

中国天眼三级联防区一次人影作业情况分析

唐辟如, 刘伟, 彭宇翔*, 崔蕾, 张小娟, 李皓

贵州省人工影响天气办公室, 贵州 贵阳

收稿日期: 2021年10月24日; 录用日期: 2021年11月22日; 发布日期: 2021年11月29日

摘要

中国天眼(FAST)自2016年7月3日建成以来,冰雹成为对FAST安全运行威胁最大、影响最大的气象灾害,为进一步了解气象人影作业对提高冰雹防御能力、提升防御水平、减少冰雹灾害对FAST的影响,本文利用探空资料、多普勒雷达资料以及作业点作业资料,根据平塘县回波移动和降雹情况,构建FAST三级联防作业区,并分析了2019年3月4~5日三级防御作业区的作业情况。结果表明:位于FAST中上游的作业防御重点区能在天眼降雹前积极进行防雹作业;作业防御核心区由于空域协调等问题作业时间稍晚于降雹时间;总体而言,作业效果较好,能起到减少冰雹对FAST影响的作用。同时,建议有关部门加强对人工影响天气的重视,进一步减少因空域协调而无法及时科学作业等情况的发生次数。

关键词

中国天眼(FAST), 三级联防, 防雹, 雷达回波

Analysis on the Weather Modification Operation Situation of Three-Level Joint Defense Area of FAST in China

Piru Tang, Wei Liu, Yuxiang Peng*, Lei Cui, Xiaojuan Zhang, Hao Li

Weather Modification Office of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou

Received: Oct. 24th, 2021; accepted: Nov. 22nd, 2021; published: Nov. 29th, 2021

Abstract

Since the construction of China's Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST) on July 3, 2016, hail has become the most threatening and influential meteorological disaster to the safe operation of FAST. In order to further understand the impact of weather shadow opera-

*通讯作者。

文章引用: 唐辟如, 刘伟, 彭宇翔, 崔蕾, 张小娟, 李皓. 中国天眼三级联防区一次人影作业情况分析[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(6): 742-750. DOI: 10.12677/ccrl.2021.106084

tion on improving hail defense capability, improving defense level and reducing hail disaster on FAST, this paper uses radiosonde data, Doppler radar data and operation data of operation points, According to the echo movement and hail situation in Pingtang County, the three-level joint defense operation area of FAST is constructed, and the operation situation of the three-level joint defense operation area from March 4 to 5, 2019 is analyzed. The results show that the key operational defense areas located in the middle and upper reaches of FAST can actively carry out hail suppression operations before hail fall in the sky eye; due to the problems of Airspace Coordination, the operation time of operational defense core area is later than the hail time; in general, the operation effect is good, which can reduce the impact of Hail on FAST. At the same time, it is suggested that the state should pay more attention to weather modification, so as to further reduce the frequency of scientific operation in time due to airspace coordination.

Keywords

FAST, Three Level Joint Defense, Hail Defense, Radar Echo

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

冰雹是贵州省主要气象灾害之一，主要集中在每年的3至5月份[1]，对经济、农业以及人民的生命财产造成严重影响。准确地对冰雹进行预报预警，并积极、科学、安全地开展地面人工防雹作业具有重大意义。近几十年里，国内外研究学者在冰雹的时空分布特征、冰雹预测预警、冰雹发生规律和冰雹导致的灾害损失等方面进行了大量的研究，其中周永利等[2]利用1971~2007年贵州省实测冰雹资料研究了贵州省冰雹的时空分布特征，柯莉萍等[3]利用1997~2014年的冰雹资料研究了威宁县冰雹天气预报指标，Kunz、Mohr和Počakal等[4] [5] [6] [7] [8]发现，在欧洲冰雹造成的破坏在过去二三十年间急剧增加，且冰雹多发生在春末和夏季的下午和傍晚。冰雹的分布、发生规律、预报因子等研究对高效开展防雹、消雹工作具有重要意义。

中国天眼“FAST”位于贵州省黔南布依族苗族自治州平塘县克度镇大窝凼的喀斯特洼坑中，是国之重器，是探索太空的锐器，对我国在科学前沿实现重大原创突破、加快创新驱动发展具有重要意义。而“FAST”的反射面板是由1 mm的铝合金组成，冰雹灾害是对天眼安全运行威胁最大、影响最大的气象灾害[9] [10]。本文利用多普勒天气雷达资料和探空资料，结合作业点作业数据，根据研究区冰雹发生规律和主要影响天气系统，构建以天眼为中心的冰雹灾害三级联防作业区，并对2019年3月4~5日天眼三级联防区作业情况进行统计分析，以期为进一步积极、科学、全方位保障天眼安全提供理论依据。

