

白山市人工影响天气作业能力发展沿革及效益分析

关志宇

(吉林省白山市气象局, 白山 134300)

摘要: 白山市从20世纪90年代开始开展人影作业, 目前有地面作业站30个, 年增雨(雪)作业能力可达1~3亿 m³。结合2012年5月29日长白山森林防火作业、2018年3月曲家营水库蓄水作业、2014年7—8月农业抗旱作业三次典型人影作业个例, 分析了开展人工影响天气作业在白山市森林防火、水库蓄水、农业抗旱等方面的主要作用, 结合白山现有作业能力, 提出了白山人影工作的重要性及其经济和社会效益, 进而得出每年作业次数20次, 预计可产生9000万元经济效益。

关键词: 白山市, 人工影响天气, 发展, 效益

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.06.015

Evolution and Benefit Analyses of Weather Modification Operation Capacity in Baishan City

Guan Zhiyu

(Baishan City Meteorological Bureau, Baishan 134300)

Abstract: This paper analyzes the temporal and spatial distribution of precipitation in Baishan. The demand of forest fire protection, forest growth, reservoir impoundment, etc. are summarized in details. Considering the current situation of artificial rain increase in Baishan city, the importance, relevant opinions and suggestions on economic and social benefits of the artificial weather influence in Baishan, are put forward. The average annual precipitation in Baishan City is 859.6 mm, but distribution in time and space are severely uneven. The forest coverage rate is 83 %, but forest fires are increasing year by year, so the demands of forest-economy, reservoir impoundment and droughts on agriculture are in outstanding. Since the 1990s, Baishan City started running the operations of artificial weather modification, at present, there are 30 ground operation-stations, and the annual rain(snow) operation capacity can reach up to 1-3 billion cubic meters. Based on following 3 typical cases, the Changbai Mountain Forest Fire Prevention Operation on May 29, 2012, the Qujiaying Reservoir Water Storage Operation in March 2018, and the Agricultural Drought Control Operation in July and August 2014, we analyzed the main role of artificial weather impact on forest fire prevention, reservoir impoundment and drought resistance in Baishan city. According to existing operating capacity in Baishan, the importance of economic and social benefits by the artificial weather influence in Baishan are estimated. Then it is concluded that the number of operations per year should be about 20 times, which is expected to produce ¥90 million in economic benefits. Therefore, it will be a higher input-output ratio for Baishan city.

Keywords: Baishan City, anthropogenic influence on weather, development, benefits

0 引言

白山市地处长白山腹地, 林地面积129 km², 占全市总土地面积85.6%, 是吉林省的重点林区之一, 也是吉林省发生森林火灾最多的地区之一^[1]。近年来受全球变暖和厄尔尼诺等天气现象影响, 白山市年降雨量呈现波动剧烈特征, 同时, 随着社会经济发展、城市化和工业化进程加快, 森林锐减、土地退化、环境污染、水土流失等生态问题日益突出, 严重威胁着区域发展和生态安全^[2]。如何预防和减轻气象灾害,

保护生态环境已成为当前亟待解决的问题。崔金刚等^[3]、蒋爱红等^[4]、赵刚等^[5]均具体分析了人工影响天气在气象防灾减灾中的作用, 并提出了如何促进人工影响天气发展的建议。

本文分析了白山市降水量的时间和空间分布特征, 详细总结了森林防火、林木生长、水库蓄水等对森林防火的需求, 结合白山市人工增雨现状, 提出了白山人影工作的重要性及其经济和社会效益, 并提出相关意见和建议。

1 白山市人工影响天气现状

1.1 白山人工影响天气发展历史沿革

白山市在20世纪90年代初开始开展人影作业。近

收稿日期: 2018年6月18日; 修回日期: 2019年3月18日
第一作者: 关志宇(1972—), Email: 344950177@qq.com

年来人影作业能力发展迅速，针对春夏连旱和森林火险等级偏高，森林火情频繁的异常气候，大力开展人影作业，在扑灭山火、水库蓄水和农业抗旱中发挥了关键作用。近7年来，全市累计开展地面增雨作业达45次，增加降雨量约3亿 m³。

