

动态相似方法在长江上游逐日 降水预报中的应用

陈 静

(成都中心气象台, 成都 610072)

提 要

在考虑环流的动态演变特征在降水预报中重要性的基础上,设计了一种环流演变动态相似预报方法,在1000hPa气压场、850hPa温度场、500hPa高度场分别提取3个物理意义清晰、又具有立体性和多元性的相似因子,采用本文设计的二级相似标准,以ECMWF数值预报产品作为预报资料与历史资料库进行滚动映射,寻找最优相似个例,制作长江上游降水面雨量的逐日滚动预报,效果较好。

关键词: 动态相似 二级标准 降水预报

引 言

从历史降水过程中寻找相似仍是中期降水预报中最常用的方法之一。一次天气过程后,未来一段时间也往往继续出现相似的天气过程^[1]。目前的相似法是两张静态图之间的比较,很少考虑天气环流的演变特征。严格地说,只有在天气形势向同一个方向演变时,才能产生相近的天气。数值预报产品正好给我们提供了大气环流的演变趋势。基于上述观点,本文设计了一种考虑环流演变的动态相似预报方法,预报长江上游面雨量。该方法首先根据预报区域的天气气候特点和预报经验,以ECMWF1987~1996年的客观分析场为历史资料,分析长江上游面雨量历史资料的相关,提取预报因子。再用本文设计的二级相似判别方法,利用ECMWF预报资料,从历史个例中寻找最优相似样本,进行长江上游面雨量的逐日滚动预报。

1 动态相似预报方法的基本方案

1.1 环流动态相似的表述

早在40年代前,前苏联长期预报方面就提出过两个自然天气季节的相似条件之一是环流演变的顺序相似。能代表大气环流演变

的基本因子有大气温度变化、纬向环流变化、经向环流变化等。降水过程往往是这些因子的逐日变化所致,因此一次降水过程的环流动态演变可由这些大气环流基本因子的逐日时间序列场来表述。寻找环流的动态演变相似就可转为寻找这些环流因子的逐日时间序列场的相似。

设某一个大气环流因子为 F ,其逐日的数值构成一个时间序列 $F(t_1)$ 、 $F(t_2)$ 、 $F(t_3)$... $F_m(t_N)$,其中 t_j 代表某一个时次。 $\Delta F(t_j)$ 是第 j 个时次与前一个时次 $j-1$ 的差值,如式(1)所示。

$$\Delta F(t_j) = F(t_j) - F(t_{j-1}) \quad (1)$$

$\Delta F(t_j)$ 可代表这一因子的演变特征,如某地日平均气温反映了该地大气环流特征,其24小时变温值就可以从热力学角度反映该地的大气环流演变特征。

假设从数值预报产品中提取了 m 个气象要素作为该地区的大气环流演变因子,这些因子的逐日演变值构成了时间序列场 A 。如式(2)所示,其中 F_1 、 F_2 、 F_3 ... F_m 是从数值预报产品中加工提炼的大气环流演变因子, t_1 、 t_2 、 t_3 ... t_n 是时间序列。

$$A = \begin{bmatrix} \Delta F_1(t_1) & \Delta F_1(t_2) & \cdots & \Delta F_1(t_n) \\ \Delta F_2(t_1) & \Delta F_2(t_2) & \cdots & \Delta F_2(t_n) \\ \Delta F_3(t_1) & \Delta F_3(t_2) & \cdots & \Delta F_3(t_n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \Delta F_m(t_1) & \Delta F_m(t_2) & \cdots & \Delta F_m(t_n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

数值预报产品提供了 24~144 小时共 6 天的环流预报资料,因此定义 $t_n = t_6$ 。式(2)简化为:

$$A = \begin{bmatrix} \Delta F_1(t_1) & \Delta F_1(t_2) & \cdots & \Delta F_1(t_6) \\ \Delta F_2(t_1) & \Delta F_2(t_2) & \cdots & \Delta F_2(t_6) \\ \Delta F_3(t_1) & \Delta F_3(t_2) & \cdots & \Delta F_3(t_6) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \Delta F_m(t_1) & \Delta F_m(t_2) & \cdots & \Delta F_m(t_6) \end{bmatrix} \quad (3)$$

