

张东方,成青燕,何慧根,等. CFSv2 模式资料在成都市延伸期降水预测中的应用评估[J]. 气象研究与应用,2021,42(2):01-06.  
Zhang Dongfang, Cheng Qingyan, He Huigen, et al. Application and evaluation of CFSv2 model data in extended precipitation forecast of Chengdu[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(2): 01-06.

# CFSv2 模式资料在成都市延伸期降水预测中的应用评估

张东方<sup>1</sup>, 成青燕<sup>1,2\*</sup>, 何慧根<sup>3</sup>, 杨 蓉<sup>1</sup>, 韦 玮<sup>1</sup>, 汪 玲<sup>1</sup>

(1.成都市气象局, 成都 611133; 2.高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 成都 611133;

3.重庆市气候中心, 重庆 401147)

**摘要:** 将 CFSv2 模式的延伸期预测资料应用于成都市 14 个国家站的延伸期降水预测, 采用距平相关系数 ACC、趋势异常综合检验 Ps 及 Cs/Zs 评分对 2016 年 1 月至 2020 年 12 月的预测回算进行预测效果评估, 通过改进的消除偏差一元线性回归方法对模式预测进行订正和预测再回算、再评估。结果表明, CFSv2 的延伸期预测与成都地区实际降水的 ACC 为 0.13, 略高于目前省级和国家级发布的月预测平均成绩, 对成都西南部和东南部的预报效果较好; Ps 评分平均为 65.7 分; 期间主要降水过程的 Cs 评分为 0.48, Zs 评分为 0.64, 空报率为 38%, 漏报率为 34%。经过订正后, 预测效果的空间差异无明显变化, ACC 提高 0.04, Ps 评分提高 4.3 分, Cs 评分提高 0.05 分, Zs 评分提高 0.14 分, 空报率降低 22%, 漏报率降低 5%, 预测准确率明显提升。

**关键词:** CFSv2 模式; 延伸期降水预测; 应用检验

中图分类号: P456

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.2.01

OSID:



## 引言

长期以来, 公众所熟知的气象服务是 3d 以内的短期天气预报, 随着社会经济的发展, 中期预报甚至月、季、年尺度的短期气候预测逐渐成为公众气象服务所迫切需求的内容, 目前中期数值预报产品最长预报时效是 6~10d, 而短期气候预测只考虑气象要素的变化趋势, 并未细化到具体的时间分布或天气过程。10~30d 的延伸期预报填补了中期天气预报和短期气候预测之间的缝隙, 在防灾减灾决策服务中起着重要作用, 一直是科学研究和业务预报关注的重点和难点<sup>[1-2]</sup>。近 10 多年来, 诸如 2008 年南方低温冰冻雨雪天气、2009 年西南五省持续干旱、2013 年初雾霾笼罩全国、2017 年北方大范围极端高温天气等阶段性、持续性高频发高影响的异常天气事件越来越多, 而延伸期预报工作的薄弱及产品的匮乏

也使得气象部门在相关决策服务工作中略显被动。中国气象局印发的《全面推进气象现代化行动计划(2018—2020 年)》和《智能网格预报行动计划(2018—2020 年)》, 已明确提出将气象要素和重要天气过程的延伸期预报列为重点任务和着力攻关的关键核心技术之一。国内学者和业务单位在延伸期预报方法的探索和业务产品的研发领域持续努力, 取得可喜成效, 其中包括应用最广泛的上海市气候中心研发的低频天气图方法<sup>[3-5]</sup>, 国家气候中心的月动力延伸模式 DERF2.0 形势场预测及降尺度释用<sup>[6-8]</sup>, 河北省气候中心异常相似(释用)方法<sup>[9-10]</sup>, 西北区域气候中心的准 150d 韵律方法<sup>[11]</sup>以及美国环境研究中心以及欧洲数值预报中心的延伸期预测。前 4 种方法作为延伸期预测的重要手段, 前期工作繁琐, 需建立统计模型, 且有一定的地域局限性; 欧洲数值预报中心的延伸期预测产品属于非公开, 不能通过一般途

收稿日期: 2021-04-15

基金项目: 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室开放基金青年专项(SCQXKJQN2019027)、成都市气象局业务技术科研课题短平快项目(2017-2018-2)

