



XIAOFANG GONGCHENG XILIE

XIAOFANG GONGCHENG XILIE

XIAOFANG GONGCHENG XILIE

高等教育安全科学与工程类系列规划教材
消防工程专业系列规划教材

火灾风险评估

余明高 郑立刚 主编
廖光煊 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费电子课件

高等教育安全科学与工程类系列规划教材
消防工程专业系列规划教材

火灾风险评估

主 编 余明高 郑立刚
参 编 伍爱友 尤 飞 杨永斌
陈 静 陈长飞 陈俊敏 韩雪峰
主 审 廖光煊



机械工业出版社

本书共分8章,主要包括:绪论,火灾危险源的危害特性、辨识及其管理,火灾风险评估的基本方法及其选择,定性的火灾风险评估方法,定量的火灾风险评估方法,人员疏散安全性评估,火灾防治对策措施,火灾风险评估案例。本书在编写过程中,主要参考了目前多所高校的“火灾风险评估”课程讲义,并借鉴以往同类专著、教材的优点,在内容上既重视理论,又包含有工程应用;既介绍典型的防灭火技术,又囊括新近相关科技成果,突出体现实用性、适应性、使用性、先进性和系统性。

本书主要作为消防工程及相关专业的本科教材,同时可作为消防部门的职工培训教材,还可供从事防灭火工作的科研及工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

火灾风险评估/余明高,郑立刚主编. —北京:机械工业出版社,2012.12
高等教育安全科学与工程类系列规划教材. 消防工程专业系列规划教材
ISBN 978-7-111-40394-4

I. ①火… II. ①余… ②郑… III. ①火灾—风险分析—高等学校—教材 IV. ①TU998.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第271732号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:冷彬 责任编辑:冷彬

版式设计:赵颖喆 责任校对:陈越

封面设计:张静 责任印制:张楠

中国农业出版社印刷厂印刷

2013年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19.25印张·473千字

标准书号:ISBN 978-7-111-40394-4

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

目 录

序一 安全工程专业教材序

序二 消防工程专业系列规划教材序

前言

第1章 绪论..... 1

1.1 火灾及其危害 1

1.2 火灾的分类及其特点 2

1.3 我国火灾的现状与发展趋势 4

1.4 火灾风险评估的目的、意义 及作用 5

1.5 国内外火灾风险评估方法的 研究现状 8

思考题 10

第2章 火灾危险源的危害特征、 辨识及其管理 11

2.1 火灾主要危险源及危害特征..... 11

2.2 火灾危险源辨识..... 21

2.3 基于风险的火灾危险源管理..... 39

思考题 48

第3章 火灾风险评估的基本方法及 其选择 49

3.1 概述..... 49

3.2 火灾风险评估的基本方法..... 49

3.3 火灾风险评估方法的选择..... 69

思考题 71

第4章 定性火灾风险评估方法 72

4.1 安全检查表法..... 72

4.2 古斯塔夫法..... 76

4.3 风险指数法..... 82

4.4 其他定性评估方法简介 102

4.5 评估实例 106

思考题..... 110

第5章 定量火灾风险评估方法..... 111

5.1 概述 111

5.2 定量火灾风险评估的基本 内容 112

5.3 火灾场景设定与火灾设定 118

5.4 基于事件树的火灾风险定量 分析方法 125

5.5 基于统计理论的火灾风险 分析方法 132

5.6 评估实例 154

思考题..... 164

第6章 人员疏散安全性评估..... 166

6.1 概述 166

6.2 火灾环境下人员心理和行为 特征 169

6.3 火灾环境下人员安全疏散 的影响因素 175

6.4 人员疏散设计的重要参数 及计算方法 178

6.5 人员疏散时间的构成及其 计算方法 183

6.6 常用的人员疏散模拟软件 200

6.7 人员疏散安全性评估的 模拟计算实例 218

思考题..... 225

第7章 火灾防治对策措施..... 226

7.1 火灾防治的基本原则 226

7.2 火灾探测与报警 226

7.3 防火的对策措施 238

7.4 灭火的对策措施 249

7.5 烟气的控制与管理 254

思考题	267	危害性评估	271
第 8 章 火灾风险评估案例	268	8.5 人员安全疏散评估	277
8.1 项目概述	268	8.6 火灾探测与自动喷水灭火 系统评估	286
8.2 安全目标的确定	268	8.7 结论和建议	290
8.3 火灾危险源辨识	268	参考文献	293
8.4 火灾场景的设定及火灾			

绪 论

1.1 火灾及其危害

燃烧与火是最常见的自然现象之一。火的使用是人类进入文明时代的重要标志，在漫长的历史长河中，火的使用极大地促进了人类文明的进程。起初，人类主要是利用火来烧烤食物、御寒取暖、防御野兽，逐渐发展到利用火来制作生活用具、生产工具和武器；与此同时，由于用火不慎、自燃、雷击以及故意纵火等各种原因造成的火灾爆炸事故也如影随形，一直威胁并危害着人类社会的安全。

