

浙江省冬季降水相态预报指数研究

郑朝霞¹, 季晓光¹, 方俊², 陆振斌¹

¹金华市气象局, 浙江 金华

²金华市金东中心粮库, 浙江 金华

Email: zzx19870310@163.com

收稿日期: 2021年6月12日; 录用日期: 2021年7月9日; 发布日期: 2021年7月19日

摘要

为了探明不同微物理过程对浙江省冬季降水相态预报的影响, 利用中尺度模式WRF (V3.9), 采用NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料和GFS $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 资料, 选取Purdue Lin方案、WSM 6类方案和新Thompson方案等3种不同微物理过程方案, 在对2000~2017年浙江省冬季存在降水相变的10次降水过程进行敏感性试验的基础上, 再选取2018年1月浙江省2次降雪过程进行SRF指数阈值检验和预报性能评估, 得到不同方案的预报差异和SRF指数的阈值。结果表明: 新Thompson微物理方案的指示作用相对较优; 当SRF指数阈值设定为90%, 能较准确预报出降水过程中雨区、雪区和雨雪混合区的分布以及降水相态随时间的演变。同时SRF指数预报时效较长, 不同起报时次对降水相态判别结果影响不大。

关键词

WRF模式, SRF指数, 降水相态预报

Index Research on Winter Precipitation Phase Forecasting in Zhejiang Province

Zhaoxia Zheng¹, Xiaoguang Ji¹, Jun Fang², Zhenbin Lu¹

¹Jinhua Meteorological Bureau, Jinhua Zhejiang

²The Center Grain Depot of Jindong, Jinhua Zhejiang

Email: zzx19870310@163.com

Received: Jun. 12th, 2021; accepted: Jul. 9th, 2021; published: Jul. 19th, 2021

Abstract

In order to ascertain the impact of different microphysical processes of WRF model on precipitation phase forecasting in Zhejiang, 10 precipitation processes with precipitation phase change in Zhejiang Province from 2000 to 2017 are simulated based on WRF V3.9, NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data and GFS $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ data by three microphysical schemes, *i.e.* a Purdue Lin scheme, a WSM6 scheme and a new Thompson scheme. Then two snowfall processes in Zhejiang Province in January 2018 were selected to carry out threshold test of SRF index and forecast performance evaluation, and the forecast differences of different schemes and the threshold value of SRF index were obtained. The result shows that the prediction effect of the new Thompson scheme is optimal. It can accurately predict the distribution of rain, snow and sleet area during precipitation and the evolution of precipitation process with time when the SRF index threshold is set to 90%. And the SRF index has a long time-effectiveness because the different starting times have little influence on the result of precipitation phase discrimination.

Keywords

WRF Model, The Index of SRF, Precipitation Phase Forecast

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

冬季降水由于其相态的多变性和复杂性，一直以来是气象工作者关注的重点和难点，降雨和降雪虽只有一字之差，但其相同的降水量级对工农业生产和交通等造成的影响差异却十分明显。大到暴雪是浙江省冬半年重要的灾害性天气之一，如 2008 年 1 月 13 日至 2 月 5 日浙江省出现持续雨雪天气，降雪强度强，积雪范围大、连续积雪深度普遍达 10~30 cm，为历史罕见，致使全省直接经济损失达 174.3 亿元，因灾死亡 9 人。

国内外学者对降水相态的研究已经取得一定进展，特别是在天气特点和成因方面，如 Heppner (1992) [1]和 Czys (1996) [2]等提出 850~1000 hPa 和 700~850 hPa 间的气层位势厚度对北美的降水相态判断有重要指示作用；许爱华等(2006) [3]研究指出 925 hPa 以下下层大气温度是南方降水相态变化的关键，1000 hPa 上温度 $\leq 0^\circ\text{C}$ ，925 hPa 气温 $\leq -2^\circ\text{C}$ 可作为固态降水(雪)的预报判据；漆梁波等(2012) [4]针对不同的降水相态，对它们对应的不同温度及不同厚度进行统计分析，得到中国东部地区冬季降水相态的推荐识别判据，综合考虑温度因子和厚度因子的识别判据效果更好；张琳娜等(2013) [5]通过对近 10 年北京地区雨雪转换过度季节的降水过程和临界值的降水过程分析研究，得到与雨雪转换关系密切的 6 种物理量：T850，T925，T1000，H1000-700，H1000-850，地面(2 m 温度、2 m 相对湿度的结合量)以及对应三种不同降水相态的阈值范围；孙燕等(2013) [6]研究表明厚度分析能被用来识别降水相态(雨、雪)，同时结合地面温度和 850 hPa 温度可以较准确的判定降水的相态，即 1000~850 hPa 厚度 ≤ 1292 gpm，且 $T_{850} \leq -3^\circ\text{C}$ ， $T \leq 2^\circ\text{C}$ ，判定为雪；反之，则为雨，另外，地面湿球温度在雨雪区分上也是一个很有参考价值的指标。这些结论均为降水相态预报提供了借鉴。

