



火灾风险

评估方法学

范维澄 孙金华 陆守香 等著



科学出版社
www.sciencep.com

火灾风险评估方法学

范维澄 孙金华 陆守香 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者多年来在火灾科学、火灾安全工程学基础理论和火灾防治高新技术方面的研究成果和心得。内容涵盖了火灾风险评估的各方面,包括火灾动力学基础理论、火灾统计方法、火灾风险分析和危险源辨识方法、火灾财产损失和人员安全疏散评估方法、消防措施的有效性和经济性评价等内容。本书对有效地防止火灾的发生、减少灾害损失具有重要的理论指导意义。

本书可作为高等学校安全工程与消防工程专业研究生和高年级本科生教材,也可以作为火灾风险评估、消防安全检查与管理、火灾安全咨询、火灾保险等相关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火灾风险评估方法学/范维澄,孙金华,陆守香等著.—北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-013367-6

I. 火… II. ①范…②孙…③陆… III. 火灾-风险分析 IV. X928.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第041649号

责任编辑:李 锋 胡 凯 贾瑞娜/责任校对:钟 洋

排版制作:科学出版社编务公司/责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年6月第一次印刷 印张:34 3/4

印数:1—1 500 字数:805 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

前 言

随着我国国民经济和城市化建设的快速发展,大型复杂的现代建筑物越来越多地涌现,防火安全面临很多新的问题,现有的处方式建筑防火规范严重滞后于现代建筑对防火设计的要求。近年来,我国的火灾形势比较严峻,重大和特大火灾连续发生。如何采取有效的消防措施以减少火灾造成的人员伤亡和财产损失已成为社会关注的重大课题。火灾风险评估以火灾安全工程学的思想为指导,根据火灾发生发展的动力学机理及火灾防治控制技术原理,对火灾危险性进行定量分析。这对指导采取经济有效的消防措施,防治火灾的发生、发展有重要意义。

中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室是我国进行火灾科学基础研究和应用技术研究的重要基地,特别是近年来,在火灾安全科学和消防工程方面的研究非常活跃,不断有新的研究成果公布。本书的作者们针对国内外至今缺少系统全面介绍火灾风险评估方法学专著的情况,在吸收学习了国外最新研究成果的基础上,结合自己多年来的研究心得撰写了本书。

本书从火灾科学应用基础理论出发,运用数理统计理论、风险分析理论、系统安全理论,对火灾危险分析方法进行了系统而详细的阐述。作为一门应用科学,火灾科学的根本目的是解决工程中存在的主要问题,而火灾风险评估方法学的发展对于采取合理有效的防灭火措施,防治火灾发生发展,降低火灾造成的人员伤亡和财产损失的社会需求具有重大意义。

本书共分十章。第一章由范维澄院士撰写,主要介绍了国内外关于火灾风险评估的研究现状以及火灾风险评估在火灾科学与消防工程领域的地位和作用。第二章由霍然教授和姚斌博士撰写,本章介绍了基础燃烧知识、火灾动力学演化机理、烟气运动规律、火灾时建筑结构的力学响应。第三章由胡太忠教授和方兆本教授撰写,本章介绍了概率论与数理统计的基础知识、回归分析的方法及其在灾害数据分析中的应用。第四章由陆守香教授撰写,本章介绍了火灾风险分析的有关概念和基本方法,重点介绍了基于事件树的火灾风险评估技术和不确定性分析方法。第五章由孙金华教授和孙占辉博士撰写,本章介绍了火灾危险源的定义及分类方法,建立了火灾中危险源的种类及在火灾风险评估中进行危险源辨识的基本方法。第六章由孙金华教授撰写,本章对火灾安全投入与火灾灾害损失进行了分析,提出了建筑火灾财产损失评估的方法,火灾引起建筑坍塌概率的评价方法。第七章由范维澄院士、杨立中教授、宋卫国副教授和陈涛博士撰写,本章介绍了人员安全疏散准则,对火灾环境中人员的行为规律进行了分析,建立了用于火灾人员安全疏散评估的离散化模型、连续性模型及优化模型和计算方法。第八章由廖光焯教授、袁宏永教授及胡源教授撰写,本章提出了阻燃技术、探测灭火技术的有效性和经济性的评价方法,防灭火技术措施与人员安全疏散的有效性的评价方法。第九章由范维

