

普通高等院校安全工程专业
“十二五”规划教材

化工安全

主 编 刘秀玉

副主编 朱明新 王文和



國防工業出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书从化学品安全基础、化工泄漏及其控制、燃烧与爆炸理论、防火防爆技术、化工厂安全设计、典型的化工反应过程安全、典型化工操作过程安全技术、化工事故应急救援等9个方面进行了阐述。内容系统,既注重理论知识的传授,也注重将化工安全的基本理论和分析方法与化工生产中的具体问题相结合。

本书可作为高等院校安全工程、化学工程专业本科教材,同时也可作为从事化学工业、石油化学工业的生产、储运、科研、设计、安全、监察等专业人员和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工安全/刘秀玉主编. --北京:国防工业出版社,
2013. 1

普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-08505-1

I. ①化… II. ①刘… III. ①化工安全—高等教育—教材 IV. ①TQ086

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 263931 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16 1/4 字数 405 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 34.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材

编 委 会 名 单

(按姓氏笔画排序)

门玉明	长安大学
王 志	沈阳航空航天大学
王文和	重庆科技学院
王洪德	大连交通大学
尤 飞	南京工业大学
申世飞	清华大学
田 宏	沈阳航空航天大学
司 鹄	重庆大学
伍爱友	湖南科技大学
刘秀玉	安徽工业大学
刘敦文	中南大学
余明高	河南理工大学
陈阮江	中南大学
袁东升	河南理工大学
梁开武	重庆科技学院
景国勋	河南理工大学
蔡 芸	中国人民武装警察部队学院

前 言

我国是化学品生产和使用大国,化工行业在国民经济中发挥着越来越重要的作用。然而,由于化工生产过程涉及的化学品绝大多数为易燃、易爆、有毒、腐蚀性强的物质,危险化学品数量多,生产工艺要求苛刻,生产装置的大型化、连续化和自动化,极易发生破坏性很大的事故,严重威胁职工的生命和国家财产安全。因此,安全问题在化工生产过程中占据着非常重要的位置。

本书考虑到化学工业的主要危险是火灾、爆炸和有毒有害,首先,从危险源出发,介绍了化学品的分类和危险特性,重点阐述了化工泄漏、扩散模式及泄漏控制措施;其次,从火灾、爆炸两类事故发生的机理出发,阐述了燃烧、爆炸的基本概念及其发生机理,并介绍了防火防爆的技术措施;最后,从化工厂的建厂、生产以及管理为线,重点阐述了化工厂安全设计、典型化工反应过程安全技术、典型化工操作过程的安全技术以及化工应急救援等内容。希望读者通过学习能在今后的工程设计、技术开发、科学研究和生产管理中,运用这些知识分析、评价和控制危险,促进化学工业的发展和生产顺利进行。

本书旨在为高等院校安全工程、化学工程专业本科生提供系统性较强的教材,同时也可作为从事化学工业、石油化学工业的生产、储运、科研、设计、安全、监察等专业人员和管理人员的参考书。

本书由安徽工业大学刘秀玉(第1、3、7章)、张浩(第6章)、常州大学汪巍(第2章)、沈阳航空航天大学王若茵(第5、8章)、南京工业大学朱明新(第4章、9.1节、9.2节)、重庆科技学院王文和(9.3节)等同志编写,刘秀玉同志负责统稿。在本书的编写过程中,作者参阅并引用了大量文献资料,在此对原著作者表示感谢。

