

文章编号: 1673-8411(2019)01-0011-05

一次沿海局地特大暴雨的集合敏感性分析

陈伟斌, 翟舒楠, 韩慎友, 陈见

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 利用常规观测资料和EC集合预报资料, 基于集合敏感性方法, 首先分析了2018年10月21日广西沿海局地特大暴雨过程的降水影响天气系统及关键区, 并进一步分析了集合预报效果, 得到不同层次气压场及风场的降水敏感特征以及集合预报降水预报偏差的可能主要原因, 所得结论可供预报参考。

关键词: 特大暴雨; 集合预报; 敏感性

中图分类号: P458.1+21.2

文献标识码: A

Ensemble sensitivity analysis of a torrential rainstorm in coastal area

Chen Weibin, Zhai Shunan, Han Shenyue, Chen Jian

(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: Based on conventional observation data and the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ensemble forecast data, this study analyzes the precipitation-affected weather system and key areas of the torrential rain on the coast of Guangxi on October 21th, 2018, and further analyzes the effect of ensemble prediction, then find out the precipitation sensitivity characteristics on different levels of pressure field and wind field and possible reasons for ensemble forecast deviation on precipitation forecast. The conclusions obtained are available for forecasting.

Keywords: torrential rain; Ensemble forecast; Sensitivity

引言

局地大暴雨或特大暴雨以降水范围集中、发展迅速、历时短、强度强为特点, 预报难度大, 往往造成服务上的被动, 得到气象业务工作者的极大关注, 已有研究从中尺度系统结构、地形影响、物理量诊断等角度对其进行研究, 取得了一系列的成果^[1-4]。华南沿海也是局地暴雨高发区, 对其研究也取得了进展^[5-7]。已有的研究成果极大提高了预报业务人员对局地暴雨形成机理的认识, 为预报业务提供了良好参考。然而在实际业务预报中, 由于局地暴雨的影响系统复杂以及初始误差、模式误差等因素使得局地暴雨确定性模式预报常常出现不同程度的偏差^[8]。近年来随着计算机技术的进步, 集合数值模式预报得到迅速发展,

是国际上公认的解决单一确定性模式预报“不确定”问题的有效途径^[9-10]。

集合预报隐式地包含预报误差随天气形势的变化, 可以利用集合预报的预报变量误差和初始误差来研究预报变量对初始要素的敏感性, 这种方法称之为“集合敏感性”分析^[10]。该方法计算简便, 且预报变量选择灵活, 为天气过程诊断和不确定性分析提供了一条新途径。近年来多个学者将该方法应用于研究造成天气的关键环流系统的演变及误差^[11-12], 这些工作表明基于集合预报资料的集合敏感性方法用于天气过程的关键天气系统诊断分析行之有效。

2018年10月广西沿海地区出现了一次局地大暴雨天气过程, ECWFM确定性预报出现明显漏报, 本文基于ECWFM集合预报资料, 利用集合敏感

收稿日期: 2019-01-15

基金项目: 广西自然科学基金青年基金项目“基于集合预报的广西暴雨预报预警技术研究”(2015GXNSFB139193)

和广西气象局重点项目“基于集合预报的广西降水精细化预报方法研究”共同资助。

作者简介: 陈伟斌(1982-), 男, 广西大新人, 硕士, 高级工程师, 主要从事短临天气预报。

性方法对该次过程的影响系统并基于此对集合预报效果进行初步分析, 以期为该暴雨预报提供一些参考依据。

1 资料与方法

本文所用资料为 2018 年 10 月 20 ~ 21 日常规观测以及 10 月 20 日 20 时起报的 ECWMF 集合预报资料 (以下简称 EC 集合预报)。EC 集合预报有 51 个预报成员。分辨率高空要素为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 地面要素为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。

