



注册消防工程师资格考试辅导教材

# 消防安全技术实务

公安部消防局 组织编写



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

本辅导教材是注册消防工程师资格考试指定教材。

本辅导教材以消防专业知识和消防实务技术为主进行编写，共分五篇四十五章。第一篇消防基础知识，主要介绍有关燃烧、火灾、爆炸的基础知识及事故防控的基本原理与技术。第二篇建筑防火，主要介绍生产和储存物品的火灾危险性分类、建筑分类和耐火等级、总平面布局和平面布置、防火防烟分区与分隔、安全疏散、建筑电气防火、建筑防爆、建筑设备防火防爆、建筑装修和保温材料防火及消防灭火救援设施等设计要求。第三篇建筑消防设施，主要介绍建筑室内外消火栓系统、自动喷水灭火系统、水喷雾灭火系统、细水雾灭火系统、气体灭火系统、泡沫灭火系统、干粉灭火系统、火灾自动报警系统、防排烟系统、消防应急照明和疏散指示系统、城市消防远程监控系统等各种消防设施的分类、系统组成、工作原理、适用范围、设置要求及其供配电技术，以及建筑灭火器的配置要求与配置技术。第四篇其他建筑、场所防火，主要介绍石油化工、地铁、城市交通隧道、加油加气站、发电厂、飞机库、汽（修）车库、洁净厂房、信息机房、古建筑和人民防空工程等建筑的防火技术。第五篇消防安全评估，主要介绍火灾风险管理、火灾风险识别、火灾风险评估方法及建筑性能化防火设计评估的方法与技术。

本辅导教材适用于参加注册消防工程师资格考试的人员及其指导教师，还可供消防相关人员使用。

## 图书在版编目（CIP）数据

消防安全技术实务/公安部消防局组织编写. —北京：机械工业出版社，2014.3

注册消防工程师资格考试辅导教材

ISBN 978-7-111-46129-6

I. ①消… II. ①公… III. ①消防-安全技术-工程师-资格考试-教材  
IV. ①TU998.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 045475 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：何文军 责任编辑：张利萍 崔利平 版式设计：霍永明

责任校对：陈延翔 封面设计：张 静 责任印制：

印刷厂印刷

2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

213mm × 274mm · 34.5 印张 · 1030 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-46129-6

定价： 元

本书如有缺页、倒页、脱页，请与本书发行部门联系。

## 编写人员名单

主 编 陈伟明 杨建民

副 主 编 单于广

执行副主编 张明灿 王宝伟 沈友弟

参加编写人员 (按姓氏笔画)

马建民 王宗存 王宝伟 白 洁 石 芳 田锦林

关大巍 许 丹 祁 闻 李 苗 李 磊 闫 霁

毕 明 朱国庆 何建红 张兴权 张明灿 张颖琮

张耀宇 沈友弟 沈燕清 杨瑞新 杨丙杰 陈 柏

陈 震 姜 宁 姚 斌 赖穗欢 蔡 芸 廖曙江

编 审 人 员

东靖飞 张智勇 郭树林 徐晓楠 黄晓家 薛亚群 廖 平

# 编写说明

为适应注册消防工程师资格考试的需要，方便应试人员复习备考，根据《注册消防工程师资格考试实施办法》和《注册消防工程师资格考试大纲》，公安部消防局组织部分消防部队、科研院所、消防企业的专家编写了“注册消防工程师资格考试辅导教材”，共分三册，分别为《消防安全技术实务》《消防技术综合能力》和《消防安全案例分析》。

本册辅导教材《消防安全技术实务》以消防专业知识和消防实务技术为主进行编写，共分五篇四十五章。第一篇消防基础知识，主要介绍有关燃烧、火灾、爆炸的基础知识及事故防控的基本原理与技术。第二篇建筑防火，主要介绍生产和储存物品的火灾危险性分类、建筑分类和耐火等级、总平面布局和平布置、防火防烟分区与分隔、安全疏散、建筑电气防火、建筑防爆、建筑设备防火防爆、建筑装修和保温材料防火及消防灭火救援设施等设计要求。第三篇建筑消防设施，主要介绍建筑室内外消火栓系统、自动喷水灭火系统、水喷雾灭火系统、细水雾灭火系统、气体灭火系统、泡沫灭火系统、干粉灭火系统、火灾自动报警系统、防排烟系统、消防应急照明和疏散指示系统、城市消防远程监控系统等各种消防设施的分类、系统组成、工作原理、适用范围、设置要求及其供配电技术，以及建筑灭火器的配置要求与配置技术。第四篇其他建筑、场所防火，主要介绍石油化工、地铁、城市交通隧道、加油加气站、发电厂、飞机库、汽（修）车库、洁净厂房、信息机房、古建筑和人民防空工程等建筑的防火技术。第五篇消防安全评估，主要介绍火灾风险管理、火灾风险识别、火灾风险评估方法及建筑性能化防火设计评估的方法与技术。

本册辅导教材第一篇第一、二章由祁闻编写，第三、四章由张耀宇编写；第二篇第一章由关大巍编写，第二章由张耀宇编写，第三章由祁闻编写，第四章由姜宁编写，第五、六章由蔡芸编写，第八、九章由廖曙江编写，第十章由关大巍编写，第十一章由姜宁编写；第三篇第一章由姚斌编写，第二章由姜宁编写，第三、四、五章由沈友弟编写，第六、七章由许丹编写，第八章由张明灿编写，第十章由王宝伟编写，第十三章由姚斌编写；第四篇第一、三章由王宝伟编写，第二、四章由何建红编写，第五章由关大巍编写，第六章由姚斌编写，第七、八章由赖穗欢编写，第九章由张明灿编写，第十章由何建红编写，第十一、十二章由赖穗欢编写；第五篇第一、二章由马建民编写，第三章由张明灿编写，第四章由王宗存、李磊编写；第二篇第七章、第三篇第九章、第三篇第十一章、第三篇第十二章、第三篇第十四章由沈阳消防研究所组织人员编写。

