陈良吕，陈静，陈德辉，等. 2014. 基于 T213 集合预报的延伸期产品释用方法及初步试验. 气象，40(11)：1293-1301.

基于 T213 集合预报的延伸期产品释用方法及初步试验*

陈良吕[1]　陈　静[2]　陈德辉[2]　田　华[2]　周　迪[3]　汪娇阳[3]

1 中国气象科学研究院，北京 100081

2 中国气象局数值预报中心，北京 100081

3 成都信息工程学院，成都 610225

提　要： 基于 T213 集合预报系统 2008 年 1 月中国及附近区域 500 hPa 高度和 850 hPa 温度的 1～15 d 预报资料，构建延伸期产品释用方法，通过对逐日 11～15 d 预报资料做集合平均和后向衰减权重系数滑动平均，进而得到延伸期(11～15 d)候平均和候距平预报，并对预报效果进行检验，结果表明：对 11～15 d 预报场做集合平均和后向衰减权重系数滑动平均均能降低预报误差，改善整体预报效果。由此得到的 500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场 11～15 d 候平均预报误差与逐日控制预报第 5 d 的水平相当，候距平相关系数均接近 0.6，整体而言效果较好，具备一定的应用价值。500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场 11～15 d 候距平预报在中国大陆地区位相准确率均较高，东南沿海和东北部分地区稍差，且 850 hPa 温度场的位相准确率整体高于 500 hPa 高度场。候距平预报对延伸期(11～15 d)的大范围持续性异常距平具有较强的捕捉能力，对异常距平出现的范围和分布、强距平中心的位置的预报均较好，但强度整体偏弱。

关键词： T213 集合预报，延伸期预报，释用方法，候平均，候距平

中图分类号： P456　　**文献标志码：** A　　**doi：** 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.11.001

Interpretation Method of Extended Range Forecast Product Based on T213 EPS and the Preliminary Experiment

CHEN Lianglü[1]　CHEN Jing[2]　CHEN Dehui[2]　TIAN Hua[2]　ZHOU Di[3]　WANG Jiaoyang[3]

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 CMA, Numerical Prediction Centre, Beijing 100081

3 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

Abstract: Based on the 11－15 d forecast data of T213 EPS 500 hPa geopotential height and 850 hPa temperature in China and the adjacent regions in January 2008, an interpretation method of extended range forecast product is designed, and the pentad average and pentad anomaly forecast of extended range (11－15 d) are got after the 11－15 d daily forecast data are processed by ensemble mean, moving average of backward decaying weighting coefficient and pentad average. Meanwhile, the forecast effect of the pentad average and pentad anomaly forecast is verified. The results show that ensemble mean and moving average of backward decaying weighting coefficient both can reduce the prediction error and improve the forecast effect. The pentad mean absolute error of the 11－15 d pentad average forecast of 500 hPa geopotential height and 850 hPa temperature are equal to the level of the 5th d forecast of daily control forecast. The

* 国家自然科学基金项目(41075035)、国家科技支撑计划(2009BAC51B00)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2012CB417204)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906007)共同资助

2013 年 11 月 20 收稿；　2014 年 5 月 29 日收修定稿

第一作者：陈良吕，主要从事集合预报研究. Email：chenllv214@163.com

通信作者：陈静，主要从事集合预报研究. Email：chenj@cma.gov.cn

pentad anomaly correlation coefficients of 500 hPa geopotential height and 850 hPa temperature are both close to 0.6. Taken as a whole, the forecast effect of 11－15 d pentad average is good enough to use. The phase accuracy rate of 11－15 d pentad anomaly forecast of 500 hPa geopotential height and 850 hPa temperature are both very good in mainland China except for part of the southeast coastal area and the northeast area. In general, the phase accuracy rate of 850 hPa temperature is better than 500 hPa geopotential height. The 11－15 d pentad anomaly forecast can reflect the persistent large-scale anomalous anomaly. The range, distribution and center of anomalous anomaly can all be forecasted well but the overall intensity is weaker than observed field.

Key words: T213 EPS, extended range forecast, interpretation method, pentad average, pentad anomaly

引 言

在气象业务上，通常把 10～30 d 的天气预报称为延伸期预报。延伸期预报介于常规天气预报（逐日预报）的可预报时效的上限和气候预测（月尺度以上）的预报时效的下限，缺乏相应的理论基础，在科研和业务上都很复杂，因此，延伸期预报成为了目前研究的热点和难点问题，国内外的学者在这个领域都做了大量细致深入的研究（李维京等，1999；陈丽娟等，1999；金荣花等，2010；Miyakoda et al，1983；Palmer，1993；彭相瑜等，2014）。

目前，许多国外先进的数值预报中心均将集合预报系统的预报时效延长到了 15 d 左右，如 EC 的集合预报系统（15 d）、NCEP 的集合预报系统（15 d）、加拿大集合预报系统（16 d）、北美集合预报系统（16 d）。由此可以看出，集合预报系统对于延伸期天气具有一定的预报能力。参考国外先进的数值预报中心发布的预报产品，11～15 d 主要是平均场预报产品和距平场预报产品。

