

# T<sub>42</sub>模式产品在南昌地区 大一暴雨中的统计学解释应用

戴熙敏 王田民 曹晓岗

(江西省气象台,南昌 330046)

## 提 要

使用1990—1991年5—6月的T<sub>42</sub>模式产品,采用样本正态化消空剔除手段,分别建立了中雨、大雨的消空方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 及大一暴雨判别方程 $\hat{y}_3$ 。 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 减少空报, $\hat{y}_3$ 减少漏报。3个方程配套使用比用单个方程的效果好,成功界限指数有明显的提高,1992年试用效果较好。

**关键词:** 模式产品 大一暴雨 统计解释

## 引 言

近年来,应用数值预报产品建立MOS晴雨预报已取得较大成绩<sup>1)</sup>。预报大量级的降水,其准确率仍然较低。其原因主要是:暴雨大多数是中小尺度天气系统的产物,具有突发性强、生命史短、落区范围小等特点。实际上,暴雨是在有利的天气尺度背景下发生发展的。文献[1]曾分析了南昌市1970—1987年4—6月72次暴雨过程,其中70次,天气尺度的影响系统是清晰的,只有2次没有明显的影响系统。鉴于数值预报对形势预报的能力高于经验预报这一事实,我们研制一个“应用T<sub>42</sub>模式产品预报南昌地区汛期大一暴雨”的自动预报方法。

## 1 基本思路

### 1.1 降水样本资料的分析与处理

根据T<sub>42</sub>模式产品资料的年限,我们分析1990—1991年5—6月南昌地区(南昌市、南昌县、安义县、新建县、进贤县)降水资料。由于南昌地区面积不足1×1经纬距,故可令5站中最大一站降水即代表南昌地区的最大降水。从5站逐日20—20时的降水资料中选取最大一站的雨量记为R,得到样本容量为

120的预报量(5月1日除外)。其中无雨日44个,小雨( $0 < R < 10\text{mm}$ )41个,中雨( $10 \leq R < 25\text{mm}$ )19个,大雨( $25 \leq R < 35\text{mm}$ )3个,大一暴雨( $R \geq 35\text{mm}$ )13个。大一暴雨的概率为10.8%,属小概率事件。样本均值 $\bar{R} = 11.1\text{mm}$ ,用偏度、峰度检验法<sup>[2]</sup>(信度 $\alpha = 0.05$ )对样本概率分布进行检验时,偏度系数 $g_1 = 2.71$ 、峰度系数 $g_2 = 7.37$ ,分别大于否定域判据0.43和0.82,即样本的概率呈正偏态分布。我们令 $y = R^{1/3}$ ,重新对y的分布进行检验,得到 $g_1 = 0.73$ 、 $g_2 = -0.55$ 仍然为正偏态分布,但正态性有明显的改善,均值 $\bar{y} = 1.30$ 为小雨的量级。

### 1.2 问题的提出

对于大一暴雨这类小概率事件,用所有样本建立一个预报方程,仅依靠这个方程作大一暴雨的预报,存在如下两个问题:①样本的非正态性。无雨和小雨的样本占2/3以上,样本的概率分布是偏态的,因而方程的产物如预报误差等也是偏态分布。故回归分析时

1) 庄英如等:全国数值预报产品应用技术交流会,北京气象中心,1986年。

正态性假说是不合适的。②回归分析的特性表明,方程对样本均值附近的事件拟合效果较好,而对远离均值的大一暴雨拟合能力差,因此方程对大一暴雨的空报、漏报均偏多,预报效果差。

### 1.3 解决这一问题的思路

上述问题的原因就是无雨和小雨的样本偏多。因此必须设法消除一部分小量级的降水样本,从而达到样本分布正态化、样本均值提高的目的。本文采用多方程逐级消空来消除小量级的降水样本。每一级消空方程,一般不消除大雨以上的样本,而且确保新的样本序列呈正态分布。消空后的样本均值得到提高,大一暴雨事件的概率增大,其结果是下一步建立的方程对大一暴雨的拟合效果又得到一次改善。本文用两级消空方程,基本上能达到目的。

