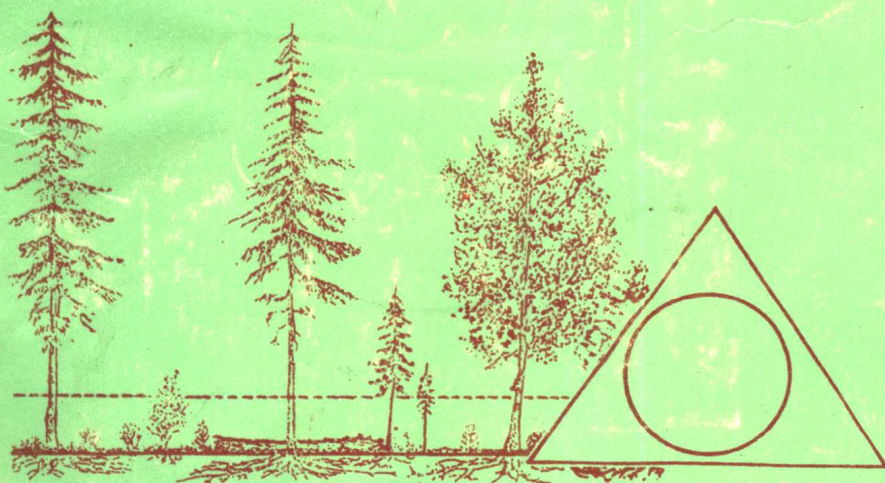


全国高等林业院校试用教材

森 林 防 火

郑焕能等 编著



东北林业大学出版社

全国高等林业院校试用教材

森 林 防 火

郑焕能等 著

东北林业大学出版社

(黑) 新登字第 10 号

全国高等林业院校试用教材

森 林 防 火

郑焕能等 编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 8 号)

东北林业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 16.625 字数 371 千字

1992 年 12 月第 1 版 1992 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—3 000 册

ISBN 7-81008-293-0/S·74

定价：8.00 元

前 言

随着世界人口的增加,工业的发展,世界森林资源同地球上其它自然资源一样,在日趋减少。森林火灾在诸多危害森林资源的灾害因子之中,占居首位。因而,森林防火工作一直受到各国的高度重视。近十几年来,森林防火科学发展迅速,许多新理论和现代化技术不断地引用于该领域,现已发展为现代化林火管理。

在我国,党和政府十分重视森林防火工作,特别是1987年大兴安岭特大森林火灾后,我国的森林防火事业已进入了一个新的发展时期。为适应新形势发展需要,我们编写了这部林业高等院校试用教材《森林防火》。本教材把林火生态作为森林防火的理论基础,在充实和加强林火预报、林火监测、林火扑救与扑火指挥等内容的同时,还增加了综合森林防火和森林防火评估等新内容。在各章节的编写过程中,作者都尽可能地引用了80年代以后的最新资料。

全书共分八章,由郑焕能教授主编。绪论由郑焕能撰写;第一章中的第一节、第四节由郑焕能、骆介禹、刘艳红编写,第二节由邸雪颖编写,第三节由胡海清编写;第二章由胡海清、柴瑞海编写;第三章由邸雪颖编写;第四章由牛树奎编写;第五章由郑焕能编写;第六章中第一节、第二节、第四节由杜秀文编写,第三节由骆介禹编写;第七章由郑焕能编写;第八章中第一节由杜秀文编写,第二节、第三节由刘艳红、郑焕能编写,第四节由郑焕能编写。全书由柴瑞海同志统稿。

本书承蒙周重光教授主审,并为本书写序,在此表示衷心感谢。翟兆林、郭素华同志参加了部分资料的整理工作,特此致谢。

本书为林业、森保专业本科教材,可供研究生和专科生参考。同时也可供从事森林防火教学、科研、管理及生产实践工作者参考。由于编著者水平所限,不足和疏漏之处在所难免,诚恳地希望读者提出宝贵意见。

编著者

1992.4

序

由郑焕能教授等编著的《森林防火》一书，是1949年以来我国第一本比较全面、系统、完整的森林防火教材。这本书的出版，对强化林业院校森林防火基础知识、技术理论教学和科学研究将起到积极的推动作用。在我们国家，森林防火还是一门相当年青的科学。包括林业行业在内，这门学科还远未被人们所重视。所以，这本书的出版，在提高我国森林经营管理技术水平和促进我国林业科学现代化方面，也将产生积极的影响。

在现代林业经营管理中，森林防火是一项极为复杂而繁重的工作。防止和扑灭林火如同战争一样，从获得信息、决策计划、组织部署到指挥战斗等等，都需要周密的考虑，稍有疏忽，就会招致失败或者受到严重损失。森林防火这一专门学科，从森林的整体着眼，从科学理论、技术方法上研究解决防治林火之害，利用林火之利的诸多问题，力求不断地提高森林经营管理的科技水平，保护好现有森林，扩大森林覆被率，充分发挥森林的经济、生态和社会效益。

森林防火的主体是森林，即森林生态系统的整体。林火是森林生态系统中发生的火，不管这种火是天然的还是人为的，当林火燃烧起来后，就会不同程度地影响到森林中的植物、动物和微生物，也会或多或少地改变承载生物生存的环境条件，甚至危及到林区中的村落、城镇和居民的生命安全。

