

火灾学简明教程

范维澄 王清安 姜冯辉 周建军



中国科学技术大学出版社



数据加载失败，请稍后重试！



公安大学 SZ133408

D 035.361/40

火灾学简明教程

范维澄 王清安 编著
姜冯辉 周建军

GA21/27

中国科学技术大学出版社

1995·合肥

内 容 提 要

本书作者通过综合分析国内外最新研究的报告,并结合自己的科研和教学实践,归纳提出了火灾学的学术思想、基本概念和理论体系。全书选材相对完整,叙述简洁明了、深入浅出,并备有习题。在阅读过程中读者不需过多参阅文献就能很快了解本学科的全貌。本书不仅适合作火灾学及相关专业的高年级本科生、硕士和博士研究生的教材,也是有关的科研和教学人员必备的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火灾学简明教程/范维澄等编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,

1995年10月

ISBN 7-312-00683-3

I 火灾学简明教程

I 范维澄等编著

II ①火灾 ②危害 ③防治

N TU

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路96号,邮编:230026)

安徽省金寨县印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:850×1168/32 印张:17.75 字数:460千

1995年10月第1版 1995年10月第1次印刷

印数:1—2500册

ISBN 7-312-00683-3/TU·3 定价:16.00元

前 言

本书系国家教委工程热物理专业的推荐教材,主要教学对象是相关专业的高年级本科生、硕士和博士研究生。

火灾通常包括森林、建筑、油类、装璜设施等火灾及可燃气和粉尘爆炸。火灾遍及城市、乡村和森林、草原。

火灾的直接损失和防治费用在我国和世界均呈上升趋势。面对火灾的挑战,为抑制火灾,是单纯依靠增强监测和扑救的人力和装备呢,还是应在同时研究火灾的规律。正确的回答是:迫切需要研究火灾规律,以便把火灾防治建立在火灾过程科学认识的基础上。

火灾学是研究火灾发生、发展和防治的机理和规律的新兴学科。它是在工程科学、基础自然科学和灾害学的结合点上生长起来的交叉研究领域。是谋求火灾防治的有效性、合理性和经济性相统一的科学基础。火灾学既不同于以统计分析灾害数据为主要手段的传统灾害学,又不同于以模拟研究为主要手段的工程科学。火灾的规律兼有确定性和随机性,研究火灾学的主要手段是针对其确定性的模拟研究和针对其随机性的统计分析以及两者的综合。

火灾认识的科学化和火灾防治的工程化是当今火灾研究和防治进程中的深刻变革。科学研究和人才培养是推动科学进步、促进研究向应用转化从而实现这种变革的关键。八十年代后期以来,“火灾科学”在世界上迅速崛起,一批发达国家在大学中设置了火灾安全工程系和专业,培养该领域学士、硕士和博士层次的专门人才。我国“火灾科学”的研究也迅速展开并开始了相应的人才培养。为此,在高等学校工程热物理、安全工程、环境工程、消防工程及其相关专业普遍开设火灾学课程是必要和适时的。近年来,我和我的

同事王清安、张人杰、霍然、姜冯辉等人一起,合作或分别撰写了专著“火灾科学导论”和“火灾及其防治”,编写了讲义“城市火灾”和“室内火灾”,并在中国科学技术大学本科和研究生教学以及多种讲习班上进行了讲授。这些工作为本书的编著提供了准备。

在建设火灾科学国家重点实验室和热安全技术研究中心,完成科研项目和广泛进行国内外学术交流的过程中,我们综合分析国内外最新的研究报告,结合自己的科研和教学实践,归纳提出了火灾学的学术思想、基本概念和理论体系,形成了本书的基本内容和特色。

本书选材相对完整,读者不必过多参阅文献就能基本了解本学科的全貌;备有习题,供读者练习;叙述力求深入浅出、简洁明了,使读者便于抓住重点,尽快进入学科前沿。

在火灾学的形成和发展过程中,得到了国家计委、中国科学院、国家教委、国家自然科学基金委员会、国家外国专家局以及劳动安全、公安消防、森林防火、建筑防火和油类防火等部门的重视和支持,得到了中国科学技术大学的全面和有力的支持,也得到了国际火灾研究组织包括亚洲火灾科学与技术学会的关心和帮助。中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室的同仁们、热科学和能源工程系的葛新石和王永堂教授对本书的编写予以鼓励和支持。科大出版社使本书在短时间内高质量地出版成为可能。对以上单位和个人,作者一并表示衷心感谢。在此,还要特别感谢国家教委工程热物理专业指导委员会对本书的推荐。

