

文章编号: 1673-8411(2019)03-0090-05

广西一次飞机增雨过程个例分析

韦增岸, 张正国, 程鹏, 李林红, 詹莹玉

(广西壮族自治区人工影响天气办公室, 南宁 530022)

摘要: 利用EC预报场、WRF模式预报和卫星雷达等资料, 分析2017年11月24日广西的一次飞机增雨作业过程。结果发现, 南支槽和冷空气是此次降水的主要影响系统。此次过程广西西部、北部水汽条件较好, 桂西北液态水含量局部达1.0mm; 百色区域从700hPa到300hPa附近整层云系都存在较强的垂直上升运动, 分析该地区云降水垂直结构, 显示该地区作业潜力最适宜。作业部位在云体中部, 作业结束后, 影响区云系雷达回波显著增强。由多参数区域动态对比分析法, 作业后雷达回波和雨量的K值都有所增加。

关键词: 飞机增雨; 影响系统; 作业潜力; 增雨效果

中图分类号: P481

文献标识码: A

Analysis of an Aircraft Precipitation Enhancement in Guangxi

Wei Zengan, Zhang Zhengguo, Cheng Peng, Li Linhong, Zhan Yingyu

(Weather Modification Office of Guangxi, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: Based on the European forecast field, WRF model forecast and radar data, an aircraft precipitation enhancement of Guangxi on 24th November 2017 was analyzed. The results indicated that “the southern branch trough + the cold air” was the main influencing system of this precipitation. The west and north of Guangxi had better water vapor condition, with liquid water content of 1.0 mm in North-West. There was obvious vertical velocity from 700hPa to 300hPa in Baise, which had the best operating potential according to the vertical condition of cloud precipitation. The seeding position located in the middle layer of cloud. The radar echo enhanced obviously after the aircraft precipitation enhancement. The K value of radar echo and rainfall increased after the operation.

Keywords: aircraft precipitation enhancement; influencing system; operation potential; precipitation enhancement effect

1 引言

广西气象灾害相当频繁, 干旱是其中比较突出的一种^[1]。为缓解旱情, 保障工农业生产的顺利开展, 广西气象部门每年都开展人工增雨作业。多年外场人工增雨作业实践证明, 认真做好作业天气条件的研究、分析, 较准确地判断天气系统产生的降水范围、强度、持续时间以及主要降水区域, 是制定增雨作业方案的依据^[2-3]。只有在最佳的作业时机和有利部位播撒适量的催化剂, 才能最大限度发挥人工增雨的效能, 提高人工增雨的经济效益、社会效益和生态效益^[4-5]。

飞机增雨作业具有多种局限性, 因此对作业天气条件、作业时段和作业区域的选取尤其重要。郑凯等^[6]分析2016年5月24日黑龙江一次飞机人工增雨作业过程, 发现云带深厚且垂直累积液态水含量较高时段为最佳增雨作业时段; 黄山等^[7]分析了2013年4月28日甘肃省的一次人工增雨过程, 结果表明在前期合理地规划作业区域、作业范围、作业高度, 制订详细的作业方案, 能使飞机人工增雨更加高效。本文选取2017年11月24日在广西开展的一次飞机增雨作业个例, 利用欧洲预报场(EC)、卫星雷达资料和人影中心下发的CPEFS产品等资料, 基于中国气象局人影中

收稿日期: 2019-03-05

基金项目: 中国气象局云雾物理环境重点开放实验室开放课题(2017Z016)

作者简介: 韦增岸(1986-), 女, 本科, 工程师, 从事人工影响天气业务研究。E-mail: 272971469@qq.com

心云降水精细分析系统 (CPAS), 分析此次人工增雨作业过程的研判依据和作业效果, 为区域人工增雨工作提供参考。

CPEFS 为中国气象局人影中心研发的云降水显式预报系统, 该系统以中尺度天气数值模式 WRF (V3.5) 为动力框架, 耦合人影中心研发的云降水显式方案 (CAMS 云分辨方案), 可发布云宏观场、云微观场、云垂直剖面 and 降水场等 4 大类预报产品, 预报产品的水平方向分辨率为 3km, 垂直方向分为 19 层, 预报时效为 48 小时。卫星云特征参量产品为人影中心下发资料, 其利用 FY2E/F/G 静止气象卫星探测资料, 结合 L 波段探空秒数据, 联合反演得到的一组同云系人工增雨作业条件直接相关的云宏观物理特征参数。

