

爆炸影响降水的观测分析

大气物理研究所三室原理组

提 要

本文对“炮响雨落”的现象进行了实验验证。初步结果表明：在一定云雨条件下，炮击后可能促使未降水积状云产生降水，也可能促使已降水云的降水参量增大，这些变化发生迅速，但维持时间不长。并指出炮击促进云体降水的作用可能是通过改变支托水滴的气流造成的。在适当条件下，通过炮击影响气流的瞬时作用，可能触发云内不稳定能量释放，造成持续下沉，破坏云的发展，从而防止冰雹灾害。

一、引 言

利用爆炸方法防雹在我国已有悠久的历史，它是广大劳动人民与自然灾害作斗争中逐渐发展起来的，也是我国防雹作业中主要使用的方法。由于与雹灾作斗争在不少地区是农业夺丰收的重要一环，而且爆炸方法有一定效果适合于群众使用，所以近年来我国群众性人工防雹更为广泛地开展起来了^[1]。但是爆炸防雹原理至今还不清楚，为了更好地使用爆炸方法防雹，我们应对此问题认真进行探讨。

由于冰雹云演变复杂，目前观测手段又有限，直接从作业中分析爆炸的作用有一定困难。不过，在作业中也观测到不少云与降水变化的现象^[2]，这些现象对我们分析探讨防雹

原理是有启发的。例如爆炸后发生降水增大的现象，这不仅在防雹作业中可以见到，就是在作战中，也有一阵猛烈炮火轰击后云体发生降水加大的现象。人们将这种现象称之为“炮响雨落”。

在大跃进的年代，我们所*在群众性防雹与人工降雨试验基础上，进行了土炮降雨试验，取得了一定结果。1960年夏季，我们所在北京郊区八达岭进行了土炮降雨试验。从所进行的23次试验来看，土炮影响的效果是显著的。通常每打一排炮（10—20炮，每

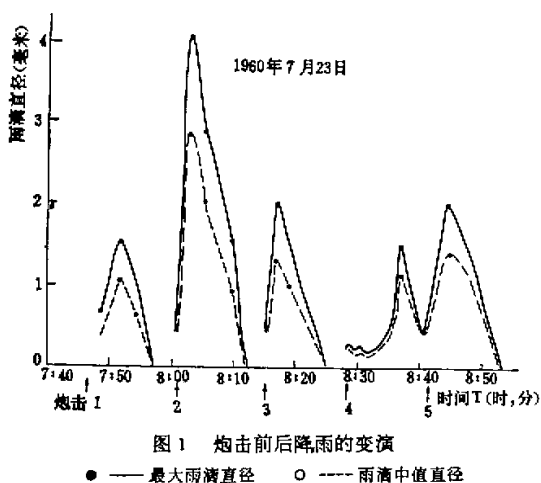


图1 炮击前后降雨的变演

● —— 最大雨滴直径 ○ ---- 雨滴中值直径

* 注：当时气象研究室属地球物理研究所。

炮装黑火药 250—370 克)后,雨滴随即下降,而且雨滴大、强度大、维持时间不长,如雨后摇动树枝那样落了一阵雨滴。图 1 是 1960 年 7 月 23 日一次试验的结果,炮击的对象是处于降雨后消散阶段的高层云,炮击是在雨停后进行的,共发射了五次排炮,每次炮击都立即出现阵性降雨,维持 10 分钟左右,从这份资料来看,不大可能是自然降水。

二、炮击影响试验

为了探讨防雹原理,1973 年和 1974 年在昔阳防雹试验中,我们进行了三七高炮影响降水的试验。试验对象一般选取有利于对流云发展的天气,及降水性层状云天气。炮击时机一般选在有可能发生降雨但尚未降雨的云,或者虽已降雨但雨强趋于减小或稳定时。炮击使用三七高炮,每次发射 4—10 发炮弹。炮击时还注意云的移动和云下风向,估计这块云的降雨可能落到观测点的情况才进行炮击试验。观测方法除目测云与降雨演变外,主要用吸水纸斑痕法^[3]在炮击前后进行降雨的雨滴谱观测。由于观测时间间隔很密,资料能够反映降雨瞬时变化。

