

中国气象局气象宣传与科普中心
中国工程院环境与轻纺工程学部

联合策划

郑国光◎主编

“我们的天气”丛书

我们如何改变天气

王元红◎编著

图书在版编目 (CIP) 数据

我们如何改变天气 / 王元红编著. -- 北京 :
气象出版社, 2016.11

(我们的天气 / 郑国光主编)

ISBN 978-7-5029-6438-2

I . ①我… II . ①王… III . ①气象学 - 普及读物
IV . ① P4-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 250295 号

Women Ruhe Gaibian Tianqi

我们如何改变天气

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮政编码: 100081

电 话: 010-68407112 (总编室) 010-68409198 (发行部)

网 址: <http://www.qxcbs.com> E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑: 侯娅南 胡育峰

终 审: 邵俊年

责任校对: 王丽梅

责任技编: 赵相宁

封面设计: 符 赋

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 710 mm × 1000 mm 1/16

印 张: 9.25

字 数: 140 千字

版 次: 2016 年 11 月第 1 版

印 次: 2016 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等, 请与本社发行部联系调换

“我们的天气”丛书编委会

主 编：郑国光

副主编：许小峰 李泽椿

总策划：余 勇

编 委：（以姓氏笔画为序）

丁一汇 王元红 王元鼎 王建捷 王维国 刘 波
许健民 李维京 时少英 宋君强 张 健 陆 晨
陈 峪 陈云峰 陈克复 陈联寿 金翔龙 周志华
周家斌 郝吉明 胡育峰 段 宁 侯立安 徐祥德
端义宏 潘德炉

编委会秘书：王月冬 梁真真

序

我们生活的方方面面——衣食住行，都与天气气候息息相关。天气气候，无时无刻不在影响着我们。

党的十八大提出“加强防灾减灾体系建设，提高气象、地质、地震灾害防御能力”“积极应对全球气候变化”“加强生态文明宣传教育”“普及科学知识，弘扬科学精神，提高全民科学素养”。习近平总书记强调，“要组织力量，对异常天气情况进行研判，评估其现实危害和长远影响，为决策和应对提供有力依据”。党中央、国务院对气象工作做出的一系列重大战略部署和要求，无不彰显出对气象防灾减灾、应对气候变化的高度重视，无不彰显出对气象保障国家治理体系和治理能力现代化的殷切期望。

近年来，随着气象科技的快速发展，天气气候中的许多概念都有了新的内涵。随着气象服务领域的不断拓宽，气象越来越融入经济社会发展各领域，人们生产生活也越来越须臾离不开气象。如何通俗、科学地介绍气象科技、气象业务、气象防灾减灾知识，为大众揭开气象的神秘面纱，显得越来越重要。

中国工程院重点咨询项目“我国气象灾害预警及其对策研究”对近年来我国气象灾害及其影响、气象致灾的特点、气象致灾预警中存在的问题进行了全面的分析，并提出对策。研究发现，基层干部及群众，包括一些领导干部，对灾害发生的规律了解不够，在第一时间做好自救和防护的意识和能力亟待提高，急需加强科普宣传，提高全民对灾害的认识，增强群众自救能力。

在经济发展新常态下，各级党委和政府、社会各界对气象服务的需求将越来越多，重大自然灾害的国家治理对气象保障的要求将越来越高，气象为经济社会发展、人民幸福安康、社会和谐稳定提供坚强保障的责任将越来越大。但是，大众对气象科技的了解和理解还不够，全民气象意识还薄弱，气象知识还匮乏，特

别需要加大力度，通俗易懂地传播气象科技、气象工作、减灾防灾、自救互救等知识。

气象服务让老百姓满意，是全体气象工作者的职业追求。人民群众能不能收得到、听得懂、用得上各种气象信息产品，是衡量公共气象服务效益的主要标准。让更多的民众认识气象，了解气象的基本规律，提高抵御自然灾害的意识和能力，是我们气象工作者义不容辞的使命。

