



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 燃烧与爆炸

主编 胡双启

COMBUSTION AND EXPLOSION

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 燃烧与爆炸

主 编 胡双启 ●

副主编 尉存娟



COMBUSTION AND EXPLOSION

## 内 容 提 要

本书从安全技术角度出发,系统地介绍了各类燃爆危险性物质燃烧和爆炸的基本理论。主要内容包 括:可燃性混合气体、分解爆炸性气体、液化气体的燃烧与爆炸,可燃液体和固体的燃烧,可燃粉尘的燃烧与爆炸,爆炸性物质的燃烧与爆炸,自燃性物质的热自燃与热爆炸,忌水性物质和混合危险性物质的燃烧与爆炸等。同时,还就有关火灾和爆炸的安全防范技术做了较为详尽的介绍。

本书可作为高等院校及高职高专院校安全工程专业的教学用书或教学参考书,也可供国防、化工、煤炭及其他各个行业的安全技术人员和管理干部参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

燃烧与爆炸 / 胡双启主编. —北京:北京理工大学出版社, 2015. 5

ISBN 978 - 7 - 5682 - 0553 - 5

I. ①燃… II. ①胡… III. ①燃烧理论 - 研究②爆炸 - 理论研究 IV. ①O643. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 088593 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
(010) 82562903 (教材售后服务热线)  
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 14. 25

字 数 / 332 千字

版 次 / 2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

近些年来，随着国防、石油、化工等产业的飞速发展，人们的生活水平和工作条件得到了显著改善，但由于一些危险物质在生产、使用、储存过程中存在诸多不安全因素，导致燃烧、爆炸事故层出不穷，造成了巨大的人员伤亡和财产损失。本书主要从常见危险物质的燃烧爆炸原理出发，通过介绍各种危险物质的特性，有针对性地给出了相关的防范措施。

全书共分为8章。第1章燃烧与爆炸概论，主要介绍了燃烧与爆炸现象、本质及其三要素，并详述了燃爆危险物质的种类及点火源的种类。第2章气体燃烧与爆炸，概述了可燃性混合气体、分解性气体及蒸气云和液化气的燃烧爆炸过程。第3章可燃液体和可燃固体的燃烧，分别介绍了可燃液体和可燃固体的燃烧机理、相关特性及其与火灾的关系。第4章粉尘爆炸与粉尘火灾，详细介绍了粉尘爆炸的机理及其影响因素，论述了粉尘爆炸的相关特性及危险性评价，并对粉尘火灾的防止和监测进行了说明。第5章爆炸性物质的燃烧与爆炸，简单介绍了几十年来爆炸性物质事故灾害情况，对爆炸性物质进行了分类，详细介绍了炸药的种类、化学变化的基本形式及三种形式之间的转换，系统阐述了炸药的爆轰理论。第6章可燃物的热自燃与热爆炸，主要论述了热爆炸的稳定状态理论和非稳定状态理论。第7章其他类型的燃烧与爆炸，分别介绍了氧化性物质和遇水燃烧物质的种类和特性，并对混合危险性的物质和反应失控的概念、种类、原因等进行了论述。第8章火灾与爆炸的安全防范，重点介绍了灭火技术，针对灭火的基本原理、灭火剂的类型及其工作原理、灭火器材的结构与使用方法、自动灭火装置、阻火装置等一一进行了论述，阐述了防爆、抑爆技术，讲解了建筑防火防爆的相关措施、危险物品的储存安全和火灾爆炸监测的相关知识。

本书由中北大学胡双启教授组织并统稿，其他参与编写的人员还有尉存娟、胡立双、解朝变、张清爽等。其中第1~4章由尉存娟编写，第5章和第7章由胡立双编写，第6章由解朝变编写，第8章由张清爽编写。

本书涉及力学、化学、安全学等多个学科领域，既有综合性，也有针对性。由于编者水平有限，书中可能出现缺点和错误之处，敬请同仁和读者予以批评指正。

# 目 录

## CONTENTS

---

---

---

<b>第 1 章 燃烧与爆炸概论</b> .....	001
1.1 燃烧和爆炸现象 .....	001
1.2 燃烧三要素和爆炸三要素 .....	002
1.3 燃烧和爆炸的种类 .....	003
1.3.1 燃烧 .....	003
1.3.2 爆炸 .....	006
1.4 燃爆危险性物质的种类 .....	008
1.5 点火源的种类 .....	009
复习题 .....	011
<b>第 2 章 气体燃烧与爆炸</b> .....	013
2.1 可燃性混合气体的燃烧与爆炸 .....	013
2.1.1 气体的燃烧形式 .....	013
2.1.2 理论氧含量与理论混合比 .....	014
2.1.3 爆炸极限 .....	015
2.1.4 可燃性混合气体的发火条件 .....	035
2.1.5 气体爆炸效应 .....	044
2.1.6 三成分系统混合气体爆炸范围 .....	053
2.2 气体分解爆炸 .....	057
2.2.1 乙炔的分解爆炸 .....	057
2.2.2 乙烯的分解爆炸 .....	058
2.2.3 氧化乙烯的分解爆炸 .....	058
2.2.4 氮氧化合物的分解爆炸 .....	059
2.3 蒸气云爆炸及液化气罐的爆炸 .....	059