目前对于降水数值预报的研究多集中在降水强度、落区、发生和持续时间上，在降水相态方面的应

用研究较少。林文实等(2009) [7]在利用MM5模式模拟华北地区的一次暴雪天气过程中,对比两个纯显式冰相云微物理参数化方案的差异,两个方案对降雪分布和强度预报差别较小,但云中的微物理过程有较大的不同。崔锦等(2014) [8]利用WRF模式对2006~2008年东北地区11次存在降水相态转变的过程进行敏感性试验,得到降水相态对微物理参数化方案较敏感,但其结论仅适用于东北地区。在浙江地区,对于云微物理过程对降水相态预报的影响以及降水相态预报判断指标检验方面研究较少,能够真正应用于预报业务的降水相态客观预报还不多。

本文基于 WRF 模式(V3.9),选取与水相物质有关的预报量(2008, 2011) [9] [10]有 6 类的 Purdue Lin 方案、WSM 6 类方案和新 Thompson 方案等 3 种不同微物理过程方案,通过对 2000~2017 年浙江省冬季降水相态存在转变的 10 次过程进行敏感性试验,探讨 SRF 指数指示作用最优的微物理方案和指标阈值。并利用 2018 年 1 月浙江省冬季 2 次降水相变过程对指标阈值进行检验和调整,保证预报指标的科学性和客观性,旨在为今后浙江地区降水相态预报提供一定的业务参考与借鉴。

2. 数据资料和模式介绍

2.1. 数据来源

WRF 模式使用美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR) $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析格点资料作为个例反演资料.同时利用 MICAPS 地面填图数据作为实时天气现象和美国国家环境预报中心的全球预报系统(GFS) $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 资料作为预报资料进行对比检验。

敏感性试验选取 2000~2017 年浙江省冬季降水相态存在转变的 10 次过程。

2.2. 数值模式试验方案

使用中尺度数值模式 WRFV3.9,采用双层嵌套(15 km, 5 km),模拟区域设置:中心点(33.828°N, 113.055°E),粗细网格格点数分别为 443×282 个、 292×208 个,垂直 27 层,模式层顶 50 hPa,预报时效 72 小时,模式结果 6 h 输出一次,微物理方案选取与水相物质有关的预报量有三个外,长波辐射方案、短波辐射方案、近地面层方案、陆面过程方案、边界层方案和积云参数化方案等方案均采用浙江省业务运行最优参数化方案。物理过程参数具体配置如表 1 所示。

Table 1. Parameter configuration of the WRF model

表 1. WRF 模式参数配置

参数化方案	试验方案
长波辐射方案	rrtm 方案
短波辐射方案	Dudhia 方案
近地面层方案	Monin-Obukhov 方案
陆面过程方案	Noah 陆面过程方案
边界层方案	YSU 方案
积云参数化方案	浅对流 Kain-Fritsch (new Eta)方案
	Purdue Lin 方案
微物理过程方案	WSM 6 类方案
	新 Thompson 方案

3. 预报指数定义

降水相态预报判断指标 SRF (snow-rain forecast)指数: 即冻结部分降水混合比在可凝结成降水的水汽混合比中的比, 以最贴近地面的一层(选取 925 hPa 层, 1000 hPa 层受地形影响较大)作为计算层, 根据模式输出结果中包含的雨水混合比(QRAIN)、冻结部分的冰混合比(QICE)、雪混合比(QSNOW)和霰混合比(QGRAUP)四要素建立, 计算公式为如下:

$$SRF = \frac{QSNOW + QICE + QGRAUP}{QRAIN + QSNOW + QICE + QGRAUP} \times 100\%$$

根据定义可知, 当 SRF = 100%时, 为纯雪; 当 SRF = 0%时, 为纯水; 当 0 < SRF < 100%时, 为混合态或雨夹雪。

4. 个例反演和阈值确定

选取 2000~2017 年浙江省冬季降水相态存在转变的 10 次过程(表 2)进行诊断分析, 根据 MICAPS 地面填图降水实况(降水相态)和三类微物理方案的 SRF 指数分布情况, 确定最优判别冬季降水相态的微物理方案及 SRF 指数的阈值。

