

# 陇东南暴雨动态统计 PP 预报模型

董彦雄<sup>1</sup> ,刘卫民<sup>2</sup> ,李耀辉<sup>3</sup>

( 1. 甘肃省平凉市气象局 ,甘肃 平凉 744000 ; 2. 甘肃省天水市气象局 ,甘肃 天水 741000 ;  
3. 中国气象局兰州干旱气象研究所 ,甘肃 兰州 730020 )

**摘 要** 利用 1960 ~ 2001 年 NCEP 再分析格点资料、陇东南 4 市 31 站的降水实况资料、及 4 个代表站的 15 ~ 40 cm 的地温资料 ,用 11 种物理量设计了 86 个初选因子 ,将预报区域分东、南、西 3 片 ,将天气环流分 4 型 ,采用判别分析方法求得陇东南暴雨初级判别函数 3 个、二级判别函数 12 个 ,构成暴雨的动力统计 PP 预报模型。回检情况 ,初级预报判别在正例概括 90% ~ 93% 暴雨日的情况下 ,排空率可达 63% ~ 68% ;二级动态判别东片、南片性能较好 ,预报技巧基本在 60% 以上 ,其中东片辐合气流量型可达 80% 以上 ,西片整体要差一些 ,但相对于暴雨的实际预报水平 ,12 个函数均具有一定的参考性。用 2004 ~ 2005 年 7 月实际资料检验 ,模型预报技巧可达 39.3% ;试验运行 ,模型解释应用 T213 数值预报 12 h、36 h 的资料 ,对 2005 年 6 月 30 日至 7 月 2 日陇东南出现的暴雨有较好的反映 ,两方面都说明了模型的实用价值。

**关键词** 解释预报 ;暴雨 ;判别分析 ;陇东南

中图分类号 P456.8

文献标识码 A

## 引言

暴雨是综合因素的结果 ,在西北地区其突发性和局地性均十分显著。陇东南是甘肃暴雨多发区 ,暴雨除形成洪水灾害外 ,还造成严重的水土流失 ,并诱发崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害 ,陇南就是我国 4 大滑坡、泥石流集中爆发区之一。

对暴雨的研究一直是天气预报研究的重点和难点 ,随着我国数值天气预报业务的发展 ,预报走上了以数值预报为基础的技术路线。本文以业务化客观解释应用国家气象中心的 T213 数值天气预报产品为出发点 ,借鉴近年来暴雨数值预报研究取得的成果<sup>[1~6]</sup> ,在充分考虑暴雨天气时空特点的基础上 ,来研制陇东南暴雨的动力统计数值预报模型。

## 1 资料与方法

建模所用资料年限为 1961 ~ 2001 年 ,资料来自陇东南庆阳、平凉、天水、陇南 4 地市 31 个气象站的

逐日降水实况资料 ,高空 500、700、300 hPa 高度、温度、相对湿度、风 4 个要素逐日 08 时再分析格点资料(  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  ) ,西峰区、崆峒区、天水、武都 4 站 15 ~ 40 cm 的地温实况资料。

检验、试报所用为地级气象台 MICAPS 接收处理的实时高空客观分析场资料和 T213 数值预报产品资料。

陇东南地理复杂 ,暴雨出现的环流形势也各不相同 ,为简化研究对象 ,进行区域分片和环流分型。分片依据地理位置 ,将六盘山以东的崆峒、华亭、崇信、镇原、泾川、灵台、环县、华池、庆城、西峰、宁县、正宁、合水 13 县(区)为东片 ,秦岭以南的礼县、西和、成县、康县、徽县、两当、宕昌、武都、文县 9 县为南片 ,而六盘山以西的甘谷、泰安、武山、天水、清水、张川、北道、静宁、庄浪 9 县(区)为西片 ,分别用 E、S、W 代表。分型根据西北区 500 hPa 南北气流的配置 ,将大气环流分为西北气流、辐合气流、辐散气流、西南气流 4 个型 ,分别用 I、II、III、IV 代表 ,具体定

义见表 1。

表 1 环流分型定义

Tab. 1 The definition for circulation patterns

环流型	I 西北气流	II 辐散气流	III 辐合气流	IV 西南气流
定义	$\Delta H_N \leq 0$ $\Delta H_S \leq 0$	$\Delta H_N > 0$ $\Delta H_S \leq 0$	$\Delta H_N \leq 0$ $\Delta H_S > 0$	$\Delta H_N > 0$ $\Delta H_S > 0$

