

高等学校消防指挥专业规划教材

消防燃烧学

和丽秋 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等学校消防指挥专业规划教材

消防燃烧学

主 编 和丽秋

副主编 李海江

参 编 范红俊 李志红 赵 玲



机械工业出版社

本书从燃烧学基本概念入手,介绍了燃烧基础、火灾烟气、着火与灭火理论和燃烧类型;并系统地介绍了气体、液体、固体和粉尘等可燃物的燃烧过程、燃烧形式、燃烧速度及火灾预防;结合消防部队灭火救援实际对木材燃烧、高聚物燃烧、聚氨酯保温装饰材料燃烧、原油燃烧等几种典型物质的燃烧及阻燃剂、火灾烟气等知识的发展前沿作了介绍。

本书的主要教学对象是来自消防部队的现役战士,他们毕业之后将成为消防部队的基层指挥员。编写组根据多年教学经验,在章节的编排上体现了从基础到应用的教学思想,章节内容的难度较好地考虑到教学对象的学习基础和学习能力,对后续专业课程所需的知识点在内容上作了强化,同时,结合消防部队近年火灾形势和特点也注重将一些前沿知识融入到教材中。这是一本难易适中,结构合理,结合教学对象实际需求的适合消防专科学院教学和安全管理培训的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

消防燃烧学/和丽秋主编. —北京:机械工业出版社,2014.5

高等学校消防指挥专业规划教材

ISBN 978-7-111-46757-1

I. ①消… II. ①和… III. ①消防—燃烧理论—高等学校—教材
IV. ①TU998.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第100980号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:崔占军 邹云鹏 责任编辑:邹云鹏

版式设计:墨格文慧 责任校对:任秀丽

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2014年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.25印张·2插页·298千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-46757-1

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

高等学校消防指挥专业规划教材

编委会名单

编委会主任：胡玉勤

编委会副主任：陈宏伟 吕显智

编委会委员：张宏宇 唐朝纲 周白霞

前 言

教材建设是院校建设的一项基础性、长期性工作。配套、适用、体系化的专业教材不但能满足教学发展的需要，还对深化教学改革、提高人才培养质量起着极其重要的作用。近年来，中国人民武装警察部队昆明消防指挥学校党委和各级领导十分重视教材建设，专门成立了教材编审委员会，加强学校教材建设工作的领导，保证教材编写质量。根据2013年版《消防指挥专业专科人才培养方案》，学校组织有经验的教师编写了消防指挥专业的套系教材，并在全国范围内聘请了来自公安部消防局、部分消防总队、消防科研院所及军队院校和普通院校的24名专家和教授分别对教材编写情况进行审查。

本次教材编写工作，认真贯彻“教为战”的办学思想，满足当前消防工作和消防部队人才培养的新需要，立足教学实际，注重学科专业体系化建设，注重对各学科知识内容的更新，特别是对前沿消防科学技术、消防理论研究成果的吸纳和应用；教材结构安排和编写体例紧紧围绕基础理论知识学习和基本操作训练，突出案例教学和实践教学，着重提高学生的专业理论水平和实际工作技能。本教材适用于消防指挥专业人才培养教学需要，也可用作企业专职消防员培训用书和消防工程技术人员的工作参考书。

本书由和丽秋担任主编。具体的编写分工如下：和丽秋编写第一章和第五章，李志红编写第二章，李海江编写第三章和第四章第五节，赵玲编写第六章、第七章和第九章，范红俊编写第八章和第四章第一节至第四节。和丽秋负责全书统稿。廊坊武警学院徐晓楠教授、云南师范大学王世波教授对本书的编写提出了许多宝贵的意见和建议，在此对他们表示衷心的感谢！

