

87.5大兴安岭特大森林火灾飞机人工降雨作业情况及效果分析

李大山

(黑龙江省气象局)

提 要

本文详细地介绍和分析了大兴安岭特大森林火灾扑火人工降雨的作业实例,讨论了背景条件与设计、天气时机选择和效果评估等问题。

前 言

在87.5大兴安岭特大森林火灾中,由于扑火急需,于5月14日至5月25日,在18个作业区进行了10架次飞机人工降雨作业。本文利用尽可能收集到的资料,整理和分析了5月19、20、24、25日4天(共9架次)的飞机人工降雨作业实例,讨论了天气时机的选择及效果评估。由于对这次举世瞩目的特大森林火灾进行人工增雨扑火,产生了明显的社会效益和经济效益,引起了国内外的关注,因此十分必要从科学技术的角度讨论有关问题。本文就此进行了初步的分析和评述。

一、背景条件及设计

1. 背景条件

根据国家气象局统计分析,历年大兴安岭5月下旬降水量为13—20mm,北部更少。从1985年以来,大兴安岭北部(火区)连续少雨,其中漠河、阿木尔、塔河3年降水逐年递减30—40%。1987年1—4月,漠河、阿木尔降水量比常年偏少12.9—16.8mm。可见,大兴安岭87.5特大林火,是在异常干旱少雨的特殊天气气候背景下发生和蔓延的。虽有天气系统移入,但因长期干旱也不易降水。图1表明了特大林火前期,火区(图中-15.0mm负距平等值线内及塔河以北、以东的范围为西、东两片大火区)异常干旱少

雨的背景条件。据卫星气象中心分析,在火场114万公顷范围内,3000m以下,整层高温干燥。由于整个下垫面及中低空大气状况恶化,即使有云中降水,也会在降落过程中蒸发掉。

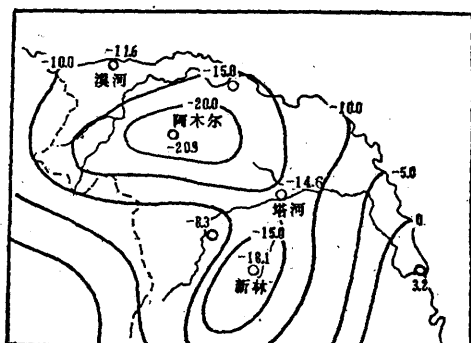


图1 1986年1月—1987年4月降水距平(mm)图

1987年5月下旬进行人工降雨作业,可选择的天气条件比历年同期少,比接近雨季的6、7月也少。据大兴安岭地区气象台分析,5月份过境的天气系统少。作为控制系统,源于新地岛的冷空气主体向东南移动时,贝加尔湖暖脊发展,大兴安岭处于暖区内,以高温干燥、大风天气为主,偶尔有冷锋过境,也很少出现降水。1987年5月中下旬一直在这种形势控制下。5月16—18日,有大范围冷锋云系过境,从卫星云图上的云顶状况看,极有利于降水,但实况只有高云而无降水。因此,这次人工降雨作业,不仅是在干旱少雨的季节和天气背景下,而且是在对流层低

层大气状况十分不利的条件下进行的。

大兴安岭火区,人烟少,气象站网稀,无测雨雷达,大气探测条件差;在火场上空定点作业,可选择的天气受限制;三面靠国境线,云中作业,导航条件很差。以上诸项大大增加了作业的难度。

接国务院指令后,灭火总指挥部决定成立由政府、空军及气象部门组成的“大兴安岭扑火人工降雨指挥小组”,制定了技术方案和指挥、技术、飞行、通信、后勤五个子系统的系统工程设计,在两天时间内完成全部准备工作。在齐齐哈尔设立人工增雨基地,先后有四架飞机用于人工增雨作业。主要采用干冰作为人工催化的播撒剂。

2. 技术设计

在上述异常条件下,采取了相应的设计:

(1) 充分利用接近火区的塔河、阿木尔、漠河、呼玛、呼中等8个气象站的逐时(24小时)航危报网来监视天气;

(2) 综合分析卫星云图(图2,见本刊封二、封三)和5个气象台的临近预报,与设在塔河、阿木尔、加格达奇的天气监测哨进行人工增雨作业条件的会商比较;

