

文章编号:2096 - 5389(2022)02 - 0046 - 09

基于多源数据的湘北地区春季一次冰雹过程的观测分析

朱家亮^{1,2}, 潘江萍³, 邱丽静¹, 吕 渊⁴

(1. 湖南省长沙市气象局, 湖南 长沙 410006; 2. 气象防灾减灾湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410000;
3. 湖南省邵阳县气象局, 湖南 邵阳 422100; 4. 湖南省邵阳市气象局, 湖南 邵阳 422000)

摘 要:新型探测资料在强对流短临预报中发挥着重要作用。该文以 2020 年 3 月 22 日湘北地区春季一次冰雹过程为研究对象,运用多普勒天气雷达、风廓线雷达和地基微波辐射计等新型探测资料对该过程观测分析。结果表明:①此次过程发生在冷空气南下与南支槽前暖湿空气交汇背景下,受中低层切变线与急流影响,冰雹风暴生成前回暖明显,环境垂直风切变大;风暴由地面辐合线触发产生。②此次超级单体降雹过程在雷达回波中表现出“三体散射”“V 型缺口”、中气旋等特征;VIL、低仰角大风速核对冰雹和大风预警有很好的指示。③风廓线雷达探测到,风暴影响前超低空急流加强,中层有干侵入,低层垂直速度出现波动,风暴临近时超低空急流减弱。④地基微波辐射计监测发现,风暴影响前高空湿度增大,K 指数、TT 指数呈同趋势变化,而 K 指数预警灵敏度高于 TT 指数;风暴影响阶段,高空温度、相对湿度和大气不稳定指数出现不同程度跃升和突降。

关键词:冰雹;雷达;风廓线;地基微波辐射计

中图分类号:P458.1⁺21.2 **文献标识码:**B

Observational analysis of a hailstorm event in spring in northern Hunan based on multi - source data

ZHU Jialiang^{1,2}, PAN Jiangping³, QIU Lijing¹, LYU Yuan⁴

(1. Changsha Meteorological Bureau, Changsha 410006, China; 2. Hunan Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Changsha 410000, China; 3. Shaoyang County Meteorological Bureau, Shaoyang 422100, China; 4. Shaoyang Meteorological Bureau, Shaoyang 422000, China)

Abstract: The new detection data play an important role in the forecast of short - term and upcoming severe convection. This article takes a hailstorm in spring in Northern Hunan on March 22, 2020 is observational analyzed by using new detection data such as Doppler weather radar, wind profiler radar and ground - based microwave radiometer. The results showed that : ① The hailstorm occurred under the background of the convergence of the cold air and the warm and humid air in front of the south branch trough, due to the influence of the middle and low - level shear lines and jets, the warming up before the hail storm is obvious, and the vertical wind shear of the environment is large; the storm is triggered by the ground convergence line. ② The supercell hail process showed the characteristics of "three - body scattering" "V - shaped gap", and medium cyclone in the radar echo; VIL, low elevation angle and high wind speed check have good indications for hail and high wind warning. ③ The wind profiler radar detected that the ultra - low - level jet stream strengthened before the impact of the storm, and the low - level vertical velocity fluctuates. When the storm approaches, the ultra - low - level jet stream weakens, and there is dry intrusion in the middle layer. ④ Ground - based microwave radiometer monitoring found that the altitude humidity increased before the storm, K index and TT index showed the same trend, and the warning sensitivity of K index was higher than that of TT index; during the storm's impact phase, the upper - air

收稿日期:2021 - 04 - 24

第一作者简介:朱家亮(1984—),男,副高,主要从事天气气候与环境研究工作,E - mail:jlz101@163.com。

资助项目:湖南省气象局 2020 年预报员专项(XQKJ20C006):风廓线雷达资料在天气分析中的应用。

temperature, relative humidity and atmospheric stability index all increased and decreased to varying degrees.

Key words: hailstorm; radar; wind profiler; microwave radiometer

0 引言

进入二十一世纪以来,冰雹、雷暴、大风、龙卷等极端强对流天气因突发性强、致灾严重而备受关注,如何提升强对流天气的预报能力已经成为气象工作者关注的重点之一^[1]。冰雹往往与对流风暴相联系,目前冰雹天气的临近预报主要是基于天气雷达和气象卫星资料,综合对流风暴临近预报、强对流天气识别和实况观测进行^[2]。随着高分辨率数值模式和同化技术的发展,高分辨数值模式与雷达回波外推融合极大提高了冰雹预报的精细化水平并延长预报时效^[3]。然而,当前对于冰雹的短期预报还处于概率预报和危险等级预报阶段,学界对冰雹形成的物理机制还不十分清楚,强对流天气系统的触发和发展机制、小尺度的结构特征仍是冰雹天气研究中的难点问题^[2]。在国内,多普勒雷达当前是冰雹云识别及预警的强有力工具^[4]。随着新型探测设备的发展,尤其是风廓线雷达、地基微波辐射计等设备的应用,为冰雹天气研究提供了新的方向。近年来,研究人员通过对风廓线雷达、地基微波辐射计资料的研究应用,在暴雨^[5-6]、台风^[7]、雨雪天气^[8-9]、大雾^[10-11]等天气研究方面取得了一定成果。特别是在强对流天气预报中,新型探测资料作为常规探测资料的补充,有着较好的应用前景^[12]。风廓线雷达水平风资料可以反映出风场垂直结构和变化特点,从而判断天气系统的过境情况^[13]。另外,风廓线雷达资料还可以用于诊断强降水天气,分析低空急流脉动与强降水的关系,负垂直速度与降水强度密切对应^[14-15]。研究发现,通过风廓线雷达资料能够反演出冷暖平流的分布形势,进而预测强对流的发展趋势^[16-17]。基于风廓线雷达资料的特性和优点,美国强风暴中心通过风廓线雷达监测上游地区强风和垂直风切变,从而判断下游地区出现有组织的超级单体的可能性^[18-19]。微波辐射计通过监测云中的温度、湿度、液态水含量廓线,从而了解一些对流云的微物理变化特征。Revercomb et al^[20]综述了美国 ARM (Atmospheric Radiation Measurement) 实验中使用微波辐射计探测有关水汽的研究背景与前景。微波辐射计资料还可以和闪电资料联合估算对流性天气中的降水量,且估算的降水量比仅用地闪资料估算准确^[21]。冰雹天气研究中发现,地基微波辐射计探测到对流层

