

高等学校“十三五”规划教材

燃烧爆炸理论 基础与应用

邬长城 主编

薛伟 贾爱忠 谭朝阳 副主编

RANSHAO BAOZHA LILUN
JICHU YU YINGYONG



化学工业出版社

高等学校“十三五”规划教材

燃烧爆炸理论 基础与应用

邬长城 主编

薛伟 贾爱忠 谭朝阳 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

ISBN 978-7-122-23226-9

《燃烧爆炸理论基础与应用》介绍了燃烧爆炸的基本概念和基本理论，并论述了引起燃烧爆炸的物质和能量特征，最后对燃烧爆炸过程所产生的破坏性后果进行系统阐述，内容涵盖气体、液体和固体三种状态物质的燃烧形式，气体、粉尘、雾滴、易爆化合物、反应失控和蒸汽爆炸六种爆炸模式，可燃气体等十类物质及其混合状态的燃烧爆炸特征，明火等多种主要点火源控制和物理爆炸及其他燃烧爆炸相关后果的计算。

《燃烧爆炸理论基础与应用》力图突出危险化学品生产、使用、加工、储存和运输过程中的燃烧爆炸规律，理论和实践有机融合，通过案例引导、理论支撑、实验技能、工程应用等环节来提高预防和控制燃烧爆炸危险的能力，可作为高等学校安全工程、消防工程、化学工程与工艺及相关专业教材，也可作为化工生产安全有关的技术、管理、评价和科研人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃烧爆炸理论基础与应用/邬长城主编. —北京: 化学工业出版社, 2016. 4
高等学校“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-26276-9

I. ①燃… II. ①邬… III. ①燃烧理论-高等学校-教材②爆炸-理论-高等学校-教材 IV. ①O643. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 026635 号

责任编辑: 杜进祥
责任校对: 边涛

文字编辑: 孙凤英
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: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 312 千字 2016 年 5 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: 32.00 元

版权所有 违者必究

前 言



在现代化学工业的发展过程中,越来越多的化学品进入到人们的生产和生活领域,而且其存在的过程和环境条件要求也越来越苛刻。由于对化学品危险性认识的缺乏和处理能力的不足,安全事故频繁发生,其中燃烧爆炸事故最容易引起社会的关注。预防和控制火灾和爆炸事故的形势日益严峻。为适应高等院校安全工程和化工类专业开设防火防爆类课程的需求,笔者在十年讲授该课程的讲义基础上编写了本书。

本书共分 6 章。第 1 章主要介绍燃烧爆炸有关事故的特点和一般原因;第 2 章主要介绍燃烧的的化学本质与基本过程,并重点讨论了气体、液体和固体状态物质的燃烧规律;第 3 章介绍气体爆炸、粉尘爆炸、易爆化合物的热分解爆炸、反应失控爆炸和蒸汽爆炸等几种典型的爆炸模式,指出它们的影响因素和预防策略;第 4 章从物质的角度介绍危险化学品的燃烧爆炸危险特征及危险性表征的实验方法;第 5 章从能量的角度介绍可能引起燃烧爆炸事故的几种点火能量及其控制方法;第 6 章介绍燃烧爆炸事故后果分析的理论方法。

燃烧爆炸理论涉及多学科领域,内容宽广。本书在内容选择上,主要针对化工生产及其他涉及危险化学品的领域在安全方面的燃烧爆炸问题,力图突出危险化学品生产、使用、加工、储存和运输过程中的燃烧爆炸规律,理论和实践有机融合,通过案例引导、理论支撑、实验技能、工程应用等环节来提高读者预防和控制燃烧爆炸危险的能力。

本书可作为高等院校安全工程、消防工程、化工类专业及其他有关专业的教材,也可作为危险化学品有关的技术、管理、评价和科研人员的参考书。

本书是由编者安全工程和化学工程与工艺专业本科生开设专业课程的讲义改编而成的。多年来,编者力求对知识结构不断调整,讲授内容逐渐完善。因此,在本书编写过程中,大量参考了国内外学者的有关专著、科技论文,以及有关部门和个人发布、发表的标准规范、事故信息和理论分析的有关内容,在此向他们致以由衷的感谢!

