

文章编号:2096 - 5389(2021)05 - 0028 - 06

结合 SAL 方法的四川盆地暴雨过程检验及订正方法

丛芳^{1,2}, 龙柯吉^{1,2}, 王佳津^{1,2}, 王彬雁^{1,2}

(1. 四川省气象台, 四川 成都 610072; 2. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072)

摘要:该文利用预报员最常用的数值预报模式产品(ECMWF、SWC - WARM、GRAPES - MESO、GRAPES - GFS)结合常规观测资料对比分析了 2019 年四川盆地 6 次区域性暴雨过程,同时引入 SAL 方法,通过主观、客观检验方法得出不同类型下各家模式对强降水的预报误差及订正方法。结果表明:ECMWF、SWC - WARM 较 GRAPES - MESO、GRAPES - GFS 有明显优势,同时:①西部 I 型,ECMWF、SWC - WARM 两家模式预报偏差较小,SWC - WARM 在雨带范围和量级强度上优于 ECMWF。②西部 II 型,ECMWF、SWC - WARM 两家模式都存在系统偏西导致降水落区偏西、量级偏弱的情况,ECMWF 在雨带形态范围上略优于 SWC - WARM,但 SWC - WARM 能较好的预报出分散的强降水中心,具有一定的指示意义。③东部型,ECMWF、SWC - WARM 两家模式预报偏差都较大,除了对系统东西向偏差外还受低涡移动影响存在南北向偏差,ECMWF 在雨带形态范围上优于 SWC - WARM。

关键词:SAL 方法;西部型暴雨;系统偏差

中图分类号:P426.62 **文献标识码:**A

Testing and Revision of Rainstorm Process in Sichuan Basin with SAL Method

CONG Fang^{1,2}, LONG Keji^{1,2}, WANG Jiajin^{1,2}, WANG Binyan^{1,2}

(1. Sichuan Meteorological Observatory, Chengdu 610072, China; 2. Heavy Rain and Drought - Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: Numerical forecast model in this paper, using the forecasters are the most commonly used products (ECMWF, SWC - WARM, GRAPES - MESO, GRAPES - GFS) combined with conventional observation data analysis of the six regional rainstorm process in sichuan basin in 2019, at the same time introducing SAL method, through subjective and objective test methods under different types of each pattern of strong precipitation forecast error and correction method. The results show that ECMWF and SWC - WARM have obvious advantages over GRAPES - MESO and GRAPES - GFS. At the same time: ① the western I type, the ECMWF, SWC - WARM two model forecast deviation is small, the SWC - WARM rains in scope and scale of intensity is better than that of ECMWF. ② the western II type, ECMWF, SWC - WARM two patterns are system by west lead to precipitation falls area by west, weaker orders of magnitude, the ECMWF slightly better than in the scope of our rain belt form SWC - WARM, but these SWC - WARM can better forecast the scattered heavy rain center, has a certain instruction significance. ③ the eastern type, ECMWF and SWC - WARM, models have large prediction deviations. In addition to the east - west deviation of the system, there is a south - north deviation under the influence of low

收稿日期:2020 - 10 - 10

第一作者简介:丛芳(1984—),女,硕士,工程师,主要从事数值模式定量降水预报误差检验技术的研究工作,E-mail:cf2020cdyb@163.com。

通讯作者简介:王佳津(1986—),女,硕士,副高,主要从事气象灾害研究工作,E-mail:w_jiajin@163.com。

资助项目:高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室重点专项(SCQXKJZD2020002):基于网格实况的模式降水偏差定量检验及订正试验;西南区域多源融合实况产品研究创新团队(西南气中[2018]13号);四川省气象青年课题(SCQXKJQN2020035):地形因子对温度实况分析产品精度影响的评价研究;中国气象局预报员专项(CMAYBY2020 - 109):基于西南区域模式的四川强降水客观订正研究。

vortex movement. ECMWF is superior to SWC – WARM, in the rain belt shape range.

