



世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

# 建筑消防

张培红 王增欣 主编  
陈宝智 主审



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



TU998.1/14

2008

21 世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

# 建 筑 消 防

主 编 张培红 王增欣  
副主编 李 刚  
参 编 周 前  
主 审 陈宝智

机械工业出版社

本书从火灾的燃烧学机理出发,讨论火灾发生、发展以及蔓延的规律;建筑物防排烟设计方法和措施、建筑材料及建筑构件的耐火性能、建筑物耐火等级、消防规划和消防布局、安全疏散等防火方法和技术;室内外消火栓系统、自动喷水灭火系统、细水雾灭火系统、气体灭火、泡沫灭火、火灾探测报警和消防联动等建筑灭火方法和技术。并结合火灾案例和消防工程实例,介绍了特殊建筑的消防技术措施和防爆技术;从系统安全的理论出发,讨论了建筑火灾危险性评价的基本方法。

本书内容结合性能化防火设计的思想,注意吸收国内外消防工程领域的先进技术。可以作为高等院校建筑环境与设备工程、消防工程、安全工程、建筑技术、工程管理等专业的教材,也可供从事相关专业的科研人员、工程技术人员及管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑消防/张培红,王增欣主编. —北京:机械工业出版社, 2008. 4

21世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材  
ISBN 978-7-111-23547-7

I. 建… II. ①张…②王… III. 建筑物-消防-高等学校-教材 IV. TU998.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第024070号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘涛 责任校对:吴美英

封面设计:王伟光 责任印制:李妍

三河市汇鑫印务有限公司印刷

2008年4月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·10.75印张·415千字

标准书号:ISBN 978-7-111-23547-7

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379720

封面无防伪标均为盗版

# 序

建筑环境与设备工程专业是1998年教育部新颁布的全国普通高等学校本科专业目录，将原“供热通风与空调工程”专业和“城市燃气供应”专业进行调整、拓宽而组建的新专业。专业的调整不是简单的名称变化，而是学科科研与技术发展，以及随着经济的发展和人民生活水平的提高，赋予了这个专业新的内涵和新的元素，创造健康、舒适、安全、方便的人居环境是21世纪本专业的重要任务。同时，节约能源、保护环境是这个专业及相关产业可持续发展的基本条件，因而它们和建筑环境与设备工程专业的学科科研与技术发展总是密切相关，水可忽视。

作为一个新专业的组建及其内涵的定位，它首先是社会需求所决定的，也是和社会经济状况及科学技术的发展水平相关的。我国的经济持续高速发展和大规模建设需要大批高素质的本专业人才，专业的发展和重新定位必然导致培养目标的调整和整个课程体系的改革。培养“厚基础、宽口径、富有创新能力”，能符合注册公用设备工程师执业资格，并能与国际接轨的多规格的专业人才是本专业教学改革的目的。

机械工业出版社本着为教学服务，为国家建设事业培养专业技术人才，特别是为培养工程应用型和技术管理型人才做贡献的愿望，积极探索本专业调整和过渡期的教材建设，组织有关院校具有丰富教学经验的教授、副教授主编了这套建筑环境与设备工程专业系列教材。

这套系列教材的编写以“概念准确、基础扎实、突出应用、淡化过程”为基本原则，突出特点是既照顾学科体系的完整，保证学生有坚实的数理科学基础，又重视工程教育，加强工程实践的训练环节，培养学生正确判断和解决工程实际问题的能力，同时注重加强学生综合能力和素质的培养，以满足21世纪我国建设事业对专业人才的要求。

我深信，这套系列教材的出版，将对我国建筑环境与设备工程专业人才的培养产生积极的作用，会为我国建设事业做出一定的贡献。

陈在康

# 前 言

火灾是火在时间和空间上失去控制而导致蔓延的一种灾害性燃烧现象。近年来，商场、宾馆、饭店、舞厅等大型公共建筑以及高层建筑、地下建筑火灾事故频发，建筑火灾所造成的经济损失上升到全部火灾经济损失的80%以上，城市建筑火灾已经成为威胁社会公共安全水平的一个重要因素。研究建筑火灾发生和防治的规律，开发切实有效的建筑消防技术，是当前加强城市公共安全的一项重要任务，具有重要的现实意义和社会价值。

本书从系统安全的角度出发，强调把整个建筑物作为一个整体来考虑，把每一部分的消防措施放到一个大系统中去分析。本书内容结合性能化防火设计的思想，注意吸收国内外消防工程领域的先进技术，以及消防工程的实际案例进行分析，研究实现建筑物火灾安全的综合措施。

