


防火防爆

张培红 主编

 东北大学出版社
Northeastern University Press

防火防爆

张培红 主编



东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 张培红 2011

图书在版编目 (CIP) 数据

防火防爆 / 张培红主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2011. 11

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0052 - 8

I. ①防… II. ①张… III. ①防火 ②防爆 IV. ①X932

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 227251 号

内 容 提 要

本书从火灾的燃烧学机理出发, 讨论火灾发生、发展和烟气蔓延的规律; 分析爆炸的基本理论和实质。重点介绍工业企业生产过程和建筑工程中火灾与爆炸事故的预防及控制措施, 包括建筑物防火以及防排烟设计方法和技术措施、耐火设计、消防规划和消防布局等防火方法与技术, 火灾探测报警和自动灭火方法与技术及工业建筑防爆泄压设备设施等防爆技术措施。结合火灾爆炸事故案例和消防工程实例, 介绍了隧道等特殊建筑工程、乙炔站、煤气储配站等典型危险作业场所和冶金、矿山等工业企业的防火与防爆技术措施。

本书可作为高等学校安全工程、消防工程、建筑技术、工程管理等专业的教材, 也可供管理人员和科研人员参考。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024 - 83687331(市场部) 83680267(社务室)

传真: 024 - 83680180(市场部) 83680265(社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 15. 25

字 数: 381 千字

出版时间: 2011 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2011 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 任彦斌 王延霞

封面设计: 刘江旸

责任校对: 北 辰

责任出版: 唐敏智

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0052 - 8

定 价: 28. 00 元

前 言

火灾是火在时间和空间上失去控制而导致蔓延的一种灾害性燃烧现象。爆炸是一种物质由某种状态迅速转变为另一种状态，并在瞬间内放出大量能量及发出巨大声响的物理、化学或物理化学现象。由于火灾爆炸事故的随机性、不确定性、突发性以及灾难性特点，近年来，大型公共建筑、高层建筑、地下建筑、工业建筑以及工业企业火灾爆炸事故频发，造成了严重的人员伤亡和财产损失，甚至对环境也造成了严重的污染和破坏。火灾爆炸事故已经成为威胁社会公共安全水平的一个重要因素。研究火灾爆炸事故发生发展的规律，开发切实有效的火灾爆炸防治技术，具有重要的意义。

虽然火灾与爆炸事故的发生及防治有许多相似之处，实际上火灾与爆炸是两个不同的概念，它们之间有共同点，一定条件下可以彼此转化。

本书从火灾的燃烧学机理和爆炸的反应历程出发，分析火灾和爆炸事故发生、发展的基本规律，对烟气控制、结构防火、火灾自动探测报警、主动及被动灭火、抑爆隔爆等主动防爆技术措施进行综合分析。本书从系统安全的角度出发，吸收性能化防火设计的思想，结合典型工程的实际案例进行分析，研究实现火灾爆炸事故预防和控制的综合措施。

本书由东北大学长期从事防火防爆领域教学、科研和工程实践的教师编写。东北大学张培红教授担任主编，陈宝智教授担任本书的主审。东北大学李刚、苑春苗、林秀丽、尚融雪，沈阳建筑大学李志新、张芸栗等参与了本书的编写，并提出了很多宝贵意见，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中的错误和不妥之处，希望读者予以批评指正。

编 者

2011年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 火灾和爆炸事故的特征及其危害	1
1.1.1 火与火灾.....	1
1.1.2 火灾与爆炸.....	2
1.2 防火防爆技术的发展趋势与前景	3
1.3 本书的主要内容	5
第2章 防火技术的理论基础	6
2.1 燃烧及其机理	6
2.1.1 燃烧现象的基本特征.....	6
2.1.2 燃烧反应的机理.....	7
2.1.3 燃烧的类型.....	8
2.1.4 燃烧反应的三要素	15
2.1.5 燃烧热及火灾的释热速率	22
2.2 火灾的类型及分级.....	26
2.3 可燃物的类型及火灾燃烧特性.....	27
2.3.1 气体可燃物的火灾燃烧特性	27
2.3.2 可燃液体的火灾燃烧特性	29
2.3.3 可燃固体的火灾燃烧特性	31
2.4 建筑物火灾的发展过程.....	33
2.4.1 火灾初起阶段	34
2.4.2 火灾的充分发展阶段	35
2.4.3 火灾减弱阶段	38
2.5 烟气的产生、蔓延和危害.....	38
2.5.1 烟气的产生	39
2.5.2 烟气的主要特征参数	40
2.5.3 烟气的危害	41
2.5.4 烟囱效应	44
习 题	46
第3章 防爆技术的理论基础	48
3.1 爆炸机理.....	48
3.1.1 爆炸及其分类	48

