

# A Case Analysis on the Operational Conditions of Artificial Precipitation Enhancement in Late Spring and Early Summer of Shandong Province

Liming Zhou

Shandong Institute of Meteorological Science, Jinan Shandong  
Email: zlmlove@163.com

Received: Aug. 12<sup>th</sup>, 2019; accepted: Aug. 23<sup>rd</sup>, 2019; published: Aug. 30<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

From 14 to 15 May 2016, a whole provincial precipitation that was influenced by westerly trough and southwest warm and humid airflow occurred in Shandong from west to east. In view of this process, the data of the forecast products of several modes (ECMWF, GRAPES, MM5) and radar products were used to study and analyze the conditions of artificial precipitation operation, the time of operation, the selection of operation location, and the real-time monitoring of the operation. Through the analysis of model products and observation data, the EC model, the GRAPES model and the MM5 model had a late forecast for the precipitation process entering Shandong, but the identification of potential area was more accurate. Therefore, the model prediction product was conducive to understand and grasp the whole precipitation process ahead of time. Radar products can make better corrections for the selection of operation period and operation area. The fusion of model prediction products and radar data can provide valuable reference for reasonable selection of operation periods and operation parts of artificial precipitation.

## Keywords

Artificial Precipitation, Operating Conditions, Numerical Model, Radar

---

# 春末夏初山东人工增雨作业条件个例分析

周黎明

山东省气象科学研究所, 山东 济南  
Email: zlmlove@163.com

收稿日期: 2019年8月12日; 录用日期: 2019年8月23日; 发布日期: 2019年8月30日

## 摘要

2016年5月14~15日西风槽和西南暖湿气流配合,山东自西向东出现一次全省性降水天气过程。针对此次过程,利用多家模式(ECMWF、GRAPES、MM5)预报产品、雷达产品等资料对人工增雨作业条件、作业时间及作业部位的选择、作业实时监测等方面进行了研究分析。通过模式产品和观测资料分析发现,EC模式、GRAPES模式和MM5模式对本次降水过程进入山东的时间方面,预报均存在偏晚的现象,但对作业潜力区的识别方面预报较为准确,因而模式预报产品有利于对整个降水过程提前做好了解和把握。结合雷达产品实时监测分析,能够为作业时段和作业区域的选择做出较好的订正分析。模式预报产品与雷达等多种观测资料融合,能够为合理地选择人工增雨的作业时段和作业部位提供有价值的参考。

## 关键词

人工增雨, 作业条件, 数值模式, 雷达

Copyright © 2019 by author(s) 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

## 1. 引言

山东地处我国东部沿海、黄河下游,地形复杂,以山地丘陵为骨架、平原盆地交错,几乎每年都出现不同程度的旱灾[1]。干旱已成为山东的主要气象灾害之一,是影响农业经济可持续发展的重要因素[2]。近些年,受全球气候变暖影响,干旱发生频次明显增加,水资源短缺问题更显突出。面对干旱日益加重的形势,人工增雨是解决干旱的重要手段,各级政府对人工增雨抗旱的期望越来越高,人工增雨工作的投入越来越大,人工增雨方面的科研在不断加强[3]-[11]。作业条件的选择和把握是人工增雨作业成功与否的重要因素[12],在作业条件研究方面,山东开展了一些工作。王以琳[13]利用11a飞机增雨作业季全省125站逐时降雨量资料,分析了山东降水的时空分布。针对飞机人工增雨的特点,统计分析了759个降雨日(14种天气形势)的形势特点、降雨特征、云状与降雨的关系,指出了不同月份飞机人工增雨的作业高度,得出了增雨潜力较大的天气、时间和地区。刘文[14]综合应用NOAA卫星AVHRR/3和FY-1极轨气象卫星高分辨0.58~0.68 μm可见光、1.58~1.64 μm近红外和10.3~11.3 μm红外多通道资料,考虑了云的厚度、云中粒子尺度和云顶亮温的信息,给出了适宜飞机增雨作业云层的卫星遥感判据,建立了云层作业条件分析模型。王以琳等[15][16]对火箭和高炮人工增雨作业中作业参数的选择和催化区的分布进行了分析研究。对人工增雨作业条件进行准确的分析和判断,是提高作业水平和增加降水效率的关键[17]。本文以2016年5月14~15日人工增雨过程为例,通过天气形势、模式预报产品、雷达产品等资料对人工增雨作业条件、作业实时监测分析等方面进行了初步的研究分析,旨在为今后开展人工增雨作业寻求恰当的作业时机和作业部位提供一定的技术指导。