根据定义^[10], 集合预报如果有 M 个预报成员, 初始时刻某一状态变量 X_i 对于任一预报变量 J 的集合敏感性定义为 (1):

$$\text{sensitivity} = \text{cor}(J, X_i) / \sqrt{\text{var}(X_i)} \quad (1)$$

式中: J 为 M 个成员的 M 个预报变量值; X_i 为第 i 个格点上的 M 个状态变量值; cov 为 J 和 X_i 之间的协方差; var 为方差。显然, 集合敏感性与 J 和 X_i 的相关系数 cor 成正比, 因此本文实际运算中用相关系数来表示集合敏感性:

$$\text{sensitivity} = \text{cor}(J, X_i) \quad (2)$$

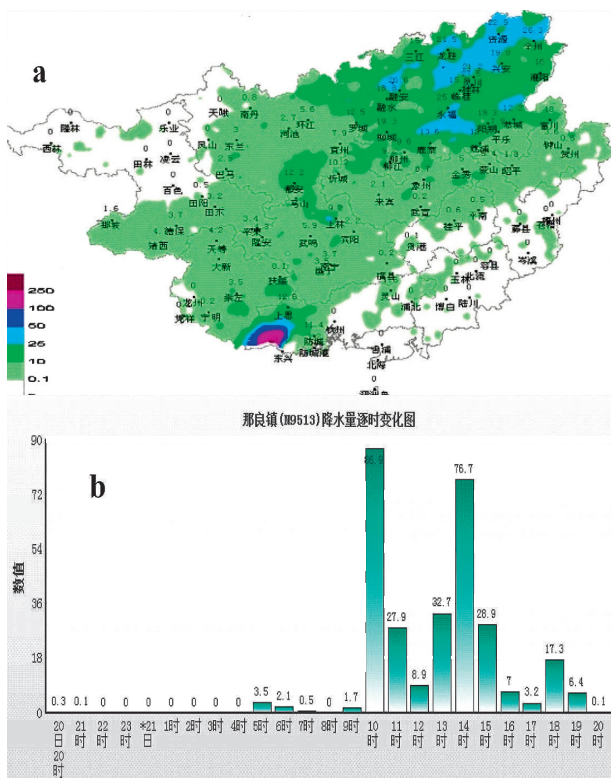


图1 2018年10月20日20时-21日20时累计雨量 (a) 及那良镇小时降水演变 (b) (单位: mm)

相关系数的绝对值越大, 表示初始时刻状态变量的扰动可以引起预报量的变化越大, 即预报量对于状态变量较为敏感。

2 降水情况

2018年10月20日20时~21日20时 (图1a), 广西沿海出现了局地特大暴雨天气, 强降水集中于防城港市, 其中最大累计降水量为那良镇的352mm (图1b), 同期广西其它地区以小到中雨为主。从小时雨量变化可知, 降水于21日早晨开始出现, 上午到中午为最强降水时段, 最大小时雨强为86.9mm。本次过程降水强度大, 区域集中, 具有明显的局地性, 预报难度极大。

3 天气形势分析

过程天气形势配置 (图2) 显示 500hPa 欧亚中高纬为三槽两脊形势, 低纬副热带高压强盛控制华南大部, 脊线位于 20°N 附近, 其北侧有弱波动东移, 中心位于广西沿海附近; 850hPa 华南地区到南海一带为反气旋环流, 广西受反气旋西侧西南气流影响, 沿海地区风力较弱, 为 $8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下; 925hPa 广西沿海一带有西南风与出海高压后部偏南风的辐合, 北海站过程最大风力超过 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; 地面过程期间锋面逐渐北退, 广西沿海转受高压后部偏南气流影响, 湿度明显增加, 露点温度为 23°C 左右。

4 集合敏感性分析

利用 EC 集合预报 2018 年 10 月 20 日 20 时起报的 20 日 20 时 ~ 21 日 20 时 24h 雨量, 对主降水区域求区域平均, 计算区域平均雨量与 21 日 08 时各预报环流场的相关系数, 相关系数绝对值大值区即为降水敏感区域。

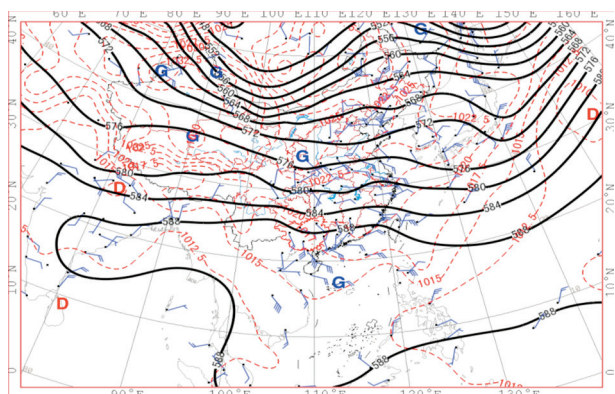


图2 2018年10月20日天气形势 (黑实线为500hPa高度场, 红虚线为地面气压场, 风杆为925hPa风场)

