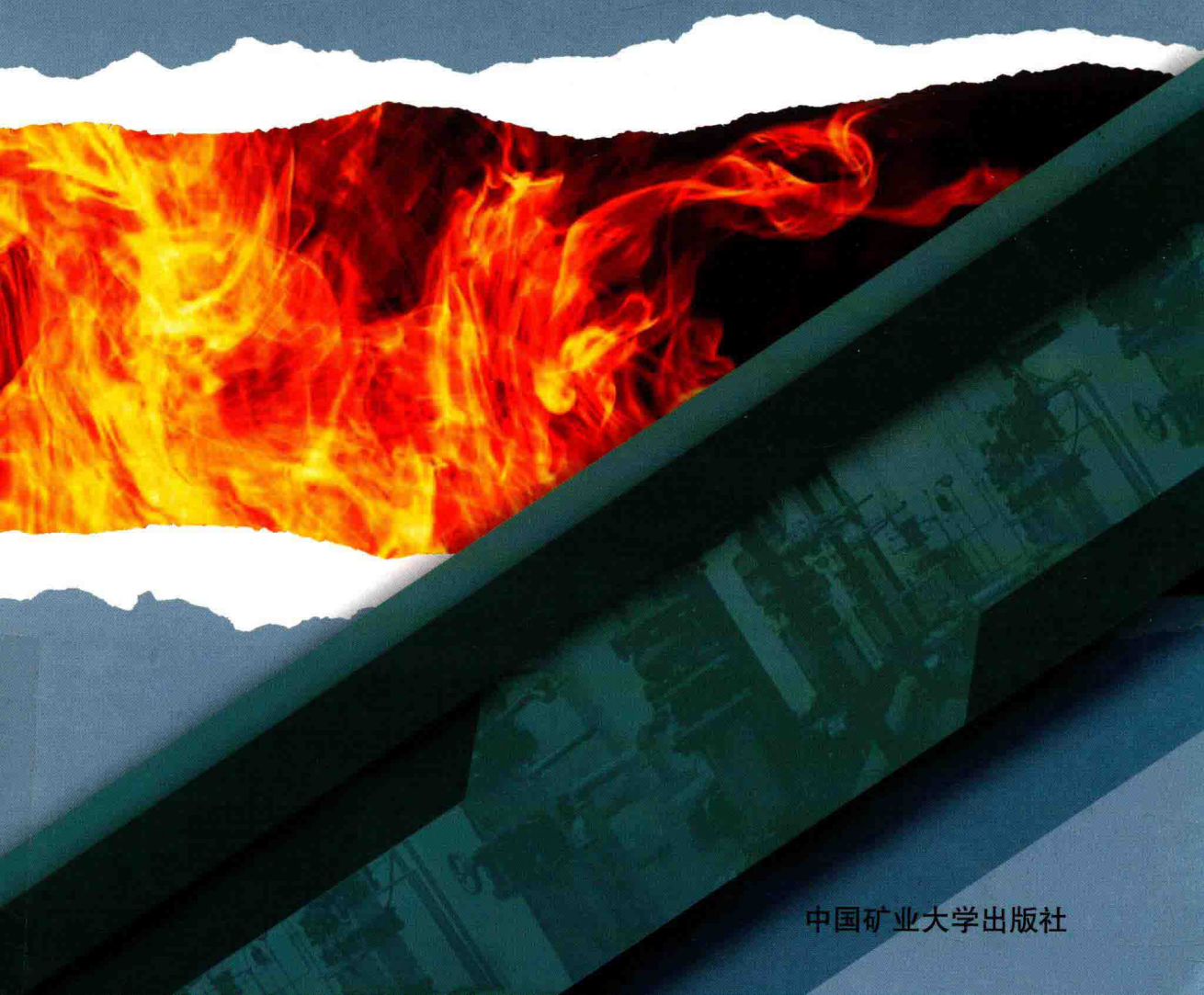


Xiaofang Gongcheng Gailun

消防工程概论

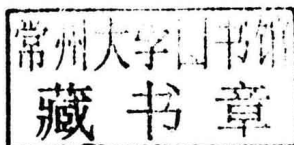
戴 强 晋丽叶 主编



中国矿业大学出版社

消防工程概论

主 编 戴 强 晋丽叶
副主编 李厚强 徐 刚
主 审 李延锋



中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本教材以消防基础知识、建筑防火、消防设施等为主进行编写,共分16章。第1章绪论重点介绍消防工程学科的发展历程及学科体系。第2章重点介绍了消防基础知识,主要介绍燃烧、火灾、爆炸的基础知识以及事故防控的基本原理与技术。第3~8章重点介绍建筑防火,主要介绍建筑的分类和耐火等级、总平面布局和平面布置、防火防烟分区、安全疏散、建筑装修、建筑电气防火等设计要求。第9~15章重点介绍建筑消防设施、器材,主要介绍各类灭火剂组成和灭火原理、使用范围,介绍了建筑室内外消火栓系统、自动喷水灭火系统、气体灭火系统、火灾自动报警系统、建筑防排烟系统等各种消防设施的分类、系统组成、工作原理、适用范围、设置要求及其供配电技术以及建筑灭火器的配置要求与配置技术。第16章重点介绍性能化防火设计,主要介绍建筑性能化防火设计的主要方法与技术。

