

动力延伸预报产品释用方法的改进试验*

江双五¹⁾²⁾ 田红²⁾ 陈丽娟³⁾

¹⁾(南京大学大气科学系,南京 210093)

²⁾(安徽省气象台,合肥 230061)

³⁾(国家气候中心 中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081)

摘要

依据动力延伸预报产品释用方法中所建立的月降水距平百分率预报方程,将方程系数看成是动态系数,采用与预报月高度场相似月份的资料作为样本资料,通过改善方程系数的计算来提高月降水预报。1998~2004年的历史实况资料在安徽省的回报实验证明:在目前T63/NCC月动力延伸预报产品的准确率不能快速提高的情况下,该方法具有实际应用价值。利用T63/NCC月动力延伸产品进行安徽省月降水预报应用亦取得较好的效果。

关键词:动力延伸预报 相似资料 月降水预报

引言

在短期气候预测中月降水预报一直是人们关注的重点和难点,国内外研究人员作了大量探讨^[1~8]。其中预报方法物理意义明确、易于在业务中进行实际应用的是李维京等^[4]在1999年提出的动力和统计相结合的方法。该方法从大尺度大气动力学方程组出发,根据月尺度大气环流演变的特征,推导出月降水距平百分率和500 hPa月平均高度距平场的关系。然后利用动力延伸预报的500 hPa月平均高度距平场资料和站点的实际降水资料,使用统计学中的反演方法确定出预报方程中的系数,得到所预报站点的月降水预报方程,将该方程应用于实际预报试验中去,取得了明显的效果^[5~7]。

在对该方法分析引进时,发现月降水距平百分率和500 hPa月平均高度距平场的关系方程中的系数应是动态的,可以利用文献^[4]中建立的月降水距平百分率预报方程,将方程系数看成是动态系数,通过计算与预报月份500 hPa高度场的相似程度来选择前30年的高度场资料作为样本,从而得出某站某月的预报方程系数,该系数是可变的。在文献^[5~7]中使用统计学中的反演方法确定预报方程中的系数时,采用了简化处理,采用30年固定资料来确定方程系数,实际上得到的方程系数是静态系数,这样虽然也能取得一些有实际意义的结果,但在实践上并没有将该方法的优势更好地发挥出来。通过1998~2004年的历史实况资料在安徽省的回报实验,证明了采用相似资料较用30年固定资料

* 中国气象局预测减灾应用技术开发推广项目“T63月动力延伸预报解释应用技术面向省级短期气候预测业务的推广”和安徽省气象局2005年度科技带头人专项“安徽汛期旱涝气候变化及预测研究”共同资助。

2005-03-15收到,2005-07-16收到再改稿。

预报月降水具有较为明显的优势,得出了在目前 T63/ NCC 月动力延伸预报产品(500 hPa)的准确率不能快速提高的情况下,通过改善方程系数的计算来提高月降水预报的方法。T63/ NCC 月动力延伸进行安徽省月降水的预报应用亦取得较好的效果。

1 月降水预报方程

月降水距平与 500 hPa 位势高度场之间的关系可以简化如下^[4]:

$$R'_a = A_0 + A_1 \nabla^2 \phi'_B + A_2 \frac{\partial \phi'_B}{\partial x} + A_3 \frac{\partial \phi'_B}{\partial y} + A_4 \phi'_B \quad (1)$$

其中, R'_a 表示降水距平百分率, ϕ'_B 为 500 hPa 高度距平场, $A_0 \sim A_4$ 为方程系数。

从式(1)可以看出,某站的降水距平百分率与该站上空环流的辐散辐合、经纬向切变以及月高度距平场有关,也与 $A_0 \sim A_4$ 系数有关,具有明确的物理意义。需要注意的是在式(1)中,虽然方程每项的系数都是一个字母,但根据文献[4]可知,这里的每个系数实际上都为—串复杂的数学表达式,它是一个动态值,受预报时温度、比湿等多种要素的影响。显然方程系数准确率与 500 hPa 高度距平场准确率对于降水距平百分率的预报准确率具有同等重要的作用。因此根据各月实际情况得到合理的方程系数,这是方程本身的理论要求,也是本文研究的重点。

