

李淑娟,毛炜峰,陈静,等.基于 DERF2.0 的中天山北坡经济带秋季延伸期强降温过程预报检验[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(2):49-58.  
doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.02.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 基于 DERF2.0 的中天山北坡经济带秋季延伸期强降温过程预报检验

李淑娟<sup>1,2</sup>,毛炜峰<sup>1,2</sup>,陈静<sup>1,2</sup>,于晓晶<sup>1,2</sup>,贾孜拉·拜山<sup>3</sup>

(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;

2.中亚大气科学研究中心,新疆 乌鲁木齐 830002;3.新疆气候中心,新疆 乌鲁木齐 830002)

**摘要:**基于观测及 DERF2.0 预报数据,应用多种气候检验指标,针对 1983—2013 年间中天山北坡经济带 8 个代表站的秋季日最低气温进行检验,结果表明:(1)秋季日最低气温的预报效果存在空间和年际差异。东部奇台、木垒预报效果优于中西部 6 站;整体预报能力延伸期弱于中短期,且随预报时效延长而减弱。(2)预报与观测的相关程度较高,但滤除秋季降温背景趋势后日最低气温预报与观测之间的相关程度降低明显,在延伸期时段相关系数从 0.8 降至 0.3 以下。不论是否去趋势,温度序列由暖向冷转变的季节趋势越明显,预报的相关性就越好。(3)逐日最低气温预报偏差以偏低为主,随季节推进由 9 月初的最大 -6℃ 逐渐转变为 11 月底的 2℃ 以内;多年综合预报 PS 评分普遍低于 60 分,站点之间差别较大,奇台站评分相对最高,乌鲁木齐最低,乌鲁木齐的逐年 PS 评分与其秋季年平均温度分布反向对应,年平均温度越高(低),评分越低(高)。(4)24 h 变温的预报偏差整体小于逐日温度,但预报的整体相关程度和相对于观测的离散程度均较逐日温度差,预报时效在 5 d 内的 24 h 变温预报效果相对最好。(5)强降温过程的预报能力整体偏弱,初始过程的温度预报偏低,结束过程的温度预报偏高,过程降温幅度预报偏小,过程降温幅度越大,偏小程度越严重,预报时效越长,预报偏差越大。DERF2.0 模式的延伸期预报产品对于中天山北坡经济带的秋季强降温过程预报具有一定的参考价值,但是支持能力有限,需要考虑更多方法来探讨提高延伸期预报水平。

**关键词:** DERF2.0; 中天山北坡; 延伸期; 预报效果

**中图分类号:** P456.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-0799(2021)02-0049-10

中国气象局气候中心第二代动力延伸预测模式系统(DERF2.0)是基于第一代(DERF1.0)的升级,2014 年向各省推送业务应用的同时下发了 1983—2013 年的历史回算数据,各省在进行模式预报能力检验时大多基于这一数据,鉴于模式性能稳定,文中的相关工作也是基于这一时段的数据展开。在模式

应用过程中,很多学者对其预报性能进行了分析,认为 DERF2.0 系统受地形、下垫面等因素的影响,对不同要素的预报效果在不同区域存在一定差异:模式对极端旱涝事件具有一定预报能力<sup>[1]</sup>,但月平均温度预报与观测实况仍然存在较大偏差,模式预报有较大改进空间<sup>[2-3]</sup>,针对广西 87 个台站的气温和降水展开检验评估,发现该系统对广西月气温的总体效果优于降水,气温和降水的预测效果存在明显的月季变化,夏季的预报效果最差<sup>[4]</sup>,而重庆地区 34 个测站的 2 月气温和 8 月 500 hPa 高度场经过检验后,预测效果低纬好于中高纬,8 月总体好于 2 月<sup>[5]</sup>,

收稿日期:2020-02-15;修回日期:2020-06-05

基金项目:新疆气象局中亚基金(CAAS201812);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(IDM2016003)

作者简介:李淑娟(1982—),女,助理研究员,主要从事气候诊断与模式检验等相关工作。E-mail: 1012944553@qq.com

贵州省冬季和春季的气温预测评分较好, 秋季降水预测评分最高, 基本能够预测出贵州的秋季总体旱涝趋势<sup>[6]</sup>, 基于甘肃省 1 月 2 m 温度的预报效果评估结果, 认为模式对气温的空间模态有较好的回报结果, 但气温异常变化的中心及空间趋势与观测有较大差异<sup>[7]</sup>, 对于 2013 年乌鲁木齐站春季温度的预报性能而言, 预报偏差随预报时效推进而增大, 延伸期预报偏差明显大于中期<sup>[8]</sup>。

中天山北坡经济带属于典型的干旱绿洲经济区, 是新疆现代工业、农业、交通信息、教育科技等最为发达的核心区域, 是未来新疆经济发达的综合示范区, 自然资源条件优越, 可是生态环境相对脆弱, 受气候条件影响显著, 尤其在寒潮偏多年份, 秋季寒潮过程的爆发次数往往最多<sup>[9]</sup>, 给当地农牧业等的生产收获和发展带来巨大灾难。为规避或减少灾害天气带来的损失, 给防灾减灾工作争取时间, 不断提高中期(预报时效在 10 d 以下)至延伸期预报(预报时效为 10~30 d)的准确率尤为必要。第二代动力延伸预测模式系统(DERF2.0)是新疆气候中心气候延伸期及中期预测的重要参考工具, 但是产品应用过程中缺乏系统的检验评估, 业务参考主要基于定性误差判断, 缺乏定量的偏差分析依据。因此, 借鉴以往的模式预报检验方法<sup>[10-17]</sup>, 针对中天山北坡经济带 8 个代表台站, 包括呼图壁、玛纳斯、乌鲁木齐、昌吉、阜康、吉木萨尔、奇台和木垒站, 进行秋季最低温度的预报检验, 客观评估 DERF2.0 模式的预报性能, 以期能为延伸期预报改进提供量化参考, 为防灾减灾提供气候预测基础。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

