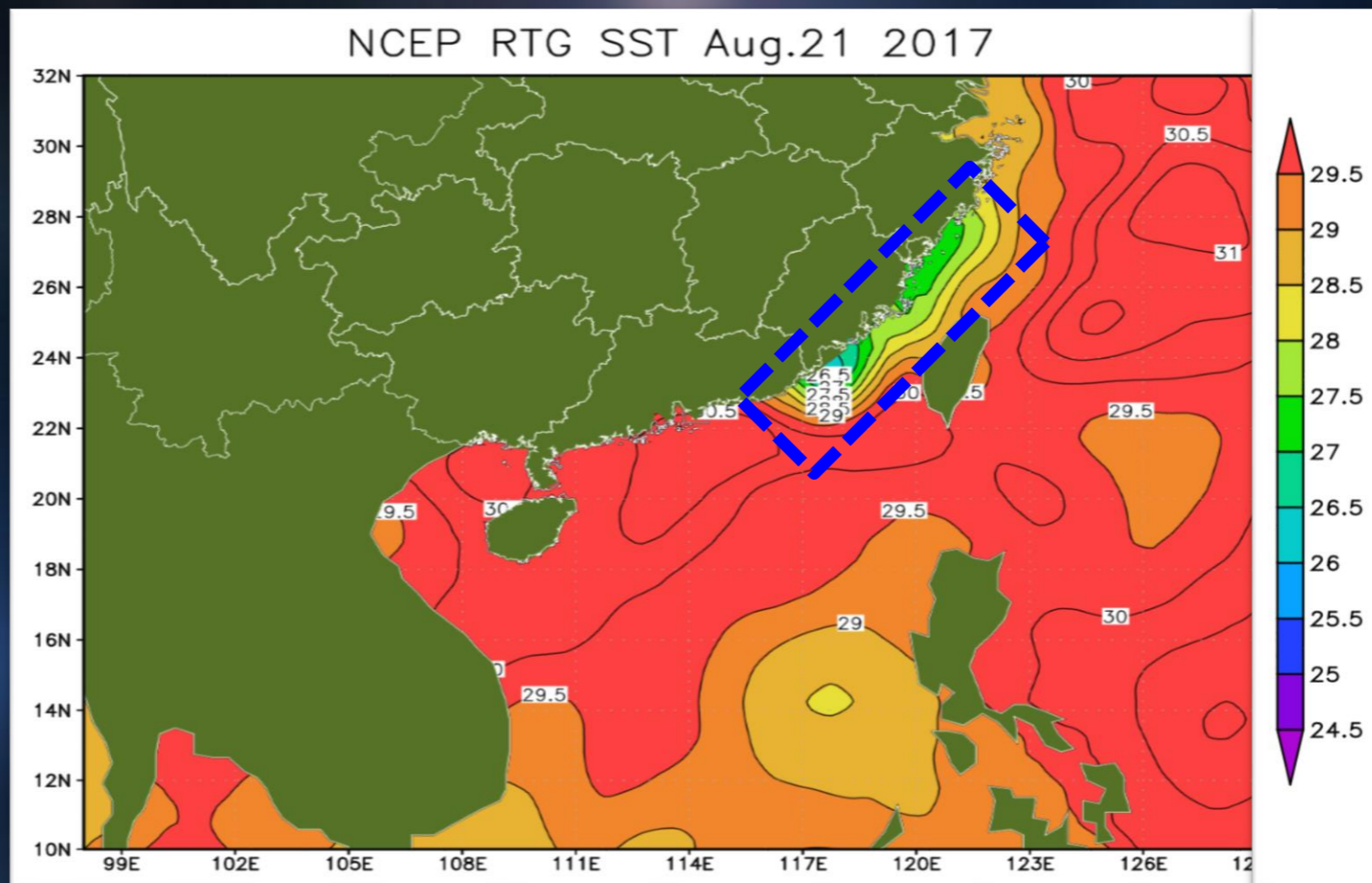
试验方案		替换海温
<b>1</b>	海温不变	<b>SST+0.0°C</b>
<b>2</b>	海温升高	<b>SST+0.5°C</b>
<b>3</b>		<b>SST+1.0°C</b>
<b>4</b>		<b>SST+1.5°C</b>
<b>5</b>		<b>SST+2.0°C</b>
<b>6</b>	海温降低	<b>SST-0.5°C</b>
<b>7</b>		<b>SST-1.0°C</b>
<b>8</b>		<b>SST-1.5°C</b>
<b>9</b>		<b>SST-2.0°C</b>
<b>10</b>	海温气候平均值 (SST <sub>m</sub> )	<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		SST-0.5°C	955	55
7	海温降低	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

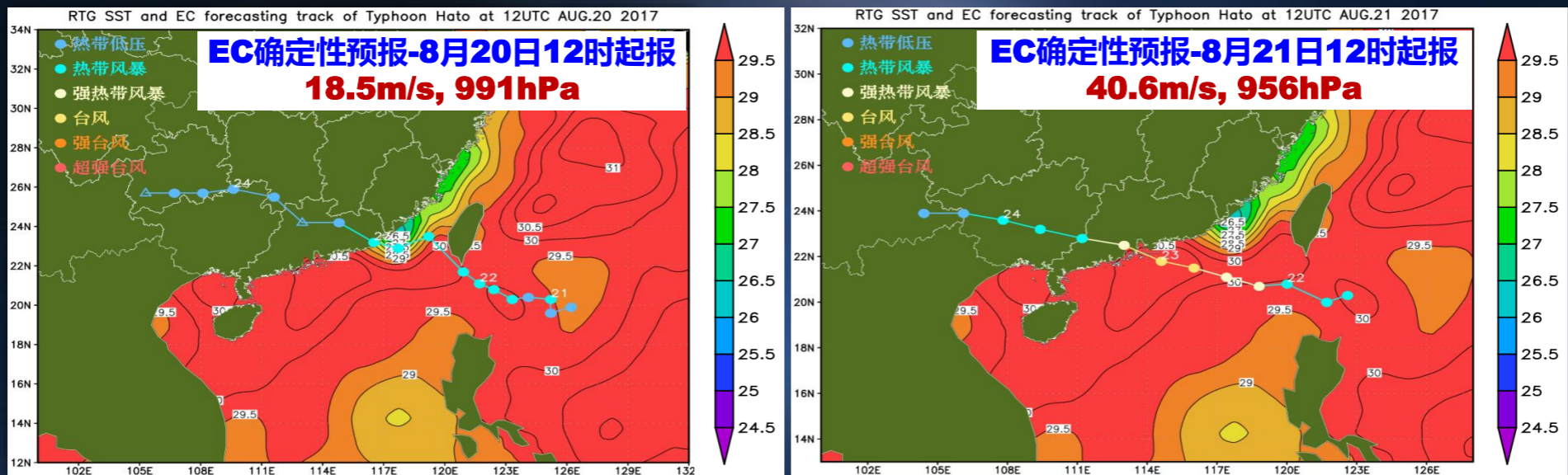
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽”（2017）

## ✓ 海表温度对“天鸽”强度预报的影响

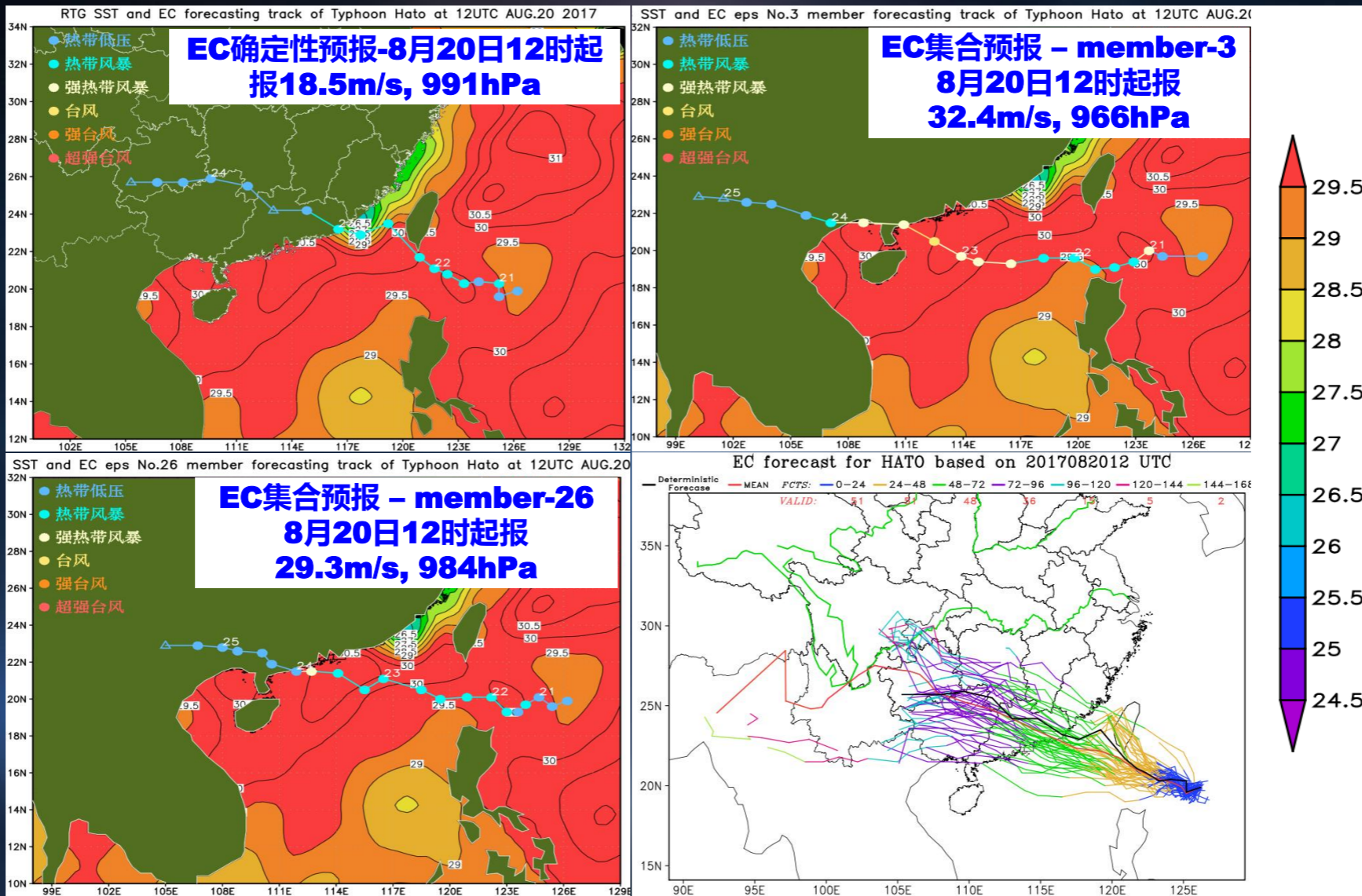


# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

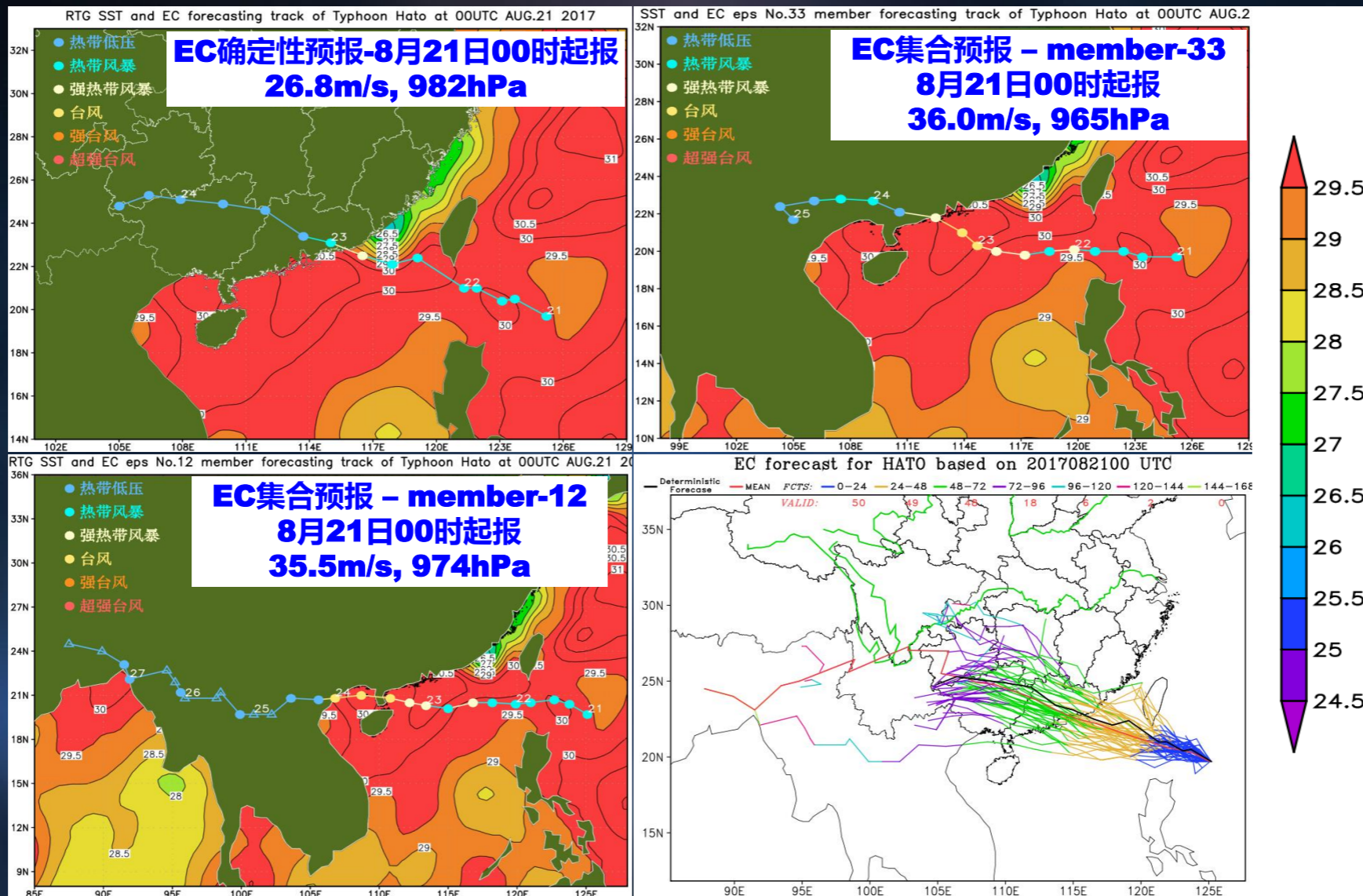
## ✓ 海表温度对“天鸽”强度预报的影响



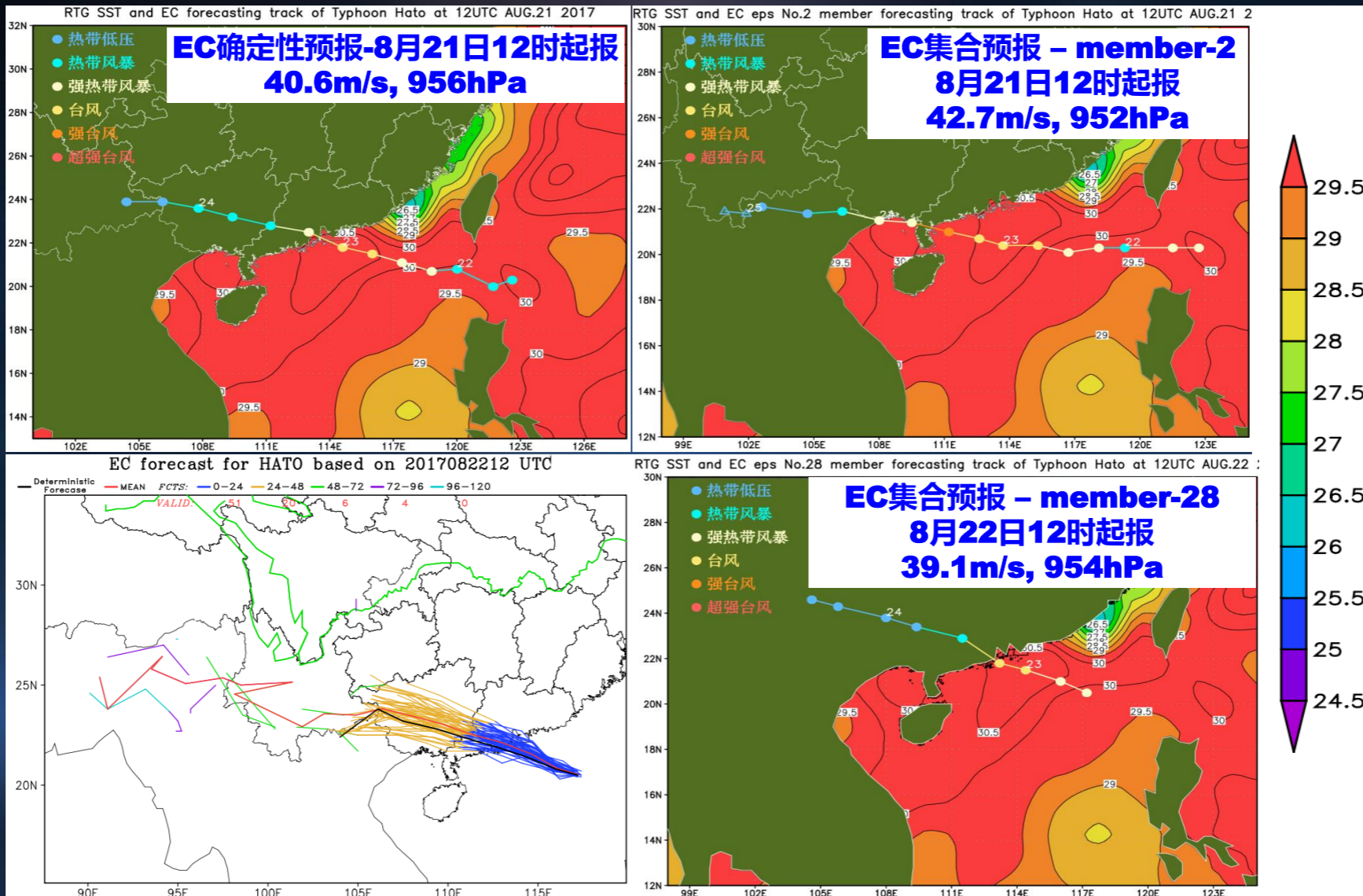
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)



# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)



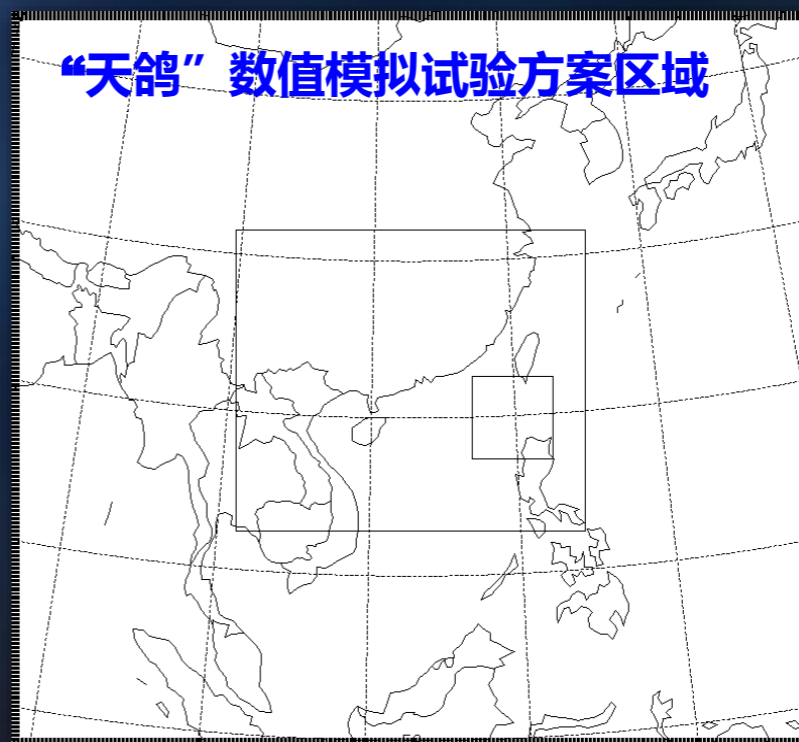
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)



## ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽”（2017）

### ✓ 数值试验

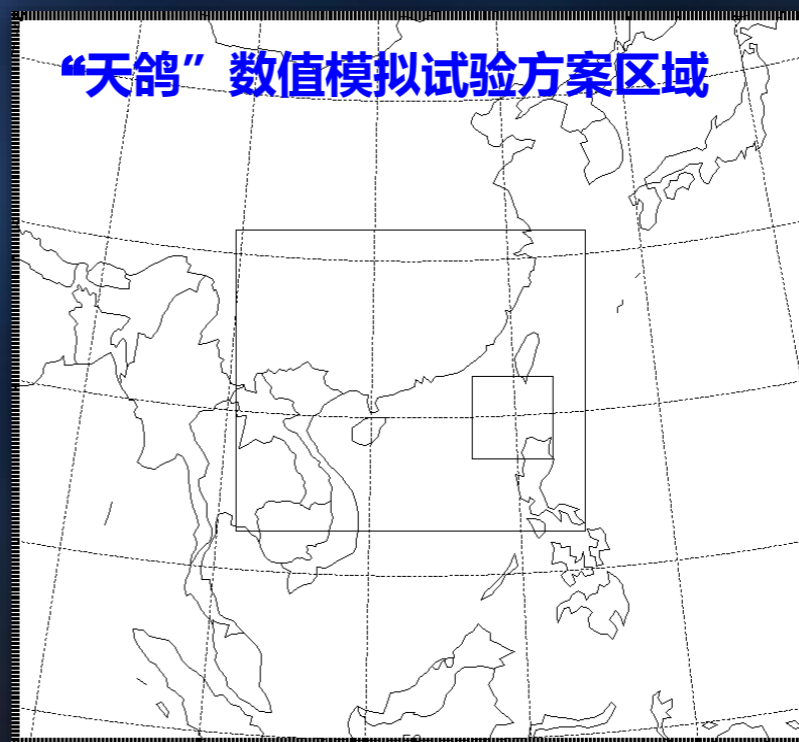
- ARW-WRF模式（V3.5.1）三重嵌套网格，网格距分别为9、3、和1km
- 垂直方向为31层，模式层顶为50hPa
- 积分时间48小时（2017年8月22日08时至24日08时，积分步长45秒）
- 初始场采用NCEP再分析（ $1\times 1^\circ$ ），海温采用NCEP海温场（ $0.5\times 0.5^\circ$ ）
- 台风Bogus方案 -- 模式积分48小时的结果  
（2017年8月20日08时至22日08时）



# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

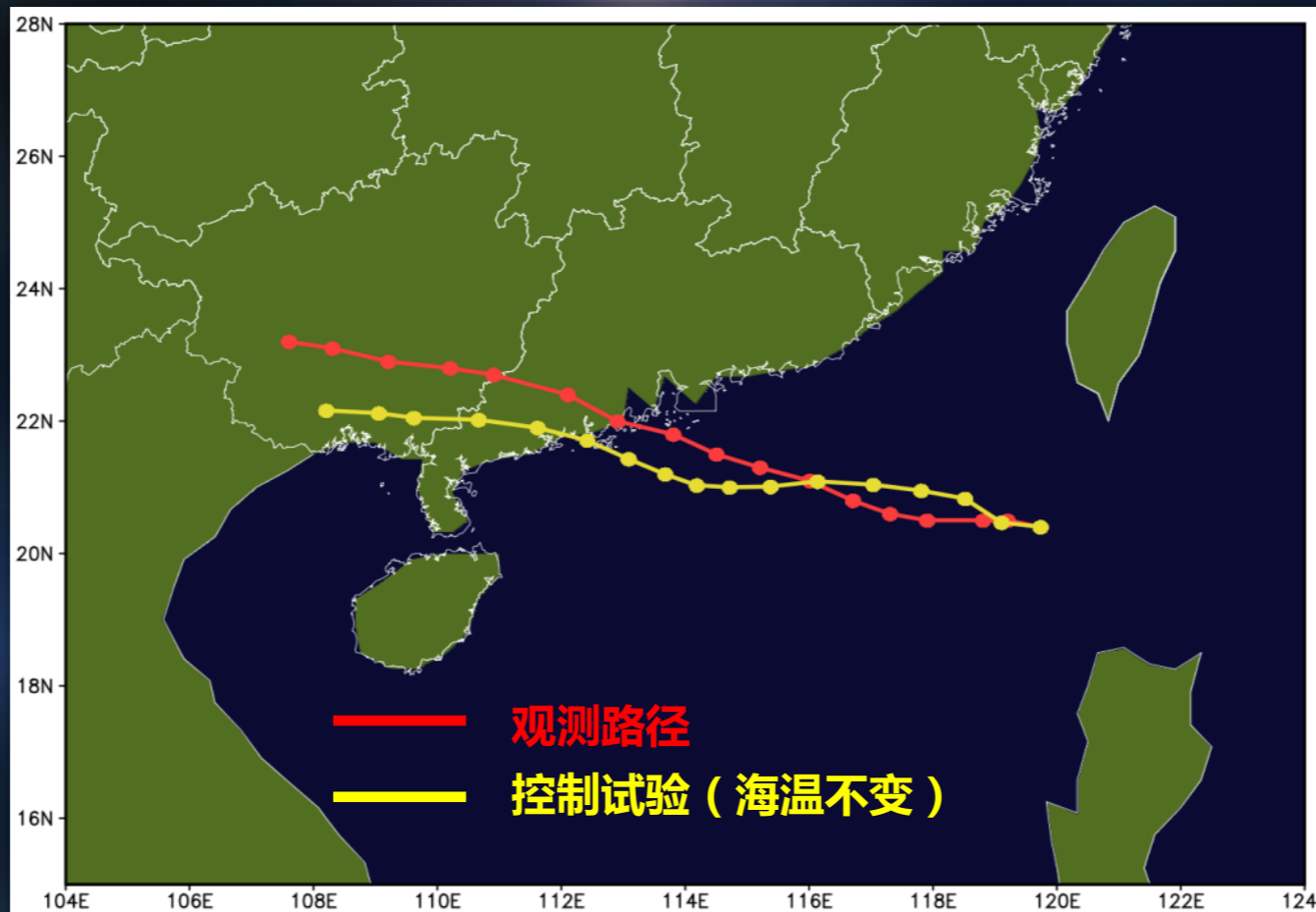
## ✓ 数值试验

- 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



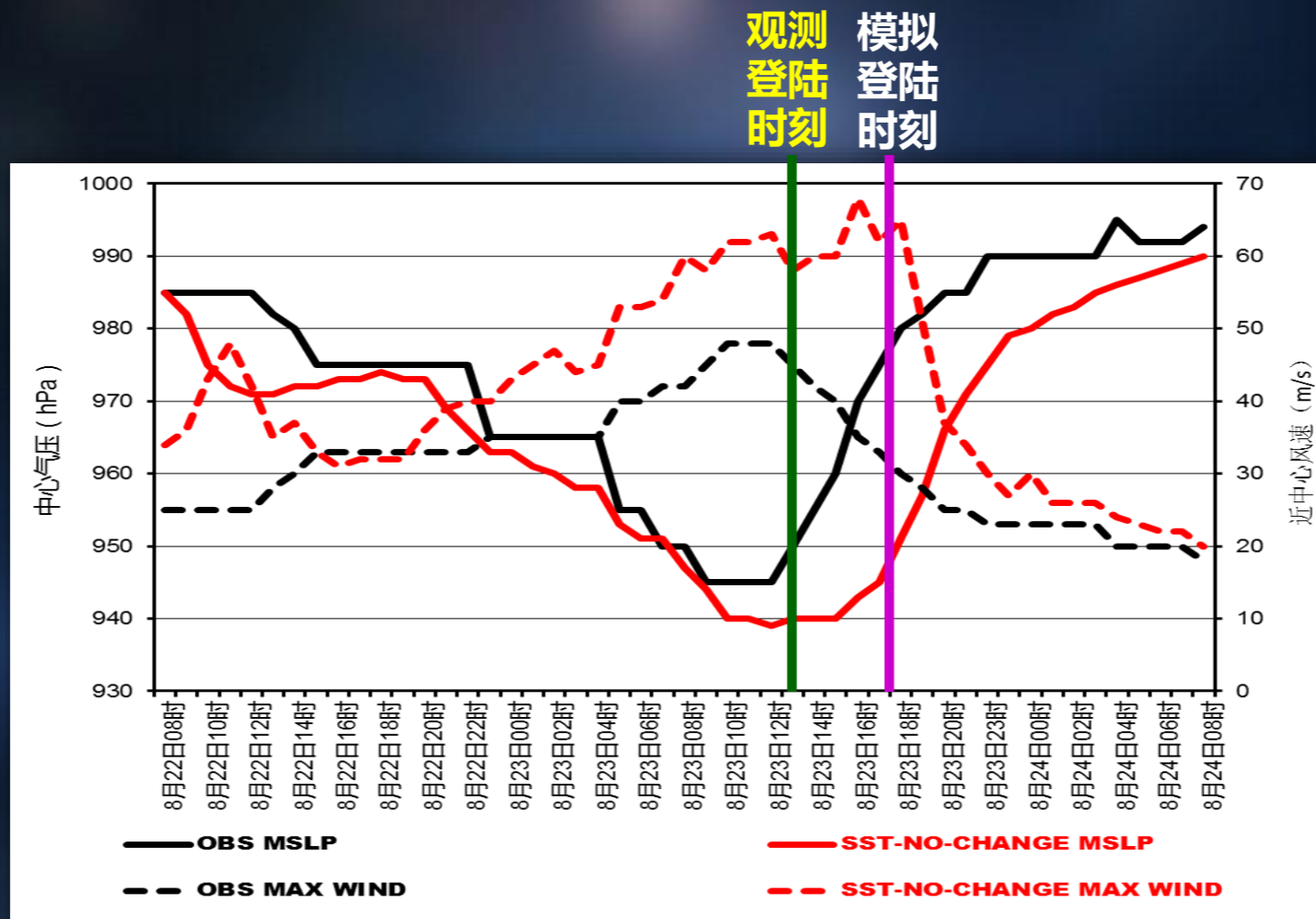
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

## ✓ 数值试验结果 --- 移动路径



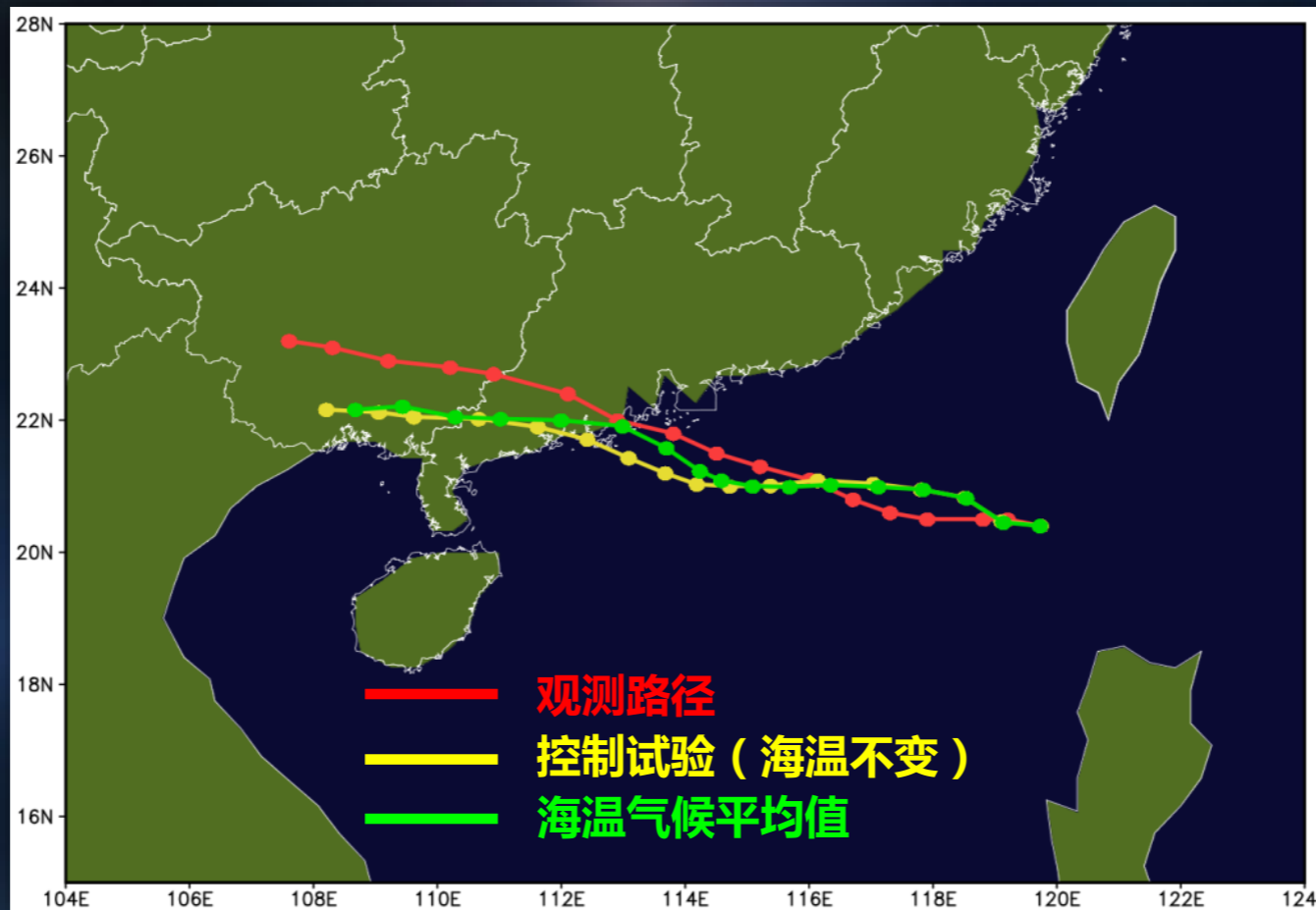
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

## ✓ 数值试验结果 --- 强度变化



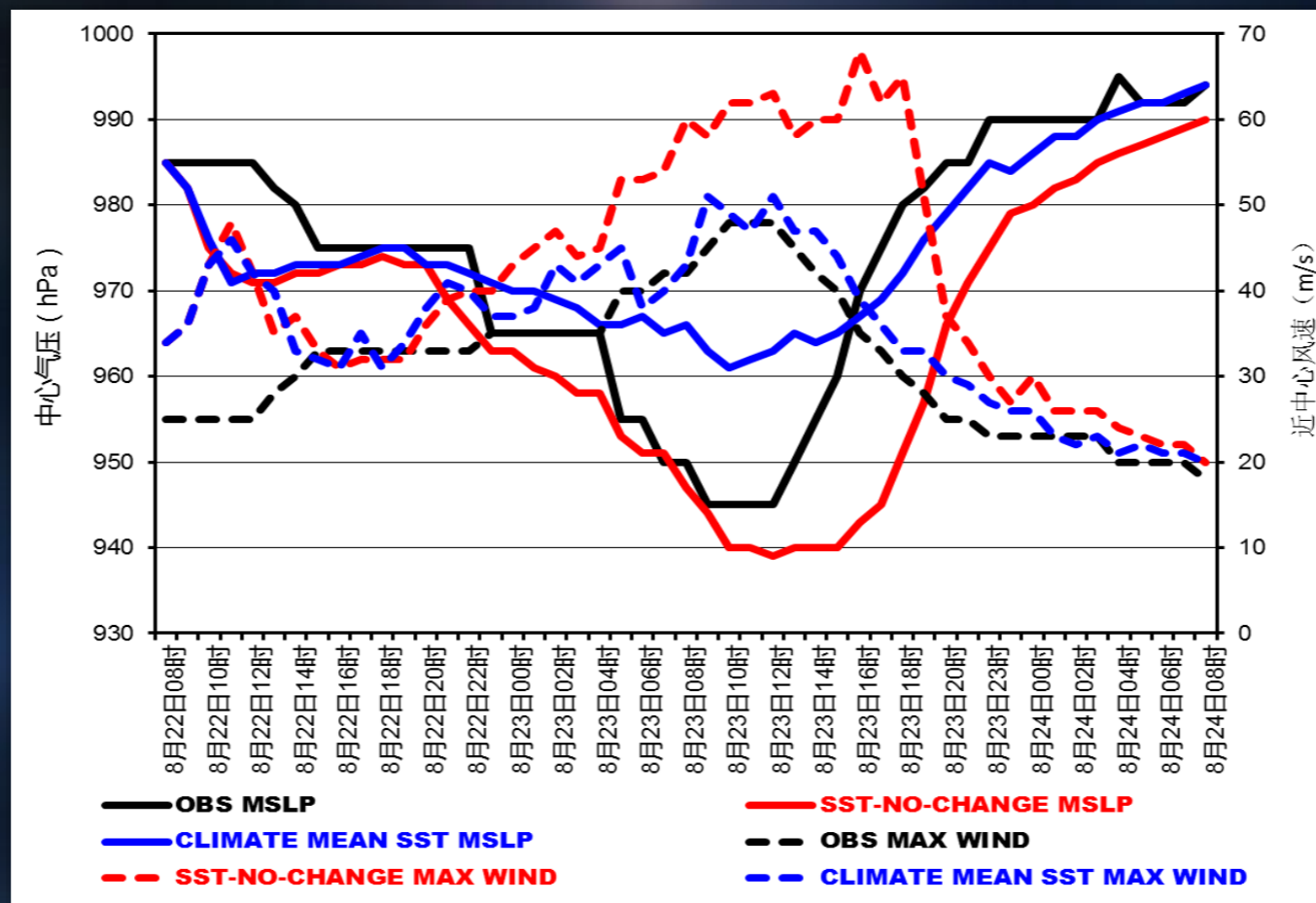
# ● 海洋与台风涡旋的相互作用 --- 超强台风“天鸽” (2017)

