

消防工程系列丛书

建筑防火材料 及其应用要点

JIANZHU FANGHUO CAILIAO
JIQI YINGYONG YAODIAN

本书编委会 编

中国建筑工程工业出版社

消防工程系列丛书

建筑防火材料及其应用要点

本书编委会 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑防火材料及其应用要点/本书编委会编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 3
(消防工程系列丛书)
ISBN 978-7-112-18962-5

I. ①建… II. ①本… III. ①建筑材料-防火材料 IV. ①TU545

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 004911 号

本书采用“要点”体例进行编写, 较为系统地介绍了建筑防火材料及其应用应掌握的基础知识。全书共分为六章, 内容主要包括: 材料燃烧与阻燃基础、建筑防火板材及应用、建筑防火涂料及应用、建筑防火玻璃及应用、建筑防火封堵材料及应用、建筑材料燃烧性能和耐火性能等。内容翔实, 体系严谨, 简要明确, 实用性强。本书可供建筑设计人员、建筑施工技术人员、监理人员、消防专业相关人员以及建筑材料专业的师生参考使用。

* * *

责任编辑: 张 磊
责任设计: 董建平
责任校对: 陈晶晶 姜小莲

消防工程系列丛书
建筑防火材料及其应用要点
本书编委会 编

*

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
北京科地亚盟排版公司制版
北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10 字数: 245 千字
2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月第一次印刷
定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-18962-5
(28067)

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)

本书编委会

主 编 郭树林 许佳华

参 编 石敬炜 陈 达 陈国平 李朝辉

夏新明 王 昉 闫立成 陈占林

线大伟 相振国 张 松 张 彤

前 言

近年来，由于经济飞速发展，建筑行业的发展也日新月异，高楼大厦随处可见，随之而来的是消防安全问题。防火建筑材料直接影响到人民的生命财产安全，是能否保证建筑本身安全的重要因素。必须掌握各种建筑防火材料的基本性质和用途才能保证建筑物的消防安全性，还要保证防火建筑材料的选用科学合理，才能最大程度地防止发生火灾的可能。所以，纷繁多样的新型建筑防火材料如雨后春笋般出现。基于此，我们组织编写了此书。

本书根据现行最新规范《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)、《建筑材料及制品燃烧性能分级》(GB 8624—2012)、《电缆防火涂料》(GB 28374—2012)、《混凝土结构防火涂料》(GB 28375—2012)、《建筑材料不燃性试验方法》(GB/T 5464—2010)、《建筑用安全玻璃 第1部分：防火玻璃》(GB 15763.1—2009)及工作实际需求编写。共分为六章，内容主要包括：材料燃烧与阻燃基础、建筑防火板材及应用、建筑防火涂料及应用、建筑防火玻璃及应用、建筑防火封堵材料及应用、建筑材料燃烧性能和耐火性能等。

本书采用“要点”体例进行编写，较为系统地介绍了建筑防火材料及其应用应掌握的基础知识，内容翔实，体系严谨，简要明确，实用性强，可供建筑设计人员、建筑施工技术人员、监理人员、消防专业相关人员以及建筑材料专业的师生参考使用。

