

文章编号:1673-8411 (2018) 01-0051-04

# 衡邵盆地 7—8 月对流云特征与人工增雨作业效果分析

唐佐阳<sup>1</sup>, 吕巍伟<sup>2</sup>, 吕校华<sup>1</sup>, 杨科<sup>1</sup>

(1.湖南省邵阳市气象局, 湖南 邵阳 422000; 2.湖南省新邵县气象局, 湖南 新邵 422900)

**摘要:**利用湖南邵阳新一代多普勒雷达站产品资料和区域自动站降水资料,分析了衡邵盆地 2010—2016 年的 7—8 月期间 100 个对流云个例雷达回波特征,对在邵阳区域范围 50 次地面火箭弹和 37 次高炮人工增雨作业效果进行检验。结果表明:(1)邵阳区域单块积云回波水平尺度在 3—6km 最多,占 41.6%,单块积云回波面积<50km<sup>2</sup>最多,占 25.0%,回波顶高在 5.5—6.0km 最多;(2)不同天气形势下,单块积云回波面积、回波顶高也不相同;(3)积云降水回波的雷达识别指标在不同的季节存在一定的差异;(4)50 次增雨作业平均相对于自然降水量的增幅估值为 7.7mm,增雨效果明显;(5)作业面积在 5 至 10km<sup>2</sup>范围内,增加作业炮弹的数量对增雨量的效果没有明显的影响。

**关键词:**衡邵盆地;对流云特征;人工增雨;雷达回波;效果分析

中图分类号:P481 文献标识码:A

## Analysis of convective cloud characteristics in Hengshao Basin from July to August and artificial precipitation enhancement effect

Tang Zuo-yang<sup>1</sup>, Lv Wei-wei<sup>2</sup>, Lv Xiao-hua<sup>1</sup>, Yang Ke<sup>1</sup>

(1. Shaoyang Meteorological Bureau, Shaoyang Hunan 422000;

2 Xinshao County Meteorological Bureau, Xinshao Hunan 422900)

**Abstract:** By using a new generation of doppler radar products in Shaoyang and regional automatic station precipitation data, the characteristics of radar echoes of 100 convective clouds from July to August in Hengshao Basin from 2010 to 2016 were analyzed and the effects of 50 ground rockets and 37 antiaircraft artillery artificial precipitation operations in the Shaoyang were tested. The results showed that (1) the horizontal scale of single cumulus echoes in Shaoyang area ranged from 3km to 6km, accounting for 41.6%. The echo area of single cumulus cloud was less than 50 km<sup>2</sup>, accounting for 25%, and the highest echo top ranged from 5.5km to 6.0 km. (2) In different weather conditions, single cumulus cloud echo area and echo top were different. (3) The radar identification indexes of cumulus precipitation echo are different in different seasons. (4) The average increase rate of the 50 times rain enhancement operation was estimated to be 7.7mm compared with the natural precipitation, indicating that the precipitation enhancement was efficient. (5) When the operation area was within the range of 5 to 10km<sup>2</sup>, increasing the number of projectile had no obvious effect on rainfall increase.

**Keywords:** Hengshao Basin; convective cloud characteristics; artificial precipitation, radar echo; effect analysis

## 1 引言

干旱已经成为影响面广、持续时间长、造成经济损失较为严重的自然灾害之一,对农牧业生产、生态环境建设、森林防火、社会经济和人民生活均会造成

严重影响<sup>[1-8]</sup>。衡邵盆地位于湖南省中南部,总面积 3.6 万平方公里,多山地丘陵,属中亚热带湿润季风气候区,境内主要气象灾害有:干旱、洪涝、局地山洪、高温、低温、冰雹、冰冻、雷电、大风、大雾等,而干旱居各种灾害之首。干旱是制约衡邵经济发展的一

