

# 湖北省春季暴雨落区数值预报模型和指标

施望芝 金琪 刘静 张海燕 顾永刚

(湖北省气象局武汉中心气象台, 武汉 430074)

**摘要** 数值预报产品已广泛应用于基层台站,但对于其丰富的物理量预报产品的解释应用还不够。文章利用 T106 物理量预报产品,结合常规气象资料,对 1998~2001 年湖北省春季暴雨天气过程进行了诊断分析,重点分析了有利于产生暴雨的多个物理要素,发现了产生暴雨的一些物理量及其值的结构特征,包括不同的物理要素场形态的走向、预报值的大小、上下层的配置,加深了对暴雨发生机制的认识,归纳出湖北省春季暴雨落区、落点的预报模型和指标,在促使暴雨预报准确率有所提高的同时,使暴雨预报更加精细化。

**关键词** 春季暴雨 落区 落点 数值预报 预报模型 指标

## 引言

数值预报产品广泛应用以前,气象台站的预报模型和指标,大多通过应用实时气象资料和有限物理要素归纳而出,在实际预报过程中起到了非常好的预报效果。许多历史上较好的预报模型和指标,直到现在仍在使用。随着数值预报技术的高速发展,大量的数值预报产品已应用到各基层台站,但对于其丰富的物理量预报产品的解释应用还不够。本文应用数值预报产品,结合暴雨个例,重点对数值预报物理量场及其值进行诊断分析,建立一套适合本地暴雨落区、落点的预报模型和指标,在促使暴雨预报准确率有所提高的同时,使暴雨预报更精细化。

## 1 资料和方法

湖北省武汉中心气象台现接收欧洲天气预报中心、美国国家气象中心、日本气象厅和国内 T213 数值预报产品,其中 T213 及 T106(已停发)数值预报产品在实际工作中由于其模式分辨率高、物理量预报场丰富、预报及时、准确得到预报员的广泛认可。据此,我们选择如下资料并作处理。

普查 1998~2001 年湖北省 3~5 月降水实况,累计出现暴雨 37 天,其中 3 月份无暴雨,4 月份 13 天,5 月份 24 天,湖北省春季暴雨较多。收集、整理上述暴雨过程前后观测资料和 T106 数值预报产

品,其中 T106 数值预报产品为  $1^\circ \times 1^\circ$  网格,范围  $15^\circ \sim 65^\circ \text{N}$ ,  $70^\circ \sim 146^\circ \text{E}$ ,包括相对湿度、温度露点差、K 指数、总位温、中低层风场、垂直速度、水汽等 34 个物理量,8 层、9 时次的诊断预报场资料。

本文重点探讨湖北省春季暴雨发生前,数值预报物理量 24 h 预报场预报模型和指标。因此,针对上述暴雨过程,对有利于产生暴雨的多个物理要素进行不同层次、不同位置剖面的 24 h 分析,找出各物理量预报场在暴雨发生前的演变规律,归纳出某些要素场及其值的预报模型和指标,据此建立短期 24 h 湖北省春季暴雨落区、落点预报模型和指标。

## 2 暴雨物理要素场模型和物理量预报指标

经统计分析,1998~2001 年 3~5 月湖北省暴雨总天数为 37 天。根据暴雨发生的不同地点和时间,依托数值预报产品,精细数值预报场及其预报值的变化,经综合加工,分别对不同地点、不同时间、有利于产生暴雨的多个气象要素进行诊断分析,研究出不同的物理要素场形态的走向、预报值的大小、上下层的配置与暴雨发生地区和地点的吻合性,归纳出湖北省春季暴雨落区、落点的预报模型和指标。

### 2.1 $\Sigma \theta_{se}$ 场模型与暴雨落区的关系及预报指标

$\theta_{se}$ (假相当位温)是表征大气温度、压力、湿度的综合特征量, $\theta_{se}$ 的分布反映了大气中能量的分布。 $\theta_{se}$ 的高值区又为高能区, $\theta_{se}$ 场等值线密集区为

