

北京地区强对流天气展望预报方法研究*

孙明生 汪细明 罗 阳 徐华刚 易志安

(北京军区空军气象中心, 北京 100061)

提 要

该文依据 1983~1992 年 6~8 月间 276 次强对流天气过程, 研究北京地区强对流天气的形成条件及其展望预报方法. 通过 500 hPa 逐日分型, 将影响北京地区的大尺度环流型划分为 5 种类型. 在各型中随机抽取出现和不出现强对流天气样本共 298 个, 分别作合成分析, 研究各环流型出现和不出现强对流天气的合成形势及差异. 结果表明, 出现和不出现强天气的环流系统特征、结构及物理量分布都有明显不同, 从而概括出概念模式, 导出各环流型预报着眼点. 在此基础上, 从各型计算的数十个物理量参数中, 筛选出最佳预报因子, 采用判断树预报流程, 逐型建立强天气的展望预报方法. 经 1993、1994 年两年业务试验, 该预报方法具有计算速度快, 微机自动预报, 预报结论客观的特点, 在实际工作中取得十分满意的预报效果.

关键词: 展望预报; 强对流天气; 合成分析; 概念模式.

引 言

强对流天气(包括雷暴大风, 平均风速 ≥ 17 m/s 或瞬时风速 ≥ 20 m/s, 冰雹, 1 小时降水量 ≥ 20 mm 或 6 小时降水量 ≥ 50 mm 的强雷雨)是北京地区夏季主要的灾害性天气. 空军于 1991~1995 年, 组织进行北京地区强对流天气监测试验, 深入研究北京地区强对流天气的特征及与之相伴的中尺度天气系统的性质、结构和发展规律, 并建立一套客观、定量的强对流天气预报方法. 强对流天气的展望预报是其中一项重点课题.

我们普查了 1983~1992 年发生在北京地区(以天安门广场为中心, 半径 200 km 的范围)的 200 多次强对流个例, 对 1991 年的强对流个例进行了深入的分析研究^[1~2], 并研制了北京地区强对流天气的展望预报方法.

1 强对流天气的合成环境场特征

1.1 500 hPa 环流分型

对北京地区强对流天气的大尺度条件进行研究^[3], 依据 08 时 500 hPa 形势, 划分为

* 空军(九五)重点科研资助项目.

1995-03-25 收到, 1995-06-26 收到修改稿.

5 个环流型. 其定型标准是:

东北冷涡型:在 $40^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ $115^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 范围内存在闭合低压,且有冷中心或冷槽配合.

西北冷涡型:在 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ $100^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 范围内存在闭合低压,且有冷中心或冷槽配合.

斜(横)槽型:简称斜槽型,在 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ $100^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 范围内存在槽线为 NE—SW (或 E—W)走向的低槽,槽内无闭合低压.

竖槽型:又称西来槽型,指在 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ $100^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 范围内存在槽线为 NNE—SSW (或 N—S)走向的低槽,槽内无闭合低压.

槽后型:槽线过张家口和北京站,北京地区盛行偏北气流(包括 WNW—NE 气流).

1.2 合成环境场特征

从 10 年资料中分型随机抽取出现和不出现强对流天气 298 次个例,采用合成分析方法,逐型研究了出现强天气的形势特征和物理条件,并不出现强对流天气的合成结果比较,从而得出概念模式,并作为选取预报因子的基础.下面仅以斜槽型为例分析合成场特征.

图 1 是该型出现强对流天气的合成结果.在 500 hPa 图上(图 1b),斜槽槽线呈 NE—SW 走向,位于赤塔至酒泉一线,槽后西北西风,槽前偏西风,槽线上等高线无辐散特征,且温度平流较弱,因而该槽将连续东移,无发展倾向.但值得注意的是,在低槽前部的呼和浩特至延安一线,存在一个短波扰动,与其对应,有一小股冷空气向东伸进(温度平流强度 $-1.5\times 10^{-4}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$,图略),且较干燥.这种中空干冷空气入侵为北京地区午后强天气发生提供良好的环境条件,强天气出现在短波槽前.

