

Analysis of Artificial Precipitation Enhancement by Rocket

Feng Zhang, Zhiyong Liu

Danjiangkou Meteorological Bureau of Hubei Province, Danjiangkou Hubei
Email: lzy19740628@163.com

Received: Jul. 9th, 2018; accepted: Jul. 24th, 2018; published: Jul. 31st, 2018

Abstract

The rocket artificial rainfall increase operation was conducted in Xijiadian town, Danjiangkou city on July 14, 2016. The process was tracked and monitored by Shiyan Doppler Radar. Through the analysis of radar echoes evolution before and after the artificial rainfall enhancement operation, it is proved that under favorable weather conditions, after the rocket artificial rainfall enhancement operation, the intensity of radar echo is increased, the scope of radar echoes and surface precipitation are enlarged, and the ground rainfall distribution after operation also proves this situation.

Keywords

Rocket, Artificial Rain, Weather Background, Effectiveness Analysis

一次火箭人工增雨作业的分析

张 峰, 刘志勇

湖北省丹江口市气象局, 湖北 丹江口
Email: lzy19740628@163.com

收稿日期: 2018年7月9日; 录用日期: 2018年7月24日; 发布日期: 2018年7月31日

摘 要

2016年7月14日丹江口市习家店镇实施了火箭人工增雨作业, 十堰多普勒雷达对这次增雨过程进行了跟踪探测, 通过分析这次人工增雨作业前后雷达回波演变情况, 证明在有利的天气形势下, 通过火箭人工增雨作业后, 雷达回波强度增强、回波范围和地面降水强度增大, 作业后地面雨量分布也证明了这种情况。

作者简介, 张峰, 男, 1969年6月出生, 工程师, 研究方向: 气象服务。

关键词

火箭, 人工增雨, 天气背景, 效果分析

Copyright © 2018 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

1. 引言

干旱是丹江口市的主要自然灾害之一, 每年造成的成灾面积约占各种自然灾害成灾面积一半左右。随着经济的发展, 水资源短缺矛盾日益突出, 人工增雨是增加自然云降水, 开发利用空中水资源的重要有效途径。

针对人工增雨, 国内的研究大多建立在对云宏微观物理结构的观测基础与作业条件的分析上, 于丽娟等[1]对一次层状云飞机播云试验的云微物理特征进行了分析, 结果表明: 播撒完催化剂后云中云粒子平均直径明显增大; 唐仁茂等[2]运用多种探测资料, 对人工增雨作业后, 目标云与对比云的多普勒天气雷达参数变化特征进行了分析, 结果显示催化后目标云发生了比较明显的变化, 回波强度、强回波面积、回波顶高、液态含水量、强回波高度等均增大, 约半小时内都能达到最强; 而对比云增大率比目标云小, 或者没有增大; 翟菁[3]等利用中尺度数值模式 MM5、雷达、卫星及雨量资料, 对安徽省秋季一次降水过程的增雨条件进行了分析, 结果表明, 利用数值模式产品与观测资料结合可以为人工增雨作业提供及时精确的指导。同时气象工作者在运用多普勒雷达指挥作业、分析作业前后降水云系的雷达变化特征、作业效果方面均取得了一定成果[4] [5] [6] [7] [8]。

以上的研究, 多数选择的作业对象是稳定的层状云, 丹江口市也多次开展了人工增雨作业, 作业云系也主要是层状云, 在作业时机的把握、火箭发射高度、用弹量等积累了不少经验; 但是针对积层混合云作业较少, 本文以 2016 年 7 月夏季干旱背景下开展的一次积层混合云人工增雨过程为例, 利用常规观测资料、卫星云图与雷达观测资料对人工增雨作业条件、作业前后雷达变化情况和效果分析进行初步的研究探索, 希望能为今后积层混合云人工增雨作业提供有益帮助。