(3) 充分利用在扑火前线(火区内部)的两个集团军设在盘古、绣峰、瓦拉干、图强、古莲、西林吉、满归等7个火区现场监测站的雨量观测资料;

(4) 在嫩江、齐齐哈尔等探空站设加密探空观测,并利用海拉尔、嫩江、齐齐哈尔和黑龙江对岸苏联的两个探空站的定时探空资料;

(5) 采用实况通报及实况小图;

(6) 充分运用两架安-26(777、786号机)机组的机长、领航员多次参加人工降雨作业及国庆35周年消云雾试验的经验,根据飞机积冰、过冷水层及航迹图等资料,选择作业区;

(7) 711测雨雷达为降水系统部位和

降水区移向移速进行订正,根据短期预报进行作业技术准备。

通过综合分析,选择天气时机,判断火场上空有人工增雨条件时,飞机从齐齐哈尔机场起飞。根据飞机积冰情况、云层状况和过冷水层温度(飞机测温,并经过动力增温订正)及高空风向风速,选择作业层。考虑到干冰的损耗,按500kg/km撒播量装载干冰。

二、四次作业实例

1. 5月19日作业

高空为浅槽,地面为东北低压北部形成的锢囚锋,火场上空在辐合带上(图3a)。

从假相当位温(θ_{se})垂直剖面图(图4a)上看,50527(海拉尔)站东北为火场, $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial Z} > 0$,层结稳定,按天气动力分析,锋面上空有抬升气流。卫星云图(见图2)上有大片As op, Sc,云顶温度为 -30°C ,估计

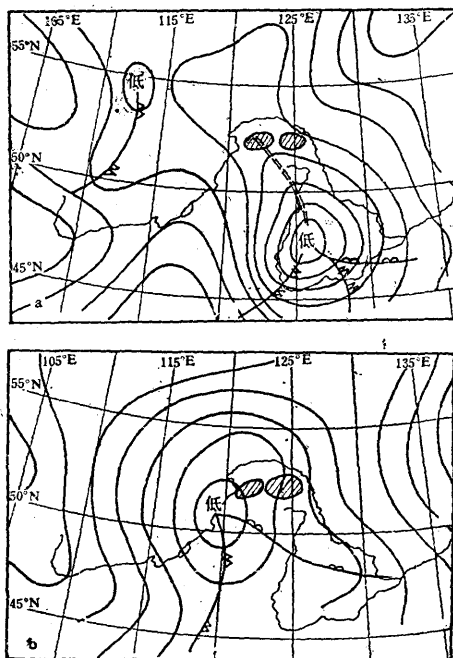


图3 增雨作业区地面天气图

a. 1987年5月19日08时, b. 1987年5月24日08时,
阴影区为火区

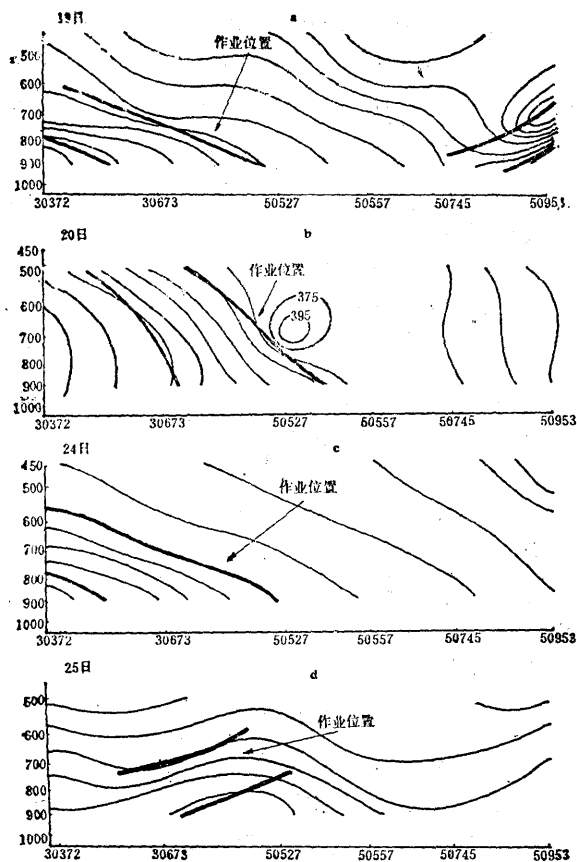


图4 作业区附近08时 θ_{se} 垂直剖面图

云层厚度约5500m。探空曲线上， $\Delta T = T - T_d$ 值小，有较厚湿层（图5a）。在西林吉南部东西70km作业，作业高度3000m，飞机中度积冰，作业层温度 -12°C （经过动力增温订正，下同），播撒干冰80kg。作业后盘古雨量4mm，图强2mm，火场内其它监测站无降水，火场周围8个气象站均无降水。

