

用能量分析方法识别冰雹云^①

许晨海 张纪淮 朱福康

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

阎明星 杨大生

(内蒙巴盟气象局, 临河市 015000)

提 要

用 GMS TBB 遥感资料和湿-比有效能量方法分析了 1998 年巴盟地区 9 次降雹过程, 认为: ①云顶温度及其水平梯度是识别冰雹云的重要参量, 云顶温度低于 -25°C 才可能出现有灾冰雹, 预报区云顶温度水平梯度大于 $50^{\circ}\text{C}/50\text{km}$ 才可能出现重雹灾; ②冰雹云生成前低层是高能舌, 而中高层低能中心和负能量平流中心位于其北或西北方; ③有雹无灾冰雹云生成前低层没有高能舌, 在降雹区西北方 450km 以内也没有中高层低能中心。

关键词: 冰雹云 湿-比有效能量 生成环境

引 言

当雷达观测到一个初生对流单体时, 其单体能否发展成强对流单体是人工防雹中最为关注的问题之一, 由于雷达探测的范围有限, 且无法观测到大范围云顶的温度, 而卫星遥感资料给出的云顶温度能够反映出云体伸展高度、上升气流的强弱、中尺度环流系统的配置以及云的过冷层厚度等^[1], 因此后者是识别初生对流单体能否发展成强对流单体的有效途径之一。强对流单体是在特定的环境下生成的, 在其孕育、产生、发展和消亡时, 总伴随着大气能量的转换过程, 因此分析大气能量的时空分布是研究初生对流单体能否发展成强对流单体的另一有效途径。

1 冰雹云的变化特征

1998 年 6 月 1 日~8 月 31 日内蒙古自治区临河市和杭后旗共出现了 9 次冰雹过

程, 根据农业受灾情况可分为重雹灾(受灾总面积在 700hm^2 以上)、雹灾(受灾总面积在 $10\sim 700\text{hm}^2$ 之间)和有雹无灾(出现冰雹, 农业没有受灾)。

1.1 重雹灾 GMS TBB 图的变化特征

1998 年 7 月 17 日 13 时 30 分~14 时 40 分(北京时, 下同)临河市出现了重雹灾, 图 1 是 1998 年 7 月 17 日 12~15 时 GMS 卫星亮温(TBB)图, 由图可以看到: (1)降雹前 1 小时前后(图 1a)预报区 TBB 约为 20°C 左右; (2)降雹前 30 分前后(图 1b)预报区东北部出现对流云团云顶温度约为 -20°C 左右; (3)降雹时(图 1c)降雹区对流云团云顶温度最低温度达 -30°C 以下; (4)降雹后(图 1d)预报区对流云团云顶温度升高为 -15°C 左右。从以上 4 个时次 GMS TBB 图的变化来看, 降雹区位于雹云移动的前方, 且水平温度

^① “96-020-01-07 攻关专题的子专题”资助。

梯度大,云顶温度低。强对流云团(云顶温度低于 -20°C)出现到降雹仅有30分钟左右,其突发性很强。另一次重雹灾日是1998年8

月12日17时25分~18时05分,降雹前后4个时次GMS TBB图的变化均与上述过程十分相似(图略)。

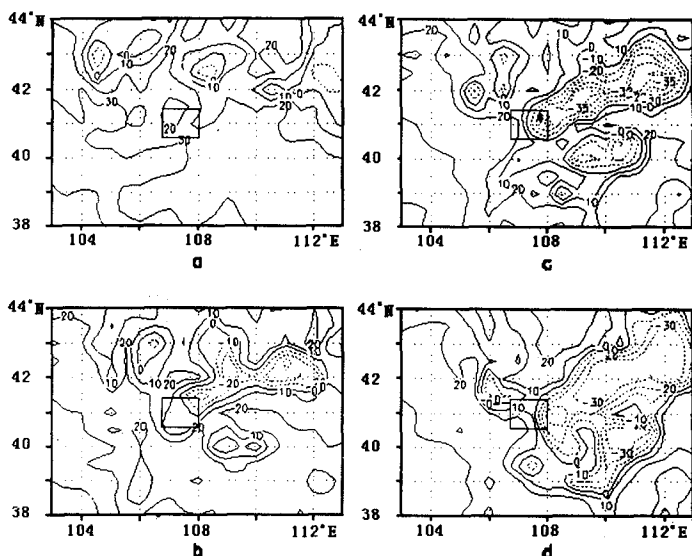


图1 1998年7月17日12~15时GMS TBB图(单位: $^{\circ}\text{C}$)