内温度、水汽急剧变化特征可作为诊断强对流系统剧烈发展的参考依据^[22];利用地基微波辐射计资料计算出的大气不稳定指数,对强对流天气有很好的指示^[23];地基微波辐射计探测的温度廓线显示,降水时段,云内与环境平均温差呈现出低层温度远低于无降水环境的特点^[24]。可见,地基微波辐射计资料在研究冰雹云微物理特征方面具有独特优势。此外,还有学者结合风廓线雷达资料与地基微波辐射计资料研究冰雹天气,为新型探测资料应用于冰雹监测预警提供了经验^[25-28]。

多普勒天气雷达、风廓线雷达、地基微波辐射计具有连续获取资料、数据时空分辨率高、自动化程度高等优点,在强对流天气研究中各有优势。以上研究多是基于某种探测资料,本文基于常规气象资料、多普勒雷达、风廓线雷达、地基微波辐射计等资料,通过分析 2020 年 3 月 21 日夜間湘北地区春季一次降雹过程的雷达回波演变、环境风场变化和温湿不稳定特征,归纳冰雹天气的短临预报因子,探讨冰雹形成的物理机制在新型探测资料中的体现,为今后冰雹天气的预报预警和相关研究提供参考。

1 资料和数据检验

数据资料包括长沙综合气象观测基地风廓线雷达、地基微波辐射计、长沙新一代天气雷达、湘潭新一代天气雷达资料以及常规高空地面观测资料。

由于强对流天气发生前,风廓线雷达所在测站无降水发生,高层大气湿度小,3.5 km 以上高度数据缺测,这里只对 21 日 08 时和 20 时 3.5 km 以下风廓线雷达风向、风速数据与长沙探空数据进行对比检验。21 日 08 时(图略),风向误差 $< 20^\circ$ 的数据占比 87.5%,风速误差 $< 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的数据占比 75%。21 日 20 时(图 1),风向误差 $< 20^\circ$ 的数据占 75%,风速误差 $< 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的数据占 75%;500 m 高度以上,风廓线数据与探空数据的偏差很小。两个时次误差偏大的层次高度均为 650 m 以下,主要是受低层大气湍流与探空漂移影响。因此,长沙站风廓线雷达资料具有较高可靠性。

2 天气形势

2.1 环流背景

2020 年 3 月 21 日 19 时—22 日 05 时,湘北地

区的怀化、常德、益阳、岳阳、长沙等地 13 个县市出现较大范围冰雹、雷雨大风、短时强降水等强对流天气,冰雹直径 2~3 cm,最大瞬时风速达 $29.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大小时雨强为 60.4 mm,降雹持续时间长,冰雹直径大,破坏性强。风雹天气影响长沙时段为 22 日 03 时—04 时。

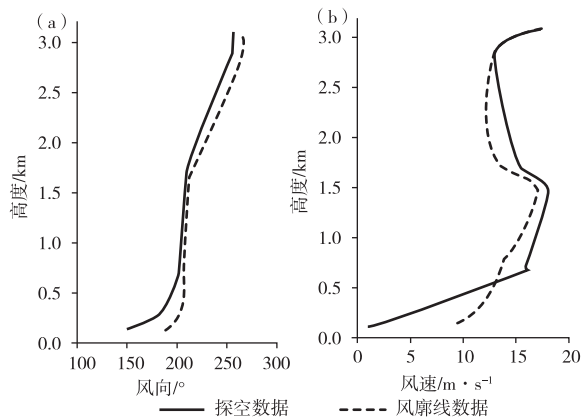


图 1 3 月 21 日 20 时长沙探空资料与风廓线雷达资料风向(a)、风速(b)对比

Fig. 1 Comparison of wind direction (a) and wind speed (b) between Changsha sounding data and wind profile radar data at 20:00 on March 21

21 日 08 时,500 hPa 中高纬为“两槽一脊”型环流,贝加尔湖以西至华北为脊前西北气流,冷空气随西北气流南下,南支槽活跃,江南大部为槽前暖湿西南气流控制;同时,700~925 hPa 江南大部西南急流旺盛,四川盆地东部有暖低涡,切变辐合区主要位于低涡东部川东—湘西北一线;地面图上,贝加尔湖西南部有一冷高压,冷锋位于河套北部,盆地东部西南暖低压发展,湖南大部处于低压环流中。21 日 20 时,南支槽分裂浅槽东出;700 hPa 急流有所减弱,850~925 hPa 急流加强;700~925 hPa 切变线位于滇北—湘西—鄂东一线,辐合增强;冷空气南下侵入地面倒槽,与暖湿偏南气流在湘中以北地区形成辐合线。此外,当日地面明显升温降压,长沙站 08—14 时 6 h 变温、变压分别为 10.2°C 、 -3.5 hPa 。长沙站 20 时探空图显示(图 3),温湿曲线表现出典型的“上干下湿”喇叭口特征。20 时前后,有对流单体在地面辐合线附近生成,湘北地区风雹天气开始。

