第45卷 第1期　　气 象 学 报　　Vol. 45, No. 1
1987 年 2 月　　ACTA METEOROLOGICA SINICA　　Feb., 1987

梅汛季节江苏省短期降水场的客观、定量预报方案探讨*

董 晓 敏

（江苏省气象科学研究所）

随着数值预报投入气象业务后，给省一级以下的气象台站提出了一个新问题：如何结合实际预报经验，去正确使用（和加工）数值预报产品（包括中间计算结果），来解决当地天气现象（要素）的客观、定量（自动化）预报。

针对梅汛季节江苏省短期降水场，我们试用天气、动力、统计相结合的方案来讨论所提出的问题。

1. 短期降水场资料的预处理

为了客观、定量预报短期降水场；为了针对灾害性暴雨天气实现量级和分布两方面的情报资料自动化检索，需要对分布极不均匀和变化极不稳定的 12 小时降水场资料进行预处理。

对江苏省梅汛季节这个特定地区和时期来说[1]，预处理的步序见参考文献[2]。这样，在分成 I 个区域上的、第 t 个 12 小时时段的降水场量 $R_t(I)$经处理后，就可得到和其等价的向量 Y_t，有 $Y_t=(B_{0t}, B_{1t}, B_{2t}, B_{3t})$。

此时，一方面可根据四个 B_{it}（其 $i=0,1,2,3$）的物理意义[3]，用来对第 t 个时段的降水场、特别是暴雨场的量级和分布进行客观、定量分类（共分成无暴雨和单点、区域、区域大、区域特大暴雨五个雨量等级）和分型[2]（五个雨量等级中的四个暴雨量级共分成十三个分布型），为实现有针对性的灾害性雨情资料检索服务提供了方便；另一方面，将降水预报问题简化成对四个 B_{it} 值建立预报方程的问题，为实现定时段（t）、定区域（I）上的定量降水预报完成了准备工作。

2. 物理量因子场的选择及其数据量的浓缩

在将数值预报产品及其中间计算结果选作预报因子场时，至少有三个值得探讨的问题：1）如何选择物理量因子场；2）怎样来确定物理量因子场的范围；3）怎样才能达到信息质量不降低，而数据量却大大减小的目的。

从大型环流特征分析[4,5,6]和强降水诊断分析[7,8]归纳出，对大气中成云致雨物理过程有突出贡献的是：500 hPa 等压面的位势和涡度，地面气压，700 hPa 等压面的温度露点差和垂直速度，850—500 hPa 等压面的相当位温和，850—700 hPa 等压面的散度和等七个二维物理量场。

总结预报实际经验并通过历史样本的检验[9]，得出和预报时效为 48 h、24 h、当时相对应的物理量因子场的范围分别是：第一级区域的边界为 100°E，130°E，20°N，45°N；第二级区域的边界为 110°E，125°E，25°N，40°N；第三级区域的边界为 115°E，120°E，30°N，35°N。

取上述第一、二、三级区域内的物理量场，按参考文献[10]的处理步序，可得到 s 个因子场（$s=7$）、某因子场（数据）的 m 个浓缩参数，由这些浓缩参数构成因子集合

* 1）本文于 1985 年 1 月 11 日收到，1985 年 11 月 2 日收到修改稿。
2）本文根据江苏省《暴雨成因分析及其短期预报方案》的科研课题组三年的工作成果整理。

$$X_{r\times m}=\begin{Bmatrix} X_1(1), & X_1(2), & \cdots, & X_1(m) \\ X_2(1), & X_2(2), & \cdots, & X_2(m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_r(1), & X_r(2), & \cdots, & X_r(m) \end{Bmatrix}$$。因子集合 $X_{r\times m}$ 中的每一个元素均具有：物理意义清晰、有确定的几何图象，体现展开区内各数据之间的内在联系和制约关系，便于客观、定量、自动化计算处理等特征，达到了不降低信息质量的前提下压缩了数据量的目的。