## ✓ 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

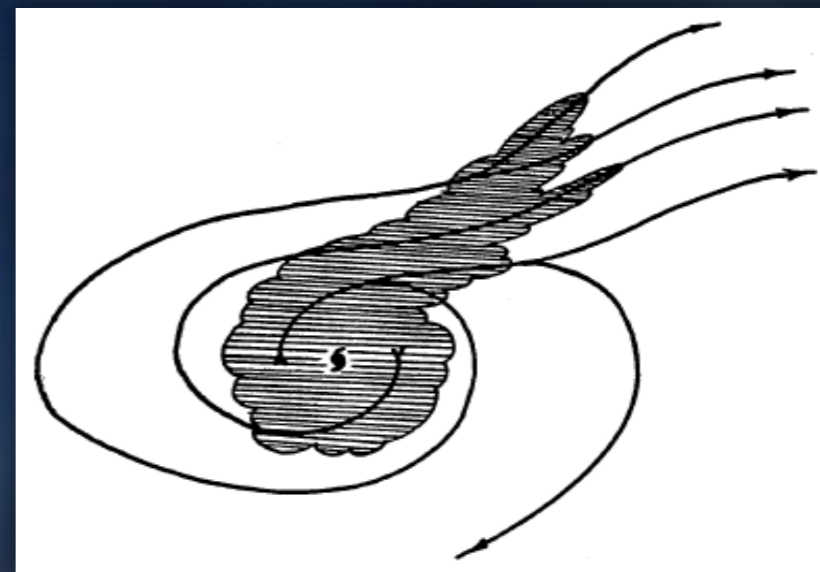
## ● 环境大气与台风的相互作用

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

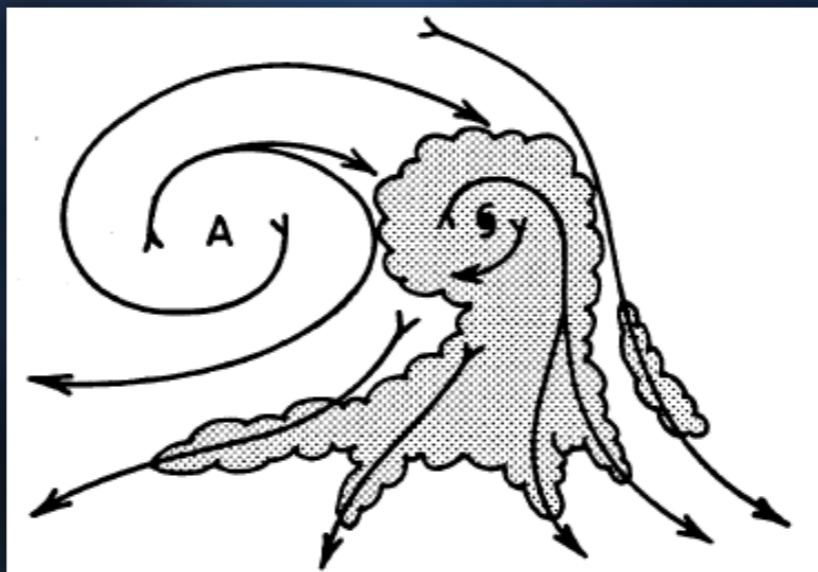


## ● 环境大气与台风的相互作用

### 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

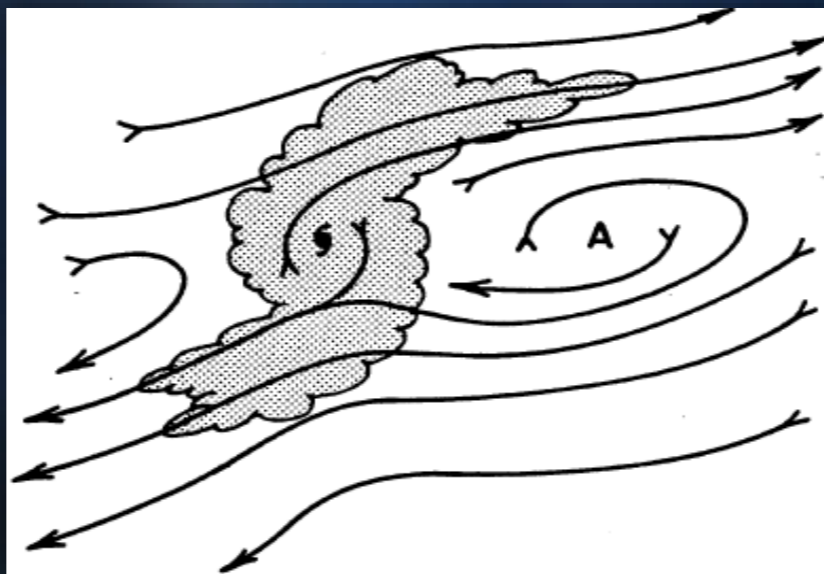


## ● 环境大气与台风的相互作用

### 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

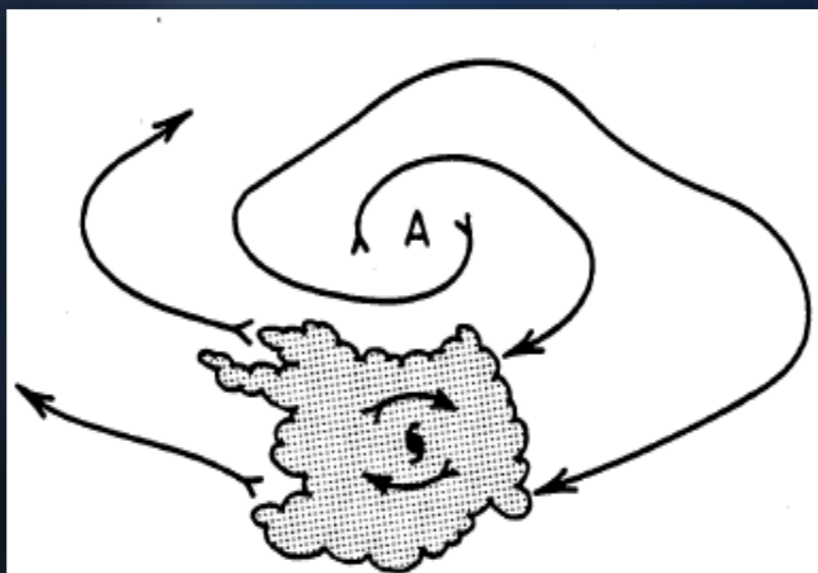


## ● 环境大气与台风的相互作用

### ④ 无通道流出型

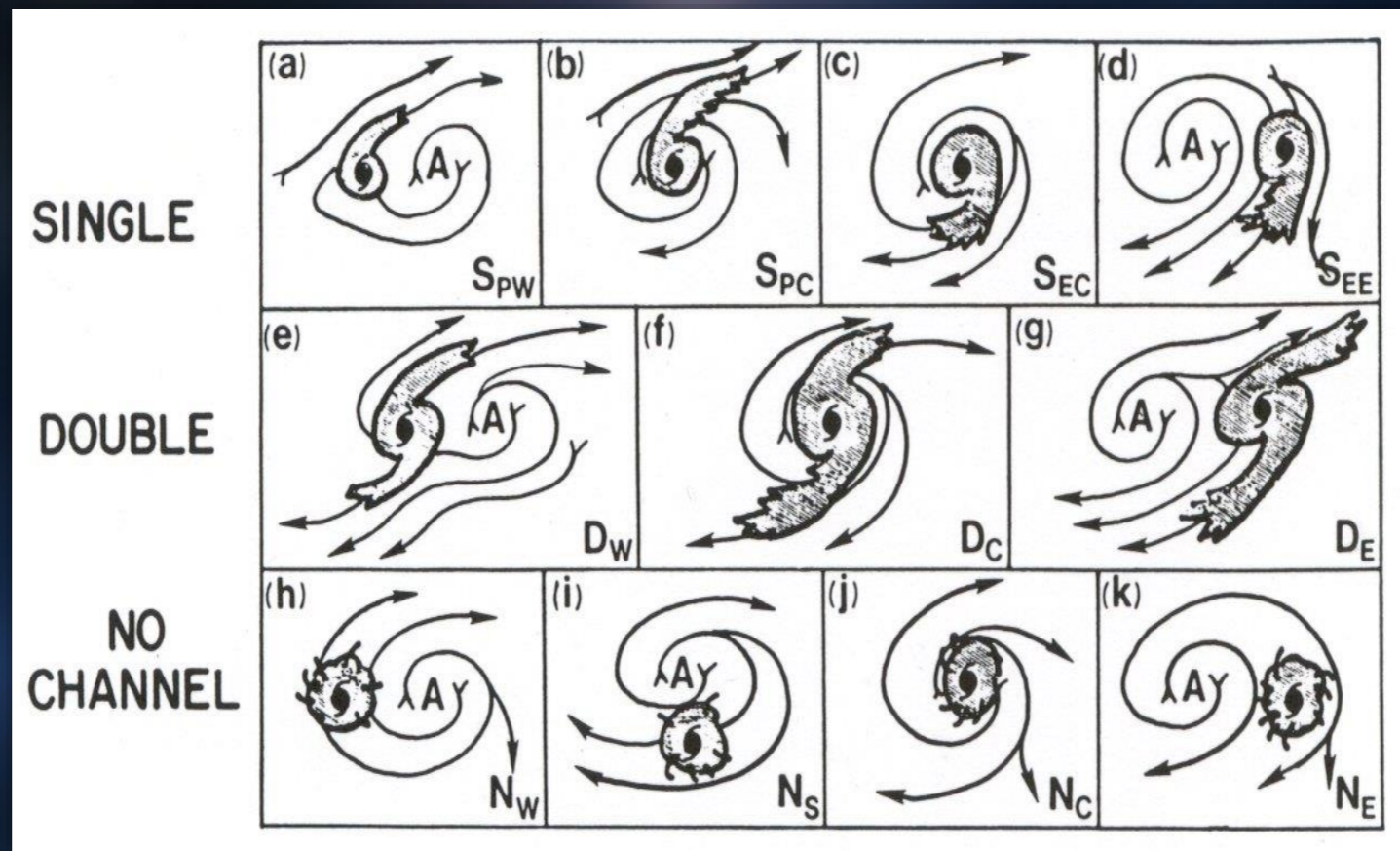
#### No Outflow Channel

- 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

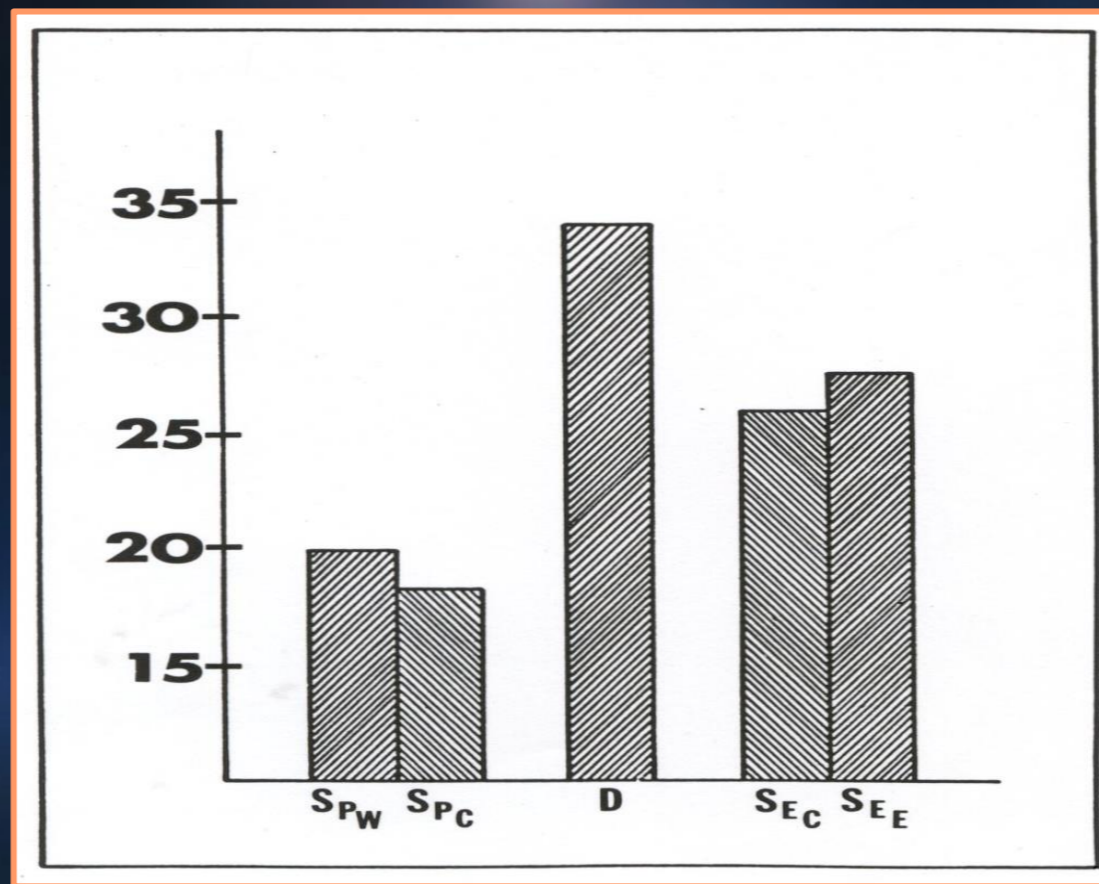
## ✓ 高层流出类型与台风强度变化的关系



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

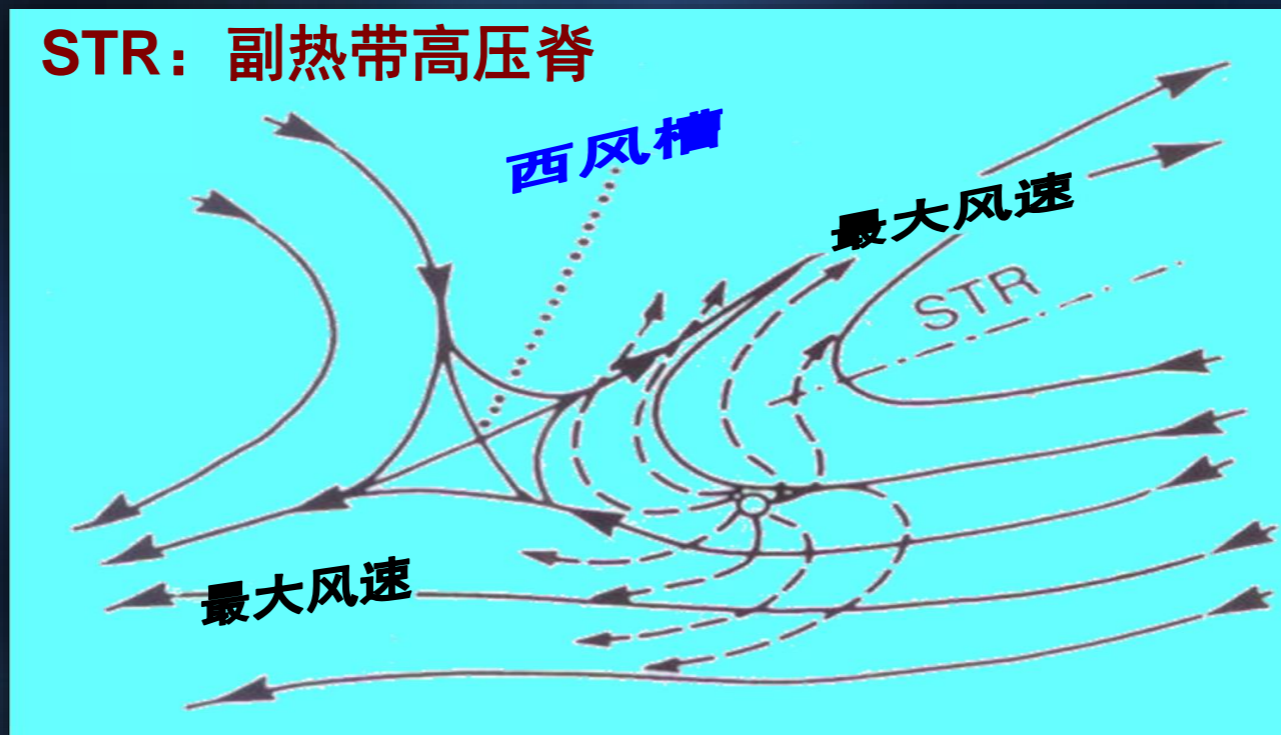


不同流出型对应的24小时平均风速的增加值 ( knots )

