

拉萨市重点科技项目 项目编号: 2000-13

主管部门: 拉萨市科学技术委员会

拉萨市人工增雨 试验研究

西藏拉萨市气象局



气象出版社

拉萨市重点科技项目 项目编号:2000—14

主管部门:拉萨市科学技术委员会

拉萨市人工增雨试验研究

西藏拉萨市气象局

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

拉萨市人工增雨试验研究/拉萨市气象局编. —北京:
气象出版社, 2002. 10

ISBN 7-5029-3451-0

I. 拉… II. 拉… III. 人工降水-气象试验-研究-拉萨市 IV. P481

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 075679 号

拉萨市人工增雨试验研究

西藏拉萨市气象局

责任编辑:宋 钢 终审:汪勤模

封面设计:肖 红 责任技编:刘祥玉 责任校对:李 军
气象出版社出版

(北京市海淀区白石桥路 46 号 邮编:100081)

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

北京市白河印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:2.375 字数:53 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

印数:1~1000

ISBN 7-5029-3451-0/P·1226

定价:18.00 元

《拉萨市人工增雨试验研究》

编 委 会

主 任：严永红

副主任：孔常兴 刘汉武 次仁巴桑

委 员：李 春 葛红柱 张尚福 边旦罗布
周振波 桑旦平措

主 编：刘汉武

副主编：李 春

主 笔：刘汉武 李 春

课题主持人：刘汉武 李 春

课题组成员：周振波 边旦罗布 桑旦平措

序

人工降水是通过向云中撒播催化剂、改变云微物理结构等技术方法,使局地天气条件和空中云水资源朝着有利于人类社会发展方向转化的一项科学技术,是人工影响天气工作中的一个重要组成部分,也是揭开我国人工影响天气工作序幕(1958年8月)的标志性工作。因而,该项技术的日趋发展和不断完善对区域经济建设,特别是农业经济的稳步发展及人工影响天气理论的进一步深化等方面都有着举足轻重的作用。40多年来,特别是改革开放以来,在国务院和各有关部门的关心、支持下,经过各级地方政府和全国人工影响天气科技人员的不懈努力,目前我国人工增雨作业规模已居世界前列,人工增雨工作的社会和经济效益正在不断攀升,已逐步成为我国各地抗旱减灾的有效科技手段。

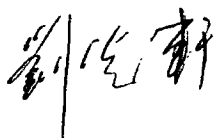
由于农牧业生产是拉萨市主要的支柱性产业之一,而且干旱、冰雹又是这一支柱性产业稳步发展和提高的主要制约因素,因此早在20世纪70年代后期拉萨市就开始开展了人工影响天气工作,距今已有20多年历史。虽然目前拉萨市人工影响天气工作已初具规模,全市共布设防雹(增雨)作业炮点36个,各县区也成立了相应的人影部门,但由于与本地区相适宜的有关人工影响天气(特别是人工增雨)基础理论的系

统性研究一直都很缺乏,再加上拉萨市境内山峦重叠,河谷纵横,谷狭沟深,地形条件十分复杂,局地性天气气候现象十分突出,基层作业人员素质较差,雷达、卫星等高新技术难以直接应用于人工增雨作业指导等局限因素的影响,使得人工增雨工作在充分开发利用空中水资源服务于拉萨农牧业生产和社会经济方面远不能满足需求。《拉萨市人工增雨试验研究》一书正是拉萨市气象局针对拉萨市人工增雨工作的现状,根据拉萨市科委下达的“关于开展拉萨市人工增雨试验研究”的要求,经过2年多的增雨作业试验,在获取大量有关拉萨地区开展人工增雨作业系列成果经验的基础上编写的。

这本书主要是从利用现有设备和现有技术条件的角度,对如何在拉萨地区因地制宜地开展“37”高炮人工增雨作业、提高人工增雨作业效率等方面提出了可行有效的相关建议,具有较强的实用性和可操作性。本书中介绍的试验成果和经验,虽然同国内平原地区相比,技术水平上存在一定差距,但与拉萨市的实际情况(如作业人员素质等)是相适应的,也可推广借鉴用于西藏各地开展人工增雨作业时参考,因此,这本书的出版对于拉萨市乃至全区人工增雨理论研究的不断深化,规范化人工增雨作业制度的逐步完善,以及紧抓西部大开发为西藏人工影响天气提供的难得的发展机遇,提高防灾减灾成效等方面都具有一定的实用、推广、参考价值。