2. 资料与方法

2.1. 研究区概况

本平塘县位于贵州省南部，气候多样，地形复杂，地区差异和垂直差异较明显，具有典型的高原山地气候特点和变化规律，属于亚热带季风湿润气候，是冰雹多发区。1961~2019 a，平塘县有35 a出现过冰雹天气，冰雹年际发生率高达60%。

2.2. 数据来源及处理方法

2.2.1. 冰雹路径及天眼三级防御作业区划分

贵州初始冰雹生成主要源于贵州省西部及云南昭通等地[11] [12], 有 5 个主要冰雹源地和 5 条主要冰雹路径, 而天眼所在地黔南州平塘县主要在 3 号路径中段和 4 号路径末端。3 号路径由西北至东南方向, 六枝 - 普定 - 安顺 - 长顺, 并在长顺、平塘、独山冰雹源地得到补充后继续发展至三都 - 榕江 - 从江。4 号路径由西向东, 盘县 - 晴隆 - 关岭 - 镇宁 - 紫云, 进而继续发展至长顺、惠水、平塘交界地带(见图 1)。

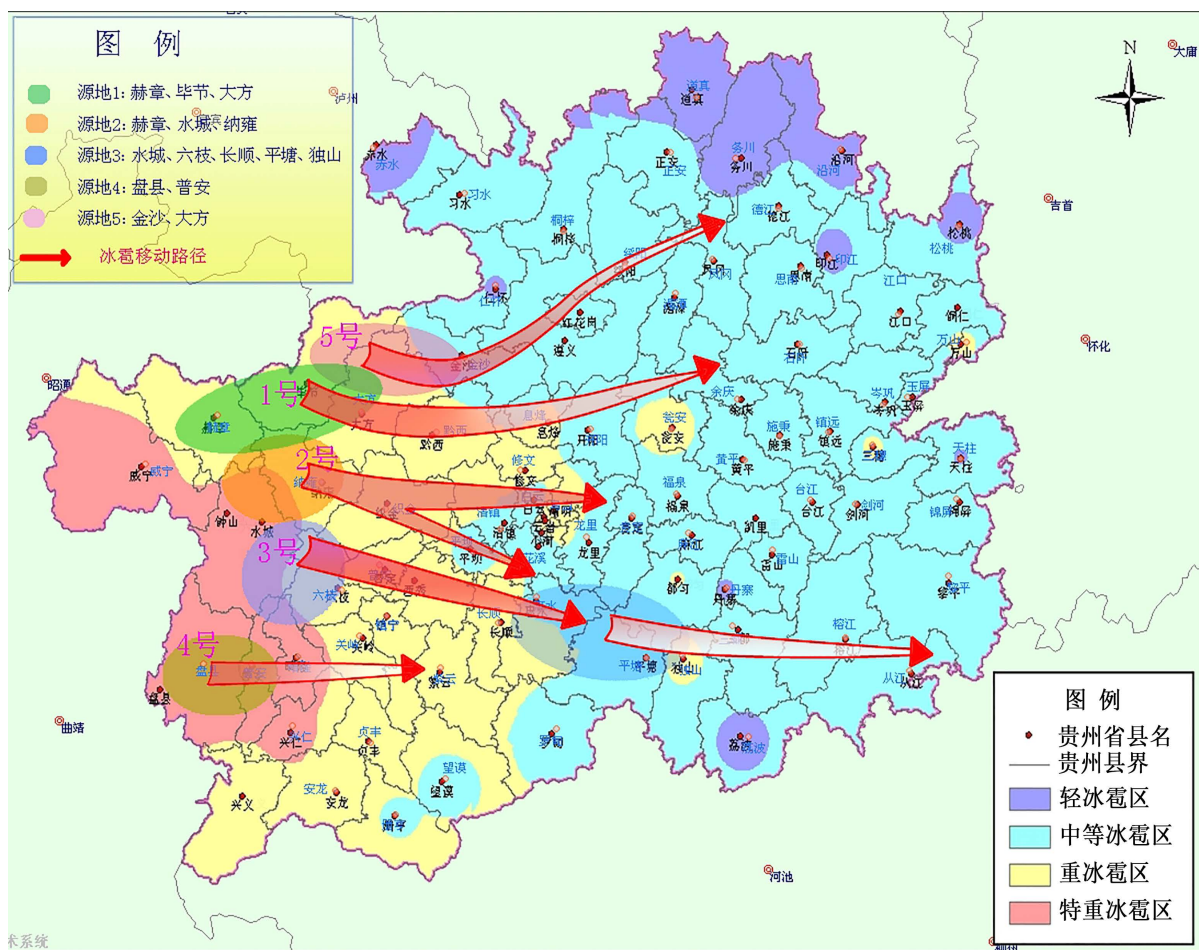


Figure 1. The distribution map of the hail sources and main paths of hail in Guizhou