这两年中我们总共对 11 块云进行了 44 次炮击,其中对积雨云炮击 10 次,对浓积云炮击 26 次,对降水性高层云炮击 8 次。为了提高资料的可靠性,我们排除了明显不适用的 5 次资料,采用 39 次资料进行分析。将炮击前后降雨情况列于表 1。

表 1 炮 击 前 后 降 雨 简 况 表

总 况		云 状	炮击前降雨情况	炮击后降雨情况(按云状及炮击前降雨情况分类)	炮击后降雨情况(不论云状及炮击前情况)
总 共 试 验 44 次	可 用 资 料 39 份	浓 积 云 与 积 雨 云 31 次	未降雨 13 次	降 雨 10 次	产生或加大降雨 31 次 减弱降雨或对降雨 无 影 响 8 次
			已降雨 18 次	未 降 雨 3 次	
				降雨加大 15 次	
				降雨减小 3 次	
		降水性 高层云 8 次	已降雨 8 次	降雨加大 6 次	
				降雨减小 2 次	
	未用资料 5 份	浓积云与 积雨云 5 次	已降雨 5 次	—	

由表可见,无论浓积云与积雨云或者降水性高层云炮击后产生降雨或加大降雨的现象占大多数。下面我们分别对各种类型的云炮击影响降雨的情况进行分析。

1. 炮击对未降雨云的影响

1973 年 7 月 28 日 15 时 31 分对当时还未降雨的一块浓积云中上部炮击 4 发,炮后 1 分 54 秒测站观测到稀少的大雨滴。云逐渐加厚,天空变暗。15 点 36 分又对这块云炮击 4 发,炮后 2 分 48 秒观测到第一个雨滴,其直径为 1.6 毫米。图 2 给出了这次炮击后雨强和各种大小雨滴浓度随时间的演变。由图可见,炮击后 3 分钟左右就开始出现雨滴,并且雨滴浓度随时间增大,到 7 分钟后各种大小雨滴浓度都很大,相应雨强(通过雨滴谱计

算得到)也迅速增加, 瞬时雨强达 40 毫米/小时以上, 这时可能与自然降水演变混同起来了。

在浓积云和积雨云的炮击试验中, 炮击前没有降雨的有 13 次, 其中炮击后产生降雨的有 10 次, 炮击后一般很快就发生降雨, 表 2 列出了炮击后发生降雨的时间。

表 2 炮击后产生降雨的时间
(炮击前未降雨的云)

炮击后产生降雨的情况	测站降雨	7 次
	有雨幡	3 次
	无雨	3 次
取到第一个雨滴的时间	1 分钟以内	1 次
	1—2 分钟	4 次
	2—4 分钟	2 次
收集到第一批雨滴的时间	3 分钟	1 次
	4—5 分钟	3 次
	8 分钟	1 次
	因雨滴太稀未取到滴谱	2 次

由表可见炮击后很快就产生降雨, 一般在炮击后 2 分钟左右就开始见到稀疏雨滴下落。这些最初落下的雨滴直径一般为 1.2—1.6 毫米, 推算它们从云底附近落至地面大约需要 2—3 分钟。由此看来, 取到的第一批雨滴是炮击后立即从云底附近落下来的。

2. 炮击对已降雨积雨云和浓积云的影响

对积雨云和浓积云炮击试验中有 18 次在炮击前已有降雨, 其中有 15 次炮击后发生降水阵性增大现象。

下面看一下 1974 年 8 月 21 日炮击已降雨浓积云后的降雨演变情况。17 时以后本站西南方浓积云已有雨幡, 本站偶尔感到有雨滴落下, 从 17 时 23 分到 58 分对这块云炮击 6 次, 除最初两次因炮击部位明显不适未列入分析外, 其余 4 次均有炮击后降雨阵性增强的现象。图 3 是炮击前后降雨的演变。由图可见, 炮击后降雨强度、雨滴含水量及雨滴总浓度都有阵性增大现象, 其中第 3 次炮击后最为显著。

