

林火管理

郑焕能 居恩德等 编著

东北林业大学出版社

林 火 管 理

郑焕能 居恩德
柴瑞海 杜秀文
等 编著

东北林业大学出版社

林 火 管 理

郑焕能 居恩德 等编著

东北林业大学出版社出版

(哈尔滨市和兴路8号)

长春科技印刷厂印刷

黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米1/32 印张68,125字数147,000字

1988年9月第1版 1988年9月第1次印刷

印数1——4,000册

ISBN 7-81008-041-5/S·11 定价1.15元

前 言

目前，世界各国对森林防火这门学科颇为重视，且发展很快，由于火生态学的脱颖而出，给林火管理赋予了新的生命力和理论基础，故已将林火作为一个重要的生态因子。林火具有有害（森林火灾）的一面，也有其有利（安全用火）的一面。因此，对林火采取的措施是既要防又要用。目前已进入了林火管理阶段，同时已将各种新的科学技术和电子计算机等应用于林火管理工作中。

本书对森林火灾发生发展的基本原理、预防、扑救、后果以及营林安全用火等都作了较详细的阐述，并尽量将编著者近年来的研究成果及国内外的新技术和资料，在各有关章节中作了反映与引证。

本书由郑焕能、居恩德等编著，参加人有杜秀文、柴瑞海，并经东北林业大学王业遽教授和黑龙江省森林保护研究所王正非研究员审阅，在此特致感谢。

本书可作林业院校和专科的教材，也可供有关科研和林业生产单位，特别是从事森林防火工作的科技干部以及林区职工参考。

由于编著者的水平所限，错误与疏漏之处在所难免，希望读者予以批评指正。

编著者

1986年1月

绪 论

火对森林和人类有着密切的关系，在地球上没有人类以前，由于自然火（陨石、雷击火和火山爆发等）不断地促成周期性的森林火灾，并参与了森林的发生发展。人类出现以后，从发现火到利用火，火都在人类社会发展起着非常重要的作用。

古代，人类用火驱兽、打猎、防寒。随着人类文明的发展，毁林开荒和烧山烧垦等接踵而来，使森林遭到更为严重的破坏，甚至直接威胁到林区人民的生命安全。到十九世纪末和二十世纪初，随着林区的发展，森林防火工作逐渐受到重视。在重点林区采取了一系列的防火措施，用以控制森林火灾的发生发展。到二十世纪六十年代，人们才认识到火具有两重性，火既有有害的一面，又有有利的一面。在林业生产活动中，开始在火生态的基础上，把火作为营林工作的一种措施和手段，这就是人类从开始用火阶段到森林防火阶段，随后又进入林火管理阶段的认识发展过程。

火灾是森林最凶恶的敌人，“一点星星火，可毁万亩林”。在毁坏森林诸因素中，以火灾危害最为严重。森林火灾能烧伤或烧死各种年龄的林木；损坏或降低木材产品等级；破坏森林结构，使森林环境急剧遭到严重破坏，从而使林地不断恶化。但轻微的低强度火，不仅不会对森林造成危害，还能对林地产生有益的作用，如在采伐迹地进行安全用火清除采伐剩余物，不仅有利于天然更新和人工造林，还可在林内减

少可燃物的积累、降低森林燃烧性等。因此，搞好森林防火和安全用火是保护好现有森林资源和合理经营森林的重要措施。

解放以来，党和政府十分重视林业发展。一九六四年国务院颁布了森林保护条例，一九七九年通过了森林法（试行）。认真贯彻执行“预防为主，积极消灭”的护林防火方针，在宣传群众、动员群众和组织群众搞好护林防火工作方面取得很大成绩。在各林区普遍建立了护林防火组织和承包责任制等，重点林区还采用航空护林，并组建了森林警察及群众的护林防火专业队伍。有些林区基本上实现了“四网二化”，即瞭望台网、通讯网、预测预报网、防火公路网（含防火线、防火林带），扑火队伍专业化、扑火工具机械化的防火、灭火措施。在重点林区开展了先进防火、灭火技术的研究和应用，如航空化学灭火、红外探火和火险预报等。但我国目前的防火、灭火和用火的技术水平还很低，尤其是控制大火的能力还很差。因此，在今后如何使护林防火科学化、现代化，仍是一个摆在林业工作者和林区广大群众面前的重要任务。

