Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2023, 12(3), 566-575
Published Online May 2023 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2023.123059

2022年4月衡阳一次暴雨过程预报偏差分析

肖冰霜[1*]，贺　科[1]，旷煜菲[1]，苏伊伊[2]，刘丹枫[1]

[1]衡阳市气象局，湖南　衡阳
[2]株洲市气象局，湖南　株洲

收稿日期：2023年4月25日；录用日期：2023年5月24日；发布日期：2023年5月31日

摘　要

利用常规气象观测资料、区域自动站资料、Micaps资料、多普勒天气雷达资料、FY-4A卫星云图资料和ECMWF (以下简称EC)等数值模式预报资料，对2022年4月25~26日衡阳市暴雨过程进行了分析研究，得出此次暴雨过程预报落区偏大、范围偏南以及雨带走向偏差的原因。此次过程是发生在西南急流的控制下，急流轴上风速脉动引起的暖区暴雨，而不是模式预报的系统性降水；遇到模式预报存在分歧时，仍然过于信赖EC形势预报导致了此次暴雨预报出现偏差；当前数值模式对暖区暴雨的预报能力十分有限，需着重分析中小尺度系统的发生发展，并加密监测跟踪其动态，加强对雷达、卫星云图等多种实况资料的分析。

关键词

暴雨，预报偏差，数值模式预报，西南急流

Analysis on Prediction Deviation of a Rainstorm Process in Hengyang in April 2022

Bingshuang Xiao[1*], Ke He[1], Yufei Kuang[1], Yiyi Su[2], Danfeng Liu[1]

[1]Hengyang Meteorological Bureau, Hengyang Hunan
[2]Zhuzhou Meteorological Bureau, Zhuzhou Hunan

Received: Apr. 25th, 2023; accepted: May 24th, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

Based on conventional meteorological observation data, regional automatic station data, Micaps data, Doppler weather radar data, FY-4A satellite cloud image data and EC numerical model fore-

*通讯作者。

文章引用: 肖冰霜, 贺科, 旷煜菲, 苏伊伊, 刘丹枫. 2022 年 4 月衡阳一次暴雨过程预报偏差分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(3): 566-575. DOI: 10.12677/ccrl.2023.123059

cast data, the process of rainstorm weather in Hengyang from April 25 to 26, 2022 was analyzed and studied, and the reasons for the large falling area, southerly range and deviation of rain band trend of the rainstorm process forecast were obtained. This process occurred under the control of the southwest jet stream, and the wind speed fluctuation on the jet stream axis caused warm-sector rainstorm, rather than the systematic precipitation forecasted by the model. When there were differences in the model forecast, EC numerical model forecast was still too trusted, which led to the deviation of the rainstorm forecast. At present, the numerical weather forecast model was very limited in the forecast ability of warm-sector rainstorm, so it was necessary to focus on the analysis of the occurrence and development of small and medium-scale systems, encrypted monitoring, and tracked its movements, and strengthened the analysis of various real data such as radar and satellite cloud images.

Keywords

Rainstorm, Forecast Deviation, Numerical Model Forecast, Southwest Jet

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

衡阳地处中国南部，其城区横跨湘江，是中南地区重要的交通枢纽之一，而暴雨是影响衡阳最主要的气象灾害。由于暴雨具有突发性、局地性及复杂性的特点，其引发的城市内涝、山洪、山体滑坡等次生灾害对老百姓的人身安全和财产安全都有非常大的威胁。目前，许多学者对我国暴雨的特点、环流形势、形成机理、预报方法等已经作了大量研究[1] [2] [3]。符娇兰等[4]对华北两次冷涡降水成因和预报偏差的对比分析得出数值模式的误差主要来源于对动力条件预报过强导致的降水空报。张劲梅[5]等对一次连日暴雨精细化预报偏差的原因分析得出初期暴雨漏报是因为对触发条件认识不够，而空报则是对水汽汇集抬升辐合区域的分析不细致。暖区暴雨发生前，天气尺度扰动的信号通常较弱，触发机制不明显，并且生消变化快，模式预报对暖区暴雨的预报能力有限[6]。一些学者深入开展了暖区暴雨的研究工作，但主要集中在华南地区[7] [8]。

衡阳地区是湖南省降水集中期暴雨频次相对较多的地区。2022 年 4 月 25~26 日衡阳地区出现了一次暖区暴雨天气过程，受灾人口 19,719 人，紧急转移安置 74 人，农作物受灾面积 1730.3 公顷，倒塌房屋 4 户 12 间，直接经济损失 1767.48 万元。本文利用常规气象观测资料、衡阳区域自动站观测资料、Micaps 资料、多普勒雷达资料、FY-4A 卫星图像和 EC 等数值模式预报资料，对 2022 年 4 月 25~26 日衡阳地区暴雨天气过程进行详细分析，从而为此类暴雨的预报提供依据，对该场暴雨在业务预报中出现明显失误的原因进行探讨分析，以加深对衡阳地区暖区暴雨的思考认识，以期在今后的预报工作中有所帮助。

