

单站暴雨客观预报的一种适用模型

黄永玉^{1,3} 谢水兰² 李 霖³

(1 南京信息工程大学, 南京 210044; 2 福建省建阳市气象局, 建阳 354200; 3 福建省南平市气象局, 南平 353000)

摘要 采用滑动分区车贝雪夫多项式展开模型, 研制福建省建阳市单站 5~6 月暴雨客观预报模型, 以提高单站暴雨预报能力。模型取得了较好的结果: 客观预报模型因子结构简单而天气学意义明了, 具有预报准确率较高、稳定性好。各预报模型的三层形势特征都能体现出有利于暴雨生成的合理垂直配置。在 2000~2002 年的试用中, 准确率平均比主观预报高出 50%, 且无漏报。在 2003 年的试用中无空报也无漏报。这表明该技术模型是一种能够有效提高单站暴雨客观预报能力和效果的适用模型。

关键词 单站暴雨预报 滑动分区 展开系数

引言

在 MICAPS 和“9210”通信系统进入基层台站, 气象信息同步共享成为现实的新条件下, 采用文献[1]所提出的“滑动分区的车贝雪夫多项式展开技术模型”(简称“滑动展开模型”), 对前汛期(5~6 月)暴雨预报技术做进一步的探究, 改变了以往只用单站要素指标值做预报的方法, 以场量因子建模, 研制了全新的 5~6 月暴雨客观预报模型。试用结果表明, 已在区域暴雨预报中取得实效^[2,3]的“滑动展开模型”, 在单站暴雨客观预报中也是适用的。

1 “滑动展开模型”简介

“滑动展开模型”有两大技术构成: 一是滑动展开计算, 二是量化的预报模型制作。

1.1 滑动展开计算

“滑动分区”指在一选定的大尺度场(称“基本场”)上, 以一次尺度场, 沿 x 方向, 按给定步长 d_x (格距)做自西向东的递次滑动, 沿 y 方向, 按给定步长 d_y 做自北向南的递次滑动来进行场的有序分割方式。

在 d_x, d_y 取 1 时, 相对于第 i 种格式的次尺度场, 可将基本场有序地划分成 S_i 个不同格式的次尺度场:

$$S_i = (N - n_i + 1)(M - m_i + 1), \quad n_i \leq N, \quad m_i \leq M$$

式中 N, M 分别为基本场的行数和列数; n_i, m_i 分别为第 i 种次尺度场的行数、列数。研究中基本场取为 7×6 的不规则网格场(图 1), 对其进行 $4 \times 4, 4 \times 5, 5 \times 4, 5 \times 5, 5 \times 6, 6 \times 5, 6 \times 6$ 等 7 种次尺度网格场的滑动分区, 共得 44 个不等价的次尺度场。

这种分区的优点是, 可在基本场上做多尺度的信息开发, 有利于将天气系统所在位置细化而客观地刻划出来。

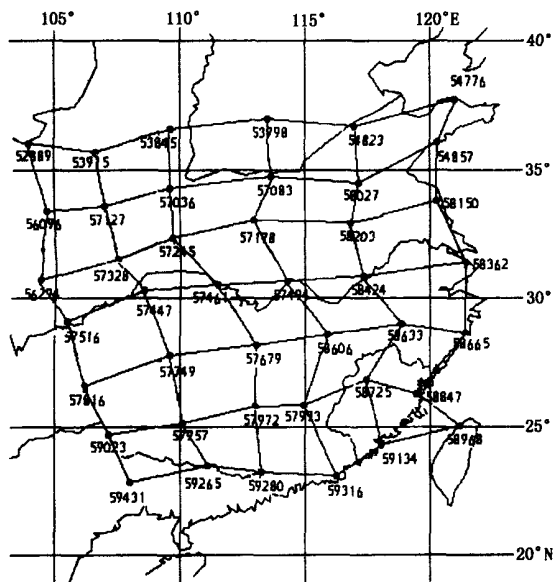


图 1 基本场的不规则网格设置

福建省科技厅“福建省中尺度灾害性天气预警系统在防洪抗旱中应用研究”课题资助

作者简介: 黄永玉, 女, 1970 年生, 研究生, 高级工程师, 从事预报工作, E-mail: hyy365@126.com

收稿日期: 2004 年 4 月 5 日; 定稿日期: 2004 年 5 月 8 日

“滑动分区展开”指对每个滑动分区分别进行车贝雪夫多项式展开系数计算的计算方式。

多项式展开系数计算算式为^[2]:

$$A_{k,s} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n h_{x,y} \varphi_k(x) \psi_s(y)}{\sum_{x=1}^m \varphi_k^2(x) \sum_{y=1}^n \psi_s^2(y)} \quad (1)$$

