宜通华盛
Eastone Washon

相控阵阵列雷达在强对流分析预报中的初步应用

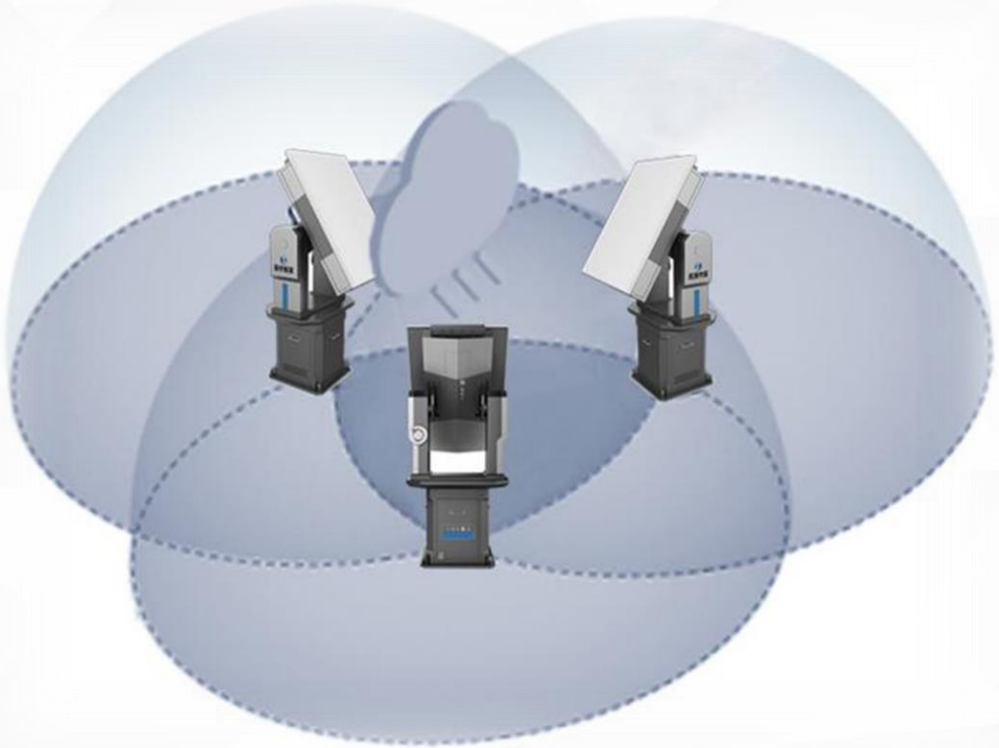
王国荣

CONTENTS

- 阵列天气雷达介绍
- 关键技术和产品
- 案例应用分析
- 小结

01 阵列天气雷达介绍

强度风场综合探测——相控阵阵列天气雷达

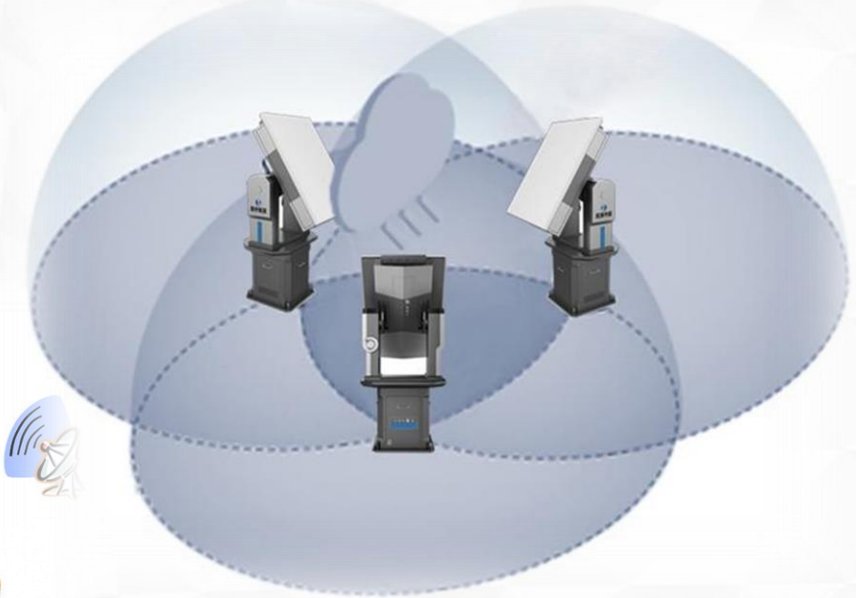


阵列天气雷达是一种最新型相控阵天气雷达，阵列天气雷达采用分布式相控阵技术体制，由一个控制处理中心和多个收发子阵（相控阵雷达）组成。

收发子阵按三角形布局，控制处理中心控制子阵分组同步扫描探测，快速输出高分辨、高覆盖的准确风场、强度场和双偏振量。

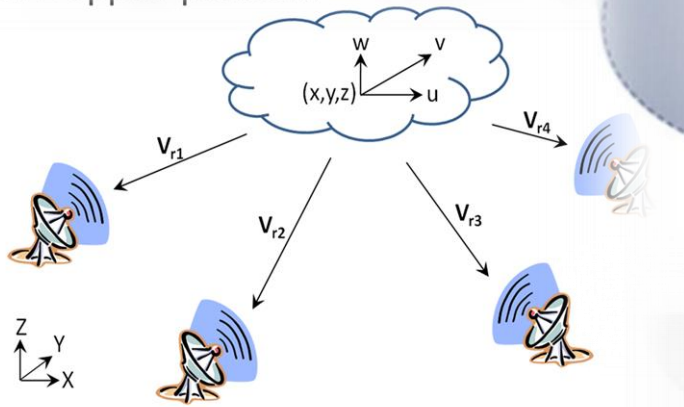
研发背景——阵列雷达探测技术

阵列雷达探测
大气风场+强度



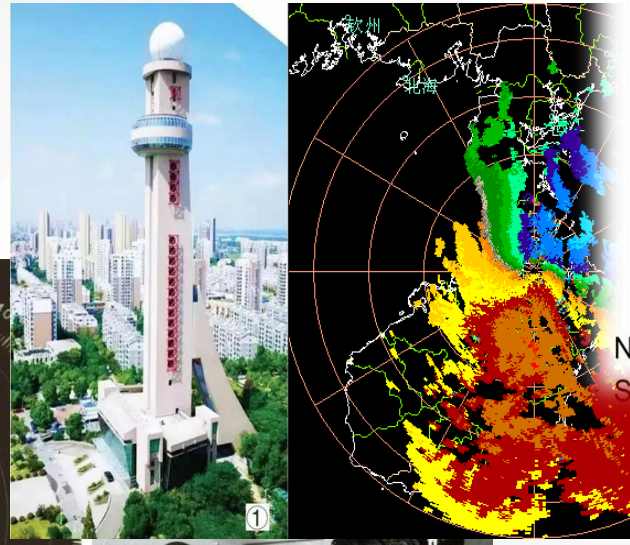
2018年
中国长沙首台相控阵阵列天气雷达

多雷达协同探测
大气风场+强度



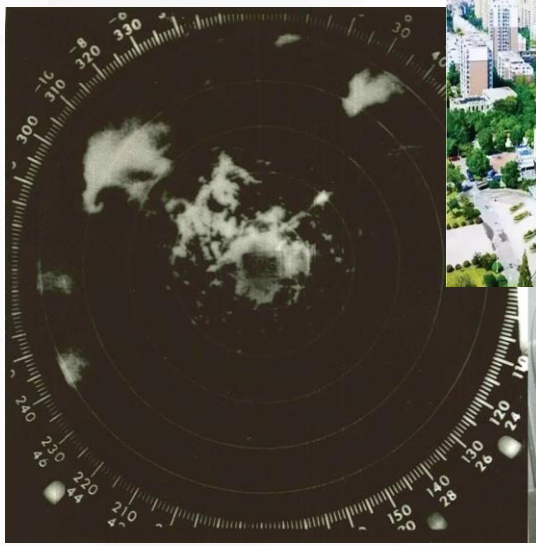
2003年
美国CASA计划
短距离协同探测

强度+径向速度探测



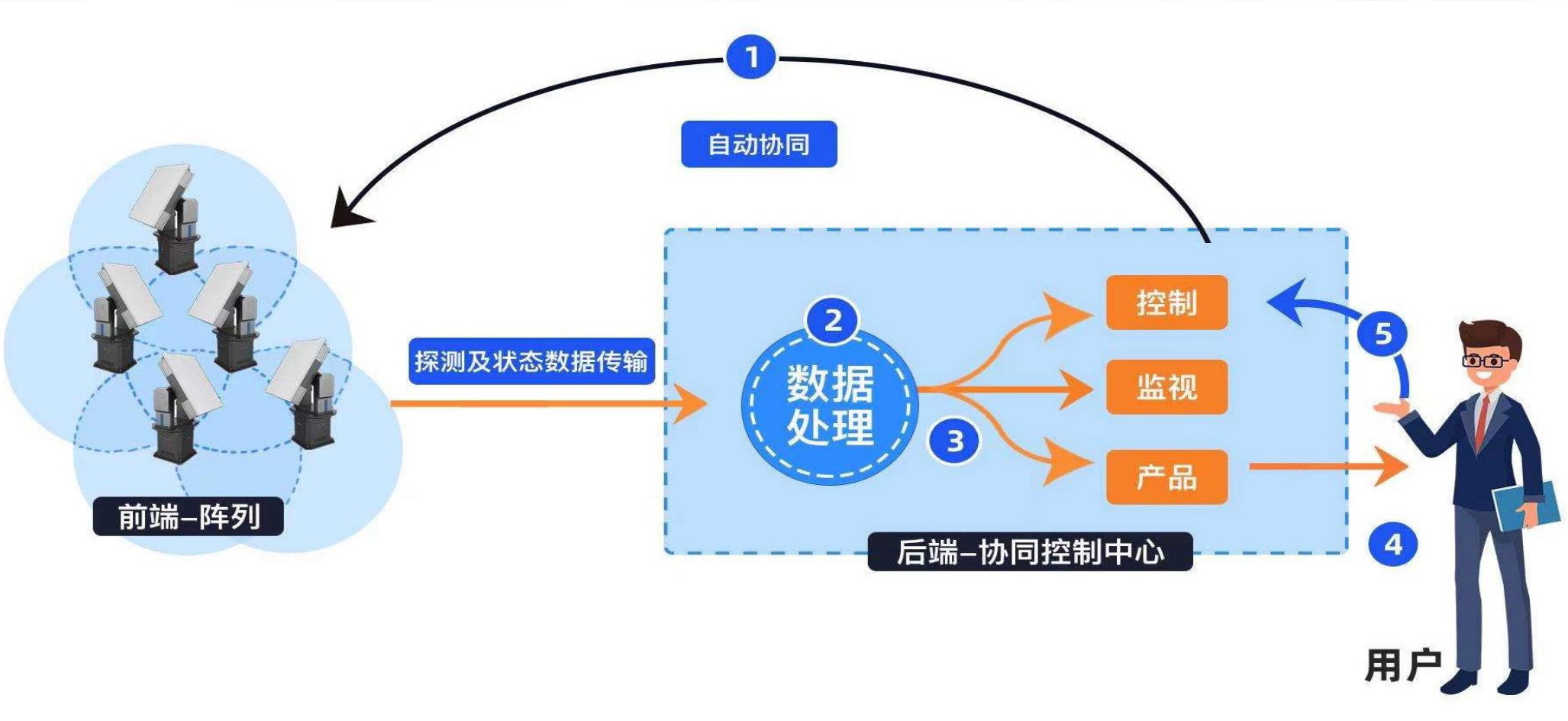
1999年
中国合肥首套新一代
多普勒天气雷达

强度探测





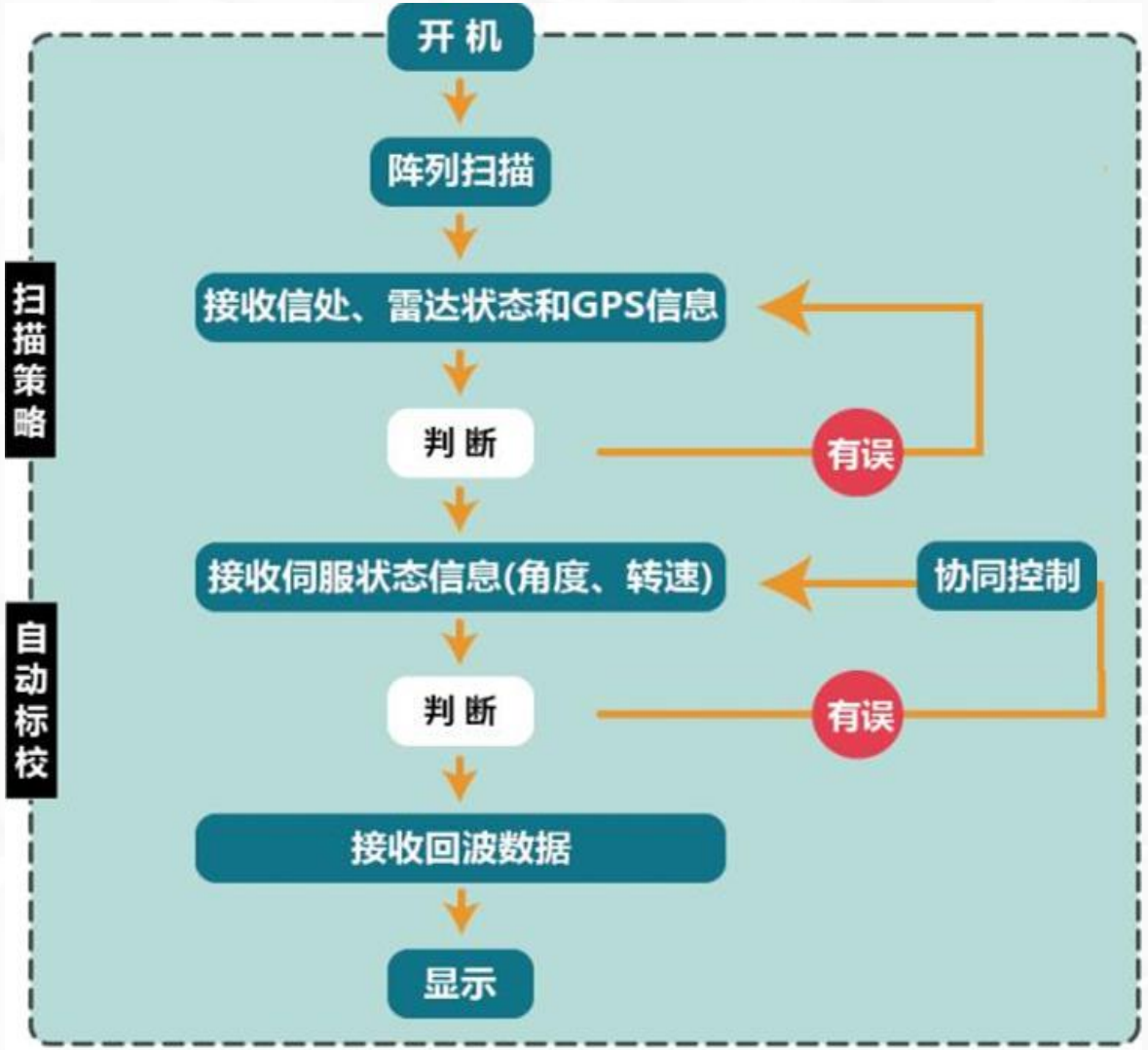
关键技术——阵列雷达探测实现原理



不是数据的拼接（mosaic），关键在于同步扫描的控制，有效缩短协同探测数据时间差！

关键技术——阵列雷达探测实现方法





1 伺服GPS时间同步
中心站—雷达服务器时间同步

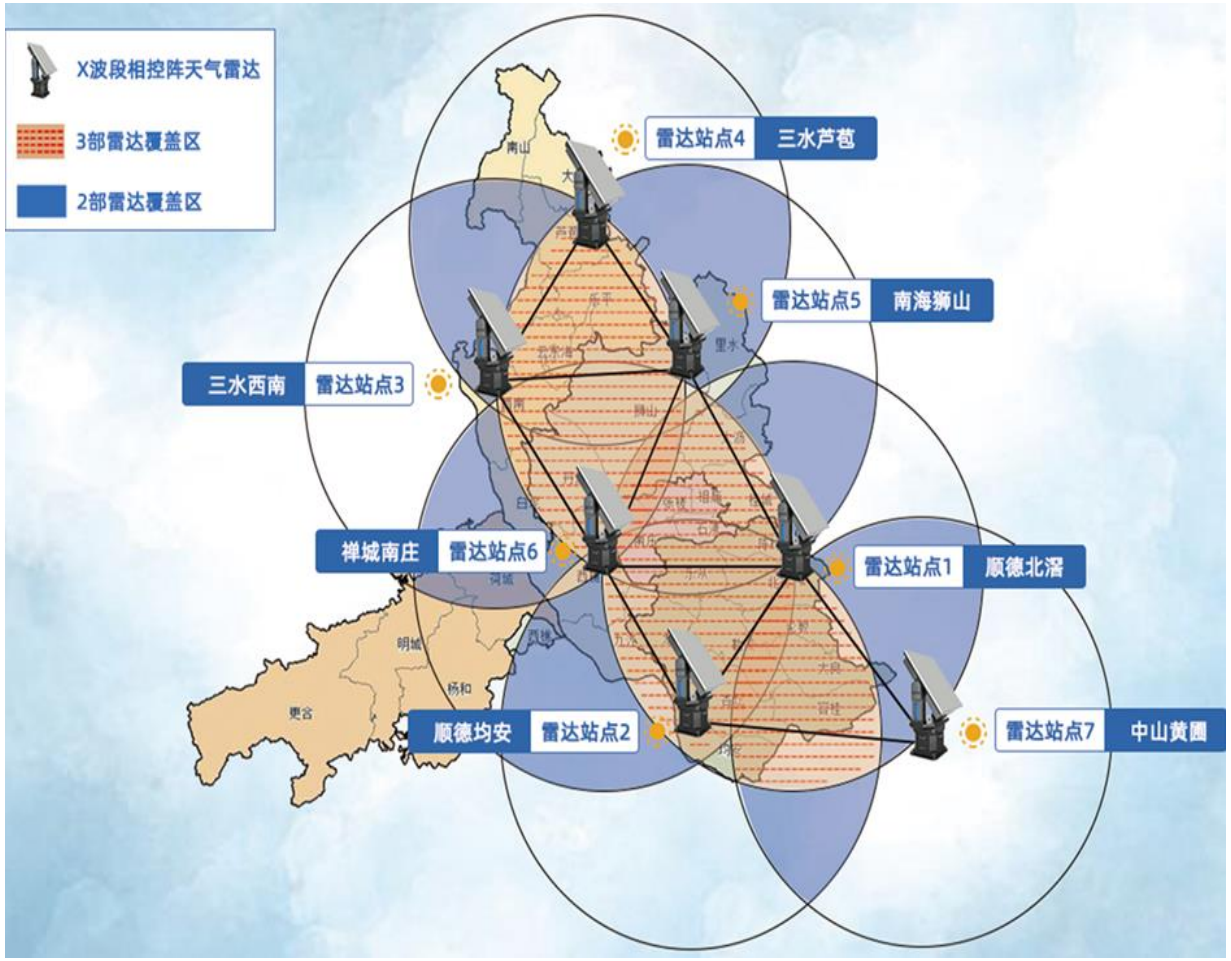
2 子阵进入角确定
旋转方向确定

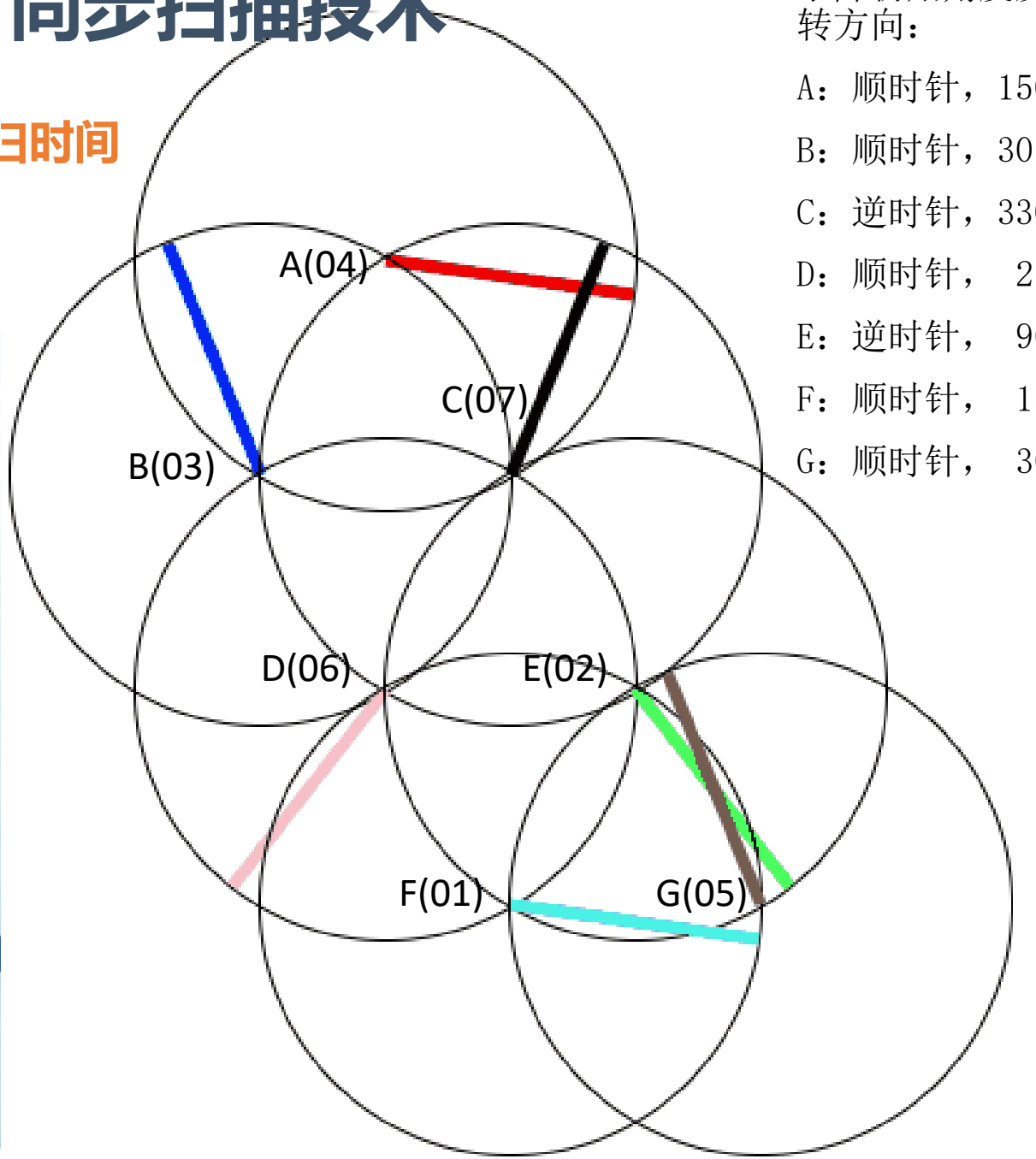
3 同时刻启动扫描

4 伺服误差自消除
中心站实时监视调整

关键技术——阵列雷达（分组）同步扫描技术

- 保证同步探测区域内数据时差 <= 1/6单子阵体扫时间
- 保证多子阵完成体扫时间 = 单子阵体扫时间
- 有效扩展同步探测区域





子阵初始角度及旋转方向：

A：顺时针，150°

B：顺时针，30 °

C：逆时针，330

D：顺时针， 270°

E：逆时针， 90°

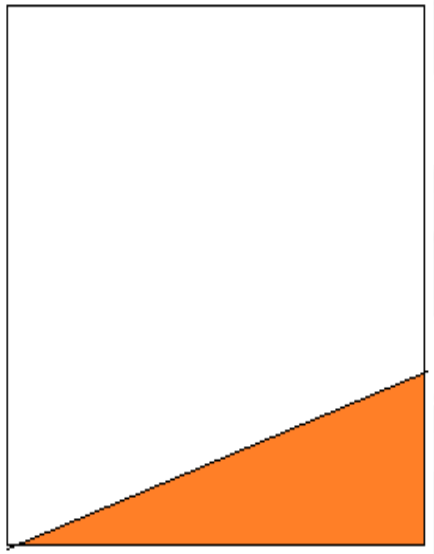
F：顺时针， 150°

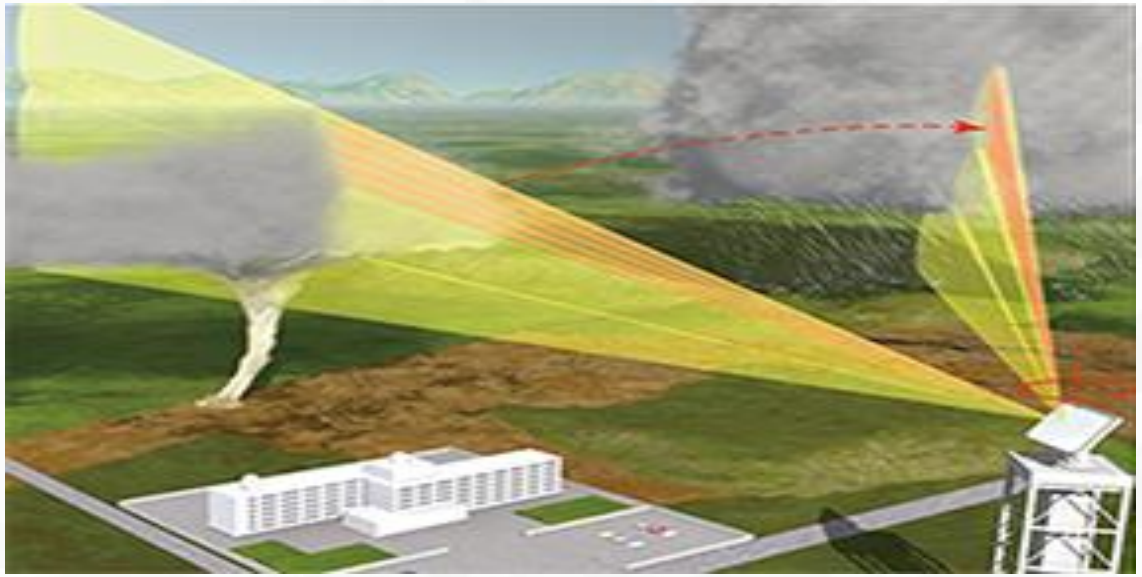
G：顺时针， 30°

关键技术——同时多波束技术 进一步提升相控阵雷达快速探测能力



发射宽波束，利用DBF能力实现多个窄波束同时接受





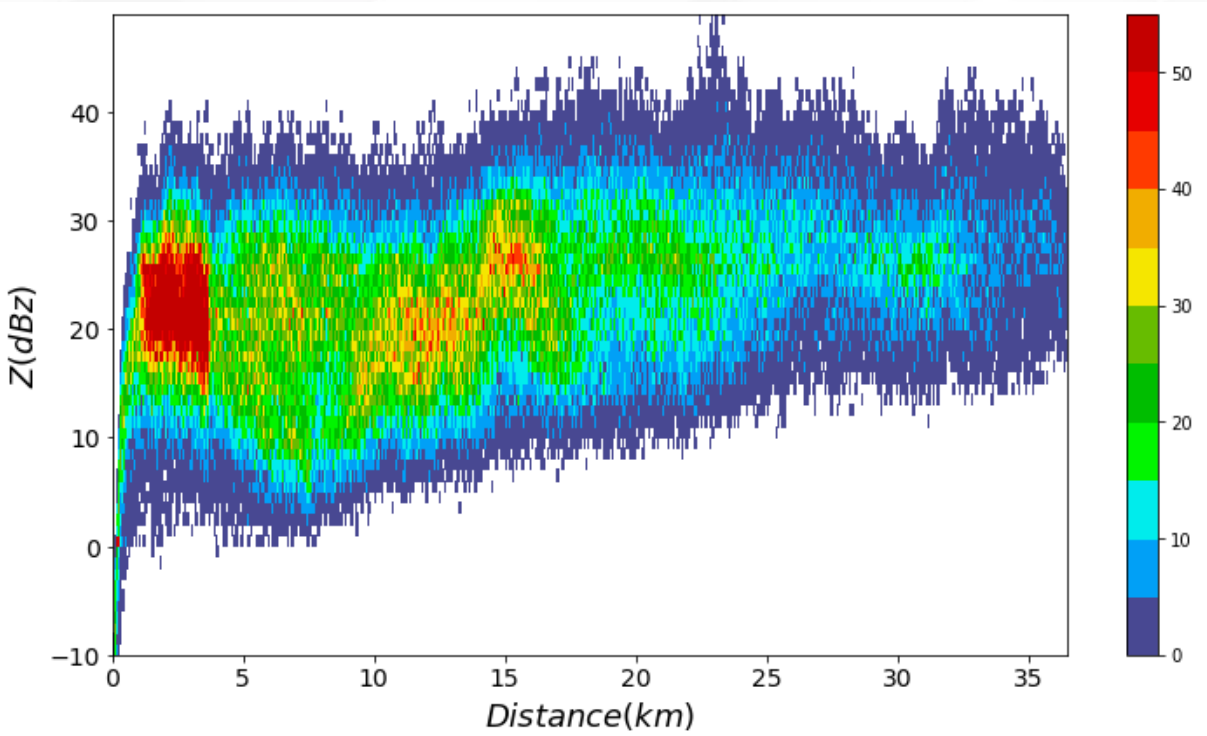
如：4次顺序“宽发窄收”，0.125s 可完成0-90°探测

- **“宽发窄收”灵活可配置，可满足不同场景的探测需求（如人影作业效果评估）**
- **“宽发窄收”的最极限退化模式是“窄发窄收”单波束模式**

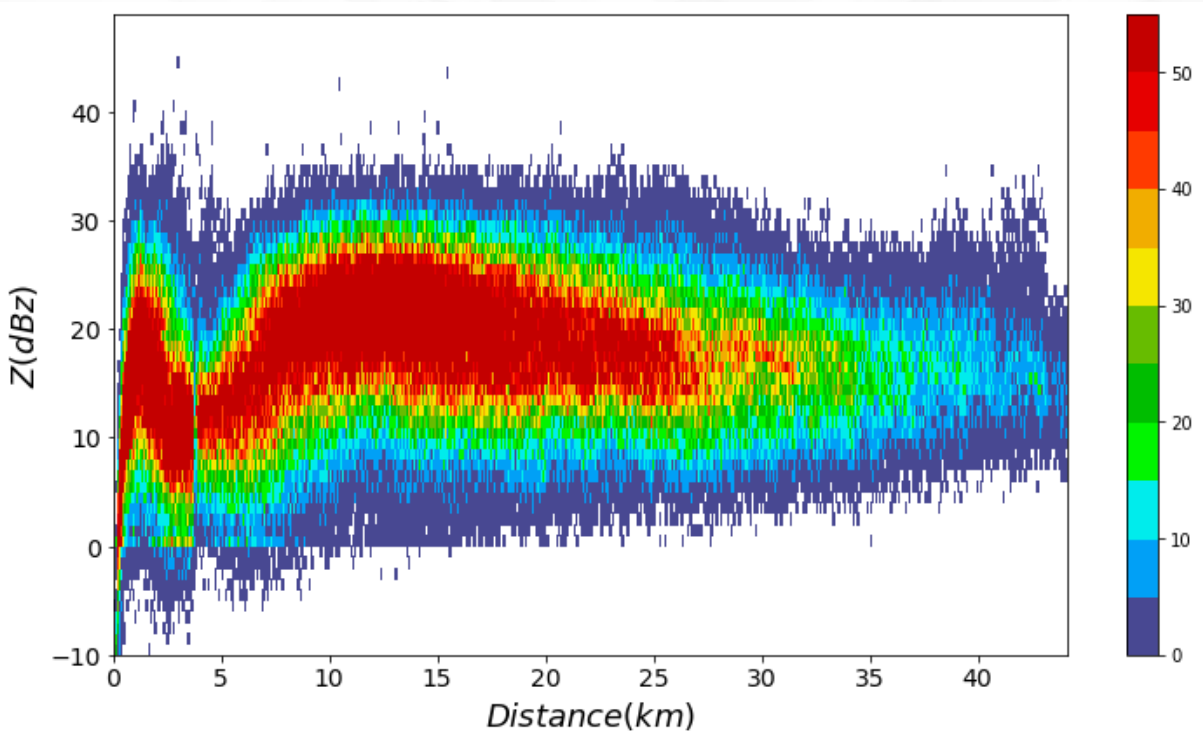
选择和定义合适的探测模式

距离-反射率热力图

宽发窄收0-72°,30s

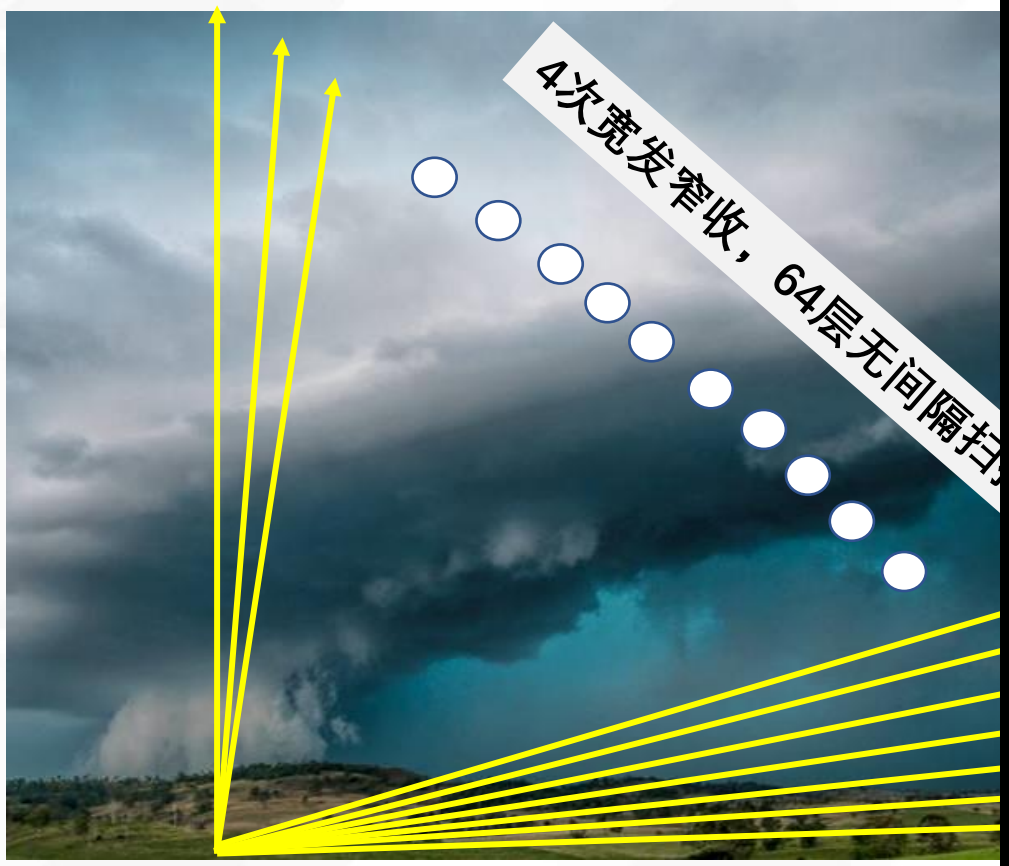


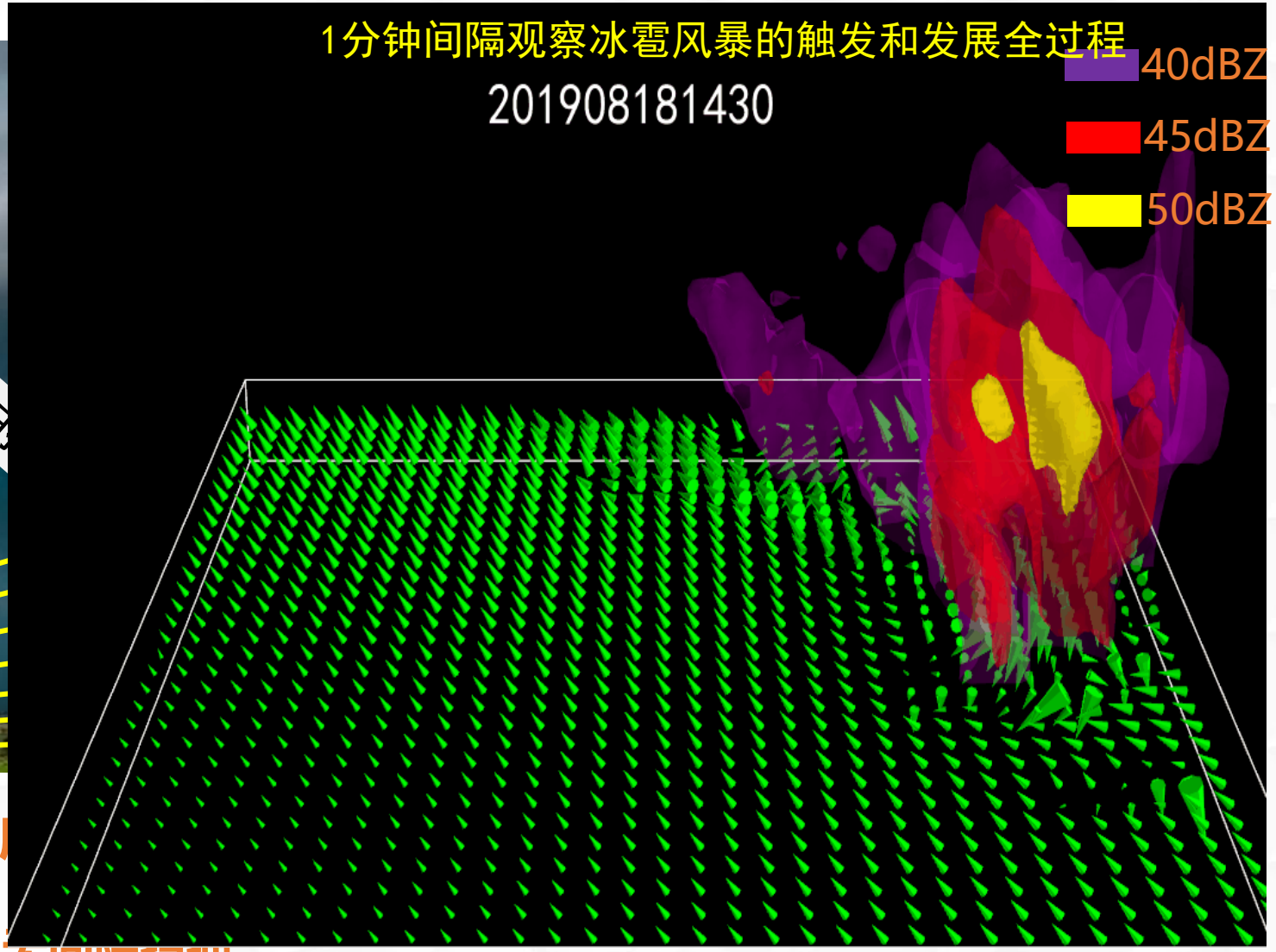
窄发窄收0-22.5°,60s



上海松江X波段相控阵双偏振雷达在两种探测模式下，探测能力的对比
弱回波探测能力提高7-9db

关键性能——RHI无间隔高覆盖快速扫描

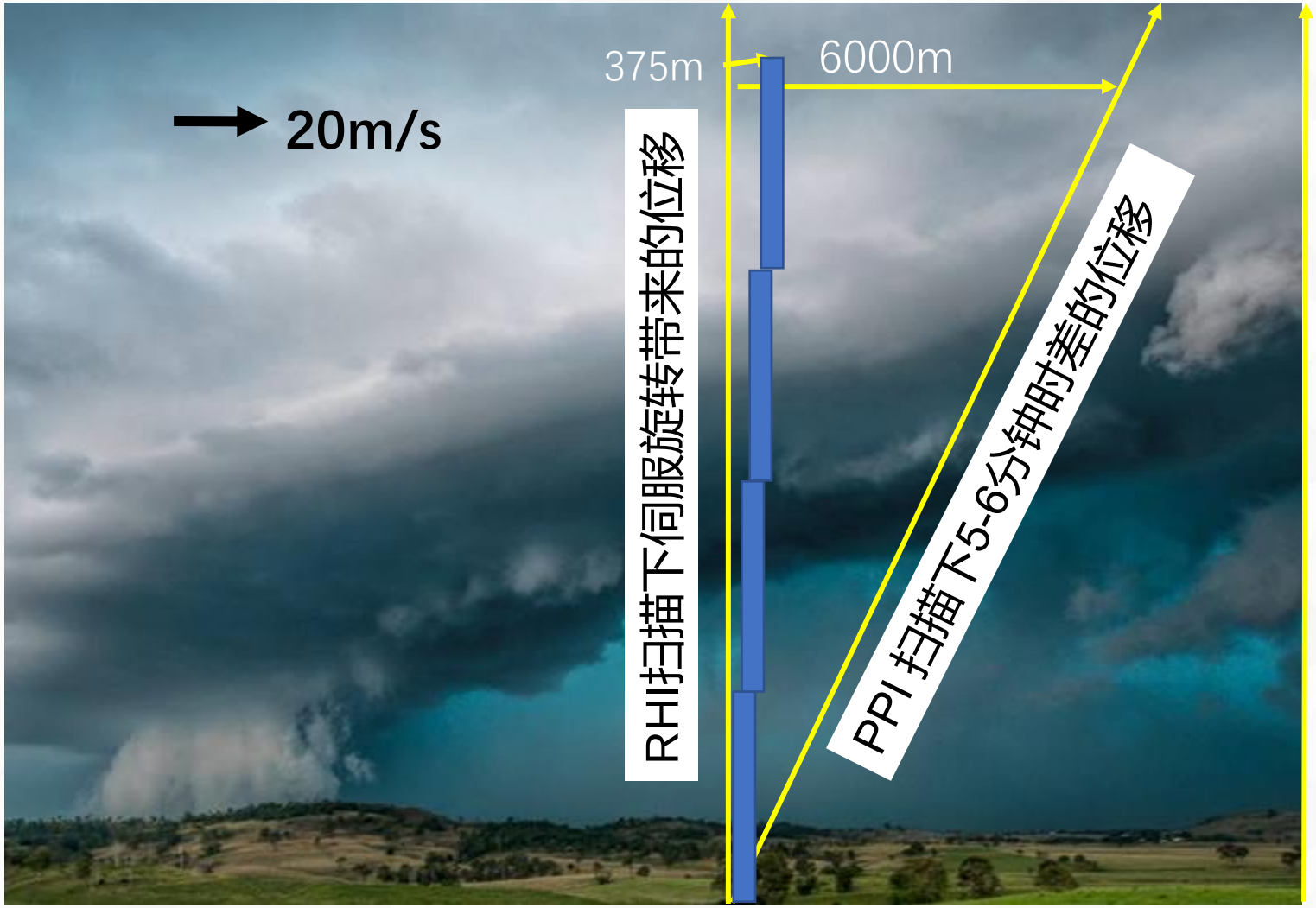




- 相控阵雷达RHI优先，完成0-90度RHI
- 相控阵雷达RHI为垂直连续扫描，64层无间隔扫描

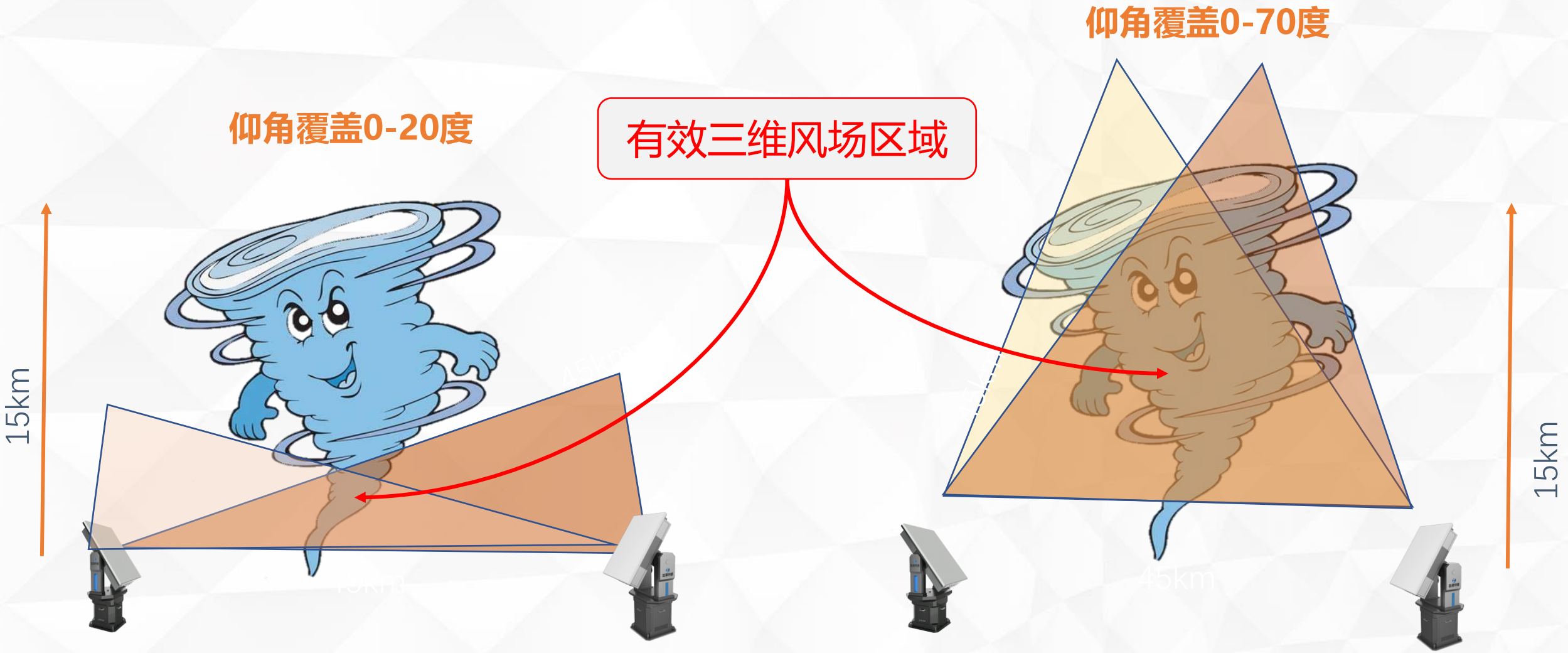
上海三子阵阵列雷达合成反射率强度
完整的冰雹风暴立体结构

关键性能——垂直探测的空间位移差



- 大雷达PPI扫描下，垂直结构的空间误差主要来自PPI之间的时间差
- RHI优先扫描模式下的位移误差主要来源于伺服的旋转（0.125s转1.5°）
- 相控阵雷达RHI优先扫描模式可以获得更精确完整的垂直结构