能量锋区,暴雨的发生必须有能量锋区的存在<sup>[1]</sup>。

使用 T106 500、700 和 850 hPa 3 层  $\theta_{se}$  资料,将 3 层对应格点值求和得到  $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  水平分布场,分析大气中能量的分布、有无能量锋区存在、能量锋区的位置和走向以及与暴雨之间的关系,总结出这一要素场预报模型。

### 2.1.1 $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$ 预报模型

经分析得出,  $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  呈南高北低、西高东低分布,锋区形态上分为东西走向和西北东南走向,统计归类模型如下:

模型 1:  $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  东西向,共计 27 次(图 1a),占总次数的 73%;模型 2:  $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  西北东南向,共计 10 次(图 1b),占总次数的 27%。

上述两类模型锋区密集处位于 28° ~ 35° N、

108° ~ 118° E 之间,在这区间出现  $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  水平能量锋区,表明湖北境内将有暴雨发生的可能。暴雨区位于锋区南沿或靠近锋区处,这种情形出现过 25 次,占总次数的 67.6%;暴雨区位于锋区中部,这种情形出现过 12 次,占总次数的 32.4%;暴雨区发生在高能舌前部,这种情形出现过 34 次,占总次数的 91.9%;暴雨区发生在高能舌中部和西部,这种情形出现过 3 次,占总次数的 8.1%。

### 2.1.2 $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$ 预报指标

$\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  的 3 个预报指标为:①  $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  锋区南北值差要达到 20 ~ 30 K;②  $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  东西向锋区在 29° ~ 32° N 108° ~ 116° E 之间,西北东南向锋区在 28° ~ 35° N 108° ~ 118° E 之间;③ 暴雨区应发生在距锋区中心位置 0 ~ 3 个纬距之间。

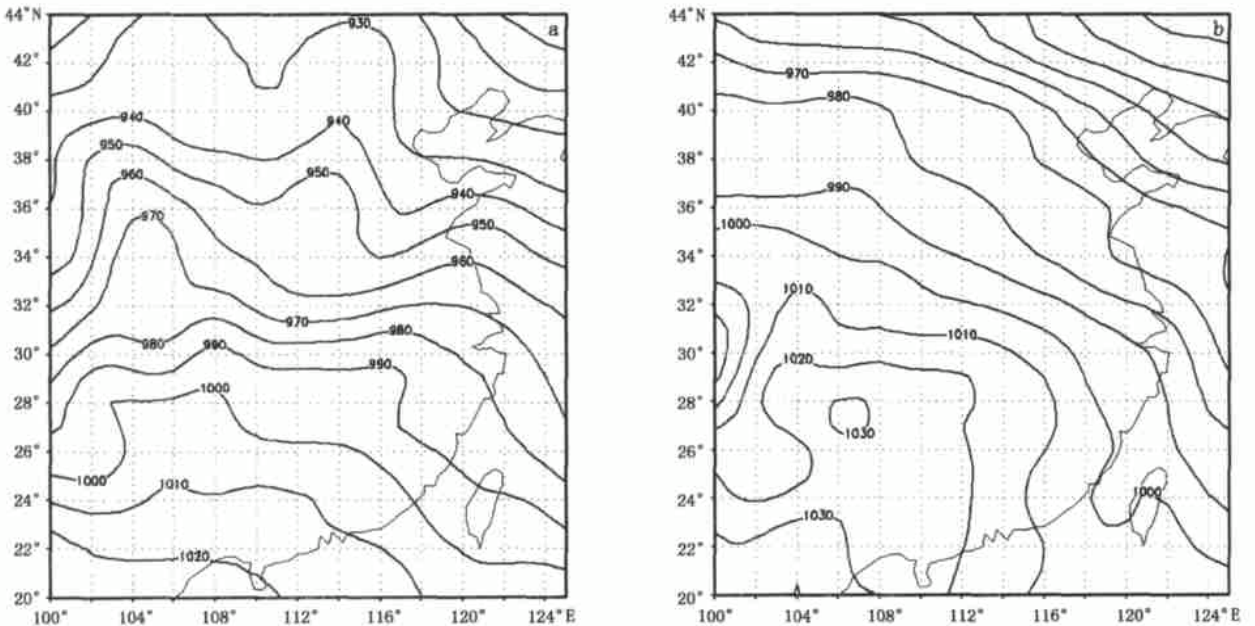


图 1  $\Sigma \theta_{se}$  预报模型:(a)东西向;(b)西北东南向(单位:K)

