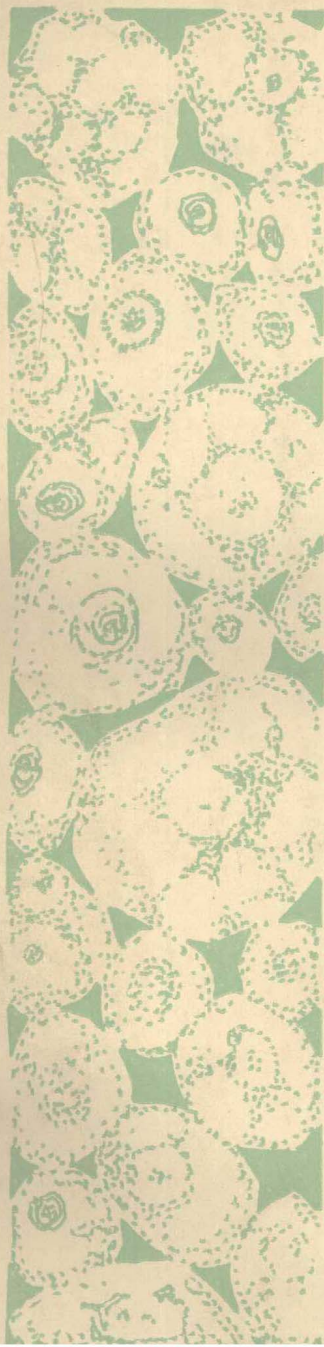


赵仕雄 李正贵等著

青海高原冰雹的研究

气象出版社



青海高原冰雹的研究

赵仕雄 李正贵 等著

气象出版社

内 容 简 介

本书系统地总结了青海高原地区近20年来的人工影响天气工作。全书共分九章，对青海高原冰雹的观测事实，进行了充分的分析和归纳，并以应用为主。本书是阐述青海高原冰雹各方面特点和规律的第一部著作。

本书可供从事气象科研和教学人员参考，也适合在防雹第一线工作的科技人员阅读。

青海高原冰雹的研究

赵仕雄 李正贵等著

责任编辑 林雨晨

※ ※ ※

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

中国科学技术情报所印刷厂印刷

※ ※ ※

开本：787×1092 1/32 印张：10 字数：217千字

1991年10月第一版 1991年10月第一次印刷

印数：1—1000 定价：7.10 元

ISBN 7-5029-0683-5/P·0365

前 言

本书是青海省气象科学研究所人工影响局部天气研究室1970年至1986年期间对青海高原（主要是东北部地区）冰雹问题室内研究和外场工作的总结。

本书共分九章，侧重于高原冰雹观测事实的归纳和分析，以应用为主。本书涉及面虽不太广，研究深度也有限，但其价值的可贵之处在于：它是反映青海高原气象的科学报告，是由许多同志多年身历高原野外艰苦环境，坚持工作，共同劳动的结晶，是阐述青海高原冰雹各方面特点和规律性的第一部著作。

本书在冰雹微物理研究方面，方法较为严谨，雹胚及雹块样本比较完整，并进行了雹谱、晶体和同位素的分析，初步得出冰雹增长的环境条件。在冰雹气候方面，有不少新的分析对象和事实，如雹日与阴、阳坡、湖岸的关系；雹日与雷暴日之比随海拔高度的不同而不同；雹日与雹次；雹径的某些统计资料等，资料较丰富。在冰雹云内外温、湿和气流场以及雷达回波的观测和识别方面，取得的资料很重要，有一定的价值。我们用气球在三站同时探测一块雹云，国内其它单位尚没有。在天气和预报方面，把经验提高到统计结果中去，阐述了先导过程、长短波系统、中小系统、差动平流、能量过程等与降雹的关系，有助于对成雹机制的认识。制作的机选分型、点聚图预报方法，物理意义较明确，预报准确率较