本书由范维澄任主编,拟定大纲,主持编写第6、8章并审定全部书稿;王清安编写第3、5章,姜冯辉第1、4章,周建军第7章;第2章由姜冯辉与周建军合作编写;姜羲与陈莉分别参加了第6、8章的编写。

范维澄

1995年5月

目 录

前 言	(I)
第一章 绪论	(1)
1.1 火灾及其危害	(1)
1.2 典型火灾案例及火灾损失	(3)
1.3 火灾防治	(8)
1.4 火灾科学	(12)
1.5 典型火灾过程	(18)
第二章 火灾学的流动与传热基础	(23)
2.1 流体流动的规律	(23)
2.2 火灾中的传热过程	(46)
习题	(104)
第三章 火灾的发生与蔓延	(109)
3.1 引言	(109)
3.2 火灾的发生(起火)	(109)
3.3 火灾的蔓延	(157)
习题	(242)
第四章 火灾烟气	(243)
4.1 烟气的产生	(243)
4.2 烟气的特征与危害	(262)
4.3 烟气流动与蔓延	(283)
4.4 建筑火灾中的烟气控制	(299)
习题	(328)
第五章 火灾统计与危险性分析	(330)
5.1 引言	(330)

5.2	火灾统计	(331)
5.3	火灾危险性分析	(360)
习题		(386)
第六章 火灾过程的计算机模拟		(387)
6.1	引言	(387)
6.2	专家系统——建筑水火灾的经验模拟	(389)
6.3	建筑火灾区域模拟的理论基础及应用	(395)
6.4	场模拟的理论基础及应用	(408)
6.5	建筑火灾的场区模拟和场区网模拟	(431)
6.6	评价和展望	(444)
习题		(446)
第七章 火灾学实验		(448)
7.1	火灾学实验	(448)
7.2	火灾的模拟实验装置简介	(457)
7.3	火灾实验中诸参量的测量	(474)
7.4	燃烧性能的标准测试仪器和设备	(502)
7.5	计算机技术在火灾实验中的应用	(508)
习题		(515)
第八章 火灾的双重性规律及其应用		(516)
8.1	引言	(516)
8.2	危险性分析	(520)
8.3	室内漏油火灾的双重性模型	(523)
8.4	卧室火灾危险性分析的双重性模型	(533)
8.5	卧室火灾的危险性分析	(539)
8.6	危险性评估与经济分析	(553)
习题		(561)

第一章 绪 论

1.1 火灾及其危害

火中包括流动、传热传质和化学反应及其相互作用的复杂燃烧过程。

火的使用是人类的伟大创举之一,它在人类文明和社会进步中起着无法估量的重要作用。然而,火若失去控制,便会危及生命财产和自然资源,酿成灾害。

火灾是火失去控制蔓延的一种灾害性燃烧现象,通常包括森林、建筑、油类等火灾以及可燃气和粉尘爆炸。一般而言,其发生的必要条件为:可燃物、空气和火源。

火灾是各种灾害中发生最频繁且极具毁灭性的灾害之一,其直接损失约为地震的五倍,仅次于干旱和洪涝,而其发生的频度则居各灾种之首。同时,它还具有“自然”和“人为”的双重性,雷击导致的林火、地震引起的城市大火等属自然灾害,而烟头引燃高层宾馆、人为纵火等则属人为灾害。

根据火灾类型不同,其特点也有所不同。例如:在高层建筑中,由于其具有楼层多、功能全、人员密集、装饰布置可燃材料品种多样、电气设备及配电线路密如蛛网、管道竖井纵横交错等特点,因此其火灾具有以下特点:

(1)火灾隐患多,危险性大,由烟头或线路事故引发的火灾事件屡见不鲜,甚至一个小小火星即可酿成一场巨大的灾难;

(2)由于风力作用,加之可燃物燃烧猛烈,火势发展极为迅速;