2 天气形势分析

由 EC 形势场, 2017 年 11 月 23 日 20:00, 500hPa 中高纬是两槽一脊的形势, 脊线在巴湖一带, 东亚大槽缓慢东移, 槽底伸到江淮一带, 不断引导冷空气南下, 南支槽在孟湾一带, 逐渐东移北收; 高空槽脊系统深厚, 700hPa 仍有明显的两槽一脊形势, 850hPa 切变线在桂中一带, 地

面冷空气已经进入了桂北。2017 年 11 月 24 日 08:00, 500hPa 南支波动东移影响广西, 850hPa 切变线在桂中徘徊, 地面冷空气扩散南下, 槽前云系水汽输送强, 冷暖层积混合云系自西向东移动, 桂北、桂西、桂中出现小到中雨天气, 雨区逐渐东移, 降水性质为层状云为主的混合云降水, 适合开展人工增雨作业。EC 预报 24 日 08:00–14:00, 广西全区大部小雨天气, 降水集中在桂西、桂北。

3 作业潜力区

根据 23 日 20:00 CPEFS 云模式预报, 24 日 08:00 云带覆盖广西北部、中部大部地区, 云系自西北往东南移动, 移速 $35\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$; 垂直累积液态水含量达 1.0mm 以上; 云顶高度大部 4–7km, 局部达 9km; 云顶温度 $-40\sim-10^{\circ}\text{C}$ 。对百色一带云模式作空间剖面 (图 1), 云系为暖云为主的冷暖混合云结构, 0°C 层位于 850hPa 和 600hPa, 判断大气存在逆温层, 云系主体处于 0°C 层以下, 云水混和比 $0.05\sim 0.5\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 高空偏西风, 850hPa 偏西南风; 雷达反射率在 15–30dBZ, 强回波中心在西部百色一带。

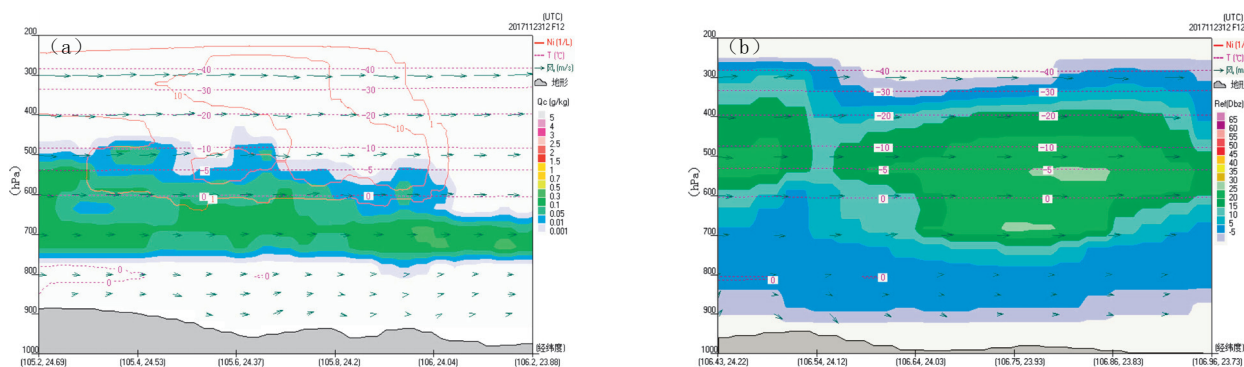


图 1 云模式垂直剖面: (a) 云水混合比和温度 (b) 雷达反射率和温度

利用实况资料对模式产品进行检验。24 日 08:00 卫星云图显示: 在我国华南、西南上空都存在水平尺度较大的低槽云系, 广西北部、中部都被大片云系覆盖, 云系南北厚度不均匀, 云系自西北往东南移动, 移速 $30\sim 35\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$; 08:00 吴圩机场观测表明云状为层状云, 云量 10, 说明机场上空已经被云系覆盖; 对百色一带进行云降水垂直结构分析, 该区域卫星反演云顶高度 4–6km (图 2a), 云顶温度 $-25\sim-15^{\circ}\text{C}$ (图 2b), 光学厚度局部达 40 (图 2c), 液水路径达 700mm (图 2d), 雷达回波约 15–35dBZ, 强回波带呈东西向, 位于百色–巴马–宜山等地。由 24 日 08:00 百色