高，对本地区的降雹预报准确率达80%。在统计分析防雷效果方面，方法考虑较严格，表明人工防雷工作有一定成效。

青海高原是我国冰雹最频繁的地区之一，它与我国内地相比有许多自己的特点，本书所揭示的高原冰雹的许多现象和规律，对当今国内外流行的一些观点作出了检验，也为今后进一步深入研究提供了线索。

本书第一章由赵仕雄编写；第二章由李正贵、党积明编写；第三章、第四章由赵仕雄、党积明编写；第五章、第六章由李正贵编写；第七章由李正贵、陈德华编写；第八章赵仕雄编写；第九章由陈德华、李正贵、赵仕雄编写。全书由赵仕雄组织整理和总校。

17年来先后在人工影响局部天气研究室参加过冰雹课题工作的同志还有：李斌、谢德寿、王淑敏、徐诚、许永康、陈文辉、金士晔、夏荣发，宋德众、何惠民、杭鸿宗、李时锋、代天生等。

另外，对曾经支持过和参加过冰雹云观测、预报和后勤工作的许多同志以及多年在青海高原气象台站辛勤耕耘的同志，借本书出版之际，谨向他们表示衷心的感谢。

本书可供从事气象科研和教学人员参考，也适合在防雷第一线工作的科技人员阅读。文中如有错误和不妥之处，请读者不吝赐教。

一九八九年十一月

目 录

前言

第一章 冰雹的微物理结构.....	(1)
§ 1.1 冰雹的物理特性	(1)
§ 1.2 研究雹块内部冰晶、气泡结构的物理方法	(24)
§ 1.3 雹胚的研究	(44)
§ 1.4 雹块同位素及生长轨迹的研究	(54)
§ 1.5 雹谱时空分布特征	(70)
参考文献	(83)
第二章 冰雹的统计特征.....	(84)
§ 2.1 冰雹灾害	(84)
§ 2.2 冰雹直径特征	(85)
§ 2.3 降雹时间分布特征	(90)
§ 2.4 雹日与雹次	(93)
§ 2.5 雹日、雷暴日比	(102)
§ 2.6 雹云路径与雹击带	(105)
§ 2.7 小结	(112)
参考文献	(114)
第三章 雹云结构.....	(115)
§ 3.1 雹云的宏观特征	(117)
§ 3.2 雹云的湿度分布特征	(127)
§ 3.3 雹云内、外温度分布特征	(130)
§ 3.4 雹云内垂直气流分布特征	(135)
§ 3.5 雹云气流场结构	(142)

§ 3.6	青海湖80718雹暴结构	(150)
参考文献		(156)
第四章	冰雹云的雷达识别	(157)
§ 4.1	测雨雷达探测云和降水的基本原理	(157)
§ 4.2	雹云回波形态识别	(161)
§ 4.3	雹暴回波类型	(167)
§ 4.4	雷达识别雹云的指标	(171)
§ 4.5	冰雹云的跃增及并合	(177)
参考文献		(179)
第五章	降雹与天气系统关系的统计特征	(180)
§ 5.1	先导过程与降雹关系的统计特征	(181)
§ 5.2	长波系统地理位置与降雹关系的统计特征	(183)
§ 5.3	雹日短波系统地理位置统计特征	(186)
§ 5.4	中系统与青海东北部降雹的统计特征	(199)
§ 5.5	中小系统-辐合区与降雹关系的统计特征	(205)
§ 5.6	小结	(216)
参考文献		(217)
第六章	雹区上游物理量场分析	(218)
§ 6.1	大尺度天气形势分型方法	(219)
§ 6.2	雹前地面 T_0 随时间变化和冰雹、阵雨、连阴雨三类天气的地面到200hPa T_0 比较	(221)
§ 6.3	差动平流特征	(223)
§ 6.4	雹区及其上游涡度、散度及垂直速度特征	(228)
§ 6.5	雹日08时与降雹期间二维环流特征	(232)
§ 6.6	能量过程不稳定性指数	(237)
§ 6.7	成雹环境温度	(242)
§ 6.8	小结	(243)
参考文献		(246)

