



高职高专“十一五”规划教材

i

安全技术系列

防火防爆技术

FANGHUO FANGBAO JISHU

康青春 贾立军 主编 任松发 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

——安全技术系列

防火防爆技术

康青春 贾立军 主编

任松发 主审



化学工业出版社

·北京·

本书是一门理论性和实践性都很强的课程。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,专题介绍了危险化学品和典型危险场所的防火与防爆技术,还介绍了火灾与爆炸事故管理和火灾与爆炸事故的现场处置技术,具有完整的理论体系和较强的可操作性。

本书可作为高职高专化工安全类专业教材,也可供从事化工生产与消防安全工作的其他人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

防火防爆技术/康青春,贾立军主编. —北京:化学工业出版社, 2008.6

高职高专“十一五”规划教材——安全技术系列

ISBN 978-7-122-02985-0

I. 防… II. ①康…②贾… III. ①防火-高等学校:技术学院-教材②防爆-高等学校:技术学院-教材 IV. X932

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第078093号

责任编辑:张双进 窦 臻

装帧设计:王晓宇

责任校对:洪雅姝

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张12½ 字数311千字 2008年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

化工安全技术专业教学指导委员会

主任委员 金万祥

副主任委员 (按姓名笔画排列)

杨永杰 张 荣 郭 正 康青春

委 员 (按姓名笔画排列)

王德堂 申屠江平 刘景良 杨永杰

何际泽 冷士良 张 荣 张瑞明

金万祥 郭 正 康青春 蔡庄红

薛叙明

秘 书 长 冷士良

安全技术类教材编审委员会

主任委员 金万祥

副主任委员 (按姓名笔画排列)

杨永杰 张 荣 郭 正 康青春

委 员 (按姓名笔画排列)

王德堂 卢 莎 叶明生 申屠江平

刘景良 孙玉叶 杨永杰 何际泽

何重玺 冷士良 张 荣 张良军

张晓东 张瑞明 金万祥 周福富

胡晓琨 俞章毅 贾立军 夏洪永

夏登友 郭 正 康青春 傅梅绮

蔡庄红 薛叙明

秘 书 长 冷士良

前 言

防火防爆技术是一门理论性和实践性都很强的课程。教材编写遵循全国化工高职化工安全教学指导委员会相关精神，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，专题介绍了危险化学品和典型危险场所的防火与防爆技术，还介绍了火灾与爆炸事故管理和火灾与爆炸事故的现场处置技术，具有完整的理论体系和较强的可操作性。

本书可作为高职高专化工安全类专业教材，也可供从事化工生产与消防安全工作的其他人员参考。

本书由中国人民武装警察部队学院（以下简称武警学院）、天津职业大学、河南工业大学化学工业职业学院、徐州工业职业技术学院4所院校共同编写。由武警学院康青春教授、天津职业大学贾立军教授级高级工程师担任主编，并由康青春教授统稿。参加编写的人员有武警学院康青春（绪论、第二章第五节），高凌（第一章第一节、第二章第一节~第四节），河南工业大学化学工业职业学院杨秀芹（第一章第二节、第三章），天津职业大学贾立军（第四章、第五章），徐州工业职业技术学院刘晓静（第六章），武警学院辛晶（第七章）。