鉴于编者人员学识水平和实践经验有限，本书难免存在疏漏和错误之处，敬请读者和同行批评斧正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论.....	1	第六章 气体燃烧.....	129
第二章 燃烧基础.....	9	第一节 气体的燃烧过程.....	129
第一节 燃烧的本质.....	9	第二节 气体的燃烧形式.....	131
第二节 燃烧的条件.....	11	第三节 气体的燃烧速度.....	133
第三节 阻燃原理和技术.....	16	第四节 气体爆炸的预防.....	137
第四节 火焰.....	24	第七章 液体燃烧.....	143
第五节 热传递.....	28	第一节 液体的燃烧过程.....	143
第六节 燃烧空气量的计算.....	33	第二节 液体的燃烧形式.....	146
第七节 热值及其计算.....	38	第三节 液体的燃烧速度.....	150
第八节 燃烧温度与火场热流密度.....	45	第八章 固体燃烧.....	154
第三章 火灾烟气.....	51	第一节 固体的燃烧过程.....	154
第一节 火灾烟气及其性质.....	51	第二节 固体的燃烧形式.....	156
第二节 火灾烟气的流动.....	61	第三节 固体的燃烧速度.....	158
第三节 火灾烟气的影响.....	66	第四节 典型固体物质的燃烧.....	162
第四节 火灾中的几种燃烧现象.....	69	第九章 粉尘爆炸.....	170
第四章 着火与灭火理论.....	76	第一节 可燃粉尘及其特性.....	170
第一节 着火方式与着火条件.....	76	第二节 粉尘爆炸的条件和过程及其危害.....	175
第二节 热自燃理论.....	77	第三节 影响粉尘爆炸的主要因素.....	177
第三节 链锁反应着火理论.....	82	第四节 粉尘爆炸的预防与控制.....	180
第四节 电火花引燃.....	87	附录.....	183
第五节 灭火分析.....	90	附录 A 火灾分类.....	183
第五章 燃烧类型.....	95	附录 B 消防基本术语(部分).....	185
第一节 闪燃.....	95	附录 C 物质防火防爆安全参数.....	188
第二节 点燃.....	102	附录 D 爆炸浮尘的点燃危险性参数.....	191
第三节 自燃.....	103	参考文献.....	192
第四节 爆炸.....	115		

第一章 绪 论

【学习目标】

1. 了解燃烧学的应用及火灾与人类社会发展的关系。
2. 熟悉燃烧学发展简史。
3. 掌握火灾的概念及火灾分类。

一、燃烧学发展简史

火的使用是人类文明发展的重要标志。据考古发现,人类用火的历史可以追溯到距今 170 万~180 万年以前。人类利用火来烧烤食物、御寒取暖、防御野兽,逐渐发展到利用火来制作生活用具、生产工具和武器。这不仅改善了当时人类的生活质量,结束了茹毛饮血的原始生活方式,更重要的是促进了社会生产力的发展。从青铜器、铁器的出现,到现代的冶金、化工、机械制造、汽车、航空、航天等事业的发展均与火的使用密切相关。显然,没有火的使用,人类就没有今天高度发展的物质文明和文化文明,用火已成为人类生活中不可或缺的重要方面。人类在征服和利用火的过程中,也开始了对火的认识。在古希腊的神话中,火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要更为切合实际和动人,但这些离火的本质都相距甚远。

17 世纪末,德国的斯塔尔(Georg Ernst Stahl, 1660—1734)提出了“燃素说”的燃烧理论,该理论认为:①火是由无数细小而活泼的微粒构成的物质实体,由这种火微粒构成的元素就是燃素。②所有的可燃物都含有燃素,并且在燃烧时将燃素释放出来,变为灰烬,不含燃素的物质不能燃烧。③物质在燃烧时之所以需要空气,是因为空气能吸收和富集燃素。这一学说对许多燃烧现象给予了解释,但是,一些本质问题却尚不清楚。例如,燃素的本质是什么?为什么有的物质燃烧后质量反而会增加?为什么燃烧会使空气的体积减小?“燃素说”是让燃烧成为一门科学的最早努力,虽然不久以后就被证明是完全错误的,但它所代表的一代科学家注意观察和理论总结的研究方法,却为后代科学家提供了一个范例,也正是这种精神,对后来正确的燃烧学的建立起到极大的促进作用。

1772 年 11 月 1 日,法国科学家拉瓦锡(Lavoisier, Antoine-Laurent, 1743—1794)发表关于燃烧的第一篇论文,其要点是:由燃烧引起的质量增加并不仅限于锡、铝等金属,硫、磷的燃烧也类同,只是它们的燃烧产物为气体或粉末,这种燃烧后质量增加的现象,即“燃素说”中所认为的怪事,绝不是两三个特殊情况,而是极其普遍的现象。拉瓦锡根据实验进一步提出,这种“质量的增加”是由于可燃物同空气中的一部分物质化合的结果,燃烧是一种化合现象,但当时,拉瓦锡尚未完全弄清楚空气中的这一部分是什么物质。1774 年,英国科学家普利斯特列(Joseph Priestley, 1733—1804)在空气中发现了氧气。拉瓦锡很快在实