图书在版编目(CIP)数据

消防工程概论/戴强,晋丽叶主编. —徐州:中

国矿业大学出版社, 2017. 3

ISBN 978-7-5646-3491-9

I. ①消… II. ①戴… ②晋… III. ①建筑物—消防—安全工程—概论 IV. ①TU998.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 061530 号

书 名 消防工程概论

主 编 戴 强 晋丽叶

责任编辑 周 红

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 22.75 字数 568 千字

版次印次 2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

定 价 55.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

消防工程学是一门综合性很强的工程技术学科,它涉及建筑学、结构、给排水、电气控制、暖通空调等不同的专业门类。在以往的教学,消防工程技术是被分解到各个专业中分别学习的,各专业人员大多只局限于学习与本专业相关的内容。但是,消防工程技术本身是一个完整的、有机的系统,我们需要从不同的角度采用多种方式来防范和应对火灾,多种消防手段和系统共同作用才能取得良好的防治效果。分散教学显然不利于学生对消防技术的全面理解和掌握,学生往往只见树木,不见森林,缺乏整体认识,不利于各自系统间的相互配合。因此,消防工程技术的教学从分散走向综合是必然趋势,本书的编写正是基于这种认识。

本教材以消防基础知识、建筑防火、消防设施等为主进行编写,共分16章。第1章绪论重点介绍消防工程学科的发展历程及学科体系。第2章重点介绍了消防基础知识,主要介绍燃烧、火灾、爆炸的基础知识以及事故防控的基本原理与技术。第3~8章重点介绍建筑防火,主要介绍建筑的分类和耐火等级、总平面布局和平面布置、防火防烟分区、安全疏散、建筑装修、建筑电气防火等设计要求。第9~15章重点介绍建筑消防设施、器材,主要介绍各类灭火剂组成和灭火原理、使用范围,介绍了建筑室内外消火栓系统、自动喷水灭火系统、气体灭火系统、火灾自动报警系统、建筑防排烟系统等各种消防设施的分类、系统组成、工作原理、适用范围、设置要求及其供配电技术以及建筑灭火器的配置要求与配置技术。第16章重点介绍性能化防火设计,主要介绍建筑性能化防火设计的主要方法与技术。

本教材由苏州市昆山高新区安环局晋丽叶和徐州市公安消防支队戴强、付佃现、赫永恒、贾博、李厚强、李耕勤、李全国、李勇、孙逢宇、王斌、王继国、汪永路、徐刚、谢世欣、张磊、朱信涛、王亮(徐州市消防支队防火处验收科)共同编写。其中,第1章和第8章第1节由朱信涛编写;第2章由谢世欣编写;第3章由李全国编写;第4章由贾博编写;第5章由赫永恒编写;第6章1至3节由孙逢宇编写,4至7节由李勇编写;第7章由汪永路编写,第8章第2节由晋丽叶编写;第9章由张磊编写,第10章由王亮编写;第11章1至2节由王斌编写;第11章3至6节与第15章5、6节由王继国编写;第12章由李厚强编写;第13章由徐刚编写;第14章由李耕勤编写;第15章1至4节由付佃现编写;第16章由戴强编写。中国矿业大学教授李延锋对本书进行了审阅并提出了许多修改意见。戴强、晋丽叶作为主编负责统稿并按专家审定意见进行全面修改。

本教材的编写工作得到了江苏省公安消防总队、徐州市公安消防支队的大力支持,在此表示衷心的感谢!中国矿业大学消防工程系的专家、教授对本教材进行了审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢!

鉴于编写成员们的知识水平所限,书中难免存在疏漏和不足之处,希望读者批评指正。

2016年12月

目 录

1 绪论	1
1.1 消防科学技术发展历程	1
1.2 消防工程的科学研究领域	4
1.3 消防工程教育与消防工程师	6
1.4 消防工程课程体系框架	9
1.5 消防工程学面临的挑战	13
本章小结	14
复习思考题	14
2 消防基础知识	15
2.1 燃烧	15
2.2 火灾	25
2.3 爆炸	35
本章小结	42
复习思考题	42
3 建筑分类与耐火等级	43
3.1 建筑分类	43
3.2 建筑物的燃烧性能及分级	47
3.3 建筑物的耐火等级	51
本章小结	58
复习思考题	59
4 总平面布局和平面布置	60
4.1 建筑消防安全布局	60
4.2 建筑防火间距	61
4.3 建筑平面布置	73
本章小结	77
复习思考题	77

5 防火分区与防烟分区	78
5.1 防火分区与防火分隔设施	78
5.2 水平防火分区的划分	82
5.3 垂直防火分区的划分	88
5.4 防烟分区	92
本章小结	94
复习思考题	95
6 安全疏散	96
6.1 概论	96
6.2 安全出口与疏散出口	101
6.3 疏散走道与避难走道	110
6.4 疏散楼梯与疏散楼梯间	111
6.5 安全疏散距离	121
6.6 避难层(间)	126
6.7 逃生疏散辅助设施	128
本章小结	133
复习思考题	133
7 建筑装修防火	134
7.1 概论	134
7.2 装修防火要求	144
7.3 建筑外墙保温系统防火	149
本章小结	150
复习思考题	151
8 建筑电气防火	152
8.1 电气线路防火	152
8.2 用电设备防火	155
本章小结	158
复习思考题	158
9 灭火剂	159
9.1 水灭火剂	159
9.2 泡沫灭火剂	166
9.3 干粉灭火剂	169
9.4 二氧化碳灭火剂	171
9.5 卤代烷灭火剂	172
9.6 其他灭火剂	176
本章小结	178

