



工业消防 技术与设计

主 编 杨守生
副主编 王鹤寿 陈 池
黄 勇

中国建筑工业出版社

工业消防技术与设计

主 编 杨守生

副主编 王鹤寿 陈 池 黄 勇

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业消防技术与设计/杨守生主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

ISBN 978-7-112-10455-0

I. 工… II. 杨… III. 工业企业-消防-防火系统-系统设计 IV. X932

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 169206 号

本书详细介绍了工业消防的基础知识, 工业消防设计方法及设计要求。全书内容以国家现行规范为依据, 针对工业消防的特点, 从实用角度介绍了工业消防工程系统设计原则和方法, 主要包括工业消防安全监控指挥系统、工业火灾自动报警系统、工业消防水系统、气体自动灭火系统、泡沫灭火系统、干粉灭火系统、建筑灭火器配置、工业辅助消防工程设计、工业消防系统设计实例等内容。

本书实用性强, 可供从事工业消防工程设计、施工的工程技术人员使用, 也可供高等院校相关专业师生作为教学参考书。

责任编辑: 唐旭 李东禧

责任设计: 赵明霞

责任校对: 孟楠 王爽

工业消防技术与设计

主 编 杨守生

副主编 王鹤寿 陈池 黄勇

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 18½ 字数: 450 千字

2008 年 12 月第一版 2008 年 12 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-10455-0

(17379)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

随着我国经济的快速发展,工业企业向着生产规模大型化、生产装置复杂化、生产工艺连续化方向发展,生产的产品也不断多样化,火灾隐患不断增多,这些均给消防工作提出了新的课题。因此,在快速发展和进步的工业化进程中,为保障工业企业的消防安全,采取先进的消防技术进行消防安全设计就显得尤为重要。

基于工业企业目前的消防现状,本书针对工业企业的特点,在讲述工业企业的消防基础知识的基础上,从设计原则、功能要求、系统设计及火灾图像监控技术等方面详细介绍了工业企业消防安全监控指挥系统,在此基础上,着重工业企业火灾自动报警系统的设计以及适于工业企业消防特点的各种灭火系统的设计,有工业消防水系统、气体自动灭火系统、泡沫灭火系统、干粉灭火系统、消防炮灭火系统等。为保证生产工艺的消防安全,书中还涵盖了建筑灭火器的种类、配置与设计和常见的辅助消防工程设计等内容。以钢铁冶金企业、石化企业及电力企业工业消防系统的设计实例介绍了工业企业的消防设计与技术实现,提供了适于工业企业消防安全的规范和标准。本书内容丰富,实用性、参考性和可操作性非常强,既可作为大中专院校消防工程专业的教材和工业企业消防安全培训教程,也能为消防工程设计及施工人员、消防机构技术监督管理人员、工业企业单位防火人员提供参考。

鉴于工业企业涉及面广、专业性强,消防专业发展迅速的特点,在本书的编著过程中,编者紧密围绕了工业企业消防工作实际,参照最新消防安全规范,突出了消防专业的实用性,知识的完整性、科学性和系统性。但由于时间仓促,作者水平有限,经验不足,书中难免有疏漏、错误之处,恳请读者批评指正,以便再版时修订。

目 录

目 录

第一章 工业消防基础知识	1
第一节 燃烧与火灾	1
一、燃烧的条件和特点	1
二、火灾的定义与分类	7
三、灭火的基本原理	9
第二节 工业火灾特点与消防	11
一、工业火灾特点	11
二、常见可燃物性质	13
三、工业建筑耐火等级	24
四、工业建筑耐火等级选择及生产场所防火分区	27
五、工业场所消防重点保护单位	32
第三节 工业消防设计识图基础	32
一、建筑识图概述	32
二、建筑施工图	33
三、给水排水施工图	34
四、采暖通风施工图	39
五、电气施工图	39
第二章 工业企业消防安全监控指挥系统	43
第一节 消防安全监控指挥系统概述	43
一、消防监控指挥系统定义	43
二、消防监控指挥系统功能	44
三、消防监控指挥系统性能要求	44
四、实际应用中存在的问题	44
第二节 消防监控指挥系统组成	44
一、远程实时火灾报警监控系统	45
二、消防信息综合管理子系统	45
三、防灾决策与消防指挥子系统	45
四、火警受理子系统	46
五、网络通信子系统	47

