

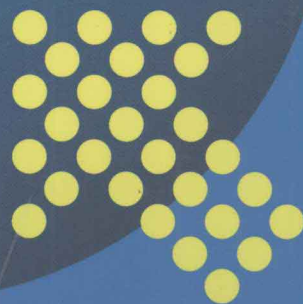
21世纪高等学校规划教材



JIANZHU XIAOFANG JISHU YU SHEBEI

建筑消防技术与设备

谢 东 主 编
刘爱华 戚玉丽 李小华 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

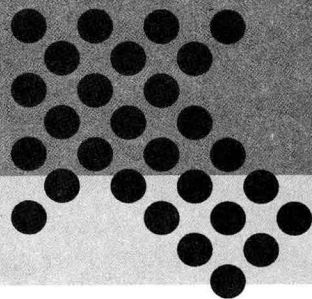
21世纪高等学校规划教材



JIANZHU XIAOFANG JISHU YU SHEBEI

建筑消防技术与设备

主 编 谢 东
副主编 刘爱华 戚玉丽 李小华
编 写 顾小松 刘 栋 付峥嵘
李石林 李文菁
主 审 王汉青



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑消防技术与设备/谢东主编. —北京: 中国电力出版社, 2011. 8

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5123-1193-0

I. ①建… II. ①谢… III. ①建筑物-消防设备-高等学校-教材 IV. ①TU998.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 006377 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.125 印张 445 千字 1 插页

定价 32.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

建筑消防技术与设备是一门工程性和综合性都很强的课程,它涉及建筑学、结构、给排水、暖通、安全、电气等不同的专业。长期以来,由于各普通高等学校各专业之间教学安排不同,导致该课程的教学无法形成一个有机的整体,不利于学生系统全面地理解和掌握,从而不利于普通高校工程技术性人才的培养。本书从筹划、编写到最后定稿,力求满足普通高校工程应用性人才培养的需求。

本书介绍了建筑火灾的发生、发展、蔓延规律和灭火技术,系统地讲述了烟气流动规律及防排烟技术,火灾自动探测、自动报警,消防设备的电气控制技术,智能化消防联动控制系统,建筑消防系统设计计算和消防设备的安装调试及维护。本书在编写过程中以建筑消防技术为主线,全面系统地讲述了各消防设备系统的类型、组成、工作原理、使用条件、设计计算,在内容上充分吸收了近年来建筑消防系统的新技术、新设备和先进经验,有鲜明的时代特色;同时紧密结合最新的标准和规范,针对具体工程来介绍设计方法,具有较强的实用性。

本书由南华大学谢东任主编,北京理工大学珠海学院刘爱华、嘉兴学院戚玉丽、湖南工程学院李小华任副主编,参加编写的还有长沙理工大学顾小松、南华大学刘栋、湖南工业大学付峥嵘、湖南科技大学李石林、湖南工程学院李文菁。湖南工业大学王汉青教授担任本书主审,广东海外建筑设计院有限公司资昊工程师校核了本书并提出了宝贵的意见,编者在此表示由衷的感谢。

全书共分八章,由南华大学谢东拟订全书编写提纲并编写第一章、第二章第四节、第七章第四节,戚玉丽编写第二章(除第二章第四节)、第七章第一节,李小华和李文菁共同编写第三章、第七章第二节,刘栋编写第四章,刘爱华编写第五章、第七章第三节,李石林编写第六章,顾小松编写第八章。

本书可作为高等院校建筑环境与设备工程、给水排水工程、环境工程、安全工程、电气工程等相关专业的教材,也可供建筑消防系统相关设计师及施工技术人员参考。

鉴于编者水平有限,书中不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 建筑消防概论	1
第一节 燃烧特性	1
第二节 建筑火灾的特点及危害	7
第三节 灭火的基本原理及灭火介质	13
第四节 建筑消防系统	23
第二章 建筑消防灭火系统	26
第一节 消防灭火设备概述	26
第二节 消火栓灭火系统	26
第三节 自动喷水灭火系统	53
第四节 气体灭火系统	79
第五节 其他灭火系统	90
练习题	94
第三章 防、排烟系统	95
第一节 火灾烟气的性质与流动	95
第二节 防烟	105
第三节 排烟	119
第四节 防、排烟设备	142
第五节 通风空调系统中的防排烟技术	158
练习题	163
第四章 火灾自动报警系统	164
第一节 火灾自动报警系统的组成与类型	164
第二节 火灾探测器	166
第三节 火灾报警控制器	175
第四节 火灾自动报警系统设计	180
练习题	186
第五章 消防设备的电气控制技术	187
第一节 消防供配电系统	187
第二节 消防灭火设备的电气控制	190
第三节 防、排烟设备的电气控制	194
第四节 火灾探测及报警设备的电气控制	197
第五节 其他设备的电气控制	202
练习题	208
第六章 智能化消防联动控制系统	209

第一节	智能化消防联动控制系统概述	209
第二节	智能化消防联动控制系统组成及主要系统	212
	练习题	224
第七章	建筑消防系统设计计算	225
第一节	建筑灭火系统设计	225
第二节	防、排烟系统设计	234
第三节	智能化消防联动控制系统设计	240
第四节	消防系统设计常见问题分析	259
第八章	消防设备的安装调试及维护	266
第一节	通用消防工程施工准备	266
第二节	消防给水设备的安装调试及维护简介	267
第三节	室内消火栓系统管道安装调试及维护	270
第四节	室内自动喷水灭火系统安装	271
第五节	火灾自动报警系统安装调试及维护	275
第六节	室内气体消防灭火系统安装	279
	练习题	282
	参考文献	283