在对流层低层(图 1a),低槽位于海拉尔、呼和浩特至银川一线, 40°N 以南地区,槽线位于 500 hPa 短波槽后方,系统呈前倾结构,且在北京上游地区为暖湿平流(图略),铺垫在 500 hPa 干冷平流下方,构成强对流天气发生必须的物理条件.

对流层高层的环流表明(图略),我国至日本地区为纬向气流覆盖,风速不超过 40 m/s,一支弱急流(强风核 36 m/s)位于 40°N 北侧,北京地区在急流轴右方的辐散区中.

分析北京上游东胜、太原和邢台地区的平均散度、垂直速度和水汽通量散度的垂直分布,可以看到,水汽通量辐合主要表现在低层,量级 $-6.4\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ (图略).低层辐合和高层辐散的抽气机制将暖湿空气向上输送,在午后层结不稳定的环境中,对流天气得以发展.

图 2 是斜槽型不出现强对流天气的合成结果,和出现强对流天气的(图 1)对比,主要有 3 点不同:

(1) 低槽前部短波槽的位置和结构差异 出现和不出现强对流天气的长波槽二者差别不大,差别明显的是长波槽前的短波扰动,前者短波槽位于北京以西,主体在 40°N 以南,与其相伴的小股干冷空气正面侵袭北京地区(见图 1b);不出现强对流天气的短波槽位于北京以东,主体在 40°N 以北(图 2b),与其相随的冷湿空气主要在张家口至赤峰、通辽一带,没有正面侵入北京地区(图略);而且短波槽地区的散度分布特征是高、低层均为辐散,且低层辐散较强,这种结构的短波槽不能提供北京地区强对流天气发生的条

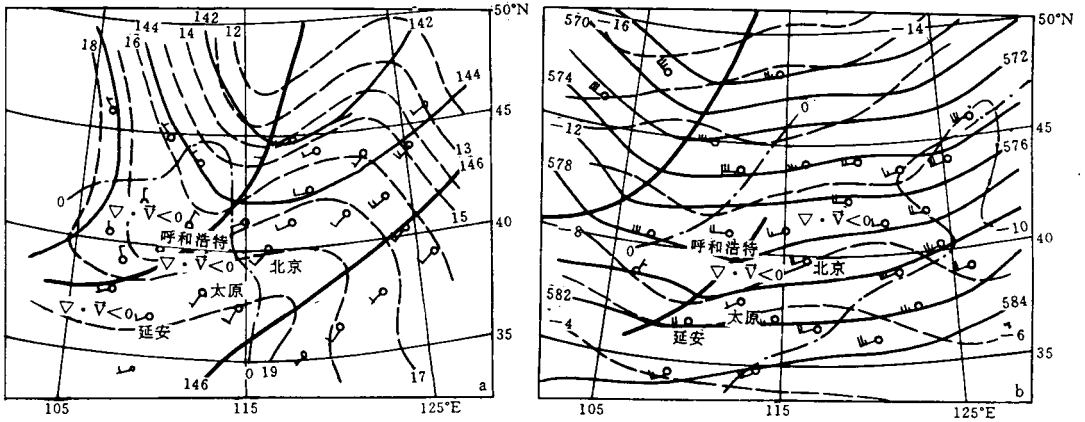


图 1 1983~1992 年 6~8 月 08 时北京地区斜槽型出现强对流天气的合成分析 (a) 850 hPa (b) 500 hPa (细实线: 等高线, 间隔 20 gpm. 细断线: 等温线, 图(a)间隔 1°C, 图(b)间隔 2°C 图中点划线为散度零线)

Fig. 1 Composite analysis of severe convective weather occurrence under tilted trough pattern at 08:00 June~Aug., 1983~1992 in Beijing area (a) 850 hPa (b) 500 hPa (thin solid line: isohypse, interval: 20 gpm, broken line: isotherm, interval: 1°C (a), 2°C (b), dot dash line: zero line of divergence)

