

乔丹杨,卢晔,贺瑶.相似预报法在关中西部强对流预报中的应用和检验[J].陕西气象,2023(2):8-13.

文章编号:1006-4354(2023)02-0008-06

相似预报法在关中西部强对流预报中的应用和检验

乔丹杨^{1,2},卢晔³,贺瑶³

(1.咸阳市气象局,陕西咸阳 712000;

2.陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016;

3.宝鸡市气象局,陕西宝鸡 721000)

摘要:相似预报方法是一种基于历史相似个例的预报方法,在综合考虑天气发生的环境场和气候场的条件下,可实现高时空分辨率强对流天气的客观预报。利用2016—2019年5—9月宝鸡市自动气象监测站逐小时观测资料及ECMWF细网格 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 模式预报资料,应用相似预报方法对宝鸡市2020—2021年5—9月短时暴雨和雷暴大风天气进行预报和检验。结果表明:短时暴雨平均预报成功率和预报成功指数分别为0.852和0.304,14—20时预报效果最好;雷暴大风平均预报成功率和预报成功指数分别为0.837和0.254,20—02时预报效果最好;两类强天气漏报率均低于0.33,空报率均在0.75以下;相较配料法,相似预报法对两类强天气的预报准确率和预报成功指数均有较大提升,且空报率和漏报率也明显降低,能够较好地预报出短时暴雨和雷暴大风未来24 h的对流潜势,在宝鸡地区表现出更高的适用性。

关键词:强对流;相似预报;短时暴雨;雷暴大风

中图分类号:P456.9

文献标识码:A

强对流天气是导致气象灾害的重要天气类型,一般包括短时暴雨、雷电活动、雷暴大风、冰雹和龙卷风等中小尺度灾害性天气,并具有突发性、局地性强和持续时间短等特点,预报的不确定性是目前天气预报业务中的重点和难点。业务中,强对流天气预报分为潜势预报和临近预报^[1],潜势预报主要针对风暴单体类型、落区和天气类型进行预报,临近预报则基于雷达、卫星和闪电等探测资料预报未来0~2 h灾害天气类型和落区。

1996年,基于“配料法”的暴雨预报思路被Doswell等^[2]提出后,“配料法”逐渐被广泛应用在短时暴雨、雷暴等强对流天气预报中^[3-7],其核心思想是选取能够表征强对流天气的动力、水汽和不稳定等因子,根据其配合和演变进行预报。近年,也有学者提出了一些新的对流潜势预报方

法。王坤等^[8]基于合成少数类过取样(synthetic minority over-sampling technique, SMOTE)算法和逻辑回归(logistic regression, LR)方法,选取与短时暴雨紧密相关的气象要素,构建预报模型进行短时暴雨潜势预报。朱月佳等^[9]基于集合模式预报输出,通过确定对流参数的阈值建立了弱降水对流和强降水对流的联合预报方法。周方媛等^[10]通过选取对流参数及其时间变量,采用逐步回归方法建立了针对各类强对流天气的潜势预报方法,并提出了基于关键对流参数进行分级的强对流潜势预报方法。但目前大多强对流预报均基于对流参数选取及阈值的潜势预报,而对流参数阈值如何确定则没有清晰的建立标准。2020年,Na Li等^[11]发展了基于GFS预报的强对流相似预报方法,充分利用了数值模式对气温、湿度和风

收稿日期:2022-05-18

作者简介:乔丹杨(1992—),女,汉族,陕西咸阳市人,硕士,工程师,主要从事短临天气预报技术研究。

通信作者:卢晔(1990—),女,汉族,陕西太白人,学士,工程师,主要从事天气预报预测工作。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2020Y-7)

等基本气象要素预报比较准确的优势,避免了对流参数的阈值选取问题,该方法对全国范围的强对流预报取得了良好的效果。

关中地区短时暴雨日数少,但极值大,且呈单站和局地出现的特征,出现频次和日数的年际变化呈上升趋势^[12-13]。宝鸡市地处关中西部,南、西、北三面环山,中部为东西向的狭长塬区,受地形动力和热力共同作用,夏季强对流天气多发,但目前仍缺乏基于本地天气气候特征的强对流客观预报方法。因此,基于相似预报法对宝鸡地区强对流天气进行应用研究,并对该方法进行改进,建立适用于本地的高时空分辨率、较长提前量的强对流客观预报方法,为强对流天气预报预警和防灾减灾提供技术支撑。

