

高 等 学 校 教 材

火灾安全工程学

Fire Safety Engineering

毕明树 任婧杰 高伟 编



化学工业出版社

高 等 学 校 教 材

火灾安全工程学

Fire Safety Engineering

毕明树 任婧杰 高 伟 编



化学工业出版社

本书是以火灾过程为研究对象,阐述火灾过程的机理和规律,为科学地发展火灾防治技术提供基础。本书主要介绍燃烧的基本概念、火灾爆炸危险物质、燃烧反应机理、火灾烟气、火灾防控原理与技术、火灾预防设计基础、典型火灾、泄漏扩散火灾后果预测。每章开头有内容提要和学习要求,结尾有小结,还配备了思考题和习题。

本书可作为安全工程本科专业教材,也可供从事化工、冶金、制药、生物、过程机械方面工作的学者、研究人员、工程技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

火灾安全工程学/毕明树,任婧杰,高伟编. —北京:化学工业出版社,2015.2
高等学校教材
ISBN 978-7-122-22443-9

I. ①火… II. ①毕…②任…③高… III. ①消防-安全工程-高等学校-教材 IV. ①TU998.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 280752 号

责任编辑:程树珍

责任校对:宋 玮

装帧设计:韩 飞

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14¼ 字数 359 千字 2015 年 3 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:39.00 元

版权所有 违者必究

前言

人类能够对火进行利用和控制,是文明进步的一个重要标志。火的利用为人类社会的发展与进步做出了重要贡献。没有火就没有人类社会的进步,就没有今天高度发展的物质文明。然而,自从用火以来,火灾也一直没有停止过对人类社会发展的危害。其主要原因,一是受目前安全科技水平所限,缺乏可靠的应对技术和装备;二是人们缺乏安全知识,对重大火灾隐患重视不够;三是人们的安全观念和意识不强,安全投入不足,安全设施不健全,安全措施不得力;四是管理水平较低。有效防止事故发生,把事故发生的频率及损失控制在最低限度,是当前各类企事业单位一项十分迫切的任务。为此,首先必须强化人才培养,加强安全技术的课程与教材建设,大力推进教学内容和方法改革。本书就是在此背景下为此课程组织编写的教材,并得到了大连理工大学教改立项的大力支持。

火灾是指在时间和空间上失去控制的燃烧所造成的灾害。人类使用火的历史与同火灾作斗争的历史是相伴相生的。火灾安全工程学研究火灾过程的机理和规律,把燃烧基本理论、物质性质、安全技术和安全工程有机结合,形成了完整的教学体系。全书共有9章,“绪论”主要讲述火与社会发展、生产与生活中的火灾事故、火灾防治的基本形势、火灾安全工程学的发展、本课程的主要内容和学习方法;第1章“基本概念”主要讲述燃烧的本质与特征、燃烧要素与条件、闪点和初馏点、自燃点、最大试验安全间隙、燃烧火焰、燃烧的分类、燃烧速率、常用术语;第2章“火灾爆炸危险物质”主要讲述涉及火灾爆炸危险物质安全的相关法规和标准、危险化学品分类、自燃性物质、火灾爆炸危险性分类分级;第3章“燃烧反应机理”主要讲述化学反应速率的概念、质量作用定律、化学反应分类、活化能理论、链反应理论、着火理论;第4章“火灾烟气”主要介绍燃烧所需空气量的计算、燃烧产物量的计算、燃烧烟气组成和密度的计算、燃烧火焰温度、烟气的构成、烟气的特性、烟气危害、室内可燃物的燃烧过程、烟气水平扩散、烟气垂直扩散、外墙窗口火焰蔓延;第5章“火灾防控原理与技术”主要介绍火灾预防原理、火灾分类、防火灭火原理、灭火剂选用、火灾逃生;第6章“火灾预防设计基础”主要介绍建筑物的耐火等级、防火分区、防烟分区、安全疏散;第7章“典型火灾”主要介绍建筑火灾、石化火灾、森林火灾;第8章“泄漏扩散火灾后果预测”主要介绍泄漏扩散火灾事故的基本形式、液池火灾事故、喷射火灾事故、云团扩散火灾事故、火球事故。通过这门课程的学习,学生可以系统地掌握火灾和爆炸灾害预防和控制方面的基础知识、基本理论和基本技能,具备从事火灾和爆炸方面研究工作的能力、安全技术及装置研发工作的能力、安全工程设计工作的基本能力。