本书的第 1 章、第 2 章的 2.1~2.2 节、第 3 章、第 5 章和第 6 章的 6.1~6.2 节由邬长城编写,第 2 章的 2.3~2.5 节由贾爱忠编写,第 4 章由薛伟编写,第 6 章的 6.3~6.7 节由谭朝阳编写。研究生赵贺潘在本书的资料收集、文字和图表的编辑等方面做了大量工作。全书由邬长城任主编,薛伟、贾爱忠、谭朝阳任副主编。

由于编者水平和知识面狭窄等因素所限,本书一定存在某些不妥之处,敬请读者批评

目 录



第 1 章 绪论

1

典型案例：河北某硝基胍生产车间重大爆炸事故	1
1.1 火灾爆炸事故的特点	2
1.1.1 火灾爆炸事故后果严重	2
1.1.2 火灾爆炸事故发生频繁	3
1.1.3 火灾爆炸事故原因及过程复杂	4
1.1.4 火灾爆炸事故易发、突发	5
1.2 火灾爆炸事故的一般原因	6
1.2.1 人的原因	6
1.2.2 设备设施及物料原因	6
1.2.3 技术原因	6
1.2.4 环境原因	7
1.2.5 管理原因	7

第 2 章 燃烧理论

8

典型案例：硫化铁自燃引起装置的火灾爆炸	8
2.1 燃烧现象及其本质	9
2.1.1 燃烧现象	9
2.1.2 燃烧的化学本质	10
2.2 燃烧过程	15
2.2.1 燃烧的一般过程	15
2.2.2 自燃	16
2.2.3 点燃	21
2.2.4 着火延滞期	23
2.2.5 熄火	25
2.3 气体的燃烧	28

2.3.1	气体的燃烧形式	28
2.3.2	火焰的结构	29
2.3.3	火焰传播	30
2.4	液体燃烧	32
2.4.1	液体的稳定燃烧	32
2.4.2	沸溢和喷溅	34
2.5	固体燃烧	35
2.5.1	固体的燃烧形式	35
2.5.2	固体着火燃烧理论	37
2.5.3	高分子物质的燃烧	39
2.5.4	煤的燃烧	41
	思考与练习	42

第3章 爆炸理论

43

	典型案例：羟胺蒸馏装置爆炸事故	43
3.1	爆炸现象概述	43
3.1.1	爆炸的定义	43
3.1.2	爆炸的特征	44
3.1.3	爆炸发生的条件	44
3.2	爆炸分类	45
	典型案例：氧气充装的物理爆炸与化学爆炸之争	45
3.2.1	按能量来源分类	46
3.2.2	按爆炸传播速度分类	46
3.2.3	按爆炸反应的相态分类	47
3.3	可燃气体爆炸	48
	典型案例：天津某化工厂氯化氢合成炉爆炸事故	48
3.3.1	单一气体分解爆炸	49
3.3.2	混合气体爆炸	50
3.3.3	气云爆炸	51
3.3.4	爆炸极限	52
3.3.5	最小点火能量	64
3.3.6	着火临界压力	67
3.3.7	临界直径	68
3.4	粉尘爆炸	72
	典型案例：江苏昆山某金属制品厂金属粉尘爆炸	72
3.4.1	粉尘爆炸机理	74
3.4.2	粉尘爆炸的特点	75

3.4.3	粉尘爆炸的影响因素	76
3.4.4	粉尘爆炸的特征参数	78
3.5	易爆物的热分解爆炸	81
	典型案例：陕西某公司硝酸装置特别重大爆炸事故	81
3.5.1	热分解过程	82
3.5.2	易爆化合物的氧平衡与氧系数	83
3.5.3	爆炸变化方程的理论确定方法	84
3.5.4	爆炸变换方程经验确定法	86
3.5.5	爆炸变换方程的应用	88
3.6	反应失控爆炸	89
	典型案例：美国北卡罗来纳州某化工厂聚丙烯酸合成反应釜爆炸事故	89
3.6.1	反应体系的热平衡与冷却失效	90
3.6.2	Semenov 热温图	92
3.6.3	失控反应体系评估	93
3.7	喷雾爆炸	95
3.8	蒸汽爆炸	96
	典型案例：锅炉缺水误操作引起爆炸	96
3.8.1	液体过热与沸腾现象	97
3.8.2	熔融物水蒸气爆炸	99
3.8.3	低温液化气蒸汽爆炸	100
3.8.4	高压过热液体蒸汽爆炸	100
	思考与练习	101