从维持自然平衡、改善生态环境条件和保护森林资源的角度出发，要重视林火，研究林火，防林火之害，兴林火之利。这是一项长远的战略任务，任重而道远，需要长久地坚持下去。《森林防火》一书中明确论述了林火的性质：“火是森林生态系统中的自然因素，又是重要的生态因素，还具有两重性……”。基于这些观点，该书的作者们，较详尽地阐述了火的来源、火环境、火行为，火对森林生态系统中生物组成成分及其生存环境条件的影响等问题，辩证地论述了林火的“害”与“利”。根据这些论点，提出了较完整的综合森林防火体系，为我国当代森林防火事业提出了技术理论的基础和发展方向。这对于增强我国森林经营管理现代化，将会产生深远的影响。

林火是一种自然现象，而更重要的是人为结果，它将永远伴同着森林生态系统而存在下去，并将一代一代地影响着森林生长发育和兴衰存亡。所以，“兴林火之利”，“防林火之害”，已成为林业生产、教学和科研工作者以及林业管理部门长期的共同职责。可以相信，《森林防火》这本书的问世，对于开拓和发展我国森林防火事业，将会增添新的力量。

周 重 光

1991. 12

目 录

绪 论	(1)
第一章 林火原理	(6)
第一节 森林燃烧与森林燃烧环	(6)
第二节 森林可燃物与可燃物类型	(12)
第三节 火环境	(30)
第四节 林火行为	(42)
第二章 火的影响和作用	(56)
第一节 火对森林环境的影响和作用	(56)
第二节 火对野生动物的影响	(68)
第三节 火对植物及植物群落的影响和作用	(76)
第四节 火对森林生态系统的影响	(83)
第三章 林火预测预报	(93)
第一节 林火预测预报的概念和发展史	(93)
第二节 林火预报的类型及研究方法	(94)
第三节 林火预报因子	(96)
第四节 我国林火预报方法简介	(102)
第五节 国外林火预报系统	(112)
第四章 林火监测与通讯	(127)
第一节 地面巡护	(127)
第二节 了望台探测	(129)
第三节 空中巡护与探测	(137)
第四节 卫星探火	(150)
第五节 雷击火探测	(154)
第六节 森林防火通讯	(158)
第五章 综合森林防火	(170)
第一节 综合森林防火的基础和对策	(170)
第二节 营林防火	(172)
第三节 生物与生物工程防火	(173)
第四节 群众防火	(177)
第五节 以火防火	(180)
第六节 森林防火工程	(185)
第七节 综合森林防火规划	(190)
第六章 林火扑救	(198)
第一节 森林火灾扑救原理与程序	(198)

第二节	林火扑救方法与扑火工具	(200)
第三节	森林化学灭火	(215)
第四节	航空灭火	(224)
第七章	扑火指挥	(231)
第一节	火场信息的收集与应用	(231)
第二节	扑火计划制定与战术应用	(233)
第三节	电子计算机在扑火指挥中的应用	(235)
第八章	森林防火评估	(238)
第一节	森林火灾记录与档案的建立	(238)
第二节	森林火灾直接损失的测算与评估	(239)
第三节	森林火灾间接损失的评估	(249)
第四节	森林防火评估的方法	(251)
参考文献	(256)

绪 论

森林是陆地生态系统中最大的系统，又是大量贮存太阳能的地方。森林能净化空气、防止风沙、保持水土、涵养水源，是地球生态平衡的保护者。当今，人类生存环境遭受严重污染，使人类健康与生存受到威胁，因此，保护好现有的森林显得尤为重要。危害森林有许多因素，其中森林火灾为诸灾害因素之首，俗语说：“一点星星火，可毁万顷林。”因此，开展森林防火，是林业工作者、生态工作者和环境保护工作者、乃至全人类刻不容缓的任务。

一、森林防火的由来和发展

地球上早在森林生态系统尚未形成以前，就存在大量自然火源，如火山爆发、陨石撞击和雷电等。自从自然界有了森林之后，自然火就参与了森林生态系统的演变，并且成为森林生态系统中的一个活跃生态因素，直到距今 300 万年以前，地球上出现了人类，火又参与了人类的文明和进步。人类从自然界获取火种，使人类能够尽快在温带、寒带得以生存繁衍，并不断借助火来改善人类生活，因此，火与人类的文明和进步密切相关。

当人类发明了钻木取火之后，森林中就开始出现了人为火源，人类开始粗放用火经营和开发森林。古代用火围猎、刀耕火种，种植农作物。这个时期持续时间很长，从奴隶社会一直延伸到封建社会。由于当时地球上人口数量不多，森林覆盖面积大，粗放用火有利于改善人类生活和文明进步。