第七章	青海省东北部冰雹预报方法	(247)
§ 7.1	互助县冰雹预报方法	(247)
§ 7.2	高原东北部大范围降雹落区合成预报方法	(255)
§ 7.3	机选相似形势的大范围冰雹预报方法	(264)
§ 7.4	青海省东北部冰雹预报程序	(270)
§ 7.5	互助县冰雹预报效果	(270)
参考文献		(271)
第八章	青海省高炮防雹方法	(272)
§ 8.1	防雹设计的理论	(273)
§ 8.2	作业部位和催化用弹量的设计	(276)
§ 8.3	作业开始时间及持续时间	(283)
§ 8.4	作业指挥设计	(286)
§ 8.5	小结	(291)
参考文献		(292)
第九章	青海省东部地区高炮防雹效果分析	(293)
§ 9.1	高炮防雹的宏观效果	(294)
§ 9.2	高炮防雹效果的统计检验	(296)
§ 9.3	小结	(308)
参考文献		(309)

第一章 冰雹的微物理结构

多年实践表明，防雹必须首先认识冰雹的形成过程、条件及其雹云的生消规律和结构特征等。冰雹的微物理结构能在一定程度上反映冰雹在云中的生长情形，是冰雹研究的一个重要分支。因此，我们的工作侧重于观测，以观测事实来揭示高原冰雹微结构的一些问题。这些工作为防雹和今后研究工作的开展打下了基础。

1978年以前，我们虽进行过少量的冰雹谱观测，但比较盲目。1978年后，加强了该方面的研究工作，利用自己设计的简单筛式雹谱仪，获得了13个降雹日的雹谱时空分布资料，并于1980年在研制雹切片机成功的基础上，共获得大冰雹过程（雹径20—40mm）8次和小冰雹过程3次的雹切片照片1500余张。这些资料基本上反映了高原地区冰雹微物理结构特征。尤其是高原大雹块方面的切片资料较为罕见。对于研究成雹机制是十分重要的，下面对一些主要观测、研究结果分述如下。

§ 1.1 冰雹的物理特性

1. 冰雹的外形

冰雹是雹云中形成的特殊固体水成物，是雹胚在气流中不断碰冻云粒子长大而成的，因此雹块的形态与云中气流、水成物相态、下落姿态等状况密切相关。不同的云结构和处

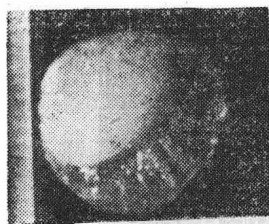
于云中不同条件下增长的雹胚可能长成的雹形态是多种多样的，但是从目前各地许多的观测结果来看，常见的可归结为三类：即锥状、椭球状、球状三种类型。高原的雹块外形也不例外。

在多年的雹块外形地面观测中，高原观测到的雹块外形又可比较形象地表示为五类：（1）锥状；（2）扁椭球形柿饼状和椭球形枣状；（3）半球形大脑状；（4）球状；（5）特殊形状。实际上（2）、（3）两种皆可归入椭球类，而完整的枣状椭球形雹块是很少见的。

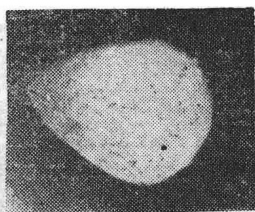
（1）锥状：体现高原降雹的一个重要特征是降雹的次数频繁，而直径小于14mm的降雹又最易出现。由于小雹块又多为锥状，因此锥状雹块出现的比率高，是高原雹块外形的一个重要特征。在降雹过程中，降雹直径14mm以下次数约占总观测次数的90%以上。

锥状雹块尺寸在约3—18mm之间，尺寸再大一些便不好辨认。质地上有软、硬之分。软的落地不反跳，白色，外表常呈毛绒态，这种软雹又称“霰”，是雹块继续增长的第一生长层。在高原4—10月都可能从对流云降水中见到，在最热的7、8月份降落也很频繁。有的软雹落地完全松散，几乎不成形，融化中显露出一团冰针。更值得注意的是，夏季在高原偶而观测到，尺度只有1—2公里的积云（似碎云）也可降落直径10mm以下的锥状软雹。说明雹块第一生长层——软雹的生长条件并不苛刻。