第4章 燃烧爆炸物质危险性及其测评方法

103

	典型案例：原料仓库化工原料储存不当连续性爆炸事故	103
4.1	危险物质的分类	103
4.2	可燃性气体或蒸气	104
4.2.1	可燃气体的燃烧爆炸危险特征	104
4.2.2	气体燃烧爆炸危险性分类及判据	106
4.2.3	爆炸极限的测定	106
4.3	可燃性液体	108
4.3.1	可燃性液体燃烧爆炸危险特征	108
4.3.2	可燃液体燃烧危险分类及判据	108
4.3.3	液体闪点与燃点的测定方法	110
4.3.4	液体闪点计算	111
4.4	可燃性固体	112
4.4.1	可燃性固体的燃烧爆炸危险特性	112

87	4.4.2 可燃性固体火灾危险分类及判据	113
87	4.5 爆炸性物质	114
118	4.5.1 爆炸性物质的燃烧爆炸危险特性	114
118	4.5.2 爆炸性物质的分类	115
128	4.5.3 易爆化合物的热安定性	117
128	4.6 自燃性物质	123
128	4.6.1 分类	124
128	4.6.2 自燃物质的危险特性	124
128	4.7 忌水性物质	125
128	4.8 氧化剂和有机过氧化物	126
128	4.8.1 氧化剂	126
128	4.8.2 有机过氧化物	127
128	4.9 有毒品	128
128	4.10 放射性物品	129
128	4.11 腐蚀品	129
128	4.12 混合接触危险物系	130
128	思考与练习	135

第5章 点火源控制

136

100	典型案例：上海静安胶州路公寓大楼“11·15”特别重大火灾事故	136
101	5.1 明火	137
101	典型案例：焊割作业引发的重大火灾	137
101	5.1.1 生产火	138
101	5.1.2 非生产用明火	139
101	5.2 绝热压缩	140
101	典型案例：绝热压缩对溶解乙炔生产的危害及原因分析	140
101	5.2.1 理论依据	140
101	5.2.2 应用——压缩点火	141
101	5.2.3 事故及预防	142
101	5.3 冲击和摩擦	143
101	典型案例：山东省青岛市“11·22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸特别重大事故	143
101	5.3.1 冲击摩擦点火源的形成方式	144
101	5.3.2 机械作用点火机理	144
101	5.3.3 冲击、摩擦点火源的影响因素	145
111	5.3.4 预防措施	146
111	5.4 热表面	146
111	典型案例：宾夕法尼亚油气爆炸事故	146

5.4.1	热表面点火机理	147
5.4.2	热表面点火源的影响因素与控制	148
5.5	电火花	149
	典型案例：巴顿溶剂公司静电火花引爆可燃液体储罐事故	149
5.5.1	电火花点火机理	151
5.5.2	电火花的产生及控制	152
5.5.3	静电火花的产生及控制	153
5.6	其他点火源	159
	典型案例：黄岛油库爆炸事故	159
5.6.1	雷电	159
5.6.2	光照与辐射作用	160
5.6.3	自然发热及化学反应热	161
	思考与练习	162

第6章 事故后果模拟分析

163

	典型案例：深圳市清水河化学危险品仓库“8·5”特大爆炸火灾事故	163
6.1	爆炸效应	164
6.1.1	爆炸效应的定义	164
6.1.2	爆炸基本参数	165
6.2	物理爆炸模型	168
6.2.1	盛装液体的压力容器的爆炸能量	168
6.2.2	盛装气体的压力容器的爆炸能量	169
6.2.3	液化气、高温饱和水的爆炸能量	171
6.2.4	压力容器爆炸时冲击波能量计算	172
6.3	流体泄漏模型	174
6.3.1	泄漏形式及后果	174
6.3.2	泄漏量的计算	174
6.4	火灾模型	177
6.4.1	池火灾	177
6.4.2	喷射火	179
6.4.3	火球	180
6.4.4	突发火	180
6.5	化学爆炸模型	181
6.5.1	蒸气云爆炸 (UVCE)	181
6.5.2	沸腾液体扩展蒸气爆炸 (BLEVE)	182
6.5.3	爆炸产物的扩散与蔓延	184
6.6	中毒模型	185

6.6.1	有毒液化气体容器破裂时的毒害区估算	186
6.6.2	泄漏后果的概率函数法	186
6.6.3	有毒介质喷射泄漏时的毒害区估算	188
6.7	事故模拟分析软件介绍	188
6.7.1	ALOHA 软件	188
6.7.2	DNV PHAST 软件	189
6.7.3	fluent 软件	190
6.7.4	建筑火灾模拟软件 FDS	190
6.7.5	FLACS 气体扩散爆炸软件	190
6.7.6	安全评价与风险分析系统软件	191
6.7.7	环境风险评价系统 RiskSystem	192
	思考与练习	192

参考文献 **194**

1. 危险化学品安全管理条例. 国务院令. 2002.

