

普通高等教育规划教材



*Fire Alarm and
Automatic Protection
Engineering*

火灾报警 与自动消防工程

周熙炜 张彦宁 | 编 著
黄 鹤 巫春玲



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

普通高等教育规划教材

Fire Alarm and Automatic Protection Engineering
火灾报警与自动消防工程

周熙炜 张彦宁 编 著
黄 鹤 巫春玲



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以电气自动化技术、计算机控制技术等为基础,结合智能建筑的总体要求,对建筑消防系统的理论与实践进行了系统阐述,共分9章,内容主要包括火灾报警与自动消防技术概论、火灾探测器、火灾探测的数据融合技术、火灾自动报警监控系统、水灭火系统与装置、自动跟踪定位射流灭火系统、自动气体灭火系统、防火与减灾系统、自动消防系统的配电与施工。本书注重理论与实践的结合,选编了必要的火灾报警和自动消防系统设计的国标、规范、曲线及图表。每章均设有练习思考题,方便读者对教学内容的进一步学习。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、楼宇自动化、建筑设施智能技术、消防工程、安全工程、建筑设备等专业方向的教材,亦可供从事建筑自动消防系统的工程设计、安装维护、监理人员,以及水暖、市政等工程技术人员和消防与公安人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

火灾报警与自动消防工程 / 周熙炜等编著. —

北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.8

ISBN 978-7-114-13031-1

I. ①火… II. ①周… III. ①火灾监测—自动报警系统
②消防设备—自动化设备 IV. ①TU998.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第212848号

普通高等教育规划教材

书 名:火灾报警与自动消防工程

著 者:周熙炜 张彦宁 黄 鹤 巫春玲

责任编辑:刘永超 李 晴

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:21.75

字 数:525千

版 次:2016年8月 第1版

印 次:2016年8月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13031-1

定 价:45.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

Foreword

随着我国社会经济的快速发展,城市化进展迅猛,现代高层建筑的结构和功能也日益复杂。建筑内的用电负荷成倍增长,电气管线密集,可燃物增多,这样就不可避免地存在许多火灾隐患,给人民的生产和生活带来威胁。火灾报警与自动消防是各类建筑以及公路、桥梁和隧道等交通基础设施中十分重要的安全工程,其系统复杂、可靠性要求高;是建筑电气工程设计、安装和施工中的重要组成部分,在国民经济建设中的地位愈来愈重要。正所谓:“隐患险于明火,防范胜于救灾,责任重于泰山。”

自动消防系统这一关系国计民生的科研课题已然成为一门新的技术科学,专门研究如何预防、报警和控制火灾的发生与蔓延。为了适应城市建设和消防事业的发展需要,我们在收集和参考国内外有关技术资料的基础上,依据国家的最新消防标准、规程与行业规范,结合工程设计和施工情况,编写了《火灾报警与自动消防工程》一书。

本书针对目前多功能建筑设施的特点,围绕火灾的形成过程,分析了各种典型的感烟、感温、感光、图像及特种等火灾探测器的工作原理及自动报警的工程应用。本书系统地介绍了火灾多探测器的信息融合、火灾报警控制器和消防远程网络监控等新技术。针对消防灭火技术,本书详尽地讲述了自动喷水系统、室内消火栓灭火、泡沫灭火以及自动跟踪定位射流等水灭火系统与装置;讲述了七氟丙烷、低压二氧化碳、热气溶胶、水蒸气和 IG-541 等各类自动气体灭火系统及装置。针对消防工程的防灾减灾技术,本书讲述了火灾防排烟系统的设计与联动控制、消防电梯、应急照明和消防专用通信及广播技术;还对消防系统的供配电、施工与开通等工程内容进行了介绍。为了便于读者学习,本书在每章后编入练习思考题。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、楼宇自动化、建筑设施智能技术、消防工程、安全工程、建筑设备等专业的消防系统的课程教材,教学时数可在 32~48 学时左右。对于从事火灾自动消防系统的工程设计、安装维护、监理、水暖、市政等的工程技术人员和消防与公安人员,也有较好的参考价值。