复习思考题	178
10 消防给水系统	179
10.1 概论	179
10.2 消防给水用水量及水压的设计	187
10.3 消防栓系统的设计	191
10.4 消防栓系统的水力设计	198
本章小结	201
复习思考题	201
11 自动喷水灭火系统	202
11.1 概论	202
11.2 系统主要组件及设置要求	213
11.3 系统设计参数	222
11.4 系统管网	224
11.5 系统的水力计算	225
11.6 系统的供水设施	231
本章小结	232
复习思考题	232
12 气体灭火系统	233
12.1 概论	233
12.2 系统的使用范围	237
12.3 系统组件及其设计要求	240
12.4 系统的设计	246
12.5 系统的操作与控制	249
本章小结	250
复习思考题	251
13 火灾自动报警系统	252
13.1 概论	252
13.2 系统设计要求	257
13.3 火灾报警装置	265
13.4 火灾探测器的设计	270
13.5 消防控制室	278
本章小结	279
复习思考题	280
14 建筑防排烟系统	281
14.1 概论	281

14.2	自然排烟	283
14.3	机械加压送风系统	285
14.4	机械排烟系统	298
14.5	防排烟系统的联动控制	303
	本章小结	306
	复习思考题	306
15	建筑灭火器配置	307
15.1	概论	307
15.2	手提式灭火器	309
15.3	推车式灭火器	317
15.4	灭火器的设置	320
15.5	灭火器配置设计计算	323
15.6	设计计算实例	325
	本章小结	329
	复习思考题	330
16	建筑性能化防火设计	331
16.1	处方式防火设计方法的发展与局限性	331
16.2	性能化建筑防火设计概述	332
16.3	性能化防火设计方法与步骤	336
16.4	性能化防火设计中的常用模型	345
	本章小结	351
	复习思考题	352
	参考文献	353

1 绪 论

火是以释放热量并伴有烟或火焰或两者兼有为特征的燃烧现象;火灾是在时间或空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。火灾伴随火的出现而产生,与人类文明和经济的发展息息相关。随着生产和科学技术的发展、社会物质财富与人口的不断增长,各种因素使火灾现象越来越复杂和多样化。城市化使火灾发生更为集中、损失更加惨重;新材料的广泛使用使燃烧的形式和产物更加复杂、多样;高层建筑的增多使火灾扑救和人员疏散更加困难。火灾现象从地上发展到地下,从陆地发展到水上和天上,从固定物发展到移动物。火灾现象的复杂化和多样化对消防安全提出更高和更紧迫的要求,也为学科的发展提供了澎湃动力和广阔空间。

美国世贸大厦倒塌,引发了全球范围内对消防安全问题的深层次思考;我国频繁发生的重特大火灾,譬如衡阳“11·3”、常德“12·21”、马鞍山“8·2”等一系列造成消防官兵牺牲的火灾倒塌事故,越发凸现了消防工程研究的紧迫性。目前,对消防工程的科学研究已经成为世界性的热门领域,学科发展前景大好。

1.1 消防科学技术发展历程

1.1.1 国外消防科学技术发展历程回顾

19 世纪 70 年代是技术飞速发展的时期,新技术纷纷出现。火灾控制、电气及电气危险控制方法的应用促进了以自动喷水灭火系统为代表的灭火控制技术的发展。1896 年美国《消防手册》第一辑中涉及了自动喷水系统标准、自动喷水系统水源、湿式自动喷水系统报警阀、电气危险性、建筑结构、防火门、卷帘门和防火保护技术等内容。1918 年作为衡量火灾严重性标尺的时间-温度曲线得到使用,这标志着建筑火灾理论研究的开端。

20 世纪 30 年代,泡沫、二氧化碳、水喷淋、四氯化碳和蒸汽灭火系统等技术得到了广泛应用。50 年代后,固定式灭火系统技术已相当成熟。70 年代,与消防有关的技术大量涌现,新的消防问题和解决办法被广泛关注。70 年代世界范围内发生的一系列高层建筑火灾促进了建筑烟气运动规律和更为系统的建筑人身安全设计方法的研究,并提出了建筑消防安全的系统概念。

20 世纪 80 年代,英、日首先提出性能化设计方法。80 年代后期,澳大利亚 Warren 中心的报告引起了世界范围内对性能化设计方法的广泛关注。目前,世界上有不少于 13 个国家(澳大利亚、加拿大、芬兰、法国、英国、日本、荷兰、新西兰、挪威、波兰、西班牙、瑞士和美

国)以及两个国际组织(国际标准化组织和国际建筑研究与文献管理委员会),已经在使用或正在积极研究性能化规范、工程工具以及建筑消防安全设计所需要的方法。

从消防科学技术研究组织的发展看,自从 1894 年美国保险商试验所和 1896 年美国消防协会成立以来,世界各国专业性消防研究机构和组织纷纷涌现。其中较著名的有美国消防工程师学会、美国国家标准和技术研究所建筑与火灾研究实验室、工厂联合研究所、英国保险商研究所、英国消防工程师协会、澳大利亚消防协会、日本自治省消防厅消防研究所、国际消防安全科学协会和亚洲消防安全科学技术学会(1995 年更名为亚澳消防科学与技术学会)等。这些机构积极组织消防学术研究活动,火灾科学与消防工程领域的专著和论文的数量逐年增加,出现了诸多国际性的消防工程学术刊物,如“Fire Safety Journal”、“Fire Technology”、“Journal of Loss Prevention in the Process Industries”、“Journal of Hazardous Materials”等。

