

# 满城冰雹微结构的观测研究\*

王雨曾 陈越华

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

## 提 要

根据河北满城 1986—1990 年 4000 多个冰雹样品和 843 个冰雹切片的观测资料,对冰雹微结构特征(即冰雹胚胎、层次、冰晶和气泡)进行了统计分析,并推论出冰雹生长(即环境温度和海拔高度)的情况。

**关键词:** 冰雹, 微结构, 观测资料。

## 1 前 言

了解冰雹的微结构特征,弄清冰雹在云中是怎样形成的,对于抑制冰雹的形成,减少冰雹的危害是十分重要的。

1986—1990 年我们在河北满城及其周围地区的 8 次降雹过程中,采用照相与测雹板方法取得了冰雹尺度谱资料,并搜集了 4000 多个冰雹样品,对其中的 843 个冰雹进行切片、融化观测。在环境温度为 $-4$ — $-10^{\circ}\text{C}$ ,冷台温度为 $-12$ — $-25^{\circ}\text{C}$ 条件下,先采用热线切割法对 205 个冰雹切下 0.5—1.0mm 的雹片<sup>[1]</sup>,然后用(医用手术)刀切割变薄到 0.3 mm 左右厚的薄雹片,最后用照相法获得了反射光、透射光和偏振光照片;在环境温度 $5^{\circ}\text{C}$ 左右的条件下,采用先切割后融化法观测了 638 个冰雹,得到了冰雹的层次分布和胚胎类型资料。

## 2 冰雹尺度与形状

### 2.1 冰雹尺度

冰雹尺度谱是冰雹微结构的重要特征之一,也是人工防雹工作中人们十分关心的重要问题。

表 1 列出了满城地区 1986—1990 年搜集的冰雹(样品)大小分布,直径大于 1cm 的占 47.7%,大于 1.5cm 的占 25.3%,大于 2cm 的占 7.1%。

### 2.2 冰雹形状

据观测,满城冰雹有圆形、椭圆形、锥形、馒头形、长条形等各种各样的形状。除圆形、椭圆形和锥形外,本文将其它形状冰雹都归入不规则形。表 2 列出了满城各种形状冰雹的百分比,从表 2 可以看出,满城圆形冰雹占 62%以上,这种冰雹形状的分布,随时间而变。

\* 1992 年 8 月 15 日收到原稿,1993 年 3 月 17 日收到修改稿。

另外与其它地区的观测结果相比,也不尽相同,例如,新疆昭苏冰雹四种形状的百分比为 23:11:59:6;加拿大为 10:49:21:19。

表 1 满城地区冰雹大小分布表

冰雹直径 $D(\text{mm})$	$3 \leq D \leq 10$	$10 < D \leq 15$	$15 < D \leq 20$	$D > 20$	$D_{\max}(\text{mm})$	总 数
数 量(个)	1930	826	672	264	36	3692
百分比(%)	52.3	22.4	18.2	7.1		100

表 2 满城地区冰雹形状百分比

形 状	圆球形	椭球形	锥 形	不规则形	样品总数(3692 个)
百分比(%)	62.2	28.2	6.4	3.2	100

### 3 冰雹胚胎

从冰雹切片中可辨认冰雹有一个核心,有人认为这个核心就是冰雹胚胎<sup>[2]</sup>,也有人认为这个核心与冰雹的第一生长层为雹胚<sup>[3]</sup>。本文按前者看法对雹胚进行测量与分析。

#### 3.1 按物理性质的冰雹胚胎分类

按冰雹胚胎的物理性质,冰雹胚胎可分为三类“霰粒胚、冻滴胚、其它胚(不易辨认,但发现有植物、昆虫残余、小石块、黄土作核心),见图 1b,d,f,h,图 2 及图 3。

表 3 是从三次降雹(即 1987. 6. 29,1990. 5. 25,1990. 9. 13)的雹块中随机取 205 个冰雹切片,按物理性质分类统计的结果。从中看出,雹胚较小时,霰粒胚占优势,雹胚较大时,冻滴胚占优势,如雹胚直径小于 2mm,霰胚占 83.3%,冻胚只占 16.7%;直径小于 3mm 时,霰胚占 52.4%,冻胚占 39%;当雹胚直径在  $3\text{mm} < D < 8\text{mm}$  时,霰胚占 28.8%,而冻胚占 56%。在 85 个霰粒胚中,直径大于 3mm 的只占 37.6%;在 96 个冻滴胚中,64.6%雹胚直径大于 3mm。在 205 个冰雹胚胎中,霰胚(41.5%)与冻胚(46.8%)共占 88.3%,而由一些泥土、植物残余构成的胚胎只占 11.7%。