## 2 组建方程的基本步骤

2.1 对全部样本进行相关分析,回归分析,建立“样本筛选方程”,并选取适当的临界值 $y_c$ 。在选取 $y_c$ 时,既要考虑能够概括大雨以上的样本,又要注意到能够消去大部分无雨和小雨的样本。对所有样本回代结果中的任一样本 $y_i(i=1,2,\dots,N)$ ,若 $y_i < y_c$ ,且 $y_i < 2.0(8\text{mm})$ ,则消除样本 $y_i$ ,把剩下的 $y_i \geq 2.0$ 和方程空报的无雨、小雨的样本,其总数记为 $N'$ 。对容量为 $N'$ 的样本重新进行相关分析、因子组合分析。目的是组合一些能够描述大一暴雨物理过程的因子场。

2.2 对所有样本,所有因子场进行相关分析、预选因子,建立中雨消空方程 $\hat{y}_1$ ,选取适当的临界值 $y_{1c}$ ,消去部分小雨和无雨的样本,尽可能不消去中雨以上的样本。未消去的样本,其容量记为 $N_1$ 。

2.3 对容量为 $N_1$ 的样本及所有因子场重新进行相关分析、预选因子,建立大雨消空方程 $\hat{y}_2$ ,选取适当的临界值 $y_{2c}$ ,最好是只消去中雨及以下的样本,而不消去大雨以上的样本。剩下的样本,其容量记为 $N_2$ 。

2.4 对容量为 $N_2$ 的样本及所有因子场再重新进行相关分析、预选因子,建立大一暴雨的“判别方程” $\hat{y}_3$ 。对消空方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 未能消去的样本进行判别。选取适当的临界值 $y_{3c}$ ,使大一暴雨拟合的成功界限指数CSI最大。

在实际业务应用中,先计算消空方程 $\hat{y}_1$ 和 $\hat{y}_2$ 的值,若 $\hat{y}_1 < y_{1c}$ 或 $\hat{y}_2 < y_{2c}$ ,则直接预报无大一暴雨;否则需再计算判别方程 $\hat{y}_3$ 的值,若 $\hat{y}_3 \geq y_{3c}$ ,则预报有大一暴雨,否则报无大一暴雨。

## 3 组建方程

### 3.1 预报对象与初选物理量预告场

我们以南昌地区当日20时至次日20时最大一站雨量为预报对象。根据武汉区域中心转发资料情况,选取 $T_{12}$ 模式前一天20时的24小时和48小时的物理量预告场。24小时物理量有:500、700、850hPa 3层的涡度(A)、重直速度(O)、比湿(L)、水汽通量(F)、水汽通量散度(G)、假相当位温(B),850hPa散度(J),1000hPa温度(T)、地面气压(P);48小时物理量有:500hPa涡度(A)、500、700、850hPa 3层的假相当位温(B),共25个场。格点范围是20—40°N、100—122.5°E,网格距为 $2.5 \times 2.5$ 经纬距,共有90个格点。

### 3.2 因子组合场

单个格点值有时难以反映一个物理量的空间分布特征。因此我们采用关键区多个格点(一般为2—6个)不同权重的组合。权重系数一般用该格点的相关系数绝对值来表示,相关性好的权重大,反之亦然,总权重为1。组合因子可以是不同时间、不同层次、不同物理量的组合。根据物理意义可以是多个关键区代数运算的结果。组合依据有:暴雨发生发展的基本条件;当地的预报经验;文献中的研究成果。每个组合因子都是对大一暴雨发生发展条件的某一方面的描述,它是一个或几个物理量空间分布特征的定量表示。

组合渠道主要有:①按照样本雨量5个等级分别进行物理量的合成分析。结果表明,

无雨和小雨与大一暴雨在物理量合成平均场上有明显的差异,因此,重点分析中雨、大雨与大一暴雨在物理量合成场上的特征差异,根据这些物理意义清晰的差异进行因子组合;②组合新的物理量,如稳定度指数  $K_{\theta_{se}} = \theta_{se_{500}} - \theta_{se_{850}}$ ,湿相对位涡  $\lambda = \zeta_{500} \cdot K_{\theta_{se}}^{-1}$ 等;③根据因子单相关系数的空间分布特征,按其物理意义进行组合。组合因子场有中层水汽通道,850hPa  $\theta_{se}$  暖脊、锋区,垂直速度关键区等。