本书以最新研究进展为基础,充分反映新标准、新规范、新法规的要求,做到深入浅出、理论联系实际,具有知识新、实用性强等特色。本书特别注重理论联系实际,引用了大量科学技术研究的最新成果,包括新理论、新知识、新技术、新方法、新材料、新装备,把当前研究的前沿问题融于相关章节之中,介绍了目前先进的研究方法和手段。本书内容既有笔者的最新研究成果,也有近几年重要期刊上发表的新成果。

本书强化总结。每章开头有内容提要与学习要求,结尾有小结。每章均配有思考题和习

题，既有填空题，也有多选题和计算题，引导学生进行讨论，加深对知识的理解，提高运用所学知识分析解决实际问题的能力。

本书由大连理工大学毕明树、任婧杰、高伟编写。绪论、第3~第5章由毕明树执笔编写，第1、第2、第8章由任婧杰执笔编写，第6、第7章由高伟执笔编写。

本书参考了很多文献资料中介绍的研究成果，已尽力在参考文献中列出，在此对各位作者表示诚挚的谢意。在编写过程中，研究生李雪、赵聪、田静芳、王秋菊、蔡振、樊艳娜、沙嵬、赵晓敏、张康、王炎庆、田国胜等在材料整理、文字打印、图表处理等方面给予了大力帮助，在此对他们表示衷心的感谢！

鉴于编者水平有限，必然存在不当之处，恳请读者批评指正。

本书的编写得到了大连理工大学教务部门的支持和教学改革基金的资助。

编者

2014年11月

目录

绪论 1

0.1 火与社会发展	1
0.2 火灾及其危害	1
0.3 火灾控制与安全策略	3
0.4 本课程的性质与内容	6
思考题	7

1 基本概念 8

1.1 燃烧的本质与特征	8
1.2 燃烧的要素和条件	9
1.3 闪点与初馏点	11
1.4 自燃点	15
1.5 最大试验安全间隙	16
1.6 燃烧的分类	17
1.7 扩散火焰和预混火焰	20
1.8 燃烧速率	23
小结	25
思考题	26
习题	26

2 火灾爆炸危险物质 29

2.1 涉及火灾爆炸危险物质安全的相关法规和标准	29
2.2 常用术语	30
2.3 危险化学品分类	33
2.4 自燃性物质	35
2.5 储存物品的火灾爆炸危险性分类分级	42
2.6 生产的火灾危险性分类分级	45
小结	53
思考题	54
习题	55

3 燃烧反应机理 58

3.1 化学反应速率的概念	58
3.2 质量作用定律	59
3.3 化学反应分类	60
3.4 活化能理论	63
3.5 链反应理论	73
3.6 着火理论	77
小结	82
思考题	83
习题	84

4 火灾烟气 86

4.1 燃烧所需空气量的计算	86
4.2 燃烧产物量的计算	88
4.3 燃烧烟气组成和密度的计算	91
4.4 燃烧火焰温度	92
4.5 烟气的构成	94
4.6 烟气的特性	95
4.7 烟气危害	97
4.8 室内可燃物的燃烧过程	101
4.9 烟气水平扩散	106
4.10 烟气垂直扩散	108
4.11 外墙窗口火焰蔓延	112
小结	113
思考题	114
习题	115

5 火灾防控原理与技术 117

5.1 火灾预防原理	117
5.2 火灾分类	119
5.3 防火灭火原理	119
5.4 灭火剂选用	120
5.5 火灾逃生	133
小结	135
思考题	137
习题	137

6 火灾预防设计基础 140

6.1	建筑物的耐火等级	140
6.2	防火分区	146
6.3	防烟分区	152
6.4	安全疏散	154
	小结	164
	思考题	165
	习题	165

7 典型火灾 171

7.1	建筑火灾	171
7.2	石化火灾	177
7.3	森林火灾	181
	小结	185
	思考题	186
	习题	186

8 泄漏扩散火灾后果预测 191

8.1	泄漏扩散火灾事故的基本形式	191
8.2	液池火灾事故	192
8.3	喷射火灾事故	198
8.4	云团扩散火灾事故	203
8.5	火球事故	211
	小结	214
	思考题	214
	习题	215

参考文献 217

绪 论

0.1 火与社会发展

生产活动是人类最基本的实践活动，也是人类赖以生存和发展的必要条件。人类通过生产活动和科学实验，不断认识自然、改造自然，并使自然为人类服务。自从人类学会了“钻木取火”，火就一直为人类社会所用，并为人类社会的发展与进步做出了重要贡献。