- S波段机械雷达VCP21模式下，单PPI扫描用时约30s，因此相控阵雷达30s体扫模式PPI时差和S波段机械雷达等效

关键性能——垂直高覆盖探测

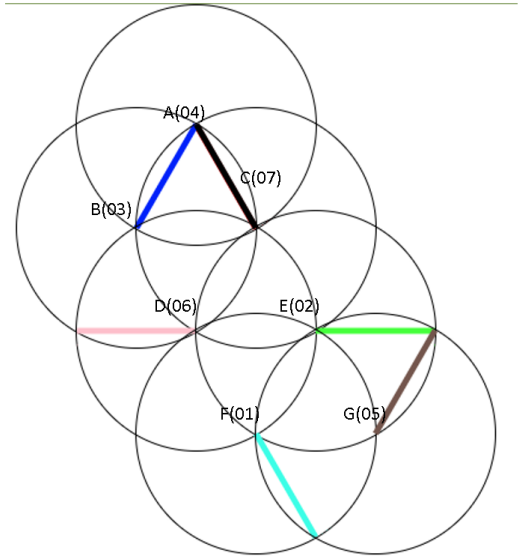


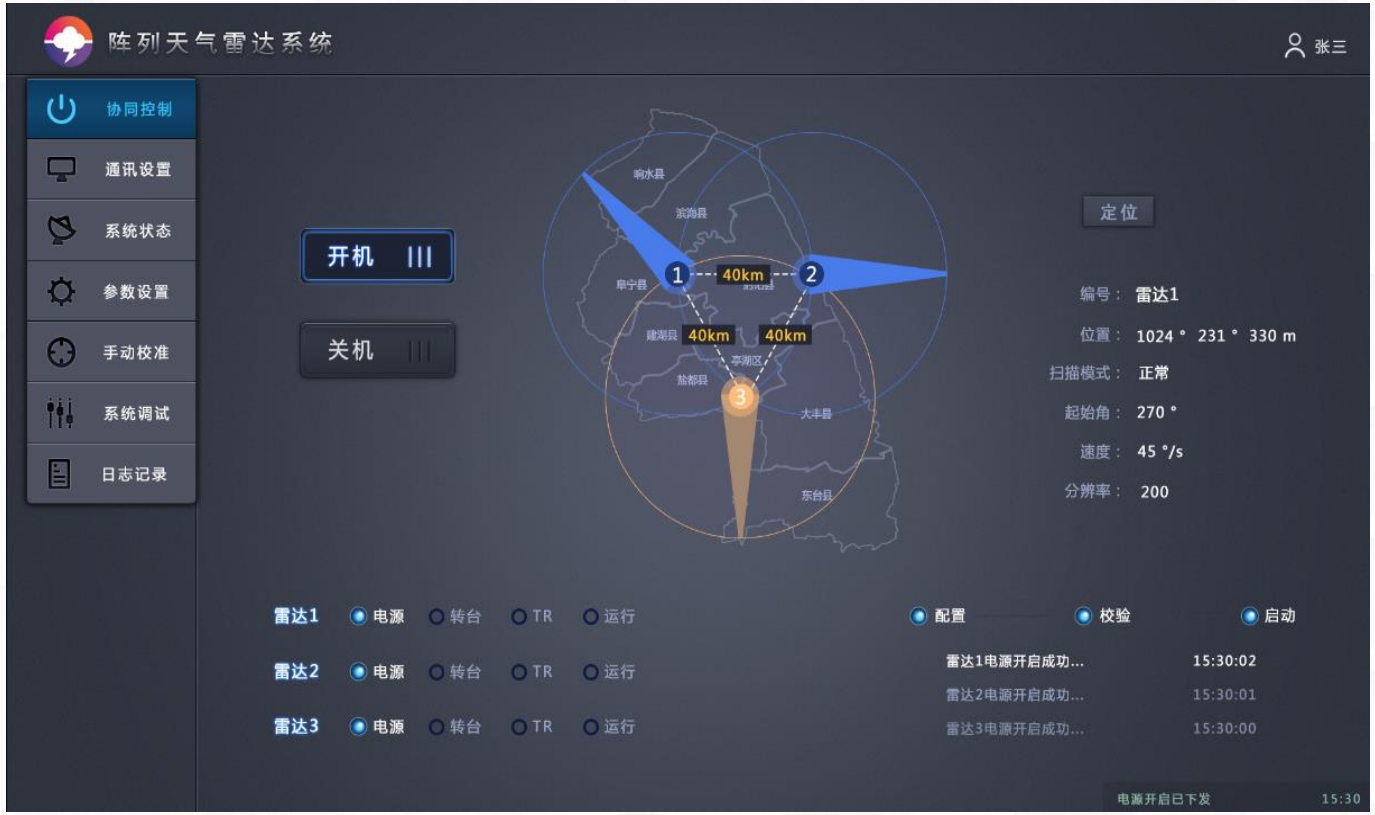
雷达探测距离45km,布设间距45km

关键性能——方位同步精度

- 中心站实时监、控、调功能
- 伺服角度误差每圈自动消除，无累积

从上至下从左至右编号为A-G
子阵初始角度及旋转方向：
A(04)：顺时针，150°
B(03)：顺时针，30°
C(07)：逆时针，330°
D(06)：顺时针，270°
E(02)：逆时针，90°
F(01)：顺时针，150°
G(05)：顺时针，30°





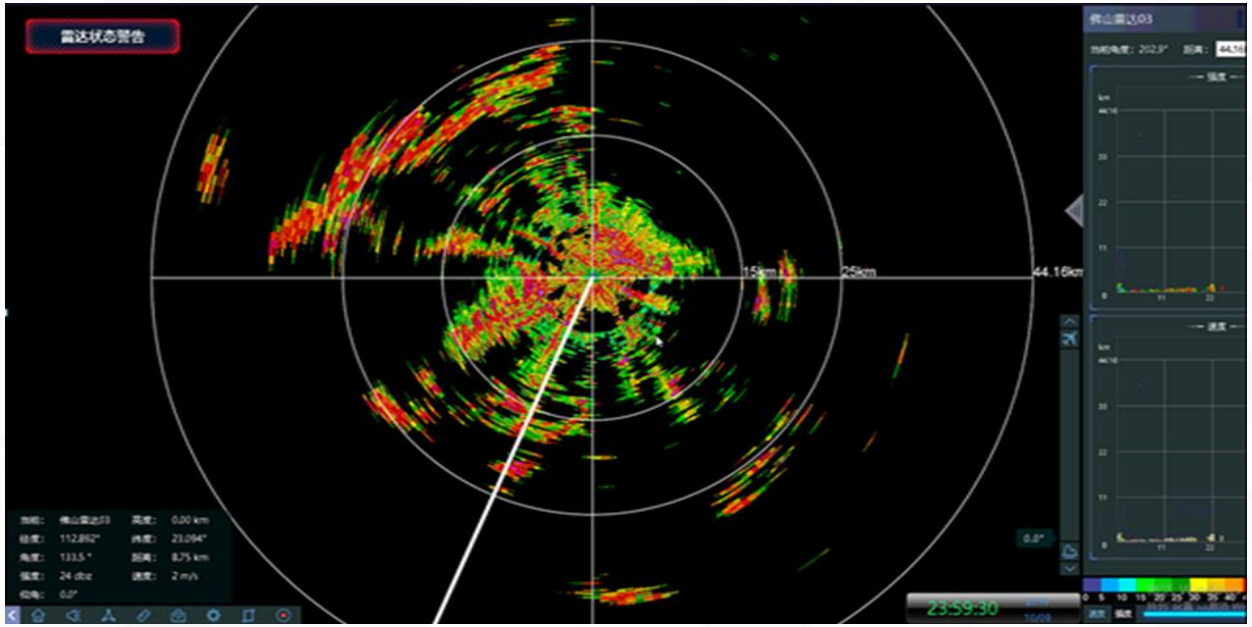
- 连续24小时监测统计结果

	雷达1	雷达2	雷达3	雷达4	雷达5	雷达6	雷达7	7台平均
平均时间偏差（秒）	0.00241	-0.00114	0.00872	0.00736	0.00064	0.00399	0.00873	0.00439
平均体扫周期(秒)	30.00000	29.99997	30.00001	29.99999	29.99995	29.99998	29.99997	29.99998

方位同步的精度是确保合成风场准确的前提

关键性能——杂波消除技术

杂波消除前



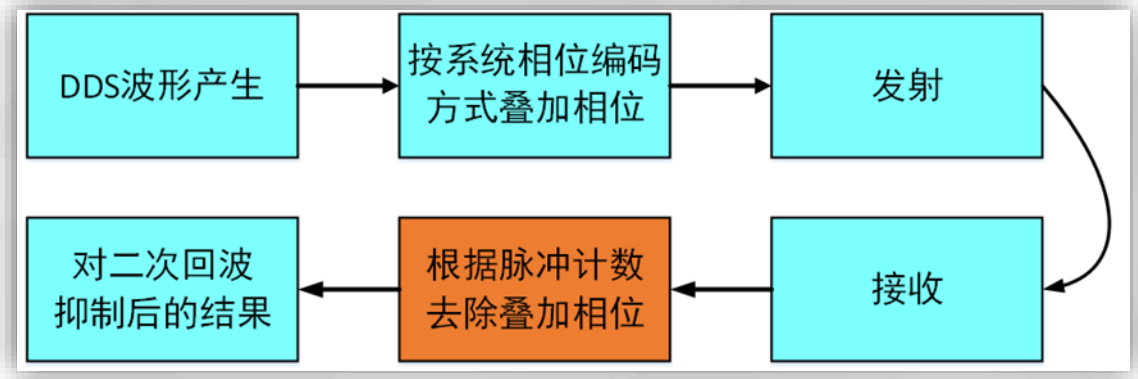
杂波消除后



通过杂波抑制滤波器、双偏振杂波识别、地物模板匹配等多因子关联技术，实现自适应地物杂波、晴空与超折射回波、海杂波、鸟类非气象回波及电磁干扰的抑制和消除，提升雷达数据质量。

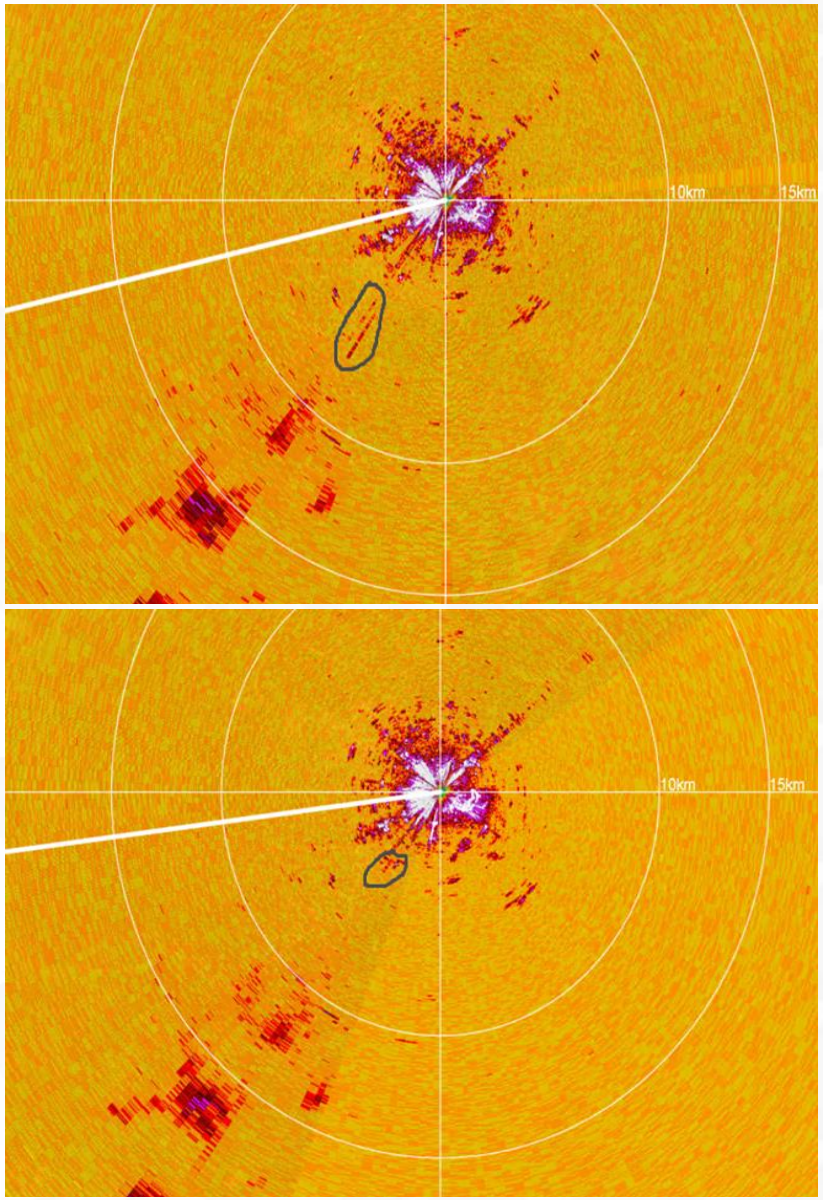
关键性能——距离退模糊

距离退模糊大幅降低距离折叠对气象回波的污染




```
0,-pi/8,-5*pi/8,-14*pi/8,-14*pi/8,-7*pi/8,-11*pi/8,-12*pi /8,...
-12*pi/8,-13*pi/8,-pi/8,-10*pi/8,-10*pi/8,-3*pi/8,-7*pi/8,-pi ,...
-pi,-9*pi/8,-13*pi/8,-6*pi/8,-6*pi/8,-15*pi /8,-3*pi/8,-4*pi/8,...
-4*pi/8,-5*pi/8,-9*pi/8,-2*pi/8,-2*pi/8,-11*pi/8,-15*pi/8,0
```

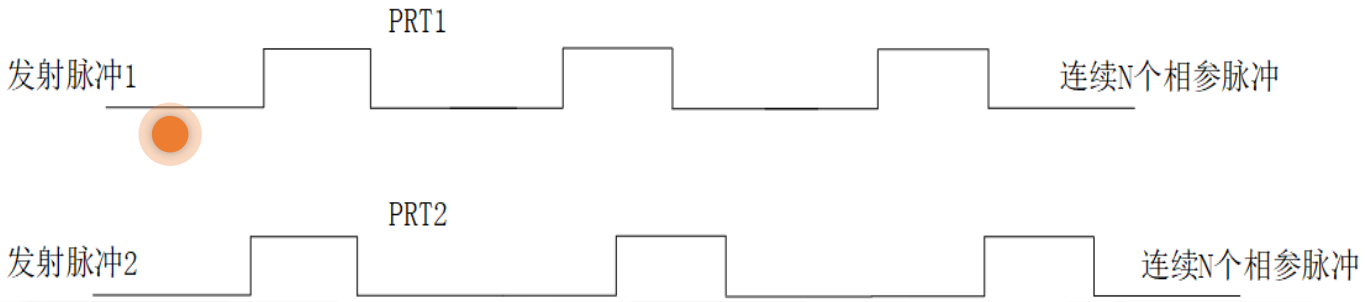
- **脉冲积累数64**
- **二次回波被均匀打散分布在8个谱线上**
- **不会降低一次回波信噪比，不影响速度估计**

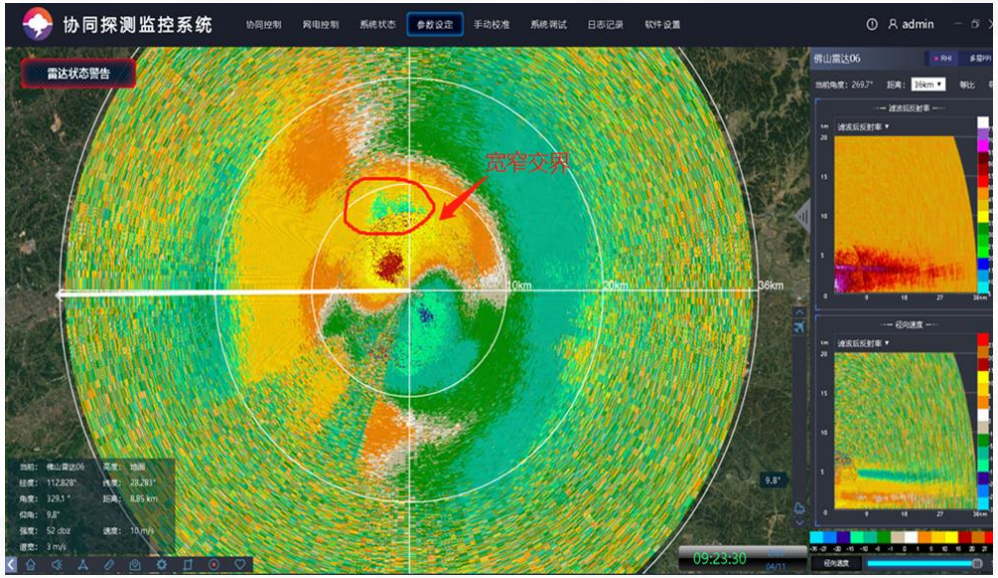


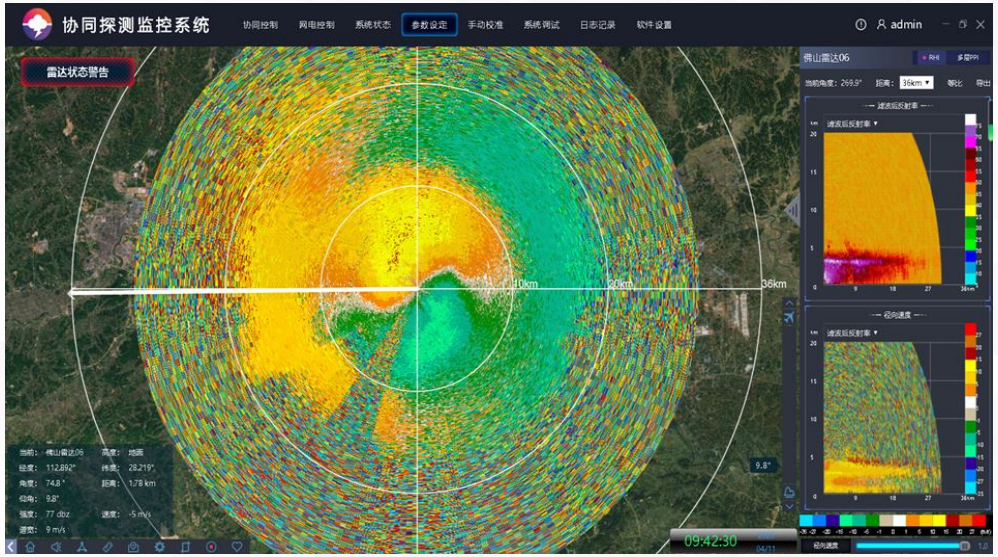
相位编码有效抑制近区折叠回波

关键性能——速度退模糊

速度退模糊大幅提高速度测量范围





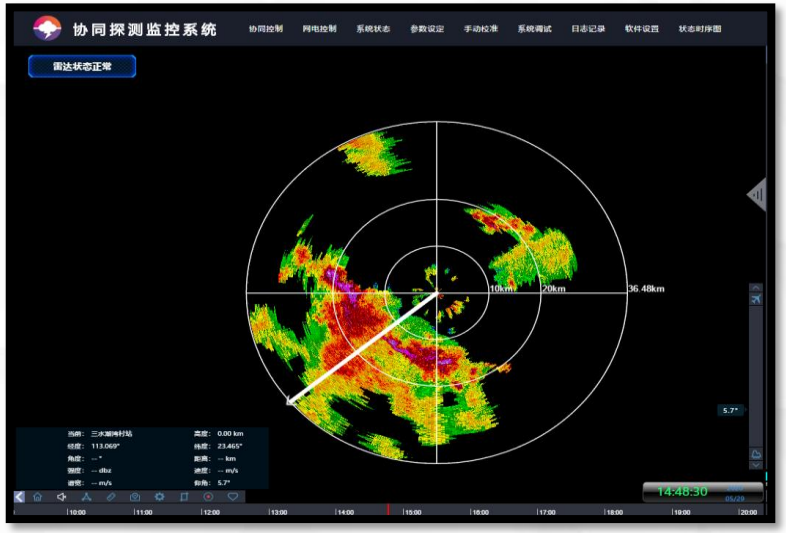


- **采用双重频后，最大速度与T2和T1之间的差值有关，其差值越大，估计的速度范围越大。**
- **通常双重复频率比为3:2、4:3或者5:4。我司采用该技术之后，在60km模式下，探测速度范围大于±60m/s**

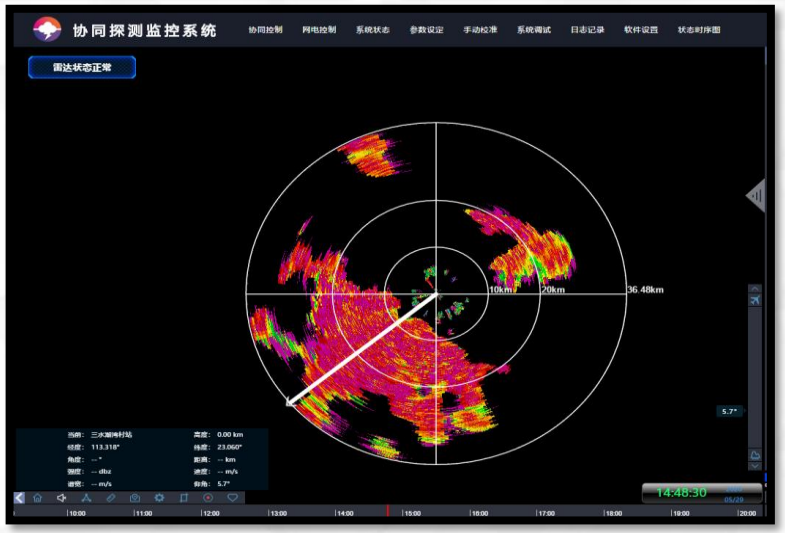
关键性能——双偏振探测

数字多波束双偏振相控阵能提升扫描速度，但引入了多个通道的的收发稳定性和多个波束的H/V一致性难题，我们通过多项技术保证了多波束双偏振参量的稳定性和精准度；

- 一体成型天线罩，超疏水涂层
- 高隔离低副瓣双偏振天线
- 多波束偏振一致性整机标定
- 收发通道稳定性实时校准
- 多因子杂波抑制
- 距离和速度退模糊
- 负仰角偏振补偿
- 超低副瓣波束隔离
- 先进数据质控







关键性能——竞争力分析

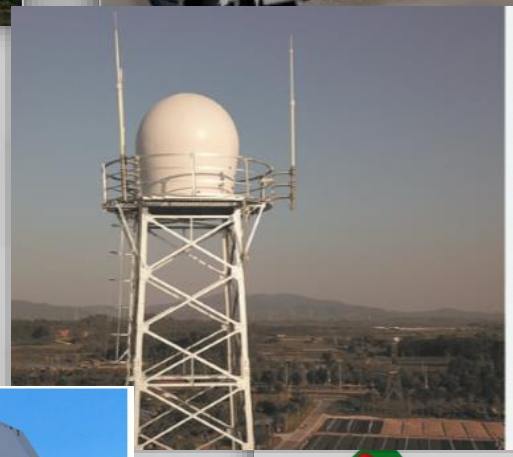
全球主要相控阵天气雷达

- RSDOW
- MWR-05XP
- OU-AIR
- CASA Phase-Tilt
- Toshiba X-PAR
- 38所、23所等
- 宜通华盛
- 纳睿达
- ……