全书由武警学院任松发教授担任主审。

随着经济建设的高速发展和科学技术的突飞猛进，防火防爆技术也必将不断发展变化，加之编者水平所限，本教材存在不妥之处在所难免，敬请使用者指正。

编者
2008年5月

目 录

绪论	1	二、防火控制与隔绝装置	72
一、火灾与爆炸事故特点	1	第五节 灭火设施	75
二、研究防火防爆技术的意义	2	一、灭火器	75
三、防火与防爆技术的研究对象	2	二、水灭火系统	76
四、常用消防法规简介	4	三、泡沫灭火系统	78
习题	5	四、气体灭火系统	79
第一章 燃烧与爆炸基本原理	6	习题	80
第一节 燃烧基本原理	6	第三章 防爆技术与措施	81
一、燃烧理论	6	第一节 防爆技术理论	81
二、燃烧类型	14	一、可燃物质化学爆炸的条件	81
三、燃烧特征	19	二、燃烧和化学爆炸的关系	82
第二节 爆炸的基本原理	25	三、防爆技术的基本理论	83
一、爆炸及其种类	25	第二节 防爆基本技术措施	83
二、爆炸极限及其理论	30	一、预防形成爆炸性混合物	83
阅读材料	37	二、限制爆炸波扩散	87
一、燃烧学说	37	三、火灾爆炸的局限化	87
二、爆炸学说和理论	41	四、厂房(库房)的防爆设计	88
三、爆炸破坏力的计算	42	第三节 防爆安全装置	89
习题	46	一、防爆泄压装置	89
第二章 防火技术与措施	48	二、抑爆装置	94
第一节 防火基本知识	48	三、紧急制动装置	95
一、火灾事故的发展过程	48	四、自动控制和保险装置	96
二、生产过程的火灾危险性	48	习题	104
三、建筑材料及构件的防火性能	48	第四章 危险化学品的防火与防爆	105
第二节 防火安全设计	51	第一节 危险化学品及其分类	105
一、区域规划与工厂总平面布置的 防火设计	51	一、爆炸品	105
二、工艺装置的防火设计	61	二、气体	106
三、消防给水设计	63	三、易燃液体	106
第三节 防火基本技术措施	65	四、易燃固体、易于自燃的物质、遇水 放出易燃气体的物质	106
一、控制可燃物技术	66	五、氧化性物质和有机过氧化物	107
二、控制助燃物技术	67	第二节 危险化学品的燃爆特性	107
三、控制点火源技术	68	一、爆炸品的燃爆特性	107
四、控制工艺参数技术	72	二、气体的燃爆特性	108
第四节 防火安全装置	72	三、易燃液体的燃爆特性	111
一、火灾自动报警装置	72	四、易燃固体的燃爆特性	114
		五、易于自燃的物质的燃爆特性	115
		六、遇水放出易燃气体的物质的燃爆	

特性	116	一、罐车装卸作业的防火与防爆	149
七、氧化性物质和有机过氧化物的燃爆		二、加油作业的防火与防爆	150
特性	117	三、烃泵作业的防火与防爆	151
第三节 评价危险化学品燃爆危险性的		四、设备清洗作业的防火与防爆	153
主要技术参数	118	五、检修作业的防火与防爆	154
一、评价气体燃爆危险性的主要技术		第四节 液化石油气储配站的防火与	
参数	118	防爆	155
二、评价易燃液体燃爆危险性的主要		一、液化石油气的火灾爆炸危险性	155
技术参数	120	二、液化石油气储配站防火、防爆	
三、评价易燃固体火灾危险性的主要		措施	156
技术参数	124	第五节 其他危险场所的防火与防爆	159
第四节 危险化学品的储存、包装、运输		一、油库	159
及废弃处理	125	二、气瓶库	161
一、危险化学品的储存	125	三、焊割动火场所	162
二、危险化学品的包装	129	习题	164
三、危险化学品的运输	131	第六章 火灾与爆炸事故管理	166
四、废弃危险化学品的处理	132	第一节 火灾爆炸事故调查	166
第五节 常见危险化学品火灾的扑救	134	一、事故调查目的与程序	166
一、爆炸品火灾的扑救	134	二、火灾爆炸事故的现场特征	168
二、压缩气体和液化气体火灾的扑救	134	三、火灾爆炸事故现场勘验	170
三、易燃液体火灾的扑救	135	第二节 火灾事故统计与事故档案	173
四、易燃固体、自燃物品火灾的扑救	136	一、事故统计与火灾统计	173
五、遇湿易燃物品火灾的扑救	136	二、火灾统计的任务与基本内容	174
六、氧化剂和有机过氧化物火灾的扑救	137	三、火灾档案	175
七、毒害品、腐蚀品火灾的扑救	137	习题	177
习题	138	第七章 火灾与爆炸事故的现场处置	178
第五章 典型危险场所的防火与防爆	139	第一节 火灾事故现场处置	178
第一节 化工生产中的防火与防爆	139	一、火灾的危害	178
一、化工生产中常见事故类型	139	二、火灾事故现场处置基本程序	179
二、控制工艺参数	141	第二节 爆炸事故现场处置	186
三、控制可燃物料的排放	142	一、爆炸的危害	186
四、紧急情况停车处理	143	二、爆炸事故处置难点	187
第二节 溶解乙炔站的防火与防爆	143	三、爆炸事故处置准备工作	187
一、溶解乙炔生产工艺流程	143	四、爆炸事故现场处置措施	188
二、溶解乙炔站发生火灾、爆炸的		习题	189
原因分析	144	参考文献	190
三、溶解乙炔站防火与防爆措施	145		
第三节 加油站主要作业的防火与防爆	148		