收稿日期:2017-08-05

作者简介:唐佐阳(1964-),男,大学本科,工程师,从事气象灾害防御和人工影响天气工作。

个重要因素,湖南省发改委牵头做出了《衡邵干旱走廊综合治理规划》项目,该项目的实施是应对气候变化的一个重要举措。每年夏季的 7~8 月,受西太平洋副热带高压控制或大陆暖高压脊控制,天气晴朗少雨,太阳辐射强烈,都会出现持续或间断性高温干旱天气。持续的高温干旱天气往往给工农业生产和人们的日常生活带来严重的影响,对畜、禽、水产等动物养殖业也造成一定的损害,同时干旱又会给森林防火造成严峻形势。因此,在干旱期间,必须抓住时机,适时实施人工增雨作业,对缓解旱情和降低森林火灾风险有重要意义。人工影响天气作为防御自然灾害的重要科技手段,近十年来得到广泛应用。国内很多学者和气象工作者对人工增雨作业也有不少的研究<sup>[9-17]</sup>,得出了一些有意义的结果,但他们所研究人工增雨作业检验的次数太少,代表性不强,而对于人工增雨作业与对流云关系的研究,国内工作者研究的较少,也没有一个确定的积云地面人工增雨作业雷达判别指标,因此有必要进行多次积云雷达回波指标分析,寻找出作业判别指标,利用大量的人工增雨作业次数的数据采集,进行增雨效果评估分

析,建立更加科学合理的人工影响天气作业方案和服务关键技术指标,最大限度地减少或降低干旱给农业生产、生态环境、人民群众的生产生活带来的损失和影响。

## 2 资料和方法

雷达回波资料选用邵阳 CINRAD/SA 多普勒天气雷达 2010—2016 年的 7—8 月期间,在衡邵盆地所观测到的 100 个对流云个例,人工增雨作业个例选取邵阳区域内 14 次作业,降水资料利用炮点附近自动站资料与远离炮点的自动站降水资料进行对比分析。

## 3 对流云回波特征分析

### 3.1 单块积云回波水平尺度及面积统计特征

#### 3.1.1 单块积云水平尺度特征

积云单体回波水平尺度,出现频率最大的是 3~6km,占 41.6%(表 1),回波单体水平尺度>15km 的占 6.2%,显示夏秋季节积云回波单体水平尺度不太大,以中小尺度居多。

表 1 积云单体回波水平尺度频率分布

| 项目        | 等次 1 | 等次 2  | 等次 3  | 等次 4   | 等次 5    | 等次 6 |
|-----------|------|-------|-------|--------|---------|------|
| 水平尺度 (km) | < 3  | 3 ~ 6 | 6 ~ 9 | 9 ~ 12 | 12 ~ 15 | > 15 |
| 累计频数      | 24   | 67    | 35    | 14     | 11      | 10   |
| 百分率%      | 14.9 | 41.6  | 21.8  | 8.8    | 6.8     | 6.2  |

#### 3.1.2 单块积云回波面积特征

夏秋季积云单体回波水平面积并不大,出现几率最大的是<100km<sup>2</sup>积云单体,占 46.9%(表 2),

100~200km<sup>2</sup>和 200~300km<sup>2</sup>积云单体的分别占 18.8%和 14.4%,>500km<sup>2</sup>积云单体较少,只占 6.8%。

表 2 降水性积云平面回波面积分布

| 项目                        | 等次 1 | 等次 2     | 等次 3      | 等次 4      | 等次 5      | 等次 6  |
|---------------------------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 平面回波面积 (km <sup>2</sup> ) | < 50 | 50 ~ 100 | 100 ~ 200 | 200 ~ 300 | 300 ~ 500 | > 500 |
| 累计频数                      | 16   | 14       | 12        | 9         | 7         | 6     |
| 百分率%                      | 25.0 | 21.9     | 18.8      | 14.4      | 10.9      | 9.4   |

### 3.2 不同天气形势下积云雷达回波面积分布特征

将 7、8 月积云雷达回波面积与对应的天气系统对比分析,统计结果如表 3。

分析表明,7、8 月衡邵盆地上空主要受副高、中低层切变和副高边缘等天气系统影响,对应的积云

出现几率占 49.8%、16.2%和 6.2%,这 3 种天气形势出现的几率占总数的 72.2%。

在不同的天气形势下,积云雷达回波面积的大小差别甚大,出现平均最大回波面积的影响系统中低层切变线。

表 3 不同天气形势下回波面积(单位 km<sup>2</sup>)分布

| 项目                   | 副高     | 西南<br>气流 | 高空<br>低槽 | 偏北<br>气流 | 副高<br>边缘 | 东风<br>波 | 中低层<br>切变 | 台风<br>倒槽 | 冷空气   | 台风<br>外围 | 台风<br>低压 |
|----------------------|--------|----------|----------|----------|----------|---------|-----------|----------|-------|----------|----------|
| 出现频数                 | 217    | 8        | 20       | 19       | 33       | 10      | 75        | 11       | 23    | 19       | 16       |
| 出现频率                 | 49.8   | 1.6      | 4        | 41       | 6.2      | 2.1     | 16.2      | 2.3      | 4.9   | 4.2      | 3.3      |
| 总面积 k m <sup>2</sup> | 114021 | 1068     | 129320   | 14672    | 75935    | 41880   | 499886    | 47628    | 78158 | 33508    | 71682    |
| 回波覆盖率%               | 0.98   | 0.35     | 13.47    | 1.47     | 4.51     | 8.95    | 12.73     | 6.75     | 5.91  | 3.02     | 8.51     |

