

郭达烽,段明铿,夏旻惠,等. 模式降水与温度预报的不一致性特征. 应用气象学报,2018,29(3):321-332.

DOI: 10.11898/1001-7313.20180306

## 模式降水与温度预报的不一致性特征

郭达烽<sup>1)2)3)</sup> 段明铿<sup>2)3)</sup>\* 夏旻惠<sup>3)</sup> 陈翔翔<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(江西省气象台,南昌 330046)

<sup>2)</sup>(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

<sup>3)</sup>(南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/  
气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044)

### 摘 要

为探讨模式产品预报不一致性问题,利用 2015 年 11 月—2016 年 10 月业务中常用的 GQEC,GQJP 及 T639 模式的 12 h 降水、2 m 温度网格产品,采用跳跃指数定量计算方法,研究了产品在不同区域内跳跃指数变化与预报不一致性问题。结果表明:产品多日平均跳跃指数随预报时效延长而增大;长时效预报比短时效预报跳跃频率大、预报不一致性也大;对比两种要素可知,降水的跳跃指数比温度大,跳跃频率高,预报不一致性大;对比不同模式发现,GQEC 不仅跳跃指数值小,且跳跃频率低,预报不一致性小,GQJP 虽然跳跃指数值小于 T639,但其跳跃频率更高,预报一致性较 T639 低;产品跳跃频率存在季节差异,夏季降水和温度预报跳跃频率最高而冬季最低,夏季预报不一致性最大。研究还发现:基于跳跃指数的预报不一致性特征与选取的区域大小密切相关,区域越大,跳跃指数和预报不一致性越小;区域内跳跃指数分布特征与地理位置和地形等有关。

**关键词:** 模式产品; 不一致性; 跳跃指数

### 引 言

近年来随着数值天气预报的不断发展,模式数值预报在天气预报业务中地位越来越高,作用越来越大。面对众多的数值预报模式产品,预报员如何选择和应用这些数值模式产品,已成为日常业务预报中的首要任务。这种情况下,对模式产品的检验评估越来越受到重视,其检验评估结果是预报员日常预报业务中参考取舍数值预报产品的重要依据<sup>[1-4]</sup>。同时,在模式发展和投入业务应用过程中,对数值预报模式的检验评估也是其中的一个重要环节<sup>[5-11]</sup>。在数值预报结果的检验评估过程中,常用距平相关系数(ACC)、均方根误差(RMSE)和 TS 评分等评估方法<sup>[12-15]</sup>反映模式产品的优劣。但预报不一致性作为数值预报结果中经常出现的问题,并

未受到足够重视。预报不一致性<sup>[16]</sup>,即同一模式的连续多次预报中,前后两次预报所得出的预报结果之间存在差异较大的现象。实际上,这种预报结果不一致问题,既是日常预报业务中困扰广大预报员的重要问题之一,也是衡量一个数值预报模式优劣以及预报员是否愿意接纳、使用该模式的一个重要指标。

对未来某固定时段(时刻)的预报而言,模式预报往往滚动制作发布,即有多种不同时效的预报。预报的准确性(率)是对多种不同时效的预报误差的一种度量;预报不一致性反映的是对未来某固定时段(时刻)连续多次预报的预报误差随时间的演变特征,两者显然不同,但又有一定内在联系,在实际预报业务中,既要不断提高预报准确性,也要注意减小前后预报的不一致性,否则会影响预报服务效果。因此,对数值模式预报来讲,既希望它能预报准确,

2017-10-17 收到,2018-03-05 收到再改稿。

资助项目:国家自然科学基金项目(41675056),灾害天气国家重点实验室开放课题(2014LASW-A01)

\* 通信作者,邮箱:mingkeng@sina.com

又希望它能在不同的起报时刻有相对的稳定性,即预报不一致性较小。国外很多研究表明,预报不一致性与预报误差有一定相关性<sup>[17-21]</sup>。Pappenberger 等<sup>[22]</sup>采用几何向量学方法,阐述了预报不一致性与预报误差相关性随预报技巧和预报间的差异大小变化。可见,对数值模式产品的不一致性检验分析很有必要,是全面分析评估数值模式的一个重要方面。

近年来,国外逐渐重视对预报不一致性研究,如欧洲中期天气预报中心(ECMWF)围绕其数值预报产品开展了一系列相关研究<sup>[23-27]</sup>。国内相关研究也已逐步开展,郭换换等<sup>[28-29]</sup>以统计研究为主,探讨了集合预报中控制预报和平均预报不一致性的特征,并对集合控制预报与平均预报的不一致性特征进行对比。本文通过定量计算不同数值预报模式产品的预报不一致性,对业务中常用的 12 h 降水、2 m 温度预报进行检验评估,从预报不一致性角度客观评估模式的优劣,为预报员在实际工作中选择应用模式产品提供参考。

## 1 模式产品与方法

### 1.1 模式产品

数值模式产品选用的是各地气象台站预报业务中最具代表性、最常用的国家气象信息中心广播下发的 ECMWF 高分辨率模式(GQEC)、日本气象厅(JMA)高分辨率模式(GQJP)、中国气象局数值预报中心 T639 模式(T639)产品。本文以这 3 种模式产品为研究对象,选取 2015 年 11 月 1 日—2016 年 10 月 31 日逐日 08:00 和 20:00(北京时,下同)起报的格点预报资料,其中 GQEC 水平分辨率为  $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ , GQJP 水平分辨率为  $0.50^{\circ} \times 0.50^{\circ}$ , T639 水平分辨率为  $1.00^{\circ} \times 1.00^{\circ}$ 。考虑到预报不一致性具有区域敏感性和要素敏感性<sup>[20]</sup>,且预报不一致性指数对分析区域敏感的性质,为了更好地说明不一致性检验的要素适用性及不同区域的差别,分析过程中选择 3 个不同区域(图 1):区域 I 代表大区域,

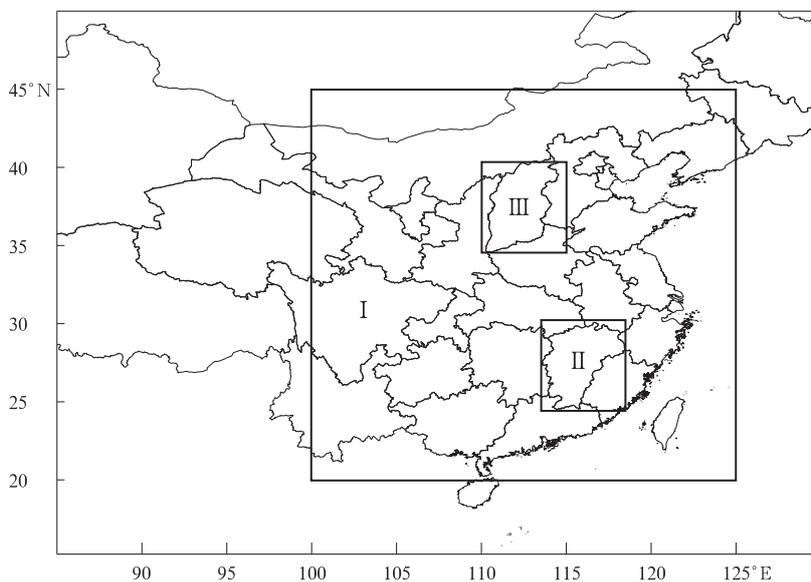


图 1 研究区域选择

Fig. 1 Selection of target areas

$20.0^{\circ} \sim 45.0^{\circ} \text{N}$ ,  $100.0^{\circ} \sim 125.0^{\circ} \text{E}$ ; 区域 II 代表江西区域,  $24.5^{\circ} \sim 30.5^{\circ} \text{N}$ ,  $113.5^{\circ} \sim 118.5^{\circ} \text{E}$ ; 区域 III 代表山西区域,  $34.5^{\circ} \sim 40.5^{\circ} \text{N}$ ,  $110.0^{\circ} \sim 115.0^{\circ} \text{E}$ , 分别计算统计。选取 12 h 降水、2 m 温度为检验对象。