从本质上讲，火是一种燃烧现象。燃烧是指可燃物与氧化剂发生的氧化还原反应，它服从于化学动力学、化学热力学的定律以及其他自然的基本定律（质量守恒、能量守恒），但其放热、发光、发烟、伴有火焰等基本特征表明它不同于一般的氧化还原反应。

火具有两面性：当可控制时，它能给人类带来光明和温暖、健康和智慧，促进人类物质文明不断发展；当不可控制时，它则给人类带来具有很大破坏性和多发性的灾害，对人类生命财产和生态环境构成巨大的威胁。这种违反人的意愿，在时间和空间上失去控制，并给人类带来灾害的燃烧现象就是火灾。

火灾是各种灾害中发生最为频繁并极具毁灭性的灾害之一。火灾对人类和社会造成的破坏非常巨大，所造成的损失大大超过了其直接财产损失。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，每年有 65000 ~ 75000 人死于火灾。因此，火灾防治是人类社会的一项长期的重要任务。

火灾的发生既有确定性又有随机性。火灾作为一种燃烧现象，其规律具有确定的一面，同时又具有随机性的一面。可燃物着火引起火灾，必须具备一定的条件，遵循一定的规律。这个规律既可以在模拟实验中再现，也可以抽象为控制火灾过程的数学模型，这就是火灾过程模拟研究的科学依据。但在一个地区、一段时间里，什么单位、什么地方、什么时间发生火灾，往往是很难预测的，即对于一场具体火灾来说，其发生又具有随机性。

火灾的发生是自然因素和社会因素共同作用的结果。火灾的发生首先与建筑科技、消防设施、可燃物燃烧特性，以及火源、天气、风速、地形、地物等物理化学因素有关。但火灾的发生绝不是纯粹的自然现象，还与人们的生活习惯、文化修养、操作技能、教育程度、法律知识以及规章制度、文化经济等社会因素有关。因此，火灾消防工作是一项复杂的、涉及各个方面的系统工程。

火灾的危险性随时代进步而增大。尽管随着社会经济的发展、科学技术的进步，人们对

2 火灾风险评估

火灾的抗御能力不断提高。但伴随着高层建筑、大型化工企业、大型商贸大厦、大型宾馆、大型饭店和写字楼、大型集贸市场等不同大型建筑的涌现，新工艺、新设备、新型装饰材料的广泛使用，用火用电量激增，火灾的发生也相应增加。

1.2 火灾的分类及其特点

火灾可以从不同的角度进行分类，如根据燃烧对象、起火原因、损失程度和火灾发生地点等分类。

1.2.1 根据燃烧对象分类

根据燃烧对象的不同，可以将火灾分为 A、B、C、D、E、F 六类 [见《火灾分类》(GB/T 4968—2008)]：

A 类火灾：指固体物质火灾，这种物质往往具有有机物性质，一般在燃烧时能产生热的余烬，如木材、棉、毛、麻、纸张火灾等。

B 类火灾：指液体火灾和可熔化的固体火灾，如汽油、煤油、原油、甲醇、乙醇、沥青、石蜡火灾等。

C 类火灾：指气体火灾，如煤气、天然气、甲烷、乙烷、丙烷、氢气等。

D 类火灾：指金属火灾，如钾、钠、镁火灾等。

E 类火灾：带电火灾。物体带电燃烧的火灾。

F 类火灾：烹饪器具内的烹饪物（如动植物油脂）火灾。

1.2.2 根据起火原因分类

按照物质运动变化产生燃烧的不同条件，将火灾分为自然性火灾和行为性火灾。

自然性火灾有直接发生的，如火山喷发、雷击起火等，也有条件性的次生火灾，如干旱高温的自燃、地下煤炭的阴燃等。

行为性火灾，除了人为破坏性火灾之外。经常而广泛地发生着无意识行为性火灾，如生活用火不慎引起的火灾、生产活动中违规操作引发的火灾等。

1.2.3 根据火灾损失严重程度分类

特别重大火灾：死亡 30 人以上[⊖]，或者 100 人以上重伤，或者 1 亿元以上直接财产损失的火灾。

重大火灾：10 人以上 30 人以下死亡，或者 50 人以上 100 人以下重伤，或者 5000 万元以上 1 亿元以下直接财产损失的火灾。

较大火灾：3 人以上 10 人以下死亡，或者 10 人以上 50 人以下重伤，或者 1000 万元以上 5000 万元以下直接财产损失的火灾。

一般火灾：3 人以下死亡，或 10 人以下重伤，或者 1000 万元以下直接财产损失。

⊖ 本标题下火灾严重程度分类中所称的“以上”包括本数，“以下”不包括本数。

1.2.4 根据火灾发生地点分类

地上火灾：包括地上建筑火灾和森林火灾。

森林火灾：指失去人为控制，在林地内自由蔓延和扩展，对森林、森林生态系统和人类带来一定危害和损失的林火行为。

工矿火灾及交通工具火灾：指发生在水面上的火灾。

火灾损失统计表明，发生次数最多、损失最严重者当属建筑火灾，而且各类建筑物是人们生产、生活的场所，也是财产极为集中的地方。因此建筑火灾造成的损失十分严重，且直接影响人们的各种活动。

