



高等学校消防专业规划教材

消防燃烧学

和丽秋 主编

非外借

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等学校消防专业规划教材

消防燃烧学

主 编 和丽秋

副主编 李海江 赵 玲

参 编 唐朝纲 刘 彬 李志红 赵石楠



机械工业出版社

本书从燃烧学的基本概念入手,介绍了燃烧基础、着火与灭火理论,并系统地介绍了气体、液体和固体可燃物的燃烧过程、燃烧形式、燃烧速率及火灾预防;对木材、高聚物、聚氨酯保温装饰材料、原油等典型物质的燃烧进行了阐述;并结合我国近年火灾的形势和特点,将一些前沿知识融入本书。本书涉及的词条和规范均引自现行标准。

本书编者根据多年教学经验,在章节编排中体现了从基础到应用的教学思想以及注重能力提升的教学理念,同时章节内容兼顾了后续专业课程所需的基础知识点,在章节内容的难度上考虑了教学对象的学习基础和学习能力。

本书体系完整,难易适中,结构合理,适合消防专科院校教学和消防安全管理人员培训使用。

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,2018.8

高等学校消防专业规划教材

ISBN 978-7-111-60371-9

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(2018)第146527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:常金锋 责任编辑:饶雯婧

责任校对:张晓蓉 封面设计:路恩中

责任印制:孙炜

天津翔远印刷有限公司印刷

2018年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.25印张·1插页·255千字

0 001—2 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-60371-9

定价:29.00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

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

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，公安消防部队高等专科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。根据公安消防部队高等专科学校《2016版人才培养方案》，教材编审委员会组织各教材编写组对教材进行整体修编，并请公安部消防局、消防研究所、基层消防部队和军地高校的专家审稿。

本次编写工作，认真贯彻“教为战”的办学思想，紧贴当前消防工作和消防部队人才培养的新需要，立足教学对象。教材在结构安排和编写内容上，紧紧围绕基础理论知识学习，并注重与后续专业课程的科学合理衔接，同时对前沿消防理论研究成果做了介绍。本书中涉及的词条和规范均按现行国家标准进行了修订。

本书由和丽秋担任主编。具体的编写分工如下：和丽秋编写绪论和第四章；李志红编写第一章第一节至第五节；李海江编写第一章第六节至第八节及附录；刘彬编写第二章；赵玲编写第三章；唐朝纲编写第五章第一节至第四节；赵石楠编写第五章第五节和第六节。

鉴于编者学识水平和实践经验有限，本书难免存在疏漏和不妥之处，敬请读者和同行批评指正。

编 者

目 录

前 言

绪论.....	1
第一章 燃烧基础.....	8
第一节 燃烧的本质.....	8
第二节 燃烧的条件.....	10
第三节 燃烧空气量的计算.....	15
第四节 火焰.....	20
第五节 燃烧热及燃烧温度.....	23
第六节 燃烧过程中的热量传递.....	33
第七节 火灾烟气.....	38
第八节 轰燃和回燃.....	51
第二章 着火与灭火基本理论.....	55
第一节 着火方式与着火条件.....	55
第二节 热自燃理论.....	57
第三节 链锁反应理论.....	65
第四节 电火花引燃理论.....	71
第三章 可燃气体的燃烧.....	75
第一节 气体的特性.....	75
第二节 可燃气体的燃烧过程和燃烧形式.....	77
第三节 可燃气体的燃烧速率.....	79
第四节 可燃气体的爆炸.....	86
第五节 可燃气体爆炸的预防.....	98
第四章 可燃液体的燃烧.....	103
第一节 液体的特性.....	103
第二节 可燃液体的燃烧过程和燃烧形式.....	105
第三节 可燃液体的燃烧速率.....	110
第四节 可燃液体的闪燃.....	114
第五节 可燃液体的自燃.....	122
第五章 可燃固体的燃烧.....	126
第一节 固体的特性.....	126

