

田泽芸,王阳阳,诸玲,等. 湘北一次西南涡北侧强降水过程预报误差分析[J]. 中低纬山地气象,2023,47(1):17-24.

湘北一次西南涡北侧强降水过程预报误差分析

田泽芸¹,王阳阳¹,诸玲¹,袁钰容¹,高伟¹,卢舟²

(1. 湖南省常德市气象局,湖南 常德 415000;2. 湖南省临澧县气象局,湖南 临澧 415200)

摘 要:利用观测数据、FNL 数据以及雷达产品等资料对 2020 年 6 月 8 日夜间湘北一次西南涡北侧强降水过程预报误差进行分析研究。结果表明:中低层河套高压与副高形成了一个高压坝,偏东气流加强,西南涡北侧出现了强降水。湖南境内强降水落区与 $\geq 95\%$ 相对湿度高值区的对应关系较好。虽湘南 850 hPa 以下为不稳定层结,但 850 ~ 600 hPa 为稳定层结,不利于强降水发生。锋区低层以下沉气流为主,700 hPa 及以上才有上升运动发展,而地面辐合线附近上升运动从近地面伸展至 300 hPa 附近,其最大强度仅约锋区中心强度的一半,湘北强降水正好位于中层锋区与地面辐合线之间。受冷空气及山地地形影响,石门县上空形成辐合区,并有局地涡旋系统,对应强回波中心达到 45 dBz 以上。模式预报低涡切变线在湘中一线,并预计西南涡东出,但在偏东气流影响下,湘北北部出现了倒槽,西南涡向东北方向移动。

关键词:强降水;漏报;西南涡;偏东气流

中图分类号:P458.1+21.1 **文献标识码:**A

Prediction Error Analysis of a Heavy Precipitation Process on the North Side of Southwest Vortex in Northern Hunan

TIAN Zeyun¹, WANG Yangyang¹, ZHU Ling¹, YUAN Yurong¹, GAO Wei¹, LU Zhou²

(1. Changde Meteorological Bureau of Hunan Province, Changde 415000, China;
2. Linli Meteorological Bureau of Hunan Province, Linli 415200, China)

Abstract: Using the observation data, FNL data and radar products, the prediction error of a heavy precipitation process on the north side of the southwest vortex in Northern Hunan on the night of June 8, 2020 is analyzed and studied. The results show that a high - pressure dam is formed by the middle and low - level Hetao High and the subtropical high, the easterly airflow is strengthened, and there is heavy precipitation on the north side of the southwest vortex. The relationship between heavy precipitation area and the value of high relative humidity $\geq 95\%$ is the best. Although the stratification below 850 hPa in southern Hunan is unstable, 850 ~ 600 hPa is stable. The downdraft is dominant in the lower layer of the frontal area, and the upward movement develops only at 700 hPa and above. The upward movement near the surface convergence line extends from near the surface to around 300 hPa, but its maximum intensity is only about half of the intensity of the center of the frontal area. The heavy precipitation in northern Hunan is exactly located between the middle frontal area and the surface convergence line. Due to the influence of cold air and mountain terrain, the northerly wind and easterly wind forms a convergence area in Shimen County and generates a local vortex system, of which the corresponding strong echo center reaches more than 45 dBz. The model predicts that the vortex shear line is in the middle of Hunan, and the southwest vortex expects to move eastward. However, under the influence of easterly flow, the inverted trough appears in the north of Northern Hunan, and the southwest vortex moves toward northeast.

收稿日期:2022-01-25

第一作者简介:田泽芸(1981—),女,高工,主要从事天气预报及气象服务工作,E-mail: tzy224@163.com。

资助项目:湖南省气象局预报员专项项目(XQKJ17C001):沅澧水流域雨量监测与预报方法研究。

Key words: heavy precipitation; omission; the southwest vortex; easterly airflow

0 引言

随着全球气候变暖,强降水事件呈显著增加趋势^[1-2],有很多强降水出现在夜间到早晨^[3],给社会造成了一定的影响。2020 年 6 月 7—9 日在我国南方一次大范围强降水过程中,EC 模式预报 8 日夜间湘南地区将出现强降水,且 7 日 08 时和 20 时连续 2 个时次起报强降水落区均较稳定;根据以往经验,西南涡暴雨多数分布在低涡东南侧及其向东伸展出的切变线附近^[4],但是 8 日夜间湘北出现了强降水,预报出现明显失误。

根据国家气候中心监测数据统计,2020 年长江中下游梅雨期开始于 6 月 9 日^[5]。6 月 8 日夜间湘北的强降水正好是入梅的第 1 次强降水过程,具有一定的标志性和重要性。但是 EC 模式预报中伴随有虚假的模式降水—潜热反馈效应,导致降水预报有明显误差,而预报偏差与低涡—急流天气系统的预报调整有直接关系^[6-8],这给预报员带来了一定

的难度。此外,水汽的输送对暴雨区有直接影响,何光碧等^[9]发现 25 ~ 35°N 偏东风的异常水汽输送,会使得四川降水异常偏多。在本次过程中也出现了一支偏东气流,强降水天气过程是否由此导致,本文将利用观测数据、FNL 数据以及常德太阳山多普勒雷达产品等资料,对 8 日夜间强降水落区预报误差进行分析研究,以期能提高对此类强降水过程的预报能力。

1 降水实况

从区域站降水资料来看(图 1a),6 月 8 日夜间强降水实况空间分布不均,主要分成 3 块区域,第 1 块区域是鄂南—湘北北部附近,第 2 块区域是桂北、黔西南和黔东—怀化市的交界处附近,第 3 块区域是粤东北和株洲市—赣西的交界处附近。湘北北部的强降水主要集中在 9 日 04—08 时,最大降水量为石门县三圣乡站 125.1 mm · (12 h)⁻¹。实况降水与 EC 模式的降水产品有很大出入(图 1b)。