3.1.2	爆炸的破坏作用	54
3.1.3	爆炸的反应历程	55
3.2	爆炸极限	57
3.2.1	爆炸极限和燃爆危险性	57
3.2.2	爆炸极限的影响因素	59
3.2.3	爆炸极限计算	62
3.3	粉尘爆炸	67
3.3.1	粉尘爆炸的条件	67
3.3.2	粉尘爆炸的过程	68
3.3.3	粉尘爆炸的特点	68
3.3.4	影响粉尘爆炸的因素	69
3.4	喷雾爆炸	70
	习 题	71
第 4 章	可燃物质的燃爆特性	73
4.1	可燃气体的燃爆特性	73
4.1.1	易燃易爆性	73
4.1.2	扩散性	73
4.1.3	可压缩性和受热膨胀性	74
4.1.4	带电性	74
4.1.5	腐蚀性、毒害性和窒息性	75
4.1.6	氧化性	75
4.2	可燃液体的燃爆特性	75
4.2.1	燃烧形式和液体火灾	75
4.2.2	评价液体火灾爆炸危险性的主要技术参数	77
4.3	可燃固体的燃爆特性	82
4.3.1	固体燃烧过程和分类	82
4.3.2	固体燃烧速度	82
4.3.3	评价固体火灾危险性的主要技术参数	82
4.4	自燃性物质的火灾爆炸危险性	84
4.4.1	自燃性物质的分类	84
4.4.2	评价自燃性物质火灾爆炸危险性的主要因素	85
4.4.3	决定自燃性物质火灾爆炸危险性的主要技术参数	86
4.4.4	煤的自燃特性	86
4.5	遇水燃烧物质的火灾爆炸危险性	87
4.5.1	遇水燃烧物质的分级	87
4.5.2	评价遇水燃烧物质火灾危险性的依据	87
4.5.3	决定遇水燃烧物质火灾爆炸危险性的因素	89
4.6	氧化剂的火灾爆炸危险性	90

4.6.1	氧化剂的分类	90
4.6.2	评价氧化剂火灾爆炸危险性的主要因素	91
4.6.3	氧化剂的火灾爆炸危险性和防护措施	92
4.7	生产和贮存物品的火灾爆炸危险性分类	92
	习 题	94
第 5 章	火灾爆炸的监测与控制	96
5.1	火灾与爆炸的监测	96
5.1.1	火灾探测器的类型及选择	96
5.1.2	测爆仪的类型及选择	104
5.2	火灾爆炸危险性物质的控制	105
5.2.1	设备密闭	105
5.2.2	厂房通风	106
5.2.3	惰性气体保护	106
5.2.4	以不燃溶剂代替可燃溶剂	108
5.2.5	危险物品的贮存	108
5.3	引火源的控制	111
5.3.1	明 火	111
5.3.2	摩擦和撞击	112
5.3.3	电气设备	112
5.3.4	静电放电	118
5.4	防火与防爆安全装置	119
5.4.1	防火装置	119
5.4.2	防爆装置	123
5.5	灭火措施	130
5.5.1	灭火器	130
5.5.2	自动喷水灭火系统	132
5.5.3	水喷雾灭火系统	137
5.5.4	细水雾灭火系统	138
5.5.5	二氧化碳灭火系统	139
5.5.6	蒸汽灭火系统	140
5.5.7	泡沫灭火系统	140
	习 题	141
第 6 章	建筑工程防火防爆	143
6.1	建筑物的耐火性能	143
6.1.1	建筑构件的耐火性能	143
6.1.2	建筑物的耐火等级	145
6.2	建筑消防规划布局	148