澄院士、蒋勇副教授撰写,本章介绍火灾过程的数值模拟方法,包括湍流流动的数值模拟、喷雾燃烧的数值模拟,重点介绍了建筑火灾场-区-网复合模拟的模型和方法。第十章由张和平副教授等撰写,本章作为火灾风险评估方法的应用,从不同的侧重点介绍了火灾风险评估方法在一些典型工程中的应用案例。本书由范维澄院士组织,孙金华教授对全书进行了统稿。在撰写过程中火灾科学国家重点实验室的王清安教授对本书的结构、内容等提出了许多具体建议。

本书是国内第一部系统介绍火灾风险评估理论和方法的专著。在本书的撰写过程中引用了中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室同事和研究生的大量研究资料以及国内外同行的相关研究成果,实验室尤飞老师,丛北华、朱伟、疏学明、张庆文、王青松、褚冠全、张小芹、钟委、游宇航、陈子锦、汪金辉等研究生还参加了部分章节的撰写和修改工作,在此一并向他们表示感谢。本书是作者诸多科研项目研究成果的结晶,如:国家重大基础研究项目(973 项目)火灾动力演化和防治基础(2001CB409600)、国家自然科学基金重点项目火灾中若干特殊火行为的研究(59936140),国家自然科学基金重大国际合作项目热-力耦合作用下重大建筑火灾安全的基础研究(50320120156),国家自然科学基金面上项目火灾烟气对人员疏散的危害性研究(50276058),中科院知识创新工程项目,“九五”“211 工程”及“985 工程”一期等。在此衷心感谢国家科技部、国家自然科学基金委员会、中国科学院等部门在研究经费上给予的大力资助。

虽然作者在撰写过程中尽了自己最大的努力,但由于水平有限加上时间仓促,错误和疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2004 年 4 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 火灾现象及其危害性	1
1.1.1 火灾及其危害性	1
1.1.2 火灾的分类及特点	3
1.1.3 我国目前的火灾形势	4
1.1.4 未来我国火灾的发展趋势	6
1.2 火灾科学研究的任务、方法和现状	6
1.2.1 火灾科学研究的任务和研究内容	6
1.2.2 火灾科学研究的方法	9
1.2.3 火灾科学研究的现状	11
1.2.4 火灾科学研究的展望	13
1.3 火灾风险评估的目的和意义	15
1.3.1 国内外关于火灾风险评估方法学的研究现状	15
1.3.2 火灾风险评估的目的	18
1.3.3 火灾风险评估的地位和作用	19
参考文献	20
第二章 火灾动力学及控制技术基础	21
2.1 燃烧现象概述	21
2.1.1 燃烧的化学物理基础	21
2.1.2 着火过程	31
2.1.3 可燃气体的燃烧与火焰传播	33
2.1.4 可燃液体的燃烧	35
2.1.5 固体可燃物的燃烧	37
2.2 火灾动力学基础	44
2.2.1 火灾发展的基本过程	44
2.2.2 室内的受限燃烧	46
2.2.3 火灾的扩大与蔓延	50
2.2.4 若干火灾特殊现象	52
2.2.5 火灾中的热释放速率	55
2.3 火灾烟气的性质与流动	61
2.3.1 烟气的组成与危害	61
2.3.2 烟气的浓度	62
2.3.3 烟气流动的主要阶段	64