Table 2. The optimal micro physical scheme and its index threshold of SRF of different precipitation process

表 2. 不同降水过程对应的最优微物理方案及其 SRF 指数阈值

降水时间	最优微物理方案	SRF 指数阈值
2004 年 12 月 28 日 2 时~29 日 2 时	三类方案相似	90% (除沿海)
2005 年 1 月 13 日 2 时~14 日 14 时	新 Thompson	95%
2005 年 3 月 11 日 20 时~12 日 20 时	新 Thompson	90%
2008 年 1 月 25 日 8 时~29 日 14 时	新 Thompson	90%
2008 年 2 月 1 日 2 时~3 日 2 时	新 Thompson	90%
2010 年 2 月 13 日 20 时~15 日 2 时	WSM6 类	98%
2010 年 12 月 15 日 2 时~16 日 8 时	WSM6 类	98%
2011 年 1 月 18 日 8 时~21 日 14 时	新 Thompson	95%
2013 年 1 月 3 日 2 时~6 日 14 时	新 Thompson	90%
2013 年 2 月 7 日 8 时~8 日 20 时	中部 Purdue Lin, 南部新 Thompson	90% (除沿海)

综合三种微物理过程的 SRF 指数和实况对比发现, 新 Thompson 微物理方案的指示作用相对较优, 固态降水和液态降水的 SRF 指数阈值为 90%, 阈值线附近较易出现混合态降水。因此, 选用新 Thompson 微物理方案对 SRF 指数阈值进行预报检验。