注 表中  $\Delta H_N = HS(110^\circ E, 40^\circ N) - HS(90^\circ E, 40^\circ N)$ ,  $\Delta H_S = HS(110^\circ E, 32.5^\circ N) - HS(90^\circ E, 32.5^\circ N)$ ,  $HS$  为 500 hPa 高度, 括号内为格点经纬度。 $\Delta H_S$ 、 $\Delta H_N$  可代表高原、河西 500 hPa 气流的主要走向。

暴雨对象：各分片在不同大气环流型下，20 ~ 20 时出现 2 站以上的大到暴雨以上降水（以下仍称暴雨）。采用判别分析方法建立了暴雨有无的 PP 预报函数，因子时次为 08 时，在选取或剔除因子时，统计检验量  $F$  用与 Wilks'  $\Lambda$  统计量相关的 C. R. Rao 近似式<sup>[7]</sup>：

$$F = \frac{1 - \Lambda^{1/S}}{\Lambda^{1/S}} \frac{P}{r(G-1)}$$

表 2 1961 ~ 2001 年陇东南暴雨日逐旬统计

Tab. 2 The statistics of rainstorm days in southeast Gansu ten days by ten days during 1961 ~ 2001

旬	4 月			5 月			6 月			7 月			8 月			9 月			
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
暴雨日/d	2	2	9	3	15	14	9	13	28	49	55	72	43	55	46	35	17	16	
雨量/mm	58.8	46.1	85.4	49.9	75.2	73.0	73.1	90.6	81.7	143.5	150.1	119.0	2.180	7.148	3.122	3.126	8.139	4.77	4.4
极值出现日期	1960/4/5	1989/4/20	1973/4/28	1971/5/2	1990/5/15	1987/5/30	1963/6/5	1961/6/18	1990/6/30	1977/7/5	1978/7/11	1966/7/26	1968/8/2	1981/8/15	1981/8/21	1983/9/6	1975/9/19	1990/9/22	
站点	徽县	庄浪	庄浪	镇原	崇信	文县	礼县	康县	天水	华池	灵台	庆城	成县	庆城	两当	徽县	崇信	泾川	

## 3 预报模型的建立

### 3.1 建模思路

暴雨是小概率事件，西北地区又多局地发生，具有一定的不确定性，陇东南暴雨的短期客观统计预报只能是可能性预报。用 MOS 方法作暴雨预报，受资料的限制，无法考虑到大量的暴雨实例，而 PP 法能克服这种缺点，可利用大量的历史暴雨信息，建立稳定的动力统计预报方程。但仅有资料是不够的，预报函数构建过程十分重要，本文采用以下方法。

#### 3.1.1 简约对象

通常而言，用统计分析方法建立的线性判别函数很难充分反映复杂多样的暴雨天气系统，所以简约研究对象是十分必要的手段。对象越简单，所得该函数将更具有针对性，预报性能也更强。本文从对象样本入手，在分片的基础上，先经初级判别，排

## 2 暴雨时空特征

陇东南地区位于青藏高原东北侧，处在夏季风影响的边缘区，区内暴雨的空间变率较大，自东南向西北暴雨发生率迅速减少，靠近嘉陵江的康县、徽县、成县、两当有一狭窄的暴雨多发中心，其中，康县年平均达 2.6 次；而东片各地暴雨出现的机率较平均。日雨量极值出现在东片的庆城，为 190.2 mm。暴雨空间上的这些分布特点明显取决于低空水汽输送的状况，最终制约于地理状况的不同。陇南虽然在秦岭以南，但山大沟深，只有沿嘉陵江河谷地带容易建立低空水汽通道，而陇东多塬区，经关中平原北上的水汽输送比较畅通。表 2 是 41 a 逐旬统计情况，最早的暴雨出现在 4 月上旬，7 月下旬发生频率达最高，6 月下旬至 9 月上旬是暴雨集中发生时段，占全年的 80%；另外，春季 4 月下旬暴雨发生频率较高。

除明显的非暴雨日样本，再根据环流将正例样本归为 4 种类型，从而达到简约对象的目的。

#### 3.1.2 动态理念

从实践来看，作为小概率事件，暴雨的客观预报准确性一般超不过 50%<sup>[8]</sup>，它只是反映了暴雨发生的可能性，直接定性暴雨有不尽合理之处，为此，本文设计了“动态”预报模型的概念，具体做法是：将暴雨预报函数中暴雨的预置概率  $p$  设为可变（0.5 ~ 0.1），实际应用时将不同概率下函数的统计预报参数输出（如暴雨出现率等）提供更确切的参考信息。