### 1.2 不一致性定量检验方法

对预报不一致性的定量检验方法是在常用的评价检验方法基础之上,通过建立不一致性指数实现。

目前不一致性指数比较少,主要包括 Jumpiness 指数<sup>[25]</sup>, Convergence 指数<sup>[26]</sup>, Ruth-Glahn forecast convergence 评分<sup>[27]</sup>等。本文拟采用 Jumpiness 指数进行定量检验。

Jumpiness 指数<sup>[25]</sup>是 Zsoter 等提出的一个适用于确定性预报的不一致性指数,定义为前后两次预报之差与两次预报的平均标准差之比,即

$$\sum [f(a,t),s] = \frac{\text{diff} \sum [f(a,t),f(a+s,t-s)]}{0.5 \left\{ \sum [f(a,t)] + \sum [f(a+s,t-s)] \right\}} \quad (1)$$

式(1)中,  $f(a,t)$ 与  $f(a+s,t-s)$ 表示预报时刻均为  $(a+t)$ 的两个相邻起报时刻的预报结果,起报时刻分别为  $a$ 和  $(a+s)$ ,间隔为  $s$ (根据资料情况,以下分析均取为间隔 12 h),符号  $\sum$ 表示对变量取区域平均(diff 考虑纬度权重)。diff  $\sum [f(a,t),f(a+s,t-s)]$ 表示这两次预报结果之差。为对 Jumpiness 指数进行标准化处理,等号右边以两次预报的平均标准差作为分母。

预报不一致性指的是前后相邻两次预报结果差异较大的现象,如果以单个预报时效的 Jumpiness 指数的绝对值大小超过所给定的临界值时,认为出现所谓的预报不一致现象,其临界条件为

$$\left| \left\{ \sum [f(a,t),s] \right\} \right| \geq \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{a=1}^M \left\{ \sum [f(a,t),s] \right\}^2} \quad (2)$$

不等式右边称为时间平均 Jumpiness 指数。当某一时次 Jumpiness 指数的绝对值大于临界值时,则该时次出现跳跃,Jumpiness 指数称为跳跃指数。跳跃指数较好地描述了起报时刻不同的连续多次预报中,前后两次预报之间的一致性问题。从跳跃指数的定义可知,该指数适用于确定性预报和集合预报的控制预报等,指数方法易于理解,便于计算,不需要实况分析场。指数计算根据式(1)采用区域平均,区域大小、位置不同计算得到的跳跃指数也会不同。此外,该指数衡量不一致性的标准是时间平均的不一致性指数,体现预报结果随预报时效的变化特征,但未能说明预报结果最终是否趋于实况结果。

## 2 数值预报产品不一致性检验特征

基于预报不一致性的相关概念及跳跃指数表达式,计算统计分析时段内逐日 08:00,20:00 起报的前后两次预报结果,分别探讨 3 种模式产品在 3 个区域的预报跳跃指数特征,从跳跃指数出现跳跃的频率分析不同要素不一致区域分布特征和不一致性的预报时效变化特征。

### 2.1 12 h 降水预报跳跃指数特征

根据跳跃指数的定义,首先在选定区域 I 对各

格点计算平均(考虑纬度权重),并按照式(1)计算得到每一日各个预报时效的跳跃指数,然后统计 2015 年 11 月 1 日—2016 年 10 月 31 日多日平均,得到各个预报时效的区域多日平均跳跃指数,为分析每个格点在区域跳跃指数中所显示的差异,按照同样方法,对区域内各格点分别计算统计每个格点各个预报时效的平均跳跃指数,得到选定区域内各个格点的每个预报时效的多日平均跳跃指数分布。由于模式产品预报时效较多,长短不同(由于资料原因,GQEC 产品有 12~228 h 时效,GQJP 产品有 12~84 h 时效,T639 产品有 12~156 h 时效),这里不对每个时效逐一分析和对比,仅对比各模式产品 12~84 h 预报时效区域分布特征。

从 3 个模式 12 h 降水预报的 12~84 h 跳跃指数区域分布(图 2)看,在区域 I 中自北向南总体上指数逐渐增大,GQEC 跳跃指数为 0.013~0.395(台湾岛附近指数为 0.36~0.395),GQJP 跳跃指数为 0.022~0.392,两跳跃指数在年降水量多的南方是年降水量少的北方的 10 倍以上;T639 跳跃指数为 0.099~0.308,其跳跃指数空间分布特征与 GQEC 及 GQJP 略有不同,南方与北方的差异稍小。由图 2 可知,在四川盆地、江南、华南等地跳跃指数值较大,这一方面反映出这些地方 12 h 降水前后两次预报的差异相对较大(一般年降水量较多前后两次预报值的平均差异也较大),另一方面北方相对南方降水几率小(无降水日数多),前后两次预报的平均差异相对小,也使年降水量少的北方跳跃指数偏小。

由图 2 可知,12 h 降水跳跃指数存在区域性差异,为了进一步分析讨论造成跳跃指数差异的具体原因,通过再计算区域 II、区域 III(格点数相同,考虑纬度权重)两个较小区域并与区域 I 进行比较,阐述跳跃指数在不同区域范围的特征。

为此统计了 GQEC,GQJP 与 T639 模式各预报时效 12 h 降水预报所有格点平均跳跃指数在 3 个不同区域的多日平均变化情况。由图 3 可知,12 h 降水在区域 I 各时效(12~228 h)跳跃指数较小(0.03~0.16),在区域 I 中不同预报时效间的差别也相对较小,而在较小区域中无论是区域 II 还是区域 III,跳跃指数均较大(0.09~0.7);且长预报时效比短预报时效跳跃指数偏大。这表明:检验区域较大 12 h 降水的跳跃指数较小,检验区域较小其跳跃指数较大,这一结果也说明在大区域中 12 h 降水预