由于编者的经验和学识有限，尽管尽心尽力编写，但内容难免有疏漏、错误之处，敬请广大专家、学者批评指正。

目 录

第一章 材料燃烧与阻燃基础	1
第一节 材料燃烧本质及条件	1
要点 1: 燃烧的概念	1
要点 2: 燃烧的分类	1
要点 3: 燃烧的本质	3
要点 4: 燃烧的要素	3
要点 5: 燃烧的必要条件	4
要点 6: 燃烧的充分条件	5
要点 7: 影响燃烧的因素	5
第二节 阻燃剂及阻燃机理	7
要点 8: 阻燃剂分类	7
要点 9: 各种高聚物材料适用的卤系阻燃剂	7
要点 10: 工业溴系阻燃剂	7
要点 11: 氯系阻燃剂	9
要点 12: 各种高聚物材料推荐使用的有机磷系阻燃剂	10
要点 13: 氢氧化铝的性能	11
要点 14: 氢氧化铝的阻燃机理	11
要点 15: 氢氧化镁的性能	12
要点 16: 氢氧化镁的阻燃机理	13
要点 17: 红磷的性能	13
要点 18: 红磷的阻燃机理	14
要点 19: 聚磷酸铵的性能	14
要点 20: 聚磷酸铵的阻燃机理	15
要点 21: 硼系阻燃剂的性能	16
要点 22: 硼系阻燃剂的阻燃机理	16
要点 23: 三氧化二锑的性能	16
要点 24: 三氧化二锑的阻燃机理	18
要点 25: 胶体五氧化二锑的性能	20
要点 26: 锑酸钠的性能	20
要点 27: 三聚氰胺的性能	21
要点 28: 三聚氰胺的阻燃机理	22
要点 29: 双氰胺的性能	22
要点 30: 双氰胺的阻燃机理	23

第三节 阻燃剂的应用 23
 要点 31: 氢氧化铝的应用 23
 要点 32: 氢氧化镁的应用 25
 要点 33: 红磷的应用 27
 要点 34: 聚磷酸铵的应用 27
 要点 35: 硼系阻燃剂的应用 30
 要点 36: 三氧化二锑的应用 35
 要点 37: 胶体五氧化二锑的应用 37
 要点 38: 锑酸钠的应用 38
 要点 39: 三聚氰胺的应用 38
 要点 40: 双氰胺的应用 39

第二章 建筑防火板材及应用 41

第一节 纸面石膏板 41
 要点 1: 纸面石膏板定义 41
 要点 2: 板材种类与标记 41
 要点 3: 棱边形状与代号 41
 要点 4: 纸面石膏板规格尺寸 42
 要点 5: 纸面石膏板技术要求 42

第二节 装饰石膏板 44
 要点 6: 装饰石膏板定义 44
 要点 7: 装饰石膏板的分类与规格 44
 要点 8: 装饰石膏板的技术要求 44

第三节 嵌装式装饰石膏板 45
 要点 9: 嵌装式装饰石膏板定义 45
 要点 10: 嵌装式装饰石膏板的分类与规格 45
 要点 11: 嵌装式装饰石膏板的技术要求 46

第四节 吸声用穿孔石膏板 47
 要点 12: 吸声用穿孔石膏板的分类与规格 47
 要点 13: 吸声用穿孔石膏板的技术要求 48

第五节 石膏空心条板 49
 要点 14: 石膏空心条板的定义 49
 要点 15: 石膏空心条板的外形和规格 49
 要点 16: 石膏空心条板的技术要求 50

第六节 石膏砌块 51
 要点 17: 石膏砌块的定义 51
 要点 18: 石膏砌块的分类与规格 51
 要点 19: 石膏砌块的技术要求 52

第七节 硅酸钙板材 52
 要点 20: 硅酸钙板的定义 52

要点 21: 硅酸钙板的分类与规格	53
要点 22: 硅酸钙板的技术要求	53
第八节 维纶纤维增强水泥平板	55
要点 23: 维纶纤维增强水泥平板的分类与规格	55
要点 24: 维纶纤维增强水泥平板的技术要求	55
第九节 玻璃纤维增强水泥 (GRC) 轻质多孔隔墙条板	56
要点 25: 玻璃纤维增强水泥轻质多孔隔墙条板的分类、规格和分级	56
要点 26: 玻璃纤维增强水泥轻质多孔隔墙条板的技术要求	57
第十节 玻璃纤维增强水泥外墙板	58
要点 27: 玻璃纤维增强水泥外墙板的分类	58
要点 28: 玻璃纤维增强水泥外墙板的技术要求	59
第十一节 玻璃纤维增强水泥 (GRC) 外墙内保温板	60
要点 29: 玻璃纤维增强水泥外墙内保温板的分类与规格	60
要点 30: 玻璃纤维增强水泥外墙内保温板的技术要求	61
第十二节 纤维水泥平板	61
要点 31: 无石棉纤维水泥平板	61
要点 32: 温石棉纤维水泥平板	63
第十三节 钢丝网水泥板	65
要点 33: 钢丝网水泥板的分类、级别和规格	65
要点 34: 钢丝网水泥板的技术要求	67
第十四节 水泥木屑板	68
要点 35: 水泥木屑板的定义	68
要点 36: 水泥木屑板的规格	68
要点 37: 水泥木屑板的技术要求	68
第十五节 水泥刨花板	69
要点 38: 水泥刨花板的定义	69
要点 39: 水泥刨花板的分类	69
要点 40: 水泥刨花板的技术要求	70
第十六节 岩棉板	71
要点 41: 岩棉	71
要点 42: 岩棉板	72
第十七节 膨胀珍珠岩装饰吸声板	72
要点 43: 膨胀珍珠岩装饰吸声板的分类与规格	72
要点 44: 膨胀珍珠岩装饰吸声板的技术要求	73
第十八节 防火板材在建筑中的应用	74
要点 45: 纸面石膏板的应用	74
要点 46: 装饰石膏板的应用	74
要点 47: 石膏空心条板的应用	74
要点 48: 石膏砌块的应用	75
要点 49: 硅酸钙板的应用	75

