

文章编号:1673-8411(2019)01-0057-05

# 龙滩库区2017年4月20-21日降水过程人工增雨条件分析

黄冬梅<sup>1</sup>, 朱麟<sup>2</sup>, 韦家宝<sup>1</sup>, 黄肖寒<sup>1</sup>, 赖晟<sup>3</sup>

(1. 河池市气象局 广西 河池 547000; 2. 龙滩水电开发有限公司 广西 天峨 547300;

3. 成都信息工程大学 四川 成都 610225)

**摘要:** 利用Micaps常规资料、欧洲再分析资料及地面自动气象观测站数据,分析2017年4月20~21日河池市天峨县龙滩库区降水过程的人工增雨作业实施条件。结果表明:春季,当有南支槽、切变线及地面冷空气等系统配合时,能够为降雨提供充足的水汽及较好的动力抬升条件;作业点上空大气层结不稳定,中低层水汽含量丰富,利于对流云团发展和维持;云系垂直累积液态水含量在0.1mm以上,云顶温度在-45℃~-25℃之间,具备冷云增雨条件,实施增雨作业是合理的。

**关键词:** 库区;人工增雨;天气条件

中图分类号: P481

文献标识码: A

## Analysis of artificial precipitation enhancement conditions in the precipitation process of 20-21 April in 2017 in Longtan Reservoir Area

Huang Dongmei<sup>1</sup>, Zhu Lin<sup>2</sup>, Wei Jiabao<sup>1</sup>, Huang Xiaohan<sup>1</sup>, Lai Sheng<sup>3</sup>

(1. Hechi Meteorological Service, Hechi Guangxi 547000; 2. Longtan Hydropower Development Co., Ltd., Tian'e Guangxi 547300; 3. Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan 610225)

**Abstract:** Based on Micaps routine data, European reanalysis data and ground automatic weather observatory data, the implementation conditions of artificial precipitation enhancement operation in Longtan Reservoir Area of Tian'e County, Hechi City from April 20 to 21, 2017 were analyzed. The results show that in spring, when the southern branch trough, shear line and ground cold air system cooperate, there are sufficient water vapor and better dynamic uplift conditions for precipitation. The upper atmospheric stratification is unstable and the water vapor content in the middle and lower layers is abundant, which is conducive to the development and maintenance of convective clouds. The vertical cumulative liquid water content of cloud system is over 0.1 mm, and the top temperature of cloud system is between -45 °C and -25 °C, which meet the requirements of cold cloud precipitation enhancement. Hence, it is reasonable to carry out precipitation enhancement operation.

**Keywords:** reservoir area; artificial precipitation enhancement; weather conditions

### 引言

广西天峨龙滩坝址控制流域大部属亚热带季风气候区,干湿季节分明,降雨时空分布不均。流域多年平均雨季开始时间为5月上旬,下游4月下旬进入雨季,上游云南集雨区5月中旬才进入雨季。由于降水时空分布不均匀,易造成上游

来水偏少,给水库蓄水和水力发电的生产运转造成极大影响。不仅水资源不能得到充分利用,而且会影响龙滩下游梯级电站的电力电量,不利于发挥红水河梯级电站在“西电东送”中的重要作用。在风险可控条件下,开展龙滩库区天峨境内人工增雨作业实验研究,能够更好的为龙滩水电厂科学开发空中水资源提供重要的决策依据<sup>[1-5]</sup>。

