

李红斌,傅瑜,王秀萍,等. 2016. 一次层状云火箭增雨作业效果分析. 气象, 42(11):1402-1409.

一次层状云火箭增雨作业效果分析^{*1}

李红斌¹ 傅瑜¹ 王秀萍² 刘亚男³ 周德平⁴
濮文耀¹ 赵繁盛¹ 何阳¹ 张殿刚¹

1 大连市人工影响天气办公室, 大连 116001

2 大连市气象台, 大连 116001

3 大连市气象装备中心, 大连 116001

4 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016

提 要: 文章采用统计检验和物理检验方法对 2015 年 4 月 12 日大连市出现的一次层状云降水过程进行了火箭增雨试验和作业效果评估, 结果表明, 通过作业区和对比区雨滴谱分钟雨量观测值与拟合值的对比计算发现, 被催化云体在催化后的 30~50 min 内产生了最大雨强和降水, 其相对增雨量达到 49% ($\alpha < 0.001$), 显著性较高; 同时, 催化云体的雷达回波强度、回波面积、降雨时间, 以及雨滴谱的变化特征等均表现了很好的物理效应, 增雨试验效果显著。

关键词: 层状云, 火箭增雨, 效果检验与分析

中图分类号: P48

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.11.013

Effect Verification and Analysis for Artificial Precipitation Enhancement of Stratiform Cloud by Rocket in Dalian

LI Hongbin¹ FU Yu¹ WANG Xiuping² LIU Yanan³ ZHOU Deping⁴
PU Wenyao¹ ZHAO Fansheng¹ HE Yang¹ ZHANG Diangang¹

1 Dalian Weather Modification Office of Liaoning, Dalian 116001

2 Dalian Meteorological Observatory of Liaoning, Dalian 116001

3 Dalian Meteorological Equipment Center of Liaoning, Dalian 116001

4 Shenyang Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016

Abstract: This paper focuses on the effect verification and analysis of artificial precipitation enhancement for a stratiform cloud precipitation event, which occurred over Dalian on 12 April 2015, by using statistical and physical verification methods. The results reveal that the relative rain enhancement rate increases by 49% ($\alpha < 0.01$) in 30–50 min after catalyzing the operational clouds and reaches the maximum rainfall rate by calculating the minutely rainfall of observational and fitted values in the operation and contrast area. Moreover, significant improvement exhibits in physical effects in terms of radar echo intensity and area of target cloud, precipitation duration and variation characteristics of raindrop spectra in fitting clouds.

Key words: stratiform cloud, rocket precipitation enhancement, effect verification and analysis

* 国家自然科学基金项目(41440036)资助

2016 年 5 月 11 日收稿; 2016 年 8 月 8 日收修定稿

第一作者: 李红斌, 主要从事人工影响天气技术研究. Email: lhb7159@163.com

引 言

人工影响天气效果检验是一项既重要又困难的研究性和业务性工作。科学的效果检验是发展人工增雨学科的基础和不可缺少的技术环节,它在整个增雨作业项目中占有重要的地位。人工影响天气理论和方法是否正确,只有通过效果评估来检验,而科学的效果检验又可以促进人工影响天气理论和方法的发展(章澄昌,1998;王以琳等,2000;李大山等,2002;何晖等,2013;周德平等,2006;王婉等,2009;郭学良等,2010;辛乐等,2011;刘晴等,2013;孙跃等,2015)。随着气象防灾、减灾的迫切需要,人工影响天气技术已作为试验和业务相结合的抗灾减灾手段被广泛应用。近十多年来,我国在福建古田水库进行的人工增雨随机试验基础上对人工增雨效果检验又做了许多工作,也取得了卓有成效的研究成果。但是,由于云和降水存在太多的自然变率,影响因子太多,要在这些变率和影响因子中将增雨效果科学、定量地评估出来存在着很大的困难,检验结果也有一定的不确定性,因此,效果检验目前仍是一个难题。

