

## 冰雹云气流和温度结构分析

廖远程 李生柏\*

(甘肃省气象局气象科学研究所)

## 提 要

本文通过 1971—1979 年永登防雪试验基地中出现的 140 次雪日,从取得的雷达、探空、地面等气象资料,对雪云内外气流和温度的垂直分布;地面的辐合风场;中空气流结构以及层结状况、负温区厚度、逆温层特征进行分析,并与雷雨云相互对比,试图认识雪云气流和温度的特殊分布,了解它们对冰雪形成生消的影响,寻求防止冰雪的途径。

### 一、地面流场分析

1. 根据 1973 年—1978 年石门岬测站 46 次降雹实况与地面单站风分析表明：雹云过境，地面单站风会发生显著变化，不是转风向，就是风速加大，基本上可分为两大类：一类是降雹前后风向改变，风速增大的地面风约占 71.5%；另一类是降雹前后风向不变，只是风速增大的地面风约占 28.5%。当转风向或风速加大后几分钟到十几分钟，即对应地面降雹。根据统计，87% 的降雹过程，在降雹前均吹东南风，且风速较小，在 4 米/秒以下，低空为东南气流，且气流速度较小，有利于低空热量的积聚，升温变暖或维持暖的；有利于低空水汽输送。

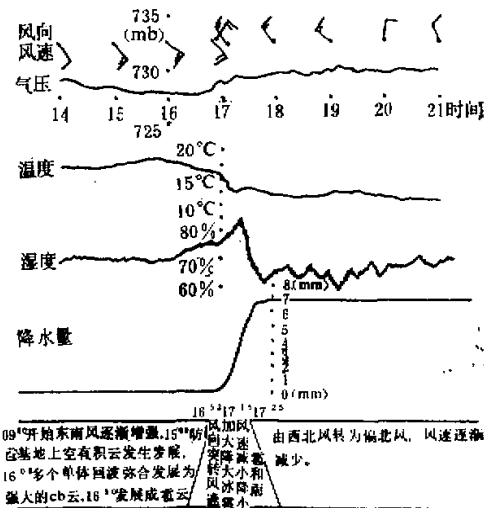


图1 1978年8月10日石门岬单站风与压、温、湿、降水量对应关系

发生急剧的变化,它与气压的跃升、温度的急降、湿度的猛增、降水量的迅速增大,以及地面降雹降雨是一一对应的(参看图1),

1980年3月24日收到修改稿。

\* 杨珍贵、王兴邦、李卓瑞、王维英等同志参加了本文的统计工作。

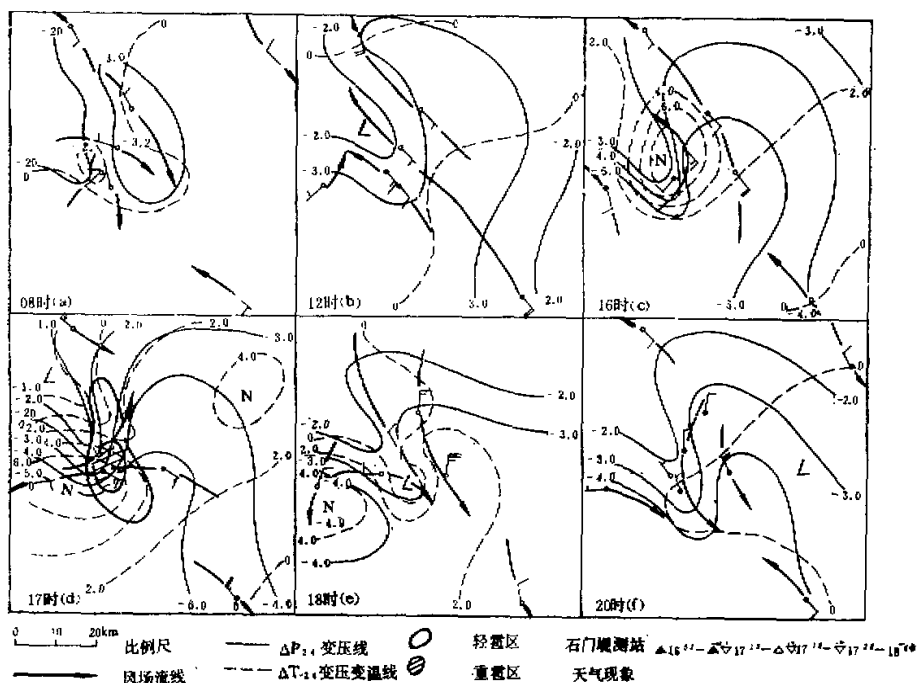


图2 1978年8月10日降雪区中小尺度分析图

2. 中小尺度分析表明：降雪区在降雪前局地是一个辐合风场。例如，1978年8月10日强雪日分析指出：图2(a)降雪区地面吹西北风，被 $-\Delta P_1$ 所占据，并处于冷性状态，此时辐合运动还未产生，(多在9时30分左右形成局地的辐合运动)；图2(b)降雪区风向早已转为东南风，形成辐合区；图2(c)，辐合加强，局地增温也较快，对照实况，正是雷暴单体聚集相接，发展迅猛的时刻。随后，其大冰雹(最大直径为50毫米)就出现在高温中心的右侧，也是风向辐合的地方，见图2(d)，此时辐合仍然维持，降雪持续至17时25分。降雪完了，辐合风场也随之破坏(参看图2(e)、(f)，风向已转为西北风)，这表明低空气流辐合是雹云形成的一个重要因素。

