

降雹前地面要素场的合成分析和冰雹的临近预报

沈树勤

顾锋峰

(江苏省气象台)

(盐城市气象台)

提 要

本文对苏北东部地区的 8 次冰雹过程, 利用 38 个地面站的气象资料, 进行 1 小时 1 次的物理量计算。并使用活动网格对物理量场合成, 进行分析。研究指出: 地面气压、温度、散度、水汽通量散度及能量通量散度对冰雹等强对流天气的短时变化具有超前性。根据这一超前特征和 1980—1986 年 24 次降雹过程物理量资料, 分别制作了 1—3 小时临近预报的判别方程。

一、引 言

每年春夏交替之际, 在有利的大尺度环流形势和冷空气活动影响下, 在苏北东部地区经常出现冰雹等强对流天气, 带来严重的灾害。本文利用苏北东部稠密的地面观测资料, 预先在 Apple 微机上设计计算程序*。对 38 个测站 8 次冰雹等强对流天气过程的逐时地面观测资料进行计算, 然后进行各要素场的合成, 分析各要素场的强度及其分布特点, 并与冰雹产生时间进行对比分析。归纳出各合成要素场对冰雹产生的超前性特点, 然后利用这一特点, 对 1980—1986 年 4—6 月份苏北东部 24 次降雹过程, 用计算出的逐时要素, 分别建立 1—3 小时冰雹预报方程。

二、资料和方法

1. 我们在分析江苏冰雹等强对流气候特点时指出: 影响江苏冰雹的大尺度形势主要为沿海低槽、华北低涡、低槽冷锋和暖性切变类型, 其中降雹 90% 发生在苏北东部, 并且冰雹来向以西北方向 (22 年有 140 次) 为主。表 1 是我们进行合成分析所选的 8 次降雹过程。

2. 在计算地面各物理量时, 设计了倾斜的正交正方形网格, 对风向、风速等要素进行处理, 采用有限元插值法。所计算的物理量:

$$\text{Div} \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} s = \frac{\partial}{\partial x} (us) + \frac{\partial}{\partial y} (vs) \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} T_0 = \frac{\partial}{\partial x} (uT_0) + \frac{\partial}{\partial y} (vT_0) \quad (3)$$

其中, $s = 622 \frac{e}{p - e}$; $e = 6.11 \times 10^{\frac{7.5t_d}{273.3 + t_d}}$

总温度 T_0 为: $T_0 = t + 2.5s + 0.00Z$; $\vec{V}$ 为风矢; Z 为测站海拔高度。其他为常用符号。

3. 为了研究要素场对冰雹产生是否具有超前性问题, 本文首先确定活动网格。图 1 是 1983 年 4 月 1 日冰雹过程, 16 时首先在涟水县开始降雹, 然后自西北向东南方向先后降雹。我们分析各站降雹开始时间的等时线, 以此确定冰雹移向 (如图 1 箭头所指)。取 y 轴和移向近于重合, 但方向相反。原点 o 就取在 16 时首先在涟水县开始降雹的所在位置, 过原点与 y 轴垂直取为 x 轴, 这样就组成直角坐标系 xoy 。过原点沿 y 轴正方向取 2 个格距, 负方向取 4 个格距; 同样过原点沿 x 轴正方向取 1 个格距, 负方向取 3 个格距, 这样就组成 $222 \times 148 \text{ km}^2$ 的

* 该程序包括中文数据库管理系统, 物理量计算和要素输出自动填图格式程序, 每出一张要素图仅需 0.5 分钟左右。该程序由张霆、陈中林、陈茂荣设计。

表 1 进行合成分析的 8 次冰雹过程

冰雹过程日期	开始时间	形势背景	冰雹来向
1982年 6 月 17 日	16时30分	华北低涡	西 北
1982年 6 月 18 日	17时10分	沿海低槽	西 北
1983年 4 月 1 日	16时	沿海低槽	西 北
1983年 4 月 3 日	13时41分	沿海低槽	西到西北
1983年 5 月 20 日	16时43分	暖性切变	西到西北
1984年 5 月 28 日	15时43分	华北低涡	偏 北
1985年 4 月 3 日	13时40分	华北低涡	西 北
1985年 5 月 12 日	15时25分	暖性切变	西 北