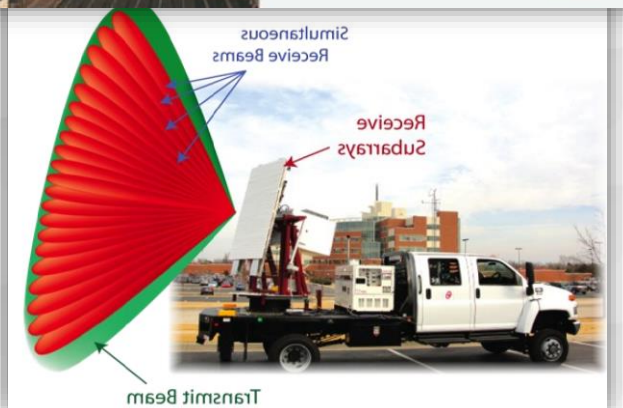












关键性能——竞争力分析

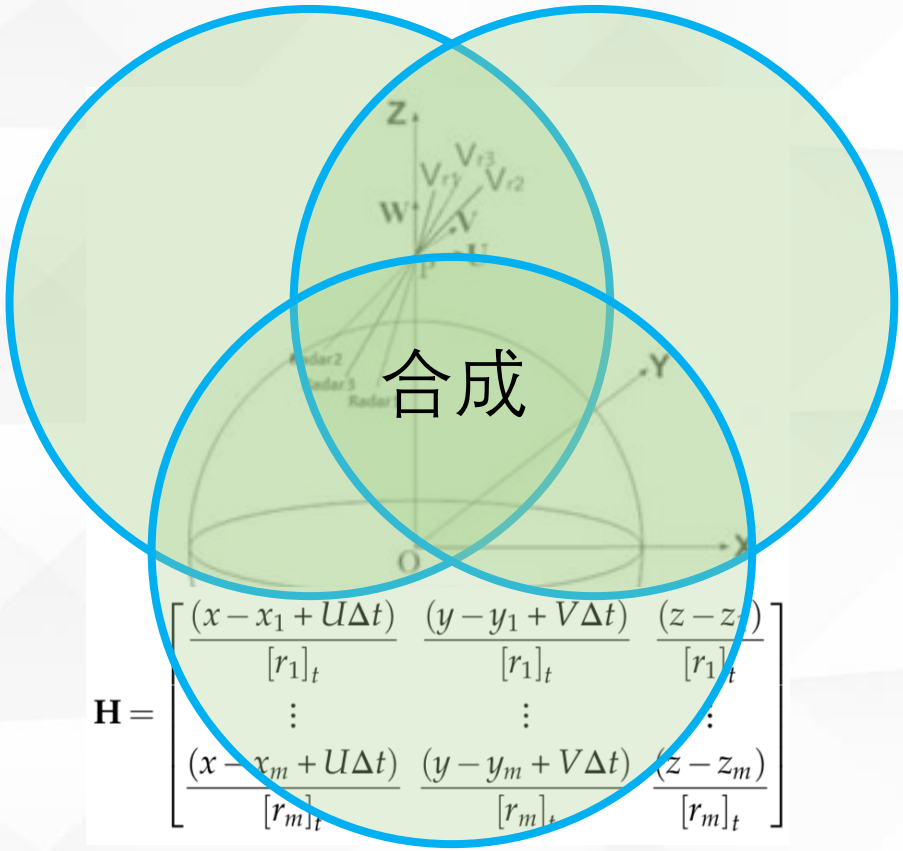
指标	RSDOW	MWR-05XP	OU-AIR	Toshiba X-PAWR
工作频率	X波段	X波段	X波段	X波段
发射机功率	40kw	16kw	3.5kw	430w
探测距离	-	30~60km	40km	20~60km
距离分辨率	11m	150m	37.5m	100m
天线极化方式	单极化	单极化	单极化	单/双极化
波束宽度（方位）	0.9	1.8	1.0	1°
波束宽度（垂直）	0.9	1.9	1.0	1°
接收波束体质	模拟单波束	模拟单波束	数字多波束	数字多波束
反射率灵敏度	10dBZ@10 km	-15dBZ@10 km	12dBZ@10Km	/
体扫时间	7/14s（360°*20°）	24s（360°*20°）	5.5s（90°*20°）	30s@60km (360°*100°)
类型	相控阵	相控阵	相控阵	相控阵
发射机类型	行波管	行波管	行波管	固态

与国际领先水平并行

02 关键算法和产品

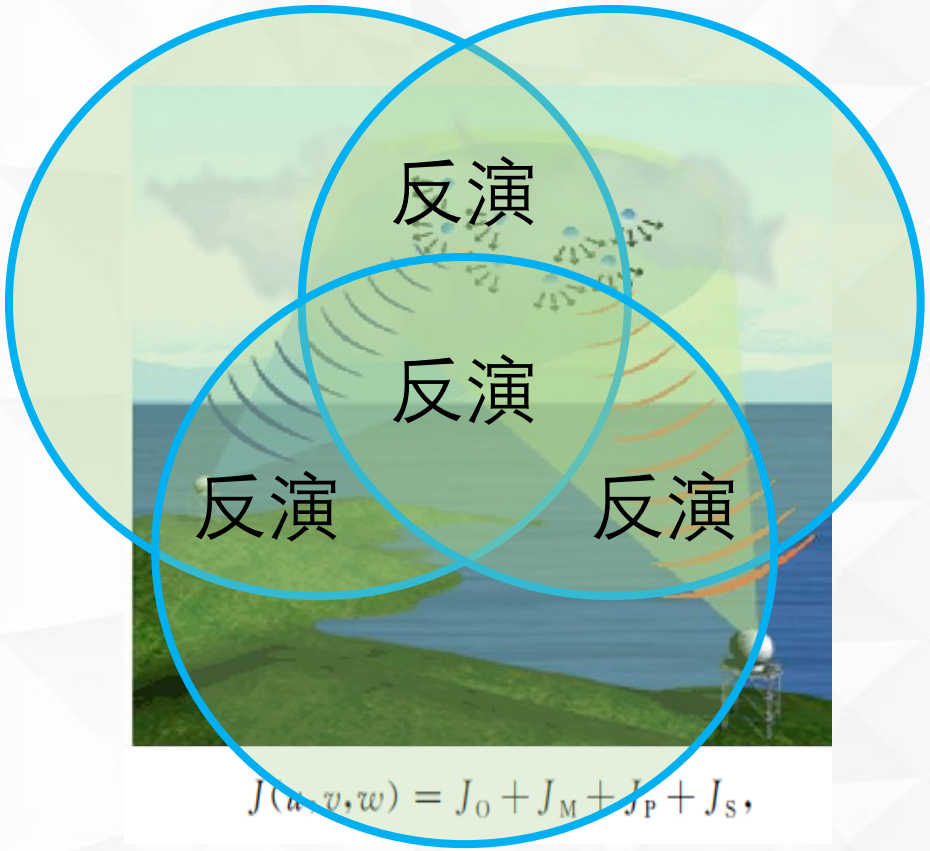
关键技术——三维风场获取技术

- 准确性保障：径向速度准确性+子阵间数据时差小
- 完整性保障：俯仰高覆盖



$$\mathbf{H}=\begin{bmatrix} \dfrac{(x-x_1+U\Delta t)}{[r_1]_t} & \dfrac{(y-y_1+V\Delta t)}{[r_1]_t} & \dfrac{(z-z_1)}{[r_1]_t} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \dfrac{(x-x_m+U\Delta t)}{[r_m]_t} & \dfrac{(y-y_m+V\Delta t)}{[r_m]_t} & \dfrac{(z-z_m)}{[r_m]_t} \end{bmatrix}$$

三子阵合成风场



$$J(u,v,w)=J_{\mathrm{O}}+J_{\mathrm{M}}+J_{\mathrm{P}}+J_{\mathrm{S}},$$

双（多）子阵反演风场

关键性能——三维合成风场准确性

风场的精度取决于：

1. 算法的数学原理
2. 多部雷达观测数据时差
3. 雷达位置相对于测点的几何形状
4. 天气事件的特征(尺度、强度、平移速度等)

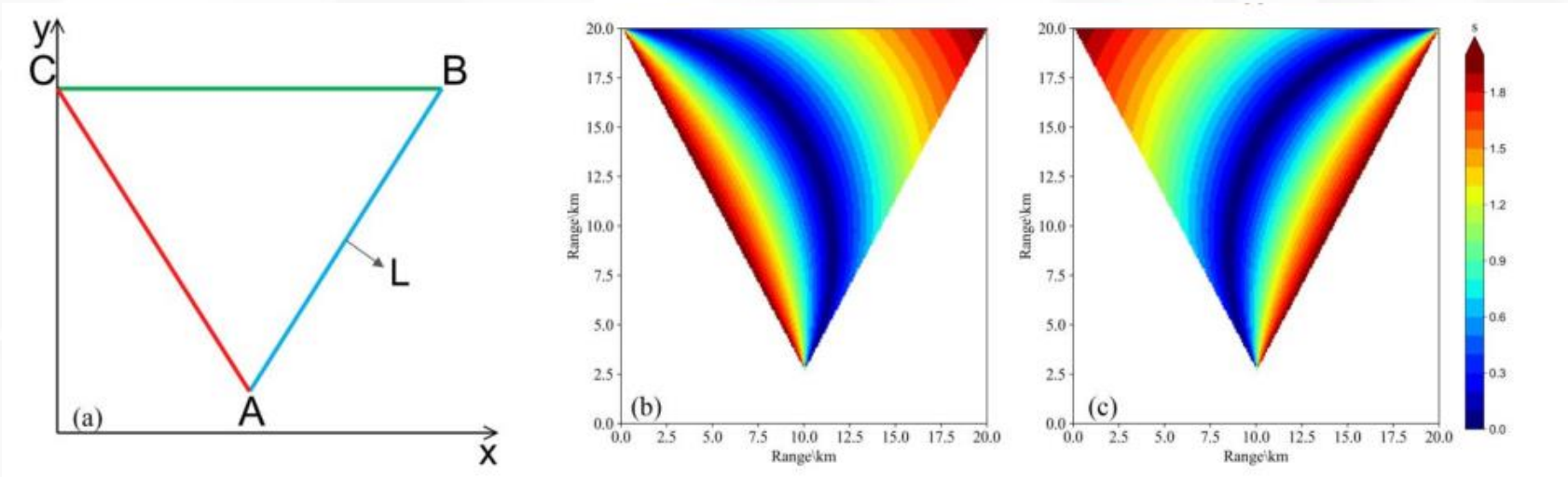
(Park and Lee 2008;Chen and Chandrasekar 2018)

关键性能——三维合成风场准确性

数据时差对合成风场准确性的影响

以时差（2s）的阵列天气雷达数据为标准，模拟多部雷达之间不同步观测,存在不同数据时差的情况，分析合成风场对数据时差敏感性和误差程度。

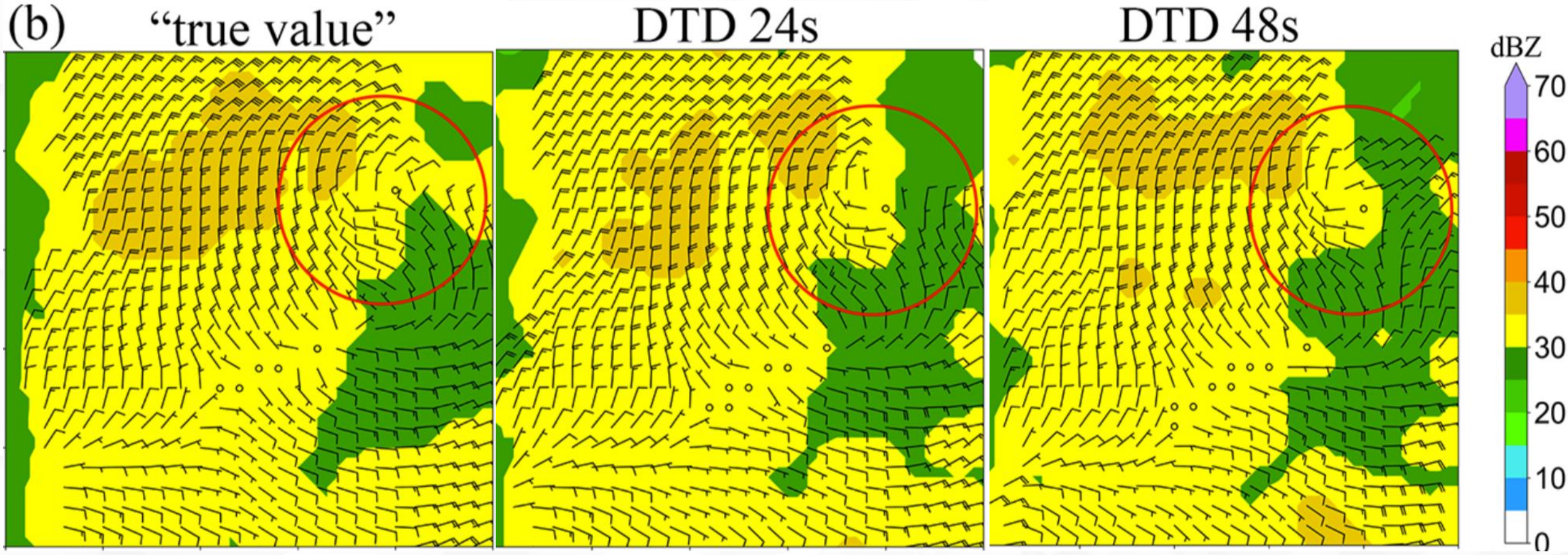
8组不同时差试验：12 s，24 s，…， 84 s，96 s，评估风场的误差。



相控阵前端A、B、C，假设以A为参考，B和C相对于A的数据时差分别为tB-tA、tC-tA。

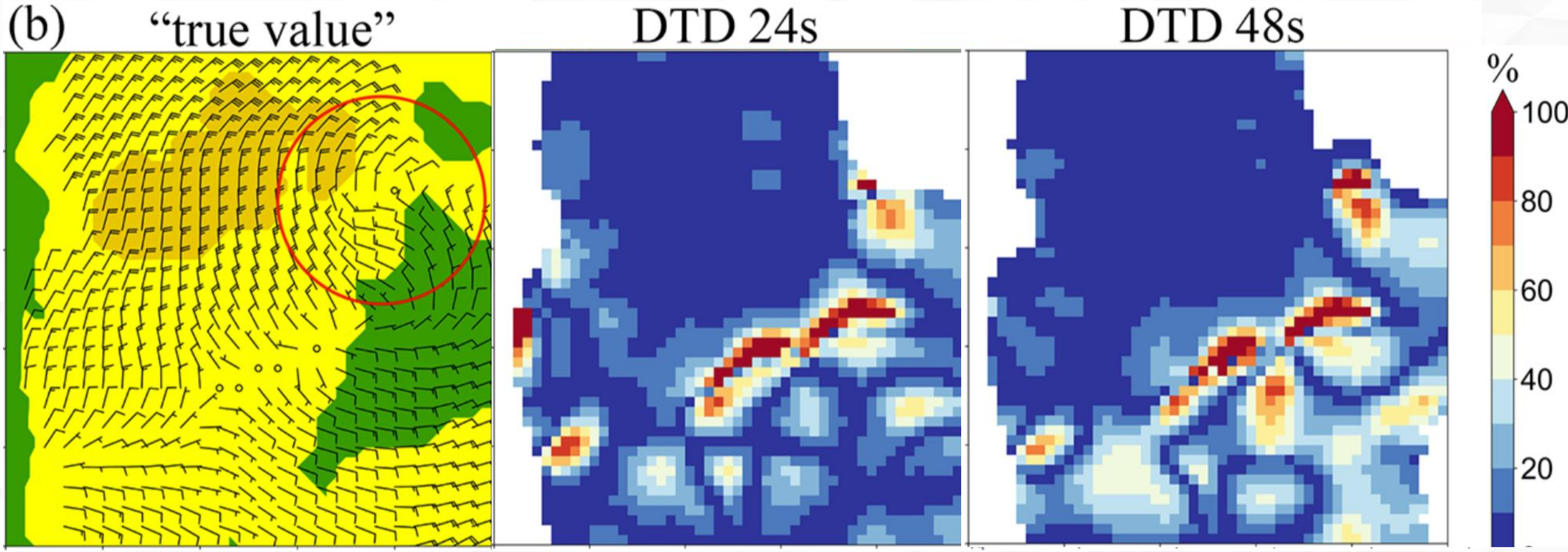
关键性能——三维合成风场准确性

CASE1: 小尺度涡旋(5km)，缓慢移动(平流速度4 m s-1)的对流系统（最大回波顶高为9 km)



关键性能——三维合成风场准确性

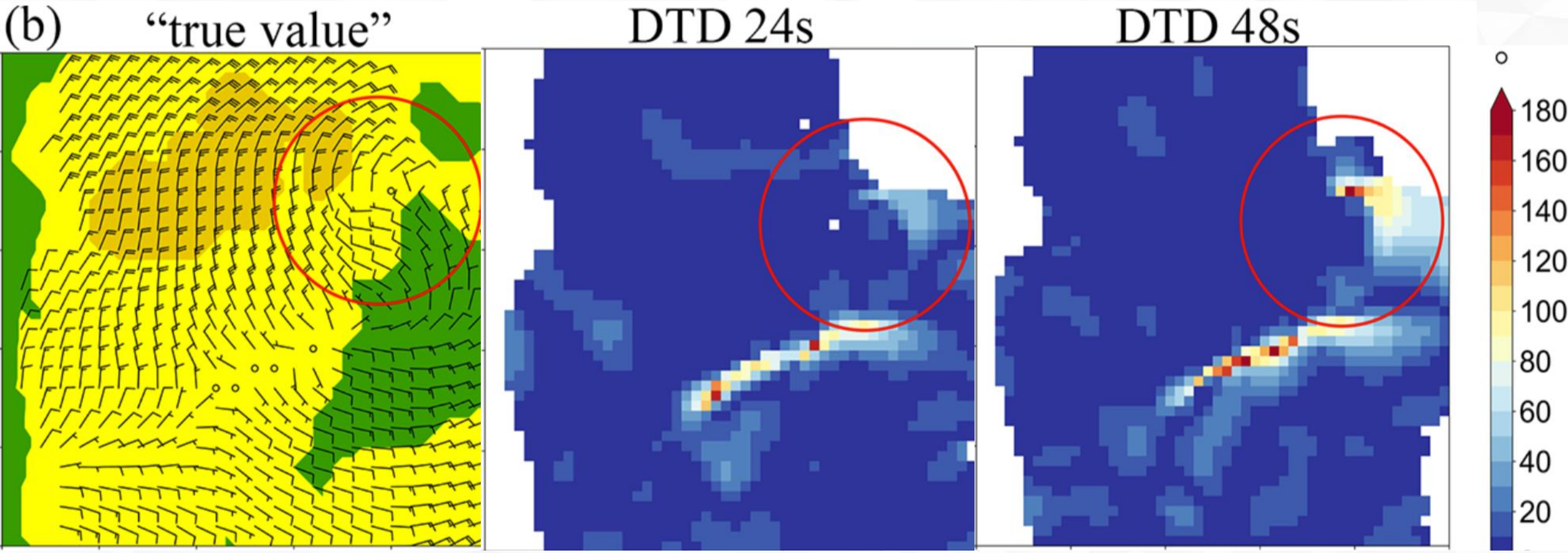
水平风速相对误差空间分布



流场越复杂的区域（切变线、涡旋），相对误差越大；时差越大，误差也越大

关键性能——三维合成风场准确性

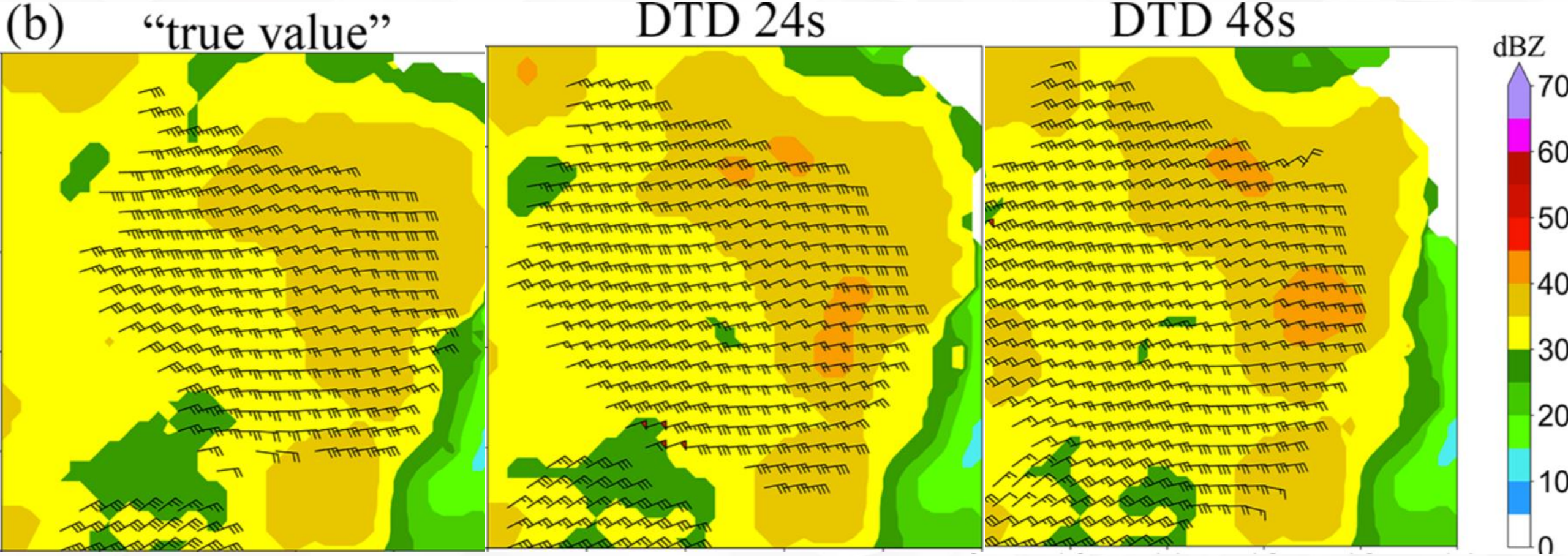
水平风向误差空间分布



流场越复杂的区域（切变线、涡旋），误差越大，甚至反向；时差越大，误差也越大

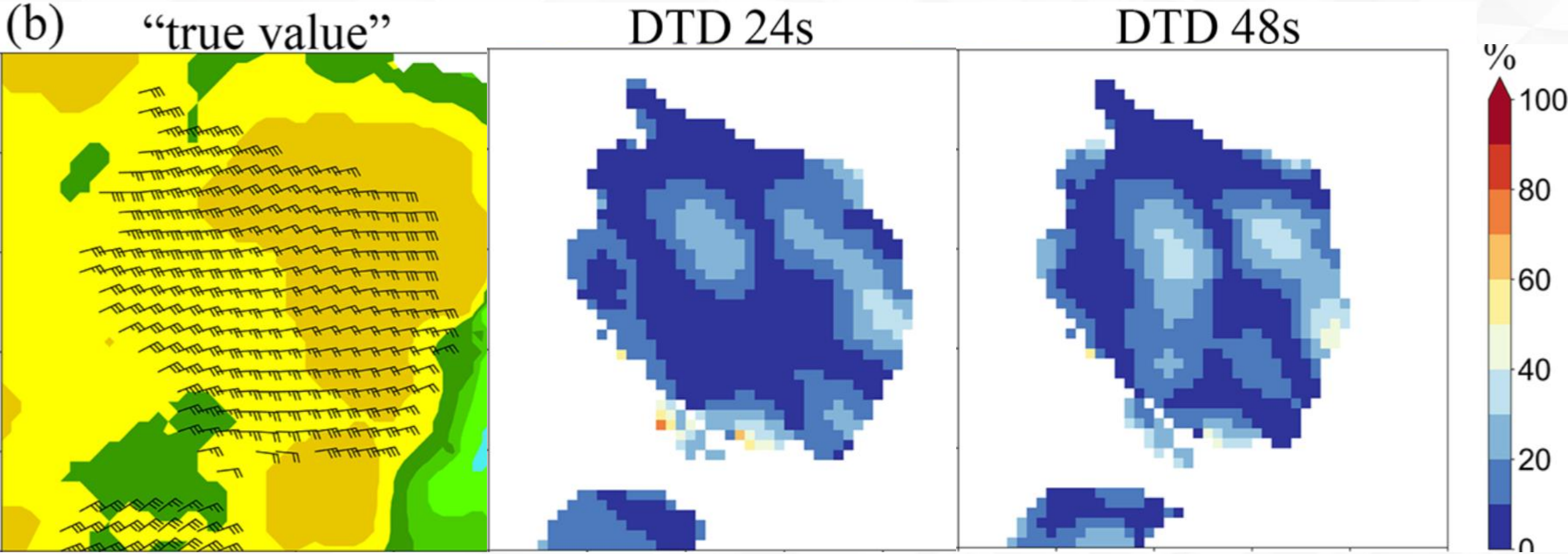
关键性能——三维合成风场准确性

CASE2:稳定性降水系统， 10m s-1的速度移动



关键性能——三维合成风场准确性

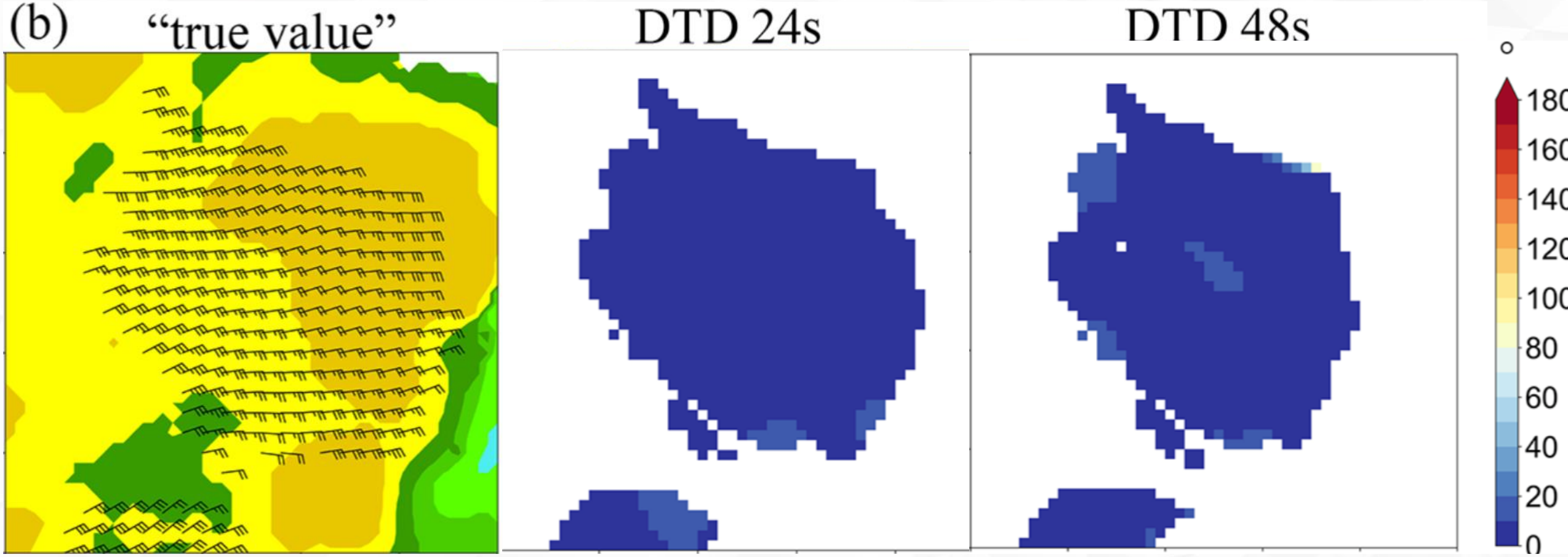
水平风速相对误差空间分布



相同时间差下，相对误差明显小于对流系统

关键性能——三维合成风场准确性

水平风向相对误差空间分布



相同时间差下，误差明显小于对流系统

关键性能——三维合成风场准确性

定量评估：水平风速相对误差超过20%，水平风向误差超过10%， 格点占总格点数的比率

252 SOLA, 2020, Vol. 16, 252−258, doi:10.2151/sola.2020-042

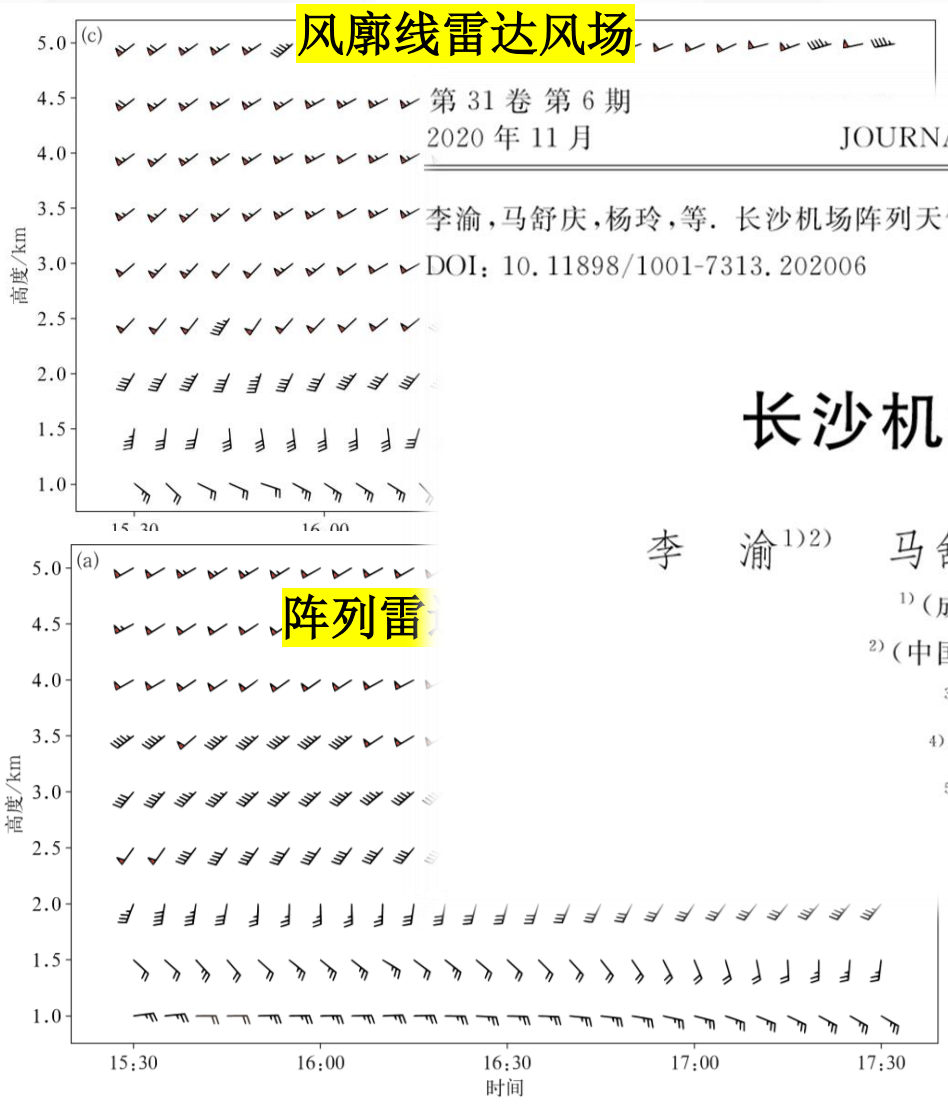
Sensitivity Analysis on Data Time Difference for Wind Fields Synthesis of Array Weather Radar

Yu Li[1,3], Shuqing Ma[2], Ling Yang[1,3], Xiaoqiong Zhen[1,3,4], and Dan Qiao[5]
[1]College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu, China
[2]Meteorological Observation Center, China Meteorological Administration, Beijing, China
[3]China Meteorological Administration Key Laboratory of Atmospheric Sounding, Chengdu, China
[4]Institute of Atmospheric Physics, China Academy of Sciences, Beijing, China
[5]Rayshon Technology Co. Ltd., Beijing, China

- **数据时差对风场的准确性影响很大,随着数据时差的增大，风场误差也在增大。**
- **对流性降水：数据时差为24s时；非对流性降水:数据时间差超过84s时，合成风场误差水平较高。**

关键性能——三维反演风场准确性

与风廓线雷达对比



第 31 卷 第 6 期 应 用 气 象 学 报 Vol. 31, No. 6
2020 年 11 月 JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGICAL SCIENCE November 2020

李渝,马舒庆,杨玲,等. 长沙机场阵列天气雷达风场验证. 应用气象学报,2020,31(6):000-000.
DOI: 10.11898/1001-7313.202006

长沙机场阵列天气雷达风场验证

李 渝[1)2)] 马舒庆[3)] 杨 玲[1)2)*] 甄小琼[1)2)4)] 乔 丹[5)]

[1)](成都信息工程大学电子工程学院，成都 610225)
[2)](中国气象局大气探测重点开放实验室，成都 610225)
[3)](中国气象局气象探测中心，北京 100081)
[4)](中国科学院大气物理研究所，北京 100029)
[5)](雷象科技(北京)有限公司，北京 100089)

摘 要

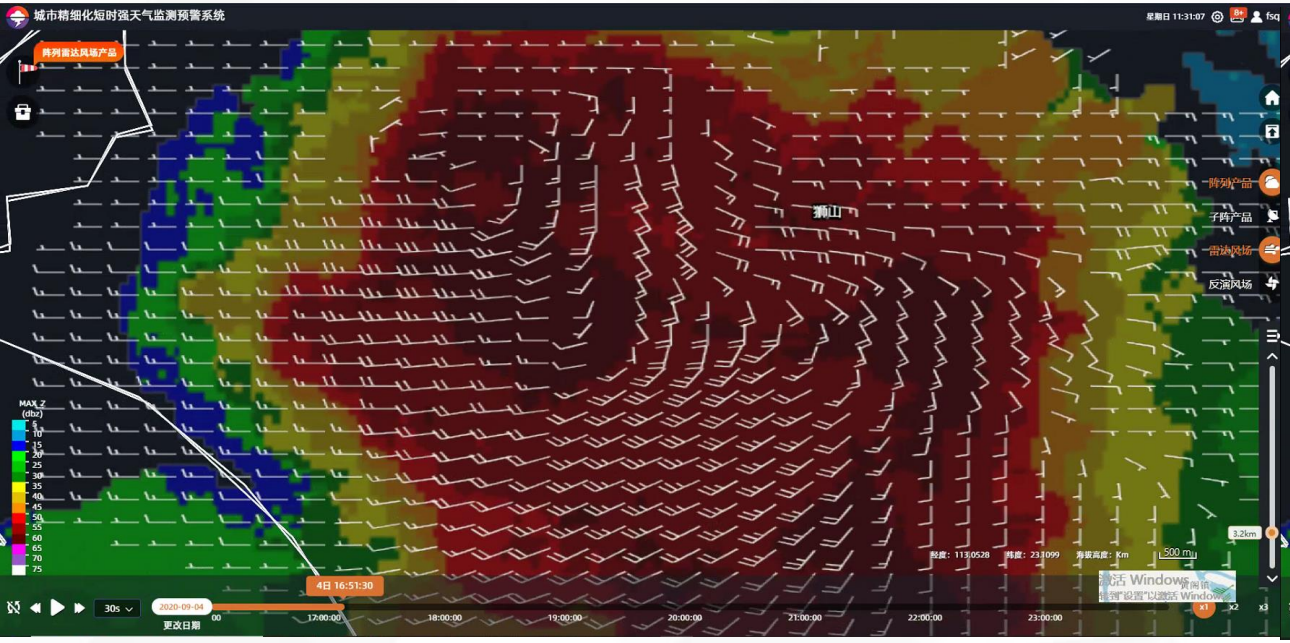
	水平风向	
%	平均绝对偏差/(°)	均方根误差/(°)
	7.15	10.06
	10.81	15.87
	9.19	15.55
	5.72	7.56
	9.42	17.49

