



人工降水

河南人民出版社

人 工 降 水

河南省科学技术委员会 合編
河南省气象局

*

河南人民出版社出版（郑州市行政区經五路）
河南省書刊出版業營業許可証出字第—号
地方国营郑州印刷厂印刷 河南省新华书店發行

*

豫总書号：2158

787×1092耗 1/32· $\frac{5}{8}$ -印張·13,000字

1959年9月第1版 1959年9月第1次印刷

印数：1-2,088册

統一書号：T13105-22

定价：（7）0.08元

前 言

“人定胜天”已经成为我国人民不可动摇的信念。我国人民在党的领导下，正以冲天的干劲，移山倒海，改造自然，使祖国面貌日新月异。“呼风唤雨”曾是我国人民千百年来幻想。这个幻想终于在我們这一代变成了现实。人工控制天气这门科学，已经在我国迅速地发展起来。

人工控制天气是我们社会主义以至共产主义建设中，和自然作斗争的一项重大任务。我国人民已经成为社会的主人，也一定要成为自然界的主人。人工控制天气将保证生产建设的顺利进行，在农业方面显得更加突出。总之，人工控制天气具有非常重大的经济意义和政治意义。

人工控制天气的斗争在我国已经有很长的历史。我国劳动人民在很早以前，就掌握了溶冰化雪、撞击冰雹、熏烟防霜等方法。但在反动统治时期，反动政府对自然灾害给劳动人民带来的疾苦是漠不关心的，所以对劳动人民创造出来的科学方法，不加重视和推广。解放以后，由于党和政府的重视，这门科学研究工作已经建立并迅速地发展起来。目前，全国有不少的地方已进行了各种控制天气的试验，并取得了一定的成绩。我省也展开了这项试验研究工作，并取得了初步的成功。

这本小册子，主要是介绍一些人工降水的原理和方法。为了便于读者学习，特转载了“天气月刊”（1958年10月号）和“科学画报”（1959年3月号）中有关人工降水的两篇文章。由于时间紧迫，争取及早出书，出版前未能征求原作者的意见，特此说明。由于编写时间短促，书中可能会有很多缺点和错误，希望读者多加批评和指正。

編 者

1959年9月

目 录

- 人工降水的原理和方法.....河南省科学技术委员会
河南省气象局 (1)
- 熏烟造雨.....布儿 (7)
- 关于1958年8月間吉林地区人工降雨試驗
情况的报告.....北京军区空司气象处 (11)

人工降水的原理和方法

河南省科学技术委员会

河南省气象局

人工降水是当前人們很注意的問題，它是人工控制天气这门科学中的一个主要部分。在一般情況下，我們把消云、消雹、消霧、造霧、造云、造雨、造雪等等問題，統統列在人工影响云霧這個問題里，它們的原理都是一样的，所采用的方法也很相似。

要研究人工影响云霧、人工降水，必須先討論云和降水的物理过程。在這篇文章里，准备講云、降水、人工降水三個問題。

云

(1) 水分在自然界里的循环

在自然界里，我們經常可以观察到水、水气和冰互相转变的現象。水分是自然界里非常活跃的因素，它以不同的形态存在于自然界里。海洋、江河、湖泊、冰面、雪面、土壤、植物的表面都有水蒸发（或冰升华）变成水气的現象。水气在空气中，如遇一定条件，就会发生凝結，形成云以至发生降水。降水落至地球表面，再蒸发，再凝結，如此循环无尽。当然，我們还要知道，径流和空中水分的水平輸送也是水分在自然界里循环的重要方面。

(2) 水汽的凝結与凝結核

空气在一定的湿度条件下，容纳水气的数量是一定的。若空气中的水气超过了这个数量，就可能发生凝結現象。云的生成就是一种凝結現象。

使空气里的水气發生凝結，就需要空气里的水气达到飽和状态。要使空气飽和，有两种途徑：一是增加水气，一是冷却。在自然界里，主要是靠冷却来使空气达到飽和。

在空气里，存在着無數的微小質点（如鹽粒、烟塵、离子等）。这些微小質点对水气的凝結有着重要的作用。假若沒有它們（这种情况可以在實驗室里获得）即使空气飽和了，也不会發生凝結現象。我們把这些微小的質点叫做凝結核。