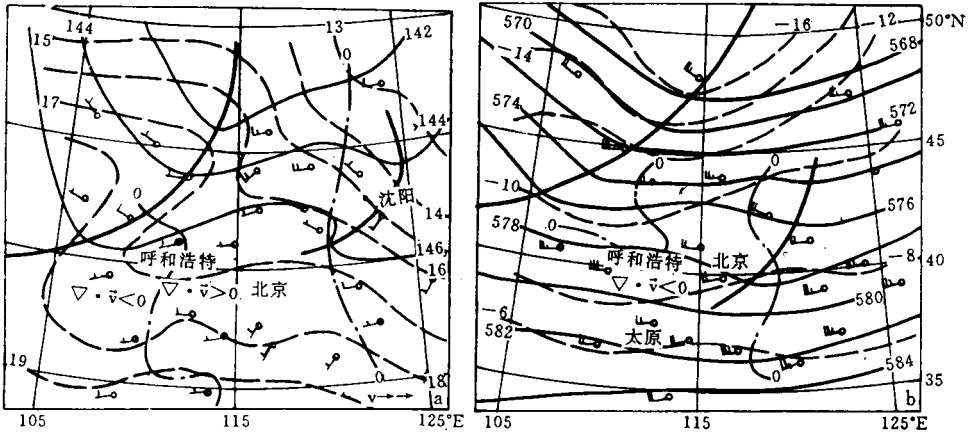


图 2 1983~1992 年 6~8 月北京地区斜槽型不出现强对流天气的合成分析 (a) 850 hPa (b) 500 hPa (说明同图 1)

Fig. 2 As in Fig. 1, but for without severe convective weather (a) 850 hPa (b) 500 hPa

件。由此可见,斜槽前部的纬向气流提供产生次天气尺度扰动的条件,而次天气尺度低槽的位置和结构则是制约北京地区强对流天气的主导因素。联系冷涡型和槽后型强对流天气的直接影响系统是低涡和低槽后部的横切变^[4-6],不难看出,对中尺度规模的对流天气预报,在环境场的把握上应特别注意大型环流系统中的短波扰动,它们对强对流天气发生的作用更直接。

(2) 上游地区物理量特征差异 表 1 是北京上游东胜、太原和邢台地区平均的比湿

和水汽通量散度分布，在对流层中、低层，本型出现强对流天气的水汽含量比不出现强天气的充沛，水汽通量散度也是这样，出现强对流天气的辐合强度更大，特别在低层，大 3 倍以上。

表 1 北京上游地区平均的比湿和水汽通量散度分布

Table 1 The distribution of mean specific humidity and moisture flux divergence on the upstream of Beijing

高度(hPa)	$\bar{q}(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$				$\overline{\nabla \cdot qv}(10^{-8} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1})$			
	斜槽型		槽后型		斜槽型		槽后型	
850	9.3	8.0	8.2	8.4	-6.4	-1.5	-3.5	0.6
700	5.5	4.5	4.8	4.7	-0.0	0.7	2.5	1.7
500	2.2	1.7	1.7	1.8	0.4	-0.3	0.0	-0.7

不出现强天气的低层速度辐合较弱，为 $-1.7 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (850 hPa)，高层辐合较强，达 $-2.5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (200 hPa)。高、低层间辐合、辐散呈相间分布，因而垂直速度较弱，与出现强天气的情况明显不同。出现强天气的低层辐合为 $-5.2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ，高层为强辐