1 资料方法

1.1 资料

资料选取 2016—2019 年 5—9 月宝鸡市 179 个自动气象监测站逐小时降水量和极大风速观测数据,采用双线性插值方法插值为分辨率 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 的实况网格资料。以 6 h 为间隔对出现雷暴大风(小时极大风速 ≥ 17.2 m/s)和短时暴雨(雨强 ≥ 20 mm/h)的站点进行统计,出现雷暴大风或短时暴雨则标注为 1,未出现则标注为 0,形成前一日 20 时—当天 02 时、02—08 时、08—14 时和 14—20 时雷暴大风和短时暴雨实况格点场。模式资料选取每日 20 时起报的逐 3 h 的 ECMWF 细网格预报资料。此外,为了分析相似预报法的预报效果和适用性,选取基于配料法的中央气象台强对流分类预报产品进行对比评估。

1.2 相似预报方法

强对流相似预报方法指从历史预报环境场中挑选出与当前预报环境场最相似的时刻,利用这些时刻所对应的强对流实况资料进行权重叠加作为当前时刻的强对流预报^[11]。

强对流天气发生发展的基本条件包括水汽条件、不稳定条件和动力条件,从以上三个条件出发,选取 500 hPa 与 850 hPa 垂直速度、500 hPa 与 850 hPa 散度、850 hPa 与 500 hPa 温差、CAPE 值、K 指数、SI 指数、700 hPa 比湿、850 hPa 比湿和 0~6 km 垂直风切变作为环境基础参量,短时

暴雨在基础参量上增加 850 hPa 水汽通量散度和大气可降水量作为环境参量,雷暴大风增加 DCAPE 值作为环境参量。利用 ECMWF 细网格资料对环境参量进行计算,得到模式预报的环境场。由于 ECMWF 模式资料获取存在一定延迟,因此选择 24~48 h 预报时段的模式预报进行环境场计算,ECMWF 模式资料时间分辨率为 3 h,因此对 6 h 内的 3 个环境场取平均后得到 24~30 h、30~36 h、36~42 h 和 42~48 h 预报时段的模式历史环境场。

预报时,首先计算得到当前 ECMWF 模式预报的 24~48 h 时段内逐 6 h 的环境预报场,并逐一与模式历史预报环境场进行相似度计算。考虑到不同月份的气候背景不同,因此在相似预报中采取分月预报,即计算当前时刻环境预报场与同一月份的历史环境场的相似度。相似系数计算公式^[14]如下:

$$|F_t, A_{t_0}| = \sum_{i=1}^{N_c} \frac{1}{\sigma_i} \sqrt{\sum_{j=-\Delta t}^{\Delta t} (F_{i,t+j} - A_{i,t_0+j})^2},$$

$$(i = 1, 2, \dots, N_c; j = -\Delta t, 0, \Delta t) \quad (1)$$

式中, t 为当前时刻(02、08、14、20 时), t_0 为历史时刻, F_t 为当前时刻的 ECMWF 模式的环境预报场, A_{t_0} 为历史时刻的 ECMWF 模式的环境预报场, $|F_t, A_{t_0}|$ 为相似度, N_c 为预报因子数量, Δt 为预报时段的一半(取 3 h), $F_{i,t+j}$ 和 A_{i,t_0+j} 分别为当前时刻和历史时刻的预报因子值, σ_i 为历史序列中某一预报因子的标准差。

对相似度进行排序,选取相似系数大于一定阈值的历史时刻所对应的实况格点场进行权重叠加,得到当前时刻的预报,如公式(2)所示。

$$F_{\Lambda_t} = \sum_{i=1}^{N_a} r_i O_{i,t_i}, \quad (2)$$

其中,

$$r_i = \frac{1}{|F_t, A_{i,t_i}|} / \sum_{j=1}^{N_a} \frac{1}{|F_t, A_{j,t_j}|}, \quad (3)$$

F_{Λ_t} 为某一格点 t 时刻的预测, N_a 为大于相似系数阈值的个例数量, O_{i,t_i} 为历史相似时刻的观测,相似系数 r_i 为历史相似时刻的权重。