	水平风向	
%	平均绝对偏差/(°)	均方根误差/(°)
	47.60	41.46
	42.82	33.88
	55.89	58.24
	39.79	52.89

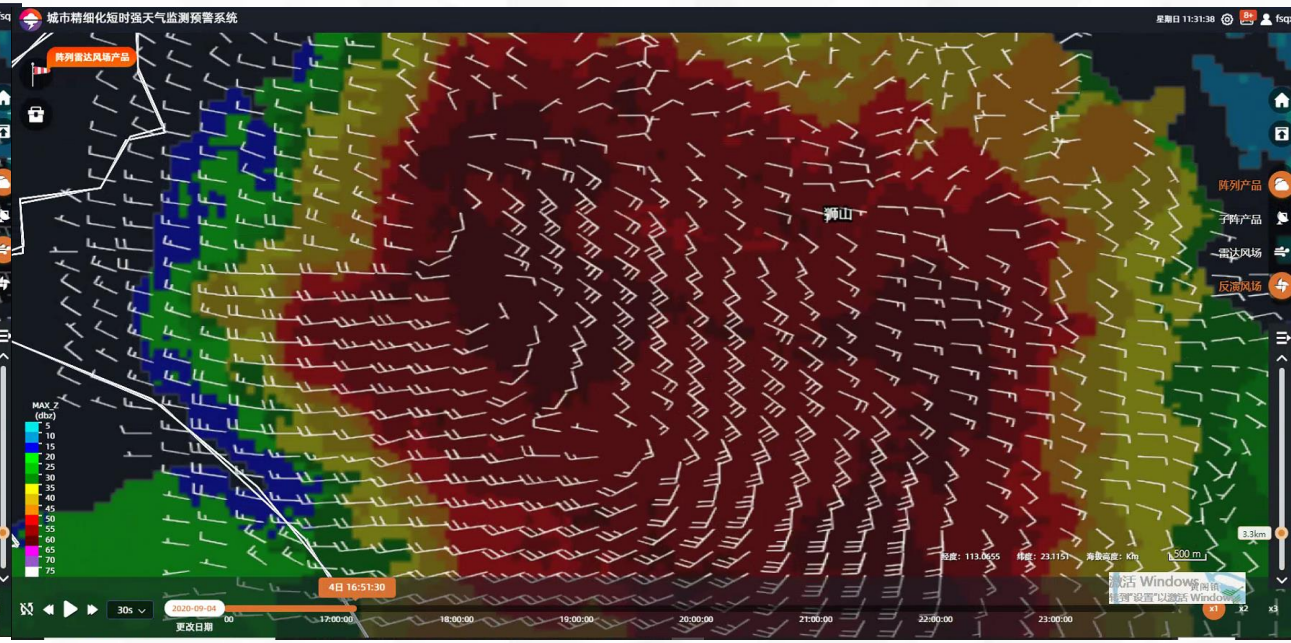
- 稳定性降水：反演风场、合成风场、风廓线雷达风场三者较为一致
- 对流性降水：风廓线雷达风场、反演风场（合成风场）有较大差异

关键性能——三维反演风场准确性

每一次降水过程，提供两种风场的实时对比，不断检验和优化



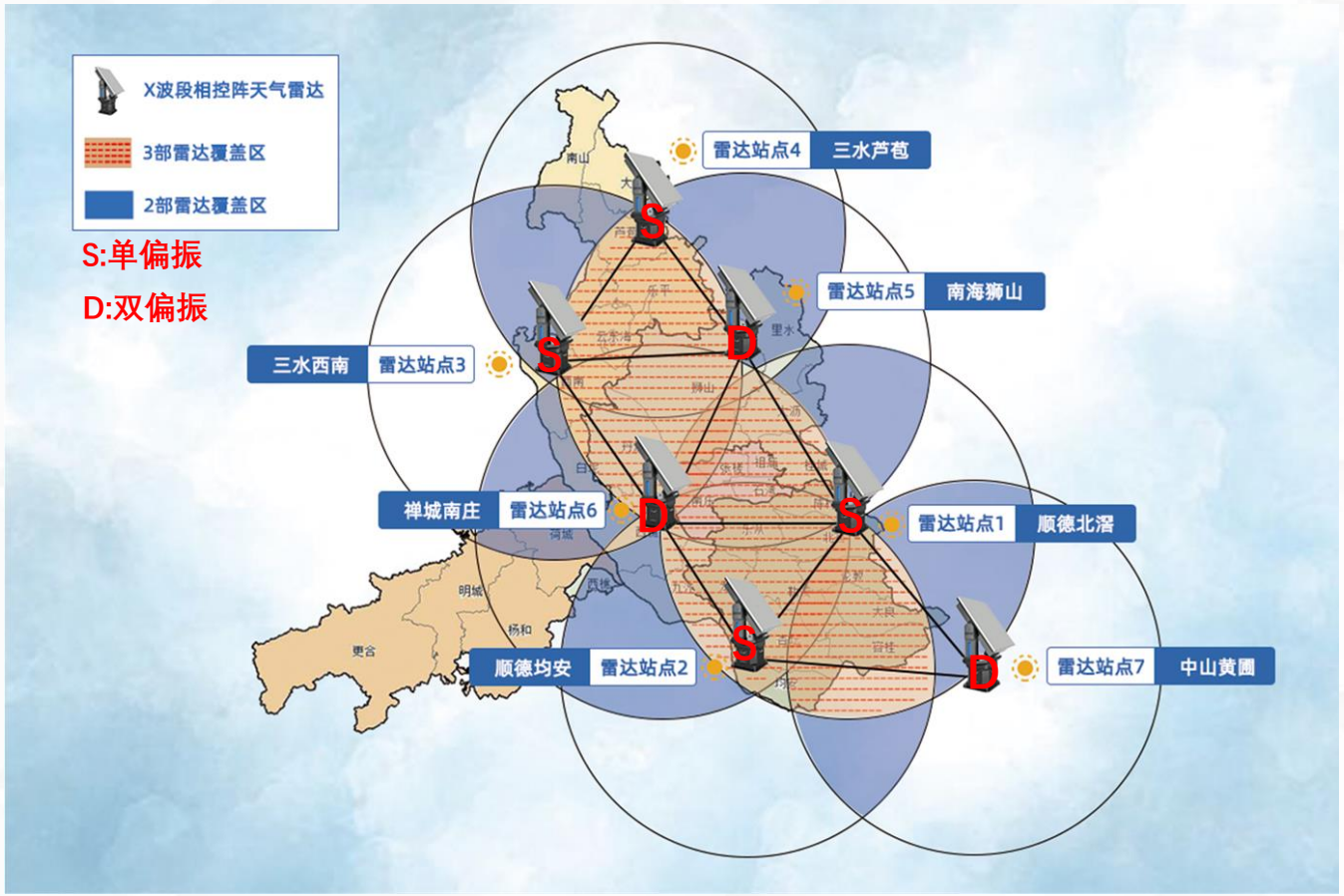
合成风场



反演风场

03 应用效果初步分析

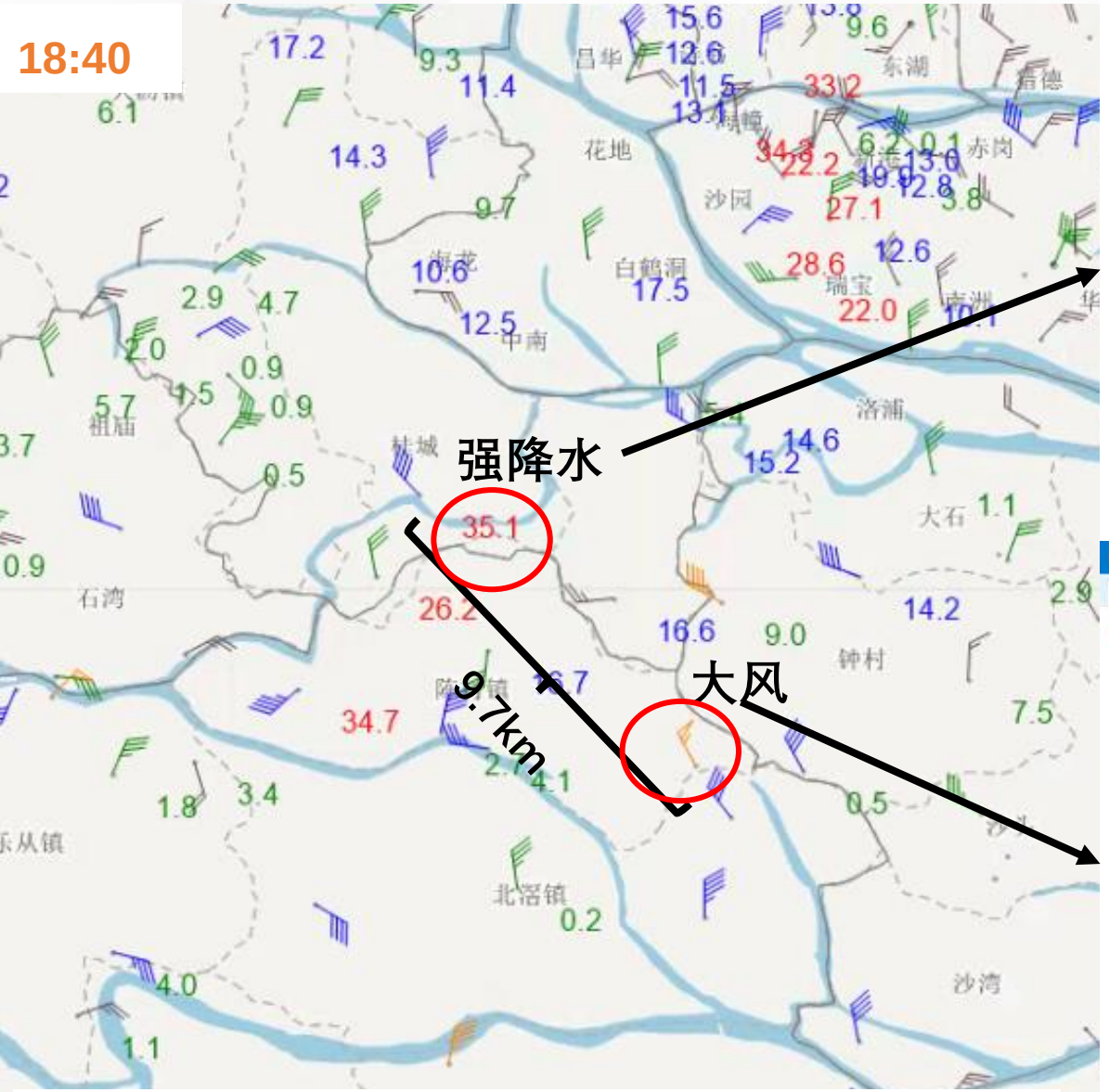
佛山阵列雷达龙卷探测系统

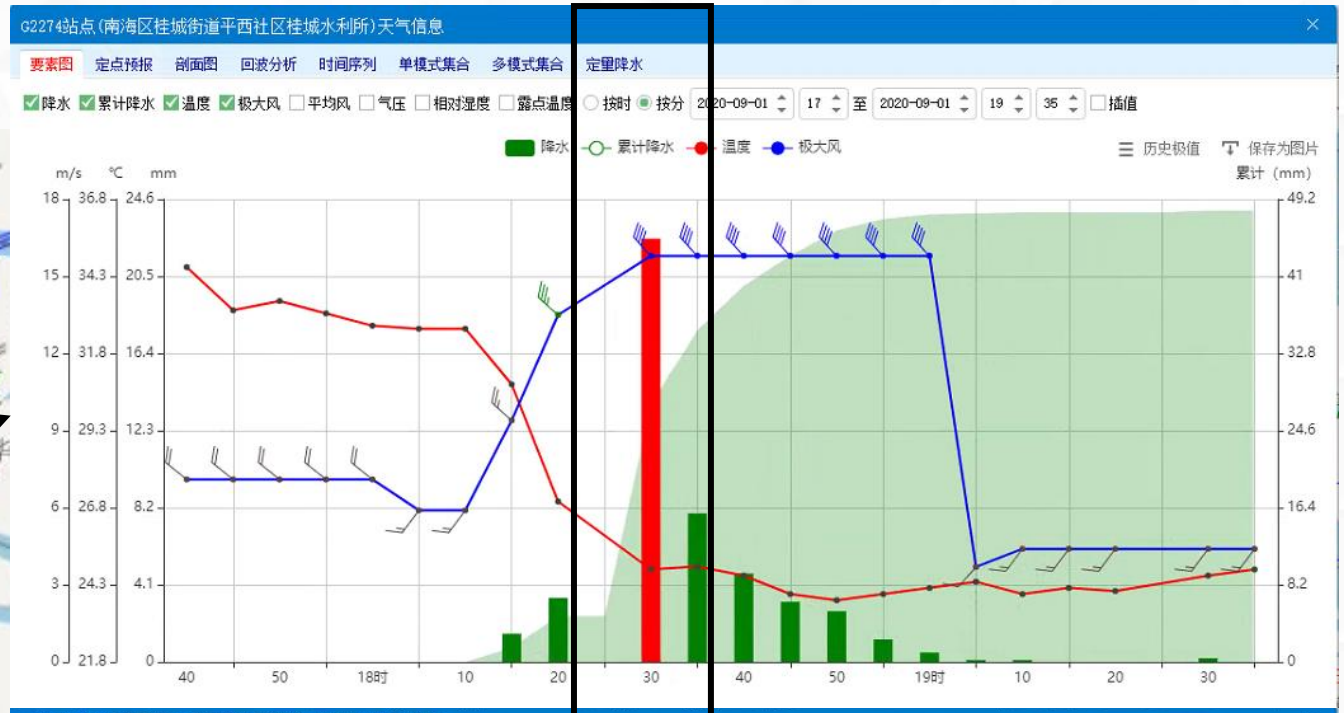


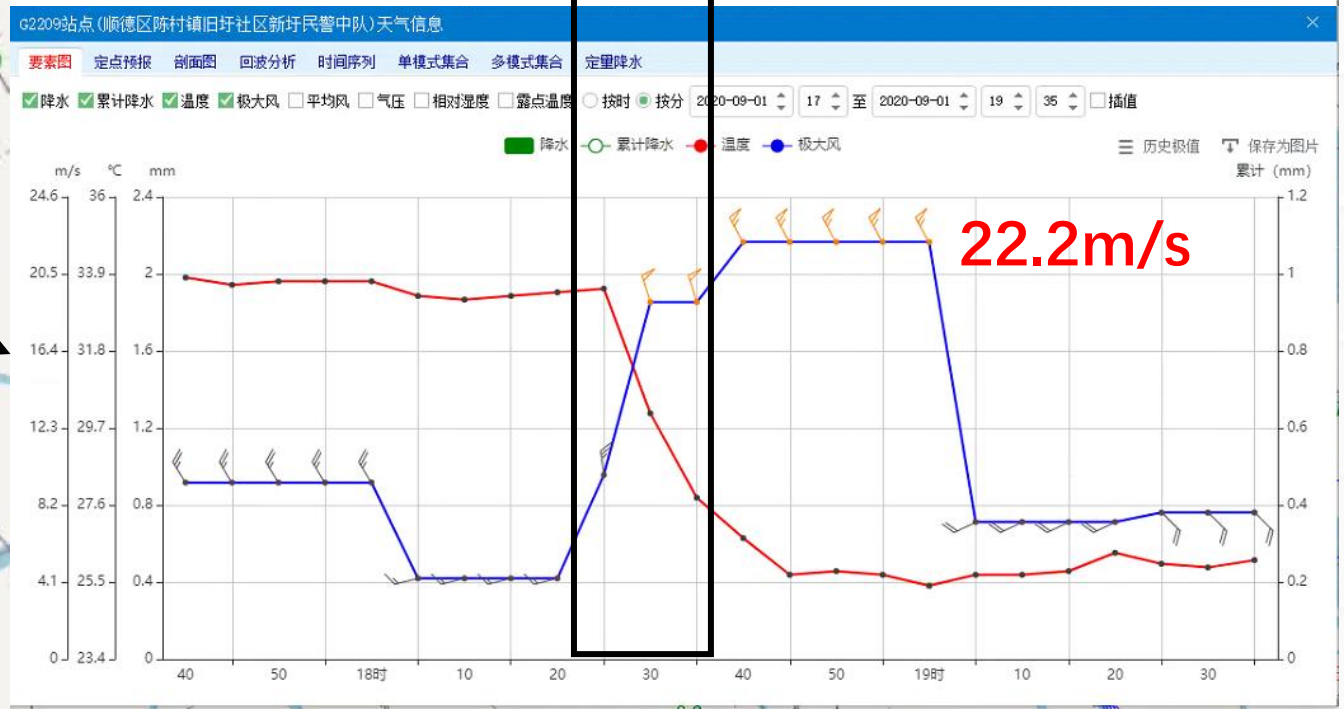
型号	单偏振	双偏振
峰值发射功率	320W	320W
天线阵元数量	64H	128 （64H、64V）
波束	数字16波束	数字16波束
距离分辨率	30m	30m
角度分辨率	H:1.6° V:1.6°	H:1.6° V:1.6°
体扫范围	H:0°～360°， V:0°～90°	H:0°～360°， V:0°～72°
体扫时间	30s	30s

