



云南出版集团公司
云南人民出版社

XIAOFANG
RANSHAOXUE

消防指挥专业专科统编教材
XIAOFANGZHUIZHUYANJINGZHUANKETONGBIANJIAOCAI

消防 燃烧学

◆ 和丽秋 主编





消防指挥专业专科统编教材

消防燃烧学

和丽秋 主编

云南出版集团公司
云南人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

消防燃烧学 / 和丽秋主编. —昆明:云南人民出版社,
2006.4

消防指挥专业专科统编教材

ISBN 7 - 222 - 04698 - 4

I. 消... II. 和... III. 消防 - 燃烧理论 - 军事院校 - 教材 IV. TU998.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 034134 号

终 审:欧阳常贵

统 稿:李锦雯

责任编辑:张 旭 李锦雯

装帧设计:胡元青

责任印制:施建国

书 名	消防燃烧学
作 者	和丽秋 主编
出 版	云南出版集团公司 云南人民出版社
社 址	昆明市环城西路 609 号
邮 编	650034
网 址	ynrm. peoplespace. net
E - mail	rmszbs@ public. km. yn. cn
开 本	850 × 1168 1/32
印 张	8.5
字 数	210 千
版 次	2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
排 版	云南科技印刷厂
印 刷	云南科技印刷厂
书 号	ISBN7 - 222 - 04698 - 4
定 价	25.00 元

编审委员会主任：	李 树	刘汉宏	
编审委员会副主任：	卢桂平	崔德俊	程丹江
	吕显智		
编 委：	陈宏伟	张宏宇	张福有
	吴元智	陶正福	
主 编：	和丽秋		
副 主 编：	唐朝纲	刘 彬	
编 者：	和丽秋	唐朝纲	刘 彬
	范红俊	李海江	李志红

前 言

按照邓小平“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”的指示精神和《公安消防部队昆明指挥学校教学计划》的要求，为适应新形势下培养消防专业人员的需要，努力提高教育质量，我校组织相关教师编写了《消防指挥专业专科统编教材》。本教材以马列主义、毛泽东思想、邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，以国家的法律、法规和国务院、公安部对新时期消防工作的指示为依据，针对消防高等专科教育的规律、特点，立足消防，贴近基层，理论联系实际，总结消防工作的经验，吸取国内外消防科学技术最新成果编写而成。教材在内容上，力求正确阐述各门学科的基本理论、基础知识，既注重教材的深度和广度，又注重突出基本理论、基础知识在消防工作中的具体应用，并兼顾到内容的科学性、系统性和实用性。本统编教材可供全国消防部队院校专科教学，基层消防干部和企业事业单位专职消防人员的培训以及广大消防官兵自学使用。

《消防燃烧学》是《消防指挥专业专科统编教材》之一，由和丽秋主编。编写人员分工如下：绪论、第四章，和丽秋；第一章，李海江；第二章、第三章，刘彬；第五章、第六章，李志红；第七章，唐朝纲；第八章，范红俊。

由于理论水平有限，时间仓促，错误在所难免，望读者批评指正。

公安消防部队
专科统编教材编审委员会
昆明指挥学校

二〇〇六年一月

目 录

绪 论	(1)
一、燃烧学的发展简史	(1)
二、燃烧学的应用	(4)
三、燃烧学的研究方法	(7)
四、火灾的定义与分类	(9)
五、学习消防燃烧学的主要任务	(11)
第一章 燃烧基础	(13)
第一节 燃烧的本质	(13)
一、燃烧的概念	(13)
二、燃烧与氧化	(14)
三、燃烧反应速度方程	(16)
第二节 燃烧的条件	(17)
一、燃烧的基本条件	(17)
二、燃烧的充分条件	(18)
三、燃烧条件在消防中的应用	(21)
四、阻燃的基本原理	(25)
第三节 燃烧中的物质传递	(33)
一、整体物质流的携带作用	(33)
二、扩散引起的物质传递	(35)
三、燃烧时的物质传递	(37)

第四节 烟 雾·····	(37)
一、烟雾的含义·····	(37)
二、烟雾的密度及流动规律·····	(38)
三、烟雾对灭火工作的影响·····	(38)
第五节 火焰与热的传播方式·····	(41)
一、火焰的概念及结构·····	(41)
二、火焰的光及颜色·····	(43)
三、火焰对灭火工作的影响·····	(45)
四、热的传播方式·····	(46)
第二章 燃烧参数及其计算·····	(54)
第一节 燃烧反应方程式与空气量的计算·····	(54)
一、燃烧反应方程式·····	(54)
二、纯净物完全燃烧所需空气量的计算·····	(56)
三、混合物完全燃烧所需空气量的计算·····	(58)
四、理论空气量与实际空气量·····	(59)
第二节 燃烧产物及其计算·····	(61)
一、燃烧产物的概念·····	(61)
二、几种重要燃烧产物的性质·····	(64)
三、完全燃烧时产物的计算·····	(70)
四、燃烧产物的检测计算·····	(75)
第三节 燃烧热值及其计算·····	(76)
一、燃烧热、热值和放热速率·····	(76)
二、热值的计算·····	(80)
三、可燃物完全燃烧时消耗单位体积的氧气所放出的热量 ·····	(83)
第四节 燃烧温度及火场比热·····	(84)
一、燃烧温度·····	(84)

