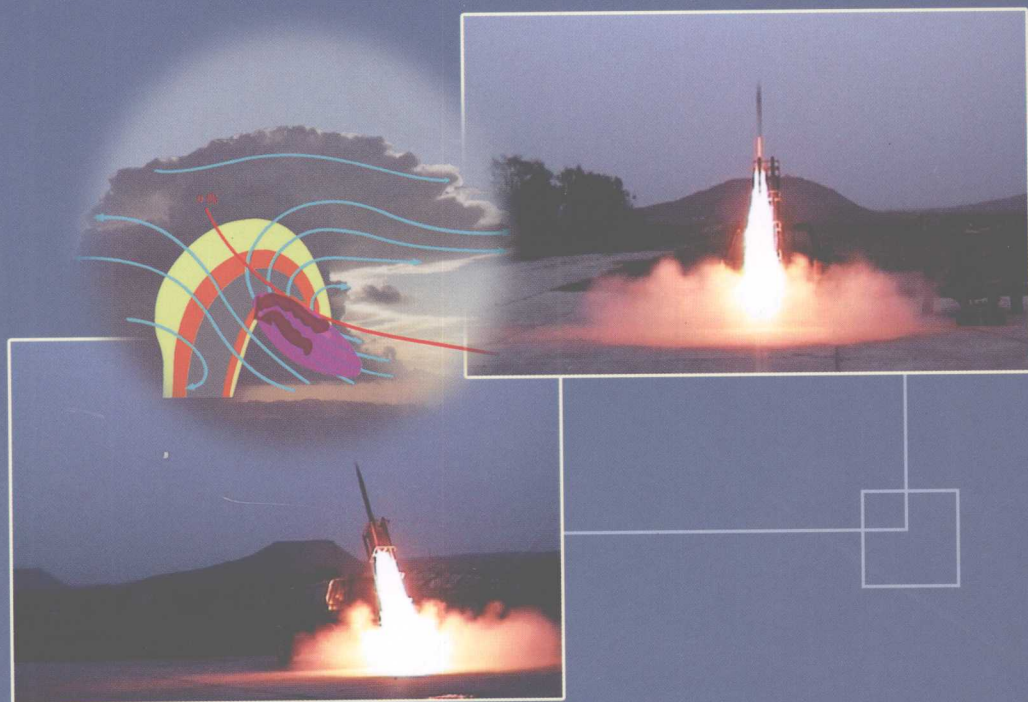


火箭人工影响天气技术

Huojian Rengong Yingxiang Tianqi Jishu

主 编：陈光学

副主编：段 英 吴 兑



气象出版社

火箭人工影响天气技术

主 编：陈光学

副主编：段 英 吴 兑



气象出版社

内 容 简 介

本书共五篇二十二章。第一篇四章,介绍人工影响天气的历史、科学基础、天气探测和观测设备、增雨防雹火箭应用情况。第二篇五章,叙述增雨防雹火箭及其动力、播撒、回收、发射装置(含发控器)的设计和工作原理,第三篇和第四篇各五章,分别讲述火箭人工增雨和防雹的机理、作业方案设计、作业指标、数值模拟和作业效果评估。第五篇三章,论述火箭人工影响天气业务系统建设、增雨防雹火箭技术的发展、火箭技术在人工影响天气其他方面的应用前景。

本书可作为从事人工影响天气工作的科研、管理和作业人员的培训教材,也可供有关工程技术人员和大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

火箭人工影响天气技术/陈光学,段英,吴兑主编. —北京:气象出版社,2007. 12
ISBN 978-7-5029-4424-7

I. 火… II. ①陈…②段…③吴… III. 火箭-应用-人工影响天气 IV. P48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 186648 号

出版者:气象出版社

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑:李太宇 隋珂珂 章澄昌

封面设计:张建永

责任校对:王 欢

印刷者:北京中新伟业印刷有限公司

发 行 者:气象出版社

开 本: 787×1092 1/16 印 张: 25.75 字 数: 660 千字

版 次: 2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月第一次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 65.00 元

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编: 100081

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

终 审: 纪乃晋

编 委 会

主 编 陈光学

副主编 段 英 吴 兑

编 委(以姓氏笔画为序)