第一章 建筑消防概论

第一节 燃烧特性

一、燃烧本质

燃烧是可燃物与氧化剂作用而发生的放热反应,通常伴有火焰、发光或发烟的现象。燃烧的温度较高,使其中白炽的固体粒子和某些不稳定(或易受激发)的中间物质分子内的电子发生能级跃迁,从而发出各种波长的光;发光的气相燃烧区就是火焰,它的存在是燃烧过程中最明显的标志;由于燃烧不完全等原因,燃烧产物中会混有一些微小颗粒,这便产生了烟。

从本质上讲,燃烧是燃料与氧化剂发生强烈化学反应,并伴有发光发热的现象。燃烧不单纯是化学反应,而是反应、流动、传热和传质并存、相互作用的综合现象。化学反应由于反应速率不同,或成为燃烧,或成为一般氧化反应。一般氧化反应,由于反应速率低,产生的热量又随时散失,因而没有发光现象;而剧烈的氧化反应,瞬时放出大量的热和光,故燃烧的基本特征为:放热、发光、发烟、伴有火焰等。

近代链式反应理论认为,燃烧是一种游离基的链式反应。链式反应也称连锁反应,即化合物或单分子中的共价键在外界因素(如光、热)的影响下,裂解而成化学活性非常强的原子或原子团——游离基(也称自由基),在一般条件下这些原子或原子团容易自行结合成分子或与其他物质分子反应生产新的游离基。反应物产生少量新的游离基时,即可发生链式反应。反应一经开始,许多链式步骤就自行发展下去,直至反应物裂解完全为止。链式反应机理大致可以分为以下三个阶段。

(1) 链引发,即生成游离基,使链式反应开始。生成方法有热分解、光化、放射线照射、氧化还原、加入催化剂等。

(2) 链传递,游离基作用于其他参加反应的物质分子,产生新的游离基。

(3) 链终止,即游离基消失,使链的反应终止。

现以氢在空气中的燃烧为例:



从上述反应式可以看出,游离基有氧原子、氢原子及羟基,反应过程中每一步都取决于前一步生成的物质,故称这种反应为链式反应。

二、燃烧条件

任何物质发生燃烧都必须具备以下三个条件:可燃物、氧化剂和温度(引火源)。以上仅能代表无焰燃烧,我们平时所指的绝大部分燃烧均是有焰燃烧。有焰燃烧必须具备四个必要条件:可燃物、氧化剂、温度和未受抑制的链式反应。具备了燃烧的必要条件,并不意味着燃烧必然会发生,燃烧还必须具备以下四个充分条件:一定的可燃物浓度、一定的氧含

量、一定的点火热量、未受抑制的链式反应。以上就是燃烧的充分必要条件，灭火剂的灭火机理即为去掉其中的一个或几个条件，使燃烧中止。

(1) 可燃物。凡是能与空气中的氧或其他氧化剂起化学反应的固体、液体、气体物质都称为可燃物。常见的可燃物质有木材、纸张、汽油、酒精、氢气、乙炔气、钾等。

(2) 氧化剂。能帮助和支持可燃物燃烧的物质，即能与可燃物发生氧化反应的物质称为氧化剂。发生火灾时，主要的氧化剂是空气中的氧气。

(3) 温度。温度即为引火源，是指供给可燃物和氧化剂发生燃烧反应的能量来源。常见的是热能，其他还有由化学能、电能、机械能等转变而来的热能。燃烧反应可以通过用明火点燃处于空气（或氧气）中的可燃物或通过加热处于空气（或氧气）中的可燃物来实现。在外界无火源时，只有将可燃物加热到着火点以上温度才能使燃烧反应进行。因此，物质的燃烧除了可燃性和氧化剂之外，还需要相应的温度。由于各种可燃物的化学组成和化学性质各不相同，其发生燃烧的温度也不同。

(4) 链式反应。大多数的有焰燃烧都存在着链式反应。当某种可燃物受热时，它不会汽化，而且该可燃物的分子还会发生热裂解作用，即它们在燃烧前会裂解为简单分子，这些分子中的原子间的共价键常常会发生断裂，生成活性很强的游离基。由于游离基是一种高度活泼的化学形态，能与其他游离基及分子反应，而使燃烧持续下去，这就产生了燃烧的链式反应。

具备了燃烧的必要条件，并不等于燃烧必然发生。在各种必要条件中，还有一个“量”的概念，这就是发生燃烧或持续燃烧的充分条件。

(1) 一定的可燃物浓度。可燃气体或蒸气只有达到一定浓度才会发生燃烧。如车用汽油在 -38°C 以下，灯用煤油在 4°C 以下，甲醇在 7°C 以下时均不能达到燃烧所需的浓度，在这种条件下，虽有足够的氧气和明火，仍不能发生燃烧。

(2) 一定的氧气含量。各种不同的可燃物发生燃烧，均有本身固定的最低含氧量要求，低于这一浓度，虽然燃烧的其他条件已具备，燃烧仍不会发生，如汽油的最低氧含量要求为14.4%，煤油为15%。