## 2.2 850 hPa 风场模型与暴雨落区的关系及预报指标

低空西南急流是热能、动能和水汽的高度集中带,为暴雨的发生提供了热能、动能,也是暴雨发生不可缺少的条件<sup>[2]</sup>。这里分析 T106 850 hPa 风场,确定低空急流,也就是大于等于 12 m/s 西南暖湿气流有无及其位置。

### 2.2.1 T106 850 hPa 风场预报模型

分析 37 天暴雨过程的 T106 850 hPa 风场,表明在华南有西南急流存在,暴雨发生在西南急流的

左前方;也有发生在西南气流右前方和偏东、偏北气流中的暴雨过程,这种比例非常少。暴雨发生在西南急流左前方,这种过程有 28 次,占总次数的 75.7%;发生在偏东气流中的有 3 次,占总次数的 8.1%;发生在西南急流右前方的有 3 次,占总次数的 8.1%;发生在偏北气流中的有 2 次,占总次数的 5.4%。前两类统计归模如下:

模型 1:西南气流模型,共有 28 次(图 2a),占总次数的 75.7%;模型 2:偏东气流模型,共有 3 次(图 2b),占总次数的 8.1%。

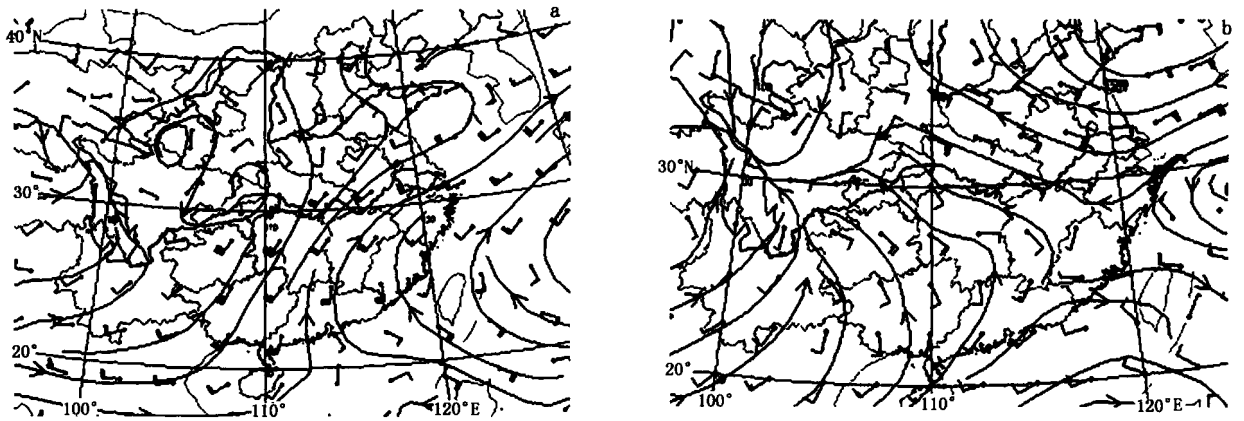


图2 850 hPa 风场预报模型:(a)西南气流模型;(b)偏东气流模型

### 2.2.2 T106 850 hPa 风场预报指标

风场预报指标为:①T106 850 hPa 风场预报图上在华南地区有大于等于 12 m/s 的西南急流,范围一般在  $15^{\circ} \sim 31^{\circ} \text{N}$   $95^{\circ} \sim 115^{\circ} \text{E}$  之间;偏东气流风速一般大于等于 8 m/s,在  $25^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$   $110^{\circ} \sim 122^{\circ} \text{E}$  之间;②暴雨一般都发生在距急流顶端前方 0~2 个纬距的地方。

将 850 hPa 流场图与  $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$  能量图对照分析,不难发现,大多数暴雨过程,都发生在高能舌的前部,能量锋区的南缘靠近能量锋区处和低空急流左前方三者叠加的区域。