第二节 可燃固体的燃烧过程和燃烧形式.....	127
第三节 可燃固体的燃烧速率.....	130
第四节 典型可燃固体物质的燃烧.....	134
第五节 固体材料阻燃处理.....	143
第六节 粉尘爆炸.....	151
附录.....	162
附录 A 火灾分类 (GB/T 4968—2008).....	162
附录 B 消防词汇 第 1 部分: 通用术语 (GB/T 5907.1—2014).....	162
附录 C 物质防火防爆安全参数.....	167
附录 D 粉尘爆炸危险性参数.....	170
参考文献.....	171

绪 论

【学习目标】

1. 了解消防燃烧学的研究对象、特点和在消防科学中的地位和作用。
2. 熟悉燃烧学发展简史。
3. 掌握火灾的概念及分类。

一、消防燃烧学的研究对象

消防燃烧学是一门关于火灾发生、发展和熄灭规律的科学，主要研究燃烧的本质、燃烧发生与熄灭条件，火灾蔓延，热量释放速率和燃烧产物及其生成速率，特殊火灾现象以及各种影响因素等问题。

（一）燃烧的本质

火的使用是人类文明发展的重要标志，人类用火的历史可以追溯到距今 170 万~180 万年以前。人类从利用火来烧烤食物、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，更重要的是促进了社会生产力的发展。人类在征服和利用火的过程中，也开始了对火的认识。

人类对火的认识分两个阶段：第一阶段是神论。当时人们对这种现象还只能依赖用神话故事解释。如古希腊的神话中，火是普罗米修斯为了拯救人类的灭亡从天上偷来的。在我国有燧人氏钻木取火的故事，但这些离火的本质都相距甚远。第二阶段是科学论。随着人类对自然界的不断探索认识和科学技术的不断发展，在不同的时期提出了有关火的相应理论。17 世纪末，德国的施塔尔（Georg Ernst Stahl, 1660—1734）提出了“燃素说”，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，但对燃烧本质的揭示则受限于当时的科学技术未能给予科学的解释。1772 年 11 月 1 日，法国科学家拉瓦锡（Lavoisier Antoine-Laurent, 1743—1794）在一篇关于燃烧的论文中指出燃烧是可燃物同空气中的一部分物质化合的结果，是一种化合反应，但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，燃烧中的“一部分物质”就是空气中的氧，提出了关于火的“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。现代化学表明，燃烧是可燃物与氧化剂作用发生的放热反应，通常伴随有火焰、发光和（或）烟气的现象。

消防燃烧学

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。

(二) 燃烧发生与熄灭条件

燃烧的发生必须具备三要素: 可燃物、助燃物和点火源。但这仅仅是发生燃烧的必要条件, 仅仅具备燃烧的三要素并不必然导致燃烧, 要使燃烧发生, 对不同燃烧的形式还需满足更加严格的条件。如:

对预混气体, 可燃气体的浓度必须介于爆炸浓度下限和爆炸浓度上限之间。

对可燃液体, 液体的温度不能只达到闪点, 必须高于燃点。

所有物质的体系着火都应该满足体系的热释放速率大于热损失速率的要求, 只有在此条件下, 热量才能积累, 直至体系着火。

燃烧的熄灭有冷熄、吹熄、化学抑制和窒息等多种方式。从能量平衡的角度看, 体系的着火与熄灭并非可逆过程, 存在灭火滞后现象。燃烧发生和熄灭条件的研究为防火和灭火措施的制定提供了理论依据。

虽然对物质的着火与灭火已有比较成熟的理论, 但对每种实际情况, 材料着火的临界条件受到多种因素的影响。因此, 应用消防燃烧学理论和研究方法确定特定条件下物质着火与灭火的条件仍然是消防燃烧学必须解决的问题。

(三) 火灾蔓延

当火灾发生后, 火灾的蔓延速率和蔓延范围是消防燃烧学研究的一个热点领域, 也是关系到消防员在火灾现场实施救援行动成功与否的关键和核心问题。目前, 对火焰在预混气体中的传播、火焰沿薄固体燃料和液体燃料表面的传播等都有相应的传播模型。但这些模型只能在严格限定的条件下使用, 并不能作为通用模型应用到一般物质的燃烧。因此, 火灾蔓延问题一直是消防燃烧学研究的热点领域。

