

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

第八讲 台风大风预报



台风大风预报



主要内容

- 台风大风气候特征
- 台风大风的监测
- 影响台风大风的因素
- 非特殊结构台风大风预报
- 微型台风大风预报
- 空心台风大风预报
- 台风大风预报内容和方法
- 台风大风预报产品

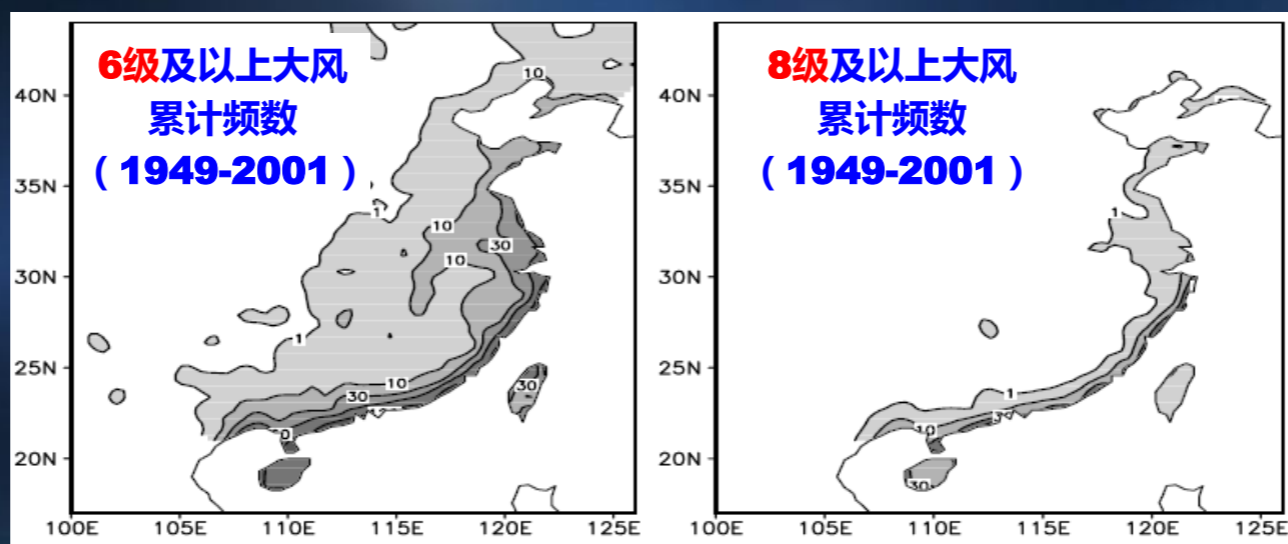
8.1 台风大风气候特征



台风大风气候特征

● 大风频数

- ✓ 大风主要出现在山东半岛以南的东南沿海
- ✓ 大风频数自沿海向内陆急剧减小，等频数线几乎与海岸线平行
- ✓ 杭州湾以北较少出现8级及以上大风
- ✓ 台湾、海南频受大风影响，西沙、大陈为全国之最

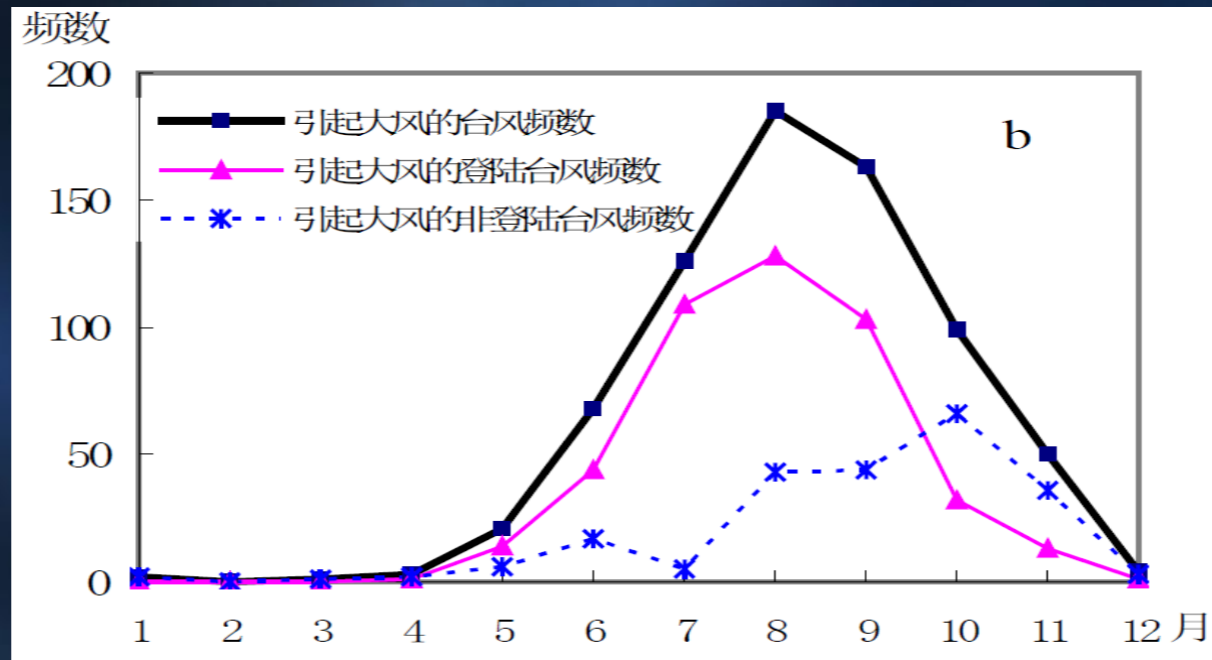


资料来源：杨玉华等（2004）

台风大风气候特征

● 引起大风的台风频数分布季节变化

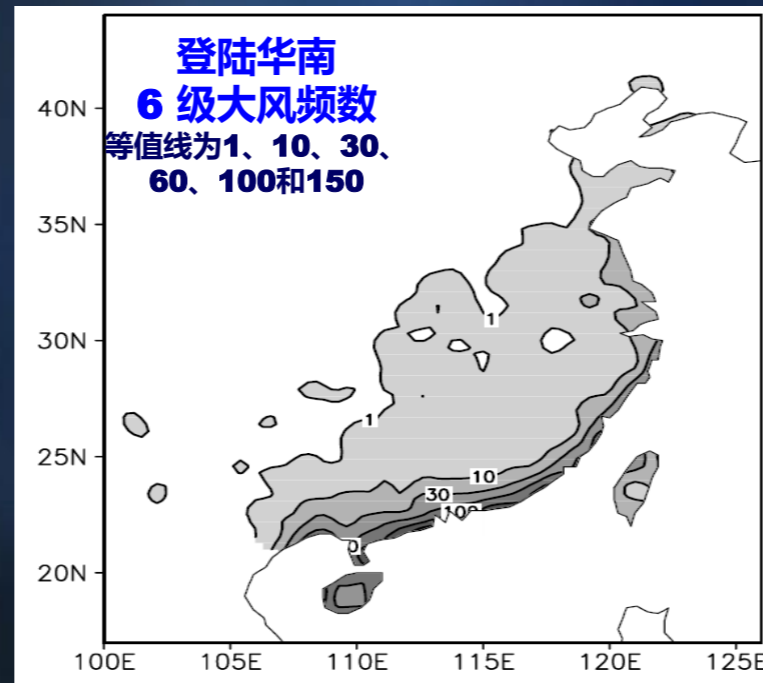
- ✓ 引起大风过程的台风频数存在明显的季节变化，主要在6-10月，8月最多
- ✓ 引起大风的非登陆台风频数最大值出现在10月



资料来源：杨玉华等（2004）

台风大风气候特征

- 不同登陆地段的大风分布差异
- ✓ 登陆华南台风
- 可引起山东半岛以南（及渤海湾部份地区）广大区域的大风过程



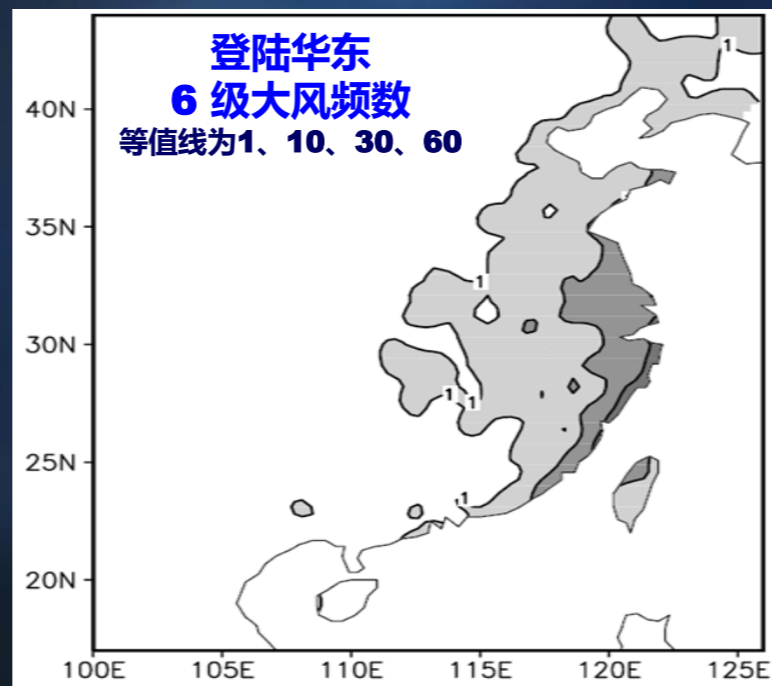
资料来源：杨玉华等（2004）

台风大风气候特征

- 不同登陆地段的大风分布差异

- ✓ 登陆华东台风

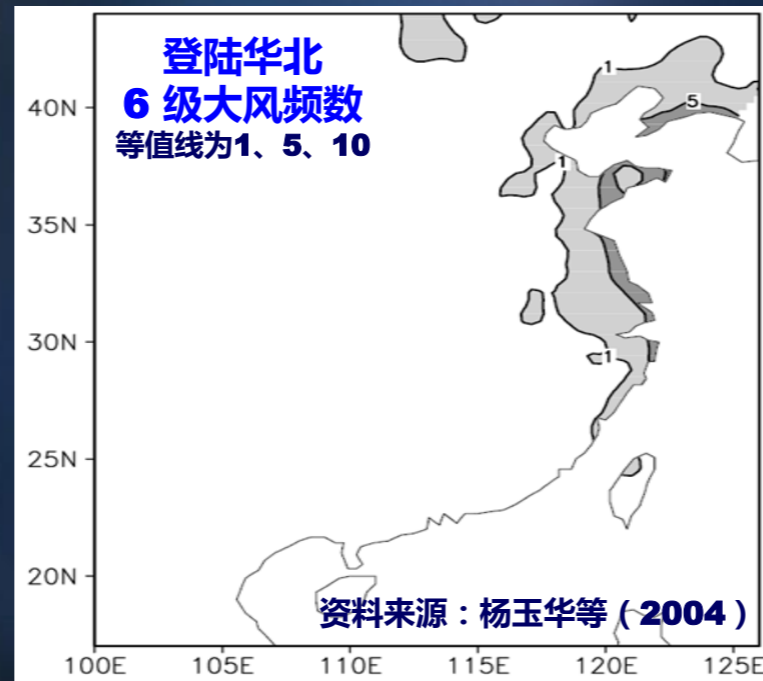
- 大风主要出现在华东地区，可以伸展到华北沿海、但华南地区则很少



资料来源：杨玉华等（2004）

台风大风气候特征

- 不同登陆地段的大风分布差异
- ✓ 登陆华北台风
- 大风主要在华北地区



- 登陆华南台风的大风频数明显高于华东和华北
- 华东明显高于华北

台风大风气候特征

- 登陆台风大风的季节变化

4-11月，皆有台风登陆引起大风

- ✓ 4月

- 台风一般登陆华南，大风范围仅限华南

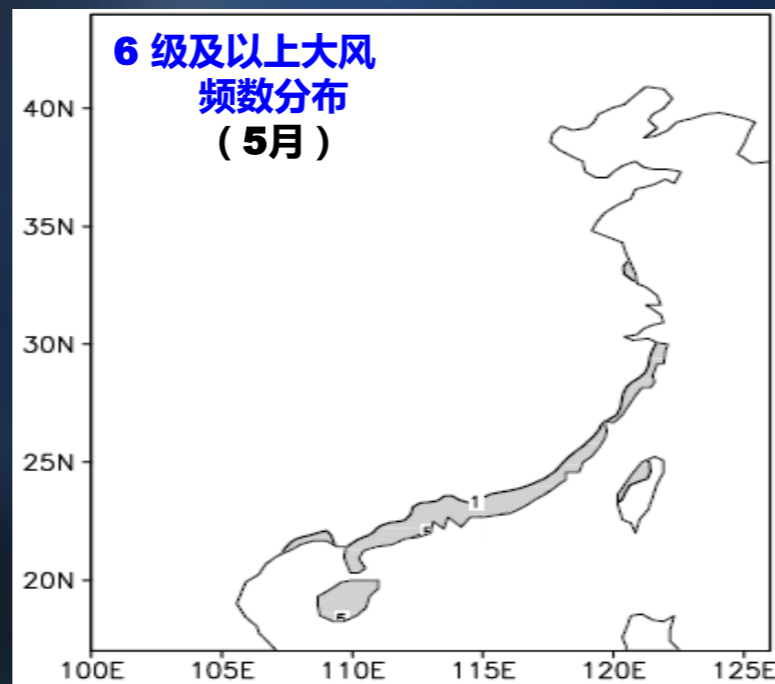
台风大风气候特征

- 登陆台风大风的季节变化

4-11月，皆有台风登陆引起大风

- ✓ 5月

- 大风范围向北推进到杭州湾北部



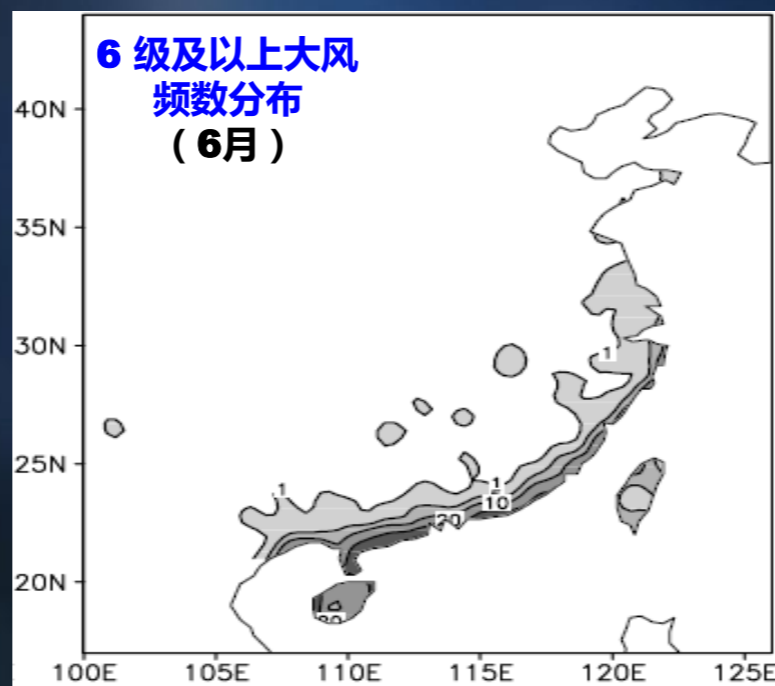
台风大风气候特征

- 登陆台风大风的季节变化

4-11月，皆有台风登陆引起大风

- ✓ 6月

- 可影响到山东半岛，且由沿海推进到部分内陆地区



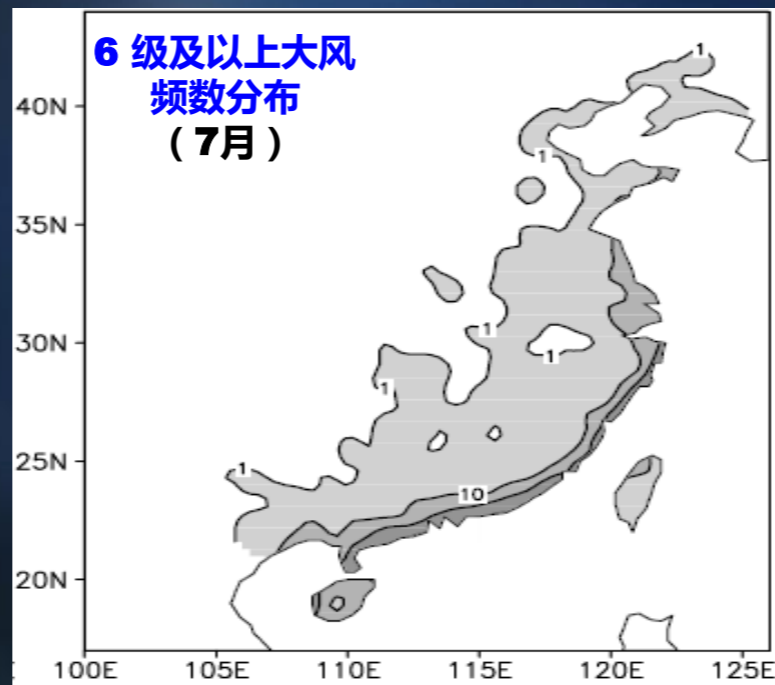
台风大风气候特征

- 登陆台风大风的季节变化

4-11月，皆有台风登陆引起大风

- ✓ 7月

- 扩大到辽东半岛和中东部大部分内陆省份



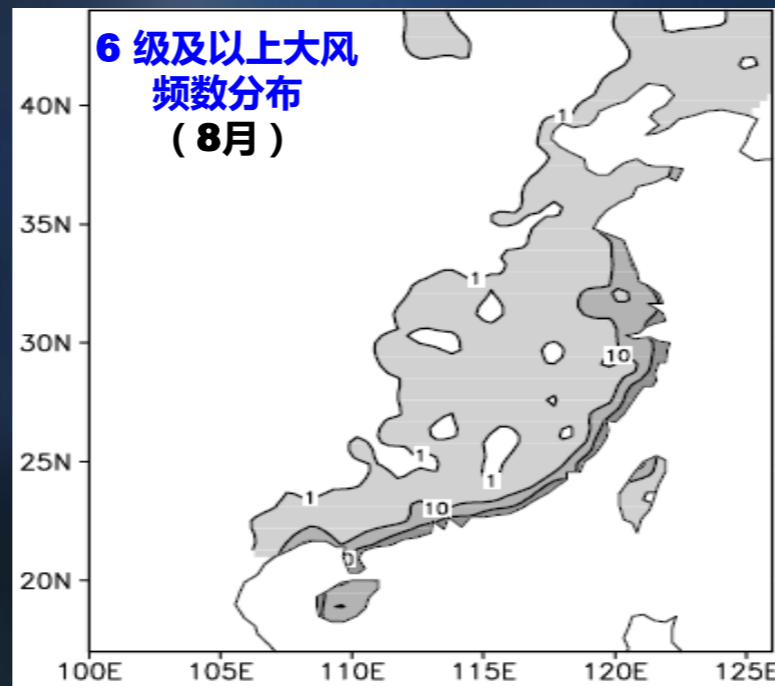
台风大风气候特征

- 登陆台风大风的季节变化

4-11月，皆有台风登陆引起大风

- ✓ 8月

- 大风影响范围最大，6级及以上大风由华南沿海延伸到华东沿海



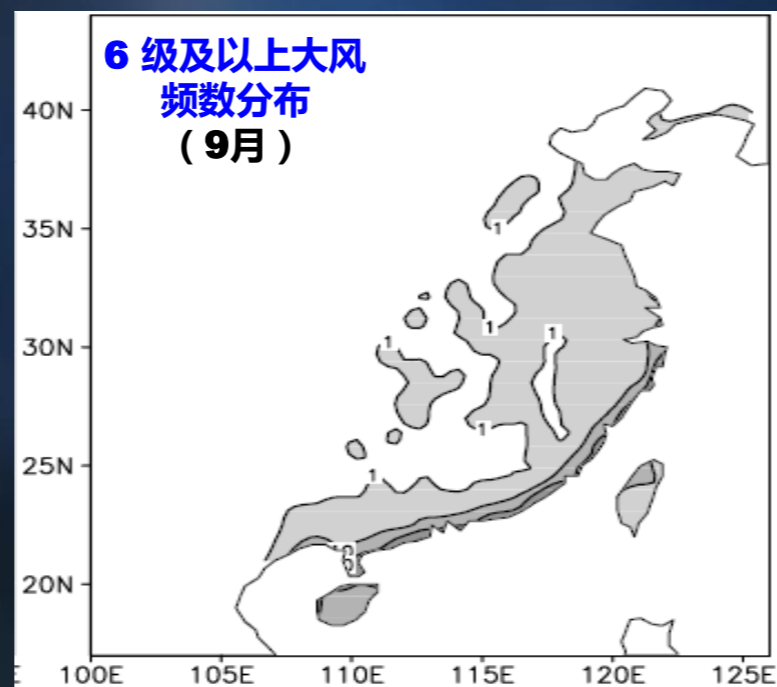
台风大风气候特征

- 登陆台风大风的季节变化

4-11月，皆有台风登陆引起大风

- ✓ 9月

- 台风大风影响范围开始向南消退，渤海湾一带影响减弱



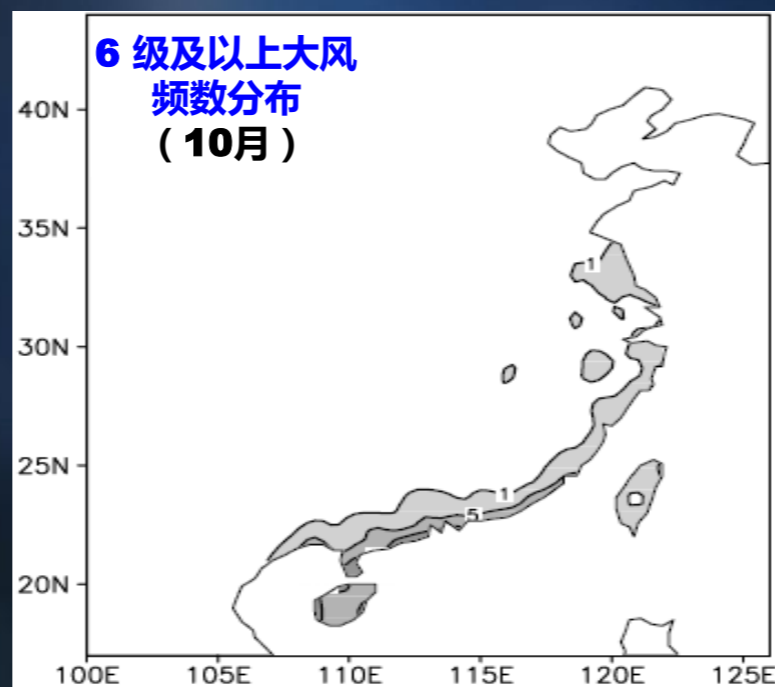
台风大风气候特征

- 登陆台风大风的季节变化

4-11月，皆有台风登陆引起大风

- ✓ 10月

- 台风的影响范围南退到山东半岛以南，对内陆影响也大范围减小



台风大风气候特征

- 登陆台风大风的季节变化

4-11月，皆有台风登陆引起大风

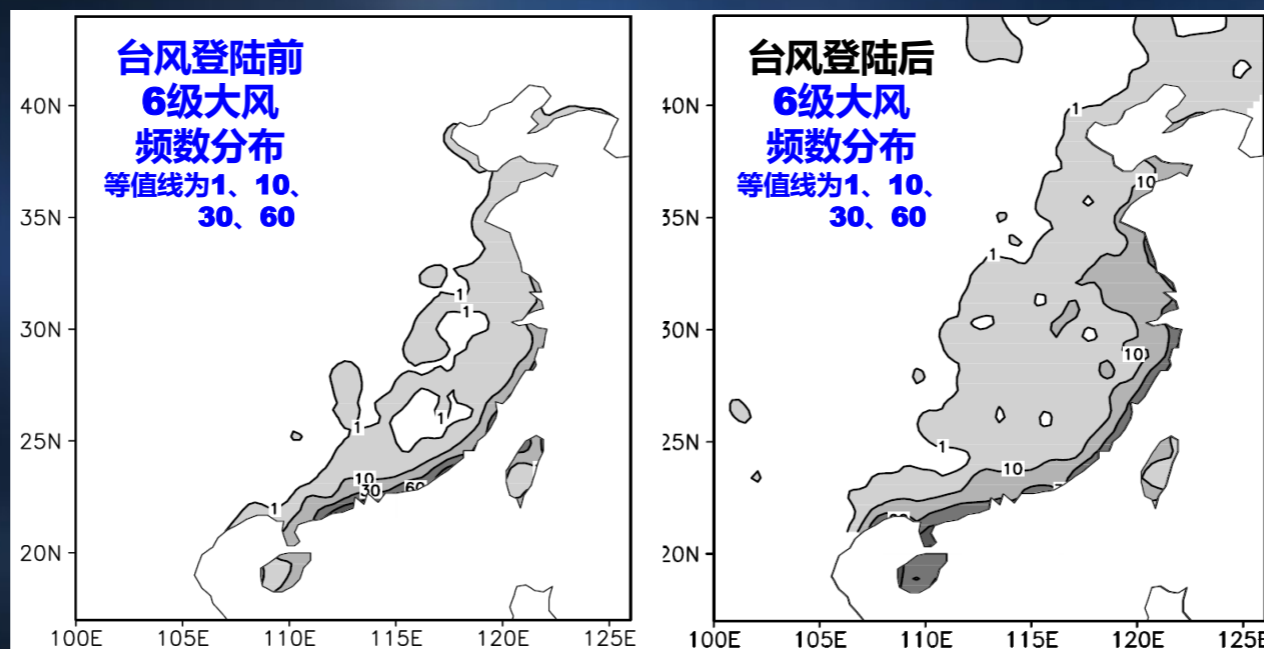
- ✓ 11月

- 台风的影响范围只到达杭州湾北部，6级及以上大风集中在华南

台风大风气候特征

● 台风登陆前后大风的

- ✓ 登陆前，大风集中在沿海地带
- ✓ 登陆后，大风范围明显扩大
- ✓ 登陆前后，风速极值无明显差异，但登陆后，大风影响区域向北向西推进至内陆



台风大风气候特征

● 台风最大风速纪录

✓ 平均风速

序号	平均风速 (米/秒)	出现地点	出现时间	说明
1	90.28	17.0N 105.5W	2015.10.23	1分钟平均 五级飓风Patricia
2	84.88	17.57N 124.55E	2010.10.17	1分钟平均 1013号超强台风“鲇鱼”
3	83.5	美国华盛顿山	1934.04.12	5分钟平均/龙卷
4	74.7	中国台湾兰屿	1961.05.26	10分钟平均 6104号强台风Betty
5	72.5	日本富士山	1942.04.05	10分钟平均
6	> 61	广东汕尾遮浪	1979.08.02	10分钟平均 7908号超强台风Hope