硬的锥状雹落地反跳，从透明度和分层情况看又可分为二种：一种外观有分层结构，白色，外部钝端是全透明冰，见图1.1（a），另一种是白色不透明冰，内部或有分层或没

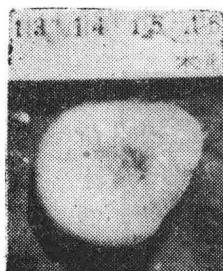


(a)

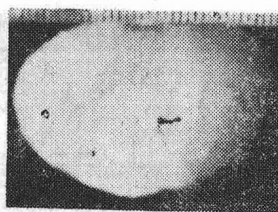


(b)

(1) 锥状雪



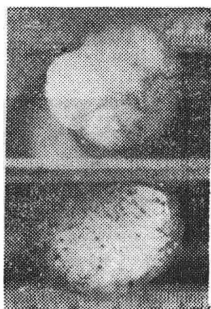
(c)



(d)

(2) 扁椭圆和圆球状

(e)



(f)

(3) 半球大圆状



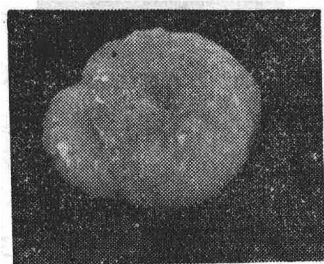
(g)

(4) 球状



(h)

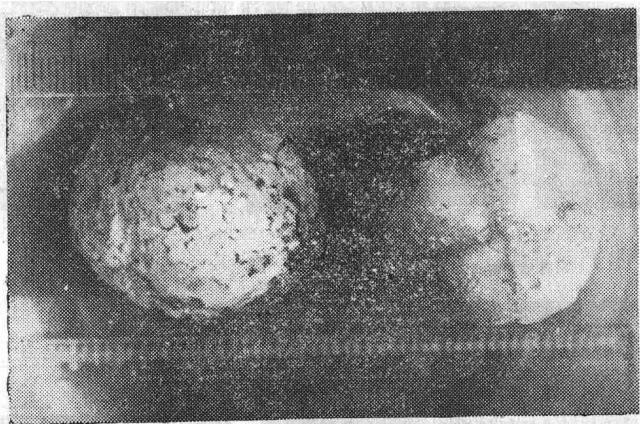
图1.1 雪块的典型外形



(a)



(b)



(c)

(d)

图1.2 特殊形状的雹块

有分层，有的为乳状冰分层，见图1.1 (b)。锥状雹块形成过程中，下落具有稳定的取向，因此该分层结构说明在云中气流和含水量有较大的起伏；钝端出现全透明冰可能说明云中下部含水量丰富，这是湿生长的结果。

(2) 扁椭圆形柿饼状和椭球形枣状：观测表明，在弱雹暴中，雹块的形状较为单一，多呈锥状间有球状。但在强雹暴降雹中，雹块形态往往同时具备几种形状。在一次降雹中最多数的雹块形状是锥状，约占雹块的25—74%，而次多为椭球类，这类雹块大小在18—40mm之间，约占雹块的10—23%，而且没有完全光滑的表面，其中一面多小瘤，中心凹陷，而另一面稍为隆起较平滑，有的雹块结构显得疏松。其长轴、短轴、最短轴之比一般约9:7:5。见图1.1(c)(d)。

这类扁椭圆形雹块的雹胚一般是霰，霰胚的高与雹块的长轴大致取向相同。因此，根据上述形状的分析，很可能是在上下运动中，随着雹块尖部的增长变大，重心上移，雹块逐渐平置，按空气动力学模型来解释，横向宽大纵向矮短，使背风面变凹陷且多瘤，而迎风面较突起。当再作单方向滚动时，就形成了椭球状，见图1.1(d)。