2. 天气背景分析

2.1. 高空天气系统与中低空形势

7 月 13 日 08 时 500 hPa (图略) 亚州中高纬地区维持两槽两脊, 西北太平洋副热带高压(以下简称西太副高)位于我国东南, 蒙古国中南部有 1 个低压中心, 低压槽位于蒙古中南部 - 河套 - 四川盆地的中部, 槽后的冷平流较强, 昭示着低压槽将东移南压; 14 日 08 时(图 1(a)), 低压槽分裂为 2 段, 其南段位于四川盆地的中北部, 丹江口市处于西太副高外围的西南气流控制中, 此时丹江口市天空阴沉, 大部出现弱的降水, 15 日 08 时高空槽东移出丹江口市, 受槽后西北气流影响, 丹江口市降水结束。

14 日 08 时 700 hPa (图 1(b)) 河套东部与陕南维持一冷切变, 丹江口市处于切变线前部的西南气流控制中, 08 时后切变线东移南压, 与此同时的 850 hPa 川东部 - 鄂西北 - 淮河附近维持一东西向冷切变线, 15 日 08 时后 700 与 850 hPa 的切变线均东移南压, 丹江口市受偏北气流影响降水结束。

2.2. 水汽供应

水汽是形成降水的必要条件, 大气中水汽含量越高, 越有利于形成较大降水, 一般水汽主要集中在 700 hPa 以下, 13 日 20 时 700 hPa 的水汽通量场上, 四川盆地到陕南是一东北西南向宽广的水汽高值区, 中心位于川西南, 14 日 08 时(图 2(a)) 700 hPa 的水汽高值区东移到重庆市 - 鄂西北, 呈舌状分布, 中心值达到 $12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,

丹江口市习家店镇正好处在这条湿舌的左前方，在西南气流的引导下，水汽源源不断地向习家店镇输送，14日08时700 hPa水汽通量散度场上(图2(b))，习家店镇处于较强的水汽辐合区，有利于降水的长时间维持。

2.3. 云图与地面冷锋的演变

13日08时~14日08时地面冷锋位于陕西中北部到陕南西部一带，13日08时后地面冷锋东移南压，11时地面冷锋移到河南的中部到鄂西北一线，在红外卫星云图表现为逗点云系，云带前界模糊，后界光滑，色调较

