

# 焦作市雷暴潜势预报及临近监测预警系统

刘跃红 闫小利 宋自福 李艳红 卢学锋  
肖 杰 牛广山 张 珍

(河南省焦作市气象局, 454003)

**提 要:** 在对焦作市雷暴气候特征分析的基础上, 利用 T213 预报场资料, 制作焦作市雷暴趋势预报; 采取双判据修正  $K$  指数, 提出焦作市雷暴稳定度界定指标, 做雷暴潜势预报。对 1984—2004 年的历史资料, 分别计算出 30 个物理量场, 形成  $1^\circ \times 1^\circ$  格点资料开展雷暴强度等级判别; 综合卫星、雷达、闪电定位仪资料, 建立雷暴监测预警系统。该系统采用 VB 语言编程, 根据每天 08 时、20 时 MICAPS 资料自动完成天气分型、物理量计算、预报指标提取和预报方法的判别, 输出预警结论, 制作雷暴落区预报。在 2005—2006 年预报工作中取得较为满意的效果。

**关键词:** 趋势预报 潜势预报 稳定度指标 强度等级预报 雷暴路径 临近预警系统

## The Potential Prediction of Thunderstorm and Monitoring, Nowcasting and Warning System in Jiaozuo, Henan Province

Liu Yuehong Yan Xiaoli Song Zifu Li Yanhong Lu Xuefeng  
Xiao Jie Niu Guangshan Zhang Zhen

(Jiaozuo Meteorological Office, Henan Province 454003)

**Abstract:** Based on the thunderstorm climatic statistical characteristics in Jiaozuo area, thunderstorm trend prediction was made by means of T213 numerical prediction products. The double criterion was adopted to modify the  $K$  exponent. The thunderstorm stability definition index was presented, then the thunderstorm potential prediction was made. According to historical data 1984—2000, thirty physical fields were calculated,  $1^\circ \times 1^\circ$  grid data was formed and thunderstorm intensity grades discrimination method was developed. Combined with the data of satellite, radar, and lightning locator, thunderstorm monitoring and warning system was established. The system

is realized by visual basic language. Classified weather types, calculated physical quantities, extracted forecast index and discriminated forecast method were automatically finished by using the MICAPS data of 8:00 and 20:00. Therefore, early warning conclusion and regions of thunderstorm occurrence were output. The system performed well in routine forecasting during 2005—2006.

**Key Words:** trend prediction potential prediction stability index intensity grades forecast thunderstorm track approaching warning system

## 引 言

雷暴天气是中国夏半年经常出现的天气现象,研究者甚多<sup>[1-2]</sup>,这些论著从原理上论述了雷暴天气的成因。由于对流性天气具有范围小、发展快等特点,利用传统天气学方法精确预报雷暴的落区、强度、时间有一定难度。随着卫星云图、天气雷达、闪电定位仪等现代监测手段的高度发展,人们通过雷暴天气发生的气候规律、环流背景、天气条件、稳定度指标,结合雷达、云图资料等建立了雷暴预报指标、概念模式等做出了有实用价值的临近预报模型。有些学者根据新一代天气雷达 VIL 值确定强风暴位置、辨别带有大冰雹的风暴,制作强对流天气临近预报<sup>[3]</sup>;有些研究者应用闪电定位仪的闪电轨迹推断对流天气中小尺度系统活动,指出不同类型的天气过程闪电中的地闪和云闪的比例有明显的差异<sup>[4-5]</sup>;有些气象工作者还通过物理量倾向诊断提出暴雨与“相对辐散增强区”的对应关系<sup>[6]</sup>,为雷暴天气预报业务系统研制奠定了基础。但大量研究中对有、无雷暴或强雷暴的预报研究较多,而对雷暴的等级预报,即预报有雷暴时所对应的是一般雷暴还是强雷暴方面的研究甚少。