（3）云的形成

空气上升就会逐漸冷却，也就容易發生凝結現象从而生成云。空气可以因为地面受热不均而發生上升；也可以因为冷暖空气相遇而發生上升；另外，空气运动遇到山脉会被迫上升。

（4）云的結構和分类

云是由無數的微小水滴（即云滴）聚集在一起組成的。云滴的半徑只有几微米到几十微米。除了水滴以外，在温度很低时，云里还会有冰晶。

云可以分成很多种类，各类云形狀的描述可以在有关的氣象学書籍里找到，这里不多介紹。在人工降水方面，往往根据云分为暖云和冷云。云中温度在零度以上即謂暖云，在零度以下即謂冷云。对暖云和冷云的人工降水方法是有所不同，这一点以后还要談到。

降 水

（1）云滴的增大

由于云滴非常小，悬浮在空气里，不会降落下来。只有当云滴逐漸增大，变成雨滴才可能降落到地面。但是，云滴变成雨滴并不是很容易的。根据計算，往往需要成百万个云滴才合并成为一个雨滴。这是难以想象的事情。那么云滴究竟怎样

變成雨滴呢？說起來，道理並不难懂。前面講過，在云中除了有水滴以外還會有冰晶。當水滴與冰晶同時存在的時候，因為冰晶上比水滴上更容易發生凝結現象，水氣就會由水滴上不斷向冰晶上輸送，這就使冰晶增大起來。

當云中有大小不同的雲滴存在時，也可能出現與上述類似的現象。在大雲滴上比小雲滴上更容易發生凝結現象，大雲滴就可能更加增大。另外，當雲滴中含雜質濃度不等時，也會引起水氣由一種雲滴向另一種雲滴輸送的現象。

以上就是雲滴開始增大的原因。這些原理對我們人工降水來說，非常重要。目前，人工降水就是從這裡下手的。

（2）雲滴變成雨滴

上面所說的雲滴增大過程，只是雲滴變成雨滴的第一步，光靠這一步還不能造成降水。根據計算證明：雲滴增大過程有時是很緩慢的，有時並不能使雲滴增大很多。這與自然界里降水的實際情況是不符合的。這說明還有另外的原因使雲滴繼續增大而變成雨滴。當云中某些雲滴增大之後，便開始有了下降速度，在這些雲滴下降時，就會與許多更小的雲滴相撞，並且與這些小雲滴合併，使自己更加增大，獲得更大的下降速度，再合併、再增大。這種過程，可以使雲滴增大得非常快。但是，這種過程必須是在前一種過程的基礎上發展起來的。

（3）降水的形成

云中產生雨滴之後，在雨滴下降過程中，會因為氣流的沖擊而發生分裂。雨滴分裂成較小的水滴，看起來好像不利於降水的形成，其實不然。雨滴分裂後所成的較小水滴又可以引起合併更小水滴的過程。這樣一來，就形成所謂連鎖反應，使降水過程在云中迅速發展和擴大。當云中擾動大的時候，更易于發生連鎖反應。在人工降水的作業中，是需要利用這一點的。

有时候，云中虽然發生了降水，但由于云下空气干燥，降水不能到达地面，在半空中就蒸發完了。云下空气湿度的大小，对降水的关系很密切，这也是我們进行人工降水时需要考慮到的問題。

(4) 降水的种类

不同的云所造成降水的性質也是不同的。象高層云会产生間隙性的降水，雨層云会产生連續性的降水，面积雨云却会产生陣性的降水；此外，層云会产生毛毛雨。

降水包括雨、雪、霰、米雪、雹、冰粒等等。各种降水的区别和定义在有关的气象学書籍里有詳細的介紹，这里不多介紹。下面只談一下冰雹的形成原理。

(5) 冰雹（俗稱冷子）的形成

冰雹一般产生在發展旺盛的积雨云中。在这样的云中，頂部温度很低（零度以下），而底部温度却相当高（零度以上），云中有强烈的上升气流和下沉气流。最初，在云的顶部發生降水（即有雹核下降）。当雹核降到零度以上的区域时，就会与小水滴發生碰撞和合并，使自己有所增大。此时，如遇强烈上升气流就会把它抬升到零度以下的区域并使之冻结；冻结之后，与一些水滴和雪花粘附，再降到零度以上的区域，又与小水滴碰撞合并而增大，再遇上升气流，抬升到零度以下的区域冻结起来。如此往复一下一上，便使冰雹逐渐增大，直至上升气流托不住时，就降落到地面。