绪 论

火灾与爆炸事故是人类社会的重要灾害之一，其直接后果是危害人民生命安全，造成经济损失，破坏生态平衡，导致环境污染。随着社会经济发展，城市化步伐的加速，导致火灾的重大火灾的危险源不断增多，火灾与爆炸事故呈现出发生频率高、突发性强、危害大等特点，由此而带来的灾难性后果也更加严重，因此，加强火灾与爆炸事故研究，掌握最新的防火防爆技术，对于预防和控制火灾与爆炸事故的发生发展，具有重要的意义。

一、火灾与爆炸事故特点

1. 火与火灾

火的使用对人类文明发展起到了巨大的推动作用，火的使用是“人猿揖别”的主要标志之一。人类利用火，吃上了熟食，结束了茹毛饮血的野蛮饮食方式，使人类的大脑逐渐发达。火还可以帮助上古人类御寒，使得人们能够在温暖的洞穴渡过漫长的严冬，生命得以延续和发展。后来，火逐渐从生活扩展到生产，如：制陶业、酿造业、冶金业，大大提高了人类的文明程度，直到今天，人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，火给人类带来福祉的同时，也不断给人类制造灾难。当火在时间和空间上失去控制，并发展成灾的时候，火就变成为了火灾。据考证，距今 6000 多年西安半坡遗址，就留下火灾现场的证据，这是发现的最早火灾现场遗址。直到今日，火灾无时无刻不在威胁着人们的生命和财产安全。从某种角度上讲，人类的文明史，既是用火的历史，也是与火灾做斗争的历史。

2. 目前中国火灾与爆炸事故呈上升趋势

现代科学技术和工业生产的迅猛发展，一方面丰富了人类的物质生活，另一方面也增加了各种灾害的风险。世界工业化国家的发展经历证明，一个国家、一个区域的火灾形势走向与工业化发展水平密切相关，在工业化的初期、中期和后期，火灾一般呈上升、平稳和下降的趋势。目前，中国总体上处于工业化中期阶段，但中国的工业化进程具有一定的特殊性，产业结构、布局与西方工业化国家有很大不同，尤其是经济全球化使中国迅速成为产品制造业大国，劳动密集型产业和资源消耗性企业大量增加，即使在经济较发达的东南沿海和长三角、珠三角地区，具有明显工业化初期特征的作坊式生产企业仍遍布城乡，现阶段乃至今后一个时期，这种粗放增长的经济增长模式和低水平的加工方式，将致使火灾危险源持续增多。近年来火灾次数和损失明显增加，1950~2007 年的 58 年共发生火灾约 492 万起，死亡人数约 17.7 万，经济损失约 281.5 亿元。而在 2000~2007 年的 8 年间，发生火灾约 179 万起，死亡人数为 18239，直接经济损失约 108.7 亿元。据公安部消防局火灾统计数据，2007 年全年共发生火灾 15.9 万起（不含森林、草原、军队、矿井地下部分火灾，下同），死亡 1418 人，受伤 863 人，直接财产损失 9.9 亿元。

