

圆锥形雹块微结构的分析研究*

李子华 施文全**

(南京气象学院)(新疆气象研究所)

冰雹微结构的研究是冰雹微物理研究的基础,它对成雹机制的研究、冰雹数值模拟以及人工抑制冰雹等都具有一定的价值。利斯特(List)^[1]、麦克林(Macklin)^[2]、雷伊(Rye)、列维(Levi)等对冰雹的晶体和气泡结构进行了许多实验研究。徐家骥^[3]、施文全^[4]、李子华^[5,7]等对我国雹块的微结构也作过许多分析。但以上工作多研究球形雹块,对圆锥形雹块的系统分析工作尚不多见。

1982年6—7月,我们在新疆昭苏地区进行了冰雹的多点连续取样,用固定位置的漏斗取样器连续取样,用装有漏斗取样器的汽车流动取样。取样器与冷藏罐直接相连,降雹时经过雨雹分离后的冰雹样品可以直接进入冷藏罐^[6]。两个月内全区一共有30天降雹,降雹时间一般是在13时至22时。样品取得后,于当晚进行切片照相。总共获得雹块10586个,对其中包含22块雹云的1013块冰雹做了切片,并进行了透射光和偏振光照相。

根据切片资料的统计分析,新疆昭苏地区冰雹的形状有圆锥形、圆球形、椭球形和不规则形,其中以圆锥形雹块最多,约占59%。圆锥形雹块除了它的外形如锥外,通过其锥顶和锥底中心的雹块切片的明显特征是,锥顶部分为冰雹胚胎,沿着生长方向向锥底延伸,是大晶体层与小晶体层交替组成的生长层(见图6)。这说明圆锥形雹块的碰并生长主要发生在锥的底部。出现这种情况的条件是,冰雹云中垂直气流比较稳定,气流扰动比较弱。只有这样,才能维持冰雹垂直升降的稳定方向,而不至产生翻滚现象。本文将着重分析圆锥形雹块的微结构特征,包括雹块尺度、胚胎、分层结构及其冰晶和气泡分布。

1. 雹块尺度

雹块的大小是描述降雹强度的重要参数之一。对圆锥形冰雹,一般可用锥高来表示冰雹的大小。图1给出了新疆昭苏地区圆锥形雹块锥高的频率分布。由图可见,圆锥形雹块一般比较小,5—10毫米间的雹块约占70%;峰值在6—7毫米之间,随着尺度加大,所占比例很快下降。

圆锥高度与锥底直径之比值 n 也是一个重要的动力学参数。表1是根据233块圆锥形冰雹测算出来的 n 值。由表可见, n 变动于0.9—1.6之间,最多的(占73%) n 值为1.1—1.3。由 n 值可以换算出锥角。圆锥形雹块的锥角变动于 35° — 58° 之间,最多的为 42° — 49° 。

* 本文于1983年12月20日收到,1984年7月3日收到修改稿。

** 参加本文部分工作的有郑国光、张利军、张春良等同志。

表 1 圆锥形雹块的 n 值分布

n 值	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	雹块总数
%	7	13	25	28	20	5	2	0	233 个