从 1990 年 7 次降雹过程中随机取样 638 个冰雹在环境温度  $5^{\circ}\text{C}$  左右的条件下进行切割、破碎和融化观测,表 4 为其统计结果。除 1990 年 9 月 13 日降雹外,其余各次降雹,冻滴胚占优势(见表 4)。

从表 3 与表 4 看出,在 843(205+638)个冰雹胚胎中,冻滴胚占大多数(62.4%),霰胚占 33.2%,其它类只占 4.4%。

#### 3.2 按冰雹胚胎形状的分类

表 5 为从 205 个冰雹切片资料得到的结果,可以看出,满城四种冰雹胚胎形状中,圆形、椭圆形胚胎约占 80%。直径小于或等于 3mm 的较小雹胚中,以圆形为主,占 47.9%,椭圆形的占 27.7%,锥形占 16%;而直径大于 3mm 的较大雹胚中,以椭圆形的最多,占 43.2%。如前所述,满城冰雹样品中,圆形冰雹占 62.2%,椭圆形占 28.2%。经统计计算,满城雹块形状与雹胚形状密切相关,其相关系数为  $r=0.9355$ 。

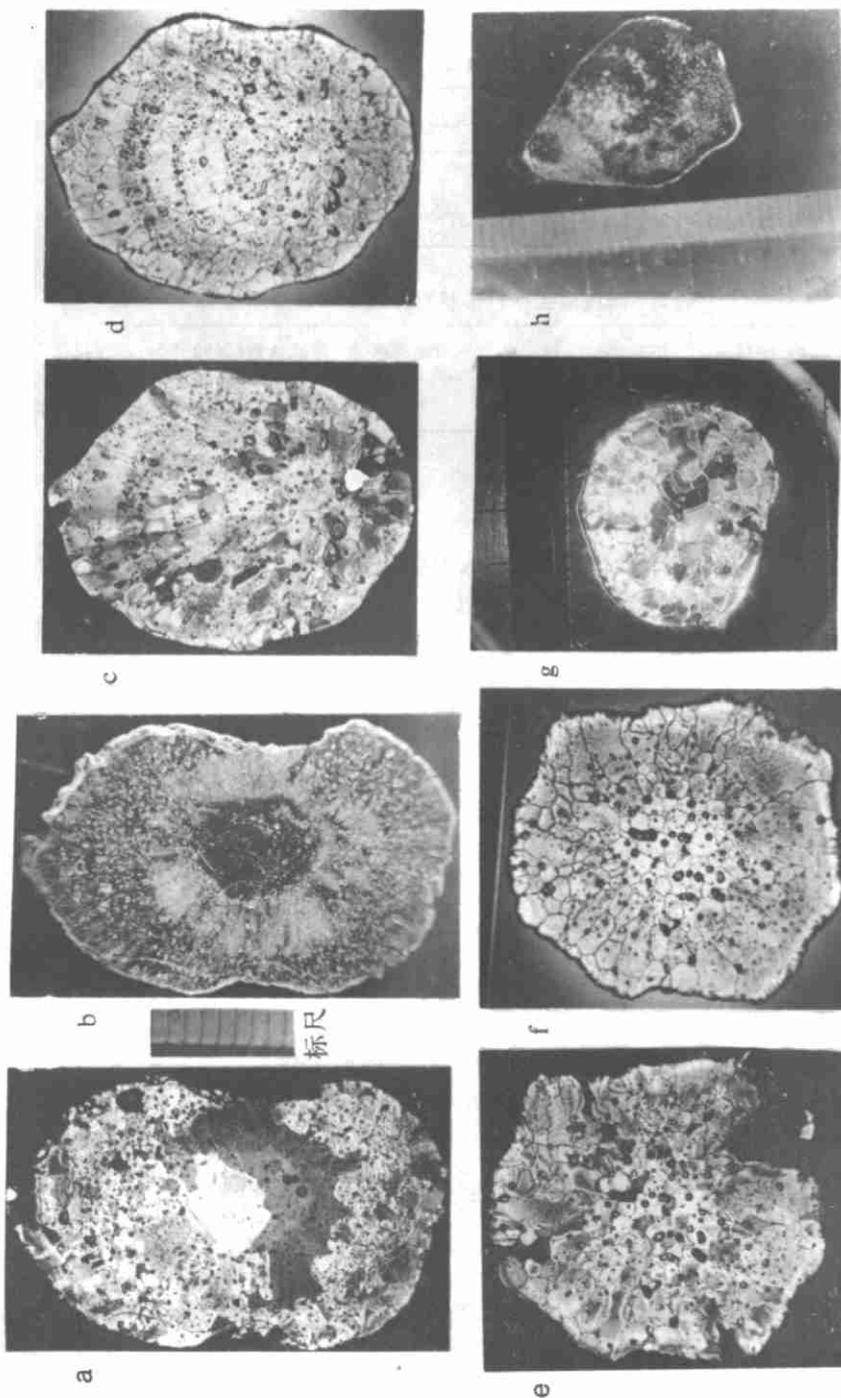


图 1 葱切片照片

(a. 正交偏振片间葱切片, 主长轴: 2.7cm, 短轴: 1.45cm, 片厚: 0.3mm, 晶体峰值尺度: 1.3mm; b. 反射光下的葱切片, 冻滴胚(椭圆形)直径  $d = 6.1\text{mm}$ ;  
