王芬,张辉,孔德璇,等. 贵州西部一次秋季暴雨预报偏差分析[J]. 中低纬山地气象,2023,47(1):1 - 7.

贵州西部一次秋季暴雨预报偏差分析

王　芬,张　辉,孔德璇,孟庆怡,吴　静

(贵州省黔西南布依族苗族自治州气象局,贵州　兴义　562400)

摘　要:2021 年 9 月 16 日预报夜间贵州西部将出现暴雨—大暴雨天气,实况却以小到中雨、分散暴雨为主。该文利用常规及加密观测资料、NCEP/NCAR 再分析资料、ECMWF、CMA - GD、CMA - SH9 等模式预报产品,对这次暴雨空报的原因进行探讨,结果如下:(1)本次暴雨—大暴雨空报的主要原因:副高夜间略北推增强,有利下沉气流增强,阻止切变线南下且削弱低层切变的强度;整体动力条件较差,低层辐合厚度、强度不够,且迅速转为辐散,涡度平流由正转负、上升运动较弱。(2)模式出现较明显误差:ECMWF 错误预报副高夜间位置,切变线位置预报也有偏差,CMA - GD 模式错误预报切变线位置;5 家数值模式预报量级均偏大,其中 CMA - GD、CMA - SH9 及贵州 WRF 偏大明显,ECMWF 的量级及落区预报和实况更为接近。(3)预报员过度相信 ECMWF 对切变线的位置预报、过度相信 CMA - GD 对极端降水的把握,忽视副高略北推增强、动力条件差导致的触发难度迅速加大,主观预报的优势没有发挥出来。

关键词:贵州西部;暴雨空报;预报偏差;副高;切变线

中图分类号:P458.1⁺21.1　**文献标识码:**A

Analysis on the Forecast Deviation of an Autumn Rainstorm in Western Guizhou

WANG Fen, ZHANG Hui, KONG Dexuan, MENG Qingyi, WU Jing

(Qianxinan Prefecture Meteorological Bureau of Guizhou Province, Xingyi 562400, China)

Abstract: On September 16, 2021, it is predicted that there will be heavy rainstorm weather process in western Guizhou at night. The actual situation is mainly small to moderate rain and scattered rainstorm. This paper uses conventional and encrypted observation data, NCEP/NCAR reanalysis data, ECMWF, CMA - GD, CMA - SH9 and other model prediction products to discuss the causes of this rainstorm empty report. The results are as follows: (1) the main causes of this rainstorm heavy rainstorm Empty report: the subtropical high is slightly pushed northward at night, and the favorable downdraft is enhanced, preventing the shear line from going down to the South and weaken the strength of low - level shear; the overall dynamic conditions are poor, the convergence thickness and intensity in the lower layer are not enough, and it quickly turns to divergence, the vorticity advection turns from positive to negative, and the upward movement is weak. (2) There are obvious errors in the model: ECMWF incorrectly predicts the night position of the subtropical high, and there are also deviations in the prediction of the shear line position, and CMA - GD incorrectly predicts the shear line position; The forecasting magnitude of the five numerical models is relatively large, of which CMA - GD, CMA - SH9 and Guizhou WRF are significantly larger, and the forecasting magnitude and falling area of ECMWF are closer to the actual situation. (3) Forecasters believe too much in ECMWF's prediction of the location of the shear line and CMA - GD's grasp of extreme precipitation, ignoring the rapid increase in trigger difficulty caused by the slightly northward extension of the sub elevation and poor dynamic conditions, and the advantages of subjective prediction have not been brought into play.

收稿日期:2022 - 12 - 27
第一作者简介:王芬(1978 -),女,正高,主要从事灾害性天气机理研究,E - mail:1043006358@ qq. com。
资助项目:黔西南州科技局项目(2022 - 2 - 02):黔西南雷暴大风的短临预警指标研究。

Key words: western Guizhou; rainstorm empty report; forecast deviation; subtropical high; shear line

0　引言

暴雨预报一直是贵州天气预报的重点和难点之一。近年来，虽然在其发生发展及机理研究方面取得了大量的研究成果，但暴雨的定量、定点预报仍存在重大困难。在实际业务工作中，数值模式对贵州西部的暴雨预报能力有限，预报中存在漏报、空报、误报。前人对预报失误的原因开展了大量的研究工作，认为对流系统在动力结构、大气不稳定机制等方面存在明显差异，是造成暴雨预报困难的主要原因之一，数值模式对切变线、副高等重要天气系统的位置及强度预报有偏差也是造成预报员误报的原因之一[1－3]。付炜等[4]分析了 2 次失败的暴雨个例，认为低空急流暖湿输送导致高温、高湿的对流不稳定层结反复重建是导致强降水持续的原因。覃武等[5]认为预报员和数值模式未能准确把握触发对流的机制是预报失败的原因。汪丽新[6]指出预报中过分依赖数值预报产品，也是出现暴雨空、漏报的原因，需增强主观判断能力。多项研究表明[7－12]，暴雨与低空切变线的位置有很好的对应关系，降水往往出现在切变线附近或其移动的前方，若贵州又位于副高北侧或西北侧边缘，动力条件得到加强，配合较充沛的水汽条件，往往会造成强降水。近年来数值模式发展迅速，且在多次重大天气过程中都有不错的表现，若多家模式均预报有强降水过程，往往给预报员主观暗示，更倾向于预报大量级的降水，即使有较不利的因子，由于过度依赖模式预报，往往忽视或减弱考虑不利降水的因素，主观上加大有利降水的权重分析。