只要寻找出与这 6 天环流演变最为相似的历史个例,就可预报对应日期降水过程和降水量级。

1.2 相似因子的提取

应用相似的成效在很大程度上取决于相似因子和相似标准选择是否客观合理,而相似条件在实际工作中很难完全把握。在动态相似因子的选择上,主要考虑以下两个原则:①相似因子选择一定要具有物理意义,应从可反映大气环流演变的基本气象要素中提取相似因子;②单一层次和单一气象要素难以反映整层大气状态的相似,因此寻找两个动态过程演变相似,必然应该是三维空间立体相似和多元物理量的相似。相似因子的选取也应具有立体性和多元性。

过去的研究表明^[2],长江上游中期降水预报着眼点是南侵的北方冷空气与东移的高原扰动相互作用,在有利的水汽输送条件下,产生降水过程。经验表明,一次降水过程中,气温和南北方向的扰动变化较东西方向上的基本气流变化更具有代表性。目前,中期预报广泛地应用了 ECMWF 预报产品,它提供的 850hPa 温度场可反映气温的变化,500hPa 高度场和 1000hPa 气压场可反映南北方向的扰动变化。因此,我们结合天气学经验,分析降水与这些资料的关系,从这三层资料中

提取相似因子。

1.2.1 850hPa 温度场

利用 1995~1996 年 6~8 月 ECMWF 的 850hPa 温度客观分析场格点资料($5^\circ \times 5^\circ$)和长江上游逐日面雨量资料,计算了长江上游面雨量与 $20^\circ \sim 60^\circ \text{N}$ 、 $70^\circ \sim 130^\circ \text{E}$ 区域内各格点 24 小时变温值的相关系数(图略)。分析发现, $30^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ 、 $105^\circ \sim 110^\circ \text{E}$ 是最大的负相关区, 30°N 、 105°E 和 35°N 、 110°E 两个格点上的相关系数分别达 -0.350 和 -0.358 。结合长江上游的地理位置和天气气候特点,我们选取 850hPa 上 30°N 、 105°E 格点上的 24 小时变温值作为长江上游降水预报动态温度相似因子。

$$F_1 = T_t(30^\circ \text{N}, 105^\circ \text{E}) - T_{t-1}(30^\circ \text{N}, 105^\circ \text{E})$$

该因子与天气学经验较吻合。经验表明, 30°N 、 105°E 格点上的 24 小时变温值可从一个侧面反映长江上游的一次降水过程。当冷空气入侵长江上游、该格点的 24 小时变温值即 F_1 为负值时,长江上游常常有一次明显的降水过程。

1.2.2 1000hPa 地面气压场

地面气压值的变化可从一个侧面反映该地气团性质的变化。长江上游位于青藏高原东南侧,冷空气入侵长江上游地区时,受地形影响,常在秦岭、大巴山两侧形成一定的气压差,冷空气入侵前,气压差值较大,冷空气影响后,气压差值减少;另外,长江上游处于低纬和中纬的过渡地带,北方冷空气和南方暖湿气流常在这一地区对峙,气压差值越大,表明冷暖空气团对峙越强。当南北气压差值发生明显的正负转变时,表明控制这一地区的冷暖气团性质已经发生了改变,通常会有降水天气过程产生。

为了证实这一点,利用 1995~1996 年 6~8 月 ECMWF 的 1000hPa 气压客观分析场格点资料($5^\circ \times 5^\circ$),设某一个坐标为 (i, j) 的格点,其南北两侧气压差值定义如下:

$$\Delta p(i, j) = p(i, j) - (p(i, j+2) + p(i-1, j+2))/2.0$$

i 是纬向坐标, j 是经向坐标, 再定义其 24 小时变压值如下:

$$F_2 = \Delta p_t(i, j) - \Delta p_{t-1}(i, j)$$

计算长江上游逐日面雨量与其 24 小时变压值的相关系数, 结果显示, 长江上游地区是一片负相关系数区, 与 30°N 、 105°E 格点两侧变压的相关系数达到了 -0.316 。从天气学角度解释, 其意义是当该地区气压差值的 24 小时变压值为负值时, 表明北方冷气团和南方暖气团对峙加剧, 冷暖空气交汇地区有利于产生更强的降水。反之, 当该地区气压差值的 24 小时变压值为正值时, 表明北方冷气团和南方冷气团对峙减弱, 甚至长江上游地区都为冷性气团控制, 不利于产生降水。