消防科学技术作为一门学科成为高等教育的一部分是在 20 世纪 50 年代。1956 年,美国马里兰大学工程学院设立了世界上第一个消防工程系,并于当年开始招收本科生。从此,消防工程作为一门独立的专业进入了高等学府的知识殿堂。1973 年,英国爱丁堡大学也成立了消防工程系,并开设了世界上第一个消防硕士研究生班。1984 年,英国爱丁堡大学庄斯戴尔(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。1985 年,国际消防科学协会(IAFSS)成立。该协会把鼓励在预防和控制火灾危害方面进行深入科学研究以及为消防科学研究成果提供交流机会作为主要宗旨。IAFSS 每 3 年举办一次学术研讨会,并出版有会议论文集。这些论文涵盖了非常广泛的消防科学与工程领域。目前 IAFSS 已成功举办了 11 届消防科学国际学术研讨会(见表 1.1)。迄今为止,加拿大、澳大利亚、日本、新西兰、荷兰、比利时、韩国、巴西等国都在大学开设消防工程专业课,有的还建立了专门的消防教育机构,提供正规化的学历教育,可授予学士、硕士和博士学位。如美国国家消防学院、英国国家消防学院、澳大利亚消防学院、韩国消防学院、美国俄克拉荷马州立大学消防学院、加拿大不列颠哥伦比亚大学工程学院、加拿大布鲁恩斯维克大学火灾科学中心、美国伍斯特工学院消防工程系、英国格林尼治大学消防工程研究室以及英国兰开夏大学建筑环境系的火灾与爆炸研究中心等,都是比较著名的消防教育机构。国外大学消防工程专业学历教育发展现状也反映出火灾科学与消防工程已成为一个具有相当规模的独立学科。

表 1.1 国际消防科学协会举办的历届消防科学国际学术研讨会简况

届次	时间	地点	主要内容
1	1985.10.7~11	美国 伯克利	火灾物理;建筑结构火灾特性;火灾化学;人与火灾;研究转化为实践;火灾探测;特殊火灾问题;统计、风险与系统分析;烟的毒性与毒性危险性分析;火灾抑制
2	1988.6.13~17	日本 东京	火灾物理;火灾化学;烟的毒性与毒性危险性分析;统计、风险与系统分析;人与火灾;火灾探测;火灾抑制;建筑结构火灾特性;特殊火灾问题;研究转化为实践
3	1991.7.8~12	英国 爱丁堡	火灾物理;统计与风险;火灾化学;研究转化为实践;建筑结构;人与火灾;特殊火灾问题;烟的运动;火灾探测;火灾抑制

续表 1.1

届次	时间	地点	主要内容
4	1994.7.13~17	加拿大渥太华	火灾物理、火灾化学、烟及其毒性危险性分析;人在火灾中的行为与疏散、火灾探测、风险、危险性分析、火灾抑制、研究应用与特殊火灾问题;建筑结构火灾特性、工业火灾
5	1997.3.3~7	澳大利亚墨尔本	材料火灾特性、流体力学、火灾蔓延、火灾物理、火灾模型、火灾化学;统计模型、火灾风险、人在火灾中的行为、疏散、火灾探测、火灾抑制、特殊火灾问题;建筑结构火灾特性与应用
6	1999.7.5~9	法国巴黎	风险、危险性与统计;火灾化学;火灾化学与物理;火灾抑制;火灾物理与模型;火灾蔓延;火灾探测;烟;建筑结构火灾特性;室内火灾
7	2002.6.15~19	美国伍斯特	火灾蔓延;火灾探测;火灾物理、火灾化学;风险与决策分析;室内火灾;自动喷淋;火灾抑制;材料火灾特性;特殊火灾问题研究应用;烟的控制;性能化设计;测试方法与模型;人在火灾中的行为特性数据;火焰特性;人在火灾中的行为模型;建筑结构—柱结构;统计与概率;建筑结构与建筑构件
8	2005.9.19~23	中国合肥	火灾蔓延;火灾探测;火灾物理、火灾化学;风险与决策分析;室内火灾;自动喷淋;火灾抑制;材料火灾特性;特殊火灾问题研究应用;性能化设计;人在火灾中的行为特性数据;火焰特性;人在火灾中的行为模型;交通火灾、工业火灾、隧道火灾、火灾调查、火灾后结构的修复、补强,消防业务需要
9	2008.9.21~26	德国卡尔斯鲁厄	火灾蔓延;火灾探测;火灾物理、火灾化学;风险与决策分析;火灾动力学;火灾抑制;材料火灾特性;特殊火灾问题研究应用
10	2011.6.19~24	美国华盛顿	火灾蔓延;火灾探测;火灾物理、火灾化学;风险与决策分析;室内火灾;烟气控制和检测;自动喷淋;火灾抑制;材料火灾特性;森林(草原)火灾;特殊火灾问题研究应用
11	2014.2.10~14	新西兰坎特伯雷省基督城	火焰蔓延;室内火灾动力学;起火的化学性质和毒性危害;阻燃剂和先进材料;结构防火性能;烟气控制和检测;火灾抑制;森林(草原)火灾;爆炸和工业火灾;火灾风险分析与统计;疏散和人类行为;消防安全和可持续发展的设计;特殊应用(规范和标准;消防安全管理;消防安全;消防取证)

