

◎高等学校“十二五”规划教材
◎建筑工程管理入门与速成系列

建筑工程

消防速成

石敬炜 郭树林 佟芳 主编

JIANZHUGONGCHENG
XIAOFANGSUCHENG



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校“十二五”规划教材
建筑工程管理入门与速成系列

建筑工程消防速成

石敬炜 郭树林 佟 芳 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书根据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)等最新国家规范、标准为依据编写,全书共分10部分,主要包括:火灾的基础知识,建筑工程消防基础知识、建筑材料与耐火等级、建筑防火与安全疏散、室外消防给水系统、建筑室内消火栓给水系统、自动喷水灭火系统、气体灭火系统、火灾自动报警系统、消防联动控制系统。

本书内容由浅入深,通俗易懂,可供建筑消防工程人员使用,也可供高等院校消防工程专业的师生作为参考教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程消防速成/石敬炜主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2013.12

ISBN 978-7-5603-4463-8

I. ①建… II. ①石… III. ①建筑工程-消防-高等学校-教材 IV. ①TU892

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 291537 号

策划编辑 郝庆多 段余男

责任编辑 王桂芝 段余男

封面设计 刘长友

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省委党校印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.5 字数 320 千字

版 次 2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4463-8

定 价 31.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

编 委 会

主 编	石敬炜	郭树林	佟 芳		
参 编	高作龙	关大巍	李 苗	王 强	
	王 野	许 峰	严晓光	张 亮	
	王长川	王红微			

前 言

随着经济社会的进步发展,现代化城市人口高度集中,高层、超高层和地下建筑大量开发建设,给建筑消防和城市防灾减灾提出了更高的要求。因此,需要更多的建筑消防工程专业人员对建筑施工现场进行有效管理,尽量减少建筑消防火灾隐患,降低火灾造成的经济损失,保障广大人民群众财产和生命安全。建筑火灾防护采取“消防结合”方式,“防”为“消”提供条件,“消”为“防”提供补充,二者相辅相成,减少火灾的发生。

全书共分10部分,在编写中结合最新的政策、法规、标准、规范及实践经验,主要讲解了火灾的基础知识、建筑工程消防基础知识、建筑材料与耐火等级、建筑防火与安全疏散、消防联动控制系统及常用的消防灭火系统等内容,具有很强的针对性和适用性。书中内容理论与实践相结合,更注重实际经验的运用;结构体系上重点突出、详略得当,还注意了知识的融贯性,突出了整合性的编写原则。本书可供建筑消防工程人员使用,也可供高等院校消防工程专业的师生作为参考教材。

由于编者水平有限,虽经反复推敲核实,仍难免存在许多不足之处,恳请广大读者批评指正,提出宝贵意见。

编 者

2013年11月

目 录

1	火灾的基础知识	1
1.1	火灾概述	1
1.2	火灾烟气的产生、危害和控制	5
1.3	灭火剂及灭火的基本原理	20
2	建筑工程消防基础知识	37
2.1	建筑消防工程概述	37
2.2	消防工程专用设备和材料	43
3	建筑材料与耐火等级	47
3.1	建筑材料的高温	47
3.2	建筑构件的耐火性能	50
3.3	建筑物耐火等级	54
4	建筑防火与安全疏散	60
4.1	防火分区和防烟分区	60
4.2	安全疏散	70
5	室外消防给水系统	83
5.1	室外给水系统的组成和分类	83
5.2	室外消防用水量	85
5.3	室外消防类型和消火栓布置	89
6	建筑室内消火栓给水系统	94
6.1	室内消火栓给水系统类型和设置原则	94
6.2	室内消火栓布置	97
7	自动喷水灭火系统	101
7.1	自动喷水灭火系统定义和分类	101
7.2	自动喷水灭火系统分区	108

8	气体灭火系统.....	121
8.1	气体灭火系统组件和设计.....	121
8.2	二氧化碳灭火系统.....	127
8.3	七氟丙烷灭火系统.....	139
8.4	其他灭火系统.....	152
9	火灾自动报警系统.....	160
9.1	火灾自动报警系统定义和组成.....	160
9.2	火灾自动报警系统分类.....	161
9.3	火灾探测器.....	163
10	消防联动控制系统	184
10.1	消防联动控制室	184
10.2	消防联动控制系统	186
	参考文献	190

1 火灾的基础知识

1.1 火灾概述

1.1.1 火灾的概念和性质

1. 火灾概念

火灾是火在时间和空间上失去控制而蔓延的一种灾害性燃烧现象。火灾发生的三个必要条件是可燃物、热源和氧化剂(通常为空气)。各种灾害中火灾是发生最频繁且极具毁灭性的灾害之一,其直接损失大约是地震的五倍,仅次于干旱和洪涝。