#### 3.2 暴雨影响因子分析与设计

暴雨的发生，离不开充沛的水汽输送和稳定上升气流，西北地区东部的暴雨大致可分为 2 种环流类型：一种是中纬度强锋区；另一种不稳定层结产生的局地强对流。然而仅考虑大气环流，而不考虑前期气候状况（如降水、热力等）是不充分的，暴雨在干燥、低温的气候背景下也很难发生，暴雨的预报函数可构想为：

$Y = F(\text{大气环流, 下垫面, 太阳辐射, 扰动})$

其中, 大气环流因子是暴雨发生的决定性因素, 但如何全面描述它并不是一件简单的事; 下垫面作用可分为动力作用和热力作用, 热力作用可用近地层的温湿度来表征; 太阳辐射不好确定, 但其季节变化状况也可通过深层地温间接反映。从图 1 可见, 地温统计值随季节有正弦变化规律, 垂直梯度秋冬大, 春夏小, 可见, 深层地温还能作为季节变化因子, 有些工作将日序的三角函数作为初选因子<sup>[9]</sup>, 也有类似的描述意义。

初选因子决定着预报函数的性能, 它既要能充分反映环境信息, 又要相对稳定, 并具有一定的天气学意义, 按此原则, 并根据上面暴雨影响因子的分析, 从状态量(或静态量)、趋势量(或动态量)两方面设计了 86 个初选因子。状态量因子有高度  $H$ 、温度  $T$ 、比湿  $q$ 、相对湿度  $f$ 、位温  $\theta$ 、假相当位温  $\theta_{se}$ 、涡度  $\zeta$ 、散度  $D$ 、总温度  $E$ 、厚度  $\delta H$ 、15~40 cm 深层地温  $G$ , 以及描述锋区配置和强弱的高度差  $\Delta H$ 、温度差  $\Delta T$ 。趋势量因子有多个物理量的平流散度量  $FX$ 。地温有实况、距平、气候统计等不同形式的值, 东片用崆峒、西峰 2 站的平均值, 南片用武都

站的值, 西片用天水站的值。除地温为前一日 08 时外, 各量选取的时次均为当日 08 时, 而地温选取前一日是出于模式实际应用方便的目的。另外, 为使各因子具有可比性, 在单位和数值上作了预处理(具体因子不再赘述)。

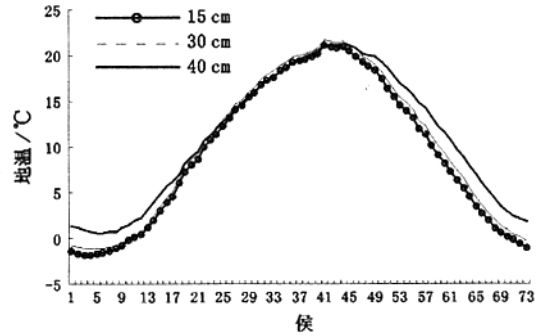


图 1 崆峒区站 08 时地温 40 a 气候统计  
Fig. 1 The climatic statistics of 08:00 ground temperature at Kongtong station for 40 years

### 3.3 初级判别

采用逐步判别分析方法, 通过给定  $F_a$  值控制引入因子数, 为提升暴雨的概括率, 给定暴雨预置概率远大于实际概率, 其中东片、南片为 0.72, 西片为 0.7, 得到东、南、西 3 个分片的暴雨初级判别函数式:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_E &= -5.12 + 0.10028\theta_{5((107.5, 35))} + 0.02931\Delta H_{5((112.5, 35)-(102.5, 35))} - 0.03138\Delta H_{5((112.5, 35)-(97.5, 35))} \\ &- 0.08339\Delta\theta_{5((107.5, 32.5)-(107.5, 40))} + 0.06739\Delta\theta_{5((112.5, 35)-(97.5, 35))} + 0.417\Delta q_{5((112.5, 35)-(102.5, 35))} \\ &+ 1.2364\Delta q_{5((107.5, 32.5)-(107.5, 37.5))} - 0.04383\Delta H_{7((107.5, 32.5)-(107.5, 37.5))} + 5.5306\Delta T_{7((107.5, 32.5)-(107.5, 37.5))} \\ &- 5.4194\Delta E_{7((107.5, 32.5)-(107.5, 37.5))} \\ \hat{Y}_S &= -11.4461 + 0.21523\theta_{5((105, 32.5))} - 0.0115(H_{7(300)} - 300) - 0.1689E_{5((105, 32.5))} - 0.04773\Delta H_{5((115, 30)-(105, 35))} \\ &- 0.0401\Delta H_{7((117, 32.5)-(102.5, 32.5))} - 0.3125\Delta E_{7((117, 32.5)-(102.5, 32.5))} + 0.5391\Delta E_{7((115, 30)-(105, 35))} \\ \hat{Y}_W &= 3.6834 - 0.2098D_{5((105, 35))} + 0.7413\zeta_{5((105, 35))} + 0.11593T_{3((105, 35))} + 0.05625\Delta\theta_{5((110, 35)-(95, 35))} \\ &+ 0.4824\Delta q_{5((110, 35)-(100, 35))} + 0.415\Delta\zeta_{5((110, 35)-(100, 35))} - 0.02504\Delta H_{7((107.5, 35)-(102.5, 35))} - 0.03563\Delta H_{7((105, 32.5)-(105, 37.5))} \end{aligned}$$