6.2.1	建筑用地的规划	148
6.2.2	消防道路的规划	149
6.2.3	各类建筑消防平面布置的一般要求	150
6.3	建筑物防火间距	153
6.3.1	一般民用建筑的防火间距	153
6.3.2	高层建筑的防火间距	154
6.3.3	厂房和库房的防火间距	155
6.3.4	防火间距不足时应采取的措施	156
6.4	建筑物内的防火分隔	157
6.4.1	水平防火分区的划分	157
6.4.2	竖向防火分区的划分	159
6.4.3	防火分隔设施	160
6.5	建筑物的防烟分隔	164
6.5.1	防烟分区的划分原则	164
6.5.2	防烟分区的划分方法	165
6.5.3	挡烟垂壁	166
6.6	烟气的控制技术	168
6.6.1	防排烟系统的设置原则	169
6.6.2	自然排烟	169
6.6.3	机械排烟	171
6.6.4	加压防烟	178
6.7	地下工程防火技术	180
6.7.1	地下工程火灾的特点	181
6.7.2	地下工程关键消防技术	182
6.7.3	隧道防火关键技术	184
6.8	工业建筑防火防爆	185
6.8.1	爆炸危险厂房的构造	185
6.8.2	防爆泄压设施	186
6.8.3	其他设备和设施的防爆要求	187
	习 题	188
第7章	典型危险场所防火防爆	190
7.1	油 库	190
7.1.1	油库的火灾爆炸危险性	190
7.1.2	油库的分类	190
7.1.3	库址要求	191
7.1.4	油库防火与防爆措施	192
7.2	电石库	193
7.2.1	布设原则	193

7.2.2	库房设置安全要求	194
7.2.3	消防措施	194
7.3	乙炔站	194
7.3.1	布设原则	194
7.3.2	站内设施	195
7.4	气瓶库	196
7.4.1	压缩与液化气瓶库	196
7.4.2	溶解气瓶库	197
7.5	管道	198
7.5.1	管道发生着火爆炸的原因	198
7.5.2	管道防爆与防火措施	198
7.5.3	空气压缩机及其管道爆炸事故	200
7.6	煤气储运防火防爆	202
7.6.1	煤气成分及主要性质	202
7.6.2	城市煤气管网系统的防火防爆	202
习 题		207
第 8 章	工业企业的防火与防爆	209
8.1	焊割作业中的防火防爆	209
8.1.1	焊割作业发生火灾事故的一般原因	209
8.1.2	置换动火的安全措施	209
8.1.3	带压不置换动火的安全措施	212
8.2	冶金企业防火防爆	213
8.2.1	冶炼过程中的喷溅事故	213
8.2.2	热处理工艺中的防火防爆	215
8.2.3	高压氧气管道的火灾爆炸事故	217
8.3	矿山防火防爆	219
8.3.1	矿山火灾爆炸事故的特征及其危害	219
8.3.2	矿内火灾原因及预防	221
8.3.3	矿内灭火方法	228
8.3.4	火灾时期矿内风流控制	228
8.3.5	火区管理与启封	230
8.4	铝镁粉及其合金粉爆炸事故的预防与控制	231
8.4.1	铝镁粉的燃烧爆炸条件	231
8.4.2	预防铝镁粉粉尘爆炸的措施	232
习 题		232
参考文献		233

第1章 绪论

随着社会经济的发展和城市化步伐的加速，火灾与爆炸事故的重大危险源不断增多，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，不仅造成了严重的人员伤亡和财产损失，而且破坏生态平衡，导致严重的环境污染，造成的灾难性后果日益严重。因此，加强火灾与爆炸事故的预防和控制，掌握最新的防火防爆技术，具有重要的意义。

1.1 火灾和爆炸事故的特征及其危害

1.1.1 火与火灾

人类用火的历史可以追溯到100多万年以前。那时，人类的祖先保存了落雷、火山爆发等原因产生的火种。火可以吓跑野兽，也可以给人类带来光明。古人类利用火驱赶严寒，结束了茹毛饮血的野蛮生活方式，使人类的大脑逐渐发达，生命得以延续和进化。渐渐地，火从生活领域扩展到生产领域，如制陶业、酿造业、冶金业。现在环绕地球飞行的几千颗人造卫星的火箭发射都是以燃烧反应为动力的。可以说，人类在利用、控制火的过程中建筑了自己的文明。

火在人类的控制下可以造福人类。但是，当火在时间和空间上失去控制而造成蔓延，并发展成一种灾难性燃烧现象的时候，火就变成了火灾。据考证，距今6000多年的西安半坡遗址是迄今为止发现的最早的火灾现场遗址。我国在《春秋左传》中有关于公元前698年宫廷谷仓火灾的记载，这是史书记载的我国最早的火灾。北魏永熙三年（公元534年）洛阳寺着火，火从第十八层烧起。当时的孝武帝派千余名官兵前去灭火但未能如愿，大火一直烧了3个月。据说这是我国古代最高的建筑物火灾。