(四) 热释放速率和燃烧产物及其生成速率

热释放速率取决于可燃物的热分解(蒸发)速率和分解(蒸发)产物的燃烧效率。材料的热分解速率又取决于材料的化学动力学参数和外加热通量以及材料自身燃烧形成的热反馈通量。分解产物的燃烧效率受到氧化剂供给速率的流动形态的强烈影响。可见, 用数学方法完整描述材料燃烧的热释放速率是一件十分困难的事情, 需要化学动力学、传热学、流体力学等多学科知识的综合运用。

大多数燃烧产物中含有的有毒气体对被困人员、救援人员都具有毒害作用, 掌握燃烧产物的生成速率和燃烧产物在建筑物内部的流动和浓度分布对评估火灾烟气对人员的危害和

人员疏散的影响具有重要意义。不同物质燃烧形成的燃烧产物的种类和浓度既受可燃物化学性质的影响,又受燃烧区域空气流动形态的强烈影响。目前还没有燃烧产物成分和生成量的严格估算模型,但通过锥形量热仪实验等测试方法可以得到在特定条件下特定材料的烟气生成参数。

(五) 室内火灾

室内火灾是最常见的火灾形式。由于建筑物围护结构(如墙壁、地板和天花板等)对燃烧产物和空气流动的限制,以及对热量累积和热量向可燃物表面反馈的影响,室内燃烧与敞开环境中的物质具有明显不同的特征。目前,对室内火灾的研究主要集中在下列几个方面:

- (1) 室内火灾基本过程和对建筑构件的热量传递。
- (2) 轰然与回燃等火灾现象的机理与预防方法。
- (3) 室内烟气流动规律。

二、火灾及其危害

火灾是指在时间或空间上失去控制的燃烧。据统计,近年来,我国每年发生数十万起火灾,造成巨大的财产损失和人员伤亡。尤其是高层建筑、地下工程、石油化工等特种火灾及爆炸事故不断发生,给国民经济和人民生命财产造成重大损失。

考究火灾的历史,根据《中国火灾大典》,目前已知的中国最早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。使华臣具正徒,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。使皇郟命校正出马,工正出车,备甲兵,庀武守。使西鉏吾庀府守。令司官、巷伯儆官。二师令四乡正敬享,祝宗用马于四墉,祀盘庚于西门之外。

火灾从来不是孤立的,而是一定历史、社会条件下的产物,与当时经济文化发展区域紧密相连。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0-1和表0-1分别是1990~2015年的火灾情况图表。

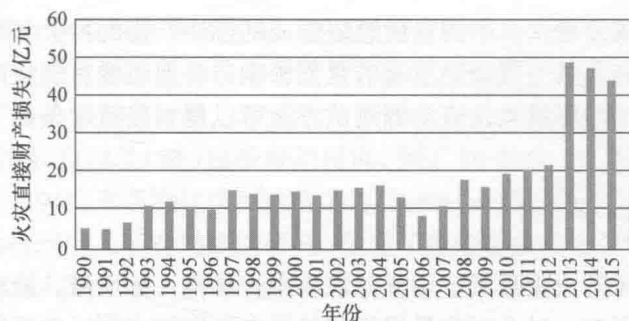


图 0-1 1990~2015 年全国火灾直接财产损失情况

表 0-1 1990~2015 年全国火灾损失情况

年 度	火灾起数/起	死亡人数/人	受伤人数/人	直接损失/亿元
1990	58207	2172	4926	5.4
1991	45167	2105	3771	5.2
1992	39391	1937	3388	6.9
1993	38073	2378	5937	11.2
1994	39337	2765	4249	12.4
1995	37915	2278	3838	11.0
1996	36856	2225	3428	10.3
1997	140280	2722	4930	15.4
1998	142326	2389	4905	14.4
1999	179955	2744	4572	14.3
2000	189185	3021	4404	15.2
2001	216784	2334	3781	14.0
2002	258315	2393	3414	15.4
2003	253932	2482	3087	15.9
2004	252804	2562	2969	16.7
2005	235941	2500	2508	13.7
2006	231881	1720	1565	8.6
2007	163521	1617	969	11.3
2008	136835	1521	743	18.2
2009	129382	1236	651	16.2
2010	132497	1205	624	19.6
2011	125417	1108	571	20.6
2012	152157	1028	575	21.8
2013	388821	2113	1637	48.5
2014	395052	1815	1513	47.0
2015	346701	1899	1213	43.6