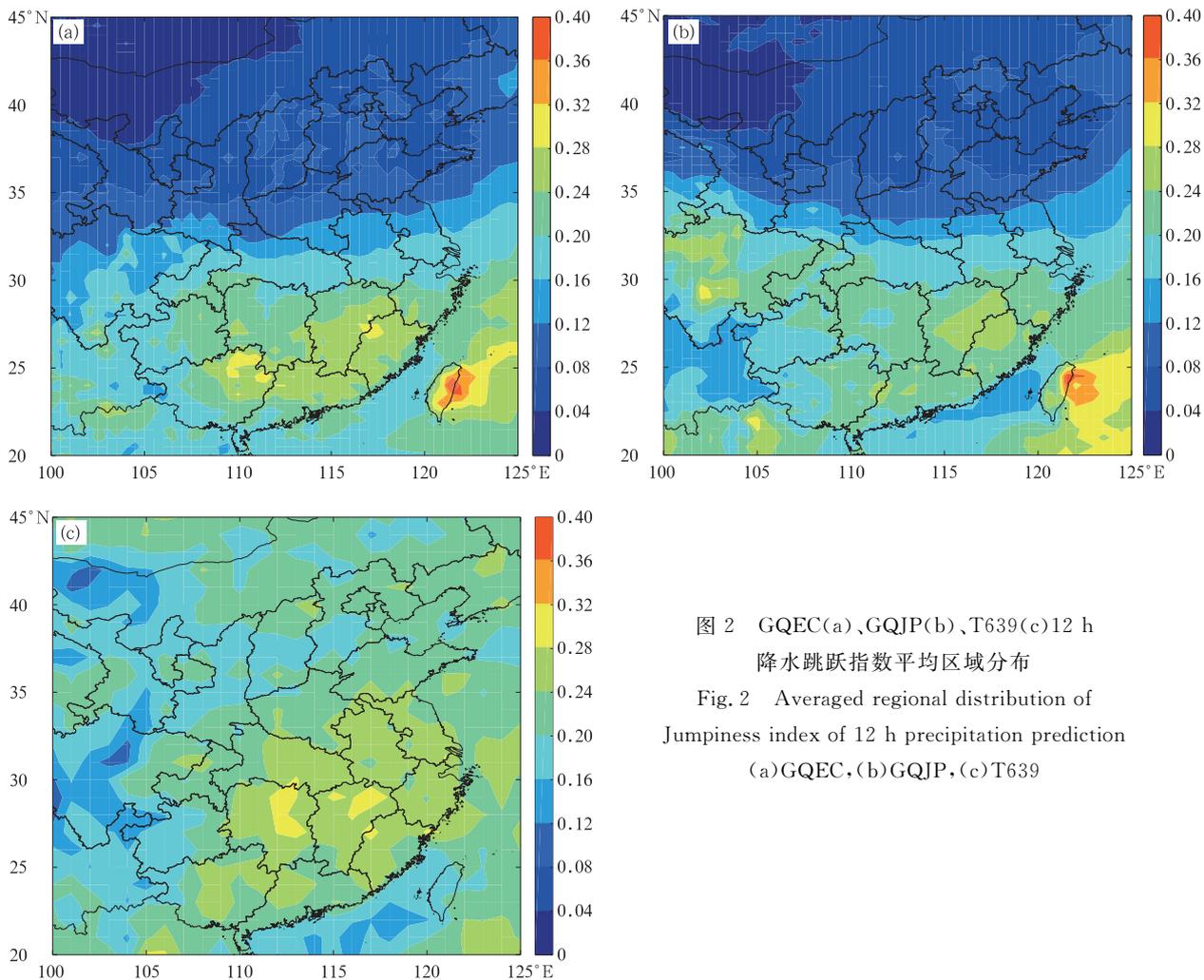


图 2 GQEC(a)、GQJP(b)、T639(c)12 h  
降水跳跃指数平均区域分布

Fig. 2 Averaged regional distribution of  
Jumpiness index of 12 h precipitation prediction  
(a)GQEC, (b)GQJP, (c)T639

报由于区域平均导致预报更趋于一致,实际预报业务表现为区域越精细,不论是数值预报还是实际的主客观预报难度越大。从区域Ⅱ与区域Ⅲ的比较看,区域Ⅱ各个预报时效的跳跃指数一般较区域Ⅲ稍大,尤其是短时效跳跃指数偏大更多,但长时效差异不明显,这与上述区域分布特征相一致。对不同模式而言,GQEC和GQJP模式小范围预报的跳跃指数是大范围预报的5~7倍,T639模式小范围预报的跳跃指数则是大范围预报的3~5倍,各模式在短时效内跳跃指数变化较小,但随预报时效的延长,跳跃指数也增大,对于GQEC模式,区域Ⅰ中跳跃指数由12 h的0.03到228 h的0.16,增大近5倍,区域Ⅱ跳跃指数由12 h的0.13到228 h的0.68,也增大近5倍;由3个模式相同时效预报比较看,GQEC跳跃指数最小,GQJP比GQEC的跳跃指数稍大,T639跳跃指数最大。即GQEC和GQJP模式前后两次12 h降水预报变化较T639模式小。

由图3中08:00与20:00两个不同起报时间对比看,各模式在3个区域两个不同起报时间的结果非常相近,时效变化趋势也相同。

由上述跳跃指数区域特征的分析可知,12 h降水预报跳跃指数存在区域性差异,模式对小区域,尤其是区域Ⅱ的跳跃指数相对较大,说明在小区域12 h降水预报前后时次变化较大,为此针对区域Ⅱ、区域Ⅲ,计算分析12 h降水预报跳跃指数区域分布特征。

按照区域Ⅰ格点跳跃指数的计算方法,对区域Ⅱ、区域Ⅲ内各格点进行单独统计得到GQEC、GQJP及T639模式的12 h降水预报在区域Ⅱ、区域Ⅲ的跳跃指数区域分布图(图略),区域Ⅱ周边山区跳跃指数大于中部平原,在井冈山附近、上饶南部的武夷山附近有大值中心。跳跃指数越大预报变化相对越大,这说明山区的降水预报较中部平原前后变化大,即预报难度大。区域Ⅲ也有类似结果,在晋

东南太行山区和中条山区附近有大值中心,这表明: 12 h 降水预报跳跃指数不仅与选择区域密切相关,

还与地理位置、地形等有关联,地形复杂的区域跳跃指数更大。

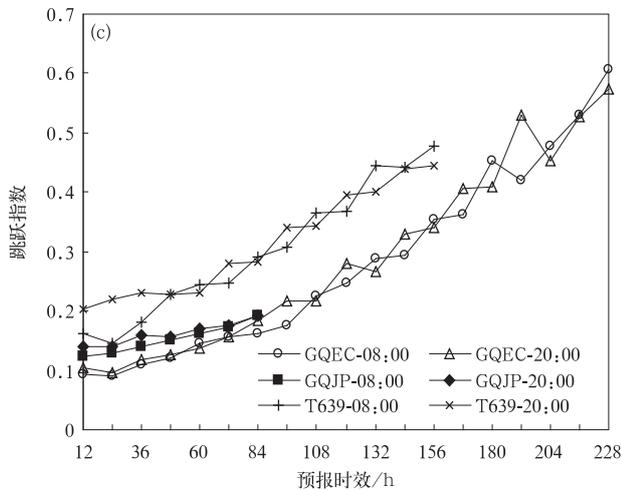
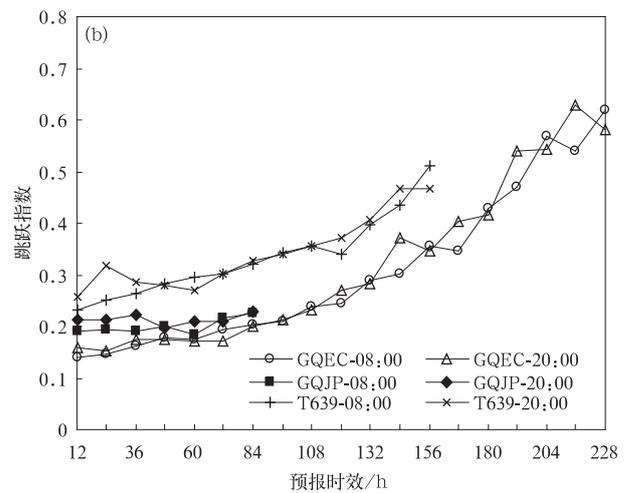
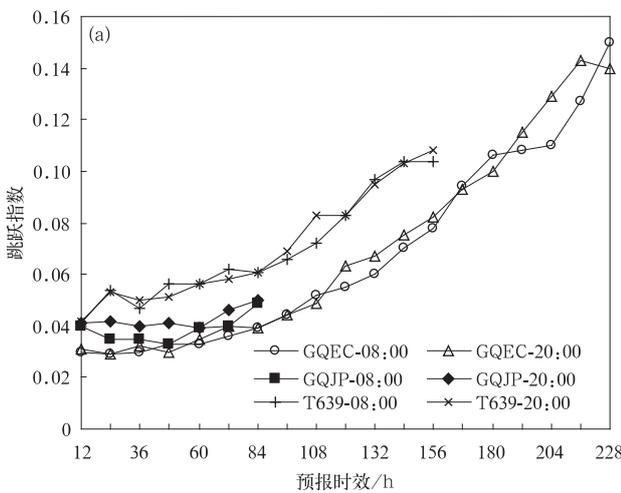