(3)由于竖井管道的“烟囱效应”,烟气运动快,甚至在一分钟

之内烟气即可传播到 200m 的高度。烟气是火势蔓延和人员伤亡的重要原因；

(4) 人员疏散、营救以及灭火难度大；

(5) 人员伤亡惨重。

对于森林而言，林火是经常发生的现象，微小的火并不会给森林造成明显的损害，有时甚至益于大弊，因此，所谓森林火灾确切地说主要是指森林大火所造成的灾害。其主要特点有：

(1) 延烧时间长，大多为几天、十几天、甚至几十天或更长；

(2) 火烧面积大，大多为数百、数千公顷，甚至数万、数十万公顷或更大；

(3) 火蔓延速度快。其方式主要有两种，有飞火或无飞火。无飞火时火蔓延速度一般不超过 10m/min ，有飞火时火蔓延速度可超过 10m/min ，甚至达到 100m/min 或更大；

(4) 火强度大，有明显的对流柱。火线强度一般超过 700kW/m 而达到 2.5MW/m 以上时，可能有飞火和火旋风出现，那就更容易跳越和飞跃各种障碍（防火线、道路、河流等）；

(5) 受可燃物种类、环境、地形、气象等条件影响大。在长期干旱的末期，森林含水量约在 15% 以下，有大风时发生的森林大火是一种十分复杂而又异常可怕的灾害现象；

(6) 对林木的危害严重，可使 70% 以上甚至 100% 的林木被烧死，同时对生态和环境也构成不同程度的破坏。

此外，因油类具有易燃、易爆、易挥发、易流动扩散、挥发分易受热膨胀、易产生静电等特点，且其生产设施价值高，所以油类火灾具有易发生、挥发份蔓延快、扑救困难、经济损失大等特点。

火灾对国民经济和生态环境的危害是严重的。其造成的损失大大超过其直接经济损失。直接、间接经济损失、人员伤亡损失，扑火消防费用、保险管理费用、以及投入的火灾防护工程费用统称为火灾代价。根据世界火灾统计中心以及欧洲共同体研究的结果，许多发达国家每年火灾直接损失占国民经济总产值 2% 左右，相当

于人均每年 20 英磅,而整个火灾代价约占国民经济总产值的 1% 左右(见表 1.1)。人员死亡率在十万分之二左右。

表 1.1 1979 年一些国家的火灾代价值
与国民经济总产值的比值(%)

国 家	直接损失	扑火消防	保险管理	防火工程
日 本	0.12	0.31	0.15	0.32
英 国	0.21	0.24	0.15	0.18
美 国	0.26	0.27	0.22	0.32
瑞 典	0.30	0.33	0.08	0.38
挪 威	0.37	0.21	0.14	0.65
芬 兰	0.25	0.20	0.07	—
澳大利亚	0.21	—	0.14	—

同时,火灾还对环境和生态系统造成不同程度的破坏。燃烧产生的大量烟雾和 CO_2 、 CO 、碳氢化合物、氮氧化物等有害气体不仅对环境产生不良影响,而且影响地面光照质量和数量,从而影响农作物的生长和收成;高强度火影响土壤结构,破坏营养元素循环,使土壤微生物减少;森林大火能够烧死大量植物,使植被难以恢复,系统失去自我调节能力,同时受伤林木生命力下降,病虫害易于发生,从而促进林木进一步死亡,加速生态系统崩溃。此外,海面上的油轮火灾,伴随原油泄漏,对海洋环境和生态也造成一定的恶劣影响。

此外,火灾还会给社会带来不安定因素。

1.2 典型火灾案例及火灾损失

火灾对生命财产、自然资源和生态环境的危害遍及城市、乡村和原野,其灾难性和毁灭性令人触目惊心。

在城镇中,由于高层建筑与各种新材料的大量出现和广泛使用、而火灾安全防护未及时跟上,致使火灾直接经济损失大大增加。据不完全统计,60 年代末至 80 年代初,世界上相继发生了比