2 相似方法和系数的确定

由于直接根据文献[4]中系数的数学表达式来计算方程(1)中的系数相当复杂,目前经典的方法是采用文献[8]提供的反演方法确定式(1)中的系数,这一方面解决了方程系数确定的问题,同时通过确定系数,使预报方程能容纳更多的历史资料,便于吸收统计预报的经验和长处。统计预报的经验告诉我们,如果模型是线性的,那么样本越多越好,对非线性模型则不然,样本应选择使用^[9]。

本文的月降水预报方程显然是一个典型的非线性方程,因此在采用反演方法计算系数时,可以寻找“相似”的月份作为样本,充分利用统计预报的概念和方法。由于预报月不同,相似样本也不同,反演出的系数随月份而改变,与方程中实际要求的真值越接近,理论上月降水预报应有更好的结果。

根据式(1)中的系数可知,该方程系数受多个要素的制约,若求出所有这些要素的相似性,计算相当复杂,显然不合实际。因动力延伸预报的 500 hPa 月平均高度距平场资料具有较高的预报技巧,而且式(1)在用反演法求系数时,也只用 500 hPa 高度场和降水距平资料,因此根据预报月份的 500 hPa 高度场资料,采用场相似的方法从历史资料库中找到相似样本,从而求出方程系数,不仅在理论上而且在业务中具有简单可行的实际意义。

相似方法的研究很多^[10~11],要根据具体的情况选择合适的方法。由于我们是做月降水预报研究,因此在选择历史相似天气形势时,既要保持有较好的相似性,又要求未来天气形势发展变化具有一定的稳定性,首先必须保证初始场与历史场在总体上,尤其是长波、超长波等大型环流系统的配置基本一致。在选择相似方法时,要选择反映历史场和预

报场形态相似的方法。相关系数法就能够较好地反映两个场槽脊位置的相似程度,当相关系数 $r_{ij} = 1$ 时,说明两个场的槽脊位置一致;当 $r_{ij} = -1$ 时,则说明这两个场的槽脊配置位相正好相反;当 $r_{ij} = 0$ 时,说明它们之间基本无关^[11]。

相关系数的公式为^[10]:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (2)$$

其中, i 为起报资料月份 500 hPa 高度场对应的网格点, j 为历史资料月份 500 hPa 高度场对应的网格点, k 为因子个数。 r_{ij} 为相关系数, x_{ik} 为起报月份对应网格点上的 500 hPa 高度场, x_{jk} 为历史资料月份对应网格点上的 500 hPa 高度场, \bar{x}_i 为起报资料月份对应网格点上的 500 hPa 高度场的平均值, \bar{x}_j 为历史资料月份对应网格点上的 500 hPa 高度场的平均值。 $r_{ij} > 0$ 时,才能谈得上相似, r_{ij} 越大表示预报月份和历史样本月份愈相似,反之,愈不相似。

系数的具体计算步骤如下:首先我们选择 $10^{\circ}\text{S} \sim 90^{\circ}\text{N}, 0^{\circ} \sim 135^{\circ}\text{W}$ (自西向东) 范围 (资料分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$) 内,从 1961 年至预报年份前一年的同月份 500 hPa 高度场资料中,分别与预报月 500 hPa 高度值,计算相似指标,然后将相似值从大到小排列,得出形势场相似的时间序列,并从中选出前 30 个样本作为相似样本。其次将式(1)差分得式(3):

$$\begin{aligned} R' = & A_1 \left[\frac{\phi'(x + \Delta x, y) - 2\phi'(x, y) + \phi'(x - \Delta x, y)}{\Delta x^2} + \right. \\ & \left. \frac{\phi'(x, y + \Delta y) - 2\phi'(x, y) + \phi'(x, y - \Delta y)}{\Delta y^2} \right] + \\ & A_2 \frac{\phi'(x + \Delta x, y) - \phi'(x - \Delta x, y)}{2\Delta x} + \\ & A_3 \frac{\phi'(x, y + \Delta y) - \phi'(x, y - \Delta y)}{2\Delta y} + A_4 \phi'(x, y) + A_5 \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中, $\Delta x, \Delta y$ 均取一个格距(本文以 2.5° 为一个格距), (x, y) 取距离降水观测站点最近的格点,以该点作为基准点进行差分运算。利用选出的 30 个样本预报站点所在月份的降水距平百分率和 500 hPa 形势场距平资料建立预报方程,进而确定预报月预报站的方程系数。