2. 主观预报与实况对比

2022 年 4 月 25 日 8 时根据最新资料综合分析了高空槽、低涡切变及西南急流影响，结合各家数值模式和各级降水指导预报后，预计 25~26 日我市将有一次强降水过程(图 1(a))，全市暴雨，其中常宁、耒阳、衡南、衡东局地大暴雨，并伴有短时强降水、雷雨大风等强对流天气。

2022 年 4 月 25~26 日衡阳地区出现了一次暖区暴雨天气过程，降水从 25 日傍晚自衡阳西北部祁东

县开始发展，到 26 日 6 时结束，强降水时段主要集中在 25 日 18 时~26 日 3 时。暴雨落区(图 1(b))呈东西向，衡阳中北部(衡阳市区、衡山县、衡东县、衡阳县、衡南县、祁东县)出现暴雨，其中衡阳市区、衡南县、祁东县出现大暴雨，其他地区中到大雨，并伴有短时强降水、雷电等强对流天气。全市 24 小时累计降雨量 50 毫米以上有 42 站，100 毫米以上有 5 站，最大降雨量 142.1 毫米(衡南咸塘)，最大小时雨强 41.6 毫米(祁东马杜桥)。此次降水强度(除南部以外)预报基本准确；主观预报暴雨落区是在衡阳市东南部，实况却是出现在中北部，暴雨落区存在偏差(祁东暴雨漏报，常宁和耒阳暴雨空报)。

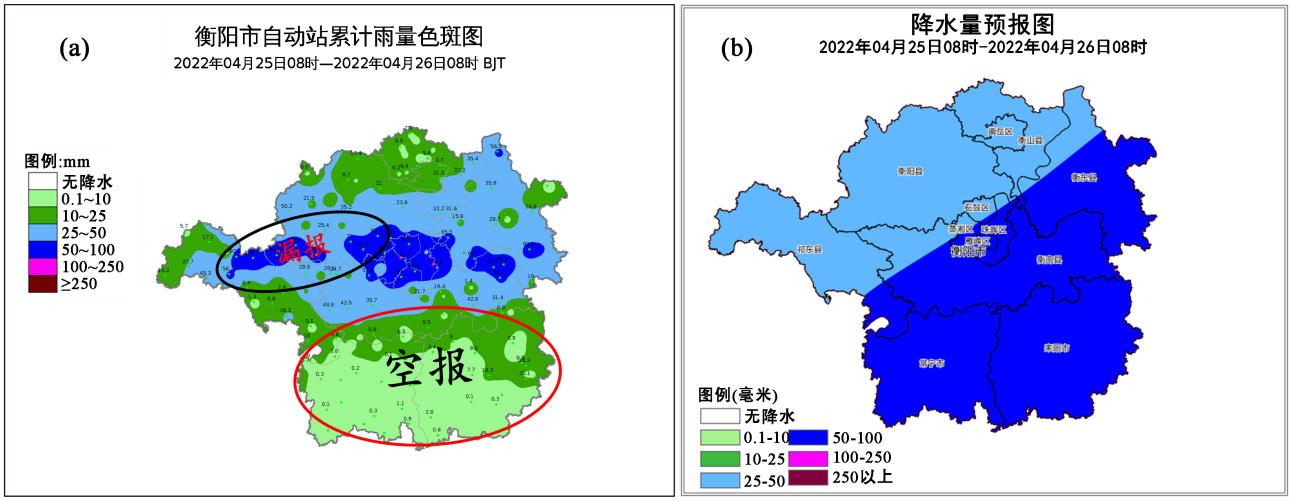


Figure 1. The precipitation of prediction (a) and observation (b) in Hengyang during 08:00 at 25th to 20:00 at 26th April in 2022
图 1. 2022 年 4 月 25 日 08 时~26 日 08 时衡阳市降水预报图(a)和实况图(b)

3. 偏差分析与预报着眼点

3.1. 模式对 25 日降水过程预报整体强度的判断

由于 EC 模式对 24 日湖南省降水落区预报基本准确，量级比实况略大，所以，预报员对此次降水过程预报基于 EC 模式预报。而模式对 24 日西南急流推进过程中引起的局地强降水没有考虑，并且 25 日衡阳中低层仍然处于西南急流控制下。因此，预报员对 EC 模式预报稍作调整，考虑傍晚降水从南部地区(常宁和耒阳)开始发展并向东北方向移动，这种局地对流造成的降水比切变线南压造成的系统性降水更强，所以主观将 EC 模式对衡阳东南部降水的预报进一步调强。

分析高空实况(图 2)可以看到，湖南省中南部都处于西南急流的控制下，25 日白天气温持续升高，整个湖南处于高温高湿的状态，截至 13 时湖南省南部地区并没有出现局地性强降水。相反，湘中偏北地区出现暴雨，该落区 25 日白天 500 hPa 多高空小波动东移，13 时到 16 时 850 hPa 切变线南压维持在岳阳和长沙地区，正好也处于西南急流轴出口区，地面辐合线一直维持在湘中地区，这种较好的高低空形势配置加之地面辐合线的触发造成了长沙和岳阳的暴雨。预报员应结合湘中偏北地区降水实况分析，中低层西南急流比预报更强，使得切变缓慢南压，地面辐合线一直维持在湘中偏北地区，尽管衡阳南部地区比北部能量更高，但是没有触发条件，下午 16 时应该基于实况及时做出订正预报(北部降水量级往上调，南部往下调整)。