2.3.1 蒸气云爆炸 .....	059
2.3.2 液化气罐的爆炸 .....	061
复习题 .....	065
<b>第3章 可燃液体和可燃固体的燃烧 .....</b>	<b>066</b>
3.1 液体的燃烧 .....	066
3.1.1 燃烧机理 .....	066
3.1.2 闪点 .....	069
3.1.3 燃点和自燃点 .....	070
3.1.4 液体理化性质与火灾的关系 .....	070
3.1.5 池火灾 .....	071
3.2 固体的燃烧 .....	071
3.2.1 燃烧原理 .....	071
3.2.2 自燃温度 .....	072
3.2.3 易燃固体的分类 .....	073
复习题 .....	073
<b>第4章 粉尘爆炸与粉尘火灾 .....</b>	<b>074</b>
4.1 粉尘爆炸概述 .....	074
4.2 粉尘爆炸机理 .....	079
4.3 影响粉尘爆炸的因素 .....	080
4.4 粉尘的爆炸特性 .....	082
4.4.1 爆炸极限 .....	082
4.4.2 最小发火能 .....	083
4.4.3 发火温度 .....	083
4.4.4 爆炸压力与压力上升速度 .....	084
4.5 粉尘爆炸危险性的评价 .....	086
4.5.1 概述 .....	086
4.5.2 粉尘爆炸可能性的评价 .....	086
4.5.3 粉尘爆炸感度的评价 .....	087
4.5.4 爆炸威力的评价 .....	088
4.5.5 粉尘处理工程的危险性评价 .....	089
4.6 粉尘火灾 .....	090
4.6.1 发火条件 .....	090
4.6.2 粉尘火灾监测 .....	091
复习题 .....	091

<b>第 5 章 爆炸性物质的燃烧与爆炸</b> .....	092
5.1 爆炸品事故灾害情况 .....	092
5.2 爆炸性物质的种类 .....	094
5.3 炸药的有关知识 .....	095
5.3.1 炸药的分类 .....	095
5.3.2 炸药化学变化的基本形式 .....	096
5.3.3 炸药的热分解转爆炸 .....	099
5.3.4 炸药的燃烧转爆轰 .....	100
5.3.5 炸药的感度 .....	103
5.3.6 炸药的爆炸作用 .....	112
5.3.7 炸药的殉爆 .....	114
5.4 炸药的爆轰理论 .....	116
5.4.1 冲击波理论基础 .....	116
5.4.2 爆轰的流体力学理论 .....	120
5.4.3 凝聚炸药的爆轰过程 .....	123
复习题.....	124
<b>第 6 章 自燃物的热自燃与热爆炸</b> .....	125
6.1 概述 .....	125
6.2 热爆炸的稳定状态理论 .....	126
6.2.1 均温系统热爆炸稳定理论 .....	126
6.2.2 非均温系统热爆炸稳定理论 .....	133
6.3 热爆炸的非稳定状态理论 .....	147
6.3.1 均温系统热爆炸非稳定理论 .....	147
6.3.2 非均温系统热爆炸非稳定理论 .....	155
复习题.....	156
<b>第 7 章 其他类型的燃烧与爆炸</b> .....	157
7.1 氧化性物质 .....	157
7.1.1 氧化性物质的种类 .....	157
7.1.2 氧化性物质的特性 .....	159
7.2 遇水燃烧物质 .....	161
7.2.1 遇水燃烧物质的分类 .....	161
7.2.2 遇水燃烧物质的特性 .....	161
7.3 混合危险性物质 .....	162
7.4 反应失控的危险性 .....	163

7.4.1	反应失控的概念	163
7.4.2	反应失控的种类	163
7.4.3	反应失控的原因	164
	复习题	166
<b>第8章</b>	<b>火灾与爆炸的安全防范</b>	<b>167</b>
8.1	灭火技术	167
8.1.1	灭火的基本原理	167
8.1.2	灭火剂类型及其作用原理	168
8.1.3	常用灭火器材的结构与使用方法	173
8.1.4	自动灭火装置	176
8.1.5	阻火装置	180
8.2	防爆技术	186
8.2.1	爆炸泄放装置	186
8.2.2	爆炸抑制系统	193
8.3	建筑防火防爆措施	195
8.3.1	生产过程和场所按火灾爆炸危险性分类	195
8.3.2	生产厂房的耐火等级	197
8.3.3	生产厂房的防火间距及安全距离	199
8.3.4	建筑结构防火防爆措施	203
8.4	危险物品的储存安全	209
8.5	火灾和爆炸监测	214
8.5.1	火灾监测仪表	214
8.5.2	爆炸监测仪表	217
	复习题	217
	参考文献	218