王 铮	刘长友	刘海群
许焕斌	孙安平	李 斌
吴 兑	陈光学	陈轶敏
武玉忠	段 英	班显秀
樊 鹏		

序

我国是世界上气象灾害最严重的国家之一,气象灾害具有灾种多、突发性强、频率高、分布广、危害重等特点,平均每年造成的经济损失占全部自然灾害损失的70%以上。20世纪90年代以来,以全球气候变暖为主要特征的气候变化及其影响更加显著,极端天气气候事件频繁发生,气象灾害呈明显上升趋势,对经济社会发展的影响日益加剧,平均每年因各种气象灾害造成的农作物受灾面积达4800多万公顷,受灾人口约3.8亿人次,直接经济损失达1800多亿元,约占国内生产总值的2.7%。我国还是世界上缺水国家之一,全国人均水资源不及世界平均水平的四分之一。因此,开展人工影响天气作业,预防和减轻气象灾害,合理开发云水资源,具有显著的现实意义。

改革开放后,我国人工影响天气科技人员研发增雨防雹火箭,并广泛应用于人工影响天气作业,提高了作业科技水平,取得了显著的社会和经济效益,得到了各级政府和广大人民群众肯定和赞誉。

为了更好地普及火箭人工影响天气技术,进一步提高广大人工影响天气作业人员的业务知识和技能,迫切需要既有人工影响天气基本知识,又有介绍增雨防雹火箭及其应用技术的专业书籍。陈光学先生主编的这本《火箭人工影响天气技术》书籍很好地解决了这一问题。

该书介绍了增雨防雹火箭作业系统的组成、设计和工作原理,以及火箭技术在增雨和防雹作业中应用的作业方案设计、天气条件、数值模拟、效果评估和业务系统建设,还阐述了增雨防雹火箭技术未来发展及其在人工影响天气其它方面的应用前景,是一本值得从事火箭人工增雨防雹工作的科研、管理和作业人员阅读和参考的科技书籍。我相信,该书的出版将对进一步提高人工增雨防雹科研、管理和作业人员的业务素质、进一步提高我国从事人工影响天气作业科技水平和效益起到积极的促进作用。

郑国光

2007年9月于北京

* 郑国光,中国气象局局长,研究员,博士

前 言

改革开放以来,我国人工影响天气工作得到迅速发展,人工影响天气作业服务范围不断扩大;在抗旱、防灾、减灾及重大社会活动保障服务方面,均取得显著成绩,受到社会各界的好评和越来越广泛的关注。随着我国工农业生产的迅猛发展,对水的需求与日俱增;而干旱和雹灾却严重地威胁着工农业生产,尤其是农业生产。在缺水和多冰雹地区,人工增雨、防雹作业已成为增加降水、缓解旱情和抑制冰雹、减轻雹灾的一项行之有效的重要措施。

近十多年来,随着人工增雨防雹火箭技术的研发、应用和推广,使我国的人工影响天气工作迈上了一个新的台阶。现在,全国许多省、自治区和直辖市广泛采用火箭进行人工增雨和防雹作业,并取得明显的社会和经济效益。将火箭技术应用于人工影响天气工作,较之飞机运营成本低,较之高炮效益/成本比高,因此得到各省、区、市的人工影响天气工作者和广大群众的欢迎。为了普及火箭人工影响天气技术,增进和提高广大人工影响天气工作者的相关知识和业务技能,特编写这本《火箭人工影响天气技术》,供各级人工影响天气工作的管理、业务和作业指挥人员参考,亦可作为增雨防雹火箭技术培训的参考教材。

为了写好这本书,我们约请了长期从事人工影响天气研究、教学和作业方面的有关专家、学者及一线科技人员,以及从事增雨防雹火箭技术研发的专业技术人员组成编委会,确定编写体例、涵盖内容和章节划分。

本书共分五篇二十二章。第一篇共四章,介绍人工影响天气的历史、科学基础、天气的探测和观测设备、增雨防雹火箭的应用情况。第二篇共五章,叙述组成增雨防雹火箭作业系统的火箭总体、动力装置、播撒和回收装置、发射装置和发控器的设计和工作原理。第三篇和第四篇各五章,分别讲述火箭人工增雨和防雹的机理、外场作业方案设计、作业指标、数值模拟和效果评估。第五篇共三章,论述火箭人工影响天气业务系统建设,展望增雨防雹火箭技术的发展,以及火箭技术在人工影响天气其它方面的应用前景。

