0577-6619/2009/67(2)-0280-87 *Acta Meteorologica Sinica* 气象学报

基于月动力延伸预报最优信息的中国降水降尺度预测模型*

顾伟宗[1,2] 陈丽娟[1] 张培群[1] 李维京[1] 李 想[1] 刘绿柳[1]
GU Weizong[1,2] CHEN Lijuan[1] ZHANG Peiqun[1] LI Weijing[1] LI Xiang[1] LIU Lüliu[1]

1. 国家气候中心，中国气象局气候研究开放实验室，北京，100081
2. 山东省气候中心，济南，250031
1. *National Climate Center*, *Laboratory for Climate Studies*, *CMA*, *Beijing* 100081, *China*
2. *Shandong Climate Center*, *Jinan* 250031, *China*
2007-09-04 收稿，2007-11-07 改回.

Gu Weizong, Chen Lijuan, Zhang Peiqun, Li Weijing, Li Xiang, Liu Lüliu. 2008. Downscaling precipitation prediction in China based on Optimization Information Extracted from Monthly Dynamic Extended Range Forecast. *Acta Meteorologica Sinica*, 67 (2): 280－287

Abstract Using monthly dynamic extended range forecast (DERF) products, NCEP/NCAR reanalysis data and 160 station data in China, we have extracted optimal predictors which significantly influence precipitation. The predictors are selected from high skill regions of DERF and high correlation between observing precipitation and other variables. Downscaling monthly anomaly precipitation are predicted using the optimal subset regression from selected predictors. Two schemes are designed in the paper. One uses the detrending data to establish the prediction equations (scheme 1), the other uses the original data to establish the prediction equations (scheme 2). The results show that the two schemes can improve the skills of monthly precipitation forecast whereas scheme 1 has higher skills than scheme 2. The anomaly correlation coefficient between scheme 1 and observation can reach 0.35. Downscaling tests indicate that initial fields could have great influence on model results and downscaling precipitation prediction. Using scheme 1 and DERF results from different leadtime including 0 day, 5 days and 10 days, it shows that when lead time is 5 days and 0 day, the downscaling precipitation prediction could be used as a good reference in monthly climate prediction. In the downscaling model, selected predictors can pass statistic tests and have clear physical meanings. The downscaling methods can be applied in operational climate prediction.
Key words Dynamic extended range forecast, Optimization information, Precipitation, Downscaling

摘 要 利用国家气候中心月动力延伸预报结果、NCEP/NCAR 再分析资料和中国 160 个站观测资料，通过计算两次相关的方法，获取最优预报信息作为建立降尺度预测模型的预测因子，提取的最优预测因子同时满足既是观测环流要素场影响降水的关键区域，又是模式要素场预报的高技巧区域两个条件。结合挑选出的最优预测因子，利用最优子集回归建立月平均降水的降尺度预测模型。文中设计了消除预测因子和预测量的线性趋势值后建立预测模型(方案 1)和直接利用原始资料建立预测模型(方案 2)两种方案。经过独立样本检验，发现这两种方案建立的预测模型都能够提高月尺度降水预测，方案 1 对月尺度降水预测的距平相关系数平均可达 0.35。利用该方案对超前时间分别为 0、5、10 d 的月动力延伸预报产品进行月降水的降尺度预测表明，模式初值信息不仅影响月动力延伸预报结果，也影响降尺度应用效果，利用超前时间为 0 和 5 d 的月动力延伸预报结果进行降水降尺度预测可在业务中参考。此外，降尺度预测模型中选取的预测因子不仅在统计上是显著的，同时也具

* 资助课题：国家自然科学基金项目(40675039)、国家科技部科技支撑计划项目(2006BAC02B04)和中国气象局业务建设项目(气候模式产品在区域气候预测业务中的应用)。
作者简介：顾伟宗，研究方向：气候预测研究和应用。E-mail: longmarch529@163.com
通讯作者：陈丽娟，研究方向：气候预测研究和应用。E-mail: chenlj@cma.gov.cn