要点 50: 轻质 GRC 多孔隔墙条板的应用	77
要点 51: 轻质 GRC 平板的应用	77
要点 52: 石棉水泥平板的应用	78
要点 53: 穿孔吸声石棉水泥板的应用	78
要点 54: 水泥木屑板的应用	78
要点 55: 水泥刨花板的应用	79
要点 56: 钢丝网架水泥夹心复合板的应用	79
要点 57: 岩棉的应用	80
要点 58: 岩棉装饰吸声板的应用	80
要点 59: 矿棉装饰吸声板的应用	80
要点 60: 膨胀珍珠岩装饰吸声板的应用	80
第三章 建筑防火涂料及应用	81
第一节 防火涂料的概述	81
要点 1: 防火涂料的特点	81
要点 2: 防火涂料的种类	81
要点 3: 防火涂料的组成	82
要点 4: 防火涂料的防火原理	83
第二节 饰面型防火涂料	83
要点 5: 饰面型防火涂料的分类	83
要点 6: 饰面型防火涂料的性能	84
要点 7: 饰面型防火涂料的防火机理	85
要点 8: 饰面型防火涂料的组成	86
要点 9: 饰面型防火涂料的生产工艺	90
要点 10: 饰面型防火涂料的施工要点	90
要点 11: 饰面型防火涂料的验收要求	91
要点 12: 饰面型防火涂料的试验方法	91
第三节 钢结构防火涂料	96
要点 13: 钢结构防火涂料的定义	96
要点 14: 钢结构防火涂料的分类	96
要点 15: 钢结构防火涂料的命名	96
要点 16: 钢结构防火涂料的技术要求	96
要点 17: 钢结构防火涂料的选择	98
要点 18: 钢结构防火涂料施工要点	99
要点 19: 钢结构防火涂料的施工验收	101
第四节 混凝土结构防火涂料	102
要点 20: 混凝土结构防火涂料的定义	102
要点 21: 混凝土结构防火涂料的分类	102
要点 22: 混凝土结构防火涂料的一般要求	102
要点 23: 混凝土结构防火涂料的技术要求	102