人工降水

(1) 人工降水的原理

前面已經講过，云中發生降水有兩個过程，首先是云滴开始增大的过程，繼而是云滴繼續增大变成雨滴的过程。前一种

过程叫做凝結增長过程，后一种过程叫冲并增長过程。人工降水主要就是促进凝結增長过程。

当云中有冰晶和水滴同时存在的情况下，就可能發生凝結增長过程。但是，在云中往往是缺少冰晶的，只有在温度很低时（摄氏零下20度以下），才有較多的冰晶出現。正因为这个緣故，使得有些云不能發生降水。我們要是能在云中制造一些冰晶，那就会促进降水的發生。

使云中出現冰晶的方法大致有兩種：一种是在云中加入冷却剂；另一种是在云中撒布人工冰核。

根据实验証明，云中水滴在摄氏零下40度以下时，一定会变成冰晶。针对这一点，我們可以在云中撒布温度在摄氏零下78度的干冰（即固体二氧化碳），使水滴变成冰晶或使水气直接凝結成冰晶。

云中的水滴在温度很低时才結冰。假若我們在云中加入冰核（或称冻结核）就能使水滴在較高的温度下变成冰晶。在自然界里正因为缺少冰核，云中的水滴不易变成冰晶。常用的人工冰核有碘化銀等。碘化銀之所以起作用，是因为它的結晶与冰晶極為相似，使水滴比較容易变成冰晶。这种作用叫做“**欺騙結晶**”。除了碘化銀以外，还有不少藥品也可以起作用，但效果不如碘化銀好。碘化銀在摄氏零下5度时就能使水滴变成冰晶。

干冰、碘化銀都是在冷云中使用的，对暖云就不适用了。促使暖云發生降水，也有兩種方法：一种是在云中撒布吸湿性物質（如食鹽等）；另一种是在云中撒布大水滴。這兩种方法都是为了在云中出現較大的水滴，从而产生冲并增長过程，以使發生降水。

（2）人工降水的方法

把藥劑送入云中有各种各样的方法。用飞机把藥劑撒在云中，当然是很理想的，但是这种方法終究不易推广。因此需要研究，不用飞机，采用从地面把藥劑送入云層的方法。下面就簡單的介紹几种方法。

1. 用土火箭（俗称“起火”）

把碘化銀等藥品裝在火箭的尖端，并設法使其在空中燃燒。这样就有可能促使云層發生降水。不过土火箭达到的高度还很低，需要进行改进，也可以制造比較“洋”一些的火箭来輸送藥品。

2. 用炮

用土炮、迫击炮、高射炮發射藥品“催化”云層的試驗在有些地方已經作过，并取得一定的成效。这也是一种有可能推广的方法。

3. 用气球

把藥品系在氫气球上，并控制在适当的高度上进行撒布。这种方法的困难在于制备氫气比較麻煩；另外，气球随风飄动，不能控制它的方向，只能在层狀云天气下才适合运用。

4. 在地面熏烟

將藥品在地面燃燒，变成烟，利用自然的上升气流使其入云，促使發生降水。这种方法很簡便，易为群众所掌握。

关于所使用的藥品，需要进行一些处理。这里先談一下碘化銀的处理方法。一般在使用碘化銀时，都是把它溶解在丙酮里，也可以溶解在液态氮里。由于碘化銀不易溶解于丙酮，必須先在丙酮里溶解一些碘化鈉才行。液态氮須要保存在高压鋼瓶里，这就應該先把碘化銀放进鋼瓶，再灌注液态氮。將制成的溶液进行燃燒，就可以得到極為細微的碘化銀結晶。