有清楚的物理意义。

关键词 月动力延伸预报,最优信息,降水,降尺度预测

中图法分类号 P456.2 P456.7

1 引 言

月尺度降水和温度等要素的预报是一项面临诸多困难且具有挑战性的课题。国内外气象学家经过20多年的努力,在月尺度预测领域取得了一定的进展,但预测水平仍然较低,没有达到业务可用的水平(王绍武,1998)。在预测方法上一般基于动力模式进行月尺度气候预测(Shukla,1981,1988;钱永甫等,2001;张道民等,1996; Frederic,2004)。最早的月动力延伸数值预报仅是中期预报的延伸,后期的许多研究工作证明海洋等过程对月尺度预测同样有较大影响(Shukla,1988;Kingtse,et al,1991;骆美霞等,2002),模式的海洋边界条件由气候海温改为实时海温,直至使用海气耦合模式进行月尺度预测(Frederic, 2004)。由于月尺度气候预测的特殊性,围绕月尺度气候要素预测能力的提高,需要在初值形成、集合方法、模式动力框架和物理过程的改善以及模式结果的处理等多方面(Hoffman,et al,1983;杨燕等,1997a,1997b; 龚建东等,1999;刘金达,2000;Mureau,et al, 1993; Barkmeijer,et al, 1999;陈伯民等,2004a,2004b;张道民等,2001;Yang,et al, 2001;钱永甫等,2001)开展工作。任宏利等(2007)对该领域进行了全面的总结,并指出动力与统计相结合是改善数值预测能力的重要途径。国内外学者作了一些探索性的工作,包括在模式积分过程中(内部结合)(曹鸿兴,1998;任宏利等,2005,2006)和模式结果处理(外部结合)中体现动力与统计相结合,前者在改进模式的高度场预报技巧方面取得一定的成绩,后者除了模式误差订正工作外,在气候预测应用领域开辟了一个分支——降尺度(Wilby,et al,1997; 李维京等,1999;Hellstrm,et al,2003)。事实证明,在已有模式预测条件下,如何发掘现有模式的预测能力,并致力于提高对地表气候要素的预测和应用,有广阔的前景和价值。

本文利用国家气候中心九五期间发展的气候模式系统(丁一汇等,2004;李维京等,2005)中的大气环流模式 T63L16 进行月动力延伸预报 20 余年回算和预报结果,王会军等(2007)从可预报性的角度,对模式降水和温度的预报能力进行了分析,本文从最大限度地提取模式预报的多种大尺度环流有用信息出发,结合不同地区观测站点的局地气候特征,对不同站点挑选出不同的最优预测因子,利用最优子集回归方法建立针对 160 个站点降水的各月降尺度预测模型,并评估分析模型的预测结果和模式直接输出的降水预测结果。以探求在现有模式发展水平下,提高降水等要素预测能力的途径。

2 资 料

选取 1982—2006 年中国气象局国家气候中心整理的 160 个测站逐月降水量和气温资料、1982—2006 年的各月 NCEP/NCAR 再分析资料(Kalney, et al, 1996),以及同期月动力延伸预报产品。月动力延伸预报产品包含两种初值生成的数据,一是由落后平均法(LAF)生成(Hoffman,et al, 1983) ,二是由奇异向量法(SV)生成(刘金达,2000)。文中使用由落后平均法(LAF)生成的资料,即采用每天 4 个时次的初值分别积分 40 d,针对预报月,处理成超前时间(leadtime)分别为 0 d(预报初值为 26—30 日)、5 d(预报初值为 21—25 日)、10 d(预报初值为 16—20 日)的月集合平均预测结果,参加集合的样本数为 20 个。模式输出量有 200、500 和 700 hPa 位势高度场,200 和 700 hPa 的 u、v 风场,海平面气压场以及降水和温度等地表要素。模式输出和 NCEP/NCAR 再分析资料的分辨率均为 2.5°×2.5°。

3 最优预测信息的提取方法

预报因子的选择是降尺度预测模型建立过程中一个非常重要的环节,在很大程度上决定了预测准确率。为了从大量的实况资料和模式资料中挑选出分别影响 160 个站点的最优信息,文中利用逐个站点的月平均降水资料分别与模式产品和实况资料求相关,寻求到既能反映模式预报大尺度要素的高技巧区,同时也能反映影响该站点降水的实际环流信息,把满足这两个条件的公共区域内模式资料代表性格点作为预测因子,利用最优子集回归方法和双评分准则(魏凤英,1999)建立预测模型,得到不同观测站点的月降水预测方程,共计 160 组预测方程。