《林火管理》是研究林火的基本原理、林火预防和扑救、营林安全用火以及森林火灾后果调查及评价理论和技术的科学。它包括五个组成部分：

1. 林火的基本原理：主要研究林火行为、解析森林燃烧现象，阐明林火的特征，研究林火发生发展规律以及影响其规律的诸因素，并说明林火传播机制和分布规律。

2. 林火预防：主要研究林区的防火设施、森林火灾预测预报、森林火灾的探测以及森林防火规划设计等。

3. 森林火灾扑救：主要研究灭火原理、扑火方法和技

术。

4. 营林安全用火：主要阐明营林安全用火的理论基础、用火技术规范以及营林用火对森林生态系统的影响等。

《林火管理》是一门边缘学科，涉及的面很广，除应用主要的林学理论作为基础外，还需物理、化学、数学、气象、数理统计、系统工程、电子计算机等学科来配合应用，使其在防止森林火灾的发生和安全用火工作中，发挥更大的作用。

5. 林火后果：阐明林火对森林、森林生态系统和人类的危害与影响。

目 录

绪论.....	1
第一章 林火的基本原理.....	1
第一节 森林燃烧.....	1
第二节 火灾种类.....	10
第三节 森林可燃物.....	13
第四节 火源.....	27
第五节 火险天气.....	34
第六节 地形与林火.....	41
第七节 林火行为.....	44
第八节 森林火灾分布与区划.....	53
第二章 森林火灾预防.....	61
第一节 群众性护林防火工作.....	61
第二节 森林防火技术设施.....	65
第三节 森林火灾预测预报.....	72
第四节 森林火灾探测.....	89
第五节 森林防火规划.....	105
第六节 电子计算机在林火管理中的应用.....	112
第三章 森林火灾扑救.....	114
第一节 森林火灾扑救的组织领导.....	115
第二节 灭火的基本原理.....	116
第三节 扑灭森林火灾的一般技术和方法.....	119
第四节 化学灭火法.....	123
第五节 以火灭火法.....	134

第六节	航空灭火法.....	138
第七节	人工催化降水灭火法.....	144
第八节	扑灭森林火灾应注意的事项.....	152
第四章	营林用火.....	155
第一节	营林用火基础.....	156
第二节	火在森林经营中的应用.....	160
第三节	营林用火技术和方法.....	165
第四节	营林用火对环境的影响.....	182
第五章	森林火灾的后果.....	187
第一节	森林火灾的危害和影响.....	188
第二节	森林火灾调查.....	192
第三节	森林火灾统计和森林火灾档案.....	199
第四节	火烧迹地的经营利用.....	204
第五节	林火评价.....	205

第一章 林火的基本原理

林火——森林燃烧，包括森林火灾和计划火烧。林火原理主要是研究林火的性质、燃烧现象、火行为、林火发生发展的基本规律和环境因子之间的关系，并探讨林火蔓延和火强度等问题。因此，在林火预防、扑救和营林用火的工作中，其具有重要意义。

第一节 森林燃烧

森林燃烧是自然界中燃烧的一种现象。森林中的任何可燃物（有机物）在氧化时能放热和发光的化学反应，称为森林燃烧。

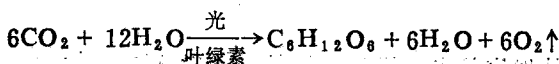
森林燃烧具有两种性质，一种是有破坏性的，另一种是有益的。森林火灾是失去人为控制，在森林开放系统内，自由蔓延和扩展，给林木森林生态系统和人类带来一定损失的破坏性燃烧；而安全用火则是一种有益的森林燃烧。

森林火灾的燃烧过程是相当复杂而不易控制的。从森林可燃物被点燃到熄灭的整个过程是一个燃烧的化学反应过程。点燃是热量输入速度大于热量输出速度，导致燃烧系统的温度急剧增高；而熄灭则相反，最后导致燃烧过程的终止。森林可燃物都是固体燃料，在着火之前，必须放出可燃性气体，才能开始燃烧。气体本身在生成的不同阶段，其化学与物理性质不同，这些差异又取决于时间、温度和供氧情