早在一百多万年以前，人类已经利用火取暖御寒、熏烤食物；到陶器时代，人类开始用火烧制各种陶器、制作器皿；到瓷器时代，人类可以通过燃烧获得 1200°C 以上高温，烧制出各种瓷器；到青铜器时代，人类用火经验逐渐丰富，冶炼技术得以发展，制作出各种形状的青铜器；到了铁器时代，人类用火技术已经相当成熟，可以制作各类铁器以满足生产生活需要，尤其是军事需要。到了 18 世纪，人类在燃料燃烧方面已积累了大量经验、理论和技术，火的使用范围越来越广泛，技术水平和工程设计与制造能力都实现了跨越式进步，蒸汽机的产生就是这种进步的具体体现，由此推动了产业革命，冶金、机械制造、交通运输、化工、纺织、造纸、食品、国防等方面都得到了突飞猛进的发展。20 世纪，燃料利用更是超出了人们的想象，宇宙飞船、卫星发射都是火的利用技术达到新的水平的重要标志。可以说，没有火就没有人类社会的进步，就没有今天高度发展的物质文明。

0.2 火灾及其危害

火“善用之则为福，不善用之则为祸”。自从用火以来，火灾也一直没有停止过对人类社会的危害。古代的火灾自不必提，就是在科学技术高度发展的今天，火灾仍是发生最频繁、破坏性最大的灾害之一。新中国成立以来的最大火灾发生在 1994 年 12 月 8 日，新疆克拉玛依市友谊馆发生火灾，死亡 323 人，烧伤 130 人，直接经济损失 210.9 万元。第二大火灾事故发生在 2000 年 12 月 25 日，河南洛阳东都商厦发生特大火灾，死亡 309 人。2000～2008 年全国共发生特别重大火灾 12 起，造成人员死亡 703 人，重伤 292 人，直接财产损失 50550.91 万元；重大火灾 39 起，造成人员死亡 542 人，重伤 278 人，直接财产损失 17526 万元。这些火灾由 9 种火灾直接原因引起，发生在 14 类场所，共涉及 18 个省、自治区和直辖市；死亡人数最多的场所是公共娱乐场所（548 人）和厂房（152 人），分别占总数的 44.02% 和 12.21%。受伤人数最多的是公共娱乐场所（162 人）、商业场所（116 人）和厂房（107 人），分别占重伤总数的 28.42%、20.35% 和 18.77%。公共娱乐场所和商业场所



属于人员聚集场所,人口密度大,若消防责任不落实,安全疏散通道不畅,员工消防素质不高,顾客环境不熟悉,缺乏逃生自救知识,火灾发生后,易造成群死群伤。厂房各种易燃易爆有毒物质多,火灾蔓延迅速,火灾中释放的有害物质多,人员易受伤害,故死伤也较多。2010年前8个月,一次死亡3人以上的火灾45起,比2009年上升25%。从火灾直接原因看,电气火灾排在首位;其次是用火不慎;三是儿童玩火。值得注意的是,2010年的亡人火灾绝大部分发生在城乡居民住宅。发生火灾的居民住宅不同程度存在出口数量不够、疏散通道不畅、可燃材料装修、可燃物堆积等突出问题。2014年1月14日14时40分左右,位于台州温岭市城北街道杨家渭村的台州大东鞋业有限公司发生火灾,火灾过火面积约1080平方米,事故共造成16人死亡,5人受伤。2013年11~12月国内发生的各种生产安全事故173起,其中火灾和爆炸事故30起,占17.3%;事故共死亡768人,其中火灾爆炸事故死亡202人,占26.3%;电气、生产作业、放火和用火不慎火灾起数最多,占总起数的88.24%。生产作业用火和电气火灾伤亡人数最多,分别占总数的55.26%和65.22%。电气、外来火源和生产作业火灾直接财产损失最严重,占总数的97.68%。石油化工生产是目前规模最大的生产活动之一,由于化工生产具有易燃、易爆等特点,因而,石油化工企业较其他工业部门有更大的危险性。据国家安全生产监督管理局网报道,我国2001~2006年化工生产、经营企业发生的火灾爆炸事故约109起,死亡440人。化工生产事故都伴有环境污染,甚至经过辐射、扩散后,最终转变成了严重的生态问题和重大公共安全事件,影响可能波及整个区域、流域,且短期内难以消除。由于常规处理方法难以奏效,涉及危险化学品的安全事故一旦发生,就像打开了潘多拉盒子,其危害性往往难以预料。2010年7月16日,大连新港附近中石油一条输油管道起火爆炸,事故造成附近海域至少50平方公里的海面被原油污染。2005年吉林石化公司双苯厂发生爆炸事故。为扑灭爆炸引起的大火,消防部门调集大批消防车,对爆炸点进行喷水灭火冷却,大量的消防用水在未采取任何收集措施的情况下进入了该厂的雨水管道,最终流入了松花江,致使整个松花江流域面临生态污染。同时由于污染水体中含有致癌物质,也引发了哈尔滨等沿江城市的饮水安全问题。更为严重的是,污染带顺流而下,进入俄罗斯,成为一起严重的跨国污染事故。