在有关单位和人员的通力协作下,历时两年的辛勤耕耘,终使本书得以问

世。参与编写的成员,从而立到古稀,堪称老中青优化组合。其中大多是肩负重任的领导同志,他们工作繁忙;有些年事已高,但仍孜孜不倦。为了写好本书,耗费了他们不少精力和许多宝贵时间。在此,谨向他们表示深深的敬意和谢忱。

本书的主编为陈光学,副主编为段英、吴兑。参加本书编写的有:吴兑(第一、三、十二章)、许焕斌和刘长友(第二、十、十三、十八章)、段英(第四、十一章)、樊鹏(第十五、十七章)、李斌(第十四、十六、十九章)、刘海群和班显秀(第二十章)、陈光学(第五、二十一章)、王铮(第六、九、二十二章)、武玉忠(第七、八章)和陈轶敏(第九章部分)。全书由陈光学统筹组织,王铮统稿、串编。串编过程中,补充了若干新信息,对各章加写了小结,段英等提供了许多图片和资料,并对第二十章进行了补充。虽然在写作过程中,多次开会协调、几经审校、数度易稿,但谬误或遗漏之处仍在所难免,敬请广大读者和专家批评指正。

在本书编写和出版过程中,得到河北、广东、陕西、辽宁、黑龙江、青海、新疆及新疆建设兵团等气象部门和人工影响天气办公室领导、同事的大力支持,以及航天四院陕西中天火箭技术有限责任公司的鼎力协助,谨向他们致以诚挚的谢忱。承蒙中国气象局郑国光局长在百忙中为本书作序,特此表示衷心感谢。

编委会

目 录

序 前言

第一篇 人工影响天气的发展及现状

第一章 人工影响天气的历史和概况	(3)
1.1 人工影响天气的历史	(3)
1.2 中国人工影响天气的现状	(5)
1.3 实施人工影响天气的条件	(8)
1.4 人工影响天气现代化建设	(9)
1.5 小结	(12)
参考文献	(12)
第二章 人工影响天气的科学基础	(14)
2.1 自然降水和降雹的环节和过程	(14)
2.2 人工增雨和防雹的科学基础和原理	(23)
2.3 小结	(25)
参考文献	(25)
第三章 人工影响天气的观测和探测设备	(26)
3.1 地面雨量观测网	(26)
3.2 雷达探测系统	(26)
3.3 卫星接收系统	(31)
3.4 闪电定位系统	(34)
3.5 雨滴谱观测	(34)
3.6 地基微波辐射计	(34)
3.7 GPS/MIT 系统	(35)
3.8 地面测雹板	(36)
3.9 资料收集	(36)
3.10 小结	(38)
参考文献	(38)
第四章 火箭在人工影响天气作业中的应用	(39)
4.1 概述	(39)

4.2	国内外火箭应用情况	(39)
4.3	我国的人工影响天气火箭作业系统	(40)
4.4	我国人工影响天气火箭的应用现状	(43)
4.5	小结	(46)
	参考文献	(46)

第二篇 增雨防雹火箭的设计和應用

第五章	增雨防雹火箭总体设计及其环境效应	(49)
5.1	增雨和防雹作业对火箭的要求	(49)
5.2	火箭总体参数确定和气动外形设计	(50)
5.3	部位安排与质心定位	(53)
5.4	气动特性计算	(54)
5.5	火箭的弹道	(60)
5.6	载荷计算	(61)
5.7	火箭结构设计	(63)
5.8	弹体构造和设计	(64)
5.9	弹身密封问题	(66)
5.10	结构强度计算	(67)
5.11	可靠性设计	(69)
5.12	火箭飞行的环境效应	(70)
5.13	小结	(72)
	参考文献	(73)
第六章	火箭动力系统	(74)
6.1	发动机总体设计	(74)
6.2	固体推进剂和药形选择	(77)
6.3	药柱设计	(81)
6.4	内弹道计算	(84)
6.5	燃烧室	(85)
6.6	喷管	(88)
6.7	点火器	(89)
6.8	无喷管和可燃喷管发动机	(90)
6.9	试验	(91)
6.10	小结	(94)
	参考文献	(95)
第七章	火箭播撒装置与催化剂发生技术	(96)
7.1	概述	(96)
7.2	播云催化剂	(97)
7.3	喷嘴	(100)