日本是个多地震的国家，为减少地震损失而广泛兴建木结构房屋，因而从历史上就有大量关于火灾的记载。自公元794年平安迁都以后的1000多年时间里京都就发生过神社、寺庙和10条街以上的大火灾400多次。自1603年开始的江户时代的300年里，东京有记载的火灾873次，波及2公里以上的大火灾110次，差不多每2~3年发生一起大火灾。为防止火灾的发生，当政者实行“警火制度”，强调小心火灾和烟火管制，对失火肇事者处以重罪等以提高人们的警惕性。在房屋建筑上尽量采用难燃材料，在人口密集的市区设置防火用空地。

据史书记载，公元前一世纪前后罗马的一场大火持续了8天之久。当时的奥古兹皇帝在罗马成立了消防队。

在英国、美国等国，随着大都市的发展，各地大火灾相继发生。1666年伦敦的一场大火烧毁了市区的四分之三。为防止再次卷入火灾之中，英国政府采取了严禁建造木房屋的政策。美国芝加哥市于1871年和1874年先后发生两起大火灾。在第一次大火灾后人们以木材

便宜为由仍用木材建造房屋，结果导致第二次大火灾的发生。当时已濒临破产的火灾保险业以芝加哥火灾为契机，设立了火灾保险局，为科学地计算保险费而开始火灾方面的研究。这些研究促进了一系列有关防火及消防研究的开展，推进了城市的不燃化。

1.1.2 火灾与爆炸

人们习惯于把火灾与爆炸分类在一起，这可能是出于火灾与爆炸的发生及防治有许多相似之处，而且火灾与爆炸的结果往往都导致严重的破坏。然而，实际上火灾与爆炸是两个不同的概念。它们之间有共同点，一定条件下可以彼此转化，但需要特别注意的是，它们之间存在明显的区别。

火灾是一个燃烧过程，在燃烧过程中，氧化剂（如空气中的氧）进入燃烧区域，与可燃物质发生反应，并排出燃烧生成的气体产物等。火灾的发生相对来说有一个随时间增长的过程，如果能够在早期及时发现并采取措施，可以防止火灾扩大和蔓延，减少火灾损失。

一般认为爆炸是物质由某种状态迅速转变为另一种状态，并在瞬间内放出大量能量及发出巨大声响的化学、物理或化学物理现象，包括物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。化学爆炸和火灾都是由于燃烧过程引起的，但是化学爆炸的燃烧速度远远大于火灾的燃烧速度，从引爆到爆炸结束的整个过程在瞬间内完成，所以一旦发生爆炸，几乎没有时间采取措施控制它，防治爆炸需要采用自动防爆措施。爆炸和火灾另一个显著的区别是爆炸会造成压力的急剧升高，爆炸产生的冲击波会对周围的设备、设施、建筑物等造成严重的破坏。

人类最初所遇到的爆炸现象是火山爆发。我国在很早以前就发明和创造了爆炸用的火药，当时火药的制造方法和使用方法以及火药的性能，主要从用做武器及狩猎的角度出发来考虑。公元9世纪，研究出相当于现在的黑火药的炸药。进入13世纪以来，黑火药类炸药的制造日益发展的同时，作为火药使用效果的爆炸现象的知识已逐渐丰富。18世纪，贝托莱制成的氯酸钾取代了黑火药中的硝石，产生了更猛烈的爆炸。其后，为研究开发使用方便、破坏力强的火药，进行了多方面的试验，逐步达到了今天的水平。现在，虽然多数火药用于武器中，但已广泛地应用在采矿、土木工程领域，以及异种金属的压合加工及金属表面处理等方面。

炸药本来是为了用于爆炸工程而制造和使用的，若处理不当，往往容易造成重大事故，这一点是人们所易于了解和接受的。即使是现在，花炮、焰火等工厂所产生的爆炸事故也还屡见不鲜。

与上述炸药的爆炸不同，1857年英国发生的城市煤气管道爆炸，造成了很大的破坏，这种爆炸不是炸药而是由供给城市居民生活使用的煤气引起的爆炸事故。由于煤气对社会生活至关重要，因而可燃气体的爆炸问题引起了各方的高度重视。许多前辈学者进行了划时代的实验与研究，直到19世纪末，才确认了对于主要可燃性气体，如氢、甲烷、一氧化碳、乙炔、乙烯的燃烧与爆炸的观察结果，并为防止爆炸事故和控制破坏的范围采取的安全措施，提供了方案并付诸实施，取得了相当大的成功，使工业灾害的次数渐趋减少。

人们通常将以上种种意外的、不希望发生的爆炸称为事故爆炸。现在工业部门“爆炸”一词，大多数系指事故爆炸而言。现在，各种工业部门所发生的事故爆炸中，多因发生高温爆炸气体，故伴有爆炸声响、空气冲击波与火焰的产生，使建筑等设施毁于一旦，设备被损