图 3 区域 I (a)、区域 II (b)、区域 III (c)

12 h 降水预报不同时效的跳跃指数

(08:00,20:00 代表起报时间,下同)

Fig. 3 Jumpiness index of 12 h precipitation prediction with different leading times

(08:00,20:00 represent initial time, similarly hereinafter)

(a)region I ,(b)region II ,(c)region III

### 2.2 2 m 温度预报跳跃指数特征

同样按照跳跃指数计算方法,计算 2 m 温度预报在区域 I 内各格点的跳跃指数,得到 12~84 h 预报时效 2 m 温度各模式跳跃指数分布(图 4),由图 4 与图 2 可知,区域 I 各格点的跳跃指数值与降水预报相比都小很多,这表明在某一区域内温度预报比降水预报前后两次预报变化更小、更趋一致。其中 GQEC 2 m 温度的跳跃指数为 0.008~0.043, GQJP 跳跃指数为 0.009~0.038, T639 跳跃指数为 0.014~0.042。从区域分布看,2 m 温度预报跳跃指数总体上北方比南方偏大,自北向南逐渐减小, GQEC 和 GQJP 比 T639 这一特征表现更明显。跳跃指数多日平均值北方一般是南方的 3~5 倍,这说明北方相对南方温度变化起伏更大,模式的温度预报前后两次差异也偏大。

同样计算 GQEC,GQJP 及 T639 模式区域格点平均的各预报时效在 3 个区域的多日平均变化情况(图 5)。由图 5 可知,2 m 温度预报区域越大跳跃指数越小,跳跃指数随预报时效延长而增大。相对而言,区域 I 中不同预报时效跳跃指数差异较小,区域 II、区域 III 长预报时效比短预报时效跳跃指数值偏大明显。对不同模式而言,相同时效,区域 II、区域 III 的跳跃指数是区域 I 的 5~7 倍。这表明,检验区域越大跳跃指数越小,较小区域的跳跃指数较大,这一结果说明无论是离散性的降水、还是连续性的温度,预报结果由于大范围区域平均导致跳跃指数减小。对于不同预报时效,温度预报相对降水预报跳跃指数变化较小,尤其是在较大区域中的变化相对更小。

由图 5 还可以看到,同一模式起报时间为 08:00

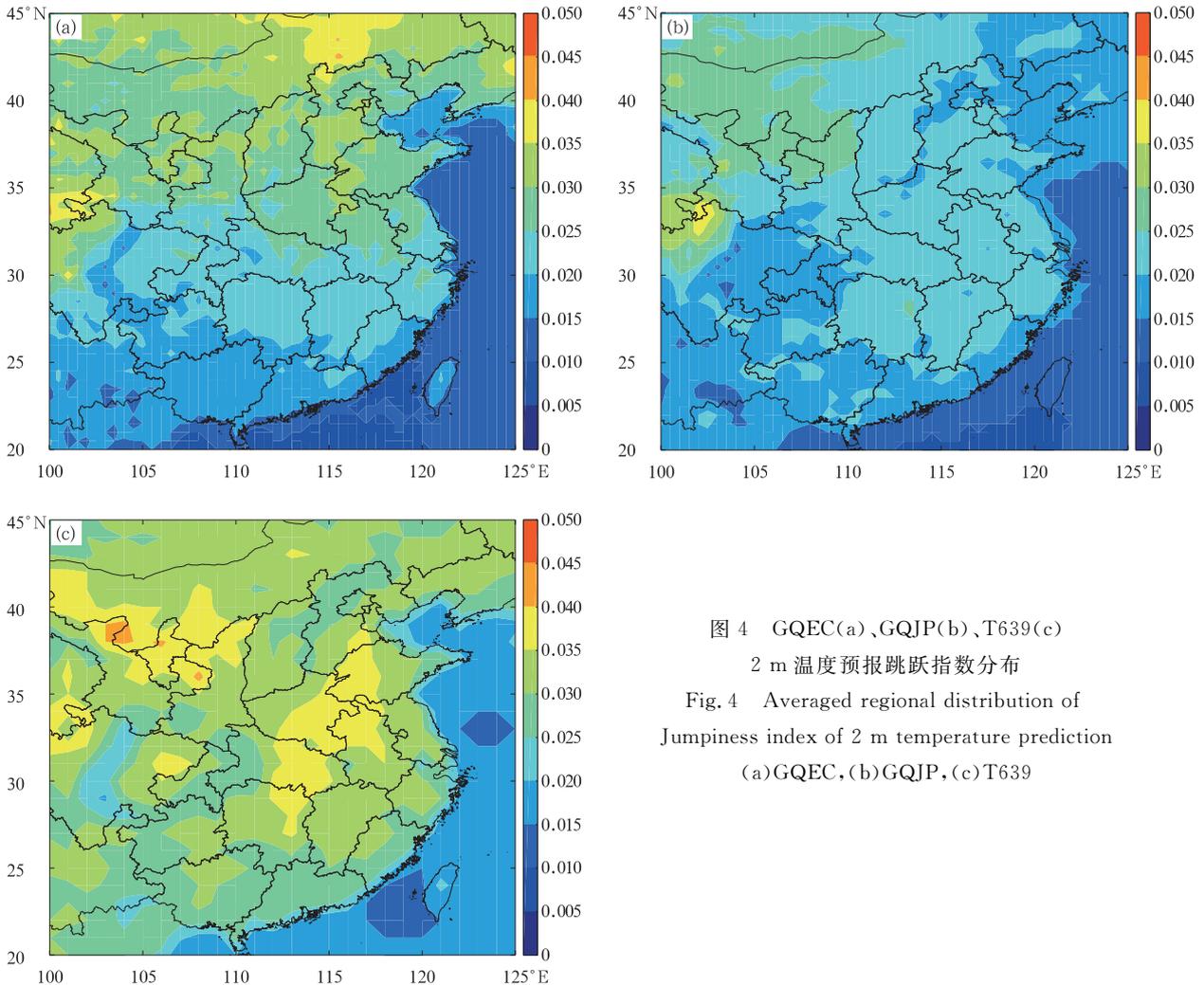


图 4 GQEC(a)、GQJP(b)、T639(c)  
2 m 温度预报跳跃指数分布  
Fig. 4 Averaged regional distribution of  
Jumpiness index of 2 m temperature prediction  
(a)GQEC, (b)GQJP, (c)T639

与 20:00 的跳跃指数非常相近,变化趋势也相同。

为分析较小区域 2 m 温度预报跳跃指数的特征,计算区域 II、区域 III 跳跃指数多日平均分布(图略),可知 GQEC、GQJP 和 T639 模式 2 m 温度预报总体上表现为北部跳跃指数大于南部,自北向南跳跃指数逐渐减少。区域 II 中赣西北和赣东北有相对大值区,区域 III 中晋西北有相对大值区。这说明 2 m 温度预报的跳跃指数与这些区域的地理、地形有关,也与当地温度变化幅度较大有关。分析表明:2 m 温度预报的跳跃指数与选择区域密切相关,格点分布特征表明地理位置、地形对跳跃指数有影响,气温变化大的地方跳跃指数大。