3.2. 风场预报偏差

预报员预报 25 日衡阳有大到暴雨，局地大暴雨过程，并且东南部比北部降水更强的原因有两个：一

是 25 日傍晚到 20 时考虑从常宁开始向东北方向发展起来，西南急流上风速脉动配合地面辐合线触发对流性降水，降水效率高；二是 EC 模式预报到 25 日 23 时 850 hPa 切变线东移南压至衡阳市东南部并有加强的趋势，维持时间长。从衡阳雷达站风廓线产品、25 日白天高空、地面实况分析来判断模式预报是否有偏差。

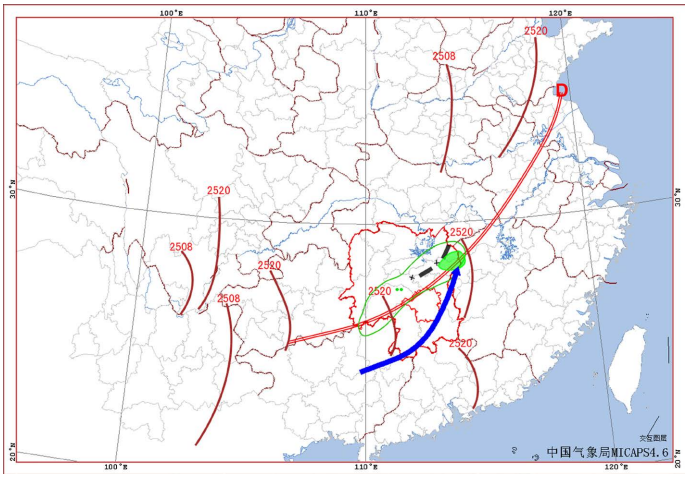


Figure 2. Synoptic situation of upper air during 08:00 to 20:00 at 25th April in 2022
图 2. 2022 年 4 月 25 日 08 时至 20 时高空形势

3.2.1. 850 hPa 风场

从 EC 模式 24 日 20 时对 850 hPa 风场的预报(图 4(a))来看，预报在 25 日 20 时东北－西南向切变线压到衡阳西北部，到 23 时东移南压至衡阳市东南部并且加强的趋势(切变线北面的西北风达 6 m/s，南面的西南风达 16 m/s)在南部停留达 24 小时。而实况(图 3、图 4(b)) 25 日 08 时 850 hPa 切变线北面西北风风速比实况偏小 4 m/s，偏西分量比预报更大，这二者使得切变线快速东移略微南压。多数情况下，如无明显冷空气配合，强降雨带系统性南压并不明显。此外，25 日夜间切变线强度减弱。

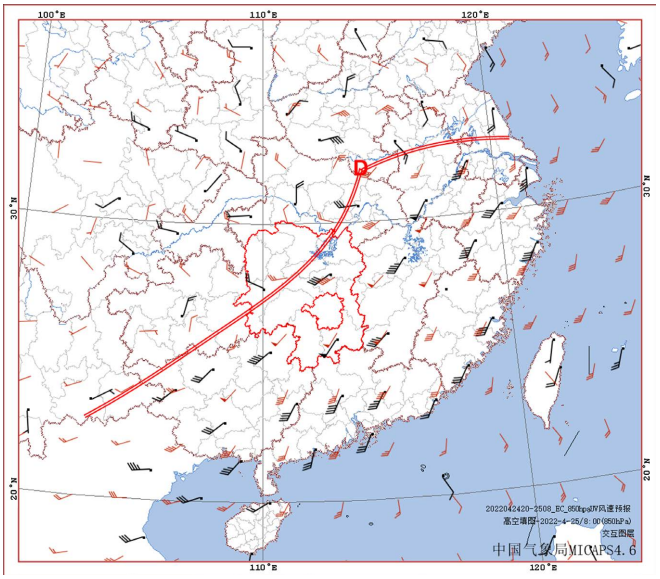


Figure 3. 850 hPa wind field at 08:00 on April 25 (Brown: EC model prediction; Black: reality)
图 3. 4 月 25 日 08 时 850 hPa 风场(棕色：EC 模式预报；黑色：实况)

