



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

建筑环境与设备工程系列教材

建筑消防设备工程

JIANZHU XIAOFANG SHEBEI GONGCHENG

(第三版)

■ 编 著 李天荣 龙莉莉 陈金华

■ 主 审 刘荣光 肖铁岩



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

建筑环境与设备工程系列教材

建筑消防设备工程

JIANZHU XIAOFANG SHEBEI GONGCHENG

(第三版)

■ 编 著 李天荣 龙莉莉 陈金华

■ 主 审 刘荣光 肖铁岩

京 00.12.000 1-3825-4582-0-859 4888

电话: 023-65112084 023-65112085

传真: 023-65103086

购书请向本社, 邮购请向本社, 邮购请向本社

网址: <http://www.cup.com.cn>

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是建筑环境与设备工程系列教材之一,2006 年被列为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。全书共分 12 章,详细介绍了建筑火灾的发生、发展、蔓延,烟气流及其危害,灭火剂及其应用;详细阐述了建筑消防设备工程各系统的分类、组成、工作原理、设计布置、计算方法等,是一本跨学科、跨专业的消防技术教学用书和科学研究与工程应用的参考书。

本书为高等院校建筑环境与设备工程、给排水科学与工程、建筑电气等专业教学用书,也可供从事建筑消防技术研究、消防工程设计与施工、消防行业管理等人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑消防设备工程/李天荣,龙莉莉,陈金华编著.

—3 版. —重庆:重庆大学出版社,2010.5 (2011.5 重印)

(建筑环境与设备工程系列教材)

ISBN 978-7-5624-2585-4

I. ①建… II. ①李… ②龙… ③陈… III. ①建筑物

—消防设备—高等学校—教材 IV. ①TU892

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 076915 号

建筑环境与设备工程系列教材

建筑消防设备工程

(第三版)

编著 李天荣 龙莉莉 陈金华

主审 刘荣光 肖铁岩

责任编辑:林青山 李长惠 版式设计:陈红梅

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:555 千

2010 年 5 月第 3 版 2011 年 5 月第 8 次印刷

印数:16 001—19 000

ISBN 978-7-5624-2585-4 定价:31.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

编审委员会

- | | |
|--------|--------------------|
| 顾 问 | 田胜元(重庆大学) |
| | 彦启森(清华大学) |
| | 刘安田(解放军后勤工程学院) |
| 主任委员 | 付祥钊(重庆大学) |
| 委 员 | (排名按姓氏笔画) |
| | 卢 军(重庆大学) |
| | 付祥钊(重庆大学) |
| | 安大伟(天津大学) |
| | 李长惠(重庆大学出版社) |
| | 李永安(山东建筑大学) |
| | 刘光远(扬州大学) |
| | 李 帆(华中科技大学) |
| | 李安桂(西安建筑科技大学) |
| | 连之伟(上海交通大学) |
| | 张 旭(同济大学) |
| | 张国强(湖南大学) |
| | 吴祥生(中国人民解放军后勤工程学院) |
| | 段常贵(哈尔滨工业大学) |
| | 徐 明(中国建筑西南设计研究院) |
| | 龚延风(南京工业大学) |
| | 黄 晨(上海理工大学) |
| | 裴清清(广州大学) |
| 秘 书 | 肖益民(重庆大学) |
| | 林青山(重庆大学出版社) |

第二版前言

本书自2002年第一版出版以来,受到有关高校广大师生和相关专业工程技术人员的热烈欢迎,已重印数次。某消防总队还以本书为蓝本,制作了“消防控制室操作与管理”培训课件及培训教材。2006年12月,本书被确定为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。

2003年以来,《建筑设计防火规范》、《高层民用建筑设计防火规范》、《自动喷水灭火系统设计规范》等一系列技术规范相继完成修订。为适应消防科学技术的发展和高等教育改革的需要,以及更加适应读者需要的内容和表述方式,本书特进行此次再版。

本书是在第一版的基础上进行再版的,保持了第一版“内容完整,覆盖面宽,剪系统性强,结构合理,文字通顺,简繁得当,图表量适中”的编写特色。详细描述了建筑火灾的发生、发展和蔓延规律,烟气流流动规律和防排烟技术,灭火剂和现代灭火技术,火灾自动探测、自动报警和消防系统的联动控制技术;对各消防设备系统的类型、组成、工作原理、适用条件及设计计算做了全面系统地讲述。