### 2.3 模式产品预报不一致性特征

预报不一致性指前后相邻两次预报结果差异较大,如果以单一预报时效的 Jumpiness 指数绝对值大小超过所给定的临界值时,则认为出现预报不一

致现象。为此在选定区域按式(1)计算(考虑纬度权重)得到每一日不同预报时效(每 12 h 间隔)的 Jumpiness 指数的基础上,按式(2)计算得出每一日的平均 Jumpiness 指数和不同时效是否跳跃的情况,并计算每日模式出现跳跃的频率(出现跳跃预报时效次数与总预报时效次数之比),统计 2015 年 11 月 1 日—2016 年 10 月 31 日的多日平均,得到选定区域模式的各预报时效出现跳跃频率,从跳跃指数的定义与预报不一致性的概念可知,跳跃频率越大,表明模式的预报不一致性越大。分析 12 h 降水预报在不同区域的跳跃频率(表 1)可知,各模式产品在区域 I 与区域 II 出现跳跃的频率相近,但比区域 III 出现跳跃的频率大,即 12 h 降水预报区域 II 比区域 III 预报不一致性更大。由对比可知,GQEC(预报时效为 12~228 h,共 19 种预报时效)跳跃频率最低,GQJP(预报时效为 12~84 h,共 7 种预报时效)出现

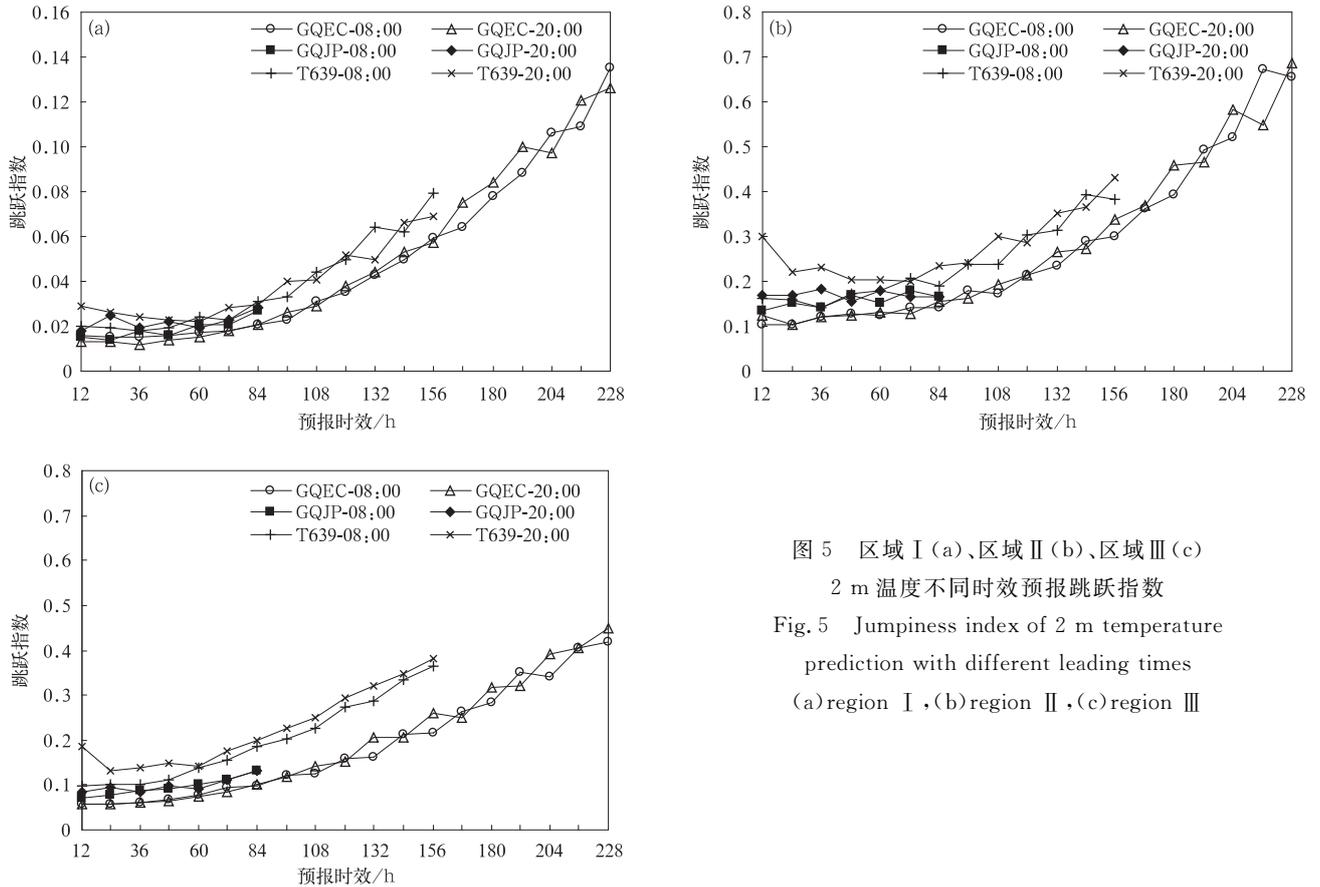


图 5 区域 I (a)、区域 II (b)、区域 III (c) 2 m 温度不同时效预报跳跃指数  
Fig. 5 Jumpiness index of 2 m temperature prediction with different leading times (a) region I, (b) region II, (c) region III

表 1 12 h 降水预报跳跃频率

Table 1 Jumping frequency of 12 h precipitation prediction

模式	起报时间	区域 I	区域 II	区域 III
GQEC	08:00	0.478	0.481	0.435
	20:00	0.481	0.480	0.450
GQJP	08:00	0.627	0.621	0.600
	20:00	0.656	0.622	0.605
T639	08:00	0.574	0.547	0.494
	20:00	0.563	0.567	0.511

的跳跃的频率最高, T639(预报时效为 12~156 h, 共 13 种预报时效)出现的跳跃频率居中, 这也表明在 12 h 降水预报中, GQEC 的预报不一致性相对较小, GQJP 较大, 这一特征与预报业务实践中 GQEC 更为普遍应用相符合。

为进一步分析不同预报时效模式产品出现跳跃的情况, 统计 2015 年 11 月 1 日—2016 年 10 月 31 日各个时效的多日平均, 得到不同预报时效出现跳跃的频率(图 6)。由图 6 可知, 短时效出现跳跃的频率较低, 即随着时效延长, 出现跳跃的频率增大, 即长时效预报不一致性较短时效预报更明显。对比不同模式产品发现 GQEC 各时效出现跳跃的频率

均明显小于 GQJP, T639 介于两者之间, GQEC 在预报一致性方面优于 GQJP 和 T639。对比不同区域各时效出现跳跃的频率发现: 区域 II 比区域 III 出现跳跃的频率更大, 区域 I 出现跳跃的频率介于区域 II、区域 III 之间, 12 h 降水预报上对南方的预报不一致性大于北方, 这种差别在短时效更为明显, 这也表明, 用跳跃指数来检验模式的预报不一致性与选取的区域密切相关。

同样对 2 m 温度预报统计 2015 年 11 月 1 日—2016 年 10 月 31 日的多日平均, 得到选定区域模式 2 m 温度预报不同时效出现跳跃的频率(表 2), 分析跳跃频率可知: 不同模式在不同区域表现不同, 其