活动网格 (1 格距为 37km)。其他 7 次降雹过程按上述同样方法组成活动网格。虽然 8 次过程的降雹时间、地点、移向不同, 但可以获得活动网格中固定格点上的物理量, 并进行平均, 这就便于我们合成分析来研究各物理量与降雹时间的关系。

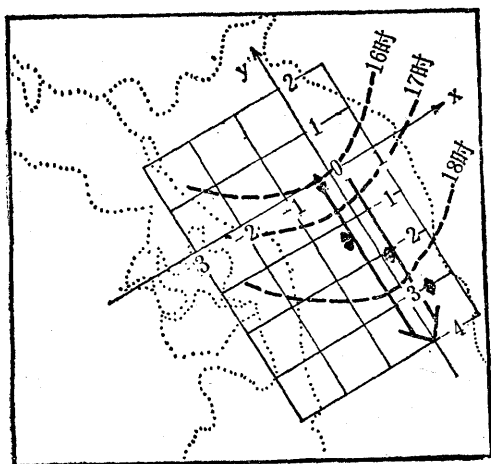


图 1 1983年 4 月 1 日冰雹过程
断线为等时线, 箭头为冰雹移向

我们利用活动网格进行各时次的要素场分析, 发现地面气压、气温、散度、水汽通量散度和能量通量散度在冰雹等强对流发生前 1—3 小时具有明显的超前性征兆。这种超前性特征表现在各要素的强度、位置及分布特点上是不同的。

三、要素场超前特征分析

1. 气压场和温度场

气压场上的扰动和温度场出现的暖舌对冰雹产生要超前两小时, 在降雹前 1—2 小时, 它们均在冰雹开始时间的所在位置附近。并且偏于冰雹的多频区中 (见图 2)。这里我们仍然用活动网格分别统计出各固定网格的冰

雹频次。把大于等于 6 次的区域称为高频区。高频区的走向与冰雹的移向是近于一致的。

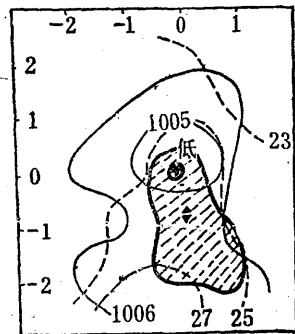


图 2 降雹前 2 小时气压场、温度场合成图
实线为等压线, 断线为等温线 斜断线为 ≥ 6 次冰雹
高频区, $\oplus$ 为原点 (下同)

2. 散度场

散度场的超前性特征主要表现为降雹前存在辐合中心。图 3 表明在降雹前 3 小时就存在辐合中心, 但辐合中心并不在冰雹开始时间的位置上 (即原点, 下同), 而基本位于第一象限距原点 45km 的无雹区中。其中心数值为 $-5.0 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$; 而 -5 (单位略, 下同) 特征线的水平尺度为 40—50km。这个辐合中心具有明显的移动性, 在降雹前 2 小时移到第四象限, 距原点大约 40—50km 的降雹高频区中, 其数值为 -8.3; -5 的特征线的水平尺度为 50km 左右。在降雹前的 1 小时移速又减慢, 水平尺度无大变化, 中心数值为 -8.6。辐合区随时间移动表现出对降雹的超前性是气压场不同的。前者具有移动性, 后者基本在原点附近少动。

3. 水汽通量散度和能量通量散度

图 4 是降雹之前 1—3 小时内水汽通量散度的合成图, 由图可见, 降雹前 3 小时, 在冰雹开始时间的所在位置出现了水汽通量辐合中心, 其数值为 $-56.7 \times 10^{-5} \cdot g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$, -50 的特征线水平尺度为 30—40km, 在降雹前 2 小时, 水汽通量辐合中心已经移到第四象限, 距原点大约 55km 的地方, 位于冰雹的高频区中。其强度加强, 数值为 $-133.4 \times 10^{-5} \cdot g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$; -50 的特征线水平尺度为 74km。在降雹前 1 小时, 水汽通量辐合中心继续移动, 然而仍在第四象限内, 距原点约 85km。它仍然在冰雹的高频区中, 其数值为 $-82.1 \times 10^{-5} \cdot g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$, 而 -50 特征线的水平尺度为