再版过程中,充分吸纳了读者合理的意见和建议;在满足基本概念和基本理论要求的情况下,纳入了有关安装要求、使计算例题的内容更接近工程应用实际。另外,随着卤代烷灭火剂淘汰计划的实施,第5章删除了“卤代烷1211,1301灭火系统”的介绍,并补充了“热气溶胶预制灭火系统”;在防排烟设计中,增加了“多层民用建筑防排烟和地下汽车库防排烟”等内容。为便于学生及读者深入理解建筑消防设备系统的基础理论和工程设计原理、方法,每章均有思考题;同时,再版过程中特别注重现代教育理念的渗透,对教材进行了立体化配套(读者可登录 www.cqup.com.cn,进入“资源网站”下载电子课件及相关素材)。总之,本版规划教材严格按照教育部要求编写,在体系上更加趋向合理化,内容更具有针对性和实用性。

本书为高等院校建筑环境与设备工程、给水排水工程、建筑电气等专业教材,也可供从事建筑消防技术研究、消防工程设计、施工和消防行业管理等人员参考。

本书由重庆大学李天荣、龙莉莉、陈金华共同编著,李天荣教授承担了全书的统稿工作;刘荣光、肖铁岩担任主审。全书编写分工为:第1章由李天荣和陈金华共同编写;第2,3,4,5章由李天荣编写;第6,7,8章由陈金华编写;第9,10,11,12章由龙莉莉编写。

本书在编写过程中得到重庆大学城市建设与环境工程学院的大力支持,清华大学、南京工业大学、同济大学、天津大学、西安建筑科技大学、广东工业大学、山东建筑大学等院校提出了宝贵建议,在此一并表示感谢!

限于编著者的水平,书中错漏难免,敬请读者批评指正。

编者

2007年6月

第一版前言

随着城市建设的迅速发展,各种功能的大型建筑、地下建筑、高层和超高层建筑不断涌现,火灾隐患逐渐增多,恶性火灾事故时有发生。有效监测建筑火灾、控制火灾、快速扑灭火灾,是建筑消防设备工程的主要任务。本书将有关专业的建筑室内、外消火栓给水系统、自动喷水灭火系统、气体灭火系统、防排烟系统、火灾自动报警与消防设施联动控制系统及工程设计等有机地组合为一体,成为跨学科、跨专业的教学用书。编写本书,是拓宽专业面的需要,也是为适应不断发展的城市建设培养现代建筑消防工程技术人才的需要。

本书详细介绍了建筑火灾的发生、发展、蔓延规律和现代灭火技术,烟气流动规律和防排烟技术,火灾自动探测、自动报警和各消防系统的联动控制技术;全面系统地讲述了各消防设备系统的类型、组成、工作原理、适用条件、设计计算。本书在内容上充分吸收了近年来建筑消防中的新技术、新设备和先进经验,有鲜明的时代特色。

本书亦可作为给水排水工程专业和建筑电气专业教学用书。

本书共12章,其中第1章由李天荣和陈金华共同编写;第2,3,4,5章由李天荣编写;第6,7,8章由陈金华编写;第9,10,11,12章由龙莉莉编写。全书由李天荣主编;刘荣光、肖铁岩主审。

由于编者水平有限,书中缺点、错误难免,敬请读者批评指正。

编 者

2002年7月

教师信息反馈表

为了更好地为教师服务,提高教学质量,我社将为您的教学提供电子和网络支持。请您填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回,我社将免费向您提供相关的电子教案、网络交流平台或网络化课程资源。

书名:		版次	
书号:			
所需要的教学资料:			
您的姓名:			
您所在的校(院)、系:	校(院)		系
您所讲授的课程名称:			
学生人数:	_____人	_____年级	学时: _____
您的联系地址:			
邮政编码:		联系电话	(家)
			(手机)
E-mail:(必填)			
您对本书的建议:		系主任签字	
		盖章	