2.3.4 烟气流动的驱动力	69
2.3.5 烟气在几种特殊建筑中的流动	75
2.4 火灾时建筑结构的力学响应	80
2.4.1 前言	80
2.4.2 建筑构件耐火性能的确定	81
2.4.3 火灾条件下室内气相温度的计算	82
2.4.4 高温下钢结构的力学响应	84
2.4.5 高温下混凝土的力学响应	90
2.4.6 高温后钢筋混凝土构件和结构的修复	96
2.5 火灾防治的技术基础	96
2.5.1 火灾综合防治的基本原则	96
2.5.2 火灾的探测与报警	98
2.5.3 灭火的原理与方法	100
2.5.4 烟气的控制与管理	104
2.5.5 消防系统的优化集成	107
参考文献	110
第三章 概率统计基本知识	112
3.1 概率论基础	112
3.1.1 事件与概率	112
3.1.2 事件的条件概率	114
3.1.3 随机变量及概率分布	115
3.1.4 随机变量的数字特征	120
3.1.5 大数定律与中心极限定理	122
3.2 统计理论基础	122
3.2.1 基本概念	122
3.2.2 参数估计	126
3.2.3 重要的参数假设检验	130
3.2.4 拟合优度检验	133
3.3 回归和相关	137
3.3.1 线性回归	137
3.3.2 对数线性模型	144
3.4 常用概率分布	148
参考文献	150
第四章 火灾风险评估	151
4.1 火灾风险评估基本知识	151
4.1.1 火灾风险的概念	151
4.1.2 火灾风险的度量	153
4.1.3 火灾风险容忍度	156
4.2 火灾风险评估方法概述	163

4.2.1 引言	163
4.2.2 定性分析方法	163
4.2.3 半定量分析方法	165
4.2.4 定量分析方法	168
4.3 火灾风险评估工程方法	174
4.3.1 概述	174
4.3.2 FRAME 的基本原理	174
4.3.3 定义和基本公式	175
4.3.4 FRAME 的主要用途	178
4.4 火灾风险指数法	179
4.4.1 引言	179
4.4.2 火灾风险指数法的建立步骤	179
4.4.3 确定决策水平	179
4.4.4 属性的描述	180
4.4.5 权重 W_i 的赋值	182
4.4.6 风险指数 R 的估计	183
4.5 基于事件树的火灾风险定量分析法	183
4.5.1 概述	183
4.5.2 损失场景设计与事件树构建	185
4.5.3 初始火灾可能性分析	187
4.5.4 消防系统成功概率分析	189
4.5.5 风险计算与比较	192
4.5.6 风险减少方案的成本效益分析	198
4.6 不确定性分析与拓展定量风险分析	202
4.6.1 概述	202
4.6.2 单场景分析方法	204
4.6.3 拓展的定量风险分析	213
参考文献	216
第五章 危险源辨识	218
5.1 危险源及危险源辨识方法	218
5.1.1 危险源的定义	218
5.1.2 危险源的分类	221
5.1.3 第一类危险源辨识方法	223
5.1.4 第二类危险源辨识方法	226
5.2 火灾中的危险源	228
5.2.1 可燃物	228
5.2.2 烟气及有毒、有害气体	231
5.2.3 消防对策与消防管理中的危险源	237
5.3 危险源辨识在火灾风险评估中的应用	239

5.3.1 火灾场景设定	239
5.3.2 火灾荷载	240
5.3.3 火灾发展及热释放速率	243
5.3.4 火灾危险度	251
参考文献	256
第六章 火灾财产损失评估	257
6.1 火灾财产损失评估的背景和目的	257
6.1.1 火灾财产损失评估的背景	257
6.1.2 火灾财产损失评估的目的和意义	260
6.1.3 火灾财产损失评估的基本方法	265
6.1.4 本书所涉及的火灾财产损失评估的范围	267
6.2 建筑火灾财产损失评估方法	268
6.2.1 火灾荷载统计方法	269
6.2.2 建筑火灾发展阶段的分割	270
6.2.3 各阶段火灾成长概率	273
6.2.4 建筑物火灾时烧损面积的预估	278
6.3 火灾引起建筑物坍塌的评价方法	279
6.3.1 建筑火灾的一般规律	280
6.3.2 火灾荷载与火灾持续时间的分布规律	281
6.3.3 极端情况下火灾引起的建筑物坍塌概率	283
6.3.4 基于建筑物防灭火特性的坍塌概率评估	285
6.4 工程算例	287
6.4.1 基于不同防灭火特性的火灾烧损面积预测	287
6.4.2 纽约世界贸易大厦坍塌概率估算和原因分析	289
参考文献	294
第七章 火灾环境下的人员安全疏散评估	296
7.1 疏散研究在火灾风险评估中的重要地位	296
7.2 人员安全疏散准则	297
7.2.1 必需安全疏散时间 $RSET$	297
7.2.2 可用安全疏散时间 $ASET$	298
7.2.3 安全疏散标准	298
7.3 火灾环境下的人员特征与疏散管理	300
7.3.1 人员特性对疏散的影响	300
7.3.2 火灾产物对人员疏散的影响	308
7.3.3 建筑疏散结构与安全疏散	311
7.3.4 安全疏散指挥与管理	319
7.4 人员安全疏散必需时间($RSET$)的计算	320
7.4.1 经验公式	321
7.4.2 人员疏散模型	322