1.1.2 国内消防科学技术发展历程回顾

我国消防工程学科创建与发展的历史不长,在新中国成立前几乎是一片空白。新中国成立后,经历了从无到有,从创业到拥有一定规模的科研队伍和科研条件,从技术落后到具有一定国际水平的发展过程。改革开放以来,我国在消防安全各领域的研究和应用都取得了很大成绩,在全国范围内组建有跨地区、跨部门、跨行业的消防专业科研和教育机构,形成了相当规模的专家群体,取得了大量科研成果。我国火灾科学与消防工程的发展过程,大致分为两阶段。

(1) 初步发展阶段

新中国成立初至 20 世纪 70 年代,消防安全的研究与技术应用经历了从无到有的初期

发展阶段。1956 年公安部消防局成立;1959 年公安部消防局消防科学研究所成立,1962 年开始筹建消防科学研究所,1965 年前后,天津、上海、沈阳、四川 4 个消防科学研究所先后成立,并开始了研究工作。

(2) 消防工程学科体系形成阶段

20 世纪 70 年代至今,我国消防安全研究逐步恢复并快速发展。“六五”、“七五”期间,先后开发研制成功感温、感烟、红外、紫外等各类新型火灾探测器及火灾自动报警系统、联动配套的各种自动灭火装置和各类灭火剂;研制成功了几类有推广价值的阻燃剂,并应用于阻燃织物、阻燃板材、橡胶、电缆、防火玻璃、防火涂料及防火门、防火卷帘和耐火建筑构件等方面。“八五”、“九五”期间,消防科技发展明显加快,科研与开发技术体系基本形成。

1984 年中国消防协会正式成立。中国人民武装警察部队学院消防工程系和消防指挥系于 1985 年成立,成为培养消防工程专业和消防指挥与管理专业技术警官的教学实体,已为消防部队培养专门人才 6 000 余人,并出版了《建筑防火设计原理》、《工业企业防火工程》、《消防燃烧学》、《火灾原因调查》、《电气防火安全技术》、《化工技术基础》等为代表的学术著作。以中国科学技术大学为代表的高校从 20 世纪 80 年代开始,纷纷开展了火灾科学与消防工程领域的研究工作。在开拓火灾科学基础理论研究,开展森林火灾、草原火灾蔓延规律研究,以及开发智能化高科技消防技术、新产品方面做了大量的工作,并出版有《火灾科学导论》、《火灾学简明教程》、《建筑火灾安全工程导论》等著作。

目前出版的专业性学术刊物主要有《消防科学与技术》、《火灾科学》、《中国消防》和《消防技术与产品信息》等。中国建筑科学研究院的建筑防火研究所、林业部的森林保护研究所、交通部国家船舶检验局的远东防火试验中心等学术研究机构,以及北京理工大学、中国矿业大学、清华大学、同济大学、南开大学等高校都积极开展消防安全方面的科研活动。

1.2 消防工程的科学研究领域

消防工程是科学和工程原理在保护人身及其环境免遭火灾危害方面的应用,是进行消防安全预测、消防灭火系统与消防装备的设计、施工、运转、维护以及灭火救援与火灾原因分析等一系列具体消防技术活动与方法的总称。其科学研究领域主要包括火灾化学、火灾物理、建筑结构火灾特性、火灾与人类的相互关系、火灾风险分析及消防设计与管理等 6 个方面。

1.2.1 火灾化学

火灾可以定义为材料发生化学变化时能量的危险性释放。火灾化学涉及辨识可燃性物质和可燃物质燃烧时所释放出的能量、火灾中氧的作用、火灾产生的烟和有毒物质的特性描述、阻燃剂和灭火剂的作用机理等。1985 年,Friedman 提出了与化学密切相关且尚未解决的 6 个方面的火灾化学问题:① 固体可燃物的热解速率;② 火灾中有毒物的产生;③ 火焰辐射与烟的产生;④ 木材与合成材料的阻燃;⑤ 室内火灾轰燃前热气层的可燃性;⑥ 化学灭火剂。这些问题都与化学动力学有关。解决火灾化学中相关问题的瓶颈在于化学的复杂性和量子化学的不充分发展。

1.2.2 火灾物理

火灾中热量释放速率控制可燃物的燃烧速率,而在普通燃烧中,可燃物的燃烧速率为常

数或者以独立的方式变化。因此,火灾研究更多地强调物理科学方面的基本原理。

为了保护人身和财产安全,火灾物理的主要任务是充分开发用于预测火灾发展的数学模型或经验关系式,然后根据预测结果提出能够正确识别火灾危险性的测试方法或者标准。火灾物理与消防工程其他科学研究领域的界限并不是很明确,尤其是与火灾化学之间的界限是非常模糊的。

火灾物理主要包括 4 个方面的内容:① 流体动力学;② 扩散火焰;③ 火灾蔓延;④ 室内火灾模型。在火灾物理中,尚未解决的问题主要是湍流问题,在应用理论中涵盖湍流效应的系数实际上是不可计算的。

