

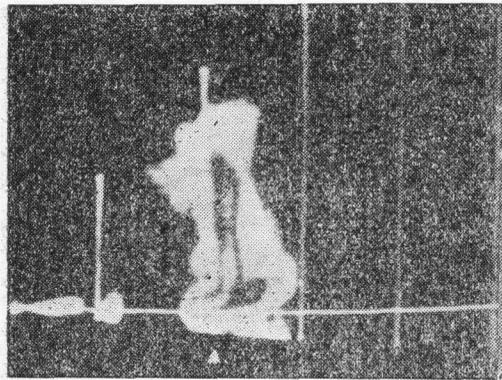
双连四胚雹块的分析*

王鹏飞 郑国光 李子华 施文全

(南京气象学院)

(新疆气象局科研所)

绝大多数雹块只有一个胚胎,很少有多个胚胎同时包含在一个雹块中。徐家骝等人(1965)^[1]和 L. N. Rogers(1971)^[2]曾分别收集到双胚雹块,并作过切片分析。他们都把



双胚雹块认为是由两个大小相当的冰球粘连而形成的,但他们没有对此作肯定的解释。我们于1982年7月16日在新疆昭苏地区一次降雹过程中意外地收集到一个双连四胚雹块,当天晚上对此雹块作了切片,并分别在垂直偏振光和透射光下照相。本文将对此雹块切片的微结构特征进行分析,推断它在雹云中的生长情况。关于这次冰雹产生的雹云结构,可参考雷达RHI回波图(图1)。这是一块弱单体冰雹云,产生于高空冷涡的东南象限,在东移过程中逐渐加强并产生降雹。这块雹云云体的柱状结构很明显,表明高空风切变不太强,双连四胚雹块降落在强回波区的前部。可以推知,该双连四胚雹块是在气团雹

图1 1982年7月16日16时07分昭苏雷达RHI回波照片。回波分层分别代表10、20、30、40 db。水平距离每格代表20 km,高度每格代表2 km。“△”表示82716双连四胚雹块落地部位。(雷达站海拔高度1725 m)

云中形成的。

1. 82716双连四胚雹块微结构特征及其解释

冰雹是在一定条件下于冰雹云中形成的,雹块生长的环境决定了它的晶体、气泡等内部结构特征。R. List^[3], C. A. knight, W. C. Macklin^[4]等人对人造冰雹的切片分析表明,随着雹块生长环境温度的降低,雹块中有晶体尺度变小,气泡数密度变大和气泡尺度变小之势,增加环境含水量将使雹块中气泡数密度减小而尺度增大。图2是在垂直偏振光下对82716双连四胚雹块切片照相并分析雹块晶体结构而作出的结构分区图。可以看到,该雹块有四个非常明显的胚胎 A_1, A_2, B_1 和 B_2 ,其中 A_1 与 A_2 相连(称双连胚A)、 B_1 与 B_2 相连(称双连胚B),对称地分布在雹块中部,A、B两个双连胚的形状均近似为椭圆形,长轴分别为5.6 mm和5.0 mm,短轴分别为3.0 mm和2.4 mm。在A和B之间有尺度稍大的冰晶层C伸入。A和B这两个双连胚被许多小晶体组成的 D_1 层所包围。最外层