3. 建立预报量统计方程之前的对比试验

天气预报、特别是短期预报，应视为一个应用物理问题。因此，在引用统计数学模型时要充分重视环流演变和相应的温、湿、动力条件变化的分析，以保证所建立的统计关系式能较好地体现天气实践经验和天气现象的机理成因。

为达到这个目的，我们针对上述预报对象（B_{it}）和特定网格[10]范围的七个物理量诊断因子场，做了以下三项对比试验：

1）用不同方式构成因子集合的比较试验

因子集合的优劣，取决于构成集合的元素能在多大程度上反映天气规律。用物理量因子场上关键区（指标站）的值和用场量的车贝雪夫正交函数族展开系数来构成因子集合，两者的对比见表 1。

表 1 用不同量构成因子集合的比较对照表

因子集合的构成成分		关键区（指标站）值	场量的车贝雪夫正交函数族展开系数值
物理意义		场区内局部区、点值，不能反映该区、点和其它区、点之间物理量值上的值此联系和制约关系，物理意义模糊。	反映场区内各局部区、点值及其彼此间的制约和联系，每个展开系数值的大、小和符号的正、负均有特定的物理意义和几何图象。
对天气实践经验的体现		因不是场量的总体特征，故较片面。	因是场量总体特征的一种定量描述，故能较全面地体现实践天气分析和预报经验。
客观和自动化处理的易、难程度		选取局部区、点的个数、位置、区域大小等，均无一定规律，因人而异，确定；在预报方案的自动化设计和日后改善方面均较困难。	展开系数通过计算客观求取，再通过考察其贡献大小及其物理意义定量选取，易于预报方案的自动化设计和便于不断改善。
方程的平均质量参数	复相关系数	0.68[illegible]	0.8494
	无偏估计量	1.4716	1.1130
	均方误差	0.2219	0.1525

注：方程的平均质量参数是指各环流类型各有三个时段的降水量预报方程的总平均。

从表中可见，就物理意义、体现天气实践经验、便于客观自动化处理和方程质量等各方面来看，均说明用场量的车贝雪夫正交函数族展开系数值构成因子集合比用关键区（指标站）值为优。

2）用两种方式对环流进行客观分类的比较试验

环流背景不同，降水预报的着眼点有差别，合理的环流分类能改善预报量和因子集合之间的线性关系。基于两种不同的着眼点来对环流进行客观分类的对比见表 2。

从表中数据可见，第一种分类方式下的方程质量参数明显比第二种分类方式要差；但若和不分类的方程质量参数（分别为 0.6712，3.6599 和 0.4307）相比，任一种分类均能改善预报量和因子集合之间的线性关系。

3）不同的统计回归模型的比较试验

表 2　用不同方式对环流进行客观分类的比较试验数据表

分类方式	第　一　种			第　二　种		
分类着眼点	副热带环流特征			副热带和西风带环流共同影响下的特征		
赖以分类的因子和因子的物理意义	$X_1(2)$：500hPa等压面位势场在第二级区域内网格点数值按车贝雪夫多项式展开的系数值；其值的大、小反映环流的季节特征。			$X_1(2)$：（同左侧说明）。 $X_1(9)$、$X_1(10)$、$X_1(11)$均为500hPa等压面位势场在第一级区域内网格点数据按车贝雪夫多项式展开的系数值，其物理意义是： $X_1(9)$，其值的正（负）和大（小）反映东高西低（西高东低）的强度； $X_1(10)$，其值的正（负）和大（小）反映北低南高（北高南低）的强度； $X_1(11)$，其值的正（负）和大（小）反映华西槽（脊）的强弱。		
环流分类的类型数和各类型环流的特征	1	副热带环流弱，或中心偏东和偏南；97%属6月份，86%属入梅前。		1	河西高压脊较强，河套没有深槽。	
				2	河套有较深的西风槽。	
	2	副热带环流的强度和中心位置适中；89%属历史上的平均梅雨期。		3	锋区较强，位置在30°N以南或35°N以北，环流平直纬向。	
				4	锋区较强，位置适中、在30—35°N之间、环流平直纬向。	
	3	副热带环流强，或中心偏北和偏西；92%属7月份，76%属出梅后。		5	环流平直纬向，但锋区不强。	
				6	副热带高压很强，南北方向的位势梯度很小。	
方程的平均质量参数	复相关系数	0.7991		复相关系数	0.9378	
	无偏估计量	3.0477		无偏估计量	1.4359	
	均方误差	0.3641		均方误差	0.1975	