## 2. 天气背景分析

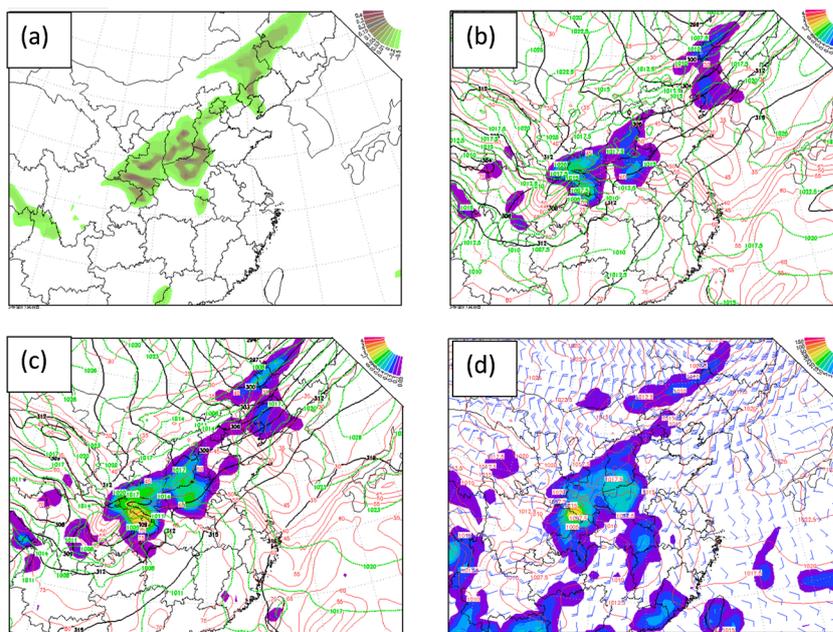
2016年5月14日08时高空500 hPa在河套地区有西风槽建立,588线北缘北抬至江苏中部;850 hPa在山西至陕西一带有切变线存在,鲁西北地区位于高湿区。20时,500 hPa高空槽东移加深,山东处于槽前西南气流中。西风槽和西南暖湿气流的配合为此次山东降水提供了较好的动力条件和水汽条件。欧

洲中期天气预报中心(ECMWF)以 2016 年 5 月 12 日 12 时(UTC)为初始场,对 13 日 12 时~14 日 12 时和 14 日 12 时~15 日 12 时(UTC) 24 h 降水量进行预报(图略)。截至 14 日 12 时(UTC)降水已覆盖山东中西部地区,且在鲁西北地区出现降水强中心;随着天气系统不断东移发展,降水逐渐自西向东推进。综合天气形势和数值模式对降水量的预报来看,预计 5 月 14~15 日,山东自西向东将出现一次小到中雨,局部暴雨的降水过程。

### 3. 人工增雨作业条件分析

人工增雨作业是在适当云层中播撒人工催化剂,以使更多的水汽和云水转化为降水。对人工增雨作业实施对象的宏微观特征进行预判,能够为提前确定合适的作业区域,把握恰当的作业时机提供技术参考。因而,人工影响天气作业条件主要针对云的宏微观结构进行预报[18]。由中国气象局人工影响天气(简称“人影”)中心下发的基于 GRAPES 模式的人工增雨云模式产品(起报场为 2016 年 5 月 13 日 20 时)来看,自 5 月 14 日 08 时开始,山东西部有云系覆盖并逐渐向中东部地区发展。11 时降水出现在山东西部边缘,14 时鲁西弱降水已开始(图略)。