台风大风气候特征

● 台风最大风速纪录

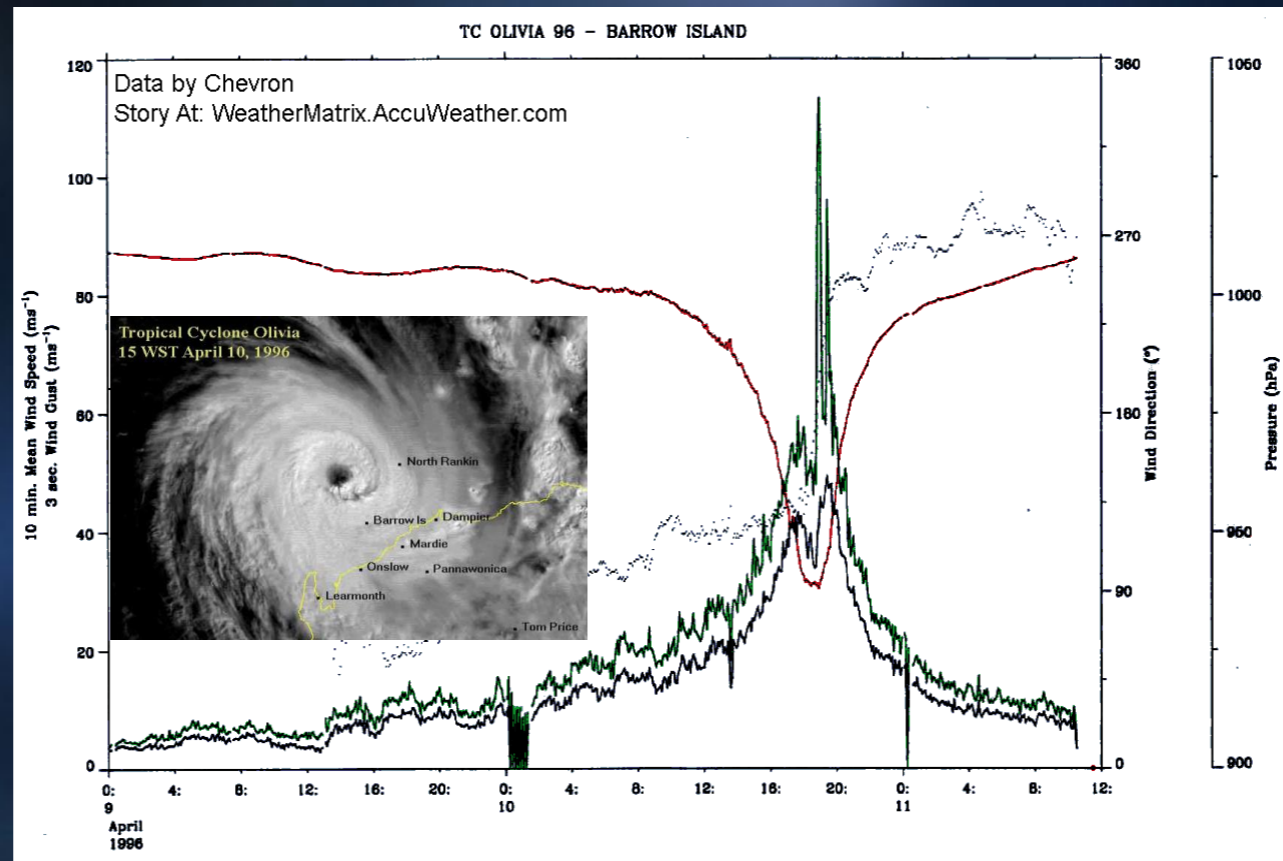
✓ 瞬时风速

序号	瞬时风速 (米/秒)	出现地点	出现时间	说明
1	113.3	澳大利亚 Barrow Island	1996.04.10	Tropical Cyclone Olivia
2	103.0	美国华盛顿山	1934.04.12	龙卷
3	97.74	17.57N 124.55E	2010.10.17	1013号 超强台风“鲇鱼”
4	91.0	日本富士山	1966.9.25	10分钟平均
5	89.8	中国台湾兰屿	1984.07.03	8403号台风Alex
6	81.3	浙江苍南鹤顶山风电站	2006.08.10	0608号超强台风“桑美”
7	76.1	浙江苍南石砰山	2013.10.7	1323号强台风“菲特”
8	75.8	福建福鼎佛掌岩	2006.08.10	0608号超强台风“桑美”
9	74.1	海南文昌外海浮标	2014.07.18	1409号超强台风“威马逊”
10	72.6	日本筑波山	1949.08.31	

台风大风气候特征

● 台风最大风速纪录

✓ 瞬时风速

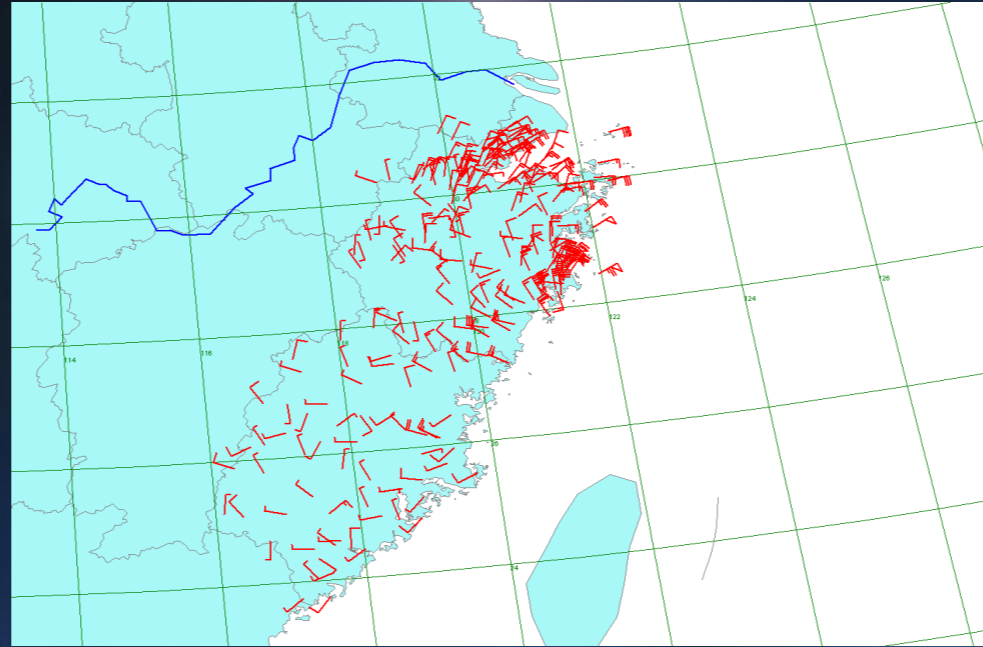


8.2 台风大风的监测



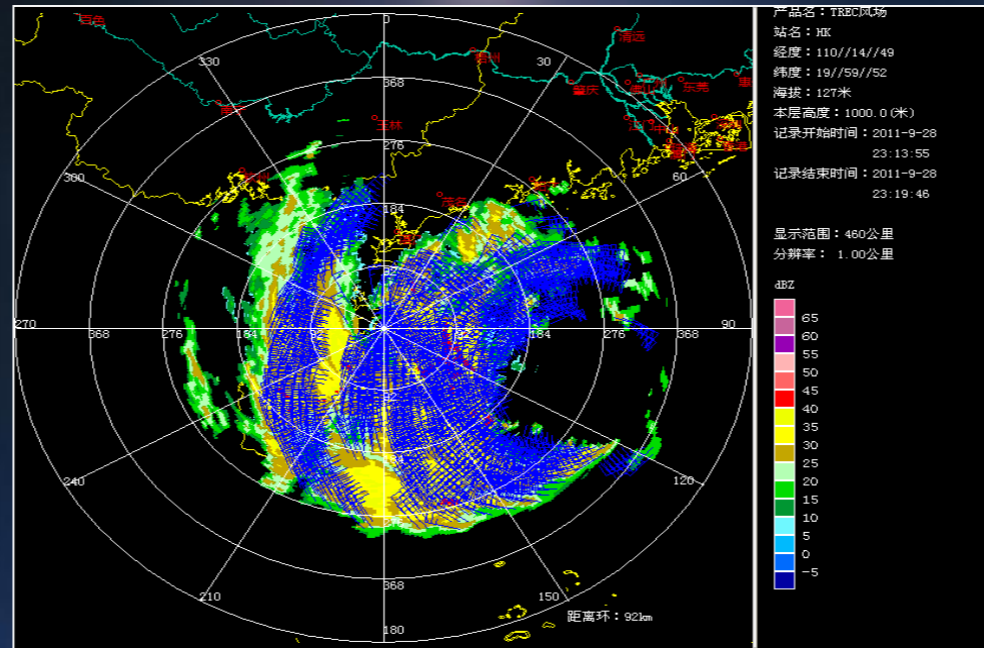
台风大风的监测

- 地面加密气象自动站



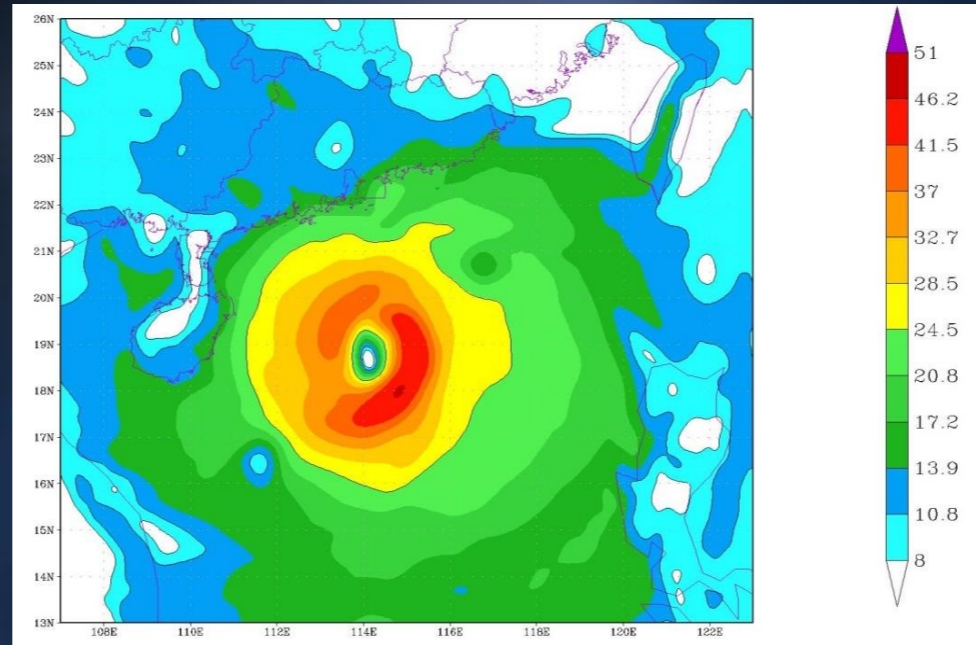
台风大风的监测

● 雷达风场反演



台风大风的监测

- 地面雷达资料同化分析



台风大风的监测

● 极轨气象卫星遥感风场

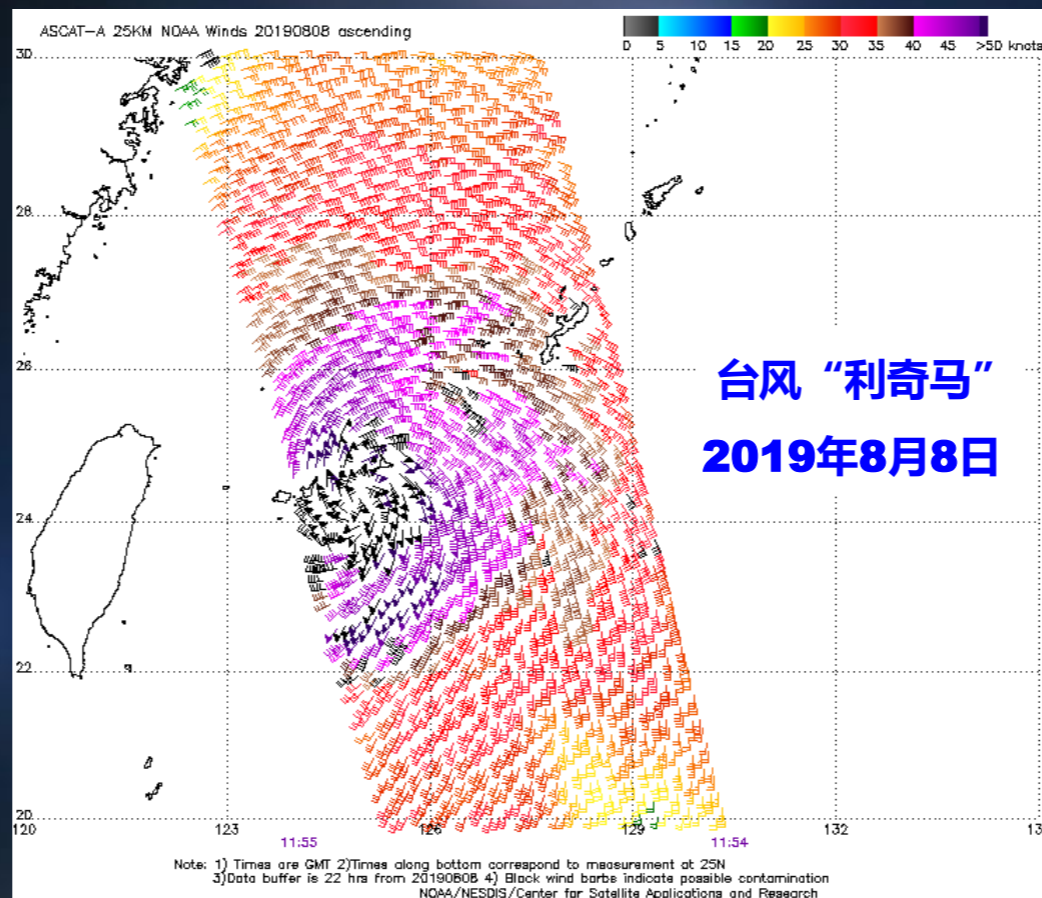
✓ 目前在轨运行至少达10种以上

- QuikSCAT/SeaWinds (2009年11月23日停止运行)
- OSCAT
- RapidSCAT
- ASCAT
- WindSAT
- Altimeter
- SMAP
- ERS-2
- SSM/I
- GCOMW1/AMSR2
- CYGNSS
- NASA Hurricane Imaging Radiometer (HIRAD)
- Oceansat-2/3 (印度)
- SCATSAT (印度)
- ICE PRODUCTS
- FY3C/D/E/G
- 海洋二号卫星 (HY-2)

台风大风的监测

● 极轨气象卫星遥感风场

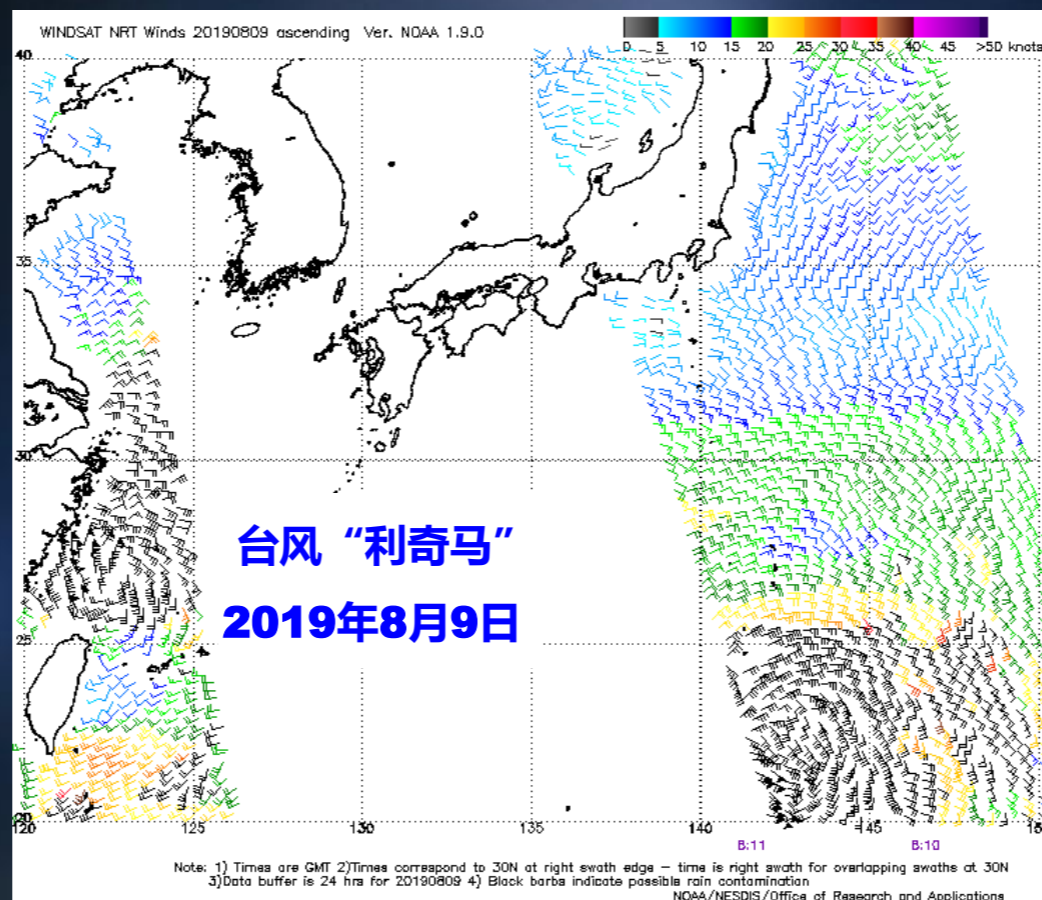
✓ ASCAT



台风大风的监测

- 极轨气象卫星遥感风场

✓ WindSAT



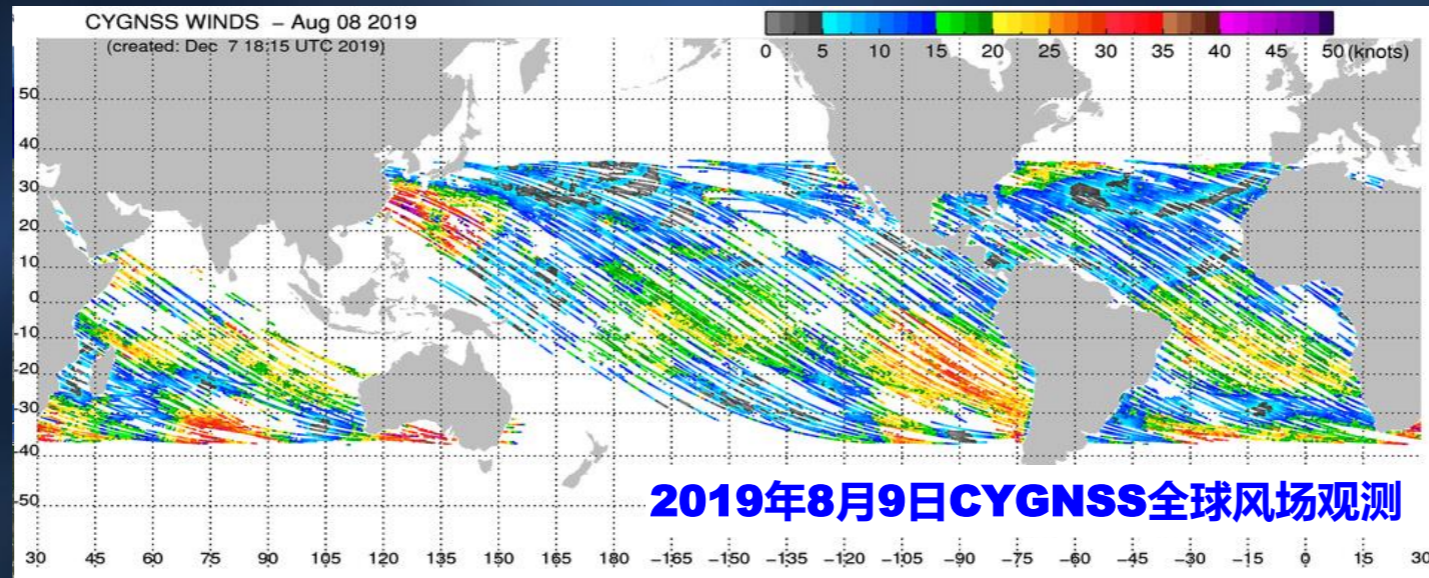
台风大风的监测

- 极轨气象卫星遥感风场

- ✓ **CYGNSS**

- Cyclone Global Navigation Satellite System**

- A constellation of eight small satellites
- Deriving Surface Wind Speeds in Tropical Cyclones
- Launch Window Open at 08:00 EST on 12 Dec 2016

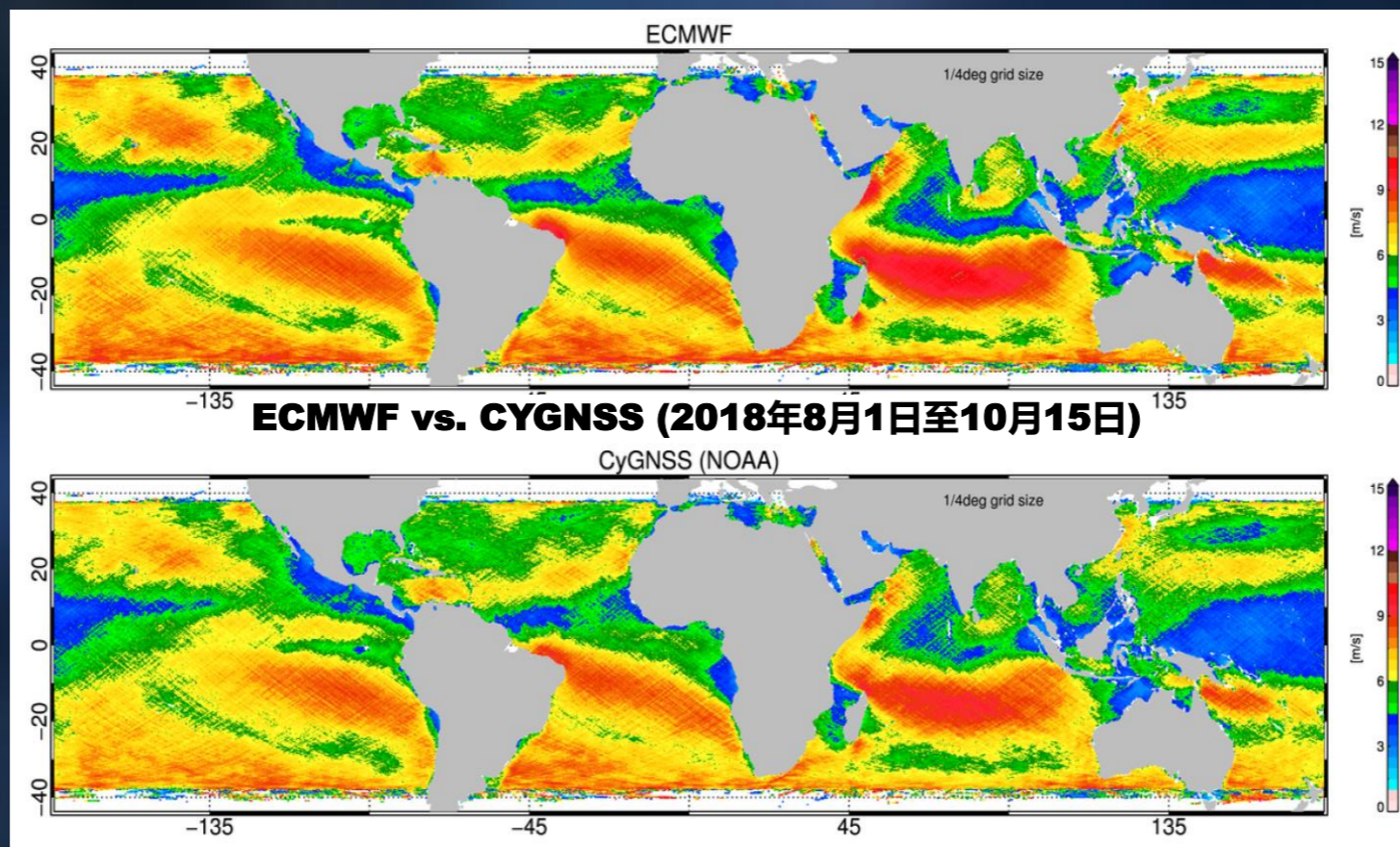


台风大风的监测

- 极轨气象卫星遥感风场

- ✓ **CYGNSS**

Cyclone Global Navigation Satellite System

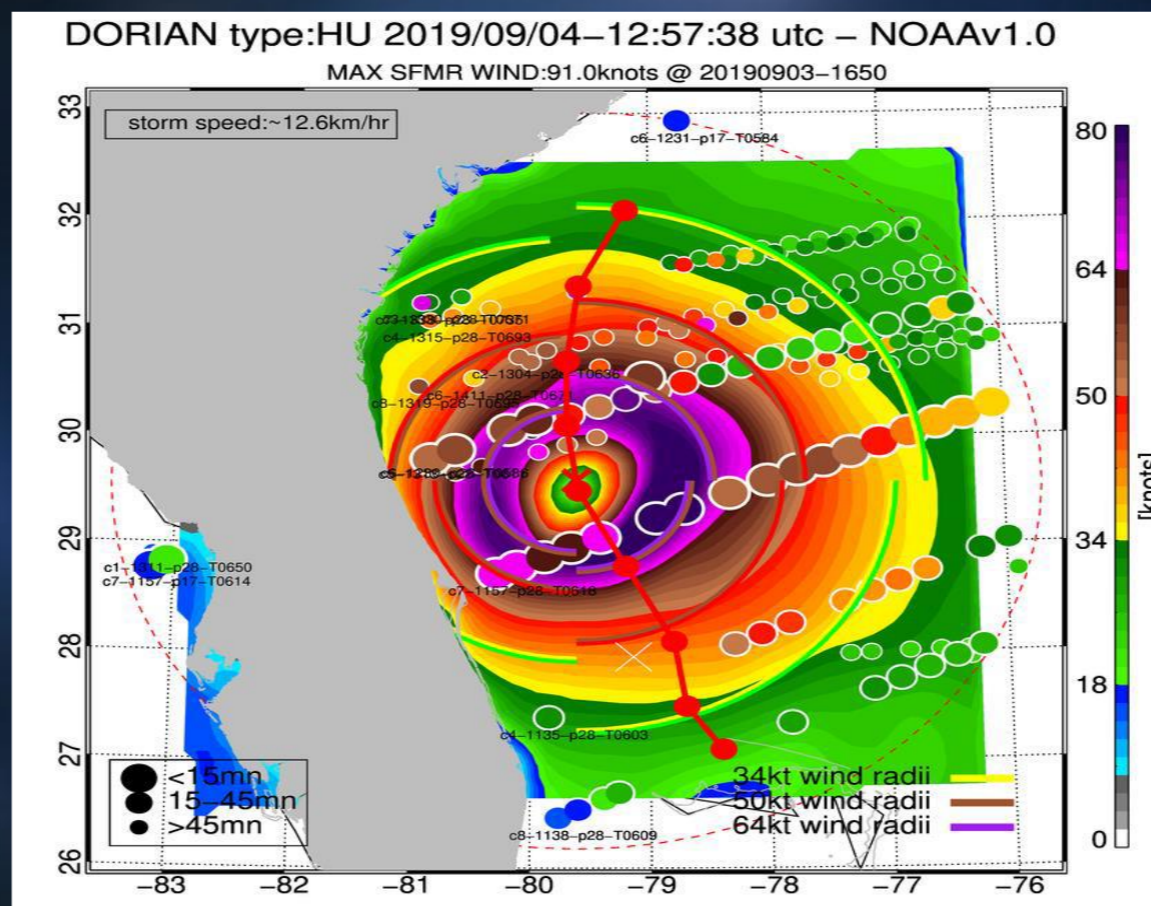


台风大风的监测

- 极轨气象卫星遥感风场

✓ **CYGNSS**

Cyclone Global Navigation Satellite System



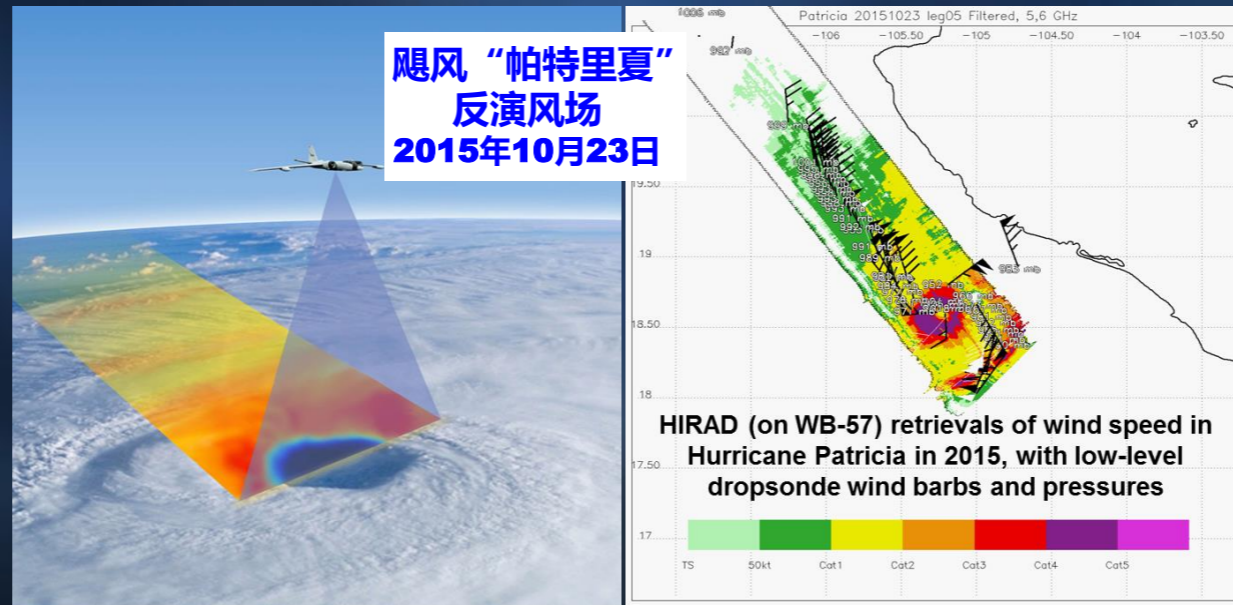
台风大风的监测

- 极轨气象卫星遥感风场

- ✓ **HIRAD**

NASA Hurricane Imaging Radiometer

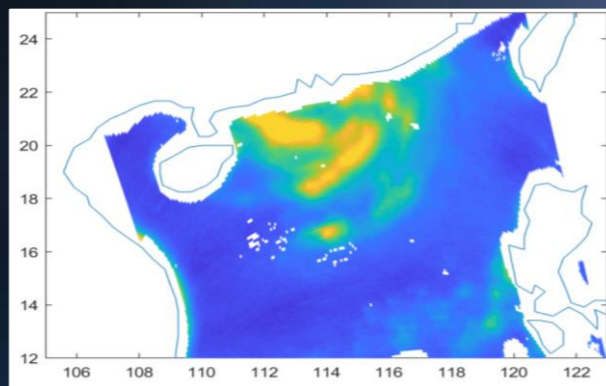
- **Dual-polarization version of HIRAD to measure wind speed and direction from Low Earth Orbit (LEO)**
- **Want to develop airborne version of this capability first, then LEO**