要点 24: 混凝土结构防火涂料的施工要点	103
要点 25: 混凝土结构防火涂料的施工验收	104
第五节 电缆防火涂料	104
要点 26: 电缆防火涂料的定义	104
要点 27: 电缆防火涂料的一般要求	104
要点 28: 电缆防火涂料的技术要求	105
要点 29: 电缆防火涂料的施工要点	105
第六节 防火涂料在建筑中的应用	106
要点 30: 饰面型防火涂料的现状及应用	106
要点 31: 住宅钢结构防火涂料的现状及应用	106
要点 32: 隧道防火涂料的应用	107
要点 33: 电缆防火涂料的现状及应用	107
第四章 建筑防火玻璃及应用	109
第一节 防火玻璃的分类	109
要点 1: 防火玻璃按结构分类	109
要点 2: 防火玻璃按耐火性能分类	109
要点 3: 防火玻璃按耐火极限分类	109
第二节 防火玻璃的技术要求	109
要点 4: 防火玻璃的尺寸、厚度允许偏差	109
要点 5: 防火玻璃的外观质量	110
要点 6: 防火玻璃的耐火性能	111
要点 7: 防火玻璃的弯曲度	111
要点 8: 防火玻璃的可见光透射比	111
要点 9: 防火玻璃的耐紫外线辐照性	111
要点 10: 防火玻璃的抗冲击性能	111
第三节 防火玻璃在建筑中的应用	112
要点 11: 单片防火玻璃的应用	112
要点 12: 复合防火玻璃的应用	112
第五章 建筑防火封堵材料及应用	114
第一节 有机防火堵料	114
要点 1: 有机防火堵料的定义	114
要点 2: 有机防火堵料的防火机理	114
要点 3: 有机防火堵料的技术指标	114
要点 4: 有机防火堵料的施工工艺	115
第二节 无机防火堵料	115
要点 5: 无机防火堵料的定义	115
要点 6: 无机防火堵料的防火机理	115
要点 7: 无机防火堵料的技术指标	116

要点 8: 无机防火堵料的施工工艺	116
第三节 阻火包	116
要点 9: 阻火包的定义	116
要点 10: 阻火包的防火机理	117
要点 11: 阻火包的技术指标	117
要点 12: 阻火包的施工工艺	117
第四节 阻火圈	118
要点 13: 阻火圈的定义	118
要点 14: 阻火圈的防火机理	118
要点 15: 阻火圈的分类	118
要点 16: 阻火圈的理化性能	118
要点 17: 阻火圈的施工工艺	119
第五节 常用的防火封堵方法	119
要点 18: 水泥灌注法	119
要点 19: 岩棉封堵法	119
要点 20: 无机防火堵料封堵法	120
要点 21: 有机防火堵料封堵法	120
要点 22: 阻火包封堵技术	120
要点 23: 套装阻火圈封堵技术	120
第六章 建筑材料燃烧性能和耐火性能	121
第一节 建筑材料的燃烧性能	121
要点 1: 有关建筑材料和制品的相关术语	121
要点 2: 建筑材料燃烧性能的分级体系	122
要点 3: 影响建筑材料耐火性能的因素	123
要点 4: 平板状建筑材料的燃烧性能等级和分级判据	123
要点 5: 铺地材料的燃烧性能等级和分级判据	124
要点 6: 管状绝热材料的燃烧性能等级和分级判据	125
要点 7: 窗帘幕布、家具制品装饰用织物燃烧性能等级和分级判据	126
要点 8: 电线电缆套管、电器设备外壳及附件的燃烧性能等级和分级判据	127
要点 9: 电器、家具制品用泡沫塑料的燃烧性能等级和分级判据	127
要点 10: 软质家具和硬质家具的燃烧性能等级和分级判据	127
第二节 建筑材料燃烧性能试验方法	128
要点 11: 建筑材料不燃性试验方法	128
要点 12: 建筑材料难燃性试验方法	132
要点 13: 建筑材料可燃性试验方法	136
要点 14: 建筑材料的烟密度试验方法	143
参考文献	147

第一章 材料燃烧与阻燃基础

第一节 材料燃烧本质及条件

要点 1：燃烧的概念

大量的科学实验证明，燃烧是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）发烟的现象。

燃烧属于一种化学反应，物质在燃烧前后本质发生了变化，生成了与原来完全不同的物质。燃烧不仅在氧存在时可以发生，在其他氧化剂中也可以发生，甚至燃烧得更加激烈。例如，氢气与氯气混合见光即爆炸。燃烧反应通常具有以下三个特征：

（1）通过化学反应生成了与原来完全不同的新物质。物质在燃烧前后性质产生了根本变化，生成了与原来完全不同的新物质。化学反应为这个反应的本质。如：木材燃烧后生成木炭、灰烬以及 CO_2 和 H_2O （水蒸气）。但并不是所有的化学反应都为燃烧，比如生石灰遇水：



