

# 降雹前大气层结稳定状态下的环境场特征<sup>①</sup>

许晨海 张纪淮

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

分析了1983年9月4日巴盟地区降雹前大气层结稳定的降雹过程,通过对降雹前后高空槽的变化、能量条件、触发机制以及环境风垂直切变等物理量的分析,揭示了此类降雹的大气环境场特征。同时指出在特定的环流背景下大气层结随时间的变化可能会由稳定状态变为不稳定状态。

**关键词:** 降雹 稳定度 湿-比有效能量 环境风垂直切变

## 引 言

自20世纪50年代引入Showalter指数 $SI$ 以来,在分析和预报强对流天气中得到广泛的应用,在日常业务预报中常使用08时(北京时,下同)高空资料计算的 $SI$ 指数作为制作时效12小时的降雹预报的一个因子。根据国外资料统计<sup>[1]</sup>,当 $0^{\circ}\text{C} < SI < 3^{\circ}\text{C}$ 时,才有发生降雨的可能性;当 $-3^{\circ}\text{C} < SI < 0^{\circ}\text{C}$ 时,才有发生雷暴的可能性;当 $-6^{\circ}\text{C} < SI < -3^{\circ}\text{C}$ 时,才有发生强雷暴的可能性。然而,我们在分析内蒙古自治区巴盟地区致灾雹日时(致灾雹日是指:农田受灾面积大于 $340\text{hm}^2$ 的降雹日),发现部分致灾雹日当日08时降雹区的 $SI$ 指数为正值(正值表示大气层结稳定),为什么在大气层结稳定状态下会出现致灾雹日呢?我们选取1983年9月4日为例进行分析,该日08时降雹区的 $SI$ 指数为1.2,在14时50~58分临河市出现降雹。农业受灾面积 $400\text{hm}^2$ ;16时00~09分与临河市相邻的五原县也出现了降雹,农业

受灾 $2400\text{hm}^2$ 。

## 1 高空槽对降雹的影响

已有分析指出<sup>[2]</sup>,在我国北方,区域性降雹主要发生在极锋锋区和副热带锋区之间的温带气团中,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。当日08时(以下称:降雹前)600hPa高度槽正好位于降雹区,与其相伴随的温度槽落后高度槽约3~4个经距(图1a),当日20时(以下称:降雹后)600hPa高度槽位于降雹区以东约3~4个经距( $110^{\circ}\text{E}$ 附近,图1b),与其相伴随的温度槽落后高度槽约3~4个经距,位于降雹区上空。从降雹前后高空形势的变化可以看到,这次降雹过程是高度槽东移过程中与其相伴随的温度槽也向东移动造成西北方向的冷空气入侵降雹区,降雹区的大气层结由降雹前的稳定状态变为不稳定状态所致。由此可以看出,中层西风带上的高空槽东移是诱发大气层结由稳定变为不稳定的主要天气系统。