请寄:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)
重庆大学出版社教材推广部

邮编:400030

电话:023-65112084 023-65112085

传真:023-65103686

网址:<http://www.cqup.com.cn>

E-mail:fxk@cqup.com.cn

请按此裁下寄回我社或在网上下载此表格填好后 E-mail 发回

目 录

1 绪论	1
1.1 建筑火灾	1
1.2 高、低层建筑和火灾救助原则	13
1.3 灭火剂和灭火的基本原理	19
思考题	36
2 室外消防给水系统	37
2.1 概述	37
2.2 室外消防用水量	41
2.3 消防给水水源	44
2.4 室外给水管网	46
2.5 室外消火栓	47
思考题	50
3 建筑室内消火栓给水系统	51
3.1 概述	51
3.2 消防用水量和水压	61
3.3 建筑室内消火栓给水系统的布置	65
3.4 建筑室内消火栓给水系统计算	70
思考题	80
4 自动喷水灭火系统	81
4.1 概述	81
4.2 闭式自动喷水灭火系统	86
4.3 闭式自动喷水灭火系统的设计计算	100
4.4 开式自动喷淋系统	120
思考题	133
5 气体灭火系统	134
5.1 二氧化碳灭火系统	134

5.2	七氟丙烷灭火系统	159
5.3	热气溶胶预制灭火系统	174
	思考题	181
6	建筑火灾烟气流动	182
6.1	建筑火灾烟流基本性状	182
6.2	烟气流动的基本规律	188
6.3	烟囱效应	191
6.4	烟气控制的预测	192
	思考题	199
7	防排烟系统	200
7.1	概述	200
7.2	高层民用建筑自然排烟	201
7.3	高层民用建筑机械排烟	204
7.4	高层民用建筑机械防烟	210
7.5	多层民用建筑防排烟	214
7.6	地下空间防排烟	216
7.7	防排烟系统的设备部件	223
7.8	防排烟系统的控制程序	232
7.9	防排烟设计的有关规范与标准	235
	思考题	236
8	防排烟系统与通风空调系统	238
8.1	通风空调系统的防火	238
8.2	兼用系统	240
	思考题	244
9	火灾探测器	245
9.1	概述	245
9.2	火灾探测器的分类	247
9.3	离子式感烟火灾探测器	250
9.4	光电感烟火灾探测器	252
9.5	感温火灾探测器	255
9.6	感光火灾探测器	259
9.7	可燃气体探测器	260
9.8	火灾探测器的选用	261
	思考题	264

10 火灾报警控制器·····	266
10.1 火灾报警控制器的功能与分类·····	266
10.2 火灾报警控制器的组成和性能·····	267
10.3 火灾自动报警系统·····	273
思考题·····	282
11 消防设施的联动控制·····	283
11.1 消防设备的供电电源·····	283
11.2 消防设施的联动控制·····	288
11.3 消防灭火设备的联动控制·····	291
11.4 防排烟系统的联动控制·····	300
11.5 气体灭火控制器·····	310
11.6 其他系统的联动控制·····	314
思考题·····	316
12 火灾自动报警与联动控制系统的工程设计·····	319
12.1 设计原则及依据·····	319
12.2 火灾自动报警与联动控制系统设计·····	320
12.3 火灾探测器的选择与布置·····	325
12.4 火灾应急广播与火灾警报装置·····	332
12.5 火灾应急照明·····	335
12.6 消防控制室·····	338
12.7 消防专用电话·····	341
思考题·····	342
参考文献·····	344

1 绪 论

火在人们的生产、生活活动中是不可缺少的,人类的进步与社会的发展都离不开火。但是,火如果失去了控制,就会危害人类,造成生命和财产损失,成为火灾。所谓火灾,就是在时间和空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。

有效监测建筑火灾、控制火灾、快速扑灭火灾,防止和减少火灾危害,保障国民经济建设,保障人民生命财产安全,是建筑消防设备工程的任务。建筑消防设备工程包括建筑灭火系统、防排烟系统、火灾自动报警和消防设施联动控制系统。