为了最大可能地利用模式有用信息,结合模式回

算资料和预报结果,利用距平相关系数法寻找关键因子。具体方法为:首先利用每个观测站点的月平均降水资料与模式输出的相同月份的 200、500 和 700 hPa 位势高度场,200 和 700 hPa 的 u、v 风场,海平面气压场以及模式预测的同期降水和温度场求相关,然后再用观测站点的月平均降水量与同期 NCEP 再分析资料对应的要素场求相关,将月平均降水与模式输出场相关系数的分布场和月平均降水与 NCEP 场相关系数的分布场相结合,寻求到预测站点月平均降水与模式结果和再分析资料的相关系数符号一致,并且通过 0.05 显著性水平区域内的模式格点资料作为预测因子,在程序设计过程中保证该区域面积大于 4×4 网格点,如果区域太小或者是孤立点,则不作为关键因子考虑。将所有满足以上条件的关键区域的代表性格点挑选出来形成因子集。经过该过程挑选出来的因子至少满足 3 个条件:

(1) 利用实况资料选择的预报因子与预报量有很强的相关性,是实际大气中真实存在的联系,具有一定的物理基础;

(2) 选择的预报因子能够被模式准确地模拟出来,即该因子落在模式预报的高技巧区,从而提取了模式最优信息;

(3) 选择满足条件(1)和条件(2)的公共区域,该区域为达到 0.05 统计显著性水平的 4×4 网格点以上的成片区域,保证了统计显著性,避免了小尺度空间信息的干扰。

将满足上述 3 个条件的因子选出后,形成因子集,利用最优子集回归方法建立预测模型,在建立模型时,如果挑选出的因子太多(大于 10 个因子),则对每个场中挑选出的因子按照相关系数的大小进行排序,选出该场中关键因子区的中心相关系数最大的一个区域作为代表性预测因子,这样使得每个站点的预测因子数控制在 10 个以内。

4 建立预测模型的不同方案

气候变化既包含季节和年际变化等时间尺度信息,也包含年代际甚至更长时间尺度的信息。文中主要是针对月尺度的降水预测,为了避免全球变暖背景下,地表量长期变化趋势对月尺度预测的影响,文中在建立预测模型时设计了两种方案。方案 1:直接对原始资料利用距平相关系数法确定出最优因子,利用最优子集回归建立预测模型,对确定站点的降水距平百分率进行预测,得到预测结果;方案 2:首先利用一元线性回归,分别把降水和模式动力产品以及对应的实况资料的长期变化趋势去掉,用去趋势后的资料分别求相关,确定出最优因子集,利用最优子集回归建立预测模型,得到初步的结果,然后把相应站点降水的初步结果加上它本身的长期变化趋势,得到最终预测结果。图 1 给出方案 2 中建立模型的思路,方案 1 与方案 2 类似。

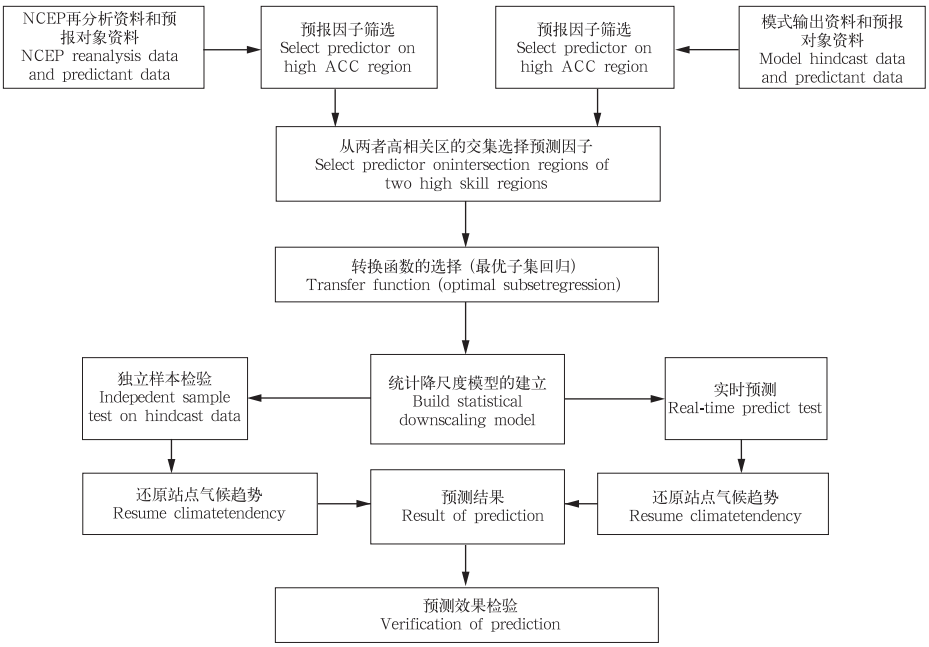

图 1 方案 2 建立模型的流程

Fig. 1 Flow chart of the downscaling model

5 预测效果检验

前面设计了两种方案对站点月降水距平百分率进行预测,那么这两种不同方案对站点降水预测效果如何?哪一个方案预测效果更好?为此,文中利用1982—2001年超前时间(leadtime)为5 d的模式动力产品,使用上述两个方案分别建立1—12月中国160个站的降水预测模型,利用2002—2006年进行独立样本检验,检验结果评分标准采用距平相关系数(ACC, Murphy,et al,1989),评估站点为中国160个代表站,同时把利用这两种方案预测结果评分与模式直接输出的降水预报结果评分进行比较(图2)。

