

森林防火基础知识

刘培华 编

西南林学院林业系

一九八七年八月

目 次

○ 森林防火概述.....	1
○ 林火探测技术.....	5
○ 森林火灾扑灭方法.....	8
○ 森林防火、灭火工作中先进技术的应用.....	10
○ 国外森林防火经验介绍.....	45
○ 大兴安岭森林特大火灾的发生、发展及其扑灭.....	64

(:录像)

○森林火灾概述

林火是森林的大敌

“一点星星火，烧毁万亩林”。在破坏森林资源的各种因素中，火灾的危害最为严重。

世界上每年发生森林火灾几十万次，烧毁森林面积数百万公顷。1981年欧洲发生的林火所造成的损失达5.67亿美元。美国1932年一次林火烧掉600万公顷的森林，相当于德国整个国家的森林面积。

从我国的情况来看，从1950年到1984年的几十年间，发生森林火灾55万多次，烧毁山林约5亿亩，其中森林火灾面积约1.8亿亩，相当于解放后我国人工造林保存面积的43%。今年4月中旬发生在昆明安宁县的山林火灾，连续烧了八天，过火面积达1万余亩，烧毁林木蓄积量1700余立方米，造成直接经济损失65000余元；5月6日到6月2日大兴安岭特大森林火灾，损失更为严重，据初步统计，过火面积101万公顷，其中有林地面积占70%，烧毁房屋61.4万平方米，其中居民住房40万平方米，烧毁贮木场四处半，林场九处，存材85.5万立方米，烧毁各种设备2488台，粮食650万斤，桥涵67座，铁路专用线9.2公里，通讯路线483公里，输变电路284.2公里，受灾群众5万多人，死亡193人，受伤226人，直接经济损失达5亿元。

火灾不仅使“林海”变成“秃山”，使宝贵的森林资源化为灰烬，造成巨大的直接经济损失，而且还留下许多后遗症。

火灾中未烧到的林木生命力衰退，极易遭受病虫害的侵袭，如

小囊虫会在火烧过的地方大量发生，加速林木的干枯和死亡。

林火烧掉了土壤中的有机质，使钙、磷、钾等无机盐变得可溶于水，很容易被雨水冲走，而土壤的团粒结构也遭到了破坏。火灾后土壤失去被复，林地裸露，会导致水土流失，甚至出现泥石流。

大火之后的土壤表层3~6厘米处，温度可达90~95℃，造成土壤中的生物和微生物的大量死亡。引起森林发生逆向演替，其间接效益降低或丧失。同时大片森林的烧毁破坏了野生动物赖以生存的场所，影响了它们正常的生活和繁育。

总之，森林火灾破坏了大自然的生态平衡，这方面的损失是难以估算和弥补的。同时，扑灭林火还需付巨大的人力、物力。可见，林火确是森林的大敌。

林中之火从何而来

森林火灾和一般燃烧一样，只要具备可燃物质、空气（氧）和火源三个条件就可能发生。可燃物在森林中比比皆是，乔木、灌木、地被物和腐殖质，都是可燃烧的物质；而森林中的空气（氧）也很充足，在这种情况下，如果遇到火源或高温，就会发生火灾。因此，森林火灾时时处处都有发生的可能。但是，在燃烧的三个条件中，只要消除一个因素，就可有效地减少火灾。