为满足广大民众对气象科普的基本需求，由中国气象局气象宣传与科普中心、中国工程院环境与轻纺工程学部、气象出版社共同策划了“我们的天气”科普丛书，旨在向社会大众传播最新天气气候科学及防灾减灾知识。本丛书共分六册，分别是：《明天是个好天吗》《天气预报准不准》《天气与我们的生活》《我们如何改变天气》《科学应对坏天气》《天气与变化的气候》。每册各有侧重，又相互联系。气象科普存在专业性、前沿性、学科交叉性、难度大的特点，为保证内容的科学性，本书邀请了业界、学界的专家，设立以院士、专家为主编、副主编的丛书编委会，编委会成员由有关专家和科普作家组成。在此，向为本丛书的编撰和编辑出版做出贡献的所有专家表示衷心的感谢！

希望丛书的出版能为气象服务于人民生产、生活提供有益的帮助。同时，我也呼吁全社会动员起来，积极关注和参与应对气候变化，大力推进生态文明建设，为实现中华民族伟大复兴的“中国梦”而努力奋斗。

中国气象局局长

郑国光

2015年3月

目 录

序

一、人工影响天气概述.....	1
从远古的尝试谈起.....	2
国外人工影响天气的科学试验.....	3
我国人工影响天气的发展历程.....	6
人工影响天气的内容有哪些.....	11
二、天上有朵下雨的云.....	13
云的分类.....	14
云中的水.....	20
云中的秘密.....	22
层状云的降水机制.....	29
对流云的降水机制.....	32
积层混合云的降水机制.....	37
地形云的降水机制.....	39
三、人工增雨（雪）.....	43
为何要进行人工增雨.....	44
大气监测.....	45
人工增雨的原理.....	52
人工增雨的催化剂.....	55

人工增雨的装备·····	58
人工增雨作业·····	65
人工增雨的效果评价·····	69
人工增雨案例·····	73
人工增雪·····	74

四、人工防雹····· 77

冰雹·····	78
冰雹云的监测与冰雹预报·····	84
人工防雹原理·····	87
人工防雹使用的催化剂·····	89
作业装备·····	89
人工防雹作业·····	89
人工防雹的效果评价·····	93
人工防雹案例·····	94

五、人工消雨····· 97

人工消雨的概念·····	98
人工消雨的原理和方法·····	98
人工消雨的流程·····	100
人工消雨案例·····	101

六、人工消雾	103
雾	104
雾的监测	107
人工消雾的原理	108
人工消雾作业实践	110
七、人工防霜冻	113
霜冻	114
人工防霜冻的方法	115
八、其他人工影响天气活动	121
人工抑制雷电	122
人工削弱台风	123
人工抑制暴雨	125
九、人工影响天气的未来	127
技术展望	128
需求展望	133
参考文献	136

一、人工影响天气概述



从远古的尝试谈起

“靠天吃饭”的说法古已有之。对于天，人们总是敬畏的、顺从的，皇帝甚至自称天子，也就是天的儿子，来代表天统治百姓。在古代，没有人怀疑过这一点，人们屈从，人们低头，人们祈求苍天的保佑；人们祭天，人们甚至向它下跪。可风调雨顺是人们祈求能得来的吗？是人们靠跪拜就能够得到吗？古代的统治者抓住某种巧合，大肆宣扬祈雨的成功和祭祀的效果，可当我们静下心来去思考的时候，我们会问，顺从、敬畏或者祭祀，天就能够听我们的话吗？

不！事情并没有那么简单。干旱、冰雹、暴雨、雷电……那些让我们感到恐惧的气象灾害还是不期而至，还是给我们带来了无情的灾难，甚至夺取了很多人的生命，让我们遭受了巨大的损失。

聪明的先人试图用人工方法来影响天气。明代，人们面对冰雹一次又一次的袭击，他们想了很多办法，敲锣打鼓，使用土枪土炮、炸药包等，试图用这些办法防止冰雹落到地面，避免危害农作物。现在看来，这些办法虽然略显幼稚，但却是很好的尝试，是人们想通过自己的努力来影响天气的一种美好愿望的表达。