本书由副教授周熙炜博士编写了第 5、6、7 章并进行全书统稿;张彦宁博士编写了第 1 章和第 8 章;黄鹤博士编写了第 2 章和第 4 章;巫春玲博士编写了第 3 章和第 9 章。

本书是有关的教学团队在多年的教学研究中积累而成,并得到了长安大学电子与控制工程学院教师们的热情支持和指导。其中,郎禄平老师对本书做过历史性的贡献,他于 1993 年就编著出版了《建筑自动消防》一书,并多次修订,是国内较早的系统开展消防科学研究的著作。同时,还要向汪贵平教授、王娜教授、段晨东教授等表示衷心的感谢!研究生熊永荣、宋阿华、梅芳、李炫南等同学协助编者查阅了大量的消防国家标准、规程与行业规范,并绘制了部分

图纸。海湾安全技术有限公司、磐龙安全系统股份有限公司等单位为本书提供了部分产品的说明资料。人民交通出版社刘永超编辑为本书的出版给予了极大支持。在此对他们的辛勤劳动表达诚挚的谢意！并对书末所列参考文献的作者表示衷心感谢。

随着现代信息技术和自动控制技术的快速发展,各种火灾报警与自动消防的新方法和新技术也在日益涌现。作者殷切希望各位读者和专业技术人员,对本书的内容、结构及疏漏、错误之处给予批评指正。

周熙炜

2016年7月于长安大学渭水校区



目 录

Contents

第 1 章 火灾报警与自动消防技术概论	1
1.1 燃烧的特征	1
1.2 火灾形成过程	8
1.3 灭火的基本原理及灭火介质	12
1.4 民用建筑的分类和火灾特点	23
1.5 建筑消防系统的组成及应用要求	26
习题	31
第 2 章 火灾探测器	33
2.1 火灾探测器的工作原理	33
2.2 技术数据与型号编制	52
2.3 探测器的选择	58
2.4 火灾探测器的工程应用	64
习题	77
第 3 章 火灾探测的数据融合技术	79
3.1 火灾探测信息处理算法	79
3.2 多传感器的数据融合原理	81
3.3 基于数据融合技术的火灾探测	88
习题	96
第 4 章 火灾自动报警监控系统	97
4.1 火灾报警控制器及其系统	97
4.2 消防远程网络监控系统	104
习题	118
第 5 章 水灭火系统与装置	119
5.1 自动喷水灭火系统	119
5.2 室内消火栓灭火系统	143
5.3 泡沫灭火系统设计	159
5.4 水灭火系统的水力计算	164
习题	182

第6章 自动跟踪定位射流灭火系统	183
6.1 自动消防炮系统	183
6.2 自动消防炮的设计理论与计算	194
6.3 消防炮系统的一般设计要点	199
习题	204
第7章 自动气体灭火系统	205
7.1 气体灭火系统概述	205
7.2 七氟丙烷气体灭火系统	213
7.3 低压二氧化碳灭火系统	238
7.4 热气溶胶灭火系统	243
7.5 其他气体灭火系统	250
习题	261
第8章 防火与减灾系统	262
8.1 防排烟控制系统	262
8.2 消防电梯	304
8.3 应急照明系统及联动控制	310
8.4 消防专用通信及火灾应急广播	314
习题	316
第9章 自动消防系统的配电与施工	318
9.1 消防系统的供配电	318
9.2 消防设备的布线	322
9.3 消防控制室及系统接地	330
9.4 自动消防系统的施工与调试	335
习题	340
参考文献	341

1.1 燃烧的特征

1.1.1 燃烧的定义

燃烧,是可燃物与氧化剂作用而发生的一种激烈的快速氧化与放热反应,通常伴有火焰、发光或发烟的现象(图 1-1)。燃烧使可燃物中白炽的固体粒子和某些不稳定的中间物质分子内的电子产生能级跃迁,从而发出各种波长的光;发光的气相燃烧区就是火焰;由于不完全燃烧等原因,未燃尽的微小颗粒或燃烧产物就形成了烟。因此,放热、发光、生成新物质(如木料燃烧后生成二氧化碳和水,并剩下炭和灰)是燃烧现象的三个特征。