贵州暴雨难度大、评分低，除落区及量级偏差外，空报和漏报并不少见，预报员思想压力较大。因此总结空报或漏报天气过程，对预报业务工作有重大的现实意义。本文利用 NCEP/NCAR 逐 6 h 1°×1°FNL 资料、ECMWF、CMA－GD、CMA－SH9 等模式预报产品及常规及加密实况资料，分析 2021 年 9 月 16 日贵州西部暴雨空报成因，以期把握此类暴雨空报的天气学原因，为归纳总结秋季暴雨预报的着眼点提供参考。

1　降水特点与预报误差

本文所用资料为中国气象局下发的地面、高空常规及加密观测资料、美国大气环境中心 NCEP/NCAR 逐 6 h 1°×1°FNL 再分析资料、ECMWF、CMA－GD、CMA－SH9、贵州 WRF、CMA－GFS 等 5 种数值模式预报产品。根据贵州省气象预报业务相关规定，当地气象台需在每日 16 时之前制作发布预报产品，此时可供预报员参考的实况资料主要有 08 时高空资料及 16 时之前的地面资料、卫星及雷达资料，可供参考的模式预报产品主要有前日 20 时及当日 08 时起报的模式产品。

根据当天实况及预报产品，综合主客观分析，预计 9 月 16 日夜间切变线将到达黔西南中北部、安顺、六盘水东部、贵阳西部一带，并在此地停滞，配合中等强度的水汽条件，预计贵州西部将会出现暴雨—大暴雨天气（图 1a）。实况雨情如下（图 1b）：9 月 16 日 20 时—17 日 20 时贵州东北部出现大暴雨—特大暴雨，7 站特大暴雨，最大为铜仁江口骆家屯 267.8 mm（图 1c），最大雨强出现在遵义务川 17 日 00—01 时 114.6 mm。贵州西部的预报与实况偏差较大，西部以小—中雨为主、局地大雨—暴雨，特别是黔西南州北部的暴雨、大暴雨全部空报，而贵州东北部的大暴雨落区明显偏小且位置略有偏差。

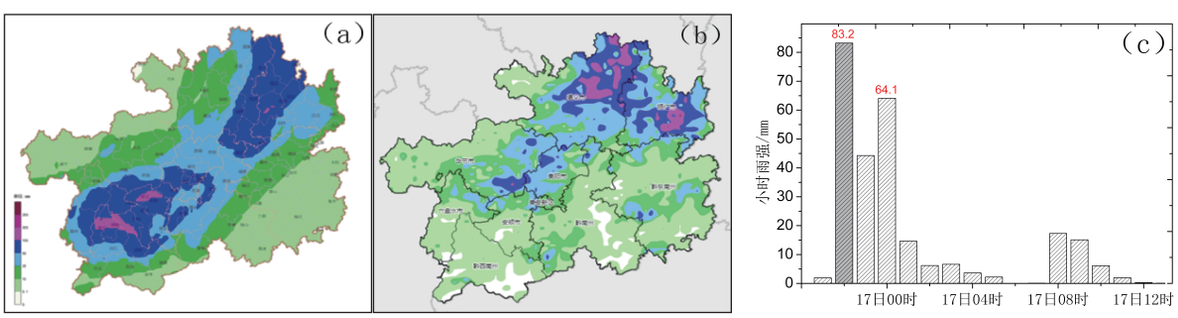

图 1　9 月 16 日 20 时—17 日 20 时降水预报落区（a）、降水实况（b）及铜仁骆家屯的小时雨量（c）

Fig. 1　The precipitation forecast area (a), the actual precipitation (b) and the hourly rainfall (c) of Luojiatun in Tongren from 20:00 on September 16 to 20:00 on September 17