焦作市地处太行山南麓,黄河北岸,所辖焦作市区和博爱、沁阳、孟州、温县、修武、武陟等6县(市),地势由西北向东南倾斜,自北

向南渐低;黄河河床平均高出堤外地面2~3m,地貌复杂,雷暴局地性强。本文在对焦作市雷暴气候特征分析的基础上,提出焦作市雷暴预报稳定度指标及雷暴强度预报指标;综合利用卫星云图、天气雷达、闪电定位仪等资料建立了雷暴预报预警系统,并根据雷暴路径分析,制作雷暴落区预报。

## 1 雷暴气候特征分析

雷暴是焦作市最常见的天气现象。焦作市的初雷日为1月12日,终雷日为11月17日,年平均雷暴日为28天(27.9天)(任意一站出现雷暴即定为一个雷暴日)。一年中7、8两个月是雷暴产生的最多月份,占全年雷暴总数的56.5%~61.5%。

白天产生雷暴占总数的56.7%,夜间占43.3%,其中产生于白天并延续到夜间的占12.0%,纯粹产生于夜间的雷暴仅为总数的31.3%。白天08—12时,产生雷暴数仅占白天雷暴的11.8%,13—14时占19.4%,15—17时最多,占39.4%,18—19时占23.5%,19时以后占5.9%。焦作地区43.1%的雷暴天气是全区性的,有56.9%的雷暴天气为非全区性,即近6成的雷暴天气为局地雷暴,说明焦作地区的雷暴天气局地性强。

强对流天气中雷雨大风、冰雹同时出现的几率为14.8%,单独出现雷雨大风的几率为77.8%,冰雹为7.4%。

## 2 雷暴等级划分及环流分型

### 2.1 雷暴强度等级划分

雷暴天气一般伴有阵雨以及大风、冰雹等强对流性天气。将伴随有瞬时风速达  $17\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上的大风或出现冰雹以及日降水量在  $50\text{mm}$  以上的雷暴天气称为强雷暴天气；3 站以上出现降水、日降水量大于  $10\text{mm}$ ，但小于  $50\text{mm}$  的雷暴天气称为中常雷暴天气；将 3 站以上出现降水、日降水量小于  $10\text{mm}$  的雷暴天气称为一般雷暴天气。

### 2.2 雷暴天气分型

通过分析 1984—2000 年 17 年的历史资料,焦作市产生雷暴天气的  $500\text{hPa}$  环流形势主要有 5 种:西北气流型、冷涡型、西风槽型、副高边缘型、台风型。表 1 给出不同型下各种等级雷暴的百分率。从中我们可以看到:副高边缘型和西风槽型是焦作地区出现雷暴的主要天气形势,分别占  $32.4\%$  和  $31.5\%$ ,副高边缘型最易出现强雷暴;而西北气流型出现一般雷暴的几率最大。焦作地处中纬度,台风影响焦作时,都会带来明显降水,属强雷暴天气,且它出现次数少,缺乏代表性,下面强度预报中没有讨论。

表 1 各型下雷暴等级百分率

	冷涡型	西风槽型	副高边缘型	西北气流型	台风型
	18.0	31.5	32.4	16.2	1.8
一般雷暴	45.0	31.4	22.2	61.1	/
中常雷暴	15.0	31.4	30.6	5.6	/
强雷暴	40.0	37.1	47.2	33.3	100.0

## 3 雷暴预报

### 3.1 雷暴趋势预报

利用 T213 数值预报产品的 20 时或 08

时的实况场和 24、48 小时预报场,分别做雷暴天气 0~24、24~48 小时趋势预报,一天计算两次。分别对冷涡型、西风槽型、副高边缘型、西北气流型查找预报指标,制作 0~24 小时、24~48 小时雷暴趋势预报。

焦作位于  $34^{\circ}49'35'' \sim 35^{\circ}29'45''\text{N}$ 、 $112^{\circ}43'31'' \sim 113^{\circ}38'35''\text{E}$ ,东西长  $102.05\text{km}$ ,南北宽  $75.43\text{km}$ ,因此选取  $35^{\circ}\text{N}$ 、 $113^{\circ}\text{E}$  代表焦作地区(下同)。

现以副高边缘型为例,来说明雷暴趋势预报的指标。

某一预报时次:

(1)  $500\text{hPa}$  高度在  $584 \sim 589\text{dgpm}$  之间;