<sup>①</sup> “96-020-01-07 攻关专题的子专题”资助。

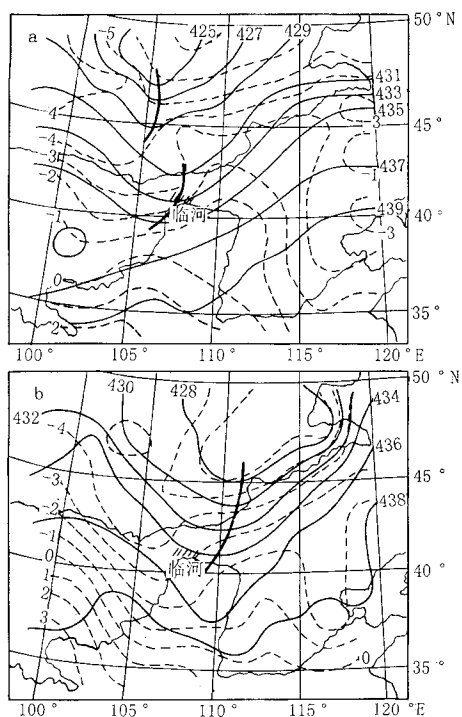


图1 1983年9月4日08(a)、20时  
(b)600hPa 高空图

实、虚线分别为等高线和等温线,粗实线为高度槽线,斜线阴影区为降雹区。

## 2 降雹的能量条件和触发机制

众所周知,低层湿舌与强对流(或强风暴)天气紧密联系在一起,按照湿有效能量观点,降雹过程是湿有效能量在低层储存、积聚并以特殊形式进行释放的过程,有关巴盟地区降雹的湿有效能量情况,还没有见到有关分析,我们运用文献[3]给出的公式,计算了降雹前后的湿-比有效能量。其表达式为:

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

$$T_e = T + \frac{L}{c_p} q, (MAE)_1 = \int_{400}^{850} A_{mk} dp$$

式中,  $A_{mk}$  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;  $(MAE)_1$  称单位面积气柱的湿有效能量;  $N$  为效率因子;  $p_r$  为参考气压;余者为惯用符号。

从降雹前 850hPa 湿-比有效能量在降雹区的西南方有高能舌向北伸展,降雹区位于高能舌的轴线上,与其对应在降雹区西北方向有低能舌存在,两舌之间有较强的梯度(东北~西南向的能量锋区),详见图 2。降雹后 850hPa 湿-比有效能量的形势与降雹前的形势非常相似,不同的是降雹区的能值减少了约 10 个单位(图略)。

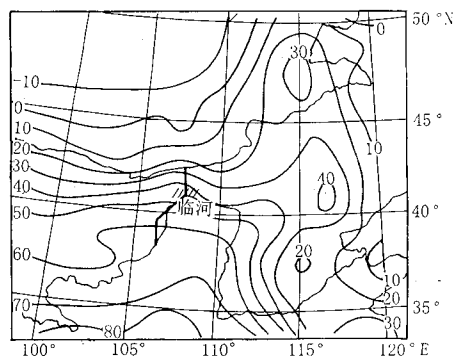


图2 1983年9月4日08时850hPa湿-比有效能量  $A_{mk}$  形势图

$A_{mk}$  单位:  $10^4 \text{ J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 斜线阴影区为降雹区

从降雹前湿-比有效能量的垂直剖面上(图 3a)可以看到,降雹区所在的位置有深厚的正值能量层。从地面向上伸展到 350hPa。而在降雹区以西 3.6 个经距处 ( $40.1^\circ\text{N}, 104^\circ\text{E}$ ), 自 400hPa 向下到地面有低能舌存在,能量锋面在垂直方向上位于高、低能舌之间,从地面延伸到对流层中层。上述湿-比有效能量的垂直方向的分布与文献[4]给出的北京地区暴雨出现前湿-比有效能量垂直方向分布类似,不同的是前者比后者在水平方向上的能量梯度要大,这可能是降雹与产生暴雨前湿-比有效能量垂直方向分布的重要区别。

从降雹后湿-比有效能量的垂直剖面上(图 3b)可以看到,降雹区所在的位置仍有一个高能舌存在,但正值能量层从地面向上

仅伸展到 700hPa 左右,底层的高能舌可能是由于降雹后低层潮湿且迅速增温所致,正值能量层的降低是由于降雹过程中释放了大量能量的结果,在降雹区以东 3 个经距处有一个低能舌,此舌可能是造成这次降雹过程的重要原因之一。