由于作者水平有限,书中内容不当之处在所难免,敬请各位专家、读者批评指正。

编 者
2012年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 化学工业的发展与对安全的新要求	1
1.1.1 化学工业的发展	1
1.1.2 化学工业生产的特点	2
1.1.3 化学工业生产的危险因素	4
1.1.4 化学工业发展对安全的新要求	6
1.2 化学工业安全理论和技术的发展动向	7
1.2.1 化学工业危险性评价和安全工程概述	7
1.2.2 安全系统工程的开发和应用	9
1.2.3 人机工程学、劳动心理学和人体测量学的应用	9
1.2.4 化学工业安全技术的新进展	10
1.3 化学工业事故的预防和控制	11
1.3.1 化学工业事故分类	11
1.3.2 化学工业事故特点	11
1.3.3 化学工业安全事故的预防和控制原则	12
1.3.4 化学工业安全生产的技术措施	13
思考题	14
第 2 章 化学品安全基础	15
2.1 化学品分类	15
2.1.1 《全球化学品统一分类和标签制度》	15
2.1.2 《化学品分类和危险性公示通则》	16
2.2 化学品的危险特性	18
2.2.1 爆炸物的危险特性	18
2.2.2 易燃气体的危险特性	20
2.2.3 易燃气溶胶的危险特性	21
2.2.4 氧化性气体的危险特性	21
2.2.5 压力下气体的危险特性	22
2.2.6 易燃液体的危险特性	24
2.2.7 易燃固体的危险特性	26
2.2.8 自反应物质或混合物的危险特性	27
2.2.9 自燃液体的危险特性	28

2.2.10	自燃固体的危险特性	28
2.2.11	自热物质和混合物的危险特性	29
2.2.12	遇水放出易燃气体的物质或混合物的危险特性	29
2.2.13	氧化性液体的危险特性	30
2.2.14	氧化性固体的危险特性	30
2.2.15	有机过氧化物的危险特性	30
2.2.16	金属腐蚀剂的危险特性	30
2.3	化学品安全基础	31
2.3.1	危险化学品的安全储存	31
2.3.2	危险化学品的安全运输	34
2.3.3	危险化学品的安全包装	35
2.3.4	危险化学品安全信息	37
	思考题	37
第3章	化工泄漏及其控制	38
3.1	化工泄漏情况分析	38
3.1.1	化工泄漏的危害	38
3.1.2	常见的泄漏源	39
3.1.3	化工泄漏的主要设备	40
3.1.4	造成泄漏的主要原因	40
3.2	泄漏量计算	41
3.2.1	液体经小孔泄漏的源模式	41
3.2.2	储罐中液体经小孔泄漏的源模式	43
3.2.3	液体经管道泄漏的源模式	45
3.2.4	气体或蒸气经小孔泄漏的源模式	50
3.2.5	闪蒸液体的泄漏源模式	52
3.2.6	易挥发液体蒸发的源模式	56
3.3	泄漏后物质扩散方式及扩散模型	57
3.3.1	物质扩散方式及影响因素	57
3.3.2	湍流扩散微分方程与扩散模型	60
3.3.3	Pasquill - Gifford 模型	65
3.4	化工泄漏控制	72
3.4.1	化工泄漏控制的原则	72
3.4.2	化工泄漏的检测技术	73
3.4.3	化工泄漏的预防	77
3.4.4	化工泄漏应急处理	80
	思考题	81
第4章	燃烧与爆炸理论	83
4.1	燃烧及燃烧条件	83

4.1.1	燃烧的定义及本质	83
4.1.2	燃烧的条件	84
4.2	燃烧形式及过程	85
4.2.1	气体燃烧	85
4.2.2	液体燃烧	86
4.2.3	固体燃烧	86
4.2.4	完全燃烧和不完全燃烧	87
4.3	闪点、燃点与自燃点	87
4.3.1	闪燃和闪点	87
4.3.2	点燃与燃点	89
4.3.3	自燃与自燃点	89
4.4	燃烧理论	91
4.4.1	活化能理论	91
4.4.2	过氧化理论	92
4.4.3	连锁反应理论	92
4.5	燃烧速度及燃烧温度	94
4.5.1	气体燃烧速度	94
4.5.2	液体燃烧速度	95
4.5.3	固体物质的燃烧速度	95
4.5.4	燃烧热及热值	96
4.5.5	燃烧温度	96
4.6	爆炸及其分类	97
4.6.1	爆炸的概念及其特征	97
4.6.2	爆炸的破坏作用	97
4.6.3	爆炸的分类	98
4.6.4	常见爆炸基本概念	99
4.7	爆炸极限及计算	101
4.7.1	爆炸极限	101
4.7.2	爆炸极限的影响因素	101
4.7.3	爆炸极限的计算	104
4.8	粉尘爆炸	107
4.8.1	粉尘基础知识	107
4.8.2	粉尘爆炸的条件	108
4.8.3	粉尘爆炸的机理	110
4.8.4	粉尘爆炸的影响因素	112
4.8.5	粉尘爆炸基本参数及其实验测量方法	113
4.9	爆温、爆压与爆强	120
4.9.1	爆炸温度和压力	120
4.9.2	爆炸强度	122
	思考题	126