人工增雨效果是指人工催化以后是否产生了预期的云和降水变化,包括降水是否增加,云和降水的宏、微观物理量有无明显变化,前者为人工影响的间接效果或最终效果,后者为人工影响的直接效果或物理效应,而最终效果又往往是人们所特别关注的,即催化后地面降水到底有没有增加,为此就需要对人工增雨作业进行效果检验。常用的人工增雨效果检验方法包括两方面内容,即物理检验和统计检验,而且它们之间的关系是统计效果只有在获得物理上的解释并为观测到的物理效应所证实时,效果的检验才是完整的、令人信服的(章澄昌,1992)。对于统计检验,目前国际科学界普遍接受随机试验的效果评估方法(王婉等,2009),这种方案是经过预先科学设计来实施的效果检验,定量检验出效果并指出其可信度。而我国由于以抗旱增雨业务为主,很难接受放弃大部分作业机会的试验性增雨作业,通常都采用非随机化试验方案进行效果统计评估(汪玲等,2015;胡志晋,1979;曾光平等,1994;房彬等,2005)。

大连市开展火箭人工增雨业务较早,经过多年作业实践和业务科研,深入研究了火箭人工增雨作业核心技术方法(李红斌等,2005),建立了作业决策指标体系及作业技术方案模式,研发了业务化运行

的作业指挥系统,开展了火箭人工增雨作业雷达物理效果检验分析(李红斌等,2007),但对人工增雨效果量化评估未曾开展过。本文采用作业区与对比区回归统计分析和雷达物理检验等方法对 2015 年 4 月 12 日大连地区一次稳定性层状云降水过程进行了人工增雨效果评估分析,旨在找出适合大连实际的人工增雨效果检验技术方法,进一步完善火箭增雨作业技术,提高作业的科技水平和增雨效果,取得更大社会经济效益。

1 天气形势分析

受高空槽影响,2015 年 4 月 12 日大连地区出现了一次降水天气过程。11 日 20 时 500 hPa 高空图上,河套地区上空为一发展的高空槽(槽后冷平流明显),槽前偏西气流(图 1),大连正处于槽前偏西气流里,对应低层 850 hPa 图上(图略)为一弱暖脊和明显的西南暖湿气流,表明水汽条件很好,该槽是此次影响大连地区的主要降水系统,所对应地面图上是一闭合低压(图 2),随着地面低压缓慢东移,

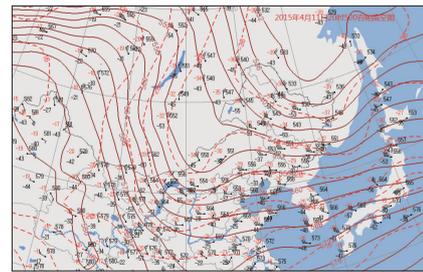


图 1 2015 年 4 月 11 日 20 时 500 hPa 高空图
Fig. 1 High-level chart at 500 hPa at
20:00 BT 11 April 2015

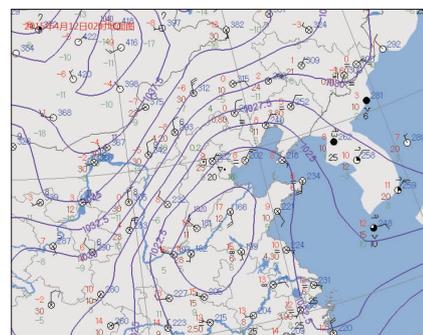


图 2 2015 年 4 月 12 日 02 时地面天气图
Fig. 2 Surface synoptic chart at
02:00 BT 12 April 2015

大连地区在自然降水和人工影响共同作用下普降小到中雨,最大降雨量 16 mm。期间的 05:30—08:00 为层状云降水阶段,从 12 日 06 时大连地区上空的卫星云系可看到(图 3)。大连市人工影响天气办公室兼顾抗旱实时组织了层状云条件下的火箭增雨试验作业,取得了较好效果。

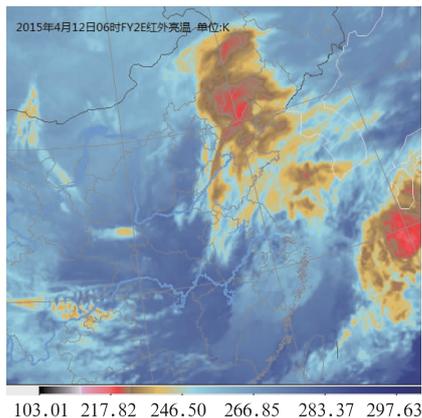


图 3 2015 年 4 月 12 日 06 时卫星云图
Fig. 3 Satellite cloud image at
06:00 BT 12 April 2015