中天山北坡经济带选取 8 个代表站(图 1): 呼图壁(Hutubi)、玛纳斯(Manasi)、乌鲁木齐(Urumqi)、昌吉(Changji)、阜康(Fukang)、吉木萨尔(Jimusaer)、奇台(Qitai)和木垒(Mulei)站。观测资料为上述站点的 2 m 逐日最低气温( $T_{\min}$ )资料, 来自新疆气象信息中心, 时间为 1983—2013 年秋季, 即 9 月 1 日—11 月 30 日。预报数据来自国家气候中心 DERF2.0 模式输出的未来 1~52 d 逐日  $1^\circ \times 1^\circ$  分辨率的最低气温预报数据(20 个全样本集合平均), 资料选取时段为 1983—2013 年每年的 7 月 12 日—11 月 30 日。数据分析时, 采用双线性插值方法插值为站点数据进行运算, 再结合站点观测实况进行检验。

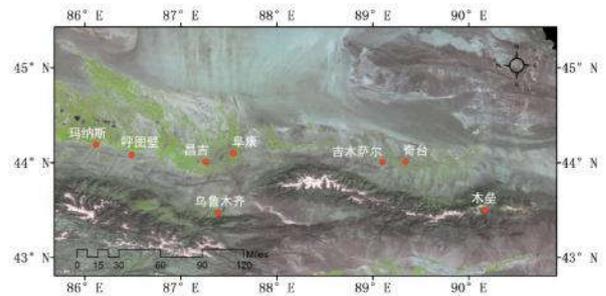


图 1 中天山北坡经济带 8 个代表站分布

### 1.2 检验方法

检验中使用了预报偏差分析确定模式的预报偏差, 采用相关分析获得预报结果与观测的协同变化关系, 应用均一化标准差对预报与观测的离散程度进行诊断, 还利用均方根误差以及 PS 评分指标对预报的整体偏差水平进行检验, 其中, 均一化标准差(NSTD)、均方根误差(RMSE)、PS 评分的计算公式如下:

$$N_{STD} = S_{TDM} / S_{TDO} \quad (1)$$

$N_{STD}$  为均一化标准差, 是模式模拟数据的标准差和观测数据标准差的比值<sup>[10]</sup>, 其中,  $S_{TD} =$

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$$

$N$  为样本数,  $X_i$  为第  $i$  个样本的值,  $\bar{X}$  是  $N$  个样本的平均值。均一化标准差反映数据离散程度, 为评估 DERF2.0 模式模拟结果与观测值时间序列之间的差异,  $i$  为时间样本。一般认为 NSTD 的值介于 0.75~1.25 的模式模拟性能良好。

$$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{M,i} - X_{O,i})^2} \quad (2)$$

其中,  $R_{MSE}$  为均方根误差,  $N$  为样本量,  $X_{M,i}$  和  $X_{O,i}$  分别为第  $i$  个样本的模拟值和观测值。均方根误差反映模式预报数据和观测实况的整体偏差水平,  $R_{MSE}$  越小、越接近 0, 表明模拟效果越好。

$$PS = \frac{P}{N} \times 100 \quad (3)$$

其中,  $P$  为预测正确总次数,  $N$  为预测总次数<sup>[14]</sup>,  $PS$  评分为综合评分, 其值用  $Ps$  表示, 用于衡量预报准确率, 评分的偏差标准采用业务标准中的  $\pm 2^\circ\text{C}$ , 不对温度进行进一步的等级划分。

检验对象分别为: 秋季逐日气温预测检验, 秋季逐日 24 h 变温预测检验, 秋季典型降温过程预测检验。预报偏差为 DERF2.0 输出的预报值减去对应的观测实况, 当偏差  $< 0^\circ\text{C}$  时, 称为冷偏差, 当偏差  $> 0^\circ\text{C}$  时, 称为暖偏差。

## 2 秋季逐日最低温度检验分析

根据 1983—2013 年的观测数据(图 2a),中天山北坡经济带 8 个代表站的多年平均秋季逐日最低气温整体随季节推进而在波动中下降,站点间的下降趋势以及幅度差异不大。乌鲁木齐站的秋季平均日最低温度最高,奇台站最低,二者多年秋季平均温度相差 3.6 °C;乌鲁木齐多年平均秋季日最低气温在 9 月 1 日最高,为 14.6 °C,在 11 月 28 日最低,为 -10.0 °C,近 31 a 平均秋季温度呈升高趋势(图 2b);奇台站秋季的日最低气温最高温度 9 月 1 日最高,为 11.1 °C,11 月 29 日最低,为 -15.5 °C。

### 2.1 预报偏差

基于 DERF2.0 预报结果,对 1983—2013 年秋季(9 月 1 日—11 月 30 日)逐日最低气温计算预报偏差并进行多年平均,得到 8 个代表站 1~52 d 不同预报时效的日平均最低气温预报偏差(图 3,只选取 1、5、10、15、20、30 d 共 6 个预报时效)。无论预报时效长短,各站秋季日最低气温预报偏差整体以冷偏差为主,即预报结果较实况日最低气温偏低,冷偏差幅度随季节变化特征大致分为两种类型。第一类,9 月初冷偏差幅度最大,之后偏差幅度逐渐减小,到秋季后期(11 月中下旬)出现明显正偏差,各阶段的偏差主要介于 -6~2 °C,测站包括:乌鲁木齐、玛纳斯、呼图壁、昌吉、阜康。第二类,9 月初为弱冷偏差,之后冷偏差幅度逐渐增大,10 月中旬后冷偏差幅度逐渐减小,到 11 月中下旬为明显正偏差,偏差范围主要在 -3~5 °C,测站包括:奇台、木垒、吉木萨尔。

整体而言,乌鲁木齐站的预报偏差最大,10 月上旬之前,奇台站的预报偏差最小,10 月上旬之后,木垒站的预报偏差最小。各站的预报偏差整体随预报时效延长而增大,但是当季节推进到 11 月底(多数站点在 11 月 28 日以后)、所有时效的预报偏差均 >0 °C 时,预报时效为 1 d(d1)的预报偏差是所有预报时效中最大的,这可能和秋冬季节转换期间初值场中雪盖等下垫面要素的偏差有关。在整个秋季,