(1) 建筑物的装修材料及其内部设施燃烧速度快

1) 建筑物室内装饰物、吊顶、墙壁、地板等多数采用了易燃、可燃材料，这些材料与火源接触燃烧速度快。

2) 室内陈设可燃物品多，如采用地毯、床上用品、家具等大量可燃材料。

(2) 起火因素多

1) 一些面积大、层数多的高层和地下建筑，其内部使用功能复杂，可燃物品多、火灾负荷大、人员集中，用火用电量，容易引起火灾。

2) 洁净厂房的某些生产工序中使用易燃易爆化学危险品，还有部分民用建筑使用天然气和石油液化气燃料。这些物质一旦泄漏于室内空间，很难散发出去，容易达到爆炸极限而引起火灾和爆炸事故。

(3) 火灾蔓延途径多

高层建筑竖向管井多，一幢高层建筑一般设有楼梯间、管道井、电缆井、排风道、垃圾道等竖向管井，如果没有考虑防火分隔措施或采取的措施不当，发生火灾时，起到了拔火的烟囱作用。试验证明，在火灾初起阶段，因空气对流而产生的烟气，在水平方向扩散速度为 0.3m/s 。在火灾发展猛烈阶段，由于高温的作用，热对流而产生的烟扩散速度为 $0.5 \sim 0.8\text{m/s}$ ，而烟气沿楼梯等竖向管井的垂直扩散速度为 $3 \sim 4\text{m/s}$ ，也就是说，一座高度为 100m 的高层建筑只要 $25 \sim 33\text{s}$ ，烟气顺垂直通道从底层就能扩散到屋顶。

(4) 疏散、扑救难度大

1) 高层建筑发生火灾，一是由于建筑层数多，垂直距离大，需要较长的疏散时间；二是人员物资比较集中，疏散时容易出现拥挤状态；三是发生火灾时烟气和火势向上蔓延快，给安全疏散带来困难。

2) 地下建筑火灾特点与地上建筑不同，一是火灾情况下人员疏散与火灾烟气扩散方向一致，易造成疏散困难和人员伤害；二是温度高、烟气大，火灾时烟气很难排出，散热缓慢，室内温度上升快；三是无自然采光，如果无事故照明，建筑内一片漆黑，人员无法疏散；四是扑救困难，难以确定起火点，由于屏障作用造成火场通信不畅等因素，给火灾扑救带来很大影响。

经济损失和人员伤亡大，房屋建筑发展趋势多为大型化、高层化、多功能，人员多，物资集中，设备贵重，一旦发生火灾事故，人员疏散困难，不便于抢救、疏散物资和设备，往往能造成很大的人员伤亡和经济损失。

1.3 我国火灾的现状与发展趋势

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。根据发达国家的发展过程判断，我国潜在火灾高发生率将呈上升趋势。

1.3.1 我国火灾现状

(1) 我国火灾形势日趋严重，火灾威胁与危害逐年加剧

由图 1-1、图 1-2 可以看出，在 20 世纪 90 年代火灾造成的损失占历年损失高比重，表明火灾危害近年加剧。除了新中国成立初期，历年火灾伤亡人数没有大的变化，说明火灾始终给人们带来巨大的伤亡，降低火灾对人民生命和财产的危害势在必行。