2001~2008年统计的典型隧道火灾事故见表0-1。

表0-1 典型隧道火灾事故

时间	隧道名称	事故原因	损 失
2001.11	306国道马道岭隧道	发动机起火	12人死亡,6人烧伤,1辆大客车烧毁
2002.01	甬台温高速猫狸岭隧道	发动机自燃	隧道设施严重毁损,损失上百万元,约200米隧道受损,关闭18天,1辆大货车烧毁
2003.07	甬台温高速燕居岭隧道	发动机起火	隧道设施受损,1辆大客车烧毁
2003.09	合芜高速试刀山隧道	货物自燃	隧道电缆、照明设施受损,1辆大货车烧毁
2004.01	甬台温高速猫狸岭隧道	追尾碰撞起火	隧道照明设施受损,3辆轿车烧毁
2005.01	同三闽高速飞鸾岭隧道	刹车失灵,车轮着火	8人重伤,1辆大客车烧毁
2006.03	京珠高速温泉隧道	轮胎爆裂起火	隧道照明设备和防火层严重损毁,隧道关闭10天
2006.05	西湟高速响河隧道	追尾碰撞起火	1人死亡4人受伤,隧道设施严重损坏,直接经济损失近百万元
2006.07	罗长高速洋门岭隧道	发动机自燃	隧道电缆被烧,1辆大货车被烧毁
2007.05	重庆大学城隧道	自燃	6人受伤,隧道照明排风电线烧毁,1辆中巴车烧毁

续表

时间	隧道名称	事故原因	损 失
2007.05	合巢芜高速试刀山隧道	发动机突然起火	1 辆中巴车烧毁
2007.08	杭新景高速东坞隧道	发动机突然起火	1 人受伤,1 辆轿车烧毁
2007.11	延塞高速三狼贫隧道	追尾碰撞起火	3 人受伤,1 辆轿车烧毁
2008.04	沪蓉西高速女娘山隧道	碰撞起火	隧道通讯光缆被烧,2 辆车烧毁
2008.05	京珠高速大宝山隧道	追尾碰撞起火	2 人死亡,5 人受伤,2 辆货车烧毁,隧道严重损坏,封闭维修 1 个月

总之，火灾事故都是能量迅速释放的过程，造成的人员伤亡和财产损失严重。与其他事故相比，具有致灾状况复杂、人为因素多、突发性强、致灾率高、损失严重、易形成连锁灾害等特点，必须提高认识，高度重视，强化研究，提高防灾减灾水平。

0.3 火灾控制与安全策略

我国是发展中国家，目前经济正处在快速发展时期，由于生产力水平较低，安全生产投入严重不足，安全生产监督管理体制不能适应经济发展的需要，安全生产形势依然相当严峻。其根本原因主要有以下几方面：一是受目前安全科技水平所限，一些潜在的危险尚无法认识或不能彻底认识清楚，缺乏可靠的应对技术和装备；我国的高端装备制造水平较低，也缺乏动作准确可靠的安全技术与装置；二是人们缺乏安全知识，对重大爆炸安全隐患熟视无睹，而一旦发生事故又缺乏救灾减灾和逃生技能，从而使小事故发展为大事故；三是人们的安全观念和意识不强，某些企业领导人片面追求经济效益，对安全隐患抱有侥幸心理，安全生产投入不足、安全设施不健全、安全措施不得力；四是管理水平较低，操作不规范，为了要指标、赶进度、追求经济效益，领导乱指挥，工作人员违规操作。

人类文明和社会进步要求生产过程、科学研究有更高的安全性、可靠性、稳定性，安全已成为人类文明、安居乐业的一种象征。为了适应以经济发展为中心的这一要求，应从以下几方面做好安全生产工作。