2 增雨作业实施

天气雷达是人工影响天气科学作业指挥不可缺少的重要工具。根据雷达主要特征参数对作业潜力云实时分析判别和作业决策,并确定作业实施方案。

2.1 雷达简介

车载 X 波段双偏振雷达(724XSP)是全固态双偏振多普勒天气雷达。该雷达 2015 年 3 月在大连投入人工影响天气业务应用。该雷达观测点选择在大连中西部地区的普兰店观测场。雷达对这次作业进行了实时跟踪监测、作业判别和作业效果分析,获得了对增雨效果分析有意义的雷达探测资料。

2.2 作业方案确定和实施

这次作业结合春季抗旱,兼顾了大连人工增雨效果评估的业务科研任务。根据降雨系统移动变化,设计了降雨过程中稳定性层状云条件下的火箭增雨作业方案:选取了大连中部的普兰店为作业区,其南部地形相近的金州为对比区(图 4)。将火箭作业点选择在普兰店上游的三十里堡(火箭作业预设

点),该作业点距离普兰店观测站 18.8 km,根据当时作业层 3500~4000 m 高空风(风向近于西南,风速 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)进行计算,催化作业后,作业云体需 20 min 左右到达普兰店观测点上空。

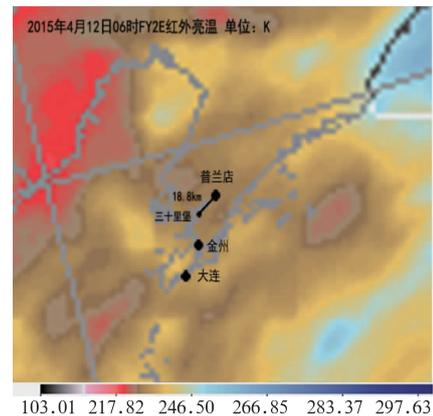


图 4 作业区、对比区及作业点与云图叠加图
Fig. 4 Superposed graph of operating area,
contrast area and point of operation

12 日 06:19 时,降雨云系移到大连地区上空,指挥中心从雷达 PPI 回波强度图上发现较大范围的稳定性层状云(图 5a),分析其雷达 PPI 径向速度场已出现“S”型零速度线特征(图 6),表明此时降雨云系正处于旺盛发展阶段,具有较好的增雨潜力,也是层状云增雨作业最佳时期(李红斌等,2008)。大连市人工影响天气指挥中心根据回波强度、作业云类型、作业层高空风等要素确定了此时的增雨作业技术方案(即作业的部位和用弹量,其中作业部位确定按照催化剂核化效率高和影响面积最大化原则),在经空域申请批复后,指挥三十里堡作业点实施了火箭增雨作业,具体作业方案为:作业仰角为 45° (火箭安全发射最低仰角,抛物线顶高 4000 m,即 -14°C 层高度)、方位角为南西南(与作业层高空风向成一定交角)、用弹量 3 枚(李红斌等,2005)。

3 效果评估与分析

利用回归方案对大连 2015 年 4 月 12 日降水过程的增雨试验个例进行统计检验,并采用作业区 and 对比区雨滴谱资料与雷达资料进行了增雨效果量化评估和物理检验,取得了较好效果。

