

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)

# 第七讲 台风暴雨预报



# 台风暴雨预报



台风“威马逊”影响下的海南海口

## 主要内容

- 台风暴雨概况
- 台风暴雨的基本条件
- 环境流场对台风暴雨的影响
- 地形对台风暴雨的影响
- 台风特大暴雨和暴雨增幅
- 台风暴雨预报业务现状
- 台风暴雨预报的挑战及未来发展

# 7.1 台风暴雨概况



# 台风暴雨概况

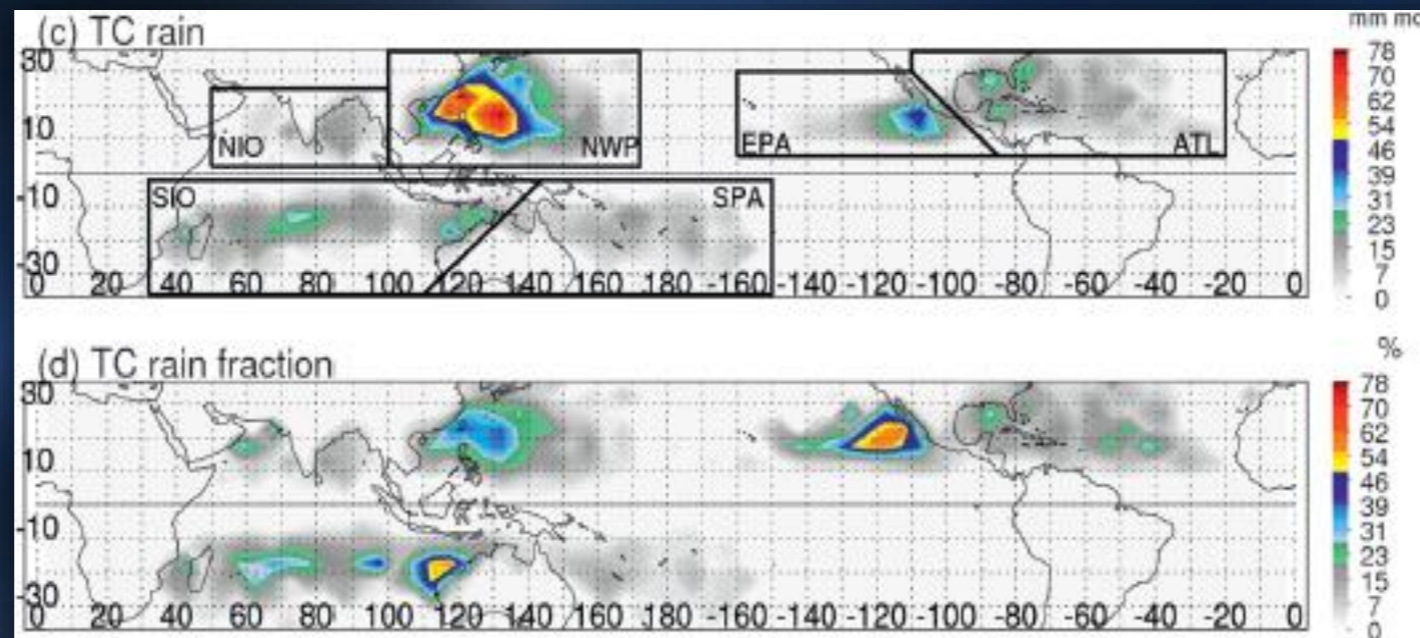
- **TC rainfall climatology: Global view**

- ✓ **Basin-wide TC rainfall fractions**

**AL (北大西洋) : 8-9%**      **EP (东太平洋) : 7%**

**WP (西太平洋) : 11%**      **NI (北印度洋) : 5%**

**SI (南印度洋) : 7-8%**      **SP (南太平洋) : 3-4%**



Haiyan Jiang, Chuntao Liu, and Edward J. Zipser, 2011

# 台风暴雨概况

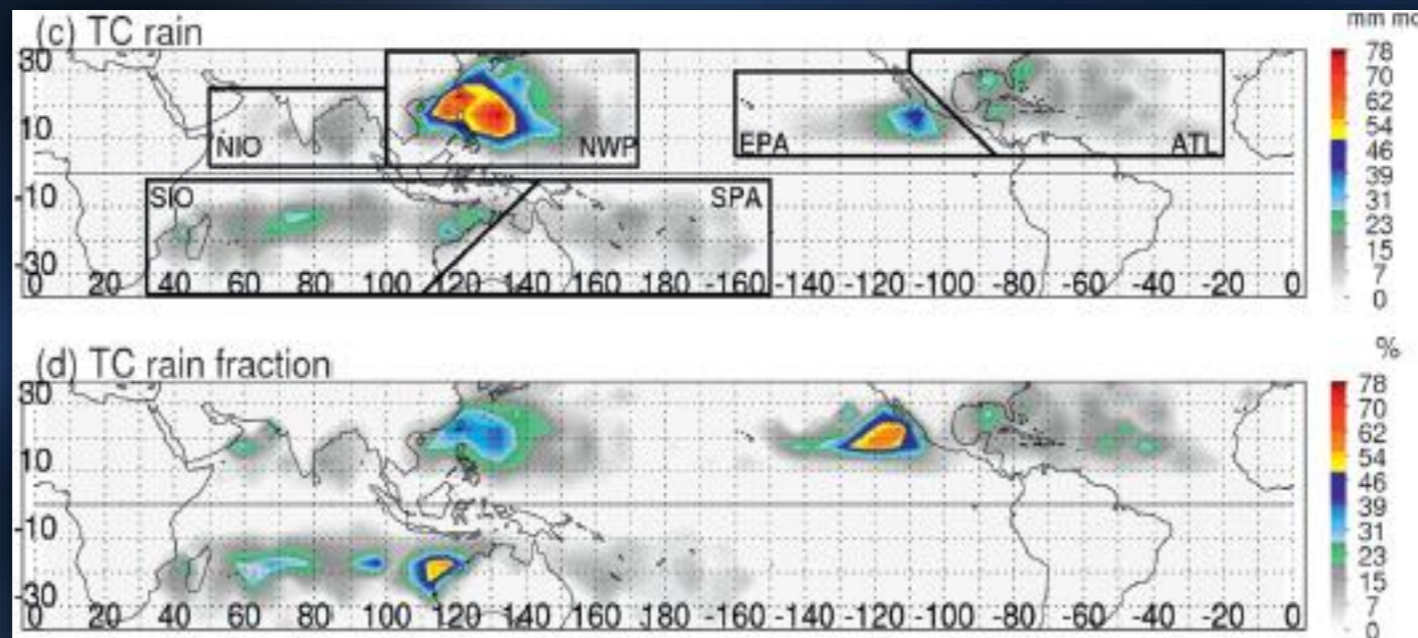
- **TC rainfall climatology: Global view**

- ✓ **Regional max % TC rainfall fractions**

**EP (东太平洋) : Mexico, near Baja coast: 55%**

**SI (南印度洋) : near Australia: 55%**

**WP (西太平洋) : near Taiwan: 35-40%**



Haiyan Jiang, Chuntao Liu, and Edward J. Zipser, 2011

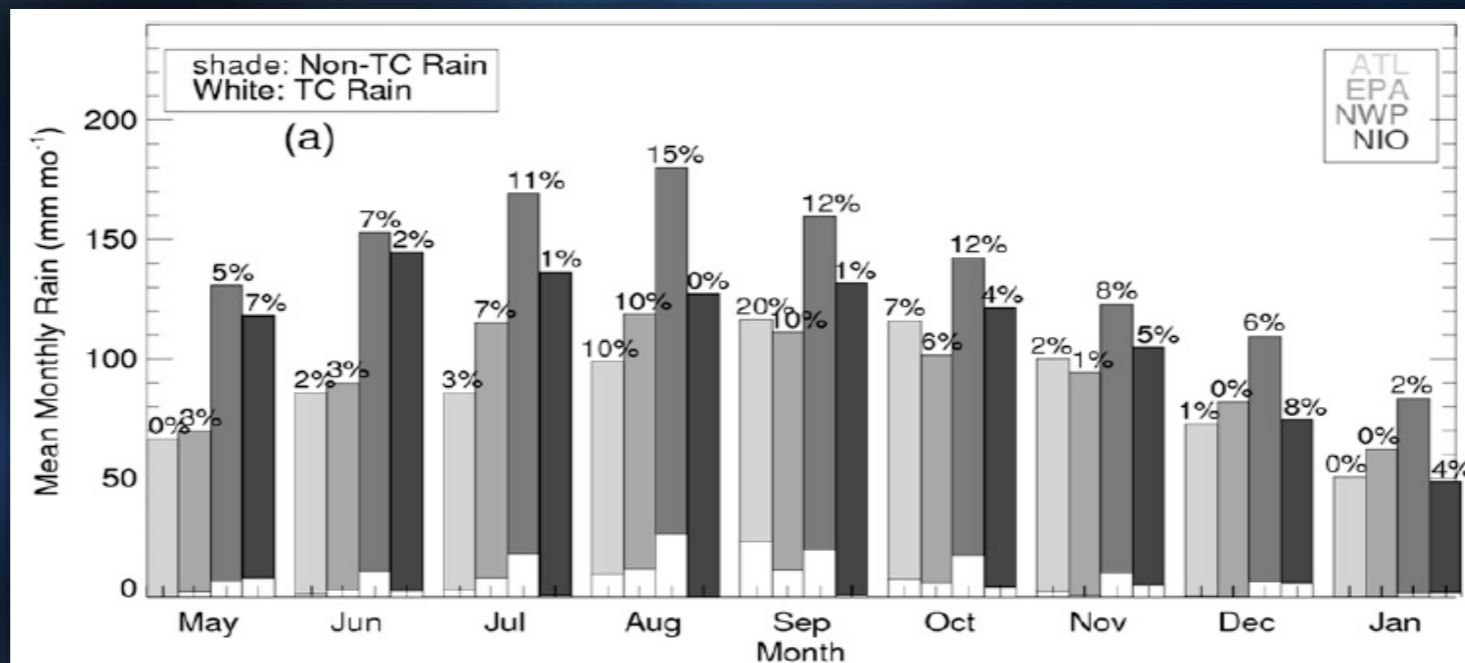
# 台风暴雨概况

- **TC rainfall climatology: Global view**

- ✓ **Peak month(s) for % TC rainfall -- 北半球**

北大西洋: **Sep (20%)**    东太平洋: **Aug & Sep (10%)**

西太平洋: **Aug (15%)**    北印度洋: **May (7%)**



**北半球TC各月降水平均值及百分比**

Haiyan Jiang, Chuntao Liu, and Edward J. Zipser, 2011

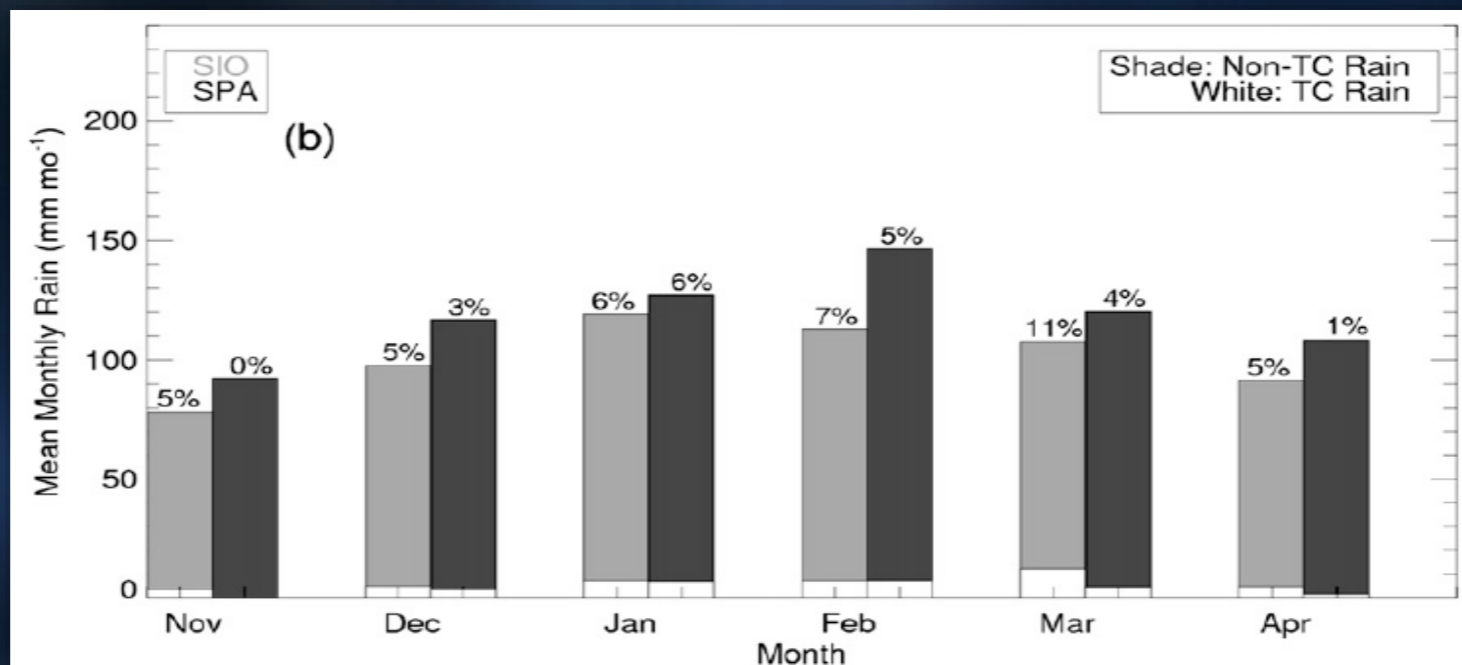
# 台风暴雨概况

- **TC rainfall climatology: Global view**

- ✓ **Peak month(s) for % TC rainfall -- 南半球**

**SI (南印度洋) : Feb (7%)**

**SP (南太平洋) : Jan (7%)**



**南半球TC各月降水平均值及百分比**

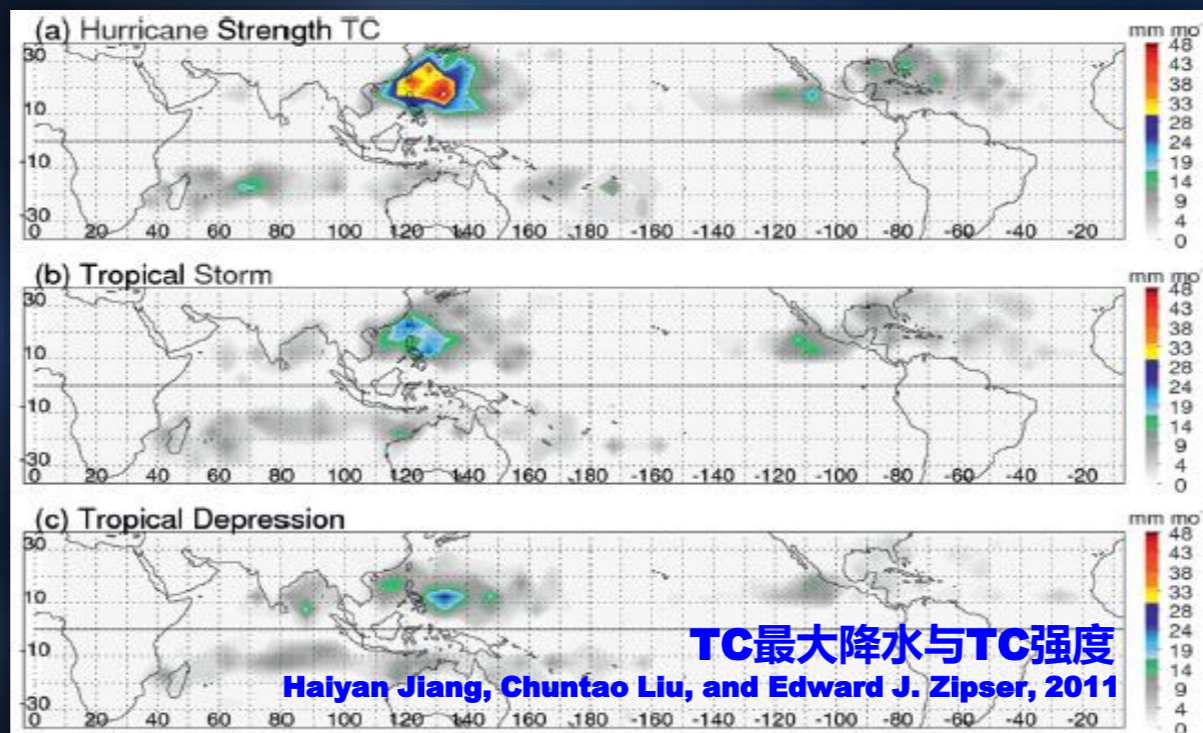
Haiyan Jiang, Chuntao Liu, and Edward J. Zipser, 2011

# 台风暴雨概况

- **TC rainfall climatology: Global view**

- ✓ **TC最大降水与TC强度**

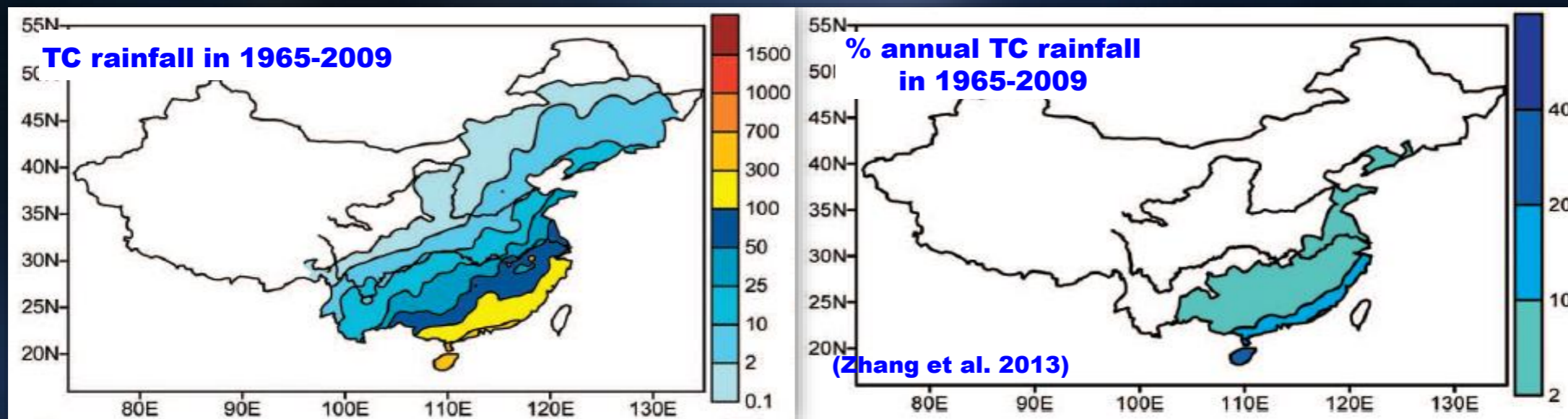
- **TCs of hurricane intensity** contribute the greatest amounts in **AL, EP, WP, SP**
- **TDs** contribute the most in **NI**
- **TSs** contribute the most in **SI**



# 台风暴雨概况

- **TC rainfall climatology: 中国大陆**

- ✓ **TC年降水量**

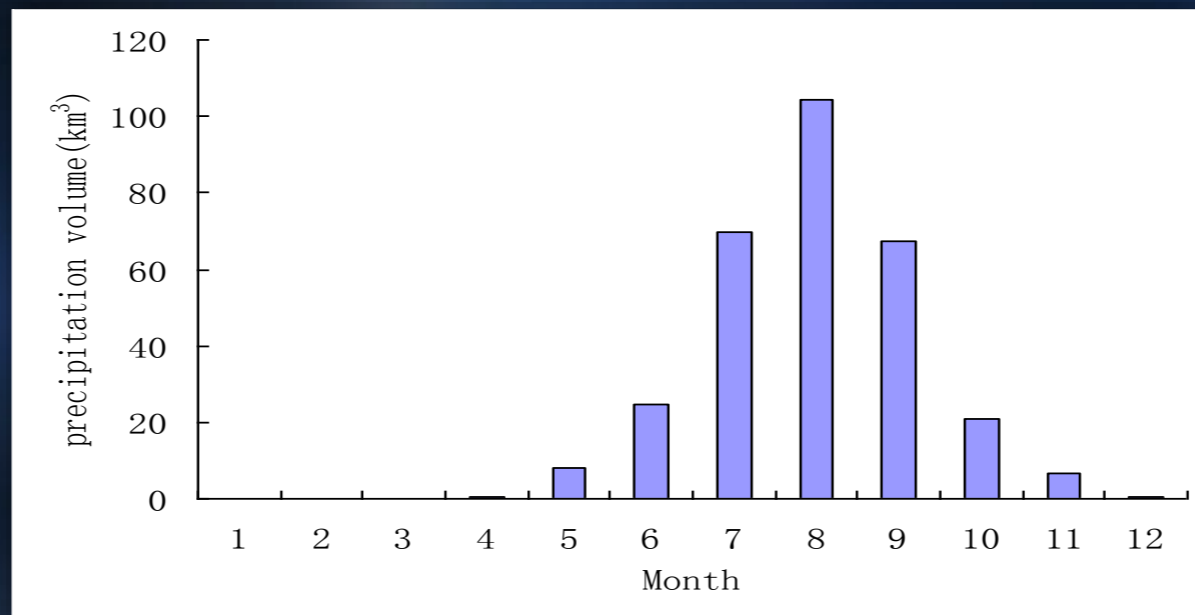


# 台风暴雨概况

## ● TC rainfall climatology: 中国大陆

### ✓ TC月际降水量 -- TC总降水量

- 4月份开始出现TC降水并逐渐增多
- 7-9月为降水丰沛期，最大降水总量出现在8月
- 9-10月降水迅速减少
- 11-12月仍出现一定的TC降水



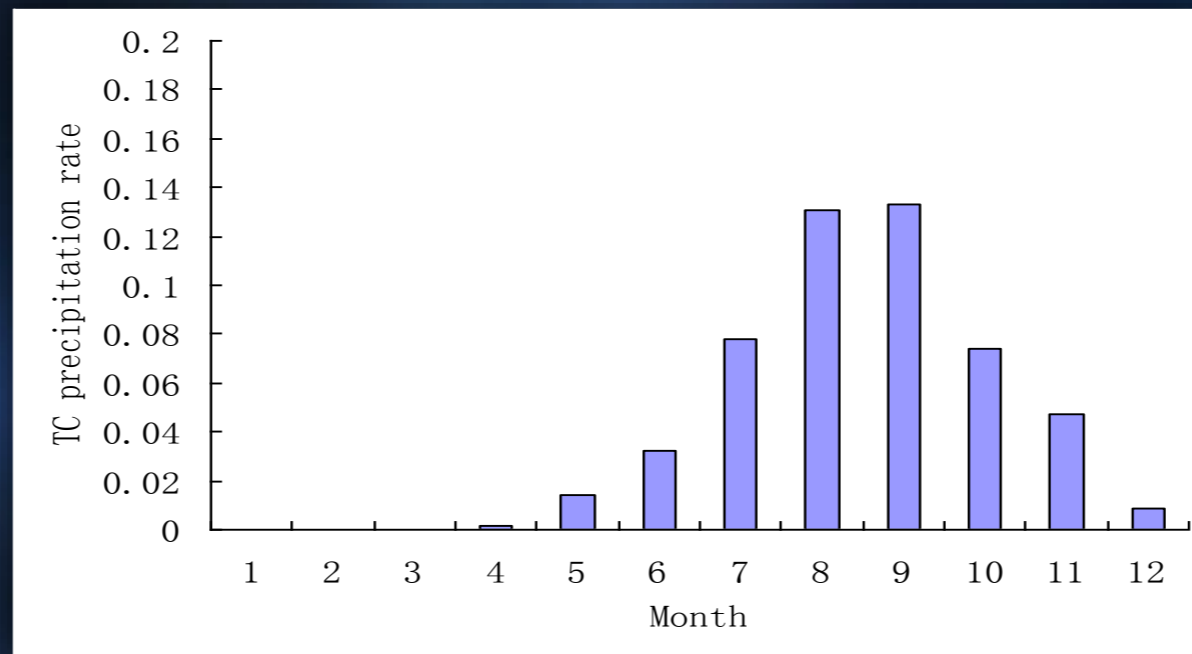
1951-2004年中国多年平均TC降水总量逐月分布

# 台风暴雨概况

## ● TC rainfall climatology: 中国大陆

### ✓ TC月际降水量 --- TC降水贡献率

- 7-10月为TC降水贡献率高值月
- 8-9月为峰值月，TC降水占总降水的比率分别为13.1%和13.3%



1951-2004年中国多年平均TC降水总量  
占总降水的贡献率逐月分布

# 台风暴雨概况

## ● TC rainfall climatology: 中国

### ✓ TC特大暴雨

- 我国多次特大致灾暴雨均由台风造成
- 特大暴雨台风年频数约**1.8个**，占登陆总数约**20%**
- 年际月际变化明显，主要出现在**6~10月**，**7~8月**最多，约占**60.5%**，**5月**和**11月**很少
- 高频区位于台、琼、粤、闽、浙和桂，台湾最多

我国24小时降雨量历史极值一览表

序号	24小时降雨量 (毫米)和地点	台风编号 台风名	登陆时间	登陆地点	登陆强度 (米/秒)
1	1748.5 台湾嘉义阿里山	9608 Herb	1996.07.31 1996.08.01	台湾基隆 福建福清	45 33
2	1672.6 台湾宜兰新寮	6718 Carla	1967.10.19	广东徐闻	23
3	1623.5 台湾嘉义阿里山	0908 莫拉克	2009.08.07 2009.08.09	台湾花莲 福建霞浦	40 33
4	1248.0 台湾白石	6312 Gloria	1963.09.12	福建连江	30
5	1201.5 台湾宜兰古鲁	0917 芭玛	2009.10.12	海南万宁	23
6	1151.9 台湾竹子湖	8719 Lynn	1987.10.28	广东珠海	12
7	1062 河南驻马店林庄	7503 Nina	1975.08.03 1975.08.04	台湾花莲 福建晋江	55 35

世界纪录：1825毫米（24小时）

Foc-Foc, La Reunion Island（留尼旺岛-法属岛屿）

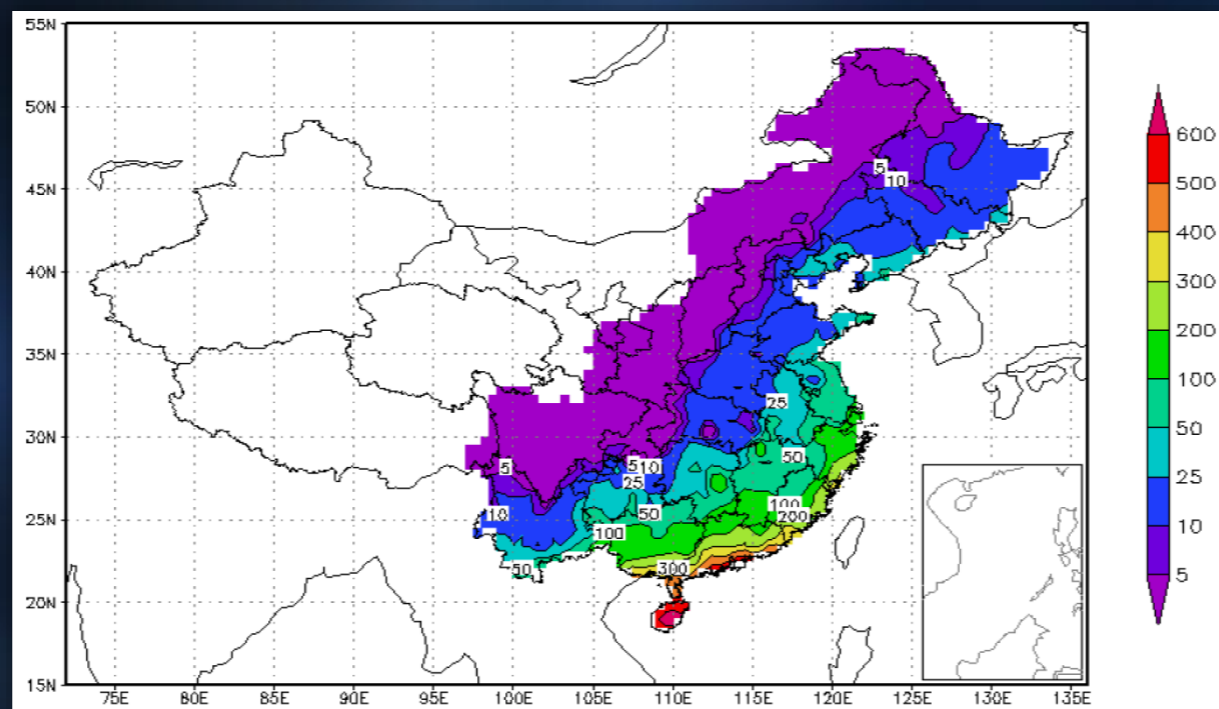
西南印度洋Cyclone Denise，1966年1月7-8日

# 台风暴雨概况

- **TC rainfall climatology: 中国**

- ✓ **台风年平均降雨量**

- 我国疆域一半以上面积可受到台风降雨影响，包括华南、华东、华北、东北、华中、西南及西北的小部分地区



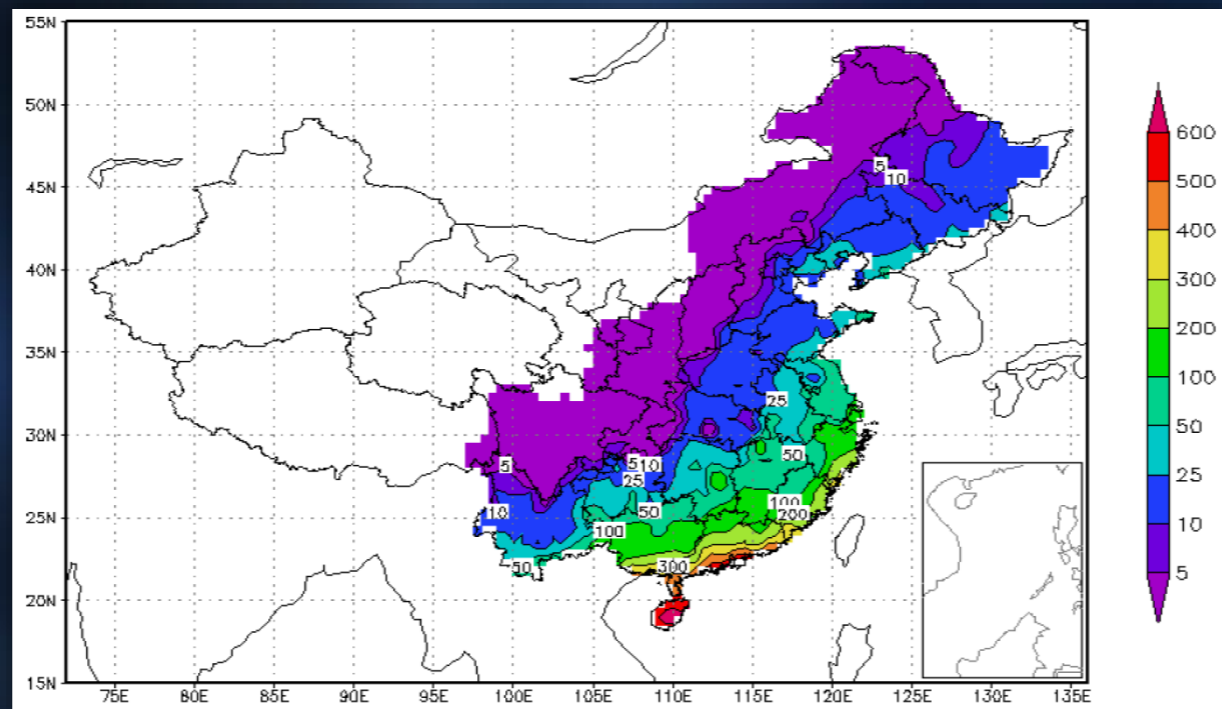
1949-2003年多年平均台风降雨量 (mm)

# 台风暴雨概况

## ● TC rainfall climatology: 中国

### ✓ 台风年平均降雨量

- 华南和东南沿海  $\geq 200\text{mm}$
- 海南和珠三角  $\geq 500\text{mm}$  , 海南  $\geq 700\text{mm}$
- 长江以南  $\geq 50\text{mm}$  , 长江以北 25~50mm



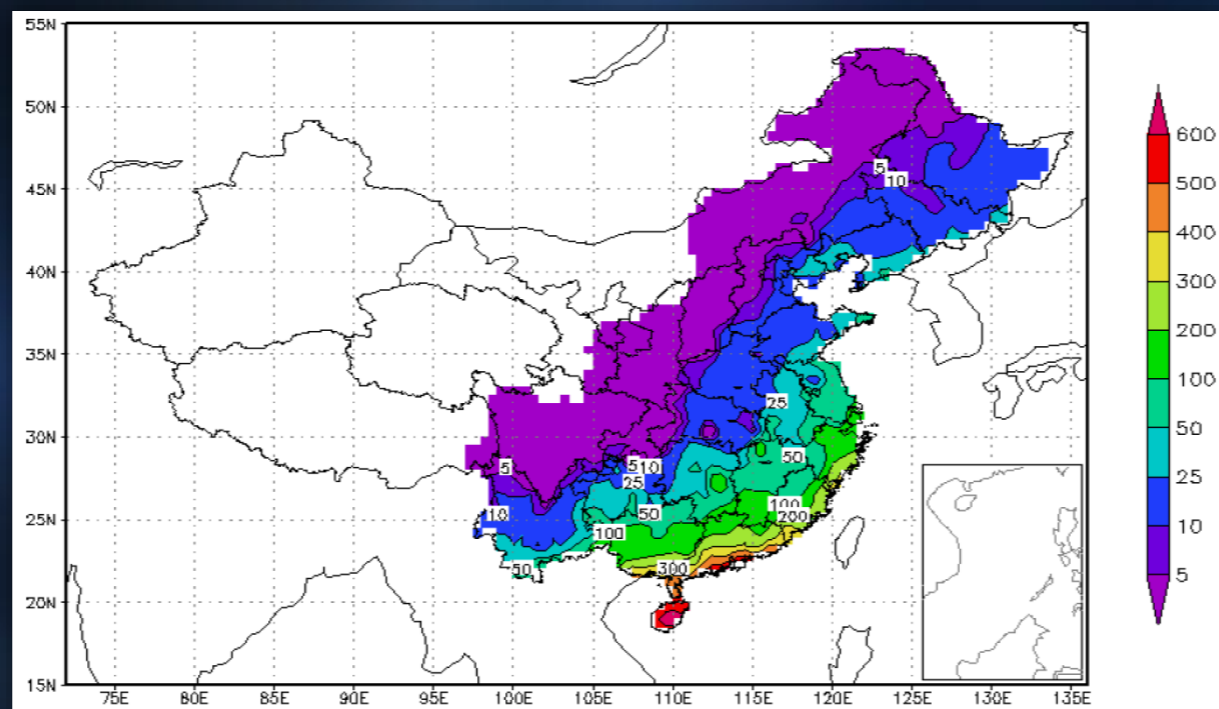
1949-2003年多年平均台风降雨量 (mm)

# 台风暴雨概况

## ● TC rainfall climatology: 中国

### ✓ 台风年平均降雨量

- 华南及东南沿海台风降雨量般占全年的10%以上
- 海南、雷州半岛、珠江口附近及广东东部沿海地区达30~40%



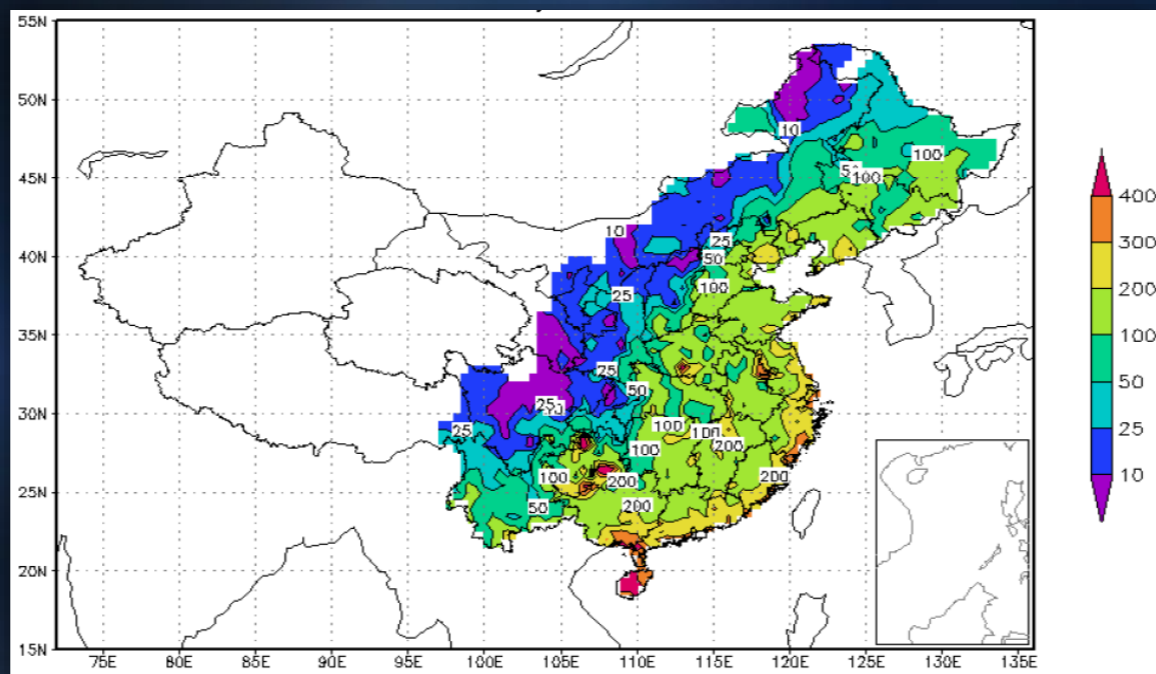
1949-2003年多年平均台风降雨量 (mm)

# 台风暴雨概况

## ● TC rainfall climatology: 中国

### ✓ 台风日降雨历史极值

- 华南、东南、华东和华北沿海  $\geq 200\text{mm}$
- 海南  $\geq 400\text{mm}$
- 内陆  $\leq 50\text{mm}$  , 其余大部  $\geq 100\text{mm}$



1949-2003年最大24小时台风降雨极值 ( mm )

# 台风暴雨概况

- **TC rainfall climatology: 中国**

- ✓ **台风平均最大过程降雨**

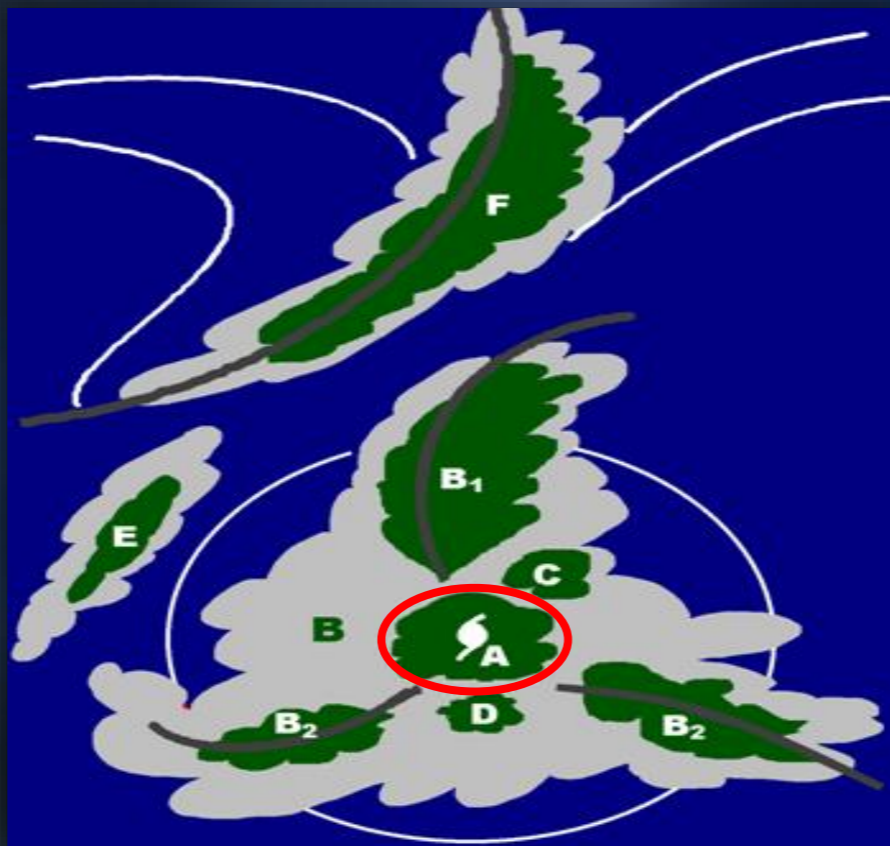
- **最大过程降雨出现在8~9月**
- **7~8月，强降雨站次最多**
- **登陆福建台风过程雨量最大，强降雨站次最多，浙江次之，均超过登陆台风最多的广东**
  - **华东两省沿海山脉地形近乎与海岸线平行，强烈地形辐合作用导致暴雨增幅**
  - **广东境内较高的山脉主要分布于南岭，沿海地区地势相对较低**

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台风核心区暴雨（图中A区域）



台风中的降雨系统

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台风核心区域暴雨（A）

台风核心区暴雨强度与其强度有关（陈瑞闪，2002）

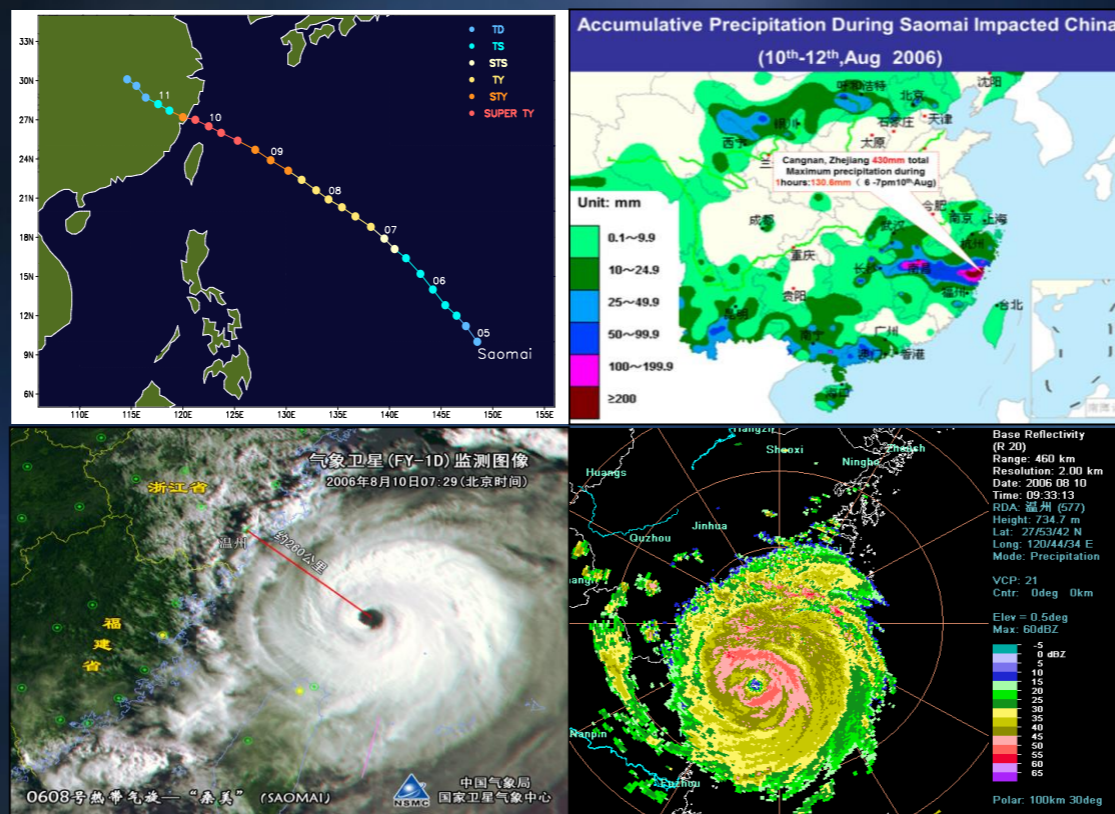
- 台风以上，雨量 > 300mm 概率0.452， > 600mm 概率0.129
- 强热带风暴，101~300mm，概率0.571
- 热带风暴，101~300mm，概率0.429
- 登陆点附近一般均有100mm以上降水，移速很快台风除外，如8304号台风Wayne和9615号台风Sally，登陆强度均很强，但移速很快，登陆点附近雨量仅50-60mm

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类 (陈联寿等, 2010)

- ✓ 台风核心区暴雨



台风个例 — 超强台风“桑美”(0608)

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 螺旋云带或外围暴雨（图中 $B_1$ 和 $B_2$ 区域）



台风中的降雨系统

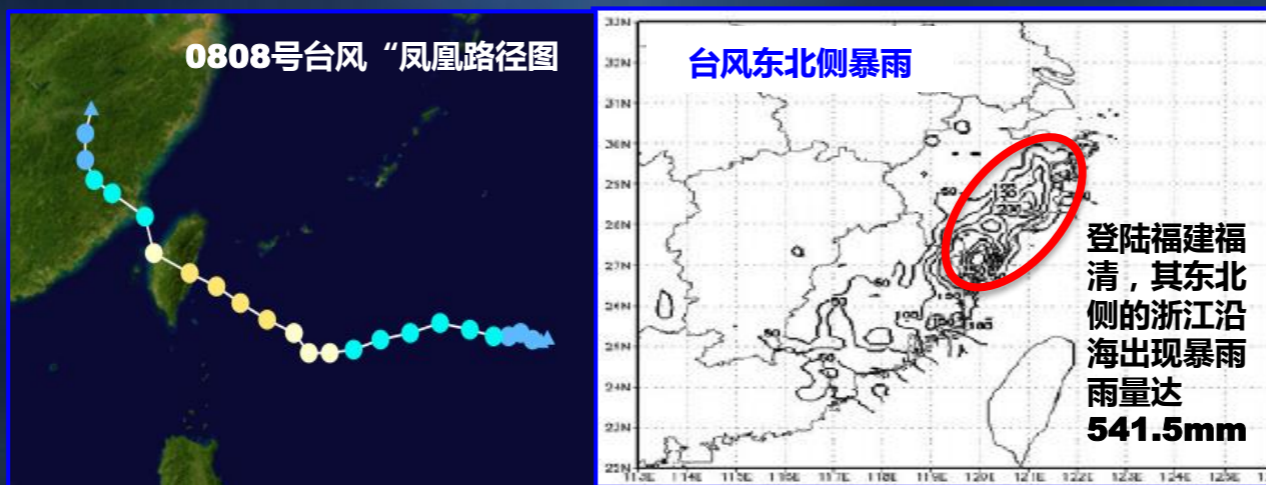
# 台风暴雨概况

## ● 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

✓ 螺旋云带或外围暴雨（图中B<sub>1</sub>和B<sub>2</sub>区域）

- 暴雨出现在台风倒槽（B<sub>1</sub>）或较强的风切变线附近（B<sub>2</sub>），可出现在台风东北侧、西-西北侧、东南侧和西南侧，暴雨落区与台风结构和环境场影响有关，
- **东北侧暴雨**：螺旋雨带主要是集中在台风前半部，后半部螺旋雨带较弱，登陆后雨势迅速减弱。



0808号台风“凤凰”路径（左）和7月28日08时至29日20时暴雨分布（右）

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

- 台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 螺旋云带或外围暴雨（图中B<sub>1</sub>和B<sub>2</sub>区域）

- 暴雨出现在台风倒槽（B<sub>1</sub>）或较强的风切变线附近（B<sub>2</sub>），可出现在台风东北侧、西-西北侧、东南侧和西南侧，暴雨落区与台风结构和环境场影响有关，
    - 东北侧暴雨：螺旋雨带主要是集中在台风前半部，后半部螺旋雨带较弱，登陆后雨势迅速减弱
    - 西南侧暴雨：台风后部有强西南气流伴随，台风前半圆螺旋雨带较弱，西南风急流携带大量暖湿水汽，为台风后部暴雨提供充沛水汽来源和不稳定能量

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

✓ 中小尺度系统或不稳定降水暴雨（图中C和D区域）



台风中的降雨系统

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

- 台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 中小尺度系统或不稳定降水暴雨

- 1519号台风“龙王” 2005年10月2日登陆厦门，其北侧福州地区出现罕见局地特大暴雨，引发严重山洪灾害和城市渍涝，造成重大人员伤亡和财产损失
    - 大暴雨分布在不到1万平方公里区域，24h累积降水最大达331mm
    - 此类暴雨预报难度很大，与冷空气侵入和地形作用有关



1519号台风“龙王”给福州带来的破坏

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

✓ 台前飚线暴雨（图中E区域）



台风中的降雨系统

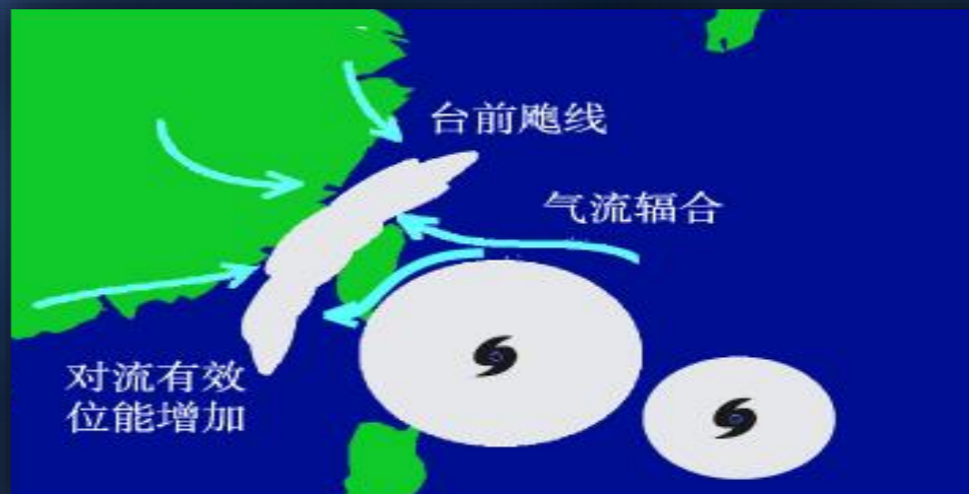
# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台前飚线暴雨