$k = 0, 1, 2, \dots, m-1$; $s = 0, 1, 2, \dots, n-1$

式中 $h_{x,y}$ 为在格点 (x, y) 上的要素值,在本研究中取为等压面的位势高度; m 为展开场的列点数; n 为展开场的行点数; $\varphi_k(x)$ 、 $\psi_s(y)$ 分别为沿 x 和 y 方向最简整数化的第 k 阶和第 s 阶车贝雪夫多项式。

$A_{k,s}$ 为要素场的 $k \times s$ 阶特征场的权重系数,通常称为“展开系数”。

$A_{k,s}$ 是要素场中相应特征分布之天气学意义的量化体现,如 $A_{0,1} < 0$ 表示要素场的分布趋势具有北高南低的特征,其绝对值越大,北高南低的特征就越突出,反之亦然。所以,系数 $A_{k,s}$ 是一类很有预报应用价值的因子。研究中只取用上述天气学意义明确的前 9 个低阶展开系数。它们已可基本体现出影响本地的西风带天气系统。

$A_{k,s}$ 时间变量是指其在 $\Delta t = t_0 - t_{-1}$ 时间内其值的变化量。按系数的可加性,其算式可定义为^[2]:

$$\begin{aligned} \Delta_t(A_{k,s}) &= (A_{k,s})_{t_0} - (A_{k,s})_{t_{-1}} \\ &= \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \Delta_t h_{x,y} \varphi_k(x) \psi_s(y) / \sum_{x=1}^m \varphi_k^2(x) \cdot \sum_{y=1}^n \psi_s^2(y) \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $\Delta_t h_{x,y}$ 为格点 (x, y) 上要素变量(文中指等压面上的变高)。故式(2)表明,展开系数时间变量实质是要素之变量场的展开系数。因此,它能从动态的角度客观、量化地揭示要素场随时间演化的特征,如当 $\Delta_t(A_{1,0}) > 0$ 时,它预示着要素场的分布在总体上发生了“东高西低”增强的变化;当 $\Delta_t(A_{1,0}) < 0$ 时,则预示着要素场的分布在总体上发生了“西高东低”增强的变化,且其值越大,变化越烈。所以,系数时间变量也是一类很有预报应用价值的因子。

1.2 预报模型制作

1.2.1 因子选择

预报因子 x_i 按如下量化条件进行选择:

①在“相关区间” $[a, b]$ 内的条件频率须达

$$P(y = 1 | x_i \in [a, b]) > B_0 P_0;$$

②在 $[a, b]$ 内,正例数 $N(x_i \in [a, b] \wedge y = 1) \geq n_0$;

③在 $[a, b]$ 内正例年份分布跨度(最晚年份与最早年份之差)大于等于 D_0 年;

④相关指数 $R_{x_i,y} > 0.250$ (通过信度为 0.01 的显著性检验)^[4]。

消空因子 x_i 按如下量化条件进行选择:

①因子 x_i 在消空区间 $[c_0, c_1]$ 内的条件频率须满足 $p(y = 0 | x_i \in [c_0, c_1]) = 1.0$;

②在区间 $[c_0, c_1]$ 内的反例数 $N(x_i \in [c_0, c_1]) \geq n'_0$;

③ $[c_0, c_1]$ 的取值仅限两种方式,或是 $(-\infty, C)$,或是 (C, ∞) ,即仅取极端值域。 C 为有限值。

④在 $[c_0, c_1]$ 内,反例的年份分布跨度大于等于 D'_0 年。

“相关区间”系指其间有足够多“正例”(文中指二值化值记为“ $y = 1$ ”的有暴雨个例),出现的因子取值域 $[a, b]$;“消空区间”系指其间全部出现“反例”(指二值化值记为“ $y = 0$ ”的无暴雨个例)的因子取值域 $[c_0, c_1]$; P_0 为暴雨气候概率; B_0 为倍数。