目前，白山人影作业正在由春秋两季季节作业向全年作业转变，由单纯增雨作业向增雨、增雪作业转变，由移动增雨作业向移动作业和固定作业相结合转变，由原始的人工作业向现代化的自动作业和人工增雨作业相结合转变。人工影响天气在森林防火、水库蓄水、农业抗旱等方面正发挥着越来越重要的作用，成为白山市防灾减灾的重要手段之一。

1.2 作业能力现状

2012年以来，政府持续加大人影投入力度，白山人影地面作业能力显著提高。2012年，全市统一采购了移动增雨作业专用车辆5辆，车载式增雨作业火箭发射架和牵引式增雨作业火箭发射架共10部，我市初步具备了移动增雨作业能力。2015年，以东北人影工程建设为契机，白山市气象局集中精力，大力推进固定增雨作业站建设和设备采购工作。白山市现有地面作业站30个，其中地面固定作业站16个，移动作业站14个。增雨火箭24部，地面增雨烟炉6部，人影弹药箱18个，增雨专用车辆5辆，同时购置配备了作业人员专用对讲机、头盔、单兵背囊、作业服装、野外帐篷等各类专业设备，实现了市、县、作业站3级实时人影作业远程指挥功能。目前全市年增雨（雪）作业能力可达1~3亿 m³，作业范围可以覆盖全市1.7万平方公里土地，平均每年开展大规模人影作业8次以上，实现了白山市人影作业能力和科学作业水平的跨越式发展。

2 人工影响天气作业需求分析

2.1 白山降水和水资源分布特征分析

白山市降水量和水资源量在时间和空间上分布极不均匀。白山地区年降水量平均为813.6 mm，空间上各地降水量相差较大（图1），呈现由西北向东南降雨量逐渐减少趋势。江源区年降水量最大，长白县降水量最少，两者相差164 mm，分布极为不均。根据2010年统计数据，全市人均水资源量0.601万 m³/人，但各地人均水资源量同样差别很大，尤其是江源区和浑江区，人均水资源量还没有达到全国平均水平（图2）。

白山市降水量在时间上呈现年际变化大，年内分配不均的特征。统计2005—2014年年降水量情况，发现降水量年际变化显著，尤其是2008年以来，波

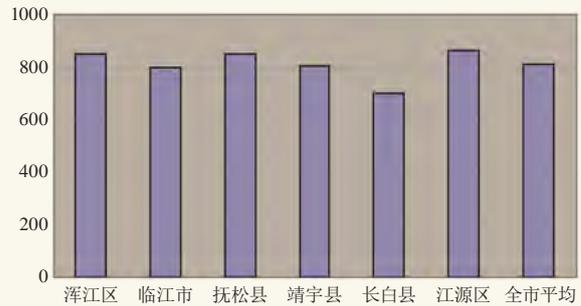


图1 白山各县(市、区)各地年降水量对比图(单位: mm)
Fig. 1 Comparison of average annual precipitation in counties, cities or districts (unit: mm)

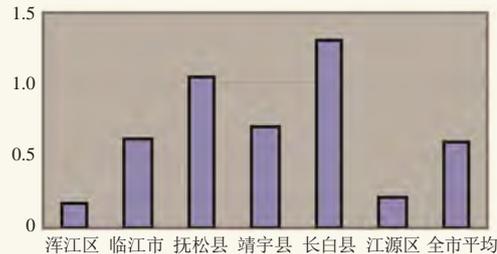


图2 白山各县(市、区)人均水资源对比图(单位: 万 m³/人)
Fig. 2 Comparison of per capita water resources in counties, cities or districts

动剧烈。最大年际降水量(2010年)和最小年际降水量(2014年)之比达到1: 0.53, 差距十分显著(图3)。

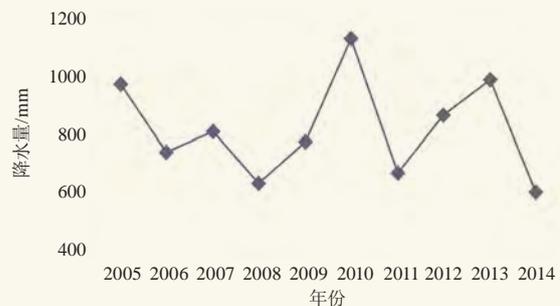


图3 2005—2014年白山市年平均降水量时间序列
Fig. 3 Time series of annual precipitation in Baishan city during 2005—2014