图 1. 贵州冰雹发生源地与冰雹主要路径分布图

冰雹云的生命演变可分为发生、跃增、孕育、降雹和消亡 5 个过程[13], 持续时间短则数分钟, 长达 3 h 以上[14] [15] [16]。冰雹的移动速度一般为 $35\sim 42\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ [17], 本文选定冰雹移动速度为 $40\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。影响天眼的冰雹云主要来自西北、正西和西南方向, 沿着贵州省冰雹主要路径外推: $0.125\sim 1.25\text{ h}$ 范围定义为天眼冰雹灾害防御作业核心区; $1.25\sim 2\text{ h}$ 范围定义为天眼冰雹灾害防御作业加强区; $2\sim 3\text{ h}$ 范围定义为天眼冰雹灾害防御作业重点区, 构建天眼冰雹灾害三级综合防御体系, 形成防御作业重点区、防御作业加强区和防御作业核心区的作业布局, 如图 2 所示。

其中 $120\sim 80\text{ km}$ 区域的重点区主要包括贵阳市、安顺市、黔西南州和黔南州的部分地区, 共有 13 个混合作业点(含高炮和火箭)和 47 个高炮作业点; $80\sim 50\text{ km}$ 区域的作业加强区主要位于安顺市、贵阳市、

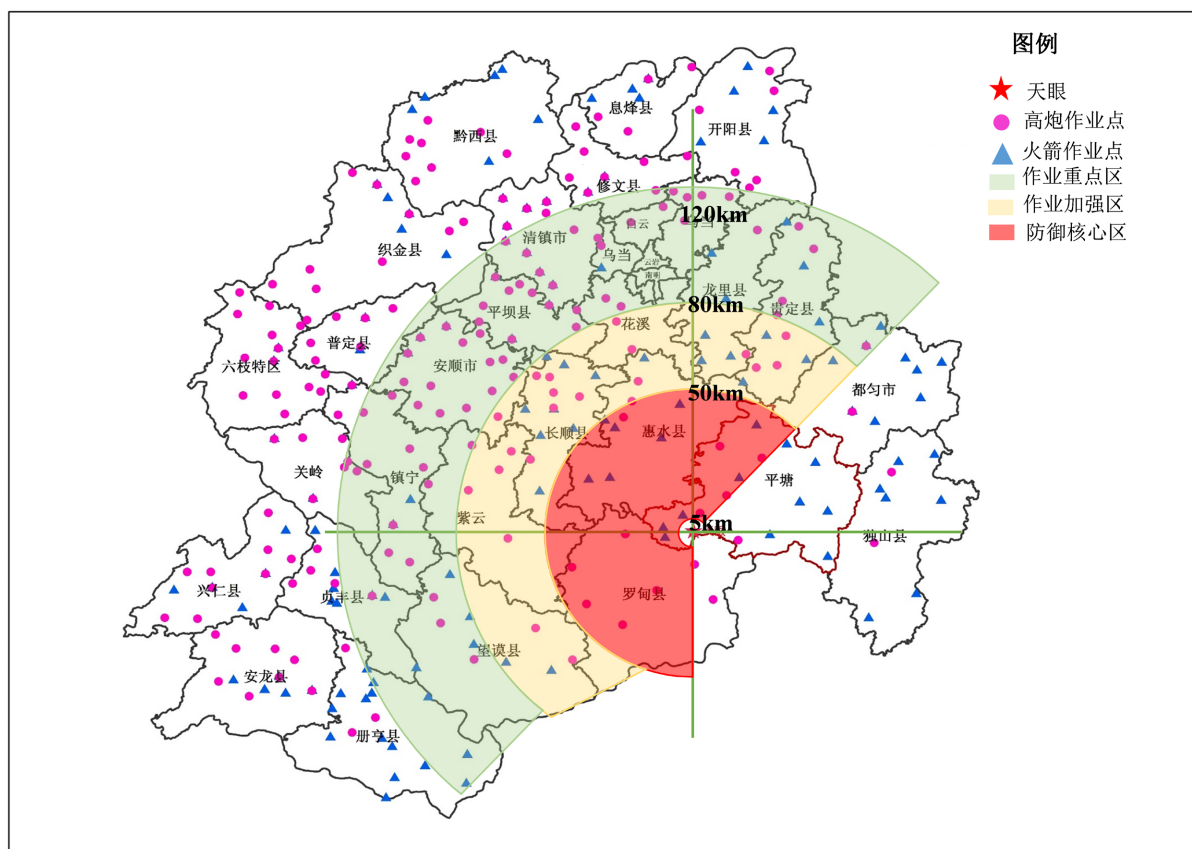


Figure 2. The distribution map of the hail sources and main paths of hail in Guizhou
图 2. 天眼冰雹灾害三级防御作业区及站点分布图