(3) 一定的点火能量。各种不同的可燃物发生燃烧，均有本身固定的最小点火能量要求，达到这一强度要求时才会引起燃烧反应，否则燃烧便不会发生，如汽油的最低点火能量为0.2mJ。

(4) 不受抑制的链式反应。对于无焰燃烧，以上三个条件同时存在，相互作用，燃烧即会发生。对于有焰燃烧，除以上三个条件外，燃烧过程中存在未受抑制的游离基，形成链式反应，使燃烧能够持续下去，也是燃烧的充分条件之一。

三、燃烧类型

燃烧的类型有许多种，按其形成的条件和瞬间发生的特点，一般分为闪燃、着火、自燃和爆炸。

1. 闪燃

在一定温度下，易燃与可燃液体（固体）表面上产生足够的可燃蒸气，遇火能产生一闪即灭的短促燃烧现象，即为闪燃。也就是说，液态可燃物表面会产生可燃蒸气，固态可燃物也会因蒸发、升华或分解而产生可燃气体或蒸气，这些可燃气体或蒸气与空气混合而形成可燃性气体，当遇明火时就会发生一闪即灭的火苗或闪光现象。

发生闪燃的最低温度称为闪点，液体的闪点越低，火险可能性就越大。闪点是评定液体火灾危险性的主要依据。表 1-1 给出了部分易燃物和可燃液体的闪点。

表 1-1 部分易燃物和可燃液体的闪点

名称	闪点/℃	名称	闪点/℃	名称	闪点/℃
汽油	50	乙苯	23.5	丙烯腈	-5
煤油	37.8~73.9	丁苯	30.5	戊烯	-17.8
柴油	60~110	甲酸丙酯	-3	丁二烯	41
原油	-6.7~32.2	乙酸丙酯	13.5	氢氰酸	-17.5
乙醇	12.8	乙酸乙酯	-5	二硫化碳	-45
正丙醇	23.5	乙酸丁酯	17	苯乙烯	38
戊烷	<-40	乙酸戊酯	42	乙二醇	85
己烷	-20	乙醚	-45	丙酮	-10
辛烷	16.5	丙醛	15	环己烷	6.3
苯	-14	乙酸	42.9	松节油	32
甲苯	5.5	丁酸	77	环氧丙烷	-37

注 1. 闪点低于或等于 45℃的液体为易燃液体，闪点大于 45℃的称为可燃液体；
2. 易燃和可燃液体的闪点高于储存温度时，火焰的传播速度低。

在消防工作中，以闪点的高低作为评价液体火灾危险性的依据。闪点越低的液体，其火灾危险性就越大。根据闪点可对液体生产、加工、储存的火灾危险性进行分类，进而采取相应的防火安全措施。

2. 着火

着火是可燃物质在空气中与火源接触，达到某一温度时，开始产生有火焰的燃烧，并在火源移去后仍能继续燃烧的现象，如油类、酮类的燃烧。可燃物开始持续燃烧所需要的最低温度，叫燃点（又称为着火点），燃点越低，越容易起火。根据可燃物质的燃点高低，可以鉴别其火灾危险程度，表 1-2 给出了部分可燃物质的燃点。

表 1-2 部分常见可燃物质的燃点

物质名称	燃点/℃	物质名称	燃点/℃
石蜡	158~195	赛璐珞	100
蜡烛	190	醋酸纤维	320
樟脑	70	涤纶纤维	390
萘	86	黏胶纤维	235
纸张	130	尼龙 6	395
棉花	210~255	腈纶	355
麻绒	150	聚乙烯	341
麻	150~200	有机玻璃	260
蚕丝	250~300	聚丙烯	270
木材	250~300	聚苯乙烯	345~360
松木	250	聚氯乙烯	391

一切可燃液体的燃点都高于其闪点。一般规律是，易燃液体的燃点比其闪点高出 1~5℃，而且液体的闪点越低，这一差别越小，因此在评定这类液体的火灾危险性时，燃点没有实际意义。燃点对可燃固体和闪点比较高的可燃液体，具有实际意义。控制这些物质的温度在燃点以下，也是预防火灾发生的措施之一。

3. 自燃

自燃是可燃物质在没有外部火花、火焰等火源的作用下，因受热或自身发热、积热不散引起的燃烧。根据热的来源不同，自燃可分为本身自燃和受热自燃。使可燃物发生自燃的最低温度叫自燃点。物质的自燃点越低，发生火灾的危险性越大。自燃有固体自燃、气体自燃及液体自燃。表 1-3 给出了部分物质的自燃点。

表 1-3 部分可燃物质在空气中的自燃点

物质名称	自燃点/℃	物质名称	自燃点/℃
汽油	415~530	二硫化碳	112
煤油	210	木材	250~350
石油	约 350	褐煤	250~450
氢	572	木炭	350~400
己烷	248	棉纤维	530
丁烯	443	聚乙烯	520
乙炔	305	聚苯乙烯	560
苯	580	有机玻璃	440
甲醇	498	镁	520

可燃物质的自燃点不是固定不变的，它主要取决于氧化时所放出的热量和向外导出的热量。液体与气体可燃物（包括受热时能熔融的固体）的自燃点还受压力、浓度、含氧量、催化剂等因素的影响；固体可燃物自燃点与固体粉碎颗粒的大小、分解产生的可燃气体数量及受热时间长短等因素有关。