因子的选取均首先必须以分析因子在取值区间内的个例平均形势场特征的方法,实施因子物理意义的甄别,只要物理意义明确,就入选备用。

研制中,预报因子 $x_i \in [a, b]$ 时,编码(布尔数)为“1”,反之为“0”;消空因子 $x_i \in [c_0, c_1]$ 时编码为“0”,反之为“1”。

1.2.2 预报模型普查技术

用选入的所有备用预报因子进行全组合模拟预报,从中选择出模拟预报效果达到设计要求的因子组合作为初选预报模型。模拟预报效果由两个参数决定:一是回报准确率大于等于 P_c ;二是回报正例数大于等于 N_c 个。

研制中,只做 m 个因子的 c_m^2 、 c_m^3 两种组合模拟预报计算。

1.2.3 预报模型优化集成技术

优化集成先按人工考评初选预报模型天气学意义,挑出意义明确,概括率高,准确率高的预报模型,由计算机按最优模型集的总体拟合预报效果要达概括率为 100%、拟合率大于等于 75% 的正例有两个或两个以上的模型“管住”(套上),而引入模型数为最少的设定要求,做最优组合筛选,对筛选结果进行

人工再审查,确定出“实用模型集”,最后给实用模型集找寻“消空因子集”。

2 技术规定说明

研制时段与资料取 1990~1999 年间的 5、6 月,样本长度 5 月有 310 天,6 月有 300 天。其间暴雨(指本站 20:00~20:00 日雨量大于等于 50 mm 的

降水强度)5 月有 6 次,气候概率为 2%,6 月有 15 次,气候概率为 5%,为 5 月的 2.5 倍。这表明,两月的暴雨生成背景特征有差别,故研制中采用分月建模的办法。取用资料为逐日 08:00(北京时)850、700、500 hPa 3 层的位势高度。

取用的计算参数见表 1。

表 1 研制中采用参数

	倍数 B_0	正例数 n_0	反例数 n'_0	正例年跨度 D_0/a	反例年跨度 D'_0/a	模型回报率 $P_c/\%$	模型回报正例数 N_c
5 月	5.0	3	10	5	7	45	3
6 月	2.5	5	10	5	7	60	5

因子的标识格式:“要素代号 2 字+等压面代号 1 字+场代号 1 字+场网格行列标记 2 字+特征场记号 5 字”。如:hh7c44(0,1)表示场代号为“C”,展开场尺度为 4×4 网格场的 700 hPa 高度场的“0×1”阶特征场系数因子。因子前加标记“d:”或“b:”时,分别表示“静态型因子”或“动态型因子”,即时间变量因子。

3 基本信息成果

从 44 个次尺度场及基本场的 3 层高度场共开发出 1215 个互不等价的展开系数,加等量的系数时间变量,则每月均合计有 2430 个可供分析之用的场量因子。从中,5 月选得 54 个备用因子,6 月选得 131 个备用因子(表 2)。

表 2 建阳市各月单站暴雨选取的各类因子(k,s)数

	(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)	(2,2)	合计
5 月	17/3	7/0	10/5	5/0	0/0	5/2	0/0	0/0	44/10
6 月	27/4	26/0	27/6	11/0	16/0	7/7	0/0	0/0	114/17

注:表中“分母”值为变量因子数

用表 2 的各类因子,5 月共进行了 26235 种,6 月共进行了 391690 种组合模拟预报计算。从中,5 月初选出 57 个,6 月初选出 213 个符合设计条件的组合模型。经优化集成,5 月精选出 3 个,6 月精选出 10 个预报模型构成各月的实用预报模型集。为消除预报模型集中的空报个例,5 月精选出 17 个,6 月精选出 19 个因子做为“消空”条件。

由于研制中注重天气学意义的甄别,所以,最终引用的因子和预报模型的天气学意义都能很明确,使因子构成很简单的预报模型,对本站强降水过程具有很强的预报能力(表 3、图 2、图 3)。其中 6 月预报模型 4 的因子结构为:

$$b:hh5g45(2,0) \in [18,999] \wedge d:hh7e55(0,1) \in [65,125] \wedge d:hh8e44(0,1) \in [-999,-8]$$

