

文章编号:1006-7639(2005)-03-0039-03

# 火箭增雨效果雷达回波分析

孙旭映,王劲松,王 静

(中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气象变化与减灾重点实验室,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**利用 2004 年 6 月 12 日甘肃省永登县雷达观测对流云的加密资料,选取了 2 次相似对流云过程分别作为目标云和对比云,探讨了目标云作业前后较对比云雷达回波有关参数的显著变化,并结合地面雨量点观测资料对地面人工增雨作业效果进行了初步分析,结果表明:目标云在降水、生命期特征、回波垂直特征参数变化方面,表现出作业前后较对比云存在明显差异,目标云作业 40 min 后地面产生 0.6 mm 降水,而对比云则从新生发展到减弱消散阶段经历较短的时间(30 min),地面并无降水产生,从而推断本次人工增雨达到了一定的预计效果。

**关键词:**人工增雨;雷达回波;效果检验

中图分类号:P48

文献标识码:A

## 引 言

人工增雨作业效果评估可分为统计检验和物理检验<sup>[1]</sup>。统计检验要依赖大量的历史资料:序列试验是以历史平均值作为试验期自然降水量的估计值;区域对比试验是假设试验期雨量的空间分布是均匀的,将对比区雨量作为影响区自然雨量的估算值;区域回归试验是假设雨量在空间和时间分布上是平稳均匀的,采用对比区和作业区的历史雨量建立雨量回归方程,来预报作业期间作业区的自然降水量。由于上述假设均缺乏物理依据,因此导致统计结果的不科学和不客观。目前比较成熟的非随机化统计方案是区域控制模拟试验,该方案假设降水时空分布上存在巨大不平稳性,通过长序列历史资料,寻找与作业期降水相似型的资料,对作业期间影响区自然降水进行估计,但对检验结果的显著度要求较高,往往难以达到。物理检验的原理清楚,主要是从云降水形成及其人工影响的物理机制上找出相应的物理效应,包括冰晶浓度、大云滴浓度、谱宽、含水量等微物理效应和上升气流速度、云体厚度、云内温度分布、云的生命期等宏观动力效应,以比较人工影响前后的变化,但对积云进行微物理探测难度很大,难以发展为常规化、业务化的效果检验手段。受当前科研水平、仪器装备水平、研究对象复杂性等多方面因素的制约,利用物理检验进行人工增雨催化作业的效果评估是一个非常复杂的科学问题。而雷达探测具有全

天候、操作简便的特点。本文利用一次地面人工增雨火箭催化目标云实例的雷达图像产品,初步分析了目标云作业催化前后的雷达参量较对比云的显著变化<sup>[2~3]</sup>,可以在一定程度上评估作业的效果。

## 1 资料来源

本文所用的目标云及对比云资料分别为 2004 年 6 月 12 日永登地区 711 数字化测雨雷达在 19:00~20:30 和 13:20~14:30 所采集的包括平面距离显示图像(PPI),距离高度显示图像(RHI)。由于夏季对流云变化剧烈,生消快,在资料分析中则将这 2 种图像综合起来,将间隔时间加密到 PPI、RHI 一般 5 min 一次。这样可以更细致完整地观测对流云回波生命史,将这 2 种图像综合起来,跟踪所关注回波的生命过程,提取回波的最大强度(dBz)、水平尺度(km<sup>2</sup>)、回波顶高(km)、强中心厚度、高度(km)等特征量进行对比分析。

## 2 回波特性

目标云为本次增雨作业中所催化的云体,对比云为具有与目标云相似的天气背景、云体特征,产生源地相同的云体。由于目标云和对比云都形成于相同的山地,受中低层切变系统和地形抬升的共同作用,生成对流回波。初始回波都为细小对流单体,并且在一定范围内同时有多个对流单体生成,回波强

收稿日期:2005-01-18;改回日期:2005-08-25

基金项目:甘肃省气象局课题“甘肃省和黄河上游云水资源与人工增雨潜力研究”之第 3 子专题“空中云水资源与人工增雨潜力数值模拟”(2001 人影-1-3)资助

作者简介:孙旭映(1973-),男,甘肃静宁县人,助理研究员,主要从事干旱气象灾害工作。

度相差 1 dBz, 水平尺度相差 5 km<sup>2</sup>, 目标云强度增强的生命期略高于对比云。从总体上看, 目标云和对比云的生成背景、回波性质、旺盛程度都比较相似, 因此, 二者具有较好的可比性。

## 2.1 平显特征

一般情况下, 多对流单体回波强度大, 维持时间长, 水平尺度较大。图 1 给出目标云和对比云在整个发展过程中最大回波强度和水平面积 (仰角 5°) 的变化。目标云最大面积为 65 km<sup>2</sup>, 对比云最大面积为 49 km<sup>2</sup>, 从回波的整个生命期来看, 催化作业后, 目标云的发展经历了 1 次跃迁, 即增强—减弱—增强过程, 而对比云则几乎线性增强。回波强度达到