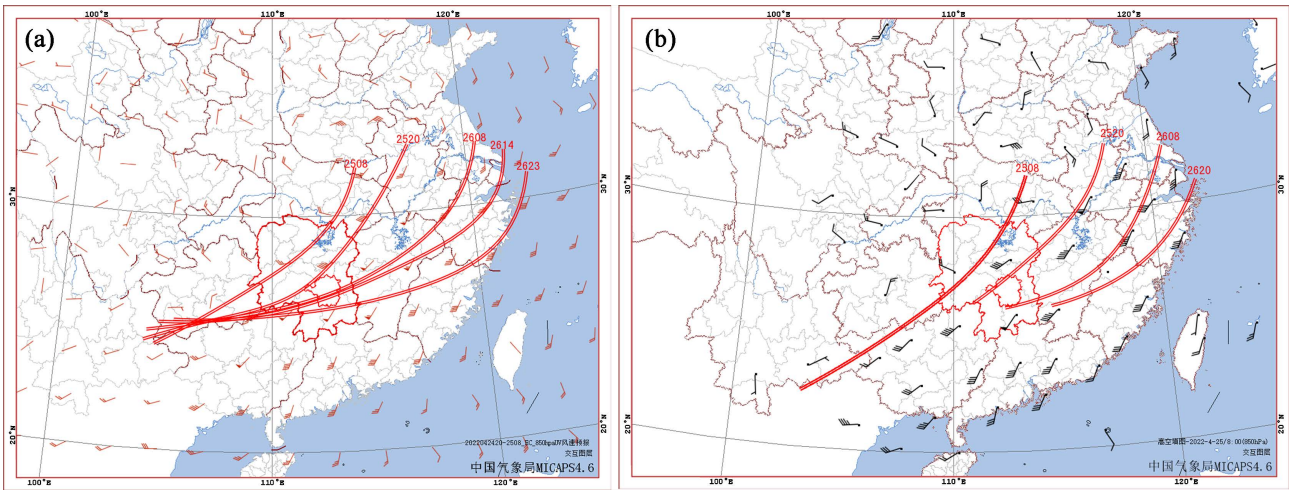


Figure 4. Evolution of 850 hPa wind field and shear line during 08:00 to 20:00 at 25th April. (a) EC model prediction; (b) reality
图 4. 4 月 25 日 08 时至 20 时 850 hPa 风场及切变线演变。(a) EC 模式预报；(b) 实况

此外，EC 模式 24 日 20 时预报 26 日 02 时(图 5)冷切东移南压正好穿过衡阳市区上空，但从衡阳雷达站 2 时 53 分风廓线产品(VWP) (图 6(a))可以看到，25 日 2 时到 3 时中低层 700 hPa 附近高度(2.4~3.0 km)和 850 hPa 附近高度(1.2~1.8 km)均受西南风控制；到 5 时 57 分(图 6(b))此时衡阳市区范围内降水结束，但中低层仍然处于偏西南风控制。从风廓线产品可以看出，25 日衡阳市区暴雨并非冷切南压下来引起的，而是一直处于西南急流的控制下，急流轴上风速脉动引起的暖区暴雨。

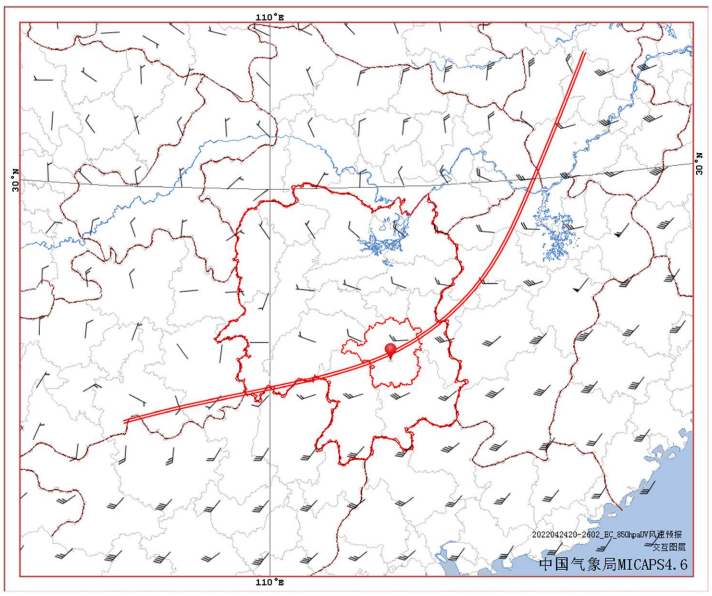


Figure 5. 850 hPa wind field and shear line of EC model prediction at 02:00 on April 26
图 5. EC 模式预报 4 月 26 日 02 时 850 hPa 风场及切变线

3.2.2. 地面 10 米风场

从 EC 模式 24 日 20 时对 10 米风场的预报(图 7)来看，25 日白天湖南省地面有两条辐合线分别位于湘中偏北地区和衡阳东南部，正是考虑到衡阳东南部白天气温持续升高，强盛的西南急流源源不断地输送水汽，在这种高温高湿的环境条件，再配合地面辐合线触发对流。而实况(图 8) 25 日 17 时前湖南省只

存在一条地面辐合线稳定维持在湘中偏北地区，之后一直到 20 时地面辐合线南压到衡阳北部－邵阳与永州交界处。由于湖南省南部地区白天未出现有效降水，18 时上游地区(邵阳与永州交界处)气温还有 29℃，整个湖南南部处于西南气流控制中。25 日 20 时(图 9)衡阳中北部的 CAPE 在 900 J/kg 以上，K 指数在衡阳中北部存在大值中心在 36℃以上。除衡阳西南部以外，相对湿度在 90%以上。邵阳与永州交界处的辐合线触发对流，之后对流性降水回波向东北向移动到 19 时移入衡阳市祁东县，强降水回波在衡阳中北部地区(高温高湿的环境条件下)发展形成“列车效应”，最大小时雨强达到 41.6 毫米。

