

结构 火灾安全设计

余红霞 余新盟 于潮鸣◎主编



科学出版社

结构火灾安全设计

余红霞 余新盟 于潮鸣 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕实现建筑在火灾下的结构安全性这一目的来讲述火灾安全。本书共9章,内容包括火安全工程的概念与内容、消防规范、火灾特性与火灾模拟方法、火灾对结构的影响以及对钢结构、混凝土结构以及常见组合结构在火灾下的力学行为进行评估与计算的方法。本书重点对建筑在高温下的力学稳定性及抗倒塌性能进行性能化分析,综合介绍了欧洲规范、中国各地方相关规范以及一些设计指南的内容,同时也介绍了研究前沿及其在工程实际中的应用。

本书可作为面向高等院校土木工程专业建筑火灾安全课程的教材,也可作为相关领域的科研人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

结构火灾安全设计 / 余红霞, 余新盟, 于潮鸣主编. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-033487-9

I. ①结… II. ①余… ②余… ③于… III. ①防火-建筑结构-结构设计 IV. ①TU352.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 018545 号

责任编辑: 童安齐 任加林 / 责任校对: 王万红

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年4月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012年4月第一次印刷 印张: 17

字数: 319 700

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(BA08)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

建筑火灾是一种常发性的灾害。在中国,每年都会发生数十万起火灾,造成巨大的人员与经济损失。火灾是一种无法完全避免的自然灾害,但可以通过人为的努力控制其发生的概率和发生的后果,因此,现在国家对火灾的重视程度也越来越高,并制定了相关的建筑消防与安全规范。这些规范主要服务于两个目标:第一是人员的安全,保证在发生火灾的时候,建筑内的人员能尽快疏散到安全位置;第二是控制经济损失,防止火灾的蔓延。在实现这些目标的时候,很重要的一个要求就是结构在火灾发生后一定的时间内不发生倒塌,这也称为对结构的抗火性能的要求。这一要求一方面是防止火灾蔓延、控制火灾经济损失的必要前提,另一个很重要的原因是保障进入建筑内部的消防人员的安全。

在过去,人们对结构承受荷载的原理与方式的了解有限,能对结构进行分析的工具也很有限,因此对结构的抗火性能进行评估的时候严重依赖简化的试验结果以及对火灾的实际观察经验。在此基础上建立起来的防火安全设计方法也称为“指令性设计方法”,它的主要特点是对建筑的各个方面提出详细的指令性的规定。在过去的 20 年中,在世界范围内各大学与研究机构对结构的抗火性能进行了深入与广泛的研究。这些研究工作致力于了解结构中的整体或者局部在高温下的行为与工作原理,其中一些研究成果已经极大地促进了人们对火灾以及相应的结构反应的了解,使得设计规范更合理,更能反映实际情况,并且在大多数情况下都能减少防火保护的使用,大大地降低了结构的成本。随着这些技术的发展,一种称为“性能化设计”的体系越来越得到重视并在很多国家得到广泛的应用。采用这种设计体系的规范仅对建筑在火灾中必须满足的功能要求做出规定,工程师可以根据自己的经验、知识和判断选择合适的方法来实现设计功能要求。由此形成了一个新的行业称为火安全工程(fire engineering),从事火灾安全设计的工程师则称为火灾工程师(fire engineer)。

这一学科在中国也处在蓬勃的兴起状态,而且有非常充分的蓬勃发展的理由:大量的大型公共建筑正在中国各地拔地而起。这些建筑或由于建筑美学的需要不能采用防火保护,或由于功能的需求不能满足防火分区的要求,必须通过科学的方法来判定其发生火灾的可能性与产生的后果。目前,由于相关人才的缺乏和规范的缺位,这类分析与设计往往只有跨国公司可以承担,这一科学的新设计理念无法广泛地应用于普通工业与民用建筑。