我国的 T213 集合预报系统目前预报时效为 10 d，已有学者对于 11～15 d 的预报做了一些研究：肖天贵等（2012）利用 2008 年 1 月试验期资料对 T213 集合预报进行了扰动能量分析，结果表明：低频扰动能量信号对中期和延伸期（11～15 d）的预报而言，是一种有一定业务预报技巧的可预报分量；谭宁等（2013）在一次研究 T213 模式随机物理过程扰动的数值试验中将预报时效延长到了 15 d，并对 11～15 d 的预报效果进行了检验，结果表明：在 11～15 d 的预报中，候平均预报效果优于逐日预报，集合平均的预报效果优于确定性预报；崔慧慧等（2013）对 2008 年 1 月试验期资料进行评估，结果表明：T213 模式对延伸期（11～15 d）内的阻塞高压有一定的预报能力，但对位置和强度的把握不够准确。

综合以上研究，本文基于已有的试验期资料提出了一种利用 T213 集合预报系统进行延伸期（11～15 d）候平均和候距平预报的方法，并对预报效果进行检验。由此探索利用我国的 T213 集合预报系统进行延伸期（11～15 d）预报的可行性。

1 T213 集合预报系统及资料简介

T213 全球中期集合预报系统（田华等，2007；任志杰等，2011；李莉等，2011；谭宁，2013；狄靖月等，2013）以 T213 全球中期数值天气预报模式为基础，采用增长模繁殖法（BGM）产生初始扰动，BGM 方法的优点主要表现在可以很方便地使用非线性高分辨率全物理过程的模式，且可在增长模培育周期内表示出扰动的快速增长。图 1 为 T213 集合预报流程图，如图所示，该系统包括观测资料预处理系统、客观分析系统、多初值产生系统、模式预报系统、模式后处理系统和产品生成系统。该系统每天启动 4 次，其中 00 和 12 UTC 做 240 h 预报，06 和 18 时只做同化和扰动循环。每天 12 UTC 提供数据，图形和 MICAPS 产品。每次启动先做控制预报，完成后启动集合成员预报，有 7 对扰动产生 14 个扰动预报初始场，然后对集合成员积分，获得 14 个预报，进行后处理，提供集合预报概率，集合平均和离散度的数据、图形、MICAPS 格式的产品。目前，国家气象中心拟将该系统应用于延伸期预报，将预报时效延长至 15 d，建立延伸期（11～15 d）集合预报系统。

本文的研究资料为 2008 年 1 月 1—31 日的 1～15 d 的预报资料，包括控制预报和 14 个集合成员。以 T213 集合预报系统的控制预报的分析场代替实况，将 NCEP 1981—2010 年月平均历史气候再分析资料（2.5°×2.5°）用双线性插值法插值到与

T213 集合预报系统相对应的网格点上(0.5625°×0.5625°)，作为气候分析场进行距平相关系数的计算。将 NCEP 1981—2010 年逐日平均历史气候再分析资料(2.5°×2.5°)用双线性插值法插值到与 T213 集合预报系统相对应的网格点上(0.5625°×0.5625°)，作为气候场并用于候距平的计算。研究区域选取预报误差相对较小的中国及附近区域(13.5°～54°N、72°～139.5°E)，研究要素为 500 hPa 高度和 850 hPa 温度(说明：由于青藏高原复杂的大地形，该地区 850 hPa 温度在模式中是由插值方案获得，本文中关于青藏高原地区 850 hPa 温度场的相关研究在实际应用中需要注意由于插值误差造成的影响)。

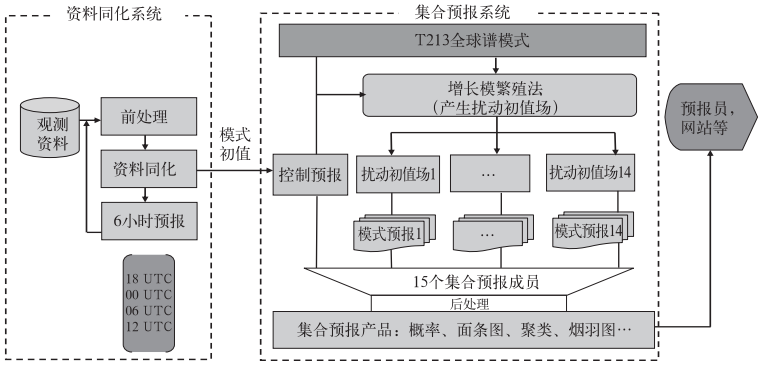

图 1　国家气象中心 T213L31 全球集合预报系统设计流程图

Fig. 1　The flow chart of NMC T213L31 global ensemble prediction system

2　延伸期(11～15 d)产品释用方法简介

由于逐日预报在延伸期(11～15 d)已不再适用，按照国际惯例，11～15 d 延伸期预报关注的重点是候平均预报场和候距平场预报。下面详细介绍采用 T213 集合预报系统的逐日预报资料，在计算 11～15 d 集合预报平均的基础上，对 11～15 d 逐日预报资料做后端点滑动平均，并由此获得 11～15 d 的候平均和候距平预报的具体方法。

2.1　对逐日 11～15 d 预报资料做集合平均

近年来，集合预报已成为一项热门技术(麻巨慧等，2011；陈静等，2002；杜均等，2010；矫梅燕等，2011)，并且已经广泛地应用于实际业务中，显示出了强大的生命力。由于初值和模式的误差以及大气的混沌特性，使得数值天气预报具有很多的不确定性，而集合预报能够在一定程度上减弱模式不确定性的影响，因此，集合平均能够过滤掉集合成员表现出的不确定性，在一定的程度上减小模式的系统性误差和随机误差。因此，集合平均通常优于控制预报。