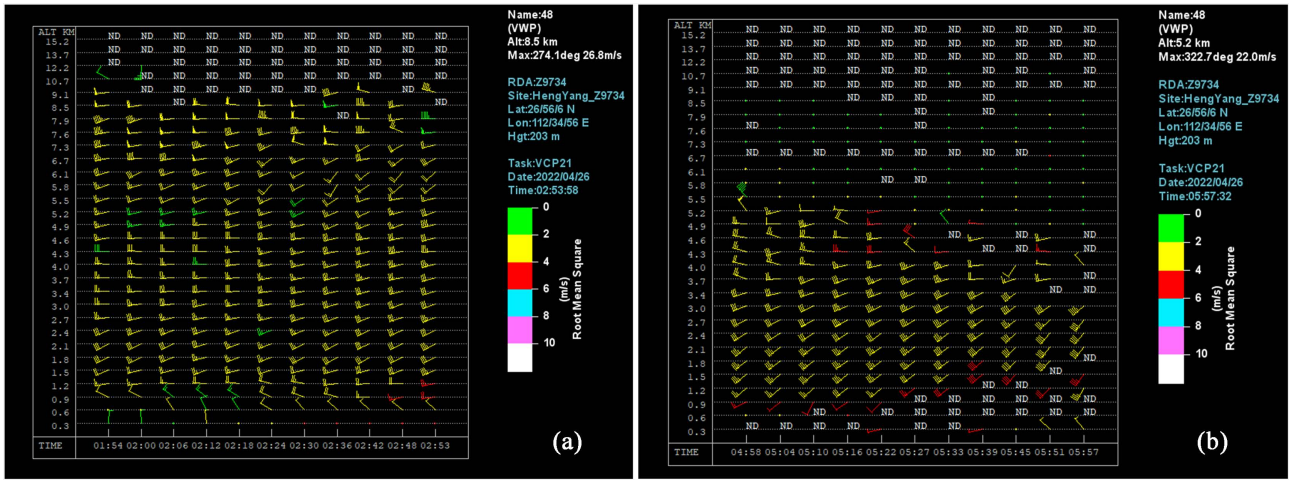


Figure 6. VAD wind profile of radar from Hengyang. (a) 02:53 at 26th; (b) 05:57 at 26th
图 6. 衡阳站雷达风廓线。(a) 26 日 2 时 53 分；(b) 26 日 5 时 57 分

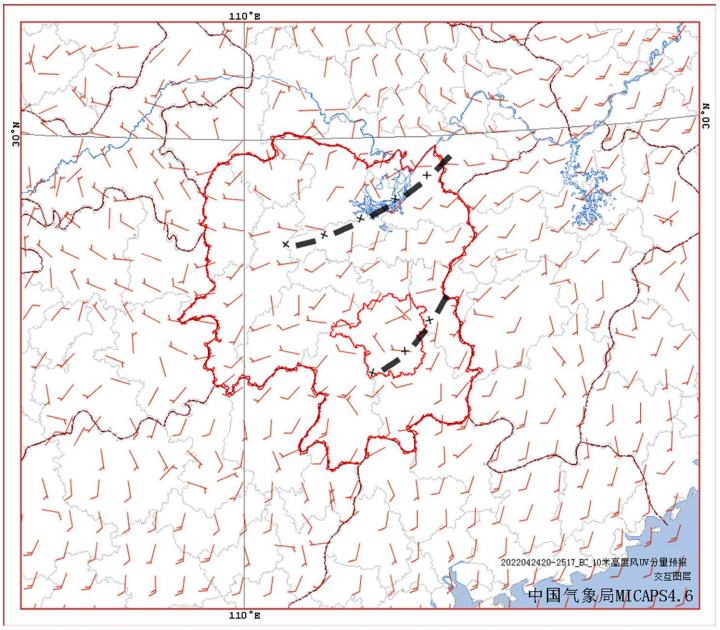


Figure 7. 10 m wind field of EC model prediction at 17:00 on April 25
图 7. EC 模式预报 4 月 25 日 17 时 10 米风场

3.3. 雨带走向预报偏差

EC 模式 24 日 20 时起报 25 日 20 时 500 hPa 高空槽前西南风风速最大达 20 m/s，低涡伸出的冷切呈

东北-西南向，850 hPa 西南急流轴上西南风为 16 m/s。预报员考虑 25 日强降水过程主要分两部分：一部分是受 500 hPa 高空槽前、850 hPa 低涡切变东移南压和西南急流配合造成系统性降水，再加上西南急流轴上触发的对流性降水，画出呈东北－西南向的雨带(图 1(b))。结合 25 日 16 时的 FY-2G 云图(图 10)中国东部地区有一成熟的逗点云系，逗点云系头部位于黄海海域，湘中偏北地区上空是斜压叶状云系和涡度逗点云系重合区，因此 25 日 13 到 16 时湘中偏北地区出现东北-西南向的混合型降水。预报员 16 时依然坚持东北-西南走向雨带(图 1(b))。