黔西南州和黔南州，在作业加强区内共有 17 个高炮作业炮站点；50~5 km 区域的作业核心区主要位于安顺和黔南州，在核心区内共有 14 个高炮作业点和 2 个平塘县火箭作业点。

2.2.2. 作业点作业数据

天眼三级联防区作业数据来源于三级联防区 93 个炮站，分别统计防御作业重点区、防御作业加强区和防御作业核心区 2019 年 3 月 4~5 日相应炮点作业时段、高炮用弹量、火箭用弹量以及炮站内降雹情况。

2.2.3. 多普勒雷达资料

研究区域多普勒雷达数据来源于贵阳雷达(Z-RADR-I-Z9851，位于天眼北偏西 7°方向 104.953 km)。基于多普勒雷达数据，利用 CPAS 对研究区组合反射率进行切片分析。

2.2.4. 探空数据

研究区探空数据来源于 MICAPS 4。

3. 结果与分析

3.1. 天气分析

2019 年 3 月 4 日 08 时，500 hPa 中高纬为“两槽一脊”的环流形式，30°N 附近存在一高空槽，贵州省位于高空槽前脊后，受西南气流影响，500 hPa 风速在 20 m·s⁻¹ 以上；700 hPa 上云南—贵州西南低空急流建立，提供了良好的水汽输送条件；低层 850 hPa 上在贵州省西北部边缘存在切变线，贵州省大部

为偏南风控制。从3月4日08:00贵阳探空图(图3)可知,地面至550 hPa,温湿廓线呈明显“喇叭口”分布,大气存在上干下湿的特点,500 hPa与近地层的垂直风速差达 $22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,具有较强的垂直风速切变,为对流的发展提供了动力不稳定条件,风向由低层随高度顺转,表明有暖平流的存在,有利于大气的垂直上升运动;此外 0°C 层高度和 -20°C 层的高度分别为3525 m和6688 m,适宜的 0°C 层和 -20°C 层高度也为冰雹发生、发展提供了良好的温度环境条件。