探空资料, 整层云系相对湿度较大, 大部 90% 以上, 局部近饱和, 0°C 层位于 1800 米及 4300m 高度, 2–3km 存在逆温层, 500hPa 为偏西气流, 风速约 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; 700hPa 为偏西南气流, 风速约 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。模式预报与实况资料比较吻合, CPEFS 云模式预报对本次降水云系有很好的指导作用。

根据 23 日 20:00 CPEFS 云模式预报, 24 日 08:00–14:00 广西西部仍有大片积层混合云覆盖影响, 云系由北往南压, 同时整体向东移去, 东移南压速度 $35\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$; 大部地区垂直累积液态水在 1.0mm 以上, 云顶高度维持 5–7km, 云顶温度 $-40\sim-15^{\circ}\text{C}$, 雷达反射率在 15–30dBZ; 西部

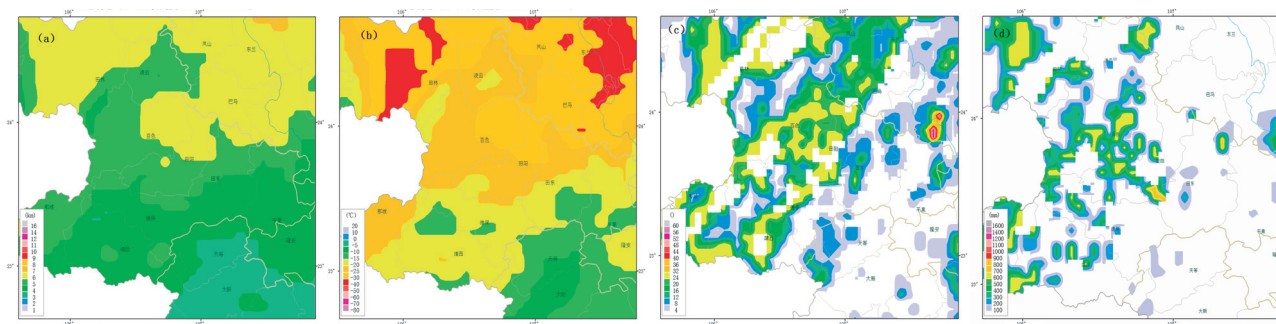


图2 2017年11月24日08:00卫星反演产品：云顶高度(a)、云顶温度(b)、光学厚度(c)、液水路径(d)

百色一带局部垂直累积液态水维持1.5mm以上，云顶高度5-6km，云顶温度 $-30 \sim -15^{\circ}\text{C}$ ，雷达反射率在15-35dBZ。云中液水含量是衡量区域人工增雨潜力和评估增雨作业条件的重要指标之一^[8-9]。综上，广西西部有较好的增雨潜力，有利于开展飞机人工增雨作业，增雨作业潜力区如图3。

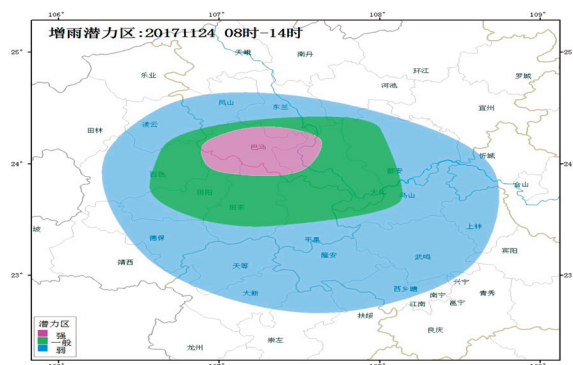


图3 2017年11月24日08:00-14:00增雨潜力区

4 云降水实况监测

24日11:00-12:00卫星云图显示，大片东西向云系覆盖着广西西部、北部，尤其是西部百色一带；卫星反演云顶高度维持在5-7km；百色雷达显示，雷达回波一直维持在10-30dBZ，地面已经有降水产生，08:00-14:00桂西、桂北地区出现了小雨局部中雨的过程，增雨作业潜力区处于强回波地区及降水集中一带，降水云系处于维持和发展阶段。