图 2 和图 3 分别为 2008 年 1 月 500 hPa 高度和 850 hPa 温度逐日的平均绝对误差和距平相关系数，从图中可看出，在 1～15 d 逐日预报中，集合平均的准确性在整个预报时效内均优于确定性的控制预报，且这优越性随着预报时限的延长而更加明显。在延伸期(11～15 d)预报中最显著。因此，为了提高预报准确率，在 11～15 d 预报中，用集合平均取代确定性的控制预报。

2.2　对逐日 11～15 d 预报资料做滑动平均

从图 2 和图 3 可以看出，即使用集合平均取代确定性的控制预报，11～15 d 的各预报时效的预报误差仍然较大。为了进一步减小预报误差，考虑对逐日的 11～15 d 预报资料进行滑动平均，从而在一定程度上滤去短波扰动，更好地表现出要素场某几天的平均状态和某一天气过程的平均状态。与此同时，对分析场资料也进行相同的滑动平均，然后进行相关的检验。

2.2.1　滑动平均方法构建

参考前人的一些研究成果，结合本文的实际情况。滑动平均方法定为后向衰减权重系数滑动平均，滑动步长为 5 d，具体算法如式(1)所示。

基于每个格点上的 1～15 d 逐日预报 y_1，y_2，

$y_3,\cdots,y_{15}$，对 11～15 d 逐日预报做按式(1)计算得到滑动平均后的 11～15 d 逐日预报：

$$f_k = y_k = \sum_{i=1}^{5} w_i y_{k-i+1} \quad k = 11,12,13,14,15;$$
$$m = 5 \tag{1}$$

式中，w_i 为权重系数且 $\sum w_i = 1$；权重系数的选取会在很大程度上影响滑动平均的效果，为了能够在较好地通过平滑滤波减小预报误差的同时又能较好地保留滑动日期当天的预报信息，滑动日期当天的权重系数不宜小于 50%，且距离滑动日期越远权重系数应该越小。为了获得一组较好的权重系数，本文拟定了 3 组权重系数，权重系数从需要滑动的日期起向前分别取 ex1：50%、20%、10%、10%、10%；ex2：60%、10%、10%、10%、10%；ex3：70%、10%、10%、5%、5%，在此基础上进行相应的一维预报理论试验证明其理论可行性，并进行相应的权重系数敏感性试验以确定滑动平均的最优权重系数组合。

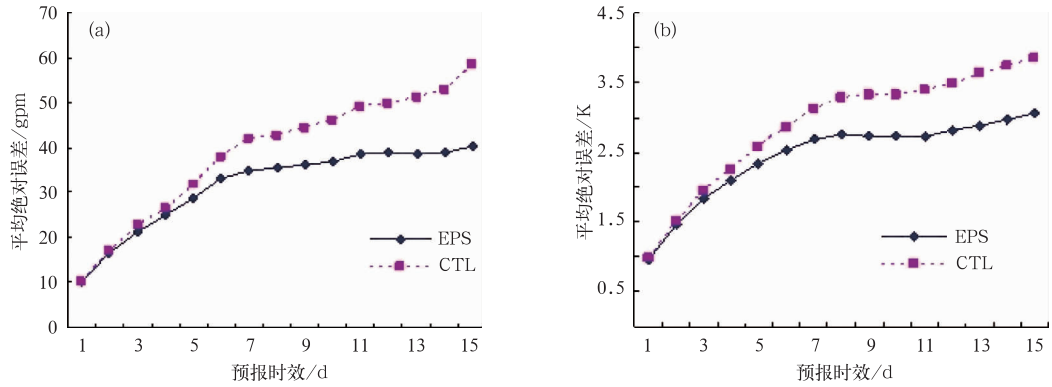

图 2 2008 年 1 月 T213 集合预报系统 500 hPa 高度(a)和 850 hPa 温度(b)的平均绝对误差

Fig. 2 Mean absolute error of T213 EPS 500 hPa geopotential height (a) and 850 hPa temperature (b) in January 2008