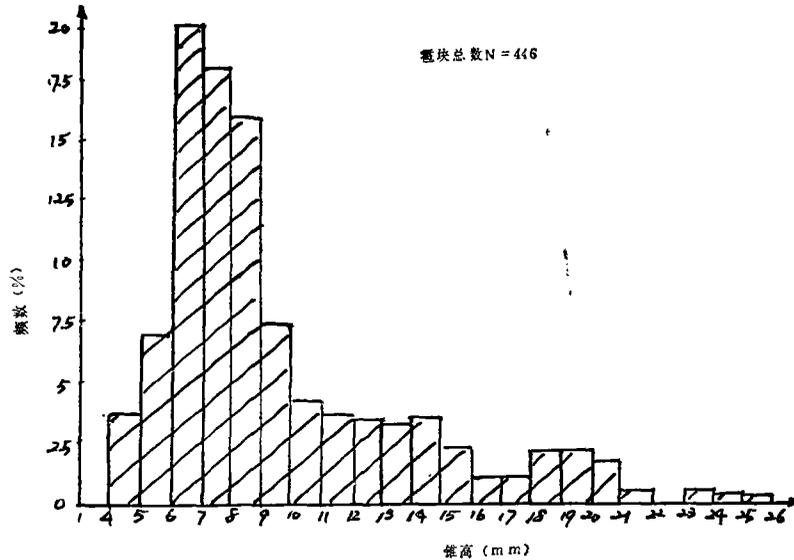


图 1 圆锥形雹块锥高的频率分布

2. 冰雹胚胎

圆锥形冰雹胚胎的形状可分为圆锥形、圆球形或椭球形以及不定形。如图 2 所示,圆锥形雹胚最多,约占 87%,其它形状的雹胚很少,合起来不超过 13%。这说明雹块的形状与雹胚的形状密切相关,圆锥形雹块主要是在圆锥形雹胚的底部逐渐生长而成的。

圆锥形冰雹的胚胎按其性质分类,主要可分为冻胚和霰胚两类,还有很少一部分难以确定。冻胚由大水滴冻结而成,一般它是比较透明的。冻胚内晶体尺度较大(冰晶长度 $L \geq 1$ 毫米),气泡少而大。霰胚由小冰晶和过冷水滴凝并而成,一般它是不透明的。霰胚内晶体尺度较小(冰晶长度 $L < 1$ 毫米),气泡多而小。图 3 是各类雹胚所占的比例。由图可见,圆锥形冰雹的胚胎以冻胚为多,约占 52%;霰胚少一些,约占 39%;还有一些不易确定其性质的,约占 9%。胚胎性质与雹块大小有一定关系,雹块尺度小于和等于 10 毫米时,冻胚占多数;大于 10 毫米时,霰胚占多数。

分析雹胚的谱分布对研究胚胎起源和成雹机制等问题都是有益的。图 4 是根据体积等效球直径 D (即与圆锥形雹胚体积相等的等效球形雹块的直径)作出的两类胚胎尺度的频率分布。由图可见,冻胚谱和霰胚谱谱形相似。它们的峰值直径差别不大,冻胚在 2.1—4.0 毫米之间,霰胚在 2.1—3.0 毫米的范围内。随着雹胚尺度增大或减小,两类胚胎所占比例都很快下降。两类雹胚的体积等效球直径大多数都小于 5 毫米,大于 5 毫米