第 5 章 防火防爆技术	127
5.1 火灾爆炸事故物质条件的排除	127
5.1.1 取代或控制用量	127
5.1.2 惰性化处理	128
5.1.3 工艺参数的安全控制	129
5.1.4 防止泄漏	131
5.1.5 通风排气	132
5.1.6 气体检测与报警	132
5.2 防明火与高温表面	133
5.2.1 明火	133
5.2.2 高温表面	135
5.3 消除摩擦与撞击	135
5.3.1 摩擦、撞击及其危害	135
5.3.2 不发火地面	135
5.4 防止电气火花	136
5.4.1 电火花与电弧	136
5.4.2 爆炸危险场所危险区域划定	136
5.4.3 电气防爆的原理	138
5.4.4 防爆电气设备分类、特性及选型	139
5.5 防静电	144
5.5.1 静电的产生	144
5.5.2 静电的危害	145
5.5.3 预防和控制静电危害的技术措施	145
5.6 防雷击	148
5.6.1 雷电的产生、分类及危害	148
5.6.2 防雷装置	149
5.6.3 防雷设计有关规定	150
5.6.4 化工储罐区防雷措施	150
思考题	151
第 6 章 化工厂安全设计	152
6.1 厂区布局安全设计	153
6.1.1 厂址的选择	153
6.1.2 工厂总平面的安全布局	156
6.1.3 建筑设计	161
6.2 化工工艺安全设计	167
6.2.1 确定生产技术路线的原则	168
6.2.2 工艺流程图	168
6.2.3 管线配置图	169

6.2.4	工艺装置的安全要求	169
6.2.5	过程物料的安全分析	174
6.2.6	过程路线的选择	177
6.2.7	工艺设计安全校核	178
6.3	化工单元区域的安全规划	180
6.3.1	化工单元区域的规划	180
6.3.2	化工单元区域的管线配置	182
6.3.3	化工单元装置和设施的安全设计	184
6.3.4	公用工程设施安全	184
	思考题	189
第7章	典型的化工反应过程安全	190
7.1	氧化(过氧化)反应	190
7.1.1	氧化反应的含义	190
7.1.2	氧化反应的安全技术要点	190
7.2	还原反应	191
7.3	硝化反应	193
7.3.1	硝化及硝化产物	193
7.3.2	混酸制备的安全	193
7.3.3	硝化器	194
7.3.4	硝化过程安全技术	194
7.4	氯化反应	195
7.5	催化反应	196
7.5.1	催化过程的安全技术	196
7.5.2	催化重整	197
7.5.3	催化加氢	198
7.6	裂解反应	198
7.6.1	热裂解	199
7.6.2	催化裂解	199
7.6.3	加氢裂解	201
7.7	聚合反应	201
7.7.1	高压下乙烯聚合	202
7.7.2	氯乙烯聚合	203
7.8	电解反应	205
7.8.1	电解过程	205
7.8.2	离子膜电解食盐生产氯碱工艺	206
7.8.3	电解槽	206
7.9	磺化、烷基化和重氮化反应	207
7.9.1	磺化	207
7.9.2	烷基化	207