利时布鲁塞尔依洛巴雄百货商场火灾、韩国汉城市大然阁饭店火灾、巴西圣保罗市安德劳斯大楼火灾、日本大阪市千日百货大楼火灾、巴西圣保罗市焦马大楼火灾、日本熊本市大洋百货商场火灾、韩国汉城市大旺角大楼饭店火灾、日本东京新日本饭店火灾以及我国哈尔滨市天鹅饭店火灾等多起重大高层建筑火灾,造成了惨重的人员伤亡和财产损失。

1973年2月2日,座落于南美巴西圣保罗市的焦马大楼发生了179人死亡、300多人受伤的重大火灾,该楼为一25层的综合性办公大楼。时值当地盛夏的早晨,楼内约有750余人正开始当天的工作,尚有200余人正陆续赶来。八点五十分,经理发现12层北侧房间有异常声响,随即查看,发现房间的空调设备已冒出火花,便立即赶去切断该楼楼层的配电电源,当其返回时,火已沿电线迅速蔓延,燃着了厚厚的装饰窗帘,顷刻间燃向纤维板天棚。经理随即取来灭火器,但室内灼热的烟气阻挡其无法进入,只能在门口喷射灭火。然而,面对熊熊的火势,小型灭火器却无济于事。其只得通过楼梯跑向上层,大声通知上层人员迅速撤离,然后又返身想下楼去通知消防队,可是此时该楼梯间已是浓烟滚滚,无法通过。在这段时间内,四台电梯上下往返多次将300多人安全疏散至楼下。当电梯经过12—13层时,人们已逐渐感到灼热的辐射和呼吸困难,最终电梯在12层处被火焰吞没而无法开动。稍后大楼南北两侧已是火焰飞腾,这时,余留在楼内的一部分人逃至外遮阳板窗上面疯狂呼救,另有一部分人逃至楼顶期待直升机营救,还有一些人留在楼内以消火栓与凶猛的火焰进行顽强搏斗,以期阻止火势、赢得时间。当直升机到达时,因火焰从楼两侧直冲天空而无法降落实施营救。九点四十分,12层以上的地板均已燃着,至十点三十分左右几乎燃烧殆尽。此后直升飞机和消防队将幸存于遮阳板上的41人、以及藏于屋面防热盖板下面的81人营救出来,而楼内无一人幸存。在死亡人数中,90人死于楼顶、49人死于室内、40人因跳楼身亡。

1985年4月18日晚九时四十分,我国哈尔滨市13层的天鹅饭店发生火灾,其起因是1116房间的旅客酒后卧床吸烟,睡去后烟头引起卧具阴燃,该旅客被烟气刺激惊醒后逃离。此时房门大开,室内烟气流通,供氧充足,卧具阴燃一段时间后遂转为明火燃烧,随后火在室内迅速蔓延、发展,导致轰燃。这时大楼内部分人员被火围困,致使9人跳楼丧生、1人由于烟气窒息而死,受灾面积505平方米。这是我国80年代中损失最为严重的一起高层宾馆火灾。

1970年8月26日地处美国纽约市肯尼迪国际机场的英国国际航空公司大楼的西候机厅发生火灾,火焰在110米长的候机厅内沿座椅迅速蔓延,由于不完全燃烧产生的热烟气在顶篷下云集,当火焰逐渐增大、火舌触及烟气层时,烟气层中的未燃混气随即发生爆炸,摧毁了候机厅巨大的装饰玻璃窗,新鲜空气大量涌入,并且顶篷装饰材料逐渐熔化,可燃液体滴落在地板上流动、燃烧,从而加速了火势的蔓延。所幸的是火灾发生在候机厅关闭之时,未有人人员伤亡,但仍造成了两百万美元的经济损失。

全世界平均每年发生森林火灾二十余万次,其中美国约占一半,我国约占8%。全世界现有森林面积约为28亿公顷,平均每年火烧面积为几百万至上千万公顷。我国森林覆盖率为12%,平均每年火烧森林约占8.5%。根据统计资料分析,全世界重大森林大火的次数和面积有逐年增长的趋势。1987年春季,在我国东北大兴安岭发生了举世瞩目的特大森林火灾。其发生的气候条件早在两年前就开始酝酿,自1985年起,大兴安岭北部连续少雨,降水量比历年平均值减少43%左右,且气候逐渐变暖,86年尤为显著,年平均气温比历年偏高0.7℃以上,使相对湿度明显偏小。尤其是按往年常规五月一日前后必降的一场大雪不见踪影,促使该地区成为干燥中心。同时,因长期采伐,造成地面干枯的枝丫越多,据测算,林下死植被物每立方米空间有机物储量达1—3公斤。这为火灾的发生提供了丰富的可燃物。5月6日十时,西林吉

