

# Effects of Weather Modification on Disaster Prevention and Mitigation

Quan Liu, Liming Zhou

Shandong Weather Modification Office, People's Government of Shandong Province, Jinan Shandong  
Email: 631763713@qq.com

Received: Nov. 14<sup>th</sup>, 2016; accepted: Nov. 25<sup>th</sup>, 2016; published: Dec. 2<sup>nd</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Weather modification is an important meteorological technique for people to scientifically hold the objective law, to properly develop, utilize and change nature. For frequent natural disaster and emergency, Shandong Province has actively organized times of artificial precipitation and hail suppression in many years against of drought and hail, which has made significant contribution to mitigate disaster and guarantee fertility and good harvest in agriculture. Weather modification has played a key role in forest fires, *i.e.* "4.18 forest fire in Changqing District", "4.29 forest fire in Mengshan Mountain". To guarantee the smooth process of important events, suppression of precipitation had been successfully conducted especially at the opening ceremony of the 11th National Games of China. This paper outlines principle of weather modification, the usage of catalyst and vehicle, also analyses the development course of weather modification in Shandong province, scale of operation, as well as the important role that weather modification has played in disaster prevention and mitigation.

## Keywords

Artificial Precipitation, Artificial Hail Suppression, Disaster Prevention and Mitigation

---

# 人工影响天气对气象防灾减灾作用

刘 泉, 周黎明

山东省人民政府人工影响天气办公室, 山东 济南  
Email: 631763713@qq.com

---

作者简介: 刘泉(1988-), 山东郯城人, 助理工程师, 现从事人工影响天气相关技术研究。

文章引用: 刘泉, 周黎明. 人工影响天气对气象防灾减灾作用[J]. 水资源研究, 2016, 5(6): 592-598.  
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.56068>

收稿日期：2016年11月14日；录用日期：2016年11月25日；发布日期：2016年12月2日

## 摘要

人工影响天气是人们科学把握客观规律，合理开发、利用、改造自然的一项重要气象科技手段。山东作为一个自然灾害和突发事件多发的省份，多年来，在抵御干旱和冰雹过程中，积极组织开展增雨防雹作业，为缓解旱情灾情做出了显著贡献，对促进农业丰产丰收发挥了重要作用；在扑救2011年“4·18”长清特大森林大火和“4·29”蒙山森林大火等多起森林大火中，人工影响天气大显身手，发挥了关键作用；在保障奥帆赛、亚沙会，特别是在第十一届全运会开幕式当日，成功开展了应急人工消(减)雨作业，保证了活动的顺利进行。文中对人工影响天气作业原理及使用的催化剂和运载工具进行了概述，详细介绍了山东人工影响天气工作的发展历程、作业规模及其在防灾减灾中发挥的重要作用。

## 关键词

人工增雨，人工防雹，防灾减灾

## 1. 引言

山东省地处我国东部沿海、黄河下游，地形复杂，以山地丘陵为骨架、平原盆地交错环列，干旱、冰雹等气象灾害发生频繁，属于气象灾害较严重的省份。近年来，山东年平均气象灾害造成约200亿元直接经济损失，其中50%以上为干旱和风雹灾害。随着经济和社会的迅速发展，气象灾害所造成损失的绝对值在不断增加[1][2]。山东水资源严重匮乏，十年九旱、旱涝交替是基本省情，人均水资源拥有量每年仅为322立方米，不足全国平均水平的六分之一，全省每年约有40亿立方米的用水缺口，水资源短缺、水生态脆弱、水灾害威胁三大水问题并存，特别是水资源严重短缺的矛盾尤为突出。所以，利用科技手段合理开发空中云水资源，增加有效降水量，对缓解水资源匮乏、保持经济社会可持续发展，具有重要意义。