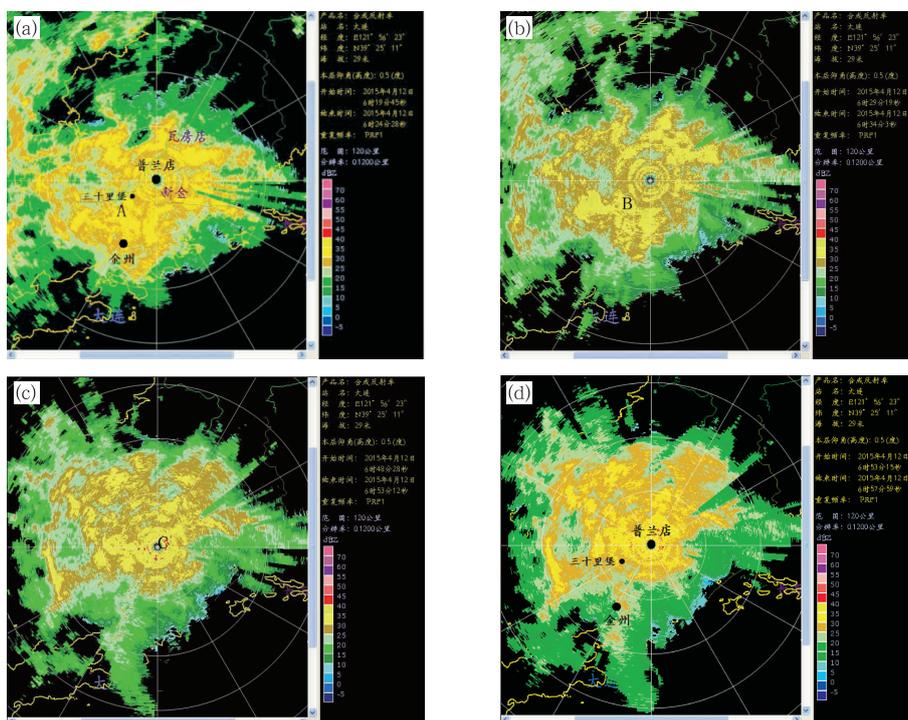


图 5 2015 年 4 月 12 日(a)06:19,(b)06:29,(c)06:48,(d)06:53 雷达强度组合反射率图

Fig. 5 Composite radar reflectivity at BT 12 April 2015

(a)06:19,(b)06:29,(c)06:48,(d)06:53

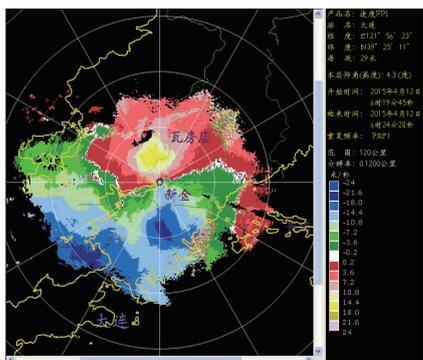


图 6 2015 年 4 月 12 日 06:19 雷达 PPI 径向速度图

Fig. 6 Radar velocity PPI image at

06:19 BT 12 April 2015

激光雨滴谱监测仪是一款采用激光遥测技术对地面降水过程进行分析、记录的全自动监测设备,当降水粒子通过光束带下落时,仪器自动记录粒子个数和时间,并快速计算被记录的每一个降水粒子的尺度和速度(廖菲等,2011)。大连市 2014 年底引进了 7 台激光雨滴谱监测仪,分别布设在大连各区市县气象观测站并投入了人工影响天气业务使用。本文对层状云增雨作业的效果统计检验,主要是通过

雨滴谱观测的分钟雨量和雨强进行的量化评估和检验。

3.1 增雨效果统计检验

3.1.1 对比区和统计变量选择

回归方案的效果检验首先应选择合适的对比区和统计变量。对比区地形和天气背景要大体相仿,两者相关系数应该较大,且对比区不受催化作业影响。这次作业区和对比区分别选择了普兰店和金州,两区地势相似,且作业时两区的云系均为稳定的层状云,降雨性质及发展趋势基本一致(图 4、图 5),并选择三十里堡作为这次火箭增雨作业的试验点(图 4)。作业区普兰店测站位于作业点下游,对比区金州测站位于作业点东南部。

这次增雨试验暂停了对比区金州的地面催化作业,因此随着降雨云系移动,对比区金州观测站不会受到污染,也不会因其他催化对普兰店造成二次污染。事后通过对普兰店和金州两个测站的雨滴谱分钟雨量、雨强分析,取得了令人满意的效果。这次效果检验的统计变量选择为作业区普兰店、对比区金州雨滴谱分钟雨量和雨强。

3.1.2 作业区与对比区相关性分析

通过对普兰店、金州作业前 35 min 的雨滴谱分钟雨强及其随时间变化进行了统计和分析,得到图 7,从中不难看出,作业影响前普兰店的平均雨强为 $1.8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,略低于金州,从雨强变化趋势上看,两地雨强较为一致;同时,经统计计算,作业前普兰店和金州 35 个分钟雨强样本的相关系数为 0.7665。采用 t 检验对相关系数进行显著性检验,计算统计量 $t = \sqrt{n-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}$ (魏凤英,2007),查找 t 分布表得到两地雨强的相关性显著水平为 $\alpha < 0.001$,表明作业区和对比区两地雨强在这次层状云降雨过程中具有高显著性正相关;对其进行一元线性拟合,得到回归方程: $y = 0.8684x + 1559.6$,图 8 即是作业