## 2.3 比湿场模型与暴雨落区的关系及预报指标

### 2.3.1 比湿场预报模型

分析 700 hPa 和 850 hPa 比湿 ( $q$ ) 场可以看出,37 场暴雨都有湿度锋区伴随,大量的水汽从孟加拉湾沿东北方向延伸到长江中下游地区,湿度大值区从西向东,从低纬向高纬形成了西南东北走向的高湿带,湿度锋区位于长江中下游地区,使这一地区容易发生强降水天气<sup>[3]</sup>。即湿度锋区也就是降水落区, $q$  值越大越有利于强降水天气的发生。经统计 37 次暴雨过程,850 hPa 湿度锋区有 35 次为西南东北走向的锋区,占总次数的 94.6%,700 hPa 湿度锋区有 35 次为东西走向的锋区,占总次数的 94.6%;另有 2 次是南北向锋区,占总次数的 0.5%。上述归类模型如下:

模型 1:850 hPa  $q$  场西南东北向模型,共 35 次(图 3a),占总次数的 94.6%;模型 2:700 hPa  $q$  东西向模型,共 35 次(图 3b),占总次数的 94.6%。

### 2.3.2 $q$ 场预报指标

①850 hPa 湿度锋区呈西南东北走向,700 hPa 湿度锋区呈东西走向,两锋区位于  $29^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$   $108^{\circ} \sim 118^{\circ} \text{E}$  之间。②700 hPa 湿度锋区南部附近湿舌的  $q$  值要大于等于  $8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,850 hPa 湿度锋区附近湿舌的  $q$  值要大于等于  $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。③暴雨发生在 700 hPa 和 850 hPa 锋区交汇处南部,距交汇中心位置 0~2 纬度处。

从预报回溯检验得出,如果上述 3 个落区预报模型和预报指标同时满足,说明在指标满足的区间内将有暴雨发生的可能,但决不是整个区间内都会发生暴雨,还需要进一步计算区间内每一个站点的物理要素,当计算这一区间内的某一单站或多站具备了产生暴雨某方面条件时,这一站点或多个站点才会发生暴雨。暴雨的发生不但落区预报指标要满足,同时落点预报指标也要满足。下面将从几方面计算单站物理量场和值,给出暴雨落点预报模型和指标。

## 2.4 垂直速度 ( $\omega$ ) 上升运动模型与暴雨落点的关系及预报指标

### 2.4.1 $\omega$ 垂直剖面图预报模型

根据暴雨发生地点和发生时间的不同,分别计算 37 次暴雨过程不同时间和不同地点单站上空沿经圈  $\omega$  垂直剖面图,剖析暴雨发生地单点上空上升运动状况,结果得出,37 场暴雨都有不同强度的上升运动区存在,运动区在  $26^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$  之间,这种情形有 32 次,占总次数的 86.5%;而且上升运动轴线从低层往高层向北倾斜,这种情形有 35 次,占总次数的 94.6%;同时北部有弱冷空气从低层进入到上