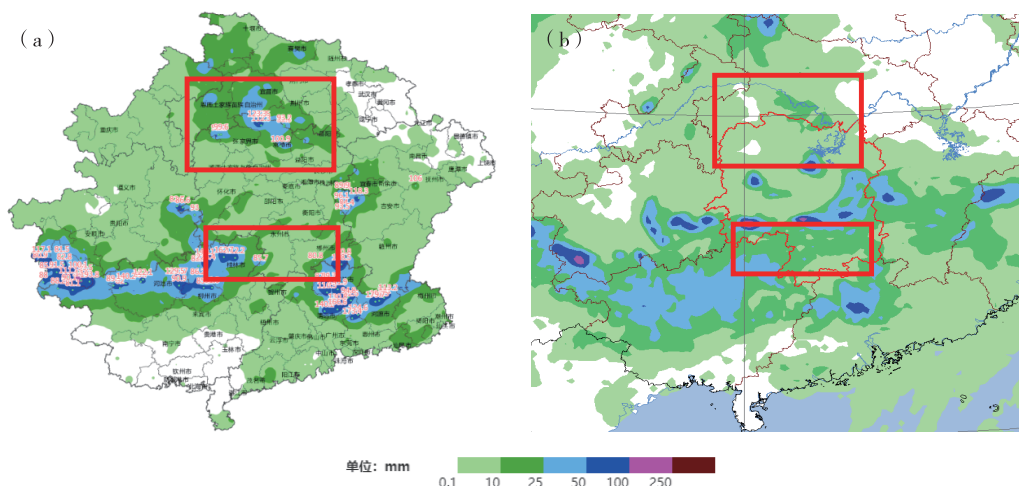


图 1 2020 年 6 月 8 日 20 时—9 日 08 时累计雨量(a)和 7 日 20 时 EC 模式 24 ~ 36 h 降水预报产品(b)

Fig. 1 Accumulated precipitation from 20:00 on June 8 to 08:00 on June 9, 2020 (a)
and 24 ~ 36 h precipitation forecast products from 20:00 on June 7 by EC model (b)

2 天气形势分析

根据麦子等^[10]、任宏昌等^[11]分析研究,2020 年 5 月北半球中高纬 500 hPa 已经完成从冬季的三波型向夏季四波型的转换,6 月上旬,副高脊线位置偏北,使得华南和江南地区水汽辐合偏强,同时冷空气势力总体不强。8 日夜间(图 6d),500 hPa 贝加尔湖低槽向南伸展至 33°N 附近。副高 588 线伸入朝鲜半岛上空,120°E 以东的 588 线北界位于 21°

N 附近,592 线主要在 140°E 以东,副高脊线位于 25°N 附近,为中低层高压坝和偏东气流的形成提供了有利的环境条件。700 hPa 层上(图 2a),8 日 20 时,副高 312 线西端伸至(111°E、36°N)附近,同时河套地区上空存在 1 个高压环流,受两者的共同作用下,在华中地区中北部产生了 1 支东风气流,风速大约 8 m · s⁻¹。另外,西南急流主要在两广上空,在西南地区东部—江汉平原上空存在 1 个气旋式辐合流场,湖北境内有 1 条暖式切变线,而黔南—

湘西有 1 条冷式切变线。850 hPa 层上(图 2b),8 日 20 时,副高 148 线西端伸展至(100°E、36°N)附近,与河套地区上空的高压环流融合,形成 1 个高压坝。148 线南部偏东气流风速约为 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,暖式切变线正好在湘北上空,黔东南有 1 条冷式切变线,低涡环流有先沿冷式切变线向东北方向移动再沿暖式切变线向东移动的趋势。925 hPa 层上(图 2c),东部副高与河套高压、西南低涡以及贝加尔湖低压系统形成对峙形势,西南低涡切变线主要位于湘西南—豫东一带,且移动缓慢,河套地区高压携

带着弱冷空气以西北路南下影响。

综合分析,8 日 20 时河套高压与东部暖区副高呈现融合状态,在中低层形成 1 个高压坝,偏东气流加强至 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,湘北出现了倒槽,给湘北大暴雨的漏报埋下了伏笔。此外,由于河套高压的冷空气势力较弱,偏东气流较强,700 hPa 有气旋式曲率,因此在地面倒槽内形成了具有暖锋性质的地面辐合线。由暖锋性质可知,暖锋前降水较大,即暖锋北侧降水较大,与强降水出现在该地面辐合线北边的实际情况相吻合。