收稿日期: 2018-09-28

基金项目: 广西区气象局面上项目“龙滩水电站精细化气象服务研究”(桂气科2017M23)资助。

作者简介: 黄冬梅(1988-),女,广西都安县人,大学本科,工程师,主要从事气象预报预警工作, E-mail:310008762@qq.com。

国内学者及单位<sup>[1-6]</sup>在人工降雨试验方面进行了一系列研究和实践,取得较大进展。田万顺<sup>[7]</sup>等对河南3次降水过程的人工增雨条件进行分析,指出雨区不同部位,降水的宏观条件有所不同,增雨效果也会不同。总的看来,雨区中相对靠前部位的降水条件好,利于增雨作业。夏丽花<sup>[8]</sup>等对福建省夏旱期间人工增雨条件分析,指出夏旱期间高云和中云不出现降水,无作业条件,Sc、Cb、Cu云都有一定的人工增雨作业条件,其中降水时长1~5h,过程雨量1.0~5.0mm的云具有充分作业时间,自然雨量又较大,作业机会和作业时间易掌握,是旱季作业比较适合的作业云。20世纪70~80年代(1975~1986年),福建省气象局和南京大学、南京气象学院等单位在福建古田水库进行高炮作业人工增雨随机试验,历时12a,获得增雨20%~24%、显著度水平优于0.01的结果。试验结果表明,人工降雨试验取得明显的增雨效果,给古田水库蓄水发电带来明显效益。之后西北地区的龙羊峡水库、江西洪门水库、湖南省四座大型水库、四川白龙湖水库、湖北沿渡河梯级电站等地都开展了人工增雨作业,效果显著,前景良好。

本文对天峨龙滩库区2017年4月20日夜间至21日凌晨人工增雨过程的天气条件、云系宏观

观物理特征等进行分析,寻找有利于开展人工增雨作业的合理性指标,为今后继续开展增雨作业的前期准备工作及抓住作业最佳时机提供科学依据。

## 1 增雨作业概况

2017年4月20日夜间到21日凌晨,在自然降雨及人工增雨共同作用下,龙滩库区境内普降大雨到暴雨(图1a)。20日下午在天峨境内有对流云团生成,库区出现小到中雨,20日23时,天气系统开始影响天峨库区,库区出现雷阵雨;21日0时30分,强降雨云团开始进入天峨境内,21日6时降雨趋于结束。

4月20日至21日龙滩电厂联合河池市气象局实施了人工增雨作业,作业点分别布置在天峨县库区上游向阳镇向阳村、下老乡罗宜村、三堡乡九洞村三个点。16时46分向阳作业点向较小云系发射一枚火箭,23时48分向阳作业点发射三枚火箭。21日1时左右,根据雷达回波判断,强对流云系由罗甸、望谟一带向东南方向逼近天峨境内龙滩库区,下老、三堡、向阳共开展4次作业,整个作业过程共发射二十枚增雨火箭(图1b)。

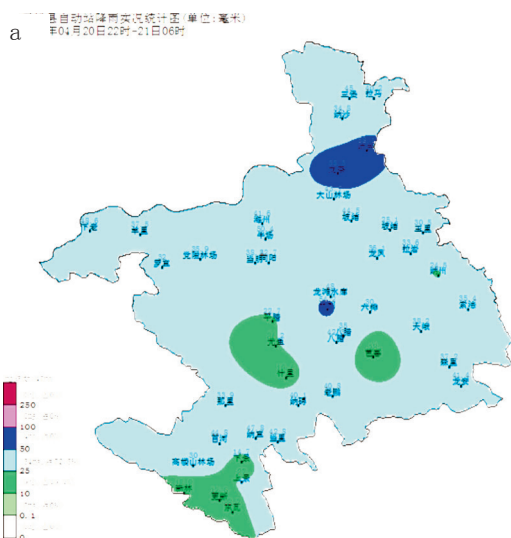


图1a 4月21日02-08时降雨实况

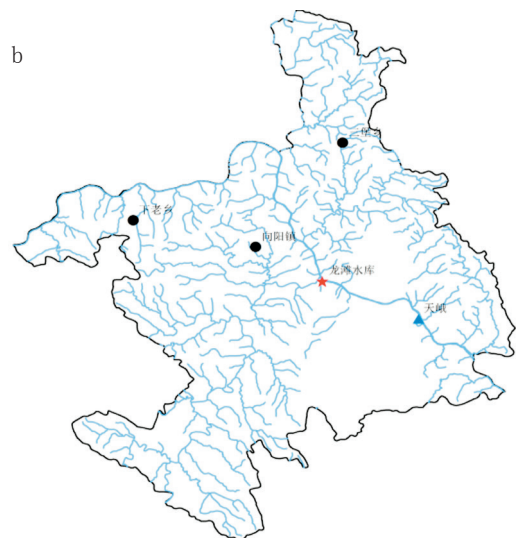


图1b 龙滩库区人工增雨作业站点信息(黑点:作业点;红色五角星:龙滩库区)