5. 预报检验

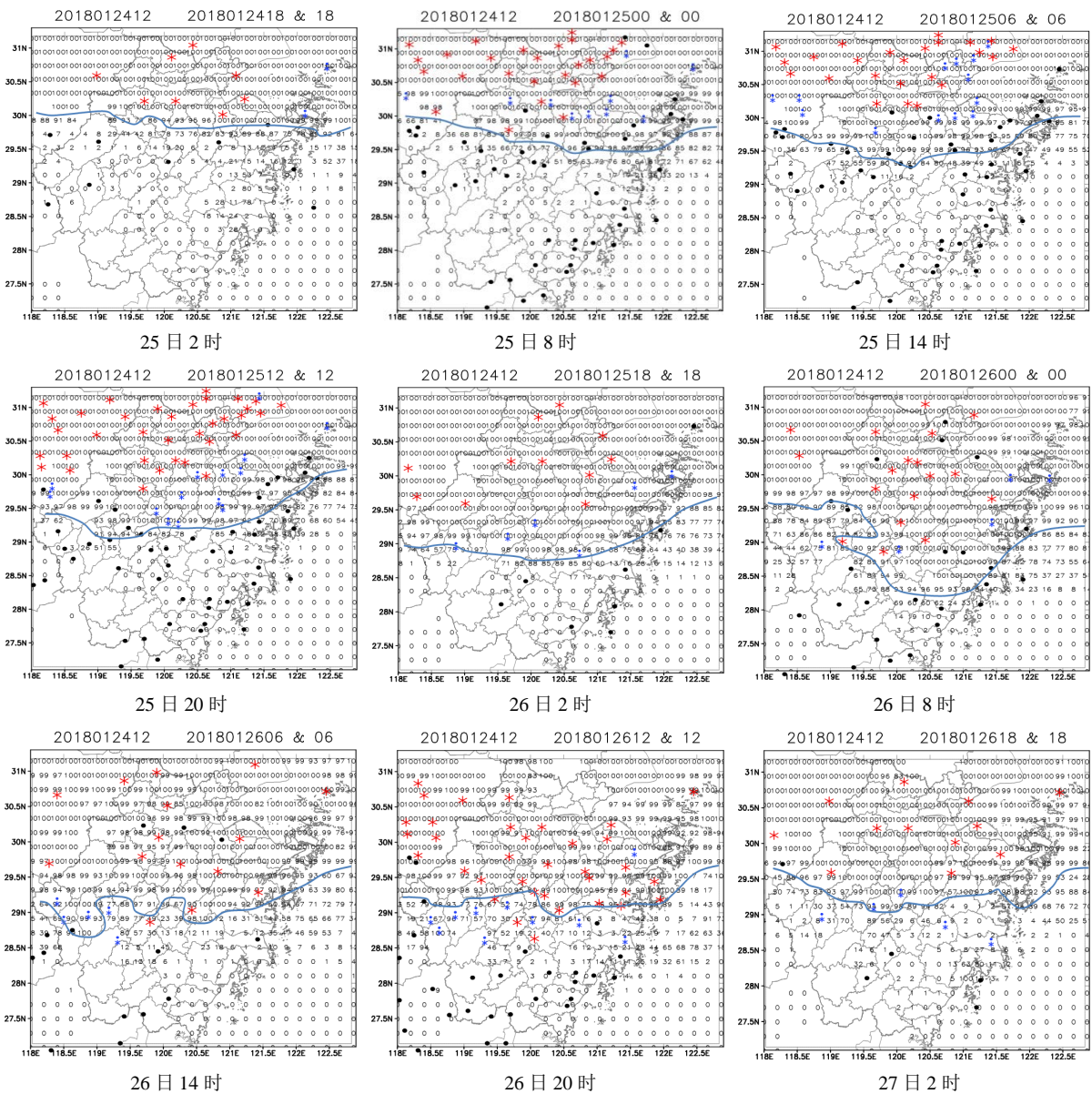
5.1. 2018 年 1 月 24 日 8 时至 28 日 20 时降雪过程

2018 年 1 月 24 日~28 日受西南暖湿气流和冷空气共同影响, 浙江省出现一次较大范围的雨雪天气。降雪主要集中在浙江省北部地区, 其中 25 日傍晚至 26 日早上降雪强度最强, 浙北地区普降中到大雪, 局部暴雪; 30 日至 31 日降雪集中在中南部地区, 最大位于浙中地区。

1 月 24 日 8 时浙江省除宁波、嘉兴、湖州和温州无降水外, 其他地区转液态降水; 11 时绍兴上虞转

混合态降水，其他地区仍为液态降水；14时湖州长兴、安吉和德清以及嘉兴桐乡转固态降水，嘉兴海宁、绍兴诸暨和金华浦江转混合态降水，其他地区仍为液态降水；20时湖州、嘉兴、绍兴北部、宁波北部转固态降水，舟山、金华浦江、宁波奉化和杭州临安转混合态降水，其他地区仍为液态降水。25日2时降雪区域无明显变化，25日8时新增固态降水点为杭州桐庐、绍兴；20时杭州桐庐以北均为固态降水，金华东部、绍兴和宁波为混合态降水。26日5日金华以北均为固态降水，20时固态降水区域扩大到最大。27日17时-28日8时北部个别站点出现固态降水，其他地区均为液态降水，28日11时浙江中部出现混合态降水，20时雨雪渐止，过程结束。

分别将2018年1月24日20时、2018年1月25日20时和2018年1月26日20时(图1)不同起报场的GFS数据作为初始场，对降雪时段内SRF指数分布与实况进行对比发现：SRF指数大于90%的区域易出现固态降水，90%线附近较易出现混合态降水，而且不同起报场的SRF指数预报值较稳定，说明SRF指数对降水相态指示作用较好。