式中变量后数字“3”、“5”、“7”分别代表 300、500、700 hPa, 下标括号中数字为格点经纬度, 变量前符号“ $\Delta$ ”表示为差值变量, 下文同。

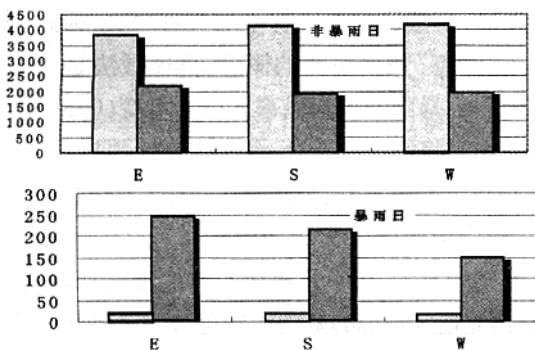


图 2 初级判别函数回检正反例情况对比

Fig. 2 The contrast between positive and negative examples examined by primary discriminant function (deep color for positive examples, namely discriminant function value  $\geq 0$ ; E, S, W for east, south, west areas, respectively)

判别效果的统计检验量  $F$ , 东片 266, 南片 112, 西片 68, 信度  $\alpha$  均在 0.01 以上。图 2 是回检结果, 正例概括了 90%~93% 以上暴雨日, 排空率达 63%~68%, 正例中暴雨的概率从原始样本的 2.6%~4.2% 提高到 7.1%~10.2%, 达到初级判别的目的。

### 3.4 二级分型判别

将各片初级判别的正例分型重组样本, 共得 12 个样本。从统计学的观点出发, 为排除局地性天气干扰, 获得完备的对象, 将区域性暴雨( $\geq 2$  县)有无作预报目标。应用逐步分析方法, 通过控制  $F_a$  的值决定入选因子的个数, 得到 3 个片在 4 个环流型下的判别函数式(信度  $\alpha$  均在 0.01 以上)。