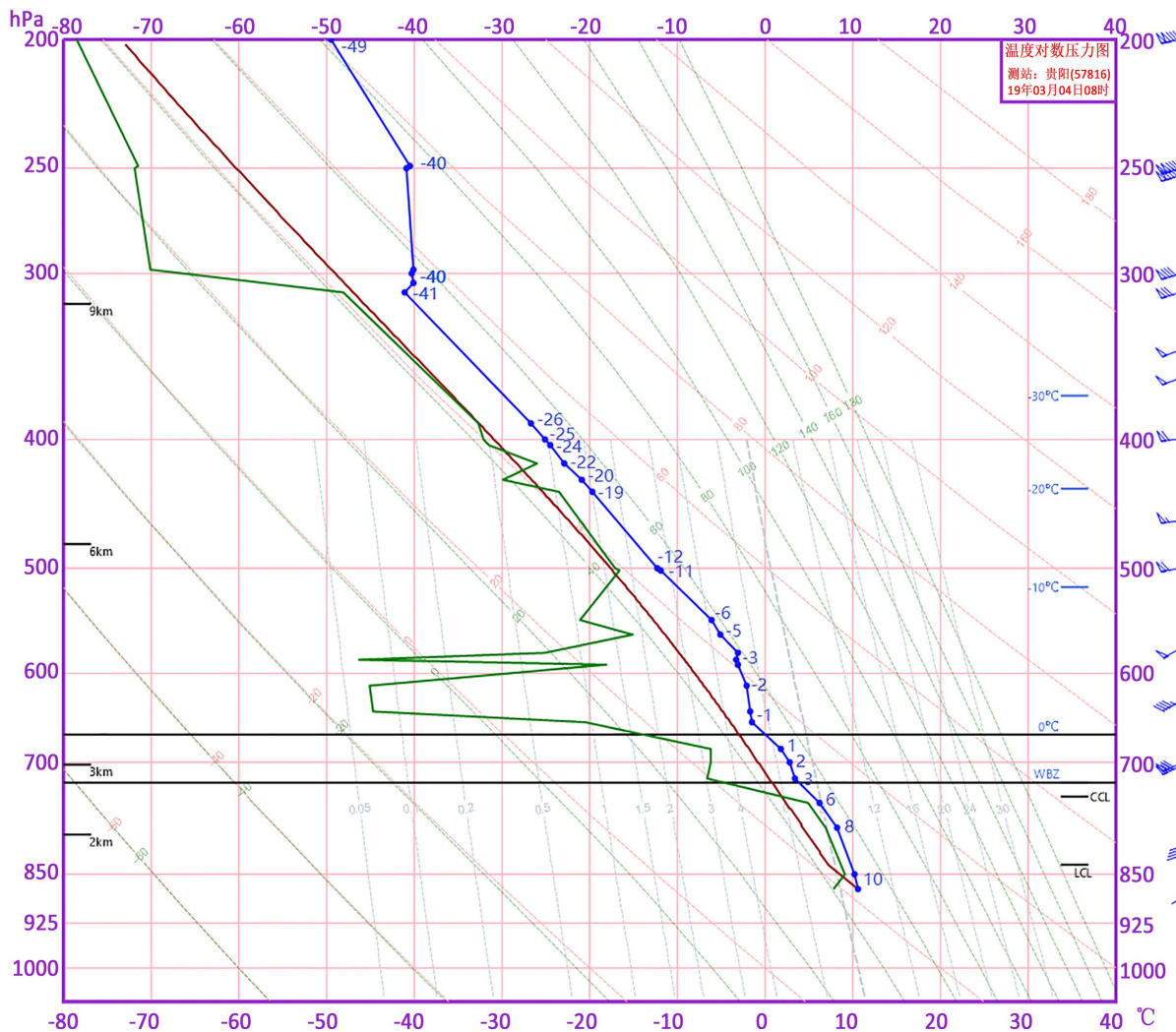


Figure 3. Sounding chart on March 4, 2019

图3. 2019年3月4日探空图

3.2. 多普勒雷达特征分析

利用CPAS对3月4日天眼组合反射率进行分析,根据云监测反演分析从图4中可以发现,4日15:51贵州省西部有云系生成,云系自西向东南移动。根据雷达回波图,可以发现19:09强对流天气开始进入平塘地区,20:37发展旺盛,该单体回波强度高达65 dBz,回波顶高达到5 km以上,天眼核心区作业于20:34申请防雹作业,由于空域繁忙等问题,实际作业时间为20:53~20:54,在播撒催化剂后需要10~15 min以上的时间才能长大成毫米级的霰粒子备作雹胚之用[18],21:09该单体回波强度最高为50 dBz,且回波体积减小,作业效果较好。