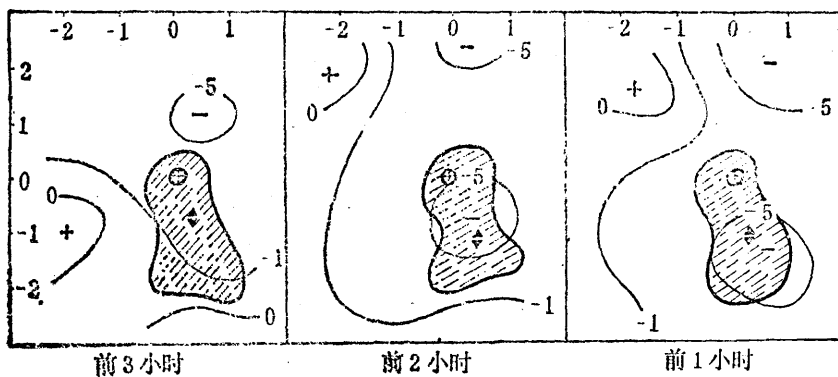


图3 降雹前1—3小时散度场合成图

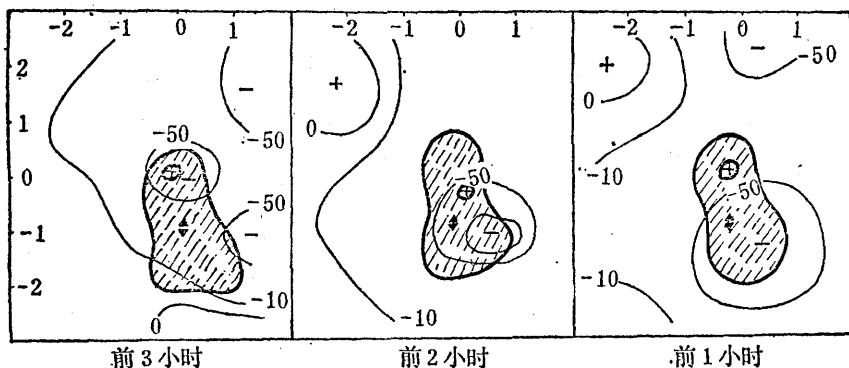


图4 降雹前1—3小时水汽通量散度合成图

90km, 比前两小时大。对照图3和图4就不难发现: 在降雹前3小时水汽通量辐合中心较负散度中心超前, 这与比湿平流贡献有关; 而在降雹前1—2小时水汽通量辐合中心和负散度中心近于重合, 这时散度项起了主要作用。

图5是能量通量散度合成图。在降雹前1—3小时都存在着一个能量的集中区, 其

数值在 $-240.0 \sim -458.7 \times 10^{-5} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内, 其水平尺度和数值越接近降雹的开始时间就越大, 它同样具有移动性, 进入冰雹的高频区中。

陈乾曾指出: 在发展着的对流回波移行的前方出现高能入流, 能量通量辐合和能量平流能预示几小时内强对流回波的发生、发展〔1〕。本文所得的结果是与上述结果是相

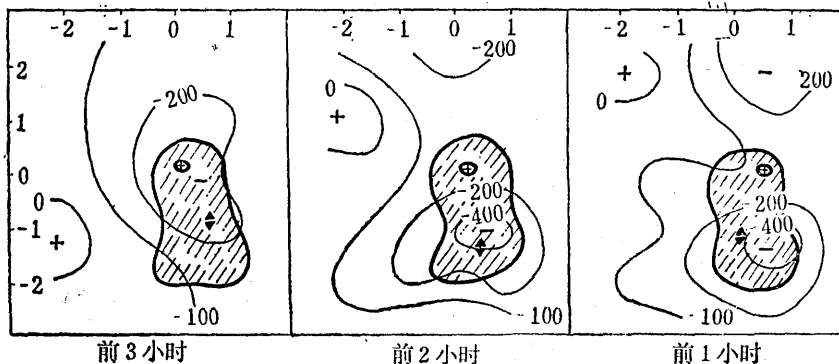


图5 降雹前1—3小时能量通量散度合成图

吻合的。

四、用地面要素场作冰雹发生的 临近预报方程

合成分析结果表明：冰雹产生与地面要素场关系密切，地面要素场能反映中小尺度天气系统的生消变化，而且往往早于冰雹发生的时间，即有一段超前时间。我们可以利用这种超前特点来作1—3小时的冰雹预报。