图 1-1 燃烧

燃烧物质所处的条件不同,会导致燃烧现象的不同。如按氧化剂是否充足,物质燃烧可分为完全燃烧和不完全燃烧两种形式。物质燃烧或热解而产生的新物质称为燃烧产物。凡是物质燃烧后产生不能继续燃烧的产物,是完全燃烧;凡是物质燃烧后产生还能继续燃烧的产物,是不完全燃烧。燃烧产物通常有生成的气体、热量、灰烬、可见烟等。大量生成的完全燃烧产物可以阻止燃烧的进行,如完全燃烧后产生的水蒸气和二氧化碳能够稀释燃烧区的含氧量,从而中断一般物质的燃烧。此外,火灾的扑救工作可以根据烟雾的特征和流动方向来识别燃烧物质,有助于判断火源位置和火势蔓延方向。

燃料中存在的和燃烧产生的有害物质,在燃烧过程中会散发出来,包括烟尘、灰粒、炭黑粒子、氮氧化物、硫氧化物、二氧化碳等,还会有噪声、臭味,未燃尽的碳氢化合物、微量有害元素等。燃烧会污染环境,是目前全球酸雨、“温室效应”等环境问题产生的一个重要原因,对人们的生活、生产与生命安全、动植物的生长以及整个生态的平衡都会带来极为不利的影响。

1.1.2 燃烧的条件

燃烧过程的发生和发展必须具备三个必要条件,即引火源温度、助燃剂(氧或氧化剂)和可燃物,用“燃烧三角形”来表示,只要三者同时出现并相互接触,就会发生燃烧现象,如图 1-2。

用“燃烧三角形”来表示无焰燃烧的基本条件是正确的,但是进一步研究表明,对于有焰燃烧,由于在燃烧过程中存在未受抑制的自由基(又称游离基,自由基是一种高度活泼的化学基团,能与其他的自由基和分子发生反应),从而使燃烧按链式反应扩展。所以发生有焰燃烧需要四个必要条件,即引火源(热源)、助燃剂(氧或氧化剂)、可燃物和未受抑制的链式反应。图 1-3 所示为可燃物的燃烧历程框图。



图 1-2 燃烧三角形

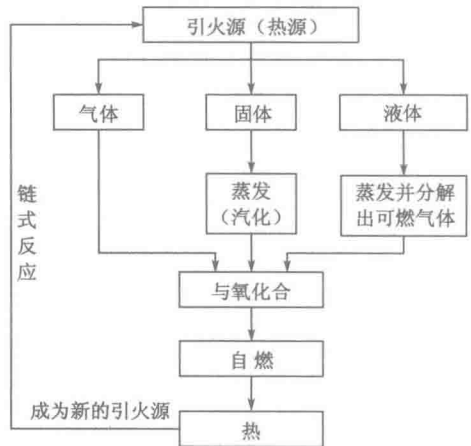


图 1-3 可燃物的燃烧历程

(1) 可燃物

可燃物是指能与空气中的氧或氧化剂起燃烧化学反应的物质,按其物理状态可分为固体可燃物、液体可燃物和气体可燃物三种类别。但从化学范畴讲,可燃物都是未达到最高氧化状态的材料。某一种材料能否被进一步氧化,取决于其化学性质。任何主要由碳(C)和氢(H)组成的材料都可以被氧化,大部分可燃固体、可燃液体和可燃气体,都含有一定比例的碳和氢。但是有一些含有其他元素的化合物也能够燃烧,如镁、铝、钙等在某些条件下可以在纯氮气(N₂)环境中燃烧。也有一些物质在某一高温下可通过自己的分解而放出光和热,如肼(N₂H₄)、二硼烷(B₂H₆)等。

(2) 氧化剂

氧或氧化剂是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。燃烧过程中的氧化剂主要是氧,它包括游离的氧和化合物中的氧。空气中含有大约