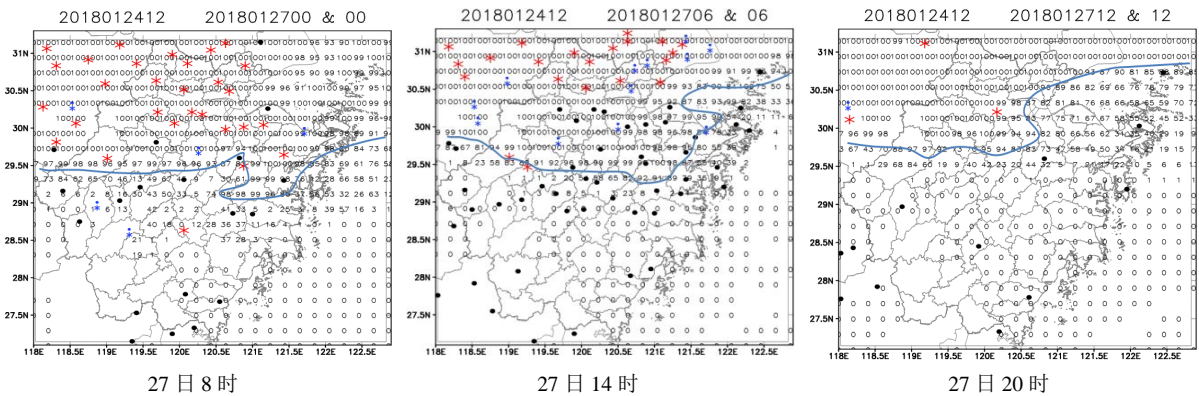


Figure 1. The index of SRF (the Field: 20:00 on January 24, 2018) and overlay of weather phenomena of different times (Blue line: SRF = 90%)

图 1. 不同时段 SRF 指数(起报场: 2018 年 1 月 24 日 20 时)和天气现象叠加图(蓝线: SRF = 90%)

5.2. 2018 年 1 月 31 日 2 时至 20 时降雪过程

2018 年 1 月 31 日受西南气流和北方冷空气共同影响, 浙江省大部分地区出现降雪天气, 浙南、浙中、和浙北南部先后由小雨转小雪或雨夹雪天气。

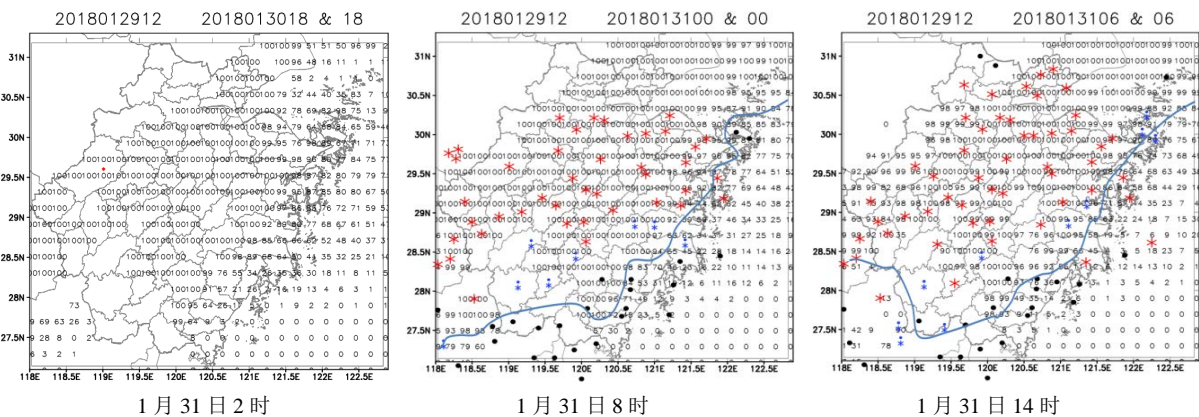
1 月 31 日 2 时杭州淳安单站转固态降水; 8 时杭州、绍兴、金华、宁波和台州北部转固态降水, 丽水和台州南部出现混合态降水, 温州和舟山出现液态降水, 北部湖州和嘉兴未出现降水; 14 时新增嘉兴出现固态降水, 湖州出现液态降水; 17 时固态降水区域南压, 20 时降水区域继续南压, 宁波、舟山、台州金华东部和绍兴南部仍为固态降水, 丽水和温州为液态降水, 浙江北部湖嘉杭和衢州降水基本结束; 23 时浙江省降水过程结束。

分别将 2018 年 1 月 29 日 20 时(图 2)、2018 年 1 月 30 日 20 时(图 3)不同起报场的 GFS 数据作为初始场, 对降雪时段内 SRF 指数分布与实况进行对比, 结论与 2018 年 1 月 24 日 8 时至 28 日 20 时降雪过程结论基本一致。

不同起报场的 SRF 指数与实况天气现象叠加图如图 2 和图 3。

6. 结论

通过中尺度数值模式 WRF, 选取 3 种不同微物理过程方案, 分别为 Purdue Lin 方案、WSM 6 类方案和新 Thompson 方案对 2000~2017 年浙江省冬季存在降水相变的 10 次降水过程进行敏感性试验, 再利用 2018 年 1 月浙江省 2 次降雪过程进行阈值检验和预报性能评估后, 得到如下结论。



