

第五届全国中尺度气象学论坛

时间：2023年8月9-12日

地点：宁夏银川



上海相控阵雷达网 在高影响天气监测预警中的应用



戴建华^{#1, 3}, 王国荣^{2, 3}, 陈浩君^{3, 4}, 管理^{1,3}, 朱家恺^{3, 4}, 孙敏^{1,3}, 陶岚^{1,3}, 张丽亚⁵

1.上海中心气象台; 2.浙江宜通华盛科技有限公司; 3.相控阵阵列天气雷达联合实验室;

4.上海气象信息与技术支持中心; 5.上海市浦东新区气象局

2023年08月11日

提 纲

一、引言

二、相控阵阵列天气雷达网

三、新型监测预警技术及其应用

四、小结与展望





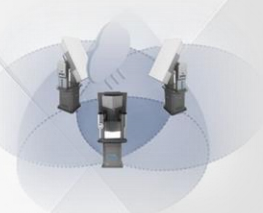
大城市精细化预报服务主要难点之一：**强对流**

重大挑战：人民至上、生命至上+城市**精细化**管理

主要需求：提前预警、精准预警、精细服务

关键科学问题和**重要业务瓶颈**：

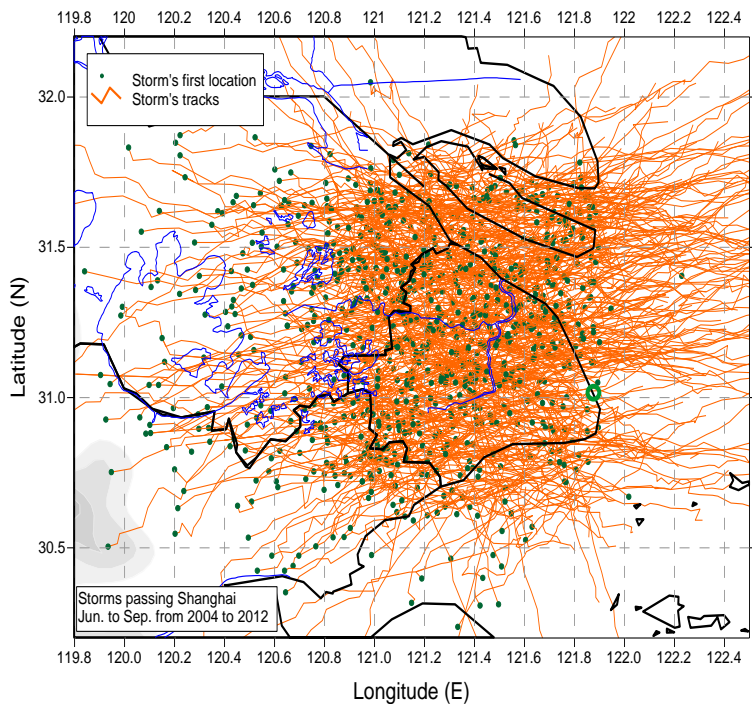
- 1) 对流系统**精细结构**认识不足-需要**精密监测**
- 2) 对流系统**动力特征**认识不足-需要**精准3D风场**
- 3) **客观临近**预报预警方法支撑不足-需要针对冰雹大风的临近预报产品
- 4) **数值模式**的同化支撑不足-需要更为精准的雷达观测分析产品



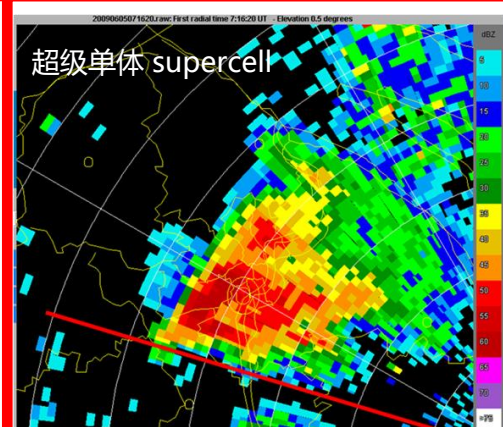
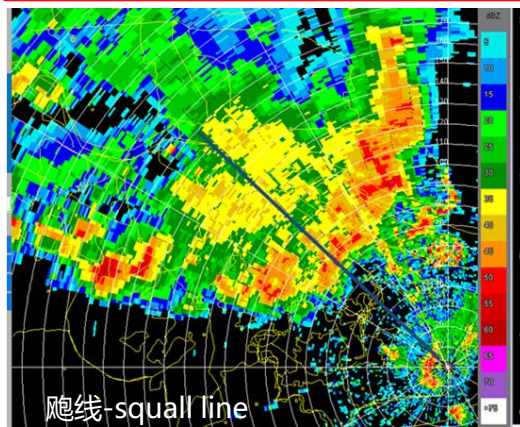
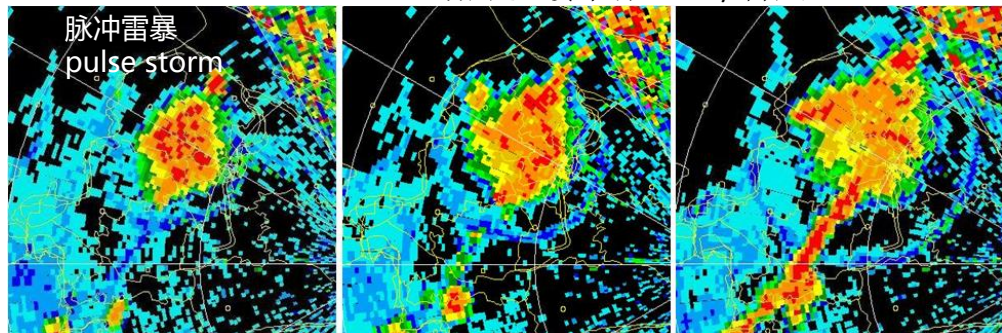
相控阵阵列天气雷达

热力（强度）、动力（风场）、微物理信息（双偏振）完整探测
相控阵**阵列雷达**可以成为突破对流临近预警难题的利器

长三角暖季强雷暴统计 (类型与预报难点)



20070803 上海嘉定F1赛车场 40.6m/s阵风



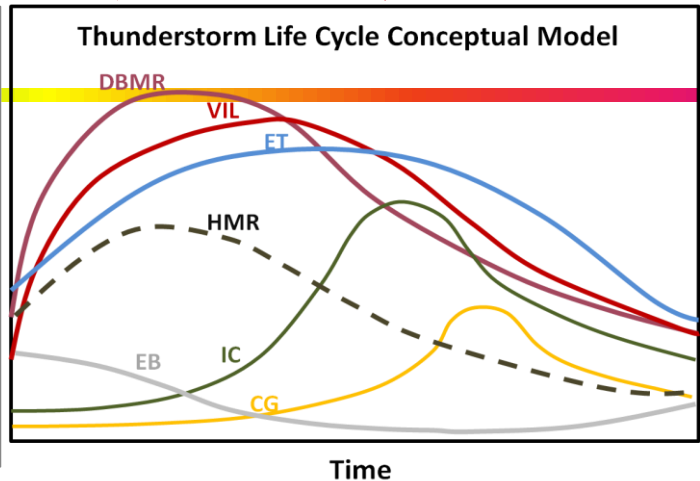
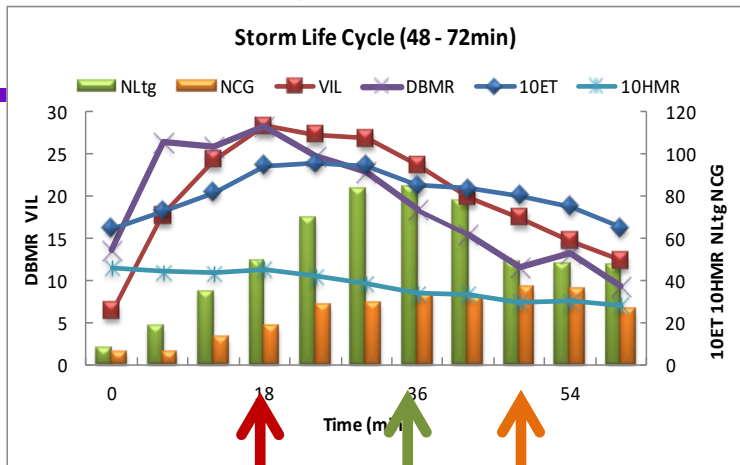
预报重点: 三类强对流, 难点和瓶颈: 局地强对流和超级单体

长三角暖季强雷暴统计 (影响系统、季节及移动路径)

Proportion (%)	生命期移动距离(VIL \geq 15 kg/m 2)			
	局地风暴 (0-30km)	中等距离风暴 (30-60km)	长距离风暴 (at least 60km)	所有
梅雨季	74.2	21.0	4.8	28.2
盛夏	82.5	14.0	3.5	54.3
热带系统	38.5	27.7	33.8	3.6
其他	69.8	22.5	7.7	17.4
所有	77.9	17.5	4.6	100.0

Proportion (%)	生命期移动距离(VIL \geq 25 kg/m 2)			
	局地风暴 (0-30km)	中等距离风暴 (30-60km)	长距离风暴 (at least 60km)	所有
梅雨季	75.0	20.6	4.4	27.1
盛夏	84.9	13.0	2.1	58.3
热带系统	58.6	21.8	19.6	1.1
其他	72.2	21.2	6.6	14.5
所有	80.4	16.3	3.3	100.0

基于雷暴结构和闪电演变的雷暴生命史评估与诊断



ET, VIL, HMR
 total lightning flashes (NLtg)
 cloud-to-ground lightning flashes (NCG)
 thunderstorms ($VIL \geq 25 \text{ kg/m}^2$)
 a life cycle about 60 min

echo top (ET), echo base (EB), vertically
 integrated liquid (VIL), height difference of
 and maximum reflectivity (DBMR)
 (IC) lightning flash rate, and
 lightning flash rate