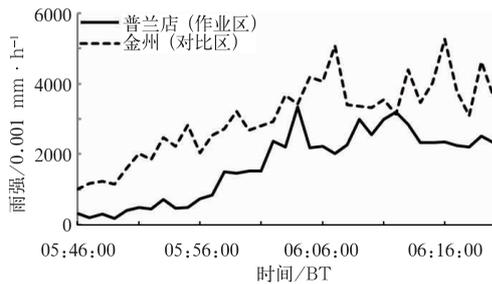


图 7 增雨作业前 35 min 作业区、对比区雨强随时间的变化情况

Fig. 7 Characteristics of rainfall intensity over the operating area and contrast area in the 35 min before operation

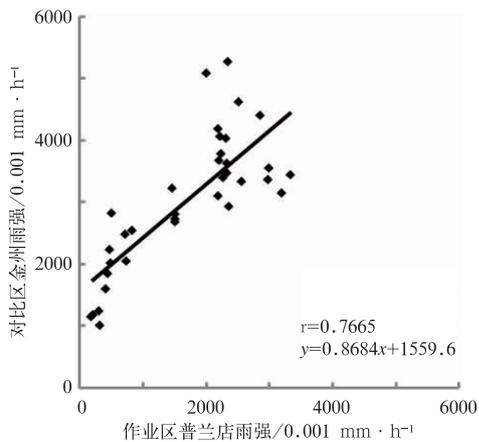


图 8 作业前作业区、对比区雨强散点分布及拟合模型

Fig. 8 Scatter distribution and fitting model of rainfall intensity over the operating area and contrast area before the operation

区、对比区雨强分布图(因雨强的精度高于雨量,散点拟合效果更好一些),图中直线为拟合线,两地雨强观测值在拟合线附近摆动,表明回归方程能较好地表现作业区、对比区两地的雨量关系,可用于模拟作业后作业区普兰店的雨量变化,进而与实际观测值对比,量化计算增雨效果。

3.1.3 作业效果分析

图 9 为增雨作业(06:20)后普兰店和金州两地雨强随时间的变化情况。从图中可以看出,作业后的 20 min 内两地雨强均保持在 $2 \sim 3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,并有小幅增强;20 min 后催化云体移到了作业区普兰店上空(根据作业层高空风向风速,以及作业目标云距普兰店距离等综合计算分析),作业后 30 min,普兰店雨滴谱分钟雨量开始迅速增大(表 1),即随着催化云体中心部位的移入雨量增加明显,其中 $5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上的雨强持续了近 20 min(根据火箭弹道参数和均质大气扩散模式,计算作业后目标云的有效扩散面积和水平距离,与实际降雨变化情况基本相符),表明增雨效果明显;同时,计算了对比区金州的雨强逐渐减小,直至最后降水停止。

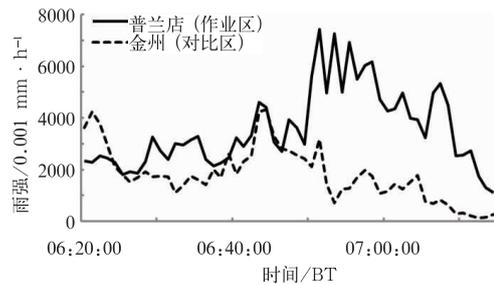


图 9 增雨作业后作业区、对比区雨强随时间变化情况

Fig. 9 Characteristics of rainfall intensity over the operating area and contrast area after operation

3.1.4 增雨效果评估

以 5 min 为单位对作业后普兰店测站的分钟雨量(表 1)进行统计,并计算实测雨量与拟合雨量的差值。根据增雨效果的量化表达式 $E = \frac{R - R_0}{R}$ 计算,得到了不同阶段的增雨效率(表 2)。其中 R 表示每 5 min 观测雨量, R_0 表示每 5 min 拟合雨量, E 表示对应时间的增雨率。

表 1 增雨作业后普兰店(作业区)、金州(对比区)雨滴谱分钟雨量观测结果

Table 1 Observed rainfall per minute at operating area and contrast area after the operation

