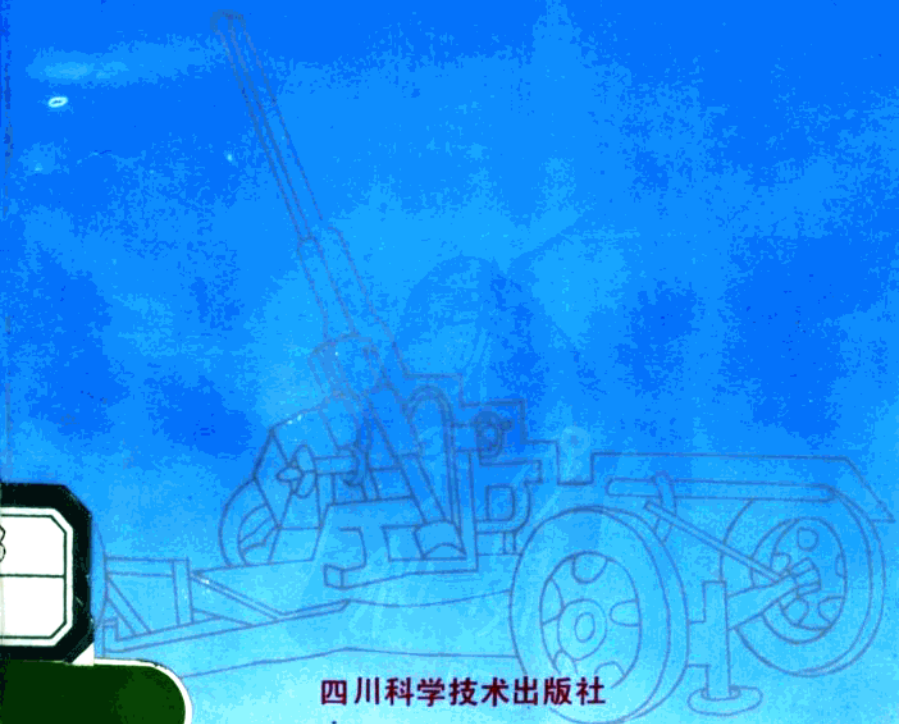


高炮

人工降雨防雹

成人办 编著



四川科学技术出版社

序 言

成都市副市长 刘家忠
成都市人工防雹降雨指挥部指挥长

冰雹、干旱是地球上的两大自然灾害，直接影响人类的生产和生活。历史上频繁的冰雹、旱灾，曾经严重地威胁着中华民族的生存与发展。为此，我们的祖先一代接一代地探索着防雹降雨的办法，同自然灾害进行了顽强的斗争。这些年来，我们坚持人工防雹降雨的实践，通过人为因素去影响天气，化雹为雨，大大减轻或防止了自然灾害带来的损失。为了使人工防雹降雨这一重大实践活动发挥更大效益，我们经过整理、升华、加工，编写成《高炮人工降雨防雹》一书。

这本册子是我市15年人工防雹降雨的实践结晶，它从基本原理、作业规程和管理工作等方面作了全面的阐述，集科学性、技术性和操作性于一体。它有助于防雹降雨工作的发展，有助于防雹专业队伍的建设，激发人们勇敢地向自然灾害作斗争。

《高炮人工降雨防雹》在编撰过程中，得到了省、市有关部门和专家的大力支持，在此表示衷心感谢！

1991年9月30日

目 录

概述	1
第一章 人工降雨的基本常识	5
第一节 自然降雨的形成	5
一、暖云降水	6
二、冷云降水	7
第二节 人工降雨的基本原理	8
一、一般原理	8
二、高炮人工降雨原理	10
第三节 成都平原有利于人工降雨的天气和云层	12
一、成都地区干旱的一般特点	12
二、人工降雨的有利天气系统	12
三、人工降雨的有利云层	13
四、炮点目测降雨云层的要领	14
第二章 人工防雹的基本常识	25
第一节 自然降雹的形成	25
一、冰雹及其特征	25
二、雹云和冰雹的形成过程	27
第二节 人工防雹的基本原理	32
一、一般原理	32
二、高炮防雹原理	33