从 1974 年 8 月 21 日第 3 次炮击和 1974 年 7 月 27 日第 5 次炮击(见图 5)这两个例子来看, 炮击后雨强立即增大, 持续 10 分钟左右, 并出现两次雨强峰值, 第二个峰值较强一些。估计炮击后 1—2 分钟取到的是炮击时已离开云体位于云下的雨滴, 炮击后 3—7 分钟出现的雨强第二个较强的峰值可能主要是云中雨滴受到爆炸影响后掉落下来造成的。因此当云下雨滴不太多时, 主要通过云中雨滴下落, 只能出现一个峰值。

在雨滴谱的谱型上也反映出炮击后的特征。

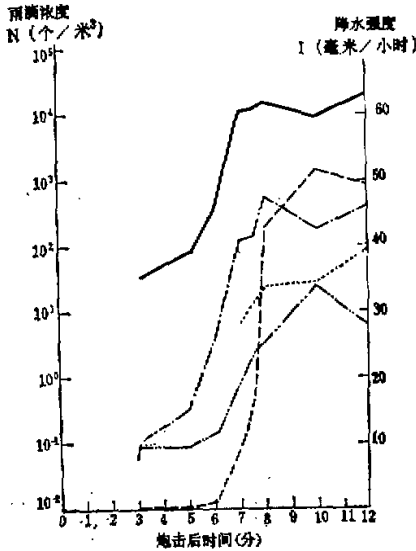


图 2 炮击后雨强和各种大小雨滴浓度随时间的演变

1973 年 7 月 28 日 Cu Cong 15 点 36 分炮击

- 小滴 $d \leq 1.2$ 毫米
- - - 中滴 $1.2 < d \leq 2.2$ 毫米
- 大滴 $2.2 < d \leq 3.6$ 毫米
- · - · 特大滴 $d > 3.6$ 毫米
- 雨强(毫米/小时)

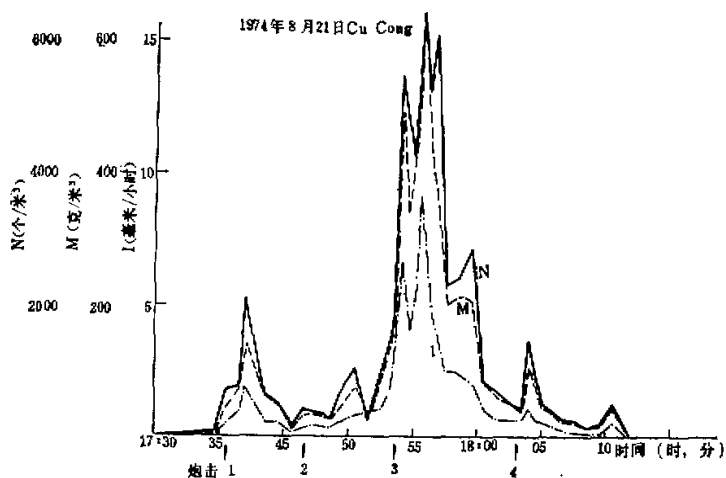


图3 炮击前后降雨的演变

图4是1974年8月21日17时35分炮击前后雨滴谱演变情况。由图可见炮击前雨滴谱谱型接近指数递减分布,雨滴最大直径小于1毫米,炮击后1分钟左右各种大小雨滴浓度都增大,最大雨滴直径达2毫米。1.0至1.4毫米雨滴浓度增大最为显著,谱型在这个范围出现突起,称为雨滴谱的第二极大,到炮击后5分钟谱型已恢复到接近炮击前的形式了。