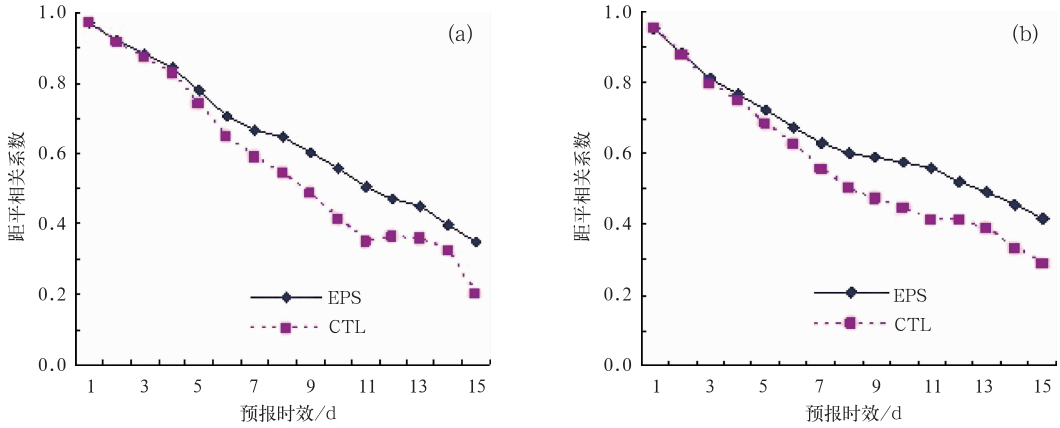

图 3 2008 年 1 月 T213 集合预报系统 500 hPa 高度(a)和 850 hPa 温度(b)的距平相关系数

Fig. 3 Anomaly correlation coefficients of T213 EPS 500 hPa geopotential height (a) and 850 hPa temperature (b) in January 2008

2.2.2 一维预报理论试验

为了证明上述滑动平均方法在理论上是可行的，本文基于上述拟定的三组权重系数进行了相应的一维预报理论试验。

取一正弦函数作为时间演变的“一维”分析场：

$$Y_a = A \times \sin x \tag{2}$$

这里“x”只是预报时间的函数：$x=\pi\times(d_i-1)/D_0$；d_i：$i=1,2,\cdots,14,15$；$D_0=(15-1)/2=7.0$。振幅 A 可以取任何正数，为了计算方便，取 $A=10$。则当 $d_i=1$ 时，$x=0$，$\sin x=0$；当 $d_i=4.5$ 时，$x=\pi/2$，$\sin x=1$，…；当 $d_i=15$ 时，$x=2\pi$，$\sin x=0$。

假设有 3 种 1～15 d 的预报结果：

（1）位相一致，振幅被衰减了 50%：

$$Yf1 = 0.5 \times A \times \sin x \tag{3}$$

（2）位相快了“π/2”，振幅不变：

$$Yf2 = A \times \sin(x + \pi/2) \tag{4}$$

（3）位相慢了“π/2”，振幅被放大了 50%：

$$Yf3 = 1.5 \times A \times \sin(x - \pi/2) \tag{5}$$

按照式(2)可求得一维预报理论试验的分析场，按照式(3)～(5)可求得三种具有一定的实际气象意义的预报场，将以上式(2)～(5)分别应用到文章中的公式(1)，可求得经过相应的滑动平均的分析场和预报场。逐日的分析场和预报场如图 4 所示，ana 为分析场，$Yf1$、$Yf2$、$Yf3$ 和 ex1_$Yf1$、ex1_$Yf2$、ex1_$Yf3$ 分别为(3)～(5)对应的滑动平均前(权重系数为 ex1：50%、20%、10%、10%、10%)和滑动平均后的预报场。在此基础上，求取相应的滑动平均前后 11～15 d 预报绝对误差并进行比较。

图 5 为以 ex1：50%、20%、10%、10%、10%为权重系数进行滑动平均前后 11～15 d 逐日预报绝对误差，以 ex2：60%、10%、10%、10%、10%和 ex3：70%、10%、10%、5%、5%为权重系数进行滑动平均前后 11～15 d 逐日预报绝对误差分布形态与 ex1 接近一致(图略)。ae1、ae2、ae3 和 ex1_ae1、ex1_ae2、ex1_ae3 分别为 $Yf1$、$Yf2$、$Yf3$ 滑动平均前后的预报绝对误差，从图 5 可看出：进行滑动平均后的 11～15 d 预报中，$Yf1$：即当位相一致，振幅被衰减了 50%时，前两天有明显改进；$Yf2$：即位相快了“π/2”，振幅不变时。前四天均有明显改进；$Yf3$：即位相慢了“π/2”，振幅被放大了50%时，最后两天有明显改进。

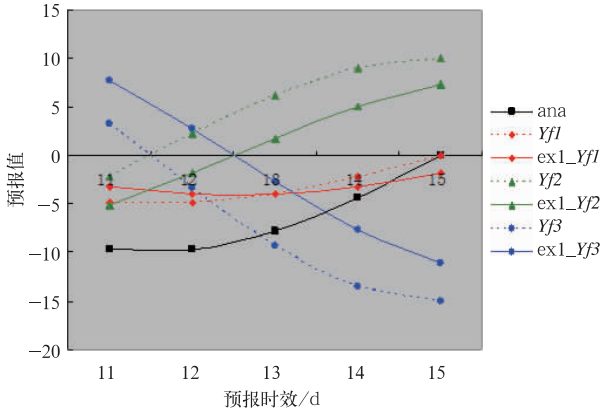

图 4　一维预报理论试验分析场及滑动平均前后 11～15 d 预报场

Fig. 4　Analysis field and forecast field of 11－15 d before and after moving average of the one dimensional forecast theory experiment

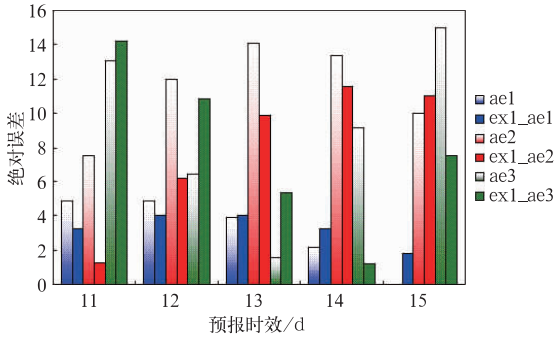

图 5　一维预报理论试验滑动平均前后 11～15 d 绝对误差分布图

Fig. 5　Absolute error of 11－15 d before and after moving average of the one dimensional forecast theory experiment