* 本文于1983年5月13日收到,1984年6月23日收到修改稿。

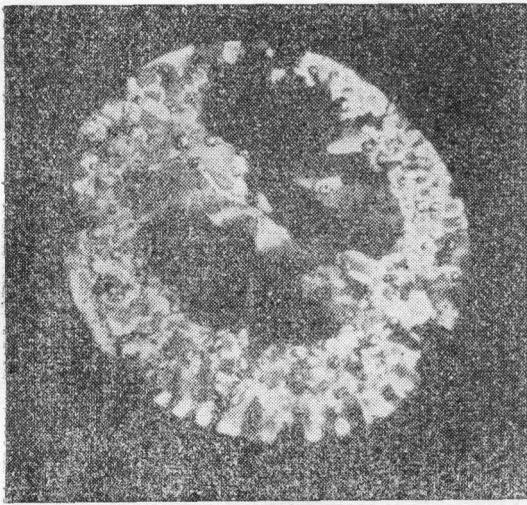


图 2a 82716 双连四胚雹块切片的垂直偏振光照片

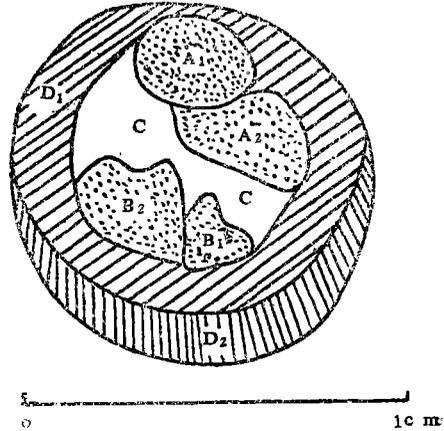


图 2b 82716 双连四胚雹块根据(a)晶体结构划分的生长区图

是 D_2 层, 晶体尺度比 D_1 层的要大些。表 1 是在读数显微镜下读出的该雹块切片各层的微结构参数, 其中对双连雹胚 A 和 B 都按结构不同, 分别分成 A_1, A_2 和 B_1, B_2 两部份来分析。

表 1 82716 双连四胚雹块的微结构参数

微结构参数	胚 胎				C 层	D_1 层	D_2 层
	双 连 胚 A		双 连 胚 B				
	A_1	A_2	B_1	B_2			
平均晶体长度 (mm)	3.23	3.66	2.09	3.32	1.28	0.23	0.41
最大晶体宽度 (mm)	2.18	2.44	1.92	2.44	0.59	0.13	0.28
平均气泡直径 (μm)	81.7	83.7	73.9	76.4	66.8	58.0	57.8
气泡数密度 (cm^{-3})	3.92×10^5	3.58×10^5	3.33×10^5	3.23×10^5	4.4×10^5	5.2×10^5	5.0×10^5

1) 分析晶体结构中获得的启发

由表 1 可以看出, 双连雹胚 A 与 B 中的平均晶体长度及最大晶体宽度, 都远比 C 层中的晶体为大, 但 D_1 及 D_2 层中晶体的长宽度又比 C 层中的晶体小。由 W. C. Macklin 等人(1976)^[4]所给的图(图 3)可知, 冰晶平均长度在 3 mm 以上的, 形成时的环境温度约在 $0 \sim -15^\circ\text{C}$ 之间, 形成之冰晶较为透明; 冰晶平均长度在 0.5—2 mm 左右的, 形成时的环境温度约在 $-15 \sim -25^\circ\text{C}$ 之间, 形成之冰晶为半透明的; 冰晶平均长度在 0.5 mm 以下的, 形成时的环境温度约在 -25°C 以下。由此可得雹块形成时环境温度的几点启发:

(1) 双连胚 A 与 B 均在环境温度为 $0 \sim -15^\circ\text{C}$ 之间形成; C 层在环境温度 $-15 \sim -25^\circ\text{C}$ 之间形成; 而 D_1 及 D_2 层则在低于 -25°C 的环境温度下形成。

(2) 双连胚 A 及 B 中, A_2 形成的环境温度高于 A_1 , B_2 形成的环境温度高于 B_1 。

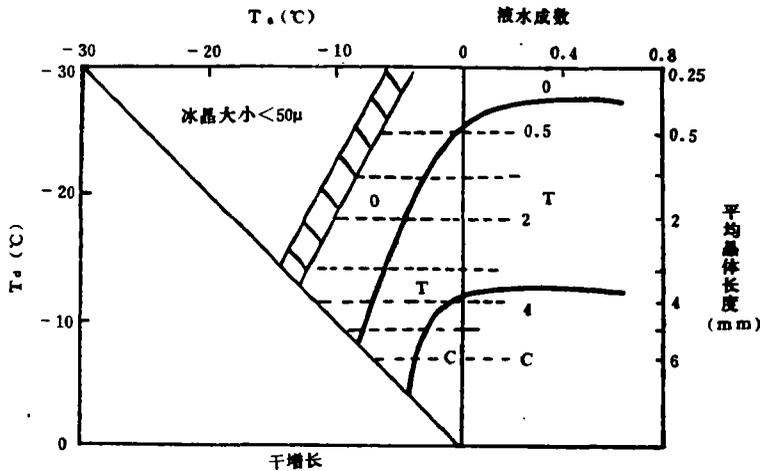


图 3 在干湿增长时,环境温度(T_e)、雹面温度(T_s)与雹层透明度及平均晶体长度、液水成数的关系。(O 不透明 T 半透明 C 透明)(Macklin 等, 1976)^[43](图中 T_e, T_s 互换)

