

暴雨预报因子及其统计特征

孙建明 李法然 杨育强

(浙江省湖州市气象台, 313000)

提 要

介绍了一个利用高空资料对暴雨预报环境场因子进行组合的方法,并经过统计分析,提炼了一批既有明确物理意义,又有较高相关系数的暴雨预报备选因子。

关键词: 暴雨预报 环境场 因子 相关系数

引 言

暴雨虽然多发生于中小尺度系统,但这些系统必然孕育在一种大尺度的环境场中。因而我们就有可能利用暴雨发生前的天气尺度资料提前找寻这个场,上游大范围和本地上空附近一定数量的一批能较好反映暴雨发生前物理特征的因子。

大量的样本分析发现^[1],水平方向上,本站上游西南方向高能高湿舌及西北和东北方向低能干舌之间较强的梯度(锋区)对暴雨贡献极大,本站往往处在高能高湿区一侧即锋区的南侧。垂直方向上,当高空 500hPa 西北和东北槽后干冷偏北气流叠加在低层西南或偏南急流高能高湿区上时,引起的高低空干

湿、冷暖平流较强的差动效应,十分有利于本站暴雨的发生(图略),因此水平方向上的梯度(锋区)和垂直方向上较强的差动效应为环境场因子的组合提供了有力的依据。

1 指标站的选取及因子组合

选取反映暴雨发生前环境场的 20 个指标站(如表 1)高空 850、700、500hPa 资料。湖州站处于上海、南京、安庆、杭州 4 站不规则四边形几何中心点附近,故用上述 4 站的平均要素代表湖州站的要素(下简称本站)。

物理量因子均应用当天 08 时的高空资料计算所得,所选预报量为当天 20 时到次日 20 时内发生的天气。

表 1 暴雨指标站名与代号对应表

代号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
站名	延安	西安	汉口	长沙	贵阳	阜阳	南京	安庆	上海	杭州	南昌	福州	衢州	赣州	汕头	桂林	恩施	郑州	青岛	射阳

尽可能地吧物理量转换为对本站具有直接动态效应的定向输送(通量)因子,见下式:

$$F = A \cdot V \cdot \cos(\alpha - \gamma)$$

A、F 分别是某指标站的物理量和该量在本站方向的定向输送因子(即投影到与本站的连线上,下简称输送), α 、V 为南北支上游指标站风向风速, γ 是对应指标与本站的经

线地理偏向角,正北方为零度,顺时针为正,其计量方法与气象上风向相同,对某一指标站是常数。如水汽通量的定向输送因子可表达为: $(qv/g) \cdot v \cdot \cos(\alpha - \gamma)$ 。

计算了每个站的三层 $\sum qv/g$ 输送、 $\sum T_a$ 、 $\sum q \cdot \theta_{se}(850 \sim 500hPa)$ 、 $850 \sim 500hPa$ 各层温度通量、 $850hPa T + T_a$ 输送、

K 、 A 指数(因子符号皆为气象常用表达符)及强对流指数。更进一步通过在垂直、水平方向上组合成区域(如南支气流,北支气流)及区域之间的梯度、动态输送和差动平流等反映水汽、能量(温度)、不稳定性及动力条件的48个暴雨环境组合因子(表略)。

2 样本的选取及 Y 量处理

引入暴雨以上量级样本55个,大中小雨样本33个,无雨样本23个,共111个样本。雨量等级是按日常业务规定。由于暴雨发生的环境场是一个连续变化过程,无雨和暴雨是两种不同的环境场,即使同是暴雨类,50mm 和 188mm 的环境因子物理特征也可能相差很大,所以对 Y 量的处理不简单用 0,1 方案,而采用标准化方案来确定,即:

$$Y = (R - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min})$$

式中 $R_{\max}$ 、 $R_{\min}$ 为所有样本雨量的最大、最小值。这里 $R_{\min}$ 为 0, 因此上式也为: $Y = R / R_{\max}$

计算标准化后的数值不仅与本样本雨量有关,而且与该组样本中历史上最大雨量 $R_{\max}$ 有关,本文所选一组样本中 $R_{\max}$ 为 188mm, 对某样本 i , 计算所得 Y_i 是对最大雨量 $R_{\max}$ 的一个相对量,这样的各雨量等级的 Y 量是雨量的连续函数,其值位于 $[0, 1]$ 之间,如暴雨的临界值为 50/188, 即 0.266。

3 因子的统计分析及物理解释

3.1 上游水汽的贡献

统计发现(如表2,括号中数码为指标站代号,下同):就本站水汽含量而言与暴雨的单相关系数很小,其中最大的 $\sum q$ 仅 0.22。说明本站水汽的多少并不能决定未来暴雨发生与否,而与西南急流相对应或稍偏其左侧的一些指标站如南昌、长沙、贵阳、桂林、汉口、恩施三层 $\sum qv/g$ 输送及西南偏西上游汉口、贵阳两站 $\sum q$ 对湖州市未来暴雨的贡献较大,单相关系数均超过了 0.30。另外,长沙、南昌、衢州、赣州、汕头、桂林这几个处于