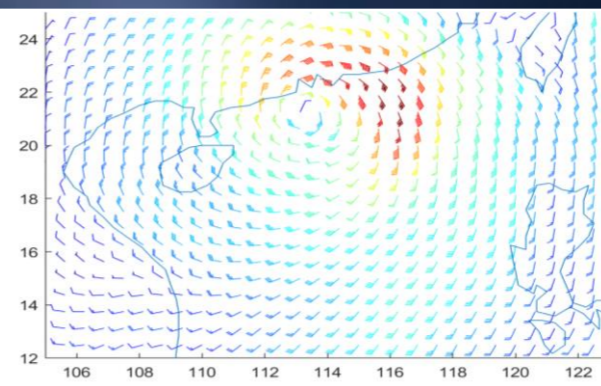
台风大风的监测

- 极轨气象卫星遥感风场

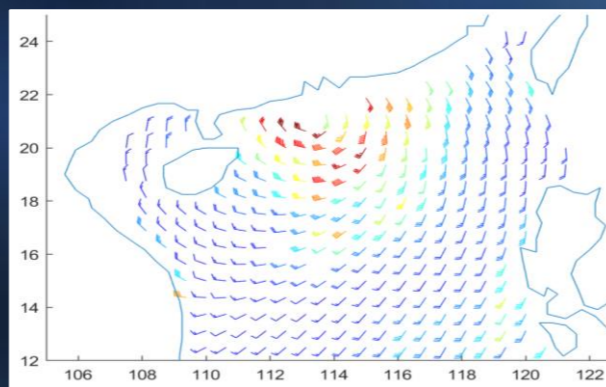
✓ **FY3C/D/E/G**



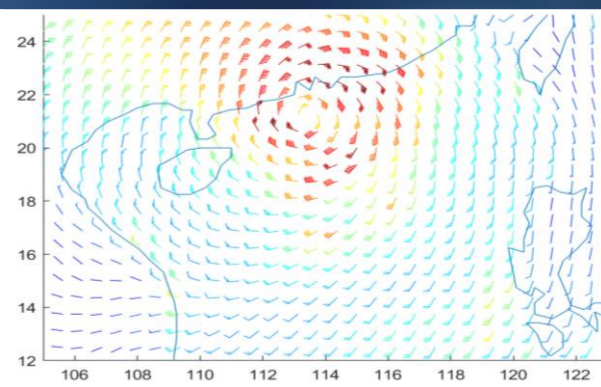
台风山竹的FY3C-MWRI海面风场



相同区域临近时刻台风EC风场



融合EC模式风向的台风山竹的
FY3C-MWRI海面风场



利用最优插值法融合EC模式
与微波成像仪的海面风场产品

台风大风的监测

● 基于FY3C/D和AMSU/资料的风场反演

椭圆形平衡方程

$$f\nabla^2\psi + 2(\psi_{xx}\psi_{yy} - \psi_{xy}^2) + \psi_x f_x + \psi_y f_y = \nabla^2\phi$$

ω 方程

$$\begin{aligned} \nabla^2(\sigma\omega) + f\zeta_a \frac{\partial^2\omega}{\partial p^2} = f \frac{\partial}{\partial p} (V_\varphi + V_x) \cdot \nabla\zeta + \frac{R}{p} (\nabla^2 V_\varphi + \nabla^2 V_x) \cdot \nabla T - f \frac{\partial}{\partial p} (\zeta \nabla^2 \chi) \\ + f \frac{\partial}{\partial p} (\omega \frac{\partial\zeta}{\partial p}) + f \frac{\partial}{\partial p} (\nabla\omega \cdot \nabla \frac{\partial\phi}{\partial p}) - \frac{R}{C_p P} \nabla^2 Q \end{aligned}$$

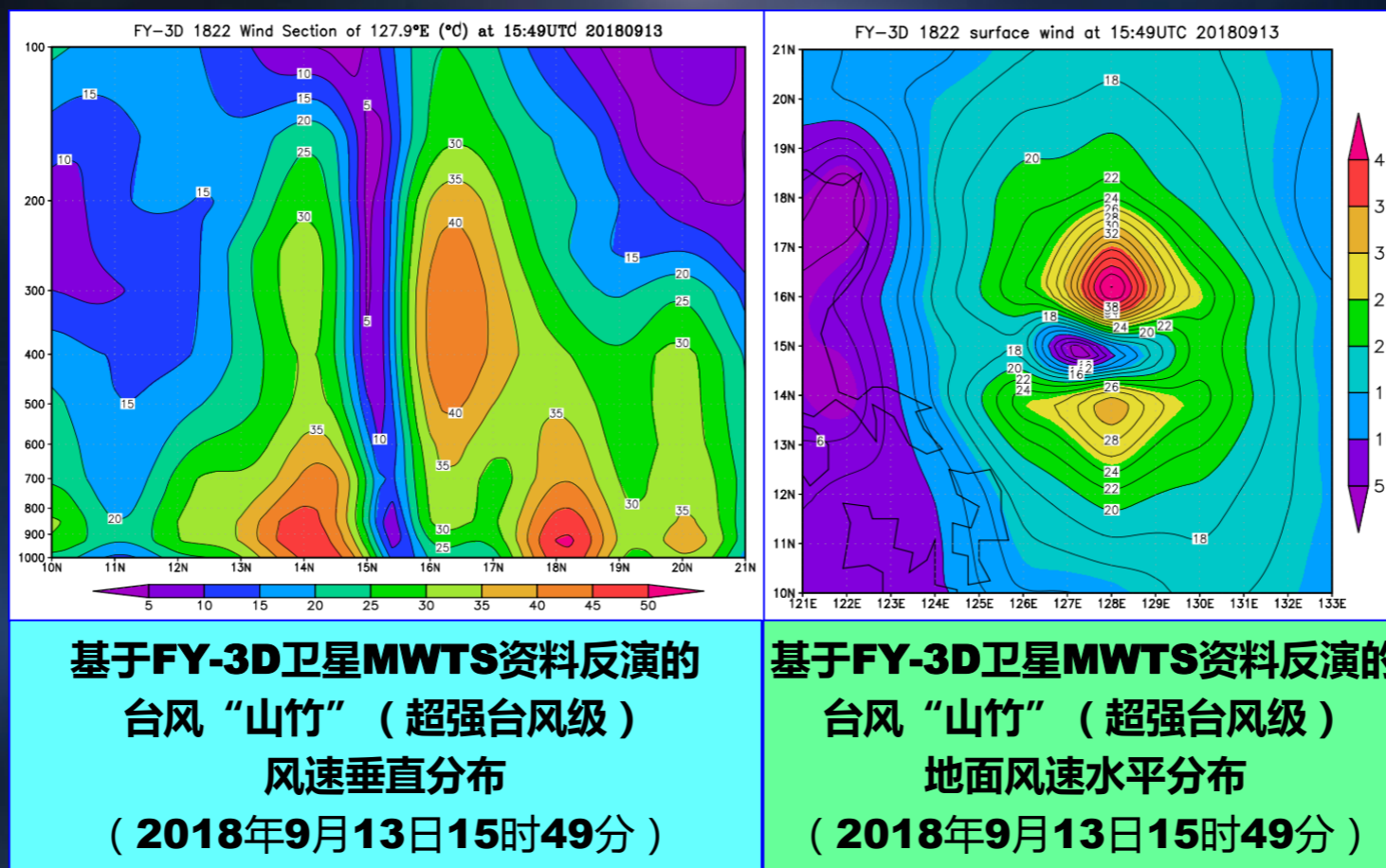
边界条件

$$\nabla^2\chi + \frac{\partial\omega}{\partial p} = 0$$

其中 ϕ 为位势高度, ψ 为流函数, $\sigma = -(RT/p\theta)(\partial\theta/\partial p)$, Q 为非绝热加热率。

台风大风的监测

● 基于FY3C/D和AMSU/资料的风场反演



台风大风的监测

- 基于FY3C/D和AMSU/资料的风场反演

基于FY-3D卫星MWTS资料反演的

台风“山竹”（超强台风级）

台风中心强度

不同方位7/10/12级大风圈半径

（2018年9月13日15时49分）

中心最低气压：**921 hPa**

近中心最大风速：**67.8m/s**

7级风圈半径（NE,SE,SW,NW）

292 214 191 256 nmi

10级风圈半径（NE,SE,SW,NW）

144 117 108 132 nmi

12级风圈半径（NE,SE,SW,NW）

93 79 74 87 nmi

中央气象台实时业务分析

台风“山竹”（超强台风级）

台风中心强度

不同方位7/10/12级大风圈半径

（2018年9月13日18时）

中心最低气压：**910 hPa**

近中心最大风速：**65.0m/s**

7级风圈半径（NE,SE,SW,NW）

380 380 215 297 nmi

10级风圈半径（NE,SE,SW,NW）

113 97 65 92 nmi

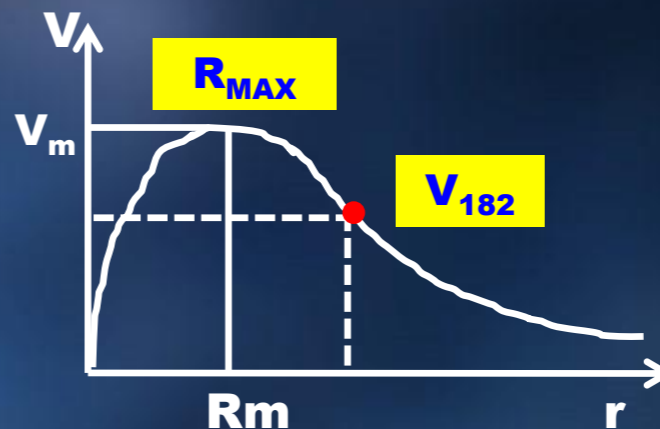
12级风圈半径（NE,SE,SW,NW）

43 43 43 43 nmi

台风大风的监测

- 基于静止气象卫星云图的台风风场反演
- ✓ Rankine 涡旋 (对称结构)

$$V(r) = V_m \left(\frac{r}{R_m} \right) \quad r < R_m,$$
$$V(r) = V_m \left(\frac{R_m}{r} \right)^x \quad r > R_m,$$

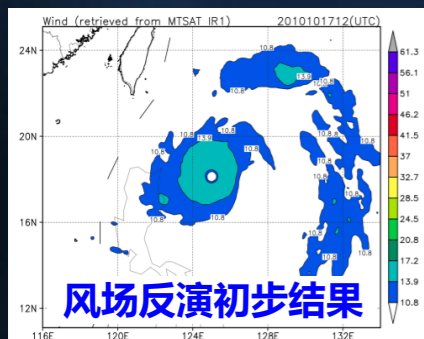
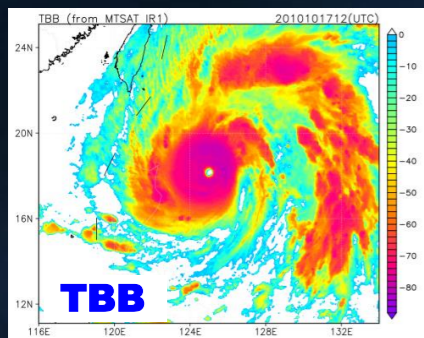


- R_{MAX} : 最大风速 V_m 的方位平均
- V_{182} : 182km半径处的对称切向风速
- R_{MAX} 和 V_{182} 是估计Rankine涡旋的两个参数
- 通过卫星资料多元线性回归确定 R_{MAX} 和 V_{182}

台风大风的监测

● 基于静止气象卫星TBB资料的大风反演

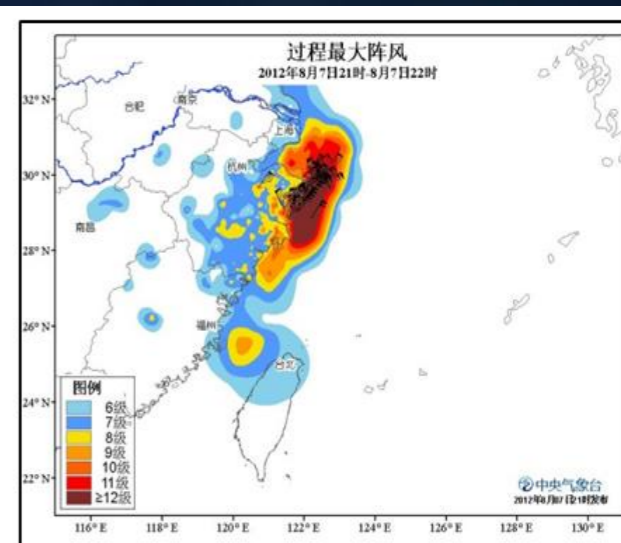
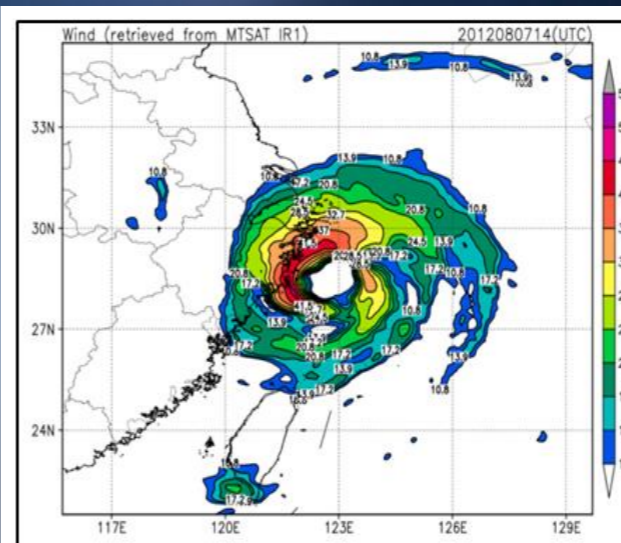
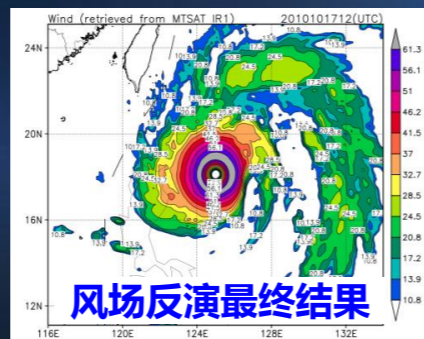
✓ 利用葵花8号卫星TBB、EC细网格10米风场、台风风速经验廓线和实时定强进行大风反演



业务定强

V_{max_obs}
72m/s

风速廓线

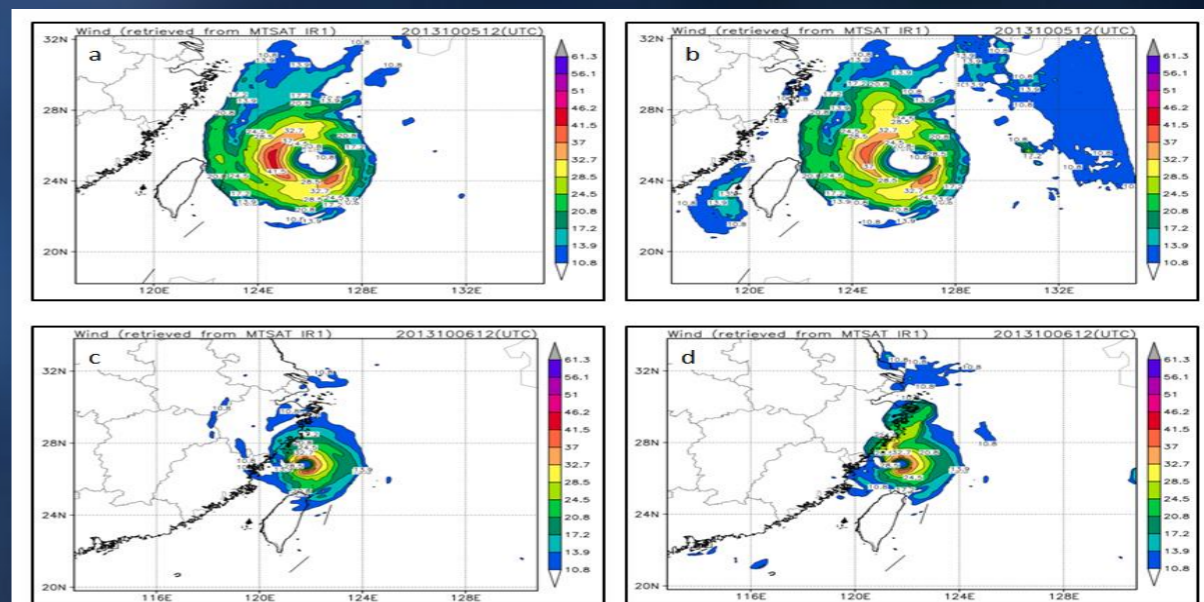
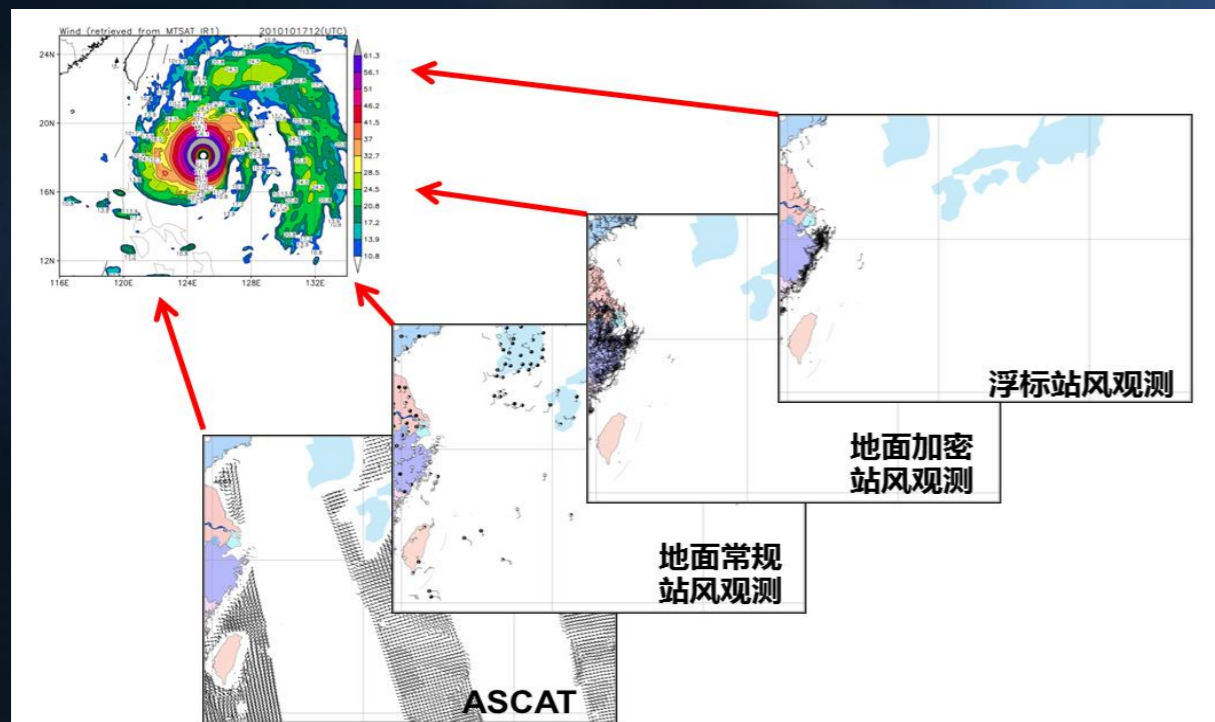


卫星反演的强台风“海葵”（左，2012年8月7日14时）风场分布和实况风场分布（右，2012年8月7日14时）对比

台风大风的监测

● 基于静止气象卫星TBB资料的大风反演

- ✓ 采用Cressman插值方法，将地面观测、浮标、船舶及ASCAT风场等多源资料与基于TBB资料的反演风场结果进行融合

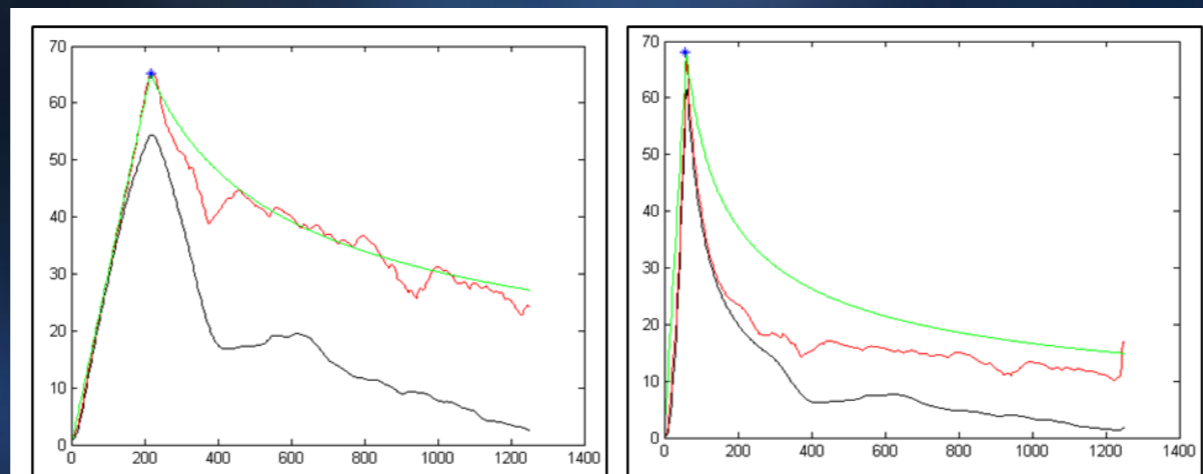


多源观测资料融合前后强台风“菲特”的大风反演风场结果对比
(左列为融合前，右列为融合后)
(a、b为2013年10月5日12时；c、d为6日12时)