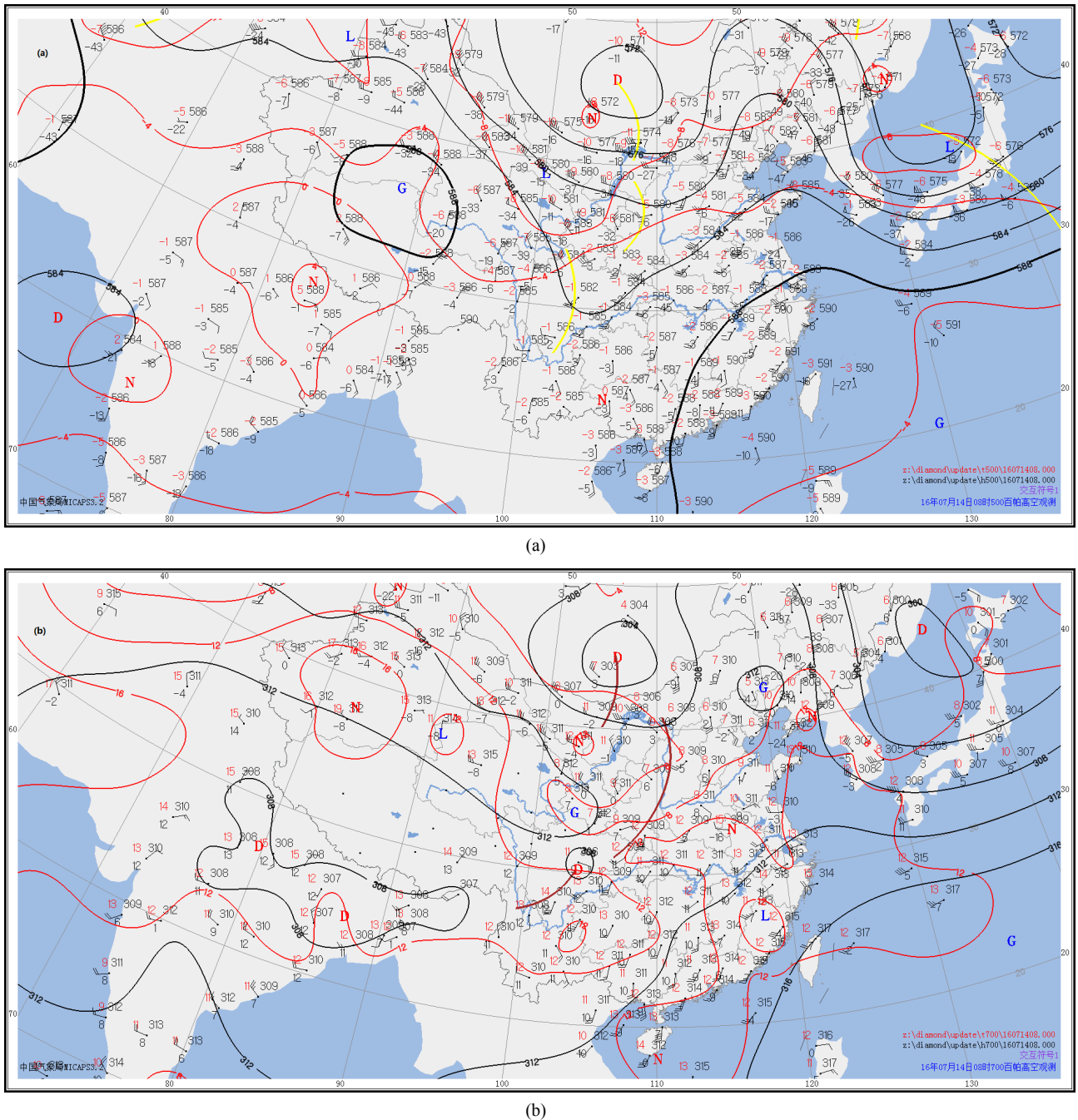


Figure 1. 500 hPa at 08:00 on Jul. 14, 2016 (a) and 700 hPa (b) synoptic situations
图 1. 7月14日08时500 hPa (a)、700 hPa (b)形势图