2.2 环境条件分析

结合环流背景和探空资料可知,21 日 20 时湘北地区具备产生强对流天气的多个有利条件。一是冷空气南下,与南支槽前暖湿空气交汇,受低空

急流与切变线共同影响,水汽、动力条件好;二是地面暖低压发展,增温、降压,冷空气侵入倒槽,增强了大气不稳定性;三是低空急流强,垂直风切变大,0~6 km 垂直风切变达 $28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,强的垂直风切变环境有利于强对流风暴的产生和发展;四是大气存在很强的不稳定能量与产生强对流的潜势,长沙站 20 时 CAPE 值达 $1927.6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,K 指数为 38.3°C ,SI 指数为 -2.9°C , $T_{850} - T_{500} = 27.3^\circ\text{C}$,有发生强雷暴的可能性。因此,对流风暴在地面辐合线附近触发产生后,在上述有利环境中获得强烈发展。另外,干球温度 0°C 层高度为 4.2 km, -20°C 层高度为 7.2 km,适宜湘北地区降雹;670~400 hPa 存在明显干层,使得湿球温度 0°C 层高度 WBZ 为 3.8 km,明显低于干球温度 0°C 层高度,显著降低了冰雹的融化层高度^[29]。

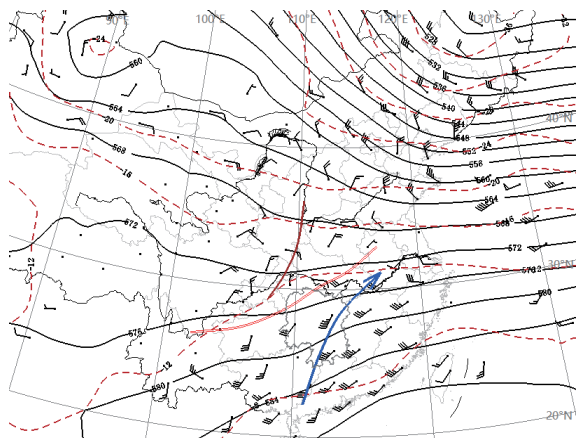


图 2 3 月 21 日 20 时高空影响系统综合图(实线为 500 hPa 等位势高度线,红色虚线为 500 hPa 等温线,棕色线为 500 hPa 槽线,风向杆为 850 hPa 水平风场,红色双实线为 850 hPa 切变线,蓝色箭头为 850 hPa 急流)

Fig. 2 Comprehensive diagram of the high system affecting the time at 20:00 on March 21 (the solid line is equipotential height line of 500 hPa, the red dotted line is an isotherm of 500 hPa, the brown line is trough line of 500 hPa, the wind direction pole is horizontal wind field of 850 hPa, The red double solid line is shear line of 850 hPa, The blue arrow is southwest jet stream of 850 hPa)

3 雷达回波分析

3.1 雷达回波演变

根据雷达回波演变发现,此次影响长沙的强对流天气过程主要有 3 个阶段,第 1、第 2 阶段为超级单体风暴影响,伴有风雹、短时强降水,第 3 阶段为积层混合云降水,对流较弱。本节将从雷达反射率因子的变化,探究第 1、第 2 阶段对流风暴的演变。

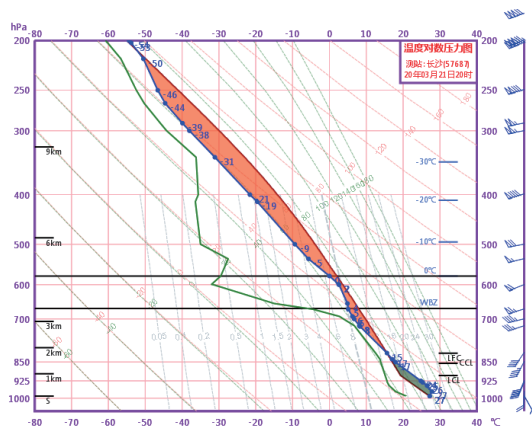


图3 3月21日20时长沙站探空图
Fig. 3 The air sounding curve of Changsha station at 20:00 on March 21, 2020

第1阶段对流风暴于21日19时10分在怀化北部生成,单体生成后以较快速度向东移动并发展。19时29分单体强回波中心呈圆形,强度达74 dBz,以图4中A、B表示。20时32分,B减弱,A进一步发展,强度增强,并出现明显的“三体散射”回波特征。“三体散射”特征从20时26分—21时17分持续近50 min,对降雹具有很好的指示。21时52分,A从宁乡北部自西向东影响长沙地区,此时对流风暴分离为两个中心,强度减弱,进入消散阶段。22时43分,A向东影响望城的过程中进一步减弱,先

后进入长沙县、浏阳,于23时46分在浏阳北部消散。A从初生至消散持续4 h左右,发展成熟阶段位于安化、桃江境内,致使影响地区出现风雹天气,进入长沙境内时已至减弱消散阶段,以雷雨天气为主。

第2阶段(图5)对流风暴C于22时在张家界南部生成,风暴D于22日00时在常德南部生成。C进入常德西部时快速增强,00时41分出现“三体散射”特征,D增强。01时01分,C在常德南部发展成为具有显著“三体散射”特征的超级单体。C、D向东移动,致使常德南部、益阳西部南部出现风雹天气。02时27分,D至宁乡北部时,强度明显增强,C结构松散,强度减弱。02时50分,C在宁乡境内再次加强,D后侧出现“V型缺口”。03时24分,C在影响宁乡东部的过程中强度进一步增强,再次降雹;D进入长沙县北部,强度有所减弱。03时47分,C影响长沙市区,带来风雹天气,D进入浏阳西部,造成该地出现冰雹。04时27分,D继续减弱,C强度有所增强。之后C、D向东偏南方向移动过程中减弱合并,于05时13分进入江西境内。从风暴的发展演变可以看出,风暴生命史5~7 h,C东移过程中经历了二次加强,在成熟阶段均伴有风雹天气,D的成熟阶段从益阳至浏阳西部,风暴连续降雹时间长达2 h。