1.1 建筑火灾

1.1.1 火灾发生的原因和燃烧条件

1) 火灾发生的原因

(1)生活用火不慎引起火灾 生活中因用火不慎引起的火灾较多。例如:炉灶、煤油炉、燃气用具、火炕、灯火等发生故障或使用不当引起火灾;小孩玩火、燃放烟花爆竹引起火灾;乱扔烟头、火柴梗,使火种混进废纸堆或引燃卧具、沙发引起火灾等。这些火灾主要是因为人们缺乏防火常识、思想麻痹而造成的。

(2)生产活动中违规操作引发火灾 生产活动中违规操作引发火灾的情况有:不顾周围环境随意动火焊接、烘烤物品过热、熬油溢锅等;在化工生产中出现超温超压、冷却中断、操作失误而又处理不当;生产设备失修,出现可燃气体或易燃液体跑、冒、滴、漏现象,遇明火便燃烧或爆炸等。

(3)电气火灾 电气火灾一般是由于电气线路、电气设备的短路、过载、接触不良、漏电、雷电、静电等原因而产生的高温、电弧、电火花引燃绝缘材料或附近可燃物而形成的;另外,由于电气设备的故障、发热等也是造成火灾的原因。这些现象与违规操作或设计、安装不合理,以及维护不当和使用环境条件等有直接关系。

(4)可燃、易燃物自燃 这类火灾包括:易燃物受热自燃;植物、涂油物、煤、生活垃圾堆垛过大过久而发热自燃;化学危险品遇水、遇空气、相互接触、撞击、摩擦等都会产生自燃。

(5)自然灾害,人为灾害 在雷击较多的地区,建筑物上如果没有安装可靠的防雷保护设

施,便有可能发生雷击起火。突然发生的地震、战争空袭等,在人们急于疏散、逃避时往往来不及断电或处理好化学危险品时,从而引起火灾。另外,犯罪分子、精神病人的人为放火也可能引起火灾。

2) 燃烧条件

燃烧过程的发生和发展必须具备可燃物、氧化剂(助燃物)和火源(提供一定的温度、一定能量的源头)。这3个条件是无焰燃烧的基本条件,而有焰燃烧还必须具备第4个条件,即未受抑制的链式反应。

(1) 可燃物 凡是能在空气、氧气或其他氧化剂中发生燃烧反应的物质都称为可燃物。火灾中的可燃物是多种多样的,其燃烧难易程度、燃烧快慢也各不相同。

从化学组成上,可燃物可分为有机可燃物与无机可燃物;从物质形态上,可燃物可分为气体可燃物、液体可燃物和固体可燃物。可燃气体在助燃物存在条件下遇火即可燃烧,其过程比较简单;液体可燃物燃烧是液体蒸气的燃烧,液体燃烧首先须吸收热量进行蒸发;固体可燃物燃烧则更复杂些,有的要吸热、熔化和蒸发,有的则要进行热分解。

(2) 氧化剂(助燃物) 与可燃物相结合能导致燃烧的物质称氧化剂。发生火灾时,主要的氧化剂是空气中的氧气。发生化工火灾时,其氧化剂还有高锰酸钾、过氧化钠、过氧化氢、氯酸钾等。

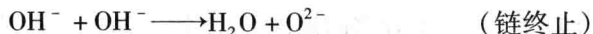
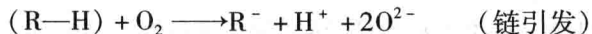
(3) 火源 火源是可燃物与氧化剂(助燃物)发生燃烧反应的能量来源。它可以是明火,也可以是高温物体,其能量可以由化学能、电能、机械能转化而来。炉火、烟头、火柴、蜡烛等明火是住宅、旅馆、饭店常见的火灾火源;电器开关、电线短路、静电等产生的电火花是工矿企业、商场火灾的常见火源;雷击常常引起森林和古建筑火灾;机械撞击、摩擦产生的火花往往引起化学危险品着火。

火源将热量传递到可燃物与助燃物上,使其温度升高,同时激发自由基的产生,引起链式反应而导致着火。

能引起一定质量/体积可燃物燃烧所需要的最小能量称为最小引燃能。若火源的能量小于最小引燃能就不能点燃着火,故最小引燃能是衡量可燃物危险性的一个重要参数。一般来讲,可燃气体的最小引燃能小于可燃液体,而可燃液体的最小引燃能又小于可燃固体。对于同种物质,这种规律就更明显。因为液体在变成蒸气燃烧之前需吸收一定的蒸发热,而固体物质需要经过熔融裂解等过程,也都需要能量。

