

高等职业技术教育“十三五”规划教材——安全技术类

防火防爆技术

主 编 张艳艳 孙 辉 陈 晨
副主编 游成旭 祝 超

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

防火防爆技术 / 张艳艳, 孙辉, 陈晨主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2019.6
高等职业技术教育“十三五”规划教材. 安全技术类
ISBN 978-7-5643-6931-6

I. ①防… II. ①张… ②孙… ③陈… III. ①防火—
高等职业教育—教材②防爆—高等职业教育—教材 IV.
①X932

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 118612 号

高等职业技术教育“十三五”规划教材——安全技术类

防火防爆技术

主编 张艳艳 孙 辉 陈 晨

责任编辑 杨 勇
助理编辑 赵永铭
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031
发行部电话 028-87600564 028-87600533
网址 <http://www.xnjdcbs.com>
印刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 12
字数 298 千
版次 2019 年 6 月第 1 版
印次 2019 年 6 月第 1 次
定价 36.00 元
书号 ISBN 978-7-5643-6931-6

课件咨询电话: 028-87600533
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

· 前 言 ·

“防火防爆技术”是一门理论性和实践性都很强的课程，属于安全类专业核心课程，本书根据高等职业学校安全技术管理专业教学标准编写。教材编写针对高职高专教学特点，力求理论体系完整，表达方式通俗易懂，突出实践能力培养。

全书根据防火防爆现代理论和技术的发展趋势，紧扣工业防火防爆工作实际，结合最新法规和技术标准，系统阐述了燃烧与爆炸的基本原理、防火防爆的基本技术与措施，专题介绍了建筑防火设计的要求。为增加防火防爆技术课程的实践性，本书针对防火防爆技术内容设计了四个专项技能实训项目。

本书由重庆安全技术职业学院张艳艳、孙辉、陈晨担任主编，重庆安全技术职业学院游成旭、江苏安全技术职业学院祝超担任副主编，课题一和课题二由张艳艳编写，课题五和课题六由孙辉编写，课题四和课题七由陈晨编写，课题三由游成旭编写，绪论由祝超编写，全书由张艳艳统稿。

本书可作为高等院校安全类专业的教学用书，也可作为建筑、消防等专业的参考教材及工程设计、施工等工程技术及管理人士的参考用书。

限于编者水平，书中难免存在不足之处，恳请读者和专家批评指正。

编 者

2019年1月

· 目 录 ·

绪 论	1
课题一 火灾基础知识	5
项目一 燃烧发生的条件	5
项目二 燃烧的形式与特点	12
项目三 燃烧类型	19
项目四 火灾的分类	23
课题二 爆炸基本原理	27
项目一 爆炸及其种类	27
项目二 爆炸极限	30
项目三 粉尘爆炸	37
课题三 防火技术措施	42
项目一 防火基本知识	42
项目二 建筑分类与耐火等级	50
项目三 生产储存物品的火灾危险性	54
项目四 建筑总平面布置	59
项目五 防火分隔	64
项目六 安全疏散	69
项目七 防火安全装置	75
项目八 灭火器	81
项目九 消火栓系统	86
项目十 其他消防设施	90
课题四 防爆技术	101
项目一 燃烧与爆炸的关系	101
项目二 防爆技术措施	104
项目三 爆炸危险性建筑的防爆	109

项目四 防爆安全装置及技术	113
课题五 电气防火防爆	123
项目一 电气线路的防火防爆	123
项目二 常用电气设备的防火技术	127
项目三 火灾爆炸危险场所电气设备的选用	134
课题六 典型危险场所的防火防爆	140
项目一 石油化工企业防火与防爆	140
项目二 汽车生产企业涂装作业防火与防爆	148
项目三 加油站主要作业防火与防爆	153
项目四 天然气长输管道的防火与防爆	161
项目五 其他危险场所的防火与防爆	166
课题七 专项技能实训项目	175
实训一 可燃性液体闪点的测定	175
实训二 常见消防设施器材	177
实训三 安全疏散	180
实训四 自动喷水灭火系统	181
参考文献	185

绪 论

【学习目标】

了解火灾与爆炸事故的特点以及发生原因；了解本课程的研究意义和主要研究内容；熟悉本课程所使用的法规名称。

【知识储备】

一、火灾与爆炸

火灾是指在时间或空间上失去控制的灾害性燃烧现象。爆炸是在极短时间内便释放出大量能量的一种破坏性极强的现象。在人类各种灾害事件中，火灾、爆炸事故是最经常、最普遍地威胁公众安全和社会发展的主要灾害之一，涉及范围非常广。随着社会的持续进步和城镇化的加速发展，火灾与爆炸事故在人类的日常生产活动中出现的频率不断攀升。2003—2012年，我国年均发生火灾18万起，导致1698人死亡，1426人受伤，直接财产损失16.26亿元。火灾与爆炸事故不仅能造成人员伤亡，导致经济损失，还会破坏生态平衡，引发环境污染。