- 台风影响前，其前方100-200km处有辐合线存在
- 台风靠近，辐合线南侧的东南气流加强，辐合和不稳定能量加强，激发飚线发展和暴雨产生
- 低空强辐合和抬升、充沛水汽、强的不稳定层结是台前飚线生成的有利条件
- 触发机制为低层中尺度锋生、辐合或汇流，而非天气尺度强迫



台前飚线的形成

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

✓ 台风远距离暴雨（图中F区域）



台风中的降雨系统

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台风远距离暴雨

- 台风暴雨发生在台风范围外，距台风300km以上
- 暴雨与台风存在内在的物理联系
- 台风水汽通道在有利大气环流背景下与中纬度系统（西风槽、低涡、弱冷空气等）相互作用使中纬度地区暴雨突然增幅

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台风远距离暴雨

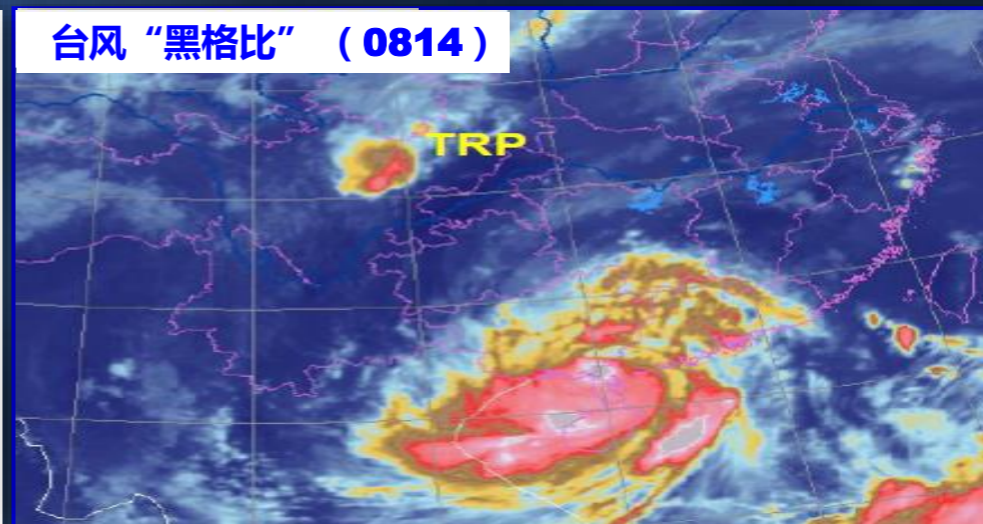
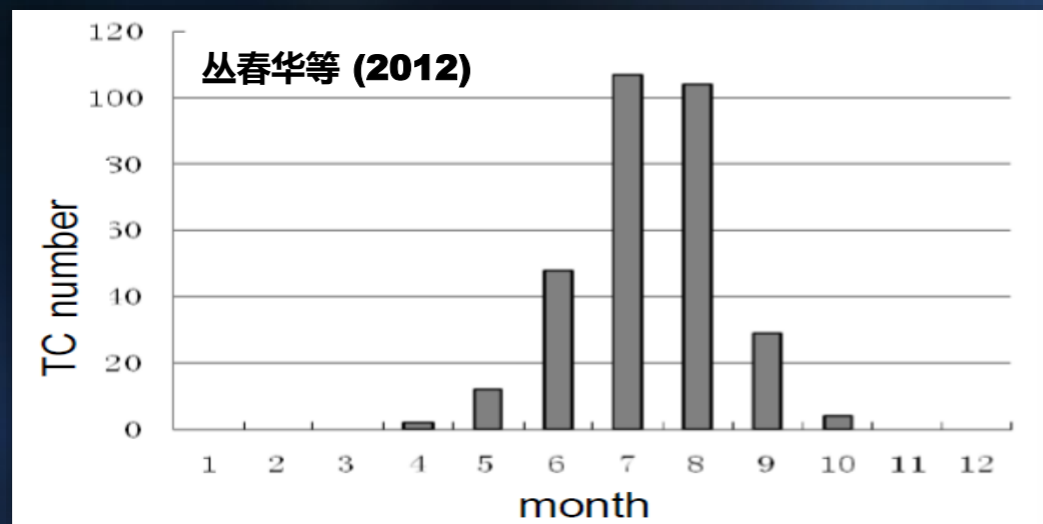
- 影响范围、持续时间，降水量往往不小于台风环流主体所经地区的雨量
- 有利大气背景下，任何台风均可引发远距离暴雨
- 近海或登陆台风减弱后的气旋性环流，有时也可产生远距离暴雨，且往往因台风强度减弱，对其降水影响估计不足，易造成暴雨漏报

# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台风远距离暴雨 – 月际分布

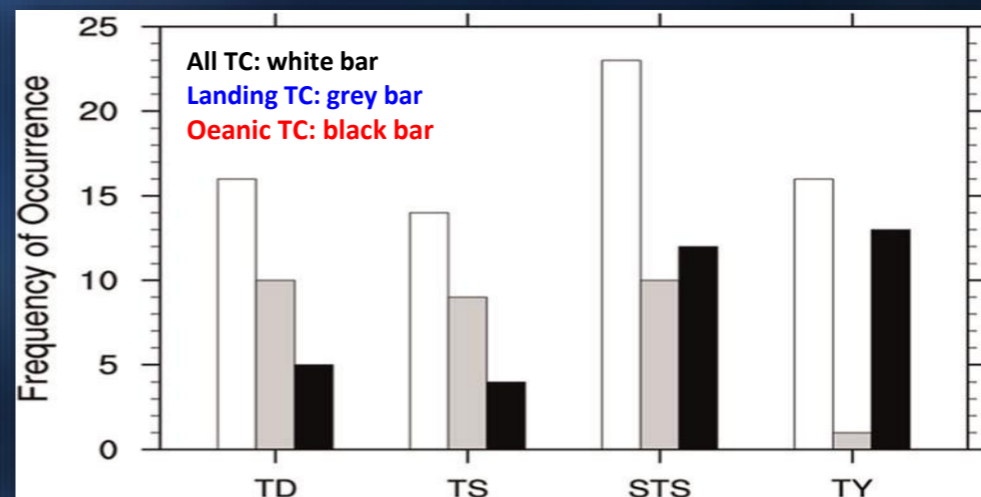
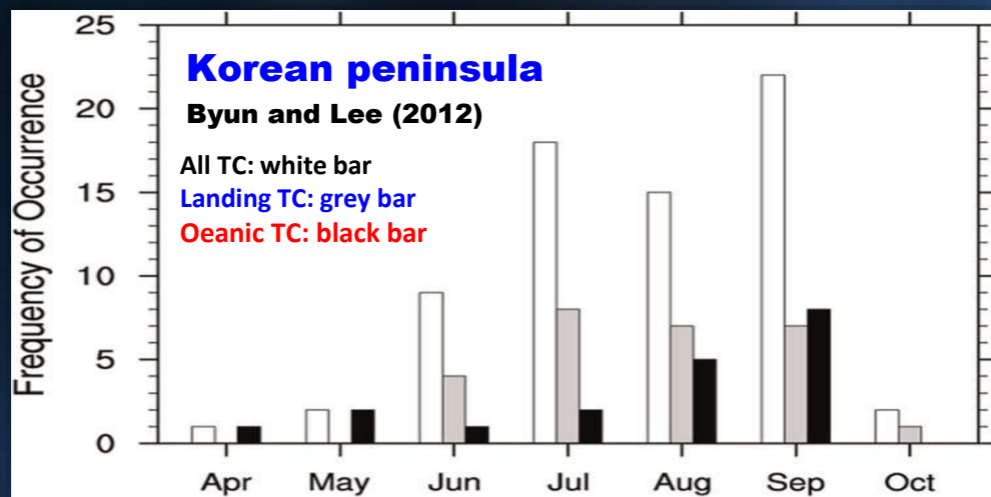


# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台风远距离暴雨 —— 韩国



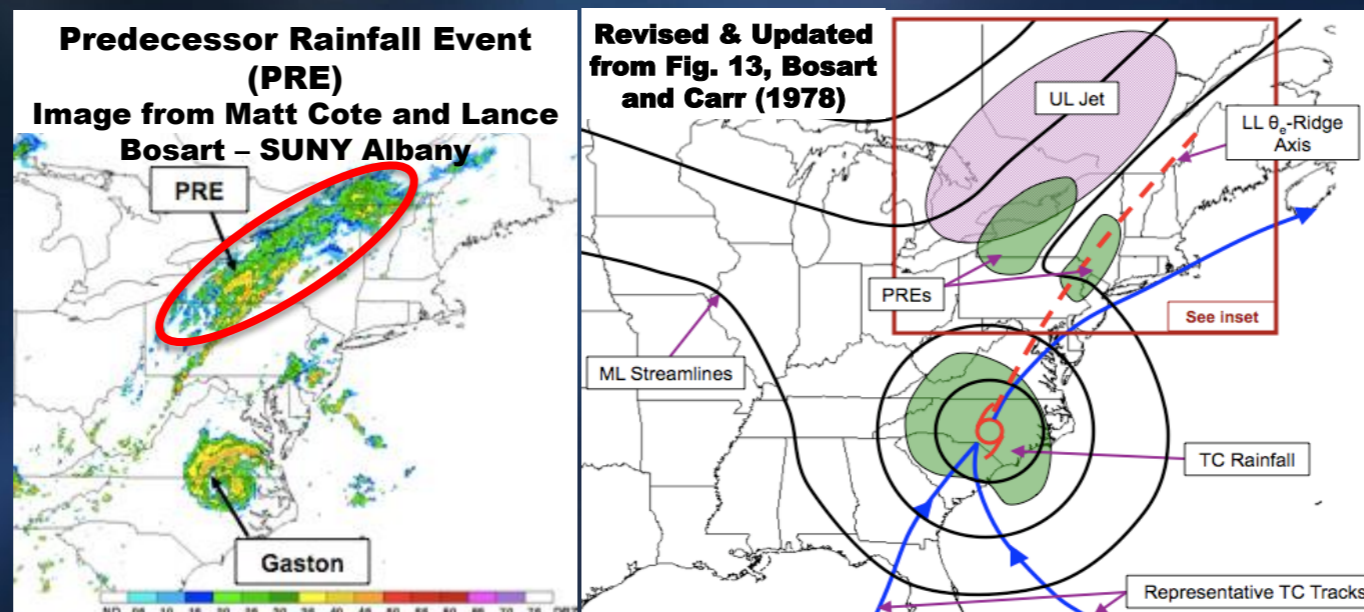
# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台风远距离暴雨

-- Predecessor Rainfall Events (PREs) in USA



- Moisture transport well ahead of TC itself
- Coherent area of rain displaced north of the TC (near a front or over terrain)

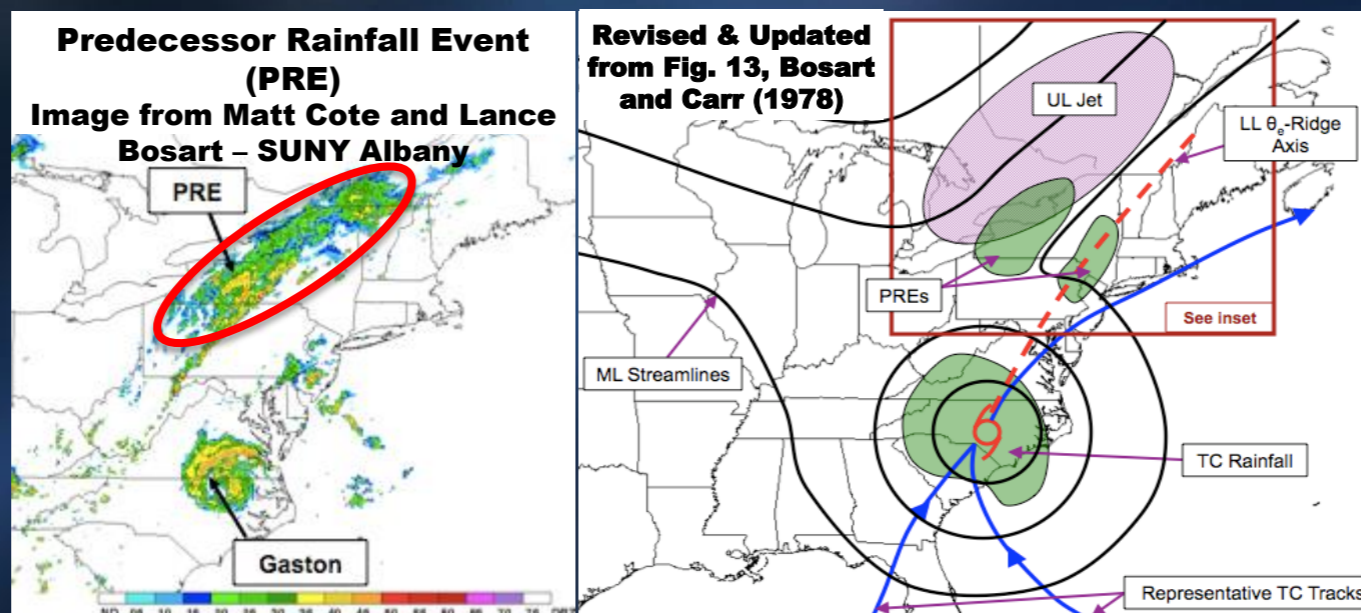
# 台风暴雨概况

- 台风暴雨的基本类型

台风暴雨可分六类（陈联寿等，2010）

- ✓ 台风远距离暴雨

-- Predecessor Rainfall Events (PREs) in USA

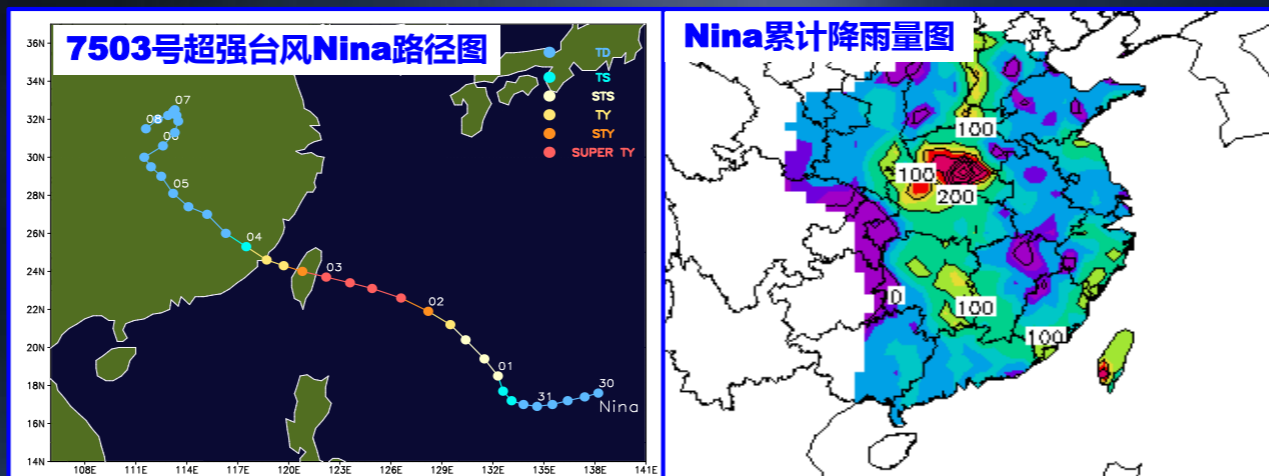


- Maximum rainfall rates can exceed 200mm in 24h
- Occurs for approximately 1 of 3 landfalling TCs in U.S.

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ “75.8” 特大暴雨

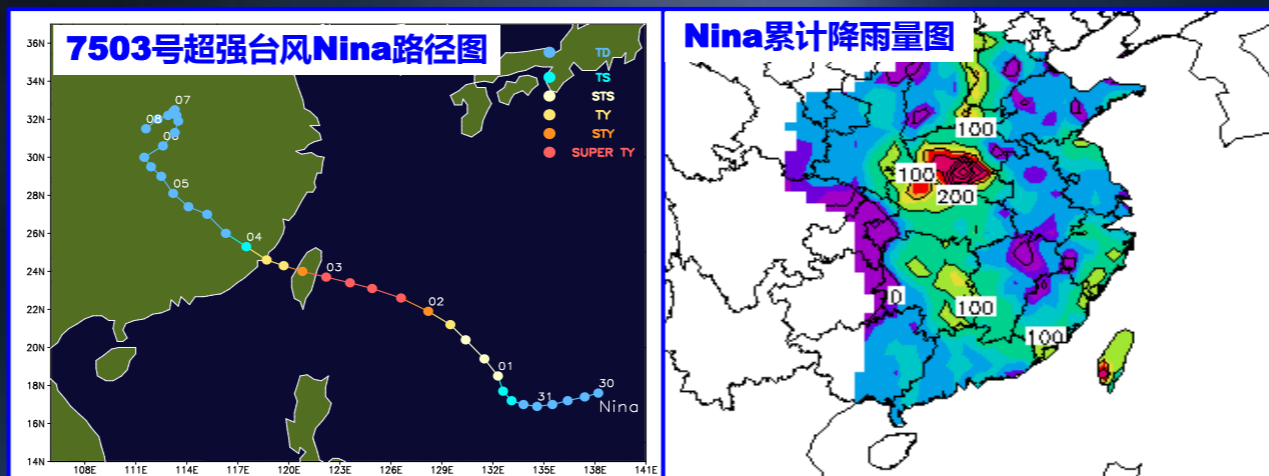


- 我国大陆24小时雨量最大记录，河南驻马店林庄过程雨量 1631mm，24h雨量1062mm
- 河南驻马店板桥和石漫滩2座大型水库、竹沟和田岗2座中型水库及58座小型水库垮坝溃决

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ “75.8” 特大暴雨



- 河南29个县市1100万人受灾，1700万亩农田被淹，超过2.6万人罹难，房屋倒塌596万间，京广铁路遭冲毁102公里，中断行车18天
- 经济损失近百亿元，为世界最大水库垮坝惨剧

# 台风暴雨概况

## ● 极端暴雨个例

### ✓ “75.8” 特大暴雨

- 喇叭口地形、变性作用、中小尺度系统（含龙卷）、饱和湿地反馈以及高空辐散等的共同作用
- 一个弱的热带低压可以下比超强台风更大的雨
- 登陆台风残涡（**Remnant**）在陆上的维持不消和停滞，常常潜伏着特大暴雨的危险



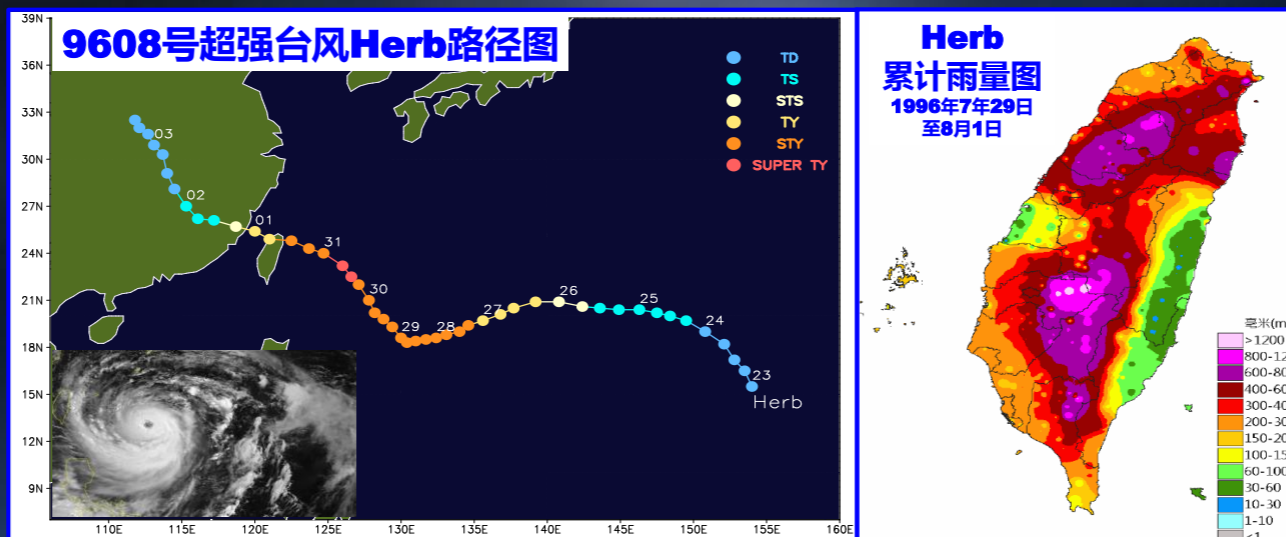
被洪水冲垮的桥水库大坝

被洪水冲毁的京广铁路

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 台风Herb ( 9608 )

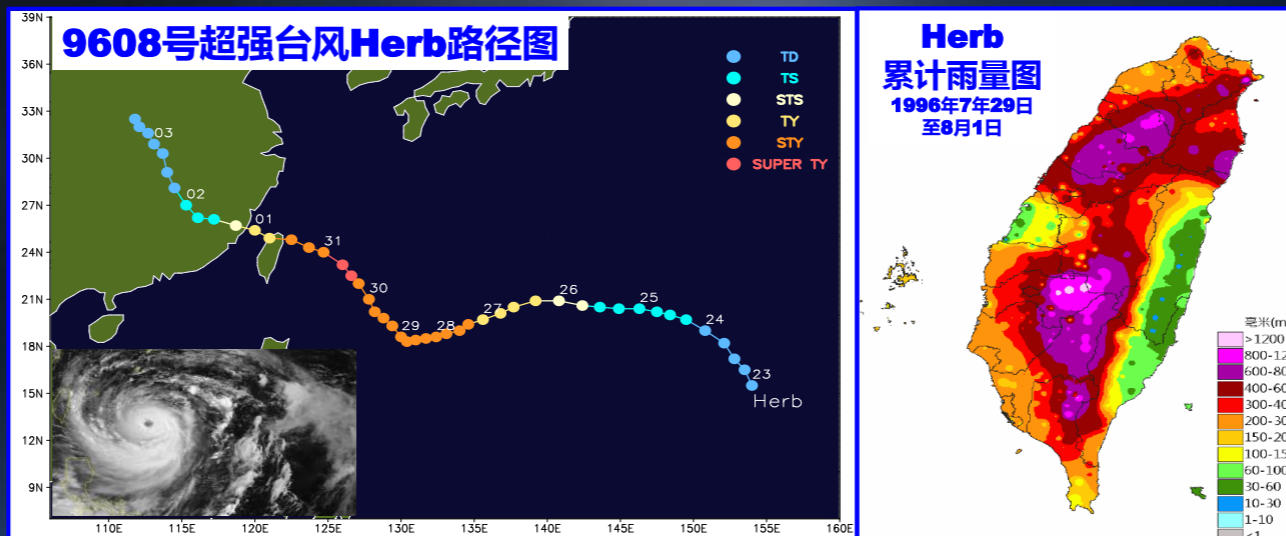


- 典型的“西北台”，1996年7月31日登陆台湾基隆，登陆时中心附近最大风速有45米/秒，中心附近最低气压950hPa
- 7月31日至8月1日，台湾南投、阿里山及桃竹苗雨量超过1000mm，阿里山降雨量1987.0mm

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 台风Herb ( 9608 )

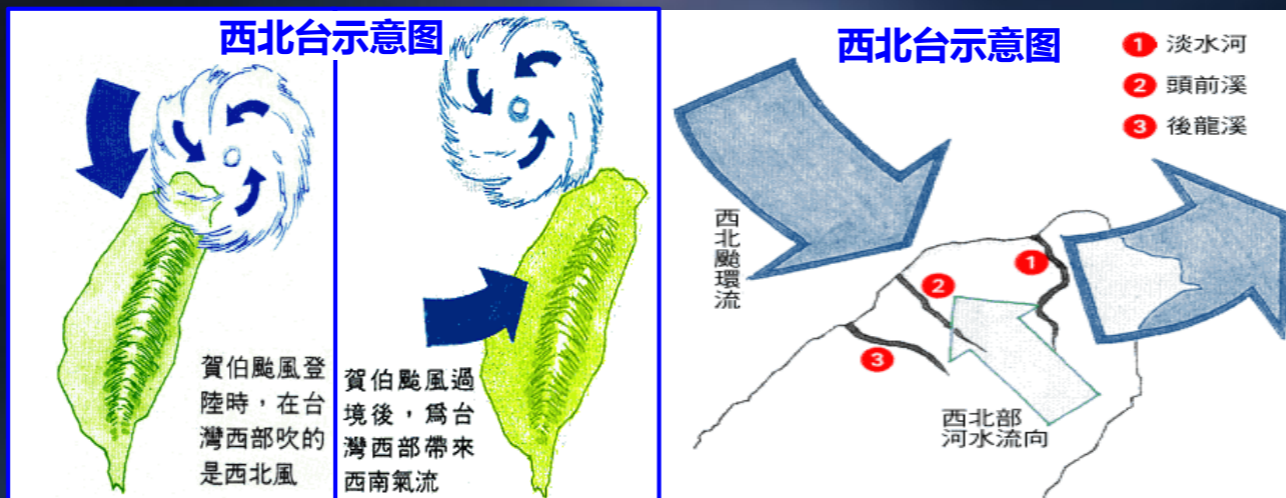


- 阿里山24h雨量达**1748.5mm**，为我国日降雨量第**1极值**，逼近1966年南印度洋热带气旋**Denise**创下的**1825mm**的世界纪录
- 台湾南投山区及阿里山地区遭受重创，全台因灾死亡或失踪**73人**

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 台风Herb ( 9608 ) --- 西北台

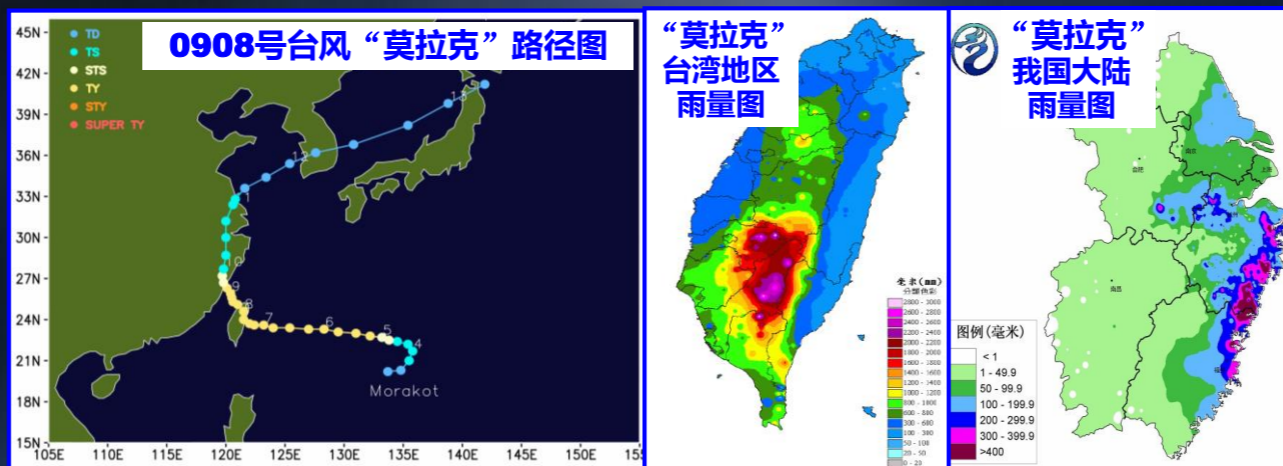


- “西北台”指台风从台湾以东海面向西北方向移动，中心通过基隆与彭佳屿间海面，台湾北部及西部多吹西北风，受地形影响，台湾北部及中部易出现剧烈强降雨，又因风向与海岸线垂直，使积水不易退去，甚至引起海水倒灌，常导致台湾地区出现严重风灾与水患
- 由于吹的是西北风故称为“西北台”

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 2009年“莫拉克”（0908）风灾

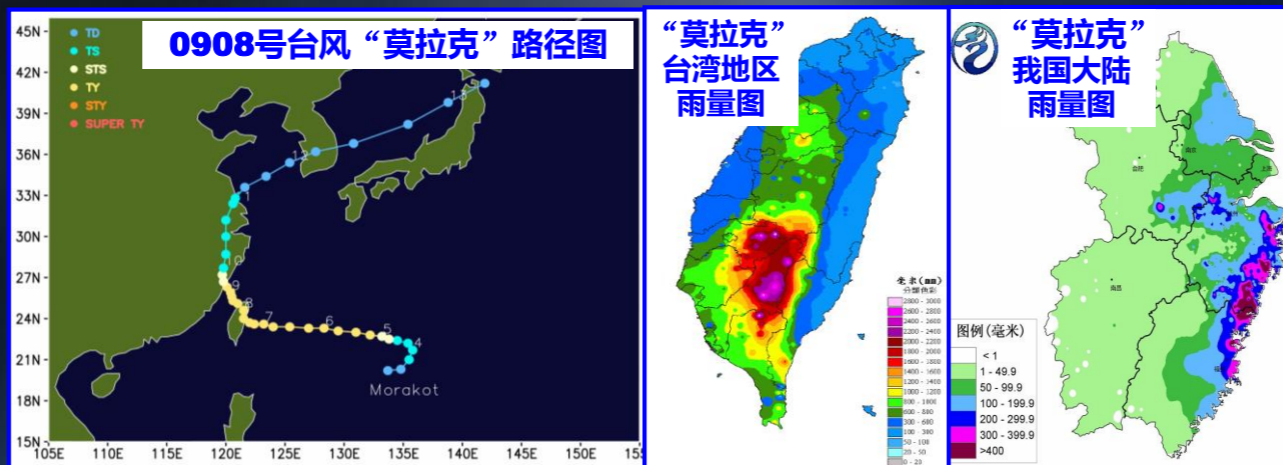


- 台湾中南部和东部出现极端强降雨，阿里山6天（8月5日至10日）累计雨量达3059.5mm，**24h最大日降雨1623.5mm**，为我国日降雨量的第三极值
- 台湾南部和东部出现50年来最严重的水灾，高雄甲仙乡小林村等4个村遭泥石流淹没，全台因灾死亡或失踪699人

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 2009年“莫拉克”（0908）风灾

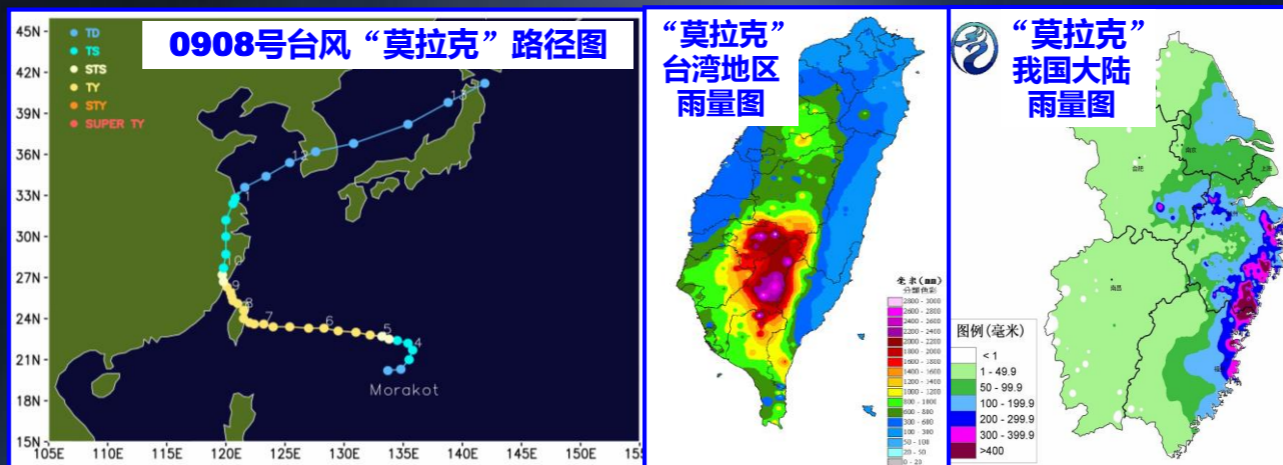


- 闽东、浙、苏中南及皖南暴雨或大暴雨，局地特大暴雨，浙江泰顺九峰和福建柘荣乍洋雨量达1250和734.4mm，九峰24h雨量高达750mm
- 浙江泰顺九峰、福建柘荣乍洋过程雨量均超两省最高记录

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 2009年“莫拉克”（0908）风灾

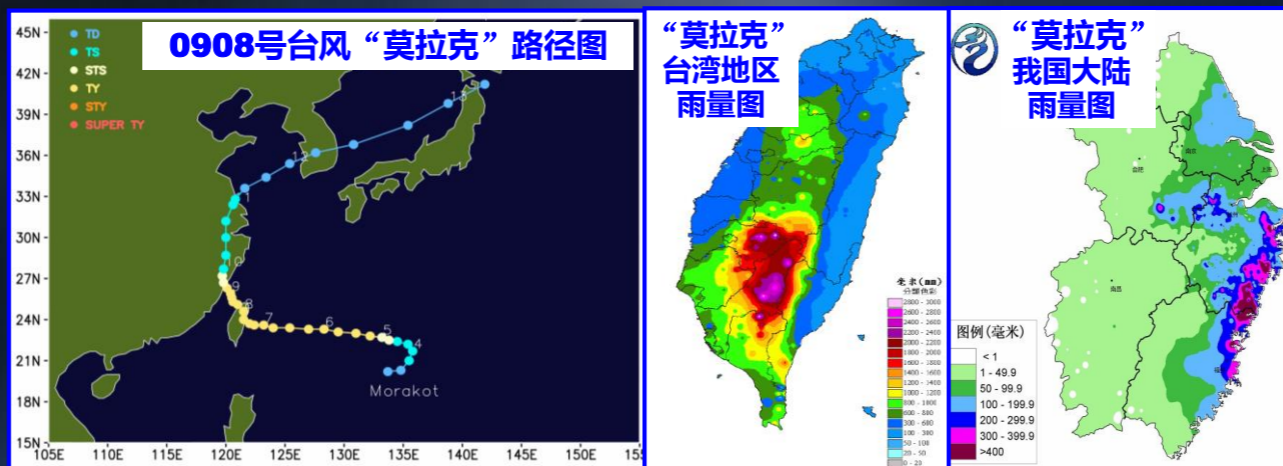


- “莫拉克”主要特点是登陆台湾前后移速突然减慢，移向北折，雨量极大，这与西南季风以及台湾地形有关
- “莫拉克”与“天鹅”相互作用是其发生突变现象的重要原因

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 2009年“莫拉克”（0908）风灾



- “莫拉克”台湾岛及附近海域停滞少动的主要原因

- ① 登陆台湾岛前后，东西两侧均为强大反气旋所控制，东西两侧高压掣肘，引导气流偏弱
- ② 受0907号台风“天鹅”和其东侧新生成的热带低压（0909号台风“艾涛”）制约

# 台风暴雨概况

## ● 极端暴雨个例

### ✓ 2009年“莫拉克”（0908）风灾

“莫拉克”风灾前的小林村



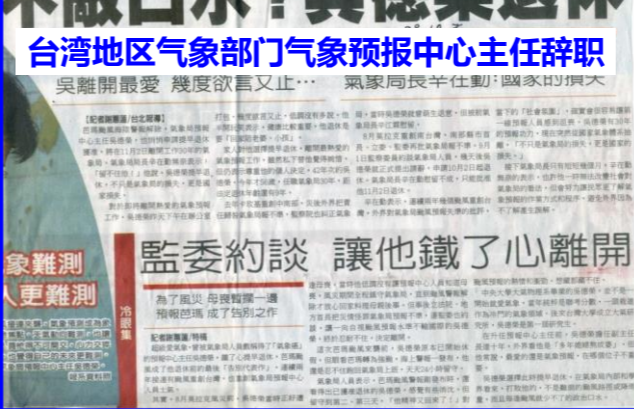
“莫拉克”风灾过后的小林村



台湾地区领导人道歉



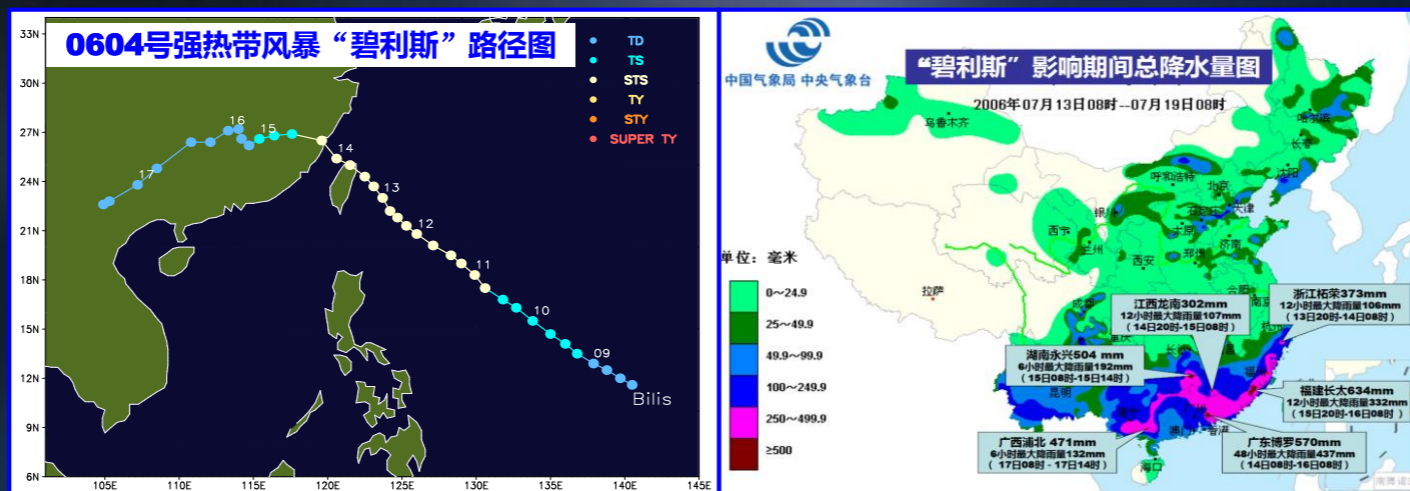
不敞口水？吳德榮退休



# 台风暴雨概况

## ● 极端暴雨个例

### ✓ 2006年南方大水 -- 强热带风暴“碧利斯” (0604)

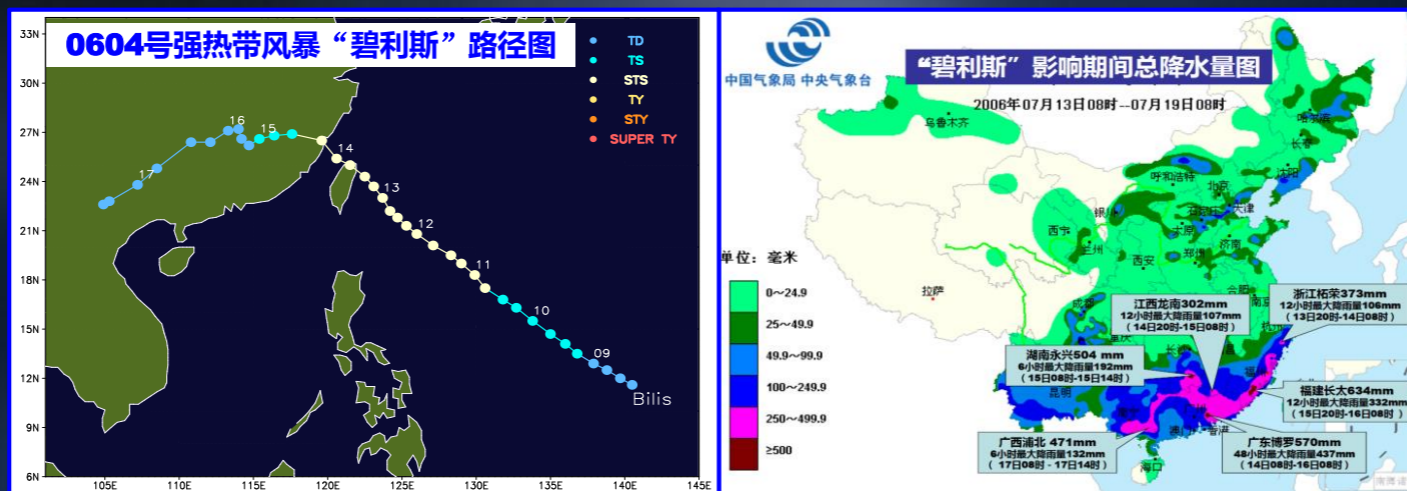


- 7月13-19日, 台、闽、浙、赣、湘、粤、桂等省(区)普遍出现强降雨, 福建长泰、广东潮州凤凰镇和博罗、湖南永兴以及广西浦北过程雨量分别达634、597.7、570、504和471mm, 湖南宜章、郴州和永兴以及广西浦北、金秀和阳朔24h日降雨量分别为220.7、217.8、216.4、376.0、289.0和194mm, 均刷新历史记录

# 台风暴雨概况

## ● 极端暴雨个例

### ✓ 2006年南方大水 -- 强热带风暴“碧利斯” (0604)

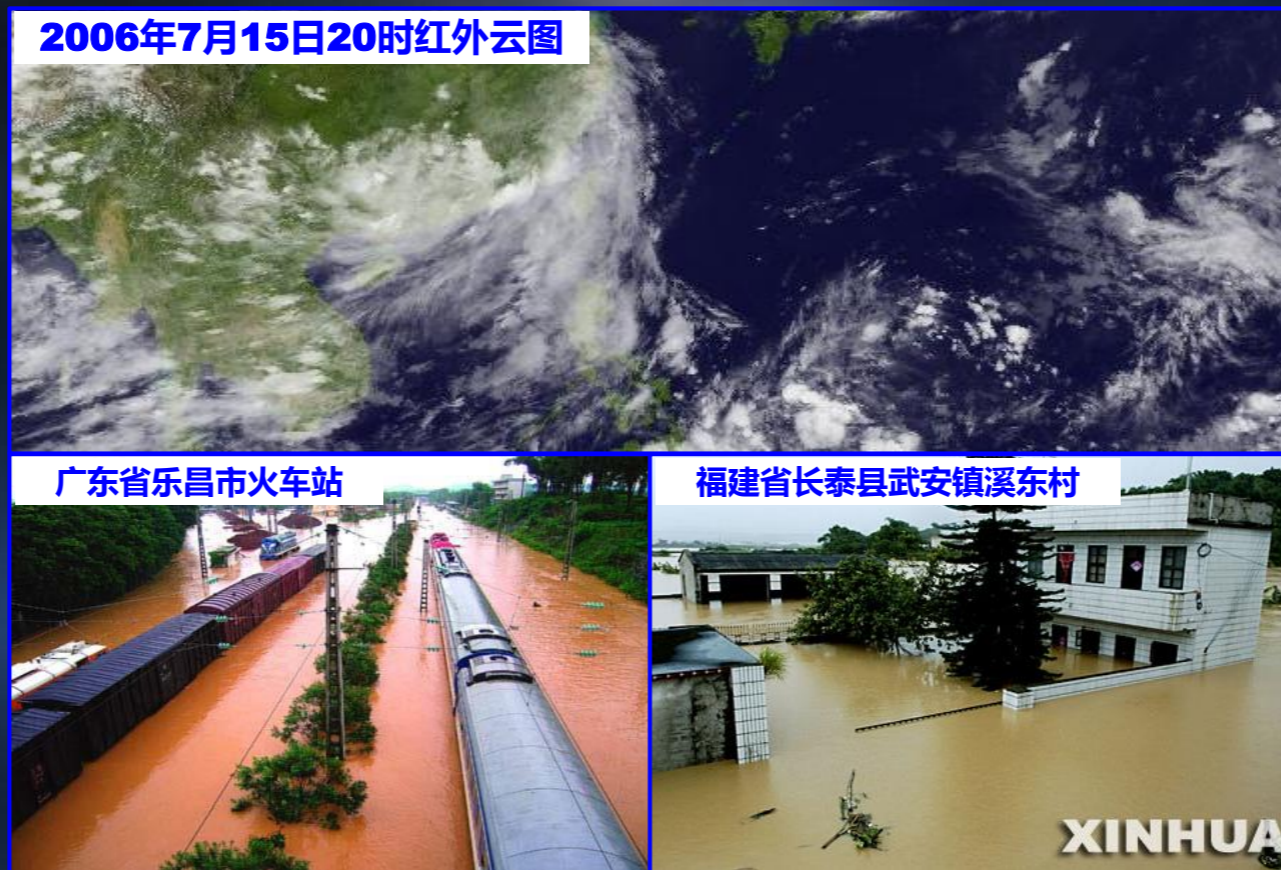


- 闽、粤、湘、桂、浙、赣等省**3194.04**万人受灾，因灾死亡**843**人（湖南**526**人），经济损失达**348.29**亿元

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 强热带风暴“碧利斯”(0604) -- 2006年南方大水

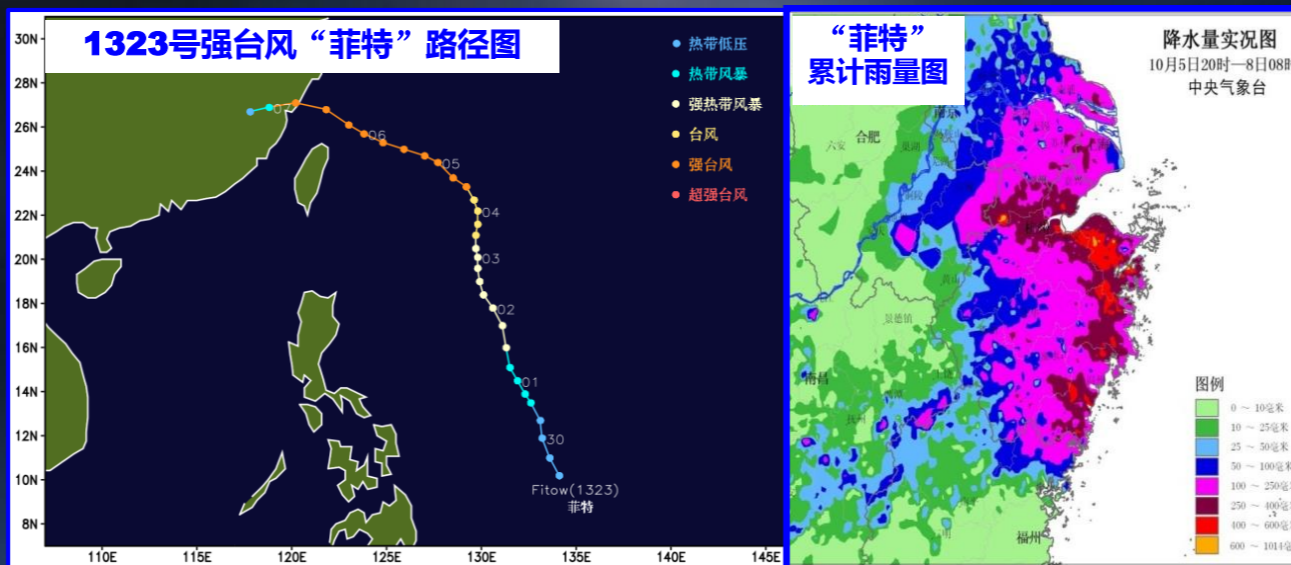


- “碧利斯”登陆后转向偏西或西南方向移动，与西南季风涌（**Monsoon Surge**）相互作用获得水汽潜热能量，陆上维持不消，致使我国华南和江南南部出现持续性强降雨

# 台风暴雨概况

## ● 极端暴雨个例

### ✓ 1323号强台风“菲特”(1323) -- 浙江余姚水灾

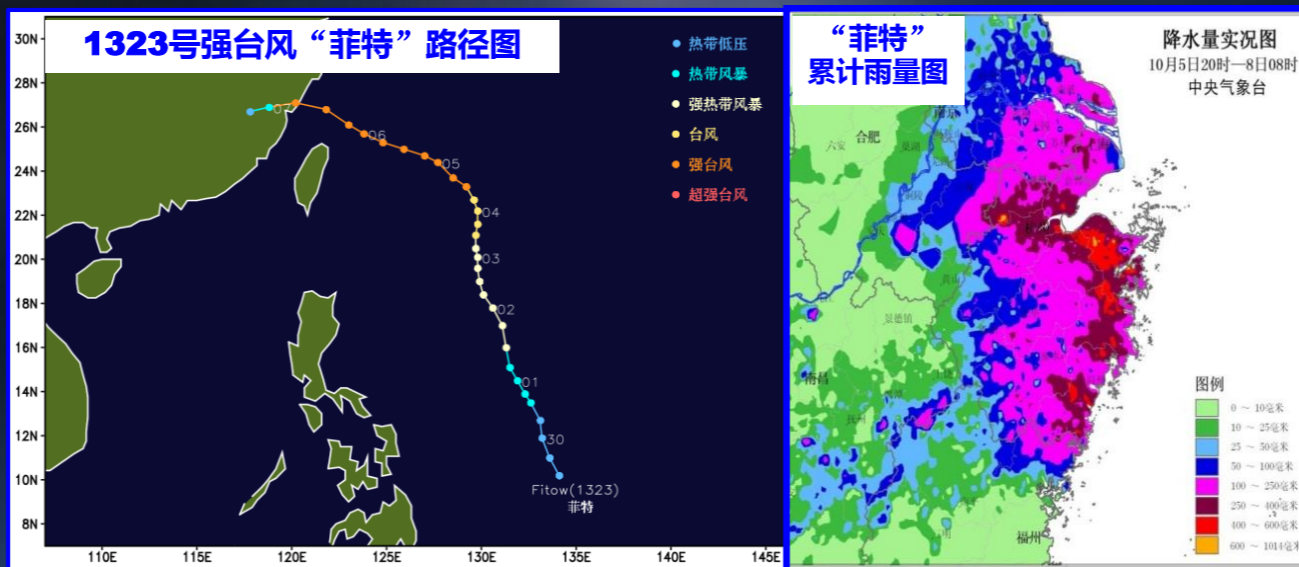


- 10月5日20时至8日8时，苏东南、沪、浙北、浙东、闽东北降雨200-350mm，浙北和浙东部分地区400-600mm，浙江安吉天荒坪达1014mm、象山黄泥桥778mm
- 7日浙江省日平均雨量达149mm，为有记录以来的最大日平均雨量

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ **1323号强台风“菲特”(1323) -- 浙江余姚水灾**