随着资本主义兴起，工业不断发展，移民开垦荒地、开采矿山、砍伐森林相继而来。每年在地球上大约有千万公顷森林消失。在这个时期，森林特大火灾连年不断，严重威胁林区人民生命财产的安全。1871 年，美国威斯康星大火烧死 1 500 人，烧毁几十万 ha 森林；1836 年，澳大利亚一场大火烧毁 500 家锯木场和许多森林；1915 年沙皇俄国在西伯利亚古通地区发生特大火灾，烧掉森林 1 500 万 ha。由于森林火灾对人类的威胁十分严重，许多林区纷纷开展森林防火工作，并把它列为重要的森林经营措施。所以，森林防火是建立在森林火灾有害的观点上，应千方百计控制火灾。在 18—20 世纪初，欧美和亚洲一些国家先后进入了森林防火时期。

20 世纪中叶，人们对林火有了进一步的认识。认为森林中有两类不同性质的火：一类是森林火灾，它失去人类控制，在森林中自由蔓延、自由扩展，给森林生长发育带来不良影响，给人民经济带来损失；另一类是营林用火（计划用火），是一种在人为控制下的燃烧，即有目的、有计划地用火，并能达到预期经营目的和效果。因此，林火应包括有害的森林火灾和有益的营林用火。我们应充分利用火的两重性，对林火进行管理。1950 年以后，人们一方面重视预防和消灭有害的森林火灾，另一方面开始开展有益的计划火烧和营林用火，从森林防火阶段逐步进入了林火管理新阶段。

随着社会的发展,科学技术的进步,气象科学、电子计算机和遥感技术的蓬勃发展,为森林防火提供了先进的手段和技术条件,如计算机林火管理、遥感、遥测探火、光纤通讯卫星监测火、红外探火等。20世纪70年代以后,世界森林防火已进入了现代化林火管理阶段。人类对林火的认识经历了粗放用火、森林防火、林火管理、现代林火管理几个不同的发展阶段,而且这种发展过程仍在逐渐加快。因此,应认清形势,迎头赶上,使我国森林早日实现现代化。

二、世界林火特点与森林防火模式

从世界范围讲,森林火灾是相当严重的,平均每年发生林火20多万次,平均每年森林过火面积在几百万公顷至千万公顷,平均每年火烧森林覆被率在1%以上。森林火灾发生是当今世界森林资源显著下降的重要原因之一。

当今世界林火特点主要表现在以下几个方面:

1. 世界森林火灾危害严重。特别是森林资源比较丰富的发达国家:如前苏联,美国和加拿大等国家,森林资源丰富,森林覆被率均占国土面积的1/3以上,这些国家工业相当发达,但森林火灾仍很严重,平均每年过火森林面积在百万公顷左右。

2. 世界森林火灾分布不均匀。森林火灾最多国家是澳大利亚,平均每年过火森林面积占森林覆被率的1.4%;最少的是北欧的瑞典,森林过火面积占总森林覆被率不到万分之一,这就具体地反映出,不同国家、不同地区天气条件和森林植被等不同,森林火灾特点不同。

3. 许多国家对小火基本能够控制,对大面积森林火灾尚无良好的控制方法。约占火灾总次数95%的小火,森林火灾面积仅为5%;相反,占火灾总数5%的大火占森林火灾面积的95%。美国在70年代有89%的森林火灾3h以内扑灭,小火基本能控制住,但大面积森林火灾尚不能完全控制。

4. 森林火灾总的趋势下降,但基数仍然很大。以美国为例,在30年代平均每年森林火灾面积高达千万公顷以上;40年代为400万—500万ha,50年代为360万ha,60年代为180万ha;70年代为100万ha。美国政府认为,森林防火工作在他们国家林业工作中是有成效的。然而,美国每年森林火灾面积仍然维持在100万ha左右,70年代防火经费每年3亿美元左右,80年代每年为5亿美元。

5. 森林火灾次数和面积的增多或减少,不论是发达国家还是发展中国家,都是随气候变化而变化。一般来说,湿润年份森林火灾次数少、过火面积小,干旱年份火灾次数多,面积大。从某种程度上讲,森林火灾或多或少还取决于自然条件的变化,人类尚不能完全加以控制。

目前,世界范围内的森林火灾仍然相当严重,这是各国林业工作中的一个突出问题。防止森林火灾,仍然是各国林业的重要任务,尤其是控制大面积的森林火灾,是具有大面积森林的发达国家急需研究和尚待解决的重大课题。

目前,地球上生态环境正在进一步恶化,温室效应增强,地球温度不断升高,干旱日趋严重。这种变化的生态环境有利于森林大火的发生。为了维护森林生态平衡,就要进一步保护好现有森林,加速绿化进程。因此,现代化林业管理、就成为各国林业事业的重要工作。

世界各国都在针对自己国家的森林和经济特点,拟定森林防火措施。主要有以下三种模式:

(1) 北美森林防火模式,主要指加拿大和美国。这两个国家森林分布面广,森林资源丰富,均占国土面积 1/3 以上,多为常绿针叶林,尤其是加拿大针叶林(北方)更多,森林火灾次数多、面积大。这些国家人口较少,但工业十分发达,他们每年用于森林防火的经费比较多,在森林防火方面已形成全国林火预测预报网、航空巡护网、地面探火和交通网,能及时发现火情,有较强的监测报警系统和能力。他们还有两支快速扑火队伍。在山地或人烟稀少、交通不便的原始林区,主要以航空灭火为主。在南部交通方便的人烟较稠密区,以地面机械化灭火为主。