参考文献	336
第八章 消防措施的可靠性和有效性评价	338
8.1 阻燃和防火技术的有效性与火灾风险	338
8.1.1 聚合物材料的燃烧及热解特性	338
8.1.2 材料的阻燃及防护原理	350
8.1.3 材料火灾危险性和风险性分析	362
8.2 火灾探测技术的可靠性和有效性评价	372
8.2.1 火灾探测器及系统构成	372
8.2.2 火灾探测系统的可靠性和有效性评价	382
8.3 灭火技术的可靠性和有效性评价	402
8.3.1 灭火原理	402
8.3.2 灭火技术的性能	407
8.3.3 灭火技术性能评价及灭火系统的性能评价方法	412
参考文献	433
第九章 火灾过程计算机数值模拟	437
9.1 概述	437
9.1.1 问题背景	437
9.1.2 数值模拟的一般特点和步骤	437
9.1.3 数值模拟方法评述	438
9.2 湍流流动数值模拟	439
9.2.1 湍流流动现象和数值模拟方法	439
9.2.2 湍流流动的 Reynolds 时均方程组	442
9.2.3 Reynolds 应力输运方程	444
9.2.4 湍流黏性模型	448
9.2.5 Reynolds 应力方程模型	452
9.2.6 大涡模拟 LES	455
9.3 喷雾过程数值模拟	458
9.3.1 液滴不稳定破碎模型	458
9.3.2 喷雾碰壁现象	461
9.3.3 喷雾过程液滴碰撞-聚合模型	464
9.3.4 喷雾过程液滴蒸发模型	466
9.3.5 喷雾碰壁液膜蒸发模型	468
9.3.6 喷雾过程三维数值模拟	471
9.4 湍流燃烧	471
9.4.1 湍流与反应的相互作用	471
9.4.2 湍流流动中的时均反应速率	472
9.4.3 湍流预混火焰模拟	473
9.4.4 针对湍流扩散火焰的 $k-\varepsilon-\bar{f}$ 和 $k-\varepsilon-g$ 模型	476
9.5 建筑火灾的场-区-网复合模拟	480

9.5.1 场-区-网复合模拟算例	482
9.6 典型火灾场景模拟算例	488
参考文献	492
第十章 火灾风险评估案例	495
10.1 某机场新航站楼火灾危险性评估概述	495
10.1.1 概述	495
10.1.2 新航站楼安全目标的确定	495
10.1.3 火灾危险源辨识及设定火灾场景	496
10.1.4 火灾危害性评估	497
10.1.5 人员疏散评估	499
10.1.6 火灾探测与联动扑救评估	503
10.1.7 结论与建议	506
10.2 某高架仓库的火灾危险性分析	507
10.2.1 概述	507
10.2.2 设置火灾场景和设定火灾热释放速率	508
10.2.3 烟气流动过程的动态模拟	511
10.2.4 人员安全疏散动态模拟	513
10.2.5 消防系统综合分析	514
10.2.6 钢结构保护分析	516
10.3 某酒店地下健康中心火灾危险性评估	518
10.3.1 概述	518
10.3.2 火灾危险源辨识及设定火灾场景	519
10.3.3 火灾危害性评估	521
10.3.4 人员疏散评估	523
10.3.5 火灾探测与联动扑救评估	525
10.3.6 结论与建议	526
10.4 某地下车库的火灾风险分析	527
10.4.1 概述	527
10.4.2 确定安全目标及项目所涉及的分析内容	528
10.4.3 火灾危险源辨识	528
10.4.4 烟气流动过程的动态模拟	532
10.4.5 人员的安全疏散问题分析	534
10.4.6 消防系统综合分析	535
参考文献	539
附录	540

第一章 绪 论

1.1 火灾现象及其危害性

1.1.1 火灾及其危害性^[1,2]