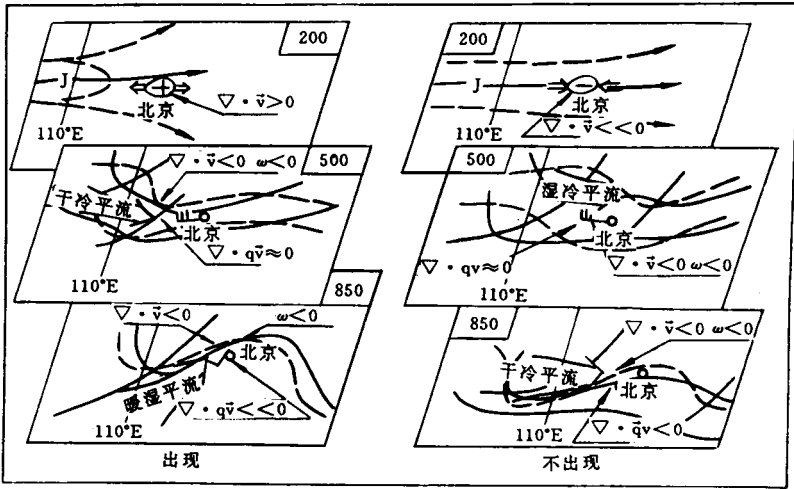


图 3 北京地区斜槽型出现和不出现强对流天气的概念模式

Fig. 3 A concept model of severe convective weather occurrence or nonoccurrence under tilted trough pattern in Beijing area

散达 $4.9 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (图略)。

(3) 高空急流特征差异 出现强对流天气的高空急流轴在 40°N 以北，北京地区位于其南侧的辐散区中；不出现强对流天气的急流轴位于北京上空，呈现出速度辐合特征。

综合上述，可将斜槽型出现和不出现强天气的环境形势和物理量分布概括如图 3 所示的概念模式。图中实线表示等高线，断线表示等温线，粗实线为槽线，粗、断实矢线分

别表示流线和急流轴,其他见图中标注,说明详见上文.由此得到斜槽型强天气预报的主要着眼点:①分析斜槽型是否建立,注意斜槽前部有无次天气尺度扰动,它的位置及其垂直结构是否有利于北京地区强对流天气发生;②分析北京上游地区物理量场特征及其垂直分布,特别注意在低层暖湿平流的上方是否叠加中层干冷平流,注意它们和北京的相对位置,是否正面侵袭北京地区;③分析高、低层散度特征及其垂直配置,注意高空急流的位置及其动力特性,考察是否能建立低层辐合和高层辐散的机制,以利强对流天气的形成发展.

2 北京地区强对流天气展望预报方法

2.1 形势消空

(1)空中形势消空 首先,将1983~1992年6~8月逐日的环流型和有、无强天气的实况建立样本库.使用时通过计算高分辨相似系数将预报日的天气形势(包括850 hPa、500 hPa的高度场、温度场及相关要素场)与样本库进行比较,选出相似系数达临界范围的最大相似日,该日若未出现强天气,则对预报日进行消空,否则不消空.

(2)地面形势消空 研究发现地面图上一定范围内是否存在气旋、冷锋、切变线和华北小低压与北京地区强对流天气有很好的对应关系.定型标准如下:

气旋型:在 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ $104^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 范围(简称A区)内,存在有闭合的气旋或锋面低压,且冷锋后有 ≥ 1 站的风向在WNW—NNE之间,风速 ≥ 4 m/s,锋前有明显的偏南风.

冷锋型:在A区有冷锋,锋后有 ≥ 2 站的风向在WNW—NNE之间,其中1站的风速 ≥ 6 m/s,锋前为偏南风或静风.

切变型:在A区内存在风向切变线,风向风速规定同冷锋型.

小低压型:在 $37^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ $114^{\circ}\sim 119^{\circ}\text{E}$ 范围内存在华北闭合小低压.

使用时依据定型标准,分析预报日08时地面图,若每个标准都不满足,则消空,凡满足任一标准的都不消空.

(3)消空集成 如果空中形势和地面形势均有利强天气出现,则不消空,继续用判断树预报方法进行预报.如果两者中任何一方消空,即为消空.

2.2 判断树方法

1987年Colquhoun提出了一种用于预报雷暴、强雷暴和龙卷的判断树方法^[5],该方法被认为是减少主观性,增强科学性和提高预报效果的一个有效方法.目前已被国内外一些预报系统采用^[6~7].