河湾林场起火,十三时五十八分,阿木尔伊西林场起火,十五时二十分左右塔河的盘古林场起火,十六时西林吉古莲林场起火,这四起火都发生在四个林场的林区内,且都是采伐迹地,堆积的大量干枯枝丫易燃性较强。经过奋力扑救,于当日扑灭一起,余下三起也被控制。然而,5月7日下午三时开始,风力逐渐加大,至四时,风力已加大至五六级,致使原已被扑灭的火线死灰复燃,已被控制的火场迅速扩大。恰好有几处火点正好在河谷口,强西风把火头吹进河谷后,产生“烟囱效应”,风力迅速加大,出现了该地区从未有过的八九级大风,这样就完全具备了形成森林特大火灾的必要条件:含水量极低的大量可燃物、已燃烧起来的火场和大风。

林火产生的大量热量向上运动,周围冷空气及时补充,产生对流,形成四十多米高的对流柱和气旋,在强风作用下,大部分对流热转为平流热,一堆堆着火的枝丫随热流向下风传播,不时出现大火团飞越公路,飞到较远的林地引发新的火点。风越大,辐射传热越强,前方可燃物预热、热解和燃烧就越快,火焰前锋推进也就越迅猛。火借风势,风助火威,高强度的烈火以大风为动力在7日傍晚至8日凌晨以惊人的速度行进。从古莲林场沿阿木尔河谷狂奔的西部热流,在短短的四个小时内,飞越六十公里左右,席卷了河谷两边的西林吉、图强、阿木尔三个林业局的机关所在地,吞噬了三个大储木场;以塔河盘古林场为火源的东部热流不到两个小时飞越了四十余公里,烧掉两个林场。据事后估算,大火中心的居民区温度高达1000℃,许多玻璃、铝器、铁钉等被熔化。这场特大森林火灾持续到六月二日才被彻底扑灭,历时26天。过火区域总面积101万公顷,其中林地占70%;吞噬储木场木材85.5万平方米、粮食650万斤;烧毁房屋61.4万平方米,各种设备2448台;毁坏桥梁67座、铁路专用线9.2公里、通讯线路483公里;烧死居民193人、伤926人。为扑火共出动人力58877人次、汽车1655辆、飞机96架次,直接损失4.2亿元。

在国外,1974~1975年澳大利亚森林大火曾连续燃烧7个

月,过火林牧地面积共 117 万平方公里,占其全国林牧地总面积的 20 % ;与我国大兴安岭大火同期,俄罗斯贝加尔湖地区也发生森林大火,过火面积 4.80 万平方公里,占其全国林地总面积的 0.6 % 。1988 年美国黄石公园和阿拉斯加等地森林大火,仅黄石公园生态圈过火林地即达 0.66 万平方公里,全国共达 1.66 万平方公里,占其林地总面积的 0.5 % 。

此外,近年来油轮、油库火灾也屡屡发生。1989 年 6 月我国山东黄岛油库发生火灾,大火延烧 104 小时,19 人死亡,70 余人受伤,经济损失几千万元。

表 1.2 美国火灾损失的变化(1972 年与 1979 年对比)

	1972	1979	1980
火灾直接损失(亿美元)	3.0	6.3	6.6
火灾死亡率(每十万人)	4.0	2.6	—

统计资料表明,随着国民经济和技术的发展,火灾损失呈上升趋势。以美国为例,表 1.2 给出了美国火灾损失的变化。在我国,平均每天发生火灾 112 起,伤亡 17 人,财产损失 80 万元,根据 1980 年到 1987 年的统计(见表 1.3),财产损失平均年递增 24.3 % ,尤其是 83 年至 87 年后四年间递增率更大,平均达 40.9 % 。再以北京市为例,城市火灾的增长趋势则更为明显(见表 1.4)。