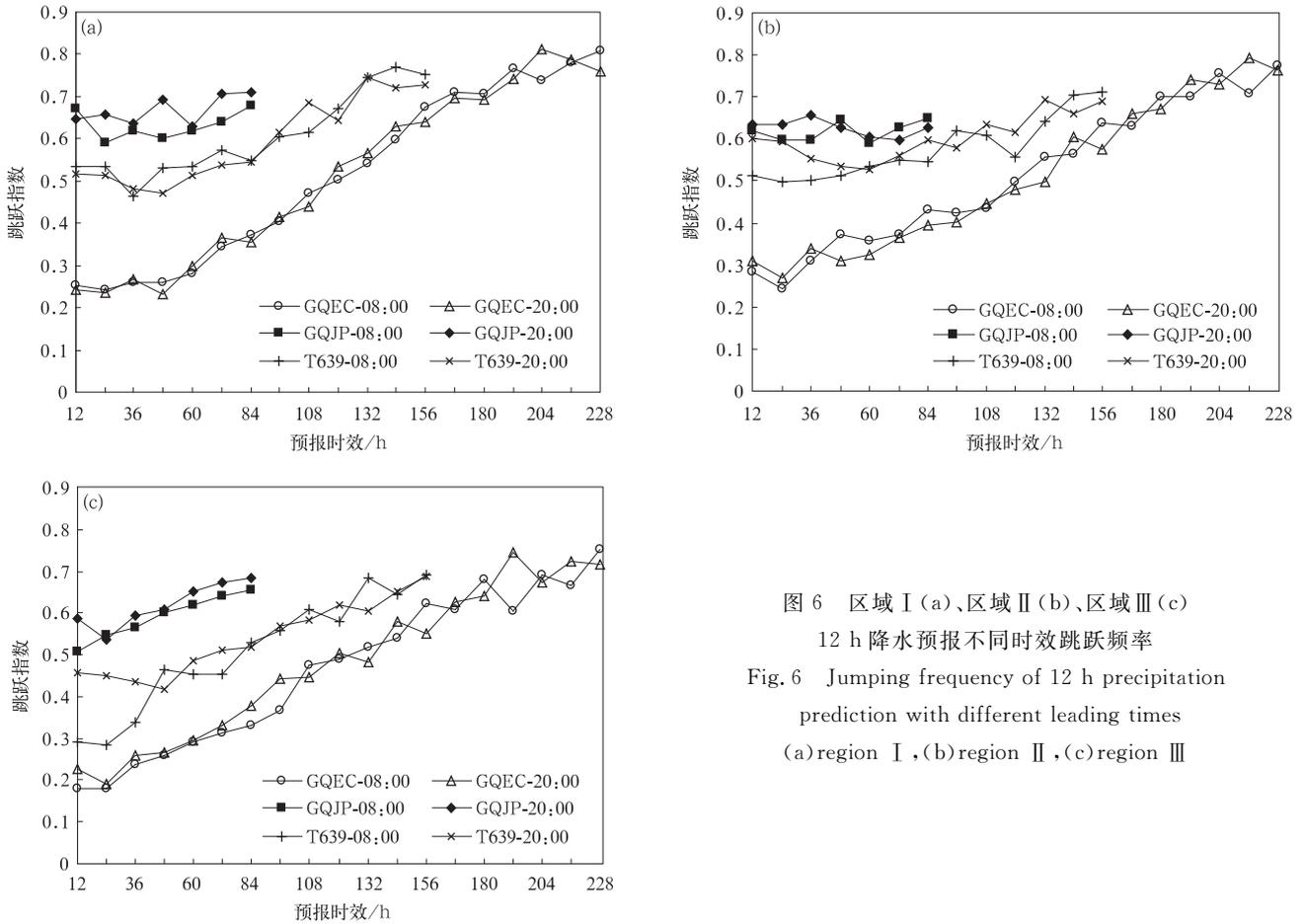


图 6 区域 I (a)、区域 II (b)、区域 III (c)  
12 h 降水预报不同时效跳跃频率  
Fig. 6 Jumping frequency of 12 h precipitation  
prediction with different leading times  
(a)region I ,(b)region II ,(c)region III

表 2 2 m 温度预报跳跃频率

Table 2 Jumping frequency of 2 m temperature prediction

模式	起报时间	区域 I	区域 II	区域 III
GQEC	08:00	0.421	0.466	0.431
	20:00	0.415	0.462	0.442
GQJP	08:00	0.635	0.639	0.628
	20:00	0.700	0.651	0.657
T639	08:00	0.511	0.542	0.509
	20:00	0.549	0.558	0.524

中 GQEC 在区域 I 的跳跃频率最低,在区域 II 出现跳跃的频率最高;GQJP 在 3 个区域跳跃频率相近;T639 在区域 I 跳跃频率居中。2 m 温度预报不同模式产品在不同区域的预报不一致性不相同,从 3 个模式产品的对比可知,GQEC 预报不一致性相对较小,GQJP 较大。无论是 12 h 降水预报还是 2 m 温度预报 GQEC 不一致性均最小,说明 GQEC 预报一致性及预报效果最好。

统计 2015 年 11 月 1 日—2016 年 10 月 31 日不同时效的多日平均,得到不同预报时效的跳跃频率(图 7)。由图 7 可知,GQEC 在 3 个区域中短时效

出现跳跃的频率较低,但随着时效的延长,出现跳跃的频率增大,表明长时效预报不一致性较短时效更明显;GQJP 相对 GQEC 出现跳跃的频率高,虽然随着时效的延长出现跳跃的频率总体上也增大,但这一特征不明显;T639 介于两者之间。对比不同区域各时效出现跳跃的频率发现,区域 I 相对区域 II、区域 III 出现跳跃的频率低(短时效更明显),区域 II 与区域 III 相比,不同模式产品反映略有不同,GQEC 和 T639 在区域 II 较短时效预报比区域 III 出现跳跃的频率更大,较长时效预报两者较为接近;GQJP 在区域 II、区域 III 总体上没有太大差异,说明模式产品

2 m 温度预报对区域的预报不一致性主要表现为模式间的差异,这种差异在短时效预报更为明显,即跳跃指数检验 2 m 温度预报不一致性与模式本身的优劣密切相关。

按季节分别统计区域 I 内的 12 h 降水和 2 m 温度预报出现的跳跃频率(表 3)。由表 3 可知,各模式产品跳跃频率一年中存在季节差异:夏季出现跳跃频率最大,冬季最小;春秋季介于中间。GQEC、

T639 模式产品季节特征较明显,而 GQJP 产品季节差异不大。比较 12 h 降水与 2 m 温度预报,季节变化特征相近,各季节均表现出降水预报比温度预报跳跃频率大。总体而言,各季节(包括全年)均反映出 GQEC 产品跳跃频率最小,GQJP 产品跳跃频率最大,T639 产品介于两者之间,说明 GQEC 在 12 h 降水、2 m 温度预报一致性最好,GQJP 产品一致性最差。

