

基于“配料”的梅雨锋强降水预报方法

李 俊 李武阶 廖移山

(中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

提 要: 在梅雨锋暴雨预报中应用“配料法”, 通过降水量的基本公式解释了强降水形成的基本配料, 给出了建立配料的基本步骤, 同时, 通过一次暴雨个例分析, 具体阐述了“配料法”在梅雨锋暴雨预报中的应用。结果表明, 基于暴雨等强对流天气形成物理机理认识的基础上, 所选取的可降水量等动力、热力因子与暴雨有着较好的对应关系, 通过分析以上关键物理因子建立的过程, 可以给出暴雨潜势预报。

关键词: 配料法 诊断分析 暴雨预报

An Ingredients-Based Methodology of Forecasting Heavy Rain of Meiyu Front

Li Jun Li Wujie Liao Yishan

(Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: Ingredients-Based Methodology (IBM) was applied to forecasting heavy rain of Meiyu front. The basic ingredients of heavy rain is explained by the prime equations of precipitation, and the approach to construct ingredients is also indicated. Furthermore, by analyzing a case, the application of the IBM to the prediction of heavy rain is illustrated. The result indicates that some basic ingredients, such as precipitable water (PW) etc., selected by basic physical mechanism of severe convective weather, have good relationship with the heavy rain in Meiyu front, and the potential prediction of heavy rain can be made by the me-

资助项目: 湖北省科技攻关计划“基于中尺度数值模式的暴雨分析预报技术研究”; 科技部社会公益研究专项“我国南方致洪暴雨预测预警系统研究”。

收稿日期: 2005年11月9日; 修定稿日期: 2005年12月28日

teorological process of these basic ingredients.

Key Words: ingredients-based methodology (IBM) diagnostic analysis heavy rainfall forecast

引言

梅雨锋暴雨历来是我国气象学家关注的重点,其预报也始终是我国气象科研与业务工作者面临的具有挑战性的问题。梅雨锋暴雨的发生是多尺度条件配合的结果,张顺利等^[1]将其概括为太平洋副热带高压、南海季风涌、中高纬度冷空气和青藏高原东移的中尺度对流系统的最佳组配(或锁定)。在对梅雨锋暴雨物理机理的认识方面,一些研究通过对暴雨个例的诊断和数值模拟^[2-4],分析了暴雨发生的动力、热力因子的配合和空间结构的演变,由此提出了有利于暴雨预报的一些诊断方法。在暴雨预报中,引入对暴雨形成关键物理因子的诊断分析,优于常用的天气分型方法,如在实际预报中,实际天气形势与典型天气型不一致时仍可能出现暴雨,这是因为天气形势的演变只是为暴雨的形成提供大尺度的背景,而暴雨是否发生取决于降水形成的内在物理机制。陶诗言先生将这种基于暴雨等强对流天气物理机制认识基础上,通过分析关键物理因子互相配合和演变过程的预报方法形象概括总结为“配料法”。实际应用中,可以通过定量计算或定性分析对暴雨发生发展起重要作用的基本物理量,从这些基本量的搭配方式,预测是否会产生暴雨天气。这一思路已在海外强对流天气预报中得到应用^[5-7]。

1 构成强降水的配料

Doswell (1996)^[8]等在引发洪水的暴雨潜势预报中,分析了不同强降水类型发生的物理机制,给出了“配料法”(Ingredients-Based Methodology)的基本思路,并将这一思路应用于洪水的预报实践。其理论基础源于Chappell (1976)^[9]等给出的强降水的

简单概念,最强的降水发生在降水率最大而且持续时间最长的地方。也就是说,对于任一点,如果 \bar{R} 表示平均降水率, D 表示降水持续时间,则总降水量可以表示为:

$$P = \bar{R}D$$

降水持续时间越长,降水量越大,而降水是由于湿空气抬升凝结形成的,因此强降水率与垂直的水汽输送成正比。如强降水发展时,一方面抬升空气必须具有充足的水汽含量,另一方面与垂直辐合速率相关。此外,并不是所有云中的水汽都落到地面形成降水,存在一个比例系数。于是瞬时降水率可以表示为:

$$R = E\omega q$$

这里 q 为比湿, ω 是上升速度, E 为降水效率,表示从云中落到地面的雨量与进入暴雨区上空的水汽总量之比。因此,总降水量可以表达为:

$$P = E\overline{q\omega}D$$

根据上式,强降水是由持续的强降水率引起,而强降水率又是由含有充足水汽空气的快速上升和降水效率所决定。因此,在暴雨预报过程中,可以根据暴雨形成的基本要素,分析这些要素的正确搭配,建立暴雨预报的模型。