燃烧时,可燃物、氧化剂、火源三者缺一不可。只有三者同时存在,而且可燃物、氧化剂要有一定的数量或浓度,火源要具有一定的能量,温度要达到或高于可燃物的燃点,燃烧才会发生,才可能引起火灾。

(4) 未受抑制的链式反应 足够数量的可燃物置于有一定氧浓度的环境中,遇火源(一定的温度)会发生燃烧。可燃物燃烧过程中,分子被活化,产生 H^+ , OH^- , O^{2-} 等游离基的链式反应。以烃类物质($R-H$)燃烧为例,其链式反应过程如下:



当两个 OH^- 结合生成 H_2O 时,释放大量的热量使火源能量更加充足, H^+ , OH^- , O^{2-} 等游离基浓度愈高燃烧愈猛烈。如果这种链式反应不被抑制,燃烧将继续进行,直至可燃物燃尽为止。

1.1.2 火灾的发展过程

根据国内外若干火灾实例分析,按其特点可将火灾的发展过程分为3个阶段:第一阶段是火灾初起阶段,这时的燃烧是局部的,火势不稳定,室内的平均温度不高,是控火、灭火的最好时机;第二阶段是火灾发展阶段,此时火势猛烈,室内温度很高,控火原则是利用防火分隔限制燃烧范围,阻止火灾向外蔓延;第三阶段是火灾熄灭阶段,这时室内可燃物基本燃尽,但仍需防止火灾蔓延,应注意建筑结构的破坏和倒塌,保障灭火人员安全。

1) 火灾初起阶段

(1) 初起阶段的特点

- ①起火点处局部的温度较高,室内各点的温度极不平衡。
- ②由于可燃物燃烧性能、分布及通风、散热等条件的影响,燃烧的发展大多比较缓慢,有可能形成火灾,也有可能中途自行熄灭,燃烧的发展是不稳定的。
- ③燃烧的面积不大。
- ④持续时间的长短不定。

(2) 初起阶段持续的时间 火灾初起阶段的温度一般比较低,很少有人注意并研究,但初起阶段火灾温度持续的时间对疏散人员、抢救物资、保障灭火人员的人身安全等,具有重要的意义。可燃物从受热到起火燃烧需要的时间受火源的类型、可燃物的燃烧性能、建筑结构采用的材料等条件影响。具体如下:

①火源种类不同的影响。所谓火源,就是点火的能源,通常是正在燃烧或尚未起火,且本身具有较多热量的物体。这类物体本身的温度、点火能量和传热形式(包括辐射、传导、对流)等条件,对起火成灾发展的时间都有很大影响。例如,烟蒂点燃被褥和烛火点燃被褥的时间显然不同,前者较长,后者较短。

②起火点周围燃烧条件的影响。建筑材料的燃烧性能,在火灾初起阶段的作用比较明显,因为起火点周围可燃材料烧完后,不可燃材料的墙体和楼板,是不会把火蔓延开的。在燃烧面积小、温度低、燃烧不稳定的条件下,因为周围仅有的可燃物被烧尽,燃烧便会自行中断。然而,如果燃烧发生在木板墙脚下或纤维板吊顶下面,则燃烧会因为点燃了上述的可燃结构而扩大蔓延,发展成火灾。

大面积可燃材料做成的墙体和吊顶,因为其燃烧面积大,能使火焰沿其表面迅速蔓延,放出大量的热量,助长火势发展,是影响火灾初起阶段持续时间的重要条件。

③通风条件的影响。当火源微小时,为了形成稳定的燃烧,由起火点发展到全面点燃,需要积蓄大量的热能,良好的通风散热会延缓火灾的发展,减少通风量则有助于加速燃烧,缩短火灾初起阶段持续的时间。

当火源很大时,如果门窗大开,通风良好,满足燃烧所需的最小空气量,燃烧就会猛烈发展,使火灾初起阶段持续时间缩短;反之,门窗紧闭,空气供应不足,燃烧就会缓慢,甚至自行熄灭。