注：方程的平均质量参数摘自参考文献[11]，并将各环流类的两个时段取平均。

表 3　不同回归模型和因子干预方式的比较试验数据表

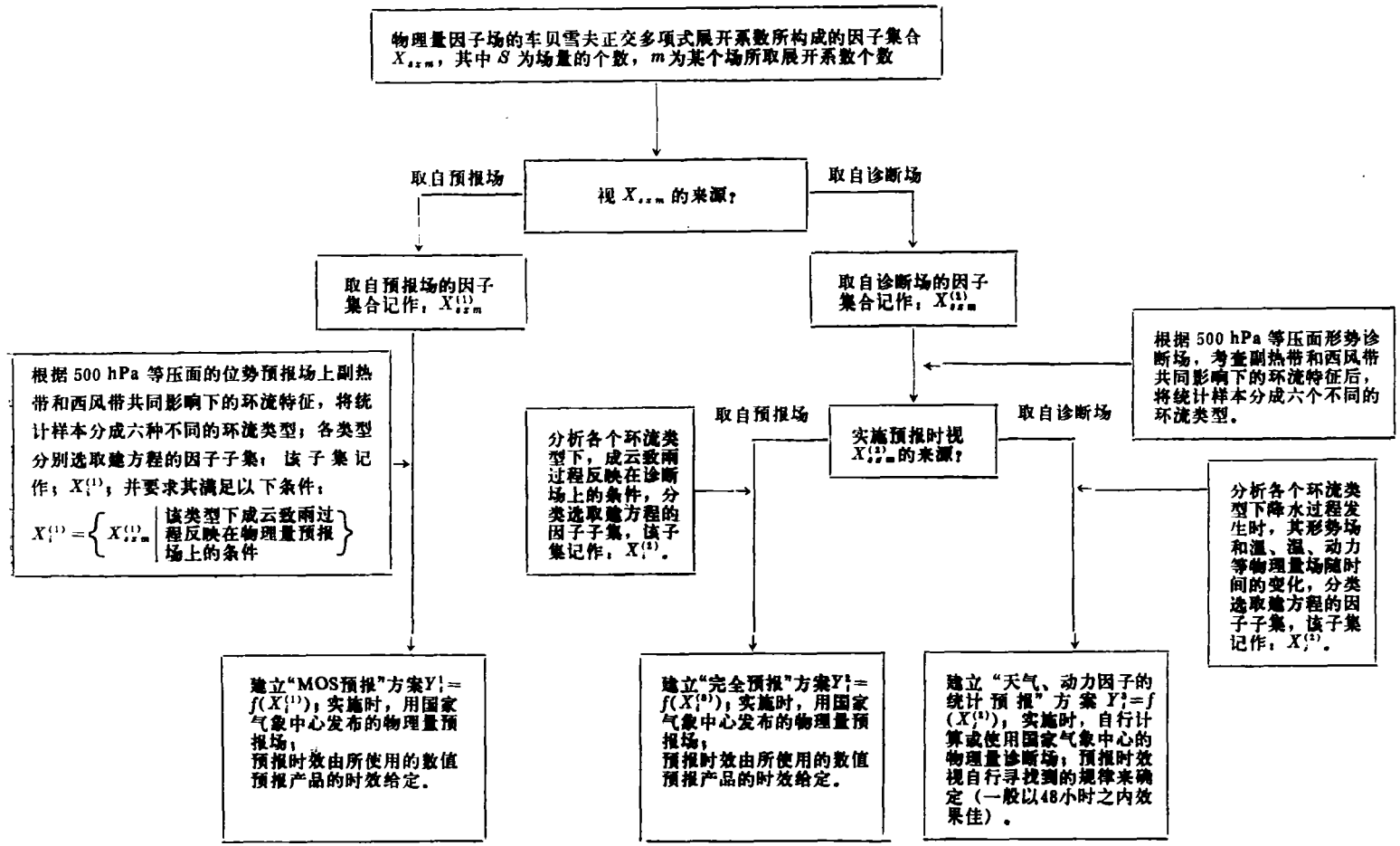
数学模型	逐　步　回　归		多　元　回　归	
人为干预因子的选择方式	因子分批进入：保守性好的物理量场车贝雪夫多项式展开系数值作为优先进入回归模型的子集，该子集中选的因子再混合下一批因子子集进入回归模型。	进入回归模型的因子子集满足以下条件：$\{X_{n\times m}\mid\gamma_j(j)\geqslant\alpha_0\}$，其中$\gamma_j(j)$是因子和预报量之间的相关系数；$\alpha_0$是所取的某个临界值。	抓住"纬向东移"为主的环流演变特征，精选出八个因子进入回归模型。	既抓环流的"纬向东移"，又考虑天气系统的"南北方向摆动"，同时加大"水汽"的权重，精选出八个因子进入回归模型。
平均绝对误差	4.8268	1.5443	0.8766	0.6104