2 建立“配料法”的步骤

建立“配料法”的第一步,是天气过程基础理论的分析。在对暴雨发生物理过程认识的基础上,分析造成强降水天气形成的基本要素,作为预报“配料”。从上节降水的基本关系式中,可以选取降水效率、水汽含量、上升速度以及降水持续时间作为暴雨预报的基本“配料”,实际应用中可以选取相应的诊断量来表示。

接下来是诊断因子的选取。与暴雨形成

基本要素对应的诊断因子很多,如何选取适当的表征暴雨发生、发展的诊断因子是建立配料法模型的关键。文献[8]分析了与暴雨相关的天气过程,不同的天气过程对形成强降水的抬升机制、降水效率以及持续时间的影响不同,指出暴雨天气类型的差别甚至暴雨发展的不同阶段,诊断因子的变化。总之,诊断因子的选取应针对不同地域、气候背景和影响系统来灵活选择。

最后是计算诊断量,研究其与暴雨的对应关系。可以运用统计的方法或定性分析诊断因子在暴雨发生发展中的演变特征,注重多种因子的综合叠套,单一因子的作用是难以引发较强降水的。具体应用中,因子的选择可以变化,计算出的诊断因子的量值,具有一定的指标意义,但很难作为严格的阈值使用,这种因子的选择和量值的确定具有很大的灵活性。

3 暴雨预报中的配料

文献[10]对我国梅雨锋暴雨进行了比较系统的研究,将其归结为三种主要类型,并介绍了美国暴雨的分类和暴雨预报的常用指标。在美国国家气象中心暴雨预报中通常考虑以下预报指标:

- ① 气层的水汽含量情况(可降水量达到多年平均的120%~150%);
- ② 低层水汽流入的水汽通量;
- ③ K 指数($K \geq 30$);
- ④ 整层水汽的相对湿度达到70%以上;
- ⑤ 高空急流的结构;
- ⑥ 低空 θ_e 的分布;
- ⑦ 1000~500hPa厚度散开区。

文献[10]在对梅雨锋暴雨分类的基础上,进一步对不同暴雨类型的水汽条件、能量来源以及强迫机制进行了分析,其研究结果表明,以下一些诊断参数与我国梅雨锋上暴雨的发生和发展有很好的对应关系,可以作为基本的暴雨预报配料。

①水汽的诊断量:可降水量(PW)、整层平均相对湿度(ARH);

②垂直速度的诊断量:对流有效位能(CAPE);

③抬升促成机制:最有利抬升指数(BLI)、 K 指数、对流抑制能量(CIN)。

4 个例分析

以下通过具体暴雨个例的分析,来说明“配料法”在业务实践中的应用过程。

2004年7月16—17日,长江流域梅雨期后期,河套低槽东移与副热带高压西北侧的暖湿气流相遇,在河南省中部地区引发了一场特大暴雨过程,特大暴雨中心位于河南省南阳东部,图1为7月16日08时—17日08时(北京时,下同)24小时雨量分布。有4个气象观测站24小时降水量超过300mm,16日08时至17日08时24小时雨量方城站最大为392mm,过程中最大1小时雨量达到 $63\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

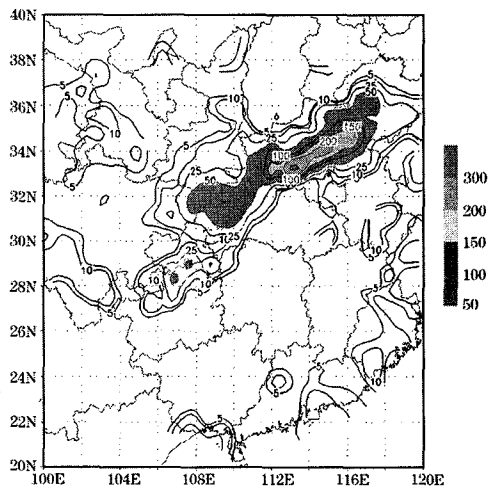


图1 2004年7月16日08时—17日08时
实测降水
(图中阴影所示为降水量 $\geq 50\text{mm}$ 的区域)