(2)  $500\text{hPa}$  风场上,  $35^{\circ}\text{N}$ 、 $110 \sim 115^{\circ}\text{E}$  为西南气流,且风速  $>12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

(3)  $500\text{hPa}$  温度场上,在  $35^{\circ}\text{N}$ 、 $113^{\circ}\text{E}$  格点上,预报日与前一日的温度差  $\Delta T < 0$ ;

(4)  $850\text{hPa}$  温度场上,预报日与前一日的温度差  $\Delta T > 0$ ,  $T_{850} - T_{500} > 14^{\circ}\text{C}$ 。

同时满足以上 4 条,则该预报日有雷暴。

### 3.2 雷暴潜势预报

趋势预报中预报出的雷暴日期,是预报员引起关注的日期,它对制作雷暴短期预报有着提醒作用,然而雷暴天气能否出现还要进一步开展潜势预报。

#### 3.2.1 稳定度判别

目前,参数估计逐渐成为预报强天气潜势的基础,对流天气过程的预报,可以通过天气型并结合一些相关物理参数大小来进行预测。利用 08 时或 20 时观测资料计算出相关物理参数,如果这些参数达到了一定的阈值范围,那么,将可以预测这一潜在的事件。

不稳定能量的分析,可通过求大气不稳定面积、各种不稳定度,如  $SI$ 、 $SSI$ 、 $LIB$ 、 $LI$ 、气团指标  $K$ 、总指数  $TT$  等来表示,但是这些指标都是从 08 时或 20 时观测资料计算出来

的瞬时值,它不代表某区域未来稳定度的变化。分析焦作雷暴天气的气候特征可知:焦作 56.9% 以上属局地雷暴,因此对焦作地区如何预报热雷暴(气团雷暴)发生的可能尤为重要。 $K$  指数对预报这类雷暴有较好的实用价值,对 1984—1994 年 10 年的  $K$  指数资料分析得出,焦作市  $K$  指数的界定条件:当  $K \geq 35^\circ\text{C}$  时,预报 0~12 小时有雷暴; $K \leq 19^\circ\text{C}$  时,预报 0~12 小时无雷暴。那么,当  $20^\circ\text{C} \leq K \leq 34^\circ\text{C}$  时会不会有雷暴产生呢?

根据方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} \right) = \frac{\partial}{\partial p} (-\mathbf{V} \cdot \nabla_h \theta_{se}) - \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} - \omega \frac{\partial^2 \theta_{se}}{\partial p^2}$$

可知: $\theta_{se}$  平流随高度变化是造成大气不稳定度随时间变化的重要原因之一。因此可以通过分析上下两层等压面上的  $\theta_{se}$  平流来预报未来大气稳定度的变化。

根据上面的分析,结合焦作雷电天气的实况给出一个焦作雷暴预报界定指标:

$$J_L = K + (A_{\theta_{se}850} - A_{\theta_{se}700})$$

其中  $K$  为气团指标,  $A_{\theta_{se}850}$ 、 $A_{\theta_{se}700}$  分别为 850hPa 和 700hPa 的假相当位温平流。

利用  $J_L$  指标判据:

7、8 月份,当  $J_L \geq 33^\circ\text{C}$  时,预报 0~12 小时有雷暴;5、6、9 月份,当  $J_L \geq 30^\circ\text{C}$  时,预报 0~12 小时有雷暴。

### 3.2.2 雷暴强度预报

利用逐日 08 时实时资料计算出热力、动力、稳定度等 30 类物理量场,形成  $1^\circ \times 1^\circ$  格点资料,并根据雷暴形成的环流背景和影响系统特点及其触发机制,分别对冷涡型、西风槽型、副高边缘型、西北气流型选取不同的热力和动力指标,制作 0~12 小时雷暴强度预报。下面仅以副高边缘型为例说明。