 c. 正交偏振片间葱切片, 主长轴: 1.95cm, 短轴: 1.5cm, 片厚: 0.3mm, 晶体峰值尺度: 1.6mm; d. 透射光下的葱切片, 葱粒胚(圆形), 直径  $d = 2.3\text{mm}$ ;  
 e. 正交偏振片间葱切片, 圆形葱块, 直径  $d = 1.74\text{cm}$ , 晶体峰值尺度: 1.5mm; f. 透射光下的葱切片, 冻滴胚(椭圆形), 直径  $d = 6\text{mm}$ ; 片厚: 0.3mm;  
 g. 正交偏振片间葱切片, 馒头形葱块主长轴: 2.15cm, 晶体峰值尺度: 1.5mm; h. 锥型葱块切片(反射光), 锥长 2.2cm, 冻滴胚(椭圆形), 胚直径  $d = 1\text{mm}$ )

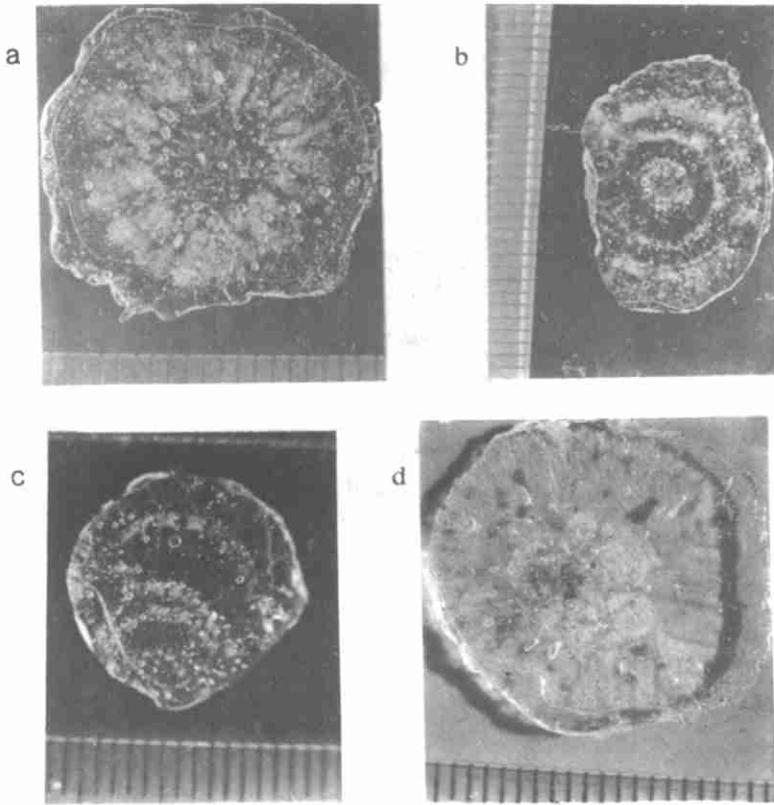


图2 雹切片照片

(a. 圆形雹块(反射光), 3层, 雹块直径 1.88cm, 冻滴胚  $d=6\text{mm}$ , 气泡密度  $3.2 \times 10^6$  个  $\text{cm}^{-3}$ ;  
 b. 椭圆形雹块(反射光), 6层, 主轴长 2.0cm, 霰粒胚  $d=4\text{mm}$ , 气泡密度  $1.4 \times 10^6$  个  $\text{cm}^{-3}$ ;  
 c. 锥形雹块(反射光), 9层, 锥长 1.48cm, 冻滴胚; d. 椭圆形雹块(反射光), 主长轴 2.2cm, 杂质胚(不定形), 胚长: 3.5mm)

