

“巨凇”形成机制的探讨

王鹏飞 李子华*

提 要

本文通过对林西雹暴中发现的30公斤大冰块的分析,提出了“巨凇”的形成机制,澄清了数十年来某些雹暴中发现的反常大冰块被误认为大冰雹的事例,并为今后区别大冰雹和“巨凇”提出了依据。

一、前 言

在我国各地,发现反常巨大冰雹的事例很多。解放初期,曾看到一本外文杂志,登出一张在我国西北某地拍摄的照片:一个农民蹲在墙壁前,他的旁边竖了一块象石碑那样的冰块。图的说明中指出这是大冰雹。1958年,在内蒙古的伊金霍洛旗,曾听一位公社干部介绍说,一次下雹后,发现某山谷中有一块巨大冰雹,大得象吉普车那样,好多天都未化完。1975年5月,在四川西昌召开的防雹工作经验现场交流会议上,展出一张照片:一个人站在巨大的冰丘上,用铲锹破冰。在说明中指出,这是1973年6月13日甘肃华池县山庄桥发现的巨大雹块,高4丈多,约相当三层楼高。41小时后,还有7.3米高、16.2米长、5.2米宽,估计体积615立方米。1975年7月25日20时左右,在内蒙古林西县一次由北向南扫过的强冰雹天气后,在十二吐公社的一个河沟里,发现了一巨大冰块,全重估计30公斤。

常有这样的情况:首先群众报告,发现了大冰雹。气象部门不信,认为云中上升气流托不住这样大的冰雹。群众回答说,这是我们亲眼见到的。有时大冰雹尚未化完,他们就邀请气象部门派人看实物。于是在没有充分理由否定,且在“耳闻是虚、眼见是实”的思想影响下,气象部门某些同志也就相信了。最后还可能把出现这类大冰雹,看作是我国雹云的特点,说我国雹云中的上升气流,有可能比外国强大,所以能够支持这类巨大冰雹的成长。

1975年7月25日林西大冰块是有实物照片的(见图1A)。它的形状大致为直角梯形,最长的边长59.4厘米,高39.6厘米,厚14.9厘米。砸开后,看到水平分层结构,一

*昭乌达盟气象局林大强同志参加了本文部分工作。

共分为三层，层与层的界线笔直而且分明。一面是透明层，内含较多的玉米粒大小的气泡，另一面和中间的一层不透明，内含大量小米粒大小的气泡（见图1B）。三层内均可

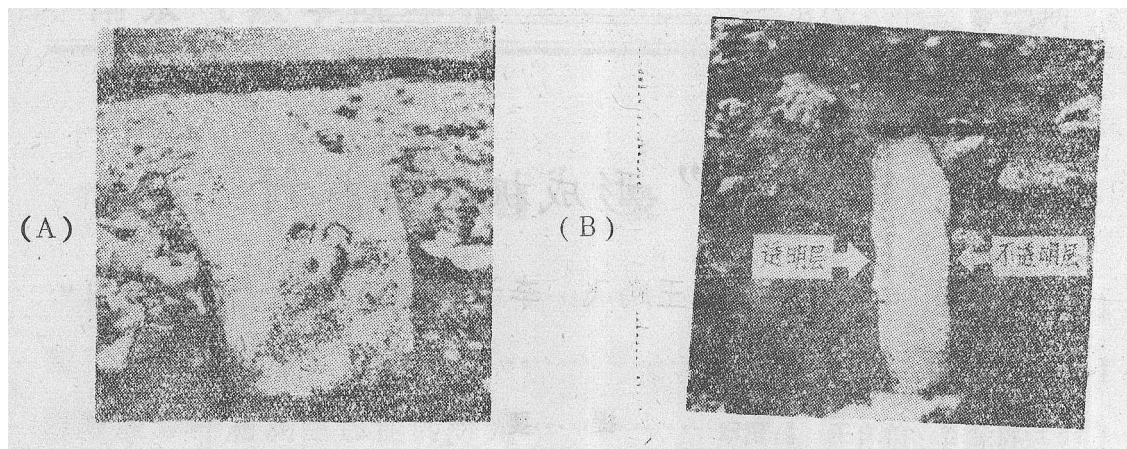


图1 林西巨凇照片

见到个别的沙粒，在中间的层内，有一片姆指盖大小的黄黑色的杨树叶，有一颗一寸半长的黄色的兔子毛草。这个冰块照片是在强降雪后15个小时，即7月26日上午9时拍摄的。当时在林西防雹试验基点的辽宁省气象研究所、昭乌达盟气象局和林西县气象局的同志，除了现场对它进行摄影、测量、解剖、观测外，还进行了多次讨论，提出了几种肯定和否定的设想。这些工作很有价值，为本文的论证提供了宝贵的依据。