- 发展过程：高度不断升高，高核心，
- 强盛阶段：高度维持，强核心加强有
- 衰亡阶段：核心快速下降 CG爆发 +CG

需要了解风暴垂直结构
 及其生命演变过程

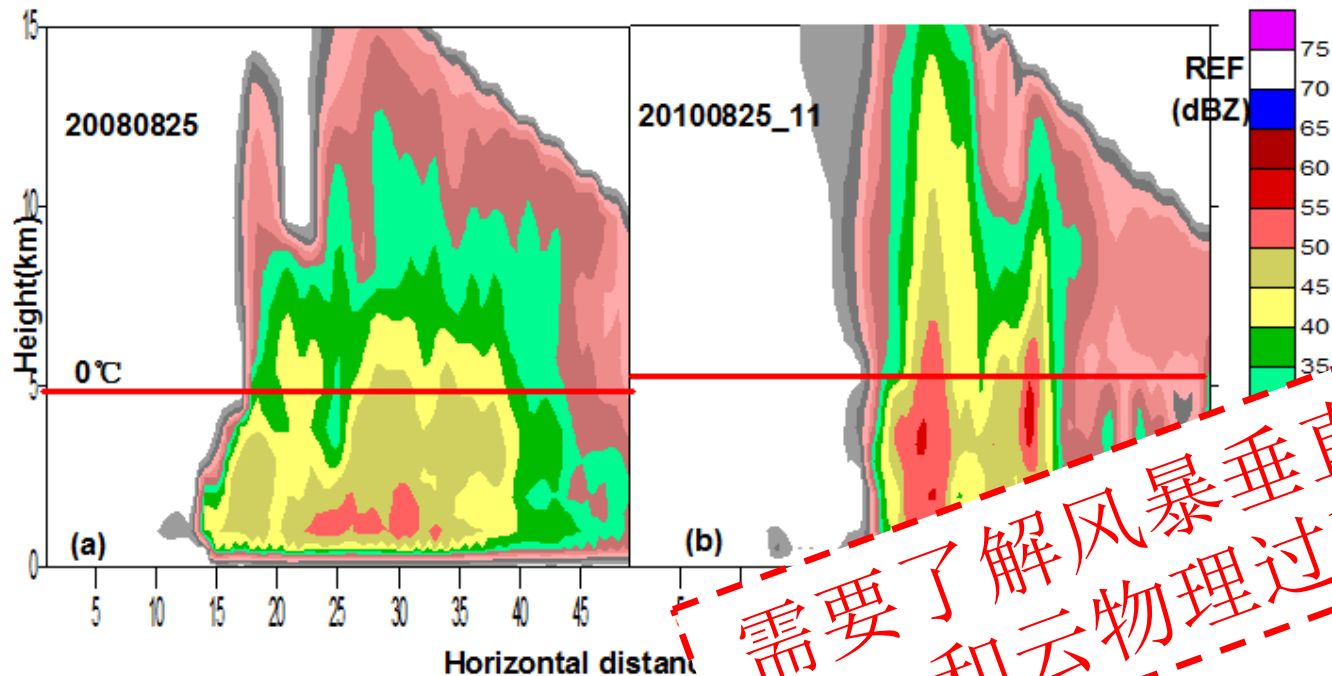
CG爆发，核心及地。

强降水监测预警的需要

海洋型和大陆型强降水雷达垂直截面

海洋型

大陆型



22.6 mm / 6min

需要了解风暴垂直结构和云物理过程

短临预报业务中的关注点

1. 天气背景

2. 中尺度条件

3. 对流风暴结构特征

对流系统具有
云物理意义的
垂直结构特征

• 对流风暴的结构特征：临近预报

– 着眼点：

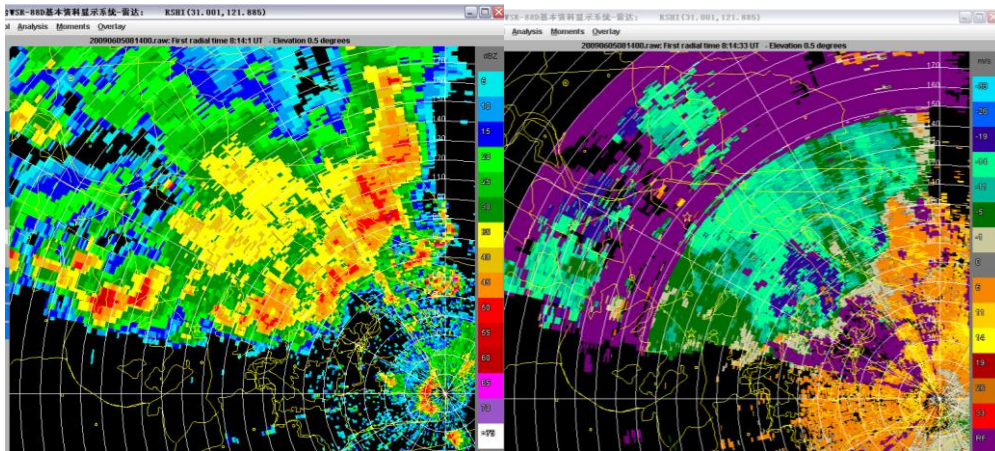
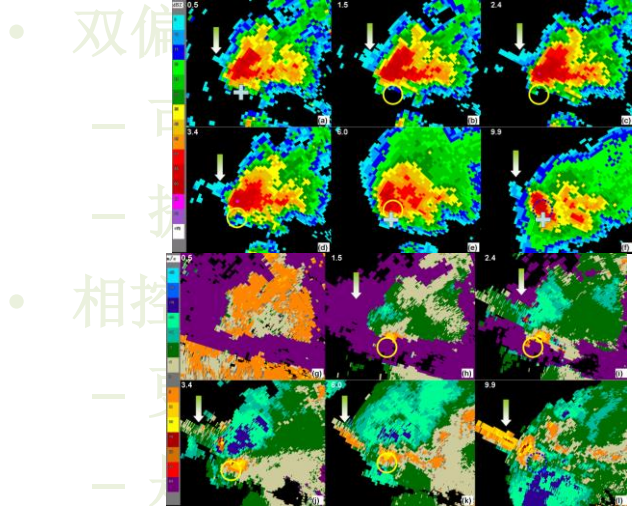
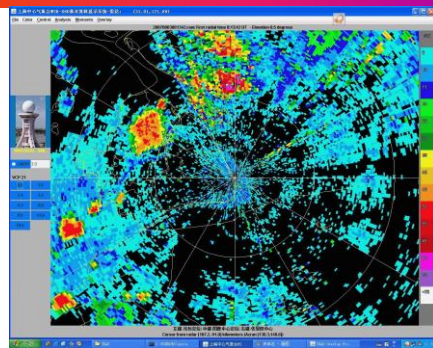
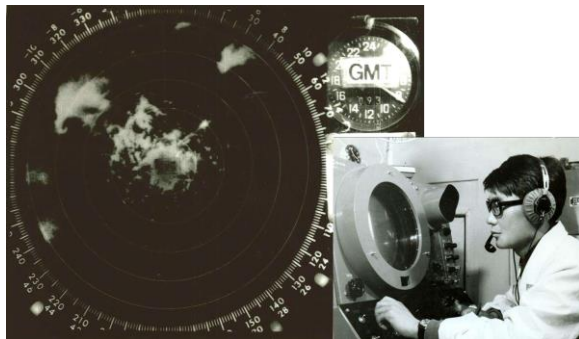
- 对流的形态和结构特征（水平和垂直）
- 对流伴随的天气
- 对流强度演变的判断
- 对流的传播和移动

– 方法：

- 多种观测资料的综合分析
- 对流风暴演变的概念模型
- 各种临近预报方法

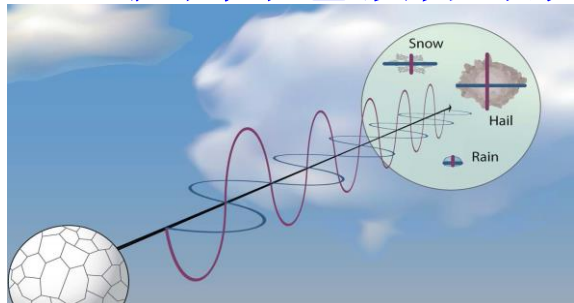
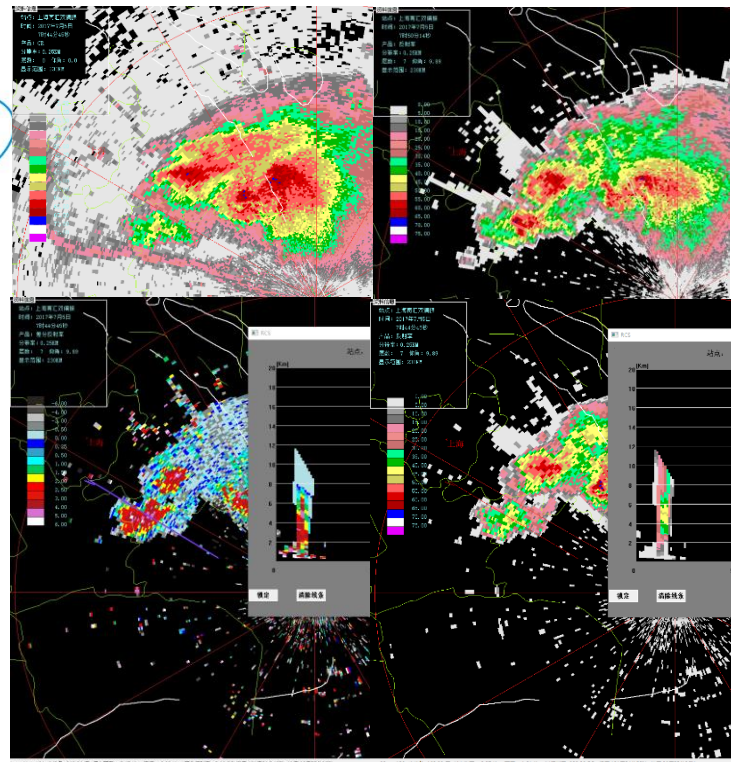
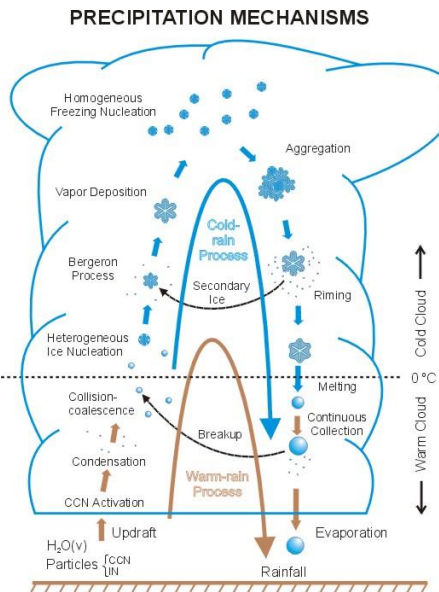
天气雷达发展趋势-气象探测、气象科学的发展

- 天气雷达1.0
 - 可以看到降水
- 多普勒+天气雷达2.0
 - 可以看到流场



天气雷达发展趋势-气象探测、气象科学的发展

- 天气雷达1.0
 - 可以看到降水
- 多普勒+天气雷达2.0
 - 可以看到流场
- 双偏振+天气雷达3.0
 - 可以识别降水类型
 - 提高冰雹预警时效



提高冰雹的预警时效

提 纲

一、引言

二、相控阵阵列天气雷达网

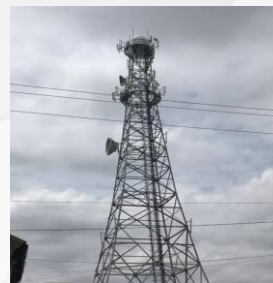
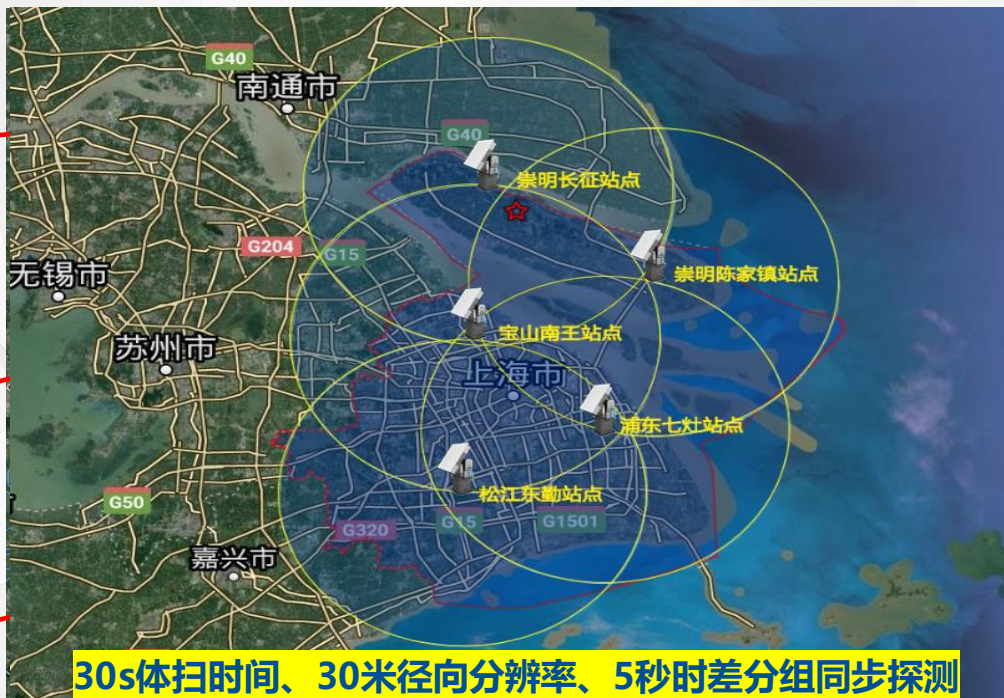
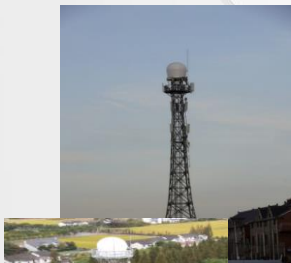
三、新型监测预警技术及其应用

四、小结与展望





上海阵列天气雷达建设进展



2018 ➤

宝山
(高度: 35米)

2019.05 ➤

崇明
(高度: 57米)

浦东
(高度: 38米)

➤ 2020.10 ➤

松江
(高度: 35米)

2021.04 ➤

崇明西
(高度: 60米)



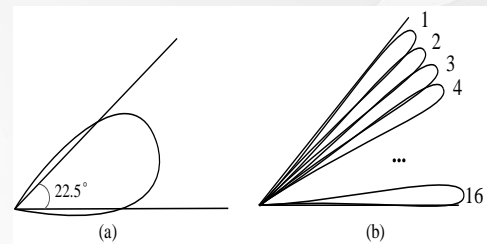
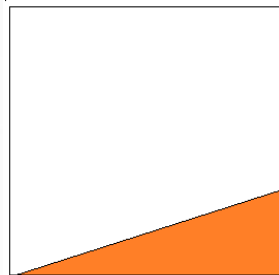
上海阵列天气雷达系统的特点