3 资料的选取

所用资料为 1961 ~ 2004 年 NCEP/NCAR 再分析资料全球月平均 500 hPa 位势高度场(水平分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$) 和安徽省 1961 ~ 2004 年 20 个代表站的月降水资料。

首先我们做两种基于 NCEP/NCAR 再分析资料 500 hPa 位势高度场资料的回报试验,称之为固定资料预报和相似资料预报。

固定资料预报指利用 1961 ~ 1990 年 NCEP/NCAR 再分析资料全球月平均 500 hPa 位势高度场(水平分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$) 和安徽省 20 个站降水资料。多年平均取 1961 ~

1990年这30年的平均。再利用式(1)求出各月20站的方程系数,最后将NCEP/NCAR 500 hPa 1998~2004年形势场资料代入方程,计算1998~2004年各月各站的降水距平百分率,并将结果与实况降水距平百分率资料进行比较,分析该方法的应用效果。

相似资料预报指的是利用1961至预报年份(本文取1998~2004年)的前一年安徽省20个站降水距平百分率和NCEP/NCAR 500 hPa位势高度场(水平分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)资料作为资料库,采用本文前面提到的相关系数方法,计算相似系数,选取前30个最佳相似年作为样本。降水资料和500 hPa位势高度场资料的多年平均选取已得出的相似30年样本平均。再利用式(1)求出各月20站的方程系数,然后将NCEP/NCAR预报月份(1998~2004年)500 hPa形势场资料代入方程,计算预报月份(1998~2004年)各月各站的降水距平百分率,将结果与实况降水距平百分率资料进行比较,分析该方法的应用效果。

4 结果分析

计算安徽省1998~2004年共84个月的NCEP/NCAR固定资料预报,相似资料预报,都表明方程所推导出的形势场和预报场之间有非常密切的关系。

为了定量衡量基于NCEP/NCAR资料的两种方法的试验效果,使用中国气象局气候预测业务上通用的考核办法PS对1998~2004年(见表1)作比较,得到1998~2004年的PS评分结果。

表1 1998~2004年各年平均降水距平百分率评分PS对比

年份	固定资料评分			相似资料评分			评分差值
	平均	最大值	最小值	平均	最大值	最小值	
1998	67.09	100.00	10.00	70.32	100.00	10.00	3.23
1999	69.22	95.00	30.00	55.91	88.89	0.00	-13.31
2000	77.03	100.00	25.00	77.49	100.00	40.00	0.46
2001	75.93	100.00	10.00	77.91	100.00	15.00	1.98
2002	73.88	100.00	30.00	79.51	100.00	55.00	5.63
2003	61.04	100.00	28.57	66.01	100.00	25.00	4.97
2004	56.17	100.00	20.00	73.00	100.00	38.10	16.83
平均	68.62	99.28	21.94	71.45	98.41	26.16	2.83

从表1可以看出,无论采用固定资料还是相似资料预报,都有较高的预报价值,这也印证了文献[5~7]中的结论。1998~2004年中国固定资料法除1999年PS评分较相似资料法评分偏高外,其他年份结果均比相似资料法差,7年平均结果,固定资料法为68.62分,相似资料法为71.45分,相似资料较固定资料法预报年平均高2.83分。固定资料法年最高为77.03分,相似资料法为79.51分,固定资料法最低为56.17分,而相似法为55.91分。值得注意的是2002~2004年预报评分中,固定资料法为63.69分,而相似资料法为72.84分,相似资料法较固定资料法预报效果2002~2004年年平均提高了9.15分。