# 第 1 章

## 燃烧与爆炸概论

### 1.1 燃烧和爆炸现象

燃烧是在自然界中经常发生的一种化学变化过程。广义地讲，燃烧现象是可燃物质与氧发生的激烈氧化反应。反应伴随着发光效应和放热效应。

燃烧现象按其发生瞬间的特点，分为着火、自燃、闪燃三种类型。

着火：可燃物质受到外界火源的直接作用而开始的持续燃烧现象叫着火。着火是日常生活中最常见的燃烧现象，例如，用火柴点燃柴草，就会引起着火。

自燃：可燃物质虽没有受到外界火源的直接作用，但当受热达到一定温度，或由于物质内部的物理（辐射、吸附）、化学（分解、化合等）或生物（细菌、腐败作用等）反应过程所释放的热量积聚起来达到一定的温度，发生的自行燃烧的现象叫自燃。例如，黄磷暴露于空气中时，即使在室温下，它与氧发生氧化反应放出的热量累积起来也足以使其达到自行燃烧的温度，故黄磷在空气中很容易发生自燃。

闪燃：这是液体可燃物的特征之一。当火焰或炽热物体接近一定温度下的易燃或可燃液体时，其液面上的蒸气与空气的混合物会产生一闪即灭的燃烧，这种燃烧现象叫闪燃。

此外，对于火炸药或爆炸性气体混合物的燃烧，由于其燃速很快，亦称为爆燃。

爆炸是在自然界中经常发生的一种物理变化过程。广义地讲，爆炸是物质非常急剧的物理、化学变化。在变化过程中，物质所含能量快速转化，变成物质本身或变化产物或周围介质的压缩能或运动能。爆炸的一个显著特征是爆炸点周围介质发生剧烈的压力突跃，并且由于介质受振动而发生一定的音响效应。

爆炸现象通常可分为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。

物理爆炸：由物质发生剧烈的物理变化所引起的爆炸现象称为物理爆炸。最常见的暖水瓶爆炸和蒸汽锅炉的爆炸、闪电、地震等都属于此类爆炸。

化学爆炸：由物质化学结构发生剧烈变化而引起的爆炸现象称为化学爆炸。化学爆炸的例子很多，如矿井瓦斯爆炸、煤矿粉尘爆炸及炸药爆炸。

核爆炸：由原子核的裂变或聚变所释放出来的能量引起的爆炸现象称为核爆炸，如原子弹爆炸。

一般，在工厂中发生的爆炸多是物质的化学爆炸。本书将重点研究物质的化学爆炸，因此，后面所提到的“爆炸”，如不加说明，都是指化学爆炸。

## 1.2 燃烧三要素和爆炸三要素

发生燃烧现象必须具备三个条件：要有可燃物质，要有氧或氧化剂，要有点火源。

没有可燃物质，燃烧就失去了基础；没有氧或氧化剂，就构不成燃烧反应；但是有了可燃物质和氧或氧化剂，若没有点火源把物质加热到燃点以上，燃烧反应就不能开始。所以这三个条件是燃烧现象必备的三要素，三者缺一不可，且此三者必须同时存在，互相接触，相互作用，才可以产生燃烧。

一切防火和灭火措施，都是根据物质的特性及其所处的具体环境，来防止其燃烧三要素同时存在、互相结合、互相作用。例如，降低工房空气中可燃性气体或粉尘浓度，就是控制可燃物；把黄磷保存于水中、一氧化碳用水封储存等，就是为了隔绝空气；有火灾爆炸危险的工房严禁烟火，就是为了消除点火源。

仔细观察炸药包用雷管引爆的过程，可以看到瞬时产生一团火光，随即烟雾弥漫，然后听到一声巨响，爆炸点附近形成爆炸风（冲击波），建筑物或受到损坏，或受到强烈震动。一团火光表明爆炸过程是放热的，热量聚积形成高温而发光；爆炸瞬间完成，表明爆炸过程速度极快；烟雾表明炸药爆炸过程中有大量气体产生，而气体迅速膨胀则是产生声响、冲击波和建筑物受到破坏或发生震动的根本原因。

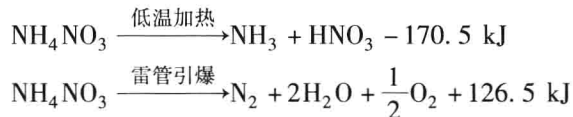
综上所述，化学爆炸过程有三个基本特征：反应的快速性；反应的放热性；生成气体产物。

### 1. 反应的快速性

反应的快速性是爆炸反应区别于燃烧反应最重要的标志。例如每千克煤燃烧可放热 9 200 kJ，而每千克硝化甘油爆炸可放热 6 300 kJ，但前者反应所需的时间为数分钟，而后者则可以在几微秒的时间内完成。虽然这两个反应都会放出大量的热量，生成大量气体，但前者由于反应速度慢，气体产物可以扩散开而不致形成高压，也就不能形成爆炸。

### 2. 反应的放热性

反应的放热性是发生爆炸反应的又一必要条件。如果反应不具有放热性，则前一层物质爆炸后，不能激发下一层物质的爆炸，这样反应便不能连锁地进行下去。另外，所放热量也是做功的重要能量，不放热或放热很少的反应不能提供做功的能量，因此不具有爆炸性质。例如：