六、训练模拟子系统	47
第三节 消防监控指挥系统设计	48
一、消防监控指挥系统规划	48
二、系统设计目标	50
三、系统建设的原则	50
四、系统的体系结构	53
五、系统设计中要考虑的关键技术和因素	55
六、系统设计与工程实施的关系	58
七、系统发展趋势	58
八、小结	59
第四节 火灾图像监控技术	59
一、引言	59
二、设计原则	60
三、系统结构	60
四、系统功能	60
五、火灾图像监控系统的组成	61
第三章 工业火灾自动报警系统	63
第一节 工业火灾自动报警系统的组成及形式	63
一、区域探测报警系统	64
二、集中报警与控制系统	64
三、控制中心报警与控制系统	65
第二节 工业火灾探测技术	66
一、火灾探测基本过程	66
二、火灾探测基本方法	66
三、火灾监测数据处理方法	68
第三节 工业火灾报警联动控制	73
一、消防联动、联锁实现方法	73
二、室内消火栓电气控制	75
三、自动喷水系统的电气控制	76
四、气体灭火系统的联动控制	76
五、防排烟系统电气控制	77
六、防火卷帘的电气控制	79
七、其他消防系统电气控制	79
第四节 工业火灾自动报警系统设计要求	80
一、一般要求	80
二、系统形式的选择	81
三、火灾探测器的选用	81

四、火灾探测器及火灾报警控制器的设置	84
五、系统供电	87
六、系统布线	87
七、消防控制中心及其联动要求	88
第四章 工业消防水系统	93
第一节 消火栓灭火系统	93
一、消防水源	93
二、室外消火栓	95
三、室内消火栓系统	98
第二节 闭式自动喷水灭火系统	106
一、系统概述	106
二、闭式自动喷水灭火系统	107
三、系统主要组件	110
四、系统供水	115
第三节 开式自动喷水灭火系统	119
一、雨淋系统	119
二、水幕系统	122
三、水喷雾系统	122
第四节 细水雾灭火系统	124
一、细水雾的定义及分类	124
二、细水雾灭火系统的定义和分类	125
三、细水雾灭火系统的灭火机理	126
四、细水雾灭火系统的灭火效果	126
五、细水雾灭火系统的适用范围	127
六、细水雾灭火系统的构成和工作原理	127
七、细水雾灭火系统设计	130
第五章 气体自动灭火系统	134
第一节 气体灭火系统概述	134
一、气体灭火系统的特点和适用条件	134
二、气体灭火系统的分类	135
三、气体灭火系统的组成	137
四、气体灭火系统工作原理与控制	141
五、气体灭火系统防护区要求	142
第二节 二氧化碳灭火系统	143
一、二氧化碳灭火系统应用场所	143
二、二氧化碳灭火系统分类	144
三、二氧化碳灭火系统设计	144

第三节 七氟丙烷灭火系统	146
一、七氟丙烷灭火剂特点和应用场所	146
二、系统组件	146
三、防护区泄压口	148
四、灭火浓度和灭火时间	148
五、灭火剂用量	148
第四节 IG541 混合气体灭火系统	149
一、IG541 混合气体灭火剂特点和应用场所	149
二、系统组件	149
三、防护区泄压口	149
四、灭火浓度和灭火时间	150
五、灭火剂用量	150
第六章 泡沫灭火系统	151
第一节 低倍数泡沫灭火系统	151
一、低倍数泡沫灭火系统适用范围及场所	151
二、低倍数泡沫灭火系统的设计	151
三、设计实例	158
第二节 高倍数、中倍数泡沫灭火系统	161
一、系统类型及应用范围	161
二、系统设计	162
三、设计实例	165
第七章 干粉灭火系统	172
第一节 干粉灭火剂	172
一、干粉灭火剂的种类	172
二、干粉灭火剂的性能	174
三、干粉灭火剂的灭火原理	176
四、适用范围	178
第二节 干粉灭火系统的构成及类别	178
一、系统构成	178
二、系统的工作原理	180
三、系统类别	180
第三节 干粉灭火系统的设计	182
一、系统设计计算	182
二、系统类型设计	184
三、干粉灭火剂喷射速率	185
四、灭火剂喷射时间	185
五、喷头数量的确定及布置	185