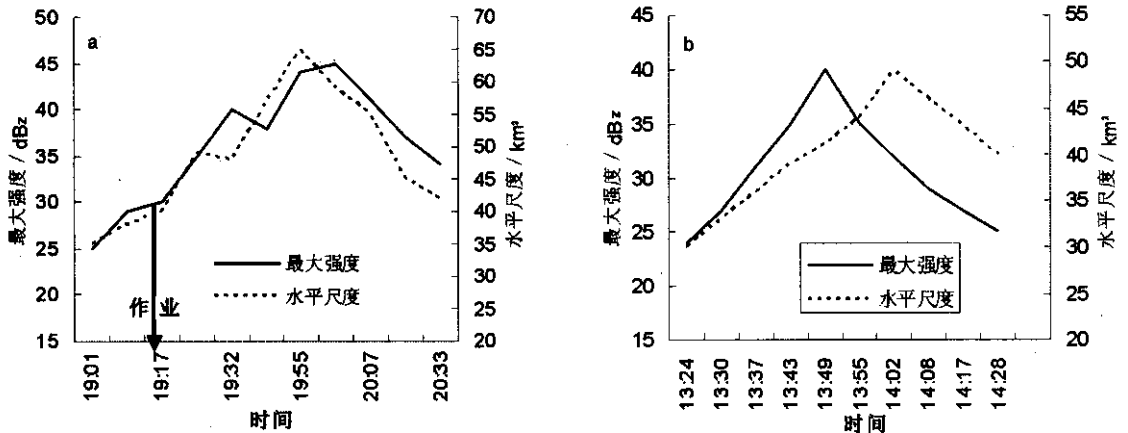


图 1 目标云(a)和对比云(b)回波最大强度和面积随时间的变化

Fig. 1 The temporal variation of the echo maximum intensity and area of seeding cloud(a) and non-seeding cloud(b)

表 1 为此次催化作业的目标云和对比云发展的情况以及与历史同期(6、7、8月)当地对流云历史平均的比较。由表可知, 目标云对比比云的生命时间要长 28 min, 主要的差异出现在成熟强盛阶段。与历史平均值相比, 两者的新生发展时间对比比云要短一些, 这表明对比比云的初期对流发展比较旺盛, 能迅速地从浓积云过渡到积雨云, 而目标云的初期对流发展较慢, 经历了较长的时间才发展成为积雨云。但在成熟强盛阶段, 目标云的成熟时间较对比云长, 即目标云维持了更长的成熟阶段。由于对流云的成熟期为其主要的降水阶段, 延长对流云的成熟时间, 即使回波强度增加不多(雨强不变), 也可以增加总体降水量。因此催化的作用可以解释为促使目标云维持强对流, 使地面产生降水。

表 1 目标云和对比云发展

Tab. 1 The evolution of the seeding cloud and the non-seeding cloud

	最大强度 (dBz)	水平尺度 (km <sup>2</sup> )	最大厚度 (km)	发展时间 (min)	降水量 (mm)
目标云	45	65	5.5	92	0.6
对比云	40	49	4.4	64	无降水
历史平均	37	52	4.0	67	无降水

最强时所经历的时间目标云明显大于对比云。由于回波的扩展和新生而使面积增大与人工催化有很好的对应关系: 19:18, 目标云云体厚度 4.2 km, 正处在酝酿阶段, 地面高炮火箭对云体较黑的部分进行连续作业, 共使用 5 枚火箭, 催化 25 min 后出现云体扩张, 回波强度增大, 最大强度由 27 dBz 增至 45 dBz; 面积由 24 km<sup>2</sup> 增至 65 km<sup>2</sup>; 20:03 作业点由于降水的产生, 回波结构变得松散, 回波强度有所减弱, 回波面积缩小, 回波处于消散阶段。从目标云的发展过程看, 它有 1 次强盛成熟期的增长过程, 而对比云则从新生发展到减弱消散阶段经历较短的时间(30 min)。

## 2.2 垂直特征与作业效果

通过雷达观察目标云的垂直结构变化, 并与催化时间和高度进行对照, 借以判断催化的方式是否恰当, 有没有效果。要实现催化剂的充分核化, 必须在合适的时间和空间催化目标云体。图 2 为目标云和对比云的垂直特征参数和其最大强度随时间的变化。其中垂直特征参数分析的是回波厚度和强中心厚度的变化。回波厚度为回波顶高与回波底高的差值, 强中心厚度为 RHI 图像上最大强度所在的顶高与底高的差值。回波厚度代表了对流云发展的旺盛强度, 强中心厚度则反映了云内较大降水粒子被上升气流携带上升所到达的高度, 是云中上升气流的强度和最大上升气流区位置的一种指示。目标云顶高 4.9 km, 播撒区域位于强中心区上方, 即最大上升气流区附近。催化后经过一段时间核化和云滴增长(约 30 min), 强中心厚度增加, 而回波顶高则有所下降, 53 min 后强中心厚度达到 3.5 km, 回波顶高下降至 4.5 km, 回波最大强度一直维持为 40~45 dBz。这表明回波对流发展较为旺盛, 上升气流较强, 使得高液态含水量区(强中心)急剧扩张, 而回