2. 危险化学品目录(2015版). 国家安全监管总局. 2015.

3. 危险化学品重大危险源辨识. GB 18218-2009. 中国标准出版社. 2009.

4. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

5. 危险化学品事故案例分析. 中国石化出版社. 2008.

6. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

7. 危险化学品事故案例分析. 中国石化出版社. 2008.

8. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

9. 危险化学品事故案例分析. 中国石化出版社. 2008.

10. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

11. 危险化学品事故案例分析. 中国石化出版社. 2008.

12. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

13. 危险化学品事故案例分析. 中国石化出版社. 2008.

14. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

15. 危险化学品事故案例分析. 中国石化出版社. 2008.

16. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

17. 危险化学品事故案例分析. 中国石化出版社. 2008.

18. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

19. 危险化学品事故案例分析. 中国石化出版社. 2008.

20. 危险化学品事故应急救援预案编制导则. AQ/T 9002-2008. 中国标准出版社. 2008.

以及接触传播速度超过声速的爆炸，都会产生破坏力极强的冲击波，冲击波超压达到 0.25MPa (Term = 101325Pa) 时，会使砖木结构的建筑物倒塌。

第 1 章 绪 论

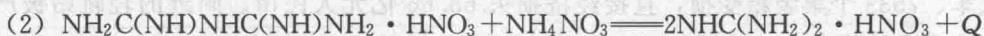
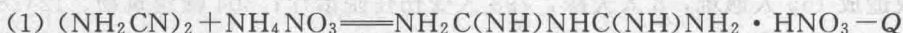


典型案例：河北某硝基胍生产车间重大爆炸事故

2012 年 2 月 28 日 9 时 4 分左右，河北赵县某公司生产硝基胍的车间发生重大爆炸事故，造成 25 人死亡、4 人失踪、46 人受伤。

该公司车间共有 8 个反应釜，依次为 1~8 号反应釜。原设计用硝酸铵和尿素为原料，生产工艺是硝酸铵和尿素在反应釜内混合加热熔融，在常压、175~220℃条件下，经 8~10h 的反应，间歇生产硝基胍，原料熔解热由反应釜外夹套内的导热油提供。实际生产过程中，将尿素改用双氰胺为原料并提高了反应温度，反应时间缩短至 5~6h。

该公司硝基胍生产为釜式间歇操作，生产原料为硝酸铵和双氰胺，其生产工艺为：硝酸铵和双氰胺按 2:1 配比，在反应釜内混合加热熔融，在常压、175℃至 210℃条件下，经反应生成硝基胍熔融物，再经冷却、切片，制得产品硝基胍。反应分两步进行，反应方程式为：



事故发生前，车间有 5 个反应釜投入生产。2 月 28 日 8 时 40 分左右，1 号反应釜底部保温放料球阀的伴热导热油软管连接处发生泄漏自燃着火，当班工人使用灭火器紧急扑灭火情。其后 20 多分钟内，又发生三至四次同样的火情，均被当班工人扑灭。9 时 4 分许，1 号反应釜突然爆炸，爆炸所产生的高强度冲击波以及高温、高速飞行的金属碎片瞬间引爆堆放在 1 号反应釜附近的硝基胍，引起次生爆炸。经计算，事故爆炸当量相当于 6.05t TNT。

硝酸铵、硝基胍均属强氧化剂，遇火时能助长火势；与可燃物粉末混合，能发生激烈反应而爆炸；受强烈震动或急剧加热时，可发生爆炸。硝基胍受热、接触明火或受到摩擦、震动、撞击时，可发生爆炸；加热至 150℃时，分解并爆炸。

事故直接原因是：公司从业人员不具备化工生产的专业技能，擅自将导热油加热器出口温度设定高限由 215℃提高至 255℃，使反应釜内物料温度接近了硝基胍的爆燃点 (270℃)。1 号反应釜底部保温放料球阀的伴热导热油软管连接处发生泄漏着火后，当班人员处置不当，外部火源使反应釜底部温度升高，局部热量积聚，达到硝基胍的爆燃点，造成釜内反应产物硝基胍和未反应的硝酸铵急剧分解爆炸。1 号反应釜爆炸产生的高强度冲击波以及高温、高速飞行的金属碎片瞬间引爆堆放在 1 号反应釜附近的硝基胍，引发次生爆炸，从而引发强烈爆炸。