判断树预报系统成败的关键,除要求系统结构严谨外,与系统采用的预报因子,是否是制约强对流天气的根本因子,有着非常重要的关系.根据出现和不出现强天气的合成场环境特征差异,我们导出了各环流型的预报着眼点,以此作为选取预报因子的基础.逐型分别构造出数十个(平均30个)物理量参数,通过因子初选(点聚图)和精选(逐步回归方法),最后筛选出各环流型的最佳因子.

判断树中因子的排序有不同的方法,我们采用的是既考虑强天气发生、发展的物理

过程, 又综合考虑各因子的相对重要性, 将它们按天气学原理和逻辑推理规则进行构造的方法. 具体做法是: ① 将无漏报且排空次数最多的因子放在首位. 将无漏报, 排空次数次之, 且与首位因子有相互排空补充的因子放在第二位, 其余类推; ② 漏报较多的因子放在判断树最后, 以降低漏报率. ③ 各因子间要符合天气学原理和逻辑推理规则, 如果多个因子间的逻辑关系为“OR”, 则要求这些因子间应尽量满足: (a) 要有一定的互补性, 漏报日历尽可能相同; (b) 物理意义要一致; (c) 在“OR”关系中, 有漏报的因子放在最后.

各环流型因其大尺度环境场不同, 对出现强天气的条件要求不同. 因而, 各型的判断树又有不同之处.

2.3 强对流天气落区预报

(1) 条件气候概率预报 根据影响北京地区 5 种环流型的条件气候学分析, 发现各环流型强天气的地理分布有明显差异. 如斜槽型与槽后型相比, 斜槽型的强天气主要集中在北京的沙河、南苑、西郊, 分别占该型强天气的 20%~30%^[8], 是斜槽型强天气落区的重点地区, 而通县和易县为该型出现强天气概率最小的地区, 仅为 7.2%. 对于槽后型而言, 强天气则主要集中在延庆和杨村、静海地区. 这样可以根据各天气型强天气分布的条件概率, 作出强天气的落区预报.

(2) 相似预报 与空中形势消空相同, 根据历史上最大相似日历的强天气落区, 预报当日强天气的落区.

(3) 地面要素场预报 根据预报区内 15 个军内测站地面要素场 3h 变化 (ΔT 、 ΔT_d 、 Δp), 分别建立各环流型下各预报区的预报方程. 如斜槽型中心区 (距天安门半径 50 km 的范围) 落区预报方程为:

$$\begin{cases} \Delta p < 2 * \Delta T - 0.5 & 0 < T < 1 \\ \Delta p < -\Delta T + 2.5 & \Delta T > 1 \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} \Delta p < 3 * \Delta T_d & 0.75 > \Delta T_d > -0.5 \\ \Delta p < -1.3 * \Delta T_d + 2.6 & \Delta T_d > 0.75 \end{cases}$$

对 3 种不同预报方案得出的预报结果, 我们用投票法作决策预报.

3 预报效果

3.1 预报能力检验

我们对 1983~1992 年的历史样本进行回报, 并对 1993、1994 年进行试报 (不含落区预报), 预报效果见表 2. 表明该预报方法对北京地区强天气有较强的预报能力.

3.2 预报个例

1994 年 6 月 11 日, 北京地区自南向北出现强对流天气, 20:55~21:05 良乡机场

表 2 各型 CSI 值一览表

Table 2 CSI values of each type

项 目	年 型	东北冷涡型	西北冷涡型	斜 槽 型	竖 槽 型	槽 后 型
回 报	1983~1992 年	0.70	0.83	0.77	0.82	0.94
实 际	1993 年	0.56	0.67	0.67	0.43	0.60
检 验	1994 年	0.42	0.63	0.62	0.50	0.44