DERF2.0 模式的预报偏差由冷偏差逐渐向暖偏差转变,这可能是由系统误差造成,而站点之间的空间差异,很可能是因为模式对沿天山一带的地形、海拔等综合因素的模拟能力不足而导致。

### 2.2 相关系数

分别将提前 1~30 d 预报的各站 31 a 秋季逐日最低温度与观测实况进行整体超前相关分析,各测站在每个预报时效下相关系数的计算样本量为 2 821 个,结果见图 4。DERF2.0 模式预报输出的 8 站秋季逐日预报结果与实况之间的相关系数整体介于 0.84~0.95,随着预报时效的延长而减小(图 4a),去除季节变化的线性趋势之后,相关系数下降明显(图 4b),最大相关系数为 0.36,最小为 -0.02,表明 DERF2.0 模式对日最低气温的季节变化趋势把握较好,但是对去除线性变化趋势后的逐日温度预报能力相对较弱。

以乌鲁木齐站为例,分析 DERF2.0 模式的逐年预报效果是否稳定。计算乌鲁木齐站每年秋季提前 1~30 d 的 DERF2.0 预报的日最低气温与实况之间的相关系数,每年秋季计算相关系数样本为 91,提前 1 d(d1)、5 d(d5)、10 d(d10)、15 d(d15)、20 d(d20)以及 30 d(d30)的 6 个预报时效的相关系数结果见图 4c、4d。乌鲁木齐(图 4c)不同预报时效的相关系数在各年份普遍高于 0.8,表明预测和观测的时间一致性较好。去除季节变化的线性趋势之后(图 4d),逐年的相关系数整体介于 -0.4~0.9,较去趋势之前的 0.72~0.97 这一变化区间有大幅下降,不同预报时效间的相关系数差异也明显增大,预报时效越长,相关系数越小,预报时效在 18 d 以上时,多站的相关系数接近 0,对预报的参考价值有限,同时,延伸期内不同时效的相关系数差异远小于中短期。

值得关注的是,逐年相关系数中,去除季节变化的线性趋势后,当预报时效为 15 d 时,整个区域平均有 29% 的年份相关系数通过了 0.05 的显著性检验,其中,奇台站通过 0.05 的显著性检验的比率最

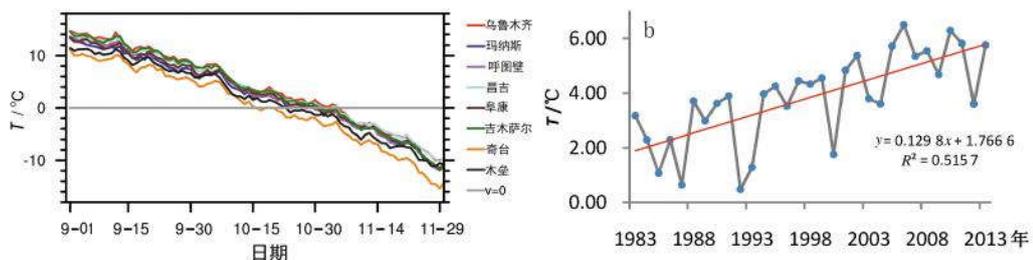


图 2 中天山北坡经济带 8 个代表站秋季多年平均日最低温度(a)及乌鲁木齐秋季年平均最低温度(b)(秋季从 9 月 1 日—11 月 30 日,共 91 d;图 b 中红色线条为温度变化趋势线)