## ● 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

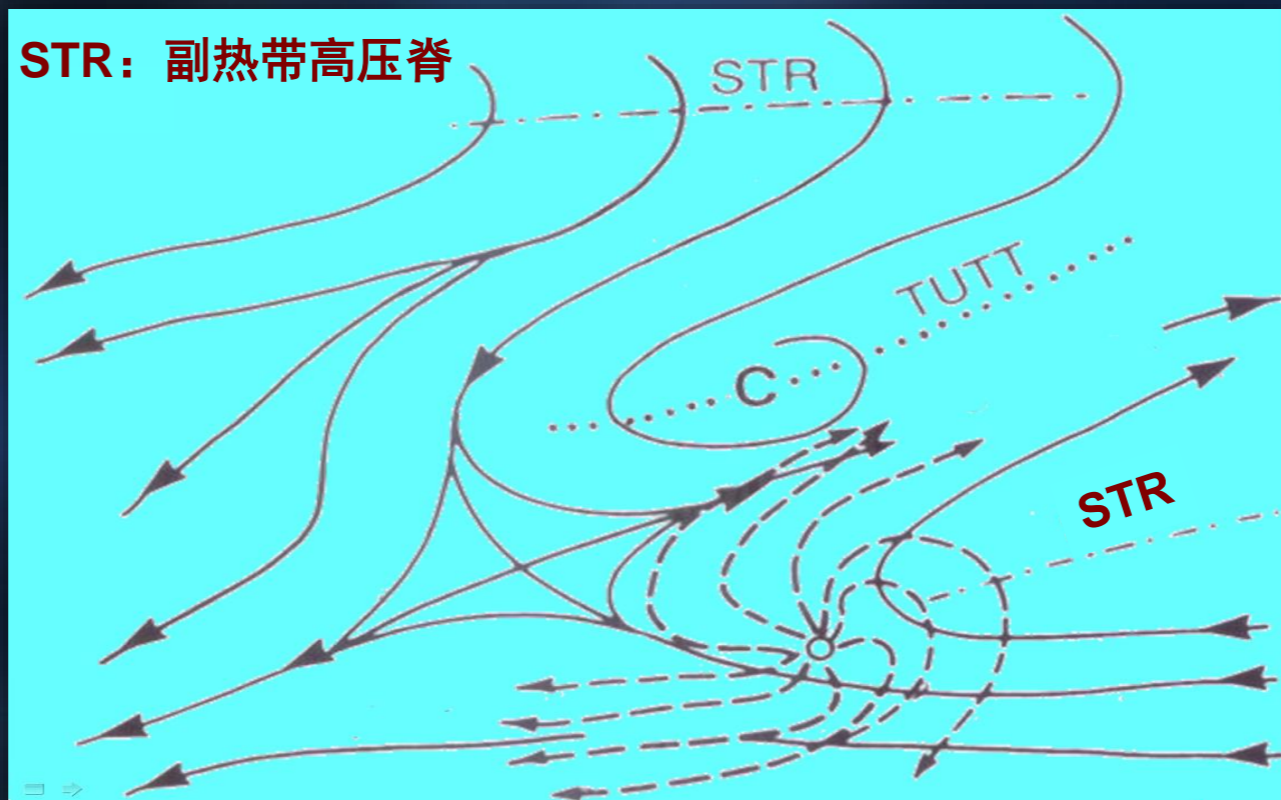
- ① 台风移到高空流出层副热带高压西脊点附近，副高南侧东风和西风槽前西南气流将会加强或产生台风上空的双通道流出气流



## ● 环境大气与台风的相互作用

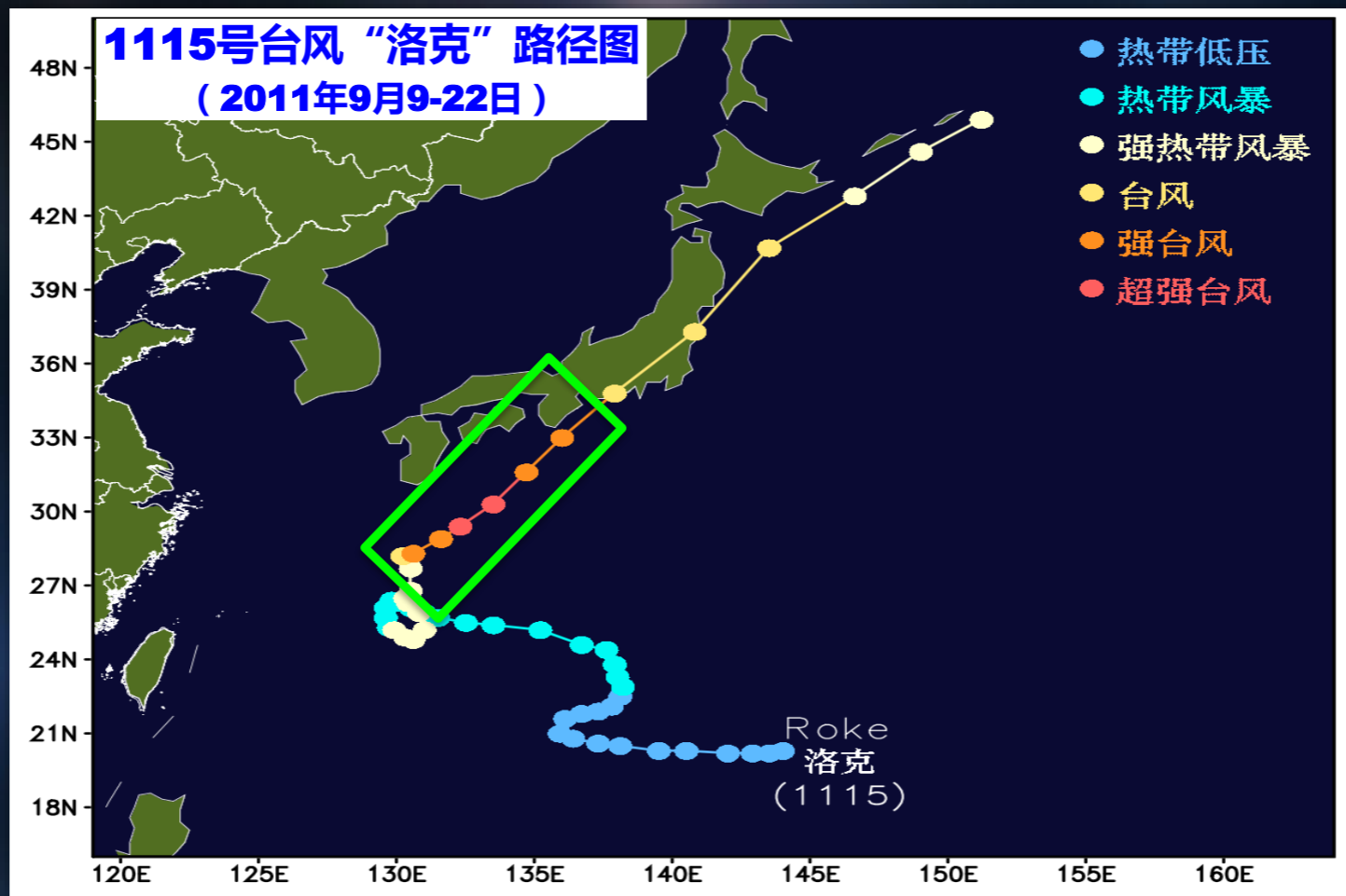
### ✓ 有利于台风加强的主要高层流场流型

- 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



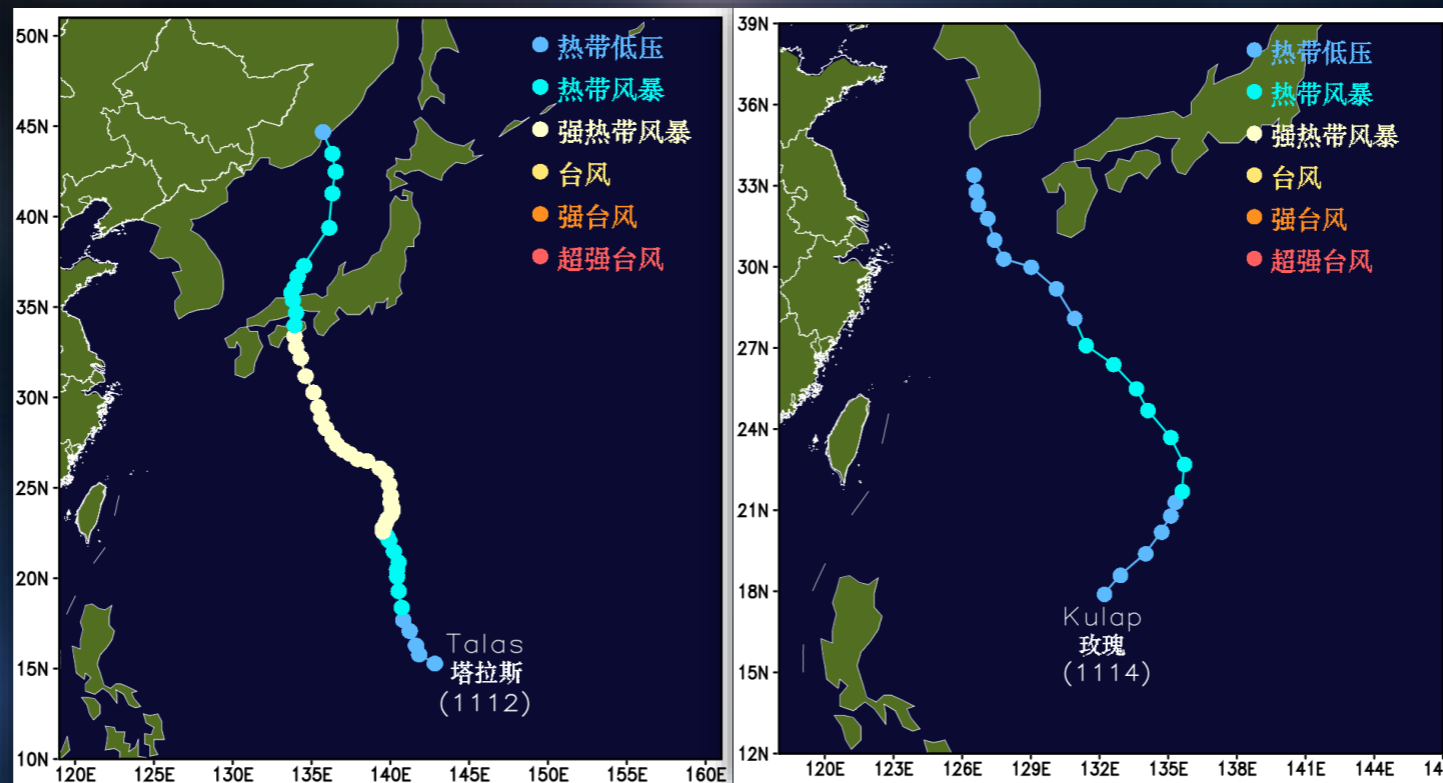
# ● 环境大气与台风的相互作用

--- 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

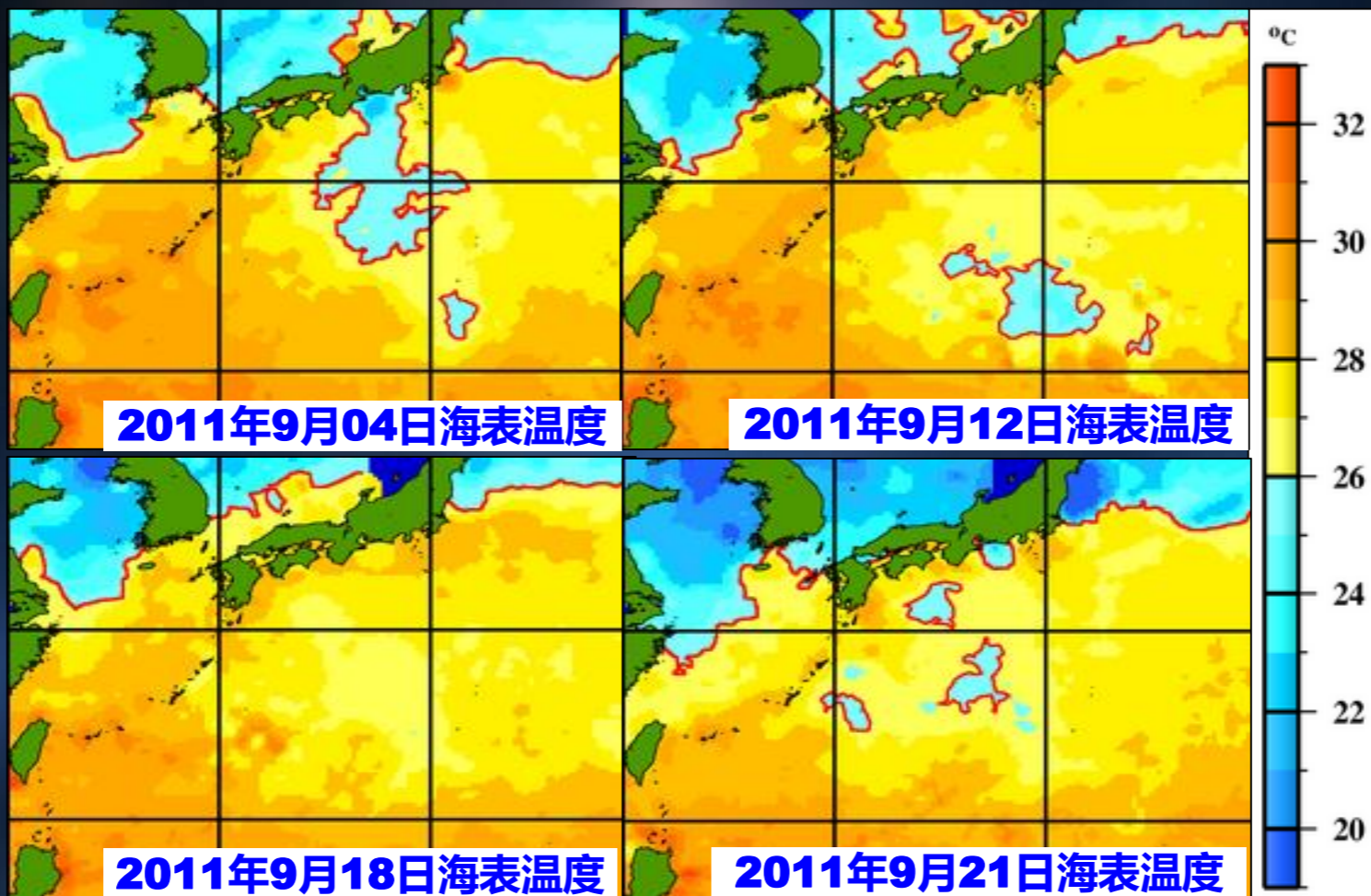


**1112号台风“塔拉斯”路径图**  
(2011年8月24日至9月6日)

**1114号台风“玫瑰”路径图**  
(2011年9月6-11日)

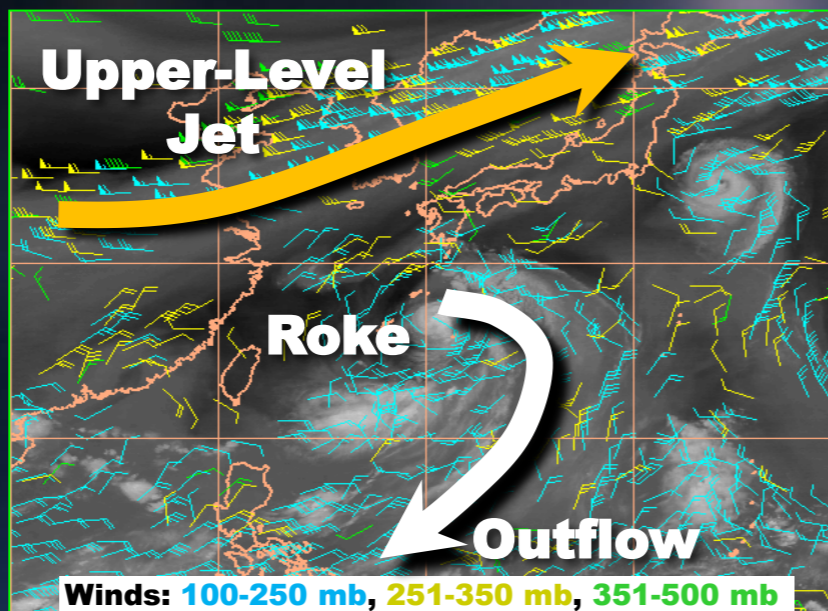
# ● 环境大气与台风的相互作用

--- 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

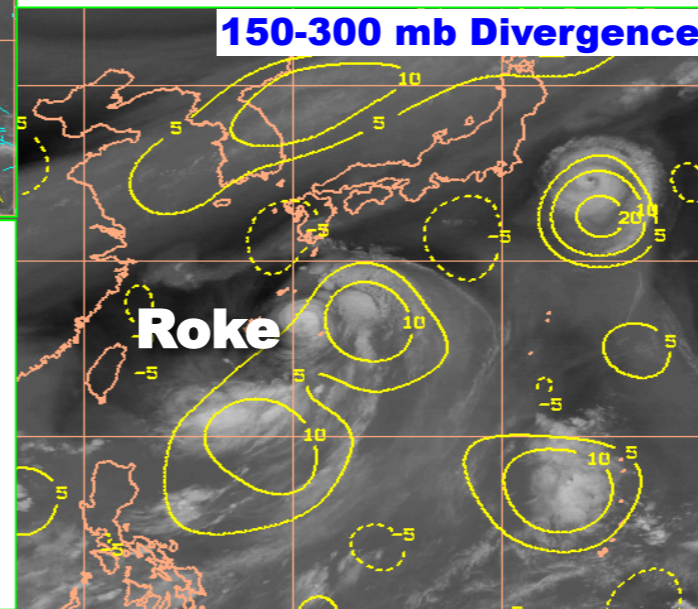


- Outflow directed equatorward
- **No interaction** between outflow and approaching upper-level jet
- Weak upper-level divergence
- Weak typhoon