3.3 积云回波顶高分析

一般而言,对流的强弱在一定程度上和回波伸展的高度、回波强度等有关<sup>[18-22]</sup>,所以 ETPPI(回波顶高)产品可以用来分析、估测雷达探测范围内,不同地区的对流发展程度,即积云对流的强弱。

应用体积扫描获取的三维数据,选定回波强度阈值,根据测高公式,在一定的底面积的垂直柱体中,自上而下搜索选定阈值所在的高度。若该回波强度阈值在上、下两个仰角的经线之间,则用线性插值和距离加权平均技术确定阈值所在高度,用这种方法便可得到积云单体的回波顶高度分布,即 ETPPI 产品。

根据衡邵盆地 7、8 月对流单体活动特点,回波强度阈值设置为 5dBz,即云顶高度处的回波强度阈

值为 5dBz,垂直柱体的底面积为 4km\*4km.我们选取浓积云 65 块、降水性浓积云 12 块、积雨云 38 块,共 115 块积云单体进行分析,得出积云云顶高度频数:

浓积云云顶高度为 3.5-7.0km,降水浓积云云顶高度为 5.5-7.5km,积雨云云顶高度大部分均高于 10km,积雨云回波顶出现几率最大的是 6.5-10km 占 53%,其次是 10-12km,占 16.6%,顶高超过 15km 的累计百分比仅占 8.8%。可见夏秋干旱期有 90%以上的积雨云回波顶高集中在 6.5-15km 范围内,显然多为冷云降水云系。积雨云的回波顶高度为 11-19km,最常出现在 12-17km。

按不同天气形势来统计积云回波顶高度,结果见表 4。

表 4 不同天气形势下回波顶高度的分布

| 回波顶高(km)       | 3~5   | 5~7   | 7~9   | 9~11  | 11~13 | 13~15 | 15~17 | 17~19 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I类天气形势下回波出现频数  | 73    | 108   | 146   | 122   | 75    | 55    | 27    | 13    |
| 百分率            | 11.79 | 17.45 | 23.58 | 19.71 | 12.12 | 8.89  | 4.36  | 2.10  |
| II类天气形势下回波出现频数 | 23    | 176   | 238   | 167   | 106   | 109   | 62    | 16    |
| 百分率            | 2.56  | 19.62 | 26.53 | 18.62 | 11.82 | 12.16 | 6.91  | 1.78  |

I 类天气形势对应副高、西南气流、台风外围偏北气流、高原暖脊等比较稳定的天气形势。II 类天气形势对应副高边缘、东风波、高空低槽、中低层切变、台风低压等不够稳定的天气形势。从表 4 分析出,一般是不稳定的天气形势下积云回波顶高较稳定的天气形势的高。雷达回波顶高为 5-15km 的积云占绝大多数(I 类为 81.5%,II 类为 88.6%)

3.4 夏秋干旱期积云降水雷达回波特征

以天气背景划分,积云降水回波大致可以分为以下 4 种类型:南支槽型、副高边缘型、东北冷涡型、强冷空气型。通过对 65 个积云降水过程进行分析,得出积云生长、成熟、消散的雷达回波识别指标见表 5。