火的使用是人类的伟大创举之一，可以追溯到远古时代的刀耕火种、取暖烤食及吓退野兽等。火的使用不仅改善了人类的饮食和取暖条件，而且不断促进社会生产力的发展，使人类创造出了大量的社会财富。可以说，火在人类文明和社会进步中起着无法估量的重要作用。

然而应当指出，万事万物有利必有弊。火若失去控制，让它在具备燃烧条件的地方自由发展，它就会四处蔓延，吞噬那里的各种可燃物质。往往由于一把火，人们辛苦多年创造和积累的财富转瞬间化为灰烬，千百年来形成的茂盛森林几天内就变成荒野。火还可无情的夺取许多人的生命。这就是自然和社会的一种主要危害——火灾。

火灾是人们所不希望的一种失去控制的由燃烧造成的灾害。凡是具备燃烧条件的地方，如果用火不当，或者由于某种事故或其他因素，造成了火焰不受限制的向外扩张，就可能形成火灾。

火灾对人类和社会造成的破坏非常巨大。其造成的损失大大超过其直接财产损失。直接、间接财产损失，人员伤亡损失，扑救消防费用、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，大多数发达国家每年火灾损失占国民经济总产值 2% 左右，而整个火灾代价约占 1%。根据联合国世界火灾统计中心提供的资料，近年来，在全球范围内，每年发生的火灾就有 600 万~700 万起，有 65 000~75 000 人死于火灾。由此可见，火灾防治是人类社会的一项长期的重要任务。

最近一二十年来，我国正处于火灾形势比较严峻的时期，火灾的次数和损失均居高不下，尤其是发生了多起特大和重大火灾，有的还造成了严重的群死群伤事件。例如新疆克拉玛依友谊馆火灾、河南东都商厦火灾中的死亡人数均超过 300 人，衡阳特大火灾死亡消防队员 20 人，其影响震惊中外。图 1.1.1 给出了最近十几年我国每年的火灾直接损失统计数据。表 1.1.1 则列出了最近几年来我国一些特大火灾概况^[3]。

火灾在造成巨大经济损失的同时，还会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、二氧化碳、一氧化碳、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,使植物难以回复,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不良的影响。而且,火灾还会给社会带来不安定因素。

表 1.1.1 1995 年~2004 年我国城镇部分特大火灾概况

时间	失火单位	火灾原因	直接财产损失 /万元	死/伤人
1995 年				
1 月 20 日	河南郑州天然商厦	电线短路	2096.1	0/9
10 月 15 日	山东胶州青岛世原鞋业公司	电缆短路	2785.8	—
12 月 8 日	广东广州芬兰浴中心	吸烟引燃	145	18/0
1996 年				
4 月 2 日	辽宁沈阳商业城	纵火嫌疑	5519.2	—
8 月 9 日	河南濮阳中原油田输油管	哄抢漏油引燃	1.6	40/57
12 月 8 日	湖南安乡县大富豪夜总会	电线故障	20	11/0
1997 年				
1 月 29 日	湖南长沙市燕山酒店	酒精炉取暖	97	40/89
6 月 27 日	北京东方化工厂乙烯储罐	燃气泄漏静电	11700	8/40
11 月 17 日	新疆喀什工贸中心大楼	电热毯过热	400	15/21
1998 年				
1 月 31 日	黑龙江佳木斯华联商厦	电热管加热	3638	1/5
3 月 5 日	陕西西安煤气公司	液化气泄漏遇火花	477.8	11/30
1999 年				
1 月 9 日	北京丰台区华龙灯具批发商场	电气	1736	—
1 月 10 日	四川达州市通州百货商场	违反规定	3163.1	—
2000 年				
1 月 11 日	安徽合肥市城隍庙市场庐阳宫	电气	2178.9	—
1 月 12 日	江苏省盐城市招商商场	纵火	1289.9	1/13
4 月 1 日	云南省昆明市南窑商品批发市场	玩火	1821.3	0/2
12 月 25 日	河南省洛阳市东都商厦	违章电焊	150	309/7
2001 年				
6 月 5 日	江西广播电视艺术幼儿园	蚊香失火	—	13/4
12 月 19 日	内蒙古呼和浩特宾馆	电器线路故障	910	5/19
2002 年				
4 月 21 日	三亚市“阳光购物城”	电线接触不良	—	7/20
6 月 16 日	北京市蓝极速网吧	纵火	—	24/13
7 月 11 日	安徽佳通轮胎有限公司仓库	纵火	2692	无
2003 年				
11 月 3 日	湖南衡阳市衡州大厦	火灾坍塌	—	20/11
4 月 2 日	海口社会福利厂泡沫包装分厂	用氧气焊支解	100	无
2004 年				
2 月 15 日	吉林中百商厦	烟头引燃	—	53/70
2 月 15 日	浙江海宁市黄湾镇五丰村	失火引燃草棚	—	40/3