随着全球气候变化，气象灾害突发性、反常性、不可预见性等问题不断显现，干旱、冰雹等灾害性天气表现出多发、频发的势头。从山东近几年旱情形势来看，2009年发生了冬春连旱，全省麦田受旱面积达到3400万亩；2010年秋至2011年春，山东出现了有气象记录以来最为严重的秋冬春三季连旱。同时，由中小尺度强对流系统引发的冰雹天气，尽管范围小、时间短，但其来势猛、强度大，常常给农业生产带来毁灭性损失[3]。针对干旱、冰雹等灾害，适时地开展人工影响天气作业，可以最大限度地避免和减少气象灾害对人民生产和生活所造成的损失，对防灾减灾、经济发展具有重要的现实意义[4]。经过多年积累和不懈努力，山东省人工影响天气工作作业能力、科技水平和服务效益得到显著提高，在气象防灾减灾、保障经济社会发展中起到了积极有效的作用，受到了各级地方政府和人民群众的广泛肯定。

目前，山东利用人工影响天气在气象防灾减灾方面所开展的工作主要包括人工增雨和人工防雹。本文主要介绍了人工增雨、人工防雹的原理和常用催化剂以及山东现有开展人工影响天气的作业规模、作业特点和减灾效益等方面的内容。

## 2. 人工影响天气概况

人工影响天气(以下简称“人影”)是指为减轻或避免气象灾害对人民生产和生活所造成的损失，在适当的条件下对局部大气的云物理过程通过人工干预的方式进行影响，实现增雨雪、防冰雹等目的的活动。目前主要以人工增雨和人工防雹为主，是气象服务于防灾、减灾、保护人民生命财产安全和提高人民生活质量、合理开发

利用气候资源、生态环境建设与保护的重要科技手段之一[5]。

## 2.1. 人工增雨原理

人工增雨是根据不同云层的物理特性，向云中播撒碘化银、盐粉、干冰、溶液滴等催化剂，以改变云滴相态或谱分布的均匀性，加快云滴向较大降水粒子的转化过程。冷云(云体温度低于 0℃)催化主要是通过引发贝吉隆过程(冰晶效应)，即在云中产生适量冰晶，在水汽、冰晶和云滴三相共存的条件下，由于水面饱和水汽压大于冰面饱和水汽压，使得冰晶快速增长，云滴蒸发，云水向冰水转化，增加降水效率，改变成雨过程的时间进程或改变地面降水分布[6]。

暖云(云体温度高于 0℃)降水的形成机制不同于冷云降水[7]，其主要利用水滴之间的大小不均匀性，通过粒子间的碰并作用促使降水的形成。暖云催化原理则是撒入大水滴或者吸湿性核，改变云滴谱分布的均匀性，通过拓宽云(雨)滴谱，破坏其原有的稳定状态，促使碰并过程的进行，可以引发降水或增大降水的强度。

## 2.2. 人工防雹原理

人工防雹主要是对某一地区上空可能产生冰雹的云层进行人工的干预，使云中的冰雹胚胎无法发展为冰雹，或者使小冰粒在长大成冰雹之前就提前降落至地面。防雹原理表现为：设法减少或切断对小雹胚的水分供应，采用的方法主要有[5] ①“利益竞争”，即增加人工雹胚、发动有利竞争的概念。也就是说，通过向正在发展的雹云中播撒人工冰核，从而增加雹胚的数量，令其争食云中的有限水分，抑制它们的成长发展，不致成灾，或经过暖区时融化成水滴。②“提前降雨”(雨从雹胚区提前落下)，即人为干预促使雹胚形成区，提前产生降水，大量消耗可能参与冰雹生长过程的过冷水。此外，还有利用引入大量吸湿剂设法降低冰雹生长轨迹、通过爆炸等方式在云内引发动力干扰等途径，以达到限制冰雹生长和减少降雹的目的。

## 2.3. 常用催化剂及运载工具

人工影响天气催化剂包括用于冷云催化的致冷剂和冰核以及暖云催化使用的吸湿性巨核。其中致冷剂一般使用干冰和液氮，其入云后通过水汽凝华形成大量冰晶；而人影作业中应用最广、成效最明显的人工冰核是碘化银(AgI)，其晶体结构与冰晶同为六方形，晶格常数与冰很接近，且不溶于水，故其成冰能力很强，1 克碘化银在-10℃云中能产生  $10^{12}\sim 10^{13}$  个冰晶，在-20℃云中能产生  $10^{16}$  个冰晶[6]。