明代先人以土炮轰击冰雹云

17 世纪末，清代的《广阳杂记》中有这样的记载：“夏五六月间常有暴风起，黄云自山来，风亦黄色，必有冰雹，大者如拳，小者如栗，坏人苗田，此妖也。土人见黄云起，则鸣金鼓，以枪炮向之施放，即散去。”这让我们感到欣慰，面对天灾，人们不再祈求和祷告，而是正确地认识它，积极地面对它，并且采取有效的办法来制止它。对付冰雹，人们不再焚香和跪拜，而是使用土枪和土炮，这是一种观念的转变，更是一种科学的态度。

这样的事情只发生在中国吗？不，外国也有。不管在哪里，人们对天的认识、对气象的认识、对灾害的认识都有一个从敬畏到科学认知的过程。

1815年，在意大利，就有人采用敲钟、烧篝火的方式进行防雹。人们似乎是想用这种方式将冰雹吓走，但冰雹是吓不走的，想要赶走冰雹，要用人工来影响天气，这一切都需要进行严谨的科学试验。

面对干旱，许多人试图用人工降雨的方式来缓解。根据大战后战场往往下大雨的经验，1891年前后，美国曾用大炮轰云或用气球和火箭携带炸药到云中爆炸等方法来增加降雨量。1903年，澳大利亚人将氢气引入空气中以抬升气块，从而使气块冷却、成云致雨。还有人设想用加热气块的方法抬升空气，或通过机械方法利用鼓风机抬升空气，或用电学方法播撒带电沙粒等方法促使降雨形成。遗憾的是，这些方法不是收效甚微就是完全失败。

国外人工影响天气的科学试验

进入近代，人工影响天气研究的步伐加快了，这得益于大气探测技术的迅猛发展，人们在认识天气方面更加科学，更加理性。

1931年，荷兰人范拉特将1.5吨的干冰播撒到2500米的高空中，结果下了雨。他分析这是由于干冰粒子相互摩擦产生电荷，引入云中的电荷导致云滴合并且逐渐增大，因而产生降水。这个分析现在看来是错误的，干冰催化产生降水并不是因为粒子相互摩擦产生电荷。

1938年，美国学者霍顿在麻省理工学院野外的试验站将氯化钙撒到大雾中，结果使周围的雾消散了。氯化钙作为吸湿性核，在消除暖雾时，起到了很好的催化作用。

1946年，美国从事过冷却水研究的物理学家谢弗发现，用干冰，也就是固态的二氧化碳，可以使局部空气的温度降到 -40°C 。同年11月13日，在单翼机舱里，谢弗在马萨诸塞州西部一座山上空的一块过冷云上部撒播了1.36千克干冰，撒播干冰后的5秒内，几乎整个云都转化成雪，并形成雪幡降落，雪幡下落600米后升华消失。这表明用少量催化剂改变过冷云，可以达到降雪、消云的目的。



美国物理学家谢弗



美国物理学家冯内古特

随后，谢弗和其他研究人员又利用飞机在云层中播撒大量干冰进行试验，取得了很好的效果。在人工影响天气事业中，这是一个伟大的发现。

也是在这一年，美国的另外一位物理学家冯内古特也发现了一种物质——碘化银，并进行了成冰试验，这次试验也获得了成功。用碘化银催化不需要飞机，设备简单，用量很少，费用低廉。一时间，美国出现了许多人工造雨公司，这项技术在其他国家也迅速推广开来。在人工影响天气事业中，这是又一个伟大的发现。应该说，谢弗和冯内古特两个人的试验奠定了现代人工影响天气的基础。

1947年10月13日，美国进行了首次人工影响台风的尝试。1948—1949年，美国在中美洲的洪都拉斯对热带云进行了飞机播撒干冰的消云试验。1949—1951年，美国在新墨西哥州对积云进行多次播撒干冰试验，并开始使用能够在地面喷射碘化银烟的发生器进行周期化播撒。

20世纪50年代初期，美国一些地区出现了干旱，一批私营公司却因干旱而崛起。这些公司在解决水资源不足、积累播云资料以及提供试验场所、提高催化方法的可靠性和适用性方面起到了积极作用。这一时期，美国还开展了由谢弗领导的以抑制闪电为目的的“天火计划”。