(2) 北欧森林防火模式,北欧虽然都是中小国家,但森林资源丰富,其中瑞典尤为典型。瑞典是世界上森林防火搞得最好的国家。森林以人工针叶林为主,森林经营集约度高,林区交通网密度大,有利于阻隔林火蔓延。在每年的采伐量中,抚育间伐木材约占总采伐量的一半,林地采伐剩余物和易燃物明显降低。一旦发生火灾,其强度低,容易扑灭,有利于森林防火。北欧森林防火的特点是加强森林经营和地面交通网,增强地面防火措施,使森林火灾明显下降,成为世界森林火灾损失最小的国家。

(3) 澳大利亚森林防火模式,澳大利亚处在南半球的亚热带和温带地区,森林为各种桉树所组成。由于防火季节气温高,加上各类桉树含有大量的挥发油类,树叶极易燃烧,因此往往发生高能量的大火,森林火灾损失极为严重。由于火灾危险季节大风天气多,气温高,桉树林极易燃烧。一般性洒水、喷洒化学灭火剂均为杯水车薪,无济于事。因此澳大利亚成为世界重点火险区之一,每年被烧森林面积为世界之冠。澳大利亚森林防火工作者经过长期研究,提出计划火烧。在防火安全期,以低能量人为火烧取缔高能量的大面积森林火灾。后来,又研究出空中点火技术和棋盘式点火方法,使计划火烧技术效果得到进一步发展,为澳大利亚森林防火闯出一条新路。

三、我国林火特点与森林防火的发展

我国是一个少林国家,森林覆被率为 12.9%,但是,森林火灾危害较为严重。我国每年发生森林火灾达几千至几万次,平均为 15 000 次左右,每年林地过火面积为几十万公顷至几百万公顷,平均在百万公顷左右;每年火灾烧掉森林覆被率的 8%左右,处于世界前列。我国森林火灾主要有以下几个特点:

1. 森林火灾损失严重。我国林区地面过火面积大,经常发生大的或特大的森林火灾,平均每次林火面积在几十公顷至几百公顷。1987年春,大兴安岭北部林区一次特大森林火灾过火林地面积高达 133 万 ha,烧毁 3 个林业局址和 9 个林场,造成 5 万多人无家可归,损失惨重,震惊中外。

2. 我国大面积森林火灾多发生在偏远的山区和林区。森林火灾发生次数最多的省份为云南省,有时竟超过我国森林火灾总次数的 50%以上。但过火面积最大的林区是大兴安岭林区,其过火面积有时超过我国过火总面积的 50%以上。森林火灾比较严重的省份是黑龙江、云南、广西、福建、广东、四川、贵州等。

3. 我国森林火灾波动性大。50 年代森林火灾次数多、面积大;60 年代森林火灾次数和面积相应下降;70 年代森林火灾次数、面积又明显上升;80 年代又相应下降。其

中 2—3 年有小的周期。这种周期性变化，主要是随着气候干旱与湿润的周期而变化，其次与我国的政策变动有关。

4. 我国东北地区大的森林火灾与新地岛冷空气南下有关。春季贝加尔湖气旋东移，多刮大风，天气干旱，易发生大火。冬季北方寒潮南下，经常促使南方森林发生大面积森林火灾。

我国森林防火事业起步较晚，1949 年之后，才受重视。其发展过程大致可以划分以下几个时期：

(1) 中华人民共和国成立以前，由于外敌入侵，军阀混战，林业工作自然受不到重视。各地没有森林防火机构，没有森林火灾统计记录。发生森林火灾也很少组织扑救，常常是任其自生自灭。在高等院校没有设森林防火课程。所以这一时期为森林防火不受重视时期。

(2) 1949 年以后，党和政府十分重视林业和森林防火工作。林区普遍建立了护林防火机构，充分发动群众、组织群众搞好护林防火工作。建立了森林火灾统计和记录制度，并制定了森林防火方针。50 年代森林防火方针是：“防胜于救”。1964 年改为：“预防为主、积极消灭。”在大面积林区采取一定的防火措施，如建立了望台，采取航空护林，进行局部地区的火险天气预报等。在林业高等院校，森林防火被列为森林经营学的一个组成部分。1950—1978 年这个阶段，基本是以发动群众、动员群众和组织群众搞好护林防火工作。

(3) 从 1978 年以后，森林防火工作由群众防火、经验防火转向科学防火。1978 年夏季，在伊春五营第一次举办了北方省区森林防火培训班；1980 年在四川省举办了南方 1 个省区森林防火训练班。随后，全国各省森林防火训练班如雨后春笋，各省都在大力培训森林防火干部，提高他们的防火素质。高等林业院校也开办了森林防火大专班，并开始培养林火管理和火生态硕士研究生，各地也大力开展森林防火科学研究。在重点林区还开展森林防火的网络化建设，成立了专业扑火队伍，配备各种灭火工具，建立健全森林防火机构，逐步开展森林防火规划，使我国森林防火事业逐步进入科学化、现代化的时期。