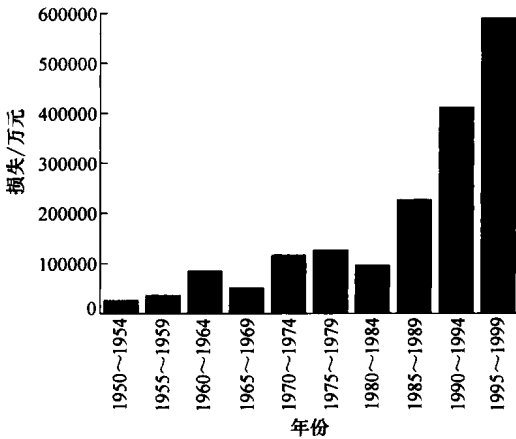


图 1-1 20 世纪 50 ~ 90 年代我国每五年火灾所造成损失统计

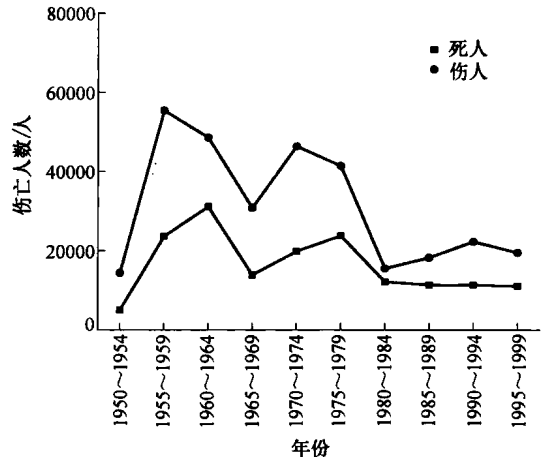


图 1-2 20 世纪 50 ~ 90 年代我国每五年火灾所造成人员伤亡数量统计

(2) 火灾发生率、造成的直接财产损失危害伴随着社会经济的发展呈上升趋势

我国火灾统计资料表明，20 世纪 80 年代以来，我国 GDP 年均增长达 9.5%，城市居民人均收入提高了 17 倍。与此同时，全国的火灾损失从 80 年代初的每年平均 3 亿多元，上升到 90 年代中期以来的 15 亿多元，增加了约 4 倍。进入 21 世纪的 4 年里，我国平均每年发生火灾达 23 万多起，比 20 世纪 90 年代同期增长了 6 倍；平均每年火灾直接财产损失约 15.5 亿元。

(3) 群死群伤的特大火灾仍时有发生

1991 年以来，全国共发生一次死亡 10 人以上或死亡、重伤 20 人以上的群死群伤火灾 134 次，死亡 3514 人，并且经历了 1993 ~ 1994 年、1997 年和 2000 年的三次高峰。其中，1993 ~ 1994 年是新中国成立以来群死群伤火灾最集中的两年，共计 31 次，造成 1218 人死亡。1994 年新疆克拉玛依市友谊馆特大火灾和辽宁阜新市艺苑歌舞厅特大火灾分别导致 325 人和 233 人死亡。1997 年出现第二次高峰，共发生群死群伤火灾 19 次，造成 433 人死亡。2000 年再次反弹，其中河南洛阳市东都商厦和河南焦作市天堂俱乐部两起特大火灾分别导致 309 人和 74 人死亡，全年发生群死群伤火灾 9 次，死亡人数达 501 人。

相比 20 世纪 80 年代群死群伤火灾明显增多。90 年代一次死亡 30 人以上的火灾 19 起，共死亡 1772 人，平均每起群死群伤火灾死亡 93 人，比 80 年代的群死群伤火灾严重得多（每次多每起死亡人数多 32 人），见表 1-1。

表 1-1 20 世纪 80 年代与 90 年代群死群伤火灾情况对比

项 目	80 年代	90 年代	增长（%）
群死群伤/起	11	19	72.7
死亡人数/人	677	1772	161.7
平均每起死亡人数/人	61.5	93	51.2

1.3.2 我国火灾发展趋势

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。人们还缺少有效的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，众多人员的转移，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；此外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、大型体育场馆及大型商场、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。

1.4 火灾风险评估的目的、意义及作用

关于风险评估的定义，国内外许多学者已对其进行了科学、系统的概括和提炼，主要有以下观点：

6 火灾风险评估

第一, 风险评估是对系统存在的危险性进行定性和定量分析, 得出系统发生危险的可能性及其程度的评估, 以寻求最低事故率、最少的损失和最优的安全投资效益。

第二, 风险评估是综合运用安全系统工程方法对系统的风险程度进行预测和度量。它不同于安全评比, 也不同于安全检查。进行企业的风险评估可使宏观管理抓住重点, 分类指导, 也可为微观管理提供可靠的基础数据, 是实现科学管理的重要环节。

第三, 风险评估是以系统安全为目的, 按照科学的程序和方法, 对系统中的危险因素、发生事故的可能性及损失与伤害程度进行调查研究与分析论证, 从而评估系统总体的安全性, 以及为制定基本预防和防护措施提供科学的依据。它的着眼点是危险因素产生的负效应, 主要从损失和伤害的可能性、影响范围、严重程度及应采取的对策等方面进行分析评估。

第四, 风险评估是采用系统科学的方法确认系统存在的危险性, 并根据其风险大小采取相应的安全措施, 以达到系统安全的过程。

归纳起来, 风险评估的定义主要包括以下要点:

- 1) 采用系统科学的理论和方法。
- 2) 对系统的安全性进行预测和分析-辨识危险, 先定性、后定量认识危险。
- 3) 寻求最佳的对策, 控制事故(危险的控制与处理), 达到系统安全的目的。

任何生产系统, 在其寿命周期内都有发生事故的可能。区别只在发生的频率和事故的严重程度(即风险大小)不同而已。因为在制造、试验、安装、生产和维修过程中普遍存在着危险性。在一定条件下, 如果对危险性失去控制或防范不周就会发生事故, 造成人员伤亡和财产损失。为了抑制危险性, 使其不发展为事故, 或减少事故造成的损失, 就必须对它有充分的认识, 掌握危险发展为事故的规律, 也就是要充分揭示系统存在的所有危险性及其形成事故的可能性和发生事故的损失大小, 即评估系统客观存在的风险大小。

