

陶亦为,代刊,董全,2017. 2016 年 1 月寒潮天气过程极端性分析及集合预报检验[J]. 气象,43(10):1176-1185.

2016 年 1 月寒潮天气过程极端性分析 及集合预报检验^{*}

陶亦为 代 刊 董 全

国家气象中心,北京 100081

提 要: 利用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)再分析资料和集合预报极端天气预报指数(extreme forecast index,EFI),对 2016 年 1 月 21—25 日强寒潮天气环流异常性和 EFI 对极端低温事件的预报进行了分析和检验。中亚地区一直维持标准化异常度在 3 个标准差以上的高压脊,冷涡系统不断发展增强,随着横槽转竖,冷空气爆发南下使得我国中东部出现极端低温。最低温度 EFI 可以提前 7 d 预报出低温信号,随着 EFI 预报时效的延长所对应的最大 TS 评分随之降低,对不同时效预报需选取合适的 EFI 阈值。对 5% 百分位的低温事件短期时效(1~3 d)最低温度 EFI 临界阈值为-0.6,中期时效(4~7 d)临界阈值为-0.5;对 1% 百分位的低温事件临界阈值则为-0.7。5% 百分位的低温事件各时效最低温度 EFI 在江南、黄淮、江淮、江汉等地表现最好,华北、华南、西南、西北地区表现次之,在东北地区表现相对较差。

关键词: 寒潮,标准化异常度,集合预报,极端天气预报指数(EFI),极端低温事件

中图分类号: P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.10.002

Extreme Analysis and Ensemble Prediction Verification on Cold Wave Process in January 2016

TAO Yiwei DAI Kan DONG Quan

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Based on European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) reanalysis datasets and extreme forecast index (EFI) of ensemble prediction system, this paper analyzes the anomalous atmospheric circulation and verifies the EFI's forecasts for extreme cold event that happened from 21 to 25 January 2016. It is found that an anomalous strong high-pressure ridge maintained in central Asia and the standardized anomaly of high-pressure ridge was more than 3 standard deviations and the cold vortex near-by Lake Baikal was continuously developed and enhanced. As the revising of the transverse trough, the cold vortex moved southward abnormally and extreme cold wave broke out in the East China. The verification shows the EFI can predict minimum temperature signal 7 days in advance. With the lead time extension of EFI forecast, the corresponding maximum TS score decreases, and there are different EFI thresholds for different lead time forecasts. Researches also show that the critical threshold of minimum temperature EFI for 5% percentile of the low temperature events (1-3 days) is -0.6 and for 4-7 days the critical threshold of minimum temperature EFI is -0.5. Besides, the critical threshold of minimum temperature EFI for 1% percentile of the low temperature events is -0.7. Moreover, the different lead time performance of minimum temperature EFI for 5% percentile of the low temperature events in Jiangnan,

^{*} 气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2015Z06)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306002)、国家科技支撑计划项目(2015BAC03B01)和国家气象中心预报员专项(Y201601)共同资助

2017 年 4 月 4 日收稿; 2017 年 7 月 13 日收修定稿

第一作者:陶亦为,主要从事天气预报和天气预报技术研究. Email:taoyw@cma.gov.cn

Huanghuai, Jianghuai and Jiangnan Regions is the best, followed by the performance for the events in Huabei, Huanan, Southwest and Northwest, and the performance in Northeast is poor relatively.

Key words: cold wave, standardized anomaly (SA), ensemble prediction, extreme forecast index (EFI), extreme cold event

引 言

社会公众越来越关注极端天气事件,有研究表明世界范围内极端天气事件的发生呈现上升的趋势,所造成的损失也越来越高(Munich, 2002)。Beniston and Stephenson(2004)研究指出极端天气事件可以分为三种:(1)有比较低的发生概率;(2)有较强的发生强度;(3)对经济社会产生较严重的影响。政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告(Solomon et al, 2007)从概率分布角度对极端天气事件做了明确定义:极端气候事件就是某一特定地点和时间,当天气气候状态严重偏离其气候平均态时,发生概率极小的事件,通常发生概率只占该类天气现象的 10% 或者更低。近几年极端天气事件越来越多地受到气象界重视,很多气象专家和学者都对极端天气事件进行了深入研究(Stephenson, 2008; Zhai et al, 1999; 孙军等, 2012; 任福民等, 2014)。

当前的确定性模式可以较好预报出天气过程,但对极端天气事件这种小概率事件,预报上具有较强的不确定性,这给预报员带来了更大的挑战。有学者研究表明(杜钧和陈静, 2010; 杜钧和邓国, 2010)基于大气系统的非线性和复杂性,加上初值和模式等本身无法避免的一些不确定性,用单一模式确定预报结果是不合理的,而集合预报却是解决预报上不确定性的工具。针对极端天气事件的预报, Lalaurette(2003)基于 ECMWF 集合预报系统(ensemble prediction system, EPS)开发了极端天气预报指数(EFI), 其原理就是计算模式气候累积概率分布函数与集合预报结果的累积概率分布函数的连续概率差异,这一差异越大,说明天气偏离气候态就越大,极端事件发生概率越大,从而对极端天气事件进行预报和早期预警。有研究指出(Richardson et al, 2011)EFI 可以作为一个重要的工具提前几天预报出极端天气事件。近几年我国研究人员针对 EFI 也做了一些研究工作,董全等(2016)指出 EFI 的预报效果和阈值存在明显的季节差异,夏季

预报较好, 阈值较大, 冬季预报较差, 阈值较小。夏凡和陈静(2012)研究得出极端天气预报指数对极端低温天气有较好的识别能力, 可提前 3~5 d 发出极端低温的预警信号, 基于 T213 集合预报生成的极端天气预报指数对极端低温的预报存在正的识别技巧, 随着预报时效的延长, 识别技巧逐渐降低。吴剑坤等(2015)利用 S 指数评分方法确定发布极端温度预警信号阈值。