验中证明，这种物质在空气中的比例为 1/5，并命名这一物质为“氧”（Oxygen，原义为酸之源）。拉瓦锡在对所有实验结果进行综合分析归纳的基础上，推翻了当时流行已久的“燃素说”，提出了关于火的氧化理论——“燃烧氧学说”，并于 1777 年公布于世。“燃烧氧学说”认为：燃烧是可燃物与氧的化合反应，同时发光、放热。这一理论引发了化学界的一大革新。但“燃烧氧学说”仅仅是揭开了燃烧现象本质的面纱，仅能解释燃烧是可燃物与氧的化合反应，而这一反应是如何进行的、要经过哪些步骤、受哪些因素的影响等，还未能给予解答。

19 世纪，由于热力学和热化学的发展，燃烧过程开始被作为热力学平衡体系来研究，从而阐明了燃烧过程中一些重要的平衡热力学特性，如燃烧反应的热效应、燃烧产物的平衡组成、绝热燃烧温度、着火温度等，热力学成为认识燃烧现象重要的理论基础。20 世纪 20 年代，由于化学动力学的发展，自由基（链）反应理论问世。到了 30 年代，美国化学家路易斯（Gilbert Newton Lewis, 1875—1946）和前苏联化学家谢苗诺夫（Semenov, Nikolay Nikolaevich, 1896—1986）等人将化学动力学的机理引入了对燃烧的研究，创建了燃烧反应动力学的“链锁反应理论”，这就解决了燃烧的历程问题，使人们对燃烧的本质有了更深刻的认识，并初步奠定了燃烧理论的基础。这一理论无疑对燃烧学是一个很大的推动，许多从事燃烧研究的科学家对此非常感兴趣，他们把“链锁反应理论”应用于研究燃烧动力学，促进了燃烧学的飞速发展。

20 世纪 30~50 年代，人们开始认识到影响和控制燃烧过程的因素不仅仅是化学反应动力学因素，还有气体流动、传热、传质等物理因素，燃烧则是这些因素综合作用的结果，从而建立了着火、火焰传播、湍流燃烧等理论。50~60 年代，美国力学家卡门（Karman Von, 1881—1963）和我国力学家钱学森首先倡议用连续介质力学来研究燃烧基本过程，并逐渐建立了“反应流体力学”，学者们开始以此对一系列的燃烧现象进行了广泛的研究。

计算机的出现使燃烧理论与数值方法的结合展现出了巨大的威力。斯波尔丁（Spalding D B）在 20 世纪 60 年代后期首先得到了层流边界层燃烧过程控制微分方程的数值解，并成功地接受了实践的检验，但在进一步研究中，遇到了湍流问题的困难。斯波尔丁等人继承和发展了普朗特（Pulante, 1875—1953）、雷诺（Leinuo, 1842—1912）和周培源等人的工作，将“湍流模型方法”引入了燃烧学的研究，提出了一系列的湍流输运模型和湍流燃烧模型，并成功地对一大批描述基本燃烧现象和实际的燃烧过程进行了数值求解。80 年代，英、美、日、德、中、法等国相继开展了以上类似的工作，逐渐形成了所谓的“计算燃烧学”，用它能很好地定量预测燃烧过程和进行燃烧技术研究，使燃烧理论及其应用达到了一个新的高度。另一方面，燃烧过程测试手段的进步，特别是先进的激光技术，现代质谱、色谱等光学、化学分析仪器的问世，改进了燃烧实验的方法，提高了测试精度，从而可以更深入地、全面地、系统地研究燃烧过程的各种机理，使燃烧学研究在深度和广度上都有了飞跃的发展。

二、燃烧学的应用

如上所述，燃烧学是一门内容丰富，发展迅速，既古老又年轻，且实用性很强的交叉学科。首先看看在全世界和我国的能源结构中，用于燃烧的矿物燃料所占的地位，见表 1-1。

表 1-1 全世界一次能源的消费结构

(%)

年份及区域	煤	石油	天然气	矿物燃料总计	水电	核能	新能源
1990 年全世界	27.3	38.6	21.7	87.6	6.7	5.7	—
2000 年经合组织	25.8	38.2	17.2	81.2	8.0	1.3	—
2000 年发展中国家	20.8	47.2	17.0	85.0	10.3	4.7	—
2000 年西方集团	24.1	40.5	17.1	81.7	8.6	9.6	—
2020 年全世界	33.7	21.2	19.0	73.9	7.5	13.4	5.2