本书从火灾燃烧学机理出发，分析火灾发生、发展的基本规律，对烟气控制、结构防火、主动或被动灭火、火灾自动探测报警、消防联动控制系统和人员安全疏散等方面技术措施进行综合分析，并利用系统安全理论和方法实现对建筑火灾危险性进行评价。

本书由沈阳建筑大学、平顶山工学院以及东北大学长期从事建筑消防领域教学、科研和工程实践的教师编写。编写人员有沈阳建筑大学张培红、平顶山工学院王增欣、东北大学李刚、平顶山工学院周前。张培红、王增欣担任主编，张培红统稿。东北大学陈宝智教授担任主审，沈阳建筑大学刘强、李志新、丛明、刘牧、符静宇、李翠等参与了本书的编写，并提出了很多宝贵意见，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中错误和不妥之处，恳请读者予以批评指正。

编 者

# 目 录

序

前言

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 火灾的特征及其危害 .....	1
1.2 消防技术的发展现状 .....	4
1.3 消防技术的发展趋势与前景 .....	7
1.4 本书的主要内容 .....	9
<b>第2章 火灾的燃烧学基础</b> .....	10
2.1 火灾燃烧反应的三要素 .....	10
2.2 燃烧机理 .....	14
2.3 不同种类可燃物的火灾燃烧特性 .....	16
2.4 燃烧速率 .....	29
2.5 建筑物火灾的发展和蔓延 .....	31
2.6 火灾释热速率的测量和设定 .....	37
<b>第3章 烟气的产生、蔓延和控制</b> .....	42
3.1 烟气的产生 .....	42
3.2 烟气的特征参数 .....	44
3.3 烟气的危害 .....	48
3.4 烟气的蔓延 .....	52
3.5 烟气的控制技术 .....	72
3.6 防排烟设施 .....	84
<b>第4章 建筑物的耐火设计</b> .....	94
4.1 建筑材料的耐火性能 .....	94
4.2 建筑构件的耐火性能 .....	95
4.3 建筑物的耐火等级 .....	100
<b>第5章 消防规划布局和平面布置</b> .....	103
5.1 消防规划布局和平面布置的一般原则 .....	103
5.2 防火间距 .....	108
5.3 防火分区 .....	112
5.4 防火分隔设施 .....	117
5.5 特殊建筑结构的防火分隔措施 .....	119
5.6 防烟分区 .....	123

<b>第 6 章 建筑消防灭火系统和设计</b> .....	126
6.1 消火栓系统 .....	126
6.2 自动喷水灭火系统 .....	152
6.3 细水雾灭火系统 .....	198
6.4 其他灭火系统 .....	202
<b>第 7 章 建筑消防电气系统</b> .....	214
7.1 消防电源 .....	214
7.2 火灾探测器 .....	222
7.3 火灾自动报警系统 .....	241
7.4 联动系统 .....	246
<b>第 8 章 安全疏散</b> .....	261
8.1 安全疏散设计的原则及主要影响因素 .....	261
8.2 建筑物可利用的安全疏散时间 .....	262
8.3 实际需要的疏散时间 .....	265
8.4 疏散出口 .....	269
8.5 疏散楼梯和楼梯间 .....	276
8.6 消防电梯 .....	281
8.7 避难层(间) .....	282
8.8 安全疏散的其他设施 .....	284
<b>第 9 章 特殊建筑的消防技术</b> .....	286
9.1 高层建筑消防技术 .....	286
9.2 地下建筑消防技术 .....	293
9.3 古建筑消防技术 .....	299
9.4 石油化工企业建筑物消防技术 .....	304
9.5 工业企业建筑防爆 .....	307
<b>第 10 章 建筑火灾危险性评价</b> .....	313
10.1 概述 .....	313
10.2 安全检查表法 .....	317
10.3 事件树分析法 .....	320
10.4 火灾危险度分析 .....	322
10.5 火灾过程计算机数值模拟 .....	325
10.6 火灾危险性分析实例 .....	326
<b>参考文献</b> .....	335

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 火灾的特征及其危害

### 1.1.1 火灾的特征

火是一种快速的氧化反应过程，具有一般燃烧现象的特点，往往伴随着发热、发光、火焰、发光的气团及燃烧爆炸造成的噪声等。火的正确使用所能提供的能量，不仅改善了人类基本的饮食和居住条件，而且极大地促进了社会生产力的发展，对人类文明的进步做出了重大的贡献。