2. 火灾性质

(1) 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,其规律具有确定性,并且又具有随机性。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。条件满足时,火灾必然会发生;条件不满足,物质无论如何不会燃烧。但在某个地区、某段时间内,什么地方、什么单位、什么时间发生火灾,往往是很难预测的,即对于一场具体的火灾来说,其发生又具有随机性。由于火灾发生原因极其复杂,导致火灾的随机性,因此必须时时警惕火灾的发生。

(2) 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、风速、天气、地形、地物等物理化学因素有关。但是火灾的发生绝不是纯粹的自然现象,它与人们的日常生活习惯、操作技能、文化修养、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,消防工作是一项复杂的、涉及多个方面的系统工程。

1.1.2 火灾的分类

1. 按燃烧对象分类

(1) 固体可燃物火灾。

普通固体物质可燃物燃烧引起的火灾,又称为 A 类火灾。固体物质是火灾中最常见的燃烧对象,主要包括木材、纸张、纸板、家具、棉花、服装、布料、床上用品、粮食、合成橡胶、合成纤维、合成塑料、电工产品、化工原料、建筑材料、装饰材料等,种类极为繁杂。

固体可燃物的燃烧方式分为四种类型:熔融蒸发式燃烧、升华燃烧、热分解式燃烧和表面燃烧。大多数固体可燃物是热分解式燃烧。因为固体可燃物用途广泛、种类繁多、性质差异较大,导致固体物质火灾危险性差别较大,所以评定时要从多方面进行综合考虑。

(2) 液体可燃物火灾。

油脂及一切可燃液体引起的火灾,又称为 B 类火灾。油脂包括原油、汽油、柴油、煤油、重油、动植物油;可燃液体主要包括酒精、苯、乙醚、丙酮等各种有机溶剂。

液体燃烧是液体可燃物预先受热蒸发变成可燃蒸汽,其后是可燃蒸汽扩散,并与空气掺混形成预混可燃气,着火燃烧后在空间形成预混火焰或扩散火焰。轻质液体的蒸发属相变过程,重质液体的蒸发时还伴随有热分解过程。闪点是评定可燃液体的火灾危险性的物理量。闪点 $\leq 28^{\circ}\text{C}$ 的可燃液体属甲类火险物质,例如汽油; $28^{\circ}\text{C} \leq \text{闪点} < 60^{\circ}\text{C}$ 的可燃液体属乙类火险物质,例如煤油;闪点 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 的可燃液体属丙类火险物质,例如柴油、植物油。

(3) 气体可燃物火灾。

可燃气体引起的火灾,又称为 C 类火灾。可燃气体的燃烧方式分为预混燃烧和扩散燃烧。可燃气与空气预先混合好的燃烧称为预混燃烧,可燃气与空气边混合边燃烧称为扩散燃烧。失去控制的预混燃烧会产生爆炸,这是气体可燃物火灾中最危险的燃烧方式。用爆炸下限进行可燃气体的火灾危险性评定。爆炸下限小于 10% 的可燃气为甲类火险物质,例如氢气、甲烷、乙炔等;爆炸下限大于或等于 10% 的可燃气为乙类火险物质,例如氨气、一氧化碳、某些城市的煤气等。一般而言,绝大部分可燃气体属于甲类火险物质,极少数才属于乙类火险物质。

(4) 可燃金属火灾。

可燃金属燃烧引起的火灾,又称为 D 类火灾。例如锂、钠、钾、钙、镁、铝、铯、锆、锌、铈、钍和铀,因为它们处于薄片状、颗粒状或熔融状态时很容易着火,称它们为可燃金属。之所以将可燃金属引起的火灾从 A 类火灾中分离出来,单独作为 D 类火灾,是因为这些金属在燃烧时,燃烧热很大,通常为普通燃料的 5~20 倍,火焰温度较高,有的甚至达到 $3\,000^{\circ}\text{C}$ 以上;并且在高温下金属性质活泼,能与水、二氧化碳、氮、卤素及含卤化合物发生化学反应,使常用的灭火剂失去作用,必须采用特殊的灭火剂灭火。

2. 按火灾损失严重程度分类

根据火灾损失严重程度,可将火灾分为特别重大火灾、重大火灾、较大火灾和一般火灾四种,划分标准见表 1.1。

表 1.1 火灾等级划分标准

火灾等级	死亡人数/人	重伤人数/人	直接财产损失金额/万元
特别重大火灾	≥ 30	人 ≥ 100	$\geq 10\,000$
重大火灾	10~30	50~100	5 000~10 000
较大火灾	3~10	10~50	1 000~5 000
一般火灾	≤ 3	≤ 10	$\leq 1\,000$