确定林西大冰块是不是冰雹，是很重要的。因为这不仅是确定林西大冰块的性质问题，也牵涉到确定几十年来各地发现的、以及今后还将发现的这类大冰块的性质问题，而且还将牵涉到由此而对我国雹云性质（包括上升气流）是否反常的推论。

根据我们的进一步研究，认为在群众中传闻的这类反常巨大的冰块，有许多并不是冰雹，而是在地面形成的“巨凇”。下面我们就以林西大冰块为例，先论证它不是冰雹，然后论证它是“巨凇”，最后再提出“巨凇”的形成机制。

二、林西冰块不是巨大冰雹的理由

林西县大冰块是强降雪、大暴雨之后在河沟中发现的。人们并未亲眼见到它从云中降落。据现场分析，它是随河沟急流从上游流来的。

根据照片和实物观测，此冰块呈直角梯形的几何纵剖面，外形近似砧状，表面比较光滑，略呈平坦，并无瘤凸。而空中形成的雹块，不可能外形如此规则。一般特大雹块，表面应有很多冰瘤或指状冰凸，不会平滑如枕。

从其结构来看，解剖后并未发现冰块中有雹核。而一般冰雹，总是有雹核的。大冰雹解剖开来，常有象灵芝头部那样瓣状结构，可是林西冰块并无这种特征。而且林西冰块透明与不透明的分层是水平的，这也无法从冰雹形成过程中体现出来。

从林西冰块的尺度、重量与国外大冰雹作对比来看，也大得太多。例如美国堪萨斯州1970年9月3日的冰雹，重766克，等效直径为11.5厘米。苏联1955年《大气的冰》

一书中所报导的大冰雹，重10公斤，直径约30厘米。而林西冰块，根据照片来估计(以冰的密度为0.9克/厘米³计)，体积约33000立方厘米，约合直径40厘米，重约30公斤。

我们再研究一下雹块的下降速度。雹块比重为0.9、空气密度为10⁻³克·厘米⁻³时(约在海拔2000米)，雹块末速可用经验公式^[1]

$$V = K m^{\frac{1}{6}}$$

取K=14，则30公斤重的林西冰块的末速

$$V = 14 \times (30 \times 10^3)^{\frac{1}{6}} = 78 \text{ 米/秒}$$

林西冰块照片是降雹后15个小时拍摄的，最初的实物可能比照片上的还要大一些；而且林西十二吐公社海拔高度为800米，所以末速计算值还应大于78米/秒。实际上，冰雹云中很少有这样大的上升气流来支持它。虽然当时有龙卷出现^[2]，龙卷中的上升气流即使有时可达10²米/秒的量级，但龙卷的生命期很短，其间的上升气流也并不总是很稳定的。龙卷可把几吨或几十吨重的船、大铁桶等物抛出几十米到上百米以外地方，这在建

国以来，上海及苏北沿海都曾出现过。但要龙卷稳定地长时间地托住很大雹块，并使它不断增大到林西冰块那样大，这是不可能的。再退一步说，如果冰块在龙卷漏斗云内形成，那末所形成的冰雹也应当近乎盘状、球状，而决不会呈直角梯形。事实上那天的龙卷是在雹云到达锅撑山南侧背风坡时出现的(图2)，那是由于山后涡流及气流越山局部气柱伸展、造成涡度加大而引起的，历时仅10分钟，因此不可能形成这个大冰块。

此外，林西大冰块也决不可能是由许多小冰雹在地面粘合而成。根据调查，凡是由小冰雹融后再冻合而成的复合雹块，结构一般较松散，不透明，而且其中小冰雹个体清晰可辨，好象粘在一起的葡萄一样。而这次林西大冰块，全无这些现象。

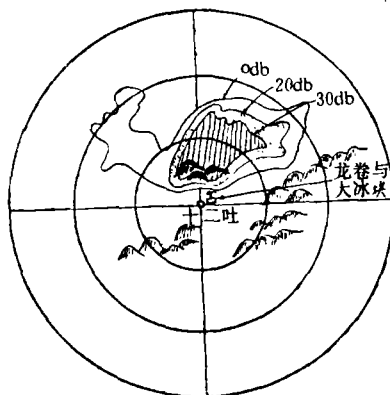


图2 1975年7月25日18时06分
P P I P I。每圈10公里，仰角1°

三、林西冰块是“巨淞”的论据

既然林西大冰块不是从云中掉下来，也不是由小冰雹在地面粘合而成，那末唯一可能的就是云中过冷却雨降到地面积成淞块的过程。为此我们应研究当时是否有下降过冷却雨的可能。

根据测量，这次雹云回波顶海拔12.5公里，那里温度达-49℃；最大含水量区高度离地约6公里，那里的温度为-22℃。这次雹暴在降完冰雹之后的30分钟内，降了40毫米的暴雨，此暴雨是在雹云后部出现的，那里有一支干冷的下沉气流，过冷却水滴在外界干冷空气混合下蒸发冷却，常使气温进一步下降，从而保持了局部地方所下降的雨水的过冷却性，使下降过冷却暴雨成为可能。当过冷却雨降达地面时，就能边冻结边增厚，