a:1998年7月17日12时

c:1998年7月17日14时

b:1998年7月17日13时

d:1998年7月17日15时

图中的长方形区域是临河市和杭后旗(以下称:预报区),标有冰雹符号的位置是降雹区

1.2 雹灾 GMS TBB 图的变化特征

1998年6月24日14时50~56分杭后旗出现了雹灾,图2是1998年6月24日12、14、15和16时GMS TBB图,由图的时间变化可知:降雹前3小时前后预报区西方(41°N 、 106°E)出现了强对流云团,其后该云团缓慢地向东南方移动,强度逐渐加强,当云团移动到降雹区时,云顶温度低于 -45°C ,随后强对流云团移出预报区,云顶温度仍低于 -45°C (图2a~d)。另外还有两次雹灾日:1998年7月9日16时10~20分和1998年7月30日23时50~56分。前者降雹区位于预报区的西北部,降雹云团由西南方向东北方移动,后者降雹区位于预报区的东北部,降雹云团由西北方向东南方移动,也都是由降雹区外逐步移动到降雹区的。这类降雹的特

点是:降雹云团是由降雹区外移进来的,其突发性不强。

1.3 有雹无灾 GMS TBB 图的变化特征

有雹无灾 GMS TBB 的变化主要有两类:Ⅰ类:对流云团的云顶温度高于 -20°C ,如1998年7月16日14时00~01分和7月25日14时00~01分(图3a,c);Ⅱ类:对流云团的云顶温度低于 -40°C ,但水平温度梯度小,如1998年8月11日14时00~03分和6月11日11时00~01分(图3b,d)。

根据上述三类降雹过程 GMS TBB 图的变化特征,我们将降雹时刻降雹区的最低云顶温度和预报区的水平梯度(预报区内最高云顶温度减去最低云顶温度之差)、降雹前雹云生成时间、雹云移动方向等特征列在表1。

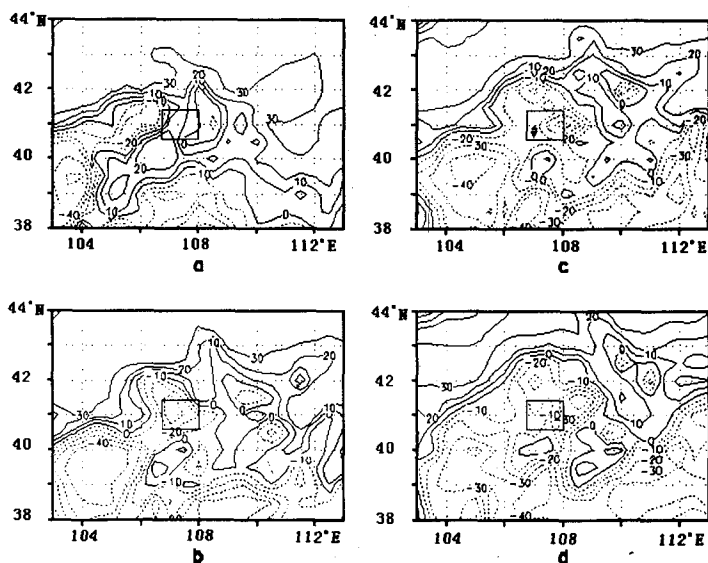


图2 1998年6月24日12~16时GMS TBB图(单位:°C)