佛山 2020-09-01 强降水+大风

18:40

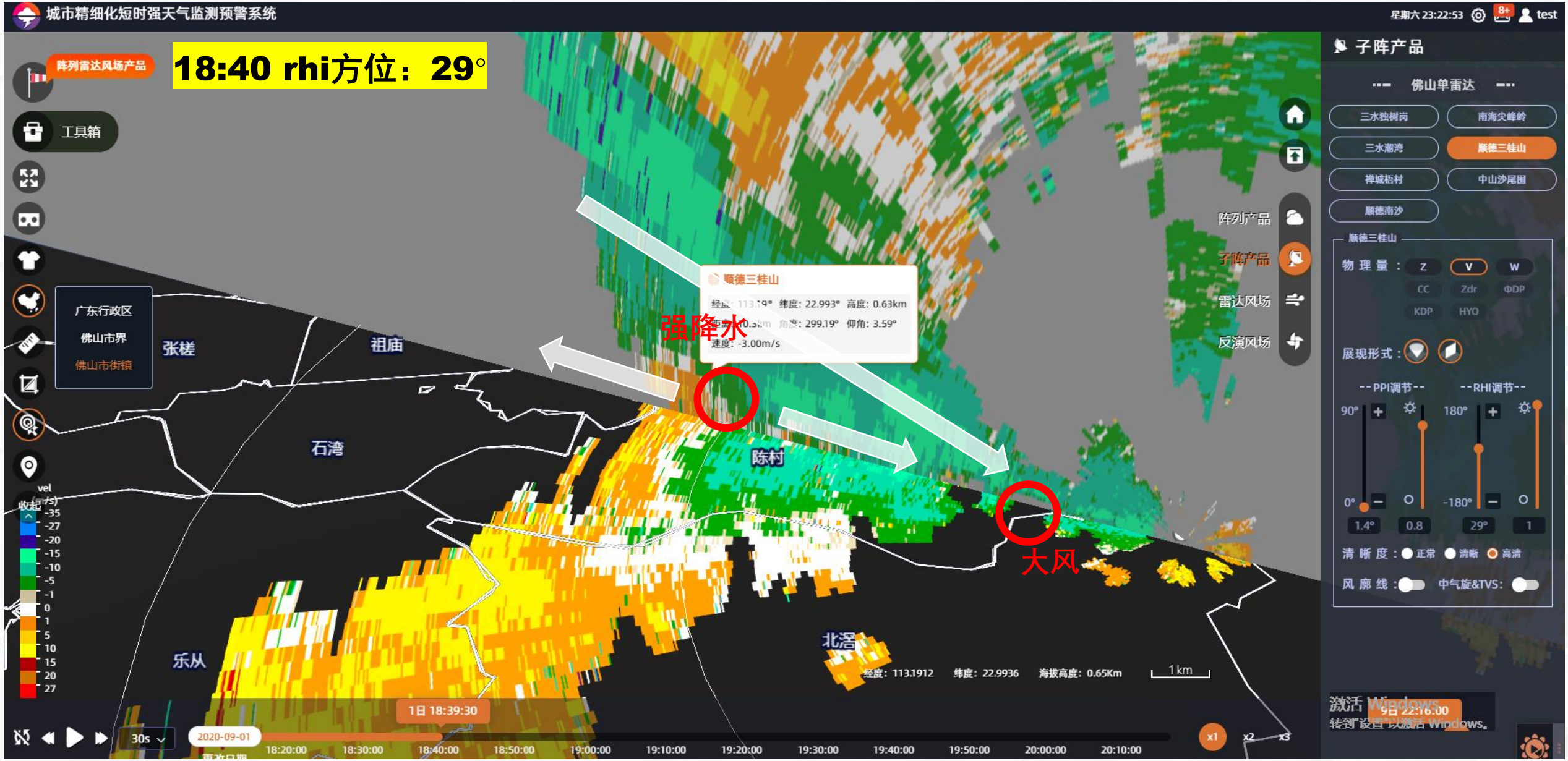




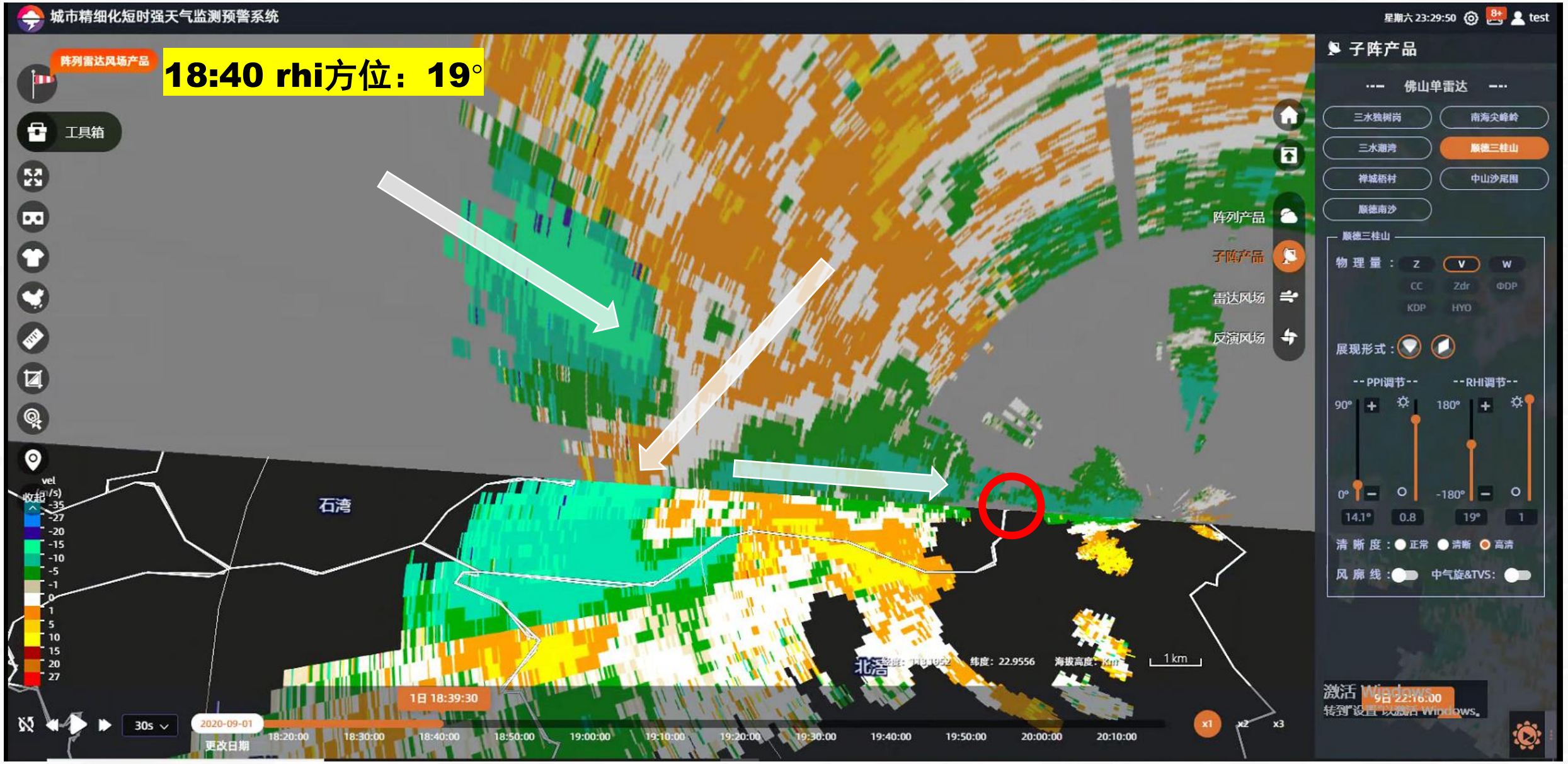


一个站出现强降水，同一时刻另一站出现地面大风

佛山 2020-09-01 强降水+大风



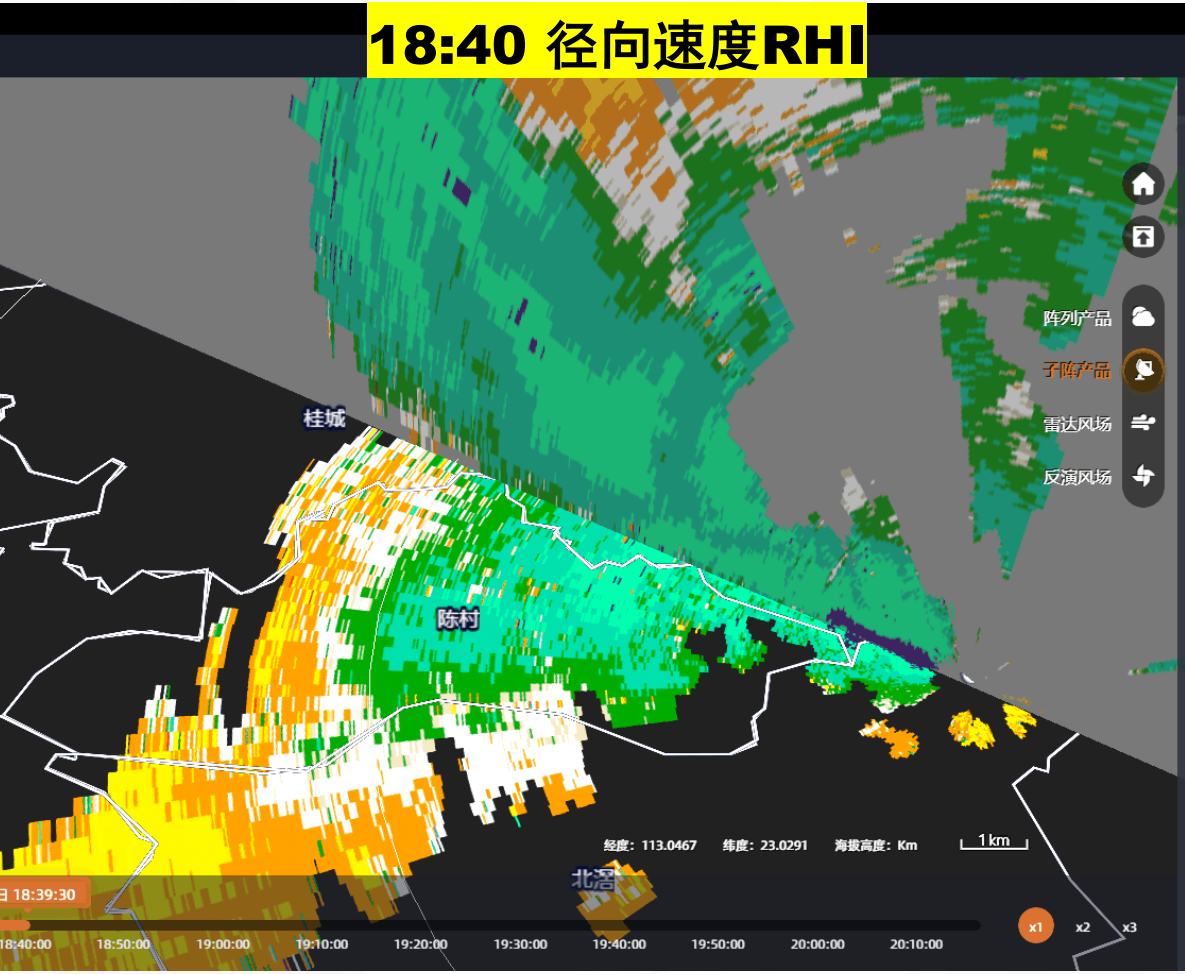
佛山 2020-09-01 强降水+大风



佛山 2020-09-01 强降水+大风

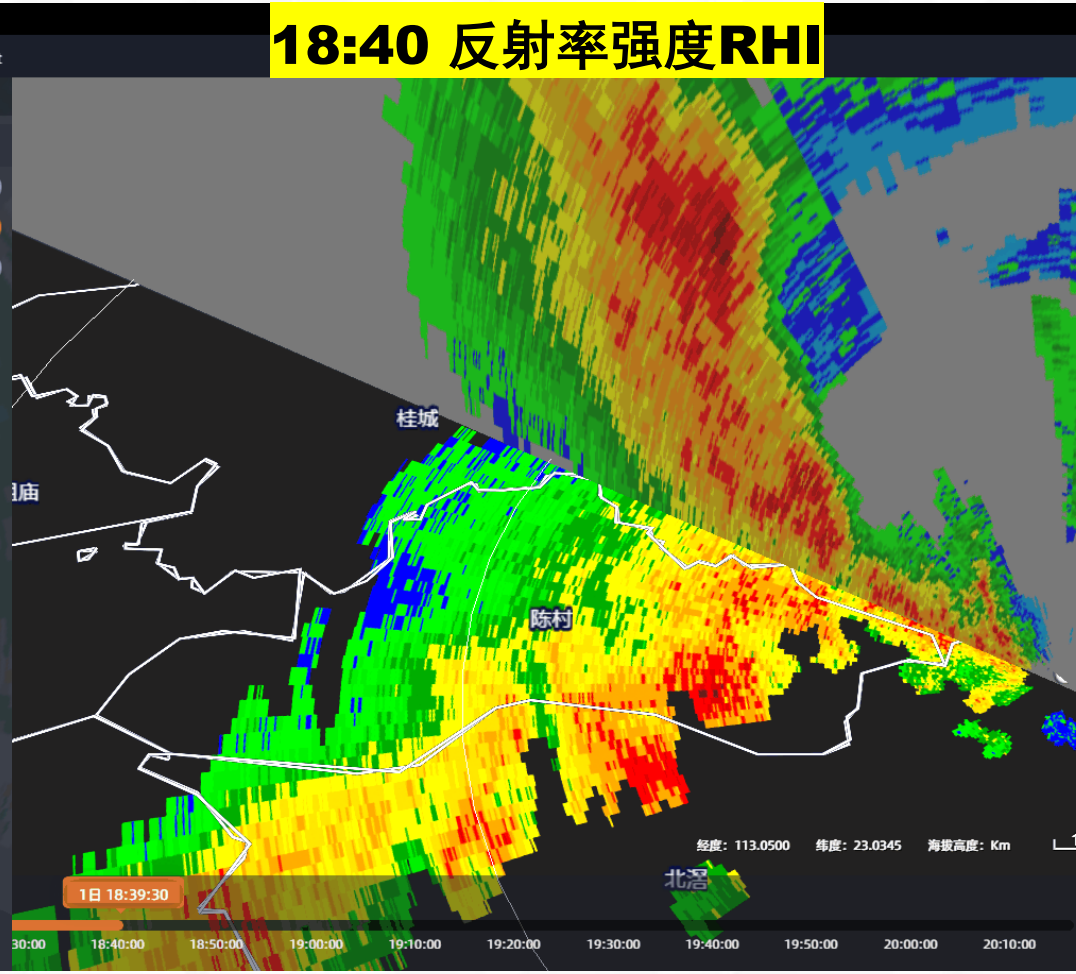
连续RHI进行观测

18:40 径向速度RHI



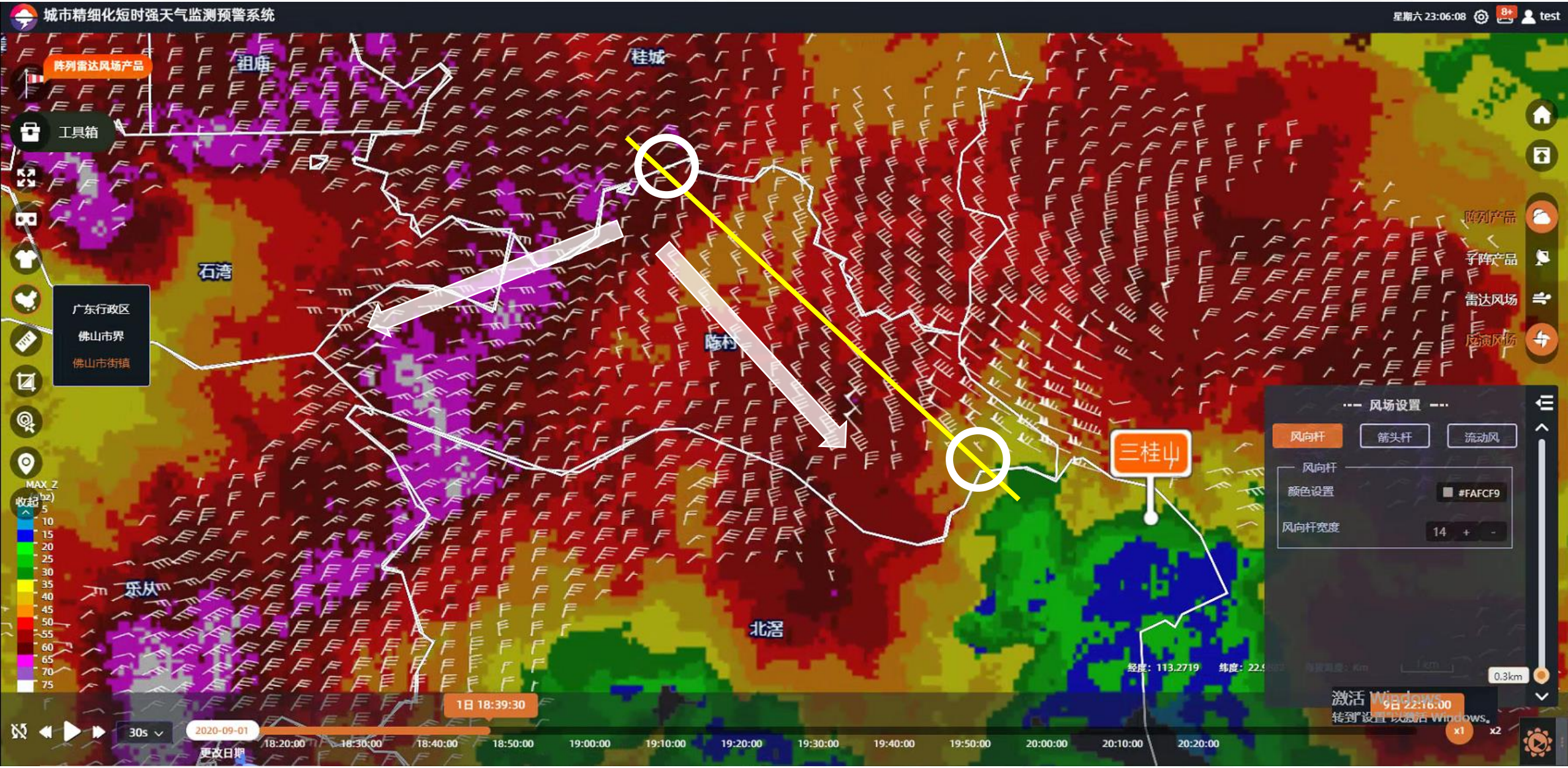


18:40 反射率强度RHI

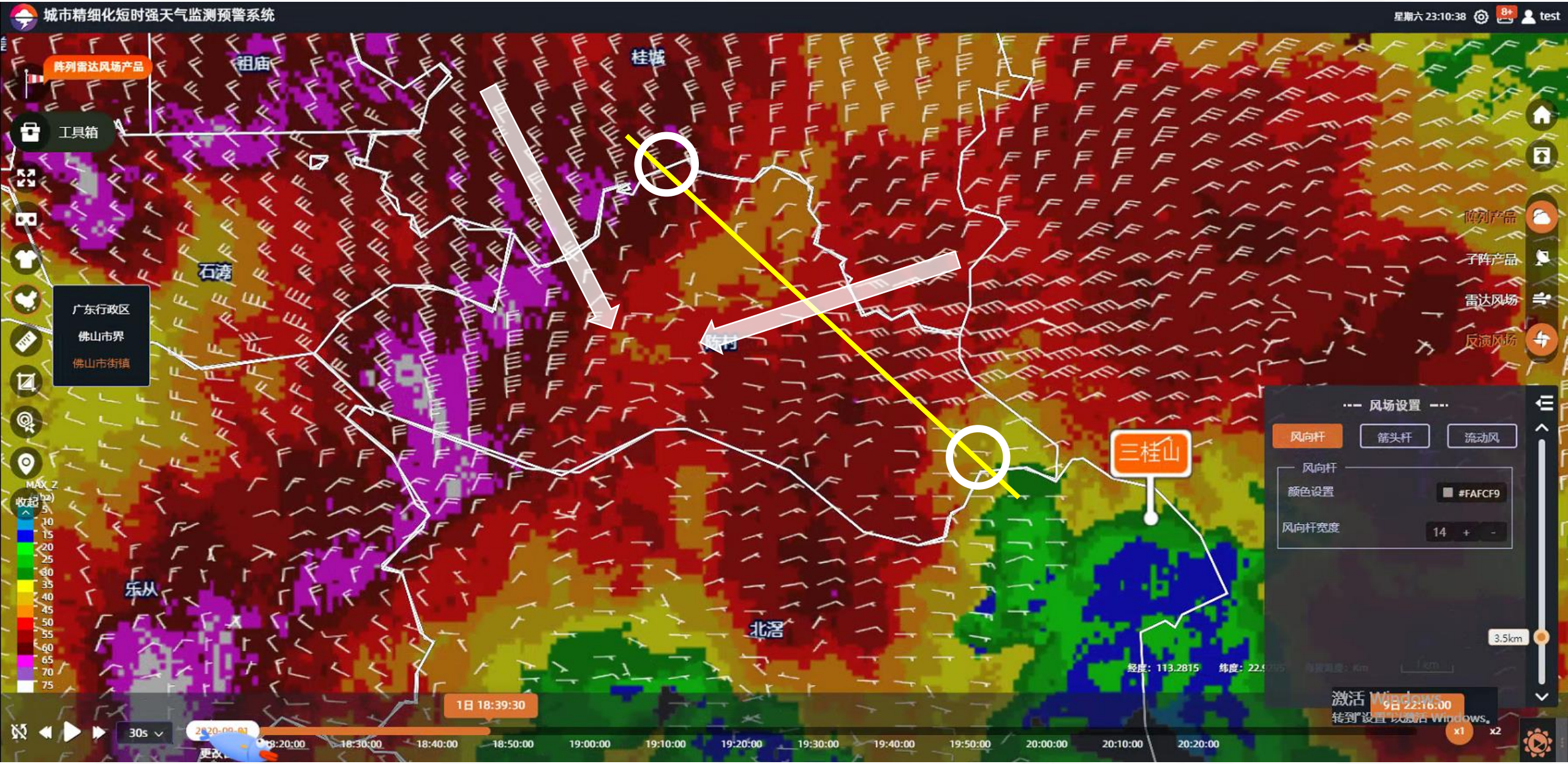


- 对流层中层辐合，低层辐散特征清晰
- 系统具有明显的倾斜结构
- X波段衰减效应对强度影响明显，对径向速度影响很小

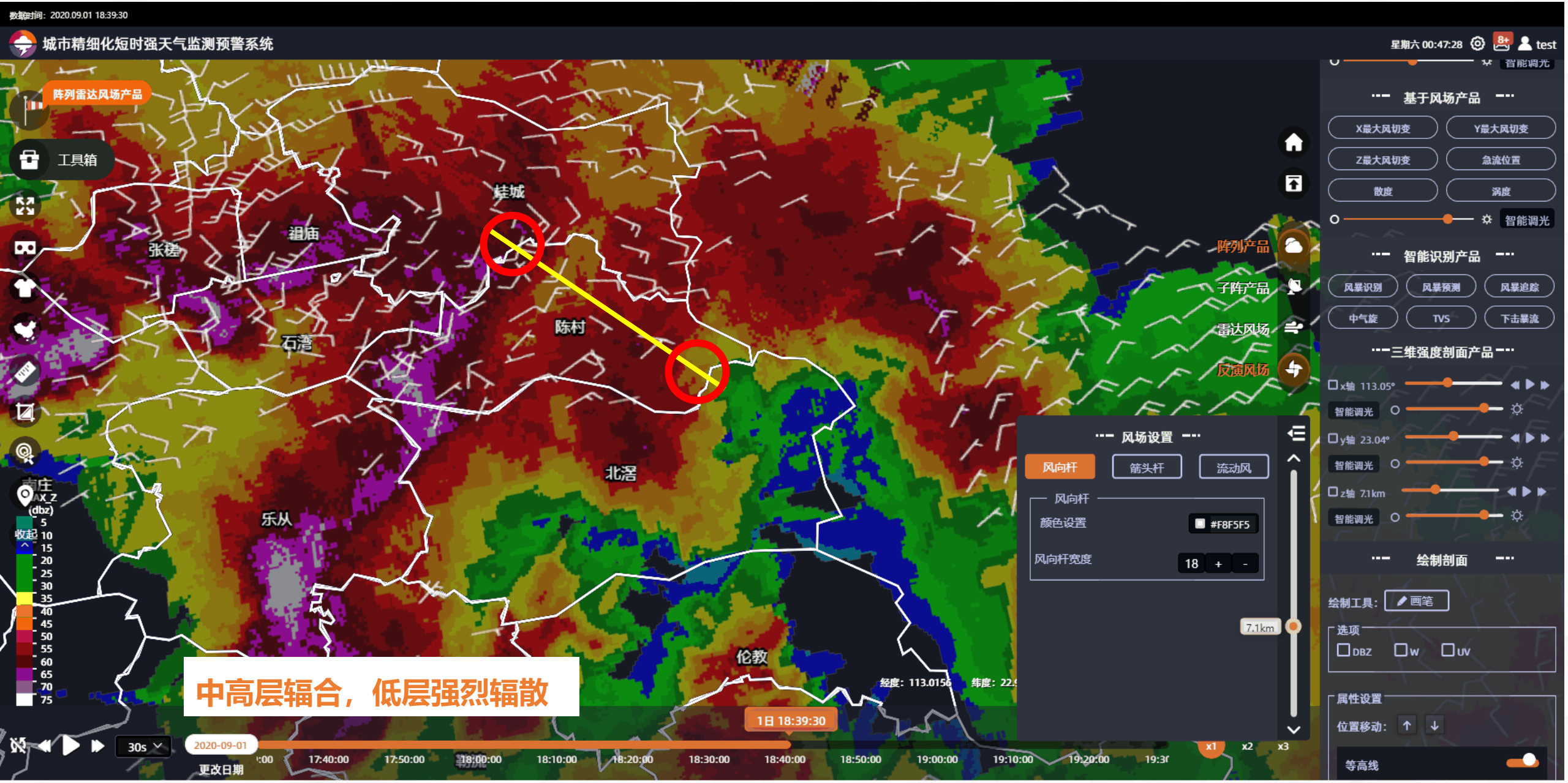
300米高度反演风场


城市精细化短时强天气监测预警系统
星期六 23:06:08
test
阵列雷达风场产品
工具箱
祖庙
桂城
石湾
陈村
乐从
北滘
三桂山
广东行政区
佛山市界
佛山市街镇
阵列产品
子阵产品
雷达风场
反演风场
风场设置
风向杆
箭头杆
流动风
风向杆
颜色设置
#FAFCF9
风向杆宽度
14
MAX_Z (dBz)
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
经度：113.2719
0.3km
1日 18:39:30
9日 22:16:00
30s
2020-09-01
更改日期
18:20:00
18:30:00
18:40:00
18:50:00
19:00:00
19:10:00
19:20:00
19:30:00
19:40:00
19:50:00
20:00:00
20:10:00
20:20:00
x1
x2