2016 年 1 月 21—25 日, 我国爆发了入冬以来最强的一次寒潮天气过程, 造成我国大部地区大范围剧烈降温, 多地出现极端低温天气, 强寒潮共造成 233 个县(市)最低气温跌破当地建站以来 1 月历史极值, 其中 69 站日最低气温突破历史纪录(国家气候中心, 2016)。针对此次强寒潮天气过程司东等(2016)从气候学角度用北极涛动(AO)分析了这次寒潮过程, 他们认为在 1 月中旬 AO 负位相达到最强之后强寒潮出现导致 1 月下旬全国出现极端低温。另有学者(曲巧娜等, 2016)用确定性模式对强寒潮过程模式预报效果进行了检验, 认为确定性模式可以较好地把握大体环流形势, 但确定性模式对于最低温度的预报都存在低估现象。本文拟从天气学角度分析强寒潮过程的极端性, 并应用集合预报 EFI 对本次强寒潮过程进行检验, 探讨如何有效地利用 EFI 提高对极端灾害性天气过程预报的准确率。

1 方法和资料

本文使用的资料包括 ECMWF 的 2016 年 1 月的 EPS 最低气温(08—08 时)EFI(预报时效为 24~168 h)、ECMWF 的 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 网格点逐 6 h 再分析资料、国家气象信息中心归档整理的中国地面基本气象要素日值数据集(V3.0)和国家气象中心实时数据库资料。

为了研究并定义这次寒潮过程低温的极端性, 因为天气是否极端是要与历史同期相比较而言的, 本文先构建了气候样本, 本文的气候样本是选取这次寒潮日历日前后 15 d 共 30 a(1981—2010 年)的最低温度, 合计为 $31 \text{ d} \times 30 \text{ a} = 930$ 个最低温度样本

构建气候样本(本文提及的历史同期专指构建的气候样本),对于极端低温天气事件的定义采用了分位数法,研究中分别定义了第 5% 百分位与第 1% 百分位作为极端低温天气事件的阈值,通过比较寒潮日最低温度相对于历史同期的排名来确定这次寒潮过程最低温度的极端性。由于部分站点因为缺测或新建等原因使得有效样本数 < 930 个,故选取样本数 $\geq 90\%$ 的总样本数即 837 个有效样本作为气候样本,经计算满足以上条件的站点共 2321 站。

同一气象要素在不同地域或不同季节的异常度是不一样的,为了更直观和方便统一地比较天气要素异常程度,在本文应用“标准化异常度(standardized anomaly, SA)”方法(杜钧等, 2014)对气象要素(地面气压、地面 2 m 温度、850 hPa 温度场、500 hPa 高度场和温度场)进行了标准化异常度计算。

$$SA = \frac{OBS - Mean(climate)}{SD(climate)} \quad (1)$$

式中, OBS 为寒潮过程期间再分析资料, $Mean(climate)$ 和 $SD(climate)$ 分别为气候均值和气候方差,这次寒潮过程发生在 1 月第五候,在计算各年气候背景时本文使用 1 月第五候的前一候和后一候的气象要素,即对 1 月第四至六候的气象要素作为各年气候背景来计算 SA 和距平,气候平均值取 1981—2010 年平均值。

按照 Lalaurette(2003)对 EFI 的定义,EFI 取值为 $-1 \sim 1$,以气温为例当温度 EFI 越接近于 1 (-1) 时则表明温度异常偏高(偏低)程度越严重且发生的可能性越大。对于最低温度 EFI 预报效果的检验,则需要检验不同 EFI 值的预报效果,寻求一个最佳 EFI 临界阈值。因此本文将最低温度 EFI 值插值到站点上,通过两分类预报检验方法,对于每个站点分为最低温度 EFI 预报极端低温事件发生(不发生)、实况低温事件发生(不发生)预报正确(NA、ND)以及空报(NB)和漏报(NC)几种可能情况(表 1),通过风险评分(TS)、命中率(H)、空报率(F)等方法对最低温度 EFI 做定量检验,找到最大

TS 评分以确定最低温度 EFI 的临界阈值。

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \quad (2)$$

$$H = \frac{NA}{NA + NC} \quad (3)$$

$$F = \frac{NB}{NB + ND} \quad (4)$$

2 环流背景及天气实况

此次强寒潮从 1 月 21 日发生至 25 日结束,历时 5 天,强寒潮的爆发与前期大气环流形势有着密切关系。从强寒潮过程发生前 20 日 08 时 500 hPa 高度场来看(图 1a),欧亚地区中高纬 500 hPa 环流呈现两槽一脊的 Ω 流型分布,欧洲东部至里海是一片广阔的低槽区,槽前偏南暖平流使得高压脊不断发展并缓慢东移至咸海以东,高压脊南北振幅达 40 个纬距,脊前偏北风使得冷空气在贝加尔湖附近不断堆积加强,在贝加尔湖东部逐渐形成一个冷性涡旋(以下简称冷涡),冷中心强度达 $-49\text{ }^{\circ}\text{C}$,对应地面为强盛的高压,中心位于蒙古国西部,中心值达到了 1072.5 hPa。