遭冰雹袭击。随后, 21:52~22:00 冰雹和雷雨大风(24 m/s)又袭击了西效机场。当日 12:00 系统启动进行预报, 客观定型为竖槽型, 通过计算高分辨相似系数; 空中形势消空选取的最大相似日为 1983 年 6 月 14 日, 该日出现强天气、地面为冷锋型。因此, 空中、地面均不进行消空。然后利用判断树预报方法进行预报, 结果显示未来 12 小时内有强对流天气。因落区预报方法是 1994 年下半年研制的, 当时实际使用时, 没有作落区预报; 用目前的预报方法预报, 中心区有强对流天气。

4 总 结

本文研究的北京地区强对流天气展望预报方法, 主要有以下几个特点:

(1) 对 5 个环流型, 分别建立预报流程, 能体现出不同大尺度环境条件, 对强对流天气的作用和影响。

(2) 在预报过程中, 采取先消空的方法, 将明显不具备产生强天气的形势滤掉, 以减少工作量和提高预报准确率。

(3) 判断树中预报因子和判据的选取, 是建立在一定数量的正反(出现、不出现强对流天气)两类天气深入对比分析基础之上。由两类不同天气的合成对比分析结果, 导出预报着眼点, 建立预报指标。因此预报指标具有比较坚实的物理基础和良好的代表性。

(4) 对判断树中因子排序及临界值的选取, 提出一些规则。预报检验表明, 这些规则简单、实用、效果较好。

(5) 整个预报方法, 既解决了强天气的有、无预报, 又包含强天气的落区预报。方法客观、定量, 自动化程度高, 可满足业务化需要。

参 考 文 献

- 1 孙明生, 汪细明, 陈刚, 等. 一次强飑线天气过程分析. 航空气象科技, 1993, 87: 1~7.
- 2 孙明生. 一例弓状回波的特征及成因分析. 空军气象学院学报, 1993, 14(3): 98~102.
- 3 北空强对流课题组. 北京地区强对流天气的大尺度条件气候学分析(西北冷涡型). 空军气象学院学报, 1993, 14(1): 1~8.
- 4 卢家麟, 腾卫平, 李清泉, 等. 浙中北强对流天气展望预报系统, 长江三角洲灾害性研究论文集, 北京: 气象出版社, 1992. 77~81.
- 5 Colquhoun J R. A decision tree method of forecasting thunderstorms, severe thunderstorms and tornadoes. *Weather and Forecasting*, 1987, 2: 337~345.
- 6 王笑芳, 丁一汇. 北京地区强对流短时预报方法的研究. 大气科学, 1994, 18(2): 173~183.
- 7 Jeffreg E Passner, Robert R Lee. 美国陆军大气科学实验室雷暴智能预报系统. 16th conf. on Severe Local Storms, 1990, 10. 22~26.
- 8 北空强对流课题组, 空军气象学院课题组. 北京地区斜槽型和槽后型强天气的统计分析. 航空气象科技, 1994, 6: 9~13.

A PROSPECT FORECASTING METHOD STUDY OF SEVERE CONVECTIVE WEATHER IN BEIJING AREA

Sun Mingsheng Wang Ximing Luo Yang Xu Huangang Yi Zhian

(*Meteorological Center, Air Force of Beijing Military Region, Beijing 100061*)

Abstract

The forming condition and the prospect forecasting method of severe convective weather in Beijing area are studied according to 276 severe weather cases in June, July and August from 1983 to 1992. By means of classification of 500 hPa patterns day by day, the large-scale circulation patterns in Beijing area are divided into five types. From the cases of convective occurrence and non-occurrence in each type 298 weather samples are randomly adopted and analysed for studying the circulation pattern and difference of convective occurrence and no-occurrence. It is shown that circulation features, structure and the distribution of the scalars for convective occurrence and no-occurrence are different obviously. Therefore a concept model is summerized and the starting point about circulation pattern forecast is obtained. On this basis, after calculating dozens of physical parameters, the best forecasting factor is selected, and the prospect forecasting technique is developed by use of diction tree method. The operational experiments in 1993 and 1994 show that the forecasting is objective, fast and automatic.

Key words: Prospect forecasting method; Composite analysis; Concept model.