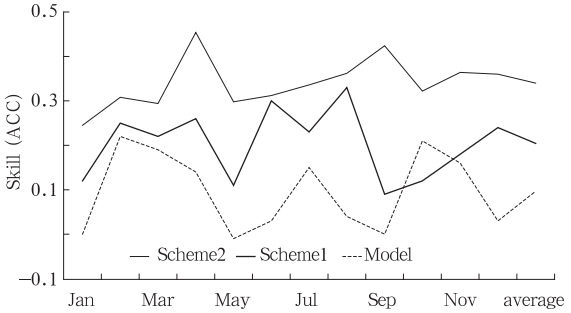

图2 2002—2006年平均逐月降水预测评估

Fig. 2 The independent sample test of monthly precipitation in 2002−2006 from downscaling model and AGCM results

由图2可见,方案1和2对降水的降尺度应用预测结果明显优于模式直接输出预测结果,对近5年的59个月(2002年2月到2006年12月)独立样本预测结果评分发现:方案1预测结果中,平均评分为0.2,方案2的平均评分为0.35。而模式直接预测结果的平均评分为0.1。方案1预测结果与实况距平相关系数大于0.2的有34个月,占58%;方案2的预测结果与实况距平相关系数大于0.2的有49个月,占83%。可见无论方案1还是方案2都体现了高于模式输出结果的预测技巧,利用方案2的预测结果评分明显高于方案1,通过这种降水的降尺度预测方法,达到了提高月降水预测准确率的目的。

比较这两个方案的预测评分结果,可以发现在寻求关键因子和建立预测模型时,气候长期变化趋势对月尺度降水预测准确率有显著的影响,在进行月尺度气候预测时对资料进行预处理很重要。

6 代表站最优因子的选取举例

根据前面对中国160个站的预测结果评估,两种降水的降尺度预测方案都明显提高了月尺度降水预测的准确率。由于预测因子的选择是降尺度预测模型建立过程中一个非常重要的环节,这里选取德州作为代表站,举例说明在7月降水预测模型中选取的因子情况。德州7月降水预测模型中选取的因子共9个,分别来自700、500 hPa高度场,700、200 hPa经向风场和降水场。图3和4分别是德州站7月降水与同期NCEP/NCAR和模式输出资料的500 hPa高度场和700 hPa经向风场的相关系数分布,等值线是降水与NCEP/NCAR的相关系数,阴影是降水与模式输出资料相关系数通过0.05以上显著性水平的区域,所选择的因子是两个相关场中,格点的相关系数符号一致,且相关系数绝对值大于0.38的重叠区域。从图3上可以看出,500 hPa高度场上,欧亚地区影响德州站7月降水的关键区有两个,中心分别在乌拉尔地区(60°—75°N,50°—70°E)和鄂霍次克海地区(50°—70°N,120°E—180°)。这反映出7月乌拉尔地区和鄂霍次克海地区高度场偏高,有利于德州站降水偏多。700 hPa经向风场上,欧亚地区有两个高相关的关键区,分别在欧洲北部(40°—70°N,30°—50° E)、和东北亚地区(50°—65° N,120°—160°E),反映出欧洲北部和东北北部地区低层经向风异常对德州站7月降水有显著影响,偏北风距平分布有利于降水偏多。同样在其他的环流场和风场(图略)也可以找到影响德州降水的关键区域,这些影响因子主要集中在北半球中高纬地区大气活动中心。由此可见,通过上面方案挑选出的因子不仅从统计关系上是显著的,同时在影响关系上也具有一定的物理意义。

7 不同超前时间的月动力延伸预报产品的降尺度预测

从上面的比较分析可以发现,文中设计的两种降尺度方案都能够提高月尺度降水的预测准确率,并且对资料进行预处理方案的预测效果明显比直接用原始资料的方案效果好。那么不同超前时间的月动力延伸预报产品的预测准确率有多大差异?对降尺度预测模型有何影响?在实际预测业务中用哪一组资料最为合适?为此,文中利用不同超前时间的