随着高压脊继续发展加强,21 日在巴尔喀什湖以北地区逐渐形成闭合高压中心,阻塞形势逐步建立,脊前强盛的偏北气流引导冷涡南下,位于新疆北部的横槽与冷涡低槽逐渐接近,地面冷锋南下进入我国新疆北部—内蒙古一带,新疆北部、甘肃、内蒙古中西部出现降温;22 日 08 时(图 1b),高压脊南北振幅扩展到 45 个纬距,脊前偏北气流中心风速增至 $38\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,冷涡南压至内蒙古北部,低槽与横槽逐渐结合成一条横贯我国北方的横槽,冷中心加强南下,地面高压中心值强度增强至 1080 hPa,地面冷锋 24 h 向南推进了约 5 个纬距,华北中北部、西北地区中部和东北部开始降温;23 日,高压脊不断东伸,呈现东北—西南走向,冷涡中心南压至辽宁附近,内蒙古西部至东北地区中南部都被 $-44\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线所控制,横槽逐渐下摆转竖,冷空气开始爆发南下影响我国南方地区,造成西北地区东南部、西南地区东部、江汉、黄淮、江淮等地出现显著降温;24 日,随着另一个极涡发展南下,使得高压脊开始减弱,冷空气继续南下影响我国南方,江南中东部、西南地区东南部、云南东部、华南等地出现明显降温,我国华南中部以北地区地面气压均高于 1040 hPa;25 日随着冷涡东移,高压脊减弱西退,地面高压中心在 25 日

表 1 两分类预报检验列联表

Table 1 Contingency table of dimorphic distribution

预报事件	观测事件	
	发生	不发生
发生	NA	NB
不发生	NC	ND

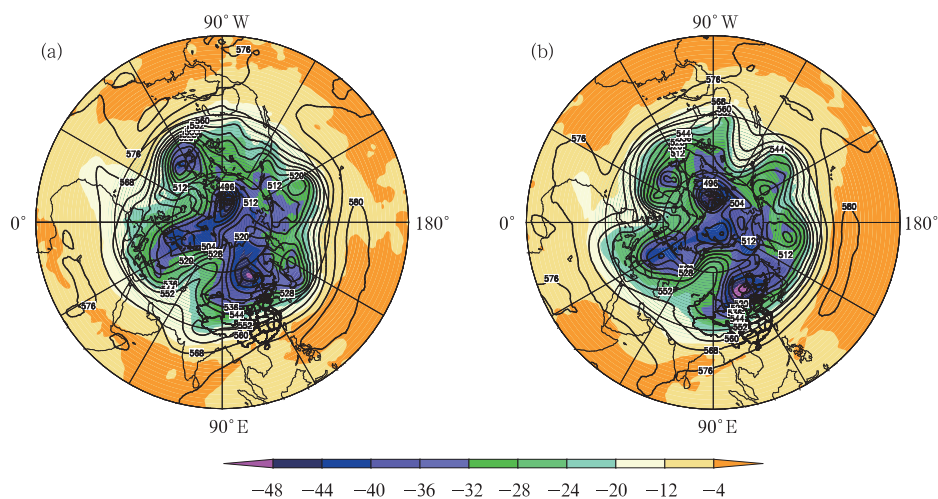


图 1 2016 年 1 月 20 日 08 时(a)和 22 日 08 时(b)北半球 500 hPa 高度场(黑线, 单位: dagpm)和温度场(填色, 单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 Geopotential height (black line, unit: dagpm) and temperature (shaded area, unit: $^{\circ}\text{C}$) at 500 hPa in Northern Hemisphere at 08:00 BT 20 (a) and 08:00 BT 22 (b) January 2016

20 时减弱至 1062.5 hPa, 冷空气南下入海, 过程趋于结束, 25 日凌晨我国南方等地迎来本次寒潮过程的最低温。

此次强寒潮过程造成新疆中北部、西北地区、东北地区东北部、内蒙古中部、华北地区、黄淮、江淮、江汉、江南中东部、华南地区、西南地区东部及云南东部等地部分地区最大降温幅度达 $8\sim 14^{\circ}\text{C}$, 局地超过 14°C (图略), 由于前期我国中东部地区冷空气活动频繁, 寒潮过程前我国中东部地区温度已较常年偏低, 此次寒潮过程使得我国中东部地区气温进一步降低, 多地出现极端低温, 江南大部过程最低温度普遍下降到 -4°C 以下, 气温 0°C 线一直南压至华南中部一带 (图 2)。

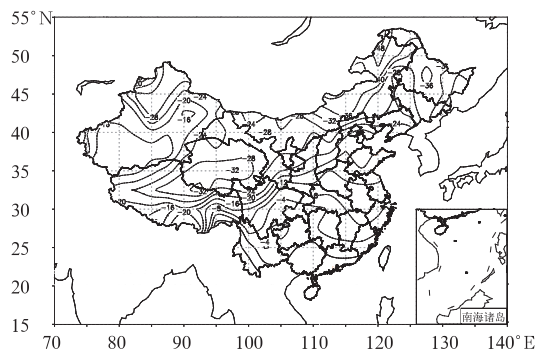


图 2 2016 年 1 月 21—25 日寒潮过程最低温度(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 2 Distribution of minimum temperature during 21—25 January 2016 (unit: $^{\circ}\text{C}$)

3 寒潮过程异常性分析

此次强寒潮带来的极端低温与环流异常有着直接联系。从中高层环流分析来看, 21—25 日 500 hPa 高度距平场上西亚附近维持负距平 (图 3a), 负距平中心较常年偏低 10 dagpm 以上, 纵贯南北的大槽一直稳定维持, 槽前暖平流使得下游脊不断发展。里海至巴尔喀什湖之间是广阔的正距平区, 正距平中心超过 25 dagpm, 异常强盛的高压脊稳定维持, 脊前强盛的偏北气流, 有利于北极冷空气不断向南输送, 为寒潮的发展和爆发提供了充足的冷空气。