台风大风的监测

● 基于静止气象卫星TBB资料的大风反演

- ✓ 在台风环流范围内，严格风速经验廓线最大风速半径限制，纠正风场反演在台风外围风速偏大的问题，特别是台风登陆前后



台风风速经验廓线关系最大风速半径控制订正

左图为改进前，右图为改进后

纵坐标为风速 (m/s)，横坐标为距台风中心的距离

红线为最大风速廓线，黑线为平均风速廓线，绿线为经典风速廓线

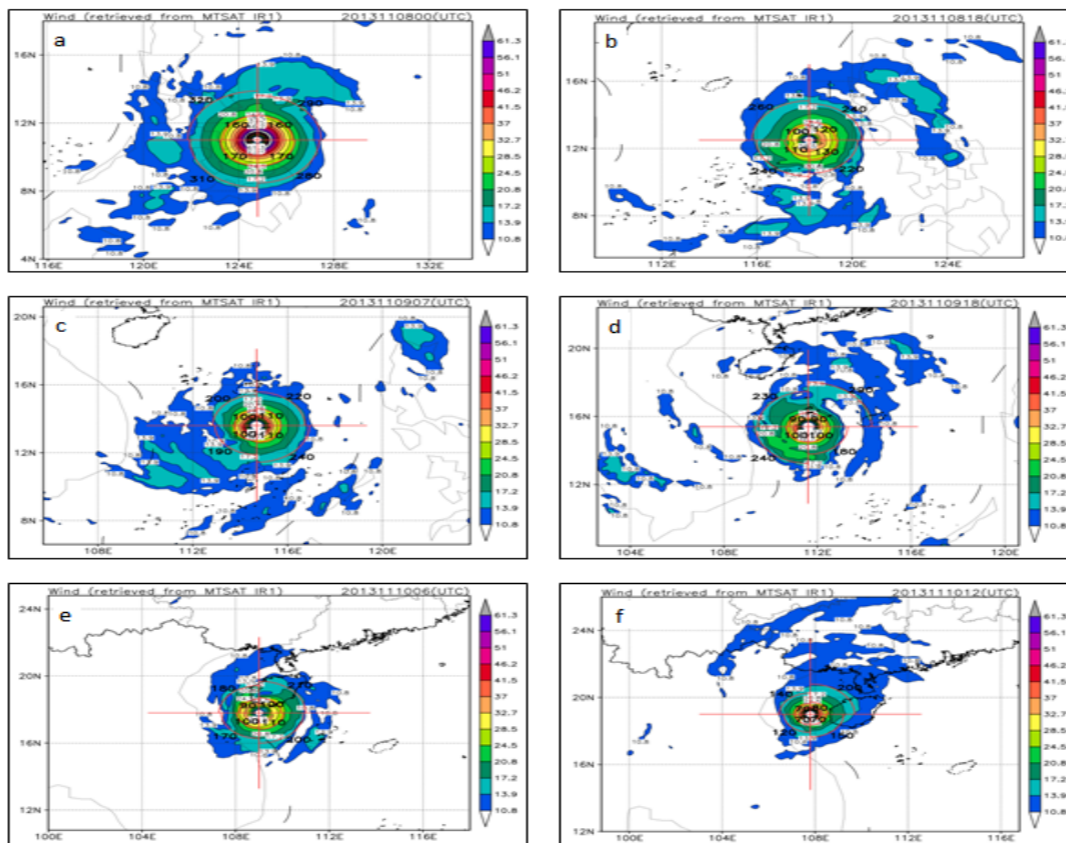
台风大风的监测

● 基于静止气象卫星TBB资料的大风反演

- ✓ 经过多源观测资料融合订正和风速经验廓线订正后的反演风场分布具有如下特征：
 - 径向分布兼顾云顶亮温变化和风速经验廓线
 - 风速分布与云型非对称结构大致吻合
 - 风速最大值与台风业务定强一致
 - 较大风速地面站点反演风速与观测风速一致

台风大风的监测

● 基于静止气象卫星TBB资料的大风反演



1330号超强台风“海燕”反演风场分布情况
a、b、c、d、e和f分别为2013年11月8日00时、8日18时、9日07时、9日18时、10日06时和10日12时(世界时)

台风大风的监测

● 卫星遥感资料反演风场的特点

✓ RapidSCAT

- 2014年3月3日发射
- K波段雷达 (13.4GHz)
- 通过海表粗糙度估计表面风场
- 理论观测上限为30m/s
- 强降水条件下估测能力下降
- 对台风内核区风速误差较大



台风大风的监测

● 卫星遥感资料反演风场的特点

✓ ASCAT

- C波段雷达 (5.22GHz)
- 空间分辨率25km
- 对于低风速的误差较大
- 整体增大5%来校正低速误差
- 对台风内核区风速误差较大

台风大风的监测

● 卫星遥感资料反演风场的特点

✓ AMSU/FY3D微波反演风场

- 由微波温度计资料通过求解平衡方程反演得到风场
- 只选取台风中心700km以内的风场
- TC内核区准确度较低
- 适于对环境场气流进行估计

台风大风的监测

● 卫星遥感资料反演风场的特点

✓ 云导风及水汽导风 (CDFT&WV)

- 由于高云覆盖，CDFT通常只能反映台风外围环流
- 通常反映了600hPa以下的风场特征（飞行高度）

台风大风的监测

- 卫星遥感资料反演风场的特点

- ✓ 基于静止气象卫星红外云图资料的台风风场反演（**IRWD**）
 - 假设台风为对称结构的**Rankine**涡旋，适用于内核区拟合风场

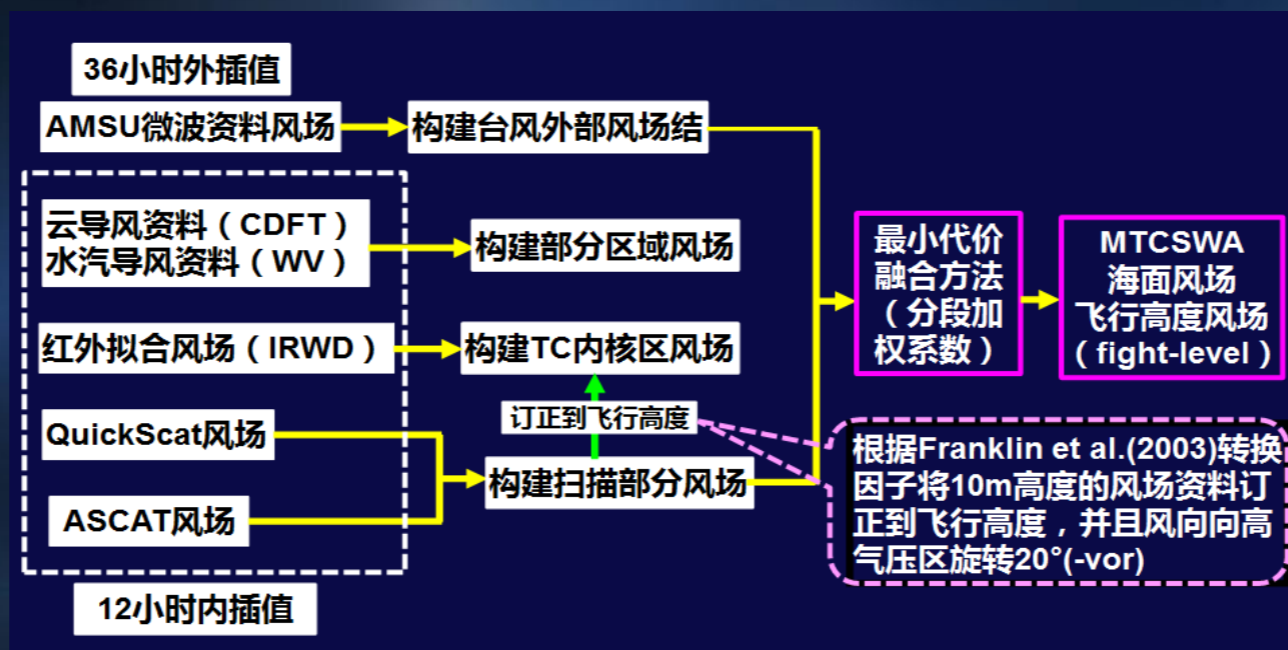
台风大风的监测

● 卫星遥感资料反演风场的特点

✓ 多平台台风风场分析 (MTCSWA)

Multipatform TC Surface Wind Analysis

- 融合多种卫星资料，构建以台风中心为原点的 7.5° 为半径范围内的 $0.1 \times 0.1^\circ$ 的10m风场



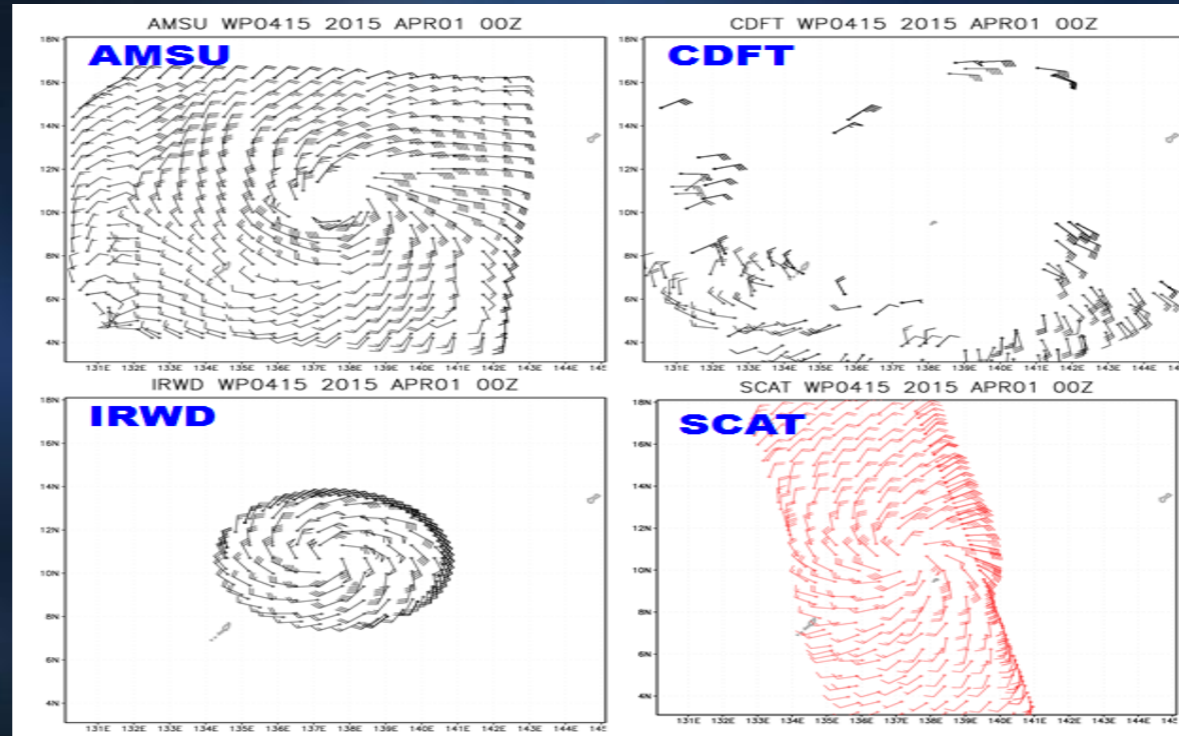
台风大风的监测

● 卫星遥感资料反演风场的特点

✓ 多平台台风风场分析 (MTCSWA)

Multiplatform TC Surface Wind Analysis

- 融合多种卫星资料，构建以台风中心为原点的 7.5° 为半径范围内的 $0.1 \times 0.1^\circ$ 的10m风场



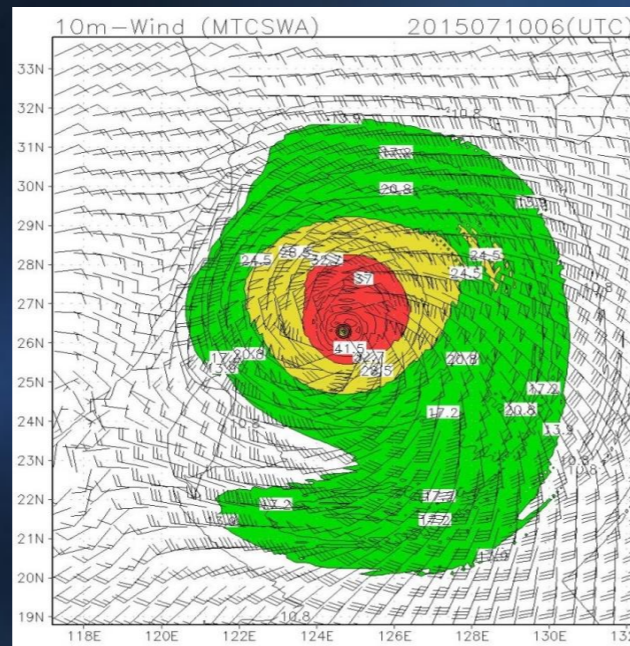
台风大风的监测

● 卫星遥感资料反演风场的特点

✓ 多平台台风风场分析 (MTCSSWA)

Multiplatform TC Surface Wind Analysis

- 提供逐6小时台风风圈特征分析参考产品



WP09 2015071000

TC center: 25.5N 125.6E

max value of wspd (m/s): 56

radii of max wspd (km): 30

	NE	SE	SW	NW
radii of 28kts	500	500	402	464
radii of 34kts	500	500	352	439
radii of 50kts	442	301	177	308
radii of 64kts	320	114	74	158

8.3 影响台风大风的因素



影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 副热带高压

- 台风环流与副热带高压接触一侧气压梯度通常比较大，风力也较大
- 西行或西北行登陆台风，其北侧为副热带高压南侧的偏东气流，气压梯度大值区分布在台风的北-东北象限，该区域风常大于其他象限

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

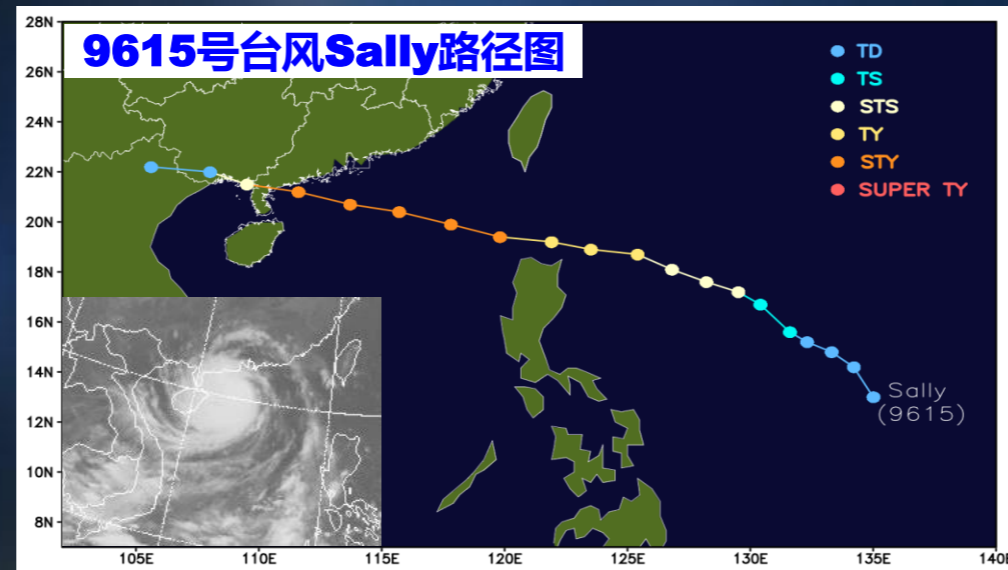
- ✓ **副热带高压**

- 登陆广东东部的台风，福建南部沿海强风要比登陆点大得多
- 登陆福建北部的台风，浙江沿海强风比福建北部的强风要大
- 台风登陆后，副热带高压尾随其北上，要考虑偏南大风会较大

□ 副热带高压影响台风个例

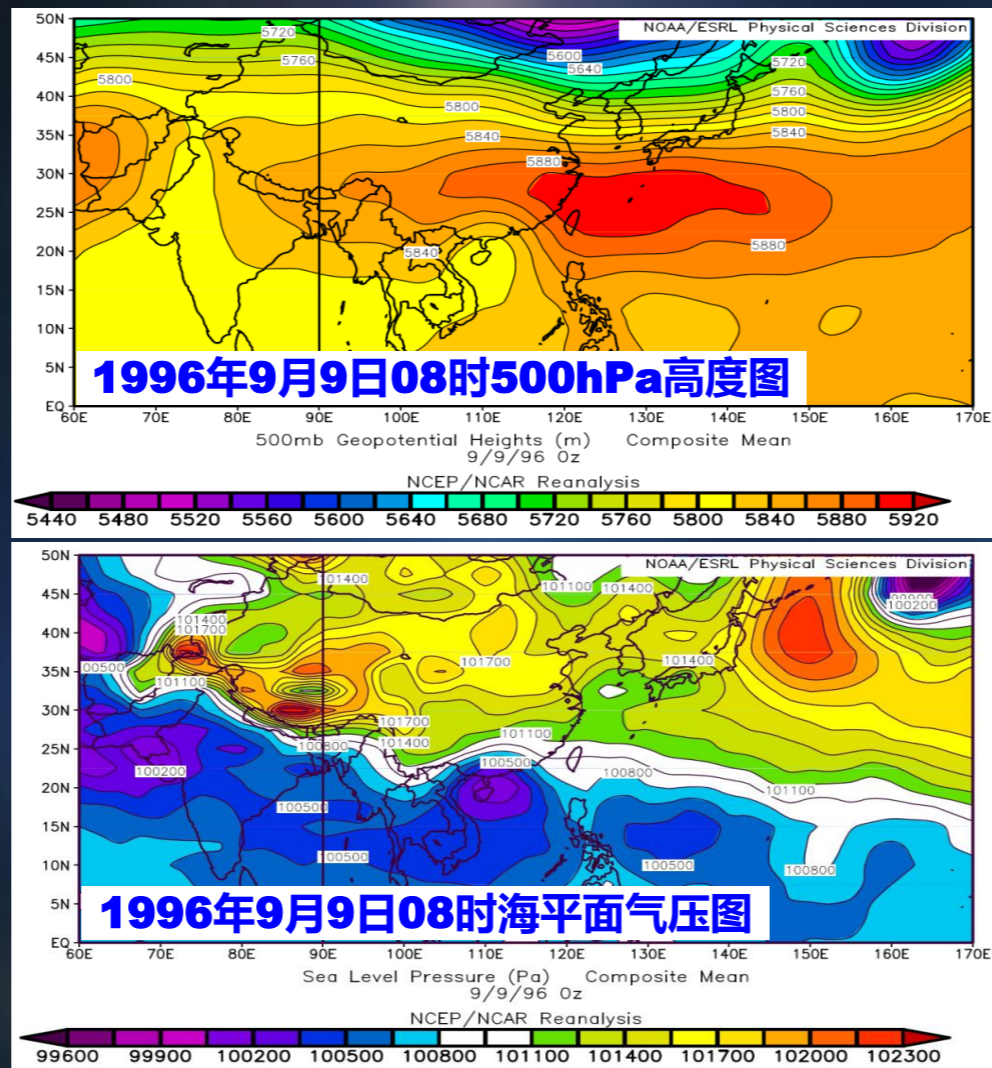
--- 9615号强台风Sally

- **Sally**强度强、移速快，湛江遭到惨重破坏
- 两广因灾死亡**284**人，经济损失**218.63**亿元
- 移速**35**公里/小时左右，是一般台风(**10-15**公里/小时)的**2-3**倍



副热带高压影响台风个例

--- 9615号强台风Sally

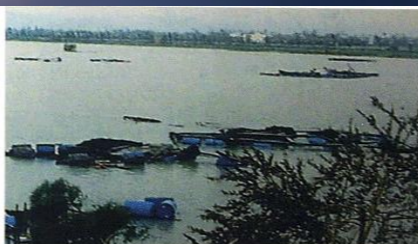


副热带高压影响台风个例

--- 9615号强台风Sally



1996年9月,受9615号台风影响,湛江港500多吨重的集装箱装卸桥吊被抓入大海



1996年9月,受9615号台风影响,电白县鸡打港网箱养鱼场被毁



1996年9月,受9615号台风影响,电白县渔船被风浪打沉



1996年9月,受9615号台风影响,电白县被损毁的公路旁树木



1996年9月,受9615号台风影响,湛江市22万伏高压输电铁塔被拦腰截断



1996年9月,受9615号台风影响,湛江港龙门吊被台风截断



影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 大陆热低压

- 若台风与另一个低值系统相邻，二者之间气压梯度比与副热带高压相邻一侧小，因而这一侧风力和大风范围相对较小
- 我国夏季大陆常有个大范围热低压，台风登陆前，越靠近陆地，越靠近低压区，等压线打通，台风与低压区之间气压梯度减弱

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 大陆热低压

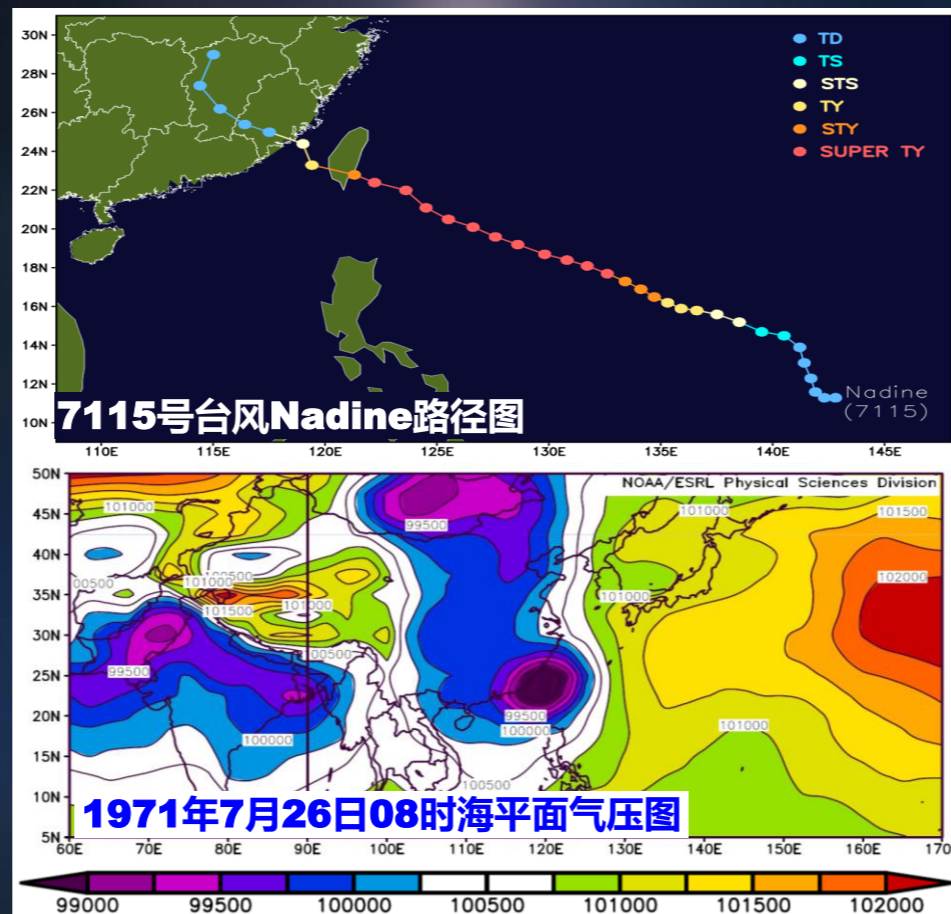
- 登陆前，登陆地区不易起风，大风主要在中心附近强气压梯度区
- 登陆后，并入大陆热低压区，前部没有大范围强风出现，但后部气压梯度不减，登陆点沿海及以南常出现持续性的强南风

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定
- ✓ **大陆热低压**
 - 盛夏季节，广西、云南一带经常出现热低压，台风移到南海西北部时，其西侧和西北侧风力远比靠近副高的东（北）半圆小
 - 盛夏大陆热低压的存在使得台风靠近大陆时，前沿大风减弱，持续性强风出现在登陆之后，常出现“回南现象”

□ 大陆热低压影响台风个例

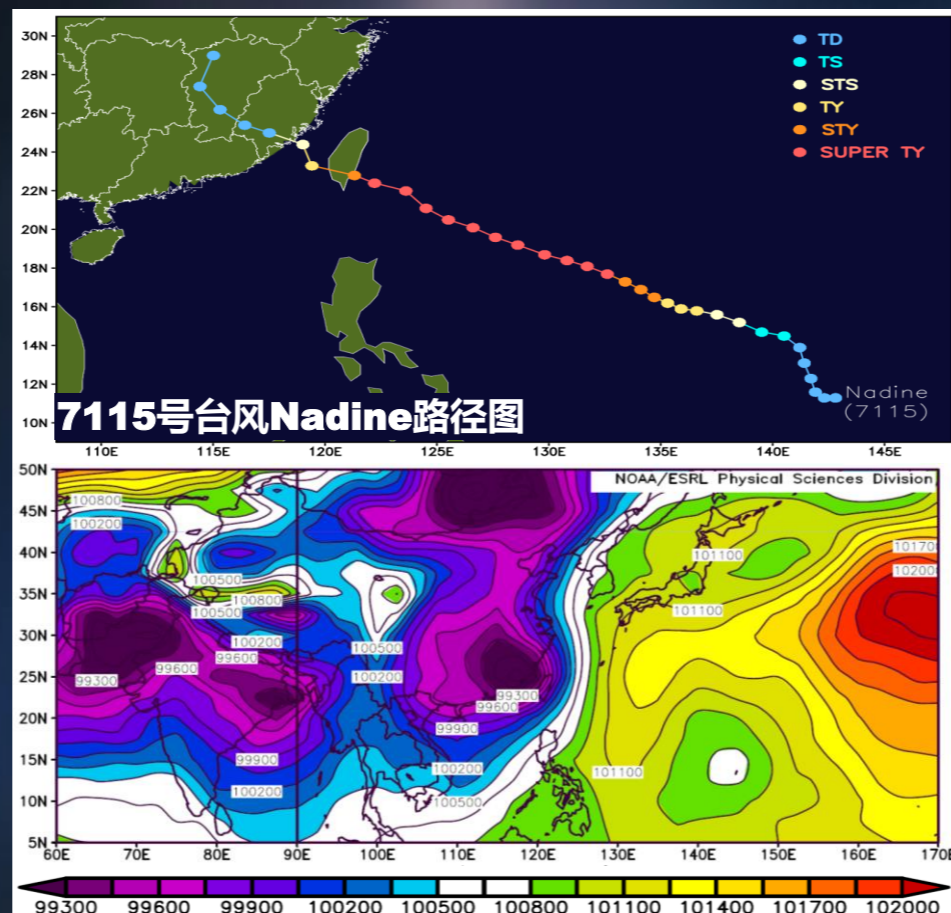
--- 7115号台风Nadine



- **登陆前** 与大陆热低压相遇，风力减弱至6级
- **登陆时** 仅短时间内出现大风

□ 大陆热低压影响台风个例

--- 7115号台风Nadine



- **登陆后** 闽南和东部沿海出现大范围**12级偏南风**
- **深入内陆** 强南风从南海东北部扩展到长江口以北

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 冷空气的作用

- 秋季冷空气南下，与台风相遇，冷高压和台风间梯度变大，沿海大风持续时间长、范围广，提早出现大风
- 与陆地相距500公里之外出现大风

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 冷空气的作用

- 登陆前，沿海出现持续性偏北大风，有时北侧强梯度区外围大风风速超过中心附近，大风范围向北方沿着海岸扩展上千公里
- 靠近大陆，前沿风力增强，大风范围扩大
- 登陆后，受到大陆冷气团填塞衰减，台风后部偏南大风不明显