(3) 半球形大脑状：雹块的整体形状，应当介于扁椭圆形和球状之间。它既具有扁椭圆形一面凹陷，另一面突起特点，又具有球状雹块四周对称的特点，同时其突起面大脑纹理明显。其直径多大于30mm，是强雹暴的产物，见图1.1(e)，约占一次强降雹的3—20%。有的雹块外表类似在实验室中得到的外表瘤状，见图1.1(f)。这种雹块的形成，推测与扁椭圆形相似，但运动带有旋转或螺旋旋转性质，迎风面增长更快。

(4) 球状：这种形状的雹块在弱、强雹暴中皆可能降落，但出现次数较少。弱雹暴中降落的球状小雹直径在5—10mm左右，色乳白透明。球状雹块更小的似为冻滴性质。

强雹暴中的球状雹块常大于25mm，白色不透明，在各次降雹的统计中所占比例并不高，这可能是有些球状雹块形状并不标准，近乎椭球，而计入了椭球类。见图1.1 (g)。这是1981年6月30日强雹暴降落的球状大雹。

在高原上也观测到伴随着强雷雨降落的直径10mm左右的球状雹块，透明度和结构与前不一样，外壳透明、密度大，可见内部明显的透明与不透明冰层结构。冻滴胚和霰胚皆有，主要为冻滴胚。雹谱较均匀。该种雹块推测在云中较暖部位增长，液水含量大。见图1.1 (h)（参见1.4），这是1975年8月5日于互助县收集的雹块。

大的球状雹块，一般反映雹块上升、降落翻滚得较剧烈，使各向碰冻的云滴有相同的机率。它出现次数少，说明雹块增长缺乏剧烈翻滚条件。

(5) 特殊形状的雹块：在湿生长雹块中，L. Levi等1970年曾列举了三个棱柱结构形状的雹块。在我们的观测中并未曾发现过，但曾出现过如图1.2 (a) “节外生枝”的侧瘤扁椭圆形雹块，即在一个雹块的一侧有另一大瘤体生长出，切片分析结果它们完全是一个整体雹块；也出现过凹面许多瘤长得更突出的形状，如图1.2 (b)，以及图1.2 (c) 表层透明冰尖瘤状和大瓣状。这些特殊形状的形成，可能与雹块内部的微循环有关，正说明雹块形成过程的复杂性。是值得今后很好研究的。

高原上，无论是何种形状的雹块，在我们获得的资料中，没有见到许多雹块粘结在一起而成团降落到地面的例子，几乎都是单个的或极少数由两个粘结降落到地面，而在内地则并不少见。

2. 雹块的气泡结构

(1) 气泡层次

雹块具有透明与不透明冰分层结构。据分析,高原上的雹块透明与不透明冰分层2—17层不等,细分层最多观测到30层以上。在一般大于15mm的雹块中6层最多,在3层、6层、12层上出现了3个峰值且随着雹块直径的增大,相应层数也增多,见图1.3。以上雹块的透明与不透明分层是由雹块中气泡的含量和大小决定的。我们也统计了直径 $15\text{mm} < d < 50\text{mm}$ 雹块中冰晶体的层次,平均值要低于气泡分层,取3层最多,约占50%以上,4层次之不到40%,一般在2—5层比较集中。与新疆观测的雹块相比青海冰晶体分层要多,昭苏的冰雹只有1—4层,其中单层雹块占总数的67%,这可能是昭苏观测冰雹较小的缘故。

(2) 雹块的气泡结构类型

雹块中的气泡结构也是很复杂的,它的分布由许多因子决定,如环境温度、沉积物温度、含水量等,而主要归结为与过冷水滴碰冻增长层冻结速率有关。据对雹切片的显微观测,雹块的气泡结构形形色色几乎无一同样,但就我们的观测来看,初步可列出15种,见图1.4。这15种气泡结构都不一样,它们有的是取自于同一次降雹过程同一块云,有的是小雹,有的是大雹过程的雹块,显然它们的不同结构同样反映了它们生长过程的复杂性和差异。