1.1 火灾爆炸事故的特点

随着化学工业的发展,化工产品遍布人们生产和生活的各个领域,在给人们带来便利的同时,对化学品危险性认识的缺乏和处理能力的不足,也引发了大量的安全事故,其中燃烧爆炸事故最容易引起人们的关注。按照火灾科学的观点,时间和空间上失去控制的燃烧就称为火灾,而火灾和爆炸又经常相伴而生。人们在使用化学品提供能量和生产生活用品的同时,也在承受着随时可能爆发的火灾爆炸威胁。

化工生产具有易燃、易爆、易中毒、高温、高压、有腐蚀性等危险性,现代化工生产又出现了大型化、连续化、复杂化和自动化的特点,因而化学工业较其他工业部门有更大的危险性。一些发达国家的统计资料表明,在工业企业发生的爆炸事故中,化工企业占了1/3。在化工企业发生的各类事故当中,火灾、爆炸事故所造成的危害也是最为严重的。我国30余年的统计资料表明,化工企业火灾、爆炸事故的死亡人数占因工死亡人数的13.8%,居第一位;其次是中毒窒息事故,占12%;高空坠落事故和触电分居第三、第四位。

火灾、爆炸事故的发生通常具有以下特点:

1.1.1 火灾爆炸事故后果严重

首先,燃烧爆炸事故往往造成大面积、大规模的人员伤亡和财产损失。

在这里我们举两个例子:

【例 1-1】 2015年8月12日,天津港瑞海公司危险品仓库发生特别重大火灾爆炸事故,该事故造成165人遇难,8人失踪,798人受伤住院治疗;304幢建筑物、12428辆商品汽车、7533个集装箱受损,直接经济损失68.66亿元人民币。附近的轻轨站被严重损毁,造成全线停车。

【例 1-2】 1984年11月19日5时40分左右,墨西哥首都墨西哥城近郊,国家石油公司所属的液化气供应中心站发生一连串剧烈爆炸,站内的54座液化气储罐几乎全部爆炸起火,附近居民区受到严重损害。事故中约有490人死亡,4000多人负伤,另有900多人失踪。供应站内所有设施毁损殆尽,民房倒塌和部分损坏者达1400余所,致使31000人无家可归。供应站原有6座球形储罐,火灾发生后,其中4座随着巨响相继爆炸,所剩两座也发生倾斜,储罐顶部喷出烈焰,紧接着,邻近的筒形油罐也一座又一座地接连爆炸,有的筒形油罐似火箭般腾空飞出,将建筑物撞得粉碎。

墨西哥联邦检察院调查报告认为:此次事故是由于液化气管道发生裂纹,液化气外逸,弥漫于周围环境空气中,而供应站内煤气炉的明火接触到了泄漏的气体而导致爆炸。

据估计,50t的易燃气体泄漏会产生直径700m的燃气云团,一旦被引燃发生气云爆炸,其覆盖下的居民会被爆炸火球或扩散火焰灼伤,其辐射强度将达 $14\text{W}/\text{cm}^2$,而人的承受能力只有 $0.5\text{W}/\text{cm}^2$,另外,爆炸产生大量的有毒及窒息性气体,这会引发更大范围的因缺氧而窒息死亡。

其次,火灾爆炸事故的破坏强度大。

我们在化工生产过程中,会接触多种多样的反应器和压力容器。反应器、压力容器爆炸

以及燃烧传播速度超过声速的爆炸，都会产生破坏力极强的冲击波。冲击波超压达到 0.2atm ($1\text{atm}=101325\text{Pa}$)时，会使砖木结构的建筑物部分倒塌，墙壁崩裂。室内爆炸压力会增大七倍，足以使任何坚固的建筑物土崩瓦解。我们还是以实例来说明。