| 时间 | 分钟雨量/0.01 mm | | 时间 | 分钟雨量/0.01 mm | | 时间 | 分钟雨量/0.01 mm | |
|----------|--------------|----|----------|--------------|----|----------|--------------|----|
| | 普兰店 | 金州 | | 普兰店 | 金州 | | 普兰店 | 金州 |
| 06:20:00 | 4 | 6 | 06:40:00 | 5 | 3 | 07:00:00 | 7 | 2 |
| 06:21:00 | 4 | 8 | 06:41:00 | 5 | 4 | 07:01:00 | 7 | 2 |
| 06:22:00 | 4 | 6 | 06:42:00 | 6 | 4 | 07:02:00 | 9 | 2 |
| 06:23:00 | 4 | 5 | 06:43:00 | 7 | 7 | 07:03:00 | 6 | 3 |
| 06:24:00 | 4 | 3 | 06:44:00 | 8 | 8 | 07:04:00 | 7 | 3 |
| 06:25:00 | 3 | 3 | 06:45:00 | 5 | 5 | 07:05:00 | 5 | 1 |
| 06:26:00 | 3 | 3 | 06:46:00 | 4 | 5 | 07:06:00 | 9 | 1 |
| 06:27:00 | 3 | 3 | 06:47:00 | 7 | 4 | 07:07:00 | 9 | 2 |
| 06:28:00 | 4 | 3 | 06:48:00 | 6 | 5 | 07:08:00 | 7 | 1 |
| 06:29:00 | 5 | 3 | 06:49:00 | 5 | 4 | 07:09:00 | 4 | 0 |
| 06:30:00 | 5 | 3 | 06:50:00 | 9 | 3 | 07:10:00 | 5 | 1 |
| 06:31:00 | 4 | 3 | 06:51:00 | 13 | 5 | 07:11:00 | 4 | 0 |
| 06:32:00 | 5 | 1 | 06:52:00 | 8 | 3 | 07:12:00 | 3 | 0 |
| 06:33:00 | 5 | 3 | 06:53:00 | 12 | 1 | 07:13:00 | 2 | 1 |
| 06:34:00 | 5 | 3 | 06:54:00 | 8 | 2 | 07:14:00 | 2 | 0 |
| 06:35:00 | 6 | 2 | 06:55:00 | 12 | 2 | 07:15:00 | 1 | 1 |
| 06:36:00 | 4 | 3 | 06:56:00 | 9 | 3 | 07:16:00 | 1 | 0 |
| 06:37:00 | 3 | 3 | 06:57:00 | 10 | 3 | 07:17:00 | 1 | 1 |
| 06:38:00 | 4 | 3 | 06:58:00 | 10 | 3 | 07:18:00 | 1 | 0 |
| 06:39:00 | 4 | 4 | 06:59:00 | 8 | 2 | 07:19:00 | 1 | 0 |

表 2 雨滴谱分钟雨量观测值与拟合值对比及增雨效果分析

Table 2 Comparison of the observed rainfall and fitting rainfall per min and the effect analysis of precipitation enhancement

| 时间 | 降雨量/0.01 mm | 增雨量/0.01 mm | 增雨率/% |
|-------------|-------------|-------------|-------|
| 06:20—06:24 | 20 | -18 | -90 |
| 06:25—06:29 | 18 | -7 | -39 |
| 06:30—06:34 | 24 | 1 | 4 |
| 06:35—06:39 | 21 | -4 | -19 |
| 06:40—06:44 | 31 | -5 | -16 |
| 06:45—06:49 | 27 | -6 | -22 |
| 06:50—06:54 | 50 | 26 | 52 |
| 06:55—06:59 | 49 | 26 | 53 |
| 07:00—07:04 | 36 | 14 | 39 |
| 07:05—07:09 | 34 | 18 | 53 |
| 07:10—07:14 | 16 | 1 | 6 |
| 07:15—07:19 | 5 | -10 | -200 |

增雨作业 20 min 后催化目标云移到了普兰店测站上空,从分钟雨量变化可看到,经过催化影响的雨滴降落到地面需 30 min,作业后普兰店测站 30~35 min 的雨量迅速增大,从表 2 可以直观看到,第一个 5 min 增雨率达 52%,第二个 5 min,即作业后 35~40 min 增雨率出现了最大值为 53%,在第三个、第四个 5 min 增雨率仍维持较高,其高增雨率共持续近 20 min,相对增雨量达 49%,作业效果非常

显著。之后雨量迅速减小,此时催化云体移出了普兰店测站,这次降雨结束。

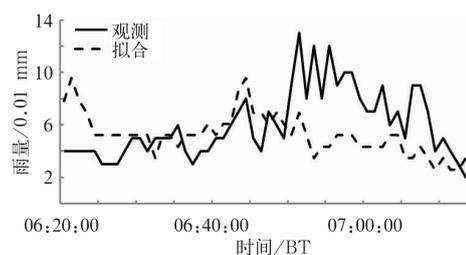


图 10 作业后普兰店(作业区)分钟雨量与拟合雨量随时间的变化情况

Fig. 10 Characteristics of the observed rainfall and fitting rainfall per min in the operating area after operation