(3)火灾初起阶段燃烧的过程 火灾初起时,燃烧释放的热量,通过热传递,提高了房间内各种物体的温度,使可燃物受热并分解出可燃气体的,进入无焰燃烧阶段。在短时间内可燃物分解出的可燃气体的,与空气混合便形成爆炸性气体混合物。

由起火点发展到全面燃烧,可能有2种形式:一种是明火点燃,这是由于热分解所产生可燃气体流向起火点,遇明火点燃,或者是起火点的热烟夹带火星,飞到周围可燃物上,把已进入无焰燃烧阶段的可燃物点燃;另一种是由气体混合物爆燃点火。

火灾初起,在氧气不足条件下,燃烧呈阴燃状态,室内的可燃物均处于无焰燃烧阶段,房间内积聚了温度较高、浓度较大、数量较多的可燃气体与空气混合的气体混合物,一旦开门或窗玻璃破碎,由室外向起火房间输入大量新鲜空气,室内的气体混合物便迅速自燃,在整个起火房间内剧烈燃烧,从而点燃室内存在的一切可燃物,使火灾从初起阶段迅速转变为火灾发展的第二阶段。

2) 火灾发展阶段

火灾发展阶段具有以下特点:

①室内的可燃物都在猛烈燃烧,这段时间的长短与起火的原因无关,而主要取决于可燃物的燃烧性能、可燃物数量和通风条件。

②火灾温度几乎呈直线上升并达到最高点。

③燃烧稳定,燃烧速度几乎不变。该阶段可燃物的烧毁质量占整个火灾烧毁总量的80%以上。

3) 火灾熄灭阶段

火灾熄灭阶段,即火灾发展的后期,具有以下特点:

①室内可燃物减少,温度开始下降。

②温度下降的速度与火灾持续时间长的,其下降速度比持续时间短的要慢。持续时间在1 h以内,火灾温度下降速度约为 $12\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$;持续时间大于1 h的,其下降速度约为 $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

③火灾熄灭阶段开始时的温度仍为火灾的最高温度,火势最猛,热辐射最强,对周围建筑物仍有很大的威胁。

上述火灾发展阶段,是根据火灾温度曲线的拐点,即室内火灾温度变化的转折点的客观规律划分的。火灾发展3个阶段的出现受室内燃烧面积、火灾温度和燃烧速度等综合作用,这并不是由某一参数所单独决定的。

1.1.3 火灾蔓延方式和途径

1) 火灾蔓延方式

火灾蔓延是通过热传递实现的。热传递的方式有多种,有时几种方式同时出现,有时只有1种方式。

(1)火焰接触 它是起火点的火舌直接点燃周围的可燃物而引发的燃烧。

(2) 直接延烧 固体可燃物表面或易燃、可燃液体表面上一起火点,通过导热升温,使燃烧沿物体表面连续不断地向周围发展。

(3) 热传导 即物体的一端受热,通过物体分子、原子及自由电子等微观粒子的运动,将热量传到另一端。

(4) 热辐射 即热由热源以电磁波的形式直接发射到周围物体上。辐射的波长分布随温度变化而不同,着火点温度由低到高,热辐射则由不可见的红外辐射,逐渐变为可见光辐射以至紫外辐射。着火点将以热辐射的方式引燃附近的可燃物。

(5) 热对流 这是炽热的烟气与冷空气之间相互对流的现象。火灾时室内的热烟与室外的新鲜冷空气密度差别较大,热烟的密度小,浮在冷空气的上面,由窗口上部流出,室外冷空气由窗口下部进入室内。冷空气在燃烧区内受热膨胀,再次上升由窗口上部流出,形成热对流。着火房间的热烟由窗口上部排出,窜至楼上房间,或由门洞上部流向走道窜到其他房间,使火灾蔓延。

2) 火灾蔓延途径

研究火灾蔓延途径,是在建筑物中科学合理地采取防火隔断措施的需要,也是灭火中采取“堵截包围、穿插分割”,最后扑灭火灾的需要。综合火灾实例,火灾蔓延的途径主要有:

(1) 外墙窗口 着火房间的火通过外墙窗口向外蔓延,一方面是火焰的热辐射穿过窗口烤灼对面建筑物;另一方面是高温烟气由窗口排出,窜至楼上窗口,进入楼上房间,引燃楼上可燃物;再一方面是靠火舌直接烧向上层或屋檐。这样逐层向上蔓延,会使整个建筑物起火。