引起森林火灾的火源总的来说有天然火源和人为火源两大类。

天然火源是一种自然现象。林区上空的雷电，有时会打燃树木或杂草；而旱季节，由于强烈日光的照射，地面腐殖质或泥炭层也会自己燃烧起来。这种火源极少。

人为火源，最大量的森林火灾是人为火源引起的。人为火源相

当复杂，种类也很多，从其性质来看有三种情况：

第一种是生产火源。农、林、牧业生产用火不慎。如烧垦烧荒、烧灰积肥、烧牧场、清理采伐迹地、烧埂草、炼山整地造林、烧炭、烧砖瓦、机车喷火、爆破开山等都可能带来火源。

第二种是非生产性火源，如林中烧火取暖做饭、火把照明、驱兽驱蚊、玩火、上坟烧纸、其中野外做饭、取暖、吸烟或乱丢烟头，是引起林火的重要火源。

第三种情况是有意放火、精神病人放火等。

以云南省森林火灾火源为例，1985、1986年因生产性用火而引起的森林火灾有1853次，其中烧垦烧荒引起1012次，占生产性用火的54.6%；烧灰积肥引起417次，占22.5%；烧埂草引起199次，占10.7%；烧牧场引起141次，占7.6%。非生产性用引起森林火灾1205次，其中吸烟引起林火有290次，占非生产性用火的24.1%；玩火260次，占21.6%；上坟烧纸引起林火224次，占18.6%；做饭引起林火219次，占18.2%。因此，烧垦烧荒、烧灰积肥、烧埂草、烧牧场和吸烟、玩火、上坟烧纸、做饭是云南省引起森林火灾的主要原因。

森林火灾的种类

林火种类不同，给森林带来的损害也不同，根据火烧的部位、火的蔓延速度及树木受害程度，林火一般可分为以下几类：

地表火，是最常见的一种，它是林地表面的枯枝落叶以及杂草灌木着火燃烧起来的。燃烧温度可达400℃左右，火势延地表蔓延，烧毁地被物、下木、幼树、烧伤树干下部和露出地表的根系，虽不

能把大树烧死，却严重影响了树木的生长发育。因火势蔓延速度不同分为稳进地表火和急地表火。地表火速度愈慢危害愈重。

林冠火，除雷击火外，还可由地表火沿着下木、幼树或下层林冠上延形成林冠火。这种火来势凶猛，延林冠层前进，蔓延快，火力强，火焰温度高达 900°C 以上，烟雾高度可达1500米。林冠火容易形成气旋，使火势更猛；气旋可造成“飞火”，引起新林火。根据其进展速度也可分为稳进型和急进型。稳进型林冠火燃烧慢，危害重；急进型林冠火每小时可推进8~25公里，火头跳跃，火花乱飞，连飞鸟走兽也难逃走。这种火扑灭困难。火灾之后，树木常常枯倒死亡，因此林冠火是最严重的一种森林火灾。

地下火，指在特别干旱的季节，林下土壤中泥炭层或其它有机物（腐殖质层）燃烧引起的火灾。地下火燃烧速度很慢，持续时间长久，隐而不现，烧毁林木根系，危害甚重。地下火源于地表火，它露地面时会引起地表火，进而亦可上升为林冠火。

○ 林火探测技术

雷击火探测

在欧洲和美国。夏天的热风常常使森林和灌丛起火。在火灾较多的年份里。单就美国西部诸州而言。火灾给国家森林和草原造成的损失就达到4亿美元。1983年的情况更为严重。7月里的一天。美国森林工业西部中心地带就发生了189起火警。

原先。总是靠看林人从高塔了望。以便观察火势进展情况。及时确定火灾方向。随着科学技术的进步。逐渐应用新技术进行林火探测。设在科罗多州博伊西的美国防火联合指挥部。将散落在西部12个州的火警遥感仪器联接成网。无论何处起火。但在其尚未蔓延到10英亩(60·7亩)以上时就能扑灭。警报网络依靠遥测计算确定落雷的方位时。误差不超过0·4公里。而且将落雷的经度。纬度。时间和日期等数据。传送给地区的小型计算机。由计算机绘制出遭受雷击地区以及其他方面的图表。美国由于发展了这一新技术。将原有的防火了望台减少了七分之六。