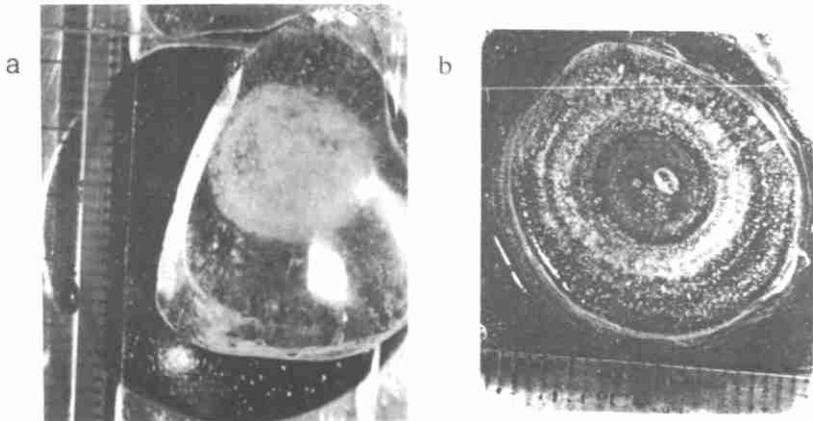


图3 雹切片照片

(a. 反射光椭圆形雹块切片, 3层, 长轴 3.6cm, 短轴 2.1cm, 霰粒胚; b. 自然光下的雹块切片, 7层, 冻滴胚(椭圆形))

表 3 满城冰雹胚胎按物理性质分类统计表

直径 $D$ (mm)	霰粒胚				冻滴胚				其它(杂质)				合计 (个数)
	个数	平均 直径	百分比 纵比	百分比 横比	个数	平均 直径	百分比 纵比	百分比 横比	个数	平均 直径	百分比 纵比	百分比 横比	
$1.0 \leq D \leq 2.0$	10	1.74	11.8%	83.3%	2	1.70	2.1%	16.7%	0	0	0	0	12
$2.0 < D \leq 3.0$	43	2.69	50.6%	52.4%	32	2.86	33.3%	39.0%	7	2.6	29.2%	8.6%	82
$3.0 < D \leq 4.0$	13	3.76	15.3%	28.3%	23	3.72	24.0%	50.0%	10	3.4	41.7%	21.7%	46
$4.0 < D \leq 5.0$	15	4.67	17.6%	46.9%	12	4.83	12.5%	37.5%	5	4.5	20.8%	15.6	32
$5.0 < D \leq 6.0$	0	0	0	0	14	5.85	14.6%	87.5%	2	6.0	8.3%	12.5%	16
$6.0 < D \leq 8.0$	4	7.25	4.7%	23.5%	13	7.00	13.5%	76.5%	0	0	0	0	17
平均直径		3.31				4.28				3.61			
合计(个数)	85				96				24				205
相对频率		41.5%				46.8%				11.7%			

表 4 满城各类冰雹胚胎统计表

项 目	1	2	3	4*	5	合 计	
样品个数	215	177	160	86	205	843	
冻胚	个 数	155	128	113	34	96	526
	百分比	72.1%	72.3%	70.6%	39.5%	46.8%	62.4%
霰胚	个 数	60	49	39	47	85	280
	百分比	27.9%	27.7%	24.4%	54.8%	41.5%	33.2%
其它	个 数	0	0	8	5	24	37
	百分比	0	0	5.0%	5.7%	11.7%	4.4%

\* 取样地点: 河北易县(1990.9.13)