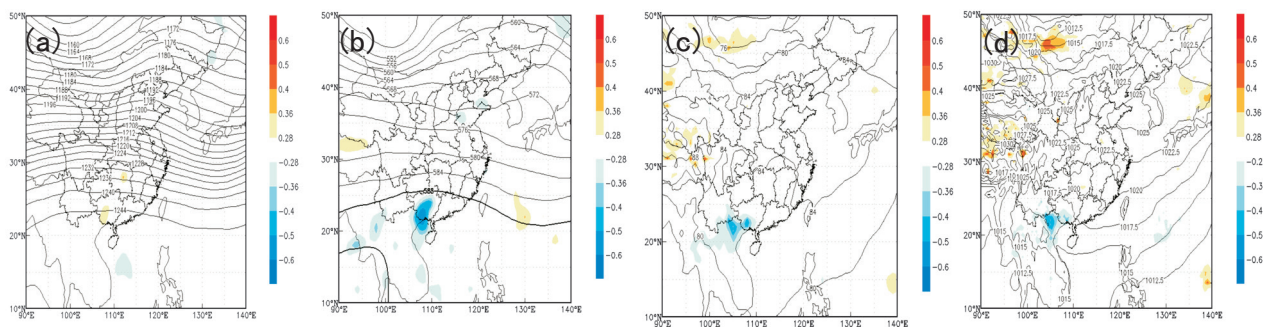


图 3 EC 集合预报 2018 年 10 月 20 日 20 时起报的区域平均雨量与集合预报 200hPa(a)、500hPa(b)、925hPa(c) 位势高度、地面气压 (d) 相关系数分布 (填色, 只取通过 95% 信度检验值, 等值线为环流集合平均值)

4.1 气压场敏感性分析

图 3 可见相关系数分布特征的天气学意义在于气压场上, 降水与 500hPa 降水区域附近的高度最为敏感, 高度越低, 降水越强; 其次与低层降水区域及其以西的低压系统, 尤其与 925hPa 敏感, 气压越低, 降水越强; 同时与 200hPa 的局地高度场有一定关系, 其表现为高度越高, 降水越强。表明低层低压越低越有利于辐合加强, 500hPa 高度越低有利于上升运动加强, 200hPa 位势高度越高, 越有利于辐散加强, 从而形成低层辐合, 高层辐散的有利降水形势。低层 925hPa 更为敏感可能说明了边界层触发的重要性。

4.2 风场敏感性分析

相关系数分布显示 200hPa 风场 (图 4a) 降水敏感区集中在降水区域, 为显著负相关; u 、 v 分量相关系数分布 (图略) 显示降水与 u 风的关系更为密切。500hPa 风场 (图 4b) 显示降水强弱与降水区域风速显著相关外, 还与其南侧局地风速有关; u 、 v 分量显示, 降水与降水区域上空的西风分量为显著正相关; 南风 (图 4e) 呈现出一组正、负相关对, 降水区域北侧为负相关, 南侧为正相关。

850hPa 风场 (图 4c) 显示从北部湾到广西沿海为显著正相关区, 相关系数中心位于广西沿海, 达 0.6 以上, 广西西北地区为显著负相关区。 u 、 v 分量分布均有一组正负相关系数对, 其中 u 分量 (图 4f) 在越南北部地区为显著正相关区, 广西东北部为显著负相关区, 两者最大绝对值均为 0.5 以上, 对应西风分量; v 分量 (图 4g) 显示北部湾到广西沿海为显著正相关区, 中心值达 0.6 以上, 在广西西北部有负相关区。925hPa 风场 (图 4d) 和 v 分量显著相关区域比较小, 表明仅与局地风速关系密切。 u 分量 (图 4h) 表现出一组正负相关对, 分别位于降水区域的西南侧和东北侧。

综合分析表明, 就本次过程而言低层 850hPa、925hPa 切变越强, 辐合作用越强;