(3) D_2 层中冰晶形成的环境温度高于 D_1 层。

(4) 由于在一般情况下,高度愈高,环境温度愈低,故 A_2 和 B_2 形成的高度最低, A_1 与 B_1 的形成高度较高,但这四个雹胚均形成于环境温度为 -15°C 层以下的高度上。 C 层形成的高度高于 A 及 B , 即形成于环境温度为 -15 — -25°C 之间的气层中。 D_1 层形成的高度比 C 层更高, D_2 层形成的高度比 D_1 层稍低,但 D_1 及 D_2 层均形成于环境温度为 -25°C 的气层以上。

(5) 按照雹块增大必自内向外的顺序,故 A 与 B 两双连雹胚必先形成,然后形成 C 层,再后依次形成 D_1 层及 D_2 层。

(6) 雹块增长时,必由先形成的高度向后形成的高度移动,故雹块先在低层(环境温度为 -15°C 层以下)形成双连雹胚 A 及 B 中的 A_2 及 B_2 , 然后上升并形成 A_1 及 B_1 ; 此后再上升到环境温度为 -15 — -25°C 之气层中,形成 C 层,夹在 A 与 B 之间。接着再上升到低于 -25°C 的环境温度高度上,形成了 D_1 层及 D_2 层。但在形成 D_2 层时,由于所需的环境温度比 D_1 层的环境温度要高,因此雹块有向下降落之势。

(7) 雹块在顺序形成 A_2, B_2, A_1, B_1, C 层及 D_1 层的生长过程中,是不断上升的。雹块在形成 D_1 层时,其位置距地最高,此时其重量已增大到大于上升气流所能支托的重量,所以在形成 D_2 层的过程中,雹块已能克服上升气流而下降。

2) 分析气泡结构中获得的启发

由表 1 中可以看出,此雹块中各层的气泡直径由大而小的顺序是双连胚 A, B, C 层和 D 层。一般说来,云中过冷水滴是高度愈高则愈小,又因高度愈高,温度愈低,所以碰冻增大时,高度愈高,冻结愈快,会造成气泡直径愈小的现象。由此亦可得雹块中形成 A, B 的高度低于形成 C 层的高度,形成 C 层的高度又低于形成 D 层的高度的结论。一般地,形成的气泡直径愈小,则其数密度就愈大。从表 1 中看,各雹层气泡数密度是双连胚 A 和 B 最少, C 层次之, D 层又次之,这也是符合规律的。

再分析双连雹胚 A 与 B 的气泡差异可以看出, A_2 中的气泡直径大于 A_1 , 气泡数密度小于 A_1 ; B_2 中的气泡直径大于 B_1 , 气泡数密度小于 B_1 。由此可知, A_2 的形成温度必高于 A_1 , 形成高度必低于 A_1 ; 而 B_2 的形成温度必高于 B_1 , 形成高度必低于 B_1 。

但是 D_2 的气泡数密度虽小于 D_1 , 与 D_2 高度低于 D_1 相符, 而 D_2 的气泡直径反小于 D_1 , 这似乎不可解。我们试比较其直径之差异, 可以看出仅差千分之三, 这可能与测量气泡直径时有一定误差有关。

我们对这个双连四胚雹块的气泡谱作进一步的分析, 得图 4。可以看出, 气泡众数直径由大而小的次序, 大体是 A, B, D, C 。但因 C 层中气泡有一定的大直径值, 因此, 平均