Key words: SAL method; western type rainstorm; System error

0 引言

随着数值预报模式的发展,越来越多的模式产品投入业务应用,其性能也在逐步提高^[1]。数值模式对大气环流演变的预报能力已经远超预报员的主观经验判断,时效越长,这一优势越发明显,模式产品在业务预报中发挥的作用早已得到公认^[2]。然而,预报员每天面对大量的模式产品,如何用好模式产品就成为预报制作的关键,对模式各类指标的评价以及预报效果的检验显得尤为重要。这不仅可以为改进模式预报能力、提高模式输出产品的可参考性提供一定的依据,同时也给预报员进行降水落区订正提供了有效的参考标准。

目前,传统的点对点评分检验方法,如 TS、ETS 评分等,虽然能较好的指示模式降水预报的准确性^[3],但客观检验缺乏天气学意义^[4]即缺乏对雨带在位置、范围、形态、结构等方面的预报效果检验,而这恰恰是模式结果使用时需要关注的重要问题,也是预报员最关注的问题。本文以 2019 年四川盆地 6 次区域暴雨过程为研究对象,通过主观天气学检验和客观定量化方法(SAL 方法^[5])进行分析对比,得出系统偏差以及订正方法,便于预报员深刻理解模式产品性能并有效应用在今后的暴雨预报中,形成合理的预报思路、提高预报制作效率。

1 资料来源

预报场资料选取西南区域模式(SWC – WARM)24 h 降水业务产品,其分辨率为 9 km × 9 km,每日更新 4 次,时间间隔为 3 h;欧洲模式(ECMWF)24 h 降水业务产品,其分辨率为 0.25° × 0.25°每日更新 2 次,时间间隔为 3 h。GRAPES – MESO(分辨率 0.1° × 0.1°),GRAPES – GFS(分辨率 0.25° × 0.25°)。实况观测资料为四川范围内所有经过质量控制的自动站小时降水数据。通过临近插值方法将模式资料和实况资料插值为 0.25° × 0.25°进行客观方法检验。

2 SAL 方法简介

SAL 方法是德国美因兹大学大气物理学院 Heini Wernli 教授等人 2008 年的研究成果^[5],最初在德国是应用于河流降水预报的检验,此方法以研究范围内的降水为目标物,并根据分布情况将此范围内

的降水主体划分为不同的降水个体,从总雨带及内部结构两个方面,对雨带的预报从强度(amplitude,简称 A,)、位置(location,简称 L,)、结构(structure,简称 S,)3 个降水预报最关键的因素进行效果检验,检验结果为 S、A、L 3 个数值,阈值范围分别为 $[-2, 2]$ 、 $[-2, 2]$ 、 $[0, 2]$,每个数值绝对值越接近 0 表示越接近实况,同时三者的优先权为 $L > A > S$,即在针对某一天降水预报检验结果中,对降水预报效果指示意义最大的为 L 值,其次是 A,最后是 S。SAL 方法的具体原理和计算公式详见参考文献[5]。

3 个例分类

2019 年汛期,四川盆地共出现了 6 次区域性暴雨天气过程,从这 6 次过程的落区分布来看,主要以西部型^[6]为主(4 次),其次为东部型(2 次)。而在 4 次西部型过程中,暴雨落区又有细微差距,可将其细分为西部 I 型和西部 II 型,西部 I 型的降水落区主要集中在西部 7 市(广元、绵阳、德阳、成都、雅安、乐山、眉山),西部 II 型的降水落区主要以西南部(雅安、乐山、眉山)为主,暴雨点较分散,图 1 为西部 I 型、西部 II 型和东部型的划分。

从个例分类来看,西部型暴雨分型复杂、占比较多^[7],同时落区预报难点也较大,本文将重点分析。

4 误差分析及订正方法

4.1 西部型暴雨预报误差分析及订正方法

4.1.1 误差分析 8 月 5 日和 9 月 12 日为西部 I 型暴雨两个例,其特点为强度大、范围广,强降水中心较集中;7 月 21 日和 8 月 2 日为西部 II 型暴雨两个例,其特点为强度大、范围广,强降水中心略分散。

本节以 8 月 5 日为例进行详细的天气系统分析,其余个例分析结论以总结图表形式列出,天气系统检验图略。从影响系统来看(图 2),5 日 20 时 500 hPa 切变线与 700 hPa 偏南气流模式预报与实况一致^[8]。最大的预报偏差在于 700 hPa 和 850 hPa 切变线位置。从图中可以看出两家模式对 700 hPa 切变线(棕色虚线)位置均较实况偏西约 0.5°,同时 850 hPa 切变(红色虚线)的走向和位置与实况也略有偏差,同样略偏西,这就是导致模式降水较实况偏西的主要原因。从图中也可以直观的看出 ECMWF 强降水落区(红色闭合线)明显偏西,且量级偏