同是硝酸铵的分解，但前者不具有爆炸性，后者才有爆炸性。

### 3. 生成气体产物

爆炸对周边介质做功是通过高温高压的气体迅速膨胀来实现的。因此，在反应过程中，生成大量气体也是发生爆炸的一个重要因素。例如铝热反应：



此反应的热效应很强，足以将产物加热到 3 000 ℃ 的高温，而且反应也相当快，但由于不形成气体产物，没有做功的介质，也就不可能将热量转变为功，因此，不具有爆炸性。

综上所述,快速性、放热性和生成气体产物是决定化学爆炸过程的三要素。放热为爆炸变化提供了能量,快速性则是有限的能量集中在小容积内以产生大功率的必要条件,反应生成的气体则是能量转化的工作介质,它们都与爆炸物的做功能力有密切的关系。

## 1.3 燃烧和爆炸的种类

### 1.3.1 燃烧

燃烧按可燃物质的物态不同可分为气体燃烧、液体燃烧和固体燃烧三种。

可燃性气体、液体或固体在空气中燃烧时,其燃烧形式一般有四种,即扩散燃烧、蒸发燃烧、分解燃烧和表面燃烧。

**扩散燃烧:**如氢、乙炔等可燃性气体从管口等处流向空气时的燃烧,就是由于可燃性气体分子和空气分子互相扩散、混合,在浓度达到可燃极限范围时,形成的火焰使燃烧继续下去的现象。

**蒸发燃烧:**如酒精、乙醚等易燃液体的燃烧,就是由于液体蒸发产生的蒸气被点燃起火后,形成的火焰温度进一步加热液体表面,从而促进它的蒸发,使燃烧继续下去的现象。

**分解燃烧:**很多固体或非挥发性液体,它们的燃烧是由热分解产生可燃性气体来实现的。如木材和煤,大多是由于分解产生可燃性气体再行燃烧的。

**表面燃烧:**当可燃固体(如木材)燃烧到最后,分解不出可燃性气体时,就会剩下炭和灰,此时没有可见火焰,燃烧转为表面燃烧。金属的燃烧也是一种表面燃烧,无气化过程,燃烧温度较高。

此外,根据燃烧反应的进行程度或燃烧产物还可分为完全燃烧和不完全燃烧。

从安全角度来讲,燃烧所带来的就是火灾。无论在城市、乡村,还是工厂,火灾都是给人民生命、财产带来重大损失的主要灾害之一。据统计,在日本每1000个工厂中,每年发生的具有一定规模的火灾数为:化学工业10.4次,制材、木制品工业3.1次,铸造、冶金企业2.8次,食品工业2.2次,机械、工具工业1.8次,纺织工业1.4次,印刷工业1.0次。从中可以看出,发生火灾事故的企业是很广泛的,其中化学工业发生火灾次数最多。

如果按可燃物及助燃物的种类分类,则火灾有如下六类,这六个种类各有其不同的灭火方法。

**气体火灾:**它是从管道或其他设备中泄漏出来的可燃性气体,如煤气、氢气、乙炔气、液化石油气等,被火源点燃而发生的火灾。如果火焰小,可用干粉灭火剂喷射等方法把火扑灭。但是灭火后,未经燃烧的可燃性气体仍可能向室内释放出来,在很多情况下,这些气体和空气形成混合物,因空气中有大量的氧,有发生爆炸的危险。故对气体火灾来说,最好的方法是立即关闭管道的阀门,防止气体继续泄漏,同时向附近的可燃物喷水,使其冷却并使气体扩散开,防止火灾扩大。

**油品火灾:**如原油、煤油、汽油、苯、酒精等可燃液体所发生的火灾。这种火灾是由于储罐或容器的泄漏引起的,或者在废弃的液体上发生的,但也有在储罐内部起火的。对这种火灾的灭火可采用撒干粉、喷二氧化碳或使用泡沫灭火剂;对闪点在常温以上的可燃液体,可采用冷却水把它的温度降低到闪点以下的办法来进行灭火。

可燃物火灾：如建筑物、家具、木材、纸张、纤维、纺织物等固体可燃物的火灾，最好采用喷射大量水的方法进行灭火。

电器火灾：电器配线、电动机、变压器等电气设备使用的绝缘材料发生的火灾。如果在通电情况下，用水或泡沫灭火剂进行灭火，则有可能发生触电事故，此时要采用干粉、二氧化碳或氯溴甲烷等灭火剂进行灭火。另外，最好不使用四氯化碳灭火剂，因为四氯化碳气体本身有毒，在灭火时，如果遇到高温金属，则会产生光气，就有导致救火者中毒的危险。

金属火灾：镁、铝、钛、锆、铀等金属粉末或细金属丝，在空气中具有易燃性质。铁或不锈钢的管道或阀门，当其中有可燃物质时，若高速通过高压氧气或氯气，则有可能着火，使金属管道和阀门在氧气或氯气中燃烧，致使内部气体喷出，如果在金属火焰上喷水，则有发生爆炸的危险，所以要采用干燥的砂子和蛭石等进行灭火。另外，大量的液态钠，将来可能在原子能发电站高速增殖炉上作为载热体使用，因此，对金属钠火灾的防火灭火措施，将成为重要的研究课题。

