

QI XIANG WAN QIAN



冰雹

李光亮

BINGBAO

气象出版社

气象万千

冰 雹

李光亮

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

冰雹/李光亮编著. —北京:气象出版社, 2002. 7

(气象万千)

ISBN 7-5029-3362-X

I. 冰... II. 李... III. 雹—青少年读物

IV. P426.64-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 040584 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编:100081)

责任编辑:郭彩丽 终审:纪乃晋

封面设计:蓝色航线 责任技编:都平 责任校对:张清芬

*

北京昌平环球印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:787 × 1092 1/32 印张:2.625 字数:54 千

2002 年 7 月第一版 2006 年 12 月第三次印刷

定价:5.00 元

《气象万千》编委会

主 编 毛耀顺

副 主 编 王奉安

编 委 于系民 王奉安 毛耀顺

朱振全 李光亮 陈云峰

张 沅 张家诚 张海峰

汪勤模 金传达 赵同进

胡桂琴 韩世泉 谢世俊

斯 迪

出版前言

许多极端天气气候事件,如沙尘暴、台风暴雨、干旱、洪水、极端高温等越来越引起人们的广泛关注。承载我们人类的地球生命支持系统,如食物、水、洁净空气和有益于人类健康的环境正越来越强烈地受到全球天气气候变化的影响。

根据“政府间气候变化专门委员会”对未来气候变化的评估结论,气候变化对人类的生存将有如下威胁:

- 可能加剧许多干旱与半干旱地区的沙漠化,使那里的环境进一步恶化。
- 热带和亚热带地区,农业生产力将下降,特别是非洲和拉丁美洲,预计 21 世纪内农业生产力将下降 30%。
- 将改变生态系统的生产力与构成,减少生物多样性。生态系统的变化将影响其向人类提供的福利,如食物、纤维、药材的来源,休闲与观光等等。
- 与高温有关的死亡率增加和在酷热期导致预期的疾病增加;生物体携带细菌的季节和范围扩大,因而细菌感染性疾病的传播可能越来越多。
- 海平面会上升,对人类居住、观光旅游、淡水供应、水产业等都有消极影响,会导致经济下滑、陆地减少和数千万人口迁徙。

等等。

人类居住的地球正面临着前所未有的环境威胁,众多学术组织及不同领域的科学家正在分析和研究对策。就是普通百姓也开始热衷于了解像厄尔尼诺、拉尼娜、臭氧洞、全球变暖等气象科学名词。为了使广大读者更深入地了解气象科学,更深入地理解我们人类乃至个人在解决全球气候变化问题中应承担的责任和义务,我们出版了《气象万千》这样一套通俗易懂的科普图书,内容涉及所有的大气现象及人们最为关心的一些天气气候热点问题。我们希望通过这套书来强化人们的气象意识,了解气象,用好气象服务产品。

全套书共 18 册,图文并茂,理论与现象结合,阐述简明,通俗易懂,适合广大青少年及对气象感兴趣的读者阅读。愿这样一套书能对读者有所裨益,发挥她应有的作用。

气象出版社

2002.5



冰雹的来龙去脉

- 冰雹的身世…………… (1)
- 冰雹形成的奥秘…………… (2)
- 冰雹的外观及密度…………… (5)
- 冰雹为什么有好几层? …… (6)
- 冰雹总比雨滴大…………… (7)
- 冰雹的种类…………… (8)
- 冰雹的行踪 …… (12)
- 冰雹为什么内陆多,海洋少;中纬度多,低纬度少? …… (13)
- 林区为何降雹少? …… (14)

各种各样的冰雹

- 冰雹纪念碑 …… (15)
- 冰雹里为什么会有小虫子? …… (16)
- 人雹·龟雹·石膏雹 …… (16)
- 形形色色的冰雹 …… (17)
- 雹雨风雪昼夜之间 …… (19)

冰雹云的一般特征

冰雹云的分类	(21)
冰雹云形成的环境条件	(23)
冰雹云的结构	(25)
冰雹云中的垂直气流	(26)
冰雹云中的温度分布	(30)
水分积累带的雹云假说	(30)
积雨云都能降冰雹吗?	(32)

雹灾面面观

冰雹危害农业	(34)
飞行与冰雹	(37)
冰雹灾害特征	(38)
雹打一条线	(40)

冰雹的预防

人工降雨防雹史话	(43)
人工消雹	(46)
飞机施放焰弹	(51)
人工防雹的组织指挥	(52)

降冰雹之前.....