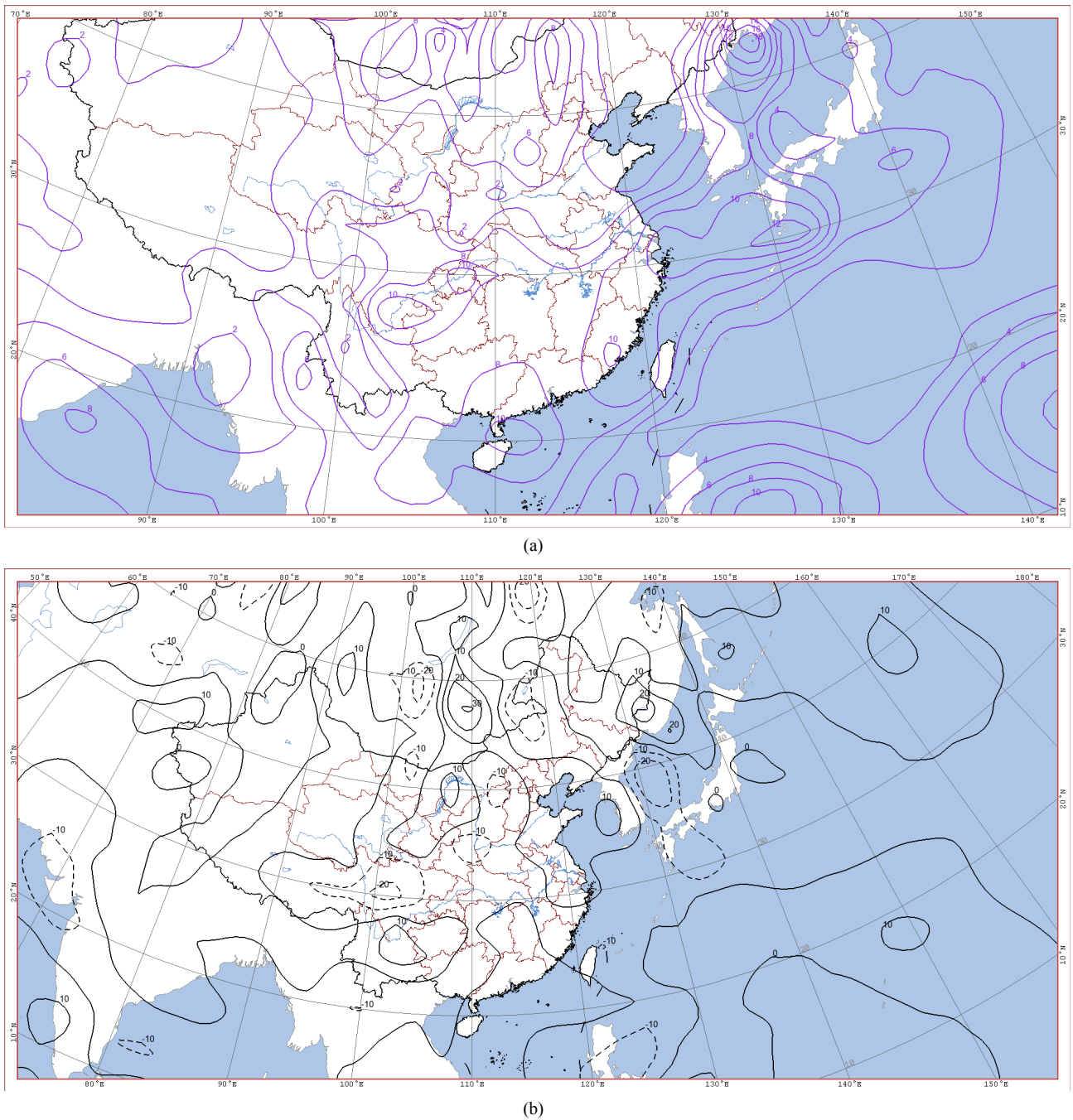


Figure 2. 700 hPa water vapor flux (a) and water vapor flux divergence (b) at 08:00, July 14, 2016
图 2. 7月14日08时700 hPa水汽通量(a)与水汽通量散度场(b)

白亮，云带较窄，其前部以积层混合云为主，与地面冷锋配置较好，12时后锋面云带移到十堰城区、鄖阳区附近，其前沿的积层混合云已接近习家店镇，14时后锋面云带移至河南境内，习家店处于积层混合云主体后部的层状云控制，以稳定的小雨为主，23时后降雨云系完全移出习家店，降水结束。

3. 火箭作业概况

蔡家渡自然降水从7月14日早上05时开始，到11时降水量为1.4毫米，根据雷达监测云层变化与移向移

速,火箭作业分两次发射,发射仰角较层积云要高,其中 12:21 与 12:22 分在习家店镇蔡家渡第 1 次作业 2 发,发射方位 220°,仰角 50°,12:25 分与 12:26 分实施第 2 次作业 2 发,发射方位 210°,仰角 51°,整个作业范围覆盖习家店镇、均县镇,面积约 80 Km²。

作业采用的催化剂是 WR-98 型 AgI 烟剂火箭,它具有射程远(8 Km)、播撒高(最大高度 8 Km)、成核率高(在 -10℃时成核率为 $18 \times 10^{16} \text{ g}^{-1}$)、核化速度快(5 min)、播撒路径长(5 Km)等特点,此火箭点火升空 5 s 后,箭上延时机构启动催化剂播撒装置,火箭沿飞行轨道连续播撒催化剂,并随气流扩散,形成一条弧线催化轨道,火箭发射仰角 50°,初始高度约为 3.5 Km,火箭播撒催化剂高度在积层混合云的中上部。

4. 雷达分析

十堰多普勒雷达对此次降水与作业过程进行了全方位的监测,08~11 时作业点习家店镇上空为弱的回波,回波强度 15~22 dBZ,回波顶高度在 3~4 km,天空阴沉,伴有间歇小雨,12 时 03 分习家店镇西南方均县镇到丹江口水库间回波加强,最强达到 30 dBZ,但面积不大,12 时 09 分 2.4°、3.4°(图 3(a)、图 3(b))分到 15 分后均