为了进一步说明强寒潮过程大气环流的异常, 本文通过 SA 方法来分析大气环流的异常程度。Grumm and Hart(2001)和 Junker et al(2008)研究通常把 SA 超过气候平均值 3 个标准差的情况定义为异常天气事件。分析中高层环流可以看到, 21—24 日 500 hPa 高压脊 SA 一直维持 3 个标准差以上 (图略); 其中, 21 日 500 hPa 高压脊异常中心达到 5 个标准差 (图略), 说明在我国上游高压脊异常强盛, 脊前西北气流引导冷空气南下的同时也有利于冷涡不断南下。从图 3b 中可以看到, 23 日冷涡异常偏南影响我国华北至黄淮一带, 负 SA 中心值超过 7 个标准差以上, 对应冷涡中心位势高度为 512 dagpm。从 500 hPa 温度场来看, 寒潮过程前期 (21—23 日) 冷涡附近一直维持着一个强度在 -48°C 的冷中心,

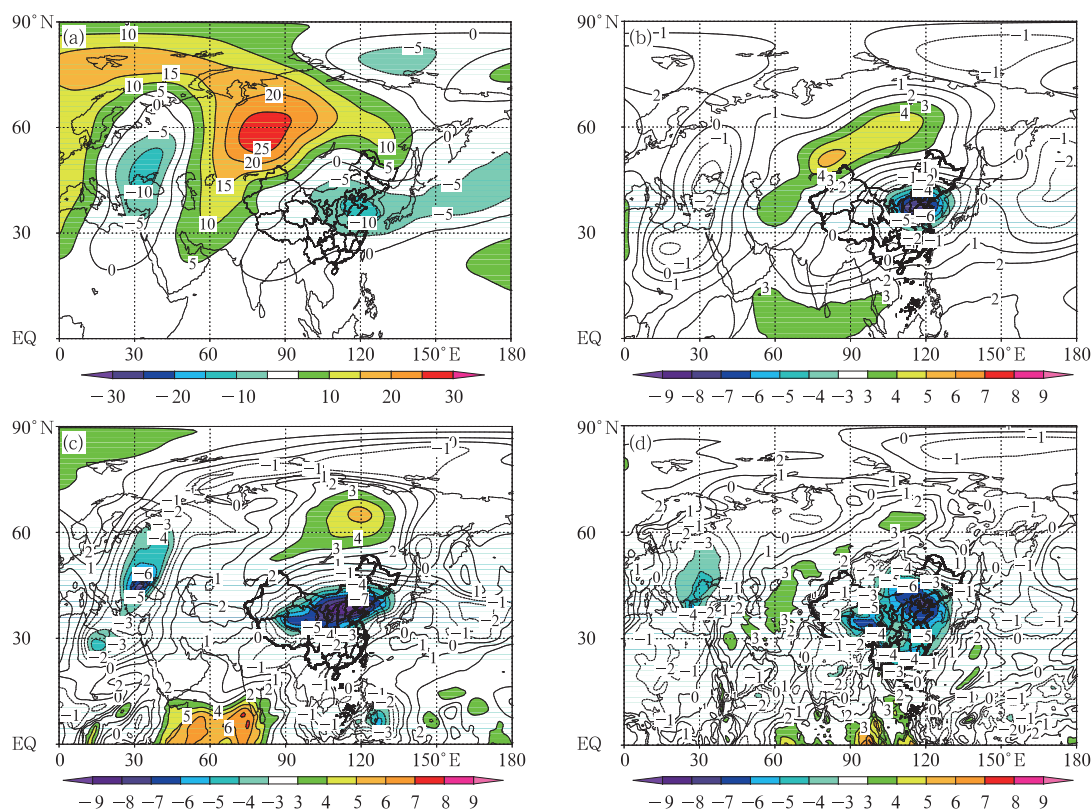


图3 2016年1月23日寒潮过程欧亚大陆500 hPa高度场距平(a,单位: dagpm),
欧亚大陆500 hPa高度场(b)、温度场(c)和850 hPa温度场(d)SA分布
(填色区为SA>3个标准差)

Fig. 3 Geopotential height anomaly at 500 hPa in Eurasia during cold wave (a, unit: dagpm),
the standardized anomaly distribution of geopotential height (b) and temperature (c) at 500 hPa
and temperature at 850 hPa (d) in Eurasia on 23 January 2016
(Shaded area means SA>3 standard deviation)

其中23日冷中心温度距平达 -15°C (图略)。随着冷涡不断南压,23日08时冷中心南压至内蒙古中部一带,我国北方地区500 hPa温度异常偏低。从23日500 hPa温度场SA(图3c)可以看到,在我国淮河以北地区温度负值区超过3个标准差,负值中心位于华北北部附近,超过了9个标准差。另外,从23日850 hPa温度场SA分布(图3d)可以看到,我国中东部大部地区850 hPa温度场都偏低4个标准差以上,尤其是在500 hPa冷涡附近,850 hPa温度负SA超过6个标准差以上,局部达7个标准差。综合以上分析可以看到,这次寒潮过程是因为我国上游存在一个极端强盛的高压脊(SA一直稳定维持偏高3个标准差以上),在脊前强盛的偏北气流影响下,形成极端异常的冷涡系统影响我国。