7.9.3 重氮化	208
思考题	208
第8章 典型化工操作过程安全技术	209
8.1 加热操作	209
8.1.1 加热操作过程的危险性分析	209
8.1.2 加热操作过程安全技术	209
8.2 冷却、冷凝和冷冻操作	210
8.2.1 冷却与冷凝	210
8.2.2 冷冻	210
8.2.3 冷却、冷凝操作过程的安全技术	211
8.2.4 冷冻操作过程的安全技术	211
8.3 筛分、过滤操作	212
8.3.1 筛分	212
8.3.2 过滤	213
8.3.3 筛分、过滤操作过程的危险性分析和安全技术	214
8.4 粉碎、混合操作	215
8.4.1 粉碎	215
8.4.2 混合	215
8.4.3 粉碎、混合操作过程危险性分析和安全技术	216
8.5 熔融、干燥操作	218
8.5.1 熔融	218
8.5.2 干燥	218
8.5.3 干燥操作过程危险性和安全技术	218
8.6 蒸发、蒸馏操作	219
8.6.1 蒸发	219
8.6.2 蒸馏	219
8.6.3 蒸发和蒸馏操作过程安全技术	220
8.7 吸收、萃取操作	221
8.7.1 吸收	221
8.7.2 萃取及其操作过程的危险性分析	222
8.7.3 吸收操作过程危险性分析	222
8.7.4 吸收操作过程安全技术	222
8.8 输送操作	223
8.8.1 液体输送	223
8.8.2 固体输送	225
8.8.3 气体输送	225
思考题	226

第9章 化工事故应急救援	227
9.1 应急救援系统概述	227
9.1.1 事故应急救援的概念及意义	227
9.1.2 相关的技术术语	228
9.1.3 应急救援系统的组成	228
9.1.4 应急救援系统的运作程序	230
9.2 化工事故应急救援预案	232
9.2.1 应急救援预案编制概述	232
9.2.2 应急救援预案类型与内容的确定	233
9.2.3 事故应急救援预案的编写	237
9.3 化工事故应急救援行动	241
9.3.1 应急设备与资源	241
9.3.2 应急救援行动的一般程序与评估程序	242
9.3.3 通知和通信联络程序	245
9.3.4 现场应急对策的确定和执行	246
思考题	253

第 1 章 绪 论

化学工业是国民经济的重要支柱产业,经济的快速发展对化工产品的需求及种类、数量与日俱增,现代社会已经离不开化工生产。进入 21 世纪以来,我国化学工业取得了长足的进展。但化学工业生产的危险性高、污染重等特点也越来越被政府和公众所关注。本章就化学工业的发展、生产特点及对安全的新要求、化学工业安全理论和技术的发展、化学工业事故的预防与控制等做简要介绍。

1.1 化学工业的发展与对安全的新要求

1.1.1 化学工业的发展

现代化学工业始于 18 世纪的法国,随后传入英国。19 世纪,以煤为基础原料的有机化学工业在德国迅速发展起来。但那时的煤化学工业按其规模并不十分巨大,主要着眼于各种化学产品的开发,所以当时化工过程开发主要是由工业化学家率领、机械工程师参加进行的。技术人员的专业也是按其从事的产品生产分类的,如染料、化肥、炸药等。直到 19 世纪末,化学工业萌芽阶段的工程问题,都是采用化学(家)加机械(工程师)的方式解决的。

现代化学工业的发展时期是在美国开始的。19 世纪末 20 世纪初,石油的开采和大规模石油炼厂的兴建为石油化学工业的发展和化学工程技术的产生奠定了基础。与以煤为基础原料的煤化学工业相比,炼油业的化学背景不那么复杂多样化,因此有可能也有必要进行工业过程本身的研究,以适应大规模生产的需要。这就是在美国产生以“单元操作”为主要标志的现代化学工业的背景。

1888 年,美国麻省理工学院开设了世界上最早的化学工程专业,接着,宾夕法尼亚大学、土伦大学和密执安大学也先后设置了化学工程专业。这个时期化学工程教育的基本内容是工业化学和机械工程。1915 年 12 月麻省理工学院一个委员会的委员 A. D. Little 首次正式提出了单元操作的概念。20 世纪 20 年代石油化学工业的崛起推动了各种单元操作的研究。

由于单元操作的发展,20 世纪 30 年代以后,化学机械从纯机械时代进入以单元操作为基础的化工机械时期。20 世纪 40 年代,因战争需要,三项重大开发同时在美国出现。这三项重大开发是流化床催化裂化制取高级航空燃料油、丁苯橡胶的乳液聚合以及制造首批原子弹的曼哈顿工程。前两者是用 20 世纪 30 年代逐级放大的方法完成的,放大比例一般不超过 50 : 1。但曼哈顿工程由于时间紧迫和放射性的危害,必须采用较高的放大比例,达 1000 : 1 或更高一些。这就要求依靠更加坚实的理论基础,以更加严谨的数学形式表达单元操作的理论。

