

瑞安 X 波段相控阵天气雷达在一次冰雹过程中的应用分析

潘雯菁 宋珊珊

瑞安市气象局

DOI:10.32629/eep.v8i10.2937

[摘要] 利用瑞安X波段双偏振相控阵雷达数据,结合温州地区S波段双偏振雷达、X波段雷达组网及常规气象观测资料,对2023年6月6日温州冰雹过程进行分析。结果表明,X波段相控阵雷达对小尺度对流单体结构的观测更细致完整;降雹前VIL值显著跃增,回波中心 $\geq 65\text{dBZ}$, 60dBZ 强回波区接近或超 -20°C 高度层,且对应CC低值、ZDR负值及近零KDP;其基于分钟级数据的冰雹自动识别产品,在此次过程中表现出较好的预报参考价值。

[关键词] 相控阵雷达;冰雹;探测能力

中图分类号: S761.4 文献标识码: A

Application analysis of the Ryan X-band phased array weather radar during a hailstorm event

Wenjing Pan Shanshan Song

Ruian Meteorological Bureau

[Abstract] Using Rui'an X-band dual polarization phased array radar data, combined with S-band dual polarization radar, X-band radar network and conventional meteorological observation data in Wenzhou area, analyze the hail process in Wenzhou on June 6, 2023. The results indicate that X-band phased array radar provides more detailed and complete observations of small-scale convective cell structures; Before hail, the VIL value significantly increased, with the echo center $\geq 65\text{dBZ}$ and a strong echo area of 60dBZ approaching or exceeding the -20°C altitude layer, corresponding to low CC values, negative ZDR values, and near zero KDP; Its hail automatic recognition product based on minute level data has shown good predictive reference value in this process.

[Key words] phased array radar; hail; detection capability; multi-radar data fusion

引言

瑞安位于浙江东南沿海,境内地形多样复杂,是强对流冰雹天气频发区域。瑞安X波段相控阵天气雷达于2022年6月开始试运行,是温州首部县域相控阵天气雷达,具有高时空分辨率的探测优势,探索相控阵雷达在冰雹过程中的应用可以进一步提高冰雹天气监测预报水平,助力提升气象灾害防御能力。2023年6月6日中午前后,受低层切变影响,温州境内有对流云团发展,13:00左右瑞安和平阳交界处出现冰雹天气,温州内陆出现8级以上雷雨大风并伴有雨强大于 20mm/h 的短时强降水天气,全市130个站点出现暴雨,40个站点出现大暴雨。此次过程为一次典型的温州夏季强对流天气,伴随局地降雹,瑞安X波段双偏振相控阵雷达全程监测了此次过程,因此重点分析X波段相控阵雷达资料在此次冰雹过程中的监测应用。

1 资料来源及说明

本文使用的观测资料包括:(1)瑞安五云山(海拔783m)、温州黄石山(海拔321m)、乐清狮子岩(海拔737m)、永嘉上垟(海拔

802m)四部X波段双偏振相控阵天气雷达数据,单部相控阵雷达探测距离为45km,径向分辨率为30m,时间分辨率为1min。(2)温州大罗山S波段双偏振天气雷达数据,雷达海拔1133m,探测距离为230km,径向分辨率为250m,雷达扫描模式为VCP21,体扫时间约6min。(3)温州地面和高空观测、气象自动站观测等常规气象观测资料。数据时间均为2023年6月6日,其中雷达资料时间为世界时。

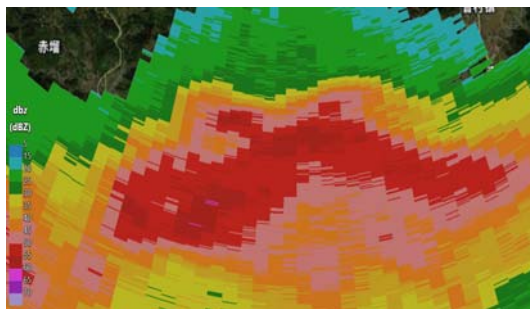
2 环流背景及冰雹天气实况

2023年6月6日08时形势场显示,500hPa高层有西风带短波槽东移影响,槽后有冷空气南下渗透,高层存在辐散气流,为低层空气垂直上升提供持续动力支撑,同时副热带高压处于南撤阶段,大量暖湿能量释放,加剧了大气层结的不稳定,为强对流活动提供了热力条件;850hPa有低涡切变东移过境,温州处于切变线北侧冷暖空气交汇地带,形成强烈辐合上升运动,冷暖空气的碰撞为强对流提供了核心触发条件,同时“低层辐合、高层辐散”的配置为维持强对流上升气流强度提供了动力条件;切变