【例 1-3】 2015 年 8 月 12 日，天津港瑞海公司危险品仓库发生特别重大火灾爆炸事故，中国地震台网官方微博发布了波形记录，并称，从波形记录结果看，第一次爆炸发生在 8 月 12 日 23 时 34 分 6 秒，近震震级 ML 约 2.3 级，相当于 3t TNT，第二次爆炸在 30s 后，近震震级 ML 约 2.9 级，相当于 21t TNT。此次爆炸造成周边多个小区的房屋不同程度受损，严重受损区最远达到 3.6km，中度受损区最远达到 5.4km，由于爆炸产生地面震动，造成建筑物接近地面部位的门、窗玻璃受损的范围达到 13.3km。

可以想象爆炸产生的破坏性有多强，这也是可以直观看到的。同样，火灾现场的破坏程度体现在极高的火焰温度上。火灾发生后，火场温度在 20~60min 内达到 $760\sim 920^{\circ}\text{C}$ ，这已处于 CaCO_3 的分解温度区间，水泥结构将遭到破坏。实验表明，在 600°C 时钢结构强度将下降 $2/3$ ，所以，15min 内钢结构框架就已经开始变形扭曲，甚至坍塌。美国“9·11”事件中，飞机撞向纽约世贸大厦 32min 后大厦倒塌，其主要原因就是钢结构受高温失稳。

1.1.2 火灾爆炸事故发生频繁

火灾爆炸事故的后果往往是群死群伤，同时伴有巨大的财产损失，而这样的事故却又是频繁发生。根据公安部消防局统计的新中国成立以来火灾数据（图 1-1）可以看出，多年来，我国火灾爆炸事故的频率非常高，而且呈剧烈震荡变化趋势，虽然这其中存在统计数据来源造成的偏差，但仍能看出我国的火灾事故控制水平还很不理想。

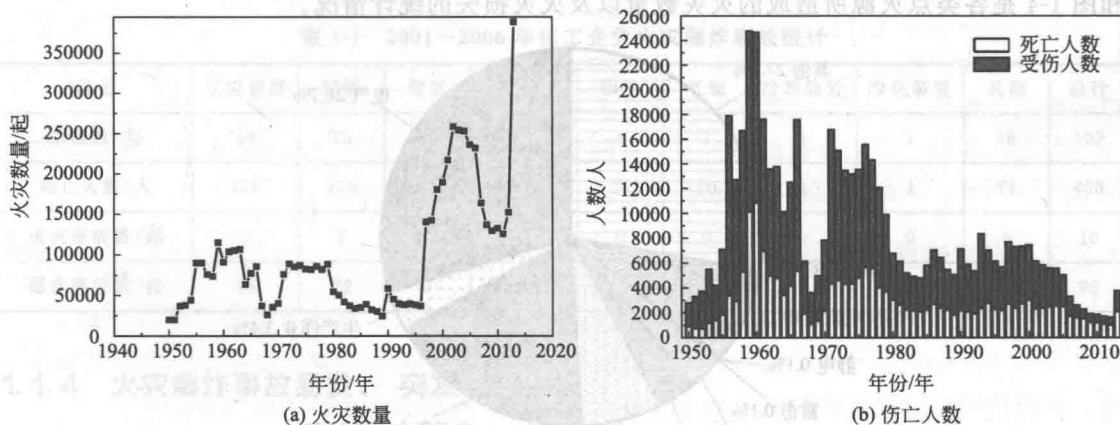


图 1-1 1950~2013 年火灾事故统计

根据国家安全生产监督管理总局网站提供的事故查询信息，以“爆炸”为关键词查询得到了近 10 年来发生的爆炸事故情况，如图 1-2 所示。可以看出，近年来所发生的严重爆炸事故数量和因此造成的死亡人数都呈现总体下降趋势。但需要注意的是，查询得到事故都是造成了较为严重的伤亡、损失的爆炸事故。按照海因里希的事故致因理论推测，在此背后存在更多未造成严重后果的爆炸事故，这些事故同样值得我们加以研究，并采取措予以预防。