按照风险评估结果的量化程度, 风险评估方法可分为定性风险评估方法和定量风险评估方法。

1.4.1 火灾风险评估的目的

火灾风险评估可以更加客观、准确地认识火灾的危险性, 从而为人们预防火灾、控制火灾和扑灭火灾提供依据和支持。由于火与人们的生产、生活息息相关, 所以火灾风险评估同样有着很强的应用背景, 主要有以下三个方面。

1. 为建筑物的性能化防火设计提供依据

自20世纪中后期开始, 超高层超大规模, 设计新颖的建筑在世界上多个国家和地区如雨后春笋般出现。随着社会的发展和建筑技术的不断进步, 这些超高层、设计新颖的建筑和将会进一步增多。我国也不例外, 特别是近年来随着城市化进程的不断加快, 城市规模不断扩大, 城区面积不断增加, 在城市规模不断扩大的同时, 城市建筑也出现了新的特点:

- 1) 由传统的低层或多层建筑向中高层或超高的大型建筑转变。
- 2) 建筑材料由传统的砖瓦等相对单一的材料向钢材等新型材料转变。
- 3) 建筑功能由单一简单的建筑物向大型复杂的现代建筑物转变。

由于当今城市功能复杂的大型建筑和超大型公共娱乐场所的大量建设, 再加上城市人员集中、建筑物密集、人员疏散困难等原因, 一旦发生火灾就有可能造成巨大的财产损失和人

员伤亡,并造成严重的社会影响。由于现行建筑防火设计规范无法解决这些大型、超大型建筑的消防设计问题,所以只能借助于性能化防火设计降低火灾危险,而合理的建筑性能化防火设计又离不开科学的火灾风险评估方法。合理的火灾风险评估能够帮助人们认识火灾的危险程度以及可能造成的损失状况,从而对防火对策提供科学的指导。

2. 为保险行业制定合理的保险费率提供科学依据

保险是一种信用行为,当保户向保险公司交付了保险费,就意味着同时也把可能发生的风险转嫁给了保险公司。保险公司收取了保险费,签订了保险合同,也就承担了风险发生后补偿损失的义务。精算、核保是保险的第一步,保险费率的确定必须建立在科学、合理的风险评估基础之上。火灾本身具有确定性和随机性的双重规律,火灾事故的发生也受可燃物、环境、防火设备等诸多因素影响。作为风险的一种情况,火灾风险评估就显得更加有意义。

3. 为性能化设计规范和相关法律法规制度的制定做准备

开展性能化防火设计并制定相应的防火设计规范是必然的趋势。随着我国火灾科学与消防工程学科不断发展,随着大量实际工程经验的积累,火灾风险评估的方法和性能化设计的水平将会有很大程度上的提高,这对今后性能化防火设计规范的制定打下了坚实的基础。同时,随着我国法制制度的不断完善,在新时期、新的条件下也会出现一些相关安全法规制度,而这些法规制度的制定也离不开大量火灾风险评估的结果和经验。

1.4.2 火灾风险评估的意义和作用

首先,风险评估是火灾科学与消防工程的重要组成部分,对完善火灾科学与消防工程学科体系有着重要的作用。对火灾的科学认识实际上就是对火灾的确定性和随机性这两种复杂性的深入认识。确定性规律开展研究的时间比较长,也得出了很多成果,但对于火灾的随机性,人们的认识还不够。由于火灾过程的复杂性,火灾作为灾害事件的偶发性,以及现有信息资料和理论知识的不完备性,使得火灾风险评估体系不能期望建立在对灾害自身确定性规律的完备认识的基础上,风险评估本身既涉及确定性又涉及不确定性,而其不确定性既包含随机不确定性又包含模糊不确定性。火灾风险评估就是与火灾的随机性相关的一个研究方向,它对于完善火灾的双重性规律有着十分重要的意义。同时,火灾风险评估对促进性能化防火设计的发展,指导实际消防工程以及消防、保险等相关行业的发展也将产生重大影响。

其次,风险评估是火灾科学和消防工程今后发展的重点。当前,全球对火灾科学防治越来越高的要求促使火灾安全工程在技术层面上必须发生以下三个转变:①由被动式的灾害防治技术向以“清洁阻燃、智能探测、清洁快速定位”为主要环节的主动式灾害防治技术的转变;②由传统的“处方式”设计向科学的安全工程设计的转变;③由火灾防治的传统管理模式向科学管理和应急预案模式的转变。其中第二个转变的核心部分就是对火灾风险评估方法学的研究与开展。迄今,火灾风险评估方法学已成为火灾科学基础研究中的另一重要课题,其研究内容同时涉及灾害的自然属性和社会属性两个方面。在火灾机理和规律已有知识的基础上,运用数值模拟技术、统计理论、随机过程理论和模糊数学理论的火灾风险评估方法已经开始受到学术界的广泛重视,其基础理论方面的研究方兴未艾。