二、火场温度和火灾持续时间的确定	(87)
三、火场比热	(89)
第三章 着火与灭火理论	(92)
第一节 着火方式与着火条件	(92)
一、着火方式	(92)
二、着火条件	(93)
第二节 热自燃理论	(94)
一、谢苗诺夫热自燃理论	(94)
二、热自燃理论的物理模型	(94)
三、热自燃的理论分析	(96)
四、热自燃理论中的着火感应期	(98)
第三节 链锁反应着火理论	(101)
一、链锁反应	(101)
二、链锁反应的分类	(103)
三、链锁反应着火理论	(105)
四、链锁反应理论中的着火感应期	(106)
五、对氢氧反应三个着火极限的解释	(107)
第四节 电火花引燃	(108)
一、引燃的特征	(108)
二、电火花引燃的机理	(109)
三、最小点火能量	(110)
四、电极熄火距离	(112)
五、影响电火花引燃的主要因素	(113)
第五节 灭火分析	(113)
一、热自燃理论中的灭火分析	(114)
二、链锁反应理论中的灭火分析	(118)

第四章 燃烧类型	(121)
第一节 闪 燃	(121)
一、闪燃与闪点的概念	(121)
二、有机物闪点的变化规律	(122)
三、闪点的测定和计算	(126)
四、闪点在消防上的应用	(130)
第二节 着 火	(132)
一、着火与燃点的概念	(132)
二、燃点与闪点的关系	(132)
第三节 自 燃	(134)
一、自燃及其分类	(134)
二、自燃点及其变化规律	(135)
三、受热自燃的原因及预防	(141)
四、植物自燃的原因及预防	(142)
五、油脂及涂油物品自燃的原因及预防	(144)
六、煤自燃的原因及预防	(148)
第四节 爆 炸	(151)
一、爆炸的概念和分类	(151)
二、爆炸极限的概念	(155)
三、爆炸极限的主要影响因素	(159)
四、爆炸极限的计算及其在消防中的应用	(163)
五、爆炸压力及其计算	(167)
第五章 气体燃烧	(172)
第一节 气体的燃烧过程	(172)
一、气体的特性	(172)
二、气体的燃烧过程	(174)
第二节 气体的燃烧形式	(174)

一、扩散燃烧	(175)
二、预混燃烧	(175)
第三节 气体的燃烧速度	(176)
一、气体燃烧速度的表示方法	(176)
二、气体燃烧速度的计算	(177)
三、气体燃烧速度的主要影响因素	(179)
第四节 气体爆炸的预防	(182)
一、严格控制火源	(183)
二、防止可燃气体与空气形成爆炸性预混气体	(183)
三、切断爆炸传播的途径	(186)
四、泄压装置	(186)
第六章 液体燃烧	(188)
第一节 液体的燃烧过程	(188)
一、液体的特性	(188)
二、液体的燃烧过程	(192)
第二节 液体的燃烧形式	(193)
一、蒸发燃烧(扩散燃烧)	(193)
二、动力燃烧	(194)
三、沸溢式和喷溅式燃烧	(194)
第三节 液体的燃烧速度	(199)
一、液体燃烧速度的表示方法	(199)
二、液体燃烧速度的主要影响因素	(200)
第四节 油罐火灾	(203)
一、油罐火灾的发生及发展	(203)
二、油罐火灾的火焰特征	(206)

第七章 固体燃烧	(209)
第一节 固体的燃烧过程	(209)
一、固体的特性	(209)
二、固体的燃烧过程	(211)
第二节 固体的燃烧形式	(212)
一、蒸发燃烧	(212)
二、表面燃烧	(213)
三、分解燃烧	(214)
四、阴燃	(214)
第三节 固体的燃烧速度	(215)
一、固体燃烧速度的表示方法	(215)
二、固体燃烧速度的主要影响因素	(218)
第四节 典型固体物质的燃烧	(221)
一、木材的燃烧	(221)
二、高聚物的燃烧	(224)
三、金属的燃烧	(228)
第八章 粉尘爆炸	(232)
第一节 粉尘的分类及特性	(232)
一、粉尘的分类	(232)
二、可燃粉尘的特性	(233)
三、常见的可燃粉尘	(235)
第二节 粉尘爆炸的主要原因、条件及影响因素	(237)
一、粉尘爆炸的主要原因	(238)
二、粉尘爆炸的条件	(239)
三、粉尘爆炸的主要影响因素	(240)
第三节 粉尘爆炸的特点、危害性及其预防	(244)
一、粉尘爆炸的特点	(244)