六、系统设计要求	185
七、设备的维护	187
第八章 消防炮灭火系统	189
第一节 消防炮简介	189
一、消防炮定义	189
二、消防炮的应用与发展	189
三、系统适用范围与设置场所	191
第二节 消防炮灭火系统概述	192
一、消防炮灭火系统定义及分类	192
二、主要组成	192
三、消防炮灭火系统设计基本要求	193
第三节 消防水炮灭火系统	194
一、概述	194
二、系统组成与分类	194
三、工作原理	195
四、系统设计	195
第四节 消防泡沫炮灭火系统	196
一、概述	196
二、系统组成及组件	196
三、工作原理	197
四、系统设计	198
第五节 消防干粉炮灭火系统	199
一、概述	199
二、系统组成及主要组件	199
三、工作原理	200
四、系统设计	200
第六节 自动寻的消防炮灭火装置	201
一、工作原理	201
二、系统组件	201
三、系统要求	202
第七节 消防炮灭火系统工程设计实例	203
一、固定消防水炮系统——展览中心	203
二、固定消防泡沫炮系统——飞机维修库	204
三、固定消防干粉炮系统——液化气船	205
四、自动寻的消防炮灭火装置——机场候机楼	207
第八节 安装施工、调试及验收要求	208
一、基本规定	208

二、安装与施工	208
三、系统试压	210
四、系统冲洗	210
五、系统调试	210
六、系统验收	211
第九节 系统使用与维护管理	212
一、系统使用	212
二、维护管理	212
第九章 建筑灭火器配置	214
第一节 灭火器种类	214
一、干粉灭火器	214
二、泡沫灭火器	216
三、卤代烷灭火器	217
四、二氧化碳灭火器	219
五、水型灭火器	221
六、其他灭火器	223
第二节 灭火器的选择与配置	223
一、灭火器的选择	223
二、灭火器的配置基准	226
第三节 工业消防灭火器配置设计与计算	227
一、灭火器配置设计计算步骤和要求	227
二、灭火器配置场所的计算单元	227
三、灭火器配置场所的计算单元保护面积的计算	228
四、配置设计计算	228
五、设置点需配灭火级别的计算	228
六、实配灭火级别和数量	228
第十章 工业辅助消防工程设计	229
第一节 防火封堵	229
一、概述	229
二、防火封堵的作用	229
三、防火封堵材料	229
四、电缆防火封堵	232
五、建筑缝隙防火封堵	234
六、施工及验收	235
第二节 钢结构的防火保护	236
一、钢结构防火的措施	236
二、钢结构防火的产品	237

三、钢结构防火的设计	240
四、钢结构防火的施工	242
五、钢结构防火的验收	242
第十一章 工业消防系统设计实例	244
第一节 钢铁冶金企业	244
一、消防安全单元区域划分	244
二、消防安全网络管理体系结构	245
三、火灾自动报警系统	245
四、自动灭火系统设计	249
五、设备用房的位置、数量及房间要求	259
六、消防供配电及接地	260
第二节 石化企业	260
一、石油及石化产品的主要特性	260
二、石油化工企业的火灾危险性	261
三、石油化工火灾的预防	266
四、石油化工消防设施	267
第三节 电力企业	273
一、工程概况	273
二、设计范围	273
三、七氟丙烷灭火系统设计计算示例	277
四、水幕系统设计计算示例	279
五、变压器水喷雾灭火系统设计计算示例	281
主要参考文献	284

第一章 工业消防基础知识

第一节 燃烧与火灾

燃烧和爆炸是常见的自然现象和人为行为，其实质是一种独特的化学反应或物理过程。控制状态下的燃烧和爆炸，使人们从中得到所需的能量，对人们有利；失去控制的燃烧和爆炸，会给人类造成灾害。研究燃烧、爆炸的机理，掌握其规律性，探求有效的防火防爆安全技术，对于预防和控制工业企业火灾、爆炸事故的发生、发展，十分重要。

一、燃烧的条件和特点

(一) 燃烧的本质

可燃物与氧化剂作用发生放热反应，通常伴有火焰、发光和（或）发烟的现象，称为燃烧。从本质上讲，燃烧是一种氧化还原反应，但其放热、发光、发烟、伴有火焰等基本特征表明它不同于一般的氧化还原反应。如果燃烧反应速度极快，则因高温条件下产生的气体和周围气体共同膨胀作用，使反应能量直接转变为机械功，在压力释放的同时产生强光、热和声响，这就是爆炸。燃烧与爆炸没有本质差别，爆炸是燃烧的常见表现形式，一定条件下两者可互相转化。