火灾是火在时间和空间上失去控制而导致蔓延的一种灾害性燃烧现象，会对自然和社会造成一定程度的损害。火灾科学的研究表明，火灾的发生和发展具有双重性，即火灾既具有确定性，又具有随机性。火灾的确定性是指在某特定的场合下发生了火灾，火灾基本上按着确定的过程发展，火源的燃烧蔓延、火势的发展、火焰烟气的流动传播将遵循确定的流体流动、传热传质以及物质守恒等规律。火灾的随机性主要指火灾在何时、何地发生是不确定的，是受多种因素影响随机发生的。

火灾从发生、发展到最终造成重大灾害性事故大致可分为四个阶段：初起期、成长期、最盛期和衰减期。一旦火灾发展到最盛期，火灾所产生的烟和热，以及有毒有害物质（CO、CO<sub>2</sub>、碳氢化合物、氮氧化物等）不仅会严重威胁人的生命安全，造成巨大的财产损失，对环境和生态系统也会造成不同程度的破坏。火灾造成的直接损失约为地震的五倍，仅次于干旱和洪涝，而其发生的频率则高居各种灾害之首。火灾造成的直接和间接经济损失、人员伤亡损失、灭火消防费用、保险管理费用以及投入的消防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表明，世界上许多发达国家每年火灾直接经济损失占国民经济总产值的 2% 以上，相当于人均每年 20 英镑，而整个火灾代价约占国民生产总值的 1% 左右，人员死亡率在十万分之二左右。

### 1.1.2 火灾类别

火灾的类型不同，其特点也有所不同。国家标准《火灾分类》（GB/T 4968—1985）根据物质燃烧特性，将火灾划分为以下四种类型：



A类火灾：指固体物质火灾。这种物质往往具有有机物质，一般在燃烧时能产生灼热的灰烬，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物质火灾，如汽油、煤油、柴油、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、氢气火灾等。

D类火灾：指金属火灾，如钾、钠、镁、钛、锆、锂、铝镁合金火灾等。

此外，在建筑灭火器配置设计中还专门提出E类火灾，指电器、计算机、发电机、变压器、配电盘等电气设备或仪表及其电线电缆在燃烧时仍带电的火灾。一般说这类火灾与A类或B类火灾共存。

根据火灾发生的场所，通常包括建筑火灾、森林火灾、交通工具火灾等。其中，根据建筑物功能的不同特点，建筑火灾包括民用建筑火灾、公共建筑火灾、工厂仓库火灾等。根据建筑物结构的不同特点，建筑火灾可分为高层建筑火灾、地下建筑火灾等。

### 1.1.3 火灾分级

根据1996年国家发布的“火灾统计管理规定”，我国将火灾分为特大火灾、重大火灾和一般火灾三级，如表1-1所示。只要达到其中一项就认为达到该级火灾。

表1-1 火灾等级的划分标准

火灾等级	死亡人数	重伤人数	死亡重伤总人数	受灾户数	直接财产损失/万元
特大火灾	≥10	≥20	≥20	≥50	≥100
重大火灾	≥3	≥10	≥10	≥30	≥30
一般火灾	<3	<10	<10	<10	<30

### 1.1.4 火灾与社会经济的关系

火灾的双重性，尤其是随机性特征表明，火灾是一种与人类活动密切相关，但不完全以人的意志为转移的灾害现象，火灾具有与社会环境条件和人类行为密切相关的特性。随着社会生产规模的扩大、财富积累的迅速增加以及生活水平的提高，致灾因素增多，即使采取了一些常规性的或应急性的防灾措施，也难以杜绝火灾发生，火灾发生频率和造成的损失呈显著增长的趋势。火灾统计资料表明，20世纪后半叶，美国经济快速增长，1950—2000年50年间，其国民生产总值由2822亿美元增长到98960亿美元，国民生产总值增加了35倍的同时，火灾直接财产损失增长了约17倍，由1950年的6.5亿美元增加到2000年的112

亿美元。日本自 1959—1991 年火灾直接财产损失也增加了 7.8 倍。《中国火灾统计年鉴》的火灾统计数据表明, 1950 年至 2005 年 56 年间, 我国共发生火灾约 466.4 万起, 死亡约 18 万人, 伤约 47.5 万人, 直接经济损失 255.9 亿元。1996 年以来, 随着经济的快速发展, 我国火灾起数持续增长, 2001—2005 年五年间我国火灾起数达到了 121.7 万起, 死亡约 1.2 万人, 伤 1.6 万人, 直接经济损失达到了 75.5 亿元。近 5 年来火灾的起数达到了 56 年总和的 26% 左右。令人感到欣慰的是, 随着国家对消防安全的重视, 2005 年以来全国火灾起数和经济损失呈现了明显的回落趋势。2006 年全国共发生火灾 222 702 起, 死亡 1517 人, 受伤 1418 人, 直接财产损失 7.8 亿元。我国 1950—2006 年间火灾数据的统计分析见表 1-2, 1991—2006 年间火灾数据的统计分析见图 1-1、图 1-2。