白山市距离渤海湾不足200 km, 空气中水汽充沛, 充足的水汽由西南风源源不断的从渤海湾输送到白山地区。白山市年平均降水量为859.6 mm, 年均降水日数达191 d, 白山市具备全季节开展人工增雨(雪)作业天气条件。时间和空间分配不均的水资源现状则形成了对开展人工增雨(雪)作业的现实需求。

2.2 森林防火需求分析

白山市地处长白山腹地, 森林覆盖率达83%, 占长白山林木资源的60%。辖区内有6个国有林业局和6个地方林业局, 境内有国家自然保护区2个, 国家风

景名胜区5个,国家森林公园8个。截止2015年,已经连续35年无重大森林火灾,但每年防火季节局部火情不断,据白山市林业局统计数据,1989—2010年,全市共发生火情67次,过火面积达118.56 ha。近年来白山市火情成逐年上升趋势(图4),防火压力逐年增加。每年森林防火期开展针对性人工增雨作业需求较为迫切,特别是出现突发性森林火情时,人工增雨常常成为迅速扑灭山火的唯一有效方法。近年,全市平均每年开展森林防火人影作业约4~5次,成为森林防火的重要手段之一。

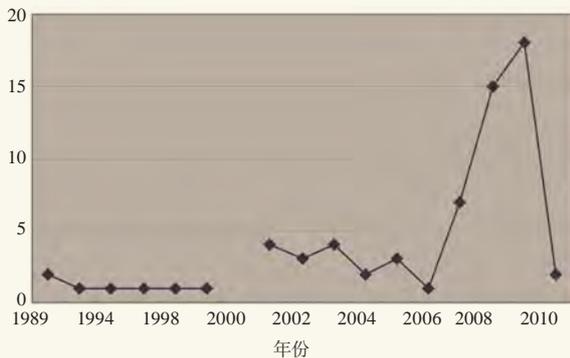


图4 1989—2010年白山市森林火情次数时间序列
(单位:次)

Fig. 4 Annual times of forest fires in Baishan 1989–2010 during

2.3 林木生长和林下经济需求分析

长白山区树木生长与降水量关系密切,针叶林和阔叶林年轮宽度同生长季前期的降雨或降雪量密切相关。林下经济主要是指以林地资源和森林生态环境为依托,发展起来的林下种植业、养殖业、采集业和森林旅游业等产业。白山市林下资源丰富,境内有1500余种经济植物,人参产量占全国人参产量的80%。人参、中草药等特产业与降水关系密切,尤其是冬季充足的降雪量是人参等经济作物顺利越冬的重要保障。人参适宜在潮湿环境下生长,土壤湿润、空气湿度大对人参生长发育有利。据分析得出,人参产量与年平均相对湿度关系密切,在一定范围内呈线性关系^[6]。

近年来,由于人影作业宣传力度加大,人参种植大户和山林承保大户对全年开展人影作业的需求逐年提高。

2.4 水库蓄水需求分析

白山市境内有鸭绿江、松花江、浑江三大水系,全市水资源总量为80亿 m³。目前已新、扩建水电站53座。鸭绿江流域有中朝两国已建云峰电站等4座大型水电站及40座小、中型水电站。松花江流域有小水电站,下游有白山电厂等大型电站。同时境内有曲家

营水库等7座大型饮用水水库,其他中小型水库200余座。2007年统计数字显示,全市入境地表水资源量为27.43亿 m³,出境量为110.67亿 m³。

近年来,受全球变暖和厄尔尼诺等天气现象等影响,白山市天气气候异常,同时伴随经济发展,各县市区居民饮用水源地需水量也逐年增加,各级水库每年枯水季对人工增雨需求迫切,尤其是个别年份冬季降水偏少,春季水库蓄水明显不足,开展人工增雨(雪)作业成为缓解水库蓄水不足的重要手段。