影响台风大风的因素

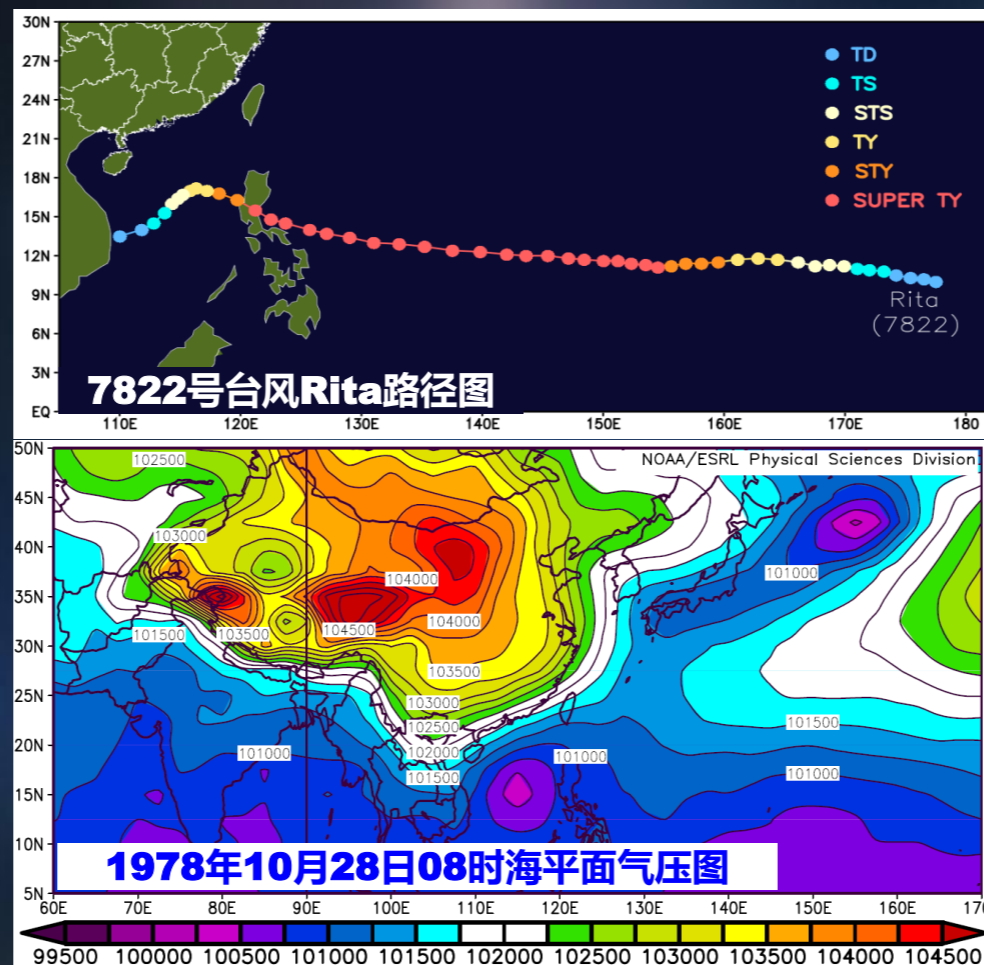
- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 冷空气的作用

- 冷空气南下，气压随时间上升，受台风影响，沿海气压下降，沿海变压梯度加大，变压风作用也是出现强风的原因
- 冷空气变性东移出海，变性高压脊和台风间也会构成较大气压梯度，使靠近变性高压脊一侧大风范围扩大

□ 冷空气影响台风个例

-- 7822号台风Rita



Rita移入南海后，与强冷空气相遇，远在上川岛500多公里之外的上川岛平均风力达29m/s，阵风达37m/s

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 地形的影响

- 地形对台风大风影响很大，造成台风大风分布更加复杂
- 一般山地风力比平原小，平原地区又比海面小
- 持续时间以沿海和山顶最长，河谷和湖泊地区次之，丘陵山区最短

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 地形的影响

- 内陆地区，只有当气压梯度造成的风向与河谷走向一致时，风力加大
- 深入内陆后，中心附近风力很小，华东和华南沿海风力仍有7-8级

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 地形的影响

- 台湾岛、海南岛、台湾海峡和琼州海峡等特殊地形对台风大风影响明显
- 台湾岛和海南岛的影响是指中央山脉和五指山，对台风构成一道天然屏障
- 台湾海峡和琼州海峡的影响是峡管效应

□ 中央山脉对台风气流的作用

中央山脉对台风气流有阻挡和绕流两种作用

✓ 阻挡作用 —— 地形倒槽或诱生低压

- 外围偏东气流影响台湾东部海岸时，气流遇山受阻，沿山脉东侧山坡爬升，气柱收缩，相对负涡增大，气压上升
- 气流在西侧下滑时，气柱膨胀，相对正涡度加大，气压下降
- 于是中央山脉西侧形成地形倒槽或诱生低压

□ 中央山脉对台风气流的作用

中央山脉对台风气流有阻挡和绕流两种作用

✓ 阻挡作用 —— 地形倒槽或诱生低压

- 中尺度气压场产生调整，福建中北部沿海气压梯度加大，提前**18-24**小时出现大风，最多**36-42**小时，视台风外围范围大小不同
- 台风靠近时，沿海风场出现两头大、中间小的特殊风场分布

□ 中央山脉对台风气流的作用

中央山脉对台风气流有阻挡和绕流两种作用

✓ 绕流作用 —— 海峡峡管效应

- 台风外围影响福建时，加大风力强度
- ✓ 阻挡和绕流作用造成福建沿海最大风力常出现在台风登陆台湾前后，而不是出现在再次登陆福建时

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

- ✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

- 登陆台风在地形和环流作用下生成的飚线、雷暴、龙卷和中尺度小涡、地形次生中心等均将在相应的局部地区产生强烈大风

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

① 台前飚线

- 台风北侧外围冷空气移近，冷气流强烈下沉降至近地面与台风环流区外缘暖空气相遇，形成台前飚线
- 雷达回波表现为台风云带外围的弧线状回波，所经之处气压涌升、风向急转、风速猛增，持续时间不长



影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

- ✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

- ① 台前飚线

- 强风在50-80米高度处风速最大，破坏力最强，对大城市超高层建筑或旷野的高压输电网威胁很大，可瞬间拉倒庞大的高压输电塔架
- 与伴随强降水的雷雨大风相比，飚线大风具有范围广、破坏力极大等特征

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

② 龙卷

- 强烈发展的积雨云下呈漏斗状下垂的猛烈旋风，直径仅数米至数百米，中心气压极低，风速极大，常达数十米/秒至百米/秒以上



影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

② 龙卷风

- 据流体力学原理，流体涡管是封闭的，不存在两端开放的涡管
- 强烈发展的积雨云底部前端在云内外气流夹卷时形成水平轴向滚动气流，即水平涡管，其两端在云移动方向左右侧下垂，与地面或水面相接，呈气旋性旋转，水平气压梯度极强

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

② 龙卷风

- 接地龙卷风破坏力极大，可摧毁房屋、树木等，人、牲畜、器物等常被卷入升空后抛掷至远处
- 以数十公里/小时速度移动，路径长者百余公里，短者仅数十米
- 生命史较短，持续数分钟到数小时

影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

② 龙卷风



浙江苍南龙港一民房被龙卷风卷走一层



影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

- ✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

- ③ 雷雨大风

- 靠近台风眼壁的密集云墙和螺旋云带中发展强烈的对流云上空辐散流出引发的抽吸作用使低层空气辐合形成急速气流和特大强降水滴拖携形成的强烈下沉气流的近地流出

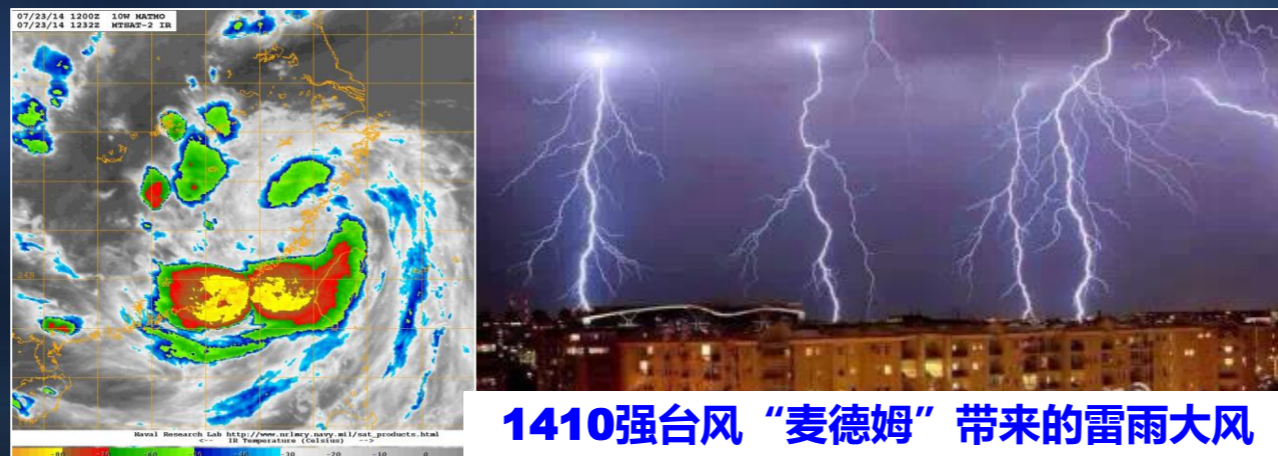
影响台风大风的因素

- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

- ✓ 台风中的中尺度对流系统的作用

- ③ 雷雨大风

- 与中心距离大致相同的地方，被强对流云覆盖的地方比对流云区外风力大



影响台风大风的因素

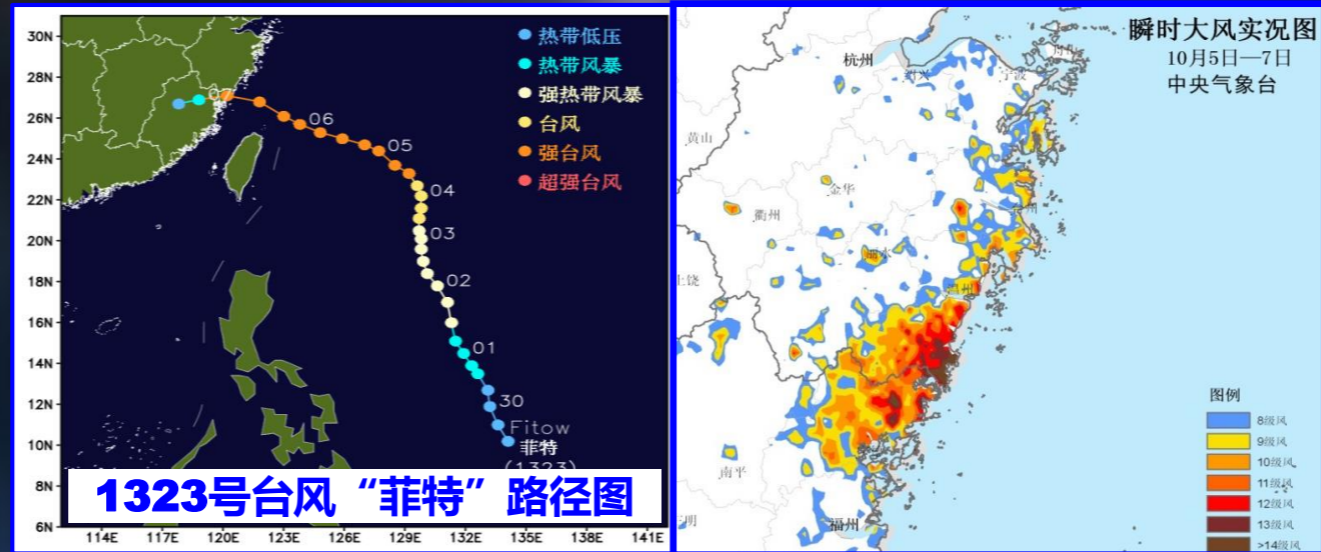
- 由台风自身的强度和结构以及周围环流场和地形等因素所决定

✓ 高空急流的作用

- 由涡度方程可知，槽前气块由南向北移动，由气旋式涡度变到反气旋式涡度，涡度减小，气块将产生水平辐散
- 槽前急流区增强，将使得高层辐散进一步加强，低层辐合和上升运动将随之增强，导致台风环流北侧低层减压明显、云系对流增强，气压梯度迅速增加，地面风力相应迅速加大

□ 高空急流影响台风个例

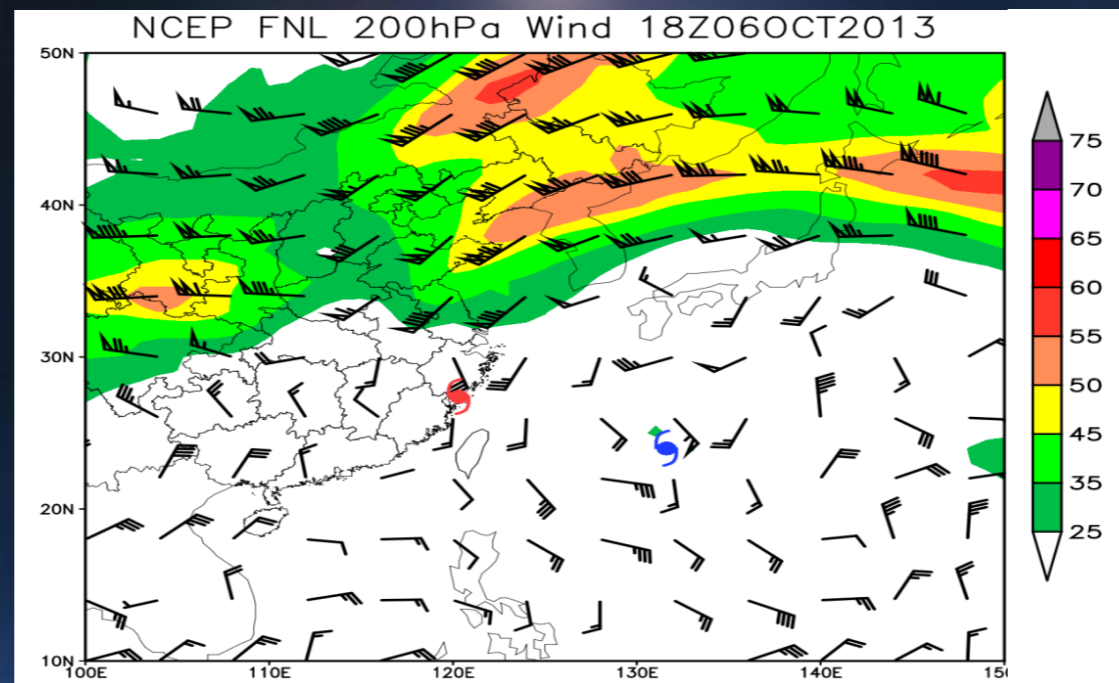
— 1323号台风“菲特”



- 2013年10月5-7日，浙东南沿海出现12-14级大风，海岛和山区瞬时极大风速15-17级以上
- 苍南石砰山和望洲山瞬时风速分别达76.1米/秒和73.1米/秒，突破浙江历史纪录

□ 高空急流影响台风个例

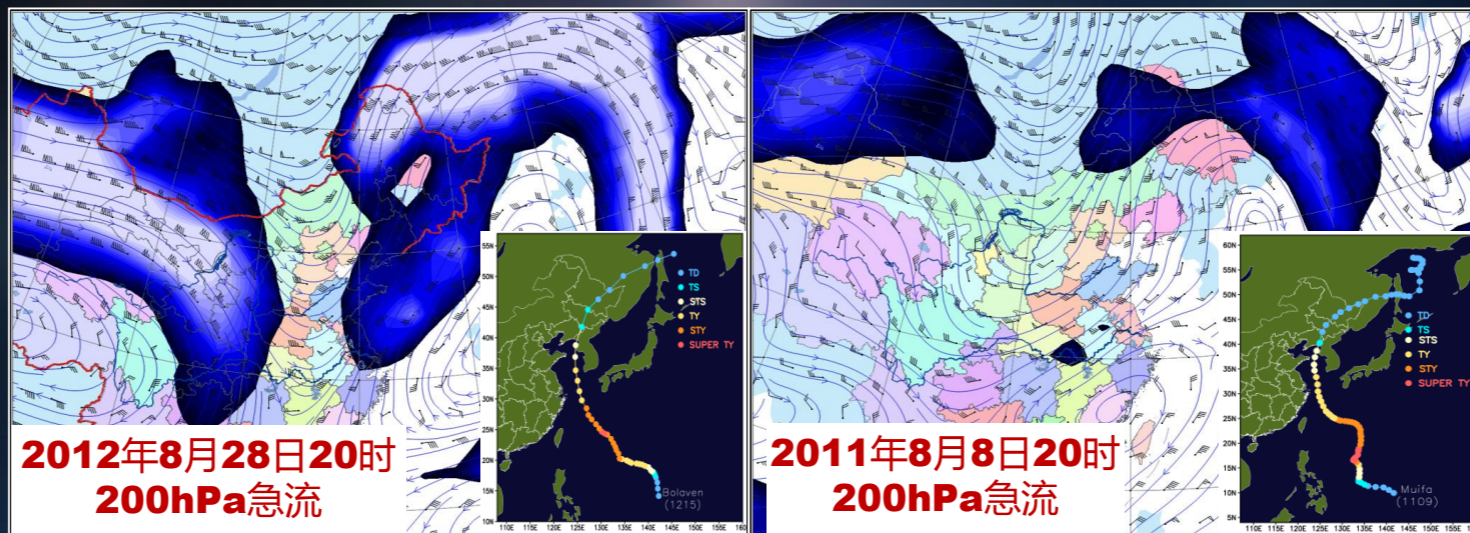
— 1323号台风“菲特”



- “菲特”登陆福建前后，其前进方向右侧浙东南沿海及海面位于对流层上部槽前强辐散区，槽前伴有大于 45ms^{-1} 急流区，槽后也伴有大于 45ms^{-1} 急流区，并向东流向槽前，导致槽前急流进一步增强

□ 高空急流影响台风个例

--- 1215号台风“布拉万”



1215号台风“布拉万”

1109号台风“梅花”

台风编号	高空急流强度	地面最低气压	地面大风 (平均风)	地面大风 (阵风)
1215	55米/秒	985百帕	14-18米/秒	> 33米/秒
1109	24米/秒	995百帕	6-8米/秒	

8.4 非特殊结构台风大风预报

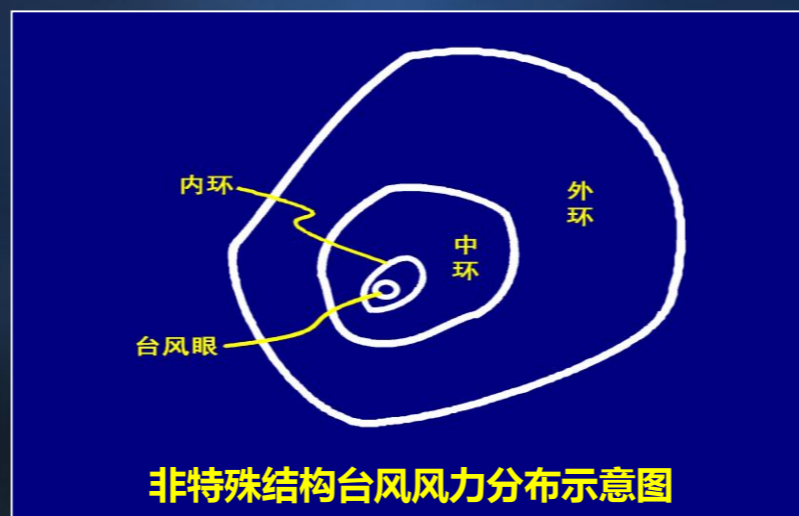


非特殊结构台风大风预报

- ✓ 台风强度越强，中心气压越低，中心风力越大
- ✓ 发展成熟、结构对称的台风大风分布成环状，大风分为三个区域：

① 眼区

- 天空晴朗，狂风暴雨包围的晴空区，风力**5-6级**或更小，直径**10-60公里**

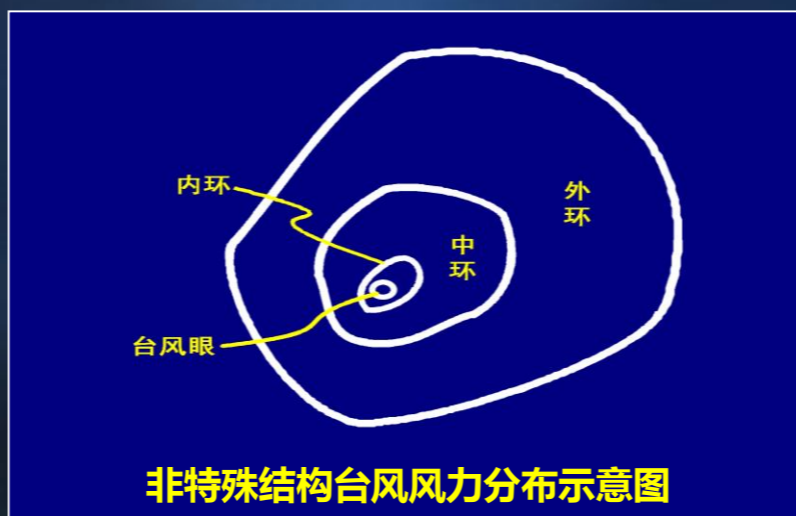


非特殊结构台风大风预报

- ✓ 台风强度越强，中心气压越低，中心风力越大
- ✓ 发展成熟、结构对称的台风大风分布成环状，大风分为三个区域：

② 眼壁区

- 最强狂风暴雨区，风力最大的区域，**11-12级或以上**，直径**20-80公里**

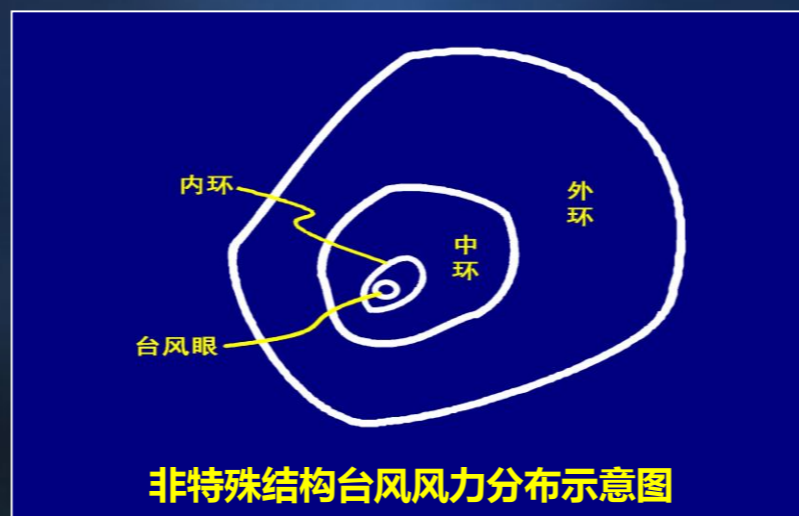


非特殊结构台风大风预报

- ✓ 台风强度越强，中心气压越低，中心风力越大
- ✓ 发展成熟、结构对称的台风大风分布成环状，大风分为三个区域：

③ 螺旋云带区

- 风力由**5-6级**逐渐向内增强到**10-11级**，直径**400-600公里**



非特殊结构台风大风预报

- **眼区大小和中心附近最大风速有一定关系，眼直径越小，中心风速就越大**
 - 眼直径**10公里**，平均中心风速**71.1米/秒**
 - 眼直径**20公里**，平均中心风速**67.8米/秒**
 - 眼直径**30公里**，平均中心风速**59.7米/秒**
 - 眼直径**40公里以上**，对应关系不明显

非特殊结构台风大风预报

- 眼壁回波和螺旋雨带贴近眼壁的部分呈同心圆分布时，此区域为强风区
- 台风外围圆弧形云区一般与**6级**风圈大致对应，靠内圈的台风密蔽云区与**8级**大风圈相对应
- ✓ 台风外围影响时，风力**6级**
- ✓ 螺旋云带影响时，风力**8-10级**
- ✓ 台风眼壁影响时，风力**10-12级**或**12级**以上

非特殊结构台风大风预报

- 低纬地区台风闭合等压线近似圆形，风力分布近似圆对称
- 随着台风向高纬移动，周围气压系统影响，台风等压线变形，风力分布也不对称
- 通常东北象限的风力比其它象限要大

8.5 微型台风大风预报



微型台风大风预报

- 微型台风定义

台风的尺度 (大小)

台风半径 (纬距)	台风类型	典型台风
< 2°	微型台风 Very small/midget	TS Marco 2008 (16km) TC Tracy 1974 (50km) 1011号台风“莫兰蒂”(100km)
2~3°	小台风 Small	
3~6°	中型台风 Medium/Average	
6~8°	大型台风 Large	
> 8°	巨型台风 Very large	7919号超强台风Tip (2200km)

资料来源：JTWC

微型台风大风预报

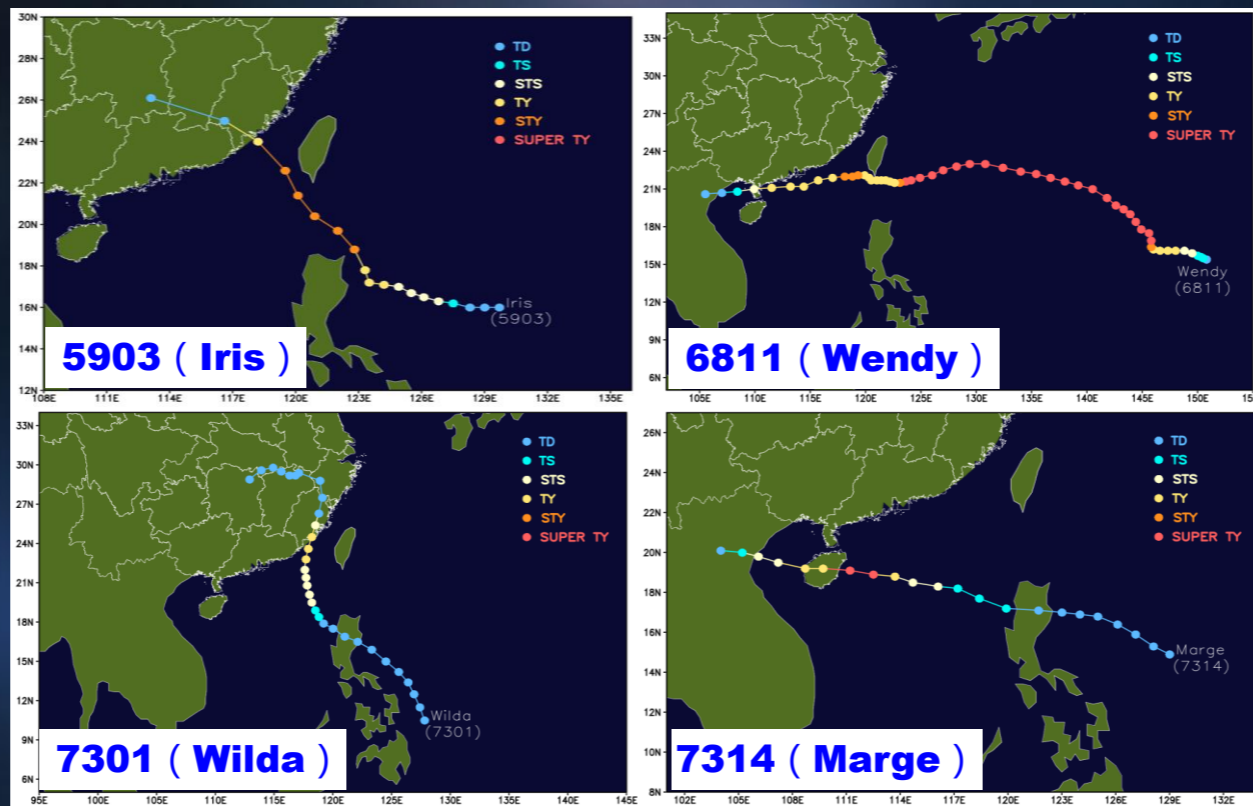
- 微型台风尺度小
- 6级风圈半径不到100km
- 10级风圈半径不到50km
- 登陆前12小时，甚至6小时，风力很小，容易造成大风强度预报偏小