1.3 评分检验方法

本文检验主要针对强对流确定性预报,采用

预报成功指数(C_{SI})、预报成功率(P_{OD})、漏报率(P_O)和空报率(F_{AR})对强对流预报进行格点评分。

$$C_{SI} = A / (A + B + C), \quad (4)$$

$$P_{OD} = A / (A + C), \quad (5)$$

$$P_O = C / (A + C), \quad (6)$$

$$F_{AR} = B / (A + B), \quad (7)$$

其中, A 为预报有强对流并且实况也出现强对流的总格点数, B 为预报有强对流而实况未出现强对流的总格点数, C 为预报无强对流而实况出现强对流的总格点数。考虑到预报落区可能存在一定偏移, 导致空报率和漏报率同时偏高, 使结果无法客观地表现方法的可用性, 因此在检验时, 如某一位置实况出现了强对流天气, 而该格点周围 10 km (2 个格点) 范围内预报出了强对流天气, 则认为预报正确。

2 结果分析

2.1 评分检验

通过计算预报成功指数、预报成功率、空报率、漏报率等, 分别对相似预报法和基于配料法的强对流预报产品进行评估。经检验, 当取相似系数 > 0.02 作为相似个例时, 相似预报法评分最

优, 因此本文相似系数阈值取 0.02。

2.1.1 短时暴雨预报评分检验 选取 2020—2021 年宝鸡市 14 次短时暴雨过程进行客观检验, 评分结果 (图 1) 显示, 相似预报法在 08—14 时对短时暴雨的预报成功率 (0.909) 高于其他时段, 且漏报率最低 (0.091), 而 14—20 时预报成功指数 (0.364) 最高, 且该时段空报率 (0.602) 最低。相似预报法平均预报成功率为 0.852, 漏报率均低于 0.2, 空报率均在 0.75 以下。配料法虽然在 4 个时段的预报成功率较高, 均高于 0.72, 但漏报率也相当高, 均高于 0.98, 而预报成功指数均较低, 均不超过 0.015。经分析, 过高的空报率一般对应较低漏报率, 根据评分算法预报成功率也会相应提升, 因此预报成功指数较预报成功率更能客观地表现预报能力。对比来看, 相似预报法的平均预报成功指数显著高于配料法 (0.012), 且空报率和漏报率均明显低于配料法。综合来看, 相似预报法的可信度较高, 在 14—20 时的短时暴雨预报效果最好, 其次为 08—14 时, 相较配料法, 相似预报法在提高短时暴雨预报成功指数和降低空漏报程度上也有所提升。

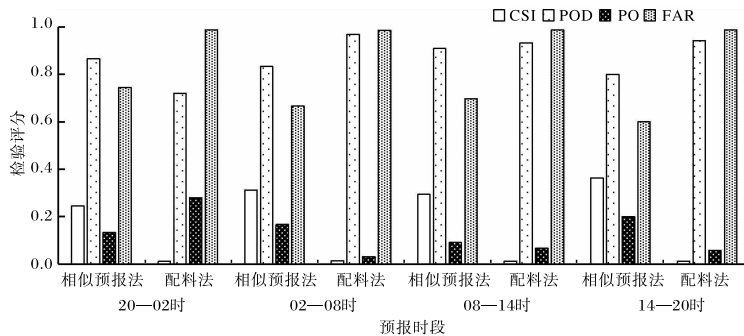


图 1 2020—2021 年 5—9 月宝鸡短时暴雨过程相似预报法与配料法预报检验评分

2.1.2 雷暴大风预报评分检验 选取 2020—2021 年宝鸡市 9 次雷暴大风过程进行客观评分检验。根据统计, 宝鸡雷暴大风天气主要发生在午后至前半夜, 02—08 时未发生过雷暴大风, 因此检验时段为 20—02 时、08—14 时和 14—20 时。检验结果表明 (图 2), 相似预报法在 14—20 时的雷暴大风预报成功率 (0.667) 和预报成功指数 (0.224) 均优于其他时段。20—02 时漏报率 (0.056) 为 3 个时段中最低, 3 个时段空报率均低