目前主要通过飞机、高炮、火箭、地面发生器等作业工具来开展冷云或混合云的人工增雨(雪)和防雹作业。利用飞机在云内播撒，催化剂可直接播撒入云，催化部位明确，播撒均匀，且覆盖范围较广；但用作人工增雨的飞机要改装增加播撒催化剂所需要的支架、发射器等装置。地面用于人影作业的运载设备主要有：① 37 mm 高炮：在炮弹的炸药中加 1 克 AgI，射入云中爆炸分散 AgI。② 携带 AgI 焰剂的火箭：小火箭内装有 AgI 焰剂，在一定高度上燃烧，产生的冰核直接入云。③ AgI 地面燃烧炉：在山头燃烧 AgI 丙酮溶液，增加近地层冰核浓度，通过地形或者上升气流影响将冰核带入云中。为确保高炮、火箭人影作业的安全，对发射弹道的准确度和稳定性及准时爆炸或点燃、张伞减速降落等有较高的要求；其播撒集中，多适合于飞机难以进入的对流云人工增雨和人工防雹作业。利用地面燃烧炉开展人影作业，具有经济、方便、不受空域限制的优点，多适用于山区地形云人工增雨和防雹作业。

## 3. 山东人工影响天气的发展概况

### 3.1. 发展历程

山东省于 20 世纪 50 年后期末开始有组织地开展人工影响天气工作。1959 年，山东省气象局在济南首次进行了飞机人工增雨试验。1961 年 1~7 月，进行增雨试验作业飞行 83 架次。1972 年，拉开了山东高炮人影作业

的序幕,利用“三七”高炮进行人工增雨试验,截至1978年,山东先后有7个县(市、区)开展了高炮人工增雨试验。同时,防雹试验也迅速兴起,1972年起利用空炸炮弹和土火箭在安丘、新泰、乐陵等地开始进行人工防雹试验;到1978年,山东已有36个县(市、区)开展人工防雹试验。由于存在对云雾物理认识不足、技术装备和催化方法落后等问题,造成作业技术水平和效益不高,人影作业存在相当大的盲目性。1980年底,中央气象局(现中国气象局)对全国人影试验做出调整,山东的人影试验于1981年停止[2][8]。

80年代后期,山东连年降水偏少,用水量急剧增多,为顺应经济和社会发展需求,于1987年和1989年相继恢复了高炮人工增雨防雹和飞机人工增雨作业服务。1987年8月,济南、淄博、潍坊、临沂被初步确定为第一批恢复高炮人工增雨防雹作业试验区;同年5月25日,济南卧虎山炮点进行了首次人工增雨作业;7月9日,德州市分布于平原、商河两县的3个炮点进行了高炮增雨作业。随后高炮、火箭增雨防雹作业得到迅速发展。1988年山东省政府召开的第二十一次常务会议决定恢复开展飞机人工增雨。1989年3月1日,山东省政府批准成立“山东省人民政府人工降雨办公室”(2004年5月更名为“山东省人民政府人工影响天气办公室”,以下简称“山东省人影办”);3月23日,“运-12”飞机从济宁嘉祥机场起飞开展飞机人工增雨作业,再次揭开了山东飞机人工增雨的帷幕。

### 3.2. 作业规模

截止2016年6月,山东省17市、109个县(市、区)共计126个作业单位开展了人工增雨防雹工作,拥有“三七”高炮516门、火箭发射装置340部、高山燃烧炉74个,全省人影作业站点具体分布情况如图1所示。同时,山东省人影办租用空军“运-7”飞机2架或租用通航“运12”飞机一架(2016年),青岛人影办租用民航“运-12”飞机1架,在全省范围实施飞机增雨作业。全省各级从事人影管理和作业指挥的人员464名,高炮、火箭作业操作人员2539名。全省人工影响天气作业规模居全国前列。