为推进我国森林防火科学化、现代化，应按照我国国情走自己的道路。发展我国森林防火事业，应充分考虑以下几个方面因素：

①人口 我国人口众多，现已有 11 亿多，给森林防火工作带来一定困难。但如何调动人的积极性，化不利因素为有利因素，使广大群众成为保护森林的卫士，则成为森林防火工作者的一项重要任务。

②森林及林区特点 我国森林少，多为易燃的常绿针叶林，森林火灾多集中在偏远林区。目前林区道路密度小，交通困难，防火设施落后，扑火困难。因此，如何保护好现有林，促进林业的发展，提高森林覆被率是急需解决的大问题。

③森林火灾特点 我国森林火灾主要集中在少数地区，并且容易发生大面积森林火灾。因此，只要抓好重点林区的森林防火，减少大面积森林火灾，就能使我国森林火灾损失明显下降。

④森林防火技术水平 迅速提高我国森林防火技术水平，大力开展森林防火科学研究，吸引各行各业都来关心和参与森林防火。

⑤森林防火管理水平 为了加速提高我国森林防火的管理水平，需要不断培养和训练森林防火专业人才，制定各种规章制度，加强林火管理。

森林防火工作也需不断改革、调整和开放。加强防火经济核算，提高防火专业化水平。同时，应明确防火奋斗目标，加强规划，尤其是重点火险区的防火规划。针对我国不同地区、不同森林，开展综合性森林防火，即开展营林防火、生物与生物工程防火、群众防火、以火防火和防火工程。搞综合森林防火需要加强横向联系，如森林保护、林业、农业和环境保护等，应组织各行各业参与森林防火的科学研究，培训专业人才，提高森林防火人员的素质，促进我国森林防火事业的发展。

四、森林防火主要内容及与其它学科的关系

林火包括两种不同性质的火：一是森林火灾，二是营林用火或计划用火（又称为规定火烧）。森林火灾是一种失去人为控制的森林燃烧现象，火在森林中自由扩展、蔓延，并给森林生长发育带来不利影响，给人类经济带来一定损失；营林用火是在人为的控制下，有目的、有计划、有步骤并为达到一定森林经营目的的用火；它是为人类经济服务的，给人类带来有益的影响。林火是上述两类火的统称。

森林火灾的划分标准各国有所不同，我国森林防火条例规定：凡是烧林不足 1 ha 为火警；1—100 ha 为森林火灾；101—1 000 ha 为重大火灾；1 000 ha 以上为特大森林火灾；发生在只有零星树的荒山、荒草坡的火为荒火。

森林防火属于森林保护范畴。森林防火、森林病虫害防治和防止滥砍滥伐均被视为保护现有林的主要措施。森林防火措施与营林措施密切相关，如营林防火、生物防火、以火防火和一些防火工程都与森林经营密切相关。森林防火规划设计是林业规划的重要组成部分。因此，森林防火是森林经营的重要措施之一。森林防火科学属于林业专业课程。但是，森林防火也有其理论，如林火原理主要阐明森林燃烧原理，林火发生发展规律，以及林火行为特征。林火生态也是森林防火的理论基础。森林防火的实践包括防火、灭火重要措施，即指林火预测预报、林火监测与通讯、综合森林防火、林火扑救与指挥以及林火损失的评估等。

森林防火是一门边缘学科，其发展与许多学科密切相关，如植物学、动物学、土壤学、气象学、生态学、数学、物理、化学等均属于森林防火的基础学科。工程与系统工程是搞好森林防火的指导思想；计算机、遥感、红外、卫星、生物工程等新技术都是发展和提高森林防火的有效技术。随着这些学科和技术的不断发展，森林防火也会向着现代化林火管理方向迅速前进。

第一章 林 火 原 理

林火原理是阐明森林燃烧机制、林火特性和林火行为以及影响林火诸因子之间的相互关系；阐明林火发生发展规律。因此，林火原理是森林防火、扑火、用火和森林防火评估的重要理论基础。

第一节 森林燃烧与森林燃烧环

本节主要介绍森林燃烧机制、阐明燃烧、森林燃烧、森林燃烧环等问题。

一、燃 烧

燃烧是可燃物与氧快速结合的放热发光的化学反应。

燃烧必须具备三个条件：可燃物、氧和一定的温度。三者构成一个燃烧三角形，缺少任何一个条件或者破坏它们之间联系，燃烧就会终止。

森林可燃物：森林中所有有机物都是可燃物。如树叶、树枝、球果、树皮、树根、下木、草本植物、苔藓、地衣、森林凋落物、腐殖质、泥炭等。这些固体可燃物主要是由纤维素、半纤维素、木质素构成。此外尚含有少量抽提物和灰分等物质。固体可燃物与气体或液体可燃物的燃烧不同，前者首先必须经历热分解反应，将其分解成可挥发性气体和蒸气，与氧相遇发生剧烈的氧化反应，呈有焰燃烧。热分解后的残留物焦炭只能发生缓慢的氧化反应，呈无焰燃烧。

