

# 内蒙古中西部地区降雹天气预报方法<sup>①</sup>

李一平 薄玉华 金恒泰

(内蒙古气象科学研究所, 呼和浩特 010051)

## 提 要

首先从大气能量学的观点出发, 阐述了有利于冰雹产生的几个因子和动力条件; 后通过对内蒙古中西部地区 1980~1987 年降雹的 84 次个例的计算分析, 获得了适于内蒙古中西部冰雹天气的预报指标, 在业务预报中收到一定效果。

**关键词:** 大气能量学 不稳定因子 贮存机制 启动机制 预报指标

## 引 言

冰雹是内蒙古中西部地区夏半年极具破坏性的天气之一。降雹, 特别是大范围致灾降雹是一种小概率事件, 它是在几类特定的环流背景下、在深厚的、有组织的、长寿命的、上升和下沉气流都很强的、云物理条件适宜的积雨云中形成的。从大气能量学角度来看, 一次降雹过程就是大气不稳定能量的产生、积聚(贮存)、释放的过程。

冰雹云发展和冰雹增长的因子非常复杂, 因此至今对冰雹预报还没有满意的方法。为了改变已往冰雹预报工作着重点是利用单站资料、指标等预报单站冰雹的情况, 本文尝试将一定区域的物理量计算结果用来预报某一范围的降雹状况。据统计<sup>[1,2]</sup>, 内蒙古中西部地区冰雹多出现在午后, 故利用当日 08 时(北京时, 下同)的探空资料(TTAA 报)预报午后有无雹, 预报时效为 6~12 小时, 主要为人工防雹消雹工作服务。

本文所说的内蒙古中西部地区, 是指呼和浩特、包头、乌盟、巴盟、伊盟等五个盟市。

## 1 描述层结不稳定度大小或不稳定能量多寡的物理量

### 1.1 条件性不稳定

#### 1.1.1 对流有效位能 CAPE

这是近年分析、预报强对流天气经常使用的一个物理量<sup>[3]</sup>。它表示在自由对流高度之上, 上升气块可从正浮力作功而获得的能量。因为这部分能量对大气对流有着积极的作用, 并可转化成大气动能, 故称为对流有效位能(CAPE), 其具体表达式为:

$$CAPE = g \int_{z_f}^{z_e} \frac{1}{T_{ve}} (T_{va} - T_{ve}) dz \quad (1)$$

式中,  $T_v$  表示虚温,  $z_f$  表示自由对流高度,  $z_e$  为平衡高度, 下标  $a, e$  分别表示与气块、环境有关的物理量。

对流有效位能对大气的对流发展起重要作用, 它比传统意义上的对流不稳定能量更能恰当地表示出对流发展的强度。按照理论假定, 若在自由对流高度处气块的垂直速度为 0, 则在自由高度之上, 由于气块的正浮力使气块将产生一定的加速度, 当其到达平衡高度时, 最大上升速度为<sup>[4]</sup>:

$$W_{\max} = (2 \times CAPE)^{1/2} \quad (2)$$

#### 1.1.2 SI 指数

这虽然是 20 世纪 50 年代引入的一个指数, 但目前我国很多台站仍在使用。其表达

① “内蒙古防雹减灾新技术研究和冰雹专项预报”课题技术报告

式为:

$$SI = T_{500} - T'_{500} \quad (3)$$

式中,  $T_{500}$  代表 500hPa 环境温度,  $T'_{500}$  代表自 850hPa 绝热上升到 500hPa 后的温度。所谓绝热上升, 即先按干绝热上升到抬升凝结高度, 尔后再按湿绝热上升。应当指出的是, CAPE 与 SI 都是基于气块法得出的物理量, 前者表示某深厚气层中的不稳定能量, 后者表示某一层次中的条件性不稳定情况, 两者有一定的关系。

经验表明, CAPE 与 SI 虽然有一定的关系, 但当利用它们找降雹预报指标时(见后), 似乎并不能相互替代。

## 1.2 对流性稳定度

$\theta_{se}$  向上降低的状态, 是一种位势不稳定状态, 也称为对流性不稳定状态<sup>[5]</sup>。这种不稳定在下述情况下将表现出来: 若整个气柱全部被抬升到饱和状态以后, 则  $\theta_{se}$  向上降低确实表示不稳定。因此, 我们选取上、下层  $\theta_{se}$  的差值作为对流性稳定度指数<sup>[5]</sup>:

$$I_c = \theta_{se上} - \theta_{se下}$$

一般  $I_c$  用  $\theta_{se500} - \theta_{se850}$  表示, 当  $I_c > 0$ , 为对流性稳定;  $I_c < 0$ , 为对流性不稳定。