2　环境条件分析

16 日 08 时 500 hPa 欧亚中高纬为两槽一脊,贵州为强盛副高控制(图 2a),20 时副高北脊线南移约 1 个纬度,17 日 08 时又迅速东退至广东、海南一带。16 日 08 时 700 hPa 切变在川东—陕西一带建立(图 2b),20 时略南压,17 日 08 时往西北方向收缩。16 日 08 时 850 hPa 切变在重庆建立(图 2c),20 时及 17 日 08 时位置少动。16 日 08 时地面为热低压控制(图略),冷空气到达川北、甘肃一带,20 时贵州地面由热低压转为均压,冷空气位置偏北。探空资料显示(图略),16 日 08 时贵阳站具有中等条件的不稳定及水汽条件,700 hPa 比湿 9 g · kg^{-1},700 hPa 与 500 hPa 的温差为 17 ℃;850 hPa 比湿 13 g · kg^{-1},850 hPa 与 500 hPa 的温差为 23 ℃,能量条件较差,对流有效位能(*CAPE*)仅为 156 J · kg^{-1}。16 日 20 时,700 及 850 hPa 的比湿明显增加,700 hPa 与 500 hPa 的温差有所减小,但 850 hPa 与 500 hPa 的温差增加至 26 ℃,*CAPE* 增大至 706 J · kg^{-1}。从 08—20 时水汽条件及不稳定条件均向着有利于降水的方向变化。综上分析,此次不稳定条件、水汽条件较好,但副高强盛,阻挡中低层切变南下,大尺度环流背景并不利于强降水天气出现。

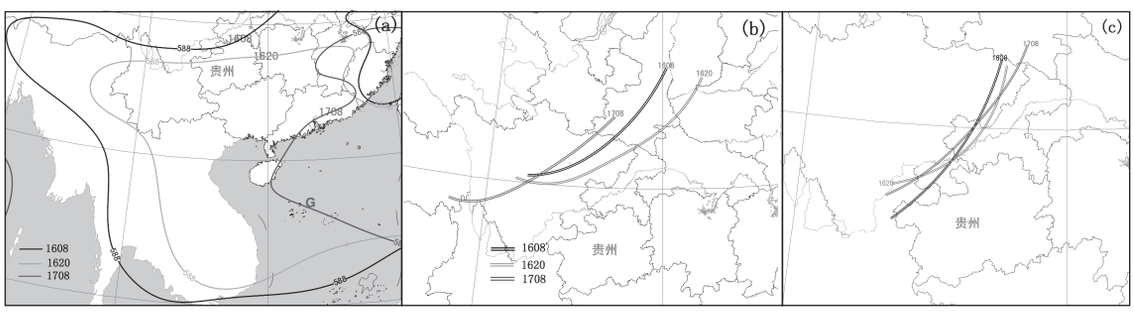

图 2　9 月 16 日 08 时、20 时及 17 日 08 时 588 线(a)、700 hPa 切变线(b)和 850 hPa 切变线(c)

Fig. 2　At 08:00 on September 16,20:00 and 08:00 on September 17,line 588(a),700 hPa shear line(b)and 850 hPa shear line(c)

2.1　不稳定条件整体较好

表 1 给出贵州周边探空站 16 日 08 时、20 时不稳定参数。从表 1 看到,16 日 08 时、20 时,贵阳、河池、怀化 *CAPE* 均有明显增加,表明不稳定能量在逐渐增强,威宁变化小,位于大暴雨区北部的沙坪坝因降雨,不稳定能量已得到较充分释放,*CAPE* 明显下降。各站 *K* 指数均有增加,这可能与气温升高、湿度增加有关,贵阳 *K* 指数增加最为明显,从 34 ℃增加到 42 ℃。各站 *SI* 指数均减小,对流性增大,其中贵阳从弱的不稳定上升为较强的不稳定,有利于强对流天气的出现。17 日 08 时,各站 *K* 指数均快速下降,*SI* 指数稳定度明显增大,除沙坪坝外,其它 3 站 *CAPE* 均明显降低。

表 1　9 月 16 日 08 时、20 时、17 日 08 时贵州周边探空站不稳定参数

Tab. **1**　Unstable parameters over Guizhou province at **08:00**、**20:00** on September **16** and **08:00** on September **17**

站名	16 日 08 时			16 日 20 时			17 日 08 时		
	CAPE/(J. kg^{-1})	*K*/℃	*SI*/℃	*CAPE*/(J · kg^{-1})	*K*/℃	*SI*/℃	*CAPE*/(J · kg^{-1})	*K*/℃	*SI*/℃
贵阳	156	34	-0.5	706	42	-3.8	119	40	-1.6
威宁	447	-	-1.4	422	-	-2.0	61	-	0.26
河池	491	35	-1.5	1739	40	-2.4	1438	39	-1.6
沙坪坝	224	38	-0.8	8.8	39	-0.9	9.4	34	2.4