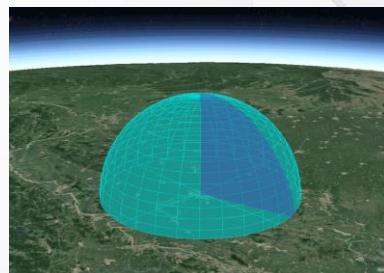
相控阵天气雷达的最显著优势是**快速扫描**，其关键是**多波束同时探测能力**！

16波速同时探测，4次顺序“宽发窄收”

型号	ETWS-X01	ETWS-X02
技术体制	双偏振 固态有源相控阵 、 数字多波束	
工作频率	9.3~9.5GHz	
峰值功率	≥320W	≥320W
天线阵元数	64	128 (64H、64V)
探测距离	≥60km	≥60km
距离分辨率	≤30m	≤30m
波束	≥16	≥16
波束宽度	水平1.6° 垂直1.6°	水平1.6° 垂直1.6°
体扫范围	水平：0°~360° 垂直： 0°~90°	水平：0°~360° 垂直： 0°~72°
体扫时间	30s/60s (可调)	30s/60s (可调)
整机功耗	≤3kW	≤3kW
天线尺寸	长≤1.2m、宽≤1.4m	长≤1.2m、宽≤1.4m



0.125s 完成俯仰0-90° (单偏振)
0-72° (双偏振) 探测

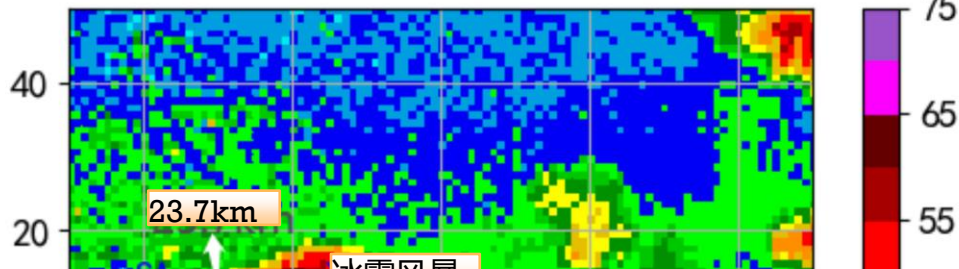


30s完整三维完整体扫探测



上海相控阵阵列雷达采用的硬件型号及主要指标

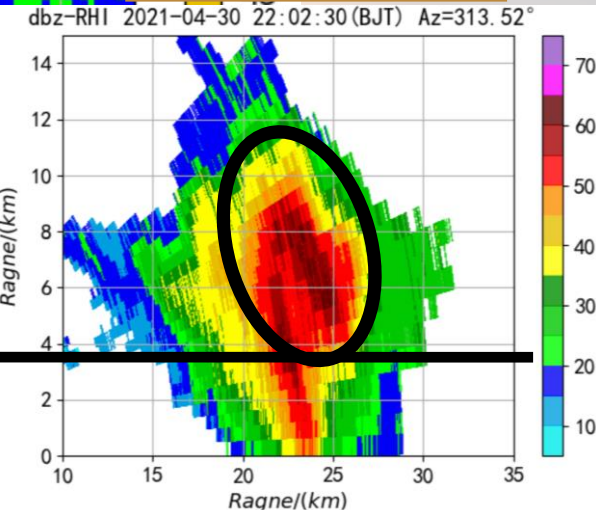
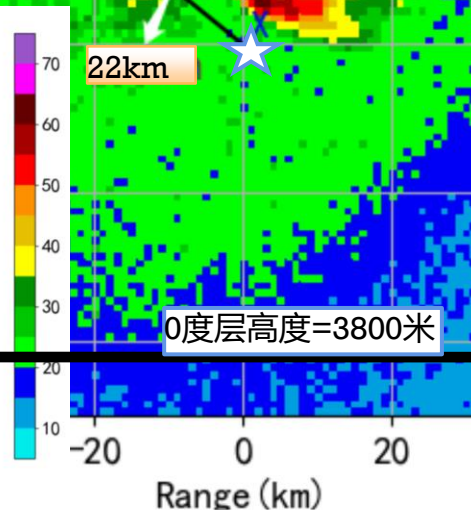
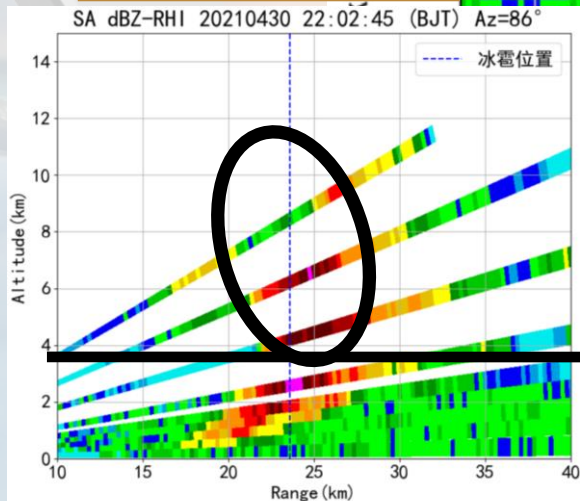
SA Max dBZ 20210430 22:02 BJT



看的全

S波段机械式雷达

X波段相控阵雷达



相控阵雷达高仰角覆盖 (0-72度)、无间隔扫描可以“看全”冰雹风暴!

2020.07.06长江口系列微型龙卷

灾情分布



视频拍摄点



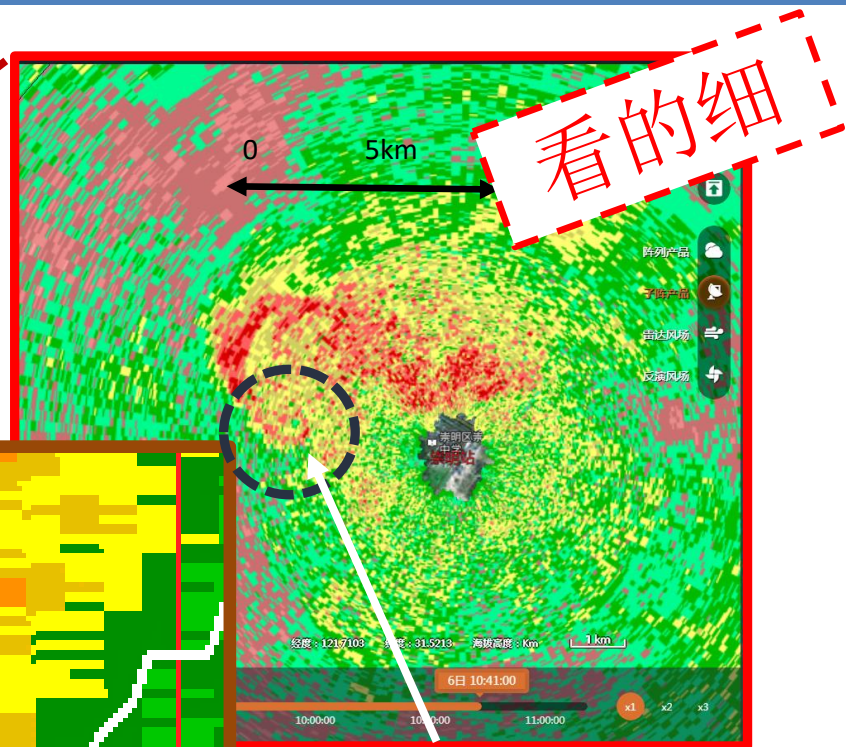
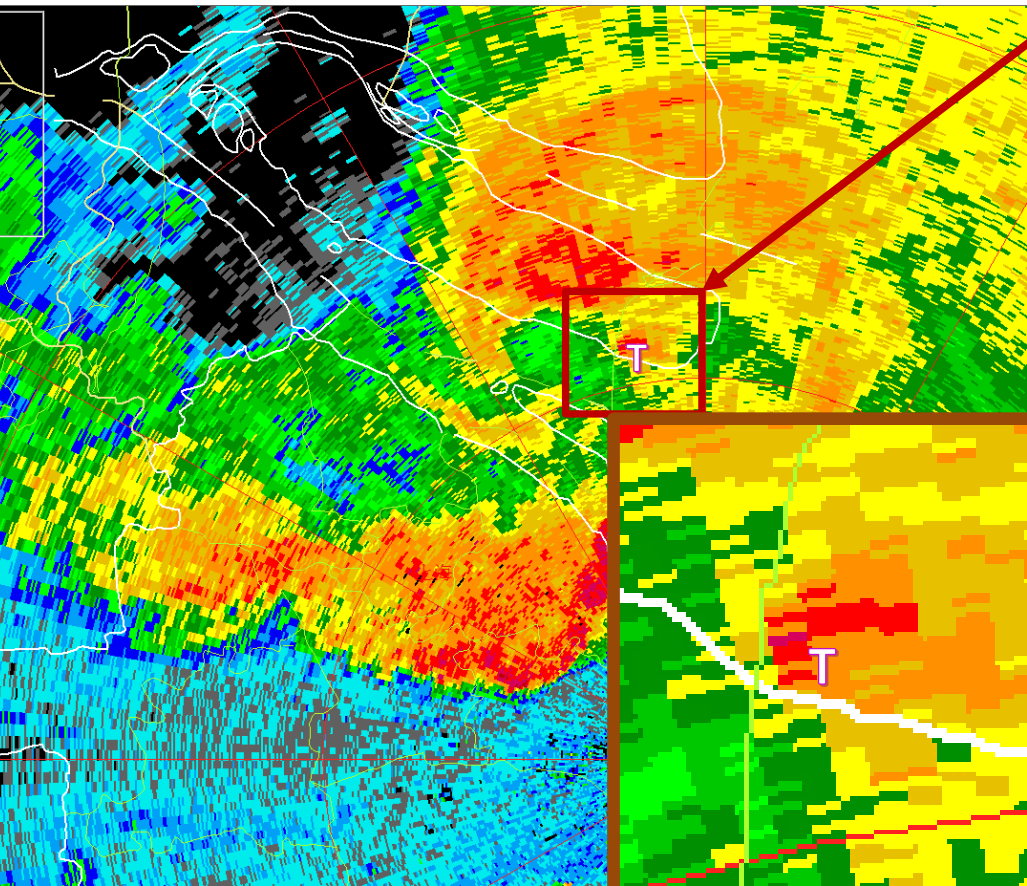
石材店老板庄志强提供

10:26-10:56多地目击龙卷涡旋

崇明港沿镇、向化镇、陈家镇房屋受损、树木和田间作物倒伏，陈家镇裕西村住户辅房坍塌，造成一位88岁老人受伤。

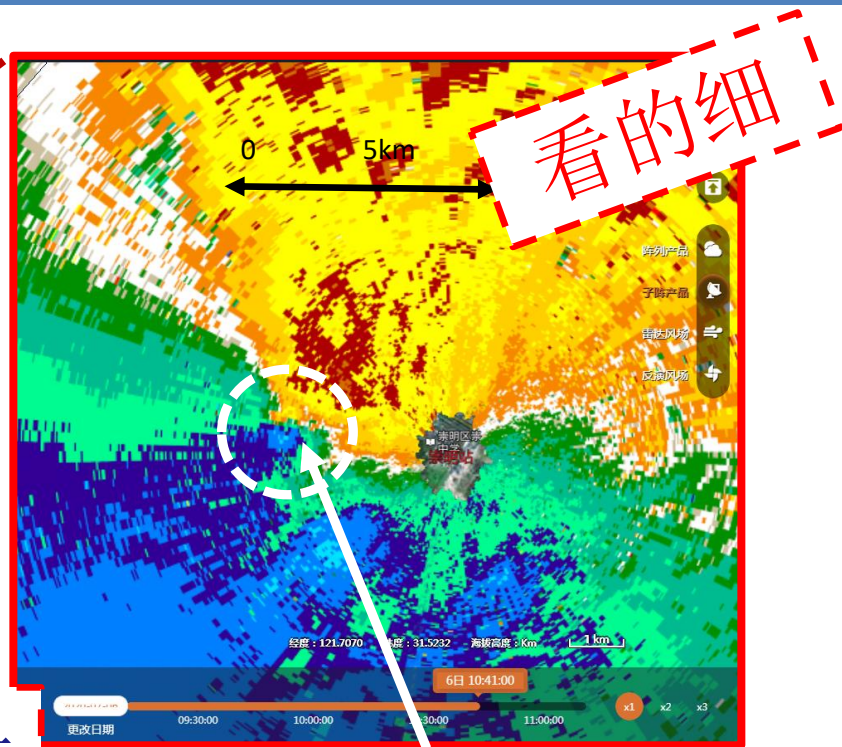
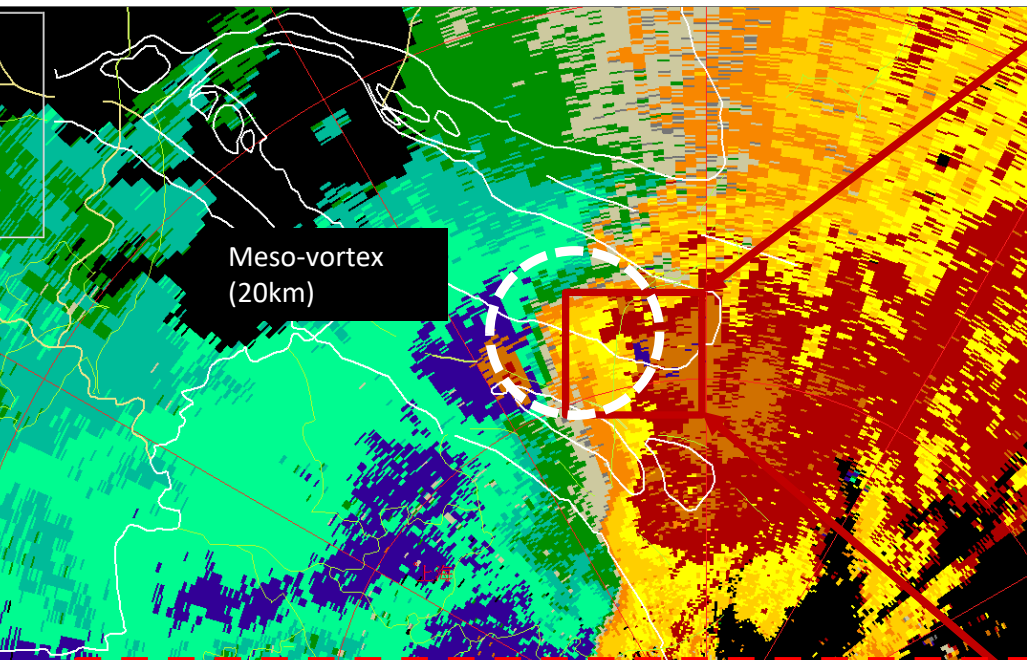
一级至二级的龙卷 (EF0-EF1)