当然,人工增雨是一门涉及很多科学领域的高新科学,尚

有许多问题有待研究。但随着人工影响天气科学的发展和气象现代化建设的加快,人工增雨的作业方案与技术方法将不断得以改进,其防灾减灾的效益也将不断得到提高,人工增雨作业的推广,必将更好地为西藏社会经济的可持续发展做出新的贡献。



2002年8月26日

前 言

在人类社会漫长的发展过程中,人类始终都未停止过同自然界各种阻碍或危害社会发展的自然灾害作斗争,因而认真总结前人经验、积极探索防御对策,通过人为干预,努力克服或减轻因恶劣天气而引发的各种自然灾害强度,或者使天气变化最大限度地朝着有利于人类需要的方向发展,是千百年来人类为之不懈努力的奋斗目标,人工影响天气这一大气科学分支学科的形成和日趋成熟,也是人类长期认识自然、改造自然的必然结果。

人工增雨是通过人工途径对云施加影响,以促使其产生降水、增大降水量或改变降水时空分布的科学技术,也是人工影响天气技术的重要组成部分,它对区域经济建设,特别是农业发展有着极其深远的重要意义。在 20 世纪 20 年代以前,尽管人类倍受旱灾之苦,但由于人类对自然界各种自然规律的认识尚处于蒙昧状态,而且掌握的有关云雾物理的科学知识也十分有限,因而敲鼓震云、求神祷告等祭祀活动,则是他们与自然界抗争的主要方法。试图运用科学手段实现人工降雨的良好愿望,在那时只能如海市蜃楼般,令人可望而不可及。从 20 世纪 30 年代开始,随着荷兰人维拉特(Veraart,1930)一次人工降水试验的成功和瑞典科学家贝吉龙(Bergeron,1933)关于冷云降水中冰水转化理论的提出,极大地推动了人工增雨技术的发展,到 20 世纪中叶,美国科学家谢弗尔

(Scheafer, 1946) 和英国科学家冯内古特 (Vonnegut, 1946) 在对自然云和降水形成过程的深入研究及大量实验中, 发现可以通过播入干冰 (固态二氧化碳) 和碘化银这样的冷却剂使过冷云滴变成冰晶的现象后, 才真正开创了人工影响天气的新纪元。

据联合国世界气象组织 (WMO) 资料表明, 目前世界上已有 30 多个国家实施了一百多项人工影响天气计划。其中美国是世界上开展人工影响天气最早, 科研、理论相对较深的国家, 因而其人工影响天气的规模、影响面积以及使用的多普勒雷达、双偏振雷达、飞机云物理探测系统 (PMS) 等探测云系结构的先进设备都居世界首位。我国人工影响天气起步则相对较晚, 从 1958 年至 1987 年前的二十多年里, 虽然我国人工影响天气作业规模逐年扩大, 投入不断增加, 但因科研工作跟不上, 作业盲目性较大, 效果较差, 自 1987 年始, 在认真总结以往经验, 各项人工影响天气理论得到进一步发展和完善的基础上, 我国人工影响天气工作才有了长足的进展, 实施的人工影响天气计划也跃居世界先进行列。

拉萨市是西藏开展人工影响天气工作最早的地区之一, 距今已有 20 多年的历史。目前, 全市 7 县 1 区 (除当雄县外) 都已开展了人工影响天气工作, 并成立了人工影响天气领导机构, 配备了相应的专职管理人员, 共布设作业炮点 36 个, 其中“37”高炮作业点 21 个, 火箭发射点 15 个, 受益、保护面积 51 万多亩, 参加作业人员达 100 多人。但拉萨市人工影响天气, 特别是人工增雨的有关科研和理论与当前人影工作的发展规模及需求都存在着较大的差距, 再加上人工增雨作