首先我们确定前一天20时大尺度形势背景，然后分析1980—1986年4—6月份24次冰雹过程的逐时物理量图，从图上选出的5个因子，用这5个因子对126个预报时次建立1—3小时冰雹发生的(0,1)回归方程：

1. 降雹之前3小时预报方程：

$$y_{-3} = 0.26 + 0.18x_1 + 0.17x_2 + 0.22x_3 + 0.15x_4 + 0.24x_5$$

当 $y_{-3} \geq 0.70$ 时预报为1，即3小时后有冰雹产生。当 $y_{-3} < 0.70$ 时预报为0，即无冰雹产生。

2. 降雹之前2小时预报方程：

$$y_{-2} = 0.23 + 0.11x_1 + 0.13x_2 + 0.34x_3 + 0.24x_4 + 0.28x_5$$

当 $y_{-2} \geq 0.85$ 时，预报为1，即2小时后有冰雹产生。当 $y_{-2} < 0.85$ 时，预报为0，即无冰雹产生。

3. 降雹之前1小时预报方程：

$$y_{-1} = 0.14 + 0.17x_1 + 0.22x_2 + 0.33x_3 + 0.25x_4 + 0.26x_5$$

当 $y_{-1} \geq 0.77$ 时预报为1，即1小时后有冰雹产生。当 $y_{-1} < 0.77$ 时预报为0，即无冰雹产生。

上述三个方程各因子含义是 x_1 ：在预报区域中出现气压扰动为1，否则为0； x_2 ：

在预报区域中出现暖中心或暖舌，或有锋区(大于 $8^\circ\text{C}/100\text{km}$)为1，否则为0； x_3 ：在预报区域中有负散度中心存在或散度值 $\leq -5 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ 为1，否则为0； x_4 ：在预报区域中有水汽通量辐合中心存在或水汽通量散度值 $\leq -150 \times 10^{-5} \cdot \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 为1，否则为0； x_5 ：在预报区域中有能量通量散度负值中心存在，其值在 $-160 - 270 \times 10^{-5} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 为1，否则为0。

历史反查结果见表2。

表2 历史反查结果

预报方程	预报正确 (包括排空)	空报	漏报	总次数
y_{-3}	114	8	4	126
y_{-2}	112	10	4	126
y_{-1}	118	6	2	126

由表2可见，冰雹1—3小时预报是比较理想的。接近冰雹发生前1小时预报效果好一些。2小时预报效果和3小时预报效果相差不大。

五、小结

本文用活动网格的合成方法，探讨地面要素场对冰雹的超前性，结果表明：气压场、温度场、散度场、水汽通量散度场和能量通量散度场的系统变化，往往早于冰雹发生时间，是有超前特征的。并根据这超前特征，分别建立冰雹1—3小时预报方程，经反查，预报效果是令人满意的。

在本文完成过程中，得到丁一汇、包澄澜、周曾奎同志的指导和帮助，在此致谢。

参考文献

〔1〕陈乾，试用地面能量场风场预报对流回波的发生和发展，北方天气文集，3，1982。

A composite analysis of surface factors in advanced of hail shooting and the nowcasting of hail

Shen Shuqin

(Meteorological Observatory, Jiangsu Province)

Gu Fengfeng

(Yancheng City Meteorological Observatory)

Abstract

In this paper, some surface factors are physically calculated hour by hour with the surface observations in the east areas of northern Jiangsu Province, and a composite analysis of surface factors is shown. Based on the features of the factors, a discriminant of hail nowcasting is given.