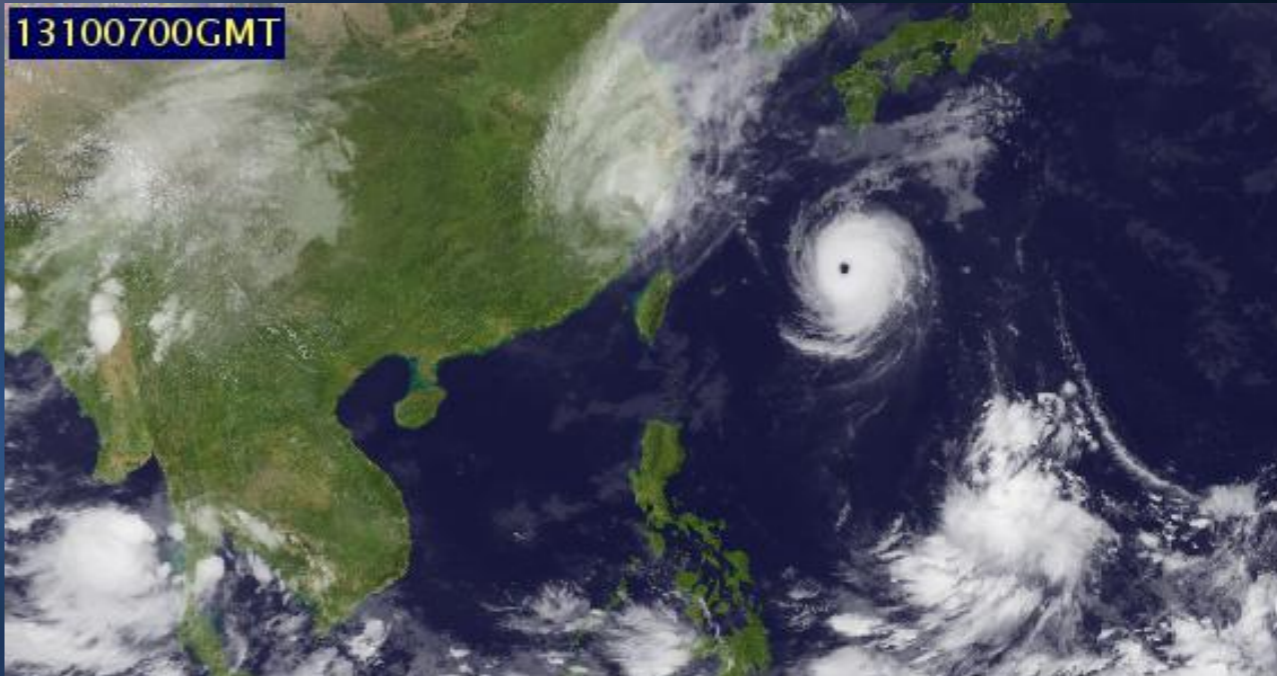
- 浙江奉化、余姚、上虞、慈溪、绍兴、杭州、宁波、湖州、瑞安等13个县（市、区）日雨量均破当地纪录，奉化日降水量397mm、余姚394mm，超百年一遇，杭州日降水量246mm，重现期为150年
- 双台风、偏东气流、冷空气等

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ **1323号强台风“菲特”(1323)** -- 浙江余姚水灾

余姚“大水围城”

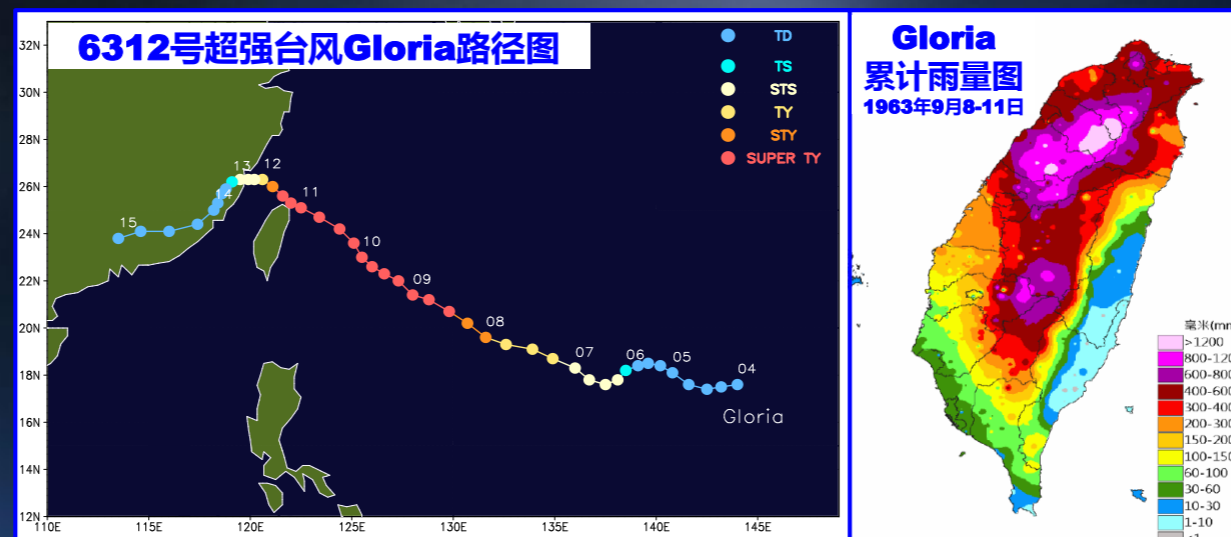


- 浙江奉化、余姚、上虞、慈溪、绍兴、杭州、宁波、湖州、瑞安等13个县（市、区）日雨量均破当地纪录，奉化日降水量397mm、余姚394mm，超百年一遇，杭州日降水量246mm，重现期为150年
- 台风本体以及双台风、偏东气流、冷空气等共同影响

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 非登陆台风极端降雨事件 --- 台风Gloria ( 6312 )

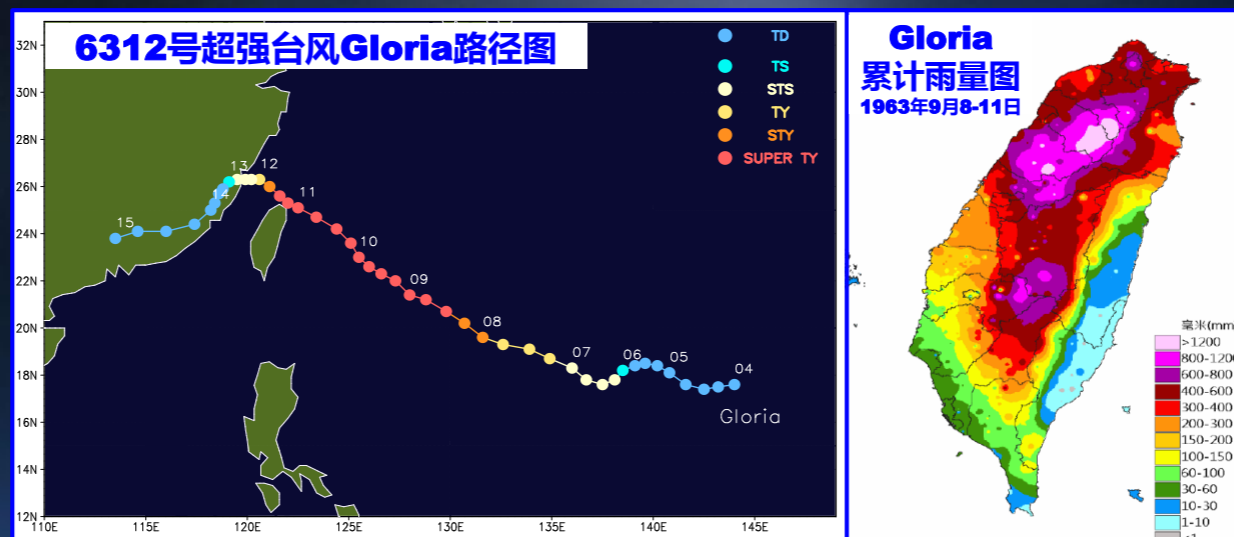


- 台湾中北部过程雨量达1700~1800mm，阿里山达1774mm，白石24h雨量1248mm，为我国日降雨量的第4极值

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 非登陆台风极端降雨事件 --- 台风Gloria ( 6312 )

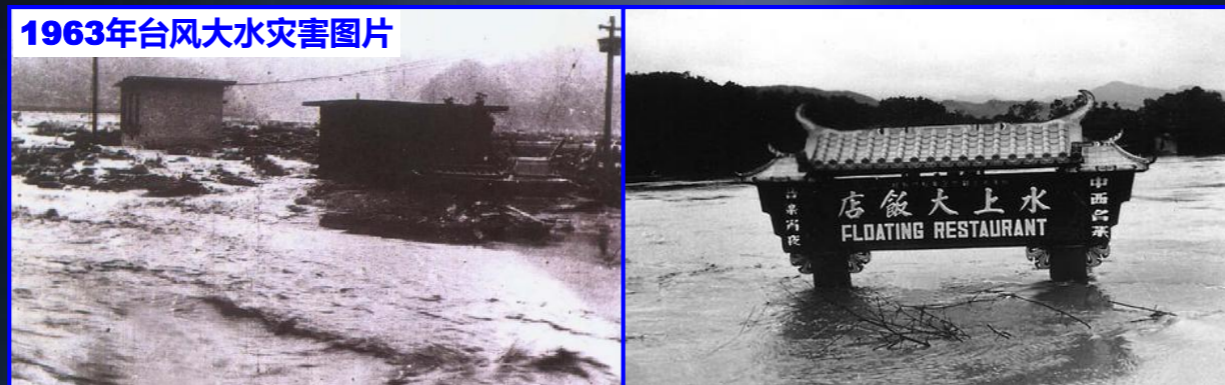


- 典型的“西北台”，虽未登陆台湾北部，风力也未对台湾地区造成严重灾害，但受地形和西南急流作用，台湾北部雨量超乎寻常，比多数登陆超强台风的大暴雨强得多，不能忽视不登陆台风的降雨

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 非登陆台风极端降雨事件 --- 台风Gloria ( 6312 )

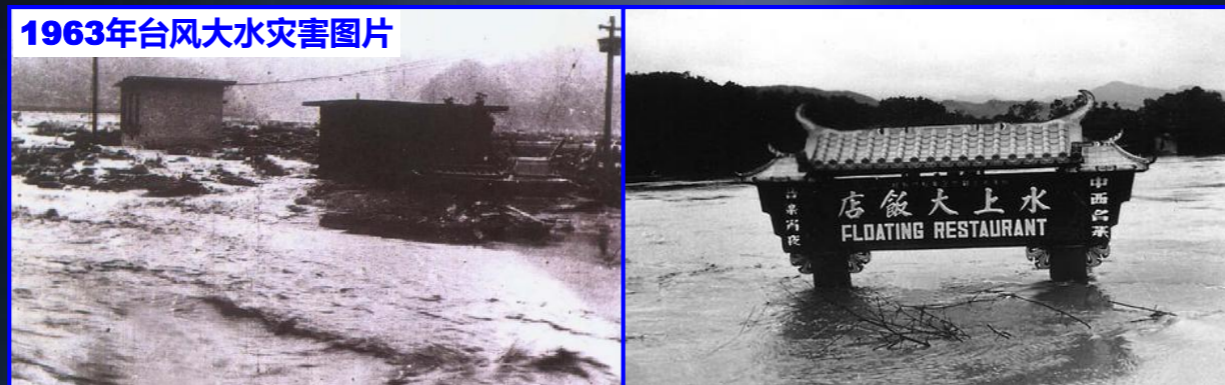


- 台湾北部发生特大洪水，因灾死亡或失踪**540**人，失踪**312**人
- **1945**年以来台湾地区仅次于**1999**年“**9.21**”大地震（**2360**人死亡或失踪）、**1959**年“**8.7**”水灾（**1075**人死亡或失踪）和**2009**年“莫拉克”风灾（**699**人死亡或失踪）的自然灾害

# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 非登陆台风极端降雨事件 --- 台风Gloria ( 6312 )

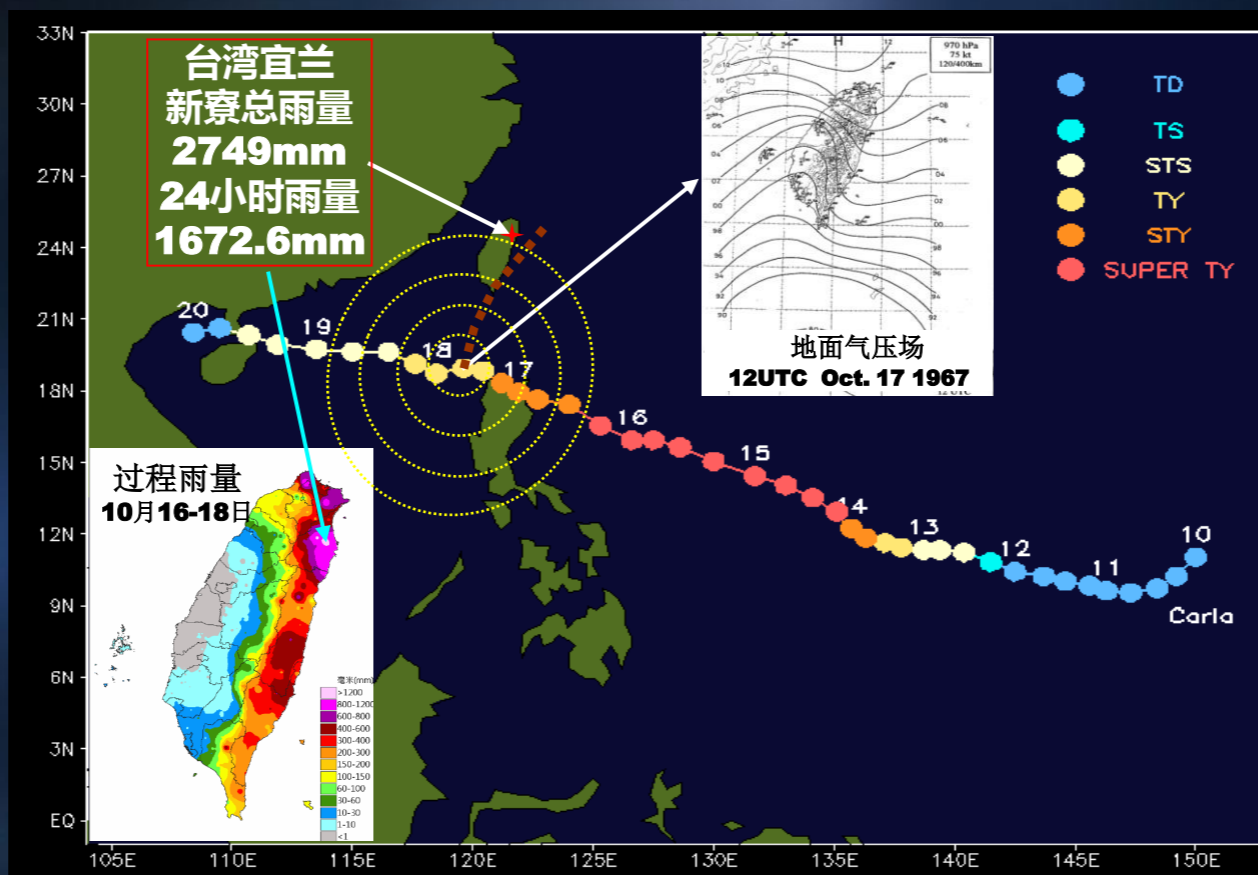


- 原台湾气象所（台湾中央气象局）所长郑子政台风官司与辞职风波及美国气象界对台风预报问题的声明和对郑子政的声援

# 台风暴雨概况

## ● 极端暴雨个例

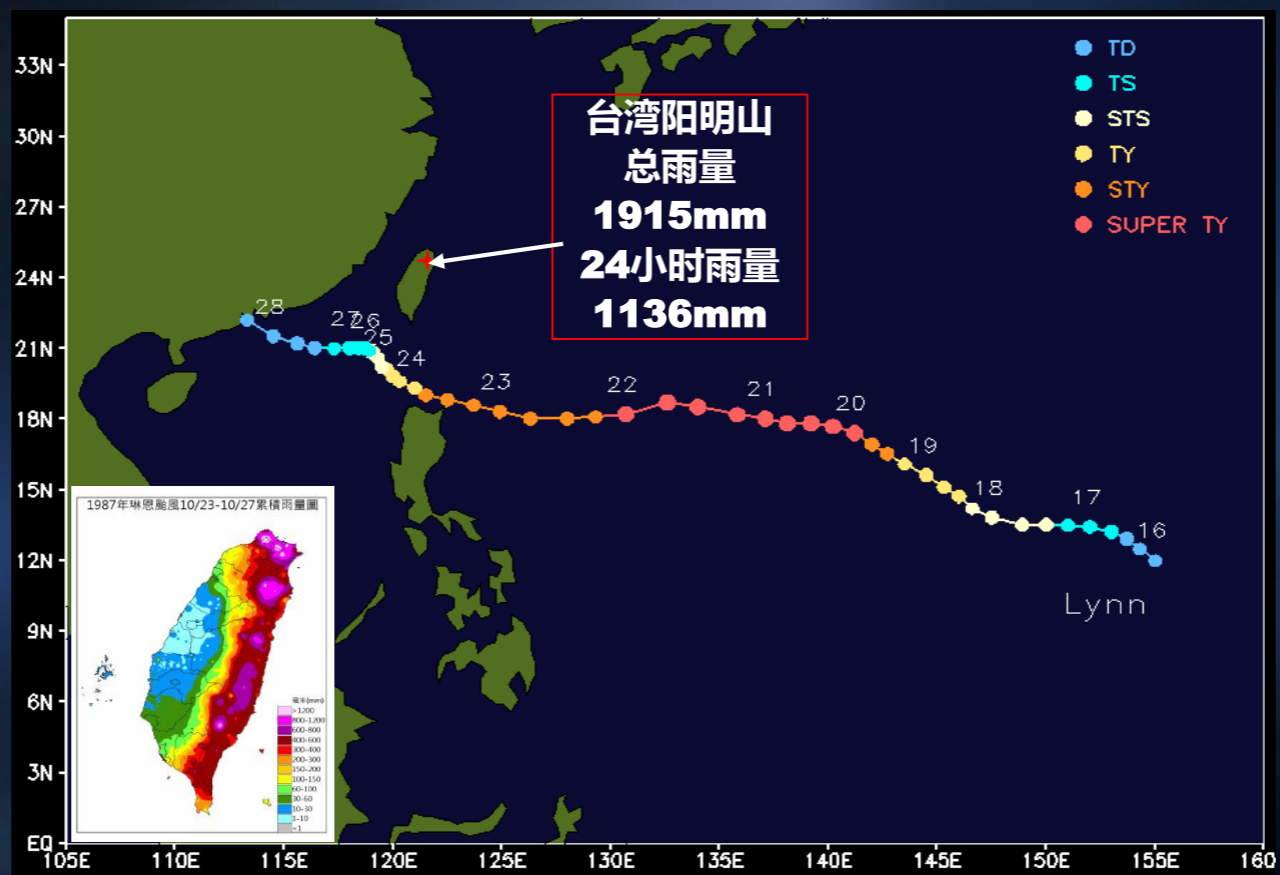
### ✓ 非登陆台风极端降雨事件 --- 台风Carla ( 6718 )



# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

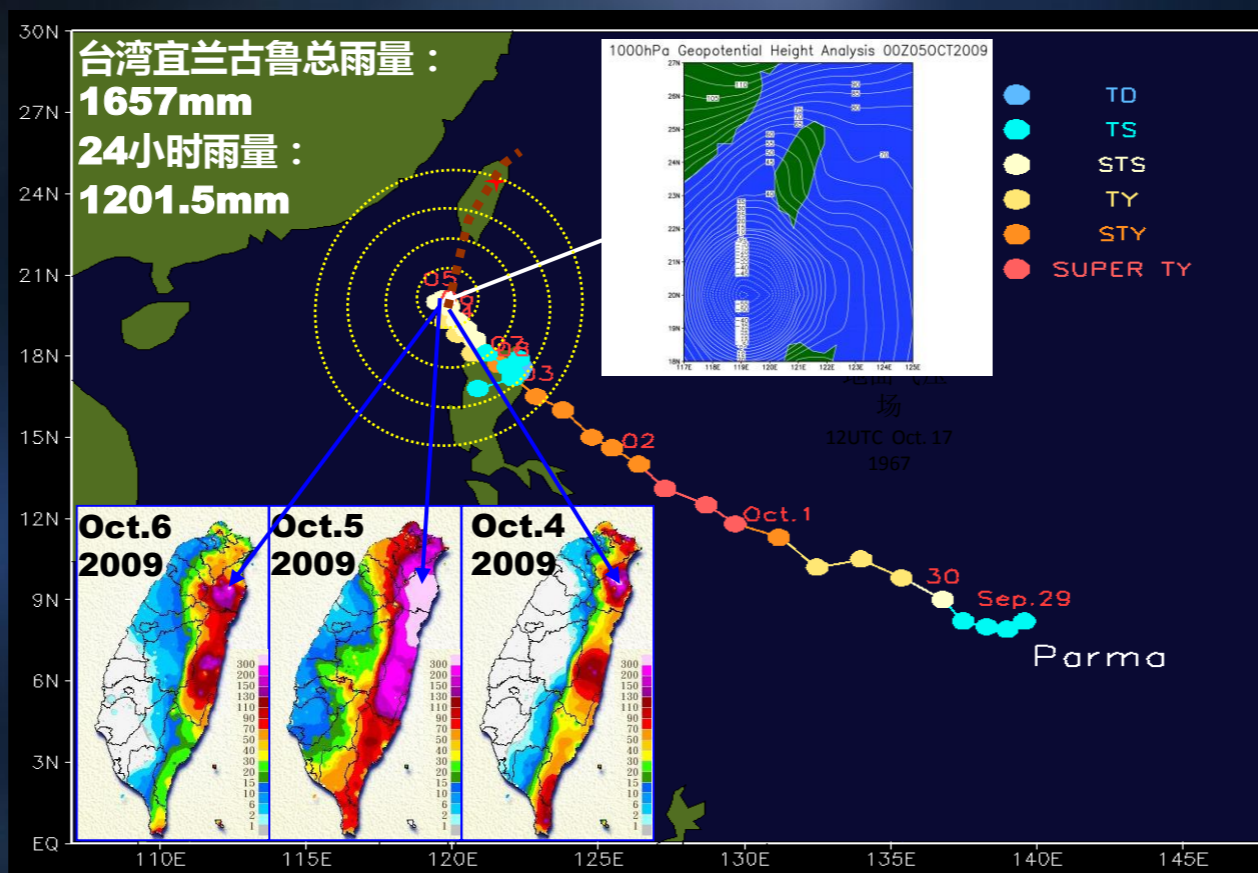
- ✓ 非登陆台风极端降雨事件 -- 台风Lynn ( 8719 )



# 台风暴雨概况

## ● 极端暴雨个例

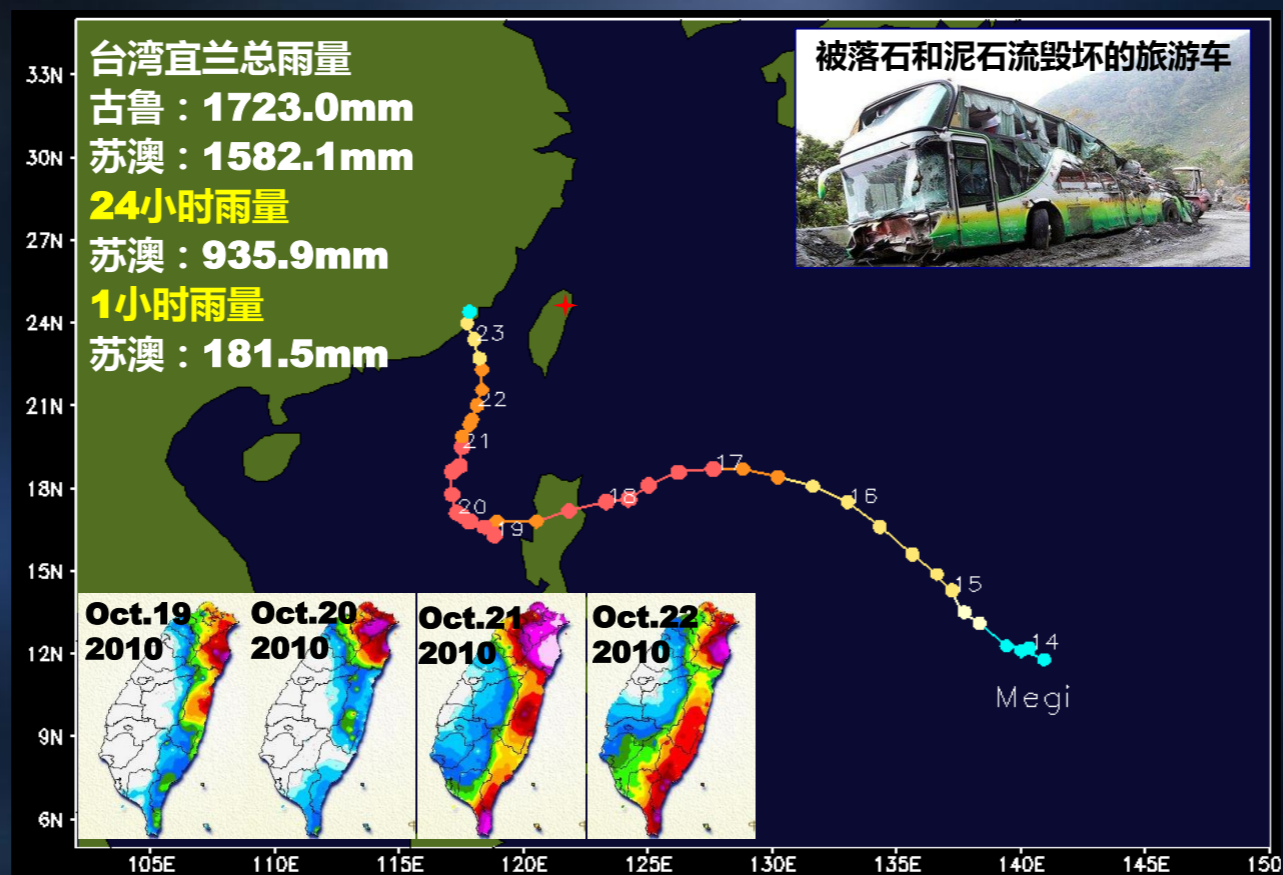
✓ 非登陆台风极端降雨事件 -- 台风“芭玛” (0917)



# 台风暴雨概况

- 极端暴雨个例

- ✓ 非登陆台风极端降雨事件 -- 台风“鲑鱼” (1013)



## 7.2 台风暴雨的基本条件



# 台风暴雨的基本条件

- 与一般的暴雨条件相同

- ✓ 充沛的水汽输送

- ✓ 强烈的上升运动

- ✓ 持续较长的降水时间

- 任何其它环流、系统或因子导致水汽输送和强烈上升运动发生，均能导致台风强降雨

西风槽、冷空气、急流、环境垂直风切变、地形等

- 若冷空气入侵、夏季风爆发与加强及地形作用，台风暴雨空间分布十分复杂

# 台风暴雨的基本条件

## ● 水汽条件

✓ 台风环流系统内水汽含量充沛、湿层深厚

— 台风外围源源不断的水汽输送

- 西北太平洋热带海洋气团，低层潮湿、层结是对流不稳定，由东南气流输入大陆
- 南海热带海洋气团或季风气团，由偏南气流或西南气流输入大陆
- 孟加拉湾赤道气团，更潮湿对流不稳定层次更厚，由西南气流输入华南、长江甚至黄河流域
- 登陆我国的台风暴雨，三条水汽输送通道可叠加或交替出现

# 台风暴雨的基本条件

## ● 上升运动

- ✓ 水汽供应和上升运动是台风暴雨的两个最基本的必要条件
- ✓ 水汽源源不断输入，上升运动持续不断，才能把大量湿空气向上输送，从而产生台风暴雨

## 台风中的上升运动可分成4类：

- 台风尺度大范围散度场动力作用引起的上升运动
- 中尺度系统所引起的上升运动（如螺旋云带）
- 小尺度系统引起的上升运动
- 地形抬升作用引起的上升运动

# 台风暴雨的基本条件

- 上升运动

- ✓ 上升气流强弱与大气运动尺度有关，**尺度愈小**，上升速度愈强
- ✓ **由低层大范围水平辐合产生**，尤其台风登陆以后，摩擦产生的非地转风

# 台风暴雨的基本条件

- 上升运动

- ✓ 环流内风速辐合、风向辐合、不同方位的切变线、气旋性弯曲流线及强负变压中心均可增强低层辐合，暴雨中心经常和上述低空流场特征相对应
- ✓ 登陆台风遇到山脉地形时，与山脉成正交的气流受地形抬升产生上升运动，地形抬升与动力上升的叠加，上升运动将得到加强。因此，山脉迎风坡常出现比其他地区更强的台风暴雨，形成暴雨中心

# 台风暴雨的基本条件

- **位势不稳定**

- ✓ 台风暴雨一般具有对流性质

- ✓ 位势不稳定是台风暴雨的重要条件之一，位势不稳定能量释放后，若能够重建，对流运动得以维持和发展

# 台风暴雨的基本条件

- **位势不稳定**

- ✓ **位势不稳定的加强、重建和破坏，与2个因素有关**

- **低层水汽的输入和补充**

- **冷空气流入到暖湿气层之上，使位势不稳定加强，当大量冷空气注入台风内部，台风暖心结构遭到破坏，位势不稳定能量释放后，不能重建**

# 台风暴雨的基本条件

## ● 高层辐散流场

- ✓ 对流层上部水平辐散可使对流层中下层的上升运动持续不断
- ✓ 当台风移至对流层上部反气旋下，或移至对流层上部急流南侧负涡度区，将增强台风径向垂直质量环流，是台风暴雨的有利背景
- ✓ 当台风移到对流层上部辐合环流系统或正涡度中心下，将抑制台风气柱的上升气流

# 台风暴雨的基本条件

- 中小尺度系统作用

- ✓ 台风暴雨由多种尺度的降雨系统组成

## 天气尺度雨区

- 由大尺度辐合上升气流形成，雨量强度小，小~中雨

# 台风暴雨的基本条件

## ● 中小尺度系统作用

✓ 台风暴雨由多种尺度的降雨系统组成

### 中小尺度雨带

- 由若干中小尺度雨团组成，构成台风暴雨主体
- 上升速度和降雨率比天气尺度雨区大1~2个量级
- 暴雨中心由若干中尺度雨带或雨团连续造成，或长期停滞雨团造成

不同尺度降雨系统的相互作用和中小尺度系统降雨机制在台风暴雨中占据重要地位

# 台风暴雨的基本条件

## ● 中小尺度系统作用

- ✓ 触发中尺度对流的两种作用机制

### 环流触发

- 极锋、冷空气抬升作用和低空辐合流场，尤其是台风流场中的中尺度切变线
- 对流层高层辐散也有重要作用，台风流入层和流出层的强辐合和辐散流场，是产生发展中小尺度降雨系统的环流背景，为强降雨提供有利的触发条件

# 台风暴雨的基本条件

- 中小尺度系统作用

- ✓ 触发中尺度对流的两种作用机制

- 地形抬升触发

- 台风环流迎风坡形成的一条固定的辐合抬升区，经常是强降雨的发生区

# 台风暴雨的基本条件

## ● 影响台风暴雨的主要因子

### ✓ 台风路径 ( Storm track )

- 强降雨一般发生在路径两侧附近

### ✓ 台风尺度大小 ( Storm size )

- 尺度越大，造成的强降雨范围越大
- 对流核的强度、大小和对称性，对称台风的强降雨多出现在台风中心附近

# 台风暴雨的基本条件

- 影响台风暴雨的主要因子

- ✓ 台风移速 ( **Speed of motion** )

- 移速慢的台风，降雨量大，且强降雨多出现在台风中心附近
- 移速快的台风，降雨量小

# 台风暴雨的基本条件

- **影响台风暴雨的主要因子**

- ✓ **降雨时间 ( Time of day )**

- 内核强降雨经常发生在夜间
- 最强降雨多出现在夜间
- 外围雨带强降雨经常发生在白天

# 台风暴雨的基本条件

- **影响台风暴雨的主要因子**

- ✓ **水汽/湿度条件 ( Moisture )**

- 干空气的侵入可导致降雨量减小
- 暖湿气流的加强可导致降雨量增加

# 台风暴雨的基本条件

- 影响台风暴雨的主要因子

- ✓ 地形作用 ( **Topography** )

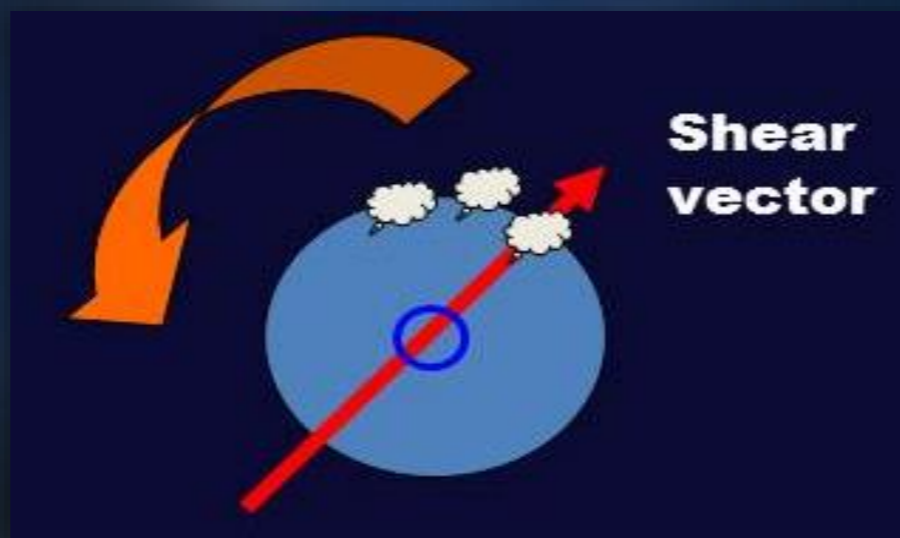
- 强降雨发生在迎风坡 ( **upslope areas** )
- 强降雨不会出现在背风坡 ( **downslope areas** )

# 台风暴雨的基本条件

## ● 影响台风暴雨的主要因子

### ✓ 环境风垂直切变 ( Vertical wind shear )

- 北半球强降雨位于顺切变 ( downshear ) 左侧
- 较大环境风垂直切变可导致强降雨远离台风中心
- 环境风垂直切变加大，强降雨非对称性也加大

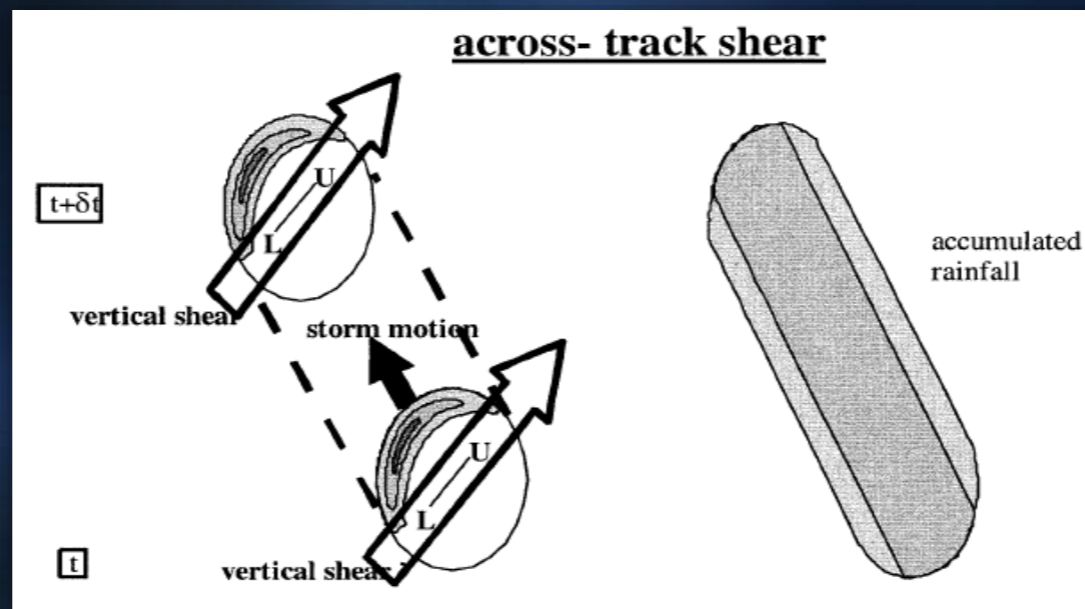


# 台风暴雨的基本条件

## ● 影响台风暴雨的主要因子

### ✓ 环境风垂直切变 ( Vertical wind shear )

- 当环境风垂直切变方向与台风移动方向垂直时，台风降雨落区沿台风移动路径呈较为均一的分布



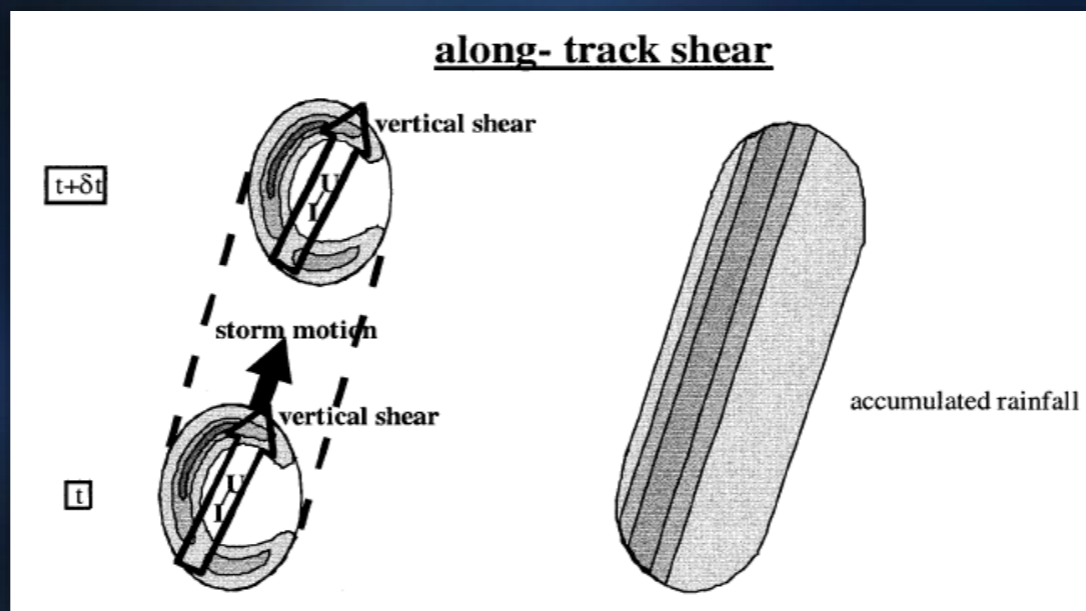
北半球环境风垂直切变对台风降雨落区分布的影响

# 台风暴雨的基本条件

- 影响台风暴雨的主要因子

- ✓ 环境风垂直切变 ( **Vertical wind shear** )

- 当环境风垂直切变方向与台风移动方向平行时，台风降雨落区出现在台风移动路径的左侧



北半球环境风垂直切变对台风降雨落区分布的影响

# 台风暴雨的基本条件

## ● 影响台风暴雨的主要因子

### ✓ 与天气尺度系统的相互作用 ( Interaction )

- 与西风槽、锋面和急流等天气尺度系统相互作用以及台风变性 ( ET ) , 强降雨落区会发生改变
- 台风移入副热带高压的断裂区 ( break ) 时, 强降雨可能出现在路径左侧
- 在西风槽前转向 ( recurve ) 的台风, 强降雨有可能发生在路径左侧
- 与西风急流相互作用的台风, 可出现远距离暴雨
- 必须特别注意移动缓慢的台风残涡 ( remnants )

## 7.3 环境场对台风暴雨的影响



# 环境场对台风暴雨的影响

- 观测事实和研究发现，除台风本身因子外，台风与环境场的相互作用对暴雨影响相当重要
- 一个弱的残涡，在有利环境条件下，可以产生远超过超强台风的特大暴雨

# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 中纬度槽

台风与中纬度环流系统的相互作用对台风降雨强度和分布起着重要作用

- ✓ 形成相距甚远的远距离暴雨
- ✓ 当西风槽和台风彼此靠近时发生强烈相互作用，导致台风降雨增幅或台风发生变性，造成降雨落区和强度显著变化
- ✓ 长波槽通过和阻塞高压的相互作用来调整西风带环流背景，影响台风降雨

# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 中纬度槽

台风与中纬度环流系统的相互作用对台风降雨强度和分布起着重要作用

- ✓ 西风槽往往带来冷空气和高层的辐散流场，影响台风热力和动力环境
- ✓ 西风槽后的冷平流与台风倒槽相互作用将在倒槽区形成强烈对流不稳定层结，加剧槽区暴雨，尤其是登陆华东台风

# 环境场对台风暴雨的影响

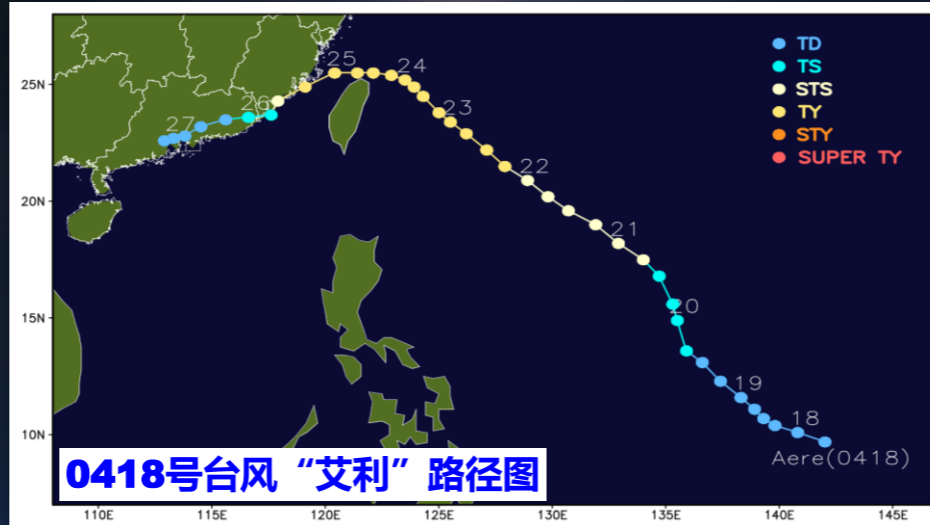
## ● 中纬度槽

台风与中纬度环流系统的相互作用对台风降雨强度和分布起着重要作用

- ✓ 低层适度冷空气的入侵和高层散度场的合理配置常常为台风强降雨提供有利环境
- ✓ 台风与中纬度系统相互作用对北方盛夏特大暴雨有着重要影响，若日本海渤海一带有高压脊维持向南延伸，将阻挡槽东移，冷空气与台风相遇，可导致特大暴雨

# 环境场对台风暴雨的影响

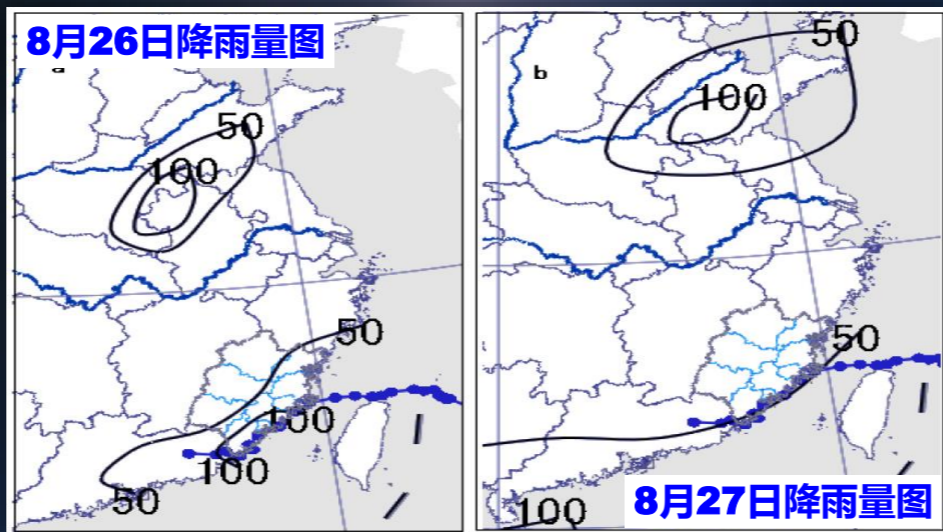
## ● 台风与中纬度槽相互作用案例



**2004年8月25日0418号台风“艾利”登陆福建后，沿海岸线向东南方向移动进入广东，26日下午减弱为低气压**

# 环境场对台风暴雨的影响

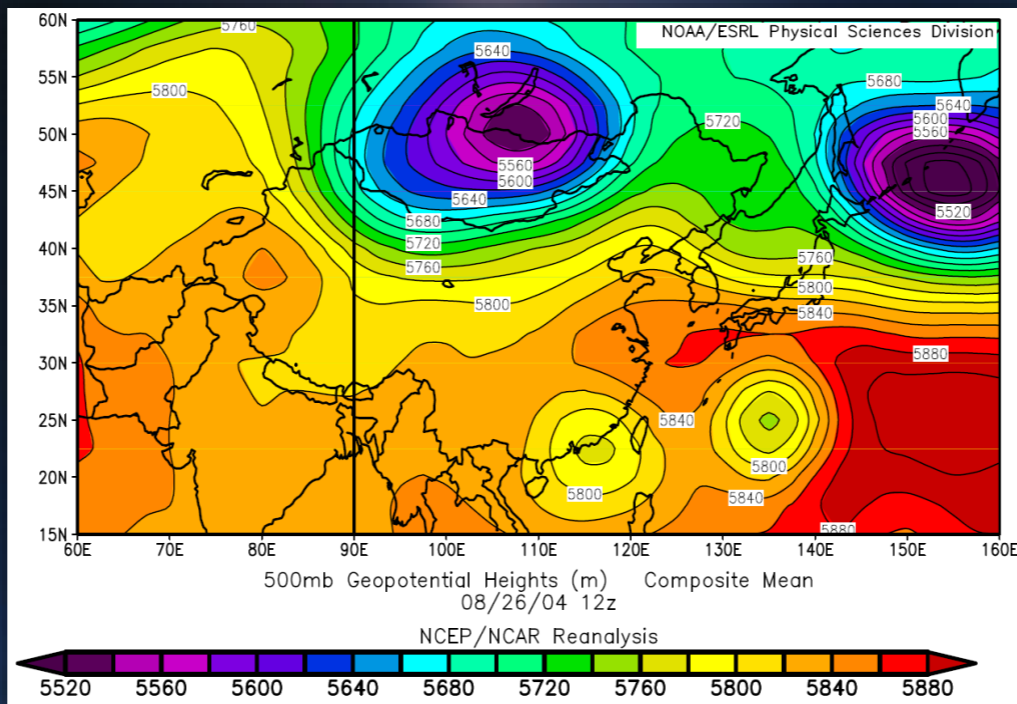
- 台风与中纬度槽相互作用案例



8月26和27日，受台风“艾利”外围和西风槽共同影响，山东出现汛期最强降雨

# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风与中纬度槽相互作用案例

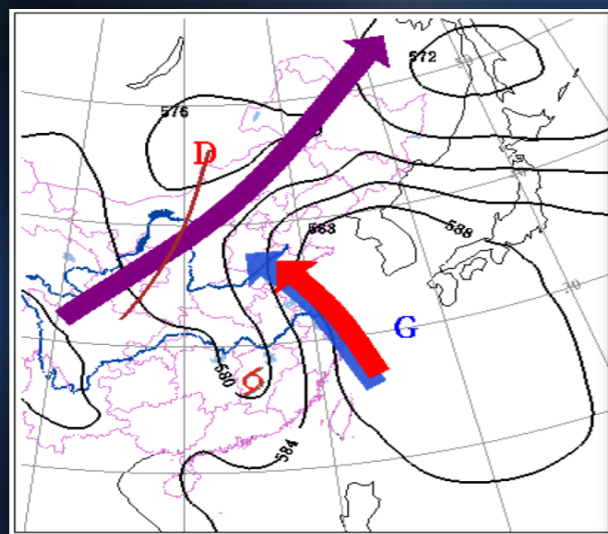


2004年8月26日20时500hPa高度场分析

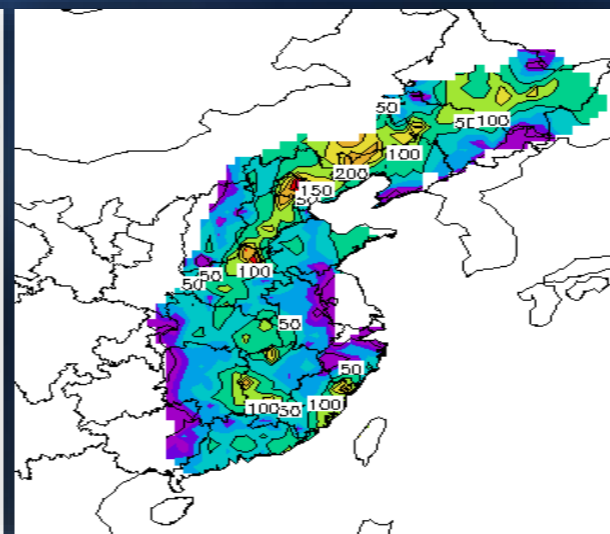
# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 高低空急流耦合

- ✓ 低空急流为强降雨带来充沛水汽，暴雨区低层大气增温增湿，为暴雨发生累积不稳定能量，有利于对流不稳定的发生
- ✓ 高低空急流耦合，上升运动加剧，降水迅速增幅