火安全工程是一门结合了火灾、燃烧与结构力学等学科知识的学科,火与结构

之间有相互作用、相互影响的关系。目前常见的资料多从火与燃烧的角度来讲述火灾安全。本书侧重的是结构在火灾中的承载能力,目的是供土木专业的学生与设计人员学习和参考,帮助他们学习结构在火灾中的承载力分析与设计的基本方法,了解科研前沿的最新进展。本书的第1~3章介绍了火安全工程的概念,消防规范的要求以及燃烧的特性,第4~8章讲述了结构在高温下的行为以及对结构在高温下的承载力进行分析和设计的方法。第9章是一个实际工程设计案例,由英国 Bura Happold 公司提供。

编者要感谢各位参与编写的同仁和朋友,以及提供案例的英国 Bura Happold 公司。本书的撰写也得到国家自然科学基金(编号:51008171),教育部留学回国人员启动基金(编号:20091021043)以及清华大学自主科研计划(编号:2011203102)的支持,特此致谢!编者才疏学浅,有疏漏的地方,敬请各位专家批评指正。

目 录

前言

第 1 章 火安全工程	1
1.1 简介	1
1.2 控制火灾的发生	3
1.2.1 控制起火的因素	3
1.2.2 控制火灾的发展	3
1.2.3 火灾安全管理	4
1.3 人员疏散	5
1.4 火灾探测与灭火	6
1.4.1 火灾探测	6
1.4.2 烟气控制	7
1.4.3 灭火措施	7
1.5 防火分区	8
1.6 防止火灾在建筑之间蔓延	9
1.7 防止结构的倒塌	9
1.8 性能化设计	11
1.9 小结	14
第 2 章 消防规范	15
2.1 规范体系	15
2.2 消防相关的规定与要求	17
2.2.1 预警与疏散	17
2.2.2 阻止火灾在建筑内部蔓延	18
2.2.3 阻止火灾在建筑之间蔓延	22
2.2.4 消防设施与消防通道	23
2.3 结构抗火性能的相关法规与要求	23
2.3.1 单、多层建筑耐火要求	23
2.3.2 高层建筑耐火要求	27
2.4 耐火极限与标准耐火试验	27
2.4.1 标准耐火试验	27
2.4.2 破坏准则	29

2.4.3 校验方式	30
2.5 小结	31
第3章 结构抗火设计原则	32
3.1 简介	32
3.2 常温下的极限状态设计	33
3.3 火灾极限状态	34
3.3.1 国内规范对火灾极限状态的规定	34
3.3.2 欧洲规范对火灾极限状态的规定	35
3.4 结构抗火性能的校核方法	36
3.5 小结	38
第4章 燃烧特性与火场模拟	40
4.1 简介	40
4.2 燃烧过程	40
4.3 火荷载密度	43
4.4 设计火荷载	45
4.5 热释放率	46
4.6 单区模型	50
4.6.1 计算原理	50
4.6.2 瑞典曲线模型	51
4.6.3 欧洲规范模型	52
4.7 局部火模型	55
4.8 室外火模型	57
4.8.1 标准室外火模型	57
4.8.2 简化算法	57
4.9 小结	62
第5章 高温下的材料特性	63
5.1 常见材料的物理属性	63
5.1.1 钢材	63
5.1.2 普通混凝土	65
5.1.3 常见防火保护材料	67
5.2 钢材高温下的力学特性	67
5.2.1 普通钢材的瞬态加载试验	68
5.2.2 普通钢材的稳态加载试验	69
5.2.3 钢材的高温应力-应变模型	71
5.2.4 钢筋的高温设计强度	73