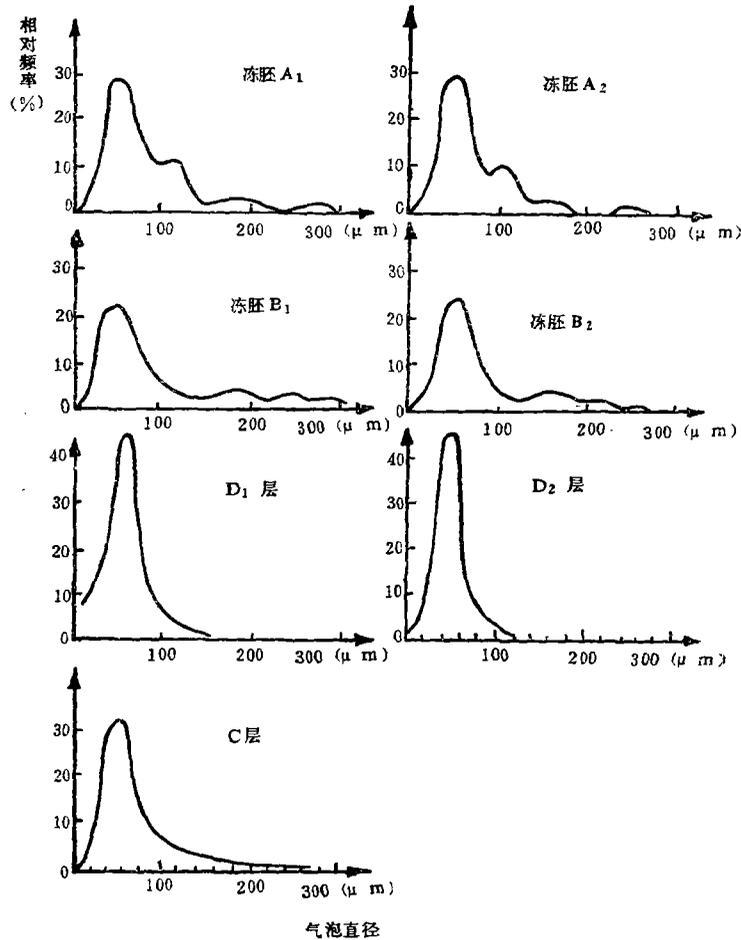


图 4 82716 双连四胚雹块各层气泡谱分布

气泡直径在表 1 中反而 C 层大于 D 层了。

再分析 A_1, B_1, A_2, B_2 这四个雹胚的气泡谱, 可以看出两点:

- (1) 这四个胚内气泡谱都呈多峰型, 不象 C 层及 D 层的气泡谱均为单峰型;
- (2) 这四个胚内气泡谱 A_1 与 A_2 相似, B_1 与 B_2 相似。

多峰型气泡谱是雹胚形成时本身受乱流较大影响且自身作不规则翻动中形成的, 因

而在形成 A 及 B 时,必然存在较强乱流且雹块本身在作不规则翻动。

A_1 与 A_2 的气泡谱相似, B_1 与 B_2 的气泡谱相似,这说明 A_1 与 A_2 是作整体运动的, B_1 与 B_2 也是作为另一整体运动的(见图 2)。 A_1 与 A_2 连在一起, B_1 与 B_2 连在一起,各成为一个双连雹胚。这样,由气泡谱所得结果,基本上与图 2 是相符合的。

比较双连胚 A 与 B 的气泡谱间的不同点,其中最突出的是, A 的两个气泡谱,在稍大于 $100 \mu\text{m}$ 的直径处有一个明显的次峰,这个明显的次峰,在 B 的两个气泡谱中均不存在。因此,双连胚 A 比双连胚 B 受到的乱流扰动更大。

2. 对 82716 双连四胚雹块生长的结论

根据上述分析,我们对这个双连四胚雹块的形成可以有粗略的认识。但问题是,这两个双连胚是如何形成的? 又它们是如何合并在同一雹块之中的? 这两点还未弄清楚。估计有如下的过程,即在高于 -15°C 的环境温度区,在较低高度上出现了两个过冷却水滴,它们在上升时冻结成 A_2 和 B_2 两个雹胚。在较此稍高的高度上,另有两个过冷却水滴,它们也是在上升时冻结成 A_1 和 B_1 两个雹胚。在这四个雹胚冻结时,由于是在环境温度为较小的负温度区,那里云中水滴较大,而且水分的过冷却程度较小,所以冻结时释放的潜热也就较大,使冻胚外出现了未冻的液水水皮。在 A_2, B_2 及 A_1, B_1 的形成区,由多峰型气泡谱所表征的乱流很强,所以有可能出现 A_2, B_2 上升速度大于 A_1, B_1 的现象。于是 A_2 就赶上去与 A_1 撞碰, B_2 就赶上去与 B_1 撞碰,撞碰时必然要激动胚外水皮,使它起到把两个雹胚冻连的作用。这样 A_2 就与 A_1 结成为一个双连胚, B_2 与 B_1 也结成为另一个双连胚,从而形成了两个双连雹胚。

为要形成双连四胚雹块,这两个双连雹胚还必须相互结合,而由图 2 的雹切片结构

看,它们呈 $\begin{pmatrix} A_1-A_2 \\ C \\ B_2-B_1 \end{pmatrix}$ 形,因此简单的两块双连胚碰连而成 $\begin{pmatrix} A_2-A_1 \\ C \\ B_2-B_1 \end{pmatrix}$ 是不行的。 A_2-A_1

