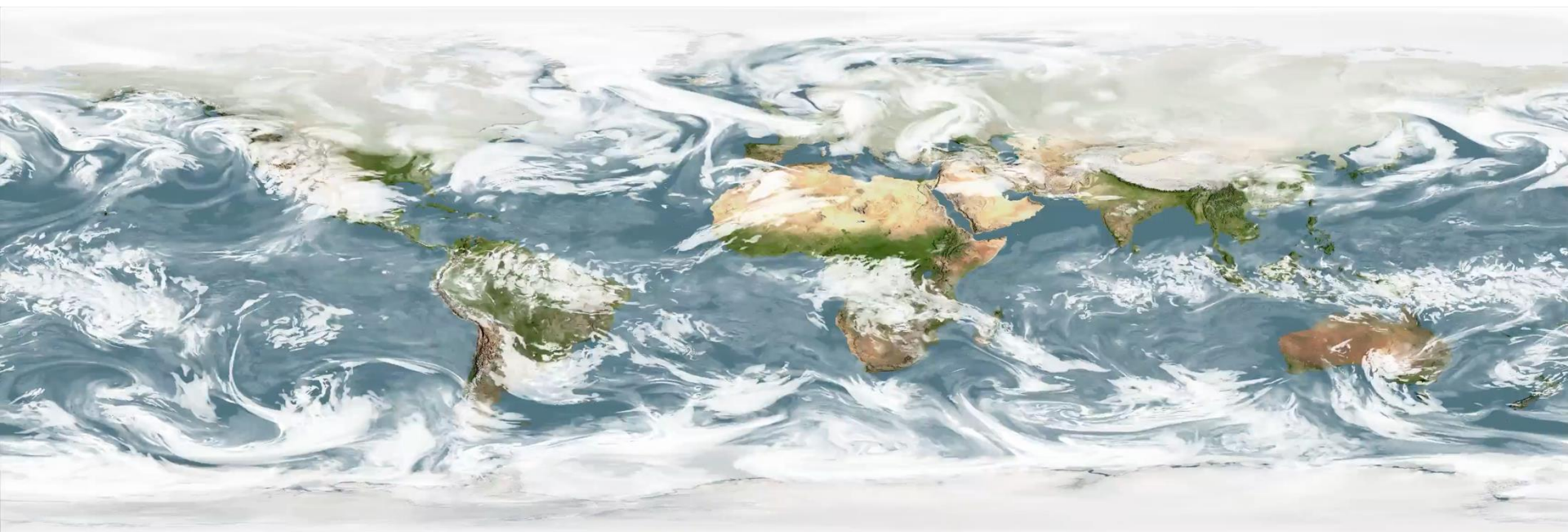


中尺度动力学

任课老师：杨 邱

感谢孟智勇老师提供课件，本课件在其基础上修改而成。

我的研究方向



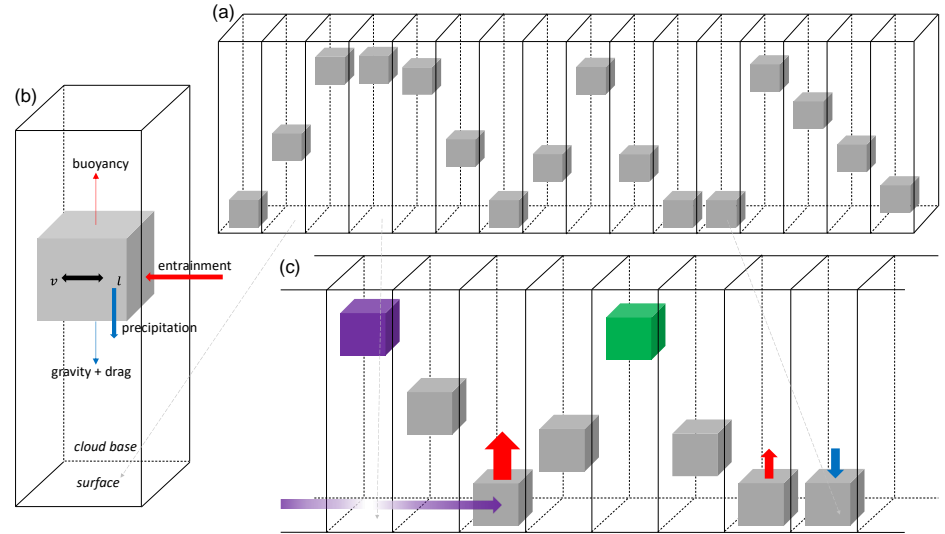
GEOS Model

近期工作

通过数学建模的方法揭示大气中的对流组织化机制，并应用于实际



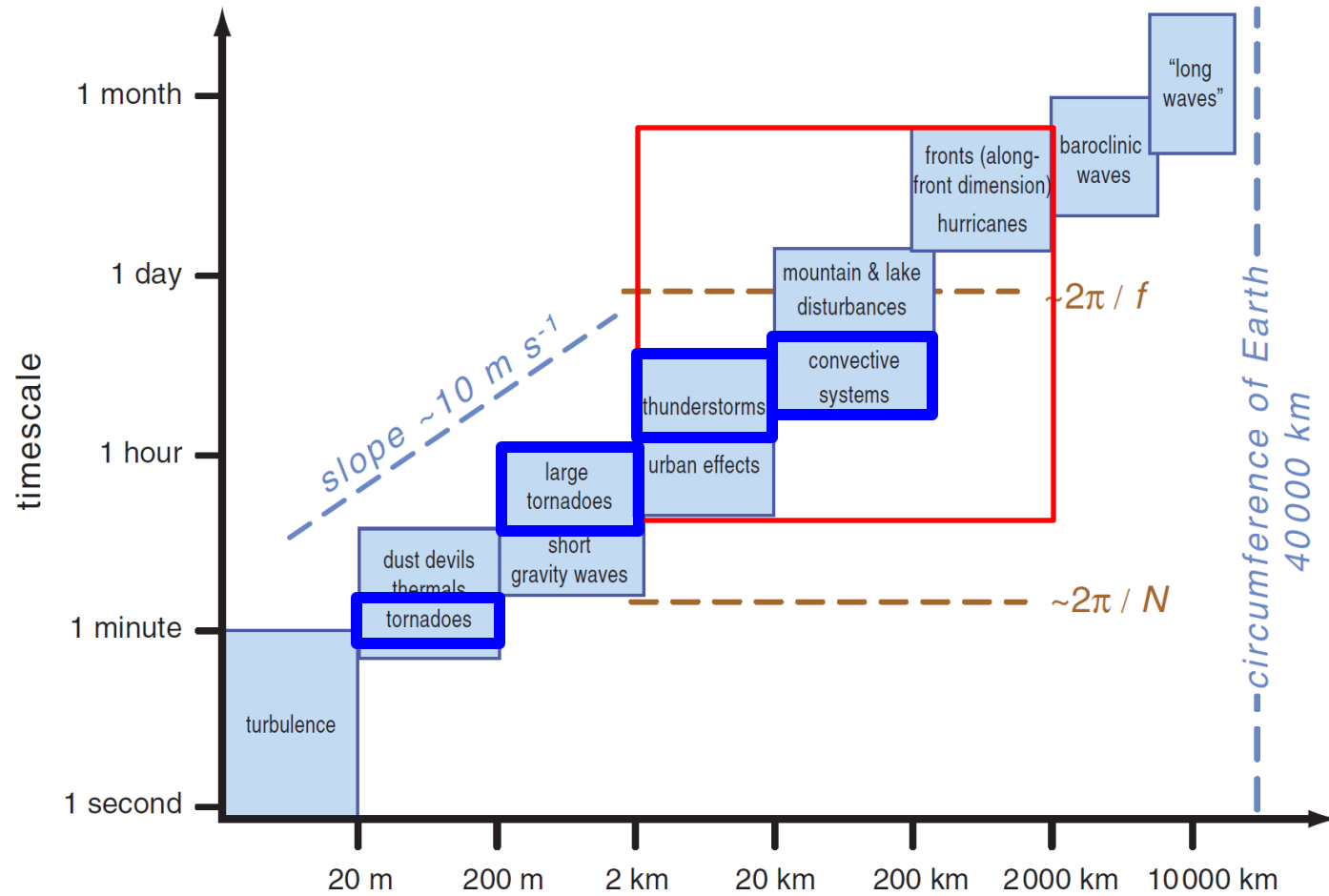
南中国海上的一次中尺度对流系统事件



欢迎同学们访问我的科研主页
<https://qiuyang50.github.io/>



什么是中尺度?



Orlanski (1975) micro γ | micro β | micro α | meso γ | meso β | meso α | macro β | macro α
 scale | scale | scale | scale | scale | scale | scale | scale

Fujita (1981) | meso α | miso β | miso α | meso β | meso α | maso β | maso α
 scale | scale | scale | scale | scale | scale | scale

horizontal length scale

什么是强对流天气?

特征： 发生突然、移动迅速、天气剧烈、破坏力极大

种类： 由**强对流天气系统**包括单体风暴、多单体风暴、超级单体风暴等产生的

- 2分钟平均风速 >17.2 m/s 或者瞬时风速 >20 m/s的地面大风
- 冰雹
- 伴有雷暴的小时雨量 >20 mm的短时强降水
- 龙卷

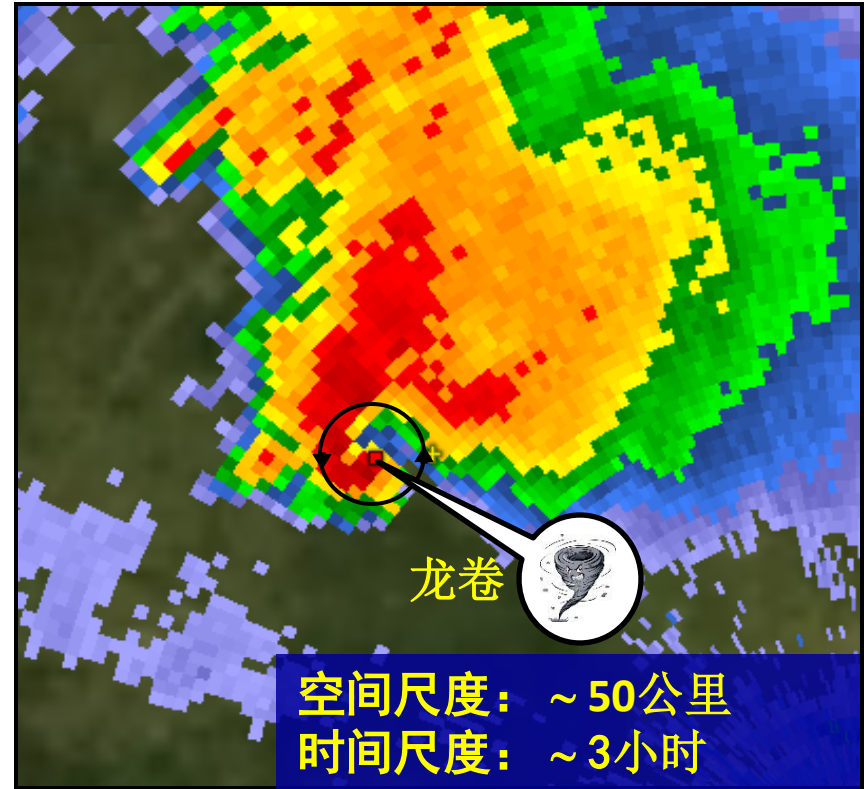


强对流系统

飊线



超级单体



2012.7.21 北京暴雨死亡79人
2016.7.19 河北暴雨死亡114人

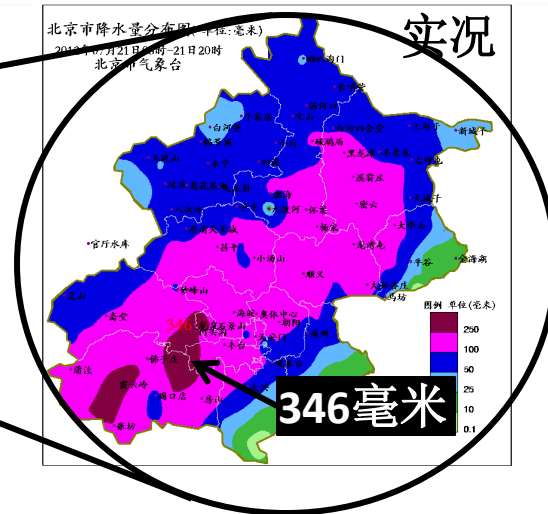
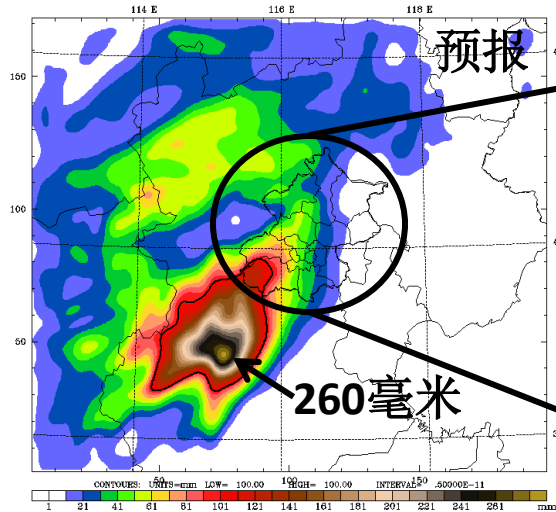
2009.6.3 商丘强风死亡27人
2015.6.1 监利强风死亡442人
2016.4.13 东莞强风死亡18人

15年10.4佛山龙卷死亡4人
16年6.23盐城龙卷死亡99人
17年8.11赤峰龙卷死亡5人
18年摩羯台风龙卷爆发事件
19年7.3开原龙卷死亡6人

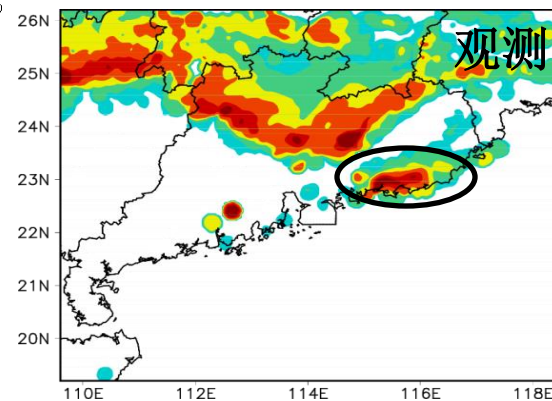
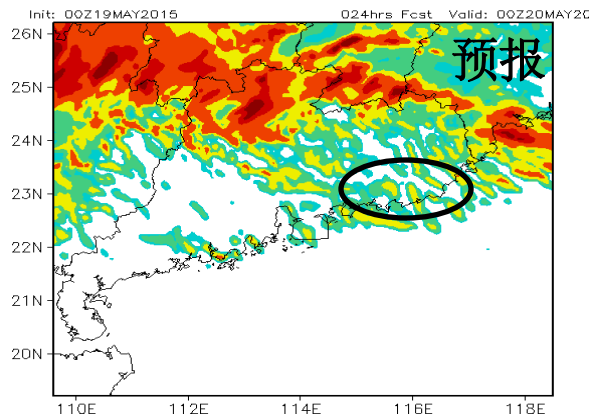
强对流天气的预报难度很大

极端暴雨

预报：40~80毫米
实况：最大雨量460毫米



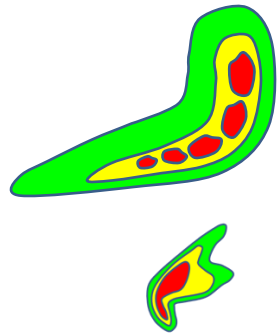
中尺度对流



龙卷

美国平均提前13分钟，且70%的空报率；我国龙卷的研究和业务十分落后，没有龙卷业务，气象台往往事后都不能确定。

强对流系统的准确预报是国际难题



尺度小

生命史短

突发性

非线性强



机理认识不足
预报能力有限

课程简介

经典理论

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{v} + \vec{F}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \vec{V})$$

$$P\alpha = RT$$

$$Q = Cp \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$$

$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \vec{V} q) + \rho(E - C)$$

最新研究成果



实际应用



中尺度分析基础

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{v} + \vec{F}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \vec{V})$$

$$P\alpha = RT$$

$$Q = Cp \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$$

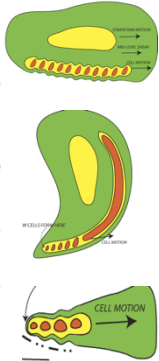
$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \vec{V} q) + \rho(E - C)$$



对流触发



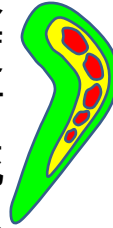
对流组织



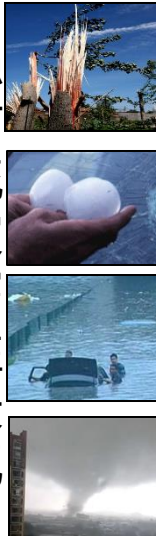
超级对流单体



中尺度对流系统



强对流灾害性天气



强对流天气的数值模拟



课程安排



中尺度动力学

周次	日期	上课内容	日期	上课内容	课程安排 (共30次课)
1	9月9日		0 9月12日	1.1	第零章: 课程简介 (1) 第四章: 超级对流单体 (3)
2	9月14日		1.2 9月19日	1.3	4.1 结构
3	9月23日		1.4 9月26日	1.5	第一章: 中尺度分析基础 (6) 4.2 中层旋转
4	9月30日		1.6 10月3日	国庆节放假	1.1 基本方程组 4.3 传播
5	10月7日	国庆节放假	10月10日	2.1	1.2 扰动气压
6	10月14日		2.2 10月17日	2.3	1.3 skew-T 第五章: 中尺度对流系统 (5)
7	10月21日		2.4 10月24日	2.5	1.4 Hodograph 5.1 分类
8	10月28日	期中考试	10月31日	3.1	1.5 Radar 5.2 爬线
9	11月4日		3.2 11月7日	4.1	1.6 参观气象局 5.3 MCS的动力理论
10	11月11日		4.2 11月14日	4.3	5.4 MCS与大尺度环流相互作用
11	11月18日		5.1 11月21日	5.2	第二章: 对流的触发 (5) 5.5 MCS对气候变化响应
12	11月25日		5.3 11月28日	5.4	2.1 对流简介
13	12月2日		5.5 12月5日	6.1	2.2 气块不稳定性 第六章: 强对流灾害性天气 (3)
14	12月9日		6.2 12月12日	6.3	2.3 波动不稳定性 6.1 灾害天气介绍
15	12月16日		7.1 12月19日	7.2	2.4 深对流 6.2 冰雹讲座 (张老师)
16	12月23日	学生报告	12月26日	学生报告	2.5 探空 6.3 沙漠讲座 (孟老师)
注: 中秋节9月16日调课至9月14日					第三章: 对流的组织 (2) 第七章: 数值模拟 (2)
					3.1 对流组织分类 7.1 数值模式模拟
					3.2 环境因素影响 7.2 可预报性

以培养学生科研能力为目标、覆盖观测、理论、模拟、应用

1. 请查看课程网站，上完每一章后将上传相应材料（安排、课件、作业）

https://qiuyang50.github.io/_pages/mesoscale_2024fall/

中尺度动力学



2. 请加入课程微信群（通知、交流），群内请注明真实姓名

平时作业30 + 期中考试30 + 期末大作业40（报告20、论文20）= 总分100

无上课考勤、无期末考试。

平时作业若干次，自发布之日起，两周后截止提交，将纸质版作业交给给任课老师。

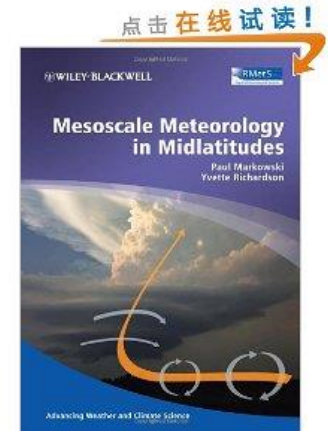
期中考试将在第二章上完后（大约十月底）举行。

期末大作业包括口头报告和论文两部分，选题将在开学初给定范围自由选择，期末最后两次课用于口头报告，同学相互打分，论文由教师打分。

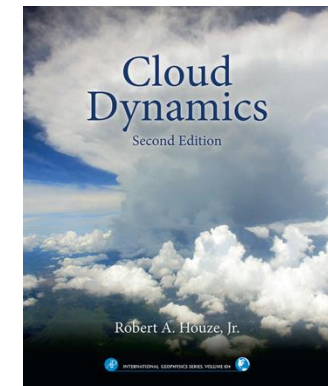
期末大作业选题（需要与杨邱老师商量确定）：选择任一你感兴趣的章节，探讨跟中尺度动力学有关的课题，须包含两部分，一是文献阅读，二是自己实践。

例如，大尺度环境场对中尺度对流系统发生发展过程的调控作用。

- Mesoscale Meteorology in Midlatitudes (2010)
by Paul Markowski, Yvette Richardsor



- Cloud Dynamics (2014)
by Robert A. Houze, Jr.



https://www.meted.ucar.edu/education_training/lessons/193

COMET
MetEd

🏠 > Catalog > Lessons & Resources

Radar Signatures for Severe Convective Weather

This resource is intended for use as a job aid by operational weather forecasters in live warning situations and as a reference tool to better understand some aspects of severe thunderstorm warning events. Thumbnail images show typical representatives for sixteen radar reflectivity and velocity signatures as well as three primary severe storm types. Each signature links to content describing detection techniques and conceptual and diagnostic information to help determine storm severity. The majority of the examples shown are southern hemisphere storms in Australia; examples from the northern hemisphere are noted.



Open

📑 Add to queue

Your queue

Skill Level

||| 3 - Advanced

Estimated timeline

1.25 - 1.50 h

Topics

Convective Weather, Radar Meteorology

Overall Rating

★★★★★

Language

English

Published

December 22, 2010

Updated

May 23, 2017

📝 Quiz

📄 Survey

📜 Certificate

Objectives

Reviews 22

Addendum

1. Identify signatures associated with potentially severe convection.
2. Describe appropriate techniques for identifying particular radar signatures within a volume scan.
3. Use knowledge of conceptual models of convective storm structures to determine the mode of convection indicated by particular radar signatures.
4. Given a convective storm type, determine the location and timing of potential storm-induced damage.
5. Estimate the likelihood that a particular radar signature indicates the presence of severe convection.