## Outflow & Intensification Typhoon Roke

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

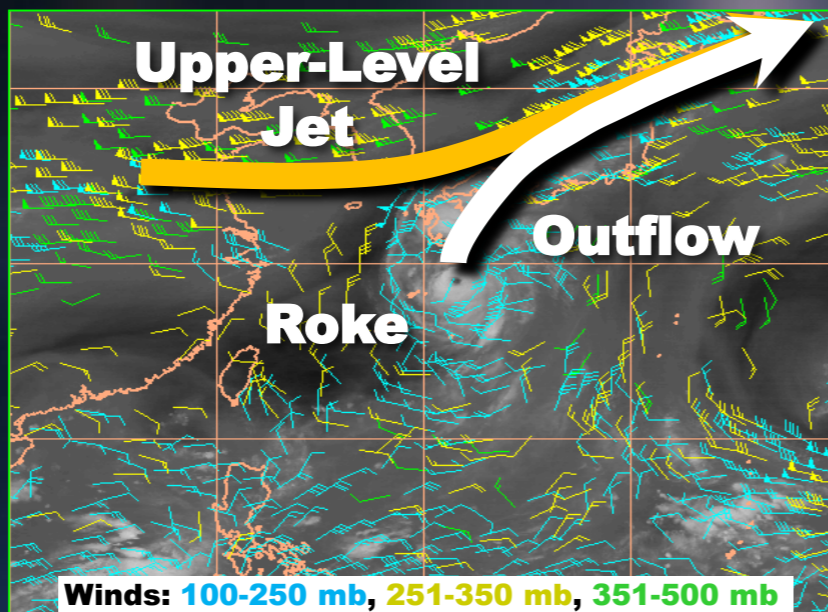
150-300 mb Divergence



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

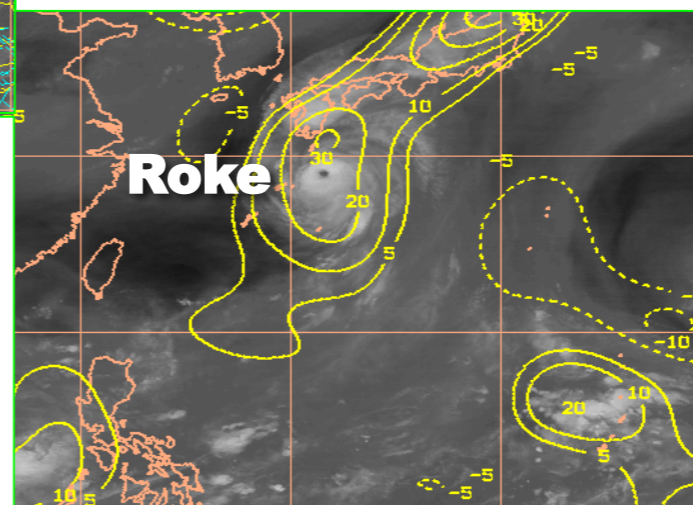


## Outflow & Intensification Typhoon Roke

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

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

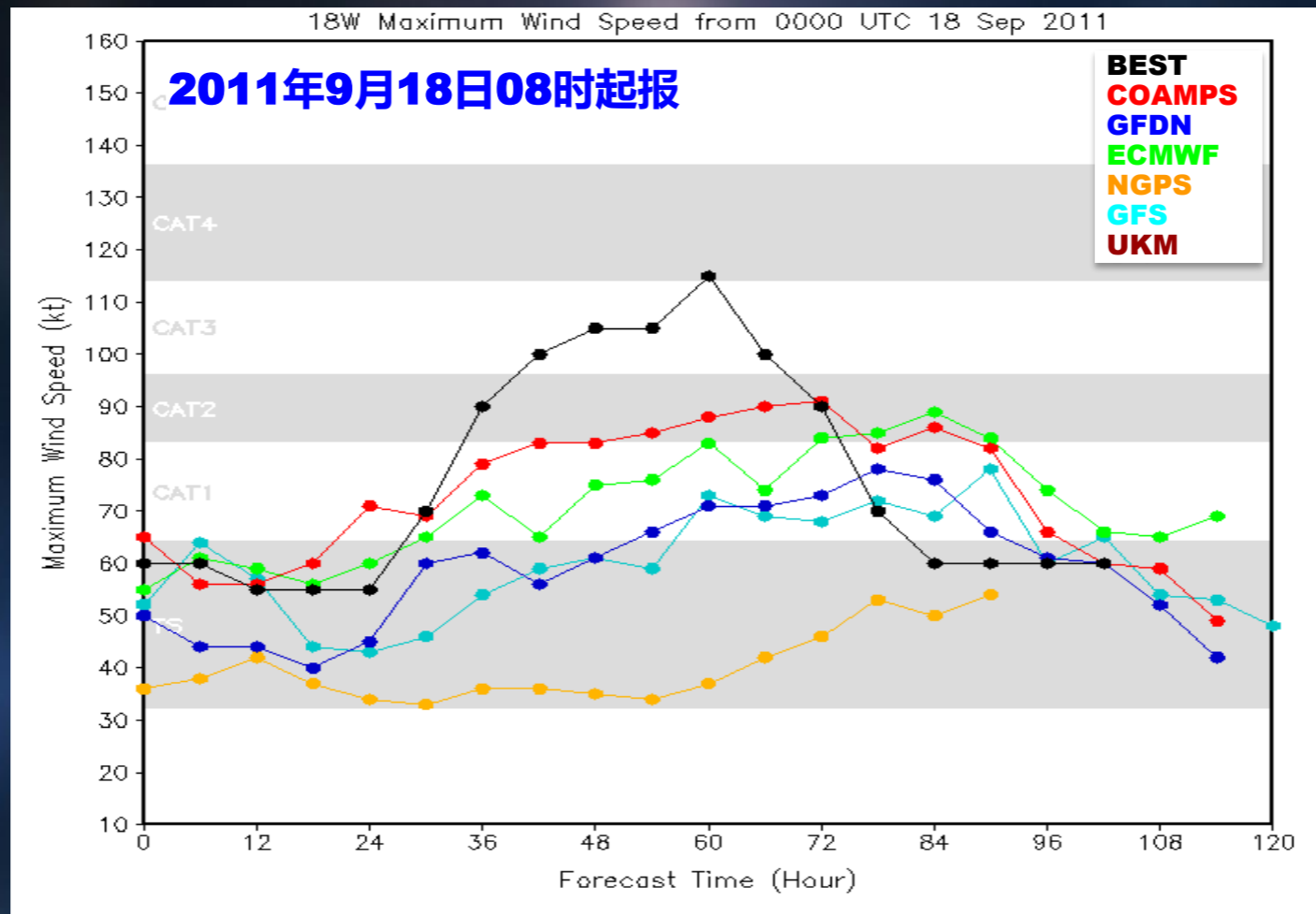
- Outflow shifts poleward
- *Outflow couples with midlatitude jet*
- Upper-level divergence triples
- Roke underwent rapid intensification, increased intensity by 50kts in 24h



Ronald J. Ferek, 2015

# ● 环境大气与台风的相互作用

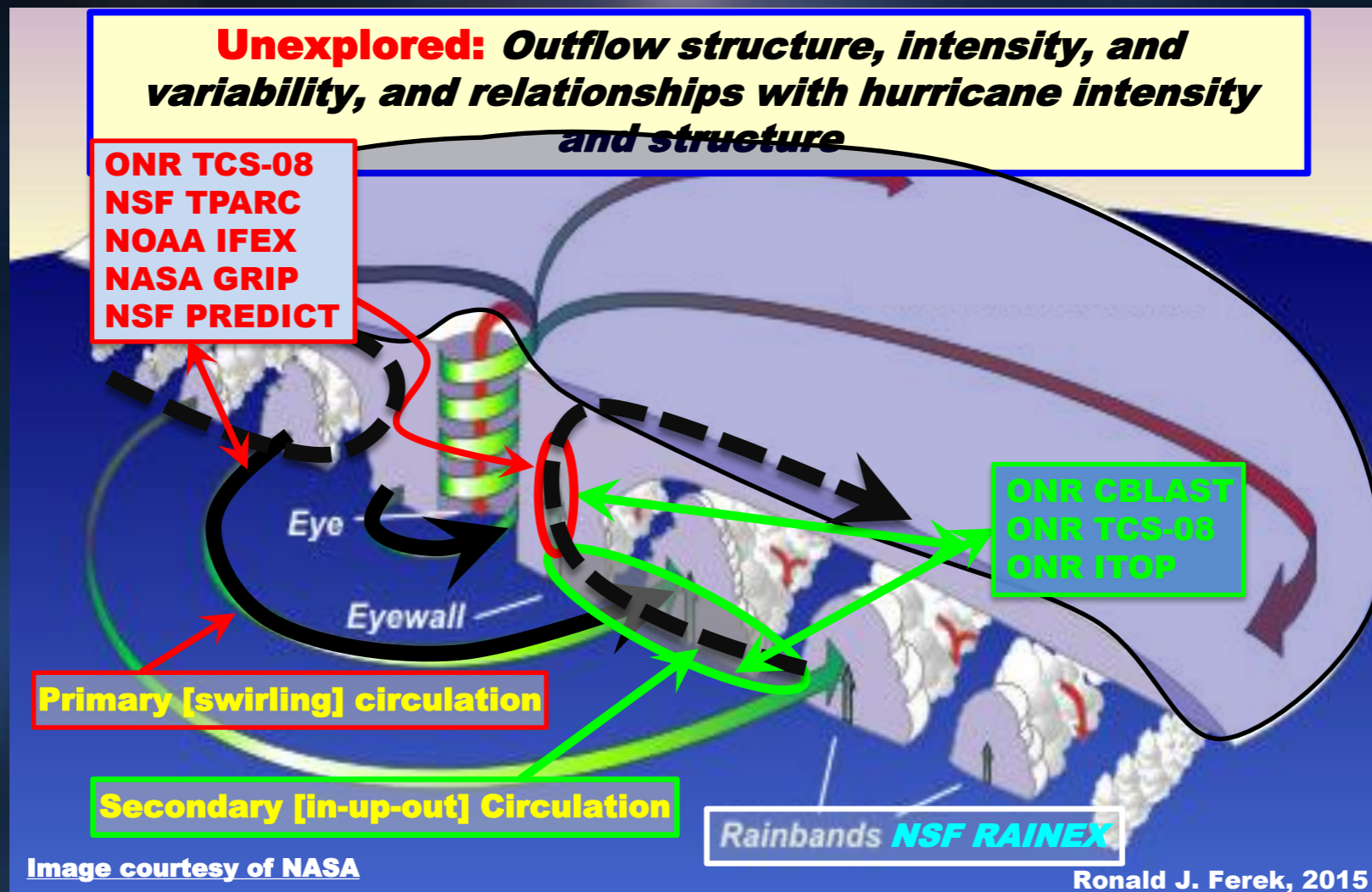
## --- 超强台风“洛克”（2011）快速增强



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**

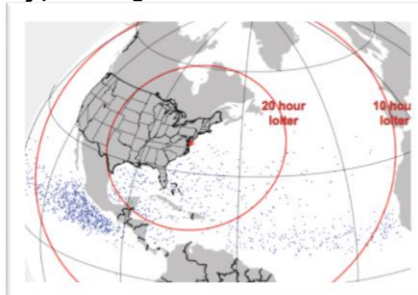


**TWO Global Hawks will fly to sample the environment and inner-core**

- **Environmental Payload:** cloud/aerosol lidar, dropsondes, wind lidar, remote sounders
- **Over-storm Payload:** HAMSr (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.



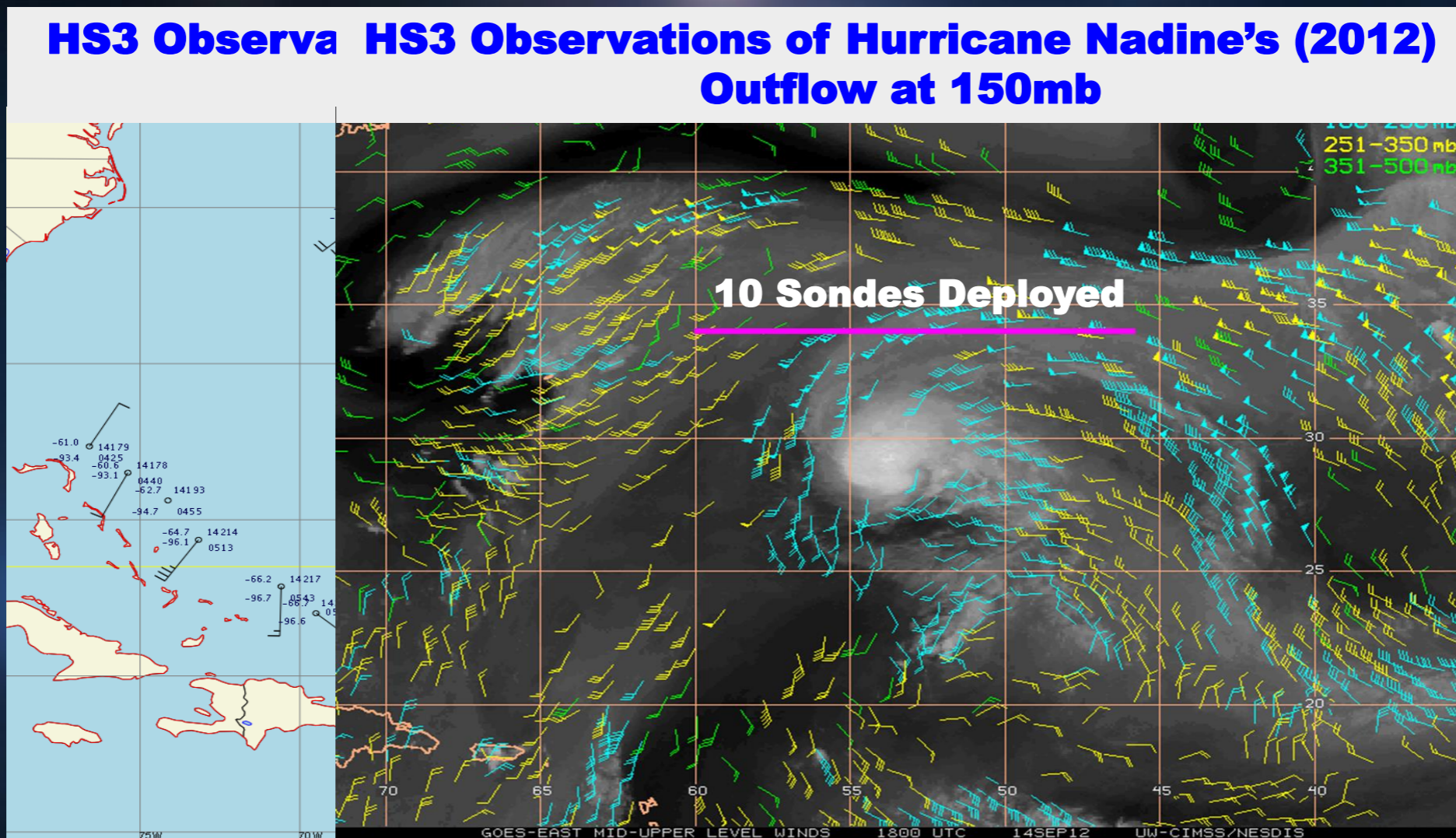
**NASA Global Hawk at Wallops**



**Global Hawk Ops Center during HS3**

# ● 环境大气与台风的相互作用

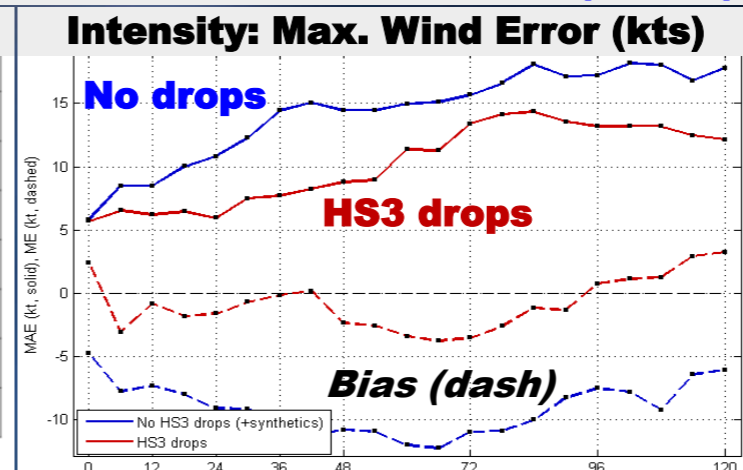
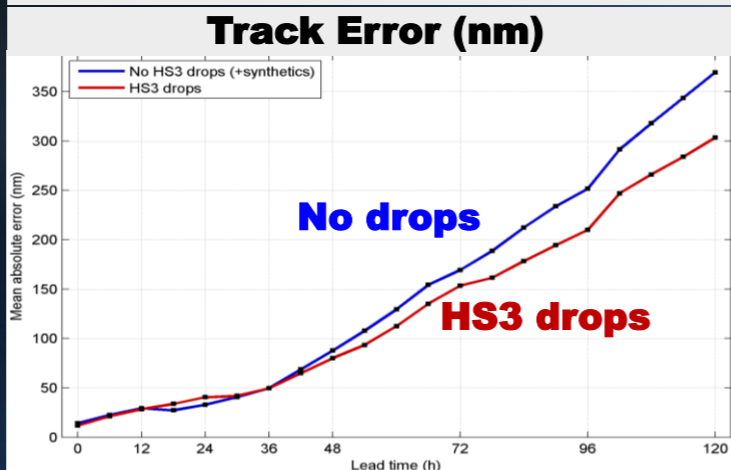
- ✓ 美国外场观测试验 -- Tropical Cyclone Intensity (TCI) Experiments (2012-2015)
- ✓ 了解高层流出对台风强度及其结构变化的影响