1.2.3 建筑结构

建筑结构火灾特性研究主要有标准测试和计算分析两种方式。传统的建筑结构防火设计是把标准时间—温度曲线的全尺寸火灾测试结果作为建筑构件的耐火等级数据使用。由于标准测试方法需要在建筑消防设计中重新评价,而且需要花费大量的时间和金钱,对测试样品具有不言而喻的破坏性,因而计算分析技术(以确定建筑结构和建筑构件在火灾中的热特性、力学特性和载荷能力为基础的分析计算耐火设计方法)在过去 30 年中得到了迅速发展,当然也还存在有一定的局限性。

分析计算耐火设计方法由 3 部分组成:

(1) 火灾模型(经验公式)。火灾模型中经验公式的局限性是只有在考虑标准测试所提供的火灾影响、载荷和跨距时才能使用。

(2) 热模型(热传递分析)。热模型中热传递分析的不准确性与对随材料特性变化的温度或者热条件的描述有关。

(3) 结构模型(结构分析)。结构模型中结构分析的局限性源于对火灾后期的条件和处于不断上升温度条件下材料特性表征的不确定性。

1.2.4 火灾与人类的相互关系

火灾与人类相互关系的研究随着性能化消防规范的出现和对于计算机疏散模型的需求而得到迅速发展。该领域的研究主要包括人在火灾中的行为、人类活动对火灾发生的影响、火灾情况下的疏散等。为避免和最大限度降低火灾造成的人员伤亡,需要进行不同建筑中人员行为特征模式、建筑居住人员特征分类、疏散模型、疏散场景设定、疏散设计和社区消防安全预案等一系列研究。

1.2.5 火灾风险分析

火灾风险分析实质上是建立在不确定性基础上的决策方法,火灾风险分析是性能化消防设计的核心。火灾风险分析最早出现在 1972 年,以美国行政管理总署(GAS)和美国标准局(NBS,1988 年更名为 NIST)联合提出的用于表明建筑消防安全替代方法的逻辑事件图标志。

火灾风险分析包括 5 部分:① 识别火灾危险性;② 量化火灾危险的结果和发生的可能性;③ 识别火灾危险性的控制方法;④ 量化火灾危险性控制方法对火灾风险的影响;⑤ 选择恰当的保护措施。

可靠的火灾风险分析需要囊括所有与火灾有关的事件,这意味着需要非常仔细地把与火灾有关的问题转化为特定的模型。在火灾风险分析模型中清楚而详细地说明特定情况下的消防问题、决策和论点是非常重要的。

1.2.6 消防设计与管理

消防工程学最主要的目标就是促进科学的消防设计与管理。在消防设计与管理中需要综合应用前面提到的5个消防工程科学研究领域的研究基础和成果。消防设计与管理的主要应用范围包括:

(1) 材料、日用品与能源。材料、日用品与能源问题常常是火灾发生的根本原因,其消防安全状况取决于固有的火灾危险性和所处的环境条件。材料、日用品与能源方面的消防设计与管理侧重于特定火灾危险条件下的测试方法设计。

(2) 建筑。建筑是应用消防工程原理和政府规范的主要领域,涉及火灾发生和发展的所有方面以及所有类型的人的行为。建筑消防设计与管理涉及建筑学、建造学和社会科学等学科。

(3) 城市与社区。城市与社区消防设计与管理涉及消防队、抢险救援人员、抢险救援系统、公共消防设施和消防立法。该方面的研究主要侧重于管理。从学术上说,城市与社区的消防设计和管理与社会科学、城市与区域规划和土木工程相关。

(4) 工业生产与运输过程。在工业性生产和商业性服务中,一些生产、储存和运输过程中存在的火灾风险导致了大多数灾难性火灾爆炸事故的发生。由于工业生产、储存与运输过程涉及材料、日用品、能源、建筑、城市与社区诸多方面,因而工业生产与运输过程的消防设计与管理更具有典型代表意义。材料、生产过程和环境的复杂性使得工业生产与运输过程消防设计与管理需要应用多学科领域的技术。从学术上说,工业生产与运输过程的消防设计与管理主要涉及化学工程、机械工程以及各种形式的运输工程。

1.3 消防工程教育与消防工程师

1.3.1 消防工程教育的总体目标

消防工程教育的总体目标在于培养能够解决消防安全问题的工程师。根据美国工程与技术认证委员会(ABET)2003年发布的评价教育机构学术水平的《工程审批标准纲要》中提出的对工程教育所培养的专业人才的评估标准,消防工程教育培养的人才应达到以下要求:

- (1) 具有应用数学、科学与工程等知识的能力;
- (2) 具有设计、进行试验以及分析和解释数据的能力;
- (3) 具有满足需求而进行系统、部件和生产过程设计的能力;
- (4) 具有在多学科研究小组中发挥作用的能力;
- (5) 具有识别、明确表达和解决消防工程问题的能力;
- (6) 对职业道德规范有明确的认识;
- (7) 能够有效地表达与交流;
- (8) 懂得解决消防问题的方法;
- (9) 认识到终生学习的重要性并具有终身学习的能力;
- (10) 了解当代所存在的消防问题;
- (11) 具有应用各种技术和技能以及现代工程工具进行工程实践的能力。