坏，原料、成品遭破坏，生产活动被迫停止。除此之外，还要受到“二次损失”，如事故爆炸所带来的火灾，以及爆炸所造成的碎片和冲击波等，其结果不只是对从事作业的职工，甚至附近的居民也会受到很大的影响。无疑，这将不仅是工业上的安全问题，更重要的是个社会问题，这就需要我们尽最大的努力来避免发生这类事故。因为，根据以往事故爆炸可知，事故爆炸与灾害程度之间没有什么定量关系，主要取决于爆炸所发生的场所、时间、季节、气象条件以及具有燃爆性物质的种类、数量和管理状态，设备状态、作业条件等多种因素的影响。微小的事故也有由于条件改变而发展成为严重灾害的。

我们应该首先从工艺设计和设备设施等物理条件方面采取主动的技术措施，实现火灾爆炸事故预防的本质安全。一旦发生了火灾爆炸事故，应根据其情况采取有效的应急措施，使灾害减轻，并控制在局部范围内，以最大程度地减少或消除其危害。

1.2 防火防爆技术的发展趋势与前景

人类从很早起就开始重视对火灾爆炸事故发生和发展的规律以及防火防爆技术的研究和开发，积累了大量火灾爆炸事故防治的宝贵经验，创造出了许多行之有效的防火防爆技术和措施。然而，由于火灾爆炸事故的随机性、不确定性、突发性以及灾难性特点，防火防爆科学及技术领域的研究仍是一个不断拓展和完善的过程。从目前的发展趋势来看，防火防爆工程学科领域今后需要在以下几个方面进一步深入开展研究和发

(1) 多参数、智能型、复合型火灾爆炸探测报警系统的开发和应用

今后的工作将主要集中在以下几个方面。一是开发具有特殊性能的火灾爆炸自动探测报警系统，使其具有高灵敏度、高可靠性、早期报警、快速响应，并能适用于高大、复杂或干扰因素较多等特殊空间和环境。二是积极运用相关专业领域的高新技术和理论，如激光微粒计数技术、红外分光光谱技术、人工智能和神经网络控制理论等，开发研制高性能、高质量的防火防爆新设备新产品。三是特别注重工程应用技术的研究，对已开发出来的产品在各种不同环境、条件下进行工程应用试验和测试研究，以拓展其应用范围。此外，更重要的是，人们越来越认识到火灾爆炸基础理论的研究，特别是早期的声、光、烟、热等信息特征及其与环境因素的关系等方面的基础理论研究，对于开发研制多参数、智能型、复合型火灾爆炸探测报警系统具有非常重要的意义。

(2) 新型灭火剂和阻燃剂的开发与应用

由于哈龙灭火剂对臭氧层的破坏，国内外兴起了哈龙替代灭火剂的研究开发热潮。目前，已开发出一些比较成熟的产品，如七氟丙烷（FM200）和混合气体（Inergen 烟烙烬），但这些产品都存在不足之处。目前，国际上尚未研制出一种既满足环保要求，又在灭火效能、安全性和成本等方面均超过哈龙的新灭火剂；更未能研制出可以充装到已使用的哈龙 1301 系统里直接替代哈龙 1301 的灭火剂。因此，开发新型哈龙替代灭火剂的工作是目前和今后几年世界瞩目的研究课题。

与此同时，随着材料与化工技术的不断进步，寻找其他各类新型灭火剂和阻燃剂的研究与开发工作也将进入一个新的高速发展阶段。国外对 A 类泡沫灭火剂和无卤阻燃剂的开发研究就是例证。但是，哈龙灭火剂对环境造成的破坏，带给人们深刻的教训，使新型灭火剂

和阻燃剂的环境安全问题受到各方面的关注。因此，研究开发洁净、高效的灭火剂和阻燃剂将成为未来防火防爆领域科研人员的主要任务之一。

(3) 防火防爆队伍装备的专业化、系列化和智能化

经济和社会的发展不断地给消防部门提出新的任务。目前，各国消防部门所面临的共同难题为各种复杂的火灾爆炸和特种灾害条件下的救援行动、特大恶性火灾的扑救、化学灾害事故的处置、恐怖破坏活动现场的救援与处置等。为了满足消防队伍的需要，各国消防装备的研究开发机构和厂家正在努力开发专业化的各种火灾爆炸事故救援和特种灾害处置装备，并使之系列化。同时，随着自动控制 and 人工智能技术的发展，消防装备的智能化程度也越来越高。各种智能化的救援装备和消防机器人将成为 21 世纪消防装备领域研究开发的重要任务。