3. 按照火灾发生地点分类

(1) 地上火灾。

地上火灾指发生在地表面上的火灾。地上火灾包括地上建筑火灾和森林火灾。地上建筑火灾又分为民用建筑火灾、工业建筑火灾。

1) 民用建筑火灾包括发生在城市和村镇的一般民用建筑和高层民用建筑内的火灾,以及发生在百货商场、饭店、宾馆、影剧院、机场、车站、码头等公用建筑内的火灾。

2) 工业建筑火灾包括发生在一般工业建筑和特种工业建筑内的火灾。所谓特种工业建筑是指油田、油库、化学品工厂、粮库、易燃和爆炸物品厂及仓库等火灾危险及危害性较大的

场所。

3) 森林火灾是指森林大火导致的危害。森林火灾不仅导致林木资源的损失,而且对生态和环境构成不同程度的破坏。

(2) 地下火灾。

地下火灾是指发生在地表面以下的火灾。地下火灾主要包括在矿井、地下商场、地下油库、地下停车场和地下铁道等地点发生的火灾。这些地点属于典型的受限空间,空间结构复杂,受定向风流的作用使火灾及烟气的蔓延速度相对较快,再加上逃生通道上逃生人员和救灾人员的逆流行进,救灾工作难度较大。

(3) 水上火灾。

水上火灾指发生在水面上的火灾。主要包括发生于江、河、湖、海上航行的客轮、货轮和油轮上的火灾。也包括海上石油平台,以及油面火灾等。

(4) 空间火灾。

空间火灾指发生在飞机、航天飞机和空间站等航空及航天器中的火灾。尤其是发生在航天飞机和空间站中的火灾,因为远离地球,重力作用相对较小,甚至完全失重,属于微重力条件下的火灾。其火灾的发生与蔓延相较地上建筑、地下建筑及水上火灾来说,具有明显的特殊性。

此外,按照起火原因火灾又可分为违反电气燃气等安装规定、抽烟、玩火、用火不慎、自然原因等引发的火灾,而且随着社会和经济的发展,这些火灾的发生越来越普遍,也引起人们越来越多的关注。

1.1.3 火灾发生条件和形成原因

1. 火灾发生条件

燃烧是一种发光放热的化学反应。燃烧过程中的化学反应十分复杂,既有化合反应,又有分解反应。有的复杂物质燃烧,首先是物质受热分解,之后发生氧化反应。

任何物质发生燃烧,都有一个由未燃状态转向燃烧状态的过程。这一过程的发生必须具备三个条件,即可燃物、助燃物(氧化剂)和着火源。

(1) 可燃物。

能与空气中的氧或其他氧化剂发生化学反应的物质称为可燃物。可燃物依照其物理状态分为气体、液体和固体三类。

1) 凡是在空气中能燃烧的气体都称为可燃气。可燃气体在空气中燃烧,同样要求与空气的混合比在一定范围(燃烧或爆炸范围),并需要一定的温度(着火温度)引发反应。

2) 液体可燃物大多数是有机化合物,其分子中均含有碳、氢原子,有些还含有氧原子。液体可燃物中有不少是石油化工产品。

3) 凡遇明火、热源能在空气中燃烧的固体物质称为可燃固体,如木材、纸张、谷物等。在固体物质中,有一些燃点较低、燃烧剧烈的固体物质称为易燃固体。

(2) 助燃物(氧化剂)。

可帮助支持可燃物燃烧的物质,即能与可燃物发生反应的物质称为助燃物(氧化剂)。火灾发生时,空气中包含的氧气是最常见的一种助燃剂。在热源能够满足持续燃烧要求的前提下,氧化剂的量和供应方式是影响和控制火灾发展事态的决定性因素。

(3) 着火源。

着火源是指供可燃物与氧或助燃物发生燃烧反应的能量。常见的是热能,其他还有化学能、电能、机械能和核能等转变成的热能。依照着火能量来源不同,可把着火源分为明火、高温物体、化学热能、电能、机械热能、生物能、光能、核能等。

2. 火灾形成原因

在建筑物内,特别是高层建筑物内,虽然都采用了不燃的混合结构,即砖与钢筋混凝土结构,但其中的家具、生活用品等大多都是可燃的,况且由于建筑物构造复杂、设备繁多、人员过于集中等原因,使不燃结构的建筑形成火灾的因素很多,可能性很大。