21%的氧,因此可燃物在空气中的燃烧以游离的氧为氧化剂,这种燃烧是普遍的。除了氧元素以外,某些物质也可以作为燃烧反应的氧化剂,如氟(F)、氯(Cl)等。

(3) 引火源

引火源是指提供给可燃物与氧或助燃剂,使燃烧反应发生的能量来源。常见的是热能,其他还有化学能、电能、机械能等转变的热能。燃烧反应可以通过用明火点燃加热空气(氧气)中的可燃物来实现。在无外界引火源时,只有将可燃物加热到其着火点以上才能使燃烧反应进行。因此,物质燃烧除需具备可燃性和氧之外,还需要温度和热量。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

近代链式反应理论认为,燃烧是一种基于自由基的链式反应。一般链式反应的机理大致可以分为以下三个阶段。

①链引发,即生成自由基,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,自由基作用于其他参加链式反应的物质分子,产生新的自由基。

③链终止,即自由基消失,使链式反应终止。

不受抑制的链式反应存在于有焰燃烧。当某种可燃物受热时,它不仅会汽化,而且该可燃物的分子会发生热裂解作用,即它们在燃烧前会裂解成为更简单的分子。此时,这些分子中的一些原子间的共价键会发生断裂,从而生成自由基。自由基是一种高度活泼的化学形成,能与其他自由基和分子反应,而使燃烧持续下去,这就是燃烧的链式反应。

需注意的是,可燃物具备了燃烧的四个必要条件,并不一定发生燃烧,因为在各种必要条件中,还有一个“量”的概念,这就是可燃物发生燃烧或持续燃烧的充分条件,即燃烧的充分条件,可归纳为:

①一定的可燃物浓度。例如可燃气体或蒸气只有达到一定浓度时,才会发生燃烧或爆炸。如:甲烷只有在其浓度达到5%时才有可能发生燃烧。而车用汽油在 -38°C 以下、灯用煤油在 40°C 以下、甲醇在 7°C 以下均不能达到燃烧所需的浓度,因此即使有充足的氧气和明火,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,均有其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全部具备,燃烧仍然不会发生。如:汽油的最低含氧量要求为14.4%,煤油为15%,乙醚为12%。

③一定的点火能量。各种不同的可燃物发生燃烧,均有其固定的最小点火能量要求。如:在化学计量浓度下,汽油的最小点火能量为0.2mJ,乙醚(5.1%)为0.19mJ,甲醇(2.24%)为0.215mJ等。

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。而对于有焰燃烧,除以上三个条件外,燃烧过程中存在未受抑制的自由基(游离基)而形成链式反应,使燃烧能够持续下去,亦是燃烧的充分条件之一。

以上介绍了燃烧所需要的必要和充分条件,所谓防火和灭火的基本措施就是去掉其中的一个或几个条件,使燃烧不能发生或不能持续。

1.1.3 燃烧的类型

燃烧的类型可以按其形成的条件和瞬间发生的特点分为以下几种。

(1) 闪燃

闪燃是指在一定温度下,易燃或可燃液体(固体)表面挥发或分解出来的可燃气体与空气混合后,遇火源而产生的“一闪即灭”的燃烧现象。发生闪燃的最低温度称为闪点,液体的闪点越低,火险的可能性就越大。

(2) 着火

着火是可燃物质在空气中与火源接触,产生的一种有火焰的持续燃烧现象,如油类、酮类的燃烧。可燃物开始持续燃烧的最低温度称为燃点,燃点越低越易起火。

(3) 自燃

自燃是可燃物质在没有外来明火源的作用下,靠热量的积聚达到一定温度而发生的燃烧现象,如煤炭、木材、粮食或稻草等均可发生自燃。以木材为例,当温度超过 100℃ 时就开始分解出可燃气体,同时释放出少量热能。当温度达到 260 ~ 270℃ 时,释放出的热能剧烈增加,这时即使撤走外界热源,木材仍然可依靠自身产生的热能来提高温度,并使其温度超过燃点温度而出现自燃现象——发焰燃烧。在规定的条件下,可燃物质达到自燃现象时的最低温度称为该物质的自燃点。