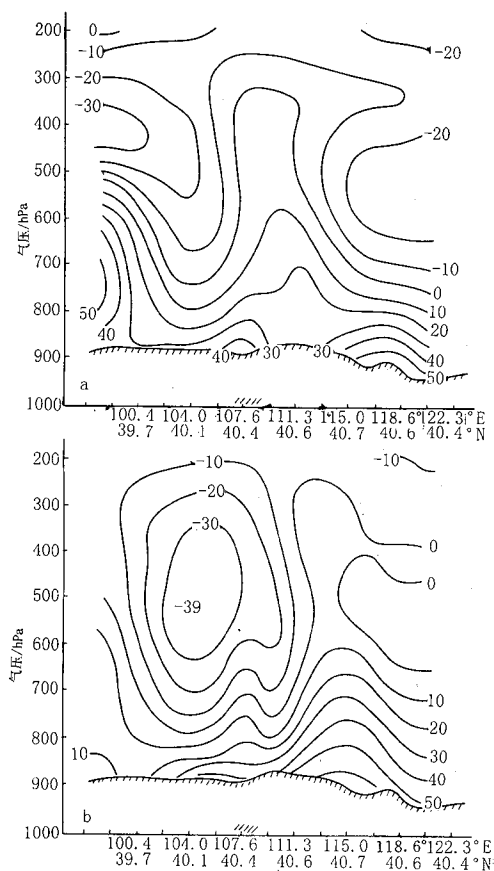


图3 1983年9月4日08(a)、20时

(b)湿-比有效能量垂直剖面图

单位:  $10^4 \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 斜线阴影区为降雹区

从上面的分析可见,降雹前巴盟地区水汽条件已经具备,并出现了深厚的正值能量层。以往的研究表明,深厚正值能层的出现往往是触发暴雨的重要条件,然而,这次过程却出现了降雹过程。为了探讨这次过程的特殊性,我们计算了  $(MAE)_1$  纬向梯度(见图4)。

由图4可以看到,在降雹区的上游有一个东北~西南向的强能量锋区,强度与文献[4]给出的强度相比,前者比后者数值大两倍还多。因此通过本节讨论可以得出以下结果:(1)降雹区位于湿-比有效能量的轴线上;(2)降雹前的降雹区上空,湿-比有效能量可以为深厚的正值能量层;(3)降雹区上游东北~西南向的强能量锋区是触发降雹的重要条件之一。

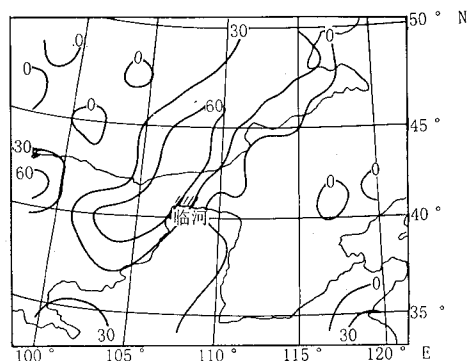


图4 1983年9月4日08时  $(MAE)_1$  纬向梯度图

单位:  $10 \text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ ; 斜线阴影区为降雹区

### 3 环境风的垂直切变特征

适当大小风的垂直切变是和不稳定能量同样重要的决定雹暴发展的因子,环境风垂直切变对雹暴发展主要有以下几种作用:(a)可以引起湍流,也可以为对流运动的发生提供有利的条件;(b)可以促进云顶的抽风效应等<sup>[5]</sup>。我们对降雹前环境风的垂直切变进行了分析(见图5)。

由图5可以看到,在200hPa上风速由东至西逐渐增大,在  $39.7^\circ\text{N}$ 、 $100.4^\circ\text{E}$  附近达到  $35 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,这表明在降雹区的西方有高空急流;在降雹区附近低层(850hPa)的风速仅有  $3 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而在中层(600hPa)附近的风速接近  $17 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,可见对流层中下部的风速垂直切变最大。我们计算了850、600hPa的环境风场的切变并绘制成图6。

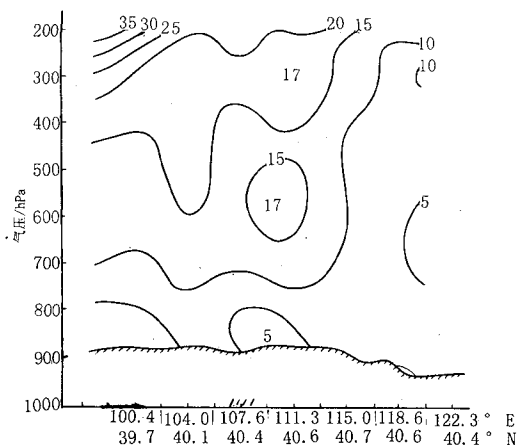


图5 1983年9月4日08时风速垂直剖面图  
单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 斜线阴影区为降水区