(1) 人为造成火灾(包括蓄意纵火)。

人为造成的火灾在建筑物内特别是高层建筑物内是最常见的。人们在工作中的疏忽,常常是造成火灾的直接原因。例如,焊接工人无视操作规范,不遵守安全工作制度,动用气焊或电焊工具进行野蛮操作,导致火灾;电气工人带电维修电气设备,工作中不慎便可能产生电火花,也可造成火灾;更有甚者,电气工作人员缺乏安全用电知识,在建筑物内乱接电源,滥用电炉等电加热器,造成火灾;因随手乱扔烟头、火柴梗等造成的火灾更是十分常见。

人为纵火是火灾形成的最直接、最不能忽视的主要原因。

(2) 电气事故造成火灾。

现代高层建筑中,用电设备繁多,用电量大,电气管线纵横交错,不但维修工作量大,而且也相应增加了火灾隐患。例如,电气设备的安装不良,长期“带病”或过载工作,破坏了电气设备的电气绝缘,导致电气线路的短路会引发火灾;电气设备防雷接地措施不符合规定要求,接地装置年久失修等也能引发火灾。

电气事故造成的火灾,其原因比较隐蔽,一般非专业人员不易察觉,因此在安装布置电气设备时,必须做到不留隐患,严格按照安装规范执行,并做到定期检查与维修。

(3) 可燃气体发生爆炸造成火灾。

在建筑物内使用的煤气、液化石油气和其他可燃气体,因某种原因或人为的事故而导致可燃气体泄漏,与空气混合后形成混合气体,当其浓度达到一定值时,遇到明火就会发生爆炸,形成火灾。

可燃气体,例如,甲烷(CH_4)、乙烷(C_2H_6)、丙烷(C_3H_8)、丙烯(C_3H_6)、乙烯(C_2H_4)、硫化氢(H_2S)、煤油、汽油、苯(C_6H_6)及甲苯等都是火灾事故的载体。

(4) 可燃固体燃烧造成火灾。

众所周知,当可燃固体如纸张、棉花、粘胶纤维及涤纶纤维等被火源加热,温度达到其燃点时,遇到明火就会燃烧,形成火灾。一些物质具有自燃现象,如煤炭、木材、粮食等,当其受热温度达到或超过一定值时,就会分解出可燃气体,同时释放少量热能。当温度再升高到某一极限值并产生急剧增加的热能,此时即使隔绝外界热源,可燃物质也能凭借自身放出的能量来继续提高其本身温度,并使其达到自燃点,从而形成自燃现象,若不被及时发现,必定造成火灾。

此外,对一些类似硝化棉、黄磷等的易燃易爆化学物品,若存放保管不当,即使在常温下也可以分解、氧化而引发自燃或爆炸,形成火灾。金属钾、钠、氢化钠、电石及五硫化磷等固体也很容易自燃引起火灾。

(5) 可燃液体燃烧造成火灾。

在建筑物内如存在可燃液体时,低温下当其蒸汽与空气混合达到一定浓度时,遇到明火

就会出现“一闪即灭”的蓝光,称为闪燃。出现闪燃的最低温度叫做闪点。所以闪点是燃烧或爆炸的前兆。由此可见,若可燃液体保管不当,导致液体蒸汽的大量泄漏,使得与空气的混合浓度达到极限浓度时,便可能引发火灾。因此,可燃液体的贮存和保管十分重要,一旦出现差错,火灾的发生将是不可避免的。

1.1.4 火灾事故特点

(1) 严重性。

火灾易造成重大的伤亡事故和经济损失,使国家财产蒙受巨大损失,严重影响生产生活的顺利进行,甚至迫使工矿企业停产,火灾发生后通常需较长时间才能恢复,有时火灾与爆炸同时发生,损失更为惨重。

(2) 复杂性。

发生火灾的原因很多,往往比较复杂,主要表现在着火源众多、可燃物广泛、灾后事故调查和鉴定环境破坏严重等。此外,因为建筑结构的复杂性和多种可燃物的混杂也给灭火和调查分析带来很多困难。

(3) 突发性。

火灾事故往往是在人们意想不到的时候突然发生,虽然预先存在有事故的征兆,但一方面是因为目前对火灾事故的监测、报警等手段的可靠性、实用性和广泛应用尚不十分理想;另一方面则是因为至今还有非常多的人员对火灾事故的规律及其征兆了解甚微,耽误救援时间,导致对火灾的认识、处理、救援造成很大困难。

1.2 火灾烟气的产生、危害和控制

1.2.1 火灾烟气的产生

火灾烟气是燃烧过程所产生的物质,是一种混合物,主要包括:

(1) 可燃物热解或燃烧产生的气相产物,如未燃气体、一氧化碳、二氧化碳、水蒸气、多种低分子的碳氢化合物及少量的氯化物、硫化物、氰化物等。

(2) 由于卷吸而进入的空气。

(3) 多种微小的固体颗粒及液滴。

可燃物的组成和化学性质及其燃烧条件对烟气的产生均具有重要的影响。少数纯燃料(如一氧化碳、甲醛、乙醚、甲醇、甲酸等)燃烧的火焰不发光,且基本上不产生烟。而在相同的情况下,大分子燃料燃烧时的发烟量一般比较显著。在自由燃烧情况下,固体可燃物(如木材)和经过部分氧化的燃料(如乙醇、丙酮等)的发烟量要比生成这些物质的碳氢化合物(如聚烯烃和聚苯乙烯)的发烟量少得多。

建筑物中大量建筑材料、家具、衣服、纸张等可燃物,在火灾时会受热分解,然后与空气中的氧气发生氧化反应,燃烧并产生各种物质。完全燃烧所产生的烟气的成分,主要是二氧化碳、水、二氧化氮、五氧化二磷或卤化氢等,而有毒有害物质的含量相对较少。但是,无毒气体同样可能会降低空气中的氧浓度,妨碍人们的呼吸,导致人员逃生能力的下降,也可能直接造成人体缺氧致死。

根据火灾的产生过程及燃烧特点,除了处于通风控制下的充分发展阶段,以及可燃物几近消耗殆尽的减弱阶段,火灾初期阶段往往处于燃料控制的不完全燃烧阶段。不完全燃烧所产生的烟气的成分之中,除了上述生成物以外,还可以产生一氧化碳、烃类、有机磷、多环芳香烃、焦油及炭屑等固体颗粒。固体颗粒生成的模式及颗粒的性质由于可燃物的性质不同存在很大的差异。多环芳香烃碳氢化合物与聚乙烯可看作是火焰中碳烟颗粒的前身,并使得扩散火焰发出黄光。这些小颗粒的直径约为 $10 \sim 100 \mu\text{m}$,在温度和氧浓度足够高的条件下,这些碳烟颗粒可在火焰中进一步氧化,否则,它们就直接以碳烟的形式离开火焰区。火灾初期阶段有焰燃烧产生的烟气颗粒则几乎全部由固体颗粒所组成。其中一小部分颗粒是在高热通量作用下脱离固体的灰分,而大部分颗粒则是在氧浓度较低的情况下,因为不完全燃烧及高温分解而在气相中形成的碳颗粒。这两种类型的烟气均是可燃的,一旦被点燃,在通风不畅的受限空间内甚至会引起爆炸。

油污的产生与碳素材料的阴燃有关。碳素材料阴燃生成的烟气与该材料加热到热分解温度所产生的挥发分产物相似。这种产物与冷空气混合时可浓缩成较重的高分子组分,形成含有碳粒及高沸点液体的薄雾。在静止空气条件下,颗粒的中间直径 D_{50} (反映颗粒的大小的参数) 约为 $1 \mu\text{m}$,并可缓慢沉积在物体的表面,形成油污。

各种建筑材料在不同的温度条件下,其单位质量所产生的烟量是不同的,几种建筑材料在不同温度条件下燃烧,当达到相同的减光程度时的发烟量见表 1.2,其中 K_e 为烟气的减光系数。

表 1.2 几种建筑材料在不同温度下的发烟量 ($K_e = 0.5 \text{ m}^{-1}$)

材料名称	发烟量/($\text{m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)		
	300 °C	400 °C	500 °C
松	4.0	1.8	0.4
杉木	3.6	2.1	0.4
普通胶合板	4.0	1.0	0.4
难燃胶合板	3.4	2.0	0.6
硬质纤维板	1.4	2.1	0.6
锯木屑板	2.8	2.0	0.4
玻璃纤维增强塑板		6.2	4.1
聚氯乙烯		4.0	10.4
聚苯乙烯		12.6	10.0
聚氨酯		14.0	4.0

随着我国经济水平不断提高,高层民用建筑特别是高层公共建筑(如饭店、宾馆、写字楼、综合楼等)大量出现,高分子材料大量被应用于家具、建筑装修、管道及其保温、电缆绝缘等方面。一旦火灾发生,建筑物内着火区域的空气中将会充满大量有毒的浓烟,毒性气体可直接给人体造成伤害,甚至导致死亡,其危害远远超于一般的可燃材料。以我国新建高层宾馆标准客房(双人间)为例,平均火灾荷载约为 $30 \sim 40 \text{ kg/m}^2$ 。一般木材在 300 °C 时,其发烟量约为 $3\,000 \sim 4\,000 \text{ m}^3/\text{kg}$,如典型客房面积按 18 m^2 进行计算,室内火灾温度达到 300 °C 时,一个客房内的发烟量为 $35 \text{ kg/m}^2 \times 18 \text{ m}^2 \times 3\,500 \text{ m}^3/\text{kg} = 2\,205\,000 \text{ m}^3$ 。若发烟量不损

