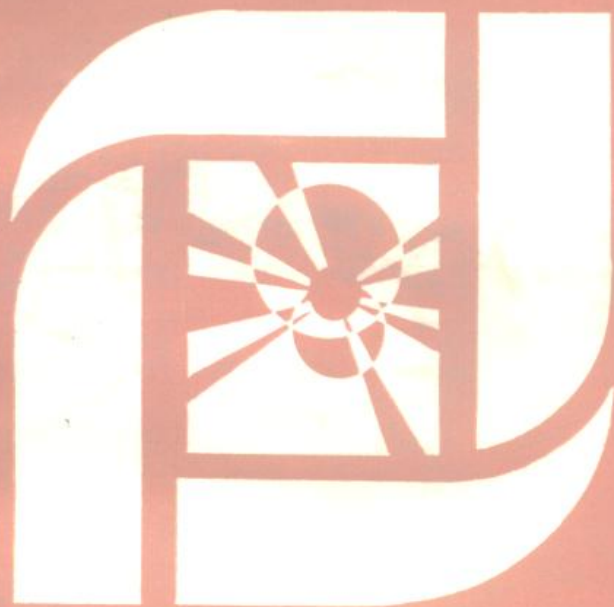

工业防火与防爆

陈 莹 编著



中國勞動出版社

工业防火与防爆

陈 莹 编著

DJ06/19

中国劳动出版社

(京)新登字114号

内 容 提 要

本书讲述了有关燃烧、爆炸的基本概念、基本理论，各类燃爆危险物的特性，工业防火防爆技术措施，灭火知识及火灾爆炸事故管理等内容。并附有较多数据资料，具有较强的实用性。

本书可作为大、中专院校劳动保护管理（安全管理）专业的教材，也可用作劳动保护（安技）和消防工作干部继续教育的教材，还可作为工业企业中工程技术人员的参考书。

工业防火与防爆

陈莹 编著

责任编辑：张建英

中国劳动出版社出版

（北京市惠新东街3号）

天津新华印刷一厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

787×1092毫米 32开本 11.25印张 251千字

1993年3月北京第1版 1993年3月天津第1次印刷

印数：3000册

ISBN 7-5045-1085-8/TQ·013 定价：7.80元

前 言

火灾，爆炸事故，每年都造成重大人员伤亡及巨大经济损失，直接危害社会主义经济建设。防火防爆工作日益引起人们的重视。编写有关书籍及教材，是推动防火防爆工作的需要。

本书是在中国工运学院劳动保护管理专业课程讲义的基础上修改而成的。为加强教材的实用性，编写过程中在以下问题上作了努力：

- 1.对有关基本概念、基本理论力求讲解准确、清楚，把讲述重点放在工业防火防爆技术措施上；
- 2.注意引用当前实施的有关法规、标准；
- 3.附有较多数据资料。

希望本书对广大从事劳动保护工作的干部能有所帮助。

本书编写过程中，自始至终得到冯肇瑞教授的指教，特在此对冯教授表示衷心感谢。

由于本书涉及内容广泛，作者水平有限，书中错误及不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

目 录

第一章 燃烧	1
§1 概述	1
§2 燃烧类型	18
§3 燃烧机理	29
§4 燃烧速度、热值、燃烧温度	32
第二章 爆炸	49
§1 爆炸及其分类	49
§2 可燃气体爆炸	51
§3 爆炸极限	56
§4 粉尘爆炸	79
第三章 燃爆危险品	102
§1 燃爆危险品的分类	102
§2 可燃性气体 (和蒸气)	103
§3 易燃和可燃液体	106
§4 可燃固体	113
§5 可燃粉尘	114
§6 自燃性物质	116
§7 忌水性物质 (遇水燃烧物质)	125
§8 氧化剂	127