注:*K*、*CAPE*、*SI* 分别为 *K* 指数、对流有效位能和沙氏指数。

2.2　水汽整体较充沛,高比湿区向西收缩

分析 850 hPa 比湿与相对湿度可知(图 3a),16 日 20 时贵州西部比湿达到 15 ~ 16 g · kg^{-1},相对湿度 85% ~90%,17 日 02 时 15 ~ 16 g · kg^{-1}的高比湿区域向西收缩(图 3b),贵州西部的比湿仍在 14 ~15 g · kg^{-1},相对湿度增加到 93% ~96%。挑选贵州西部晴隆站作为代表,分析其比湿和相对湿度高度随时间的变化可知(图 3c),比湿变化不明显,其中 16 日 20 时—17 日 02 时中、低层的比湿略有下降,16 日 08 时—17 日 08 时相对湿度逐步增加,特别是在 17 日 02—08 时,晴隆上空各层相对湿度均在 90% 以上。

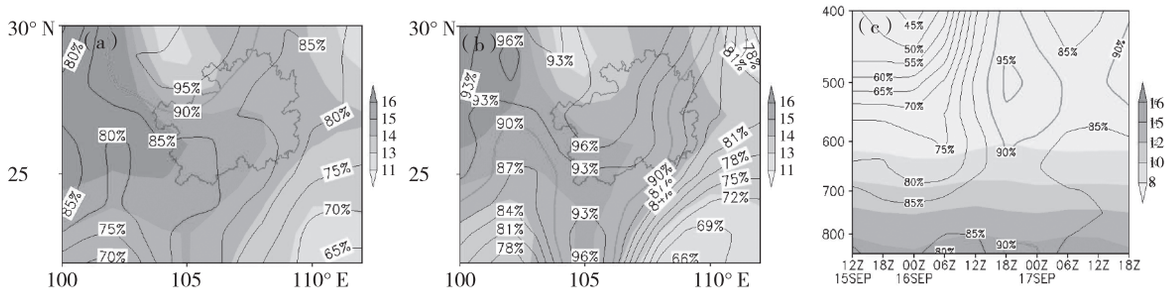

图 3　16 日 20 时(a)、17 日 02 时(b)比湿(单位:$g \cdot kg^{-1}$)和相对湿度,晴隆站比湿和相对湿度高度随时间的变化(c)

Fig. 3　Variation of specific humidity (unit: $g \cdot kg^{-1}$) and relative humidity at 20:00 on the 16th(a) and 02:00 on the 17th(b), specific humidity and relative humidity height of Qinglong station with time (c)

16 日 08 时—17 日 08 时,贵阳和威宁 700 hPa、500 hPa 的 $T-T_d$ 持续降低(表 2),而贵阳低层 850 hPa 先增大再减小;位于此次大暴雨区域北部的重庆沙坪坝整层接近饱和,17 日 08 时中高层有变干趋势;广西河池 700 hPa 湿度逐步增加,500 hPa 从 16 日 08—20 时有变干趋势。

表 2　9 月 16 日 08 时、20 时贵州周边探空站温度露点差变化(单位:℃)

Tab. 2　Change of temperature dew point difference around Guizhou at **08:00** and **20:00** on September **16** (unit:℃)

站名	16 日 08 时			16 日 20 时			17 日 08 时		
	850 hPa	700 hPa	500 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa
贵阳	2	5	4	3	2	3	0.2	0	0.3
威宁	–	2	4	–	0.2	3	–	0.8	3
河池	2	5	1	2	3	2	2	2	2
沙坪坝	0	1	0	0	0.2	0.1	0	1	2

2.3　热力条件整体较好,但能量锋区不强

分析 *CAPE* 及 1000 hPa 与 600 hPa θ_{se} 之差可知,16 日 20 时贵州西南部出现能量大值区(图 4a),能量锋区位于贵州中部一线,此时贵州西部 1000 hPa 与 600 hPa θ_{se} 之差为 20～25 ℃,整体热力条件较好,但与产生对流性暴雨的典型热力条件相比[4,7],*CAPE* 能量锋区不强。17 日 02—08 时 *CAPE* 与 θ_{se} 之差均明显减小(图 4b、4c),*CAPE* 能量锋区进一步减弱,此时贵州西南部并未产生降水,这可能是由于气温的下降造成的。