通过火灾风险评估可以全面了解城市各区域的火灾风险状况,研究各区域的火灾风险如何随外界条件的改变而变化,给出其发生火灾的可能性及造成的后果的严重程度,以便为寻

求最低火灾发生率或火灾事故损失以及最优的消防安全投资提供可靠的理论依据。与其他类型的风险相比,火灾风险具有很多特殊性,主要表现在影响火灾风险的因素中有些因素的影响是长期潜在的,难以预料何时会引发火灾事故,而火灾风险评估的主要任务是准确识别系统中存在的火灾风险因素,并对这些火灾风险因素的影响程度作出恰当的评估,确定城市各区域的火灾风险状况,为评价城市火灾风险等级以及下一步研究奠定基础。

1.5 国内外火灾风险评估方法的研究现状

1.5.1 国外火灾风险评估方法的研究现状

为了预防和控制火灾事故的发生,减少火灾伤亡事故,世界各国对火灾风险评估的方法和理论进行了广泛的研究和探索。国外关于火灾风险评估方法学的研究主要是从20世纪70年代开始,具体研究状况可大致用以下几点概括:

1) 以现行“处方式”消防规范为依据,逐项检查消防设计方案是否符合规范要求,属于对照规范评定。如NRCC(National Research Council of Canada)的火灾风险评估模型在火灾行为和人的行为方面使用了统计数据;日本提出了“建筑综合防火安全设计方法”。其主要的不足之处是过多地参考了建筑法规,过于依赖建筑基本法。而很多实际工程并不能照搬规范,尤其是一些结构和用途复杂的新型建筑和新城区规划建设时,按现有规范很难设计,缺乏评估依据。

2) 以故障树分析(FTA)、事件树分析(ETA)等为代表的逻辑分析法。这类方法运用运筹学原理对火灾的原因和结果进行逻辑分析,能够揭示导致火灾的各基本事件之间的逻辑关系,并进行定性的描述,把系统的火灾事故与各子系统有机地联系在一起,并指出预防火灾发生的途径及应采取的控制措施。但逻辑分析法建树复杂,需要考虑的因素较多,数据收集工作往往难以实现,定量分析困难;同时,引起火灾事故发生的管理因素之间及其与其他因素之间的关系很难用简单的“与”、“或”等逻辑关系准确描述;分支对结果的影响是通过其存在概率来反映的,获取困难。

3) 综合评估方法。通过系统工程的方法,考察各系统组成要素的相互作用以及对建筑物火灾发生发展的影响,作出对整个建筑物的消防安全性能评估。如Klein、Harding、Yoshida、Siu MingLo、Chandrasekaran等对火灾状况进行评估时,过多地依赖专家的意见,主观性较强,综合评估结果难以达到科学化与合理化。

4) 火灾模化的方法。如Bruschlinsky、Chow和Peacock等人给出了150多种不同类型和级别的火灾模型,如建筑群及居民区火灾及蔓延模型、城市火灾及消防队的处置法(多属性组织与管理)模型、地下火灾模型等,但是评估结果的可靠性依赖于火灾模型的精确性,而建立能够精确模拟实际火灾的模型必须搞清火灾机理,明确包括人员行为和消防管理在内的各方面参数之间的数学关系,需要积累丰富的数据资料,工作涉及面广,工作量大,而且现阶段诸多火灾模型的实验条件应用在风险评估中不可避免地存在一定的局限性。

1.5.2 国内火灾风险评估方法的研究现状

我国关于火灾风险评估学的研究相对一些发达国家起步较晚,但是随着近些年来与国外

的相关研究机构的交流,也已经开展了火灾风险评估方面的研究工作,并取得了一定的成果。国内目前公安部所属的天津、上海、四川和沈阳四个消防科学研究所、中国建筑科学研究院建筑防火研究所、国家经贸委的劳动安全科学研究中心以及中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室、同济大学、中国人民武装警察部队学院等科研单位和高校都在开展火灾风险评估相关方面的研究工作。

1986年,公安部天津消防科学研究所开始介绍国外火灾模拟的相关方法和进展。特别是在“九五”期间,天津消防科学研究所在国外相关程序的基础上,开发了主要针对大型地下商场人员疏散的模型 FEgress,该模型在考虑人流方面具有一些突出的特点。

1989年中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室的成立,标志着中国的火灾基础研究迈出了新的一步,开始有了国家级的重点研究机构。在过去的几年中,火灾科学国家重点实验室的研究者取得了可喜的进展。在建筑火灾的计算机模拟方面,率先提出了场-区-网复合模型,该研究成果已被日本和英国等国的火灾研究者采用。场-区-网复合模型基于场、区、网模型的结合,同时利用体积守恒方法进行改进。