15日08时,河套地区有一深厚低涡存在(850hPa~500hPa上都有气旋性环流),此时副高脊线位置位于 27°N 左右(图略),到16日08时,低涡东移,副高外围强度略

有增强并西伸, 这有利于水汽和位势不稳定能量向暴雨区的输送。主要降水区位于低层切变线与低空急流之间的西南暖湿气流中, 正是在有利的环流背景下产生了这次河南的特大暴雨过程。

南阳位于这次特大暴雨过程降水中心的西南侧, 16 日 08 时至 17 日 08 时 24 小时雨量为 117mm, 达到大暴雨量级。以南阳实况探空为例, 表 1 给出了各种暴雨预报配料的计算结果及其对应 24 小时的实况降水。在特大暴雨发生前后, 南阳站的 K 指数都保持在一个较高的水平, 平均超过 30, 到 16 日 20 时达到最大, 为 38; 可降水量在暴雨发生前, 持续增加, 15 日平均值便超过

了 50mm, 到 16 日 20 时达到最大 84.3mm; 整层相对湿度分布显示, 水汽逐渐堆积, 由开始主要位于 700hPa 以下, 向上发展, 到 16 日, 从地面到 400hPa 的整层相对湿度都达到 80% 以上; 从抬升机制看, 14—16 日, 对流抑制能量大部分时间都小于 $50 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 最有利抬升指数小于 0, 且绝对值逐渐减小, 可见南阳站的环境条件向着有利于产生抬升的趋势发展。对流有效位能在降水发生前, 表现出明显的积累过程, 这种能量积累有利于垂直运动的产生, 16 日 08 时, 对流有效位能达到 $1173.7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 强降水发生后, 17 日 08 时减弱为 $0 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 对流有效位能得到完全释放。

表 1 南阳站 2004 年 7 月 14—17 日物理量的演变

	7 月 14 日		7 月 15 日		7 月 16 日		7 月 17 日		
	08 时	20 时	08 时	20 时	08 时	20 时	08 时	20 时	
可降水量/mm	45.5	47.8	50.2	59.1	61.0	84.3	58.3	57.0	
最有利抬升指数	-2	-3	-3.0	-4.0	-2	0	3	0	
K 指数	33	35	31	37.0	35	38	34	34	
对流抑制能量	36.1	53	7.8	23.5	13.3	38	0	6.3	
对流有效位能	927.2	2055	1569.8	0	1173.7	2.8	0	11.2	
可降水量距平百分率/%	87	92	96	113	117	162	112	109	
可降水量距平/mm	-6.5	-4.2	-1.8	7.1	9.0	32.3	6.3	5.0	
地面	88	74	89.0	94	94	100	100	89	
850hPa	88	77	82	88	88	100	88	94	
相对湿度/%	700hPa	66	76	66	81	82	100	87	87
500hPa	37	37	77	70	92	100	71	46	
400hPa	41	38	68	-	83	-	39	63	
300hPa	41	29	58	-	66	-	34	81	
24 小时降水/mm	0		9.6		117		0.9		

由表 1 不难看出, 16 日各种物理量的配置最有利于强降水的发生, 值得注意的是, 15 日和 17 日的各种条件也比较有利于降水发生, 但其降水强度却并不大, 下文做进一步对比分析, 说明一般性降水与强降水在配料搭配上的差异。15 日, 南阳站的可降水量达到了 50mm 以上, 最有利抬升指数和对流抑制能量的配置都有利于对流的发生, 也有对流有效位能的释放, 但降水量只有 9.6mm。分析水汽的垂直分布, 15 日高湿层主要位于低层 850hPa 以下, 08 时可降水量与其 7 月份的 10 年平均比较, 为负值,

到 20 时才转为正值, 同时高湿层抬升到 700hPa, 表明水汽正在堆积过程之中, 向着有利强降水的趋势发展。17 日南阳站的平均可降水量也达到了 50mm 以上, 并且其可降水量距平为正值, 但与 16 日相比, 由于强降水的发生, 水汽条件有了明显的减弱, 整层水汽分布显示大于 80% 的层次由前一天的 400hPa 下降到了 700hPa, 更重要的是, 由于强降水, 对流有效位能释放, 到 17 日 20 时, 对流有效位能只有 11.2 J/kg , 而且最有利抬生指数大于 0, 不利于垂直运动的发生, 无法形成强对流产生有效降水。