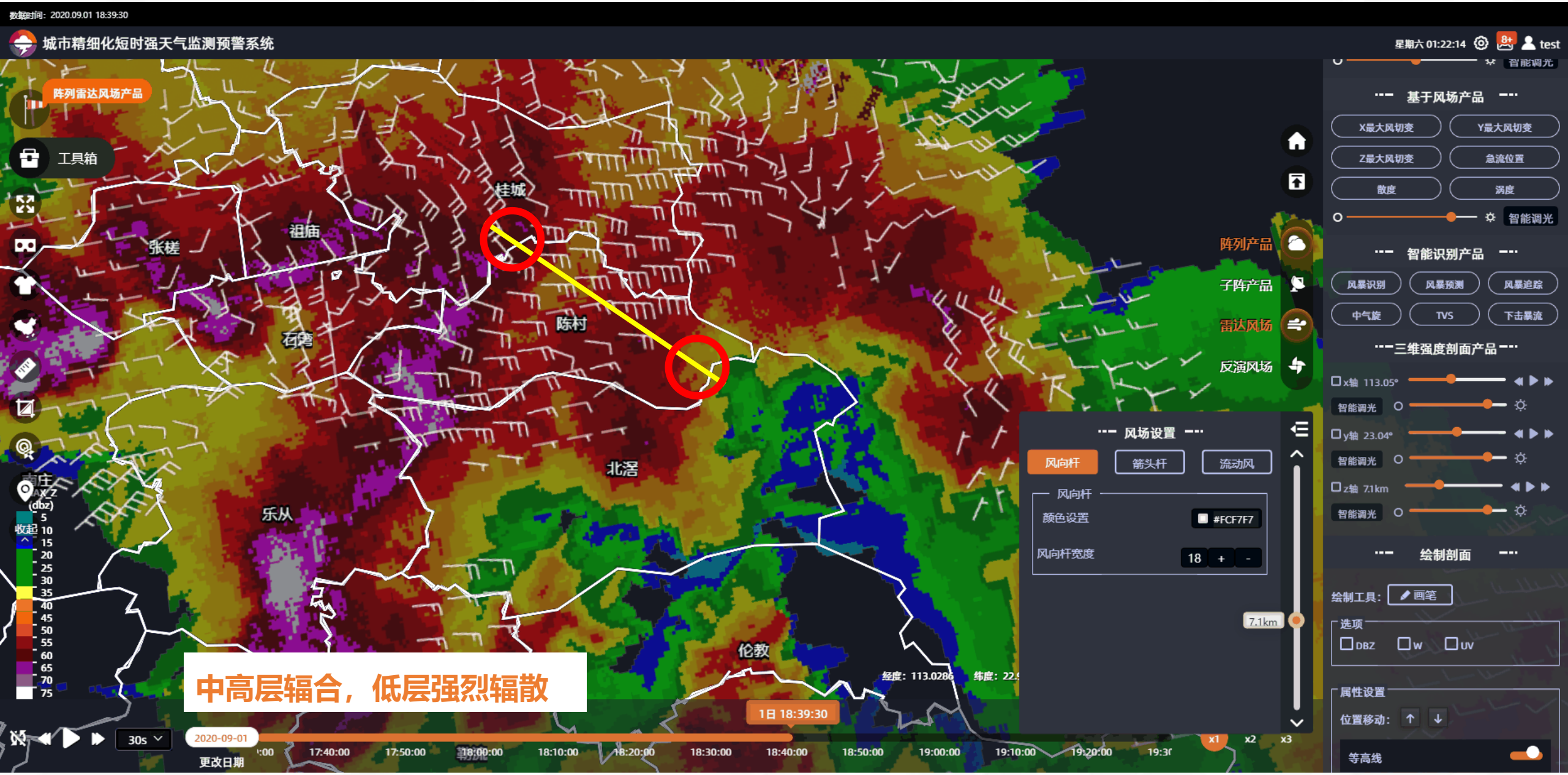
3500米高度反演风场



18:40 不同高度上的反演风场（水平风）

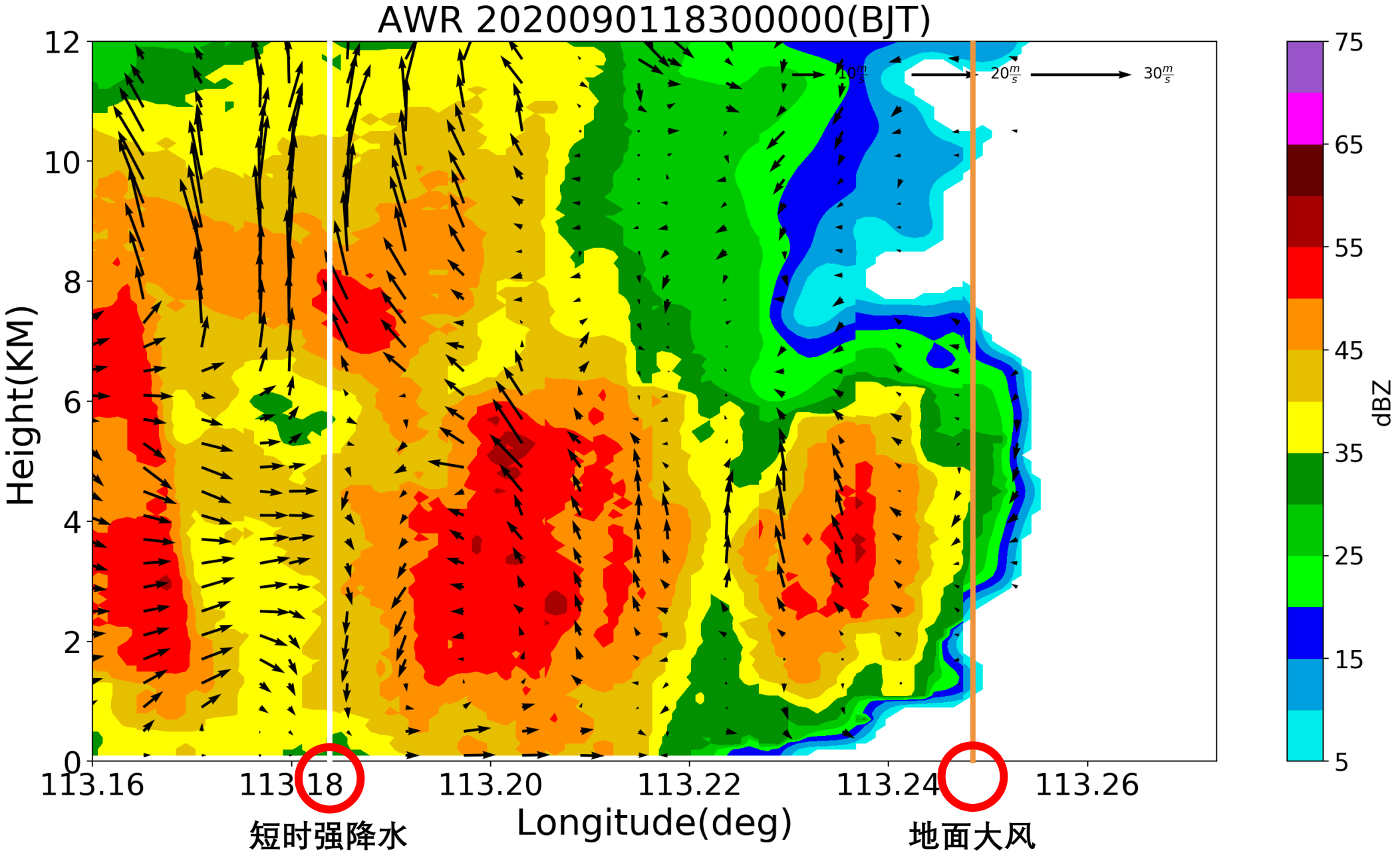


18:40 不同高度上的合成风场（水平风）

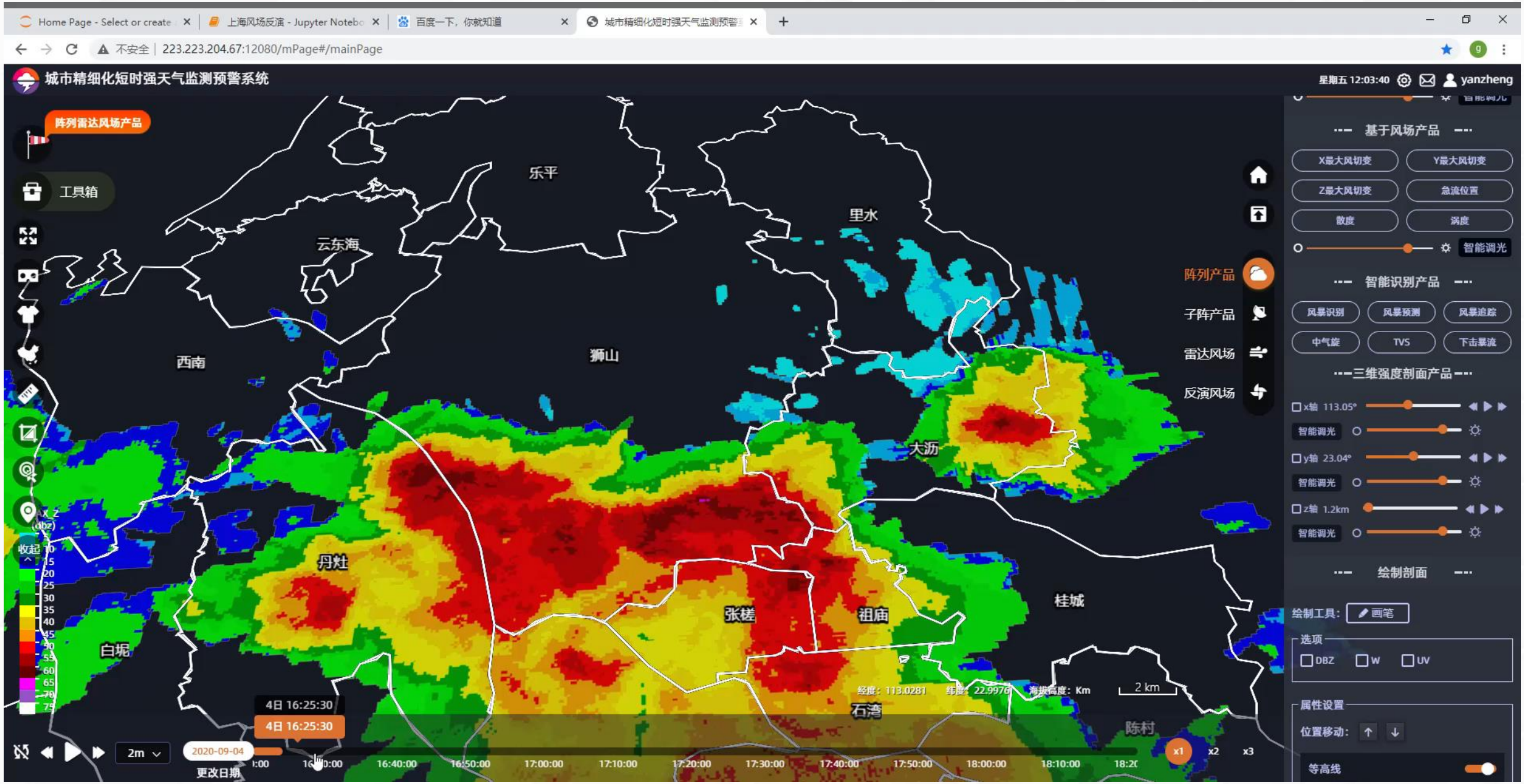


中高层辐合，低层强烈辐散

两点连线垂直剖面时序演变

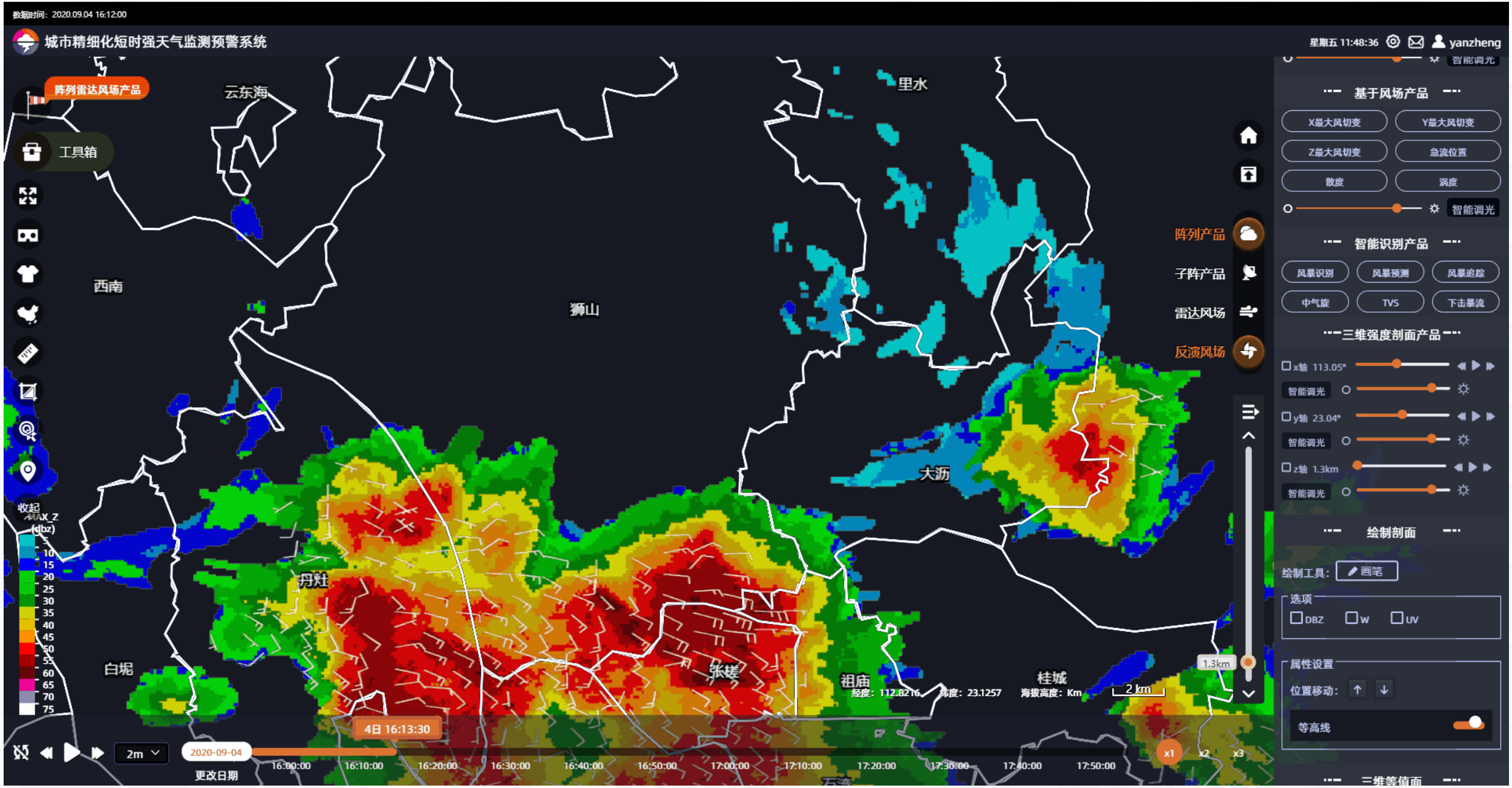


基于阵列天气雷达的三维风场判断风暴的演变和传播

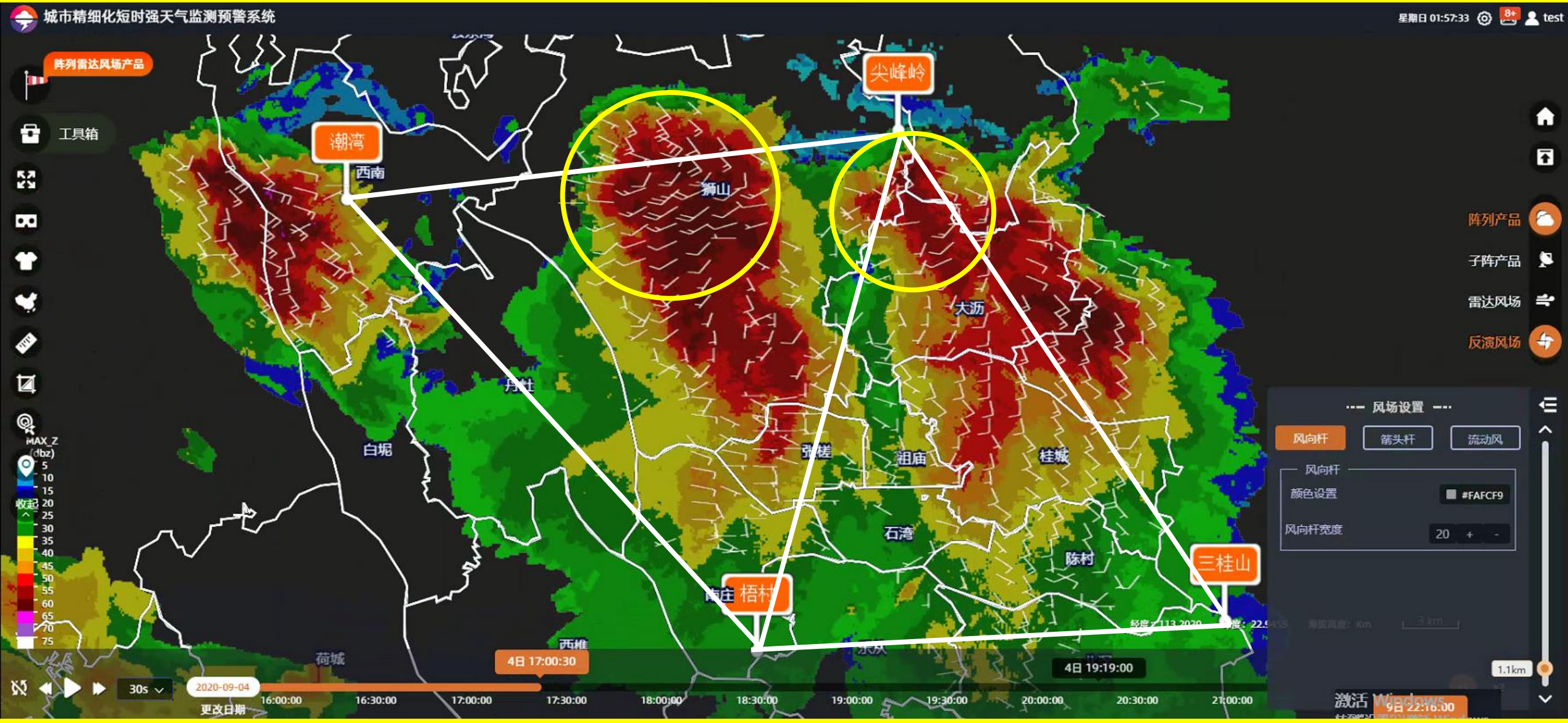


阵列天气雷达的观察风暴热力动力演变和作用

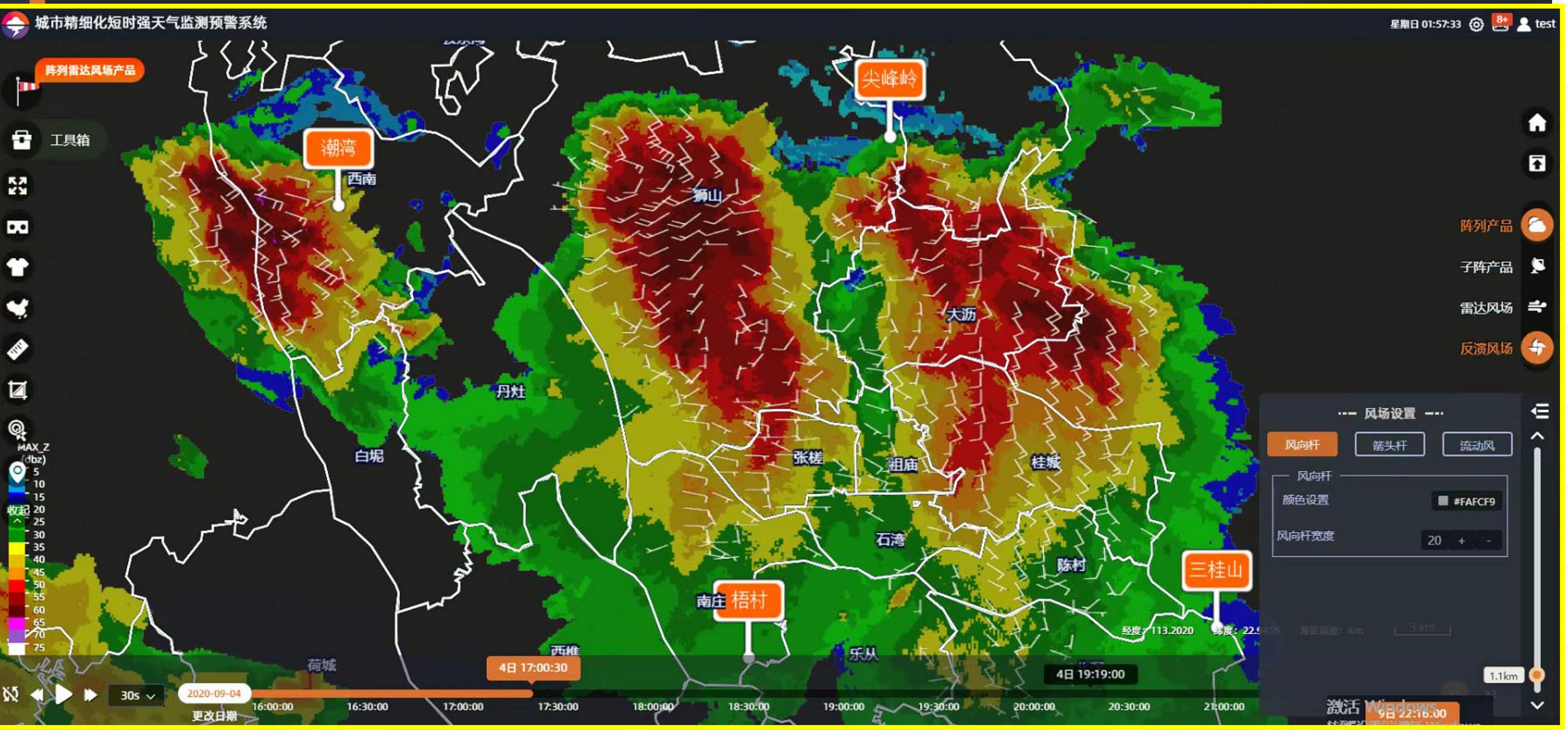
佛山 2020-09-04，1.3km高度



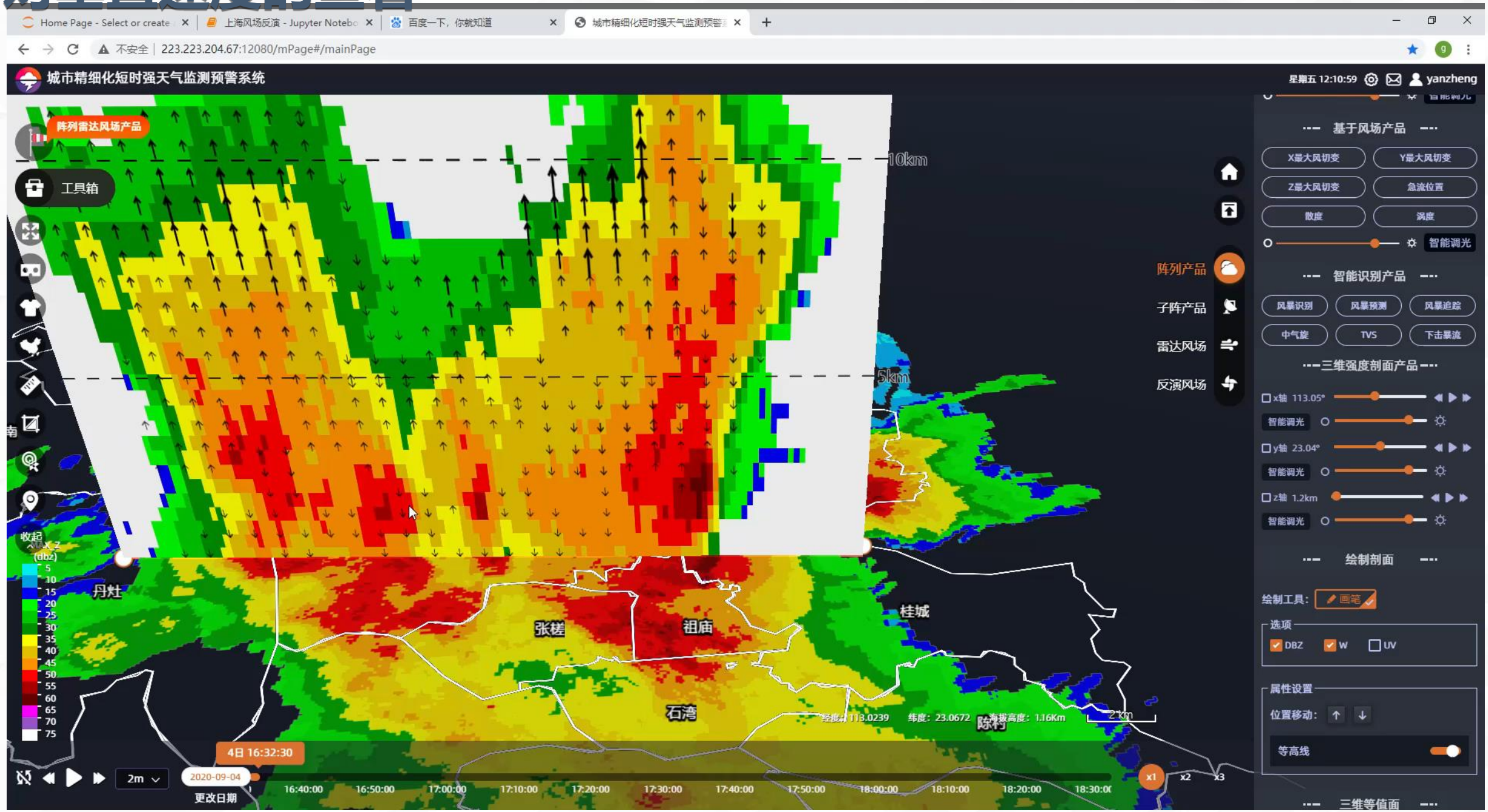
阵列天气雷达的观察风暴热力动力演变和作用



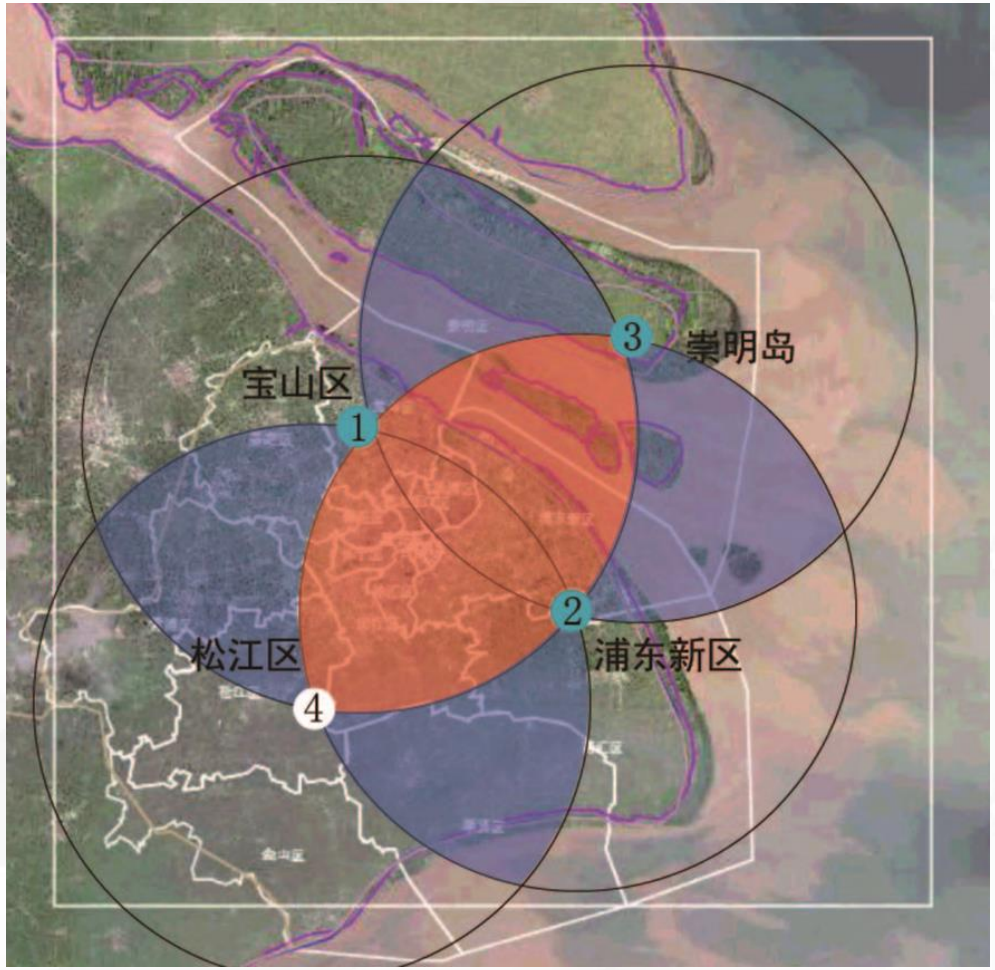
阵列天气雷达的多子阵径向速度



对垂直速度的查看


Home Page - Select or create
上海风场反演 - Jupyter Notebo
百度一下，你就知道
城市精细化短时强天气监测预警
不安全 | 223.223.204.67:12080/mPage#/mainPage
城市精细化短时强天气监测预警系统
星期五 12:10:59
yanzheng
阵列雷达风场产品
工具箱
10km
5km
阵列产品
子阵产品
雷达风场
反演风场
基于风场产品
X最大风切变
Y最大风切变
Z最大风切变
急流位置
散度
涡度
智能调光
智能识别产品
风暴识别
风暴预测
风暴追踪
中气旋
TVS
下击暴流
三维强度剖面产品
x轴 113.05°
y轴 23.04°
z轴 1.2km
绘制剖面
绘制工具：
画笔
选项
DBZ
W
UV
属性设置
位置移动：
等高线
三维等值面
收起
(dbz)
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
丹灶
张槎
祖庙
桂城
石湾
陈村
经度：113.0239
纬度：23.0672
海拔高度：1.16Km
2km
4日 16:32:30
2m
2020-09-04
更改日期
16:40:00
16:50:00
17:00:00
17:10:00
17:20:00
17:30:00
17:40:00
17:50:00
18:00:00
18:10:00
18:20:00
x1
x2
x3

案例：上海阵列天气雷达



子阵产品

- 半径：45km
- 方位：0-360°
- 俯仰：单偏：0-90°/双偏：0-72°无间隔
- 体扫时间：30s

阵列产品

- 网格分辨率：100米
- 时间分辨率：30秒

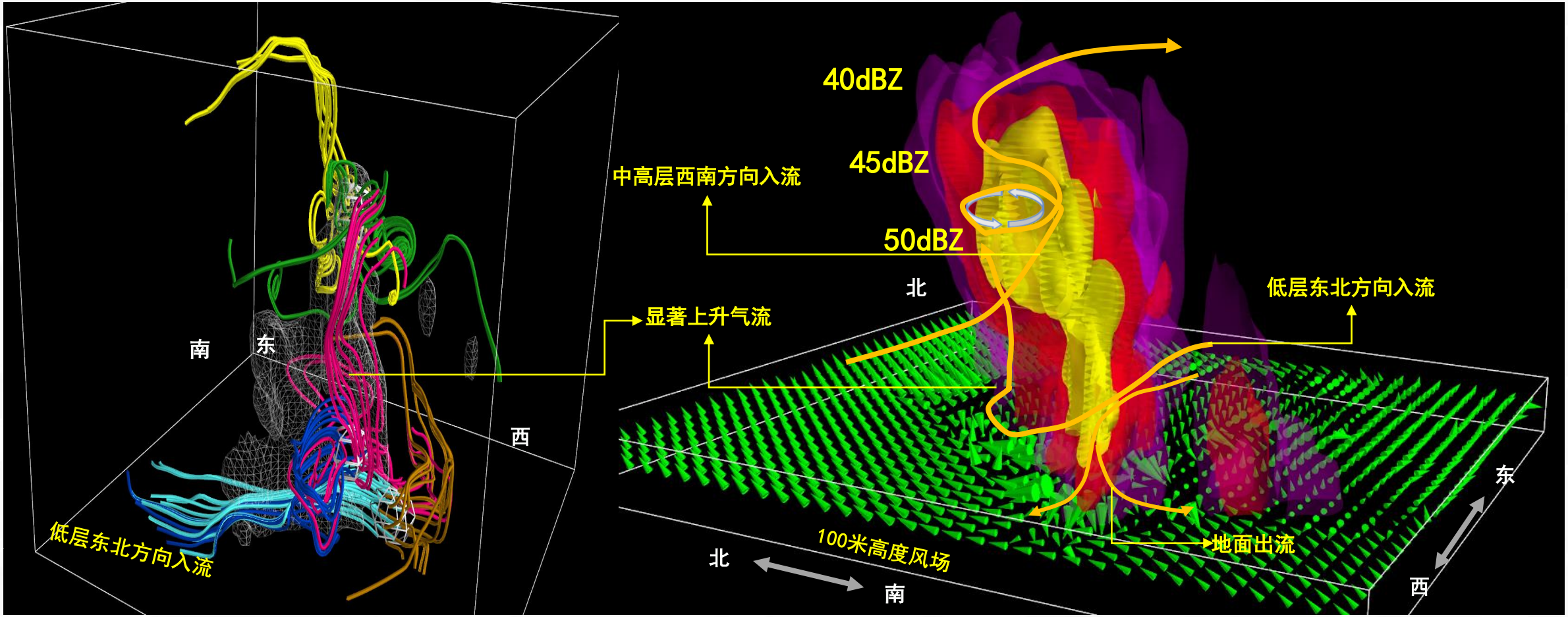
上海阵列天气雷达

2019-09-05 对流风暴触发、相互作用的完整过程



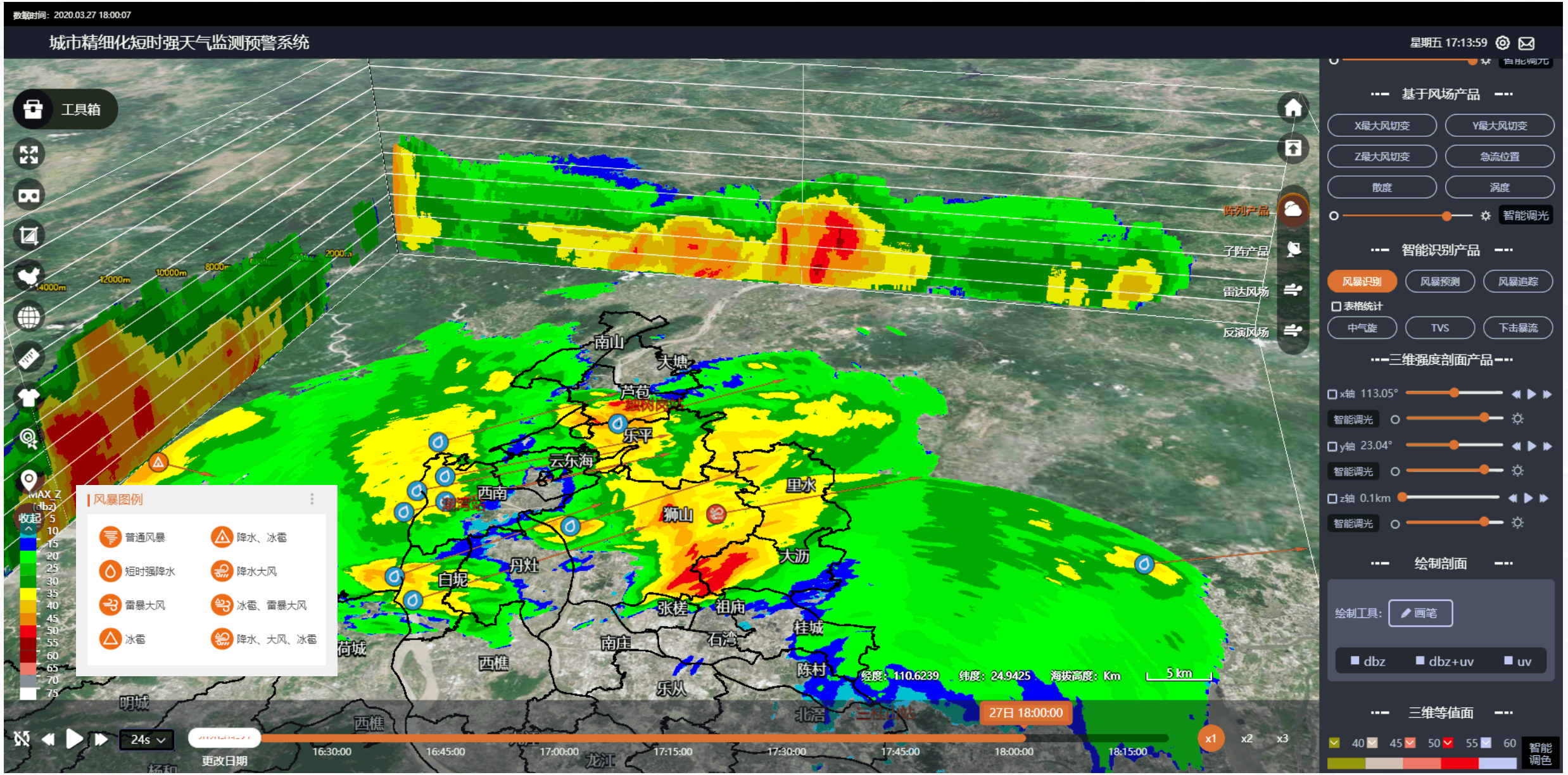
阵列天气冰雹三维模型

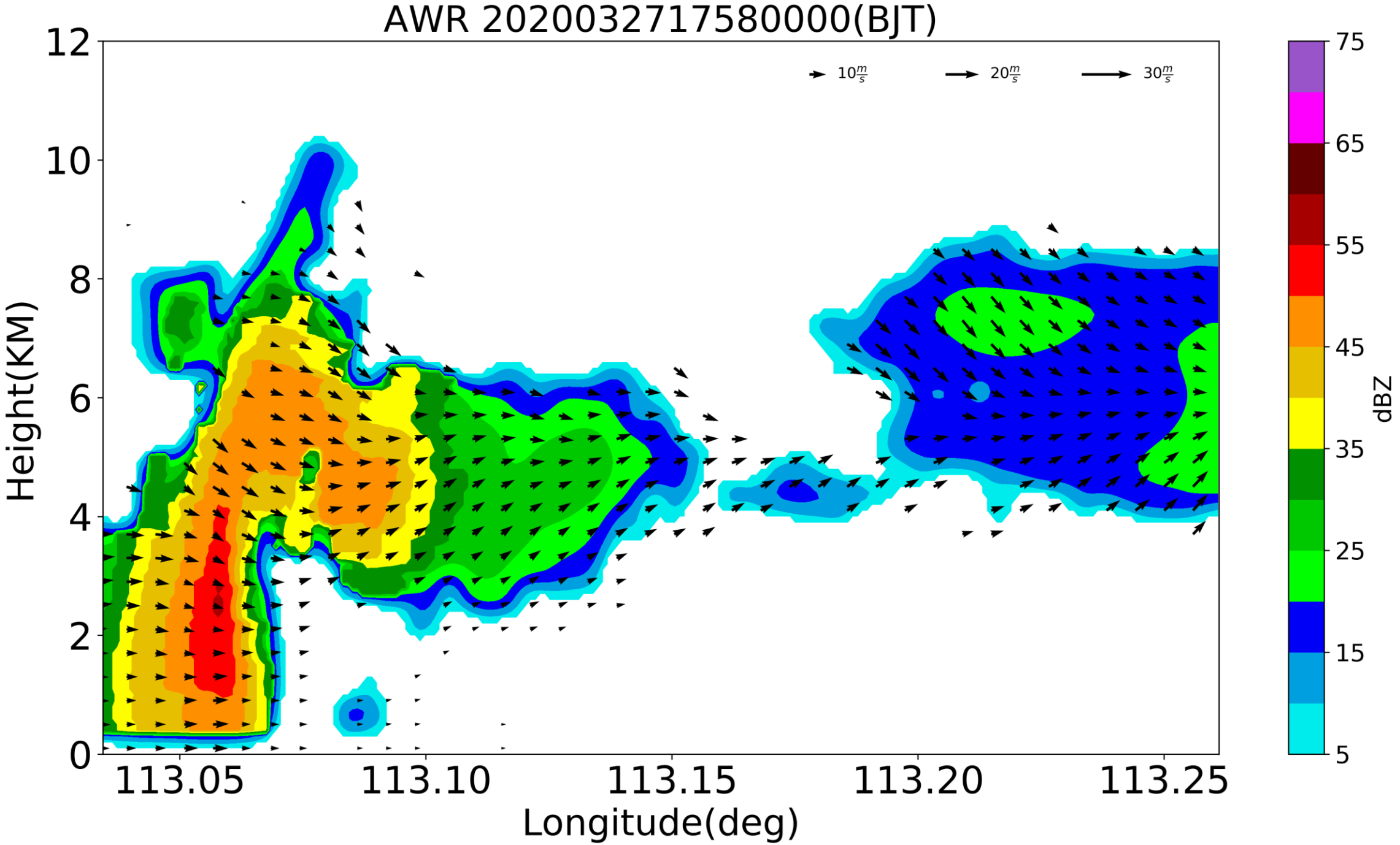
2019-08-18 上海罕见冰雹、雷雨大风过程



基于阵列天气雷达实测的冰雹三维强度+风场结构特征

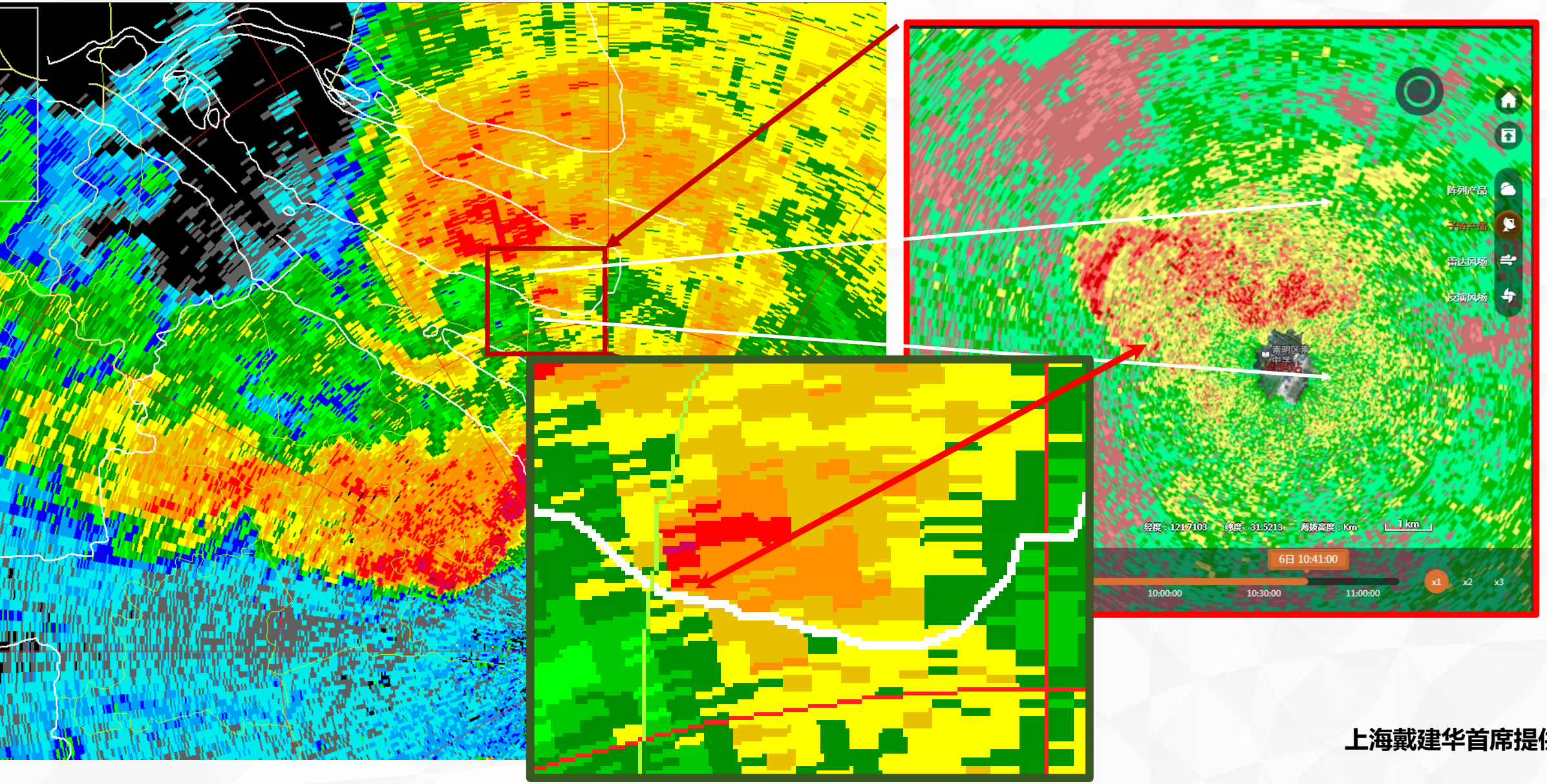
佛山 2020年3月27日冰雹天气过程




AWR 20200327175800000(BJT)
10 m/s
20 m/s
30 m/s
Height(KM)
0
2
4
6
8
10
12
113.05
113.10
113.15
113.20
113.25
Longitude(deg)
dBZ
5
15
25
35
45
55
65
75

上海0706”长江口系列“迷你”龙卷

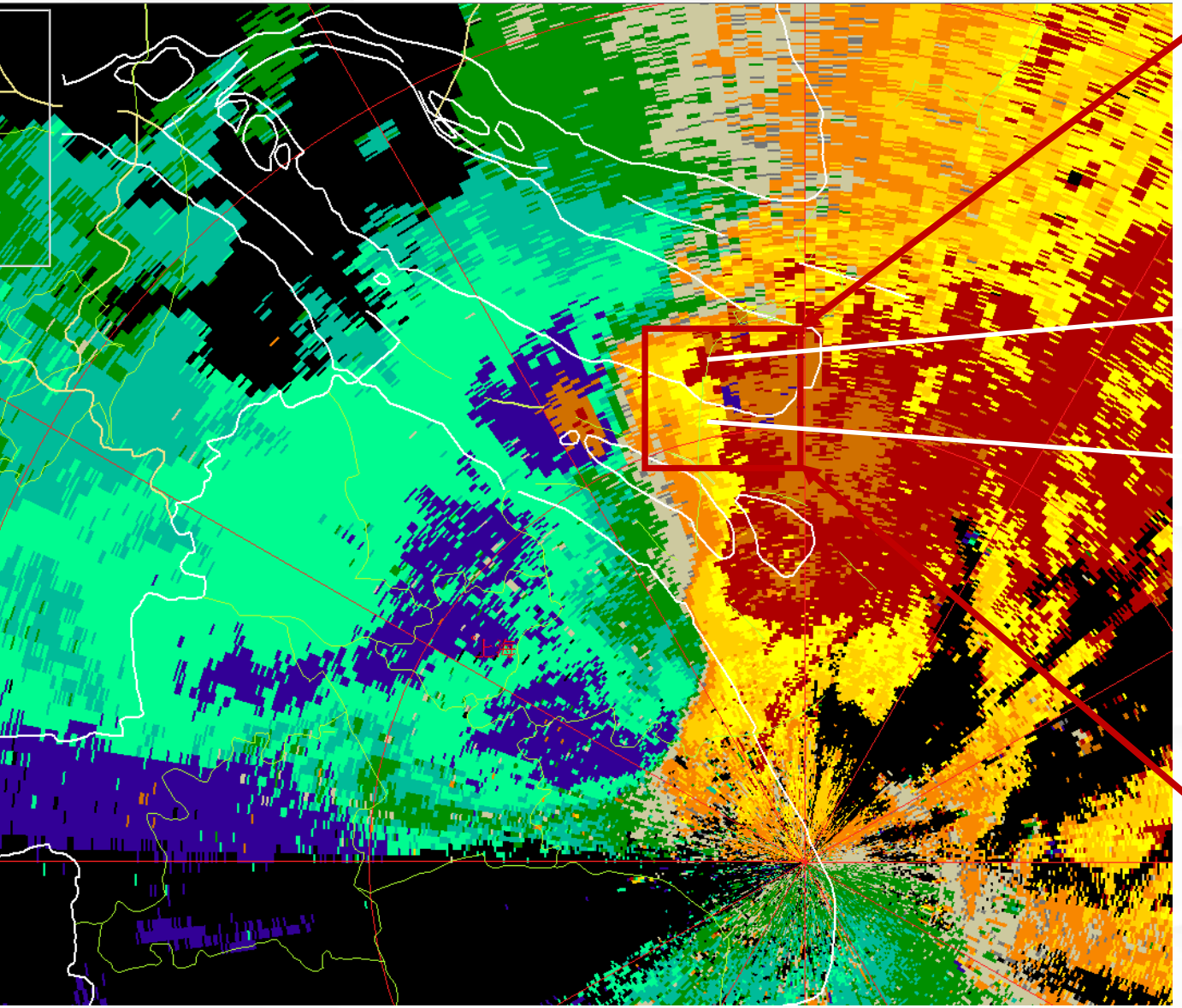
陈家镇超级单体（S波段雷达vsX波段雷达）

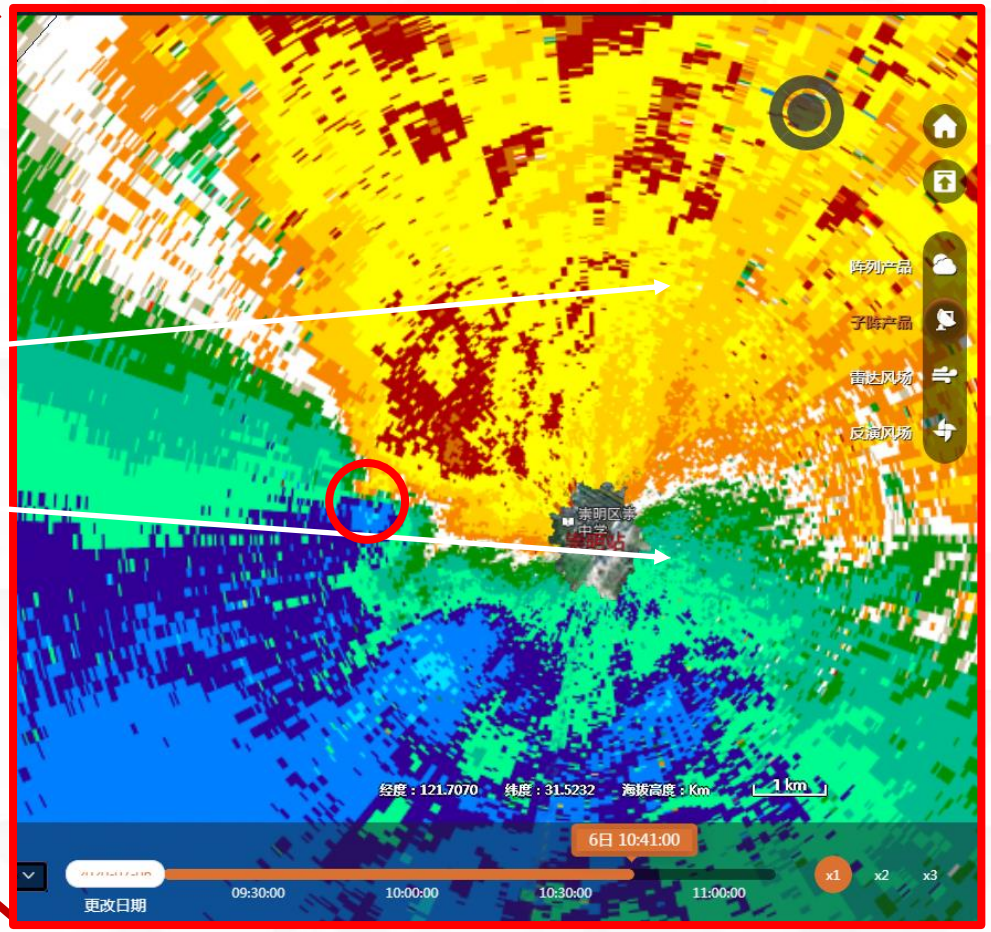


上海戴建华首席提供

上海0706”长江口系列“迷你”龙卷

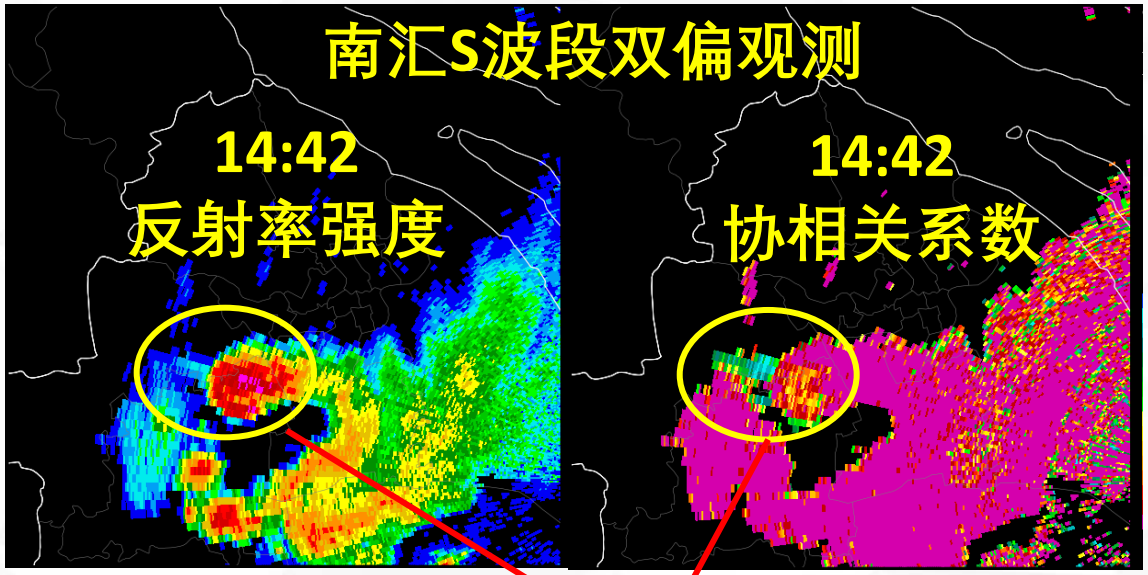
陈家镇超级单体（S波段雷达vsX波段雷达）

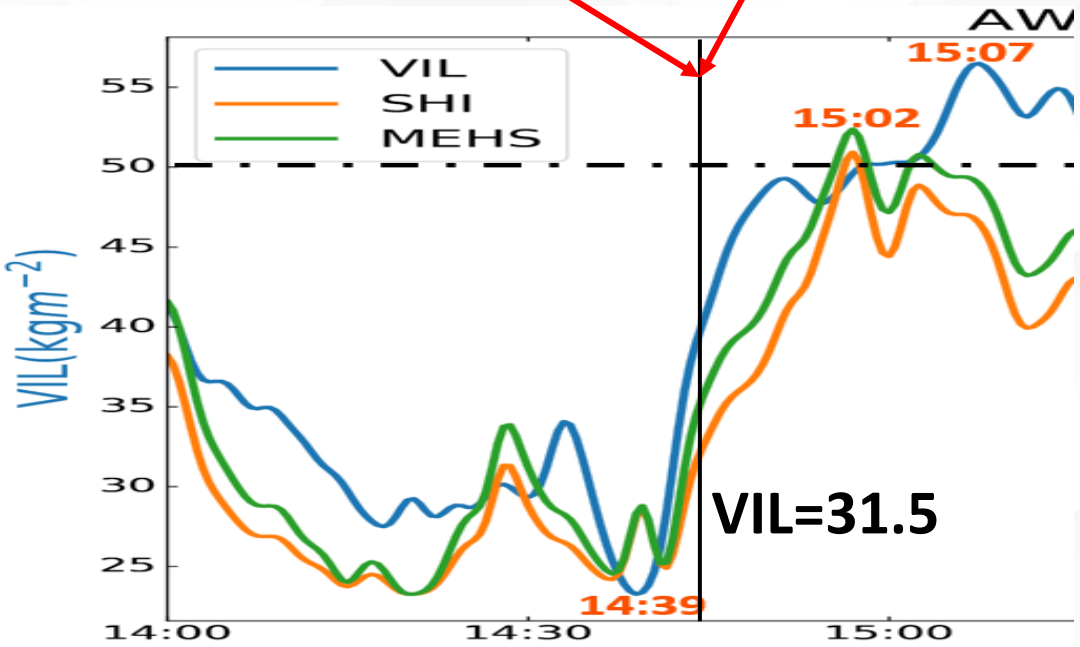


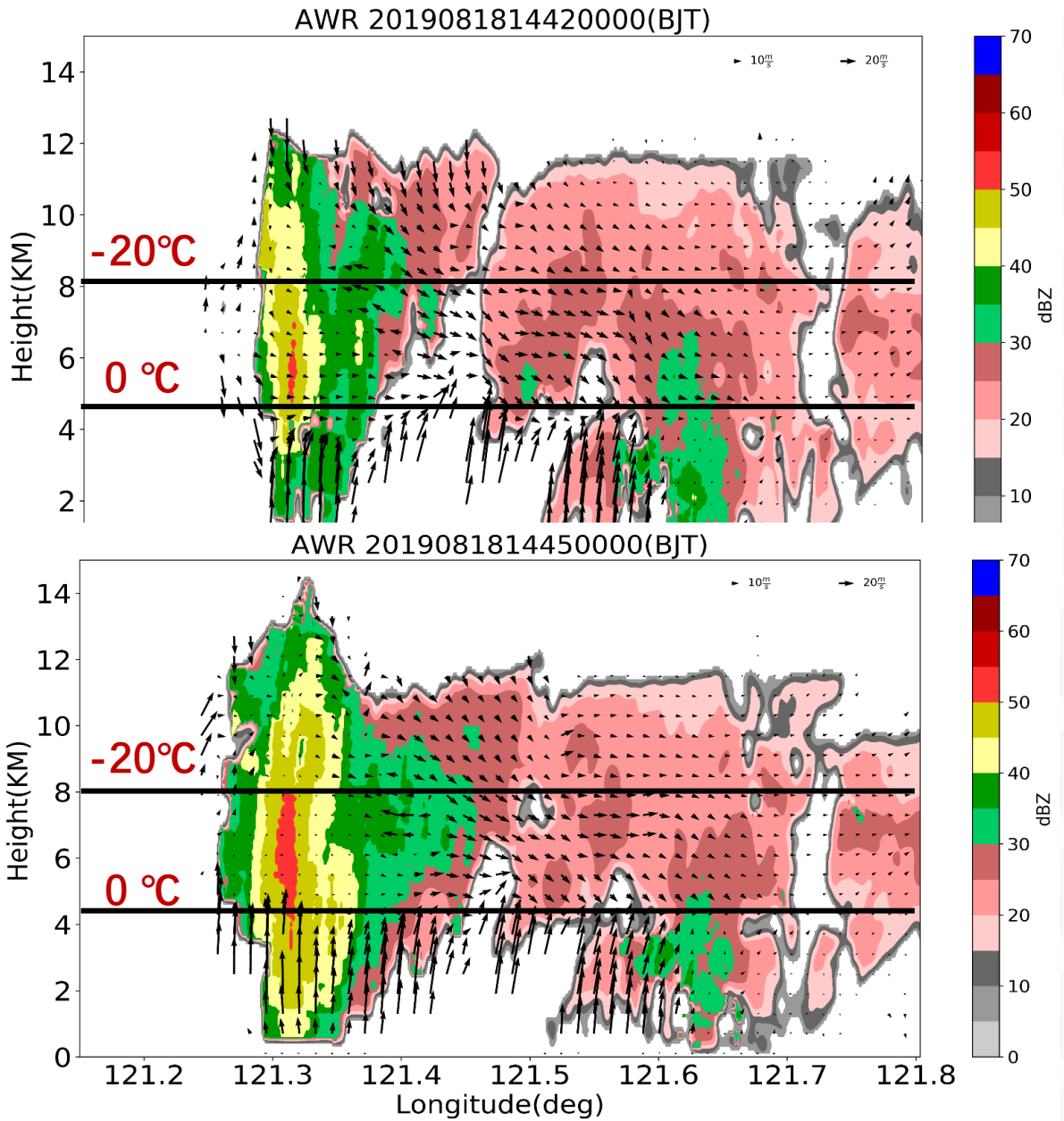


上海戴建华首席提供

如何在业务中更好的为预报员所用?