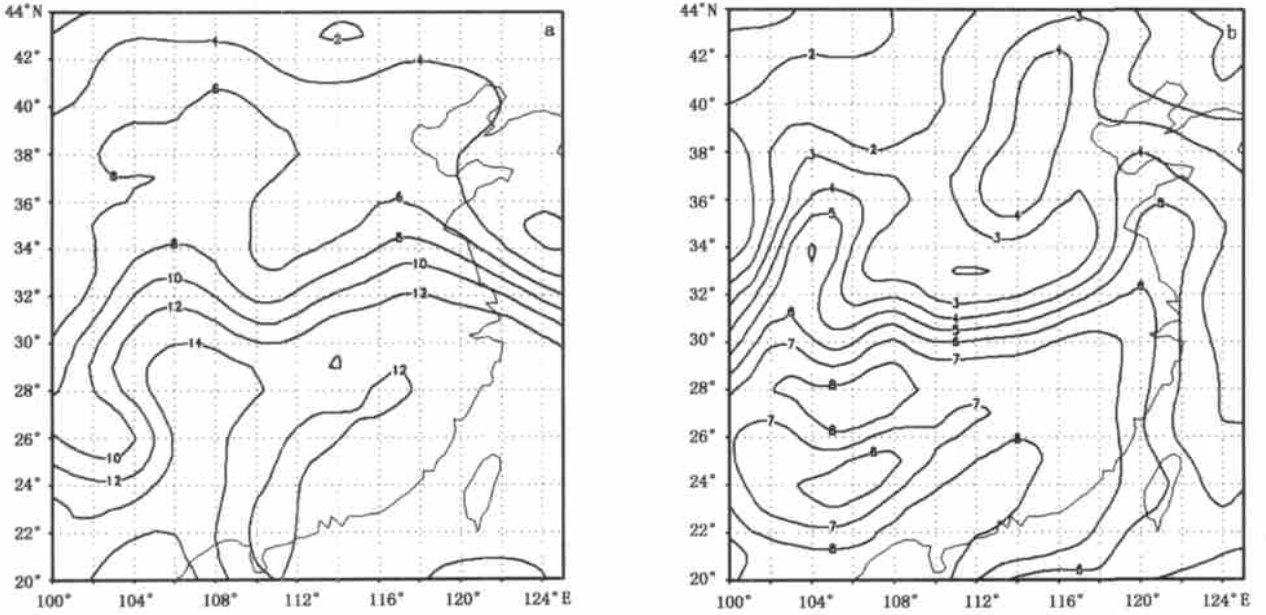


图 3 850 hPa  $q$  场西南东北向模型(a)和 700 hPa  $q$  场东西向模型(b)(单位: $g \cdot kg^{-1}$ )

升运动区的后部,促使上升辐合运动加强,暴雨天气发生,这种类型有 31 次,占总次数的 83.8%。最大上升值出现在 800 ~ 550 hPa 的有 32 次,占总次数的 86.5%,另有 4 次在 400 hPa 以上。归类模型如下: $\omega$ 垂直剖面图模型(图 4)。

### 2.5 单站温度露点差与暴雨落点预报指标

暴雨的发生需要整层的空气湿度都较大,深厚的湿层对产生暴雨起到了不可缺少的重要作用。根据暴雨发生地点和时间的不同,分别计算每一场暴雨多个单点  $T - T_d$  垂直剖面图,从垂直剖面图分析得知,每场暴雨都反应出单点上空湿度条件非常好,空气湿度比较大,预示着在单点将会有较强的降水天气发生。预报指标:20° ~ 40° N,840 ~ 550 hPa 范围内不同单点垂直剖面图整层的  $T - T_d \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

### 2.6 700 hPa 水汽通量散度与暴雨落点预报指标

计算 700 hPa 水汽通量散度可及时反映水汽的源汇地区,对暴雨预报起到一定的预示作用。而暴雨落点基本上处在水汽辐合大值区的顶端,即当 700 hPa 水汽通量散度图上有水汽辐合带形成,并有西南急流相配合,那么在水汽辐合大值区的顶端有暴雨发生。预报指标如下:700 hPa 水汽通量散度小于等于  $-5 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

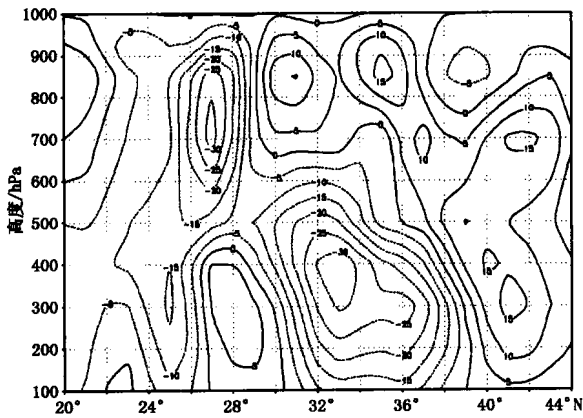


图 4  $\omega$ 垂直剖面图模型  
(单位: $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

### 2.4.2 $\omega$ 垂直剖面图预报指标

①在 26° ~ 32° N 之间要有上升运动区;②上升运动最大值要求达到  $(-10 \sim -50) \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ;③上升运动轴线要求从低层往高层向北倾斜;④要求北部有弱冷空气从低层进入到上升运动区底部。