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{E1} = & \text{Ln}(e) - 53.37505 - 0.00991(H5 - 5800) - 1.4492T7_{(107.5, 35)} + 0.004314f7_{(107.5, 35)} \\ & + 15.0625\theta5_{(107.5, 35)} + 0.426q7_{(107.5, 35)} + 0.7811\Delta q5_{((112.5, 35)-(102.5, 35))} + 0.4875\Delta\zeta5_{((112.5, 35)-(102.5, 35))} \\ & - 0.04362\Delta H7_{((107.5, 32.5)-(107.5, 37.5))} - 0.02370\Delta H7_{((107.5, 32.5)-(107.5, 40))} - 38.3086\Delta T7_{((107.5, 32.5)-(107.5, 40))} \\ & + 1.30149\Delta q7_{((107.5, 32.5)-(107.5, 37.5))} - 10.51641\Delta q7_{((107.5, 32.5)-(107.5, 40))} + 38.5117\Delta E7_{((107.5, 32.5)-(107.5, 40))} \\ & + 0.8628(\bar{G}40_E - \bar{G}15_E) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{E2} = & \text{Ln}(e) - 1.9042 + 0.7973\zeta5_{(107.5, 35)} - 0.02885(H7_{(107.5, 35)} - 3000) + 0.04829f7_{(107.5, 35)} \\ & - 0.02804\Delta H5_{((110, 35)-(105, 35))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{E3} = & \text{Ln}(e) - 12.97305 + 1.3612\theta5_{(107.5, 35)} + 0.6066\Delta q5_{((112.5)-(97.5, 35))} + 0.255\Delta D5_{((107.5, 32.5)-(107.5, 40))} \\ & - 0.9917\Delta H7_{((107.5, 32.5)-(107.5, 37.5))} + 9.4868\Delta q7_{((107.5, 32.5)-(107.5, 40))} + 0.0461\Gamma H5_{((102.5, 3737.5)(110, 30))}/2000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{E4} = & \text{Ln}(e) - 13.7295 + 0.02855f5_{(107.5, 35)} + 0.03517f7_{(107.5, 35)} + 0.01697\theta_{se}7_{(107.5, 35)} + \\ & 0.3816\Delta q5_{((112.5, 35)-(97.5, 35))} + 0.8639\Delta q_{((107.5, 37.5)-(107.5, 32.5))} + 6.3320\Delta q5_{((107.5, 40)-(107.5, 32.5))} \\ & + 0.1458\Delta\theta5_{((112.5, 35)-(102.5, 35))} + 0.2376\Delta D5_{((107.5, 37.5)-(107.5, 32.5))} - 0.3299\Delta\zeta5_{((107.5, 37.5)-(107.5, 32.5))} \\ & - 0.5092\Delta H7_{((107.5, 37.5)-(107.5, 32.5))} - 9.73141\Delta q7_{((107.5, 40)-(107.5, 32.5))} + 0.1413\Delta E5_{((100, 35)-(105, 35))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{S1} = & \text{Ln}(e) - 21.6406 + 0.27109\theta5_{(105, 32.5)} + 0.2821T7_{(105, 32.5)} - 0.2642E5_{(105, 32.5)} \\ & - 0.06737\Delta H5_{((105, 30)-(105, 35))} - 0.4853\Delta H7_{((102.5, 32.5)-(107.5, 32.5))} + 1.3331\Delta T7_{((105, 30)-(105, 35))} \\ & - 0.6972\theta_{se}7_{((105, 30)-(105, 35))} + 1.248\Delta q7_{((107.5, 32.5)-(102.5, 32.5))} + 0.2079\delta G30s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{S2} = & \text{Ln}(e) + 2.31885 - 0.08951H5_{(105, 32.5)} + 1.3315(\delta H57_{(105, 32.5)} - 2700) + \\ & 0.6974\Delta H5_{((110, 32.5)-(100, 32.5))} + 6.2237\Delta T5_{((110, 32.5)-(100, 32.5))} - 5.4558\Delta\theta_{se}5_{((110, 32.5)-(100, 32.5))} + \\ & 0.5524\Delta q5_{((110, 32.5)-(95, 32.5))} + 0.2768\Delta D5_{((110, 32.5)-(100, 32.5))} - 1.6163\Delta H7_{((107.5, 32.5)-(102.5, 32.5))} - 0.8351\Delta H \\ & 7_{((105, 30)(105, 35))} + 0.6008\Delta E7_{((107.5, 32.5)-(102.5, 32.5))} - 0.015\Gamma D7_{((100, 37.5)(107.5, 30))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{S3} = & \text{Ln}(e) - 4.28795 + 1.0018q7_{(105, 32.5)} - 0.1123\Delta\theta5_{((107.5, 32.5)-(100, 32.5))} + 0.5088\Delta\zeta5_{((100, 32.5)-(95, 32.5))} \\ & - 0.5638\Delta H7_{((105, 32.5)-(100, 37.5))} + 1.3937\Delta q7_{((107.5, 32.5)-(102.5, 32.5))} - 0.02553\Gamma f7_{((100, 37.5)(107.5, 30))} + \\ & 0.0483\Gamma H5_{((100, 37.5)(107.5, 30))}/2000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{S4} = & \text{Ln}(e) - 5.89985 + 0.02443f5_{(105, 32.5)} + 0.04048\Delta H5_{((110, 32.5)(100, 32.5))} + 0.301\Delta D5_{((110, 32.5)(100, 32.5))} - 0. \\ & 5903\Delta\zeta5_{((105, 37.5)(105, 30))} - 0.07965\Delta H7_{((107.5, 32.5)(102.5, 32.5))} - 0.4345\Delta H7_{((105, 35)(105, 30))} + 12.6651\Delta T7_{((105, 35)(105, 30))} - 11. \\ & 1237\Delta\theta_{se}7_{((105, 35)(105, 30))} + 0.4096\Delta E7_{((105, 37.5)(105, 30))} - 0.29445\Gamma H5_{((100, 37.5)(107.5, 30))}/2000 - 0.582\Gamma T5_{((100, 37.5)(107.5, 30))}/400 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{w1} = & \text{Ln}(e) + 50.9257 - 1.96055\theta5_{(105, 35)} - 0.2536\theta75_{(105, 35)} + 2.2913E7_{(105, 35)} \\ & + 0.09597\Delta\theta5_{((110, 35)-(100, 35))} + 0.5656\Delta\zeta5_{((105, 32.5)-(105, 40))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{w2} = & \text{Ln}(e) - 7.8384 - 0.0592\Delta H5_{((105, 32.5)-(105, 37.5))} + 0.8832\Delta q5_{((110, 35)-(95, 35))} + 0.2717G40w \\ & + 0.8058\Delta\zeta5_{((110, 35)-(95, 35))} + 0.2596\Delta E7_{((105, 32.5)-(105, 40))} + 0.0294\Gamma H5_{((100, 40)(107.5, 32.5))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{w3} = & \text{Ln}(e) - 6.7823 + 1.0347\zeta5_{(105, 35)} + 0.0515f7_{(105, 35)} + 0.7925\Delta q5_{((110, 35)-(95, 35))} \\ & + 0.8858\Delta\zeta5_{((110, 35)-(100, 35))} + 0.0497\Gamma H5_{((100, 40)(107.5, 32.5))}/2000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{w4} = & \text{Ln}(e) + 4.73225 - 1.5755\theta773_{(105, 35)} + 3.8247\Delta T7_{((105, 32.5)-(105.5, 40))} \\ & - 3.6285\Delta\theta_{se}7_{((105, 32.5)-(105.5, 40))} + 0.3522E7_{(105, 35)-0.1431\Gamma T5_{((100, 40)(107.5, 32.5))}/100} \end{aligned}$$