当 08 时或 20 时  $35^\circ\text{N}$ 、 $113^\circ\text{E}$  格点上,有

① 500hPa 高度  $\geq 583\text{d gpm}$ ; ② 低空(1000~

600hPa)平均水汽通量  $\geq 2\text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ ; ③ 中低空平均假相当位温  $\geq 60^\circ\text{C}$ ; ④ 中低空平均散度  $\leq 1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  或 700hPa 24 小时变高  $\leq -1\text{d gpm}$ ; ⑤ 高空涡度平流  $\leq -10 \times 10^{-11} \cdot \text{s}^{-2}$  或中低空平均锋生函数  $\geq 10 \times 10^{-10} \text{ km}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  同时满足条件①②③,预报一般雷暴;同时满足条件①②③④⑤,预报中常雷暴或强雷暴。

## 4 雷暴临近监测分析

由于强对流天气系统的生命史短、范围小,要确切地预报出雷暴天气发生的地点、时间和强度,可以依靠雷达、闪电定位仪等现代探测手段。云图的云顶亮温、雷达的回波强度、高度以及闪电定位仪中的正、负闪的多少对判断雷暴的类型有一定的指示意义。尤其是闪电定位仪的闪电轨迹能推断对流天气中小尺度系统活动<sup>[4-5]</sup>。通过对近 3 年 86 个个例的统计分析,我们对雷暴临近预报有了初步的认识。

### 4.1 卫星云图特征

卫星云图上,焦作市产生雷暴的云系主要有冷锋云系、西风槽云系、雷暴云团、暴雨云团、急流云系等,但不论何种云系进入到焦作地区其  $T_{BB}$  均小于等于  $-32^\circ\text{C}$  以上才可能发展为雷暴天气。定义  $33 \sim 37^\circ\text{N}$ 、 $110 \sim 115^\circ\text{E}$  为影响焦作地区的关键区,当有  $T_{BB} \leq -32^\circ\text{C}$  的云系进入关键区时,未来 3 小时内可能有雷暴天气发生,具体伴随何种天气现象,可利用天气雷达和闪电定位仪综合判断。

### 4.2 雷达、闪电定位仪综合特征

焦作地区所使用的是 713C 型雷达, Xdd03a 型闪电定位仪,可以探测闪电发生的方位、时间、强度以及闪电的符号。

#### 4.2.1 雷雨大风特征

雷雨大风的雷达回波强度一般大于 50dBz、高度大于 10km;

雷雨大风的闪电特征为闪电个数多,平均每分钟 2.5 个;正闪远远多于负闪,约为负闪的 7.5 倍;强度小,均在 680A 以下。

#### 4.2.2 冰雹特征

冰雹的雷达回波强度大于 55dBz,高度大于 13km;单独出现冰雹的雷达回波特征强度大,可达 60dBz,有时达 65dBz。

产生冰雹的闪电中负闪远远多于正闪,这是冰雹不同于其它类型的一个重要特征,个数较多,每分钟出现闪电约 1 个。

#### 4.2.3 普通雷暴特征

普通雷暴的雷达回波强度在 35 ~ 50dBz,高度为 6~10km。

在雷暴的起始阶段,焦作市上空的闪电个数平均为 1 个/分钟,正闪和负闪的比例大致相同。

#### 4.2.4 普通阵性降水特征

普通阵性降水的雷达回波强度一般小于 35dBz,高度小于 6km。

普通阵性降水(无雷暴)的闪电特征闪电个数少,平均 0.5 个/分钟,负闪多于正闪,闪电会随着降水强度的变化而变化,但总的来说,闪电个数不会超过 2 个/6 分钟。

### 4.3 雷暴路径分析

分析焦作市 2002—2004 年的雷达回波资料发现,影响焦作市的雷暴云团路径主要来自东南路、东北路、北路、和东路 4 个路径。

#### 4.3.1 东南移路径

雷暴云团在焦作市上游生成后,向东、向南移动,从西部、北部影响焦作地区的路径主要有 4 条:①自济源市的沁河河道五龙口附近越山,西南移经济源市影响孟州、沁阳、温县,继续向东影响武陟西部;若雷暴云团走向偏南,则直接影响孟州、温县后越过黄河(图略)。②经丹河河口南下的雷暴云团,影响博爱、焦作、武陟。③经大沙河南下的雷暴云团