火对人类的贡献极大，人类在火光的照耀下，逐渐摆脱了黑暗和寒冷，摆脱了愚昧和野蛮，人们利用火，吃上了熟食，可以说学会用火是人类跨入文明世界的一个重要标志。后来，火的使用逐渐从生活扩展到生产，如：酿造业、制陶业、冶金业，这些生产大大提高了人类的文明程度；直到今天，我们的生活和生产都离不开火，火对于人类的贡献是其他任何事物都难以比拟的。然而，“火，善用之则为福，不善用之则为祸”。火在给人类带来光明和福祉的同时，也带来了灾难和痛苦。

2017年2月16日6时5分，淮南市经济技术开发区国际汽配城某号楼发生一起火灾事故，导致4人死亡，1人受伤。2017年2月16日23时许福建漳州一摩托车维修店失火致6死2伤。2017年2月17日11时30分左右，河北承德市市区一路段发生爆炸，造成2名KTV员工受伤。2017年2月27日，湖南省汨罗市白塘镇木屯村发生一起鞭炮厂爆炸事故，致4死2伤。可以说人类使用火的历史与同火灾做斗争的历史是相伴相生的，人类的文明史，既是用火的历史，也是与火灾做斗争的历史。因此，人们需要不断总结火灾发生的规律，加强对火灾爆炸事故的理论研究，掌握专业的防火防爆技术，加强对火灾爆炸事故的控制，具有很重要的意义。

二、火灾爆炸事故特点

火灾与爆炸事故的发生通常伴随有以下几个特点：

（1）火灾起因多。

引起火灾爆炸事故的原因有可燃物、点火源。自然界存在的可燃物的种类很多，特别是化工企业的原材料、中间产物等大多属于可燃物。点火源的类别更加多样，包括明火、雷电、撞击摩擦、电气火花、静电放电、日光照射、高温表面、热辐射、化学自反应热等。各种物质夹杂在一起，使得发生火灾的起因较多，调查时困难重重。

（2）事故发展快。

很多火灾爆炸事故都是在人们始料未及的情况下突然发生的，而且往往来势凶猛，发展迅速。尤其是爆炸事故，往往在几秒钟之内就将大量的压力释放，瞬时性极强，产生大范围的破坏作用。因此人们对发生的灾害必须快速做出反应，一旦反应迟缓就可能遭受巨大损失。

（3）后果严重。

火灾的发生会造成非常严重的人员伤亡和财产损失，如产生的高温不仅会使人员心率加快、人体大量出汗，很快出现疲劳和脱水现象，还会直接把人烧伤烧死。而且火灾会造成建筑物或设备的结构损坏，支撑能力下降，也可能造成触电、坍塌等其他事故。

（4）产生有毒有害物。

火灾发生时由于可燃物的燃烧常会伴随产生大量的有毒有害气体，如 CO、SO₂、NO 等，且由于燃烧过程中消耗了大量的氧气，人长时间在这种低氧的环境中，就会造成呼吸障碍，失去理智，甚至窒息死亡。

三、火灾爆炸的主要原因

通过对火灾爆炸事故原因分析，主要有以下 4 个方面的原因。

（1）人的因素。

对大量火灾爆炸事故调查，发现不少事故是人员违章操作、不负责任、思想麻痹、缺乏有关的科学知识，以及安全素质较低造成的。

（2）设备原因。

例如：选用的设备不符合防火防爆要求、设备上缺乏必要的安全防护装置等。

（3）环境原因。

例如：场所通风不良引起可燃物浓度累积、雷击、潮湿等。

（4）管理原因。

例如：没有合理的安全操作规程、规章制度不完善，以及设备维护检修制度不健全、责任制不落实等。

四、防火防爆技术研究意义

1. 经济的高速发展提出了新的挑战

随着城市化的加速发展，大量人口从世界各地涌入中心城市，高层建筑、超高层建筑比

比皆是，同时大型商场、娱乐场所等配套设施也都不断建设完成，这里集中了大量的人口和财富。而这些建筑的高度和内部结构的复杂使人们在享受生活便利的同时，在安全疏散以及应急等方面存在很大的问题，一旦发生火灾将会产生灾难性后果。

在现代工业生产中，生产企业为减少投资、提高效益和产量，促进了装置的大型化。尤其是大型石油化工企业，往往具有生产综合化、产品多样化、装置规模大型化、生产工艺参数控制要求高等特点。生产规模大型化后，对工艺设备的处理能力、材质和工艺参数要求更高，许多工艺过程都采用了高温、高压、高真空、高空速、深冷等工艺控制高参数，使生产操作更为严格、困难，同时也增大了产生火灾的危险性。

因此生产和生活方式的这种变化，对防火与防爆技术提出了新的挑战。传统的防火防爆技术已经难以满足新形势的要求，必须加强防火防爆新技术与新措施的研究，从而更有效地预防和减少火灾与爆炸事故。