- VIL不是一个理想的指数
- 双偏量与0 ℃以上强回波有很好对应，出现冰雹明显特征的时刻与强回波冲破0 ℃的时间对应

新型冰雹预警指数构建

根据向量分析的定义，螺旋度属于假标量[21]，$h = \boldsymbol{V} \cdot (\nabla \times \boldsymbol{V}) = u\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right) + v\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right) + w\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)$ 右端 3 项各有不同的意义，它们分别与 x，y，z 方向的风速和涡度的分量联系在一起，其值相同时也可能会有不同的运动形式。故有必要进一步讨论不同方向上螺旋度在暴雨、强对流天气过程中的演化情况、相互关系以及影响它们的因子。方便起见，不妨称之为 x-螺旋度，y-螺旋度（合称为水平螺旋度），z-螺旋度，分别记为 h_1，h_2，h_3。

螺旋度及螺旋度方程讨论，陆慧娟、高守亭，气象学报

冰雹预警指数（HWI）：

$$R_0 * \sum_{k=0}^{n} \{u\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right) + v\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right) + w_{pos}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)\}$$

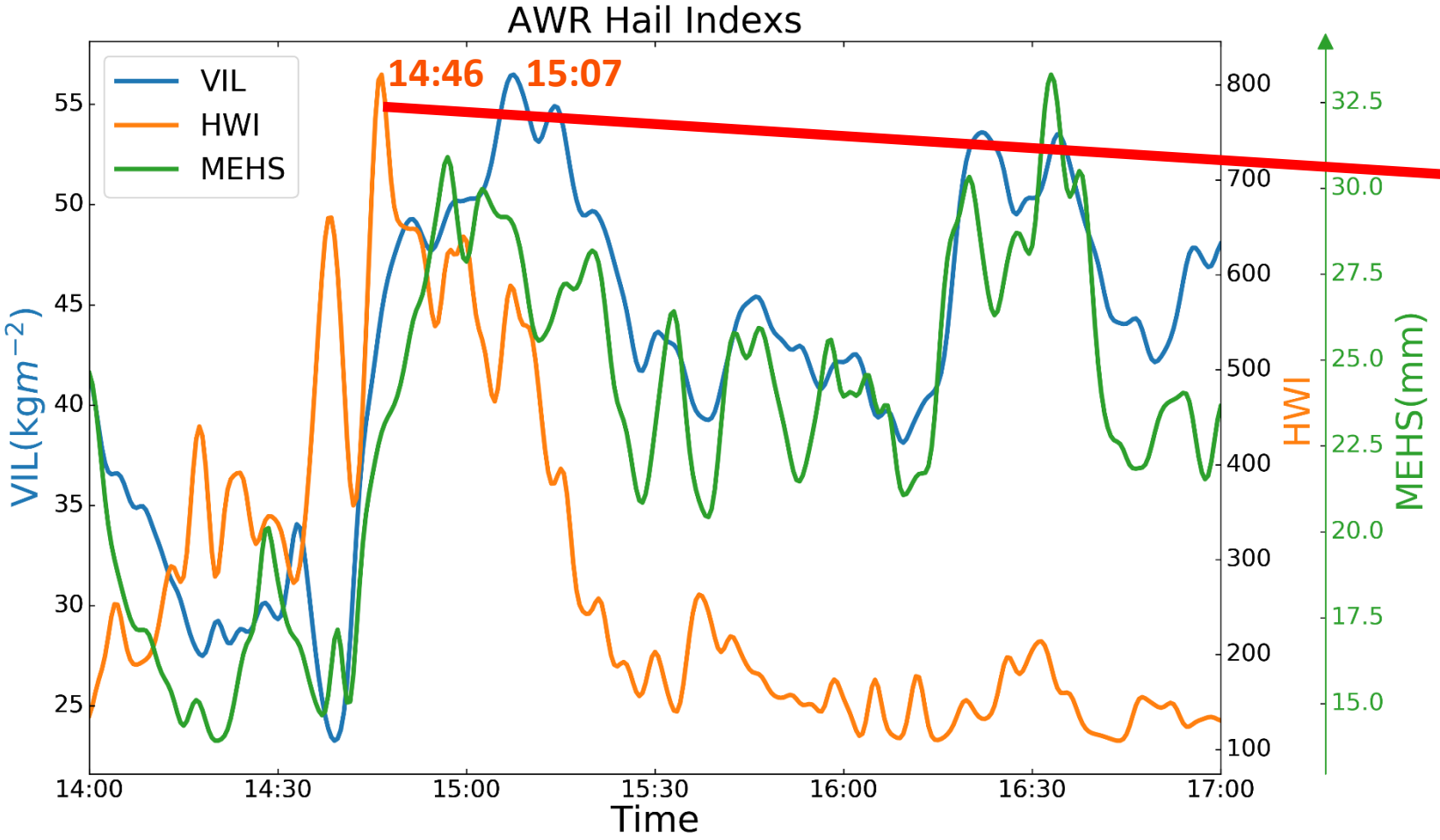
R_0：*0摄氏度层以上的最大回波强度*

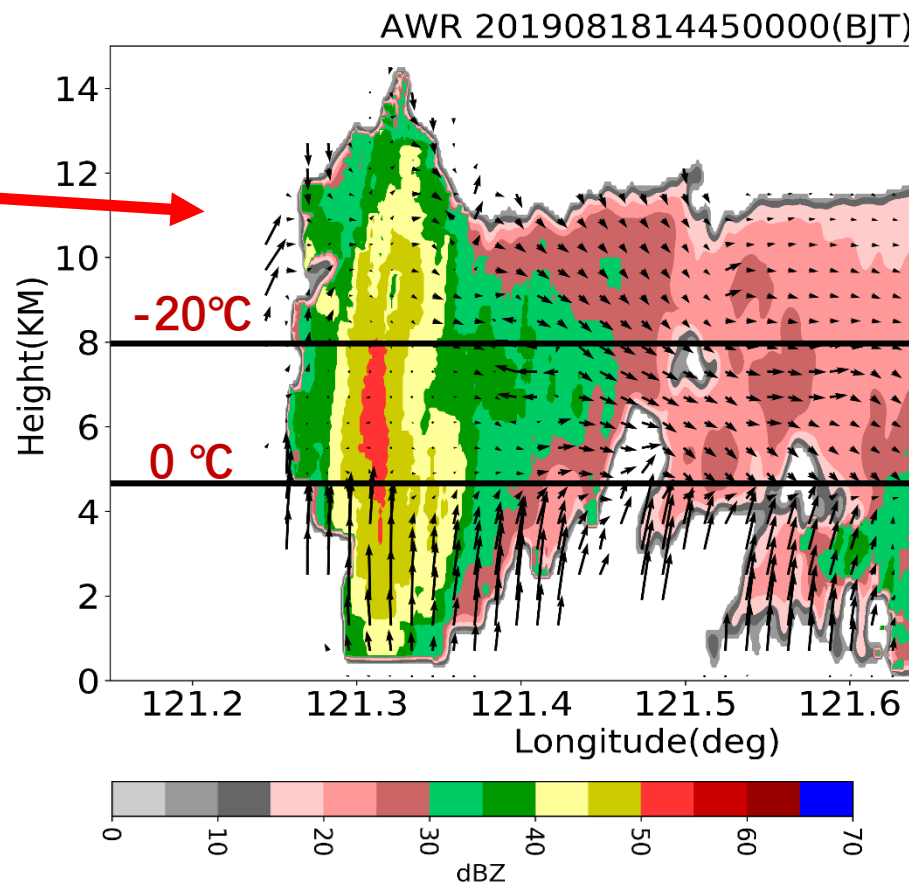
w_{pos}：*正的垂直速度（上升气流）*

$\sum_{k=0}^{n}$ *从地面到0摄氏度层高度进行积分*

目标：风场和强度场结合，进一步提前预测冰雹

新型冰雹预警指数HWI（发挥风场作用）

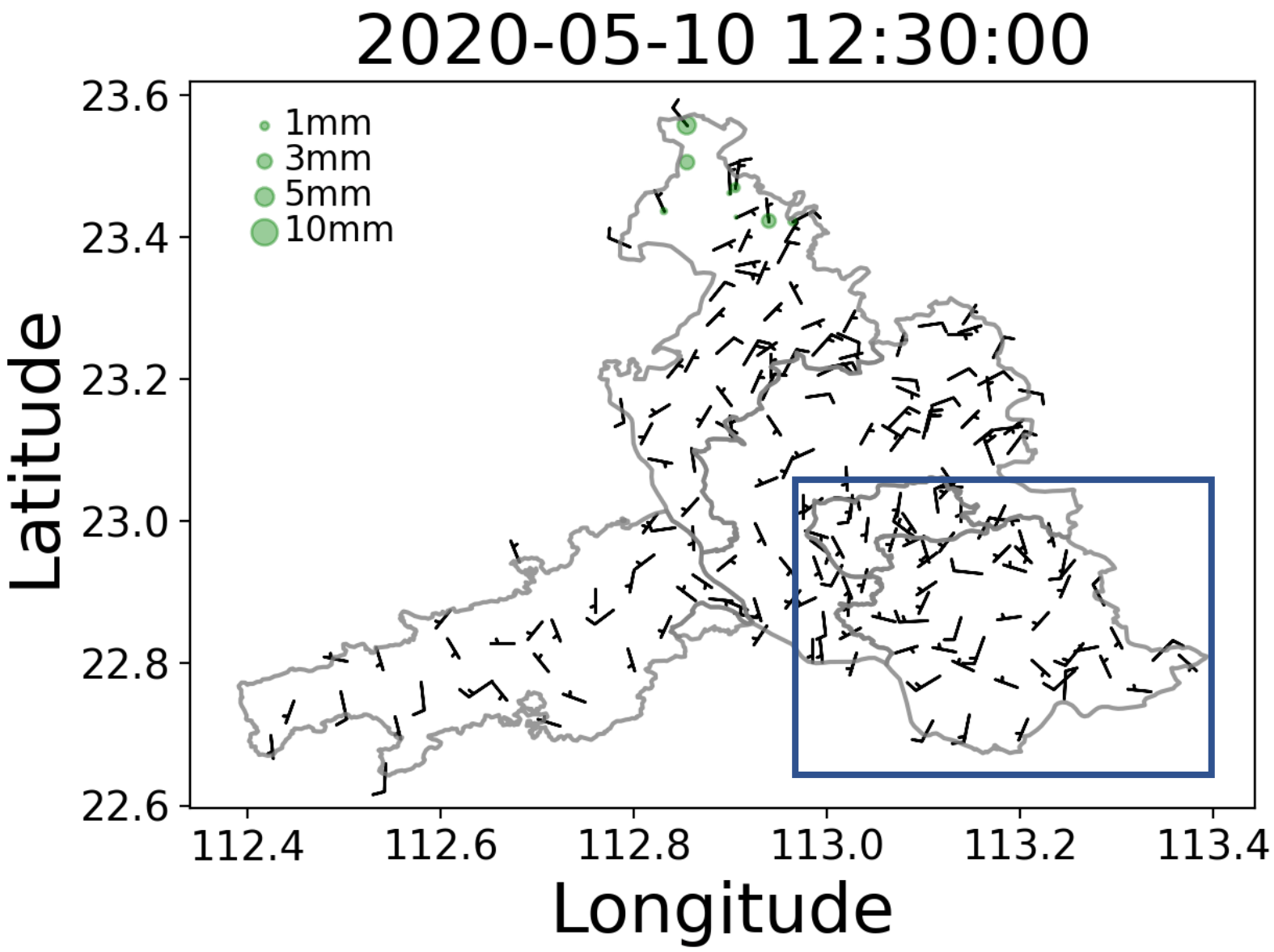




(1)HWI 超前于VIL，可以提供更多的预警提前量，此处超前量达20分钟

佛山 2020.05.10地面短时强降水、大风

佛山市气象局雷达团队



地面大风预警指数

$$GWI = \sum_{n=1}^{N}\left(W^{*} * \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}\right)$$

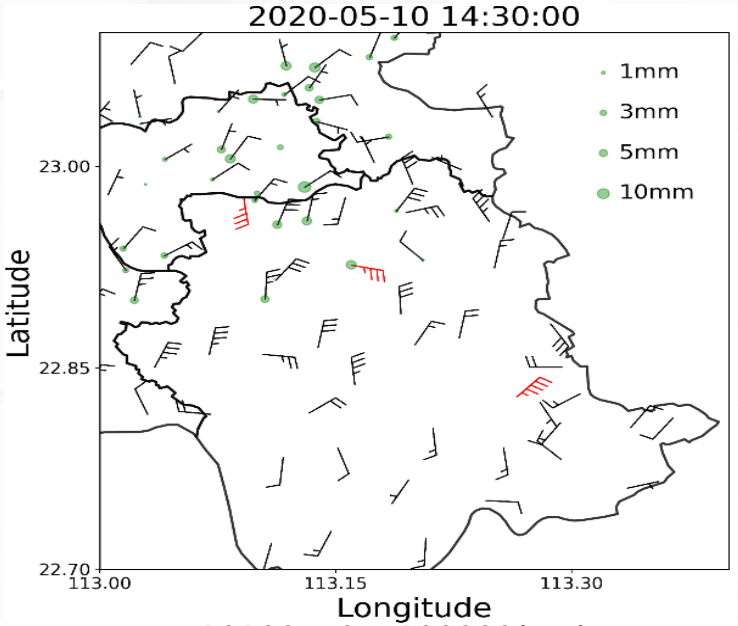
W^{*} 为下沉气流对应的垂直速度，速度取绝对值

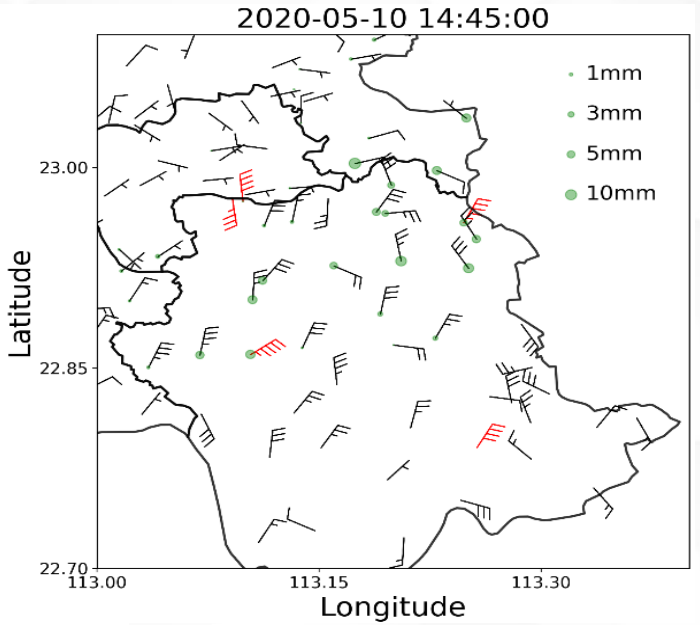
$\sum_{n=1}^{N}(\ \ )$ 表示从地面到6km高度进行积分

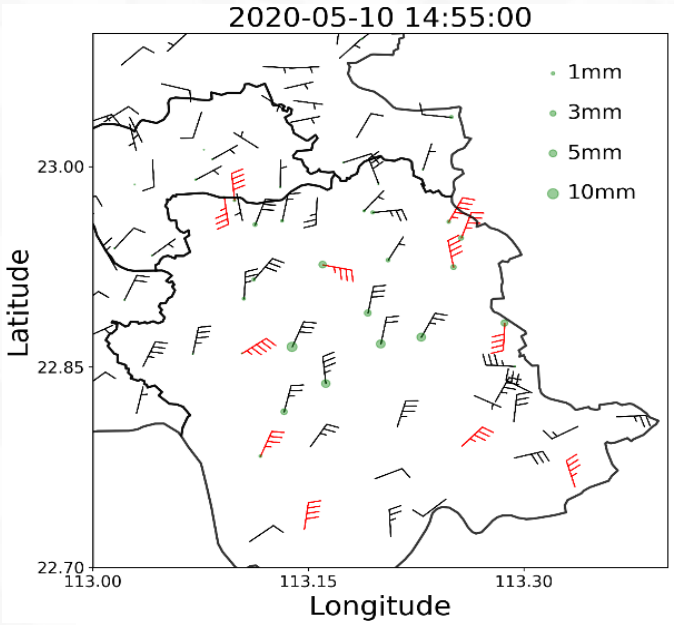
$\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ 表示全风速大小

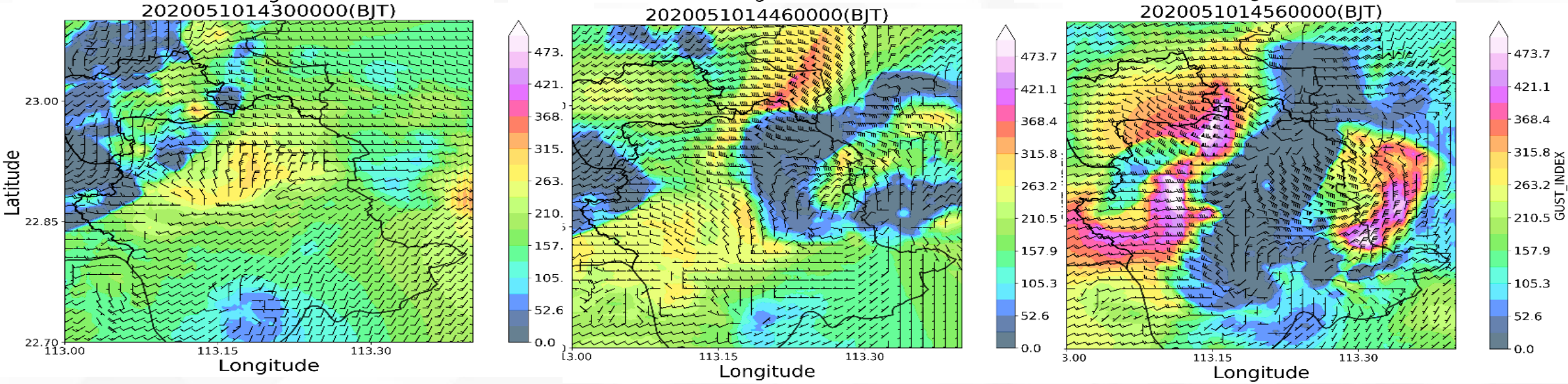
GWI 表征了动量下传的能力

佛山 2020.05.10地面短时强降水、大风









大风预警指数可以指示地面大风的大概率区域，为预报员提供直观的预警参考产品

04 小结

X波段相控阵阵列天气雷达

- （1）分组同步探测技术，多子阵数据时差很小，可以获取更为准确的大气风场，形成三维强度（双偏量）+三维风场的综合观测。
- （2）多子阵从不同角度探测同一目标，一定程度克服衰减，从而能够获得比较精细的反射率结构。
- （3） 采用“取长补短”策略使用，通过协同探测，获得风场是其重要作用。
- （4）与其他探测设备的联合应用，比如S波段雷达

上海青浦S波段雷达+X波段相控阵阵列天气雷达

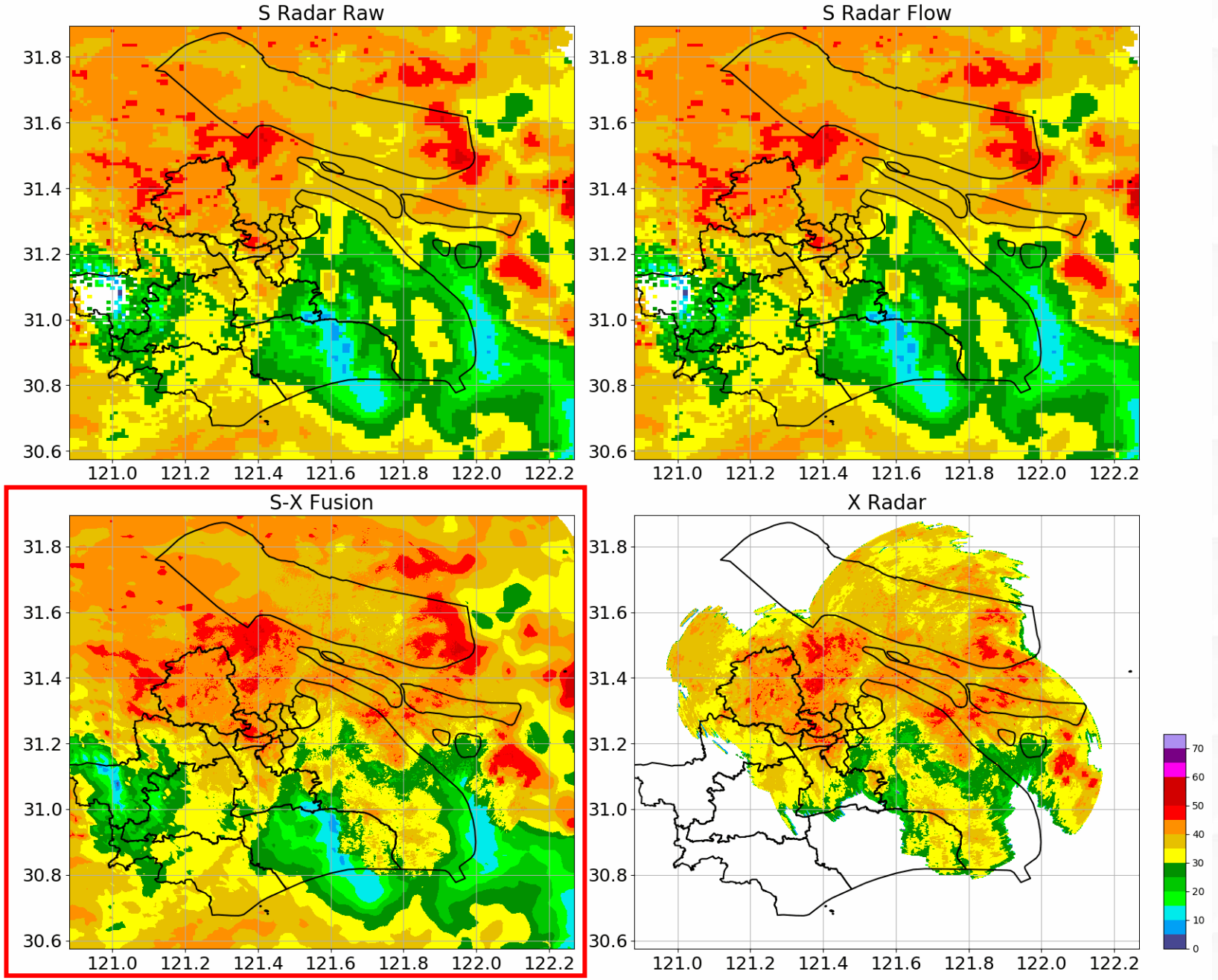
发挥“大雷达”强度准确的优势
发挥“小雷达”结构精细的优势
发挥“大雷达”补弱回波的作用
发挥“小雷达”补盲区的作用