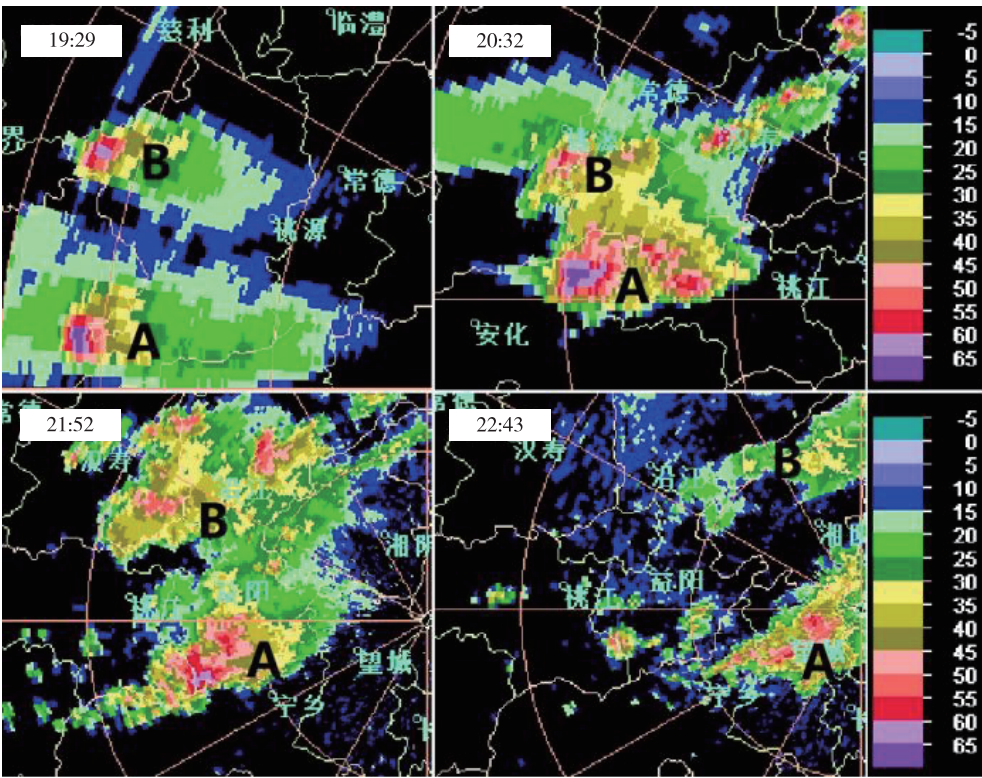


图4 第1阶段风暴雷达回波演变(长沙雷达站基本反射率,1.5°仰角)
Fig. 4 Evolution of radar echoes in the first stage of storm wether (basic reflectivity of Changsha radar station, 1.5 ° elevation angle)

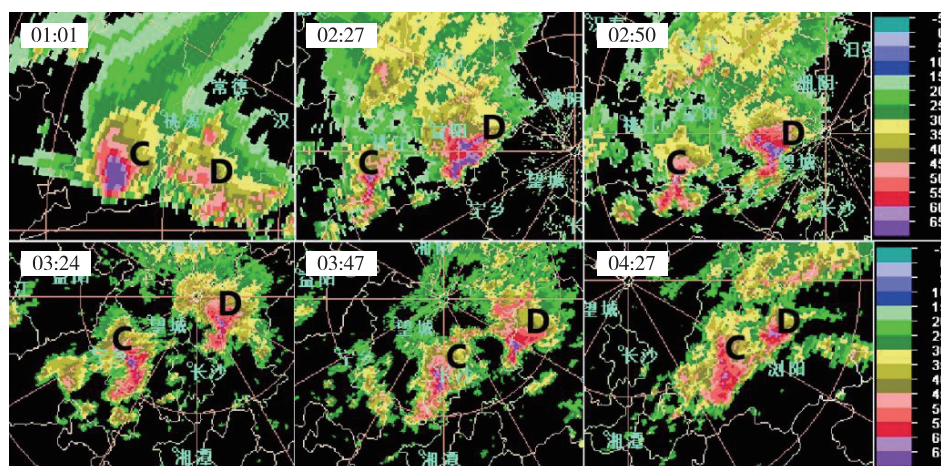


图 5 第 2 阶段风暴雷达回波演变(长沙雷达站基本反射率,1.5°仰角)

Fig.5 Evolution of radar echoes in the second stage of storm weather (basic reflectivity of Changsha radar station, 1.5 ° elevation angle)

3.2 典型回波特征

从上文中可知,在第 1、第 2 阶段的风雹天气过程中,对流风暴 A、C 均表现出典型的“三体散射”特征,对冰雹预警具有很好的指示。如图 6a 所示,21 日 21 时 06 分风暴 A 在桃江境内时,雷达回波形态呈现出“三体散射”特征,并且在强回波中心南侧有旁瓣回波。沿图 6a 中直线作垂直剖面得到图 6b,从图中可以看出,强回波结构密实紧凑,伸展至 9 km 以上高度,对流发展强烈,强回波已经接地,表明此时正在下冰雹,剖面图上还出现回波墙,强回波顶下方有弱回波区。径向速度图上(图 6c),探测到气旋性“中气旋”,最大旋转速度达 $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。该时刻垂直累积液态含水量达 $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (图 6d),异常偏大的 VIL 也反映了云中含有大冰雹。