识别雹云	(58)
人工防雹·天气预报	(66)

雷达在防雹中的应用

冰雹云和雷雨云回波的差异 ...	(72)
降雹的中尺度系统回波特征 ...	(72)
识别雹云的雷达新技术	(74)
雷达检验防雹作业效果	(75)

冰雹的来龙去脉

冰雹的身世

炎夏的午后，烈日灼人，闷热似蒸。大块大块的乌云在天空中翻滚。突然，明亮的闪电撕裂长空，沉闷的雷声隆隆作响，不一会儿，凉风骤起，豆点大的雨滴自天而降。在大雨中还夹杂着一颗颗乳白色的冰粒，噼哩啪啦地打在地上。冰粒的大小不一，大的像鸡蛋、核桃，小的只有绿豆粒那么大。这些大大小小的冰粒或冰块，群众称它为“冷子”、“雹子”，气象学上叫做“冰雹”。也许你也会感到奇怪，大热天怎么会从天上掉下冰雹来呢？随着科学技术的发展，这个谜已被逐渐解开。

冰雹，按它在云中的成长阶段可分为三种，也就是冰雹胚胎、冰丸和冰雹。

如果您有兴趣，拾起冰雹，把它切开，您可以看见里面

有许多层次。冰雹中间是一个白色不透明的核，那就是冰雹胚胎。它主要由霰（直径2~5毫米的颗粒）或软雹（呈海绵状）构成，但也有由大水滴缓慢冻结而成的透明与不透明交替出现的冰核。胚胎外面紧裹着一层又一层透明和不透明交替出现的冰层。

冰丸很坚硬，以软雹或霰为核，表面白色透明，直径小于5毫米。冰丸也叫小冰雹。

冰雹是各式各样形状及大小不一的小冰球，比冰丸大得多，直径可以从5毫米起，大到几厘米甚至十几厘米，小的如豌豆，大的像核桃、鸡蛋、拳头或更大些。1970年，在美国得克萨斯州科维尔下的冰雹中，最大的直径有44厘米，是世界上个体最大的冰雹。1928年7月6日，美国内布拉斯加州的博达下了一次冰雹，地面上堆积的厚度达4.6米，是世界上降雹量最大的一次冰雹。

冰雹的形状，一般为圆形、椭圆形，也有锥形和其他不规则的形状。

每次降雹的时间往往为3~15分钟，有时可达30分钟。降雹时一般以风、雹、雨三位一体，并且大多是先刮狂风，再降冰雹，后落大雨，同时伴有电闪雷鸣。

冰雹形成的奥秘

你也许会问：“冰雹究竟是怎样形成的呢？”