曼哈顿工程的成功大大促进了单元操作在化学工业中的应用。20 世纪 50 年代中期提出了传递过程原理,把化学工业中的单元操作进一步解析为三种基本操作过程,即动量传递、热量传递和质量传递以及三者之间的联系。同时在反应过程中把化学反应与上述三种传递过程一并研究,用数学模型描述过程。连同电子计算机的应用以及化工系统工程学的兴起,使得化学

工业发展进入更加理性、更加科学化的时期。

20 世纪 60 年代初,新型高效催化剂的发明,新型高级装置材料的出现,以及大型离心压缩机的研究成功,开始了化工装置大型化的进程,把化学工业推向一个新的高度。此后,化学工业过程开发周期已能缩短至 4 年~5 年,放大倍数达 500 倍~20000 倍。

化学工业过程开发是指把化学实验室的研究结果转变为工业化生产的全过程。它包括实验室研究、模试、中试、设计、技术经济评价和试生产等许多内容。过程开发的核心内容是放大。由于化学工程基础研究的进展和放大经验的积累,特别是化学反应工程理论的迅速发展,使得过程开发能够按照科学的方法进行。中间试验不再是盲目地、逐级地,而是有目的地进行。化学工业过程开发的一个重要进展是,可以用电子计算机进行数学模拟放大。中间试验不再像过去那样只是收集或产生关联数据的场所,而是检验数学模型和设计计算结果的场所。现代化学工业过程开发可以概括为:

(1) 利用现有的情报资料、技术数据、同类过程的成熟经验、小试或模试的实验结果和化学化工知识,把化学工业过程抽象为理论模型。

(2) 进行工业装置的概念设计,并根据概念设计相似缩小为中试装置。

(3) 比较电子计算机的数学模拟和中试结果,反复比较,不断修正数学模型,使其达到一定精度,用于放大设计。

目前化学工业开发的趋势是,不一定进行全流程的中间试验,对一些非关键设备和很有把握的过程不必试验,有些则可以用计算机在线模拟和控制来代替。

现代的技术进步一日千里。20 世纪最后几十年的发明和发现,比过去两千年的总和还要多。化学工业也是如此。在这几十年中,化学工业在世界范围取得了长足进展。化学工业在很大程度上满足了农业对化肥和农药的需要。随着化学工业的发展,天然纤维已丧失了传统的主宰地位,人类对纤维的需要有近 2/3 是由合成纤维提供的。塑料和合成橡胶渗透到国民经济的所有部门,在材料工业中已占据主导地位。医药合成不仅在数量上而且在品种和质量上都有了较大发展。化学工业的发展速度已显著超过国民经济的平均发展速度,化工产值在国民生产总值中所占的比例不断增加,其他工业部门对化学工业的依赖程度越来越大,化学工业已发展成为国民经济的支柱产业和发展高技术的基石。

20 世纪 70 年代后,随着化学工业的大发展,现代化学工程技术渗入到了各个加工领域,生产技术面貌发生了显著变化。同时,化学工业也面临来自能源、原料和环保三大方面的挑战,进入一个既有挑战又有重大机遇的发展阶段。

在原料、能源供应日趋紧张和环境保护压力的条件下,化学工业正在通过技术进步尽量提高其对原料的利用和减少其对能源的消耗;为了满足整个社会日益增长的能源需求,化学工业正在努力提供新的技术手段,用化学的方法为人类提供多种途径的新能源;为了自身的发展,化学工业正在开辟新的原料来源,为以后的发展奠定丰富的原料基础;随着电子计算机的发展和应用,化学工业正在进入高度自动化的阶段;一些高新技术,如激光、模拟酶的应用,正在使化学工业生产的效率显著提高,技术面貌发生根本性的变化;由于有了更新的技术手段,化学工业对环境的污染进一步得到控制,而且也为其他行业的环境保护发挥作用,并将为改善人类的生存条件做出新的贡献。