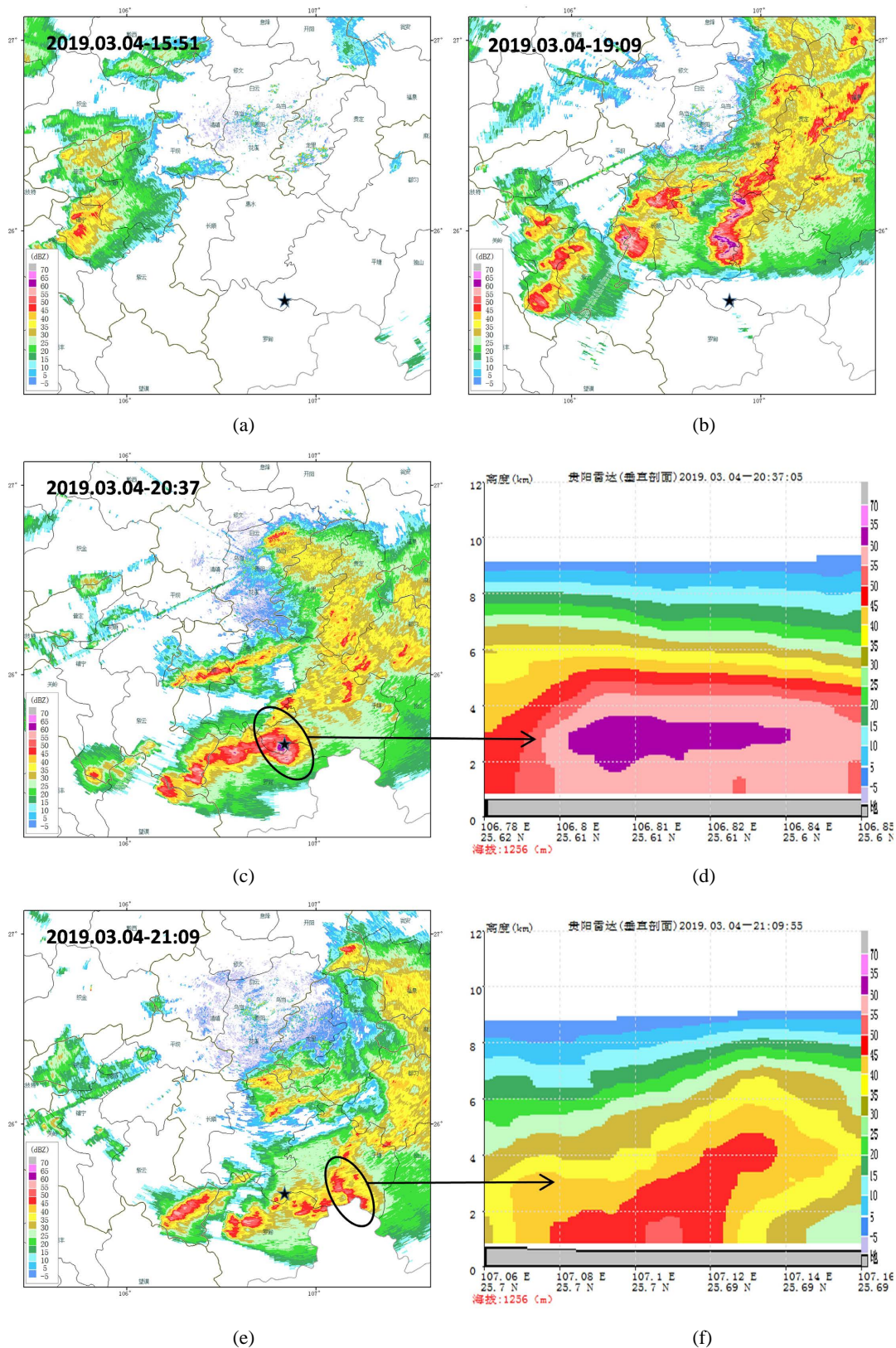


Figure 4. Radar combined reflectivity (a), (b), (c), (e) and vertical profile (d), (f) on March 4, 2019 (FAST at the ★ mark)
图 4. 2019 年 3 月 4 日雷达组合反射率(a)、(b)、(c)、(e)和垂直剖面图(d)、(f)(标★处为 FAST)

3.3. 作业情况分析

表 1 为 3 月 4~5 日天眼三级联防区作业情况表, 从中可以看出, 针对本次强对流天气过程 FAST 三级联防区作业时段在 16:00~次日 01:00, 共 9 个作业点申请作业 14 次, 使用人雨弹 264 发, 火箭弹 8 枚。

Table 1. Operation situation of three level joint defense area of FAST from March 4 to 5, 2019

表 1. 2019 年 3 月 4~5 日天眼三级联防区作业情况表

序号	日期	市县	炮点	作业时间	降雹时间	降雹直径/mm	用弹量/发(枚)
1	03-04		双堡	18:40~18:41	—	—	18
2	03-04		双堡	19:39~19:40	—	—	18
3	03-04		旧州	18:40~18:41	—	—	9
4	03-04		旧州	19:39~19:41	—	—	23
5	03-04	安顺西秀区	鸡场	19:23~19:24	—	—	25
6	03-04		鸡场	16:21~16:22	—	—	28
7	03-04		新场	18:34~18:35	—	—	16
8	03-04		新场	19:23~19:24	—	—	15
9	03-04		岩腊	16:21~16:22	—	—	16
10	03-04		东屯	18:40~18:41	—	—	38
11	03-04	镇宁县	郎宫	18:08~18:10	—	—	58
12	03-04		光明	20:53~20:54	—	—	3*
13	03-05	黔南州平塘县	光明	00:13~00:14	—	—	2*
14	03-04		塘泥	20:53~20:54	20:35-37	10	3*