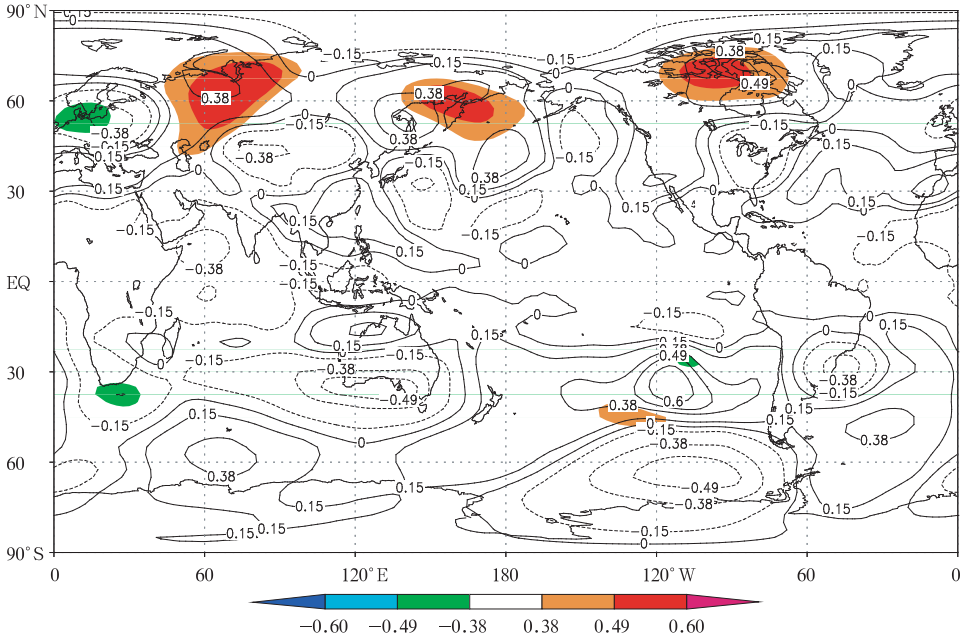

图 3 德州站 7 月降水分别与同期 NCEP/NCAR(等值线)和模式输出
(阴影表示相关系数通过 0.05 以上显著水平)的 500 hPa 高度场的相关系数分布

Fig. 3 The distribution of high anomaly correlation coefficient (ACC) regions in 500 hPa potential height
(shaded regions indicate ACC are significant at the 5% level)

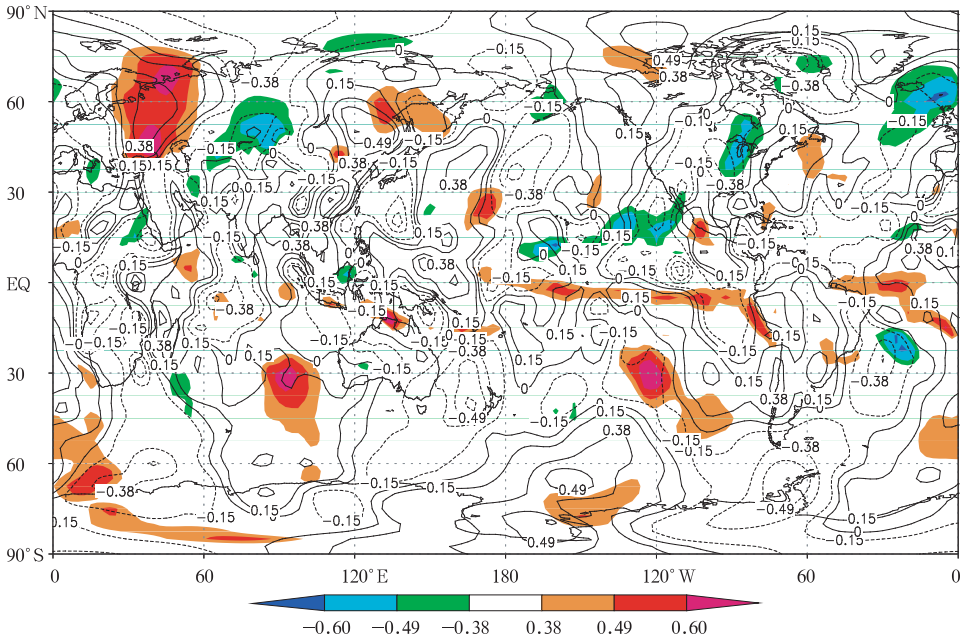

图 4 德州站 7 月降水分别与同期 NCEP/NCAR(等值线)和模式输出
(阴影表示相关系数通过 0.05 以上显著水平)的 700 hPa 经向风场的相关系数分布