根据长江上游的地理位置特点, 经综合分析后, 我们选取 30°N 、 105°E 格点处气压差值的 24 小时变压值作为长江上游降水预报动态相似因子, 定义如下:

$$\Delta p = p(30^\circ\text{N}, 105^\circ\text{E}) - (p(40^\circ\text{N}, 105^\circ\text{E}) + p(40^\circ\text{N}, 100^\circ\text{E}))/2.0$$

$$F_2 = \Delta P_t - \Delta P_{t-1}$$

1.2.3 500hPa 高度场

850hPa 和 1000hPa 的相似因子反映了北方冷空气和南方暖湿气流对长江上游的降水影响。过去的研究表明, 长江上游中期降水预报着眼点除南侵的北方冷空气外, 还必须考虑东移的高原扰动。高原扰动的表示方法有很多种, 高原低槽的移动是较有代表性的一种。高原地区海拔高度较高, 我们以 500hPa 高度场上低槽移动来表示高原地区的扰动变化。

高原地区有低槽影响时, 其高度值较四川盆地低; 高原地区是高脊控制时, 其高度值较四川盆地高。因此, 我们以 30°N 、 105°E 与 30°N 、 80°E 高度场差值代表高原扰动的强弱。

$$\Delta H = H(30^\circ\text{N}, 105^\circ\text{E}) - H(30^\circ\text{N}, 80^\circ\text{E})$$

ΔH 为负值, 表示高原地区有高脊, 长江上游

地区处于西北气流控制, 不利于水汽输送进长江上游地区, 反之当 ΔH 为正值, 高原地区有低槽时, 长江上游是西南气流控制, 有利于水汽输送。

再定义其 24 小时变化值 (F_3):

$$F_3 = \Delta H_t - \Delta H_{t-1}$$

当 F_3 为正值时, 表明长江上游地区的西南气流加强, 反之, 表示北风气流加强。 F_3 由正转负, 表明高原地区北风气流加强, 不利于水汽输送, 即不利于长江上游降水; F_3 由负转正, 表明高原地区南风气流加强, 高原低槽的活动趋于活跃, 有利于水汽输送, 也有利于长江上游降水。同时我们还计算了长江上游逐日面雨量与 F_3 的相关系数, 相关系数达 -0.292 , 证实了这一预报因子与降水的关系。

综上所述, 我们已从 850hPa 温度场、1000hPa 气压场、500hPa 高度场提取了 3 个相似因子, 从中期预报角度出发, 选取 72~144 小时的预报资料, 因此, 式(3)的相似因子可简化为:

$$A = \begin{bmatrix} \Delta F_1(t_3) & \Delta F_1(t_4) & \Delta F_1(t_5) & \Delta F_1(t_6) \\ \Delta F_2(t_3) & \Delta F_2(t_4) & \Delta F_2(t_5) & \Delta F_2(t_6) \\ \Delta F_3(t_3) & \Delta F_3(t_4) & \Delta F_3(t_5) & \Delta F_3(t_6) \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)就是我们用动态相似方法预报长江上游逐日降水预报的气象要素时间序列趋势场。

这 3 个相似因子是相互作用、相互影响的, 当 3 个因子都有利于向降水的方向演变时, 如某日 850hPa 有负变温、1000hPa 负压、500hPa 南风气流加强, 高原扰动加强, 长江上游必有一次明显的降水过程。

1.3 相似标准

相似判别标准采用二级相似判别, 第一级相似是环流动态演变相似的判别, 第二级相似是最优相似个例的判别。

第一级相似的判别方案是, 从某日数值预报产品中提取了如式(4)的 3 个相似因子时间序列趋势场, 再从这 3 个因子的历史资料库中选取任意连续 4 天的时间序列场, 计算一级相似指标 A_1 :

$$A_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=3}^6 [|F_i(t_j) \cdot T_i(t_j)| - F_i(t_j) \cdot T_i(t_j)]}{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=3}^6 [|F_i(t_j) \cdot T_i(t_j)| - F_i(t_j) \cdot T_i(t_j)]} \quad (5)$$

式中 $F_i(t_j)$ 是第 i 个因子第 j 日的预报值, $T_i(t_j)$ 是与预报时效相对应的预报因子实况值。一级相似指标 A_1 代表了这些相似因子的演变趋势。如当 $A_1 = 0$ 时, 3 个相似因子的预报与实况时间序列的正或负号完全一致, 表明预报的天气形势与历史资料的天气形势向同一个方向演变, 即环流动态演变趋势相似。如当 $A_1 \neq 0$ 时, 3 个相似因子的预报与实况时间序列的正或负号不一致, 表明预报的天气形势与历史资料的天气形势没有向同一个方向演变, 环流动态演变趋势不相似。