本辅导教材编写过程中，国家部分消防技术标准规范正在制（修）订，有的已形成了报批稿。考虑到辅导教材的有效性，同时兼顾消防技术工作实际需要，本辅导教材对《建筑设计防火规范》《建筑防排烟系统技术规范》《汽车库、修车库、停车库设计防火规范》和《消防应急照明和疏散指示系统技术规范》的引用，参照了其制（修）订的报批稿；对《火灾自动报警系统设计规范》和《细水雾灭火系统设计规范》的引用，参照了已颁布的最新版本；对其他规范的引用主要参照其现行版本。读者在应试和执业过程中应以有效的现行标准规范为依据。

本辅导教材的编写工作，得到了上海、北京、辽宁、重庆、江苏、安徽、山西公安消防总队，公安部天津、沈阳消防研究所，中国人民武装警察部队学院和中国建筑科学研究院防火研究所的大力支持。公安部天津、沈阳消防研究所国家标准规范管理组和中国人民武装警察部队学院消防工程师系的专家、教授对本辅导教材进行了审阅，提出了许多宝贵的修改意见，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中难免存在不足之处，希望读者批评指正。

《注册消防工程师资格考试辅导教材》编写组  
2013年12月

# 目 录

## 编写说明

## 第一篇 消防基础知识

引言 .....	1	第三章 爆炸基础知识 .....	20
第一章 燃烧基础知识 .....	1	第一节 爆炸的概念及分类 .....	20
第一节 燃烧条件 .....	1	第二节 爆炸极限 .....	22
第二节 燃烧类型 .....	3	第三节 爆炸危险源 .....	24
第三节 燃烧方式及其特点 .....	5	本章思考题 .....	26
第四节 燃烧产物 .....	7	参考文献 .....	26
本章思考题 .....	10	第四章 易燃易爆危险品消防安全知识 .....	27
参考文献 .....	10	第一节 爆炸品 .....	27
第二章 火灾基础知识 .....	11	第二节 易燃气体 .....	28
第一节 火灾的定义、分类与危害 .....	11	第三节 易燃液体 .....	31
第二节 火灾发生的常见原因 .....	13	第四节 易燃固体、易于自燃的物质、遇水放出 易燃气体的物质 .....	32
第三节 建筑火灾蔓延的机理与途径 .....	14	第五节 氧化性物质和有机过氧化物 .....	34
第四节 灭火的基本原理与方法 .....	17	本章思考题 .....	35
本章思考题 .....	18	参考文献 .....	36
参考文献 .....	18		

## 第二篇 建筑防火

第一章 概述 .....	37	本章思考题 .....	59
本章思考题 .....	40	参考文献 .....	59
参考文献 .....	40	第四章 总平面布局和平面布置 .....	60
第二章 生产和储存物品的火灾危险性 分类 .....	41	第一节 建筑消防安全布局 .....	60
第一节 生产的火灾危险性分类 .....	41	第二节 建筑防火间距 .....	61
第二节 储存物品的火灾危险性分类 .....	47	第三节 建筑平面布置 .....	67
本章思考题 .....	49	本章思考题 .....	70
参考文献 .....	49	参考文献 .....	70
第三章 建筑分类与耐火等级 .....	50	第五章 防火防烟分区与分隔 .....	71
第一节 建筑分类 .....	50	第一节 防火分区 .....	71
第二节 建筑材料的燃烧性能及分级 .....	51	第二节 防火分隔 .....	74
第三节 建筑构件的燃烧性能和耐火极限 .....	54	第三节 防火分隔设施与措施 .....	79
第四节 建筑耐火等级要求 .....	56	第四节 防烟分区 .....	82
		本章思考题 .....	83

参考文献	83	第二节 通风与空调系统防火防爆	125
<b>第六章 安全疏散</b>	84	第三节 燃油、燃气设施防火防爆	129
第一节 安全疏散基本参数	84	第四节 锅炉房防火防爆	132
第二节 安全出口与疏散出口	90	第五节 电力变压器防火防爆	133
第三节 疏散走道与避难走道	93	本章思考题	135
第四节 疏散楼梯与楼梯间	94	参考文献	136
第五节 避难层(间)	97	<b>第十章 建筑装修、保温材料防火</b>	137
第六节 逃生疏散辅助设施	99	第一节 装修材料的分类与分级	137
本章思考题	101	第二节 装修防火的通用要求	142
参考文献	101	第三节 特殊功能部位与用房装修防火要求	143
<b>第七章 建筑电气防火</b>	102	第四节 单层、多层公共建筑装修防火	144
第一节 电气线路防火	102	第五节 高层公共建筑装修防火	145
第二节 用电设备防火	104	第六节 地下民用建筑装修防火	147
本章思考题	109	第七节 建筑外保温系统防火	147
参考文献	109	本章思考题	148
<b>第八章 建筑防爆</b>	110	参考文献	149
第一节 建筑防爆基本原则和措施	110	<b>第十一章 灭火救援设施</b>	150
第二节 爆炸危险性厂房、库房的布置	111	第一节 消防车道	150
第三节 爆炸危险性建筑的构造防爆	114	第二节 消防登高面、消防救援场地和灭火救 援窗	152
第四节 爆炸危险环境电气防爆	118	第三节 消防电梯	153
本章思考题	122	第四节 直升机停机坪	154
参考文献	123	本章思考题	155
<b>第九章 建筑设备防火防爆</b>	124	参考文献	156
第一节 采暖系统防火防爆	124		