博伊西警报网还能从遍布美国西部的230个遥测气象台站取得湿度。温度和风力数据。

位于博伊西的一台新型中心计算机将综合所有这些数据。并以其他地理数据和雷击区的“易燃类型”作为补充。作出全面分析。所谓“易燃类型”是指植被的密度和可燃性。

雷击火主要发生在人烟稀少。交通不便的边远地区。很难及早发现。及时扑火。和人为火比起来。虽然雷击火所占比重不大。但是。一旦发生。往往造成重大损失。

我国的雷击火主要发生在东北的大兴安岭地区和西北的阿尔泰山地区。大兴安岭地区尤为严重。据统计，大兴安岭地区平均每起雷击火的林地过火面积为3.314亩，平均每年发生12.5起，雷击火年平均总过火面积为40.425亩。

要减少雷击火的危害，关键是早期发现。国内目前主要靠加强巡逻，了望来发现雷击火。但是，由于雷击火区地处偏远，地形复杂，交通不便，雷击火往往酿成大火以后才发现。

为了解决雷击火的预测预报问题，国外于七十年代研制了一种雷电探测系统。这一系统由两部分组成。一部分叫雷电探向装置，另一部分叫雷电定位分析装置。探向装置的任务是探测云对地闪电回闪的时间、角度、信幅和次数，然后，通过装置内配置的微机系统，把探测到的信息数字化并加以储存，待以后输出。雷电定位分析装置实际上是一个按照一定程序工作的微型计算机系统。它的功能是接受两、三台甚至四台探向装置发来的各种信号，自动计算出闪电的位置，并且把它们描绘在地图上。护林防火人员根据绘成的闪电位置图，很容易确定出闪电强度最大的地点，而闪电强度最大的地点也就是落雷概率最高、可能发生雷击火的地点。这样，就达到了对雷击火预测预报的目的。每台探向装置可以探测到半径为400公里以内范围内90%以上的闪电。通常情况下，每三台探向装置配备一台定位分析器。在实际安装时，为了保证探测精度，探向器的探测面积要互相重叠，以便通过三角测定法来计算确定闪电位置。

雷电探测系统不仅可以用于雷击火的预测预报，而且可以用于野生动物管理。鉴于该系统具有遥控、连续等特点，它还可以用来研究云层催化对闪电的影响以及闪电对电力配置系统的影响。随着

科学的发展，这一技术的推广使用，必将会对减少雷电危害作出贡献。

红外线探火，是将红外线探测仪装在飞机或瞭望台上进行探测，不仅能及时准确地发现林火及火灾的分布和蔓延的速度，还能配合自动拍摄机拍下火场实象。其原理见第 9 页。

人造卫星探火，利用人造卫星发现和监视林火，能准确确定火场边界，精确测得森林火灾面积。近几年，国外开始利用轨道卫星预报林火，在卫星上安装一种灵敏度极高的火灾天气自动观察仪，用来测定风向、风速、温度、湿度以及土壤含水量等方面的数据。

在扑救大兴安岭火灾的过程中，我国遥感卫星地面站发挥了重要作用。经他们接受处理的远红外线探测数据，在卫星过境几小时后就准确通报给灭火指挥部。遥感卫星白天的分辨率能达 30 米，可提供气象卫星所不能提供的灾区道路、河流、居民点等位置的准确信息。对扑救森林火灾的指挥决策价值极大。

航空巡逻，利用飞机低空侦察，发现林火后，测定火场位置、面积、火场的风向、风速、火的发展方向、火线长度、火头数目、林分组成和被害情况等。飞行观察员应立即用无线电把火情报告地面电台，同时将写好的火情报告，附火场略图，装在通讯袋内，向地面空投火报，以利及时出动人员，扑灭森林火灾。