表 1.3 我国 1980~1987 年火灾损失统计

年份	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
火灾次数	54333	50034	41541	37026	33618	34996	38758	32053
死亡人数	3046	2643	2249	2160	2085	—	2691	2411
受伤人数	3710	3480	2929	2741	2690	—	4343	4009
财产损失(亿元)	1.76	2.31	1.87	2.04	1.61	2.84	5.48	8.05
保险赔款金额(亿元)	—	—	—	—	1.03	1.58	1.95	—

表 1.4 北京市年代火灾情况表

年 代	50	60	70	80
火灾次数	4629	5516	7227	6114
死亡人数	114	240	311	310
受伤人数	520	748	1706	686
财产损失(亿元)	691.5	1554.3	2619.2	4131.0

1.3 火灾防治

人民群众是历史的创造者。鉴于火灾对社会的巨大危害,人类从很早起就开始重视对火灾的防治,主要包括以下几个方面。

1. 建立消防队伍和机构

在与火灾长期斗争的实践中,人们逐渐认识到有必要建立训练有素的防火、灭火队伍及其管理机构。据记载,我国早在周代时期就设置了“司燿”、“司烺”和“宫正”三种火官,分别掌管乡村、城镇和宫内的火禁事宜,以后各朝代均延习设立类似的官员。宋朝开始建立了专司救火的“防隅军”和“潜火军”,以及民间消防组织“水会”,这种建立专门救火军队和民间救火组织的形式一直延用至今。

其它各国的情况也大体类似。直至近代在西方国家中,随着资本主义生产方式的建立与发展,大规模的工矿企业越来越多,城市人口更加密集,火灾危险性也越发引起人们的重视,从而出现了更加正规的消防队和消防机构等,如英国在 1850 年出现了公用消防公司,美国在 1896 年成立了全国消防协会。它们与其它保险机构相互融合,使救火水平有了较大提高。我国在清代末年,开始引入西方的消防体制,逐渐形成了以消防警察为主的专职消防队伍。新中国成立以后,国家十分关心消防事业的发展和消防队伍的建设,建立了新型的公安消防部队,经过多年努力,这只队伍的知识化、

专业化和正规化水平都有了极大的提高,并且以较先进的防灭火、运输、通讯、管理等设备武装起来,具有很强的战斗力。成为我国社会安定的重要支柱之一。

2. 研制各种防火灭火设备

显然,火灾扑救的效果很大程度上依赖于灭火工具,因而消防设备的研制历来都为人们所重视。用桶、罐之类的生活工具运水灭火是人类最先想到和使用的方法,当然这些容器还不算是灭火专用工具。据记载,我国唐代人开始用油布缝制的水袋来运水灭火,宋代人成功地用竹制唧筒喷水灭火,尽管其射程和喷水量有限,但与靠近火焰泼水或向火中投掷小水袋等灭火方式相比,的确是一个大进步,这或许可视为现代消防车诞生的萌芽。十八世纪内燃机在西方国家出现以后,人们很快制造了以内燃机为动力的消防车、消防艇及消防泵等,这表明人类的灭火水平又跃上了一个新台阶。近代自来水系统的建立和发展又给人以启示,使消火栓成为建筑物的重要消防设施。本世纪以来,在消防策略和手段上又不断有新的发展,例如,许多现代建筑中开始采用自动水喷淋灭火系统;利用飞机进行灭火和营救;化学药剂灭火等等,而且随着科学技术的进步,消防安全措施将还进一步得到改进和发展。

3. 制定有关防火灭法规

有关防火灭火法规的形成和运用可以说是人们从被动灭火到主动防火的转变。我国很早就提出了“立火禁”、“修火宪”,即发布防火政令、建立御火制度和制定用火法律,依法治火。十七世纪中期起,人们逐渐对火灾有了较深刻的了解,在此基础上逐渐产生了各种各样的法规和标准,并且随着对火灾认识的加深而不断修订和完善。1904年美国颁布了第一个较为完善的建筑消防法规,1928年进行了第一次结构耐火实验。这些法规和标准包括城市、乡村、民用建筑、高层建筑、仓库、石油、化学易燃品等多种消防法规,以及材料分类、建筑构件耐火等标准,在一定程度上已成为安全防火的重要手段。然而由于人们对火灾的认识主要是经验性的,