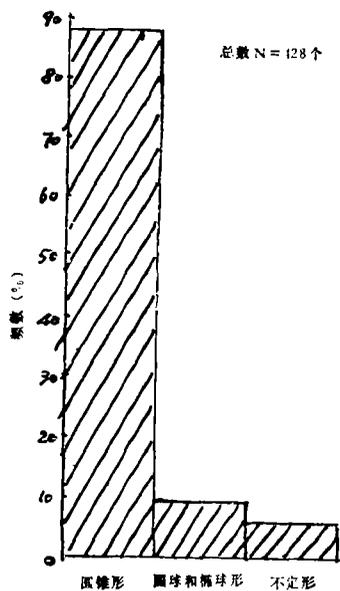


图 2 各种形状雹胚的频率分布

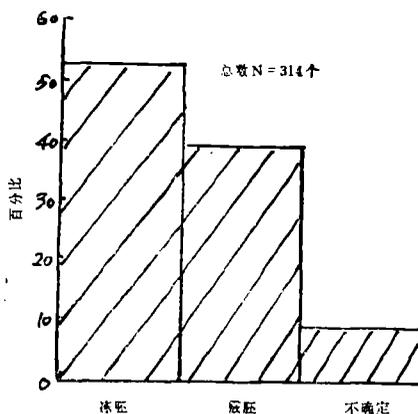


图 3 各类雹胚的百分比

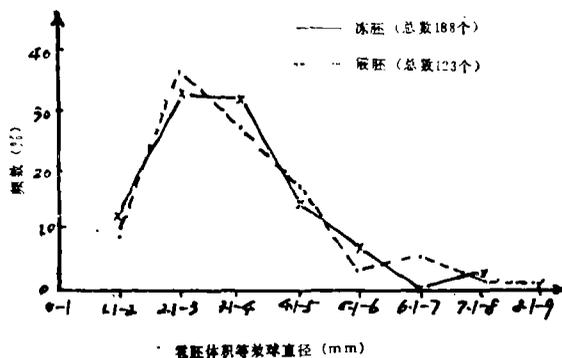


图 4 雹胚尺度的频率分布

的都不超过 12%。雹胚等效球直径最大为 9 毫米,冻胚等效球直径最大为 8 毫米。

3. 层次结构

生长层的变化反映了冰雹在生长过程中经历了不同的环境。研究雹块的分层结构对于分析冰雹在空中的历程具有一定的意义。分层的标准有两种：一种是按透明程度的好坏来分层,这与气泡结构有关；另一种是根据冰晶的大小和方向发生明显变化来分层,这与冰晶结构有关。后一种分层办法比较合理,因为它能本质地反映生长的特点。图 5 是按冰晶结构确定的冰雹层数分布图。由图可见,50%的圆锥形雹块具有一个生长层次,但也有 50%的雹块具有两层以上的多层次结构,这一特点反映了圆锥形雹块可以在含水量和垂直气流有起伏的环境中增长。图 6 列出了 4 张不同层数的照片,其中 d 图的冰雹,除锥顶部的胚胎外,包含了 6 个晶体层次,这表明它经历了多次升降增长过程。