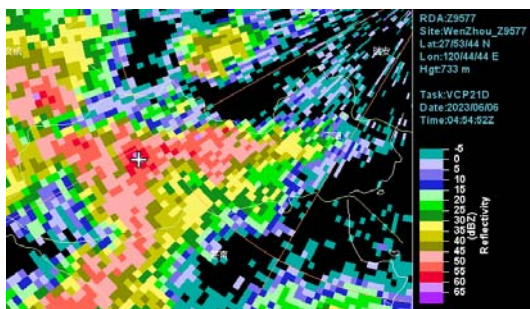
线南侧有西南暖湿气流维持并加强,温州区域低层水汽通量辐合明显,水汽含量充沛,西南气流持续的水汽输送为温州区域短时强降水、雷暴大风等强对流天气触发提供了充足的水汽条件。08时探空资料显示,温州区域CAPE值达2800~3200J/kg,处于强不稳定区间,不稳定能量充足;K指数大于30,抬升指数在-5左右,提示层结不稳定特征显著,利于水汽垂直输送与对流扰动增强。

2023年6月6日12时至15时,温州午后自西向东出现雷阵雨天气,全市普降中到大雨、局部暴雨、个别大暴雨,并伴有8~10级雷雨大风。温州全市过程累积雨量35.0mm,130个站点出现暴雨(雨量 ≥ 50 mm),40个站点出现大暴雨(雨量 ≥ 100 mm),60多站出现短时强降水(雨强 ≥ 20 mm/h),单站雨量最大为永嘉县鹤盛正江山143.7mm,最大小时雨强为永嘉县鹤盛鹤泉60.1mm;12~15时温州全市共9个站点出现8级以上雷雨大风,最大出现在苍南县南宋26.6米/秒(10级);13时左右,瑞安马屿镇和平阳凤卧镇交界处出现直径1cm的小冰雹。后续的分析主要针对X波段相控阵雷达资料在此次冰雹过程的探测应用展开。

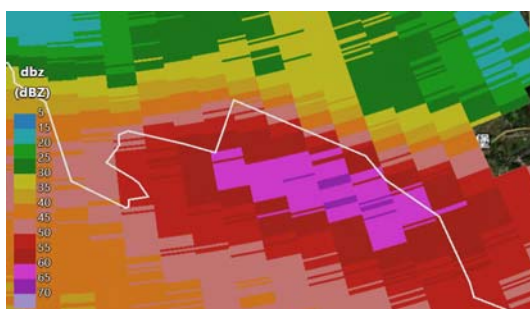
3 冰雹过程雷达探测资料对比



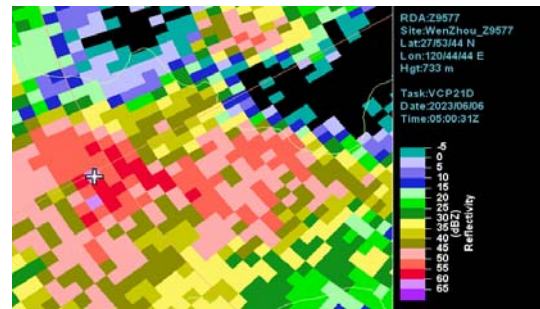
(a)



(b)



(c)



(d)