地面巡逻，以森林警察为主力军。在火险期深入森林腹部，定点、包片，驻守巡护，发现火情立即报告并组织扑救。

瞭望台观察，应用设置在至高点上的瞭望台，在火险期内观察火情，准确的将发生火灾地点，通过通讯网向上级及时报告。

○森林火灾扑灭方法

森林灭火方法，有直接与间接之分。

直接灭火法，

1. 人工扑打的方法；

2. 用土灭火的方法；

3. 用水灭火的方法；

a. 水泵、水车、直升飞机喷洒水的方法；

b. 人工降雨扑灭林火的方法。我国已制成催化降雨火箭。它可以将药剂发射到高空4500米的地方。其原理见第？页。

c. 化学药剂灭火法：不同的化学药剂所产生的作用和效果也不同。有的药剂能产泡沫。将燃烧物与空气隔开。有的药剂在分解过程中释放出不易氧化的气体。降低了空气中氧气的含量；有的药剂分解时吸收大量的热或行成薄膜。覆盖在燃烧物表面。起到降低温度和隔绝氧气的作用；有的药剂在高温时仍能保持湿润状态。从而阻止了可燃物的燃烧。化学药剂可以小型喷雾机。消防车或飞机喷洒。也可以制成灭火弹进行灭火。详见第？页。

d. 爆炸灭火法。是指事先在地下埋好的火药。火焰近时引爆。或者投掷灭火弹灭火的方法。当火药爆炸时。将土掀起覆盖在可燃物上。造成与空气隔绝。从而熄灭火焰。

e. 风力灭火机灭火法；

间接灭火法：

a. 隔离带灭火法：在火区外围土壤较厚的地方开设生土带。阻止地表火的蔓延的方法。

b. 以火灭火法：指人为地。科学地用火烧去林子边缘或林下易燃物，消除火灾连续燃烧的条件，防止森林火灾的发生蔓延。或沿着原有的防火线或隔离带，迎着烈火蔓延的方向点火，当新点起的火烧向前去与林火火头汇合后就能自行熄灭。

○ 森林防火、灭火工作中先进技术的应用

近十几年来，新技术发展很快。特别是电子技术已成为20世纪发展最快的科学。目前有些新技术已开始应用到森林防火、灭火工作中来。有着广阔发展前途，必将促进护林防火工作迅速发展。现分述如下。

一 人工催化降雨防火、灭火

在森林火险期内，经常出现降雨的天气条件，因而人工催化降雨，既可作为一种有效地灭火方法，也是一种较好的防火方法。在火灾发生前，对于干旱林区预先进行人工催化降雨，就能降低森林燃烧性，防止林火发生；对已发生的林火，促其早期降雨或增加自然降雨强度，就能把林火浇灭，至少可降低火势，利于地面扑火，都是有着实际意义的。

(一) 人工影响冷云降水

人工催化降水分两种，一种是暖云降水，适于南方，一种是冷云降水，适于北方。我们在大兴安岭林区进行人工降雨，主要是搞冷云降水。因此，这里就冷云降水做一介绍。

贝吉隆和芬德生（Bergeron——Findeisen）提出冰晶效应学说就是近代人工催化冷云降水的理论基础。大气中经常出现温度在 0°C 以下，由液态水滴组成的云。当这种过冷云中，没有冰晶时，它是相当稳定的。人工影响冷云降水的基本原理，就是设法改变云内相态结构。在云中制造适量的冰晶，破坏其微结构的稳定性，一旦云中出现了冰晶与水滴共存的状态，便产生冰晶效应，于

是水滴蒸发，而冰晶增长，达到一定大小后，开始下降，沿途中，由于凝华作用及碰并作用继续增长，而形成降水质点落下，实现这样影响降水的方法有二种，

1. 在云层内引入致冷剂，如引入干冰，促进局部云体剧烈冷却，而产生冰晶。

2. 在云层内引入人工冰核，如引入碘化银，碘化铅，硫化铜和有机物等。在云层温度下降不够低，而缺乏自然冰核或自然冰核的浓度很小的情况下，由人工冰核，产生冰晶。

1. 干冰影响冷云降水

干冰在一个大气压下，温度为 -78.5°C 。其升华热约为 137 千卡/公斤。当干冰撒入过冷云中时，它起了冷源的作用，使得四周空气温度急剧下降。在局部范围内，形成了高度过冷却及高度过饱和。此时，在干冰质点表面近温度，从 -78.5°C 到 -40°C 时的空间范围内，将产生大量冰晶胚胎。这是当温度低于 -40°C 时，数个水气分子结合成的缔合物，其结构与冰晶的结构相似，由于云中的湍流扩散作用，把它们带到四周云体中去，并借冰晶效应增长。