三、火灾分类

(一) 按可燃物的类型和燃烧特性划分

2009年4月1日实施的《火灾分类》(GB/T 4968—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 六个不同的类别。

(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，如物体带电燃烧火灾。

(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划分

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火灾、重大火灾、较大火灾和一般火灾四个等级。

(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）按火灾原因划分

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。如电器设备安装不合规定，导线保险丝不合格，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，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。照明、炉灶、燃气用具发生故障或使用不当，敬神祭祖，烧荒、野外生活等。

(4) 吸烟。违章吸烟，卧床吸烟，乱扔烟头、火柴等。

(5) 玩火。小孩玩火，燃放烟花、爆竹等。

(6) 自燃。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；危险化学品遇水、遇空气，相互接触、撞击、摩擦自燃等。

(7) 雷击。直击雷、感应雷等引发火灾。

(8) 静电。静电放电引发易燃易爆物质着火。

消防燃烧学

(9) 不明确原因。不能明确查清原因的火灾。

(10) 放火。刑事放火，精神病人、智障人放火，自焚等。

(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。

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，大多数火灾是由人的不安全行为、物质的不安全状态、管理技术缺陷和环境因素四个方面的因素造成的，而人是主要因素。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。

四、消防燃烧学在消防科学中的地位和作用

消防燃烧学是消防学科的重要理论基础之一，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。消防学科越发展，消防燃烧学在学科发展中的基础作用越突出。

通过学习，掌握各种物质燃烧的条件和发生爆炸的规律，防止火灾和爆炸事故的发生。如利用热波理论可以估算沸溢和喷溅的发生时间，根据油罐火灾的燃烧特征变化可以比较准确地判断沸溢和喷溅的发生；感烟探测器对不同物质在不同条件下产生的烟雾具有不同的探测特性，开发新的感烟探测设备必须利用不同物质产生的烟雾进行响应特性试验；根据材料燃烧痕迹可以大致判断火灾起火点。特别是近年来消防工程正经历从“处方式”向“性能化”设计的转变，而消防燃烧学的基本原理和材料燃烧特性参数是实施性能化消防工程设计与评估的基础。

上述分析表明，火灾认识科学化和火灾防治工程化是当今消防科技的根本变革，消防燃烧学的基本理论已成为消防安全管理、火灾扑救、火灾原因鉴定、消防技术开发与应用和消防工程设计与评估的基础，只有发展和应用消防燃烧学的基本理论，才能满足不断涌现的消防安全新需求。

五、消防燃烧学的特点与学习方法

消防燃烧学是一门研究对象十分广泛的课程。根据燃烧对象的状态分类，可分为固体可燃物火灾、液体可燃物火灾和气体可燃物火灾。根据火灾场所分类，还可分为地上建筑火灾、地下建筑火灾、水上（水下）火灾和空间火灾等。

消防燃烧学是一门实践性很强的课程。很多燃烧与爆炸的规律和特性是由实践总结出来的。在大部分情况下，仅仅通过消防燃烧学的基本原理无法预测各种材料在不同条件下的燃烧性能参数。因此，材料燃烧参数及其测试方法也是消防燃烧学的重要内容之一。

消防燃烧学是一门交叉性很强的课程。在消防燃烧学发展的最初阶段，燃烧的研究基本上是一个特殊的化学问题。但随着研究的深入，人们发现在涉及火灾蔓延与爆炸、火灾对周

围环境的热危害作用和毒害作用、环境条件对燃烧的影响等问题时，必须应用基础化学、化学动力学、化学热力学等多方面知识进行综合研究。

消防燃烧学是一门发展性很强的课程。随着科技进步和社会经济的不断发展，新能源、新材料和新工艺不断涌现，而由此引发的火灾、爆炸问题也不可避免地成为消防燃烧学研究的新领域。近二十年来，数值模拟技术、计算机技术快速发展，为火灾过程的数值模拟提供了极大的便利，使对火灾过程的研究逐渐从定性描述走向定量描述，这种定量描述极大地促进了火灾基本理论的研究与应用。