3. 火灾爆炸事故所造成的经济损失与人员伤亡日趋严重

由于经济规模的增长和城市化速度的加快，大中城市以及卫星城镇在中国迅速崛起，城镇的人员和财富不断膨胀，一旦发生火灾，其直接后果就是造成大量人员伤亡和重大财产损失。20 世纪 80 年代初期，全国每年火灾造成的直接经济损失为 3 亿元左右，到 90 年代末，

每年火灾造成的直接经济损失为 10 亿元之多。近年来,所发生的火灾与爆炸事故损失巨大。2004 年 12 月 21 日湖南省某市场特大火灾,火灾造成 1 人死亡、23 人受伤、直接财产损失 1.8 亿元。2008 年 1 月 2 日,新疆乌鲁木齐某专业批发市场“德汇国际广场”发生火灾。造成 5 人死亡,直接经济损失数亿元。2000 年 12 月 25 日,河南省某市东都商厦发生火灾,造成 309 人死亡。2007 年 10 月 21 日,福建省某市鞋面加工作坊发生一起重大火灾,造成 37 人死亡。2005 年 11 月 13 日,中石化集团某石化公司双苯厂发生特大爆炸火灾事故,造成 6 人死亡,经济损失 7000 多万元,引起松花江水域严重污染。

二、研究防火防爆技术的意义

1. 经济迅速发展给防火防爆技术提出新的挑战

随着中国经济建设的飞速发展,工业在生产结构上正朝着企业集团化、规模大型化、产品结构综合化方向发展。在现代工业生产中,特别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、生产集原料加工、中间体再处理、产品再加工为一体的综合性、连续生产等特点。为提高经济效益,提高产量,减少投资,促进了装置的大型化。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、高空间速度、深冷等工艺控制高参数,使生产操作更为严格、困难,同时也增大了火灾危险性。

由于城市化道路的加速发展,一些大型中心城市迅速崛起,大量人员和财富在这里集中,高层、超高层建筑拔地而起,大型商场、大型娱乐场所、体育场馆方兴未艾,其建筑结构复杂程度、人员集中程度都与以往发生了质的变化,一旦发生火灾将会产生灾难性后果。

无论是生产还是生活方式的变化,都对防火与防爆技术提出新的挑战。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,以更有效地预防和减少火灾与爆炸事故。

2. 研究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,满足人民物质文化生活需要。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,这就完全背离了最初的目的。

火灾与爆炸事故给国家经济建设和人民生命安全带来如此严重威胁,因此,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,不断提高防火防爆技术,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”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发生,才能保证经济建设又好又快的发展,保证人民安居乐业。

三、防火与防爆技术的研究对象

1. 火灾与爆炸事故的分类

(1) 火灾的分类

① 按火灾发生的场所分类。

- 建筑火灾,指发生在建筑物内火灾,主要是指民用建筑,如居住建筑、公共场所等。

- 工业企业火灾，指发生在工业建筑、生产装置等场所的火灾，如石油化工装置火灾、油罐火灾、液化石油气供应站火灾等。

- 森林火灾和草原火灾，指发生在森林、草原等野外的火灾。
- 交通工具火灾，指发生在飞机、船舶、列车、汽车等交通工具上的火灾。
- 特殊场所火灾，指发生在军事设施、矿井地下部分、核电厂的火灾。