物质的本身自燃和受热自燃现象的本质是一样的，只是热的来源不同，前者是物质本身的热效应，后者是外部加热的作用，因此，两者可以统称为自燃。

4. 爆炸

爆炸是由于物质急剧氧化或分解反应产生温度、压力增加或两者同时增加的现象。爆炸时势能（化学能或者机械能）突然转变为动能，有高压气体生成或释放出高压气体，且这些高压气体随即做机械功，如移动、改变形状或抛射周围物体。爆炸可分为：物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。

物理爆炸是由于液体变成蒸气或者气体迅速膨胀，压力急速增加，并大大超过容器的极限压力而发生的爆炸，如蒸汽锅炉、液化气钢瓶等的爆炸。化学爆炸是因物质本身起化学反应，产生大量气体和高温而发生的爆炸，如炸药的爆炸，可燃气体、液体蒸气和粉尘与空气混合物的爆炸等。化学爆炸是消防工作中防止爆炸的重点。

爆炸性物质又分为爆炸性化合物和爆炸性混合物，其中爆炸性化合物按组分为单分解爆炸物质（如过氧化物、氯酸和过氯酸化合物、氮的卤化物等）和复分解爆炸物质，如梯恩梯、消化棉等；爆炸性混合物通常由两种或两种以上的爆炸组分和非爆炸组分经机械混合而

成,如黑色火药、硝化甘油炸药等。在此要注意“二次爆炸”。如果容器中装有可燃气体或液体,在发生物理爆炸的同时往往伴随着化学爆炸,这种爆炸称为“二次爆炸”。

在消防工作中经常遇到的是可燃性气体、蒸气、粉尘与空气或其他氧化介质形成爆炸性混合物而发生的化学爆炸。对生产、生活中存在可燃气体、蒸气、粉尘环境的火灾爆炸危险性,可通过其相应的爆炸极限来判定,进而采取相应的防范措施。

所谓爆炸极限(又称爆炸浓度极限、燃烧极限或火焰传播极限)是可燃气体、蒸气或粉尘与空气混合后,遇火源产生爆炸的浓度范围,通常以体积百分比表示。空气中含有的可燃气体、蒸气或粉尘所形成的混合物,遇火源能发生爆炸的最低浓度称爆炸下限,遇火源能发生爆炸的最高浓度称爆炸上限。部分可燃气体和液体蒸气的爆炸极限见表1-4。

表 1-4 可燃气体和液体蒸气的爆炸极限

物质名称	在空气中/%		在氧气中/%	
	下限	上限	下限	上限
氢气	4.0	75.0	4.7	94.0
乙炔	2.5	82.0	2.8	93.0
甲烷	5.0	15.0	5.4	60.0
乙烷	3.0	12.45	3.0	66.0
丙烷	2.1	9.5	2.3	55.0
乙烯	2.75	34.0	3.0	80.0
丙烯	2.0	11.0	2.1	53.0
氨	15.0	28.0	13.5	79.0
环丙烷	2.4	10.4	2.5	63.0
一氧化碳	12.5	74.0	15.5	94.0
乙醚	1.9	40.0	2.1	82.0
丁烷	1.5	8.5	1.8	49.0
二乙烯醚	1.7	27.0	1.85	85.5

爆炸极限是个测量参数,也就是说,日常生产、生活中某种可燃性气体、蒸气、粉尘的爆炸极限受到各种因素如初始温度、初始压力、惰性介质及杂质、混合物中氧含量、点火源等变化的影响。一般而言,初始温度越高,其分子内能增大,爆炸极限范围越大;初始压力升高,其分子距离缩短,爆炸极限范围变大;混合物中加入惰性气体,爆炸极限范围缩小,特别是爆炸上限受影响更大;混合物中氧含量增大,爆炸下限降低,爆炸上限上升;点火源的温度越高,热表面面积越大,与混合物接触时间越长,点火源给混合物的能量越大,爆炸极限范围也越大。

四、可燃物的燃烧特点及燃烧产物

1. 可燃物的燃烧特点

(1) 可燃气体的燃烧特点。

可燃气体的燃烧不需像固体、液体那样经过熔化、蒸发过程,其所需热量仅用于氧化或分解,或将气体加热到燃点,因此可燃气体容易燃烧,速度也快。通常根据燃烧前可燃气体与氧的混合状况不同,可燃气体的燃烧可分为两大类:预混燃烧与扩散燃烧。

扩散燃烧——可燃气体从喷口（管口或容器泄漏口）喷出，在喷口处与空气中的氧边扩散混合边燃烧的现象。其燃烧速度取决于可燃气体的喷出速度，一般为稳定燃烧，如容器、管路泄漏发生的燃烧，天然气井的井喷燃烧都属于此类。2003 年 12 月 23 日，中石油集团下属企业在重庆开县进行天然气开采时发生井喷事故，240 多名无辜村民在事故中丧生，由此“12·23”事故亦被外界称为人类开采天然气史上最大的悲剧性事件之一。

预混燃烧——可燃气体与氧在燃烧之前混合，并形成一定浓度的可燃混合气体，被火源点燃所引起的燃烧。这类燃烧往往造成爆炸。影响预混燃烧速度的因素有气体的组成、可燃气体浓度、可燃混合气体的初始温度、压力、管路直径、管道材质等，如处于标准状态下的甲烷与空气混合气体在管道内的燃烧就属于此类。