小,SWC - WARM 落区(黑色闭合线)与量级与实况(绿色阴影)接近。因此本次过程 SWC - WARM 表

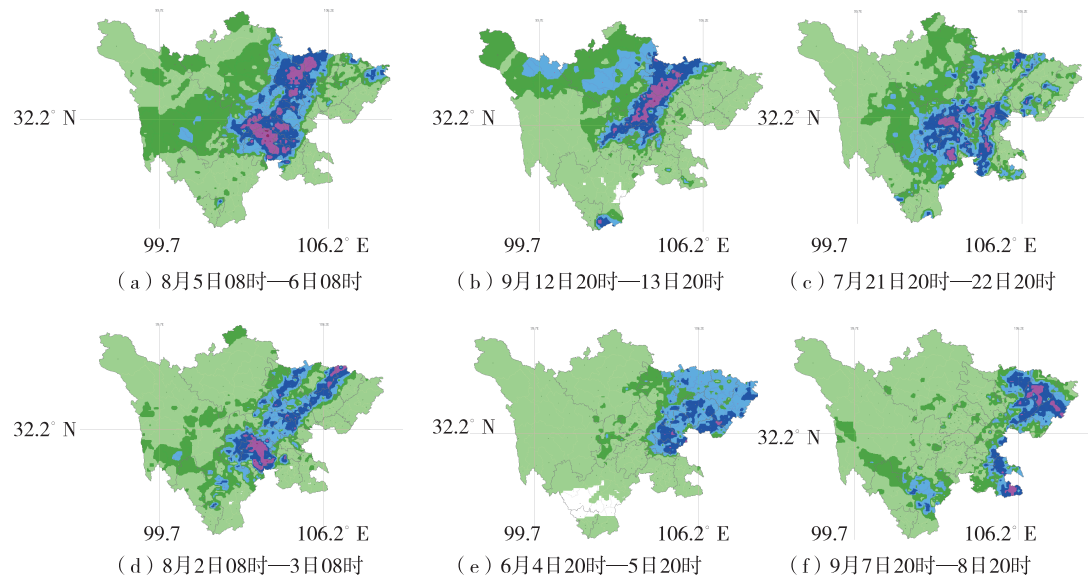


图 1 西部 I 型(a,b)、西部 II 型(c,b)、东部型(e,f)过程累计降雨量

Fig. 1 The process cumulative rainfall of West I type (a,b)、west II type (c,d)、east type (e,f)