从地面气压场来看,在整个寒潮过程蒙古国西部都维持着一个高压中心,其中,1月22日08时蒙古

国西部有4个站地面气压超过1080 hPa,其中一站地面气压达1086.6 hPa,周围地面气压超过1070 hPa的站共16个,合计地面气压超过1070 hPa的面积约为51万 km^2 ,高压如此强大,影响范围之大,这是历史上非常罕见的。寒潮后期,冷空气一直南压至华南,1月24日华南中北部以北地区地面气压超过了1040 hPa;从地面气压距平来看(图略),我国大部地面气压距平都偏高10 hPa,部分地区甚至偏高超过25 hPa;从24日地面气压SA来看(图4a),我国华南、江南东部、西北地区东部、西南地区东部、云南中东部等地地面气压偏高超过7个标准差,表明冷空气势力极其强盛,并一直南压至我国华南地区使得我国黄河以南大部地区24日2 m温度偏低3个标准差以上(图4b);其中,华南中东部、江南东部、西南地区东部、云南东部等地2 m温度SA超过7个标准差,上述地区2 m温度距平在 -8°C 左右,

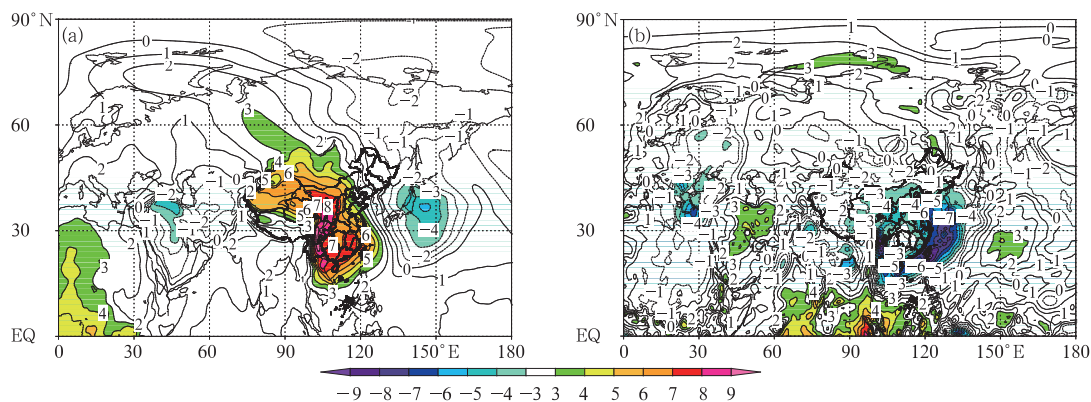


图 4 2016 年 1 月 24 日欧亚大陆地面气压(a)和 2 m 温度(b)SA 分布
(填色区为 $SA > 3$ 个标准差)

Fig. 4 Standardized anomaly distribution of sea level pressure (a) and 2 m temperature (b) in Eurasia on 24 January 2016
(Shaded area means $SA > 3$ standard deviation)

部分地区甚至超过了 -12°C 以上(图略)。

4 集合预报极端天气预报检验

强寒潮使得我国南方大部地区在 1 月 25 日凌晨迎来了此次过程的最低温度,当天全国实况最低温度有 933 站突破或达到历史同期 1% 百分位(以下简称 1% 百分位事件)、1430 站突破或达到历史同期 5% 百分位(以下简称 5% 百分位事件)。从 1 月 25 日最低温度 EFI(图 5)可以看到,我国黄河以

南大部地区站点最低温度为 5% 百分位事件,1% 百分位事件主要集中在西北地区东南部、四川盆地中北部、云南东部、湖北东部、江淮南部、江南中东部、华南中东部等地。从 24 h 时效最低温度 EFI 预报(图 5a)可以看到,华南、江南、江淮、江汉、四川盆地、山东中部、云南中东部等地最低温度 $\text{EFI} < -0.8$,江淮东部、华南南部、江南东部,云南中东部 $\text{EFI} < -0.95$,与 1% 百分位事件的站点有很好的对应关系,说明 EFI 可以很好预报出极端最低温度;对于西北地区东部 1% 百分位事件的站点,最低温

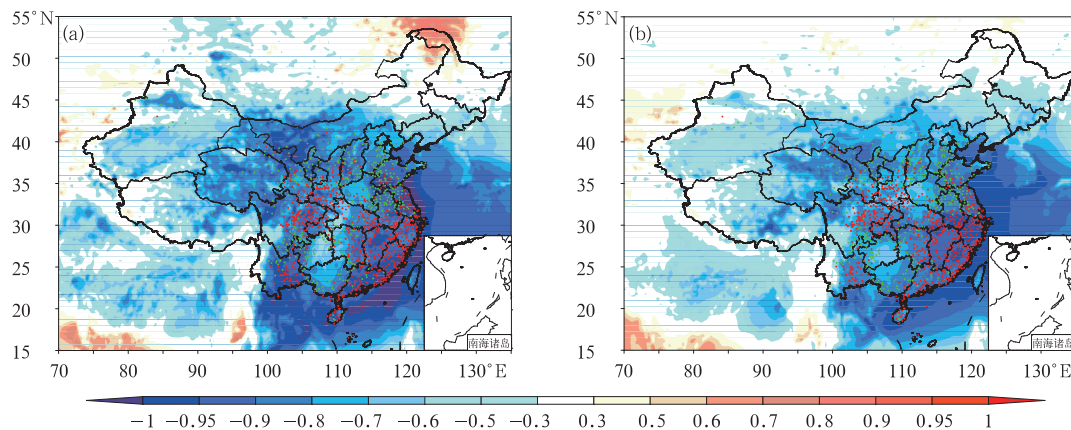


图 5 2016 年 1 月 25 日 24 h(a)和 168 h(b)时效最低温度 EFI 预报(填色)
(红点为 25 日实况最低温度突破或达到历史同期 1% 百分位的站点;绿点为实况最低温度突破或达到历史同期 5% 百分位,但未达到历史同期 1% 百分位的站点)