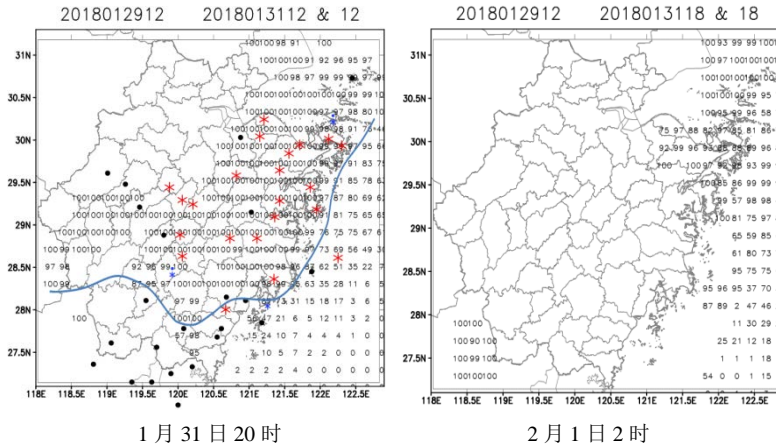


Figure 2. The index of SRF (the Field: 20:00 on January 29, 2018) and surface weather of different times
图 2. 不同时段 SRF 指数(起报场: 2018 年 1 月 29 日 20 时)和天气现象叠加图(蓝线: SRF = 90%)