7.4 延时点火器	(101)
7.5 焰剂成核率检测方法	(101)
7.6 焰剂技术的最新进展	(102)
7.7 小结	(103)
参考文献	(104)
第八章 火箭的残骸处理	(105)
8.1 火箭的残骸处理	(105)
8.2 降落伞回收系统	(105)
8.3 爆炸自毁	(110)
8.4 壳体燃烧自毁	(114)
8.5 小结	(114)
参考文献	(115)
第九章 发射系统设计	(116)
9.1 发射装置的技术要求	(116)
9.2 发射装置	(116)
9.3 发射控制器	(124)
9.4 小结	(128)
参考文献	(129)

第三篇 火箭人工增雨技术

第十章 火箭增雨机理	(133)
10.1 概述	(133)
10.2 冷云自然降雨环节和过程中的“门槛”和缺损表现	(133)
10.3 增加冷云降水效率的火箭人工增雨机理	(134)
10.4 激发云体发展的动力播撒火箭人工增雨机理	(135)
10.5 人工增雨展望	(137)
10.6 小结	(138)
参考文献	(138)
第十一章 人工增雨外场作业方案设计	(139)
11.1 火箭作业点的布设和环境条件的选择	(139)
11.2 火箭增雨作业天气条件、作业时机、部位综合分析	(141)
11.3 火箭增雨作业条件天气选择及资料应用	(144)
11.4 火箭人工增雨作业方案设计	(147)
11.5 小结	(152)
参考文献	(152)

第十二章 增雨作业指标	(154)
12.1 对流云增雨作业天气条件的选择	(154)
12.2 层状云增雨(雪)作业天气条件分析与选择	(156)
12.3 地形云增雨(雪)作业天气分析与选择	(157)
12.4 作业目标云的确定	(158)
12.5 作业时机和作业云的部位	(159)
12.6 可播度和人工增雨作业的播云指标	(163)
12.7 催化剂的输送和扩散	(165)
12.8 小结	(166)
参考文献	(166)
第十三章 数值模拟在火箭人工增雨作业中的应用	(168)
13.1 概述	(168)
13.2 对流云火箭增雨作业的部位和时机	(171)
13.3 火箭播撒剂在云中的扩散	(182)
13.4 播撒作业后的雨粒子运行增长轨迹和落区估算	(188)
13.5 小结	(189)
参考文献	(190)
第十四章 火箭增雨作业效果评估	(191)
14.1 人工增雨效果的概念	(191)
14.2 人工增雨作业效果的检验	(192)
14.3 人工增雨效果的统计检验	(193)
14.4 人工增雨效果的物理检验	(211)
14.5 火箭人工增雨效果的效益评估方法	(215)
14.6 小结	(216)
参考文献	(216)

第四篇 火箭人工防雷技术

第十五章 火箭防雷原理	(221)
15.1 冰雹形成机制	(221)
15.2 冰雹云的类型和结构特点	(222)
15.3 播撒防雷原理	(226)
15.4 爆炸防雷原理	(229)
15.5 爆炸作用与播撒作用相结合	(231)
15.6 小结	(231)
参考文献	(232)
第十六章 人工防雷作业方案设计	(233)
16.1 冰雹预报和冰雹天气的监测	(233)

16.2	冰雹云雷达回波的观测设计	(237)
16.3	人工防雹作业方案设计	(239)
16.4	新型火箭人工防雹作业方法设计	(245)
16.5	作业方案的组织实施	(248)
16.6	小结	(250)
	参考文献	(251)
第十七章	防雹作业指标	(252)
17.1	冰雹云的宏观识别	(252)
17.2	冰雹云的卫星云图识别	(255)
17.3	冰雹云的雷达回波特征及其识别	(257)
17.4	雷达探测冰雹云的定量识别指标	(269)
17.5	多因子判别法识别冰雹云	(290)
17.6	新一代雷达在防雹中的应用	(296)
17.7	小结	(299)
	参考文献	(299)
第十八章	数值模拟在火箭防雹作业中的应用	(301)
18.1	引言	(301)
18.2	大雹形成机制和火箭防雹作业的部位与时机	(301)
18.3	人工冰核可否快速长大成雹胚	(302)
18.4	人工雹胚可否与自然雹胚平等竞食过冷水	(308)
18.5	小结	(308)
	参考文献	(309)
第十九章	火箭防雹作业效果评估	(310)
19.1	人工防雹作业效果的概念	(310)
19.2	人工防雹作业效果的检验	(311)
19.3	常用人工防雹作业效果统计检验方法	(312)
19.4	常用人工防雹作业效果物理检验方法	(322)
19.5	经济效益评估法	(326)
19.6	国外防雹效果检验情况简介	(326)
19.7	小结	(327)
	参考文献	(328)