业工具、探测设备简陋,作业方法、技术落后,作业人员文化素质较低等客观因素的存在,使得人工增雨工作在充分利用空中云水资源服务于拉萨市农牧业生产、最大限度地发挥其应有效益方面,远不能满足农牧业生产发展的需求。因此,本项目正是针对拉萨市人工增雨工作的这种现状而开展的,力求通过实地开展的增雨作业试验研究,归纳、总结出一些减少增雨作业盲目性、确定最佳作业时机、提高增雨作业总体效益的科学方法和经验模式,为拉萨市人工增雨理论研究、作业技术方法、规范作业制度的逐步完善,基层作业人员素质的逐步提高,现有技术设备的充分利用等方面提供有价值的科学依据和相关建议。

参加这次课题研究的同志有:拉萨市气象局的刘汉武(第一主持人)、李春(第二主持人)、周振波、边旦罗布、桑旦平措。

本书由刘汉武、李春同志编著,周振波同志负责第二章的资料统计。

本书在编写过程中,限于研究试验时间和水平,书中有错误和不当之处,敬请批评指正。

编 者

2002 年 8 月 26 日

目 录

序

前言

第一章 拉萨市人工增雨作业背景	(1)
第一节 人工增雨的理论依据和目的	(2)
第二节 拉萨市干旱时空分布规律	(4)
第三节 拉萨市自然降水时空分布特征	(6)
第二章 拉萨市人工增雨作业方案	(11)
第一节 影响降水的主要天气系统	(12)
第二节 降雨云与降水的统计特征	(14)
第三节 制定严格规范的作业制度	(24)
第四节 确立人工增雨的可播性指标	(25)
第五节 人工增雨作业方法	(27)
第三章 拉萨市人工增雨作业实例分析	(40)
第一节 制定开展人工增雨作业技术路线	(41)
第二节 拉萨市人工增雨试验作业实例	(42)
第四章 拉萨市开展人工增雨作业的几点建议	(48)
第一节 有利于拉萨市开展人工增雨作业的天气系 统和天气条件	(48)
第二节 拉萨市开展人工增雨作业云的选择	(50)
第三节 拉萨市开展人工增雨作业的时机和部位	(52)
第四节 拉萨市开展人工增雨作业的组织管理	(53)
结束语	(56)
参考文献	(57)

第一章 拉萨市人工增雨作业背景

拉萨市地处西藏中部稍偏东南,雅鲁藏布江中上游北部及其支流拉萨河流域西北地区,北纬 $29^{\circ}14'26''\sim 31^{\circ}03'47''$,东经 $89^{\circ}45'11''\sim 92^{\circ}37'22''$ 之间,南北纬差,跨距 202km;东西经差,跨距 277km,总面积约 29539km^2 (根据《西藏自治区地图册》分县区累计)。属高原温带半干旱季风气候,多年平均降水量不足 500mm,所辖 7 县 1 区,除当雄县为纯牧业县外,其他各县区皆为以农为主,以牧为辅的地区。因此,农牧业生产是拉萨市经济发展最主要的支柱性产业之一,但它们的稳步发展和提高却常常会受到各种频繁发生的气象灾害,如干旱、冰雹、霜冻、洪涝等的制约,其中干旱和冰雹的制约作用最为显著,每年都会给拉萨市农牧业生产造成不同程度的危害。虽然人们无法从根本上阻止它的发生与发展,但通过人为的努力,完全可以做到最大限度地避免或减轻这些灾害可能造成的危害程度和损失程度。在众多的人为努力方式中,人工影响天气技术则是趋利避害功效显著,易使灾害损失程度降至最小的有效方法之一。人工增雨技术是人工影响天气技术的重要组成部分,它的理论研究完善程度,技术方法的科学性和先进性,对于气候干旱、灌溉条件差的地区的农业发展具有相当重要的意义。而充分了解和掌握区域人工增雨的理论依据、地理条件、干旱时空分布、自然降水的季节特征等背景特征,则

是有计划、有目的地开展人工增雨作业,提高增雨作业的总体效益的前提。

第一节 人工增雨的理论依据和目的

云体是由小的水滴和冰晶组成,当空气中的水汽含量达到并超过饱和度后,水汽就通过凝结、凝华和冻结等过程生成云滴或冰晶。云中降水或降雪现象的产生则是云滴或冰晶通过凝结、凝华、碰并增长等微物理过程不断变化、发展的结果,其主要机理通常可分为暖云降水理论和冷云降水理论。