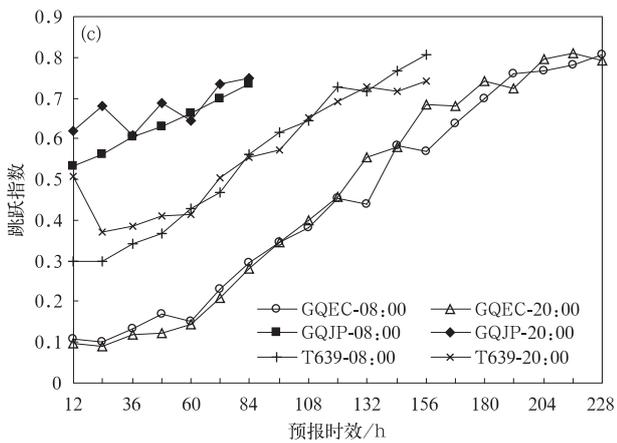
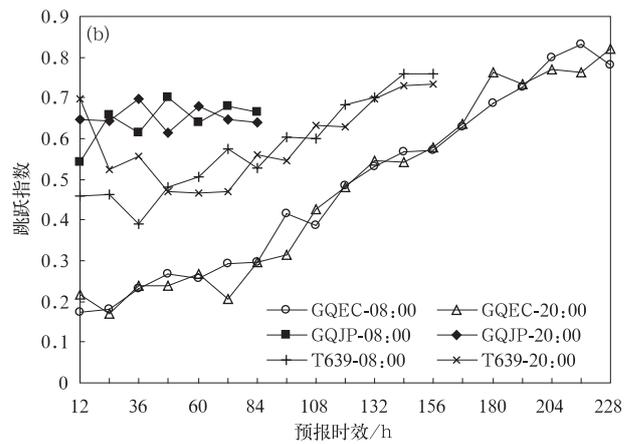
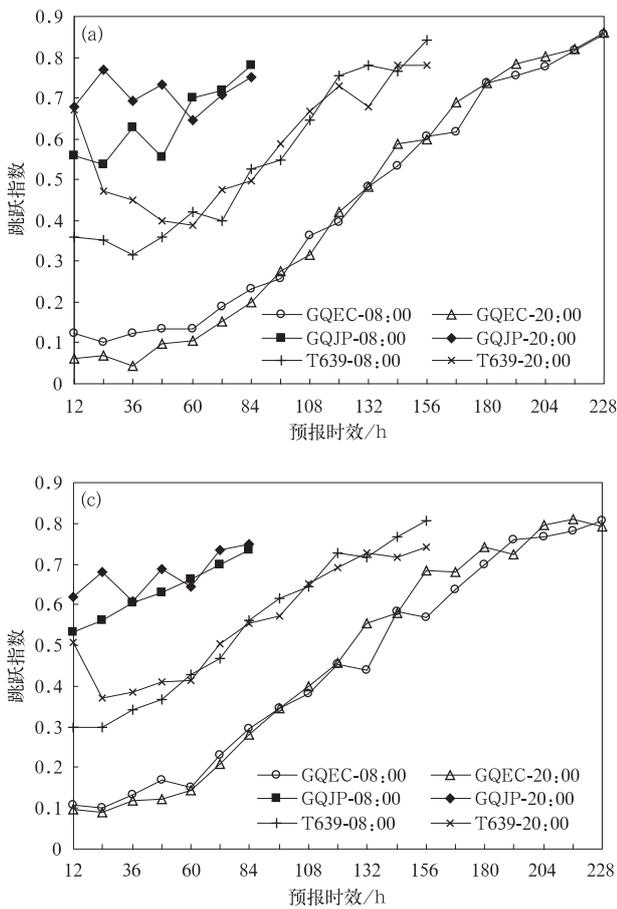


图 7 区域 I (a)、区域 II (b)、区域 III (c) 2 m 温度预报不同时效跳跃频率

Fig. 7 Jumping frequency of 2 m temperature prediction with different leading times (a) region I, (b) region II, (c) region III

表 3 区域 I 不同季节多日平均跳跃频率

Table 3 Averaged jumping frequency of different seasons in region I

季节	起报时间	GQEC		GQJP		T639	
		12 h 降水	2 m 温度	12 h 降水	2 m 温度	12 h 降水	2 m 温度
春季	08:00	0.502	0.405	0.601	0.590	0.574	0.530
	20:00	0.501	0.410	0.659	0.670	0.604	0.561
夏季	08:00	0.523	0.484	0.634	0.661	0.613	0.569
	20:00	0.541	0.456	0.656	0.721	0.605	0.572
秋季	08:00	0.491	0.413	0.616	0.586	0.616	0.530
	20:00	0.487	0.421	0.663	0.693	0.571	0.659
冬季	08:00	0.478	0.410	0.634	0.631	0.601	0.505
	20:00	0.470	0.392	0.626	0.652	0.569	0.522

## 2.4 暴雨与强降温天气个例跳跃指数对比

2016年6月15—16日区域Ⅱ(即江西区域)出现该年范围最大的一次暴雨过程,14日20:00—15日08:00,15日08:00—20:00,15日20:00—16日08:00这3个时段出现多站暴雨,计算跳跃指数和跳跃频率(表4)。由表4可见,GQEC产品跳跃频率最低,GQJP跳跃频率最高,这与2.3节中多日平均12h降水预报一致。

2016年2月13—15日受强冷空气影响区域Ⅱ出现强降温天气过程,计算20:00预报14日08:00,08:00预报14日20:00,20:00预报15日08:00,

08:00预报15日20:00不同模式产品跳跃指数和跳跃频率(表5)。由表5可知,不同模式产品在不同时次表现略有不同,前两个时次GQEC跳跃频率最低,GQJP跳跃频率最高,T639跳跃频率居中;第3个时次T639跳跃频率最高,但在08:00对15日20:00预报T639的跳跃频率最低,而GQEC跳跃频率最高。总体上,GQEC跳跃频率最低,GQJP跳跃频率最高,T639跳跃频率居中,这与2.3节多日平均温度预报一致。另外,对比表4、表5可知,12h降水预报比2m温度预报跳跃频率总体偏高。

表4 2016年6月15—16日暴雨过程逐日平均跳跃指数和跳跃频率

Table 4 Daily Jumpiness index and jumping frequency of rainstorm process from 15 June to 16 Jun in 2016

时段	跳跃指数			跳跃频率		
	GQEC	GQJP	T639	GQEC	GQJP	T639
14日20:00—15日08:00	0.211	0.099	0.267	0.526	0.714	0.615
15日08:00—15日20:00	0.179	0.108	0.295	0.526	0.571	0.538
15日20:00—16日08:00	0.191	0.085	0.293	0.579	0.615	0.714

表5 2016年2月13—15日强冷空气个例逐日时间平均跳跃指数和跳跃频率

Table 5 Daily Jumpiness index and jumping frequency of strong cold air process from 13 Feb to 15 Feb in 2016

起报时间	预报时间	跳跃指数			跳跃频率		
		GQEC	GQJP	T639	GQEC	GQJP	T639
20:00	预报14日08:00	0.206	0.082	0.110	0.421	0.714	0.692
08:00	预报14日20:00	0.202	0.165	0.209	0.421	0.714	0.462
20:00	预报15日08:00	0.250	0.097	0.108	0.368	0.571	0.692
08:00	预报15日20:00	0.256	0.126	0.211	0.473	0.429	0.386

## 3 结论与讨论

通过定量计算不同模式对12h降水、2m温度预报的跳跃指数,讨论3种模式产品跳跃指数特征和其前后两次(08:00,20:00)预报不一致性特征,得到以下主要结论:

1) 模式产品的跳跃指数随统计分析的区域范围不同而变化。区域范围越大,跳跃指数越小;较小区域内,跳跃指数较大。同时小区域比大区域模式前后两次预报出现的跳跃频率更高,预报不一致性较大,这说明越精细的预报难度越大。另外,跳跃指数与选择区域密切相关,即跳跃指数的水平分布特征不仅与地理位置的选取有关,还与地形地貌有一定关系,要素变化大的区域跳跃值及预报不一致性更大。

2) 不同气象要素的跳跃指数水平分布不同。

12h降水预报的跳跃指数在区域Ⅰ自北向南逐渐增大,而2m温度预报跳跃指数自北向南逐渐减小。指定区域中,2m温度预报跳跃指数与12h降水跳跃指数相比小很多;2m温度产品的预报不一致性比12h降水小,这表明连续性的温度前后两次预报更趋一致,2m温度预报比12h降水预报相对稳定。

3) 模式产品预报不一致性随预报时效的延长而增大。12h降水、2m温度长时效预报比短时效预报跳跃指数偏大,长时效预报出现跳跃的几率也较大,这表明短时效预报一致性较长时效预报更佳。由季节变化可知,12h降水与2m温度预报在夏季跳跃频率最大,冬季最小,即夏季模式产品预报不一致性更大,冬季相对较小。

4) 不同模式产品跳跃指数、预报不一致性有差异,同一模式不同要素预报也有差异。GQEC总体上较GQJP和T639跳跃频率偏小,预报不一致性

最小,尤其在12 h降水短时效预报优势明显。

5) 利用跳跃指数进行模式产品预报不一致性检验与其他检验方法得到的评价效果基本一致,与实际业务应用模式经验基本吻合,说明利用跳跃指数开展预报不一致性检验可行有效。跳跃指数对区域、时间和变量等都具有很强的敏感性,尤其对降水等不连续的气象要素,不同的区域、地形等会对跳跃指数造成较大影响。