1.1.2 化学工业生产的特点

化工行业生产工艺的特殊性,决定了化工生产具有很多不同于其他工业生产的特点。

1. 生产装置密集

化工行业的生产过程通常是在由多种设备连接而成的整套装置中进行的。整套装置包括主体反应设备、罐类、管路、阀件、泵类、仪表等元件。多数化工产品的生产流程较长,工序较多、较繁杂,因此,需要通过多组管路将单个设备紧凑有序地连接成整套的生产装置,并通过若干的化工单元操作,得到目标产品。对于精细化工行业来说,其生产特点是化工产品品种多、更新换代快,批量小,因此,化工生产,特别是精细化学品的生产,往往采用多功能模式的生产装置,涵盖能满足多品种综合生产所需要的工艺流程,以降低制造成本,并尽可能缩短新产品的上市周期,从而能使设备利用的潜在能力得以充分的发挥,显著提高经济效益。

2. 知识和技术密集

化工产品的生产是综合性较强的技术密集型的生产过程。一个化工产品的研究开发,要经过市场调研、工艺路线探索、工艺开发、风险研究、工程化放大、工业化生产、应用研究、市场开发、甚至技术服务等各个方面的全面考虑和具体实施。这不仅需要解决一系列的化工技术难题,还渗透着多领域多行业的技术和知识,包括多领域的经验和手段。化工产品种类繁多,新的产品不断出现,更新换代快,需要不断进行新产品的技术开发和应用开发,所以研究开发费用很大。例如:医药的研究经费,常常需要占药品销售额的8%~10%,这就导致了较强的技术垄断性。随着科学技术的不断发展和技术进步,化工生产正朝着工艺流程更为复杂、设备更为先进、操作自动化程度更高的现代化生产过程快速发展,这就要求化工生产企业必须充实人才队伍,接受先进知识,重视风险控制,更新现有设备,以满足快速发展的需要。

3. 资金密集

由于化工生产是在多个操作单元装置连接而成的整套装置中进行的,这就决定了化工行业是一个资金密集型的行业。在化工产品的生产过程中,所涉及的生产工艺流程比较长,导致了设备装置的投资额较大,而装置的生产能力受操作周期和设备利用率等条件的限制,所以,流动资金占用的时间相对较长。此外,在化工生产过程中,往往存在高温、高压、低温以及较强的腐蚀性等苛刻的工艺条件,因此,用于化工生产设备维修和保养维护等方面的相关费用相对高于其他生产工业。

4. 资源密集

虽然化工行业对国民经济的发展和人民生活的保障、改善做出了重大的贡献,创造了巨大的财富,但是,对于资源环境也造成了严重的损害,带来了沉重的影响。在化工产品的生产过程中,通常原材料的消耗成本占产品总制造成本的60%~70%,其中大部分原材料的获得需要消耗自然资源,这些自然资源大多为不可再生资源,如石油资源和矿石资源等。随着世界经济的快速发展,这些不可再生的资源将变得越来越稀少,这就使得整个化学工业对资源和能源的需求越来越受到约束。因此,化学工业需要不断进行技术革新,提高产品收率和质量,降低原材料消耗,并且要保证生产安全。着眼未来,化工行业如何走可持续发展的道路,是我们面临和必须解决的重要问题。

5. 高毒性、高污染、高风险

高毒性、高污染和高风险是化工行业不可忽视的问题,其贯穿于绝大多数化工产品的生产流程之中。在一个化工产品的生产过程中,从原料采购、运输、仓储到生产的每一个环节都使用大量的危险化学品,这些化学品有的具有毒性,有的具有不稳定性等特殊危险特性,因此,它们蕴含着隐患和风险。而且,在生产过程中,会产生很多中间产物或是副产物,导致大量废气、废

水、废渣的产生,如果这些“三废”物质处理不及时或处理不当,会对人身安全和生态环境造成严重的影响。此外,化工过程涉及的化学反应复杂多样,人们对其认识还远远不够,常常会因为一些反应条件突变导致未知反应的发生,而导致灾难性事故。因此,化工生产具有一定的高风险性。如何保证化工安全生产是化工行业安全、环保和可持续发展必须解决的首要问题。