再看一下1974年7月27日15时28分炮击前后雨滴谱第二极大的演变,

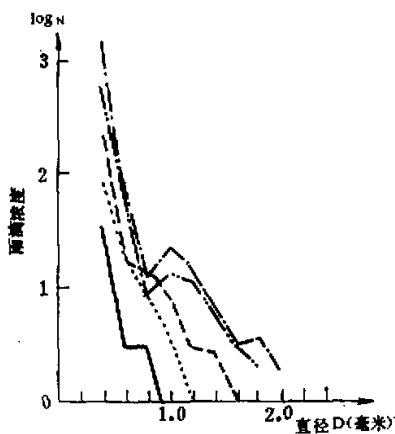


图4 炮击前后积状云降雨雨滴谱的演变

1974年8月21日 Cu Cong 17点35分炮击
 —— 炮前1分钟 - - - - 炮后1分钟
 ····· 炮后1.5分钟 - · - · 炮后4分钟
 - - - - 炮后5分钟

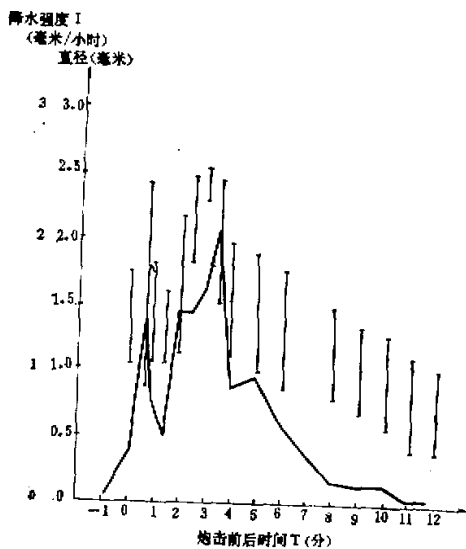


图5 炮击后雨强及雨滴谱第二极大范围的演变
 1974年7月27日 Cu Cong 15点28分炮击,
 图中直线表示雨滴谱第二极大范围

在炮击后 12 分钟内, 十几份雨滴谱资料上都显示出有第二极大的谱型, 而且第二极大的雨滴尺度范围随雨强增减而变化, 如图 5 所示。图中以 0.2 毫米间隔雨滴浓度大于 10 个/立方米的雨滴尺度范围表示第二极大的雨滴尺度范围, 由图可见第二极大随雨强增大而出现在较大雨滴范围。

这些事实不仅又一次证实了是炮击的作用, 而且对分析炮击可能起的作用提供了一些线索。

3. 炮击对降水高层云的影响

在两年中共进行了 8 次炮击层状云的试验, 其中有 6 次雨强和雨滴浓度在炮击后增大。

下面看一下 1974 年 8 月 3 日 18 时 08 分对高层云炮击前后雨滴谱演变。由图 6 可见, 炮击前谱型为指数递减谱, 炮击后由于中等大小雨滴增多, 谱型在这段突起, 维持 1—2 分钟后, 又恢复指数谱。谱型上的这段突起虽不如积状云那么显著, 但对于雨强很小谱很窄的层状云降水来说, 这种谱型是很特殊的。

炮击后层状云降水的演变也具有积状云降水演变的一些特征。如降水阵性加大, 雨滴浓度与最大滴径加大, 谱型上出现第二极大等共同特征, 当然层状云中这些特征不如积状云中那样显著。这反映两类云在微观特征和动力条件上的差异, 然而由于层状云一般比较稳定, 炮击后这些演变更能反映出炮击的作用。

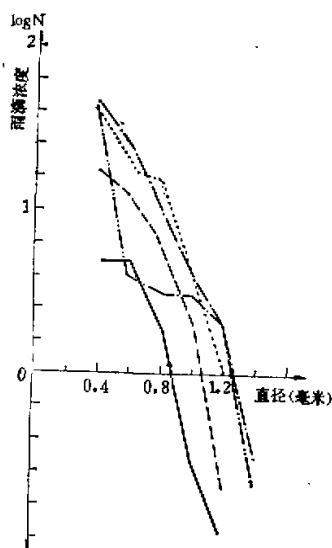


图 6 炮击前后层状云降雨雨滴谱的演变

1974 年 8 月 3 日 18 时 08 分炮击
—— 炮前 2 分钟 - - - - 炮后 2 分钟
- · - · - 炮后 5 分钟 · · · · 炮后 6 分钟
- - - - 炮后 8 分钟