## 2 天气形势分析

500hPa高度场上,19~20日(图2a, 2b),鄂霍次克海有高空槽东移转竖,引导地面冷空气从东路南下影响桂北,四川盆地东部有高原小波动东移,高原南部至中南半岛南支槽维持,

振幅达10个纬距,广西位于南支槽前西南暖湿气流控制,为降雨提供充沛水汽,同时西南气流利于地面暖低压的发展,为对流云的发展提供高温高湿的环境条件。20日夜间至21日,500hPa南支槽移出广西,河池转受偏西气流影响,过程结束。

850hPa(图3a, 3b)图上,19至20日,华南

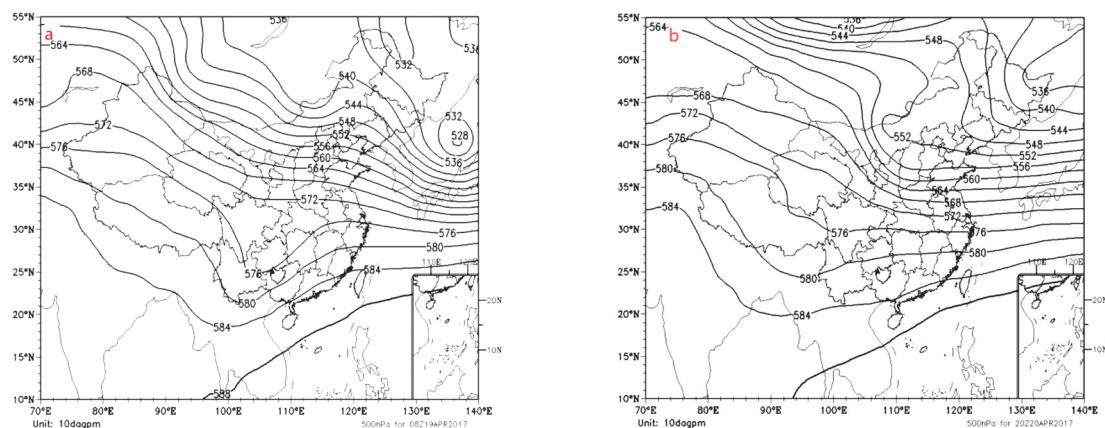


图 2 500hpa 位势高度场 (a: 19 日 08 时; b: 20 日 20 时)

上空有一支风速大于  $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的西南急流从广西沿海伸至贵州中部, 贵州中部至湖南北部有一东北西南向的切边线。19 日 850hPa 急流上桂东有大片区域的相对湿度超过 80%, 而处于桂西北的河池相对湿度在 80% 以下, 尤其是位于河池西北部的天峨龙滩水库 (图中黑色小三角位置) 相对湿度小于 60%, 滇黔桂三省交界处为相对小于 40% 的干区, 对应地面图上为西南暖低中心所在 (图 4a), 天峨县受暖低压控制, 19-20 日白天最高气温达  $32.7^{\circ}\text{C}$ , 为对流云团的发展提供能量条件。20 日 850hPa 切变线逐渐南压, 21 日 01~02 时切变

线位于河池北部, 贵州西部至河池北部相对湿度都出现明显跃升, 天峨龙滩水库相对湿度大于 90%, 此时, 地面冷空气从东路南下, 01~02 时地面冷锋压至河池北部。500hPa、850hPa 及地面天气形势的配合, 提供了降雨所须的充足水汽、水汽辐合以及上升运动条件, 适合降水的发展。综合考虑以上有利形势, 人影实施部门可以考虑开展一次人工增雨作业。01 时前后, 当强对流云系由罗甸、望谟一带向东南方向逼近天峨境内龙滩库区时, 可抓住有利时机, 实施作业。