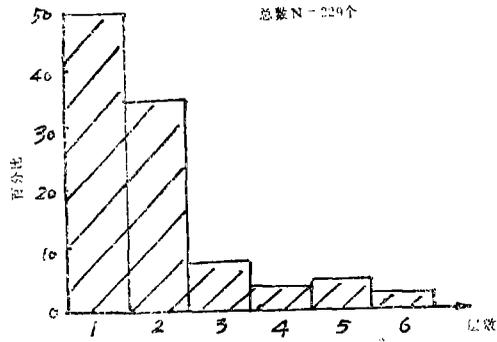


图 5 圆锥形冰雹的冰晶层次分布

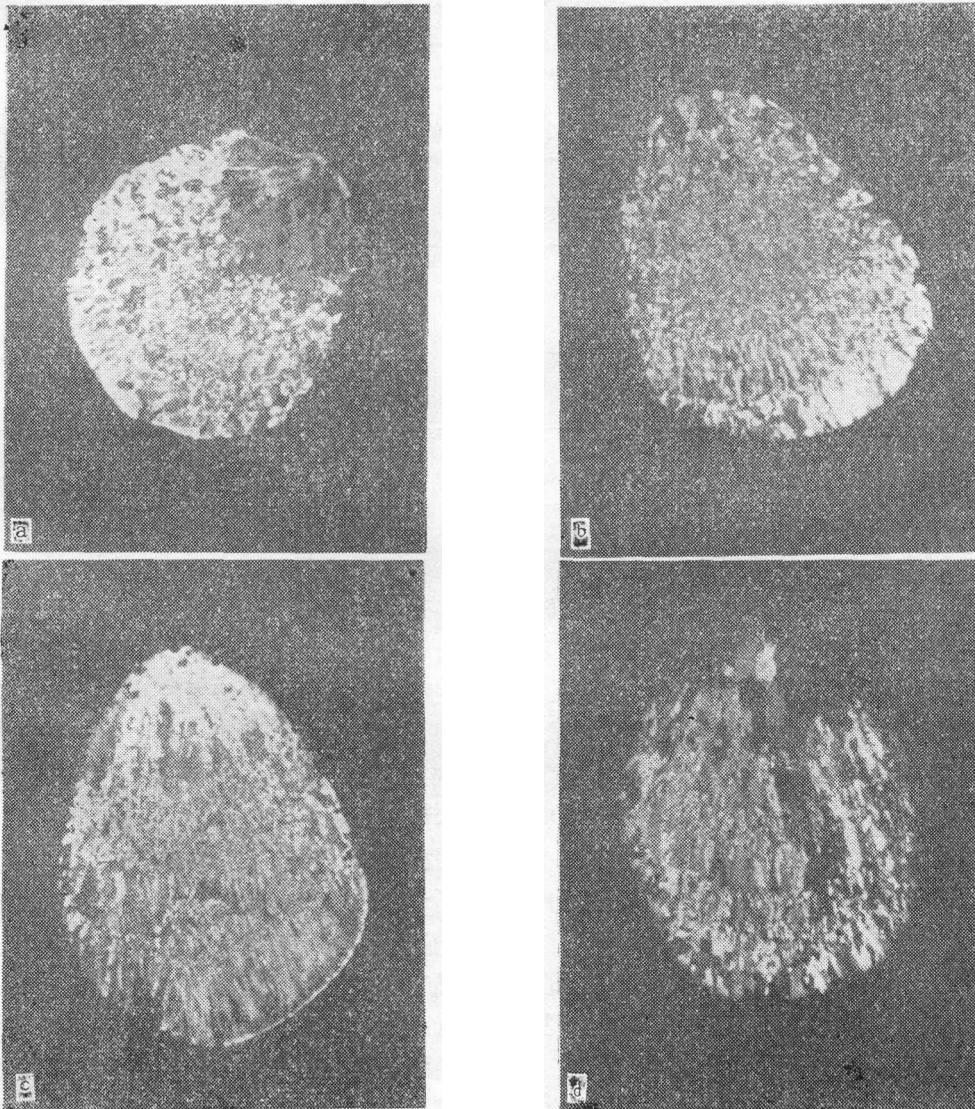


图 6 1982 年 7 月 19 日 15 时 37—40 分降落的圆锥形雹块的偏振光照片
a) 1 层; b) 2 层; c) 3 层; d) 6 层。

4. 晶体结构

根据偏振光照片,可以分析雹块的冰晶结构。晶体尺度是用读数放大镜测量的,精确度可达 0.1 毫米。圆锥形雹块的晶体层常可分为两类:大晶体层——晶体长度 1.0—2.9 毫米,长宽比一般大于 3;小晶体层——晶体长度 0.2—0.9 毫米,长宽比一般小于 3,同时取向混乱。晶体长度主要受生长环境温度影响,由麦克林的实验结果^[2,7]可以得出,大晶体层主要生长于-14—-22°C 的环境之中,小晶体层则生长于-22—-30°C 范围之内。雹块内大、小晶体层的总厚度如表 2 所示。由表可见,无论雹块有几个冰晶层次,不管雹胚是冻胚还是霰胚,在沿锥高的增长方向上,总是大晶体层的总厚度大于小晶体层的总厚度。这说明圆锥形冰雹主要是在-14—-22°C 的环境中生长的。由表 2 还可以看出,圆锥形冰雹最后一个生长层(即锥底部最外面的一个生长层)绝大多数为大晶体层,约占总数的 79%,而且大晶体层晶体多呈长条状,沿增长方向伸展,气泡大,数密度小,透明程度好。这表明圆锥形雹块最后多在温度较高、含水量较大的环境中结束它的增长历程。

表 2 大小晶体层的总厚度

冰晶层次	雹胚性质	雹胚厚度 (毫米)	大晶体层 总厚度 (毫米)	小晶体层 总厚度 (毫米)	雹块平均 总厚度 (毫米)	最后生长层 为大晶体层 的个数	最后生长层 为小晶体层 的个数	样品数
1	冻胚	3.5	5.5	3.7	8.2	16	12	28
	霰胚	4.4	6.1	6.0	10.5	27	1	28
	平均(合计)	4.0	5.9	3.9	9.4	(43)	(13)	(56)
2	冻胚	3.0	3.4	2.6	9.0	40	9	49
	霰胚	3.8	5.2	2.1	11.1	14	2	16
多层	冻胚	2.6	3.7	3.3	9.6	6	3	9
	霰胚	3.8	5.3	2.6	11.7	7	2	9
2层以上	平均(合计)	3.2	4.0	2.6	9.8	(67)	(16)	(83)

5. 气泡分布

由于雹块的气泡分布与雹块尺度、云滴大小、环境温度和雹面温度等因子有关,因而研究雹块的气泡分布对推算冰雹生长的环境温度和表面温度是有帮助的。对冰雹切片的透射光照片,我们用读数显微镜测算了 39 个透明层和 28 个不透明层的气泡大小和数密度。图 7 是不同的气泡面密度 σ 出现的频率分布图。由图可见,透明层中的气泡面密度分布比较集中,面密度范围为 500~3500 个/厘米²,而且随着面密度加大,频数迅速减少;对不透明层,面密度范围较大,从 1500 个/厘米²到 15500 个/厘米²,峰值约为 2500 个/厘米²。平均起来,透明层的气泡面密度约为 1319 个/厘米²,不透明层为 4489 个/厘米²。可见,透明层的气泡面密度明显小于不透明层,它们之间的分界线大体为 2500 个/厘米²。图 8 为不同的平均气泡面直径 \bar{d} 出现的频率分布。图中表明,透明层中气泡尺度分布范围大,从十几微米到 150 微米,峰值出现在 40—50 微米,平均 59 微米;对不透明层,气泡尺度范围窄,20—90 微米,峰值出现在 60—70 微米,平均 54 微米。可见,并非所有透明层中的气泡都比不透明层的大,它们之间没有明显的分界线,只是透明层中气泡谱宽一些,平均尺度大一些。这种情况与长江下游地区的超单体雹云下落的雹块有些类似,不同