三、分析讨论

从以上的资料分析中我们可以得到以下几点看法:

1. 炮击能够促进具有降水条件的积状云和层状云产生降水或加大降水。
2. 炮击后出现降雨各参量增大十分迅速, 未降雨云从炮击到开始降水一般 4—5 分钟, 对已降雨云炮击后降雨即加大, 3—7 分钟时雨强达最大值。因此, 炮击的作用可能是影响了支托这些水滴的气流, 由于气流的扰动或减弱使水滴落了下来。而不大可能是通过影响云的微观过程, 加速水滴生长速度而形成雨滴, 因为这个过程所需时间要长得多。

3. 炮击后降水各参量增大持续的时间不长, 几分钟到十几分钟后就恢复到炮击前情况。因此, 炮击可能仅仅影响了云中及云下已形成的水滴, 使它们提前降落到地面上来, 而不是直接影响云与降水的形成和发展过程。

4. 炮击后雨滴谱上出现第二极大值, 表明炮击后不仅各种大小雨滴浓度普遍增大, 最

大雨滴直径加大,而且中等大小雨滴的浓度增加最为显著,可能炮击对这部份雨滴的影响最大。

总之,炮击对云与降水的作用可能是通过爆炸波对气流的影响造成的。在即将降雨和已降雨的云中以及云下有着许多水滴,它们靠上升气流支托着,爆炸波引起上升气流的减弱会造成这些水滴比较集中地降落下来,因此炮击后几分钟内在地面上形成阵性降水。

在防雹作业及其它人工影响云与降水试验中,爆炸的作用如果仅仅局限于几分钟内云中粒子很快降落下来是很不够的。所以,在云中要造成显著的而且持续一定时间的影响不可能仅仅靠爆炸本身的作用。爆炸只是一个初始触发作用。除了爆炸后直接扰动垂直气流作用外,还引起水滴大量集中降落。水滴降落的拖带作用在云内及云下加强了下沉气流。在不稳定层结条件下,下沉气流可以维持并加强,特别是当包含有液体水时,在下沉中水滴蒸发吸热的降温作用,也更加促进气流下沉,持续下沉必将造成云的崩溃。在尚未形成雹块的冰雹云中,这个作用将抑制冰雹的形成。

因此,如果关于“炮响雨落”上述物理过程看法是正确的话,并且如能进一步掌握出现“炮响雨落”的条件,就可以更好地利用它在人工防雹(以及人工降水和人工消云等)方面起到作用。这个作用可以促使还未形成冰雹的云得不到进一步发展,提前降水而崩溃;也可以促使云中已形成的冰雹降落在不造成灾害的非农业地段(如在作业中观测到“炮响雹落”).

由于这些试验中使用炮弹数量较少(4—10发),而且云的状况不是很稳定的,云中含水量也不很大,在炮击后仅仅发生短时间的变化还没有引起云与降水过程进一步的演变。在人工防雹作业中,一般使用百发炮弹,在强烈不稳定层结及含水量很大的冰雹云中,上述过程是可能发生的。自然这还有待进一步认真观测及深入分析。

参 考 资 料

- [1] 新华社记者述评,防雹抗灾人定胜天,人民日报,1975年7月17日。
- [2] 王昂生,黄美元,冰雹与人工防雹,物理第四卷1975年,第一期,14—20页。
- [3] 何珍珍,吸水纸上雨滴痕迹放大系数的测定,中国科学院地球物理研究所集刊第10号。我国云雾降水微物理特征的研究,科学出版社,1965,72—79页。