(4) 防火防爆技术的信息化和网络化

计算机信息和网络技术在消防管理工作中的应用领域十分广阔，包括火灾爆炸重大危险源的辨识、评价及控制、防火防爆监督管理、应急通信调度指挥、消防训练与培训、火灾爆炸事故救援辅助决策、火灾统计、消防安全知识普及教育、消防队伍的后勤管理、人事管理以及日常办公自动化等。消防管理技术的信息化和网络化已成为各国消防部门所共同关注的热点，信息化和网络化的管理模式与资源共享是消防管理技术的必然发展趋势。

(5) 性能化防火防爆规范的建立和完善

近年来，科学技术的发展和火灾爆炸事故的严重危害，促使国际消防界开始深入思考如何从规范和法规的完善出发，真正达到主动防火防爆的目的。现在广泛采用的传统的“指令式规范”只是强制规定防火设计必须满足的各项设计参数指标，如建筑设施的结构要求、耐火要求、机械系统、电气系统、消防系统等。“指令式规范”的优点是清楚明了，没有为不正当的验收评估留有余地。但其缺点是它使建筑设计千篇一律，一定程度上阻碍了新材料、新产品、新施工技术或者创新设计的采用，很难满足技术进步的要求。“指令式规范”对具体建筑物要达到的总的目标不予要求，也不进行评估。而且对于工程师来说，只单纯地计算消防系统的某一独立部分是不够的，应该把整个建筑物作为一个整体来考虑，把每一部分的消防措施放到一个大系统中去分析。以前和现在仍然到处可见建筑物的结构耐火性能根本不考虑水喷淋的因素，水喷淋也不考虑烟控系统，烟控系统也不考虑建筑材料和装饰材料的因素。

国际上在 20 世纪 80 年代初提出了建立“以性能为基础”的防火设计规范的概念。英国于 1985 年完成了建筑规范，包括防火规范的性能化修改，新规范规定“必须建造一座安全的建筑”，但不详细规定应如何实现这一目标。澳大利亚于 1996 年颁布了性能化规范《澳大利亚建筑—1996》(BCA96)，并自 1997 年陆续被各州政府采用。新西兰 1992 年发布了性能化的《新西兰建筑规范》，1993—1998 年开展了“消防安全性能评估方法”的研究，制定了性能化建筑消防安全框架，包括防止火灾的发生、安全疏散措施、防止倒塌、消防基础设施和通道要求以及防止火灾蔓延五部分。美国已完成性能目标和基本完成性能级别分级的确定，并于 2001 年发布了国家级的建筑性能规范和防火性能规范。加拿大亦于 2001 年发布了性能化的建筑规范和防火规范。

我国现行的消防法律体系以《中华人民共和国消防法》为基础，以消防行政法规系列

和消防技术法规系列构成庞大的支撑体系。就消防技术法规而言,迄今为止我国已发布了相关法规 22 本,制定各类消防国家标准和行业标准 200 多项,建成了 4 个国家级的消防产品质量监督检验中心,建立了一套比较完整的消防产品质量监督管理制度。由于受制定周期长和学科发展水平所限,加上建筑形式和建筑功能多样化、管理智能化等因素影响,现行技术规范越来越难以适应科技日新月异发展和我国工业以及城市化高速发展的形势。我国从 1996 年开始开展了“性能化防火设计规范”的研究工作,将其列入了国家“十五”“十一五”科技攻关项目计划,在性能化防火设计、细水雾灭火技术、火灾应急疏散和救援、火灾多参数智能探测等领域的研究和新技术开发取得了一系列可喜的成果,并将在国家“十二五”科技攻关项目计划中得到进一步的深入研究。

1.3 本书的主要内容

火灾爆炸事故是一种与人类活动密切相关,但不完全以人的意志为转移的灾害现象,具有与社会环境条件和人类行为密切相关的特性。火灾爆炸事故统计资料的分析表明,20 世纪 80 年代以前,我国火灾主要集中在农村地区,火灾起数、死亡、受伤人数、直接经济损失 4 项指标农村占较大份额。近年来,伴随着生产规模不断扩大,被利用的各种形式能量的增大和集中以及易燃物质的不断被发现和利用,工业火灾爆炸事故的次数和规模都在不断增加。工业火灾爆炸事故中的可燃物质种类繁多,性质各异,引火源除了烟火及高温物体外,还有机械冲击、摩擦、绝热压缩、自燃发火、电火花及红外线等。因而其防火防爆方法也必须根据具体情况选择。