§9爆炸品.....	132
§10混合危险性物质.....	143
第四章 防火防爆基本措施	165
§1火灾事故与爆炸事故.....	165
§2防火防爆的基本原理与措施.....	168
§3可燃性气体检测报警器.....	189
§4防火防爆安全装置.....	193
第五章 工业防火防爆技术	207
§1电气防火与防爆.....	207
§2工业建筑防火与防爆.....	229
§3石化企业防火与防爆.....	253
§4煤矿防火与防爆.....	264
第六章 灭火	286
§1灭火的基本原理和方法.....	286
§2灭火剂.....	288
§3灭火机和消防设施.....	303
第七章 火灾爆炸事故管理	308
§1火灾爆炸事故调查.....	308
§2火灾事故统计与事故档案.....	316
§3火灾爆炸事故的预测.....	324
附录：火灾统计管理规定.....	346
主要参考资料.....	353

第一章 燃 烧

§1 概 述

燃烧，就是平常所说的“着火”。一旦失去对燃烧的控制，就会发生火灾，造成危害。所以要研究防火，须先了解燃烧。

一、燃烧的本质与燃烧现象

燃烧是一种同时伴有放热和发光效应的激烈的氧化反应。放热、发光、生成新物质是燃烧现象的三个特征。根据这三个特征，可以区别燃烧现象与其它氧化现象。首先，燃烧是一种化学反应（氧化反应）。如灯泡中的钨丝通电后虽然同时发光、放热，但这并不是一种燃烧现象，因为它没有发生化学反应，没有产生新物质，而只是由电能变为光能的一种物理现象。又如铁生锈是一种氧化反应生成氧化铁，但这反应不激烈，虽然放热，但放出的热量不足以使产物发光，所以也不是燃烧现象。而象煤、木炭点着后即发生碳(C)、氢(H)等元素的氧化反应，同时放热、发光，这就是一种燃烧现象。

物质的燃烧是一种氧化反应，而氧化反应不一定是燃烧，能够被氧化的物质不一定都能燃烧，而能燃烧的物质一定能被氧化。简言之：氧化反应包括燃烧，而燃烧只是氧化反应的特例。

需要注意的是，燃烧是一种氧化反应，氧气是最常见的氧化剂，但氧化剂并非限于氧气。在化学反应中，失掉电子的物质被氧化，得到电子的物质被还原，氧化并不限于同氧的化合。例如氢、炽热的铁、金属钠、铜与氯气反应，都是同时伴有发热、发光的激烈的氧化反应，因而都是燃烧现象。

二、燃烧的条件（燃烧三要素）

燃烧必须同时具备下列三个条件：

1. 可燃物

一般说来，凡是能在空气、氧气或其它氧化剂中发生燃烧反应的物质都称为可燃物，否则称不燃物。可燃物既可以是单质，如碳、硫、磷、氢、钠、铁等，也可以是化合物或混合物，如乙醇、甲烷、木材、煤炭、棉花、纸、汽油等。

可燃物按其组成可分为无机可燃物和有机可燃物两大类。从数量上讲，绝大部分可燃物为有机物，少部分为无机物。

无机可燃物主要包括化学元素周期表中 I ~ III 主族的部分金属单质（如钠、钾、镁、钙、铝等）和 IV - VI 主族的部分非金属单质（如碳、磷、硫等）以及一氧化碳、氢气和非金属氢化物等。不论是金属还是非金属，完全燃烧时都变成相应的氧化物，而且这些氧化物均为不燃物。

有机氧化物种类繁多，其中大部分含有碳（C）、氢（H）、氧（O）元素，有的还含有少量氮（N）、磷（P）、硫（S）等。这些元素在可燃物中都不以游离状态存在，而是彼此化合成有机化合物。