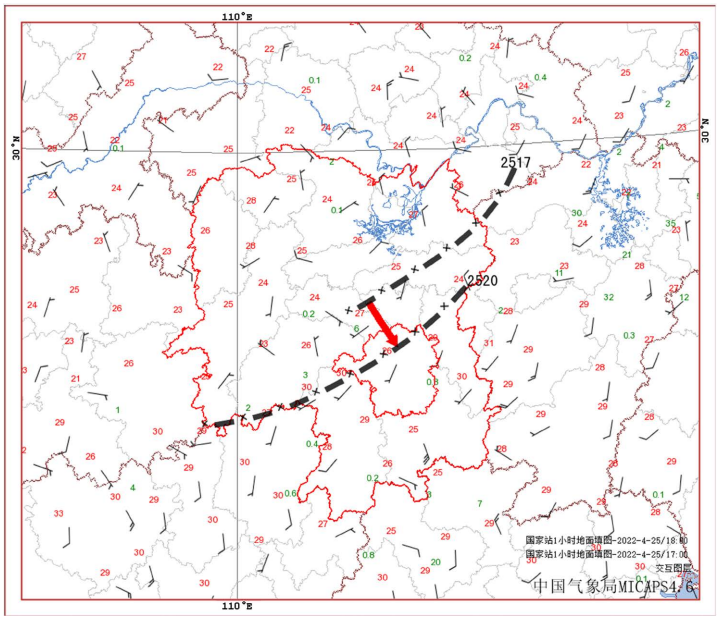
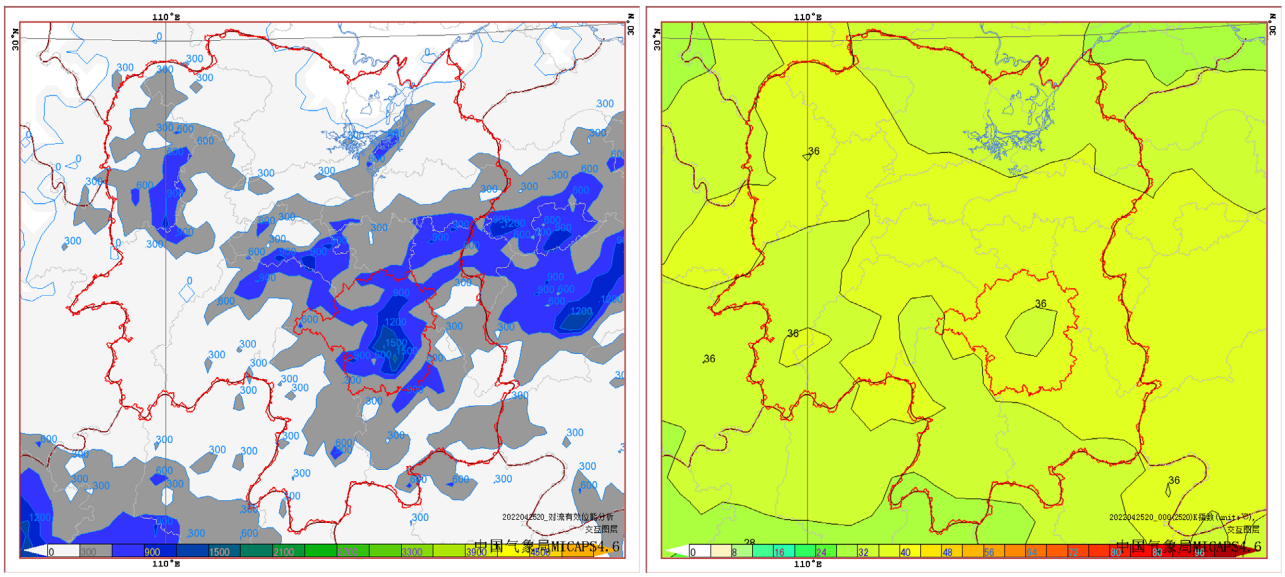


Figure 8. 10 m wind field at 17:00 and air temperature at 18:00 on April 25
图 8. 4 月 25 日 17 时 10 米风场和 18 时气温



(a) (b)

Figure 9. CAPE (a) and K index (b) at 20:00 on April 25
图 9. 4 月 25 日 20 时 CAPE (a)和 K 指数(b)