近代链式反应理论认为，燃烧是一种游离基的链式反应，燃烧反应不直接进行，通过游离基因和原子这些中间产物在瞬间进行循环链式反应。这里，游离基的链式反应是燃烧反应的实质，光和热是燃烧过程中的物理现象。

(二) 燃烧的条件

燃烧现象发生必须具备一定的条件，作为特殊的氧化还原反应，燃烧反应必须有氧化剂（助燃物）和还原剂（可燃物）参加，此外，还要有引发燃烧的引火源。

1. 氧化剂

燃烧反应中氧化剂是引起燃烧反应必不可少的条件。在一般火灾中，空气中的氧是最常见的氧化剂。在工业企业火灾中，引起燃烧反应的氧化剂则是多种多样的，根据它们生产储存时的火灾危险性，这些氧化剂可分为甲、乙两类。甲类的氧化剂有氯酸钠、氯酸钾、过氧化氢、过氧化钾、过氧化钠、次氯酸钙等。乙类的氧化剂有发烟硫酸、发烟硝酸、高锰酸钾和重铬酸钠等。

虽有氧气存在，但浓度不够，燃烧也不会发生。氧气浓度必须大于等于可燃物产生火所需要的最低氧含量。

2. 还原剂

可燃物在燃烧反应中作为还原剂出现，凡是能与空气中的氧或其他氧化剂起燃烧反应的物质，均称为可燃物。可燃物按其物理状态分为气体、液体和固体。凡是在空气中能燃烧的气体都称为可燃气，如氢、一氧化碳、甲烷、乙烯、乙炔、丙烷、丁烷等。液体可燃物大多数是有机化合物，分子中都含有碳、氢原子，有些还含氧原子，如乙醇、汽油、苯乙醚、丙酮、油漆等。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、布、棉花、

麻、糖、塑料、谷物等。

可燃气体（蒸气）只有达到一定浓度，才会发生燃烧（爆炸）。如有可燃气体（蒸气），但浓度不够，燃烧（爆炸）也不会发生。如在 20℃ 时，用明火接触柴油，柴油并不立即燃烧，这是因为柴油在 20℃ 时的蒸气量，还没有达到燃烧所需的浓度，因而虽有足够的氧及引火源，也不能发生燃烧。

3. 引火源

凡是能引起物质燃烧的引燃能源，统称为引火源。引起火灾爆炸事故的引火源可分为四种类型，即化学引火源，如明火、自然发热、电气引火源，如电火花、静电火花、雷电、高温引火源，如高温表面、热辐射、冲击引火源，如摩擦撞击、绝热压缩。

不管何种形式的引火源，引火能量必须达到一定的强度才能引起燃烧反应。否则，燃烧就不会发生。不同的可燃物所需引火能量的强度，即引起燃烧的最小引火能量不同。低于这个能量就不能引起可燃物燃烧。

4. 相互作用

上述三个条件通常被称为燃烧三要素。可用经典燃烧三角形表示三者的关系，如图 1-1 所示。燃烧三要素（三边连接）同时存在，相互作用，燃烧才会发生。

经典的燃烧三角形一般足以说明燃烧得以发生和持续进行的原理。但是根据燃烧的链式反应理论，很多燃烧的发生和持续有游离基（自由基）作“中间体”，因此燃烧三角形应扩大到包括一个说明游离基参加燃烧反应的附加边，从而形成一个燃烧四面体，如图 1-2 所示。