### 3.3 因子预选

采用常用的相关系数计算公式,计算原始物理量场及组合因子场的相关系数,从中预选预报因子。预选因子的要求是:①因子的相关系数  $r$  要满足  $r \geq r_c$  ( $r_c$  为显著性检验水平  $\alpha = 0.01$  的相关系数临界值);②因子的物理意义要清晰;③一个因子场上至多选取 2 个因子。

### 3.4 建模

对上述预选的因子,按组建方程的基本步骤,采用逐步回归方案<sup>[4]</sup>,控制方程的因子数为 5—7 个。

#### 3.4.1 样本筛选方程

按 2.1 节步骤,对 25 个原始场预选出 32 个因子,建立的方程因子数为 6,选取临界值  $y_c = 1.9$ ,消除了 60 个无雨和小雨的样本。对剩下的 60 个样本进行相关分析,根据相关系数的空间分布特征,按其物理意义进行组合,得到 34 个组合因子场。

#### 3.4.2 消空方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 及判别方程 $\hat{y}_3$

上述 34 个组合因子场与 3.2 节 3 条渠道得到的 25 个组合因子场,一共有 59 个组合因子场,加上 25 个原始物理量场,总计为 84 个因子场。遵循 3.3 节预选因子的要求进行因子预选,按步骤 2.2—2.4 节分别建立中雨、大雨消空方程  $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$  及大一暴雨判别方程  $\hat{y}_3$ 。为了进行比较分析,使用 25 个原始物理量场建立了大一暴雨判别方程  $\hat{y}_4$  (方程略)。各方程的参数列入表 1。

从表 1 可以看到,方程  $\hat{y}_3$  的样本均值达到大雨的量级,残差方差最小,复相关系数最大,拟合效果最好。

表 1 各方程参数表

方程 $\hat{y}_i$	样本容量 $N$	样本均值 $\bar{y}$	分布正态性	显著性检验	预选因子数	方程因子数	组合因子数	残差方差	复相关系数
$\hat{y}_1$	120	1.30	偏态	4	86	5	3	0.87	0.74
$\hat{y}_2$	80	1.89	正态	4	75	6	4	0.94	0.72
$\hat{y}_3$	42	2.87	正态	3.5	92	7	6	0.49	0.87
$\hat{y}_4$	120	1.30	偏态	4	39	7	0	0.96	0.71

## 4 历史拟合、1992 年试报及效果分析

### 4.1 评定原则

采用 T 评定办法。①预报有大一暴雨,实况  $R \geq 35\text{mm}$ ,评正确;  $25 \leq R < 35\text{mm}$ ,不评;  $R < 25\text{mm}$ ,评空报。②实况  $R \geq 35\text{mm}$ ,而未报大一暴雨,评漏报。

### 4.2 历史拟合及 1992 年试报结果

历史 120 个样本及 1992 年 5—6 月 45 天(因通信线路故障、停电等原因缺资料 16 天,其中有 3 个大一暴雨日)试用结果列入表 2,可以看出,方程  $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 、 $\hat{y}_3$ 、 $\hat{y}_4$  各自单独拟合大一暴雨时,成功界限指数 CSI 均在 0.4—0.5 之间;而采用方程  $\hat{y}_1$  消去无雨和小雨的事件, $\hat{y}_2$  消去中雨以下的降水事件后,再用方程  $\hat{y}_3$  判别有无大一暴雨,这 3 个方程配套使用时,拟合大一暴雨的 CSI 指数比单独使用各方程提高 0.2—0.3。试用情况也是如此。用同样的标准评定本站对外发布的综合预报,CSI 指数为 7/12(0.583)。

试用期的 6 月 13 日,因西南气流强盛,切变、静止锋降水带稳定在长江以北,14 日晚移过长江,15 日稳定在江南北部,16 日因川陕低槽引导冷空气南移,静止锋转冷锋迅速南移,降水带移到赣中南,晚上南昌地区降水迅速停止。13 日因天气系统移速太慢,16 日因移速太快,两天均空报,说明本 MOS 方