可以更好的服务于QPE,QPF等应用

S波段6分钟组合反射率

2020-07-06 08:00:00

S波段1分钟组合反射率（外推）



S+X 融合

X波段阵列雷达1分钟组合反射率

谢 谢！

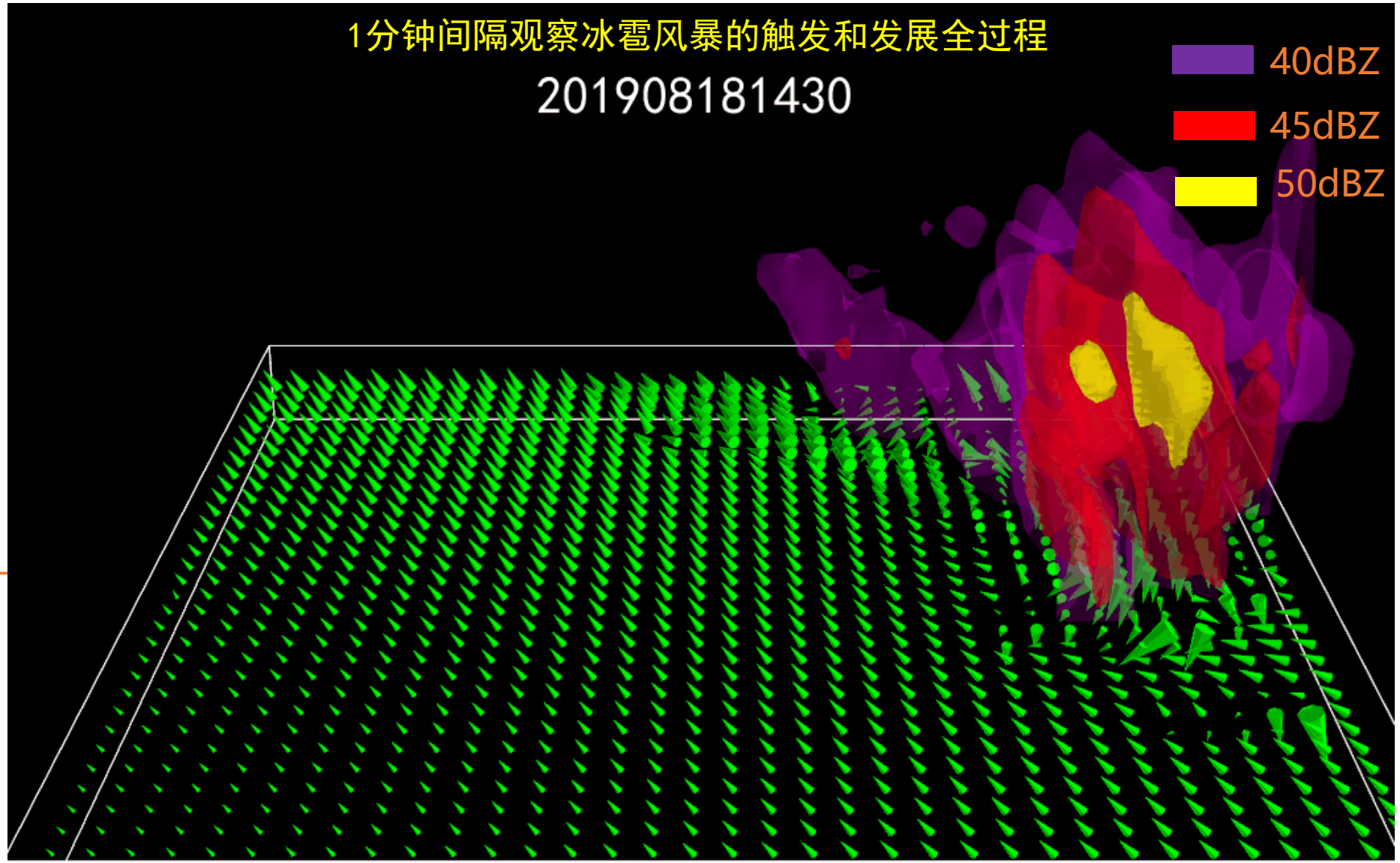
感谢上海市气象局，相控阵联合实验室

感谢佛山市气象局，雷达应用研发团队

王国荣，手机/微信：13718387230

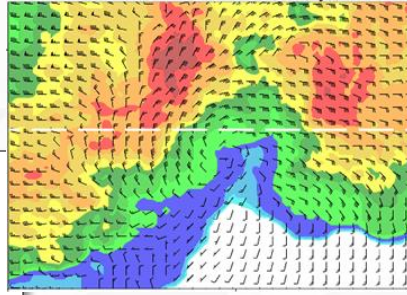
2019-08-18 冰雹、雷暴大风

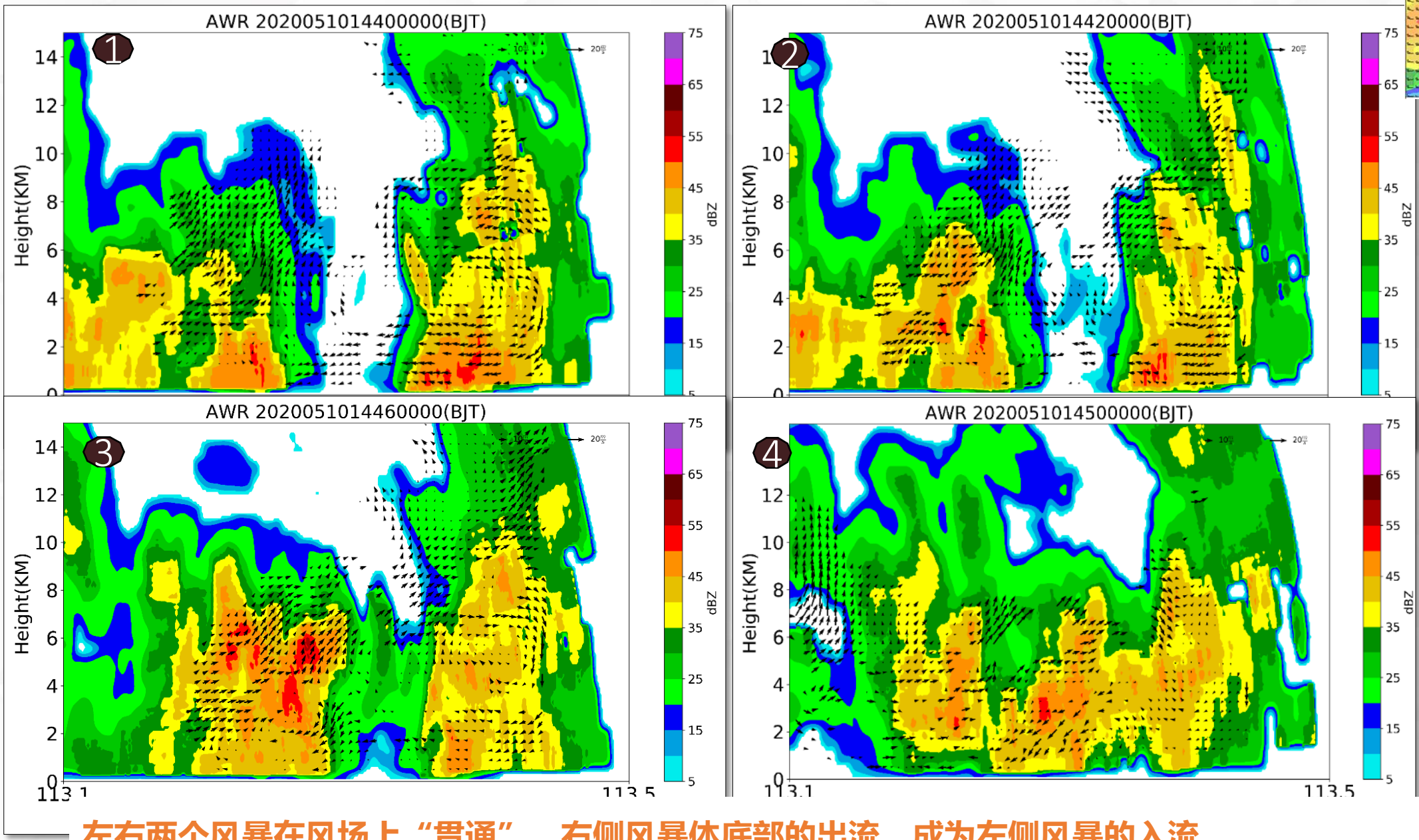
阵列天气雷达探测冰雹风暴演变动画



风暴的演变、相互作用、传播

佛山 2020-05-10

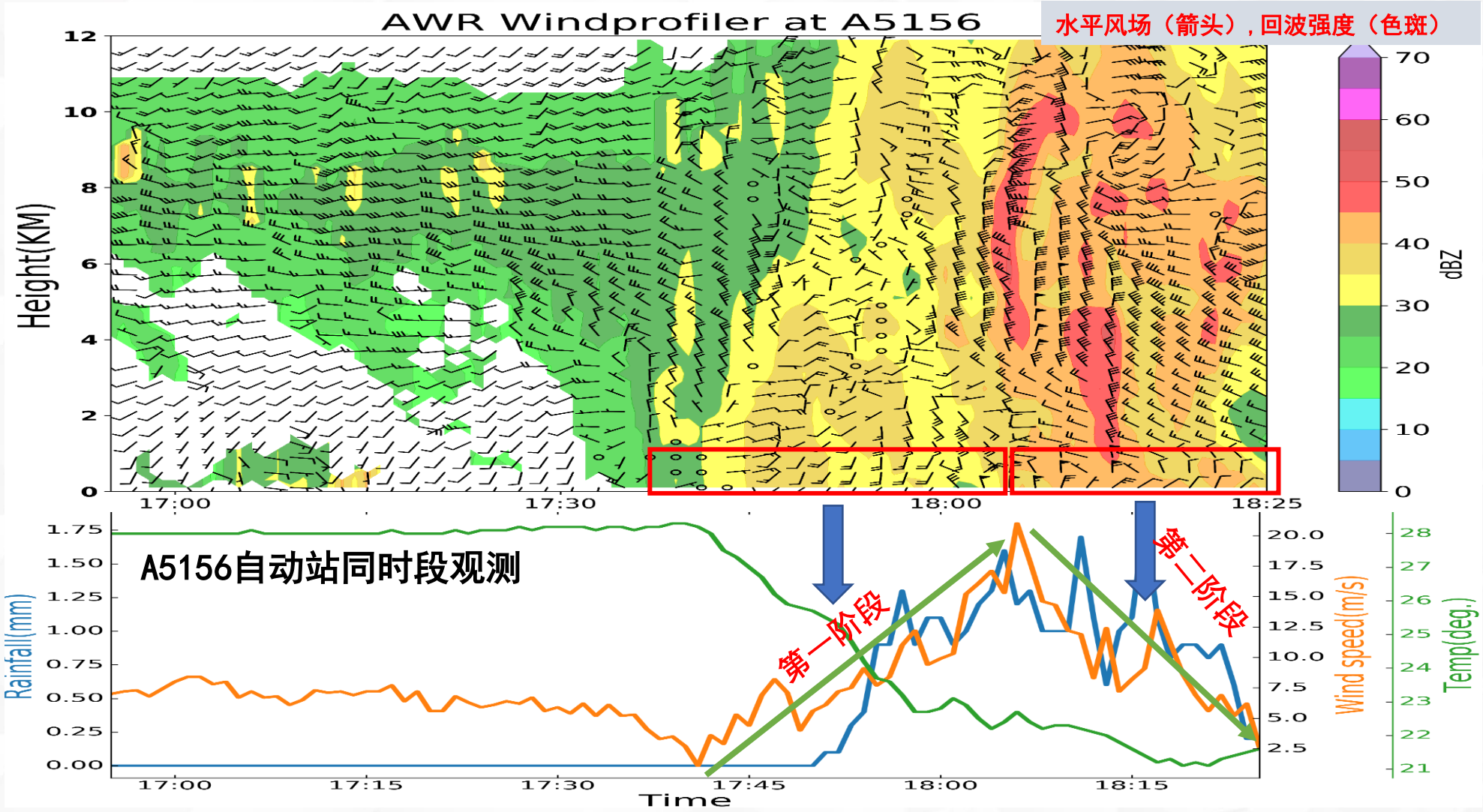




左右两个风暴在风场上“贯通”，右侧风暴体底部的出流，成为左侧风暴的入流

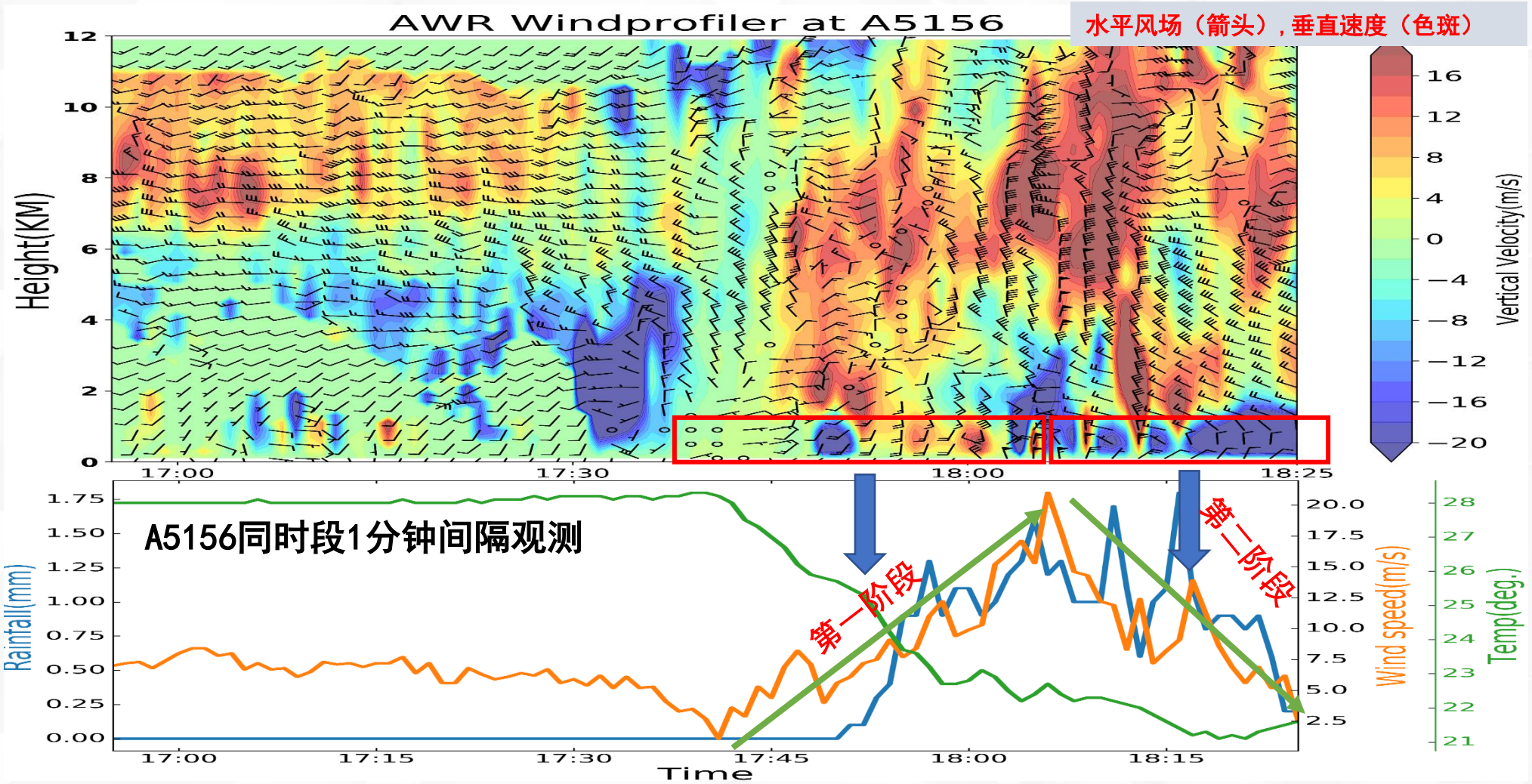
雷暴大风
下击暴流

阵列雷达风廓线反映雷暴大风过程



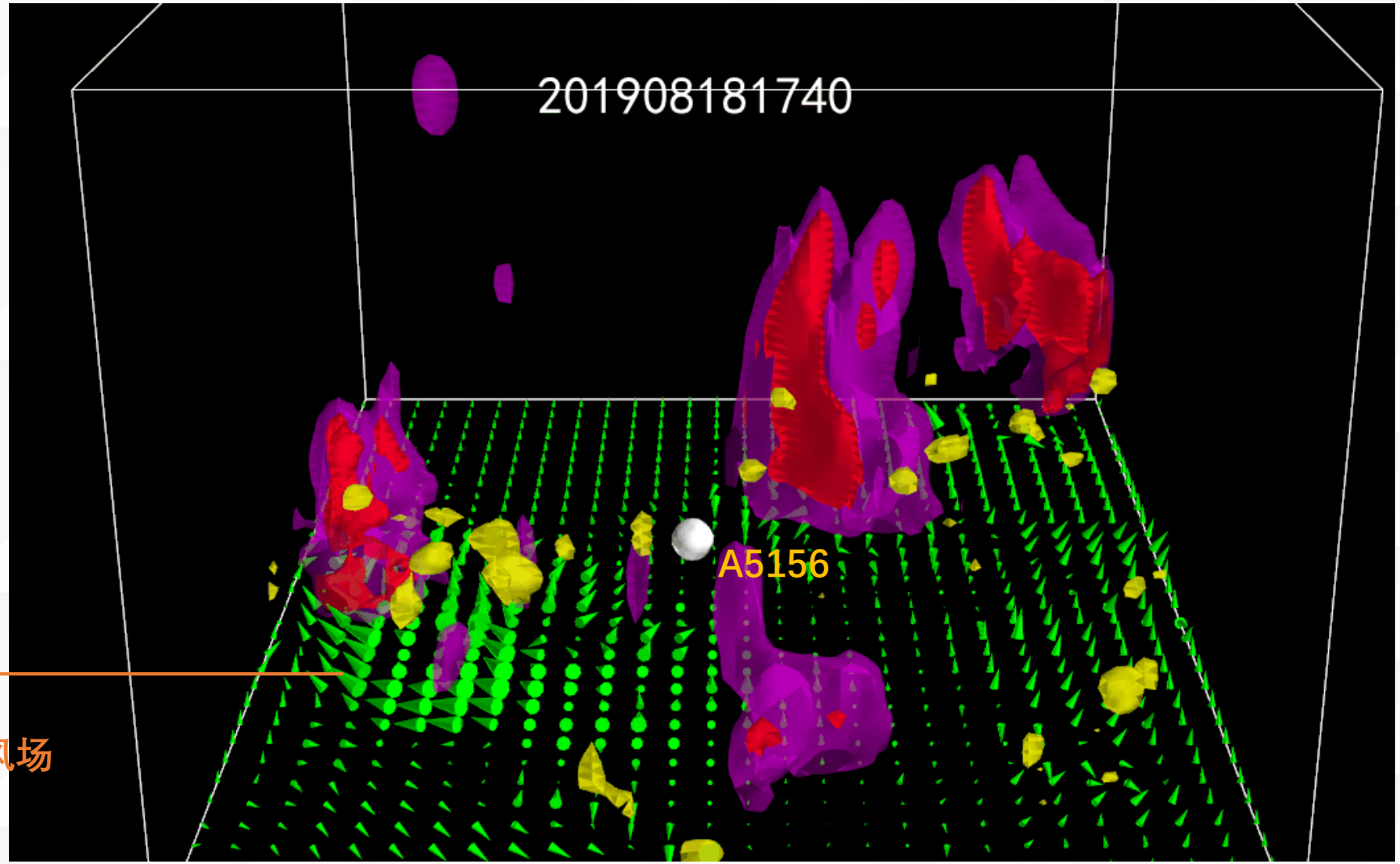
- 阵列雷达风廓线清晰反映了站点上空回波强度和风场的相互配合和随时间演变特征
- 风廓线近地面层风速变化与地面观测非常吻合，证明了阵列风场的准确性、合理性

阵列雷达风廓线反映雷暴大风过程



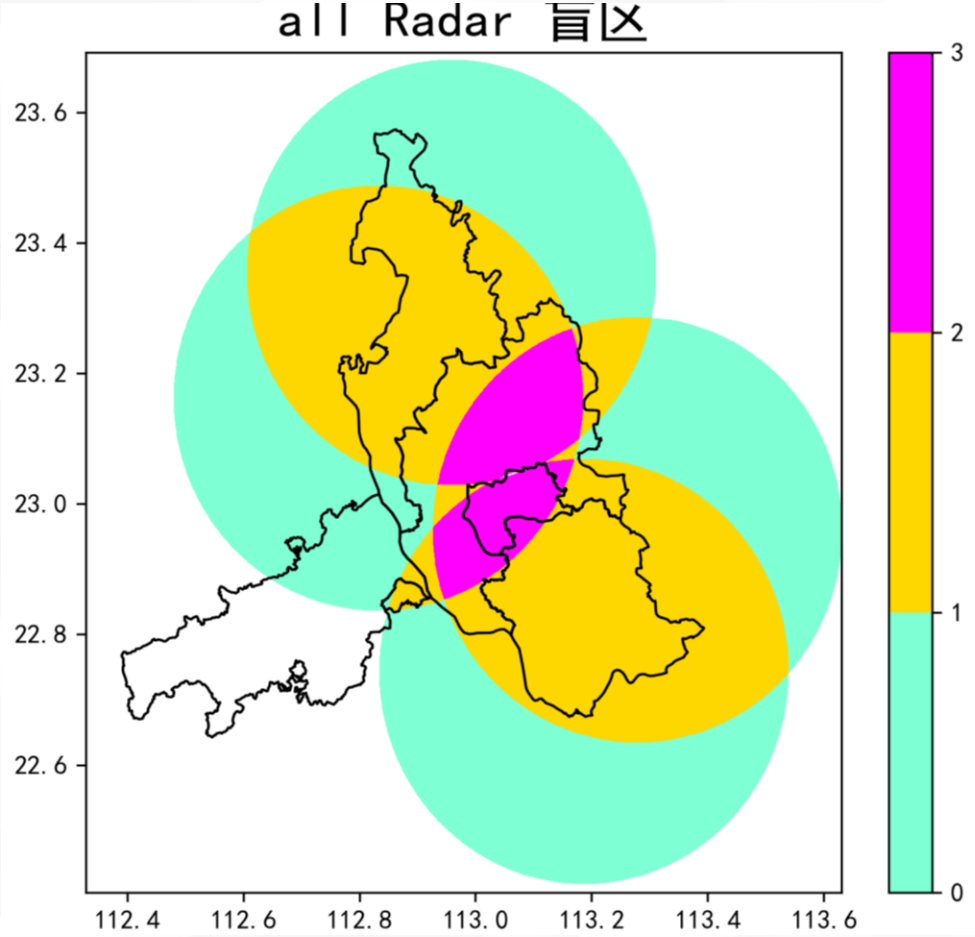
- 阵列雷达风廓线清晰反映了站点上空垂直速度和水平风场的相互配合和随时间演变特征
- 该位置上空经历了从偏南上升气流逐渐加强到转为偏北下沉气流的过程，最大风速出现在显著下沉气流接地时刻

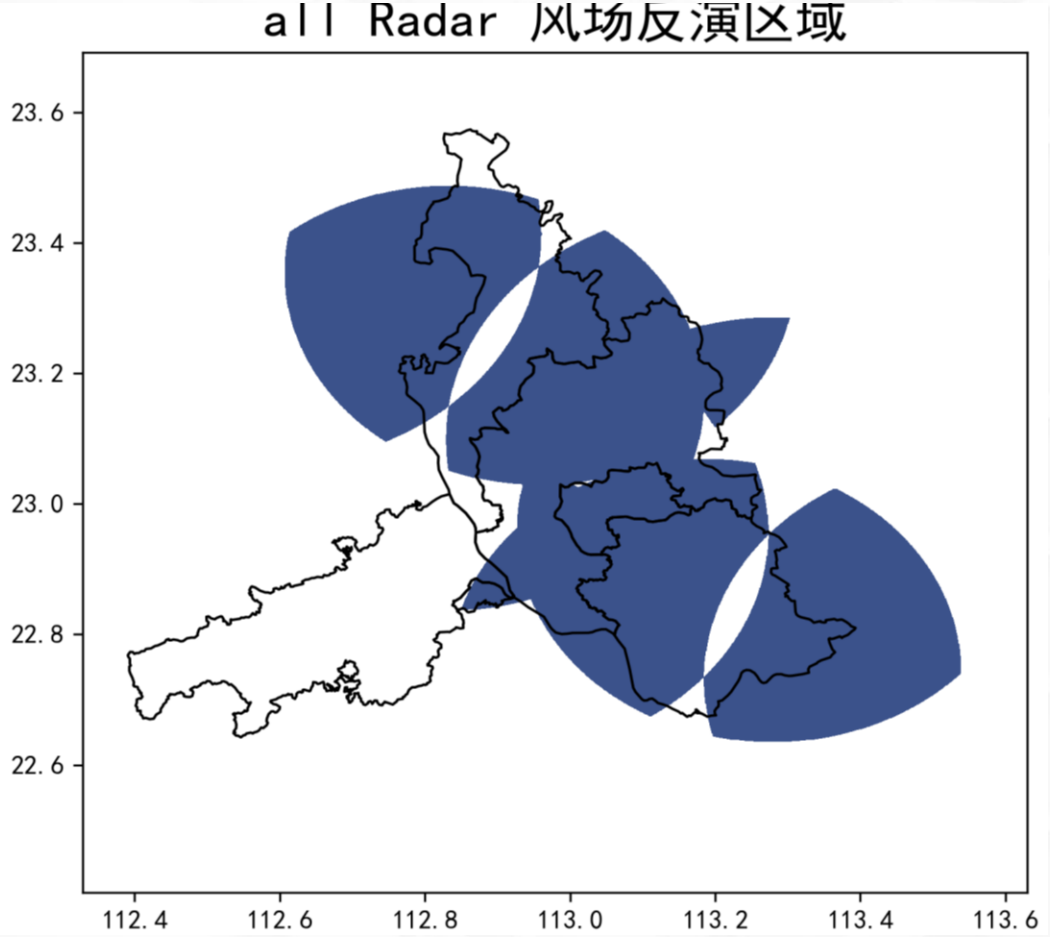
风暴群相互作用过程及地面大风三维模型



- 风暴出流碰撞、汇聚，触发新的对流单体；新生对流发展，“吸收”更强的入流，形成正反馈作用。
- 新生风暴发展成熟、原有风暴崩塌，完成一次风暴更替。
- 地面大风出现在其中一个风暴发生崩塌、雷暴出流加强时刻。

关键性能——三维反演风场准确性



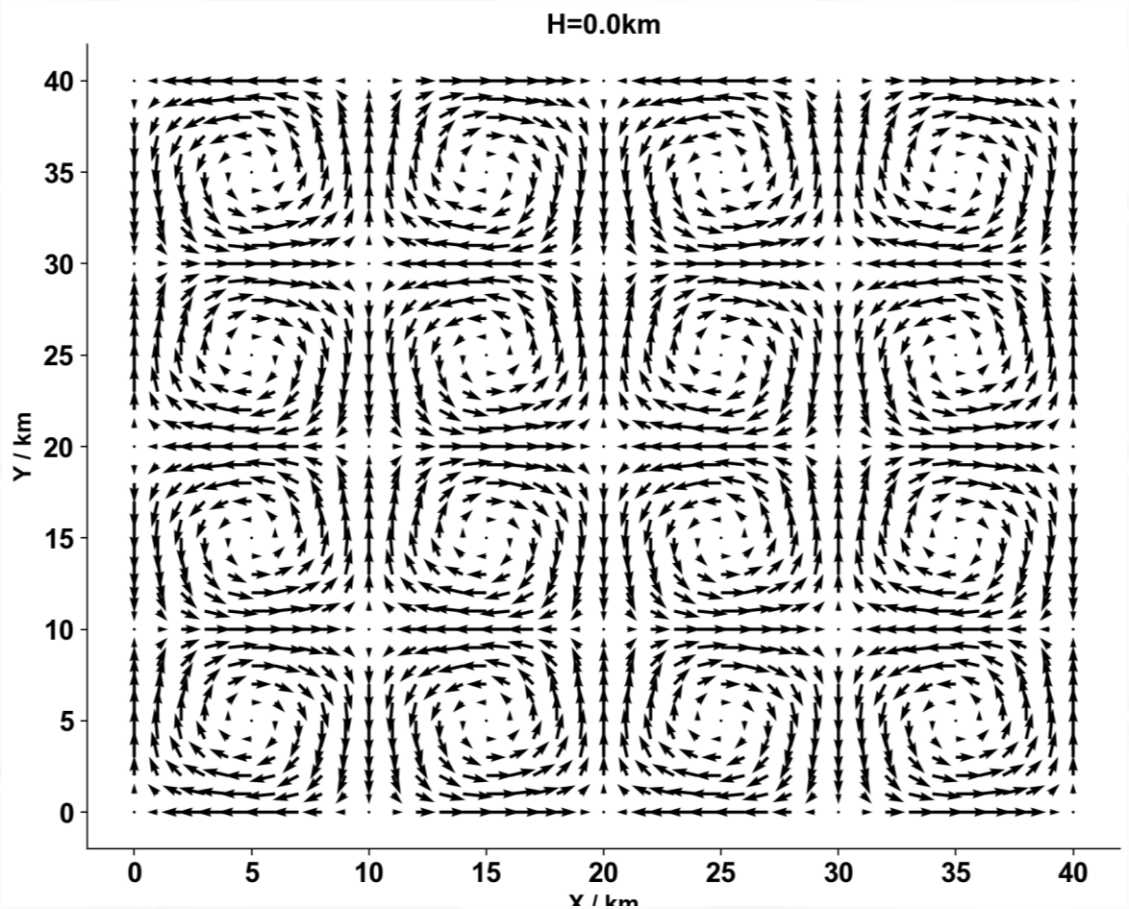


质量守恒约束：cm --> 1500
垂直涡度约束：cv --> 0.01
雷达夹角约束：30-150°

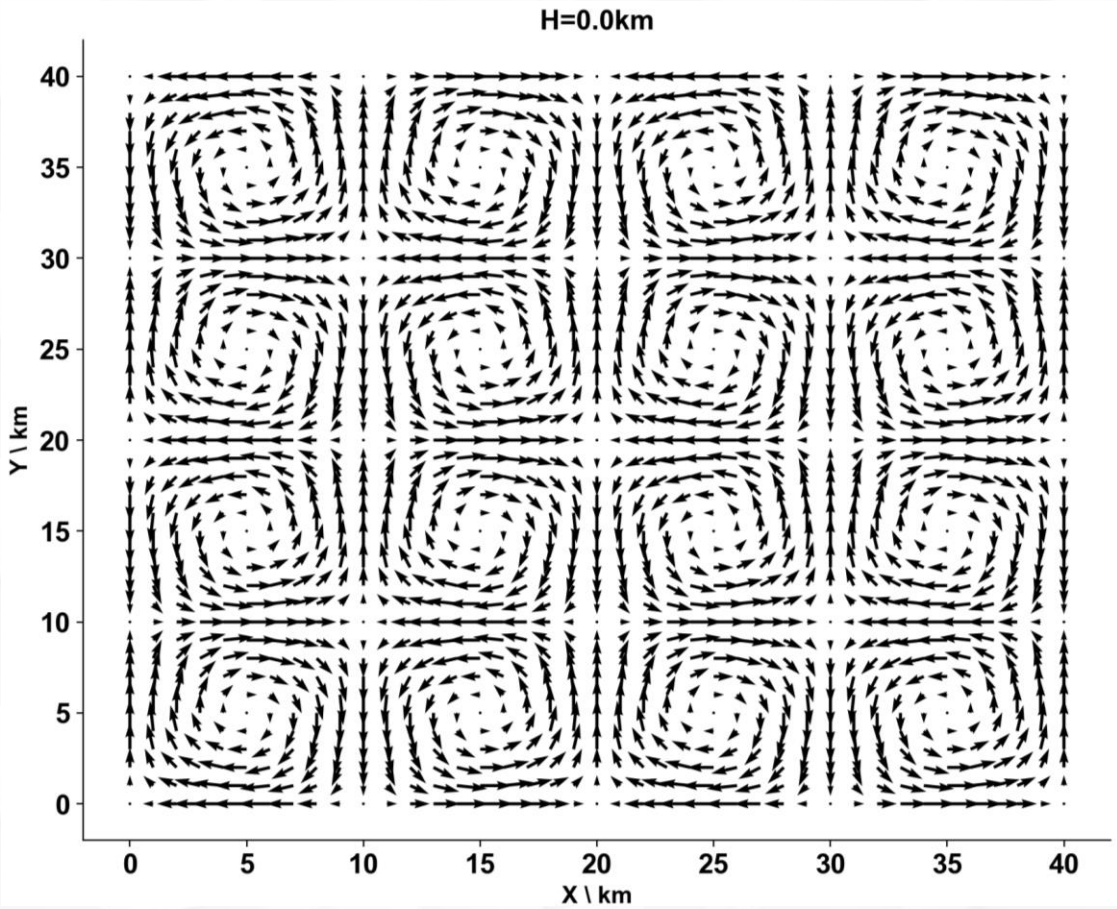
背景约束：cb --> 0.05
观测约束：co --> 1
平滑约束(cx, cy, cz) --> (0.01, 0.01, 0.01)

关键性能——三维反演风场准确性

模拟风场（正值）



反演风场



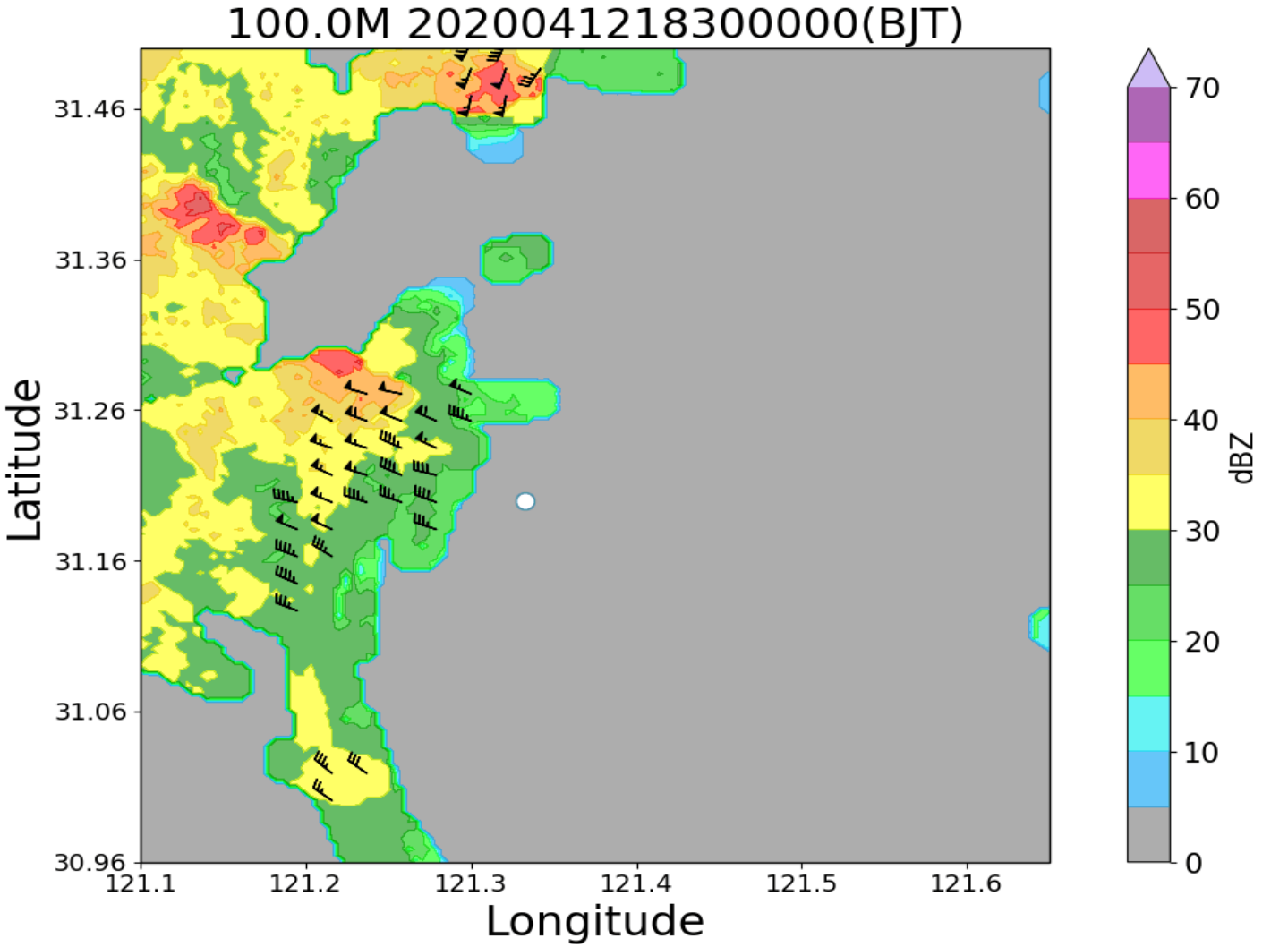
通过模拟实验，确定变分反演的参数

感谢佛山市气象局雷达团队的指导和贡献

阵列风场反映低空强风经过虹桥机场



100米高度上反射率强度+
100米高度上的阵列水平风场

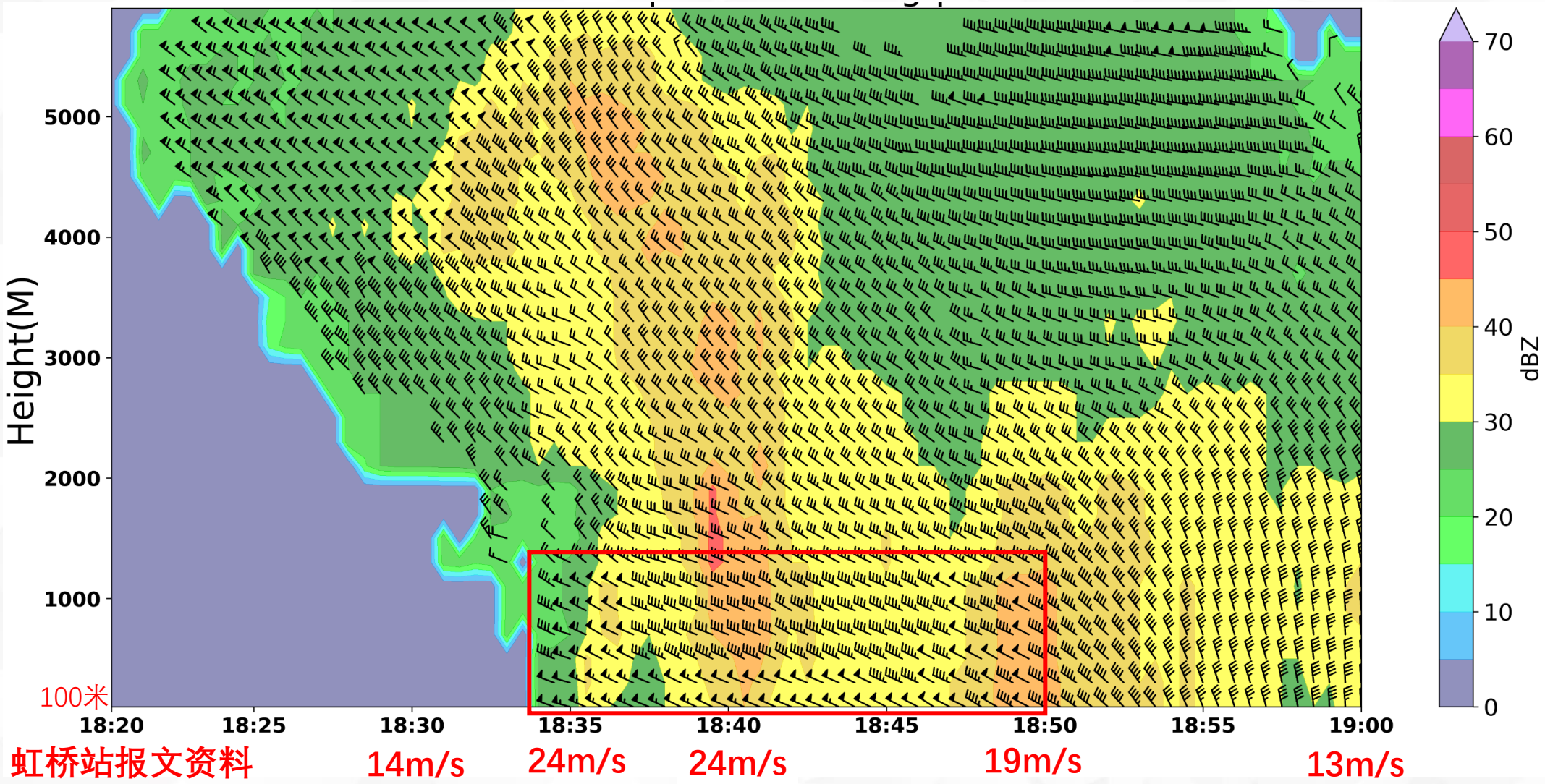


100米高度层上18:30-19:00时段内30s间隔的回波强度和风场时序变化

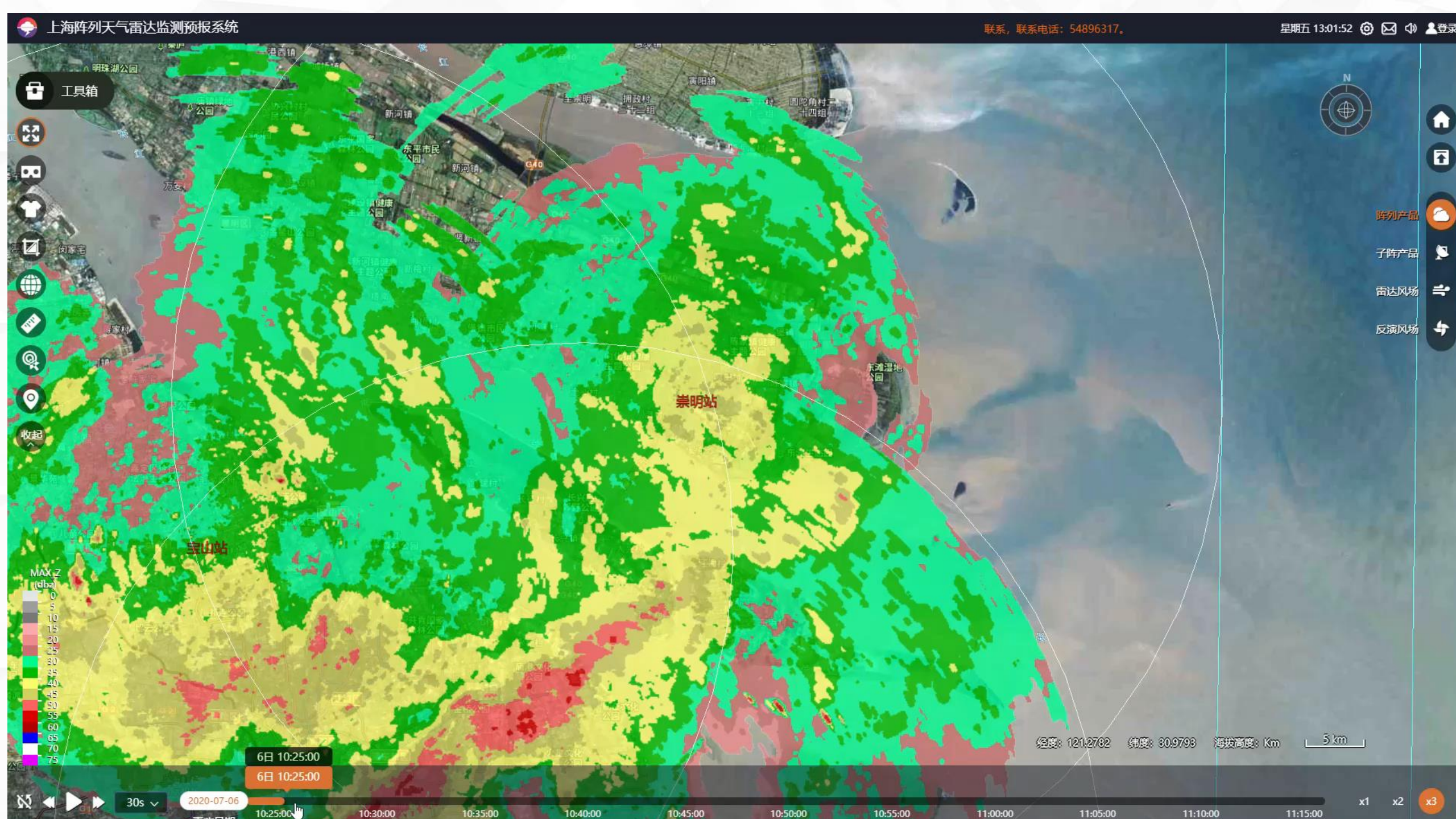
- **最大风速出现在最强回波的周围（两侧），并不在回波最强区域**
- **机场位置不是强回波区域，但是是区域内风速最大区域**

基于阵列风场的虹桥机场风廓线

虹桥机场位置上18:20-19:00时段内30s间隔的回波强度和风场高度-时序图



阵列风场在低层（~300米以下）出现大风（大于20米/秒）与地面观测大风出现的时段非常吻合


上海阵列天气雷达监测预报系统
联系，联系电话：54896317。
星期五 13:01:52
登录
工具箱
收起
N
阵列产品
子阵产品
雷达风场
反演风场
崇明站
宝山站
MAX_Z (dbz)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
经度：121.2782
纬度：30.9793
海拔高度：Km
5 km
6日 10:25:00
6日 10:25:00
30s
2020-07-06
10:25:00
10:30:00
10:35:00
10:40:00
10:45:00
10:50:00
10:55:00
11:00:00
11:05:00
11:10:00
11:15:00
x1
x2
x3