第五篇 火箭人工影响天气业务系统建设 和火箭应用技术展望

第二十章	火箭人工影响天气业务技术系统的建设	(331)
20.1	概述	(331)
20.2	火箭人工影响天气业务技术系统建设的必要性	(332)
20.3	火箭人工影响天气业务技术系统	(333)

20.4	火箭人工影响天气综合技术系统	(335)
20.5	火箭人工影响天气作业指挥系统	(336)
20.6	火箭业务作业技术规范	(346)
20.7	建立试验基地和试验示范区	(348)
20.8	小结	(349)
	参考文献	(350)
第二十一章 人工增雨防雹火箭技术发展		(351)
21.1	低成本、高性能、系列化火箭	(351)
21.2	播撒方式的创新	(352)
21.3	暖云催化火箭	(355)
21.4	雷达-计算机-火箭三位一体作业体系	(356)
21.5	小结	(356)
	参考文献	(357)
第二十二章 火箭在人工影响天气其他领域内的应用前景		(358)
22.1	概述	(358)
22.2	应用火箭触发和抑制闪电	(359)
22.3	用火箭技术防霜冻和消雾	(361)
22.4	用火箭消云消雨	(364)
22.5	用火箭调节降水的时空分布	(365)
22.6	小结	(365)
	参考文献	(366)

附 录

附表 1	标准正态分布函数 $\Phi(x)$ 的数值表	(367)
附表 2	t -分布的数值表	(368)
附表 3	柯尔莫哥洛夫检验法中函数 $k(y)$ 的数值表	(369)
附表 4	F 分布信度为 5% 和 1% 的临界限值	(370)
附表 5	符号检验表(双边界限)	(374)
附表 6	秩和检验表	(375)
附表 7	符号秩次统计量 T 的分布	(377)
附表 8	相关系数 r 的显著性检验表	(379)
	技术术语汇编	(380)

第一篇

人工影响天气的发展及现状

第一章 人工影响天气的历史和概况

1.1 人工影响天气的历史

1.1.1 早期人类对天气的认识和影响活动

呼风唤雨是人类长期以来梦寐以求的美好愿望,我们的祖先初离蛮荒时,就已经对云和降水现象开始了朦胧的探索。人类在自身社会发展的各个文明阶段,都曾表现出对云雾现象的好奇和关心。

成书于春秋时期(约公元前6世纪)的《诗经》中曾有“如彼雨雪,先集维霰”的句子,被认为是最早的有关冷云降水机制的诠释。公元6世纪的南北朝时代,北周诗人庾信(513—581),曾有“雪花开六出,冰珠应九光”的诗句,应视为最早发现雪晶单晶是六方晶面这一规律的写照。即无论什么形状的雪晶,均以六方晶为其基础形状,而冰雪晶增长总是沿着六方晶面的不同增长点生长的。

在科学不发达的古代,古人常采用祈祷的形式“呼风唤雨”,这在《西游记》和《三国演义》中都有精彩的描述。

人工防雹活动在中国有很长的历史。从明代开始,中国就有人工防雹活动的记载。那时都是民间的一些自发防雹活动,所用方法有敲锣打鼓、土枪、土炮,以及炸药包和空炸炮的爆炸等。民间用土炮防雹的历史可以追溯到14世纪后半叶,河北磁县南来村曾有过炮轰冰雹云的壮举。17世纪刘献庭(1648—1695)在《广阳散记》中曾记载甘肃“夏五、六月间常有暴风起,黄云自山来,风亦黄色,必有冰雹。……土人见黄云起,则鸣金鼓,以枪炮向之施放,即散去”。清咸丰年间(1857)出版的《冕宁县志》中,在记载了土炮轰击雹云的事件后,还介绍了北方火枪消雾的情景;志中有“北人御雾,以枪向雾头施放,其雾渐薄”。民间的土炮防雹一直延续到20世纪70年代。20世纪60~70年代,吴兑曾在贺兰山东麓的银川平原,多次亲历了民间壮观的土炮防雹情景。