本书将重点介绍工业火灾爆炸事故的预防及控制技术措施,同时也介绍一些民用建筑物火灾爆炸事故防治的知识。通过本书的学习,要求熟悉并掌握火灾与爆炸的基本理论和实质,分析工业企业生产过程、典型危险作业场所和建筑工程中发生火灾和爆炸事故的一般原理,理解采取防火与防爆技术措施以及制定防火与防爆条例的理论依据,掌握防火与防爆技术的基本理论和防火防爆的技术措施等。

第2章 防火技术的理论基础

火灾的孕育、发生和发展包含着燃烧反应、相变、传热传质和流体流动等物理化学作用，是一种涉及物质、动量、能量和化学组分在复杂多变的环境条件下相互作用的三维、多相、多尺度、非定常、非线性、非平衡态的动力学过程。火灾的发生和发展受到可燃物、人为因素、环境条件、地理、生态等多方面因素的相互影响和综合作用。

2.1 燃烧及其机理

2.1.1 燃烧现象的基本特征

物质的氧化反应现象是普遍存在的，由于反应速度的不同，可以体现为一般的氧化现象和燃烧现象。燃烧是一种反应速度较快、放热量较多的氧化反应。由于在较短时间内放出大量的热，提高了燃烧产物的温度，并引起产物分子内电子的跃迁，而放出各种波长的光。因此，放热、发光和生成新物质是燃烧现象具有的3个基本特征，是区分燃烧和非燃烧现象的依据。

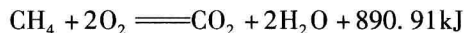
例如，点亮灯泡中的钨丝，在惰性介质中灼热的铁块，它们都能放热、发光，但没有新物质生成，因此属于物理过程，而非燃烧现象。油脂或煤堆在空气中与氧缓慢地发生化合反应、金属生锈、生石灰遇水反应等过程都放出热量，也有新物质生成，但由于反应速度慢，放出热量少，不发光，所以它们也只是一般的氧化现象，而不是燃烧反应。如果是剧烈的氧化反应，同时放出光和热，即是燃烧现象。例如由于散热不良，热量积聚，不断加快煤堆的氧化速度，温度升高到一定程度导致煤堆的燃烧；铁在通常的情况下被认为是不可燃物质，然而炽热的铁块在纯氧中却会剧烈氧化燃烧，等等。

在生产和日常生活中发生的燃烧现象，大都是可燃物质与空气（氧）的化合反应，也有的是分解反应。

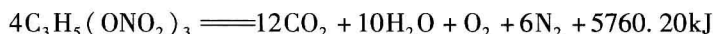
简单的可燃物质燃烧时，大都只是该物质与氧的化合，例如碳和硫的燃烧反应，其反应方程式为



复杂物质的燃烧，首先是物质受热分解，然后发生化合反应。例如甲烷、乙炔的燃烧反应：



含氧的炸药燃烧是一个复杂的分解反应。例如硝酸甘油的燃烧反应：



火是一种快速的氧化反应过程，具有一般燃烧现象的特点，往往伴随着发热、发光、火焰、发光的气团及燃烧爆炸造成的噪声等。区分火的燃烧现象与物质一般的氧化反应过程，对于利用燃烧原理造福人类和采取防火安全措施，以及追查火灾原因具有非常重要的现实意义和理论价值。

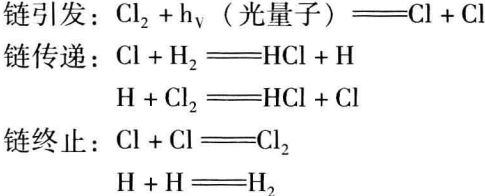
2.1.2 燃烧反应的机理

近代常用苏联科学家谢苗诺夫提出的游离基的链锁反应理论来解释燃烧的机理。所谓游离基是一种瞬变的不稳定的化学物质，它们可能是原子、分子碎片或其他中间物，反应活性非常强，在反应中成为活化中心。可以利用热解法、光化法、放射性辐射法、催化等方法产生游离基，游离基由于具有比普通分子平均动能更多的活化能，所以其活动能力非常强，在一般条件下是不稳定的，容易与反应体系中其他参与反应的物质分子发生作用，产生新的游离基，并引起链传递，促使链锁步骤自动发展下去，直至反应物全部消耗完为止。