② 按火灾事故发生的原因分类。按火灾事故发生的原因可以分为：放火火灾、电气火灾、违章操作引起火灾、吸烟引起火灾、玩火引起火灾、自燃火灾、雷击火灾、不明原因火灾。

③ 按火灾事故所造成的经济损失和人员伤亡情况分类。将火灾事故分为：特大火灾、重大火灾、较大火灾和一般火灾。

④ 按燃烧物性质和灭火剂适应情况分类。可以分为 A、B、C、D、E、F 六大类如下。

A 类火灾：指固体物质火灾。这种物质往往具有有机物性质，一般在燃烧时能产生灼热的余烬。如木材、棉、毛、麻、纸张火灾等。

B 类火灾：指液体火灾和可熔化的固体火灾。如汽油、煤油、原油、甲醇、乙醇、沥青、石蜡火灾等。

C 类火灾：指气体火灾。如煤气、天然气、甲烷、乙烷、丙烷、氢气火灾等。

D 类火灾：指金属火灾。指钾、钠、镁、钛、锆、锂、铝镁合金火灾等。

E 类火灾：指带电火灾。

F 类火灾：厨房厨具火灾。

(2) 爆炸分类 爆炸可以分为三类：即物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。

- 物理爆炸，包括压力容器爆炸和水蒸气爆炸。另外，陨石落地、雷电爆炸，地震和火山爆发也是物理爆炸。

- 化学爆炸，由于物质发生剧烈的化学反应，使压力急剧上升而引起的爆炸称为化学爆炸。如炸药爆炸、可燃气体（甲烷、乙炔等）爆炸、粉尘爆炸等。

- 核爆炸，是原子核发生裂变或聚变反应，瞬间释放出巨大能量的过程。根据爆炸当量、爆炸相对于地面、水面的位置，核爆炸的方式可分为空中核爆炸、高空核爆炸、地面核爆炸、地下核爆炸和水中核爆炸五种。

2. 本课程研究的对象和主要内容

本课程以研究建筑和工业企业防火防爆技术为主要研究对象，重点研究生产装置、设施等防火防爆技术，典型危险场所和危险化学品的防火防爆技术。从事故类型看，重点研究化工生产工艺与装置火灾、危险化学品火灾、自燃火灾的防火技术，研究压力容器爆炸、气体爆炸和粉尘爆炸事故的防爆技术。

本课程主要研究内容如下。

① 燃烧与爆炸基本原理，主要研究：燃烧理论、燃烧本质、燃烧要素、燃烧机理、燃烧类型、燃烧特征、爆炸的基本原理。

② 防火与防爆技术措施，主要研究：防火防爆安全设计、防火防爆基本措施、防火防爆安全装置。

③ 危险化学品防火防爆，主要研究：危险化学品的分类、危险性评价、储存运输安全管理措施。

④ 典型危险场所的防火与防爆，主要研究：油库、液化石油气站、石油化工企业、电石库、乙炔站、气瓶库、热处理等典型危险场所的防火与防爆技术措施。

⑤ 火灾与爆炸事故管理，主要研究：火灾爆炸事故调查、事故调查目的与程序、火灾爆炸事故的现场特征、火灾爆炸事故现场勘验、火灾事故统计与事故档案、事故统计与火灾统计、火灾统计的任务与基本内容、火灾档案建立等问题。

⑥ 火灾与爆炸事故的现场处置，主要研究：火灾事故现场处置措施、爆炸事故现场处置措施。

四、常用消防法规简介

研究防火防爆技术，是为了更好地开展防火防爆工作。而防火防爆是消防工作的一个重要组成部分，是一项法律性很强的工作，因此必须了解和掌握与此相关的消防法规。

广义的消防法规指国家机关制定的有关消防管理的一切规范性文件的总称，包括消防行政管理法规和技术标准。

1. 消防行政管理法规

消防行政管理法规按照制定机关不同，通常分成五个类别。

(1) 消防法律 由全国人大及其常委会制定，国家主席签署国家主席令公布。如《中华人民共和国消防法》(简称《消防法》)。1998年4月29日，经过第九届全国人民代表大会第二次常务委员会审议通过中国第一部《消防法》，由中华人民共和国第4号主席令公布，1998年9月1日实施。《消防法》是指导全国消防工作的根本大法。在这部《消防法》中对消防工作的方针、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。

除《消防法》外，还有其他与消防相关的法律条文散见于其他法律文件中，如《刑法》、《行政诉讼法》、《行政复议法》、《国家赔偿法》等。

(2) 消防行政法规 由国务院制定，国务院总理签署国务院令公布，如《危险化学品安全管理条例》等。

(3) 消防部门法规 由国务院各部委制定，部门首长签署命令公布，如公安部颁布的《消防监督检查规定》(公安部73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) 地方性消防法规 由省、自治区、直辖市，省会、自治区首府，国务院批准的市人大及其常委会制定的，由当地人大或人大常委会发布的公告予以公布。