图1. 2023年6月6日12:54-13:00瑞安X波段相控阵雷达(a, c)和温州S波段双偏振雷达(b, d)对瑞安平阳交界处冰雹回波结构探测对比

瑞安X波段相控阵天气雷达资料显示,在温州西南端瓯线前侧对流激发下,12:30瑞安与平阳交界处有对流单体生成并原地快速发展加强,移动缓慢,12:54强回波中心已达62dBZ,中高层强回波悬垂在有界弱回波之上,>60dBZ的强回波区扩展到约6km高度,并持续9个体扫(X波段相控阵雷达单次体扫时间为1min)。对比温州S波段双偏振天气雷达观测到的冰雹回波单体结构,其250m的径向分辨率对于此类小尺度的对流单体结构观测精度不足、无法显示完整的对流单体结构(图1b, d),而瑞安X波段相控阵雷达由于30m高径向分辨率的优势,对此次过程瑞安和平阳交界处冰雹回波单体结构的探测更为细致,能显示更为完整的回波单体结构(图1a, c)。在对流单体发展过程的观测上,温州S波段双偏振天气雷达仅连续两个体扫时次观测到明显冰雹特征,瑞安X波段相控阵雷达对冰雹回波的观测持续9个体扫时次,对于对流单体发展过程的观测更为连续,能更好地追踪冰雹回波的发展演变过程。

但在此次强对流冰雹过程中,对同时段内温州市区观测到的暴雨回波进行对比发现,由于X波段雷达受降雨衰减影响较S波段雷达大这一共性问题,13:00温州S波段双偏振天气雷达观测到的回波中心强度达56dBZ,回波强度与降雨实况较为一致,强回波范围与降雨落区也相对应,而瑞安X波段相控阵雷达观测到的回波中心强度仅48dBZ,回波强度与实况对比偏弱、强回波范围偏小。通过与温州黄石山、乐清、永嘉多部X波段相控阵雷达数据融合进行衰减订正补偿后,组合回波显示回波中心强度达55dBZ,50dBZ以上强回波范围明显增加,与降雨实况较为一致。由此可见,在强对流天气过程中,对于强降水的观测,多部X波段相控阵雷达组网融合探测效果较单部X波段相控阵雷达探测效果更优,更好地追踪强对流天气系统的连续演变过程。

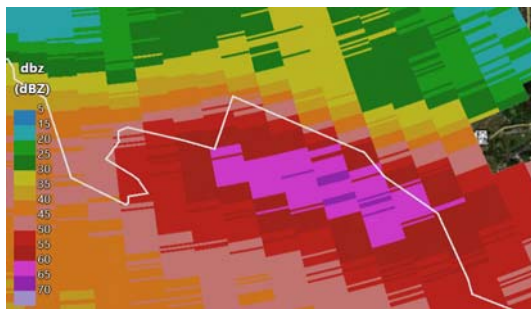
4 冰雹回波特征分析

应用瑞安X波段双偏振相控阵天气雷达在此次强对流冰雹过程中探测到的回波强度(Z)、垂直累积液态水含量(VIL)以及相控阵雷达差分反射率因子(ZDR)、差分传播相移(KDP)、相关系数(CC)等偏振参量,对此次对流的冰雹回波特征进行分析,可以看

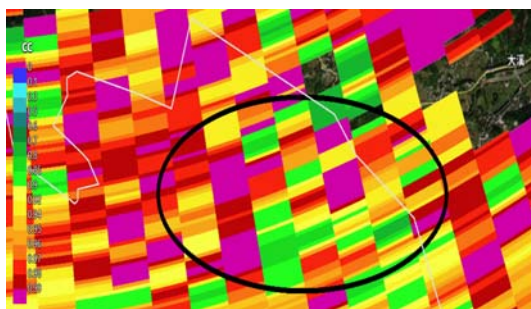
到:发生降雹前瑞安中南部与平阳交界处VIL值有明显跃增现象,对应地面实际降雹时间的前0~10min;相控阵雷达分钟探测资料显示12:52冰雹云回波中心强度已达65dBZ以上(图2a)并持续8min;回波垂直剖面显示中高层强回波悬垂在有界弱回波之上,60dBZ以上的强回波区扩展高度达10km,超过-20℃高度层;选取接近降雹时次的相控阵雷达偏振产品进行分析,12:58瑞安与平阳交界处的回波单体在4.3°仰角表现出明显的三体散射特征,>60dBZ的强回波区对应CC低值(<0.9)和ZDR负值(-4~0dB)(图2b),KDP在零值附近(-0.1~0.1deg/km)(图2c)。12:50相控阵雷达探测到的强回波还未接地,12:55-13:00瑞安X波段相控阵雷达观测到强回波中心连续下降、60dBZ以上强回波接地过程(图2d),与实际发生降雹时间相一致。13:02以后回波悬垂发展到地面,强中心快速减弱到60dBZ以下,回波强度减弱,降雹趋于结束。