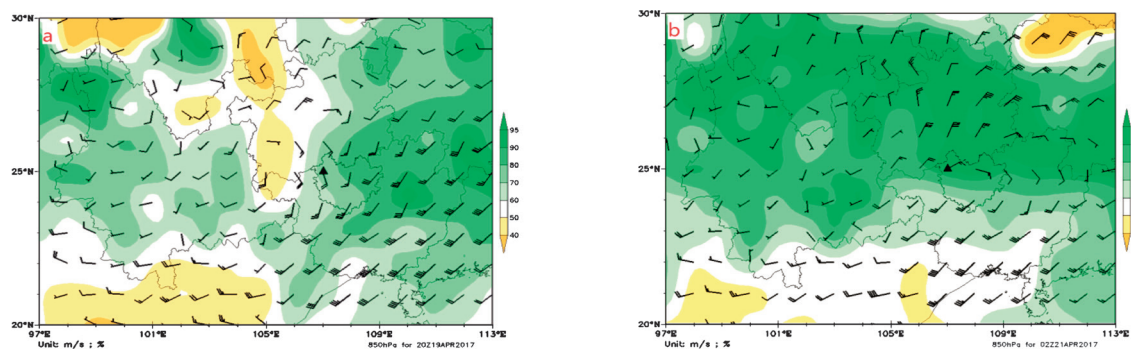


图 3 850hpa 风场及相对湿度场 (a: 19 日 20 时; b: 21 日 02 时)

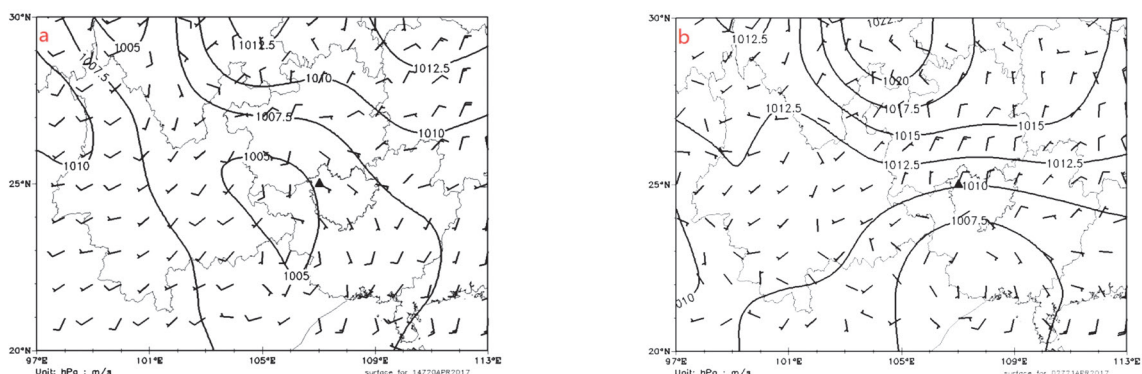


图 4 地面天气形势 (a: 19 日 14 时; b: 21 日 02 时)