(2) 可燃液体的燃烧特点。

可燃液体的燃烧实际上是液体蒸气进行燃烧，因此燃烧与否、燃烧速率等与液体的蒸气压、闪点、沸点和蒸发速率等性质有关。某些液体在贮存温度下，液面上蒸气压在易燃范围内遇到火源时，其火焰传播速率较快。易燃液体和可燃液体的闪点高于储存温度时，其火焰传播速率较低，因为火焰的热量必须足以加热液体表面，并在火焰扩散之前形成易燃蒸气—空气混合物。影响这一过程的因素有环境、风速、温度、燃烧热、蒸发潜热、大气压等。

液态烃类燃烧时，通常有橘色火焰并散发浓密的黑色烟云；醇类燃烧时，通常具有透明的蓝色火焰，几乎不产生烟雾；某些醚类燃烧时，液体表面伴有明显的沸腾状，这类物质的火灾难以扑灭。在不同类型油类的敞口贮罐的火灾中应特别注意三种特殊现象——沸溢、溅出、冒泡。这类液体在燃烧过程中，向液层面不断传热，会使含有水分、黏度大、沸点在 100℃ 以上的重油、原油产生沸溢和喷溅现象，造成大面积火灾，这种现象称为突沸，往往会造成很大的危害；这类油品也称为沸溢性油品。因此对油罐进油和储油时，温度必须严格控制 在 90℃ 以内。进油管流速较高时，由高到低的进入易产生雾状喷出落下的油撞击油罐和液面，致使静电荷急剧增加，极易引起油罐爆炸起火，因此油罐的进油管不能从油罐上部接入。

液体火灾危险性分类是根据其闪点来划分等级的，可燃液体的火灾危险性分类见表 1-5。

表 1-5 可燃液体的火灾危险性分类

火灾危险性分类	分 级	闪点/℃	可燃液体举例
甲	一级易燃液体	<28	汽油、苯、甲醇
乙	二级易燃液体	28~60	煤油、丁醚
丙	可燃液体	>60	柴油、润滑油

(3) 可燃固体的燃烧特点。

凡遇火、受热、撞击、摩擦或与氧化剂接触能着火的固体物质，统称为燃烧固体。固体物质燃烧特点是必须经过受热、蒸发、热分解，使固体上方可燃气体的浓度达到燃烧的极限，才能持续不断地发生燃烧。

易燃固体按照燃烧难易程度分一、二两级。一级易燃固体：燃点低，易于燃烧或爆炸，燃烧速度快，并能释放出剧毒气体。它们有磷及磷的化合物如红磷、三硫化四磷、五硫化四磷，硝基化合物如二硝基苯及一些含氮量在 12.5% 的硝化棉闪光粉等。二级易燃固体：燃烧性能比一级固体差，燃烧速度慢，燃烧毒性小。它们大致包括各种金属粉末、碱金属氨基

化合物,如氨基化锂、氨基化钙等;硝基化合物,如硝基芳烃;硝化棉制品,如硝化纤维漆布、赛璐珞等;萘及其化合物等。

固体可燃物由于分子结构的复杂性、物理性质的不同,其燃烧方式也不同,通常有蒸发燃烧、分解燃烧、表面燃烧和阴燃四种。

蒸发燃烧:指熔点较低的可燃固体受热后融熔,然后像可燃液体一样蒸发成蒸气而燃烧,如硫、沥青的燃烧等。**分解燃烧:**分子结构复杂的固体可燃物,在受热分解出其组成成分及与加热温度相应的热分解产物后,这些分解产物再氧化燃烧,称为分解燃烧,如木材、合成橡胶等的燃烧。**表面燃烧:**蒸气压非常小或者难于热分解的可燃固体不能发生蒸发燃烧或分解燃烧,当氧气包围物质的表层时,呈炽热状态并发生无焰燃烧。表面燃烧属于非均相燃烧,现象为表面发红而无火焰,如木炭、焦炭等的燃烧。**阴燃:**没有火焰的缓慢燃烧现象称为阴燃。一些固体可燃物,如成捆堆放的棉,大堆垛的煤、草、木材等在空气不流通、加热温度较低或含水率较高时会阴燃。随着阴燃的进行,热量聚集、温度升高,此时如有空气导入可能会转变为明火燃烧。

2. 燃烧产物

由燃烧或热解作用而产生的全部物质称为燃烧产物。通常指燃烧生成的气体、热量、可见烟等。燃烧生成的气体一般指一氧化碳、氰化氢、二氧化碳、丙烯醛、氯化氢、二氧化硫、二氧化氮等;热量是由于大多数物质的燃烧是一种放热的化学氧化过程,在这种过程中放出的能量以热量的形式表现,并形成热气的对流、辐射;可见烟是由燃烧或热解作用所生成的悬浮在大气中可见的固体和(或)液体颗粒的总称,其粒径一般在 $0.01\sim 10\mu\text{m}$ 。燃烧产物的数量、组成等随物质的化学组成及温度、空气的供给情况等的变化而不同。