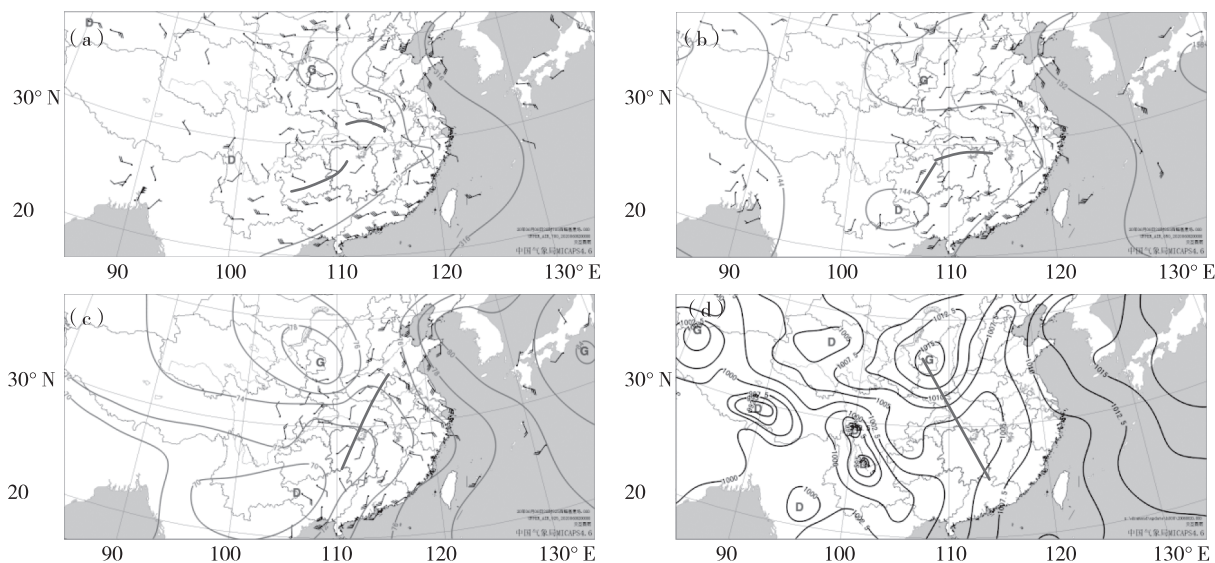


图 2 2020 年 6 月 8 日 20 时 700h Pa(a)、850 hPa(b)、925 hPa(c) 高空图和地面图(d)

Fig. 2 Upper air maps of 700 hPa (a), 850 hPa (b), 925 hPa (c) and ground maps (d) at 20:00 on 8 June 2020

3 强降水落区预报误差原因分析

3.1 水汽条件分析

在 6 月 8 日夜间强降水过程中,偏东气流带来了东部海洋上的暖湿空气,使得西南涡北侧也有充沛的水汽条件,有利于湘北出现强降水。由于湘北多山地地形,余洋等^[12]研究指出,山区的液态水可由本地水汽凝结产生,因此在水汽平流及水汽凝结共同作用下,8 日夜间湘北出现了强降水天气。

从相对湿度分布来看,湖南境内相对湿度 $\geq 95\%$ 的高值区与强降水落区的对应关系比比湿、水汽通量散度好(图略)。9 日 02 时(图 3),700 hPa 西南急流的北边界虽然有相对湿度 $\geq 95\%$ 的高值区,但是西南急流位置偏南,主要在两广境内,故湘南的相对湿度值在 $80\% \sim 95\%$ 之间,而湘北受偏东气流影响,相对湿度却达到了 95% 以上。850 hPa 层上,同样受偏东气流影响,西南涡北侧也有相对湿度 $\geq 95\%$ 高值区,而湘南的相对湿度仅在 $80\% \sim$

90% 之间。综合来看,湘南中低层相对湿度条件均没有湘北好,均暗示 8 日夜间湘北将发生强降水。

据前文分析发现,8 日夜间我国南方强降水区中的第 2 块和第 3 块区域均在 700 hPa 西南急流的北侧,但同样在 700 hPa 西南急流北侧的湘南却并未发生大范围的强降水,主要有以下 2 点原因:(1) 在 9 日 02 时,850 hPa 西南急流北推至湘南南部边缘,925 hPa 层为偏南风,湘南上空的水汽辐合较弱,所以只有小到中雨的降水,没有出现大范围的强降水;(2) 湘南中低层相对湿度未达到 95% 及以上,而西南急流轴北边界相对湿度 $\geq 95\%$ 的高值区,主要分布在西南急流北侧风速梯度大或气旋性切变较大的地方,如第 3 块强降水区域中龙门站位于 700 hPa 西南急流轴北边界的相对湿度 $\geq 95\%$ 区域内,同时也位于 850 hPa 层西南急流北侧气旋性切变较大且相对湿度 $\geq 95\%$ 的区域内,故 8 日 20 时—9 日 08 时龙门站降水量最大为 131.1 mm。

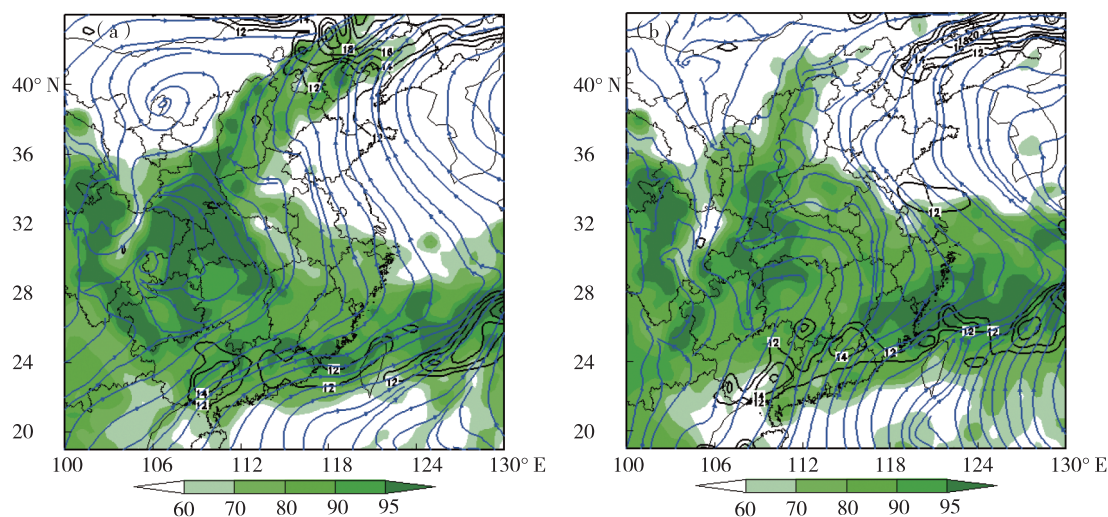


图 3 2020 年 6 月 9 日 02 时 700 hPa(a) 和 850 hPa(b) 相对湿度(色斑)、
流场和低空急流大值区(黑色等值线, 风速 $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 3 700 hPa (a) and 850 hPa (b) relative humidity (color spots), flow field and large value area of
low-level jet at 02:00 on 9 June, 2020 (black contour line, wind speed $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