为什么出现以上的结果,经过分析认为可能与资料样本数有关。所使用的资料从1961年至今共44年,而采用反演法求方程系数时,至少取30个样本代入方程求系数,具

体到预报年份来说样本数更少,如计算 1998 年降水时只能用 1961 ~ 1997 年资料,从这 37 年资料中选择最相似的 30 年来求方程系数,由于资料样本数不足,无法选到相似度很高的样本,使得相似法相对于固定法的优势无法充分体现。但随着年份的增加和可选资料样本数的增多,相似资料法优势会逐渐展现,预报的降水效果会越来越好。这也能在一定程度上解释 2002 ~ 2004 年相似法预报结果明显比固定资料法效果好的原因。

为了验证以上想法,我们设计了全资料法试验。该试验应满足条件:有一定数量的资料样本库。具体如下:全资料预报指的是利用 1961 ~ 2004 年(共 44 年)每年 12 个月安徽省 20 个站降水距平百分率和 NCEP/NCAR 资料作为资料样本库,再采用和相似预报同样的方法,取出与预报月份(1998 ~ 2004 年)最相似的 30 年资料(不含预报年份资料,实际从 43 年选相似),求出方程系数,最终得出各月各站的降水距平百分率,将结果与实况降水距平百分率资料进行比较,分析该方法的应用效果。

全资料预报,基本上符合以上实验所需的条件,无论做 1998 年预报,还是 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 年预报均从 44 年样本库中取 30 年资料(预报年份的资料应剔除),资料样本库有所扩大。仍采用 PS 评分办法,得到 1998 ~ 2004 年全资料预报结果。将全资料预报结果和表 1 中的相似资料预报结果放在一起(见表 2)。

表 2 1998 ~ 2004 年年平均降水距平百分率评分 PS 对比

%

年份	相似资料评分			全资料评分			评分差值
	平均	最大值	最小值	平均	最大值	最小值	
1998	70.32	100.00	10.00	71.86	100.00	10.00	1.54
1999	55.91	88.89	0.00	58.28	95.00	0.00	2.37
2000	77.49	100.00	40.00	78.64	100.00	20.00	1.15
2001	77.91	100.00	15.00	76.20	100.00	15.00	-1.71
2002	79.51	100.00	55.00	77.48	100.00	45.00	-2.03
2003	66.01	100.00	25.00	66.30	100.00	20.00	0.29
2004	73.00	100.00	38.10	73.00	100.00	38.10	0.00
平均	71.45	98.41	26.16	71.68	99.29	21.16	0.23

从表 2 可以看出,全资料预报 7 年年平均 71.68 分,相似资料 7 年年平均为 71.45 分,提高 0.23 分。全资料预报中 1998, 1999, 2000 年评分相对于相似资料评分提高幅度较大,特别是 1999 年提高了 2.37 分。2001, 2002 年采用全资料预报评分相对于相似资料评分有所下降。2003 年全资料评分略有提高,2004 年两种资料法评分一致。

出现以上现象的可能原因一是 1998, 1999, 2000 年增加的样本数较多,样本选择的余地较大,2001, 2002, 2003 年样本增加较少,可选择的余地较少,2004 年两种方法样本数一样,自然评分结果也一样;另一个是根据月降水预报方程可知,假设方程本身和 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场资料无误差,则方程系数的准确率直接决定月降水评分的高低,由于采用反演方法决定方程系数,因此历史样本与预报场的匹配好坏,决定月降水的评分。评分较低的,说明选择的样本与预报场匹配较差,这时新增加样本,易于提高匹配关系,可能使评分结果提高明显。评分较高的,样本与预报场之间已有好的匹配关系,新增样本进去,再提高难度较大。1999 年全资料预报提高明显,2001, 2002 年评分下降,可能这就是原因之一。

从以上 3 种预报结果对比可以看出,相似资料法较固定资料法更具有优势,但由于资料样本数的限制,在实际预报中的效果受到一定影响。但是该方法证明了在 500 hPa 月高度场预报效果不提高的情况下,改善月降水预报是可能的。