波顶没有增高,说明积云中降水粒子增长达到平衡状态。随后一段时间对应的是降水时段,由于降水粒子的拖曳作用,上升气流开始减弱,回波顶高迅速回落,目标云进入减弱消散阶段,完成了本次降水过程。可以发现目标云在催化后有旺盛发展,总的强

盛时间维持较长。经过一定时间的发展后,目标云发展为多对流带状单体,影响范围较大。在降水影响区域,平均雨量为 0.6 mm。而对比云则不产生降水,从而判断此次对目标云的催化达到了增雨的效果。

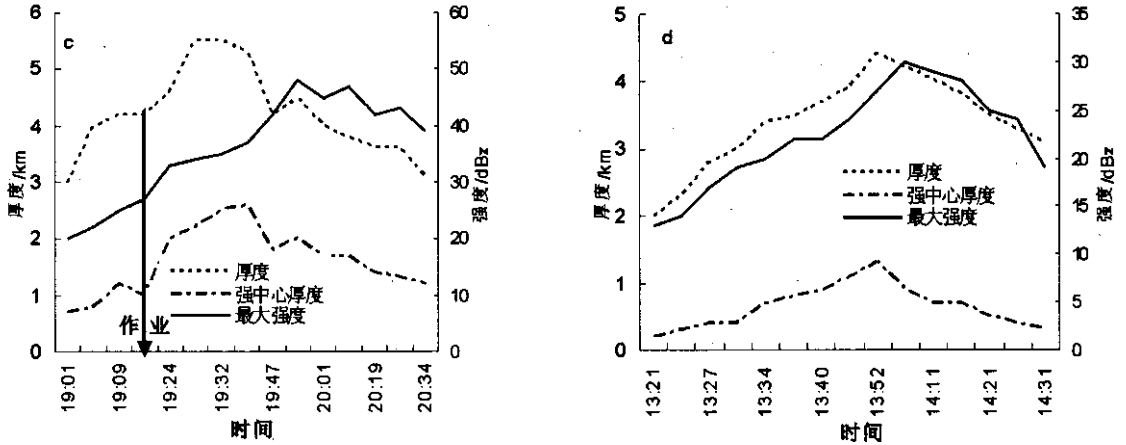


图 2 目标云(c)和对比云(d)回波垂直特征参数与最大回波强度随时间的变化

Fig. 2 The temporal variation of the maximum echo intensity and vertical character parameters of the seeding cloud(c) and the non-seeding cloud(d)

### 3 结 论

目标云的增强与人工催化有很好的对应关系。目标云初期对流发展较慢,19:18,地面火箭对目标云进行了人工催化,25 min 后,云体出现扩张,并有 1 次强盛成熟期的增长过程,回波强度由 27 dBz 增至 45 dBz,回波面积由 24 km<sup>2</sup> 增至 65 km<sup>2</sup>,云体生命时间和成熟阶段维持较长(60 min),20:03,目标云产生降水,降雨量为 0.6 mm;对比云则从新生发展到减弱消

散阶段经历较短的时间(30 min),地面并无降水产生。

#### 参考文献:

- [1] 曾光平,刘峻.人工降水试验效果检验的统计模拟方法研究[J].气象学报,1993,51(2):241-247.
- [2] 陈良栋.天气雷达资料的分析与应用[M].北京:气象出版社,1991.173.
- [3] 张培昌,戴铁丕,杜秉玉,等.雷达气象学[M].北京:气象出版社,1988.41-243.

## Analysis of Radar Echoes on Effects of Rain Enhancement by AgI-Loading Rockets

SUN Xu-ying, WANG Jing-song, WANG Jing

(Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Based on the radar dense data of convective cloud on June 12, 2004 in Yongdeng county, choosing two similar convective clouds as seeding and non-seeding cloud, the remarkable changes of radar echo parameters of the seeding cloud compared with the non-seeding cloud were discussed in this paper, and the rain enhancement effect was evaluated primarily with ground observational rainfall data. The results show that many aspects of the seeding cloud, such as precipitation, life characteristic and vertical characteristic parameters change of radar echo, had remarkable differences compared with the non-seeding cloud, and about 40 min after seeding 0.6 mm precipitation produced, while the non-seeding cloud experienced a short period from development to dissipation and didn't produce any precipitation in the ground, which can conclude this rainfall enhancement experiment reached some prospective effect.

**Key words:** artificial stimulation of precipitation; radar echo; effect assessment