(2) 内墙门 建筑物内起火的房间,开始时往往只有1个,而火最后蔓延到整个建筑物,其原因大多都是因为内墙的门未能把火挡住。火通过内墙门,经走廊,再通过相邻房间敞开的门进入房间,把室内的物品烧着。如果起火房间的门和邻近房间的门都是关闭的,那么对控制火灾的蔓延还是会起到一定的作用。

(3) 楼板的孔洞 着火楼层火焰的热辐射、高温烟气等易向上发展蔓延,楼板上的孔洞、楼梯间、电梯井、管道井等,都是火灾向上蔓延的良好途径。

(4) 空心结构 热气流通过建筑物封闭的空心处(如板条抹灰墙木筋间的空间、木楼板格栅间的空间等),把火由起火点带到连通的空间所达到的尽端,在不易觉察中蔓延开来,被人发现时已经难以扑救了。

(5) 闷顶 因为高温烟气有向上升腾的特性,所以吊顶上的入孔及通风口都是高温烟气的必经之处,高温烟气一旦进入闷顶空间内,必然向四周扩散,并形成稳定的燃烧。对于这种蔓延,也很难及时发现。

(6) 通风管道 通风管道四通八达,高温烟气一旦进入管道,尤其是用可燃材料制作的通风管道,必然将燃烧扩散到通风管道的任一点,使局部火灾迅速转变成整个建筑物的火灾。

1.1.4 火灾烟气及其危害

气相混合物的分数标度:在讨论烟气的危害时,有必要明确烟气及随后将讨论的灭火剂等量的标度。

烟气弥漫于着火空间的空气中属气相混合物,灭火剂虽多属液相但施放于防护空间的空

气中亦成为气相混合物。烟气或灭火剂在空气中的份量如何用分数来标度呢?过去常采用百分含量(或浓度),如CO的含量为20%等。我们不赞成,在本教材中也不采用这种标度法。

“含量”或“浓度”只能作一般性的术语或不同量的泛称,如说CO₂在空气中的含量(或浓度)过高、过低等;但用它来表述具体量则概念模糊,如上述CO₂的含量的百分数是按体积计还是按质量计无法确定。有的书刊为表明计量的性质,在“%”符后加上修饰性符号,如“%(m/m)”或“%(V/V)”,但这是不规范的,本教材亦不采用。

根据国家标准,气相混合物的组成应采用体积分数 φ 来标度,如空气中CO₂的体积分数为20%,其标度符号为 $\varphi(\text{CO}_2) = 20\%$ 。

国外多次建筑火灾的统计表明,死亡人数中有50%~70%是被烟气毒死的。近年来,由于各种塑料制品大量用于建筑物内,以及无窗房间的增多,导致烟气毒死的比例显著增加。英国对此做了比较:火灾死亡总人数中死于烟气中毒的1956年只有20%,1966年上升到40%左右,1976年则高达50%以上。

在某些住宅或旅馆的火灾中,因烟气致死的比例甚至高达60%~70%。例如,美国拉斯维加斯市的一个高层饭店发生火灾,有85人死亡,584人受伤,建筑中大量塑料制品燃烧所产生的毒烟是造成伤亡的主要原因。更有甚者,日本“千日”百货大楼火灾死亡人数中,约有80%是被烟气毒死的。

上述数据说明,火灾中的烟气是凶恶的杀手。烟气的危害性主要体现在以下3个方面:

1) 对人体的危害

在火灾中,人员除了直接被烧或者跳楼死亡之外,其他的死亡原因大都和烟气有关,其对人体的危害主要有:

(1) 对生理的危害

①一氧化碳中毒:一氧化碳被人体吸入后,便和人体血液中的血红蛋白结合成为一氧化碳血红蛋白,从而阻碍血液把氧输送到人体各部分。当一氧化碳和人体血液50%以上的血红蛋白结合时,便造成脑和中枢神经严重缺氧,继而失去知觉,甚至死亡。即使一氧化碳的吸入在致死量以下,也会因缺氧而发生头痛、无力及呕吐等症状,最终因不能及时逃离火场而导致死亡。