5 作业情况及效果检验

5.1 作业信息

在增雨潜力区内，根据民航、空军等部门要求，设计飞行航线南宁-大新-平果-百色-天等-南宁。运12-B3755飞机09:52起飞，飞行时段为09:52-13:53，催化作业时段介于10:20-13:17，共

使用暖云烟条20根。由于云带比预计中移动得要慢，百色地区一直维持大片云系，故飞机在百色地区进行耕云作业。

飞机宏观记录显示(表1)：09:56飞机入云，云底高度500m；10:32飞机飞行至大新，飞行高度2500m，位于云中；10:58飞机飞行至平果，飞行高度2500m，位于云中；11:38飞机飞行至百色，并在百色一带做耕云作业； 0°C 层大约在2km，2-3km存在逆温层，印证了模式和探空资料；平飞阶段作业高度为2500m，对应温度 2°C ，持续观测到大片层积云，湿度近饱和，具备较好的增雨潜力；12:35分结束耕云作业，直飞天等并返程。

表1 2018年4月下旬相对增雨量与增雨率计算

飞行时间	09:52-13:53
催化时间	10:20-13:17
催化层高度	2500m
催化层温度	$0 \sim 5^{\circ}\text{C}$
探空选择	20171124 百色 08时探空
催化层风向	NW
催化层风速	$8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
催化剂用量	20根暖云烟条
催化剂型号	ZY-1NY吸湿性焰条，氯化钙含量12.5g/根

5.2 作业合理性

对百色区域(106.58°E - 107.35°E 、 23.58°N - 24.33°N)作多参量垂直剖面分析(图4)，飞机作业区域卫星反演云顶高度5-7km，云顶温度 $-25 \sim -15^{\circ}\text{C}$ ，光学厚度15-55，液水路径200-1000mm，有降水回波存在，回波结构密实，强度15-35dBZ，满足增雨条件要求。云系移动比预计中要慢，大片云系一直徘徊在百色一带，云系发展较为旺盛，飞机在百色做耕云作业，飞行作业高度在云体中部，播撒条件较好，作业温度范围 $0 \sim 5^{\circ}\text{C}$ ，符合暖云催化剂温度要求^[2]。

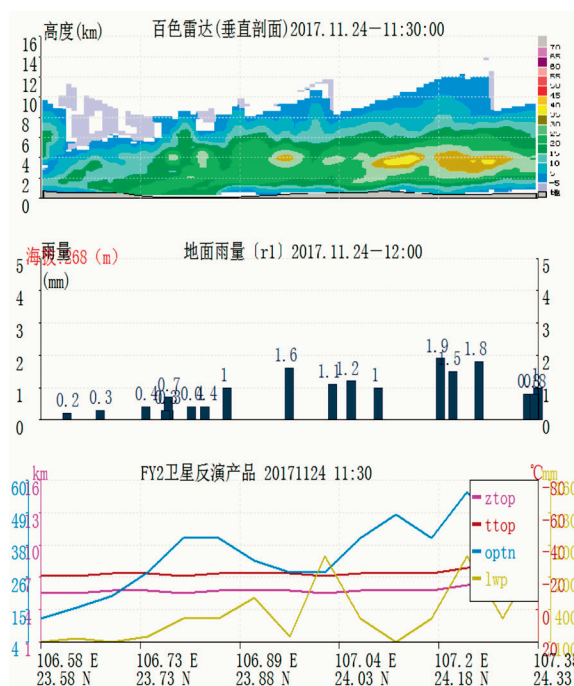


图 4 2017 年 11 月 24 日作业时段百色雷达回波、雨量实况及卫星反演产品

百色耕云作业(时间 11:38–12:35)结束后 30 分钟内,作业下风方影响区(106.82°E、24.00°N)雷达回波变化如图 5,回波 12:41 开始增强,12:56 达到 30dBZ,之后慢慢开始回落,耕云作业时间合理;回波强中心集中在 2–3km 的高度,正是作业高度范围,本次作业高度选择合理。