作者简介: 张东方(1985—), 男, 工程师, 主要从事天气预报及气候相关业务和科研工作。

\* 通讯作者: 成青燕(1985—), 女, 高级工程师, 主要从事气候相关综合决策业务和科研工作。E-mail: chqy0810@163.com

径得到。美国环境预报中心延伸期模式 CFSv2 提供逐日向后延伸 45d 的要素预报, 本文利用其公开预测产品, 直接进行双线性插值对成都地区未来 45d 的逐日气温和降水进行预报应用, 对近 5a 应用效果进行全面检验和评估, 从而为该模式在成都市延伸期预报中有效利用提供理论依据。通过检验和评估提出订正方案, 可以提高该模式在成都地区延伸期预测的准确率。

## 1 资料来源和数据处理方法

### 1.1 资料来源

本文所用资料主要包括: (1) 2016—2020 年逐日 CFSv2 地面降水、850hPa 气温未来 45d 预报结果, 以及相应气候平均值(1991—2010 年)。(2) 成都地区 14 个国家气象站 2016—2020 年逐日的降水观测资料及对应的气候平均值。

### 1.2 方法

本文采用双线性插值法<sup>[12]</sup>将格点数据插值到站点。采用距平相关系数 ACC、趋势异常综合检验 Ps 对模式预测降水的总体趋势进行评估, 采用 Zs、Cs 评分对降水过程的预测进行定量评估。其中空间距平相关系数 ACC、Ps 方法在文献[13]中已进行了详细描述, Cs/Zs 评分方法详见文献[14], 本文不予赘述。

## 2 结果与分析

由于模式每日输出未来 45d 预测, 为配合本地短期气候预测业务使用, 本文仅以每月 28 日起报预测结果作为检验对象。

### 2.1 距平相关系数 ACC 评估

距平相关系数 ACC 常用来描述某一气象变量距平的预测值与观测值的年际变化或空间分布的相似程度, 广泛应用于动力模式和统计方法对不同区域范围不同变量的预测评分, 是世界气象组织(WMO)确定并建议使用的指标。

图 1 为 CFSv2 模式在 2016 年 1 月—2020 年 12 月间逐月 28 日起报的未来 45d 降水与实况的距平相关系数 ACC。60 个样本中, 模式预测与实况数据的距平相关系数 ACC 在 -0.6~0.6 之间, 其中有 21 个样本为负值, 20 个样本 ACC>0.30, 最大值为 2019 年 3 月 28 日起报结果, 预报与实况 ACC 达到 0.63。全部样本的 ACC 平均值为 0.13, 虽然评分较低, 但高于 2016—2020 年四川省气候中心发布的月降水预测的 ACC 年平均评分 0.06, 且高于同时段国家气

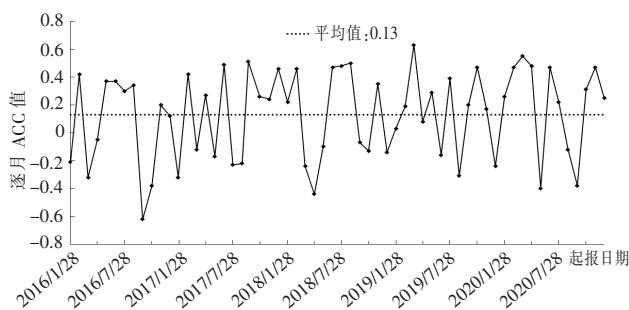


图 1 逐月延伸期降水预报与实况的距平相关系数 ACC

候中心指导发布的月降水预测的平均 ACC 评分 0.05 (评分来自中国气象业务内网气候预测产品检验频道 [http://10.1.64.154/portal/web-link\\_ycpg.index#](http://10.1.64.154/portal/web-link_ycpg.index#))。由此表明, CFSv2 模式对成都地区的未来 45d 降水预报效果略高于目前短期气候预测的业务水平, 且由图 1 可知, 2016—2020 年 ACC 正值频次逐渐增加, 一定程度表明 CFSv2 模式的预报准确率近 5a 逐步提高。

距平相关系数在成都地区不同季节的空间分布如图 2 所示, 在不同季节, CFSv2 模式对成都地区降水的预测性能都存在一定的地区差异, 春季西南部和东南部 ACC 高于其它地区, 夏季 ACC 高分区主要在东南区, 秋季西部和东南部为高分区, 冬季除东部外 ACC 基本都大于 0.2。总体上, 成都西南部和东南部的 ACC 评分高于其它地区。