关于课程安排，你还有什么问题吗？

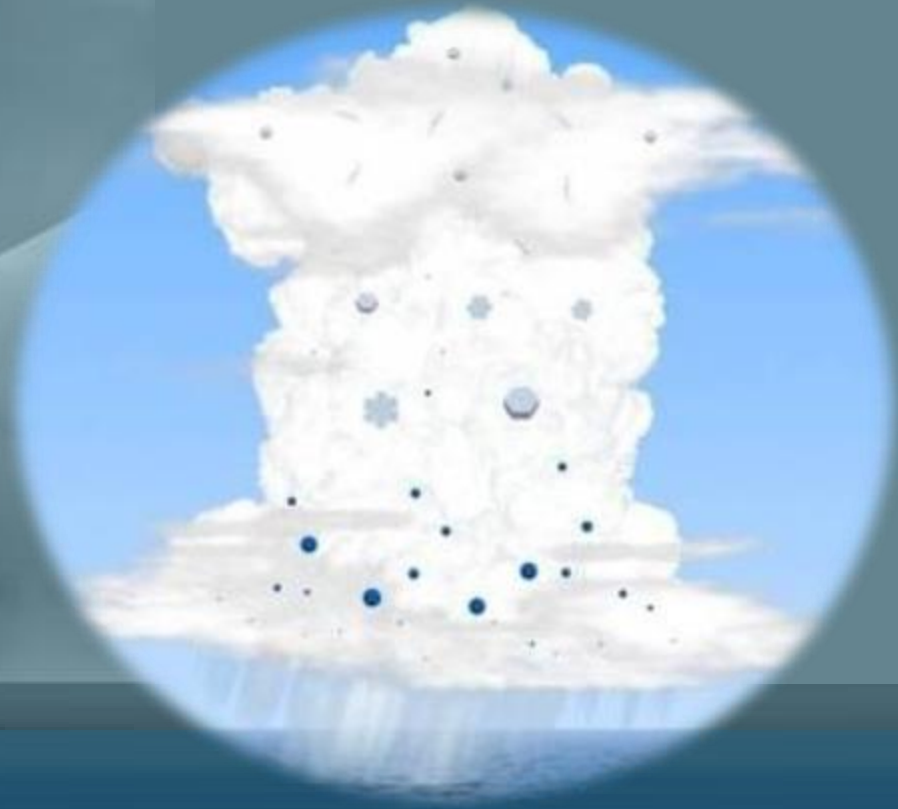


强对流天气系统

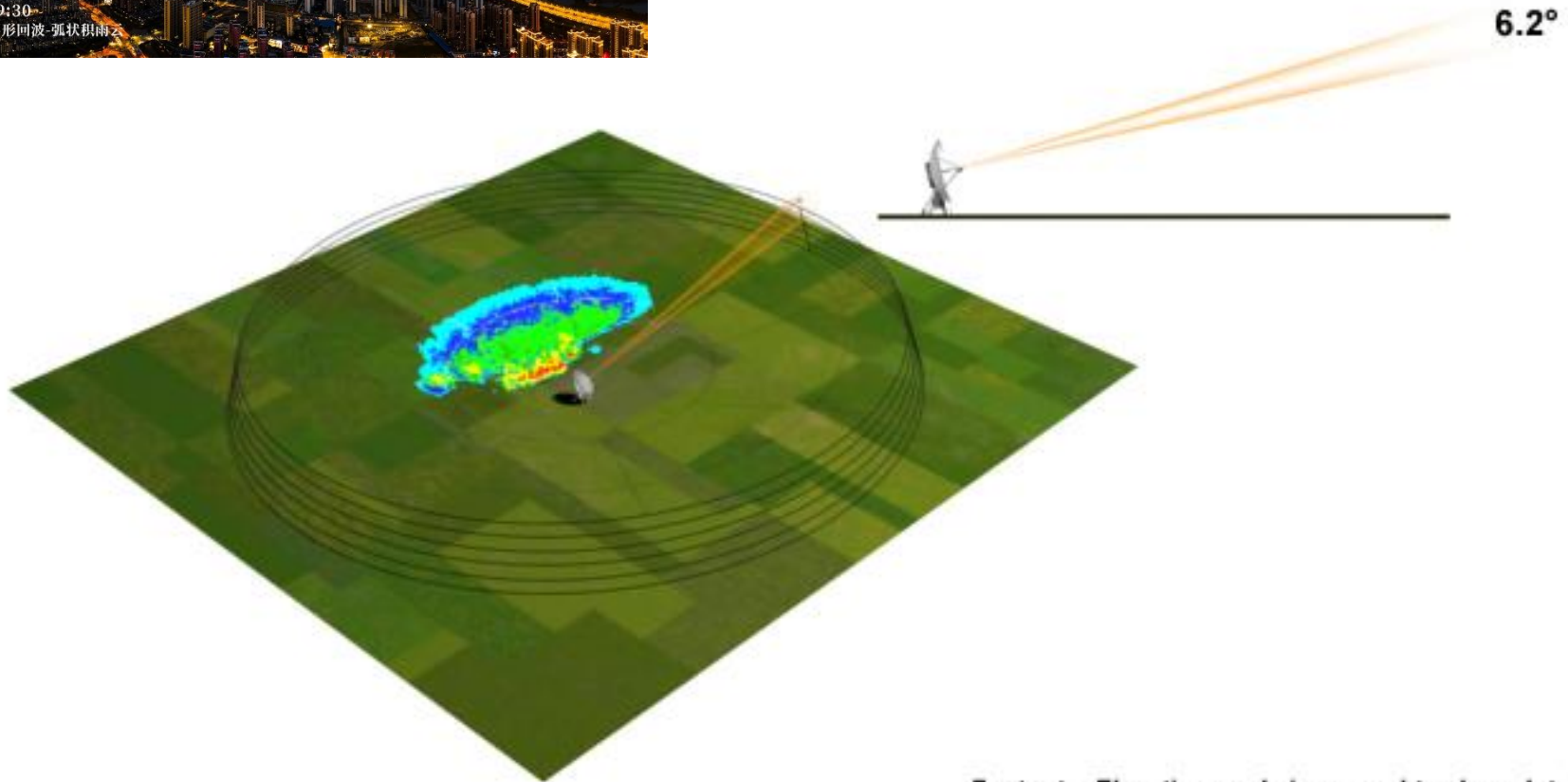
观测、触发、组织、天气、预报



雷达



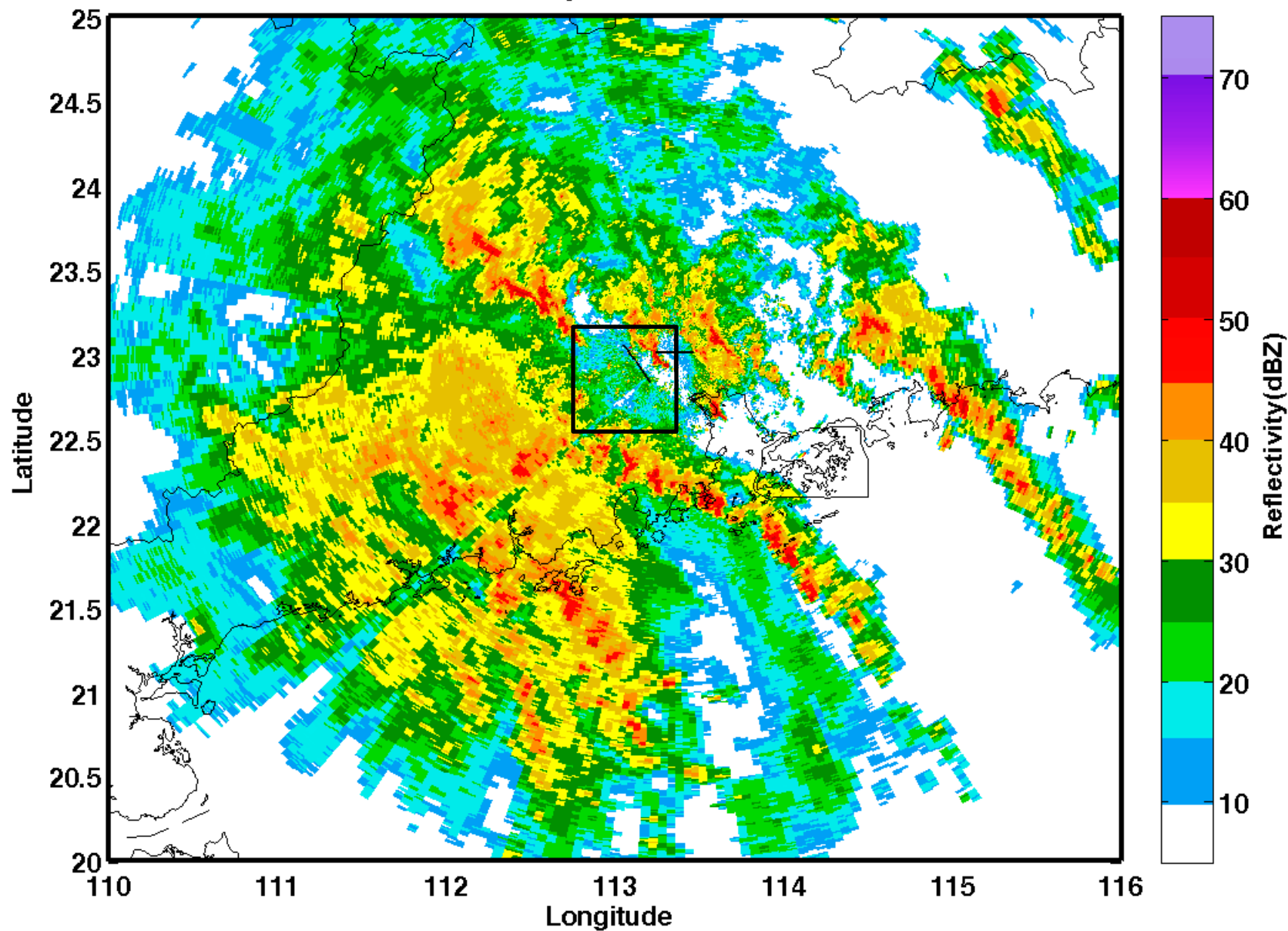
雷达反射率



Footnote: Elevation angle increased to show detail
NOAA / The COMET Program

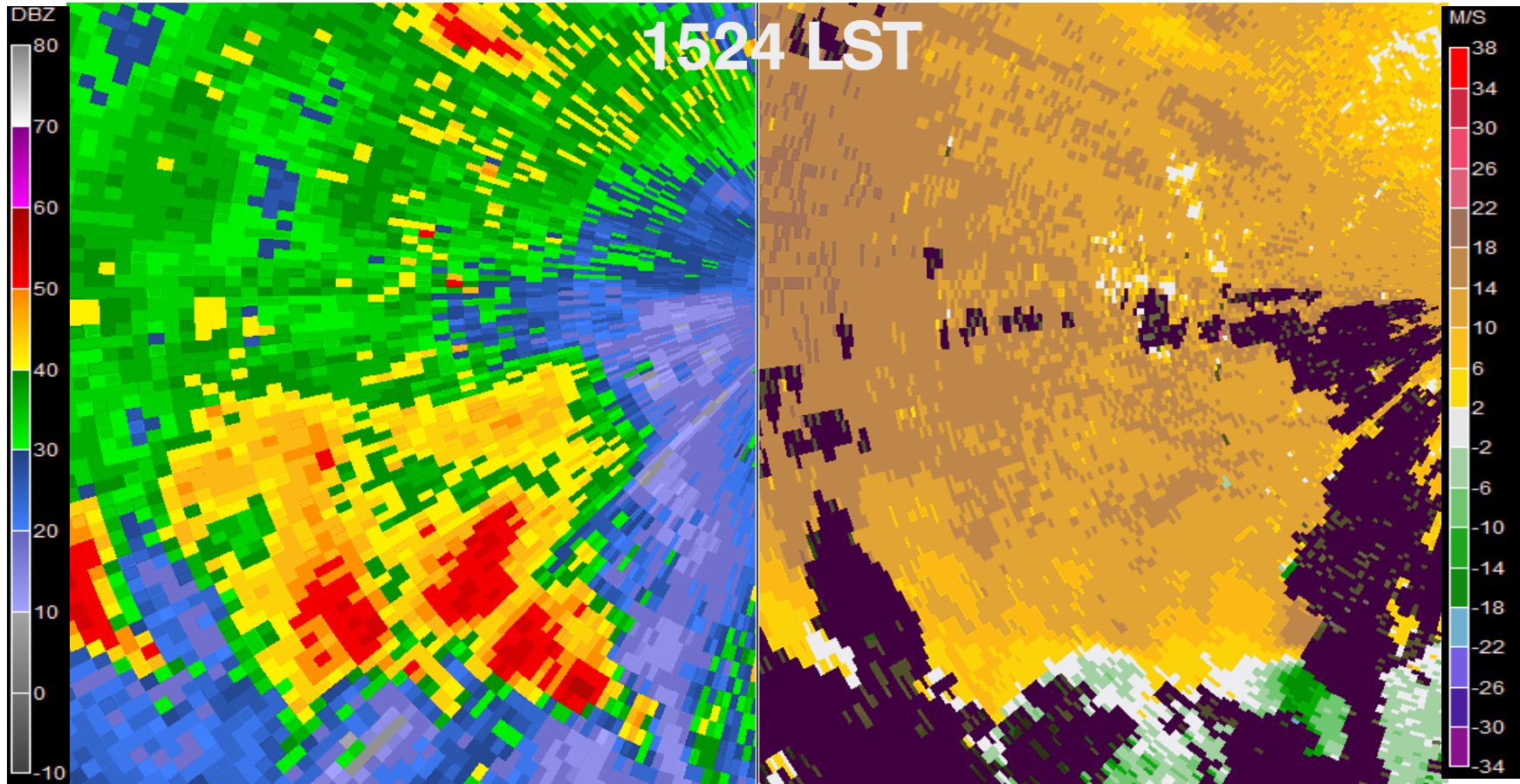
雷达演变

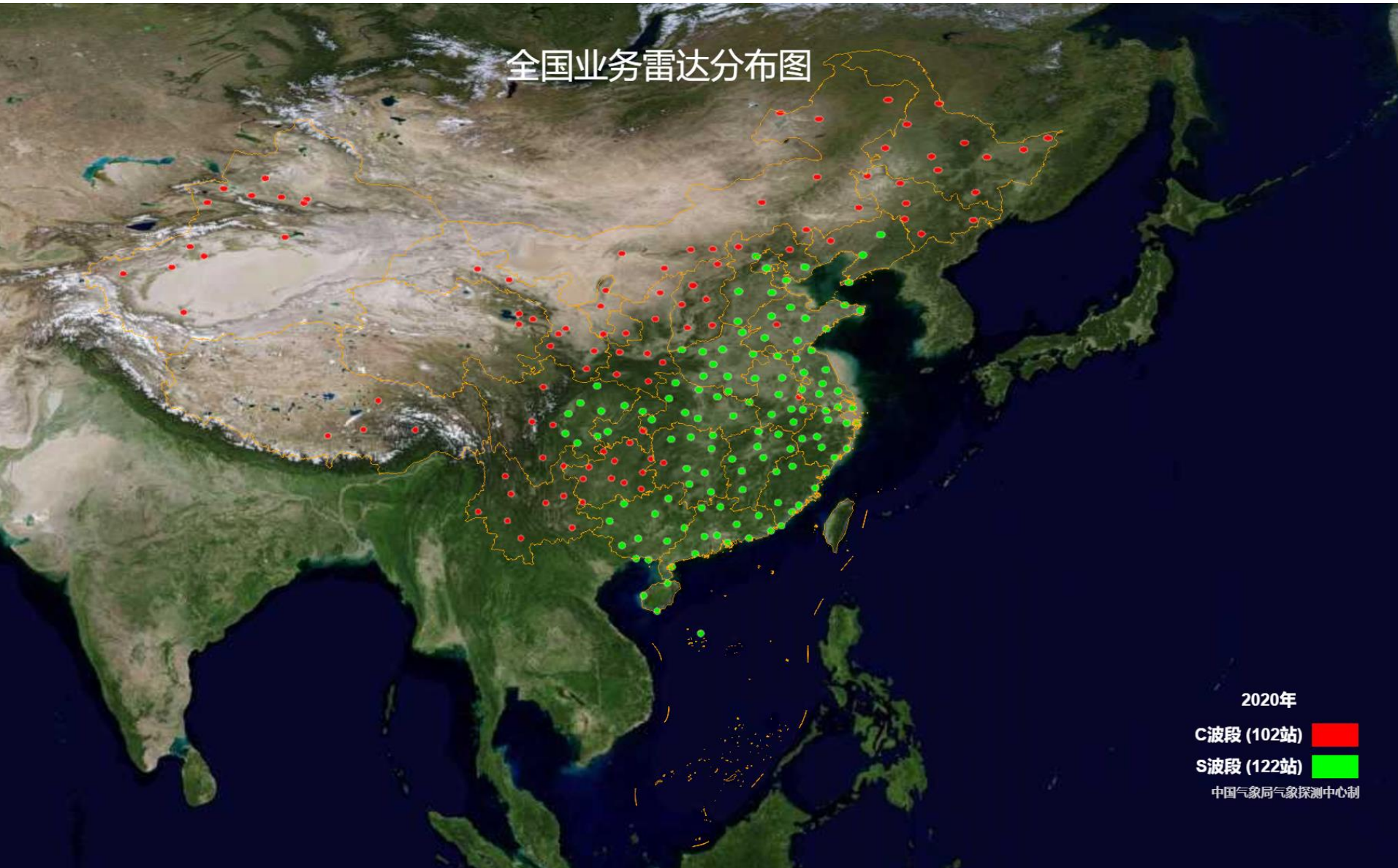
Base Reflectivity (dBZ) 0.5° 1400BJT



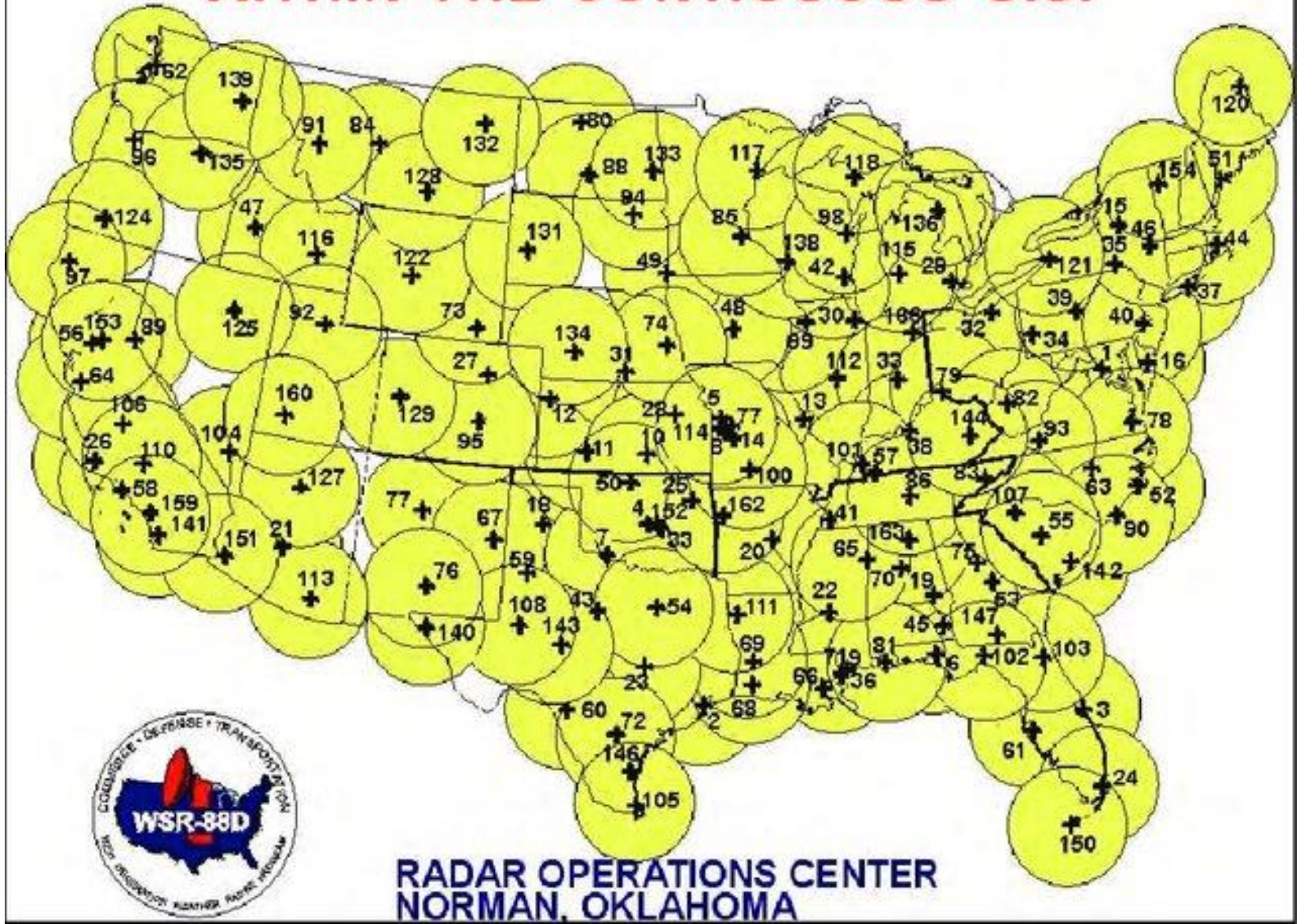
0.5° 反射率

径向速度

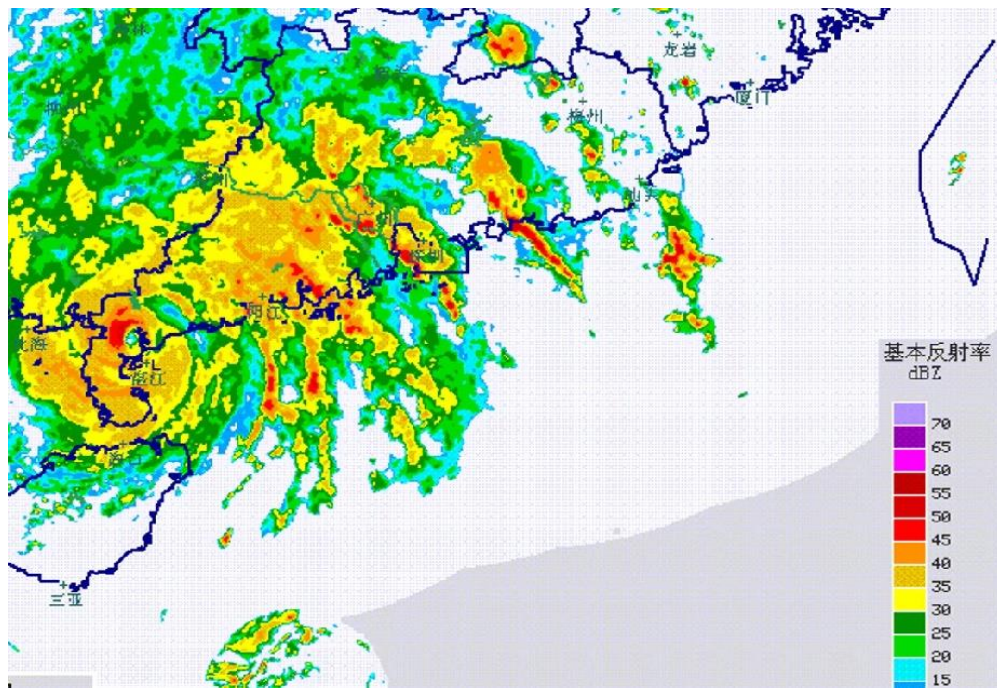




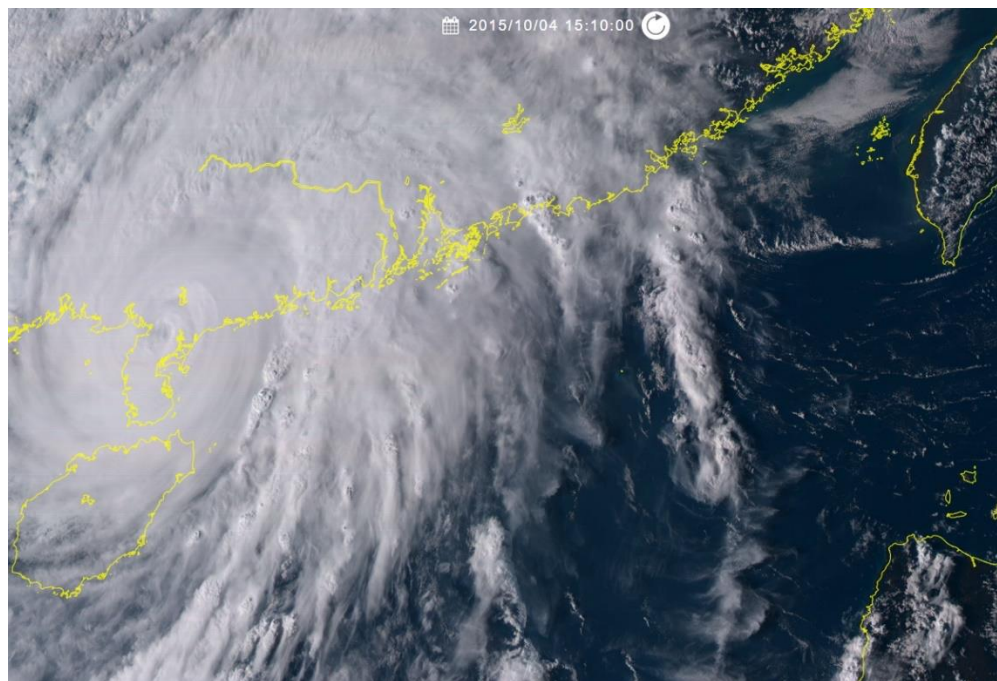
COMPLETED WSR-88D INSTALLATIONS WITHIN THE CONTIGUOUS U.S.