### 3.3. 作业装备与催化剂

1989年恢复飞机增雨作业后,使用空军“安-26”飞机通过播撒干冰、尿素等催化剂进行增雨作业;1989-2000年,青岛和烟台租用北海舰队航空兵某部“轰-5”飞机开展增雨作业;1993年引进丙酮液碘化银发生器,由人工播撒催化剂转变为电动控制播撒催化剂,催化剂由干冰改进为碘化银;1997年使用并改装济南军区空军“运-7”飞机用于增雨作业;2002年引进液态CO<sub>2</sub>播撒设备;2005年使用三星通用航空公司“运-12”飞机进行增雨试验飞行并引进RYF-II型机载焰条播撒装置;2006年使用吉林白城通用航空公司“运-12”飞机,开展秋季飞机增雨作业和大气物理探测;2007年增装RYSZ-1型机载增雨焰弹发射系统,使增雨飞机同时携带焰条和焰弹进行催化作业;2009年春、秋两季为2架济南军区空军“运-7”飞机加装RYSZ-1型机载增雨焰弹发射系统;2014年,青岛人影办使用山西三晋通用航空公司“运-12”飞机,配备ZY-1型机载焰条播撒系统;2016年山东省人影办改装通航“运12”飞机,同时装备了RYSZ-1型机载增雨焰弹发射系统和ZY-1型机载焰条播撒系统开展飞机增雨作业。机载增雨焰弹发射装置和机载焰条播撒装置如图2所示。

1987年大规模开展地面人工增雨防雹作业以来,主要使用双管“三七”高炮和陕西中天火箭技术有限公司、江西9394厂的车载火箭发射装置,少数单管“三七”高炮逐渐被淘汰。2001年开始推广使用江西9394厂生产的空中自毁型火箭发射装置。

## 4. 人工影响天气在山东防灾减灾中发挥的作用

据统计,1987年3月至2016年6月,山东地面人工增雨防雹作业共发射炮弹80.27万发、火箭弹5.11万枚、燃烧焰条5212根,累计受益面积357.8万平方公里,增加降水174.7亿立方米,累计冰雹防护面积60.74万平方公里,减少雹灾损失105.39亿元。1989年3月至2014年8月,全省共组织飞机增雨作业493架次,累计飞行时间1125.86小时,作业影响面积908.92万平方公里,增加降水188.085亿立方米,详细情况如表1所示。