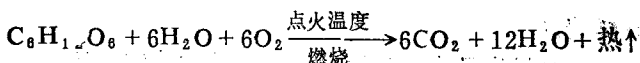
况，特别是森林燃烧是在开放系统中的燃烧，与氧的混合速度不易得到准确控制。因此，很难控制其燃烧过程，而在密闭系统中其燃料的供给速度与氧的混合比率就容易得到准确的控制。另外，森林火灾的燃烧是随着时间而增加其能量的，又受到当地环境的相互作用，形成一种变化复杂的现象，因此森林火灾的燃烧过程是难以控制的。

地球上一切绿色植物都是太阳能的产物，森林是由绿色植物组成的最大的群体，贮存的化学能也最多，在其进行光合作用的同时也就是贮存大量化学能的过程，而森林燃烧则是森林突然释放大量能量的过程。它们用化学反应式来表示，即为颠倒的化学反应过程，这两者的化学反应式如下：

光合作用（贮存能量）：



森林燃烧（释放能量）：



森林贮存能量的过程是缓慢的，而森林释放能量的过程则是十分迅速的。森林燃烧是在高温作用下，进行快速的氧化反应，是另一类型的氧化过程。

一、燃烧三要素

森林进行燃烧，必须具备三个要素，即可燃物、助燃物（氧气）和一定温度。这三者连锁在一起，构成了燃烧三角。如果破坏了其中任何一边，燃烧三角就会破坏，燃烧就会停止。

1. 可燃物

森林中所有的有机物质均属于可燃物质，是森林燃烧的

物质基础，如树叶、树枝、树干、树根、枯枝落叶、林下草本植物、苔藓、地衣、腐殖质和泥炭等均可以燃烧。但是，大量细小可燃物，如枯草、枯枝落叶等属于易燃物，其最危险，又称引火物。根据森林可燃物的特点不同，可分为两类：

1) 有焰燃烧可燃物：在点燃后，能挥发可燃性气体产生火焰，称为明火。这种可燃物约占森林可燃物总量的85%—90%，如杂草、枯枝落叶、枝桠和采伐剩余物等，其燃烧特点是蔓延速度快，一般比无焰燃烧可燃物快13—14倍，且燃烧面积也大，但产生的热量少。

2) 无焰燃烧可燃物：在燃烧时，不能分解足够的可燃性气体，因而不能产生火焰，又称暗火，这种可燃物分布较小，仅占森林可燃物总量的6%—10%，如泥炭、腐殖质和腐朽木等。其燃烧特点是，蔓延速度慢、持续时间长、产生的热量多，如泥炭燃烧产生的热量占其全部热量的50%，所以，泥炭在较湿的情况下，仍然可以继续燃烧。

有焰燃烧可燃物容易扑救，而无焰燃烧可燃物比较隐蔽，往往被人忽视，易产生复燃现象，所以在清理火场时特别注意清理易燃物——暗火。

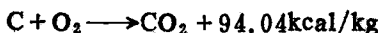
2. 助燃物（氧）

在空气中含有20%的氧气，占空气的 $\frac{1}{5}$ 。通常，在燃烧时一公斤的木材大约需要 $3.2-4\text{m}^3$ 的空气。需要纯氧 $0.6-0.8\text{m}^3$ 。在常温下，氧化作用非常缓慢，而燃烧则是在高温作用下，促使氧活化。这种活化氧很容易与可燃物进行化合反应，形成连锁反应。因此，在燃烧过程中，必须有足够的氧气。根据经验证明，空气中氧的含量减少到14%—18%时，燃烧就会停止。

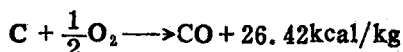
此外，在燃烧过程中，由于氧气供给的程度不同，会产

生两种燃烧:

1) 完全燃烧: 经过燃烧后的产物, 不能再次燃烧, 如灰分和水蒸汽, 但能放出较多的热量, 可用下式表示:



2) 不完全燃烧: 经过燃烧后的产物, 能再次燃烧, 如一氧化碳和木炭, 并能放出较少的热量。可用下式表示:



(不完全燃烧放出的热量只有完全燃烧放出热量的 1/3.56。)

3. 一定温度

除了可燃物与空气以外, 森林燃烧还需要有一定的温度, 这不仅促使氧变为活化氧, 而且还能使可燃物变成气态。因为绝大多数森林可燃物的燃烧都是在气态下进行的, 当外界对可燃物进行加温时, 开始温度上升缓慢, 大量水汽蒸发, 当可燃性气体开始挥发而冒烟时, 称为引火点。随后, 可燃物升温加快, 出现大量可燃性气体, 达到开始着火温度时, 称为燃点。各种可燃物的燃点差异很大, 一般干枯杂草的燃点为 150—200℃, 木材燃点在 250—300℃之间, 要达到这样高的温度, 需要有外界火源, 一旦可燃物达到燃点, 就不需要外界火源, 依靠自身释放的热量就能继续燃烧。

总之, 燃烧三要素所构成的燃烧三角, 扼要地阐明了燃烧的原理及其应用。

二、燃烧的三个阶段

森林燃烧除了上述三个必要条件之外, 其燃烧过程, 一般可划分为如下三个阶段。

1. 预热阶段

在外界火源的作用下，可燃物温度逐渐上升，其速度非常缓慢，随着大量水蒸汽蒸发，产生大量的烟。但有部分可燃性气体挥发，还不能进行燃烧，这时可燃物处于收缩而干燥的点燃前状态，即为预热阶段。

2. 气体燃烧阶段

随着温度继续上升，愈来愈多的挥发的可燃性气体被点燃，可燃物一旦达到燃点，温度便迅速上升，可燃性气体大量挥发；燃烧呈现黄红色火焰，并产生二氧化碳和水蒸汽。

3. 木炭燃烧阶段

木炭燃烧即固体燃烧，也就是表面炭粒子燃烧，也称表面燃烧，最后剩下灰分。

在森林火灾的燃烧过程中，很容易看到这三个阶段。首先看到燃烧区内的树叶、杂草预热卷曲干燥，然后出现火焰，最后木炭燃烧。

三、林火蔓延

1. 热的传播方式

森林在着火之后，火就会向四周不断扩展和蔓延，这与热的传播方式有着密切关系。热的传播方式一般有三种，即热对流、热辐射和热传导。这三种热的传播方式对林火蔓延都有一定作用。

1) 热对流：热空气比冷空气轻，林火发生后，燃烧的热空气就向上运动，周围冷空气随着不断补充便产生对流，并往往在燃烧区的上方产生对流柱，这种对流柱要积聚燃烧释放的大部分热量(大约75%)，在强风的影响下，常会使常绿针叶幼林或复层针叶林的表面火转变为树冠火。此外，由于对

流柱将燃烧的碎片带到高空，由高空风又把这些燃烧物吹到火头前方的非燃烧地区，产生新的火源，这就是飞火现象。

2) 热辐射：是以电磁波的形式向各个方面进行直线传播的，辐射热的强度与两物体间距离的平方成正比，即离燃烧区10m的可燃物得到的热量，只是离燃烧区1m的可燃物所得热量的1/100，因此，燃烧越快，辐射传热就越强烈。

3) 热传导：是燃烧物向内部传热的方式，是内部微粒能量的传递，各种物质内部传热快慢，主要取决于导热系数的大小。导热系数大，传热就快，否则就慢。森林可燃物是不良导热体，传热慢。但可燃物的大小不同，传热的快慢也不一样。大枝桠的燃烧速度较小枝桠慢，持续时间也长。这种热的传导方式，不易扑灭，例如，地下火就是主要依靠这种热传导来蔓延的。

对流热与热辐射所传递的热能，主要将火焰前方的可燃物进行预热作用，是外部的传热方式，使热能传递到可燃物表面，这样就促使火的蔓延，而热传导只是可燃物的内部传热。

2. 林火蔓延的计算方法

林火蔓延速度的计算方法一般有三种：一是线速度，即从起点到终点的直线距离除以时间，以m/min或km/h来表示；二是面积速度，即火场面积除以时间，得出单位时间内的燃烧面积，以 m^2/min 或 ha/h 来表示；三是火场的周边长度除以时间，以m/min或km/h来表示。