自燃的热能来源:

- ①外部热能的逐步物理性积累。
- ②由于化学特性、生物特性的原因,物质自身产生热量的积累。

(4) 爆炸

爆炸是指物质在瞬间急剧氧化或分解而快速产生温度和压力,并将自身能量突然转变为动能,急剧向四周扩散、冲击且发出巨大响声的现象。爆炸分为:物理爆炸、化学爆炸。

物理爆炸是由于液体变成蒸气或气体并迅速膨胀,压力急速增加,超过容器的极限压力而发生的爆炸,如蒸汽锅炉、液化气瓶等的爆炸。化学爆炸是因物质本身发生化学反应,产生大量气体和高温而发生的爆炸,如炸药,可燃气体、粉尘或易燃液体的蒸气与空气混合达到爆炸极限引起爆炸等。

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)是指可燃气体、粉尘或易燃液体的蒸气与空气混合后,遇火源而产生爆炸的浓度值,通常以体积百分比表示。遇到明火发生爆炸时的最低混合气体浓度值称为爆炸下限,最高混合气体浓度值称为爆炸上限,上下限之间的浓度范围称为爆炸极限范围。爆炸极限是个测量参数,受到各种因素如初始温度、初始压力、惰性介质及杂质、点火源等变化的影响。一般而言,初始温度、初始压力越大,爆炸极限范围越大;混合物中的惰性介质及杂质越多,爆炸极限范围越小。

(5) 核聚变

核聚变也是一种燃烧类型。在核聚变时会产生强烈的发光、发热的燃烧现象,如太阳表面的核聚变。

1.1.4 不同状态物质的燃烧

固体、液体、气体可燃物的燃烧过程有所不同,明晰可燃物的特点对火灾的报警与消防有着重要的作用。

1) 可燃固体的燃烧

凡遇火、受热、撞击、摩擦或与氧化剂接触能着火的固体物质,统称为可燃固体。在规定的试验条件下,用明火点燃可燃固体时持续燃烧的最低温度,称为该可燃固体的燃点。部分可燃固体的燃点如表 1-1 所示。

部分可燃固体的燃点

表 1-1

名 称	燃点(℃)	名 称	燃点(℃)
纸张	130 ~ 230	黏胶纤维	235
棉花	210 ~ 255	涤纶纤维	390
蚕丝	250 ~ 300	醋酸纤维	320
麻绒	150	天然橡胶	129
石蜡	158 ~ 195	有机玻璃	260
樟脑	70	赛璐珞	100
木材	250 ~ 300	聚苯乙烯	345 ~ 360

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:磷及磷的化合物如赤磷、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,以及金属钾、钠、氢化钠和电石等。其中,硝化棉、黄磷等在常温下就能在空气中分解、氧化而导致自燃或爆炸;赤磷、五硫化磷等化学物品,当受到撞击、摩擦或与氧化物、有机物接触也会引发燃烧或爆炸;金属钾、钠等在常温下接触水或空气,也能分解出可燃气体而引起燃烧或爆炸。一级易燃固体均属于危险物品,应作为重点防火防爆对象。

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、物理性质的差异性,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。

(1) 蒸发燃烧:指熔点较低的可燃固体受热后融熔为液态,然后像可燃液体一样蒸发成气体而燃烧,如硫、沥青等的燃烧。

(2) 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。

(3) 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。

(4)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)易燃、可燃液体的燃烧

在常温下,各种易燃、可燃液体的挥发快慢不同。因为易燃、可燃液体是靠蒸发(气化)气体燃烧的,所以挥发快的易燃、可燃液体要比挥发慢的危险。在低温条件下,易燃、可燃液体的蒸气与空气混合达到一定浓度时,如遇到明火就会出现闪燃现象。闪燃速率与液体的蒸气压、闪点、沸点和蒸发速率等性质有关。某些液体在储存温度下,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、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储罐的火灾中,应特别注意三种特殊现象——沸溢、溅出、冒泡。油类在燃烧过程中,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。此外,若进油管流速较高,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。