2. 5月20日作业

该日火区处在过境冷锋后，冷锋主体云系已移出。但开始处于新的暖锋云系前部。由于高空槽在斜压大气控制下，温压场配合有利，地面暖锋移入后即具备

作业天气条件。图4b中50527站，靠近作业部位， $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial Z} < 0$ ，有较强的潜在不稳定，对低层发展有利，锋面上空的抬升气流较强。探空曲线上，整层温度露点差很小，湿层很厚（图5b）。08时卫星云图上，云顶温度为 -10°C ，估计云厚可达4000—5000m。地面图上，暖锋云系正在移近火区，按70—80km/小时的移速外推，当天10时以后作业较为有利。两架安-26飞机在火场西南方作业，作业区为As op, Sc, 高度3900—4100m，温度 -13°C ，有中度飞机积冰。在过冷水云层中作业，共播撒干冰120kg，据盘古、绣峰监测站报告，听飞机声在云中回转作业后1—2小时，见云层变黑，增厚，云底下降，开始降小雨，12时后雨量加大。盘古雨量15mm，图强10mm，绣峰、瓦拉干等监测站报告达中雨。

3. 5月24日作业

高空槽横摆呈近东西向。槽后冷空气进入原在大兴安岭地区的暖性低压，使其加强发展为一气旋波。火区正在气旋波暖锋前和高空横槽风向切变辐合区内，低层为东北风，中高层为西南风。探空曲线表明，300hPa以下为湿层（图5c）。据卫星云图（图2）分析，云顶温度为 -30°C ，云顶高

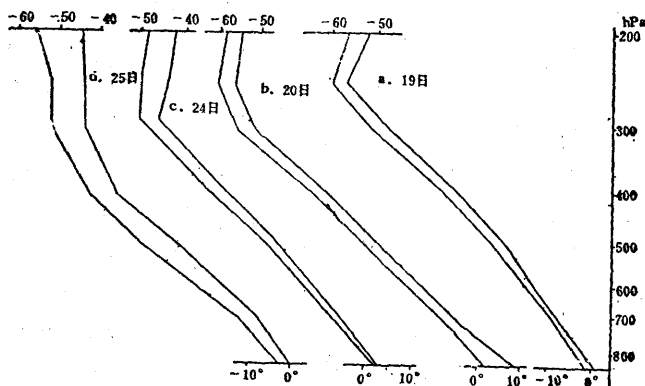


图5 50557站08时探空曲线图

度为 5500m 左右。云图上可见云泡结构,飞机上观测为 As op, Ac op 及 Sc。虽然火区上空这片云系的尺度较小,但对火场而言是足够大的。777、786 机组观察实况云底高度为 1500m 左右。飞行高度 3900—4500m,作业层温度 -12°C — -16°C ,飞机有中度积冰(安-26 有除冰装置),在过冷水云层中作业,共播撒干冰 240kg。作业后盘古雨量 16mm,阿木尔 9mm,塔河 8mm。安-26 双机 11⁰²—12⁰⁵ 在火场西南作业,两小时后另一架伊尔-14 (041) 抵作业区上空,观测到大量霰等固体粒子,该机载有 P. M. S. 粒子测量系统,资料正在处理中。由于这次天气背景和云层条件较好,准备连续作业,但 786 号机起飞后 15 分钟,本场满天 Cb,前方 Cb 也布满全天,飞机返航。遂通知在西部火场的 18 门高炮于 16 时 30 分作业,结果西林吉附近平均降水量 10—14mm,局地达 20—25mm[°]