林火蔓延的计算方法，世界各国都进行了不少研究。苏联T.A. 阿莫索夫曾提出如下林火蔓延面积计算公式，这是基于假定火灾面积通常为椭圆形，以两个半椭圆面积之和来计算的。

$$S = \frac{\pi \left(\frac{v_1 t + v_2 t}{2} \right)^2}{2} + \frac{\pi \left(\frac{v_2 t + v_3 t}{2} \right)^2}{2} \quad (1-1)$$

式中: S —火灾面积 (m^2);

v_1 —顺风火头 (火头) 速度 (m/min);

v_2 —侧方 (火翼) 速度 (m/min);

v_3 —逆风火头 (火尾) 速度 (m/min);

t —燃烧时间 (min)。

1972年美国罗森迈尔在单一均匀可燃物中也制定了一个林火蔓延模型, 其计算方法如下:

$$R = I_R \xi (1 + \varphi_w + \varphi_s) / (\rho_b \varepsilon Q_{ig}) \quad (1-2)$$

式中: R —林火蔓延速度 (m/min);

I_R —反应强度 ($\text{kJ/min} \cdot \text{m}^2$);

ξ —传播的热通量与反应强度之比 (无因次量);

φ_w —风因子 (无因次量);

φ_s —坡度因子 (无因次量);

ρ_b —可燃物集合体的体积密度 (kg/m^3);

ε —有效能量 (无因次量);

Q_{ig} —引燃热量 (kJ/kg)。

美国在二十世纪七十年代已研制成功一种袖珍计算机 (TI-59型), 其能迅速计算出火险天气指标、林火强度和蔓延速度等。在计算前, 只要输入云量、空气温度、相对湿度、风速、日照、坡度及1小时、10小时、100小时、1.000小时的时滞可燃物湿度和活可燃物湿度等数值, 即可输出在不同风速下火的强度、火焰的高度和蔓延速度等。

3. 影响林火蔓延的因子

在林火蔓延过程中, 影响蔓延的因子很多, 主要有如下

几个方面。

1) 可燃物种类和含水率：可燃物的种类不同，其理化性质、结构、大小也不同，它们的燃点和蔓延速度也有明显差异。例如，枯草易燃，蔓延快；粗大的枯枝或倒木不易燃，蔓延慢。火向燃点低的可燃物方向蔓延快，而向燃点高的可燃物方向蔓延慢。细小可燃物的含水率随大气的湿度而变化，容易干燥，蔓延速度快；粗大可燃物的含水率变化与天气连旱有关，不易干燥、蔓延速度慢。不同森林类型的可燃物的含水率和有效能量相差很大，对于含水率大的森林类型，大部分的热量消耗于蒸发水分，故其有效能量小，火的蔓延速度慢，反之则快，例如中国科学院林业土壤研究所对大兴安岭主要几种森林类型地被物含水率的测定有很大差异，蔓延速度也不同。草类——落叶松林含水率为14.5%—22.5%，有效能量为 2952.6kcal/m^2 ，5分钟火可蔓延 6m^2 ；矾礞蹠——落叶松林含水率为70.8%，有效能量为 1710.6kcal/m^2 ，5分钟火蔓延面积为 2.8m^2 ；泥炭藓矾礞蹠——落叶松林，含水率为678.1%，有效能量为0，5分钟火蔓延 0m^2 。

2) 风：风对森林火灾的影响是人所共知的，中国有句谚语“火借风势，风助火威”，是我国劳动人民对火与风之间关系长期观察总结，风不仅能加快可燃物水份蒸发而干燥，同时，能不断补充氧气，增加燃烧区内的助燃条件，加速燃烧过程。另外，风也能改变热对流，增加热平流，加速火的蔓延。风愈大，大气乱流越强，常常造成“飞火”，将燃烧物带到火场之外，产生新的火源，从而扩大了森木火灾的面积。

通常，顺风火蔓延最快，逆风火蔓延最慢，侧风火蔓延