### 3 检验结果

考虑 T106 已经停发,我们将 T213 数值预报产品代入指标模型中进行检验,结果预报效果很好。对 2002 年 7 月 21 ~ 24 日,11 月 13 ~ 15 日,2003 年 7 月 19 日,2004 年 4 月 29 日,5 月 2 日,5 月 29 日,6 月 3 ~ 5 日,6 月 14 日 8 次湖北省出现的暴雨过程

进行了回溯检验或实时预报,运用指标模型均准确地报出了暴雨落区,尤其是2002年7月21~24日<sup>[4]</sup>、11月13~15日<sup>[5]</sup>,2003年7月19日,2004年6月3~5日,6月14日暴雨过程中成功预报出了暴雨落点,结果表明,尽管预报模式有所变动,但预报模型仍然适用。

#### 4 结论

(1) 低空急流为暴雨区不断输送水汽和不稳定能量,同时其左前方为动力辐合流场,当动力辐合流场与能量锋区同在一个地区存在时,不稳定能量释放,强降水天气产生。暴雨发生在 $\Sigma \theta_{se(500+700+850)}$ 高能舌的前部、能量锋区的南缘靠近能量锋区处和低空急流左前方三者叠加的区域。

(2)  $q$ 场的分析表明,大量的水汽从孟加拉湾输送到长江中下游,长江以南的湿区与长江以北的干区在长江中下游形成一条湿度锋区带,大面积的暴雨就发生在湿度锋区的锋带附近。

(3) 分析站点上空沿经圈 $\omega$ 垂直剖面图,若上空有从低层往高层向北倾斜的上升运动,为冷暖气流共同作用提供动力条件,说明这一站点将有暴雨发生。这是单点产生强降水至关重要的条件之一。

(4) 单点上空湿度条件非常好,空气湿度比较

大,500 hPa以下 $T - T_d \leq 5$  °C,预示单点将会有较强的降水天气发生。

(5) 暴雨落点基本上处在水汽辐合大值区的顶端,当700 hPa水汽通量散度图上有水汽辐合带形成,并有西南急流相配合,那么在水汽辐合大值区的顶端有暴雨发生。

(6) 首先满足暴雨落区预报模型和指标,再进行暴雨落点预报模型和指标的计算工作,当两者同时满足时,可预报站点12 h后有暴雨天气发生。

由于该预报模型建立在数值预报的基础上,数值预报的准确与否直接影响了其暴雨落区、落点的判断,而且我们只是对少数个例进行了检验,更深入的检验分析有待于今后工作的跟踪评价。

#### 参考文献

- 1 施望芝,熊秋芬.武汉地区“98.7”连续性暴雨卫星水汽图像分析.热带气象学报,2002,18(1):91-96
- 2 胡伯威,彭广.暖切变型江淮梅雨锋结构及其形成和维持机制.大气科学,1996,(7):463-472
- 3 胡伯威.暖切变型梅雨锋的天气动力学研究及其预报问题.暴雨·灾害,1997,(1):40-41
- 4 施望芝,金琪,郭施,等.湖北一次冰雹天气过程的落区诊断分析和预报.热带气象学报,2004,20(2):212-217
- 5 金琪,谌伟.对湖北省2002年一次秋季暴雨天气过程的分析.湖北气象,2003,(3):20-23

## Forecasting Indexes and Model of Spring Heavy Rainfall Location Forecasting in Hubei Province

Shi Wangzhi Jin Qi Liu Jing Zhang Haiyan Gu Yonggang

(Wuhan Central Meteorological Office, Hubei Provincial Meteorological Bureau, Wuhan 430074)

**Abstract:** The numerical forecast products had been applied in many stations, but the analysis and application of the rich numerical forecast products were not enough. Using the physical forecast products of T106 and the conventional meteorological data, the spring heavy rainfall events in Hubei Province from 1998 to 2001 were diagnosed and analyzed, focused on the physical factor diagnoses. The results revealed the characteristics of some physical factors and their structure, including the shape, forecast value, hierarchical configuration of various physical factors, which help understand the formation mechanisms of heavy rainfall, work out forecasting indices and the model of spring heavy rainfall location forecasting in Hubei Province, and provide references for finer heavy rain forecasting in the future.

**Key words:** spring heavy rainfall, raining location, numerical weather forecast, forecasting model, forecasting index