

次天气尺度能量场和华北强雹暴预报

吴正华

(气象科学研究院)

提要

本文综合论述了利用常规资料分析的对流层低层次天气尺度能量场,包括锢囚能量舌的温湿场、动力场及其与气压低值系统的空间配置特征,干暖盖的演变及其与雹暴落区的关系等。并给出一个分析预报实例。

一、前言

雹暴是华北地区夏季主要灾害性天气之一。在一定的天气尺度气压系统影响下,一次强雹暴过程常会同时出现2—3条中尺度雹击带。尽管在10—30万km²范围内,降雹呈离散分布,但产生灾害的降雹,主要集中在2—3条雹击带上^[1]。这些雹击带多呈东—西走向排列,与冷空气移动方向近于平行。每条雹击带长约200—500km,降雹历时2—6个小时。因此,华北强雹暴过程的空间范围和持续时间都有较明显的次天气尺度特征。在甚短期预报业务中,预报员在分析天气尺度环境场时,识别强雹暴发生前的一些次天气尺度能量场,会有效地帮助判断强雹暴可能发生的区域。

二、锢囚能量舌*

1. 温湿分布特征 强雹暴发生前6—12小时左右,在对流层低层等压面(如850hPa)上,分析湿静力总温度 $T\sigma$ ($T\sigma = T + \frac{L}{C_p}q + \frac{g}{C_p}z$)场,常可发现次天气尺度的锢囚能量舌,其中间是淮南—北走向的高能舌, $T\sigma$ 值为44—60℃。例如,1975年6月5日华北强雹暴过程(这次过程影响面

积为27万km²^[1])。当日08时(北京时,下同)850hPa等压面上(图1),有一高能舌从河南省西部经太行山区,一直北伸到海拉尔市附近。而河套地区和渤海东侧分别有 $T\sigma$ 值为32—44℃的低能舌,对高能舌成“钳形夹击”形势^[2]。两低能轴线的纬向水平距离约600—1000km。当日降雹区均位于高能舌中。

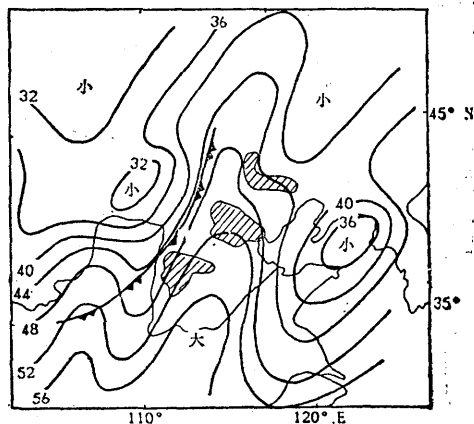


图1 1975年6月5日08时(北京时)850hPa等压面 $T\sigma$ (实线,℃)形势

(虚线为地面冷锋;阴影区为降雹区)

从通过降雹区的纬向垂直剖面(图2)可见,这个狭窄高能舌的垂直厚度仅限于600hPa层以下,其饱和能差 $T_s - T\sigma =$

* 也有人称为 Ω 形能量系统。

$\frac{I_s}{C_p} (q_s - q)$ 为 4°C 左右。两侧低能区的垂直厚度较高, 可达 400hPa 层, 但其饱和能差 $T_s - T\sigma$ 可达 16°C 以上。在高压区的西侧, 能量锋上的饱和能差等值线密集 (图略), 此能量锋区与“干线”类似, 主要是湿度场的水平差异造成。当天下午的对流云单体正是从高压区西侧锋区上开始生成, 并在高压区中得到发展, 产生降水。

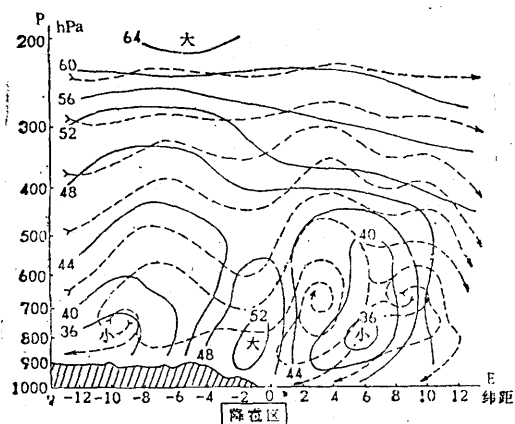


图2 1975年6月5日08时沿 40°N 的剖面图
(图中实线为等 $T\sigma$ 线, $^{\circ}\text{C}$; 虚矢线为二维流线)