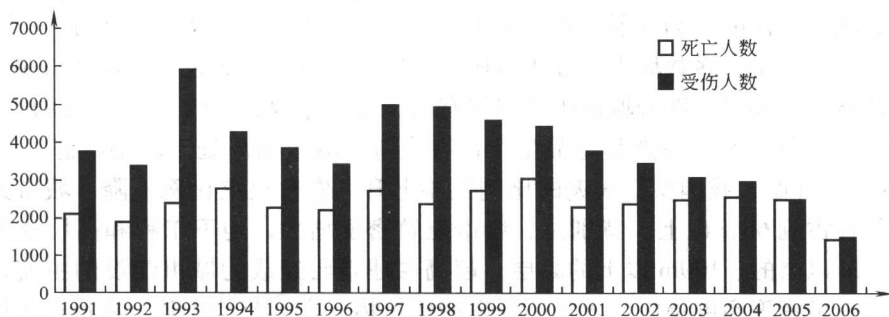


图 1-1 1991—2006 年火灾伤亡情况

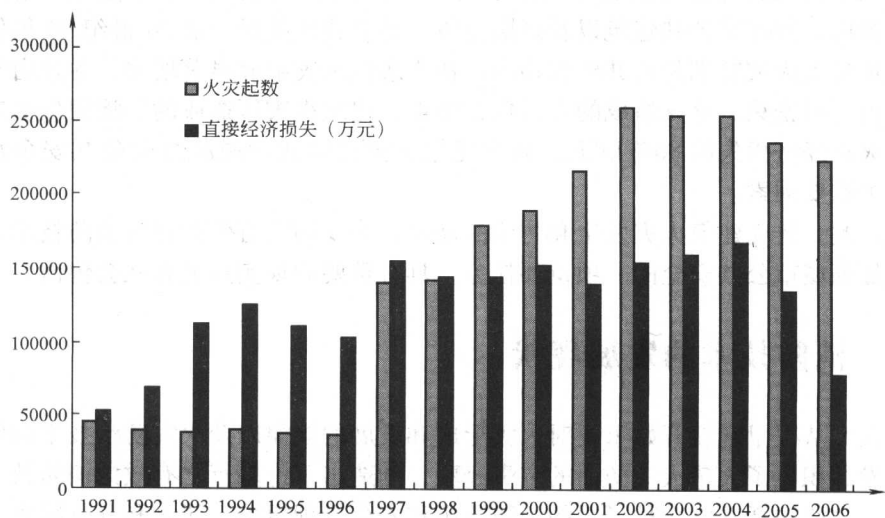


图 1-2 1991—2006 年火灾损失情况

表 1-2 我国 1950 ~ 2005 年火灾数据统计分析

年 度	火灾起数/万起	死亡/万人	受伤/万人	直接损失/亿元
1950—2005	466.4	18.0	47.5	255.9
1991—2005	210.5	3.7	5.9	191.7
1996—2005	190.5	2.5	3.8	145.1
2001—2005	121.7	1.2	1.6	75.5
2006	22.2702	0.1517	0.1418	7.8

火灾统计资料的分析表明, 20 世纪 80 年代以前, 我国火灾主要集中在农村地区, 火灾起数、死亡和受伤人数、直接经济损失四项指标农村占较大份额。近年来, 随着经济的蓬勃发展, 我国城市化水平发展速度突飞猛进, 城市人口迅速增加。但是, 绝大多数城市仍处于新城与旧城、城区与工业区、商业区与棚户区共存的状态, 相当一部分城市中还遗留有由于历史原因建成的不符合消防规范标准的加油(气)站、易燃易爆品生产储存点等, 城市格局处于畸型状态。20 世纪 80 年代开始, 我国城市火灾的比例逐年上升, 农村火灾比例下降, 城市火灾四项指标占到 60% 以上。特别是, 城市建筑密度增大, 地下工程和高层建筑增加, 24m 以上的、100m 以上的高层、超高层建筑已经成为城市建设的主流, 建筑物内人员密度高度集中。大量新开发的建筑物, 高度节节攀升, 盲目追求规模和功能的庞大、复杂。尤其是新建建筑和后期改造的旧建筑盲目追求装修的奢华程度, 建筑物的火灾荷载以及消防设计和施工存在严重的超规范和违规规范的现象。城市火灾从过去易燃易爆品集中的工厂、仓库和居民住宅等场所开始向商场、饭店、舞厅等公共建筑以及高层建筑、地下建筑蔓延。从 20 世纪 90 年代开始, 重特大火灾特别是公共建筑物内重特大恶性火灾事故显著增多, 并且由于建筑物内人员密集, 火灾造成的人员伤亡惨重。建筑火灾所造成的经济损失上升到全部火灾经济损失的 80% 以上, 城市建筑火灾已经成为威胁社会公共安全水平的一个重要因素。