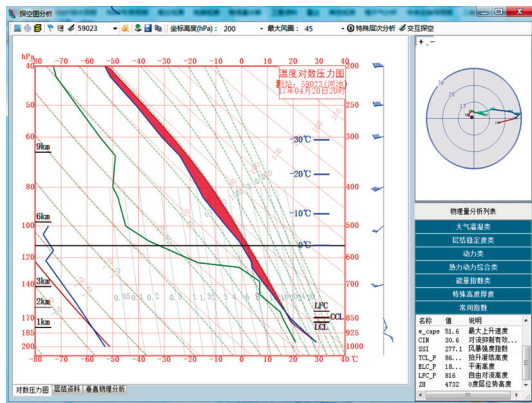


图5 4月20日20时河池站垂直探空剖面图

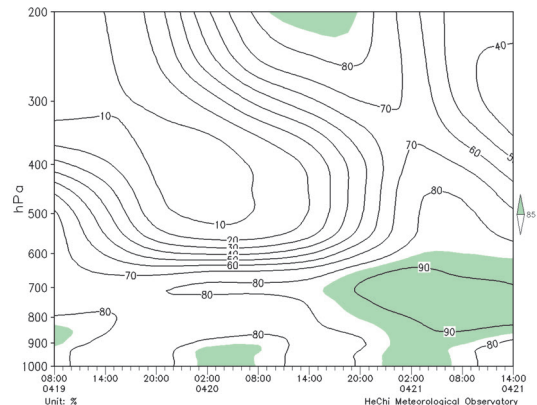


图6 19-20日龙滩库区上空相对湿度时间演变

### 3 大气垂直结构分析

#### 3.1 探空剖面资料

20日20时,龙滩库区上空对流层中下层湿度大,相对湿度达80%的湿层厚度超过700hPa;850hPa比湿达到 $12-14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,700百帕比湿达到 $8-10\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,垂直上升运动中心发展到300hPa,对流有效位能超过1000J,作业点附近上空水汽含量丰富,且大气层结不稳定,不稳定能量的存在有利于对流云团产生和维持。同时,该过程中龙滩库区零度层高度在4600~4700m之间(600hPa附近),0℃层高度不是太高,利用地面火箭进行增雨作业时,火箭弹携带含碘化银的冷云催化剂能够进入云内负温区作为人工冰核发挥作用。

#### 3.2 水汽垂直分布

从相对湿度垂直分布(图6)看出,19日库区上空从底层到高层,相对湿度均在80%以下,20日白天,相对湿度有明显跃升,但主要集中在近地面层,20日20时至21日02时,库区上空相对湿度大于80%,700hPa附近有95%的中心。23时前后,对流云系进入天峨县境内并发展,表明在低层水汽达到一定条件后,中高层的水汽成了降水的关键因素。因此,水汽条件的好坏与降水强弱有一致性,云(湿层)越厚,或者说低层为暖云、高层为冷云时产生了较强降水,从高层“播种云”、低层“供水云”降水模型来说,这更有利于人工增雨作业。

### 4 云宏微观物理特征分析

#### 4.1 云系垂直累积液态水含量分析

本次作业过程选择的三个时机(20日16时、23时、21日01时,图略),天峨龙滩库区上空的云系垂直累积液态水含量均达0.1mm以上,最

高达到0.4mm,作业人员抓住20日20时至21日02时的有利时间段实施作业,增雨效果明显。

#### 4.2 云顶温度分析

从开展作业时间的云系云顶温度演变来看(图略),下午16时有云顶温度在 $-25^{\circ}\text{C}\sim-15^{\circ}\text{C}$ 的小块云系在天峨西北部发展,作业人员抓住时机在下老乡进行小规模作业。20日23时开始,有大范围云顶温度在 $-45^{\circ}\text{C}\sim-25^{\circ}\text{C}$ 的云系从贵州西南部进入天峨库区境内,并维持了3个小时,该时间段具备冷云增雨条件,作业人员抓住该有利时间,开展密集作业,增雨效果显著。21日02时降雨云系才逐渐南压移出库区,增雨潜力逐渐衰退。

### 5 小结

(1)春季,当有南支槽、切变线及地面冷空气等系统影响天峨龙滩库区时,充足的水汽及动力抬升条件利于云系发生和维持。

(2)本次过程,云系垂直累积液态水含量在0.1mm以上,云顶温度在 $-45^{\circ}\text{C}\sim-25^{\circ}\text{C}$ 之间,具备冷云增雨条件,实施增雨作业是合理的。

(3)不同季节,不同系统影响下的降雨云系发展厚度、移动速度都不同,增雨效果也不一样,今后将在开展多次作业的基础上进一步分析总结,寻找各季节实施人工增雨作业的合理性指标。