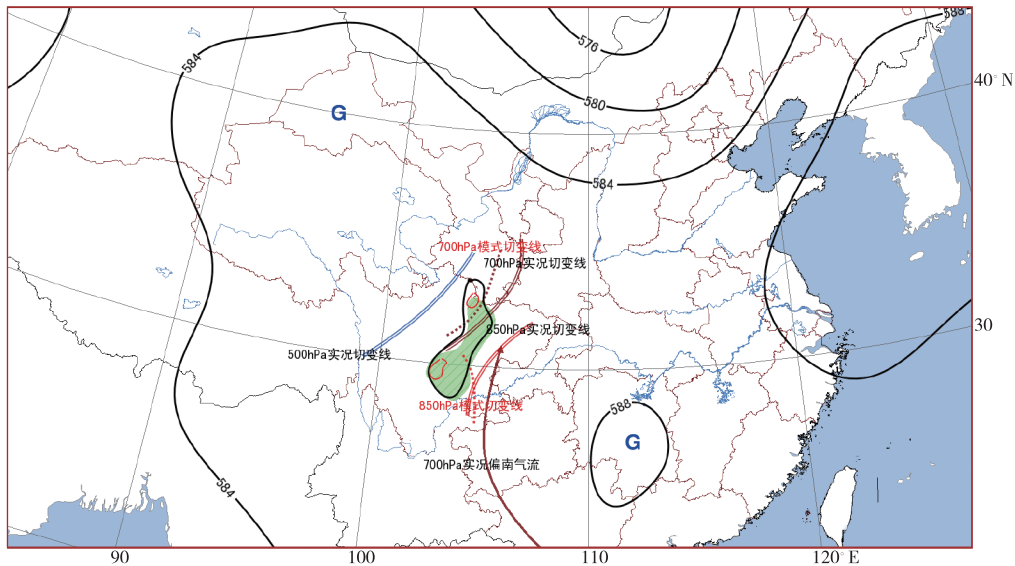


图 2 8 月 5 日 20 时影响系统检验

Fig. 2 System inspection will be affected at 20 o'clock on August 5th

通过上述主观天气系统检验得出,ECMWF 和 SWC - WARM 对这 4 次西部型暴雨过程的预报偏差以偏西为主(多数偏西 0.5°),强度以偏弱为主(如表 1,图 3)。(注:ECMWF 在预报员主观判断中有着不可替代的优势地位,近年来 SWC - WARM 在某种类型个例中表现出优异性,而 GRAPES - MESO 和 GRAPES - GFS 在西南地区的预报效果始终不及上述两者,通常预报员优先分析前两者。)

另外从表 1 中不难看出,西部 I 型无论是位置

检验还是强度检验都优于西部 II 型,原因在于西部 I 型的天气系统清晰,都是有高空槽、切变线的共同参与^[9],同时配合地面冷空气产生强降水^[10]。在天气系统预报偏差不大的情况下,降水预报也更接近实况。同时 SWC - WARM 在此类过程中表现出优于 ECMWF 的特点,系统位置偏差与 ECMWF 不相上下,降水位置与强度上明显优于 ECMWF,更接近实况。

表 1 西部型暴雨过程检验
Tab.1 Western rainstorm process test

西部型	时间	模式	位置			强度	
			500 hPa(经度/°)	700 hPa(经度/°)	850 hPa(经度/°)	落区(经度)	量级(25 mm 以上)
西部 I 型	8 月 5 日	EC	接近	偏西 0.5	偏西 0.5	偏西 0.5	明显偏弱
		SWC	接近	偏西 0.5	偏西 0.5	吻合	接近
	9 月 12 日	EC	接近	接近	接近	范围偏小	偏弱
		SWC	略偏北	接近	接近	范围偏小	略偏弱
西部 II 型	7 月 21 日	EC	偏西 1	接近	偏西 1	北空中漏	偏弱
		SWC	偏西 1	偏西 0.5	偏西 0.5 ~ 1	北空中漏	偏弱
	8 月 2 日	EC	偏西 0.5	接近	偏西 0.5 ~ 1	北漏南小	偏弱
		SWC	偏西 0.5	偏西 0.3 ~ 0.5	偏西 0.5 ~ 1	北漏南小	偏弱

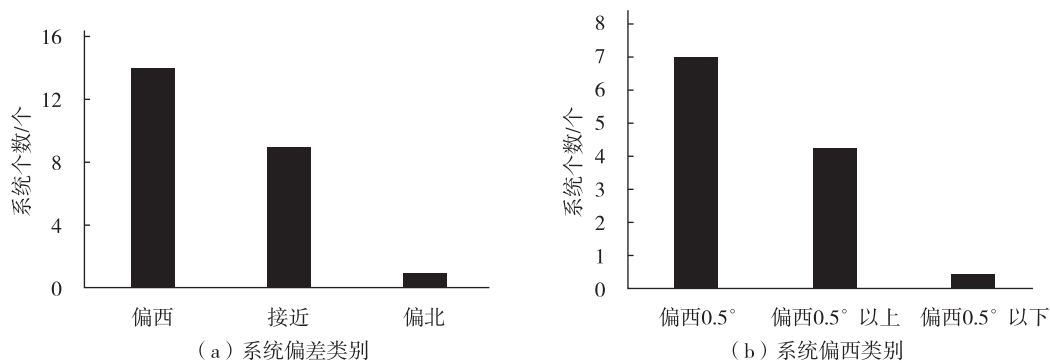


图 3 西部型暴雨系统偏差各类别占比
Fig.3 The proportion of deviation of western type rainstorm system