通过 MM5 中尺度数值模式输出的以 2016 年 5 月 13 日 20 时为起报场的模式产品——过冷云水含量、云水积分量、 $0^{\circ}\text{C}$  等温面 E-Eb、降水量等物理量场进行预报分析。由图 1(a)可以看出,14 日 14 时,从鲁西南开始大气水汽压大于冰面饱和水汽压( $E-Eb > 0$ ),这表明冰面过饱和,由于冰面饱和水汽压低于水面饱和水汽压,水汽对水面还未达到饱和时,但对冰面而言已经过饱和,此时水滴会蒸发成水汽在冰晶上不断凝华增长产生降水,因而云中  $E-Eb > 0$  的区域即为有利于冰晶增长的冰水转化区,满足冷云增雨作业冰水转化区的必要条件[16]。云水积分量可以用来判断云体是否具有增雨潜力。由图 1(b)、图 1(c)可以看出,该地区具有过冷云水和云水含量并且较充沛的过冷云水和云水含量从西南方向向山东地区不断输送,此时降水已到达鲁西南边缘(图 1(d))。基于上述几点为依据,能够有效地确定人工增雨作业区域,较为合理地制定增雨作业航线。



**Figure 1.** E-Eb (isothermal surface) (a), supercooled cloud water content (b), cloud water content (c) and precipitation distribution (d) predicted by MM5 model on 14:00 14 May

**图 1.** MM5 模式预报的 14 日 14 时 E-Eb (等温面) (a)、过冷云水含量(b)、云水含量(c)、降水分布(d)

### 4. 作业条件监测分析

由郑州 14 日 06:16 雷达回波(图 2(a))来看, 在河南的中西部有大片积层混合云雷达回波, 强回波位于郑州附近, 郑州至邯郸一带是弱降水回波, 已处于山东的西部边缘。结合图 2(b)可知, 回波正以约 60 km/h 的速度向东北方向移动, 预计两小时左右较强回波影响山东西部地区。由济南 14 日 08:01 雷达回波(图 2(c))来看, 此时降水回波开始进入鲁西北地区的聊城至德州一带, 并在东移过程中加强发展, 09:28 回波到达滨州至济南边缘(图 2(d))。由雷达实时监测来看, 降水进入山东的时间比模式预报的要提早大约 6 h。