微型台风大风预报

- 7-8月是微型台风多发月份
- 微型台风大风预报，要注意其突发性
- 根据上游周边测站风场情况，结合卫星雷达观测，进行判断

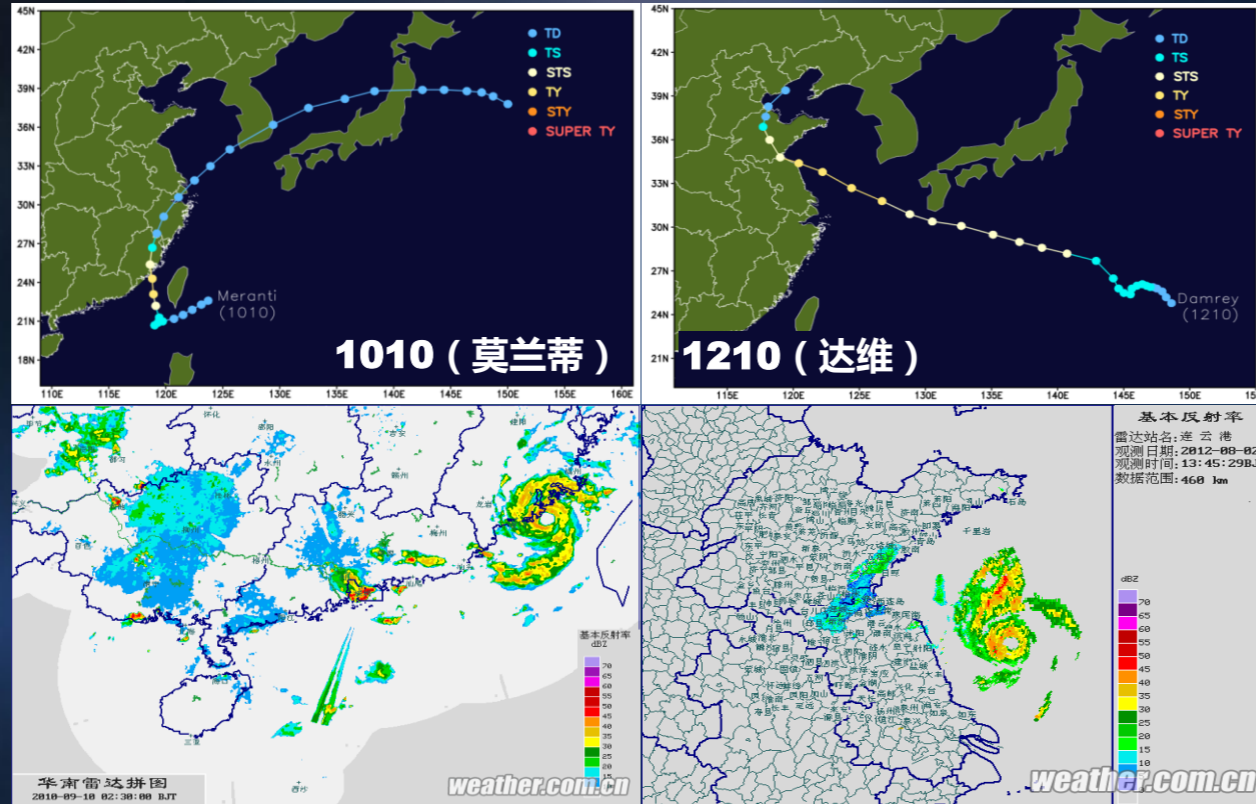
微型台风大风预报

● 典型个例



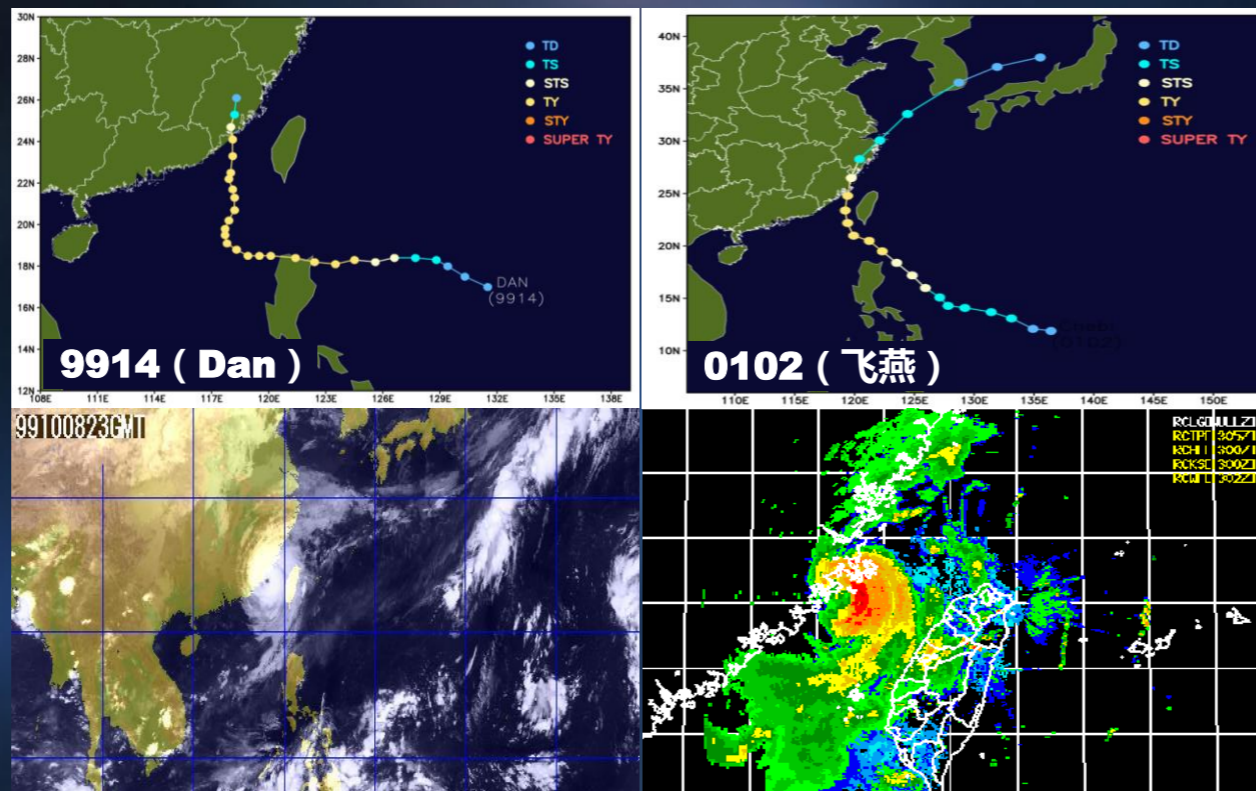
微型台风大风预报

● 典型个例



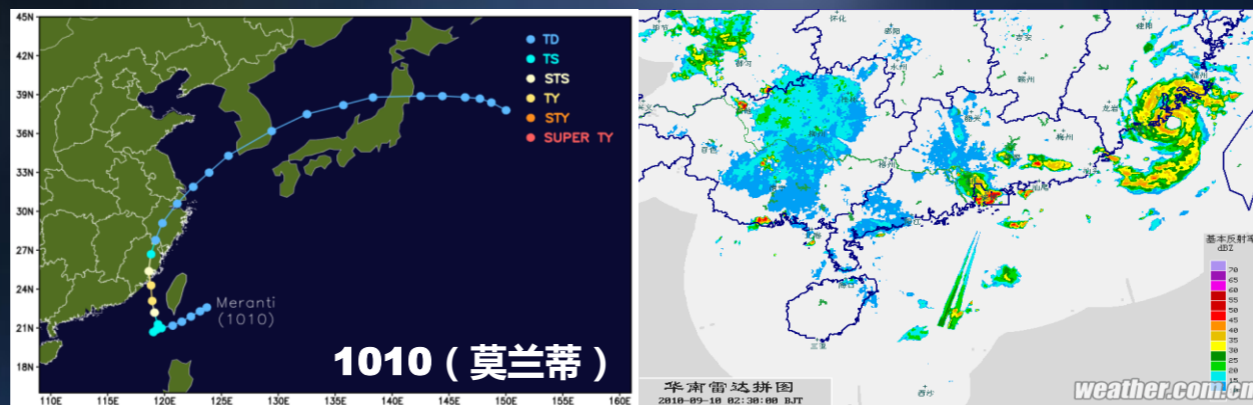
微型台风大风预报

● 典型个例



微型台风大风预报

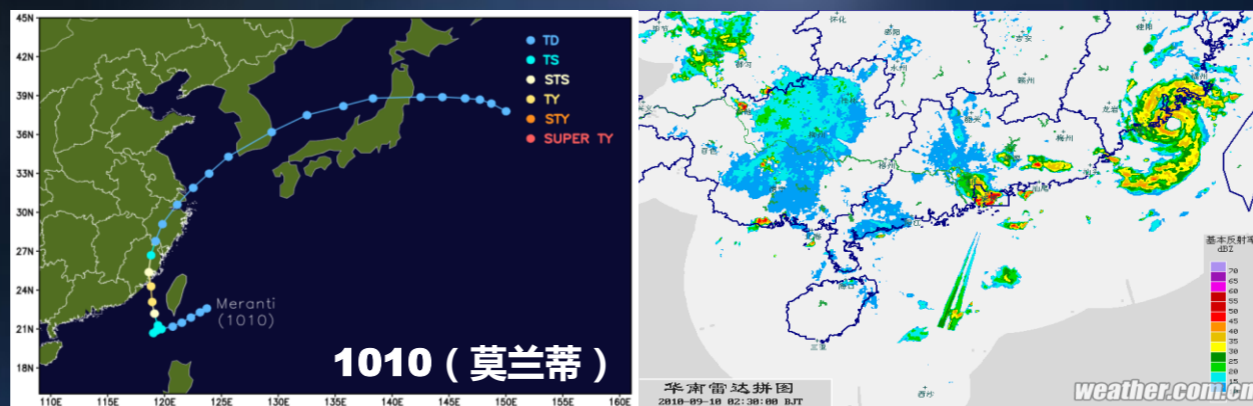
- ✓ **0102号台风“飞燕”，强盛期密闭云团半径仅100km，10级风圈半径仅有30-50km**



- ✓ **登陆前几小时，风平浪静(1-4m/s)，登陆时增强到14-20m/s，莆田、福清、平潭三站出现风速跳跃突变，瞬时风速增强到12级**

微型台风大风预报

- ✓ **0102号台风“飞燕”，强盛期密闭云团半径仅100km，10级风圈半径仅有30-50km**



- ✓ **登陆点福清**

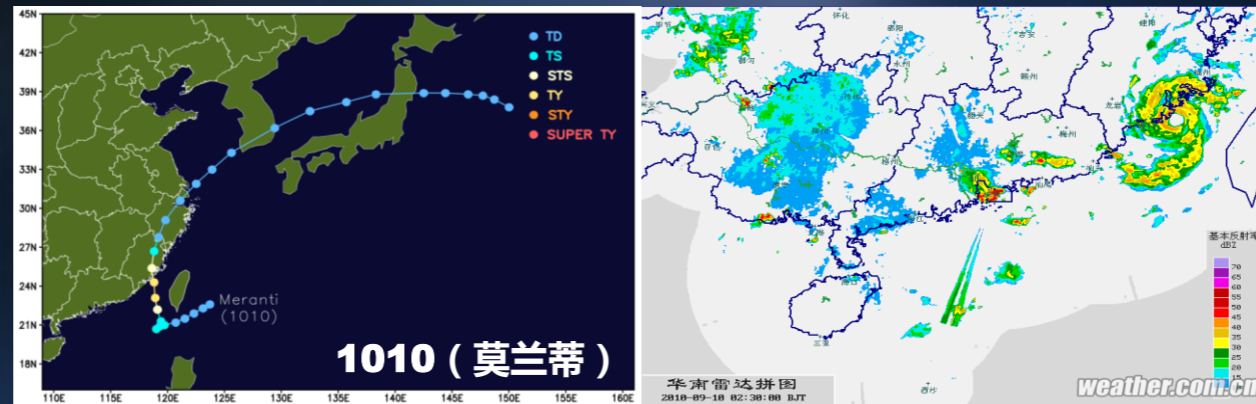
- **平均风速**

4m/s (2001年6月23日21:00)

14m/s (22:00)

微型台风大风预报

- ✓ **0102号台风“飞燕”，强盛期密闭云团半径仅100km，10级风圈半径仅有30-50km**



- ✓ **登陆点福清**

- **瞬时风速**

24m/s (2001年6月23日21:50)

36m/s (22:29)

8.6 空心台风大风预报

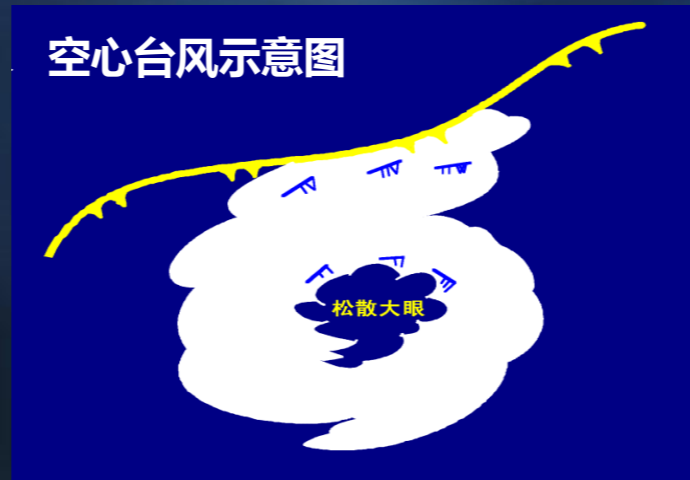


空心台风大风预报

空心台风 (Typhoon of Hollow Center) 是非常特殊的台风结构现象

✓ 风场结构

- 近中心风力小，甚至风平浪静，可见晴天
- 外围相距100-200km以外，风力大

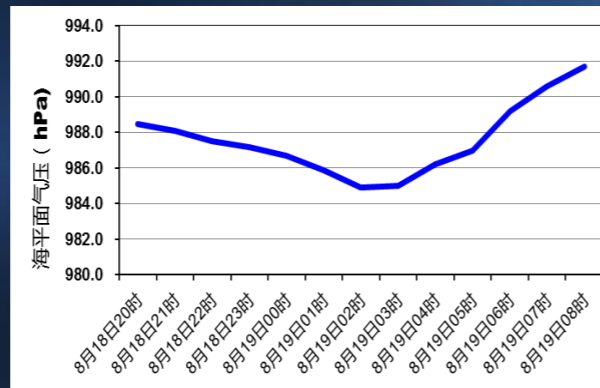


空心台风大风预报

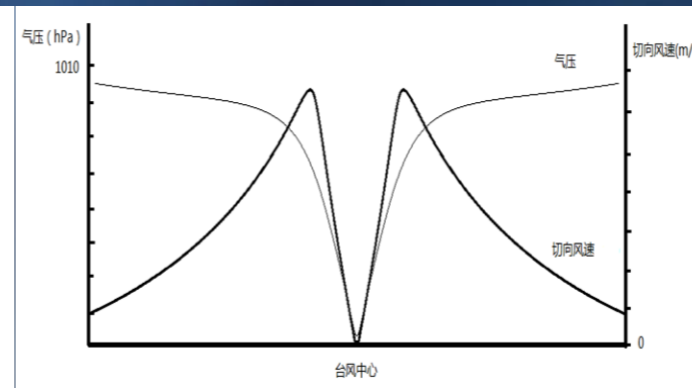
空心台风 (Typhoon of Hollow Center) 是非常特殊的台风结构现象

✓ 气压场结构

- 中心气压变化曲线漏斗状不明显，多呈面盆状
- 中心气压梯度较小



空心台风圣帕登陆前后福建崇武
逐小时海平面气压变化



一般台风地面切向风速和气压
随半径变化示意图

空心台风大风预报

空心台风 (Typhoon of Hollow Center) 是非常特殊的台风结构现象

- ✓ 多出现在台湾岛附近海域、东海南部、南海北部等海域及其海岸

空心台风大风预报

● 空心台风产生的原因

- ✓ 台风登陆台湾岛后，受中央山脉影响，强度急剧减弱，近中心风力甚微，外围风雨仍很大
- ✓ 干舌（或小股冷空气）卷入台风中心，台风强度锐减，外围的风雨仍然很大，形成空心现象
- ✓ 台风自身结构比较松散，由多云团组成，中心形成于三个云团之间的晴空区，形成中心风雨小，外围风雨大的空心台风

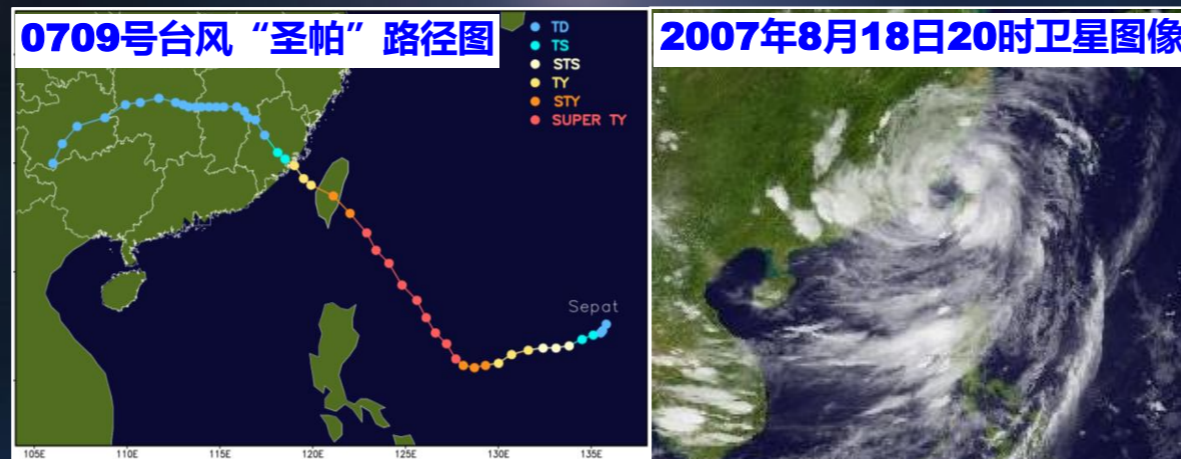
空心台风大风预报

- **空心台风大风预报的注意点**

- ✓ 空心台风风场预报要特别注意与周边环境场之间的关系
- ✓ 关注四周风大、中间风小的特点
- ✓ 空心现象过程可通过分析卫星云图加以诊断

空心台风大风预报

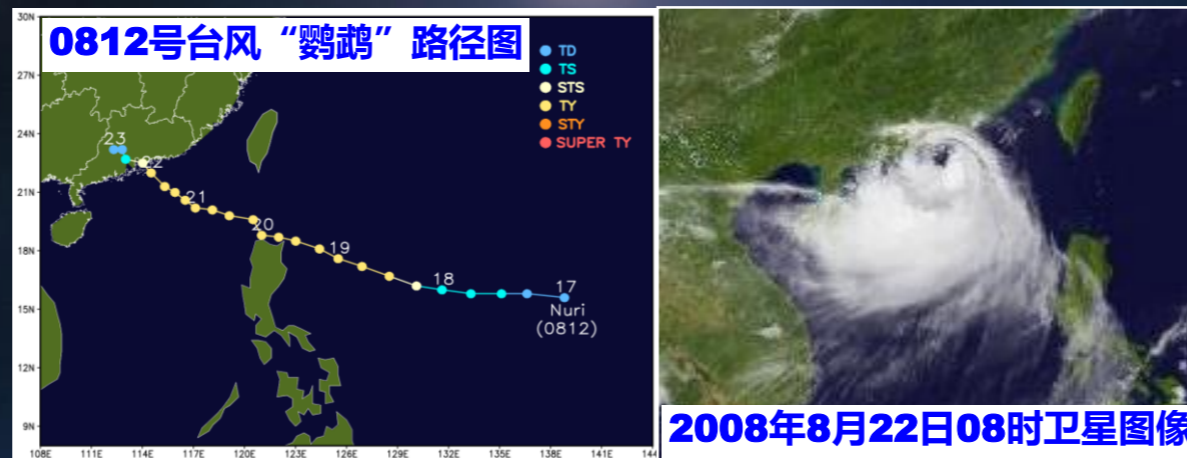
✓ 典型个例 —— 台风“圣帕”（0709）



- “圣帕”登陆福建崇武时，近中心风力甚微，风速只有**6.7米/秒**（**4级**）
- 霞浦**19.8米/秒**（**8级**），浙江玉环**16.5米/秒**，苍南龙岗出现龙卷

空心台风大风预报

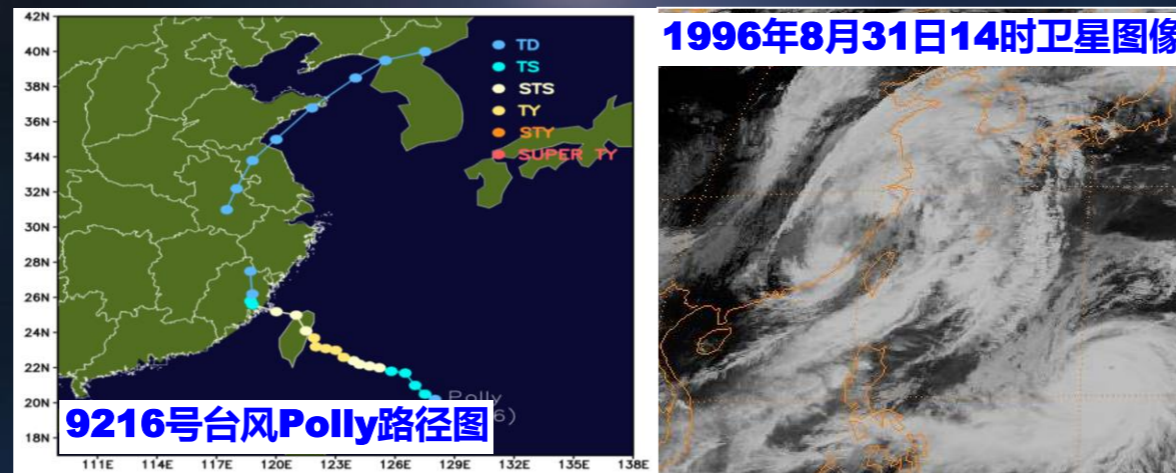
✓ 典型个例 —— 台风“鹦鹉” (0812)



- 眼区直径达**100公里**
- 眼区内部风力小，外围风力大
- 雨区主要分布在台风西南侧
- 登陆香港，雨区在粤西和桂东

空心台风大风预报

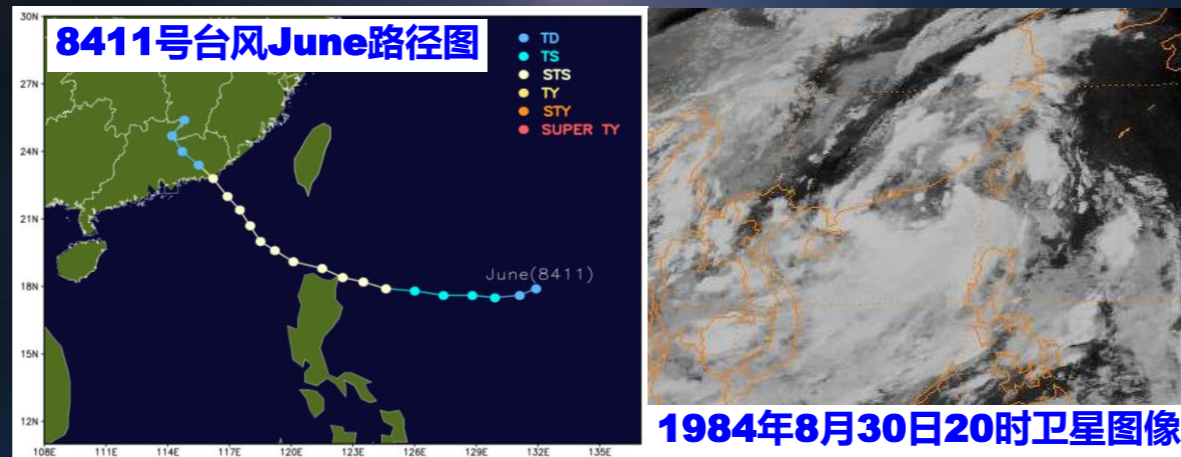
✓ 典型个例 -- 台风Polly (9216)



- **Polly**登陆福建时，近中心风力甚微，只有**4级**风
- 西南侧的福建台山**12级**以上强风持续**48小时**

空心台风大风预报

✓ 典型个例 —— 台风June (8411)



- **June**登陆广东惠来-汕头，登陆点附近仅有**5-6**级风
- **June**东北侧的福建龙溪地区，风猛、雨暴、浪狂，海堤决口，江河泛滥

8.7 台风大风预报内容和方法



台风大风预报内容和方法

● 台风特征风圈半径预报

- ✓ 7级、10级和12级风圈半径预报
- ✓ 美国国家飓风中心、美国联合台风警报中心和印度气象局等少数预报中心发布
- ✓ 中央气象台和日本气象厅仅开展分析业务，给出特征风圈半径实况，不做预报

台风大风预报内容和方法

● 台风特征风圈半径预报

- ✓ 可参考的客观预报方法很少，只有气候或气候持续性方法及数值天气预报模式
- ✓ 气候持续性方法效果最好，即基于气候学模型和持续性特征预报，如JTWC采用的**Huntley**预报模型