表 5 满城冰雹胚胎按形状分类统计表

直径 $D$ (mm)	圆 形		椭 圆 形			锥 形			不 规 则 形			合 计	
	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比	
$1.0 \leq D \leq 2.0$	9	9.9% 75%	3	4.1% 25.0%	0		0		12	5.9%			
$2.0 < D \leq 3.0$	36	39.6% 43.9%	23	31.1% 28.0%	15	55.6% 18.3%	8	61.5% 9.8%	82	40.0%			
$3.0 < D \leq 4.0$	19	20.9% 41.3%	20	27.0% 43.5%	2	7.4% 4.3%	5	38.5% 10.9%	46	22.4%			
$4.0 < D \leq 5.0$	14	15.3% 43.8%	10	13.5% 31.2%	8	29.6% 25.0%	0		32	15.6%			
$5.0 < D \leq 6.0$	6	6.6% 37.5%	8	10.8% 50.0%	2	7.4% 12.5%	0		16	7.8%			
$6.0 < D \leq 8.0$	7	7.7% 41.2%	10	13.5% 58.8%	0				17	8.3%			
合 计	91		74		27		13		205				
百分比		44.4%		36.1%		13.2%		6.3%					

### 3.3 雹胚的谱分布

通过各类雹胚尺度的统计发现,霰胚、冻胚以及其它类雹胚尺度与雹块一样,具有不同大小。统计满城 205 个雹切片资料得到,雹胚尺度的峰值区都在  $2\text{mm} < D < 3\text{mm}$ ,谱宽 7mm,最大雹胚尺度为 7.5mm。霰胚尺度多数偏少,直径在  $1\text{mm} \leq D \leq 3\text{mm}$  的占 62.4%;冻胚尺度多数偏大,小于等于 3mm 的只占 35.4%。

雹胚谱的宽窄反映雹胚形成高度的变化范围,满城雹胚大小多集中在一定范围(即

3mm <  $D$  < 10mm), 表明雹块形成高度不太复杂。

## 4 晶体结构

Levi 等<sup>[4-6]</sup>在风洞中研究晶体取向和单个晶体大小的实验表明, 晶体生长主要靠小水滴在缓慢旋转的柱体上的撞冻。当气温高于 $-20^{\circ}\text{C}$ 时出现大晶体, 低于此温度时, 出现中、小晶体。由晶体大小可以粗略地肯定, 撞冻过程发生在暖于还是冷于 $-20^{\circ}\text{C}$ 的大气环境中。

### 4.1 晶体大小的测量

本文采用精度达 $2.5\mu$ 的读数放大镜测量晶体的长度。从每层次中随机选取10个以上晶体, 测量出每个晶体的最大长度, 然后取平均, 其平均值就定为这个层次的晶体的平均长度 $L$ 。

在满城冰雹切片的样品中, 雹胚晶体平均长度为1.3—3.3mm; 生长层的晶体平均长度为1.08—2.24mm, 雹块晶体最大长度为6mm(见图1a, c, e, g)。

### 4.2 按晶体长度分类

根据满城雹块薄切片的偏振片照片, 把晶体长度分为三类, 即 $L \geq 2\text{mm}$ 为大晶体,  $L < 1\text{mm}$ 为小晶体, 在 $2\text{mm} > L > 1\text{mm}$ 间称为中晶体。

经随意抽样(7个薄切片照片)资料统计, 雹块中大晶体占41.2%, 中晶体占46.9%, 小晶体占11.9%。

### 4.3 冰雹生长的环境温度

按照麦克林实验曲线<sup>[3,7,8]</sup>, 晶体大小依赖于生长的环境温度。

根据满城7个薄切片资料分析, 满城地区冰雹生长的环境温度比较高。大部分晶体(即 $L \geq 1\text{mm}$ ), 在 $-7$ — $21^{\circ}\text{C}$ 湿生长环境中生长, 相应的平均生长高度在海拔高度4800—6700m; 小晶体在 $-22$ — $26^{\circ}\text{C}$ 于生长环境中生长, 相应的平均生长高度为海拔高度6700—7300m。

### 4.4 晶体的形状与排列

在观测研究正交偏振片间雹块薄切片照片时发现, 满城薄切片上的晶体形状各种各样, 有长条形、圆形、椭圆形、锥形和各种不规则形状(见图1)。

较大尺度的晶体(如图1a, c, e)沿径向排列成辐射状, 冰晶缝隙清楚可见, 其中还有大气泡存在。

中小晶体多呈圆形、椭圆形和不规则形, 它们与长条形的大晶体取向不一样, 有径向延伸, 也有随机取向伸长, 这些特征见图1e, g。

## 5 气泡分布

雹块中的气泡分布与环境温度、冰雹尺度、云滴大小等因子有关。研究雹块的气泡特征与分布可估算雹块生长的环境温度和表面温度<sup>[9]</sup>。

### 5.1 气泡大小与数密度

用读数放大镜对16个雹块的薄切片上的气泡大小和数密度进行了测算, 78个透明层与不透明层上的气泡数密度范围为: $4.0 \times 10^4$ — $2.2 \times 10^7$ 个/ $\text{cm}^3$ , 面密度范围为: 630—