## 二、雹云中气流初探

云中上升气流和下沉气流的存在是形成冰雹的重要因素之一，云中垂直气流的大小与雹云的发展及冰雹的增长速度有着密切的关系，现利用探空曲线近似计算如下：

假设 $W_1$ 为气球对地速度， $W$ 为垂直气流速度(即空气对地速度)， $W_2$ 为相对速度(气球对空气的速度)。

$$\therefore W_1 = W + W_2$$

$$\therefore W = W_1 - W_2 (W_1 \text{ 值可由探空曲线查出})$$

在负水结冰可能性小的强上升气流区， $W_2$ 可类似晴空区情况计算。但实际值应大于

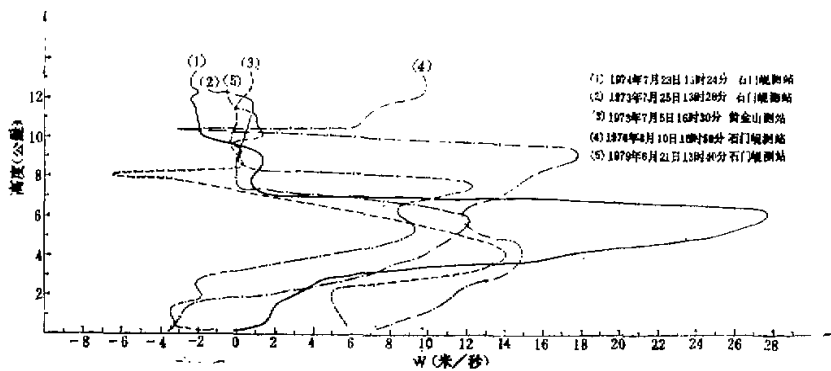


图3 雹云垂直气流随高度变化曲线比较

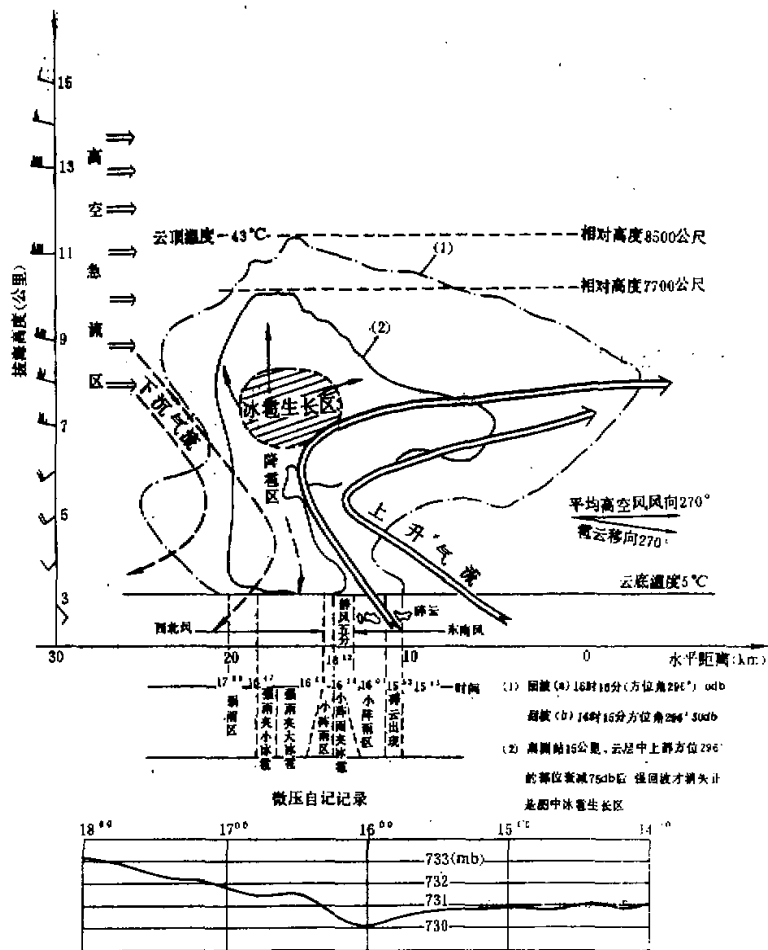


图4 1973年9月4日冰雹云结构示意图

中值。

根据 16 次进入雹云探空资料分析表明:

**1. 雹云中垂直气流分布** 图 3(1)(2)(3) 曲线表明, 雹云中垂直气流速度随高度的分布近似抛物线, 即垂直气流速度随高度的增加而增大, 在雹云中上部达到极大值, 往上垂直气流速度又迅速减小, 出云后有一段持续而微弱的下沉气流。强雹云中的垂直气流速度都超过 12 米/秒, 目前测得最大值为 28 米/秒, 造成重灾或特重灾害。同时也探测到, 云中垂直气流随高度的分布成抛物线, 但有两个峰值, 分别出现在云层中上部和中下部, 峰值愈大冰雹愈强, 峰值愈高, 冰雹愈大。