图 1-1 燃烧三角形

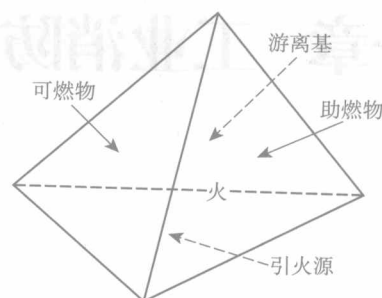


图 1-2 燃烧四面体

（三）燃烧的特点

燃烧反应的本质是一种特殊的氧化还原反应，所谓“特殊”是指燃烧通常伴有放热、发光、火焰和发烟四个特点。

1. 燃烧热

放热是燃烧反应的重要特征。放出的热量是由可燃物中的化学能，经燃烧反应转换而来的。

（1）燃烧热值

一摩尔有机化合物在 25℃，101.325kPa 下完全燃烧时所放出的热量称为该化合物的燃烧热，单位为 kJ/mol。某些物质的标准燃烧热如表 1-1 所示。

有很多可燃物，例如木材、棉花、煤以及竹制品，它们的分子结构很复杂，其摩尔质量很难精确确定，它们燃烧放出的热量用热值表示。单位质量或单位体积可燃物完全燃烧时放出的热量称为热值，常用单位为 kJ/kg、kJ/m³。以质量作单位的热值称为质量热值；以体积作单位的热值称为体积热值。如果可燃物中含有水分和氢元素，热值还可以表示为高热值和低热值。可燃物中的水和氢燃烧生成的水以液态存在时的热值称高热值。可燃物中的水和氢燃烧生成的水以气态存在时的热值称低热值。因为水从液态变成气态时，需从燃烧放出的热量中吸收部分热量（即气化热），故低热值比高热值低。在燃烧反应中，水均以气态存在，应取其低热值。表 1-2 为某些可燃气体的燃烧热值，表 1-3 为某些可燃液体和固体的燃烧热值。燃烧热值愈高的物质燃烧时火势愈猛，温度愈高，辐射出的热量也愈大。

某些物质的标准燃烧热

表 1-1

物质名称	燃烧热 (kJ/mol)	物质名称	燃烧热 (kJ/mol)	物质名称	燃烧热 (kJ/mol)
氢	285.83	乙烯	1411.0	丙酮	1790.4
一氧化碳	283.0	乙酸	874.54	甲醇	726.51
甲烷	890.31	苯	3267.5	乙醇	1366.8
乙烷	1559.8	苯乙烯	4437	氯甲烷	689.10
乙炔	1299.6	萘	5153.9	硝基苯	3091.2

某些可燃气体的燃烧热值

表 1-2

可燃气体	高热值		低热值	
	kJ/kg	kJ/m ³	kJ/kg	kJ/m ³
氢	141900	12770	119480	10753
乙炔	49850	57873	48112	55856
甲烷	55720	39861	50082	35823
乙烯	49857	62354	46631	58321
乙烷	51664	65605	47280	58160
丙烯	49852	87030	45773	81170
丙烷	50208	93720	46233	83470
丁烯	48367	115060	45271	107530
丁烷	49370	121340	45606	108370
戊烷	49160	149790	45396	133890
硫化氢	16778	25522	15606	24016

某些可燃液体和固体的燃烧热值

表 1-3

物质名称	燃烧热值 (kJ/kg)	物质名称	燃烧热值 (kJ/kg)	物质名称	燃烧热值 (kJ/kg)
木材	16700	合成橡胶	45252	乙醇	29290
天然纤维	17360	聚苯乙烯	48967	芳香烃浓缩物	41250
石蜡	46610	天然橡胶	44833	汽油	43510
淀粉	17490	无烟煤	31380	柴油	42050
苯	40260	褐煤	18830	重油	41590
甲苯	40570	焦炭	31380	棉花	15700
煤油	42890	炼焦煤气	32640	聚乙烯	47137
烷烃浓缩物	43350	照明用煤气	20920	聚氨酯泡沫塑料	24302

(2) 燃烧热的传递

燃烧放出的热量，以导热传热、对流传热和辐射传热三种方式向未燃物和周围环境传递，使未燃物温度升高、分子活化、反应加速，从而引起燃烧，推进火灾向前发展。因此燃烧热既是燃烧的产物，又是继续燃烧的条件。

1) 导热传热

热量从物体中温度较高的部分传递到温度较低的部分，或者从温度较高的物体传递到与之接触的温度较低的另一物体的过程，称为导

热，又称热传导。例如某房间着火，火源靠近穿墙管，而穿墙管伸入隔壁房间的另一端又接触到易燃物，那么热量就有可能从起火房间沿穿墙管传递到隔壁房间的易燃物上，并使其着火。这就是导热传热的例子。

温度差是热量传导的推动力。热量总是从温度较高部位导向温度较低部位。在火场上，燃烧区温度愈高，传导出的热量愈多。导热系数是材料导热能力大小的标志。导热系数是指温度差为 1℃，在 1s 内通过厚度为 1cm、截面