相控阵雷达探测迷你超级单体及龙卷



S-波段 WSR-88D vs X-波段
相控阵雷达-反射率因子

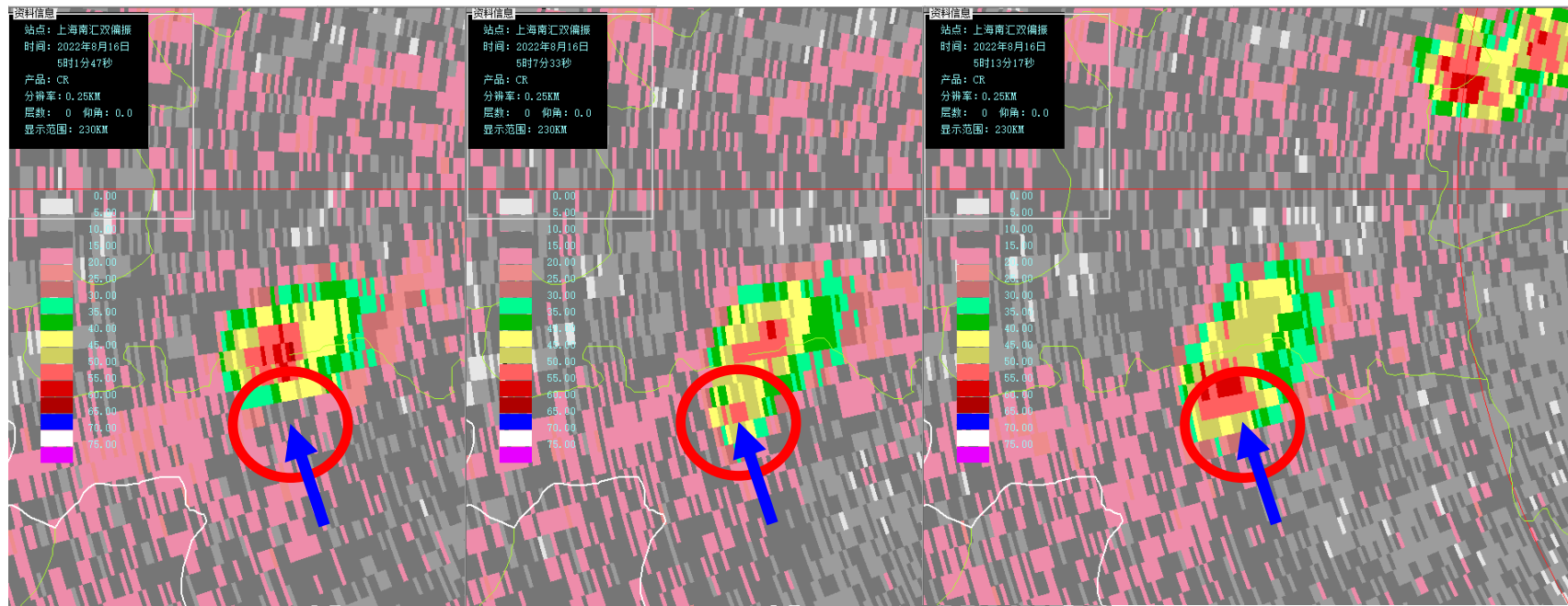
相控阵雷达探测迷你超级单体及龙卷



科学问题：我们是不是错过了很多龙卷观测？

S-波段 WSR-88D vs X-波段相控阵雷达-径向速度

WSR-88D 大雷达所见



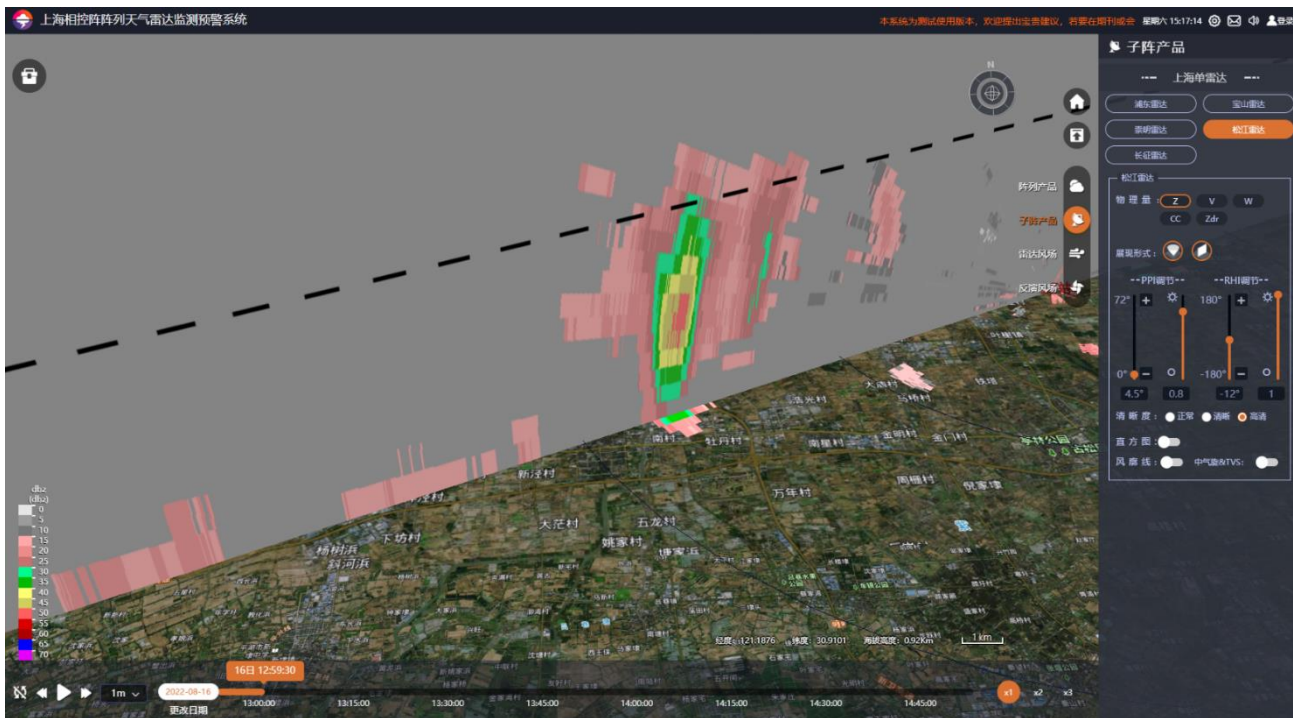
13:01

13:07

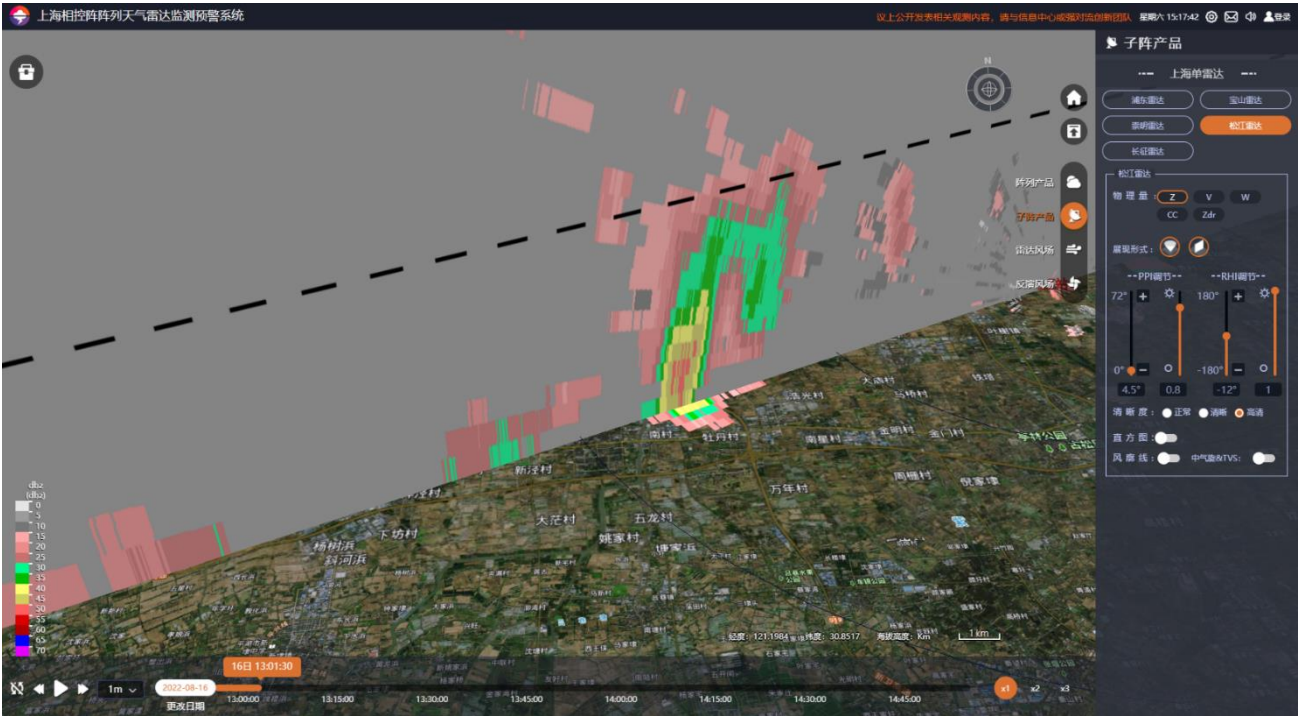
13:12

一个体扫描过程中发生的

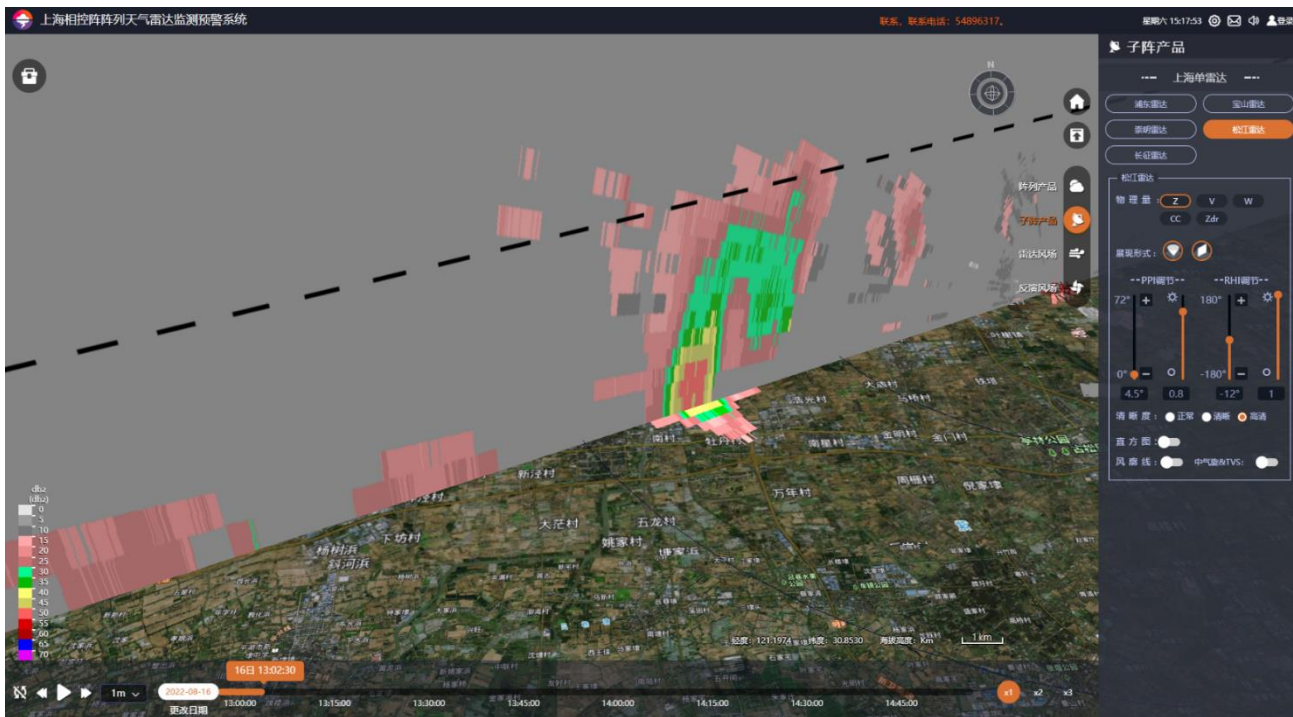