注：平均绝对误差值摘自参考文献[12]。

单纯从统计数学的观点看问题，逐步回归优于多元回归模型；然而从天气预报的观点看问题，加强物理意义分析的基础上，去人为干预因子的选取，比选择数学模型更重要。用两种回归模型结合不同方式去干预因子的选取（从$X_{n\times m}$集合中），所作的比较试验见表3。

从表中可见，将保守性好的物理量因子场的车贝雪夫正交函数族展开系数作为因子子集优先进入筛选，反而取消了在逐步回归模型中可能更好的因子搭配方式，因此统计数学模型虽好而效果却最差；较全面地考虑降水天气系统的演变和物理条件的变化之后，再人为干预因子的选择，虽然选用的是较差的多元回归模型，相比之下却有最佳的效果[12]。这充分说明用天气预报实践经验来对因子的物理意义及其所反映的天气特征加强分析是十分重要的。

框图 〈天气、动力、统计〉预报方案建立的步序（双矢线）和依据（单矢线）



4.〈天气、动力、统计〉预报方案探讨

综上所述，在应用车贝雪夫正交函数族展开降水场和物理量因子场，从而较好地解决了预报对象(B_{ii})和因子集合($X_{i\times m}$)的问题之后；还要在建立 B_{ii} 和 $X_{i\times m}$ 之间统计关系式时，力求做到：1) 着眼于副热带和西风带共同影响下的环流特征来进行形势分类；2) 要在加强因子物理意义分析的基础上去人为干预因子的选取。

据此，建立<天气、动力、统计>预报方案的步序(双矢线)和依据(单矢线)见框图。

由框图可见，当不同的数据值作为"原料"送入同一的计算(控制处理)程序"结构架"中去加工后，可分别得到"MOS 预报"、"完全预报"、"天气、动力因子场的统计预报"共三套方案。

1984 年我们将经过历史样本(拟合和试报两方面)检验[10]过的第三预报方案 $Y_i^3=f(X_j^{(2)})$，在 PDP-11/23 小型计算机上研制了一个半自动化预报实施流程[13]；并使用当年 6—7 月逐日 08 时 120 个测站的常规气象电码资料，经过(计算机)自动分离电码、网格点上气象要素插值、物理量诊断场计算、浓缩场量信息求取因子集合 $X_{i\times m}^{(2)}$、判断环流形势类型后取出该类型下的因子子集 $X_j^{(2)}$ 等步序，最后将 $X_j^{(2)}$ 代入统计方程组求取 $Y_i^{(3)}$ 及其对应的第 t 时段降水场估计值 $R_i^{(3)}(I)$，其中 $t=1,2,\cdots$，6 分别代表当日 08 时之后到第 72 小时之内的六个时段。就 24,48,72 h 内各个 12 h 时段的预报水平来看，属正确和基本正确的：在降水量方面分别是 61.6%，63.5%，51.9%；在降水分布方面分别是 77.0%，69.2%，59.6%；天气过程的转折能报出，但降水量预报偏大[13]。