也就是说,消防工程教育必须提供自然科学和技术领域内的基础学科知识,同时应致力于消防工程师提供使用前沿技术的技能。消防工程教育还要使人们能够理解和掌握系统分析方法;为其提供收集和吸收整个专业生涯新知识的能力;从方法论上作好阐明和解决特定消防技术任务的充分准备。除此,消防工程师有义务为消防技术发展对人类和社会产生的后果负责,社会和伦理方面的教育必须要综合在消防工程教育中。经过消防工程教育的毕业生在毕业后经过几年专业实践,应该能够解决消防工程中的新问题,能够从专业领域内的国际技术-科学文献中得到新的知识,并把这种知识转化为技术应用。

1.3.2 消防工程师的基本职业技能

消防工程师从工程和科学的角度处理消防问题,其工作对于所有人的生活质量具有直接而主要的影响。因此,消防工程师需要有诚实、正直和公正的品质,并且要致力于保护和增进公共安全、健康和繁荣。

1.3.2.1 消防工程师的基本职业技能

经过教育、培训和亲身体验的消防工程师应该熟悉火灾及燃烧产物的性质和特征,能够理解火灾的发生、在建筑物内外蔓延、探测、控制以及灭火的原理,能够对有关保护人身和财产不受火灾威胁的材料、建筑、设备及生产过程的特性做出预期。即消防工程师应具有辨识火灾危险性和恰当消防措施的能力,并能够运用适当的风险分析技术得到一个可接受火灾风险水平下的最佳投资效益方案。

(1) 火灾危险分析是消防工程的首要任务。火灾危险分析主要包括通过实验室规模和全尺寸规模的实验研究以及各种模型估算火灾中的热释放速率、放热量和化学成分;估算室内火灾的温度及烟与热的流动;估算人在火灾情况下的行为特征以及疏散时间;识别烃类的火灾与爆炸危险。

(2) 消防系统的设计计算是消防工程的核心任务,涉及消防探测系统、自动喷水灭火系统、泡沫系统、哈龙及哈龙替代系统的设计以及建筑耐火性的设计计算等方面。

(3) 火灾风险分析是理解和表征火灾危险性及其有害后果的过程,而不确定性分析、灵敏度分析和重要性分析则决定了对火灾风险分析结果的使用情况。不确定性分析用于评估数据和模型的不确定性对火灾风险评价的影响;灵敏度分析用于评价某个输入数据的变化对火灾风险评价的影响;重要性分析则用于量化和排列各个因素的不确定性对整个系统不确定性的影响程度。可靠的火灾风险分析取决于恰当的严重性量度的选择,以及根据这些严重性量度得到的恰当的结果函数、对火灾情况适当地综合和详细地说明。风险分析方法因工程项目的不同而不同。目前火灾风险分析的应用领域主要集中在火灾产物、建筑、化工过程、核电站以及运输过程等方面。核工业和石油化学工业领域是两个根据量化火灾风险评价结果得到详细消防工程解决方案的成功范例。可以预计将来在量化火灾风险评价方面会有更为广泛的需求。

对于消防工程师而言,不仅要具备火灾化学与火灾动力学的知识,还要理解建筑设计和结构、明确材料和建筑几何形状有关的危险性、火灾与人类之间的关系,并且还要能够正确评价现有消防规范的基本要求和规定。消防工程师必须要了解所有的火灾探测和灭火技术,熟知火灾探测和灭火系统与地方消防部门之间的相互作用。消防工程师还要能够正确评价火灾风险分析方法,明确这些方法如何正确地应用到各种不同类型的应用目的中。

1.3.2.2 美国消防工程师概况

根据 SFPE 的统计,2015 年接受调查的 1 217 名美国消防工程师中,年龄在 40 岁以下

的占 32%;77%的人具有 10 年以上的消防工作经验;85%的人拥有学士以上学历,其中消防安全和机械工程是涉及最多的专业。在各部门工作的消防工程师以咨询部门为最多,其比例为 43%;15%的人工作在各保险部门,呈下降趋势。正常工作时间内,消防工程师从事最多的工作主要是审阅设计图、设计消防系统、火灾风险管理和消防设施检查。

1.3.3 消防工程与其他工程学科的关系

消防是一个复杂的系统,与其他工程学科相比,需要详细定义的问题具有更多的复杂性并且缺少技术上的发展。据报道,19 世纪著名的科学家 Michael Faraday 曾经说过,蜡烛火焰中的燃烧过程可以代表整个宇宙的物理学,但直到近代,尝试使用数学方法模拟燃烧过程才成为可能,控制燃烧系统的预测方法在过去 60 年中才有了显著进展。由于对燃烧问题的理解取决于流体力学和热传递中基本问题的解决,因而消防研究滞后于其他科学领域的发展。火灾的复杂性和最近燃烧理论方面的有限进展使得消防科学还处于一种不成熟的状态。

成熟的工程学科有独特的学科内容,这些内容与其领域已有的分析和测量方法相联系。例如,欧姆定律是电气工程师必备的基础,控制对流传热的牛顿冷却定律是机械工程的基础,风洞使得航空工程师能够确定空气阻力和螺旋桨的提升力。这些内容形成了这些独特科学分支的科学要素,是学科发展的根基。科学的发展给工程师提供了解决实际复杂问题的框架,工程中的复杂问题通常可以通过简单的可用于定量设计和分析的数学关系来处理。例如,摩擦系数提供了一个复杂管路压力损失的计算公式,对流热损失系数提供了估算表面对流热损失的方法,并且有大量的研究为计算提供数据和复杂精密的数学解。已建立的基础使得研究结果成为普通工程师可以利用的简单方法的一部分,而这样的科学基础在消防工程中刚刚开始出现。