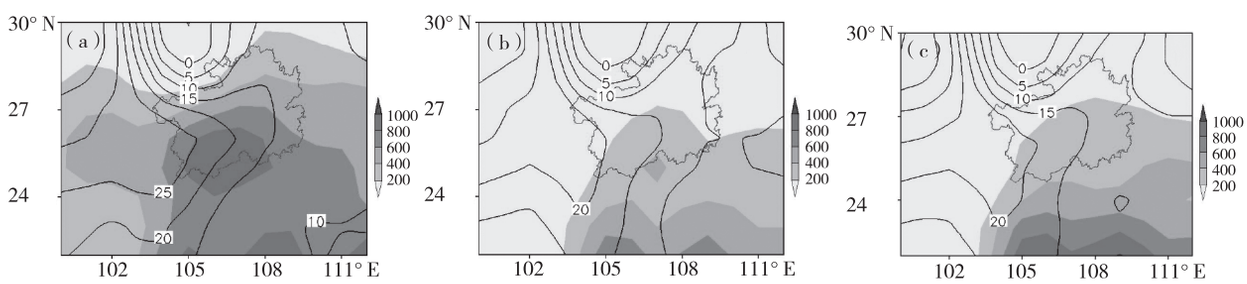

图 4　16 日 20 时(a)、17 日 02 时(b)、17 日 08 时(c)CAPE(填色区,单位:$J \cdot kg^{-1}$),1000 hPa 与 600 hPa θ_{se} 之差(等值线,单位:℃)

Fig. 4　20:00 on the 16th(a), 02:00 on the 17th(b), 08:00 on the 17th(c) CAPE (color filling area, unit: $J \cdot kg^{-1}$), difference between 1000 hPa and 600 hPa (isoline, unit:℃)

2.4　切变线位置偏北,动力条件差

分析 UV 风(风向杆)、散度场(填色区,单位:$10^{-5}s^{-1}$)及 θ_{se} (单位:K)可知,16 日 20 时 850 hPa 切变线位于贵州中部(图 5a),此时安顺、六盘水—遵义、铜仁北部一线为较强辐合区。17 日 02 时切变位置少动(图 5b),未明显南压,黔西南大部为南风控制,贵州西部低层辐合区进一步减弱,最强辐合中心位于遵义与铜仁交界。17 日 08 时切变仍未影响到贵州西部(图略),对应低层 850 hPa 辐合进一步减弱,在黔南低层出现辐散。分析晴隆站风场、散度及 θ_{se} 高度随时间的变化可知(图 5c),500 hPa 以下切变、急流、锋区均未建立,400 hPa 以上表现为明显的辐散,16 日 20 时低层、17 日 02—08 时 500 hPa 附近均出现较强辐合,与产生暴雨时的典型动力条件相比[4,7],低层辐合厚度不够,强度不大。

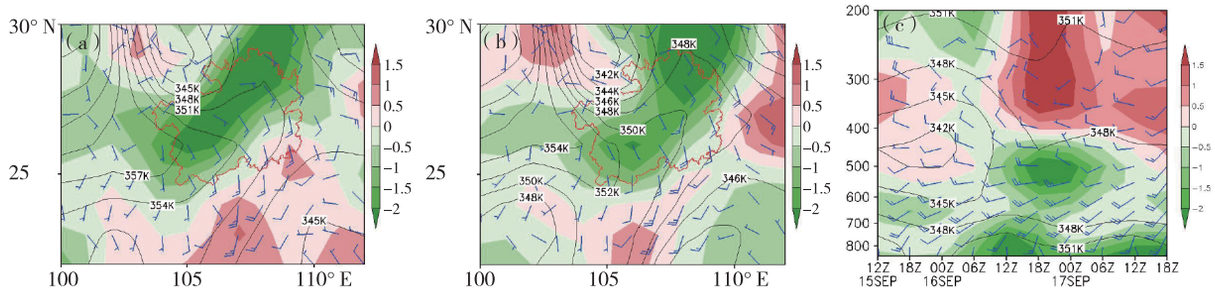

图 5　16 日 20 时(a)、17 日 02 时(b)850 hPa 风场、散度、θ_{se} 的空间分布及晴隆站风场、散度、θ_{se} 高度随时间的变化(c)

Fig. 5　Spatial distribution of 850 hPa wind field, divergence, at 20:00 on the 16th (a) and 02:00 on the 17th (b) and changes of wind field, divergence and height with time at Qinglong station (c)

分析 500 hPa 涡度平流(填色区,单位:10^{-8} s^{-2})与 700 hPa 垂直速度(等值线,单位:Pa · s^{-1})可知,16 日 20 时除黔南外,贵州大部均有正涡度输送(图 6a),垂直运动较强地区在贵州中部—东南一带,17 日 02 时贵州西部涡度平流由正转负(图 6b),不利于天气系统的发展,对应的垂直运动大值区仍在遵义东部—铜仁北部。17 日 08 时负涡度输送区域加大(图略),贵州西南部转为下沉运动,贵州东北部仍有较强的垂直上升运动。分析晴隆站上空物理量的变化可知(图 6c),16 日 23 时之前中低层均为正涡度平流,23 时之后中层先转为负涡度平流,600 hPa 以下维持较强的正涡度平流,垂直速度表现为由高层到低层较一致的上升运动,且中、高层上升运动的强度更大,这与暴雨发生时垂直运动空间结构的典型形势并不一致[1-7]。