1.1.3 化学工业生产的危险因素

进入 20 世纪后,化学工业迅速发展,环境污染和重大工业事故相继发生。1930 年 12 月比利时发生了“马斯河谷事件”。在马斯河谷地区由于铁工厂、金属工厂、玻璃厂和锌冶炼厂排出的污染物被封闭在逆温层下,浓度急剧增加,使人感到胸痛、呼吸困难,一周之内造成 60 人死亡,许多家畜也相继死去。1960 年到 1977 年的 18 年中,美国和西欧发生重大火灾和爆炸事故 360 余起,死伤 1979 人,损失数十亿美元。我国化学工业事故也是频繁发生,从 1950 年到 1999 年的 50 年中,发生各类伤亡事故 23425 起,死伤 25714 人,其中因火灾和爆炸事故死伤 4043 人。

随着化学工业的发展,涉及的化学物质的种类和数量显著增加。很多化工物料的易燃性、易爆性、反应性和毒性本身决定了化学工业生产事故的多发性和严重性。反应器、压力容器的爆炸以及燃烧传播速度超过声速的爆轰,都会产生破坏力极强的冲击波,冲击波将导致周围厂房建筑物的倒塌,生产装置、储运设施的破坏以及人员的伤亡。多数化工物料对人体有害,设备密封不严,特别是在间歇操作中泄漏的情况很多,容易造成操作人员的急性或慢性中毒。据我国化工部门统计,因一氧化碳、硫化氢、氮氧化物、氨、苯、二氧化碳、二氧化硫、光气、氯化钡、氯气、甲烷、氯乙烯、磷、苯酚、砷化物等化学物质造成中毒、窒息的死亡人数占中毒死亡总人数的 87.6%。而这些物质在一般化工厂中是常见的。

可见,大多数化工危险都具有潜在的性质,即存在着“危险源”,危险源在一定的条件下可以发展成为“事故隐患”,而事故隐患继续失去控制,则转化为“事故”的可能性会大大增加。因此,可以得出以下结论:危险失控,可导致事故;危险受控,能获得安全。因而辨识危险源成为重要问题。目前国内外流行的安全评价技术,就是在危险源辨识的基础上,对存在的事故危险源进行定性和定量评价,并根据评价结果采取优化的安全措施。提高化工生产的安全性,需要增加设备的可靠性,同样也需要强化现代化的安全管理。

美国保险协会(AIA)对化学工业的 317 起火灾、爆炸事故进行调查,分析了主要和次要原因,把化学工业危险因素归纳为以下九个类型。

1. 工厂选址

- (1) 易遭受地震、洪水、暴风雨等自然灾害。
- (2) 水源不充足。
- (3) 缺少公共消防设施的支援。
- (4) 有高湿度、温度变化显著等气候问题。
- (5) 受邻近危险性大的工业装置影响。
- (6) 邻近公路、铁路、机场等运输设施。
- (7) 在紧急状态下难以把人和车辆疏散至安全地。

2. 工厂布局

- (1) 工艺设备和储存设备过于密集。
- (2) 有显著危险性和无危险性的工艺装置间的安全距离不够。

- (3) 昂贵设备过于集中。
- (4) 对不能替换的装置没有有效的防护。
- (5) 锅炉、加热器等火源与可燃物工艺装置之间距离太小。
- (6) 有地形障碍。

3. 结构

- (1) 支撑物、门、墙等不是防火结构。
- (2) 电气设备无防护措施。
- (3) 防爆通风换气能力不足。
- (4) 控制和管理的指示装置无防护措施。

4. 对加工物质的危险性认识不足

- (1) 在装置中原料混合,在催化剂作用下自然分解。
- (2) 对处理的气体、粉尘等在其工艺条件下的爆炸范围不明确。
- (3) 没有充分掌握因误操作、控制不良而使工艺过程处于不正常状态时的物料和产品的详细情况。