1994年7月12日500hPa高度场  
和急流配置图



9406号台风Tim累计雨量图  
1994年7月10日至14日

# 环境场对台风暴雨的影响

- 高低空急流耦合
- ✓ 台风移入**200hPa**急流入口区右侧强辐散区，高低空急流与台风环流耦合形成正反馈，有利于对流发展，为暴雨迅速增幅提供可能

# 环境场对台风暴雨的影响

- 高低空急流耦合

- ✓ 中低层西南急流位于台风的**不同方位**，其作用显著不同

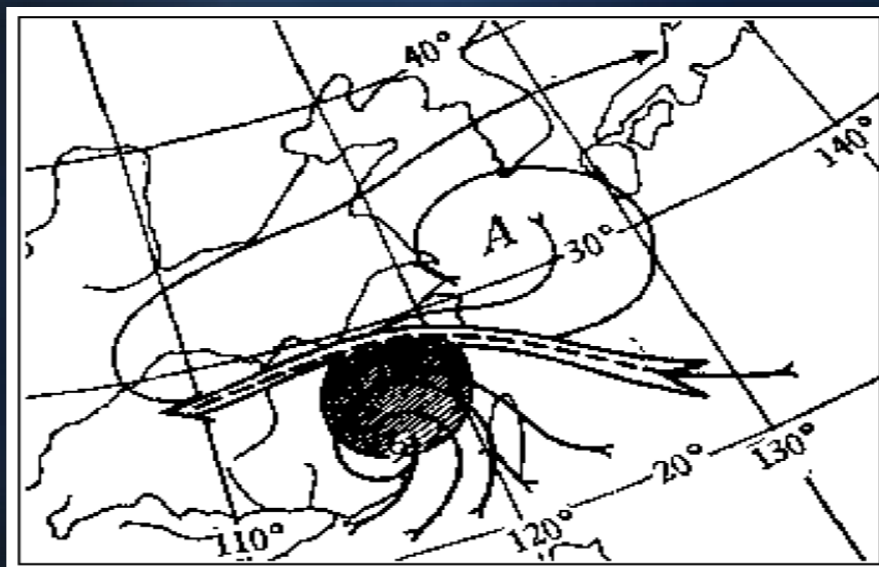
- 登陆后，台风南侧对流层中低层有西南急流随之而来，有利于暴雨加强、范围扩大
- 登陆后，台风移至对流层中低层西南急流南侧，暴雨区局限台风环流范围，雨量偏小，衰减较快，这是风水平切变导致中低空急流南侧为反气旋涡度区所致，常见于初夏和秋冬登陆华南台风

# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 副热带高压

✓ 台风与北侧或东北方副高接近

- 台风北侧或东北方气压梯度迅速增加，形成一支强东风或东南风气流，有时表现为低空急流



副热带高压南侧东风急流对台风暴雨的激发作用图  
(虚线表示急流轴)

# 环境场对台风暴雨的影响

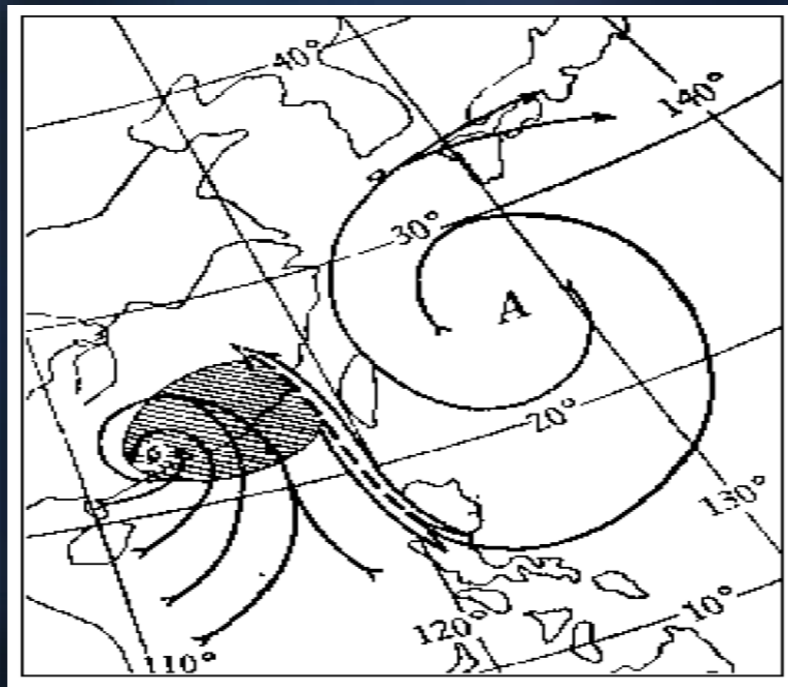
## ● 副热带高压

- ✓ 台风与北侧或东北方副高接近
- 急流南侧正涡度与台风低空环流正涡度叠加
- 急流使水汽源源不断输向大陆，使台风暴雨加强
- 多见于盛夏副热带高压强盛偏北期登陆华南或华东的西行台风

# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 副热带高压

- ✓ 台风位于南北向块状副热带高西部
  - 副高与台风环流间存在一支强南风带



副热带高压西侧南风急流对台风暴雨的激发作用图  
(虚线表示急流轴)

# 环境场对台风暴雨的影响

- **副热带高压**
- ✓ 台风位于南北向块状副热带高西部
- 强南风带使台风环流东侧正涡度增加，形成东侧范围大、西侧范围小的不对称雨区分布
- 强南风来自低纬海洋，是台风获得水汽的主要通道，加强台风东侧雨量

# 环境场对台风暴雨的影响

- 副热带高压

- ✓ 台风位于两环副高之间的断裂区

- 有利于台风移速减慢、倒槽形成和北方弱冷空气侵入台风的外围，可能会出现暴雨增幅

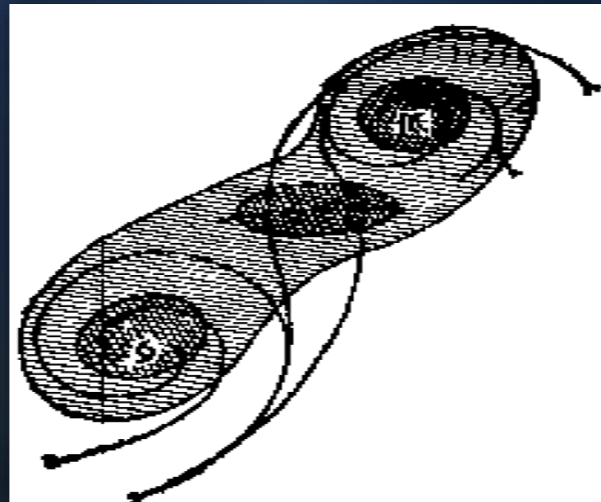
# 环境场对台风暴雨的影响

- **低值系统** —— 切断冷涡

台风周围常见的低值系统：中纬度切断冷涡、台风或低压、云团（正涡度区）和诱生低压等4类

- ✓ **冷涡位于台风东北方位**

- 雨区呈**NE-SW**向分布，3个降雨中心分别位于台风环流内部、冷涡偏北气流与台风偏南气流的辐合区以及冷涡中心附近



冷涡对台风暴雨影响情形之一

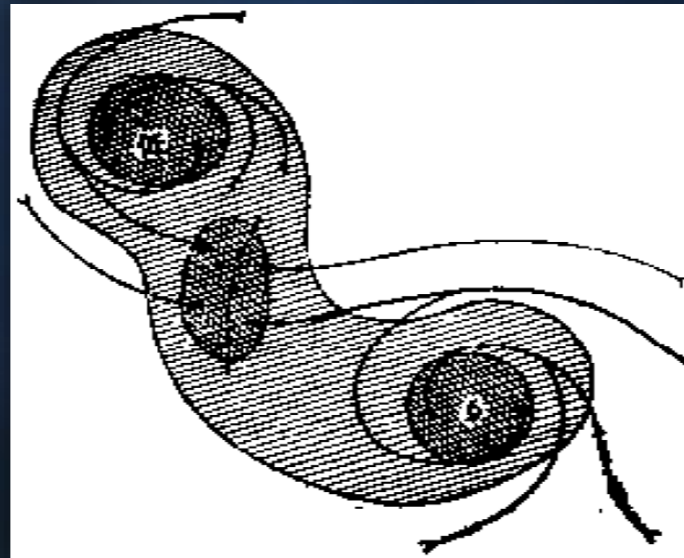
# 环境场对台风暴雨的影响

- **低值系统** —— 切断冷涡

台风周围常见的低值系统：中纬度切断冷涡、台风或低压、云团（正涡度区）和诱生低压等4类

- ✓ **冷涡位于台风东北方位**

- 雨区呈**NW-SE**向分布，3个降雨中心也对应于3个环流辐合区



冷涡对台风暴雨影响情形之二

# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 低值系统 —— 切断冷涡

台风周围常见的低值系统：中纬度切断冷涡、台风或低压、云团（正涡度区）和诱生低压等4类

### ✓ 冷涡与台风相互作用是华北暴雨的主要形势

- 台风一般位于南海或台湾附近地区
- 也有登陆两广后西行的台风
- 东北低涡位于华北或东北对流层中低层
- 台风的主要作用是其东侧东南低空急流向北输送水汽

# 环境场对台风暴雨的影响

- **低值系统 —— 切断冷涡**

台风周围常见的低值系统：中纬度切断冷涡、台风或低压、云团（正涡度区）和诱生低压等4类

- ✓ **冷涡与台风相互作用是华北暴雨的主要形势**

- 我国北方（河北、陕西、河南及山东等地）的特大暴雨过程常常是台风与西北涡（河套附近）发生远距离相互作用的结果
- 台风外围偏东气流是两者发生相互作用的纽带

# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风与西北涡（河套附近）的远距离相互作用案例

- ✓ 一次陕北突发性暴雨过程

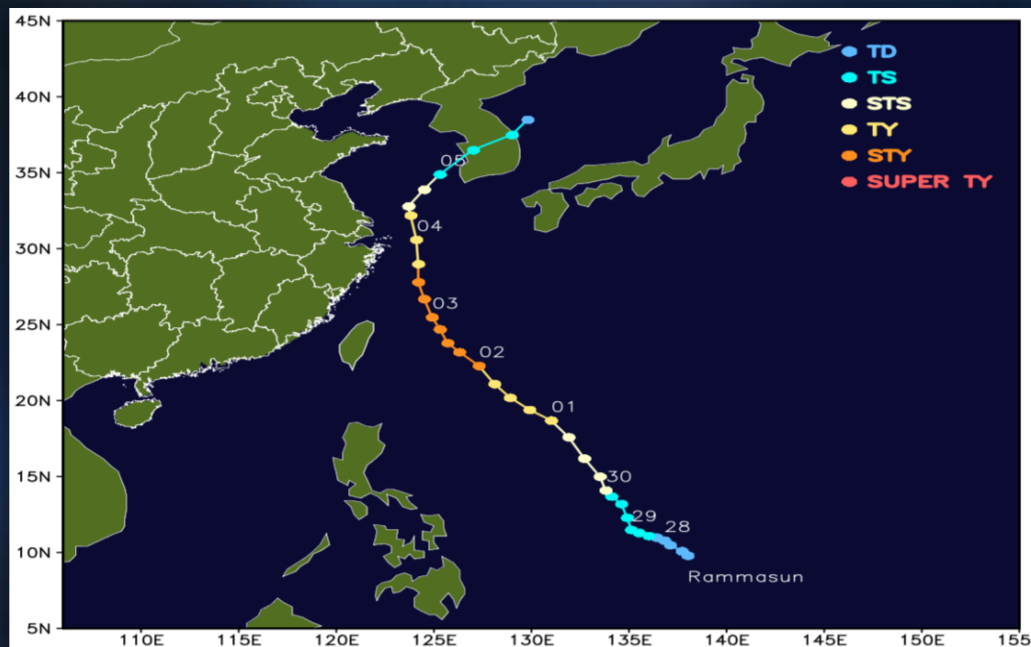
- 2002年7月4~5日陕北连续两天出现突发性暴雨，子长县4日降雨量195.3mm，5日降雨量116mm，1h最大降雨量81.3mm
- 大暴雨引起山洪爆发，形成百年不遇特大洪涝



# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风与西北涡（河套附近）的远距离相互作用案例

- ✓ 一次陕北突发性暴雨过程

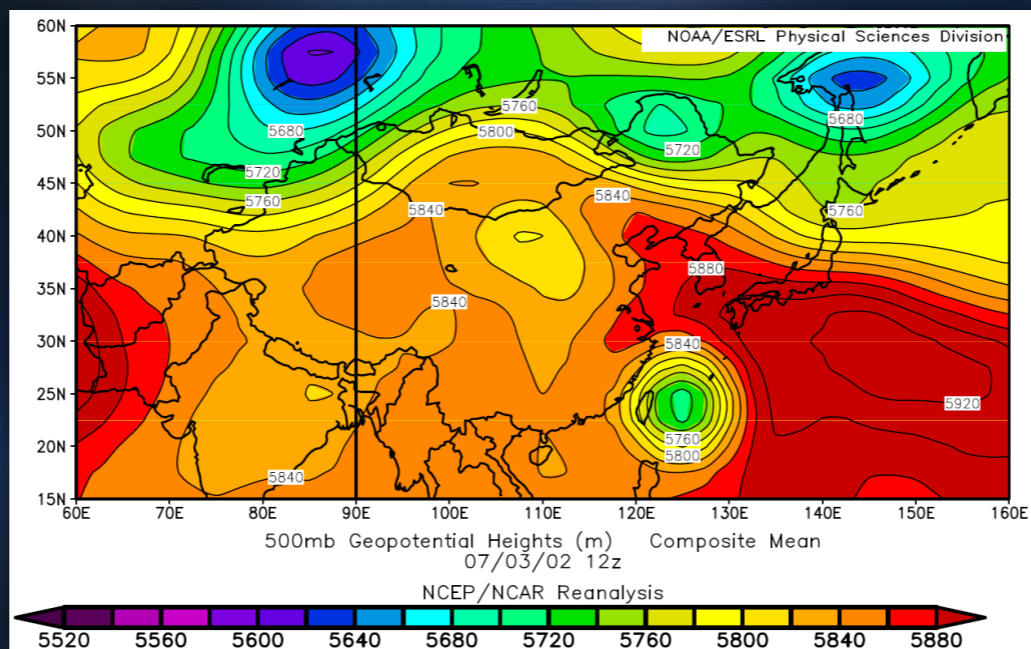


2002年7月3日20时500hPa高度场

# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风与西北涡（河套附近）的远距离相互作用案例

- ✓ 一次陕北突发性暴雨过程

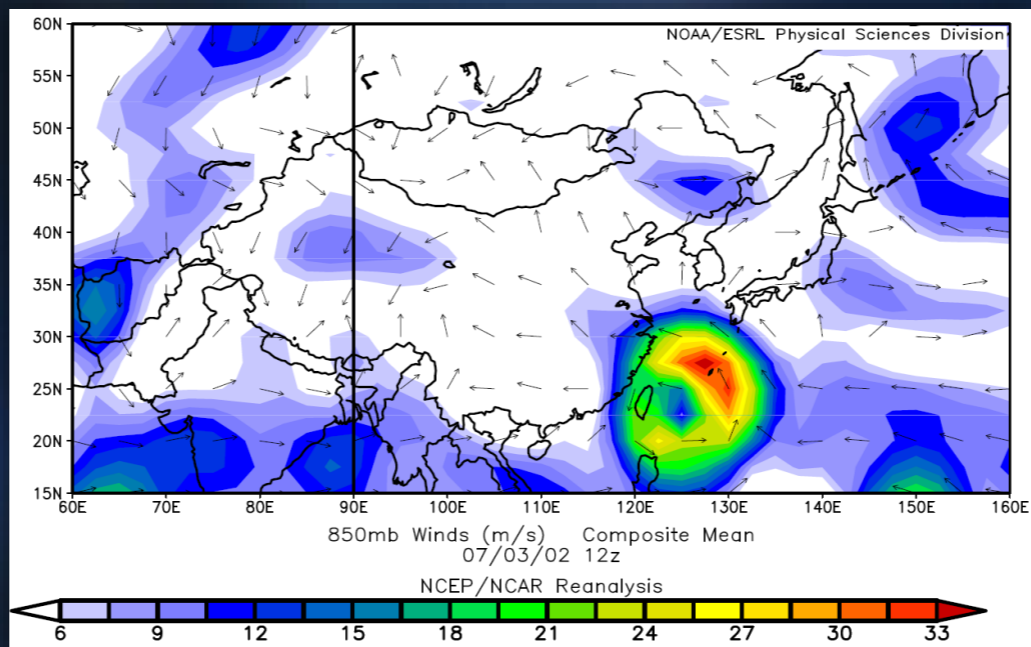


2002年7月3日20时500hPa高度场

# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风与西北涡（河套附近）的远距离相互作用案例

- ✓ 一次陕北突发性暴雨过程



2002年7月3日20时850hPa风场

# 环境场对台风暴雨的影响

- 低纬或近赤道系统

- ✓ 赤道辐合带

- 当台风与赤道辐合带（ITCZ）联结时，ITCZ的水汽输送是台风出现暴雨增幅、造成特大暴雨的重要条件

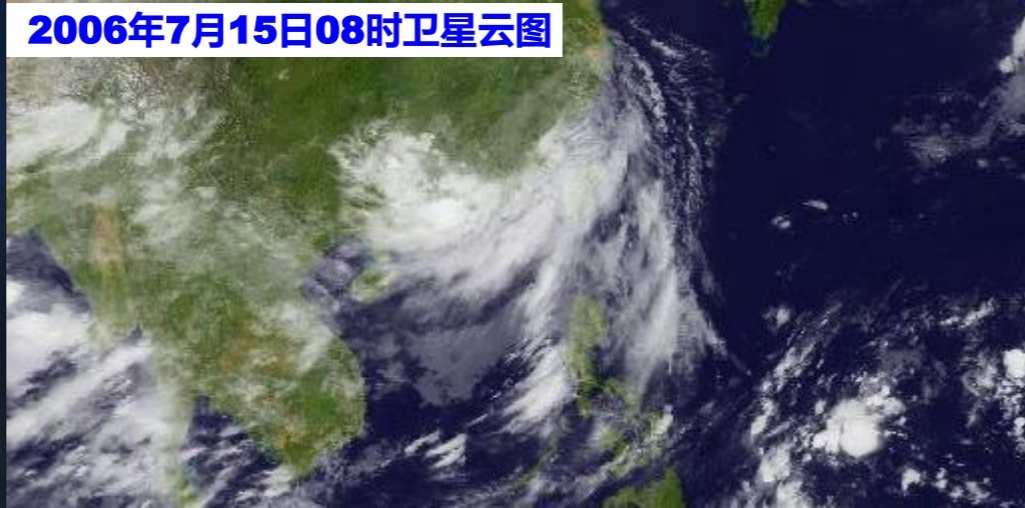
# 环境场对台风暴雨的影响

- 低纬或近赤道系统

- ✓ 西南季风

- 当西南季风与台风相互作用，西南季风充沛水汽是台风在陆上出现强降雨的重要因子
- “碧利斯”（0604）登陆后与西南季风相互作用形成长时间强降雨，闽、湘、粤、桂、赣、滇等地出现严重暴雨灾害

2006年7月15日08时卫星云图

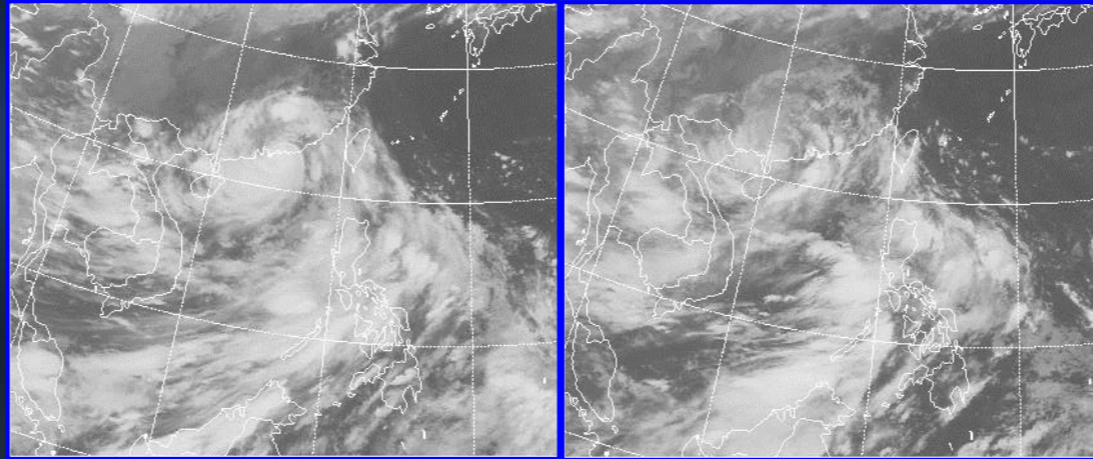


# 环境场对台风暴雨的影响

- 低纬或近赤道系统

- ✓ 西南季风

- 台风登陆后，若没有与西南季风联结，强度很快减弱，暴雨也不强
- 如“杜鹃”(0313) 登陆广东，雨量小、降水时间短，仅有10站次过程雨量大于100mm，3站次日雨量在100mm以上



2003年9月2日20时(左)和3日08时(右) 卫星云图

# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风环流中的中尺度系统
  - ✓ 中尺度切变线或辐合线
  - ✓ 中尺度涡旋
  - ✓ 螺旋雨带
  - ✓ 龙卷
  - ✓ 中尺度系统形成与环境场特征有关



2015年10月4日1522号台风“彩虹”外围云带的龙卷

# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风环流中的中尺度系统

- ✓ 螺旋云带和螺旋雨带

- 台风东侧往往伴随一支东南风或东风急流，对应台风东侧一条强大的螺旋云带，中小尺度对流云团镶嵌其中
- 每个发展旺盛的对流云团对应地面降雨的突然增幅

# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风环流中的中尺度系统

- ✓ 中尺度对流系统

**3类云系合并可以引起暴雨增幅**

- 具有不同云顶温度的几个中尺度云带旋转合并流向台风中心
- 螺旋云带与台风前飑线合并
- 很低云顶温度 (  $-57\sim-74^{\circ}\text{C}$  ) 的几个中尺度对流云团合并入一个较大的中尺度强对流云区

# 环境场对台风暴雨的影响

- 台风环流中的中尺度系统

- ✓ 中尺度辐合线、中尺度切变线和中尺度急流

- 山脉地形辐合作用

- 台风环流内部的切变

- 中尺度急流

- 在相应区域触发强烈对流运动和中小尺度涡旋系统，并产生强暴雨

# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 台风倒槽

台风倒槽两侧由东南风和东北风两支急流构成，形成强气旋性曲率

- 台风倒槽对气流有辐合作用
- 台风倒槽的东南急流不是台风本身环流引起，而是由台风环流和副高间高度梯度引起，出现在远离台风中心的东北侧
- 倒槽前的东北风除了与台风环流有关，还与冷空气活动有关
- 台风倒槽暴雨常与冷空气活动耦合在一起

# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 台风倒槽

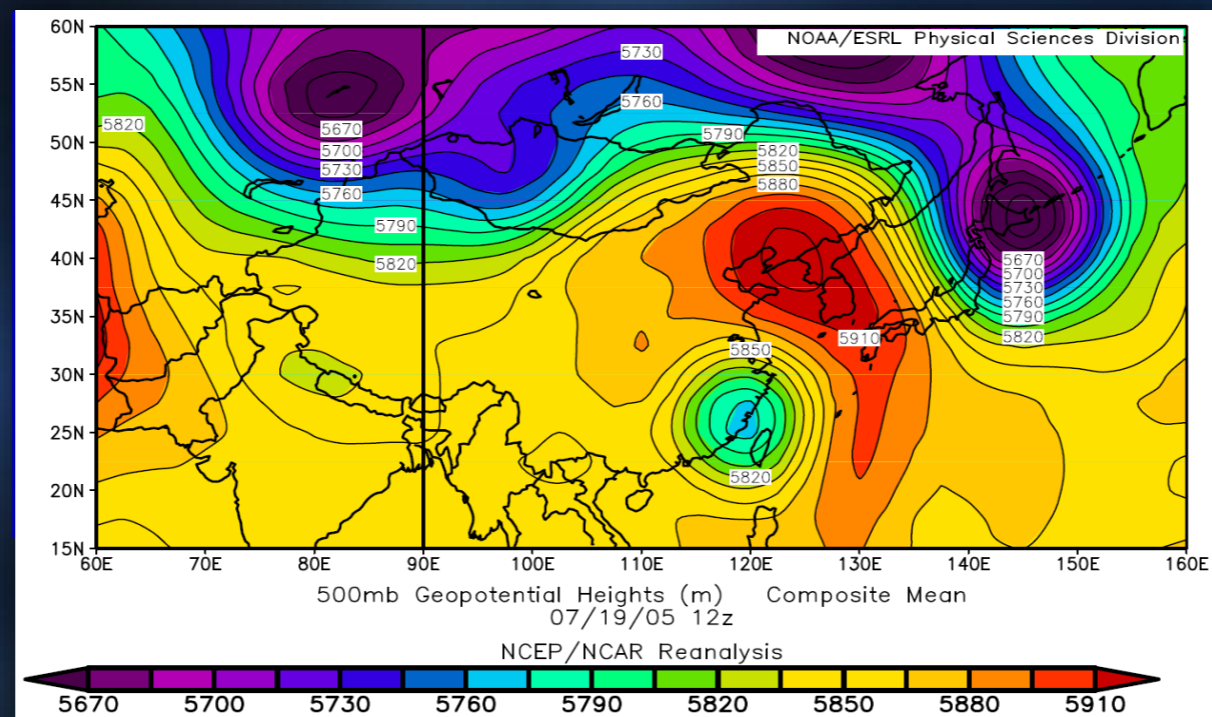
台风倒槽两侧由东南风和东北风两支急流构成，形成强气旋性曲率

- 低空东南风急流为暖湿气流输送带，为暴雨提供充足水汽和能量，引起倒槽锋生，锋面附近产生大规模上升运动，造成倒槽前部暴雨增幅
- 当台风倒槽与西风槽或冷空气相遇时诱发对流系统发展或者暖锋锋生，造成大范围强降雨

# 环境场对台风暴雨的影响

## ● 台风倒槽

- 登陆福建的台风往往由于其北侧形成台风倒槽，造成位于台风北侧的浙江降雨突然增幅，使浙江强降雨比登陆地福建大得多



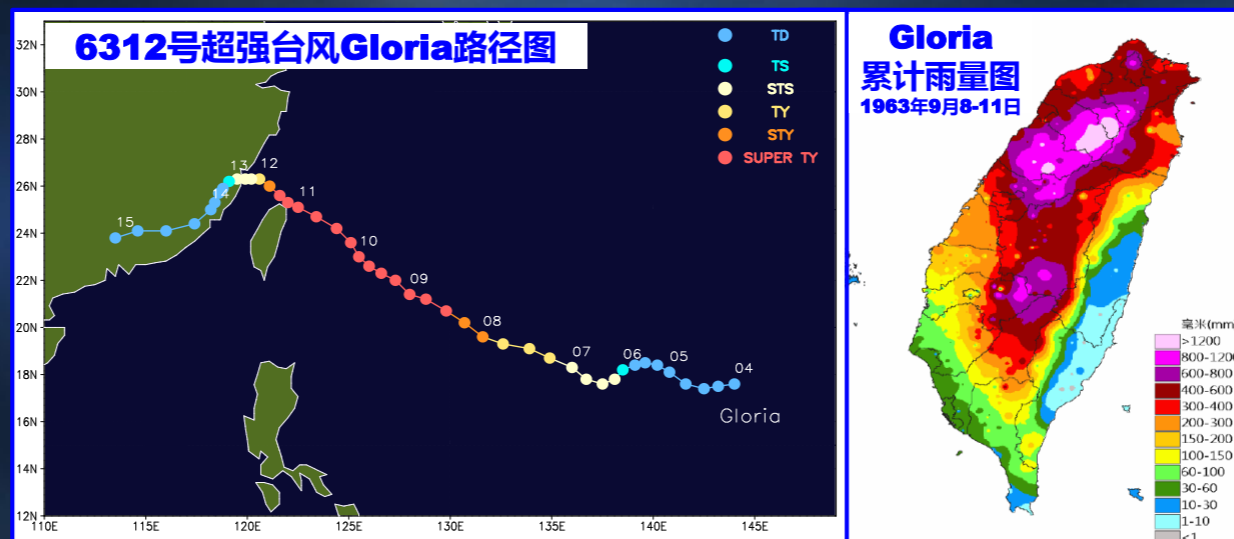
2015年7月19日20时500hPa高度场

## 7.4 地形对台风暴雨的影响



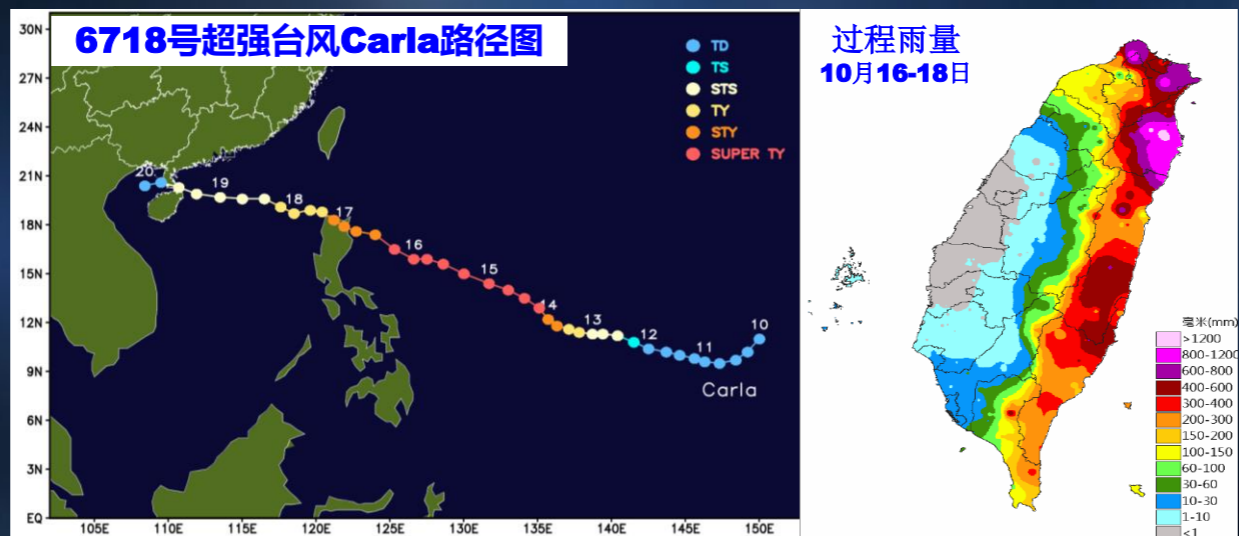
# 地形对台风暴雨的影响

- 地形对台风特大暴雨强度和落区有重要影响，一些特大暴雨常常在特定地形下产生的
- 如台湾“63.9”、“67.10”暴雨和河南“75.8”特大暴雨均出现在喇叭口和峡谷等特殊地形条件下



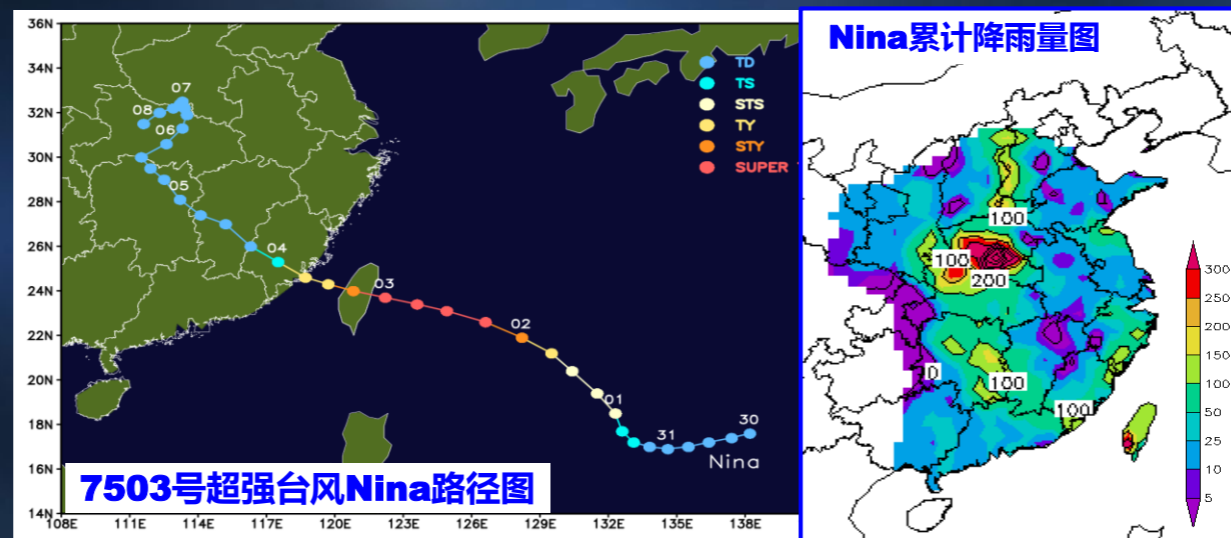
# 地形对台风暴雨的影响

- 地形对台风特大暴雨强度和落区有重要影响，一些特大暴雨常常在特定地形下产生的
- 如台湾“63.9”、“67.10”暴雨和河南“75.8”特大暴雨均出现在喇叭口和峡谷等特殊地形条件下



# 地形对台风暴雨的影响

- 地形对台风特大暴雨强度和落区有重要影响，一些特大暴雨常常在特定地形下产生的
- 如台湾“63.9”、“67.10”暴雨和河南“75.8”特大暴雨均出现在喇叭口和峡谷等特殊地形条件下



# 地形对台风暴雨的影响

- 地形对台风暴雨增幅的作用方式

- ✓ 辐合抬升作用

- 喇叭口、峡谷等特殊地形常使辐合作用突然加强，抬升作用加大，导致对流系统发生发展，并对对流系统有组织和增强作用，如诱生低压等，造成强降雨

# 地形对台风暴雨的影响

- 地形对台风暴雨增幅的作用方式

- ✓ 阻挡作用

- 地形阻挡作用能使降水系统停滞少动，致使某地降水不断加大而酿成重灾

- ✓ 影响云微物理过程

- 地形抬升形成各种云型，进而影响云微物理过程，导致降雨增幅

# 地形对台风暴雨的影响

- 海岸线的特殊地形分布的作用

- ✓ 既影响台风降雨增幅落区，也影响增幅强度
- ✓ 登陆华南台风大范围雨区多在台风东侧
- ✓ 登陆华东台风雨区常在台风北侧

# 地形对台风暴雨的影响

## ● 不同下垫面的作用

- ✓ 不同干湿下垫面对台风水汽输送、能量通量反馈不同，边界层动量交换对台风降雨有局部增幅作用
- ✓ 陆地上的湖泊、大型水库、江河水面均可向登陆台风输送水汽和能量，不仅有利于其上台风残涡的维持，也有利于其降雨增强

# 地形对台风暴雨的影响

- 不同下垫面的作用

- ✓ 数值试验表明，由于潜热通量的差异，来自大陆干空气和来自海洋湿空气垂直分布形成不稳定结构，也会在台风路径左侧引起强降雨
- ✓ 当这种不稳定层结作用超过地形作用时，路径左侧雨强将会超过右侧雨强

## 7.5 台风特大暴雨和暴雨增幅



# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 气候概况

- ✓ 年频数约为**1.9个**，占登陆总数的**21%**
- ✓ 年际月际变化显著，主要出现在**6~10月**，**7~8月**居多
- ✓ 东南沿海为高频区
- ✓ 台风暴雨增幅包含两个部分：**雨量增幅和暴雨面积扩大**

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 基本成因

- ✓ 台风登陆后维持不消和停滞少动
- ✓ 源源不断的水汽输送
- ✓ 中低纬环流的相互作用
- ✓ 中尺度系统影响
- ✓ 地形作用

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 冷空气的作用

- ✓ 适度冷空气侵入台风倒槽和外围，可加剧动力和热力不稳定，使降雨明显增强，这是造成台风降雨异常的重要机制
- ✓ 强冷空气侵入，将破坏台风的暖心结构，台风强度减弱，不能起到增强台风中心附近降雨的作用，但对台风倒槽降雨仍可能增幅作用

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 冷空气对台风暴雨增幅的作用方式

### ✓ 锋面强迫抬升作用

- 台风遇到冷空气时，台风东侧东南暖湿气流将沿锋面强迫抬升，使锋面上空水汽增加
- 锋后偏北气流南下，将加大锋面附近垂直运动，促使不稳定能量释放，降雨加强
- 随着暖湿空气沿着锋面向北输送，使雨区向北伸展，锋后出现大范围降雨

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

- 冷空气对台风暴雨增幅的作用方式

- ✓ 位势不稳定作用

- 台风登陆前后，如遇北方冷空气南下，中上层干冷空气侵入台风低层暖湿气流上空，不稳定度加大

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 冷空气对台风暴雨增幅的作用方式

### ✓ 动力作用

- 台风移近我国沿海时，若大陆上冷空气南下，台风北侧低层往往有一支强偏东气流，有利于台风加强，同时台风北侧和东北侧的偏东气流与台风东侧的东南气流的辐合加强
- 高层与冷锋相联系的西风急流，叠加在台风北侧，提供有利高空辐散场，在冷锋云系与台风云系相结合的24小时内，台风北侧和东北侧将出现强降雨

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

- 冷空气对台风暴雨增幅的作用方式

- ✓ 湿斜压能作用

- 台风登陆时，若干冷空气侵入台风环流西侧，其东侧为暖湿空气，形成湿斜压锋区
- 若暖区空气上升，冷区空气下沉，斜压位能可能释放，降雨相应增强

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 西南季风的作用

✓ 台风登陆前后，海上水汽来源影响其减弱速度和降雨量

- 台风登陆后，无西南季风云系补充，海上水汽输送不能维持，其减弱消亡快，降雨也少
- 台风登陆前后，西南季风加强或西南季风紧随北上，海上水汽来源充足，减弱速度慢，也将增强台风过程雨量及持续时间

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

- 西南季风的作用

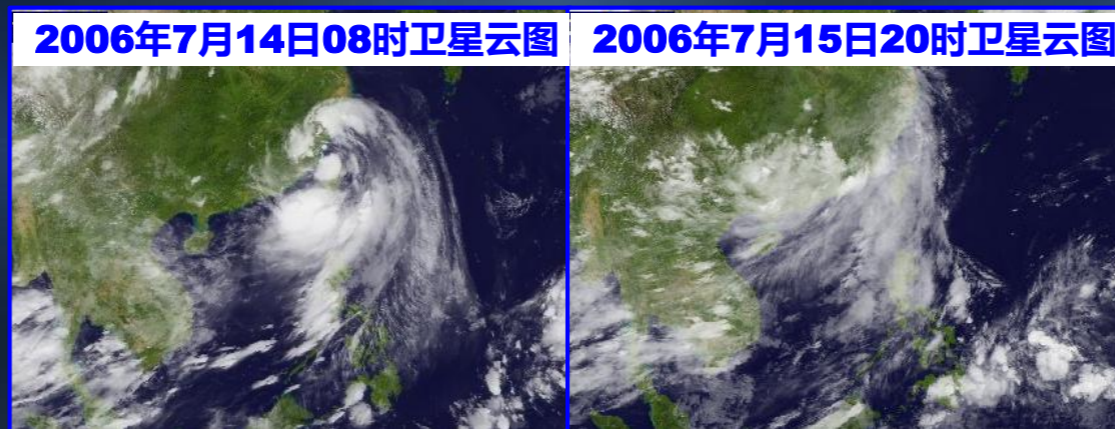
- ✓ 台风登陆前后，海上水汽来源影响其减弱速度和降雨量

- 西南季风具有高温、高湿、位势不稳定等特点，因此即便是热带风暴或是热带低压登陆，当有西南季风配合时，也可能造成较大暴雨

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 西南季风的作用

- ✓ 台风登陆前后，海上水汽来源影响其减弱速度和降雨量
- 卫星云图上，台风南部有明显的对流云系卷入
- 850hPa或700hPa风场上，孟加拉湾到南海存在西南急流



0604号强热带风暴“碧利斯”卫星监测图像

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 高空辐散的作用

- ✓ 台风登陆前后，沿海高空存在强辐散是台风登陆后强降雨的重要原因之一
- ✓ 高空强辐散将导致低层辐合和上升运动增强，台风环流维持和中尺度对流云团发生发展
- ✓ 强辐散区不同分布特征影响暴雨落区
- ✓ 卫星云图上若有流向副热带急流的卷云羽，表明对流层上层有明显的向北流出

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

- 高空辐散的作用

- ✓ 高空强辐散的两种表现形式

- 200hPa南亚高压加强东移，中心位于河套西侧，台风处在南亚高压中心东南侧东北流出气流下，台风和暴雨区上空为强辐散区

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

- 高空辐散的作用

- ✓ 高空强辐散的两种表现形式

- 沿海处在200hPa高空西风槽前，槽前强的正涡度平流和强西南风急流右侧反气旋水平切变将导致台风高空辐散场加强和垂直环流维持，有利于台风环流和暴雨加强

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 地形的作用

- ✓ 复杂下垫面的摩擦作用使导致风减弱，但地形对台风暴雨有增幅作用
- ✓ 海岸、山脉、海峡、港湾、河流等均有可能对台风暴雨有显著影响

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 地形的作用

- ✓ 台风移近海岸，常在沿海岸形成辐合区
- 与海岸正交的气流受海岸地形阻挡在沿岸产生辐合
- 台风在陆地的风速受摩擦影响显著减小，台风中心东侧出现风速辐合
- 叠加结果使台风中心东侧降雨加强

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 地形的作用

- ✓ 台风移近海岸，常在沿海岸形成辐合区
- 华南海岸线呈E-W走向，华东呈S-N走向
- 登陆华东台风北侧雨区加强，南侧减弱，形成南北雨区雨量不对称分布；具有倒V型倒槽结构时，南北不对称分布更加明显
- 登陆华南台风暴雨区呈东侧暴雨范围大、强度强、西侧范围小、强度弱的不对称分布

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 地形的作用

### ✓ 山脉对台风暴雨的影响

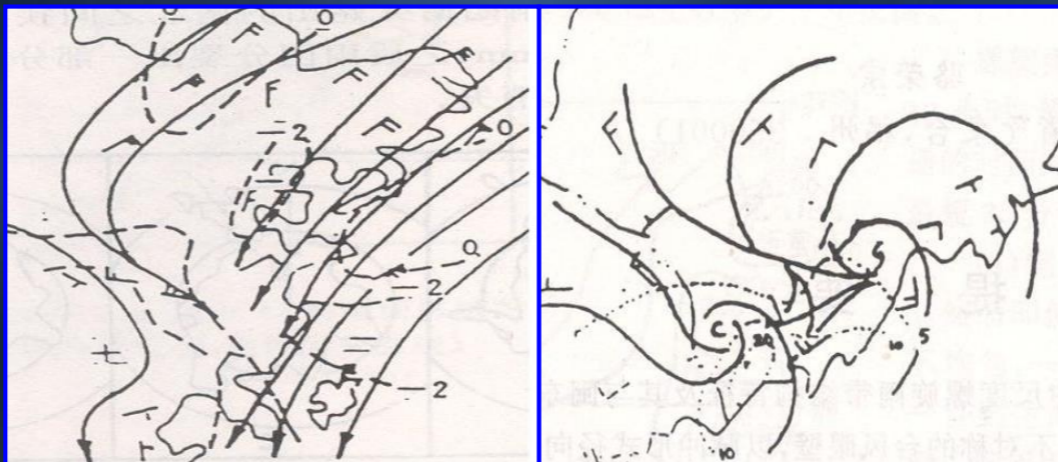
- 台风靠近或经过山脉，迎风坡强迫抬升，加强湿空气上升运动，导致暴雨中心位于台风环流沿山脉向风侧山麓
- 登陆福建时，没有外界降雨系统影响，暴雨中心并不出现在台风中心附近，而在太姥山东侧的柘荣、戴云山东侧的仙游、永春、安溪山区以及博平岭东侧的南靖、平和等地

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 地形的作用

### ✓ 山脉对台风暴雨的影响

- 导致环流分裂，形成新的低压中心和暴雨区
- 产生分支汇合，汇合区派生出准定常的地形中尺度渐近线、中尺度辐合线、中尺度地形性涡旋等中小尺度天气系统，导致雨强发展



中尺度渐近线示意图

中尺度地形性涡旋示意图

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 地形的作用

### ✓ 特殊地形对台风暴雨的影响

半环形地形和峡谷地带可导致边界层气流辐合抬升

- 入口区气流与半环形地形呈正交，气流进入，易在半环形地形深处产生准定常边界层辐合
- 气流绕山呈气旋性弯曲，形成地形切变线，辐合强迫抬升导致对流发展停滞，降雨加强

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 地形的作用

### ✓ 特殊地形对台风暴雨的影响

半环形地形和峡谷地带可导致边界层气流辐合抬升

- 气流穿过峡谷地带，辐合强迫抬升导致对流加强，雨团多沿山谷、河道等低洼地带移动，雨团频繁经过和移速减慢的地区雨量增大

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风环流的维持不消和停滞

- ✓ 强度较弱，登陆后很快消失，暴雨强度范围不会很大
- ✓ 登陆后维持不消，与周围天气系统发生相互作用，降雨持续时间长
- ✓ 移速减缓、停滞少动，造成暴雨持续

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

- 台风环流的维持不消和停滞

- ✓ 停滞少动，地形辐合线（区）呈准静止，作为对流性小涡生成源，小涡不断生成、移出，导致暴雨成灾
- ✓ 移速越慢，逗留时间越长，累积雨量越大，快速移动台风降雨相对较小

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风环流的维持不消和停滞

### ✓ 台风维持不消的主要影响因子

- 所经区域是否位于高层辐散区与负涡度区下方
- 低层是否处于扰动辐合区中
- 是否维持顺畅的水汽输送通道
- 台风上空是否存在较小的环境风垂直切变

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风环流的维持不消和停滞

### ✓ 台风维持不消的主要影响因子

- 未来所经区域是否存在面积较大水面（如湖泊和水库）或饱和湿地（陈联寿）
- 饱和土壤层和积水可对台风产生水汽反馈，导致暴雨加强
- 陆地水面一定程度上可减缓台风衰减速度

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风环流的维持不消和停滞

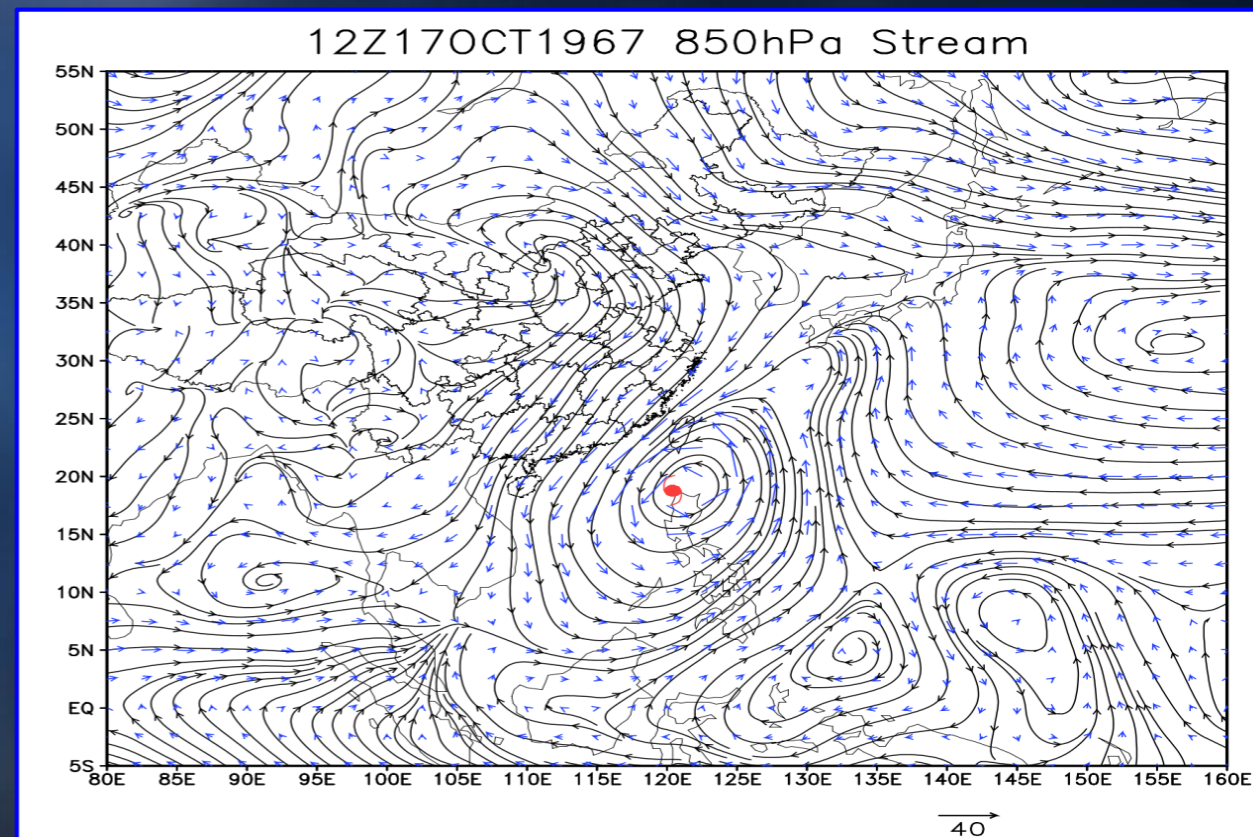
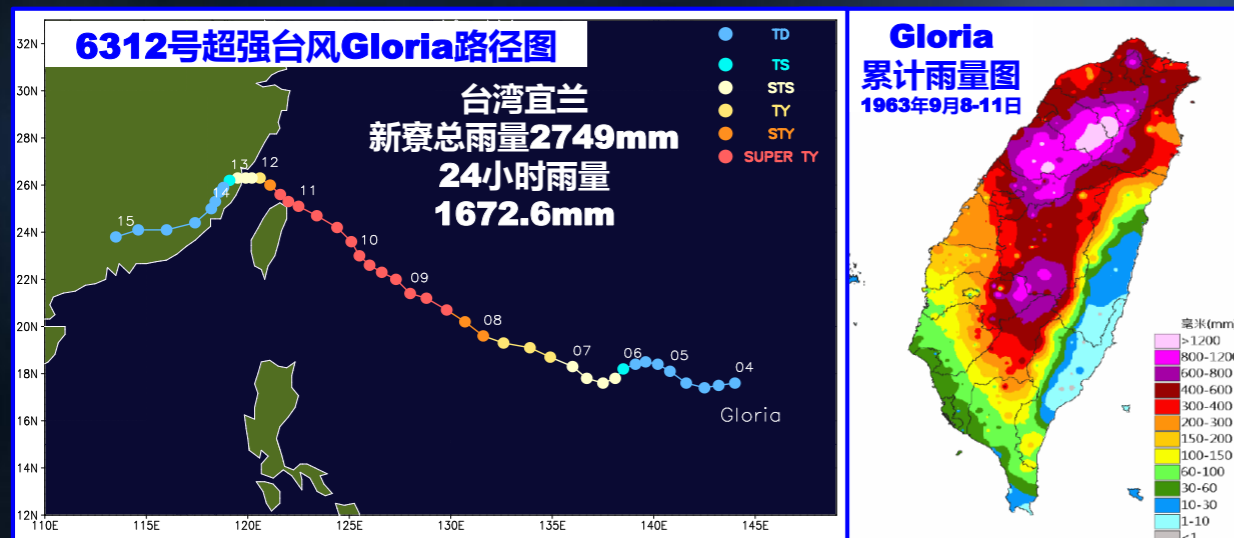
### ✓ 台风维持不消的主要影响因子