Fig. 4 The distribution of high anomaly correlation coefficient (ACC) regions in 700 hPa meridional wind
(shaded regions indicate ACC are significant at the 5% level)

月动力延伸预报资料,采用方案 2 对降水进行降尺度预测试验,表 1 为对 2002—2006 年 1—12 月独立样本预测结果的评估。

从表 1 中可以看出,在近 5 年 59 个样本中,用超前时间为 0 d 的资料预报结果的预报技巧有 37 个高于超前时间为 5 d 的资料预报结果的预报技巧;超前时间为 5 d 的资料预报结果的预报技巧有 32 个高于超前时间为 10 d 的资料预报结果的预报技巧。多数月份的平均结果也反映了这一特征,表现出月动力延伸预报的初值条件对预测准确率有很大影响,同时模式输出产品的预测性能较大程度地决定了降尺度应用水平。在实际预测业务中,可用超前时间为 5 d 的动力产品资料对月平均降水进行降尺度预测,为了更好地提供预测服务,可用超前时间为 0 d 的模式产品对预测进行滚动订正。

表 1 不同超前时间对降水降尺度预测结果与实况的距平相关系数

Table 1 The ACC between different lead time downscaling results and observation on precipitation

	2002	2003	2004	2005	2006	平均	2002	2003	2004	2005	2006	平均
	1 月						2 月					
10 d		0.18	0.22	0.24	0.47	0.28	0.28	0.16	0.41	0.34	0.40	0.32
5 d		0.16	0.21	0.35	0.26	0.25	0.32	0.37	0.29	0.17	0.39	0.32
0 d	0.47	0.35	0.39	0.41	0.69	0.46	0.06	0.47	0.29	0.29	0.42	0.31
	3 月						4 月					
10 d	0.09	0.01	0.28	0.35	0.38	0.54	0.54	0.40	0.31	0.39	0.36	0.40
5 d	0.05	0.21	0.49	0.22	0.50	0.58	0.58	0.35	0.44	0.57	0.33	0.45
0 d	0.16	−0.01	0.53	0.54	0.34	0.61	0.61	0.34	0.29	0.42	0.46	0.42
	5 月						6 月					
10 d	0.28	0.52	0.22	0.51	0.32	0.37	0.27	0.30	0.38	0.46	0.24	0.33
5 d	0.32	0.22	0.33	0.41	0.21	0.30	0.30	0.26	0.42	0.19	0.39	0.31
0 d	0.55	0.57	0.37	0.79	0.75	0.61	0.48	0.05	0.19	0.29	0.30	0.26
	7 月						8 月					
10 d	0.68	0.21	0.34	0.39	0.54	0.43	0.46	0.31	0.14	0.15	0.22	0.26
5 d	0.45	0.28	0.39	0.20	0.36	0.34	0.36	0.25	0.19	0.64	0.37	0.36
0 d	0.48	0.33	0.27	0.35	0.28	0.34	0.38	0.39	0.26	0.47	0.32	0.36
	9 月						10 月					
10 d	0.39	0.04	0.41	0.38	0.13	0.27	0.33	0.53	0.39	0.22	0.10	0.31
5 d	0.51	0.49	0.45	0.48	0.19	0.42	0.45	0.48	0.12	0.29	0.27	0.32
0 d	0.39	0.44	0.46	0.31	0.17	0.35	0.23	0.62	0.13	0.34	0.14	0.29
	11 月						12 月					
10 d	0.52	0.38	0.29	0.41	0.29	0.38	0.44	−0.01	0.56	0.21	0.37	0.31
5 d	0.39	0.34	0.15	0.40	0.54	0.36	0.55	0.02	0.57	0.32	0.34	0.36
0 d	0.56	0.57	0.42	0.57	0.44	0.51	0.57	0.12	0.62	0.30	0.54	0.43

8 结论与讨论

本文从最大限度地提取模式有用信息、建立月降水的降尺度预测模型的角度出发,设计了两套建立模型的方案,利用月动力延伸预报产品和实况资料相结合,从丰富的动力延伸预报产品中,寻求到既是动力模式预报的高技巧区,又能反映实际大气对预报量影响的关键区域,并把满足两个条件的公共区域中的动力延伸预报格点值作为预测因子,利用最优子集回归建立月降水预测模型。通过对预测效果的分析发现,这种降尺度方法对降水有较好的预测能力。其中对资料进行去线性趋势的方案优于未去趋势的方案。两种方案的预测结果均高于模式直接预测结果。针对月动力延伸预报产品不同超前时间输出产品的降水降尺度应用表明,超前时间越短的动力延伸预报产品对未来降水预测效果越好,初值信息的准确性很重要。对代表站点德州 7 月降水预测模型的分析可以看到,所选取的预测因子多为大尺度大气活动中心,不仅在统计上是显著的,同时也具有清楚的物理意义。