将会影响焦作、博爱、武陟,有时会沿着太行山向东影响修武。④从山西、河北南下的雷暴云团会经修武的纸坊沟南下,影响修武、焦作和武陟。

#### 4.3.2 东北移路径

云团主要产生于卢氏或新安、孟津一线,在孟州西南部的孟津越过黄河,东北移影响焦作市的西南部及其以东地区,边移动边发展。

#### 4.3.3 北抬路径

7、8 月份随着副高的北抬,雷暴云团也会越过黄河向北影响焦作市,由于此时焦作处于副高边缘,7 个站均会出现雷暴天气,只是时间上有所不同。

#### 4.3.4 东移路径

这条路径的云团是与天气系统相联系的降水天气过程,或与西风槽相联系,或与地面冷锋相联系。

4 种路径中,东南移路径占到总量的 39.6%,东北移占 21.8%,北移占 15.3%,西移路径占 23.4%。由于前两条路径一般只影响焦作市的某一地区,因此造成焦作雷暴局地性较强。

## 5 焦作市雷暴监测预警系统

综合分析,建立了焦作市雷暴监测预警系统。系统流程见图 1。该系统自动从 MI-CAPS 文件中提取所需数据,进行分析判断后做出雷暴趋势、强度预报。面向对象、结构化的程序设计特点使程序逻辑清晰、直观易懂,便于后期修改升级。