1) 余志豪等,梅雨锋中间尺度雨带湿位涡分析,华东中尺度天气试验论文集,总参气象局。

法对天气形势变化太慢或太快的过程预报能力差。

表2 历史拟合及1992年试用结果表

项目	方程 $\hat{y}_i$	临界值 $y_c$	历史拟合				1992年试用			
			空报	漏报	报对	CSI指数	空报	漏报	报对	CSI指数
方程单独使用	$\hat{y}_1$	2.4	9	4	9	0.409	6	3	5	0.357
	$\hat{y}_2$	3.0	6	4	9	0.474	5	3	5	0.385
	$\hat{y}_3$	3.6	7	3	10	0.50	6	2	6	0.429
	$\hat{y}_4$	2.4	8	3	10	0.476	6	3	5	0.357
配套使用	$\hat{y}_1$	1.50								
	$\hat{y}_2$	2.15	1	2	11	0.786	3	1	7	0.636
	$\hat{y}_3$	3.30								

### 4.3 效果分析

计算各方程对120个样本拟合的绝对误差表明,各方程对同一量级降水事件拟合的绝对误差是不同的,同一方程对不同量级的降水事件拟合的绝对误差也是不相同的。各方程在其样本均值附近绝对误差小。对于无雨和小雨( $y=0-2.1$ )的样本,方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 、 $\hat{y}_4$ 拟合的绝对误差小,而方程 $\hat{y}_3$ 的绝对误差大;但是,经方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 消去了大部分无雨和小雨的样本后,方程 $\hat{y}_3$ 对剩下的无雨和小雨的样本,其拟合的绝对误差大大地减小(与 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 、 $\hat{y}_4$ 相当),从而使得方程 $\hat{y}_3$ 对大一暴雨的空报率明显下降。对于大一暴雨的样本,方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 、 $\hat{y}_4$ 拟合的绝对误差大(一般是拟合值明显小于实际值),而方程 $\hat{y}_3$ 拟合的绝对误差小,从而大大地减小漏报的概率。另外,对比各方程的因子表明,方程中的因子大

多数都不相同,同一物理量在不同方程中的格点位置一般也不相同,即使格点位置相同,在不同方程中的贡献大小也是不相同的。从降水发生发展的条件看,方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 主要有水汽和动力条件的因子,而方程 $\hat{y}_3$ 除了对水汽和动力条件有较高的要求外,对热力和动力稳定性条件也要求严格,而且,贵州北部的地面气压越低越有利于南昌地区降水的发生发展。这与经验预报是吻合的。因此方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 、 $\hat{y}_3$ 配套使用,比用单个方程的预报效果好。

### 5 小结

5.1 样本正态化与小量级降水样本消除手段,提高了样本均值,增大了大一暴雨事件的概率,提高方程 $\hat{y}_3$ 对大量级降水的拟合效果。

5.2 方程 $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 、 $\hat{y}_3$ 从不同角度描述了不同量级降水的发生发展条件, $\hat{y}_1$ 、 $\hat{y}_2$ 减小大一暴雨的空报率, $\hat{y}_3$ 减小漏报率。

5.3 组合因子描述了物理量的空间分布特征,比单个格点的效果好。

5.4 试验结果表明,本方法对大一暴雨有较高的预报能力,但对天气形势变化太快或太慢的过程容易空报,有待进一步改善。

### 参考文献

- 戴熙敏. 南昌市强降水短时预报. 江西气象科技, 1992, 2.
- 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 1990年.
- 王田民等. T<sub>42</sub>产品解释应用研究系统. 气象, 1993, 19 (1).

## T<sub>42</sub> MOS Forecast on Heavy rain in The District of Nanchang

Dai Ximin Wang Tianmin Cao Xiaogang

(Meteorological Observatory of Jiangxi Province)

### Abstract

Moderate rain and heavy rain elimination equations  $y_1$ ,  $y_2$  and discriminant equation  $y_3$  of heavy rain are established with normalized sample rejection method T<sub>42</sub> model output in May-June, 1990-1991. The  $y_1$ ,  $y_2$  equations decreases the forecast "Occurrence" while the weather is no occurrence,  $y_3$  equation decreases the forecast "No" while the weather is occurrence. Conveyance using these three equations is more effective than using single one equation. "CSI" score increases obviously. Experimental forecast made in 1992 is better.

**Key Words:** T<sub>42</sub> model output heavy rain statistical interpretation