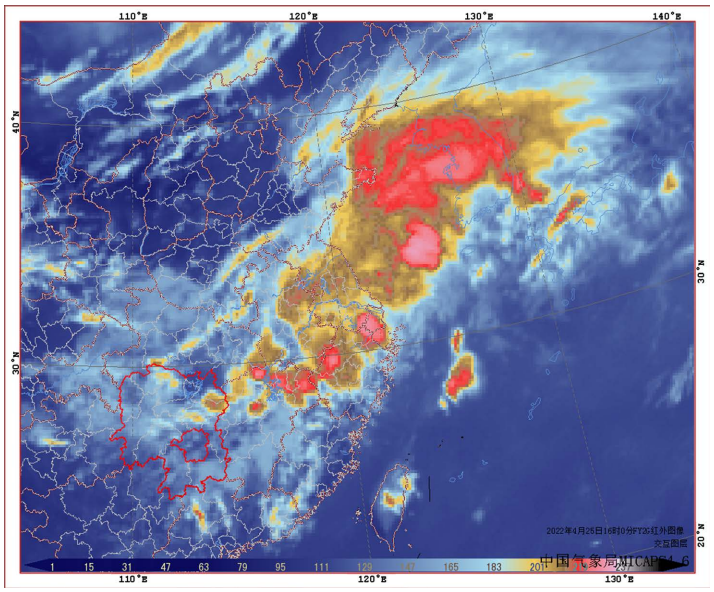
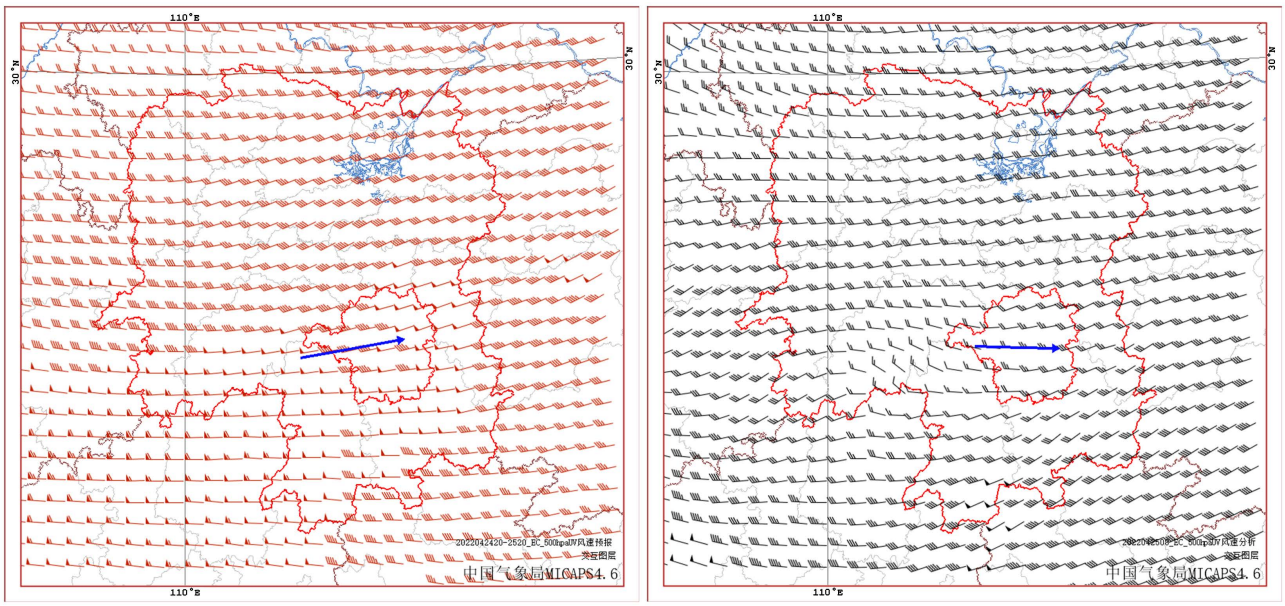


Figure 10. FY-2G infrared cloud image at 16:00 on April 25
图 10. 4 月 25 日 16 时 FY-2G 红外云图

虽然衡阳地区中低层受西南急流控制，但实况(图 11(b)) 500 hPa 是正西风，考虑到我国 500 hPa 等压面上气流作为主要的引导气流，再结合衡阳盆地地形作用，最后导致 25 日降水呈东西向(图 1(a))。



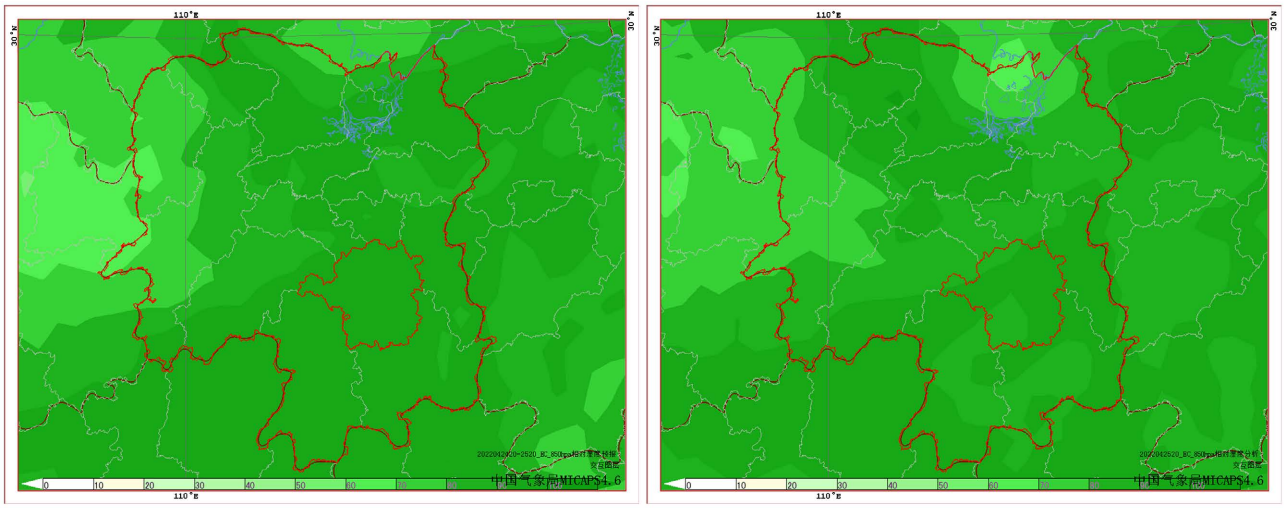
(a) (b)