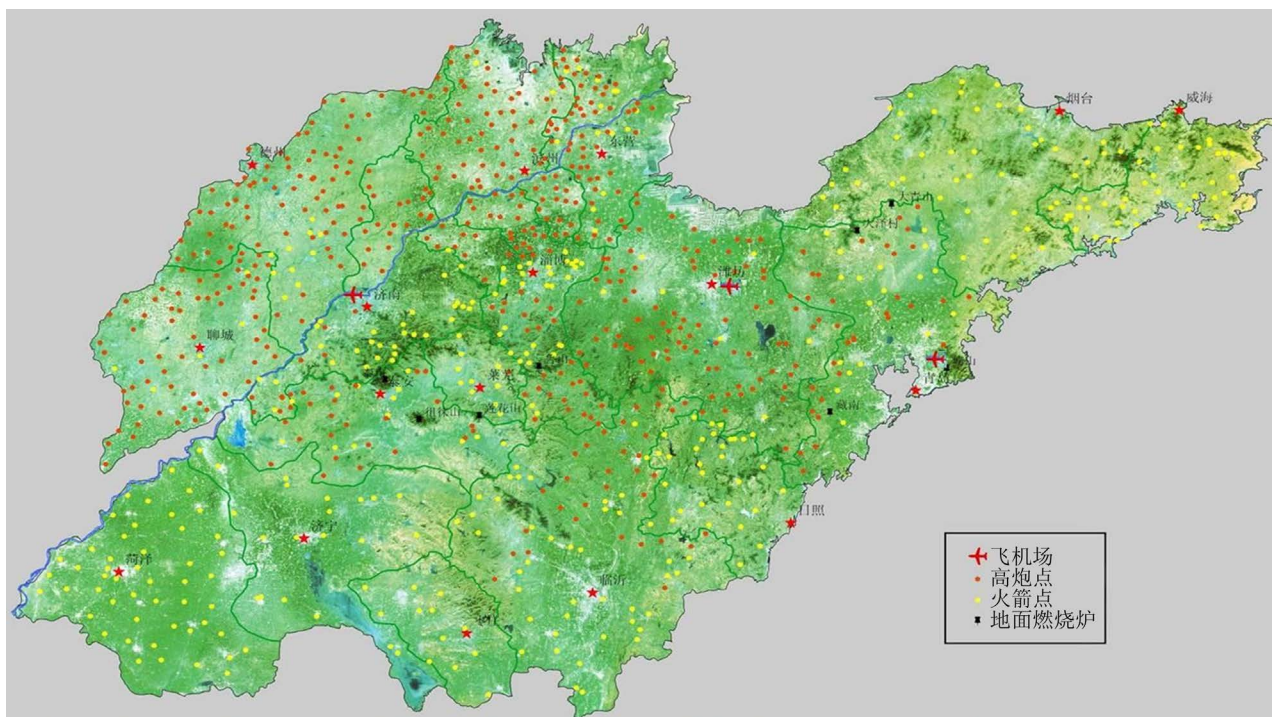


Figure 1. Site distribution of weather modification in Shandong  
图 1. 山东人工影响天气作业站点分布



Figure 2. Airborne flame bomb and flame tube launching devices  
图 2. 机载焰弹发射和焰条播撒装置

人影作业有效地缓解了旱情、减少了雹灾损失，降低了森林火险等级，取得了显著的社会、经济和生态效益，得到了各级政府的充分肯定，受到了广大人民群众的广泛赞誉。尤其在 2009 年、2011 年春季山东应急增雨抗旱服务中，各地及时开展应急抗旱联合增雨作业，作业规模大、效果明显，为缓解旱情、夺取农业丰产丰收做出了突出贡献。

近几年，山东除进行增雨抗旱、防雷减灾季节性作业外，各地还围绕水库蓄水、烟叶种植、设施农业生产、生态环境改善、城市供水、突发森林火灾、大型社会活动保障等人影服务需求，积极拓展服务领域、延长作业季节，适时开展了增雪、消雨试验，取得了明显成效。2006 年以来，在济南南部山区实施的“增雨保泉”火箭增雨作业，为保障泉水连续喷涌发挥了独特作用；山东省人影办还参加了 2007 年上海特奥会、2008 年青岛奥帆赛和 2009 年第十一届全国运动会开(闭)幕式飞机人工消(减)雨应急服务等重大活动，保障了开、闭幕式各项

**Table 1.** Aircraft artificial precipitation operation over the years in Shandong province**表 1.** 山东省历年飞机人工增雨作业情况

年份	飞行数量(架次)	飞行时间(小时)	影响面积(万 km <sup>2</sup> )	增水(亿吨)
1989	28	55.02	30.00	12
1990	21	47.42	30.00	12
1991	21	47.73	45.00	17.6
1992	29	66.45	62.00	13
1993	10	21.67	31.20	8.3
1994	12	28.2	36.00	11.8
1995	19	43.88	25.90	10
1996	14	34.45	27.25	8.575
1997	26	56.62	68.70	15.9
1998	21	53.58	48.40	11.11
1999	19	51.43	37.99	5.67
2000	25	62.42	44.1	4.13
2001	18	46.97	37.4	4.2
2002	22	55.33	49.9	8.6
2003	9	20.93	17.83	2.4
2004	7	15.38	19.6	3.3
2005	12	22.94	28.39	5.77
2006	13	33.53	29.39	3.77
2007	11	25.67	8.2	1.04
2008	15	39.10	26.63	4.42
2009	27	60	42.2	3.82
2010	16	38.17	26.33	3.33
2011	19	47.42	32.08	2.87
2012	7	17.15	10.15	0.26
2013	19	40.4	29.26	2.04
2014	19	43.91	29.21	5.34
2015	6	14.17	5.5	0.5
2016(6月)	15	35.92	9	1.79
合计	493	1125.86	908.92	188.085