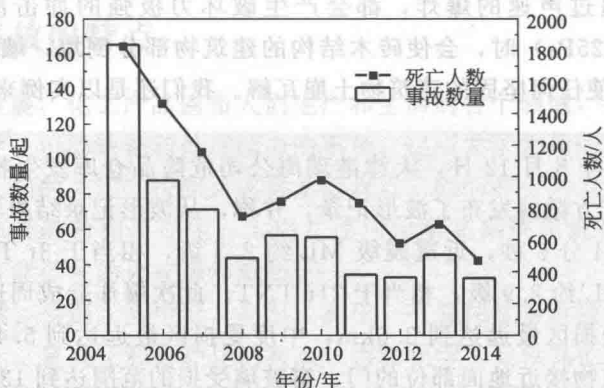


图 1-2 2005~2014 年全国爆炸事故统计

1.1.3 火灾爆炸事故原因及过程复杂

燃烧、爆炸是一个复杂的燃烧过程，既包含物质的流动，又涉及能量的传递，除此之外，火灾发生的原因也多种多样。火灾科学中认为，火灾是在时间上和空间上失去控制的燃烧所造成的危害，而爆炸往往又可以看作是一种速度极快的燃烧过程。从原因上找，两者有着同样的复杂性。我们以后将学到，燃烧需要具备三要素：可燃物、助燃物（氧化剂）和点火源。其中，助燃物以空气（氧气）最为普遍，而其他两要素则复杂多样。

第一是点火源，其类型有明火、化学反应热、物质的分解自燃、热辐射、高温表面、撞击和摩擦、绝热压缩、电火花、静电、雷电、日光等。我们在火灾预防工作中，控制点火源是重中之重；而在火灾事故调查工作中，寻找点火源（起火点）也是主要内容之一。图 1-3 和图 1-4 是各类点火源所造成的火灾数量以及火灾损失的统计情况。

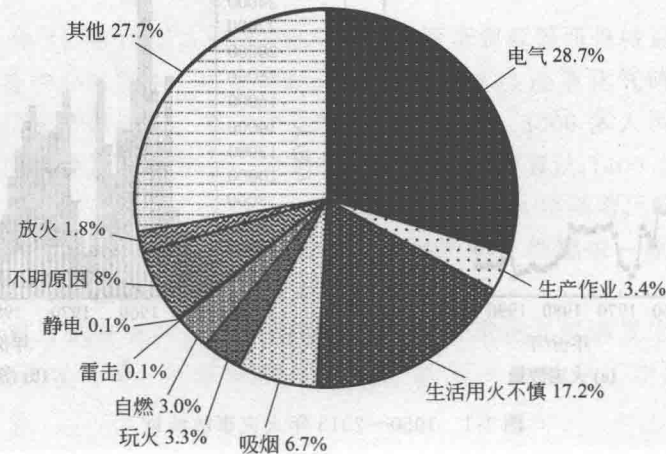


图 1-3 起火原因起数比例图

第二是可燃物，从相态上涵盖了气、液、固三种相态的物质。而化工生产中涉及多种类型的原料、辅助物料、中间体、产品和副产品等物料，大多数是易燃易爆物质，这就更大程度上促成了火灾爆炸产生的危险。确定化工火灾、爆炸发生的起因物质也增加了事故调查分析的复杂性。

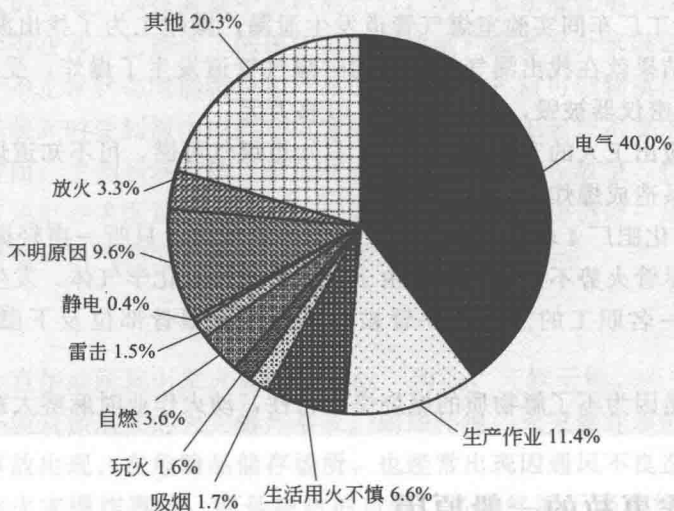


图 1-4 起火原因损失比例图

第三是从火灾爆炸后果来看，由于房屋倒塌、设备炸毁、人员伤亡等，爆炸现场复杂纷乱，这也给事故原因的调查分析带来不少困难。

第四是火灾爆炸发生的场合复杂。按照发生事故的设备类型不同，火灾爆炸事故统计情况见表 1-1。可以看出，反应器的火灾爆炸事故发生频率是最高的，其次是储存设备和管道。对反应器而言，反应过程常伴随着巨大的能量释放和转化，而且反应速度、产物分布等受多种因素的影响，一旦控制不当，反应温度和压力可能出现剧烈变化而引发火灾爆炸事故。