显而易见,如果温度低于或等于闪点,液体蒸发气化的速度还供不上燃烧的需要,故出现闪燃的持续时间很短。换句话说,温度低于某液体的闪点,就不可能点燃它上面的可燃蒸气混合物。如果温度继续升高至高于闪点,液体挥发速度加快,这时若再遇到明火就有燃烧爆炸的危险。因此,“闪点”是易燃、可燃液体燃烧或爆炸的前兆,是确定易燃、可燃液体火灾危险程度的主要依据。闪点越低,火灾的危险性越大,越要注意加强防火措施。部分易燃液体的闪点如表 1-2 所示,可见,易燃液体的闪点都很低。

部分易燃、可燃液体的闪点

表 1-2

名 称	闪点(℃)	名 称	闪点(℃)
石油醚	-50	松香水	+6.2
汽油	-50 ~ +10	丙酮	-20
二硫化碳 CS ₂	-45	苯 C ₆ H ₆	-14
乙醚 CH ₃ OCH ₃	-45	醋酸乙酯	+1
氯乙烷 CH ₃ CH ₂ Cl	-38	甲苯	+1
二氯化烷 CH ₂ ClCH ₂ Cl	+21	甲醇 CH ₃ OH	+7

为了加强防火管理,消防技术规范按照闪点的高低对液体火灾的危险性进行了划分,见表 1-3。明确易燃、可燃液体的划分,对于防火灭火来说具有十分重要的意义。

易燃、可燃液体的火灾的危险性分类

表 1-3

火灾的危险性分类	分 级	闪点(℃)	举 例
甲	一级易燃液体	<28	苯、乙醚
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) 可燃气体的燃烧

可燃气体的燃烧不需像固体、液体那样经过熔化、蒸发气化的过程,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,危险性更大。通常根据燃烧前可燃气体与氧的混合状态不同,可燃气体的燃烧可分为两大类:扩散燃烧与预混燃烧。

(1) 扩散燃烧:指可燃气体从喷口(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。

(2) 预混燃烧:这类燃烧会造成爆炸,是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爆炸。影响预混燃烧爆炸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,如煤矿开采过程中,瓦斯与空气混合气体在矿道内的燃爆就属于此类。

一般多强调可燃性混合气体浓度的爆炸下限值。可燃气体(包括可燃、易燃液体或蒸气)发生爆炸的下限值如表 1-4 所示。多种可燃混合气体的燃烧或爆炸下限可用下式计算:

$$t = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{N_i}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中: t ——可燃混合气体的燃烧或爆炸浓度下限;

V_i ——可燃混合气体中各成分所占体积百分数;

N_i ——可燃混合气体中各成分的爆炸下限。

可燃性气体(包括可燃、易燃性液体或蒸气)的爆炸下限 N

表 1-4

名 称	N (%容积)	比 重	名 称	N (%容积)	比 重
甲烷 CH_4	5.0	0.55	煤油	0.7	4~5
乙烷 C_2H_6	3.0	1.03	汽油	1.2	3.3
丙烷 C_3H_8	2.2	1.52	丙酮	2.1	0.79
丁烷 C_4H_{10}	1.8	2.07	苯 C_6H_6	1.2	0.88
戊烷 C_5H_{12}	1.4		氯乙烯	2.0	2.14
乙烯 C_2H_4	2.7	0.56	天然气	5.0	0.5~1.5
丙烯 C_3H_6	2.0	0.53	氨	15.0	0.6
丁烯 C_4H_8	1.7	1.9	氢	4.1	
硫化氢 H_2S	4.3	1.19	甲苯	1.2	0.87
一氧化碳 CO	12.8	1.19	氯乙烷	3.6	2.2

【例题 1-1】 液化石油气中,丙烷占体积的 50%,丙烯占体积的 10%,丁烷占体积的 35%,戊烷占体积的 5%,求该液化石油气的燃烧(爆炸)浓度极限。

【解】 由表 1-4 查得丙烷、丙烯、丁烷、戊烷的爆炸下限分别为:2.2、2.0、1.8、1.4,代入式(1-1)得液化石油气的燃烧(爆炸)浓度下限为:

$$t = \frac{1}{\frac{50}{2.2} + \frac{10}{2.0} + \frac{35}{1.8} + \frac{5}{1.4}} \times 100\% = \frac{1}{51}$$