2.5 农业抗旱需求分析

农业抗旱主要针对备春耕期间旱情及夏秋季旱情开展人影作业。白山市粮食产量偏低,但农村特产业种植户相对较多,因此对人影作业有一定需求,全市平均每年开展农业人影作业约1~2次。

3 人影作业实例分析

3.1 森林防火作业

2012年5月29日12时30分,吉林省白山市抚松县境内长白山国家级自然保护区内西坡、锦江峡谷梯子河高山花园处长白山林区发生森林火灾。卫星遥感监测热点200 ha,过火面积30 ha。白山市气象局立即启动预案,成立气象服务应急指挥部,下设现场应急指挥决策组、天气信息情报组、后勤保障组和前方人影作业组,明确分工。决策组立即赶至300 km外的长白山管委会应急指挥中心,开展各项工作。同时市、县气象局联合行动,应急人员及物资到位,迅速开展应急气象服务保障。由市局及5个县气象局共35人组成的前方人影组携带5部增雨火箭发射架、57枚火箭弹向火场集结、待命。省人工影响天气中心调配2部火箭架、201枚火箭弹及时增援,同时增派两架人影作业飞机,实时指导人影作业。16时30分,情报组初步判断29日23时—30日02时、30日午后至傍晚有两个增雨作业时间窗口,最终锁定30日01时20分、03时40分、07时13分可以开展人工增雨作业,作业人员克服夜间和山区作业的双重困难,在现场设置了3个临时火箭作业站点,01时20分—3时00分,03时40分—04时30分,07时13—58分,队伍接连两次再上长白山,共进行4轮增雨作业,作业后火区出现中雨,火场降雨11.2 mm,上游1.2 mm,下游17.3 mm,同时段非作业区无明显降雨。增雨效果非常明显。08时05分,省人工影响天气中心两架增雨作业飞机飞临火场上空,开展第五轮增雨作业。09时,伴随降雨森林火情基本解除。

3.2 水库蓄水作业

2017年12月—2018年2月26日,白山市区降雪量为23.7 mm,较历年偏少43.9%,造成上游来水量大幅度减少,市区水源地曲家营水库来水量明显不足。曲家营水库2018年2月26日上午08时,水库水位574.88 m,库容703万 m^3 ,有效库容213万 m^3 ,市区珍珠门和库仓沟两处地下水水源供水量减少到5000 m^3 /日。

为缓解供水紧张局面,按照市政府要求,市气象局在2月28日、3月7日和3月15日连续开展了3次人工增雪作业。为确保取得实效,市局提出了合理布局、科学作业的要求。作业前组织人员到水源地实地考察,根据天气系统来向和火箭增雪催化影响范围,在水源地汇流区上游设立了4个增雪作业站点,间隔2~4 km,成四边形分布,每个点设置1部火箭发射架。作业开始前多次进行天气会商、确定作业方案。为确保作业信息真实准确,作业过程中采取统一指挥、统一调配、分工明确、分时段、多轮次作业的方式进行作业。作业过程中根据雷达回波和天气系统演变情况,随时调整火箭方位角和仰角,每次发射向左(右)调整 5° 左右方位角,形成扇形作业面,作业过程中随时拍照、随时上报作业量。做到适当时机、适当部位、适当剂量、科学作业。为保证作业效果,作业时间从系统影响初期一直持续到系统结束前2~3小时,根据雷达回波演变情况,间隔40 min左右请令作业一次,如不具备作业条件则暂停作业。三次过程分别作业5轮次、5轮次和8轮次。

3次增雪作业共出动4个县市区的火箭发射架10部次,作业车辆13辆次,作业人员39人次参与作业,共开展人影作业19轮次,发射增雨火箭弹181枚。

第一次增雪作业后,作业影响区出现暴雪天气,作业影响区新增积雪深度18 cm,降雪量达15 mm。对比市区,作业区降雪量增加约8.3 mm。第二次增雪作业后,作业影响区出现大雪天气,降雪量达5.7 mm。对比市区,作业区降雪量增加1.4 mm,高于非作业区域32%。第三次增雨(雪)作业后,作业影响区出现雨转雪天气,作业区降水量达20 mm。同一时间段市区降雪量为15.3 mm,临江降水量11.2 mm,人工增雨(雪)作业增加降水量约7 mm。