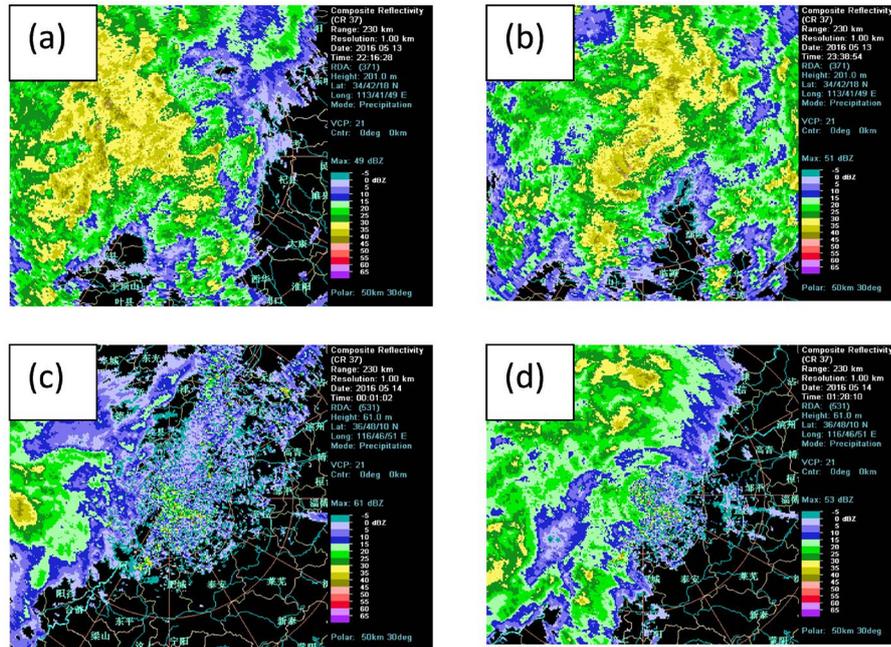


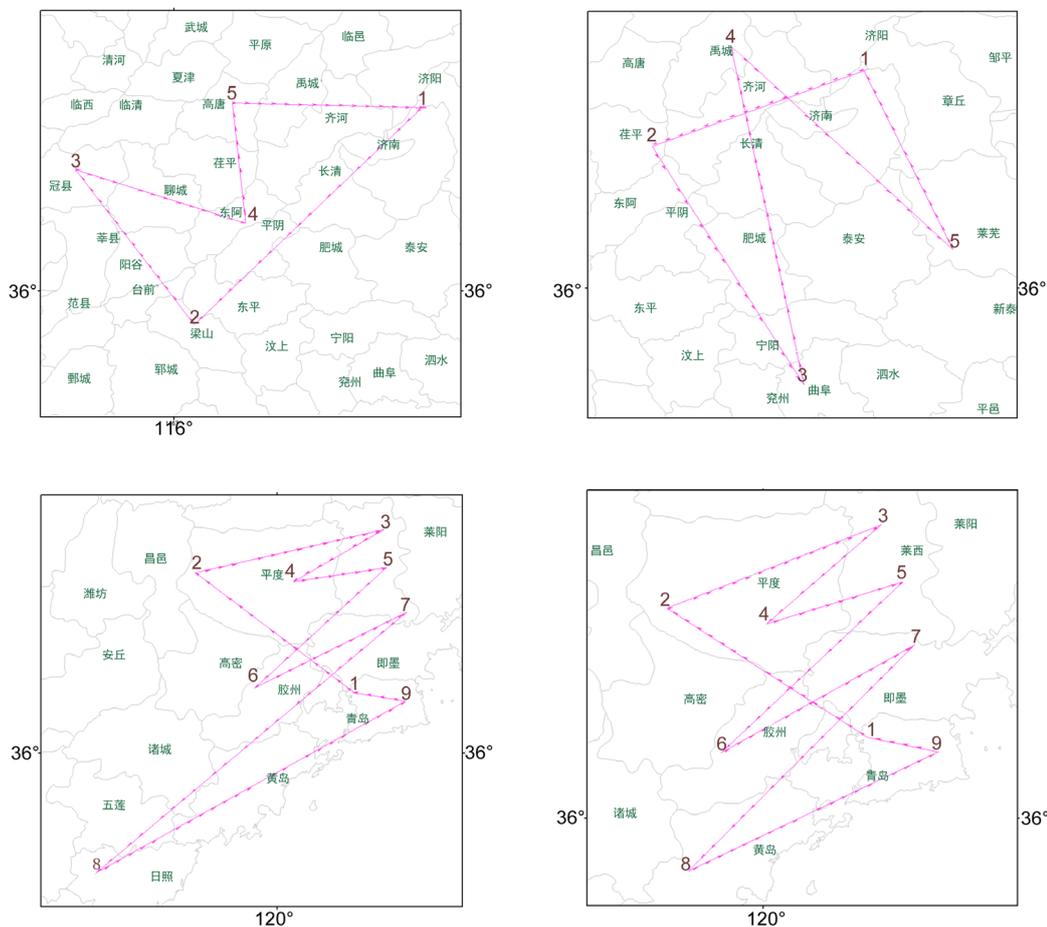
Figure 2. Radar reflectivity factor on 15 May 2016 of Zhengzhou at 06:16 (a), 07:38 (b) and Jinan at 08:01 (c), 09:28 (d)  
 图 2. 2016 年 5 月 14 日 06:16 郑州(a)、07:38 郑州(b)、08:01 济南(c)、09:28 济南(d)雷达回波图

### 5. 增雨作业概况

针对此次降水过程, 山东各级人影部门提前准备、及时行动, 山东省人影办和青岛市人影办根据模式预报产品和作业条件实时监测分析, 制定出较为合理的人工增雨作业航线和作业时段, 共组织飞机增雨作业 4 架次, 累计飞行 10 小时 11 分(表 1)。济南基地民航“运-12”飞机增雨作业 2 架次, 主要作业区在鲁西、鲁西南和鲁中地区(图 3(a)、图 3(b)); 青岛基地民航“运-12”飞机增雨作业 2 架次, 主要作业区在胶东半岛地区(图 3(c)、图 3(d))。