在国内的火灾研究中,火灾风险评估方法学虽是一个新的研究内容,但在这方面已取得了一定进展,特别是《国家重点基础研究发展计划》火灾动力学演化与防治基础(973)的立项,给予火灾风险评估的研究很大的支持。火灾风险评估中可以实现简化模型和一般统计理论的结合,而基于火灾动力学与小样本统计理论耦合的火灾风险评估方法则是未来的发展方向。以下介绍该项目的子课题6主要包括的研究内容。

1) 我国典型场所火灾环境下人群疏散规律。该项主要是建立典型场所(如中、高层建筑和人口密集的公共建筑)火灾环境下人群疏散模型,研究人员疏散中个体效应与群体效应和火灾环境对人员疏散的影响,探索疏散中的阻塞现象,综合人的心理行为特征和环境变化,解决目前人员疏散的难点问题,揭示我国典型场所火灾环境下人群疏散规律。

2) 疏导技术和疏导方式对疏散速率的影响。主要是建立建筑物内人员疏散速率的动态数学模型,深入研究影响人员疏散速率的各类因素。基于人群控制和人群管理理论,开发出切实有效的疏散技术,同时通过理论分析和试验方法,验证诱导疏散技术的功效。

3) 小样本火灾事件的统计理论。建立无(或有限)火灾事件记录的统计分析理论和火灾记录数据有删失的统计分析方法,研究火灾损失额的概率规律;建立基于小样本统计理论的火灾现象实验设计方法以及系统可靠性理论的火灾风险评估方法。

4) 基于火灾动力学和小样本统计理论耦合的风险评估方法。基于火灾双重性规律的思想,运用火灾动力学理论,包括火灾发生和火蔓延模型、烟气传播模型,结合小样本统计理论和小样本火灾实验方法,建立以典型建筑为代表的火灾环境下的风险评估方法。

同时,公安部消防局针对国家“九五”科技攻关项目“地下和大空间建筑火灾特性研究”,组织了天津、沈阳、四川、上海四个消防科学研究所、中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室以及中国建筑科学院建筑防火研究所等科研机构进行共同攻关,建成了实体试验设施和配套测试系统,建立了地下和大空间建筑火灾的数学模型、计算机模型和相关数据库,为特殊建筑环境下的火灾风险评估提供了可靠的支持。“重大工业事故与大城市火灾防范及应急技术研究”列入了国家“十五”科技攻关项目计划,其中与火灾相关的部分就包括风险评估、性能化设计等方面的内容。

近几年来,国内多次召开的火灾科学与消防工程的学术会议也推动了火灾风险评估的发

10 火灾风险评估

展，如 2003 火灾科学与消防工程国际学术会议、第一届建筑物性能化防火设计方法与评估技术研讨会等。

火灾的双重性规律决定了科学的火灾风险评估方法应该考虑确定性规律又涉及不确定性规律，这就决定了火灾风险评估的发展趋势：

1) 建立评估危险源的指标体系和量化方法，并利用模糊数学和信息扩散理论等建立基于不完备样本的风险评估统计模型。

2) 利用数据库技术，综合考虑所考察对象的环境因素，建立基于火灾确定性规律的动态风险评估模型。

当前和今后一段时间，还有一些火灾风险评估方法的基础问题有待解决：

1) 基于火灾确定性规律的危险性统计评估方法。传统的风险评估方法只是从统计学的角度来构建其理论体系。如何结合确定性动力学演化理论与统计理论来发展建立在对火灾演化机理和规律现有认识基础上的事件树分析和故障树分析等危险性统计评估方法，是火灾风险评估方法学的重要研究课题。

2) 火灾风险的动态模型。对火灾风险分析而言，基于统计理论的分析方法总体上是一种静态分析方法。运用随机过程模型构建评估火灾风险的动态模型，借此研究某一系统特定条件下发生火灾后风险概率的时间分布，发展体现火灾随时间传播过程的风险评估理论，也是值得深入研究的课题。

思 考 题

1. 简述火灾科学与消防工程之间的关系。
2. 简述火灾风险评估的目的、意义及作用。

火灾危险源的危害特征、辨识及其管理

2.1 火灾主要危险源及危害特征

火灾是失去控制的燃烧所造成的灾害。它是一种频繁发生的、危害严重的事故。凡是具备燃烧条件的地方,如果用火不当,或由于某种事故或其他因素,造成火焰不受限制地向外扩展,就可能形成火灾。

根据危险源分类,火灾的第一类危险源包括可燃物、火灾烟气及燃烧产生的有毒、有害气体成分,第二类危险源是人们为了防止火灾发生、减小火灾损失所采取的消防措施中的隐患。

2.1.1 可燃物

可燃物的存在是火灾发生的根本原因。可燃物可分为气相、液相和固相三种形态。发生燃烧时,它们与空气混合的难易程度不同,因而其燃烧状况存在较大差别。可以使用火灾荷载密度、发生火灾后的热释放速率、可燃物起火后对环境的辐射热流量等指标来衡量建筑物内可燃物的危害程度。