这个双连胚还需要翻一个身成为 A_1-A_2 然后再与 B_2-B_1 结合才行。由于双连胚 A 的气泡谱所表征的乱流扰动大于双连胚 B ,这就使双连胚 A 的翻身成为可能,这样 A 与 B 两个双连胚相结合的形势,就能与图 2 雹切片的结构相符合了。

根据上述过程形成了双连四胚雹核后,由于 C 层形成的高度较高,形成时的温度较低,故其中的冰晶长度、最大冰晶宽度及气泡直径都小于这四个雹胚,但气泡数密度则较大。这个伴有 C 层的双连四胚体再上升到达环境温度为 -25°C 以下的云体中上部,就有 D_1 层附于其外, D_1 层中冰晶长度、最大冰晶宽度及气泡直径又小于 C 层,而气泡数密度则大于 C 层,在 D_1 层附于四个雹胚之外时,上升气流已基本为雹块的重量所平衡,此雹块再行增大,则雹块的重量就应能克服上升气流的支托,而使雹块下落。因此,在雹块外 D_1 层形成时,此雹块的位置已达其运动轨迹中最高位置,此后雹块一边增大,一边下降,其环境温度有所增高,从而形成了 D_2 层。由于 D_2 层位于 D_1 层之下,所以其冰晶长度、最大冰晶宽度及气泡直径就大于 D_1 层,而气泡数密度则小于 D_1 层。

参 考 文 献

- [1] 徐家骝, 黄孟容, 刘钟灵, 段兆吉, 甘肃岷县地区 1964 年 6—7 月两次冰雹雹谱、雹切片的分析, 气象学报, 35, 第 2 期, 1965。
- [2] Rogers, L. N., Two unusual hailstones, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 52, 10, 1971.
- [3] List, R., W. A. Murray and C. Dyck, Air bubbles in hailstones, *J. Atmos. Sci.*, 29, 916—920, 1972.
- [4] Macklin, W. C., J. N. Carras, and P. J. Rye, The interpretation of the crystalline and air bubble structures of hailstones, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 102, 25—44, 1976.

中 国 在 南 极 建 立 气 象 站

中国南极考察队于 1984 年 12 月 26 日到达西南极南设特兰群岛乔治岛海域, 开始建立南极科学考察站——长城站, 并开展综合性科学考察。1985 年 2 月 14 日在南极乔治岛上正式建成中国第一个南极气象站。该站的地理位置在 $62^{\circ}12'59''\text{S}$, $58^{\circ}57'52''\text{W}$, 海拔高度为 9.5 米。我南极气象站从 1985 年 1 月 1 日起, 每天进行三次 (00Z, 12Z 和 18Z) 地面定时观测, 观测项目有温度、湿度、气压、风向、风速、蒸发量、降水量、能见度、云量、云状、辐射和地温等要素, 还采集了降水和冰雪样品进行分析。该站还利用国产的自动测风经纬仪(跟踪灌有氦气的气球)探测高空风, 用小型计算机自动记录和计算各高度层风的资料; 使用改装的 APT 卫星云图接收设备, 接收美国 NOAA-9 和 NOAA-6 两颗卫星的云图资料; 用一套无线短波接收系统收集南极地区、南美洲和南大洋地区的气象资料(天气图传真图和天气报告资料), 结合本站观测的天气变化情况, 探索南极半岛地区风云变幻的规律, 同时还开展了长城站的天气预报保障工作。

目前, 中国南极长城站气象站已经收集到第一批南极气象资料。这些资料, 国家气象局气象科学研究所南极气象研究室正在整理分析。根据中国国家南极考察委员会的南极科学考察研究工作的规划, 长城站气象站还要不断地充实完善, 它将成为我国南极气象科学考察的一个重要基地。

世界气象组织已于今年 3 月 11 日正式通知中国常任代表邹竞蒙, 授予该气象站的国际台站代号为“89058”, 并将上述情况函告世界气象组织各成员国。3 月 23 日长城站气象站通过智利南极弗雷气象中心转圣地亚哥, 再经阿根廷布宜诺斯艾利斯向全球电传通信系统(GTS)发送地面观测资料。这样, 我南极站气象资料可以传输到世界气象通信网中, 作为国际气象资料交换使用。