由此可见,为了防爆安全的需要,应该避免爆炸性混合气体的浓度在爆炸极限范围内。

1.2 火灾形成过程

1.2.1 火灾的定义及分类

所谓火灾,是指在时间和空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。根据《火灾分类》(GB/T 4968—2008)的规定,将火灾分为 A、B、C、D、E、F 六类。

A 类火灾:指固体物质火灾。这种物质往往具有有机物质,一般在燃烧时能产生灼热的余烬。如木材、棉、毛、麻、纸张、煤炭等产生的火灾。

B 类火灾:指液体或可熔化的固体物质火灾,如汽油、原油、甲醇、乙醇、沥青和石蜡等产生的火灾,一般在燃烧时产生高温、光和少量的烟雾。

C 类火灾:指气体火灾,如天然气、煤气、甲烷、乙烷、丙烷、氢等产生的火灾。一般在燃烧时产生高温、光和极少的烟雾。

D 类火灾:指金属火灾,如钾、钠、镁、钛、锂、铝镁合金等产生的火灾。

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。

此外,火灾的等级还可以遵照 2007 年 6 月公安部下发的《关于调整火灾等级标准的通知》,根据人员与财产损失的大小,将火灾分为特别重大、重大、较大和一般火灾四个等级。

1.2.2 火灾温度曲线

火灾发生、发展的整个过程非常复杂,影响因素很多。火灾温度和持续时间是火灾的两个重要指标,两者的关系可用火灾温度曲线来表示。

由于火灾发展各阶段的持续时间,以及标志着到达某一阶段的温度值与火场的燃烧条件密切相关,主要影响因素包括火源类别、可燃物、建筑材料的燃烧性能及通风条件,所以没有相同的火灾温度曲线。为了便于科学研究和制定防火规范,世界各国都依据实验结果制定能代表本国一般建筑火灾发展规律的“标准温度—时间曲线”。实际上,各国绘制的“标准温度—时间曲线”形状十分近似。我国采用国际标准(ISO834)规定的标准“火灾温度—时间曲线”,如图 1-4 所示。

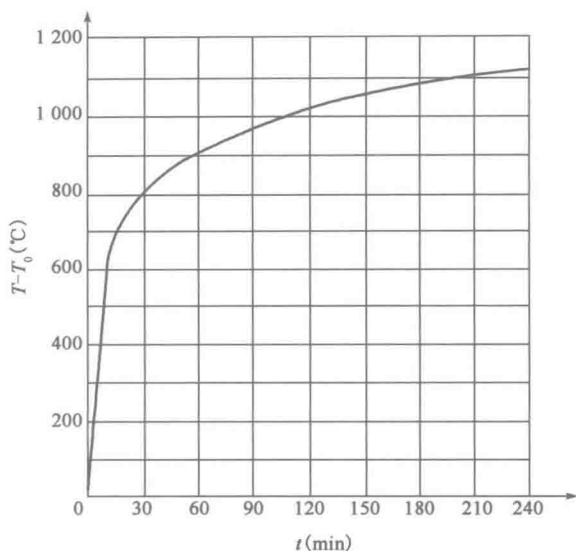


图 1-4 标准火灾温度曲线

标准火灾曲线温升速率表达式为：

$$T = T_0 + 345 \lg(8t + 1) \quad (1-2)$$

式中： t ——火场的燃烧时间，min；

T_0 ——火场起始燃烧时刻的温度。

火灾温度曲线的形状代表火灾发展中实际出现的各种燃烧现象，反映了温度增长速度和燃烧速度的变化，曲线上的每一拐点都代表火场上发生的情况。图 1-5 为木屋的火灾温度曲线。