相控阵雷达12:59:30



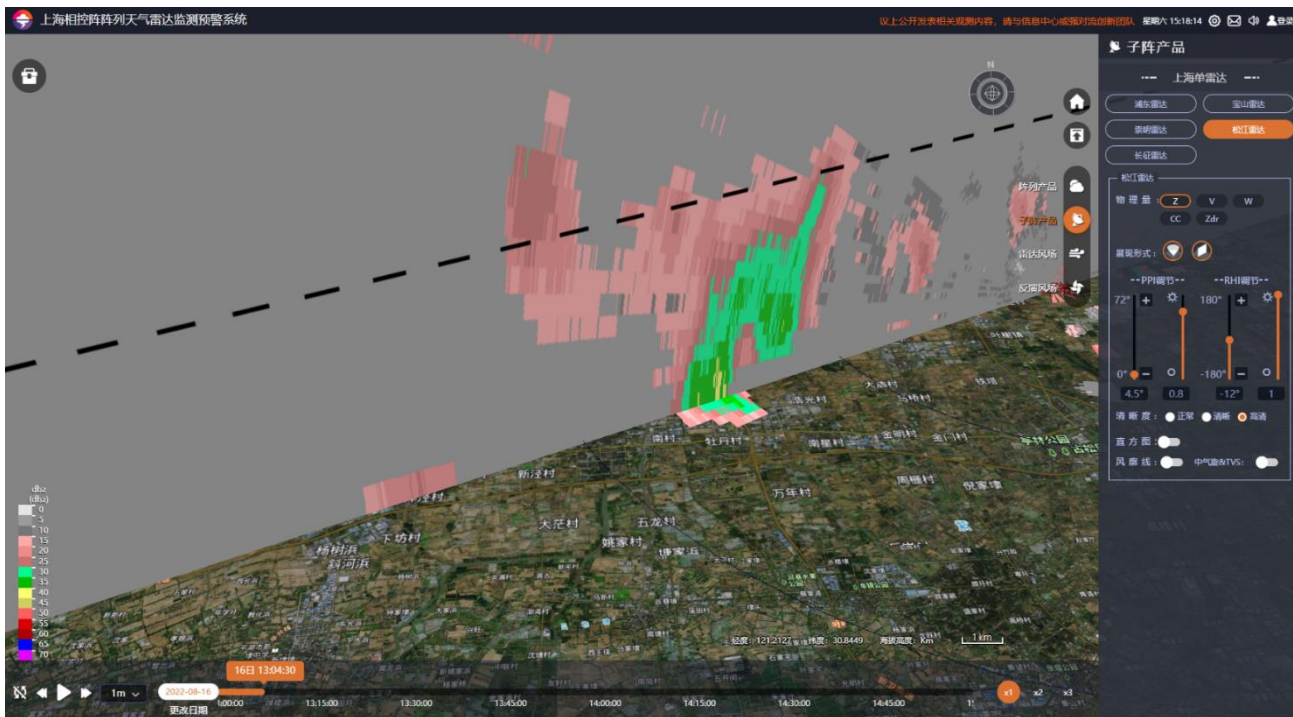
相控阵雷达13:01:30



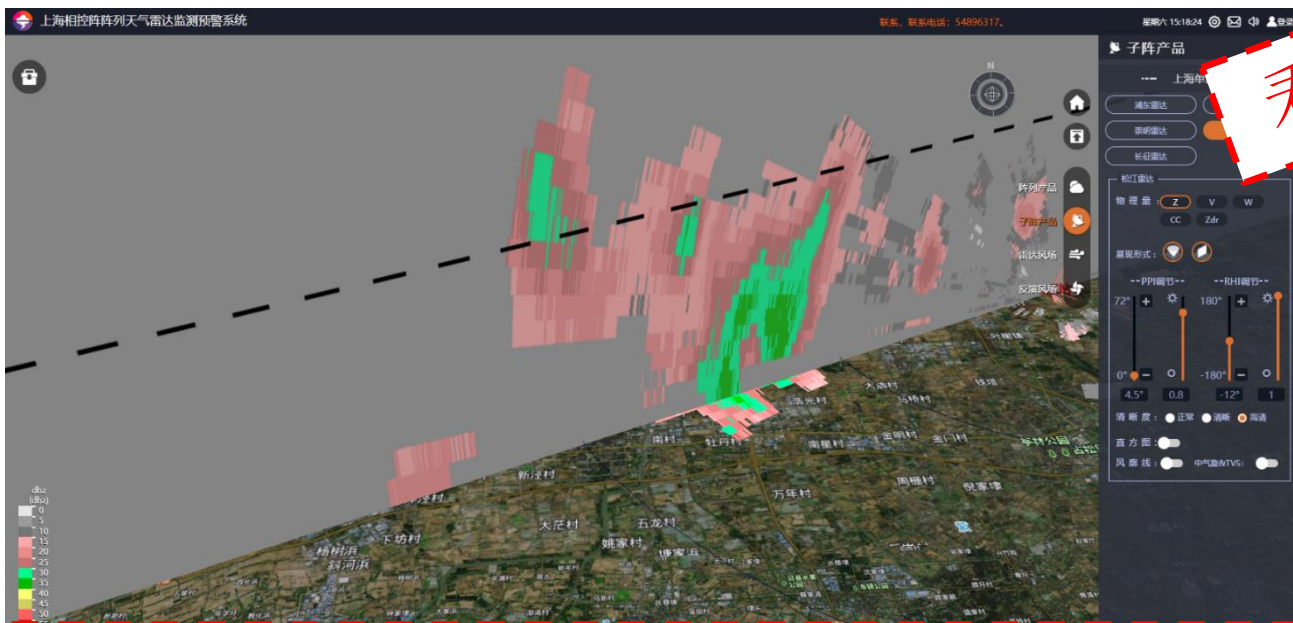
相控阵雷达13:02:30



相控阵雷达13:04:30



相控阵雷达13:05:30



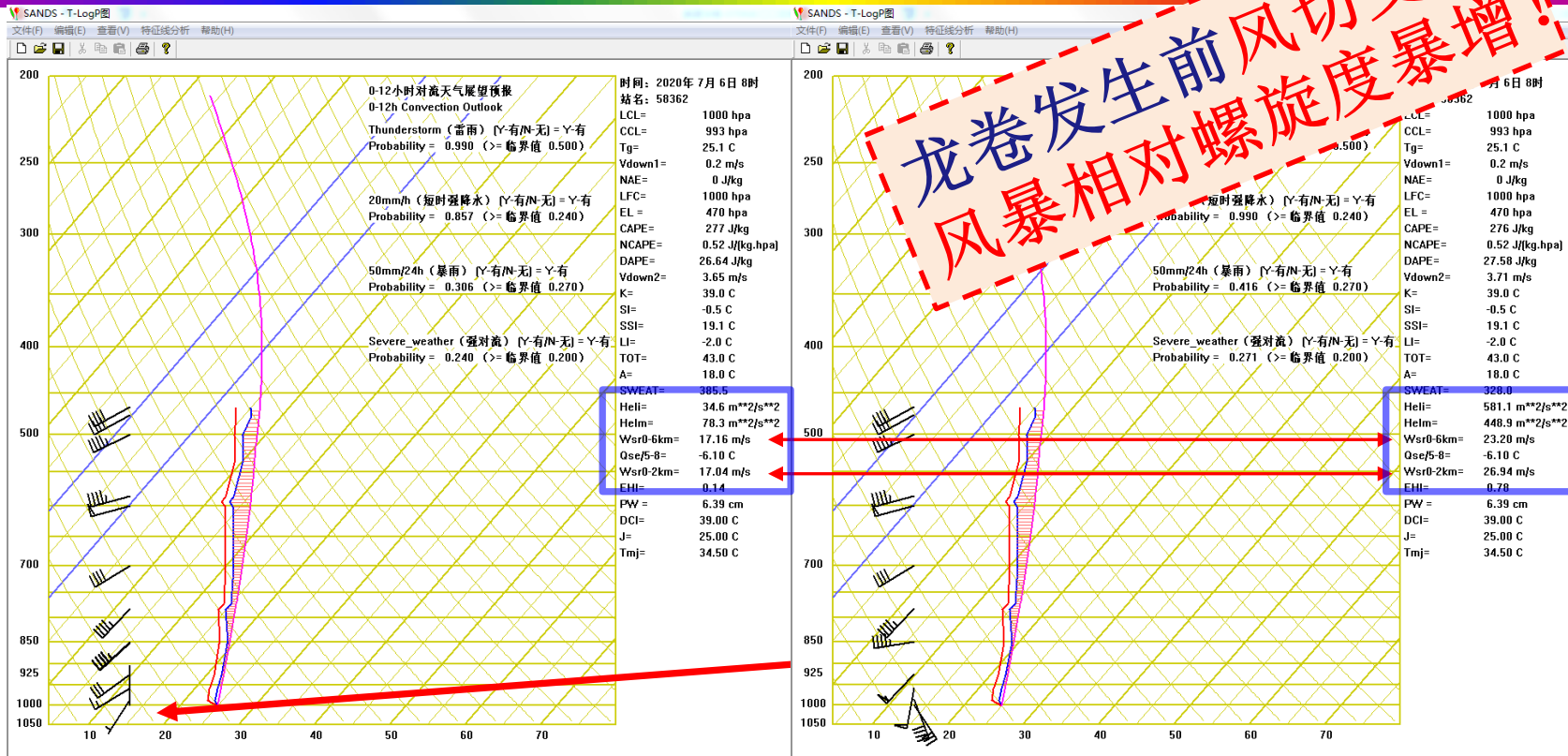
科学问题: 错过了很多微下击暴流?

业务瓶颈: 可能漏掉一些小范围灾害天气预警

新的认识：近龙卷环境的关键因子

0706-0800 BJT探空分析+相控阵雷达VWP反演垂直风分布

龙卷发生前风切变、
风暴相对螺旋度暴增!