以上说明，即使在三种预报方案中所选用的是资料量和计算量相对为最大的第三方案，也能在低档小型机或高档微机上实现；物理意义相对为最欠佳的第三方案，也有相当的预报能力和预报时效。证实了省一级气象部门实现客观、定量短期天气预报是可行的。

参 考 文 献

[1] 温杏琴等，江苏前汛期暴雨的天气气候分析，教学与研究，1983 年 3 期 64 页，中国人民解放军空军气象学院。

[2] 董晓敏等，江苏省 6—7 月 12 小时降水场的定量描述和客观分类，南京气象学院学报，1984年 1 期第 57 页。

[3] 张家诚、周家斌等，用车贝雪夫多项式研究月平均 500 毫巴等压面位势场的初步结果，气象学报，**33**，No.2，231—243，1963。

[4] 陶诗言等，夏季中国大陆及其邻近海面副热带高压活动的天气学研究，中国夏季副热带天气系统若干问题的研究，106—123，科学出版社，1965 年。

[5] 王式中等，江苏 6—7 月天气周期的划分及其预报，气象，1980 年 1 期 4—7。

[6] 董晓敏、付顺琰，梅雨期的划分，气象，1980 年 10 期 10—11。

[7] 董晓敏、温杏琴等，长江流域梅雨期内一次特大暴雨过程的诊断分析，长江流域暴雨文集，103—104，气象出版社，1982。

[8] 董晓敏、金秀兰等，梅雨期暴雨云团的新生和低压系统发展的一种机制，大气科学，**7**，No. 2，228—234，1983。

[9] 付顺琰等，江苏前汛期区域性暴雨 24—48 小时预报信息及其实报效果，华东暴雨会议文集，1—8，华东暴雨会议技术小组编，1979 年。

[10] 董晓敏、吴承宗等，用车贝雪夫多项式展开系数对短期降水场进行客观、定量描述和预报，大气科学，**9**，No.3，321—328，1985。

[11] 田盛培等，对 500 毫巴等压面环流进行客观、定量分类的比较试验，气象，1985 年第 8 期 6—11。

[12] 俞晓景等，多元回归和逐步回归法的比较试验，气象，1984 年第 12 期 8—11。

[13] 董晓敏等，短期降水客观、定量预报方案的半自动化实施流程和 1984 年实报检验，气象，1985 年第 4 期 2—6。

A SHORT-RANGE OBJECTIVE FORECASTING METHOD FOR THE RAINFALL DISTRIBUTION IN JIANGSU PROVINCE IN MEI-YU PERIOD

Dong Xiaomin

(Jiangsu Meteorological Bureau)

Abstract

In this paper a short range objective forecasting method for the rainfall distristion in Jiangsu Province in Mei-Yu period is suggested. There are three steps: first, preprocessing of the rainfall fields; second, selection of parameters, and third, establishing precasting equations by statistical methods.

1987年出版英文版《气象学报》

为了加强对外学术交流，中国气象学会决定出版英文版《气象学报》，自 1987 年下半年起正式创刊，计划于三、四季度各出一期，1988年起每年出四期。

英文版《气象学报》的主要内容选译自中文版《气象学报》，为了更好地和及时地向国内、外报道我国的研究成果和优秀论文，以及有针对性地介绍一些国内的研究进展，英文版《气象学报》也刊登一些其他文章。为此，希望广大气象科技工作者勇跃投稿。

英文版《气象学报》编辑部设在气象出版社内。国外由英国培格曼出版公司负责包销发行，国内订购可以信汇至北京魏公村分理处，气象出版社，帐号8901—170，或直接邮汇至气象出版社发行科，1987年两期共28元（含邮费），请注明刊名与册数，截止时间：1987年 4 月 30 日。