除了碘化銀以外，也可用鋁粉。鋁粉在高温下燃燒，变成

三氧化二鋁，它可代替碘化銀的作用。

碘化銀、三氧化二鋁只能适用于冷云，对于暖云，可以使用赤磷。赤磷燃燒后变成五氧化二磷，五氧化二磷吸湿性極强，可以促使暖云發生降水。

在我国有很多地方进行了人工降水的試驗工作，取得了不少成績。1958年冬季在吉林进行的十几次試驗中，人工降雪的面积計达1,000—1,500平方公里左右。在其他一些地方的試驗中，也都有很好的效果。由此可見，人工降水是很有希望的一項工作，但是，目前，人工降水仍在試驗阶段，还不能完全解决实际问题。还需要我們进一步的研究和試驗。

霧 烟 造 雨

布 凡

“呼風喚雨，興云消霧”，要“年年風調雨順，五谷丰登”，这是人民千百年来幻想。在过去的社会里，人們只能祈求龙王玉帝，然而一場天災还是弄得家破人亡。

解放十年来，由于党的正調领导，全国出现了許多奇迹，1958年的农業生产获得空前大丰收。气象与农業有着密切关系，对保証农業增产方面有很大作用，但目前还是限于消極的預防，还没有用人工控制。因此，在生产过程中，仍可能受到災害性天气的破坏。如果我們能够控制天气，要云有云、要雨有雨，这样就必然会大大减少各种天災，使农業生产获得更大的丰收。

人工控制局部天气工作的历史很短，国际上还处在摸索时

期。我国正在大力开展，許多地方，象吉林、武汉、南京等地已經取得了很好的成績。上海中心气象台也在着手試驗，今年一月份用地面噴發藥劑方法，兩次試驗都成功了。

两次試驗

1月7日傍晚，上海地区上空滿布雨層云，根据19时無線电探空报告，云高1,320米，云顶6,500米，整个云層温度都在攝氏零下，云顶温度达攝氏零下19度，自地面至云底沒有逆温現象，水汽接近饱和，

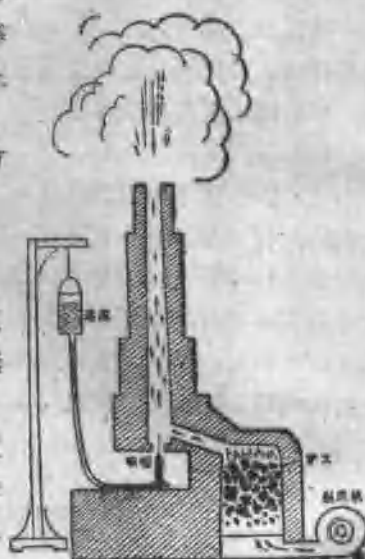


圖1 改进后的反射爐式噴發裝置

低層風向东北，風速每秒4~8米。20时30分，工作組人員同时在一条直綫上的三个点上开始噴發藥劑。这个过程一直到24时先后結束。从开始噴發藥劑的第二个小时起，試驗地区的雨勢有比較明显的增加，根据34个測站报告的資料，試驗地区的雨量达9.6~11毫米，比一般地区增加了一倍。1月29日14时左右，連續的小雨停止了，云層正在变高变薄，滿天層积云，天气將要好轉。19时的無線电探空报告：云高1,400米，云顶3,180米，云顶温度零下9.5度，自地面至云底沒有逆温現象，風向西北，風速每秒5~15米。在第一次造雨試驗的基础上，改进了藥液喷射工具和碘化銀烟發生爐(圖1)等，于同日17时45分~19时，作了在云層趋于消散情况下的人工造雨实验。根据各測站报告的資料，在

19时前后，也都先后下了几十分钟的小雨。

这两次试验表明用喷发化学药剂促使云层降水的方法，不仅在山地适用，在平原地区也同样是可行的。这种方法操作简单，费用不大，为今后开展群众性的人工控制局部天气工作，提供了有利条件。