本文是利用动力与统计相结合,对月动力延伸预报结果提取最优信息进行降尺度应用的试验,在月降水预测方面取得较明显改进,可在实际气候预

测业务中应用,并在应用中进一步完善降尺度预测模型。

致谢:感谢审稿人的评阅意见,感谢朱艳峰博士对本工作的建议,感谢颜京辉博士在图形绘制方面提供的帮助。

References

Barkmeijer J, Buizza R, Parmer T N. 1999. 3D-Var Hessian singular vectors and their potential use in the ECMWF ensemble prediction system. Quart J Royal Meteor Soc, 125:2333-2351

Cao Hongxing. 1998. Self-memory spectral model and its preliminary application. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 22(1):119-126

Chen Bomin, Ji Liren, Yang Peicai, et al. 2004a. Monthly extended prediction predicting experiments with non-linear regional prediction Ⅰ: Prediction of zonal mean flow. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 62(1):1-10

Chen Bomin, Ji Liren, Yang Peicai, et al. 2004b. Monthly extended predicting experiments with non-linear regional prediction Ⅱ: imperovement of wave component prediction. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 62(1):11-19

Ding Yihui, Li Qingquan, Li Weijing, et al. 2004. Adavce in seasonal dynamical prediction operation in China. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 62(5): 598-612

Frederic Vitart. 2004. Monthly forecasting at ECMWF. Mon Wea Rev, 132: 2761-2779

Gong Jiandong, Qiu Chongjian, Wang Qiang, et al. 1999. The numerical experiment in area four dimensional variational data assimilation. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 57(2):131-142

Hellstrm C, Chen D. 2003. Statistical downscaling based on dynamically downscaled predictors: Application to monthly precipitation in Sweden. Adv Atmos Sci, 20:951-958

Hoffman R N, Kalnay E. 1983. Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. Tellus, 35:100-118

Kalney E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Amer Meteor Soc, 77:437-471

Kingtse Mo, Eugenia Kalnay. 1991. Impact of sea surface temperature anomalies on the skill of monthly Forecasts. Mon Wea Rev, 19:2771-2793

Li Weijing, Chen Lijuan. 1999. Research on reexplanation and reanalysis method of dynamical extended range forecast products. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 57(3):338-345

Li Weijing, Zhang Peiqun, Li Qingquan, et al. 2003. Research and operational application of dynamical climate model prediction system. Quart J Appl Meteor (in Chinese), 16(Appl):1-11

Liu Jinda. 2000. Singular vector ensemble forecast // Monthly Dynamic Extended Range Forecast Research (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 48-53

Luo Meixia, Zhang Daoming. 2002. Numerical experiment on effects of real sea surface temperature on dynamic extended (monthly) forecasting. Quart J Applied Meteor (in Chinese), 13(6):727-733

Murphy A H, Epstein E S. 1989. Skill scores and correlation coefficients in model verification. Mon Wea Rev, 117:572-581

Mureau R, Moteni F, Palmer T N. 1993. Ensemble prediction using dynamical conditions perturbations. Quart J Royal Meteor Soc, 119:299-324

Qian Yongfu, Zheng Qiong. 2001. Monthly-scale dynamical extended forecast experiments performed with a p-σ global numerical climate model. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 25(5): 641-649

Ren Hongli, Chou Jifan. 2005. Analogue correction method of errors by combining both statistical and dynamical methods together. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 63(6):988-993

Ren Hongli, Chou Jifan. 2006. Introducing the updating of multi-reference states into dynamical analogue prediction. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 64(3):315-324

Ren Hongli, Chou Jifan. 2007. Study progress in prediction strategy and methodology on numerical model. Adv Earth Sci (in Chinese), 22:376-385

Shukla J. 1981. Dynamical predictability of monthly means. J Atmos Sci, 38(12):2547-2572

Shukla J. 1988. Predictability of monthly mean circulation and rainfall part Ⅰ: Classical dynamical predictability experiments; and Part Ⅱ: Influences of 1982-83 and 1986-87 El Niño SST Anomalies // Proceedings of the Workshop on Predictability in the Medium and Extended Range, ECMWF, England, 251-261