- 斜压能量是登陆台风残涡陆上维持不消的另一种能量
- 包括斜压位能的释放以及向动能的转化
- 常与中纬度环流系统相互作用及台风变性过程( **ET Process** ) 相联系  
( 陈联寿 )

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例1

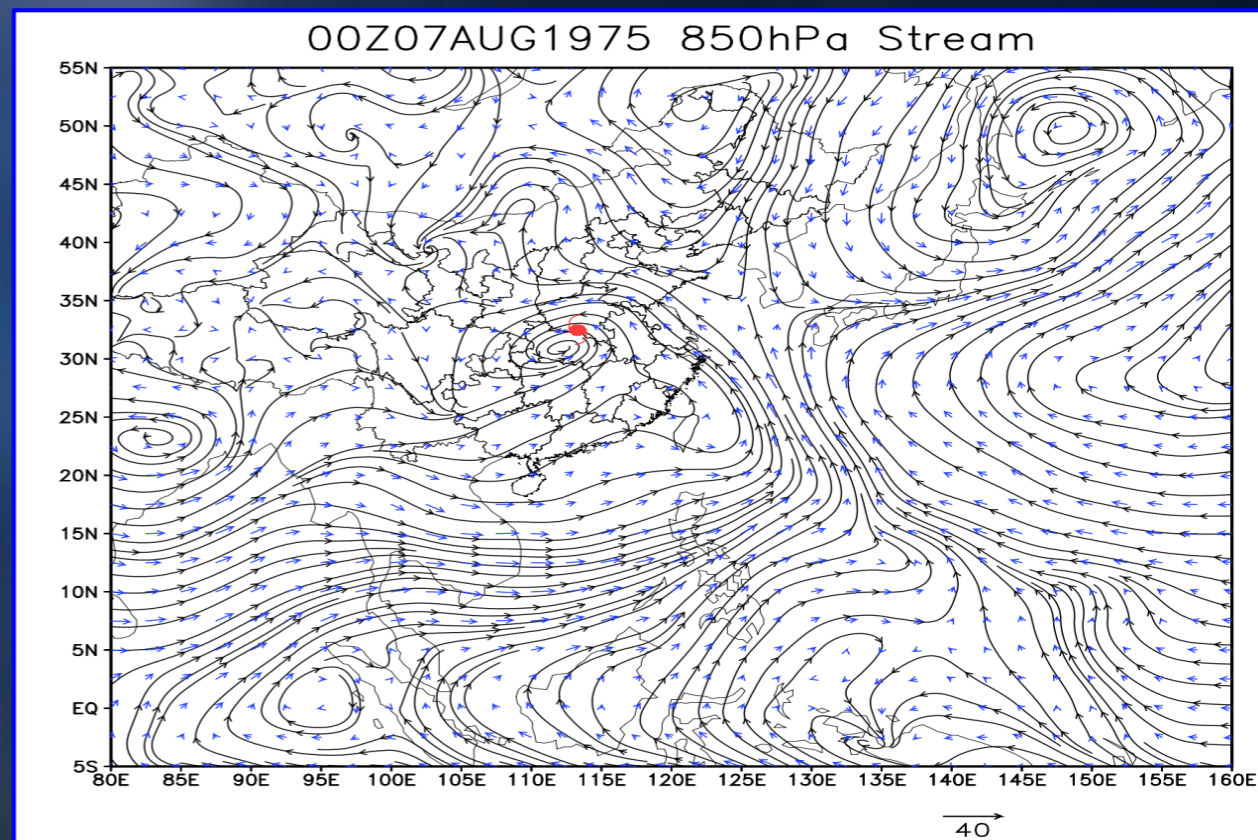
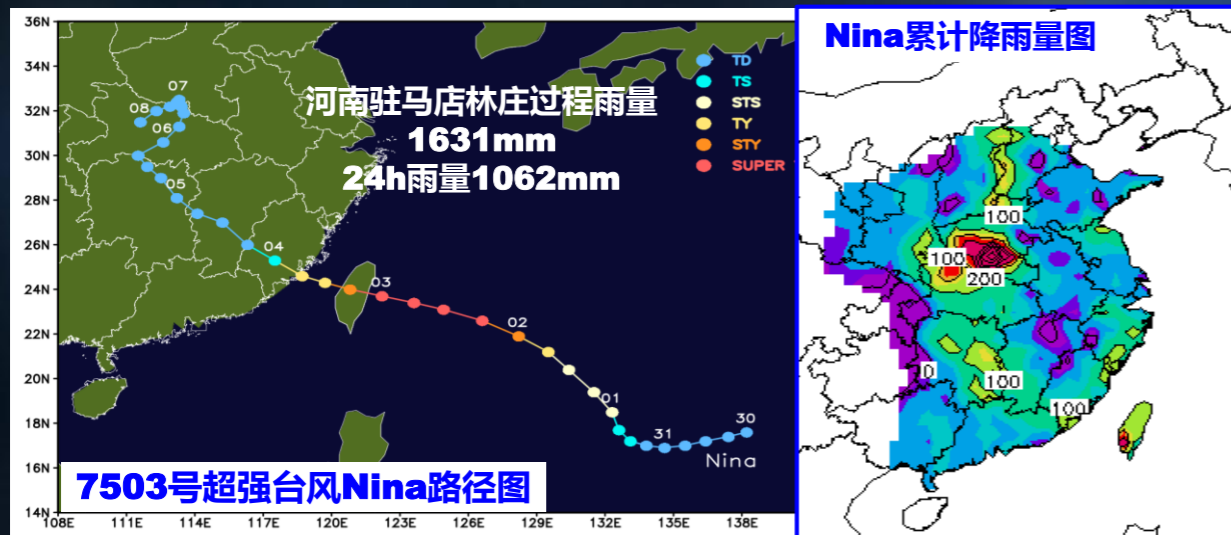
### ✓ 6718号超强台风Carla特大暴雨



# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例2

### ✓ “75.8” 特大暴雨

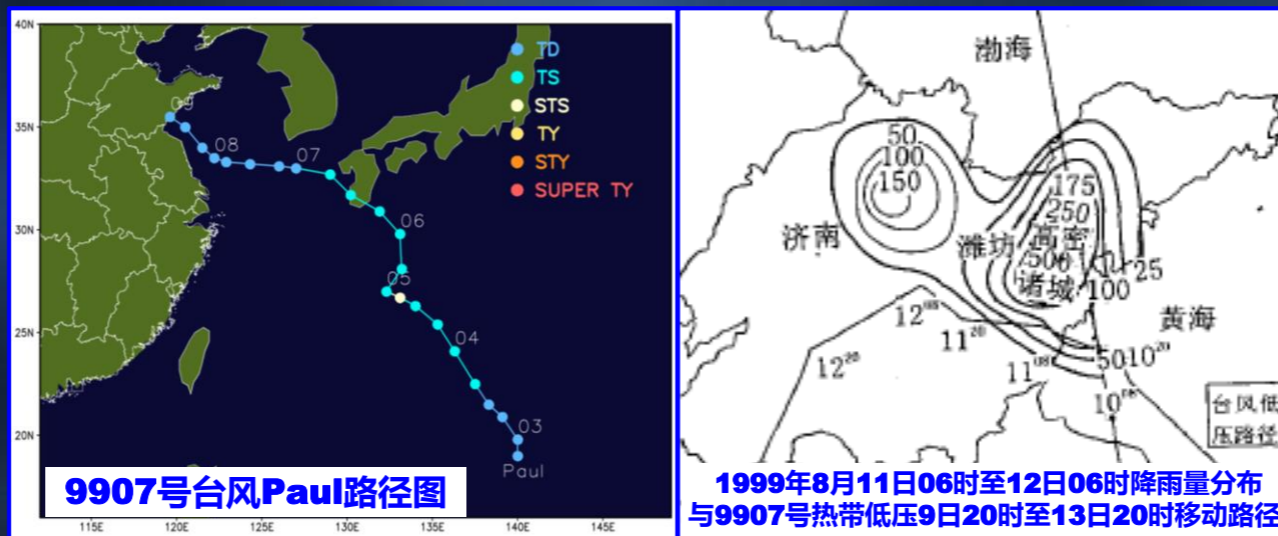


# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例3

### ✓ 9907山东特大暴雨过程

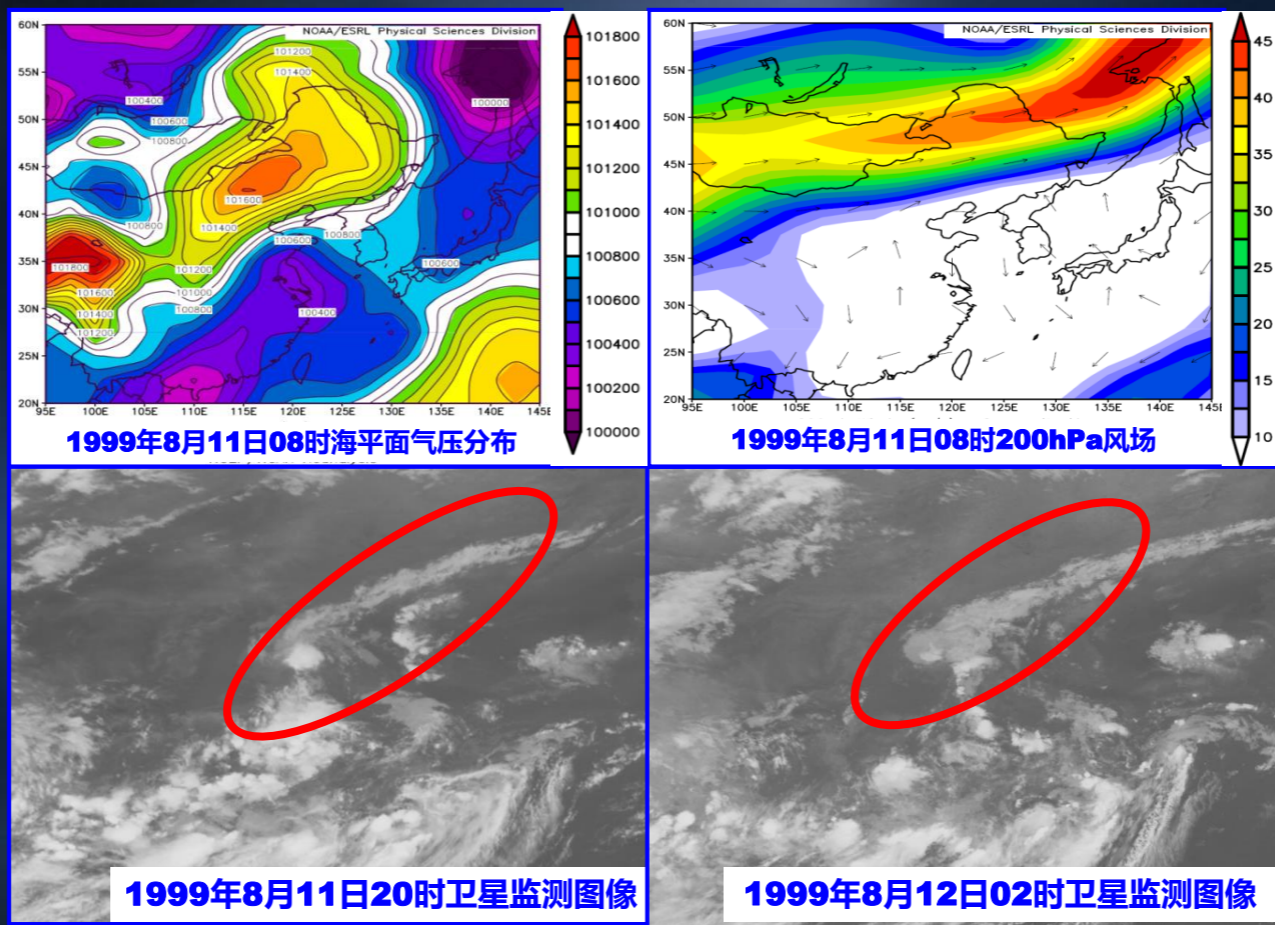
- 1999年8月11至12日，9907号台风Paul残余低压与弱冷空气结合，山东大范围暴雨到大暴雨，山东诸城雨量714.9mm



# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例3

### ✓ 9907山东特大暴雨过程

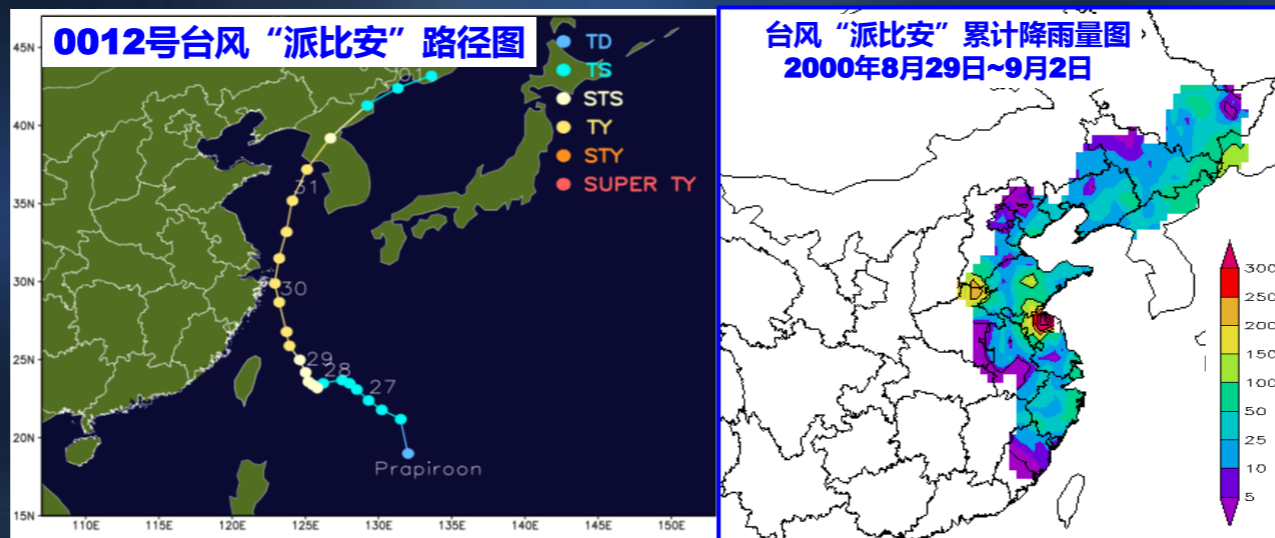


# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例4

### ✓ 0012江苏东北部特大暴雨

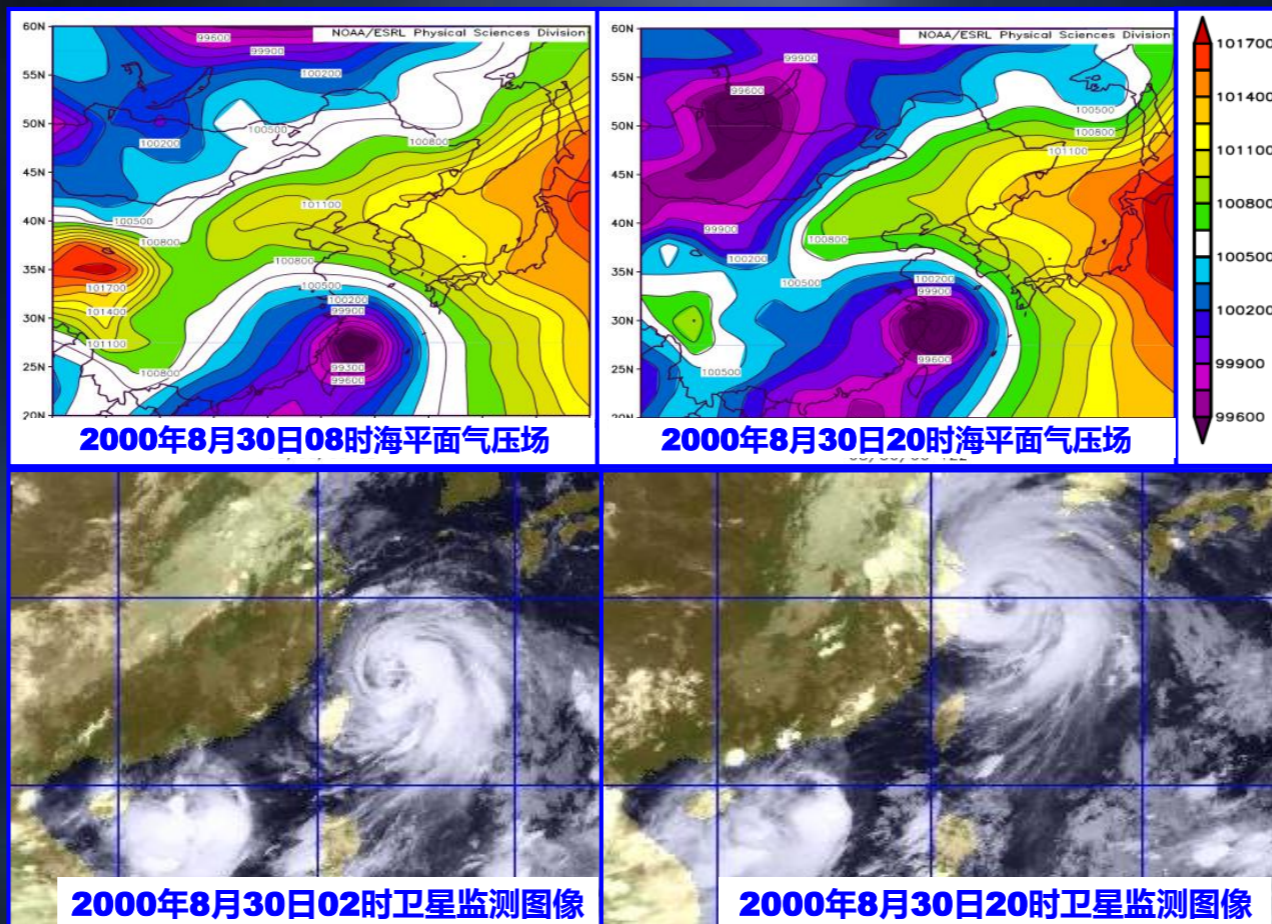
- 2000年8月29至9月2日，沪、苏北、鲁中、吉东50~200mm，苏东北200~400mm，响水总雨量908mm，24h雨量821mm



# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例4

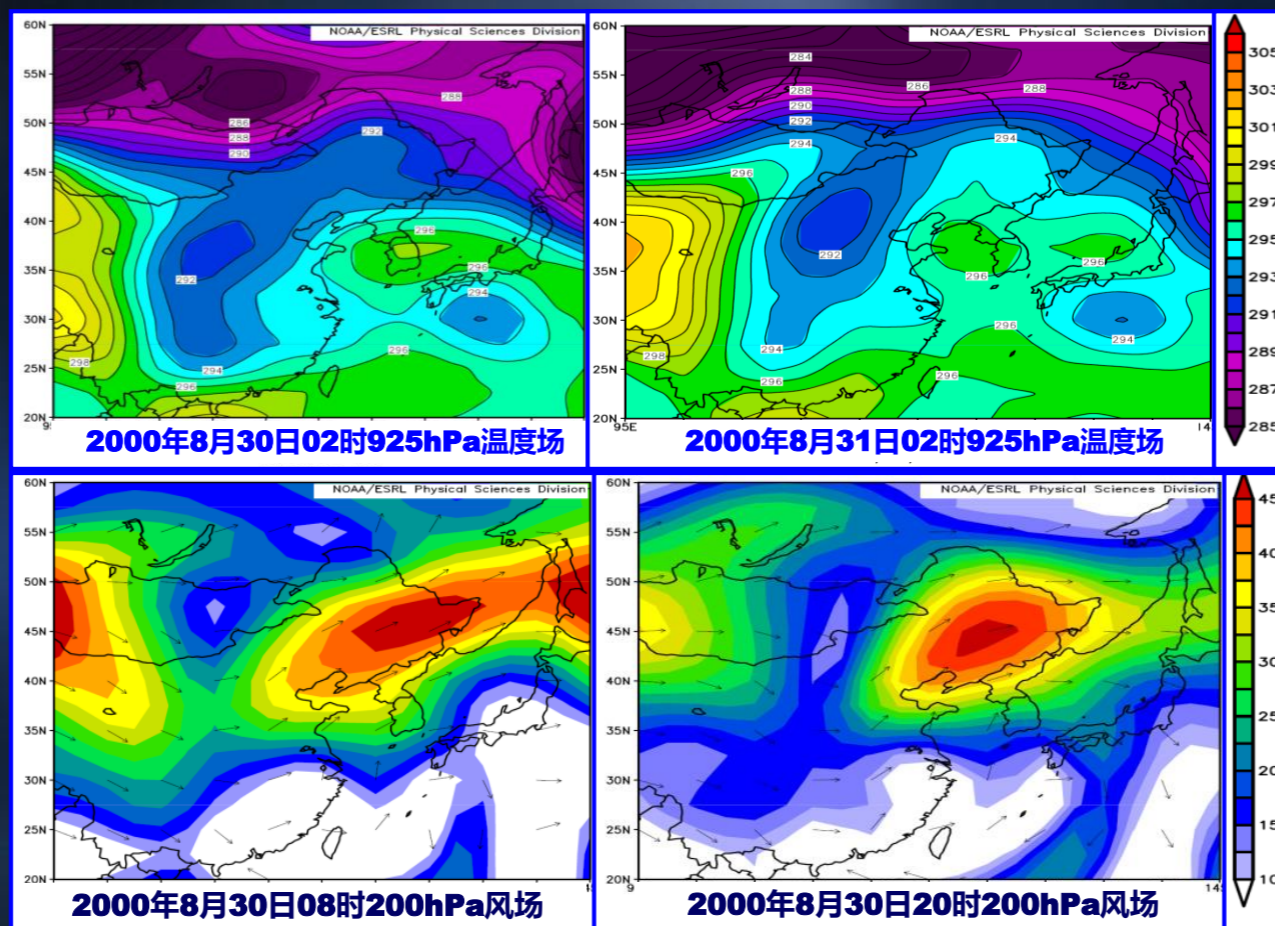
### ✓ 0012江苏东北部特大暴雨



# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例4

### ✓ 0012江苏东北部特大暴雨

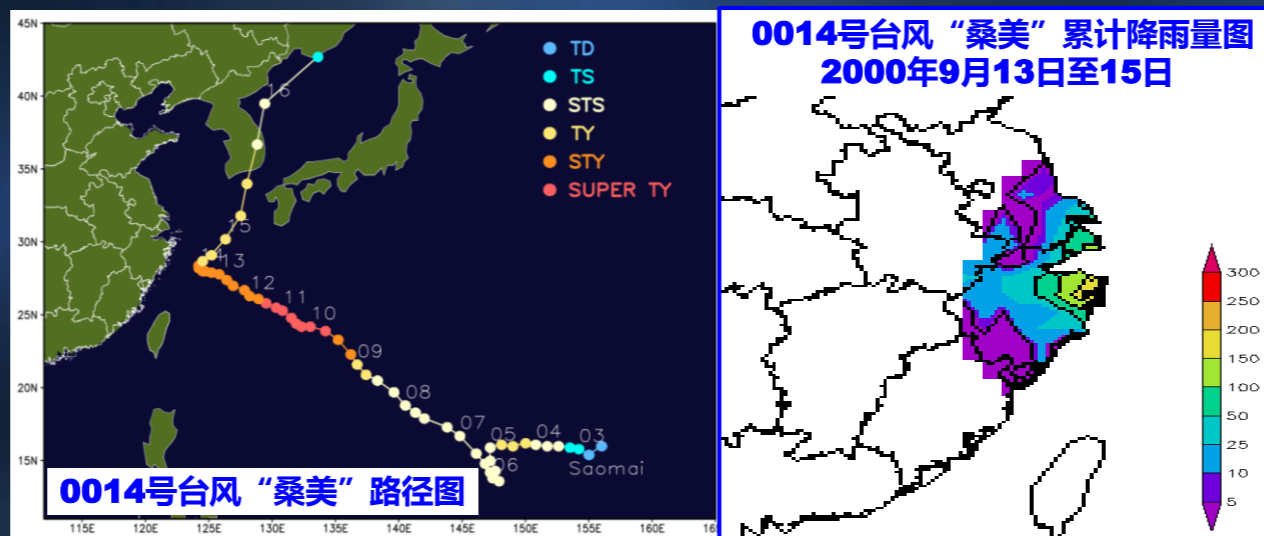


# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例5

### ✓ 0014浙江东北部特大暴雨

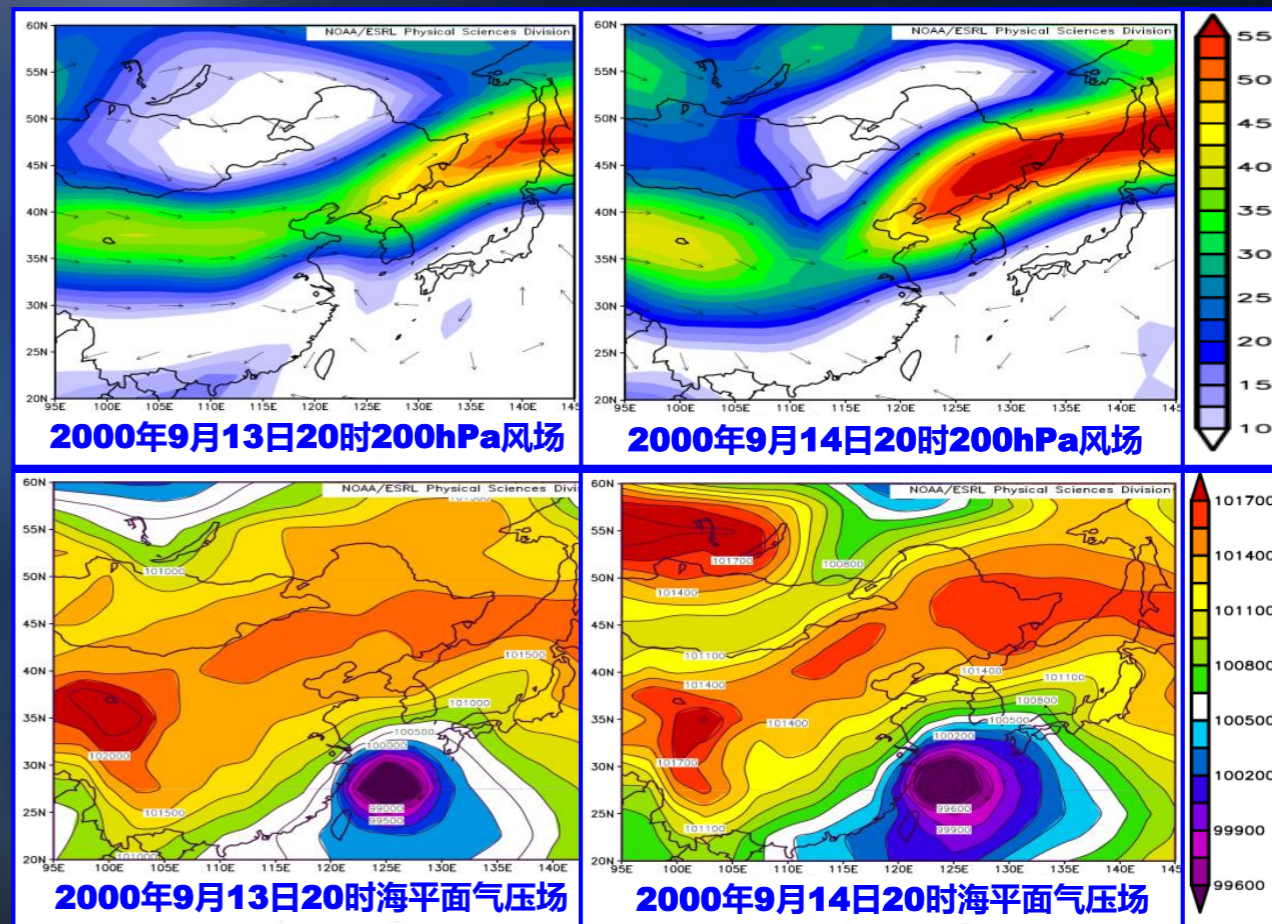
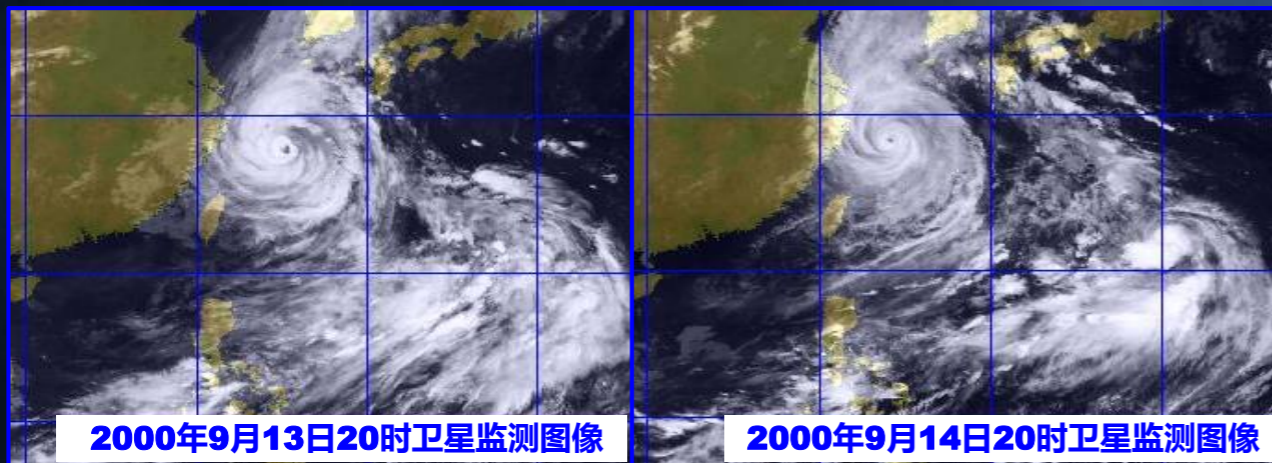
- 2000年9月13日至15日，浙江余姚夏家岭3天降雨742mm，创1949年以来浙江近海北上转向台风降雨之最



# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例5

### ✓ 0014浙江东北部特大暴雨

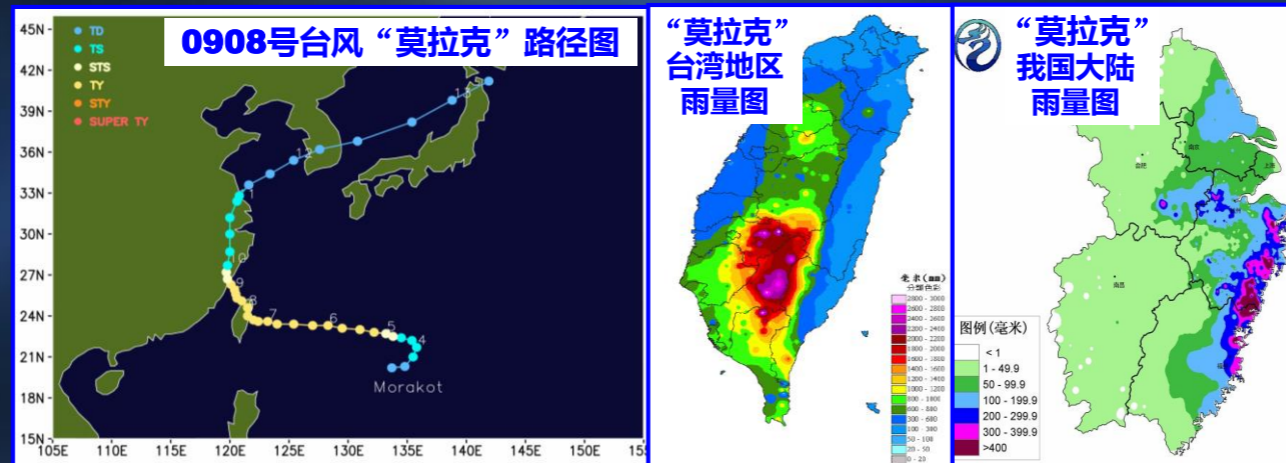


# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例6

### ✓ 0908号台风“莫拉克” 极端降雨

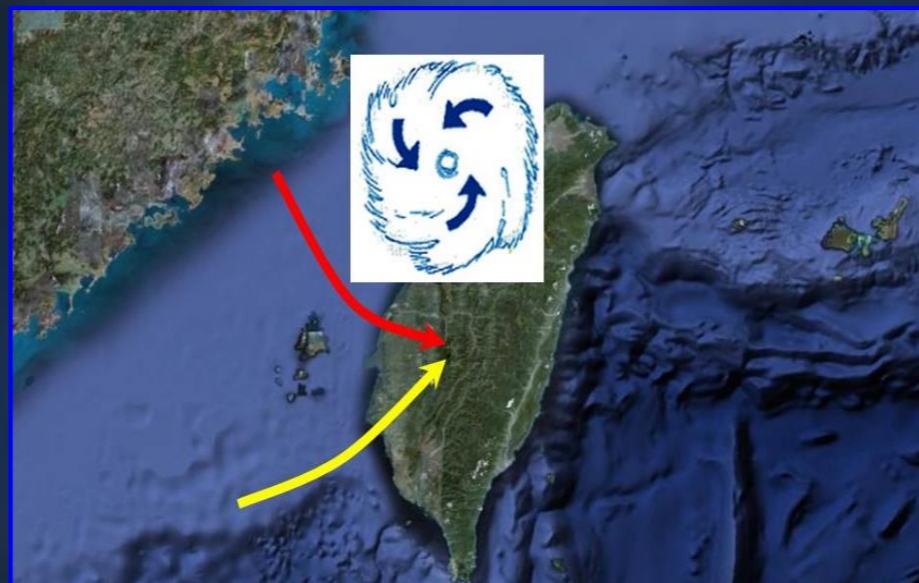
- 台湾中南部和东部出现极端强降雨，阿里山6天雨量达3059.5mm，24h日降雨1623.5mm
- 闽东北、浙东大暴雨，局地特大暴雨，浙江九峰雨量1250mm、24h雨量750mm



# 台风特大暴雨和暴雨增幅

- 台风特大暴雨和暴雨增幅个例6

- ✓ 0908号台风“莫拉克” 极端降雨



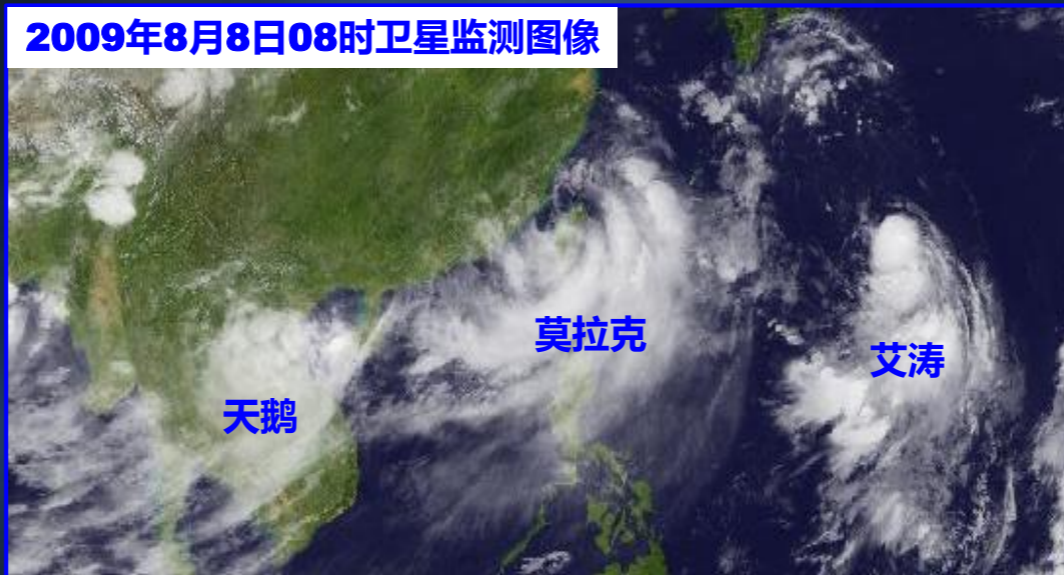
# 台风特大暴雨和暴雨增幅

- 台风特大暴雨和暴雨增幅个例6

- ✓ 0908号台风“莫拉克”极端降雨

- 双台风对“莫拉克”极端降雨影响的数值试验

2009年8月8日08时卫星监测图像

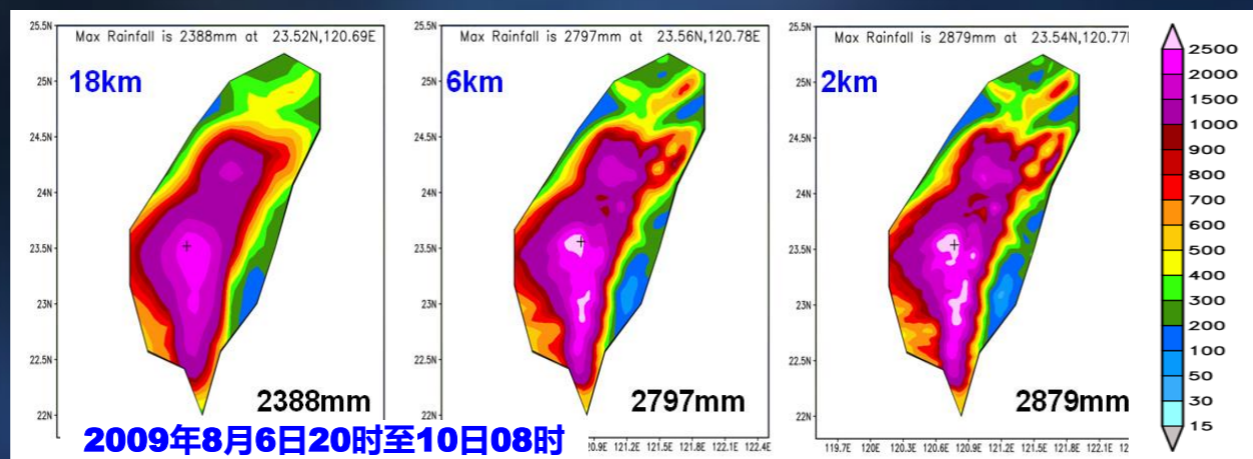


# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例6

### ✓ 0908号台风“莫拉克” 极端降雨

#### ● 双台风对“莫拉克” 极端降雨影响的数值试验



控制试验：保留“天鹅”环流

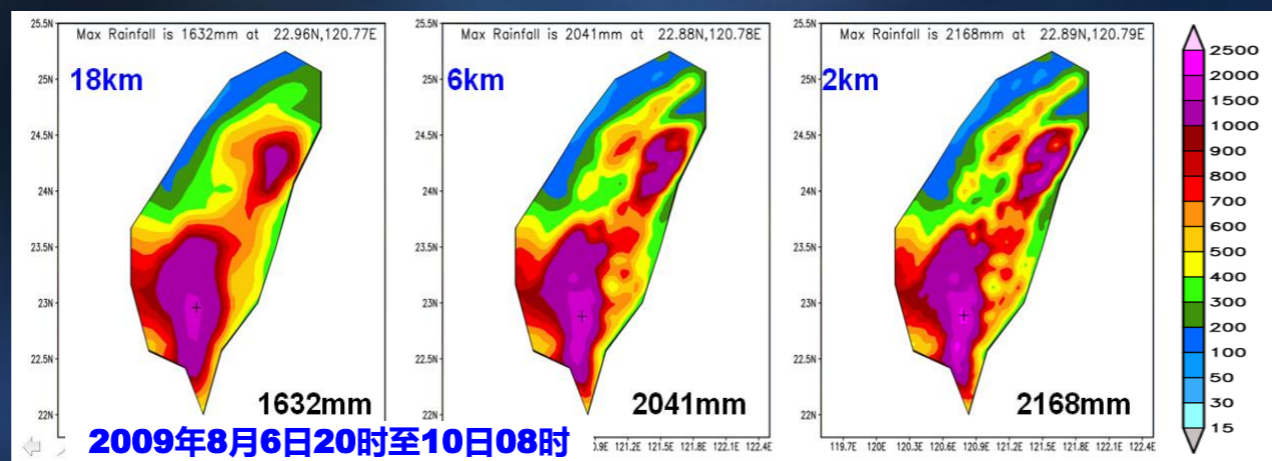
18、6和2km的累计降雨量分别为2388、2797和2879mm，与实况2821.5 mm非常接近

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例6

### ✓ 0908号台风“莫拉克”极端降雨

#### ● 双台风对“莫拉克”极端降雨影响的数值试验



#### 敏感性试验：滤除“天鹅”环流

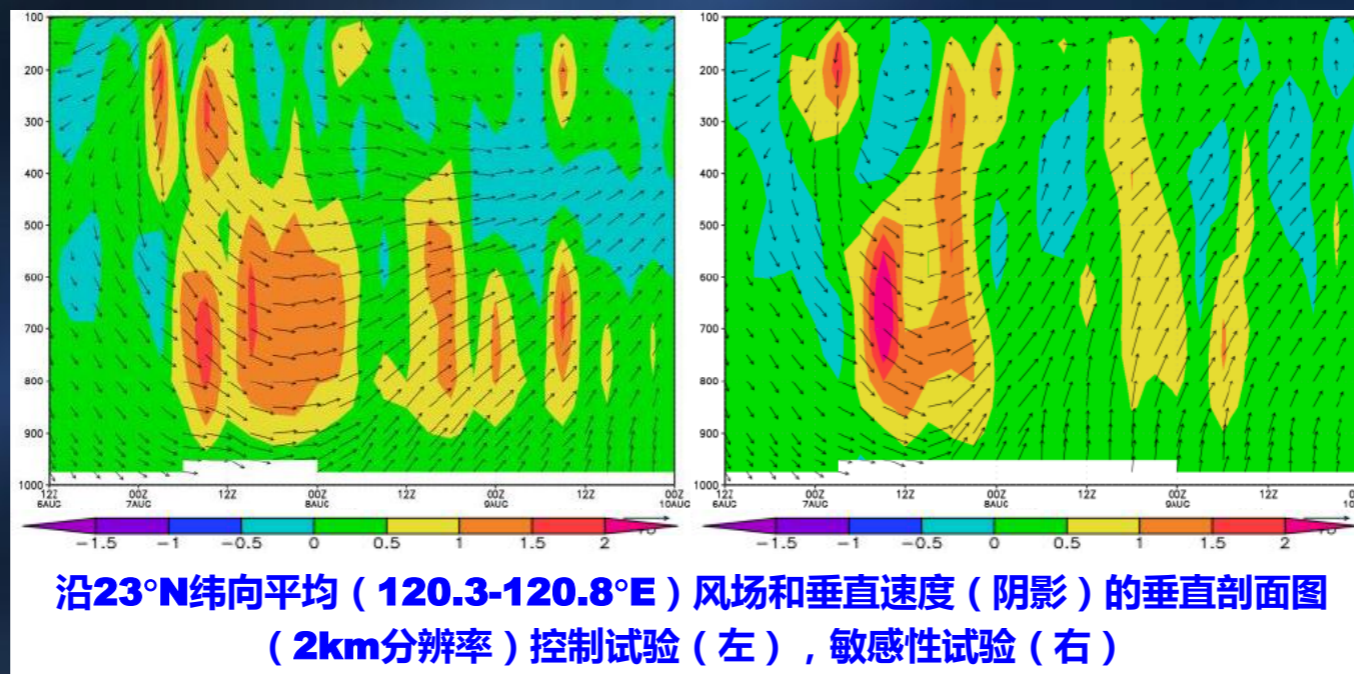
**18、6和2km累积降雨量分别较控制试验减小756、756和711mm，分别减少32%、27%和25%**

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例6

### ✓ 0908号台风“莫拉克”极端降雨

#### ● 双台风对“莫拉克”极端降雨影响的数值试验

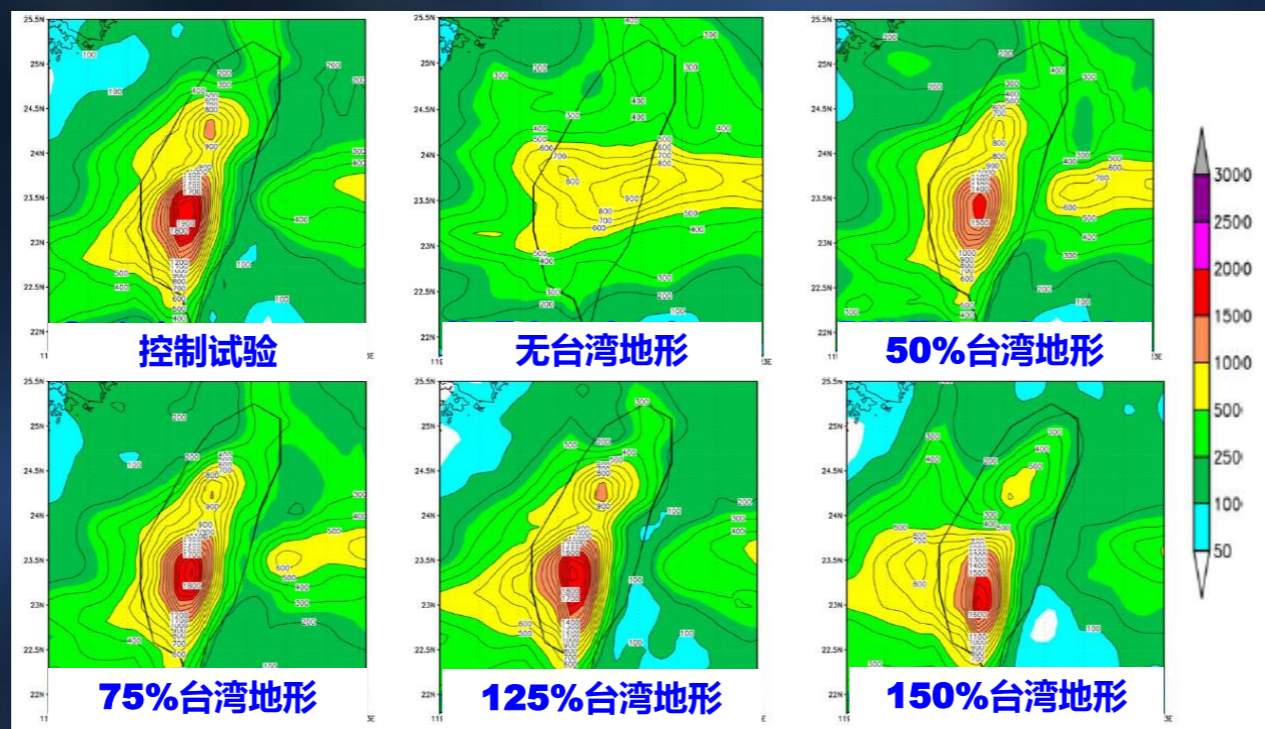


# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例6

### ✓ 0908号台风“莫拉克” 极端降雨

#### ● 台湾地形对“莫拉克” 极端降雨影响的数值试验



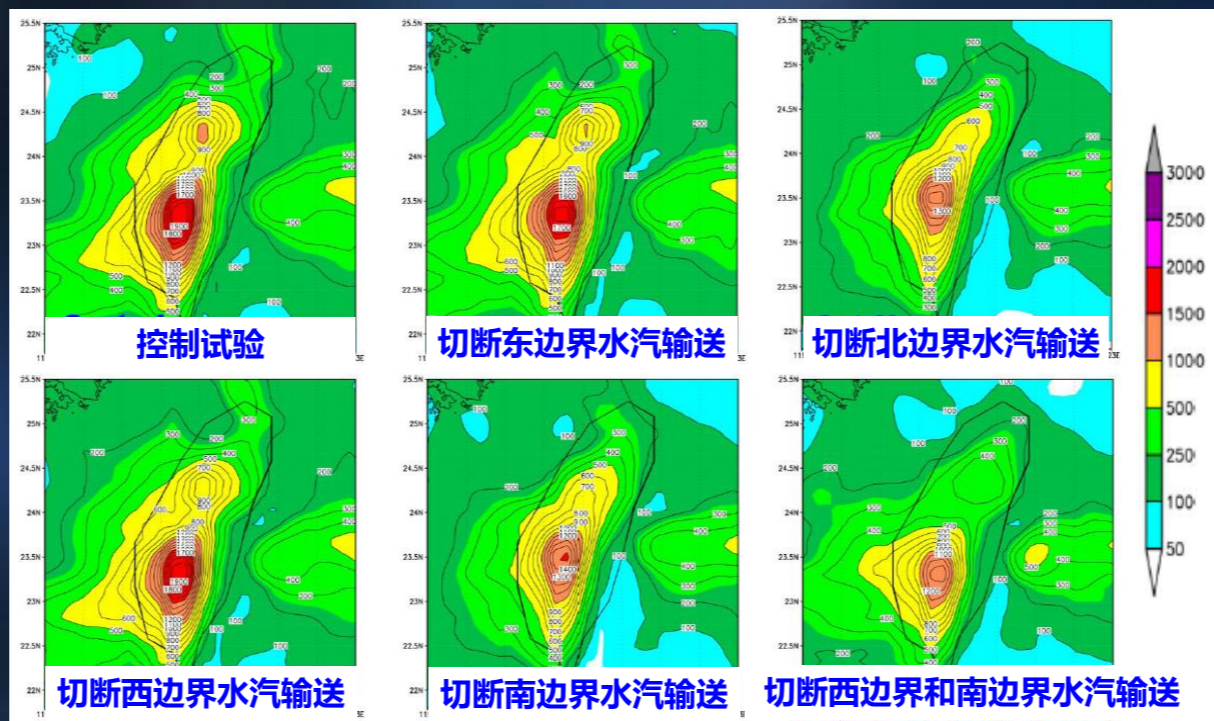
台湾地形对“莫拉克” 极端降雨的敏感性试验结果  
(2009年8月6日20时至10日08时)