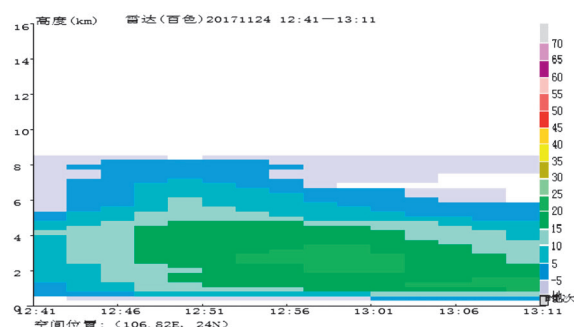


图 5 2017 年 11 月 24 日 12:41–13:11 百色雷达变化

5.3 影响区与对比区

作业后百色–巴马一带出现了小到中雨。以催化剂播撒扩散的范围确定影响区,催化层风向为偏西南风,在百色地区作耕云作业,催化剂从播撒地区在催化层风向作用下扩散至东北方向,结合扩散系数及催化层风向,选取耕云作业区域面积约 2900km² 为影响区范围,选取影响区上游,即影响区的西南侧为对比区,对比区范围与影响区大小相同。计算作业后 3 小时内的作业影响区和对比区降水量,作业影响区平均雨量为 1.24mm,

对比区的平均雨量为 0.85mm,增雨率为 45.88%。

5.4 区域动态对比分析

雷达回波的演变可以直观反映作业云系发展情况,检验人工增雨作业效果^[10–11]。利用多参数区域动态对比分析法(K 值法, K= 影响区参量 / 对比区参量),对影响区和对比区的雷达回波、雨量进行对比,计算结果如下(图 6)。

由图 6 可见,影响区与对比区的雷达回波 K 值在作业后 2–3h 呈现增加趋势。影响区与对比区的雨量 K 值在作业前有所减小,作业后明显增加;当催化作业 2–3h 后,虽然两个区域平均雨量呈现减小的趋势,但是 K 值却持续增加。作业后雷达回波和雨量的 K 值都有所增加,表明催化剂产生了作用。

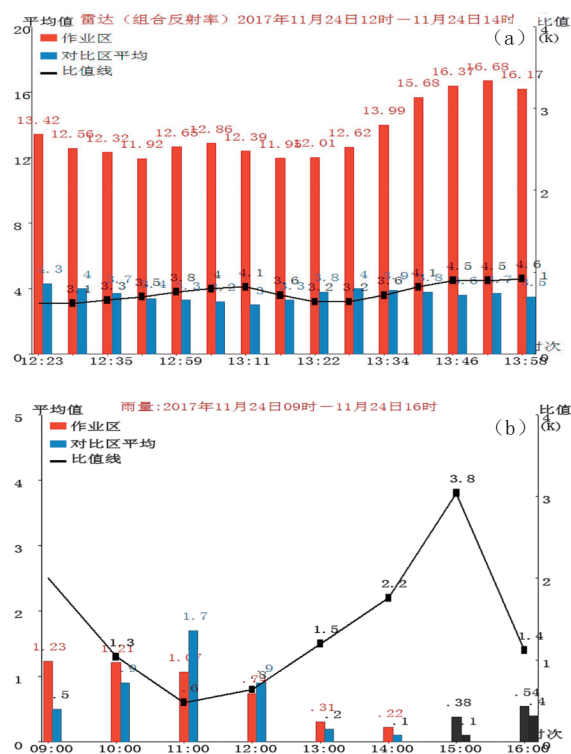


图 6 作业前后作业区和对比区雷达回波(a)、雨量(b)的 K 值变化

6 结论

(1) 受南支波动东移及地面冷空气扩散南下影响,2017 年 11 月 23–24 日广西自北向南有一次大范围降水天气过程,降水性质为层状云为主的混合云降水,适合开展人工增雨作业。

(下转第116页)

模块对传感电缆的连续性进行持续监测,当漏水传感电缆接触到液体水,电压变化引起监测模块产生报警,并通过线缆送至环境监控主机。

5 系统应用

广西新一代天气雷达机房动力环境监控系统依托广西天气雷达保障业务系统的建设与实施,通过在台站端部署动力环境参数采集子系统,在省级中心站端部署数据库服务器与WEB应用服务,实现了对雷达机房动力环境参数及附属设备状态参数进行在线采集、监测、显示并记录上传,完成空调等设备远程控制,提供Web浏览、手机APP浏览、短信报警等应用输出。系统在区气象技术装备中心部署中心站端,在全区10个雷达站部署台站端,有效的实现了对各台站天气雷达运行情况、机房动力保障及温湿度的监控,雷达故障发生时可辅助值班人员快速诊断故障发生原因。安装后,已检测到桂林、百色、南宁等多次漏水情况,为台站提供多次空调异常、空压机异常、UPS异常等监测报警,为雷达安全运行提供了有力保障。