5.2.5 螺栓的高温试验性能	74
5.2.6 螺栓与焊缝的高温设计强度	76
5.3 混凝土高温下的力学特性	77
5.3.1 混凝土的高温属性	77
5.3.2 混凝土的高温本构模型	78
5.4 小结	81
第 6 章 钢结构的抗火设计	82
6.1 结构抗火设计的目标和方法	82
6.2 欧洲规范常温设计方法简介	84
6.3 BS5950:Part 8	86
6.3.1 材料强度	87
6.3.2 荷载率	88
6.3.3 临界温度	88
6.4 EC3:Part 1.2	90
6.4.1 无防火保护的钢材的升温	90
6.4.2 有防火保护的钢材的升温	97
6.4.3 钢构件的承载力验算法	100
6.4.4 临界温度验算法	105
6.5 CECS:2006	112
6.5.1 钢构件升温的计算	113
6.5.2 基于承载力验算法	114
6.5.3 基于临界温度验算法	116
6.6 钢结构的防火保护	122
6.6.1 外包混凝土或砌筑砌体	122
6.6.2 防火板包裹	124
6.6.3 喷涂型防火涂料	124
6.6.4 膨胀型防火涂料	124
6.7 外部钢构件的升温	125
6.7.1 构件在火焰之外	126
6.7.2 构件在火焰之内	127
6.7.3 视角系数	128
6.8 小结	132
第 7 章 混凝土结构和组合结构抗火设计	133
7.1 混凝土结构设计体系和目标	133
7.2 混凝土构件的升温计算	134

7.2.1	EC2:Part 1.2 查表法	134
7.2.2	经验公式法	136
7.2.3	温度分析的高级计算方法	138
7.3	钢筋混凝土构件的抗火验算	143
7.3.1	500℃等温线法	143
7.3.2	分区法	145
7.3.3	钢筋混凝土受弯构件	148
7.3.4	钢筋混凝土受压构件	154
7.3.5	钢筋混凝土受拉构件	156
7.3.6	钢筋混凝土墙	157
7.3.7	钢筋混凝土楼板	158
7.3.8	爆裂及其对混凝土结构的影响	158
7.4	组合结构的抗火性能	160
7.4.1	带压型钢板的组合楼板	160
7.4.2	组合梁	166
7.4.3	轴压构件的屈曲承载力	169
7.4.4	型钢混凝土组合柱	170
7.4.5	钢管混凝土柱	173
7.5	小结	179
第8章	结构在火灾下的真实行为	180
8.1	Cardington 系列钢框架结构火灾试验	180
8.1.1	试验 1:约束梁	182
8.1.2	试验 2:平面框架	183
8.1.3	试验 3:角部防火区间 I	184
8.1.4	试验 4:角部防火区间 II	185
8.1.5	试验 5:大型防火区间	187
8.1.6	试验 6:办公室火灾展示试验	188
8.1.7	试验 7:边跨防火区间	190
8.1.8	试验现象总结	192
8.2	混凝土结构的真实火灾实验	193
8.3	带约束的梁柱构件的行为	197
8.3.1	带约束边界的钢梁	197
8.3.2	带约束钢柱的行为	200
8.4	楼板的薄膜效应	202
8.4.1	薄膜效应的概念	202

8.4.2	楼板的薄膜效应的简化模型	203
8.4.3	板的破坏极限状态	210
8.4.4	设计规范	214
8.5	结构在火灾中的连续性倒塌	219
8.6	小结	223
第9章	设计实例	224
9.1	简介	224
9.1.1	实例建筑描述	224
9.1.2	火灾安全工程方法	224
9.1.3	设计要求	225
9.2	设计原则	225
9.2.1	行为准则	225
9.2.2	构件性能指标	226
9.3	设计火模型	227
9.3.1	第一种设计火模型:BS476 标准火模型	227
9.3.2	第二种设计火模型:低通风率参数火模型	227
9.3.3	第三种设计火模型:中等通风率参数火模型	229
9.3.4	第四种设计火模型:高通风率参数火模型	229
9.4	构件温度	229
9.4.1	有防火保护的钢构件	229
9.4.2	无防火保护的钢构件	229
9.4.3	楼板和钢筋	229
9.5	初步评估	231
9.5.1	计算方法	231
9.5.2	实例的初步分析	232
9.6	三维结构框架的分析	236
9.6.1	材料和构件的特性	236
9.6.2	边界条件	237
9.6.3	荷载条件	238
9.6.4	分析计算结果	240
9.6.5	节点力	242
9.7	小结	244
附录		245
参考文献		258

第 1 章 火安全工程

1.1 简介

火安全工程可以定义为:应用科学与工程的原则来评估火灾的影响,通过对火灾的风险和灾害进行定量的分析,提出优化的预防性或保护性措施,实现降低火灾带来的生命安全与财产的损失的目的^[1]。