(1) 加强企业规划与布局研究

不合理的工业规划与布局加剧了事故的危害性，不合理的布局常常会使企业的一般事故威胁到一个城市与一条河流的安全。企业布局既要考虑经济效益，更要考虑社会效益和生态效益。这三者之间是相互影响、相互制约的。生态效益是形成经济效益的客观自然基础，而经济效益则是生态效益得以改善的社会环境和外部条件。生态效益要求在进行生产力布局时遵循可持续发展的基本要求，考虑资源约束和自然的承载力。党的十八大报告明确提出了建设生态文明，这就要求在经济建设过程中要以科学发展观为指导，加快转变经济增长方式，保护生态环境，加快建设环境友好型社会，促进经济发展与人口、资源、环境相协调。

(2) 加强火灾危险物质的基础数据研究

各种火灾事故基本上与物质性质密切相关。不同的物质具有不同的性质，扩散范围、着火理论、燃烧爆炸性质、反应机理等都不尽相同，因此必须对物料的物理性质、化学性质以



及各种危险特性进行研究,为火灾控制研究提供基础依据。这些性质包括:物料的闪点、燃烧极限、熔点或凝固点、沸点及其在不同温度下的蒸气压;化学稳定性、热稳定性、光稳定性等。

(3) 加强生产过程成灾模式研究

要防治灾害,首先要弄清灾害发生发展的规律、特点和成灾机理。对某些情况,虽然也采取了一些防治措施,但灾害事故却未能得到有效防控,其根本原因之一就是缺乏对基本规律和成灾模式的正确认识。虽然近些年来这方面的研究取得了很大进展,提出了不少理论模型、分析方法和有效措施,但由于灾害发生的随机性和复杂性,目前尚未获得准确而通用的规律。因此必须继续加强对成灾机理的基础研究,例如,易燃物的扩散理论、火灾发生发展规律、消防机理、紧急救援理论、灾害预警理论、重大产品和重大设施寿命预测理论等,为提出有效的防治措施提供理论依据。

(4) 加强生产装备技术研发,提升安全运行水平

生产系统的可靠性主要取决于装备的可靠性。为了使装置安全、稳定、长周期、满负荷、可靠地运行,首先要提升化工装备的设计、制造、检验、安装、调试、维修水平,其次要研发适应新工艺要求的新型材料或复合材料,再次要提高所用材料的力学性能、化学性能、制造工艺性能。德国石化装置的运行周期已达到5年,而我国大多数装置的运行周期还是2~3年。

(5) 加强安全技术和装备的研究与开发

强化装置和控制技术与装备、设备故障诊断技术与装备、安全评价技术与装备、防火防爆技术与装备、抑爆技术与装备、泄爆技术与装备、防毒技术与装备等对防止企业发生灾难性事故具有极其重要的作用。近年来这些工作取得了长足进步,但先进性、可靠性、经济性、灵敏性等都有很大的提升空间。

(6) 加强安全法规建设

安全法规是提高人们安全意识的有力工具,也是企业领导人和技术负责人加大安全技术投入的保障。通过建立完善的操作规程和规章制度,消除物的不安全状态,防止人的不安全行为。近年来,我国在安全法规建设方面取得了重大进展,出台了一系列相关法律,使得设计者有法可依。但这些法规的覆盖面还不够宽,还有些相互衔接不顺畅。因此必须在安全理论与技术研究不断进步的基础上,不断完善相关法规。

(7) 加强安全知识普及教育

当前由于相当一部分企业负担过重,个别企业领导只顾抓市场、抓效益,根本不顾及安全管理,当生产与安全发生矛盾时,置安全生产于不顾。本应停车进行设备检修,但为了眼前短期经济利益,设备带病作业,最终导致重大伤亡事故的例子并不少见。其实企业经济效益不好,事故频发也是重要原因之一。此外,大多数石化企业工艺复杂,操作要求极其严格,操作员稍有不慎就会发生误操作,导致安全隐患或生产事故。这就要求任何人不得擅自改动操作规程,要严格遵守操作规程要求,操作时要注意巡回检查、认真记录、纠正偏差、严格交接班、注意上下工序的联系、及时消除隐患,才能预防各类事故的发生。因此,对广大从业人员,尤其是从事处理易燃易爆介质的人员,必须加强安全教育,提高他们的安全意识,增强他们的责任心,提升他们使用防爆抑爆装置的技能 and 救灾水平。只有掌握了各项安全知识才能更有效地预防各类事故的发生,才能更好地做好个人防护及预防措施,才能纠正自身在操作中习惯性的违章行为,从而提高执行安全生产的自觉性,更好地履行员工安全本职职责,达到安全生产的目的。近年来,我国已有100余所高校设立了安全工程本科专业或