Tracton M Steven, Kingtse Mo, Wilbur Chen, et al. 1989. Dynamical extended range forecasting (DERF) at the National Meteorological Center. Mon Wea Rev, 17:1604-1635

Wang Huijun, Chen Lijuan, Li Weijing, et al. 2007. Predictability of DERF on monthly mean temperature and precipitation over China. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 65(5):725-732

Wang Shaowu. 1998. Predictability and uncertainty in short-term climate prediction. Adv Earth Sci (in Chinese), 13(1):8-14

Wei Fengying. 1999. Modern Climate Statistic Diagnosis and Prediction Technique (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 194-222

Wilby R L, Wigley T M. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. Progress Phys Geography, 21:530-548

Yang Hui, Zhang Daomin and Ji Liren. 2001. An approach to extract effective information of monthly dynamical prediction-the use of ensemble method. Adv Atmos Sci, 18(2):283-293

Yang Yan, Ji Liren. 1997a. The application of the digital filtering method in monthly numerical weather prediction. Part Ⅰ: The impact of filtering the initial field. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 21(4):437-448

Yang Yan, Ji Liren. 1997b. The application of the digital filtering

method in monthly numerical weather prediction. Part Ⅱ: The comparison of the forecast skill with the different low frequency processes. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 21(5): 533-544

Zhang Daomin, Ji Liren, Li Jinlong. 1996. An experimental study on monthly numerical weather prediction. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 20: 429-438

Zhang Daomin, Ji liren. 2001. A study of information on the extraction to reduce errors in dynamic extended (monthly) numerical weather prediction. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 25(6): 778-786

附中文参考文献

曹鸿兴. 1998. 自忆谱模式及其初步应用. 大气科学, 22 (1): 119-126

陈伯民, 纪立人, 杨培才等. 2004a. 与非线性区域预测方法结合的月延伸预报试验Ⅰ: 纬向平均环流的预报. 气象学报, 62(1): 1-10

陈伯民, 纪立人, 杨培才等. 2004b. 与非线性区域预测方法结合的月延伸预报试验Ⅱ: 对波动分量预报的改进. 气象学报, 62(1): 11-19

丁一汇, 李清泉, 李维京等. 2004. 中国业务动力季节预报的进展. 气象学报, 62(5): 598-612

龚建东, 邱崇践, 王强等. 1999. 区域四维变分资料同化的数值试验. 气象学报, 57(2): 131-142

李维京, 陈丽娟. 1999. 动力延伸产品释用方法研究. 气象学报, 57(3): 338-345

李维京, 张培群, 李清泉等. 2005. 动力气候模式预测系统业务化及其应用. 应用气象学报, 16(Appl): 1-11

刘金达. 2000. 奇异向量法集合预报//月动力延伸预报研究. 北京: 气象出版社, 48-53

骆美霞, 张道民. 2002. 实时海温对延伸(月)预报影响的数值试验研究. 应用气象学报, 13: 727-733

钱永甫, 郑琼. 2001. $p-\sigma$ 全球模式的月尺度动力延伸预报试验. 大气科学, 25(5): 641-649

任宏利, 丑纪范. 2005. 统计-动力相结合的相似误差订正法. 气象学报, 63(6): 988-993

任宏利, 丑纪范. 2006. 在动力相似预报中引入多个参考态的更新. 气象学报, 64 (3): 315-324

任宏利, 丑纪范. 2007. 数值模式的预报策略和方法研究进展. 地球科学进展, 22: 376-385

王会军, 陈丽娟, 李维京等. 2007. 中国区域月平均温度和降水的模式可预报性分析. 气象学报, 65(5): 725-732

王绍武. 1998. 短期气候预测的可预报性与不确定性. 地球科学进展, 13(1): 8-14

魏凤英. 1999. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社. 194-222

杨燕, 纪立人. 1997. 数字滤波方法在月尺度数值预报中的应用Ⅰ. 初始场滤波的作用. 大气科学, 21(4): 437-448

杨燕, 纪立人. 1997. 数字滤波方法在月尺度数值预报中的应用Ⅱ. 保留不同低频过程的效果比较. 大气科学, 21(5): 533-544

张道民, 纪立人, 李金龙. 1996. 月数值天气预报的试验研究. 大气科学, 20: 429-438

张道民, 纪立人. 2001. 动力延伸(月)数值天气预报中的信息提取和减小误差试验. 大气科学, 25: 778-786