5 结论

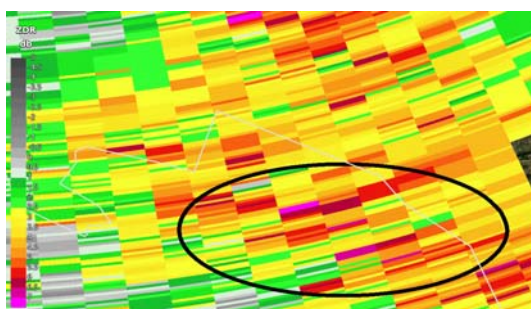
利用X波段双偏振相控阵天气雷达和S波段双偏振天气雷达对温州地区2023年6月6日的一次局地冰雹过程进行分析,得到结论如下:



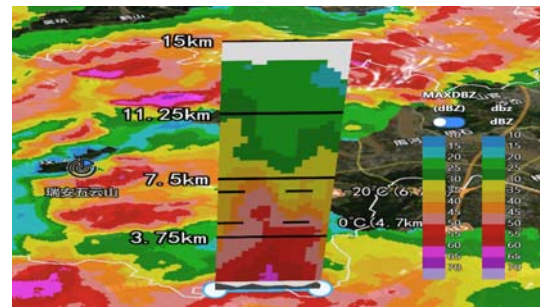
(a)



(b)



(c)



(d)

图2. 2023年6月6日13:00 瑞安X波段相控阵雷达回波强度(a)、相关系数(b)、差分传播相移(c)和雷达回波垂直剖面(d)

(1) 冷暖空气的碰撞为此次强对流的触发提供了核心条件,同时高层西风带短波槽东移配合低层切变线东移过境,“低层辐合、高层辐散”的配置以及切变线南侧西南暖气流的维持与加强为温州地区强对流天气的发展和维持提供了有利条件。

(2) X波段相控阵雷达对于冰雹回波单体结构的探测较S波段双偏振雷达更为细致和完整,能连续追踪冰雹回波的快速发展演变过程。但X波段相控阵雷达受强降雨的衰减影响较大,通过多雷达数据融合进行衰减订正补偿后,对整体的对流过程探测效果更优。

(3) X波段相控阵天气雷达资料分析表明,地面实际降雹前0~10min,VIL值有明显跃增现象,降雹前回波中心强度已达65dBZ以上并持续,中高层强回波悬垂在有界弱回波之上,60dBZ以上的强回波区扩展高度超过-20℃高度层,且对应CC低值和ZDR负值,KDP在零值附近。降雹阶段可观测到强回波中心连续下降、60dBZ以上强回波接地过程。

[基金项目]

温州市科技局社会发展项目“温州市冰雹特征分析及预报指标研究”(MS2024005)资助。

[参考文献]

- [1] 汤兴芝,俞小鼎,姚瑶,等.华东一次极端冰雹天气过程雷达回波特征的比较分析[J].高原气象,2023,42(04):1078-1092.
- [2] 刘昭武,田世芹.黄河三角洲地区冰雹过程雷达特征分析[J].气象研究与应用,2022,43(04):72-78.
- [3] 李启芬.安顺市2015-2019年冰雹时空分布特征及雷达临近预警指标研究[J].中低纬山地气象,2022,46(5):39-44+75.
- [4] 苏蕾,沈华平,杨晓凤.龙岩一次冰雹的雷达回波特征分析[J].海峡科学,2020,(08):12-16.
- [5] 王丽荣,李姣,张素云,等.雷达对冰雹灾害落区的跟踪及鉴定[J].灾害学,2019,34(03):66-70.

作者简介:

潘雯菁(1993--),女,汉族,广西人,硕士,工程师,研究方向:综合气象业务。