碳是有机可燃物的主要成分，它基本上决定了可燃物发热量的大小。碳的发热量为 $3.35 \times 10^7 \text{J/kg}$ 。

氢是有机可燃物中含量仅次于碳的成分。它的发热量是碳的4倍多，为 $1.42 \times 10^8 \text{J/kg}$ 。

有的有机可燃物中还含有少量硫、磷，它们也能燃烧并放出热量，其燃烧产物(SO_2 、 P_2O_5 等)会污染环境，对人有害。

可燃有机物中的氧、氮不能燃烧，它们的存在会使可燃物中的可燃元素含量(碳、氢等)相对减少。

可燃物按其状态，可分为可燃固体，可燃液体及可燃气体三大类。不同状态的同一种物质燃烧性能是不同的。一般来讲气体比较容易燃烧，其次是液体，最次是固体。同一种状态但组成不同的物质其燃烧能力也不同。

严格地讲，可燃物与不燃物并没有明显的界限。如铁和铜在常温常压下不能燃烧，但在特定条件下，它们也能燃烧。赤热的铁、赤热的铜能在纯氯中剧烈燃烧，但一般还是把铁和铜作为不燃物对待。又如一些高分子聚合物，像聚氯乙烯，酚醛塑料等，在强烈火焰中能够燃烧，但离开火焰则不能继续燃烧。对这类物质称之为难燃物。

2. 氧化剂

凡是能和可燃物发生反应并引起燃烧的物质，称为氧化剂。(传统说法叫助燃剂，严格地说这样叫不甚合理，因为它们不是“帮助”燃烧而是“参与”燃烧。)

氧化剂的种类很多。氧气是一种最常见的氧化剂，它存在于空气中(体积百分数约为21%)，故一般可燃物质在空气中均能燃烧。例如1kg木柴完全燃烧需 $4 \sim 5 \text{m}^3$ 空气，1kg石油完全燃烧需 $10 \sim 12 \text{m}^3$ 空气。空气供应不足时燃烧就会不完全，隔绝空气能使燃烧停止。

其它常见的氧化剂有卤族元素：氟、氯、溴、碘。此外

还有一些化合物如硝酸盐、氯酸盐、重铬酸盐、高锰酸盐及过氧化物等，它们的分子中含氧较多，当受到光、热或摩擦、撞击等作用时，都能发生分解、放出氧气，能使可燃物氧化燃烧；因此它们也属于氧化剂。

3. 点火源

点火源是指具有一定能量，能够引起可燃物质燃烧的能源。有时也称着火源。

点火源的种类很多，如：

1) 明火。有生产用火，如用于气焊的乙炔火焰，电焊火花、加热炉，锅炉中油、气、煤的燃烧火焰等；有非生产性火，如烟头火、油灯火、炉灶火等。

2) 电火花。如电器设备运行中产生的火花，短路火花、静电放电火花等。

3) 冲击与摩擦火花。如砂轮、铁器摩擦产生的火花等。

4) 高温表面或赤热体。如取暖散热器表面，加热设备的表面、蒸汽管道表面等。

5) 聚集的日光。

已经燃烧的物质，就可成为它附近可燃物的点火源。

还有一种点火源，没有明显的外部特征，而是自可燃物内部发热，由于热量不能及时失散引起温度升高导致燃烧。这种情况可视为“内部点火源”。这类点火源造成的燃烧现象通常叫自燃。

点火源这一燃烧条件的实质是提供一个初始能量，在这能量激发下，使可燃物与氧化剂发生剧烈的氧化反应，引起燃烧。所以这一燃烧的的必要条件可表达为“初始能量”。

可燃物、氧化剂和点火源是构成燃烧的三个要素，缺一

不可。这是指“质”的方面的条件——必要条件，但这还不够，还要有“量”的方面的条件——充分条件。在某些情况下，如可燃物的数量不够，氧化剂不足，或点火源的能量不够大，燃烧也不能发生。因此，燃烧条件应做进一步明确的叙述：