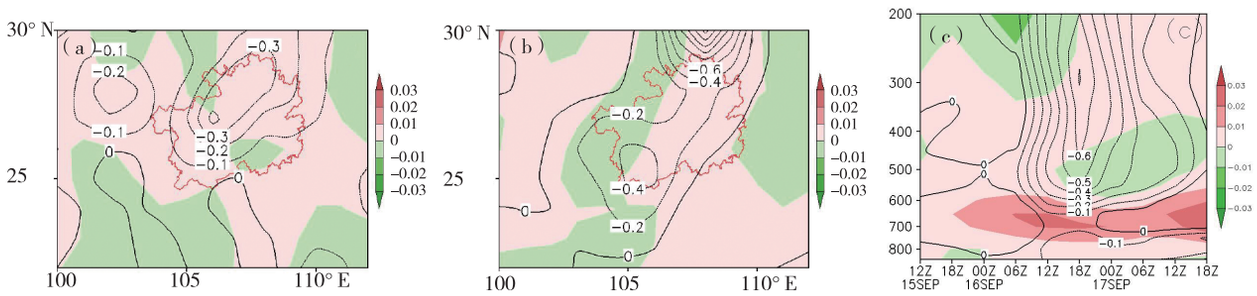

图 6　16 日 20 时(a)、17 日 02 时(b)700 hPa 垂直速度和 500 hPa 涡度平流,晴隆站垂直速度和涡度平流高度随时间的变化(c)

Fig. 6　Variation of 700 hPa vertical velocity and 500 hPa vorticity advection at 20:00 on the 16th(a) and 02:00 on the 17th(b), vertical velocity and vorticity advection height at Qinglong station with time (c)

2.5　副高强盛,不利切变线南压并减弱其强度

分析 500 hPa 位势高度可知,16 日 20 时副高 586 dagpm 控制贵州(图 7a),588 dagpm 断裂成块,17 日 02 时副高 588 dagpm 减弱东退(图 7b),586 dagpm 南落,北脊线到达贵州北部,但贵州大部仍为 586 dagpm 控制,有利下沉气流的增强,不利于动力条件加大。17 日 08 时 588 dagpm 加强并有所西移(图 7c)。586 dagpm 位置少动,仍控制除贵州东北部以外的其它地区。

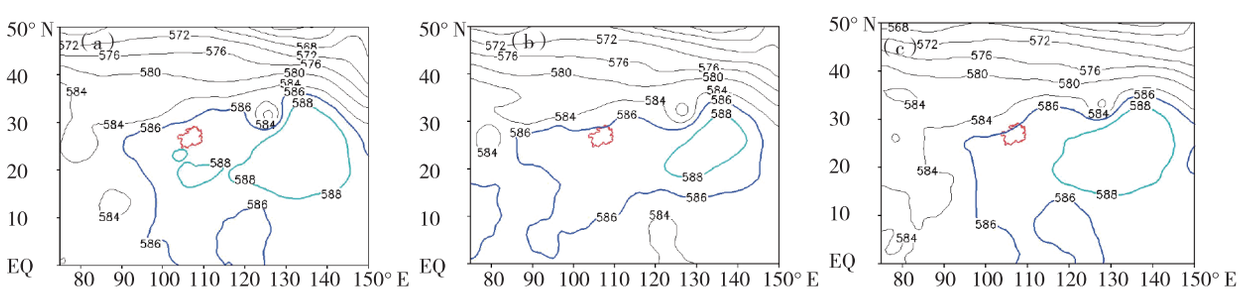

图 7　副高的变化(单位:dagpm)

Fig. 7　Variation of subtropical high(unit: dagpm)

3　模式误差分析

基于上述分析可知,9 月 16 日 20 时—17 日 08 时贵州西部水汽和热力、不稳定条件尚可,动力条件不足,副高较强盛,切变并未按预报的那样南压到贵州西部并在那里停滞。模式预报对此次过程切变位置、动力条件等预报能力如何? 是否存在较明显的预报误差? 图 8 给出 16 日 20 时实况及 ECMWF 15 日 20 时、16 日 08 时起报 16 日 20 时的副高及切变形势。分析可知,16 日 08 时起报 588 线的位置与实况接近(图 8a),而 15 日 20 时起报显示副高明显南落,贵州西部、西南部位于副高 588 线的北侧边缘,有利于副高西北侧边缘产生暴雨[4,6]。ECMWF 2 个时刻起报的 700 hPa 切变与实况位置接近(图 8b),不同的是切变北侧的实际风小于预报,而南侧的风大于预报。ECMWF 2 个时刻起报的 850 hPa 切变位置较为接近(图 8c),都位于贵州西部,不同的是 15 日 20 时起报的位置略偏北,且在黔西南州北部—六盘水南部出现尺度较小的切变。由于 850 hPa 实际测站稀疏,实况无法确定切变线的具体位置,这给天气诊断分析带来明显困难。ECMWF 15 日 20 时起报的 700 hPa、850 切变位置在川东—重庆建立,夜间切变线在贵州东北—西部一带摆动,停滞时间较长,副高 588 线在夜间先增强北推再减弱南落(图略)。CMA－GD 预报切变线在六盘水、安顺、黔西南一带建立(图略),夜间切变南下途经黔西南、安顺,预计当天夜间贵州西部将出现暴雨—大暴雨天气。