第三节 成都平原冰雹活动的特点	34
一、冰雹活动的天气尺度系统	35
二、冰雹活动的特征	37
三、冰雹活动的路径	45
第四节 成都平原冰雹云的判别	48
一、雷达回波分辨	48
二、目测要领	50
三、及时发现降雹征兆, 加倍提高防雹警惕	53
第三章 高炮防雹降雨的作业实施	55
第一节 防雹作业实施	55
一、作业警戒	55
二、作业方法	57
三、作业要领	60
四、效果检验	61
第二节 降雨作业实施	64
一、条件选择	64
二、射击方法	67
三、效果检验	68
第四章 37 高炮及防雹降雨专用炮弹	70
第一节 火炮的构造及射程	71
一、炮身	71
二、炮口及其分解、结合	71
三、装填机及其分解、结合	76
四、反后座装置	80
五、高低机、平衡机、方向机	81
六、摇架、托架	82

七、炮车及起落炮	83
八、火炮的射程	85
第二节 炮手的基本操作	86
一、人工防雷降雨炮点的编制	86
二、班长的指挥	87
三、一、二炮手的操作	87
四、三炮手的操作	88
五、四炮手的操作	88
六、五炮手的操作	88
七、六炮手的操作	89
八、规正炮床水平	89
第三节 火炮的检查	91
一、射击前的检查	91
二、转移前后的检查	92
第四节 火炮的保管、保养	93
一、火炮的保管	94
二、火炮的保养	94
第五节 一般故障的识别和处理	95
一、炮弹压不到输弹机上	95
二、掉弹	97
三、炮门关闭不严	98
四、不发火	99
五、后座过长	100
六、复进不到位	100
七、单 37 炮后座过短	101
八、射击中对故障的综合判断	101

第五节 人工防雹降雨专用弹	102
第五章 指挥通信网络	104
第一节 通信网络	105
第二节 甚高频无线电通信及其设备简介	106
一、单工制通信	106
二、设备结构	107
第三节 甚高频无线电话机及 VHF 的传播特性	111
一、设备的主要性能指标与通话距离	111
二、地理环境与通话距离	113
三、各类干扰与通话质量	115
第四节 正确地安装、操作及注意事项	116
一、正确安装	116
二、正确操作	118
三、注意事项	119
第五节 常见故障的识别和处理	121
一、收发均不能正常工作	121
二、能收不能发或发射功率小	122
三、接收信号不好	122
第六章 简易气象观测	124
第一节 观测场地	124
第二节 气象要素观测	124
一、气温观测	124
二、雨量观测	128
三、冰雹观测	130
四、风的观测	132

五、气象观测时次及注意事项	136
第七章 管理和建设	137
第一节 防雹降雨机构的组织体系	137
一、市指挥部、办公室及其职能	137
二、县（区、市）的组织机构及其职能	140
三、炮点的组建	142
第二节 炮点的岗位责任制	143
一、班长的岗位职责	143
二、副班长的岗位职责	144
三、炮手的岗位职责	144
四、炮点值班员的岗位职责	145
第三节 文明炮点建设	145
一、文明炮点建设的目标	146
二、文明炮点的报批	147
三、文明炮点的奖励	147
第四节 纪律保证	147
一、安全保证	148
二、通信规定	151
三、炮点工作制度	154
四、职业道德	156
后记	158

概 述

对于灾害性天气，人类已经进行了长期的斗争。就人工降雨而言，成都郊县山区的农民都可以追溯得很久远。但是，作为一门科学来研究，在世界范围内也不过百多年的历史。1839年美国的詹姆斯 P·埃斯培 (James P·ESPY) 提出了第一个有科学根据的人工降雨建议。他认为，在适当的条件下，大火产生的上升气流可以导致降雨。1933年德国的贝吉龙 (Bergeron) 提出了冷云降水的冰晶效应学说。1939年德国的芬德生 (Findeisen) 完善了这一理论，奠定了冷云人工降雨的理论基础。1946年美国的谢弗尔 (Schaefer) 第一次对过冷云进行了人工影响的科学试验，揭开了人类科学地进行人工影响天气的历史。同年，美国的冯内古特 (Vonnegut) 发现碘化银烟粒是一种很好的冰核，这是迄今进行高炮人工降雨防雹的理论依据。对温度高于 0°C 的暖云，雨滴可以通过云滴的碰并形成，这是美国的亨利 G·霍顿 (Henry G·Houghfoh) 于 1938 年首先提出来的看法。1948年美国的兰米尔 (Langmuir) 进一步提出，积云中的大水滴破碎会产生“链锁反应”，从而导致降水。这样，碰并机制就成了暖云人工降雨的理论基础。在人工防雹方面，本世纪 50 年代初，法国的德森斯 (H·Dessens) 用地面碘化银发生器进行过催化试验，