### 第三篇 建筑消防设施

<b>第一章 概述</b>	157	<b>第四章 水喷雾灭火系统</b>	195
第一节 建筑消防设施的作用及分类	157	第一节 系统灭火机理	195
第二节 建筑消防设施的设置与管理	160	第二节 系统分类	196
本章思考题	161	第三节 系统工作原理与适用范围	197
参考文献	161	第四节 系统设计参数	199
<b>第二章 室内外消防给水系统</b>	162	第五节 系统组件及设置要求	200
第一节 消防给水设施	162	本章思考题	206
第二节 室外消火栓系统	169	参考文献	207
第三节 室内消火栓系统	170	<b>第五章 细水雾灭火系统</b>	208
本章思考题	173	第一节 系统灭火机理	208
参考文献	174	第二节 系统分类	209
<b>第三章 自动喷水灭火系统</b>	175	第三节 系统组成与工作原理	210
第一节 系统的分类与组成	175	第四节 系统适用范围	214
第二节 系统的工作原理与适用范围	178	第五节 系统设计参数	215
第三节 系统设计主要参数	181	第六节 系统组件及设置要求	217
第四节 系统主要组件及设置要求	186	本章思考题	220
本章思考题	194	参考文献	220
参考文献	194	<b>第六章 气体灭火系统</b>	221

第一节 系统灭火机理 .....	221	参考文献 .....	294
第二节 系统分类和组成 .....	222	<b>第十章 防排烟系统</b> .....	295
第三节 系统工作原理及控制方式 .....	224	第一节 自然通风与自然排烟 .....	295
第四节 系统适用范围 .....	226	第二节 机械加压送风系统 .....	300
第五节 系统设计参数 .....	226	第三节 机械排烟系统 .....	306
第六节 系统组件及设置要求 .....	235	第四节 防排烟系统的联动控制 .....	318
本章思考题 .....	238	本章思考题 .....	320
参考文献 .....	238	参考文献 .....	320
<b>第七章 泡沫灭火系统</b> .....	239	<b>第十一章 消防应急照明和疏散指示系统</b> .....	321
第一节 系统的灭火机理 .....	239	第一节 系统分类与组成 .....	321
第二节 系统的组成和分类 .....	239	第二节 系统的工作原理与性能要求 .....	324
第三节 系统形式的选择 .....	242	第三节 系统的选择及设计要求 .....	325
第四节 系统的设计要求 .....	243	本章思考题 .....	328
第五节 系统组件及设置要求 .....	247	参考文献 .....	328
本章思考题 .....	251	<b>第十二章 城市消防远程监控系统</b> .....	329
参考文献 .....	252	第一节 系统组成和工作原理 .....	329
<b>第八章 干粉灭火系统</b> .....	253	第二节 城市消防远程监控系统的设计 .....	331
第一节 灭火机理 .....	253	第三节 系统的主要设备 .....	335
第二节 系统的组成和分类 .....	254	本章思考题 .....	338
第三节 系统工作原理及适用范围 .....	256	参考文献 .....	338
第四节 系统设计参数 .....	257	<b>第十三章 建筑灭火器配置</b> .....	339
第五节 系统组件及设置要求 .....	262	第一节 灭火器的分类 .....	339
本章思考题 .....	262	第二节 灭火器的构造 .....	341
参考文献 .....	263	第三节 灭火器的灭火机理与适用范围 .....	343
<b>第九章 火灾自动报警系统</b> .....	264	第四节 灭火器的配置要求 .....	348
第一节 火灾探测器、手动火灾报警按钮和系统 分类 .....	264	本章思考题 .....	351
第二节 系统组成、工作原理和适用范围 .....	266	参考文献 .....	351
第三节 系统设计参数 .....	270	<b>第十四章 消防供配电</b> .....	352
第四节 可燃气体探测报警系统 .....	286	第一节 消防用电及负荷等级 .....	352
第五节 电气火灾监控系统 .....	288	第二节 消防电源供配电系统 .....	355
第六节 消防控制室 .....	290	本章思考题 .....	357
本章思考题 .....	294	参考文献 .....	357

## 第四篇 其他建筑、场所防火

<b>第一章 概述</b> .....	358	第一节 地铁火灾危险性及其特点 .....	375
本章思考题 .....	360	第二节 地铁建筑防火设计要求 .....	376
<b>第二章 石油化工防火</b> .....	361	第三节 地铁火灾工况运作模式 .....	381
第一节 石油化工火灾危险性及其特点 .....	361	本章思考题 .....	383
第二节 生产防火 .....	362	参考文献 .....	384
第三节 储运防火 .....	367	<b>第四章 城市交通隧道防火</b> .....	385
本章思考题 .....	374	第一节 隧道分类 .....	385
参考文献 .....	374	第二节 隧道的火灾危险性及其特点 .....	386
<b>第三章 地铁防火</b> .....	375	第三节 隧道建筑防火设计要求 .....	388



本章思考题 .....	393	参考文献 .....	432
参考文献 .....	393	<b>第九章 洁净厂房防火</b> .....	433
<b>第五章 加油加气站防火</b> .....	394	第一节 洁净厂房的分类 .....	433
第一节 加油加气站的分类分级 .....	394	第二节 洁净厂房的火灾危险性 .....	434
第二节 加油加气站的火灾危险性及其特点 .....	396	第三节 洁净厂房的防火设计要求 .....	435
第三节 加油加气站的防火设计要求 .....	398	本章思考题 .....	440
本章思考题 .....	408	参考文献 .....	440
参考文献 .....	408	<b>第十章 信息机房防火</b> .....	441
<b>第六章 发电厂防火</b> .....	409	第一节 信息机房分类 .....	441
第一节 发电厂分类 .....	409	第二节 信息机房的火灾特点 .....	441
第二节 火力发电厂的火灾危险性 .....	410	第三节 信息机房的防火设计要求 .....	442
第三节 火力发电厂的防火设计要求 .....	411	本章思考题 .....	446
本章思考题 .....	414	参考文献 .....	446
参考文献 .....	414	<b>第十一章 古建筑防火</b> .....	447
<b>第七章 飞机库防火</b> .....	415	第一节 我国古建筑分类 .....	447
第一节 飞机库的分类 .....	415	第二节 古建筑的火灾危险性 .....	448
第二节 飞机库的火灾危险性 .....	416	第三节 古建筑防火安全措施 .....	449
第三节 飞机库的防火设计要求 .....	417	本章思考题 .....	452
本章思考题 .....	422	参考文献 .....	452
参考文献 .....	423	<b>第十二章 人民防空工程防火</b> .....	453
<b>第八章 汽车库、修车库防火</b> .....	424	第一节 人民防空工程分类 .....	453
第一节 汽车库、修车库的分类 .....	424	第二节 火灾危险性及其特点 .....	454
第二节 汽车库、修车库的火灾危险性 .....	426	第三节 人民防空工程的建筑防火设计要求 .....	455
第三节 汽车库、修车库的防火设计要求 .....	427	本章思考题 .....	461
本章思考题 .....	432	参考文献 .....	461