式中,变量前符号 $\Delta$ 、 $\delta$ 、 $\Gamma$ 、 $\theta$ 表示为变量差、距平、平流散度、层差,变量后数字“3”、“5”、“7”分别代表300、500、700 hPa,变量后数字“57”、“75”、“73”分别代表500与700hPa、700与500 hPa、700与300 hPa之间的差值 $p = p/(1 - p)$   $p$ 为预置概率。

各式所引入的因子各不相同,涉及多种要素,从另一侧面说明分片分型的必要性。另外,地温因子分别在东片和南片的NW气流型、西片的辐散气流型中被引入,暴雨与深层地温成正相关。

在业务化应用之前,有必要分析判别函数的性能。

对 PP 预报函数而言 历史回报检验足以反映其预报性能。另外 为实现本文所设计的动态思想 回检时暴雨预置概率  $p$  取值从 0.5 ~ 0.1 并定义了 4 个参数：

$$T_r = \frac{N_A}{N_p} P_s = \frac{N_A}{N_T} T_{s1} = \frac{N_A}{N_p - N_m + N_L} T_{s2} = \frac{N_M + N_A}{N_p}$$

其中  $N_T$  为区域性暴雨总日数  $N_p$  为区域性暴

雨预报日数  $N_A$ 、 $N_L$ 、 $N_M$  分别为暴雨预报正确日数（包括单站出现）、漏报日数、无暴雨但出现了区域性中雨以上降水日数。4 个参数从不同侧面反映判别函数的性能  $T_r$  是暴雨出现率  $P_s$  是暴雨概括率  $T_{s1}$  是暴雨预报技巧  $T_{s2}$  是反映中雨以上降水的技巧 整体越大表明函数性能越好。