Figure 11. 500 hPa wind field at 20:00 on April 25. (a) EC model prediction; (b) reality
图 11. 4 月 25 日 20 时 500 hPa 风场。(a) EC 模式预报；(b) 实况

3.4. 中低层水汽条件预报偏差

EC 模式 24 日 20 时起报(图 12(a))，25 日夜间 850 hPa 相对湿度在湘中及湘南地区存在大值区，衡阳地区相对湿度在 95%以上，而实况(图 12(b))看 EC 模式对衡阳 850 hPa 相对湿度预报偏大，东北部相对湿

度条件比南部好，南部相对湿度只有 80%。



(a) (b)

Figure 12. Relative humidity of 850 hPa at 20:00 on April 25. (a) EC model prediction; (b) reality
图 12. 4 月 25 日 20 时 850 hPa 相对湿度。(a) EC 模式预报；(b) 实况

3.5. 模式对降水量预报偏差

从各家数值模式 23 日 20 时起报(图略)对 25 日 08 时~26 日 08 时降水量的预报来看，除 CMA-GFS 模式以外，衡阳地区基本都预报有大到暴雨量级的降水，区域模式预报此次过程都有一个特征，就是暴雨落区基本考虑衡阳北部。

24 日 20 时起报(图略)，EC 和区域模式对衡阳地区降水强度往弱的方向调整，而 CMA-GFS 模式对衡阳地区降水往强的方向调整，但依然保持中北部强于南部的降水分布。

各家数值模式预报存在分歧，并且不同起报时次也不稳定。对 25 日降水实况模式检验发现，CMA-GFS 模式对暴雨落区预报较 EC 更准确。虽然 EC 模式对 24 日降水预报准确，但事实上随着时间临近 CMA-GFS 模式对衡阳地区降水量级调强，而且一直保持中北部强于南部的降水分布预报。所以，预报员不能完全依据数值模式来进行预报，抓住数值模式的分歧，再综合分析天气系统后进行预报。

4. 预报反思

1) 当预报员在分析天气时遇到模式预报存在较大分歧时，应加强对模式的实时分析和对比检验，对模式预报结果进行分析订正，综合多家模式的预报意见，避免完全依赖 EC 模式，从而尽量保证预报的准确性。由于数值模式对弱天气尺度背景下暖区暴雨预报能力有限，尤其加强中尺度模式应用和检验。EC 模式预报这是一次由高空槽、低涡切变东移南压和西南急流共同影响的强降水过程，于是预报员将关注重点放在了低涡东移南压过程中冷切南侧与西南急流轴出口区左侧的重合区可能造成的强降水，但是 EC 模式对冷切北面的西北风速预报偏小，偏西分量预报偏小，实际上冷切在 25 日造成湘中偏北地区强降水之后是东移略微南压，从而将南部降水预报偏大。此次过程是发生在西南急流的控制下，急流轴上风速脉动引起的暖区暴雨。

2) 暖区降水一直是预报上的一个难点，暖区暴雨分散，突发性强，中尺度对流系统生消快，容易漏报，并且前期环流特征不明显。在实际暖区降水预报业务中，要高度注意临近的监测预报、预警，着重分析中小尺度是否存在一些小涡旋或辐合线，并加密跟踪其动态，加强对雷达、卫星云图等多种实况资

料的分析。由于目前预报员主要分析的是 8 时、20 时的高空探测资料，对高空槽、切变线等系统的位置不能很好的把握，可以通过利用雷达风廓线、卫星云图等产品，掌握实况系统位置，对预报进行订正。

3) 加强会商与总结。重大过程前进行会商研判，针对过程开始结束时间、落区强度等重点进行分析，减少预报员个人因素造成的偏差；过程结束后及时总结，特别是对存在明显空报、漏报的过程进行总结，预报人员集中研讨，提高预报业务水平。

基金项目

衡阳市气象局科研项目(HYXQKJ18B002)资助。

参考文献

[1] 寿绍文. 中国暴雨的天气学研究进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 450-463.

[2] 丁一汇. 中国暴雨理论的发展历程与重要进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 395-406.

[3] 杜惠良, 钮学新, 曾欣欣, 等. 浙江省暴雨预报技术研究[J]. 科技通报, 2006, 22(3): 309-318.

[4] 符娇兰, 陈双, 沈晓琳, 等. 两次华北冷涡降水成因及预报偏差对比分析[J]. 气象, 2018, 45(5): 606-620.

[5] 张劲梅, 莫伟强, 张锦标. 一次连日暴雨精细化预报偏差的原因分析[J]. 广东气象, 2012, 34(2): 4.

[6] 张晓美, 蒙伟光, 张艳霞, 等. 华南暖区暴雨中尺度对流系统的分析[J]. 热带气象学报, 2009, 25(5): 551-560.

[7] 陈翔翔, 丁治英, 刘彩虹, 等. 2000~2009 年 5、6 月华南暖区暴雨形成系统统计分析[J]. 热带气象学报, 2012, 28(5): 707-718.

[8] 何立富, 陈涛, 孔期. 华南暖区暴雨研究进展[J]. 应用气象学报, 2016, 27(5): 559-569.