5 T63 月动力延伸集合预报应用试验

目前国家气候中心(NCC) T63 月动力延伸集合预报预报技巧较高的产品有位势高度场,该集合预报是滞后平均法(lagged average forecasting, 中旬末 4 天 4 个时次共 16 个个例)和奇异向量法(singular vectors, 中旬末 4 天的 12:00(世界时)生成 4 组初值,共计 16 组个例)生成初值,分别积分 30 天的集合平均结果^[6]。我们每月 20 日左右就能得到国家气候中心预报的下个月 500 hPa 位势高度场资料。根据模式预报的形势场资料采用相似方法从历史资料中选出合适的样本,采用和 NCEP/NCAR 再分析资料相同的方法,即可得到月降水预报。本文将 2001~2003 年 4~9 月(2001 年 4 月缺资料) T63 月动力延伸集合预报 500 hPa 位势高度场代入根据 NCEP/NACR 应用试验中确定的预报方程,并将固定资料预报结果和相似资料预报结果进行对比(见表 3)。

由表 3 可以看出,T63 的形势预报降水的结果,固定资料法 3 年夏半年平均得分为 54.89 分,相似资料法为 61.39 分,从 3 年总体效果来看相似资料法明显比固定资料法效果要好。2001 年相似资料法 5~9 月平均为 65.35 分,固定资料法为 55.72 分,相差是明显的。相似资料法最高分为 86.67 分,固定资料发为 89.66 分,相似资料法最低分为 50.00 分,固定资料发为 30.00 分。该年相似资料法与固定资料法相比预报效果改善也是明显的。同样分析 2002 年,2003 年的月平均分,最低、最高分也能得出这个结论。在表 1 中,由于基于 NCEP/NACR 资料的 2003 年整体预报效果相对 2001,2002 年不是非常高,在表 3 中基于 T63 月动力延伸集合预报资料出现同样情况应该是合理的。表 3 中相似资料法 2003 年 5 月为 20.00 分,6 月为 31.82 分,基于 NCEP/NCAR 再分析资料的预报结果也只有 25.00 分 50.00 分(表略),前后也是吻合的。同时我们也知道实际大气的变化虽有其稳定性的一面,但实际的月降水预报是受多种因素共同作用的结果,排除 T63

表 3 2001~2003 年 4~9 月降水距平

时间	百分率评分 PS 对比		%
	固定资料评分	相似资料评分	
2001 年 5 月	30.00	50.00	
2001 年 6 月	59.09	63.64	
2001 年 7 月	89.66	86.67	
2001 年 8 月	40.00	52.38	
2001 年 9 月	59.83	74.07	
5~9 月平均	55.72	65.35	
2002 年 4 月	65.00	68.18	
2002 年 5 月	66.67	45.00	
2002 年 6 月	50.00	71.43	
2002 年 7 月	65.38	69.23	
2002 年 8 月	57.14	55.00	
2002 年 9 月	45.83	66.00	
4~9 月平均	58.33	62.47	
2003 年 4 月	60.00	61.90	
2003 年 5 月	35.00	20.00	
2003 年 6 月	31.82	31.82	
2003 年 7 月	54.17	82.76	
2003 年 8 月	84.62	70.83	
2003 年 9 月	38.10	70.83	
4~9 月平均	50.62	56.36	
2001~2003 年 4~9 月平均	54.89	61.39	

注: 2001 年 4 月缺资料。

月动力延伸集合预报预报的位势高度场有误差外,尺度较小的系统造成的月降水预报往往在相似资料法中很难考虑到。由于安徽省每年5~9月为汛期,期间对流性降水较多,中小尺度降水所占的分量较大,这可用来解释这些月份总体预报评分效果不是非常高的原因。

6 结 论

本文在前期理论和实践工作的基础上,利用动力与统计相结合,对高度场预报降水的解释应用方程进行了再分析,提出了用相似资料法代入原方程,可以使方程的系数更符合理论和实际的要求,1998~2004年的资料也证明了相似资料法具有很好的应用潜力。主要结论如下:

(1) 试验结果再次验证了文献[5~7]中的结论,即采用预报技巧较高的500 hPa位势高度产品作降尺度月降水预报既具有明确物理意义又有实际应用价值,该方法同样适用于安徽省这样一个具有鲜明地域气候特色的地方。