a:1998年6月24日12时 c:1998年6月24日15时

b:1998年6月24日14时 d:1998年6月24日16时

其他同图1

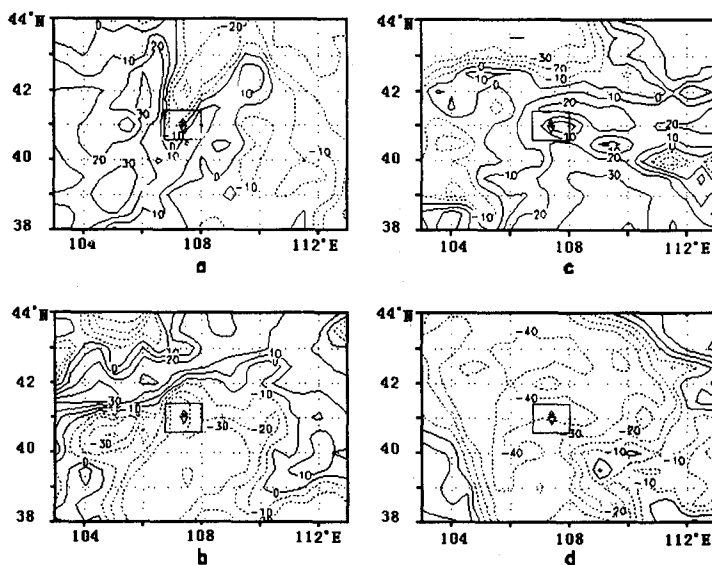


图3 有雹无灾GMS TBB图(单位:°C)

a:1998年7月16日14时 b:1998年7月25日14时

c:1998年8月11日14时 d:1998年6月11日11时

其他同图1

表1 1998年内蒙古自治区临河市和杭后旗降雹过程概况和TBB变化特征

月	日	降雹时间 /时·分	冰雹直径 /mm	灾情	降雹前雹云 生成时间	雹云移动 方向	云顶温 度/℃	水平梯度 /℃/50km
7	17	13 ³⁰ ~14 ⁴⁰	35	重雹灾	30分	北—南	-30	50
8	12	17 ²⁵ ~18 ⁰⁵	30	重雹灾	85分	北—南	-45	55
6	24	14 ⁵⁰ ~14 ⁵⁸	8	雹灾	180分	西—东	-45	35
7	9	16 ¹⁰ ~16 ²⁰	10	雹灾	130分	西南—东北	-40	5
7	30	23 ⁵⁰ ~23 ⁵⁶	8	雹灾	120分	西—东	-25	25
6	11	11 ⁰⁰ ~11 ⁰¹	5	有雹无灾	120分	西南—东北	-40	5
8	11	14 ⁰⁰ ~14 ⁰³	5	有雹无灾	120分	南—北	-35	10
7	16	14 ⁰⁰ ~14 ⁰²	5	有雹无灾	120分	西—东	-20	30
7	25	14 ⁰⁰ ~14 ⁰¹	5	有雹无灾	30分	西—东	-5	25

由表1可见:

①重雹灾的TBB特征:冰雹云顶温度

$T_{\text{顶}} \leq -30^{\circ}\text{C}$, 且水平梯度 $\geq 50^{\circ}\text{C}/50\text{km}$;

②雹灾的TBB特征:冰雹云顶温度 $T_{\text{顶}}$

$\leq -25^{\circ}\text{C}$, 且水平梯度 $25^{\circ}\text{C}/50\text{km} \sim 35^{\circ}\text{C}/50\text{km}$;

③有雹无灾的TBB特征:冰雹云顶温度

$T_{\text{顶}} \leq -20^{\circ}\text{C}$, 且水平梯度 $25^{\circ}\text{C}/50\text{km} \sim 35^{\circ}\text{C}/50\text{km}$ 或者冰雹云顶温度 $-35 \sim -45^{\circ}\text{C}$, 且水平梯度 $\geq 5^{\circ}\text{C}/50\text{km} \sim 10^{\circ}\text{C}/50\text{km}$ 。

2 冰雹云的生成环境

我们曾对1980~1987年6~9月内蒙古临河市29例雷雨日和25例重雹灾日的湿-比有效能量进行过分析。结果表明,中高层湿-比有效能量的大小和时空分布对雹云的发生发展有重要的影响^[2]。在另一篇文章中指出,降雹区上游东北-西南向的强能量锋区是触发降雹重要条件之一,降雹区位于低层湿-比有效能量轴线上^[3]。本文分析1998年各类降雹过程中湿-比有效能量的时空分布。

2.1 湿-比有效能量及平流的计算

大气能量的变化是引起天气变化的重要原因,天气过程应是有效能量的储存、积聚和释放的过程。我们运用文献[4]中给出的公式,计算了1998年6~8月雹日08时的湿有效能量。其表达式为:

$$A_{mk} = \frac{C_p}{g} N T_e,$$

$$N = 1 - \left(\frac{p_r}{p} \right)^{R/c_p},$$

$$T_e = T + \frac{L}{C_p} q$$

其中, A_{mk} 称单位面积、单位厚度气块内的湿有效能量,简称湿-比有效能量; N 为效率因子, p_r 为参考气压,余者为惯用符号。

大气能量的正负平流是大气斜压性的一个量度,重要天气系统的发生发展均与之有关。我们运用下式计算了1998年6~8月雹日08时的湿-比有效能量平流。其表达式为:

$$V \cdot \nabla A_{mk} = -V \left(\frac{\partial A_{mk}}{\partial x} + \frac{\partial A_{mk}}{\partial y} \right)$$