## 第五篇 消防安全评估

<b>第一章 概述</b> .....	462	第三节 事件树分析法 .....	488
第一节 风险管理 .....	462	第四节 事故树分析法 .....	492
第二节 火灾风险评估 .....	465	第五节 其他火灾风险评估方法 .....	495
本章思考题 .....	467	本章思考题 .....	498
参考文献 .....	467	参考文献 .....	498
<b>第二章 火灾风险识别</b> .....	469	<b>第四章 建筑性能化防火设计评估</b> .....	499
第一节 火灾风险评估概念辨析 .....	469	第一节 概述 .....	499
第二节 火灾风险来源 .....	471	第二节 火灾场景设计 .....	505
第三节 火灾风险源分析 .....	473	第三节 烟气流动与控制 .....	510
本章思考题 .....	480	第四节 人员疏散分析 .....	521
参考文献 .....	481	第五节 建筑结构耐火性能分析 .....	533
<b>第三章 火灾风险评估方法概述</b> .....	482	本章思考题 .....	541
第一节 安全检查表法 .....	482	参考文献 .....	542
第二节 预先危险性分析法 .....	486		

# 第一篇 消防基础知识

## 引言

火灾是失去控制的燃烧现象，是常发性灾害中发生频率较高的灾害之一。人们对火灾危害的认识由来已久，如何运用消防技术措施防止火灾发生、迅速扑灭已发生的火灾，一直是人类研究的一个重要课题。消防技术中涉及的防火工程技术和消防安全设计与管理方法等内容，需要运用大量的自然科学知识和理论，这就要求从事消防专业技术工作的人员要认真研究火灾规律和特点，掌握必要的消防基础理论与技术手段，增强对火灾发生机理的科学认识，鉴别火灾现象，并能对消防基础知识的应用研究成果、工程应用领域和发展前景有较为全面的了解。

本篇消防基础知识部分主要针对社会消防专业技术人员执业需求，以国家有关法律法规、火灾基础理论等为依据，介绍了火灾及消防科学的基础理论、应用基础理论和应用技术的基本情况，全篇共分为四章十六节。其中，燃烧基础知识一章主要包括燃烧条件，燃烧类型，燃烧方式及其特点，燃烧产物等内容；火灾基础知识一章主要涉及火灾的定义、分类与危害，火灾发生的常见原因，建筑火灾蔓延的机理与途径，灭火的基本原理与方法等内容；爆炸基础知识一章中主要介绍了爆炸的概念及分类，爆炸极限，爆炸危险源等内容；易燃易爆危险品消防安全知识一章主要介绍了爆炸品，易燃气体，易燃液体，易燃固体、易于自燃的物质、遇水放出易燃气体的物质，氧化性物质和有机过氧化物五类易燃易爆危险品的概念、分类及其火灾危险性。

## 第一章

# 燃烧基础知识

### 学习要求

通过本章学习，应了解燃烧的的必要条件和充分条件，掌握燃烧的四种类型，熟悉气体、液体、固体燃烧的特点及燃烧产物的概念和几种典型物质的燃烧产物。

燃烧基础知识主要包括燃烧条件、燃烧类型、燃烧方式与特点及燃烧产物等相关内容，是关于火灾机理及燃烧过程等最基础、最本质的知识。

### 第一节 燃烧条件

燃烧，是指可燃物与氧化剂作用发生的放热反应，通常伴有火焰、发光和（或）发烟现象。燃烧

过程中，燃烧区的温度较高，使其中白炽的固体粒子和某些不稳定（或受激发）的中间物质分子内电子发生能级跃迁，从而发出各种波长的光。发光的气相燃烧区就是火焰，它是燃烧过程中最明显的标志。由于燃烧不完全等原因，会使产物中产生一些小颗粒，这样就形成了烟。

燃烧可分为有焰燃烧和无焰燃烧。通常看到的明火都是有焰燃烧；有些固体发生表面燃烧时，有发光发热的现象，但是没有火焰产生，这种燃烧方式则是无焰燃烧。燃烧的发生和发展，必须具备3个必要条件，即可燃物、助燃物（氧化剂）和引火源（温度）。当燃烧发生时，上述3个条件必须同时具备，如果有一个条件不具备，那么燃烧就不会发生，如图1-1-1所示。

### 一、可燃物

凡是能与空气中的氧或其他氧化剂起化学反应的物质，均称为可燃物，如木材、氢气、汽油、煤炭、纸张、硫等。可燃物按其化学组成，分为无机可燃物和有机可燃物2大类；按其所处的状态，又可分为可燃固体、可燃液体和可燃气体3大类。

### 二、助燃物（氧化剂）

凡是与可燃物结合能导致和支持燃烧的物质，称为助燃物，如广泛存在于空气中的氧气。普通意义上，可燃物的燃烧均是指在空气中进行的燃烧。在一定条件下，各种不同的可燃物发生燃烧，均有本身固定的最低氧含量要求，氧含量过低，即使其他必要条件已经具备，燃烧仍不会发生。