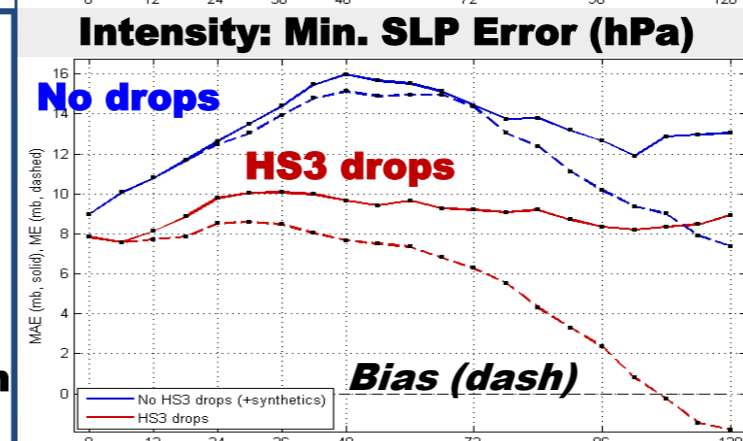
# ● 环境大气与台风的相互作用

- ✓ 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

## Impact of HS3 Dropsondes for Hurricane Nadine (2012)

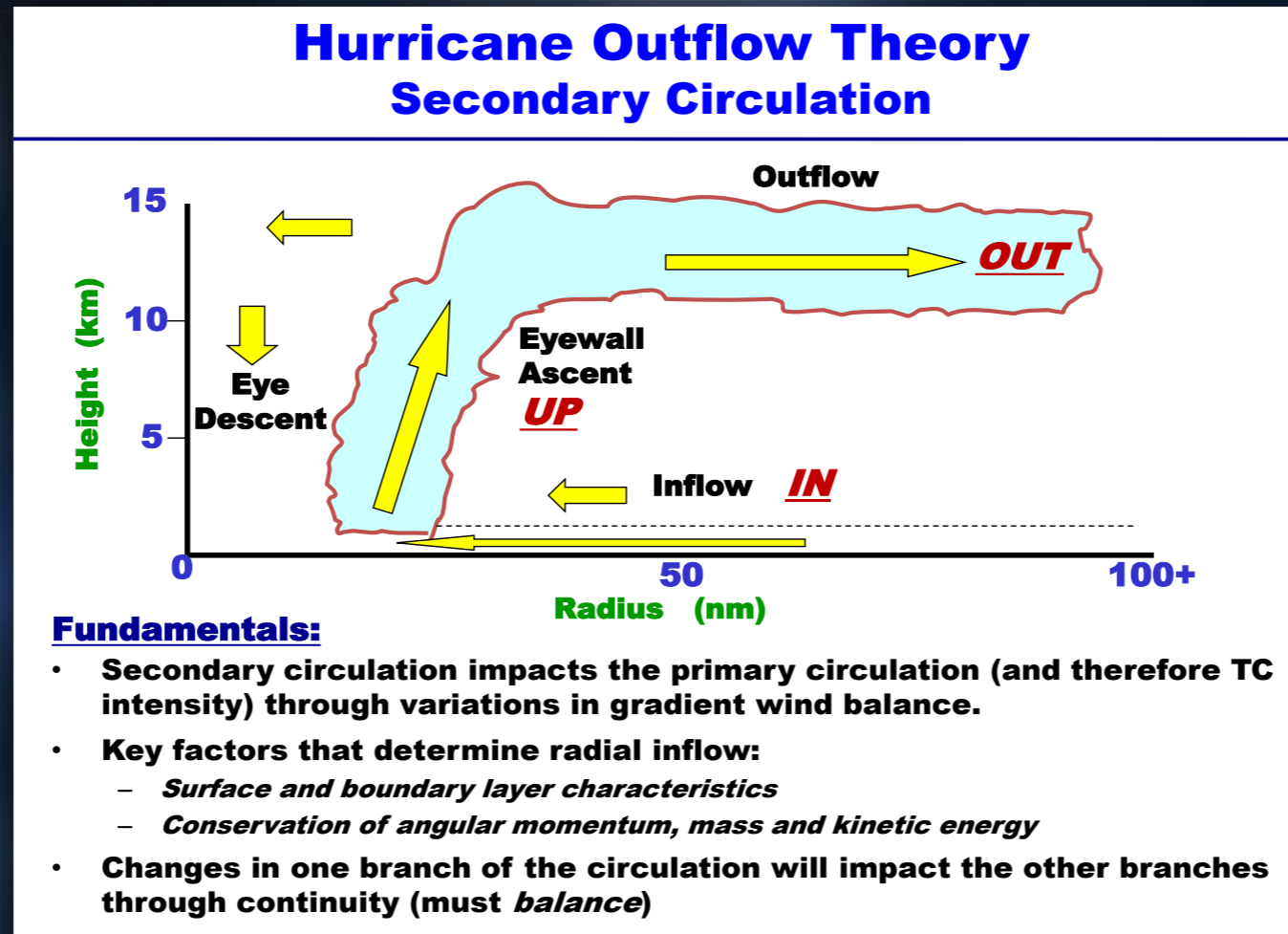


- Dropsonde impact experiments performed for 19-28 Sep. (3 flights)
  - Blue, with HS3 drops
  - Red, No drops with synthetics
- COAMPS-TC Intensity and Track skill are improved greatly through assimilation of HS3 Drops



## ● 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

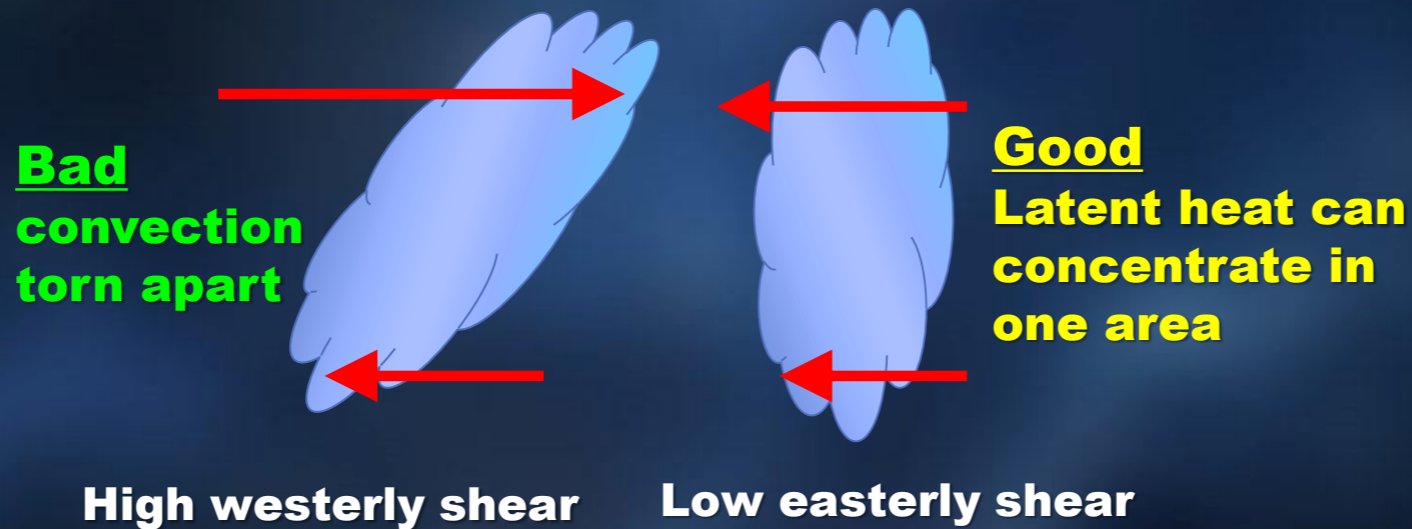


## ● 环境大气与台风的相互作用

### ✓ 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)

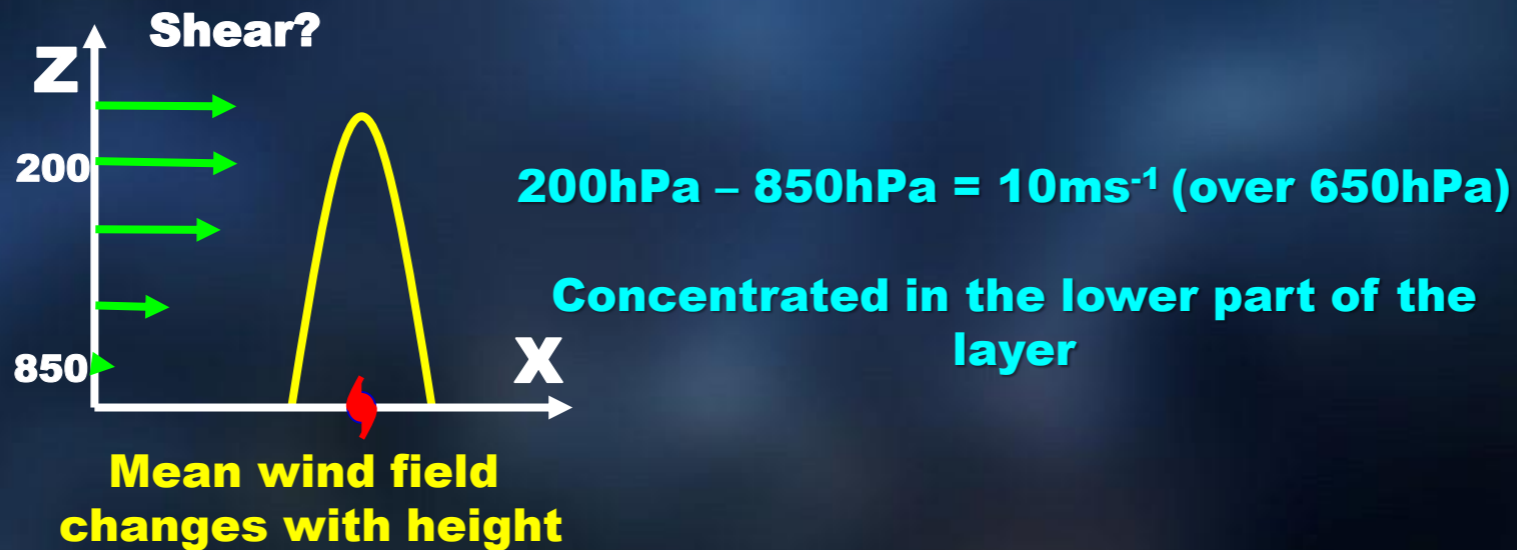
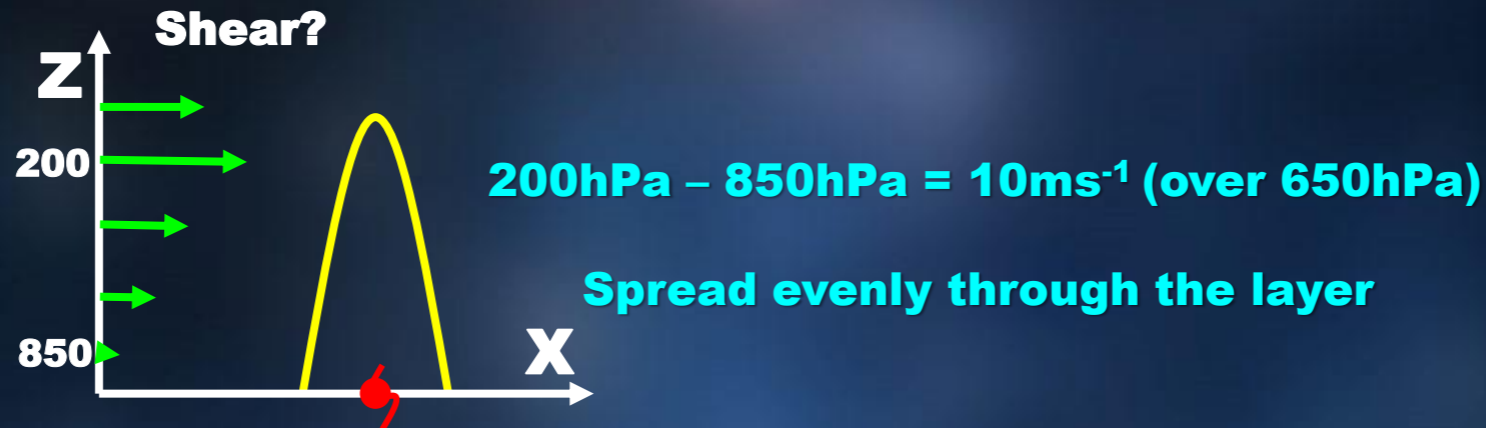


In general, low values (< 20kt) of vertical wind shear are desired.

# ● 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

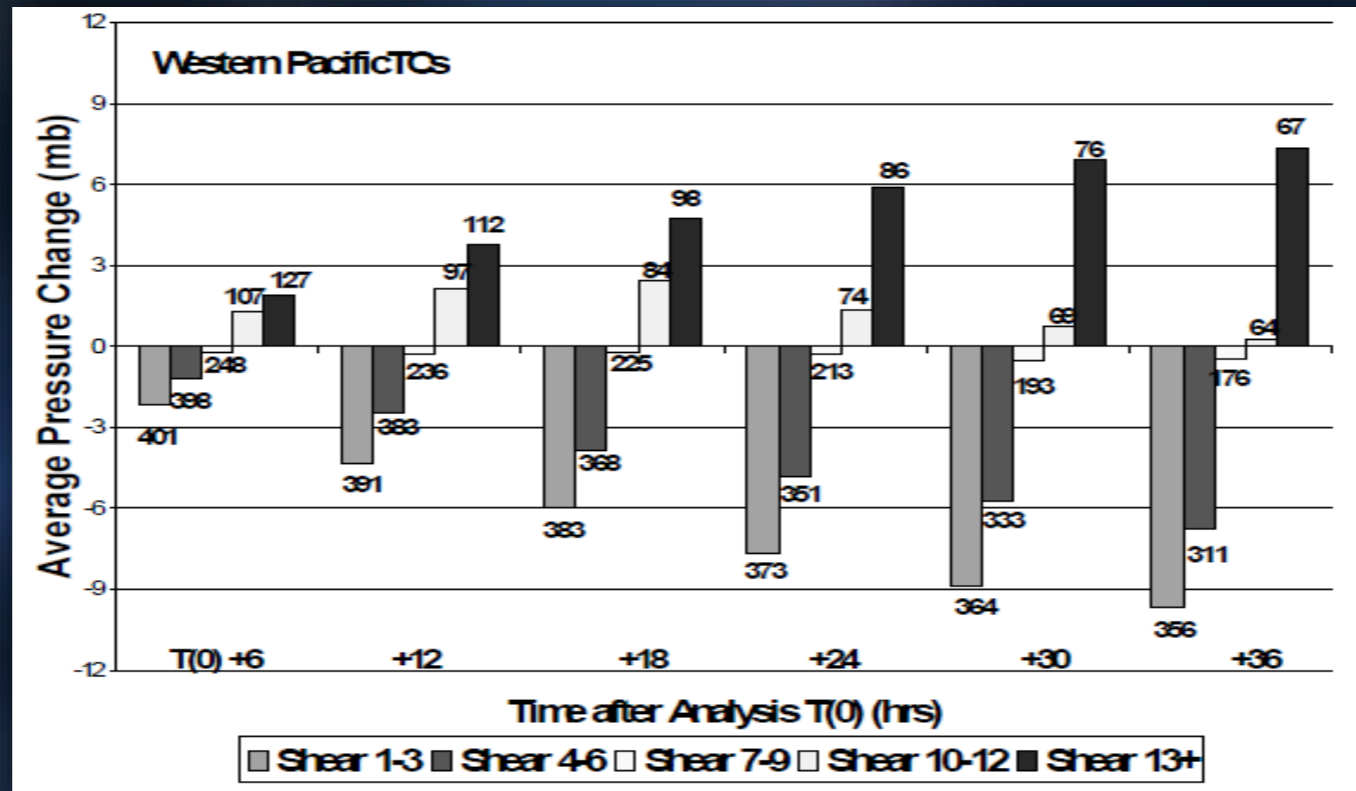
- 环境垂直切变与台风强度变化之间常常出现不一致的情况，这与台风实际强度（**MSLP**）和热力动力环境（如**MPI**）等因素有关
- 相同环境垂直切变条件下，强台风的减弱速度较慢（**Gallina and Velden 2002**）
- 尺度小的台风比尺度大的台风更可能在较小的环境垂直切变条件下减弱（**Wong and Chan 2004**）