可见，生石灰遇水是化学反应并放热，这种热可以成为一种着火源，但它本身并不是燃烧。

（2）放热。凡是燃烧反应都有热量产生。这是因为燃烧反应都是氧化还原反应。氧化还原反应在进行时总是有旧键的断裂与新键的生成，断键时要吸收能量，成键时又会放出能量。在燃烧反应中，断键时吸收的能量要比成键时放出的能量少，所以燃烧反应均为放热反应。但是，并不是所有的放热都是燃烧。如在日常生活中，电炉电灯既能够发光又可放热，但断电之后，电阻丝仍然是电阻丝，它们都没有化学变化，因此它并不属于燃烧。

（3）发光和（或）发烟。大多数燃烧现象伴有光和烟的现象，但也有少数燃烧只发烟而无光。燃烧发光的主要是因为燃烧时火焰中有白炽的碳粒等固体粒子以及某些不稳定（或受激发）的中间物质的生成所致。

要点 2：燃烧的分类

任何事物的分类都必须有一定的前提条件。不同的前提条件具有不同的分类方法，不同的分类方法会有不同的分类结果。燃烧的分类也是如此，按照不同的前提条件通常有以下几种。

1. 按引燃方式分

燃烧按引燃方式的不同可分为点燃与自燃两种：

(1) 点燃指通过外部的激发能源引起的燃烧。也就是火源接近可燃物质，局部开始燃烧，然后进行传播的燃烧现象。物质由外界引燃源的作用而引发燃烧的最低温度称为引燃温度，用摄氏度（℃）表示。点燃按引燃方式的不同又可分为局部引燃与整体引燃两种。如人们用打火机点燃烟头，用电打火点燃灶具燃气等均属于局部引燃；而熬炼沥青、石蜡、松香等易熔固体时温度超过了引燃温度的燃烧就是整体引燃。这里还需要说明一点，有人将因为加热、烘烤、熬炼、热处理或者由于摩擦热、辐射热、压缩热、化学反应热的作用而引起的燃烧划为受热自燃，实际这是不对的，因为它们虽然不是靠明火的直接作用而造成的燃烧，但它仍然是靠外界的热源造成的，而外界的热源本身就是一个引燃源，所以仍应属于点燃。

(2) 自燃指在没有外界着火源作用的条件下，物质靠本身内部的一系列物理、化学变化而发生的自动燃烧现象。其特点是依靠物质本身内部的变化提供能量。物质发生自燃的最低温度称为自燃点，也用“℃”表示。

2. 按燃烧时可燃物的状态分

按燃烧时可燃物所呈现的状态可分为气相燃烧与固相燃烧两种。可燃物的燃烧状态并不是指可燃物燃烧前的状态，而是指燃烧时的状态。例如乙醇在燃烧前为液体状态，在燃烧时乙醇转化为蒸气，其状态为气相：

(1) 气相燃烧指燃烧时可燃物和氧化剂均为气相的燃烧。气相燃烧是一种常见的燃烧形式，如汽油、酒精、丙烷、蜡烛等的燃烧都是气相燃烧。实质上，凡是有火焰的燃烧均为气相燃烧。

(2) 固相燃烧指燃烧进行时可燃物为固相的燃烧。固相燃烧又叫做表面燃烧。如木炭、镁条、焦炭的燃烧就是固相燃烧。只有固体可燃物才能发生此类燃烧，但并不是所有固体的燃烧都为固相燃烧，对在燃烧时分解、熔化、蒸发的固体，都不属于固相燃烧，仍是气相燃烧。

3. 按燃烧现象分

燃烧按照现象的不同可分为着火、阴燃、闪燃、爆炸四种。

(1) 着火简称火，指以释放热量并伴有烟或火焰或两者兼有为特征的燃烧现象。着火是经常见到的一种燃烧现象，例如木材燃烧、油类燃烧、烧饭用煤火炉、煤气的燃烧等都属于此类燃烧。其特点是：一般可燃物燃烧需要火源引燃；再就是可燃物一旦点燃，在外界因素不影响的情况下，可持续燃烧下去，直到将可燃物烧完为止。任何可燃物的燃烧都需要一个最低的温度，这个温度称之为引燃温度。可燃物不同，引燃温度也不同。