从表 1-1 可以看出,在全世界一次能源消费的总体结构中,以燃烧方式提供能源的矿物燃料所占比例在 80%~85%,占到了绝对的主导地位,而其中石油又占矿物燃料的一半左右,成为能源的主要来源。从发展趋势看,即使到了 2020 年,由于石油资源的下降和新能源的开发,矿物燃料所占比例将有所下降,但仍高达 73.9%,依然是能源的主要构成。

在我国,1992 年初,煤炭的探明储量为 $9\ 667.6 \times 10^9 \text{t}$,占到世界总量的 30%,其中可开采量达 $1\ 145 \times 10^9 \text{t}$ 。这表明,我国以煤为主的能源结构在近期和多年后都不会有太大的变化,见表 1-2。从表中可以看出,我国一次能源的消费中,以燃烧方式的矿物燃料总量在 95% 左右,而其中绝大部分(70%~80%)又是由煤来提供的。虽然在 21 世纪,水电、核电及新能源比重有所增加,但以煤为主的能源结构没有根本性的改变。

表 1-2 我国一次能源的消费结构

(%)

年份	煤炭	石油	天然气	矿物燃料总量	水电	核能及新能源
1953	94.33	3.81	0.02	98.16	1.84	—
1980	72.20	20.70	3.10	96.00	4.00	—
1993	75.80	20.30	2.10	98.20	1.80	—
2000	70.06	19.07	3.53	92.66	6.67	0.67
2020	67.75	14.95	5.54	88.24	8.75	3.010
2050	60.00	3.19	5.15	68.34	6.15	25.510

综上所述,现代社会的动力来源,主要来自矿物燃料的燃烧,而其应用又遍及各个领域。例如:火力发电厂的锅炉、工厂的工业蒸气、各种交通工具的发动机等,都以固体、液体或气体燃料的燃烧产生的热能为动力;在玻璃、化肥、水泥、陶瓷、石油等生产过程中,都以燃料的燃烧来提供热源;人们生活空间的采暖、日常食物的制作,都以燃料的燃烧作为热源。在喷气、火箭技术高速发展的今天,航空航天动力要求制造出热强度高、运行范围广的燃烧装置,并越来越趋向于在高温、高压、高速下进行燃烧。

以上这些领域,均对燃烧过程的研究提出了更高要求。因此,如何高效、经济地控制燃烧过程,是燃烧学研究的一个重要方向。

其次,火的使用促进了人类文明,但也给人类带来了灾难。世界上,每年都要发生各种火灾,造成了无法估量的损失。预防与减少因火灾造成的生命、财产和资源的损失,也给燃烧科学的研究提出了许多研究方向。

另外,燃料在燃烧过程中会散发出许多有害物质,包括烟尘、炭黑、氮氧化物、二氧化硫、二氧化碳等,这些排放物会污染环境,是目前影响全球环境的酸雨、“温室效应”等的主要来源,妨害人们的健康及动植物的生长,甚至影响着整个生态的平衡。因此,积极开展

对燃烧污染物形成机理的研究，探索通过改变燃烧工艺、精心控制燃烧过程以减少或消除污染物排放的有效方法，研究洁净燃烧技术，把污染消灭在燃烧之中，已成为目前燃烧科学研究的一个重要内容。

三、火灾与人类社会的发展

火灾是指在时间和空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。如果用火不当，或者由于某种因素的影响，造成了人们对燃烧反应无法控制，以致在人们根本不希望的地方或时间发生了燃烧，就必然造成不必要的损失。

根据《中国火灾大典》，目前已知的中国最早的火灾记录源于甲骨文记载，而最早的关于中国消防机构及措施的记载为公元前 564 年春的一段记录，出自《左传·襄公九年》。

【鲁襄公】九年（宋平公十二年），春，宋灾。乐喜为司城以为政。使伯氏司里，火所未至，彻小屋，涂大屋；陈畚揭，具缦缶，备水器；量轻重，蓄水潦，积土涂；巡丈城，缮守备，表火道。使华巨具正徒，令隧正纳郊保，奔火所。使华阅讨右官，官庀其司。向戎讨左，亦如之。使乐遄庀刑器，亦如之。使皇郕命校正出马，工正出车，备甲兵，庀武守。使西鉏吾庀府守。令司官、巷伯微官。二师令四乡正敬享，祝宗用马于四墉，祀盘庚于西门之外。