通过 SAL 方法检验(如图 4)可以更好的说明,以 8 月 5 日暴雨过程为例,在 L(位置)检验上 SWC - WARM 以微弱优势优于 ECMWF,在 A(强度)检验上 ECMWF 优于 SWC - WARM,在 S(结构)检验上 SWC - WARM 优于 ECMWF。结合 $L > A > S$ 的预报效果来看,SWC - WARM 优于 ECMWF。另外 2 家模式的检验结果虽然在 L(位置)检验上以微弱优势优于 ECMWF,与 SWC - WARM 相当,但在 A(强度)上却明显逊于 ECMWF,在 S(结构)上明显逊于 SWC - WARM,虽然 GRAPES - MESO 与 ECMWF 相当,但 GRAPES - GFS 明显逊于 ECMWF,结合主观天气系统的位置检验和降水强度检验,综合评判此次个例 SWC - WARM 最优,其次 ECMWF。

西部 II 型两家模式的预报效果明显差于西部 I 型,原因在于天气系统复杂。个例 7 月 21 日是在副高东退形势下,高原低槽东移并携带冷空气进入盆地,与盆地内暖湿空气交汇而形成强降水^[11],另外南风气流的建立和维持,也为盆地提供能量和水汽^[12],而个例 8 月 2 日中副高则控制黄海上空,台风西进维持时间较长,东风水汽通道畅通,是一次明显的东风扰动配合地面弱冷空气诱发的强降水

过程。2 家模式对系统位置预报较实况有明显偏差,也正是由于系统偏差较大导致了降水位置偏差较大。

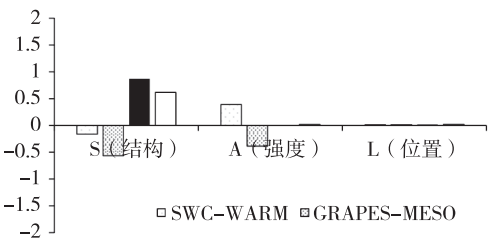


图 4 4 家模式的 SAL 方法检验结果
Fig.4 Test results of the SAL method of four modes

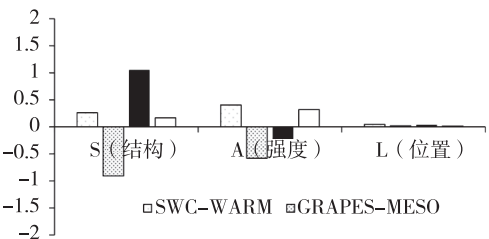


图 5 4 家模式的 SAL 方法检验结果
Fig.5 Test results of the SAL method of four modes

通过 SAL 方法检验(图 5)可以说明,以 7 月 21 日暴雨过程为例,无论是从 L (位置)、 A (强度)、还是 S (结构)上,ECMWF 都以细微的优势略优于 SWC - WARM。而另外 2 家模式的检验结果比上述 2 家效果差。虽然检验结果证明 ECMWF 优于 SWC - WARM,但针对此类过程,SWC - WARM 在降水预报中能较好的体现出强降水中心分散的特点,如个例 7 月 21 日盆西南至盆中的分散强降水、个例 8 月 2 日在 72 h、48 h 均报出了盆地内 2 个强降水中心,在细节上都有较好体现。

4.1.2 订正方法 ①西部 I 型由于天气系统清晰,2 家模式都能较好的预报出主要的天气系统,在系统位置预报偏差不大的情况下,仅需在降水强度上略调大(个例 9 月 12 日),在天气系统预报有偏差时(个例 8 月 5 日),由于 500 hPa 和 700 hPa 系统均偏西约 0.5° ,因此预报时降水落区应向东调整 $0 \sim 0.5^{\circ}$,量级略调大。2 次过程中,SWC - WARM 无论在位置还是强度上都优于 ECMWF。因此在这类过

程中,SWC - WARM 的参考价值大于 ECMWF。

②西部 II 型由于天气系统复杂多变,预报有较大难度,从 2 家模式对系统位置的预报偏差来看,无论是对副高预报东退偏快(个例 7 月 21 日)还是低槽切变偏西(个例 7 月 21 日、个例 8 月 2 日),都导致了降水落区偏西约 0.5° ,且 2 次过程均有不同程度的漏报。总体来说,ECMWF 在雨带形态上略优于 SWC - WARM,但 SWC - WARM 能较好预报出分散的强降水中心,这一点具有很好的参考价值。因此在这类过程中,应根据系统位置偏差在 ECMWF 的基础上将雨带向东调整约 0.5° ,同时参考 SWC - WARM 的强降水中心,做出最终结论。