上升气流成抛物线分布的特征, 对云体的发生和维持有密切相关, 它不断输送了大量水汽, 并支撑着云体粒子增长, 导致大水滴积蓄在云层中上部, 造成悬挂回波里的冰雹生长区。

由于气球入云部位不同, 常探测到雹云中有下沉气流。有时测得整层均为起伏式下沉气流, 负极大值多出现在云层中下部。

**2. 强雹云二维结构一例** 根据雹云垂直剖面 and 平面回波及地面实况, 高探空资料综合分析可推测: 上升气流从雹云的移行前方右侧底部进入雹云, 通过雹云主体, 从云层上部移行的前方离开雹云; 下沉气流从雹云后部, 云层中部进入雹云, 又从雹云底部离开雹云。从气流场配合看, 雹云的低层水平风场是向云中辐合的, 雹云顶部上空气流是辐散的。图 4 就是一次个例的结构示意图。

### 三、环境风分析

#### 雹日 09 时空风分析

根据 1971—1978 年永登防雹基地石门岷测站 140 次雹日

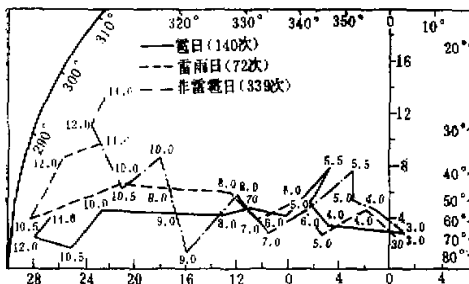


图 5 1971—1978 年永登防雹基地石门岷测站雹日、雷雨日、非雹日 09 时空风分析图

以上风速迅速减小, 风向作顺时针旋转, 24 公里以上为偏东气流。

09 时测风资料分析, 高空风的垂直分布是: 近地层风向为北东北, 风速约 3 米/秒左右; 从 5.5 公里—18 公里均为偏西气流, 3—6 公里有明显的风向切变, 切变的极大值出现在 5—6 公里, 6—12 公里有明显的风速切变, 风速切变的极大值出现在 9—10 公里, 风速最大值在 12 公里高度, 10—14 公里为高空急流区。14 公里