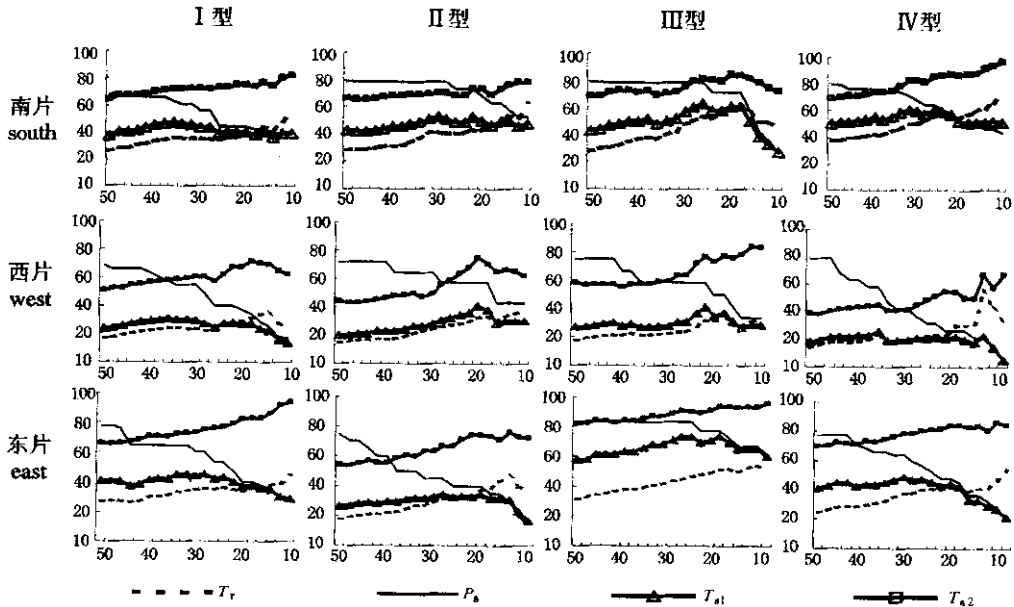


图 3 陇东南暴雨分片分型二级判别函数动态回检结果（其中横坐标为暴雨的预置概率  $p$  纵坐标为百分率 单位：%）

Fig. 3 The results of dynamic examining in return of two-stage discriminant function for rainstorms in southeast Gansu (the  $x$ -coordinate for the present probability  $p$  of rainstorm the  $y$ -coordinate for the percentage, Units: %)

图 3 反映了回检结果 总的情况是东片、南片性能较好 预报技巧  $T_{s1}$  基本在 60% 以上 东片 III 型达 80% 以上 西片整体要差些 但相对于暴雨的实际预报水平 12 个函数均具有一定的预报参考性。另外 从图 3 中看到东片 III 型、南片 II 和 III 型暴雨预置概率从 50% 减小到 28% 暴雨的概括率  $P_s$  没有减小 而暴雨准确率  $T_r$  分别升至 46%、41.6%、54.5% 预报技巧  $T_{s1}$  达到 73%、52%、63% 可见 3 个函数对暴雨判别的稳定性很好。

### 4 检验与试报

为进一步考查预报模型的性能 用 2004 年至 2005 年 7 月 13 日逐日 20 时的实况场资料进行了检验 选 20 时是为了便于用所获得的 08 ~ 08 时降水来验证。确定二级判别函数中东片 III 型、南片 II 和 III 型暴雨预置概率取 28% 其余取 50% 表 3 是检验统计结果：东片 二级判别函数值  $\hat{Y} \geq 0$  有 14 次 实际正确 4 次 为 2004 年 7 月 17 日、7 月 26 日、

8 月 10 日、8 月 20 日 空报中有 4 次为区域性中雨 漏报了 2004 年 7 月 29 日西峰和华池、8 月 19 日环县和庆阳、以及 2005 年 7 月 1 ~ 2 日共 4 个暴雨日；南片 二级判别函数值  $\hat{Y} \geq 0$  有 8 次 实际正确 2 次 为 2005 年 7 月 1 ~ 2 日 区域性中雨 4 次 无区域性暴雨漏报 西片 二级判别函数值  $\hat{Y} \geq 0$  有 17 次 实际正确 5 次 分别为 2004 年 6 月 30 日(庄浪县暴雨)、8 月 12 日(甘谷县大到暴雨)、8 月 20 日 以及 2005 年 7 月 1 ~ 2 日 空报中有 7 次中雨 无区域性暴雨漏报 合计预报技巧可达 39.3%。可见 所建模型具有一定的预报能力 可投入业务化运行 图 4 是模型的业务化框图。

表 3 2004 年至 2005 年 7 月实况场检验结果  
Tab. 3 The examining results of observed rainstorms from 2004 to 2005

	$\hat{Y} \geq 0$			$N_L$
	$N_p$	$N_A$	$N_M$	
东片	14	4	4	4
南片	8	2	4	0
西片	17	5	7	0

用业务化模型进行了试报,资料分别用 2005 年 6 月 30 日、7 月 1 日 20 时 T213 的 12 h、36 h 预报场。  
 ① 6 月 30 日 20 时 12 h 预报,初级判别东片、南片  $\hat{Y} \geq 0$ , 二级判别南片  $\hat{Y} > 0$ , 实况 7 月 1 日 3 片均有暴雨;  
 ② 6 月 30 日 20 时 36 h 预报,初级判别 3 片  $\hat{Y} \geq 0$ , 二级判别南片、东片  $\hat{Y} \geq 0$ , 实况 7 月 2 日 3 片均有暴雨;  
 ③ 7 月 1 日 20 时 12 h 预报,初级、二级判别 3 片  $\hat{Y} \geq 0$ , 实况 7 月 2 日 3 片均有暴雨;  
 ④ 7 月 1 日 20 时 36 h 预报,初级判别 3 片  $\hat{Y} \geq 0$ , 二级判别 3 片  $\hat{Y} < 0$ , 实况 7 月 3 日无暴雨。可见,模型解释应用 T213 数值预报产品预报出了 7 月 2 日陇东南暴雨。