表 3 6 月预报模型 4 历史套用实况与对各级降水预报出现的几率

	暴雨出现日期(6 月)								各级降水的出现几率			
	16(1992)	10(1994)	16(1994)	14(1995)	16(1995)	26(1995)	18(1998)	17(1999)	≥1 mm	≥10 mm	≥25 mm	≥50 mm
日雨量/mm	54	29	37	63	58	117	174	34	1.00	1.00	1.00	0.62

4 判别方程的历史准确率

逐日有无暴雨的预报判别方程为:

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i \prod_{j=1}^m x_j$$

Y 为总判别值, Y ≥1 报有暴雨, Y = 0 报无暴雨; y_i 为第 i 预报模型的判别值, y_i = 1 套上, y_i = 0 套不上; x_j 为第 j 号消空因子的判别值, x_j = 1 不消空, x_j = 0 消空; n 为预报模型数, m 为消空因子数。方程的历史准确率见表 4。

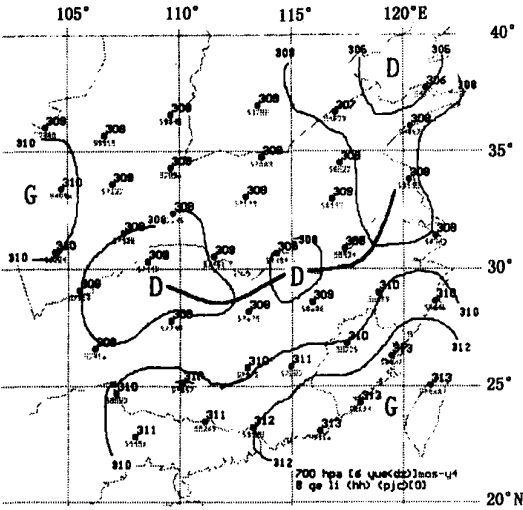


图 2 建阳 6 月模型 4 共 8 个个例的
700 hPa 平均高度场(dagpm)

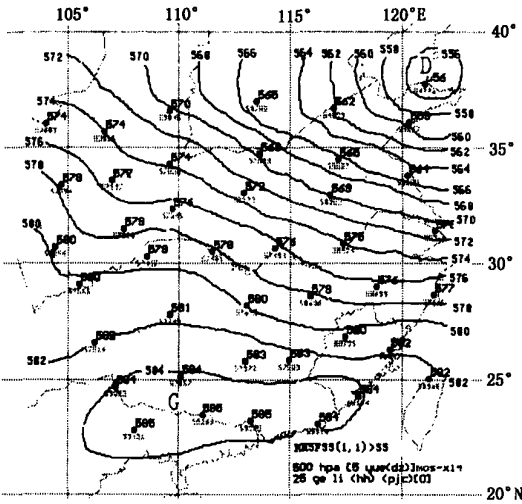


图 3 建阳 5 月消空因子“14”(d:hh5f5(1,1) ≥55)
25 个个例的 500 hPa 平均高度场(dagpm)

表 4 5、6 月判别方程的历史准确率

	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4	$P_1 / \%$	$P_2 / \%$
5 月	16	6	0	11	4	63	94
6 月	40	15	0	24	12	68	90

注: $P_1 = [N_1 + N_4] / [N_0 + N_2]$; $P_2 = [N_3 + N_4] / [N_0 + N_2]$ 。 N_0 为至少有 1 个模套上的次数, N_1 为有暴雨的次数, N_2 为漏暴雨的次数, N_3 为有 25 mm 以上暴雨的次数, N_4 为消空次数。 P_1 为严格评定的准确率, P_2 为非严格评定的准确率。

由表 4 可见,判别方程在做“消空”订正之前,有大到暴雨的几率 5 月有 11/16(0.69),6 月有 24/40(0.60),分别是当月的大到暴雨的气候概率的 6.90 和 5.29 倍。此外,各月预报模型集都能达到暴雨无

漏报的水平。

5 判别方程的应用检验与分析

2000 ~ 2002 年的准业务应用结果:2000 ~ 2002 年实况是 5 月出现 3 场暴雨,6 月出现 17 场暴雨。5 月套上的预报模型号均为 1,符合的消空因子号为 5 和 15,报对 2 次,报错 1 次, P_1 、 P_2 均为 67%。6 月套上的预报模型号为 1 ~ 10 号,消空因子号为 6、11、12、15 和 18,报对 10 次,报错 7 次, P_1 、 P_2 分别达 67%和 72%。