对流能量+湿边界层+强低空风切变

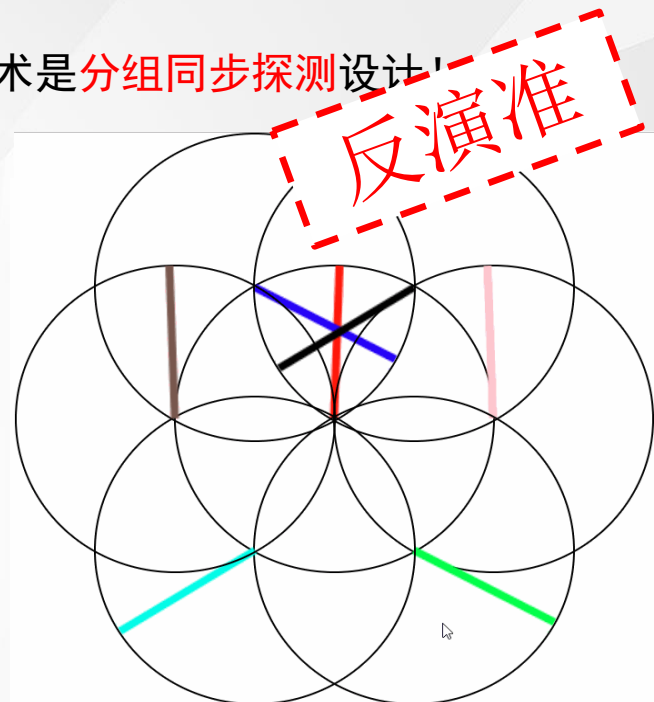
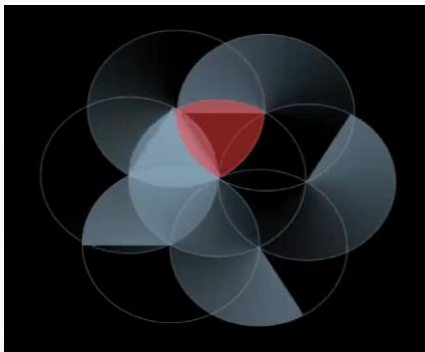
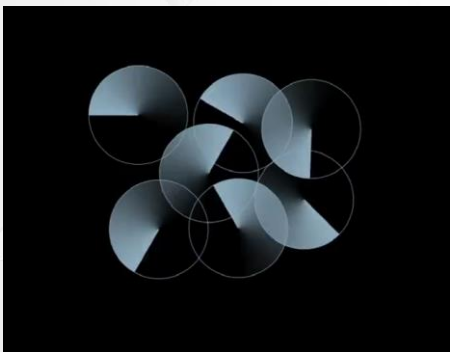




阵列天气雷达的核心指标是**多子阵协同**探测的**数据时差**，关键技术是**分组同步探测**设计！

3子阵同步扫描设计

- 三个相邻子阵为一组，波束同时进入三维探测区
- 单子阵体扫时间 T （30秒）= 整个阵列体扫时间
- 三维探测区数据**时差 ΔT** 约 $T/6$ （5秒）



分组同步探测的实现需要中心站软件系统和雷达子阵硬件的关联配合，执行严谨的控制流程

- 1 伺服时间同步
中心站与子阵时间同步
- 2 子阵进入角自动确定
旋转方向自动确定
- 3 中心站控制
同时刻启动扫描
- 4 伺服硬件误差自消除
中心站实时监视调整

提 纲

一、引言

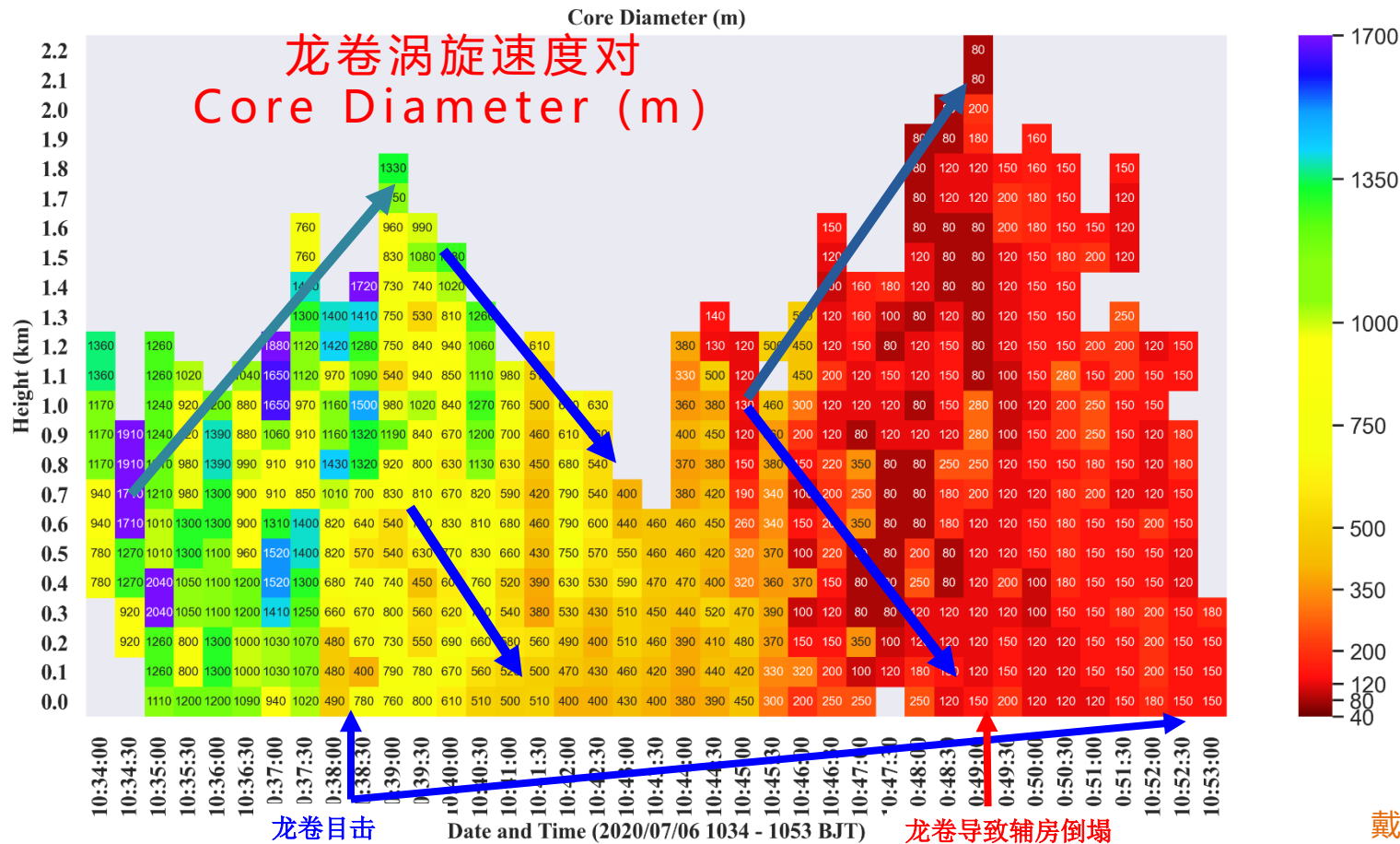
二、相控阵阵列天气雷达网

三、新型监测预警技术及其应用

四、小结与展望



新型监测预警技术及其应用

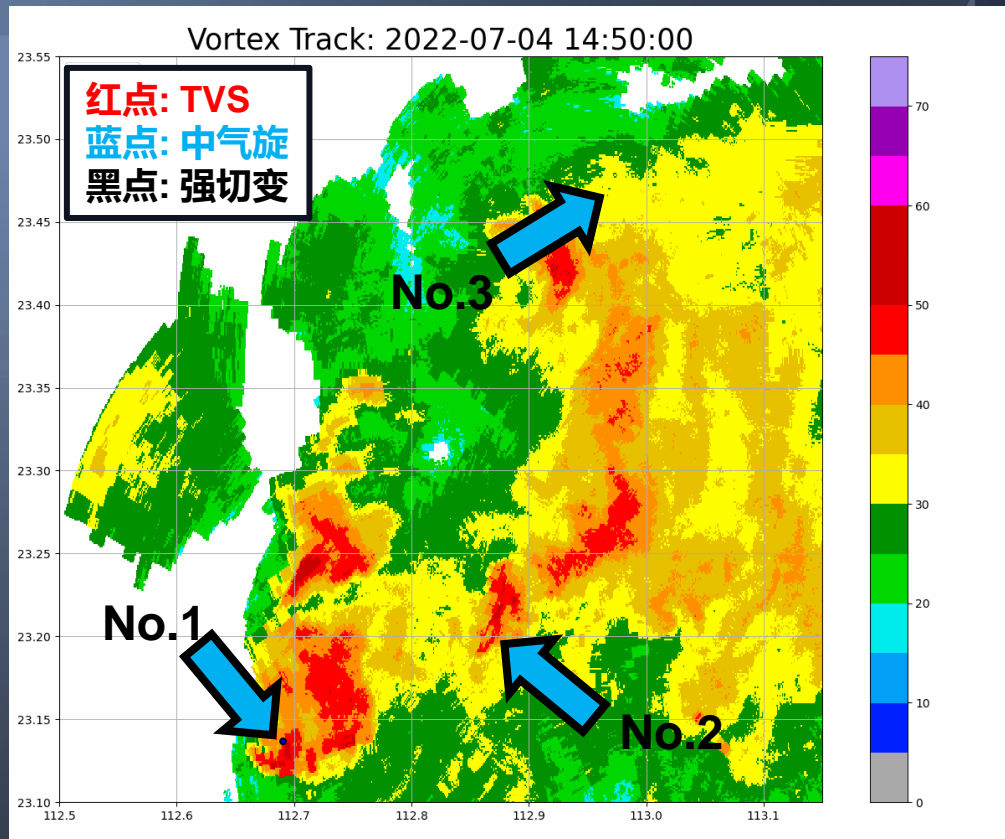


台风“暹芭”外围微型超级单体龙卷(第3批)的识别

2022-07-04 14:50 ~ 16:00
超级单体中气旋识别追踪动图



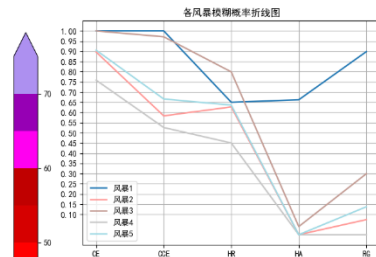
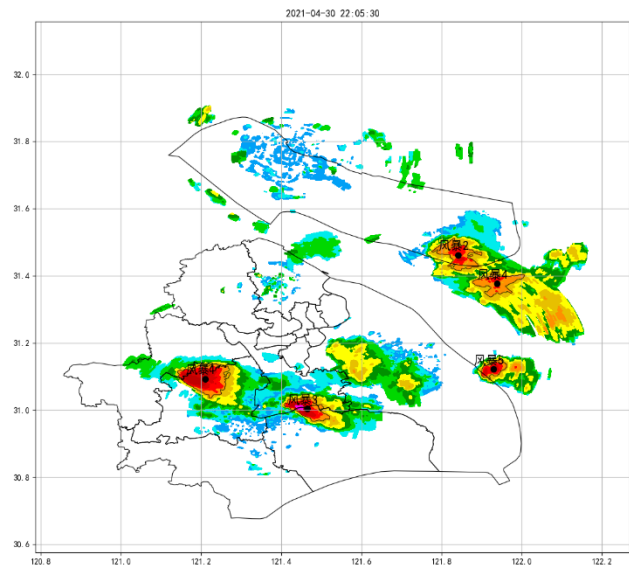
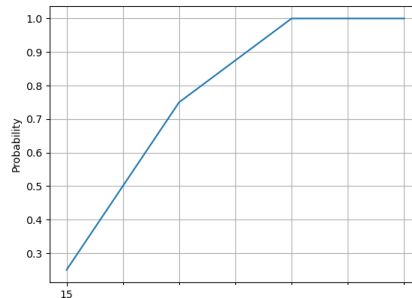
- 连续追踪轨迹
- 报警提前量
灾情记录: 15:32
TVS: 15:23-15:39
中气旋: 15:07-15:57
- 三个风暴完整的生消过程



模糊逻辑-基于对流垂直结构的单体分类识别

基于对流垂直结构构建模糊逻辑的分段函数

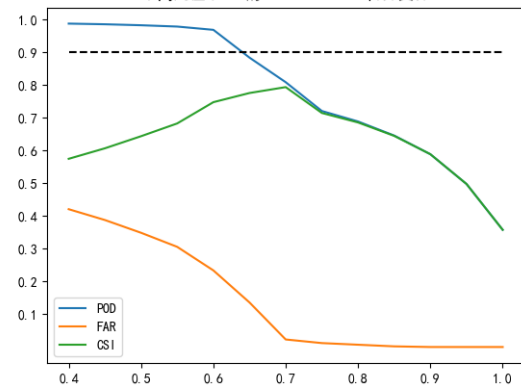
No	classify	feature	t_p100	t_p75	t_p25	direction	weight
1	CCE	area	800	600	200	1	0
2	CCE	VIL_all	35	25	15	1	4
3	CCE	MAXDBZ_Above0	46	40	35	1	10
4	CCE	VIL_Above0	15	10	8	1	10
5	CCE	40Thick_Above0	3	1.5	1	1	5
6	CCE	45Thick_Above0	2	1	0.5	1	10