4.2 东部型暴雨预报误差分析及订正方法

4.2.1 误差分析 6 月 4 日和 9 月 7 日为东部型暴雨个例,其特点为范围广,强降水中心较分散。表 2 为 ECMWF 和 SWC - WARM 对这 2 次过程预报与实况的系统位置检验和降水强度检验。

表 2 东部型暴雨过程检验
Tab.2 Eastern rainstorm process test

	时间	模式	位置			强度	
			500 hPa(经纬度/°)	700 hPa(经纬度/°)	850 hPa(经纬度/°)	落区	量级(25/mm 以上)
东部型	6月4日	EC	偏西1	偏北2~4,偏北3~4	接近	偏西1,偏北1~3	随时效临近向实况靠近
		SWC	偏东0.5	偏北3~4	偏北1~2	偏北2~3	随时效临近偏离实况
	9月7日	EC	偏南1~2	偏西0.5~1	接近	偏西1,偏南1	偏弱
		SWC	偏南2~3	偏西0.5~1	接近	北漏偏西0.5	偏弱

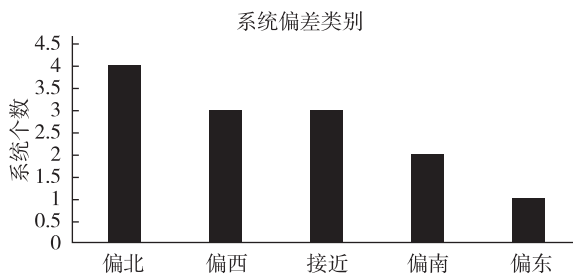


图 6 东部型暴雨系统偏差各类别占比
Fig.6 The proportion of deviation of eastern type rainstorm system

从图 6 中可以看出,在东部型暴雨系统位置检验中,系统偏差分布各异,各个方向的偏差均存在,其中偏北、偏西占比相对较多。在降水强度检验中,由于系统位置偏北、偏西导致降水落区主要以偏北、偏西为主,同时降水强度基本较实况偏弱。

另外从表 2 中可以看出,东部型暴雨过程整体预报效果要明显差于西部型。在系统位置检验方面,偏差方向不一致,不仅有东西经向偏差,同时存

在南北纬向偏差,且偏差量级也明显高于西部型,原因在于这 2 次东部型过程从低层到中层都有低涡参与^[13],可以说低涡在这类暴雨过程中起到了极其重要的作用^[14],而低涡的维持、加强(或减弱)、移向以及低涡附近强降水发生的具体位置一直以来都是模式预报难点^[15],数值预报在此类暴雨过程中表现不尽如人意。

通过 SAL 方法检验(图 7)可以说明,在 L (位置)检验上 ECMWF 优于其它 3 家模式,在 A (强度)上 ECMWF 和 SWC - WARM 相当,在 S (结构)检验上 SWC - WARM 优于 ECMWF。结合 $L > A > S$ 的预报效果来看,ECMWF 优于 SWC - WARM。GRAPES - GFS 虽然在 A (强度)上最优,但在 S (结构)上最差,GRAPES - MESO 在 A (强度)和 S (结构)上与 ECMWF 相当或略优于 ECMWF,但在 L (位置)上逊于 ECMWF,结合 $L > A > S$ 的评判标准和主观天气系统的位置以及降水强度检验,此次个例 ECMWF 表现最优。

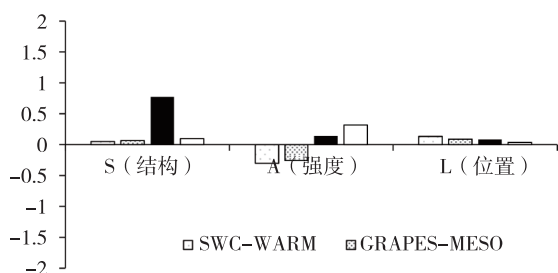


图7 4家模式的 SAL 方法检验结果

Fig. 7 Test results of the SAL method of four modes

4.2.2 订正方法 从上述2次天气过程来看,东部型暴雨都有低涡的参与,且有西南急流输送能量和水汽。从模式对系统的预报偏差来看,2次个例都存在系统偏西导致降水落区偏西,强度偏弱的情况。总体来说,ECMWF 在系统位置偏差以及降水落区、强度上优于 SWC - WARM。因此在这类过程中,预报员可在 ECMWF 的基础上将落区东扩约 0.5 个经度,强度增强,南北位置的偏差由于还受低涡移动的复杂性影响,暂无确切订正方法。