但没有取得显著的防雹效果。1964年苏联的苏拉克维里兹(Sulakvelidze)等人提出,对雹云含水量“累积区”进行催化,可以抑制大雹块的形成,从而达到防雹的目的,开始奠定了人工防雹的理论基础。

50年代前期,许多国家纷纷进行了人工降雨、防雹、消云、消雾等试验,人工影响天气的活动蓬勃发展。这种情况自然也为我国的气象专家所注意。当时,我国正在毛主席的亲自主持下制定1956~1967年12年农业发展纲要和科学发展规划。在气象科学的主要专题中,把人工影响天气列为主要课题,内容包括人工降雨、消散云雾和冰雹等。1956年1月25日,毛主席召开最高国务会议讨论农业发展纲要,在会上毛主席指出:“人工造雨是非常重要的,希望气象工作者多努力”。遵照毛主席的指示,经过认真的准备工作之后,1958年1月8日中央气象局涂长望局长主持召开了“讨论建立云雾降水物理观测工作”会议,讨论建立飞行实验室、高山云雾观测实验站等问题。参加会议的,除中央气象局的领导人外,还有中国科学院大气物理研究所、北京大学、空司气象处的领导人。1958年8月,吉林省首次用干冰进行人工降雨成功,更促进了我国人工影响天气工作的开展。随后,在1年左右的时间里,用干冰或碘化银在地面和空中进行了多种人工降水试验。还进行了防霜、消雾试验。吉林省负责这一工作的张文海副省长和其他军政领导人多次亲临现场,对试验的成效感到十分满意。1958年12月2日,国家科委在北京召开了人工降雨工作会议,与会人员对人工降雨充满信心,要求加强科学研究。从此,我国的人工降雨有了一个好的开端。30多年来,云雾物理及人工影响天气科学在我国又有了

长足的进展。

四川开展人工降雨试验，起始于1959年。60年代中期以后，飞机人工降雨和高炮人工降雨防雹成了四川省农业抗灾夺丰收的重要手段之一。试验研究也取得了大量的数据和一定的成效，四川省人工降雨防雹办公室于1980年印制了约10万字的《高炮降雨防雹手册》。

成都市的人工防雹降雨工作，初具规模于1976年。在市政府的直接领导下，市郊区县共布防了18门37高炮，动用了部队的两门57高炮，购置了711测雨雷达，配备了专业人员。在防雹季节，高炮民兵住在高炮阵地上随时待命。市指挥部根据雷达观测，直接指挥炮点作业。遇到夏旱或伏旱，高炮就转移到降雨作业点，待机进行人工降雨作业。为了推动防雹工作的开展，市指挥部会同市科技情报所曾于1978年印制了约两万字的《冰雹及其预防》一书。随着祖国航空事业的迅速发展和防雹降雨高炮的增多，1989年又配置了甚高频无线电对讲机，建成了无线电通信网络。炮点已由临时性的作业点变成了长期性的基层单位。多数炮点已建成了有炮库、弹药库、高炮阵地、雨量器等气象仪器，有炮手的寝室、值班室、厨房和厕所等工作和生活设施的基层单位。有的炮点还能在冬半年的务工中得到一定的收入而使炮点民兵常年不散。15年来，成都市的防雹降雨工作组织严密，常抓不懈，为农业抗灾夺丰收，为减少人民生命财产的损失发挥了积极的作用，深受群众的欢迎。不少区县仍在纷纷要求增设炮点，乡镇视高炮为预防冰雹灾害的“保护神”，非常爱护。他们对炮点的建设、领导、日常管理和关怀、帮助在不断加强。县（区、市）人工防雹降雨办公室则担负了除指挥作业、高炮维

修、电台维修以外的几乎全部管理工作。市、县、乡、炮点几级已形成了比较健全的组织、管理体系和作业指挥体系,使人工防雹降雨工作在尚无机构和编制的条件下,初步走上了正规化的轨道,为进一步的发展打下了一个良好的基础。

第一章 人工降雨的基本常识

人工降雨，确切地说是人工催化降雨。如果天空根本没有云，人工是降不下雨来的。如果天空的云层含水量很少，像毛主席诗词中讲的“天高云淡”的那种淡积云，也是降不下雨来的。它只能对含水量较多的云（如积雨云等）进行催化，才能使本来不一定降雨的云产生降雨，或使已经降雨的云多降些雨。所以，现在人们通常称之为“人工增雨”。