3次增雪作业后库区汇流区累计增加降水量约410万 m^3 ,为增加白山市饮用水水源的蓄水量起到了重要作用。3月14日08时—16日08时,水库入库流量达210万 m^3 ,市区饮用水供水紧张局面得到了有效缓解,人影作业取得阶段性胜利。

3.3 农业抗旱作业

2014年7—8月,白山市出现有记录以来的最严重汛期气象旱情,8月7日,白山市气象局根据不同天气系统和干旱区域,在全市范围选取了21个移动增雨作业点。并与市农委、市水文局、浑江区政府进行会商,确定增雨方式和作业区域。12日召开全市抗旱增雨部署会,制定人工增雨作业方案,调配人员和设备,部署增雨抗旱。8月13—14日,长白、抚松、靖宇、临江分别进行了人工增雨作业,作业效果显著。8月15日浑江区已经连续20 d没有降雨,当天下午浑江和江源区出现了难得的作业窗口,相关人员立即行动起来开展增雨作业,作业后影响区普降小雨。8月16—25日作业人员克服困难、再次连续进行8轮增雨作业,一举解除了农业旱情,增加了水库蓄水,再次得到市领导和群众的肯定。

4 人影效益分析

白山市地处长白山主峰的西部和南部,平均海拔较高,是松花江、鸭绿江、浑江三江的源头,抚松县、靖宇县为松花江上游地区,长白县、临江市为鸭绿江上游地区,江源区、浑江区(白山市区)为浑江上游地区。根据抚松小山电站水库入库流量统计数据,5—10月出现10 mm以上量级降雨时,50%以上的降水量通过三条河流流向下游地区;冬季降雪在3—4月会形成桃花水,其中大部分桃花水汇流进入各级河流,并最终流向下游地区。目前已经有新、扩建水电站53座。鸭绿江流域有中朝两国已建云峰电站等4座大型水电站及40座小、中型水电站。松花江流域有小山电站,下游有白山电厂等大型电站。同时境内有曲家营水库等7座大型饮用水水库,其它中小型水库200余座。全市水资源总量为79.1亿 m^3 ^[7]。水系水量主要来源于空中水,降雨和降雪直接影响各大水库蓄水量。因此在白山市开展人工增雨作业,对增加下游地区江河流量作用明显。

4.1 森林防火人影作业效益分析

森林可燃物含水率与无降雨日数和降雨量有显著正相关(图5),而森林火险等级与森林可燃物含水率直接相关。为降低森林火险,市气象局每年森林防火期,均开展全市人工增雨作业。2012—2014年全市共作业50次,增加降水约3亿 m^3 ,每次增雨(雪)作业前后森林可燃物含水率平均下降约40%~60%,森林火险等级下降2~4级。人工增雨(雪)对扑灭山火同样效果显著,2012年5月28日,长白山核心景区发生森林火灾,市气象局组织人影作业人员现场开展增雨作业,发射增雨火箭150余枚,增雨后火区普降小

到中雨，迅速扑灭了余火，效果十分显著。

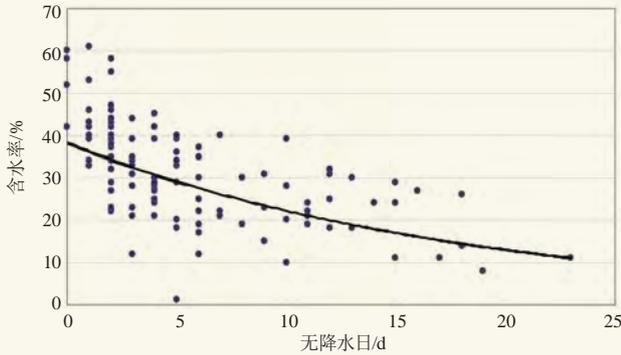


图5 森林可燃物含水率与连续无降水日数关系图

Fig. 5 Relationship between water content of the forest combustible and the continuous days without precipitation