超级风暴成熟阶段,在其后部常有一支干空气卷入,受其影响,风暴后部雨滴蒸发,在雷达回波上表现为一个“V 型缺口”,因而“V 型缺口”也常作为冰雹预警的有效参考指标。22 日 02 时 50 分,风暴 D 影响望城,基本反射率图上,强回波后侧出现“V 型缺口”(图 7a);垂直剖面图显示,强回波接地,存在回波墙与弱回波区,由于风暴距离雷达较近,风暴上部靠近雷达一侧为静锥区(图 7b);对应时刻同仰角的径向速度上,风暴后部有一支后入急流与“V 型缺口”对应,中心风速达 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,后侧入流强(图 7c);降雹概率曲线显示,大小冰雹的概率均为 100%(图 7d),垂直累积液态含水量超过 $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (图略),综合多种数据均指示风暴已出现大冰雹。

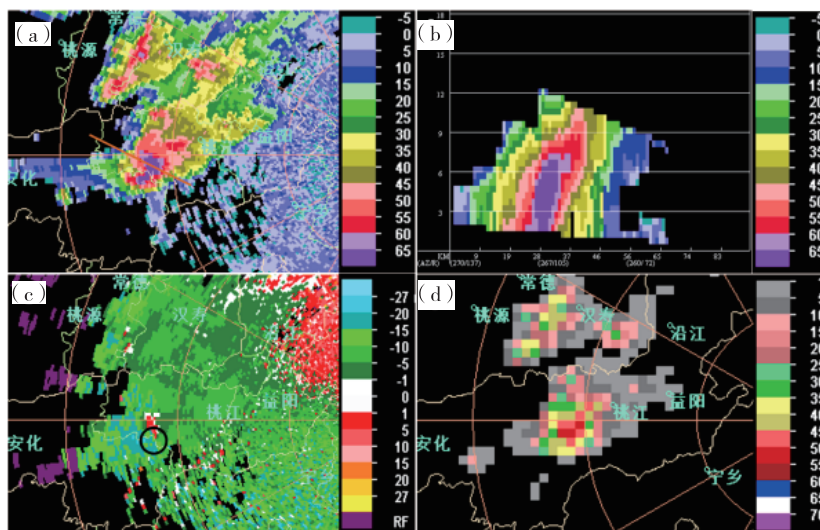


图 6 21 日 21 时 06 分长沙雷达站雷达综合图(a:1.5°仰角基本反射率,
b:基本反射率剖面,c:1.5°仰角径向速度,d:垂直累积液态含水量)

Fig.6 Comprehensive radar map of Changsha radar station at 21:06 on the 21st (a: basic reflectance at 1.5 ° elevation angle, b: basic reflectance profile, c: radial velocity at 1.5 ° elevation angle, d: vertical cumulative liquid water content)

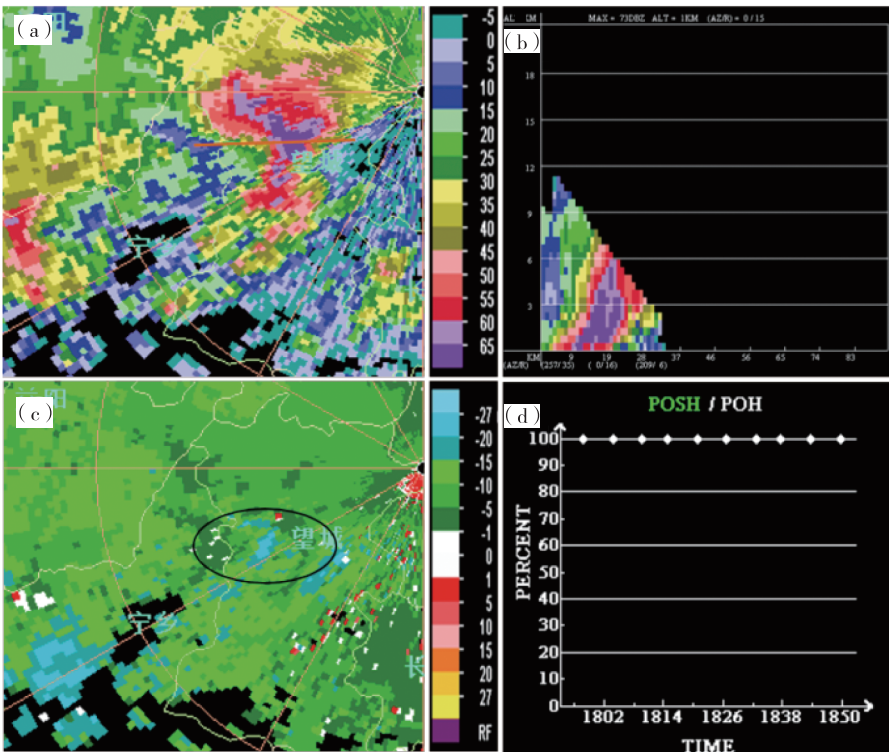


图7 22日02时50分长沙雷达站雷达综合图(a:3.4°仰角基本反射率,b:基本反射率剖面,c:3.4°仰角径向速度,d:降雹概率)
Fig.7 Comprehensive radar map of Changsha radar station at 02:50 on the 22nd (a: basic reflectance at 3.4° elevation angle, b: basic reflectance profile, c: radial velocity at 3.4° elevation angle, d: hail probability)

此次风雹过程的一个特点是出现较大范围的大风,长沙城区大风出现时间为22日03时27—56分。由于长沙雷达站海拔高度为636.2 m,湘潭雷达站海拔高度为200.1 m,距离长沙城区小于50 km,因此使用湘潭雷达低仰角径向速度产品监测长沙城区可能出现的大风更为准确。03时01分,0.5

~3.4°仰角在望城出现一个大于 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风速核。图8显示,03时12—41分低仰角大风速核自西北向东南方向影响长沙,随着高空动量下传,导致地面出现大风。可见,此次大风天气,根据低仰角径向大风速核预警地面大风,提前量为0.5~1 h。