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例6

### ✓ 0908号台风“莫拉克”极端降雨

#### ● 水汽输送对“莫拉克”极端降雨影响的数值试验



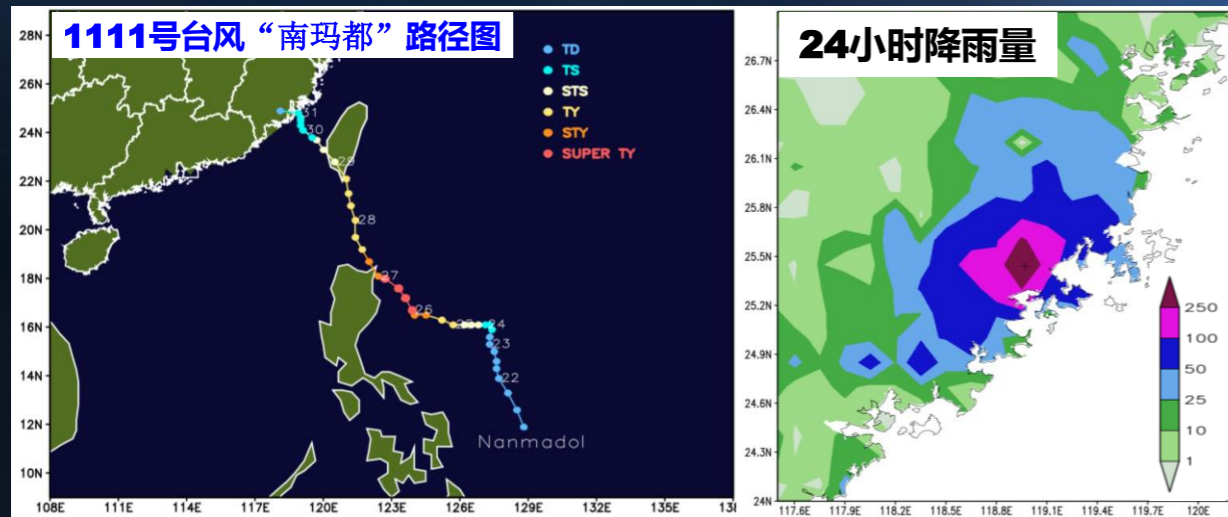
水汽输送对“莫拉克”极端降雨的敏感性试验结果  
(2009年8月6日20时至10日08时)

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

### ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨

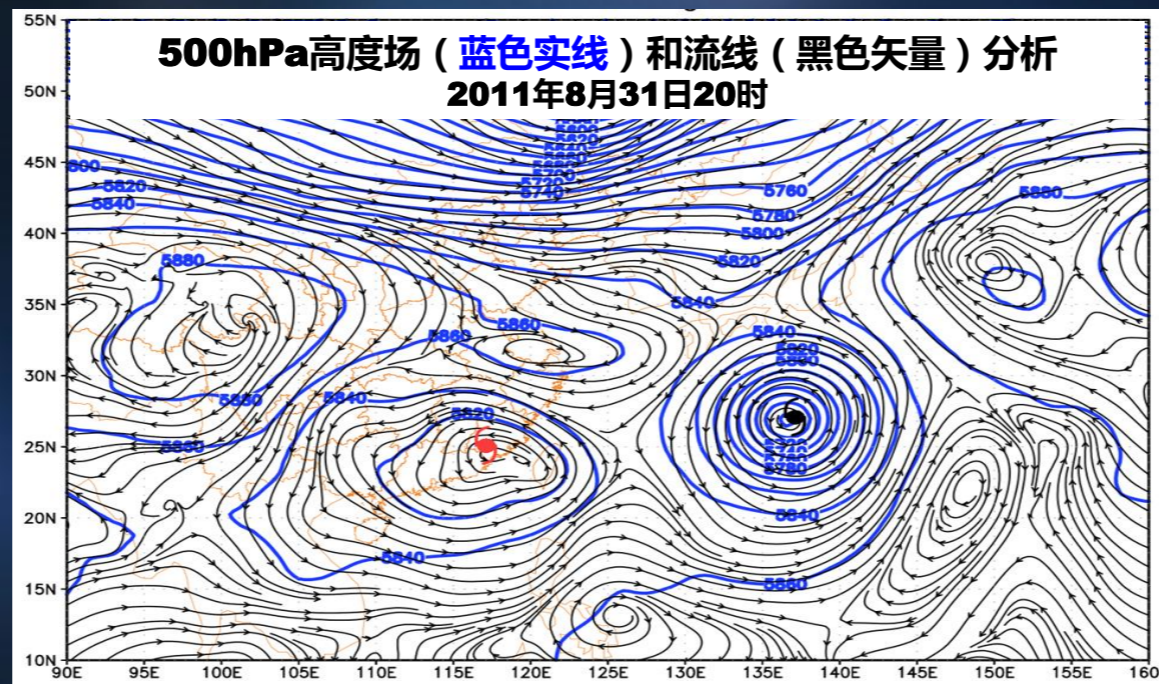
- 2011年8月31日20时至9月1日20时，福建莆田出现突发性特大暴雨，林桥24h雨量488.6mm，1h雨量达99.9mm
- 历时短、雨强大、局地性强、突发性，风、雨、潮三碰头，出现严重城市渍涝，引发山洪和山体滑坡灾害



# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

- ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨  
环流背景



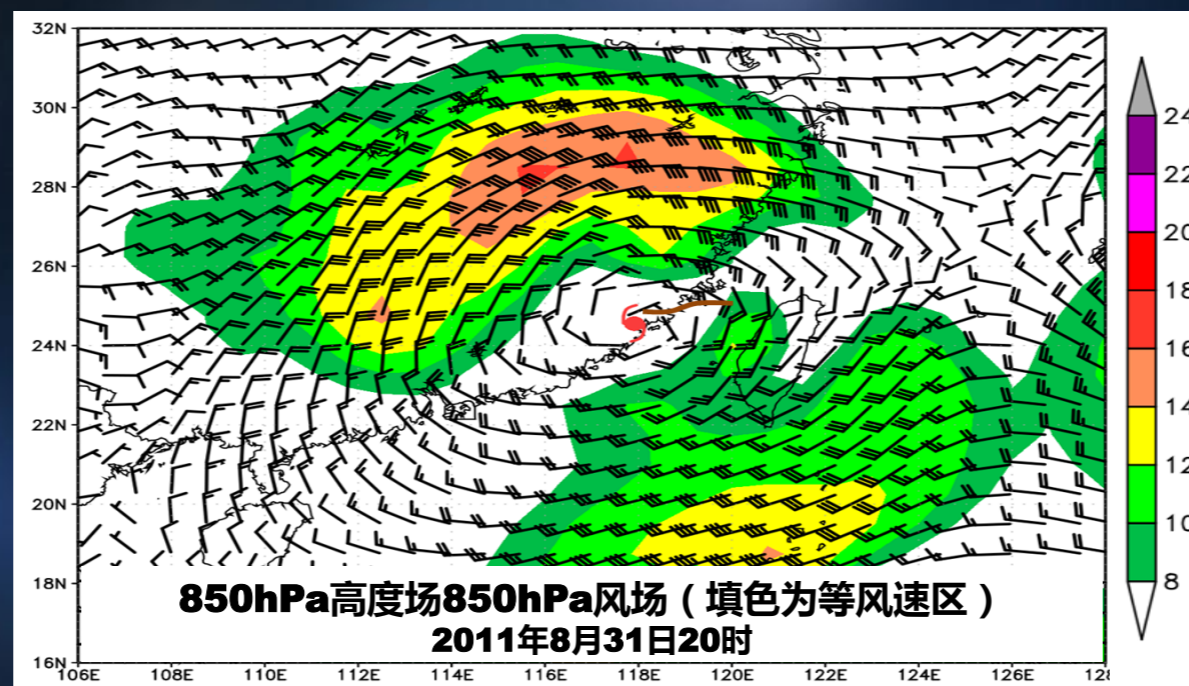
减弱后的低压在北侧大陆高压、东南侧赤道高压和东侧**1112**号台风“塔拉斯”制约下，在闽南徘徊

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

### ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨

#### 环流背景



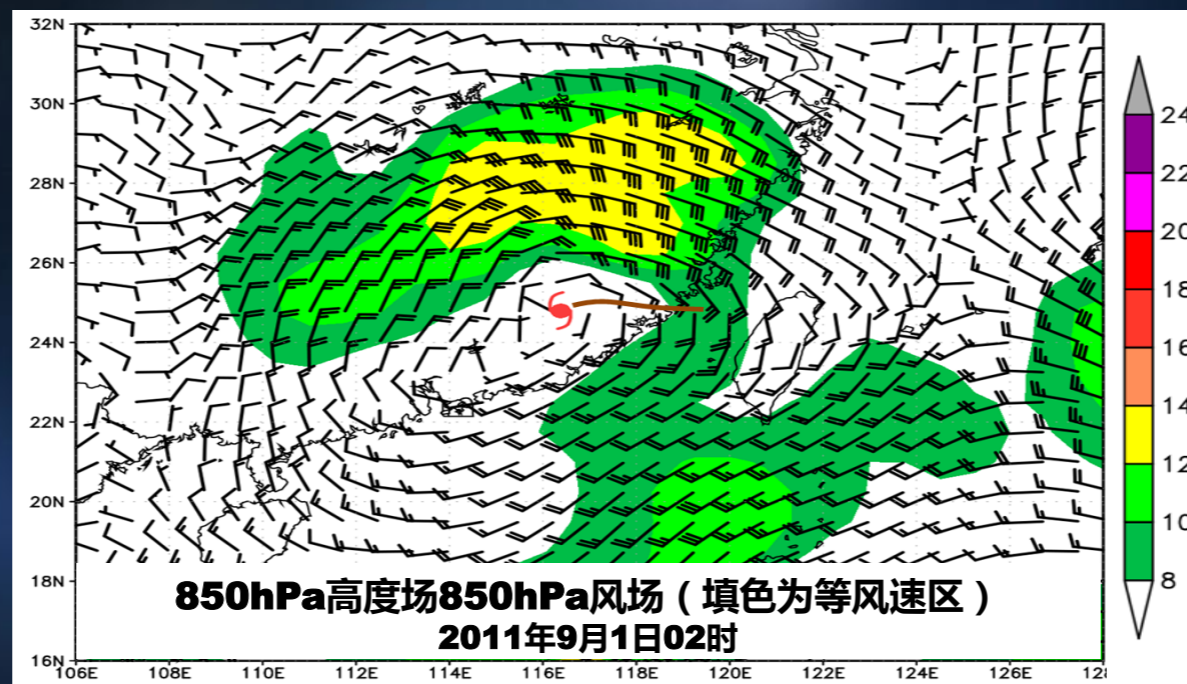
- 低压环流东侧的暖式切变线位于莆田以西台湾海峡，低层偏东风急流位于浙南一带
- 莆田降雨量不大，为中雨量级，强降雨集中在闽中和浙南

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

### ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨

#### 环流背景

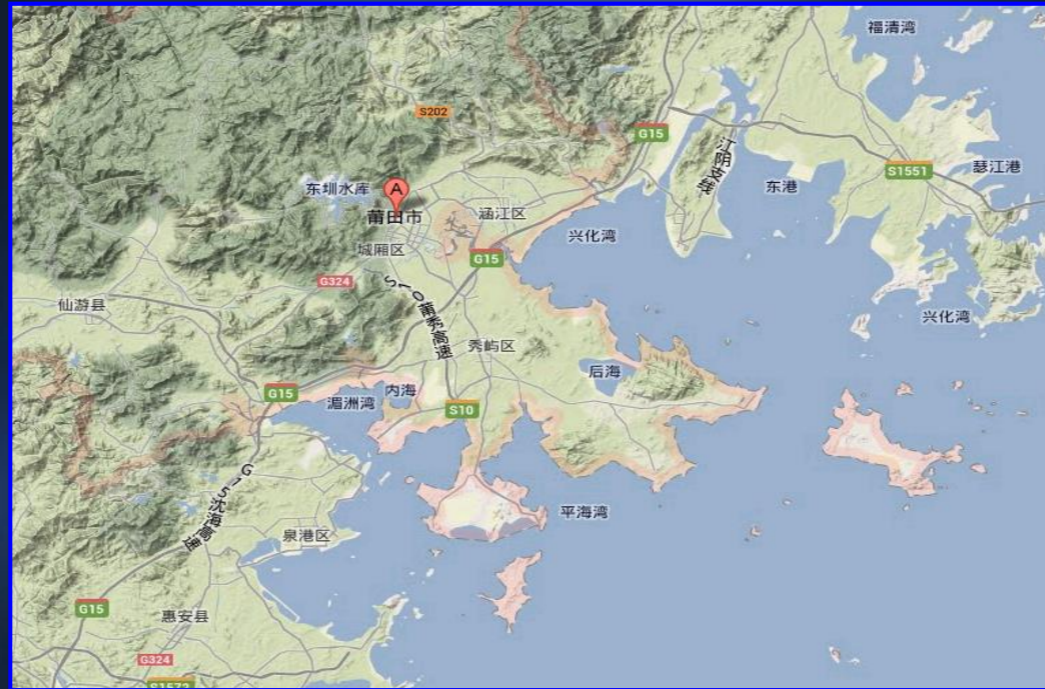


- “塔拉斯”西北移，大陆高压西退，低压环流西移，暖式切变线西移并稳定在莆田至龙岩一线，莆田由东南气流转为偏南或西南气流，风速增强
- 暖式切变的稳定维持为大暴雨提供动力触发条件

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

- ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨  
特殊地形对强降雨的影响



- 莆田位于丘陵地区，西部为山区，东部为平原或丘陵地带
- 东临台湾海峡，东部为湄洲湾、兴化湾、平海湾

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

### ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨 特殊地形对强降雨的影响 — 数值试验

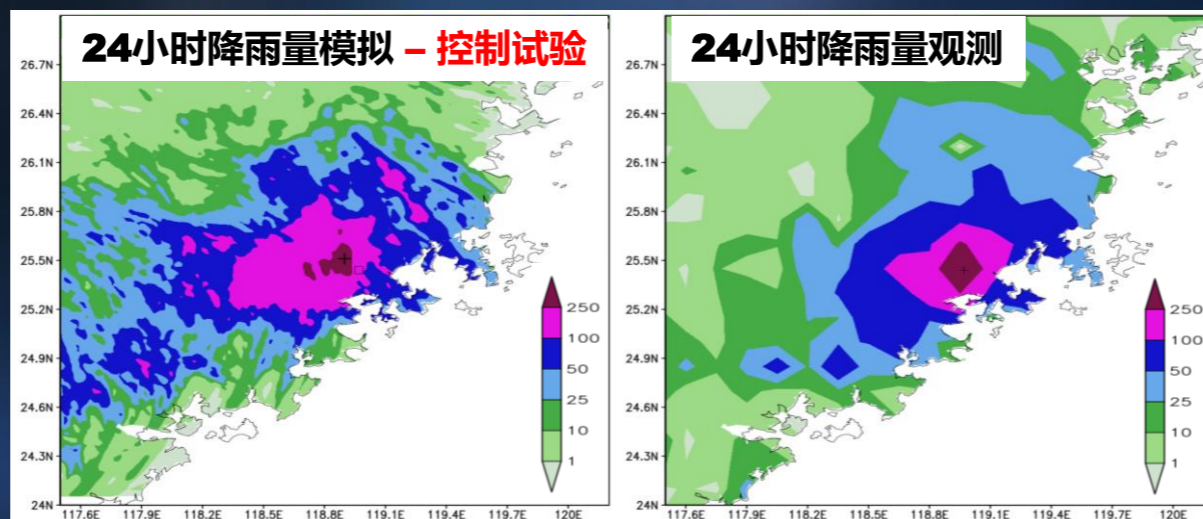
- 控制试验，保持模式原有地形
- 敏感性试验1，莆田附近地形高度取0m
- 敏感性试验2，保持模式原有地形，将湄洲湾、兴化湾和平海湾的海面改为陆地

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨

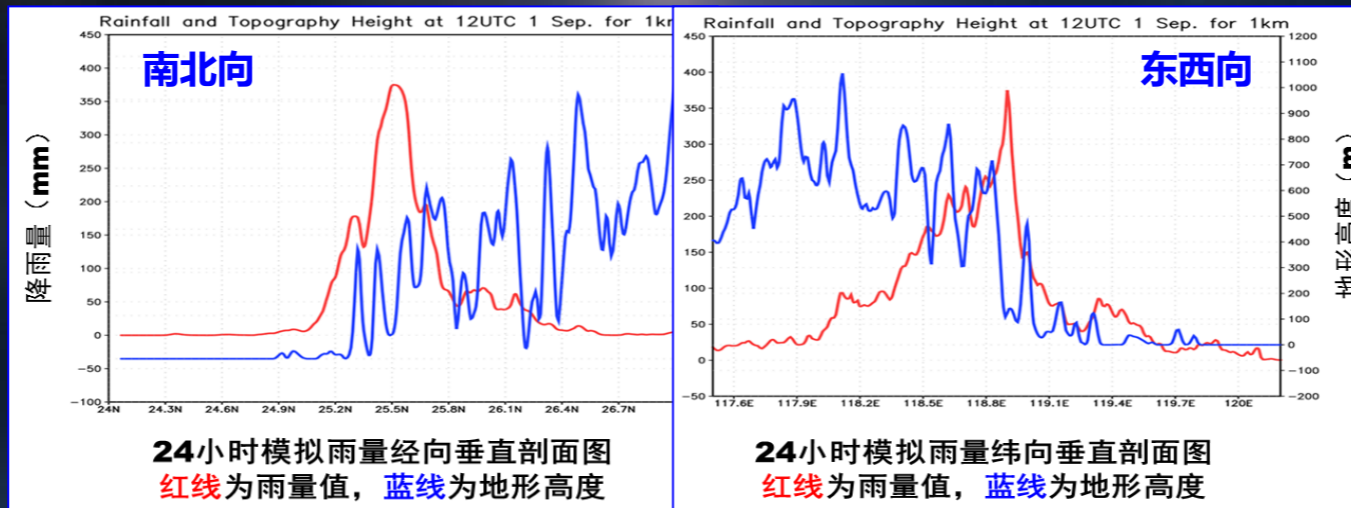
特殊地形对强降雨的影响 —— 数值试验



- 模拟的雨量中心达375mm，较实况488.6mm偏弱
- 大于250mm的强降雨区与地形走势基本一致，主要位于地形迎风坡一带

# ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨

## 特殊地形对强降雨的影响 —— 数值试验

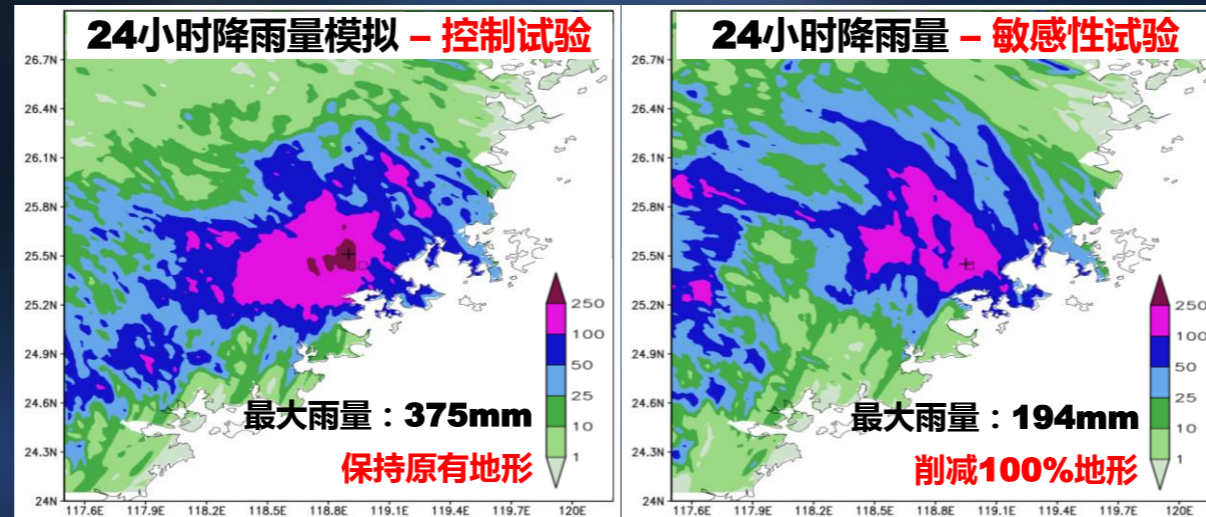


- 迎风坡雨量随着地形高度的增大而增加
- 背风坡雨量随着地形高度的减小而减少
- 雨量量值分布曲线与山脉高度分布曲线基本相一致
- 气流翻越不同海拔高度山脉, 地形产生雨量存在较大差别

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

- ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨  
特殊地形对强降雨的影响 —— 数值试验

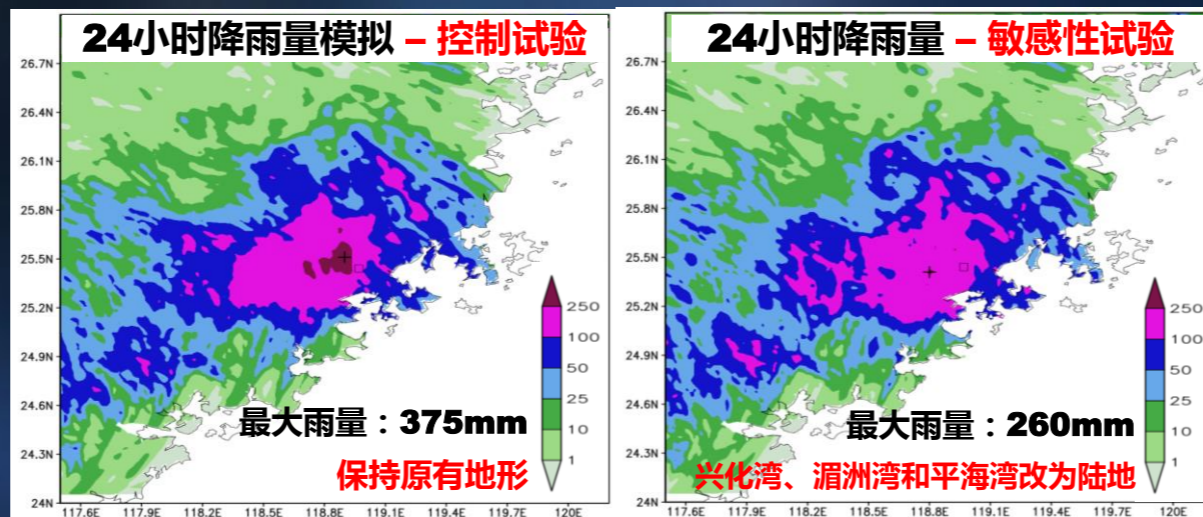


- 100%去除地形后，降雨量较有地形时减小了181mm ( 48.3% )

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

- ✓ “南玛都” 残涡福建莆田特大暴雨  
特殊地形对强降雨的影响 —— 数值试验



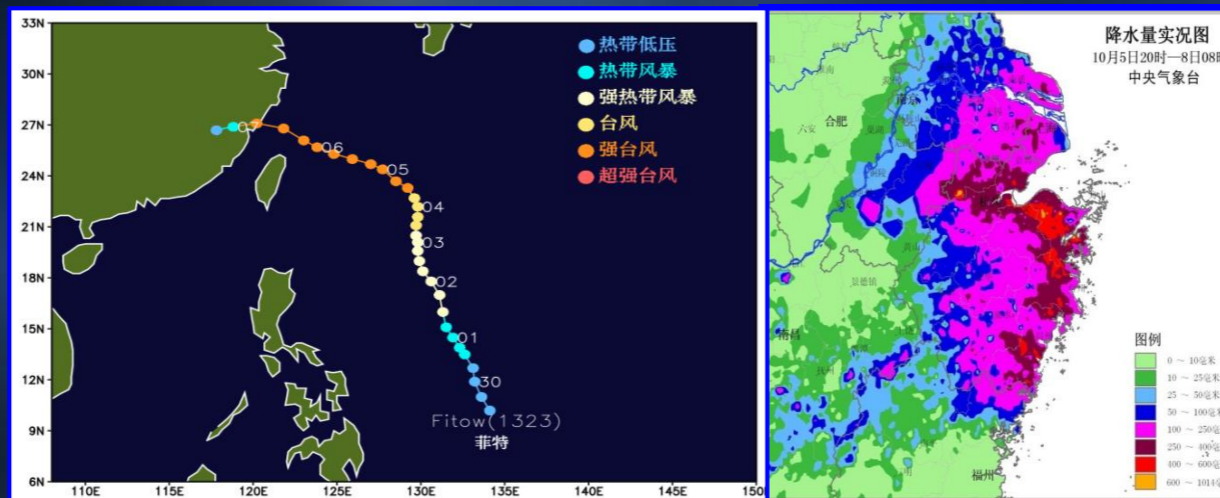
- 湄洲湾、兴化湾和平海湾修改为陆地后，降雨量减小了115mm ( 30.7% )

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

### ✓ 1323号台风“菲特”浙北极端降雨

- 2013年10月5日20时至8日8时，苏东南、沪、浙北、浙东、闽东北降雨200-350mm，浙北和浙东400-600mm，浙江安吉天荒坪1014mm、象山黄泥桥778mm



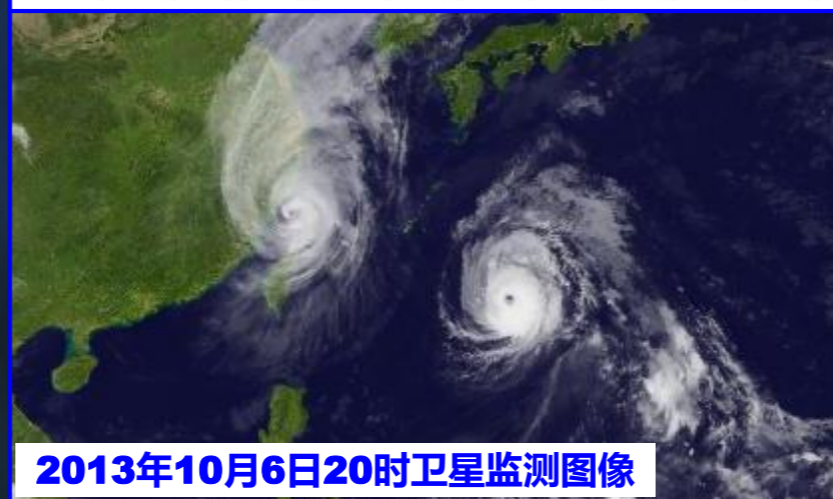
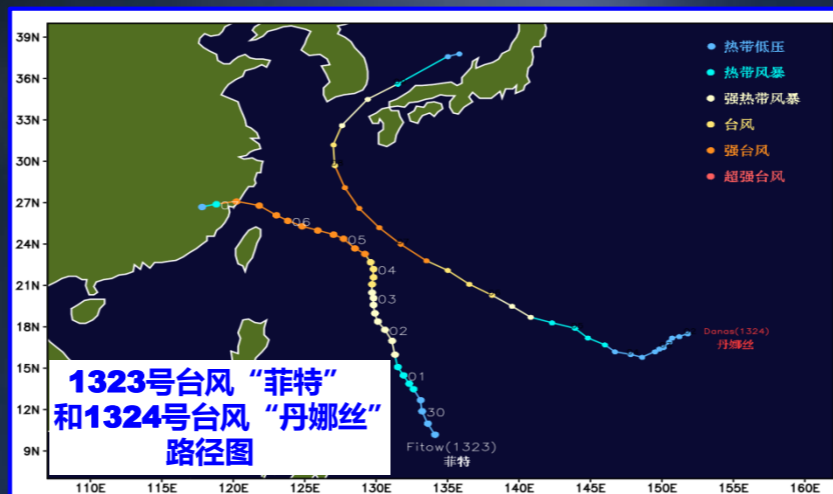
1323号台风“菲特”路径图

“菲特”累计雨量图

# 台风特大暴雨和暴雨增幅

## ● 台风特大暴雨和暴雨增幅个例7

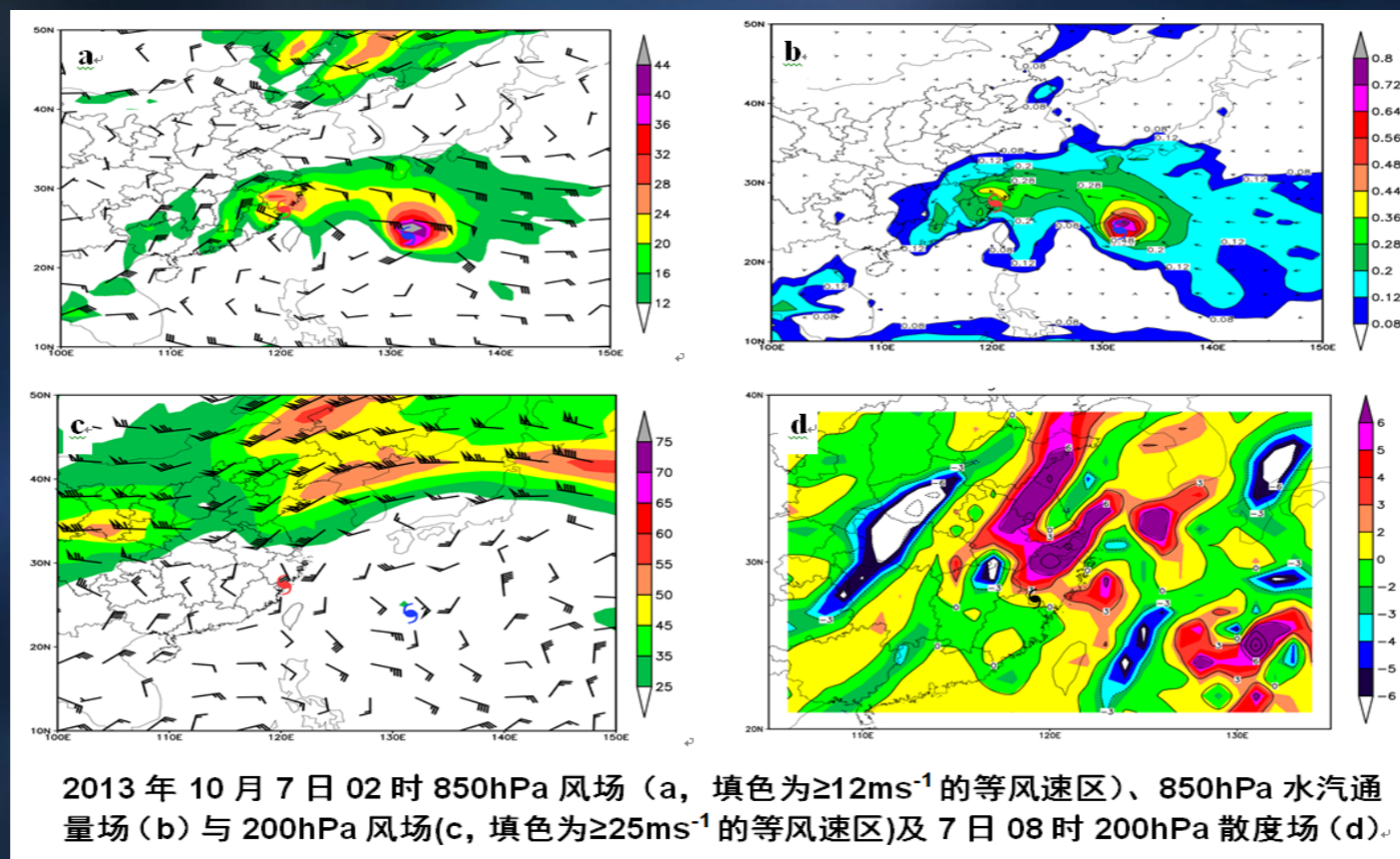
### ✓ 1323号台风“菲特” 浙北极端降雨



# □ 1323号台风“菲特”浙北极端降雨

## ✓ 第一阶段强降雨

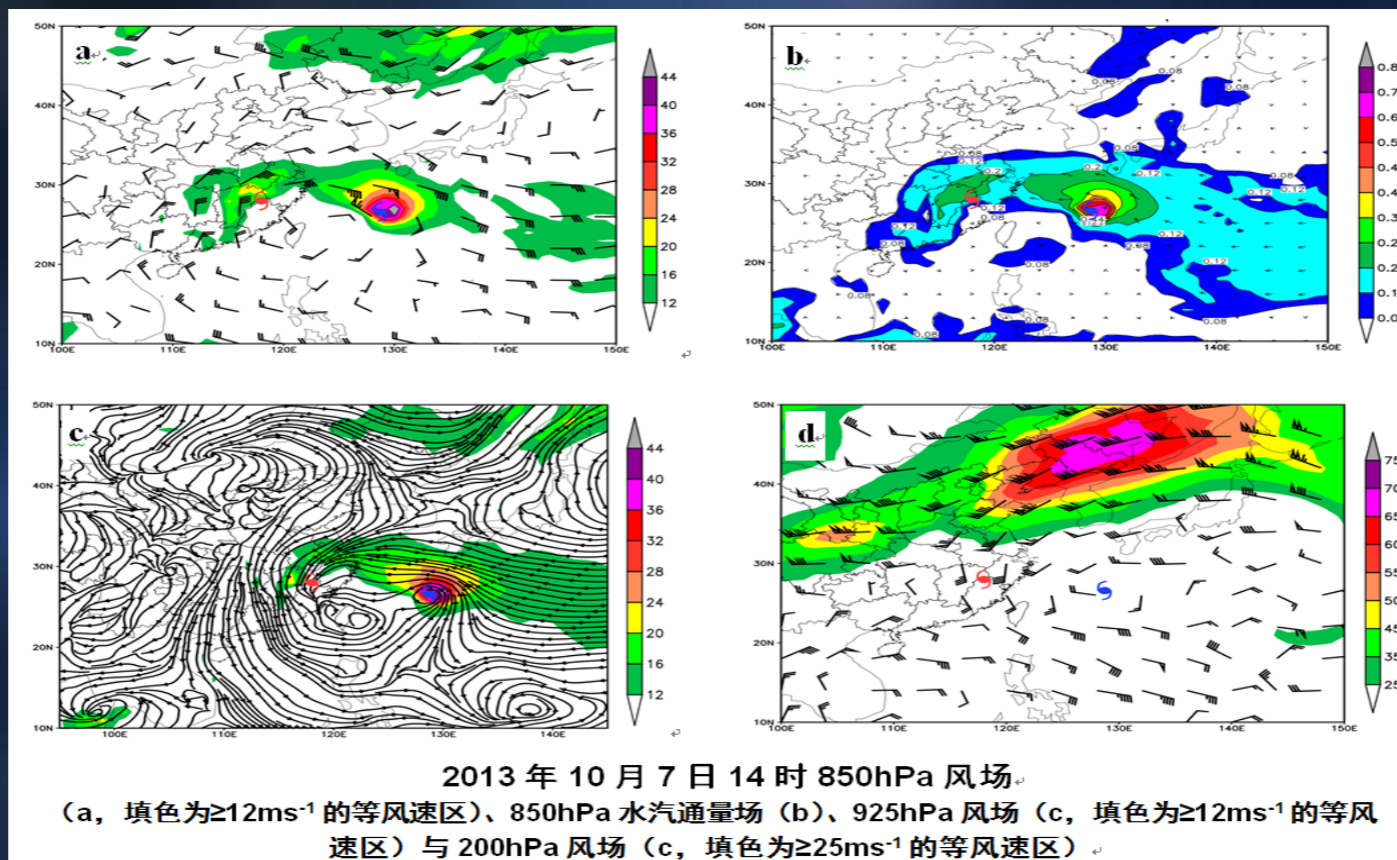
- 6日晚上至7日上午
- “菲特”本体、台风倒槽及偏东气流共同影响



# □ 1323号台风“菲特” 浙北极端降雨

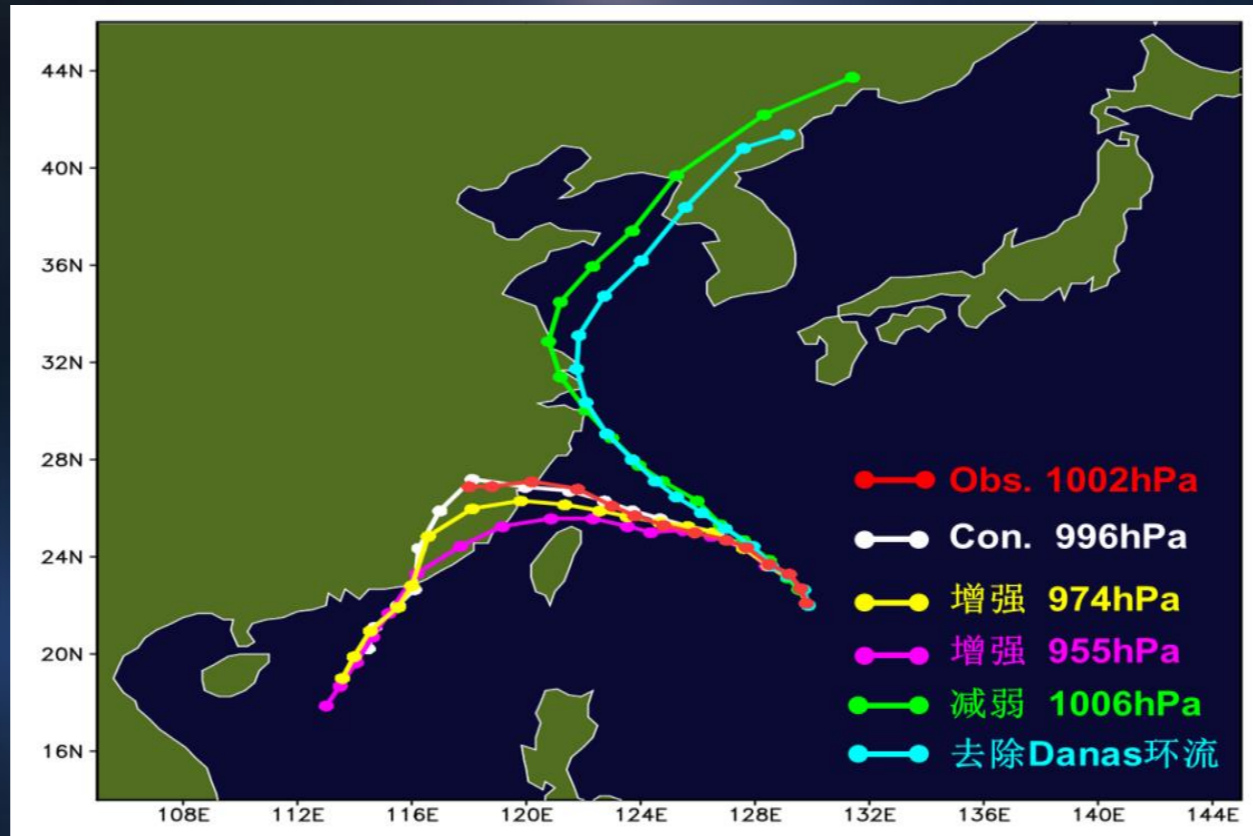
## ✓ 第二阶段强降雨

- 7日下午至8日白天
- “菲特”残涡、冷空气与偏东气流共同影响



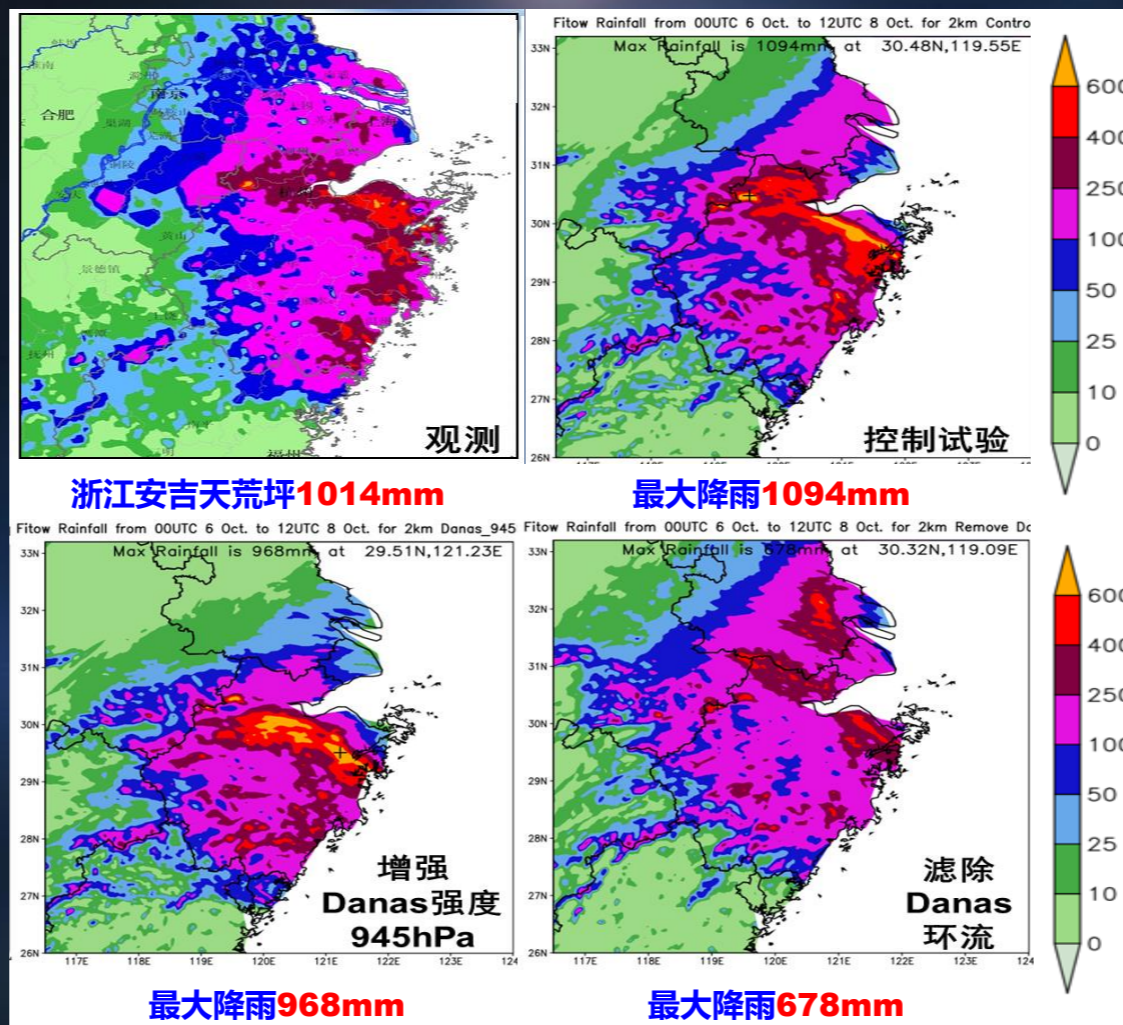
## □ 1323号台风“菲特” 浙北极端降雨

### ✓ 双台风对“菲特” 极端降雨影响的数值试验



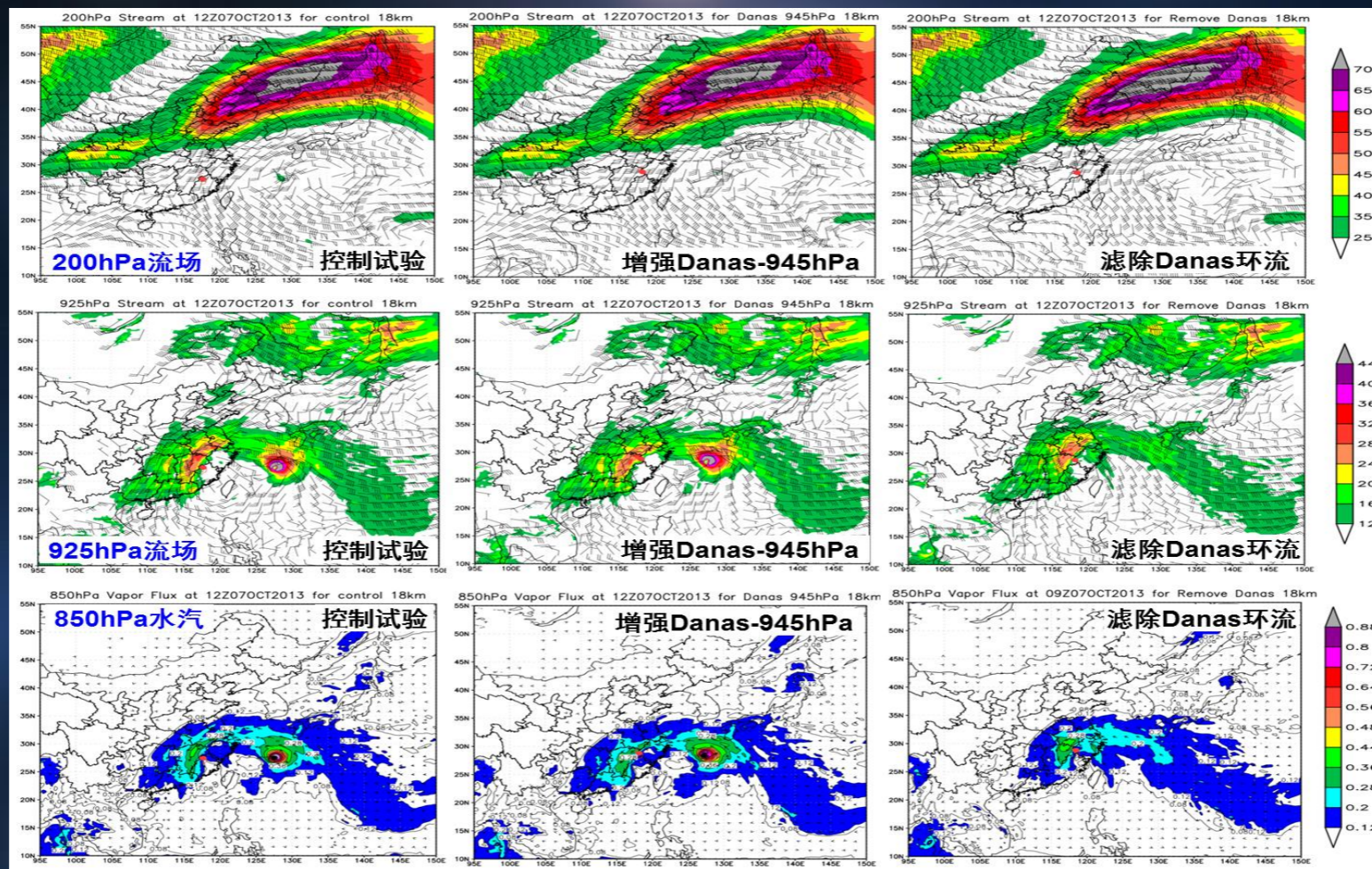
# 1323号台风“菲特”浙北极端降雨

## 双台风对“菲特”极端降雨影响的数值试验



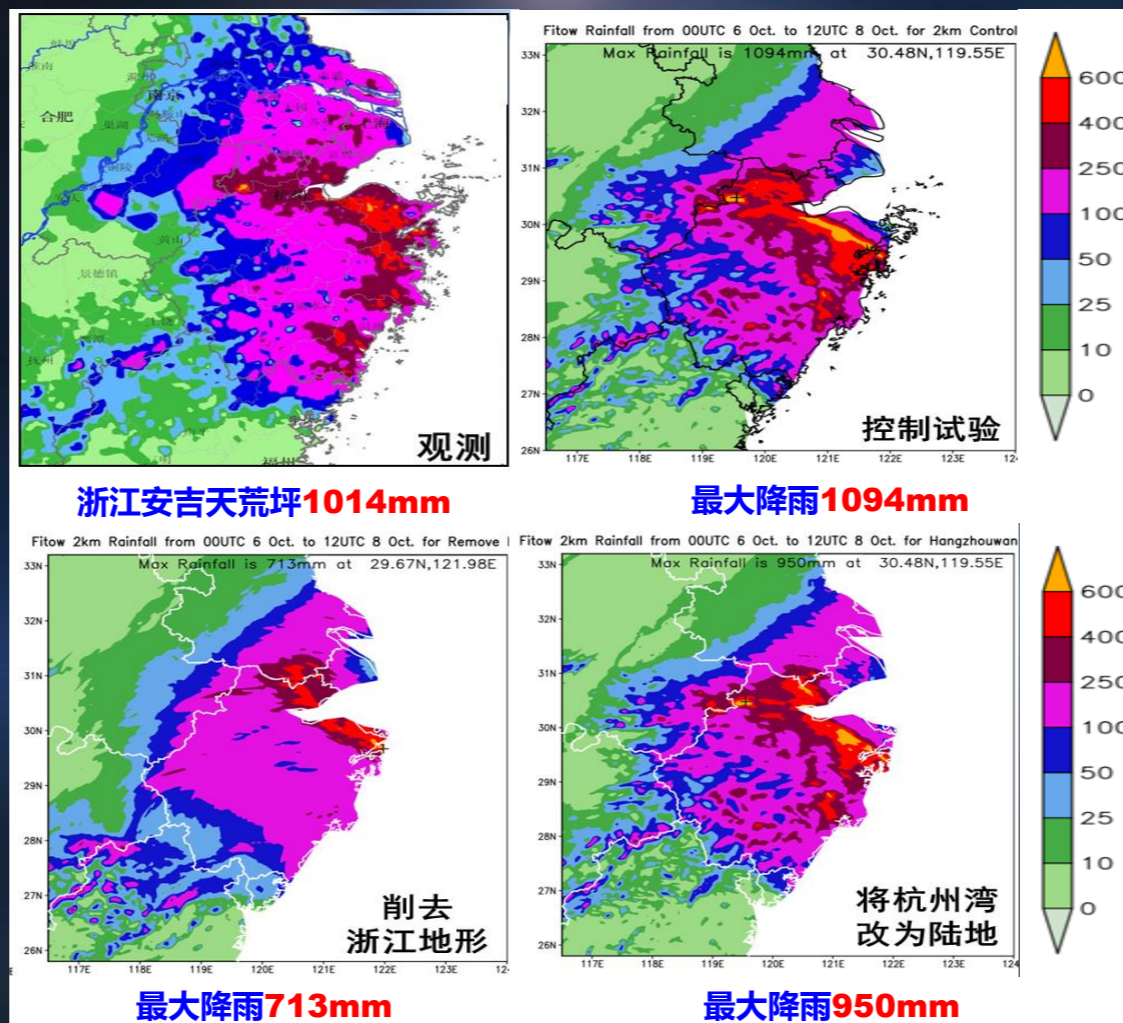
# 1323号台风“菲特” 浙北极端降雨

## 双台风对“菲特” 极端降雨影响的数值试验

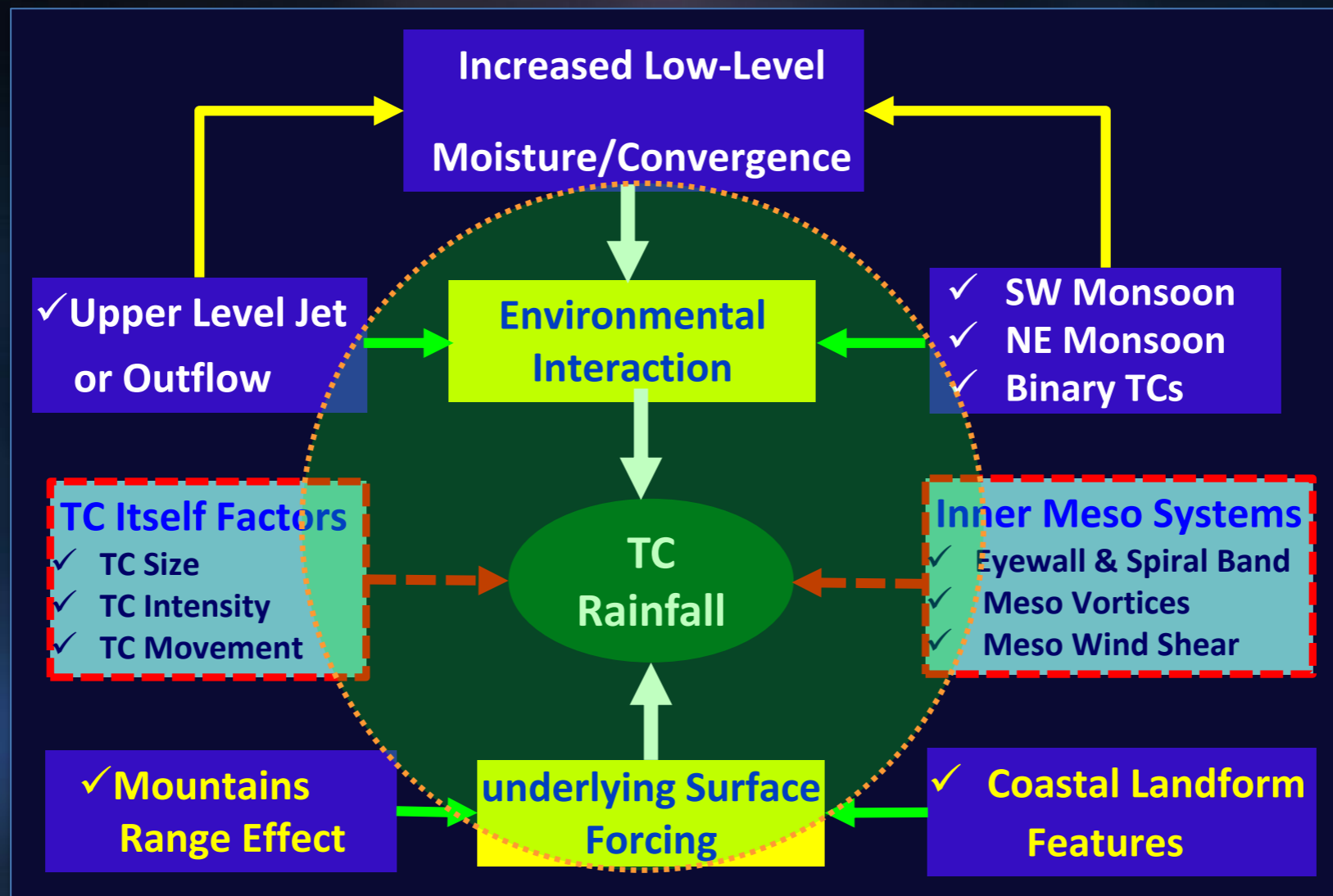


# □ 1323号台风“菲特” 浙北极端降雨

## ✓ 地形对“菲特”极端降雨影响的数值试验



# ● 影响台风暴雨的主要因子



- **台风暴雨的主要预报着眼点**

- Things That Increase Precipitation**

- ✓ **Increased Low-Level Moisture**
    - ✓ **Increased Low-level Convergence**
    - ✓ **Upper-level Cold Advection (Not into inner core of TC)**
    - ✓ **Increase upper-level outflow**