各种不同的森林可燃物元素组成大致相同，包括碳50%、氢6%、氧44%和少量的氮。可用化学式 $C_6H_9O_4$ 表示。

氧：燃烧是可燃物与氧的反应，燃烧时不能缺少氧气。一般空气中含有21%的氧。若使空气中氧含量降低到14%—18%（体积），燃烧就会停止。1 kg 木材完全燃烧需纯氧0.97—1.65m³，需空气4.6—7.9m³。当氧供应充分时，燃烧的火焰明亮；当氧供应不充分时，燃烧的火焰呈暗红色并带有大量黑烟。

温度：燃烧除了需要可燃物和氧以外，还需要有一定的温度，因为化学反应需要在一定温度下才能进行。

外界火源可加热可燃物。当可燃物被加热至发生剧烈分解反应时，产生大量可燃性气体和蒸气，在空气存在下，与明火相遇时发生一闪即灭的火苗（闪光），这种现象称为闪燃。引起闪燃的最低温度称为闪点。木材的闪点在260℃左右。当火源移除后仍能维持燃烧，这种现象称为着火。可燃物维持所需的最低温度称为燃点或着火点。通常木材的燃点在250—300℃左右。当森林可燃物在外部热源作用下升高温度，非明火点燃而自发产生着火燃烧，这种现象称为自燃现象，此时的温度称为自燃点。在森林可燃物内部，由于生化过程会产生热量，这类热量累积到一定程度，可引起可燃物温度上升，到

达自燃点而燃烧，这种燃烧也属于一种自然现象。一般自燃点较燃点约高100—200℃。

燃烧三阶段：从燃烧过程的性质大致可以划分为三个不同阶段。

第一个阶段为预热阶段。在这一阶段内，可燃物由于受到外界热源作用开始增温，不断地逸出水汽，直至可燃物发生剧烈热分解反应为止。这一过程为物理过程（分子扩散作用）所控制。

第二个阶段为热分解阶段。热分解使大分子变成小分子，需要消耗能量，所以是吸热反应。在这一过程中可燃物迅速地分解成可燃性气体（如CO、H₂、CH₄等）和焦油液滴，形成可燃性挥发物。该过程的机制为链式热降解反应。

第三个阶段为有焰燃烧和无焰燃烧阶段。热分解反应逸出的可燃性挥发物，与空气接触形成可燃性混合物。当挥发物的浓度达到燃烧极限时，在固体可燃物的上方可形成明亮的火焰，放出大量热量。与此同时，在固体木炭表面上发生缓慢的氧化反应，呈辉光燃烧，缓慢地放出不多的热量，直至仅留下少量灰分为止。在这一过程中，空气供给充分与否，将严重地影响氧化反应。该过程的机制为链式的氧化反应。

二、燃烧的物理过程和化学过程

燃烧是物理过程和化学过程相互作用的结果，其间有传热、传质、流动和化学变化，以及它们间的相互作用、相互制约。

可燃物在外界火源作用下增温和可燃物体内水分蒸发过程，都是物理过程。可燃物剧烈氧化后的传热、传质和流动等现象也都是物理过程。因此，燃烧是一种复杂的物理和化学过程。

1. 热量传播

在不同物体或同一物体的不同部分之间发生热量传播，是因为它们之间存在着温度差。温度差是产生热量流动的推动力。

热量传播的三种方式：

第一种方式是热传导。热传导是可燃物内部的传热方式，即内部彼此接触的微粒间能量的交换。其机制是不同温度的同一物体的各部分之间分子热运动动能交换，即动能较大（温度较高）的分子把热运动动能传递给邻近热运动动能较小（温度较低）的分子。从宏观上看，热量从高温部分流向低温部分，使低温部分增温。在相同条件下（加热相同，范围相同）温度上升的速度取决于物体的导热系数，导热系数越大，则加热越快。但森林可燃物（如木材）是热的不良导体，导热系数小，传热缓慢。林地内的地上可燃物之间排列疏松，空隙很大，所以燃烧时，热传导不是主要的传热方式。但是大的枝条、站杆、地下可燃物（如腐殖质层、泥炭层）排列紧密，热传导成为主要传热方式。

第二种方式是热辐射。依靠电磁波的形式向外传递热量，这种热量传递的方式称为热辐射。

任何物质（气体、液体或固体）都能以电磁波的形式向外辐射热量，同时也可以吸收从别的物体辐射出来的热量。处于一定相对位置的两个物体，由于具有不同的表面温度，热辐射使它们之间发生热量传递。物体辐射的热量与其表面温度的4次方成正比，而与距离的平方成反比，即离火源中心10m处的可燃物所获得的热量只是距离火源中

心 1 m 处的可燃物所获热得量的 1/100。

物体吸收辐射热能力与物体性质和表面状态密切相关。物体颜色深，表面粗糙，吸收的热量多；表面光滑，颜色浅，反射的热量多，吸收的热量少。透明物体只能吸收一小部分热量，其余的热量全部透射过透明体。森林可燃物的表面，其颜色深，粗糙，具有吸收辐射热量的条件。因此，处于火焰推进前方的可燃物，在热辐射作用下，迅速地被预热，脱水而点燃。

第三种方式是热对流。在流体内，热量从一处传播到另一处，伴随着发生流体的移动或混合的热传递现象称为热对流。

在森林燃烧过程中，燃烧反应放出的热量加热了局部空气，热空气比冷空气轻，在浮力的作用下热空气垂直地向上运动，造成四周的冷空气不断地向内补充，形成热对流。这是一种自然对流。此时在可燃物上方形成一个明显的对流烟云，它携带了燃烧反应产生的大部分热量。这种热对流在针叶林和异龄针叶林中易引起树冠火。