4. 5 月 25 日作业

低压缓慢东移,火区处于高空横槽及地面低压中心后部,正好位于西北—东南向的锢囚锋上,横槽后部有东北气流。高空东北风配合地面锢囚锋,这是 25 日增雨作业的天气特点,是黑龙江省人工增雨的有利条件之一。从 0se 垂直剖面图(图 4d)上看,作业区在锋面影响之中。探空曲线(图 5d)表明,300hPa 以下均为湿层。卫星云图上云系范围大,结构厚密,云顶温度低于 -30°C (图 2),云厚在 5000m 以上。在火场上空东北气流中作业,飞行高度 3000—4000m,温度为 -14°C 左右,在过冷水云层中播撒干冰 480kg,从 5 时 40 分至 15 时 37 分共 10 个小时,有 4 架次飞机分别在 8 个作业小区作业。作业后东部和西部火场都降了小到中雨,雨区范围大致与作业区相对应。因机场关闭而停止作业。

三、天气时机选择

1. 天气背景

5 月 19 日作业选在锢囚锋辐合带上(图 3a); 5 月 24、20 日作业选在暖锋前(图 3b); 5 月 25 日作业选在锢囚锋及低压中心后部(图略)。均以东北低压和蒙古气旋影响为主。这些天气背景的选择和充分利用,符合黑龙江省经过 20 年人工增雨外场作业时机选择的统计规律。春夏季,黑龙江省飞机人工降雨在层状云中作业,云区范围大,层结稳定,是比较典型的锋面气旋云系。

(1) 据 1960—1984 年天气分析统计,蒙古气旋、东北低压和河套气旋等地面系统,在相应的有利高空形势配合下,在黑龙江的降水机率达 86%。

(2) 据黑龙江省 157 次飞机人工降雨外场作业统计,暖锋前部、锢囚锋和低压中心附近这三种地面条件,在高空有利系统的配合下,有利于飞机降雨作业增雨的机率为 71—79%。

(3) 飞机实验室宏观和微观观测结果表明,在一般情况下,上述背景条件容易选择过冷水云层,冰水混合云层,As op, Ns 云层;温度在 -5°C — -15°C 之间。

2. 物理条件

4 次增雨作业都出现了飞机积冰,在 -12°C — -16°C 条件下作业,有 3 次在过冷水云层中。对降水性层状云,这样的物理条件具有增加人工催化增雨的可能性。这也符合国内外公认的空中实验结果。使用干冰作为冷云催化剂,是指示人工增雨达到预期目的的一个世界公认的首选指标。

3. 首次使用了卫星云图

卫星云图可以反映云顶温度,推断云顶的宏观特征和尺度,为估计云的厚度提供部分依据。但是,目前云图的精度还难以满足这种需要。收图的数量、密度还受到限制(如 5 月 20 日,只有作业前一次云图);对云下的状态还难以反映。目前,还不能完全以卫星云图来判断云系强度和选择作业时机,需要用多种方法、工具和因子进行综合

分析,才能准确选择作业时机。

4. 探空曲线和剖面图

这是天气分析和预报的常规工具,现在移置到人工增雨的时机选择方面来,可以提供不同高度上的温度、湿度,层结状况,锋面坡度,抬升气流等因子,以便选择最佳作业部位。但由于探空站不在火场之中,还必须根据当地实况进行订正。

上述4种选择方法还不能确定作业的天气时机,必须与航危报网、现场天气监测站、实况小图和5个气象台的天气分析等情报进行综合分析,才能正确判断作业时机。在87.5大兴安岭人工增雨作业中,这些综合分析的情报是由4种信道的通信网络联通的。依靠这些因子的综合分析和通信纽带的传输,便使天气时机选择能准确无误,抓住了一切可以利用的天气条件,取得了人工增雨

的成功。在有技术储备的情况下,应结合采用微物理测量系统,各种波长和规格的天气雷达,多通道辐射仪等先进的检测手段。

四、效果讨论

效果分析与检验,在人工影响天气外场作业中是一个难题。无论是物理检验或统计检验,至今都难以完全排除自然因子的干扰,所以各种效果评估几乎都有一定的局限性。象大兴安岭火场这种紧急出动的救灾性外场作业,不可能进行事先周密的设计,充分的准备,因此资料的搜集和索取就更加困难。这里,在现有条件下,讨论了增雨效果的问题。