人工造雨的原理

人工造雨的原理，简单说来就是用化学药剂对若干具有条件的云层加以“催化”，使云中小水滴变大，降为雨雪。什么是“催化”作用呢？这需要从头说起。

为什么有些云会下雨，而有些云不会下雨呢？

这个秘密最近已经揭穿了。原来云中小水滴要变成雨滴降落到地面，必须使云滴有不断增大的过程，这种过程，一般有二类：

第一类：云中要有足够的冰晶核，这种冰晶核与过冷却云滴（温度在零下而不结冰）并存时，由于两者的饱和水汽压不同，因此在适合的湿度条件下，水分就会从过冷却云滴上蒸发，而在冰晶上凝华。这样，就使过冷却云滴不断变小而冰晶逐渐增大，加上相互并合到一定程度时，空气浮力已不能支持这个重量，就降落到地面。很厚很黑的云层由于往往具备了这样并存的条件，所以通常下雨；而很薄的云层往往不具备这种条件，或者云层很高，就不下雨，即使降下来也掉不到地面就蒸发掉了。

第二类：夏天时常会看见有些云虽然温度不在冰点以下，

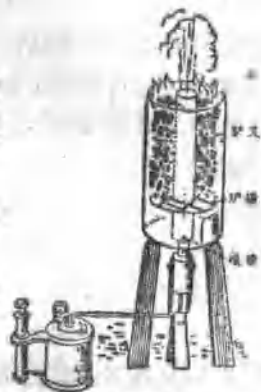


图2. 喷雾装置之一

但也会下雨。这种云滴增大过程与第一类不同，是由于升降气流的扰动，云滴相互碰撞，结果相互合并而增大，到一定程度时，就会落到云底成雨下降。

由此可见，使具有一定条件的云层增加冰晶核或大水滴，便是促使云滴增大、人工造雨的重要关键。

对于第一类，由于直接在云中播撒冰晶的不可能，所以常用直接结晶和欺騙结晶兩法去完成，促使云中自动出现冰晶。直接结晶就是在云中播撒冷冻剂，一般是用固体二氧化碳（即干冰），碎成小块后投入云中，由于干冰的温度很低（摄氏零下78.5度）使云中部分水汽因冷却而直接凝华为冰晶。欺騙结晶一般是用与冰晶结构極其相似的碘化銀来代替，也有不用碘化銀而用三氧化二鋁、樟腦酒精等藥剂的，將这种藥剂加入云中，使它起到与冰晶同样的作用。

对于第二类用人工促使云中出現較大水滴的办法，也有兩種：一是在云中直接加入大水滴；二是在云中播撒湿性鹽（如氯化鈉、氯化鈣），使它吸收水汽成为大水滴。

怎样將藥剂播撒到云中去造雨

人工造雨的关键之一，就是如何將有效的化学藥剂播撒到云中的問題。播撒藥剂要看对象，什么云有效，什么云無效，云的温度怎样？湿度又怎样？事先必須了解清楚，一般是根据無線电探空資料决定，或者用目測云狀也可以大致判定。

播撒方法，一般有地面噴發就是熏烟法（圖1、圖2）及飞机播撒等数种。地面噴發，是利用碘化銀易溶于丙酮或液氮的特性，將这些溶液通过噴嘴噴成細沫，再經熾热炭爐燃燒后变成帶有碘化銀微粒的烟飄入云中。用飞机播撒时，只需將碎成小塊的干冰，用飞机運載到云体适当部位时投入云中，或將

清水或飽和食鹽水或食鹽在飛行時投入云中。除了這些方法以外，還有用氣球、特製炮彈等方法把藥劑送入云中的。

人工造雨的初步成功，是人類征服天氣與利用天氣的第一步，相信能“呼風喚雨、興雲消霧”，一定不是遙遠的事了。

關於1958年8月間吉林地區人工 降雨試驗情況的報告

北京軍區空司氣象處

吉林地區的人工降雨試驗是在嚴重乾旱的情況下進行的。按歷年正常情況，吉林地區7月份降水量為200毫米，但今年（指1958年——編者按）7月份只有40毫米，降水量多的地區也未超過50毫米，這樣就使工農業生產受到了很大影響。此次人工降雨的試驗初步獲得成功，基本解除了吉林地區的乾旱現象。現將這一試驗工作的情況簡單介紹如下：