省级地方性法规的地域管辖效力要大于市级地方性法规的地域管辖效力。

(5) 地方性规章 由省、自治区、直辖市，省会、自治区首府，国务院批准的较大市人民政府制定的，由省长、自治区主席或市长签署命令予以公告公布。

省级政府地方性规章的地域管辖效力要大于市级政府地方性规章的地域管辖效力。

2. 消防技术法规

消防技术法规主要是指各类消防标准，包括国家标准、行业标准和地方标准。国家标准是在全国范围内统一的技术要求。根据中华人民共和国标准化法的规定，对需要在全国范围内统一的技术要求，应当制定国家标准。国家标准由国务院标准化行政主管部门制定。

为了保障公民人身和财产的安全，贯彻“预防为主，防消结合”的方针，采取防火措施，防止和减少火灾危害，国家制定了一系列防火规范标准。如《建筑设计防火规范》、《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。

《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)是最重要的消防标准之一，该规范适用于新

建、扩建和改建的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。

习 题

1. 当前中国火灾与爆炸事故有什么特点？
2. 研究防火防爆技术的有什么重要意义？
3. 简述火灾与爆炸事故分类方法。
4. 《消防法》是何时通过审议，何时正式实施的？
5. 中国消防工作的总方针是什么？
6. 《石油化工企业设计防火规范》属于哪一类法规？

第一章 燃烧与爆炸基本原理

学习目标

理论要求：了解燃烧爆炸学说；熟悉各种燃烧类型；熟悉影响燃烧爆炸极限的因素；熟悉爆炸极限的计算方法；掌握燃烧爆炸的原理和条件。

技能要求：能够利用燃烧原理概括防火灭火方法；能操作燃烧爆炸实验。

第一节 燃烧基本原理

燃烧，是广泛存在于人类社会中的最神奇、最常见的自然现象之一，俗称火。在时间和空间上失去控制的火必然成灾。火灾，自从有火那时起便接踵而至，时刻威胁着人们的生命和财产安全。火灾既是自然现象，也是社会现象，人类社会的进步，无法回避火灾的挑战。研究探索火灾发生发展的规律、预防火灾发生是一项重要的社会工作，而要研究防火，必先了解燃烧。

一、燃烧理论

燃烧是一种复杂的自然现象，人类在征服和利用火的过程中，也开始了对燃烧的认识过程。随着科学的进步，人类对于燃烧的认识不断深化。

1. 燃烧的本质

用火，是人类认识燃烧的真正起点。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的灭亡，从天上偷来的。在我国，燧人氏钻木取火的故事更为感人，也更为切合实际。但这些离火的本质相距甚远。

在人类用火这一漫长的历史长河中，出现了诸如关于火的“本源”说、“五行”说、“四大”说、“四元”说、“火微粒”说和“燃素”说等，其中 17 世纪末德国的施塔尔 (G. E. Stahl) 提出的“燃素论”，虽然被证明是完全错误的，但可以说是让燃烧成为一门科学的最早的努力。直到 1774 年英国化学家普里斯特利 (J. Priestley) 发现了氧，这一发现被法国科学家拉瓦锡 (A. L. Lavoisier) 得知，并在普里斯特利实验的基础上重复做了大量的实验，经过综合分析和归纳，得出了关于燃烧的氧化学说，并于 1777 年公布于世，从而逐步揭开了燃烧之谜。

在日常生活、生产中所见到的燃烧现象，大多是可燃物与空气中氧或其他氧化剂作用发生的放热反应，通常伴有发热、发光和（或）发烟的现象。燃烧必须具有三个特征：是一个剧烈的氧化还原反应；放出大量的热；发光和（或）发烟。从本质上讲，燃烧是一种氧化还原反应，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。

常见的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。又如铁生锈是一种氧化反应生成氧化铁，但这反应不剧烈，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。