第二节 建筑火灾的特点及危害

一、建筑火灾的特点

1. 火灾的定义及分类

由火灾分类(GB/T 4968—2008)可知,根据可燃物的类型和燃烧特性,火灾可定义为六个不同的类别。

A类火灾:固体物质火灾。这种物质往往具有有机物性质,一般在燃烧时能产生灼热的余烬,如木材、棉、毛、麻、纸张等引起的火灾。

B类火灾:液体或可熔化的固体物质火灾,如汽油、原油、甲醇、乙醇、沥青、石蜡等引起的火灾。

C类火灾:气体火灾,如煤气、天然气、甲烷、氢等引起的火灾。

D类火灾:金属火灾,如钾、钠、铝镁合金等引起的火灾等。

E类火灾:带电火灾,如物体带电燃烧的火灾。

F类火灾:烹饪器具内的烹饪物(如动植物油脂)火灾。

2. 建筑火灾的发展和蔓延

(1) 建筑火灾的发展过程

火灾发生、发展的整个过程是非常复杂的,影响因素也很多,根据室内火灾温度随时间的变化特点,可将火灾发展过程分为三个阶段,即火灾初期增长阶段、火灾充分发展阶段、

火灾减弱阶段，也可表述为火灾初起阶段（AB 段）、火灾全面发展阶段（BC 段）、火灾熄灭阶段（C 点以后）。室内火灾的发展过程可以用室内烟气的平均温度随时间的变化来描述，如图 1-1 所示。

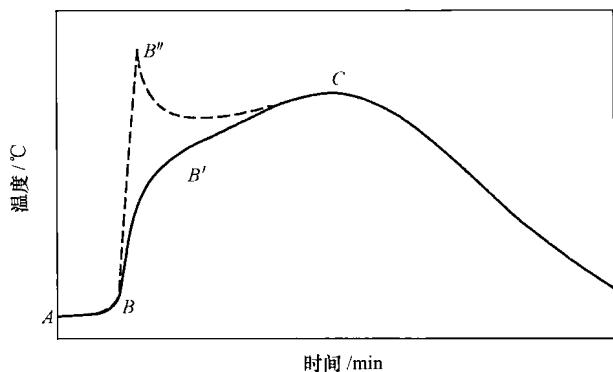


图 1-1 室内火灾温度—时间变化曲线

固体可燃物燃烧的温升速度比较缓慢，所以火灾温度曲线比较弯曲；可燃气体和易燃可燃液体蒸气的燃烧速度快，起火后室内温度迅速达到最高峰，因此在火灾温度曲线上几乎看不到初起的升温阶段；对于密闭建筑物内固体物质的燃烧来说，一旦空气供给充足，高温热解可燃气体体会发生爆燃，因此在火灾曲线上会有有一个陡升的阶段，火灾温度曲线中的 B—B' 段便由 B—B'' 直线来代替。

1) 火灾初起阶段。

室内发生火灾后，最初只是起火部位及其周围可燃物着火燃烧。初期增长阶段的特点是：在火灾初起阶段，起火点的局部温度较高，但室内各点的温度极不平衡。由于可燃物燃烧性能、分布、通风、散热等条件的影响，燃烧发展比较缓慢，且燃烧发展不稳定，有可能形成火灾，也有可能中途自行熄灭。火灾初起阶段的燃烧面积不大，初起阶段持续时间长短与燃烧条件有很大关系。该阶段的火灾持续时间受点火源、可燃物质性质和分布、通风条件等因素的影响很大，火灾发展一般会出现以下情况。

① 初始可燃物全部烧完而未能延及其他可燃物，致使火灾自行熄灭。这种情况通常发生在初始可燃物不多且距离其他可燃物较远的条件下。

② 火灾增大到一定规模，但是由于通风不足使燃烧强度受到限制，于是火灾以较小的规模持续燃烧。若通风条件相当差，则在燃烧一段时间后火灾也会自行熄灭。

③ 如果可燃物充足且通风良好，火势将迅速扩展，乃至将其周围的可燃物引燃，起火房间内的温度也随之迅速上升。

根据初期增长阶段的特点可见，该阶段是灭火的最有利时机，也是人员安全疏散的最有利时段，应设法争取尽早发现火灾，把火灾及时控制消灭在起火点。为此，在建筑物内安装和配备火灾自动报警装置和自动灭火装置是很有必要的。

2) 全面发展阶段。

在火灾初起阶段后期，火灾范围迅速扩大，当火灾房间温度达到一定值时，聚积在房间内的可燃气体突然起火，整个房间都充满了火焰，房间内所有可燃物表面部分都卷入火灾之中，燃烧很猛烈，温度升高很快。房间内局部燃烧向全室性燃烧过渡的这种现象通常称为轰燃。轰燃是室内火灾最显著的特征之一，它标志着火灾全面发展阶段的开始。对于安全疏散而言，人们若在轰燃之前还没有从室内逃出，则很难幸存。

轰燃发生后，房间内所有可燃物都在猛烈燃烧，放热速度很快，因而房间内温度升高很快，并出现持续性高温，最高温度可达 1100℃ 左右。火焰、高温烟气从房间的开口部位大量喷出，把火灾蔓延到建筑物的其他部分。室内高温还对建筑构件产生热作用，使建筑物构

件的承载能力下降,甚至造成建筑物局部或整体倒塌破坏。

室内火灾进入发展阶段后可燃物燃烧猛烈,燃烧处于稳定期,可燃物的燃烧速度接近于定值,火灾温度上升到最高点。火灾发展阶段时间主要取决于可燃物燃烧性能、可燃物数量和通风条件,而与起火原因无关。实验发现,火灾发展阶段燃烧的可燃物约为整个火灾过程中烧掉可燃物总量的80%。