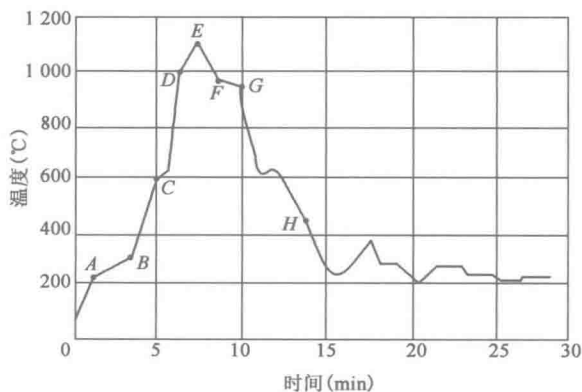


图 1-5 木屋火灾温度曲线

A 点升温速度突然改变，燃烧速度降低，起火建筑物的白烟变为黑烟，说明室内的氧供应不足；B 点温度开始上升，说明建筑物出现开口，外部的空气已经进入建筑物，能满足燃烧的需要；C 点温度猛烈上升，说明建筑物的外墙被烧穿，通风加强，燃烧加快；D 点升温速度变缓，升温的趋势接近终了，说明建筑物的开口已经扩大，外墙大部被烧毁，供燃烧的可燃物所剩无几；

E 点温度达到最高点,说明屋顶已经被烧穿,燃烧放热与向环境散热达到短暂平衡;*F* 点温度下降,说明屋顶塌落,散热量已经超过燃烧放出的热,可燃物数量已经不多,不能继续维持最高温度;*G* 点降温速度接近于零,说明木柱等构件尚能支撑一段时间,大断面木构件燃烧的放热量还能维持较低的火灾温度;*H* 点温度迅速下降达到低点,并较长时间维持在 400°C 左右,说明木柱倾倒,建筑物已经全部烧毁,保持火灾温度的仅仅是地上残火。

1.2.3 火灾发展的阶段

火灾温度曲线还能反映火灾发展的阶段性。图 1-5 曲线中 *B* 点之前可看作火灾发展的初期阶段,*BE* 段为火灾的发展阶段,*E* 点以后火灾温度开始下降,可视为火灾的熄灭阶段。典型的室内火灾温度曲线参见图 1-6。

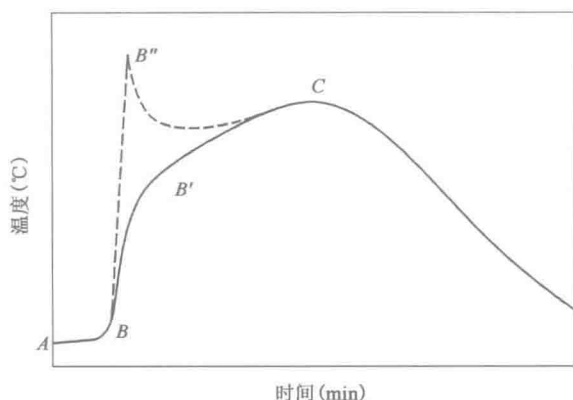


图 1-6 室内火灾温度曲线

利用火灾温度曲线还可以判断燃烧的物质是固体、液体,还是气体。固体可燃物燃烧的升温速度比较缓慢,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期的升温阶段;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,高温热解可燃气体会发生爆燃,因此在火灾曲线上会有一个陡升的阶段,火灾温度曲线中的 *BB'* 段便由 *BB''* 直线来代替。

从图 1-6 中可以看出,根据火灾温度随时间的变化特点,可将火灾的形成过程分为三个阶段,即初期增长阶段(*AB* 段)、全面发展阶段(*BC* 段)、火灾熄灭阶段(*C* 点以后)。

(1) 火灾初期增长阶段

室内发生火灾后,最初只是起火部位及其周围的可燃物起火燃烧。火灾初期增长阶段的特点是:在火灾初期阶段,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。火灾初期增长阶段需要注意以下两个问题:

① 火灾初期阶段持续时间

火灾初期阶段的燃烧面积不大,火场的温度比较低,可能很少引起人员的注意,但是,初期阶段火灾温度持续的时间对疏散人员、抢救物资及保障灭火指战员的人身安全具有重要的意义。