(2) 阴燃是指物质无可见光的缓慢燃烧，通常产生烟和温度升高的迹象。阴燃是可燃固体因为供氧不足而发生的一种缓慢的氧化反应，其特点是有烟而无火焰。

(3) 闪燃指可燃液体表面上蒸发的可燃蒸气遇火源产生的一闪即灭的燃烧现象。闪燃是液体燃烧独有的一种燃烧现象，但是少数可燃固体在燃烧时也有这种现象。

(4) 爆炸是指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。爆炸按其燃烧速度传播的快慢分为爆燃与爆轰两种：燃烧以亚音速传播的爆炸为爆

燃；燃烧以冲击波为特征，以超音速传播的爆炸为爆轰。

要点 3：燃烧的本质

链锁反应理论认为燃烧是一种游离基的链锁反应，是目前被广泛承认并且比较成熟的一种解释气相燃烧机理的燃烧理论。链锁反应又称为链式反应，它是由一个单独分子游离基的变化而引起一连串分子变化的化学反应。游离基也叫做自由基，是化合物或单质分子在外界的影响下分裂而成的含有不成对价电子的原子或原子团，是一种高度活泼的化学基团，一旦生成即诱发其他分子一个接一个地快速分解，生成大量新的游离基，从而形成了更快、更大的蔓延、扩张、循环传递的链锁反应过程，直至不再产生新的游离基。但是若在燃烧过程中介入抑制剂抑制游离基的产生，链锁反应就会中断，燃烧也会停止。

链锁反应包括链引发、链传递、链终止三个阶段。自由基如果和器壁碰撞形成稳定分子，或两个自由基与第三个惰性分子相撞后失去能量而变成稳定分子，则链锁反应终止。链锁反应还按链传递的特点不同，分为单链反应与支链反应两种。

链锁反应的终止，除器壁销毁和气相销毁外，还可向反应中加入抑制剂。如现代灭火剂中的干粉和卤代烷等，均属于抑制型的化学灭火剂。

综上所述，可燃物质的多数燃烧反应不是直接发生的，而是经过一系列复杂的中间阶段，不是氧化整个分子，而是氧化链锁反应中的自由基、游离基的链锁反应，将燃烧的氧化还原反应展开，进一步揭示了有焰燃烧氧化还原反应的过程。从链锁反应的三个阶段可知：链引发要依靠外界提供能量；链传递能够在瞬间自动地连续不断地进行；链终止则只要销毁一个游离基，就等于切断了一个链，就可以终止链的传递。

要点 4：燃烧的要素

燃烧的要素是指制约燃烧发生和发展变化的内部因素。从燃烧的本质可知，制约燃烧发生和发展变化的内部因素包括两个。

1. 可燃物

通常所说的可燃物，是指在标准状态下的空气中可以燃烧的物质。如木材、棉花、酒精、汽油、甲烷、氢气等都是可燃物。

可燃物大部分为有机物，少部分为无机物。有机物大部分均含有 C、H、O 等元素，有的还含有少量的 S、P、N 等。可燃物在燃烧反应中均为还原剂，是不可缺少的一个要素，是燃烧得以产生的内因，没有可燃物的燃烧，燃烧也无从谈起。

2. 氧化剂

氧化剂指处于高氧化态，具有强氧化性，与可燃物质相结合能够引发燃烧的物质。它是燃烧得以发生的必需的要素，否则燃烧就不能发生。氧化剂的种类较多，按其状态可分为如下类型：

(1) 气体，如氧气、氯气、氟气等，均为气体氧化剂，都是能够与可燃物发生剧烈氧化还原反应的物质。

(2) 液体或固体化合物，包括硝酸盐类如硝酸钾、硝酸锂等，氯的含氧酸及其盐类如高氯酸、氯酸钾等，高锰酸盐类如高锰酸钾、高锰酸钠等，过氧化物类如过氧化钠、过氧化钾等。