综上所述，一维预报理论试验结果表明：文中设计的后向衰减权重系数滑动平均能够在一定程度上通过把“时间滞后”的预报信息“映射到”当前预报时刻从而提高当前预报时刻的预报技巧，且当预报比实况位相快时改善效果最明显。

2.2.3　权重系数敏感性试验

在进行了一维预报理论试验验证滑动平均的理论可行性的基础上，本文基于 3 组拟定的权重系数(权重系数从需要滑动的日期起向前分别取 ex1：50%、20%、10%、10%、10%；ex2：60%、10%、10%、10%、10%；ex3：70%、10%、10%、5%、5%)进行了相应的权重系数敏感性试验并进行检验评估，结果如表 1 和表 2 所示。

从表中可看出，3 组试验中，对逐日 11～15 d 预报场做滑动平均以后，整体预报效果均得到了明显的改善，且当权重系数从需要滑动的日期起向前分别取 50%、20%、10%、10%、10%时效果最好，因此，在接下来的研究中，本文采用这一组权重系数。从表中可看出，取这一组权重系数时，11～15 d 各预报时效的 500 hPa 高度场的平均绝对误差减小了 8 gpm 左右，850 hPa 温度场的平均绝对误差减小了 0.5℃左右，距平相关系数也显著提高。

2.3　对逐日 11～15 d 预报场做候平均

经过集合平均和后向衰减权重系数滑动平均处理后，500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场的预报误差显著减小，整体预报效果明显改善。在此基础上，对逐日的各要素11～15 d预报场做候平均处理，从而

表 1 2008 年 1 月 T213 集合预报系统 500 hPa 高度场滑动平均前后 11～15 d 平均绝对误差和距平相关系数

Table 1 Mean absolute error and anomaly correlation coefficients of T213 EPS 500 hPa geopotential height of 11－15 d before and after moving average in January 2008

项目\预报时效/d	11	12	13	14	15
滤波前 mae/gpm	38.66	38.79	38.6	38.97	40.13
ex1 滤波后 mae/gpm	29.1	29.86	30.15	31.07	32.27
ex2 滤波后 mae/gpm	29.5	30.1	30.4	31.3	32.6
ex3 滤波后 mae/gpm	32.1	32.6	32.8	33.6	34.8
滤波前 acc	0.5	0.47	0.45	0.4	0.35
ex1 滤波后 acc	0.67	0.63	0.6	0.54	0.47
ex2 滤波后 acc	0.66	0.62	0.59	0.52	0.46
ex3 滤波后 acc	0.61	0.57	0.54	0.48	0.42

表 2 2008 年 1 月 T213 集合预报系统 850 hPa 温度场滑动平均前后 11～15 d 平均绝对误差和距平相关系数

Table 2 Mean absolute error and anomaly correlation coefficients of T213 EPS 850 hPa temperature of 11－15 d before and after moving average in January 2008

项目\预报时效/d	11	12	13	14	15
滤波前 mae/K	2.72	2.81	2.88	2.98	3.07
ex1 滤波后 mae/K	2.17	2.23	2.31	2.43	2.55
ex2 滤波后 mae/K	2.19	2.25	2.33	2.46	2.58
ex3 滤波后 mae/K	2.34	2.41	2.49	2.61	2.72
滤波前 acc	0.56	0.52	0.49	0.46	0.42
ex1 滤波后 acc	0.68	0.65	0.61	0.58	0.54
ex2 滤波后 acc	0.67	0.63	0.60	0.56	0.52
ex3 滤波后 acc	0.63	0.6	0.57	0.53	0.49

得到相应的 11～15 d 候平均和候距平预报。与此同时，对分析场资料也做相应的候平均处理，并进行相关的检验。

3 预报效果检验

3.1 11～15 d 候平均预报效果检验

对经过集合平均和后向衰减权重系数滑动平均处理后得到的 11～15 d 候平均预报进行检验，结果表明：500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场的候平均绝对误差分别为 30.45 gpm、2.38℃，与 T213 集合预报系统逐日控制预报第五天的水平相当；500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场的候平均距平相关系数分别为 0.55、0.58，均已接近可用预报时效（ACC≥0.6）。因此，整体而言，用这种方法得到的候平均预报对于延伸期（11～15 d）要素场某几天的平均状态和某一天气过程的平均状态有一定的预报技巧，具备一定的应用价值。

3.2 11～15 d 候距平预报效果检验

500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场的候平均距平相关系数均已接近可用预报时效（ACC≥0.6），这已能在一定程度上说明 11～15 d 候距平预报的整体预报效果和可用性。为了更细致地进行评估，本文将用位相准确率和位相准确率的空间分布来衡量候距平预报的预报效果。即逐个格点进行检验，如果某个格点上预报距平与实况距平位相一致，即预报距平和实况距平均为正（负）距平，则认为该格点的距平预报的位相是准确的，计算出所有格点中位相准确的比例，称为位相准确率（取值范围 0～100%）。计算出逐个格点上 1 月逐日的 11～15 d 候距平预报中位相准确的比例，便可得到位相准确率的空间分布。这两种方法均可用于评估候距平预报的预报效果。