第一节 自然降雨的形成

人工为什么能够增雨呢？这得从自然降雨的形成谈起。

自然降雨是自然降水的一种形式。降水，包括雨、雪、冰雹等液体和固体降水。本章讨论的是降雨，故不谈其他降水形式。自然降雨是指不受任何人为影响，从云中降落到地面的雨滴。要形成降雨，必须具备三个基本条件，即水汽、上升运动和凝结核。当湿空气在受到热力或动力作用上升时作绝热膨胀使空气饱和，从而在核上凝结成水滴，当水滴长大到下降速度比空气上升速度大，并且在下降途中未因蒸发而消失，降到了地面，这就是降雨。降到地面的雨滴的大小、多

少、急缓、持续时间的长短不同，就形成了暴雨、大雨、阵雨、小雨等不同量级、不同性质的降雨。自然界的降雨，特别是量级的差别，同降雨云层内外空气运动的影响，特别是大的降水天气系统的影响是密切相连的。

一、暖云降水

暖云，就是云中温度高于 0°C 的云。暖云云滴靠凝结过程而形成，云滴经碰并增长而形成雨滴，雨滴又在运动中产生“链锁反应”而促成大量降雨胚胎的形成，在一定的降水天气系统等外部条件的配合下而产生降雨。但暖云降水的机率是很小的。

云滴的增长主要靠碰并过程而实现。云滴的相互碰并，主要是由于在重力作用下，大小不同的云滴（即云中大小不同的水滴）在云中具有不同的下降速度而产生的。一是大小水滴都在上升气流中上升，由于小水滴随上升气流上升得快、大水滴上升得慢，于是小水滴就会赶上大水滴而发生碰并。二是大小水滴都在下沉气流中下降，由于大水滴下降的速度大、小水滴下降的速度小，于是大水滴在下降中就会赶上小水滴而发生碰并。三是云中的上升气流速度小于大水滴的下降速度，又大于小水滴的下降速度，于是大水滴相对于上升气流而下降，小水滴又相对于上升气流而上升，从而大小水滴在升降过程中发生碰并。

云滴经碰并增长而形成雨滴，但并非所有的云滴都能碰并增长形成雨滴。由于运动的云滴相互靠近时，其间的空气就会发生绕流，在绕流的作用下，云滴的运动轨迹就会发生变化，因而要使碰并机制起作用，云滴就必须具有较大的惯

性，即云滴中必须要有一些半径大于 20 微米的水滴，碰并才有可能发生。云滴碰并，主要是重力碰并。其次，如空气湍流运动、云中电场及云滴本身的荷电作用，也会在一定条件下造成云滴碰并。

云滴经碰并形成雨滴后，又在运动中经“链锁反应”而促成更多降水胚胎的形成。所谓雨滴的“链锁反应”，就是由于决定下降水滴形状的三种力所形成的：一是表面张力；二是水滴重力引起的水滴内部的静压力差；三是四周空气作用在水滴表面上的压力。前一种力使水滴维持球状，后两种力是使水滴变形的力。由于水滴大小不一，所受的力也不一，因而在上升气流中，当雨滴半径超过 3 毫米时就有可能破碎。其过程是：当云中某些部位的上升气流速度超过每秒 10 米时，就超过了半径达 3 毫米的雨滴的下降速度，雨滴就不能再下落，当它长大到半径大于 3 毫米时，就会破碎成几个较小的雨滴和较多的大云滴，它们就成为新一代的雨滴胚胎而增长。这样，雨滴就会不断地破碎繁生，直至形成降雨。这就是雨滴的“链锁反应”，也就是暖云降水的基本过程。

二、冷云降水

除了中高纬度的冬季以外，纯冷云降水的机会像纯暖云降水的机会一样，也是比较少的。常见的是上部为冷云、下部为暖云的混合云降水。造成成都地区降雨的云也主要是混合云。这种云的雷达初始回波一般出现在 2~3 公里的高度，最早的降水雨滴可能就是由暖云降雨过程而形成的。

造成较大的降水，在夏季多是积雨云。云的冷部通常都是由过冷却水滴和冰晶共同构成的，所以冷云降水过程是气

体、液体、固体三相结构的。由于云中冰、水、气共存，而冰面上的饱和水汽压比同温度下的水面饱和水汽压小得多，因此，若云中水汽对水面饱和，对冰面来说便是过饱和了。于是水汽就要在冰晶上凝华增长，使水汽对水面不再饱和，不饱和就会产生蒸发，蒸发的水汽又被冰晶吸收，这种现象就叫“冰晶效应”，亦称“贝吉龙过程”，是冷云降水机制的重要过程。一旦冰晶形成后就能在过冷却云中迅速增长，当它的下降速度超过上升气流时，便一边下降，一边和小水滴碰并，继续长大，到达 0°C 层以下就开始融化，如果冰晶仍然处在云中，还要按碰并机制进一步长大，直到最后雨滴落到地面，形成降雨。