火安全工程的概念可以应用于任何存在火灾风险的场合,但本书主要讲述建筑的火灾。从上面的定义可以看出,进行火灾安全设计的目的是减少人员的伤亡和降低财产的损失。我们先从几个火灾案例来看看火灾带来的危害^[2]。

(1) 新疆维吾尔自治区克拉玛依市友谊馆火灾

1994 年 12 月,新疆维吾尔自治区克拉玛依市 7 所中学和 8 所小学的学生及相关领导共 796 人在友谊馆举行文艺汇演。演出过程中,由于舞台灯光离幕布太近,烤燃纱幕,幕布为高分子化纤织物,起火后迅速燃烧,释放出大量有毒气体。该馆共有 7 个安全疏散门,起火时仅有一个正门开启,其他的疏散门加装了防盗推拉门并上锁。大量在场人员因来不及疏散,短时间内吸入有毒气体窒息死亡。

本次事件共造成 323 人死亡,究其原因显然是多方面的,有安全管理的问题,如疏散门被上锁,火灾发生时,现场一片混乱,没有工作人员组织疏散;也有乱用材料的问题,如采用易燃性的高分子化纤幕布等。

(2) 北京市隆福商业大厦火灾

北京市隆福商业大厦是一座综合性商业大厦,由新旧两部分组成,新楼 8 层,旧楼 4 层,旧楼与新楼毗连,共有 7 处相通。1993 年 8 月晚,旧楼一层礼品柜台处着火,并迅速蔓延。这起火灾由于报警迟,建筑内部空间大,蔓延途径多,消防员到达时,旧楼已陷入猛烈的燃烧,消防员只能尽力堵住新旧楼之间的通道以及旧楼与附近的民居之间的通道。

这是一起典型的火灾造成严重经济损失的例子,火灾造成旧楼全部烧毁,新楼 2 层过火,直接经济损失 2000 多万元。本次火灾最直接的原因就是建筑内部与建筑之间没有合适的防火分隔设施,导致火灾四处蔓延。起火的原因则是由于电器过热引起,属于安全管理的疏忽。

(3) 衡阳大火

2003 年 11 月 3 日,湖南省衡阳市衡州大厦失火,衡阳市公安消防支队 16 辆

消防车到场施救,经 2 个多小时的艰苦奋战,成功疏散大厦内被困的 412 名群众,但在扑灭余火的过程中,大厦突然坍塌,造成 20 名消防官兵牺牲。图 1-1 为坍塌的大楼。



图 1-1 在火灾中倒塌的大楼

(4) 央视配楼大火

2009 年 2 月 9 日晚 21 时许,在建的央视文化中心由于燃放烟花引发火灾,该楼的主体结构为钢与混凝土组合结构,外部罩了一层钢网架,网架的外层是防水和保温层,材料为易燃材料,燃烧迅速,致使大楼的外部钢网架结构被迅速包裹在大火之中。大火持续 6 个小时,造成一名消防队员牺牲,多名人员受伤。外部钢网架严重受损,主体结构内部多处过火并发生结构损伤,截至 2011 年,该楼还在进行火灾损伤评估和灾后修复的工作,造成的经济损失和社会影响难以估量。

通过对以上火灾案例的分析可以发现,火灾造成的影响是多方面的,有人员的伤亡,财产的损失,还有建筑的损伤,以及恶劣的社会影响。火灾造成人员伤亡的方式主要是吸入烟或有毒的气体,也有一些情况下人员被困在燃烧的建筑内得不到救援而被烧死。在一些极端的情况下,建筑在火灾中发生倒塌,造成了建筑内部的人员被废墟掩埋而死亡。造成大量的财产损失则往往是由于火灾的大范围蔓延。因此,为了控制火灾带来的危害,火安全工程一般包括以下几个方面:

1) 控制火灾的发生,即通过控制建筑内材料的可燃性,对建筑的装饰与装修材料进行适当的阻燃处理,以及落实火灾安全管理制度等控制火灾发生的可能性。

2) 人员疏散。通过立法规定建筑内部必须提供适当的逃生路线和设施,并对建筑内的人员进行逃生的教育和演习,保证建筑内部的人员在发生火灾时能迅速地移动(转移)到安全的地带。