表 1-1 2001~2006 年化工企业火灾爆炸事故统计

设备	反应器	储罐	管道	干燥设备	锅炉	气瓶	冷却装置	净化装置	其他	总计
事故数/起	45	25	7	5	4	3	1	1	18	109
死亡人数/人	176	115	27	20	24	10	4	4	78	458
火灾事故数/起	2	2	0	1	0	0	0	0	5	10
爆炸事故数/起	43	22	6	4	3	3	1	1	12	95

1.1.4 火灾爆炸事故易发、突发

在生产、生活中所接触的化学品很多是易燃易爆的，它们只需要很小的触动和激发就会发生火灾爆炸事故。而在化工生产中，有很多作业过程是在非常苛刻的条件下进行的，例如，邻二甲苯法生产苯酚的工艺是爆炸极限内操作，聚乙烯的生产过程中，轻柴油在裂解炉中的裂解温度为 800℃，高压聚乙烯的压力可达到 300MPa 以上，这些都是造成燃烧爆炸事故易发的重要原因。

火灾和爆炸事故往往是在意想不到的时候突然发生。虽然燃烧爆炸事故存在特定征兆，但一方面由于监测、报警等手段的可靠性、实用性和广泛性不够理想，另一方面由于人员对火灾爆炸事故的规律和征兆认识不够深刻，火灾爆炸事故仍会突然发生。

【例 1-4】 某工厂车间实验室煤气管道发生泄漏，操作工为了找出漏气位置，竟然划着火柴去检漏，结果就在找出漏气位置的同时煤气管道发生了爆炸，受伤 11 人，炸毁房间 26 间，多台精密仪器被毁，经济损失达 10 多万元。

这桩事故反应出工人的安全知识薄弱，只知道煤气可燃，可不知道煤气扩散到空气中会形成爆炸混合系造成爆炸的危险。

【例 1-5】 某化肥厂 4 名工人拆开一根管道的盲板时，只听一声轻微的响动，随后该管道突然起火，尽管火势不是很大，但由于管道中遗留有化学气体，发生化学反应后火焰温度骤然升高，一名职工的左右手手臂被灼伤，左脸颧骨部位及下巴皮肤被烧了两道口子。

这起事故也是因为不了解物质的燃烧爆炸特性，动火作业时麻痹大意造成事故突发。

1.2 火灾爆炸事故的一般原因

火灾爆炸事故的发生发展形式和过程是多种多样的，事故分析难度比较大。尽管如此，火灾爆炸事故也有一些不容被忽视的普遍原因。本章所提供的典型案例中所总结的几点突出问题就很具有代表性。

1.2.1 人的原因

统计分析表明，事故的直接原因是人的不安全行为和物的不安全状态，其中物的不安全状态是由人所造成的。火灾爆炸事故很多是由操作者缺乏有关的科学知识、在险情面前思想麻痹、存在侥幸心理、不负责任、违章作业引起的。具体表现在：忽略关于运转和维修的操作教育，没有充分发挥管理人员的监督作用，开车、停车计划不适当，缺乏紧急停车的操作训练，没有建立操作人员和安全人员之间的协作机制。特别是在现代化的生产中，人是通过控制台进行操作的，发生误操作的机会更多，如看错仪表、开错阀门等。

总之，任何一个工业过程都离不开人的活动参与，而人对工业系统运转的干预必不可免的会产生误差，从而引起各种形式事故。

1.2.2 设备设施及物料原因

导致事故的直接原因中，物的不安全状态主要是指设备、设施和物料方面的因素。其中设备设施方面包括因选材不当而引起装置腐蚀、损坏；设备不完善，如缺少可靠的控制仪表等；材料疲劳；结构上的缺陷，如不能停车而无法定期检验或进行预防维修；设备上缺少必要的安全防护装置；泵、设备、管道、储罐等密闭不良造成工艺上的缺陷（如物料泄漏、串混等）；设备超期服役现象等。物料方面则主要源于自身的易燃易爆特性和外界刺激的敏感性等因素，如震动和撞击等。

1.2.3 技术原因

技术上的不成熟也是造成火灾爆炸事故的重要原因之一，特别是在化工生产环节，主要表现在缺少必要的有关化学反应动力学、热力学的数据；对有危险的副反应认识不足；未能根据热力学研究确定爆炸能量；对工艺异常情况检测不够。