人们要利用火，必须首先要了解有关火与火灾的特性。春秋时期，人们对于火及火灾的有关规律、环境与气候的影响及火灾后果严重性已有了深入了解，较早的论述见于著名的《孙子兵法·火攻篇》：“行火必有因，因火必素具。”“火发上风，无攻下风。昼风久，夜风止。”公元 208 年 11 月的赤壁之战、火烧连营等就是成功利用火来改变时局的历史战例。

火灾从来不是孤立的，而是一定历史、社会条件下的产物，是与当时经济文化发展区域紧密相连。先秦及秦朝时期，火灾主要发生在黄河中下游地区，主要集中在现在的山东、河南、陕西和山西，这一区域是当时中国经济、政治和文化比较发达的地区，也是中华民族文化的发源地。汉朝时期，火灾多发中心仍在黄河流域。三国时期，火灾多发中心在黄河中游地区。到晋朝和南北朝时期，长江流域的部分地区已开始出现火灾多发区。隋唐开始，中国的火灾多发区开始向南扩散，并向长江流域迁移，这个时期也正是中国历史上人口从北方大量向南迁的时候。元、明朝时，中国火灾多发中心已移至长江中下游地区和东南沿海地区，如明朝时火灾事故次数最多的区域是现在江西和福建一带。从清朝开始，东北地区已成为当时中国人口增长的中心，其间火灾事故也较多，仅次于长江流域地区。民国期间，中国火灾的多发区主要集中在长江中下游地区及沿海地区和东北地区，这些地区是当时经济比较发达的地区。在这一时期，火灾事故最多的 3 个省依次为江苏、浙江和安徽。

从中国历史上火灾发生的原因来看：首先是各种各样的战争；其次是生活用火；再次是使用明火、撞击、摩擦、熬炼等各种生产活动，以及雷击、地震等自然灾害；最后是原因不明的火灾事故，其所占的比例也相当大，这可能与人们了解火灾过程及分析火灾后果受科学技术条件的限制有关。而历代火灾统计分析表明：火灾事故发生地点以民居最多，占总数的 53.62%；其次是从事宗教活动的建筑物（寺、庙、庵、观、祠、塔等）发生的火灾，占总数的 13.66%。

现在，火灾仍然是人类所面临的最主要灾害之一。根据联合国“世界火灾统计中心”的统计，近几年在全球范围内，每年发生的火灾有 600 万~700 万起，死亡人数为 6.5 万~7.5 万人，

占人口年度总死亡率的十万分之二，大多数国家的火灾直接经济损失都占国民经济总产值的0.15%以上，如果再考虑火灾间接经济损失、灭火费用及社会影响等，那么整个火灾损失将占到0.75%左右。图1-1、图1-2和表1-3分别是我国新中国成立以来以及1990~2012年的火灾情况图表，说明20世纪50年代~21世纪10年代和1990~2012年发生火灾的直接财产损失。