(2) 通过分析方程,提出一种改善方程系数的方法,即相似资料法。通过该方法的应用,证明了月降水预报效果的好坏,不仅由500 hPa高度场预报准确率决定,还由样本数决定,特别是相似样本数决定。提高相似样本数是目前在500 hPa高度场准确率不能快速提高的情况下,提高月降水预报的一种行之有效的方法。

(3) 改善方程系数方法是在天气过程演变相对稳定的假定下完成的,实际大气的变化虽有其稳定性的一面,但毕竟是多种因子共同影响的结果,特别是由尺度较小的系统造成的降水漏报现象较严重,但Paegle等^[12]认为空间尺度越大的环流其可预报性越大,对应的特征时间尺度也越大。因此从大型环流场入手,采用合理的相似方法来选择合适的样本资料,达到改善方程系数,进一步提高本地月降水预报的水平。

致 谢:十分感谢国家气候中心张培群博士和安徽省气象台王东勇总工程师分别提供了T63月动力延伸集合预报500 hPa位势高度场资料和NCEP/NCAR再分析资料。

参 考 文 献

- 1 Karl T R, Wang W C, Schlesinger M E, et al. A method of relating general circulation model simulated climate to the observed local climate. Part I: Seasonal statistics. *J Climate*, 1990, 3(10): 1053~1079.
- 2 Zorita E, von Storch H. The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *J Climate*, 1999, 12(8): 2474~2489.
- 3 Aristita Busuioc, Deliang Chen, Cecilia Hellström. Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: application for Swedish precipitation. *International Journal of Climatology*, 2001, 21(5): 557~578.
- 4 李维京,陈丽娟.动力延伸预报产品释用方法的研究. *气象学报*, 1999, 57(3): 338~334.
- 5 陈丽娟,李维京,张培群,等.降尺度技术在月降水预报中的应用. *应用气象学报*, 2003, 14(6): 648~655.
- 6 陈丽娟,李维京.月动力延伸预报产品的评估和解释应用. *应用气象学报*, 1999, 10(4): 486~490.
- 7 林纾,李维京,陈丽娟.月动力延伸预报产品在甘肃省的实用及评估. *气象*, 2004, 30(10): 22~26.
- 8 马振锋,陈洪. T63月延伸预报在西南区域短期气候预测中的应用研究. *应用气象学报*, 1999, 10(3): 368~373.

- 9 丑纪范, 郜吉东. 长期数值天气预报. 北京: 气象出版社, 1995. 201 ~ 216 .
- 10 余剑莉. 统计天气预报. 北京: 气象出版社, 1994. 209 ~ 227 .
- 11 王咏亮, 耿淑琴. 数值预报产品在相似延伸法中的应用. 海洋学报, 2001, 18(2) : 39 ~ 47 .
- 12 Paegle J N, Haslam R B. Statistical prediction of 500 mb height field using eigenvectors. *J Appl Meteor*, 1982, 21(2) : 127 ~ 138 .

IMPROVED EXPERIMENT ON THE EXPLANATION AND ANALYSIS METHOD OF DYNAMICAL EXTENDED RANGE FORECAST PRODUCTS

Jiang Shuangwu¹⁾²⁾ Tian Hong²⁾ Chen Lijuan³⁾

¹⁾ (*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

²⁾ (*Anhui Provincial Meteorological Observatory, Hefei 230061*)

³⁾ (*The Laboratory of Climate Study, National Climate Center, CMA, Beijing 100081*)

Abstract

Based on a relationship between monthly precipitation anomaly and monthly circulation, the forecast equation coefficients are calculated as variables. The sample data are selected from which has similar potential height field to that in the forecast month. The monthly rainfall forecasts is improved by calculating the equation coefficients. The latest seven year hindcast tests proves that the method of calculating of coefficients has certain value in operational application. Under the consideration of a limited accuracy of T63/ NCC monthly dynamical extended range forecast products(T63/ NCC MDERFP). Also, results are obtained in the application of monthly rainfall forecast of Anhui Province by T63/ NCC MDERFP .

Key words : Dynamical extended range forecast Similar data Monthly precipitation forecast