因此, 研究建筑火灾发生和防治的规律, 开发切实有效的建筑消防技术, 是当前加强城市公共安全的一项重要任务, 具有重要的现实意义和社会价值。

## 1.2 消防技术的发展现状

人类从很早起就开始重视对火灾形成和发展的规律以及火灾防治技术的研究和开发, 积累了大量火灾防治的宝贵经验, 创造出了许多行之有效的消防技术和措施。主要包括建立各种形式的消防队伍和安全管理机构, 研制和开发防灭火的技术和装备, 研究火灾形成和发展的规律, 制定一系列的防火与安全用火的法律

和法规等。

据记载，我国早在周代时期就设置了分别掌管乡村、城镇和宫内火禁事宜的火官，以后各朝代均沿习设立类似的官员。宋朝开始建立了专司救火的“防隅军”和“潜火军”，以及民间的消防组织“水会”。我国在清朝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，国家建立了新型公安消防部队，经过多年的努力，这支队伍的知识化、专业化和正规化水平都有了很大的提高，装备了较为先进的防灭火、运输、通信、管理等设备。

在消防技术设施和装备方面，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，但同靠近火焰泼水或向火中投掷水袋等灭火方式相比，是一个很大的进步。18世纪，西方国家制造出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的台阶。19世纪中叶，西方国家的工程师就发明了早期的自动喷水灭火装置和火灾自动报警装置。20世纪50年代以后，各类性能先进的火灾自动报警和自动灭火系统、防排烟设备、灭火剂、防火建筑材料和构件等消防技术产品，被大量开发出来，并在实际工程中得到广泛应用。

20世纪中期以来，数学、物理学、燃烧学、流体力学、计算机技术等学科领域的发展及火灾试验手段的提高，为开展火灾机理和消防技术的研究创造了很好的条件。1956年，美国马里兰大学设立世界上第一个“消防工程系”，英国爱丁堡大学于1973年成立“消防工程系”并开设了世界上第一个消防工程专业的硕士研究生课程。许多国家的消防科学家和工程师成立了专业性学术机构，进行各种专业学术活动，并产生了相当大的社会影响，如美国消防工程师学会、英国消防工程师学会和德国消防促进协会等。1985年，由英、美、日等国几位著名的消防科学家发起，成立了国际火灾安全科学学会（International Association for Fire Safety Science），其会员的研究领域包括火灾化学、火灾物理、火灾动力学、火灾探测报警与自动灭火系统、建筑性能化防火设计、人在火灾中的行为、火灾风险评估、火灾调查、消防安全管理等。其中美国哈佛大学的艾蒙斯（H. W. Emmons）教授提出了火灾模化的理论，为火灾科学的建立奠定了基础。英国爱丁堡大学庄斯戴尔教授（D. Drysdale）出版了专著《火灾动力学》，对火灾科学的理论体系进行了系统的阐述。火灾科学的建立和发展，为消防工程发展成为一门独立学科奠定了理论基础，并促进了消防新技术、新产品的研究与开发。

我国在消防工程研究领域的腾飞自1990年12月第二次全国消防科技工作会议开始。会议针对国内高层建筑的发展状况，确定了“八五”期间我国消防科技的重点主攻方向为“高层建筑的火灾预防与控制技术”。通过五年的攻关研究，开发成功一系列具有较高技术水平的高层建筑防火、自动报警、自动灭火设