### 2.2 趋势异常综合检验 Ps 评估

趋势异常综合检验 Ps 评分法是中国气象局为促进气候预测业务由平均态趋势预测向异常气候趋势预测转变制定的, 同时考虑到预报的趋势项、异常项和漏报项, 于 2014 年开始应用于业务评分。如图 3, CFSv2 模式对成都地区延伸期降水的趋势异常综合检验 Ps 评分的月际变化明显, 季节差异不大, 没有明显的持续较差或持续较好。60 个样本中评分最低为 30 分, 有 20 个样本 Ps 低于 60 分, 最高为 94.7 分, 平均为 65.7 分, 与四川省气候中心发布的 2016—2020 年月降水预测的 Ps 平均评分 65.4 基本一致, 略高于同时期国家气候中心发布的指导预报 Ps 平均评分 61.7 (评分来源于中国气象业务内网气候预测产品检验频道)。2016—2020 年, Ps 评分总体趋于稳定并逐渐升高。

从 Ps 评分的空间分布图来看, 同样存在显著空间差异, 但并无明显变化规律, 春季西南部 PS 评分显著高于其它地区, 夏季与春季基本呈相反的变化, 秋季 PS 高分区位于成都市南部, 冬季 Ps 高分区分

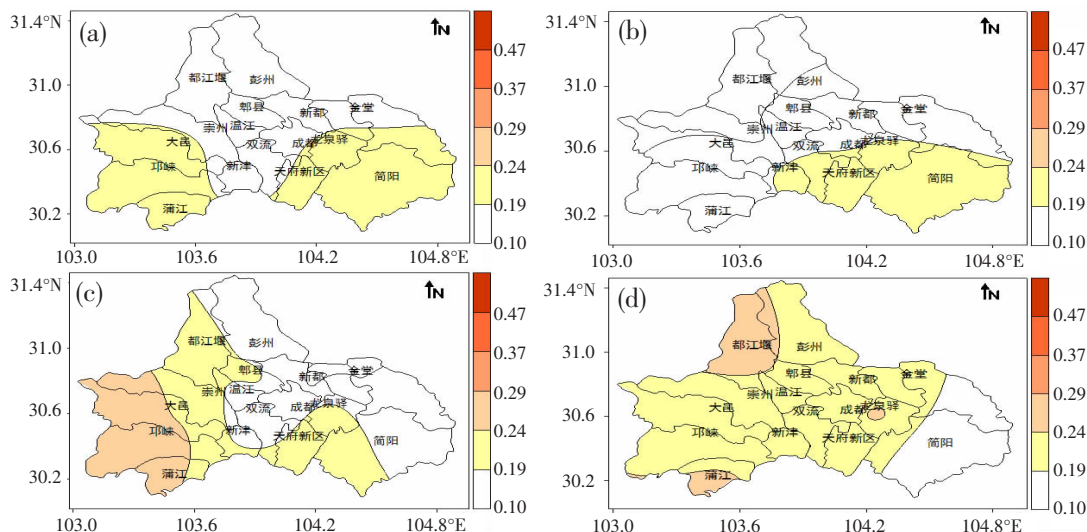
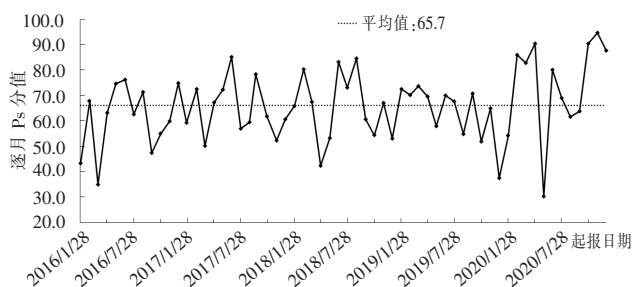