冰雹诞生在一座特殊的“加工厂”——强盛的积雨云中。当积雨云发展到强盛阶段时，云中形成了大量不同尺度的霰、冻滴、冰雹和雨滴。

下面让我们先来看一看在积雨云中冰雹是如何生成的

吧。

我们仔细观察可以发现，冰雹是由雹心和一层透明的、一层不透明的层层交错的透明不透明的冰组成。

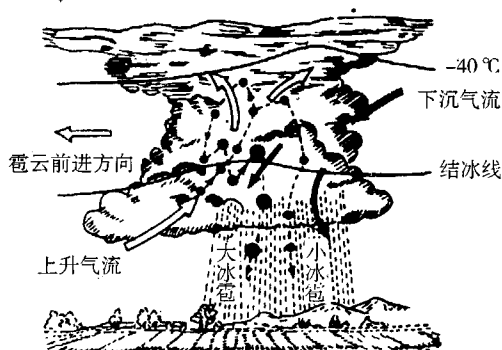


图1 冰雹形成示意图

夏天，虽然地面气温很高，可达 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，可是空气中的温度分布是随高度而降低的。对于干空气来讲，每上升 100 米温度就降低 1°C ；对于湿空气来讲，高度每上升 100 米温度就降低 0.6°C 。上升空气块在上升过程中由于自身体积不断膨胀对外做功，消耗自身热量，温度不断降低。降温速度（如果不考虑潜热释放）介于二者之间。可见地面温度如为 40°C 的空气块，当它上升到 4000 米高空时，温度已经下降到 0°C ，再往上去温度更低，到 6000 米高空时，气温就下降到 -20°C 。在这样的气温之下水汽凝结成冰可以说一点也不费劲了。而一般的积雨云发展旺盛可伸展到 8000 ~ 9000 米甚至上万米高度。那里的温度下降到 $-40 \sim -30^{\circ}\text{C}$ 左右。所以积雨云中就有水区、冰区、雪区。

由于上升气流的作用，水区的水滴可以上升到冰区、雪区。上升到冰区、雪区的水滴如果尚不凝结，则称为过冷却

水滴。过冷却水滴的温度有时可达 -30°C 。过冷却水滴之所以不能凝结是因为没有得到使它改变状态的力量，水中潜热无法释放的缘故。如果对过冷却水滴稍施加一个外力作用，它立即就会发生冻结现象而放出潜热。

同样，雪区、冰区的冰晶雪花也会下降到水区的。当雪区、冰区的过冷却水滴与雪花冰晶相碰时，立即就会在雪花冰晶外冻结。由于冻结速度很快，雪花冰晶中还保留一部分空气，于是形成不透明的冰核（雹心）。积雨云中的上升气流也是时强时弱的。这时如果上升气流减弱支持不住，它就开始下降。当它下降到水区以后，这时外面温度高于零度，雹心外面一层被溶化。同时一部分水滴也粘附其上。当它又遇到强的上升气流时又随着气流上升到冰区、雪区，外层水滴凝结成冰壳。

由于水滴凝结时会放出潜热，使冰壳外面稍有溶化呈湿润状况，因而雪花冰晶又能粘附其上。当上升气流再减弱时它又下降到水区，粘在冰壳外面的雪花冰晶又有一部分溶化。溶化的水一部分渗入雪花内部，一些水滴又粘附其外部，而后又随上升气流升到冰区、雪区冻结。经过这样来回反复，几上几下，冰雹就好像“滚元宵”似的越滚越大，不断地裹上一层层疏的密的冰衣，直到上升气流再也托不住它的时候，便一落千丈地掉了下来，这就是我们见到的冰雹。

现在我们进一步剖析一下冰雹。冰雹中心是一块不透明的冰，呈圆锥形或球形，称为雹胚。雹胚外面包着一个透明的冰层。大冰雹一般有4层或更多层，最多的观测到有9层。雹胚是空隙大、密度小的不透明的冰，学名叫霰。随着高度的增加，气温明显下降，即使是盛夏，5000米以上高空的气温仍在 0°C 以下。这时候空气中的冰晶与“过冷却水

滴”碰撞合并，形成了雹核——霰。从高空降到 0°C 以上的高温区，霰的表面融化成液态水，排出空隙中的空气，上升气流又把它携带到高空 0°C 以下温度区，再冻结就变成了透明冰层了。为什么大冰雹有好几层呢？这是因为雹块在云中反复升降，多次通过 0°C 层高度，凝结、融化，再凝结就形成了透明层与不透明层交替出现的大冰雹。