在欧洲,意大利(1815)曾总结民间防雹措施,包括教堂敲钟、打炮、爆炸、燃篝火等。

世界上首次有科学根据的人工降雨设想是1839年由气象经典著作《风暴原理》(《Philosophy of Storm》)的美国作者埃斯邳(J. P. Espy)提出的,他认为在潮湿空气中可通过烈火产生上升气流来造云致雨。直到115年以后,才有人在法国和非洲进行这种试验。

1933年瑞典的贝吉龙(Tor Bergeron)提出了冰水混合云的降水理论。后来德国的芬达森(W. Findeisen)进一步补充和完善了这一理论,于1938年提出了冰水混合云的冷云降水

机制(cold cloud precipitation mechanism)理论,开创了现代云物理研究和应用的先河。

1.1.2 现代人工影响天气的活动概况

通常认为,人工影响天气(weather modification)的科学活动始于1946年美国的谢弗尔(V. J. Schaefer)和冯内古特(B. Vonnegut)的伟大发现。谢弗尔在诺贝尔奖金获得者兰格缪尔(I. Langmuir)的指导下,从事过冷却水滴的冻结研究,发现作为致冷剂的干冰,可促使过冷水滴降至 -39°C 而自发冻结,随即成功地进行了飞机在冷云中播撒干冰的试验。几乎与此同时,冯内古特关注冰晶的核化作用,选取类冰结构的碘化银晶体,作为冰核的成冰试验获得成功。而且,他在研究碘化银烟粒发生方法方面起了先导作用,使碘化银能很快成功地应用于人工影响天气作业。

国际间持续进行着大规模的人工影响天气试验,上个世纪40年代末期美国的卷云计划(Project Cirrus)、天火计划(Project Skyfire)标志着大型人工影响天气试验的开始。而后澳大利亚通过对层积云(Sc)大量播撒干冰试验的观察,提出了动力催化(dynamic cloud seeding)的最初构思。

美国在20世纪50年代开始进行大规模的商业性人工增雨作业,而后进行了多项有严格设计的人工增雨科学试验计划。比较有名的有:针对夏季积云(Cu)的白顶计划(Project Whitetop)、针对地形云的克利马克斯(Climax)计划、影响降雪重新分布的大湖计划、减弱台风的狂飙计划(Project Stormfury)和科罗拉多(Colorado)河流域播云试验计划(CRBPP)等。

前苏联早在20世纪30年代就已开始人工影响天气的研究,后因二战爆发而受阻。二战后恢复研究工作,主要开展人工防雹方法研究和作业,并提出一种凝结的随机理论。

为检验前苏联防雹的效果,美国进行了国家冰雹研究试验(NHRE)。尔后在欧洲的瑞士进行了防雹随机试验,即所谓的Grossversuch IV计划。加拿大自1956年就开始实施艾尔伯特冰雹研究计划(ALHAS)。前南斯拉夫遵循前苏联提出的防雹方法,实施了南斯拉夫播云防雹计划。美国北达科他由于冰雹灾害频仍,实施了一系列防雹计划,如北达科他雷暴计划(NDTP)、北达科他示踪剂计划(NDTE)和北达科他人工影响云计划(NDCMP)。另外,还有意大利波河河谷防雹试验、保加利亚防雹试验、希腊国家防雹计划、德国斯图加特10年防雹计划等。

世界气象组织(WMO)在西班牙西部的杜瓦河谷实施了著名的PEP(precipitation enhancement project,增加降水计划)。以色列实施随机化人工增雨试验,持续了36年。此外,美国盐湖城为增加日照以消雾的山谷日照计划;印度人工影响暖云试验;泰国应用大气资源计划;摩洛哥人工影响天气计划,等等,都是人工影响天气活动初期的有代表性的计划。

目前美国每年仍维持40个左右的人工增雨作业计划。近年来,美国和俄罗斯频繁寻求与发展中国家建立人工增雨合作计划,如南非、墨西哥的吸湿性焰弹积云催化试验;泰国的暖积云吸湿性催化试验和积云动力催化试验,以及阿根廷、巴西等国和独联体国家,运用俄罗斯防雹技术加速冰雹云降水链计划等。

人工增雨的经济效益和生态效益日趋明显。人工影响天气的前景非常乐观,近半个世纪以来,人们进行了大量的试验和作业,对不同的云系进行了相当长时期的试验,包括地形云,不同季节的对流云和层状云,以及风暴和热带气旋。其中,相当一部分得到了统计学或物理学上有效的证据,表明播云确实增加了降水,抑制了雹灾。国际科学界公认的,以色列