台风大风预报内容和方法

● 台风特征风圈半径预报

- ✓ 数值模式受分辨率和初始误差的限制，现在尚无法提供有预报技巧的特征风圈半径的预报结果
- ✓ 台风特征风圈半径的预报能力明显依赖于台风强度预报的准确率

台风大风预报内容和方法

● Huntley大风半径预报模型

✓ JTWC业务使用的特征风圈半径预报模型

Very Small (RMW=10)				Small (RMW=15)				Average (RMW=20)				Large (RMW=25)				Very Large (RMW=30)				Intensity
Wind Radii for XX KT				Wind Radii for XX KT				Wind Radii for XX KT				Wind Radii for XX KT				Wind Radii for XX KT				
100	64	50	34	100	64	50	34	100	64	50	34	100	64	50	34	100	64	50	34	
0	0	0	30	0	0	0	45	0	0	0	60	0	0	0	70	0	0	0	75	35kts
0	0	0	35	0	0	0	55	0	0	0	70	0	0	0	85	0	0	0	95	40kts
0	0	0	40	0	0	0	65	0	0	0	80	0	0	0	100	0	0	0	120	45kts
0	0	15	45	0	0	20	75	0	0	30	90	0	0	35	115	0	0	45	140	50kts
0	0	20	50	0	0	30	85	0	0	40	100	0	0	50	130	0	0	60	160	55kts
0	0	25	60	0	0	40	95	0	0	55	130	0	0	65	155	0	0	80	190	60kts
0	20	30	70	0	35	50	115	0	45	70	150	0	55	85	185	0	65	100	220	65kts
0	20	35	80	0	35	55	125	0	50	80	170	0	60	95	200	0	70	115	245	70kts
0	25	45	90	0	40	65	135	0	55	90	180	0	65	110	220	0	80	130	270	75kts
0	30	50	100	0	40	70	140	0	60	100	195	0	70	120	240	0	85	145	290	80kts
0	30	55	105	0	45	80	155	0	60	105	210	0	75	130	255	0	90	155	310	85kts
0	30	60	110	0	45	85	165	0	65	110	215	0	75	140	270	0	95	165	325	90kts
0	35	65	120	0	50	90	170	0	65	120	225	0	80	150	280	0	100	175	340	95kts
15	35	65	120	15	50	95	175	20	70	125	235	25	85	155	290	35	105	185	355	100kts
15	35	70	125	20	50	100	185	25	70	130	245	30	90	160	300	40	110	195	370	105kts
15	35	70	125	20	50	105	190	30	70	135	250	40	90	165	310	50	110	200	375	110kts
20	40	70	130	25	55	105	190	35	75	140	255	45	95	170	315	55	120	210	390	115kts
20	40	75	135	30	60	110	195	40	80	145	260	50	100	175	320	65	130	215	395	120kts
20	40	75	135	30	65	115	200	45	90	150	265	55	105	180	325	70	135	220	400	125kts
25	45	75	135	35	70	115	205	45	90	150	270	60	110	185	330	75	140	225	410	130kts
25	45	80	140	35	70	120	210	50	95	155	280	65	115	190	335	80	145	230	415	135kts
25	50	80	145	40	75	120	210	55	100	160	285	70	120	195	340	80	145	235	420	140kts
30	50	80	145	40	75	120	215	55	100	160	290	70	125	200	350	85	150	240	425	145kts
30	50	85	150	45	80	125	215	60	105	165	295	75	130	205	355	85	150	245	430	150kts
30	50	85	150	45	80	125	220	65	110	170	300	80	135	210	360	95	160	255	440	160kts
35	55	90	155	50	85	130	225	70	115	175	305	85	140	215	365	100	165	260	450	170kts

台风大风预报内容和方法

● 特征风圈半径气候持续性统计预报模型

- ✓ 台风风场可分解为台风整体移动贡献、轴对称环流、一波非对称环境风场三部分，建立兰金涡旋模型

$$V(r, \theta) = (v_m - a) \left(\frac{r_m}{r} \right)^x + a \cos(\theta - \theta_0) \quad \text{for } r \geq r_m,$$
$$V(r, \theta) = (v_m - a) \left(\frac{r}{r_m} \right) + a \cos(\theta - \theta_0) \quad \text{for } r < r_m.$$

- v_m : 最大风速
- r_m : 最大风速半径
- x : 尺度大小参数
- a : 一波非对称分量

台风大风预报内容和方法

● 特征风圈半径气候持续性统计预报模型

- ✓ 由历史台风建立回归方程，代入当前台风预报信息，得到相应时次气候学风圈半径预报

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{0c} = t_0 + t_1\gamma + t_2c \\ a_c = a_0 + a_1c + a_2c^2 + a_3\gamma \\ x_c = x_0 + x_1v_m + x_2\gamma \\ r_{mc} = m_0 + m_1v_m + m_2\gamma \end{array} \right\}, \text{ where } \left\{ \begin{array}{l} \gamma \equiv \text{latitude} - 25^\circ \\ c \equiv \text{storm speed} \\ v_m \equiv \text{maximum wind} \end{array} \right\}$$

台风大风预报内容和方法

● 特征风圈半径气候持续性统计预报模型

① 气候态风圈半径 (x)

- 根据实况风圈半径确定，已知台风实际尺度 (x_{obs})，根据线性公式逐**12**小时迭代求得各预报时刻的 x

$$x_{12} = x_c + [a_c(x_{obs} - x_c) + b_c]$$

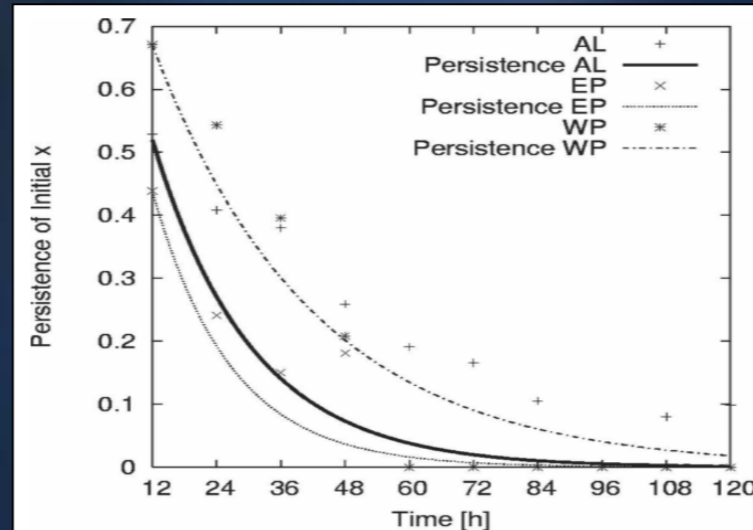
其中， $a_c=0.67$ ， $b_c=0.15$ 为持续性因子

台风大风预报内容和方法

● 特征风圈半径气候持续性统计预报模型

② 气候态风圈半径偏差 (Δx)

- Δx 呈**12小时e-folding**衰减，衰减系数为**0.687**



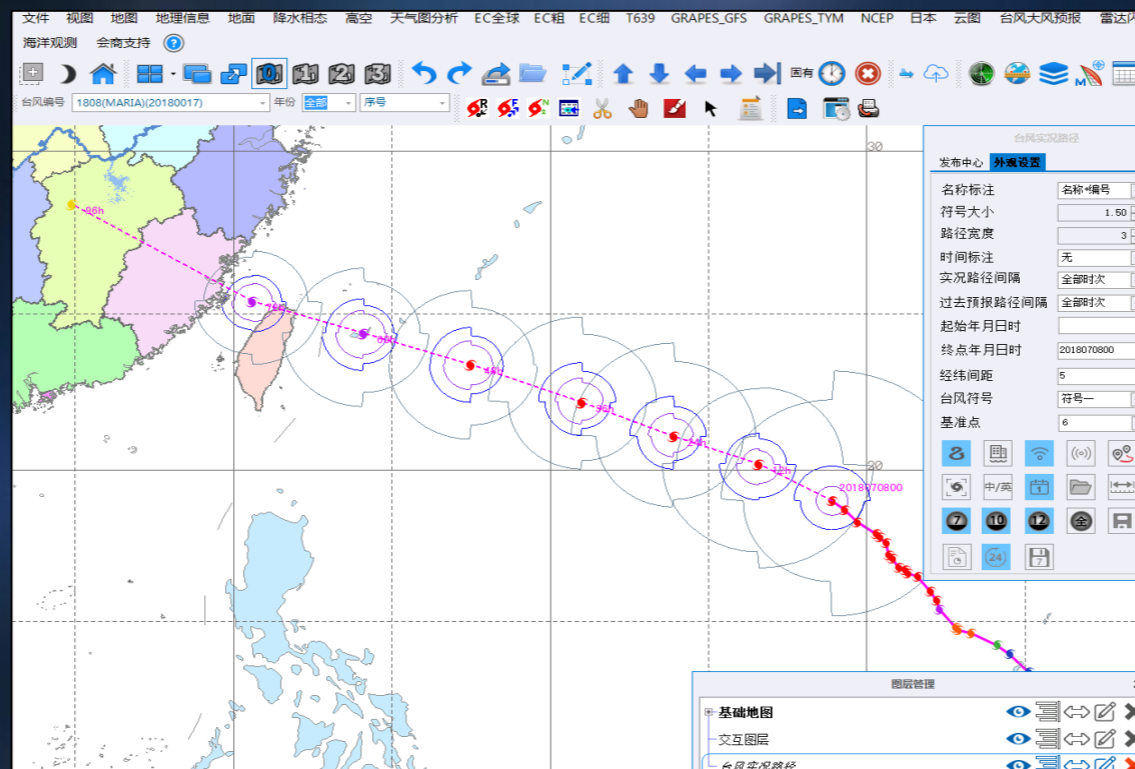
② 最终风圈半径预报 ($x+\Delta x$)

- 气候态半径叠加对应时次半径偏差

台风大风预报内容和方法

● 特征风圈半径气候持续性统计预报模型

✓ 特征风圈半径预报产品



台风大风预报内容和方法

● 特征风圈半径气候持续性统计预报模型

- ✓ 经验陆地衰减模型的应用 Kaplan & DeMaria, 2001
DeMaria et al., 2006

$$V_t = V_b + (RV_0 - V_b)e^{-\alpha t}$$

未考虑地形摩擦

$$V_{t+1} = V_b + (V_t - V_b)e^{-F_m \alpha t}$$

岛屿半岛

- V_t : 登陆后t时刻的最大风速
- V_0 : 登陆时刻的最大风速
- V_b : 环境风速
- α : 衰减系数
- F_m : 地形摩擦系数

台风大风预报内容和方法

● 台风大风分布的预报

- ✓ 针对某一海域或地区某一时段内大风影响及其影响程度的预报
- ✓ 台风路径强度业务预报与数值模式预报相似，且有时间尺度足够密的产品可用，数值预报地面风场预报比降水预报更具参考性

台风大风预报内容和方法

● 台风大风分布的预报

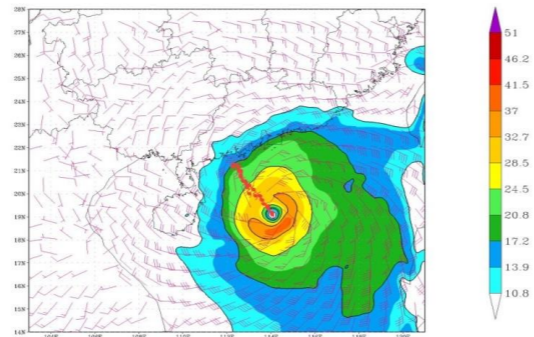
- ✓ 气压梯度大小是考虑风力大小的重要因素
- ✓ 在路径强度和特征风圈半径分析预报基础上，综合考虑天气形势，对模式大风预报订正
 - 副热带高压、冷高压、变性高压等天气系统
 - 雷达和卫星图像强回波区和强对流云区分布和变化特征
 - 特殊地形、特殊海岸地段因子
 - 预报员实际经验

台风大风预报内容和方法

● 台风大风分布的预报

✓ 雷达资料快速同化台风大风短临预报系统

10m风场分析
2013年8月13日20时



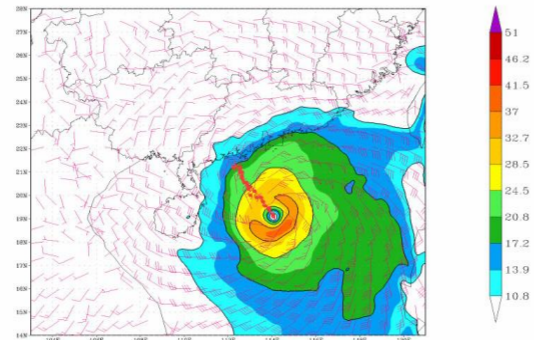
超强台风

“尤特” (1311)

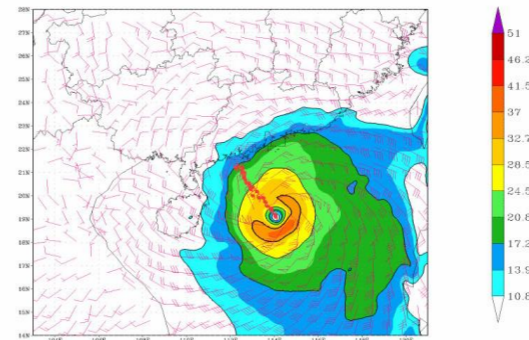
雷达资料快速同化分析

24小时大风临近预报

24小时逐小时大风预报
2013年8月13日20时起报



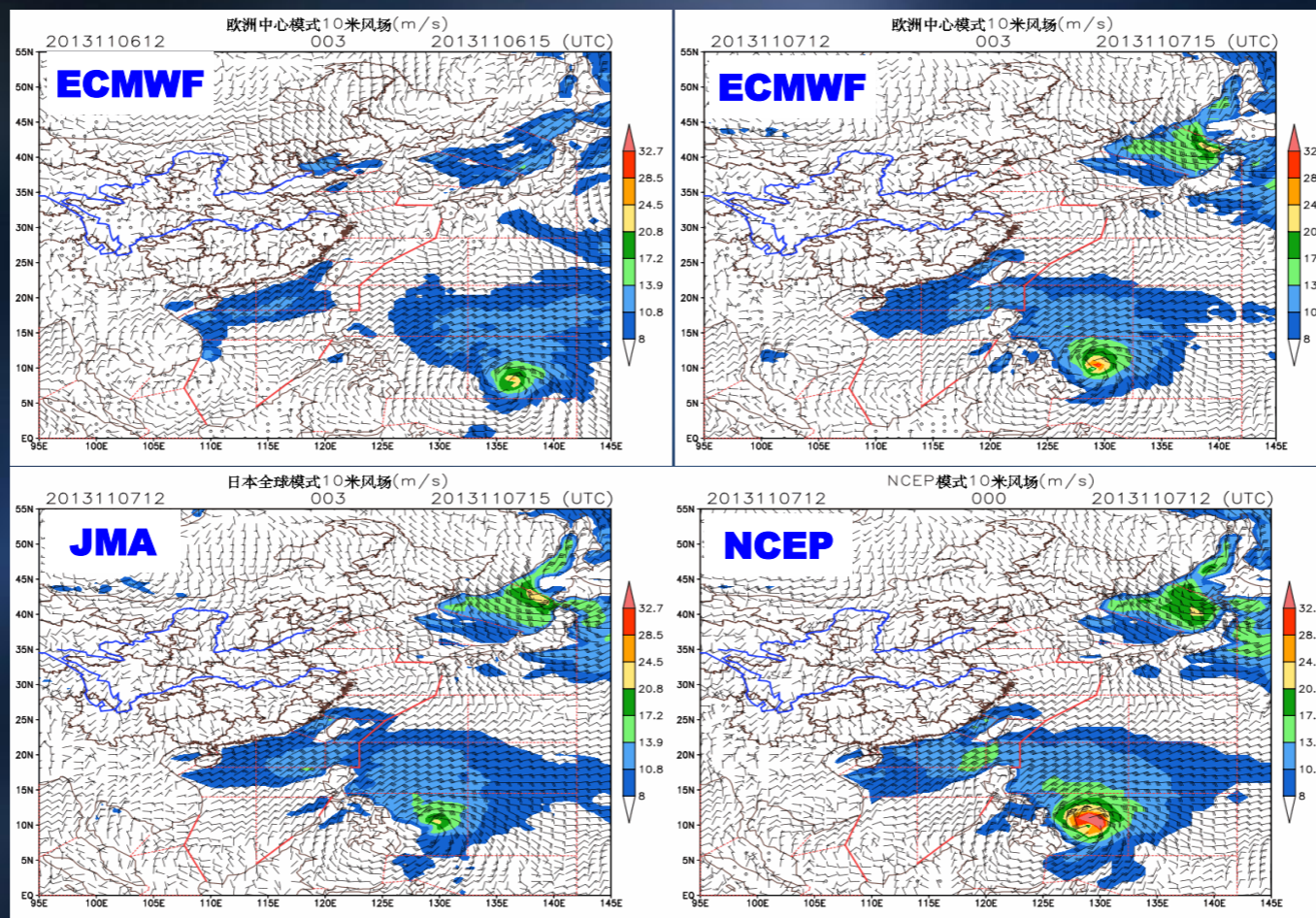
24小时过程累计大风预报
2013年8月13日20时起报



台风大风预报内容和方法

- 台风大风分布的预报

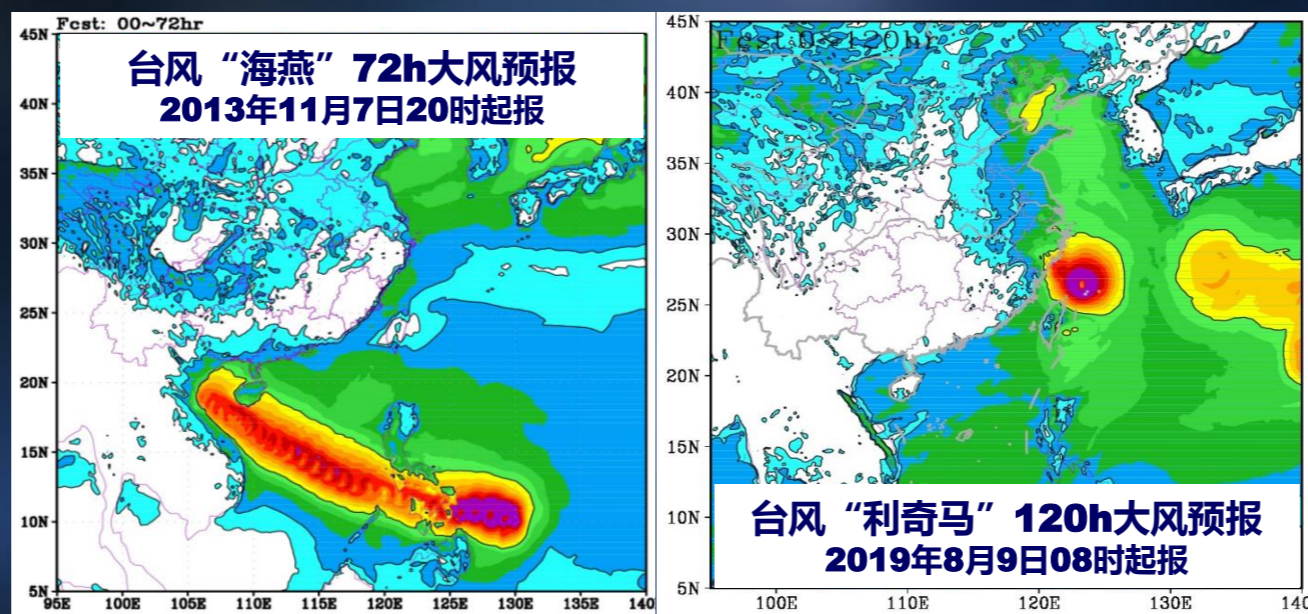
- ✓ 全球数值预报模式风场预报



台风大风预报内容和方法

- 台风大风分布的预报

- ✓ GRAPES-TYM台风区域模式系统

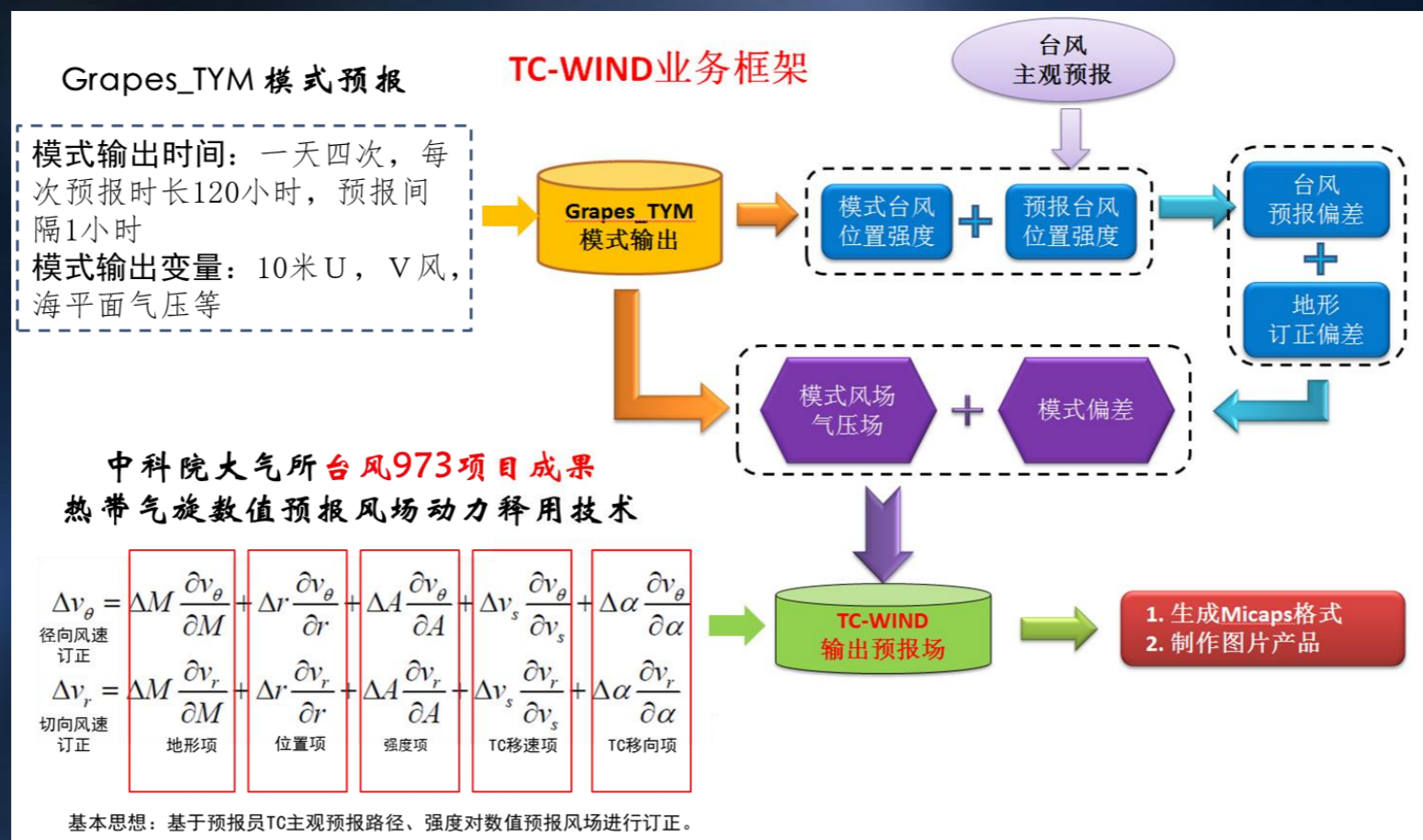


工作流程

台风大风预报内容和方法

● 台风大风分布的预报

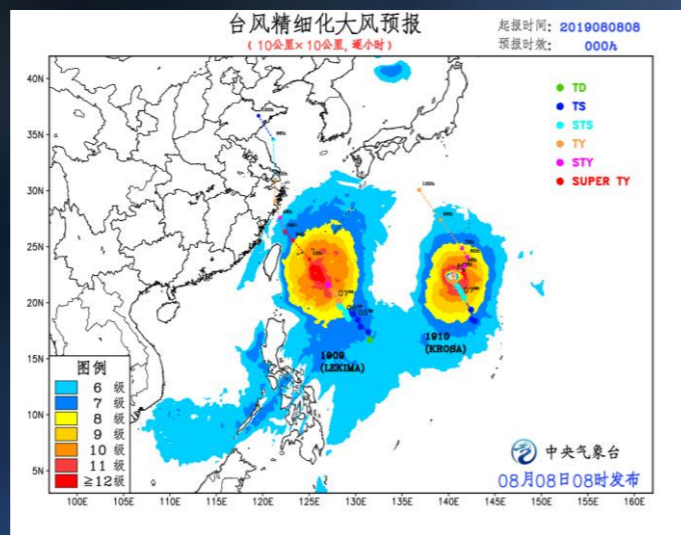
✓ 台风风场精细化格点预报业务



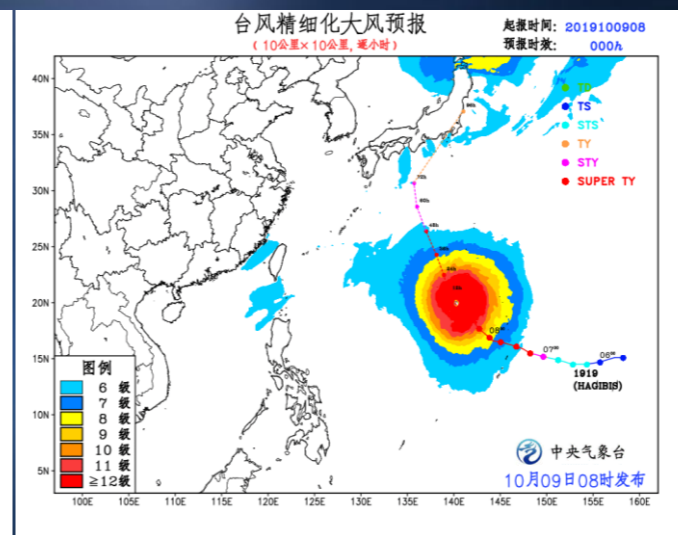
台风大风预报内容和方法

● 台风大风分布的预报

✓ 台风风场精细化格点预报业务



1909号台风“利奇马”
和1910号台风“罗莎”
120小时大风预报
起报时间：2019年8月8日08时

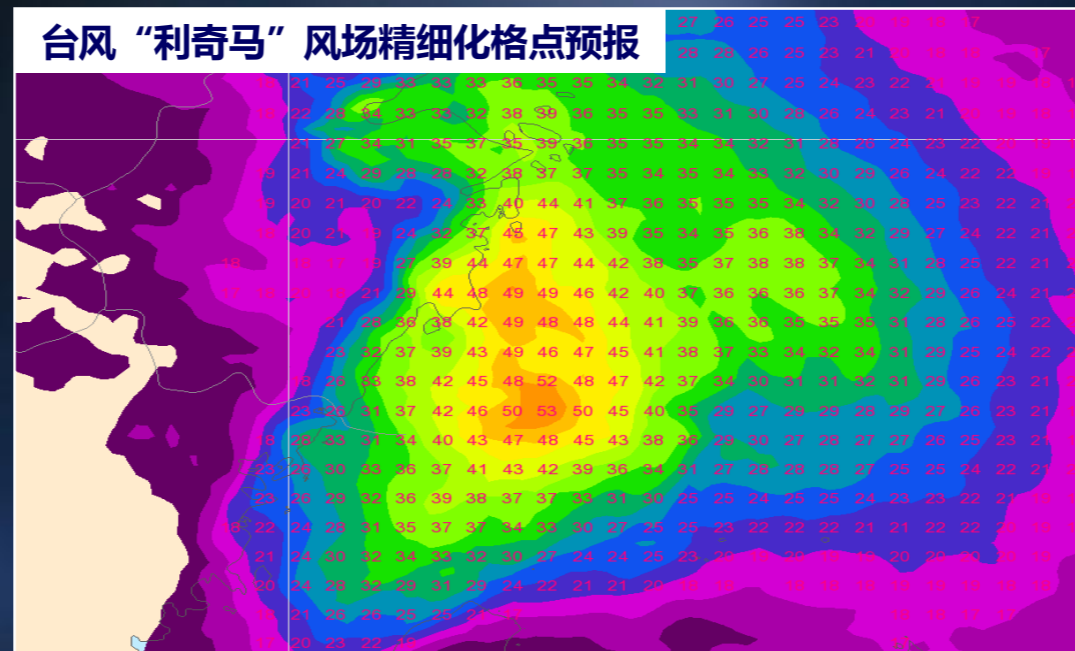


1919号台风“海贝斯”
120小时大风预报
起报时间：2019年10月9日08时

台风大风预报内容和方法

- 台风大风分布的预报

- ✓ 台风风场精细化格点预报业务



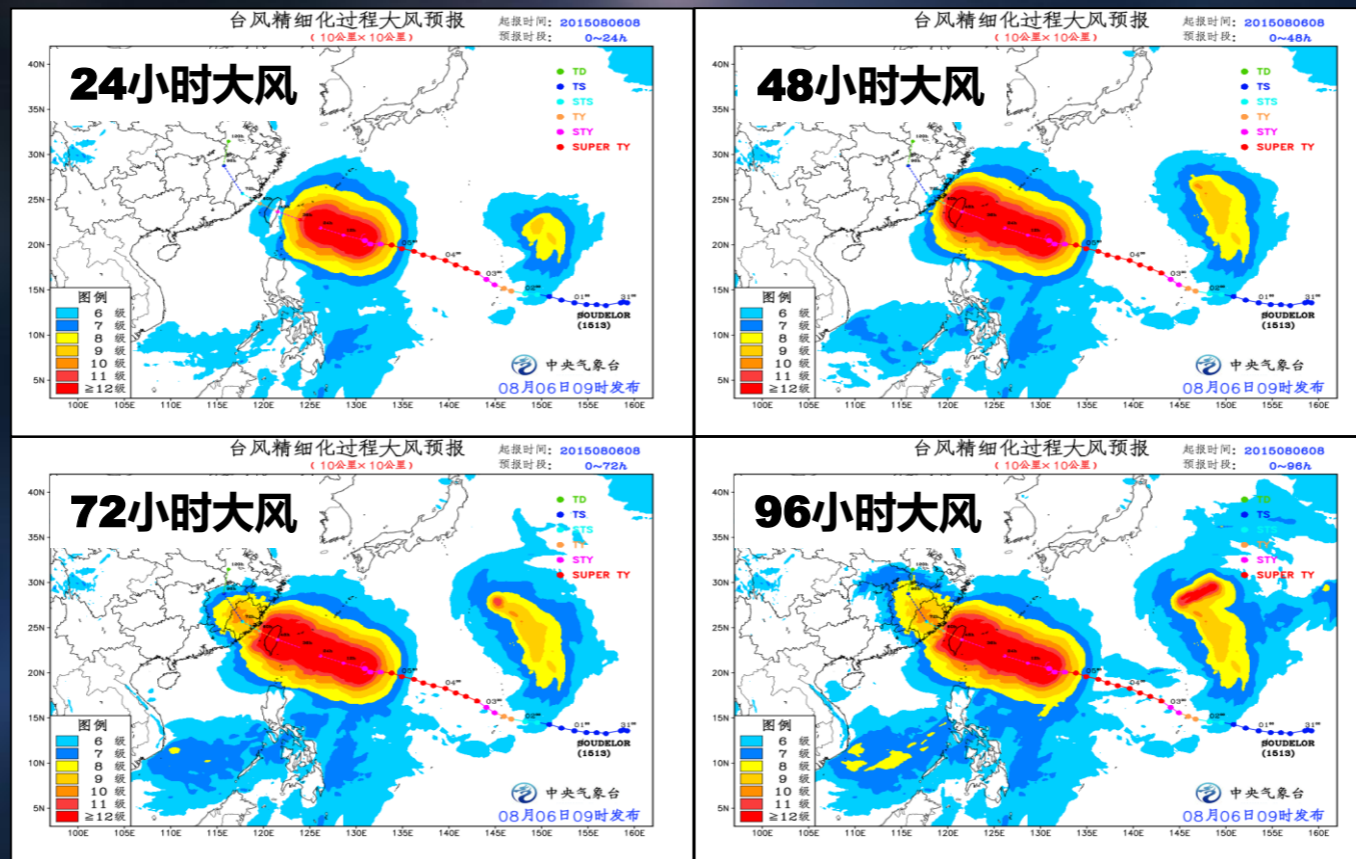
- 过程大风
- 7/10/12级风圈半径
- 大风防御等级
- 大风影响时段
- 大风破坏力预估
-