1. 物理依据

在火场的小范围内,集中播撒干冰,在过冷水云层中作业,作业环境温度-12—

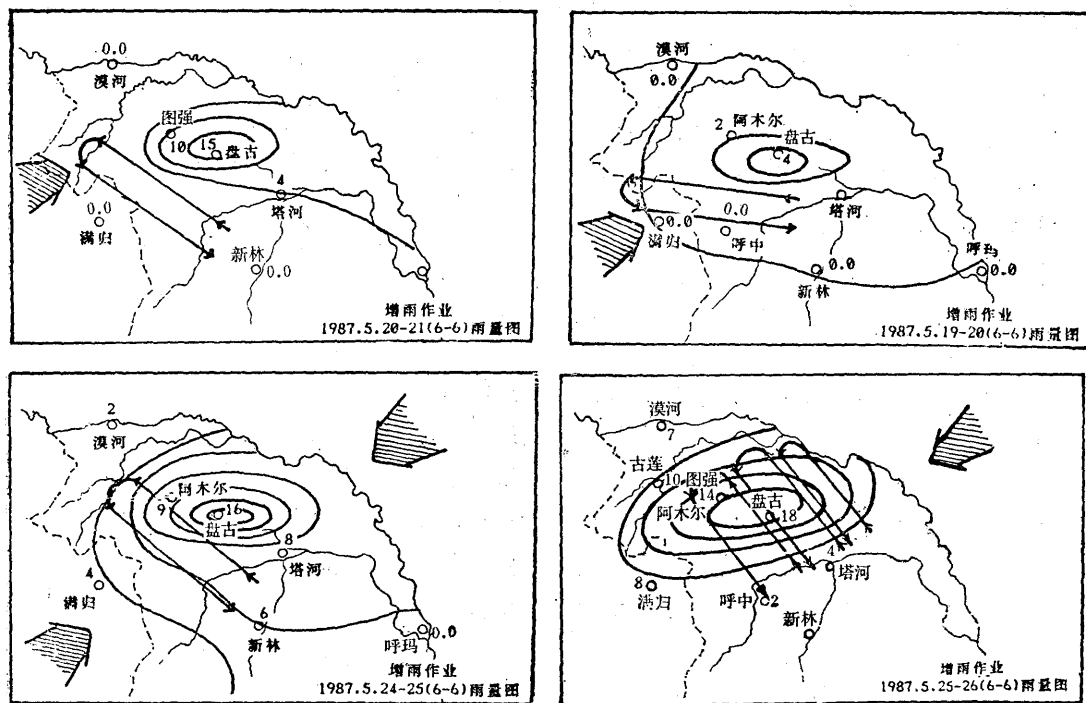


图6 4次增雨作业雨量时空对比图

等值线为雨量(mm),箭头线为航线,阴影矢为高空风向,站名旁数字为雨量(mm)

-16℃, 飞机中度积冰等物理因子, 是国内经过长期大量实验充分证明的播云成功的主要物理指标。在现有的技术条件下, 采用合理的作业设计和最佳选择背景的指标, 诸如: 天气系统、发展阶段、云系部位、温湿场、高空风、大气层结、抬升辐合条件等等, 是经过飞机实验室鉴定和长期样本统计分析的结论。在上述物理基础上进行的大兴安岭扑火人工增雨作业, 具有充分的物理依据, 可望得到预期的效果。

2. 雨量时空对比

对积状云降水进行雨量时空对比, 较难作为效果评估的依据。对于大范围的层状云, 作业后出现降水奇异小区, 加上高空各层的对比, 播云时间、位置的对比, 能较充分地证明人工影响的效果。由图 6 可见, 4 次人工增雨作业后, 降水中心均出现在作业区附近或作业区的高空气流下风方。影响的目标区是火场, 对比区是影响区以外的漠河、塔河、新林、呼中等 8 个气象站。由图 6 中 4 次作业后雨量的时空对比可以看出, 人工增雨使影响区(火区)比周围对比区雨量明显增大。与整个大范围的云区、雨区相比(包括大兴安岭南部、黑龙江对岸和内蒙古东部), 影响区的雨量也是明显增大的。这种雨量分布上的奇异性, 用自然因素的影响是无法解释的, 只有人工影响才能说明。可见, 这 4 次人工降雨作业的效果是可以肯定的, 是明显有效的。

3. 火险等级变化

林业防火部门认为, 降雨量是影响火险等级变化重要的因子。火险等级为火区现场观测的实况。由图 7 可见, 在 5 月 19、20 日作业后, 东、西两部分火场的火险等级下降; 21—23 日又持续较高的火险等级; 5 月 24、25 日作业后, 东、西部火场的火险等级急降,