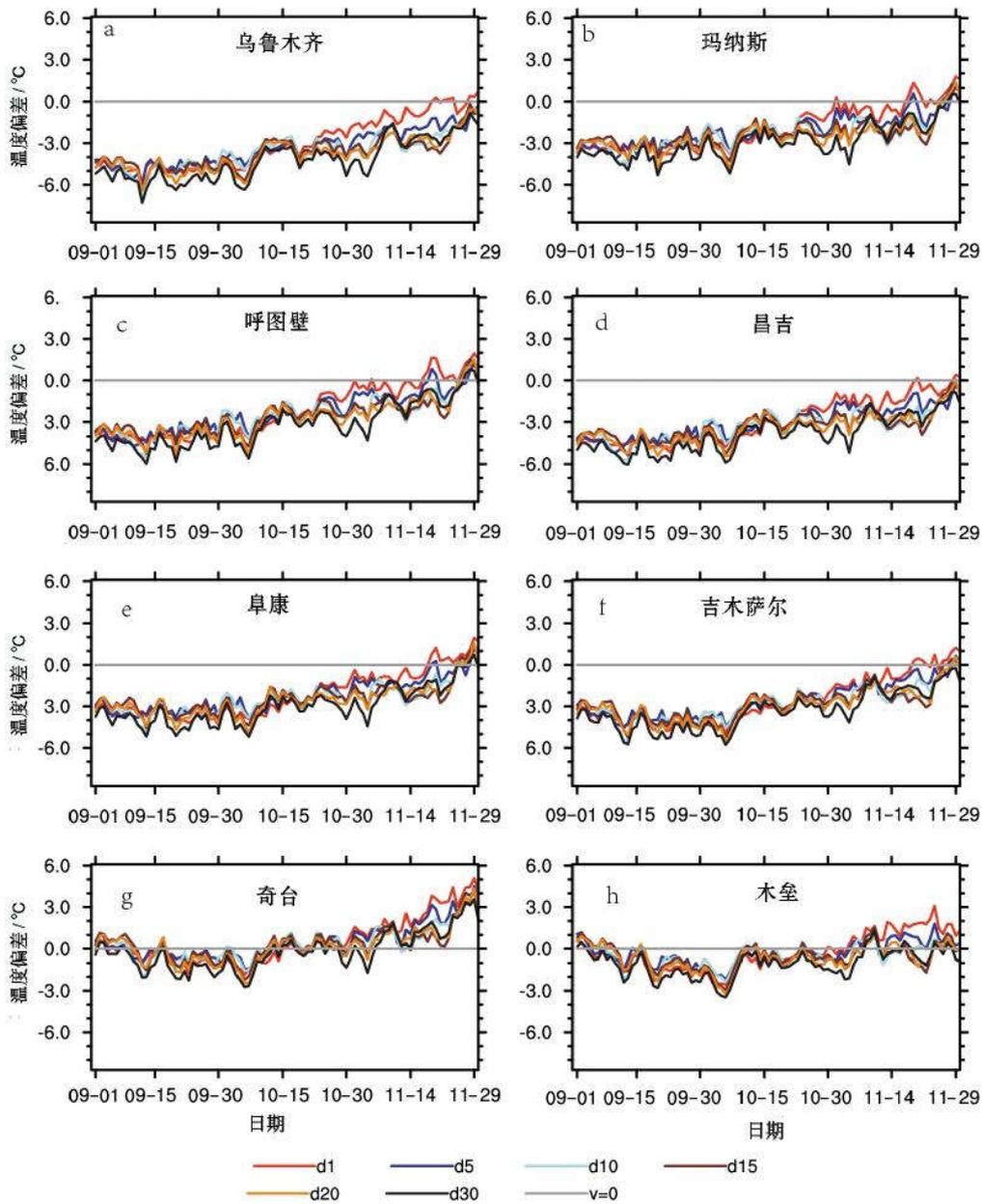


图3 8个代表站秋季平均日最低温度预报偏差

(横坐标为日期,代表秋季从9月1日—11月30日共91 d,纵坐标表示温度偏差,不同色的线条表示不同的预报时效,图中共提取提前1、5、10、15、20、30 d共6个时次的DERF2.0模式预报数据与观测数据进行偏差对比,并对每个时次的逐日预报偏差进行多年平均,v=0表示平均温度偏差为0℃的标识线)

高,达到35%,呼图壁最低,为23%,而乌鲁木齐为32.3%(10 a,图4d),这表明DERF2.0模式在延伸期时效内对日最低气温仍具有一定预报能力。此外,预报时效为15 d时,去除季节变化趋势前,在普遍高值的相关系数背景下1994年相关性最差(图4c),去趋势后,在普遍低值相关的背景下1997、2006和2009年的相关性最好,均在0.6以上(图4d),通过温度分析后认为,不论是否去除温度的季节变化趋势,温度分布由暖向冷转变的季节变化趋势越强,相

关性越好、可预报性越强。反之,则相关度降低、可预报性减弱,如2009年的温度分布由暖向冷转变的季节性趋势很明显,去除季节变化的趋势后,温度分布仍然有很强的暖向冷转变趋势,因此,去趋势前后这一年的预报相关性均很好。

### 2.3 离散程度(NSTD)

分别分析了8站的31 a秋季以及逐年秋季的日最低气温不同预报时效的预报离散程度(NSTD)。NSTD介于0.75~1.25的预报效果较好,越接近1代

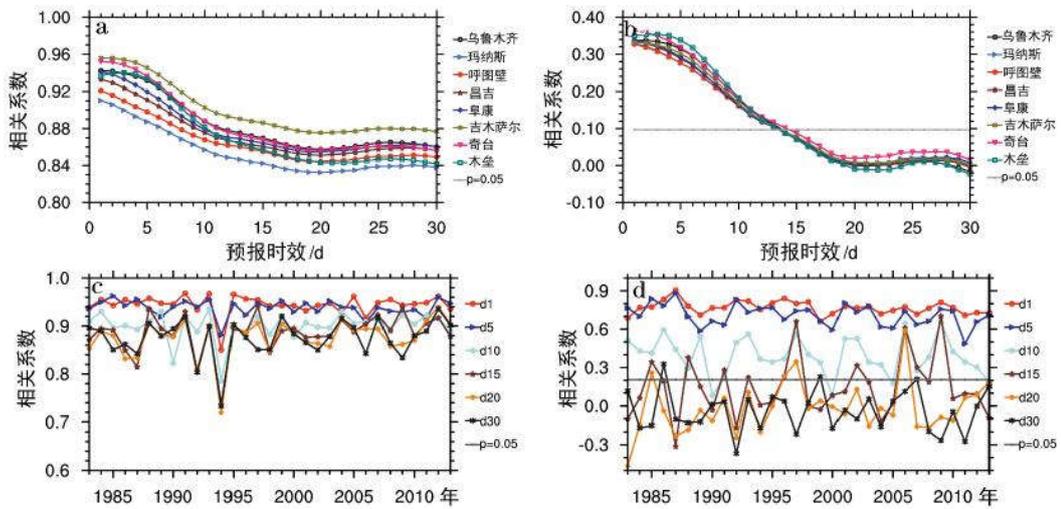


图 4 秋季最低温度的预报相关系数

(a 为 8 个代表站的整体相关系数,b 为 8 个代表站去除线性趋势后的整体相关系数,图 c 和 d 为乌鲁木齐站不同年份去除线性趋势前后的相关系数; $p=0.05$  表示 0.05 的显著性临界值,大于该值表示通过 0.05 的显著性检验)

表预报与观测的离散程度越接近。图 5a 中,8 站预报时效为 1~30 d 的预报结果的均一化标准差 (NSTD) 在 0.72~0.89,NSTD 在较为合理的范围,且各站延伸期的 NSTD 随预报时效推进而减小,中短期预报时段内的 NSTD 表现为先增大后减小,峰值出现在预报时效为 5 d 时。结合图 4 的结果,NSTD 较高主要是因为 DERF2.0 对秋季最低温度的季节变化趋势把握较好。

以乌鲁木齐为例,分析逐年秋季日最低气温的 NSTD 变化情况(图 5b),NSTD 在不同年份的变化并不总是随预报时效的推进而呈规律性变化,也没有哪一个预报时效能在整个检验时段内始终表现为预报效果最好(NSTD 接近 1),但相对来说,预报时效为 5 d 时,整体预报离散程度为所有预报时效中最好,其 NSTD 均普遍在 0.75 以上且更接近 1。