### 三、引火源（温度）

凡是能引起物质燃烧的点燃能源，统称为引火源。在一定条件下，各种不同可燃物发生燃烧，均有本身固定的最小点火能量要求（见本篇第三章第三节），只有达到一定能量才能引起燃烧。常见的引火源有下列几种：

(1) 明火。明火是指生产、生活中的炉火、烛火、焊接火、吸烟火，撞击、摩擦打火，机动车辆排气管火星、飞火等。

(2) 电弧、电火花。电弧、电火花是指电气设备、电气线路、电气开关及漏电打火，电话、手机等通信工具火花，静电火花（物体静电放电、人体衣物静电打火、人体积聚静电对物体放电打火）等。

(3) 雷击。雷击瞬间高压放电能引燃任何可燃物。

(4) 高温。高温是指高温加热、烘烤、积热不散、机械设备故障发热、摩擦发热、聚焦发热等。

(5) 自燃引火源。自燃引火源是指在既无明火又无外来热源的情况下，物质本身自行发热、燃烧起火，如白磷、烷基铝在空气中会自行起火；钾、钠等金属遇水着火；易燃、可燃物质与氧化剂、过氧化物接触起火等。

### 四、链式反应自由基

自由基是一种高度活泼的化学基团，能与其他自由基和分子起反应，从而使燃烧按链式反应的形式扩展，也称游离基。

研究表明，大部分燃烧的发生和发展除了具备上述3个必要条件以外，其燃烧过程中还存在未受抑制的自由基作中间体。多数燃烧反应不是直接进行的，而是通过自由基团和原子这些中间产物瞬间进行的循环链式反应。自由基的链式反应是这些燃烧反应的实质，光和热是燃烧过程中的物理现象。

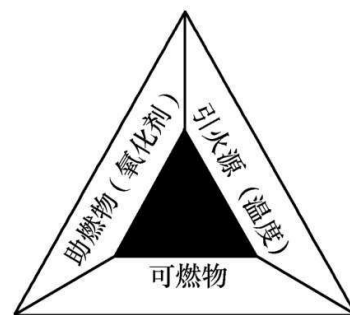


图 1-1-1 着火三角形

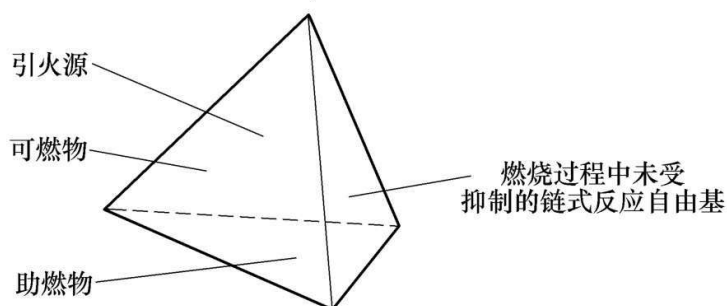


图 1-1-2 着火四面体

因此,完整地论述,大部分燃烧发生和发展需要4个必要条件,即可燃物、助燃物(氧化剂)、引火源(温度)和链式反应自由基,燃烧条件可以进一步用着火四面体来表示,如图1-1-2所示。

## 第二节 燃烧类型

燃烧可从着火方式、持续燃烧形式、燃烧物形态、燃烧现象等不同角度作不同的分类。掌握燃烧类型的有关常识,对于了解物质燃烧机理、火灾危险性的评定,有着重要的意义。

### 一、燃烧类型分类

按照燃烧形成的条件和发生瞬间的特点,燃烧可分为着火和爆炸。

#### (一) 着火

可燃物在与空气共存条件下,当达到某一温度时,与引火源接触即能引起燃烧,并在引火源离开后仍能持续燃烧,这种持续燃烧的现象称为着火。着火就是燃烧的开始,并且以出现火焰为特征。着火是日常生活中最常见的燃烧现象。可燃物的着火方式一般分为下列几类:

##### 1. 点燃(或称强迫着火)

点燃是指由于从外部能源,诸如电热线圈、电火花、炽热质点、点火火焰等得到能量,使混气的局部范围受到强烈的加热而着火。这时就会在靠近引火源处引发火焰,然后依靠燃烧波传播到整个可燃混合物中,这种着火方式也习惯上称为引燃。

##### 2. 自燃

可燃物质在没有外部火花、火焰等引火源的作用下,因受热或自身发热并蓄热所产生的自然燃烧,称为自燃。即物质在无外界引火源条件下,由于其本身内部所发生的生物、物理或化学变化而产生热量并积蓄,使温度不断上升,自然燃烧起来的现象。自燃点是指可燃物发生自燃的最低温度。

(1) 化学自燃。例如金属钠在空气中自燃;煤因堆积过高而自燃等。这类着火现象通常不需要外界加热,而是在常温下依据自身的化学反应发生的,因此习惯上称为化学自燃。

(2) 热自燃。如果将可燃物和氧化剂的混合物预先均匀地加热,随着温度的升高,当混合物加热到某一温度时便会自动着火(这时着火发生在混合物的整个容积中),这种着火方式习惯上称为热自燃。

#### (二) 爆炸

爆炸是指物质由一种状态迅速地转变成另一种状态,并在瞬间以机械功的形式释放出巨大的能量,或是气体、蒸气瞬间发生剧烈膨胀等现象。爆炸最重要的一个特征是爆炸点周围发生剧烈的压力突变,这种压力突变就是爆炸产生破坏作用的原因。作为燃烧类型之一的爆炸主要是指化学爆炸,关于爆炸的具体分类及其特点见本篇第三章第一节。