式中 V 为风速, ∇A_{mk} 为湿-比有效能量梯度,如是负平流, $V \cdot \nabla A_{mk} < 0$; 反之,正平流, $V \cdot \nabla A_{mk} > 0$ 。

2.2 生成环境分析

图4a是1998年7月17日08时41°N湿-比有效能量垂直剖面图,由图可以看到,临河市上空850~750hPa有一个向上凸起的高能区,但正值能量层仅从850hPa向上伸展到650hPa左右。在预报区以西(104.5°E)上空500~400hPa之间存在一个 $-47 \times 10^4 \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 的低能中心(以下称纬向低能中心)。图4b是1998年7月17日08时450hPa湿-比有效能量平流图,在预

报区以北(42°N , 108°E)有一个 $-155 \times 10^{-1} \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的湿-比有效能量负平流中心(以下称负平流中心)。图 4c 是 1998 年 7 月 17 日 08 时 450hPa 湿-比有效能量形势图,图中显示出:①在预报区的西北部(42°N , 104.5°E)有一个 $-49 \times 10^4 \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 的低能中心;②在 40°N 以北,自 104°E

向东到 113°E ,湿-比有效能量值由小变大。图 4d 是 1998 年 7 月 17 日 08 时 850hPa 湿-比有效能量形势图,湿-比有效能量在预报区的南方有高能舌向北伸展,在预报区西北方向有低能区,两者之间存在着较强的梯度(东北西南向的能量锋区)。

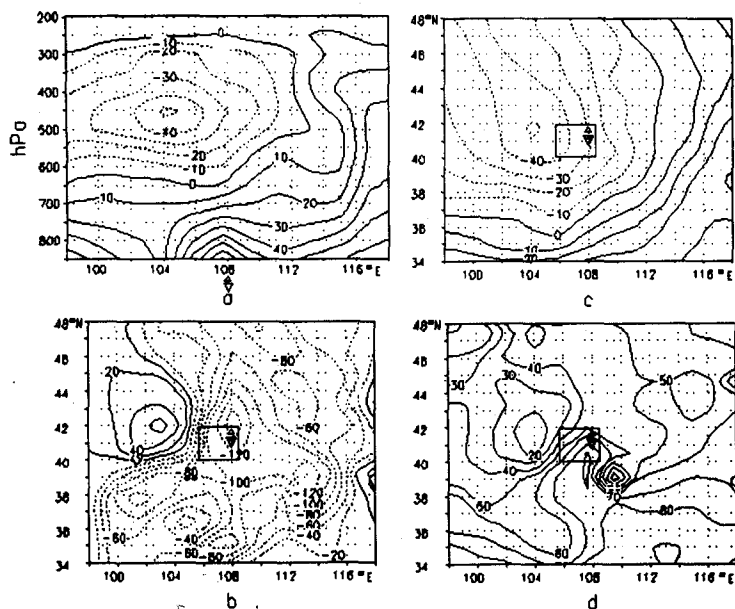


图 4 1998 年 7 月 17 日 08 时湿有效能量图

- a: 沿 40.5°N 湿-比有效能量垂直剖面图(单位: $10^4 \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
- b: 450hPa 湿-比有效能量平流图(单位: $10^{-1} \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
- c: 400hPa 湿-比有效能量 A_{mk} 形势图(单位: $10^4 \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
- d: 850hPa 湿-比有效能量 A_{mk} 形势图(单位: $10^4 \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

其他同图 1

已有分析^[5,6]指出,在我国北方,区域性降雹多数出现在长波槽的高空西北气流冷平流中的大尺度下沉运动区内。中高层西北方向的冷空气入侵降雹区,且低层为暖湿气团时,则不稳定能量随时间增加,有利于低层扰动发展。冷平流存在还会影响风的垂直切变的变化。