66000 个/cm<sup>3</sup>。

气泡尺度的峰值出现在 24—60μ 间,最大尺度范围在 80—252μ(见表 6),气泡最大尺度可达 700μ 左右,见图 2a,d。

表 6 16 个雹块薄切片中气泡特征表

雹块尺度(mm)	18.8	16.0	26.3	26.0	19.0	26.0	17.8	20.8	14.8	20.0	18.0	18.0	16.0	16.0	21.5	23.0
形状	圆形	圆形	圆形	椭圆	圆形	椭圆	椭圆	椭圆	锥形	圆形	椭圆	锥形	圆形	圆形	椭圆	圆形
层数	3	3	7	4	3	4	4	6	9	6	6	3	6	4	5	5
气泡峰值直径(μ)	50	60	60	24	50	36	48	45	60	60	60	60	60	60	60	60
气泡最大直径(μ)	210	114	228	80	200	162	180	144	252	150	210	192	192	224	216	228
气泡数密度(10 <sup>6</sup> 个 cm <sup>-3</sup> )	3.2	21	22	0.04	2.1	2.5	2.1	2.7	1.8	2.4	1.4	2.5	1.8	3.1	2	1.6
雹胚性质	冻滴	霰粒	霰粒	冻滴	其它	霰粒	霰粒	霰粒	冻滴	霰粒	霰粒	冻滴	霰粒	冻滴	冻滴	冻滴
雹胚平均直径(mm)	6.0	2.0	3.2	12.0	3.5	3.0	2.5	2.2	2.3	4.8	4.0	3.0	2.5	2.5	2.6	4.7

### 5.2 气泡的形状

从图 2 看出,气泡形状有圆形、椭圆形和不规则形。小气泡多呈圆形,大气泡多为椭圆形,在较大气泡内常发现少量白色的不透明的冰粒。

### 5.3 气泡谱分布

图 4 给出各类雹胚气泡谱分布,从该图知道,霰胚、冻胚以及其它类的气泡分布呈多峰型,并有一个峰值直径的最大值。多峰型气泡谱表明雹胚形成时本身受乱流影响较大且在自身作不规则翻动中形成的。

从 16 个雹块薄切片中的气泡看出,透明层气泡尺度分布范围大(即 18—252μ),气泡数量少(小于 10<sup>4</sup> 个/cm<sup>3</sup>),尺度较大的较多(尺度大于 75μ 占 21%);不透明层中气泡数量多(多大于 10<sup>5</sup> 个/cm<sup>3</sup>),尺度偏小(尺度大于 75μ 的不足 10%),但并非所有不透明层中的气泡尺度都比透明层小,它们之间没有明显的分界线。

### 5.4 冰雹生长环境

从表 6(16 个雹切片中气泡特征)看出,大部分的气泡数密度最大值在 10<sup>6</sup>—10<sup>7</sup> 个/cm<sup>3</sup> 之间,这表明满城雹块在干、湿增长临界值附近生长,多数雹块的表面温度 ≤ 0℃<sup>[9]</sup>。

## 6 冰雹层次结构

从冰雹切片观测得到,冰雹并非完全由纯水构成,常混有气泡、液态水和其

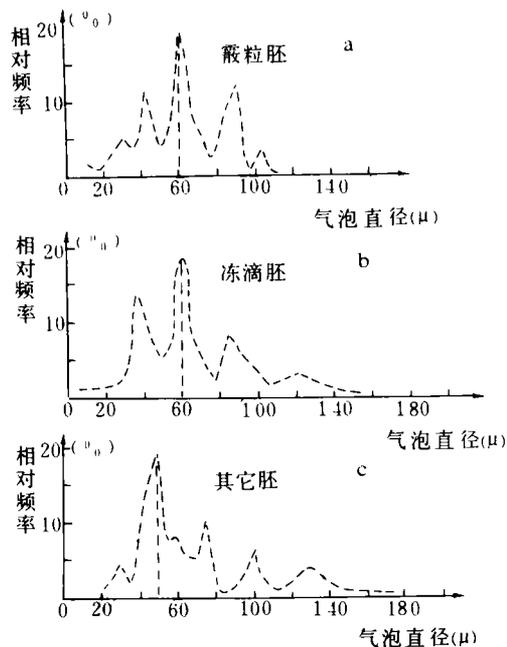


图 4 胚中气泡谱分布 (a. 霰粒胚, b. 冻滴胚, c. 其它胚)