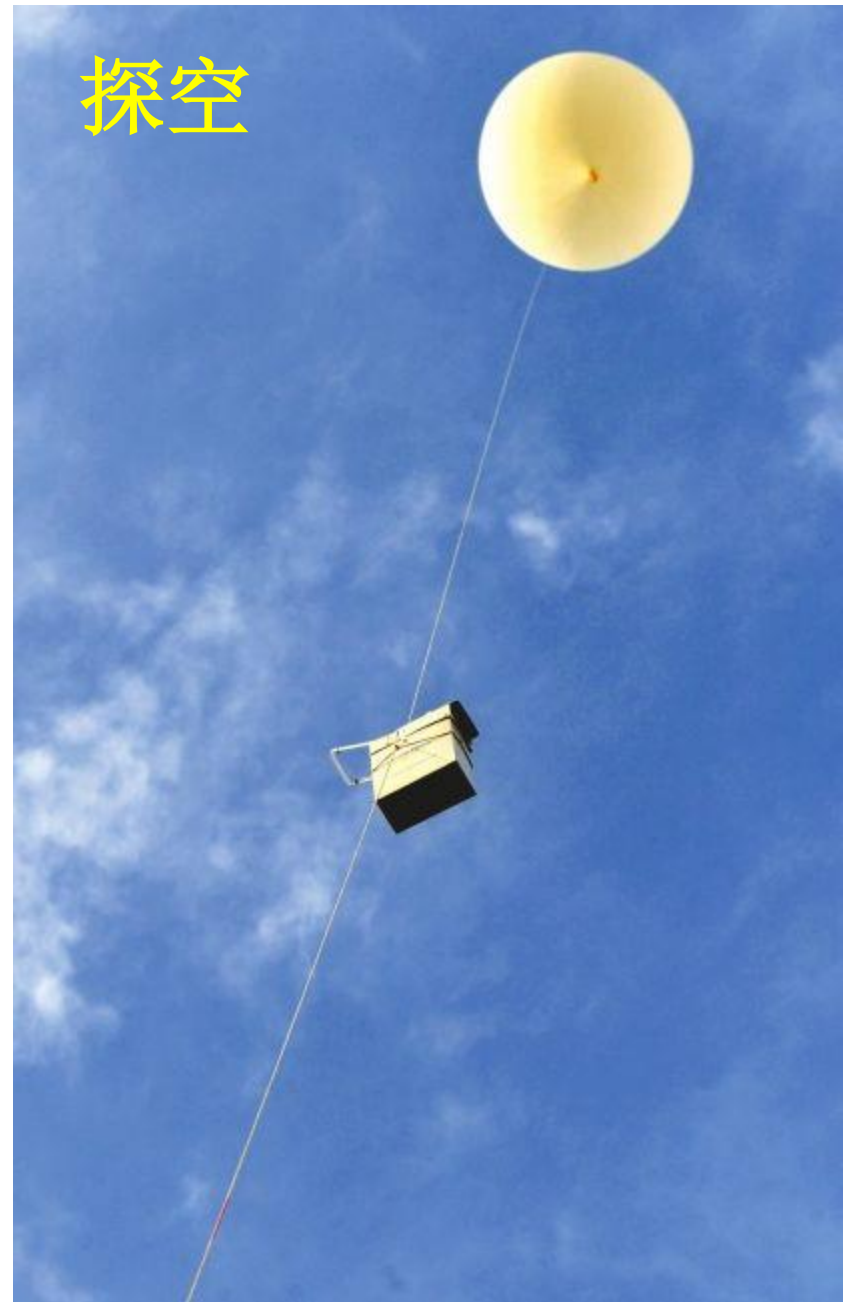
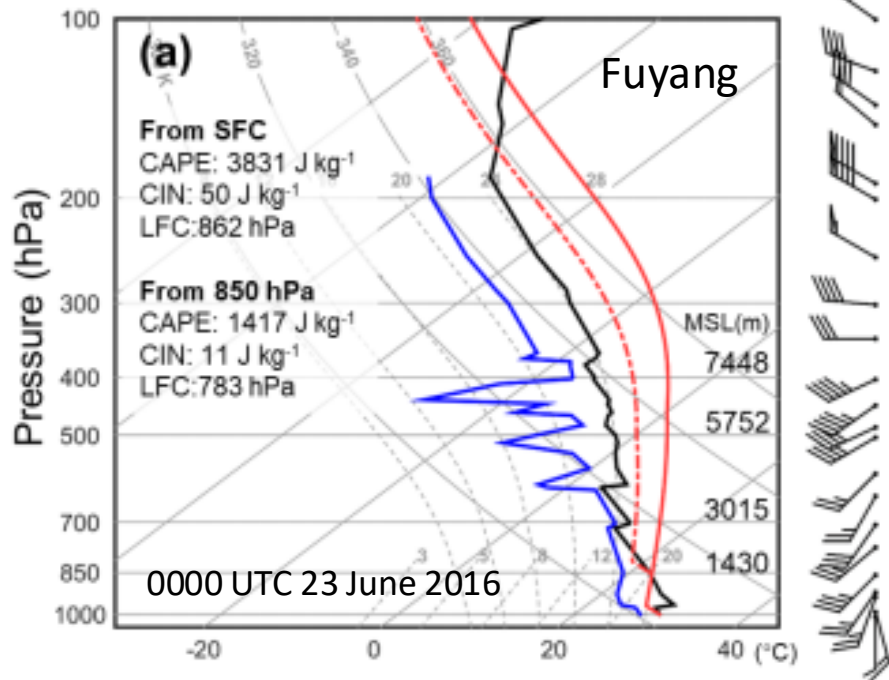
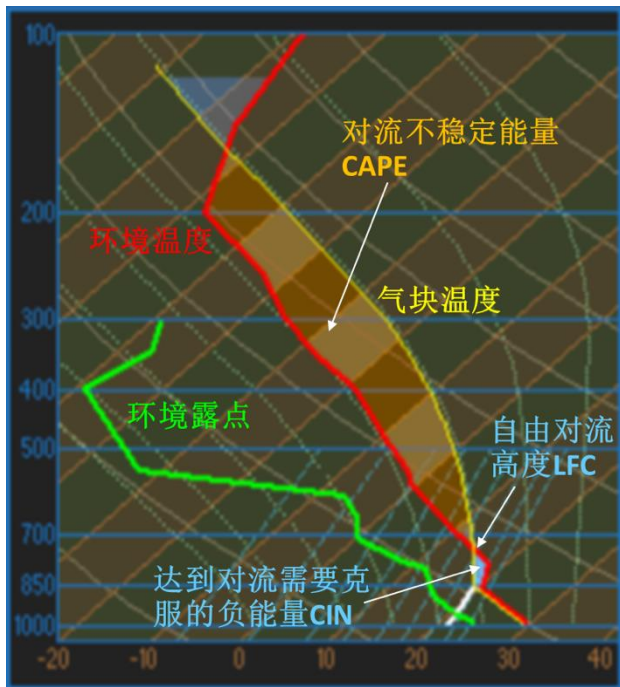
雷达



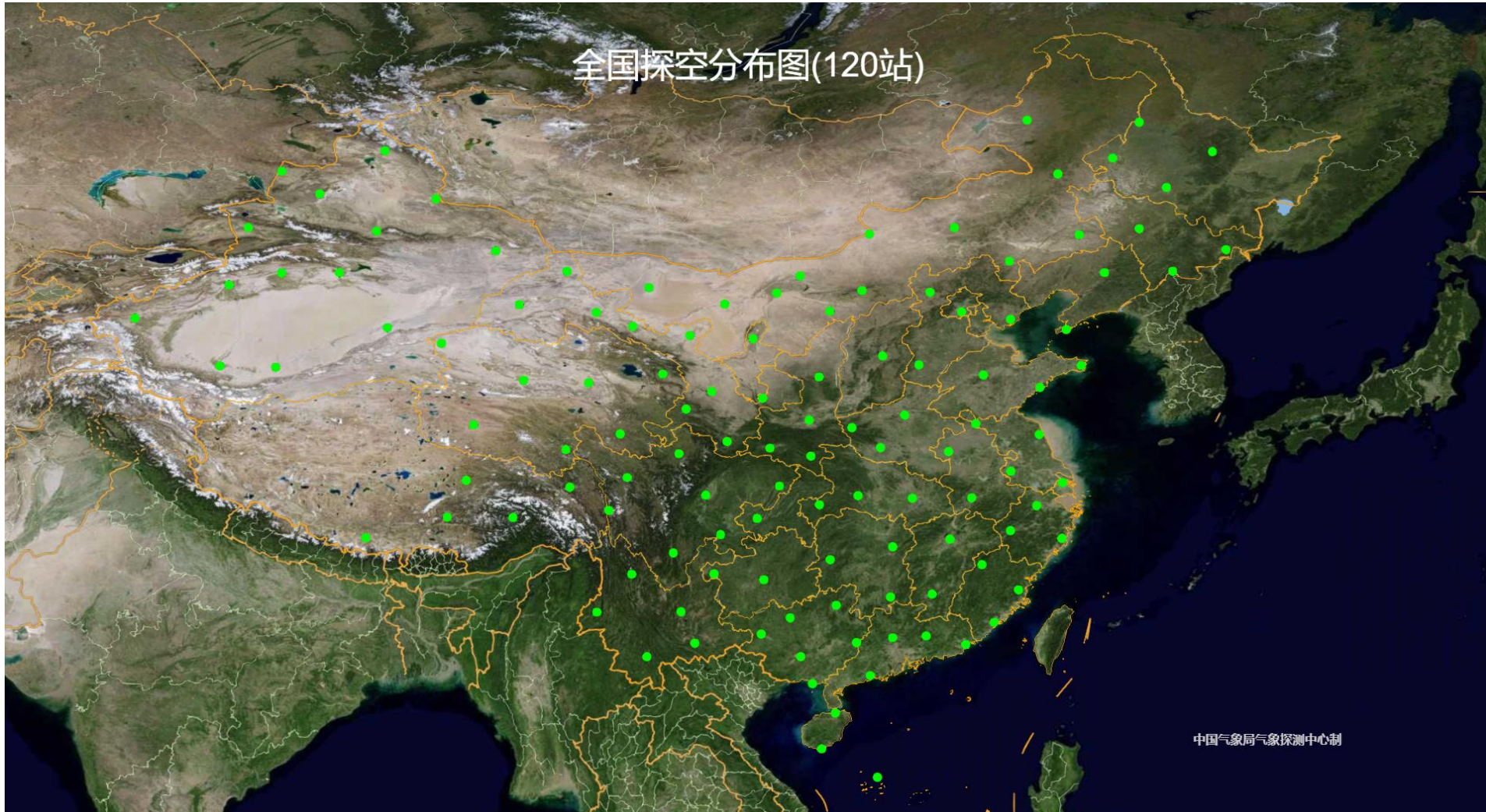
卫星



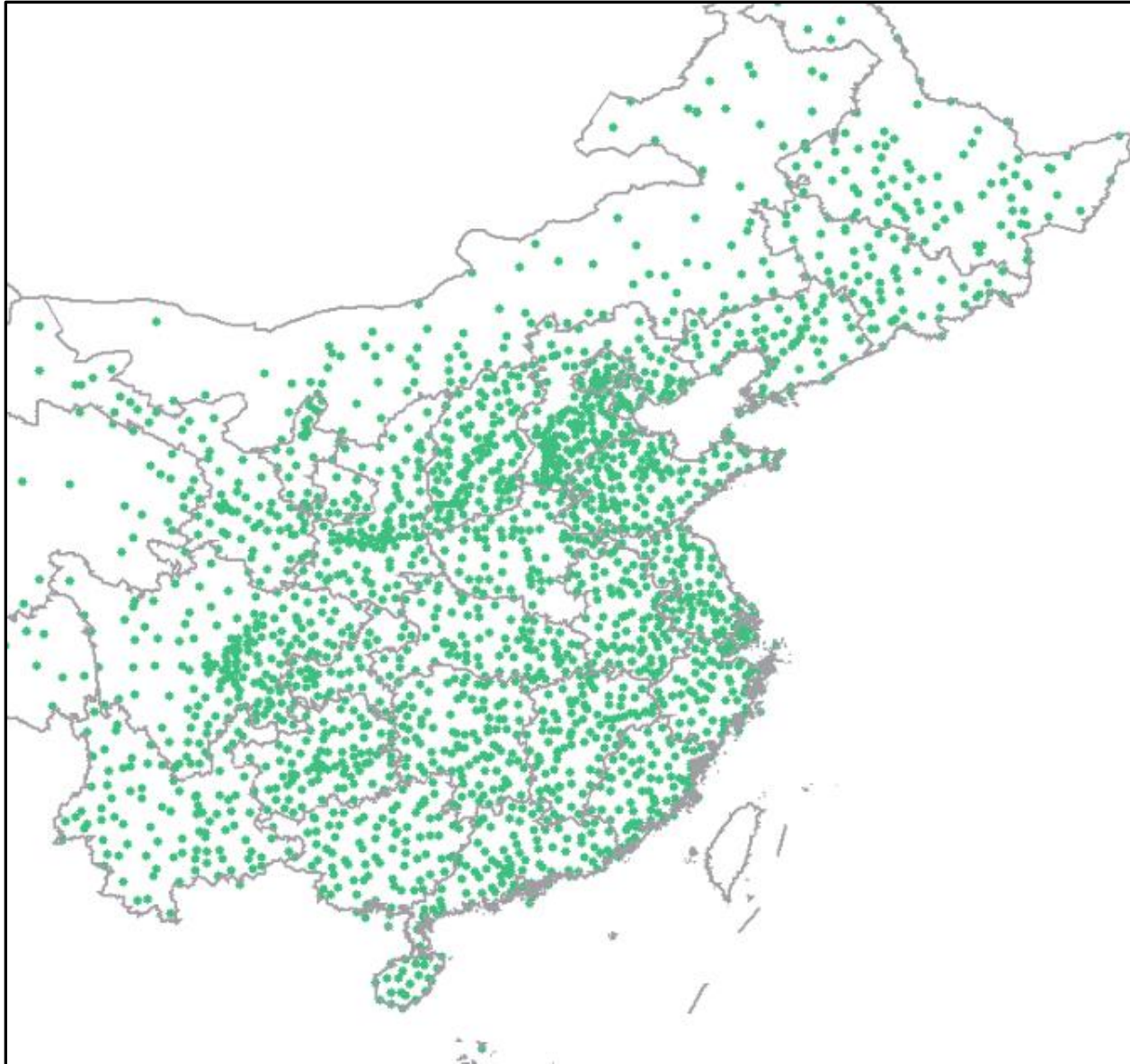
Himawari-8
FY-4



探空站分布



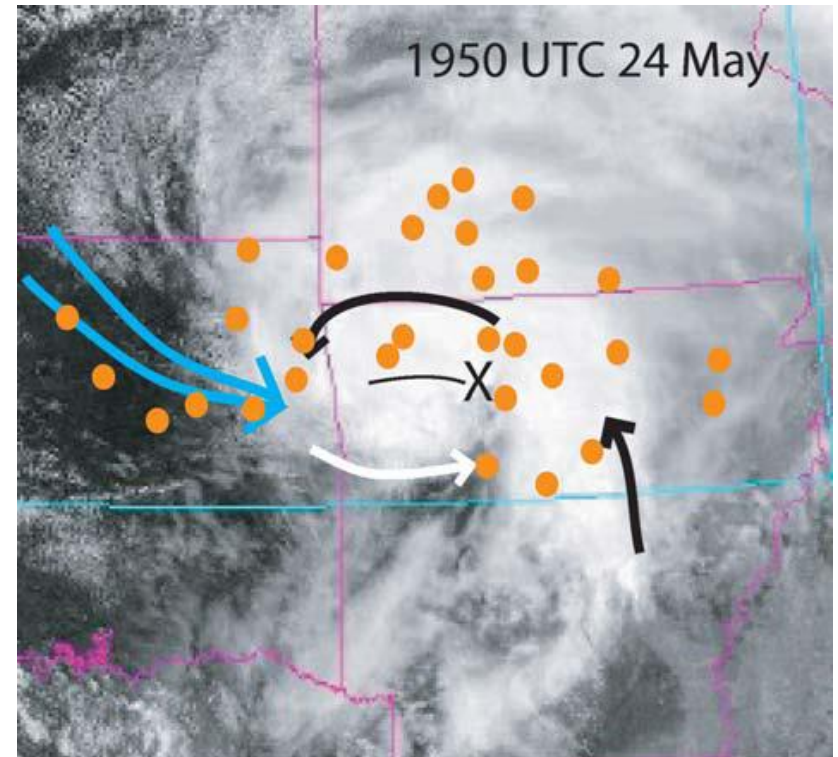
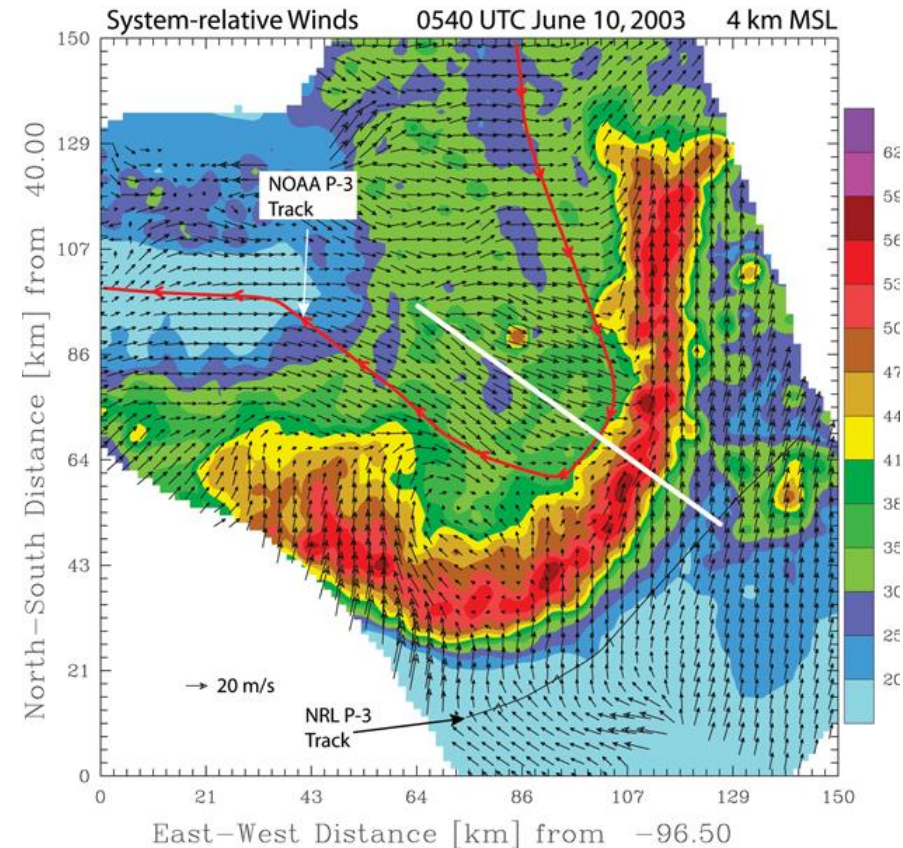
自动气象站



强对流的观测:国外大型试验

BAMEX

The Bow Echo and Mesoscale Convective Vortex Experiment (20 May and 6 July 2003)



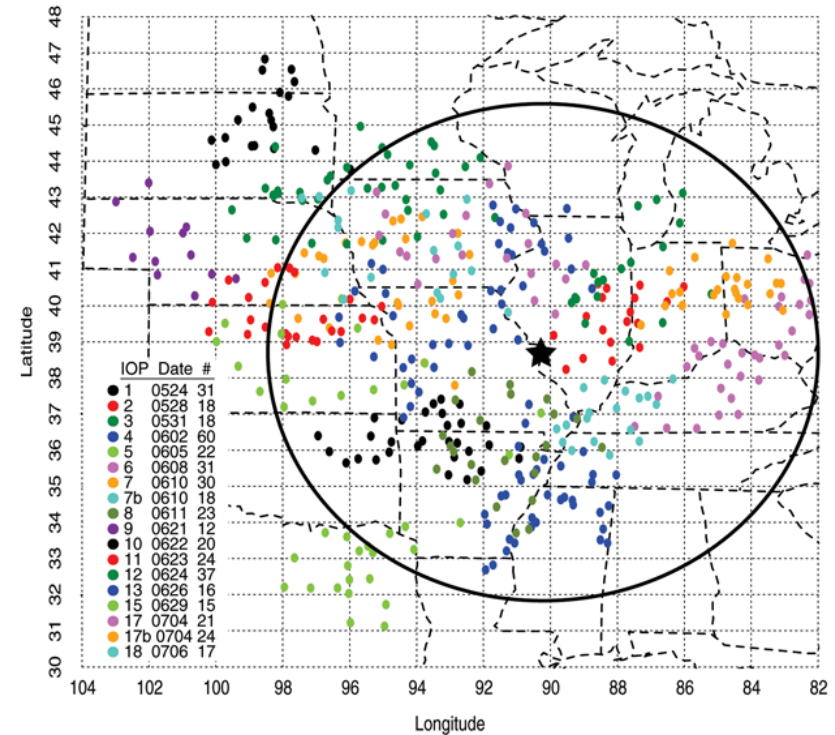
(Davis et al. 2004)

BAMEX

The Bow Echo and Mesoscale Convective Vortex Experiment (20 May and 6 July 2003)



BAMEX Dropsonde Launch Locations (437)

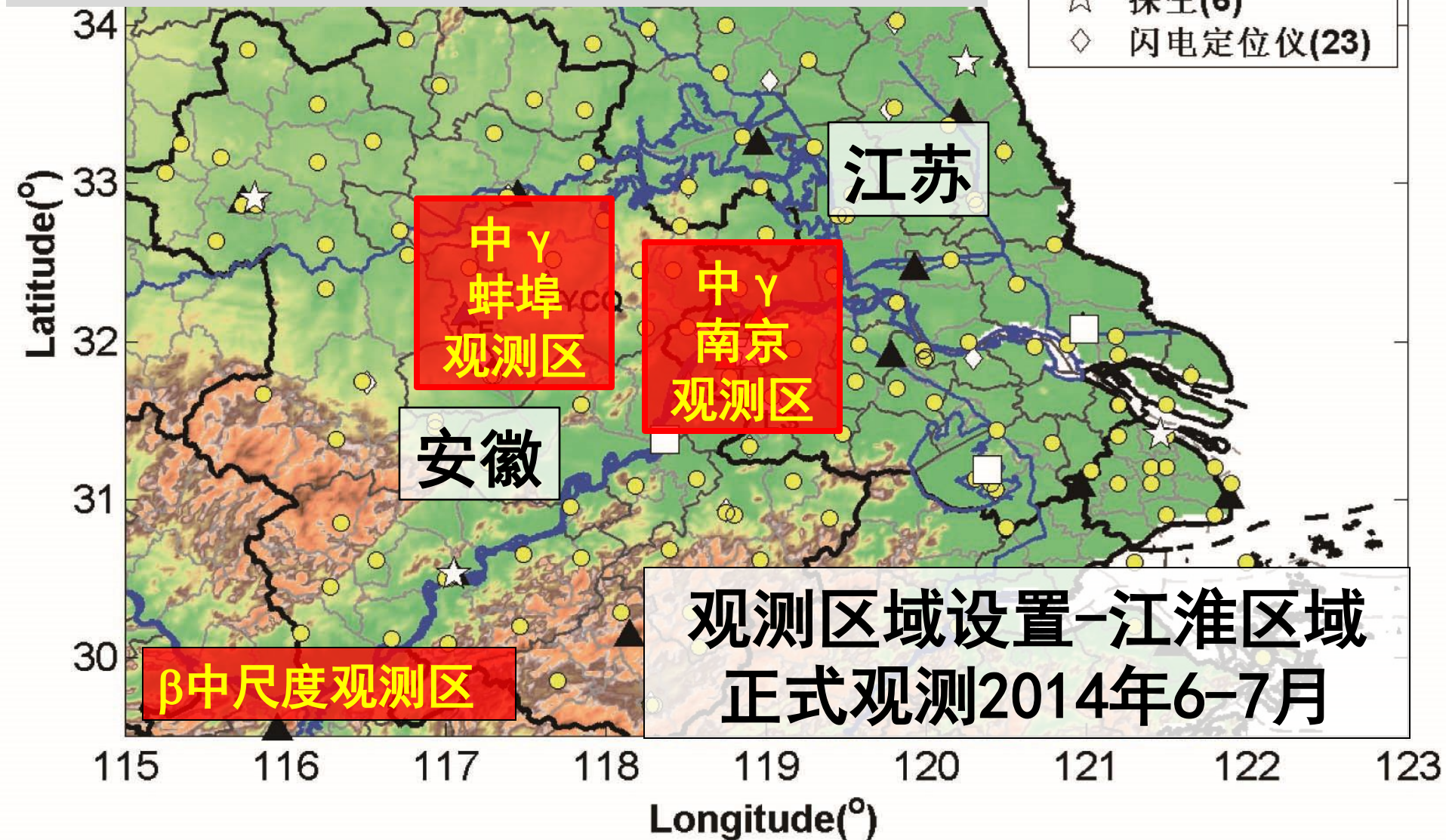


(Davis et al. 2004)