3) 探测。通过安装火灾探测装置,可以在火灾发生的第一时间及时发现,并

把警告发给所有可能受到威胁的人员。

4) 控制火灾的蔓延。火灾的蔓延包括火灾在建筑内部的传播以及火灾在相邻的建筑之间的传播。

5) 防止结构的倒塌。对结构提供足够的高温下的承载性能,防止结构在火灾中倒塌,造成人员的伤亡或引起火灾的蔓延,减小火灾造成的经济损失。

本章分别对这些方面进行陈述。

1.2 控制火灾的发生

控制火灾的发生包括采取预防性的措施,从根源上阻止火灾的发生,或者采取合适的措施,在燃烧的初始阶段,进行灭火,防止其发展为有威胁性的火灾。

1.2.1 控制起火的因素

起火的原因有多种,排除人为的纵火之外,常见的起火原因包括生活中用火不慎,如炊事用火、取暖用火、蜡烛等照明用火以及燃放烟花爆竹等,吸烟时的烟头也是生活中起火的一大原因。在工业生产中,焊接、爆炸、电器设备使用不当等都是引起火灾的重要原因。因此,要控制火灾的危害,首先要充分意识到各种起火原因及其危害性,并采取一定的预防措施,如及时更换旧的线路、注意熄灭烟头、小心燃放烟花爆竹等。

除了人为的因素之外,也需要对建筑本身进行一定的规定。首先是建筑自身可能会着火并造成火灾蔓延的部分,如墙外保温层、墙面装饰、地面装饰等不宜采用着火点低,容易燃烧的材料。对材料的易燃性能的控制可参见国家规范《建筑材料可燃性试验方法》^[3],根据该方法,将材料置于标准的试验环境中,可测试其易燃性能。其二是应尽量控制建筑内部的可燃物的数量,如木头、纸张、棉制品以及各种化纤制品等。

1.2.2 控制火灾的发展

对建筑进行水平和纵向的防火分隔是最传统的控制火灾发展的方法。通过防火分隔,把建筑划分成一系列的防火分区,每个防火分区在理想的情况下都应该能把火灾控制在其内部而不至于发展到建筑的其他部分。防火分区的6个面为能阻止火焰通过的分隔墙或楼板,由于建筑的功能要求,总是需要在不同的层以及同层的不同区域之间设置开口和连接管道等,因此防火分区是否能满足其功能要求取决于能否对这些细部的开洞和管道等进行仔细的防火处理。在实际中,由于处理不当而造成火灾大面积蔓延的事例非常多,如前面提到的隆福商厦火灾。2005年,在西班牙马德里的 Torre Windsor 大楼发生严重火灾,整栋楼被烧透,原因就



图 1-2 上海静安区高层火灾

是在改造过程中,幕墙被更换,但新的幕墙与楼板之间的缝隙没有做防火处理,造成火势迅速蔓延到起火点以上的所有楼层。

火灾除了从建筑内部传播之外,也可能从建筑外部传播。央视配楼的大火就是先点燃了外墙的保温材料,引起整个外墙的猛烈燃烧,然后火焰通过内部主体结构的开口处进入主体结构内部,在某些层引起燃烧。2010年11月上海静安区的一栋高层居民楼火灾发生在外墙加装保温材料期间,由于楼外施工的电焊引起火灾,火势通过建筑外的维护网迅速蔓延并包裹整个建筑,然后从窗户进入室内,在短时间内,几乎整栋大楼都陷入了火海,大量群众被困,消防员救援困难(图 1-2)。这起火灾造成了 50 多人死亡。目前对于这种由于外墙燃烧而导致的大范围的火灾蔓延的情况规范还没有涉及到,只能通过合理地选择外墙保温材料、注意施工安全等来尽量避免。