经计算，500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场的候距平预报的月平均位相准确率分别为 66.2%、72.6%，整体而言较为可观。图 6 是位相准确率的空间分布图，从图中可看出，在中国大陆地区，除东南沿海、华北和东北地区外，500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场的位相准确率均较高。中国大陆地区的位相准确率高于西太平洋海域。850 hPa 温度场的位相准确率整体高于 500 hPa 高度场。

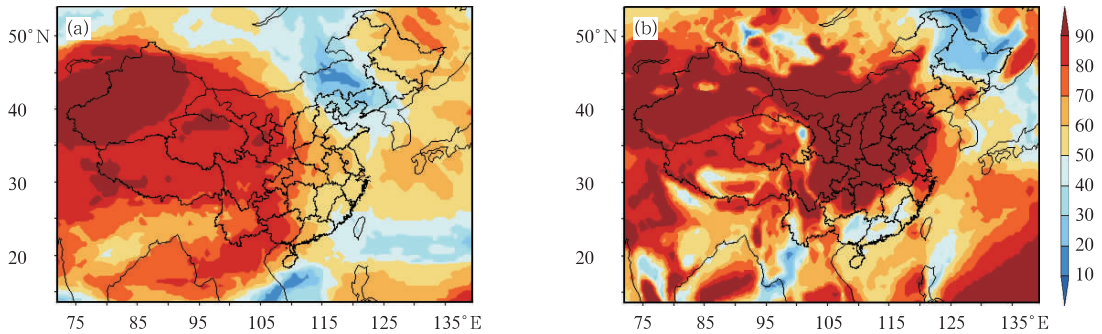

图 6　2008 年 1 月 T213 集合预报系统 500 hPa 高度(a)和 850 hPa 温度(b)
11～15 d 候距平预报位相准确率(0～100%)

Fig. 6　The phase accuracy rate of 11－15 d pentad anomaly forecast of T213 EPS 500 hPa geopotential height (a) and 850 hPa temperature (b) in January 2008

4　2008 年 1 月两次极端天气过程的预报效果检验

2008 年 1 月，我国南方大部分地区遭受了历史罕见的低温、雨雪、冰冻灾害，这次灾害天气过程影响范围广、强度大、持续时间长，给电力运行、交通运输、农业生产以及人民群众生活带来了严重的影响，造成的损失极为严重(王凌等，2008)。在此期间，共有 4 次明显的雨雪天气过程：1 月 10—16 日、18—22 日、25—29 日、1 月 31 日至 2 月 2 日。其中 18—22 日这次过程范围最广，25—29 日这次过程强度最大，本文将检验 11～15 d 候平均和候距平预报对这两次极端天气过程中的 500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场的预报效果。

图 7 为 2008 年 1 月 7 和 14 日起报的 11～15 d (对应 1 月 18—22 和 25—29 日)500 hPa 高度的候平均和候距平预报场以及相应的实况分析场，从图中可以看出，这两次过程的 500 hPa 高度的候平均和候距平场特征较为一致：东亚沿海地区及西太平洋海域环流平直，对应着强的正距平带，与此同时，中国的东北、华北、东南部沿海地区以及中国大陆以南地区也出现强的正距平带；110°E 以西的中纬度地区出现强的负距平带。1 月 7 和 14 日起报的 11～15 d 候距平预报对这两次过程中出现的异常距平做出了较好的预报，除中国大陆以北的部分地区外，异常距平出现的范围和分布、强距平中心的位置与实况对应均较好，但强度偏弱。

图 8 为 2008 年 1 月 7 和 14 日起报的 11～15 d (对应 1 月 18—22 和 25—29 日)850 hPa 温度的候平均和候距平预报场以及相应的实况分析场，从图中可以看出，这两次过程的 850 hPa 高度的候平均和候距平场特征也较为一致：在这两次强降温过程中，中国大陆除东北、华南、西北部分地区外均出现强的负距平(－4℃以上)，东亚沿海地区、西太平洋海域以及中国大陆以南对应着强的正距平带，在云南、四川西部以及青藏高原部分地区出现强正距平区。105°E 附近的中低纬度地区等温线密集，出现强锋区。1 月 7 和 14 日起报的 11～15 d 候距平预报准确地预报出了 105°E 附近中低纬度地区的强锋区的位置和强度。对于这两次过程中出现的异常距平也做出了较好的预报，除东北及其附近的部分地区外，异常距平出现的范围和分布、强距平中心的位置与实况对应均较好，但强度偏弱。

综上所述，11～15 d 候距平预报对延伸期(11～15 d)的大范围持续性异常距平具有较强的捕捉能力，对异常距平出现的范围和分布、强距平中心的位置的预报均较好，但强度整体偏弱。

5　结论和讨论

本文基于 T213 集合预报系统，采用 2008 年 1 月中国及附近区域 500 hPa 高度和 850 hPa 温度的 1～15 d 预报资料，对逐日 11～15 d 预报资料做集合平均和后向衰减权重系数滑动平均，进而得到延伸期(11～15 d)候平均和候距平预报，并对预报效果进行检验，得到以下结论：