不言而喻, 由于条件性不稳定与对流性不稳定考虑的出发点不同, 故不能相互取代。

## 2 与不稳定能量贮存机制有关的物理量

大量不稳定能量的存在是强对流得以发展的最基本条件。因此, 在强对流发生之前往往有一个不稳定能量积蓄的过程。80年代中期的研究表明, 在中国除了低空逆温层外, 还可以有其他机制来实现能量的贮存<sup>[6]</sup>, 这就是大范围系统性下沉运动, 其下沉速度最大中心位于中层, 中心强度约为  $10\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。因此大范围系统性下沉运动可以认为是强对流发生前抑制不稳定能量过早释放的能量贮存机制之一。这里需要指出的是, 下沉气流能否转成上升气流就成为能否造成强对流天气的关键。要使下沉气流转为上升气流, 就

需要低层辐合及高层辐散加强, 此即下面要讨论的启动机制。

## 3 促使不稳定能量释放的启动机制

如上所述, 冰雹是一种强对流天气, 它的发生还必须具备大量不稳定能量和上升气流。当下沉运动存储能量一定时间后, 若对流层中高层有有利天气系统入侵, 则在这系统前缘中高层的下沉运动转变为上升运动, 就可以引发生强对流天气过程, 这在垂直速度场的表现即为在雹区的周围有上升运动。

## 4 与冰雹概念模型有关的物理量

90年代初, 张纪淮提出了一个冰雹概念模型<sup>[7]</sup>, 利用该模型, 可将一般雷暴与雹暴区分开来。由冰雹概念模型可推断,  $0^\circ\text{C}$ 层按湿绝热递减到  $-30^\circ\text{C}$ 层的高度  $P'_{-30}$  和  $-30^\circ\text{C}$ 层的高度  $P_{-30}$  之差值是冰雹预报中很重要的一个物理量, 这是由于: 冰雹形成于雷暴中, 当冻雨滴或小冰粒与过冷水滴相撞时, 后者便冻结在冰胚粒上; 雹块必须由风暴的强大上曳气流带到云层高处, 通过与更多的过冷水相碰撞, 才得以不断增长。因此在对冰雹的研究中需特别注意云中的过冷水。在绝对无污染条件下,  $-40.2^\circ\text{C}$ 以下云区就有过冷水。国外进行的大量探测, 其结果有的是  $-30^\circ\text{C}$ 以下有过冷水, 有的是  $-25^\circ\text{C}$ 以下有过冷水。许多探测还发现冰雹生长区往往出现在自然冰化区即  $-20^\circ\text{C}$ 层高度, 而  $0 \sim -30^\circ\text{C}$ 层是冰雹的整个可能生长区。鉴于以上理由, 我们引进  $P'_{-30} - P_{-30}$  来描述中空的不稳定情况, 确定云中上升气流最大值高度是否在  $0^\circ\text{C}$ 层以上, 并借以区分普通雷暴与雹暴。

## 5 由历史资料得出的预报指标

首先我们对 1980~1987年 6~9月内蒙古中西部地区的降雹情况进行了普查、分析, 并按下述标准确定出了 84次强降雹天气过程: 降雹时间超过 5分钟, 冰雹平均直径  $\geq$

10mm, 降雹过程造成程度不等的灾害; 尔后, 用 08 时的探空资料 (TTAA 报), 在进行客观分析的基础上, 计算了有关各物理量, 得出了如下的冰雹预报指标:

- ① 降雹区对流有效能量 (即 CAPE) 相对较强, 大于  $100\text{J}/\text{kg}^{-1}$ ;
- ② 降雹区或其上游 SI 指数平均为负值;
- ③ 降雹区 850hPa 的假相当位温减去 500hPa 的假相当位温之差为正值 (表示上干

冷下暖湿);

④ 降雹区  $0^\circ\text{C}$  层高度 (用气压表示) 处气块湿绝热上升到  $-30^\circ\text{C}$  的高度值减去实际上一  $30^\circ\text{C}$  层的高度值差一般为负值;

⑤ 降雹区 500hPa 垂直速度为弱的下沉区 (这有利于能量的积累), 而在降雹区周围约 300~450km 范围内必须有上升区充当启动机制。

## 6 历史资料检验及试报结果

### 6.1 各项指标历史拟合率

表 1 各项指标在各地的拟合率

地区	CAPE > 100			P <sub>-30</sub> - P <sub>-30</sub> < 0			$\theta_{se500} - \theta_{se850} < 5$			SI < 0		
	临河	包头	呼市	临河	包头	呼市	临河	包头	呼市	临河	包头	呼市
拟合数	59	57	35	55	48	43	72	73	63	73	68	59
拟合率/%	70	67	41	65	57	51	85	86	75	86	80	70