它物质,因而造成密度、透明度和光洁程度等方面的差别。从冰雹切片照片上可以看出,在雹胚的外面由一些透明层和不透明层交替组成。根据透明层分层资料得知,目前已观测到的冰雹多达 28 层乃至 30 层。

### 6.1 冰雹尺度与层次关系

一般来说,冰雹愈大,层次愈多。按照 Carte 和 Kidder 分类,1—3cm 冰雹以 2—5 层最多,3—5cm 冰雹以 4—6 层最多,大于 5cm 冰雹以 9—15 层居多。从满城多次降雹资料分析,并非冰雹愈大,层次愈多(表 7)。1987 年 6 月 29 日满城一个直径达 3.6cm 的冰雹只有 3 层(见图 3),而锥长只有 1.48cm 的冰雹,层次达 9 层之多(见图 2c)。在 165 个冰雹样品中,3—6 层冰雹最多,占 84% 以上,其中以 4—5 层冰雹居多,占 53.4%;直径为 1.6—2.0cm 冰雹样品中,3—6 层冰雹占 66.3%,其中 3 层的冰雹居多。

表 7 冰雹尺度与层次关系统计表

层 次	直 径(mm)							合 计	
	5—10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35	36—	个数	百分比
1			1	1				2	1.2%
2	1	2	2	1				6	3.6%
3		1	23	1	1		1	27	16.4%
4	4	7	16	4	15	1		47	28.5%
5	5	7	18	10	1			41	24.9%
6	4		19	1				24	14.5%
7		2	5	1	4			12	7.3%
8						1		1	0.6%
9		1	1	1				3	1.8%
10			1	1				2	1.2%
合计(个)	14	20	86	21	21	2	1	165	
百分比	8.5%	12.2%	52.1%	12.7%	12.7%	1.2%	0.6%	100%	

### 6.2 按透明度强弱分层

若以透明度强弱分层,在满城切片样品中,圆形冰雹(102 个样品)为 2—7 层,以 4 层居多;椭圆形冰雹(46 个样品)为 1—10 层,以 4 层居多,4—5 层占 65%;锥形冰雹为 3—9 层(17 个样品),以 3 层居多(见图 2 及图 3)占 47%,见表 8。

## 7 讨论与分析

(1)冰雹切片的研究表明,雹胚主要有两种,即霰粒和冻结的水滴。不同云的类型,构成雹胚的物理性质可以差异很大,不同地区、不同季节的差异也是很大的。表 9 是世界各地冰雹胚胎性质分类统计表。

从表 9 看出,美国的科罗拉多(或 NHRE)地区与俄克拉何马(Oklahoma)<sup>[10]</sup>地区雹胚类型的相对频率差异明显。我国的河北满城与新疆昭苏的差异也是很大的,满城雹胚仅占 30.6%,新疆昭苏雹胚却占 49%<sup>[11]</sup>。满城与俄克拉何马等地一样,海拔高度低,云底温度高,空气来源多半是“海洋性”的,所以,冻胚占优势,这说明云底温度、海拔高度对雹胚性质有一定的影响。另外,尺度较大的冰雹,以冻胚居多,尺度较小( $d \leq 25\text{mm}$ )的冰雹以霰粒胚胎较多,冻胚偏少。

表 8 满城冰雹按层次分类统计表

层 次	圆 形		椭圆形			锥 形			合 计	
	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比 纵比 横比	个数	百分比
1			2	4.3%					2	1.2%
2	4	3.9% 66.7%	2	4.3% 33.3%					6	3.6%
3	14	13.7% 51.9%	5	10.9% 18.5%	8	47.0% 29.6%			27	16.4%
4	29	28.4% 61.7%	16	34.9% 34.0%	2	11.8% 4.3%			47	28.5%
5	24	23.6% 58.5%	12	26.1% 29.3%	5	29.4% 12.2%			41	24.9%
6	21	20.6% 87.5%	3	6.5% 12.5%					24	14.5%
7	10	9.8% 83.3%	2	4.3% 16.7%					12	7.3%
8			1	2.2%					1	0.6%
9			1	2.2%	2	11.8%			3	1.8%
10			2	4.3%					2	1.2%
合 计	102	61.8%	46	27.9%	17	10.3%			165	