3.2 湘北与湘南上空的气层稳定度分析

取经线 112°E 做温度平流和垂直速度剖面图, 29°N 附近代表湘北, 26°N 附近代表湘南。8 日 20 时(图 4a), 湘北 850 hPa 以下的暖平流随高度增加逐渐减弱, 有明显的上冷下暖不稳定结构, 且 850 hPa 以上为弱的暖平流, 均在 1°C 左右; 湘南 850 hPa 以下的冷平流随高度增加逐渐增强, 也是上冷下暖的不稳定结构, 但 850 ~ 700 hPa 是上暖下冷的稳定层结, 不利于强降水发生。从垂直速度分布来

看, 湖南省上空大部分都有上升运动, 强而深厚的垂直上升速度柱主要位于湘中一带 ($27 \sim 28^\circ\text{N}$), 湘南上空的上升运动较弱。9 日 08 时(图 4b), 925 hPa 以下冷平流向南入侵至 28°N 附近, 湘北上空逐渐转为上暖下冷稳定层结, 降水也逐渐减弱; 湘南上空虽然暖平流明显减弱, 但 850 hPa 以下依然为不稳定层结, 850 ~ 600 hPa 为稳定层结, 这样的配置使得湘南始终没有出现大范围的强降水天气。

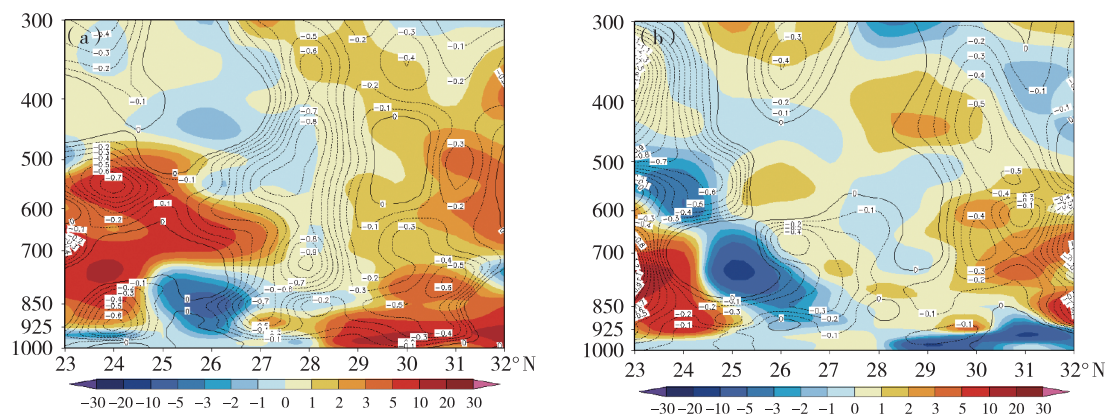


图 4 2020 年 6 月 8 日 20 时(a)和 9 日 08 时(b)沿 112°E 温度平流(色斑, 单位: $^\circ\text{C}$)和垂直速度(等值线, 单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)分布图

Fig. 4 Distribution of advection (color spot, unit: $^\circ\text{C}$) and vertical velocity (isoline, unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)
along 112°E temperature at 20:00 on 8 June 2020 (a) and 08:00 on 9 June 2020 (b)

3.3 锋区和地面辐合线附近的抬升作用分析

为了更好地分析此次过程中湘北强降水位于地面辐合线北边的现象, 从河套高压中心取点 ($107^\circ\text{E}, 36^\circ\text{N}$) 向东南方向延伸至点 ($114^\circ\text{E}, 25^\circ\text{N}$) (图 2d), 做该线的等 θ_{se} 线、流场、温度场以及垂直速度剖面图(图 5), 111.5°E 附近代表湘北, 113°E

附近代表湘南。8 日 20 时, 等 θ_{se} 线在 $109 \sim 110^\circ\text{E}$ 之间较密集, 温度梯度也有 6°C 左右, 地面锋面主体位于其间, 与地面图上河套高压南部密集等压线位置正好对应。在 110°E 以西、850 hPa 以上高空锋区中, 等温线有明显的曲折, 且 850 hPa 附近有逆温层, 冷锋特征清楚。然而在 $109 \sim 110^\circ\text{E}$ 之间、850

hPa 以下,等 θ_{se} 线虽然密集,但其大体走向呈现垂直且略向东南方向倾斜状态,近地面冷锋特征不明显。从流场上也可以看出,锋面抬升作用主要在 850 hPa 以上,且 600 hPa 附近为偏南气流转偏北气流的主要区域,也是上升运动大值中心。在 112 °E 附近,500 hPa 以下,等 θ_{se} 线呈现上凸状态,其值随高度增加而减小,存在对流不稳定,且从近地面开始就有上升运动,700 hPa 附近的流线呈辐散状态,同时也为最大上升运动中心,从地面实况风场上可以分析出该地附近有地面辐合线,存在辐合抬升,这与等 θ_{se} 线和流场表现出来的特征一致。北边中层锋区明显,近地面锋区特征弱,南边地面辐合线清楚,湘北正好位于锋区与地面辐合线之间,周治黔等^[13]研究发现如果大气中存在一定的水汽输送条件,冷锋与地面辐合线的相互作用会产生较强烈的对流性天气。9 日 08 时,随着冷空气继续向南入侵,低层向东南方向倾斜的等 θ_{se} 线高度逐渐降低至 925 hPa,并且向下、向东南方向伸展至 111.5 °E 附近,这样使得 112 °E 附近的向上、向东北方凸出的舌更加倾斜,111.5 °E 附近 850 ~ 700 hPa 之间的上升