在火灾发展阶段,室内可燃物被全面点燃,进行稳定燃烧,建筑物构件处于浓烟烈火包围之下,因此建筑结构的耐火性能显得格外重要,要求人们在建筑设计中,注意选用耐火性能好、耐火时间长的结构,以便加强防火安全。为了减少火灾损失,阻止热对流,限制燃烧面积扩大,建筑物应有必要的防火分隔措施。

3) 熄灭阶段。

在火灾全面发展阶段后期,随着室内可燃物的挥发物质不断减少,以及可燃物数量的减少,火灾燃烧速度递减,温度逐渐下降。当室内平均温度降到温度最高值的80%时,则一般认为火灾进入熄灭阶段。随后,房间温度明显下降,直到把房间内的全部可燃物烧尽,室内外温度趋于一致,火灾宣告结束。

火灾进入熄灭阶段后,室内可供燃烧的物质减少,温度开始下降。实验发现,室内温度衰减的速度与火灾持续时间有如下关系:火灾持续时间越长,其衰减速度越慢。火灾持续时间在1h以下时,室内火灾温度衰减速度约为 $12^{\circ}\text{C}/\text{min}$;火灾持续时间大于1h,其衰减速度约为 $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

从火灾的整个过程来看,火灾中期的后半段和末期前的半段温度最高,火势发展最猛,热辐射也最强,使建筑物遭受破坏的可能性最大,是火灾向周围建筑物蔓延最为危险的时刻。因此,在火灾熄灭阶段的前期,室内温度仍为最高温度,火势较猛烈,热辐射较强,对周围建筑物仍有很大威胁。

实际灭火战斗中应注意堵截包围,防止火势蔓延,切不可疏忽大意,但因可燃物数量已经不多,也不必投入过多的战斗力量。此外,还应防止建筑构件因经受火焰的高温作用和灭火射水的冷却作用出现裂缝、下沉、倾斜或倒塌,要充分保障灭火人员的生命安全。

(2) 建筑火灾蔓延。

1) 火灾蔓延方式。

① 火焰蔓延。初始燃烧的表面火焰,在使可燃材料燃烧的同时,将火灾蔓延开来。火焰蔓延速度主要取决于火焰传热的速度。

② 热传导。火灾区域燃烧产生的热量,经导热性好的建筑构件或建筑设备传导,能够使火灾蔓延到相邻或上下层房间。例如,薄壁隔墙、楼板、金属管壁,都可以把火灾区域的燃烧热传导至另一侧的表面,使地板上或靠着隔墙堆积的可燃、易燃物质燃烧,导致火灾扩大。应该指出的是,火灾通过传导的方式进行蔓延扩大有两个比较明显的特点,其一是必须具有导热性好的媒介,如金属构件、薄壁构件或金属设备等;其二是蔓延的距离较近,一般只能是相邻的建筑空间。

③ 热对流。热对流作用可以使火灾区域的高温燃烧产物与火灾区域外的冷空气发生强烈流动,将高温燃烧产物传播到较远处,造成火势扩大。建筑房间起火时,在建筑内燃烧产物则往往经过房门流向走道,窜到其他房间,并通过楼梯间向上层扩散。在火场上,浓烟流窜的方向往往就是火势蔓延的方向。

④ 热辐射。热辐射是物体在一定温度下以电磁波方式向外传送热能的过程。一般物体在通常所遇到的温度下向空间发射的能量,绝大多数都属于热辐射。建筑物发生火灾时,火场的温度高达上千度,通过外墙开口部位向外发射大量的辐射热,对邻近建筑构成火灾威胁,同时也会加速火灾在室内的蔓延。

2) 火灾蔓延途径。

如建筑物内某一房间发生火灾,当发展到轰燃之后,火势猛烈,就会突破该房间的限制,向其他空间蔓延。其途径主要有:未设适当的防火分隔,使火灾在未受到限制的条件下蔓延扩大;防火隔墙和房间隔墙未砌至顶板底,导致火灾在吊顶空间内部蔓延;由可燃的户门及可燃隔墙向其他空间蔓延;电梯竖向蔓延;非防火、防烟楼梯间及其他竖井未做有效防火分隔而形成竖向蔓延;外窗形成的竖向和水平蔓延;通风管道及其周围缝隙造成火灾蔓延等。

① 未设防火分区。对于主体为耐火结构的建筑来说,造成水平蔓延的主要原因之一是建筑物内未设水平防火分区,没有防火墙及相应的防火门、防火窗等形成控制火灾的区域空间。

② 洞口分隔不完善。对于耐火建筑来说,火灾水平蔓延的另一途径是洞口处的分隔处理不完善。如户门为可燃的木质门,火灾时被烧穿;普通防火卷帘无水幕保护,导致卷帘被熔化;管道穿孔处未用不可燃材料封堵等等。

在穿越防火分区的洞口上,一般都装设防火卷帘或防火门,而且多数采用自动关闭装置;然而,发生火灾时能够自动关闭的比较少。这是因为卷帘箱一般设在顶棚内部,在自动关闭之前,卷帘箱的开口、导轨以及卷帘下部等因受热发生变形,无法靠自重落下,而且,如在卷帘的下面堆放了物品,火灾时不仅卷帘放不下,还会导致火灾蔓延。此外,防火卷帘和防火门受热后变形很大,一般凸向加热一侧。普通防火卷帘在火焰的作用下,其背火面的温度很高,如果无水幕保护,其背火面将会产生强烈热辐射,在背火面堆放的可燃物或卷帘与可燃构件、可燃装修材料接触时,就会导致火灾蔓延。