2. 防火防爆技术是预防和减少火灾爆炸事故的重要途径

发展生产、兴建公共设施的目的是不断提高人民物质文化生活水平，满足人民需要。如果只顾生产，只重视经济效益，忽视消防安全，甚至在不具备消防安全条件下，盲目生产，致使火灾与爆炸事故不断发生，造成财产损失、人员伤亡、环境污染，这就完全背离最初的目的。

火灾与爆炸事故给国家经济建设和人民生命安全带来严重威胁。预防和减少火灾与爆炸事故的发生，是广大安全工作者的重要任务。通过研究防火防爆技术，不断提高防火防爆能力，创新防火防爆措施，是预防和减少火灾与爆炸事故的重要途径。一个国家和地区的防火防爆技术，标志着政府对消防安全的重视程度，也代表其科学技术的水平。如一种新的阻燃涂料的出现，可以将钢材的耐火极限提高数倍；一种新型阻燃技术可以保证“神六”飞船安全上天。先进的自动灭火设施，可以保证石油化工连续生产，将火灾发生率降低 10 倍。

只有高度重视防火防爆工作，加强防火与防爆技术的研究，有效降低火灾与爆炸事故的发生，才能保证经济建设又好又快地发展，保证人民安居乐业。

五、课程研究内容

本课程以建筑和工业企业防火防爆技术为主要研究对象，主要研究内容如下：

- (1) 燃烧原理。主要研究：燃烧本质、燃烧条件、燃烧形式、燃烧类型、燃烧特点、
- (2) 爆炸原理。主要研究：爆炸分类、爆炸极限、粉尘爆炸。
- (3) 防火技术措施。主要研究：防火安全设计、火灾危险性类别判定、建筑分类与耐火极限、防火分隔、安全疏散、灭火器配置、消火栓系统等灭火系统。
- (4) 防爆技术理论。主要研究：防爆技术理论、防爆技术措施、防爆安全装置设计等。
- (5) 电气防火防爆。主要研究：电气线路的防火防爆、常用电气设备的防火技术、火灾爆炸危险场所电气设备的选用。
- (6) 典型危险场所的防火与防爆。内容包括石油化工企业防火与防爆、汽车生产企业涂装作业防火与防爆、加油站主要作业防火与防爆、天然气长输管道的防火与防爆，以及其他危险场所的防火与防爆（油库、气瓶库、焊割动火场所、服装厂等重点部位）。

六、常用法规

防火防爆是消防工作的一个重要组成部分，为了更好地开展防火防爆工作必须了解和掌握与此相关的消防法规。

(1)《中华人民共和国消防法》(简称《消防法》)。中华人民共和国主席令第六号《中华人民共和国消防法》已由中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会第五次会议于2008年10月28日修订通过，自2009年5月1日起施行。《消防法》是指导全国消防工作的根本大法，对消防工作的方针、消防工作原则及全社会消防工作责任等诸多问题，都以法律形式做了规定。

(2)《危险化学品安全管理条例》。该条例是为加强危险化学品的安全管理，预防和减少危险化学品事故，保障人民群众生命财产安全，保护环境而制定的国家法规。

(3)《消防监督检查规定》(公安部107号令)、《机关、团体、企业、事业单位消防安全管理规定》(公安部61号令)等。

(4)《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)，该规范适用于新建、扩建和改建建筑的防火防爆工作。对建筑的耐火等级、防火间距、防火分区、消防车道、消防设施、防烟排烟等方面做了详细的规定，对各类建筑防火防爆具有非常重要的意义。

(5)《石油化工企业设计防火规范》《石油库设计防火规范》等，这些规范是民用与工业建筑设施的防火设计依据。

【能力提升训练】

查阅资料《机关、团体、企业、事业单位消防安全管理规定》(公安部61号令)是何时正式实施的？包括了哪些内容？

【归纳总结提高】

1. 研究防火防爆技术有什么意义？
2. 当前我国火灾与爆炸事故有什么特点？

课题一 火灾基础知识

项目一 燃烧发生的条件

【学习目标】

熟悉燃烧的学说与理论的产生和发展；掌握燃烧发生的充分、必要条件，能够通过现实中的现象判断是否属于燃烧；了解燃烧与火灾的关系。

【知识储备】

燃烧是广泛存在于人类社会中的最常见的自然现象之一。在人类发展的历史长河中，火，燃尽了茹毛饮血的历史；火，点燃了现代社会的辉煌。正如传说中所说的那样，火是具备双重性格的“神”。火给人类带来文明进步、光明和温暖。但是，有时它是人类的朋友，有时却是人类的敌人。失去控制的火，就会给人类造成灾难。因此，人类想要进步就必须研究防火，而防火首先得了解燃烧。