强对流的观测:国内大型试验

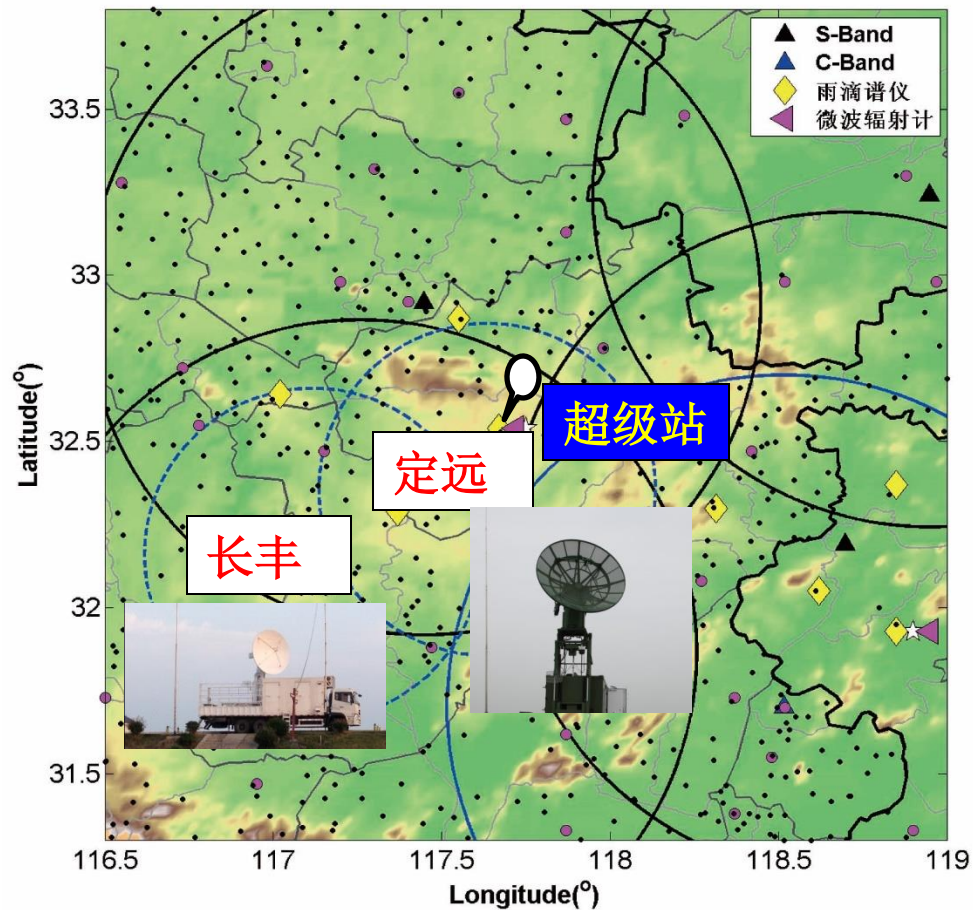
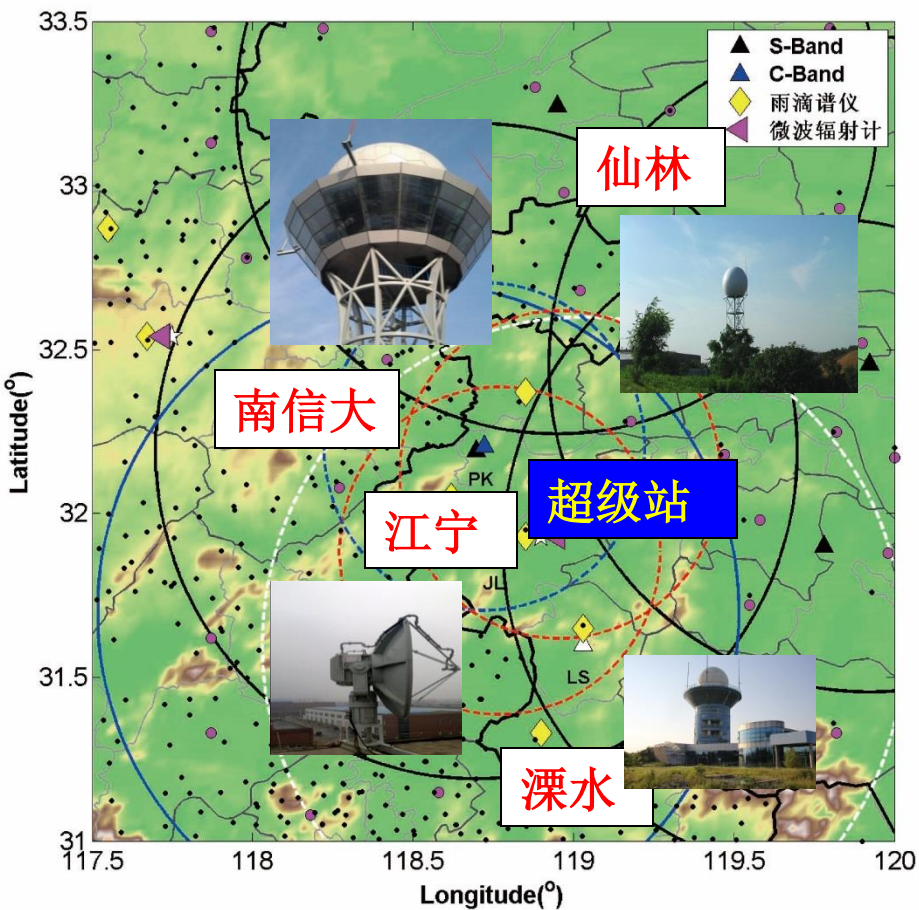
2013-2018 突发性强对流天气演变机理和监测预报技术研究
江淮地区野外科学试验超级站观测 (中 γ 尺度)

- ▲ 天气雷达(21)
- 地面气象站(151)
- GPS探空(155)
- 风廓线雷达(5)
- ☆ 探空(6)
- ◇ 闪电定位仪(23)



江苏南京观测区

安徽蚌埠观测区



在我国率先实现了多部双偏振多普勒雷达
近距离组网协同观测

多要素超级观测站

超级站 多遥感仪器、多要素、交叉验证、综合观测



风廓线仪 微波辐射计

垂直指向雷达

雨滴谱等

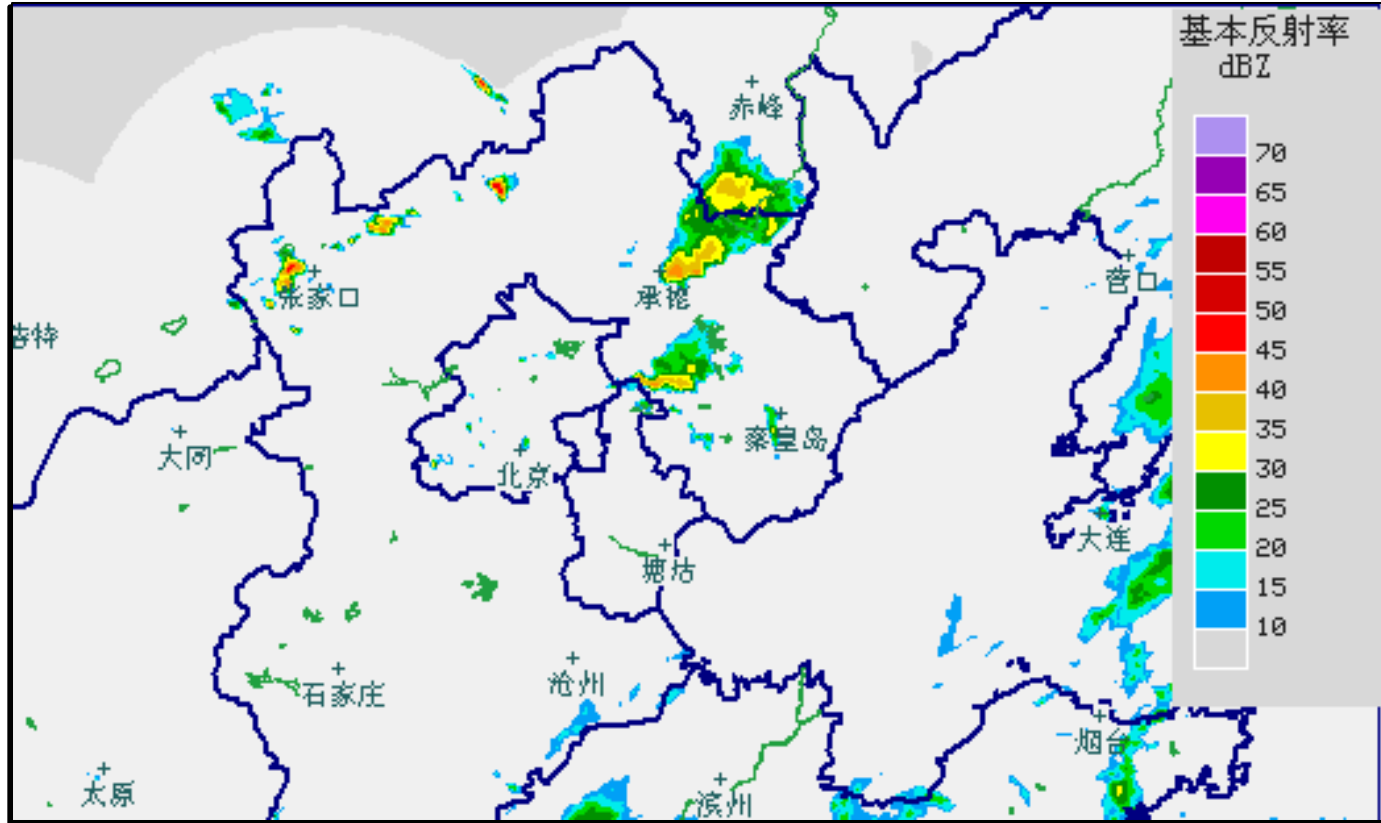
获取连续的**温度、湿度、风场**等环境要素观测
地面降水和雨滴分布等降水物理特征资料



强对流天气系统

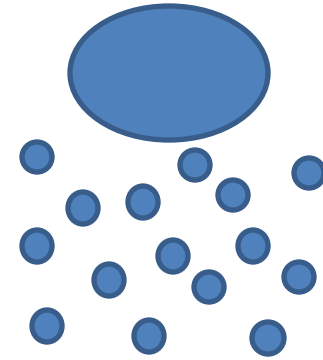
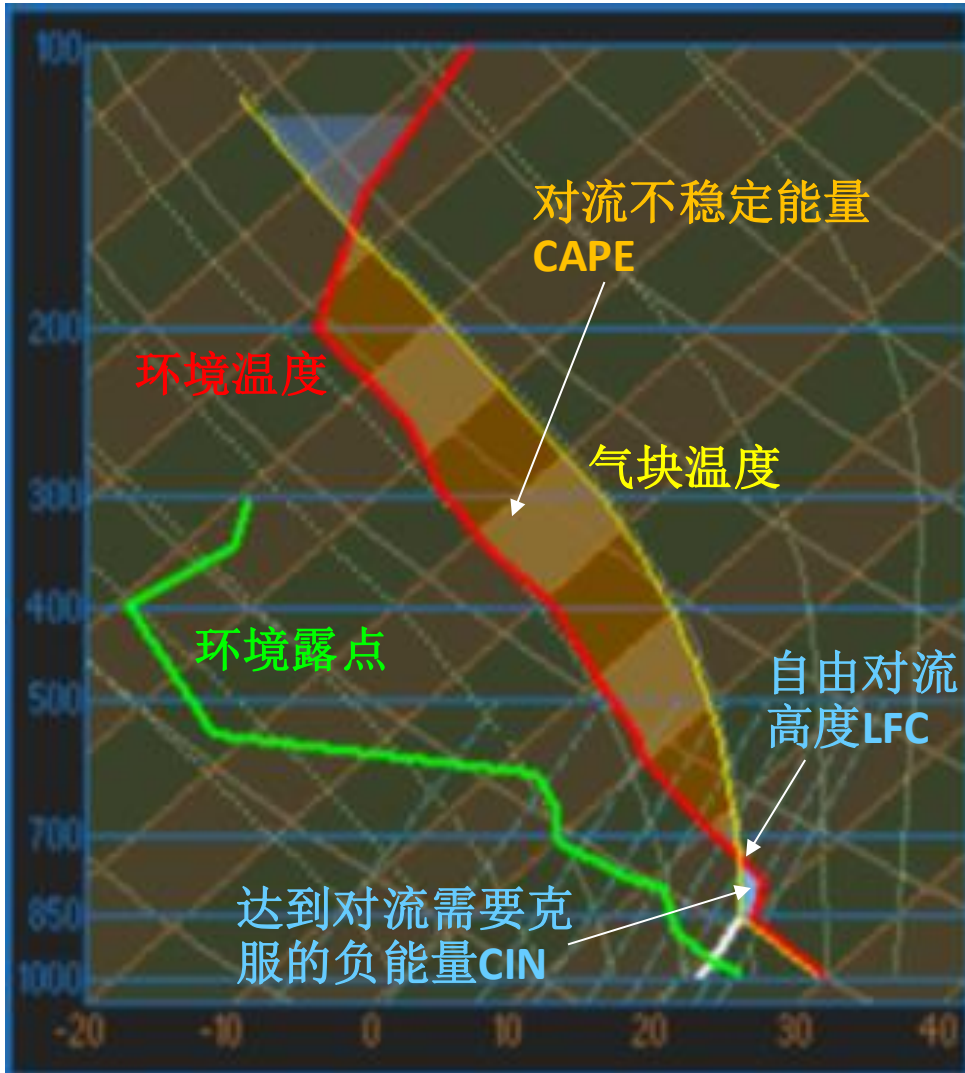
观测、触发、组织、天气、预报

触发：对流在何时何地发生？



- 对流触发：
- 35dBZ 的雷达回波达到 8km^2 (Lima and Wilson 2008)
 - 30dBZ 回波深6km
 - 1) 出现35dBZ回波
 - 2) 该回波发展为深对流

对流触发的关键因子

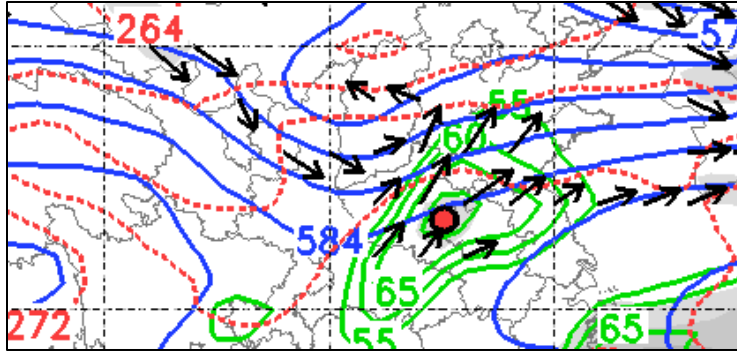


- 不稳定能量
- 水汽
- 抬升机制

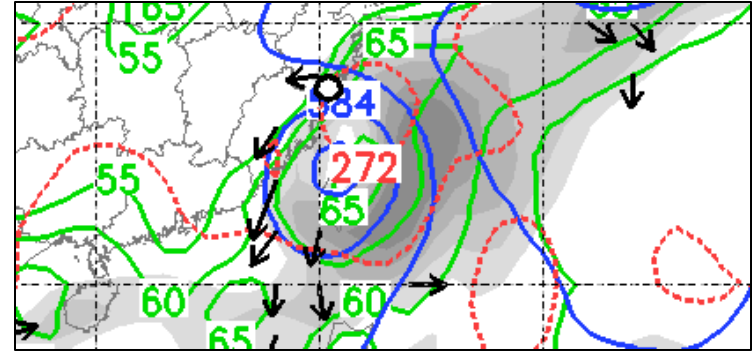
地形、海陆锋、中尺度辐合线、
干线、边界层滚涡、出流边界

对流触发的环境

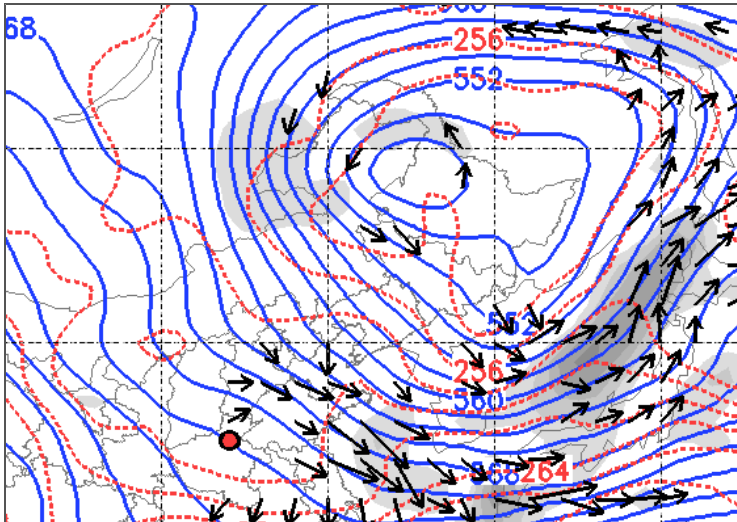
Trough



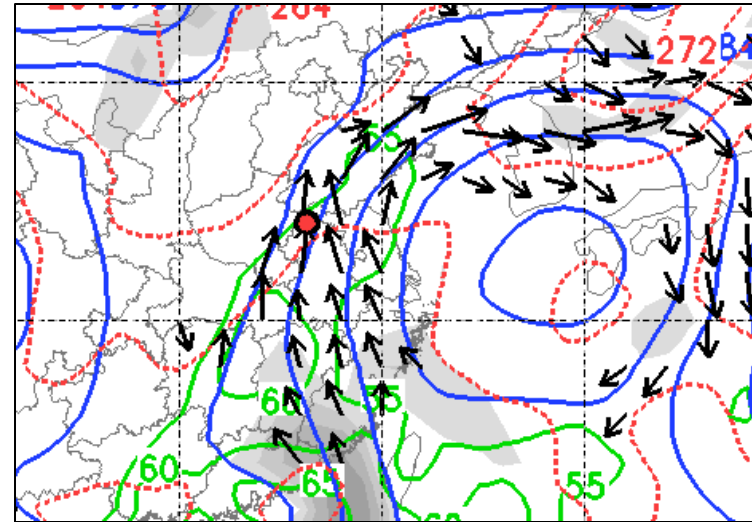
Tropical Cyclone



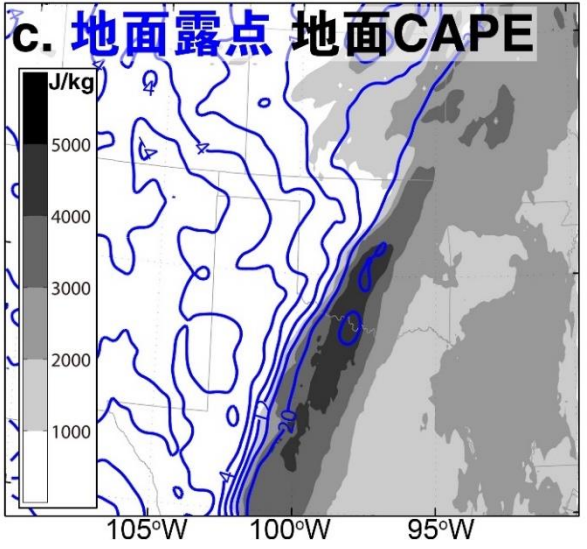
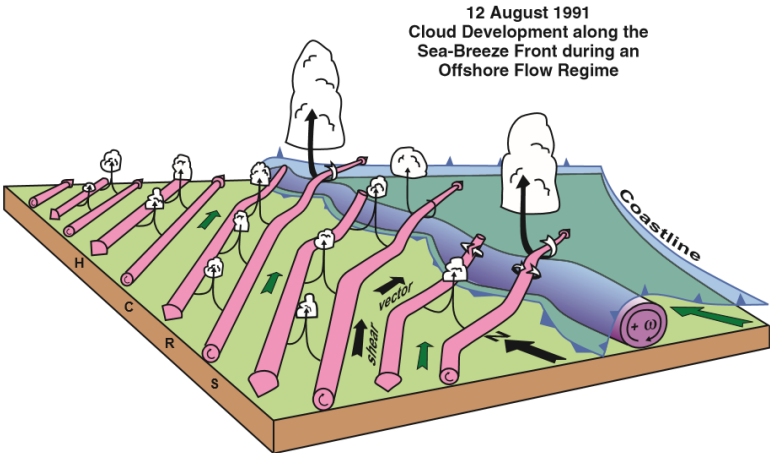
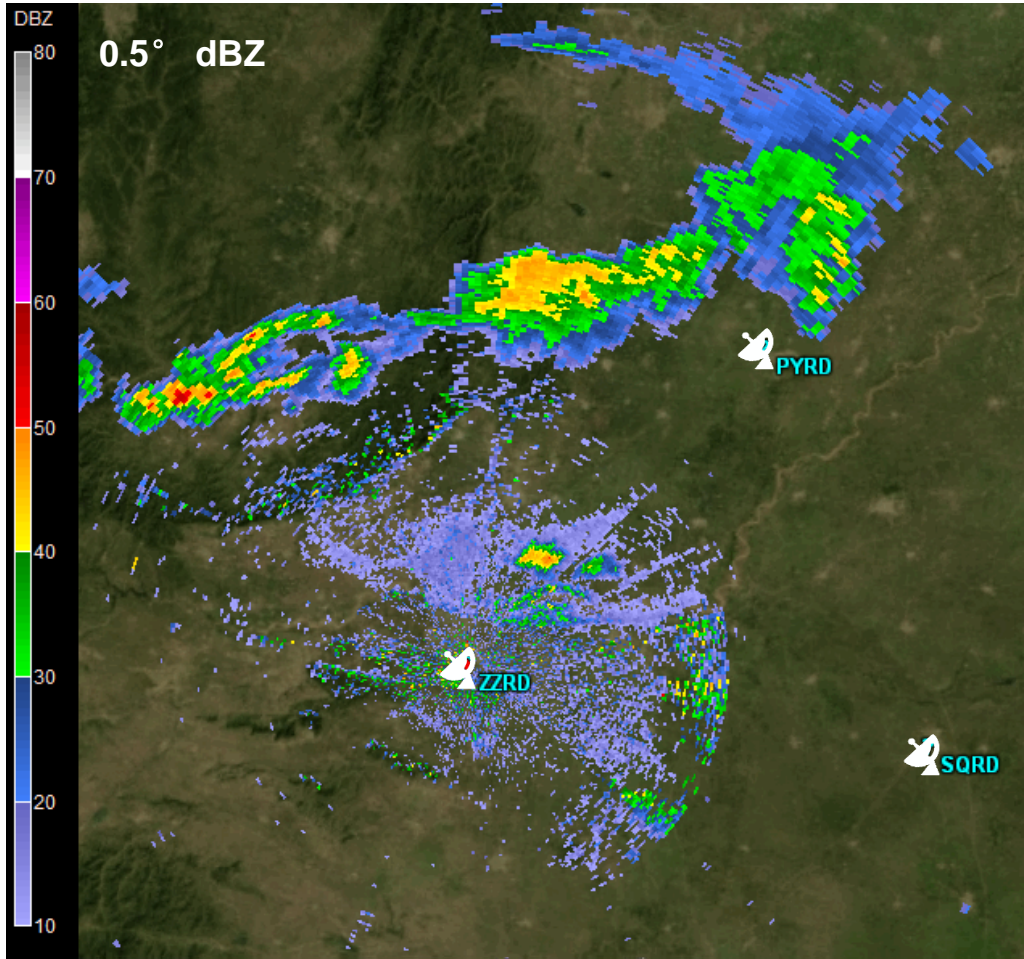
Cold Vortex