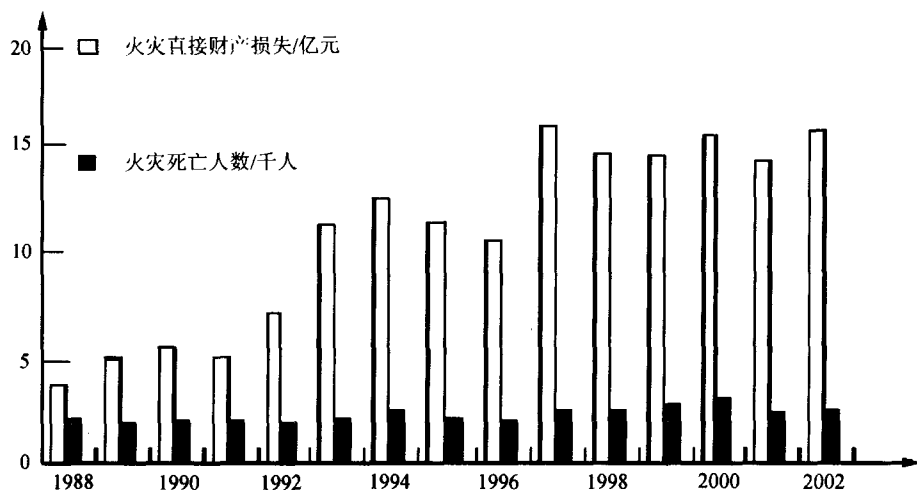


图 1.1.1 1988~2002 我国火灾直接财产损失和死亡人数统计

因此，充分认识火灾的基本现象和危害性，掌握火灾发生、发展和蔓延的基本规律，以火灾安全工程学为理论基础，依靠科技进步，在有限的防火安全投入下，采取切实可行、有效的火灾防护措施，降低火灾发生概率及火灾发生后的损失程度是广大科学与消防工程研究工作者的共同目标。

1.1.2 火灾的分类及特点

根据火灾发生的场合，火灾主要可分为建筑火灾、森林火灾、工矿火灾及交通工具火灾等类型。

一、建筑火灾

在各类火灾中，建筑火灾对人们的危害最严重、最直接，因为各种类型的建筑物是人们生产和生活的主要场所，也是财富高度集中的场所。可以说，建筑火灾一直是火灾防治的主要方面，在各个国家、各个历史时期都是如此。

我国建筑火灾一直是比较严重，这与我国的建筑结构形式、人民的生产和生活特点、我国的地理位置、气候条件、社会习俗等诸多因素有关。建筑物发生火灾时产生大量的烟雾，烟雾中有毒有害气体是火灾伤亡的最主要原因。在火灾中，材料分解产生大量的热量，引起建筑物内温度升高，混凝土在一定温度下将分解成无黏结力的石灰和二氧化碳，从而造成了楼层坍塌，使建筑物遭受灾难性的毁坏。

造成当前建筑火灾比较突出的因素是多方面的。应当注意，其中有不少因素与目前我国经济快速发展的状况有着密切关系。随着我国城市化水平的迅速提高，建筑业得到了突飞猛进的发展，不仅各种建筑物的数量大大增加，而且出现了许多新型、大型、高层的特殊类型建筑，如高层建筑、地下建筑、奥运场馆及大型商场、剧场、仓库、车间、候车厅等。这些建筑的使用功能和所使用的建筑材料也发生了巨大的变化，建筑物内使