为了说明锢囚能量舌的普遍性, 这里给出华北地区8次强雹暴当天08时 850hPa 层湿静力总温度的合成平均图 [1] (图3), 此图是按强降水中心区位置, 进行拉格朗日坐标合成计算得到的。图中显现一个高能舌呈SW—NE走向, 两侧低能舌的轴线自北向南, 逐渐靠近, 水平间距为6—12个经距。强雹暴中心区正处于高能轴线附近。分析还表明 [3], 当这8例强雹暴发生发展时 (即当天18—21时), 图3中西侧低能舌南压3—4个纬距, 而东侧低能舌稳定少动, 两低能轴线水平间距缩小到4—8个经距。

2. 动力和热力特征

图1中的高、低能舌之间, 等 $T\sigma$ 线密集, 表明锢囚能量舌是对流层低层锋区上的一种次天气尺度扰动, 不仅表现湿温水平分布不均匀, 也在一定程度反映了动力场水平分布

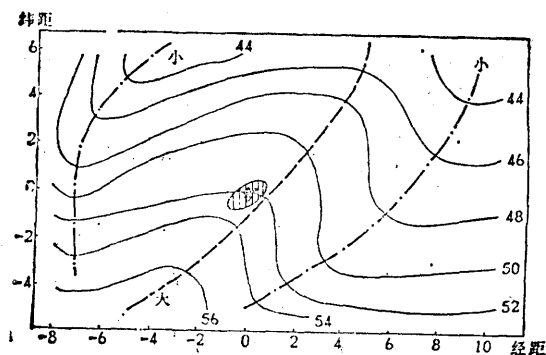


图3 8例雹暴当天08时 850hPa 等压面 $T\sigma$ 合成形势图

(图中等值线单位为 $^{\circ}\text{C}$, 虚线为高能轴线, 点划线为低能轴线; 阴影区为降水中心区)

的差异。如图2中, 高能舌西侧能量锋区上, 低层为弱上升气流, 中、高层为下沉气流, 但正是在这里, 地面— 600hPa 层为暖平流, 600hPa 以上为冷平流 (图4)。中层的下沉气流对抑制低层暖湿空气上逸, 使热力不稳定能量积聚十分有利。图4中还看到, 高能区和低能区的涡度垂直分布, 在对流层中、高层是同样的, 即中层为负涡度, 高层为正涡度。在对流层低层, 高能区和低能区的涡度完全不同, 高能区为正涡度, 而低能区为负涡度。

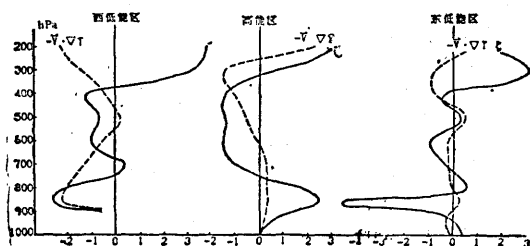


图4 高能区和两侧低能区的涡度 (实线, $\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$) 和温度平流 (虚线, $\times 10^{-5}^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$) 垂直廓线 (1975年, 6月5日08时)

两侧低能区的差异, 主要表现在温度平流上, 西侧低能区几乎整层为冷平流, 而东侧低能区的温度平流整层较弱, 关于两侧低能区的存在对强雹暴发生各起什么动力作用, 还须细致分析。值得提出的是, 在高压

舌东侧能量锋区上,有一个热力正环流圈(图2)。环流圈的上升支和下沉支分列能量锋区两侧,对照图1,可见降雹区只出现在环流圈西侧的高能区内,而环流圈东侧下沉区,对流活动受到抑制,没有降雹。因此,从纬向分布来看,降雹区起于高能舌西侧能量锋