空气中含氧量超过正常值时导致的火灾：当空气中氧气浓度超过正常数值时，会急剧增加可燃物的燃烧速度，从而增大单位时间内所释放的燃烧热量，甚至引起空气中的非燃烧物质的燃烧。例如，棉布在水平方向燃烧时，如果空气中的氧气浓度达到30%，其燃烧速度比正常情况下（空气含氧21%）快两倍；又如，在船台上进行组合船体作业时，由于是在换气量较少的作业场所进行气割工作，在氧气泄漏的情况下，工作服被火点着，导致工作者全身烧伤的事情屡见不鲜。还有，在空气液化间的地坑内流进液体氧，产生冷氧气，而在坑内作业时产生的冲击火花，使工作者衣服着火以致工作者全身烧伤。又如，在高压氧气治疗室的患者，由于自备火炉取暖或使用火烛，烧着了衣服或引起爆炸事故，因而致死的例子也是有的。

对于各类火灾，必须周详地考虑各种预防、限制、灭火和疏散等措施。各种措施现分述如下：

### 1. 预防措施

这是在火灾发生之前，预先防止火源点燃的措施，是一种最基本的防火措施。这种措施是把有起火可能性的物质以及具有点火能量的点火源，有效、恰当地进行管理。除此之外，别无他法。

所以，预防火灾就是要把危险性物质和点火源恰当地隔离开，使它们无法形成起火条件。因此，对于火灾的发生条件，应该具备足够的知识，首先把重点放在火灾的预防上。

### 2. 限制措施

一旦发生了火灾，就必须迅速、果断地采取防止火焰蔓延的限制措施。在限制措施中，具体应考虑以下一些做法。

防止可燃物的堆积：火灾扩大多数是由于在离起火点较近的地方堆积有可燃物而使火焰蔓延开来。在有火灾隐患的工作场所中，如果大量堆积不必要的原料、半成品、成品等，则是十分危险的。如果要储存这些东西，必须设置安全的仓库和堆场。

使建筑物、设备成为非燃烧和难燃烧体：建筑物应当采用非燃烧或难燃烧体的结构，里面的家具、器具等设备，也应尽量采用难燃烧材料制成。另外，特别要注意，一些材料或制品虽然具有难燃性，但在火灾时能产生大量烟和有害气体，也应避免使用。

设置防火墙、防火门、防油堤、防液堤等：在建筑物内要设置防火墙，或在走廊内设置防火门等；在可燃液体罐周围设置防油堤；在液化气罐周围设置防液堤，以免储罐泄漏时液

体流散得很远。

留出空地：在危险物质储存场所，或在进行危险操作的建筑物周围，要留出一定的空地，或者保持一定的距离，以免火灾危险波及到其他设施。另外，根据城市规划，有必要在工厂区和住宅区之间设置防护林带，避免公害影响，以保护居民的安全。

将危险物设施埋在地下：汽油罐、液化气罐等设施在防火方面最为安全的做法是采用地下罐的形式。在城市供油站中采用的汽油灌、液化气罐很多都是埋地下的。对于原油罐，近来也采用半地下式的大型油罐。

### 3. 灭火措施

灭火措施分为初期灭火措施和正规灭火措施两个方面。

初期灭火措施：是指刚刚发生火灾时应该采取的应急措施。在初期灭火中，可使用灭火剂，如干粉、二氧化碳、挥发性液体（如氯溴甲烷）、泡沫、酸碱灭火剂等。随着灭火剂性质或结构的不同，适用的火灾场所也不同。根据可燃物质不同，应选择最为适合的灭火剂。几种常用小型灭火器的主要性能、用途和使用方法见表1-1。在初期灭火中，使用砂土、水等是最为有效的方法。作为初期灭火的设施，可在适当的场所中设置自动洒水器、喷雾、泡沫等固定式灭火设备。此外，为及时把握初期灭火的时机，在适当的场所中可安装自动灭火报警装置。

表1-1 几种常用小型灭火器的性能比较

种类	泡沫灭火器	酸碱灭火器	二氧化碳灭火器	四氯化碳灭火器	干粉灭火器	1211 灭火器
规格	10 L 65 ~ 130 L	10 L	2 kg 以下 2 ~ 3 kg 5 ~ 7 kg	2 kg 以下 2 ~ 3 kg 5 ~ 8 kg	8 kg	1 kg
药剂	碳酸氢钠、发泡剂和硫酸铝溶液	碳酸氢钠水溶液和硫酸	压缩成液态的二氧化碳	四氯化碳液体	小苏打或钾盐干粉	二氟一氯一溴甲烷液化气体
用途	适合扑救油类火灾	适合扑救木材、棉花、纸张等火灾，不能扑救电气、油类火灾	适合扑救贵重仪器和设备火灾，不能扑救金属钾、钠、镁、铝等物质的火灾	用于扑救电气火灾，不能扑救金属钾、钠、镁、铝、乙炔、乙烯、二硫化碳等火灾，此外，毒性较大	适合扑救石油、石油产品、油漆、有机溶剂和电气设备等火灾	适合扑救各种油类、天然有机溶剂、天然气、煤气、电气设备、档案资料、贵重物品等引起的火灾
效能	10 L 喷射时间 60 s，射程 8 m；65 L 喷射时间 170 s，射程 13.5 m	喷射时间 50 s，射程 10 m	须接近着火地点，保持 3 m 远	3 kg 喷射时间 30 s，射程 7 m	喷射时间 14 ~ 16 s，射程 4.5 m	
使用方法	倒过来稍加摇动或打开开关，药剂即喷出	倒过来溶液即可喷出	一手拿好喇叭筒对准火源，另一手打开开关即可	打开开关，液体即可喷出	提起圈环，压下手柄，干粉即可喷出	拔掉插销，压下手柄即可喷出