用的电力、热力设施大大增加,从而使火灾危险程度发生了很大变化。

二、森林火灾

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失,有时甚至益大于弊。因此,所谓森林火灾确切的说是指森林大火造成的灾害。其主要特点有:

- (1) 延烧时间长,大多为几天、十几天甚至更长;
- (2) 火烧面积大,大多为数百、数千公顷、数十万公顷或更大;
- (3) 火强度大,有明显的对流柱。当有飞火和火旋风出现时,那就更容易跳跃和飞越各种障碍(防火线、道路、河流等);
- (4) 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火灾是一种十分复杂而异常可怕的灾害现象;
- (5) 对林木的危害严重,可使 70% 以上甚至 100% 林木被烧死,同时对生态和环境也构成不同程度的破坏。

三、工矿火灾及交通工具火灾

在我国,工矿火灾是很严重的。由瓦斯爆炸引发的特大煤矿火灾屡有发生,例如 2003 年 5 月 23 日,云南丽江煤矿瓦斯爆炸 24 名矿工遇难;2003 年 11 月 14 日江西丰城煤矿瓦斯爆炸死亡 48 人;2004 年 2 月 11 日,贵州六盘水煤矿发生瓦斯爆炸 24 人死亡。煤矿、生产烟花爆竹等危险品的私营企业、储存有危险品的场所企业时有火灾发生,酿成了巨大损失,尤其是人员伤亡很严重,给社会造成了极大影响。

生产和交换的发展带动了交通运输业的迅猛发展。众多可燃物的流通和调配,大量人员的转移,使交通工具火灾明显增多。例如 2000 年山东省共发生交通工具火灾 940 起,死 3 人,伤 8 人,造成直接财产损失 940 万元,分别占全省火灾发生总数的 5.5%、总死亡人数的 1.4%、总的直接财产损失的 11%。再如,2001 年北京市汽车拥有量为 166.4 万辆,共发生汽车火灾 637 起,直接损失 400 余万元。近年交通工具火灾发生起数和财产损失的额度增长趋势迅猛。

1.1.3 我国目前的火灾形势^[4]

近年来,随着我国经济建设的快速发展,导致火灾的因素也大量增加,火灾形势日趋严峻。据统计,1998 年至 2002 年的五年内,全国共发生火灾 986 565 次,造成死亡 12 881 人,受伤 21 076 人,直接财产损失 73.3 亿人民币(以上统计数字均不包括港、澳、台地区和森林、草原、军队、矿井地下发生的火灾,下同)火灾次数逐年增多,火灾损失也呈日趋上升趋势。表 1.1.2 为过去五年我国的火灾统计数字。

仅 2002 年,全国就发生火灾 258 315 次,死亡 2 393 人,受伤 3 414 人,直接财产损失 15.4 亿元。与上年相比,起数上升 19.2%,死亡上升 2.5%,受伤下降 9.7%,直接财产损失上升 10.1%。

表 1.1.2 我国 1998~2002 年火灾情况

年份	火灾次数/次	死亡人数/人	受伤人数/人	直接财产损失/亿元
1998	142 326	2 389	4 905	14.4
1999	179 955	2 744	4 572	14.3
2000	189 185	3 021	4 404	15.2
2001	216 784	2 334	3 781	14.0
2002	258 315	2 393	3 414	15.4
总计	986 565	12 881	21 076	73.3

当前我国火灾主要有以下特点：

1. 重特大火灾时有发生

2002 年，全国共发生重大火灾 344 起，造成 477 人死亡，202 人受伤，直接财产损失 1.396 亿元；发生特大火灾 25 起，造成 70 人死亡、44 人受伤，直接财产损失 12 188 元。其中，一次死亡 10 人以上的特大火灾 3 起，造成 61 人死亡，36 人受伤。重特大火灾的发生不仅对人民的生命财产造成巨大损失，而且影响到国家经济建设和人民群众安居乐业。多年来，我国消防工作者殚精竭虑，致力于预防和减少重特大火灾的发生。

2. 公众聚集场所火灾比较严重

尽管近几年来我国各级人民政府加大了对商场市场、宾馆饭店、歌厅舞厅、医院学校等公众聚集场所消防安全治理力度，但这类场所的火灾仍然比较突出。2002 年，全国共发生各类公众聚集场所火灾 9 499 起，造成 333 人死亡，分别占全年各类火灾总数的 4% 和 14%。