Subtropical High



中尺度抬升机制



(Bai and Meng, 2015)



强对流天气系统

观测、触发、组织、天气、预报

对流类型

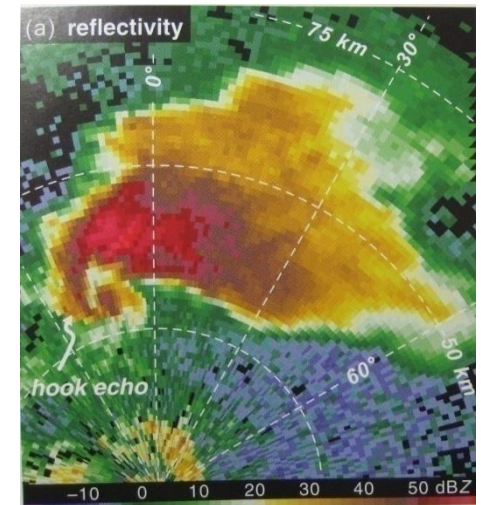
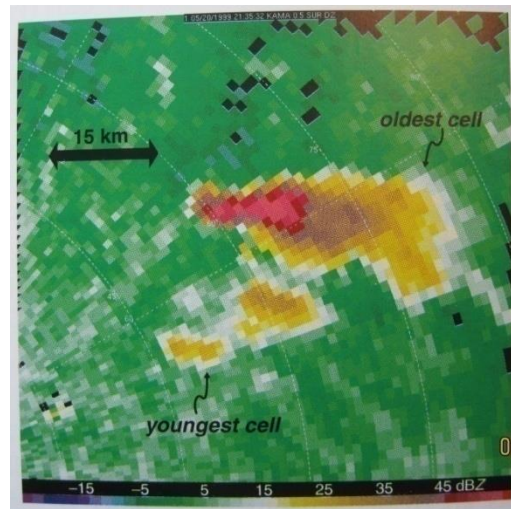
单体风暴



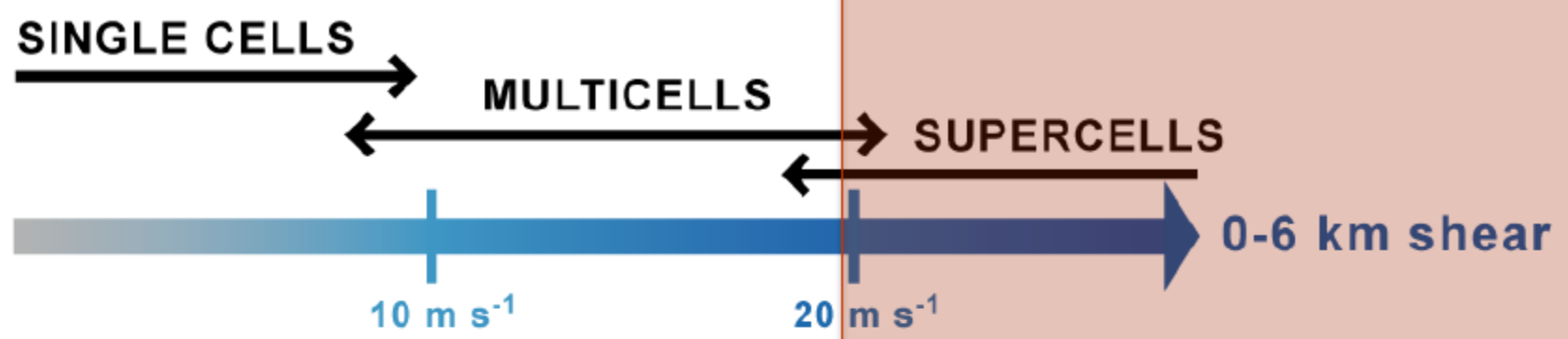
多单体风暴



超级单体风暴



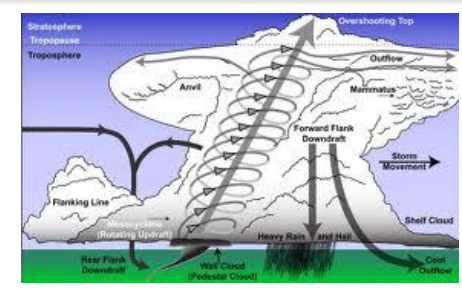
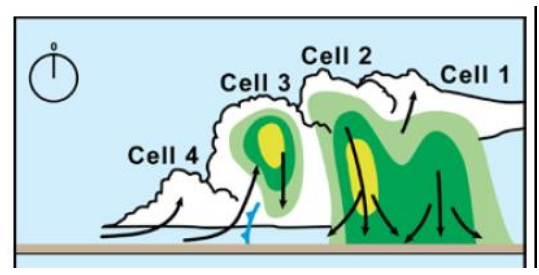
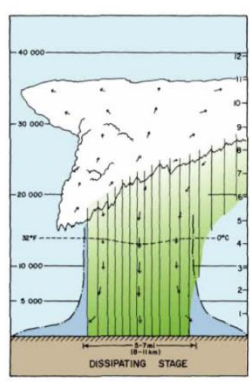
对流类型的环境条件



gust front unable to initiate new cells, at least in any organized way; convection is short-lived

gust front initiates new cells repeatedly (downshear flank preferred in a homogeneous environment); system propagation is driven by gust front lifting

updrafts may be quasi-steady; propagation governed by vertical pressure gradients extending over a deep layer rather than by gust front lifting





超级单体



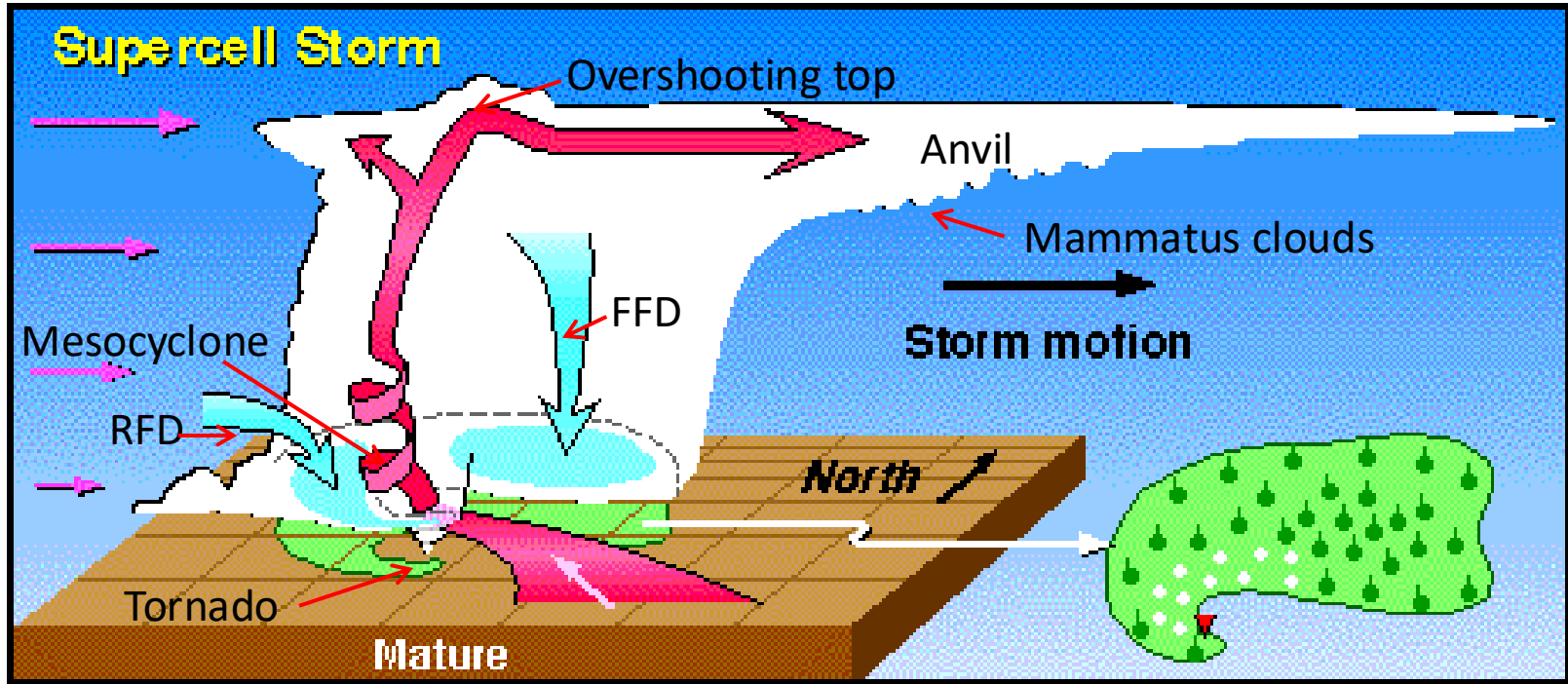
超级单体



2021.8.22, 通辽市扎鲁特旗
一团超级单体雷暴迅速形成
旋转结构清晰可见



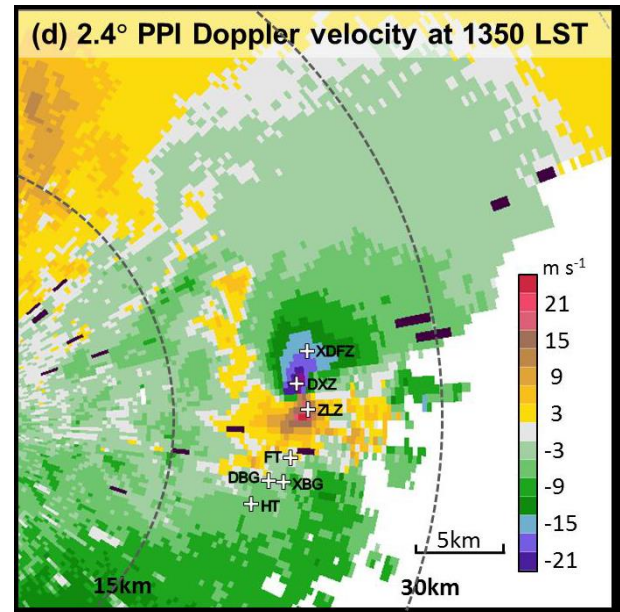
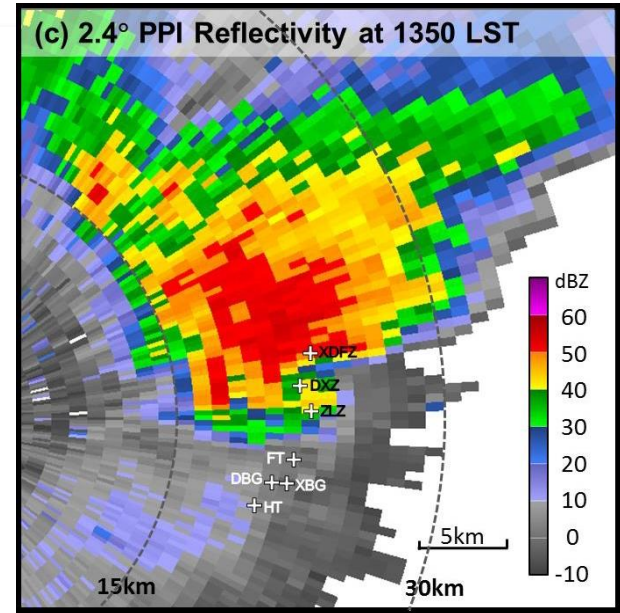
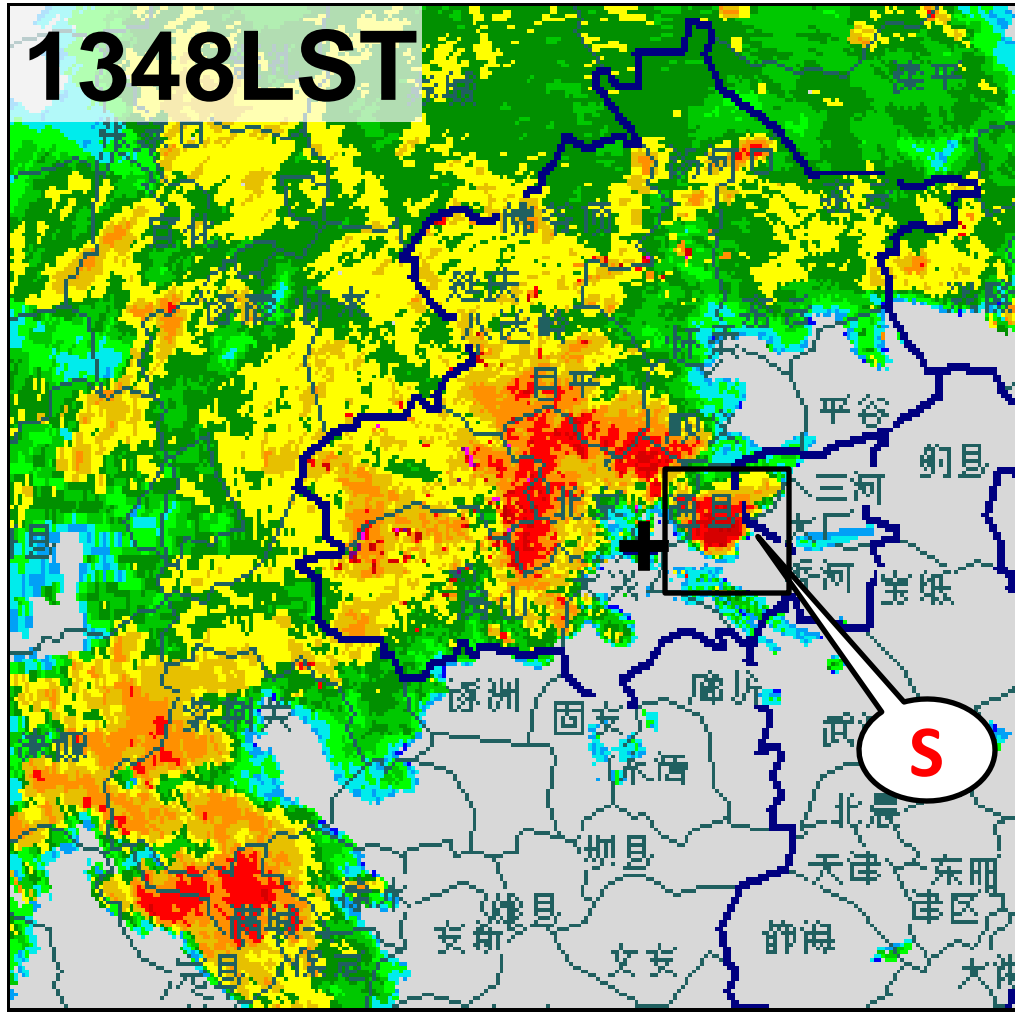
A schematic of supercell



©1997 Oklahoma Climatological Survey. All rights reserved.

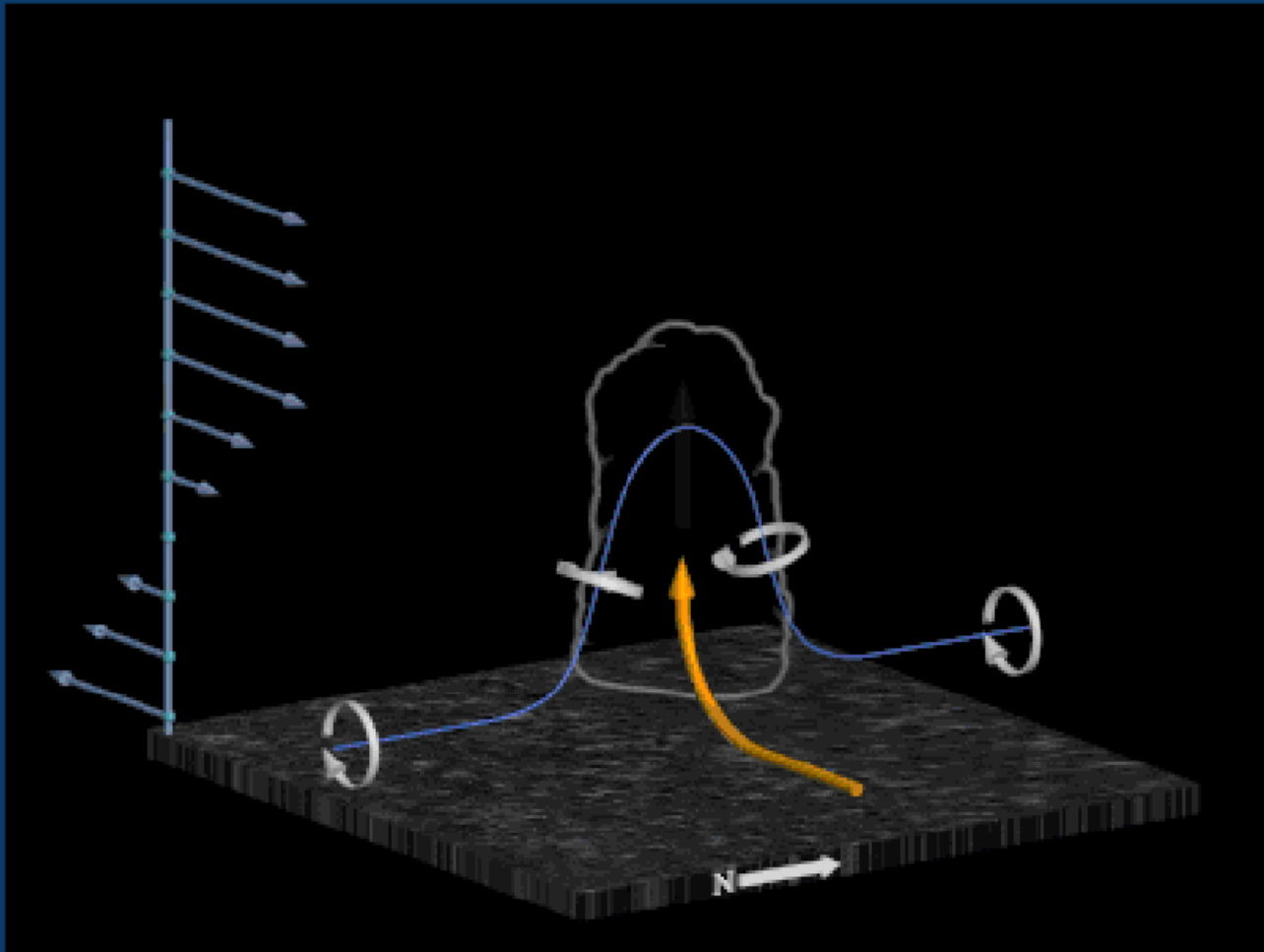
Mesocyclone: a region of vertical vorticity with a characteristic width of 3-8km, magnitude of $O(10^{-2}) s^{-1}$, persist for at least 20min, extend at least half of the updraft.

A Supercell on 21 July 2012 in Beijing



(Meng & Yao 2013, WAF)

中层旋转的由来

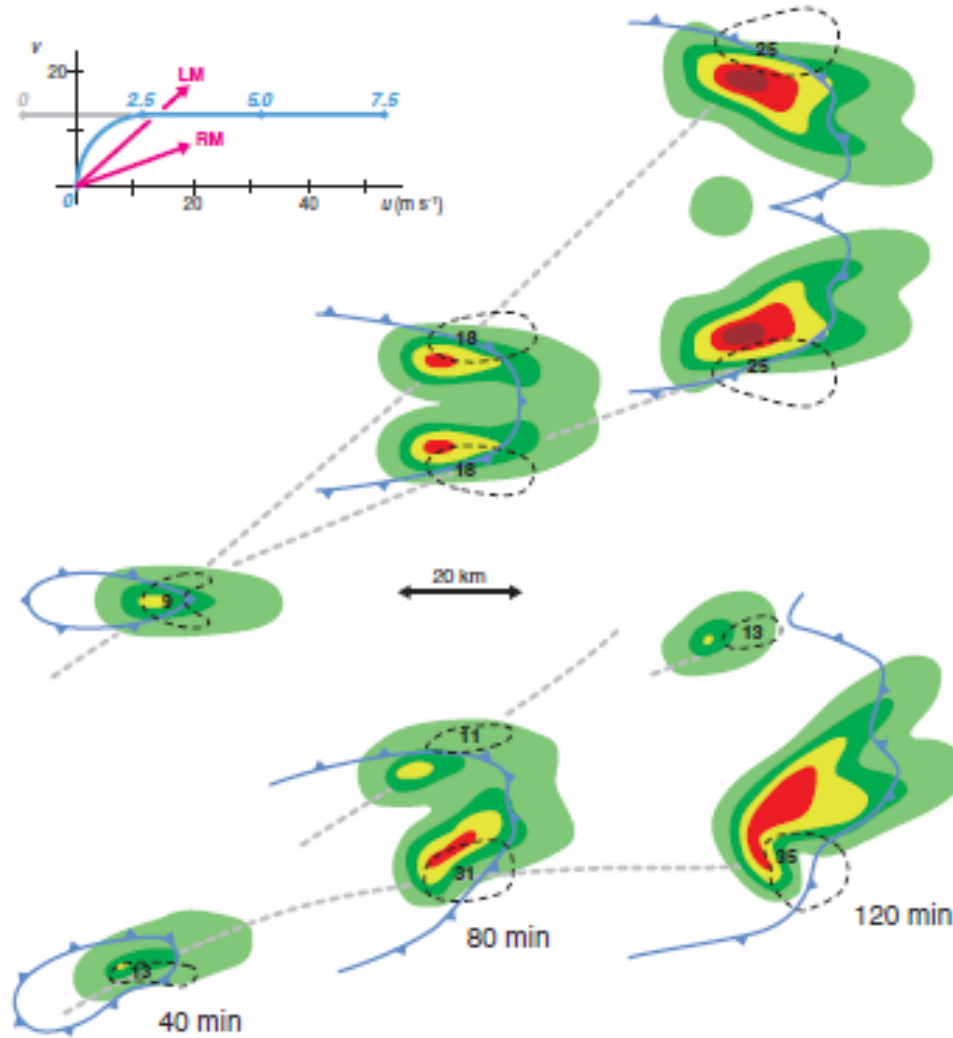


Klemp, 1987/The COMET Program



Animation Speed

风暴分裂和偏移

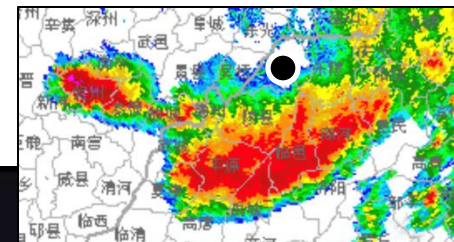




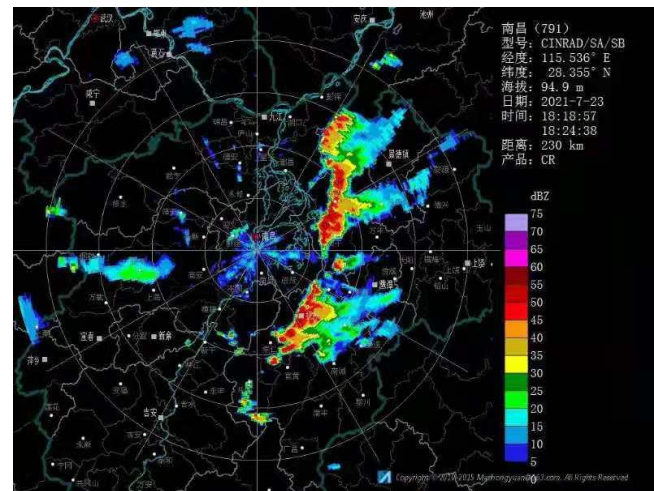
超级单体造成的天气

- 冰雹
- 强降水
- 闪电
- 龙卷：20%的超级单体会触发龙卷

超级单体的闪电



Squall line (飑线)