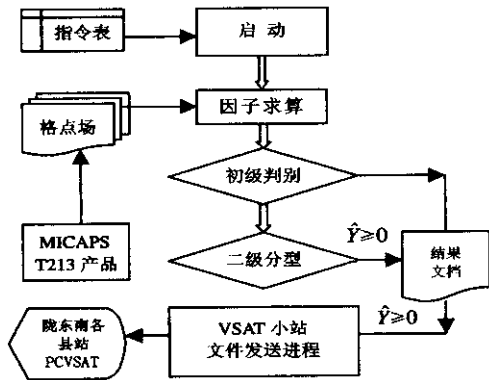


图 4 陇东南暴雨数值预报业务化流程

Fig.4 The forecast service flow for rainstorms in southeast Gansu

## 5 结束语

通过分片、分型简化对象,用统计分析方法建立了陇东南暴雨有无预报的数值预报模型,并得出以下几点经验或结论:

(1) 对预报准确率不高的暴雨天气,本文所用动态

预报模型的思路更具客观性,也更有实际参考意义,而针对暴雨是小概率事件,采用 2 级判别的方法是可行的。

(2) 陇东南暴雨地理分布差异很大,区域分片、环流分型能简化暴雨对象,使求得的暴雨预报函数更具针对性。

(3) 下垫面热力状况对暴雨天气有一定的影响作用,深层地温能反映下垫面热力状况,本文有 3 个暴雨预报函数中引入地温因子。

(4) 从检验和试报的情况看,本文建立的陇东南暴雨动态统计数值预报模型具有一定的实用价值。

参考文献:

[1] 王劲松,李耀辉,康风琴,等.西北区东部一次暴雨的数值模拟试验[A].西北重要天气成因及数值预报方法研究[C].北京:气象出版社,2002.64-75.  
 [2] 丁建军,胡文东,陈晓娟,等.2003 年 7 月 31 日固原暴雨天气数值模拟[J].干旱气象,2004,22(1):38-43.  
 [3] 扈祥来,高前兆,牛最荣,等.甘肃暴雨初探[J].干旱气象,2004,22(1):74-79.  
 [4] 贾宏元,穆建华,孔维娜.2004 年宁夏一次区域性大到暴雨的诊断分析[J].干旱气象,2005,23(2):24-29.  
 [5] 王位泰,李宗,张天锋,等.陇东黄土高原异常偏旱暴雨短期预报指标模式[J].干旱气象,2005(增刊):13-15.  
 [6] 周志鹏.甘肃省华亭县的暴雨天气气候学分析[J].干旱气象,2005(增刊):24-29.  
 [7] 王得民,施能.气象统计预报[M].南京:南京气象学院,1985.76-84.  
 [8] 王雨.2002 年主汛期国家气象中心主客观降水预报对检验[J].气象,2003,29(5):21-25.  
 [9] 孙兰东,叶燕华,王平鲁.用 T106 数值预报产品制作甘肃极端温度逐日滚动预报[A].西北重要天气成因及数值预报方法研究[C].北京:气象出版社,2002.62-89.

## The Dynamic Statistical PP Forecast Model of Rainstorms in Southeast Gansu

DONG Yan-xiong<sup>1</sup>, LIU Wei-min<sup>2</sup>, LI Yao-hui<sup>3</sup>

- (1. Pingliang Meteorological Bureau of Gansu Province, Pingliang 744000, Gansu, China;
- 2. Tianshui Meteorological Bureau of Gansu Province, Tianshui 741000, Gansu, China;
- 3. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Based on the re-analyzed grid data of NCEP, the observed precipitation of 31 stations in southeast Gansu, and the 15~40 cm ground temperature data of 4 representative stations from 1960 to 2001, 86 primarily selected factors were designed with 11 kinds of physical quantities, the forecasted area was divided into 3 districts of east, south and west, weather circulation was classified as 4 patterns, 3 primary and 12 two-stage discriminant functions of rainstorms in southeast Gansu were obtained through discriminant analysis approach, and the dynamic statistical PP forecast model is composed of these functions. The results of examining in return indicate that in the situation of 90%~93% rainstorm days included by positive examples, excluding rate of forecast mistake reaches 63%~68%; The two-stage dynamic discriminant in east and south districts is good, the forecast skill is basically above 60%, of which for the composite flow patterns in east district it can reach above 80%, and it is not good in west district on the whole, but relatively to actual forecast level of rainstorms, 12 functions have certain reference value. The examination conducted by using observed data from 2004 to 2005 July shows that the model forecast skill can reach 39.3%; Through experimental running, applying 12 and 36 hours forecasting data of T213, the model explanation has good reflection to the rainstorm occurred in southeast Gansu from June 30 to July 2, 2005, two aspects both show that the model has practical value.

**Key words:** explanation forecast; rainstorm; discriminant analysis; southeast Gansu