暖云系指整个云体位于等 0°C 线下方的云系,它主要由水滴构成。云滴在大气中由于相对运动而互相接近,最后相互碰撞合并在一起的重力碰并增长过程是暖云降水理论的核心。然而,碰并作用的发生并不是无条件的,只有当云中水滴半径大于某一截止值(约 $19\mu\text{m}$),重力碰并作用才可能发生,这一研究结论,虽然对暖云降水理论本身意义重大,但却与实际中积状云通常可在较短时间内形成降水的事实存在尖锐的矛盾,也就是说,目前世界上公认的暖云降水理论,即凝结-碰并过程在阐明云滴如何在几分钟内超越 $20\sim 25\mu\text{m}$ 的临界尺度方面,还有待更进一步的研究。

冷云系指云体上部已超越等 0°C 线,但云体下部温度却往往仍在 0°C 以上的云系。由于冷云上部主要由过冷却水滴和冰晶共同组成,也称之为混合云。冷云中水滴不断蒸发,冰晶不断增大的冰水转化过程,是冷云降水的理论核心。冷云降

水的全部过程为:冰晶形成后,在云内由凝华作用迅速增大并在云中下降,达到一定大小后,开始捕获云滴,当冰晶增大到 $10\mu\text{g}$ 左右(相当于直径 0.3mm 的水滴)时,碰并作用已超过凝华作用。下降到 0°C 层以下,开始融化。融化成雨滴后继续与云滴碰并增大,直到离开云底形成降雨。如果整个大气层温度低于 0°C 则形成降雪。

根据我国人工增雨工作的特点及其服务对象的性质,其总体方针是:以防灾减灾为根本宗旨,以农业服务为重点;解放思想,发挥中央和地方两个积极性,加强各级人民政府对人工降水工作的领导和协调;加强人工降水现代化建设和科学研究,不断提高作业的科学水平和总体效益。西藏高原云的形成、发展、消失和云系的移动及其演变多在海拔 $3000\sim 10000\text{m}$ 这个空间里(有时强对流天气系统积雨云云顶可达到 15000m 左右),而 $3000\sim 8000\text{m}$ 范围内,则是云形成及演变频繁的空间。一般因高原上水汽少,凝结高度较高,低云云底相对比平原高,又因高原上空气温度低,水汽容易在较低的高原上直接凝华,高云出现的高度相对比平原低。由于西藏高原云常常处在低温环境里,由水滴和冰晶组成的冷云或混合云出现十分频繁,是高原上最重要的降水资源。高原云在不同高度的分布详见图 1.1。因此,在拉萨市开展人工增雨主要应以冷云催化机制为主,其基本原理则是通过向冷云中播撒致冷剂或人工冰核改变云的微结构,造成云体局部迅速降温,促使过冷却水滴自发冻结或触发自然冰核迅速大量活化,加强冰晶降水机制从而达到降雨或增大其雨量之目的。