区,止于热力正环流圈西侧。文献〔1〕和〔2〕中也给出了8例华北强雹暴二维环流(纬向)的合成平均图,同样存在位于高能舌东侧的热力正环流圈,表明它是华北强雹暴中的一个普遍现象。

3. 锢囚能量舌与低值气压系统的配置

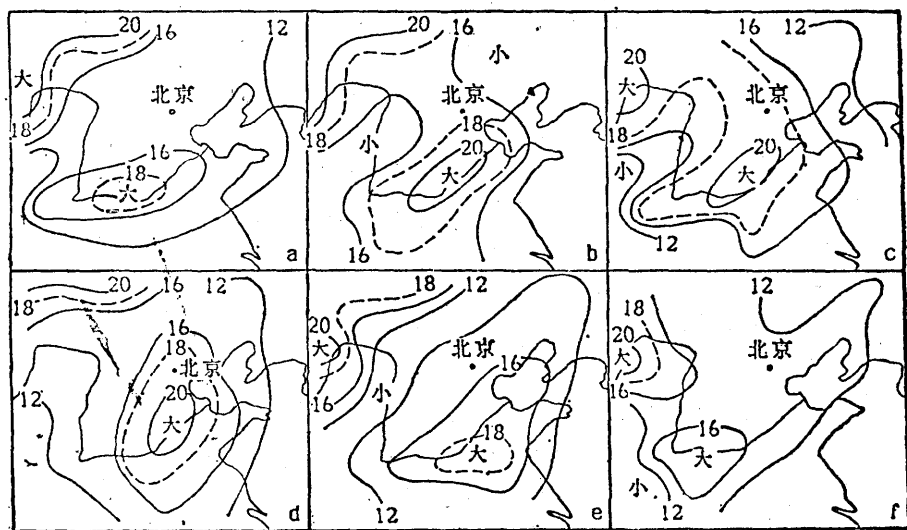


图5 20例强雹暴前期850hPa等压面逐日08时 $T_s-T\sigma(^{\circ}C)$ 平均分布图

(a, b, c, d, e, f 分别表示雹暴前5, 4, 3, 2, 1和当日)

在500hPa或700hPa等压面上,造成华北强雹暴的低值气压系统,主要有冷涡(包括蒙古冷涡、华北冷涡)、西风槽等,在叠置有冷温度槽的西北气流形势下,也常发生强雹暴。锢囚能量舌与这些气压系统的相对位置有一定的配置。一般来讲,850hPa高能舌位于高空槽前,槽后的冷温度槽对应低能区。但常常存在所谓“前倾槽”形势,500hPa冷槽区叠置在低层高能舌之上,形成有强烈位势不稳定层结。

较为复杂的是,500hPa冷涡与850hPa锢囚能量舌的垂直配置有两种:(1)500hPa为“北涡南槽”形势时,锢囚能量舌位于冷涡的东南象限,高能舌距500hPa冷涡中心水平距离约5—7个纬距,降雹亦在冷涡东南象限。在华北,这种配置形势常发生在蒙古冷涡形势下。(2)500hPa冷涡的西部有

横槽南摆,850hPa高能舌位于冷涡的西南象限,距冷涡中心水平距离约3—6个纬距,降雹在冷涡西南象限。若冷涡由于从西北方向有冷空气不断补充,冷涡中心位置少动,常会在冷涡西南象限造成连续数天午后降雹。这类冷涡多是东北冷涡或华北冷涡。

4. 雹暴和暴雨的锢囚能量舌对比

在华北地区,凡是强度大、影响面积大的雹暴和暴雨过程(局地暴雨除外),都与次天气尺度的锢囚能量舌有密切联系。文献〔3〕中给出了10次特大暴雨(主要发生在华北地区)发生当天08时的850hPa层 $T\sigma$ 合成平均图〔4〕。与图3对比,这两类天气的锢囚能量舌有一个共同特点,即它们的水平尺度(两低能轴线水平距离)约700—1000km,高能舌的南北振幅约300—500km,但它们也有明显差异,主要是:(1)能级