消防燃烧学是一门古老而年轻的学科，在许多方面还有待进一步充实和完善。一是材料燃烧特征参数的数据库还需要不断扩充，以满足迅速发展的性能化消防工程、火灾扑救和火灾原因鉴定等工作的需要。二是由于燃烧过程的复杂性，迄今为止，对某些特殊火灾现象还无法进行准确而方便的预测。例如：实际火灾的蔓延、不同条件下火灾烟气生成量的预测、灭火剂与燃烧过程相互作用模型等都是需要研究的课题。

作为从事消防工作的人员，在学习的过程中不仅要准确把握消防燃烧学的基本原理，而且对已有的观点和结论要善于分析和思考，从中发现不足与局限性，从而不断完善。要结合实际工作中遇到的问题进行归纳总结，并学会用消防燃烧学的基本理论进行研究解决问题。只有这样，才能不断加深对消防燃烧学理论的理解和掌握，才能提高利用消防燃烧学的基本原理分析和解决实际消防问题的能力和水平。

第一章 燃烧基础

燃烧，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，本章将主要介绍燃烧的本质、燃烧的条件、燃烧产生的热量传递、燃烧温度、阻燃剂原理及其相关燃烧参数的计算等相关知识。

第一节 燃烧的本质

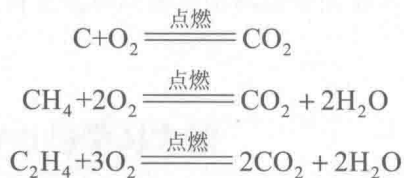
【学习目标】

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

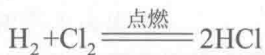
一、燃烧

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）烟气的现象。燃烧区的高温使其中的气体分子、固体粒子和某些不稳定（受激发）的中间体发生能级跃迁，从而发出各种波长的光；发光的气相燃烧区域就是火焰，它的存在是燃烧过程最明显的标志；由于燃烧不完全等原因，气体产物中会混有微小颗粒，就形成了烟。

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

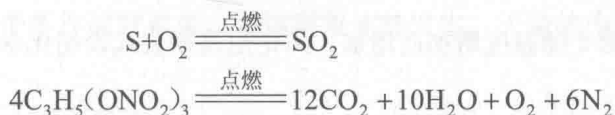


镁屑甚至能在二氧化碳中燃烧，即



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

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，有的也是分解反应。例如：



从化学反应的角度看，燃烧是一种特殊的氧化还原反应，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。如果反应速率极快，则因高温条件下的气体和周围气体共同膨胀作用，使反应能量直接转变为机械功，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。

研究表明，很多燃烧反应不是初始反应物之间一步完成的，而是通过游离基和原子等中间产物在瞬间进行的循环链式反应。游离基的链式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。但由于氧化速率的不同，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，只是反应的速率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”这三个特征，区别燃烧现象与非燃烧现象。

三、燃烧反应速率方程

燃烧反应是一种氧化还原反应，其反应速率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



其反应速率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

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

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

C_A ——A 反应物的摩尔浓度 (mol/L) ;

C_B ——B 反应物的摩尔浓度 (mol/L) ;

k ——反应速率常数[$(\text{mol}/\text{L})^{1-(a+b)}\cdot\text{s}^{-1}$]。

(二) 阿伦尼乌斯公式

化学反应速率常数 k 随温度增加而增加, 阿伦尼乌斯公式表明化学反应速率常数与温度呈指数关系, 即

$$k = K_0 e^{\frac{-E}{RT}} = K_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (1-2)$$

式中 K_0 ——频率因子或阿伦尼乌斯常数 (min^{-1});

E ——反应活化能 (J/mol 或 kJ/mol);

R ——摩尔气体常数 [$8.314\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$];