#### 参考文献:

- [1]赵钢. 人工影响天气在气象防灾减灾中的作用及发展建议[J]. 现代农业科技, 2010, (14): 269.
- [2]乔琪, 汤俊. 春季两次强对流天气过程多普勒雷达回波中尺度特征分析[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(3): 42-45.
- [3]王艳兰, 唐桥义. 桂林市2011年5月1日雷电等强对流天气分析[J]. 气象研究与应用, 2012, 33(S1): 305-306.
- [4]史月琴, 楼小凤, 邵雪娇, 等. 华南冷锋云系的中尺

- 度和微物理特征模拟分析[J]. 大气科学, 2008, 32(5):1019-1036.
- [5] 段旭, 许美玲, 孙绩华, 等. 一次滇西南秋季暴雨的中尺度分析与诊断[J]. 高原气象, 2003, 22(6):597-601.
- [6] 陆秋霖, 黄荣, 农孟松, 等. 2017年4月广西北部一次强对流天气中尺度分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(2):18-21.
- [7] 田万顺, 刘艳华. 河南3次降水过程的人工增雨条件分析[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(1):5-13.
- [8] 夏丽花, 冯玲, 曾光平, 等. 福建省干旱概况及夏旱期间人工增雨条件分析[J]. 应用气象, 2003, 14(刊):143-149.
- [9] 胡勇林, 洪展. 一次中尺度强降水天气过程分析[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(3):1-3.
- [10] 渠永兴, 滕水昌, 蔡元成, 等. 火箭人工增雨作业的个例分析[J]. 干旱气象, 2006, 24(2):33-38.
- [11] 黄浩辉, 吴兑. 新丰江流域云和降水气候特征及人工增雨潜力的初步分析[J]. 广东气象, 1993, (2):37-39.
- [12] 陈安世, 唐新, 吕抒航. 火箭防雷技术探讨及研究[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(3):82-84.
- [13] 戴玉珍, 曹江平, 王冀, 等. 地面碘化银烟炉在广西人工影响天气作业中的应用[J]. 气象研究与应用, 2015, 36(3):64-67.
- [14] 高建秋, 肖伟生, 董志虎, 等. 广东春季飞机人工增雨作业概念模型[J]. 广东气象, 2018, 40(6):61-64.
- [15] 张曙, 戴润. 多普勒雷达产品在两次人工增雨中的对比分析[J]. 广东气象, 2004, 26(3):20-24.
- [16] 刘玉明, 梁域, 邓荣昌. 云浮市人工增雨作业指挥系统介绍[J]. 广东气象, 2006, 28(4):58-60.
- [17] 陈秋壮. 海南乐东降水特征与干旱及人工增雨潜力分析[J]. 气象研究与应用, 2008, 29(2):47-51.
- [18] 游积平, 冯永基. 广东省人工增雨作业指挥系统的设计[J]. 广东气象, 2006, 28(1):57-59.
- [19] 钟小英. 飞机人工增雨作业效果分析[J]. 气象研究与应用, 2010, 31(2):67-71.
- [20] 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.

(下接第 64 页)

- [8] 郭媛, 吴量, 何宽, 等. 基于层次分析法的广西雷灾风险区划[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(2):108-113.
- [9] 李韬, 奚广平, 黄远盼. 贺州市雷电灾害风险区划及防御研究[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(2):96-99.
- [10] 庄燕洵, 吕海勇, 黄惺惺, 等. 基于时钟图与地统计的广州市闪电活动[J]. 广东气象, 2017, 39(2):70-73.
- [11] 刘三梅, 胡锐俊, 曾阳斌, 等. 2012年广东省雷电活动特征与雷电灾害损失浅析[J]. 广东气象, 2013, 35(5):46-48.
- [12] 刘怡明, 许艺馨, 杨宇川. 贵港市闪电活动特征的分析[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(S1):164-166.
- [13] 邓明, 杨亚钦, 李江南. 城市下垫面对华南地区前汛期暴雨的影响初探[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(3):23-30.
- [14] 叶骏菲, 文秀, 林奕桐, 等. 基于遥感的南宁城市热岛效应时空演变分析[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(1):55-58.