(1) T213 集合预报系统的 1～15 d 逐日预报中，集合平均的准确性在整个预报时效内均优于确定性的控制预报，且这种优越性随着预报时效的延

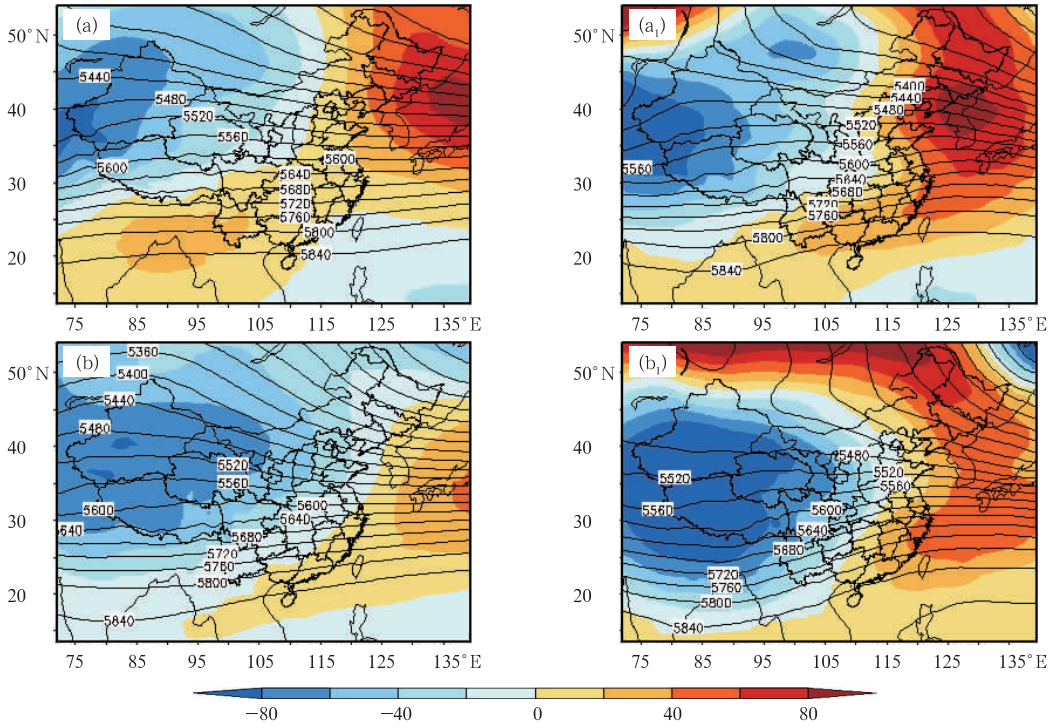

图 7 T213 集合预报系统 2008 年 1 月 7 和 14 日 500 hPa 高度场 11～15 d 候距平预报场及相应的实况分析场

(a) 1 月 7 日 11～15 d 候距平预报场，(a_1) 1 月 18—22 日分析场，

(b) 1 月 14 日 11～15 d 候距平预报场，(b_1) 1 月 25—29 日分析场

Fig. 7 The 11－15 d pentad anomaly forecast filed and the corresponding analysis filed of 7 and 14 Janary of T213 EPS 500 hPa geopotential height

(a) 11－15 d pentad anomaly forecast filed of 7 January, (a_1) analysis filed of 18－22 January,

(b) 11－15 d pentad anomaly forecast filed of 14 January, (b_1) analysis filed of 25－29 January