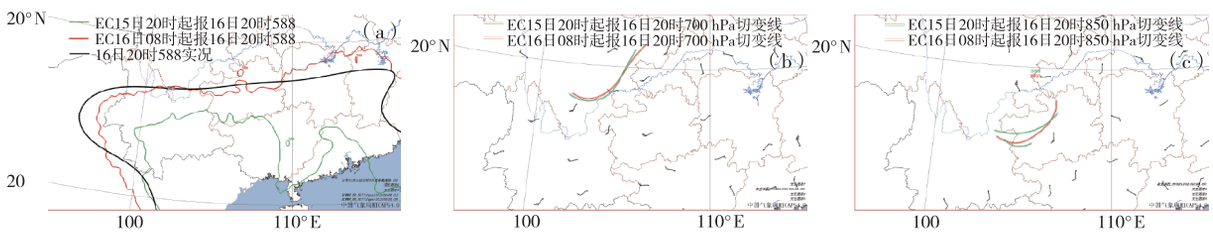

图 8　ECMWF 不同时间起报场预报 16 日 20 时 588 dagpm(a)、700 hPa 切变线(b)及 850 hPa 切变线(c)

Fig. 8　ECMWF forecast 588 line (a)、700 hPa shear line (b) and 850 hPa shear line (c) at different times 20:00 on the 16th

选择预报工作中常用的 ECMWF、CMA－GFS、贵州 WRF、CMA－SH9、CMA－GD 5 种数值模式的降水产品进行检验(图 9)。结果显示:ECMWF 在贵州西部预报有中—大雨;CMA－GFS 预报黔西南北部有分散的暴雨点,其余为小—中雨;贵州 WRF 预报的贵州西部暴雨落区集中在黔西南、黔南;CMA－SH9、CMA－GD 预报的暴雨、大暴雨落区均在贵州西南部。整体分析,5 家模式预报均偏大,CMA－SH9、CMA－GD 及 WRF 偏大更加明显,相较其它模式,ECMWF 的量级及落区预报和实况更为接近。