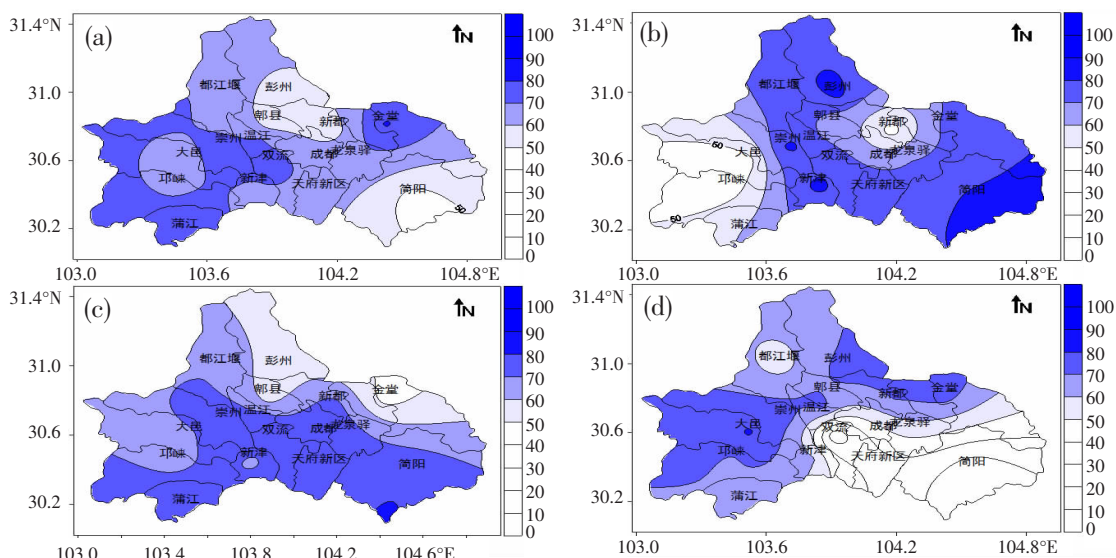
图2 不同季节距平相关系数的空间分布图

(a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季;填色区域为  $ACC > 0.2$ 图3 逐月降水的趋势异常综合检验  $P_s$  评分

布在西部及偏北地区。总体上西南部  $P_s$  评分略高于其它地区,这与距平相关系数  $ACC$  评分得到的结论具有相似性。

### 2.3 主要降水过程的 $C_s/Z_s$ 评估

利用 850hPa 变温为负、降水量非 0 作为有降水的判断依据,认为同时有 5 站或以上站点产生降水即为 1 次明显的降水过程。表 1 为对 2016 年 1 月—2020 年 12 月期间降水过程  $C_s/Z_s$  评估,由表可知,结合负变温和降水,CFSv2 模式对成都地区的延伸期降水过程纯客观预报结果具有一定的参考价值。 $C_s$  评分重在考查对延伸期降水过程的日期预报效果。60 个样本中,评分最高出现于 2016 年 4 月 28 日的预报, $C_s$  为 0.80;最低评分 0.23 为 2018 年 2 月 28 日起报。其中有 25 个样本  $C_s$  值大于 0.50,14 个样本  $C_s$  值小于 0.3,成都地区平均的  $C_s$  评分为 0.48。

图4 不同季节  $P_s$  评分的空间分布

(a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季



Zs 评分重在考查对延伸期内主要降水过程的把握,因此明显高于 Cs 评分,60 个样本平均的 Zs 评分为 0.64,其中有 22 个样本的 Zs 值大于 0.7,2017 年 2 月 28 日起报的 Zs 评分高达 0.95。无论是 Cs 评分还是 Zs 评分,从高评分的分布来看,模式对延伸期内降水过程的预报并没有明显的季节分布特征。

空报率和漏报率也是反映降水过程预报效果的重要指标,参照中国气象局《中短期天气预报质量检验办法》(气发[2005]109 号)计算月内主要降水过程的空报率和漏报率,CFSv2 模式对成都地区延伸期主要降水过程的空报率为 38%,漏报率为 34%。从高空报和高漏报的分布来看(表略),冬半年空报较多,夏半年漏报较多。总体评分逐年提高。

表 1 CFSv2 模式对月内主要降水过程的 Cs/Zs 评估

年份	Cs	Zs	空报率(%)	漏报率(%)
2016	0.43	0.50	47	31
2017	0.52	0.72	25	36
2018	0.49	0.62	29	32
2019	0.44	0.67	42	33
2020	0.50	0.70	49	37
平均	0.48	0.64	38	34

## 2.4 订正方法的讨论

综合以上应用和检验可知,CFSv2 模式对成都地区的延伸期降水预测具有一定程度的预报能力,但是作为延伸期预报的主要参考依据,需要对模式结果进行订正。不同于气温的连续变化,降水是大气环流系统之间共同协调作用产生,数据更加离散化,单纯依靠模式对于降水的预测,准确率是不确定的,想要建立一个参数恒定的订正模型比较困难,也不利于准确率的提高,在消除偏差订正方案<sup>[14]</sup>的基础上,将观测值平均值改为模式偏差,然后采用一元线性回归的方法进行误差订正,具体用公式表示为:

误差为预报值与实况值之间的偏差:

$$b_{i,j}(t)=f_{i,j}(t)-a_{i,j}(t) \quad (1)$$

式中, $i$  为起报时间, $j$  为第  $j$  个预报时次, $b_{i,j}$  为  $i$  起报时间预报的  $j$  时次的预报误差, $f_{i,j}$  为  $i$  起报时间预报的  $j$  时次预报值, $a_{i,j}$  为  $j$  时次的实况值。