# ● 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

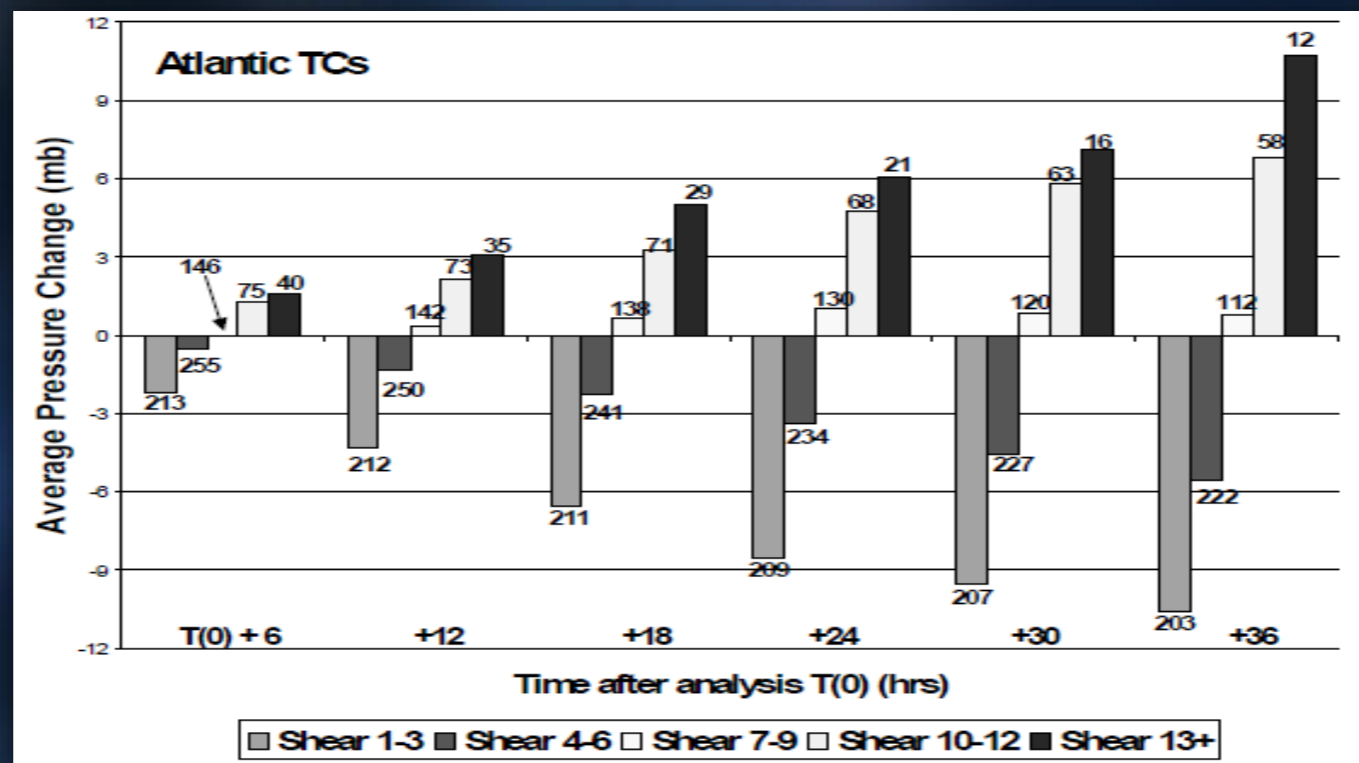
# ● 环境大气与台风的相互作用

## ✓ 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

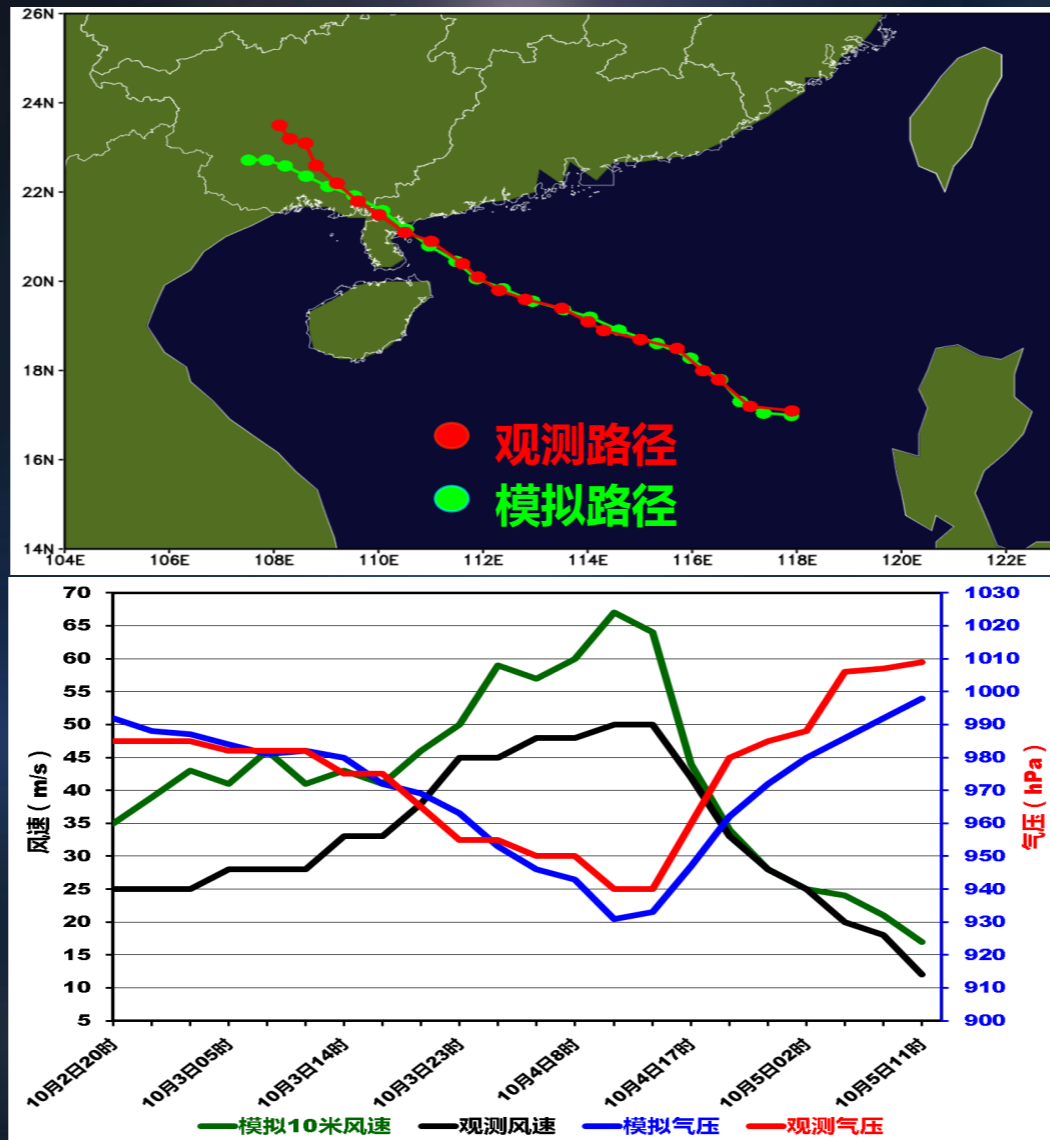
- ② 环境垂直切变小于7-8米/秒时，一般趋于加强或维持



北大西洋飓风强度变化与环境风垂直切变的关系

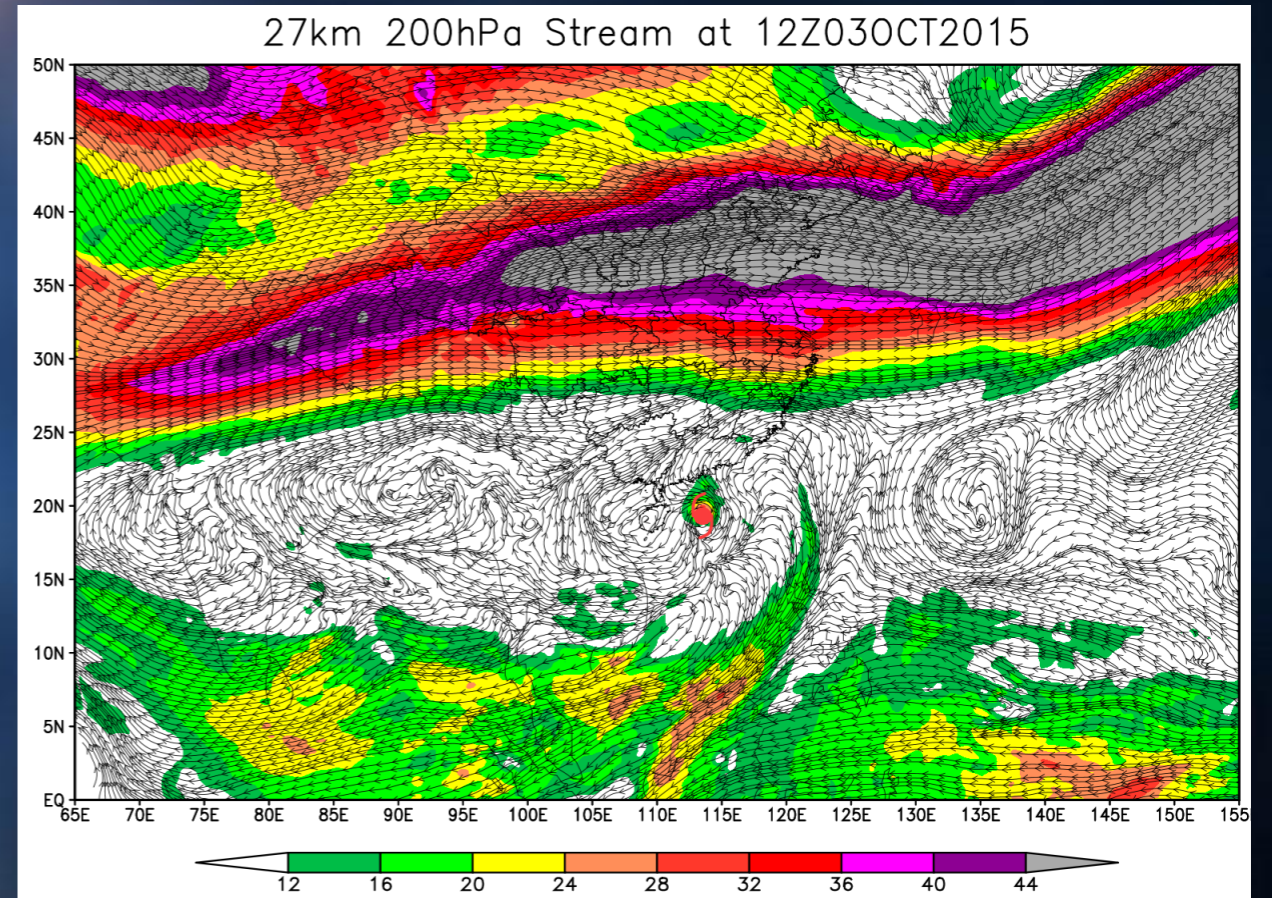
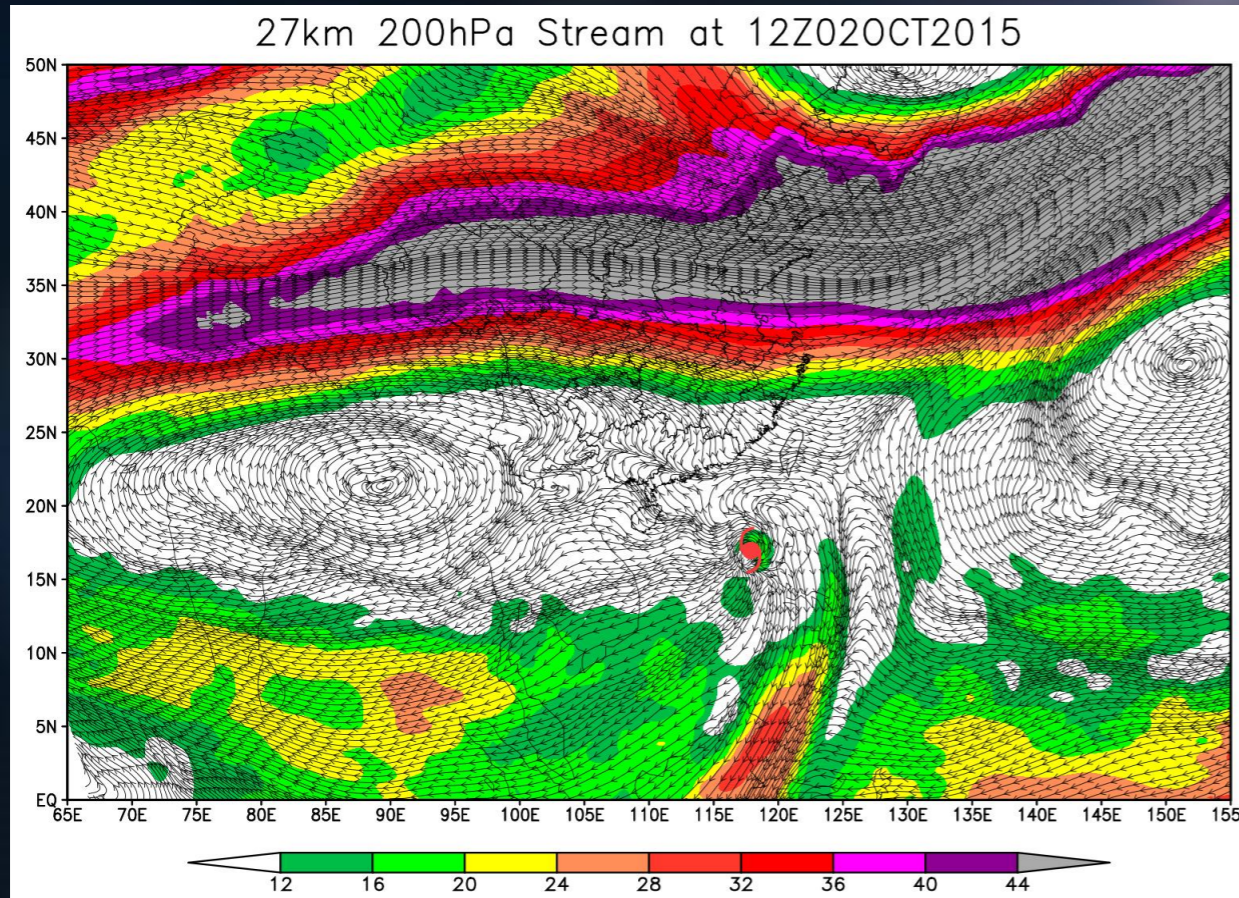
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 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



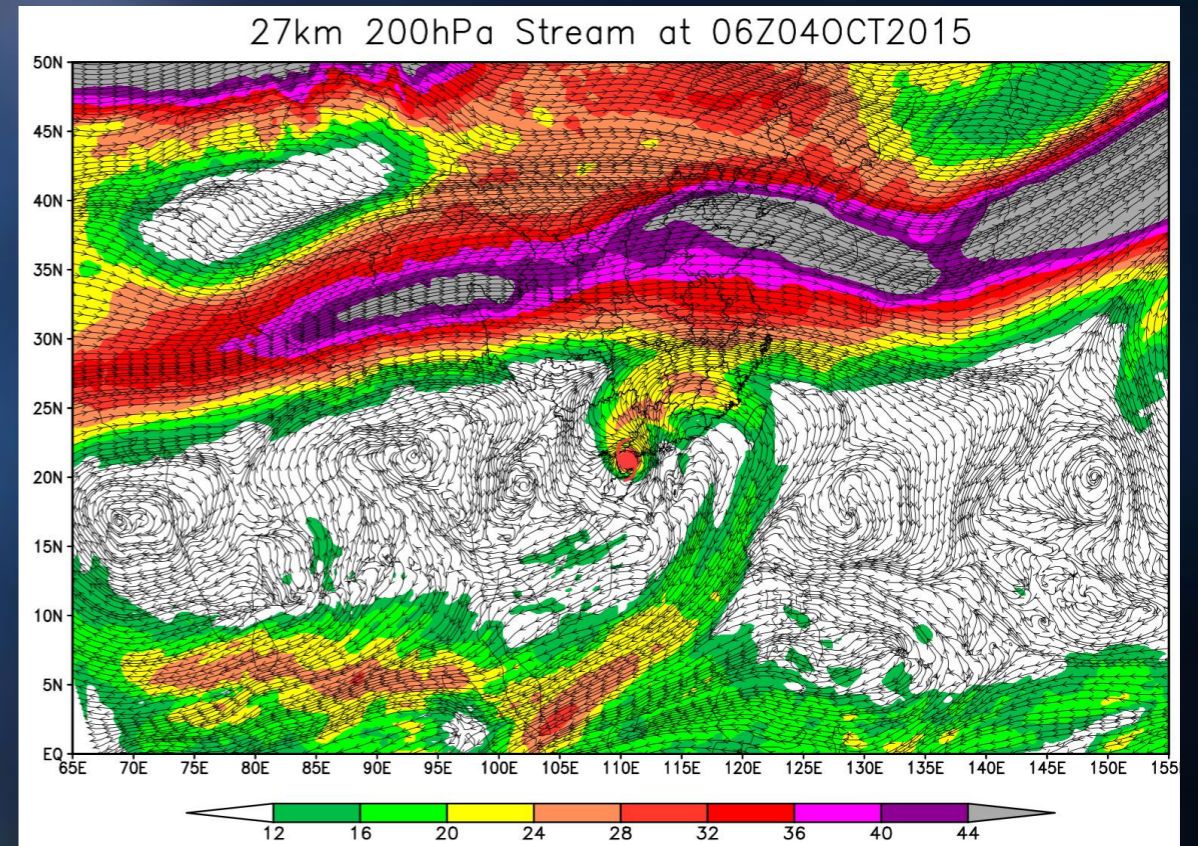
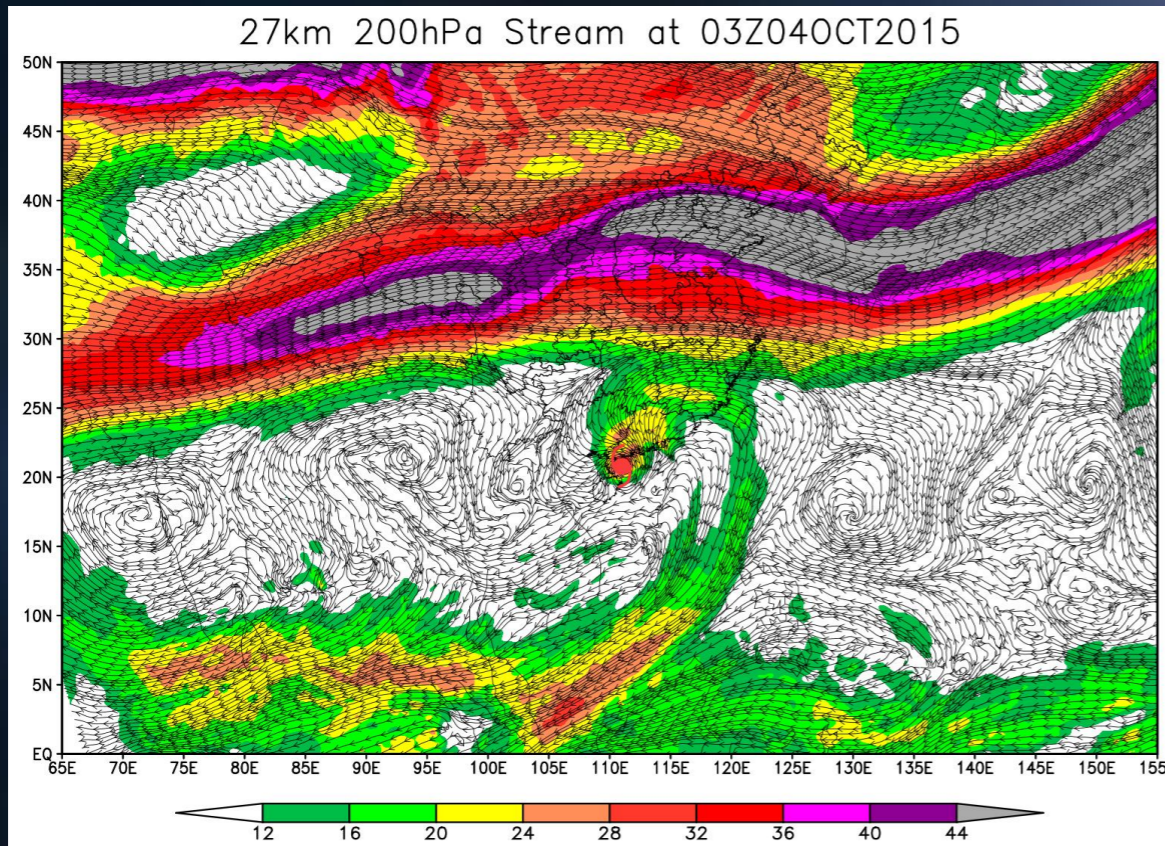
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 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