运动加强,流场上也对应着南风转北风的区域,这时湘北已出现强降水天气。另外,在 113 °E 附近上空有向上、向东南凸出的小舌,意味着湘南上空也有一定的上升运动,与垂直速度场一致。

8 日 20 时,113 °E 以东、27 °N 以南地区上空虽然也存在对流不稳定,但是强度要比湘中弱,故 8 日夜间上半夜湘南没有出现大范围的强降水;在 111 °E 附近,925 hPa 以下等 θ_{se} 线呈现下凹状态,有下沉运动,所以 8 日夜间上半夜湘北北部也未出现强降水。

在 6 月 8 日夜间强降水过程中,锋区上空与地面辐合线上空的垂直运动特征不同:锋区低层以下沉气流为主,700 hPa 及以上才有上升运动发展,中心强度为 $-1.7 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ (600 hPa 附近);在地面辐合线附近,从近地面至 300 hPa 高度内有 3 个上升运动中心,分别为 $-0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ (925 hPa 附近)、 $-0.8 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ (850 ~ 700 hPa 之间)和 $-0.7 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ (500 hPa 附近),虽然上升运动伸展厚度较厚,但最大强度仅约锋区中心强度的一半。湘北强降水区正好位于锋区与地面辐合线之间垂直上升区内。

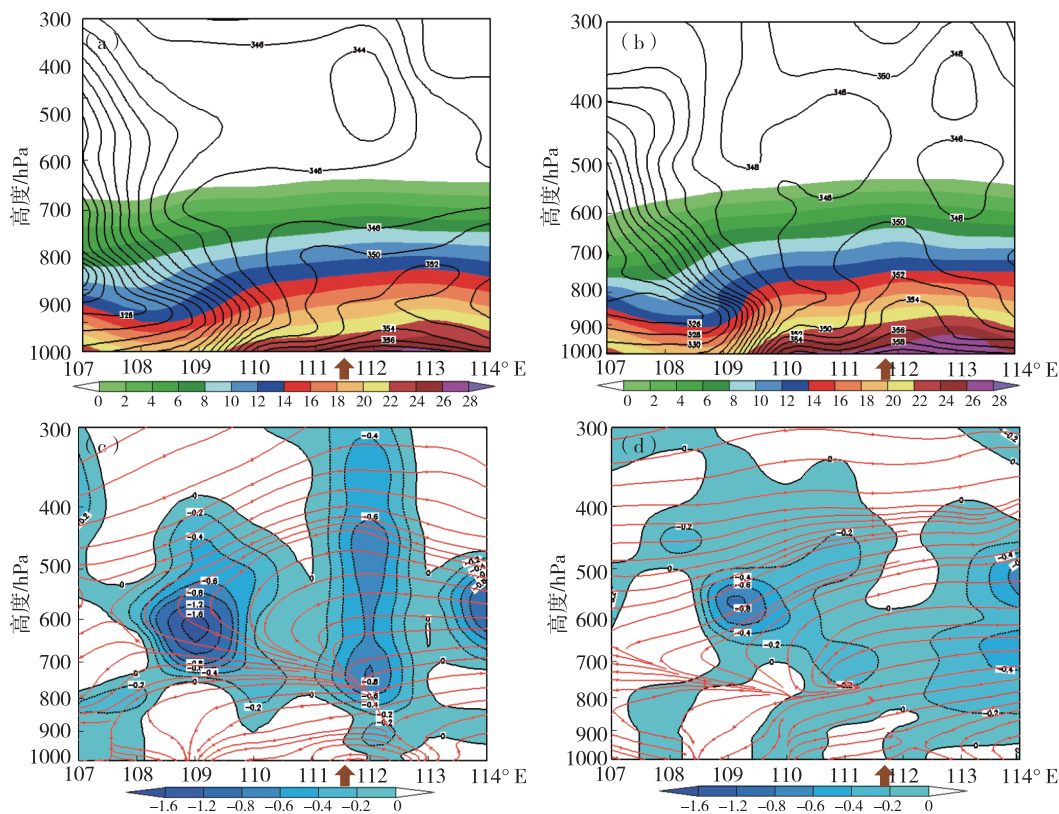


图 5 2020 年 6 月 8 日 20 时(a)和 9 日 08 时(b)从点(107 °E,36 °N)到点(114 °E,25 °N)的温度场(色斑,单位: °C)、等 θ_{se} 线(等值线,单位: K);8 日 20 时(c)和 9 日 08 时(d)流场和垂直速度(色斑,单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 5 Temperature field (speckle, unit: °C) and Equifalse equivalent potential temperature line (contour line, unit: K) of the sections from point (107 °E,36 °N) to point (114 °E,25 °N) at 20:00 on 8 June 2020 (a) and 08:00 on 9 June 2020(b); flow field and vertical velocity (speckle, unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) of the sections from point (107 °E,36 °N) to point (114 °E,25 °N) at 20:00 on 8 June 2020 (c) and 08:00 on 9 June 2020(d)

3.4 模式产品分析

由于 EC 模式预报越来越准,预报员对 EC 模式的采信度也越来越高,但当模式预报出现偏差时,也易导致预报结论出现误差。对比分析 850 hPa 风场的 8 日 20 时分析场和 7 日 20 时 24 h 预报场发现(图 6a、6b),分析场上西南涡中心位于娄底市西部,在益阳市西部与常德市西南角上空有南北向切变