正规灭火：是指企业消防队或城市消防队的灭火活动。当火灾扩大到某种规模以上时，不依靠这些消防力量是不行的。

在进行正规灭火时，消防水源可利用城市上下水、工业上下水、河川水、湖泊和海水等，同时，也应该考虑有单独设置的储水槽、蓄水池等。

在储存或处理大量危险物质的工厂中，当火灾发生时，如果用直接喷射水灭火，有的反而会带来危险，所以，在用消防泵送水进行冷却的同时，有必要用化学消防泵直接进行灭火。

对于大型原油罐或大型油轮等，一旦发生火灾，即使使用最新式的消防手段，也不一定很快把火扑灭。因此，在这种情况下，首要任务就是抢救人员；其次是控制火焰，防止其向别处蔓延，并设法把可燃物转移到安全场所。对正在燃烧的可燃物，只得等待其烧尽后自行熄火，除此之外，采用其他方法很困难。

#### 4. 疏散措施

如果发生火灾，就必须从危险区撤离到安全区。平时就要充分考虑到重大事故发生的可能，事先指定安全疏散区：室内的疏散楼梯，每层都必须有防火门，以防止烟火侵入；室外的疏散楼梯，必须设在火焰从窗户喷出时燃烧不到的地方，如需采取紧急措施时，可设滑梯。在室内或走廊等处，可设置疏散方向指示牌，在九层建筑物内，应设置在夜间停电时能够看清的感应指示灯。

特别值得注意的是，无论对于何种类型的火灾，进行灭火时，都一定要注意灭火方法。除了尽快将火灾扑灭外，还应考虑到灭火后可能带来的意外的后果，否则将会顾此失彼，得不偿失。1986年发生的由于灭火引起的莱茵河污染事故就是沉痛的教训。

此事故的情况是：莱茵河是流过欧洲中西部的一条大河，全长1326 km，发源于阿尔卑斯山脉，经瑞士、法国、联邦德国、荷兰等国流入北海。这条河是将欧洲各国连起来的水上交通要道，流经区域均是各国工业及人口密集区。此外，它还供给饮用水、工业水、农业灌溉水等，是一条具有重要作用的国际河流。1986年11月1日，瑞士巴塞尔市的桑多公司的制品仓库发生了农药及化学制剂的火灾，火灾烧毁仓库6000 m<sup>3</sup>（全烧尽），房屋及存放品共损失1800万瑞士法郎，幸未发生伤亡事故。火灾发生时，出动150名消防队员，全力防火灭火。灭火用了约1000 t水，大量水将仓库中30~40 t含汞杀虫剂等化学药品冲入莱茵河，被污染的水形成红色带子，以每小时3.7 km的流速，从巴塞尔市经法国、联邦德国、荷兰等国流进北海，被污染区域涉及10个国家。其中，离巴塞尔300 km以内的联邦德国和法国受害最为严重，几十万条鳗、鲑等被毒死，不仅影响渔业，而且引起啤酒厂停产、饮用水及农业用水不足等问题。另外，由于在事故之初未预料到其严重性，桑多公司及瑞士政府因迟迟未向邻国通知此非常事故，致使灾害进一步扩大，从而成为被批判的目标，引发国际上一场大的赔偿问题。最后，瑞士政府及桑多公司支付了几亿瑞士法郎的赔偿金额，为火灾本身损失的几十倍，教训极为沉痛。

### 1.3.2 爆炸

爆炸可按其过程分为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸，但在大多数情况下，是按照形成爆炸的物质所具有的物理状态而分为气相爆炸和凝相爆炸。一般来说，凝相指的是液相和固相。因为凝相比气相的密度大 $10^2 \sim 10^3$ 倍，所以凝相爆炸与气相爆炸在状态上常有很大的差别。

气相爆炸包括混合气体爆炸、气体分解爆炸、粉尘爆炸等。凝相爆炸包括混合危险物爆炸、爆炸性化合物爆炸、蒸气爆炸等。

爆炸灾害总的来说可划分为六种。

**混合气体的爆炸：**如果用点火源点燃按一定比例混合的可燃性气体和助燃性气体，就会引起混合气体的爆炸。这种混合物就叫作爆炸性混合气体。形成爆炸性混合气体的浓度极限范围就叫作该气体的爆炸极限浓度。在可燃性气体中，除了氢气、天然气、乙炔、液化石油气之外，还包括汽油、苯、酒精、乙醚等可燃液体的蒸气。在助燃性气体中，除了有空气、氧气之外，还包括有一氧化氮、二氧化氮、氯气、氟等气体。在密闭的容器内发生气体爆炸时，爆炸生成的压力可达最初压力的7~10倍。