1. 火灾载荷

火灾荷载与火灾的严重程度之间有很明显的关系,没有可燃材料就不可能发生火灾;可燃材料越多火灾也就越严重。所以火灾荷载的确定为火灾危险源判定与火灾危险性分析尤为重要。

(1) 材料的燃烧值

任何材料燃烧时都会释放大量的能量,这种能量的具体量值可以通过燃烧热来确定。燃烧热也被称为热值,用单位质量的材料完全燃烧所释放的总热量来定义。或者更标准地说是标准条件下氧化剂与可燃材料反应且生成产物所产生的反应热。这个热值可以通过理论公式计算获得,也可以通过试验测得。

通过热力学与热化学理论对可燃物的燃烧过程进行计算,从而洞悉这期间能量的变化情况,这就是热值的理论计算。具体计算是利用能量守恒定律对化学反应过程中化学能与热能的能量转化进行解释,进而根据化学中热力学的基本原理来对化合物热值进行计算。

1) 热力学第一定律。热力学第一定律说的是一个物体体系在某一个特定的状态会具有一定的能量,如果这个状态因为外部原因而发生变化,体系中能量变化与引起这种状态变化的具体途径或者手段无关,仅与体系的始末状态有关。根据热力学第一定律,所有物质在燃

烧过程中所释放的热以及体系做的功分别可用 Q 和 W 来表示：

$$Q = \Delta u + W = u_2 - u_1 = W \tag{2-1}$$

式中 u_1 、 u_2 ——始态和终态时体系的内能；

Δu ——始态和终态间的内能变化。

2) 恒压热、恒容热和焐变。火灾的能量来源是热效应。恒压过程、恒容过程以及绝热过程等各种过程共同构成了物系的化学反应这一复杂的过程。如果仅有体积做功，这种情况下化学反应过程可以分别称为恒容热以及恒压热过程。

由上面的定义可以把体系所具有的热容量称为焐，进而把产物与反应物之间的焐差称为标准焐变。

$$\Delta H = H_{\text{产物}} - H_{\text{反应物}} = \sum_i (n_i H_i)_{\text{产物}} - \sum_i (n_i H_i)_{\text{反应物}} \tag{2-2}$$

式中 n_i ——任何一种反应物或者生成物的摩尔数；

H_i ——反应压力和反应温度下任一反应物或者生成物的摩尔焐。

由上述公式计算得到的这个燃烧值称为定压燃烧值，这个燃烧值表示的是在恒压条件下所产生的燃烧值，这里用 Q_p 来表示；如果在定容条件下，并且反应的整个过程体积没有出现膨胀，这时候反应所放出的燃烧热被称为定容燃烧热，用 Q_r 表示，两者关系如下：

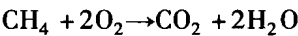
$$Q_r = Q_p + 2.43(n_2 - n_1) \tag{2-3}$$

式中 n_1 ——反应前体系中气体的总摩尔数；

n_2 ——反应后体系中气体的总摩尔数。

在化学反应中，物质通过化学反应从反应物转化为生成物，这个过程必然会伴随能量的转换，反应期间的热效应可以用热化学方程表示。这里引入化学当量的概念，通过反应过程以及化学当量方程式可以计算出化学当量。不管化学反应分为几个步骤，整个过程中所吸收或者说放出的净能量是不改变的。

根据这一热力学基本原理，化合物的燃烧热可以通过反应焐变计算出。比如甲烷的燃烧反应中，假设所有碳通过化学反应均匀燃烧全部变成 CO_2 ，所有氢通过化学反应全部转化为 H_2O ，并且假定在反应过程中燃烧产物把氧气消耗殆尽，这种情况下甲烷和氧就是完全燃烧，方程式就可以写为：



由此可计算得到 1mol 甲烷完全燃烧所释放的热量为 802.5kJ，也就是热值为 $50\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。部分材料的燃烧热值见表 2-1、表 2-2。

表 2-1 各类材料的热值（固体和液体）

材料	热值 $/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	材料	热值 $/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	材料	热值 $/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	材料	热值 $/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
固体		软木	29	粗石蜡	47	微粒板	18
无烟煤	34	棉花	18	泡沫橡胶	37	塑料	
柏油	41	谷物	17	异戊二烯橡胶	45	工程塑料	36
沥青	42	黄油	41	轮胎	32	环氧树脂	19
纤维素	17	厨房垃圾	18	丝绸	19	三聚氰胺树脂	34
木炭	35	皮革	19	稻草	16	羟基类化合物	18
服装	19	油毡	20	木材	18	甲醛	29
烟煤 煤炭	31	纸和纸板	17	羊毛	23	聚酯纤维	31