需要注意的是，燃烧是一种氧化还原反应，氧气是最常见的氧化剂，但氧化剂并非仅限于氧气。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，氧化并不只限于同氧的化合。例如氢、炽热的铁、金属钠、铜与氯气反应，都是同时伴有发热、发光的剧烈的氧化还原反应，因而都属于燃烧现象。

2. 燃烧的要素和条件

燃烧虽然是一种很普遍的现象，但必须具备一定的要素和条件才能发生。

燃烧的要素是指制约燃烧发生和发展变化的因素。要发生燃烧反应，必须要有氧化剂和还原剂参加，另外还要有引发燃烧的能量，也就是说，燃烧必须具备三要素：第一，要有可燃物（还原剂）；第二，要有助燃物（氧化剂）；第三，要有点火源。

(1) 可燃物（还原剂） 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。

可燃物在燃烧反应中是作为还原剂出现的。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部分金属单质（如钠、钾、镁、钙、铝等）、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。有机物种类繁多，其中大部分含有碳、氢、氧元素，有的还含有少量氮、磷、硫等，除了四氯化碳等多卤代烃不能燃烧外，绝大多数都是可燃的，如原油、天然气、甲烷、乙烯、汽油、丙酮、塑料等。

从物质形态上，可燃物可以分为气体可燃物、液体可燃物和固体可燃物。不同聚集状态（气体、液体和固体）的可燃物质会形成不同的燃烧过程，在空气中一般分为扩散燃烧、蒸发燃烧、分解燃烧和表面燃烧四种燃烧形式。

根据可燃物在生成、储存时的火灾危险性，共分为甲、乙、丙、丁、戊五大类（见表2-1）。其中可燃气体分为甲、乙两大类；可燃液体分为甲、乙、丙三大类；固体可燃物分为甲、乙、丙、丁、戊五大类。甲类为极易燃烧、自燃、爆炸的物质；乙类为容易燃烧、自燃、爆炸的物质；丙类为一般可燃物质，系指在空气中受到火烧或高温作用时立即起火或微燃，且火源移走后仍继续燃烧或微燃的材料，如木材、竹制品、动植物油等；丁类为难燃材料，系指在空气中受到火烧或高温作用时难起火、难微燃、难炭化，当火源移走后燃烧或微燃立即停止的材料，如经过防火处理的木材和刨花板等；戊类为非燃材料，系指在空气中受到火烧或高温作用时不起火、不微燃、不炭化的材料，如砖、石等建筑材料。这些种类繁多的可燃物构成了燃烧的第一要素。

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。

(2) 助燃物 (氧化剂) 与可燃物相结合能导致燃烧的物质称助燃物，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。

可作为助燃物的氧化剂种类很多。发生一般火灾时，最常见的助燃物是空气中的氧，它在空气中的体积分数约为 21%，因而一般可燃物质在空气中均能燃烧。在一些特殊火灾（如化工火灾、仓库火灾）中，引起燃烧反应的氧化剂则是多种多样的，常见的有卤族元素（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，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。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。

(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，有时也称着火源。

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。后几种能量通常又以热能的形式表现出来。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，由于热量不能及时散失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。

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。

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。燃烧既要具备“质”的方面的条件，也要具备“量”的方面的条件才能发生，也就是说，上述三个条件在数量上的变化会直接影响燃烧是否发生和持续进行。在某些情况下，如可燃物的数量不够，助燃物浓度不足，或点火源的能量不够大，燃烧也不能发生。例如，用一根火柴可以引燃一张纸，却不能引燃一块木板，这说明点火源必须有一定的温度和热量；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，这说明燃烧必须有充足的助燃物。只有在可燃物和助燃物充足，点火源有足够的温度和热量，而且三者同时具备并互相作用时，燃烧才会发生。因此，燃烧的充分条件如下：

- ① 具备一定数量的可燃物；
- ② 有足够数量的氧化剂；
- ③ 点火源要具有一定的能量；
- ④ 三要素必须相互作用。

综上所述，可以用经典燃烧三角形理论来说明燃烧三要素之间的关系，如图 1-1 所示。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，