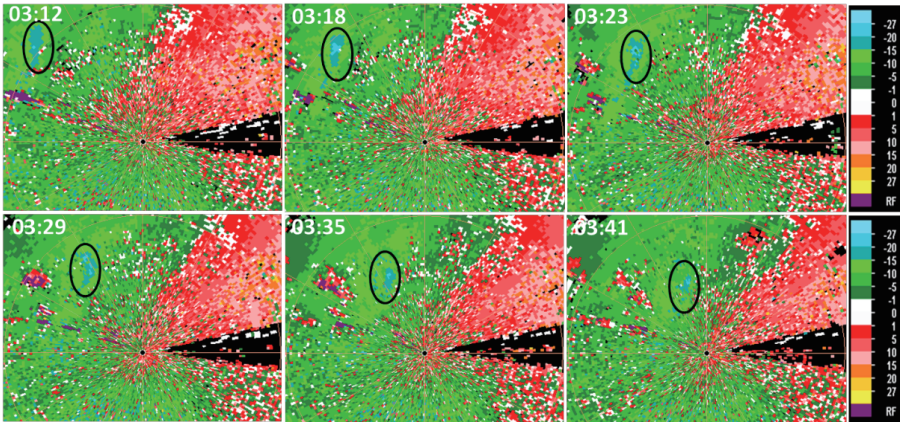


图8 22日03时12—41分湘潭雷达站0.5°仰角径向速度图
Fig.8 Xiangtan Radar Station's radial velocity diagram at elevation angle of 0.5° from 03:12 to 03:41 on the 22nd

4 风廓线雷达

4.1 水平风场

风廓线雷达的优势之一是可以连续进行自动观测,进而获得测站上空的风场演变。21 日 08 时—22 日 02 时 30 分,500 ~ 1000 m 有超低空急流,急流强度有阶段性变化。具体变化为:08 时—11 时 30 分,超低空急流最大风速达 $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,11 时 30 分—17 时 30 分,超低空急流有所减弱(图略);17 时 30 分—22 日 00 时(图 9 中椭圆范围),超低空急流再次加强至 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上;00 时至风暴影响测站前,超低空急流减弱至 $10 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;风暴影响

及之后,超低空急流消失。另外,中层风场在风暴演变过程中也表现出一定特征,22 时,3.5 km 高空有一支西北气流,表明中层有干侵入,至风暴影响前,干侵入从 3.5 km 高度向下传递至 2 km 高度(图 9 中箭头),为降雹提供有利条件。风暴影响过程中(图 9 中方框处),风场零乱,并出现较多数据缺失。风暴移出后,数据回归完整,2 km 高度以下为一致的偏北风,地面锋面过境。可见,超低空急流在风暴影响前的再次加强,加强了水汽的输送与不稳定能量,对风暴的加强发展有重要贡献;风暴影响前,超低空急流减弱,中层干侵入向低层传导较风暴提前 1.5 h,可为此次风雹的临近预报提供参考。

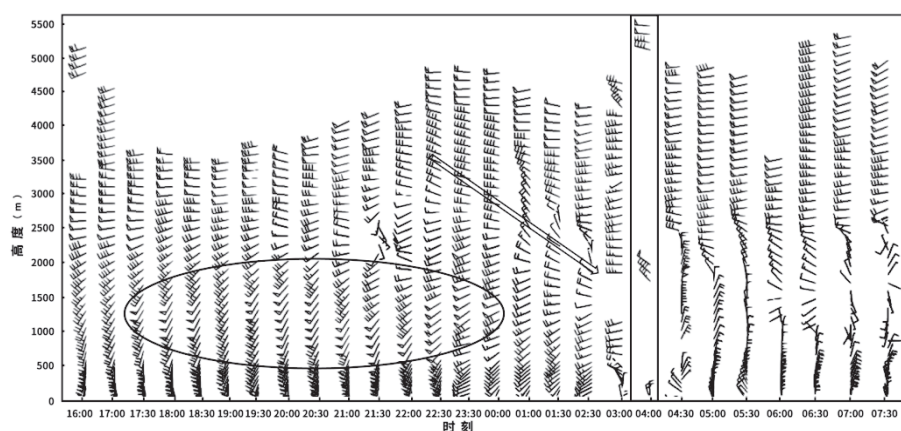


图 9 21 日 16 时—22 日 08 时长沙站风廓线雷达水平风场演变

Fig. 9 Evolution of wind profile radar horizontal wind field in Changsha from 16:00 on the 21st to 08:00 on the 22nd

4.2 垂直速度

在有云或降水时,风廓线雷达探测到的垂直速度是云中粒子或降水粒子与大气的垂直运动速度之和。杨明引等^[12]研究发现,风廓线雷达资料反演的垂直速度大小随高度波动大时,说明在大气不同层次之间热力或动力差异较大,预示着此对流风暴可能伴有龙卷或冰雹等强对流天气。22 日 02 时 36 分—05 时,垂直速度随高度的波动比较大,其余时段无明显波动。风暴影响前(02 时 36 分—03 时),垂直速度在 0.5 ~ 1.5 km 高度出现波动,最大速度差为 $1.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。风暴影响测站至降雹前(03 时—03 时 30 分),波动上升至 4 ~ 5.5 km 高度,最大速度差增大至 $4.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,低层波动减弱;降雹阶段(03 时 30—42 分),4.5 ~ 5.5 km 维持较大波动,4.5 km 高度以下低层出现较多数据缺失,整层最大速度差达 $7.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;降雹结束至风暴影响结束(03 时 42 分—05 时),主要波动位于 3 km 以下,最大速度差达 $7.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,高层波动减弱,波动最后在 2 km 高度消失。据此,风暴影响前 0.5 h 低层垂直速