要点 5：燃烧的必要条件

物质燃烧过程的发生和发展，必须具备以下三个必要条件，即：可燃物、氧化剂和温度（引火源）。只有这三个条件同时具备，才可能发生燃烧现象，无论哪一个条件不满足，燃烧都不能发生。但是，并不是上述三个条件同时存在，就一定会发生燃烧现象，还必须

这三个因素相互作用才能发生燃烧。

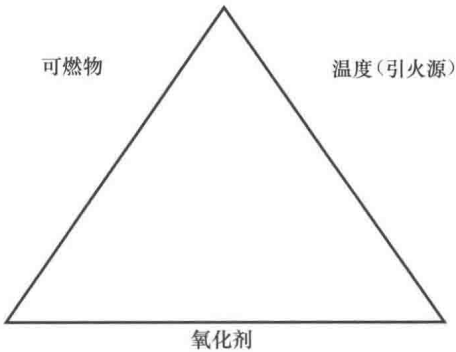


图 1-1 燃烧三角形

用燃烧三角形（图 1-1）来表示无焰燃烧的基本条件是非常确切的，但是进一步研究表明，对有焰燃烧，由于过程中存在未受抑制的游离基（自由基）作中间体，因而燃烧三角形需要增加一个坐标，形成四面体（图 1-2）。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扩展，所以有焰燃烧的发生需要四个必要条件，即：可燃物、氧化剂、温度（引火源）和未受抑制的链式反应。

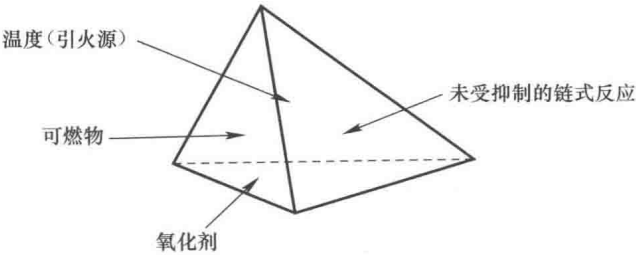


图 1-2 燃烧四面体

1. 可燃物

凡是能与空气中的氧或其他氧化剂发生燃烧化学反应的物质称为可燃物。可燃物按其物理状态分为气体可燃物、液体可燃物和固体可燃物三种类别。可燃烧物质大多是含碳和氢的化合物，某些金属如钙、镁、铝等在某些条件下也可以燃烧，还有许多物质如肼、臭氧等在高温下可以通过自己的分解而放出光和热。

2. 氧化剂

支持和帮助可燃物燃烧的物质，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空气中游离的氧，另外如氟、氯等也可以作为燃烧反应的氧化剂。

3. 温度（引火源）

凡是能够引起物质燃烧的点燃能源，统称为引火源。在一定情况下，各种不同可燃物发生燃烧，都有本身固定的最小点火能量要求，只有达到一定能量才能引起燃烧。常见的引火源有以下几种：

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

(2) 电弧、电火花：电弧、电火花指的是电气设备、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、人体衣物静电打火以及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够引燃任何可燃物。

(4) 高温：高温指的是高温加热、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：自燃引火源指的是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，如钾、钠等金属遇水着火；白磷、烷基铝在空气中会自行起火；易燃、可燃物质与氧化剂及过氧化物接触起火等。

4. 链式反应

有焰燃烧都存在链式反应。当某种可燃物受热，它不仅会汽化，而且该可燃物的分子还会发生热裂解作用从而产生自由基。自由基是一种高度活泼的化学形态，能与其他的自由基和分子反应，而使燃烧持续进行下去，这就是燃烧的链式反应。