Fig. 5 Minimum temperature EFI for 24 h (a) and 168 h (b) valid time on 25 January 2016
(Red dot stands for site that reached or broke 1% percentile of historical period; green dot stands for site that reached or broke 5% percentile of historical period, but didn't reach 1% percentile of historical period)

度 EFI 值为 $-0.8 \sim -0.5$, 较前面提到的地区偏小; 图 5b 为 168 h 时效最低温度 EFI 预报, 提前 7 d 预报在华南、江南、江淮、江汉、四川盆地、山东中部、云南中东部等地 $\text{EFI} < -0.6$, 与突破或达到历史同期 1% 百分位的站点也有比较好的对应关系, 说明 EFI 提前 7 d 对极端低温有比较好的预报能力。168 h 时效最低温度 EFI 预报与 24 h 时效预报相比范围较为一致, 但 EFI 较 24 h 时效偏高, 对于长时效的预报需关注更高的 EFI 临界阈值。

为了研究最低温度 EFI 对于本次寒潮过程极端低温的临界阈值, 本文对 24~168 h 时效最低温度 EFI 做 TS 检验。从图 6 可以看到, 对于本次寒潮过程 5% 百分位事件各时效 EFI 值 TS 检验评分为 $0.05 \sim 0.7$, 不同时效的 EFI 为 $-0.6 \sim -0.4$ 时 TS 评分达到最大后迅速降低, 随着时效延长最大 TS 评分所对应 EFI 降低。从表 2 也可以看到 24~72 h 短期时效 EFI 值在 -0.6 时 TS 评分达到最大 (为 0.68); 96~120 h、144~168 h 中长期时效 EFI 值分别在 -0.5 与 -0.4 时 TS 评分达到最大, 最大 TS 评分为 $0.62 \sim 0.67$, 即对于时效越长的极端低温事件的预报需关注更高的 EFI 临界阈值, 这

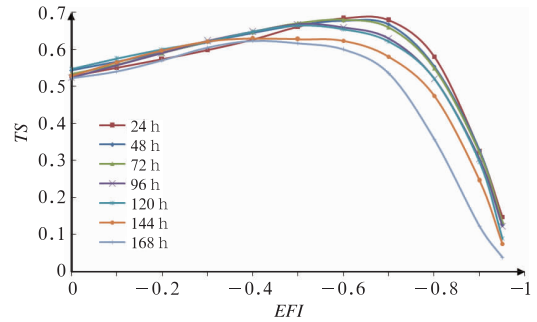


图 6 寒潮过程不同时效最低温度 EFI 的 TS 评分 (5% 百分位)

Fig. 6 Minimum temperature EFI TS for different valid time during cold wave (5% percentile)

点与之前分析的结论一致。另外, EFI 值对应的最大 TS 评分也随着时效的延长而呈现下降的趋势。针对 5% 百分位事件, 短期 (1~3 d) 时效内最低温度 EFI 临近阈值为 -0.6 , 考虑到 144 h 与 168 h 时效最低温度 EFI 值分别为 -0.5 和 -0.4 时两者 TS 评分比较接近, 因此对于中期 (4~7 d) 时效内最低温度 EFI 临近阈值可以考虑为 -0.5 。

表 2 寒潮过程各时效 EFI 值对应的最大 TS 评分值

Table 2 Minimum temperature EFI corresponding to maximum TS for different valid time

百分位	检验参数	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
5%	EFI	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4
	TS	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.63	0.62
1%	EFI	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7
	TS	0.46	0.45	0.46	0.45	0.45	0.43	0.42

对于更为极端的情况 (1% 百分位事件) (图 7), 可以看到各时效 TS 评分为 $0.05 \sim 0.5$, 不同时效的最低温度 EFI 值在 $-0.8 \sim -0.6$ 时 TS 评分达到最大后降低。从表 2 也可以看到, 对于更极端的情况在短期时效 (24 h) EFI 值为 -0.8 时 TS 评分达到最大, 48~168 h 时效 EFI 值为 -0.7 时 TS 评分达到最大, 各时效最大 TS 评分为 $0.42 \sim 0.46$, 并且随着时效的延长最大 TS 评分略有下降。从以上分析可以看到, 对于更极端的情况最低温度 EFI 也有比较好的预报效果, 中期时效预报效果也比较稳定。值得注意的是: 对于更极端的事件要关注更低 EFI 临界阈值才能获得更高的 TS 评分, 也就是说, 在预报更极端的事件中需要设定合适的 EFI 临界阈值才能获得更好的预报效果, 这点与 EFI 设计原理是

一致的。与之前讨论 5% 百分位事件情况一致, 对于更极端情况, 考虑到 24 h 时效预报最低温度 EFI 值为 -0.8 时 TS 评分为 0.46, EFI 值为 -0.7 时

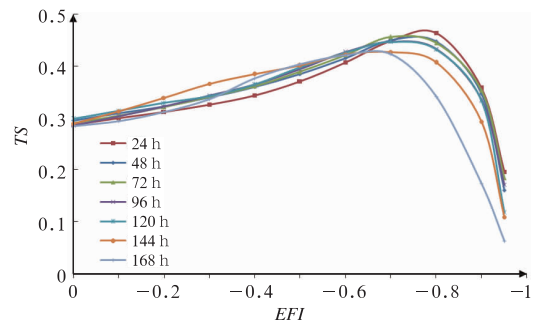


图 7 同图 6, 但为 1% 百分位

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for 1% percentile

TS 评分为 0.44, 两者评分比较接近, 所以对于强寒潮造成的极端低温(1% 百分位事件), 可以考虑 EFI 的临界阈值为 -0.7 。

相对作用特征曲线(relative operating characteristic, ROC)可以应用到两分类事件概率预报的评估当中, 评估预报的优缺点, 在坐标轴中完美的预报位于左上角顶部 $(H, F) = (0, 1)$, 最差的预报位于坐标轴 $(H, F) = (1, 0)$, 对角线以上(下)代表预报正(负)技巧, ROC 曲线下面积可以衡量预报技巧好坏, 面积越大(小)预报技巧越好(差)(Jolliffe and Stephenson, 2016)。从图 8 中可以看到, 对 5% 和