备和适合消防部队扑救高层建筑火灾的特种消防技术装备。此外，还开展了大量的基础研究和应用基础研究，例如：运用模拟方法进行了室内家具组件火灾特性和实验技术的研究以及地下民用建筑火灾烟气流动特性的研究；运用激光全息和电子测重技术成功地解决了大水粒三维空间分布与测重的关键技术，开展了消防装置喷雾水粒流场特性试验的研究；开展了高层建筑楼梯间送风排烟技术的研究、粉尘爆炸及泄压的研究、承重柱和梁板耐火性能试验装置的研制等。这些基础研究及其成果，为我国消防领域有关技术法规的制订和实施，提供了科学依据和技术手段。“九五”期间，针对地下建筑和大空间建筑的火灾预防与扑救技术，以国家科技攻关项目为龙头，公安部的4个部属专业消防研究所、中国科技大学火灾科学国家重点实验室、中国建筑科学研究院建筑防火研究所等单位开展了多层次、多学科交叉的联合攻关研究。在探索地下建筑与大空间建筑的火灾规律、开发高新技术的火灾探测报警、自动灭火、防排烟设备和消防部队灭火救援装备等方面，取得了一批重要科研成果，并且建成了大空间火灾试验馆、高层建筑火灾试验塔、固定灭火系统综合试验馆等一批具有一定国际水平的试验装置。其中点型感烟火灾探测器和火灾报警控制器的标准及其检测设备、民用住宅耐火性能的评价研究、消防装备喷雾水粒子流场特性试验方法、高层建筑楼梯间正压送风机械排烟技术的研究等20多项成果获得国家级科技成果奖励。

近年来，科学技术的发展和火灾的严重危害，促使国际消防界开始深入思考如何从规范和法规的完善出发，真正达到主动防火的目的。现在广泛采用的传统的“指令式规范”只是强制规定防火设计必须满足的各项设计参数指标，如建筑设施的结构要求、耐火要求、机械系统、电气系统、消防系统等。“指令式规范”的优点是清楚明了，没有为不正当的验收评估留有余地。但其缺点是它使建筑设计千篇一律，一定程度上阻碍了新材料、新产品、新施工技术或者创新设计的采用，很难满足技术进步的要求。“指令式规范”对具体建筑物要达到的总的目标不予要求，也不进行评估。而且对于工程师来说，只单纯的计算消防系统的某一独立部分是不够的，应该把整个建筑物作为一个整体来考虑，把每一部分的消防措施放到一个大系统中去分析。以前和现在仍然到处可见建筑物的结构耐火性能根本不考虑水喷淋的因素，水喷淋也不考虑烟控系统，烟控系统也不考虑建筑材料和装饰材料的因素。国际上在20世纪80年代初提出了建立“以性能为基础”的防火规范的概念。英国于1985年完成了建筑规范，包括防火规范的性能化修改，新规范规定“必须建造一座安全的建筑”，但不详细规定应如何实现这一目标。澳大利亚于1996年颁布了性能化规范《澳大利亚性能化建筑设计规范》(BCA96)，并自1997年陆续被各州政府采用。新西兰1992年发布了性能化的《新西兰建筑规范》(NZBC, New Zealand Building Code)，1993—1998年开展了“消防安全性能评估方法”的研究，制定了性能化建筑消防安全框架，

包括防止火灾的发生、安全疏散措施、防止倒塌、消防基础设施和通道要求以及防止火灾相互蔓延五部分。美国已完成性能目标和基本完成性能级别分级的确定,并于2001年发布了国家级的建筑性能规范和防火性能规范。加拿大亦于2001年发布了性能化的建筑规范和防火规范。我国现行的消防法律体系以《中华人民共和国消防法》为基础,以消防行政法规系列和消防技术法规系列构成庞大的支撑体系。就消防技术法规而言,迄今为止我国已发布了相关法规22本,制订各类消防国家标准和行业标准200多项,建成了4个国家级的消防产品质量监督检验中心,建立了一套比较完整的消防产品质量监督管理制度。由于受制订周期长和学科发展水平所限,加上建筑形式和建筑功能多样化、管理智能化等因素影响,现行技术规范越来越难以适应科技日新月异发展和我国制造业高速发展的形势。我国从1996年开始也开展了“性能化防火设计规范”的研究工作,并将其列入了国家“十五”科技攻关项目计划。

“十五”期间,性能化防火设计、细水雾灭火技术、火灾应急疏散和救援、火灾多参数智能探测等领域的研究和新技术开发取得了一系列可喜的成果,并将在国家“十一五”科技攻关项目计划中得到进一步的深入研究。

### 1.3 消防技术的发展趋势与前景

作为一门新兴的学科,消防工程的研究领域正在不断拓展,研究成果不断增加。从目前的发展趋势来看,消防工程学科领域今后需要在以下几个方面进一步深入开展研究和发展:

(1) 消防设计观念的更新。消防安全工程学的发展为消防科研提出了一批新的研究课题,如:火灾发生和发展的规律及其计算机模化、燃烧产物的产生与传播、火灾烟气流动特性及其计算机模化、防火系统与技术、火灾中人的行为与疏散模型、建筑物的火灾危害评估与火灾风险评估,以及为消防安全提供基础数据的火灾统计与分析研究等。可以预见,这些课题的研究将对发展性能化设计、建立科学合理的消防技术标准和设计规范体系、乃至带动整个消防科技领域的发展具有十分重要的意义。

(2) 计算机火灾模化技术的开发与应用。计算机火灾模化技术的开发应用,使人们可以通过工程计算和计算机模拟的方法,对不同空间、环境条件下火灾的发展和蔓延进行模拟和预测,并对建筑构件、材料组件以及消防设备的火灾特性进行推算和确定。此外,计算机火灾模型还能够用来重现一场实际火灾的蔓延发展过程,为火灾调查提供科学依据。目前,国外已开发出一些具有实用价值的计算机火灾模型,并在一定范围得到应用。例如,美国的 Hazard、CFAST、FDS,加拿大的 FIRECAM,英国的 Exodus、Exit89、Phoenix,澳大利亚的 CESARE-

Risk, 日本的 BRI, 德国的 KOBRA-3D 等。中国科技大学火灾科学国家重点实验室提出了场、区、网火灾模型, 对火灾模化技术的发展做出了很大的贡献。通过一系列大空间建筑火灾实验, 场区网模型得到了进一步的验证和发展。

(3) 火灾自动探测报警技术的创新。今后的工作将主要集中在以下几个方面, 其一是开发具有特殊性能的火灾自动探测报警系统和自动灭火系统, 使其具有高灵敏度、高可靠性、早期报警、快速响应, 并能适用于高大、洁净或干扰因素较多等特殊空间和环境; 其二是积极运用相关专业领域的高新技术和理论, 如激光微粒计数技术、红外分光光谱技术、人工智能和神经网络控制理论等, 开发研制高性能、高质量的新产品; 三是特别注重工程应用技术的研究, 对已开发出来的产品在各种不同环境、条件下进行工程应用试验和测试研究, 以拓展其应用范围。此外, 更重要的是, 人们越来越认识到, 火灾基础理论研究, 特别是火灾早期的声、光、热等信息特征及其与环境因素的关系等方面的基础理论研究, 对于开发研制多参数、智能型、复合型火灾探测报警系统具有非常重要的意义。

(4) 新型灭火剂和阻燃剂的开发与应用。由于哈龙灭火剂对臭氧层的破坏, 国内外兴起了哈龙替代灭火剂的研究开发热潮。目前, 已开发出一些比较成熟的产品, 如: 七氟丙烷 (FM200) 和混合气体 (Inergen 烟烙烬), 但这些产品都存在不足之处。目前, 国际上尚未研制出一种既满足环保要求, 又在灭火效能、安全性和成本等方面均超过哈龙的新灭火剂; 更未能研制出可以充装到已使用的哈龙 1301 系统里直接替代哈龙 1301 的灭火剂。因此, 开发新型哈龙替代灭火剂的工作是目前和今后几年世界瞩目的研究课题。

与此同时, 随着材料与化工技术的不断进步, 寻找其他各类新型灭火剂和阻燃剂的研究与开发工作也将进入一个新的高速发展阶段。国外对 A 类泡沫灭火剂和无卤阻燃剂的开发研究就是例证。但是, 哈龙灭火剂对环境造成的破坏, 带给人们深刻的教训, 使新型灭火剂和阻燃剂的环境安全问题受到各方面的极大关注。因此, 研究开发洁净、高效的灭火剂和阻燃剂将成为未来消防科研人员的主要任务之一。

(5) 消防队伍装备的专业化、系列化和智能化。经济和社会的发展不断地给消防部门提出新的任务。目前, 各国消防部门所面临的共同难题为: 各种复杂的火灾和特种灾害条件下的救援行动、特大恶性火灾的扑救、化学灾害事故的处置、恐怖破坏活动现场的救援与处置等。为了满足消防队伍的需要, 各国消防装备的研究开发机构和厂家正在努力开发专业化的各种灭火救援和特种灾害处置装备, 并使之系列化。同时, 随着自动控制和人工智能技术的发展, 消防装备的智能化程度也越来越高。各种智能化的灭火救援装备和消防机器人将成为 21 世纪消防装备领域研究开发的重要任务。