5. 化工工艺

- (1) 没有足够的有关化学反应的动力学数据。
- (2) 对有危险的副反应认识不足。
- (3) 没有根据热力学研究确定爆炸能量。
- (4) 对工艺异常情况检测不够。

6. 物料输送

- (1) 各种单元操作时对物料流动不能进行良好控制。
- (2) 产品的标示不完全。
- (3) 风送装置内的粉尘爆炸。
- (4) 废气、废水和废渣的处理。
- (5) 装置内的装卸设施。

7. 误操作

- (1) 忽略关于运转和维修的操作教育。
- (2) 没有充分发挥管理人员的监督作用。
- (3) 开车、停车计划不适当。
- (4) 缺乏紧急停车的操作训练。
- (5) 没有建立操作人员和安全人员之间的协作体制。

8. 设备缺陷

- (1) 因选材不当而引起装置腐蚀、损坏。
- (2) 设备不完善,如缺少可靠的控制仪表等。
- (3) 材料的疲劳。
- (4) 对金属材料没有进行充分的无损探伤检查或没有经过专家验收。
- (5) 结构上有缺陷,如不能停车而无法定期检查或进行预防维修。
- (6) 设备在超过设计极限的工艺条件下运行。
- (7) 对运转中存在的问题或不完善的防灾措施没有及时改进。

(8) 没有连续记录温度、压力、开停车情况及中间罐和受压罐内的压力变动。

9. 防灾计划不充分

(1) 没有得到管理部门的大力支持。

(2) 责任分工不明确。

(3) 装置运行异常或故障仅由安全部门负责,只是单线起作用。

(4) 没有预防事故的计划,或即使有也很差。

(5) 遇有紧急情况未采取得力措施。

(6) 没有实行由管理部门和生产部门共同进行的定期安全检查。

(7) 没有对生产负责人和技术人员进行安全生产的继续教育和必要的防灾培训。

瑞士再保险公司统计了化学工业和石油工业的 102 起事故案例,分析了上诉 9 类危险因素所起的作用,表 1-1 为统计结果。

由表 1-1 可以看出,设备缺陷问题是第一位的危险,若能消除此项危险因素,则化学工业和石油工业的安全就会获得有效改善。在化学工业中,“4”和“5”两类危险因素占较大比例。这是由以化学反应为主的化学工业的特征所决定的。在石油工业中,“2”和“3”两类危险因素占较大比例。石油工业的特点是需要处理大量可燃物质,由于火灾、爆炸的能量很大,所以装置的安全间距和建筑物的防火层不适当时就会形成较大的危险。另外,误操作问题在两种工业危险中都占较大比例。操作人员的疏忽常常是两种工业事故的共同原因,而在化学工业中所占比重更大一些。在以化学反应为主体的装置中,误操作常常是事故的重要原因。

表 1-1 化学工业和石油工业的危险因素

类 别	危 险 因 素	危险因素的比例	
		化学工业	石油工业
1	工厂选址问题	3.5	7.0
2	工厂布局问题	2.0	12.0
3	结构问题	3.0	14.0
4	对加工物质的危险性认识不足	20.2	2.0
5	化工工艺问题	10.6	3.0
6	物料输送问题	4.4	4.0
7	误操作问题	17.2	10.0
8	设备缺陷问题	31.1	46.0
9	防灾计划不充分	8.0	2.0

1.1.4 化学工业发展对安全的新要求

装置规模的大型化,生产过程的连续化无疑是化工生产发展的方向,但要充分发挥现代化工业生产优势,必须实现安全生产,确保长期、连续、安全运行,减少经济损失。

化工装置大型化,在基建投资和经济效益方面的优势是无可争辩的。但是,大型化是把各种生产过程有机地联合在一起,输入输出都是在管道中进行。许多装置互相连接,形成一条很长的生产线。规模巨大、结构复杂,不再有独立运转的装置,装置间互相作用、互相制约。这样就存在许多薄弱环节,使系统变得比较脆弱。为了确保生产装置的正常运转并达到规定目标的产品,装置的可靠性研究变得越来越重要。所谓可靠性是指系统设备、元件在规定的条件下和