失,则一个标准客房火灾产生的烟气就可以充满 24 座那样的高层建筑。

1.2.2 火灾烟气的危害

1. 烟气的毒性

首先,火灾中由于燃烧而消耗了大量的氧气,导致烟气中的含氧量降低。缺氧是气体毒性的特殊情况。研究数据表明,如果仅仅考虑缺氧而不考虑其他气体影响,当空气中含氧量降至 10% 时就可对人构成威胁。然而,在火灾中仅仅因含氧量降低造成危害是不大可能出现的,其危害往往伴随着 CO、CO₂ 以及其他有毒成分(如 HCN、NO_x、SO₂、H₂S 等)的生成,高分子材料燃烧时还会生成 HCl、HF、丙烯醛、异氰酸酯等有害物质。不同的材料燃烧时产生的有害气体成分与浓度是不相同的,所以其烟气的毒性也不相同。评价材料烟气毒性大小的方法有:化学分析法、动物试验法与生理研究法。

此外,高温火灾烟气对人体呼吸系统及皮肤都将造成很严重的不良影响。研究表明,当人体吸入大量热烟气时,会使血压急剧下降,毛细血管遭到破坏,从而导致血液循环系统破坏。另一方面,在高温作用之下,人会心跳加速,大量出汗,并因脱水而导致死亡。大量的研究数据表明,烟气温度达到 65 ℃ 时,人体可短时间忍受;人在温度达到 120 ℃ 的烟气中,15 min 就可造成不可恢复的伤害;当在 170 ℃ 的烟气中,1 min 就可对人体造成不可恢复的伤害。而在几百度的高温烟气中,人是一分钟也无法忍受的。

衣服的透气性与隔热程度对温度升高的忍受极限也有着重要影响。对于在特殊的可控高温环境下长时间的暴露尚有试验数据参考。然而,短时间的暴露于建筑火灾等异常高温环境下却没有相应的资料和数据。目前,在火灾危险性评估中推荐数据为:短时间脸部暴露的安全温度极限范围为 65 ~ 100 ℃。

通过化学分析法可以知道燃烧产物中的气体成分和浓度,研究温度对燃烧产物的生成及含量的影响。常用的分析方法见表 1.3。

表 1.3 烟气气体成分分析方法

方法	气体种类	取样方法	备注
气相色谱	CO、CO ₂ 、O ₂ 、N ₂ 、烃类	间断取样	使用 5A (1A = 10 ⁻¹ nm) 分子筛和 GDX104 柱
红外光谱(不分光型)	CO、CO ₂	连续取样	专用仪器
傅里叶红外气体分析仪(FT-IR)	CO、CO ₂ 、HCN、NO _x 、SO ₂ 、H ₂ S、HCl、HF、NH ₃ 、CH ₄ 等 10 多种气体	连续取样	一次分析最短时间为 1 s
比色法	HCN 丙烯醛	间断取样,水溶液吸收	限于低浓度
离子选择性电极法	卤素离子	间断取样,水溶液吸收	
电化学法	CO	连续	响应较慢
气体分析管	CO、CO ₂ 、HCN、NO _x 、H ₂ S、HCl	间断取样	半定量

虽然化学分析法可分析出气态燃烧产物的种类和含量,但却不能解释毒性的生理作用,所以还需进行动物试验和生理研究。

动物试验法就是观察动物对燃烧产物的综合反应来评价烟气的毒性。动物试验法可分

为简单观察法和机械轮法等。美国国家航空航天局(NASA)研制了水平管式加热炉试验法,加热炉加热速度为 40 K/min,最高温度可达 780~1 100 K。在暴露室中放实验小鼠,暴露 30 min,测定小鼠停止活动时间及小鼠死亡时间。从这些实验数据可判断不同材料燃烧烟气的相对毒性,见表 1.4。

表 1.4 材料燃烧烟气的相对毒性(水平管式加热炉试验法)