二、粉尘爆炸的危害性	(245)
三、粉尘爆炸的预防措施	(247)
附 录:	(249)
一、火灾分类 (GB4968—85)	(249)
二、消防基本术语 (部分) (GB5907—86)	(251)
三、一些物质的防火防爆安全参数	(256)
参考书目	(259)

绪 论

一、燃烧学的发展简史

燃烧是物质因剧烈氧化而发光、发热的现象，这种现象又称为“火”。根据考古学的发现，人类最早使用火的时代可以追溯到距今 170 ~ 180 万年以前。火给人类带来了进步，恩格斯说过：“摩擦生火第一次使人类支配了一种自然力，从而最终把人和动物分开。”火的使用是人类进步的标志之一。第一次产业革命在英国出现，其标志就是蒸汽机的诞生，这是人类对火（燃烧）现象的长期认识和经验积累的结果。而今，燃烧现象已渗透到工业生产和人们日常生活的各个方面。人类的物质文明史与燃烧技术的发展密不可分，可以说，火的历史也就是人类社会进步的历史。

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（*Stahl G E*）提出燃素说作为燃烧理论，可以说这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完全错误，但他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，使后来正确的燃烧学说很快被发现。燃素说认为：（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说明，但是，一些本质问题却尚不清楚。如燃素的本质是什么？为什么金属物质燃烧重量反而会增加？为什么燃烧使空气体积减小？……1772年11月1日法国科学家拉瓦锡（*Lavoisier A L*）关于燃烧的第一篇论文发表了，其要点是由燃烧而引起重量增加的并不限于锡、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，这种燃烧后重量增加的现象，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“重量的增加”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。当时，拉瓦锡尚未完全弄清楚空气的这一部分是什么物质。1774年，英国科学家普利斯特利（*Priestley J*）在空气中发现了氧气，且与拉瓦锡有了接触。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”（原义为酸之源），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学说，提出了关于火的氧化理论——燃烧氧学说，并于1777年公布于世。该学说认为：燃烧是可燃物与氧的化合反应，同时发光、放热。这一理论引起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的本质，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最重要的热力学特性，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的重要而惟一

的基础。20 世纪 20 年代，由于化学动力学的发展和自由基（链）反应理论的问世，到了 30 年代，美国化学家刘易斯（*Lewis B*）和俄国化学家谢苗诺夫（*Semenov N N*）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这一理论非常感兴趣，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。

随着 20 世纪初各学科的迅猛发展，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。20 世纪 50 ~ 60 年代，美国力学家卡门（*Karman Von*）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的基本过程，并逐渐建立了所谓的“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，并成功地接受了实验的检验。但在进一步研究中，遇到了湍流问题的困难，斯波尔丁和哈洛（*Harlow F H*）继承和发展了普朗特、雷诺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。20 世纪 80 年代，英、美、俄、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，让我们来看看，在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。

表1 世界一次能源的消费结构 (%)

	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	80.7	8.0	1.3	—
2000年发展中国家	20.8	47.2	17.0	85.0	10.3	4.8	—
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	7.6	13.6	5.4

表1表示出了世界一次能源的消费结构比重。在世界总体能源结构中，以燃烧方式提供能源的矿物燃料所占比例在80%~85%，占绝对主导地位，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%，仍然是能源的主要构成。

在我国，1992年初，煤炭的探明储量为 9667.6×10^9 吨，占世界总量的30%，其中可开采量达 1145×10^9 吨。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，如表2所示。从表2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、核电及新能源的比重将有所增加，但以煤为主的能源结构不会有根本性的改变。

表 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	0.067
2020	67.75	14.95	5.54	88.24	8.75	3.050
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，主要来自于矿物燃料的燃烧，而其应用又遍及各个领域。如火力发电厂的锅炉、工厂的工业用蒸汽、各种交通工具的发动机等，都以固体、液体和气体燃料的燃烧产生的热能为动力；在冶金、化工、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；人们生活空间的取暖，人们日常的食物制作，都是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的要求。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。

另一方面，火促进了人类文明，但也给人类带来了灾难。经过 20 多年的改革开放和发展，我国社会生产力、综合国力和人民生活水平都上了一个大台阶，经济增长速度稳步持续上升，取得了令人瞩目的成就。然而，在国民经济和社会发展的同时，火灾发生的频率和火灾造成的损失也令人焦虑地快速增长着。预防和减少因火灾造成的生命、财产和资源的损失，也给燃烧学的研