4.2 林木生长和林下经济人影效益分析

白山市森林覆盖率达80%以上，在林区开展大规模增雨（雪）作业，增加全年和少雨（雪）时段降水量，可有效加快林木生长速度，提高林木成活率，并利于改善环境、促进水土保持和水源涵养，形成良性循环。在人参等特色产业种植区开展有针对性的增雨（雪）作业有利于人参等林下经济作物顺利越冬，保持土壤湿润和空气湿度，促进经济作物生长，进而提高人参、中草药等的产量，为特色产业养殖户带来显著经济效益。

4.3 水库蓄水人影效益分析

空中降水是流域内面雨量的主要水源，实践证明夏季开展人工增雨作业可以有效增加径流，冬季增雪作业可以增加春季桃花水径流量，进而增加水库蓄水量。2007—2009年，为增加白山电厂水库蓄水量，白山市在松花江上游开展了为期3年的人工增雨（雪）作业，根据吉林省人工影响天气中心与白山电厂联合开展人工增雨水库蓄水发电试验研究项目的要求，白山市气象局于2007年9月18—20日在白山水库流域上游的靖宇境内开展了人工增雨作业。根据作业区域内布设的中尺度加密雨量站监测到的降水量，作业区域内的平均降水量为69.5 mm，分析作业区域由于进行人工增雨而增加34 mm左右的降水量^[8]。2018年2月28—3月15日，为缓解白山市曲家营水库蓄水不足，市区饮用水告急压力，白山市气象局连续开展了3次人工增雪作业，增雪作业后雷达回波强度明显增加，

分析认为水库流域累计增加降雪量约410万 m³。

4.4 资金分配和效益分析

根据白山人影作业需求和作业效果综合分析，按每年作业次数20次，发射增雨（雪）火箭弹1000枚，预计增加降水约4亿 m³计算，每年需投入约300万元。按国际通用投入产出比1:30计算^[9]，预计产生经济效益9000万元。此外人影作业间接的生态效益、环境效益、社会效益同样十分显著。

4.5 开展全年人影作业条件分析

白山市已经具备覆盖全市的人影作业能力，但相较于全季节人影作业需求，作业能力仍显不足。增加全市人影作业装备和人影作业量，可有效提高白山人影作业能力。重点是增加人影作业弹药资金投入，同时大幅度提高人影作业量，由春秋两季作业转为春夏秋冬四季开展人影作业。开展人影作业科学研究，按五个阶段人影作业要求，在适当时机、适当部位、适当剂量开展人影作业，提高人影作业科技含量，实现科学作业。

5 结语

白山市人工影响天气工作取得了长足的发展，具有较明显的经济和社会效益。白山市地处三江源头，空中云水资源丰富，具备全年开展人工影响天气作业条件。白山人影作业需求主要在森林防火、林木生长、水库蓄水、农业抗旱等方面，开展全年人工影响天气作业有较高的投入产出比，是森林防火、水库蓄水、农业抗旱等的有效手段。

参考文献

- [1] 王志红, 关山, 单延龙, 等. 白山地区森林火灾释放碳量的估算. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 12(2): 199-200.
- [2] 张继权, 伊坤朋, Hiroshi Tani, 等. 基于 DPSIR 的吉林省白山市生态安全评价. 应用生态学报, 2011, 22(1): 189-195.
- [3] 崔金刚. 浅议人工影响天气在气象防灾减灾中的作用及发展对策. 农业与技术, 2014, 34(1): 168.
- [4] 蒋爱红, 王志龙. 人工影响天气在气象防灾减灾中的作用及发展建议. 农业与技术, 2014, 33(3): 142.
- [5] 赵钢, 周长征, 姜永征等. 人工影响天气在气象防灾减灾中的作用及发展建议. 现代农业科技, 2010(14): 268-268.
- [6] 毕伯钧. 人参气候生态及适宜栽培地选择的研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(2): 93-94.
- [7] 王振堂, 楚林海. 白山市水资源合理配置浅析. 吉林水利, 2007, (7): 21-22.
- [8] 李继宝, 邢颖颖, 张传亮. 对白山水库蓄水发电人工增雨作业过程的效果分析. 吉林气象, 2008, (1): 34-38.
- [9] 李玉林, 邓安强, 洪霞. 人工增雨的社会效应和应采取的对策与措施. 江西气象科技, 2001, 3(24): 33-36.