线,低涡环流东北部的气旋性弯曲范围比预报场的大,低涡有较大的向东北方向移动的可能性;预报场上西南涡中心在娄底市东南部,较实况偏东,在其东部有暖式切变线,低涡呈现将沿切变线东移的趋势;模式预报 8 日 20 时西南急流将位于湘南南部上空,而湘南上空实际风速较预报小,且未达到急流标准,这是湘南未出现强降水的原因之一。

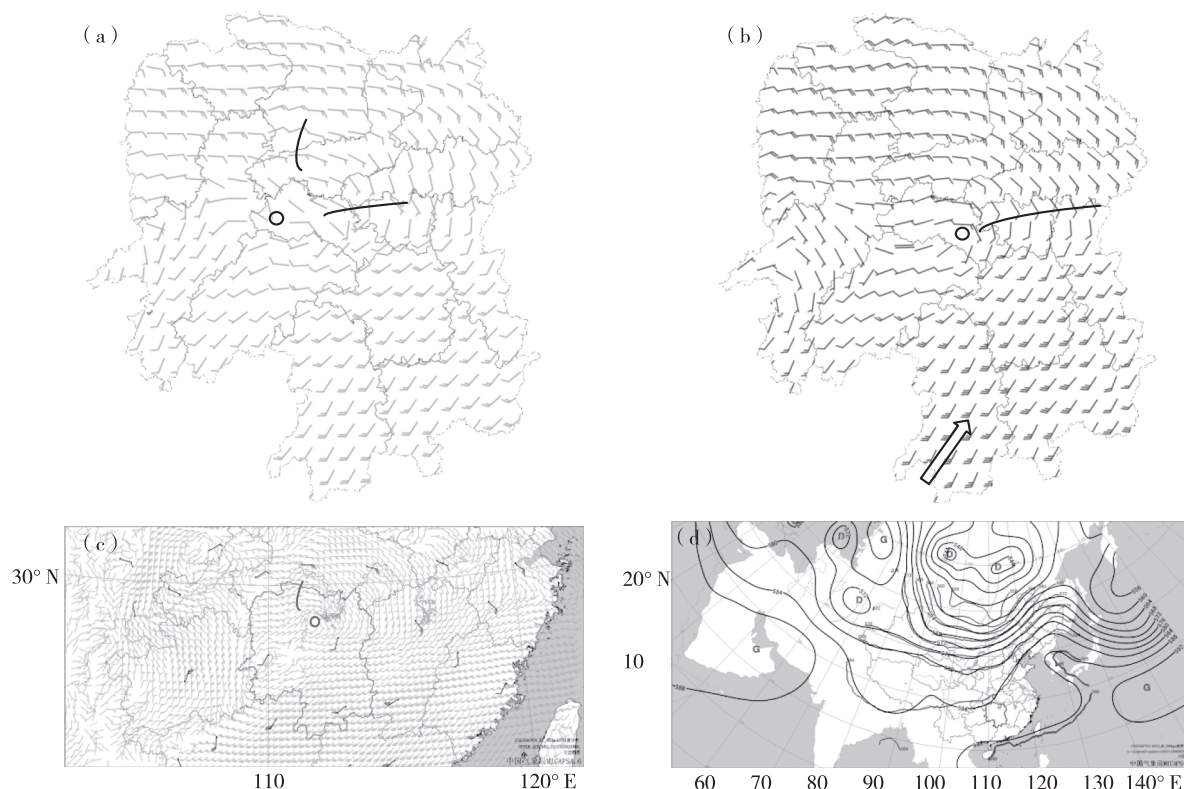


图 6 2020 年 6 月 EC 模式 850 hPa 风场(a)为 8 日 20 时分析场、(b)为 7 日 20 时的 24 h 预报场;
(c)为 9 日 08 时 850 hPa 高空站风场资料(黑色风向杆)和 EC 模式风场分析场(绿色风向杆);
(d)为 8 日 20 时高空站高度场(黑线)和 EC 模式 7 日 20 时的 24 h 高度预报场(红线)

Fig.6 850 hPa wind field of EC model in June 2020 (a) the analysis field at 20:00 8th; (b) the 24h forecast field at 20:00 7th; (c) wind field data of 850 hPa upper air station (black wind pole) and wind field analysis field of EC model (green wind pole) at 08:00 9th; (d) altitude field of upper air station at 20:00 8th(black line) and 24 h altitude forecast field of EC model at 20:00 7th(red line)

对比分析 9 日 08 时国家高空站 850 hPa 风场和 EC 模式 850 hPa 风场分析场发现(图 6c),仅从高空站资料来看,只能分析出西南涡大致位于湘西北上空,湘北东部及湘东北有 1 条暖式切变线,鄂西地区南部有 1 条南北向的切变线;但从 EC 模式分析场来看,可以看到各系统更精确的位置,低涡中心移至常德市东南部与益阳市交界处,与之前的分析结论一致,低涡实际上是向东北方向移动,常德市上空大部处于偏东南风到东北风的气旋性弯曲里;受冷空气入侵影响,偏东北风加强,并与偏东南风在澧水流域上空形成 1 条类似“倒槽”的南北向

切变线,该切变线较据高空站资料分析的南北向切变更偏东,使得强降水出现在湘北地区。此外,7 日 20 时 EC 模式起报的 9 日 08 时(图略)低涡环流中心移至娄底市东北部,在其东部长沙市境内有 1 条暖式切变线,模式预报低涡向东略偏北的路径移动,常德市处于东偏北的气流中,且没预报出澧水流域上空的南北向切变线辐合,因此实况降水与模式降水预报产品出现了较大偏差。