我们按照 1998 年 7 月 17 日的分析方法,分析了 1998 年 6 月 1 日~8 月 31 日预报区冰雹日的 08 时能量图,统计了纬向低能中心的高度及位置、负平流中心值及位置、沿 41°N 高能舌轴线值及所在经度等数据,并列在表 2 中。

表 2 1998 年内蒙古自治区临河市和杭后旗降雹时间、灾情和冰雹日 08 时能量特征

月	日	降雹 时间 /时·分	灾情	纬向低能 中心高度 (hPa)及位 置(°E)	负平流中心值 及位置(°N,°E)	450hPa 低能中心值 及位置(°N,°E)	沿 41°N 高能 舌轴线值及所 在经度(°E)
7	17	13 ³⁰ ~14 ⁴⁰	重雹灾	450(104.5)	-155(42.0,108.0)	-49(42.0,104.5)	81(108.0)
8	12	17 ²⁵ ~18 ⁰⁵	重雹灾	450(106.0)	-123(43.5,108.0)	-35(43.5,104.0)	67(108.0)
6	24	14 ⁵⁰ ~14 ⁵⁸	雹灾		-111(45.0,106.5)	-23(43.5,103.0)	80(108.0)
7	9	16 ¹⁰ ~16 ²⁰	雹灾		-89(43.5,101.5)	-14(47.5,103.5)	80(106.5)
7	30	23 ⁵⁰ ~23 ⁵⁶	雹灾		-95(42.0,103.0)	-37(47.5,101.0)	83(108.0)
6	11	11 ⁰⁰ ~11 ⁰¹	有雹无灾		-91(42.0,100.0)	-58(47.5,117.0)	75(105.0)
8	11	14 ⁰⁰ ~14 ⁰³	有雹无灾		-39(43.5,106.5)	-30(47.5,99.0)	87(105.0)
7	16	14 ⁰⁰ ~14 ⁰²	有雹无灾	450(100.0)	-142(40.5,103.0)	-40(40.5,100.0)	66(105.0)
7	25	14 ⁰⁰ ~14 ⁰¹	有雹无灾		-21(40.5,106.5)	-33(42.0,117.0)	78(108.0)

由表 2 可归纳出以下结果:

北 150~300km 处。

(1)重雹灾冰雹云生成环境:低层是高能舌轴线位于降雹区,纬向低能中心在降雹区以西 150~300km 处 450hPa 上空,中高层低能中心在降雹区的西北部 150~300km 处,负能量平流最小值位于降雹区以北 150~300km 处;

(2)雹灾冰雹云生成环境:低层是高能舌轴线位于预报区,中高层低能中心在降雹区的西北部 300~450km 处,负能量平流最小值在降雹区以北 300~450km 处;

(3)有雹无灾冰雹云生成环境:低层是高能舌轴线位于降雹区以西 150km 处,以降雹区为中心半径 450km 以内无中高层低能中心,负能量平流最小值区在降雹区以西或西

参考文献

- 1 石安英,樊慧新,刘国兴.冰雹云云顶温度等参数分布特征的观测研究.防雹及雹云物理文集,北京:气象出版社,1989,68~77.
- 2 许晨海,孔燕燕,张纪淮等.中高层湿-比有效能量与雹云发生发展(待发表).
- 3 许晨海,张纪淮.降雹前大气层结稳定情况下的环境场特征.气象,1999,25(12):17~20.
- 4 吴宝骏.湿有效位能概念和方法简介.湿有效能量应用文集,南宁:广西人民出版社,1985,16~23.
- 5 雷雨顺,吴宝骏,吴正华.冰雹概论.北京:科学出版社,1978:77~81.
- 6 张书余.强对流天气预报的动力释用.气象,1995,21(11):46~49.

Identification of Hail Cloud with Atmospheric Energy Method

Xu Chenhai Zhang Jihuai Zhu Fukang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Yan Mingxing Yang Dasheng

(Bameng Meteorological Office)

Abstract

With GMS TBB data and the moist available energy method, an analysis of the nine hail fallout processes in Bameng area on 1998 is made. It suggests: (1) the temperature of cloud top and its horizontal gradient were important parameters for identification of hail cloud; (2) as hail cloud genesis there was a tongue of high energy at the low-level and a center of low energy at the mid- and upper-level while a center of negative energy advection was located over its north and northwest.

Key Words: hail cloud moist available energy environment of genesis