2003 年的实时业务应用结果:2003 年实况是 5 月出现 1 场暴雨,6 月出现 2 场暴雨。5 月套上的预报模型号为 1,符合的消空因子号为 4。6 月套上的预报模型号为 2 和 3,消空因子号为 14。既无空报也无漏报, P_1 、 P_2 均为 100%。

6 结果的分析

与历史纪录比较,在 2000 ~ 2002 年的 3 年准应用检验中,预报模型未漏报,消空因子也未错消,均保持了良好的历史水准;5 月的准确率(P_1)与历史水准(63%)持平,而 6 月比历史水准(68%)低了 12%。原因在于 2000 年 6 月 5 日,2000 年 6 月 9 日,2001 年 6 月 12 日这 3 次空报分别只出现 47、47 和 26 mm 的降水。显然,47 mm 的降水与 50 mm 的降水应是没有根本性差别的,视同为“暴雨”并不为过。因此,6 月的准业务应用检验准确率则可达 67%,也能与历史水准持平。

在 2003 年的实时应用检验中,同样保持了预报模型没有漏报,消空因子也无错消的良好历史水准,且达到了双月 100%。

可见,预报模型和消空因子的后续应用效果都是较好且比较稳定的。

与主观经验预报比较,客观预报准确率(P_1)要比主观经验预报高出 50%。重要的是客观预报在 4 年之中没有一次漏报,而主观经验预报有 7 次漏报(表 5)。

表 5 2000 ~ 2002 年 5 ~ 6 月建阳站暴雨主观经验预报准确率

	N_0	N_1	N_2	N_3	P_1	P_2
5 月	0	0	1	0	0	0
6 月	8	3	6	4	21	29

注: N_0 发布暴雨预报次数, N_1 实有暴雨次数, N_2 漏报暴雨次数, N_3 有 25 mm 以上降水次数, P_1 严格评定的准确率, P_2 非严格评定的准确率。

7 结论与讨论

由上述结果与分析可得出一个合理的基本结论:“滑动展开模型”在单站暴雨预报中是很有应用价值的。该模型具有以下特点:

(1)能对要素场内信息做多尺度的量化开发,可为客观、正确地定量表征暴雨生成环境特征提供更充分的信息依据。

(2)所制定的以甄别因子物理意义为基点的、量化的预报模型制作技术,基于物理成因分析,有利于单站预报方法研制。

(3)以因子的全组合进行预报模型的普查很有利于求得客观的、全面的预报模型,为预报模型的优化集成分析提供充分而客观的依据。

参考文献

- 1 张明席,罗昌荣,刘爱鸣,等.滑动分区的车贝雪夫多项式展开技术模型及其在暴雨预报中的应用.北京:气象出版社,2003
- 2 刘爱鸣,潘宁,邹燕,等.福建前汛期区域性暴雨客观预报模型研究.应用气象学报,2003,14(4):419-429
- 3 张明席.车贝雪夫展开系数时间变量的意义及其应用.见:大气科学编辑部编.大气科学文集.北京:科学出版社,1990.243-253
- 4 张明席,朱应珍,邹燕,等. γ 为二值 x 为多级的相关量度研究.自然科学学报,1998,1(1):5-9

Single Station Objective Forecast Model of Torrential Rainfall

Huang Yongyu^{1,3} Xie Shuilan² Li Lin³

(1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 2 Jianyang Meteorological Bureau, Fujian Province, Jianyang 354200; 3 Nanping Meteorological Bureau, Fujian Province, Nanping 353000)

Abstract: By means of the sliding-window Chebyshev expansion technique, the objective forecast model (OFM) of heavy rainfall from May to June in the Jianyan station was developed in order to improve the capability of single-station rainfall forecasting. The results show that the objective forecast factors have clear meteorological meaning though simple and the advantages of high prediction accuracy and good stability; the characteristics of the weather patterns at three levels for various models exhibit the reasonable vertical collocations favorable to rainfall process development. The trial use in 2000 and 2002 indicates that the average accuracy of rainfall prediction of OFM is about 50% higher than that of the subjective, and there is no failure in 3 years, especially no miss and failure in 2003. It is indicated that the model is efficient and applicable for the improvement of single station rainfall prediction.

Key words: single station heavy rainfall forecast, sliding-window Chebyshev expansion, expansion coefficient