有时在近地面风的作用下发生水平方向的热对流。这是一种强制对流。它使火焰前方的可燃物迅速地干燥而增温，造成了易燃烧的条件。

总之，热辐射、热对流是作用于可燃物的表面；而热量由可燃物表面传递到内部唯一的途径是热传导。

可燃物上方的发光发热所占据的空间范围称为火焰，俗称火苗。这是有焰燃烧的基本特征。

森林可燃物燃烧时的火焰结构与蜡烛火焰结构类似，也由焰心（最内层亮度较暗部分，由于氧浓度低，燃烧不完全，温度较低）、内焰（包围焰心亮度较明亮的部分，氧供应不足，燃烧也不完全，但温度较焰心处高）和外焰（最外层部分，氧供应充足，燃烧完全，温度最高）三部分构成。火焰的形状主要取决于内焰和外焰，因可燃物表面形和排列方式不同而有差异，并受地面风的影响。

火焰高度（火焰顶端至可燃物表面间垂直距离）是火焰的一个重要特征。火焰的高度随着可燃物表面积增大而提高，更重要的是随着固体可燃物的热分解反应速度的加快而剧增。

如果燃烧时氧的供应不充分或者局部缺氧，就会形成游离的炭微粒。当可燃物热分解速度大于供氧速度时，也会存在大量游离的炭微粒。由于炭微粒的存在使火焰呈暗红色，火焰的温度约为 700℃ 左右。当完全燃烧成二氧化碳和水时，火焰呈橙黄色，火焰的温度约为 1 100℃ 左右。

2. 燃烧的化学过程

森林可燃物的燃烧过程是涉及其主要组分的纤维素、半纤维素和木素的热分解反应，以及由它产生的挥发性物质的燃烧过程。其次要组分的抽提物可直接从可燃物内部蒸发出来，形成挥发物，参与有焰燃烧过程。所以，燃烧的化学过程，涉及到可燃物组成的热分解反应、燃烧过程的机制——链式反应，以及燃烧反应中放出的燃烧热。

森林可燃物中含量最大的为纤维素。木材的纤维素含量为 40%—55%，草类为 40%—50%。纤维素的分子式为 $(C_6H_{10}O_5)_x$ ，其中 x 为聚合度，一般 x 在 1.5 万—2.0 万之间。经研究得知，纤维素是葡萄糖基（葡萄糖失去一份水留下的部分）经 β -1, 4-糖苷键结合成的线型分子。当纤维素分子受热时，不仅葡萄糖基可以进行脱水反应，吡喃环

和 β -1, 4-糖苷键也可发生开裂反应。

纤维素在 162°C 下开始有明显的热分解反应, 当温度达到 275°C 时, 呈现出放热的热分解反应, 放出挥发性馏分〔可燃性气体 (CO 、 CH_4 、 H_2 等)、水分和焦油液滴〕, 热分解后残留物则在高温下发生脱氢碳化反应, 同时发生石墨化反应形成焦炭。

半纤维素是森林可燃物中第二个重要成分。针叶材的半纤维素含量为 $10\% - 15\%$, 阔叶材为 $18\% - 23\%$, 禾本科草类为 $20\% - 25\%$ 。半纤维素的化学组成不固定, 随不同来源而异, 但大致由多缩戊糖 (D-木糖、D-阿拉伯糖等)、多缩己糖 (D-葡萄糖、D-甘露糖、D-半乳糖等) 以及戊糖和己糖的杂缩糖构成。由于半纤维素组成复杂, 又带有许多短的支链, 所以它是可燃物中热稳定性最差的一种组分。

半纤维素在 120°C 左右开始热分解反应, 150°C 左右发生剧烈的热分解反应, 在 220°C 左右发生放热的分解反应。半纤维素的热分解产物与纤维素相似。

木质素 (简称木素) 是森林可燃物中第三个重要成分。针叶材的木素含量为 $25\% - 35\%$, 阔叶材为 $18\% - 22\%$, 禾本科草类为 $16\% - 25\%$ 。木素是一类复杂的交联芳香族化合物, 其结构单元为苯丙烷基, 苯环上带有 1—2 个甲氧基, 通过醚键和碳—碳键连接成三维的高分子物, 分子量可达几万或几十万。从木素的结构可知它的热稳定性较好, 受热后醚键和碳—碳键将发生开裂。

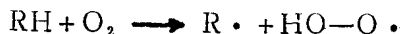
木素在 135°C 左右开始热分解反应, 但分解十分缓慢, 在 250°C 下才开始明显的分解反应, 直至 $310 - 420^{\circ}\text{C}$ 温度时, 反应剧烈并产生大量气体与蒸气 (CO 、 CO_2 、 CH_3COOH 、 CH_3OH 、木焦油等)。生成的残留物焦炭量较纤维素和半纤维素多, 纤维素和半纤维素是在有焰燃烧中消耗的, 而木素则是在无焰燃烧中消耗的。