一、燃烧学说的本质

按考古学的发现，人类最早使用火的时代可以追溯到距今 140 万 ~ 150 万年以前。在古希腊的神话中，火是神的贡献，是普罗米修斯为了拯救人类，从天上偷来的。在我国，燧人氏钻木取火的故事更为感人，也更为贴合实际。但这些离火的本质相距甚远。

燃烧的理论较多，如燃素学说、燃烧氧化学说、燃烧分子碰撞理论、活化能理论、过氧化物理论、着火热理论、链锁反应理论等。但是，目前人们所用的是 1777 年由法国科学家拉瓦锡（A. L. Lavoisier）在英国科学家普里斯特利实验的基础上重复大量实验之后提出的氧化学说。

1772 年 9 月，拉瓦锡开始对燃烧现象进行研究。在这以前，波义耳曾对几种金属进行过煅烧实验，他认为金属在煅烧后的增重是因为存在火微粒，在煅烧中，火微粒穿过器壁而与金属结合，即： $\text{金属} + \text{火微粒} \rightarrow \text{金属灰}$ 。1774 年，拉瓦锡重做了波义耳关于煅烧金属的实验。他将已知重量的锡放入曲颈瓶中，密封后称其总重量。然后经过充分加热使锡灰化。待冷却后，称其总重量，确认其总重量没有变化。尔后在曲颈瓶上穿一小孔，发现瓶外空气带着响声冲进瓶内，再称其总重量和金属灰的重量，发现总重量增加的值恰好等于锡变成锡灰后的增重。拉瓦锡又对铅、铁等金属进行了同样的煅烧实验，得到相同的结论。由此拉瓦锡认为燃烧金属的增重是金属与空气的一部分相结合的结果，否定了波义耳的火微粒之说。那么，与金属相结合的空气成分又是什么？1775 年末，普里斯特利发表了关于氧元素（他命名为脱

燃素空气)的论文后,拉瓦锡恍然大悟,原来这种特殊物质是一种新的气体元素。随后,他对这种新的气体元素的性质进行了认真的考察,确认这种元素除了助燃、助呼吸外,还能与许多非金属物质结合生成各种酸,为此他把这种元素命名为酸素,现在氧元素的化学符号 O 就是来源于希腊文酸素:oxygene。对氧气做系统研究后,拉瓦锡明确地指出:空气本身不是元素,而是混合物,它主要由氧气和氮气组成。1778年他进而提出,燃烧过程在任何情况下,都是可燃物质与氧的化合,可燃物质在燃烧过程中吸收了氧而增重。所谓的燃素实际上是不存在的。拉瓦锡关于燃烧的氧化学说终于使人们认清了燃烧的本质,并从此取代了燃素学说,统一地解释了许多化学反应的实验事实,为化学发展奠定了重要的基础。

1789年拉瓦锡完成了他的具有划时代意义的名著——《化学纲要》一书。拉瓦锡在书中详细描述了氧化学说的实验依据,系统阐明了氧化学说的科学理论,重新解释了各种化学现象,明确了化学研究的目标,认为化学应该是以自然界的各种物体为实验对象,旨在分解它们,以便对构成这些物体的各种物质进行单独的检验。他还发展了波义耳的元素概念,并依此提出了包括33种元素的化学史上第一张真正的化学元素表,还依照新的化学命名法对化学物质进行了系统命名和分类。书中还以充分的实验根据明确阐述了质量守恒定律,提出了化学方程式的雏形,并把质量守恒定律提到了一个作为整个化学定量研究基础的地位。

二、燃烧发生的必要条件

经过后续科学家的不断研究,指出燃烧是可燃物与氧化剂作用产生的放热反应,通常伴有火焰、发光和(或)发烟现象;简而言之,燃烧是一种放热、发光的化学反应。它服从于化学动力学、化学热力学定律以及质量守恒和能量守恒等基本定律,但其放热、发光、发烟等基本特征表明它不同于一般的氧化还原反应,根据这些特征,可以区别燃烧现象与其他氧化现象。

例如日常常见的灯泡中的钨丝通电后,会同时发光、放热,但这并不是一种燃烧现象,因为它没有发生化学反应。又如铁生锈,虽然发生了氧化反应放出热量,但放出的热量不足以使产物发光,所以也不是燃烧现象。而像煤、木炭点着后即发生碳、氢等元素的氧化反应,同时放热、发光、产生新物质,这就是一种燃烧现象。

燃烧的条件是指制约燃烧发生和发展变化的因素。燃烧反应想要发生,必须要有氧化剂和还原剂参加,另外还要有发生燃烧的能源。也就是说,燃烧必须具备以下要素:①要有可燃物;②要有助燃物;③要有点火源。

1. 可燃物

一般说来,不论是固体、液体还是气体,凡是能在空气、氧气或其他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。