### 二、闪点、燃点、自燃点的概念

气体、液体、固体物质的燃烧各有特点,通常根据不同燃烧类型,用不同的燃烧性能参数来分别衡量气体、液体、固体可燃物的燃烧特性。

#### (一) 闪点

##### 1. 闪点的定义

在规定的试验条件下,液体挥发的蒸气与空气形成的混合物,遇引火源能够闪燃的液体最低温度(采用闭杯法测定),称为闪点。

##### 2. 闪点的意义

闪点是可燃性液体性质的主要标志之一,是衡量液体火灾危险性大小的重要参数。闪点越低,火

灾危险性越大，反之则越小。闪点与可燃性液体的饱和蒸气压有关，饱和蒸气压越高，闪点越低。在一定条件下，当液体的温度高于其闪点时，液体随时有可能被引火源引燃或发生自燃；若液体的温度低于闪点，则液体是不会发生闪燃的，更不会着火。常见的几种易燃或可燃液体的闪点见表1-1-1。

表 1-1-1 常见的几种易燃或可燃液体的闪点

名称	闪点/℃	名称	闪点/℃
汽油	-50	二硫化碳	-30
煤油	38 ~ 74	甲醇	11
酒精	12	丙酮	-18
苯	-14	乙醛	-38
乙醚	-45	松节油	35

### 3. 闪点在消防上的应用

闪点是判断液体火灾危险性大小及对可燃性液体进行分类的主要依据。可燃性液体的闪点越低，其火灾危险性也越大。例如，汽油的闪点为  $-50^{\circ}\text{C}$ ，煤油的闪点为  $38 \sim 74^{\circ}\text{C}$ ，显然汽油的火灾危险性就比煤油大。根据闪点的高低，可以确定生产、加工、储存可燃性液体场所的火灾危险性类别：闪点  $< 28^{\circ}\text{C}$  的为甲类； $28^{\circ}\text{C} \leq \text{闪点} < 60^{\circ}\text{C}$  的为乙类；闪点  $\geq 60^{\circ}\text{C}$  的为丙类（详见第二篇第二章）。

#### (二) 燃点

##### 1. 燃点的定义

在规定的试验条件下，应用外部热源使物质表面起火并持续燃烧一定时间所需的最低温度，称为燃点。

##### 2. 常见可燃物的燃点

在一定条件下，物质的燃点越低，越易着火。常见可燃物的燃点见表 1-1-2。

表 1-1-2 几种常见可燃物的燃点

物质名称	燃点/℃	物质名称	燃点/℃
蜡烛	190	棉花	210 ~ 255
松香	216	布匹	200
橡胶	120	木材	250 ~ 300
纸张	130 ~ 230	豆油	220

##### 3. 燃点与闪点的关系

易燃液体的燃点一般高出其闪点  $1 \sim 5^{\circ}\text{C}$ ，并且闪点越低，这一差值越小，特别是在敞开的容器中很难将闪点和燃点区分开来。因此，评定这类液体火灾危险性大小时，一般用闪点。固体的火灾危险性大小一般用燃点来衡量。

#### (三) 自燃点

##### 1. 自燃点的定义

在规定的条件下，可燃物质发生自燃的最低温度，称为自燃点。在这一温度时，物质与空气（氧）接触，不需要明火的作用，就能发生燃烧。

##### 2. 常见可燃物的自燃点

自燃点是衡量可燃物质受热升温导致自燃危险的依据。可燃物的自燃点越低，发生自燃的危险性就越大。常见可燃物在空气中的自燃点见表 1-1-3。

表 1-1-3 某些常见可燃物在空气中的自燃点

物质名称	自燃点/℃	物质名称	自燃点/℃
氢气	400	丁烷	405
一氧化碳	610	乙醚	160
硫化氢	260	汽油	530 ~ 685
乙炔	305	乙醇	423

### 3. 影响自燃点变化的规律

不同的可燃物有不同的自燃点，同一种可燃物在不同的条件下自燃点也会发生变化。可燃物的自燃点越低，发生火灾的危险性就越大。

对于液体、气体可燃物，其自燃点受压力、氧浓度、催化、容器的材质和表面积与体积比等因素的影响。而固体可燃物的自燃点，则受受热熔融、挥发物的数量、固体的颗粒度、受热时间等因素的影响。

## 第三节 燃烧方式及其特点

可燃物质受热后，因其聚集状态的不同，而发生不同的变化。绝大多数可燃物质的燃烧都是在蒸气或气体的状态下进行的，并出现火焰。而有的物质则不能变为气态，其燃烧发生在固相中，如焦炭燃烧时，呈灼热状态。由于可燃物质的性质、状态不同，燃烧的特点也不一样。

### 一、气体燃烧

可燃气体的燃烧不需像固体、液体那样经熔化、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，因此容易燃烧且燃烧速度快。根据燃烧前可燃气体与氧混合状况不同，其燃烧方式分为扩散燃烧和预混燃烧。

#### (一) 扩散燃烧

扩散燃烧即可燃性气体和蒸气分子与气体氧化剂互相扩散，边混合边燃烧。在扩散燃烧中，化学反应速度要比气体混合扩散速度快得多。整个燃烧速度的快慢由物理混合速度决定。气体（蒸气）扩散多少，就烧掉多少。人们在生产、生活中的用火（如燃气做饭、点气照明、烧气焊等）均属这种形式的燃烧。

扩散燃烧的特点：燃烧比较稳定，扩散火焰不运动，可燃气体与气体氧化剂的混合在可燃气体喷口进行。对稳定的扩散燃烧，只要控制得好，就不至于造成火灾，一旦发生火灾也较易扑救。

#### (二) 预混燃烧

预混燃烧又称爆炸式燃烧。它是指可燃气体、蒸气或粉尘预先同空气（或氧）混合，遇引火源产生带有冲击力的燃烧。预混燃烧一般发生在封闭体系中或在混合气体向周围扩散的速度远小于燃烧速度的敞开体系中，燃烧放热造成产物体积迅速膨胀，压力升高，压力可达 709.1 ~ 810.4 kPa。通常的爆炸反应即属此种。