从 500 hPa 高空站高度场和模式高度预报场对比分析来看(图 6d),模式预报副高 588 线较实况偏南,因此预报中低层系统的位置也较实况偏南;105

°E 附近高空槽的实际经向度大于预报的经向度,且槽底的实际位置较预报偏南,槽前西南气流对低涡系统向东北方向移动的实际引导作用较模式预报偏强。

EC 模式预报低涡切变线在湘中一线,并预计西南涡东出,但在偏东风气流影响下,湘北北部出现了倒槽,西南涡向东北方向移动,导致湘北出现了强降水。在这样的情况下,预报员需要及时利用高空图实况进行分析,调整模式预报产品中各系统的位置和强度后,制作降水预报。

4 雷达产品上局地强降水的可能性分析

从常德太阳山多普勒天气雷达产品来看,9 日 03 时左右(图 7a),气旋性旋转流场向下伸展至 1.5 km(850 hPa)附近,澧水流域下游地区自东向西由偏东南风逐渐转为偏东风,具有气旋性旋转,组合反射率上也对应着大片降水回波。在雷达监测范围东北方向 70 km 附近(约 700 hPa 高度)的偏东气流中,有局地涡旋系统,直径约 10 km 左右,对应局地强回波中心 40 dBz 以上(图 7b),同时澧水流域下游有局地强降水发生。雷达监测范围西北方向 100 km 附近的东北风已经向上伸展至约 2.0 km 高度(图 7c),但风廓线产品(图 7d)上只显示出 0.9 km 及以下转为东北风。由于风廓线产品只能代表雷达上空 60 km 左右范围内平均风向风速随高度的变化,而石门县三圣乡在太阳山雷达站西北方向的 83 km 左右,所以风廓线产品并不能完全代表石门县三圣乡上空风的垂直结构。此时石门县上空的冷空气已具有一定的厚度,对局地强降水的产生创造了一定条件。

04 时左右(图 7e),雷达监测范围西部 1.4 km(850 hPa)及以下均为东北风和偏东风的辐合,但在 1.4~3.5 km(850~700 hPa)高度上,雷达监测范围的东北部为偏东南风,北部为偏东风,有气旋性旋转。在雷达监测范围的西北部 4.5 km 附近,即石门县的西北部,因有偏北风加入,故此时石门县中北部的辐合呈现逐渐增强趋势,且移动缓慢,造成了短时强降水。04 时 12 分左右,雷达监测范围西北部的气旋性流场已经向下伸展至 1.1 km 高度附近,与此同时,在石门县北部的偏北风和偏东风形成明显的辐合区,对应强回波中心达 45 dBz 以上。随后,距雷达站 50 km 范围以内的低层(925~850 hPa)气旋性流场继续维持,而距雷达站 50~100 km 西北部的中层(700~600 hPa)气旋性流场中的偏东

气流受石门县山脉阻挡以及偏北风的加入,使得石门县北部一直处于气流辐合区内。陈军等^[14]指出在低层偏东气流影响下,山脉东侧形成明显的偏东风与偏南风辐合区,配合区高温高湿环境,有利于产生强降水。林璇等^[15]也分析研究发现降水落区与水汽输送和地形有一定的关系。而在本次过程中,05 时 05 分(图 7f),石门县三圣乡上空 3.1 km 高度附近,开始出现直径约 10 km 的涡旋,并一直维持至 06 时 40 分左右,这是导致三圣乡降水强的原因之一。

综上所述,在 6 月 8 日夜间强降水过程中,常德市上空偏东气流南侧生成了局地涡旋系统,有利于局地短时强降水的产生;常德市北部石门县为山区,偏东气流受山脉阻挡影响,也易产生涡旋系统,加上北部冷空气入侵,共同触发了石门县三圣乡的强降水天气。

5 总结与讨论

(1)6 月 8 日夜间湘北强降水过程正好是入梅第 1 次强降水过程,天气形势具有春夏转换特点。中低层河套高压与副高形成了 1 个高压坝,偏东气流较强,湘北北部出现了倒槽,使得西南涡北侧也发生了强降水。

(2)从相对湿度分布来看,湖南境内相对湿度 $\geq 95\%$ 的高值区与强降水落区的对应关系比比湿、水汽通量散度好,湘南的中低层相对湿度条件均没有湘北好;从层结稳定度来看,湘北有明显的上冷下暖不稳定结构,湘南虽然 850 hPa 以下为不稳定层结,但 850~600 hPa 为稳定层结,均暗示 8 日夜间湘北将发生强降水,湘南不会出现大范围强降水天气。另外,西南急流轴北边界相对湿度 $\geq 95\%$ 的高值区,主要分布在西南急流北侧风速梯度大或气旋性切变较大的地方。

(3)中层锋区明显,近地面锋区特征弱,锋区低层以下下沉气流为主,700 hPa 及以上才有上升运动发展,中心强度为 $-1.7 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ (600 hPa 附近);地面辐合线附近的上升运动从近地面伸展至 300 hPa 附近,虽然伸展厚度较厚,但最大强度仅约锋区中心强度的一半,湘北的强降水正好位于锋区与地面辐合线之间。

(4)从雷达产品来看,850~700 hPa 有由偏东南风转为偏东风的气旋性旋转特征;受冷空气影响,在石门县北部的偏北风和偏东风形成明显的辐合区,且偏东气流受石门县山脉的影响,生成了局地涡旋系统,对应的强回波中心达到 45 dBz 以上,