除美国外，世界上许多国家也都较早地开展了人工影响天气试验。澳大利亚由于气候干燥，降水量少，人工降雨的设想对其具有很大的吸引力，并在1947年初就进行了对层积云的飞机播撒干冰试验。1955—1959年，澳大利亚实施了播撒碘化银的“斯诺伊山区计划”，试验获得一定成功。在同样严重缺水的以色列

列，他们的播云活动始于 1948 年，并在 1952 年就开始在人工降雨试验中引进了随机化播撒的概念，为其后成功地实施人工降水相关试验奠定了基础。

人工消雾方面的尝试也不乏其例。第二次世界大战中，英国人在飞机跑道两侧设置很多大火炉，用来加热空气使雾滴蒸发，以保证作战飞机安全起降。

在试验成功的基础上，各个国家的人工影响天气业务也就兴盛了起来。目前全世界每年有 30 多个国家（如美国、俄罗斯、加拿大、以色列、泰国、澳大利亚、印度、法国、意大利、韩国、日本、南非等）开展各种方式的人工影响天气活动。其中，美国、俄罗斯、以色列等国还把人工增雨的成套技术向发展中国家输出。

在人工影响天气业务中，俄罗斯表现得尤为突出。他们的人工影响天气机构由水文气象部门组织和管理，有专业的队伍实施作业，拥有各种各样的探测设备，用于作业的飞机就有 30 架之多。除此之外，一些科研院所还为他们提供人工影响天气的技术支持。

在人工影响天气这个领域，每个国家的运作方式又不一样。如美国，他们的人工增雨工作采取的是市场化运作，由专业的人工影响天气公司负责组织和实施。而泰国，人工影响天气业务由农业部下属的皇家造雨局组织实施，空军的 60 多架飞机随时可供他们调用。以色列则是由水务管理部门来组织实施人工影响天气的工作。

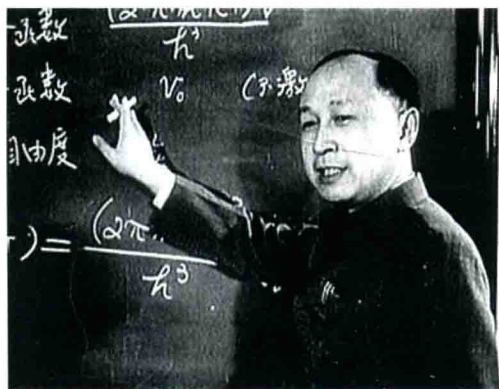


总结起来，国外的人工影响天气基本上采用两种方法：一种是使用飞机进行作业，另外一种就是在地面燃烧焰火剂进行作业。催化对象主要为地形云、对流云、层积云等，而所采用的催化剂主要有碘化银、致冷剂、吸湿性焰剂等。

近年来，随着气象科学的不断发展，人工影响天气事业也随之发展。仅探测手段就有飞机、雷达、卫星等多种方式。拿俄罗斯的人工防雷来说，他们已开发出自动化识别、决策和作业的实施系统。

我国人工影响天气的发展历程

我国的人工影响天气试验研究，早在 1955 年编制十二年科技规划时便提上了日程。在讨论期间，著名科学家钱学森建议将人工降雨试验列入科技规划，当即得到时任中央气象局局长涂长望和时任中国科学院地球物理研究所所长赵九章的积极支持。



钱学森

1956 年 1 月 25 日，毛泽东主席召集最高国务会议，讨论并通过《1956—1967 年全国农业发展纲要》。其间，时任中央政治局副委员长的涂长望汇报说：“我们研究《气象科学研究十二年远景规划》时，大家都同意把人工降雨试验列入重点项目。”毛主席听了高兴地说：“人工造雨是非常重要的，希望气象工作者多努力。”毛主席这个指示是对气象工作者的殷切期望，也是对人工影响天气研究工作的支持。从此，我国人工影响天气工作开始启动。

1956 年，中央气象局制定了《1956—1967 年全国气象事业发展纲要》，在随后发布的《气象科学研究十二年远景规划（草案）》中，有一项是“云与降水物理过程和人工控制水分状态的试验研究”。主要内容有：我国大陆和近海云、雾和降水的物理属性与其形成、发展和演变过程；中国大气中水分的蒸发、凝