医学分析证明,一氧化碳是烟气中对人体最具威胁的成分。空气中一氧化碳的浓度对人体的影响程度,见表1.1。

表 1.1 一氧化碳对人体的影响程度

$\varphi(\text{CO})/\%$	对人体的影响程度
0.01	数小时内对人体影响不大
0.05	1.0 h 内对人体影响不大
0.1	1.0 h 后头痛,不舒服,呕吐
0.5	引起剧烈头晕,经 20 ~ 30 min 有死亡危险
1.0	呼吸数次失去知觉,经 1 ~ 2 min 即可能死亡

②二氧化碳对人体的危害:正常情况下,空气中 $\varphi(\text{CO}_2)$ 为0.03%,而在燃烧旺盛阶段火

场中心 $\varphi(\text{CO}_2)$ 为 15% ~ 23%。当 $\varphi(\text{CO}_2) = 10\%$ 时,就会引起头晕,以致昏迷、呼吸困难,甚至失去知觉。当 $\varphi(\text{CO}_2) = 20\%$ 时,人会因控制生命的神经中枢完全麻痹而死亡。

③烟气中毒:木材制品燃烧产生的醛类,聚氯乙烯燃烧产生的氢氯化物都是刺激性很强的气体,甚至是致命的。例如,烟中含有质量分数为 5.5×10^{-6} 的丙烯醛时,便会对上呼吸道产生刺激症状;如在 1.0×10^{-5} 以上时,就能引起肺部的变化,数分钟内即可死亡。火灾疏散时丙烯醛的允许质量分数为 1.0×10^{-6} ,而木材燃烧的烟中丙烯醛的质量分数已达 5.0×10^{-5} 左右,同时烟气中还有甲醛、乙醛、氢氧化物、氢化氰等毒气,对人都是极为有害的。随着新建筑材料及塑料的广泛使用,烟气的毒性会越来越大,火灾疏散时的有毒气体允许体积分数,见表 1.2。

表 1.2 疏散时有毒气体允许体积分数

种 类	一氧化碳 (CO)	二氧化碳 (CO ₂)	氯化氢 (HCl)	光气 (COCl ₂)	氨 (NH ₃)	氢化氰 (HCN)
$\varphi/\%$	0.2	3.0	0.1	0.002 5	0.3	0.02

④缺氧:在着火区域的空气中充满了一氧化碳、二氧化碳及其他有毒气体,而且燃烧需要大量的氧气,这就造成空气的含氧量大大降低。发生爆炸时,含氧量甚至可能降到 5% 以下,人会因此受到强烈的影响而死亡,其危险性也不亚于一氧化碳。空气中缺氧时对人的影响情况,见表 1.3。必须注意,高层建筑中大多数房间的气密性较好,有时少量可燃物的燃烧也会造成含氧量的迅速降低。

表 1.3 缺氧对人体的影响程度

$\varphi(\text{O}_2)/\%$	症 状
21	空气中含氧的正常值
20	无影响
16 ~ 12	呼吸、脉搏增加,肌肉有规律的运动受到影响
12 ~ 10	感觉错乱,呼吸紊乱,肌肉不舒畅,很快即疲劳
10 ~ 6	呕吐,神智不清
6	呼吸停止,数分钟后死亡

⑤窒息:火灾时人员可能因头部烧伤或吸入高温烟气而使呼吸系统烫伤,导致口腔及喉头肿胀,器官受损,呼吸困难,以致引起呼吸道阻塞窒息。若不能得到及时抢救,就有被烧死或毒死的可能性。

在烟气对人体的危害中,以一氧化碳的增加和氧气的减少影响最为严重。但实际上,起火后各种因素往往是相互混合地共同作用于人体的。一般来说,这种混合作用比某一因素的单独作用更具危险性。

(2)对视觉的危害 在着火区域的房间及疏散通道内,充满了大量的烟气,烟气中的某些成分会对眼睛产生强烈的刺激,使辨别疏散通道的视觉能力下降。

(3)对心理的危害 浓烟会造成极为紧张的恐怖心理状态,使人们失去正常的行动能力和判断能力,导致无法疏散或采取异常行动。