### 四、冰雹云的环境温度

**1. 雹日 09 时温度的垂直分布** 根据 137 次雹日和 85 次雷雨日资料统计分析表明:

地面到 265mb (约为云顶高度) 雹日比雷雨日的温度偏低, 尤其突出的表现在 450—

300mb 之间, 最大值出现在 300mb 左右, 可达  $2.6^{\circ}\text{C}$ , 强雹云平均可达  $3.5^{\circ}\text{C}$ , 最大可达  $5.0^{\circ}\text{C}$ ; 而高空 200—80mb 雹日温度显著偏高, 最大差值出现在 100mb, 为  $1.9^{\circ}\text{C}$ ; 260—200mb 层雹日与雷雨日温度分布及递减率都相同。

— $20^{\circ}\text{C}$ — $-32^{\circ}\text{C}$  层其各层离地高度统计表明(表 1): 雹日比雷雨日低 21mb, 就其雹日来说, 随着雹日强度的增强, 各主要温度层离地高度也是逐步降低的, 强雹日的各主要温度层处于最低处。进一步表明: 高空有强降温, 使云中自然成冰区大为增加, 有利于冰雹的形成。

表 1 各主要温度层所对应的海拔高度

| 高度 (mb) / 类别 \ 层次 | — $20^{\circ}\text{C}$ 层 | — $25^{\circ}\text{C}$ 层 | — $30^{\circ}\text{C}$ 层 | — $32^{\circ}\text{C}$ 层 |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 强雹云海拔高度           | 405                      | 366                      | 332                      | 317                      |
| 中等雹云海拔高度          | 400                      | 359                      | 325                      | 312                      |
| 弱雹云海拔高度           | 402                      | 357                      | 323                      | 307                      |
| 雷雨云海拔高度           | 384                      | 344                      | 309                      | 297                      |

**2. 雷雨云、雹云顶高和所对应温度** 对 38 块雷雨云和 67 块雹云回波与 09 时探空对照分析指出(雷达经过标定):

(1) 逐月雷雨云、雹云回波顶高和温度对比。

雹云回波顶高所对应温度比雷雨云要低  $2-6^{\circ}\text{C}$ , 6 月份最为显著, 雹云偏低  $6.1^{\circ}\text{C}$ , 雹云强回波顶高所对应温度比雷雨云要低  $10^{\circ}-16^{\circ}\text{C}$ , 7 月份最为显著, 雹云偏低  $16.3^{\circ}\text{C}$ 。

随着月份的增加(6—8 月), 雷雨云回波顶高是增加的, 由 7270 公尺, 增到 7910 公尺; 而雹云回波顶高是下降的, 由 8630 公尺降到 8120 公尺。但雹云和雷雨云强回波顶高是增加的, 雹云由 6270 公尺增到 6890 公尺, 雷雨云由 4990 公尺增到 5660 公尺。这说明 7—8 月份雹云回波顶高度虽然没有 6 月份那么高, 但强回波顶高度比 6 月份显著增高, 对应地面实况, 7—8 月份降雹强度比 6 月份要强的多。而雷雨云降水量也比 6 月份大得多。进一步研究表明, 强回波顶高和对应的温度是区分降雹、降水强度较好的指标。