湖州市西南偏南方向指标站的 850hPa ($T + T_d$) 输送与本站的暴雨关系也十分密切,单相关系数在 0.30~0.37 之间,而福州站的水汽因子与暴雨关系极小,这可能是由于该站常处于副高控制下有关。这些物理特征和统计结果与低空急流附近或左前方往往聚集大量的水汽和湿能这样的天气事实相吻合。这样的各层各方位的水汽因子引入模式,能较真实地反映上游多支水汽通道的来源,湿层的厚度以及对本站的输送贡献,使这些水汽因子起到互补的作用。比单一确定一两条或一两层水汽通道信息量要大得多。

表2 暴雨水汽备选因子举例

水汽因子	单相关系数
本站三层 $\sum q$	0.22
850hPa $T + T_d$ 输送(4+11+16)	0.37
850hPa $T + T_d$ 输送(13+14+15)	0.33
850hPa $T + T_d$ 输送(3+4+5)	0.30
850hPa qv/g 输送(11+12+13+14+15)	0.34
低二 $\sum qv/g$ 输送(4+11+12+14)	0.32
低二 $\sum qv/g$ 输送(3+4+17)	0.36
低二 $\sum qv/g$ 输送(12+13+15)	0.30
低二 $\sum qv/g$ 输送(9+19+20+4+11+12+14)	0.31
南站三层 $\sum qv/g$ 输送	0.35
$\sum qv/g$ 输送(南站-本站)	0.40

注:南站指 3, 4, 5, 11 之平均,“低二”指 850、700hPa

3.2 水汽的上下游效应

在样本分析中发现,当暴雨刚刚结束或正在发生时,虽然本站水汽和上游的水汽都可能很充沛,但常表现为上游水汽相对要小于本站的水汽,此时单用上游或本站水汽来反映就容易引起空报,暴雨发生前大多数情况是上游水汽要大于本站的水汽,暴雨时本站的水汽会陡增,当有连续暴雨发生前,也常反映为上游西南方较之本站有更为强烈的水汽输送,因此我们用上下游水汽场之差来反映这种效应。计算发现三层 $\sum qv/g$ 输送量汉口、南昌、长沙、贵阳4站平均与本站之差和

暴雨的相关系数高达0.40,居所有水汽因子之首(见表2)。该因子如被引入暴雨模式,必然会起到好的效果。

3.3 能量(温度)因子

普查发现(见表3),中低层上游西南方汉口、南昌、长沙、贵阳、福州、衢州的温度通量与预报量的相关系数普遍超过了0.33,有的站如桂林站达到了0.39。而上游 $\sum T_e$ 因子,其相关系数大部分只为0.24~0.27,只有汉口和贵阳达0.30和0.33。本站能量场因子的相关系数就更低,最大的 $\sum T_e$ 只有0.22。这与水汽因子有相似之处。说明暴雨的发生需要上游大尺度能量场持续稳定的供给,可远至数千公里之外,并且发现,上游只反映内能的温度通量比 $\sum T_e$ 效果还要好。而这种好的相关性与考虑了风速动态效应的定向输送有关,严格地讲,温度通量不仅包含了能量,更具有一定的动力特征。

3.4 不稳定性因子

暴雨发生前大气层结具备潜在的不稳定性,它包括目前的层结状态和未来的倾向,直接或间接地反映着冷暖空气的活动状况。本站附近以及上游西南方的 $T_{(850\sim500hPa)}$ 、 $\theta_{se(850\sim500hPa)}$ 、 K 指数与预报量的相关系数大部分为0.27~0.35。沙氏指数 SI ,对流不稳定性指数 IC 的相关系数也达-0.27和-0.29(见表3)。令人感兴趣的是经过我们改进的既反映能量(温度)、不稳定性又反映动力条件的强对流指数 SCI (详见文献[2]),在所有不稳定性因子中对暴雨贡献最大,如上游西南方的长沙、贵阳站与预报量的相关系数达0.33、0.32;上游西南偏南的南昌、福州、衢州、赣州、汕头站普遍在0.34~0.39之间;最大的桂林站竟达0.43,居所有因子之首。

值得一提的是:过去认为 A 指数是暴雨预报的一个好指标,而普查结果表明:它的相关系数很低,最大仅为0.20,其余都不超过0.10。另外,理查逊数 RI 几乎无相关可信。