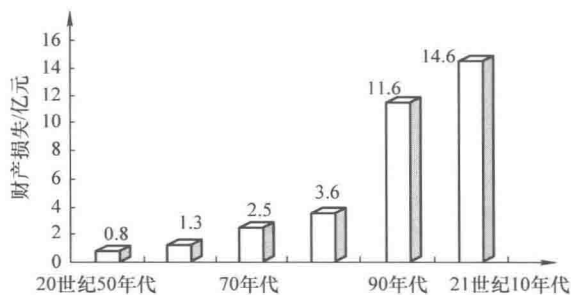


图 1-1 我国新中国成立以来平均每年火灾直接财产损失情况

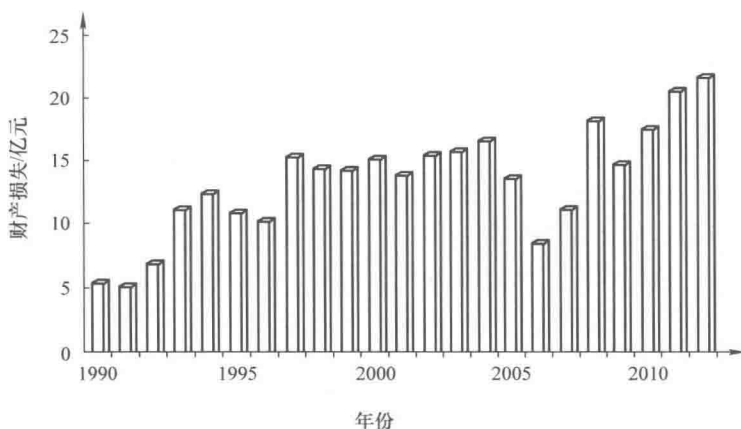


图 1-2 1990~2012年全国火灾直接财产损失情况

表 1-3 1990~2012年全国火灾损失情况

年 份	火灾起数/起	死亡人数/人	受伤人数/人	直接损失/亿元
1990	58 207	2 172	4 926	5.4
1991	45 167	2 105	3 771	5.2
1992	39 391	1 937	3 388	6.9
1993	38 073	2 378	5 937	11.2
1994	39 337	2 765	4 249	12.4
1995	37 915	2 278	3 838	11.0
1996	36 856	2 225	3 428	10.3
1997	140 280	2 722	4 930	15.4
1998	142 326	2 389	4 905	14.4
1999	179 955	2 744	4 572	14.3
2000	189 185	3 021	4 404	15.2

(续)

年 份	火灾起数/起	死亡人数/人	受伤人数/人	直接损失/亿元
2001	216 784	2 334	3 781	14.0
2002	258 315	2 393	3 414	15.4
2003	253 932	2 482	3 087	15.9
2004	252 804	2 562	2 969	16.7
2005	235 941	2 500	2 508	13.7
2006	231 881	1 720	1 565	8.6
2007	163 521	1 617	969	11.3
2008	136 835	1 521	743	18.2
2009	129 382	1 236	651	16.2
2010	132 497	1 205	624	19.6
2011	125 417	1 108	571	20.6
2012	152 157	1 028	575	21.8

四、火灾分类

(一) 按可燃物的类型和燃烧特性分类

2009年4月1日实施的《火灾分类》(GB/T4968—2008)中,根据火灾中可燃物的类型和燃烧特性,火灾划分为A、B、C、D、E、F共6个不同的类别。

(1) A类火灾。固体物质火灾。这种物质通常具有有机物质性质,一般在燃烧时能产生灼热的余烬。如木材及木制品、纤维板、棉布、合成纤维、化工原料、装饰材料等引发的火灾。

(2) B类火灾。液体或可熔化的固体物质火灾。如酒精、苯、乙醚、丙酮、原油、汽油、煤油、柴油、重油、动植物油等引发的火灾。

(3) C类火灾。气体火灾。如天然气、煤气、氢气、丙烷、氨气等引发的火灾。

(4) D类火灾。金属火灾。如锂、钠、钙、镁、锌、铝等引起的火灾。

(5) E类火灾。带电火灾。物体带电燃烧的火灾。

(6) F类火灾。烹饪器具内的烹饪物(如动植物油脂)火灾。

(二) 按火灾损失严重程度分类

公安部根据国务院《生产安全事故报告和调查处理条例》(493号令)的规定,于2007年6月1日起,将火灾等级调整为特别重大、重大、较大和一般火灾4个等级,火灾等级标准为:

(1) 特别重大火灾是指造成30人以上死亡,或者100人以上重伤,或者1亿元以上直接财产损失的火灾。

(2) 重大火灾是指造成10人以上30人以下死亡,或者50人以上100人以下重伤,或者5000万元以上1亿元以下直接财产损失的火灾。

(3) 较大火灾是指造成3人以上10人以下死亡,或者10人以上50人以下重伤,或者1000万元以上5000万元以下直接财产损失的火灾。

(4) 一般火灾是指造成3人以下死亡,或者10人以下重伤,或者1000万元以下直接财产损失的火灾。

注：“以上”包括本数，“以下”不包括本数。

（三）按火灾原因分类

在《中国消防年鉴》中，按起火原因把火灾分为以下 11 类：

（1）电气。违反电气安装安全规定和使用安全规定，导致电气线路故障、电器设备故障或电加热器具故障而引发火灾。例如：电器设备安装不合规定，导线熔体不合格，电器设备超负荷运行、导线短路、接触不良以及其他原因引起着火等。

（2）生产作业。生产作业中违反安全操作规定引发火灾。例如：在进行气焊、电焊操作时，违反操作规程；在化工生产中出现超温、超压、冷却中断、操作失误而又处理不当；在储存运输化学危险品时，发生摩擦撞击、混存、遇水、酸、碱、热等。