从广义上讲,可燃物应当是指所有能够燃烧的物质,但是在实际工作中,可燃物与不燃物的概念对某些物质来讲却不易划分。物质燃烧的难易程度随外界条件变化而变化,其中有两个重要影响因素:一是物质本身的表面积与体积比,如块状铝材在空气中是非燃烧体,而

粉状铝不仅能燃烧，而且会发生爆炸；二是空气中的含氧量，增大空气中的含氧量，很多难燃材料会变成易燃材料，减少空气中的含氧量，易燃材料会变成难燃材料，如在纯氧中铁会发生剧烈的燃烧，而在大气环境条件下是不会燃烧的，所以习惯上还是称其为不燃物。因而从狭义上讲，可燃物应当是指在标准状态下的空气中能够燃烧的物质。

可燃物按照物理形态可以分为气体可燃物、液体可燃物和固体可燃物。

(1) 气体可燃物。凡是在空气中能发生燃烧的气体，都称为可燃气。

(2) 液体可燃物。凡是在空气中能发生燃烧的液体，都称为可燃液体。

(3) 固体可燃物。凡遇明火、热源能在空气（氧化剂）中燃烧的固体物质，都称为可燃固体。

2. 助燃物

凡能帮助和支持燃烧的物质，即能与可燃物发生反应的物质都称为助燃物，它是引起燃烧反应必不可少的条件。

燃烧是一种氧化还原反应，由氧化还原反应理论得知：失去电子的过程称为氧化，得到电子的过程称为还原；失去电子的物质称还原剂，得到电子的物质称氧化剂。因此，助燃物就是氧化剂，是直接“参与”燃烧的一些处于高氧化态、具有强氧化性的物质。其特点是易于分解并放出氧和热量，本身不一定可燃，但能导致可燃物燃烧。

常见的助燃物有空气和氧气，还有一些卤族元素（氟、氯、溴、碘）以及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。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、过氧化钠、过氧化钾以及次氯酸钙等；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。空气助燃的助燃性能会随着空气中的氧含量变化而变化。如空气中的氧含量大约在 21% 左右，当空气中的氧含量逐渐降低时，燃烧反应会逐渐减弱；当空气中氧含量降至 14% 左右时燃烧反应较为困难；当其中氧含量降至 14% 以下时，燃烧反应就很难维持；而在纯氧条件下，燃烧会变得非常猛烈，甚至能使一些平时不会燃烧的铁、铝等金属产生剧烈的燃烧。

3. 点火源

点火源是指能够引起可燃物与助燃物发生燃烧反应的能量来源，有时也称作着火源。点火源这一燃烧要素的实质是提供一个初始能量，在这种能量激发下，使可燃物与氧化剂发生剧烈的氧化还原反应，引起燃烧。

点火源的种类很多，常见的是热能，还有其他能量如电能、化学能、光能和机械能等，都可以起到点火源的作用。例如，常见的火焰、火星、电火花、高温物体等，都是直接释放热能的点火源；而静电放电、化学反应放热、光线照射与聚焦、撞击与摩擦、绝热压缩等则是其他能量（如电能、化学能、光能、机械能）转化成热能的点火源。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而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。

可燃物、助燃物和点火源是构成燃烧的三个要素，缺一不可。但是，上述三个条件即使

同时存在，燃烧也不一定会发生。例如，用一根火柴可以引燃一张纸，却不能引燃一块木板；再如，点燃的蜡烛用玻璃罩罩住后，不使空气进入，一会儿蜡烛就会熄灭。这说明燃烧要想发生，既要具备“质”的方面的条件，也要具备“量”的方面的条件才能进行。

三、燃烧发生的充分条件

1. 一定的可燃物浓度

可燃物与适量的助燃物作用并达到一定的数量比例，才能够产生燃烧，此比例范围对可燃物来讲，就是其燃烧极限。燃烧极限是成分或压力的极限，超过这一极限，可燃物和助燃物的混合物就不能燃烧。对于气相燃烧的物质来说，燃烧极限就是指人们通常所说的爆炸浓度极限范围。

可燃蒸汽在空气中都有两个可燃极限。通常把混合气能保证顺利点燃并传播火焰的最低浓度称为该可燃物的燃烧下限（着火下限），能保证点燃并传播火焰的最高浓度称为该可燃物的燃烧上限（着火上限）。可燃蒸汽的浓度过高或过低，都不能被点燃及传播火焰，这就是混合气浓度过稀或过浓都不能实现顺利点火的原因。

2. 一定的氧气（氧化剂）含量

实验证明，虽有空气（氧气）存在，但浓度不够，燃烧也不会发生。由于可燃物质性质不同，燃烧所需要的含氧量也不同；在等量情况下，使某些物质完全燃烧，所需要的含氧量也有差异。部分常见物质燃烧所需的最低含氧量，如表 1-1 所示。