3.2 增雨效果物理检验

利用双偏振雷达对 06:20 时普兰店三十里堡实施增雨作业试验个例进行跟踪监测和分析发现,经过催化作业后的目标云体其回波强度、面积和降雨时间都出现了积极的物理效应。通过以下 PPI 雷达回波体扫资料可以看到其具体演变:图 5a 为 06:19 作业时的 PPI 雷达回波强度图,字母 A 即是

被催化目标云体,回波强度为 30~35 dBz;催化 10 min 后,作业云体在向东偏北移动过程中逐渐发展为图 5b 中的 B,回波强度为 35~40 dBz,催化云体回波较之前变得密实,面积增大,为 51 km²;作业 20 min 后,回波强度加强为 30~45 dBz(图略),催化云体的面积继续增大并移到普兰店测站上空,且催化云体前沿已过测站,但测站的分钟降雨量未有增加(因云中核化反应需 20 min,雨滴降落到地面要 10 min 左右);在作业后 30 min 左右,即 06:48 图 5c 催化云体回波发展为 C,强度加强为 35~45 dBz,面积已增大到 200 km²,且 45 dBz 强回波面积增大,从 PPI 回波强度图可以看到,催化云体此时达到最强(图 5b、5c),回波移速减慢,且有 1/2 催化云体回波移过了普兰店测站上空,雨滴谱分钟雨量出现了第一个 10 min 左右的高值降水期,之后又连续近 10 min 的高值降水量,催化云体移出测站。因此,催化云体在经过测站时出现了近 20 min 的高

值降水时间,此即是催化目标云经过测站所需要的时间和云体核化影响过程中的最大降水时间段,即层状云降雨云系催化后最大降水时间出现在作业后的 30 多分钟,与曾分析的多普勒雷达火箭人工增雨效果物理检验分析相吻合(李红斌等,2007);催化 35 min 后,回波开始逐渐减弱(图 5d),回波面积继续增大为 245 km²;40 min 后(图略),面积增大为 310 km²(随着时间推移,催化云体扩散继续增大);07:10 左右当催化云体移出测站后,降水迅速减小(从雨滴谱分钟雨量看),但仍维持一些时间,直到 08:00 才结束,较对比区金州降水时间延长 30 min。

同时,对作业区和对比区雨滴谱的滴谱资料进行了作业前后的对比分析发现:作业区普兰店的雨滴谱出现了作业后小滴明显减少,大滴有一定程度增加(图 11a、图 11b)。通过对雷达和雨滴谱观测资料综合分析,得到了很好的物理效应,这次增雨作业取得较好效果。

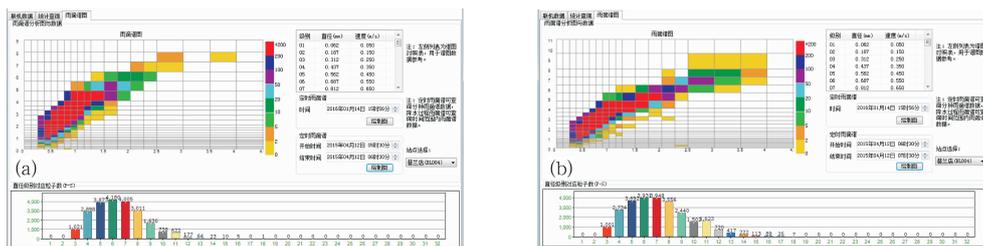


图 11 2015 年 4 月 12 日普兰店(a):05:30—06:30,(b):06:30—07:30 雨滴谱图

Fig. 11 Raindrop spectrum image at Pulandian during (a) 05:30—06:30 BT,
(b)06:30—07:30 BT 12 April 2015

4 结 论

采用统计和物理两种效果检验方法对 2015 年 4 月 12 日 05—08 时大连地区稳定性层状云降水过程进行增雨试验效果分析,取得了预期效果。利用回归统计检验方法对催化云体经过普兰店测站时所观测到的分钟雨量和分钟雨强进行统计和计算分析,得到了作业后 30~50 min 内的相对增雨量为 49%,显著性水平 $\alpha < 0.001$;同时,从雨滴谱分钟雨量和雷达 PPI 回波强度观测到,催化云体在经过测站时出现 20 min 的高值降水时段,即催化云体被催化后的 30~50 min 为最大降水时间段。