于 0.75。与配料法相比, 相似预报法的平均预报成功率 (0.837) 和平均预报成功指数 (0.254) 显著高于配料法 (0.689 和 0.029); 除 14—20 时漏报率基本持平外, 其余时段相似预报法的漏报率明显低于配料法; 且各时段相似预报法的空报率远低于配料法。综合来看, 相似预报法在 20—02 时的雷暴大风预报效果最好, 相较配料法, 雷暴大风预报准确率和预报成功指数均有较大提升, 空报率和漏报率也明显降低。

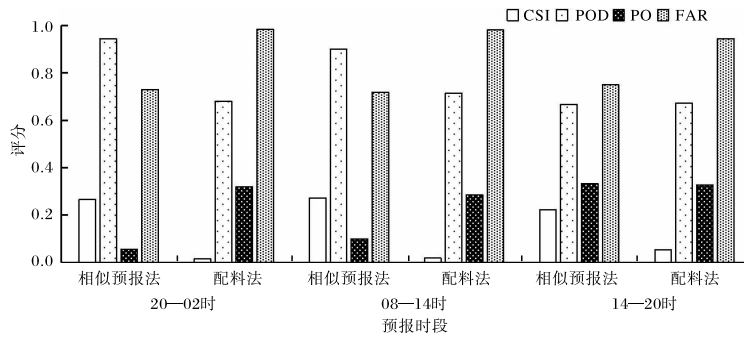


图 2 2020—2021 年 5—9 月宝鸡雷暴大风过程相似预报法与配料法预报检验评分

2.2 个例检验

2.2.1 短时暴雨个例 2021 年 7 月 2 日白天,宝鸡市出现大范围对流性天气,全市有 15 个气象监测站达到暴雨,22 站次出现短时暴雨,岐山周公庙最大雨强达 30.9 mm/h,该过程持续时间长,影响范围大,致灾性强。选取该过程作为一次短时暴雨个例进行检验。由于短时暴雨预报为历史实况场的权重叠加,格点值在 0~1 之间,因此预报值可看作为短时暴雨的发生概率。

根据当天短时暴雨实况及预报落区对比(图 3 见第 12 页),1 日 20 时—2 日 02 时,相似预报法在宝鸡中北部预报出短时暴雨天气,预报概率低于 20%,但实况未出现,该时段短时暴雨空报。2 日 02—08 时,短时暴雨站点主要分布在宝鸡中部地区,且较分散,预报落区主要位于中部偏东地区,与实况接近,在宝鸡西北部存在小范围的空报,但 07 时宝鸡西北部局地有出现 16.6 mm/h 短时强降水,表明该地区仍存在一定对流潜势。2 日 02—14 时,宝鸡东部出现大范围短时暴雨天气,东部地区落区与实况基本一致,预报概率大于 40%,此外相似预报法在西南部和西北部也预报出了短时暴雨天气,存在小范围的空报。2 日 14—20 时预报与实况一致,均未出现短时暴雨天气(图略)。2 日 02—14 时在短时暴雨空报地区也有出现了阵雨或短时强降水天气,因此,相似预报法能够较好地预报出短时暴雨未来 24 h 的对流潜势,同时落区范围有一定指示意义。

2.2.2 雷暴大风个例 2021 年 7 月 11 日 15—19 时,陇县一带有雷暴单体生成并不断向东南方向移动,过程期间出现雷暴大风,并伴有雷阵雨,陇县、千阳、凤翔、岐山、扶风、眉县均出现 6 级以

上大风,19 站次风力达 8 级以上,最强为凤翔郭店镇 27.6 m/s。选取该过程作为一次雷暴大风个例进行检验。对比当日实况和预报结果来看(图 4),相似预报法在 11 日 14—20 时预报出宝鸡局地雷暴大风天气,概率约 20%,落区主要分布在陇县至眉县一带,预报与实况雷暴大风落区基本一致,仅在西部存在小范围空报或漏报。其余时段宝鸡未出现雷暴大风天气,相似预报法预报准确(图略)。对雷暴大风个例检验表明相似预报法对该类强天气落区及发生时段预报较好,可为雷暴大风预报提供一定参考。

3 小结与讨论

(1)相似预报法对短时暴雨的平均预报成功率和预报成功指数分别为 0.852 和 0.304,14—20 时预报效果最好,其次为 08—14 时。对雷暴大风而言,平均预报成功率和预报成功指数略低于短时暴雨,分别为 0.837 和 0.254,20—02 时预报效果最好,同时,两类强天气漏报率均低于 0.33,空报率均在 0.75 以下。综合来看,相似预报法能够较好地预报出短时暴雨和雷暴大风未来 24 h 的对流潜势,同时落区范围及预报时段对强天气有一定指示意义。