表 1-1 一部分常见物质燃烧所需要最低含氧量

物质名称	含氧量/%	物质名称	含氧量/%
汽油	14.4	乙醇	15.0
煤油	15.0	多量棉花	8.0
氢气	5.9	橡胶屑	13.0

3. 一定的引火能量（点火能）

点火源必须具有足够的温度，才能点燃由一定的量结合的可燃物和助燃物。点火源将热量传递到可燃物与助燃物上，使其温度升高，反应加速，最后从缓慢氧化状态过渡到剧烈的燃烧反应状态，即可燃物被引燃了；从链式反应理论看，则是火源的能量可以激发游离基的产生，加速链式反应中的游离基增长速度，使可燃物引燃。引燃能就是指能够引起一定浓度可燃物质燃烧所需要的最小能量，也叫最小点火能（Minimum Ignition Energy）。若点火源的能量小于最小点火能，就不能引燃着火，故最小点火能是衡量可燃物危险性的一个重要参数。只有达到最小点火能，才能引起燃烧。

由于可燃物种类繁多，状态有气、液、固三种，化学性质又有活泼与不活泼之分，又由于助燃物的氧化能力对可燃物的燃烧性能也起着至关重要的作用，所以，不同的可燃物发生燃烧所需要点火源的最小能量（即最小点火能）也不尽相同，如表 1-2 所示。

表 1-2 部分可燃物的最小点火能

可燃物名称	最小点火能/mJ		可燃物名称	最小点火能/mJ	
	空气中	氧气中		粉尘云	粉尘层
二硫化碳	0.015		铝粉	15	1.6
氢	0.019	0.001 3	镁粉	80	0.24
乙炔	0.019	0.000 3	醋酸纤维素粉	15	—
乙烯	0.09	0.001	沥青粉	80	6.0
环氧乙烷	0.105		聚乙烯粉	10	—
甲醇	0.215		聚苯乙烯粉	40	—
甲烷	0.28		酚醛塑料粉	10	40
丙烯	0.282	0.031	尿素树脂粉	80	—
乙烷	0.25		乙烯基树脂粉	10	—
丙烷	0.26		苯二甲酸酐粉	15	—
苯	0.55		硫磺粉	15	1.6
氨	0.77		烟煤粉	40	—
丙酮	0.15		木粉	30	—

例如，对于气体或液体蒸汽来说，甲醇在空气中用电火花点火时，能引起燃烧的最小点火能为 0.215 mJ (毫焦耳)，而二硫化碳蒸汽燃烧所需要的最小点火能仅为 0.015 mJ。二者能被引起燃烧的点火源的最低能量不同，即 0.10 mJ 的火源能点燃二硫化碳，却无法使甲醇燃烧。对于固体来说，在氧气中的硬纸板在 380 °C 的热源作用下仅 3 s 即被点燃，而毛毡只需 250 °C 的热源作用 3 s 便被点燃。这就是说，某种点火源对于某种可燃物来说是能点燃的，对于另一种可燃物来说则可能起不到点燃作用，且每一种可燃物被点燃，都需要有一定强度的点火源，否则，燃烧便不能发生。

因此，在防火工作中，要针对生活和生产各种场所的点火源进行科学的管理，不能一概而论限制一切点火源的存在；在实际过程中要根据可燃物性质的不同，对点火源进行科学的分析，要根据火场周围可燃物性质的不同，及时做出火势是否会蔓延的清醒判断，这些工作都离不开对点火源进行定性定量的研究。

常见的点火源有火柴焰、烟头、电火花等，每种火源都具有各自的温度，如表 1-3 所示。从表可见，多数火源的温度都超过 500 °C，超过一般可燃物所需要的点燃能量。所以，有火灾爆炸危险的场所内常会有以下安全要求：严禁烟火，禁止使用易产生火花的金属工具，不准机动车辆随便驶入，采用防爆电器，严格动火检修制度等。这些要求都是符合科学而且非常必要的。

表 1-3 常见点火源的温度

点火源名称	火源温度/°C	点火源名称	火源温度/°C
火柴焰	500~650	气体灯焰	1 600~2 100
烟头(中心)	700~800	酒精灯焰	1 180
烟头(表面)	250	煤油灯焰	700~900
机械火星	1 200	植物油灯焰	500~700
电火花	700	蜡烛焰	640~940
煤炉炽热体	800	打火机焰	1 000
烟囱飞火	600	焊割火花	2 000~3 000
石灰遇水发热	600~700	汽车排气管火星	600~800

4. 相互作用

燃烧不仅要必须具备三要素“质”和“量”方面的条件，而且还必须使以上条件相互结合，相互作用，燃烧才会发生和持续，否则燃烧也不能发生。

对于无焰燃烧，由于无链锁反应，可用经典三角形（见图 1-1）表示燃烧三要素之间的关系，燃烧三角形的每一个边代表一个燃烧要素，只要它们同时存在并相互结合，便会发生燃烧。对于有焰燃烧，由于燃烧过程中存在未受抑制的游离自由基作中间体，所以燃烧三角形增加了一个空间坐标，形成燃烧四面体，如图 1-2 所示。