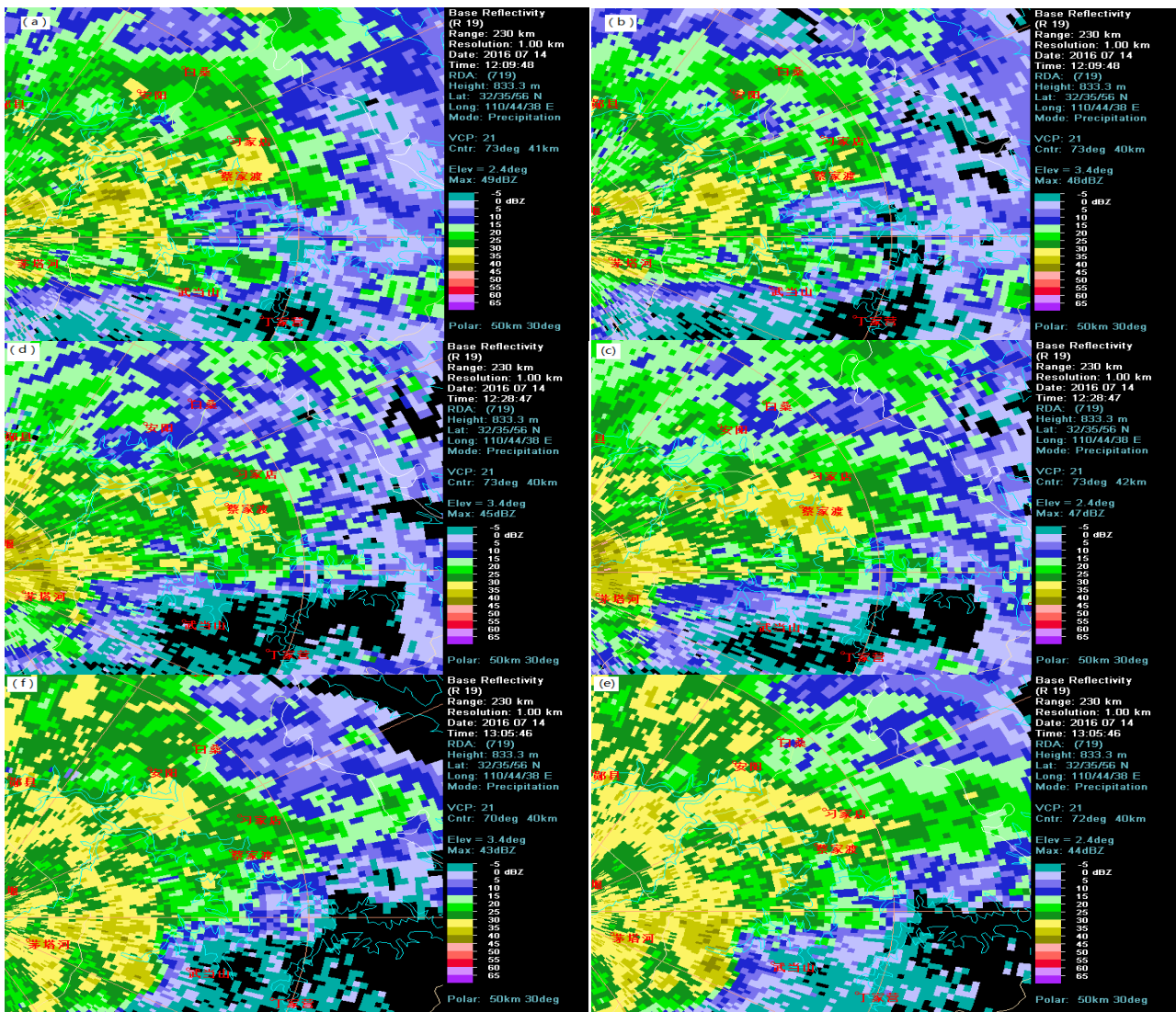


Figure 3. Basic radar reflectivity 2.4° (a) (c) (d) and 3.4° (b) (e) (f) at 12:09, 12:28, 13:05 on 14 July 2016

图 3. 7 月 14 日 12 时 09 分、28 分、13 时 05 分 2.4° (a) (c) (d) 和 3.4° (b) (e) (f) 雷达基本反射率图