## 7.6 台风暴雨预报业务现状



# 台风暴雨预报业务现状

- ✓ 台风暴雨分布变化认识局限于定性认识
- ✓ 缺乏客观预报产品指导，经验预报发挥主要作用
- ✓ 缺乏客观精细化台风定量暴雨预报产品



**0604号强热带风暴“碧利斯”登陆后降雨分布**

2006年7月13日08时至19日08时6小时实况降水量动画

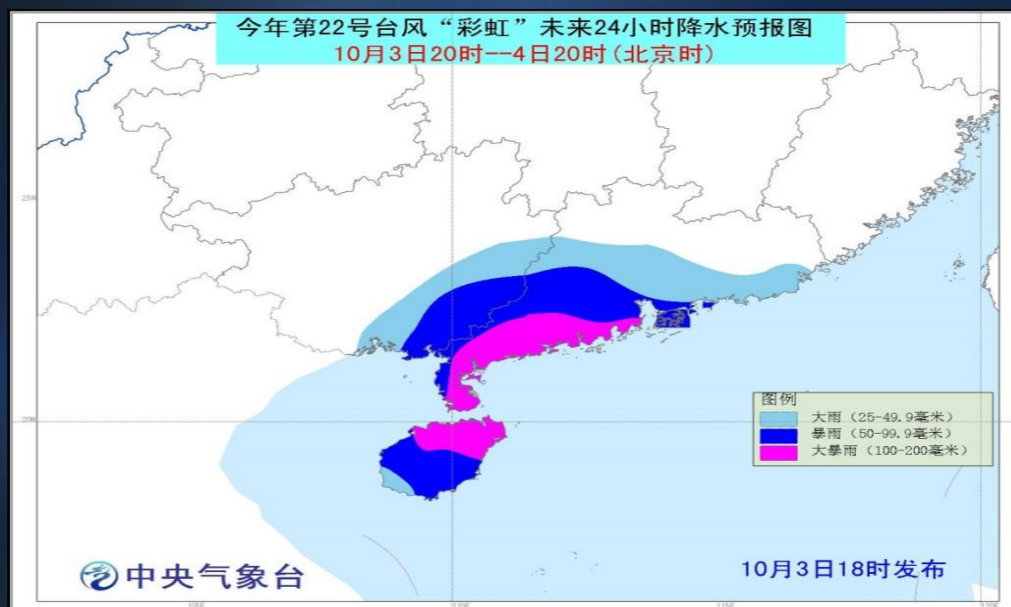
(中小尺度系统)

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨预报业务产品

- ✓ 公共/决策服务产品（定常）

- 24小时间隔168小时降雨预报
- 每天3次08时、14时和18时



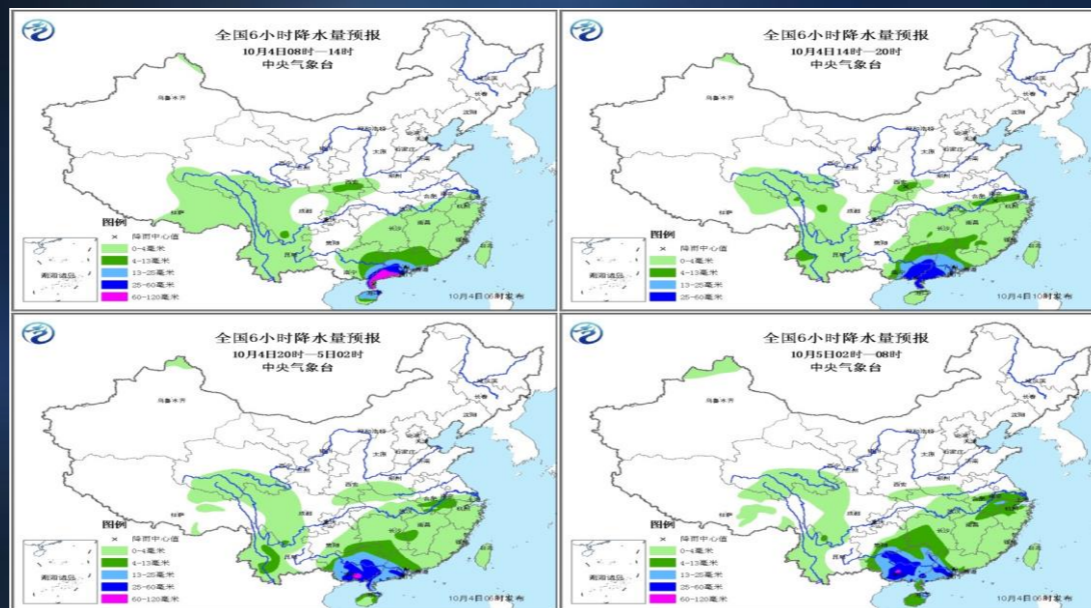
**1522号台风“彩虹”未来24小时降雨量预报**  
2015年10月3日20时至4日20时

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨预报业务产品

- ✓ 公共/决策服务产品（定常）

- 6小时间隔24小时降雨预报
- 每天3次08时、14时和18时



1522号台风“彩虹”未来24小时逐6小时降雨量预报  
2015年10月4日08时至5日08时（10月4日06时发布）

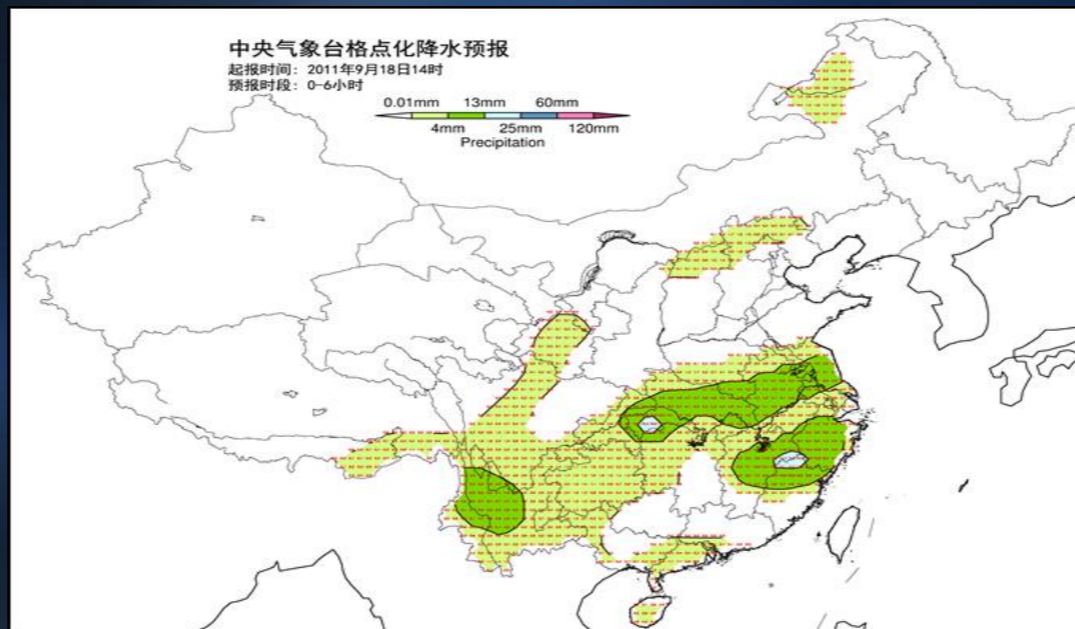
# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨预报业务产品

- ✓ 公共/决策服务产品（定常）

- 格点化降雨预报

- 每天2次（08和20时），空间分辨率25公里



全国定量降雨格点预报产品（单位：mm）

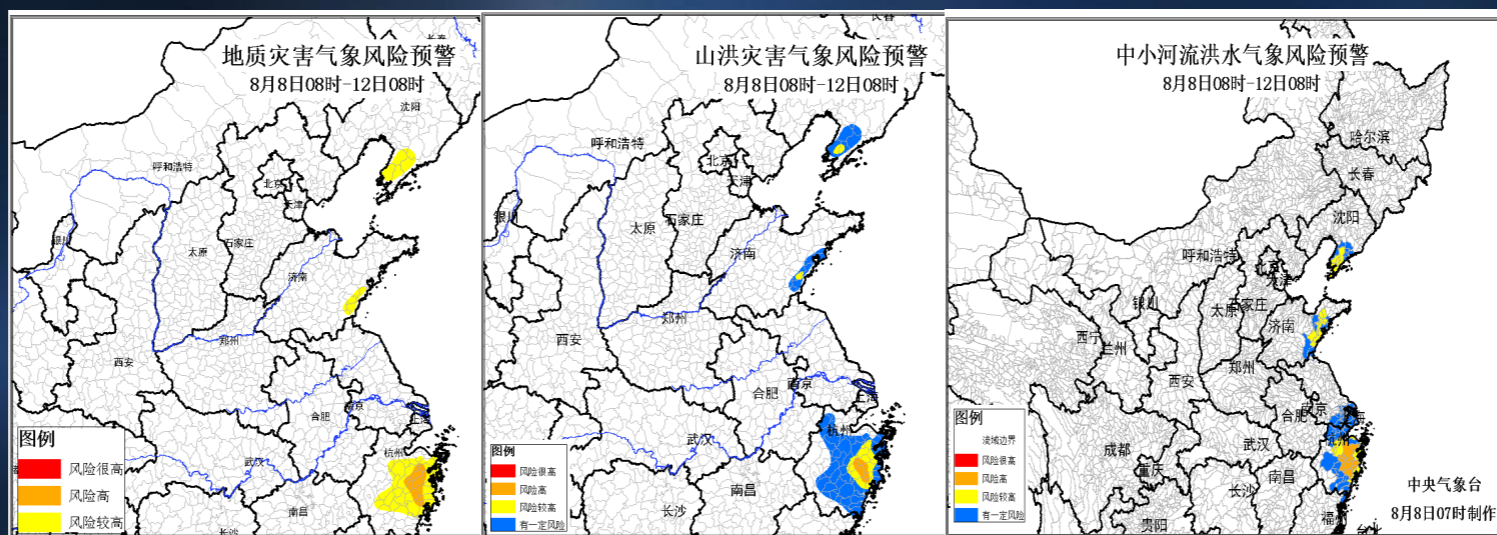
# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨预报业务产品

- ✓ 公共/决策服务产品（定常）

- 气象灾害风险预警

- 每天2次（08和20时）



“利奇马”气象灾害风险预警图

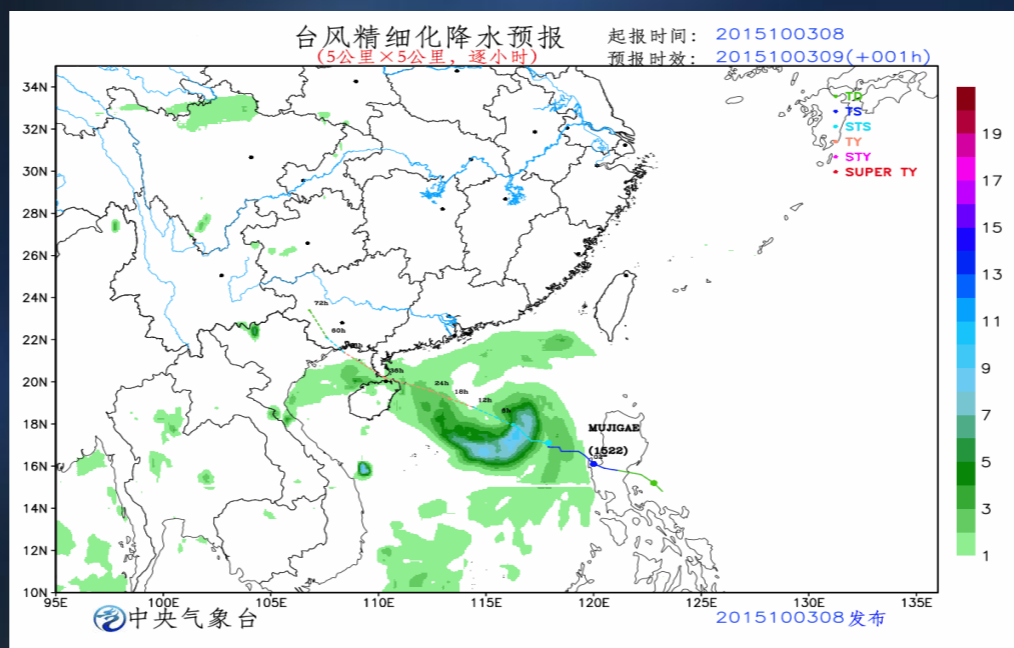
# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨预报业务产品

- ✓ 公共/决策服务产品（定常）

- 逐小时精细化降雨预报

- 每天1次（08时）、72小时预报时效



“彩虹”逐小时降水预报

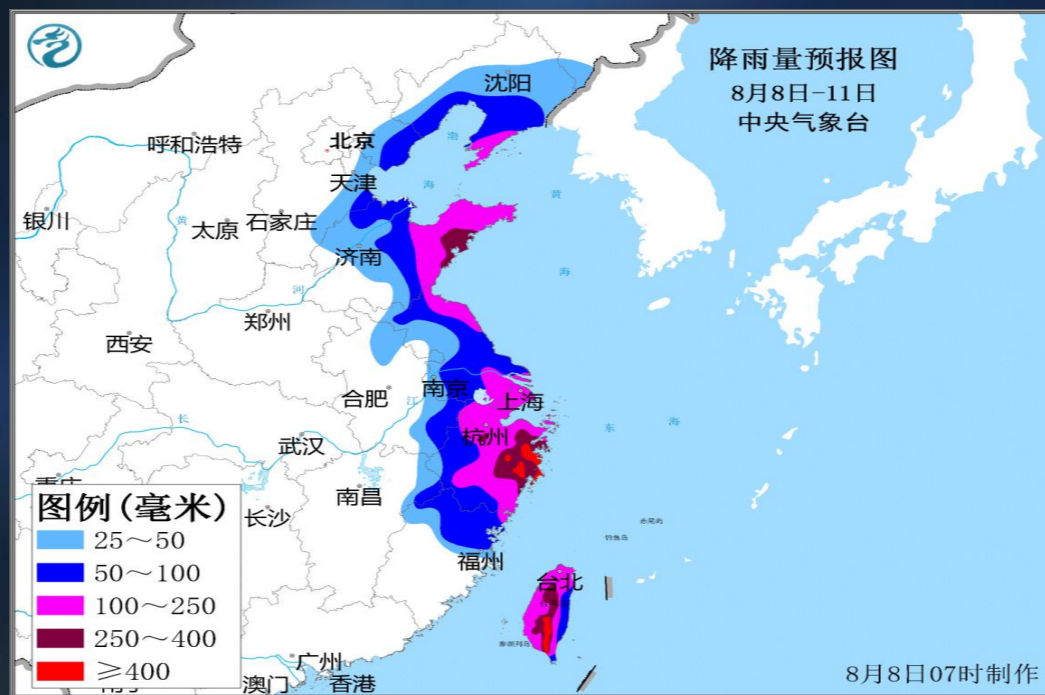
# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨预报业务产品

- ✓ 决策服务产品（非定常）

- 过程降雨量预报

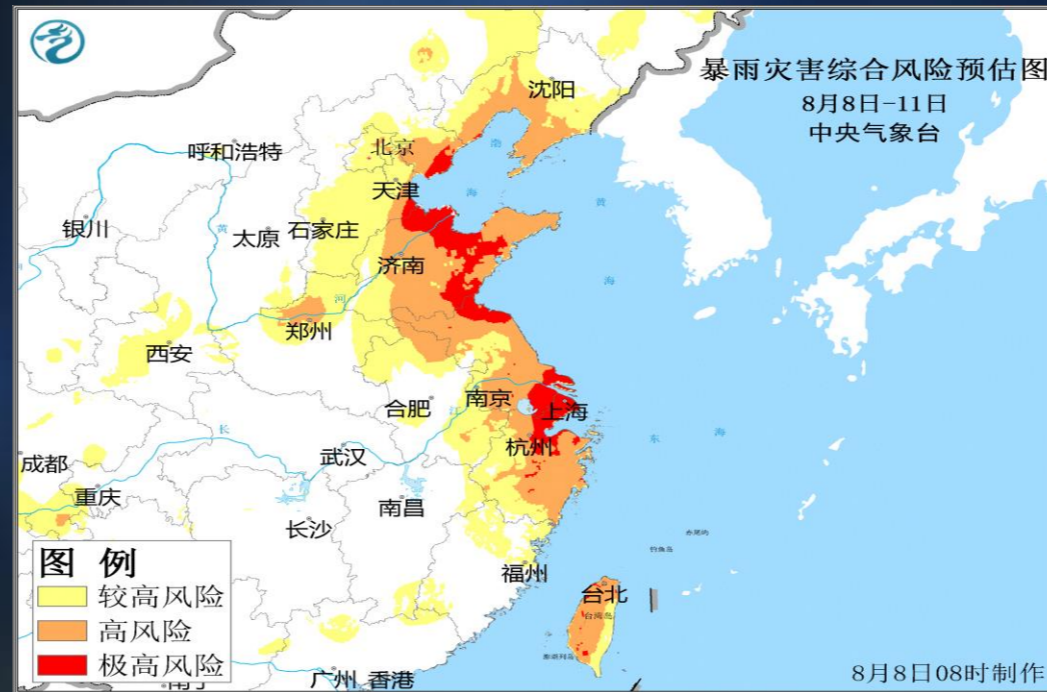
- 不定期、72-120小时预报时效



“利奇马”过程降水量预报图

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨预报业务产品
  - ✓ 决策服务产品（非定常）
    - 暴雨灾害综合风险预估
    - 不定期



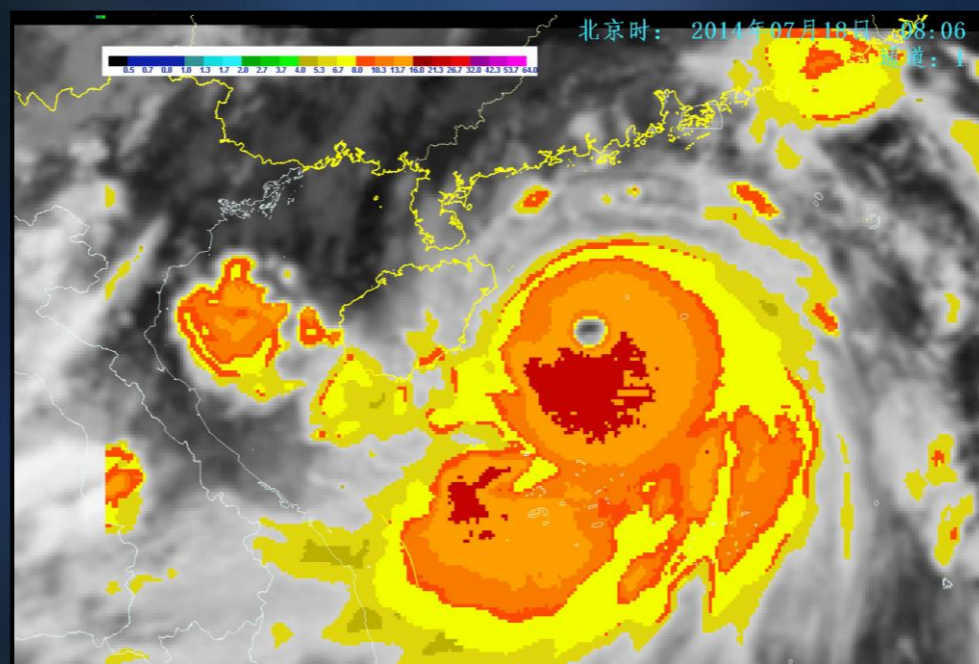
“利奇马”暴雨灾害综合风险预估

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑

- ✓ 定量降雨估测 (QPE) 产品

- 卫星遥感定量降水估测



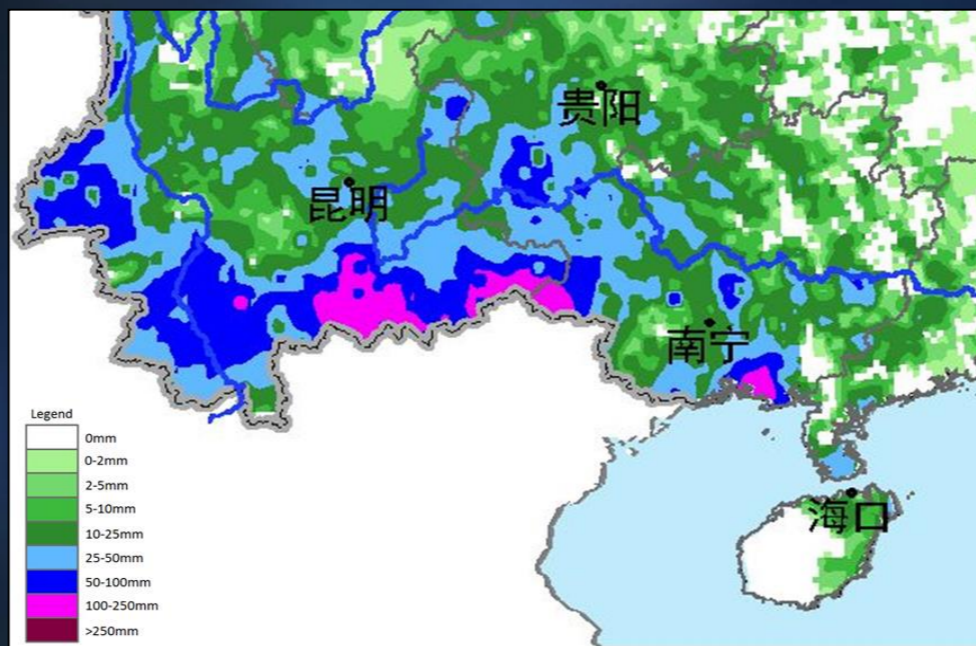
**1409号超强台风“威马逊”  
FY2F卫星加密观测降雨估计产品**

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 台风降雨技术支撑

### ✓ 定量降雨估测 ( QPE ) 产品

- 卫星、雷达和地面观测以及数值模式降雨预报产品等多种资料融合



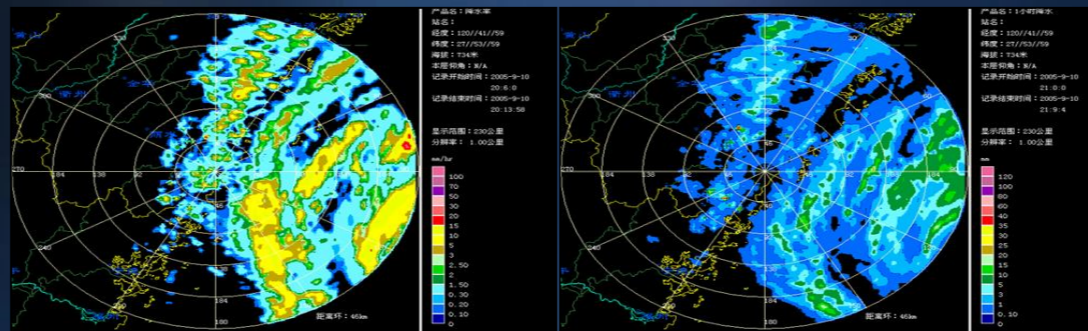
**1409号台风“威马逊”定量降雨估测产品**  
( 2014年7月20日08时至7月21日08时 )

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑

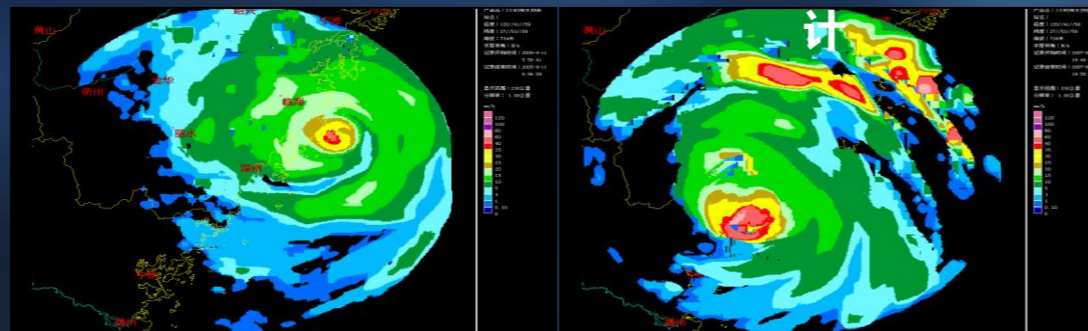
- ✓ 雷达降雨估测和短时降雨外推预报

- 基于多普勒雷达资料降雨估测和短时降雨预报



当前降雨

过去1小时降雨估



1小时降雨外推预报

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑

- ✓ 数值预报模式系统

- 全球模式系统

**GRAPES/EC/JMA/NCEP**全球数值预报系统

- 集合预报系统

**GRAPES/EC/NCEP**全集合预报系统

**GRAPES**台风区域集合预报系统

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑

- ✓ 数值预报模式系统

- 区域模式系统

- 国家气象中心**GRAPES-TYM**

- 上海台风模式 ( **GRAPES\_TCM** )

- 华东中尺度模式 ( **GRAPES\_WARMS** )

- 南海台风模式 ( **GRAPES\_TRAMS** )

- 华南中尺度模式 ( **GRAPES\_MARS** )

- 省级中尺度模式系统

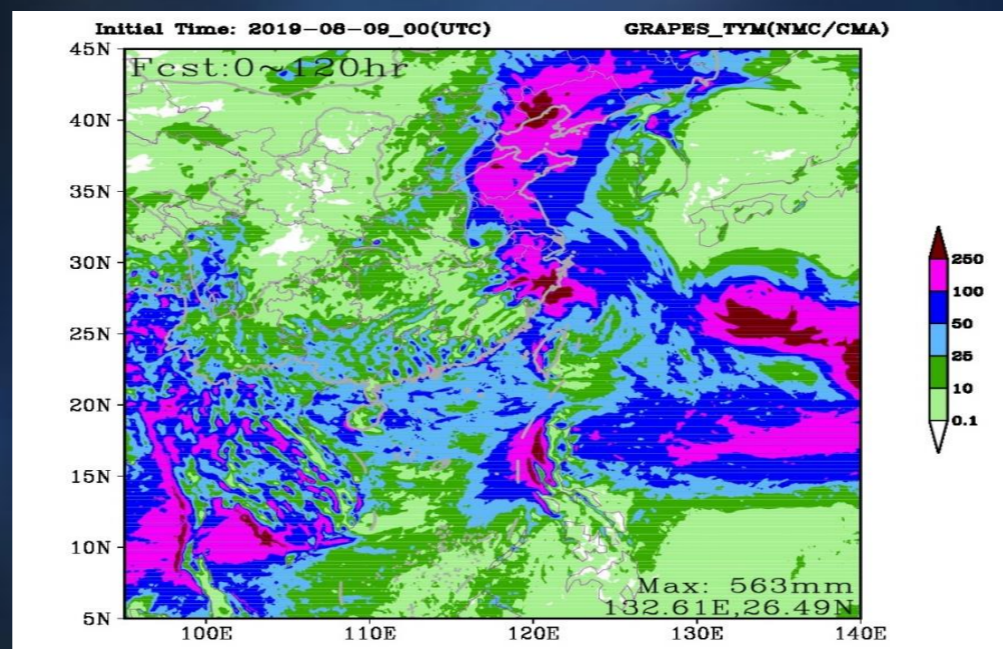
- 台风风雨短临预报系统

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支持

- ✓ 数值预报模式系统

- **NMC-GRAPES-TYM区域模式系统**



**1909号台风“利奇马”**

**NMC-GRAPES-TYM模式120h降雨预报**

**2019年8月9日08时起报**

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑

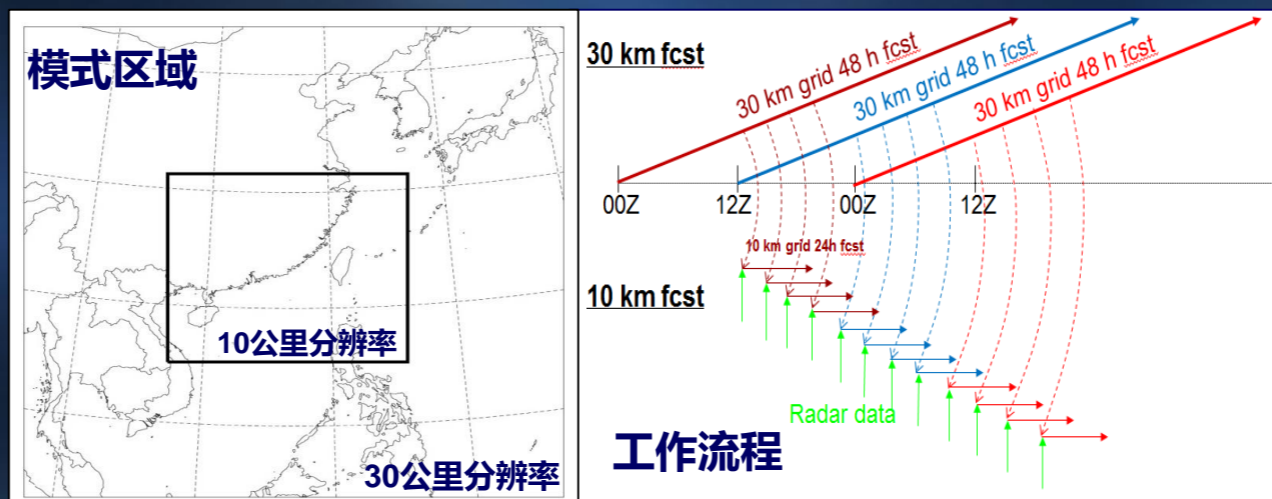
- ✓ 数值预报模式系统

- 基于雷达资料快速同化的台风风雨短临预报系统

双重嵌套网格，水平分辨率**30**和**10km**

实时同化雷达观测及地面、高空观测，每天启动**8**次

滚动预报未来**24**小时时效**1**小时间隔风雨精细化预报



# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑

- ✓ 数值预报模式系统

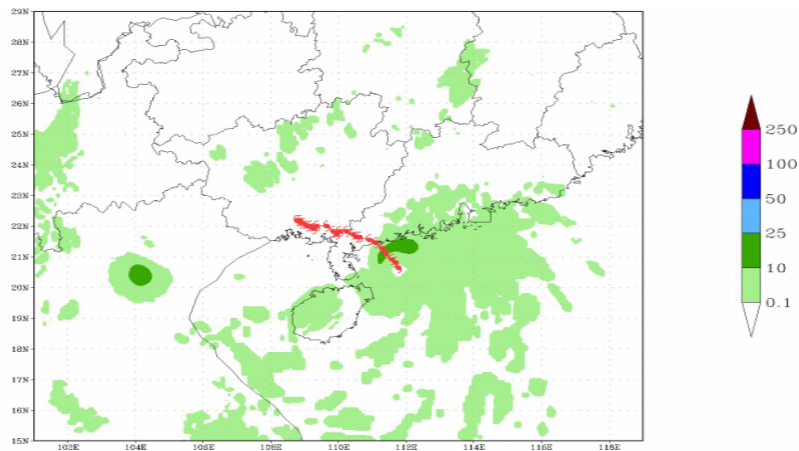
- 基于雷达资料快速同化的台风风雨短临预报系统

双重嵌套网格，水平分辨率**30**和**10km**

实时同化雷达观测及地面、高空观测，每天启动**8**次

滚动预报未来**24**小时时效**1**小时间隔风雨精细化预报

**2015年1522号强台风“彩虹”  
24小时降雨预报  
2015年10月4日08时起报**



## ● 国内外短临预报系统现状 — 高时空分辨率

### ✓ 香港天文台

- Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized System(SWIRLS)
- SWIRLS Ensemble Rainstorm Nowcast(SERN)

### ✓ 日本气象厅

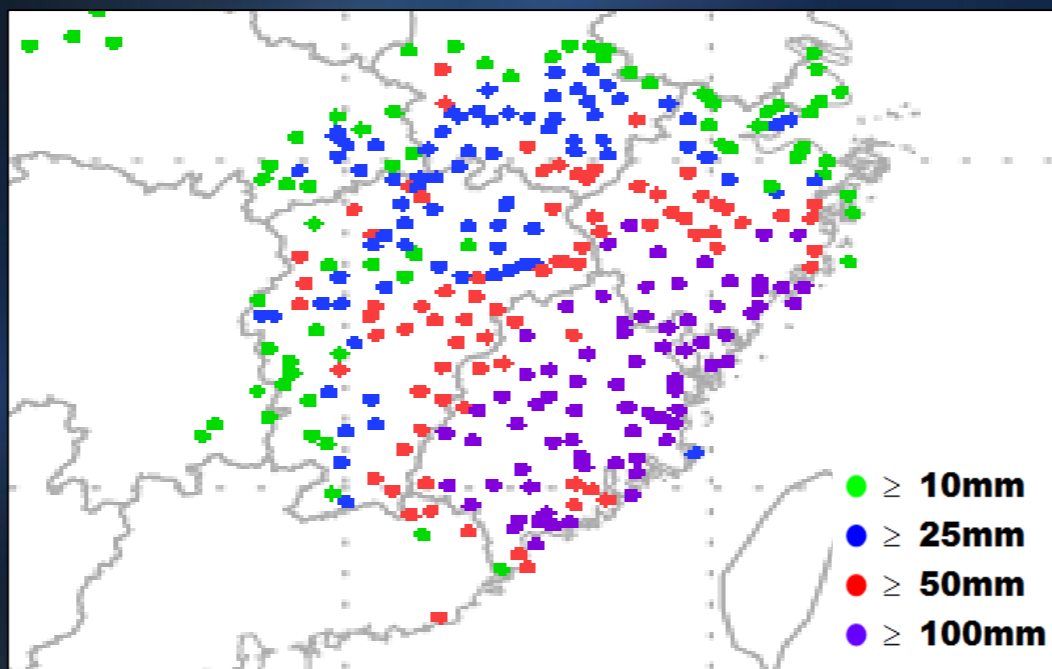
- Local Forecast Model (LFM, 2km, 1-9h)
- High-Resolution Precipitation Nowcast (250m-1km, 5 minutes for 1h)

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 台风降雨技术支撑 —— 客观预报方法

### ✓ 统计回归降雨预报模型

基于**EC**历史资料和**Logistic**回归模型的6小时及24小时间隔站点降雨等级预报技术



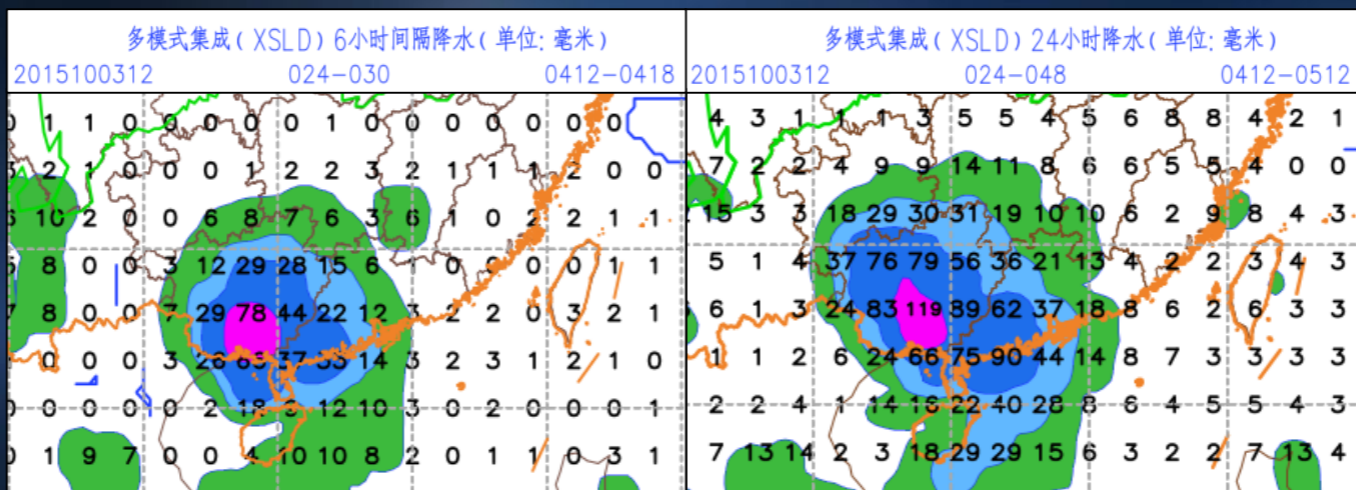
**1513号台风“苏迪罗”108小时降雨等级预报**  
(2015年8月4日20时起报)

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 台风降雨技术支撑 —— 客观预报方法

### ✓ 多模式动态权重集成预报方法 (XSLD)

以GRAPES、EC、JMA和NCEP模式为基础，通过相似离度、逐级归并等方法确定模式总体相似度，根据相似程度确定不同模式的权重系数，制作6/24小时定量降雨预报



台风“彩虹” 6小时 (左) 和24小时 (右) 间隔降雨预报  
(2015年10月3日20时起报)

# 台风暴雨预报业务现状

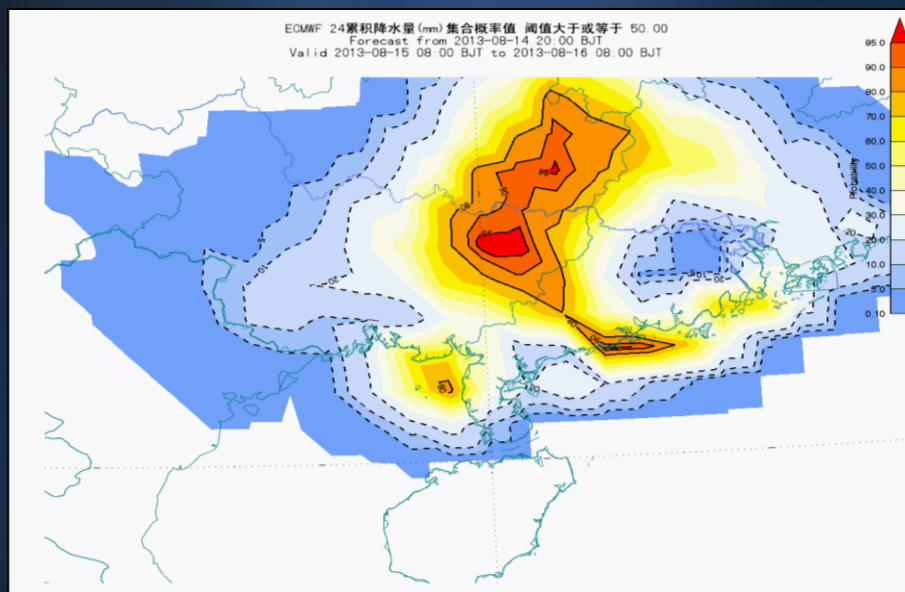
- **台风降雨技术支撑 —— 集合预报应用**
  - ✓ 台风路径、强度预报的不确定性
  - ✓ 台风暴雨预报落区和强度预报的不确定性
  - ✓ 定量地描述台风暴雨出现的概率信息

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 台风降雨技术支撑 —— 集合预报应用

### ✓ 降水概率预报产品

提高台风路径和强度预报准确率，改进台风暴雨落区和强度预报的准确率



台风“尤特” EC集合预报24h累积降雨量大于50毫米的概率值

(2013年8月15日08时至8月16日08时)

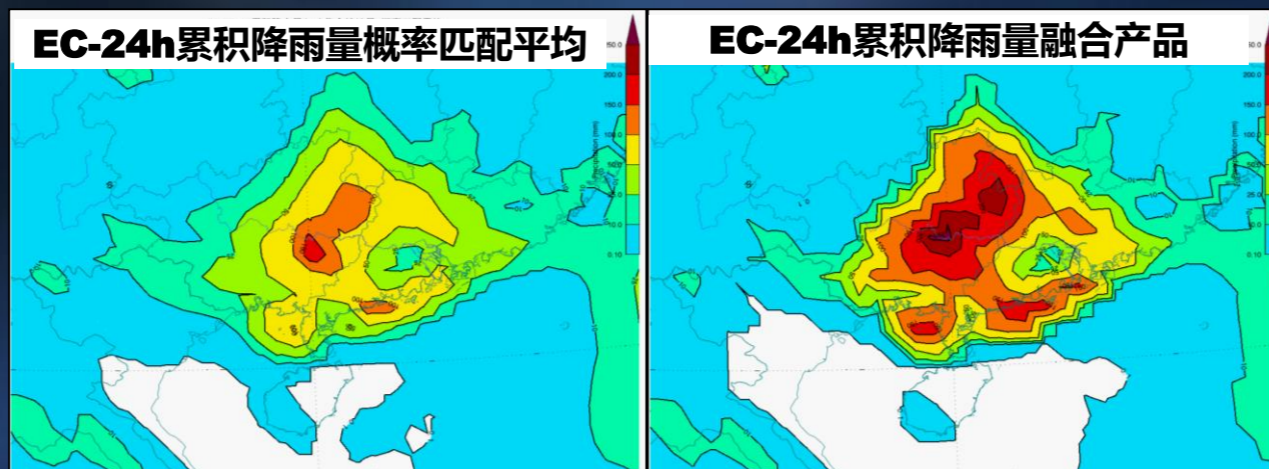
广西东部和湖南东南部将有较大的降雨概率

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑 —— 集合预报应用

- ✓ 概率匹配平均和融合产品

可以提高台风暴雨定量预报的准确率



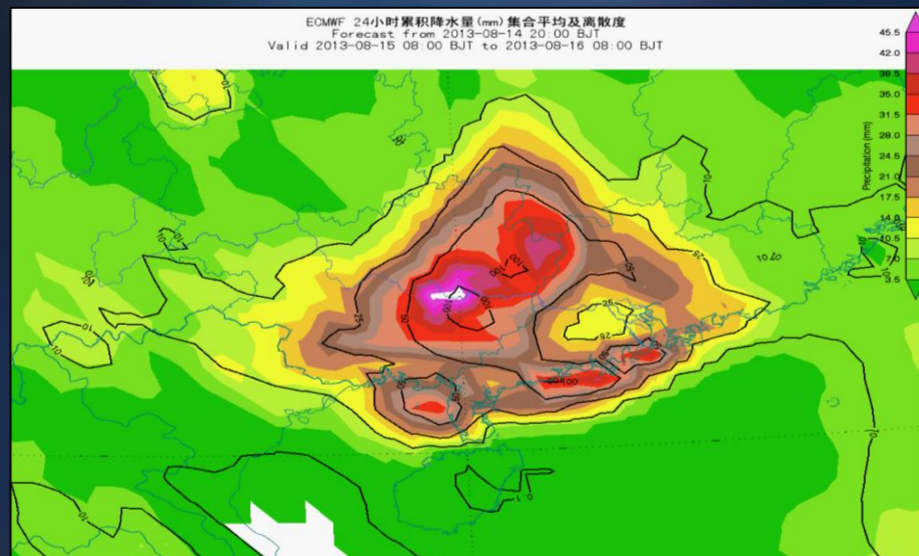
台风“尤特” EC集合预报  
24h累积降雨量概率匹配平均和融合产品  
( 2013年8月15日08时至8月16日08时 )

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 台风降雨技术支撑 —— 集合预报应用

### ✓ 集合平均和离散度产品

方差、众数等信息，一定程度上可定量地表征台风暴雨的不确定性和可预报性



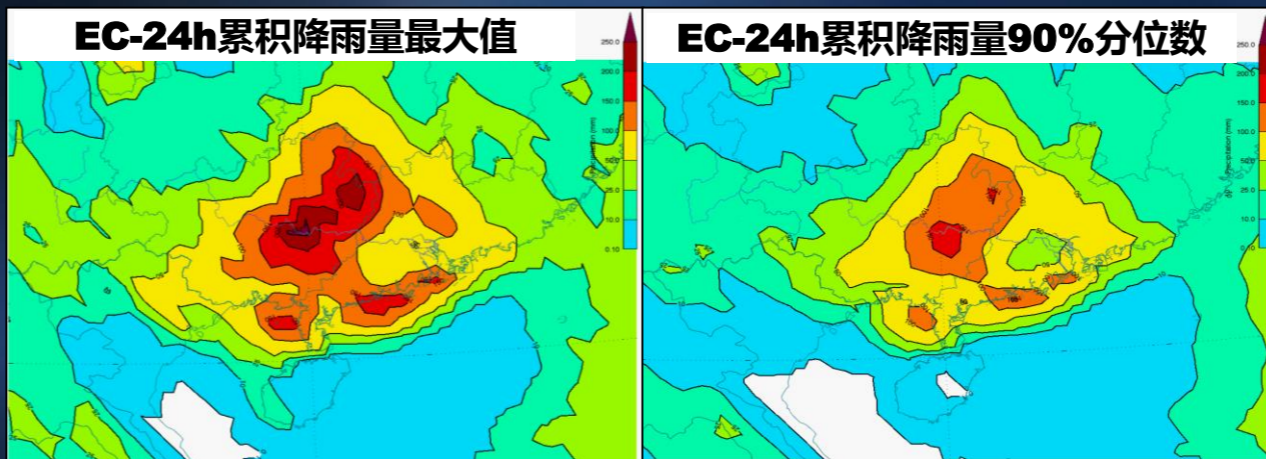
台风“尤特” EC集合预报  
24h累积降雨量集合平均和离散度  
(2013年8月15日08时至8月16日08时)