#### 2.4 均方根误差(RMSE)

8 个代表站秋季日最低气温的 31 a 整体以及逐年不同预报时效的均方根误差(RMSE)如图 6。各

站的整体偏差较大,多年整体 RMSE 均远大于 1(图 6a),站点之间的 RMSE 差别明显,奇台和木垒站的 RMSE 较小,介于 2.8~4.4,乌鲁木齐站的 RMSE 较大,变化范围在 4.2~6.0。各站的 RMSE 在延伸期和中短期内均随预报时效延长而增大,但延伸期的变化趋势较中短期明显减缓,尤其是奇台和木垒,延伸期内的 RMSE 基本在 3.8~4.4 小幅变化。RMSE 的结果与偏差分布(图 3)基本对应,即偏差越大,RMSE 越大。

乌鲁木齐逐年的 RMSE(图 6b)介于 3.0~7.0,在不同年份(从 1983—2013 年)存在较大差别,但 RMSE 在整个检验时段内基本随预报时效的推进而增大。

#### 2.5 PS 评分

基于多年综合 PS 评分结果(计算同相关系数),奇台站的预报准确率较高(最高 57.21 分),乌鲁木齐相对较低(最高 31.02 分),这种空间差异可能与地形因素、下垫面情况、温度分布等密切相关,

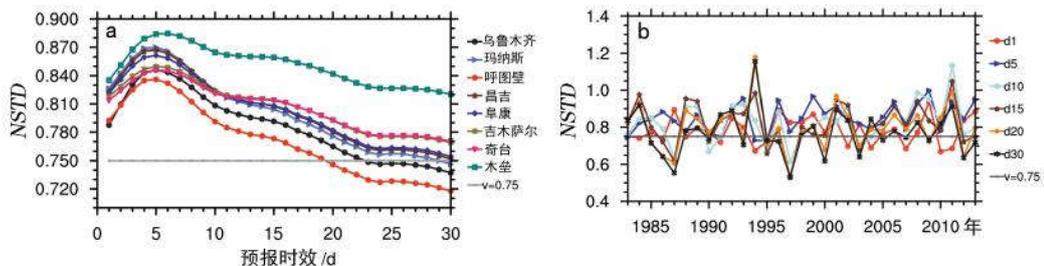


图 5 秋季最低温度的均一化标准差(NSTD)

(图 a 为 8 个代表站的整体均一化标准差(NSTD),图 b 为乌鲁木齐秋季逐年最低温度的 NSTD, $v=0.75$  表示 NSTD 值为 0.75 的标识线)

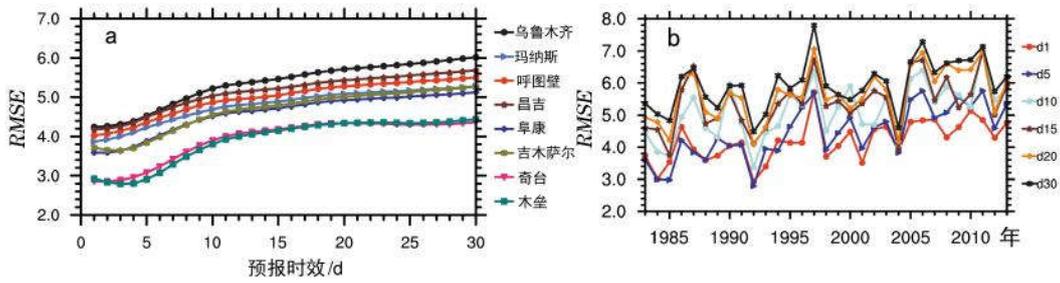


图6 秋季最低温度预报均方根误差(RMSE)

(图a为8个代表站的整体均方根误差(RMSE),图b为乌鲁木齐秋季逐年最低温度的RMSE)

各站 PS 评分随预报时效推进而减小。单站逐年的 PS 评分随年份、预报时效的不同差别较大,虽然整体的预报能力随预报时效延长而减弱,但也存在异常情况,如最高 PS 评分(52.75 分)出现在 1992 年时,对应的预报时效为 5 d(d5)而非 1 d(d1)。值得关注的是,乌鲁木齐逐年的 PS 评分整体有下降趋势,而且其评分的年际变化与秋季平均温度的年际变化基本反向对应,即平均温度越高(低),评分越低(高)。

### 3 24 h 变温及强降温过程预报效果检验

以上分析了 DERF2.0 对沿天山 8 个代表站秋季日最低气温的预报能力,而强降温过程的预报效果检验更加关注 24 h 变温预报,因此对日最低气温的 24 h 变温预报效果进行检验。

#### 3.1 24 h 变温预报效果检验分析

##### 3.1.1 偏差分析

24 h 变温的预报值减去实况值即为 24 h 变温的预报偏差,计算逐年秋季(91 d)日最低温度的 24 h 变温(每年 90 个变温值),并进行多年平均,得到多年平均 24 h 变温偏差分布,各站的偏差分布差别不大。

在整个秋季,多年平均 24 h 变温偏差主要在  $\pm 1.5$  °C 之间波动变化,站点之间、不同预报时效之间的偏差变化不大,但是偏差的变动幅度相对较大,基本介于 1~4 °C,其中玛纳斯与呼图壁偏差的绝对值相对最大,在整个季节内,除奇台和木垒在 11 月中下旬偏差幅度最大外,其他站点的偏差最大幅度均出现在 9 月下旬,所有站点的最小偏差幅度基本都在 10 月中下旬、预报时效为 1 d 和 5 d 时,预报时效进入延伸期后,偏差幅度相对较大、但时效之间差异不大。