县镇到丹江口水库的强回波范围扩大，强度变化不大，但在向作业阵地附近东移，12时20分作业阵地雨点加大，雨势加密，21分到26分发射火箭弹4枚后，从12时28分的 2.4° 、 3.4° (图3(c)、图3(d))的雷达基本反射率图上可以清楚看到，积层混合云被催化后，催化云区域回波明显增强，横向范围明显扩大，同时云顶高度升至5~6 km；13时09分 2.4° 、 3.4° (图3(d)、图3(e))催化云回波已减弱，但是习家店西南方的自然降水回波与催化云回波连成一片，并将持续影响习家店镇。

以上分析表明：目标云在催化后，回波逐渐增强，云体厚度增大，回波区的范围逐渐增大。雷达回波的强度是反映降水强弱的重要因子，它随着强水强度的变化而变化，所以雷达回波的增强，一般都标志着降水强度的增加；催化后云体厚度明显增厚与云维持时间有着密切关系，云体厚度越大，云维持的时间就越长，地面持续降水的时间也就越长，累积降水也就越大。上述情形出现的原因可能是火箭在播撒的过程中由于催化剂扩散、冷凝的双重效应，使云内产生了较强的扰动，引起云内部的微物理变化，促使云内雨滴迅速合并增大，加快降水的形成，从而使雷达回波增强，高度增高，同时这种双重效应破坏了局部大气环流，在作业区成了一个小系统，出现了雨团缓慢移动或少动的现象，这充分表明了火箭人工增雨作确实引起了云的微物理变化，促进了云水转化，加快降水的形成，达到了在某处增加降水的目的[9]。

5. 地面降水变化

选择作业阵地习家店蔡家渡作为作业区，由于云系自西南向东北移动，下风方习家店集镇(作业点正北方，距作业点5 km)、习家店丁家院村(作业点正东方，距作业点4 km)作为受益区，选择蒿坪镇集镇、蒿坪镇黑垭村、王家岭村作为非作业区进行雨量对比分析(见表1)，分析表1表明，此次火箭增雨作业效果影响范围内的习家店镇明显大于非作业区的蒿坪镇。

Table 1. The rainfall in the seeding operation area and contrastive area from 12:00 to 14:00 on July 14

表 1. 7月14日12~14时作业区与对比区降雨量(mm)

站名	12~13时	13~14时	12~14时
习家店蔡家渡	20.4	12.3	32.7
习家店集镇	10.2	10.3	20.5
习家店丁家院	15.6	13.8	29.4
蒿坪集镇	7.1	8.6	15.7
蒿坪镇王家岭	11.4	8.3	19.7
蒿坪镇黑垭村	11.8	8.7	20.5

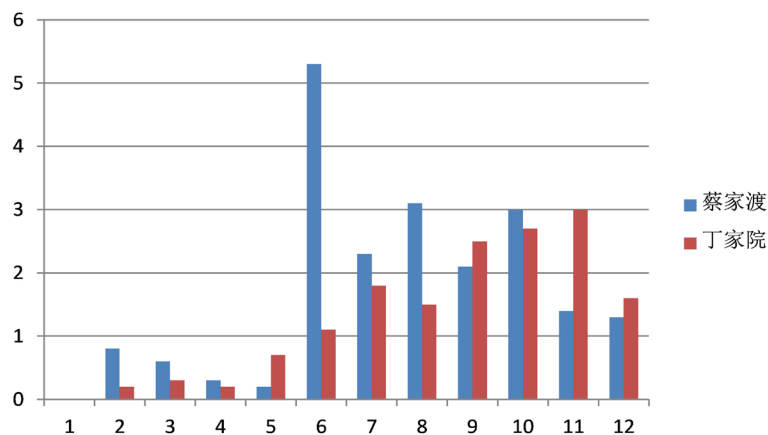


Figure 4. The rainfall changes of Caijiadu and Dingjiayuan in 5 minutes at 12-13 on 14 Jul 2016

图 4. 2016年14日12时~13时每5分钟蔡家渡和丁家院雨量变化

图4是作业时段(12时)前后5 min 蔡家渡、丁家院的雨量变化,增雨作业前后蔡家渡、丁家院的5分钟雨量出现了跃增,较强降水主要集中在12时30分以后,持续时间为30分钟,相比较非影响区的雨量明显出现雨强增大,持续时间长的特点。