研究生专业,国务院学位办拟设立安全科学与工程一级学科,这都对我国安全技术及工程人才的培养起到举足轻重的作用。

(8) 加强安全管理

i. 政府部门应加大辖区范围内的安全监管和指导力度,发现隐患立即责令改正,逾期不改的,坚决依法进行处理。

ii. 企业的管理者要以人为本,把劳动者的安全放在第一位。在生产过程中,如果危及人身安全的状况发生时,无论生产的任务有多重,都应把保证劳动者安全放在首位,查找并消除隐患,在能够保证劳动者安全的前提下,追求生产效率。特别是当生产与安全发生矛盾时,绝不能存在侥幸心理,宁可停产也不能冒险作业。

iii. 建立合理的安全管理体系。只有建立健全合理的安全管理责任制,才能杜绝因人为的疏忽所造成的各种事故的发生。

(9) 加大安全生产投入力度

安全生产投入是保障生产经营单位具备安全生产条件的必要物质基础,是企业管理的重要组成部分。安全生产投入包括以下几点。

i. 安全工程项目资金投入,即为了保障生产安全和职工健康,针对特定危险以及职业危害而投入的工程项目费用,如危险源整改资金,职业卫生工程资金,具有潜在危险的工艺、设施的改造资金。建设项目范围主要有以防止火灾、爆炸、工伤等为目的的安全技术,如防护装置、保险及信号装置、回收处理、通风降温等;有关保证安全生产必须的辅助房屋及措施,如淋浴室、更衣室、消毒间等;隐患整改项目;安全工程项目维护保养资金;安全工程项目建设和安全工程项目维护保养的人员、时间投入。

ii. 劳动防护与保健投入,即为了保障生产过程中职工的安全与健康而投入的防护用品以及职工保健的费用。主要包括劳动防护用品(如劳动服装、安全帽、安全手套、防护眼镜、防尘、防毒口罩等)费用、保健费等。

iii. 应急救援投入,即为了有效控制突发事件而预先计划的应急救援系统的费用。主要包括应急救援设施(如防火墙、安全通道、消防用具、抢险救灾的工程设施及器具、警示标志、检测报警仪器、通信联络器材、抢险救灾车辆、围堤、回收装置等)、设备、用具或用品等费用,应急救援组织办公费用,应急救援培训及演练费用,参与应急救援及演练费用。

iv. 安全宣传教育投入,即对职工进行安全培训(包括三级教育、特种作业上岗培训、安全知识讲座等)的费用(教材费、讲课费等)、安全活动费用、安全宣传(板报、报纸、宣传栏、安全宣传稿件、传单等)费用。

v. 日常安全管理投入,即安全生产管理部门正常开展工作所需的投入,包括办公支出、安全标准化体系建立及运行维护费用。

vi. 保险投入。

vii. 事故投入,即在突发事故发生后,公司为了控制事故扩散、减少损失、处理事故而不得不进行的花费。主要包括事故处理活动费用、对伤亡职工的救治与赔偿费用、事故发生导致企业停产的损失、公司价值损失和时间上的投入、安全奖励基金投入。

(10) 不断完善应急救援体系建设

加快推进应急救援体系建设,强化政府主导职能,明确消防、安全监督、公安、武警、医疗、供水、供电等社会单位的职责,建立专家组指挥决策系统和跨区域增援联动机制,提高应急指挥决策水平。适时组织跨区域多警种、多部门联合作战演练,全力做好石化企业火



灾爆炸事故的扑救准备。加强对化工生产的消防安全监督工作,促进地方经济社会又好又快发展。

总之,我国安全生产事故多发,有其特定的主、客观原因,只有牢固树立“安全生产,人人有责”的安全意识,建立有效管理机制,落实责任,各司其职,才能确保各类企业又好又快健康地健康发展。安全工作人员和研究人员有责任和义务肩负起这个神圣的使命,对这些危险物质的特性进行深入研究并研制相应切实可行的防范设施,采取行之有效的措施,将事故消灭于无形之中,造福于人类。