5 结论与讨论

从上述 2019 年盆地的 6 次区域性暴雨过程分析来看,无论是 ECMWF 还是 SWC - WARM 基本都存在位置偏西、强度偏弱的情况,而针对不同的类型又有细微差别。

①西部 I 型是 3 类过程中预报难度最小的一类,两家模式的系统预报与实况都比较接近,且 SWC - WARM 已经开始撼动传统 EMWFC 的优势地位,逐渐体现出在此类过程中的预报优势。今后此类过程可主要参考 SWC - WARM,针对系统位置偏差将雨带整体向东调整 0 ~ 0.5°,量级略调大。

②西部 II 型由于天气系统复杂,预报有较大难度,两家模式预报效果都不理想,虽然 ECMWF 在雨带的整体形态范围上略优于 SWC - WARM,但强降水的范围和强度明显偏小,而 SWC - WARM 却能针对此类型过程预报出分散的暴雨点,提供有价值的参考信息。今后此类过程,可根据系统位置偏差在 ECMWF 的基础上将雨带向东调整约 0.5 个经度,同

时参考 SWC - WARM 的强降水中心,做出最终结论。

③东部型,两家模式对低涡切变与急流出口均有一定的预报误差,且偏差方向不一致,预报效果不理想,但 ECMWF 仍以其传统优势略胜于 SWC - WARM。今后此类过程,可在 ECMWF 的基础上将落区东扩约 0.5°,强度增强,南北位置的偏差由于还受低涡移动的复杂性影响,暂无确切订正方法。

可见,SWC - WARM 在西部 I 型、西部 II 型、东部型暴雨过程中的优势地位逐渐弱化。因此,在今后的暴雨过程预报中可以参考上述结论及订正方法,针对不同类型过程参考更有价值的预报信息。

参考文献

- [1] 潘留杰,张宏芳,王建鹏. 数值天气预报检验方法研究进展[J]. 地球科学进展,2014,29(3):327-335.
- [2] 程正泉,廖代强. 数值天气预报模式产品在预报业务中的应用[J]. 广东气象,2012,34(4):143-156.
- [3] 陈姣荣,曹向林,肖平. 岳阳市 ECMWF 数值模式降水预报检验与释用[J]. 中低纬山地气象,2020,44(5):47-50.
- [4] 薛纪善. 和预报员谈数值预报[J]. 气象,2007,3(8):3-11.
- [5] 公颖. 定量降水预报检验方法的解释与应用[J]. 暴雨灾害,2010,29(2):153-159.
- [6] 卢萍,宇如聪,周天军. 四川盆地西部暴雨对初始水汽条件敏感性的模拟研究[J]. 大气科学,2009,33(2):241-250.
- [7] 杨康权,张琳,肖递祥,等. 四川盆地西部一次大暴雨过程的中尺度特征分析[J]. 高原气象,2013,32(2):357-369.
- [8] 张丽,葛红卫,金高松,等. 安庆市近 10a 短时强降水特征及其天气学模型[J]. 中低纬山地气象,2019,43(6):67-69.
- [9] 肖递祥,肖丹,周长艳,等. 低层偏南气流对一次暴雨过程的动力作用分析和数值模拟[J]. 气象,2013,39(3):281-290.
- [10] 王宗敏,丁一汇,张迎新,等. 西太平洋副热带高压的边界特征及其附近暖区对雨带成因[J]. 气象学报,2014,72(3):417-427.
- [11] 李永华,徐海明,高阳华,等. 西南地区东部夏季旱涝的水汽输送特征[J]. 气象学报,2010,68(6):932-943.
- [12] 康岚,牛俊丽,徐琳娜等. 台风对四川暴雨影响的环境场对比分析[J]. 气象,2013,39(4):427-435.
- [13] 周长艳,李跃清,彭俊. 高原东侧川渝盆地降水与水资源特征及变化[J]. 大气科学,2003,30(6):1217-1226.
- [14] 胡萍,钟有萍,冉仙果,等. 低涡切变暴雨环流特征及物理量特征分析[J]. 中低纬山地气象,2019,43(5):18-21.
- [15] 于波,林永辉. 引发川东暴雨的西南低涡演变特征个例分析[J]. 大气科学,2008,32(1):141-145.