冰雹的外观及密度

前面我们讲到，冰雹的形状各式各样，比较复杂，有球形、椭圆形、锥形、扁形、结晶组合形、多雹块粘结形和不规则形状。

那么冰雹的外观和密度又是怎样的呢？

根据冰雹的外观，如色彩、光洁度等，构成冰雹的冰大致可分为：

洁净冰：它类似自然纯冰的冰雹，雹内没有气泡，所以是无色透明。密度约 0.9克/厘米^3 。

透明冰：从外边可看到雹子的内部层次，外层冰中有少量气泡，但不影响其透明性能。密度约为 0.85克/厘米^3 。

乳白色冰：冰中含有大量气泡，所以不透明，内部结构均匀，表面较平滑，呈乳白色。密度约 0.8克/厘米^3 。

白色冰：冰雹形成过程中混入大量气泡，所以不透明，密度较小，表面粗糙，光洁度较差的白色冰雹。密度为 0.65克/厘米^3 。

粒状冰：表面由若干粒状冰构成，表面粗糙，结构松软，密度小，常由结霜或粘附小米雪和霰形成。密度在 $0.2\sim 0.6\text{克/厘米}^3$ 之间。

冰雹并非完全由纯水构成，多数混有气泡液态水和其他物质，造成其密度、透明度和光洁度不同。

科学家们从冰雹切片看到冰雹有像树木年轮一样的层次，最多可达 30 多层。一般情况下，层次越多，层间也越厚。

冰雹为什么有好几层？

气象科学家们研究发现：一般四层的大雹块要循环升降两次才能够形成；而六层的特大雹块要循环升降三次。由于一个雹块能够几次落入强上升气流区而上下循环多次的机会太少，因此，大雹块总是十分罕见的。

有人对降在英国地面的一个直径达 6 厘米的五层球形雹块进行同位素分析，推断出这个雹块确实是在雹云中几次升降循环长大的。这个雹块的雹胚（直径 0.54 厘米）在 5.3 千米高度已经形成，然后下降到 4.8 千米并稍有增大（直径 1.2 厘米），接着便在上升气流中长距离上升到 8 千米并成倍增长（直径 2.4 厘米），又稍降到 6.5 千米（直径 2.7 厘米），以后再次上升到 8.6 千米高度，又一次成倍增长（直径 5.4 厘米），最后才下降到地面。

至于为什么透明层常常比不透明层厚？为什么同是一层有的地方厚，有的地方薄？为什么雹胚有时偏在冰雹的某一侧？为什么会有不规则形的冰雹？

云雾物理学家根据观测和实验，提出了一些新的解释。观测发现：在 0 至 -2°C 甚至更冷的云层内，云滴并未冻结，仍然是液态水，这就是过冷却水滴。过冷却水滴和云中的雹胚相碰时，立即冻结，并释放热量，使冰雹表面的温度

升高到 0°C ，冰雹就可以在其表面保持液态水的状态中长大，形成透明冰层。冰雹的这种增长方式叫做“湿增长”；如果冰雹表面由于热传导和蒸发冷却作用而大量损失热量，在撞冻过程中冰雹表面得到的热量不足以补偿所损失的热量，冻结各个水滴之间空隙大，便形成了不透明冰层，这就是“干增长”。即雹块中密度小的不透明层是在干增长过程中形成的，密度大的透明层是在湿增长过程中形成的。由于湿增长和干增长交替进行，湿增长时不仅使原来疏松的层次有一部分转为质密的透明的冰，而且又有许多水和过冷却水凝在表面，所以冰雹的透明层常常比不透明层厚；又因为冰雹上下翻滚增长进行是不均匀的，所以有时同一层厚薄不均；有时胚不在正中心，而偏向某一侧；有时会形成奇形怪状的冰雹。