表 9 各地冰雹胚胎性质分类统计表\*

地 区	样品总数	冻 胚 (百分比%)	霰 胚 (百分比%)	其它胚 (百分比%)	最大尺度 d (mm)
NHRE(USA)	3478	8	88		≤25
	182	27	57		>25
Oklahoma(USA)	752	58	18		≤25
	372	69	13		>25
Midwest(USA)	54	44	41		≤25
	442	55	28		>25
Alberta	1610	20	72		≤25
	371	56	26		>25
Switzerland	341	42	51		≤25
	63	49	37		>25
South Africa	960	54	29		≤25
	358	83	6		>25
新疆昭苏	999	51	49		≤28
河北满城	843	67.4	30.6	2.0	≤36

\* 国外资料取自 Knight<sup>[10]</sup>。

观测冰雹胚胎的物理性质不仅在基础理论研究上有一定的科学意义,而且在防雹应用上也是重要的,美国科学家阿特拉斯<sup>[12]</sup>、奈特等人分析美、苏防雹效果的差异时,曾指出:冻滴胚较多的地区,防雹容易取得成功,所以获取冰雹微物理结构的资料,对于人工防雹效果的分析,可提供一定的科学依据。

(2)从满城偏振光冰雹切片照片中可以看到,各层冰晶很多是沿径向排列成辐射状,排列成这种形状的多半是尺度较大的晶体,湿增长层晶体较大,干增长层晶体较小,这可能与它们形成机制有关。

(3)满城冰雹切片资料表明,该地区大多数雹块形成3—6层,偶尔有10层,这与国内其它地区观测结果相近,如甘肃岷县最多有10层,河北张家口地区雹块3—4层居多。

雹块层次较多,不可能是上升气流一次明显的变化造成的,而上升气流多次起伏及其

引起雹块的环境温度的改变,是造成多层结构的主要原因。

(4)自然雹块中小气泡分布极不均匀,尤其是直径为微米量级的小气泡分辨不清,因此,对于雹薄切片厚为 0.2—0.3mm 冰片,若采用放大 100 倍显微的视野比放大 300 倍的大 70 倍,视野中的气泡虽然多了,但微米量级的小气泡却因分辨不清而丢掉了,一般来说,气泡含量数值要小一个量级。因此取放大倍数为 200—300 倍比较适宜。

## 参考文献

- [1] 赵仕雄,李正贵等. 青海高原冰雹的研究. 北京:气象出版社,1991. 24—25.
- [2] 黄美元,王昂生等. 人工防雹导论. 北京:科学出版社,1980.
- [3] 石安英,梁敬等. 防雹及雹云物理文集. 北京:气象出版社,1989. 148—157.
- [4] 戈克海 N R. 雹暴和雹块生长. 中国科学院兰州高原大气物理所译. 北京:科学出版社,1981.
- [5] Mackin W C, Carras J N and Rye P J. Quart. J Roy Met Soc. 1976. 102: 24—44.
- [6] Levi L and Prodi. Crystal size in ice grown by droplet accretion. J Atmos Sci. 1978. 39: 2181—2188.
- [7] 徐家驹. 冰雹微物理与成雹机制. 北京:农业出版社,1979.
- [8] Pye P J and Mackin W C. Crystal size in accreted ice. Quart. J R Met Soc. 1975. 207—215.
- [9] 杨颂禧等. 由晶体大小和气泡含量分析雹块生长的垂直轨迹. 高原气象,1985. 4(2).
- [10] Knight N C. J Appl Met. 1981. 20. 750.
- [11] 施文全,郑国光等. 新疆昭苏地区冰雹和冰雹云若干问题的研究. 北京:气象出版社,1989. 89—90.
- [12] Atlas. Papers submitted the 2nd WMO scientific conference on weather Modification. 1976. 443.

# OBSERVATION AND RESEARCH OF HAILSTONE MICROSTRUCTURE IN MANCHENG

Wang Yuzeng Chen Yuehua

(Academy of Meteorological Science, Beijing, 100081)

## Abstract

According to the observed data of more than 4000 hailstone samples and 843 hailstone thin-section in Mancheng of Hebei Province in 1986—1990, the characteristics of hailstone microstructure (i. e embryos, layer, crystal and air bubble) is statistically analysed in this paper and the growth conditions (i. e envirmetal temperature and altitude) of those hailstone are derived.

**Key words:** Hailstone, Microstructure, Observed data.