由此可见,强降水的发生,不是孤立因子作用的结果,对于梅雨锋暴雨,水汽是必要条件,但垂直运动的发展和抬升触发机制也必须与之配合,这也印证前文中对强降水机制的分析。不同之处在于,对于不同的天气过程,垂直运动的发展和抬升触发机制会有所不同,有时大尺度强迫起主要作用,有时中尺度系统的触发作用占主导地位,这都需要进行综合分析,寻找各种“配料”耦合的最佳时机。

以上探讨了单站暴雨配料的演变情况,图2给出使用16日08时探空资料计算的各种“配料”的空间分布。图2a中实线表示可降水量,虚线为 K 指数,从重庆、鄂西北到河南的中南部,为东北西南向的水汽高值带,可降水量达到60mm以上,对应区域的 K 指数大于35,为高值区,图中阴影部分为最有利抬生指数 $0\sim 3$ 的区间,是有利对流降水发生的区域。由图2a可以看出,16日08时,各种“配料”的配置,使得重庆至河南的中南部一线,非常有利于暴雨的发生,这与后来实况暴雨落区基本一

致。

图2b中阴影所示为可降水量的正异常区,正异常中心位于河南中南部,超过平均值10mm,与实况大暴雨区基本吻合,图中实线所示为对流有效位能,其中心位于副高控制下的晴空区,高值区向西北方向伸展,此时,与可降水量正异常区对应的为对流抑制能量的低值带(图中虚线所示),两者交会于河南南部,此处的对流有效位能达到 $1000\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,而对流抑制能量为 $0\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,最有利对流活动的发展,而此处也正好对应着300mm以上的特大暴雨区。由图2a、b综合分析,不难看出,到16日08时,各种配料的演变和配合,使得重庆至河南的中南部一线,非常有利于暴雨的发生,其中,又以河南南部的水汽以及对流发展条件对大暴雨的发生最为有利。

由此可见,可以通过暴雨发生前各种“配料”的演变和配置,给出未来暴雨可能发生区域的潜势预报。根据这一思路,统计了长江中下游23个探空站1998—2004年梅雨期间暴雨个例“配料”的配置情况,并根

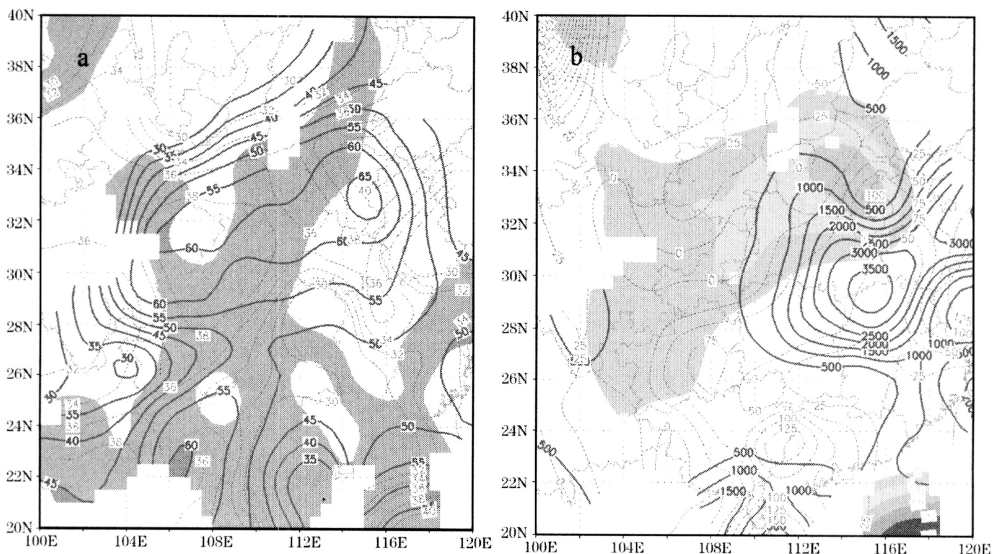


图2 2004年7月16日08时探空资料计算的物理量分布

- a 图中阴影所示为最有利抬生指数,实线为可降水量,虚线为 K 指数;
b 图中阴影所示为可降水量距平,实线为对流有效位能,虚线为对流抑制能量

据不同的降水量级,分别建立了统计模型(具体工作另文详述)。图3为采用16日08时探空资料,运用“配料法”模型给出的暴雨潜势预报,等值线1、2、3分别表示大于25、50、100mm的降水区域。如图所示,该方法预报出了重庆至河南南部的暴雨带,而且对河南南部的大暴雨中心也做出了准确预报。