冰雹总比雨滴大

刚刚还是晴空万里，顷刻间乌云密布，电闪雷鸣，乒乓球、鸡蛋大的冰雹伴随着豆粒般的雨滴下了起来。在同一块云中的降水物，冰雹和雨滴的体积和重量相差悬殊，这是为什么呢？

冰雹来自发展强烈的积雨云。这种云中存在着很强的上升气流，根据推算，5米/秒的强大上升气流可以托住半径7~10毫米的冰粒或雨滴。更有甚者，上升气流的速度可达50米/秒以上，当然应能托住更大的冰雹或雨滴了。但奇怪的是，我们在地面所见到的冰雹可以很大，而雨滴就相形见绌了。这是什么道理呢？

首先，冰雹是在云中低温区逐渐形成的，比重仅为雨滴

比重的 80%，对于质量相同的冰雹和雨滴，前者的体积要比后者稍大些，根据阿基米德定律，冰雹所受的空气浮力也要大些。因此，在相同条件下，云中能托住稍大些的冰雹。

其次，雨滴是由水分子构成的。由于表面张力的作用，使小雨滴保持球形状态。雨滴在凝结和碰并增大，以及大雨滴在降落过程中，因球形体的各部位受力不均，引起变形，雨滴底部受到的空气阻力比其他部位大，底部便内凹，随着下降速度的加大，底部凹进愈深，表面张力不能维持球形的需要时，就会破碎成为较小的雨滴；而冰雹是固态降水粒子，其内部是冰晶结构，排列整齐，在增长的过程中，不会引起自身的粉碎。它因积雨云内上升气流的作用不停地上下翻滚，像滚雪球一样，越滚越大，直到上升气流托不住时，才降落到地面。

据专家们推算，落至地面的大雨滴，其半径最大也不超过 3.5 毫米。可冰雹就不同了，空气阻力不能改变其形状，更不能使它粉碎，直到云中上升气流托不住它时它才落地。所以，我们见到的冰雹总比雨滴的个儿要大得多。

冰雹的种类

冰雹产生于积雨云之中，而产生积雨云的方式是多种多样的，因而形成冰雹的方式也是多种多样的。归纳起来可大致分为五类：热成雹、夜成雹、锋面雹、平流雹和地形雹。

热成雹是由于白天地面受太阳强烈照射，温度剧升，引起近地层暖湿空气温度也剧升，同时地面水分大量蒸发，使近地层空气更加潮湿，而离地面较高的空气层由于得到地面辐射热量较少温度上升慢，相比之下显得较冷。这样冷而干

的空气下沉，暖而湿的空气上升，形成对流而生成积雨云，发展到旺盛时期可以产生下雹现象。这样生成的雹人们就称它为热成雹。热成雹的范围不大，但最易于发生在夏天下午最热的时候。

夜成雹顾名思义，这是晚上生成的雹。按理说晚上空气层相对应比较稳定，那又为什么会产生如此强烈的积雨云而降雹呢？

这是因为夜晚当天空铺盖一层厚厚的云层时，云层上部向太空强烈辐射散热而得不到任何热量补偿，因而温度迅速下降，空气变得冷而沉。而云的底部也向地面辐射散失热量，但它可以得到从地面向云层底部辐射热量的补偿，在云层很厚很大的情况下，云底热量收支可以基本达到平衡。因而云底温度没有降低或降低不多，比起云顶来说温度要高许多，也显得比较轻。于是云顶冷而沉的空气就下沉，云底暖而轻的空气就上升，造成剧烈翻滚现象形成对流。这种对流发展旺盛，也可以发展成积雨云而降雹，只不过几率小一些。以这种形式生成的雹称为夜成雹。

夜成雹经常生成于暖锋云系之中。这是因为暖锋云系的云层一般都很厚，而且暖湿空气来源也比较充分，到晚上易于产生上述现象而降雹。相反白天由于暖湿空气只是沿锋面缓慢上升而不易发生对流，更难于产生非常激烈的对流而发展成积雨云。

所以，暖锋能造成下冰雹的现象本来就不多，白天就更少。

锋面雹可以分为暖锋雹与冷锋雹两种。暖锋雹情况前面已经讲了，这里只讲冷锋雹情况。冷锋雹可以分为三种情况。