度出现波动,并向上传导可以作为强对流天气预报的参考。

5 地基微波辐射计

5.1 温度剖面

地基微波辐射计监测显示(图 10),21 日 12—16 时,2 km 以下大气显著增温,夜间整层大气温度呈缓慢下降趋势,至风雹发生前 40 min 等温线降至最低。风暴影响阶段,由于冰雹云中上升气流强盛,将底层空气的感热和潜热向上输送,导致等温线向上凸起。风雹结束后整层大气温度又降至风暴影响前的状态,22 日 08—10 时虽然有一定对流发展,温度曲线仍然有所下降,是由于冷空气的侵入造成。

5.2 相对湿度

从相对湿度的变化上看(图 11),21 日 18 时开始,2 km 高度存在一个较大湿度带,22 时前大气维持上干下湿的特征,23 时湿度带向上扩展至 3 km 高度,湿度进一步增大。风雹开始前相对湿度出现

跃升,风雹过程中 90% 相对湿度区伸展至 8 km 高度,6 km 高度有 100% 水汽饱和中心,水汽向上输送强烈。在风雹过后,近地面湿度维持饱和状态,高空湿度迅速下降。在第 3 阶段影响过程中,高空相

对湿度出现另一个波峰,水汽饱和区出现在 4 ~ 10 km 高度。另外,22 日 03 时前后 3 ~ 6 km 高度相对湿度曲线有一个显著向下波动时段,也指示中层有干侵入。

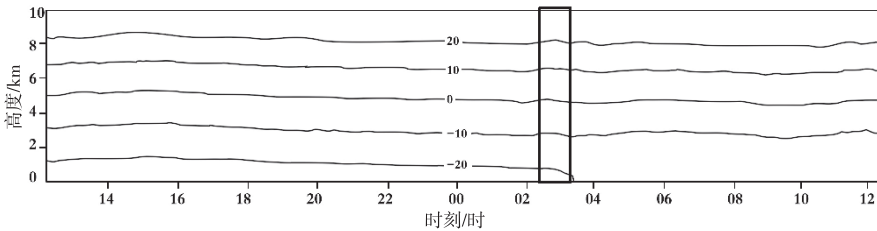


图 10 21 日 12 时—22 日 12 时长沙站地基微波辐射计高空温度曲线

Fig. 10 The high - altitude temperature curve of the microwave radiometer in Changsha from 12:00 on the 21st to 12:00 on the 22nd

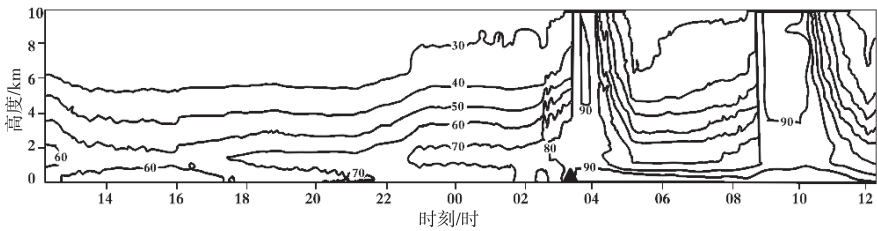


图 11 21 日 12 时—22 日 12 时长沙站地基微波辐射计高空相对湿度曲线

Fig. 11 High altitude relative humidity curve of microwave radiometer in Changsha from 12:00 on the 21st to 12:00 on the 22nd

5.3 不稳定指数

大气不稳定是对流发展的重要条件,地基微波辐射计反演的大气状态指数的变化显示,K 指数与 TT 指数(总指数)呈同趋势变化(图 12)。21 日 14—22 时处于低值阶段,22 时后开始上升,K 指数在风雹影响前 1 h 出现跃升,从 28 ℃ 上升至 32 ℃,

风雹开始时刻出现第 2 次跃升,从 32 ℃ 跃升至 36 ℃,风雹过程中处于峰值,K 指数突降时刻比风暴结束时刻晚 1 h。总指数只在风雹过程中出现 1 次跃升,风暴过后下降不明显,对强对流天气预警的灵敏度低于 K 指数。

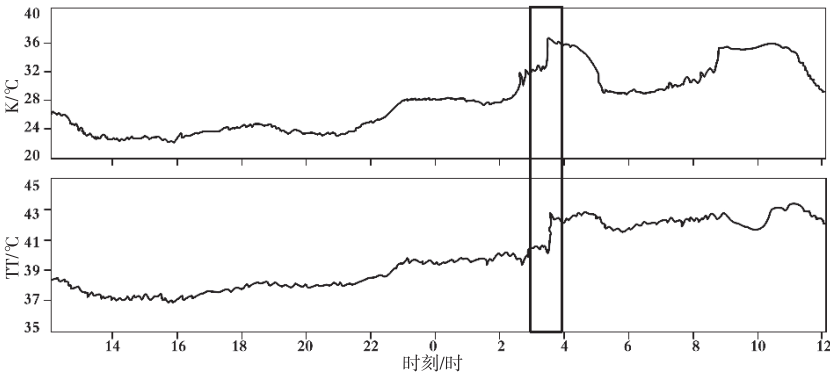


图 12 21 日 12 时—22 日 12 时长沙站地基微波辐射计 K 指数与 TT 指数

Fig. 12 K index and TT index of microwave radiometer in Changsha from 12:00 on the 21st to 12:00 on the 22nd

6 小结

①此次强对流天气是发生在南下冷空气与南支槽前暖湿空气交汇的背景下,中低层的急流与切

变线提供有利的水汽及动力条件,地面暖低压发展,偏南风加强情况下,增温增湿明显,积蓄了充足的不稳定能量,地面辐合线触发产生对流。

②强对流天气过程主要有 3 个阶段,第 1、第 2

阶段为超级单体风暴影响,伴有风雹、短时强降水,第 3 阶段为积层混合云降水。对流风暴发展演变过程中表现中典型的“三体散射”“V 型缺口”特征;径向速度图上,成熟阶段有中气旋与之相伴;垂直累积液态含水量、低仰角大风速核对冰雹和大风的预警有很好的指示。