	CCE	OCE	IR	IW	HC
风暴1	1.0	1.0	0.65	0.652	0.898
风暴2	0.896	0.583	0.627	0.0	0.074
风暴3	1.0	0.971	0.799	0.06	0.299
风暴4	0.798	0.355	0.45	0.0	0
风暴5	0.935	0.666	0.636	0.0	0.137

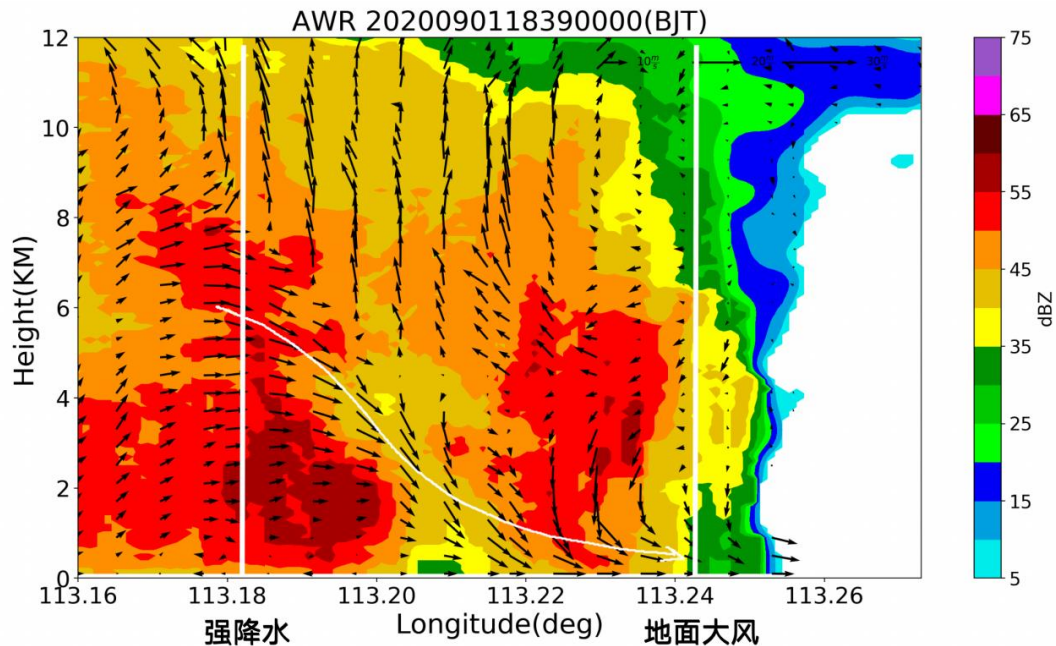
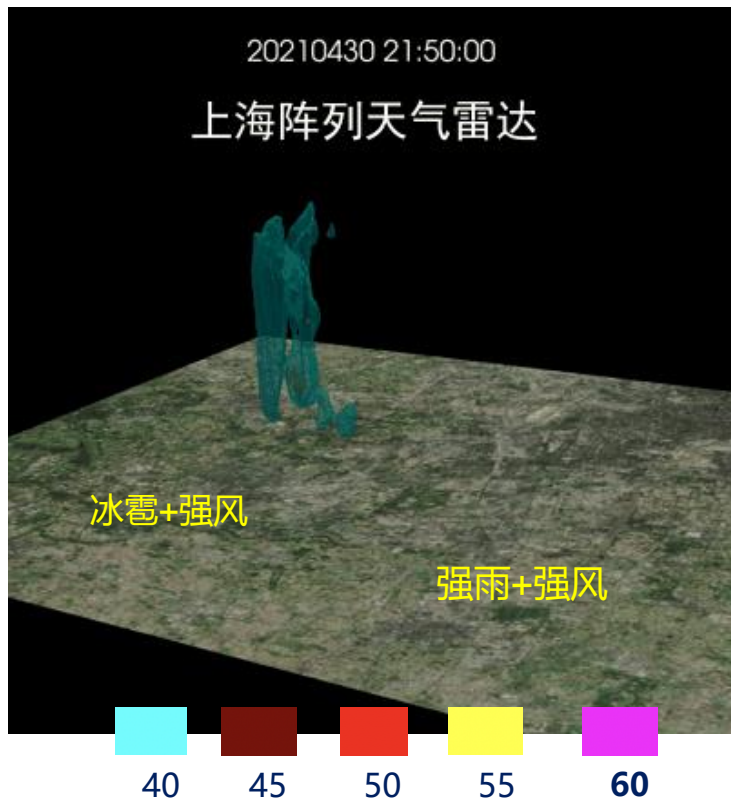
	风暴1	风暴2	风暴3	风暴4	风暴5
area	85.92	53.24	46.55	45.05	22.02
VIL_all	0.106	14.748	29.922	32.201	17.235
MAXDBZ	60.0	50.0	61.0	48.0	54.0
MAXDBZ_BelLow	59.0	50.0	60.0	48.0	54.0
MAXDBZ_Above0	60.0	47.0	57.0	47.0	54.0
MAXDBZ_1-3km	59.0	50.0	58.0	48.0	54.0
VIL_Above0	1.5	0.2	0.2	1.9	3.4
VIL_Above10	27.182	6.514	13.767	4.956	6.767
VIL_Above10	25.49	5.121	9.789	3.055	2.688
45Thick_Above0	5.4	0.0	1.4	0.0	0.0

不同阈值下CCE的 POD-FAR-CS1 合并文件



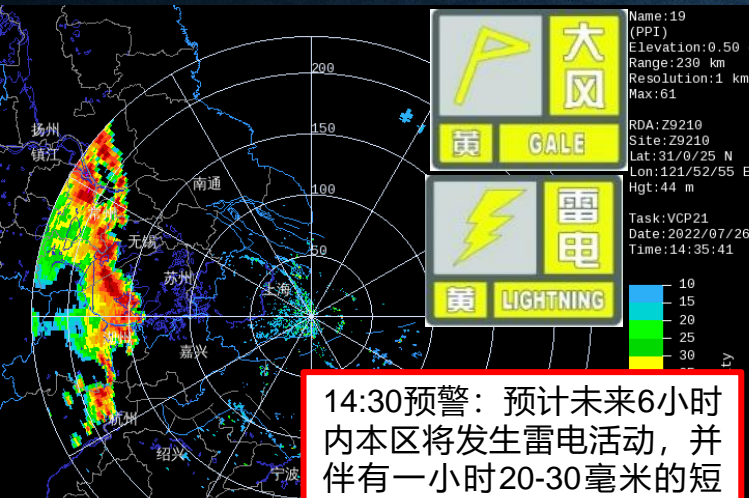
对流单体识别模型的检验评估

风场反演和雷暴结构-新型的临近预报算法-大风和冰雹预警

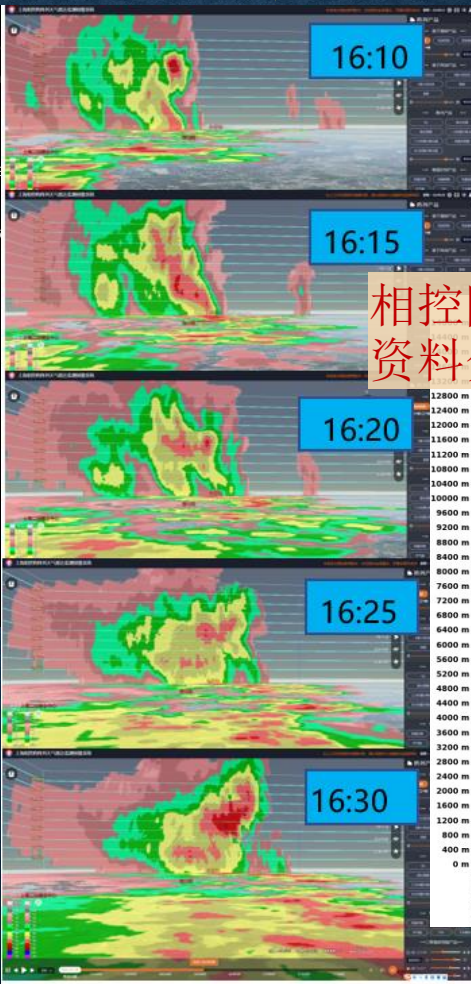


新型地面大风指示产品

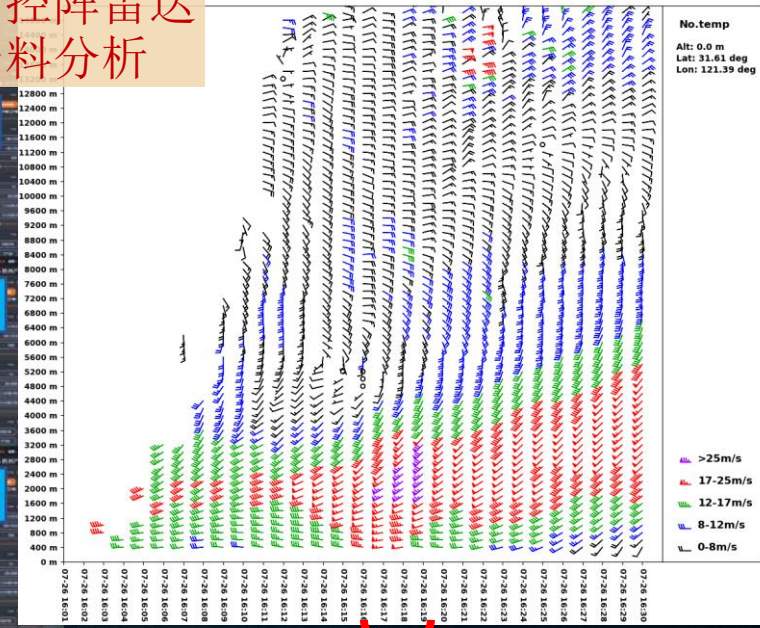
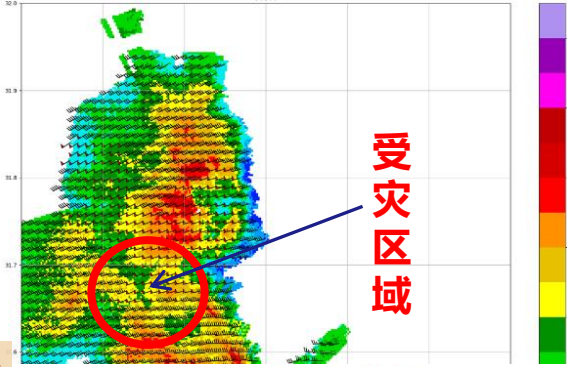
20220726崇明强风灾情的评估与应用