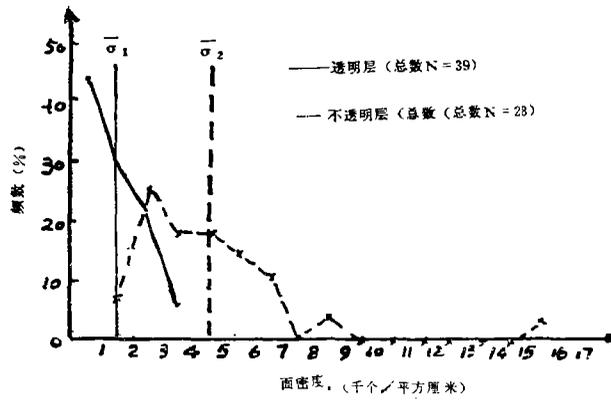


图 7 透明层和不透明层中气泡面密度的频率分布

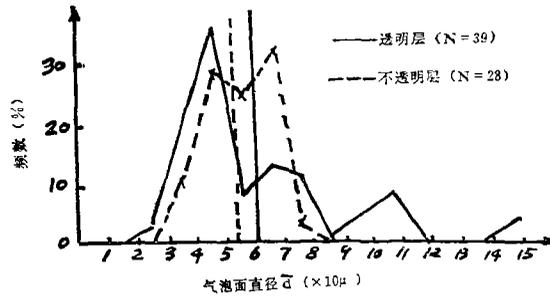


图 8 透明层与不透明层中气泡面直径的频率分布

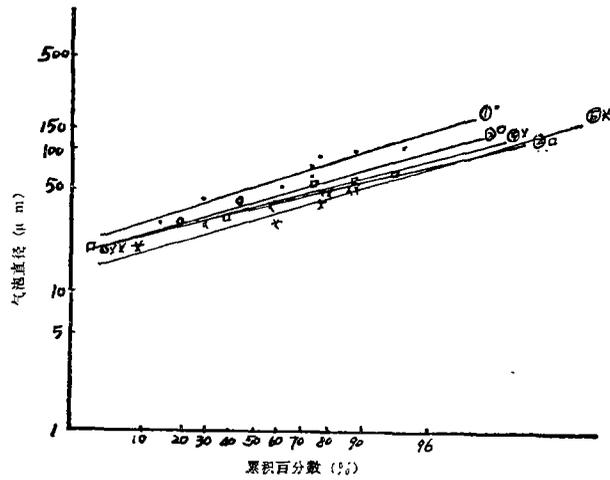


图 9 32—6 号圆锥形雹块气泡个数的累积百分数随面直径的变化

的是,后者气泡尺度偏大,气泡面密度要小得多^[6]。

圆锥形雹块同圆球形雹块一样,各层次的气泡谱服从正态分布。如图 9 所示,无论是不透明层(1,2,3 生长层)还是透明层(4,5 生长层),在正态分布检定图上的点子大体都在直线上,而且直线的斜率基本相同,说明气泡直径分布满足对数-正态分布。

参 考 文 献

- [1] List, R. W. A. Murray and C. Dyck, Air bubbles in hailstones, *J Atmos. Sci.*, **29**, 916-920, 1972.
- [2] Macklin, W. C., The characteristics of natural hailstones and their interpretation, *Meteorological Monographs*, Vol. 16, No. 38, 65-88, 1977.
- [3] 徐家骥,冰雹微物理及成雹机制,1-30,农业出版社,1979。
- [4] 施文全、王昂生,冰雹微结构的分析研究,《气象学报》,41,1,1983。
- [5] 李子华、宋乃会等,长江下游地区一次超单体降雹的切片分析,《南京气象学院学报》,1984,1。
- [6] 施文全、李子华、郑国光,昭苏雹谱的时空分布,《南京气象学院学报》,1984,2。
- [7] 李子华、宋乃会、周文贤,由“5.1”雹块微结构推论其生长条件,《南京气象学院学报》,1984,2。