(2) 雷雨云和不同强度雹云云顶温度对比。

雷雨云与弱雹云的回波顶高均为 7500 公尺, 强回波顶高为 5300 公尺左右, 其对应温度分别为  $-37.0^{\circ}\text{C}$ ,  $-23.0^{\circ}\text{C}$  左右, 并无显著差别, 基本上是一致的。但随着雹云的增强, 回波顶高和强回波顶高以及其所对应的温度有明显差异, 如表 2 所示, 中等雹云回波顶高 8480 公尺, 对应温度  $-42.6^{\circ}\text{C}$ ; 强回波顶高 6440 公尺, 对应温度为  $-32.8^{\circ}\text{C}$ ; 强雹云回波顶高 9140 公尺, 对应温度  $-45.6^{\circ}\text{C}$ ; 强回波顶高 7700 公尺, 对应温度为  $-38.8^{\circ}\text{C}$ 。这说明云顶对应温度具有指示雹云强弱的意义。

**3. 负温区厚度** 根据 67 次冰雹云回波顶高平均相对高度为 8390 公尺(雷达站海拔 2480 公尺),  $0^{\circ}\text{C}$  层海拔高度为 4530 公尺(比雷雨云  $0^{\circ}\text{C}$  层高度偏低 130 公尺),  $0^{\circ}\text{C}$  层以上的负温区厚度为 6340 公尺, 随着雹云的增强, 负温区也愈厚, 强雹云负温区厚度可达 7050 公尺。强回波负温区厚度, 随着雹云强度的不同, 更有明显的差异, 弱雹云强回波

表 2 雷雨云和不同强度雹云云顶温度对照

|      | 回 波 顶 高 |              |                                  | 强 回 波 顶 高 |              |                                  |
|------|---------|--------------|----------------------------------|-----------|--------------|----------------------------------|
|      | 次 数     | 平均高度<br>(mb) | 所在高度<br>温度( $^{\circ}\text{C}$ ) | 次数        | 平均高度<br>(mb) | 所在高度<br>温度( $^{\circ}\text{C}$ ) |
| 雷雨云  | 38      | 266          | -37.4 $^{\circ}\text{C}$         | 34        | 367          | -22.3 $^{\circ}\text{C}$         |
| 弱雹云  | 22      | 267          | -38.0 $^{\circ}\text{C}$         | 20        | 364          | -24.7 $^{\circ}\text{C}$         |
| 中等雹云 | 22      | 234          | -42.6 $^{\circ}\text{C}$         | 21        | 308          | -32.8 $^{\circ}\text{C}$         |
| 强雹云  | 23      | 211          | -45.6 $^{\circ}\text{C}$         | 23        | 262          | -38.8 $^{\circ}\text{C}$         |

负温区厚度 3300 公尺,中等雹云为 4460 公尺,而强雹云可达 5600 公尺。根据 38 次雷雨云回波顶高平均相对高度为 7570 公尺,雷雨云的负温区厚度为 5390 公尺,强回波负温区厚度为 3120 公尺。分析表明:负温区愈厚,则冰雹愈强;雷雨云和雹云在强回波负温区厚度上有明显的差异,雹云要厚 1400 公尺左右,强雹云要厚 2500 公尺。

4. 云顶与云顶附近逆温层的关系 对 136 次雹日和 74 次雷雨日的逆温层分析表明(参见图 6):雷雨云和弱雹云的雷达回波顶高可进入云顶附近的逆温层,但平均不会突

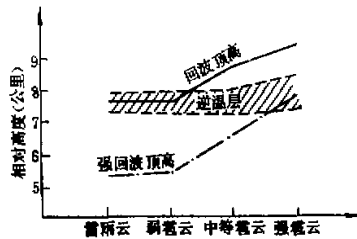


图 6 逆温层与回波顶高对照

破逆温层;而中等强度雹云和强雹云,由于上升气流强烈,云体远比雷雨云和弱雹云大,其回波顶高则可突破逆温层 600—800 公尺,强雹云的强回波顶可进入逆温层中。

雷雨云云顶逆温层中间层所在温度为  $-36.5^{\circ}\text{C}$ ,而雹云为  $-38.8^{\circ}\text{C}$ ,雹云比雷雨云温度低  $2.3^{\circ}\text{C}$ 。