对于离散数据而言,误差可表示为:

$$B_{i,j}(t)=(1-w)B_{i,j}(t-1)+wb_{i,j}(t) \quad (2)$$

式中, $w$  为权重系数,也称为回归系数。利用最小二乘法原理,通过一元线性回归法,计算权重系

数。

经过订正后的预报可表示为:

$$F_{i,j}(t)=f_{i,j}(t)-B_{i,j}(t) \quad (3)$$

即模式的订正预报为模式的初始预报-模式误差。

根据公式(1),对 2016—2020 年逐月 28 日起报的逐 6h 降水数据进行误差计算。再利用公式(2),基于最小二乘法,求出各个时次的误差权重系数。利用公式(3)计算订正后的预报值。

## 3.5 订正后的再评估

订正后模式预报降水与实况的距平相关系数 ACC 与订正前相比,以提高为主,其中 2017 年 5 月 28 日起报的降水与实况距平相关系数较订正前提高了 0.37,其余月份提高不明显,基本小于 0.05,个别月份 ACC 较订正前有所下降。订正后平均的 ACC 较订正前升高 0.04。订正后的 ACC 空间分布与订正前一致,西南部和东南部略高于其它地区(图略)。

订正后模式预报降水与实况的 Ps 评分与订正前相比,总体提高较明显,其中 2020 年 5 月 28 日起报的模式降水与实况的 Ps 评分较订正前提高了 51 分,另有 4 个样本的订正后 Ps 评分较订正前提高幅度在 20~35 分之间,有 20 个样本为负订正,订正后的 Ps 评分较订正前降低 1~10 分,其余各月均以正订正为主,Ps 评分的提高幅度在 1~20 分之间。Ps 评分的空间分布订正前后并无显著差异(图略)。

表 2 为订正前后模式预报的降水过程的 Cs/Zs 评分差异,无论是对主要降水过程的把握还是对降水过程发生日期的把握,订正后的结果大多好于订正前,个别月份存在负订正。订正后 Cs 评分平均提高 0.05 分,Zs 评分平均提高 0.14 分。订正后空报率明显下降,较订正前下降 22%,漏报率下降 5%。

表 2 订正前后 CFSv2 模式对月内主要降水过程的评估差异

年份	Cs	Zs	空报率(%)	漏报率(%)
2016	-0.13	0.09	-10	-9
2017	0.2	0.33	-23	-8
2018	0.02	0.03	-6	0
2019	0.15	0.25	-43	-8
2020	0.03	0	-30	0
平均	0.05	0.14	-22.40	-5.00

综上,利用滚动式一元线性回归的方法来对 CFSv2 模式的延伸期降水预报进行订正,可以有效

提高降水预报的准确率,对于模式资料在成都地区的直接应用具有重要的贡献。

### 3 结论和讨论

利用 2016 年 1 月至 2020 年 12 月 CFSv2 模式的延伸期降水预报结果进行成都市的延伸期降水预测试验,经过与实况对比发现:

(1)CFSv2 模式预报的延伸期降水与实况的距平相关系数 ACC 平均为 0.13,总体较低,但略高于省级、国家气象局短期气候预测业务水平。ACC 的空间分布反映出 CFSv2 模式对成都西南部和东南部的预测效果好于其它地区。

(2)CFSv2 模式预报的延伸期降水与实况的 Ps 评分平均为 65.7 分,与省级发布预测评分相当,高于国家级对四川地区的指导预报评分。

(3)CFSv2 模式预报的延伸期降水过程在成都地区平均 Cs 为 0.48,Zs 为 0.64,空报率 38%,漏报率 34%。Cs 评分明显低于 Zs 评分,模式对主要过程的把握好于对过程发生日期的把握。冬半年空报多,夏半年漏报多。

(4)改进的消除偏差一元线性回归对 2016 年 1 月至 2020 年 12 月期间的模式预报进行订正计算和重新评估,订正后 ACC 平均提高 0.04,Ps 提高 4.5 分。订正后模式延伸期降水过程 Cs 评分平均提高 0.05 分,Zs 评分平均提高 0.14 分。空报率较订正前降低 22%,漏报率降低 5%。