6. 小结

1) 这次人工增雨作业是在有利的天气背景形势下实施的,针对积层混合云,作业时机的把握妥当与否,选择合适火箭发射仰角,对实施人工增雨作业的有效性和效果是至关重要的。

2) 雷达监测发现,经过火箭人工催化作业后,目标云的回波逐渐增强,云体厚度增大,回波区的范围逐渐增大,与之对应影响区的两个测站5分钟雨强发生了明显的跃增且持续了30分钟,说明增雨效果十分明显,就目前而言,雷达对增雨作业过程的监测、指挥、效果检验方面是最为直接有效的时段。

由于这次增雨试验个例的局限性,文中观测资料和计算结果难免会有一些的偶然性,得到的积层混合云火箭增雨作业相关结论还要在今后更多的实践和研究中进行修正和完善。

参考文献

- [1] 于丽娟,姚展予. 一次层状云飞机播云试验的云微物理特征及相应分析[J]. 气象, 2009, 35(10): 8-25.
YU Lijuan, YAO Zhanyu. Studies on the microphysical characteristics of a stratiform cloud and its response to aircraft cloud seeding. Meteorological Monthly, 2009, 35(10): 8-25. (in Chinese)
- [2] 唐仁茂,向玉春,叶建元,等. 多种探测资料在人工增雨作业效果物理检验中的应用[J]. 气象, 2009, 35(8): 70-76.
TANG Renmao, XIANG Yuchun, YE Jianyuan, et al. Application of data observed by several instruments in effective verification of artificial precipitation enhancement. Meteorological Monthly, 2009, 35(8): 70-76. (in Chinese)
- [3] 翟菁,黄勇,胡雯,等. 一次积层混合云降水过程增雨条件分析[J]. 气象, 2010, 36(11): 59-67.
ZHAI Jing, HUANG Yong, HU Wen, et al. Analysis on conditions of precipitation enhancement catalyzing operation based on mesoscale model, cinrad, and satellite. Meteorological Monthly, 2010, 36(11): 59-67. (in Chinese)
- [4] 李子华,宫福久. 雷达在天气导变中的应用[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 5-8.
LI Zihua, GONG Fujiu. Application of radar in weather change. Beijing: Meteorological Press, 1994: 5-8. (in Chinese)
- [5] 白卡娃. 江苏盛夏飞机人工增雨作业的雷达气象学分析[J]. 气象科学, 1999(4): 101-103.
BAI Kawa. Radar meteorological study of airplane precipitation stimulation in midsummer in Jiangsu Province. Journal of the Meteorological Sciences, 1999(4): 101-103. (in Chinese)
- [6] 杨梅,许彬,经爱凤,等. 一次人工增雨作业云回波个例分析[J]. 江西气象科技, 2001, 24(4): 27-29.
YANG Mei, XU Bin, JIN Aifeng, et al. A case analysis of cloud echo in an artificial precipitation operation. Jiangxi Meteorological Science Technology, 2001, 24(4): 27-29. (in Chinese)
- [7] 迟竹萍,陈金敏,朱平盛. 利用数字化雷达回波参数分析人工增雨播云条件[J]. 气象, 2001, 27(4): 46-49.
CHI Zhuping, CHEN Jinmin and ZHU Pingsheng. An analysis of the seeding conditions by using 711-type digitized radar echo parameter. Meteorological Monthly, 2001, 27(4): 46-49. (in Chinese)
- [8] 渠永兴. 甘肃省冰雹云研究综述[J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 80-85.
QU Yongxing. The overview of study on hailstorm in Gansu. Journal of Arid Meteorology, 2004, 22(1): 80-85. (in Chinese)
- [9] 刘东升,晋玉田. 1998年初夏飞机人工增雨作业效果分析[J]. 四川气象, 1998, 18(3): 56-58.
LIU Dongsheng, JIN Yutian. Analysis on artificial precipitation effect aircraft in the early summer of 1998. Journal of Sichuan Meteorology, 1998, 18(3): 56-58. (in Chinese)