形成“巨凇”。

但夏季地面温度很高，是否能够在上面结凇呢？回答是可能的。原来有两种雨凇，一种是在较冷的地区或季节中形成的，另一种是在较暖的地区或季节中形成的。前者在一般书中都已讲到。至于后者，那里地面温度虽高于 0°C ，但是由于过冷雨滴连绵下降，当地面最初碰冻而成的冰体还来不及受地面高温影响而融解时，在它的上方又有后继的过冷雨滴冻结上来。由于冰体本身热绝缘性能较好（这与它的比热较土壤大及融化需要潜热有关），所以后继雨滴的碰冻过程，受地面高温影响很少。这样，它也就能够以第一层薄冰为基础而冻叠变厚起来^[3]。林西冰块就是属于这种雨凇。

再来研究林西冰块的结构。雹云下降的过冷雨在地面的冻结层结构是要看雨滴大小、雨强、过冷却程度等而定的。如果过冷却程度大、雨滴小、雨强小，形成的凇层将呈不透明层；如果过冷却程度小、雨滴大、雨强大，形成的凇层透明度就大。林西大冰块之所以具有透明层与不透明层，必然是过冷却雨下降时雨滴大小、雨强及过冷却程度等因子有阵性起伏变化所致。由于同一时刻的这些特点相近，不同时刻这些特点有所不同，必然使这些不同透明度的凇层接界面呈比较水平的状态。这就解释了林西冰块的水平分层现象。

林西冰块中的气泡结构，也可以用结凇来解释。当下堕的雨滴很小时，由于雨滴所带下来的空气温度较低，冻结潜热能很快被空气带走，所以碰冻过程进行得很快，以致小雨滴中所溶解的空气来不及排出水滴之外，只能分散地留在水滴内，形成许多小米粒大小的气泡。由于这些小气泡对光的折射率与冰的折射率差异较大，而小气泡又比较分散，所以看来就呈不透明的样子。当下堕的雨滴较大时，在地面碰冻所产生的冻结潜热较大，使冻结的过程较慢，其中溶解的空气可以逐步排到尚未冻结部分，因而使得空气在未冻结部分的溶解量逐步加多。但未冻部分不久也要冻结。因此当未冻部分冻结时，就有较多的空气占领其中一部分空间，这就造成气泡较大（象玉米粒）的现象。由于气泡并不是细小地分散在冰块内，而是集中在冰内小部分空间，所以无气泡部分的冰层就表现得有单一的折射率，具有较好的透明度。

现在我们来解释林西冰块为什么在河沟里发现的问题。前面曾提到，地面温度较高，对凇层的增厚影响不大。但是否就不影响与地面相接触的第一层薄凇呢？当然不会的。因为第一层薄凇与地面紧贴在一起，由于地面温度高于 0°C ，底面就会逐渐融化。但由于地面热量上传速率很慢，融化层不能一下子发展得很高。

贴紧地面的凇层底面融化，等于在凇层与地面间涂上了一层润滑油。那里又是山区，地面只要有少许倾斜，就能使凇层的重力产生沿低洼地区的分量，凇块便缓缓地向洼地滑行。另外，雹云的暴雨，不均匀性很大，有的地方下得小，有的地方下得大，凇层在各地的分布也不均匀，有些地方很快融化，有些地方下的就不是过冷却雨。所以，在山区往往出现液水径流。这些径流冲泻时间不长，但冲泻力很大。一旦径流通过上述凇块时，就能将凇块冲到低洼河沟中。必须注意，凇块被冲带时，它的底部已能滑动，而且冰的比重又小于水，所以凇块是边飘边滑地移向洼地河沟的。

在河沟中飘滑的凇块，一旦迁洼地凹穴，便受阻停留下来。而水仍可流走或渗入土中。由于洼处集中了凇块，那里空间又较为闭塞，所以就渐成为穷阴沍寒的临时冷气

潭，温度可低于 0°C 。因此，在淤块底下即使还留有一些水层，此水层也会发生冻结。这种冻结，过程较缓，所以形成的多为透明冰。由此形成的透明冰层与其上的淤块间的界面，也必然是水平的。