林火基本熄灭。这表明人工降雨作业对火灾的蔓延有控制作用, 对火灾的最后扑灭起了重要作用。

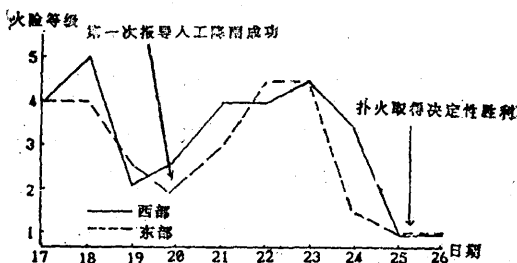


图7 人工降雨作业与火险等级的关系

4. 降水量距平值的变化

将 1986 年 1 月—1987 年 4 月共 16 个月累积的大兴安岭北部降水距平值(图 1)与 4 次人工增雨作业(5 月 19、20、24、25 日)后的降水量相叠加, 制作作业前后降水距平叠加图(图 8)。由图可见, 人工增雨作业后,

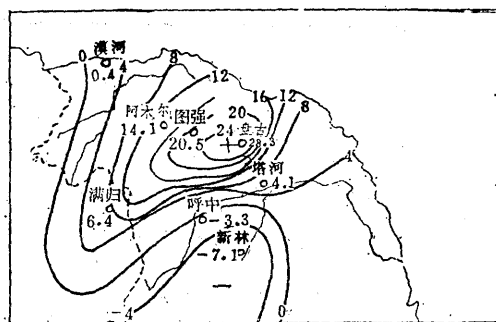


图8 作业前后降水距平叠加图

火场降水距平发生了明显变化, 由原来的负距平中心(见图 1)变为正距平中心。而周围仍然存在负距平值。降水距平的这种变化, 说明人工增雨的影响, 同时表明大兴安岭火灾的熄灭与降水距平的显著变化和人工增雨的效果密切相关。

五、小 结

1. 根据上述分析和物理依据, 雨量时空

对比,火险等级的变化和降水量距平值的变化,同时经过有关专家鉴定,参加火场扑火实践的科技人员客观化鉴定,火灾熄灭(相当于实验结果)的过程和扑火现场军民的实际评估,我们认为,5月19、20、24、25日4次人工增雨作业的效果是显著的,是有充分的科学依据的。因此受到了国内外有关部门、专家和火区军民、扑火前线总指挥部和国务院的充分肯定和表彰。

从大兴安岭特大森林火灾中进行人工增雨的实例,可以看出,通过精心选择天气时机和制定科学的实施方案,在适当的天气条件下,对云体的适当部位进行有科学依据的增雨作业,可以取得明显的效果。

2.87.5大兴安岭扑火人工增雨作业,是在没有技术储备的情况下紧急出动的。在现有的条件下进行技术总结十分困难。充分反映出人工影响天气技术储备的重要性,以及加速现代化建设,配备一批现代化仪器设备,培训一支高水平技术队伍的重要性。

3.87.5大兴安岭扑火人工增雨作业实例,充分说明了天气时机选择的重要性。这是一个技术十分复杂而又关系到人工影响天气作业效果的问题。应该与效果检验、室内试验、探测技术、作业技术及数值模拟等问题同样受到重视,并认真加以研究。

87.5增雨作业的实例证明,人工影响天气是与现代化通信系统、计算机技术、中小尺度天气研究及临近预报、雷达气象及卫星气象等众多学科分不开的,今后应在这些方面开辟一些新的生长点,以促进人工影响天气技术现代化的发展。

(参考文献略)

致谢:本文得到气科院胡志晋、游来光、郭恩铭;北京大学赵景忠、张玉玲;卫星气象中心刘诚、张鸣;中国气象学会易仕明、黄美元等各位专家的指导,在此一并致谢!

刘育生为本文绘图,周政可、董银山、王琛、唐玉梅、张伟远、景学义、孙磊石等同志参加资料的收集和整理。

The rain enhancement operations against 87.5 Northeast huge forest fire

Li Dashan

(Meteorological Bureau of Heilongjiang Province)

Abstract

The rain enhancement operations in May 19, 20, 24, 25, 1987 in the area of huge forest fire in Heilongjiang Province are described in detail. The operation designs, synoptic situations, cloud conditions and the effects of operations are analysed and discussed.