系统中的文件路径设置可设置为网络路径,这就使得无需数据文件在机器之间的复制即可在安装该程序的多台机器上同时使用。

系统运行后将预报结果自动存入 Access 数据库,方便以后对预报准确率的分析统计和对预报指标的修正。

界面友好直观,是一个自动与人机交互

相结合的预报系统。当临近监测发现有雷雨 信号发布标准,及时发布预警信号。  
大风、冰雹、强降水征兆时,根据相应的预警

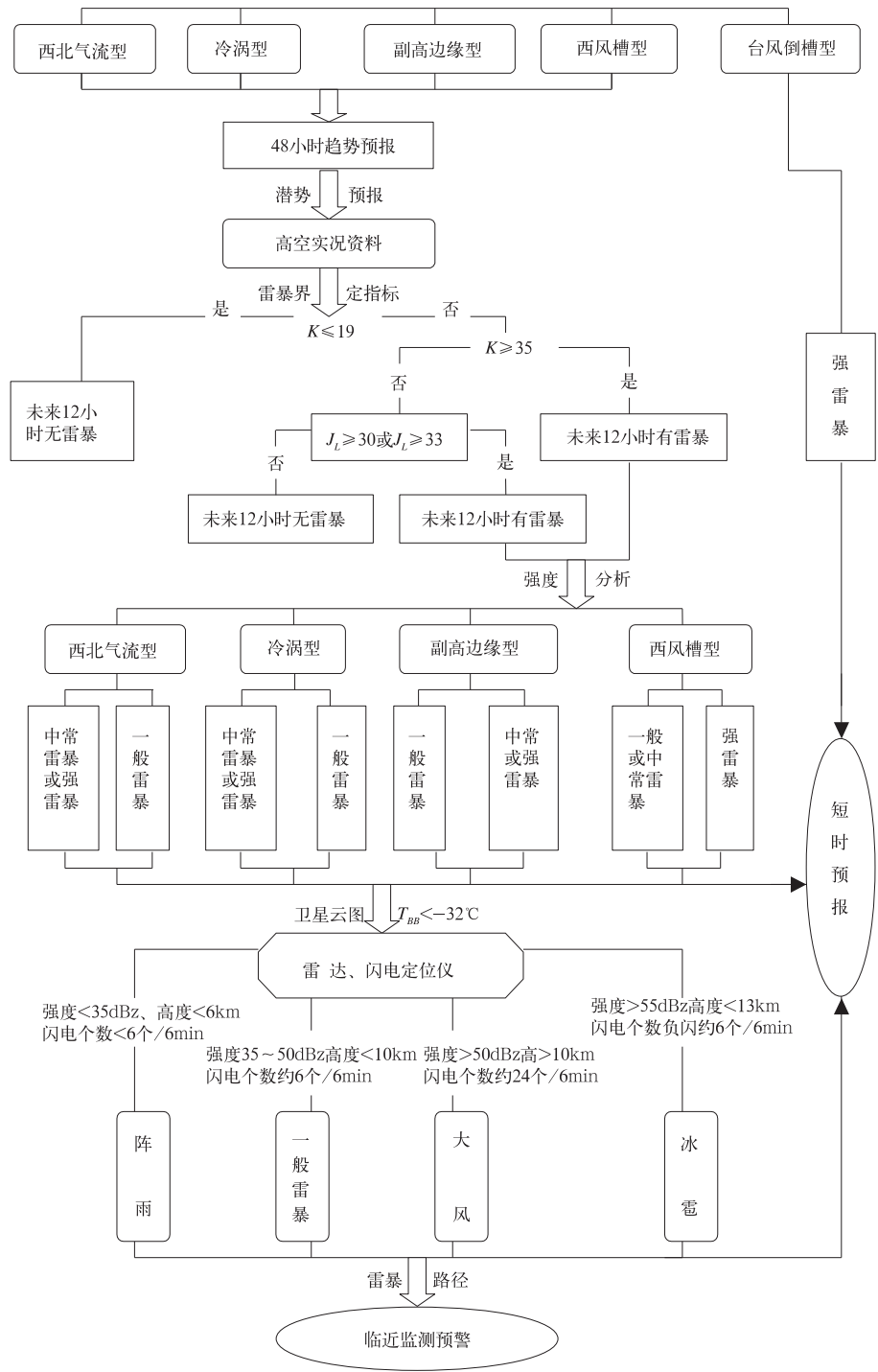


图 1 焦作市雷暴监测预警系统流程图

图 2 为焦作市 2006 年 6 月 25 日系统预报结果的界面。趋势预报利用 6 月 24 日 20 时 T213 预报场;潜势预报和强度预报使用 6 月 25 日 08 时高空实况资料及其计算的物理量;临近预警利用实时卫星云图、雷达和闪电定位资料,系统判断天气现象为强降水、雷雨

大风、冰雹,经预报员综合分析后,发布了雷雨大风蓝色预警信号和冰雹橙色预警信号,实况表明预警信号发布较为准确。

6 业务试验情况

6.1 业务试报情况

该系统 2005—2006 年汛期投入业务运行。统计 2 年的情况来看,趋势预报 24 小时预报准确率为 63.2%,48 小时预报准确率为 55.9%。由于仅对预报员起到一种提醒作用,因此这里没有进行分型讨论。潜势预报  $T_s$  值达到 68.3%,预报较为理想,但空报率较高。强度预报水平较潜势预报有了提高,但漏报率上升。临近监测预警除一次空报外,其他预警情况较好。