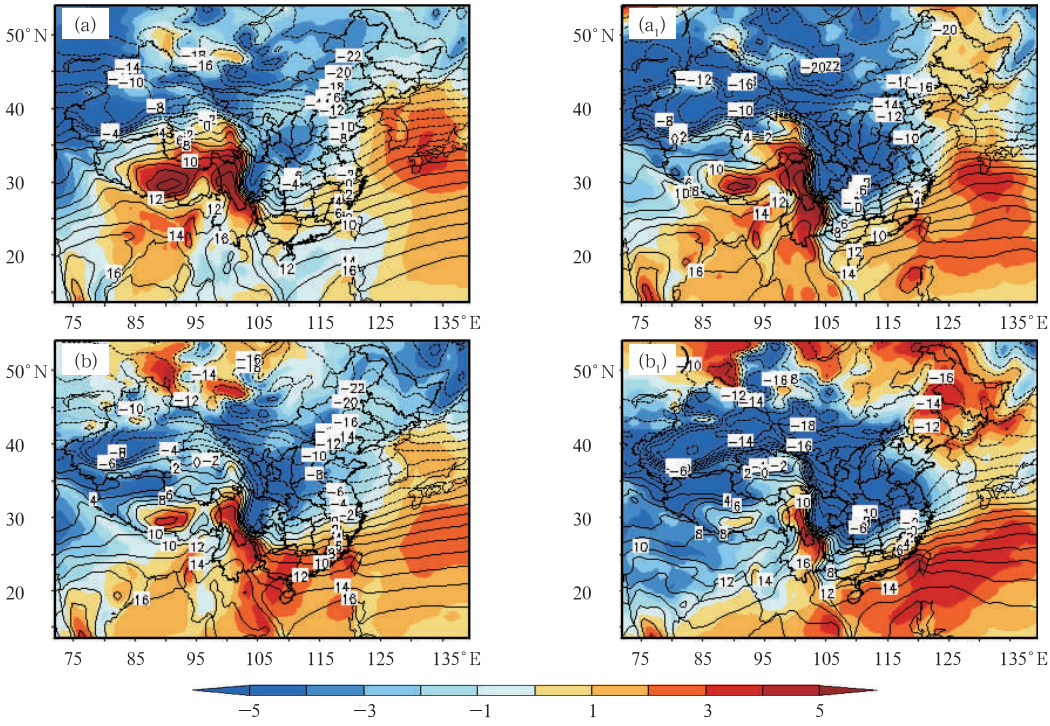

图 8 同图 7，为 850 hPa 温度场

Fig. 8 Same as Fig. 7, but for 850 hPa temperature

长而更加明显，在延伸期(11～15 d)预报中最显著。

(2) 对 11～15 d 预报场做后向衰减权重系数滑动平均(权重系数取从需要滑动的日期起向前分别取 50%、20%、10%、10%、10%)滑动平均能在一定程度上滤去短波扰动，更好地表现要素场和天气过程的平均状态，滑动平均后，预报误差明显降低，整体预报效果显著改善。

(3) 对做过集合平均和后向衰减权重系数滑动平均后得到的延伸期(11～15 d)候平均预报进行检验表明：500 hPa 高度场和 850 hPa 温度场的候平均绝对误差均显著降低，与 T213 集合预报系统逐日控制预报第五天的水平相当；候平均距平相关系数分别为 0.55、0.58，均已接近可用预报时效。因此，整体而言，用这种方法得到的候平均预报对于延伸期(11～15 d)要素场某几天的平均状态和某一天气过程的平均状态有一定的预报技巧，具备一定的应用价值。

(4) 对做过集合平均和后向衰减权重系数滑动平均后得到的延伸期(11～15 d)候距平预报进行检验表明：11～15 d 候距平预报在中国大陆地区位相准确率均较高，东南沿海和东北部分地区稍差。中国大陆地区的位相准确率高于西太平洋海域。850 hPa 温度场的位相准确率整体高于 500 hPa 高度场。

(5) 对 2008 年 1 月两次极端天气过程预报效果进行检验，结果表明：11～15 d 候距平预报对延伸期(11～15 d)内的大范围持续性异常距平具有较强的捕捉能力，对异常距平出现的范围和分布、强距平中心的位置的预报均较好，但强度整体偏弱。

(6) 由于试验期资料有限，本文中研究的要素也有限。用这种方法得到的延伸期(11～15 d)候平均和候距平预报在各个季节的预报能力如何？对其他要素场的预报效果如何？这些都需要进行更多的试验和探究。

参考文献

陈静，陈德辉，颜宏. 2002. 集合数值预报发展与研究进展. 应用气象学报，13(4)：497-507.

陈丽娟，李维京. 1999. 月动力延伸预报产品的评估和解释应用. 应用气象学报，10(3)：486-490.

崔慧慧，智协飞. 2013. 基于 TIGGE 资料的地面气温延伸期多模式集成预报. 大气科学学报，36(2)：165-173.

狄靖月，赵琳娜，张国平，等. 2013. 降水集合预报集成方法研究. 气象，39(6)：691-698.

杜均，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. 气象，36(11)：1-11.

矫梅燕，等. 2011. 现代数值预报业务. 北京：气象出版社，127-140.

金荣花，马杰，毕宝贵. 2010. 10～30 d 延伸期预报研究进展和业务现状. 沙漠与绿洲气象，4(2)：1-5.

李莉，李应林，田华，等. 2011. T213 全球集合预报系统性误差订正研究. 气象，37(1)：31-38.

李维京，陈丽娟. 1999. 动力延伸预报产品释用方法的研究. 气象学报，57(3)：338-345.

麻巨慧，朱跃建，王盘兴，等. 2011. NCEP、ECMWF 及 CMC 全球集合预报业务系统发展综述. 大气科学学报，34(3)：370-380.

彭相瑜，代刊，金荣花，等. 2014. 欧洲中心集合预报在中国区域中期时效离散度预报技巧关系分析. 气象，40(7)：777-786.

任志杰，陈静，田华. 2011. T213 全球集合预报系统物理过程扰动方法研究. 气象，37(9)：1050-1059.

谭宁. 2013. 基于 T213 模式 1～15 d 集合预报模式扰动方法研究，中国气象科学研究院.

谭宁，陈静，田华. 2013. 两种模式随机扰动方案比较及扰动传播分析. 气象，39(5)：543-555.

田华，邓国，胡江凯. 2007. 全球 T213 数值集合预报业务系统简介. 2007 年中国气象学会年会.

肖天贵，张恒，金荣花，等. 2012. 中期延伸期 T213 集合数值预报的扰动能量信号分析. 第 29 届中国气象学会年会——S1 灾害天气研究与预报.

王凌，高歌，张强，等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害的气候特征及成因分析. Ⅰ气候特征. 气象，34(4)：95-100.

Miyakoda K, Gordon T, Carerly R, et al. 1983. Simulation of a blocking event in January 1977. Mon Wea Rev, 111: 846-869.

Palmer T N. 1993. Extended-range atmospheric prediction and the Lorenz model. Bull Amer Meteor Soc, 74: 49-65.