(6) 消防管理技术的信息化和网络化。计算机信息和网络技术在消防管理

工作中的应用领域十分广阔,包括防火监督管理、通信调度指挥、消防训练与培训、灭火救援辅助决策、火灾统计、消防安全知识普及教育、消防队伍的后勤管理、人事管理以及日常办公自动化等。消防管理技术的信息化和网络化已成为各国消防部门所共同关注的热点,信息化和网络化的管理模式与资源共享是消防管理技术的必然发展趋势。

## 1.4 本书的主要内容

建筑消防领域涉及可燃物燃烧和烟气的控制、结构防火、主动或被动灭火措施、火灾自动探测报警、消防联动、人员疏散、火灾风险评估等诸多方面。本着“以防为主,防消结合”的原则,可以从上述任一环节入手采取防治措施。例如,控制建筑物的火灾荷载、采取防火分隔措施、增加建筑构件的耐火级别、加强火灾探测、安装自动喷水灭火系统等,以最大程度地减少火灾时的财产损失,保障人员生命安全。

本书将在第2章主要从燃烧学机理出发,讲解火灾发生、发展的基本规律。

烟气是火灾中造成人员伤亡的主要原因。本书第3章将集中讨论火灾烟气蔓延的规律,建筑物防排烟设计的方法,和烟气控制的技术措施。

第4章主要介绍建筑材料、建筑构件的耐火性能,以及建筑物耐火等级的划分方法。

第5章主要讲解小区消防规划对建筑物防火的重要作用,建筑物消防布局和建筑物内防火分区、防烟分区的划分方法,以及建筑物和特殊建筑结构的防火分隔技术措施等。

第6章将重点讨论室内外消火栓系统的设计方法和技术措施,自动喷水灭火系统等的的设计方法和技术措施等。

第7章以消防联动控制为主体,着重介绍消防电源的设置要求,火灾自动探测报警系统和消防控制室的设计方法和技术措施。

第8章着重介绍安全疏散设施,如安全疏散楼梯间和消防电梯等的设计原则、方法和技术措施。

第9章将对一些特殊建筑,如高层建筑、古建筑、石油化工工厂或仓库、地下建筑等的消防技术特点和措施方法进行讨论。

第10章将在系统安全理论的基础上,着重介绍利用火灾安全检查表、故障树和事件树的方法,进行建筑火灾的危险性评价及分析的方法及工程实例介绍。



## 第2章 火灾的燃烧学基础

火灾的孕育、发生和发展包含着燃烧反应、相变、传热传质和流体流动等物理化学作用，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、非平衡态的动力学过程。火灾的发生和发展受到可燃物、人为因素、环境条件、地理、生态等多方面因素的相互影响和综合作用。

### 2.1 火灾燃烧反应的三要素

火灾是一种特殊的燃烧现象，可以用燃烧学的基本规律对火灾的发生和蔓延作出分析。比如起火是火灾过程的最初阶段，很多概念与燃烧学中的着火、点火等基本规律有关，但是又不完全相同，起火所涉及的面较着火和点火要广得多。所以要特别注意火灾燃烧学和一般燃烧学之间的异同点。下面先从一般燃烧学的三要素出发，了解火灾发生的基本条件。

燃烧反应在本质上是可燃物与氧化剂在一定热源作用下发生的快速氧化-还原反应。具备一定数量和浓度的可燃物和氧化剂，以及一定能量强度的引火源是引起燃烧的必要条件。在一些情况下，例如，气体可燃物或氧化剂未能达到一定浓度，引火源没有足够的热量或一定的温度，即使具备了燃烧的三个必要条件也不能燃烧。例如，一根火柴的热量不足以点燃一根木材；甲烷在空气中燃烧，当甲烷含量小于14%，或空气中氧气含量小于12%时燃烧就不会继续；若用热能引燃甲烷-空气混合物，当温度低于595℃时燃烧就不会发生。要发生火灾，必须同时具备可燃物、氧化剂和引火源三个条件并达到一定的极限值，缺一不可，通常称之为发生火灾的三要素，或称为火三角。

#### 2.1.1 可燃物

凡是能与空气中的氧或其他氧化剂起剧烈化学反应且放出热量的物质都属于可燃物质。可燃物是多种多样的，不同类型建筑物内能够引起火灾的可燃物种类更加繁多。例如，化工生产设备内流动着大量高温、高压的易燃、可燃液体，只要管道出现漏洞，喷出来就是火；工地上的生石灰遇火发热能把草袋烧着；住宅类建筑里的煤气、家用电器等，使用不当也会引起火灾。可燃物按来源可分为天然可燃物和各种人工聚合物，如木材、纸张、布匹、汽油、液化石油气、建筑装