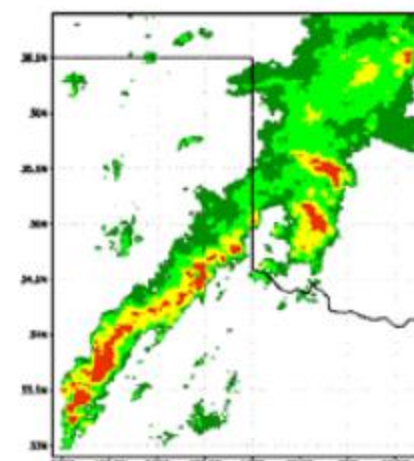
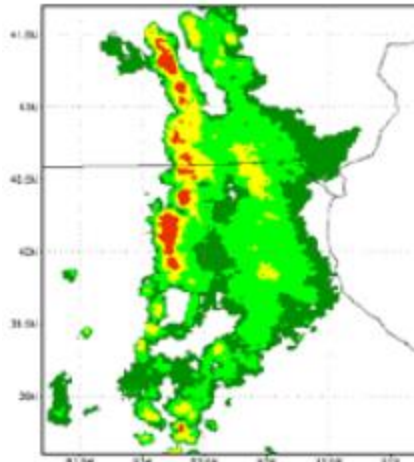
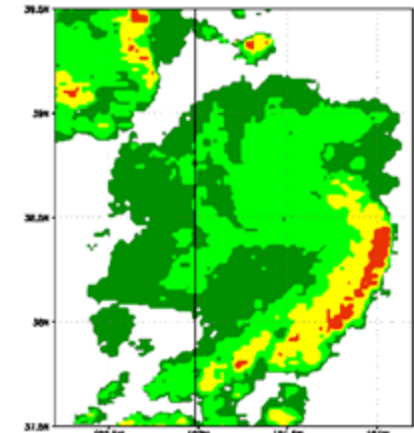
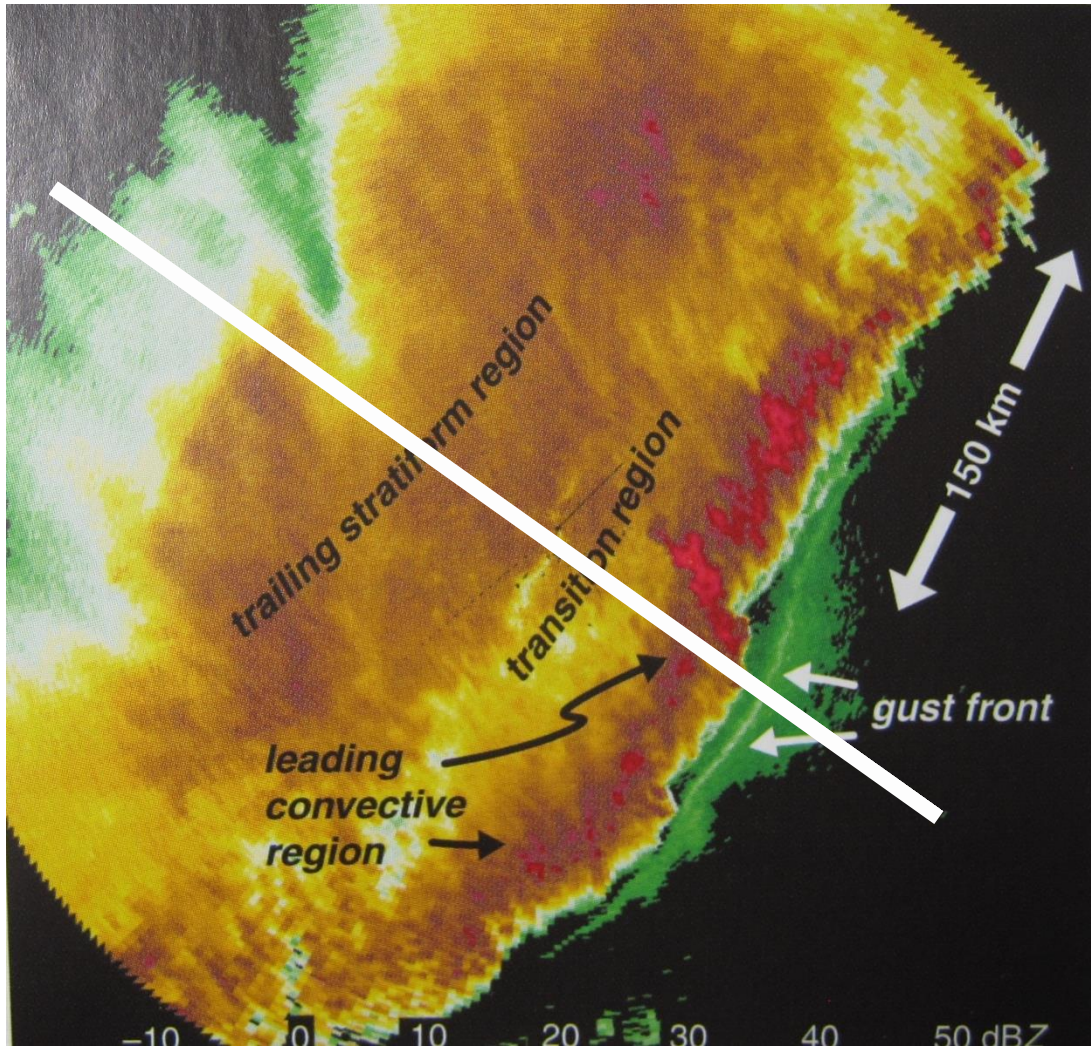


2021.7.23

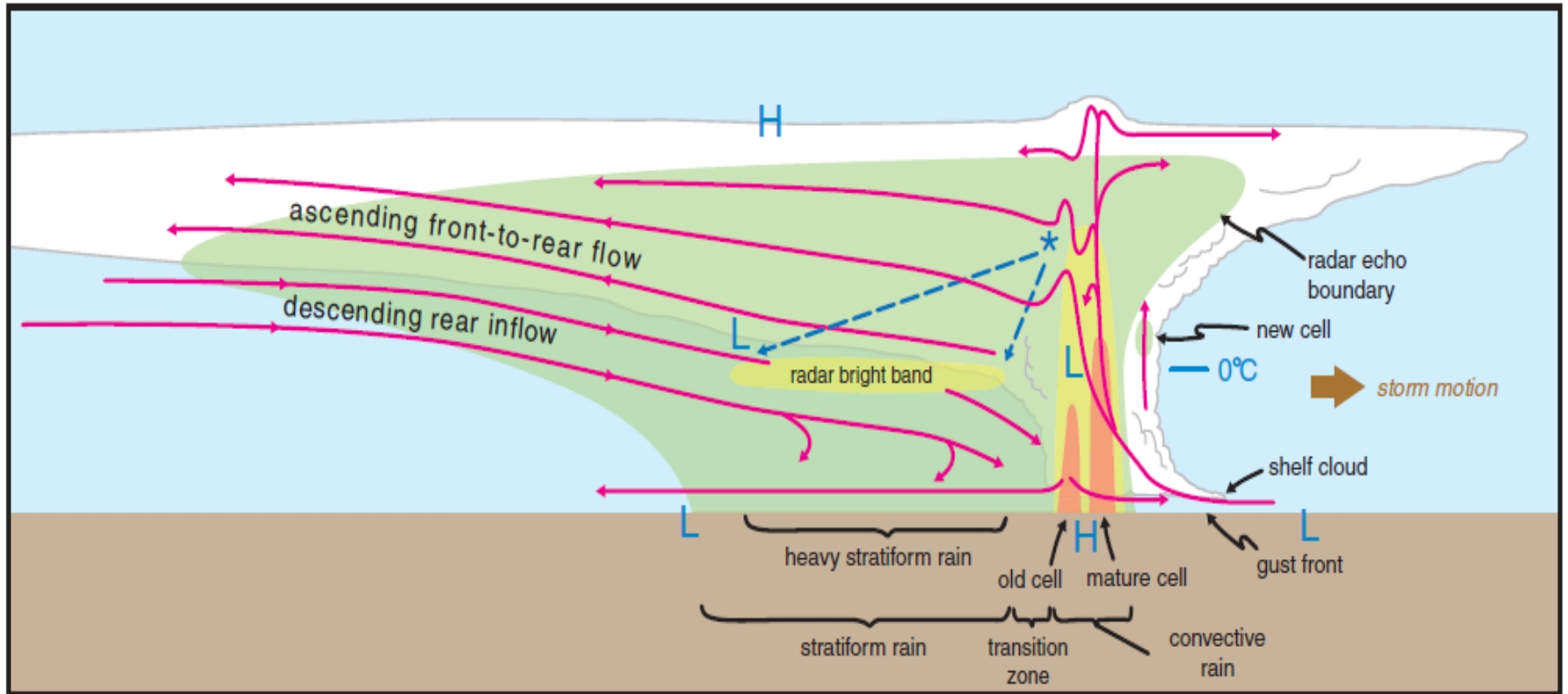
copyright © 2021 | Photo by: Range四方



Squall line (飑线)

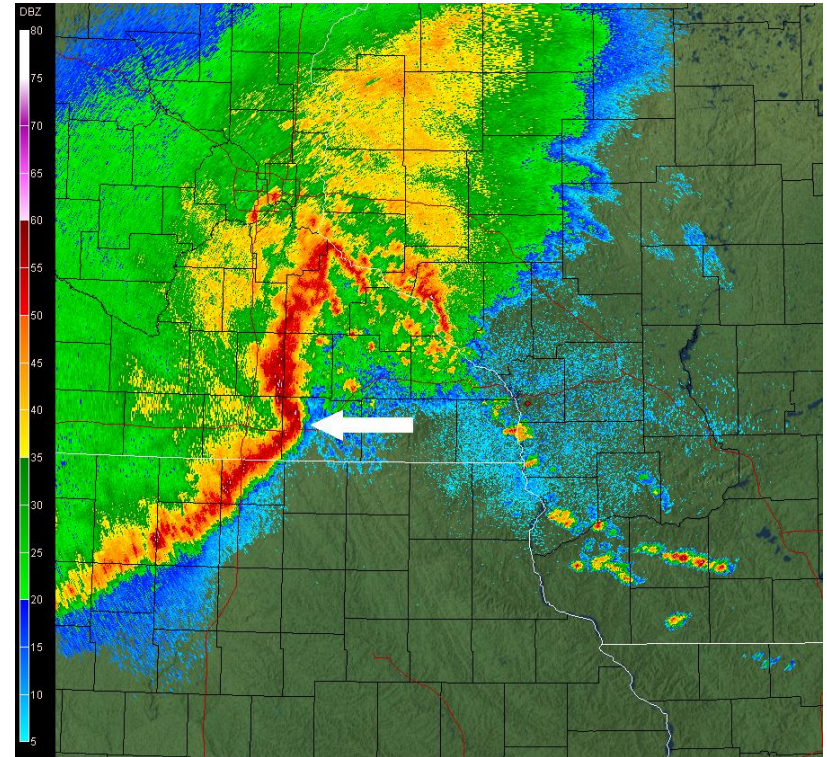
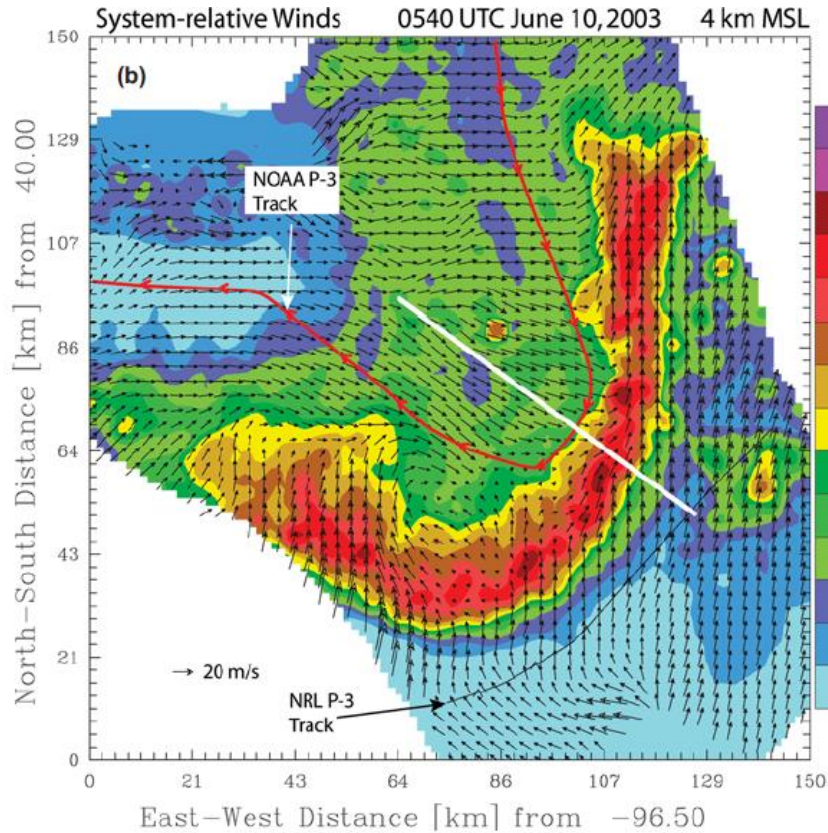


Conceptual Model of Squall line



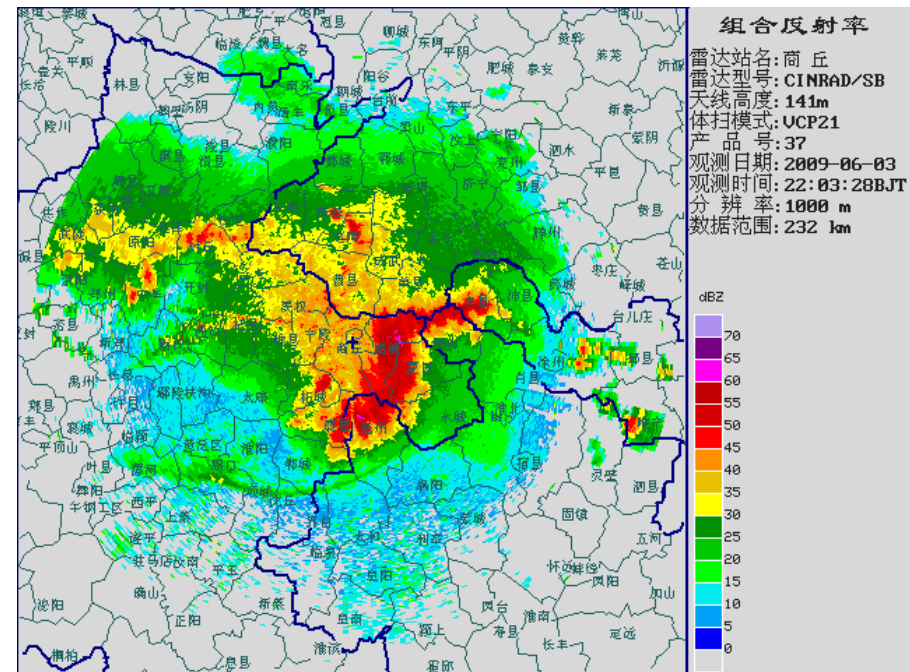
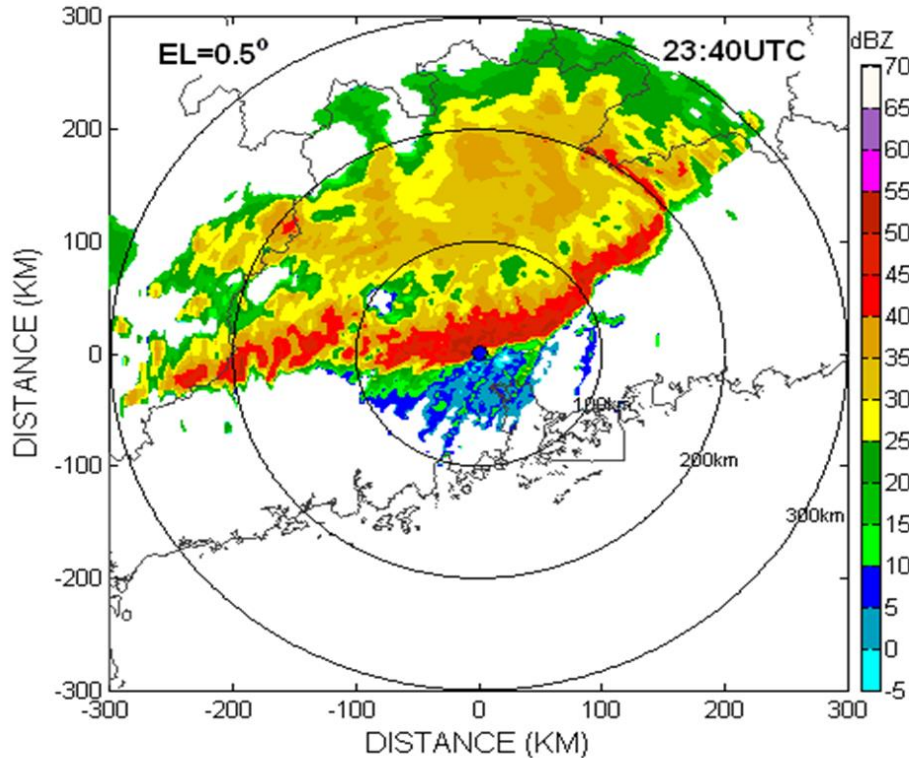
(Houze 1989)

飊线中的强风制造者： Bow echo



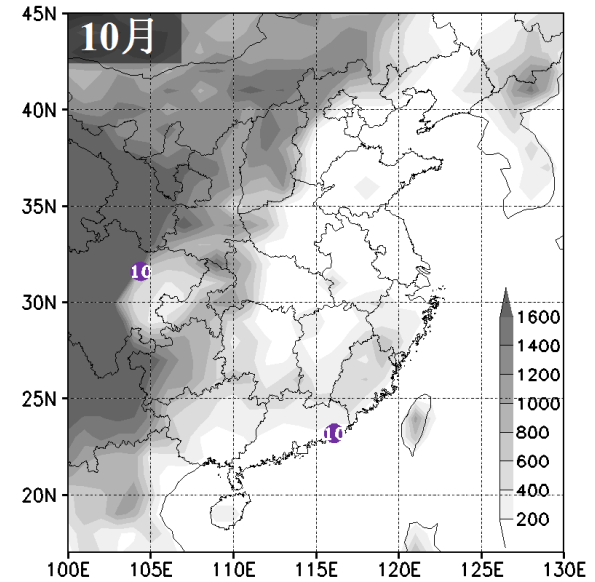
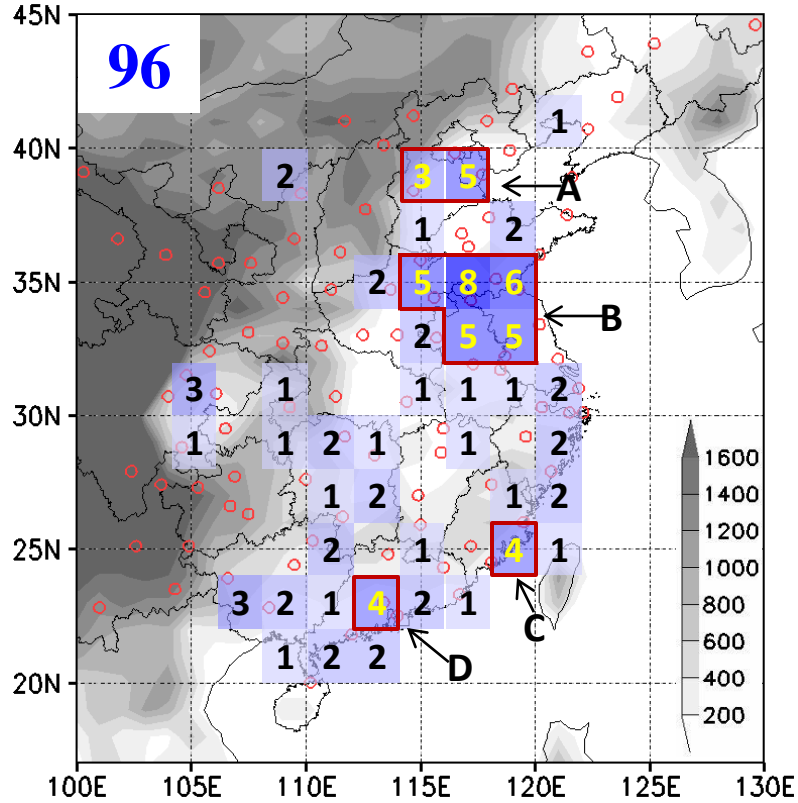
飊线中的强风制造者：Bow echo

GZ Radar Reflectivity at 0.5 Elevation



我国东部飊线的分布

Formation frequency of squall line



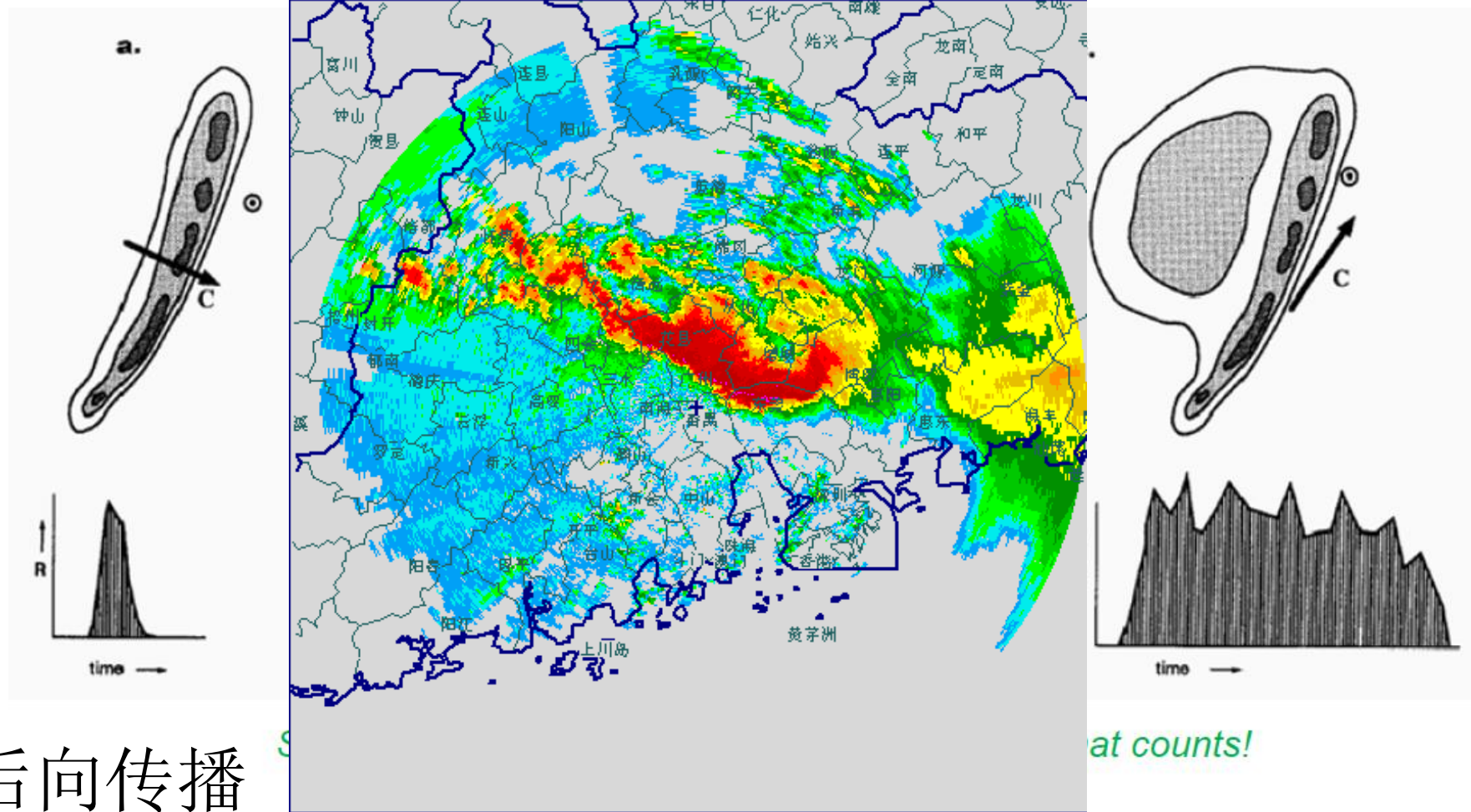
(Meng, Yan, Zhang, 2012, MWR)



强对流天气系统

观测、触发、组织、天气、预报

短时强降水



后向传播
列车效应

at counts!