500hPa 西南风越大, 越有利于上升速度发展; 200hPa 风速越小, 可能说明整层垂直风切变越小, 有利于降水发生。 u 、 v 分量分析进一步表明, 降水与不同层次的不同风分量的敏感度有明显差异, 分别为 925hPa 纬向的西风与东风切变、850hPa 纬向、经向风切变、500hPa 和 200hPa 的西风大小关系密切, 同时 500hPa 与经向风切变也有关系。

5 集合预报效果分析

前文 4.1 和 4.2 分析了本次过程影响降水强弱的关键系统和区域, 下面基于此分析本次过程 EC 集合预报对降水及关键系统的预报效果。

5.1 气压场敏感性分析

图 5a 可以看出, 集合预报区域平均雨量中位数为 8.0mm, 25% 分位为 9.5mm, 实况为 32.4mm, 表明所有成员均预报明显偏小; 集合箱子短说集合预报离散度小, 不确定性较小; 同时也可以看出集合预报极大值 (对应 19 号成员) 为 26.4mm, 对过程较好反映, 从降水分布情况来看 (图 5b), 虽然预报极值与实况有一定差距, 这可能与模式分辨率有关, 但预报量级和落区均与实况非常吻合, 充分说明了集合预报较单一确定性预报的优越性。

5.2 降水系统预报情况

前文分析可知本次过程降水与 500hPa、925hPa 关系最密切, 因此计算集合预报该两层相关系数最大区域的平均高度场并与分析场对比。从中可以看出, 500hPa 高度场 (图 6a) 中位数为 5904.5 位势米, 75% 分位为 5903.1 位势米, 分析场为 5902.8 位势米, 925hPa (图 6b) 中位数为 816.7 位势米, 75% 分位为 814.1 位势米, 分析场为 812.8 位势米, 表明两层高度场多数成员预报偏高, 且 925hPa 偏高更为明显。从两层箱线图的“箱子”长度可以看出离散度 500hPa 较 925hPa 小, 说

明 500hPa 高度场预报不确定较小。另外分析降水发生前强降水区域对流有效位能 (cape, 图 6c) 的预报情况发现, 中位数为 $878.9 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 分析场为

$869.4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 两者接近, 表明集合预报对 cape 的预报较为准确。说明本次降水偏差的原因可能主要来自于动力场, 特别是低层动力场的预报偏差。