第二节 人工降雨的基本原理

一、一般原理

人工增雨的基本原理主要依据于人们对自然降水形成过程的认识。按目前的认识水平，进行人工增雨主要是通过人工增雨作业的影响，改变云和降水质点的微观形成和生长的物理过程，从而达到增雨的目的。

37 高炮人工降雨的云层主要是冷云（实际是上部为冷云、下部为暖云的混合云）。冷云人工增雨的基本原理是冰晶效应学说。根据冰晶效应过程，应用 37 高炮（或火箭），将大量的人工冰核引入云体的过冷却部位（ -10°C 左右），在冰核转化成冰晶的同时释放出大量潜热。使云内温度升高，增大上升气流，促使云体在垂直和水平方向上都迅速发展，相

应地就延长了云体的生命期，加速了云内形成降水的过程，从而增加降水。

实践证明，云顶越高，云越厚，云中上升气流越大，降水的几率和降水量就越大。也就是说，积雨云的降水几率和降水量要比浓积云的大得多。但是积雨云出现的几率却比浓积云的小得多。成都地区的人工降雨，多数在6月份抗夏旱时期。这时也是浓积云出现较多，积雨云出现较少的时段。如果我们通过人工影响，促使浓积云中较大、较厚的云体变成积雨云，从而增加降雨量，那是很有意义的。尤其是在江河上游的山区作业，能产生较好的效益。为什么能够促使有的浓积云变成积雨云呢？因为浓积云的发展主要受两个力的作用，即耗散力和生长力。生长力是促使云体发展的动力，耗散力是阻止云体生长的阻力。在积云发展的不同阶段，这两个力的相对大小是不同的。由于浓积云的云顶常有一个稳定层使生长力减小，从而阻止云体向上发展成积雨云，而有的时候这个稳定层又不太强，只要给它增加一定的生长力就能使它突破稳定层而发展成积雨云。人工降雨作业，就是按勃为催化的原理，向云体的过冷部位引入人工冰核以使浓积云发展成积雨云，从而促使降雨的形成。这就是积云的动力催化原理。

此外，再谈一谈冷云降水的静力催化原理。冷云的静力催化是建立在以下假定基础上的：①冷云降水主要靠贝吉龙过程形成，而要使这种过程有效，云中必须要有适当数量的冰晶；②如果云中缺少足够数量的冰晶而不利于降水，人工降雨就是通过人工向云内引入冰核，从而使云中的冰晶增加到适当的数量而产生降水；③如果云体本身已有足够数量的

冰晶，人工再播散大量冰核从而造成冰晶过量，就可能延缓甚至阻止降水发生。那么，进行人工降雨作业时，人们究竟能否知道云内的冰晶浓度，从而决定引入冰核的数量呢？这是目前解决不了的问题。也就是人工降雨尚存的一种盲目性。不过，据有些地方的观测和研究认为，云内温度在 -20°C 以下，一般讲冰晶浓度是足够的，不必再向云中引入催化剂。这可以作为我们目前指挥作业的一个参数。

暖云，一般不是高炮和火箭进行人工降雨作业的对象。夏季在南方，天空常常布满积云。当旱情严重、领导和群众盼雨心切之时，往往看到这类云就要求打炮。其实，对这种云作业是不会有多大效果的。其中很大一部分积云并未发展成积雨云就中途夭折了。因为它的云滴谱比降水性积云的窄得多，即缺乏足够的大云滴，使得碰并增长十分缓慢，雨滴破碎的链锁反应更未开始。这种积云的寿命又很短暂，要么在降水质点还未形成之前云已消散，要么虽然形成了少量的降水雨滴，但云底较高，尚未落到地面就蒸发掉了。但是，这种云还有一个特点，就是云中的上升气流速度比较大，液态水含量不小，云体厚度大。这些又是人工影响降水的有利条件。如果对此类积云的适当部位，及时地人工引入某种催化剂（如用飞机播撒干冰等），使其产生足够数量的大水滴，改变云滴谱分布的均匀性，从而破坏云的微结构的稳定状态，加速碰并过程，促使降水胚胎的迅速形成，这样就有可能增加降水。这就是暖云人工增雨的基本原理。

二、高炮人工降雨原理

使用 37 高炮进行人工降雨，就是将含碘化银的弹头射入