Doswell et al. (1996)

- 冰雹：球状、锥状或形状不规则的固体降水
- 直径一般几毫米，可达几厘米甚至更大。很少超过6厘米
- 多出现在中纬度，印度北部地区和孟加拉一带以大冰雹著称



雷雨大风

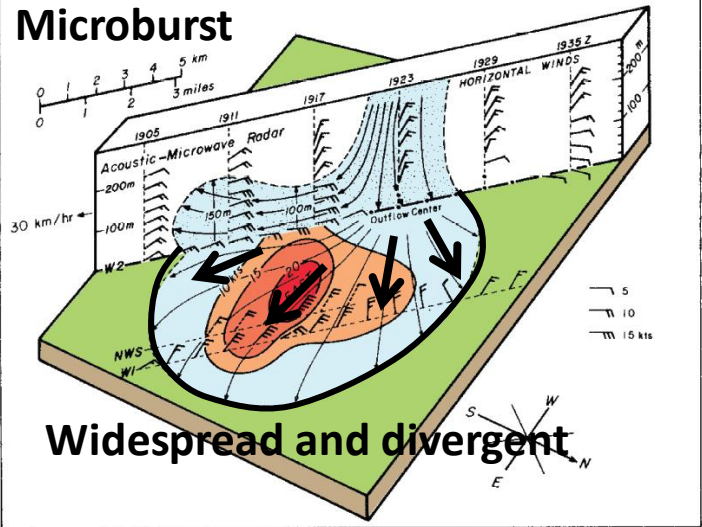
- 出现雷、雨时，风力达到或超过8级(≥ 17.2 米/秒)的天气现象
- 几公里至几十公里
- 下击暴流：地面水平风速大于 17.9 米 / 秒、中空气流向下、地面气流为辐散或直线型的灾害性风。
 - 范围小于4km称为微下击暴流
- 阵风锋

内蒙古达茂旗，2021.7.14

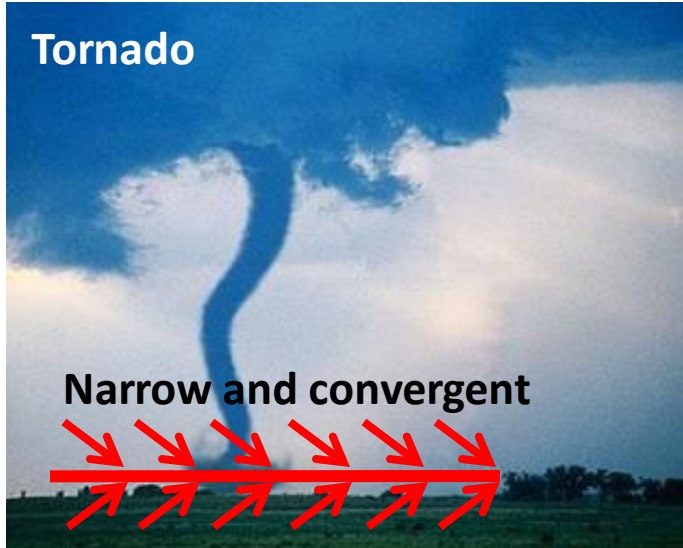
摄影：刘屹靖



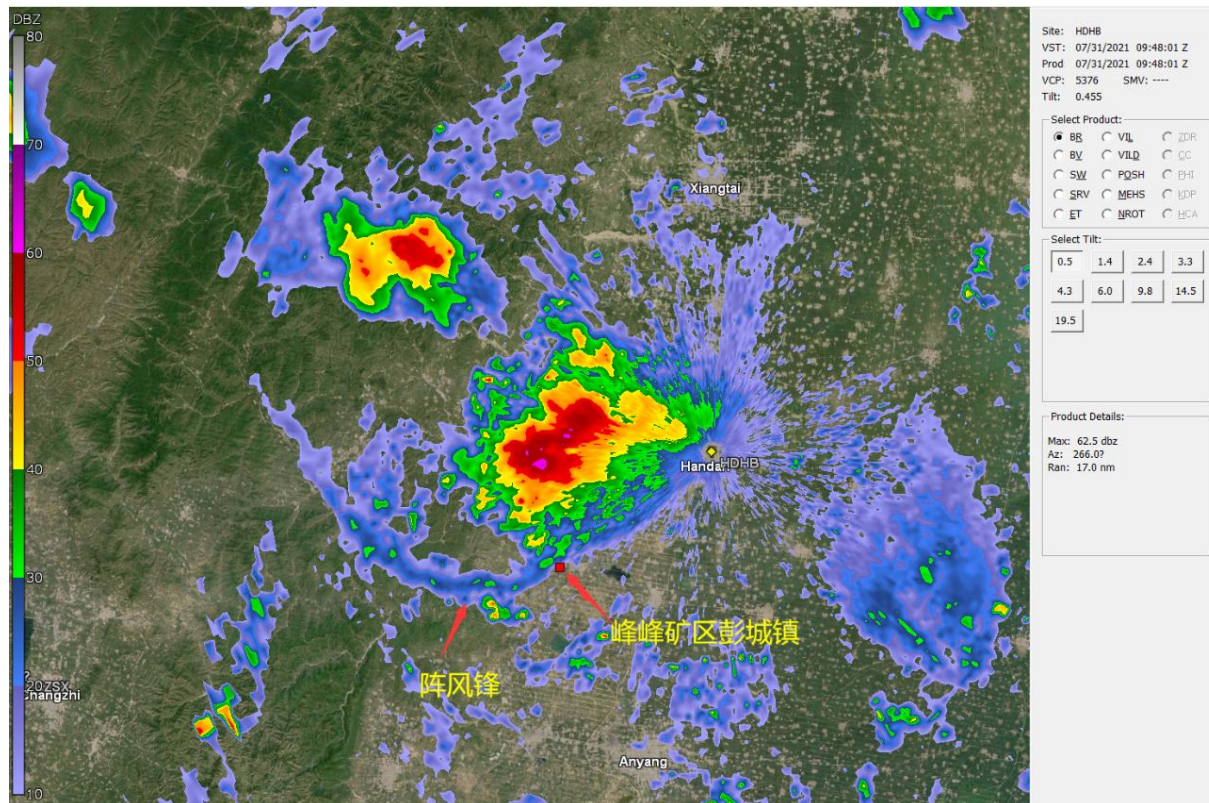
Microburst



Tornado



2021年7月31日邯鄲雷暴大风



东方之星事件监利的微下击暴流



2015年6月1日



下击暴流



内蒙古达茂旗，2021.7.14 摄影：刘屹靖



下击暴流



2021.7.16 内蒙古
“局部暴雨” + “下击暴流” 影像案例

摄影：刘屹靖

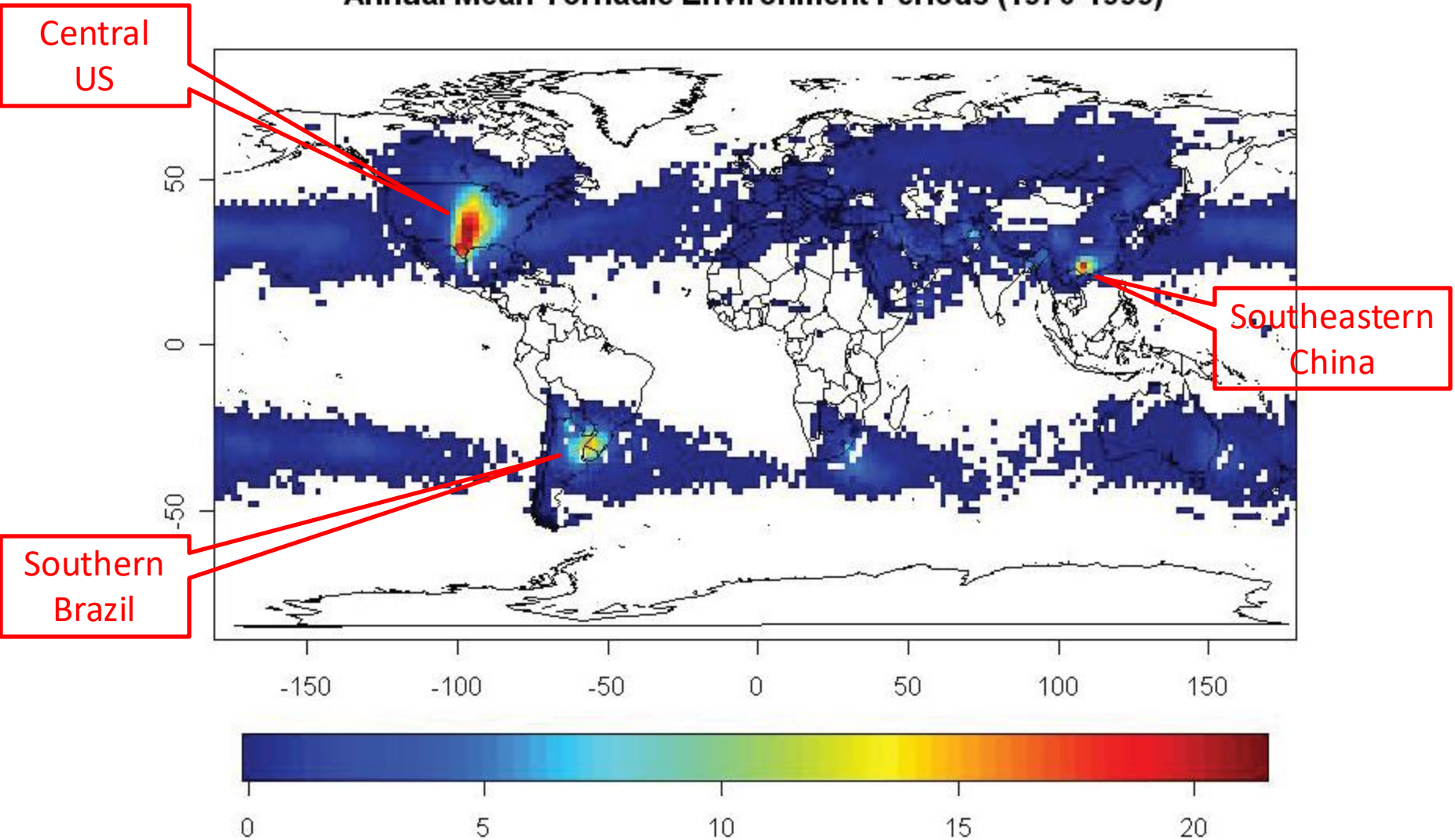
一种从雷暴云底伸展到地面的旋转气柱，
往往呈现为漏斗云和/或地面上旋转的碎
屑和沙石 (AMS 2015)

- 直径：从几米到几百米
- 持续时间：0-几十分钟，平均为5分钟
- 地理分布：除[南极洲](#)外的每块大陆都发现有龙卷风，美国大平原最多（每年1200个）
- 常从3月到10月，[午后](#)和[晚上](#)容易出现
- 最大风速：511.77 公里/小时 (142.2m/s)
- 移速：0-96公里/小时，平均 16-32公里/小时

龙卷的地理分布



Annual Mean Tornadic Environment Periods (1970-1999)



龙卷风是一种破坏力极强的极端自然灾害



1949-2021: 12例单次致死超过50人, 2例单次致死超过100人。



2015

2016

2017

2018

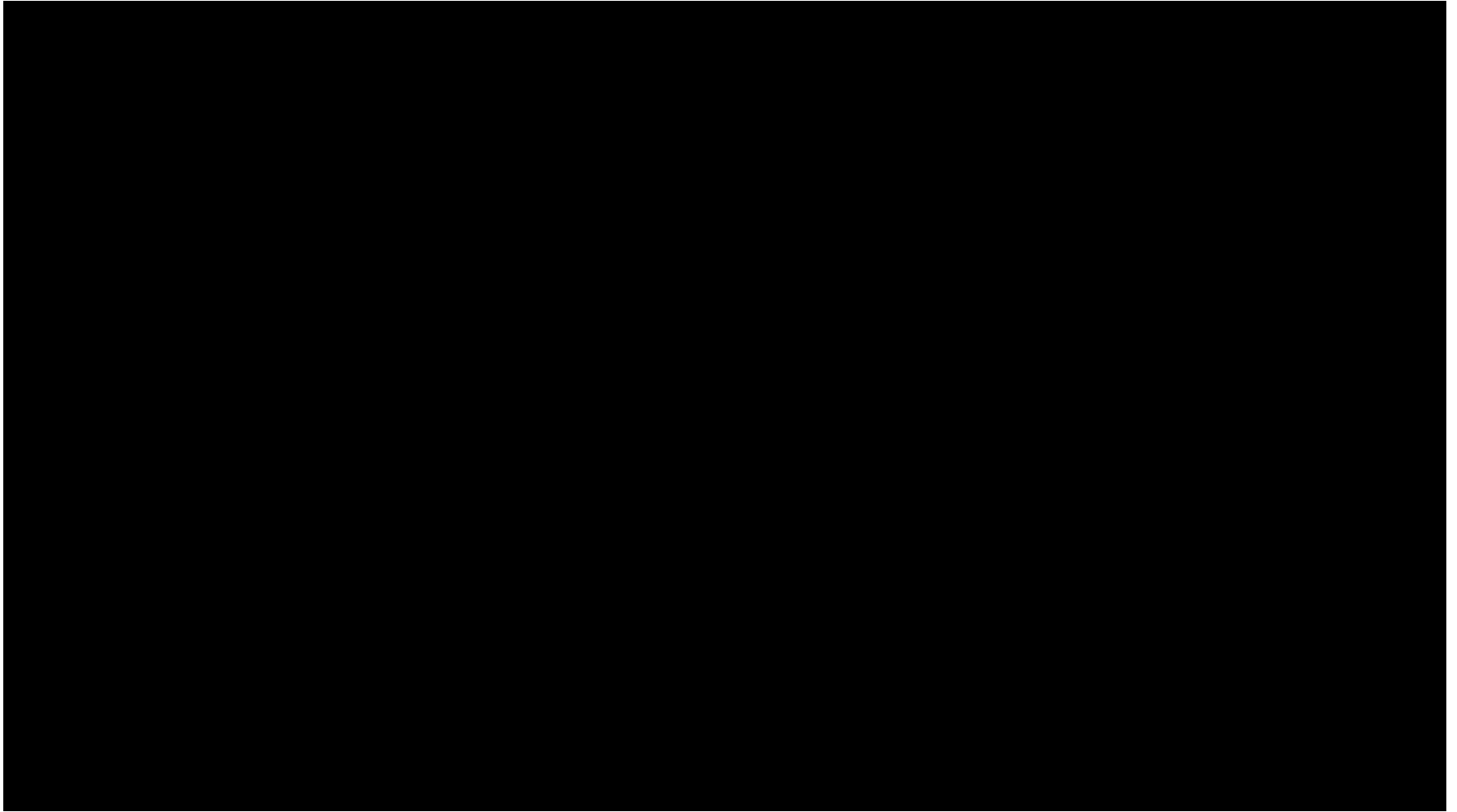
2019

2020

2021



(图片来自互联网)





强对流天气系统

观测、触发、组织、天气、预报



强对流天气的预报： 潜势预报

- 哪些地区有发生强对流天气的可能，可能性有多大（分为低、中和高三等）。
- 通常在前一天发布
- 主要根据各种**观测数据**和**数值预报产品**，考虑大尺度过程是否有利于对流不稳定能量的建立，是否存在有利的抬升机制等。
 - 探空
 - 天气型
 - 配料法

- 在强对流天气即将出现或者已经出现后发布
- 需要指出未来几小时之内(一般指0~2 h)具体的强对流天气出现的位置、时间和可能的持续时间。
- 主要建立在雷达观测的基础之上，同时参考相应环境条件。

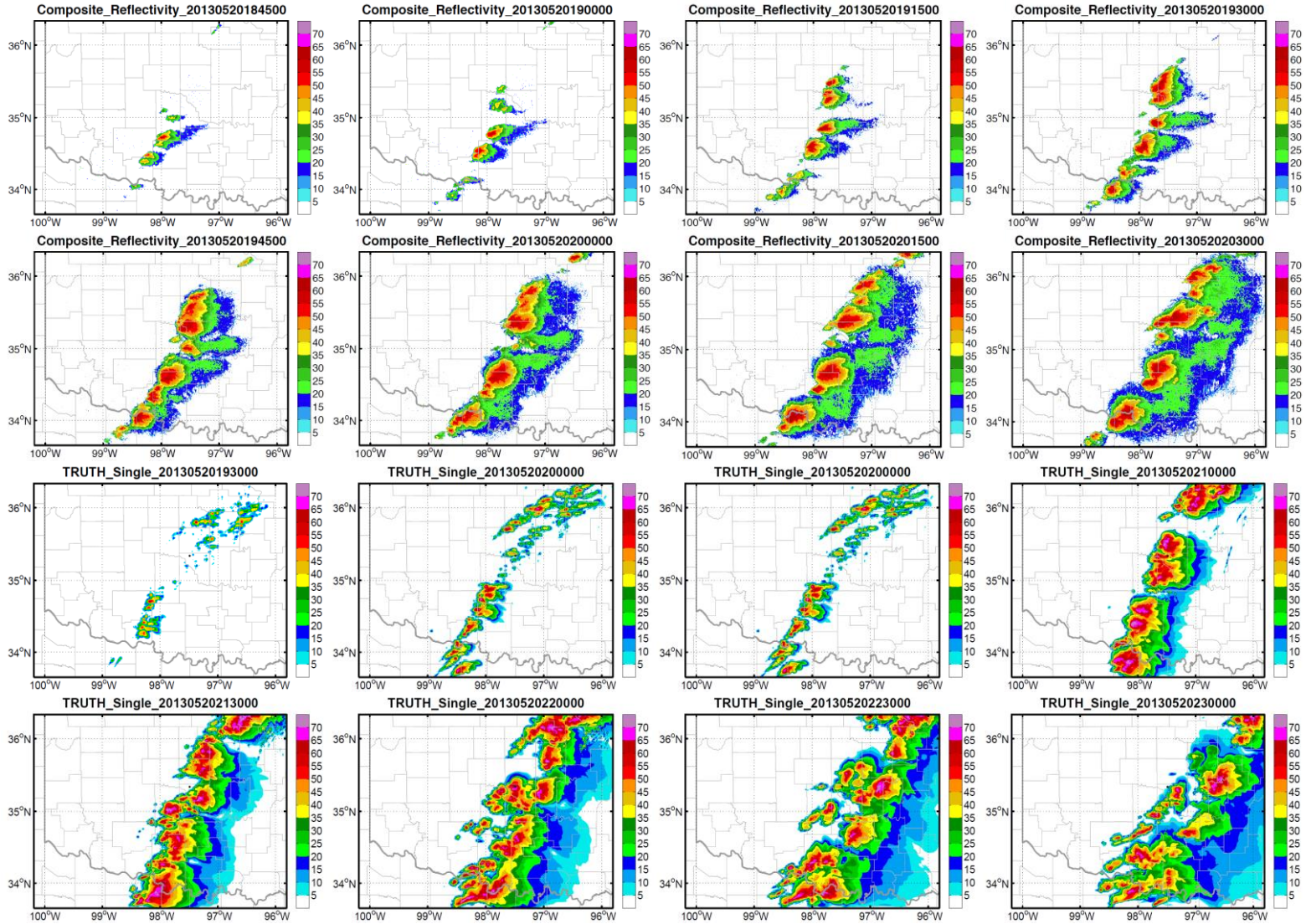
强对流雷暴预警方法的变化

- Warn-on-Detection
 - 雷达观测（中气旋、勾状回波），人眼观测（漏斗云）
 - 预警时间很难进一步提高
- Warn-on-forecast
 - 使用集合卡尔曼滤波（EnKF），在高分辨率数值模式中同化雷达观测，能够较好地重现各种强对流天气过程
 - 探索使用集合资料同化方法和高分辨率集合预报提供灾害天气预警（Warn-on-Forecast）

强对流的可预报性

雷达观测

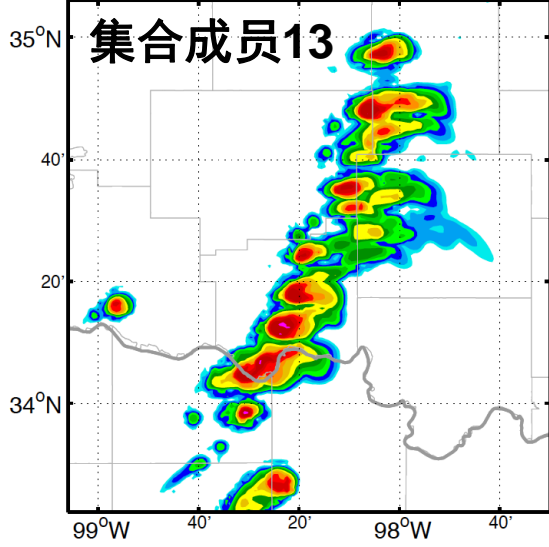
数值模拟



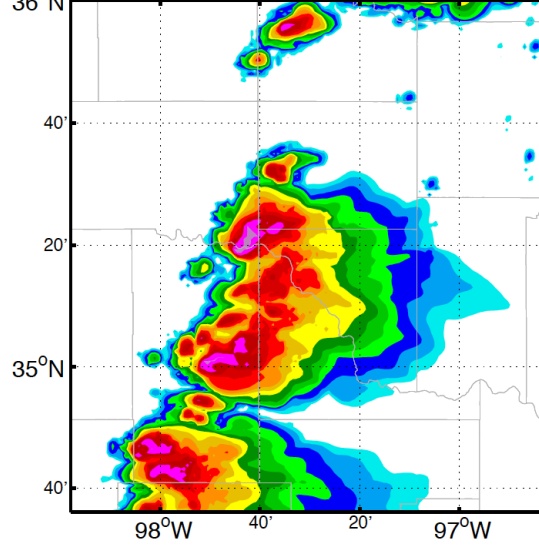
(Zhang et al. 2015, MWR)