要点 6：燃烧的充分条件

燃烧的充分条件有以下四方面：

1. 一定的可燃物浓度

可燃气体或蒸气只有达到一定有浓度，才会发生燃烧或爆炸。

2. 一定的氧气含量

可燃物发生燃烧需要有一个最低氧含量要求，低于这一浓度，燃烧就不会发生。

3. 一定的点火能量

不管何种形式的引火源，都必须达到一定的强度才能引起燃烧反应。

引火源的强度取决于可燃物质的最小点火能量即引燃温度，低于这一能量，燃烧就不会发生。

4. 相互作用

燃烧不仅需具备必要和充分条件，而且还必须使燃烧条件相互结合、相互作用，燃烧才会发生或持续。

要点 7：影响燃烧的因素

可燃物能否发生燃烧，除了必须满足上述两个必要条件之外，还受如下因素的影响。

1. 温度

温度升高会使可燃物与氧化剂分子之间的碰撞几率增加，反应速度变快，燃烧范围变宽。

2. 压力

由化学动力学可知，反应物的压力增加，反应速度就加快。这是因为压力增加相反的

会使反应物的浓度增大，单位体积中的分子就更为密集，所以单位时间内分子碰撞总数就会增大，这就导致了反应速度的加快。如果是可燃物与氧化剂的燃烧反应，则可使可燃物的爆炸上限升高，燃烧范围变宽，引燃温度与闪点降低。如煤油的自燃点，在 0.1MPa 下为 460℃，0.5MPa 下为 330℃，1MPa 下为 250℃，1.5MPa 下为 220℃，2.0MPa 下为 210℃，2.5MPa 下为 200℃。但如果将压力降低，气态可燃物的爆炸浓度范围会随之变窄，当压力降到一定值时，由于分子之间间距增大，碰撞几率减少，最终使燃烧的火焰无法传播。这时爆炸上限与下限合为一点，压力再下降，可燃气体和蒸汽便不会再燃烧。我们称这一压力为临界压力。

3. 惰性介质

气体混合物中惰性介质的增加可使得燃烧范围变小，当增加至一定值时燃烧便不会发生。其特点为，对爆炸上限的影响较之对爆炸下限的影响更为明显。这是因为气体混合物中惰性介质的增加，表示氧的浓度相对降低，而爆炸上限时的氧浓度本来就很小，故惰性介质的浓度稍微增加一点，就会使爆炸上限明显下降。

4. 容器的尺寸和材质

容器或管子的口径对燃烧的影响为，直径变小，则燃烧范围变窄，到一定程度时火焰即熄灭而无法通过，此间距叫临界直径。如二硫化碳的自燃点，在 2.5cm 的直径内是 202℃，在 1.0cm 的直径内是 238℃，在 0.5cm 的直径内是 271℃。这是由于管道尺寸越小，因此单位体积火焰所对应的管壁冷表面面积的热损失也就越多。如各种阻火器就是依据此原理制造的。

另外，容器的材质不同对燃烧的影响也不一样。如乙醚的自燃点，在铁管中是 533℃，在石英管中是 549℃，在玻璃烧瓶中是 188℃，在钢杯中是 193℃。其原因是，容器的材质不同，其器壁对可燃物的催化作用不同，导热性与透光性也不同。导热性好的容器容易散热，透光性差的容器不易接受光能，因此，容器的催化作用越强、导热性越差、透光性越好，其引燃温度越低，燃烧范围也就越宽。

5. 引燃源的温度、能量和热表面面积

引燃源的温度、能量以及热表面面积的大小，与可燃物接触时间的长短等，均会对燃烧条件有很大影响。一般来说，引燃源的温度、能量越高，和可燃物接触的面积越大、时间越长，则引燃源释放给可燃物的能量也就越多，可燃物的燃烧范围就越宽，也就越容易被引燃；反之亦然。不同引燃强度的电火花对几种烷烃的影响见表 1-1。

不同引燃强度的电火花对几种烷烃燃烧浓度的影响 表 1-1

烷烃名称	电压（V）	燃烧深度范围（%）		
		I=1A	I=2A	I=3A
甲烷	100	不爆	5.9~13.6	5.85~14.4
乙烷	100	不爆	3.5~10.1	3.4~10.6
丙烷	100	3.6~4.5	2.8~7.6	2.8~7.7
丁烷	100	不爆	2.0~5.7	2.0~5.85
戊烷	100	不爆	1.3~4.4	1.3~4.6