1) 具备一定数量的可燃物。在一定条件下，可燃物若不具备足够的数量，就不会发生燃烧。例如在同样温度（20℃）下，用明火瞬间接触汽油和煤油时，汽油会立刻燃烧起来，煤油则不会。这是因为汽油的蒸汽量已经达到了燃烧所需浓度（数量），而煤油蒸汽量都没有达到燃烧所需浓度。由于煤油的蒸发量不够，虽有足够的空气（氧气）和着火源的接触，也不会发生燃烧。

2) 有足够数量的氧化剂。要使可燃物质燃烧，或使可燃物质不间断地燃烧，必须供给足够数量的空气（氧气），否则燃烧不能持续进行。实验证明，氧气在空气中的浓度降低到14~18%时，一般的可燃物质就不能燃烧。

3) 点火源要具有一定的能量。要使可燃物发生燃烧，点火源必须具有足以将可燃物加热到能发生燃烧的温度（燃点或自燃点）。对不同的可燃物来说，这个温度不同，所需的最低点火能也不同。如一根火柴可点燃一张纸而不能点燃一块木头；又如气焊火花温度可达1000℃以上，它可以将达到一定浓度的可燃气与空气的混合气体引燃爆炸，而不能将木块，煤块引燃。

总之，要使可燃物发生燃烧，不仅要同时具备三个基本条件，而且每一条件都须具有一定的“量”，并彼此相互作用，否则就不能发生燃烧。

一切防火与灭火措施的基本原理就是根据物质的特性和

生产条件，阻止燃烧三要素同时存在、互相结合、互相作用。这一点将在第四章详述。

三、燃烧的分类

目前，关于燃烧分类的问题不同书中有不同的分法。一般按以下方式分类。

1. 按着火方式分，可分为强制着火（点燃）和自发着火（自燃）两类。

1) 强制着火：通过外部能源（即点火源）引起的燃烧。在接近点火源处，局部开始燃起火焰，然后向四周传播。

2) 自发着火：又分为受热自燃和本身自燃两种情况。

受热自燃一般也需要外部提供一定的能量，但是提供能量的方式与强制着火不同，点火源并不与可燃物直接接触，不是局部地引起可燃物的燃烧，而是间接地、整体地加热可燃物，从而引起可燃物整体瞬间着火。例如将可燃性气体混合物置于容器内加热，或使其在汽缸内绝热压缩，容器（或汽缸）内可燃混合物的温度会整体升高。当温度上升到一定程度时，容器内会突然着火。

本身自燃则不需外界提供能量，而靠可燃物本身内部的某种过程（物理、化学或生物化学过程）提供能量，使其温度升高而自动着火。

2. 按燃烧时可燃物的状态分，可分为气相燃烧、液相燃烧和固相燃烧三类。

1) 气相燃烧：燃烧反应在进行时，如果可燃物和氧化剂均为气相，称为气相燃烧。气相燃烧是均相燃烧。其特征是有火焰产生。气相燃烧是一种最基本的燃烧形式，多数可燃物（气体、多数液体和固体）在燃烧时呈气相燃烧。

2) 液相燃烧: 燃烧时, 可燃物呈液态, 称为液相燃烧, 并非液体燃烧。大部分液体燃烧是通过蒸发、分解成可燃气体, 呈气相燃烧的, 只有某些液体在高温状态下直接发生燃烧。

3) 固相燃烧: 燃烧进行时, 可燃物为固相, 称为固相燃烧。固相燃烧的特点是: 没有火焰, 只产生光和热。某些固体在燃烧时呈气相燃烧而某些固体在燃烧时, 既有气相燃烧, 又有固相燃烧。