（3）生活用火不慎。例如：照明、炉灶、燃气用具发生故障或使用不当，或敬神祭祖，烧荒、野外生活等引发的火灾。

（4）吸烟。例如：违章吸烟，卧床吸烟，乱扔烟头、火柴等引发的火灾。

（5）玩火。例如：小孩玩火，燃放烟花、爆竹等引发的火灾。

（6）自燃。例如：可燃物受热自燃；植物、涂油物、煤堆垛过大、过久而又受潮、受热自燃；化学危险品遇水、遇空气，相互接触、撞击、摩擦自燃等引发的火灾。

（7）雷击。例如：直击雷、感应雷等引发火灾。

（8）静电。例如：静电放电引发易燃易爆物质着火。

（9）不明确原因，不能明确查清原因的火灾。

（10）放火。例如：刑事放火，精神病人、智障人放火，自焚等引发的火灾。

（11）其他。不属于以上 10 类的其他原因，如战争，风灾、地震及其他自然灾害等引发的火灾。

火灾还可以根据火灾的发生地点分为地上建筑火灾、地下建筑火灾、水上火灾、森林火灾、草原火灾以及外空间火灾等。

火灾是一种社会现象，如果对发生各种火灾的客观原因进行综合分析，大多数火灾可归纳出火灾构成的 3 个要素，即人的不安全行为、物质的不安全状态和技术缺陷。而在人、物、技术三者之中，人是主要因素。所以，消防工作涉及社会生产、生活的各个领域，与每个社会成员息息相关。要防止火灾的发生，无论现在和将来，都必须遵循“预防为主、防消结合”的方针，同时采取技术、教育、管理等措施，实行综合治理。

五、学习消防燃烧学的主要任务和方法

消防燃烧学是消防教育中的一门重要的专业基础课，研究内容包括物质的燃烧条件、着火机理、燃烧类型、燃烧过程、各种可燃物的燃烧特征以及防火与灭火的基本原理等，并为建立燃烧模型，促进消防新技术、新设备的研究，预防和扑救火灾提供理论依据。

通过学习，首先，掌握各种物质燃烧的条件和各种物质发生爆炸的规律，防止火灾和爆炸事故的发生。任何物质发生燃烧、爆炸反应，都需要一定的外界条件，遵循一定的规律，只有具备这些条件时燃烧、爆炸才能发生。作为从事消防工作的人员，为了履行好防火的职责，就必须研究和认识这些规律，掌握燃烧性能，并善于运用这些理论知识，去发现火灾隐

消防燃烧学

患，消除着火（爆炸）的条件及其造成的后果；其次，了解掌握物质的燃烧规律和灭火条件，制定出最有效的灭火方案，尽快将火灾扑灭，使火灾损失减少到最低程度。

消防燃烧学是一门以实验为基础的科学，许多燃烧理论和规律都是从实践和实验中总结出来的，它的发展也有赖于通过实践和实验来积累资料。因此，要重视实验，多动手，多动脑。进行燃烧实验时，提倡用严谨的学风和科学的态度，认真观察实验现象，对实验结果做出切实的分析、准确的结论。在掌握基础知识和基本技能的过程中，努力提高观察能力、思维能力和探索能力。

【思考与练习题】

1. 简述燃烧学发展历程中的重要理论观点。
2. 如何理解燃烧学在消防工作中的应用？
3. 火灾按可燃物如何分类？
4. 火灾按损失严重程度如何分级？

第二章 燃烧基础

燃烧，俗称“着火”，是一种剧烈的氧化还原反应。为进一步加深对燃烧现象的认识，更好地预防和控制火灾，本章将对燃烧的本质、燃烧的条件、燃烧产生的热量传递、燃烧温度、阻燃原理及其相关燃烧参数的计算等相关知识作介绍。

第一节 燃烧的本质

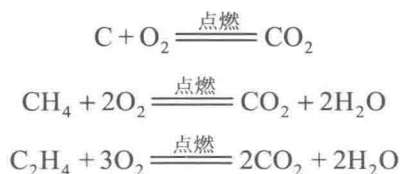
【学习目标】

1. 了解燃烧与氧化的关系。
2. 熟悉影响燃烧反应速度的因素。
3. 掌握燃烧概念与本质。

一、燃烧

人们通过长期的用火实践和大量的科学实验证明，燃烧是可燃物与氧化剂作用发生的一种放热发光的剧烈化学反应。因此，国家标准《消防基本术语》（GB5907—1986）规定：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。