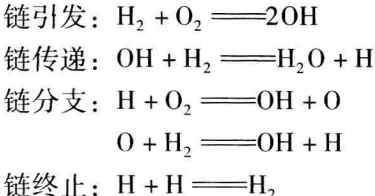
按照链锁反应理论，燃烧不是参与反应的物质分子之间直接起作用，而是它们的分裂物——游离基——这种中间产物引发的链锁反应。链锁反应机理大致可分为3个过程：①链引发，即游离基生成，使链反应开始；②链传递，游离基与其他参与反应的物质相互作用，产生新的游离基；③链终止，即游离基的消耗，使链锁反应终止。造成游离基消耗的原因是多方面的，如游离基相互碰撞生成稳定的分子，与掺入混合物中的杂质起副反应，与非活性的同类分子或惰性分子互相碰撞而将能量分散，撞击器壁而被吸附等。防火工程中阻燃剂、防火涂料等就是根据链锁反应原理研制出来的。

链锁反应有直链反应和支链反应两种。

氯和氢的反应是典型的直链反应，即活化一个氯分子可出现两个氯的游离基，也就是两个链锁反应的活化中心，每一个游离基都进行自己的链锁反应，而且每次反应只引出一个新的游离基。氯和氢的直链反应过程如下：



氢和氧的链锁反应属于支链反应，它的反应过程如下所示。



支链反应的特点是：在反应中一个游离基能生成一个以上的游离基，于是反应链就会分支（见图2-1）。在反应可以增殖游离基（即链增长）的情况下，如果与之同时发生的销毁游离基（链终止）的反应速度不高，则游离基的数目就会增多，反应链的数目也会增加，反应速度随之加快，这

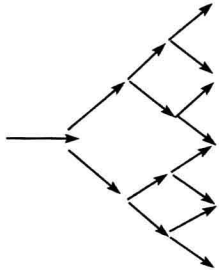


图2-1 分支链锁反应

样又会增殖更多的游离基，如此循环进展，使反应速度加快到燃烧的等级。

2.1.3 燃烧的类型

燃烧现象按其发生瞬间的特点，可分为闪燃、着火、自燃、爆燃等类型，每一种类型的燃烧有各自的特点。

2.1.3.1 闪燃

各种液体的表面都有一定量的蒸气存在，蒸气的浓度取决于该液体的温度和蒸发的速度。当火焰或炽热物体接近易燃和可燃液体时，其液面上的蒸气与空气形成的可燃气体混合物到达一定的浓度，遇到明火点燃即发生蓝色火焰且一闪即灭，不再继续燃烧的现象，称为闪燃。闪燃是短暂的闪火，不是持续的燃烧，这是因为液体在该温度下蒸发速度不快，尚不能满足燃烧的需要，液体表面上聚积的蒸气一瞬间燃尽，而新的蒸气还未来得及补充，故火焰一闪就熄灭了。随着温度的升高，液体的蒸发加快，达到着火浓度的时间缩短，这时便有起火甚至爆炸的危险了。

在一定的条件下，易燃和可燃液体蒸发产生足够的蒸气，在液面上能发生闪燃的最低温度，叫做该物质的闪点。闪点这个概念主要适用于可燃性液体，几种常见可燃液体的闪点如表 2-1。

表 2-1 若干常见可燃液体的闪点

液体名称	闪点/℃	液体名称	闪点/℃
汽油	-58 ~ +10	乙醚	-45
煤油	28 ~ 45	丙酮	-20
酒精	11	乙酸	40
苯	-14	松节油	35
甲苯	5.5	柴油	60 ~ 90
二甲苯	2.5	乙二醇	110
二硫化碳	-45	菜籽油	163

闪点是表征可燃液体火灾危险性的重要参数。闪点与物质的饱和蒸气压有关，饱和蒸气压越大，闪点越低。同一液体饱和蒸气压随温度的增高而变大，所以温度较高时容易发生闪燃。如果可燃液体的温度高于它的闪点，一旦接触点火源就会被点燃。把闪点低于 45℃ 的液体叫易燃液体，易燃液体比可燃液体危险性高。易燃液体与可燃液体又分别根据其闪点的高低分成不同的级别，如表 2-2 所示。

表 2-2 易燃和可燃液体分级

种类	级别	闪点/℃	举例
易燃液体	I	≤28	汽油、甲醇、乙醇、乙醚、苯、甲苯等
	II	28 ~ 45	煤油、丁醇等
可燃液体	III	45 ~ 120	戊醇、柴油、重油等
	IV	>120	植物油、矿物油、甘油等