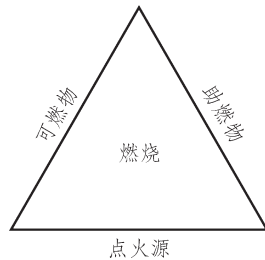


图 1-1 燃烧三角形

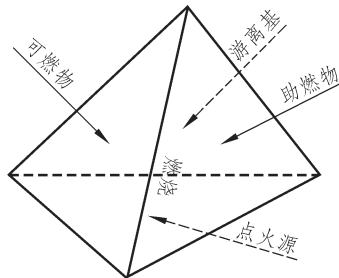


图 1-2 燃烧四面体

【能力提升训练】

根据所学知识，请你查阅文献，通过网络、图书等途径完成下列任务：

- (1) 查找目前我国常用的灭火器种类有哪些？
- (2) 扑救原理是什么？

【归纳总结提高】

一、选择题

1. 下列说法正确的是（ ）。
 - A. 有发光、放热现象的变化一定是燃烧
 - B. 剧烈的燃烧都会引起爆炸
 - C. 爆炸一定属于化学变化
 - D. 燃烧一定伴随着发光、放热现象
2. 扇一扇，燃着的蜡烛立即熄灭，其原因是（ ）。
 - A. 供给的氧气减少
 - B. 供给的氧气增加
 - C. 使蜡烛着火点降低
 - D. 温度低于蜡烛的着火点
3. 手帕浸泡在盛有质量分数为 70% 的酒精溶液中，浸透后取出，将手帕展开，用镊子夹住两角，用火点燃。当手帕上的火焰熄灭后，手帕完好无损。对于这一现象，下列解释正确的是（ ）。
 - A. 这是魔术，你看到的是一种假象
 - B. 火焰的温度低于棉布的着火点
 - C. 手帕上的水汽化吸热，使手帕的温度低于棉布的着火点
 - D. 酒精燃烧后使棉布的着火点升高
4. 氦气在氟气中点燃产生苍白色火焰，放出大量热，下列说法中，不正确的是（ ）。
 - A. 此反应属于燃烧
 - B. 此反应不属于燃烧，因为没有氧气参加
 - C. 此反应中元素的化合价发生了变化
 - D. 此反应属于化合反应
5. 古语道“人要实，火要虚”，其中“火要虚”的意思是：燃烧木柴时通常架空些，才能燃烧得更旺。火要虚的实质是（ ）。
 - A. 散热的速度加快
 - B. 增大木柴与空气的接触面积
 - C. 木柴的着火点降低
 - D. 提高空气中氧气的含量

二、简答题

1. 简述燃烧的充要条件。
2. 简述燃烧的本质。
3. 常见的点火源有哪些？

项目二 燃烧的形式与特点

【学习目标】

掌握气体燃烧的形式及特点；掌握液体燃烧以及固体燃烧的形式；能够根据所给案例对燃烧形式进行判断；了解气体的燃烧速度与管径的关系，以及在实际生活中的应用实例；了解液体燃烧速度的影响因素。

【知识储备】

一、燃烧形式

1. 气体燃烧

根据气体燃烧过程的控制因素不同，可分为扩散燃烧和预混燃烧两种燃烧形式。

(1) 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。

扩散燃烧的特点为：燃烧比较稳定，扩散火焰不运动，可燃气体与氧化剂气体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。

(2) 预混燃烧。

预混燃烧又称动力燃烧或爆炸式燃烧。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，压强可达 709.1 ~ 810.4 kPa。通常的爆炸反应即属此种。

预混燃烧的特点为：燃烧反应快，温度高，火焰传播速度快，反应混合气体不扩散，在可燃混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。若混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。

2. 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。

常见的可燃液体中，液态烃类燃烧时，通常具有橘色火焰并散发浓密的黑色烟云。醇类燃烧时，通常具有透明的蓝色火焰，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。

(1) 沸溢。

以原油为例，其黏度比较大，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。放置久后，油水分离，水因比重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气化，大量的蒸气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气气泡的泡沫。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气膨胀力抛出罐外，使液面猛烈沸腾起来，就像“跑锅”一样，这种现象叫沸溢。

(2) 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，蒸气体积迅速膨胀，以至把水垫上面的液体层抛向空中，向罐外喷射，这种现象叫喷溅。

一般情况下，发生沸溢要比发生喷溅的时间早的多。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 ~ 60 min 燃烧就会发生沸溢。喷溅发生的时间与油层厚度、热波移动速度以及油的燃烧线速度有关。