由表 1 看出, 各物理量的拟合率各不相同, 而且每一物理量在不同地方的拟合率也各不相同。这是因为冰雹出现在不同的天气形势下, 也可出现在同一系统的不同位置, 同时还受地形的影响, 这些都有待今后作详细的讨论。从表中看, 呼市地区各物理量的拟合率都相对较低, 而从经验看呼市的冰雹多出现在大青山南麓, 这就要求我们在今后的工作中要进一步考虑地形的影响。

### 6.2 1996 年试报情况

根据 CSI 的定义<sup>[8]</sup>有:

$$CSI = \frac{\text{预报正确数}}{\text{预报正确数} + \text{空报数} + \text{漏报数}} \quad (4)$$

由于雹情资料获取的限制, 我们只对巴盟、呼市 6~8 月份资料检验结果作了统计:

$$\text{巴盟: } CSI = 15 / (15 + 2 + 5) = 68.2\%$$

$$\text{呼市: } CSI = 16 / (16 + 1 + 9) = 61.5\%$$

其中评定预报正确的标准是: 凡一个盟市的雹情中有一处在当日 14~20 时降雹, 不论是否成灾, 都算有雹。此时若报有雹, 即为对, 反之则为漏报, 报了后没出现则为空报。

### 6.3 1997、1998 年实报结果

预报正确的评定标准同上。

$$\text{巴盟: } CSI = 33 / (33 + 5 + 12) = 66.0\%$$

$$\text{呼市: } CSI = 19 / (19 + 7 + 5) = 61.3\%$$

在 1996~1998 年的试报和预报中不难看出均有空、漏报现象, 但灾情严重的几次大过程 (例如: 1997. 6. 28、6. 29、7. 19, 1998. 6. 29、7. 17 等) 却无一遗漏。同时从以上结果看, 预报准确率尽管不是很高但在实际防雹工作中还是比较有指示性的, 而且也能防雹作业提供一定的依据。

### 7 小结

本工作只是从大气能量学的角度对冰雹的预报作了一些基础工作, 通过我们的工作可以发现, 虽然冰雹天气过程范围小、生消迅速, 但也还是有规律可循的。另外, 从我们的预报情况看, 预报准确率还不是很高, 其中有一个原因是我们没有具体考虑冰雹产生的天气类型、季节变化以及地形的影响。这就要求我们在下一步的工作中要不断积累各种类型、各个时期、各个地区的冰雹个例, 准确了解雹情, 进一步加强各因子指标的定量化。

参考文献

- 1 吴鸿宾等. 内蒙古自治区主要气象灾害分析. 北京: 气象出版社, 1990: 100~114.
- 2 刘景涛等. 内蒙古自治区天气预报手册(下册). 北京: 气象出版社, 1987: 122~125.
- 3 李耀东等. 埃玛图微机制作及对流有效位能的计算. 气象, 1998, 24 (5): 24~27.
- 4 Emanuel KA. Atmospheric Convection. Oxford University Press. 1994.
- 5 吴宝俊等. 海洋、气象基层台站用物理量计算方法. 北京: 海洋出版社, 1987: 35~38.
- 6 蔡则怡. 强对流发生前的能量贮存机制. 大气科学, 1985, 9: 337~387.
- 7 张纪淮. 雹云概念模型和冰雹预报. 第十一次全国云雾、降水和人工影响天气科学讨论会文集. 1992: 117.
- 8 Donaldson, R. J. Jr., R. M. Dyer and M. J. Kraus. An Objective Evaluator of Techniques for Predicting Severe Weather Events. Preprints, Ninth Conf. Severe Local Storms, Norman, Oklahoma, Amer. Meteor. Soc., 1975: 321~326.

## Forecasting Method for Hail in Middle and Western Inner Mongolia

Li Yiping Bo Yuhua Jin Hengtai

(Inner Mongolia Meteorological Institute, Huhhot 010051)

### Abstract

First, from the viewpoint of atmospheric energetics, several factors and dynamical condition favourable to the hail genesis were described. Then, after conducting 84 case studies to the precipitation with hail occurred between 1980 and 1987, some forecasting indexes were obtained. These indexes were proved to be effective in the routine weather prediction.

**Keywords:** atmospheric energetics instabilizing factor storing mechanism starting mechanism forecasting index