3. 物质储存场所及各类堆场火灾突出

近几年，这类场所的火灾日趋增多，造成的财产损失越来越严重。2002 年，全国发生的这类火灾达 34457 起，直接财产损失 18 580.3 万元，起数和直接财产损失都是近几年较多的一年。

4. 私营企业、个体工商户等小型经营场所火灾所占比例较大

2002 年，全国私营企业、个体工商户共发生火灾 79 955 起，造成 1 529 人死亡，2 096 人受伤，直接财产损失 54 065.5 万元。四项数字分别占各类单位火灾总数的 95.0%、93.3%、86.8% 和 75.3%。

5. 城乡居民住宅火灾呈多发态势

2002 年，全国城乡居民住宅共发生火灾 51 711 起，造成 1 622 人死亡，1 341 人受伤，直接财产损失 21 118.0 万元。四项数字分别占火灾总数的 20%、67.8%、39.3% 和 14%。与上年相比，起数和死亡人数分别上升 4.8% 和 9.7%。

6. 放火案件不容忽视

2002 年 6 月 16 日发生的北京市“蓝极速”网吧，2002 年 7 月 11 日安徽省佳通轮胎有限公司成品仓库等特大放火案件，对人民生命安全和国家财产都造成惨重的损失。2002

年全国共发生放火案件 8 415 起, 占火灾总数的 3%。

1.1.4 未来我国火灾的发展趋势^[4]

我国目前正处于经济起飞阶段, 借鉴世界发达国家(包括美国、日本等)经济起飞阶段的火灾规律, 可以预见在我国经济发展的这一进程中, 将出现以下趋势:

(1) 经济的发展使热力、电力的使用大大增加, 在生产过程中, 多种易燃、可燃的新物品新材料得到了大量使用, 多种电气产品、塑料与化纤产品、燃油与燃气在各行各业中的使用范围越来越广。这都造成火灾危险性大大增加, 不仅容易失火, 而且容易演化为大火或爆炸。

(2) 由于生产或经营的需要, 修建了许多新型建筑物, 主要表现在高层建筑、地下建筑及大型商场、剧场、仓库、车间、候车厅等迅速出现。与普通建筑相比, 这些建筑物的火灾危险性具有很多新特点, 不仅容易造成火灾蔓延, 而且灭火难度增大。人们还缺少有效地预防与扑救的措施和经验。

(3) 生产和交换的发展还带动交通运输事业的迅速发展。大量可燃物的运输, 众人员的转移, 都引起转运过程中火灾危险性增大, 商业、服务行业等第三产业的迅速崛起也使人员和可燃物高度集中, 也增加了起火因素。

(4) 在经济起步时期, 企业的经营者容易滋生片面追求利润而忽视安全的思想, 尤其是那些基础较差而又急于快速发展的企业。这类企业的建筑和设备差, 还往往因资金缺乏而使用一些质量较差的材料, 从而埋下了较多的火灾隐患; 另一方面保证正常生产与生活的安全设施不足, 加上人们的安全意识薄弱, 这便为火灾的发生开了方便之门。

(5) 在城市(镇)迅速膨胀过程中, 容易出现规划上的缺陷, 这主要表现在城市的市政工程、安全防灾设计和设施、环境保护等方面存在先天不足, 或严重滞后于城市的扩展。

因此, 在我国现阶段的经济建设过程中, 火灾必将成为一种不容忽视的灾害。有必要对那些危险场合, 尤其是近期涌现的特殊建筑(如高层建筑、地下建筑、奥运场馆及大型商场、剧场、仓库、车间、候车厅等)进行火灾风险评估, 并开展性能化防火分析和设计, 以降低其危险性, 从而达到减少火灾发生次数及降低火灾损失的目的。

1.2 火灾科学研究的任务、方法和现状

1.2.1 火灾科学研究的任务和研究内容

火灾过程是一种具有复杂性本质的科学研究对象, 其孕育、发生和发展包含着湍流流动、相变、传热传质和复杂化学反应等物理化学作用, 是一种涉及物质、动量、能量和化学组分在复杂多变的环境条件下相互作用的三维、多相、多尺度、非定常、非线性、