表 5 积云降水回波的雷达识别指标

| 月份   | 发展阶段 | 回波强度 Z(dBZ)         | 回波顶高 H(km)         | 强回波中心高度 H(km)      | VIL 特征值 (kg/m <sup>2</sup> ) |
|------|------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| 5    | 生长   | $Z \leq 37$         | $4 \leq H \leq 6$  | $H \leq 5$         | $VIL \leq 34$                |
|      | 成熟   | $40 \leq Z \leq 63$ | $7 \leq H \leq 15$ | $5 \leq H \leq 11$ | $35 \leq VIL \leq 58$        |
|      | 消散   | $Z \leq 39$         | $H \leq 7$         | $H \leq 4$         | $VIL \leq 37$                |
| 6-8  | 生长   | $Z \leq 36$         | $4 \leq H \leq 6$  | $H \leq 6$         | $VIL \leq 31$                |
|      | 成熟   | $41 \leq Z \leq 65$ | $4 \leq H \leq 13$ | $6 \leq H \leq 10$ | $30 \leq VIL \leq 53$        |
|      | 消散   | $Z \leq 40$         | $H \leq 7$         | $H \leq 5$         | $VIL \leq 30$                |
| 9-10 | 生长   | $Z \leq 32$         | $4 \leq H \leq 6$  | $H \leq 3$         | $VIL \leq 27$                |
|      | 成熟   | $35 \leq Z \leq 61$ | $4 \leq H \leq 10$ | $4 \leq H \leq 6$  | $25 \leq VIL \leq 46$        |
|      | 消散   | $Z \leq 33$         | $H \leq 4$         | $H \leq 3$         | $VIL \leq 29$                |

注:强回波中心高度是指回波强度为 45 dBz 的高度。

## 4 地面人工增雨作业效果个例分析

利用多普勒雷达产品及地面密集的区域自动雨量站资料,对 2013 年 8 月到 2016 年 8 月邵阳区域范围内 50 次火箭弹和 37 高炮增雨作业进行物理检验和雨量对比分析得出:利用车载式火箭炮的流动性及射高的灵活性,火箭弹增雨效果非常明显,37 高炮增雨作业效果一般。人工增雨作业自然增雨量平均为 7.7mm,在 5 至 10km<sup>2</sup> 小面积范围内实施人工增雨作业时,当超过两发火箭弹后,随着火箭弹的数量增加,对增雨效果无明显影响。

## 5 结论与讨论

通过对衡邵盆地 2010—2016 年 7—8 月期间 100 个对流云个例雷达回波特征分析,以及对 50 次地面火箭弹和 37 高炮人工增雨作业效果进行检验。得出如下结论:

(1)积云回波在水平尺度上表现为,单块积云回波水平尺度在 3—6km 最多,占 41.3%,>15km 最少,占 6.3%;从面积来看,单块积云回波面积<50km<sup>2</sup> 最多,占 25.0%,>500km<sup>2</sup> 最少,只占 9.4%;回波顶高大多数在 5.5—6.0km 之间。

(2)在不同天气形势下,回波面积和高度也不尽相同。

(3)积云降水回波的雷达识别指标在不同的季节存在一定的差异。

(4)实施增雨作业后平均相对于自然降水量的增雨量达 7.7mm,增雨效果比较明显。

(5)当作业面积在 5 至 10km<sup>2</sup> 范围内时,增加作业炮弹的数量对增雨量的效果没有明显的影响。

目前,人工影响天气是缓解旱情行之有效的重要手段,能减少其给农业生产、生态环境建设、森林防火、人民生活、社会经济带来的影响。但人工影响天气作业又会受到天气形势、通讯设备的信息传送、航管空域的开放度,其中最主要的是天气形势,人工影响天气与天气系统配合还需进一步研究与实践,使增雨效果达到最大化。

### 参考文献:

- [1] 贺海晏. 近 40 年广东省的旱涝特征[J]. 热带气象学报, 1998, 14(4): 297-305.
- [2] 况雪源, 钟利华, 黄雪松. 广西前汛期旱涝特征及成因分析[J]. 广西气象, 2001, 22(4): 5-8.
- [3] 孙莹, 寿邵文, 沈新勇, 等. 灾害天气的识别和自动报警[J]. 广西气象, 2006, 27(4): 20-23.
- [4] 薛宇峰. 近 50 年来湛江、韶关气候变化的小波分析[J]. 广东气象, 2006, 28(1): 29-32.
- [5] 刘运策, 方一川. 2005 年广东省强对流天气活动概况[J]. 广东气象, 2006, 28(1): 33-34.
- [6] 王春乙, 郑昌玲. 农业气象灾害影响评估和防御技术研究进展期[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(1): 1-5.
- [7] 王艳兰, 汤达章, 周文志, 等. 多普勒雷达降水产品优化[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(1): 41-44.
- [8] 张允锋, 赵学娟, 赵迁远, 等. 近 2000 中国重大历史事件与气候变化的关系 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29(1): 20-22.
- [9] 白先达, 陈博杰, 张瑞波, 等. 新一代天气雷达在人工增雨作业中的应用[J]. 广西气象, 2005, 26(3): 45-48.
- [10] 孙旭映, 王劲松, 王静. 火箭增雨效果雷达回波分析[J]. 干旱气象, 2005, (3): 55-58.
- [11] 游积平, 冯永基, 杨今冬. 广东 2005 年春季飞机增雨作