参考文献:

- [1] 李柏,古庆同,李瑞义,等.新一代天气雷达灾害性天气监测能力分析及未来发展[J].气象,2013,39(3):265-280.
- [2] 李广海,陆曼曼.新一代天气雷达资料传输监控与故障诊断系统[J].气象研究与应用,2013,34(2):68-73.
- [3] 臧海光,徐剑平,李晓利,等.CINRAD/SA雷达机房动力环境监控系统的设计及实现[J].气象水文海洋仪器,2015,33(3):72-75.
- [4] 杨奇.新一代天气雷达台站环境监控系统设计与实施[J].气象与环境科学,2013,36(3):84-89.
- [5] 曹凯明,董立亭,苏菲.雷达机房动力环境监控系统的建立及应用[J].贵州气象,2014,38(1):43-45.
- [6] 张骞,陈海燕,吕庆历,等.新一代天气雷达集成监控平台开发[J].现代雷达,2016,38(8):80-83.
- [7] 姜小云,李昭春,吴俞.新一代天气雷达全过程自动监控系统设计[J].计算机技术与发展,2014,24(12):245-248.
- [8] 蒲晓勇,蔡宏,唐俊,等.新一代天气雷达站网实时运行监控系统的设计与开发[J].暴雨灾害,2007,26(2):179-183.
- [9] 李华敏,王瑛,孙君亮.基于雷达组网远程监控系统设计与实现[J].现代电子技术,2012,35(1):31-36.

(上接第93页)

(2) 此次降水过程广西西部、北部液水含量较高,卫星反演云物理宏观参量很好地反映本地区云系作业潜力,西部地区作业潜力最好,光学厚度达40以上,液水路径700mm以上。

(3) 2km以上存在逆温层,飞机宏观记录及机载探测温湿数据很好地印证了模式及探空资料。

(4) 作业过程中持续观测到大片层积混合云,为典型的增雨作业云系。

(5) 选择云体中部开展作业,分析作业后30分钟内雷达回波演变,作业影响区雷达回波明显增强。多参数区域动态对比分析法一定程度上可以检验本次作业效果。

参考文献:

- [1] 黄海洪等.广西天气预报技术和方法[M].北京:气象出版社,2012.
- [2] 郭学良等.大气物理与人工影响天气[M].北京:气象出版社,2011.
- [3] 游来光,马培民,胡志晋.北方层状云人工降水实验

研究[J].气象科技,2002,30:19-62

- [4] 唐佐阳,吕巍伟,吕校华,等.衡邵盆地7-8月对流云特征与人工增雨作业效果分析[J].气象研究与应用,2018,39(1):51-54,69.
- [5] 樊志超,周胜,汪玲,等.湖南秋季积层混合云系飞机人工增雨作业方法[J].应用气象学报,2018,29(2):200-216.
- [6] 郑凯,安英玉,韩书新,等.高纬地区一次飞机人工增雨作业综合分析[J].气象与环境学报,2017,33(6):105-111.
- [7] 黄山,尹宪志,丁瑞津,等.2013年春季甘肃省一次人工增雨过程分析[J].现代农业科技,2015,(1):220-222.
- [8] 袁健,赵妹慧,张维权,等.云中液态水含量在人工影响天气中的应用[J].安徽农业科学,2011,39(1):508-602.
- [9] 徐冬英,张中波,唐林,等.几种人工增雨效果检验方法分析[J].气象研究与应用,2015,36(1):105-107.
- [10] 张瑞波,刘丽君,钟小英,等.利用新一代天气雷达资料分析飞机人工增雨作业效果[J].气象,2010,36(2):70-75.
- [11] 王以林,姚展予,林长城.一次火箭人工增雨作业雷达回波响应探讨[J].气象科技,2016,44(6):1053-1059.