据室内实验证明，每克干冰可以产生 $10'' \sim 10^{12}$ 个冰晶。如果在云中引入冰晶的浓度达 1 个/升，就能显著地影响云的稳定性，而干冰的用量较小。但要将少量干冰，分散到相当大面积云体中去，技术上有困难。实际所用的干冰量远比理论计算值大得多，到底用量多少最合适，这与云的厚度、强度、含水量、上升气流速度等因子有关，是一个相当复杂尚得研究解决的问题。据试验一般干冰用量为几百克——2 公斤/公里。将干冰引入云中的方法，有以下几种，

① 将干冰压碎，成直径为 $0.5 \sim 3$ 厘米的小块，从飞机上撒入云中过冷层部分，干冰块在降落途中蒸发产生冰晶。

② 将大块干冰，装在用金属丝织成的容器里，固定在飞机身外面，使干冰在云中蒸发，飞机必须在云中飞行，在飞行路程上就会出现大量冰晶。

③ 在飞机上将贮有液态二氧化碳的钢瓶喷口打开，使液态二氧化碳直接喷入云中，此时部分液态二氧化碳，将转变为固体干冰，汽化吸热，使云中产生大量冰晶。

④ 用气球携带干冰引入云中，应用温度感应开关和气压感应开关，分别使干冰在某一特定温度下和某一特定高度上释放。

干冰催化冷云降水，效果显著，云中温度低于 -0.5°C 时，就产生冰晶。缺点是不易保存，运输困难，使用时损耗大，并且不能用于地面大规模作业。目前，在人工降水试验中，常采用效率更高的碘化银。

2. 碘化银影响冷云降水

碘化银是一种非常有效的冷云催化剂，应用甚广，主要因为它具有较高的成冰阈温（形成冰核的温度），并且能通过各种方法制成高分散气溶胶。*实验指出，碘化银质点在温度低于 -4°C 情况下，就能够起冰核作用。其成冰阈温与质点大小有关，质点半径愈大，成冰阈温愈高，如图14所示。又因为碘化银气溶胶质点大小不均，所以温度不同，一克碘化银能产生的冰晶数不相同。温度愈低产生的冰晶数愈多。图15和图16表示一克碘化银产生的有效冰核数与温度及制作的方法有关。在 -10°C 温度时，每克碘化银

*气体溶胶，气体溶液颗粒大小为 $1 \sim 100 \times 10^{-7}$ 厘米。

可产生 $10^{12} \sim 10^{13}$ 个有效冰核。

① 碘化银的成冰机制

关于碘化银的成冰核作用的机理问题，多年来争论很大，但有以下三种看法：

1) 凝华成核作用，

水气分子直接在碘化银质点上凝华形成冰晶。

尼康德洛夫 (Никондров) 做过这样的试验：在空气中，相对湿度对冰面饱和的环境中，用细丝并排分别悬挂一个过冷水滴和一个碘化银微粒，二者彼此靠近而不相接触。结果，发现在碘化银质点上，转向过冷水滴的方向，有冰晶形成，同时水滴蒸发，说明这时发生了水汽由水滴向碘化银质点上凝华的现象，碘化银质点起了凝华成核作用。