Table 1. Overview of rainfall enhancement by aircraft in Shandong Province of 14-15 May 2016  
 表 1. 2016 年 5 月 14~15 日山东飞机增雨作业概况

架次	飞行型号	作业日期	起飞时间	降落时间	烟条用量/根
1	运-12	2016-5-14	09:20	11:46	10
2	运-12	2016-5-14	13:50	16:22	10
3	运-12	2016-5-14	21:45	00:05	10
4	运-12	2016-5-15	06:30	09:23	10



**Figure 3.** Flight route in 14-15 May 2016 of Jinan aircraft first sorties (a), second sorties (b) and Qingdao aircraft first sorties (c), second sorties (d)

**图 3.** 2016 年 5 月 14~15 日飞行航线济南飞机第 1 架次(a)、济南飞机第 2 架次(b)、青岛飞机第 1 架次(c)和青岛飞机第 2 架次(d)

## 6. 小结

1) 针对此次降水过程, EC 模式、GRAPES 模式和 MM5 模式对降水进入山东的时间预报均存在偏晚的问题, 但对作业潜力区的识别方面预报较为准确, 因而在作业条件的分析上有一定的指导意义, 对于降水出现的时间和区域能够给出一定的参考价值。

2) 模式预报产品有助于我们对整个降水过程提前做好了解和把握, 实时雷达产品的监测分析能够为作业时段和作业区域的选择做出较好的订正分析。模式预报产品与雷达等多种观测资料融合, 能够为合理地选择人工增雨的作业时段和作业部位提供有价值的参考。

## 参考文献

- [1] 刘焕彬, 郑全岭. 山东气候之最[J]. 山东气象, 2003, 22(3): 25-27.
- [2] 薛德强, 王建国, 王兴堂, 等. 山东省的干旱化特征分析[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(3): 60-65.
- [3] 周德平. 国内外人工影响天气科研业务动态[J]. 辽宁气象, 2003(3): 20-23.
- [4] 许焕斌. 关于在人工影响天气中更新学术观念的探讨[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 305-307.
- [5] 白先达, 张雅昕, 杨经科. 广西桂林人工增雨抗旱作业方案设计[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 98-101.

- [6] 李薇, 管丽丽, 王久凤, 等. 用多普勒天气雷达资料估算人工增雨效果[J]. 气象灾害防御, 2015, 22(3): 26-27.
- [7] 卢培玉. 人工增雨对自然环境的影响探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 374-376.
- [8] 张景红, 王艳萍, 管丽丽, 等. 人工影响天气新型催化剂制备方法研究[J]. 气象灾害防御, 2015, 22(4): 18-20.
- [9] 宋金花. 多普勒雷达在一次冰雹天气保障中的应用[J]. 气象灾害防御, 2016, 23(2): 15-19.
- [10] 卢培玉. 人工增雨与农业水资源开发探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3): 182-183.
- [11] 王以琳, 徐学义, 苗长忠, 等. 开发云水资源火箭人工增雨方法探讨[J]. 中国人口资源与环境, 2013, 23(5): 164-170.
- [12] 袁野, 李爱华, 邵洋, 等. 人工增雨作业条件预测方法研究[J]. 气象科技, 2009, 37(5): 621-626.
- [13] 王以琳. 山东人工增雨宏观条件分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(增刊): 164-168.
- [14] 刘文. 用极轨气象卫星资料分析飞机增雨云层条件[J]. 气象科技, 2005, 33(1): 81-86.
- [15] 王以琳, 魏建苏. 一次火箭人工增雨分析[J]. 气象科学, 2009, 29(2): 260-265.
- [16] 王以琳, 余康元, 姚展予. 高炮人工增雨催化区的探讨[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(1): 45-52.
- [17] 田广元. 辽宁人工增雨作业条件的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(34): 19649-19651.
- [18] 孙晶, 史月琴, 蔡淼, 等. 南方三类云系云结构预报和增雨作业条件分析[J]. 气象, 2015, 41(11): 1356-1366.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ccrl@hanspub.org](mailto:ccrl@hanspub.org)