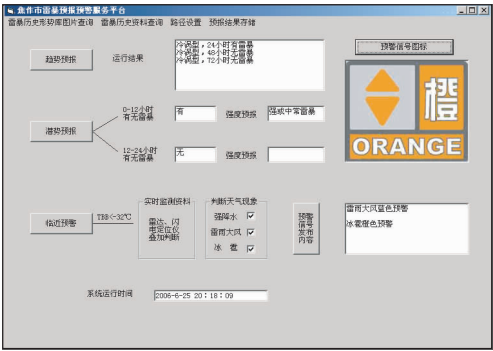


图 2 焦作市雷暴预报预警服务平台

表 2 2005—2006 年业务试验情况

		正确次数/百分率	空报次数/百分率	漏报次数/百分率
潜势预报	一般雷暴	43/68.3%	13/23.2%	7/14.0%
	中常雷暴	24/70.6%	5/20.0%	5/17.2%
强度预报	强雷暴	10/71.4%	2/16.7%	2/16.7%
		8/80.0%	2/20.0%	0/0.0%
预警信号类别	发布时间	落区预报	天气实况	
暴雨黄色预警	2005 年 7 月 2 日 17:00	西部和南部(东南移第一条路径)	17:00—20:00 沁阳 58.1mm	
冰雹橙色预警	2005 年 7 月 12 日 21:55	西部和南部(东南移第一条路径)	21:50—22:00 博爱冰雹(16mm)	
暴雨黄色预警	2005 年 7 月 18 日 00:30	西南部和东北部(东北移路径)	0—6 时孟州 74.9mm 修武 99.9mm	
暴雨黄色预警	2005 年 7 月 22 日 05:30	全区(北移路径)	5:00—11:00 全区 24.6~66.8mm	
暴雨橙色预警	2005 年 7 月 22 日 10:30	全区(北移路径)	11:00—14:00 4 站 91.7~93.2mm	
冰雹橙色预警	2006 年 5 月 22 日 15:15	东北部(东南移第三条路径)	15:59—16:01 修武部分乡镇冰雹	
冰雹橙色预警	2006 年 5 月 26 日 14:50	西部(东南移第二条路径)	14:45—14:56 沁阳冰雹	
雷雨大风蓝色预警	2006 年 6 月 25 日 20:30	中部(东南移第二条路径)	20:20—21:00 4 站出现大风	
冰雹橙色预警	2006 年 6 月 25 日 21:00	西部(东南移第二条路径)	沁阳夜间冰雹	
雷雨大风蓝色预警	2006 年 6 月 28 日 19:30	(东南移第二条路径)	(空报)	
冰雹橙色预警	2006 年 6 月 28 日 20:10	中东部(东南移第二条路径)	焦作 20:10 左右 冰雹	
暴雨黄色预警	2006 年 7 月 3 日 02:00	全区(东移路径)	02:00—05:00 6 站 46.9~107.4mm	
暴雨橙色预警	2006 年 7 月 3 日 02:50	全区(东移路径)	02:00—05:00 4 站 57.1~107.4mm	

6.2 空漏报原因分析

对于潜势预报,空报率和漏报率均较高,主要原因是:①K 指数代表了气团的热力性

质,但是造成对流天气还必须有抬升条件、对流条件等等,仅仅以热力性质来判断雷暴是造成空报率较高的主要原因。②虽然利用双判据将雷暴的潜势预报限制到一定的范围,

但由于雷暴的生命史只有几小时,所以利用08时或20时的实况场预报12小时内的对流天气有一定的难度,造成漏报率较高。

对于强度预报来说,是在潜势预报的基础上进行预报,因此预报水平有了提高,但对于潜势预报漏报的过程无能为力,造成漏报率较高。

监测预警方面,存在的问题主要是预警时效性短,相比较而言,暴雨预警的时效性最长,这和天气过程的生命史成正比;另外由于雷雨大风、冰雹是小概率事件,预报员对此类强对流天气有着“宁漏勿空”的思想,这也是造成预警时效性短的重要原因。

## 7 小 结

通过以上分析得出以下结论:

(1) 利用双判据稳定度变化因子修正气团 $K$ 指数提高了强对流天气预报能力。

(2) 分型、分等级的雷暴预报指标的建立使雷暴强度预报得以实现。

(3) 分析雷暴路径使得雷暴落区预报有据可依,可提高雷暴的精细化预报水平。

(4) 综合利用卫星云图、天气雷达、闪电定位仪等资料建立了雷暴临近预警系统,从2005—2006年的监测预警情况看较为理想。

**致谢:**本文在写作过程中承蒙李平高工指导,在此深表感谢!

## 参考文献

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,2003:400-460.
- [2] 陆汉城,杨国祥.中尺度天气原理和预报[M].北京:气象出版社,2000.
- [3] 李向红,薛荣康,唐伍斌.一次强飚线天气过程的新一代天气雷达探测和临近预报[J].气象,2006,32(9):60-66.
- [4] 蔡晓云,宛霞,郭虎.北京地区对流云天气闪电特征及短时预报[J].气象,2003,29(8):16-21.
- [5] 薛秋芳,青孟,葛润生.北京地区闪电活动及其与强对流天气的关系[J].气象,1999,25(11):15-19.
- [6] 程铁军,张苏.长江中下游地区特大雷暴暴雨的诊断分析及预报[J].气象,2001,27(10):25-27.