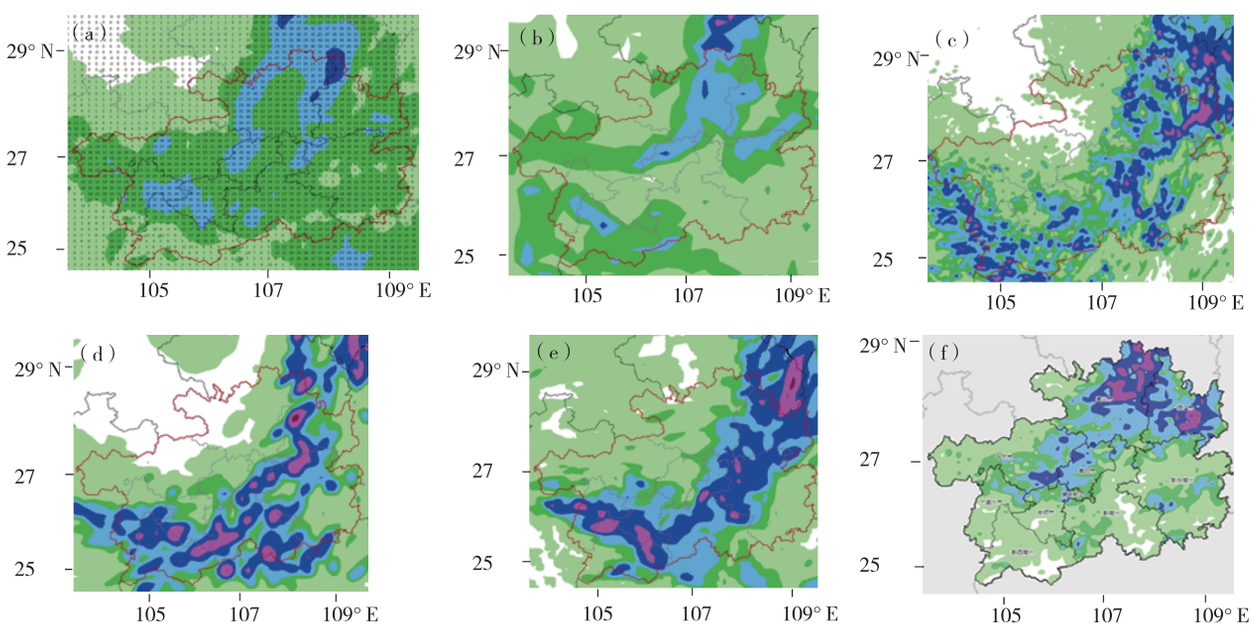

图 9　数值模式检验:ECMWF(a);CMA－GFS(b);贵州 WRF(c);CMA－SH9(d);CMA－GD(e);实况(f)

Fig. 9　Numerical model test:ECMWF(a);CMA－GFS(b);Guizhou WRF(c);CMA－SH9(d);CMA－GD(e);actual situation(f)

综上所述,作为预报员重要参考之一的 ECMWF 15 日 20 时起报场错误预报 588 dagpm 的位置及切变线的停滞,CMA - GD 错误预报切变线到达贵州西部后继续南下途经黔西南州大部,贵州 WRF、CMA - GD、CMA - SH9 模式均错误预报贵州西部大量级降水,模式预报有重大误差是造成此次贵州西部暴雨空报的重要原因之一。

4　总结

(1)强降水区域常集中在切变线附近及移动的前方,但本次没有形成暴雨的主要原因:一是副高夜间略北推增强,有利下沉气流增强,阻止切变线南下且削弱低层切变的强度;二是整体动力条件较差,低层辐合厚度、强度均不够,且辐合迅速转为辐散,涡度平流由正转负、上升运动较弱。

(2)各家模式出现较明显误差:ECMWF 错误预报副高夜间位置,且切变线位置预报有偏差,华南中尺度错误预报切变线位置;5 家数值模式预报量级均偏大,其中 CMA - SH9、CMA - GD 及贵州 WRF 偏大明显,相较其它模式,ECMWF 的量级及落区预报和实况更为接近。

(3)在本次过程中,预报员根据各家模式以往的表现,过度相信 ECMWF 对副高及切变线的位置预报、过度相信 CMA - GD 对极端降水的把握,忽视副高北推增强配合动力条件较差使得触发条件难度迅速加大,错误预报贵州西部的暴雨天气,主观预报的优势没有发挥出来。

参考文献

[1] 汪玲瑶,谌芸,肖天贵,等. 夏季江南地区暖区暴雨的统计分析[J]. 气象,2018,44(6):771 - 780.

[2] 伍志方,蔡景就,林良勋,等. 2017 年广州"5.7"暖区特大暴雨的中尺度系统和可预报性[J]. 气象,2018,44(4):485 - 499.

[3] 杨雪,张明,张渝杰,等. 四川盆地中部区域性暴雨可预报性分析[J]. 气象水文海洋仪器,2022,39(2):47 - 49.

[4] 付炜,唐明辉,叶成志. 强西南急流背景下湘桂边界两次预报失败的暖区暴雨个例分析[J]. 气象,2020,46(8):1001 - 1014.

[5] 覃武,刘国忠,赖珍权,等. 华南暖区暴雨预报失误及可预报性探讨[J]. 气象,2020,46(8):1039 - 1052.

[6] 汪丽新. 8 月 7 日葫芦岛地区局地大暴雨漏报原因分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(26):14504 - 14507.

[7] 杜小玲,杨静,彭芳,等. 贵州望谟初夏暴雨环境场和物理量场合成分析[J]. 高原气象,2013,32(5):1400 - 1413.

[8] 周明飞,杜小玲,熊伟. 贵州初夏两次暖区暴雨的对比分析[J]. 气象,2014,40(2):186 - 195.

[9] 陆桂荣,崔广暑,于怀征,等. 台风"安比"造成日照地区大暴雨的成因分析[J]. 气象水文海洋仪器,2022,39(2):38 - 42.

[10] 王芬,孟庆怡,唐浩鹏,等. 一次副高阻挡型特大暴雨的中小尺度特征[J]. 中低纬山地气象,2021,45(3):1 - 8.

[11] 王芬,吴谷会,郑丹宣,等. 黔西南近 10a 初夏暴雨形成机理分析[J]. 贵州气象,2017,41(4):9 - 16.

[12] 王芬,谷晓平,李腹广,等. 黔西南一次低涡切变型暴雨的中尺度分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2015,9(5):41 - 46.

[13] 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.

[14] 肖安,许爱华. 2016 年华南地区一次大暴雨过程的空报原因分析[J]. 暴雨灾害,2018,37(2):124 - 134.