材料	死亡时间/min	停止活动时间/min	材料	死亡时间/min	停止活动时间/min
变形聚丙烯腈纤维	4.54 ± 1.00	3.74 ± 0.23	棉	15.10 ± 3.03	9.18 ± 3.61
羊毛	7.64 ± 2.90	5.45 ± 1.77	PMMA	15.58 ± 0.23	12.1 ± 0.06
丝	8.94 ± 0.01	5.84 ± 0.12	尼龙-66	16.34 ± 0.85	14.01 ± 0.13
皮革	10.22 ± 1.72	8.16 ± 0.69	PVC	16.84 ± 0.93	12.69 ± 2.84
红栎木	11.50 ± 0.71	9.09 ± 10.0	酚醛树脂	18.81 ± 4.84	12.92 ± 3.22
聚丙烯	12.98 ± 0.52	10.75 ± 0.18	聚乙烯	19.84 ± 0.29	8.86 ± 0.80
聚氨酯(硬泡沫)	15.05 ± 0.60	11.23 ± 0.50	聚苯乙烯	26.13 ± 0.12	19.04 ± 0.39
ABS	14.48 ± 1.59	10.58 ± 1.32			

生理试验法就是解剖在火灾中中毒死亡者尸体,了解死亡的直接原因,如血液中毒性气体的浓度、气管中的烟尘,以及烧伤情况等。研究情况表明,在中毒死者血液中,CO 和 HCN 是主要的毒性气体。在气管和肺组织中也均检测出了重金属成分,如铅、镉等,以及吸入肺部的刺激物,如醛、HCl 等。

2. 火灾烟气中能见度降低的危害

能见度指的是人们在一定环境下刚刚看到某个物体的最远距离,一般使用米(m)为单位。火灾中能见度主要由烟气的浓度决定,同时还会受到烟气的颜色、物体的亮度、背景的亮度及观察者对光线的敏感程度等因素的影响。当发生火灾时,烟气弥漫,可见光由于烟气的减光作用,人们在有烟区域内的能见度必然有所下降,对火区人员的安全疏散造成严重影响。能见度 V (单位为 m) 与减光系数 K_c (单位为 m^{-1}) 的关系可以表示为

$$VK_c = R$$

其中 R 为比例系数,依据实验数据确定,它反映了特定情况下各种因素对能见度的综合影响。大量火灾案例以及实验结果表明,即便设置了事故照明及疏散标志,火灾烟气仍然会造成人们辨认目标和疏散能力的大大下降。金曾对自发光及反光标志的能见度进行了测试,他建议安全疏散标志最好采用自发光方式。巴切尔与帕乃尔也指出,自发光标志的可见度约比表面反光标志的可见度大 2.5 倍。图 1.1 给出了自发光物体能见度的一些实验结果数据。一般的,对于疏散通道上的反光标志、疏散门等,在有反射光存在的场合下, $R = 2 \sim 4$; 对自发光型标志、指示灯等, $R = 5 \sim 10$ 。

然而,以上关于能见度的讨论并未考虑到烟气对眼睛的刺激作用。金提出在刺激性烟气中能见度的经验公式为

$$V = (0.133 - 1.471 gK) \times R/K_c \quad (\text{仅适用于 } K_c \geq 0.25 m^{-1}) \quad (\text{公式 1.1})$$

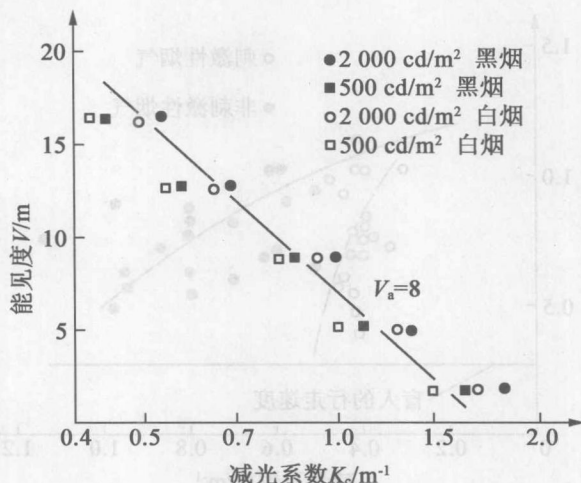


图 1.1 发光标志的能见度与减光系数的关系

安全疏散时所需的能见度和减光系数的关系见表 1.5。

保证安全疏散的最小能见距离为极限视程,极限视程因人们对建筑物的熟悉程度不同而不同。对建筑不熟悉者,其极限视程约为 30 m;而对建筑熟悉者,极限视程则约为 5 m。为了保证安全疏散,火场能见度(对反光物体而言)必须要达到 5~30 m,所以减光系数应不超过 $0.1 \sim 0.6 \text{ m}^{-1}$ 。火灾发生时烟气的减光系数多为 $25 \sim 30 \text{ m}^{-1}$,所以,为了确保安全疏散,应将烟气稀释 50~300 倍。