注: “*” 为火箭作业, 其余为高炮作业。

图 5 为 3 月 4~5 日天眼三级联防区(93 个作业点)作业用弹量空间分布图。由图 5 可知, 天眼冰雹灾害防御核心区作业用弹量低于 10 枚, 天眼冰雹灾害防御重点区实施作业的炮站平均作业用弹量为 37 发, 其中镇宁县郎宫炮站用弹量最高, 达到 58 发, 而天眼冰雹灾害防御作业加强区, 在此次强对流天气过程中并没有实施防雹作业。

根据图 4 可知, 强对流天气于 19:09 开始进入平塘地区, 20:37 在天眼附近发展旺盛。从图 6 中可以看出, 防御重点区作业时段主要分布在 18:00~20:00, 防御核心区作业时段主要分布在 20:53~20:54。

4. 结论与建议

本文利用多普勒雷达资料、探空资料、炮点作业数据, 构建了中国天眼三级防御区, 分析了 2019 年 3 月 4~5 日三级防御作业情况, 发现: 位于天眼中上游的作业防御重点区能在天眼降雹前积极进行防雹作业; 防御作业加强区在本次强对流过程中并没有积极进行防雹作业; 作业防御核心区由于空域协调等问题作业时间稍晚于降雹时间; 总体而言, 作业效果较好, 能起到减少冰雹对天眼影响的作用。

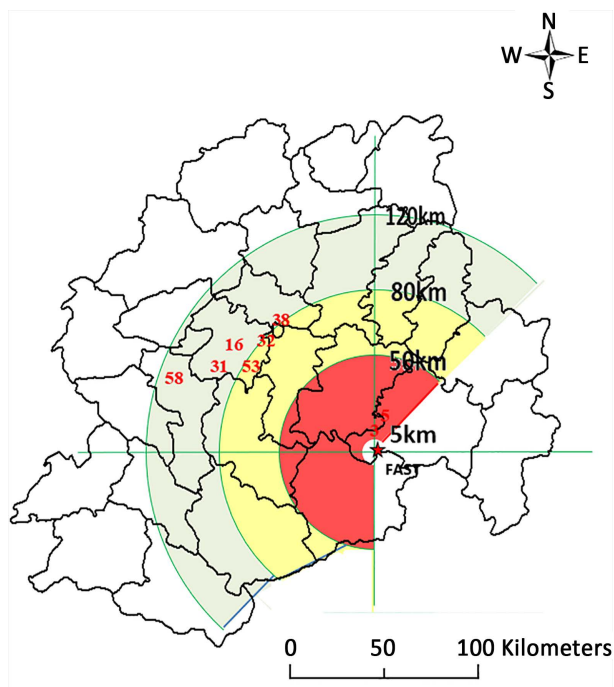


Figure 5. Space distribution of ammunition consumption in three level joint defense area of FAST from March 4 to 5