3. 固体燃烧

固体可燃物由于其分子结构的复杂性、物理性质的不同，其燃烧方式也不相同。主要有下列四种。

(1) 蒸发燃烧。

可熔化的可燃性固体受热升华或熔化后蒸发，产生可燃气体进而发生的有焰燃烧，称为蒸发燃烧。发生蒸发燃烧的固体，在燃烧前受热只发生相变，而成分不发生变化。一旦火焰稳定下来，火焰传热给蒸发表面，促使固体不断蒸发或升华燃烧，直至燃尽为止。分子晶体、挥发性金属晶体和有些低熔点的无定形固体的燃烧，如石蜡、松香、硫、钾、磷、沥青和热塑性高分子材料等燃烧，均为蒸发燃烧。燃烧过程总保持边熔化、边蒸发、边燃烧形式，固体有蒸发面的部分都会有火焰出现，燃烧速度较快。钾、钠、镁等之所以称为挥发金属，因其燃烧属蒸发式燃烧，而生成白色浓烟是挥发金属蒸发式燃烧的特征。

(2) 分解燃烧。

分子结构复杂的固体可燃物，在受热后分解出其组成成分及与加热温度相应的热分解产物，这些分解产物再氧化燃烧，称为分解燃烧。如木材、纸张、棉、麻、毛、丝以及合成高分子的热固性塑料、合成橡胶等燃烧。

煤、木材、纸张、棉花、农副产品等成分复杂的固体有机物，受热不发生整体相变，而是分解释放出可燃气体，燃烧产生明亮的火焰，火焰的热量又促使固体未燃部分的分解和均相燃烧。当固体完全分解且析出可燃气体全部烧尽后，留下的碳质固体残渣才开始无火焰的表面燃烧。

塑料、橡胶、化纤等高聚物，是由许多重复的较小结构单位（链节）所组成的大分子。绝大多数高分子材料都是易燃的，而且大部分发生分解式燃烧，燃烧放出的热量很大。一般说来，高聚物的燃烧过程包括受热软化熔融、解聚分解、氧化燃烧。分解产物随分解时的温度、氧浓度及高聚物本身的组成和结构不同而异。所有高聚物在分解过程中都会产生可燃气体，分解产生的较大分子会随燃烧温度的提高进一步蒸发热解或不完全燃烧。高聚物在火灾的高温下边熔化、边分解、边呈有焰均相燃烧，燃着的熔滴可把火焰从一个区域扩展到另一个区域，从而促使火灾蔓延发展。

（3）表面燃烧。

可燃物受热不发生热分解和相变，可燃物质在被加热的表面上吸附氧，从表面开始呈余烬的燃烧状态叫表面燃烧（也叫无火焰的非均相燃烧）。

这类燃烧的典型例子，如焦炭、木炭和不挥发金属等的燃烧。表面燃烧速度取决于氧气扩散到固体表面的速度，并受表面上化学反应速度的影响。焦炭、木炭为多孔性结构的简单固体，即使在高温下也不会熔融、升华或分解产生可燃气体。氧扩散到固体物质的表面，被高温表面吸附，发生气固非均相燃烧，反应的产物从固体表面解吸扩散，带着热量离开固体表面。整个燃烧过程中固体表面呈高温炽热发光而无火焰，燃烧速度小于蒸发速度。

铝、铁等不挥发金属的燃烧也为表面燃烧。不挥发金属的氧化物熔点低于该金属的沸点。燃烧的高温尚未达到金属沸点且无大量高热金属蒸气产生时，其表面的氧化物层已熔化退去，使金属直接与氧气接触，发生无火焰的表面燃烧。由于金属氧化物的熔化消耗了一部分热量，减缓了金属的氧化，致使燃烧速度不快，固体表面呈炽热发光。这类金属在粉末状、气熔胶状、刨花状时，燃烧进行得很剧烈，且无烟生成。

（4）阴燃。

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。这种燃烧看不见火苗，可持续数天甚至数十天，不易发现。

固体的上述四种燃烧形式中，蒸发燃烧和分解燃烧都是有火焰的均相燃烧，只是可燃气体的来源不同。蒸发燃烧的可燃气体是相变产物，分解燃烧的可燃气体来自固体的热分解。固体的表面燃烧和阴燃，都是发生在固体表面与空气的界面上，呈无火焰的非均相燃烧。阴燃和表面燃烧的区别，就在于表面燃烧的过程中固体不发生分解。

二、燃烧温度

燃烧反应的其中一个特征是放热，可燃物质燃烧时所放出的热量，一部分经过热辐射散失，一部分用到加热燃烧产物上，使产物温度升高。燃烧温度就是燃料燃烧时放出的热量使燃烧产物（烟气）所能达到的温度，有理论燃烧温度和实际燃烧温度之分，通常性况下我们所说的燃烧温度为理论燃烧温度。燃烧体系放热量越大，燃烧产物温度越高。

就有焰型燃烧来说，由于可燃物质燃烧所产生的热量是从物质燃烧的火焰中放出来的，因而火焰的温度就是燃烧温度。一般概念上说，燃烧温度取决于可燃物质的燃烧速度和燃烧