##### 3.1.2 相关系数、RMSE、NSTD 分析

对 8 个代表站 31 a 间不同预报时效的 24 h 变温数据(样本量共 2 790 个)计算相关系数、NSTD 以

及 RMSE。各站的相关系数在预报时效  $\leq 10$  d 时均通过了 0.05 的显著性检验,其中,在预报时效  $\leq 5$  d 时相对较高,普遍在 0.35 以上。相关系数存在空间差别,最大的站点为奇台、最小为木垒,随着预报时效的推进,站点之间的差别逐渐减小,延伸期内,各站点之间的相关系数差别不大,均未通过 0.05 的显著性检验。各站的 24 h 变温的预报离散程度普遍小于观测,所有站点中,只有乌鲁木齐和昌吉在预报时效  $\leq 5$  d 时的 NSTD  $\geq 0.75$ ,其他预报时效和站点的 NSTD 均低于 0.75,这表明 24 h 变温预报值的波动远小于实际观测。各站不同预报时效的 RMSE 介于 2.2~3.4,随预报时效的推进而增大,在延伸期基本稳定,但 RMSE 存在站点间差异,玛纳斯整体最大,吉木萨尔最小。相比于逐日预报的 RMSE (图 6a),24 h 变温的 RMSE 相对较小,可是二者均远大于 1。结合乌鲁木齐逐年不同预报时效的相关分析、NSTD 以及 RMSE,不同年份的结果差别较大,但预报时效为 1 d 和 5 d 的预报效果均为最优,表明预报时效在 5 d 以内的 DERF2.0 模式对 24 h 变温的预报结果参考价值相对较高。

综合以上分析,相比于逐日最低气温的预报,DERF2.0 模式对 24 h 变温的延伸期预报能力更低,离散程度预报偏弱,虽然 RMSE 相对较小,但也远大于 1,整体对 24 h 变温的预报能力较逐日最低温度弱,业务参考价值有限。

##### 3.2 强降温过程预报效果评估

基于 DERF2.0 模式对逐日最低气温及 24 h 变温的预报能力分析,对中天山北坡经济带 8 个代表站的强降温过程进行预报能力检验。参照《冷空气等级》(GB/T20484—2017)中对冷空气级别的划分,单站强降温过程为 48 h 过程降温  $\geq 8$  °C,且最低气温  $< 8$  °C,或者使某地的日最低气温 24 h 内降温幅度  $\geq 8$  °C,或 48 h 内降温幅度  $\geq 10$  °C,或 72 h 内降温幅度  $\geq 12$  °C,而且使该地日最低气温  $\leq 4$  °C 的冷空气活动。依据上述标准,1983—2013 年秋季,同时

覆盖 8 个代表站的强降温过程共计 20 次(表 1),将 8 个代表站的降温幅度进行平均作为区域降温幅度,最大区域降温幅度达到 $-26.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1987 年),最小区域降温幅度为 $-10.19\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1994 年),发生次数最多年份为 2003 年,同一年秋季爆发 3 次。选取区域降温幅度最大(1987 年)和 2003 年区域降温幅度最大的过程作为典型分析过程,过程信息见表 2。2 次典型过程的预报偏差如图 7。

DERF2.0 模式对两次强降温过程的预报偏差较大,随着预报提前的日数越多、预报偏差整体越大。综合来看,两次过程初始温度的预报偏差在不同预报时效均以冷偏差为主(图 7a, 7b),结束温度的预报偏差以暖偏差为主(图 7c, 7d),造成过程降温幅度预报偏小(图 7e, 7f)。过程 1 中,预报时效 $<10\text{ d}$ 时,玛纳斯、呼图壁和昌吉站的过程起始温度预报偏差普遍 $<3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,其他站均 $<2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,预报时效在 $10\text{ d}$ 以上时,各站的预报偏差随预报时效推进增长较快,在预报时效为 $15\text{ d}$ 前后达到最大,而过程结束温度的预报偏差(尤其是暖偏差)整体偏高且幅度较大,其中呼图壁站的预报比实际降温偏高 $35.44\text{ }^{\circ}\text{C}$ (呼图壁),造成过程降温幅度预报偏小。过程 2 中,过程的

初始温度预报偏低,偏差在各预报时效主要介于 $-15\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最大偏差为 $-16.32\text{ }^{\circ}\text{C}$ (玛纳斯),而过程结束温度预报偏高,虽然大多数站点的预报偏差在所有预报时效中普遍 $<2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但同样造成过程降温幅度预报偏小。

2 次过程的降温幅度不同,预报的偏差也不同,综合来看,过程起始温度越高,冷偏差越大,过程结束温度越低,暖偏差越大,强降温过程的降温幅度越大,预报偏差越大。

#### 4 结论与讨论

综合评估 DERF2.0 模式在 1983—2013 年间对中天山北坡经济带 8 个代表站秋季中短期及延伸期最低温度的预报效果,结论如下:

(1)DERF2.0 对秋季日最低气温的预报效果存在空间差异和时间差异,整体而言,北疆沿天山东部的奇台和木垒两站逐日温度的预报效果优于其他站。对秋季日最低气温季节变化趋势、离散程度的预报把握较好,延伸期预报能力明显低于中短期预报。

(2)DERF2.0 模式对 8 站的预报偏差整体介于 $-6\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,以冷偏差为主,乌鲁木齐的预报偏差整

表 1 中天山北坡经济带秋季强降温过程

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
发生年月	1985-10	1986-09	1987-11	1990-11	1990-11	1992-11	1993-09	1993-11	1994-10	1996-10
区域降温幅度/ $^{\circ}\text{C}$	-11.14	-14.29	-26.18	-12.30	-16.35	-14.55	-15.20	-13.44	-10.19	-12.55
序号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
发生年月	1997-11	1997-11	1998-09	1998-11	2001-11	2002-09	2003-09	2003-10	2003-11	2012-11
区域降温幅度/ $^{\circ}\text{C}$	-16.89	-14.40	-11.99	-17.04	-11.36	-13.11	-10.99	-12.85	-12.29	-11.26

表 2 2 次典型强降温过程

过程 1(1987 年 11 月)								
站点	乌鲁木齐	玛纳斯	呼图壁	昌吉	阜康	吉木萨尔	奇台	木垒
过程起止时间/月日	11-22—11-26	11-21—11-26	11-21—11-26	11-21—11-27	11-22—11-26	11-22—11-26	11-22—11-27	11-21—11-26
过程起始温度/ $^{\circ}\text{C}$	-3.4	-1.2	-1	-1.2	-2	-2.1	-2.6	-4.4
过程结束温度/ $^{\circ}\text{C}$	-27.8	-28.7	-30.4	-29.6	-26.9	-25.4	-29.6	-28.9
过程降温幅度/ $^{\circ}\text{C}$	-24.4	-27.5	-29.4	-28.4	-24.9	-23.3	-27	-24.5
过程 2(2003 年 10 月)								
过程起止时间/月日	10-30—11-01	10-31—11-02	10-31—11-02	10-30—11-01	10-30—11-01	10-30—11-01	10-31—11-01	10-29—11-01
过程起始温度/ $^{\circ}\text{C}$	11.5	8.5	8.7	10.6	6.9	8.9	4.4	11.3
过程结束温度/ $^{\circ}\text{C}$	-2.2	-4.3	-3.9	-2.1	-3.8	-3.4	-7.8	-4.5
过程降温幅度/ $^{\circ}\text{C}$	-13.7	-12.8	-12.6	-12.7	-10.7	-12.3	-12.2	-15.8