1.2.3 火灾安全管理

火灾管理主要是业主或物业方的责任,包括定期检查、排查各种火患,确保报警装置、灭火器、消防栓等正常工作,检查安全疏散通道没有被堵、被锁等。更重要的是负责火灾安全管理的人员要确保建筑内部的人员都熟悉该建筑的安全疏散通道,在发生火灾时,确保他们能迅速地被指引到安全的地带。在住宅、办公楼等单一功能的建筑中,住户对周围的环境很熟悉,在经过简单的训练和演习后,即能熟悉安全疏散的过程。在复杂的公共建筑,尤其是陌生人较多的地方,如商场、地铁等场所,要实现起来就复杂得多,一般要求建立专门的火灾安全管理制度并设专人负责,随时监控,一旦发生火灾,能迅速地采取合理的报警和灭火措施,并组织疏散人群。建筑在启用之初设计的预防、报警、灭火等系统在整个建筑的服务期间应经常检查确保其正常工作,一旦建筑的功能改变,或内部人员发生改变,应该及时调整相应的防火措施。

1.3 人员疏散

发生火灾时,最重要的是所有的人员都能被转移到安全的地带。尽管我们经常的新闻中看到消防员营救被火灾困住的群众的画面,但在做建筑的火灾安全设计时,不应该考虑消防员作为营救人员的功能,而应考虑让所有受到火灾威胁的人员都能依靠自己转移到安全地带。这就要求在建筑内部设置合理的、安全的疏散通道。对于低层建筑,这里的人员通常是指建筑内部的所有人员,而安全地带则是室外的空旷地带;对于多层建筑,要在短时间内疏散所有的人群是非常困难的,因此经常采取一种“分期疏散”的策略,在发生火灾时,只有紧邻着火灾的若干层被疏散,之后,其他各层在需要的情况下可以依次疏散。在高层建筑中,通常还需要在建筑内部设置避难层,在火熄灭或被消防员营救之前,避难层应对建筑内的人员提供安全保护。高层建筑还可以在顶部设置直升机停机坪,形成又一个疏散通道。

对于疏散通道的最基本的要求是疏散通道的数目和宽度,或者通行能力。具备同样的通行能力时,两个较窄的疏散通道会比一个疏散通道好,两个疏散通道尽量分开布置会比紧挨在一起好,这样的话,一旦火灾堵住一条疏散通道,还有另一条可以用。对于疏散通道的另一个要求是长度。人员疏散的时间取决于内部人员的数目、疏散通道的通行能力和疏散通道的长度,疏散允许的时间则是从火灾被发现引发报警到室内发生猛烈燃烧的时间。根据经验,对于普通的商业和民用建筑,疏散时间如果能控制在 2.5min 以内即能满足要求。根据调查,通过疏散门时,可以按每股人流占用宽度 0.55m 计算,这样,一个 1.65m 宽的门可同时通过 3 股人流。人流通行的速度一般在 37~43 人/min,其中,平坡面为 43 人/min,楼梯为 37 人/min。

【例 1-1】 对一座容量规模为 20 000 人的体育馆进行疏散通道的疏散设计,设计疏散时间为 4min。

【解】 假定该体育馆有 30 个疏散门,则平均每个疏散门疏散人数为 $20\,000/30=667$ 人。按 4min 的疏散时间计算,每个门的通行速度为 $667/4=167$ 人/min。按每股人流的通行速度为 37 人/min 计算,疏散门必须能同时通行的人流数为 $167/37=4.5$,取 5。因此,疏散门的宽度为 $0.55 \times 5 = 2.75\text{m}$ 。

除了以上数目与功能的要求外,疏散通道还需要满足使用安全的要求。具体包括疏散通道的内壁不能采用可燃的、受热后释放有毒气体的材料,疏散通道内必须安装独立的紧急照明系统,疏散通道与建筑内部的其他防火区间之间必须有严密的防火、防烟分隔措施,疏散通道必须有足够的通风和排烟措施,这个可以通过把疏散通道设置在室外露天环境中或者安装机械排烟装置来实现。