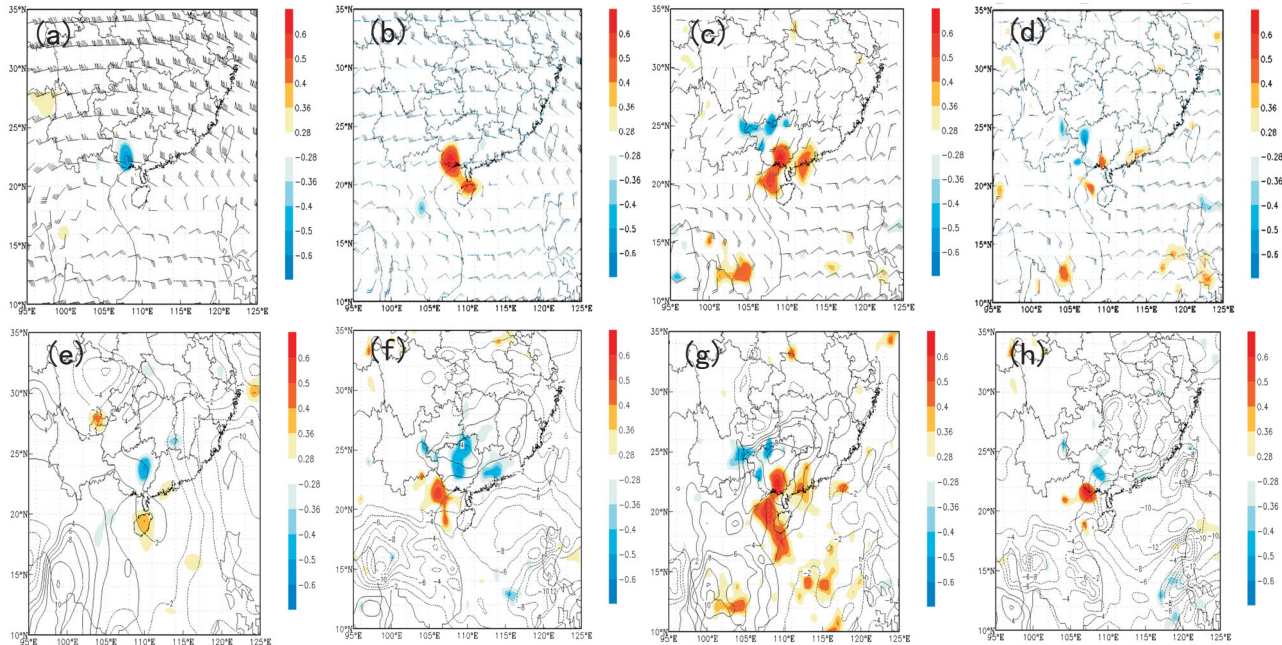


图 4 EC 集合预报 2018 年 10 月 20 日 20 时起报的降水区域平均雨量与环流场相关系数分布 (填色, 只取通过 95% 信度检验值, 风杆和等值线为相应环流集合平均场) a:200hPa 风场, b:500hPa 风场, c:850hPa 风场, d:925hPa 风场, e:500hPa 经向风, f:850hPa 经向风, g:500hPa 纬向风, h:925hPa 纬向风

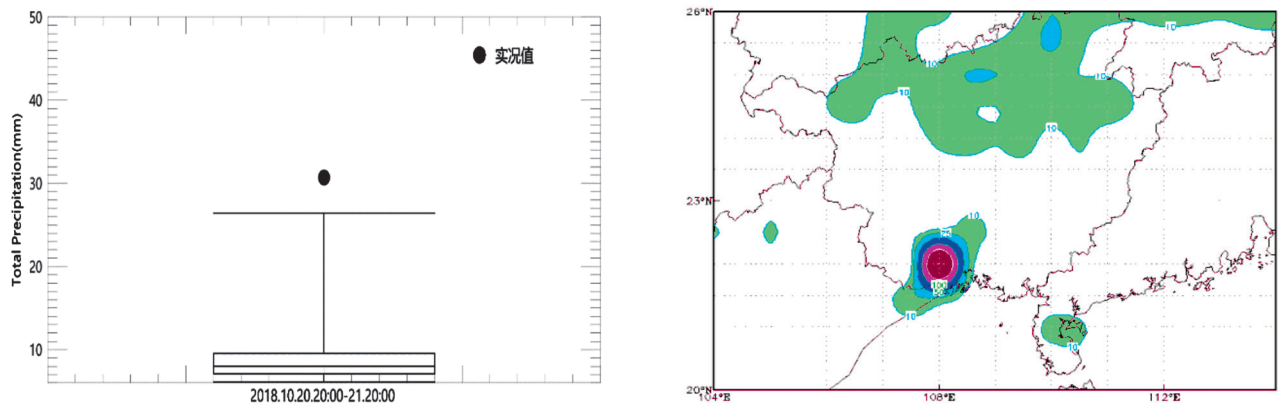


图 5 集合预报区域平均雨量箱线图 (a) 和第 19 号成员雨量预报分布 (b) (单位: mm)