积为 1cm^2 的导体的热量,单位为 $\text{J}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C})$ 。固体物质是最强的热导体,液体物质次之,气体物质最弱。金属材料为优良导体,非金属固体多为不良导体,它们的导热系数大小差距很大。传导物体的厚度(距离)愈小,截面积愈大,传导的热量愈多。在其他条件相同时,时间越长,传导的热量越多。有些隔热材料虽然导热性能差,但经过长时间的热传导,也能引起与其接触的可燃物的燃烧。

2) 对流传热

对流传热是指流体各部分之间发生相对转移时所引起的热量传递过程。例如房间某处着火以后,热气流因相对密度小而上升,碰到房间顶部将热量传递给顶棚引起顶棚着火。

根据引起对流的原因来分,有自然对流和强制对流两种。自然对流是由于流体各部分的密度不同而引起的。如热设备附近空气受热膨胀向上流动及火灾中热气体(主要是燃烧气态产物)的上升流动,而冷(新鲜)空气则与其作相反方向流动。强制对流是通过鼓风机、压缩机、泵,使气体、液体强制对流。

对于气体对流,热对流速度与通风口面积和高度成正比,通风孔洞愈多,各个通风孔洞的面积愈大、愈高,对流速度愈快。燃烧区的温度愈高,它与环境温度的温度差愈大,则燃烧区的热空气密度与非燃烧区的冷空气密度相差愈大,热对流的速度也愈快。

对于液体对流,液体受高热后,受热部分因体积增大,相对密度减小而上升;温度较低,相对密度较大的部分则下降,通过这种运动进行热传递。盛装在容器内的可燃液体,局部受热后,通过对流也使整个液体温度升高,压力增加,挥发加快,有可能引起燃烧。轻质油品不易产生热对流,而重质油品易产生热对流。由于热对流的作用在加热重质油品时,石油品中混有水分或水垫层,则容易发生沸溢或喷溅。

3) 辐射传热

由物体表面直接向外界发射可见和不可见

射线,在空间传递能量的过程为热辐射。热辐射与导热和对流不同,在传递能量时不需要相互接触即可进行,所以它是一种非接触传递能量的方式,即使空间是空气高度稀薄的真空,热辐射也照常能进行。最典型的例子是太阳向地球表面传递热量的过程。

辐射热量与辐射物体温度的4次方和辐射面积成正比。受辐射物体所接受的热量与辐射热源距离的平方成反比,辐射热源与受辐射物体之间的距离越大,受辐射物体受到的辐射热越小,距离增加一倍,受到的辐射热减少到 $1/4$ 。受辐射热量随着辐射角的余弦而变化,辐射物体辐射面与受辐射物体处于平行位置,即辐射角为 0° 角时,受辐射物体接受到的热量最高,若辐射物体辐射面与受辐射物体呈 60° 角,所受到的辐射热约为辐射角为 0° 角时辐射热的 $1/2$ 。物体的颜色愈深、表面愈粗糙,吸收的热量愈多;表面光亮,颜色较淡,反射的热量愈多,则吸收的热量愈少;透明物体仅吸收一小部分热量,其余热量能穿过透明物体。

(3) 燃烧温度

可燃物与空气在绝热条件下完全燃烧时,燃烧释放的热量全部用于加热燃烧产物或提高燃烧产物的内能,使燃烧产物达到的最高温度称为理论燃烧温度。在火场或工业生产中,可燃物燃烧往往进行得并不完全,燃烧时放出热量也有一部分损失于周围环境,这时燃烧产物达到的温度就称为实际燃烧温度,即火焰温度。实际燃烧温度受可燃物的燃烧完全程度、燃烧速度及散热条件等因素的影响。如可燃物与助燃物接近化学计量比,则燃烧接近完全,燃烧速度快,散热条件差,燃烧温度接近理论燃烧温度。在同样条件下,可燃物质燃烧时,燃烧速度快的比燃烧速度慢的燃烧温度高。在同样大小的火焰下,燃烧温度越高,它向周围辐射出的热就越多,火灾蔓延的速度就越快。不同物质的理论燃烧温度见表1-4所示。