### 参考文献

- [1] 刘梦娟,陈敏. BJ-RUC系统对北京夏季边界层的预报性能评估. *应用气象学报*, 2104, 25(2): 212-221.
- [2] 邓国,龚建东,邓莲堂,等. 国家级区域集合预报系统研发和性能检验. *应用气象学报*, 2010, 21(5): 513-523.
- [3] 谭桂容,段浩,任宏利. 中高纬度地区500 hPa高度场动力预测统计订正. *应用气象学报*, 2012, 23(3): 304-311.
- [4] 李博,赵思雄,陆汉城,等. 综合多级相似预报技术在暴雨短期预报中的检验. *应用气象学报*, 2008, 19(3): 307-314.
- [5] 刘建国,谢正辉,赵琳娜,等. 基于多模式集合的小时气温概率预报. *大气科学*, 2013, 37(1): 43-53.
- [6] 张宏芳,潘留杰. ECMWF、日本高分辨率模式降水预报能力的对比分析. *气象*, 2014, 40(4): 424-432.
- [7] 陈静,陈德辉,颜宏. 集合数值预报的发展与研究进展. *应用气象学报*, 2002, 13(4): 497-507.
- [8] 林春泽,智协飞,韩艳,等. 基于TIGGE资料的地面气温多模式超级集合预报. *应用气象学报*, 2009, 20(6): 706-712.
- [9] 况雪源,刘健,王红丽,等. 近千年来中国区域降水模拟与重建资料的对比分析. *地球科学进展*, 2009, 24(2): 159-171.
- [10] Wang Bin, Xie Xin, Li Lijuan. A review on aspects of climate-simulation assessment. *Adv Atmos Sci*, 2009, 26(4): 736-747.
- [11] 刘彦华,张述文,毛璐,等. 评估两类模式对陆面状态的模拟和估算. *地球科学进展*, 2013, 28(8): 913-922.
- [12] 李佺平,智协飞. ECMWF模式地面气温预报的四种误差订正方法的比较研究. *气象*, 2012, 38(8): 897-902.
- [13] 陈海山,孙照渤. 陆面模式CLSM的设计及性能检验II. 模式检验. *大气科学*, 2005, 29(2): 272-282.
- [14] 潘留杰,张宏芳,朱伟军,等. ECMWF模式对东北半球气象要素场预报能力的检验. *气候与环境研究*, 2013, 18(1): 112-123.
- [15] 陈官军,魏凤英,巩远发. NCEP\_CFS模式对东亚夏季延伸预报的检验评估. *应用气象学报*, 2010, 21(6): 659-669.
- [16] Persson A, Riddaway B. Increasing trust in medium-range weather forecasts. *ECMWF Newsletter*, 2011, 129: 8-12.
- [17] Hoffman R, Kalnay E. Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus*, 1983, 35: 100-118.
- [18] Palmer T N, Tibaldi S. On the prediction of forecast skill. *Mon Wea Rev*, 1988, 116(12): 2453-2480.
- [19] Roebber P J. Variability in successive operational model forecasts of maritime cyclogenesis. *Wea Forecasting*, 1990, 5(4): 586-595.
- [20] Hamill T M. Evaluating forecasters' rules of thumb: A study of  $d(\text{prog})/dt$ . *Wea Forecasting*, 2003, 18(5): 933-937.
- [21] Persson A, Grazzini F. User Guide to ECMWF Forecast Products. Reading, United Kingdom: ECMWF, 2007.
- [22] Pappenberger F, Bogner K, Wetterhall F, et al. Forecast convergence score: A forecaster's approach to analyzing hydro-meteorological forecast systems. *Adv Geosci*, 2011, 29: 27-32.
- [23] Persson A. User Guide to ECMWF Forecast Products. Reading, United Kingdom: ECMWF, 2011: 1-127.
- [24] Pappenberger F, Cloke H L, Persson A, et al. HESS opinions "on forecast (in) consistency in a hydro-meteorological chain: curse or blessing?". *Hydrol Earth Syst Sci*, 2011, 15: 2391-2400.
- [25] Zsoter E, Buizza R, Richardson D. "Jumpiness" of the ECMWF and Met Office EPS control and ensemble-mean forecasts. *Mon Wea Rev*, 2009, 137(11): 3823-3836.
- [26] Ehret U. Convergence index: A new performance measure for the temporal stability of operational rainfall forecasts. *Meteorologische Zeitschrift*, 2010, 19(5): 441-451.
- [27] Lashley S L, Fisher L, Simpson B J, et al. Observing Verification Trends and Applying a Methodology to Probabilistic Precipitation Forecasts at a National Weather Service Forecast Office. Preprints, 19th Conf on Probability and Statistics, New Orleans, LA, Am Meteorol Soc, 2008.
- [28] 郭换换,智协飞,段明铿,等. 数值天气预报中的不一致性问题综述. *气象科学*, 2016, 36(1): 134-140.
- [29] 郭换换,段明铿,智协飞,等. 基于TIGGE资料的预报跳跃性特征. *应用气象学报*, 2016, 27(2): 220-229.

## The Inconsistency of Forecasting in Operational Numerical Prediction Products

Guo Dafeng<sup>1)2)3)</sup> Duan Mingkeng<sup>2)3)</sup> Xia Minhui<sup>3)</sup> Chen Xiangxiang<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (*Meteorological Center of Jiangxi Province, Nanchang 330046*)

<sup>2)</sup> (*State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

<sup>3)</sup> (*Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters/Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education, and International Joint Research Laboratory on Climate and Environment Change, and School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*)

### Abstract

The inconsistency of the forecast reflects evolution characteristics with time of the prediction error of continuous multiple prediction at a fixed time in the future. In order to explore the inconsistency of forecasting products in operational numerical forecasting applications, 12 h precipitation and 2 m ground temperature, which are predicted by three numerical models GQEC, T639 and GQJP from November 2015 to October 2016 are analyzed. Quantitative calculation method of Jumpiness index is adopted by considering the sensitivity of the index to the target region.

The inconsistency of the numerical model in three different regions is studied by means of statistical analysis and typical case study. Results show that for statistical average, the inconsistency of the numerical models increases with the extension of the forecast time. Long time prediction inconsistency is greater. Jumpiness index of precipitation and temperature is related to the magnitude of the change, and Jumpiness index of precipitation is larger than that of temperature. It also shows that results of two consecutive temperature forecast are more consistent. The temperature prediction ability of the model is better than that of precipitation forecast. The comparison of different numerical models shows that GQEC has obvious advantages in many aspects. Although Jumpiness index of GQJP is less than T639, its jumping frequency is greater, indicating its prediction consistency is inferior to T639. There are seasonal differences in jumping frequency of model products. Both the jump frequency of precipitation and temperature is the highest in summer and the lowest in winter. The inconsistency test of two typical cases of rainstorm and cold air cooling process further corroborates statistical analysis results. Results also show that the forecast inconsistency of the numerical model is not only related to the geographical position, but also to the selected area size. The larger the region is, the smaller Jumpiness index becomes, and vice versa. In addition, the spatial distribution of Jumpiness index in the region is related to geographical location and topography. In general, where elements change bigger, Jumpiness index becomes greater there. The regional distribution of Jumpiness index of different meteorological elements is different. The index value of Jumpiness index of 12 h precipitation forecast increases gradually from north to south in region I. While 2 m ground temperature prediction, Jumpiness index from north to south in region I gradually decreases.

**Key words:** operational numerical prediction products; forecast inconsistency; Jumpiness index