T ——反应绝对温度 (K)。

(三) 燃烧反应速率方程

将阿伦尼乌斯公式代入质量作用定律得:

$$W_s = K_0 C_A^a C_B^b \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (1-3)$$

从公式 (1-3) 可以得出:

(1) 在火灾现场氧气和可燃气体的浓度越低, 燃烧反应速率 W_s 越小, 这是窒息灭火的依据。如: 在关闭房门的房间内进行的有焰燃烧, 随着燃烧的进行, 氧气浓度逐渐降低, 燃烧反应速率会逐渐减慢。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, 燃烧反应速率越慢, 这是降温灭火法的依据。温度越低, 燃烧中的自由基增长速率越慢, 同时液体的蒸发、固体可燃物的裂解挥发速率都会下降, 这些都不利于燃烧的进行。

(3) 可燃物反应时活化能 E 越高, 燃烧反应速率越慢。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, 反应速率也就越慢。

【思考题】

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. 影响燃烧反应速率的因素有哪些?

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。

一、燃烧的必要条件

燃烧现象十分普遍, 但其发生必须具备三个基本条件, 即可燃物、助燃物、点火源。

作为一种特殊的氧化还原反应，燃烧反应必须有氧化剂和还原剂参加，此外还要有引发燃烧的能量，只有这三个条件同时具备，燃烧现象才能发生，无论缺少哪一个条件，燃烧都不能发生。

（一）可燃物（还原剂）

可燃物是指可以燃烧的物品。可燃物按其物理状态分为气体可燃物、液体可燃物和固体可燃物三类。可燃物大多是含碳和氢的化合物，如氢气、乙炔、酒精、汽油、纸张、塑料、橡胶、纺织纤维、硫、磷、钾、钠、镁、铝等。

（二）助燃物（氧化剂）

助燃物是指帮助和支持可燃物燃烧的物质，即凡是与可燃物结合能导致和支持燃烧的物质，都称为助燃物，如空气（氧气）、氯气、氯酸钾、高锰酸钾、过氧化钠等。空气是最常见的助燃物，一般情况下，可燃物的燃烧都是在空气中进行的。

（三）点火源（引火源）

点火源是指使物质开始燃烧的外部热源与能源。最常见的是热能，此外还有化学能、电能、机械能等转变的热能，如明火、高温表面、摩擦与撞击、自然发热、化学反应热、电火花、光热射线等。

以上三个条件是发生燃烧的必要条件，通常称为燃烧三要素。但是即使具备了三要素并且相互结合、相互作用，燃烧也不一定能发生。为使燃烧发生，除满足上述三个必要条件外，还必须满足燃烧的充分条件。

二、燃烧的充分条件

（一）一定的可燃物浓度

可燃气体或蒸气只有达到一定的浓度时才会发生燃烧。例如，氢气在空气中的含量达到4%~75%之间时遇点火源就能着火甚至爆炸；但若氢气在空气中的含量低于4%或高于75%时，发生爆炸的概率就比较低。又如，在20℃的条件下，用火柴分别去点汽油和煤油时，汽油立刻燃烧起来，而煤油却不燃。这是因为在室温下的煤油蒸气浓度少，还没有达到燃烧所需要的浓度。由此说明，虽然有可燃物，但其挥发的气体或蒸气浓度不够，即使有空气（氧化剂）和点火源的接触，也不能发生燃烧。

（二）一定的助燃物浓度或含氧量

要使可燃物燃烧，助燃物的浓度必须足够。一般的可燃材料在氧含量低于13%的空气中，燃烧将不可能发生或无法持续燃烧。例如，点燃的蜡烛用玻璃罩罩起来，不使周围空气进入，经过较短时间后，蜡烛就会自行熄灭。通过对玻璃罩内气体的分析，发现气体中还含有16%的氧气，这说明蜡烛在氧含量低于16%的空气中就不能燃烧。测试表明，一般可燃物燃烧都需要有一个最低氧化剂浓度（即最低氧含量），低于此浓度燃烧就不会发生。部分物质燃烧所需最低氧含量见表1-1。