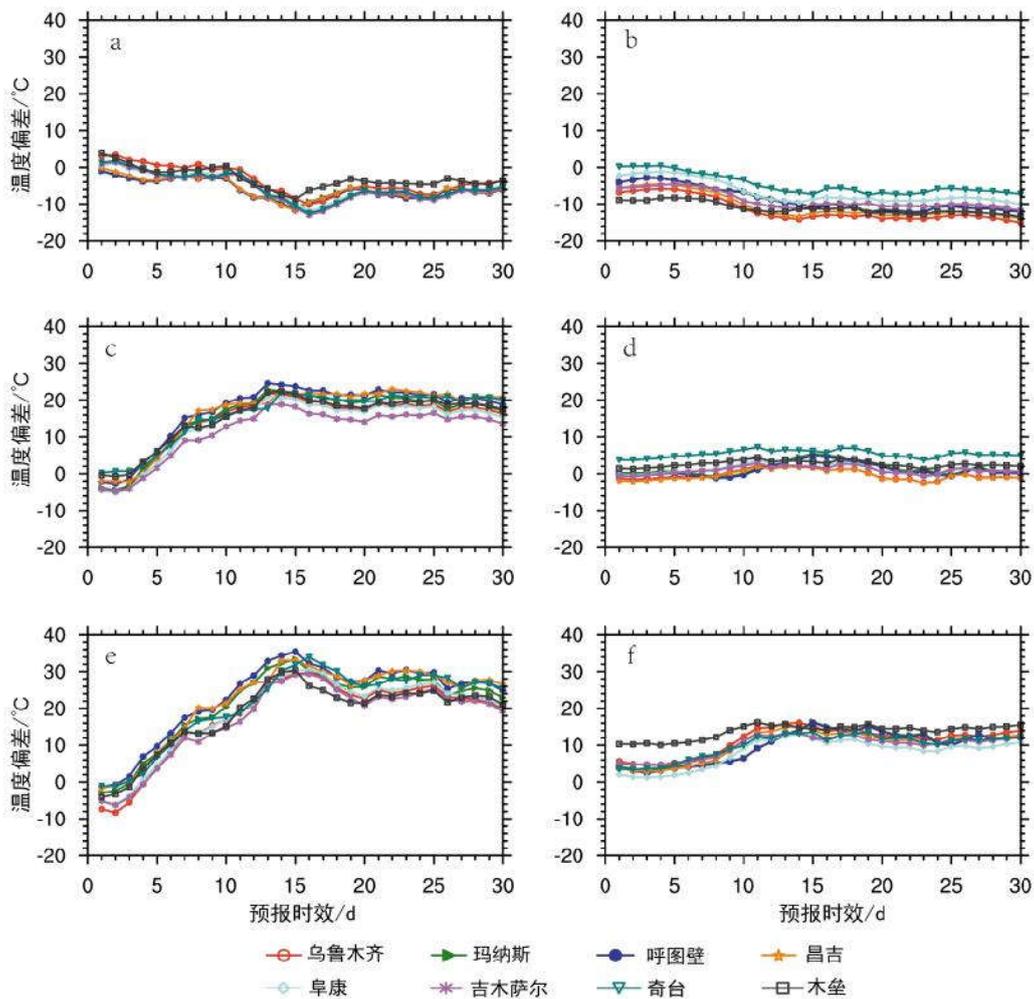


图7 2次典型强降温过程的预报偏差

(图 a、c、e 分别为过程 1 起始温度、结束温度以及过程降温幅度的预报偏差,图 b、d、f 为过程 2 对应的预报偏差)

体最大,奇台和木垒最小。8 站的预报 RMSE 随预报时效的推进而增大,以 10 d 为过渡时效,小于该时效的预报偏差随预报时效推进增大较快,超过该时效后不同时效的预报偏差变化不大。

(3)DERF2.0 模式对最低温度的季节变化趋势把握较好,不论是否去除温度的季节变化趋势,温度分布由暖向冷转变的季节变化趋势越强,相关性越好、可预报性越强,在延伸期也具备一定的预报能力。反之,则相关度降低、可预报性减弱。奇台站整体预报评分最高,乌鲁木齐站相对最低,各站的多年综合 PS 评分整体随预报时效推进而减小,乌鲁木齐的逐年 PS 评分与其秋季年平均温度分布反向对应,即平均温度越高(低),评分越低(高)。

(4)DERF2.0 模式对各测站 24 h 变温的预报偏差较逐日温度小,不同站点、不同预报时效的 24 h 变温预报偏差主要介于 -1~1 °C, 预报的相关性较低,离散程度远小于观测值的 24 h 变温,对 24 h 变温

的预报能力整体弱于逐日温度的预报能力,预报时效为 1 d 和 5 d 的预报结果对业务参考价值相对较高。

(5)强降温过程的降温幅度不同,模式预报的偏差也不同,但 DERF2.0 模式对强降温过程的预报偏差过大。对过程初始温度预报偏低。对过程结束温度预报偏高,导致过程降温幅度预报偏小、强降温过程无法识别。

目前,针对气温变化的中期和延伸期预报主要依赖数值模式,通过上述检验发现,DERF2.0 模式对中天山北坡经济带各代表站的中期最低温度预报以及强降温过程预报有较高的预报参考价值,但是对延伸期温度预报参考价值有限。对北疆沿天山各站的预报偏差的季节内变化特点可能是由 DERF2.0 模式的系统误差导致,站点之间的差异可能和 DERF2.0 模式对于天山北坡一带的地形、海拔等差异描述能力不足密切相关,偏差分布也可能和插值