液相燃烧和固相燃烧, 都是在两相(固—气、液—气)之间的表面上进行的, 所以又叫表面燃烧或非均相燃烧。

3. 按燃烧过程的控制因素分, 可分为扩散燃烧(物理混合控制)和动力燃烧(化学反应控制)两类。

1) 扩散燃烧: 如果可燃物与氧化剂(空气)的混合是在燃烧过程中进行的, 即边混合边燃烧, 则这种燃烧称为扩散燃烧。

在这种燃烧体系中, 化学反应速度相当快, 短时间内不能消除可燃物附近空间中的气体成分和温度的不均匀性, 在空间中存在着物质的浓度梯度和温度梯度, 这种梯度引起了物质的扩散和热量的传递。物质由浓度高处向浓度低处扩散; 热量由温度高处向温度低处传递。具体说来, 反应物向火焰区扩散, 而燃烧产物和热量向背离火焰区扩散。

由于在扩散燃烧中, 化学反应速度比扩散速度快得多, 因此整个燃烧速度的快慢要由扩散速度来决定, 即扩散多少就烧掉多少。

一般来说, 扩散燃烧是比较平稳的。

2) 动力燃烧: 如果可燃物与空气(或其它氧化剂)已均匀混合好, 并且完全是气相, 遇火源而燃烧(爆炸), 这

种燃烧叫动力式燃烧。

在这种燃烧体系中，混合物已呈均匀分布，不需再进一步混合，（物质的扩散已经完成）所以燃烧速度主要取决于化学反应速度和热扩散速度。动力燃烧的特征是：反应物质不扩散，而反应区（火焰峰）和热在混合物中向未反应区扩散。

相对气相燃烧而言，固相燃烧的情况比较复杂。由于在固相燃烧中有时物理扩散（混合）速度和化学反应速度比较接近，究竟是哪个因素对燃烧速度起控制作用，因外界条件而异，必须通过试验才能确立。

图1-1表示了由试验得出的空气流动的线速度和温度对碳的燃烧反应的影响。

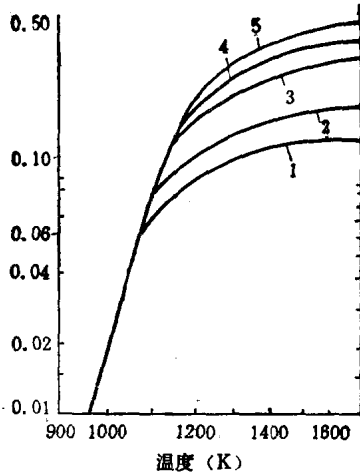
从图中可以看出：在较低的温度范围内(1000K左右)，由于燃烧的速度（化学反应速度）较慢，所以不论空气的线速度多大，空气向碳表面的扩散都能满足燃烧反应对氧的需要。此种情况下，燃烧速度只与温度有关，而与空气线速度无关。这属于动力燃烧。当温度升高时，反应速度加快。在1100K后，燃烧速度明显地受到空气线速度的影响，即空气线速度越大，燃烧反应速度越快。此时燃烧速度受空气线速度（即氧气向碳表面扩散速度）控制。这属于扩散燃烧。

四、不同状态物质的燃烧过程

自然界里的一切物质，在一定的温度和压力下，都以一定的状态（固态、液态、气态）存在。这三种状态的物质的燃烧特点是不同的。图1-2是物质燃烧历程示意图。

1. 气体的燃烧

气体燃烧的情况比较简单。由于气体在燃烧时所需要的热量仅仅由于氧化或分解气体以及将气体加热到燃点，因此



图中标号为空气线速度 (m/s)
 1—0.0351 2—0.0752 3—0.274 4—0.389
 5—0.500

图1-1 空气线速度和温度对碳的燃烧反应的影响

一般说来，气体比较容易燃烧，而且燃烧速度快。

2. 液体的燃烧

多数液体呈气相燃烧。液体在点火源作用（加热）下，通常首先被蒸发成气态，尔后蒸气氧化分解，开始燃烧。只由液体产生的蒸气进行的燃烧叫做蒸发燃烧，而由液体热分解产生可燃性气体再燃烧的叫作分解燃烧。蒸发燃烧和分解燃烧都属气相燃烧。