常见可燃物在空气中燃烧时理论燃烧温度

表 1-4

物质名称	理论燃烧温度(℃)	物质名称	理论燃烧温度(℃)	物质名称	理论燃烧温度(℃)	物质名称	理论燃烧温度(℃)
甲烷	1963	甲苯	2071	苯	2032	甲醇	1100
乙烷	1971	乙炔	2325	一氧化碳	1680	乙醇	1180
丙烷	1977	丙炔	2199	二硫化碳	2195	甲醚	1954
丁烷	1982	2-丁炔	2140	环氧丙烷	2043	乙醚	1979
戊烷	1977	煤油	700 ~ 1030	环氧乙烷	2138	丙酮	1847
己烷	1965	重油	1000	原油	1100	丙醛	1868
庚烷	1940	石蜡	1427	汽油	1200	丙烯腈	2188
丁二烯	2146	木材	1000~1177	钠	1400	镁	3000
环丙烷	2054	烟煤(含水0%~30%)	2100~2250	氨	700	硫	1820
环丁烷	2035	褐煤(含水30%~70%)	1400~1950	氢	2130	磷	900

2. 火焰

火焰的存在是燃烧过程进行中最明显的标志。正在燃烧的可燃气体(蒸气)所占据的发光、放热的空间范围称为火焰。气体燃烧一定存在火焰;液体燃烧实质是液体蒸发出的蒸气在燃烧,也存在火焰;固体燃烧如果有挥发性的热解产物产生,这些热解产物燃烧时同样存在火焰。无热解产物的固体燃烧,例如木炭、焦炭等,无火焰存在,只有发光现象的灼热燃烧,也称无焰燃烧。

(1) 气体火焰

气体火焰根据可燃气体与空气混合的时间分为预混火焰和扩散火焰。可燃气体与空气预先混合好以后再进行燃烧称预混燃烧,其火焰称预混火焰;可燃气体与空气一边进行混合一边进行的燃烧称扩散燃烧,其火焰称扩散火焰。

扩散火焰与预混火焰结构不同,在扩散火焰中由于燃烧不充分,会产生碳粒子,碳粒子在高温下辐射出黄色光而使整个火焰呈黄色,如图 1-3 (a) 所示。预混火焰则由二部分组成,内区呈绿色,外区为紫红色,内区是可燃气体与氧进行化学反应时的气体辐射,外区是已燃气体的微弱的可见光辐射,如图 1-3 (b) 所示。如果预混气中空气不足,那么在预混区氧燃烧完以后还有部分多余的可燃气体穿过内区,与大气中扩散进来的氧在绿色内区与紫红色外区之

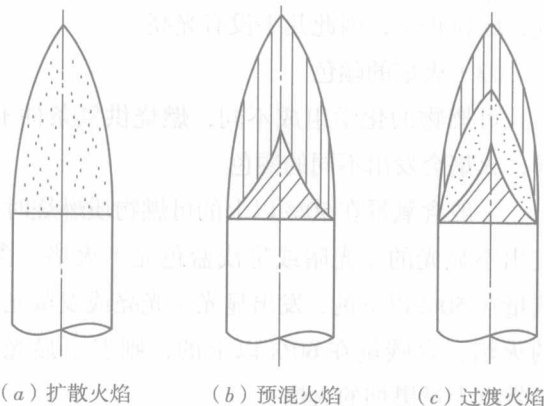


图 1-3 气体火焰结构

间进行扩散燃烧,火焰由三部分构成,绿色内区、黄色中间区和紫红色外区,如图 1-3 (c) 所示。

(2) 液体、固体火焰

液面上的蒸气达一定浓度以后,蒸气与空气的混合气遇火源会发生燃烧,这时的燃烧是预混燃烧,火焰是预混火焰。当预混气燃烧完以后,其后的燃烧则是蒸气不断蒸发进入火焰面,空气从周围环境不断扩散到火焰面,在火焰面一边混合一边燃烧。所以液体燃烧的主要方式是扩散燃烧,其火焰是扩散火焰。固体可燃物受热后不断释放出热裂解产物进入火焰,与环境中不断扩散进入火焰的空气边混合边燃烧,所以固体燃烧火焰也是扩散火焰。液体、固体扩散火焰结构可以以蜡烛火焰为例,见图 1-4。它由焰心、内焰和外焰三部分构成。