表3 暴雨能量(温度)、不稳定性备选因子

因子	单相关系数
850hPa 温度通量(4+11)	0.36
850hPa 温度通量(13)	0.33
850hPa 温度通量(16)	0.39
700hPa 温度通量(3)	0.37
700hPa 温度通量(4)	0.33
700hPa 温度通量(17)	0.37
三层 $\sum T_e$ (5)	0.33
三层 $\sum T_e$ (11+16+17)	0.27
三层 $\sum T_e$ (3)	0.30
三层 $\sum T_e$ 本站	0.22
本站($T_{850} - T_{500}$)	0.27
θ_{se} (850~500)(10)	0.31
θ_{se} (850~500)(13)	0.32
θ_{se} (850~500)(14)	0.30
θ_{se} (850~500)(16+5)	0.28
K 指数(12)	0.35
A 指数(12)	0.20
SCI 指数(16)	0.43
SCI 指数(13+14)	0.39
SCI 指数(11+12)	0.34
SI 指数(11+8+10)	-0.29
IC 指数(7+8+9+10)	-0.27
T_{850} 平流输送(南站)	0.25
T_{850} 输送(3+4+8+11)	0.35

注:南站指3,4,5,11号站

3.5 高空冷空气触发因子

500hPa 北侧指标站延安、西安、郑州站温度平流输送之和与预报量的相关系数达-0.25,与850hPa 汉口、南昌、长沙、贵阳站温度平流输送之和(其相关系数0.25)几乎同样重要。当我们把后一因子与前一因子相减后发现:相关系数增加到0.28。这说明用空间变化来代替其时间动态的块状区域南北、上下层之差因子,更能反映冷暖空气的对峙强度,它反映了天气系统的一种差动和梯度动态效应。但我们也注意到,500hPa 北侧指标站温度因子与预报量的相关系数普遍较低,反查天气图发现:冷空气的表现方式往往多样,有表现为狭窄的冷舌,宽广的冷槽,闭合的冷涡,密集的锋区等形式,并且其路径和方位有不确定性,它不象暖湿气流大多数急流

来自西南方向那样相对稳定,故某一种冷空气活动方式与暴雨单相关会较低。而它又是必不可少的触发因子,因此对各方位各种可能的冷空气表现方式进行组合,对表4中相关系数绝对值大于0.2的因子优先引入,作为备选因子。

表4 暴雨高层冷空气备选因子

因子	单相关系数
南北温度通量差	0.25
500hPa 温度平流输送(1+2+18)	-0.25
T_{850} 平流输送(南站)-上项	0.28
$T_{850} - TN_{500}$	0.23
$T_{500} (6+7-12-13)/2$	0.14

注:南:3,4,8,9,10,11站,北:1,2,6站

T_{850} : 850hPa 上海,杭州,福州,衢州温度和

TN_{500} : 500hPa 郑州,青岛,射阳,阜阳温度和

表5 暴雨动力备选因子

组合因子	单相关系数
南北动能输送和	0.21
南与本站动能输送差	0.10
700hPa 高度 $H(12) - H(11+4)/2$	0.18
850hPa $V(4+11)$	0.26
700hPa $V(4+11+10)$	0.19
本站散度	-0.21
本站水汽通量散度	-0.18
本站垂直速度	-0.14
850hPa 动能输送(10+12-2×7)	0.13

3.6 动力因子

普查表明:本站附近及上游的涡度、散度,水汽通量散度物理量与预报量的相关程度不大(如表5),其中本站散度相关系数仅达

-0.21,南北动能输送之和为0.21。但反映急流的中低层上下游风速或水平面上的高度差等原始要素组合而成的因子效果却较好,如850hPa 的长沙、南昌风速之和相关系数却达0.26。其实,其他条件因子中介绍的有关输送因子本身就反映为一种动力传递特征,因此各类条件因子贡献有其多重性的特征,在此不再赘述。

4 结语

4.1 建立暴雨预报因子时,不能单靠单点因子来反映,而要更多地组合场因子来反映暴雨发生前的环境场。

4.2 组合的差动和梯度效应的因子,更能反映暴雨发生前的环境场。比单独一片或一层的因子物理意义更清晰,效果也更好。

4.3 定向输送量更体现了因子的动力特性,更有效地反映大气的传递性和动态性,也反映了因子的多重性。

4.4 大量入选因子与南方的暖湿气流和水汽有关,可作为暴雨发生的必要条件。冷空气因子虽然相关系数不是很高,但它是暴雨发生的充分条件,应更多引入。

参考文献

- 1 孙建明,李法然. 建立强对流天气预报模式的物理基础分析. 浙中北强对流天气文集(三),浙中北课题组,1990,11.
- 2 李法然,孙建明,杨育强. 一种改进的强对流天气预报方案. 浙江气象科技,1994,4.

The Background Factors of Heavy Rain Forecast and Their Statistical Characteristics

Sun Jianming Li Faran Yang Yuqiang

(Huzhou Weather Observatory, Zhejiang Province 313000)

Abstract

A method composing the background factor of haevy rain forecast by using of souding data was described. Some forecast factors of heavy rain were suggested after statistical analysis. These factors are of not only higher correlation but also of clear physical meaning for heavy rain forecast.

Key Words: heavy rain forecast background factor correlation coefficient