通过以上分析可以看到,经过订正后的 CFSv2 模式的延伸期预报结果可以作为成都地区延伸期降水预报的重要决策参考依据,但由于资料序列时间较短,本文仅采用双线性差值的方法将模式结果进行直接应用,还需要今后持续检验并结合动力与统计的降尺度方法作出改进,进一步提升延伸期预报服务能力。

#### 参考文献:

- [1] 金荣花,马杰,任宏昌,等.我国 10-30 天延伸期预报技术进展与发展对策[J].地球科学进展,2019,34(8):814-825.
- [2] 章大全,郑志海,陈丽娟,等.10-30d 延伸期可预报性与预报方法研究进展[J].应用气象学报,2019,30(4):416-430.
- [3] 孙国武,信飞,孔春燕,等.大气低频振荡与延伸期预报[J].高原气象,2010,29(5):1142-1147.
- [4] 陈伯民,梁萍,信飞,等.延伸期过程预报预测技术及应用[J].气象科技进展,2017,7(6):82-91.
- [5] 胡春丽,焦敏,李辑,等.低频天气图方法在 4-9 月辽宁干旱月预报中的应用[J].气象研究与应用,2016,37(3):48-51.
- [6] 班晋,王波,赵佳莹,等.基于 DERF 2.0 对黑龙江省初夏降水的客观预测[J].中国农学通报,2018,34(9):81-89.
- [7] 陈思蓉,周秀华,陆虹,等.月动力延伸预测产品 DERF2.0 对广西气温和降水的预测评估[J].气象研究与应用,2016,37(3):16-19,139.
- [8] 覃卫坚,陈思蓉,何慧,等.DERF2.0 模式 11-40 天逐日环流预报效果评估[J].气象研究与应用,2019,40(1):7-10.
- [9] 史印山,顾光芹.用相似释用方法制作小麦生育期逐旬气候预测[J].气象科技,2013,41(2):389-393.
- [10] 唐红玉,李永华,何慧根,等.前期环流相似法在重庆延伸期天气过程预报中的应用[J].气象科技,2017,45(1):71-77.
- [11] 林纾.500hPa 准 150 天韵律在过程预报中的应用研究[C].中国气象学会·新世纪气象科技创新与大气科学发展——中国气象学会 2003 年年会“气候系统与气候变化”分会论文集,2003:5.
- [12] 张洋.基于双线性插值法的图像缩放算法的设计与实现[J].电子设计工程,2016,24(3):169-170,175.
- [13] 陈丽娟,李维京,刘绿柳,等.中国区域月气候预测方法和预测能力评估[J].高原气象,2008(4):838-843.
- [14] 李佰平,智协飞.ECMWF 模式地面气温预报的四种误差订正方法的比较研究[J].气象,2012,38(8):897-902.

## Application and evaluation of CFSv2 model data in extended precipitation forecast of Chengdu

Zhang Dongfang<sup>1</sup>, Cheng Qingyan<sup>1,2\*</sup>, He Huigen<sup>3</sup>, Yang Rong<sup>1</sup>, Wei Wei<sup>1</sup>, Wang Ling<sup>1</sup>

(1.Chengdu Meteorological Bureau, Chengdu 611133; 2. Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 611133; 3. Chongqing Climate Center, Chongqing 401147)

**Abstract:** The prediction data of the extended prediction model of the US Environmental Weather Center (CFSv2) was used in the extended precipitation prediction of 14 national stations in Chengdu by using the bilinear interpolation method. After re-calculate from January 2016 to December 2020, the prediction effect of the model itself was comprehensively evaluated and contrast with the simultaneous observation data by using Anomaly Correlation Coefficient (ACC), tendency anomaly evaluation scores(Ps), and the Cs/Zs score. Then the model prediction was revised by using the rolling linear regression method, and the prediction was re-calculated and re-evaluated. The results showed that ACC between the CFSv2 prediction data and the actual precipitation in Chengdu was 0.13, which was equivalent to the current prediction issued by the provincial and national level. It was more accurate on the southwest and southeast of Chengdu. The averages PS score was 65.7, the score of Cs was 0.48, and the score of Zs was 0.64. The empty forecast rate was 38%, and the missing forecast rate was 34%. After the revision, there was no significant change in the predicted spatial differences, the ACC increased 0.04, the Ps score increased by 4.3 points, the score of Cs increased by 0.05 points, the score of Zs increased by 0.14 points, the empty forecast rate decreased by 22 %, and the missing forecast rate decreased by 5 %. The prediction accuracy rate improved significantly.

**Key words:** CFSv2 model; extended precipitation forecast; test of application