(2)相较配料法,相似预报法对短时暴雨及雷暴大风的预报准确率和预报成功指数均有较大提升,且空报率和漏报率也明显降低,在宝鸡地区表现出更高的适用性。

(3)强对流天气预报是当前面临的预报难题之一,相似预报与其他强对流潜势预报方法不同,无需确定对流参数阈值使其具有一定优势,但未来还应在客观预报方法的基础上就如何降低空、漏报进行深入研究。

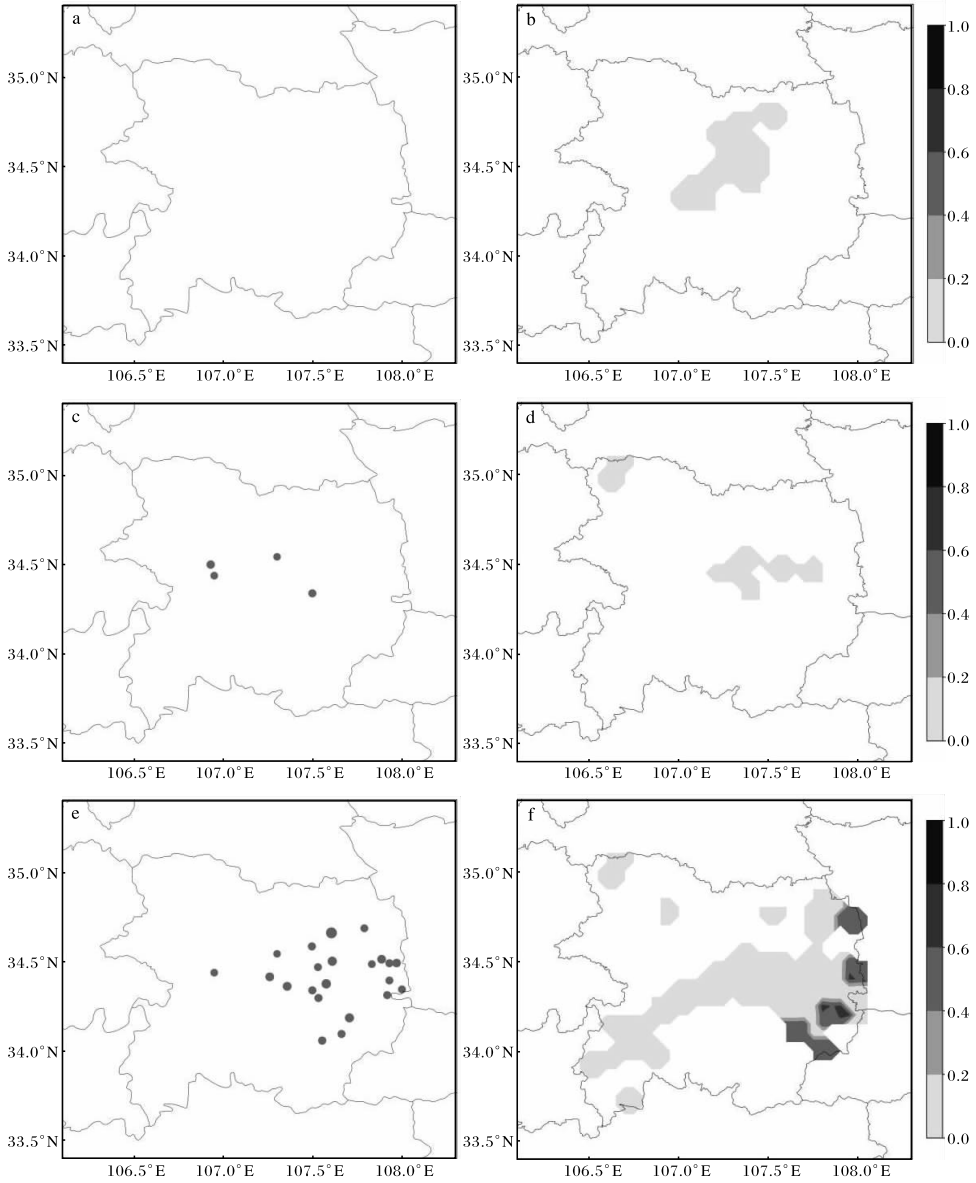


图3 宝鸡市短时暴雨站点(a,c,e)及预报(b,d,f)落区(a,b为 2021-07-01T20—02T02;c,d为 2021-07-02T02—08;e,f为 2021-07-02T08—14)(审图号为 GS(2019)1822;文见第 11 页)