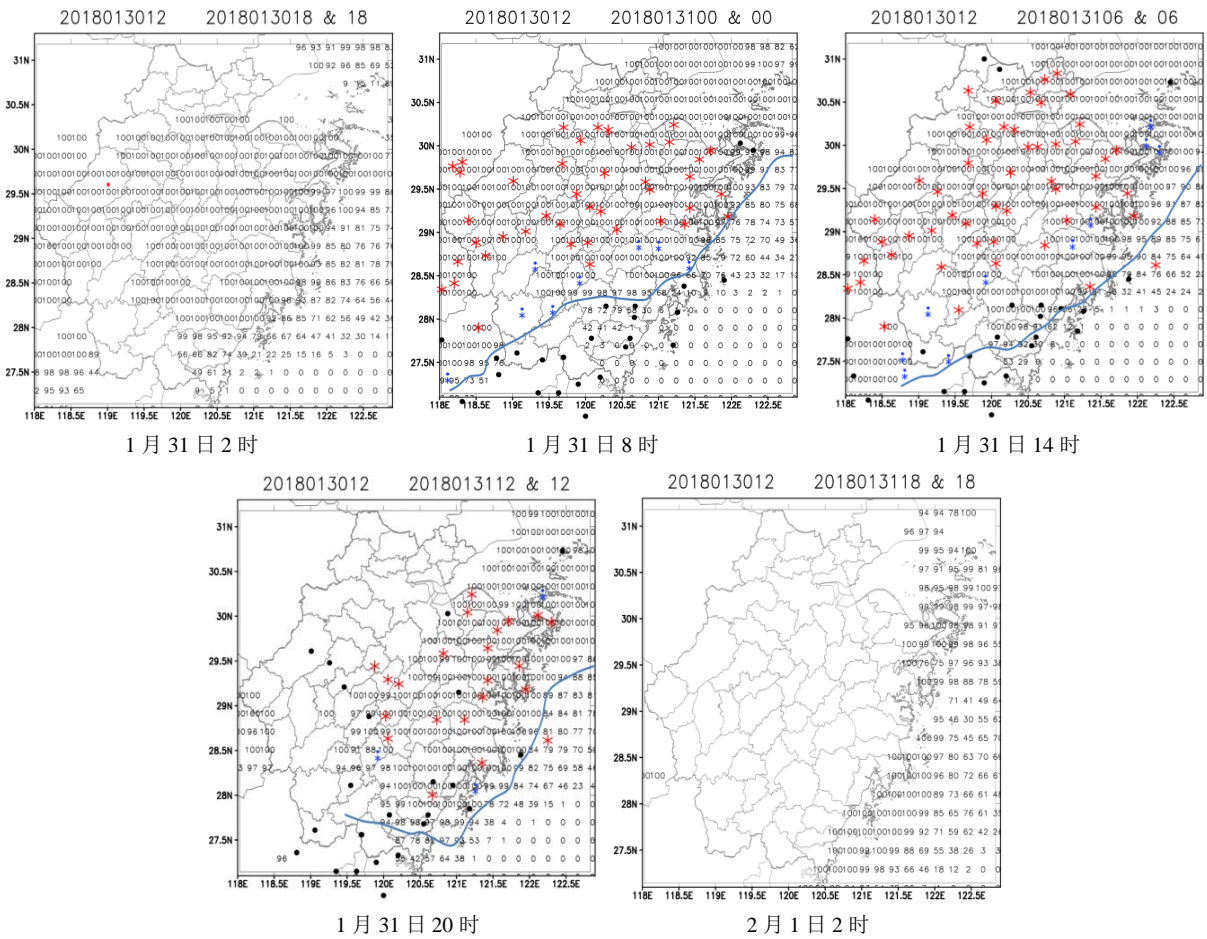


Figure 3. The index of SRF (the Field: 20:00 on January 30, 2018) and phase state superposition diagram of real precipitation of different times (Blue line: SRF = 90%)
图 3. 不同时段 SRF 指数(起报场: 2018 年 1 月 30 日 20 时)和实况降水相态叠加图(蓝线: SRF = 90%)

1) 使用中尺度数值模式 WRF 输出的诊断物理量 SRF 指数,对于降水相态预报具有较好的指示作用,其中微物理过程新 Thompson 方案预报效果最好。当 SRF 指数判定阈值设定在 90%时,具备判别降水过

程中雨、雪和雨夹雪或冰粒落区及降水相态随时间的演变的能力。

2) 根据近几个时次不同起报场对某一时次降水相态预报效果差别来看, SRF 指数用于判别降水相态的预报时效较长。

3) SRF 指数对沿海地区降水相态的指示作用较不理想, 这可能与沿海温度和内陆温度存在的差异以及模式预报沿海地面温度存在误差较大有关。

此外, 由于 Micaps 数据的站点分辨率和时间间隔等限制, 本次研究中无法进行模式逐小时输出产品检验, 下一步将利用更多个例对预报效果进行检验对比, 调整模式参数和指数阈值, 以期在今后的业务实际应用中得到更加准确的预报。

参考文献

- [1] Heppner, P.O.G. (1992) Snow Versus Rain: Looking beyond the “Magic” Number. *Weather and Forecasting*, **7**, 683-691. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1992\)007%3C0683:SVRLBT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1992)007%3C0683:SVRLBT%3E2.0.CO;2)
- [2] Czys, R.R., Scoa, R.W., Tang, K.C., *et al.* (1996) A Physically Based, Nondimensional Parameter for Discriminating between Locations of Freezing Rain and Ice Pellets. *Weather and Forecasting*, **11**, 591-598. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1996\)011%3C0591:APBNPF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1996)011%3C0591:APBNPF%3E2.0.CO;2)
- [3] 许爱华, 乔林, 詹丰兴, 等. 2005 年 3 月一次寒潮天气过程的诊断分析[J]. *气象*, 2006, 32(3): 49-55.
- [4] 漆梁波, 张瑛. 中国东部地区冬季降水相态的识别判据研究[J]. *气象*, 2012, 38(1): 96-102.
- [5] 张琳娜, 郭锐, 曾剑, 等. 北京地区冬季降水相态的识别判据研究[J]. *高原气象*, 2013, 32(6): 1780-1786.
- [6] 孙燕, 严文莲, 尹东屏, 等. 江苏冬季降水相态气候分析特征及预报方法探讨[J]. *气象科学*, 2013, 33(3): 328-332.
- [7] 林文实, 孟金平, 蒙伟光, 等. 华北暴雪的云微物理参数化方案的比较模拟[J]. *气象科学*, 2009, 29(2): 150-156.
- [8] 崔锦, 周晓珊, 阎琦, 等. WRF 模式不同微物理过程对东北降水相态预报的影响[J]. *气象与环境学报*, 2014, 30(5): 1-6.
- [9] 黄海波, 陈春艳, 朱雯娜. WRF 模式不同云微物理参数化方案及水平分辨率对降水预报效果的影响[J]. *气象科技*, 2011, 39(5): 529-536.
- [10] 胡向军, 陶健红, 郑飞, 等. WRF 模式物理过程参数化方案简介[J]. *甘肃科技*, 2008, 20(24): 73-75.