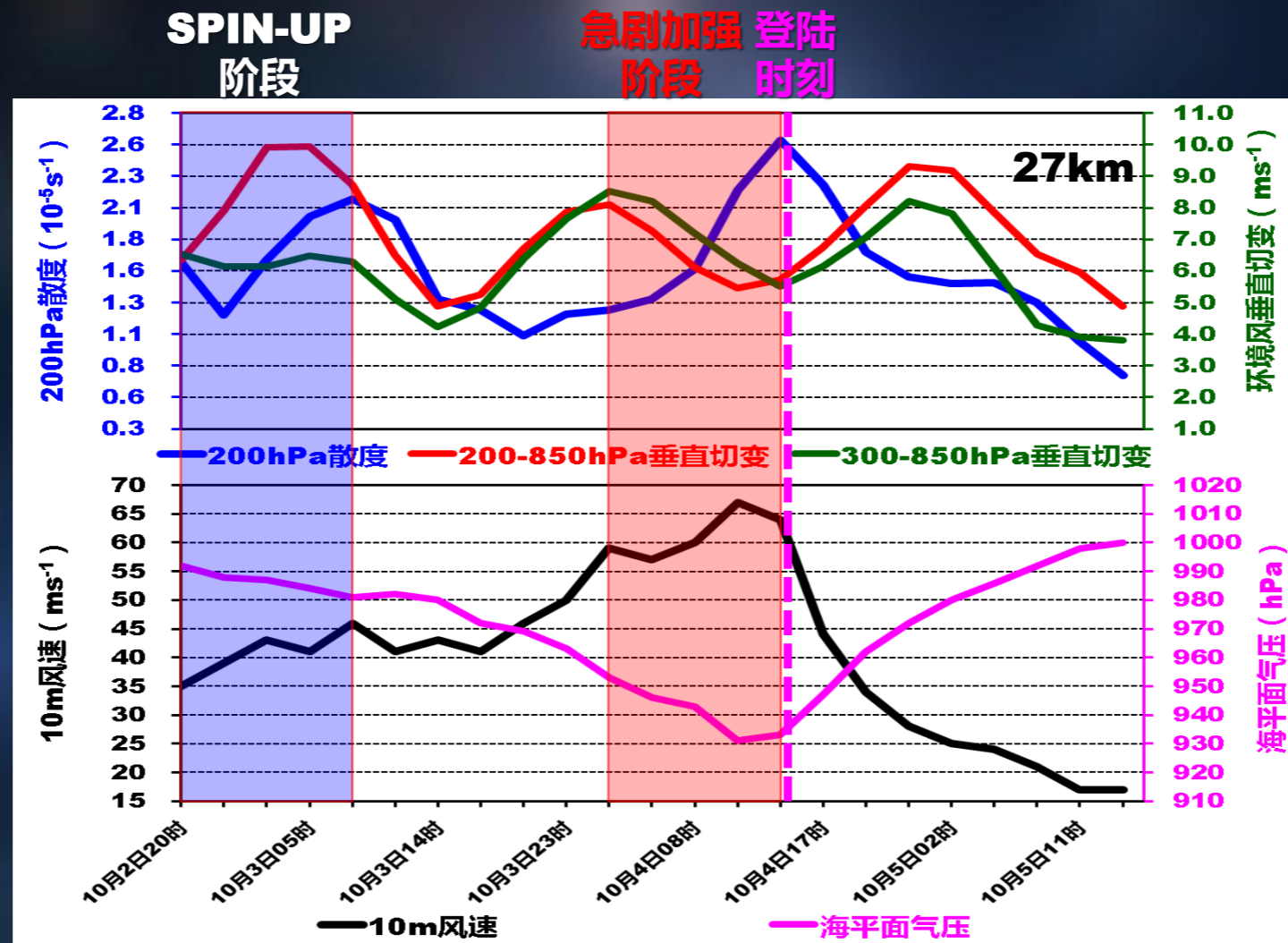
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 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



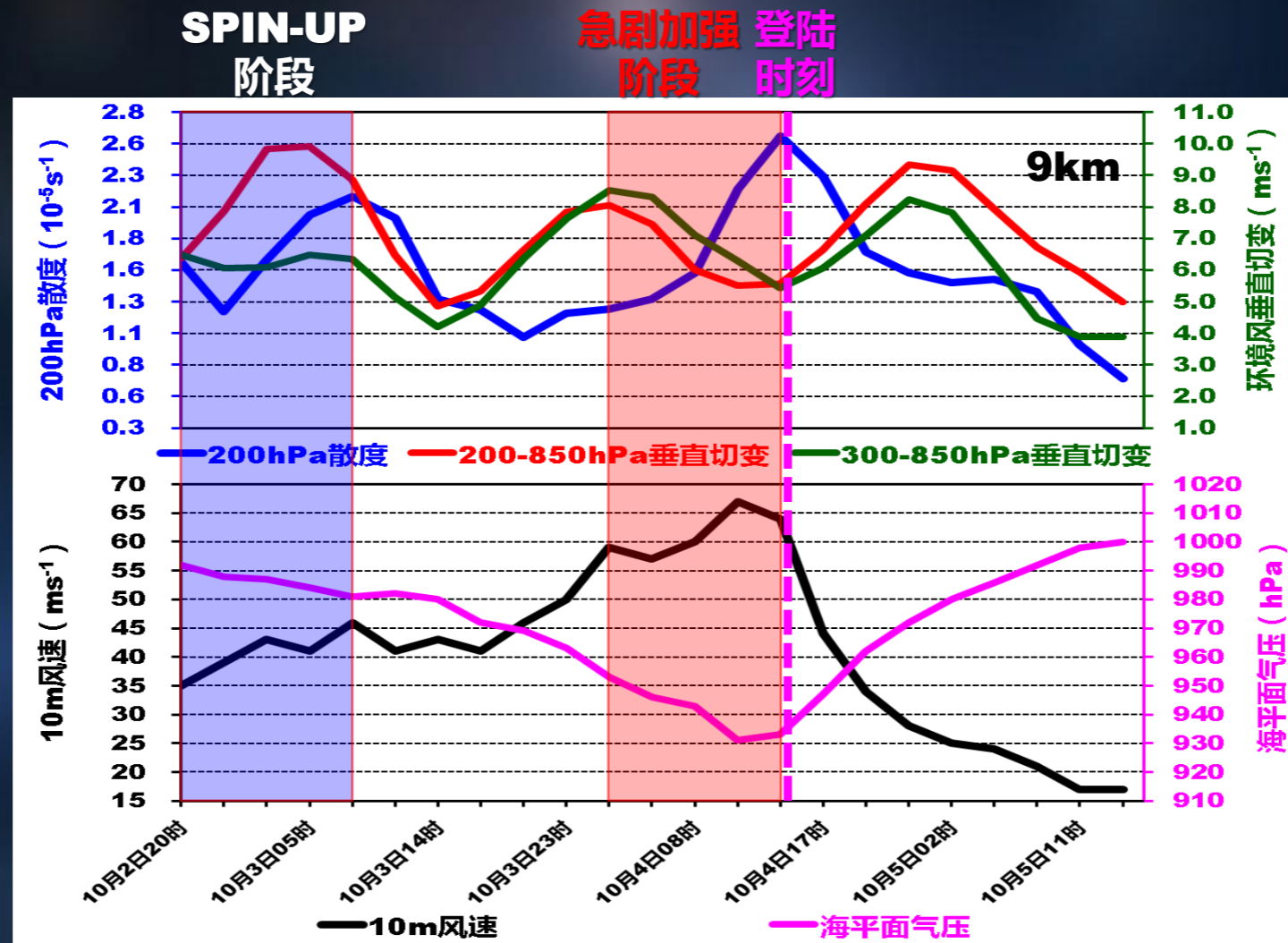
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 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



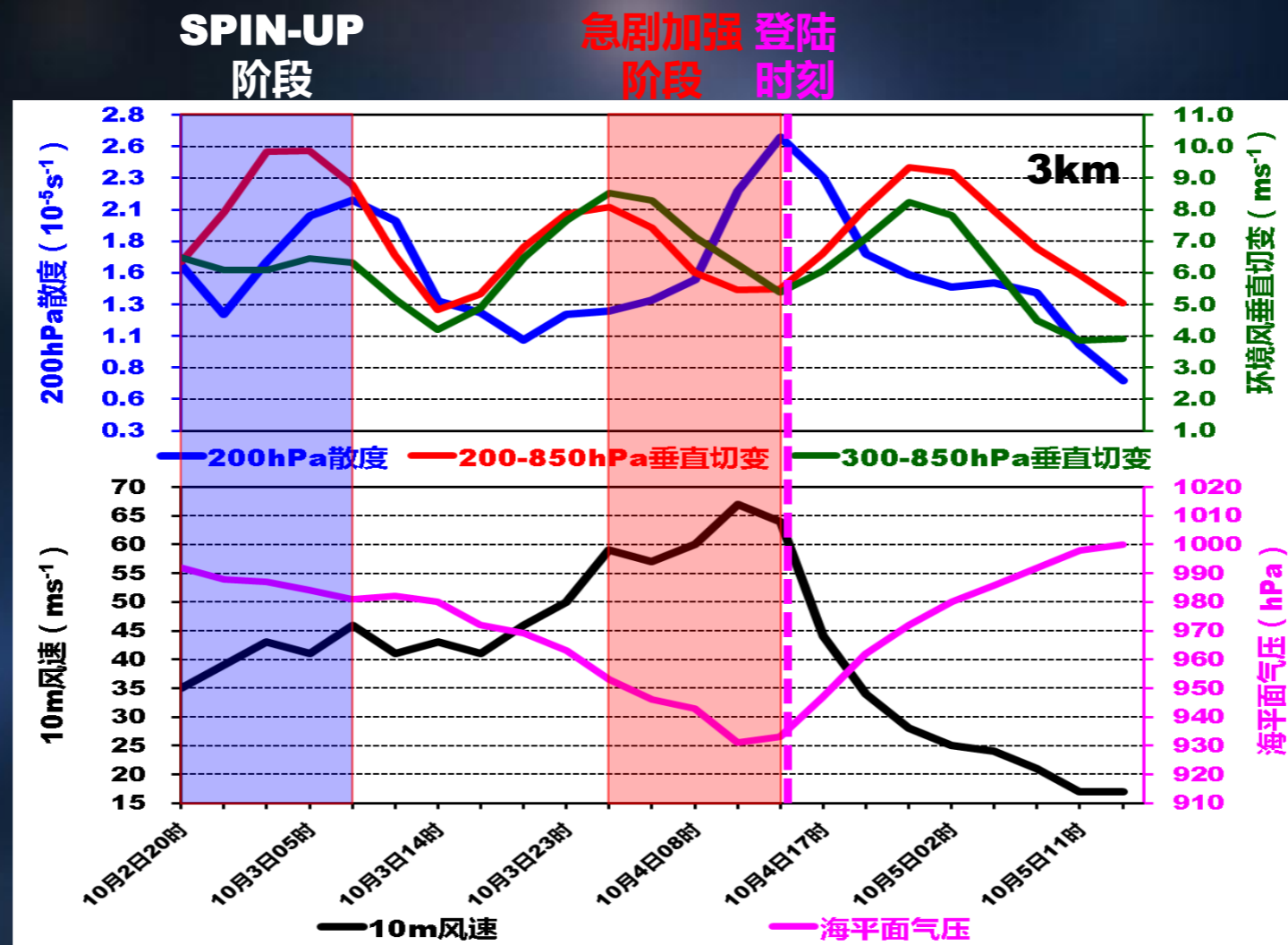
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 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



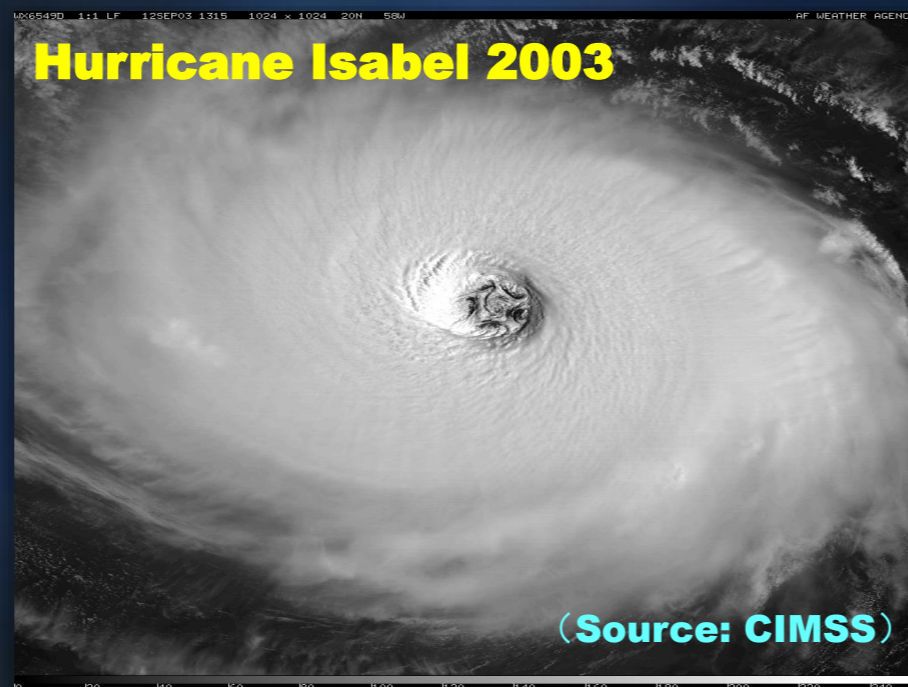
# ● 环境大气与台风的相互作用

✓ 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



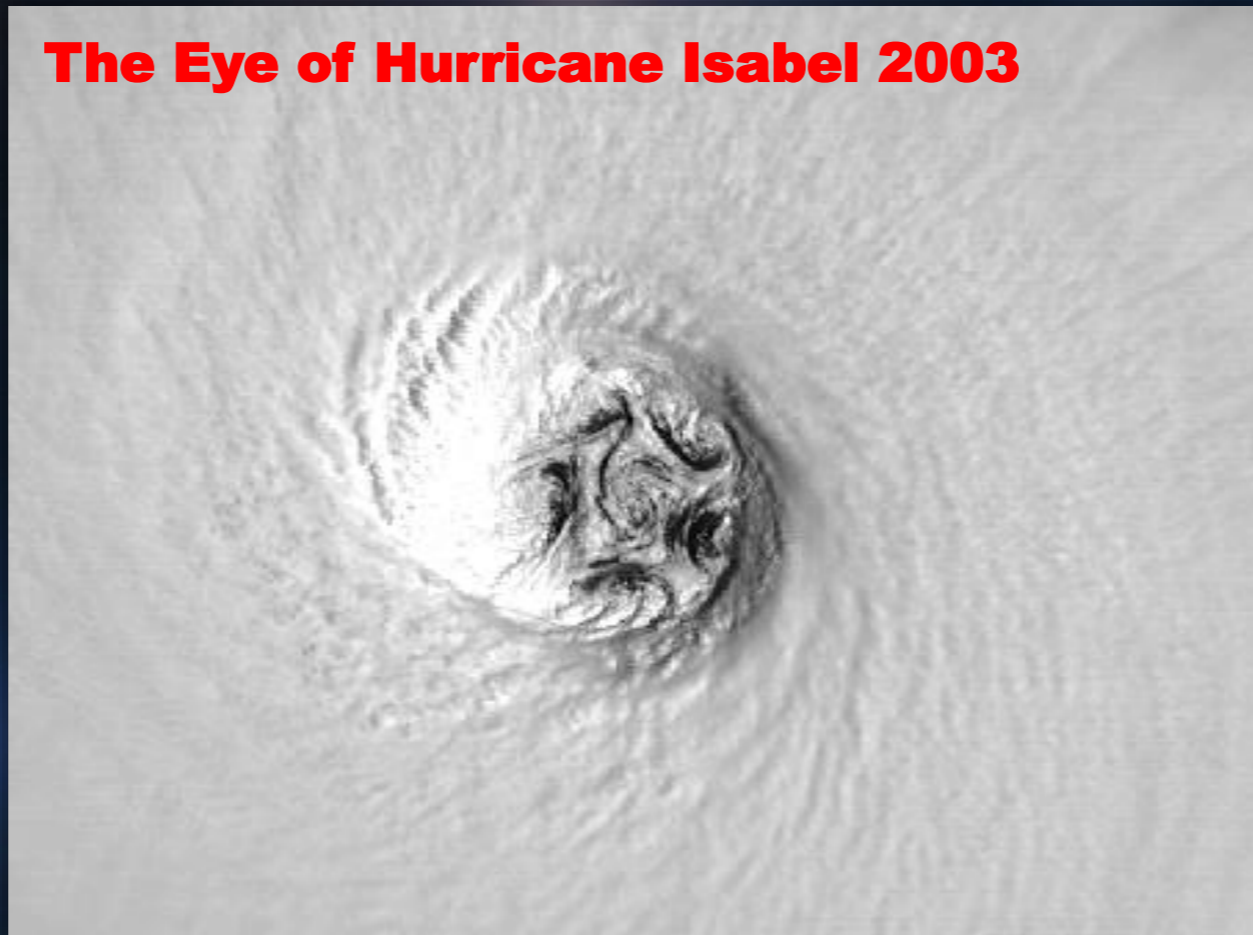
## ● 台风与中尺度系统的相互作用

### ✓ 中小尺度对流系统发展、合并均对台风强度产生影响

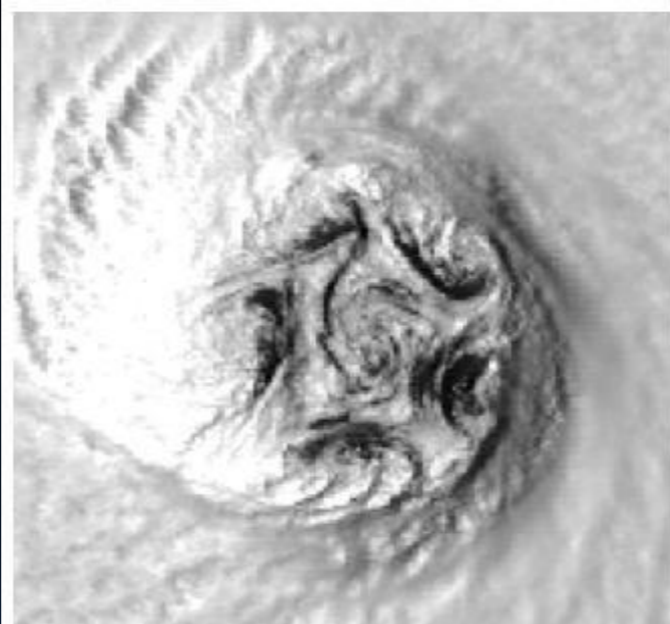
- 中尺度系统会在台风环流内吸取台风能量得以成长，有的会向台风提供能量而衰亡
- 当台风环流吸收了环境中尺度系统后，台风强度会急速加强
- 数值试验表明，当中尺度小涡并入台风环流或被台风所吸收，台风将会剧烈加强
- 当中尺度云团（**Cloud cluster**）并入台风或被台风环流所吸收，也会导致台风的急速发展

- 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 →