预混燃烧的特点：燃烧反应快，温度高，火焰传播速度快，反应的混合气体不扩散，在可燃混合气中引入一火源即产生一个火焰中心，成为热量与化学活性粒子集中源。如果预混气体从管口喷出发生动力燃烧，若流速大于燃烧速度，则在管中形成稳定的燃烧火焰，由于燃烧充分，燃烧速度快，燃烧区呈高温白炽状，如汽灯的燃烧即是如此；若可燃混合气在管口流速小于燃烧速度，则会发生“回火”，如制气系统检修前不进行置换就烧焊，燃气系统于开车前不进行吹扫就点火，用气系统产生负压“回火”或者漏气未被发现而用火时，往往形成动力燃烧，有可能造成设备损坏和人员伤亡。

## 二、液体燃烧

易燃、可燃液体在燃烧过程中，并不是液体本身在燃烧，而是液体受热时蒸发出来的液体蒸气被分解、氧化达到燃点而燃烧，即蒸发燃烧。因此，液体能否发生燃烧、燃烧速率高低，与液体的蒸气压、闪点、沸点和蒸发速率等性质密切相关。可燃液体会产生闪燃的现象。

可燃液态烃类燃烧时，通常产生橘色火焰并散发浓密的黑色烟云。醇类燃烧时，通常产生透明的蓝色火焰，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，这类物质的火灾较难扑灭。在含有水分、黏度较大的重质石油产品，如原油、重油、沥青油等发生燃烧时，有可能产生沸溢现象和喷溅现象。

### （一）闪燃

闪燃是指易燃或可燃液体（包括可熔化的少量固体，如石蜡、樟脑、萘等）挥发出来的蒸气分子与空气混合后，达到一定的浓度时，遇引火源产生一闪即灭的现象。发生闪燃的原因是易燃或可燃液体在闪燃温度下蒸发的速度比较慢，蒸发出来的蒸气仅能维持一刹那的燃烧，来不及补充新的蒸气维持稳定的燃烧，因而一闪就灭了。但闪燃却是引起火灾事故的先兆之一。闪点则是指易燃或可燃液体表面产生闪燃的最低温度。

### （二）沸溢

以原油为例，其黏度比较大，并且都含有一定的水分，以乳化水和水垫两种形式存在。所谓乳化水是原油在开采运输过程中，原油中的水由于强力搅拌成细小的水珠悬浮于油中而成的。放置久后，油水分离，水因密度大而沉降在底部形成水垫。

燃烧过程中，这些沸程较宽的重质油品产生热波，在热波向液体深层运动时，由于温度远高于水的沸点，因而热波会使油品中的乳化水汽化，大量的蒸汽就要穿过油层向液面上浮，在向上移动过程中形成油包气的气泡，即油的一部分形成了含有大量蒸汽气泡的泡沫。这样，必然使液体体积膨胀，向外溢出，同时部分未形成泡沫的油品也被下面的蒸汽膨胀力抛出，使液面猛烈沸腾起来，就像“跑锅”一样，这种现象称为沸溢。

从沸溢过程说明，沸溢形成必须具备以下3个条件：

- 1) 原油具有形成热波的特性，即沸程宽，密度相差较大。
- 2) 原油中含有乳化水，水遇热波变成蒸汽。
- 3) 原油黏度较大，使水蒸气不容易从下向上穿过油层。

### （三）喷溅

在重质油品燃烧进行过程中，随着热波温度的逐渐升高，热波向下传播的距离也加大，当热波达到水垫时，水垫的水大量蒸发，蒸汽体积迅速膨胀，以至把水垫上面的液体层抛向空中，向外喷射，这种现象称为喷溅。

一般情况下，发生沸溢要比发生喷溅的时间早得多。发生沸溢的时间与原油的种类、水分含量有关。根据实验，含有1%水分的石油，经45~60min燃烧就会发生沸溢。喷溅发生的时间与油层厚度、热波移动速度及油的线燃烧速度有关。

## 三、固体燃烧

根据各类可燃固体的燃烧方式和燃烧特性，固体燃烧的形式大致可分为5种，其燃烧各有特点。

### （一）蒸发燃烧

硫、磷、钾、钠、蜡烛、松香、沥青等可燃固体，在受到火源加热时，先熔融蒸发，随后蒸气与氧气发生燃烧反应，这种形式的燃烧一般称为蒸发燃烧。樟脑、萘等易升华物质，在燃烧时不经过熔融过程，但其燃烧现象也可看作一种蒸发燃烧。

## (二) 表面燃烧

可燃固体(如木炭、焦炭、铁、铜等)的燃烧反应是在其表面由氧和物质直接作用而发生的,称为表面燃烧。这是一种无火焰的燃烧,有时又称之为异相燃烧。

## (三) 分解燃烧

可燃固体,如木材、煤、合成塑料、钙塑材料等,在受到火源加热时,先发生热分解,随后分解出的可燃挥发分与氧发生燃烧反应,这种形式的燃烧一般称为分解燃烧。

## (四) 熏烟燃烧(阴燃)

可燃固体在空气不流通、加热温度较低、分解出的可燃挥发分较少或逸散较快、含水分较多等条件下,往往发生只冒烟而无火焰的燃烧现象,这就是熏烟燃烧,又称阴燃。

## (五) 动力燃烧(爆炸)

动力燃烧是指可燃固体或其分解出的可燃挥发分遇火源所发生的爆炸式燃烧,主要包括可燃粉尘爆炸、炸药爆炸、轰燃等几种情形。其中,轰燃是指可燃固体由于受热分解或不完全燃烧析出可燃气体,当其以适当比例与空气混合后再遇火源时,发生的爆炸式预混燃烧。例如,能析出一氧化碳的赛璐珞、能析出氰化氢的聚氨酯等,在大量堆积燃烧时,常会产生轰燃现象。