森林可燃物的燃烧反应属于分枝的链式反应范畴。瞬间进行的循环连续反应称为链式反应, 或称连锁反应。这类反应是通过中间活性物质起作用。反应经链的引发、增长、枝化、终止等基元反应步骤。链式反应按中间活性物质的性质可分为游离基型链式反应和离子型链式反应两类。在燃烧反应中以游离基链式反应为主。自 70 年代发现在火焰区域内存在着正离子和负离子 (电子) 后, 从而对游离基链式燃烧反应作了一些补充。由于燃烧反应的复杂性, 目前仅对一些简单物质 (如 H_2 、 CO 、 CH_4 等) 燃烧反应研究得较清楚, 而对森林可燃物的燃烧还不清楚。下面仅作简单介绍。

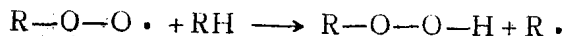
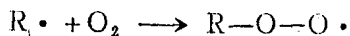
游离基或称自由基, 是一类电中性、带有单电子的原子 ($\text{H}\cdot$ 、 $\text{Cl}\cdot$ 等)、基团 ($\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{CH}$ 等) 或分子碎片 ($\cdot\text{CH}_3$ 、 $\cdot\text{C}_2\text{H}_5$ 等)。由于它们带有未成对电子, 倾向与其它物质结合而成键。所以, 这类反应进行得异常迅速, 甚至会引起爆炸。

下面以烃类 (RH) 燃烧反应为例, 说明其具体过程。

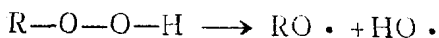
链的引发: 烃分子在高温和氧的存在下, 发生下列反应形成游离基, 引起了链反应:

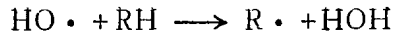


链的增长: 新生成的游离基继续与氧和烃类作用, 使链发生增长:

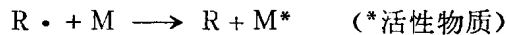


链的分枝: 形成的烃过氧化氢物在高温下分解, 引起链的分枝。





链的终止：当活性物互相结合，或者活性物质与器壁（M）相碰后把活性转移给后者，发生了链的终止。如：

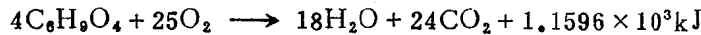


链的增长主要依靠 $\text{R}\cdot$ 、 $\text{R}-\text{O}-\text{O}\cdot$ 、 $\text{RO}\cdot$ 、 $\text{HO}\cdot$ 等游离基，而 $\text{H}-\text{O}-\text{O}$ 是不活泼的游离基，不能发生链的增长。当活性物质生成速度大于活性物质消失速度时，活性物质累积就引起爆炸反应。

3. 燃烧热

通过燃烧反应将森林可燃物内部贮存的化学能转变为热能和光能，燃烧反应中放出的热量即为燃烧热。

木材可近似地用 $\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_4$ 来表示，其燃烧方程式如下：



即 $4 \times 145 \times 454\text{g}$ 木材完全燃烧时放出 2.899^3MJ 的热量。

严格燃烧热定义为 1 mol 的可燃物，在 25°C ， 1 个大气压下完全燃烧时放出的热量，称为该可燃物的燃烧热 (kJ/mol)。

对于木材，由于不知道它的精确分子，常用它的基 ($\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_4$) 的量 (即 145g) 作计量单位。故上述木材燃烧反应的燃烧热为 19.99 kJ/mol 。

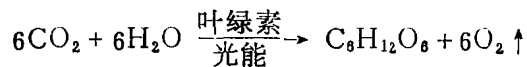
工程上常用热值 (发热量) 这一名词来代替燃烧热。其定义：单位 (质量或体积) 可燃物在 25°C 1 个大气压下完全燃烧时放出的热量，称为该可燃物的热值。其单位为 kJ/kg 。

上面定义的热值为高热值，它包括了燃烧反应产生热量加上燃烧产物水蒸气的冷凝热。若仅包含燃烧反应放出热量则为低热值。热值可以从实验中加以测定。

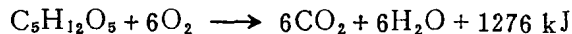
三、森林燃烧的特点

森林燃烧是一种自然现象，它不仅具有一般燃烧的共性，而且还有它自身的特殊性。森林燃烧有以下几个方面的特点。

1. 森林是陆地上最大的生态系统，它通过叶绿素吸收 CO_2 和 H_2O ，经过光合作用，将太阳能转变为化学能，将它贮存在植物体内：



然而燃烧反应则是这个反应的逆反应，森林可燃物经燃烧后分解成 CO_2 和 H_2O ：



上述两个方程式其反应速度是截然不同的，光合作用进行得十分缓慢，而燃烧反应则非常迅速，并放出大量能量。

2. 森林燃烧是在森林开放系统中进行，并在森林中自由蔓延、自由扩展。森林燃烧还受着可燃物类型与火环境的制约和控制。因此，森林火灾的发生发展，在很大程度上受到自然环境的控制。

3. 火作为一个重要生态因子，它具有两重性：一方面火能烧毁森林，使森林遭受