③ 火灾在吊顶内部空间蔓延。目前,有些框架结构的高层建筑竣工时是个大的通间,在出售或出租给用户后,由用户自行分隔、装修。有不少装设吊顶的高层建筑,其房间与房间、房间与走廊之间的分隔墙只做到吊顶底部,吊顶的上部仍为连通空间,一旦起火就极易在吊顶内部蔓延,且难以及时发现,导致灾情扩大。

④ 火灾通过楼梯间蔓延。高层建筑的楼梯间,若在设计阶段未按防火、防烟要求设计,则在火灾时犹如烟囱一般,烟火很快会由此向上蔓延。有些高层建筑虽设有封闭楼梯间,但起封闭作用的门未采用防火门,发生火灾后,不能有效地阻止烟火进入楼梯间,以致形成火灾蔓延通道,甚至造成重大人员伤亡。

⑤ 火灾通过电梯井蔓延。电梯间未设防烟前室及防火门分隔,将会形成一座座竖向烟囱。在现代商业大厦及交通枢纽、航空港等人流集散量大的建筑物内,一般以自动扶梯代替了电梯。自动扶梯所形成的竖向连通空间也是火灾蔓延的主要途径,设计时必须予以高度重视。

⑥ 火灾通过其他竖井蔓延。建筑中的通风竖井、管道井、电缆井、垃圾井也是高层建筑火灾蔓延的主要途径。如香港大生工业楼发生火灾,火势通过未采取防火措施的管道井、电缆井、垃圾井等扩大蔓延。

⑦ 火灾通过空调系统管道蔓延。高层建筑空调系统未按规定设防火阀、采用不可燃的风管、采用不可燃或难燃烧材料做保温层,发生火灾时会造成严重损失。通风管道使火灾蔓延一般有两种方式,第一种方式为通风管道本身起火并向连通的水平和竖向空间(房间、吊

顶内部、机房等)蔓延,第二种方式为通风管道吸进火灾房间的烟气,并在远离火场的其他空间再喷冒出来,后一种方式更加危险。因此,在通风管道穿越防火分区之处,一定要设置具有自动关闭功能的防火阀门。

⑧ 火灾由窗口蔓延。在现代建筑中,从起火房间窗口喷出的烟气和火焰,往往会沿窗槛墙及上层窗口向上窜越,烧毁上层窗户,引燃房间内的可燃物,使火灾蔓延到上部楼层。若建筑物采用带形窗,着火房间喷出的火焰被吸附在建筑物表面,被吸入上层窗户内部的可能性更大。另外,火灾也有通过窗间墙向水平相邻房间蔓延的可能性。

3. 高层建筑火灾的特点

(1) 高层建筑功能复杂,着火点多。高层建筑功能复杂,使用单位多,人员集中,建筑装饰材料种类繁多,火灾安全隐患大。由于智能化程度高,电气线路复杂,起火几率很高。因此这类建筑标准较高,装修量大,装饰物多,可燃物多,着火的可能性较大。

(2) 火势凶猛且蔓延迅速。高层建筑内由于功能的需要设置了各种管井,如电梯井、楼梯井、通风井等,发生火灾时,这些竖井就像一座座“烟囱”,在强大热压力作用下使火焰及烟雾在其中迅速地向上扩散,形成“烟囱效应”。烟气在竖井中的上升速度随烟气温度和建筑高度的增加而增大,资料表明,烟气垂直流动速度能达到 $2\sim 4\text{m/s}$,这给高层建筑人员的疏散和火灾扑救工作带来极大的困难。

(3) 人员和物质的疏散十分困难。高层建筑楼层多,人员密集,一旦发生火灾,人员和物质往往出现集中拥堵现象,疏散速度很慢,加上火势蔓延迅速,慌乱中容易发生人员伤亡,安全疏散十分困难。

(4) 火灾扑救工作难度极大。高层建筑由于以上三个火灾特点,致使其发生火灾后扑救工作难度极大,且有些高层建筑的层高超过了消防云梯的最大工作高度,所以高层建筑消防设施必须完善、可靠,力求将火灾扑灭在初期。

二、火灾烟气及其危害

现代建筑物内可燃装饰、化纤地毯和泡沫塑料填充的家具陈设较多,这些可燃物在燃烧过程中会产生大量的有毒烟气和热量,同时要消耗大量的氧气。在建筑火灾中,烟雾是阻碍人们逃生、导致被困人员死亡的主要原因。国外多次建筑火灾的统计表明,火灾中85%以上的死亡者是由于烟气的影响,其中大部分是吸入了烟尘及有毒气体昏迷后致死的。可燃物质燃烧中所产生或游离出的物质和燃烧时所散发的热混合在一起就是烟气,其中含有燃烧后的气体、蒸汽、未燃烧尽的分解物和凝固物。凡可燃物,不论何种状态,燃烧时都会散发大量炽热的烟雾,其烟气量为火灾荷载的发烟系数乘以烧毁的火灾荷载,即火灾荷载的性能与燃烧的重量决定火灾中的烟气量,并且烟气量随火灾荷载的增加而成倍增加。烟气可使人中毒或窒息,因此火灾中的烟气会给人类生命安全带来极大危害。

烟气的危害性主要体现在以下三个方面。

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,其他的死亡大都和烟气有关。烟气对人体的危害主要有如下几类。

(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