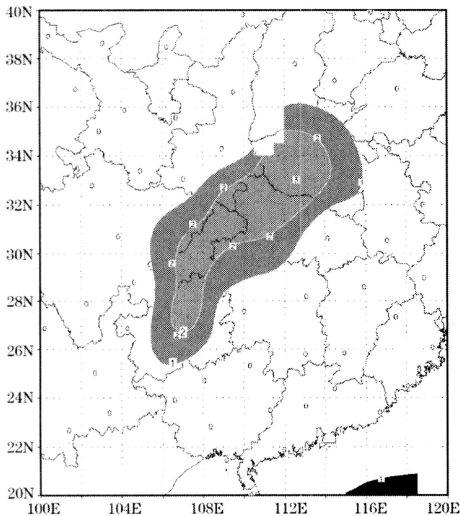


图3 配料法给出的暴雨潜势预报

(1、2、3分别表示降水量 ≥ 25 、50、100mm)

由此可见,可以通过单站配料的演变来分析本站出现暴雨的可能性,同时,利用各种“配料”的空间分布,也可以做出暴雨落区潜势预报。

5 讨论

①“配料法”是一种基于对天气过程物理机制认识基础上的预报方法,每一次暴雨过程,无论其天气形势如何不同,都具有共同的基本配料,使用“配料法”的关键在于合适因子的选取和对这些因子正确搭配的预测。这一思路也可以应用于龙卷、冰雹、雷暴大风等强对流天气的预报。

②强降水过程具有共同的基本配料,但用于配料建立过程的诊断因子可以多种多

样,这取决于对不同天气过程的认识,对一次降水个例的分析,旨在说明如何运用“配料法”分析和预报,无意建立一种所谓暴雨预报的“模型”,不同的暴雨天气过程,其配料建立的过程千差万别,固有的“模型”往往会掩盖对天气演变过程内在机制的认识。

③暴雨是一种小概率事件,尤其是特大暴雨,有时满足暴雨发生的配料在其临近时才出现,加之探空站点的稀疏,因此会出现空漏报和预报时效较短的问题。解决的办法就是将“配料法”与数值模式输出结合,利用模式提供的诊断强对流的各种参数。因此,在数值模式预报的基础上,运用“配料法”来给出强降水的潜势预报,也是一种数值预报解释应用的思路。

致谢:感谢张小玲博士为本工作提供的指导。

参考文献

- 张顺利,陶诗言,张庆云等. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件[J]. 科学通报, 2002, 47(6): 467-473.
- 王东生,康志明,杨克明. 2003年淮河流域梅汛期首场大暴雨成因分析[J]. 气象, 2004, 30(1): 16-21.
- 张芳华,马旭林,杨克明. 2003年6月24—25日江南特大暴雨数值模拟和诊断分析[J]. 气象, 2004, 30(1): 28-33.
- 曹晓岗. “0185”特大暴雨的诊断分析[J]. 气象, 2002, 28(1): 21-25.
- Johns, R. H., C. A., Doswell. Severe Local Forecasting [J]. Wea. Forecasting, 1992, 7, 588-612.
- Menulty, R. P.. Severe and Convective Weather: A Central Region Forecasting Challenge [J]. Wea. Forecasting, 1995, 10: 187-203.
- Wetzel, S. W., J. E. Martin. An Operational Ingredients-based Methodology for Forecasting Midlatitude Winter Season Precipitation [J]. Wea. Forecasting, 2001, 16: 156-167.
- Doswell, C. A., H. E. Brooks, R. A. Maddox. Flash Flood Forecasting: An Ingredients-based Methodology [J]. Wea. Forecasting, 1996, 11: 560-581.
- C. F. Chappell, L. R. Hoxit. The Use of Large-scale Budgets for Convective Parameterization [J]. Mon. Wea. Rev., 1979, 104: 1408-1418.
- 陶诗言,张小玲,张顺利. 长江流域梅雨锋暴雨灾害研究[M]. 北京:气象出版社, 2003.