涂长望



顾震潮



赵九章

结、升华和降水过程的研究；制定适合我国条件的人工控制大气中水分状态的方法。此外，该规划还列出了人工降雨、人工消除云雾和冰雹的具体内容。

总体来说，我国人工影响天气的发展历程大致分为五个阶段：

第一阶段（1958—1959年）：规划和初步试验

为了具体实施十二年科学发展规划，1958年1月，中央气象局党组会议决定开展人工影响局部天气试验研究。会后，涂长望邀请著名科学家和有关单位领导开会讨论如何开展人工降雨试验研究，如何建立飞行实验室、高山云雾观测试验站和技术人员的培训等问题，并进行了分工。

1958年2月，国家科学规划委员会批复同意成立由钱学森、顾震潮等人组成的云雾物理专业组，由赵九章负责。当年4月，涂长望、赵九章到黄山进行高山云雾考察，随后涂长望又到庐山考察。

1958年7月，吉林省吉林市出现60年未遇的特大干旱，吉林省气象局受《人工影响云雾》一文的启发，提出在吉林市开展飞机人工降雨试验。同年8月8日，在苏联专家的帮助下，由吉林氮肥厂生产干冰，利用空军用飞机，我国大陆首次进行了播撒干冰影响对流云降雨试验，并获得成功，降雨20分钟，降雨区面积200千米²，作业下风方宝安水文站观测降雨量为16毫米。同年8月8日—9月13日，分别以吉林市和丰满水库为中心共进行20架次飞机人工增雨作业，取得了不同程度的增雨效果，基本解除了旱情。吉林省的人工降雨试验受到中央气象局领导的关怀和支持，中央气象局委派有关部门的领导、专家和科技人员赴

现场考察和协助开展人工增雨试验。吉林人工降雨试验成功促进了人工影响天气试验在全国较大范围内的推广。

为了缓解西北地区的干旱，开发利用祁连山的冰雪资源，中国科学院地球物理研究所与甘肃省气象局、北京大学、中央气象局协作组成工作小组。1958年7月下旬，叶笃正、顾震潮进入祁连山实地考察人工降水条件。同年8月中旬，在祁连山进行地面燃烧含碘化银丙酮溶液的焦炭、施放由气球携带的含碘化银丙酮溶液药剂的定时燃烧盒进行人工催化试验。受到吉林飞机人工增雨成功的鼓舞，1958年8月31日—10月3日，工作小组先后在兰州、酒泉、榆中和祁连山共进行了18架次的飞机播撒干冰、盐粉的人工降水试验。播撒干冰后观测到云底出现雨幡或雪幡的人工影响效果，同时，在飞机上用云物理仪器观测了云的微物理结构，获得了珍贵的资料。

同年，科研人员在湖北、河北、江苏、安徽、广东等地先后开展了对暖云和冷云的人工增雨和消云等催化试验，大大加快了我国人工影响天气试验的步伐，开创了我国有组织地、科学地进行人工影响天气试验工作的新局面。

第二阶段（1960—1979年）：注重观测与科学试验

1960年2月，在国家科学技术委员会的领导下，人工控制天气办公室成立，该办公室设在中央气象局，负责协助各省制定计划、组织协作、交换情报、交流经验，并且帮助部分地区改善工作条件。

科研人员结合人工影响天气作业试验开始对云、降水微物理结构、冷云催化剂制备方法、播撒技术和设备、暖云催化剂核化机理等进行研究。

1962年以后，在十二年科学发展规划的指导下，人工影响天气的研究不断深入，研究领域不断扩大。人们对我国不同地区自然云的宏观、微观特征有了初步的认识，并对人工增雨的可能性、积云动力学以及暖云降水微物理学等问题进行了理论研究。

1978年5月，人工影响天气研究所成立，该研究所的成立加大了对人工影响天气的研究力度。

20世纪70年代，采用区域回归随机试验方案的福建古田水库人工降雨试验计划开始实施。中国科学院大气物理研究所组织几十名科技人员利用雷达、探空设备、闪电计数器，对山西昔阳和大寨进行有设计的人工防雹试验，对雹云资料