8.8 台风大风预报产品



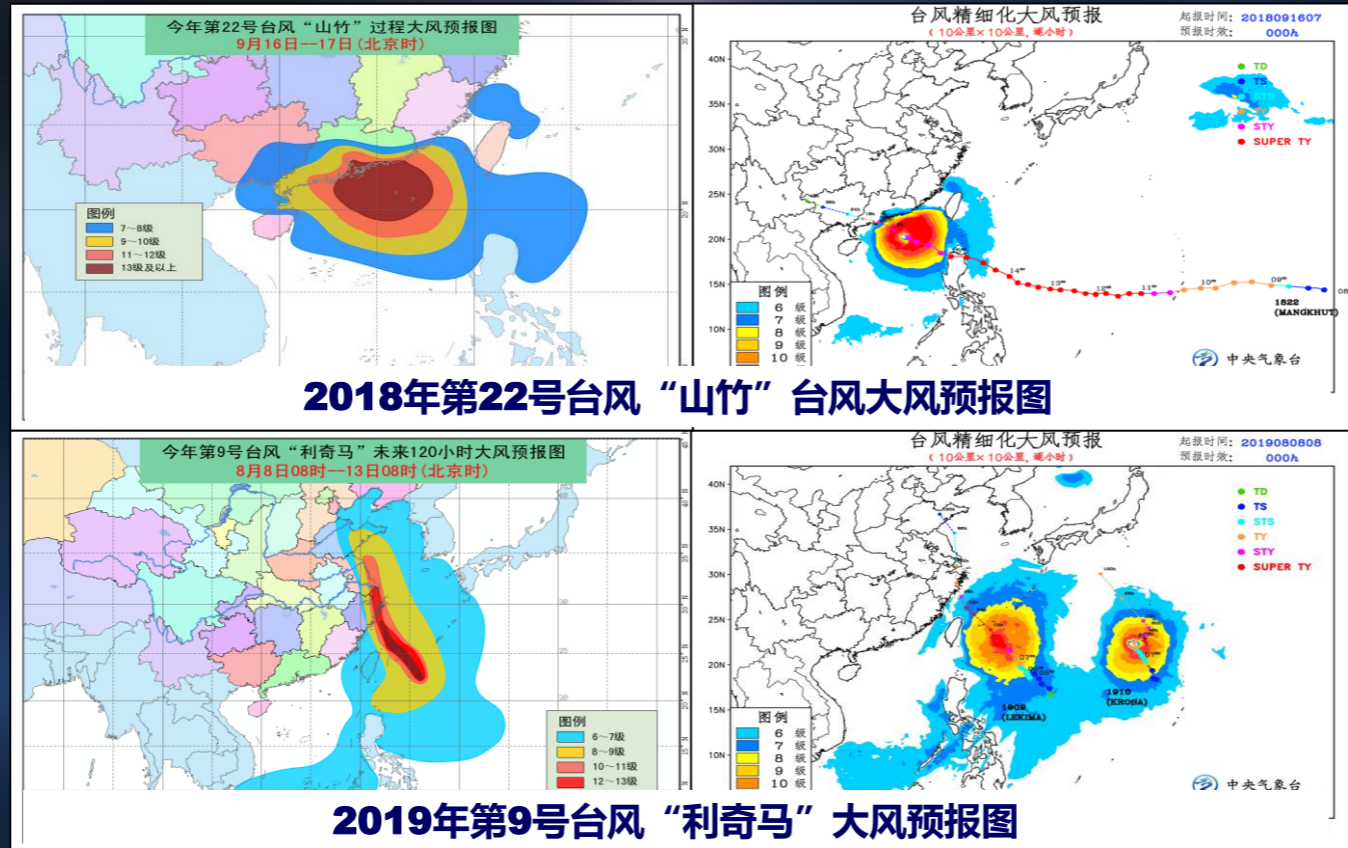
台风大风预报产品

● 台风过程大风预报



台风大风预报产品

● 台风过程大风预报和逐小时大风预报

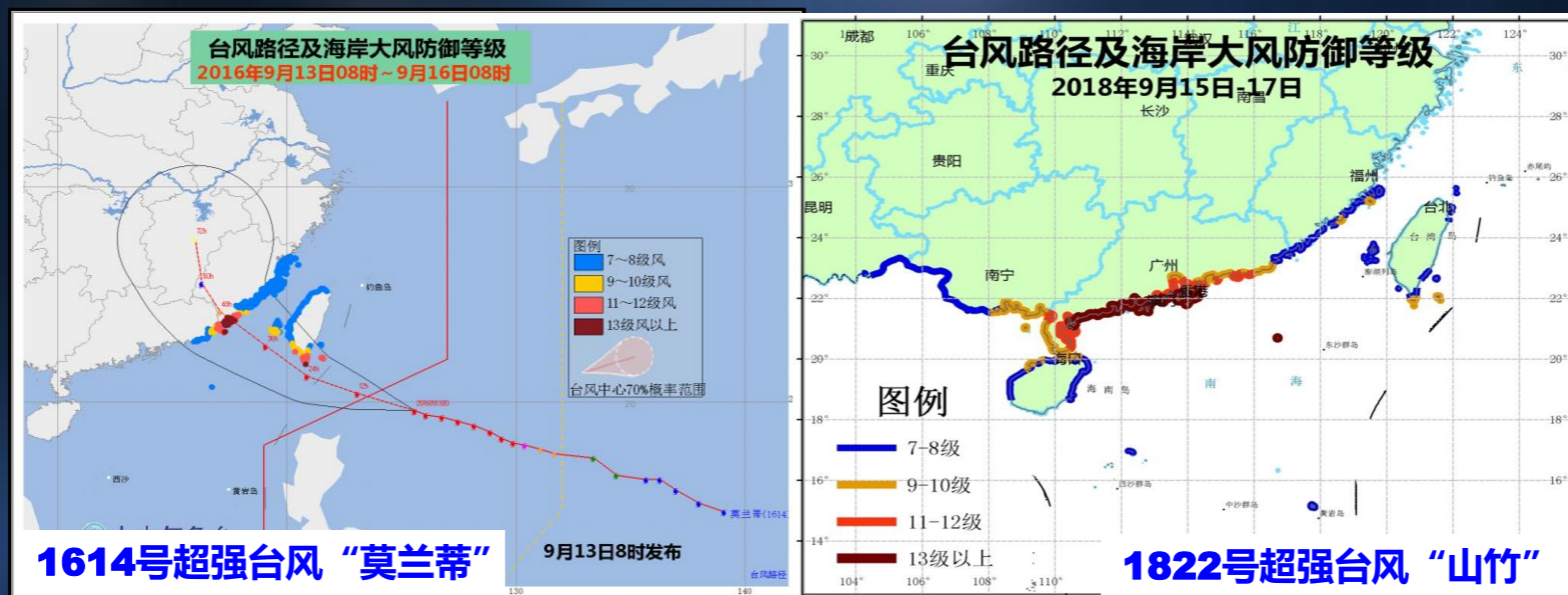


2018年第22号台风“山竹”台风大风预报图

2019年第9号台风“利奇马”大风预报图

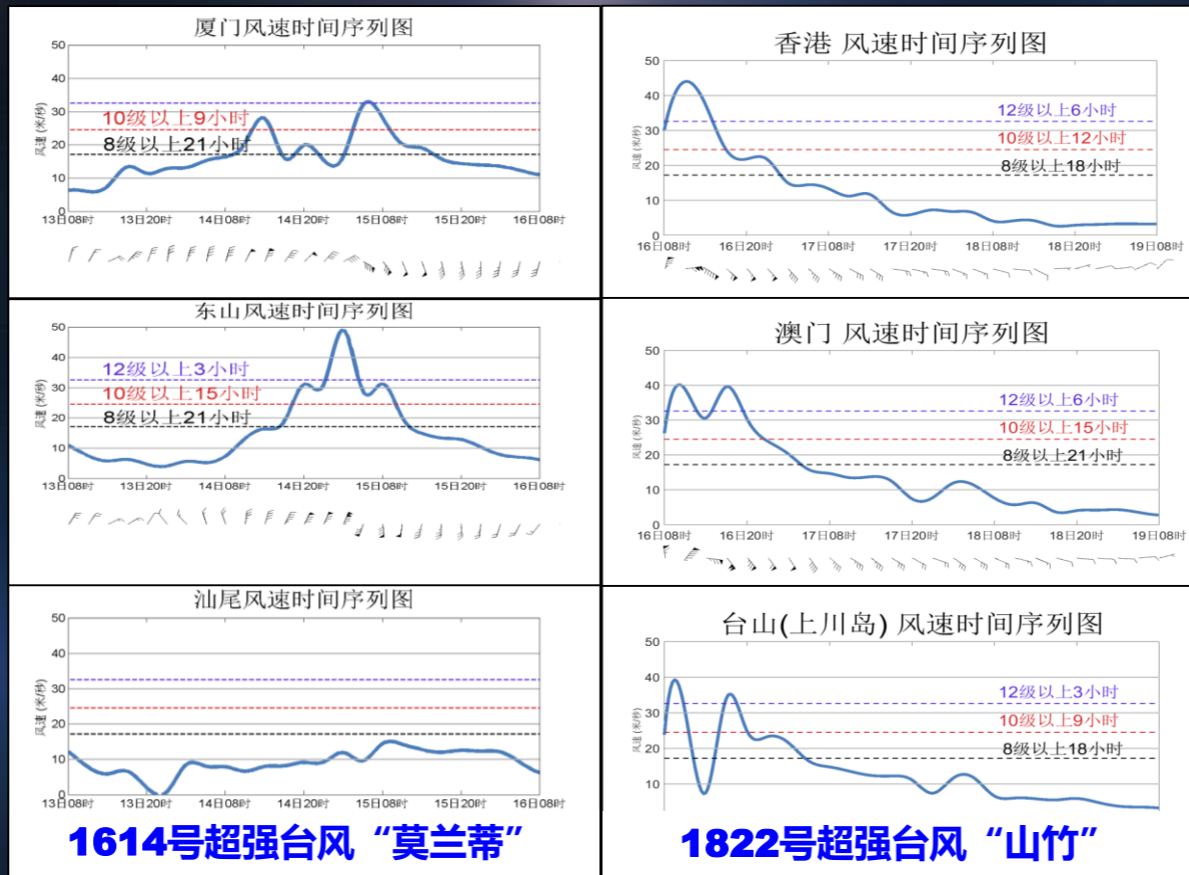
台风大风预报产品

● 海岸大风防御等级



台风大风预报产品

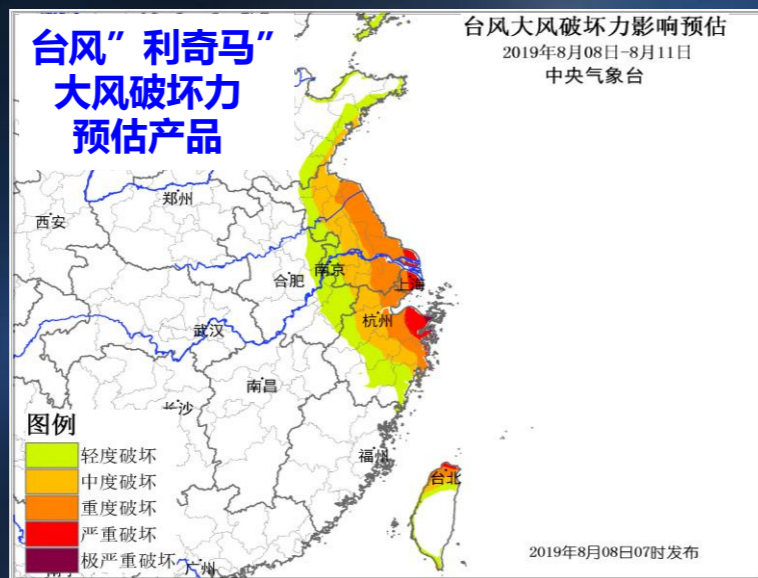
● 沿岸起风与结束时间预报



台风大风预报产品

● 台风大风破坏力预估

- ✓ 采用Emanuel能量法，基于GRAPES-TYM和TCwind逐小时风场预报产品，结合灾害特征、致灾阈值、风场结构、持续时间及社会经济和人口等承灾体信息
- ✓ 制作台风大风破坏力预估产品，输出极严重、严重、重度、中度及轻度破坏影响区域分布



8月8日至11日，浙江中北部、上海、江苏等地将遭受中至重度台风大风破坏力影响，**浙江宁波、舟山及上海东部部分地区将遭受严重台风大风破坏力影响**，部分小建筑物如农房、简易厂房等被摧毁；户外广告牌或霓虹灯受损；海上渔排网箱将受损，需注意防范。

台风大风预报产品

● 台风大风破坏力预估

热带气旋灾害影响等级参考标准 (气发2007-174号)

附件：热带气旋灾害影响等级参考标准

热带气旋等级	强度					影响范围	陆上影响	海上影响	浪级波浪高(米)		风暴潮(米)		相关图片资料	
	风力等级	海里/小时	公里/小时	米/秒	参考气压hPa				一般	最高	一般	最高		
热带低压	6-7	22-33	39-61	10.8-17.1	1005-999	轻微影响	风大, 半分钟阵风, 树枝摇动, 电线呼呼有声。	浪高稍显紊乱, 航行困难。	大浪 3.0-4.0	大浪 4.0-5.5	—	—		
热带风暴	8-9	34-47	43-68	17.2-24.4	999-989	中度影响	人向前行感觉阻力大; 小的轻枝被吹落; 茅草棚、简易房屋和广告牌受破坏, 部分倒塌; 不牢固的广告牌被吹落。	浪高, 浪花较猛烈, 航行危险。	巨浪-巨浪 5.5-7.0	巨浪-巨浪 7.5-10.0	小于0.7	0.7-1.0		
强热带风暴	10-11	48-63	69-117	24.5-32.6	988-978	严重影响	大的轻枝或小的树种被吹落; 轻质材料房屋会受到轻微破坏; 茅草棚、简易房屋和广告牌受到严重破坏, 没有被拉紧或钉好的木瓦片台牌被吹落。	汽船航行危险, 部分海上渔排网箱被摧毁; 部分小型船只翻沉。	巨浪-巨浪 9.0-11.5	巨浪-巨浪 12.5-16.0	0.7-1.2	1.2-1.8		
台风	12-13	64-80	118-149	32.7-41.4	975-961	非常严重影响	大量树木被吹倒; 小建筑如农房、简易厂房等普遍被摧毁; 大量大型户外广告牌或霓虹灯受毁或被摧毁; 部分电线杆受毁。	大量海上渔排网箱被摧毁; 大量小型船只和大部分中型船只翻沉。	巨浪 14以上	巨浪 16以上	1.2-1.5	1.5-2.1		
强台风	14-15	81-99	150-185	41.5-50.9	960-940	灾难性影响	树木普遍被吹倒, 甚至被连根拔起; 房屋瓦片普遍被吹落; 非框架结构(无骨架)房屋普遍受毁; 部分金属屋、卷帘门、玻璃门普遍受毁; 大部分户外台牌或霓虹灯普遍受毁或被摧毁; 电线杆普遍被吹倒, 部分大型电力设施、通信塔等倒塌; 部分加固的大型港口吊机受毁。	海上渔排网箱普遍被摧毁; 大量中型船只和大部分大型船只翻沉。	巨浪 14以上	巨浪 16以上	1.8-2.7	2.1-3.3		
超强台风	≥16	≥100	≥184	≥51.0	≤939	毁灭性影响	树木普遍被吹倒, 大部分被连根拔起或折断; 非框架结构(无骨架)房屋普遍被摧毁; 部分框架结构房屋受毁或被摧毁; 大型电力设施、通信塔等普遍被摧毁; 大量加固的大型港口吊机受毁或被摧毁。	大量大型船只翻沉。	巨浪 14以上	巨浪 16以上	2.7-7.6	3.3-9.2	及以上	

注: 1. 热带气旋造成的强降水与热带气旋等级不具有对应关系, 因此本表主要针对热带气旋造成的大风与风暴潮影响, 但不同等级热带气旋登陆时均有可能造成强降水, 因此, 对不同等级的登陆热带气旋, 相关地区须注意防范强降水可能引发的山洪、滑坡、泥石流等地质灾害。
 2. 热带气旋登陆点的地形以及由于经济发展以及建筑物等其它基础设施结构和质量的变化等因素, 热带气旋等级与灾害等级可能存在一定的差异。
 3. 风暴潮受地形和泥沙等因素的影响会产生较大的差异, 因此本表中的风暴潮仅指热带气旋所带有的海水增水高度, 在地形和泥沙等因素作用下, 实际风暴潮可能超过本表中的数值。
 4. 本表是在实地调研的基础上形成的, 在制定过程中, 同时参考了《The Saffir-Simpson Tropical Cyclone Scale for the Tropical Pacific》、《The Saffir-Simpson Hurricane Scale Used for the Atlantic Basin》和《蒲福风力等级表》。
 5. 本表在实施过程中, 将根据实际情况进一步修订。

台风大风预报产品

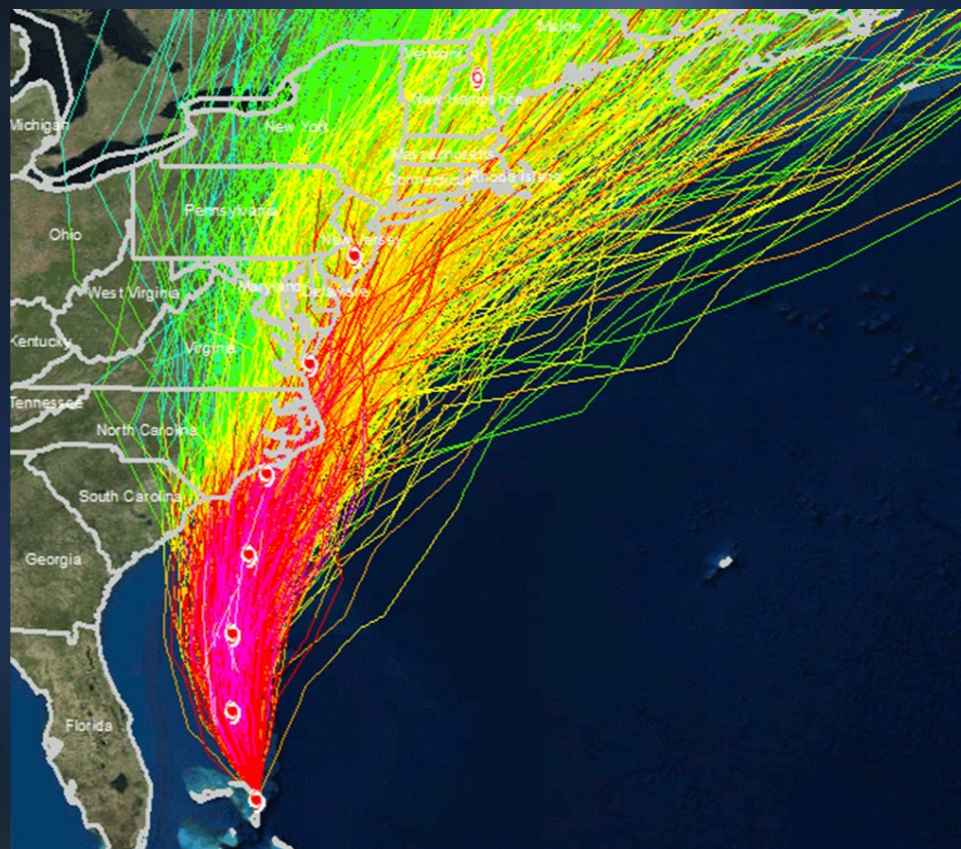
- 美国飓风中心大风概率预报产品

- ✓ 生成1000条理想的飓风路径

- NHC综合路径预报
- NHC历史飓风路径和强度预报误差
- 风圈半径气候持续性模型
- 陆上衰减模型
- 路径需具有一定的发散度（历史路径预报误差）

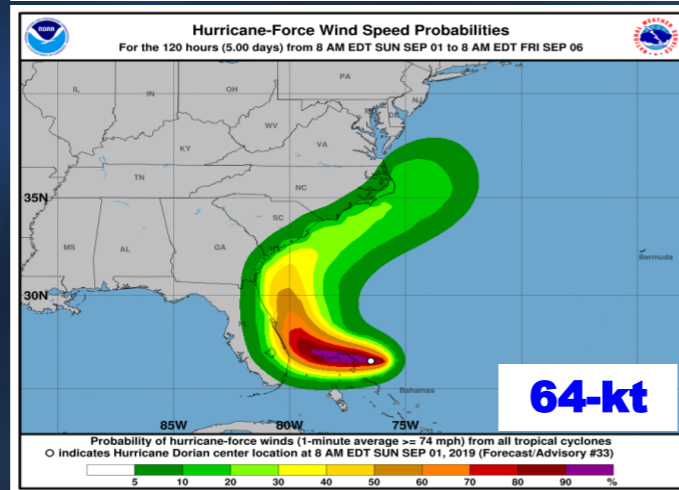
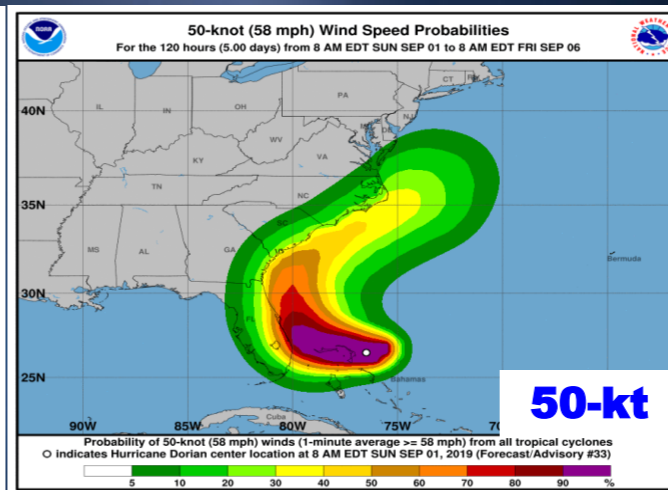
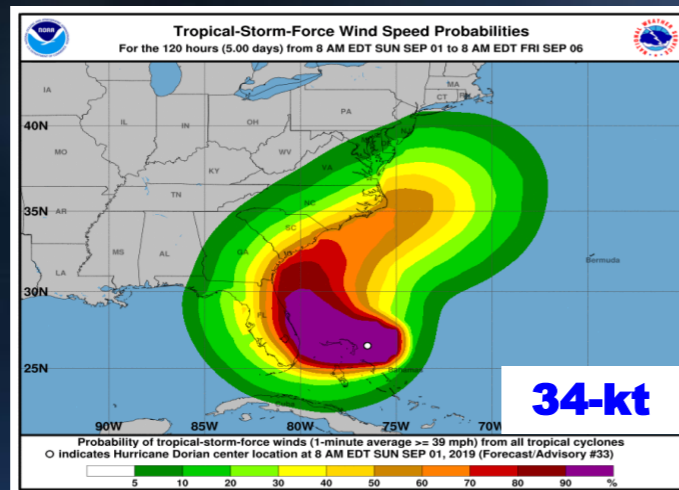
台风大风预报产品

- 美国飓风中心大风概率预报产品
- ✓ 生成1000条理想的飓风路径



台风大风预报产品

- 美国飓风中心大风概率预报产品
- ✓ 制作飓风风速和强度概率预报产品



五级飓风“多里安”

(Dorian, 2019)

风速和强度概率预报产品

Source:
https://www.nhc.noaa.gov/archive/2019/DORIAN_graphics.php