0.4 本课程的性质与内容

“生产必须安全、安全为了生产”在中华人民共和国成立后就成为了我国安全生产的方针;1984年,这个方针演变为“安全第一,预防为主”,并写进了我国第一部《劳动法(草案)》;2005年,《中共中央关于制定十一五规划的建议》中把安全生产方针修改为“安全第一,预防为主,综合治理”。把“综合治理”充实到安全生产方针之中,反映了近年来我国在进一步改革开放过程中,安全生产工作面临着多种经济所有制并存、法制尚不健全、体制机制尚未理顺、急功近利地只顾快速发展等复杂局面,体现了又好又快、安全、环境、质量等要求的科学发展观。

本课程是安全工程专业课程之一。本课程在教学内容方面着重燃烧与爆炸的基本知识、基本理论和基本设计方法的讲解,为其从事安全生产操作与管理、安全科学与技术研究、安全装置与工程设计提供基础。

通过本课程的学习,使学生了解安全工程的发展现状和趋势,掌握本专业领域最新的理论和先进技术,把握国内外新标准、新规范和技术进步的发展方向;具备从事安全工程技术、安全管理、安全工程设计和对过程装备制造、使用进行安全监察的能力;掌握事故发生的社会科学和自然科学机理和规律,掌握事故的统计规律,掌握事故预防和事故后损失控制的基本工程技术手段和基本管理手段;具备安全工程技术与管理方法的研究、设计、咨询、监察等能力;培养学生树立正确的设计思想,了解国家有关的经济、环境、法律、安全、健康、伦理等政策和制约因素。

本书内容涉及热力学、燃烧学、爆炸物理学、气体动力学、固体力学等多门学科以及化工、石油化工、矿山、电力等多个工程领域,显得多而杂乱,因而在学习过程中要注意以下几个方面。

i. 本书的主线是研究火灾过程的危险源向事故隐患转化进而向事故转化的规律,从而提出灾害防治方法,提高预防与控制的有效性。各种概念、理论、计算方法都是为这条主线服务的。学习时必须时刻抓住这条主线。

ii. 要注重基本概念和基本理论的理解与应用,死记硬背一些公式是不能解决实际问题的。注意掌握应用基本概念和理论分析处理实际问题的基本方法,学会对实际问题进行“抽象”、“简化”、“建模”、“求解”并提出解决方案的基本方法,从而可以举一反三。

iii. 提高工程意识。处理工程实际问题的方法是多种多样的,各种方案之间也只有更好,没有最佳。在基本概念和所用理论正确的基础上,要敢于从不同的角度思考,提出创新性解决方案。

iv. 考虑到化工安全生产的要素,强化对相关标准的解读,既要知其然也要知其所以然。



思考题

1. 火灾安全工程学的任务和目的。
2. 火灾安全工程学的研究对象是什么？
3. 火与人类社会发展的关系如何？
4. 经济效益、社会效益、安全投入之间的关系。
5. 世界的安全生产形势。
6. 我国的安全生产形势。
7. 做好安全生产工作应采取的对策。

1

基本概念

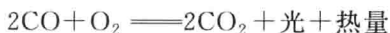
内容提要：主要介绍燃烧的本质与特征；分析燃烧要素和条件，简述闪点、燃点、自燃点、初馏点、最大试验安全间隙等概念及其应用；介绍燃烧速率的概念及其影响因素；介绍常用术语的含义。

基本要求：(1) 熟悉燃烧的定义和特征；(2) 掌握燃烧要素和条件；(3) 掌握闪点、燃点、自燃点、初馏点、氧指数、最大试验安全间隙的概念和应用要点；(4) 掌握燃料、氧化剂、点火源对燃烧过程的影响；(5) 了解火焰的结构和特点；(6) 了解燃烧速率及其影响因素；(7) 了解燃烧的分类和各自的本质特点。

1.1 燃烧的本质与特征

1.1.1 燃烧的定义

燃烧是同时伴有发光、放热现象的激烈氧化还原反应。例如：



在氧化还原反应中，氧化与还原必然以等量同时进行。反应的本质是有电子转移，即电子的得失或偏移。化合价升高，即失去电子的反应是氧化反应；化合价降低，得到电子的反应是还原反应。化合价升高的物质还原对方，自身被氧化，因此叫还原剂；化合价降低的物质氧化对方，自身被还原，因此叫氧化剂。这里的氧化剂多数情况下是氧气，当然也可以是其他物质，例如在氢气与氯气的反应中氢失去一个电子被氧化，而氯得到一个电子被还原，同时伴有发光和放热现象，这也是燃烧反应。