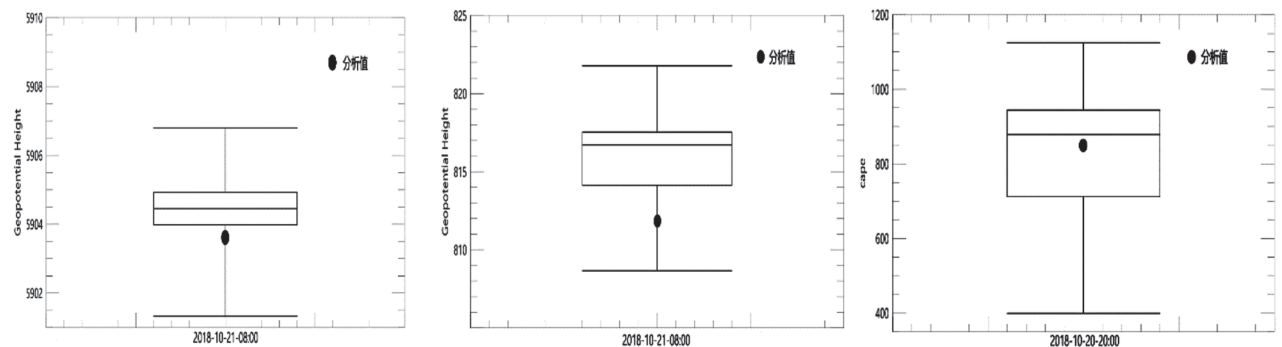


图 6 关键区位势高度 (单位: gpm) 和能量 (单位: $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) 区域平均箱线图 a:500hPa, b:925hPa, c: 对流有效位能

6 结论与讨论

利用常规观测和 EC 集合预报资料基于集合敏感性方法分析一次沿海局地强降水过程的影响系统关键区, 进一步分析了集合预报效果, 得出以下主要结论:

(1) 气压场上, 降水与 500hPa 降水区域附近的高度最为敏感, 其次与低层, 特别是 925hPa 的降水区域及其以西的低压系统敏感, 气压越低, 降水越强, 同时与 200hPa 的局地高度场有一定关系。风场上, 降水与低层 (850hPa、925hPa) 风速大小及切变、500hPa 和 200hPa 的风速相关。 u 、 v 分量分析表明, 降水主要与 925hPa 纬向西风与东风切变、850hPa 的纬经向风切变、500hPa 和 200hPa 西风大小关系密切, 同时 500hPa 与经向风切变也有关系。

(2) 集合预报效果分析显示, 集合预报降水总体偏小, 个别成员对过程有反映。中、低层位势高场均预报偏高, 中层优于低层, 能量场预报效果好; 降水偏差的原因可能来自于动力场, 特别是低层动力场的预报偏差。

本研究所得结论对预报业务中的该类降水预报关注重点及订正单一确定性预报偏差有参考意义。限于研究所用资料为低分辨率的全球集合预报模式, 所涉及分析主要反映天气尺度的特征, 对于中小尺度天气系统的影响需要利用高分辨率模式资料进行更深入研究。

参考文献:

- [1] 郭虎, 季崇萍, 张琳娜, 等. 北京地区 2004 年 7 月 10 日局地暴雨过程中的波动分析 [J]. 大气科学, 2006, 30(4): 703-711.
- [2] 杨晓亮, 李江波, 杨敏. 河北 2007 年 7 月 18 日局地暴雨成因分析 [J]. 气象, 2008, 34(9): 47-56.
- [3] 何群英, 解以扬, 东高红, 等. 海陆风环流在天津 2009 年 9 月 26 日局地暴雨过程中的作用 [J]. 气象, 2011, 37(3): 291-297.
- [4] 李博, 刘黎平, 赵思雄, 等. 局地低矮地形对华南暴雨影响的数值试验 [J]. 高原气象, 2003, 32(6): 1638-1650.
- [5] 卢伟萍, 梁维亮, 李菁. 北部湾海风锋暴雨气候特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31(3): 1-4.
- [6] 梁利. 钦州市年汛期暴雨过程局地气象条件分析 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30(S2): 122-123.
- [7] 林确略, 寿绍文. 广西锋面、暖区及高压后部暴雨两个例对比研究 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33(2): 11-18.
- [8] 宗志平, 陈涛, 徐珺, 等. 2012 年初秋四川盆地两次西南涡暴雨过程的对比分析与预报检验 [J]. 气象, 2013, 39(5): 567-576.
- [9] 杜钧, 李俊. 集合预报方法在暴雨研究和预报中的应用 [J]. 气象科技进展, 2014, 4(5): 6-20.
- [10] Torn R D, Hakim G J, Ensemble-based sensitivity analysis [J]. Mon wea Rev, 2008, 136(2): 663-677.
- [11] 王毅, 马杰, 代刊. “7·20”华北强暴雨集合预报的中期预报转折和不确定性分析 [J]. 气象, 2018, 44(1): 53-64.
- [12] 王毅, 何立富, 代刊, 等. 集合敏感性方法在高原涡和西南涡引发暴雨过程中的应用 [J]. 高原气象, 2017, 36(5): 1245-1256.