不同。产生雹暴的锢囚能量舌的高能区 $T\sigma$ 值为44—60℃，而特大暴雨的高能区 $T\sigma$ 值为64—80℃。这与它们出现的季节不同直接有关，雹暴多发生在初夏（5月—7月上旬）和初秋（8月下旬—9月），其锢囚能量舌属于极锋锋区的扰动。而特大暴雨是发生在盛夏（7—8月），是属于副热带锋锋区上的扰动。（2）雹暴的高能舌仅限于对流层中、低层，准饱和暖湿空气浅薄。而特大暴雨的准饱和暖湿空气深厚，高能舌可以从地面垂直伸到400hPa层以上，形成贯穿整个对流层的高能“等能管”，低层暖湿空气沿等能管垂直向上抬升，这对于维持大气环流能量平衡过程，起着重要作用^[2]。（3）从流场的三维分布来看，在对流层低层，雹暴和暴雨的高能区辐合上升及低能区辐散下沉是基本一样的。但在对流层中、高层的流场则有明显差异^[5]，特大暴雨高能舌的中层辐合、高层辐散，出现深厚上升运动，最大上升运动出现在中层。在对流层高层，雹暴为正涡度环流，特大暴雨为负涡度环流，这正是常见到雹暴的高层为低值气压系统，特大暴雨的高层为高值气压系统的事实。在特大暴雨中，与深厚的上升气流相联系，高能舌两侧同时存在一对热力正环流圈，这是维持暖湿空气抬升，使强降水持续的基本动力条件。而在雹暴过程中（如图2），就看不到这种使降水持续较长时间的垂直环流条件。

三、干暖盖

华北平原地区强雹暴发生前1—3天，在离地面1—3km高度上，常存在厚几百米的干燥暖空气，称为干暖盖。降水常发生在干暖盖的北半部。图5是华北北部（包括北京、天津和河北省北部、辽宁西部）6月份20例强雹暴的前5天逐日850hPa层饱和能差 $T_s - T\sigma$ 的合成平均图^[6]。取饱和能差 $T_s - T\sigma \geq 16^\circ\text{C}$ 表示干暖盖（相当于 $T - T_d \geq 8^\circ\text{C}$ ），可以看到，在雹暴发生的前第5天，黄土高原南部（海拔高度为500—1000m）和

内蒙古西部沙漠地区（海拔高度为1000m—1500m），分别存在两块干燥暖空气，它们向东移动，在华北平原上空合并，并在雹暴发生前两天形成一个次天气尺度的干暖盖，其长轴约700km。到雹暴发生的前一天或当天，干暖盖便减弱东移或消失。

由于干暖盖的抑制对流作用，使近地面层空气升温增湿很快，加上温度差动平流的作用，在雹暴发生当天08时，华北平原北部上空出现强烈位势不稳定，这个不稳定区正位于干暖盖的北半部，水平尺度约400—600km（图略）。

对每一次强雹暴过程而言，干暖空气可能是从内蒙古西部沙漠地区平移过来，也可以是从黄土高原南部上空平移过来。图6a表明，这两个地区来的干暖空气分别对应不同的气压系统。内蒙古西部沙漠地区干暖空气是对应近地面层的暖低压，而黄土高原南部的干暖空气对应850hPa等压面的暖高压脊，因此它们的动力特性是有差异的，有待于进一步分析。

图6a为强雹暴前第5天的20例平均

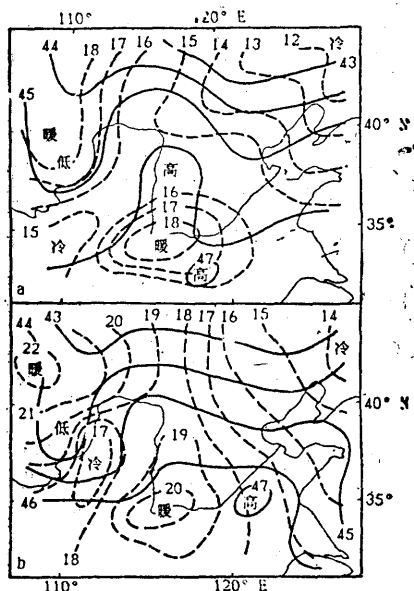


图6 强雹暴前第5天的20例平均(a)和多年6月平均(b)的850hPa等压面形势

850hPa形势图,它与图6b(多年6月平均)的温压场十分相似。这表明当干暖空气从多年平均位置上东移至华北平原上空时,华北平原地区北部有可能发生强雹暴。这个事实为华北强雹暴的短期预报分析提供了有意义的信息。