1.3.4 当前消防工程领域的实践特征

当前消防工程领域的实践活动特征是条文式标准与规范以及火灾问题的技术复杂性限制了消防工程的作用,这个专业需要通过应用严格的法律或者使用技术上的判断来处理诸多困难,其具体表现主要有以下 5 个方面:

(1) 按照条文式标准和规范进行管理。消防工程师必须具有正在实施的地方规范或工业安全标准方面的知识,以保证满足建筑和设备运行的要求。在大多数情况下,其方法不是来自于科学原理,而是来自于根据技术判断和经验达成共识的过程。

(2) 利用可能的技术解决消防问题。喷水装置和烟感探测器是两个技术发展应用于消防实践的例子,保险业的发展促进了喷水装置的普及,而人们对自己居住环境安全的关心则使烟感探测技术得以广泛使用。在灭火剂方面,对哈龙影响环境的关心则改变了消防工程的灭火策略。

(3) 使用不能广泛应用的经验数据。几乎所有材料和产品的消防测试所提供的相对性能分级都取决于测试条件。测试结果不能提供应用于特定条件下的一般性分析数据,许多同一目的测试(比如可燃性)不能提供一致的结果。

(4) 借鉴使用其他工程分支的工程方法。虽然人们可以把某一专业学科和火灾特性与消防安全联系起来,但在目前的实践中解决消防问题的方法还不存在。例如,设计喷淋系统水源的普遍做法来源于其他工程分支的通用方法。然而,喷淋对火灾的响应和喷淋在灭火时的性能是需要两个专业解决的消防问题。虽然已有研究结果提供了一些计算喷淋响应的

方法,但喷淋头的位置还是根据规定的间距来设计的。

(5) 一些消防问题尚未得到根本解决。由于分析工具有限,常常会出现意想不到的消防问题。例如,20 世纪 70 年代泡沫塑料的使用使得火灾迅速发展的问题(虽然这些材料在标准火灾测试中具有不错的性能)。目前仍然没有能力去分析和预测这些材料在使用中的潜在危险性,因而这些材料的使用受到了严格限制。

1.4 消防工程课程体系框架

1981 年,英国爱丁堡大学的 Rasbash 教授首次提出了包括 12 个模块的消防工程课程体系框架。1995 年,成立于 1989 年的“国际消防工程课程工作组”发表了《消防工程模型课程建议》(简称《建议》)。这份《建议》在 Rasbash 教授课程模块的基础上,提出了以流体力学、热力学、传热与传质及固体力学的基本工程原理为基础,以火灾基本原理、封闭结构火灾动力学、主动防火、被动防火以及人的行为与火灾间的关系为核心,以火灾风险管理和工业防火防爆为典型应用领域的消防工程学课程体系框架。结合我国国情和消防工作实际,我国已建立起由消防工程基础原理课程模块、消防工程专业核心课程模块、消防工程应用课程模块和辅助课程模块组成的课程体系框架。流体力学、热力学、传热与传质及固体力学在基础原理课程模块中均有涉及;专业核心课程开设燃烧学、火灾动力学、消防系统分析与设计、建筑消防结构、人与火灾等课程模块;应用课程模块包括工业企业防火与性能化消防设计两个方面;辅助课程模块包括应用数学、计算机语言与程序开发、消防经济和消防工程英语等相关课程。

1.4.1 基本工程原理课程模块

消防工程学的基本工程原理课程主要包括以下 4 个子模块:

(1) 流体力学。流体力学子模块侧重与灭火系统的设计分析以及室内火灾动力学的分析直接相关的内容。其课程内容主要有:① 流体力学基础,包括流体特性、流体静力学基础、流体动力学、系统与控制元的守恒方程、基础水力学、边界层概念、相似与量纲分析;② 灭火系统应用,包括稳定流动中的能量、压力管道中稳定不可压缩流体、孔流动与其他流体测量、离心泵、可压缩性流体;③ 室内火灾应用,包括火灾烟羽、顶棚射流、通风流动。

(2) 传热与传质。火灾中的传热与传质基本上与传统的工程传热学类似,不同之处在于更为突出与消防科学相关的应用。该课程模块的内容主要包括:① 热传导,如稳态传导、非稳态传导;② 热对流,如强制对流、自然对流、火灾诱导的热对流;③ 热辐射,如黑体辐射、非黑体辐射;④ 传质,如温传质、传热传质、与可燃液体的关系。

(3) 热力学。热力学子模块的目的在于为消防工程的核心课程提供背景知识。该课程与传统的工程热力学课程非常相似,不同之处在于强调应用和与火灾与燃烧有关的内容。其内容主要包括:① 质量与能量守恒,如功与热、热力学第一定律、质量与能量守恒定律;② 热力循环,如热力学第二定律、熵、不可逆性与效用;③ 热力学关系、混合物与化学反应。

(4) 固体力学。固体力学通常由静力学(分析静止物体)、动力学(分析运动物体)和材料力学(分析与外部力有关的材料内部的抵抗力)3 部分组成。消防工程学中固体力学子模块的内容主要包括:① 静力学,如力系分析、平衡、内力、流体静力学;② 材料力学,包括应力与应变、力矩、弯曲、梁的偏转、静止梁、刚性、柱的特性等。