1% 百分位事件, 寒潮期间不同时效最低温度 EFI 预报 ROC 曲线均在对角线以上, 表明各时效最低温度 EFI 对极端低温事件的预报均为正预报技巧, 且随着时效的延长各时效 ROC 曲线面积趋于减小, 也就是说, 随着时效的延长最低温度 EFI 预报技巧也逐步降低。另外, 通过对比图 8a 与图 8b 可以看到, 对于 5% 百分位事件各时效 ROC 曲线的面积均大于 1% 百分位事件的 ROC 曲线的面积, 随着低温极端程度的增加最低温度 EFI 的预报能力也随之降低, 与前文对最低温度 EFI 值 TS 评分的分析结论一致。

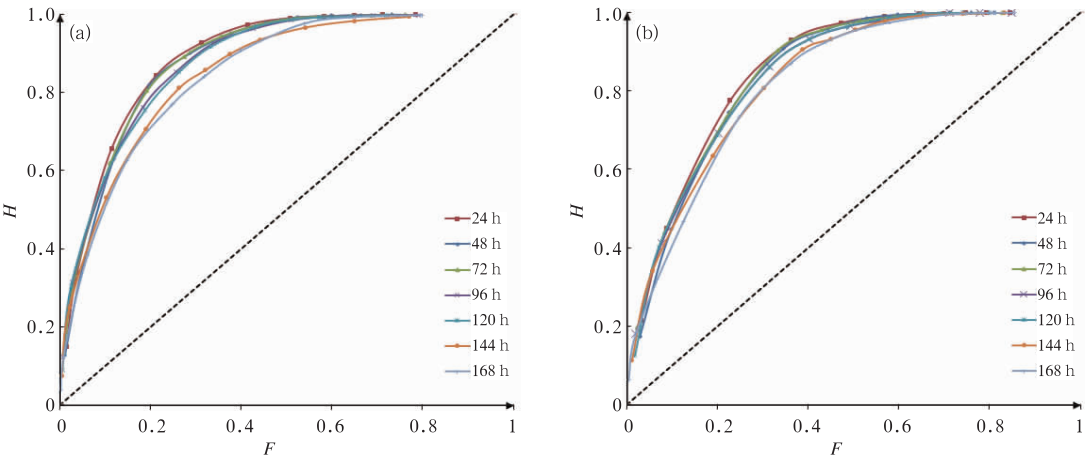


图 8 不同时效最低温度 EFI 对 5% 百分位(a)和 1% 百分位(b)以下的极端低温事件预报的 ROC 曲线

Fig. 8 Relative operating characteristic (ROC) curve of different lead time forecasting of EFI to 5% percentile (a) and 1% percentile (b) extreme low temperature event

表 3 寒潮过程不同区域各时效 EFI 值对应的最大 TS 评分值(5% 百分位)
Table 3 Minimum temperature EFI corresponding to maximum TS for different region and valid time (5% percentile)

区域	检验参数	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
华北	EFI	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4
	TS	0.69	0.70	0.71	0.70	0.68	0.69	0.68
东北	EFI	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4
	TS	0.46	0.43	0.44	0.44	0.40	0.38	0.34
黄淮至江淮	EFI	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3
	TS	0.84	0.84	0.83	0.82	0.83	0.80	0.80
江南	EFI	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3
	TS	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.80	0.80
华南	EFI	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5
	TS	0.70	0.72	0.70	0.70	0.68	0.67	0.67
西南	EFI	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.2	-0.3
	TS	0.69	0.67	0.66	0.67	0.69	0.68	0.68
西北	EFI	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	TS	0.72	0.73	0.74	0.72	0.74	0.71	0.70

前文检验分析了中国范围内最低温度 EFI 对此次寒潮过程的预报效果,但不同地区 EFI 表现效果并不完全一致,下面将对不同区域最低温度 EFI 的预报效果进行检验。本文将中国分为 7 个区域,分别为华北、东北、江南、华南、西南、西北以及黄淮至江淮区域(因黄淮、江汉、江淮区域面积均比较小,故合并为一个区域进行分析),针对 5% 百分位事件计算不同区域不同时效最低温度 EFI 值所对应的最大 TS 评分。从表 3 可以看到,对于此次强寒潮各时效最低温度 EFI 对江南及黄淮至江淮区域预报表现均比较好,最大 TS 评分为 0.8~0.84;华北、华南、西南、西北地区各时效最大 TS 评分均比较接近为 0.66~0.72;东北地区预报效果相对较差,各时效最大 TS 值为 0.34~0.46。另外,考虑部分相邻 EFI 值 TS 评分较为接近,华北、东北、黄淮至江淮区域、江南、华南、西南、西北地区中短期时段(1~3 d)最低温度 EFI 预报临界阈值分别取为-0.7、-0.6、-0.4、-0.4、-0.6、-0.5、-0.6,中期时段(4~7 d)最低温度 EFI 预报临界阈值分别为-0.4、-0.5、-0.3、-0.3、-0.6、-0.3、-0.5。

5 结论与讨论

应用标准化异常度(SA)方法,从天气学角度对 2016 年 1 月 21—25 日强寒潮天气过程大气环流异常进行分析的基础上,对这次寒潮过程集合预报最低温度极端天气预报指数(EFI)的预报能力进行检验评估,对比不同区域最低温度 EFI 的预报效果并确定 EFI 临界阈值。得到如下结论:

(1) 此次强寒潮过程与大气环流异常有直接联系。欧亚中高纬 500 hPa 环流呈两槽一脊的 Ω 流型分布,欧洲中部大槽发展东移,槽前持续的暖平流使中亚地区异常庞大的高压脊(SA>3 个标准差)稳定维持,脊前偏北气流使冷空气在贝加尔湖附近堆积加强,形成非常强盛的冷涡系统,对应地面高压中心达 1080 hPa 以上。随着横槽转竖及冷涡南下,强冷空气爆发,24 日华南中部以北地区地面气压均>1040 hPa(SA>3 个标准差),使得我国中东部多地出现了极端低温。

(2) 各时效最低温度 EFI 对 5% 和 1% 百分位事件的预报效果均很好,可以提前 7 d 预报出极端

低温信号,最低温度 EFI 值所对应的最大 TS 评分随着预报时效的延长而降低。针对不同时效不同百分位事件需选取合适的 EFI 临界阈值,短期时效(1~3 d)5% 百分位事件最低温度 EFI 的临界阈值为-0.6,中期时效(4~7 d)EFI 临界阈值为-0.5;对于 1% 百分位事件最低温度 EFI 临界阈值为-0.7。

(3) 通过 ROC 曲线分析,各时效最低温度 EFI 对 5% 和 1% 百分位事件均有正预报技巧,随着低温极端程度的增加其预报能力也随之降低。对 5% 百分位事件各时效最低温度 EFI 在江南、黄淮、江淮、江汉等地表现最好,华北、华南、西南、西北地区表现次之,在东北地区表现相对较差。

(4) 通过检验分析了最低温度 EFI 的预报效果,当最低温度 EFI 值达到临界阈值时,预报员在参考确定性模式做最低温度预报时可以更有信心对温度做适当的调整,避免出现低估现象,另外也可以看到 EFI 在中长期也有较好的预报效果,预报员可以借助 EFI 提前对灾害性天气做出估计和判断。但值得注意的是本文只分析和检验了这次强寒潮天气过程,各地预报员在实际应用 EFI 时还需统计本地极端天气样本通过检验以确定当地的 EFI 临界阈值。

参考文献

- 董全,代刊,陶亦为,2016. ECMWF 集合预报的极端气温预报产品应用和检验[J]. 天气预报,8(4):41-51.
- 杜钧,陈静,2010. 单一值预报向概率预报转变的基础:谈谈集合预报及其带来的变革[J]. 气象,36(11):1-11.
- 杜钧,邓国,2010. 单一值预报向概率预报转变的价值:谈谈概率预报的检验和应用[J]. 气象,36(12):10-18.
- 杜钧,Grumm R H,邓国,2014. 预报异常极端高影响天气的“集合异常预报法”:以北京 2012 年 7 月 21 日特大暴雨为例[J]. 大气科学,38(4):685-699.
- 国家气候中心,2016. 2016 年 1 月全国气候影响评价[R].
- 曲巧娜,范苏丹,车军辉,等,2016. 数值模式对 2016 年 1 月世纪寒潮过程的预报能力检验[J]. 山东气象,36(3):42-48.
- 任福民,高辉,刘绿柳,等,2014. 极端天气气候事件监测与预测研究进展及其应用综述[J]. 气象,40(7):860-874.
- 司东,马丽娟,王朋岭,等,2016. 2015/2016 年冬季北极涛动异常活动及其对我国气温的影响[J]. 气象,42(7):892-897.
- 孙军,湛芸,杨舒楠,等,2012. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(二)极端性降水成因初探及思考[J]. 气象,38(10):1267-1277.
- 吴剑坤,高丽,乔林,等,2015. 基于 T213 集合预报的中国极端温度预报方法研究[J]. 气象科学,35(4):438-444.

- 夏凡,陈静,2012. 基于 T213 集合预报的极端天气预报指数及温度预报应用试验[J]. 气象,38(12):1492-1501.
- Beniston M, Stephenson D B, 2004. Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions [J]. Glob Planet Change,44(1/2/3/4):1-9.
- Grumm R H, Hart R, 2001. Standardized anomalies applied to significant cold season weather events: preliminary findings[J]. Wea Forecasting,16(6):736-754.
- Jolliffe I T, Stephenson D B, 2016. 预报检验: 大气科学从业者指南:第 2 版[M]. 李应林,译. 北京:气象出版社:29-54.
- Junker N W, Grumm R H, Hart R, et al, 2008. Use of standardized anomaly fields to anticipate extreme rainfall in the mountains of northern California[J]. Wea Forecasting,23(3):336-356.
- Lalauette F, 2003. Early detection of abnormal weather conditions using a probabilistic extreme forecast index[J]. Quart J Roy Meteor Soc,129(594):3037-3057.
- Munich R, 2002. Topics, An Annual Review of Natural Catastrophes[M]. Munich:Munich Reinsurance Company Publications:49.
- Richardson D S, Bidlot J, Ferranti L, et al, 2011. No. 654. Verification statistics and evaluations of ECMWF forecasts in 2010—2011[R]. England:ECMWF.
- Solomon S, Qin D, Manning M, et al, 2007. Climate change 2007: the physical science basis[R]. Cambridge, United Kingdom and New York,NY,USA:Cambridge University Press.
- Stephenson D B, 2008. Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events[M]//Diaz H F, Murnane R J. Climate Extremes and Society. Cambridge: Cambridge University Press:348.
- Zhai Panmao, Sun Anjian, Ren Fumin, et al, 1999. Changes of climate extremes in China[J]. Climatic Change,42(1):203-218.