否则就不会发生燃烧。经典的燃烧三角形一般足以说明燃烧得以发生和持续进行的原理。但是根据燃烧的链式反应理论，很多燃烧的发生和持续有游离基（又称自由基）作“中间体”。因而，燃烧三角形中又增加了一个表示游离基参加燃烧反应的空间坐标，从而形成一个燃烧四面体，如图 1-2 所示，来说明各要素之间的关系。

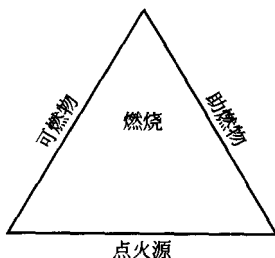


图 1-1 燃烧三角形

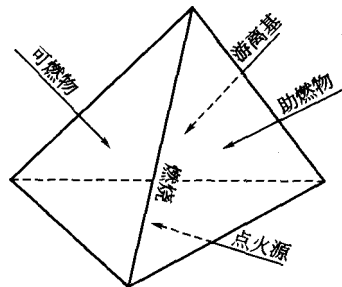


图 1-2 燃烧四面体

掌握了燃烧要素和燃烧发生的条件，就可以了解预防和控制火灾的基本原理。防止和控制燃烧三个基本要素中的任何一个，都可以防止和控制火灾的发生。例如，控制可燃物、隔绝空气、消除点火源、设置阻火分隔物等，都是为了不使燃烧三要素形成，或者不使它们三者相互结合和作用，这样都可以防止火灾的发生；采取隔离法、冷却法、窒息法、抑制法等，破坏已经形成的燃烧要素，或者使燃烧反应中的游离基（自由基）消失，都可以起到控制火灾的作用。

3. 燃烧极限

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（着火极限 limits of flammability）。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。

通常，燃烧过程的化学反应速率或释放热能的速率是由可燃物和空气两者浓度的乘积决定的，因此，任一因素的浓度严重降低，均能促使反应速率减小并使释放的热能不能补偿热量的散失，因而使混合气不能点燃及传播火焰。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。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）。

4. 引燃能、最小点火能

根据燃烧的条件，可燃物、助燃物、点火源三者不仅要同时存在，而且可燃物、助燃物要具备一定的数量或浓度，点火源要具有一定大小的能量和一定高低的温度，可燃物才会被引燃，火灾才会发生。

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。

最小点火能的测定可用电火花法，测定装置是一个放电回路，通过改变电源电压和可变电容值来调节电极放出的能量的大小，找出使可燃物质引燃的最小能量，即临界值。最小点

火能可由下式计算。

$$E_{\min} = \frac{1}{2}CU^2 \quad (1-1)$$

式中 E_{\min} ——最小引燃能量, J;

C ——可变电容值, F;

U ——电源电压, V。

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 1-1 所示。

表 1-1 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	0.0013	镁粉	80	0.24
乙炔	0.019	0.0003	乙酸纤维素粉	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	脲醛树脂粉	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, 对于气体或液体蒸气来说, 甲烷在空气中用电火花点火时, 能引起燃烧的最小点火能为 0.28mJ (毫焦耳), 而二硫化碳蒸气燃烧所需要最小点火能仅为 0.015mJ。再如, 甲烷和二硫化碳蒸气, 若改用高温物体点火时, 则需高温物体的最低温度分别为 537℃ 和 90℃。对于固体来说, 在氧气中的硬纸板在 380℃ 的热源作用下仅 3s 即被点燃, 而毛毡只需 250℃ 的热源作用 3s 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, 不能不看可燃物的燃烧性能如何, 而限制一切点火源的存在; 在火灾调查工作中, 要根据可燃物性质的不同, 对点火源进行科学的分析, 不能一概而论; 在灭火工作中, 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。

应当指出, 在周围环境中常见的点火源的温度, 如表 1-2 所示, 大多数都超过一般可燃物所需要的点燃能量。所以, 要求在有火灾爆炸危险的场所严禁烟火, 禁止使用易产生火花