活动的顺利进行。针对 2011 年“4·18”长清特大森林大火、“4·29”蒙山森林大火，山东气象部门及时启动增雨灭火应急预案，抢抓作业时机，实施飞机、火箭、高炮联合增雨灭火作业。特别是在长清特大森林大火增雨灭火期间，开创了增雨飞机后半夜作业的先例，在长清火灾上游及周边地区实施飞机增雨作业 2 架次，累计飞行 5 小时 20 分钟，发射焰弹 396 枚，影响面积 3.1 万平方公里。同时，火场周边和上游的济南、泰安等 6 市 39 部移动火箭发射车、38 个固定作业点，配合飞机实施接力催化作业，共发射火箭弹 370 枚、炮弹 124 发，燃烧焰条 34 根，增雨作业为及时扑灭火灾发挥了重要作用，人工增雨应急服务得到灭火联合指挥部高度评价。

## 5. 结语

本文主要概述了人工影响天气的原理、常用催化剂和运载工具以及山东人工影响天气的发展情况及其在气象防灾减灾中发挥的重要作用。

山东是一个多灾的省份,干旱、冰雹、森林大火等灾害屡有发生,通过多年的实践表明,人工增雨在抗旱减灾中是最经济的技术选择,在森林灭火中是“一招致胜”的“杀手锏”;人工防雹在防雹减灾中是最有效的技术手段。同时还要正确地认识到,人工影响天气是一门试验科学,需要通过大量外场作业实践,不断积累作业经验、完善作业流程、改进作业技术、验证作业理论。加强人工影响天气的科学研究和科技创新,随着人工影响天气技术的不断进步和人影工作效益的不断提高,它在提升防灾减灾能力、保护人民生命财产、保障粮食安全生产等方面将发挥更大更好的作用。

## 基金项目

山东省气象局课题 2014sdqxm09。

## 参考文献 (References)

- [1] 山东省发展和改革委员会,山东省气象局. 山东省人工影响天气发展规划(2005~2010年) [N]. 山东政报, 2004. Shandong provincial development and Reform Commission, Meteorological Bureau of Shandong. The development planning of weather modification in Shandong province (2005-2010). Shandong political news, 2004.
- [2] 赵健. 山东人工影响天气工作发展回顾与思考[J]. 山东气象, 2008, 28(4): 50-54. ZHAO Jian. Retrospection and reflection to the development of the weather modification operation in Shandong. Journal of Shandong Meteorology, 2008, 28(4): 50-54.
- [3] 王庆. 从山东冰雹灾情变化看人工防雹作业效果[J]. 山东气象, 2013, 33(4): 28-30. WANG Qing. The effect of the artificial hail suppression from Shandong hail disasters changing. Journal of Shandong Meteorology, 2013, 33(4): 28-30.
- [4] 王柏忠, 王广河. 基于人工影响天气的气象灾害减灾技术[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(3): 15-21. WANG Baizhong, WANG Guanghe. Based on meteorological disaster reduction technology of weather modification. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(3): 15-21.
- [5] 邓北胜. 人工影响天气技术与管理[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 1-45. DENG Beisheng. Technology and management of weather modification. Beijing: China Meteorological Press, 2011: 1-45.
- [6] 王柏忠, 王广河. 人工增雨对西北地区的减灾作用[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 254-259. WANG Baizhong, WANG Guanghe. Disaster reduction Effect of artificial precipitation enhancement on the northwest region of China [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(6): 254-259.
- [7] 徐玉貌, 刘红年, 徐桂玉. 大气科学概论[M]. 南京: 南京大学出版社, 2000: 146. XU Yumao, LIU Hongnian and XU Guiyu. Introduction to atmospheric science. Nanjing: Nanjing University Press, 2000: 146.
- [8] 山东省地方志编纂委员会. 山东省志·气象志[M]. 济南: 山东人民出版社, 1994: 236-238. The Compilation Committee of Local Chronicles of Shandong Province. Meteorology in Shandong Province. Jinan: Shandong People Publishing Company, 1994: 236-238.