导致强降水发生。

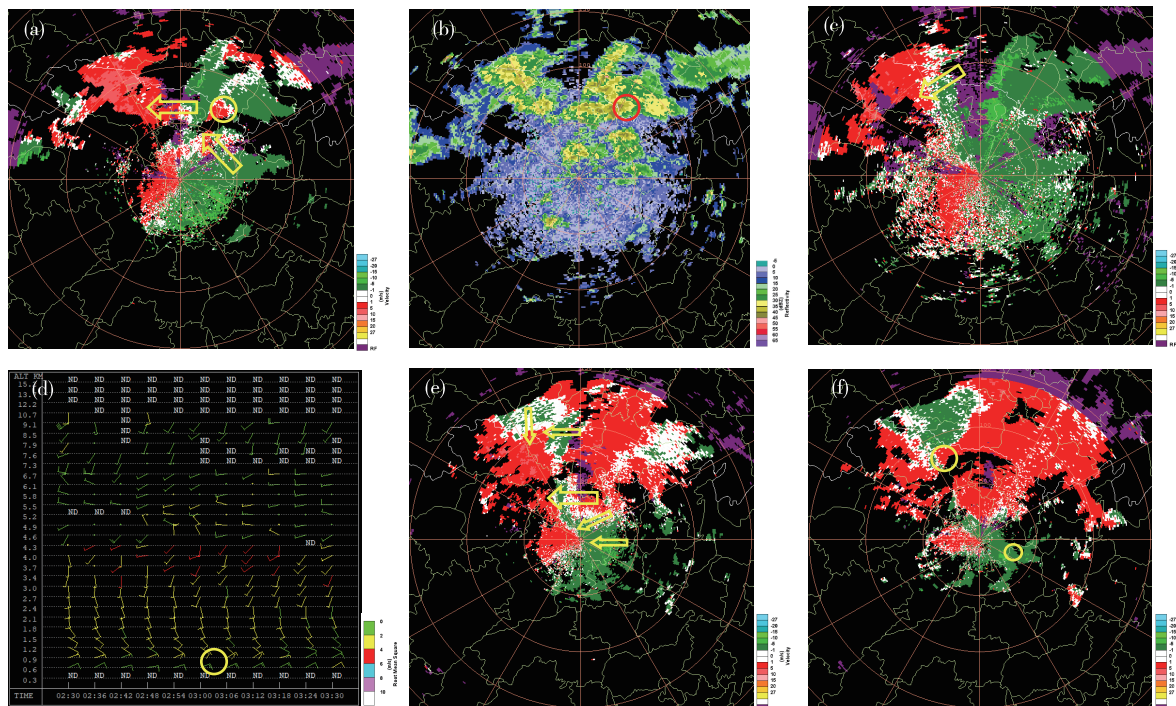


图 7 2020 年 6 月 9 日 03 时(a),04 时 12 分(e)和 05 时 05 分(f)常德太阳山多普勒天气雷达 1.5°仰角的基本速度产品;03 时 0.5°仰角的基本速度产品(c);02 时 30 分—03 时 30 分风廓线产品(d);03 时(b)组合反射率产品

Fig. 7 Basic velocity products of the 1.5° elevation Angle of the Changde Solar Doppler weather radar at 03:00 (a), 04:12 (e) and 05:05 (f); Basic velocity products at an elevation of 0.5° at 03:00 (c); Wind profile products from 02:30 to 03:30 (d); Combined reflectivity products at 03:00 (b) on June 9,2020

(5)模式预报低涡切变线在湘中一线,并预计西南涡东出,但在偏东气流影响下,湘北北部出现了倒槽,西南涡向东北方向移动,此时预报员需要及时利用高空实况图分析、调整模式资料各系统的位置和强度,并考虑地形因素,对模式降水预报进行有效订正。

参考文献

- [1] 叶飞,柳苗.近 48a 浙江省不同等级降水变化特征分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):38-43.
- [2] 郑石,王冠,林中冠,等.1961—2013 年中国强降水特征分析[J].气象与环境学报,2018,34(6):102-107.
- [3] 曾妮,方鹏,李启芬,等.安顺市大暴雨的时空分布特征与物理量分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):66-70.
- [4] 王强,王起唤,肖敏,等.怀化三次西南涡暴雨天气过程对比分析[J].中低纬山地气象,2018,42(4):16-24.
- [5] 张芳华,陈涛,张芳,等.2020 年 6—7 月长江中下游地区梅汛期强降水的极端性特征[J].气象,2020,46(11):1405-1414.
- [6] 胡宁,符娇兰,汪会.华南前汛期强降水个例模式降水预报误差成因初探[J].气象,2020,46(8):1026-1038.
- [7] 陈涛,张芳华,于超,等.2020 年 6—7 月长江中下游极端梅雨天气特征分析[J].气象,2020,46(11):1415-1426.
- [8] 卢萍,李跃清.增强副热带高压对西南涡影响的数值试验[J].大气科学,2021,45(4):851-862.
- [9] 何光碧,师锐,曾波.2018 年 7 月四川盆地降水异常特征及成因分析[J].气象与环境学报,2020,36(6):21-30.
- [10] 麦子,张涛.2020 年 5 月大气环流和天气分析[J].气象,2020,46(8):1122-1128.
- [11] 任宏昌,符娇兰.2020 年 6 月大气环流和天气分析[J].气象,2020,46(9):1254-1260.
- [12] 余洋,万蓉,张文刚,等.暴雨前后山地与平原的大气垂直结构特征对比分析[J].暴雨灾害,2020,39(4):354-362.
- [13] 周治黔,罗文芳.一次锋面与地面辐合线相互作用的对流天气落区预报及分析[J].贵州气象,2006,30(3):6-9.
- [14] 陈军,何为,杨群,等.低层偏东气流对贵州梵净山东侧强降水的作用[J].暴雨灾害,2020,39(2):158-166.
- [15] 林璇,赵磊,李得勤,等.华北“7.20”特大暴雨多尺度特征分析[J].气象与环境学报,2020,36(3):1-9.