14:30预警：预计未来6小时内本区将发生雷电活动，并伴有一小时20-30毫米的短时强降水和8-10级雷暴大风

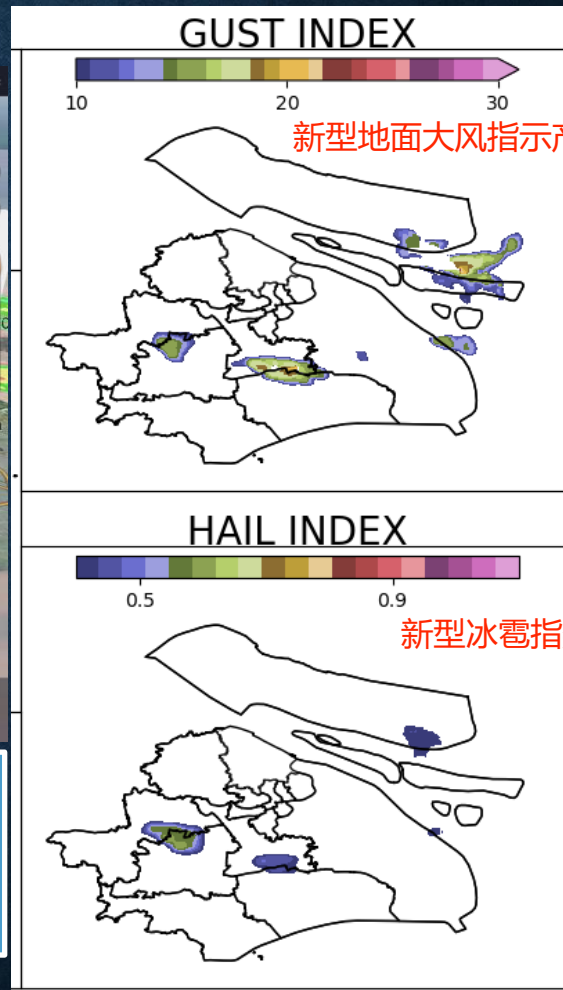
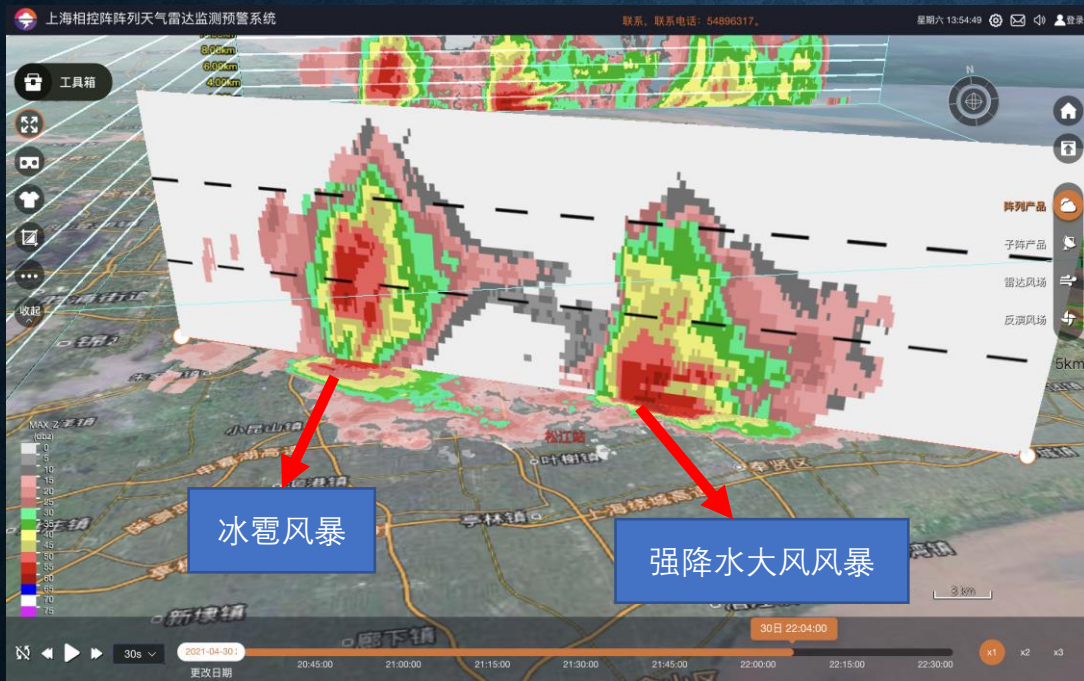


相控阵雷达资料分析



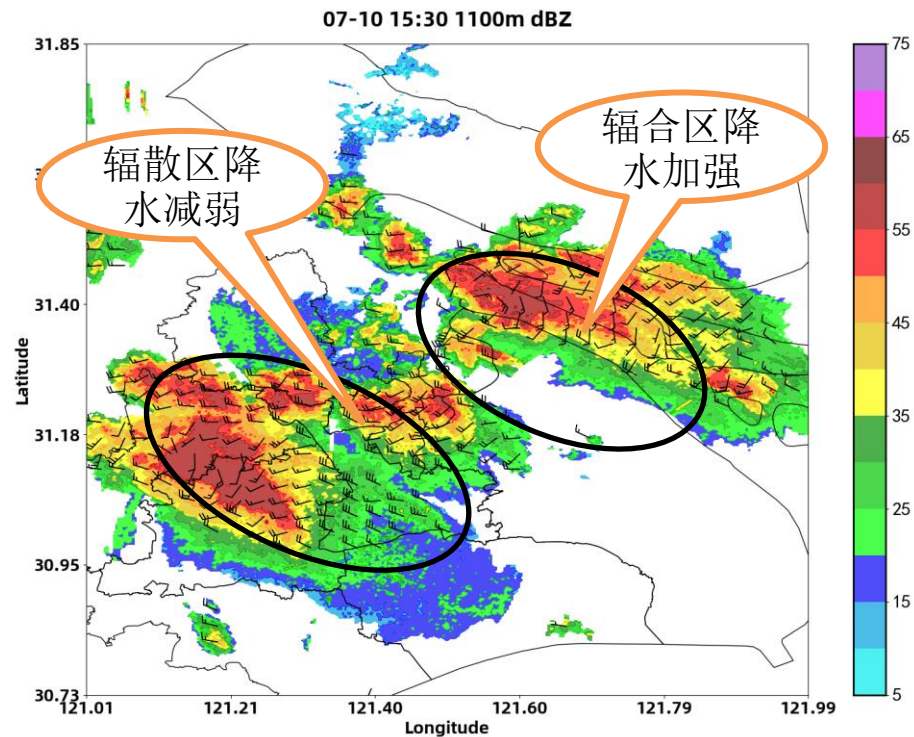
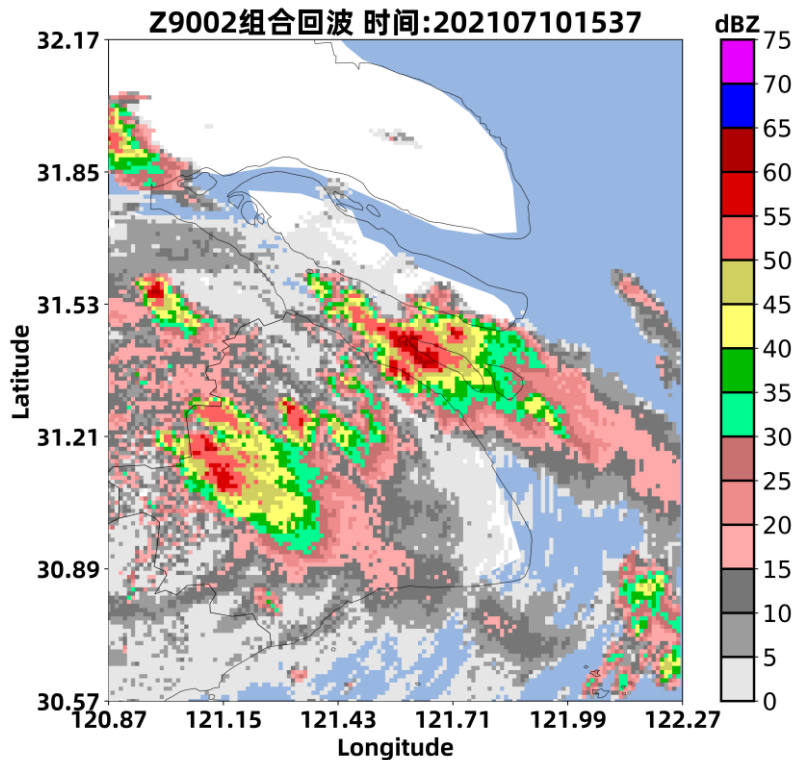
受灾发生时段

基于阵列雷达的新型冰雹和对流大风指数



1. 新型冰雹指数很好区分了冰雹和雷暴大风
2. 新指数结合了动力信息, 个例中提前50分钟提示了冰雹概率

风场反演和雷暴结构-新型的临近预报算法-对流强降水的演变趋势



哪个单体会加强、哪个会减弱?

提 纲

一、引言

二、相控阵阵列天气雷达网

三、新型监测预警技术及其应用

四、小结与展望

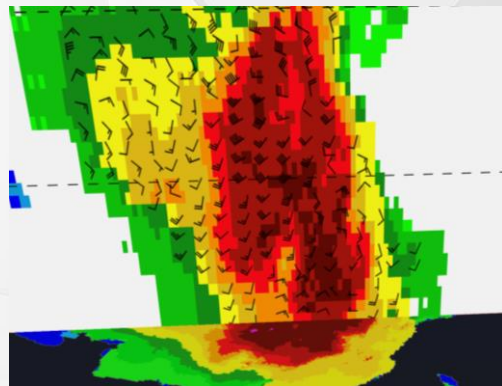
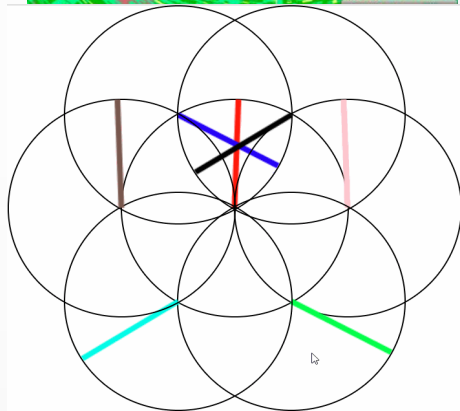
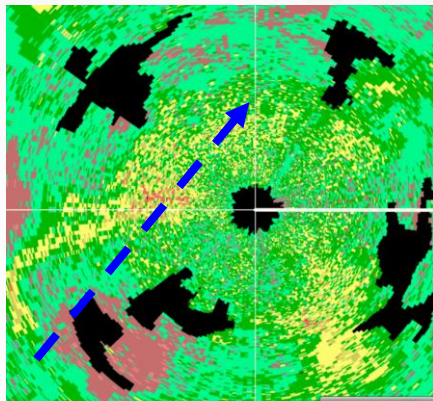




中小尺度天气：结构更精细、演变更全面、反演更准确

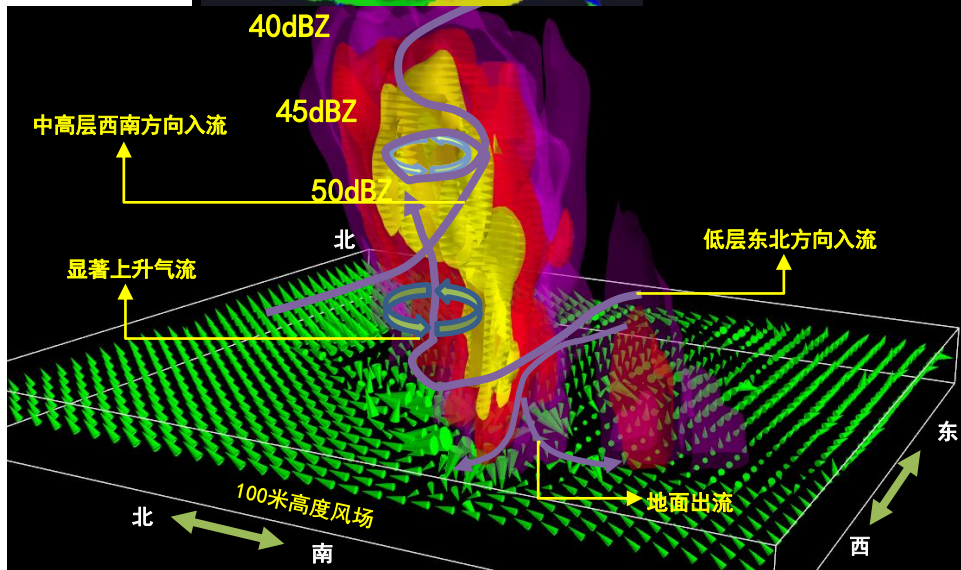
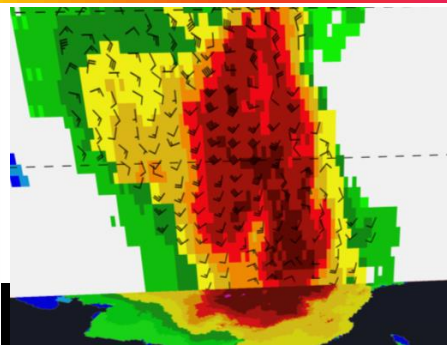
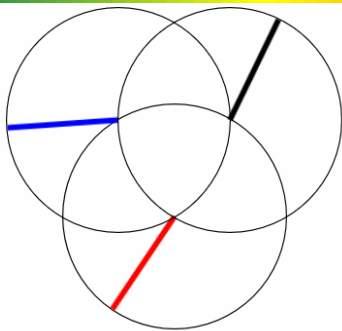
新的科学观测事实、预警依据

- **高空间分辨率**（距离库30m）：中小尺度对流动力和热力精细结构，监测和预警冰雹、下击暴流、龙卷等；
- **高垂直空间覆盖**（仰角0-90°）：垂直方向上对流降水的完整结构，为对流降水发展演变研究奠定基础；
- **高时间分辨率**（30s）：中小尺度对流发展演变重要特征-新的观测事实；
- **分布式阵列协同观测**：显著提升观测一致性，可获取更加精细、准确的动力信息（中小尺度涡旋等）-新的预警依据。



天气雷达发展趋势-气象探测、气象科学的发展

- 天气雷达1.0
 - 可以看到降水
- 多普勒+天气雷达2.0
 - 可以看到流场
- 双偏振+天气雷达3.0
 - 可以识别降水类型
 - 提高冰雹预警时效
- 相控阵+天气雷达3.5?
 - 更快、更细
 - 是否有新的发现?



请批评指正