一般说来，洼地凹穴多是上宽下狭的。有时由于开河沟时，曾用铁锹铲挖，或者由于其它自然原因，河沟局部也可出现边与底较为平整的现象。淤块是可塑体，可以在重力作用下渐渐形成与该处局部地形相适应的特殊形状，这就是林西冰块呈直角梯形纵剖面的原因之一。

至于冰块内找到沙粒、杨树叶、兔子毛草等现象，也可用结淤来解释。虽然这些东西被风卷到空中，成为冰雹内含物，不是毫无可能，但在地面结淤时混入淤层内更有可能。试想在空中一块冰雹面上，想叫一片杨树叶或一寸半长的兔子毛草由许多过冷小水滴的作用冻附进去，当然要比这些东西飘在地面淤层上，由过冷却雨冻入淤层内难度大得多。

上面我们用地面结淤的道理，对林西大冰块的各种特征给出了合理的解释。因此，我们认为林西冰块是在强雹云过境时由过冷却雨在地面结成的“巨淤”。

四、“巨淤”形成的普遍机制及其与大冰雹的区别

一般说来，“巨淤”是这样形成的：

在强雹云过境时，局部有过冷却雨降落到温度高于 0°C 的地面。在地面上，地物的迎风侧较易积集冻结雨淤。例如在土堆、石根、大树根、山崖等迎风凹侧，淤层就能积得较厚。但在别处，往往由于风的关系，淤层只能在地表浅浅地布成薄层，并且不久就受地物高温影响而融化为水。只有在上述特殊地形或地物配置的环境下，才有利于淤层的冻叠变厚。这就是为什么出现巨淤时，地面并不一定普盖淤层的缘故。

以后这些积得较厚的淤层，其底部受地面热量的影响而出现薄层液水，整体就有在地面上滑动的可能。在地表径流的作用下，或者由于地面有倾斜而在重力分力的推动下，淤块飘移或滑向山谷、河沟等低洼处。这就是群众在强烈降雹后见到的“巨淤”，大多数出现在山谷及河沟里的原因。

淤块内部，则因过冷却雨在不同时间，其雨滴大小、强度、过冷却程度不同，而出现透明程度不同的层次。但不论这些层次如何形成，各层间的界面基本上近乎水平。由于结淤过程是在地面形成的，所以地面沙土、树叶、小草、甚至小虫等，均可能夹在淤层内。

由于淤层在重力作用下的可塑性，有时淤块形状会受凹坑等微地形影响，而变得棱角较突出，从而与冰雹明显相异。有时这种可塑性表现在淤块底面印有微地物特征，例如在本文照片上可见到有轮轴状突起(图 1 A)。

下表列出了“巨淤”与大冰雹的主要区别。

从表中，我们就可以很容易判断，不仅林西大冰块不是冰雹，就是本文开头提到的我国西北那块石碑似的冰块、内蒙那个吉普车大小的冰块，也决不是冰雹。

必须注意，切不要将一切自然形成的大冰块，都误认为是“巨淤”。

表：“巨凇”和大冰雹的主要区别

	巨 凇	大 冰 雹
1	无雹核。	有雹核。
2	表面较平整，有时有棱角，边角较明显，底面常有微地形或被压物痕迹。	表面大多近乎球形或扁球形，往往有瘤疖及刺凸。
3	透明与不透明层交界的面较水平。	透明与不透明层交替包围雹核。
4	往往特别大，与当时看到的其他冰雹比较，过于悬殊。	与当时见到的其他冰雹相比，大得比较合理。
5	往往发现于河沟、山谷等较低洼地方。	出现的地方与微地形特征很少有关系。
6	层内可夹有草叶碎片等。	层内很少夹有草叶碎片等。

由于大量降雹，有许多地面雹块可能堆积、汇集、融化、並再连冻在一起，成为巨大复合雹块，例如前面谈到的甘肃华池县山庄桥大冰丘。因为其形成机制与“巨凇”完全不同，就不能称之为“巨凇”。

还有一些确由雹云下降的大冰体，也应实事求是地叫它们为大冰雹。例如1947年8月间，在今内蒙克什克腾旗热水公社，于一次降雹中，有一个直径约1市尺的不透明的冰球砸穿吴庆宽家的房顶而落入柜中。又如苏联也曾报导，在阿塞拜疆雹暴中有一个直径大于30厘米的雹块，打穿铺有七层芦苇的屋顶。这两个雹块大小相近，重量约10公斤。既然它们都是自云中下降，并击穿屋顶，因此就没有必要怀疑它们不是冰雹了。

参 考 文 献

- [1] 雷雨顺等，冰雹概论，科学出版社，1978。
- [2] 昭乌达盟气象局人控科，炮击陆龙卷，气象，1976，6。
- [3] A.Д.柴莫尔斯基(张之琦译)，霜、雾凇、雨凇，财政经济出版社，1955。