3. 固体的燃烧

多数固体呈气相燃烧，有些固体则是同时产生气相燃烧与固相燃烧。

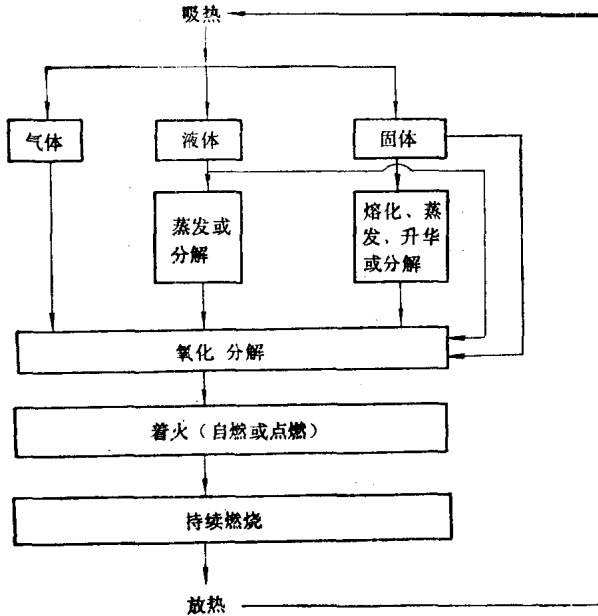


图1-2 物质燃烧过程示意图

不同化学组成的固体燃烧过程有所不同。有些固体，如硫、磷、石蜡、梯恩梯炸药等，受热时首先熔化为液体，然后蒸发、燃烧。而有些组成较为复杂的固体如沥青、木柴等则是受热后首先分解成气态和液态产物，尔后气态产物和液态产物的蒸气着火燃烧即气相燃烧。在蒸发、分解过程中会留下一些不分解、不挥发的固体，燃烧可在气—固相界面进行，即呈固相燃烧。

无论哪一种可燃物的燃烧，燃烧过程都放出大量的热。放出的热量加热了可燃物，使其未燃烧部分达到燃点，又发生燃烧。这样就使燃烧持续下去，直至三要素之一丧失，如

物质烧完，燃烧才会停止。

4. 可燃固体燃烧的温度—时间曲线

固体的燃烧历程比较复杂，我们再进一步探讨一下。以木材为例。木材是由多种元素（主要是碳、氢、氧）组成的化合物。木材在点火源作用（加热）下，温度低于 110°C 时只放出自由水分（干燥过程）， 130°C 开始分解，到 150°C 变色， $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 时其分解产物主要是化学结晶水和二氧化碳，此时还不能燃烧；在 200°C 以上分解出一氧化碳、氢和碳氢化合物，此时开始燃烧；到 300°C 时析出的产物最多，此时燃烧也最激烈。最后剩下的碳不再分解，发生固相燃烧。

根据固体燃烧的一般规律可画出一条温度—时间曲线（图1-3）。

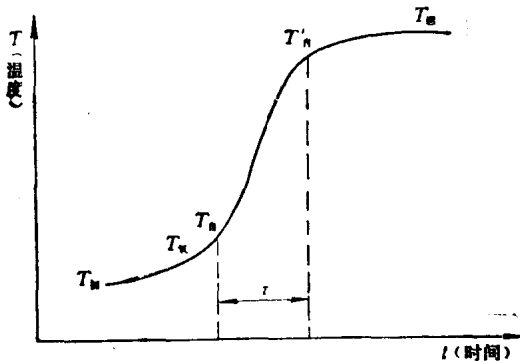


图1-3 可燃物质受热燃烧的温度—时间曲线

图中， $T_{初}$ 为可燃物开始加热的温度。最初一段时间，加热的大部分热量用于熔化（相变）和分解，因相变或分解反应都是吸热的，故可燃物温度上升比较缓慢。到 $T_{燃}$ 时可