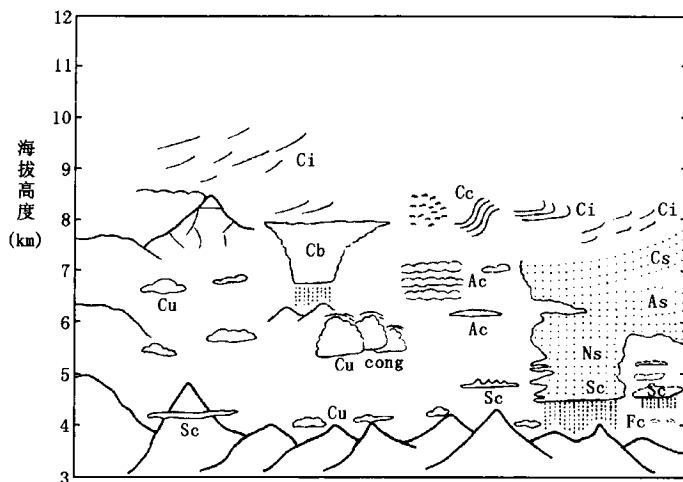


图 1.1 青藏高原云在不同高度的分布示意图

第二节 拉萨市干旱时空分布规律

干旱通常是指某一持续时段内,自然降水较常年同期均值显著偏少的一种气候异常现象。由于干旱的复杂性及其影响的广泛性,不同部门评定干旱的指标也不尽相同。在天气气候分析中通常用降水距平百分率作为干旱指标来反映季节干旱的程度。在这里我们依据原中央气象局和西藏自治区气象局进行旱涝评定时所制定的气候干旱评定指标为基础,结合拉萨市多年降水资料的具体情况,选用以下指标作为本市干旱评定的标准,即

轻旱标准:

(1) 有一个月降水距平百分率小于等于 -60% ,且有一句降水距平百分率小于等于 -90% 。

(2) 连续两个月降水距平百分率在 $-50\% \sim -80\%$ 之间。

重旱标准:

(1) 有一个月降水距平百分率小于等于 -70% ,且有一句降水距平百分率小于等于 -90% 。

(2) 连续两个月降水距平百分率小于等于 -60% ,且有一月降水距平百分率小于等于 -80% 以上。

运用上述干旱评定指标所得出的拉萨市主要农区初夏干旱和盛夏干旱的历年状况如表 1.1 所示。

表 1.1 拉萨市主要农区各类干旱发生次数统计表

	初夏干旱(5月上旬~6月中旬)				盛夏干旱(7月上旬~8月中旬)			
	轻旱 (次数)	气候频率 (%)	重旱 (次数)	气候频率 (%)	轻旱 (次数)	气候频率 (%)	重旱 (次数)	气候频率 (%)
尼 木	8	36.4	3	13.6	8	36.4	3	13.6
城 关 区	8	19.5	6	14.6	6	33.3	4	22.2
墨竹工卡	4	22.2	1	0.06	4	22.2	1	0.06

拉萨地区初夏和盛夏季节,因受印缅高压和西太平洋副高、伊朗高压等环流形势的影响,容易造成气候干旱。根据拉萨市各主要农区各类干旱发生次数的统计结果表明,拉萨市气候干旱发生的一般规律为初夏干旱发生频率大于盛夏干旱发生频率,轻旱发生频率大于重旱发生频率。按行政区域划分,墨竹工卡县、林周县南部和当雄县北部、东北部地区干旱发生的气

候频率低,初夏和盛夏干旱发生的气候频率各为 25% 和 18% 左右;堆龙德庆县、城关区、达孜县等中部地区干旱发生的气候频率相对较高,初夏和盛夏干旱发生的气候频率各为 34.1% 和 21.9% 左右;尼木县、曲水镇以西及当雄县羊八井以南的西部、西北部地带,干旱发生的气候频率最高,约占统计年份的 50%,且重旱发生频率远高于拉萨市其他县区。

虽然干旱的发生有其自然气候变化规律的不可抗逆性,但旱灾的程度却与人为因素的关系十分密切。以灌溉为主的拉萨市农业,作物所吸收土壤中的水分大部分来自灌溉,当气候干旱出现时,土壤中被作物消耗的水分得不到及时补充达一定时期,就会出现旱情,反之及时进行灌溉就可以减轻旱情或不发生旱灾。换言之,农业干旱的出现及程度,并不等同于气候干旱发生强度,主要取决于当地农业的灌溉条件。在实际农业生产过程中,事实也表明,虽然拉萨市具有自东向西气候干旱发生频率逐渐增大的变化规律,但由于东部、东北部地区的农田种植面积和易受旱面积都大于拉萨市西部和中部地区,而且农田保灌面积和灌溉条件与中、西部地区相比也较小和较差,这也是相同气候干旱强度下,拉萨市东部地区农田实际受旱程度和受旱面积往往会大于拉萨市其他地区的原因所在。

第三节 拉萨市自然降水时空分布特征

一、拉萨市降水地域分布和年、月变化

拉萨市多年平均降水量为 320~530mm 之间(表 1.2),其中东部的墨竹工卡多年平均降水量在 500mm 以上,中部