雹块a, c, g, h, m, o, 是1981年6月30日降自于大通县同一块雹云,但在云的不同部位收集到。同一块云降下的雹块,其气泡结构不仅在云的不同部位是可以不一样的,而且同一地点收集的雹块其结构也可以不一样。雹块b, d, i

是1983年8月6日在平安县三合乡炮点收集到的。由于是夜间降雪，气温低，连夜用冰瓶取回，结构破坏不严重，从图中可以看到，其结构也不尽一样。雹块e是1983年7月23日在湟中县城收集到，雹块f是1982年8月6日降自于乐都县，雹块j，1982年7月19日降自大通县景阳乡，雹块k，1982年8月4日降自平安县城，雹块l，1982年8月11日降自于青海湖北岸，雹块n，1981年8月8日降自大通东峡林场。本图出示的8个冰雹过程的15个样品是高原上所观测到的雹块气泡结构的典型代表。

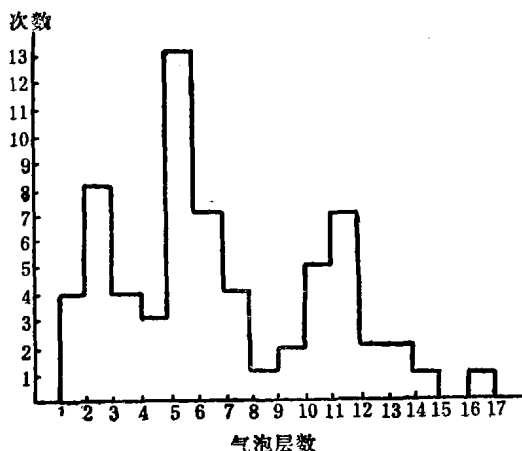


图1.3 大雹块气泡层数分布

雹块冰的气泡结构从气泡大小、密度和生长机制来划分可分为透明冰、不透明冰、乳状冰以及海绵状冰等。对高原雹块切片进行仔细研究后发现雹块冰气泡结构的形成过程远复杂的多，可能暗示着冰雹形成的更多因子和过程，因而造

成了雹块各类的纹理结构。从雹块切片的纹理来进行划分，我们观察到气泡分成以下几种主要类型：

- | | | | |
|------------|---|-------------|----------|
| (1) 纬向气泡纹理 | { | 粗分层 | 见a, b, j |
| | | 细分层 | c, g, h |
| | | 瓣状分层 | d, e, f |
| (2) 径向气泡纹理 | { | 直线状 | g, c |
| | | 迴旋线状 | h, g |
| | | 射线状 | i |
| (3) 无向气泡纹理 | { | 匀谱状 (包括透明冰) | j, k, l |
| | | 宽谱状 | n, m |
| | | 粒状 | o, n, g |

即气泡纹理可分成三个类九个型，雹块的各种气泡结构，基本上可由这些类型组合而成。对于一个雹块而言，可能包含了上述几种类型，参见图1.4。

(1) 纬向气泡纹理：气泡沿雹块纬向形成的气泡层，可分为粗分层、细分层和瓣状分层三种。对于粗匀分层结构，气泡一般小而密集，层宽肉眼明显可辨，层宽标准我们取 $>0.5\text{mm}$ ，这种气泡层为不透明冰或乳状冰。细匀分层结构，层宽常小于 0.5mm ，肉眼难分辨，多呈乳状冰结构。这两种纬向气泡层纹理一般较圆平，起伏不大，但有时也有不明显起伏，呈现瓣状气泡结构特征，参见图1.4中a, b和c。

瓣状分层结构，之所以分为一型，是因为其形成过程，具有其特殊的物理成因。该分层常包括上述两种分层，它们之间没有明显界限。参见图1.4中d, e, f。

(2) 径向气泡纹理，指气泡在雹块径向形成的线状气泡结构，可分为直线状、迴旋线状和射线状三种。雹块中的