通过雷达物理检验和雨滴谱资料分析也得到一致的物理响应,即作业后,催化目标云雷达回波强度

不断增强,催化后 30 min 达到最强,35 min 后回波强度开始减弱,而催化云体回波面积却出现持续增大的发展现象,作业区较对比区的降雨时间也得到相对延长(催化云体回波加强、移速减慢);同时雨滴谱分析发现普兰店作业区出现大滴增加,小滴减少现象。

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,得到的层状云火箭增雨效果检验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

- 房彬,肖辉,王振会,等. 2005. 聚类分析在人工增雨效果检验中的应用. 南京气象学院学报,28(6):739-745.
郭学良,杨军,章澄昌. 2010. 大气物理与人工影响天气. 北京:气象出版社,602-625.

- 何晖,高茜,李宏宇.2013.北京层状云人工增雨数值模拟试验和机理研究.大气科学,37(4):905-922.
- 胡志晋.1979.检验人工降水效果的协变量统计分析方法.气象,5(9):31-33.
- 李大山,章澄昌,许焕斌,等.2002.人工影响天气现状与展望.北京:气象出版社,325-355.
- 李红斌,何玉科,姚展予,等.2008.多普勒雷达速度场特征在人工增雨作业中的判别指标应用.气象,36(6):52-47.
- 李红斌,何玉科,周德平.2007.多普勒雷达数值产品在火箭增雨效果分析中的应用.气象科技,35(2):269-273.
- 李红斌,周德平,濮文耀.2005.火箭增雨作业部位和催化剂量的研究.气象,2005,31(10):42-46.
- 廖菲,邓华,万齐林,等.2011.珠江三角洲地区两次夏季典型雷电天气系统的雨滴谱特征观测研究.高原气象,30(3):798-808.
- 刘晴,姚展予.2013.飞机增雨作业物理检验方法探究及个例分析.气象,39(10):1359-1368.
- 孙跃,肖辉,周筠珺,等.2015.基于 VB+MO 的一种在飞机增雨效果统计评估中不规则影响区计算的适用方法.气象,41(1):76-83.
- 王婉,姚展予.2009.2006 年北京市人工增雨作业效果统计分析.高原气象,28(1):195-202.
- 王以琳,薛晓萍,刘文.2000.飞机人工增雨的农业效益评估.气象,26(3):17-21.
- 汪玲,刘黎平.2015.人工增雨催化区跟踪方法与效果评估指标研究.气象,41(1):84-91.
- 魏凤英.2007.现代气候统计诊断与预测技术.北京:气象出版社,30-32.
- 辛乐,姚展予.2011.一次积层混合云飞机播云对云微物理过程影响效应的分析.气象,37(2):194-202.
- 曾光平,郑行照,方仕珍,等.1994.非随机化人工增雨试验效果评价方法研究.大气科学,18(2):233-244.
- 章澄昌.1992.人工影响天气概论.北京:气象出版社,230-255.
- 章澄昌.1998.当前国外人工增雨防雹作业的效果评估.气象,24(10):3-8.
- 周德平,宫福久,王吉宏.2006.东北冷涡云系人工增雨作业效果的检验和分析.高原气象,25(5):950-958.

“预报失败案例分析专辑”征稿启事

《气象》是面向气象业务与科研的科技期刊,是气象科研人员和一线预报员大气科学研究、天气分析和机理研究等的学术交流平台。为了更好地使一线预报员提高对实际天气过程的认识,加深对其中难点和问题的理解,本刊准备组织出版一期专刊,内容是反映预报员对实际业务中失败案例的分析,将自己预报工作中所经历的挫折和体会进行系统总结和剖析,既有助于自己预报能力的提升,也能使更多的人从中受益。这种过程分析,不仅仅是对天气系统的客观诊断、描述,而是将对失败的原因进行细致的剖析,从而使对理论知识的理解更加贴近实际,使以往掌握的预报技能更能有针对性地解决实际问题。

该专辑将在 2017 年底出版。具体事项通知如下:

- (1) 投稿文章为预报失败案例的分析。
- (2) 文章未在国内公开发行的刊物发表,不涉及保密问题。
- (3) 稿件要求可见《气象》征稿简则(网址:<http://qxqk.cma.gov.cn>)。投稿时请注明预报失败案例分析专辑。
- (4) 征稿截止日期为 2017 年 2 月 28 日。

真诚地希望我们的计划能够得到广大预报人员的支持,欢迎你们积极参与,踊跃投稿,共同分享在实践中得到的真知与感悟。