2) 冻结成核作用，

开始时，碘化银质点作为凝结核形成水滴，然后再由此水滴冻结产生冰晶。

爱德华 (Edwards) 等实验发现，将气溶胶 (即室温下 $f = 100\%$) 引入冷云室，高度过饱和引起每个碘化银质点上凝华结成微滴，然后立即冻结，在一分钟内云室内出现了冰晶。如果将干气溶胶引入冷云室中，冰晶出现较迟。所以认为碘化银质点作为冻结核比凝华核有效。

3) 接触成核作用，

碘化银质点与过冷水滴互相碰撞后，冻结而成冰晶。

哥克哈 (Gokhale) 等将蒸馏水滴，置于一个涂有液体石蜡薄膜的光滑金属表面上，外加玻璃罩使沉降于水滴上，以定常的冷却速度降温，进行显微镜照相研究接触成核的作用，发现水滴冻结

开始于碘化银质点与水滴接触之处。如有两个碘化银质点与水滴接触。则同时分别在此二处开始冻结。并且观察到首先是水滴表面冻结。内部仍为液体。随后内部再逐渐冻结。他们认为对于0.05微米至50微米大小的碘化银质点接触作用。使过冷水滴冻结是最有效的。

上述三种究竟那一种起主要作用呢？有人提出了这样的结论：云内一般水汽过饱和度小于1%，当温度低于 -12°C 时。碘化银质点的成冰机制主要是凝华成核作用。当温度界于 -12°C 与 -5°C 之间时。主要是冻结成核作用。当温度为 -5°C 时。主要是接触成核作用。

② 碘化银质点的制作及引入云中的方法：

碘化银作为一种高效率的催化剂。除了因为它的结晶结构。使它具有较高的成冰 温外。还因为碘化银可用各种方法制成高分散气溶胶。目前制作碘化银质点。有许多方法。主要介绍下列几种方法：

1) 实验方法。制作少量碘化银质点的最简单的方法。是将纯碘化银置于陶制坩锅或石英坩锅中。用电炉加热到 1000°C 以上。其蒸气在空气中冷却而形成碘化银微粒。其直径不大于一微米。

2) 地面烧烟。此法适合于大规模作业。设备简单。操作不便。常利用地形条件。由上升气流。将碘化银烟粒带入云中。采用这种方法存在的问题。是烟粒能否达到云中过冷却层？扩散范围有多大？有效的浓度有多大？等等。值得研究。

3) 碘化银在液体氨中。特别容易溶解。 0°C 时。100克氨能溶解530克碘化银。常压下液体氨沸点为 -33°C 。所以只要将碘化银液体氨溶液喷入空气中。就可以使它分散（碘化银浓度5%）。

也可以将碘化银液氨溶液喷入丙烷火焰或高温炉（温度在600℃以上）的火焰中使之燃烧。产生在碘化银质点，更加细直径为200～300埃。这种方法产生的是纯碘化银质点。

4）地面烟火筒。点火发烟，内含以下成分：

这种方法产生的碘化银质点的成冰 温高（-2℃～-2.5℃）性能稳定。在-5℃～-15℃时，可产生 $10^{12} \sim 10^{13}$ 个/克。

成 分	Ag IO 碘酸银	Mg 镁	Al 铝	胶 剂
重量百分比	78%	4%	12%	6%

5）按表12、13中成份配制成碘化银焰弹，从飞机上自动投掷。弹筒长96毫米，直径40毫米。内装碘化银克50克。可燃烧7.0～8.0秒。

表 12 OMC 配方

成 份	重量百分比
AgIO ₃ 碘酸银	53.0
KIO ₃ 碘酸钾	8.0
Mg 镁	5.6
Al 铝	12.9
Sr(NO ₃) ₂ 硝酸锶	10.5
聚脂粘合剂	10.0

表 13 ABC 配方

成 份	重量百分比
AgIO ₃ 碘酸银	45.0
KClO ₄ 过氯酸钾	27.3
Mg 镁	20.0
硝化纤维	4.0
三乙酸甘油脂	4.0

上表为两种碘化银焰弹的配方