四、一个实例

这里举一个应用分析实例,以说明锢囚能量舌和干暖盖在实时分析中的应用。

1985年7月2日下午,京津冀地区发生一次伴有 $\geq 30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大风和局地洪水的强雹暴过程,有20多个县、市降雹,降雹持续8—30分钟。这次过程是发生在500hPa层蒙古冷涡东南象限,降雹区距冷涡中心约6个纬距。在冷涡东南方的850hPa等压面上,有一个锢囚能量舌,其两低能轴线的水平距离自北向南为650—450km(图7a),高能舌区内 $T-T_d < 4^\circ\text{C}$ 。在雹暴发生的前两天(6月30日),有一个干暖盖(图中点线为850hPa饱和能差 $T_s - T_\sigma = 16^\circ\text{C}$ 线)位于华北平原上空,7月1—2日,此干暖盖向东南移到山东江苏上空。正是在高能舌与干暖盖北部的叠加区(图7a中方框,即图7b的范围),产生了强雹暴。图7b表明,在边长200—300km的方框内,一条飢线自西向东移动,移速约 $35\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$ 。其南北各有一块东西走向的降雹区(图中阴影区),尤其是19时前后,有一超级单体(回波强度为50dBz以上)正面袭击保定市,产生阵风达 $36\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,雹块大于鸡蛋的强烈天气。

这个实例表明,在出现发生强雹暴的有利环境条件时,抓住次天气尺度能量场将会为强雹暴落区甚短期展望预报提供有效依据。

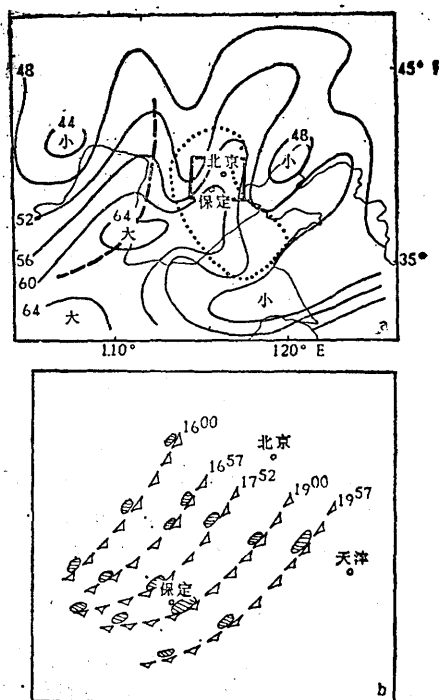


图7 a为1985年7月2日08时850hPa $T-T_d(^{\circ}\text{C})$ 分布图; b为a中方框区内飢线动态图(阴影区为 $\geq 40\text{dBz}$ 的强雷达回波区)

参考文献

- [1] 北方冰雹预报科研协作组, 华北大范围雹暴的天气学研究, 气象出版社, 1982年。
- [2] 方文举等, 雹暴发生时的 Ω 形能量场合成分析, 北方天气文集(3), 北京大学出版社, 1982年, 104—111。
- [3] 雷雨顺, 经向型持续性特大暴雨的合成分析, 气象学报, Vol. 39, No. 2, (1981), 168—180。
- [4] 雷雨顺, 能量天气学, 气象出版社, 1986年。
- [5] 吴正华、白玉荣, 强雹暴和暴雨的 Ω 形能量系统对比分析, 北方天气文集(3), 北京大学出版社, 1982, 51—58。
- [6] 吴正华、雷雨顺, 干暖盖与北京地区初夏强雹暴, 北方天气文集(3), 北京大学出版社, 1982, 66—73。

Energy fields on subsynoptic scale and severe hailstorm in North China

Wu Zhenghua

(Academy of Meteorological Science)

Abstract

In this paper, a syntheical analysis is made on occluded energy tongue and dry-warm lid for severe hailstorm forecasting in North China, with the conventional observations. A example of hailstorm forecast from the analysis is shown.