需要指出的是,尽管疏散通道对于火灾安全非常重要,但对其耐火性能的要求

可以低于建筑的其他构件,因为疏散通道起作用的时间是在火灾开始的阶段,当火灾充分发展后,所有还没有逃离的人员都已经死亡,疏散通道也失去了作用。

以上这些都是理想的情况。在实际执行中,总是会受到人为因素的影响。例如,业主或者物业管理方为了管理的方便,总是会封锁一些出口,居民则可能往楼道里堆放杂物,堵塞一些平常不用的通道,因为这些而造成的火灾死亡事件屡见不鲜。另外,有些人也会为了个人的利益而忽视了火灾的危险,如忙着携带财物等。有研究显示,在见到火苗之前,人们倾向于继续完成正在进行的工作而忽视火灾警报。对于紧急疏散过程中的人的心理与行为的研究目前还不是很充分,有证据表明,人在紧急慌乱的时候会向有光的地方移动,因此,疏散通道与疏散方向应该清楚地以应急照明表示出来,但对于人们对警铃以及紧急广播的反应则还存在争议。消防演习也可能有双重作用,通过消防演习人们可以熟悉在紧急状况下的应急措施,但频繁的消防演习也可能使人们放松警惕,甚至把火灾警报误认作消防演习^[1]。

1.4 火灾探测与灭火

为了保证人员的安全疏散,有必要安装火灾的探测与报警装置,并提供灭火措施。灭火措施可以有效地减少燃烧产生的烟气,并降低建筑内部的温度,延长疏散的时间,降低火灾的危害。

1.4.1 火灾探测

火灾探测与报警装置可以分为自动报警装置和手动报警装置。在一个建筑内也可以同时采用这两种报警装置。



图 1-3 手动报警装置

1. 手动报警装置

典型的手动报警装置如图 1-3 所示,通常安装在室内或走廊的墙上。当按钮被按下时会自动触发警铃。但这种装置不带探测的功能,需要现场人员观察和判断是否有火灾的危险性并决定是否启动报警。因此,这种装置当单独使用时,其用途非常有限,只能安装在确定现场有人存在的地方。

2. 自动报警装置

这种报警装置通常与传感器连接在一起。这些传感器通过检测现场的烟的含量或空气的温度来启动报警装置,甚至直接启动自动灭火措施,如自动喷淋系统。

很多自动报警装置都采用烟探测与热探测共同作用的方式,因为单独采用任何一种都可能对建筑的正常工作环境发生误判,如厨房在正常烹饪时产生的烟可能引发烟探测器。除了小型的建筑之外,大部分的建筑中的自动报警装置都应该连接到一个系统,该系统能指出警报被触发的源头或者火灾的源头以方便组织人员疏散和消防灭火。

1.4.2 烟气控制

经验告诉我们,燃烧时会产生大量的烟雾,这些烟雾由于温度较高,在气流的推动下会向上走(图 1-4)。如果在建筑内部,则会在屋顶下方聚集。在疏散阶段,必须保证室内的烟气累积程度不会太高,一般要求烟的下层离地面不少于 2.5m,以保证室内的人员能看见周围的环境和疏散路线。有研究表明,当人被困在烟气中,可视范围很低时,会慌乱并失去方向感。当烟气蔓延到一定程度时,人也可能会发生窒息或因为吸入烟气中的有毒气体而中毒死亡。有些情况下,也可能需要对烟气的温度进行控制,使其不高于某一极限温度。

烟气在气流的驱动下会向上流动。在极少数情况下,如简易的单层工业厂房或仓库等,屋顶可能非常简陋,在发生火灾时很快烧穿,形成天然的排烟口。在大多数情况下,则需要人工设置排烟措施。这个问题对于大型公共建筑,如商场等尤为严重,对于这一类建筑,必须安装排烟装置以控制起火时产生的烟气量。



图 1-4 燃烧产生大量烟气

1.4.3 灭火措施

常见的灭火措施包括灭火器、消火栓、自动喷淋装置和消防队等。它们的工作原理是降低可燃物的温度或将可燃物与空气隔离,两者都能达到使可燃物不能燃烧的目的。

灭火器被广泛地布置于建筑的各个角落,它们能方便地应用于火灾的初期阶段,建筑内的人员应熟悉各种灭火器的使用方法和适用范围。