方法有一定关系。今后一方面需要在更加丰富的资料基础上,全面评估 DERF2.0 对秋季延伸期强降温过程预报能力,另一方面,需要拓展思路,在多种要素资料的基础上进行更广泛探索,积极展开强降温过程预报方法研究,如根据动力模式的中期以及延伸期环流场预报结果,开展统计降尺度方面的方法研究,尝试提高秋季强降温过程预报能力。

#### 参考文献:

- [1] 何慧根,李巧萍,吴统文,等.月动力延伸预测模式业务系统 DERF2.0 对中国气温和降水的预测性能评估 [J].大气科学,2014,38(5):950-964.
- [2] 章大全,陈丽娟.基于 DERF2.0 的月平均温度概率订正预报[J].大气科学,2016,40(5):1022-1032.
- [3] 章大全,王永光.基于 DERF2.0 的长江中下游春播期气候预测[J].应用气象学报,2016,27(2):182-190.
- [4] 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.
- [5] 唐红玉,董新宁,周秀华,等.基于 DERF2.0 产品的重庆月动力延伸期预测分析及应用 [J]. 沙漠与绿洲气象,2016,10(3):1-8.
- [6] 李忠燕,白慧,张娇艳,等.DERF 2.0 对贵州气温、降水的预测性能评估[J].贵州气象,2017,41(3):1-9.
- [7] 卢国阳,林纾,姚瑞,等.DERF2.0 模式低甘肃省 1 月气温模拟的误差分析[J].干旱气象,2020,38(2):329-338.
- [8] 李淑娟,毛炜峰,于晓晶,等.基于 DERF2.0 的乌鲁木齐 2013 年春季降温过程的延伸期预报检验[J].沙漠与绿洲气象,2018,12(3):40-47.
- [9] 毛炜峰,陈颖.1951-2015 年乌鲁木齐市寒潮过程频数及强度气候特征[J].干旱气象,2016,34(3):403-411.
- [10] 吴昊旻,黄安宁,何清,等.10 个 CMIP5 模式预估中亚地区未来 50a 降水时空变化特征[J].干旱区地理,2013,36(4):669-678.
- [11] 孙林海,刘一鸣.区域气候模式对中国夏季平均气温和降水的评估分析[J].气象,2008,34(11):31-39.
- [12] 姜燕敏,吴昊旻.20 个 CMIP5 模式对中亚地区年平均气温模拟能力评估 [J]. 气候变化研究进展,2013,9(2):110-116.
- [13] 徐经纬,徐敏,蒋熹,等.区域气候模式 REMO 对中国气温和降水模拟能力的评估 [J]. 气候变化研究进展,2016,12(4):286-293.
- [14] 田武文,吴素良,王娜.气候预测 PS 评分对业务影响[J].应用气象学报,2010,21(3):379-384.
- [15] 张冰,巩远发,徐影,等.CMIP5 全球气候模式对中国地区干旱变化模拟能力评估 [J]. 干旱气象,2014,32(5):694-700.
- [16] 唐文苑,周庆亮,刘鑫华,等.国家级强对流天气分类预报检验分析[J].气象,2017,43(1):67-76.
- [17] 张宏芳,陈海山.21 个气候模式对东亚夏季环流模拟的评估 I:气候态[J].气象科学,2011,21(2):119-128.

## DERF2.0 Extension Assessment for Autumn Strong Cooling Process in the North Slope Economic Belt of Mid-Tianshan Mountains

LI Shujuan<sup>1,2</sup>, MAO Weiyi<sup>1,2</sup>, YU Xiaojing<sup>1,2</sup>, Jiazila Baishan<sup>3</sup>

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

2. Center for Central Asian Atmosphere Science Research, Urumqi 830002, China;

3. Xinjiang Climate Center, Urumqi 830002, China)

**Abstract** Based on observation and DERF2.0 data of autumn minimum temperature during 1983–2013, using different climate test methods, a preliminary assessment of DERF2.0 prediction ability for 8 typical stations in the North slope economic belt of Mid-Tianshan Mountains is made. The results show that: (1) The prediction ability of daily autumn minimum temperature has obvious spatial and time differences between stations and years. The prediction effect of Qitai and Mulei in the east is better than the other 6 stations in the middle and west, the overall forecast ability of extended period is lower than the mid-short-term evidently, and the total testing ability is decrease with the impel of forecasting time. (2) The correlation between the forecast and observation of daily minimum temperature is high, but it is decreased significantly after filtering out the cooling background trend of autumn, in extended period, the correlation coefficient decreased from 0.8 to less than 0.3; the seasonal trend of weather is filtering out or not, the more obvious the seasonal trend of temperature series from warm to cold is, the better the relevance of prediction is. (3) The forecast bias of daily minimum temperature is mainly cold and gradually changed from  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  at the beginning of September to within  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  at the end of November; the Ps score of prediction is generally lower than 60 and scores have obviously differences between stations, in comparison, the score of Qitai is the highest and Urumqi is the lowest, the yearly Ps score of Urumqi is inversely corresponding to the autumn annual average temperature. The higher (lower) the annual average temperature is, the lower (higher) the score is. (4) The comprehensive forecast bias of 24-hour variable temperature is less than daily temperature, but the correlation and dispersion are worse than daily temperature, the forecast effect of 24-hour variable temperature is relatively best when the forecasting time is within 5 days. (5) The forecasting ability of strong cooling process is totally weak, the prediction bias of initial temperature is low, the ending temperature is high, and cause the cooling range bias is small, the stronger the cooling range is, the more serious the bias degree is, the longer the forecasting time is, the larger the prediction bias is. The extended period forecast products of DERF2.0 model have certain reference value for the forecast of strong cooling process in autumn in the north slope economic belt of the Mid-Tianshan Mountains, but the support ability is limited, more methods need to be considered to discuss improving the extended period forecast level.

**Key words** DERF2.0; the north slope of Mid-Tianshan Mountains; extended period; prediction ability