燃烧是复杂的物理与化学过程相互作用的结果，化学反应是燃烧的一个主要而基本的过程。例如：



燃烧不仅在空气（氧）中能发生，有的可燃物在其他氧化剂中也能发生燃烧。例如，氢气就能在氯气中燃烧，即



镁屑甚至能在二氧化碳中燃烧，即



在日常生活、生产中所看到的燃烧现象，大多是可燃物与空气（氧）或其他氧化剂进行

消防燃烧学

剧烈化合而发生的放热发光现象。实际上，燃烧不仅仅是化合反应，也有的是分解反应，如



从本质上讲，燃烧是一种剧烈的氧化还原反应，服从于化学动力学、化学热力学的定律以及其他自然学科的基本规律（质量守恒、能量守恒），但其放热、发光、发烟、伴有火焰等基本特征表明它不同于一般的氧化还原反应。如果反应速度极快，则因高温条件下的气体和周围气体共同膨胀作用，使反应能量直接转换变为机械能，在压力释放的同时产生强光、热和声响，这就是所谓的爆炸，它与燃烧没有本质差别，是燃烧的表现形式之一。

现在，人们发现很多燃烧反应不是直接进行的，而是通过自由基和原子这些中间产物在瞬间进行的循环链式反应。自由基链锁反应就是燃烧反应的实质，光和热是燃烧过程的物理现象。

二、燃烧与氧化

燃烧，是可燃物与氧或其他氧化剂进行的氧化还原反应。但由于氧化速度的不同，或成为燃烧反应，或成为一般的氧化反应。剧烈氧化的结果，放热发光，成为燃烧；而一般氧化，仅是缓慢的化学反应，达不到剧烈的程度，产生的热量较小，并又随时散发掉，没有发光现象，因而不是燃烧。所以，氧化与燃烧都是同一种化学反应，只是反应的速度和产生的现象不同而已。氧化包括燃烧，而燃烧则是氧化反应的特例，也就是说，物质燃烧是氧化反应，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够被氧化。

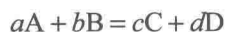
因此，判断物质是否发生了燃烧反应，可根据“化学反应、放出热量、发出光亮”这 3 个特征，把燃烧现象与非燃烧现象区别开来。

三、燃烧反应速度方程

燃烧反应是一种氧化还原反应，其反应速度方程可以根据化学反应动力学理论得到。

（一）质量作用定律

对于简单反应



其反应速度在恒温条件下与反应物浓度（以方程式中该反应物的系数为指数）的乘积成正比，称为质量作用定律，数学表达式为

$$W_s = kC_A^a C_B^b \quad (2-1)$$

式中 W_s ——化学反应速度[$\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$];

C_A ——A 反应物的物质的量浓度 (mol/L) ;

C_B ——B 反应物的物质的量浓度 (mol/L) ;

k ——反应速度常数[$(\text{mol/L})^{1-(a+b)} \cdot \text{s}^{-1}$]
 a 和 b 之和 n 称为反应级数。若 $n=2$ ，则称该反应为二级反应，其余类推。

(二) 阿累尼乌斯公式

化学反应速度常数 k 随温度增加而增加，其关系就是阿累尼乌斯公式

$$k = K_0 e^{\frac{-E}{RT}} = K_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (2-2)$$

式中 K_0 ——频率因子[$(\text{mol/L})^{1-(a+b)} \cdot \text{s}^{-1}$];
 E ——反应活化能(J/mol);
 R ——摩尔气体常数[8.314J/(mol·K)];
 T ——反应绝对温度(K)。

(三) 燃烧反应速度方程

将阿累尼乌斯公式代入质量作用定律得

$$W_s = K_0 C_A^a C_B^b \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (2-3)$$

从式(2-3)可以得出:

(1) 在火灾现场氧气和可燃气体的浓度越低，燃烧反应速度越慢。在关闭房门的房间内，由于氧气浓度很低，所以燃烧反应进行得就很缓慢。当氧气浓度下降到一定浓度时，绝大多数燃烧都会熄灭。

(2) 火灾现场温度越低，燃烧反应速度越慢，这是降温灭火法的依据。温度越低，燃烧中的自由基增长速度越慢，同时液体的蒸发、固体可燃物的裂解挥发速率下降，这些都不利于燃烧的进行。

(3) 可燃物反应活化能 E 越高，燃烧反应速度越慢。反应活化能 E 是用来破坏反应物分子内部化学键所需要的能量，可燃物内部化学键越牢固，需要的活化能就越大，反应速度也就越慢。

【思考与练习题】

1. 燃烧的基本特征和本质是什么?
2. 简述燃烧与氧化的关系。
3. 影响燃烧反应速度的因素有哪些?

第二节 燃烧的条件

【学习目标】

1. 了解可燃物、助燃物、点火源的概念。
2. 熟悉燃烧的的必要条件和充分条件。
3. 掌握防火、灭火的基本原理。