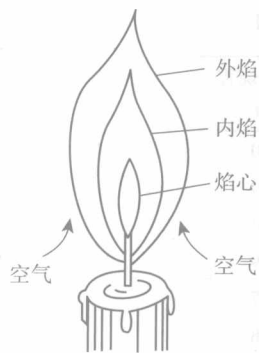


图 1-4 蜡烛火焰的结构

焰心是最内层亮度较暗的圆锥体部分，由液态蜡受热蒸发，分解出的气态可燃物构成。由于内层氧浓度很低，所以燃烧不完全，温度低。

内焰为包围在焰心外部较明亮的圆锥体部分。在这层火焰中气态可燃物进一步分解，因氧供应仍不足，燃烧也不甚完全，但温度较焰心高。因火焰中的微小碳粒子受热辐射出较明亮的光，内焰亮度最强。

外焰为包围在内焰外面亮度较暗的圆锥体。在这层火焰中，氧供给充分，燃烧完全，燃烧温度最高。在外焰燃烧的往往是一氧化碳和氢气，碳粒较少，因此几乎没有光亮。

(3) 火焰的颜色

可燃物的化学组成不同，燃烧供氧条件不同，火焰会发出不同的颜色。

一般含氧量在 50% 以上的可燃物质燃烧时，发出不显光的（光暗或呈浅蓝色光）火焰；含氧量在 50% 以下的，发出显光（光亮或发黄光）的火焰；含碳量在 60% 以上的，则发出显光，并带有大量黑烟的火焰。

有机可燃物火焰的明亮程度和颜色主要由火焰中的碳粒子来确定。一些无机物质的微粒也能决定火焰的显光特性和颜色。如钠（如 NaNO_3 ）产生黄色火焰，钾（如 KNO_3 ）产生紫色火焰，钙（如 CaCl_2 ）产生砖红色火焰，钡（如 BaCl_2 ）产生绿色火焰，铜（如 CuO ）产生蓝色火焰，铝、镁产生白色火焰，磷产生黄色火焰。

火焰颜色还与温度有关。火焰温度越高则越明亮，其辐射强度也越高。

3. 烟

由于燃烧或热解作用所产生的悬浮在大气中可见的固体和（或）液体微粒称为烟。它是燃烧产物中的一类特殊物质。

(1) 烟的产生

烟的主要成分是一些极小的碳黑粒子，其直径一般在 $10^{-7} \sim 10^{-4} \text{cm}$ 之间，大直径的粒子

容易从烟中落下来成为烟尘或碳黑。碳粒子形成过程十分复杂，例如碳氢可燃物在燃烧过程中，会因受热裂解产生一系列中间产物，中间产物还会进一步裂解成更小的“碎片”，它们会发生脱氢、聚合、环化，最后形成碳粒子，构成了烟。

(2) 生烟的影响因素

氧供给充分，碳原子与氧生成 CO_2 或 CO ，碳粒子生成少，或者不生成碳粒子；氧供给不充分，碳粒子生成多。发生室内火灾时，如果门窗关闭很严，室内氧气消耗很大，氧气供给不足，燃烧不完全，高温裂解出来的碳粒子会因没有氧而聚合形成烟，所以室内烟雾很大。

可燃物分子中碳氢比值不同，生碳能力不一样。碳氢比值大的生碳能力大。例如乙炔（ C_2H_2 ）中碳氢比为 1:1，乙烯（ C_2H_4 ）碳氢比为 1:2，乙烷（ C_2H_6 ）碳氢比为 1:3，在扩散燃烧中乙炔生碳能力最大，乙烷最小，乙烯介于中间。

芳香族化合物（如苯、萘）属环状结构，它们的生碳能力比直链的脂肪族化合物（烷烃）高。

(3) 烟的危害

1) 高温热损伤。燃烧产物的烟气中载有大量的热，人在这种高温、湿热环境中极易被损伤。

2) 引起中毒、窒息。燃烧产物中有不少为毒性气体，如 CO 、 HCl 、 HCN 、 NO_x 等，对人体有麻醉、窒息、刺激的功能作用，妨碍人们的正常呼吸、逃生，也给消防人员灭火工作带来困难。

3) 影响视线。燃烧产生大量烟雾，影响人的视线，使能见度大大降低，人在浓烟中往往辨不清方向，给火灾扑救、人员疏散工作带来困难。

4) 成为火势发展、蔓延的因素。燃烧产物有很高的热能，极易造成轰燃或因对流或热辐射引起新的火点。