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 台风降雨技术支撑 —— 集合预报应用

### ✓ 最大值和90%分位数产品

最大值、90%分位数等，改善台风最大降雨量的预报准确率，弥补确定性预报台风降雨预报偏弱的缺陷



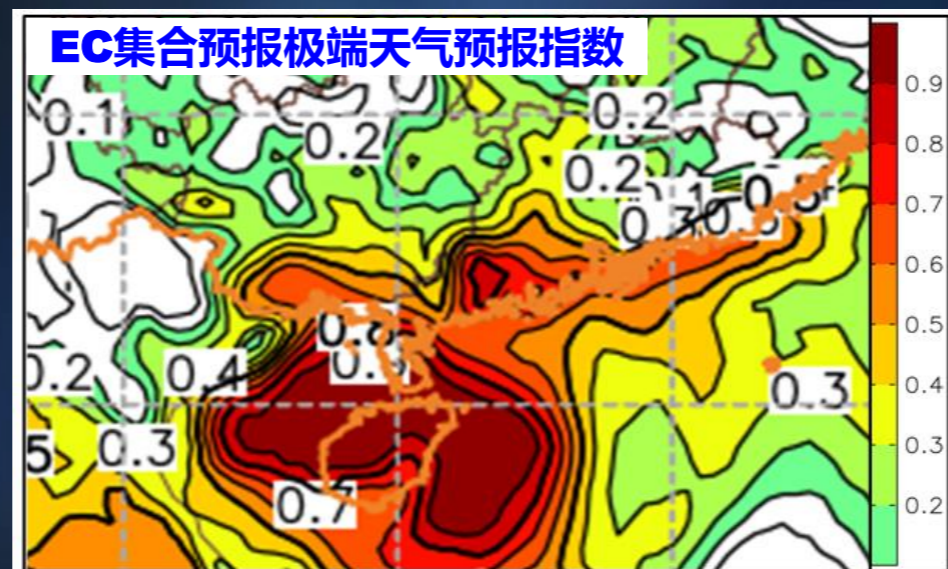
台风“尤特” EC集合预报  
24h累积降雨量最大值和90%分位数  
(2013年8月15日08时至8月16日08时)

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑 —— 集合预报应用

- ✓ 极端天气预报指数 (EFI) 产品

EFI等后处理产品，可提高台风极端降雨落区和强度预报的准确率



台风“威马逊” EC集合预报  
极端天气预报指数 (EFI)

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风降雨技术支撑 —— 集合预报应用

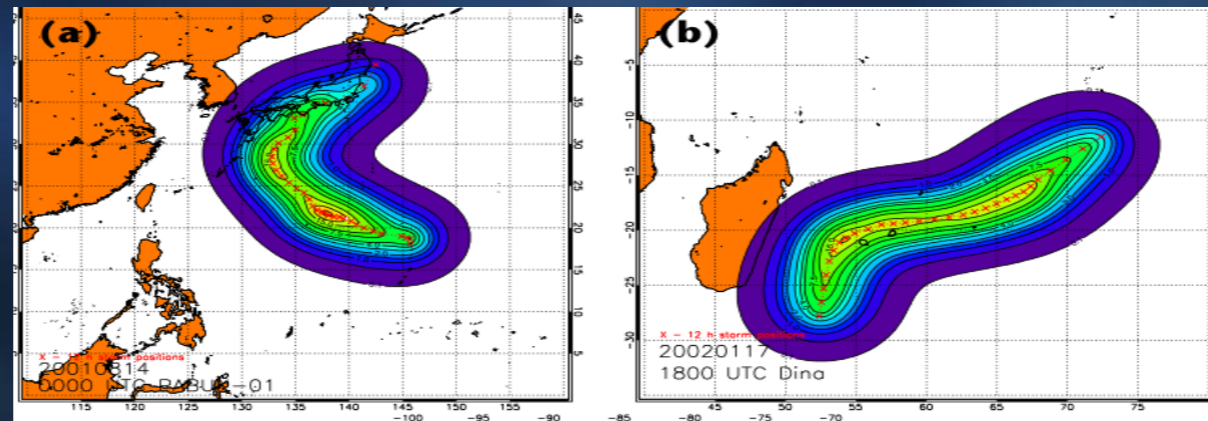
- ✓ 直接概率、贝叶斯模型平均 ( **BMA** )、逻辑回归等方法，可以定量地描述台风降雨概率密度函数，提供台风不同量级降雨的发生概率，从而提高台风降雨预报的准确率

# 台风暴雨预报业务现状

- 美国 -- 降雨气候持续性模式 ( **R-CLIPER** )

## Rainfall Climatology and Persistence Model

- Based on TMI data and rain gauges
- Dependent on storm track, intensity, and size
- $0.25 \times 0.25^\circ$  hourly resolution with hourly output
- Asymmetries are not taken into account



Source: David Roth, 2015

# 台风暴雨预报业务现状

- 美国 -- 降雨气候持续性模式 ( **R-CLIPER** )

## Rainfall Climatology and Persistence Model

- ✓ **R-CLIPER**方法改进

$$R_{tot} = R_{R-CLIPER} + R_{Shear\ mod} + R_{topo}$$
$$R_{tot}(r,\theta) = a_0(r) + \sum_i a_i(r) \cos(i\theta) + \sum_i b_i(r) \sin(i\theta) + f(\vec{v} \cdot \nabla h)$$

The diagram illustrates the decomposition of the total rainfall equation into three components:

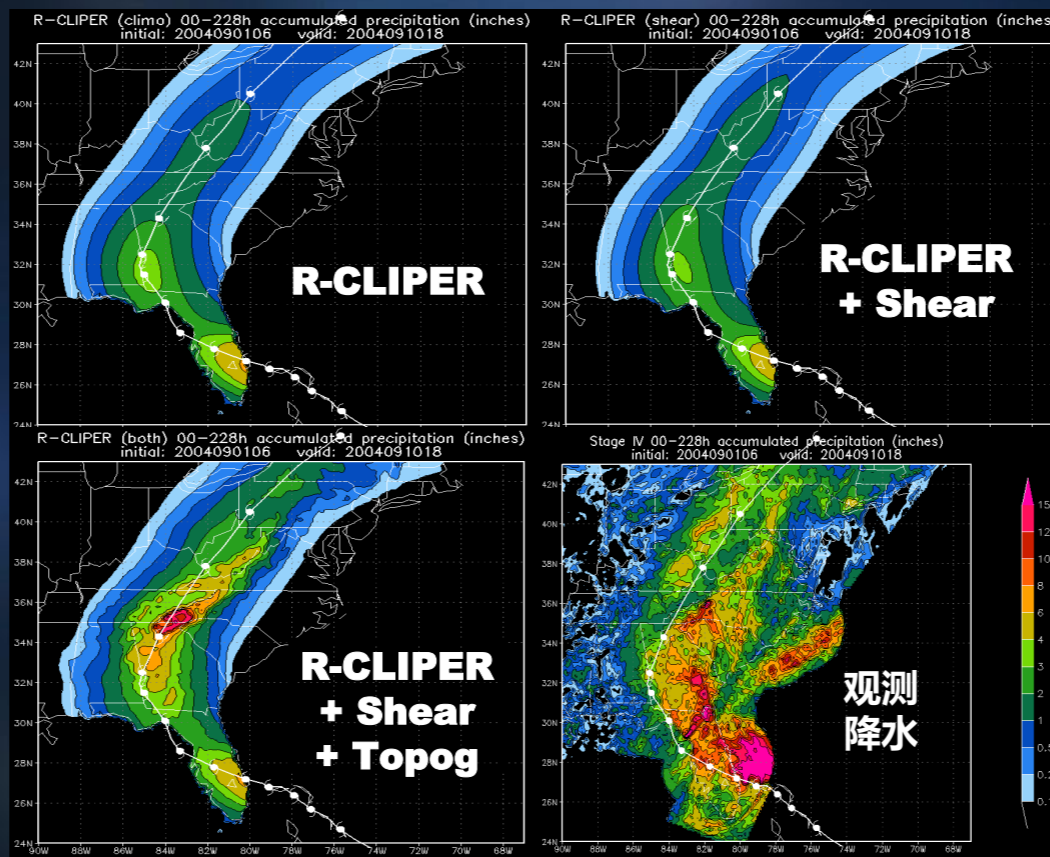
- Standard R-CLIPER**:  $a_0(r)$
- Shear modification**:  $\sum_i a_i(r) \cos(i\theta) + \sum_i b_i(r) \sin(i\theta)$
- Topography modification**:  $f(\vec{v} \cdot \nabla h)$

# 台风暴雨预报业务现状

- 美国 -- 降雨气候持续性模式 ( R-CLIPER )

## Rainfall Climatology and Persistence Model

- ✓ R-CLIPER方法改进



Source: David Roth, 2015

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 美国 -- 飓风降雨潜势集合方法 (eTRaP)

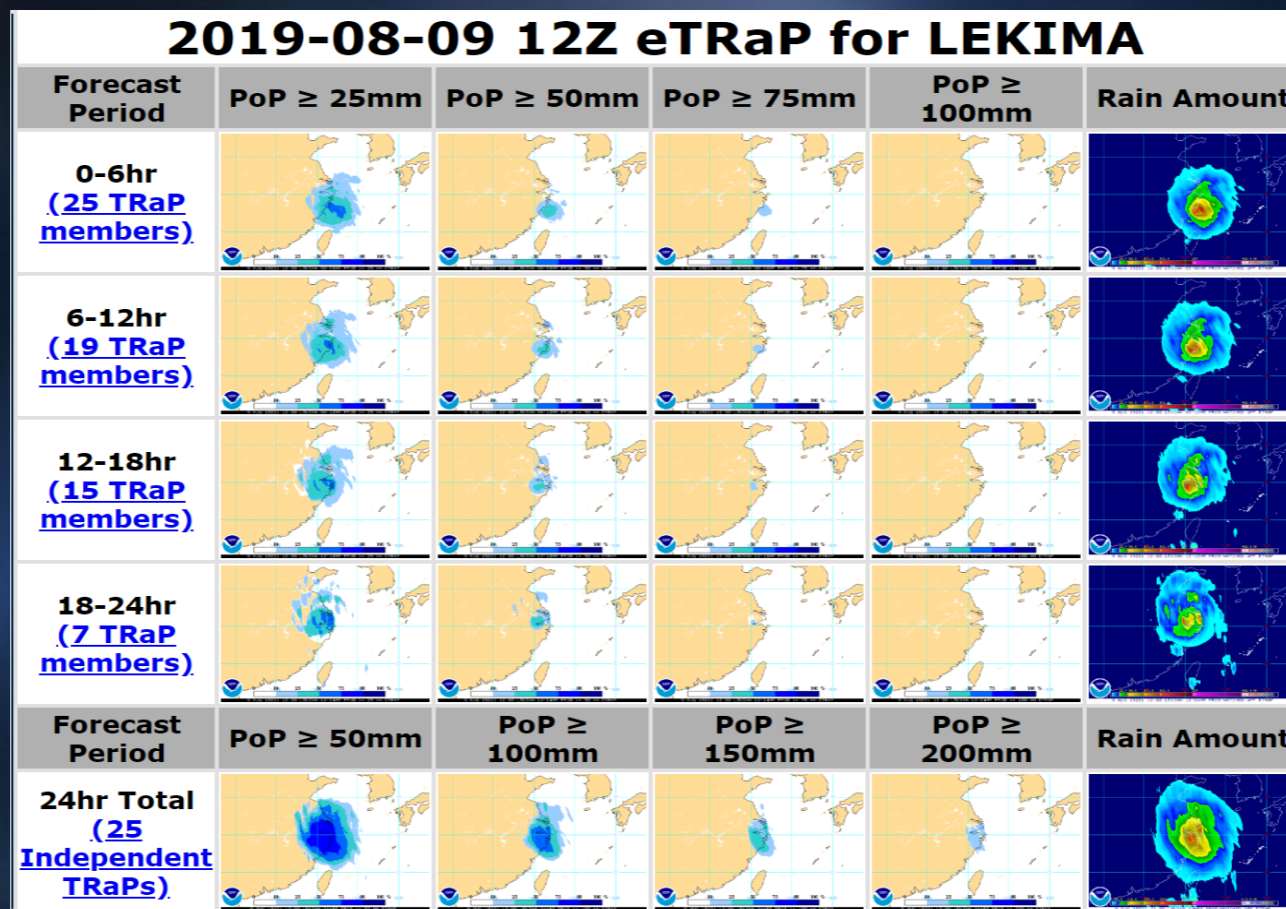
### Ensemble Tropical Rainfall Potential Product

- Extrapolates polar orbiting satellite rain rate along TC forecast tracks for 6-h interval in 24h
- A satellite “member” is included AMSU, TRMM, SSMI, & AMSRE etc.
- “Members” are weighted according to age of pass and past performance of sensor
- Official forecast of TC track and at least 2 members needed to create a forecast

# 台风暴雨预报业务现状

- 美国 -- 飓风降雨潜势集合方法 (eTRaP)

## Ensemble Tropical Rainfall Potential Product

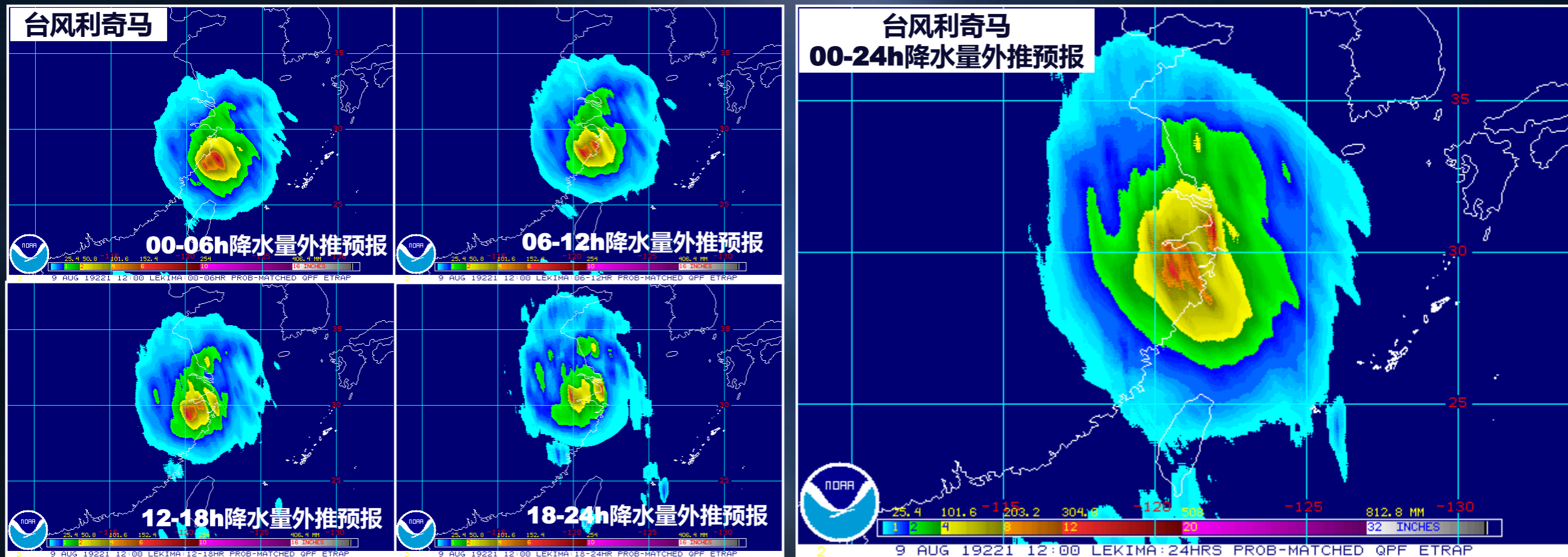


<http://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/etrap.html>

# 台风暴雨预报业务现状

- 美国 -- 飓风降雨潜势集合方法 (eTRaP)

## Ensemble Tropical Rainfall Potential Product

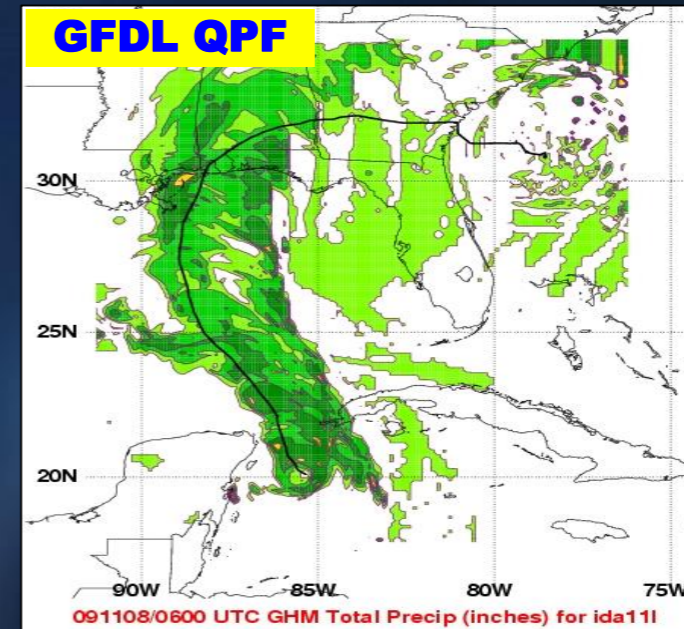
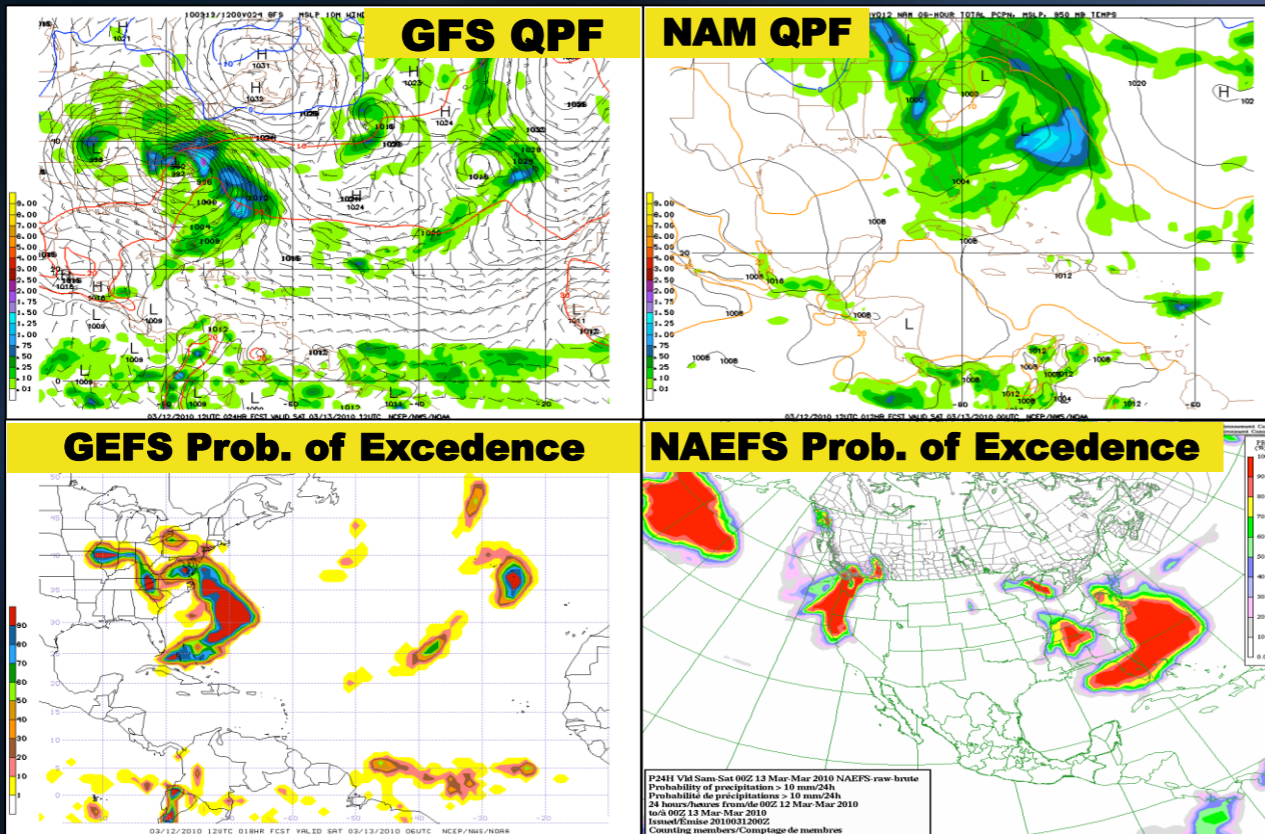


<http://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/etrap.html>

# 台风暴雨预报业务现状

- 美国 —— 飓风降雨数值预报模式系统

WPC/NWS/NOAA



# 台风暴雨预报业务现状

## ● 美国 -- 飓风降雨预报业务流程

### WPC/NWS/NOAA

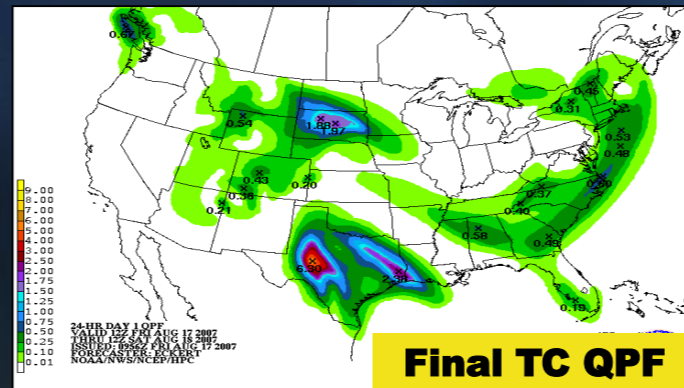
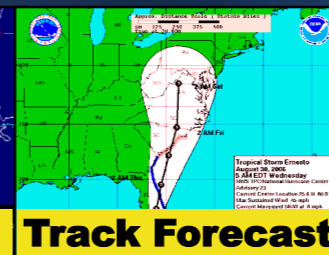
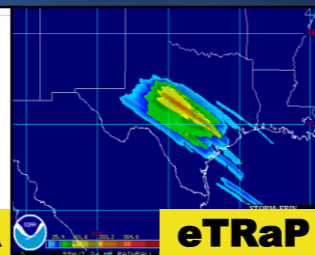
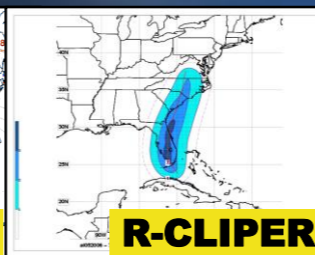
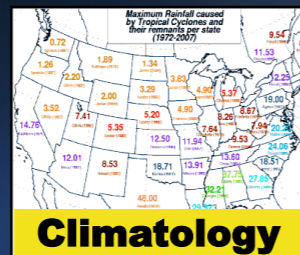
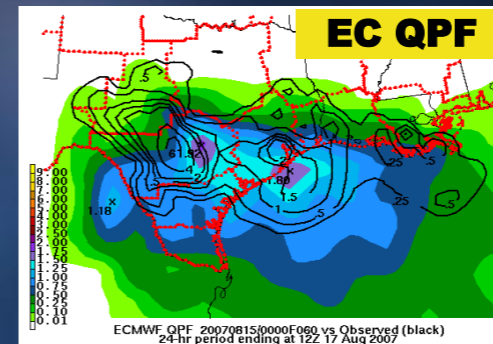
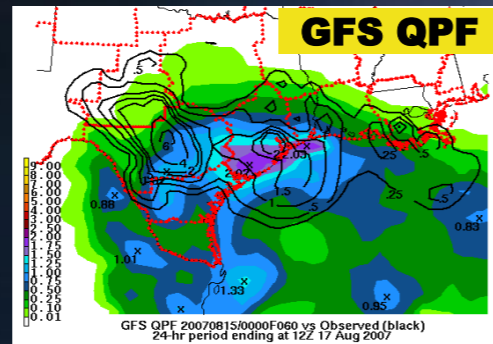
#### ✓ WPC TC QPF process incorporates:

- Global models --- **GFS, ECMWF**
- Mesoscale models --- **NAM**
- Ensembles --- **SREF**
- Hurricane models --- **GFDL, HWRF**
- Climatological models --- **R-CLIPER**
- Satellite techniques --- **eTRaP**
- TC rainfall climatology and research
- Official **NHC track forecast**

# 台风暴雨预报业务现状

- 美国 -- 飓风降雨预报业务流程

## WPC/NWS/NOAA



# 台风暴雨预报业务现状

## ● 美国 — 飓风降雨预报业务流程

### **WPC/NWS/NOAA**

#### ✓ **WPC/NOAA Production of TC QPF**

- Start With Model Closest to TPC Forecast (usually GFS)
- Locate relevant synoptic scale boundaries or coastal front
- Use conceptual models or current structure to modify or shift QPF
- eTRaP and recent satellite/radar imagery for current structure

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 美国 —— 飓风降雨预报业务流程

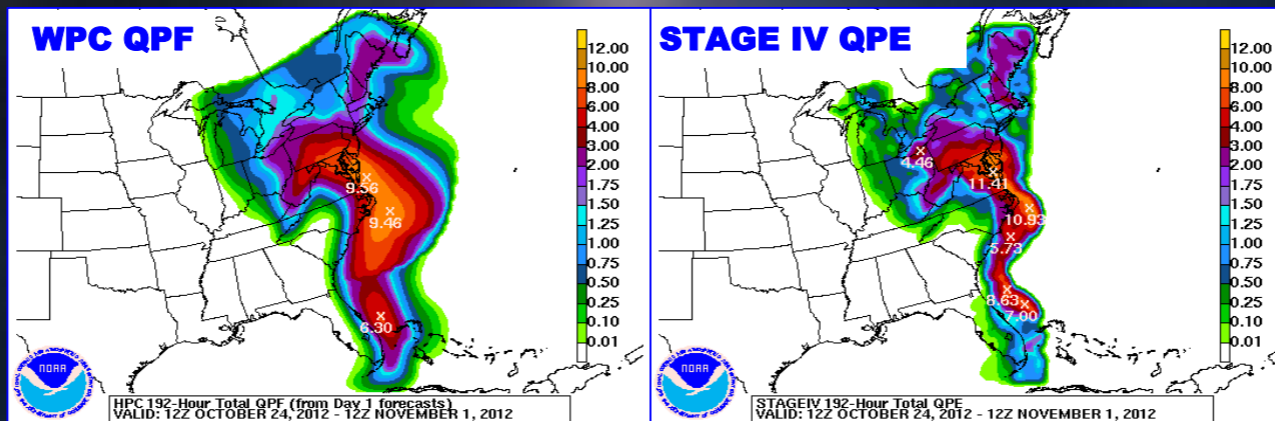
### WPC/NWS/NOAA

#### ✓ WPC/NOAA Production of TC QPF

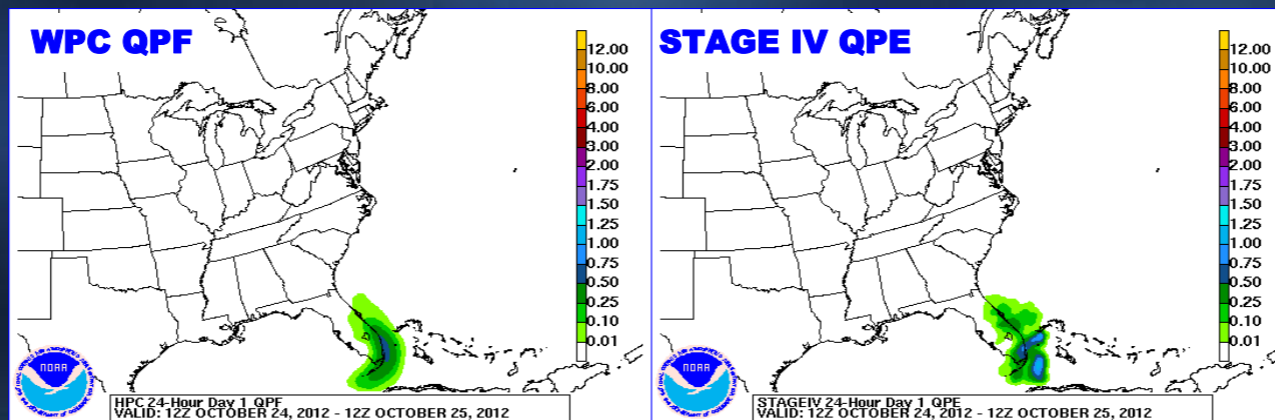
- Look at storm-relative shear or H200 winds to further shift or limit QPF
- Use climatology (PRISM, R-CLIPER, TC Rainfall Climatology) to:
  - Temper down forecast bias/act as a reality check
  - Depict areas of terrain that could be significantly impacted
  - Help Create TC rainfall statements for the Public Advisories

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 美国 -- 飓风降雨预报个例 ( 飓风桑迪 , 2012 )



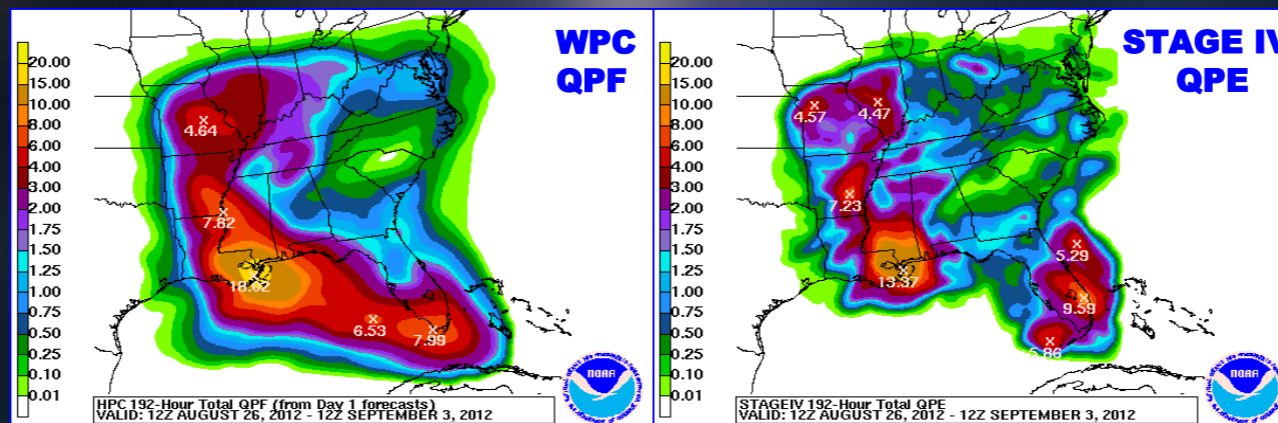
Forecast and Observed Precipitation for the 192h from 12UTC Oct.24 through 12UTC Nov.1, 2012



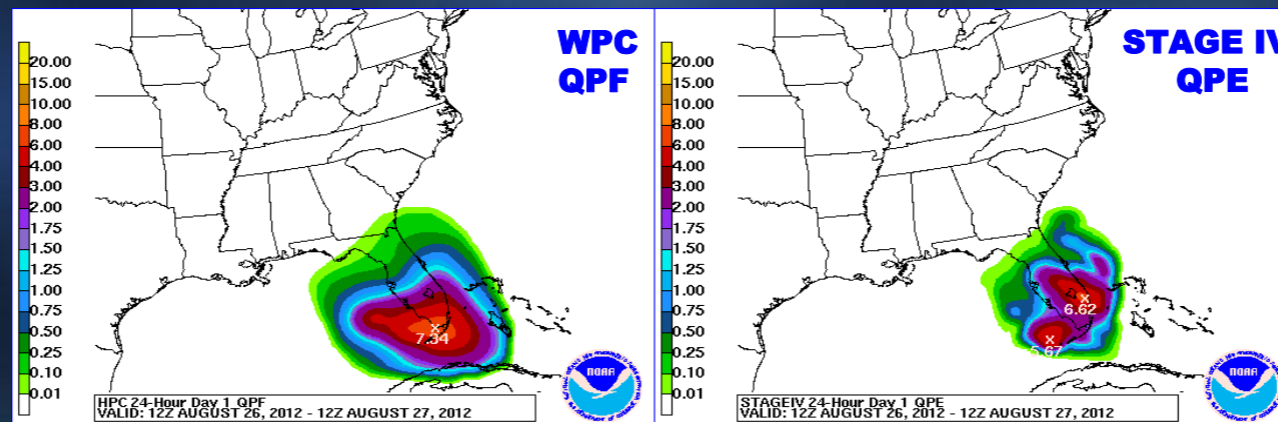
24-192h Accumulated Forecast and Observed Precipitation from 12UTC Oct.24 through 12UTC Nov.1, 2012

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 美国 -- 飓风降雨预报个例 (飓风艾萨克, 2012)



Forecast and Observed Precipitation for the 192 h from 12UTC Aug.26 through 12UTC Sep.3, 2012



24-192 Hour Accumulated Forecast and Observed Precipitation from 12Z Aug.26 through 12Z Sep.3, 2012

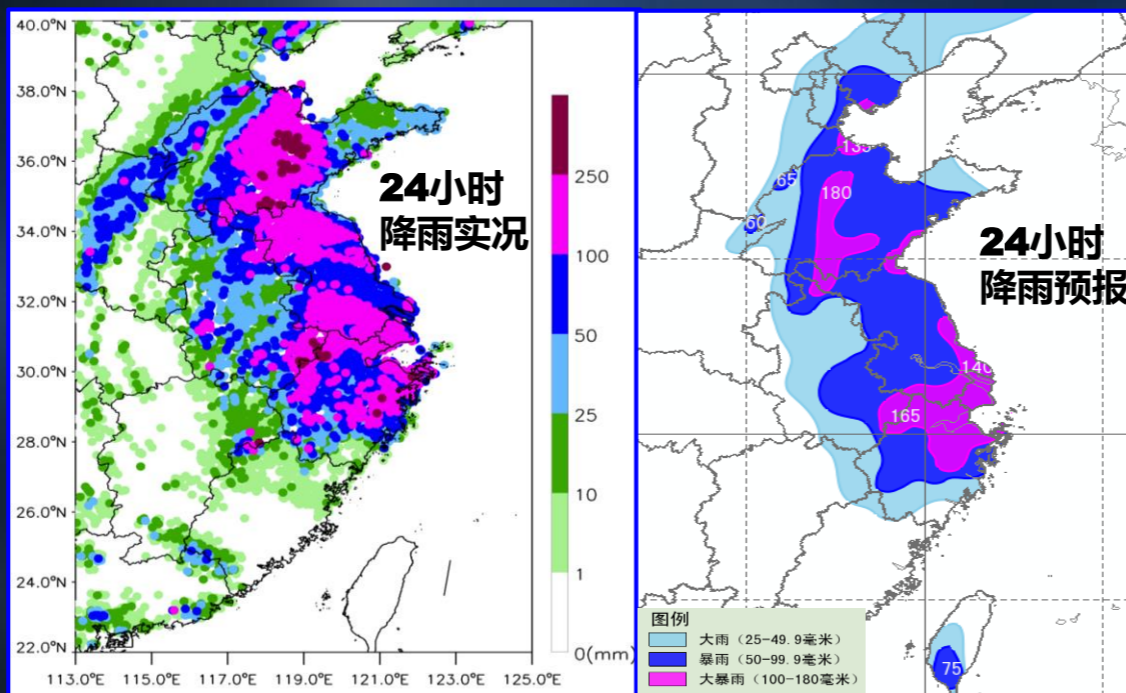
## 7.7 台风暴雨预报的挑战及未来发展



# 台风暴雨预报业务现状

## ● 台风暴雨预报面临巨大的挑战

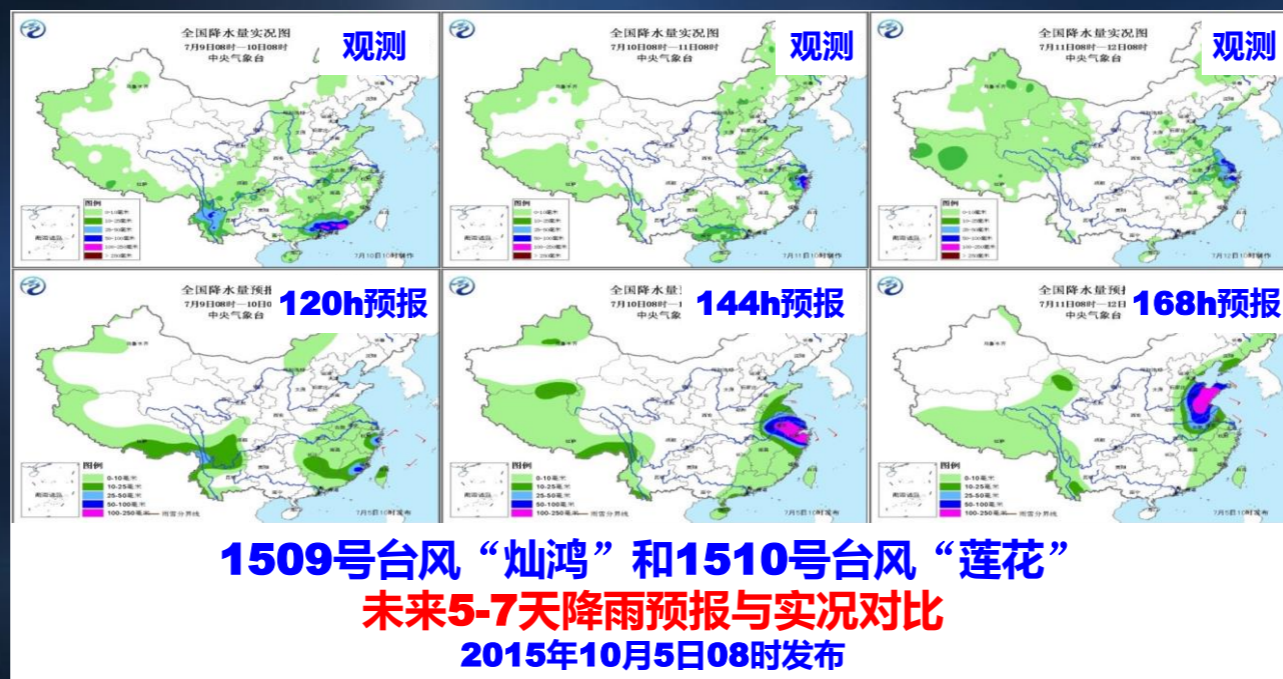
- ✓ 暴雨落区预报偏差大
- ✓ 暴雨总量偏小或偏大
- ✓ 空报或漏报严重，尤其是5天以上预报，造成过度防御或防御被动



# 台风暴雨预报业务现状

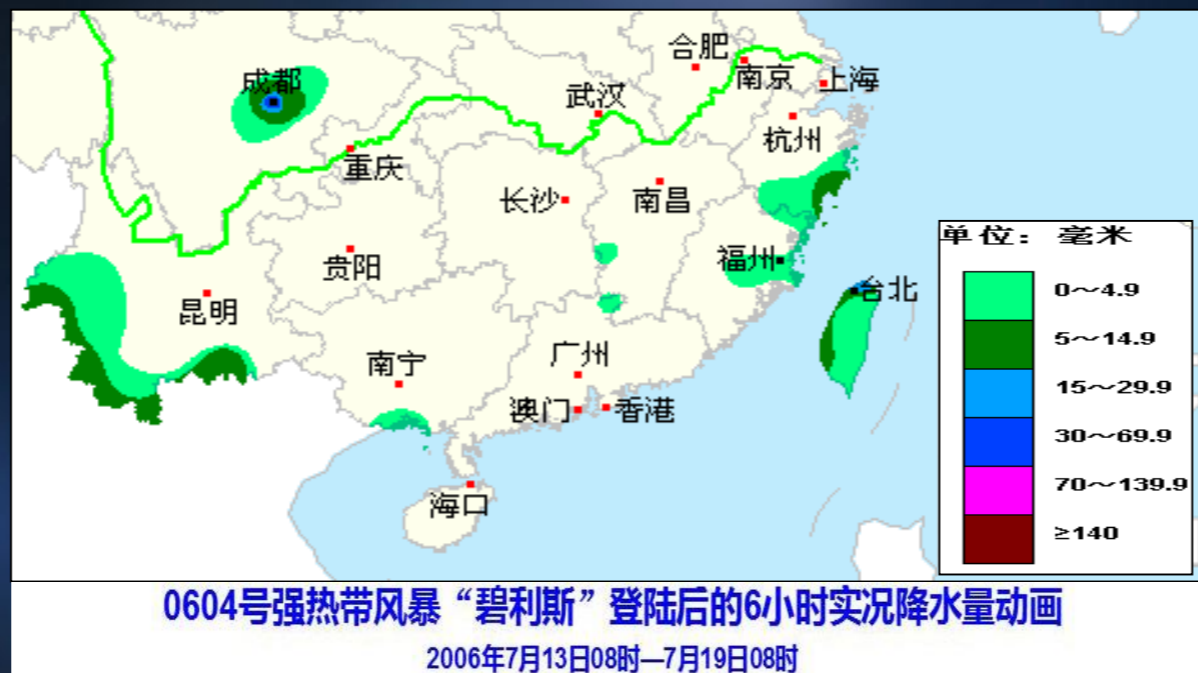
## ● 台风暴雨预报面临巨大的挑战

- ✓ 暴雨落区预报偏差大
- ✓ 暴雨总量偏小或偏大
- ✓ 空报或漏报严重，尤其是5天以上预报，造成过度防御



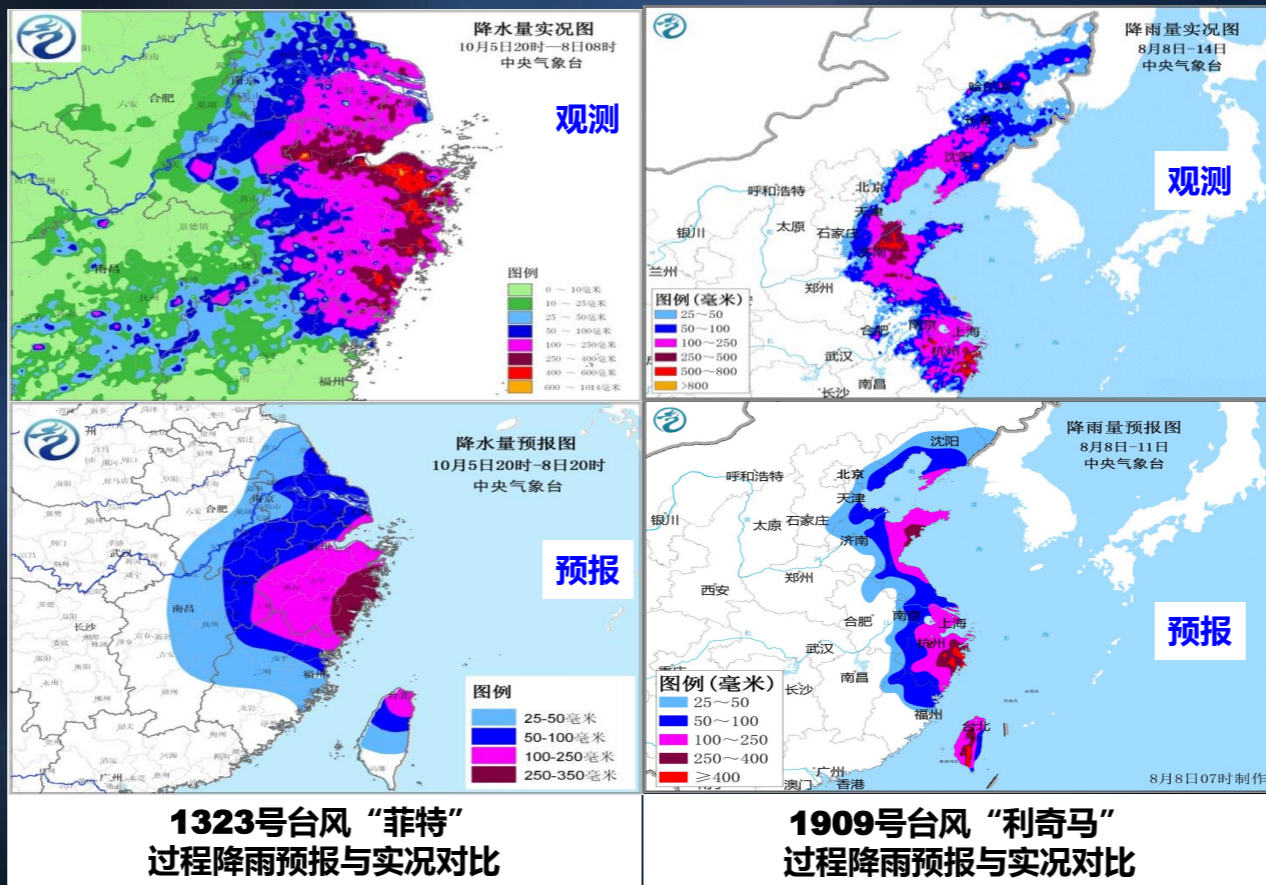
# 台风暴雨预报业务现状

- 台风暴雨预报面临巨大的挑战
  - ✓ 台风中小尺度暴雨落区和量级预报精度低



# 台风暴雨预报业务现状

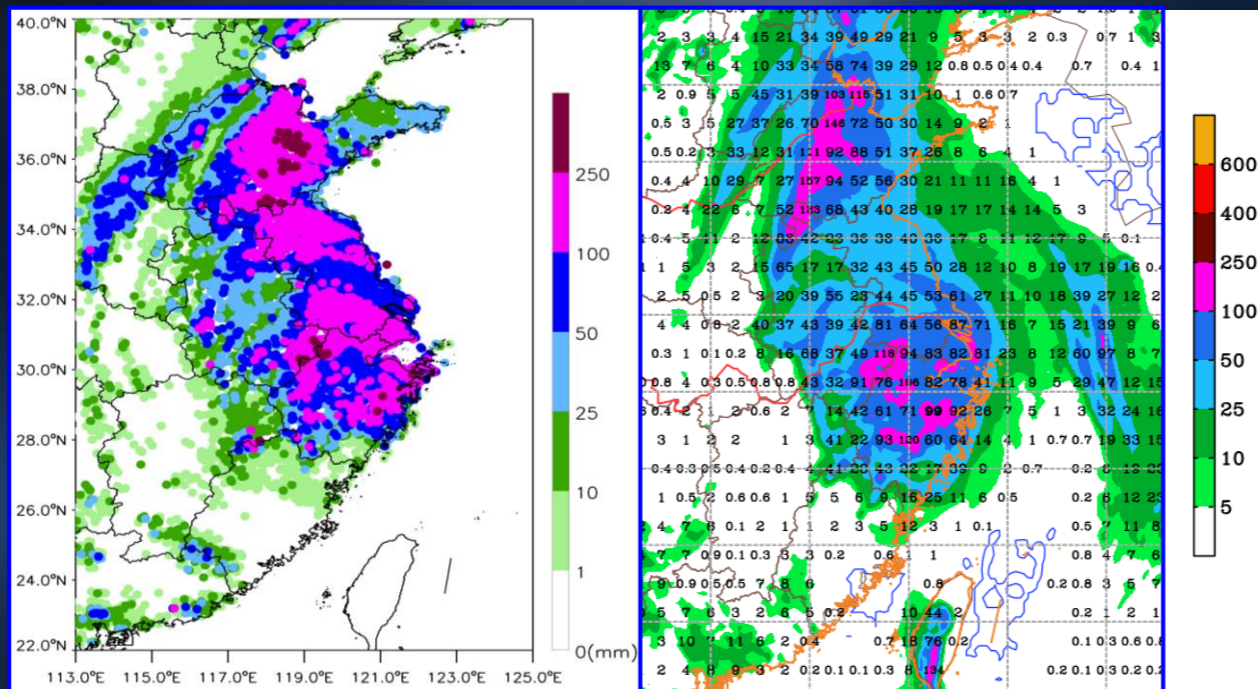
- 台风暴雨预报面临巨大的挑战
  - ✓ 对极端降雨基本没有预报能力
  - ✓ 不能预报出台风降雨的精细分布特征



# 台风暴雨预报业务现状

- 台风暴雨预报面临巨大的挑战

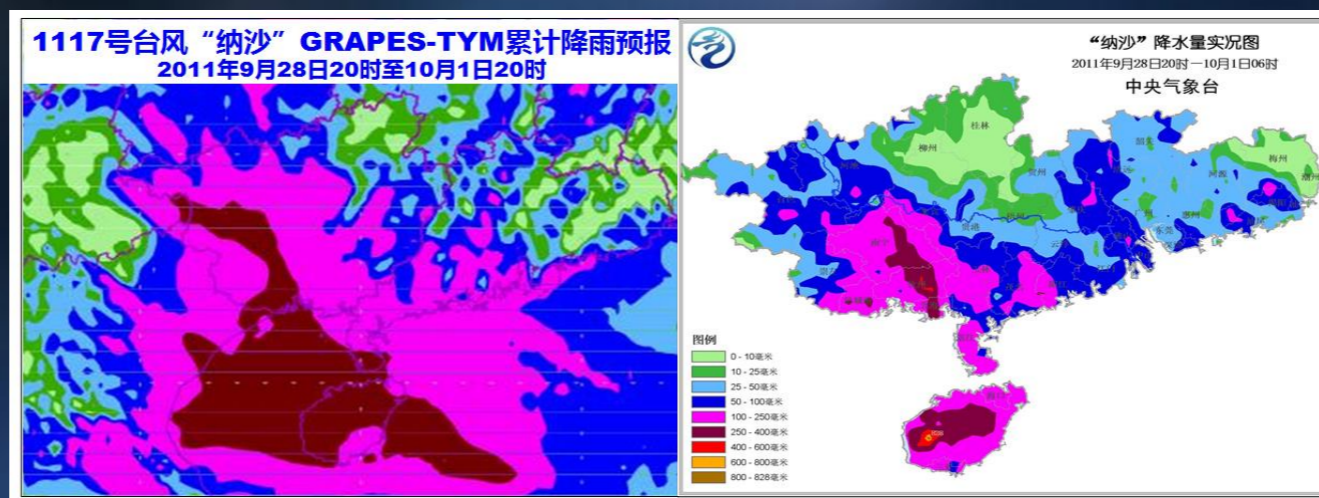
- ✓ 现有数值预报模式刻画台风精细结构的能力不足



**1909号台风“利奇马”**  
**24小时降雨实况（左）和EC-24小时降雨预报（右）对比**  
**2019年8月10日05时至11日05时**

# 台风暴雨预报业务现状

- 台风暴雨预报面临巨大的挑战
  - ✓ 现有数值预报模式刻画台风精细结构的能力不足



# 台风暴雨预报业务现状

- 台风暴雨精细化预报未来业务需求

- ✓ 业务产品单一，防汛部门关注台风登陆前后数小时内台风降雨的量级及落区、雨强等，涉及人员转移、山洪地质灾害防御等
- ✓ 业务过多关注台风过程降水，且空报较多，造成过度防御

# 台风暴雨预报业务现状

## ● 台风暴雨精细化预报未来业务需求

- ✓ 数值模式持续改进
- ✓ 多源资料快速同化分析技术
- ✓ 基于雷达资料同化的台风短临预报技术
- ✓ 高分辨率台风区域耦合模式及模式后处理技术
- ✓ 台风数值（集合）预报技术及强风雨概率预报技术
- ✓ 与不同尺度天气系统相互作用的天气物理概念模型
- ✓ 台风暴雨统计模式
- ✓ .....