图 5. 3月4~5日天眼三级联防区作业用弹量空间分布图

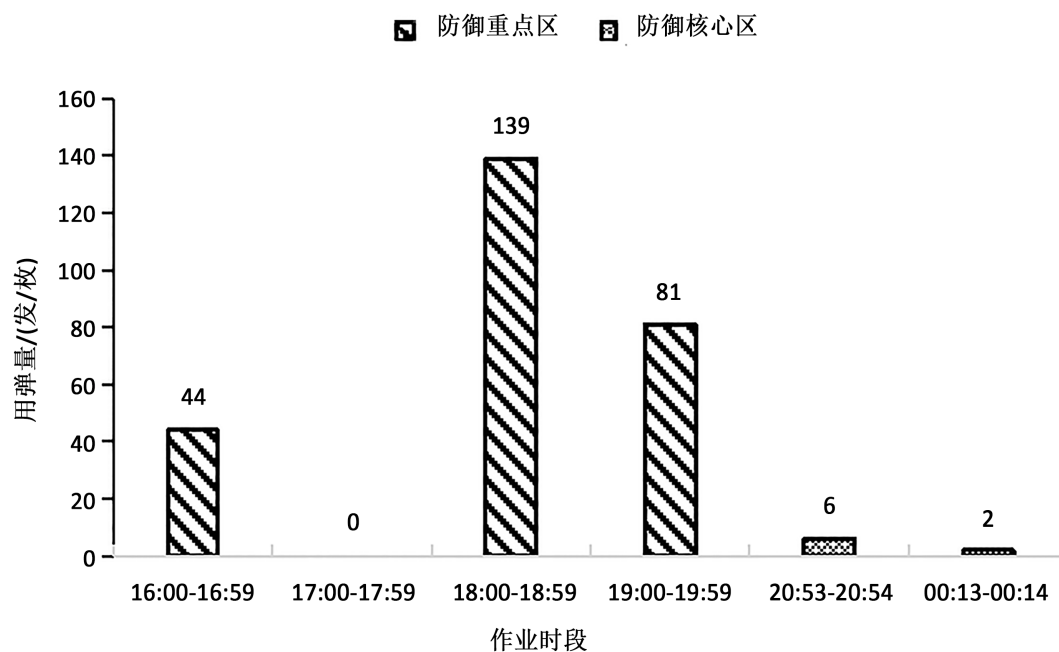


Figure 6. Operation of three level joint defense area of FAST from March 4 to 5

图 6. 3月4~5日天眼三级联防区作业情况

建议加强对基层人影科学、及时、安全作业的指导，在遇到强对流天气过程时，涉及的作业点能准确、科学、安全地进行人影作业，尽最大可能保障天眼。建议政府部门加强对人工影响天气的重视，进一步减少因空域协调而无法及时科学作业等情况的发生次数。

基金项目

贵州省科技计划项目(课题): “基于风云卫星观测资料的冰雹天气识别研究”(黔科合基础-ZK[2021]一般 217)。

参考文献

- [1] 高曾勇, 邹书平, 曹水, 等. 贵州威宁 1997~2017 年冰雹时空变化特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2018, 38(2): 25-29, 98.
- [2] 周永水, 汪超. 贵州省冰雹的时空分布特征[J]. 贵州气象, 2009, 33(6): 8-11.
- [3] 柯莉萍, 刘佳, 谢明, 等. 威宁县冰雹天气预报指标研究[J]. 贵州气象, 2016, 40(5): 14-19.
- [4] Mohr, S. and Kunz, M. (2013) Recent Trends and Variabilities of Convective Parameters Relevant for Hail Events in Germany and Europe. *Atmospheric Research*, **123**, 211-228. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.05.016>
- [5] Počakal, D., Večenaj, Ž. and Štalec, J. (2009) Hail Characteristics of Different Regions in Continental Part of Croatia Based on Influence of Orography. *Atmospheric Research*, **93**, 516-525. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.017>
- [6] Sioutas, M., Meaden, T. and Webb, J.D.C. (2009) Hail Frequency, Distribution and Intensity in Northern Greece. *Atmospheric Research*, **93**, 526-533. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.09.023>
- [7] Tuovinen, J.P., Punkka, A.J., Rauhala, J., et al. (2009) Climatology of Severe Hail in Finland: 1930-2006. *Monthly Weather Review*, **137**, 2238-2249. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2707.1>
- [8] Berthet, C., Dessens, J. and Sanchez, J.L. (2011) Regional and Yearly Variations of Hail Frequency and Intensity in France. *Atmospheric Research*, **100**, 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.008>
- [9] 王丽, 骆飞, 李惊亚. 全球最大射电望远镜主体工程在黔完工[J]. 工程建设标准化, 2016(7): 25.
- [10] 罗喜平, 罗雄, 李国平, 王兴菊. 中国天眼“FAST”所在地两次大冰雹天气过程的对比分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2021, 43(1): 78-89.
- [11] 邹书平. 贵州冰雹云雷达回波图集(2006-2015 年) [M]. 北京: 气象出版社, 2017: 51.
- [12] 谷晓平. 特色农业气象灾害研究——以贵州省“两高”沿线为例[M]. 北京: 气象出版社, 2016: 45.
- [13] 黄美元, 王昂生, 等. 人工防雹导论[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 45.
- [14] 邹书平, 李丽丽, 常履福, 等. 贵州山区强冰雹云单体演变特征分析[J]. 贵州气象, 2016, 40(2): 15-19.
- [15] 赵文慧, 姚展予, 贾烁, 等. 1961-2015 年中国地区冰雹持续时间的时空分布特征及影响因子研究[J]. 大气科学, 43(3): 539-551.
- [16] 池再香, 黄艳, 杨海鹏. 贵州西部一次冰雹灾害天气强对流(雹)云演变分析[J]. 贵州气象, 2010, 34(2): 10-12.
- [17] 贵州省气象科学研究所. 贵州冰雹的气候分析[J]. 气象科技, 1976(3): 3-4.
- [18] 许焕斌, 段英, 刘海月. 雹云物理与防雹的原理和设计[M]. 北京: 气象出版社, 2004: 9.