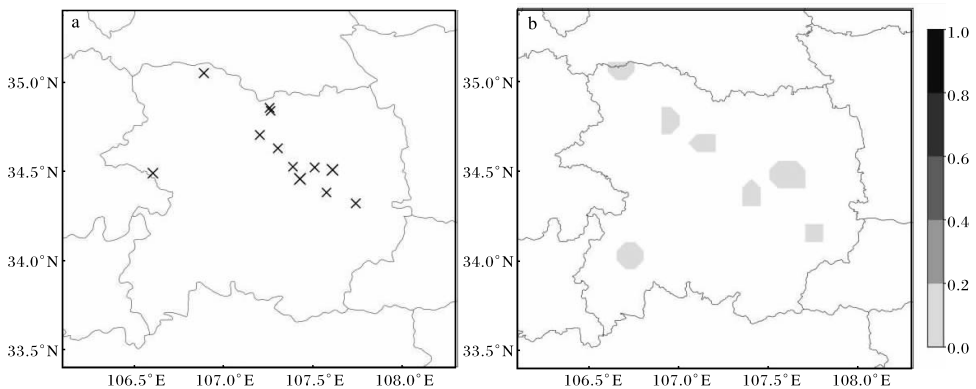


图4 2021-07-11T14—20 宝鸡市雷暴大风站点(a)及预报(b)落区(审图号为 GS(2019)1822)

参考文献:

- [1] 俞小鼎,郑永光. 中国当代强对流天气研究与业务进展[J]. 气象学报,2020,78(3):391-418.
- [2] DOSWELL C A, BROODKS H E, MADDOX R A. Flash flood forecasting: an ingredients based methodology[J]. Weather and Forecasting, 1996, 11:560-581.
- [3] 何钰,陈小华,杨素,等. 基于“配料法”的云南短时强降水预报概念模型建立[J]. 气象,2018,44(12):1542-1554.
- [4] 张新宜,周晓宇,刘熠炎. 基于配料法、多元回归和灰色预测法的强降水预报对比研究//第35届中国气象学会年会论文集[C]. 北京:气象出版社,2018.
- [5] 陈永仁,康岚,李跃清. 基于EC025配料的短时强降水概率预报产品及应用[J]. 高原山地气象研究, 2017,37(4):1-7.
- [6] 任川,刘静,谢媛,等. 基于配料法的葫芦岛市强冰雹天气分析[J]. 中国农学通报,2015,31(36):248-253.
- [7] 刘莹,田付友,周秋雪,等. 基于配料法的短时强降水概率预报的应用研究//第32届中国气象学会年会论文集[C]. 北京:气象出版社,2015.
- [8] 王坤,蒋宁,李敏,等. 基于SMOTE算法和逻辑回归模型算法的江苏短时强降水潜势预报[J]. 科学与技术工程,2020,20(28):11447-11454.
- [9] 朱月佳,邢蕊,朱明佳,等. 联合概率方法在安徽强对流潜势预报中的应用和检验[J]. 地球科学进展, 2019,34(7):731-746.
- [10] 周方媛,戴建华,陈雷. 基于关键对流参数分级的强对流潜势预报[J]. 气象科技,2020,48(2):229-241.
- [11] LI N, RAN L, JIAO B. An analogy-based method for strong convection forecasts in China using GFS forecast data[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2020,13(2):97-106.
- [12] 李萍云,赵强,王楠,等. 2005—2018年陕西短时强降水时空分布特征[J]. 陕西气象,2019(5):34-39.
- [13] 张建康,刘慧敏,康磊,等. 陕西黄土高原短时强降水时空分布及环流特征[J]. 陕西气象,2021(2):17-23.
- [14] MONACHE L D, NIPEN T, LIU Y, et al. Kalman filter and analog schemes to postprocess numerical weather predictions[J]. Monthly Weather Review, 2011,139(11):3554-3570.