③风廓线雷达反演了风暴过程中的风场变化,风暴影响前,超低空急流增强并在风暴临近时减弱,中层有干侵入,利于风暴的加强;风暴影响前 0.5 h 低层垂直速度开始出现波动,并向上传导,降雹阶段垂直速度波动达到最大。

④地基微波辐射计监测显示,风暴影响阶段高空等温线向上隆起,相对湿度、大气不稳定指数出现跃升和突降;风暴影响前 4 h,1.5~3 km 高度湿度增大,与超低空急流的增强相联系;K 指数与 TT 指数的变化趋势接近一致,K 指数在风暴影响前出现第 2 次跃升,预警灵敏度高于 TT 指数。

参考文献

- [1] 郑永光,陶祖钰,俞小鼎.强对流天气预报的一些基本问题[J].气象,2017,43(6):641-652.
- [2] 郑永光,周康辉,盛杰,等.强对流天气监测预报预警技术进展[J].应用气象学报,2015,26(6):641-657.
- [3] 俞小鼎,周小刚,王秀明.雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J].气象学报,2012,70(3):311-337.
- [4] 俞小鼎,姚秀萍,熊延南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006:145-262.
- [5] 周芯玉,涂静,廖菲,等.2014 年 5 月 23 日广州中北部大暴雨过程多尺度特征研究[J].暴雨灾害,2017,36(3):235-242.
- [6] 李红莉,张文刚,付志刚,等.一次暴雨过程的 LAPS 分析场与多源观测对比分析[J].暴雨灾害,2017,36(3):207-216.
- [7] 汪学渊,李栋,任雍,等.风廓线雷达资料在台风苏拉登录过程中的应用初探[J].气象,2013,39(11):1431-1436.
- [8] 杨晓亮,尚可,段宇辉,等.基于高分比率探测资料的降水相态错报成因分析[J].暴雨灾害,2017,36(6):535-541.
- [9] 翟亮,黄钰,李梓铭,等.风廓线雷达和雨滴谱仪资料在北京一次弱雨雪天气中的特征分析[J].干旱气象,2019,37(1):90-96.
- [10] 赵金霞,范苏丹,朱晓晶.微波辐射计资料在大雾预报预警中的应用[J].沙漠与绿洲气象,2015,9(3):31-35.
- [11] 王丽娟,王超俊,何明琼,等.基于微波辐射资料的一次高速公路段强浓雾过程监测分析[J].暴雨灾害,2018,37(4):330-336.
- [12] 杨引明,陶祖钰.上海 LAP-3000 边界层风廓线雷达在强对流天气预报中的应用初探[J].成都信息工程学院学报,2003,18(2):155-160.
- [13] 周志敏,万蓉,崔春光,等.风廓线雷达资料在一次冰雹过程分析中的应用[J].暴雨灾害,2010,29(3):251-256.
- [14] 黄慧君,钟爱华,张建东,等.多种探测资料在云南大理州强降水个例分析中的应用[J].暴雨灾害,2014,33(1):50-57.
- [15] 许敏,张瑜,张绍恢.风廓线雷达资料在冀中一次强降水天气预报中的应用[J].干旱气象,2016,34(5):898-905.
- [16] 曾瑾瑜,夏丽花,陈文键.福建省风廓线雷达资料在一次强对流天气过程中的应用[J].气象与环境科学,2014,37(3):40-48.
- [17] 李彦良,石绍玲,郭婧芝,等.风廓线雷达资料产品在冰雹天气过程中的特征分析[J].气象灾害防御,2019,26(1):19-24.
- [18] Stanley G B, Barry E S, Eduard J S, et al. The value of wind profiler data in U. S. weather forecasting[J]. Bulletin of the American meteorological society, 2004, 85(12):1871-1886.
- [19] Edwards A S, Corfid S F, Thompson R L, et al. Storm Prediction Center forecasting issues related to the 3 May 1999 tornado outbreak[J]. Weather and Forecasting, 2002, 17(3):544-558.
- [20] Revercom H E, Turner D C, Tobin D D, et al. The ARM program's water vapor intensive observation periods: Overview, initial accomplishments, and future challenges[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2003, 84:217-236.
- [21] 孙京,蔡然,柴康,等.基于微波辐射计和闪电观测资料估算对流性降水方法初探[J].干旱气象,2018,36(3):438-446.
- [22] 刘志雄,戴泽军,彭菊香,等.基于 LAPS 的一次局地强冰雹过程分析[J].暴雨灾害,2009,28(4):313-320.
- [23] 唐仁茂,李德俊,向玉春,等.地基微波辐射计对咸宁一次冰雹天气过程的监测分析[J].气象学报,2012,70(4):806-813.
- [24] 周嵬,吴宏议,田海军.基于微波辐射计资料浅析对流降水云内与环境温差[J].干旱气象,2011,29(1):10-16.
- [25] 魏东,孙继松,雷蕾,等.三种探空资料在各类强对流天气中的应用对比分析[J].气象,2011,37(4):412-422.
- [26] 黄治勇,周志敏,徐桂荣,等.风廓线雷达和地基微波辐射计在冰雹天气监测中的应用[J].高原气象,2015,34(1):269-278.
- [27] 李聪,姜有山,姜迪,等.一次冰雹天气过程的多源资料观测分析[J].气象,2017,43(9):1084-1094.
- [28] 郑飒飒,刘东升,范思睿,等.基于多源探测资料对四川一次冰雹天气的分析[J].高原山地气象研究,2019,39(2):43-48.
- [29] 俞小鼎.关于冰雹的融化层高度[J].气象,2014,40(6):649-654.