在聚乙烯工厂、液化气装置、油轮等场所发生的爆炸事故，大部分都是混合气体的爆炸事故。

**气体分解爆炸：**尽管气体成分单一，但该气体分子分解所产生的热量同样会引起爆炸，这种现象称作气体分解爆炸。如乙炔、环氧乙烷、乙烯、氧化乙烯、丙二烯、甲基乙炔、二氧化氯、联氨、叠氮化氢等，就属于这一类气体。

在乙炔装瓶的工厂中，屡次发生过高压乙炔分解爆炸事故。最近，在聚乙烯工厂中，有过这样的教训，100 MPa以上的高压乙炔发生了分解爆炸以后，泄漏的乙炔在大气中形成了爆炸性混合物，又再次发生了强烈的爆炸。

**粉尘爆炸：**可燃固体的粉尘，或者是可燃液体的雾状飞沫，分散在空气或助燃性气体中且浓度达到某一数值时，类似于爆炸性混合气体，被点火源点着，就会引起粉尘爆炸。粉尘爆炸除了在硫黄粉尘中发生之外，还会在塑料、食品、饲料、煤等粉尘以及在氧化反应中放热较多的金属如镁、铝、钛等粉末中发生。

此类爆炸经常在煤矿的坑道、硫黄粉碎机、食品饲料工厂、合金粉末工厂等场所中发生。另外，液压设备在高压下喷出机械油之后，会使得空气中含有大量油雾状飞沫，因而也有可能引起爆炸。

**混合危险物爆炸：**氧化性物质和还原性物质相混合，在它们混合之后可能立即起火爆炸，也可能在混合物上给予冲击或加热下引起爆炸。另外，有些物质与碱混合再受热也会引起爆炸，如液体氰氢酸、二乙烯酮、顺丁烯二酸酐、三氯乙烯等。

混合危险物引起的爆炸，在制造礼花和炸药过程中可能发生，在工厂里由于管线被腐蚀穿孔、阀门误开动、低温表面凝结、药品从高处掉下来等意外情况下也可能发生。

**爆炸性化合物爆炸：**是炸药在制造、加工、运输和使用过程中发生的爆炸。此外，在化学反应中产生敏感的残留过氧化物时发生的爆炸也属于此类爆炸；在高压或低温条件下液化的1,3-丁二烯吸收二氧化氮时，也能形成爆炸性化合物；等等。

**蒸气爆炸：**水、有机液体或液化气体等处于过热状态时，瞬间成为蒸气，即可呈现爆炸现象。地面的积水中，掉进灼热的碳化钙或熔化的铁水时，也可引起爆炸；或者在罐内的低沸点液体，因为吸收合成热或外部火焰的热而使温度升高，提高了罐内的蒸气压力，当容器裂开时，则残留的过热液体瞬间发生激烈的汽化而引起的爆炸；等等。

爆炸形成的灾害分为两种：一种是由爆炸引起的破坏直接造成的；另一种是爆炸之后引起的火灾造成的。对于后者，必须采用如前所述的防火措施，但是重点要放在预防措施和限制措施上。

**爆炸灾害的预防措施：**对于火灾，有初期灭火的方法，但对于爆炸来说，因为在瞬间完成整个爆炸过程，所以应对爆炸灾害的首要措施应该着眼于预防。为此，必须充分考虑可能引起爆炸的危险性物质和点火源之间的关系，使其不产生爆炸。尤其重要的是，按生产流程图认真检查所有导致爆炸的可能性。在整个系统范围内，比如查看温度、压力、组分、杂质、流速、操作阀门、计量、净化、废物排放、修理和其他各种因素时，如果能够事先发现产生爆炸的可能性，及时采取措施，爆炸一般是可以预防的。因此，在工业建设中，有必要从规划设计阶段就开始考虑安全方面的问题，不但要研究单纯爆炸灾害的预防问题，还要综合研究由于泄漏有害物质而引起的中毒、职业病、废物公害以及生产中工伤事故等问题。

**爆炸灾害的限制措施：**所谓限制措施，就是指在预料之外发生了爆炸，为减轻爆炸灾害，所采取的各项措施。限制措施之一就是设置安全装置。设置安全装置的目的一般在于当储罐、反应罐、粉碎机、筛分器、锅炉、受压容器，高压气体容器等设备内部压力或温度超过其限定的压力和温度时，触发相应动作，把内部压力向外释放，避免容器、设备等被破坏。在安全装置中，依靠压力动作和温度动作两种方式，但不管哪一种，都各有其优点和缺点。要注意的问题是，在气体爆炸、爆炸性化合物爆炸时，急剧升高的压力，使安全装置有时不能及时有效地动作。

另外，在激烈喷出高压气体或液化气时，紧急关闭阀门是一种有效的限制措施。此外，在有爆炸危险的设备周围，应设置防爆墙；对于开闭阀门和监视仪表，可在墙外进行，并且在周围要留有适当的空地。为避免爆炸后发生火灾，在有爆炸危险的工作场所，要避免堆积可燃物质。