强对流的可预报性

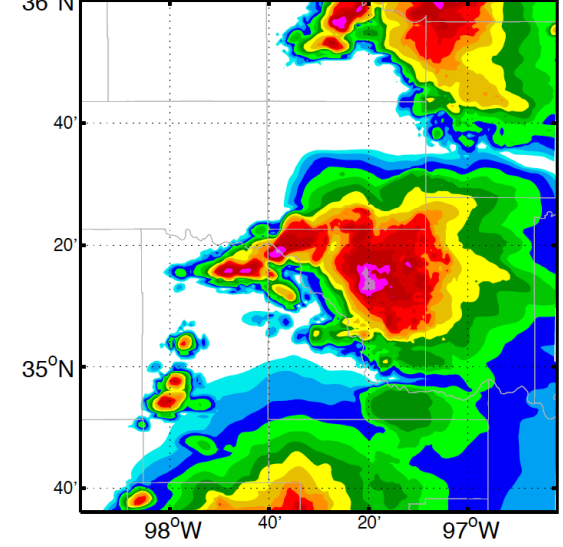
EF_CNTL MEM13: 201305202000



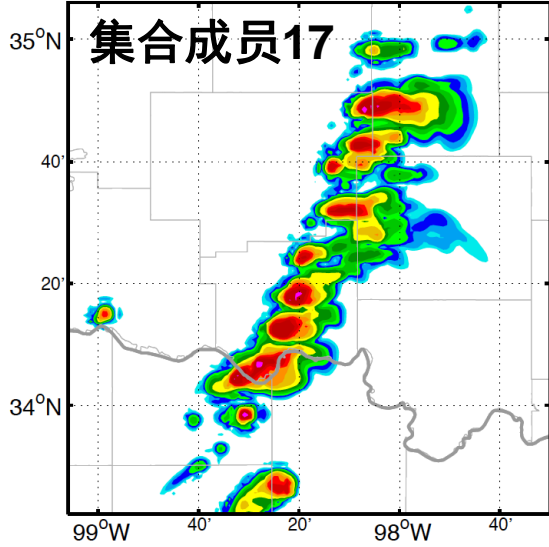
EF_CNTL MEM13: 201305202100



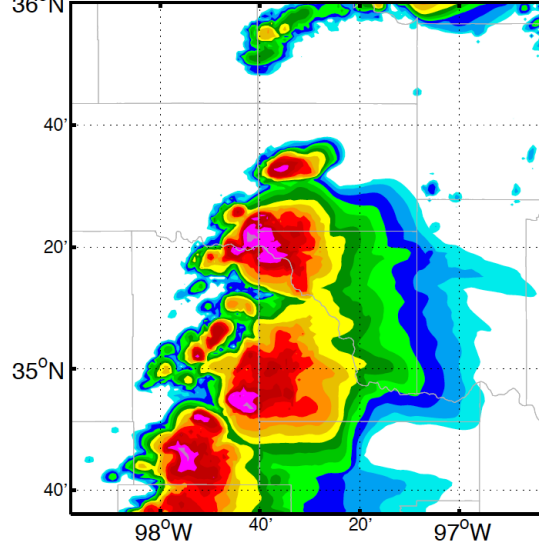
EF_CNTL MEM13: 201305202200



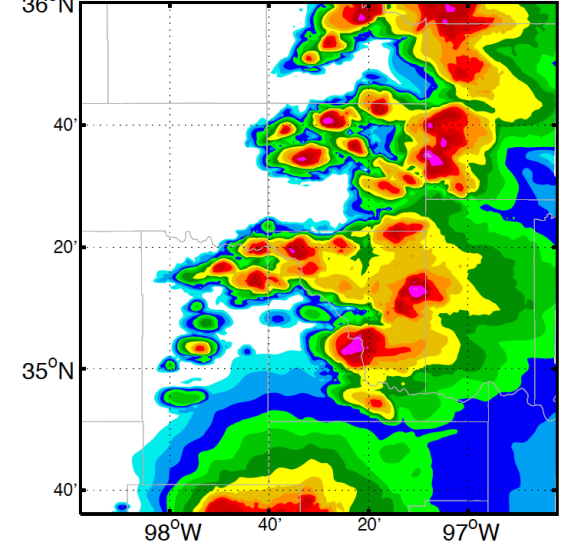
EF_CNTL MEM17: 201305202000



EF_CNTL MEM17: 201305202100



EF_CNTL MEM17: 201305202200



教你做短临预报

http://www.nmc.gov.cn/



简体中文 English

邮编 区号 城市



首页

天气实况

城市预报

天气预报

台风海洋

环境气象

农业气象

水文地质

数值预报

天气分析 卫星云图 雷达图 降水量 气温 风 能见度 强天气 重要天气 土壤水分

① 实况

- 天气分析
- 卫星云图
- 雷达图
- 降水量
- 气温
- 风
- 能见度
- 强天气
- 重要天气
- 土壤水分

① 预报

① 模式

当前位置：天气实况 > 雷达图 > 雷达拼图 > 华中

类型：

雷达拼图

单站雷达

区域：

全国

东北

华北

华南

华中

西北

西南

华东

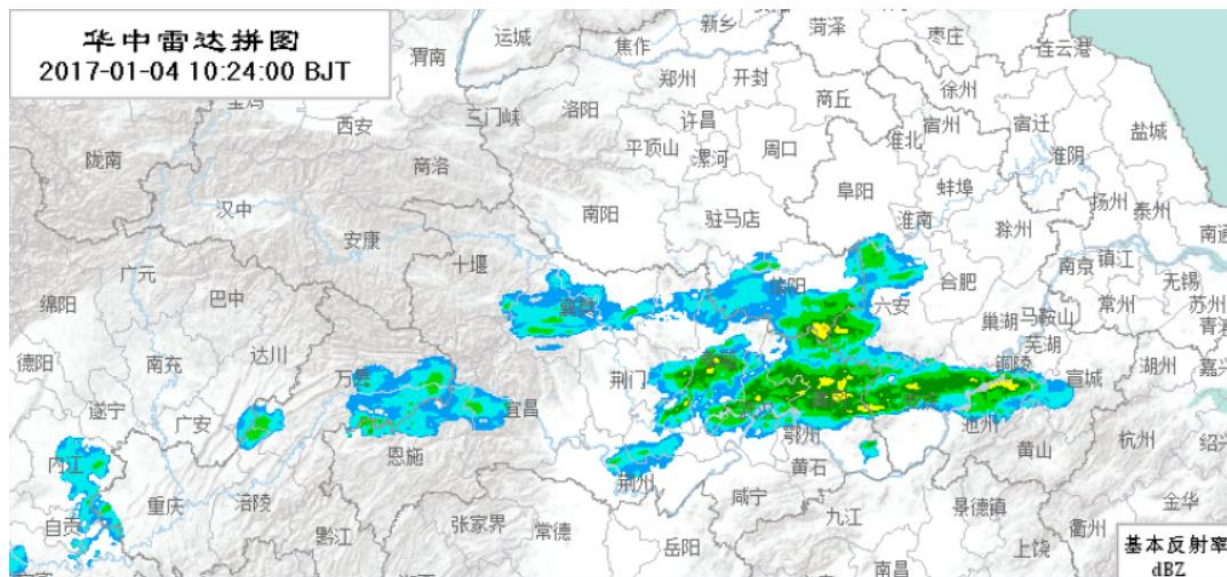


20170104 10:24

分享

放大

打印



中国气象数据网-综合实况 (5天)



中国气象数据网·综合实况

北京市-房山区-紫云家园10号院

22.7 °C 北偏东:2级 湿度:83%

总云量 93.0% 紫外线 1 能见度 9.7km 空气质量 良

生活指数: 体感温度 25.5°C 舒适度 舒服

预警信息: 暴雨蓝色预警

24小时预报: 23°, 22°, 22°, 22°, 21°, 21°, 21°

未来七天预报: 阴, 阴, 阴, 阴, 中雨, 中雨

数据来源于: 1km网格产品+63046观测站

2021-09-12

降水: 0.0mm (近1H), 0.0mm (近3H), 4.7mm (近12H), 4.9mm (近24H)

24小时警戒线, 48小时警戒线

降水图例: 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100 mm

右侧菜单: 预警信息, 决策服务, 综合实况, 常规要素, 天气雷达, 气象卫星, 实景观测

气象搜索

搜一下试试

高级检索

热门搜索:

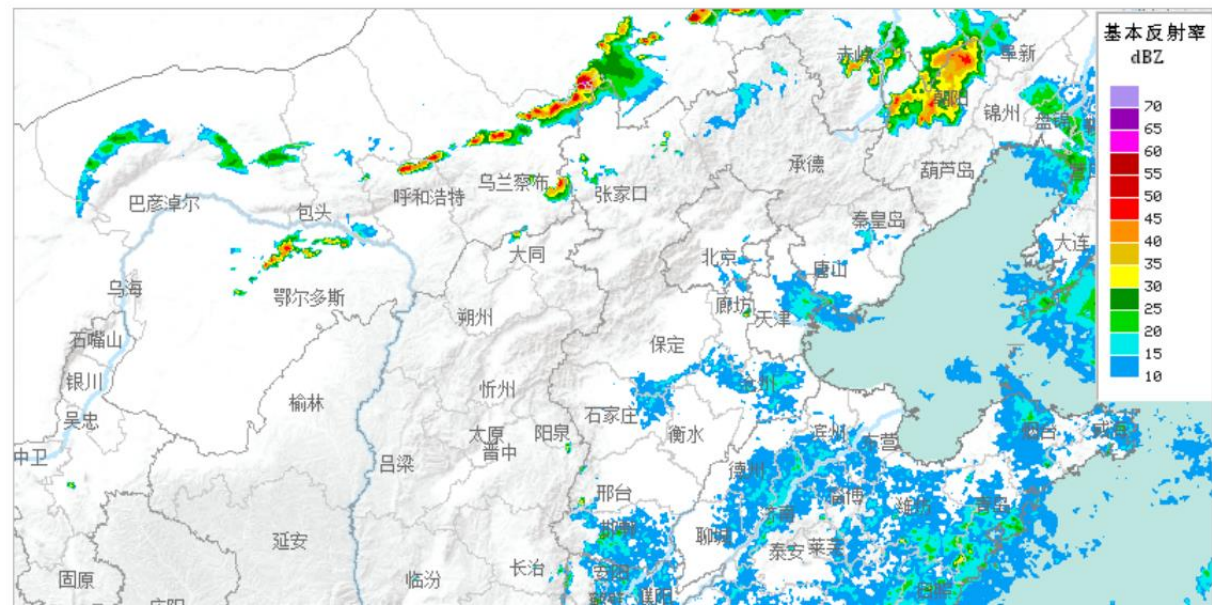
首页 > 实况资料

- 地面观测
- 卫星云图
- 雷达产品
 - 全国雷达拼图
 - 东北雷达拼图
 - 华北雷达拼图
 - 西北雷达拼图
 - 西南雷达拼图
 - 华中雷达拼图
 - 华东雷达拼图
 - 华南雷达拼图
- 智能网格实况产品

华北雷达拼图

(北京时间)日期: 2021-09-12 时间: 14:48

上一张 开始 下一张





★ MY LOCATIONS

⚙️ My Account 👤

- Forecast ▾
- Observations ▾
- Radar & Lightning ▾
- Satellite images ▾
- Climate ▾
- More ▾

balloons from around the world

Hide map selection

Country maps Free zoom

Map section

Africa and Asia ▾

Area

Asia ▾

Country

Mongolia ▾

Change parameters

Year

◀ 2021 ▶

Date

◀ 09/12/2021 ▶

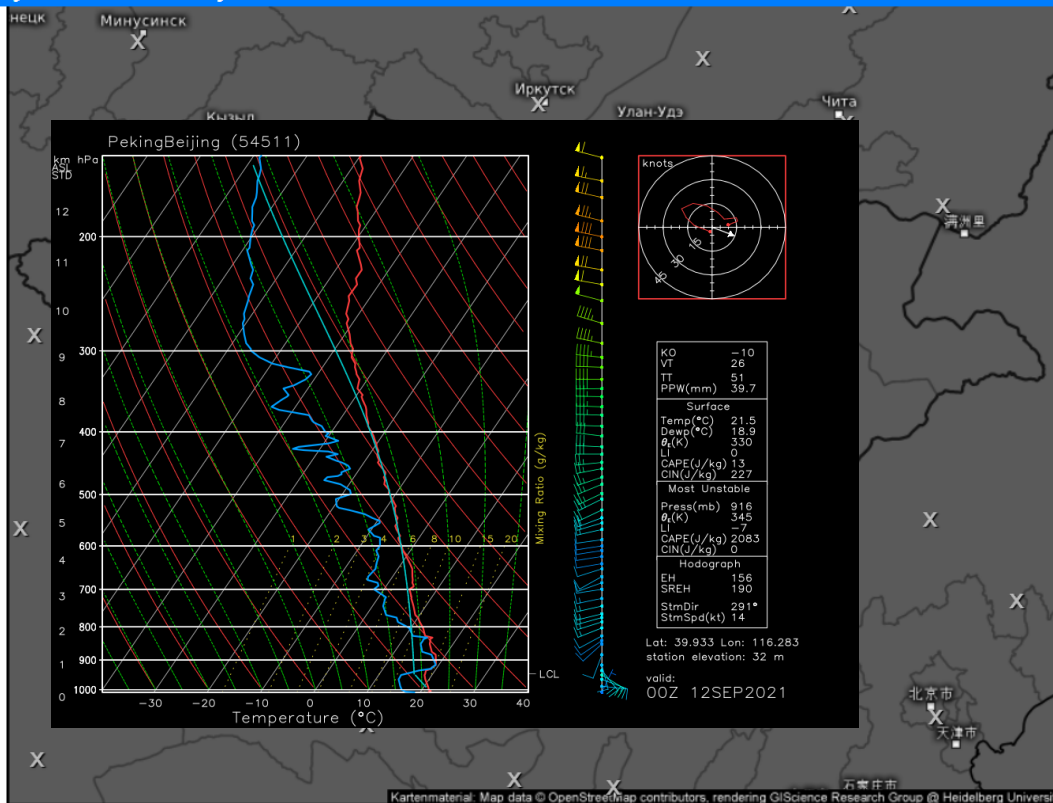
Time

◀ 08:00am ▶

Observation chart animation

You need a subscription for our additional features to be able to use our observation charts player.

[More information](#)



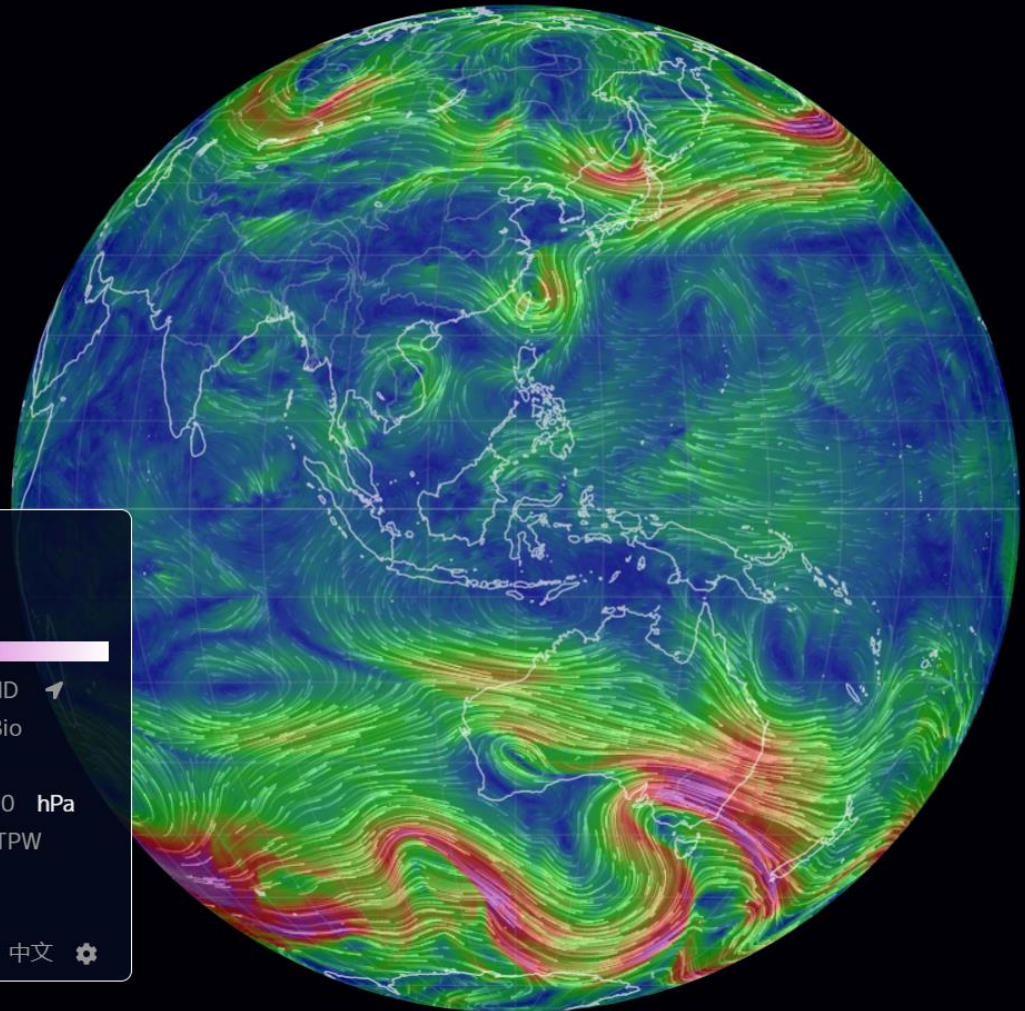
Skew-t diagram (Rise)


Sun 09/12/2021, 08:00am CST

Mongolia, 26 stations within this area



← → ↻ 🏠 🔒 https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic



Data | Wind @ 500hPa
Date | 2021-09-12 15:00 Local ⇌UTC
Source | GFS / NCEP / US National Weather Service
Scale | 
Control | Now 📅 ⏪ ⏩ Grid ▶️ HD 📶
Mode | Air Ocean Chem Particulates Space Bio
Animate | Wind Currents Waves
Height | Sfc 1000 850 700 500 250 70 10 hPa
Overlay | Wind Temp RH WPD 3HPA CAPE TPW
TCW MSLP MI UVI None
Projection | A CE E P S WB W3
about 📄 📱 📺 📷 switch to classic 中文 ⚙️

earth



Forecast Hour

Run: Sat 2021-09-11 12z

000	012	024	036	048	060	072	084
096	108	120	132	144	156	168	180
192	204	216	228	240	252	264	276
288	300	312	324	336	348	360	372
384	396	408	420	432	444	456	468
480	492	504	516	528	540	552	564
576	588	600	612	624	636	648	660
672	684	696	708	720	732	744	756
768							

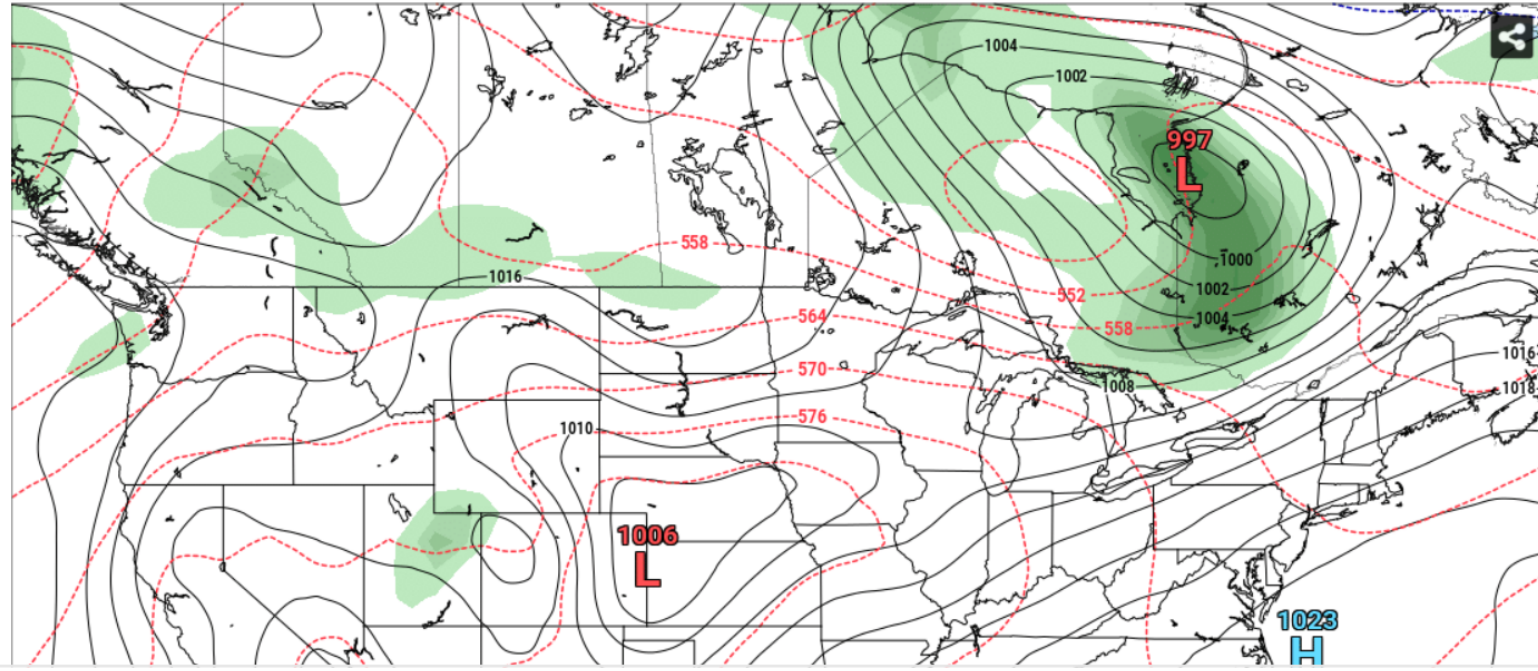
Valid: Sun 2021-09-12 00z

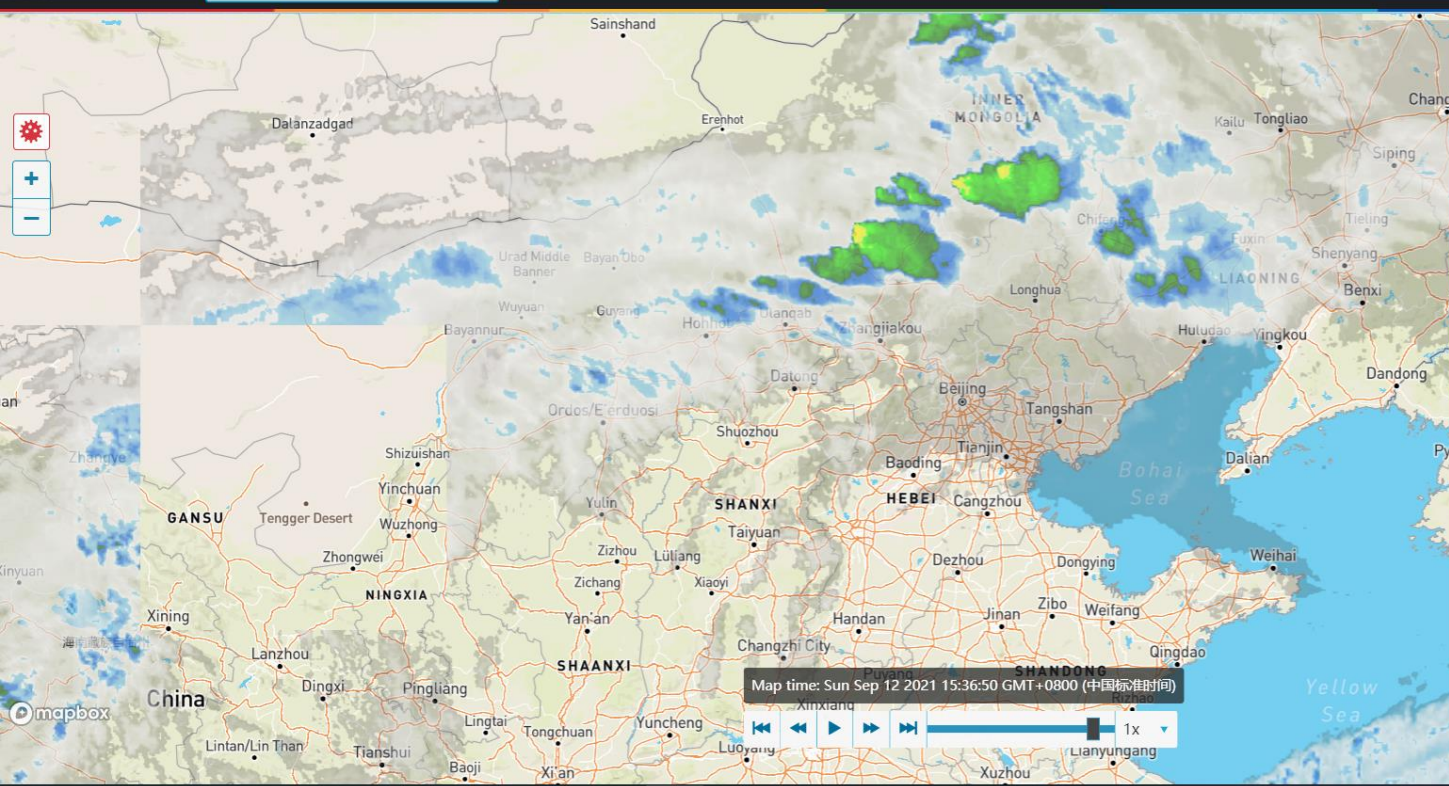
Parameter

Model: CFS Zoom: Continental US Animation: Single Image

Precipitation Type, Rate (in hr¹), 1000-500 mb Thickness (dam) F012 Valid: Sun 2021-09-12 00z

Init: Sat 2021-09-11 12z CFS





Featured Data

- Coronavirus Source

Sensor Network

- Weather Stations
- Air Quality
- Webcams

Atmospheric Conditions

- Radar
- Past
- Future

Opacity: 70

CLOSE THIS AD

课堂讨论：你想从这门课中学到什么？