这里需要指出的是,上述各种燃烧形式的划分不是绝对的,有些可燃固体的燃烧往往包含两种或两种以上的形式。例如,在适当的外界条件下,木材、棉、麻、纸张等的燃烧会明显地存在分解燃烧、熏烟燃烧、表面燃烧等形式。

## 第四节 燃烧产物

燃烧产生的物质,其成分取决于可燃物的组成和燃烧条件。大部分可燃物属于有机化合物,它们主要由碳、氢、氧、氮、硫等元素组成,燃烧生成的气体一般有一氧化碳、二氧化碳、丙烯醛、氯化氢、二氧化硫等。

### 一、燃烧产物的概念

由燃烧或热解作用产生的全部物质,称为燃烧产物,有完全燃烧产物和不完全燃烧产物之分。完全燃烧产物是指可燃物中的C被氧化生成的 $\text{CO}_2$ (气)、H被氧化生成的 $\text{H}_2\text{O}$ (液)、S被氧化生成的 $\text{SO}_2$ (气)等。而 $\text{CO}$ 、 $\text{NH}_3$ 、醇类、醛类、醚类等是不完全燃烧产物。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。

燃烧产物中的烟主要是燃烧或热解作用所产生的悬浮于大气中能被人们看到的直径一般在 $10^{-7} \sim 10^{-4} \text{cm}$ 的极小的炭黑粒子,大直径的粒子容易由烟中落下来称为烟尘或炭黑。炭粒子的形成过程比较复杂。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,这些小碎片会发生脱氢、聚合、环化等反应,最后形成石墨化碳粒子,构成了烟。

### 二、几类典型物质的燃烧产物

按照构成状态可将物质分为纯净物和混合物。由一种物质构成的称为纯净物(即只能写出一个化学分子式的),由不同物质构成的称为混合物。

#### (一) 高聚物的燃烧产物

有机高分子化合物(简称高聚物),主要是以煤、石油、天然气为原料制得的,如塑料、橡胶、合成纤维、薄膜、胶粘剂和涂料等。其中,塑料、橡胶和纤维是人们熟知的3大合成有机高分子化合物,其应用广泛而且容易燃烧。高聚物在燃烧(或分解)过程中,会产生 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$ (氮氧化物)、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{SO}_2$ 及 $\text{COCl}_2$ (光气)等有害气体,对火场人员的生命安全构成极大的威胁。



## (二) 木材和煤的燃烧产物

木材、煤等固体是火灾中最常见的可燃物质。它们是由多种元素组成的、复杂天然高聚物的混合物，成分不单一，并且是非均质的。

### 1. 木材的燃烧产物

木材的主要成分是纤维素、半纤维素和木质素，主要组成元素是碳、氧、氢和氮。各主要成分在不同温度下分解并释放挥发分，一般为半纤维素 200 ~ 260℃ 分解；纤维素 240 ~ 350℃ 分解；木质素 280 ~ 500℃ 分解。当木材接触火源时，加热到约 110℃ 时就被干燥并蒸发出极少量的树脂；加热到 130℃ 时开始分解，产物主要是水蒸气和二氧化碳；加热到 220 ~ 250℃ 时开始变色并炭化，分解产物主要是一氧化碳、氢气和碳氢化合物；加热到 300℃ 以上，有形结构开始断裂，在木材表面垂直于纹理方向上木炭层出现小裂纹，这就使挥发物容易通过炭化层表面逸出。随着炭化深度的增加，裂缝逐渐加宽，结果产生“龟裂”现象。此时木材发生剧烈的热分解。表 1-1-4 列出了一般木材在不同温度下分解产生的气体组成。

表 1-1-4 木材在不同温度下分解产生的气体组成

温度/℃	气体成分(体积分数,%)				
	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>
300	56.07	40.17	3.76	—	—
400	49.36	34.00	14.31	0.86	1.47
500	43.20	29.06	21.72	3.68	2.34
600	40.98	27.20	23.42	5.74	2.66
700	38.56	25.19	24.94	8.50	2.81

### 2. 煤的燃烧产物

煤主要由 C、H、O、N 和 S 等元素组成。一般情况下，煤受热时，低于 105℃，主要析出其中的吸留气体和水分；200 ~ 300℃ 时开始析出气态产物如 CO、CO<sub>2</sub> 等，煤粒变软成为塑性状态；300 ~ 550℃ 时开始析出焦油和 CH<sub>4</sub> 及其同系物、不饱和烃及 CO、CO<sub>2</sub> 等气体；在 500 ~ 750℃ 时，半焦开始热解，并析出大量含氢较多的气体；760 ~ 1000℃ 时，半焦继续热解，析出少量以氢为主的气体，半焦变成高温焦炭。煤热分解产生挥发分的组分及其含量主要取决于煤的炭化程度和温度。炭化程度加深，挥发分析出量减少，但其中可燃组分含量却增多。加热温度越高，挥发分逸出量就越多。

## (三) 金属的燃烧产物

金属的燃烧能力取决于金属本身及其氧化物的物理、化学性质。根据熔点和沸点不同，通常将金属分为挥发金属和不挥发金属。

挥发金属（如 Li、Na、K 等）在空气中容易着火燃烧，熔融成金属液体，它们的沸点一般低于其氧化物的熔点（K 除外），因此在其表面能够生成固体氧化物。由于金属氧化物的多孔性，金属继续被氧化和加热，经过一段时间后，金属被熔化并开始蒸发，蒸发出的蒸气通过多孔的固体氧化物扩散进入空气。

不挥发金属因其氧化物的熔点低于金属的沸点，则在燃烧时熔融金属表面形成一层氧化物。这层氧化物在很大程度上阻碍了金属和空气中氧的接触，从而减缓了金属被氧化。但这类金属在粉末状、气熔胶状、刨花状时在空气中燃烧进行得很激烈，并且不生成烟。

## 三、燃烧产物的危害性

统计资料表明，火灾中死亡人员中的大约 75% 是由于吸入毒性气体而致死的。燃烧产物中含有大