爆炸是工业生产中造成重大损失的主要灾害之一，爆炸灾害不像火灾，在很多情况下，根本没有初期灭火和疏散等机会，因此伤亡较大；爆炸过后往往带来工厂火灾，因此，其损失往往很大。

爆炸灾害所发生的领域也是很广泛的，据统计，化学工业占 32.4%，机械工业占 23.5%，金属工业占 17.7%，冶炼工业占 13.9%，其他工业占 12.5%。由此可见，在工业生产中，如何防止由火灾或爆炸所带来的大量人员伤亡和物资损失，是安全技术人员和管理人员的重要研究课题。

以上概述了火灾和爆炸灾害的种类及其防范措施。一般地说，火灾和爆炸灾害是与各种危险物质和点火源紧密联系在一起，所以要研究比较完整的防灾措施，就必须具备与这些危险物质和点火源相关的知识。

## 1.4 燃爆危险性物质的种类

一般地说，凡是能够引起火灾或爆炸的物质就叫燃爆危险物质。燃爆危险物质根据其化学性质，归纳起来分为八类。

**可燃性气体或蒸气：**在这一类中，有可燃性气体，如氢气、天然气、乙烯、乙炔、城市煤气等；可燃液化气，如液化石油气、液氨等；可燃液体的蒸气，如乙醚、酒精、苯等的蒸气。

**可燃液体：**是指有可燃性而在常温下为液体的物质，如汽油、煤油、酒精等。



可燃固体：纸、布、丝、棉等纤维制品及其碎片，木材、煤、沥青、石蜡、硫黄、树脂、柏油、重油、油漆、火柴等一般可燃物，木质建筑物、家具、涂漆物等均属于这一类。

可燃粉尘：前面所说的可燃固体，以粉状或雾状分散在空气中时，这种空气有可能被点燃，发生粉尘爆炸。如空气中分散的煤粉、硫黄粉、木粉、合成树脂粉、铝粉、镁粉、重油雾滴等，都属于爆炸性粉尘。

爆炸性物质：区别于前面所述的爆炸性混合气体和爆炸性粉尘，具有爆炸性的固体或凝结状态的液体化合物统称为爆炸性物质。在这类物质中，最典型的代表是炸药，此外，还有各种有机过氧化物，硝化纤维制品、硝酸铵、具有特定官能基团（如硝基  $\text{NO}_2$ 、硝酸  $\text{N}-\text{NO}_2$ 、硝酸酯  $\text{ONO}_2$ ）的化合物、氧化剂和可燃剂组成的化合物也都属于爆炸性物质。

自燃物质：这类物质在无任何外界火源的直接作用下，依靠自身发热，经过热量的积累逐渐达到燃点而引起燃烧。至于自行发热的原因，应考虑到分解热、氧化热、吸收热、聚合热、发酵热等。

在自行分解中，积蓄分解热能引起自燃的物质有：硝化棉、赛璐珞、硝化甘油等硝酸酯制品以及有机过氧化物制品；靠氧化热的积累而自燃的物质中有含不饱和油的破布、纸屑、脱脂酒槽、锅炉布等，油脂物、煤粉、橡胶粉、活性炭、硫化矿石、金属粉等；干草等物质是靠发酵产生热量的，当分解炭化后，干草可被积蓄的热量点燃。

此外，为方便起见，黄磷、还原铁、还原镍等与空气直接接触就能着火的低燃点物质，也叫作自燃物质。

忌水性物质：是指吸收空气中的潮气或接触水分时有着火危险或发热危险的物质。这类物质，有金属钠、铝粉、碳化钙、磷化钙等，它们与水反应后生成可燃性气体。其他一些物质，如生石灰、无水氯化铝、过氧化碱、苛性钠、发烟硫酸、三氯化磷等，与水接触时所发出的热量可将其邻近可燃物质引燃着火，均称为忌水性物质。

混合危险性物质：如果两种或两种以上物质，由于混合或接触而产生着火危险，则被叫作混合危险性物质。

混合物引起的危险有如下三种情况。

第一种，物质混合后形成类似混合炸药的爆炸性混合物。作为混合性炸药的黑色炸药（硝酸钾、硫黄、木炭粉）、礼花（硝酸钾、硫黄、硫化砷）等就是这种情况。

第二种，物质混合时发生化学反应，形成敏感的爆炸性化合物。例如，硫酸等强酸与氯酸盐、过氯酸盐、过锰酸盐等混合时，会生成各种游离酸或无水物（如  $\text{Cl}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Cl}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_7$ ），显出极强的氧化性能，当它们接触有机物时，会发生爆炸；将氯酸钾与氨、铵盐、银盐、铅盐等接触时，也产生具有爆炸性的氯酸铵、氯酸银、氯酸铅等。

第三种，物质混合的同时，引起着火或爆炸。如铬酐中注入乙醇时，立即开始燃烧；把漂白用的次氯酸钠粉末混合于溴酸或硫代硫酸钠粉末中时，也立即燃烧，等等。

## 1.5 点火源的种类

燃烧三要素之一是点火源，没有点火源，燃烧不可能发生。因此，全面了解点火源的来