試驗過程中的一些工作

（1）試驗用的化學原料問題

這次試驗人工降雨的化學原料是干冰（即固體二氧化碳），此項干冰出揚時，分100公斤的長方塊及25公斤的正方塊兩種。

1. 干冰的運輸與保管：干冰是一種低溫的固體，其本身溫

度在一个标准大气压下为摄氏零下78.5度挥发性很强，一晝夜即可揮發1/3。因此在運輸与保管时一定要尽量与外界空气隔絕，以免因揮發而損耗。这次实验所用的干冰是包裝后用冷藏冰箱車直接運輸的。

2. 干冰的使用方法：每次撒冰前將整塊干冰放入鉄篩內用木錘打碎，干冰塊子的大小最好是約25毫米見方；但还应視云的厚度和云內空气的穩定度而定。一般說云內上升气流強則所撒干冰塊可大一些，反之則小一些。最后將敲碎后的干冰裝入离合式撒冰器中。

3. 使用干冰应注意事項：

①由于干冰是二氧化碳制成的，因此在一个密封的車箱中干冰揮發出的二氧化碳气体往往能將車箱內的氧气排挤掉，使車箱中氧气缺乏。为此在每次从密封車廂中取干冰时，一定要先將車門打开3—5分鐘，使氧气进入車廂后再上車去取，否則会因缺乏氧气而感到呼吸困難。如有一次將干冰存放在地窖中，当人們进入地窖中搬取时就感到呼吸困難、不舒服，最后戴了氧气罩（但仍不能長時間的留在地窖中）才將干冰取出。

②由于干冰温度低，故皮肉不能与干冰直接接触，如有一次由于手接触干冰而使手很快腫脹起来。

③这次試制的干冰，成分中尚有苯存在（苯約摄氏30度即可起火），故应注意防火。

（2）离合式撒冰器及其操作方法：

我們用的离合式撒冰器是利用旧的大气油桶制成，把撒冰器安裝在飞机上。为了防止干冰在撒冰器中受到空气增温影响而結合在一起不易漏下，在儲冰器內安裝了攪拌器。这样在撒冰过程中便可防止干冰的結合而使干冰受到震动容易漏下。另

一方面在离合式撒冰器四周及漏斗上包裝一層毡布（用膠皮絕熱更好），这样就可消除干冰的冻结和揮發現象。

撒冰器的操作方法共有两种：一种是拉杆式手搖操作方法，在工作时首先用手拉开閉合盖，再用手操作杠杆前后推动，使攪拌器帶动干冰而漏下；另一种是用脚蹬搖把的方法，操作时用脚蹬鉄柄，使离合片往返轉动，上下兩層扇形片重合时干冰就从空隙中下漏。这两种方法，以前者操作较为方便。

（3）撒干冰的方法

1.撒干冰的区域选择：应根据天气預报及飞机在空中的实际观测来选择。播撒地区要尽力选择水汽含量最多、对流性较强、易于形成降雨的云層（如云顶較高、云層較厚的濃积云、积雨云或雨層云）

2.撒干冰时的飞机高度：飞行高度应根据云顶的高度而定，飞行高度的温度应在摄氏零度以下，飞机紧贴云顶飞行。这样撒干冰最为适宜（一般飞行高度在5,000米以上）。

3.撒干冰时的飞行途徑：視云的具体情况可以采取“S”形、“8”字形、轉圓圈和直綫通过等多种形式。

4.撒干冰时飞行速度：一般來說干冰撒下时密度宜大，散布要勻。为了保持干冰下漏有一定的密度，故撒干冰时飞行速度不易太大，一般以360米/小时的速度为宜。

（4）气象方面的保証工作

在飞行前应向飛行員講解本站、航綫及撒干冰地点的实况、天气預报、高空風和飞行中应注意事項（如积冰、穿云等），并供給本站的場面气压。在飞行过程中要经常了解飞机的位置，并記錄空中气象报告，必要时通过指揮員索取空中气象情况。在飞行结束后应向飛行人員詳細了解空中情况（如撒干冰器工作情况、飞行高度、飞行途徑）。