首先我们挑选出 $A_1 = 0$ 的历史个例, 但这样的历史个例常常不只一个, 因此还需寻找最优相似个例, 即需进行二级相似判别。

二级相似判别从 $A_1 = 0$ 历史个例中选出与预报最为相似的历史个例, 即最优相似个例。判别方案是在已判别出的一级相似个例中, 计算与预报资料的海明距离 d :

$$d = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=3}^6 |F_i(t_j) - T_i(t_j)| \quad (6)$$

d 值越小, 相似程度越高。综合分析后, 取判别阈值为 50, 选取 d 值小于 50 的相似个例, 根据 d 值的大小进行排序, 选取 d 值最小者为最优相似个例。

最优相似个例的逐日降水与预报日期相匹配、与预报日期相对应的实况面雨量值就是该预报日的面雨量预报值。

2 预报效果检验

以 1985~1996 年 10~12 月及 1 月的 ECMWF 各层客观分析场作为历史资料, 以 ECMWF 数值预报产品作为预报因子, 将长江上游分为西区、北区和南区三个区域滚动预报未来 3~7 天的逐日降水, 取得较好的效果。表 1~3 分别是逐日晴雨预报的准确率、降水预报的 TS 评分和降水预报的复相关系数。

从表 1 可知, 西区晴雨预报准确率最高,

平均为 0.68, 逐日降水预报 TS 评分南区较好, 平均 0.27; 预报时次则以 144 小时预报略好, 总的来说, 三个区的预报准确率及 TS 评分相差不大。复相关系数表明 144 和 168 小时的预报效果好于其他时次, 这与动态相似预报方法有关, 144 小时前的环流演变特征可从资料获得, 但 72 小时前的环流演变特征无法从资料获得, 复相关系数也表明西区和北区的预报效果好于南区。

表 1 逐日晴雨预报准确率

| 时次 | 72 | 96 | 120 | 144 | 168 |
|----|------|------|------|------|------|
| 西区 | 0.67 | 0.64 | 0.67 | 0.73 | 0.70 |
| 北区 | 0.64 | 0.63 | 0.65 | 0.71 | 0.68 |
| 南区 | 0.64 | 0.63 | 0.64 | 0.65 | 0.63 |

表 2 逐日降水预报 TS 评分

| 时次 | 72 | 96 | 120 | 144 | 168 |
|----|------|------|------|------|------|
| 西区 | 0.22 | 0.19 | 0.28 | 0.27 | 0.29 |
| 北区 | 0.19 | 0.22 | 0.30 | 0.25 | 0.21 |
| 南区 | 0.27 | 0.27 | 0.29 | 0.29 | 0.25 |

表 3 逐日降水预报复相关系数

| 时次 | 72 | 96 | 120 | 144 | 168 |
|----|------|------|-------|------|------|
| 西区 | 0.01 | 0.11 | 0.06 | 0.37 | 0.40 |
| 北区 | 0.23 | 0.18 | 0.04 | 0.20 | 0.30 |
| 南区 | 0.01 | 0.05 | -0.07 | 0.25 | 0.14 |

1998 年 7 月 4 日晚~6 日白天, 长江上游发生区域性大暴雨天气过程, 最大降雨中心位于盆地西部温江~双流之间, 其中温江 24 小时最大雨量达 300.2mm, 4~7 日过程降雨量达 444.2mm。过程持续时间长、雨强大, 为近几年来少见。

应用本文的动态相似方法, 6 月 28 日~7 月 1 日都较好地预报了这次降水天气过程, 28 日的资料预报了长江上游西区 7 月 4 日面平均降雨量达 85mm, 北区 5 日面平均降雨量达 66mm。这表明, 建立于数值预报产品基础上的动态相似方法对大暴雨过程有一定的预报能力。

参考文献

- 1 章基嘉, 葛玲, 孙照渤编著. 中长期天气预报基础. 北京: 气象出版社.
- 2 四川省气象局. 四川省短期预报员手册.

(下转第 47 页)

(上接第 43 页)

Application of a Dynamic Similarity Method to Precipitation Forecasts in the Upper Reaches of the Changjiang River

Chen Jing

(Chengdu Meteorology Center, Sichuan Province 610072)

Abstract

A dynamic similarity method based on the dynamic development of the atmospheric circulation was applied to the quantitative precipitation forecast. Three-dimensional and pluralism features were collected. By two grades of similarity standard, the most similarity case by mapping the ECMWF products with the history data was found and applied to the quantitative precipitation forecast in the upper reaches of the Changjiang River. The method was proved effective.

Key Words: dynamic similarity two grades similarity standard precipitation forecast