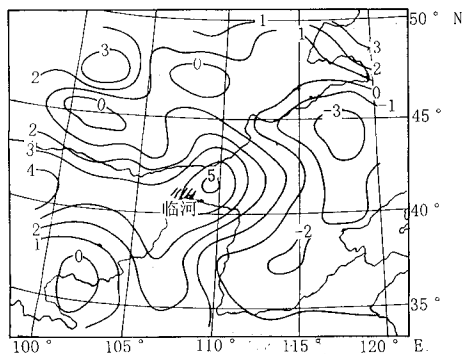


图6 1983年9月4日08时850~600hPa  
风速垂直切变图  
单位:  $10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 斜线阴影区为降水区

由图6可以看到,在降水区东北方有一个  $5 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$  的极大值中心。对流层中下部的风速垂直切变的这一特征与文献[5]给出的强雹暴的环境风的垂直切变是相近的。

由上分析可以概括出如下结果:(1)在降水区的西方有高空急流;(2)在降水区附近,对流层中下部环境风的垂直切变有一个  $5 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$  极大值中心。

#### 4 散度特征

根据郭晓岚的对流参数化原理,必须满足如下条件:在位势不稳定的前提下,只要近

地面有水汽辐合,高空有辐散,并有垂直上升运动存在,就可以产生强对流天气,文献[6]应用散度方程预报强对流天气取得了较好的效果,可见大气的辐合辐散是与强对流天气有密切关系的,为了解大气的辐合辐散情况,我们计算了降水前850~200hPa各层的散度,在降水区附近,低层为辐合区(850~750hPa均为负值),在850hPa散度图上降水区为  $-4 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$  辐合中心(图略);700hPa以上为辐散区(700~200hPa均为正值区),在200hPa散度图上降水区为  $4 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$  的辐散中心(图略)。

#### 5 小结

(1)中层西风带上的高空槽东移是诱发大气层结由稳定变为不稳定的主要天气系统。

(2)降水前降水区上空,湿-比有效能量可以为深厚的正值能量层,降水区位于低层湿-比有效能量的轴线上。

(3)降水区上游东北~西南向的强能量锋区是触发降水的重要条件之一。

(4)在降水区的西方有高空急流。

(5)在降水区附近,对流层中下部环境风的垂直切变有一个  $5 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$  极大值中心。

(6)在降水区附近,低层为辐合区,高层为辐散区。

#### 参考文献

- 1 大气科学辞典编委会. 大气科学词典. 北京:气象出版社,1994:541.
- 2 白肇烨等. 中国西北天气. 北京:气象出版社,1988:283~293.
- 3 吴宝俊. 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,1985:1~15.
- 4 刘延英,许晨海,吴宝俊. 1990年京津冀三次暴雨的分析. 应用气象学报,1993,4(3):349~355.
- 5 雷雨顺,吴宝俊,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.

# The Environmental Field Characteristics before Hails under the Stable Atmospheric Stratification

Xu Chenhai Zhang Jihuai

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

## Abstract

A hail process in Bameng area on Sep. 4, 1983 under the stable atmospheric stratification was analysed. The analysis of the physical quantity before and after the hail, e. g. altitude trough, energy condition, initiation mechanisms and environment wind vertical shear, reveals that the atmosphere characters can be used in forecasting this type of hail. In some specific background of circumfluence, the stable atmosphere structure may turn to instable.

**Key Words:** hail shooting stability moist available energy environment wind vertical shear

---

① 中国气象局天气司“冰雹落区预报逐级指导技术研究”课题研究论文