表 1.5 安全疏散所需的能见度和减光系数

疏散人员对建筑物的熟悉程度	减光系数/ m^{-1}	能见度/m
不熟悉	0.15	13
熟悉	0.5	4

即便是在无刺激性的烟气中,能见度的降低也可能直接导致人员步行速度的下降。日本的一项实验研究表明,即使是对建筑疏散路径相当熟悉的人,当烟气减光系数达到 0.5 m^{-1} 时,其疏散也变得很困难。在刺激性的烟气之中,人员步行速度会陡然降低,图 1.2 所示为刺激性与非刺激性烟气中人沿走廊行走速度的部分试验结果。当减光系数为 0.4 m^{-1} 时,通过刺激性烟气环境的表观速度仅是通过非刺激性烟气环境时的 70%。当减光系数大于 0.5 m^{-1} 时,通过刺激性烟气环境的表观速度降至约 0.3 m/s ,这相当于蒙上眼睛时的行走速度。行走速度下降是因为受试验者无法睁开眼睛,只能走“之”字形或者沿墙壁一步一步地挪动。

火灾中烟气对人员生命安全的影响不仅仅是生理上的,还有对人员心理方面的副作用。当人们受到浓烟的侵袭时,在能见度极低的条件下,极易产生恐惧与惊慌,是当减光系数在 0.1 m^{-1} 时,人们便不能正确进行疏散决策,甚至会失去理智而采取不顾一切的异常举动。

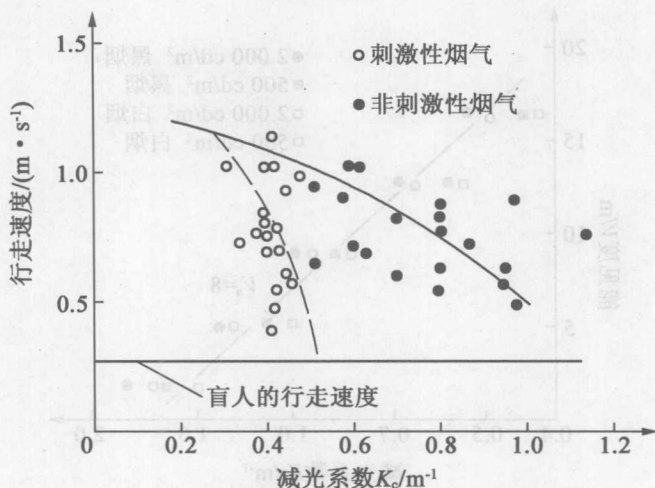


图 1.2 在刺激性与非刺激性烟气中人沿走廊行走的速度

研究烟气减光性的另一应用背景是火灾探测。大量研究数据表明, K 与颗粒大小的分布有关。随着烟气存在期的增长, 较小的颗粒会聚结成较大的集合颗粒, 从而使单位体积内的颗粒数目减少, K 随着平均颗粒直径的增大而减少。离子型火灾探测器是依据单位体积内的颗粒数目来工作的, 所以对生成期较短的烟气反应较好。它能对直径小于 10 nm 的颗粒产生反应。而利用散射或阴影原理的光学装置只能测定颗粒直径的量级与仪器所用光的波长相当的烟气, 一般为 100 nm, 而它们对小颗粒反应则不敏感。

1.2.3 火灾烟气的控制

为达到在火灾初期阶段最大限度降低人员生命及财产损失的目的, 对火灾烟气的产生及运动进行控制是关键。一个设计良好、工作正常的防排烟系统, 能将火场热量的 70% ~ 80% 排走, 避免和减少火灾的蔓延, 同时将烟气控制在一定区域内, 确保疏散路线的畅通。控制烟雾有防烟及排烟两种方式, 防烟是预防烟的进入, 是被动的措施; 而排烟则是积极改变烟气的流向, 使之排出户外, 是主动的措施, 二者互为补充。

1. 防排烟系统的设置原则

(1) 高层民用建筑防排烟系统设置原则。

《高层民用建筑设计防火规范》(2005 版) (GB 50045—1995) 在防排烟技术方面作出了较为全面和详尽的规定。对于各类高度不同、功能不同的建筑, 明确规定一类高层建筑和建筑高度超过 32 m 的二类高层建筑的下列部位应设置排烟设施:

- 1) 长度超过 20 m 的内走道。
- 2) 面积超过 100 m², 且经常有人停留或可燃物较多的房间。
- 3) 高层建筑的中庭和经常有人停留或可燃物较多的地下室。

(2) 一般民用建筑防排烟系统设置原则。

对于一般民用建筑防排烟系统的设置在《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006) 中作了规定:

- 1) 歌舞厅、录像厅、夜总会、放映厅、卡拉 OK 厅(含具有功能的餐厅)、游艺厅(含电子游