1.1.2 燃烧的特征

燃烧反应具有三个基本特征，即发光（发烟）、发热和氧化还原反应（生成新物质）。

光在燃烧反应过程中。当原子吸收了足够能量，其核外电子将被激发到能量比较高的轨道，处于激发态的原子是不稳定的，会向能级较低的激发态或基态跃迁，释放能量，发出不同频率的光。燃烧过程发光就是原子跃迁的结果。大部分燃烧过程都伴有光和烟的现象，发烟是由于燃烧不完全等原因使产物中带有微粒的缘故。当然也有少数燃烧只发烟而看不到光，这是因为燃烧发出的光的波长不在可见光（390~760nm）的范围内。

氧化还原反应在进行时总是有旧键的断裂和新键的生成，断键时要吸收能量，成键时又



放出能量。在燃烧反应中，断键时吸收的能量要比成键时放出的能量少，所以燃烧反应都是放热反应，且常常伴有火焰。

燃烧反应都是氧化还原反应，因而必然有新物质（反应产物）生成。燃烧过程中燃料都是还原剂，大多数有机物质、金属单质、磷、硫、碳、氢、一氧化碳等都是强还原剂。燃烧过程中助燃物都是氧化剂，如氧气、卤族物质、金属过氧化物、高锰酸钾、过氧化氢、硝酸盐、硝酸铵等都是强氧化剂。

缺少这三个基本特征中的任何一个都不是燃烧反应，例如，白炽灯照明时发出光和热，但没有产生新的物质，这是一种物理现象，不能称为燃烧。电炉通电后，电热丝会发红、发热，但没有新的物质生成，停电后仍然是电热丝，这还是一种物理现象，不能称为燃烧；反应 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Zn} = \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2 + \text{热量}$ ，虽然放出热量，是氧化还原反应并生成了新的物质硫酸锌，但是没有发光现象，所以也不能称为燃烧；核燃料“燃烧”中轻核的聚变和重核的裂变都是发光、发热的“核反应”，而不是化学反应，不能称为燃烧。

1.2 燃烧的要素和条件

1.2.1 燃烧的要素

发生燃烧必须有三要素，即可燃物（燃料）、助燃物（氧化剂）和点火源。这三个要素俗称火三角。

可燃物是指在标准状态下空气中能够燃烧的物质。如木材、棉花、酒精、汽油、甲烷、氢气等都是可燃物。有些物质在标准状态下的空气中不能燃烧，而只有在特定的条件下才能够燃烧。例如，大家熟知的铜和铁，在通常条件下不能燃烧，但赤热的铜丝和铁丝在纯氯气或纯氧气中都能发生剧烈的燃烧。这种物质不能称之为可燃物。可燃物大部分为有机物，少部分为无机物。有机物大部分都含有 C、H、O 等元素，有的还含有少量的 S、P、N 等。可燃物在燃烧反应中都是还原剂。

可燃物质按其燃烧的难易程度，可分为易燃物、可燃物和难燃物三类。通常用氧指数作为衡量塑料及其他高分子材料燃烧难易程度的指标。氧指数（oxygen index）是在规定条件下，试样在氧、氮混合气流中，维持平稳燃烧所需的最低氧气浓度，以氧所占体积的百分数表示。氧指数高表示材料不易燃烧，氧指数低表示材料容易燃烧，一般认为氧指数 < 22 属于易燃材料，氧指数在 $22 \sim 27$ 之间属可燃材料，氧指数 > 27 属难燃材料。氧指数的测试按国家标准 GB/T 2406（塑料）和 GB/T 5454（纺织物）的规定进行。

助燃物是指处于高氧化态，具有强氧化性，能够与可燃物相结合。导致其燃烧的物质。气体如氧气、氯气等；液体或固体化合物如硝酸钾、硝酸锂等硝酸盐类，高氯酸、氯酸钾等氯的含氧酸及其盐类，高锰酸钾、高锰酸钠等高锰酸盐类，过氧化钠、过氧化钾等过氧化物类等，都是能够与可燃物发生剧烈氧化还原反应的物质。

点火源是指能够引起可燃物燃烧的热能。明火、炽热体、火花、反应热或生物热、光辐射等都可能成为点火源。

1.2.2 燃烧的充分条件

可燃物、助燃物、点火源是发生燃烧爆炸的必要条件，并不是充分条件。在某些特殊情况