(下转第 69 页)

(5)平果县地形地貌复杂,除生态气候条件外,影响火龙果种植的因素还有很多,实际上应将火龙果种植气候条件与其他因子综合起来考虑,这样才能使区划结果更为客观、精细,关于这些方面的研究值得进一步探讨和完善。

总之,平果县火龙果产业要遵循当地农业气候资源,充分利用火龙果在石山区较强的生长适应性优势,并建立长效农业气象灾害防御机制,提高农业气象服务水平,进一步扩大火龙果种植面积,促进绿色无公害火龙果产业的可持续发展,改善石山区生态环境,提高农民经济收入。

#### 参考文献:

[1] 韦金霖, 安晓明. 隆林县烤烟生产的气象条件及主要气象灾害分析[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(4): 52-55.

- [2] 陈国保, 李永平, 姚志东. 2011 年龙眼挂果率高的气象成因分析[J]. 气象研究与应用, 2012, 33(1): 52-55.
- [3] 黄桂珍, 甘霖, 林金红. 凌云麻竹种植的气象条件分析[J]. 气象应用于研究, 2011, 32(3): 53-54.
- [4] 徐芳, 卢雪香, 李莲英. 梧州市种植桉树速生丰产林的气象条件分析[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(3): 43-46.
- [5] 邹玲, 唐广田, 邹丽霞, 等. 桂林马铃薯冬季生产气象条件分析[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(3): 62-65.
- [6] 莫蕤, 韦金海. 右江河谷夏橙生产的农业气候条件分析[J]. 广西气象, 2006, (12): 69.
- [7] 谢金霞, 范文娟. 昭平县茶叶生产的气候优势及生产对策[J]. 气象应用于研究, 2008, 29(1): 64-65.
- [8] 尹华军. 影响隆林县发展板栗种植的主要气象灾害及对策[J]. 气象应用于研究, 2012, 33(4): 57-59.
- [9] 赖英度, 陈锡勤. 巴马县油茶种植气候条件分析[J]. 气象应用于研究, 2009, 30(3): 57-59.

.....

(上接第 54 页)

- 业技术分析[J]. 广东气象, 2005, 27(3): 17-19.
- [12] 李红斌, 何玉科, 周德平, 等. 多普勒雷达数值产品在火箭增雨效果分析中的应用[J]. 气象科技, 2007(2): 35-38.
- [13] 钟小英. 飞机人工增雨作业效果分析[J]. 气象研究与应用, 2010, (2): 67-71.
- [14] 杨立洪, 张晨辉, 贺汉清. 利用雷达资料量化人工增雨作业参数[J]. 广东气象, 2009, 31(1): 51-54.
- [15] 杨敏, 鲍向东, 马鑫鑫, 等. 2010 年 3 月 14 日河南省飞机增雨作业效果分析[J]. 气象与环境科学, 2012, (S1): 101-104.
- [16] 王婉, 姚展予. 非随机化人工增雨作业功效数值分析和效果评估[J]. 气候与环境研究, 2012, (6): 86-89.
- [17] 唐仁茂, 李德俊, 袁正腾, 等. 对流云人工增雨雷达效果

- 分析软件的应用 [J]. 气候与环境研究, 2012, (6): 63-66.
- [18] 张沛源, 陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 373-376.
- [19] 曾雅婧, 曾昌军. 从化一次短时暴雨过程的雷达回波演变特征[J]. 广东气象, 2008, 30(4): 36-38.
- [20] 孙靖, 王建捷. 北京地区一次引发强降水的中尺度对流系统的组织发展特征及成因讨论 [J]. 气象, 2010, 36(12): 18-27.
- [21] 吴小芳, 伍志方, 叶爱芬. 广东一次强度流天气过程分析[J]. 广东气象, 2011, 33(1): 5-7.
- [22] 陈方丽, 窦斯英, 李明华, 等. 一次强对流天气过程中尺度对流系统特征分析[J]. 广东气象, 2012, 34(2): 10-15.